Regione Siciliana

Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera

Ufficio del Commissario di Governo
contro il Dissesto Idrogeologico
nella Regione Siciliana

versione 1.0

Il Soggetto Attuatore:

Dott. Maurizio Croce

Giugno 2020

La stesura del presente Piano Regionale contro l'Erosione Costiera è stata curata dall'Ufficio del Commissario Straordinario per l'emergenza idrogeologica nella Regione Siciliana ex legibus n. 116/2014 e n. 164/2016 e, in particolare, dal soggetto attuatore Dott. Maurizio Croce collaborato da: ing. Salvatore Manzone, geom. Rossella Venuti e ing. Irene Vinci.

Hanno collaborato, nella qualità di consulenti, i professori:

- Francesco Castelli dell'Università degli Studi "Kore" di Enna;
- Enrico Foti dell'Università degli Studi di Catania;
- Goffredo La Loggia dell'Università degli Studi di Palermo;
- Giovanni Randazzo dell'Università degli Studi di Messina.

Hanno, altresì, prestato attività di supporto tecnico:

- il dott. geol. Giovanni Barreca;
- il dott. geol. Antonio Crupi;
- la dott.ssa ing. Claudia Carmela Giarrusso;
- il dott. ing. Riccardo Giordano;
- il dott. ing. Claudio Iuppa;
- la dott.ssa ing. Valentina Lentini;
- il dott. ing. Carlo Lo Re;
- il dott. geol. Giorgio Manno.

Infine, si ringraziano, per i numerosi contributi, spunti di riflessioni e interessanti discussioni: il dott. ing. Luca Cavallaro, il prof. Giuseppe Ciraolo, il prof. Paolo La Greca, la dott.ssa geol. Stefania Lanza, la prof.ssa Rosaria Ester Musumeci e il prof. Edoardo Rotigliano.

Indice

Premessa 1
1 Introduzione 3
1.1 Obiettivi 5
1.2 Fasi del lavoro svolto 8
2 L'erosione costiera 10
2.1 Generalità 10
2.2 L'erosione costiera a livello nazionale 11
2.2.1 Variazione della linea di costa italiana dal 1960 al 2012 15
2.2.2 Individuazione preliminare dei beni a rischio di erosione 24
2.2.3 Suddivisione a scala nazionale degli ambiti costieri in unità fisiografiche 26
2.3 L'erosione costiera in Sicilia 29
3 Strategie e riferimenti normativi 42
3.1 Misure a livello europeo 42
3.2 Misure a livello nazionale 43
3.3 Misure regionali per il ripascimento degli arenili 45
3.4 Interazioni del PRCEC con gli altri strumenti pianificatori ... 46
4 Acquisizione dati e informazioni 55
4.1 Generalità 55
4.2 Strumenti di base a cura della Regione Siciliana 57
4.3 Serie storiche dei dati vento 61
4.4 Dati sui livelli marini 64
4.5 Serie storiche dei dati sul moto ondoso 66
4.6 Dati sulle correnti marine 69
4.7 Cartografia della batimetria regionale 72
4.8 Immagini satellitari ad alta definizione 74
5 Gerarchizzazione degli ambiti costieri 76
5.1 Classificazione delle tipologie di ambiti costieri 76

5.2 Delimitazione delle unità fisiografiche siciliane 80
5.2.1 Unità fisiografiche definite dal Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente 80
5.2.2 Unità fisiografiche secondo il P.A.I. (2005) della Regione Siciliana 82
5.2.3 Unità fisiografiche di I, II e III ordine proposte per il presente Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera...83
5.3 Delimitazione della fascia costiera fino alla profondità di chiusura.....98
6 Implementazione di un WebGIS per le finalità del Piano 105
6.1 Definizione del GIS in funzione della realizzazione di un WebGIS 105
6.2 Tipi di informazioni utilizzabili mediante GIS 107
6.3 Elaborazione dei dati 108
6.4 Dati per le analisi territoriali 110
6.4.1 Indicatori costieri e GIS 110
6.5 Il WebGIS 111
6.6 Realizzazione di un GIS per il PRCEC 113
7 Stato delle coste siciliane al 2020 129
7.1 Uso del suolo.....129
7.2 Analisi geomorfologica delle coste 130
7.3 Caratterizzazione sedimentologica delle spiagge 134
7.3.1 Sedimenti delle spiagge siciliane 135
7.3.2 Composizione.....153
7.3.3 Colore 155
7.3.4 Un esempio di geodiversità alterata.....156
7.4 Censimento opere a mare 162
7.5 Aree di particolare pregio ambientale 179
7.6 Praterie di Posidonia Oceanica e di Cymodocea Nodosa...185
8 Analisi, metodologie e implementazione del PRCEC.....196
8.1 Analisi meteo-marine al largo delle coste siciliane 196

8.1.1 Determinazione dei fetch geografici ed efficaci 196
8.1.2 Analisi del vento 200
8.1.3 Analisi del moto ondoso al largo 210
8.2 Analisi della propagazione del moto ondoso dal largo alla costa 228
8.2.1 Il modello numerico adottato per la propagazione del moto ondoso 229
8.2.2 Domini di calcolo 232
8.2.3 Configurazione delle griglie di calcolo adottate per la propagazione del moto ondoso 243
8.2.4 Dati di input 258
8.2.5 Configurazione delle simulazioni 266
8.2.6 Validazione dei risultati di modellazione 272
8.2.7 Sintesi delle analisi della propagazione del moto ondoso dal largo alla costa 276
8.3 Analisi meteo-marine sotto-costa 278
8.3.1 Analisi del moto ondoso in prossimità dell'isobata 20m 278
8.3.2 Stima della deriva dei sedimenti 287
8.3.3 Sintesi dell'analisi del moto ondoso sottocosta.....290
8.4 Analisi dei livelli del mare lungo le coste della Sicilia.....299
8.4.1 I livelli di marea 300
8.4.2 Effetto della marea astronomica 304
8.4.3 Effetto della marea meteorologica.....308
8.4.4 Variazioni di livello del mare per effetto della pressione atmosferica 309
8.4.5 Variazione di livello del mare per effetto dei venti 312
8.4.6 Sintesi dell'analisi delle variazioni del livello del mare313
8.5 Analisi del trasporto solido fluviale 315
8.5.1 Denudazione dei versanti e trasporto solido 315
8.5.2 I fattori di condizionamento 318

8.5.3 Valutazione del quadro regionale 320
8.5.4 Considerazioni conclusive 343
8.6 Analisi diacronica della linea di riva 343
8.6.1 L'analisi diacronica 345
8.6.2 Metodologia utilizzata per l'analisi diacronica 349
8.7 Definizione del rapporto di cause ed effetto tra interventi antropici e processi erosivi 352
8.7.1 Interazione tra gli interventi antropici e le coste alte 359
8.8 Effetti dei cambiamenti climatici sull'erosione e sugli allagamenti costieri 363
8.8.1 Effetti dei cambiamenti climatici attesi sulle coste italiane e loro influenza su erosione e allagamenti 366
8.8.2 Sintesi dei risultati disponibili sulle coste siciliane 372
8.8.3 Linee guida per l'adattamento ai cambiamenti climatici degli interventi di difesa costiera 377
9 Analisi delle criticità costiere e proposta di una metodologia per la stima delle pericolosità come strumento di supporto alle decisioni 381
9.1 Analisi degli interventi per la mitigazione del rischio di erosione costiera previsti dal PAI 382
9.2 Proposta di una metodologia per la valutazione della pericolosità da erosione costiera per le coste basse 386
9.3 Proposta di metodologia per la valutazione delle criticità delle coste alte 400
10 Applicazione di alcune delle metodologie proposte a casi di studio 406
10.1 Valutazione del traporto solido costiero ai fini dell'analisi dell'arretramento della linea di costa 406
10.1.1 Descrizione del paraggio in esame 406
10.1.2 Caratterizzazione del clima ondoso al largo del paraggio in esame 408

10.1.3 Trasporto solido litoraneo 410
10.2 Valutazione della stabilità di coste alte 423
11 Messa a punto di un sistema di monitoraggio su scala regionale 452
11.1 Monitoraggio degli impatti di eventi meteomarini estremi: proposta di redazione di un quaderno delle mareggiate ... 452
11.1.1 Preparazione e compilazione del quaderno delle mareggiate 457
11.2 Monitoraggio del clima meteomarino 460
11.2.1 Progettazione di una Rete Ondametrica Regionale 460
11.2.2 Verifica dell'efficienza ed efficacia dell'attuale rete mareografica esistente 463
11.2.3 Verifica della copertura e dell'affidabilità della rete radar HF esistente ai fini della stima dei parametri del moto ondoso 467
11.3 Monitoraggio dell'erosione costiera 470
11.3.1 Progettazione di una rete di monitoraggio visivo partecipato di tipo CoastSnap 470
11.3.2 Progettazione di un sistema di raccolta centralizzato di immagini di video sorveglianza costiera 475
11.4 Monitoraggio di opere costiere e pareti rocciose 483
11.4.1 Indagini e prove per la caratterizzazione delle coste alte 483
11.4.2 Linee guida per il monitoraggio delle coste alte 499
12 Linee guida per gli interventi di difesa delle coste siciliane 512
12.1 Interventi di difesa delle spiagge 513
12.2 Interventi di difesa nelle coste alte rocciose 518
12.3 Fonti di sedimenti per la realizzazione di ripascimenti 520
12.3.1 Definizione della risorsa 525
12.3.2 Risorse strategiche - Depositi di Sedimenti Marini Remoti (DSMR) 526
12.3.3 Risorse occasionali 550

12.3.4 Risorse cicliche (autotrapianti stagionali): 556
12.3.5 Attività gestionali (tendenzialmente naturali) 558
12.3.6 Aree di Stoccaggio 562
12.4 Deposito di sedimenti a monte delle dighe di sbarramento: disponibilità ai fini del ripascimento dei litorali 564
12.4.1 Esperienze di controllo e gestione dei sedimenti in alcuni serbatoi siciliani 567
13 Conclusioni 573
Elenco delle Figure 578
Elenco delle Tabelle 597
Elenco degli Allegati 605
Elenco delle Tavole 606
Bibliografia 607

Premessa

Il Presidente della Regione Siciliana, considerato che:

- i cambiamenti climatici interessano non solo l'aumento delle temperature e l'innalzamento progressivo del livello del mare, ma anche l'erosione costiera, di cui una delle manifestazioni più eclatanti è la perdita di superficie di spiaggia per effetto del ridotto apporto di sedimenti da parte dei corsi d'acqua, e che ciò è, frequentemente, associato alla cementificazione degli ambienti naturali e alla scomparsa dei sistemi dunali;
- la Sicilia, dopo il Veneto, è la Regione che presenta la più alta urbanizzazione delle zone costiere, che sono quindi esposte a rischi maggiori per la presenza di una densa popolazione lungo le coste in città come Palermo, Messina, Catania e Siracusa;
- appare necessario avviare nuove pratiche di gestione dell'erosione costiera, con programmi di investimento in materia di protezione delle coste, puntando sulla rimozione delle cause di erosione marina mediante il ripristino delle condizioni naturali di equilibrio della linea di costa e del trasporto sedimentario dei corsi d'acqua;
- nella programmazione e nella gestione delle aree costiere, particolare attenzione deve essere posta anche agli effetti benefici che interventi di contrasto all'erosione costiera possono avere rispetto al potenziale sviluppo del turismo, alla possibilità di proteggere e recuperare edifici sia pubblici che privati attualmente esposti all'azione delle mareggiate, al fine di difendere quella parte di economia strettamente connessa ai territori rivieraschi.

Per tutto quanto sopra sinteticamente esposto, il Presidente della Regione, al fine di fronteggiare gli effetti dei fenomeni di dissesto dei litorali mediante l'adozione di misure idonee ed interventi adeguati, con Deliberazione n.74 del 27 febbraio 2020, ha dato mandato al Soggetto Attuatore dell'Ufficio del Commissario di Governo contro il Dissesto Idrogeologico nella Regione Siciliana di predisporre il Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC), sulla base delle "*Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici*", elaborate dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera (TNEC) – MATTM – Regioni (2018), con il coordinamento tecnico dell'ISPRA[1]. E ciò entro quattro mesi dalla pubblicazione della suddetta delibera.

Il presente documento, pertanto, riporta la Proposta di PRCEC elaborata dall'Ufficio del Commissario di Governo contro il Dissesto Idrogeologico.

[1] http://www.erosionecostiera.isprambiente.it/linee-guida-nazionali

1 Introduzione

La tutela delle coste siciliane costituisce un impegno imprescindibile per l'istituzione regionale a fronte dell'evidente aggravarsi delle condizioni di instabilità morfologica delle spiagge e delle coste alte; della necessaria salvaguardia dell'ambiente marino costiero e dei suoi numerosi e preziosi habitat; della presenza di una densa popolazione lungo le coste siciliane; della necessaria tutela di quella importantissima parte di economia regionale strettamente connessa ai territori rivieraschi.

Le profonde trasformazioni urbane avvenute nei territori costieri durante il '900 e, in particolare, nel secondo dopoguerra, hanno consegnato alla Regione Siciliana una situazione alquanto complessa da gestire. Oggi, infatti, gran parte dei circa 1600 km di coste siciliane patisce un serio problema di erosione degli arenili e di instabilità delle coste alte. Tali fenomeni, oltre a rappresentare un evidente danno economico in sé (come è noto, infatti, il valore di una spiaggia, per gli impatti diretti e indiretti, ammonta a diverse migliaia di euro a metroquadrato) esaltano la vulnerabilità dei territori rivieraschi agli eventi meteomarini aversi.

Senonché, proprio tale consapevolezza della rilevanza del problema esige lo sviluppo di approfondite conoscenze sui sistemi litoranei, sulle loro criticità e sui fenomeni alla base dei processi idromorfodinamici in atto, nonché l'attuazione di politiche specifiche volte ad affrontare le suddette criticità attraverso una maggiore responsabilità ambientale.

Va, infatti, evidenziato come molto spesso, purtroppo, gli interventi di protezione realizzati in passato, non fondandosi su solide basi di conoscenza, non solo non hanno raggiunto gli scopi desiderati, con conseguente spreco di risorse economiche, ma addirittura in qualche caso hanno prodotto effetti indesiderati. Al riguardo, si pensi ai numerosi casi in cui le Amministrazioni locali hanno realizzato

interventi puntuali di mitigazione dei fenomeni di erosione costiera, con il legittimo auspicio di risolvere i problemi del tratto di costa di propria competenza, ignorando però le conseguenze che tali interventi avrebbero prodotto sui litorali limitrofi; ovvero si pensi ancora ai molti comuni rivieraschi che, con l'obiettivo di dotarsi di porti turistici o, comunque, di infrastrutture costiere in grado di incentivare lo sviluppo delle attività socio-economiche delle proprie comunità, hanno proposto interventi che hanno causato significativi effetti negativi sui tratti di costa sottoflutto.

Ecco perché, proprio nella pianificazione del territorio marino-costiero occorre necessariamente avere un'ampia visione di insieme sia verso il mare, considerando l'evoluzione morfologica sulla scala di una intera unità fisiografica, sia verso terra, monitorando tutti i possibili apporti terrigeni e occorre, altresì, considerare che le articolate interazioni tra ambiente costiero e ambiente antropico sono rese oggi ancora più complesse dagli effetti del Cambiamento Climatico Globale, quali l'innalzamento del livello del mare e l'aumento di frequenza e di severità delle condizioni meteomarine locali.

A fronte di ciò si palesa quindi opportuno sviluppare approcci metodologici, omogeneamente applicati all'intero territorio regionale, che contemperino sia azioni di monitoraggio che di coordinamento, le quali, senza ledere le competenze e le aspirazioni delle diverse Amministrazioni Locali, siano in grado di prevenire i dissesti causati da eventuali interventi errati o, comunque, non adeguatamente integrati su scala di unità fisiografica. E ciò anche al fine di ridurre gli impatti antropici negativi e di favorire il riequilibrio dei processi naturali, con la conseguente valorizzazione del patrimonio regionale costiero per uno sviluppo sostenibile e, dunque, compatibile con le esigenze delle generazioni future.

Consapevole delle problematiche sopra rassegnate, il Presidente della Regione Siciliana, con Deliberazione n. 74 del 27 febbraio 2020,

ha dato mandato al Soggetto Attuatore dell'Ufficio del Commissario di Governo contro il Dissesto Idrogeologico nella Regione Siciliana di predisporre il presente Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC).

Il PRCEC, dopo aver ricostruito lo stato delle conoscenze sulle coste siciliane al 2020, propone anzitutto una nuova gerarchizzazione del territorio costiero secondo Unità Fisiografiche, ossia unità morfodinamicamente indipendenti cui ricondurre qualunque ipotesi di intervento lungo i litorali.

Il PRCEC, inoltre, intende fornire uno strumento idoneo alla salvaguardia e alla valorizzazione dell'ingente patrimonio naturale, archeologico, culturale, infrastrutturale ed economico della Sicilia. Infatti, la corretta pianificazione e la corretta attuazione degli interventi di mitigazione dei fenomeni di erosione richiede l'individuazione e l'adozione di adeguati strumenti di supporto delle decisioni, che favoriscano un'ampia partecipazione delle comunità locali alle scelte strategiche, ed una loro condivisione degli interventi strutturali o non strutturali da effettuare. Anche per questo si è scelto di impiegare come strumento di gestione dei dati e delle informazioni del PRCEC una piattaforma WebGIS che, come è noto, consente l'accessibilità a tutte quelle che sono le informazioni relative alle coste siciliane di carattere ambientale, urbanistico e territoriale attualmente detenute da varie amministrazioni pubbliche.

1.1 Obiettivi

Il Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera mira ad integrare, implementandolo, modernizzandolo e dinamizzandolo, il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, di seguito denominato P.A.I., redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000,

il quale ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

Il PRCEC è stato redatto sulla base delle "*Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici*", elaborate dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera (TNEC) – MATTM - Regioni, con il coordinamento tecnico dell'ISPRA (http://www.erosionecostiera.isprambiente.it/linee-guida-nazionali).

L'obiettivo specifico è quello di realizzare uno strumento dinamico che consenta di integrare gli interventi di difesa in una logica di piano, mediante l'implementazione su scala regionale di criteri di valorizzazione della costa in un'ottica, come già detto, di sviluppo sostenibile e di tutela ambientale.

Il presente Piano Regionale contro l'Erosione Costiera è stato elaborato e proposto come strumento esecutivo immediatamente attuabile e, nell'ambito di ogni Unità Fisiografica, con l'obiettivo di fornire le informazioni necessarie all'individuazione della migliore tipologia d'intervento per la difesa e la valorizzazione della costa, agendo sulla minimizzazione dell'impatto dell'erosione costiera e puntando sulla rimozione delle cause di erosione marina mediante il ripristino delle condizioni naturali di equilibrio della linea di costa e del trasporto sedimentario dei corsi d'acqua.

In tale contesto va anche inquadrata la scelta di impiegare come strumento di gestione delle informazioni del PRCEC la piattaforma WebGIS che, come è noto, rappresenta l'estensione al Web di applicativi nati e sviluppati per gestire le informazioni su base cartografica e che dunque accompagna, integra e completa i contenuti presentati nello stesso PRCEC. E ciò, come detto, anche al fine di favorire l'accessibilità a chiunque abbia l'interesse di acquisire le

informazioni di carattere ambientale, urbanistico e territoriale relative alle coste siciliane; di offrire una facile navigazione su base cartografica delle stesse; di dare piena e immediata attuazione, perlomeno sul tema della conoscenza e protezione delle coste dall'erosione, al Freedom of Information Act introdotto dal D.Lgs n. 97 del 2016. Inoltre, dal punto di vista tecnico, lo strumento WebGIS adottato, se costantemente gestito, consentirà di avere un Piano sempre aggiornato, che non divenga obsoleto, com'è avvenuto per il PAI-coste, che al momento della sua redazione rappresentava un documento di assoluto valore tecnico, ma oggi risulta piuttosto datato.

Il PRCEC, pertanto, dopo aver ricostruito un "punto zero" al 2020 dello stato delle coste siciliane, intende fornire un sistema bilanciato tra: azioni di monitoraggio, controllo, e gestione del territorio costiero da parte delle amministrazioni locali e regionali e azioni di collettamento, analisi e sintesi dei dati da parte del Governo della Regione Siciliana, che consentano di programmare e monitorare, in un ambito territoriale adeguato (le unità fisiografiche), interventi strutturali o non-strutturali, oppure una combinazione degli stessi, atti a salvaguardare e a promuovere il patrimonio naturale, archeologico, culturale, infrastrutturale ed economico della Sicilia.

In definitiva, dunque, il PRCEC intende favorire:

- la conoscenza delle condizioni attuali del litorale siciliano;
- lo sviluppo di strumenti adeguati di gestione delle informazioni che facilitino la partecipazione di tutti gli stakeholders;
- l'analisi dell'efficacia degli interventi effettuati in passato;
- la scelta di interventi istituzionali, di prevenzione e preparazione, strutturali tradizionali e innovativi che tengano conto della necessità di adattamento agli effetti locali dei cambiamenti climatici globali;
- programmi di interventi per la difesa complessiva della costa basati su di un'analisi di pericolosità;

- le modalità di monitoraggio delle dinamiche litoranee anche in esito agli interventi programmati e/o effettuati.

1.2 Fasi del lavoro svolto

La redazione e predisposizione del Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera è stata articolata nelle seguenti quattro fasi:

FASE 1 ACQUISIZIONE DATI E INFORMAZIONI

La prima fase è stata prevalentemente volta all'acquisizione di dati e di informazioni aggiornati, in parte già disponibili presso gli Uffici Regionali, ovvero messi a disposizione dai Consulenti e dall'Ufficio del Commissario di Governo contro il Dissesto Idrogeologico nella Regione Siciliana e in parte reperiti e/o acquistati ad hoc.

FASE 2 STATO DELLE COSTE SICILIANE AL 2020 E METODOLOGIA E IMPLEMENTAZIONE DEL PRCEC

Questa seconda fase è stata mirata a fornire un'analisi dello stato attuale delle coste siciliane, che rappresenta il "tempo zero" (2020) dell'analisi evolutiva futura, necessaria per la programmazione degli interventi di difesa dall'erosione. In particolare, partendo da una disamina della normativa di settore e da una descrizione delle coste siciliane e delle loro principali criticità, è stata proposta una nuova gerarchizzazione degli ambiti costieri (unità fisiografiche) di primo, di secondo e di terzo ordine. E' stato implementato un WebGIS per le finalità del piano delle coste siciliane basato su informazioni riguardanti: la geomorfologia e la sedimentologia; le opere a mare; l'evoluzione della linea di costa; l'elaborazione di dati meteomarini sia al largo che, attraverso l'applicazione di codici di calcolo relativi alla propagazione del moto ondoso, in prossimità della costa, fornendo informazioni sia sul clima medio che sugli eventi estremi; le criticità costiere relativa sia alle coste basse che alle falesie; gli effetti dei

cambiamenti climatici. Inoltre, è stata descritta e applicata a scala regionale una nuova proposta metodologica per l'individuazione della pericolosità dei fenomeni di erosione delle coste basse.

FASE 3 APPLICAZIONE DELLE METODOLOGIE PROPOSTE A CASI DI STUDIO

Nella terza fase, per alcuni casi esemplificativi, sono state applicate le metodologie proposte nella fase precedente. Tali applicazioni hanno consentito di evidenziare nel dettaglio la base dati e le metodologie necessarie a livello locale per la valutazione dei processi erosivi che interessano siti specifici lungo le coste siciliane.

FASE 4 MESSA A PUNTO DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO SU SCALA REGIONALE E PROPOSTA DI COSTITUZIONE DELL'UFFICIO REGIONALE COSTE

Tenuto conto che, come è noto, dal 2014 la Rete Ondametrica Nazionale non è più disponibile, e tenuto, altresì, conto del fatto che al fine di progettare e realizzare qualunque opera costiera di difesa dall'erosione, è necessario disporre di informazioni, si impone l'acquisizione delle condizioni meteomarine attraverso l'uso di boe ondametriche e di altri strumenti di rilievo. Nell'ambito del presente lavoro di piano, è stata effettuata la progettazione di una rete ondametrica regionale e si è dato avvio all'implementazione di reti integrate di monitoraggio, che consentiranno l'avvio di un processo di pianificazione più oggettiva, verificabile e implementabile.

2 L’erosione costiera

2.1 Generalità

L’erosione costiera è il risultato diretto e indiretto delle alterazioni del bilancio dei sedimenti determinate da cause naturali ma, soprattutto, da cause antropiche che sono ormai note e quantificate. Infatti, la costruzione delle vie di comunicazione costiere, la crescente necessità di inerti da costruzione spesso ricavati con la coltivazione di cave negli alvei fluviali, la sistemazione dei versanti e la creazione di invasi per uso potabile, irriguo o per la produzione di energia elettrica, l’estrazione di fluidi dal sottosuolo (acqua/gas), unitamente alla costruzione di opere marittime portuali o per la difesa degli abitati, hanno prodotto un notevole deficit sedimentario che, sommato alle cause naturali climatiche, di variazione del livello del mare o della subsidenza, hanno progressivamente aggravato il fenomeno dell'erosione dei litorali fino a minacciare la sicurezza di abitati e delle infrastrutture.

Gli effetti più eclatanti si osservano soprattutto dopo il manifestarsi di mareggiate, che sono di per sé fenomeni potenti, ma che dimostrano anche come sia aumentata la vulnerabilità del sistema sedimentario costiero. Infatti, su molti tratti ormai basta un singolo evento per provocare decine di metri di arretramento della linea di riva. La causa di tali fenomeni è dovuta alla scomparsa delle difese naturali costiere in tutti i tratti che risultano in progressivo arretramento.

Pertanto, da tali considerazioni, nel presente PRCEC vengono preliminarmente illustrati alcuni dati salienti relativi al fenomeno dell’erosione costiera sia su scala nazionale che su scala regionale.

2.2 L'erosione costiera a livello nazionale

L'erosione dei litorali italiani può essere in gran parte ricondotta alla diversificazione nell'uso del suolo diffusasi dopo la seconda guerra mondiale.

La notevole estensione in epoca storica dei litorali italiani è, infatti, riconducibile all'ampia deforestazione connessa all'intensificazione della rete ferroviaria dell'800. Tale attività ha innescato un'accelerazione nei processi erosivi del suolo nelle campagne e nei territori collinari, favorendo il trasporto di ingenti quantitativi di sedimenti verso il mare. Molte foci fluviali deltizie hanno così beneficiato di una grande disponibilità di sedimenti; quest'ultima ha permesso lo sviluppo di delta ampi e ramificati, ha favorito la strutturazione delle pianure costiere nonché la progradazione rilevante delle spiagge.

Come già accennato, la recente regimentazione dei corsi d'acqua, l'urbanizzazione dei litorali con lo smantellamento e l'irrigidimento degli apparati dunali, un uso del suolo attento a ridurre la perdita di terreno fertile e la stabilizzazione dei versanti hanno ridotto l'apporto di sedimenti favorendo la regressione delle spiagge e quindi l'innesco di fenomeni erosivi lungo tutta la penisola italiana.

Complessivamente, la costa italiana ha una lunghezza di 8.353 km di cui 4.862 di coste basse sabbiose e deltizie.

Una delle prime analisi della situazione nazionale (1968 - 1969) in relazione al fenomeno dell'erosione è stata condotta dalla V Sottocommissione nell'ambito dei lavori della Commissione Interministeriale per lo Studio della Sistemazione Idraulica e della Difesa del Suolo, nota come "Commissione De Marchi". Dall'indagine condotta risulta che i processi erosivi interessavano già allora tutte le foci estuarine o deltizie dei principali fiumi d'Italia e vasti tratti della fascia costiera italiana (Figura 2.1).

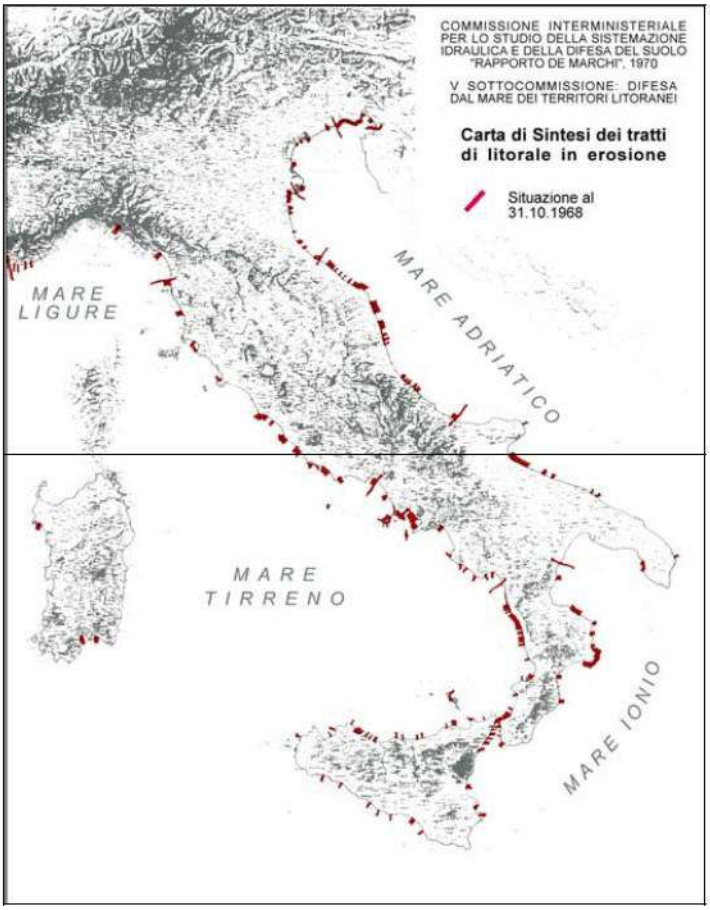


Figura 2.1 Carta di sintesi dei tratti di litorali in erosione

Successivamente una ulteriore analisi aggiornata del fenomeno è stata rappresentata nell'Atlante delle Spiagge Italiane (C.N.R., M.U.R.S.T., 1997) a scala 1:100.000, in cui sono sintetizzate le ricerche nel periodo 1985-1997 (Figura 2.2). Si tratta quindi di una cartografia redatta dai 15 ai 30 anni dopo quella precedente della Commissione De Marchi.

In tale studio, il fenomeno dell'erosione dei litorali viene trattato in termini di tendenza evolutiva a medio periodo. Da esso risulta un generale aggravamento dei fenomeni erosivi, nonostante alcune attenuazioni prodotte localmente dagli interventi di difesa. Per quanto attiene alle foci dei maggiori fiumi nazionali emerge il perdurare dell'erosione già segnalata dal Rapporto De Marchi.

Dai dati tratti dall'Atlante delle Spiagge del CNR, integrati con successive indagini condotte in anni seguenti, sui litorali italiani, risulta che il 32,5% delle coste basse è in erosione e solo il 10% risulta stabile, condizione sostanzialmente dovuta alla presenza di opere di difesa.

Figura 2.2 Tendenza evolutiva delle spiagge italiane (Atlante delle spiagge, 1997)

Nel 2006 il Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero (GNRAC) ha pubblicato un numero speciale sulla Rivista Studi Costieri dal titolo "*Lo stato dei litorali italiani*". Il quadro della situazione italiana presentato nello studio costituisce la prima sintesi, dalla quale emerge

una situazione davvero preoccupante con il 42,5% delle spiagge italiane in erosione. Inoltre, molti tratti di litorale considerati stabili grazie alla presenza di opere di difesa, presentano un degrado paesaggistico ed una conseguente riduzione significativa del valore economico della spiaggia.

Chiaramente, come evidenzia il lavoro, i quadri regionali presentano situazioni estremamente diversificate, sia per le condizioni fisiche, sia per l'uso che è stato fatto della fascia costiera. A tratti completamente naturali si alternano litorali intensamente urbanizzati; a spiagge in cui l'erosione procede con un tasso di alcune decine di metri all'anno ne seguono altre in cui la linea di riva è avanzata.

La rappresentazione più recente dei processi erosivi in Italia è quella elaborata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare al 2017, di cui di seguito si riporta una sintesi dei risultati.

Le recenti elaborazioni a scala nazionale del 2016, aggiornate al marzo 2017, effettuate su GIS e ponendo a confronto le linee di riva del 1960 (derivate dalla cartografia IGMI 1:25.000) e quelle del 1994 e 2012 (ricavate dalle ortofoto presenti sul Geoportale Nazionale), hanno fornito nuovi elementi di analisi dei fenomeni di variazione della costa bassa. Infatti, il periodo 1994-2012 è significativo in quanto rappresenta la fase temporale corrispondente alle prime regolamentazioni sulla gestione dei sedimenti lungo i corsi d'acqua principali e ai primi interventi di ripascimento artificiale lungo alcuni tratti di spiagge italiane. Le elaborazioni hanno riguardato solo l'Italia peninsulare, la Sicilia e la Sardegna, e non hanno interessato quindi tutte le isole minori. Da queste analisi (vedere la Figura 2.3) emerge come il problema dell'erosione risulti in costante aumento. E ciò nonostante l'incremento delle opere di difesa e dei ripascimenti, anche perché spesso figli di interventi non programmati ed effettuati in condizioni di emergenza (vedere la Figura 2.4).

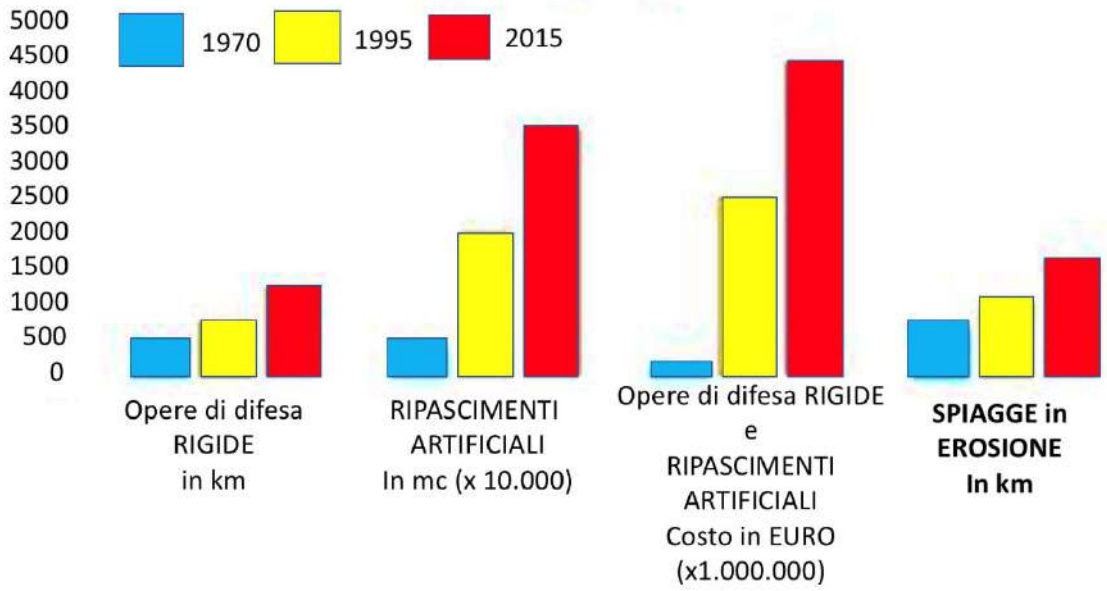


Figura 2.3 Interventi di difesa costiera in Italia [Elaborazione Diego Paltrinieri (COREMA s.r.l.) da dati provenienti dalle seguenti fonti: Commissione De Marchi, CNR, ISPRA e TNEC].

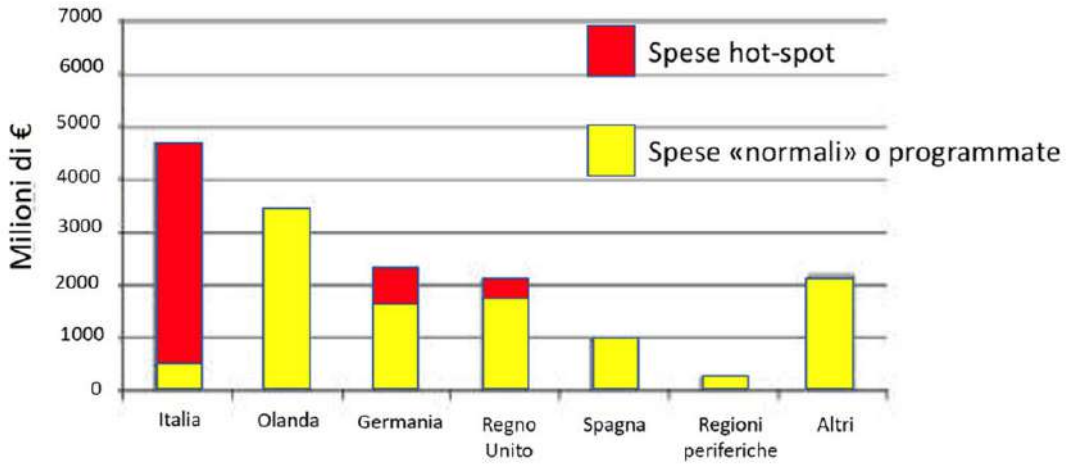


Figura 2.4 Interventi di difesa costiera in Europa [adattato da Policy Research corporation].

2.2.1 Variazione della linea di costa italiana dal 1960 al 2012

Al fine di evitare interventi emergenziali, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha condotto diversi studi su gli arretramenti della linea di costa. In particolare, il bilancio delle

variazioni è stato eseguito ponendo a confronto le linee di riva del 1960, del 1994 e quella del 2012. Le elaborazioni hanno consentito di definire un ordine di grandezza delle superfici e dei tratti costieri che hanno subito arretramento o avanzamento nei tre periodi di osservazione in cui il territorio italiano ha subito forti antropizzazioni e importanti modifiche dell'assetto naturale.

La Figura 2.5, la Figura 2.6 e la Figura 2.7 rappresentano le variazioni avvenute rispettivamente nei periodi 1960-1994, 1994-2012 e le variazioni del periodo più ampio 1960-2012.

In generale, si può affermare che i tratti che risultavano in avanzamento nel primo periodo, sono risultati in avanzamento anche nel secondo periodo. La medesima considerazione vale anche per i tratti in arretramento.

Nel secondo periodo di osservazione sono registrate limitate controtendenze e risultano nuovi tratti coinvolti da fenomeni di variazioni della linea di riva, segno che il fenomeno è in evoluzione.

In Tabella 2.I, Tabella 2.II, e in Tabella 2.III sono riportati i valori delle elaborazioni eseguite su base regionale e nazionale, nelle quali si possono cogliere nel dettaglio i fenomeni di variazione della linea di riva registrati.

I dati elaborati indicano che tra il 1960 e il 1994, la costa italiana ha subito, lungo tratti per complessivi 1382km (20%), un arretramento quantificabile in 87 km^2; mentre, lungo tratti complessivi di costa di 1168 km (17%), ha registrato un avanzamento di 51 km^2. Questi dati tengono conto anche del forte arretramento che ha subito il delta del Fiume Po pari a 27km^2 lungo un tratto complessivo di 32 km, che testimonia la pesante perdita di sedimenti, dovuta soprattutto ai prelievi di inerti in alveo, avvenuti durante la crescita edilizia ed economica del Paese a partire dagli anni '60.

Figura 2.5 Variazione della linea di costa in Italia nel periodo 1960-1994 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017)

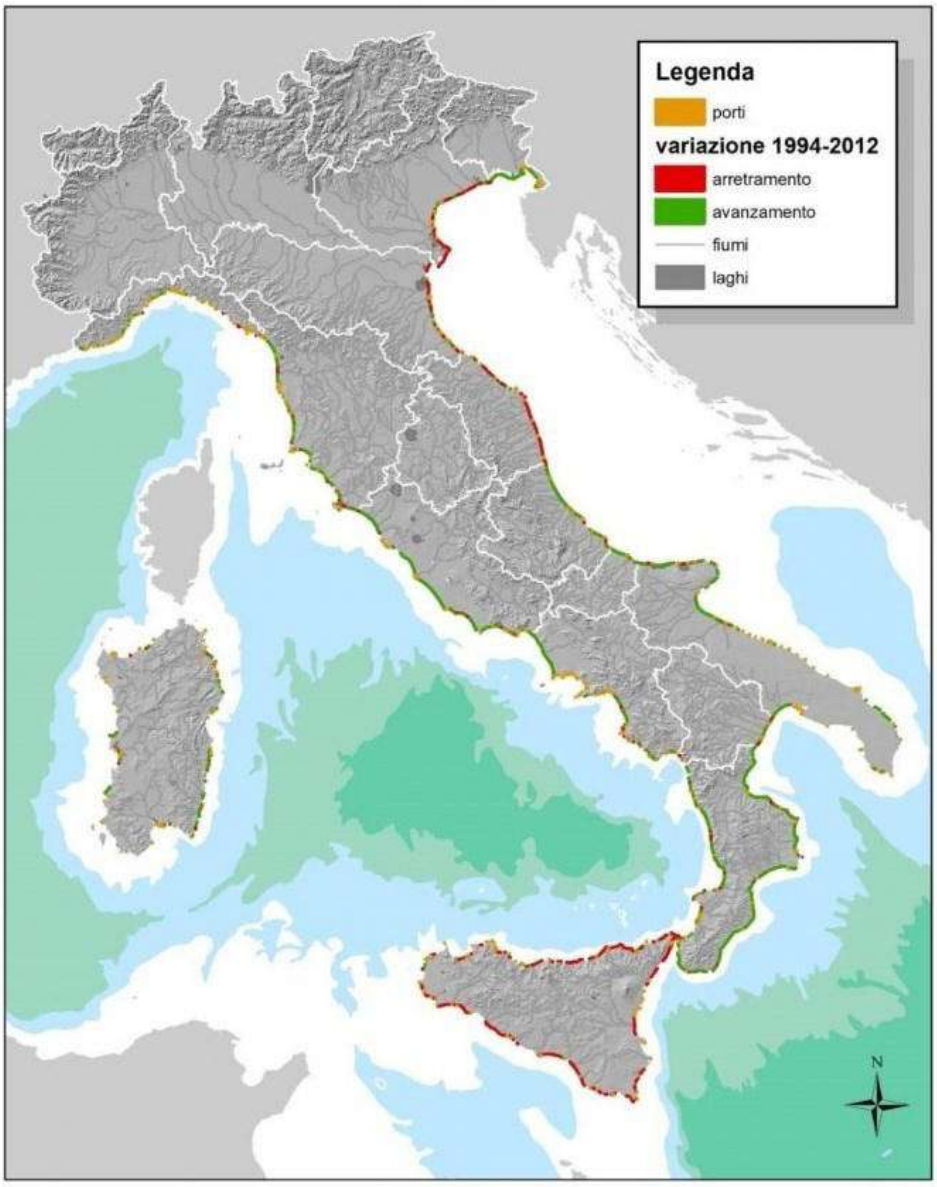


Figura 2.6 Variazione della linea di costa in Italia nel periodo 1994-2012 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017)

Figura 2.7 Variazione della linea di costa in Italia nel periodo 1960-2012 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017)

Il bilancio sedimentario costiero tra il 1994 e il 2012, invece, indica che la costa italiana ha subito, lungo tratti per complessivi 951 km (14%), un arretramento quantificabile in 17 km^2; mentre, lungo tratti complessivi di costa di 961 km (14%), ha registrato un avanzamento di 18 km^2. In questo periodo, per esempio, il delta del Fiume Po ha subito arretramenti pari a 1,3 km^2 e avanzamenti per 1,5 km^2. Il

bilancio nel secondo periodo di analisi risulta appena positivo sia per le azioni di tutela dei sedimenti lungo i corsi d'acqua messe in campo, che per gli interventi di ripascimento artificiale operati in alcune regioni.

Facendo il bilancio tra il 1960 e il 2012, risulta che la costa italiana ha subito, lungo tratti per complessivi 1534 km (23%), un arretramento quantificabile in 92 km^2; mentre, lungo tratti complessivi di costa di 1306 km (19%), ha registrato un avanzamento di 57 km^2.

Un risultato significativo delle nuove elaborazioni è rappresentato dalla progressiva perdita di sedimenti in corrispondenza delle foci dei principali fiumi italiani che, anche nel secondo periodo di osservazione, registrano importanti arretramenti dei corpi sedimentari di foce fluviale. Questo è il principale sintomo della continua riduzione degli apporti sedimentari dai corsi d'acqua, a cui consegue l'indebolimento dei corpi sedimentari che formano le spiagge sommerse.

Inoltre, i bilanci complessivi tra le superfici di arretramento e avanzamento risultano fortemente negativi se si considerano i periodi riferiti alla linea di riva del 1960 (1960-1994 e 1960-2012), mentre risultano appena positivi se si considera il secondo periodo di osservazione (1994-2012). Il motivo di tale risultato è da ricercare nei ripascimenti artificiali operati negli anni 1997-2011, oltre a isolate situazioni di aumentato apporto solido da parte di alcuni corsi d'acqua a seguito di ripetuti eventi alluvionali (vedere la Figura 2.8). In Tabella 2.IV sono riportati i valori di ripascimento su base regionale. significativi sono i bilanci per le regioni Abruzzo, Emilia Romagna, Lazio e Veneto in cui i volumi di sabbia apportati sono maggiori.

Tabella 2.I Variazione della superficie degli arenili e della linea di costa dell'Italia peninsulare e delle isole maggiori dal 1960 al 1994 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017).

Regione	Superfici (kmq)		Tratti costieri (km)		Bilancio delle superfici (kmq)
	Arretramento	Avanzamento	Arretramento	Avanzamento	
ABRUZZO	1,4	1,7	38,0	50,8	0,3
BASILICATA	1,5	1,7	17,6	21,3	0,2
CALABRIA	11,6	8,0	293,0	206,3	-3,5
CAMPANIA	3,3	1,9	76,4	55,0	-1,4
EMILIA R	19,7*	5,7	66,5	58,5	-14,0
FRIULI VG	1,1	2,4	35,8	38,1	1,2
LAZIO	2,5	4,2	73,6	109,3	1,7
LIGURIA	1,4	1,6	47,6	57,4	0,1
MARCHE	3,1	1,7	64,7	55,4	-1,5
MOLISE	1,2	0,6	14,2	13,5	-0,6
PUGLIA	3,8	3,0	101,5	108,6	-0,8
SARDEGNA	1,2	1,0	73,5	59,4	-0,2
SICILIA	12,0	6,0	334,9	184,5	-6,1
TOSCANA	5,3	4,5	78,3	80,4	-0,7
VENETO	17,9**	6,6***	66,5	69,8	-11,3
Totale complessivo	**86,9**	**50,5**	**1382,2**	**1168,2**	**-36,4**

** di cui arretramento Delta F. Po EMR 10,7kmq*
*** di cui arretramento Delta F. Po VEN 16,1kmq*
**** di cui avanzamento Delta F. Po VEN 2,8kmq*

Tabella 2.II Variazione della superficie degli arenili e della linea di costa dell'Italia peninsulare e delle isole maggiori dal 1994 al 2012 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017).

Regione	Superfici (kmq)		Tratti costieri (km)		Bilancio delle superfici (kmq)
	Arretramento	Avanzamento	Arretramento	Avanzamento	
ABRUZZO	0,5	0,7	36,5	43,4	0,3
BASILICATA	0,9	0,2	25,4	10,3	-0,7
CALABRIA	3,5	3,8	220,9	221,5	0,3
CAMPANIA	0,8	0,4	61,1	38,2	-0,3
EMILIA R	0,9	1,1	20,4	45,9	0,3
FRIULI VG	0,4	1,3	21,3	34,8	0,9
LAZIO	0,9	1,7	74,9	101,4	0,8
LIGURIA	0,0	0,4	5,4	32,4	0,4
MARCHE	0,6	0,7	40,3	47,2	0,1
MOLISE	0,6	0,3	15,0	17,5	-0,2
PUGLIA	1,0	1,2	66,7	83,1	0,2
SARDEGNA	0,7	0,4	55,9	32,8	-0,3
SICILIA	3,0	1,6	196,3	99,7	-1,4
TOSCANA	1,3	1,2	65,7	74,1	-0,1
VENETO	1,9*	2,9**	45,7	79,2	1,0
Totale complessivo	**16,9**	**18,1**	**951,6**	**961,5**	**1,2**

** di cui arretramento Delta F. Po VEN 1,3kmq*
*** di cui avanzamento Delta F. Po VEN 1,5kmq*

Tabella 2.III Variazione della superficie degli arenili e della linea di costa dell'Italia peninsulare e delle isole maggiori dal 1960 al 2012 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017).

Regione	Superfici (kmq)		Tratti costieri (km)		Bilancio delle superfici (kmq)
	Arretramento	Avanzamento	Arretramento	Avanzamento	
ABRUZZO	1,3	1,9	39,9	58,0	0,6
BASILICATA	2,0	1,5	20,0	19,8	-0,5
CALABRIA	12,3	9,1	342,2	237,6	-3,2
CAMPANIA	3,7	2,0	86,0	61,5	-1,7
EMILIA R	20,0*	6,2	65,6	62,3	-13,8
FRIULI VG	1,1	3,2	32,1	50,5	2,1
LAZIO	2,4	4,9	77,3	131,4	2,5
LIGURIA	1,3	1,8	46,5	67,6	0,5
MARCHE	3,2	1,9	67,1	60,0	-1,3
MOLISE	1,5	0,7	14,5	19,5	-0,8
PUGLIA	4,3	3,7	128,2	121,7	-0,5
SARDEGNA	1,5	0,9	90,3	61,0	-0,5
SICILIA	13,4	5,9	365,9	187,9	-7,5
TOSCANA	6,1	5,2	88,7	87,0	-0,8
VENETO	17,9**	7,5**	70,0	80,7	-10,3
Totale complessivo	**91,9**	**56,6**	**1534,4**	**1306,4**	**-35,3**

** di cui arretramento Delta F. Po EMR 10.7 kmq*
***di cui arretramento Delta F. Po VEN 16.2 kmq*
**** di cui avanzamento Delta VEN F. Po 3.1kmq*

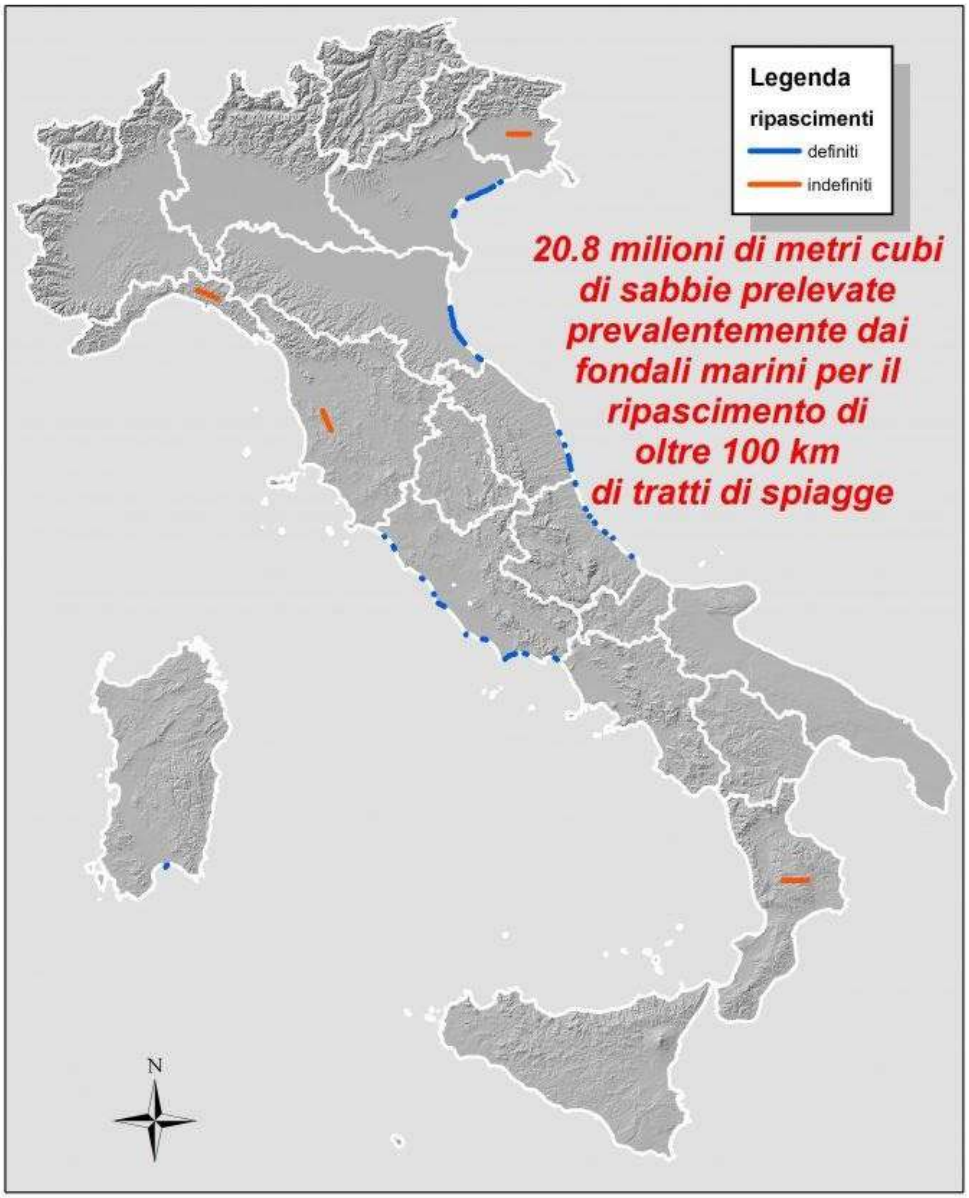


Figura 2.8 Principali interventi di ripascimento con sabbie prelevate da cave marine dal 1997 al 2011 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017).

Tabella 2.IV Variazione della superficie degli arenili e della linea di costa rapportati ai volumi di ripascimento operati nel periodo 1997-2011 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017)

Regione	Superfici (kmq)		Tratti costieri (km)		Bilancio delle superfici (kmq)	Ripascimenti 1997-2011 (Mmc) *(LLGG TNEC 2016)*
	Arretramento	Avanzamento	Arretramento	Avanzamento		
ABRUZZO	0,5	0,7	36,5	43,4	0,3	2,0
BASILICATA	0,9	0,2	25,4	10,3	-0,7	-
CALABRIA	3,5	3,8	220,9	221,5	0,3	0,6*
CAMPANIA	0,8	0,4	61,1	38,2	-0,3	-
EMILIA R	0,9	1,1	20,4	45,9	0,3	1,6
FRIULI VG	0,4	1,3	21,3	34,8	0,9	0,5*
LAZIO	0,9	1,7	74,9	101,4	0,8	6,8
LIGURIA	0,0	0,4	5,4	32,4	0,4	0,7*
MARCHE	0,6	0,7	40,3	47,2	0,1	0,4
MOLISE	0,6	0,3	15,0	17,5	-0,2	-
PUGLIA	1,0	1,2	66,7	83,1	0,2	-
SARDEGNA	0,7	0,4	55,9	32,8	-0,3	0,4
SICILIA	3,0	1,6	196,3	99,7	-1,4	-
TOSCANA	1,3	1,2	65,7	74,1	-0,1	0,5*
VENETO	1,9	2,9	45,7	79,2	1,0	7,3
Totale complessivo	**16,9**	**18,1**	**951,6**	**961,5**	**1,2**	**20,8**

** volumi di ripascimento indicativi rielaborati sulla base di dati relativi a intervalli temporali superiori al 2011.*

2.2.2 Individuazione preliminare dei beni a rischio di erosione

Con la delimitazione dei tratti e delle superfici lungo la costa che hanno subito variazioni tra il 1960 e il 2012 (variazioni storiche) e tra il 1994 e il 2012 (variazioni recenti) sono state operate ulteriori elaborazioni che hanno portato alla quantificazione e individuazione dei tratti di costa a potenziale rischio di erosione (Tabella 2.V). Sono stati presi in considerazione i beni esposti lungo la costa (centri urbani, strade e ferrovie) che ricadono entro una distanza pari a 20m (distanza minima di sicurezza) dalla linea di riva risultata in arretramento nel 2012, sia rispetto alla linea del 1960 che di quella del 1994. L'elaborazione eseguita si basa sul presupposto che i tratti costieri risultati in arretramento rispetto al 1960 o rispetto al 1994 possono rappresentare in tempi brevi zone in cui la probabilità di riduzione della fascia costiera è potenzialmente elevata.

Nella Figura 2.9 sono riportati graficamente i tratti di litorale con centri urbani, strade e ferrovie a potenziale rischio per circa 669 km di costa risultata in erosione.

Tabella 2.V Tratti a potenziale rischio di erosione costiera in funzione dei beni esposti (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017).

Regione	Lunghezza complessiva*	Centri abitati	Strade comunali	Strade provinciali	Strade statali	Ferrovie
ABRUZZO	28,2	26,6	1,2	-	-	1,5
BASILICATA	0,6	0,1	0,5	-	-	-
CALABRIA	167,8	150,2	13,4	-	2,1	16,6
CAMPANIA	38,5	36,9	2,9	0,03	0,2	0,3
EMILIA R	28,5	25,3	4,1	-	-	-
FRIULI VG	11,9	11,5	1,9	2,8	-	-
LAZIO	39,3	39,0	0,8	-	0,2	-
LIGURIA	32,2	28,3	3,4	0,8	2,8	4,1
MARCHE	47,7	45,0	1,7	-	-	2,9
MOLISE	3,5	2,2	1,5	-	-	-
PUGLIA	43,6	35,5	9,8	1,2	1,3	-
SARDEGNA	14,7	14,7	0,4	-		-
SICILIA	167,2	145,5	26,0	6,3	3,7	3,4
TOSCANA	27,2	25,1	3,2	0,7	-	-
VENETO	18,0	18,0	0,4	-	-	-
Totale complessivo	**669,0**	**603,8**	**71,1**	**11,8**	**10,3**	**28,8**

**La lunghezza complessiva tiene conto dei tratti costieri con più beni esposti.*

Figura 2.9 Tratti costieri con beni esposti a potenziale rischio di erosione (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017).

2.2.3 Suddivisione a scala nazionale degli ambiti costieri in unità fisiografiche

Gli spazi costieri costituiscono un ambiente fra i più complessi e fragili e sono entità in continua evoluzione dinamica coinvolte in una molteplicità di usi, dove si possono risentire gli effetti di interventi

umani avvenuti anche a parecchi chilometri di distanza. Si tratta di un ambiente delicato e instabile, risultato della continua interazione fra tutto ciò che avviene sull'interfaccia terra- mare e quello che avviene nell'entroterra, lungo i bacini idrografici.

I processi che governano le dinamiche dei sedimenti lungo la costa sono ormai sufficientemente noti grazie alla ricerca scientifica, ciononostante la loro definizione risulta difficoltosa in funzione del fattore di interazione con le caratteristiche specifiche delle aree in esame.

Inoltre, è ormai accertato che i parametri morfologici, geomorfologici e sedimentologici svolgono un ruolo paritario a quelli dei più comuni fattori ed indici tecnici ed ingegneristici per la progettazione e per la realizzazione di opere di difesa costiera.

La necessità di suddividere la costa in tratti con caratteristiche omogenee e tra loro assimilabili nasce dall'esigenza di migliorare la gestione della fascia costiera dal punto di vista ambientale e naturale tenendo conto delle dinamiche geomorfologiche in gioco.

Una prima suddivisione della costa italiana peninsulare e della Sicilia e Sardegna è stata operata dalla Direzione Generale per la Difesa del Suolo. Per questa operazione sono state utilizzate le carte batimetriche 1:100.000 dell'Istituto Idrografico della Marina Militare Italiana, i dati della distribuzione delle coste alte e basse dell'Atlante delle Spiagge del CNR, e la distribuzione dei porti principali individuati con l'analisi della variazione della linea di costa.

Lo studio è stato rivolto alla definizione dei tratti costieri in cui il trasporto solido, dovuto al moto ondoso e alle correnti litoranee, è confinato. Si è considerato possibile il trasporto di materiale solido oltre gli elementi naturali che non interrompono la linea batimetrica di -10m. Attraverso l'analisi dell'andamento morfologico della costa emersa e della pendenza della costa sommersa sono stati tracciati i limiti naturali

delle unità fisiografiche costiere principali, individuandone in tutto 57, di cui n. 8 di rilievo interregionale (Figura 2.10).

La condivisione degli ambiti costieri, anche nelle sotto unità secondarie, rappresenta il primo passo per avviare una corretta pianificazione della difesa della costa e per individuare gli interventi necessari per fronteggiare in maniera efficace e duratura l'arretramento della linea di riva che minaccia i beni esposti lungo i litorali.

Nelle Linee guida nazionali redatte dal TNEC 2016, sono enunciate le definizioni degli ambiti costieri che rappresentano il primo risultato della condivisione dei principi generali tra Ministero dell'Ambiente e Regioni Rivierasche italiane. Da queste definizioni deriverà la nuova mappatura delle unità fisiografiche che si prevede, in accordo con le Linee Guida TNEC 2016, gerarchizzate in quattro ordini: Principali, Secondarie, Gestionali e sub gestionali.

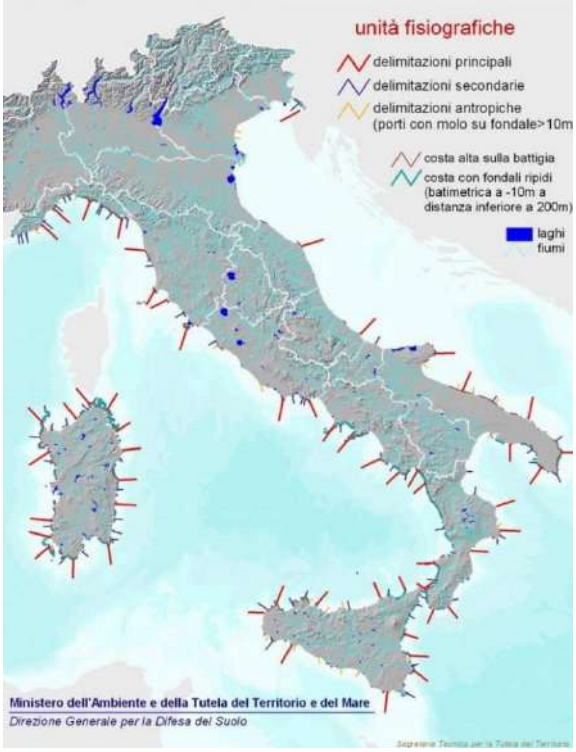


Figura 2.10 Unità fisiografiche principali individuate dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Difesa del Suolo.

2.3 L'erosione costiera in Sicilia

Le coste siciliane hanno uno sviluppo complessivo di circa 1623 km, includendo le isole minori. Esse, oltre a una straordinaria geodiversità, hanno grande variabilità di caratteristiche ambientali, infrastrutturali e meteomarine. Infatti, il 24% del litorale è costituito da costa rocciosa, rappresentata in parte da basse piattaforme carbonatiche (come quelle iblee e trapanesi) e in parte da alti promontori aggettanti in mare (come quelli carbonatici dell'agrigentino, metamorfici del messinese e basaltici, talvolta colonnari, del catanese), mentre il 69% è costituito da costa bassa (prevalentemente spiagge sabbiose e/o ciottolose) e di queste, più di 400 km (27%) presentano problemi di erosione più o meno importanti. Più di 110 km (7%) sono, invece, interessati da strutture portuali, banchinamenti e argini fluviali (vedere Tabella 2.VI).

Tabella 2.VI - Morfotipi costieri siciliani e loro evoluzione.

		Lunghezza (km)	Percentuale (%)	Totale (%)
Tipologia di costa	Spiaggia alta	392.4	24.2	93
	Spiaggia bassa	1,117	68.8	
	Opere costiere	113.6	7	7
Variazione della linea di costa	in avanzamento	324.6	20.0	96
	stabile	795.3	49.0	
	in erosione	438.2	27.0	
	non valutabile	64.9	4.0	4.0

Sotto il profilo geomorfologico si osserva un'alternanza più o meno fitta di varietà tipologiche.

Lungo il versante tirrenico, lo smantellamento della catena peloritana ha favorito la formazione di pianure alluvionali che si raccordano al mare, passando per ampie spiagge, interrotte da promontori piuttosto prominenti (capi Rasocolmo, Milazzo, Tindari, Calavà e d'Orlando).

Procedendo verso Ovest, in corrispondenza del versante nebroideo fino a Cefalù, il morfotipo costiero, costituito da spiagge strette, comprese tra i rilievi e una stretta piattaforma costiera, tende a diventare prevalente.

Ancora più a Ovest, in corrispondenza dei Golfi di Termini Imerese e di Palermo, si è in presenza di vaste aree alluvionali (la piana di Buonfornello e la Conca d'Oro), caratterizzate per la prima parte da spiagge piuttosto ampie (Campofelice – Termini Imerese), quindi da un sistema costiero prevalentemente artificiale dominato dalla presenza della città di Palermo con il suo porto. Proseguendo verso Ovest, il tratto di litorale fino a Capo Granitola è caratterizzato da coste alte e falesie o rilievi montuosi, prevalentemente carbonatici, che danno luogo a numerosi tratti rocciosi quali Capo Gallo, Terrasini- Capo Rama, Castellammare del Golfo, San Vito lo Capo e Monte Cofano e a spiagge strette, spesso "pocket beaches", limitate da scarpate e terrazzi marini.

Il versante meridionale fino a Capo Passero è caratterizzato da lunghe falcate sabbiose che delimitano ampi depositi alluvionali spesso interessati dagli ultimi lembi dunosi dell'Isola.

Nel settore occidentale sono presenti alcune falesie marnose, attive e morte, i cui processi erosivi sono imputabili a fattori connessi alla circolazione idrogeologica superficiale dell'entroterra; nel settore orientale sono presenti falesie in rocce carbonatiche che danno luogo a frane di crollo, per scalzamento al piede, e sono spesso bordate da "pocket beaches".

Il litorale ionico siracusano è caratterizzato, da Sud verso Nord, da una fitta alternanza di coste alte a falesia e da spiagge strette limitate verso l'interno da rilievi carbonatici; nell'estremo settore meridionale sono presenti diversi sistemi lagunari, limitati da cordoni dunosi di grandissimo rilievo naturalistico.

A seguire verso Nord si apre il Golfo di Catania dominato a terra dal deposito alluvionale del fiume Simeto e lungo la costa un'unica spiaggia continua compresa tra Agnone e il porto di Catania.

A Nord del porto fino a quello di Riposto è presente un susseguirsi di coste alte, esclusivamente vulcaniche, che danno luogo a un paesaggio naturalisticamente unico anche per la presenza di basalti colonnari scenografici.

L'ultimo tratto è rappresentato dal versante orientale dei monti Peloritani che, come nella parte settentrionale è caratterizzato da ampie spiagge interrotte da promontori aggettanti (Taormina, Sant'Andrea, Sant'Alessio e Scaletta), ma con una piattaforma continentale, limitata da una scarpata tettonogenica.

In relazione alle tendenze evolutive è possibile distinguere i seguenti morfotipi:

i. spiagge ciottolose, diffuse nel messinese, si sono formate a diretto o indiretto contatto con depositi alluvionali fluviali; attualmente sono sottoposte a processi di erosione accelerata a causa della diminuzione dell'originale fonte di approvvigionamento, del susseguirsi di strutture portuali e di opere di difesa e lungomare e ulteriormente favoriti da una limitata piattaforma continentale;
ii. spiagge sabbiose lunghe e con residui di cordoni dunali, diffuse lungo la costa meridionale e la Piana di Catania e connesse agli apporti solidi passati recenti dei corsi d'acqua, il cui attuale regime idrico è cambiato;
iii. sistemi costieri complessi come frecce, effimere (laghetti di Marinello – Tindari) e aree lagunari, in genere stabili (Stagnone, Vendicari e Pantani Longarini) anche se potenziamente soggetti ad alluvionamenti dovuti ad eventuali effetti di cambiamenti climatici;

iv. falesie vive o morte (con "pocket beaches") sia in rocce dure (ragusano - siracusano e palermitano - trapanese), dove in alternativa si sviluppano anche piattaforme, sia in rocce tenere (agrigentino), nonché in materiale vulcanico (catanese e isole minori), in cui la differenza di coesione e di conseguenza il loro comportamento evolutivo, è legato agli originali processi genetici;
v. esistono infine coste artificiali in cui il contatto terra – mare avviene tramite strutture antropiche quali porti, massicciate o foci armate.

Il tessuto urbanistico della fascia costiera rispecchia il ruolo che nei millenni l'isola ha avuto nell'evoluzione sociale, politica, religiosa ed economica del Mediterraneo. Lungo la costa si sviluppano le principali città della Sicilia, come Palermo, Catania, Messina, Siracusa, Trapani, tra i capoluoghi di provincia, oppure città come Marsala e Mazara del Vallo, Gela, Augusta, Taormina, Milazzo, Capo d'Orlando e Cefalù, per citare le più importanti tra i non capoluoghi, caratterizzate da peculiari valenze locali (porti, zone industriali, aree turistiche).

Questo contesto urbano "storico", ricco di stratificazioni culturali è stato "cucito" in un sistema costruttivo unico e continuo da innumerevoli borghi costieri. La diffusione di seconde case, in molte parti dell'Isola, ha provocato la creazione di un unicum costruito, poco popolato d'inverno, ma che in estate subisce un incremento di decine di migliaia di presenze con conseguenti impatti ambientali significativi, anche per la scarsa presenza di adeguate infrastrutture.

I primi segni di erosione costiera in Sicilia furono registrati proprio agli inizi degli anni '70, a seguito di quel tardivo boom economico che interessò l'isola per tutti gli anni '60, durante il quale vi fu la crescita di questi agglomerati costieri che, partendo da piccoli borghi storici dediti alla pesca, progressivamente occuparono quasi tutta la fascia

costiera trasformandosi in ridenti, ma affollate, località balneari. Molti dei borghi marinari, costituiti da una piazza, uno scalo e poche abitazioni, furono ampliati occupando l'intero retrospiaggia e la duna e, talvolta, anche la spiaggia con i lungomare. All'ampliamento dei nuclei urbani, infatti, seguirono le infrastrutture connesse quali strade di collegamento, lungomare e le prime opere portuali.

L'irrigidimento della fascia costiera con la distruzione della fascia dunale innescò i primi processi di erosione di spiagge sino a allora fondamentalmente stabili.

Iniziò, quindi, l'attività protettiva delle coste Siciliane, che trova il suo primo acme nel decennio '80-'90, periodo nel quale le Amministrazioni locali iniziano a temere l'azione del mare che minacciava gli insediamenti che nel decennio precedente avevano trasformato parte del paesaggio costiero.

Il problema fu affrontato basandosi esclusivamente sulla logica della somma urgenza, ed intervenendo con opere rigide (massicciate, barriere frangiflutti e pennelli). Questi interventi proteggevano il litorale retrostante, ma spostavano nelle aree sottoflutto il processo erosivo. In questo modo ampi tratti di litorali sabbiosi del ragusano, del nisseno e dell'agrigentino, nonché la costa ciottolosa messinese, sia tirrenica sia jonica, furono interessati dalla realizzazione di opere rigide, progettate per contrastare l'emergenza ma che hanno innescato così un processo erosione e di costruzione a catena.

I sindaci denunciano processi erosivi più o meno drammatici e/o esistenti e richiedono l'intervento per "somma urgenza". Sulla veridicità dei processi in atto giocava molto più l'impatto psicologico di una mareggiata invernale, di cui si era magari stati occasionalmente testimoni, che reali conoscenze specifiche relative alla dinamica costiera. Così per esempio si richiede la protezione della costa rocciosa tra Marina di Ragusa e Casuzze, a cui segue la realizzazione di un unico

pennello di fronte a Santa Barbara che il mare pietosamente smantella col tempo.

Il livello di progettazione è talvolta inadeguato e non tiene mai conto della dinamica delle unità fisiografica e gli interventi avvengono in una totale assenza di direzione lavori e monitoraggio; l'unica specifica di riferimento è il limite amministrativo (politico) di competenza. Generalmente, maggiore era il peso del politico e più importante risultava l'azione di contrasto all'erosione costiera. Questo approccio e l'urgenza di esecuzione spesso non hanno favorito l'efficacia dell'intervento ma soprattutto una pianificazione a medio lungo termine (il concetto di reazione di causa ed effetto è assolutamente trascurato).

Così vengono avviati processi di costruzione a catena, alcuni dei quali hanno trovato soluzione solo pochi anni addietro.

Nel ragusano un esempio classico è quello di Donnalucata. La spiaggia va in erosione poichè negli anni '70 viene realizzata una "grande" barriera frangiflutti davanti al neonato abitato di Plaja Grande, tra Donnalucata e la foce del fiume Irminio.

La barriera trasforma la spiaggia ciottolosa di Plaja Grande in una delle più belle spiagge del ragusano, ma la sabbia da qualche parte viene a mancare e così si registra un inizio di erosione a valle dell'embrione, mai sviluppato, Porto di Donnalucata. Per risolvere il problema nel 1984/85 viene invocata la somma urgenza e la realizzazione di tre barriere frangiflutti, proprio di fronte all'abitato. Queste hanno innescato un processo di costruzione a catena che ha portato alla realizzazione di altre 13 barriere frangiflutti seguite nel tempo e nello spazio da 17 pennelli fino ad attestare, pochi anni fa, il processo erosivo sotto la costa rocciosa di Cava d'Aliga.

I fondi POR 2000 – 2006 riattivano il sistema protettivo, basandolo su una dichiarazione di principi assolutamente condivisibili ancora oggi. Con assoluta lungimiranza i Dirigenti della Regione Siciliana

compresero che era necessario agire sulle cause piuttosto che sugli effetti e che visto il risultato di costruzione a catena innescato dalla realizzazione di opere di difesa rigide si doveva ricorrere, per quanto più possibile, a interventi di tipo "morbido" mediante ripascimenti artificiali.

Quindi con il "Programma di finanziamento nell'ambito della Misura 1.2.4. - Tutela Integrata delle Aree Costiere" del P.O.R Sicilia 2000 - 2006" (vedere la Tabella 2.VII) in Sicilia vennero introdotte nella pianificazione costiera alcune lungimiranti linee guida che prevedevano "progetti di difesa del litorale sabbioso, improntati al rispetto dell'ambiente costiero ed alla rimozione delle cause stesse dell'erosione".

Nell'ambito di tale programma furono finanziati e realizzati i primi 17 interventi e, successivamente, ne vennero finanziati numerosi altri basati sulla difesa morbida delle spiagge "sabbioso – ciottolose", mediante ripascimenti piuttosto limitati in termini di volumetrie (l'impatto economico dei ripascimenti in progetto raramente eccedeva il 5% della spesa complessiva) e assolutamente inesistenti dal punto di vista delle ricariche e del monitoraggio, sempre protetti da opere rigide, generalmente soffolte, che costituivano la frazione economicamente più rilevante.

Tabella 2.VII – Interventi finanziati nell'ambito della Misura 1.2.4. - Tutela Integrata delle Aree Costiere" del P.O.R Sicilia 2000 – 2006

Comune	Tipo di spiaggia	Nome del progetto	Tipo di Difesa	Finanziamento (in lire)	Note
Giardini Naxos	sabbiosa	**Ricostruzione e difesa delle spiagge finalizzata al riequilibrio del litorale lungo la fascia costiera comunale**	Barriera soffolta Ripascimento	6.100.000.000	vedi testo
Messina (S. Margherita)	sabbiosa	**Opera di tutela integrata della fascia costiera e salvaguardia della s.s.114 e del prospiciente abitato del Villaggio di S. Margherita del comune di Messina**	Barriera soffolta Ripascimento Massicciata	24.964.378.000	Buon risultato nonostante il mancato completamento e l'assenza di manutenzione
Sant'Alessio	sabbioso ciottolosa	**Opere a salvaguardia della costa e dell'abitato**	Barriera soffolta Ripascimento Massicciata	32.000.000.000	Susseguirsi di errori. Attualmente la spiaggia è presente per un effimero intervento di ripascimento (2018)
S.Agata di Militello	sabbiosa	**Progetto dei lavori urgenti di difesa costiera del litorale ricadente in località lungomare del comune di S. Agata Militello**	Barriera soffolta Ripascimento 3 pennelli	5.850.000.000	L'opera è letteralmente scomparsa
Brolo	sabbioso ciottolosa	**Progetto per la ricostruzione delle spiagge da Testa di Monaco alla Torre delle Ciavole**	Ripascimento 3 pennelli 2 secche sommerse 6-7 pennelli sommersi	33.270.000.000	Strutture rigide ancora presenti sebbene ammalorate
Gioiosa Marea (S.Giorgio)	ciottolosa	**Prodetto esecutivo dei lavori urgenti di difesa costiera del litorale ricadente in località S.Giorgio-nel Comune di Gioiosa Marea**	Ripascimento Pennelli	7.550.000.000	L'opera ha innescato un processo erosivo più a valle. Il materiale perso ha contribuito a creare la spiaggia di Patti Marina
Gioiosa M. Piraino	ciottolosa	**Progetto per la ricostruzione delle spiagge di Gioiosa Marea e di Piraino, dal**	Ripascimento Pennelli	11.700.000.000	Strutture rigide ancora presenti sebbene ammalorate

Comune	Tipo di spiaggia	Nome del progetto	Tipo di Difesa	Finanziamento (in lire)	Note
		Vallone Carcara a Capo Schinò			
Capo d'Orlando	sabbioso ciottolosa	**Progetto generale per la ricostruzione della spiaggia di Capo d'Orlando dalla Fiumara Zappulla al Faro**	Ripascimento 4 pennelli 4 pennelli sommersi	11.341.000.000	vedi testo
Villafranca	ciottolosa	**Lavori di ricostruzione della spiaggia di Villafranca Tirrena**	Barriera soffolta Ripascimento Massicciata	4.840.000.000	Buon risultato nonostante il mancato completamento e l'assenza di manutenzione. Probabilmente è la maggiore concausa dell'erosione del litorale messinese.
Lipari (Vulcano)	sabbiosa	**Progetto dei lavori urgenti di difesa costiera in località Vulcano Baia di Ponente del Comune di Lipari**	Progetto non approvato	6.500.000.000	
Messina (Santo Saba)	sabbiosa	**Intervento per la difesa degli abitati di Rodia, S. Saba ed Acqualadroni e delle relative infrastrutture mediante ripascimento e rinaturalizzazione del litorale**	Ripascimento 64 (così nel progetto, n.d.r.) pennelli e barriere frangiflutti massicciata	4.900.000.000	Intervento paziale, eseguito con materiali non idonei: massi di piccole dimensioni e ripascimento terroso
Letojanni	ciottolosa	**Recupero e riqualificazione ambientale del tratto di costa compreso tra i torrenti Mazzeo e Fondaco Prete**	Barriera soffolta Ripascimento 2 pennelli sommersi	4.932.000.000	L'opera è scomparsa!!
Falcone	sabbiosa	**Progetto per la difesa litorale marino lato Ovest**	Barriera sommersa	1.400.000.000	tutt'ora visibile
Tusa	sabbioso ciottolosa	**Opere per la difesa dell'abitato e protezione alaggi imbarcazioni pesca- tori**	no info	2.987.000.000	più o meno ammalorati, ma tutt'ora visibili
Falcone	sabbiosa	**Progetto per la difesa della costa con rifiorimento di scogliere antistanti il centro urbano**	no info		tutt'ora visibile

Comune	Tipo di spiaggia	Nome del progetto	Tipo di Difesa	Finanziamento (in lire)	Note
S. Croce Camerina (Caucana)	sabbiosa	**Progetto pilota di primo intervento per la ricostruzione della spiaggia di Caucana**	Ripascimento Secche soffolte	2.637.515.000 e 930.000.000 PROV RG	vedi testo
Trabia	sabbioso ciottolosa	**Progetto per la tutela integrata di una porzione dell'area costiera del comune di Trabia tesa a rimuovere le cause dell'erosione mediante l'intervento di ripascimento artificiale**	Ripascimento 2 pennelli	1.668.093.000	no info relativamente al ripascimento, ma le opere rigide sufficientemente discoste hanno favorito la reale protezione del litorale

Questo sistema d'intervento ha portato alla consegna di opere più o meno rispondenti alle aspettative progettuali che, nel breve volgere di pochi anni, sia per l'esiguo materiale di ripascimento versato, sia per la mancanza di ricariche e dello stesso monitoraggio, hanno perso la propria efficacia e talvolta, interagendo con le strutture rigide dell'entroterra (soprattutto lungomare e strade costiere) hanno innescato nuovi processi erosivi sottoflutto.

Storia a sé fanno i ripascimenti di Capo d'Orlando, nel messinese, e di Caucana, nel ragusano. Entrambi sono realizzati con brecciolino calcareo di cava protetto da barriere isola.

A Capo d'Orlando il brecciolino (vedere la Figura 2.11), granulometricamente compatibile, ha provocato la calcestruzzizazione di parte della spiaggia, in cui vengono intrappolate le scalette d'accesso alla spiaggia, e il conseguente irrigidimento del sistema che accelera l'erosione dei sedimenti. Negli anni successivi numerosi interventi si susseguiranno, ma tutti influenzati da un continuo allargamento del lungomare che, di fatto, fa concorrenza al mare sottraendo spiaggia da monte.

Figura 2.11 Capo d'Orlando 2004 - Risultato del ripascimento e della realizzazione dei pennelli sommersi; a sinistra si vedono le chiazze di materiale "diverso" e a destra gli effetti di calcestruzzizazione.

A Caucana il brecciolino calcareo non lega con la sabbia fine silicea, e trasforma la spiaggia dal punto di vista morfologico, variandone le pendenze e deprimendone la godibilità della fruizione. Con il tempo, l'erosione esercitata dai sedimenti silicei su quelli calcarei ha portato alla creazione di una pulverulenza biancastra che ha coperto il fondale antistante distruggendo anche la prateria di Posidonia ancora esistente (vedere la Figura 2.12).

Figura 2.12 Caucana: a sinistra, durante il ripascimento si vede il cumulo di brecciolino cromaticamente diverso dalla spiaggia, mentre a destra se ne apprezzano i risultati in spiaggia (si noti come il bambino cammini col passo del fachiro e l'adulto abbia i sandali, impensabile a quelle latitudini).

Preso atto del parziale fallimento di questo sistema di pianificazione, venne varato il già citato PAI – coste (Piano di Assetto Idrogeologico) che, sulla base del trend evolutivo evidenziato dal confronto delle linee di riva restituite dai diversi documenti cartografici (il più recente: la carta tecnica regionale del 2008) e in base a informazioni meteomarine ed urbanistiche (segnalazioni delle capitanerie di porto, articoli di giornali e sopralluoghi visivi), ha classificato il territorio costiero siciliano sulla base di diversi livelli di "rischio erosione".

Questo strumento adotta una metodologia di classificazione dell'area costiera basata esclusivamente sull'assioma pericolo – rischio, secondo una scala di grado di rischio che va da 1 a 4, non tenendo in alcun conto della diversa valenza economica, ambientale e turistica delle diverse aree. Inoltre, concentrando l'attenzione sulle specifiche aree critiche locali, non pone alcuna attenzione alle cause che hanno provocato lo stato di crisi.

Localmente il PAI – coste viene implementato su richiesta di quei Comuni che registrano sul proprio territorio uno specifico processo

erosivo. Sulla base di sopralluoghi e sull'acquisizione di dati puntuali di tipo qualitativo, che comunque vengono limitati al contesto comunale dell'amministrazione di attivazione, non tenendo quindi conto del loro inserimento in un ambito più ampio, quindi anche in funzione delle possibili ripercussioni nei territori limitrofi, il PAI – coste viene localmente aggiornato variando il livello di rischio, laddove se ne presenti la necessità, e permettendo così al Comune interessato di richiedere un intervento di difesa, spesso in regime di somma urgenza.

Ma una politica sostenibile di difesa del litorale, deve essere basata sulla gestione continua dell'esistente, piuttosto che sul ricorso a onerosi interventi in condizioni di somma urgenza; deve mirare al monitoraggio costante dell'evoluzione del litorale, in modo da poter intervenire, con piccole "manutenzioni" dell'arenile, evitando di giungere a profondi processi erosivi ai quali è necessario opporsi con pesanti opere strutturali.

3 Strategie e riferimenti normativi

Di seguito si sintetizzano gli interventi normativi che agiscono in maniera diretta o indiretta sul regime e sulla protezione dei litorali.

In Italia le competenze inerenti alla gestione integrata delle coste sono state affidate alle Regioni con la L. 59/97 e il D. Lgs. 112/98, che disciplinano le funzioni e i compiti amministrativi dello Stato, delle regioni e degli enti locali (D. Lgs. 112/98 art. 89 lett. H "sono trasferite alle regioni e agli enti locali tutte le funzioni relative alla programmazione, pianificazione e gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri").

All'Amministrazione centrale rimangono, secondo quanto previsto dallo stesso D.Lgs. 112/98, i compiti relativi agli indirizzi generali ed ai criteri per la difesa delle coste. Tali compiti vengono esercitati dal ministero direttamente o attraverso gli organismi tecnici ad esso facenti capo, tra cui l'Istituto Superiore per la Protezione dell'Ambiente (ISPRA).

Alcune regioni a loro volta hanno promulgato leggi regionali e elaborato piani e programmi di gestione integrata delle coste, in attuazione alla raccomandazione del parlamento europeo del 30/05/02.

Alla luce di tutto quanto sopra, nei paragrafi che seguono sono indicate le misure legali e/o amministrative ai vari livelli, europeo, nazionale (come sintetizzate dall'Atlante delle opere di sistemazione costiere edito dall'ISPRA) e regionale.

3.1 Misure a livello europeo

La strategia europea sulla gestione integrata della zona litoranea (ICZM - *Integrated Coastal Zone Management in letteratura anglofona*) e la raccomandazione del Parlamento e del Consiglio Europeo riguardo all'attuazione per la ICZM in Europa ha identificato il ruolo dell'UE come

uno dei fornitori di indicazioni e di linee guida per sostenere la gestione integrata delle coste da parte degli stati membri. Tali raccomandazioni sono riportate nei seguenti documenti:

- EU COM 2000/547 Integrated Coastal Zone Management, a strategy for Europe.
- EU Racc. 2002/413 Recommendation of the European Parliament and of the Council, concerning the implementation of Integrated Coastal Zone Management in Europe.
- Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e D.P.R. 357/97 così come integrato dal D.P.R. 120/03.

La ICZM nasce come un processo dinamico, continuo e interattivo inteso a promuovere l'assetto sostenibile delle zone costiere, cercando di definire un equilibrio tra usi antropici, sviluppo economico e difesa della natura. In teoria il termine "integrated" dovrebbe fare riferimento alla sinergia di diversi strumenti politici, amministrativi e tecnici pertinenti con le componenti terrestre e marina del territorio. Il termine "management" dovrebbe essere inteso nel suo senso più ampio di sviluppo strategico di politiche territoriali, avvalendosi della più ampia collaborazione e partecipazione informata di tutte le componenti in gioco, piuttosto che di un sistema di programmazione settoriale.

3.2 Misure a livello nazionale

La legislazione nazionale in materia indica che la pianificazione dell'uso del territorio è demandata alle autorità locali e regionali. La gestione della fascia costiera e il controllo dell'erosione promossi dai governi regionali sono finanziati dall'amministrazione centrale. Le strategie dell'ICZM sono perseguite tramite programmi regionali, pertanto non è stata emessa nessuna regolamentazione a livello nazionale riguardo all'amministrazione integrata delle zone litoranee. Tuttavia, sussistono alcuni atti normativi che hanno influenza sulla gestione delle coste:

- L. 31 dicembre 1982, n. 979 Disposizioni per la difesa del mare (promuove il Piano Tecnico delle coste);
- Legge 349/1986 - D.P.C.M. 10/8/1988 – D.P.C.M. 27/10/1988 – D.P.R. 12/04/1996, concernenti la disciplina delle procedure di Valutazione di Impatto Ambientale e di Studio di Impatto ambientale;
- Deliberazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 151 (Assemblea Generale del 28 giugno 1991) - "Istruzioni tecniche per la progettazione e la esecuzione di opere di protezione delle coste in erosione";
- D.P.R. 14 aprile 1994 Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure e ai criteri per la determinazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale. Il litorale prospiciente i corsi d'acqua rientra nella delimitazione di bacino idrografico;
- "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" emanate dal Consiglio Superiore dei LL.PP. III sez. il 23/9/1994;
- D. Lgs. 31 marzo 1998, n. 112 Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della L. 15 marzo 1997, n. 59 (art. 70 comma 1 lett. a: protezione ed osservazione delle zone costiere; art. 89: programmazione, pianificazione, gestione integrata degli interventi di difesa delle coste e degli abitati costieri);
- L. 31 luglio 2002, n. 179 - Disposizioni in materia ambientale (art. 21 - Autorizzazione per gli interventi di tutela della fascia costiera);
- D.P.R. 17 giugno 2003, n. 261 Regolamento di organizzazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio;

- Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini – Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare predisposto da ICRAM e APAT – Agosto 2006;
- D. Lgs. N. 152/2006 – Norme in materia ambientale (Codice dell'Ambiente).

3.3 Misure regionali per il ripascimento degli arenili

Il problema della regolamentazione delle attività di ripascimento dei litorali e del relativo prelievo di materiali per effettuare le operazioni di ripristino dei litorali è stato affrontato dalla Regione Siciliana privilegiando il ricorso a soluzioni di reintegrazione e rifornimento dei sedimenti delle spiagge sottoposto a rilevanti fenomeni di erosione. In particolare, la Regione Siciliana ha previsto operazioni di ripascimento artificiale di arenili nelle quali fosse escluso, o comunque fortemente limitato, l'inserimento di strutture estranee alla località di intervento.

Inoltre, per quanto attiene alle fonti di approvvigionamento dei sedimenti di ripascimento la Regione Siciliana ha indicato come via preferenziale l'utilizzo di depositi naturali presenti sui fondali marini.

In particolare, i riferimenti normativi validi nella Regione Siciliana sono:

- L.R. 11 aprile 1981, n. 65 art. 13. che aveva previsto la redazione del Piano Difesa delle Coste.
- D.A. n. 941/VIA del 30.12.97 dell'Assessorato Territorio e Ambiente, in cui viene codificato l'orientamento dell'utilizzo prioritario delle sabbie presenti in depositi subacquei rispetto alle altre fonti;
- D.A. n. 961/VIA del 31.12.97 dell'Assessorato Territorio e Ambiente, che riporta le norme tecniche cui uniformare gli adempimenti riguardanti le operazioni di dragaggio e ripascimento artificiale in Sicilia.

Infine, negli ultimi anni la Regione Siciliana sta incentivando la costituzione di Contratti di Costa, ovvero di patti territoriali che permettano di pianificare una strategia per la gestione integrata e la valorizzazione delle risorse territoriali esistenti a partire dall'acqua e dalle problematiche connesse all'area costiera. Ad oggi sono stati creati:

- Contratto di Costa Tirreno 1;
- Contratto di Costa Sud Orientale.

3.4 Interazioni del PRCEC con gli altri strumenti pianificatori

Il presente "Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera" (PRCEC) scaturisce dalla necessità di avviare nuove pratiche di gestione del problema dell'erosione costiera, così come causato anche in Sicilia dai numerosi fattori meteoclimatici, geologici, biologici e, soprattutto, antropici. Il Piano punta, in primo luogo, sulla corretta individuazione e sulla conseguente rimozione delle cause di tale problema mediante il ripristino delle condizioni di equilibrio della linea di costa, con particolare attenzione al recupero dello stato naturale dei corsi d'acqua e al ripristino del trasporto sedimentario. Il Piano, inoltre, intende favorire gli interventi rivolti alla difesa e alla valorizzazione degli arenili e degli ecosistemi ad essi connessi, nonché alla protezione delle infrastrutture e degli edifici sia pubblici che privati dall'attacco del moto ondoso; attacco, peraltro, sempre più severo anche a causa dei ben noti effetti dei cambiamenti climatici.

L'obiettivo strategico del Piano è quello di rilanciare e promuovere quella parte di economia strettamente connessa ai territori rivieraschi, non solo turistica, di particolare interesse per tutta la Sicilia.

In tale contesto il PRCEC interviene prioritariamente su una porzione rilevante del territorio siciliano, quello demaniale, disciplinato dal Codice Civile (art. 822 e seguenti) e costituito dai seguenti beni (demanio necessario): il lido del mare, la spiaggia, le rade e i porti (c.c.

2774, Cod. Nav. 28, 29, 692). In particolare, il PRCEC focalizza la sua attenzione sul lido del mare e la spiaggia, su cui sono talvolta presenti ulteriori attività pianificatorie e i relativi vincoli.

I principali strumenti pianificatori che possono interagire con il PRCEC nella Regione Siciliana, e che pertanto devono essere presi in considerazione prima di realizzare qualunque intervento sulle aree demaniali, sono:

- Piano Territoriale Paesaggistico Regionale
- Piano di Gestione del Distretto Idrografico Sicilia
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Sicilia
- Piani Territoriali Provinciali
- Piani Regolatori Generali Comunali
- Piani di Utilizzo del Demanio Marittimo
- Piani Regolatori Portuali
- Piano Strategico per la nautica da diporto

Il **Piano Territoriale Paesaggistico Regionale** rappresenta lo strumento pianificatorio sovraordinato a scala regionale ed è disciplinato fin dall'art. 5 della L. 1497/39, oggi recepita dal D.lgvo 42/2004 (codice Urbani). Nelle more della stesura dei Piani paesaggistici - e allo scopo di superare l'inerzia nella loro redazione e promuoverne l'attuazione - il legislatore nazionale emanò la L. 431/85 (legge Galasso) che ha individuato le aree tutelate per legge, oggi recepite dall'art. 142 del D.lvo 42/2004 che impone tutele, per così dire "erga omnes" su aree di particolare rilevanza per il territorio nazionale (fra le quali: le fasce costiere, fluviali e lacustri; le montagne; i ghiacciai; i boschi; i vulcani; le aree archeologiche; le riserve naturali; le aree umide; le università agrarie che in Sicilia corrispondono a quelle gravate da usi civici). I Piani devono essere redatti, inoltre, in conformità alle disposizioni della Convenzione Europea del paesaggio che l'Italia ha sottoscritto a Firenze nel 2000. Gli obiettivi principali

della disciplina del paesaggio, così individuati sono: la salvaguardia, la gestione, il governo e la pianificazione dei paesaggi;

Queste finalità sono recepite integralmente dal D.gls 42/2004 che all'art. 135, ove definisce, appunto, le questioni della pianificazione paesaggistica (peraltro innovato dall'articolo 2 del D.lgs. n. 63 del 2008) specificando che: *"le regioni sottopongono a specifica normativa d'uso il territorio mediante piani paesaggistici, ovvero piani urbanistico-territoriali con specifica considerazione dei valori paesaggistici, entrambi di seguito denominati: "piani paesaggistici"*.

Questi sono, dunque, tesi a delineare un'azione di sviluppo orientata alla tutela e alla valorizzazione dei beni culturali e ambientali, definendo traguardi di coerenza e compatibilità delle politiche regionali di sviluppo, evitando ricadute in termini di spreco delle risorse, degrado dell'ambiente, depauperamento del paesaggio regionale. Il Piano Territoriale Paesistico Regionale persegue fondamentalmente i seguenti obiettivi:

a) la stabilizzazione ecologica del contesto ambientale regionale, la difesa del suolo e della bio-diversità, con particolare attenzione per le situazioni di rischio e di criticità;
b) la valorizzazione dell'identità e della peculiarità del paesaggio regionale, sia nel suo insieme unitario che nelle sue diverse specifiche configurazioni;
c) il miglioramento della fruibilità sociale del patrimonio ambientale regionale, sia per le attuali che per le future generazioni.

Il **Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sicilia** mira alla protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione e delle acque costiere e sotterranee. Esso è redatto in attuazione della Direttiva 2000/60/CE del 23.10.2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, finalizzato alla

protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione e delle acque costiere e sotterranee che:

a) impedisca un ulteriore deterioramento, protegga e migliori lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico;
b) agevoli un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;
c) miri alla protezione rafforzata e al miglioramento dell'ambiente acquatico, anche attraverso misure specifiche per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze prioritarie e l'arresto o la graduale eliminazione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze pericolose prioritarie;
d) assicuri la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e ne impedisca l'aumento;
e) contribuisca a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

Il Piano di Gestione del Distretto Idrografico, conformemente a quanto previsto dalla Direttiva, valuta la possibilità che un corpo idrico raggiunga o meno, nei tempi previsti dalla stessa Direttiva, gli obiettivi di qualità stabiliti o gli obiettivi specifici previsti dalle leggi istitutive delle aree protette. Il Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sicilia, attualmente in fase di revisione, è stato redatto dalla Regione Siciliana e adottato con delibera della Giunta Regionale 175/2010.

Il **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Sicilia** è stato redatto in seguito all'emanazione della Direttiva Comunitaria 2007/60 nota come "Direttiva Alluvioni" che ha riaffermato l'attenzione della politica comunitaria alle problematiche connesse al mantenimento della sicurezza idraulica del territorio nell'ambito del più ampio tema della gestione delle acque, anche marine.

L'approccio strategico alla definizione del piano delle misure e delle loro priorità si basa sui seguenti principi cardine:

a) Integrazione delle funzioni di Prevenzione, Protezione, Preparazione e di Protezione civile;
b) Integrazione degli obiettivi della gestione del rischio alluvioni con quelli di qualità ambientale delle acque di cui alla direttiva 2000/60 e di protezione della natura di cui alla direttiva Habitat;
c) Pianificazione e Gestione a scala di bacino;
d) Priorità alle misure non strutturali;
e) Gestione naturalistica.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni della Sicilia (PGRA) è stato approvato con D.P.C.M. 7 marzo 2019.

Il **Piano Territoriale Provinciale** costituisce strumento di programmazione e di pianificazione finalizzato al coordinamento, alla coerenza e all'indirizzo delle finalità generali relative all'assetto ed alla tutela del territorio provinciale, connesse ad interessi di rango sovracomunale, articolando sul medesimo territorio le linee di azione della programmazione e/o pianificazione regionale.

I suoi contenuti, in Sicilia, sono stati introdotti dalla L.R. 9/1986 che attribuiva alle competenze della Provincia Regionale la:

a) tutela delle risorse territoriali (il suolo, l'acqua, la vegetazione e la fauna, il paesaggio, la storia, i beni culturali), valorizzazione delle loro qualità da tutelare per la fruizione collettiva, prevenzione dei rischi;
b) localizzazione degli elementi del sistema insediativo, che hanno rilevanza sovracomunale;
c) coordinamento nelle scelte d'uso del territorio, per evitare che le scelte a scala locale contraddicano la strategia complessiva.

Con l'introduzione delle Città metropolitane e dei Liberi Consorzi la L.R.15/2015 ha sostanzialmente confermato a questi nuovi Enti i

medesimi compiti in tema di pianificazione di area vasta che spettavano alle Provincie Regionali particolarizzandone le funzioni. Per quanto di interesse del PRCEC, si conferma che al Piano Territoriale esteso al livello provinciale è demandato il governo del territorio sovracomunale, ponendosi quale sede di raccordo e verifica delle politiche settoriali delle Città Metropolitane e dei Liberi Consorzi Comunali e strumento di indirizzo e coordinamento per la pianificazione urbanistica comunale, ovvero elemento di coerente congiunzione tra gli atti ed i quadri normativi di riferimento della programmazione territoriale regionale e la medesima pianificazione urbanistica comunale. Questo Piano Territoriale assume come obiettivi fondamentali la moderna ottimizzazione del sistema dei trasporti e della viabilità, della tutela dell'ambiente, dello sviluppo delle attività economiche, e della valorizzazione del settore socioculturale.

Il **Piano Regolatore Generale Comunale**, nell'ordinamento giuridico italiano, è lo strumento urbanistico per eccellenza che regola l'attività edificatoria all'interno di un territorio comunale. Il Piano Regolatore Generale Comunale costituisce uno strumento di importanza fondamentale per la pianificazione delle trasformazioni territoriali e urbane. Il Piano urbanistico comunale mette in atto la pianificazione di livello comunale attraverso un'articolata pianificazione di indirizzo strategico e tattico ma anche di uso dettagliato dei suoli, volta a definire le azioni congruenti per un corretto sviluppo sostenibile del territorio le cui principali finalità e i contenuti rilevanti, in maniera non esaustiva, si elencano di seguito:

- recepimento delle prescrizioni e vincoli derivanti dalla pianificazione sovraordinata;
- puntualizzazione e traduzione in regole di assetto e quantità insediative degli obiettivi dell'amministrazione comunale riguardo all'assetto del proprio territorio;

- individuazione e disciplina degli usi del suolo e relativa determinazione degli standard a questi correlati;
- suddivisione del territorio in zone omogenee e determinazione per ognuna di esse degli usi principali e complementari, degli interventi previsti o consentiti con i relativi indici e regole; indicazione degli spazi pubblici o di uso pubblico o da assoggettare a speciali servitù;
- individuazione delle misure, regole e interventi finalizzate al recupero e alla tutela della città e del patrimonio edilizio esistenti, nonché alla tutela e valorizzazione dei beni naturali, paesaggistici e storico-culturali;
- localizzazione delle principali reti infrastrutturali, nonché delle attrezzature di servizio puntuali e areali di diverso rango, esistenti e previste;
- individuazione delle zone nelle quali l'attuazione del piano necessita dell'elaborazione di piani attuativi;
- individuazione di una scala di priorità delle diverse azioni di pianificazione previste.

Il **Piano di Utilizzo del Demanio Marittimo (PUDM)** è il documento di pianificazione che individua le modalità di utilizzo del litorale marino e ne disciplina gli usi sia per finalità pubbliche, sia per iniziative connesse ad attività di tipo privatistico regolamentate mediante rilascio di concessioni demaniali marittime in conformità alle vigenti disposizioni in materia di pubblico demanio marittimo. Sono tenuti a redigere il PUDM, ai sensi dell'art. 4 della legge regionale n. 15/2005, tutti i comuni della Regione siciliana il cui territorio sia prospiciente sul demanio marittimo. Il PUDM redatto da ciascun comune interessato riguarda tutta la fascia prospiciente l'ambito territoriale di competenza che appartiene al pubblico demanio marittimo.

Tuttora il grado di applicazione della norma, a livello generale, è piuttosto vago, infatti la maggior parte dei comuni si è limitata a ricalcare il pre–esistente "piano spiagge", dividendo quindi il territorio costiero tra zone pubblicamente balneabili e zone affidate alla gestione dei privati, individuando laddove richiesti i campi boa per gli approdi stagionali.

Il Piano di Utilizzo del Demanio Marittimo doveva, invece, creare un nuovo sistema di gestione dell'intera area costiera, prevedendone sia la suddivisione per utilizzo, ma anche i sistemi di manutenzione della qualità e della quantità della spiaggia, soprattutto laddove i processi erosivi della linea di costa infliggevano pesanti arretramenti della fascia costiera.

Il **Piano Regolatore Portuale (PRP)** in conformità agli strumenti urbanistici vigenti sulle aree interessate, declinano gli obiettivi, le previsioni, gli elementi, i contenuti e le strategie di ciascun scalo marittimo, delineando anche l'assetto complessivo delle opere di grande infrastrutturazione. Nella loro attuale conformazione, i PRP sono disciplinati dalla Legge 28 gennaio 1994 n. 84 e s.m. e i. Tale legge è stata profondamente innovata per la parte relativa alla pianificazione dei porti che rientrano nell'ambito delle Autorità di Sistema Portuale dal D.Lgs 13 dicembre 2017 n. 232.

Il **Piano Strategico per la Nautica da Diporto** è uno strumento strategico per il potenziamento del turismo siciliano nel quale la nautica riveste una posizione determinante di rilievo. Il piano fornisce azioni e strumenti per la evoluzione del sistema siciliano della portualità turistica, sia in merito alla qualità dell'offerta dei servizi dei porti, sia in ordine alle connessioni che andrà a realizzare con il sistema nazionale e con il sistema mediterraneo. Esso è un piano di tipo strutturale che definisce strategicamente le diverse finalità turistiche che ogni infrastruttura portuale persegue in relazione al proprio hinterland, un piano che si configura come una matrice di riferimento

contenente le indicazioni ed i parametri a cui il porto turistico dovrà riferirsi. Indirizzo prioritario del piano è la tutela del patrimonio ambientale della Sicilia, conseguentemente tutte le azioni tendono al miglioramento della qualità paesaggistica ed ambientale della fascia costiera, favorendo le iniziative capaci di destare effetti sinergici tali da contribuire alla crescita economica della regione.

Per quanto riguarda i vincoli territoriali lungo le coste, oltre a restrizioni legate a singolarità locali (zone archeologiche, are di particolare pregio ambientale, etc.), sono presenti dei vincoli generalizzati discendenti da norme nazionali e locali:

- vincolo di inedificabilità assoluta nella fascia di 150 m dalla battigia derivante dall'articolo 15 Legge Regionale n. 78 del 1976;
- vincolo paesistico nella fascia di 300 m dalla battigia introdotto dal D.M. del 21 settembre 1984, seguito dalle norme primarie contenute nel D.L. n. 312 del 1985, convertito in Legge n. 431 del 1985, poi assorbito dal D.Lgs. n. 490 del 29 ottobre 1999, con più recente, puntuale disciplina contenuta negli articoli 142 e seguenti del D.Lgs. n. 42 del 2004.

Infine, il PRCEC interagisce con i vincoli introdotti dalla Regione su:

- Aree Marine Protette (AMP);
- Siti di Interesse Comunitario (SIC);
- Zone di Speciale Conservazione (ZSC);
- Zone di Protezione Speciale (ZPS);
- Parchi Archeologici.

Con riferimento al territorio siciliano, nel presente PRCEC si è tenuto conto dei siti meglio descritti al paragrafo 7.5.

Da tutto quanto sopra sinteticamente riportato, si ribadisce come qualunque intervento strutturale o non strutturale che si intenda

prevedere nelle aree demaniali e che rientri tra le finalità del PRCEC deve prioritariamente prendere in considerazione la possibilità di interagire con i vincoli descritti dai Piani suddetti.

In particolare, gli interventi volti al ripristino degli apporti solidi dai corsi d'acqua devono necessariamente correlarsi con le previsioni del Piano di Gestione del Distretto Idrografico Sicilia e del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Sicilia.

Gli interventi orientati al ripristino del trasporto solido costiero devono prendere in considerazione le previsioni dei Piani Regolatori Generali e dei Piani di Utilizzo del Demanio Marittimo e valutare gli effetti sugli attuali usi delle aree di competenza del demanio marittimo.

La previsione degli interventi deve, altresì, considerare gli effetti sulla costa provocati da previsioni di ampliamenti portuali già presenti in Piani Regolatori Portuali già approvati.

Infine, tutti gli interventi volti alla protezione delle infrastrutture e degli edifici sia pubblici che privati dall'attacco del moto ondoso devono correlarsi ai vincoli discendenti dal Piano Territoriale Paesaggistico Regionale e da quelli ambientali derivanti dalla presenza di aree di protezione della fauna aviaria e della flora locale.

4 Acquisizione dati e informazioni

4.1 Generalità

Il presente capitolo descrive le fonti di informazione e i dati utilizzati per l'elaborazione del PRCEC. Appare utile ricordare che i dati e le informazioni acquisite hanno anche come scopo la creazione di un sistema di gestione, i cui dettagli saranno meglio definiti nel capitolo 6, con la finalità di fornire uno strumento operativo che permetta di attuare una pianificazione degli interventi, e realizzare, ove necessario, anche attività e operazioni aventi carattere di emergenza.

Tale strumento operativo può definirsi come Sistema di Supporto alle Decisioni - DSS (*Decision Support System*): si tratta di un sistema informativo flessibile e interattivo da sviluppare per supportare la soluzione di problemi di gestione non strutturati. In estrema sintesi, attraverso un DSS sarà possibile generare delle opzioni di gestione alternative nonché i meccanismi per le analisi comparative delle stesse, il relativo ordinamento e la selezione sulla base dei criteri, obiettivi e vincoli forniti dall'utente.

Lo scopo del DSS, dunque, non è trovare una struttura o un algoritmo per poi automatizzarlo, ma dare un effettivo supporto a processi decisionali poco o non strutturati tramite un dialogo continuo con cui l'utente guida le operazioni del sistema.

La base di conoscenza del sistema è costituita dal cosiddetto *data warehouse* ovvero una *"raccolta di dati integrata, orientata al soggetto, che varia nel tempo e non volatile, di supporto ai processi decisionali"*. In particolare il *data warehouse* contiene i dati del database operazionale, ottimizzati per analisi focalizzate sui dati aggregati e sulle tendenze piuttosto che sulle singole operazioni di gestione. I dati devono quindi essere memorizzati a diversi ed appropriati livelli di aggregazione, e il decisore deve poter analizzare i dati contenuti nel *data warehouse* in tempo reale, da diversi punti di vista e a diversi livelli di aggregazione.

La Figura 4.1 descrive i flussi di informazione che, in maniera indipendente dall'organizzazione "operazionale", fornisce un riferimento generale per l'implementazione del sistema.

La pianificazione territoriale in generale, ed in ambito di rischio da eventi calamitosi in particolare, prevede la gestione di numerose informazioni, basate essenzialmente sulla conoscenza delle caratteristiche fisiografiche e socio-economiche dell'area oggetto di studio, sulla dislocazione di punti di avvistamento e/o monitoraggio, sulle modalità di intervento in casi calamitosi, sulle risorse disponibili (uomini, mezzi, risorse di vario genere). Per poter realizzare tutto ciò in maniera ottimale e con il minor dispendio di tempo, la tecnologia

GIS fornisce strumenti adatti allo scopo, e tutto ciò, come già anticipato.

Poiché il nostro GIS prevede un'area deputata alla raccolta, all'archiviazione e alla gestione di tutti i dati e le informazioni necessarie, la loro descrizione e caratterizzazione sarà oggetto dei paragrafi seguenti.

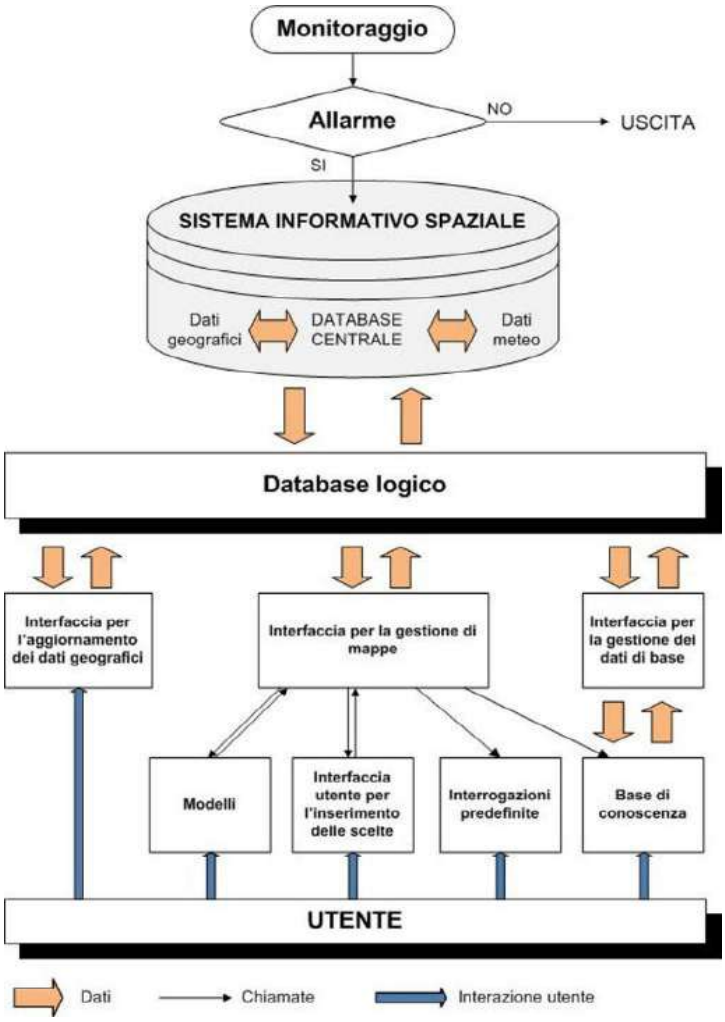


Figura 4.1 Flussi di informazione che, in maniera indipendente dall'organizzazione "operazionale", fornisce un riferimento generale per l'implementazione del sistema

4.2 Strumenti di base a cura della Regione Siciliana

Le tipologie cartografiche che dovranno dare supporto all'inquadramento GIS, e che saranno anche da utilizzare per lo studio

delle dinamiche evolutive (con integrazione di rilievi satellitari aggiornati), sono innanzitutto basate sulla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, che la regione ha prodotto in diversi periodi di tempo. Pare opportuno segnalare che l'accuratezza di tale cartografia è pari o superiore a 3 m (non è cioè possibile distinguere fra di loro oggetti aventi dimensioni inferiori). Questa cartografia è in formato Universal Transverse Mercator (UTM), e il geoide di riferimento è l'ED50.

Inoltre nel 2007-2008 i Ministero dell'Ambiente ha avviato una campagna di rilievo LIDAR del territorio nazionale, sulla base della quale è stato possibile elaborare un accurato Modello Digitale del Terreno (DTM) ad alta risoluzione (2 m), con un'accuratezza posizionale di 0,30 m, oltre che un dettagliato modello delle superfici (DSM), il quale tiene conto della presenza di qualsiasi tipo di oggetto (alberi, edifici, ecc.) (vedere la Figura 4.2). Tale rilievo, disponibile per le regioni, fra cui quella Siciliana, è molto completo per quanto riguarda le zone costiere, mentre risulta carente su molte aree interne. Il geoide di riferimento è il WGS84.

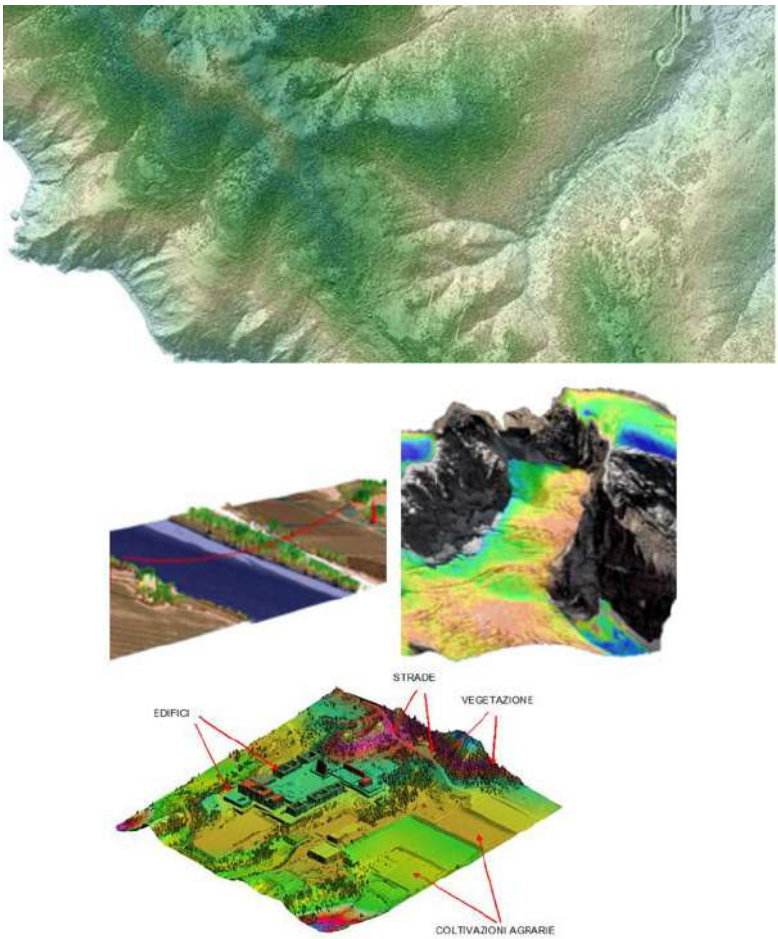


Figura 4.2 Esempio di rilievo LIDAR, con DSM in basso.

Inoltre, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha fornito quanto elaborato nell'ambito del progetto di monitoraggio dello stato e delle variazioni delle coste italiane (Progetto Coste). Nell'ambito di questo progetto ISPRA ha sviluppato un Sistema Informativo Geografico Costiero (SIGC) a scala nazionale mirato alla definizione della linea di costa italiana e alla individuazione e classificazione delle opere di difesa. Il progetto è stato finalizzato allo studio dello stato delle coste italiane e alla loro evoluzione. In particolare, i dati sono stati acquisiti dal mosaico della cartografia IGM scala 1:25.000, dai mosaici delle ortofoto a colori del volo IT2000 e del volo IT2006, aventi risoluzione spaziale di 1 m. La datazione dei rilievi cartografici è, dunque, quella delle coperture

territoriali dell'Italia, accessibili attraverso i servizi WMS del Portale Cartografico Nazionale.

I dati, in formato shapefile, sono relativi alla linea di riva con annesse infrastrutture marittime e opere di protezione costiera, al limite di retrospiaggia e alle spiagge, acquisiti dai mosaici del volo IT2000 e del volo IT2006. Le linee di costa relative al volo IT2000 sono ottenute da un mosaico di ortofoto riprese nel periodo 1998-1999, mentre le linee di costa del volo IT2006 sono ottenute da un mosaico di ortofoto 2005-2006.

In riferimento ai dati sulle analisi delle modifiche della costa ISPRA ha trasmesso i seguenti risultati cartografici e analitici:

- Variazioni morfologiche della linea di riva desuta dal volo IT2000 rispetto all'assetto della riva rilevato dalle carte IGM, con indicazione dei tratti di litorale che nel periodo hanno subito scostamenti superiori a +/-25 m, classificazione dei tratti costieri stabili, in erosione e in avanzamento e relative misure di lunghezza e superficie delle aree costiere oltre la fascia predefinita;
- Variazioni morfologiche della linea di riva desunta del volo IT2006 rispetto all'assetto della linea di riva desunta dal volo IT2000 con indicazione dei tratti di litorale che nel periodo hanno subito scostamenti superiori a +/-5m, classificazione dei tratti stabili, in erosione e in avanzamento e relative misure di lunghezza e superficie delle aree costiere oltre la già menzionata fascia;
- Elaborato cartografico delle spiagge desunte dal volo IT2006 che riporta anche dati di sintesi, sia lineari che areali, delle diverse variazioni rilevate rispetto alla mappa delle spiagge sedunte dal volo IT2000.

Il dataset suddetto si è rivelato di fondamentale importanza, in quanto ha permesso di costituire la base di dati di confronto per l'analisi diacronica della linea di riva e per il censimento delle opere di difesa.

Infine, sono stati scaricati dal Geoportale Nazionale i macrodati nazionali sulla variazione della linea di costa dal 1960 al 2012.

Le linee di riva del 1960 (derivate dalla cartografia IGMI 1:25.000) e quelle del 1994 e 2012 hanno fornito nuovi elementi di analisi dei fenomeni di variazione della costa bassa. Infatti, il periodo 1994-2012 è significativo in quanto corrisponde all'applicazione delle prime norme sulla gestione dei sedimenti e ai primi interventi di ripascimento artificiale.

4.3 Serie storiche dei dati vento

Le informazioni relative alle condizioni del vento possono essere desunte da diverse fonti:

1) Dati rilevati dalle stazioni dell'Aeronautica Militare;
2) Dati sintetici forniti da modelli di hindcast e forecast (ECMWF, NOAA, etc).

In Sicilia la rete anemometrica dell'aeronautica militare è dotata di 13 stazioni (vedere la Tabella 4.I e la Figura 4.3).

Per le citate stazioni sono disponibili dati relativi alle osservazioni della velocità del vento e della direzione del vento sia per le osservazioni triorarie che per le raffiche. Nel presente PRCEC si sono analizzati le osservazioni triorarie, che possono avere influenza sul clima ondoso in mare aperto.

Nelle analisi svolte nell'ambito del presente piano non sono state prese in considerazione le stazioni di Enna e di Prizzi.

Tutti i dati anemometrici forniti dall'Aeronautica Militare sono relativi alle caratteristiche del vento rilevate a 10 m di altezza rispetto alla quota terreno della stazione.

Tabella 4.I Stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare in Sicilia.

Stazione	Coordinate	Quota [m s.l.m.m.]
Messina	38° 11' 58,92" N - 15° 32' 55,68" E	51
Palermo Boccadifalco	38° 6' 42,84" N - 13° 18' 41,76" E	105
Palermo Punta Raisi	38° 10' 54,84" N - 13° 5' 57,84" E	34
Trapani Birgi	37° 54' 50,76" N - 12° 29' 28,68" E	7
Gela	37° 4' 34,68" N - 14° 13' 30,00" E	33
Cozzo Spadaro	36° 41' 9,96" N - 15° 7' 52,68" E	51
Catania Fontanarossa	37° 27' 59,76" N - 15° 3' 49,68" E	17
Catania Sigonella	37° 24' 19,80" N - 14° 55' 6,96" E	22
Enna	37° 34' 4,80" N - 14° 16' 46,92" E	965
Prizzi	37° 43' 21,72" N - 13° 25' 40,80" E	1034
Ustica	38° 42' 25,92" N - 13° 10' 37,92" E	251
Pantelleria	36° 48' 49,68" N - 11° 58' 15,96" E	191
Lampedusa	35° 30' 0,00" N - 12° 36' 36,00" E	20

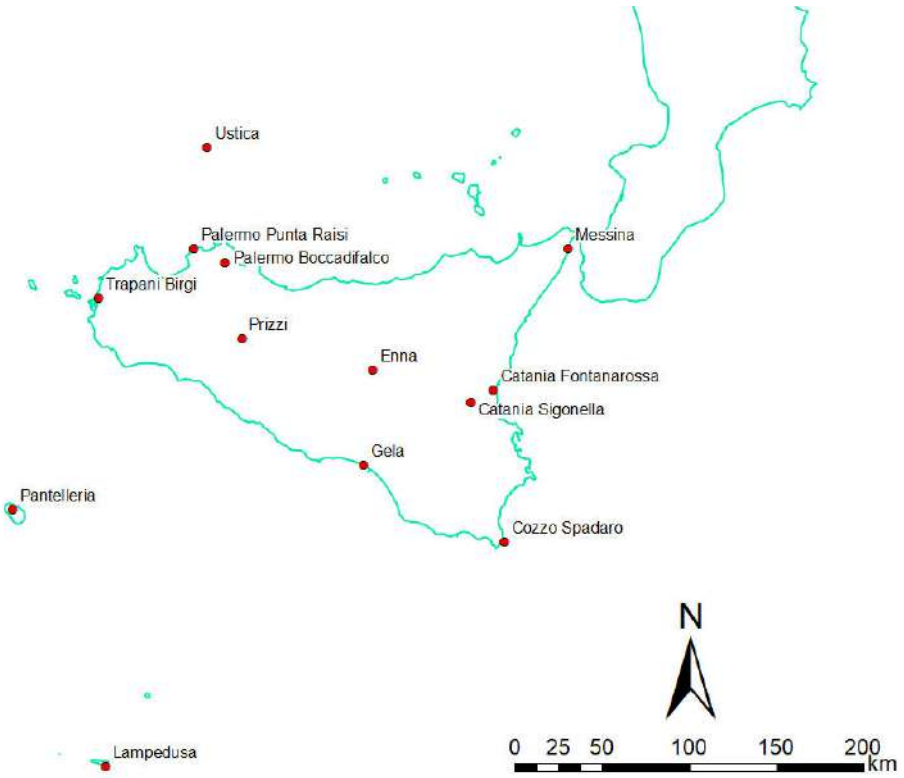


Figura 4.3 Stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare in Sicilia.

I dati sopra descritti consentono di disporre di dati estremamente accurati e, in taluni casi, anche caratterizzati da una serie storica piuttosto lunga durata. Tuttavia, tali dati sono relativi a singoli punti posti lungo le coste. Al fine di disporre di dati distribuiti lungo i tratti di mare che circondano la Sicilia e le isole minori è anche possibile utilizzare i dati sintetici forniti dai modelli delle principali agenzie meteorologiche (ECMWF, NOAA, etc.).

Si è fatto, in particolare, riferimento a quelli forniti dall'*European Center Medium Weather Forecast* (ECMWF) attraverso il dataset ERA5[2]. I dati di tale dataset sono caratterizzati da una risoluzione nel tempo pari a un'ora e da una risoluzione nello spazio pari a circa 30 km. Il periodo coperto dal dataset va dal 1979 alla data odierna. Tuttavia, entro il 2020 è prevista una estensione fino al 1950. Il dataset si compone di numerose grandezze rappresentative delle condizioni climatiche a livello globale. Tali dati sono forniti attraverso il sito web del *Copernicus Climate Change Service* (C3S) il quale è uno dei sei servizi di informazione tematica forniti dal *Copernicus Earth Observation Programme* ed è implementato dall'ECMWF per conto della Commissione Europea[3]. Il C3S si occupa di fornire informazioni sul clima passato, presente e futuro, nonché sugli strumenti per consentire la mitigazione dei cambiamenti climatici e le strategie di adattamento.

Per lo studio in esame, dal dataset ERA5 sono state estratte le componenti del vento riferite ad una quota di 10 m sul livello medio del mare.

La Figura 4.4 mostra la distribuzione spaziale dei punti griglia del dataset ERA5 attorno alla Sicilia da cui sono stati estratti i dati di vento,

---

[2] Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate . Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), date of access. https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home

[3] https://climate.copernicus.eu/about-us

necessari per la simulazione dei processi di rigenerazione del moto ondoso durante la sua propagazione, ai fini delle elaborazioni effettuate nel presente PRCEC.

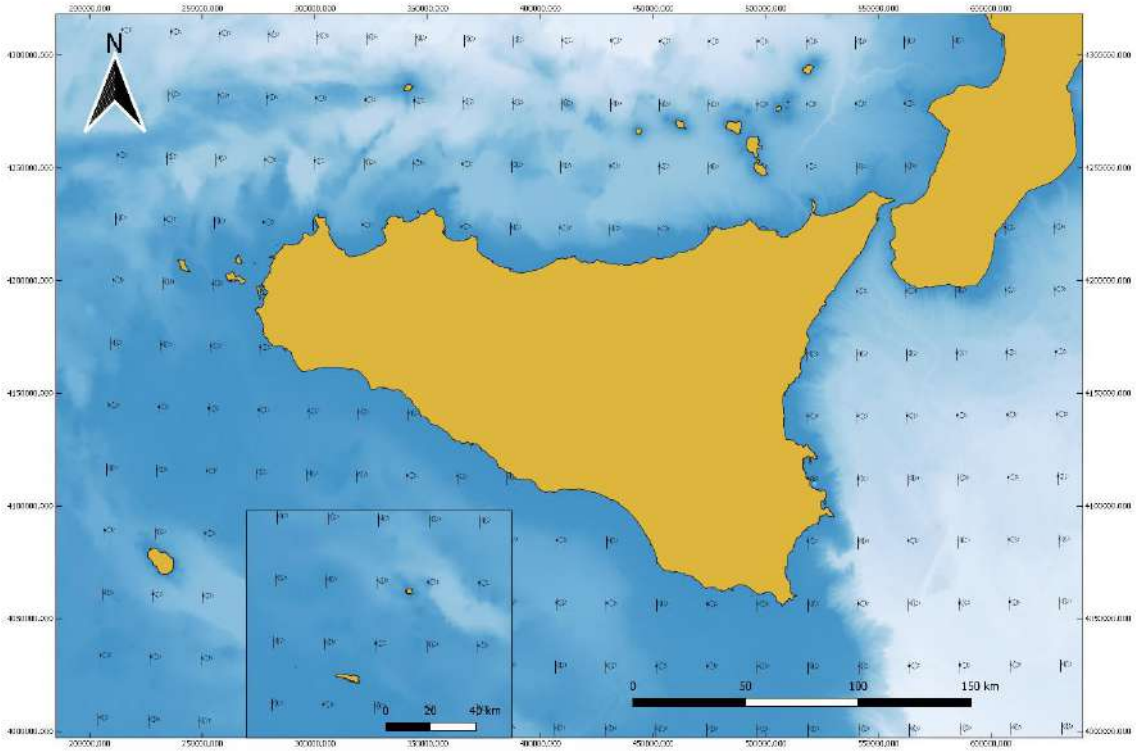


Figura 4.4 Dati anemometrici: distribuzione spaziale dei punti griglia del database ERA5 attorno la Sicilia.

4.4 Dati sui livelli marini

L'analisi della variazione dei livelli del mare è stata condotta utilizzando i dati registrati nelle stazioni mareografiche della Rete Mareografica Nazionale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) site a: Catania, Porto Empedocle, Sciacca, Lampedusa, Palermo, Messina, Ginostra e Strombolicchio. In particolare, per tali stazioni sono disponibili diverse grandezze tra cui: il livello del mare, la velocità e la direzione del vento e la pressione atmosferica.

Nella Tabella 4.II sono riportate le coordinate per ciascun mareografo della regione Sicilia e nella Figura 4.5, sono invece rappresentate le stesse localizzazioni che mettono in evidenza come, in effetti, per ogni Unità Fisiografica del I ordine vi sia installato perlomeno un mareografo.

Tabella 4.II Coordinate di ciascun mareografo della regione Sicilia (fonte ISPRA)

Stazione	Nome identificativo ISPRA	Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)
Catania	**ISPRA_NF-Catania**	**37° 29' 53.09" N**	**15° 05' 37.77" E**
Portopalo di Capo Passero	**IDSL-11**	**36° 40' 08.82" N**	**15° 07' 22.09" E**
Sciacca	**ISPRA-**	**37° 30'16,35" N**	**13°04'35,24" E**
Lampedusa	**ISPRA-12**	**35° 29' 59.38" N**	**12° 36' 15.98" E**
Palermo	**ISPRA_NF-Palermo**	**38° 07' 17.08" N**	**13° 22' 16.79" E**
Messina	**ISPRA-10**	**38° 11' 46.73' N'**	**15° 33' 48.65" E**
Ginostra	**ISPRA-02**	**38° 47' 06,65"N**	**15° 11' 26,76" E**
Strombolicchio	**-**	**38° 49' 02.93" N**	**15° 15' 05.85" E**

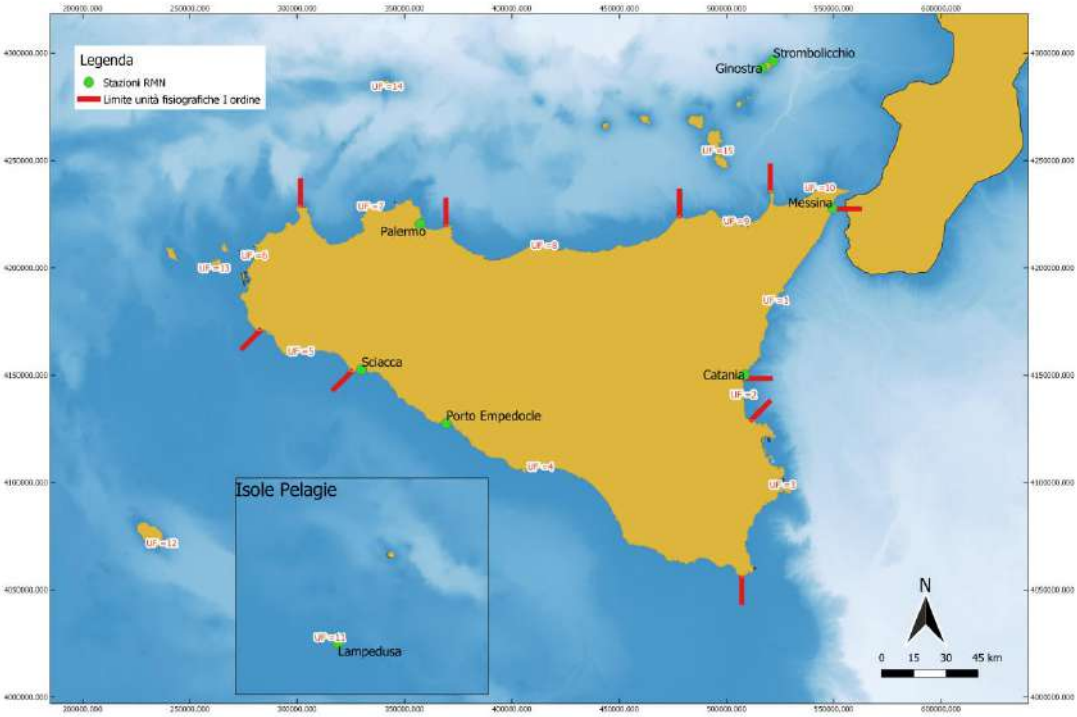


Figura 4.5 Stazioni della Rete Mareografica Nazionale gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Per l'analisi dei livelli marini causati dalla marea astronomica in corrispondenza delle suddette stazioni, si è fatto riferimento alle

componenti fornite dall'ISPRA nell'ultimo studio pubblicato relativo all'anno 2014.

4.5 Serie storiche dei dati sul moto ondoso

Per quanto riguarda i dati ondametrici, si è inizialmente fatto riferimento alle seguenti fonti:

- Rete Ondametrica Nazionale (RON);
- Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS);
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA);
- European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF)

La Rete Ondametrica Nazionale (RON), gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e attiva fino al 2014, si componeva di 15 boe di cui tre posizionate al largo delle coste dalla Sicilia. E precisamente:

- la boa di Catania (coordinate nel sistema WGS84 latitudine 37.440°N e longitudine 15.147°E);
- la boa di Mazara del Vallo (coordinate nel sistema WGS84 latitudine 37.520°N e longitudine 12.533°E);
- la boa di Capo Gallo (coordinate nel sistema WGS84 latitudine 38.25°N e longitudine 13.31667°E);

I dati disponibili per le tre boe coprono i seguenti periodi di tempo:

- dal 1989 al 2014 per la boa di Catania;
- dal 1989 al 2014 per la boa di Mazara del Vallo;
- dal 2006 al 2014 per la boa di Capo Gallo.

Per quanto riguarda il servizio *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS), esso fornisce quotidianamente analisi e previsioni degli eventi meteomarini[4].

Il CMEMS mette a disposizione il dataset MEDSEA_HINDCAST_WAV_006_012[5][6], che copre il periodo di tempo tra il 2006 e 2018, e il dataset MEDSEA_ANALYSIS_FORECAST_WAV_006_017[7][8] che copre il periodo tra il 2018 e la data odierna, fornendo anche previsioni sui dieci giorni successivi.

I dati sono elaborati dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) e dal *Hellenic Center for Marine Research* (HCMR)[9].

I due dataset si compongono di diverse grandezze rappresentative delle condizioni del moto ondoso come, ad esempio, altezza significativa, direzione media, periodo di picco, etc…

Tali dati sono forniti con una risoluzione nel tempo pari ad un'ora e una risoluzione nello spazio pari a 4 km lungo la longitudine e 5 km lungo la latitudine.

---

[4] https://marine.copernicus.eu/about-us/about-your-copernicus-marine-service/

[5] Korres, G., Ravdas, M., & Zacharioudaki, A. (2019). Mediterranean Sea Waves Hindcast (CMEMS MED-Waves) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS).

[6] https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_HINDCAST_WAV_006_012

[7] https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_ANALYSIS_FORECAST_WAV_006_017

[8] Korres, G., Ravdas, M., & Zacharioudaki, A. (2019). Mediterranean Sea Waves Analysis and Forecast (CMEMS MED-Waves) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_ANALYSIS_FORECAST_WAV_006_017

[9] https://www.cmcc.it/projects/cmems-med-mfc-copernicus-mediterranean-monitoring-forecasting-centre-phase-2

La propagazione del moto ondoso è simulata attraverso due griglie di calcolo: una a bassa risoluzione che si estende dall'Oceano Atlantico al Mar Mediterraneo (75°O e 10°E e da 70° a 10°S); una ad alta risoluzione che si estende dal 18.125°O a 36.2917°E e da 30.1875°N a 45.9792°N.

Il codice di calcolo impiegato per le simulazioni è quello c.d. *Wave Modelling* (WAM) e lo spettro del moto ondoso è discretizzato in 24 direzioni e in 30 frequenze distribuite logaritmicamente.

Il NOAA ha sviluppato un modello di ri-analisi, esteso su tutto il globo terrestre, che ha consentito la stima dei parametri meteorologici per il periodo compreso tra 1979 e il 2009. Il modello numerico impiegato per la simulazione della propagazione delle onde è il modello *WAVEWATCH III* (WWIII)[10]. All'interno del processo di ri-analisi, le simulazioni sono state effettuate a livello globale mediante l'impiego di un mosaico di griglie che ricopre il globo terrestre. Dette griglie sono caratterizzate ognuna da una propria risoluzione in funzione dell'importanza dell'area di studio. Per il bacino del Mar Mediterraneo è stata impiegata una griglia di calcolo che si estende da una latitudine compresa tra 30° e 48° e una longitudine compresa tra 7° e 40°. La risoluzione della maglia è pari a 1/6° (pari a circa 16 km) sia in latitudine che in longitudine.

Nelle simulazioni lo spettro del moto ondoso è discretizzato in 36 direzioni e in 50 frequenze comprese tra 0.035 Hz e 0.963 Hz.

I dati forniti dall'ECMWF utilizzati nel presente PRCEC sono stati reperiti dal dataset ERA5[11]. Le caratteristiche del moto ondoso sono fornite a livello globale e sono relative al periodo compreso tra il 1979 fino alla data odierna. Tali dati sono distribuiti su una griglia con risoluzione spaziale pari a 0.50° (pari a circa 45 km) sia in latitudine

---

[10] https://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/nopp-phase1.php

[11] https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation

che in longitudine e sono caratterizzati da una risoluzione nel tempo pari a un'ora.

Anche in questo caso il codice di calcolo impiegato per le simulazioni è quello c.d. *Wave Modelling* (WAM) in cui lo spettro del moto ondoso è discretizzato in 24 direzioni e in 30 frequenze comprese tra 0.03453 Hz e 0.548 Hz.

Al fine di validare i risultati del modello di propagazione impiegato nella presente analisi, si è fatto riferimento ai dati di moto ondoso valutati sulla base di misure da satellite forniti attraverso il progetto *GlobWave*[12]. Tale progetto, finanziato dall'*European Space Agency*, ha l'obiettivo di fornire i dati di onde (altezza d'onda significativa) e di vento (velocità) derivati da misure da satellite. Le misure di moto ondoso fornite dal *GlobWave* sono elaborate dall'*Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer* (IFREMER) e, in particolare, dal *Laboratoire d'Océanographie Spatiale* (LOS). Il database rappresenta l'unione di dati valutati sulla base di diversi satelliti opportunamente calibrati[13]. I satelliti appartenti al dataset sono: ERS1, ERS2, ENVISAT, TOPEX, Poseidon, Jason-1, Jason-2, GEOSAT FO, Cryosat-2 e SARAL. Il dataset copre il periodo di tempo compreso tra il 1991 e il 2017 (circa 27 anni).

4.6 Dati sulle correnti marine

Le correnti marine possono giocare un ruolo importante nel processo di trasporto dei sedimenti. Attualmente le misure dirette di velocità in colonna d'acqua sono sporadiche e legate a progetti di ricerca.

---

[12] http://globwave.ifremer.fr/

[13] Queffeulou, P. (2013, September). Merged altimeter wave height data base. An update. In Proceedings of ESA Living Planet Symposium (Vol. 722). European Space Agency SP-722.[Available online at http://www. livingplanet2013. org/abstracts/851822. htm.].

Tuttavia, il programma Copernicus dell'Unione Europea ha sistematizzato alcune azioni di modellistica avanzata e le ha incluse tra i Copernicus Marine Services. Attualmente è possibile accedere a tali dati (hindcast e forecast) tramite il sito https://marine.copernicus.eu/. Inoltre, sempre tramite i servizi Copernicus, è possibile accedere ai dati degli altimetri radar dai quali, con semplici operazioni, è possibile ricavare le correnti geostrofiche a scala del mediterraneo.

Dati sulle correnti marine superficiali, ad alta risoluzione spaziale e temporale, in Sicilia, sono acquisti dalla rete di radar HF denominata "CALYPSO", messa a punto per effettuare il monitoraggio delle correnti superficiali del mare in tempo reale. La costituzione di tale rete è stata finanziata dal programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Malta. La tecnologia radar HF fornisce uno strumento unico per determinare le correnti superficiali in tempo 'quasi' reale, consentendo l'applicazione efficace di modelli numerici di dispersione d'inquinanti in mare. Tale metodologia permette di prevedere origine e destinazione dell'inquinante attraverso l'assimilazione dei dati nei modelli di circolazione oceanica, o tramite previsioni statistiche delle correnti marine a breve termine.

La rete CALYPSO, operativa da agosto 2012, è attualmente costituita da quattro sistemi SeaSonde (CODAR) che funzionano nella banda di frequenza dei 13.5 MHz. Le osservazioni a lungo termine hanno consentito una nuova descrizione oceanografica del canale compreso tra la Sicilia e Malta, documentando la presenza di una quantità di caratteristiche finora mai segnalate con un simile dettaglio spaziale e temporale.

Le installazioni sono costituite da antenne a stilo di altezza di circa 8 m, che lavorano nelle frequenze delle HF (range di frequenze 3-30 MHz) con una potenza di picco pari a 40 W (potenza operativa di ≈20 W). Le caratteristiche di tali installazioni impongono una loro ubicazione in prossimità della linea di costa.

Il sistema CALYPSO restituisce mappe delle correnti superficiali a scala oraria e con una risoluzione spaziale di 3 km. La superficie monitorata è di circa 10.000 km^2. Il sistema è stato validato mediante confronto con drifters e misure correntometriche.

L'accesso ai dati CALYPSO è pubblico tramite i seguenti portali web:

http://portus-malt.qrms.net/portus/

http://portus-sici.qrms.net/portus/

I dati sono anche disponibili anche sul portale europeo EMODNET.

Attualmente la rete è in fase di sviluppo e di ampliamento tramite l'aggiunta di altri e sistemi HF: due a Malta posizionati verso Lampedusa e Linosa e uno in Sicilia posizionato a Licata.

La Figura 4.6 mostra un esempio di copertura di correnti superficiali della rete HF del sistema CALYPSO.

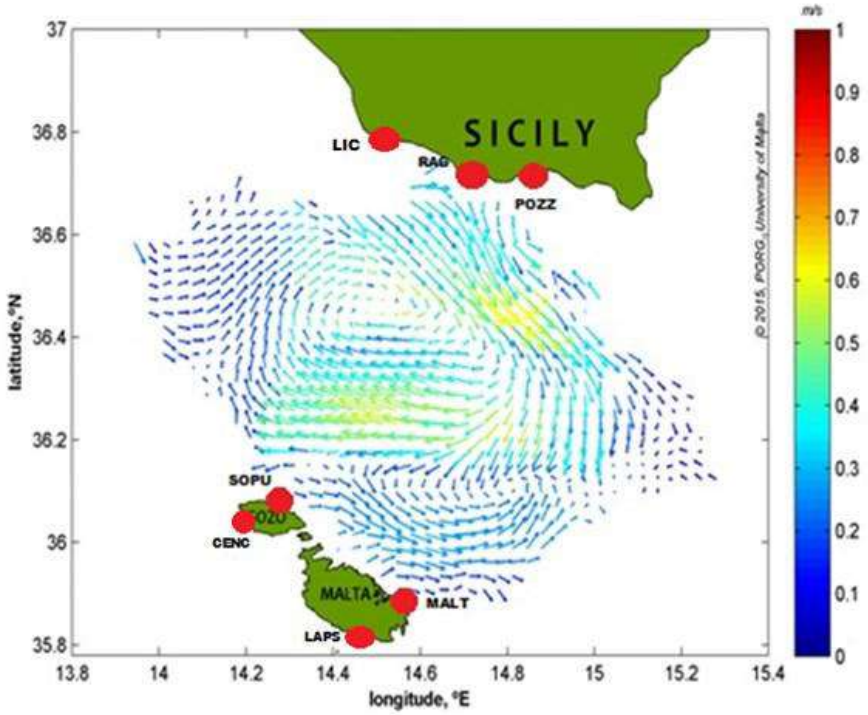


Figura 4.6 La rete HF del sistema CALYPSO: esempio di copertura di correnti superficiali.

Una interessante applicazione della tecnologia HF radar è la possibilità di ricavare informazioni sulla altezza significativa delle onde

nella zona oggetto del monitoraggio. Tali informazioni vengono acquisite da ognuna delle antenne HF su anelli aventi come centro l'antenna stessa. Diversi studi stanno dimostrando l'affidabilità di queste informazioni, se opportunamente filtrate da disturbi e interferenze elettromagnetiche.

4.7 Cartografia della batimetria regionale

Le simulazioni numeriche relative alla propagazione del moto ondoso da largo a sottocosta richiedono la conoscenza delle seguenti informazioni: *i*) dati di moto ondoso, per la definizione delle condizioni al contorno al largo*; ii*) dati batimetrici, per ricostruire l'andamento dei fondali per la zona oggetto di studio; *iii*) dati di vento, per simulare il contributo energetico del vento durante la propagazione del moto ondoso.

Per i dati batimetrici si è fatto riferimento alle carte nautiche pubblicate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare. In particolare, si è fatto riferimento ai dati desunti dalle seguenti mappe:

1. *Stretto di Messina* in scala 1:30.000 pubblicata nel luglio 2009 e ristampata nel febbraio 2019 (carta numero 138);
2. *Da Capo Santa Croce a Messina e Capo dell'Armi* in scala 1: 100.000 pubblicata nel giugno 2001 e ristampata nel luglio 2018 (carta numero 22);
3. *Da Capo Passero a Capo Santa Croce* in scala 1: 100.000 pubblicata nell'ottobre 1999 e ristampata nel giugno 2019 (carta numero 21);
4. *Da Licata a Marina di Avola* in scala 1: 100.000 pubblicata nel luglio 2006 e ristampata nel marzo 2018 (carta numero 20);
5. *Da Sciacca a Licata* in scala 1: 100.000 pubblicata nell'ottobre 1993 e ristampata nel gennaio 2019 (carta numero 19);
6. *Da Marsala a Sciacca* in scala 1: 100.000 pubblicata nel giugno 1991 e ristampata nel gennaio 2016 (carta numero 18);

7. *Isola di Pantelleria* in scala 1:30.000 pubblicata nel settembre 2012 e ristampata nell'ottobre 2018 (carta numero 253);
8. *Isola di Lampedusa* in scala 1:20.000 pubblicata nel novembre 2015 e ristampata giugno 2019 (carta numero 240);
9. *Isola di Linosa* in scala 1:20.000 pubblicata nel dicembre (carta numero 243);
10. *Da Capo Rama a Marsala e Isole Egadi* in scala 1: 100.000 pubblicata nel maggio 1997 e ristampata nel giugno 2019 (carta numero 17);
11. *Da Capo Rama a Capo Zafferano e Isola di Ustica* in scala 1: 100.000 pubblicata nel luglio 1999 e ristampata nel settembre 2019 (carta numero 16);
12. *Da Capo d'Orlando a Capo Zafferano e Isole di Alicudi e Filicudi* in scala 1:1000.000 pubblicata nell'ottobre 1999 e ristampata nell'ottobre 2019 (carta numero 15);
13. *Da Capo Milazzo a Capo D'Orlando e Isole Eolie* in scala 1: 100.000 pubblicata nel febbraio 1956 e ristampata nell'ottobre 2019 (carta numero 14);
14. *Litorale di Milazzo* in scala 1:30.000 pubblicata nel marzo 1997 e ristampata nel luglio 2017 (carta numero 246).

Per le zone non coperte dalle mappe pubblicate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare, ossia quelle caratterizzate generalmente dà profondità superiori a 100 m s.l.m.m., si è fatto riferimento ai dati forniti dal *The General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO)[14]. GEBCO è un'organizzazione che opera senza fini di lucro con l'obiettivo di fornire dati batimetrici a livello globale. Attualmente l'organizzazione opera sotto gli auspici dell'*International Hydrographic Organization* (IHO) e dell'*Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) dell'UNESCO.

[14] https://www.gebco.net/

La Figura 4.7 riporta i quadranti delle mappe nautiche pubblicate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare impiegate nel presente studio e la mappa batimetrica fornita dall'organizzazione GEBCO.

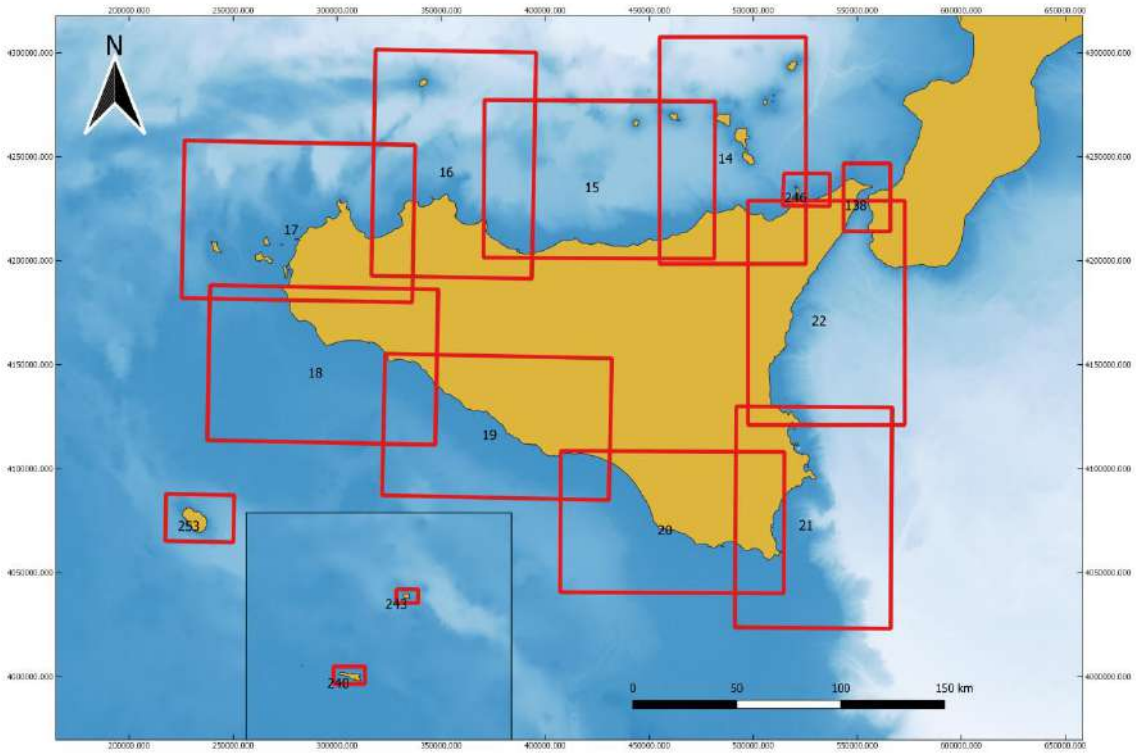


Figura 4.7 Fonte dei dati batimetrici: quadranti delle mappa nautiche pubblicate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e la mappa batimetrica fornita dall'organizzazione GEBCO. In numeri in figura indentificano i quadranti secondo la numerazione adottata dall'Istituto Idrografico della Marina Militare.

4.8 Immagini satellitari ad alta definizione

Sono stati acquisiti due dataset di immagini satellitari (PlanetScope) con risoluzione geometrica pari a 3 m: un dataset è relativo al periodo estivo del 2019, mentre l'altro riguarda i primi mesi del 2020. Le immagini suddette oltre ad avere le classiche bande del visibile (RGB) hanno anche la banda dell'infrarosso vicino che, data la proprietà dell'acqua di assorbire molto in questa banda, permette una migliore

individuazione della linea di riva. La scelta delle immagini PlanetScope è stata supportata dalla alta risoluzione temporale di tali immagini (si tratta di una costellazione di 130 satelliti equipaggiati con lo stesso sensore) che ha consentito facilmente si individuare dataset di immagini sgombre da copertura nuvolosa. Le immagini sono state ortorettificate e le informazioni geometriche sono compatibili con la scala di lavoro prefissata (1:10.000).

5 Gerarchizzazione degli ambiti costieri

5.1 Classificazione delle tipologie di ambiti costieri

Per la redazione del PREC si propone una classificazione degli ambiti costieri che tiene conto della forte geodiversità del territorio, sia in termini strettamente geologici, sia geomorfologici nonché sedimentologici.

Innanzi tutto, si rilevano tre grandi classi: le coste rigide, le coste mobili e le coste artificiali.

Tra le coste rigide annoveriamo quelle alte (falesie), più diffuse, e quelle basse (pavimenti rocciosi), molto limitate territorialmente e legate alla giacitura di specifici affioramenti geologici.

Le falesie possono essere attive, se il mare incide direttamente sul loro piede, oppure morte se davanti vi è una spiaggia che le protegge dall'azione diretta delle onde. Le falesie, in funzione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso litologico che le costituiscono, possono essere dure (nei calcari del ragusano o del trapanese o nelle serie flyschioidi del settore tirrenico) o tenere (nelle marne dell'agrigentino o in alcuni settori del piè di monte etneo).

Le coste mobili sono le spiagge, depositi di sedimenti non coesivi che possono essere sabbiosi, ghiaiosi o ciottolosi in funzione della granulometria e rispecchiano (con l'eccezione del settore meridionale dell'altopiano ibleo) la composizione e i colori del paesaggio geologico dell'entroterra.

In termini di classificazione, piuttosto che considerare gli aspetti fisici delle spiagge (appunto granulometria, composizione e colore) che verranno analizzati puntualmente, è più utile, ai fini del presente Piano, utilizzare il loro rapporto con il territorio e la loro esposizione agli agenti meteo marini.

Le spiagge possono così essere suddivise, all'interno dei tre ordini delle unità fisiografiche, in funzione del loro rapporto con l'entroterra, in funzione del fatto che l'aspetto che più incide sulla loro evoluzione, a parità di esposizione al mare, è il confinamento che può essere legato all'antropizzazione o eventualmente all'aggettanza dei limiti laterali. In questo modo si rilevano:

- spiagge antropizzate: parzialmente o integralmente limitate, verso terra, da lungomare o da una strada locale o da insediamenti industriali o agricoli o urbanistici;
- Spiagge naturali: confinanti con un sistema dunale o con un deposito alluvionale recente o una falesia morta

Infine, esistono le coste artificiali che nel territorio siciliano sono assimilabili a quei tratti di costa occupati da porti oppure da tratti in cui la protezione di un rilevato ferroviario giunge a mare.

Questo sistema di classificazione (vedere Tabella 5.I), nell'ambito di un piano regionale di contrasto all'erosione costiera, permette di fornire al governo centrale di indirizzare in modo mirato gli interventi e alle amministrazioni locali di programmare dei sistemi di monitoraggio in funzione della specificità del tratto costiero.

Tabella 5.I Classificazione delle tipologie di coste.

Tipologie di coste	Forma	Stato/Sedimenti	Caratteristiche
rocciose	Alte (falesie)	Attive o Morte	Dure o rigide
	Basse (pavimenti)		
mobili	spiagge artificiali	Ciottolose – ghiaiose - sabbiose	Colore, composizione
	spiagge naturali		
artificiali	porti		
	strutture lineari		

Inoltre, la necessità di suddividere la costa in tratti con caratteristiche omogenee e tra loro assimilabili nasce dall'esigenza di migliorare la gestione della fascia costiera dal punto di vista ambientale e naturale tenendo conto delle dinamiche geomorfologiche in gioco.

Per la corretta analisi della tendenza evolutiva di un litorale è importante anche la scelta del fattore scala, da definire in funzione delle dimensioni e dei processi, naturali o antropici, che caratterizzano una specifica zona costiera. Nel caso dei processi naturali, le fluttuazioni indotte sull'evoluzione di un litorale si sviluppano su ampie scale spaziali e temporali, viceversa, a seguito di interventi di natura antropica, gli impatti si sviluppano su scale spaziali e temporali ridotte (Stive et al., 2002). Pertanto, ai fini di un'efficace tutela dei litorali si è sviluppata negli anni la necessità di individuare tratti di costa omogenei, o unità fisiografiche, sulla base della struttura fisica (Anselmi et al., 1978; Calda et al. 2003; Barsanti et. al., 2008) e dei principali parametri fisico-morfologici che guidano l'evoluzione delle spiagge, prescindendo quindi dai confini amministrativi (regionali, comunali e provinciali), (Corsini et al., 2008).

Di seguito si descrive la metodologia utilizzata per la suddivisione dei litorali siciliani in Unità Fisiografiche (UF) principali (I ordine), secondarie (II ordine) e gestionali (III ordine).

La metodologia proposta si basa sulle recenti Linee Guida del Tavolo Tecnico Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni (MATTM-Regioni, 2018), note come Linee Guida TNEC, le cui definizioni sono date in Tabella 5.II.

Ai fini dell'analisi della dinamica litoranea e della valutazione di azioni di adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici, le Linee Guida Nazionali TNEC introducono una organizzazione degli ambiti costieri secondo una gerarchizzazione a cui associare il livello di attenzione per gli studi dei fenomeni idrodinamici e per la progettazione di interventi anche in relazione al loro reciproco grado di interferenza.

Essi sono da ritenersi ambiti nazionali di riferimento e vengono definiti unità fisiografiche costiere, distinguendosi in tre ordini gerarchici: le unità fisiografiche costiere principali, secondarie e

gestionali, ovvero, come detto, ambito costiero di I ordine, di II ordine e di III ordine.

Con la definizione di unità fisiografica costiera principale si vuole conservare un riferimento "all'ambito costiero naturale" in quanto ambito originario; questa differisce rispetto a quella secondaria solo per la presenza di "limiti artificiali importanti". La logica di questa gerarchizzazione degli ambiti costieri è basata sul concetto che piccole opere o fenomeni locali possono avere influenza ad una scala di unità gestionale costiera, mentre grandi opere e importanti fenomeni idrodinamici possono avere influenza a scala di unità fisiografica costiera principale o secondaria. Pertanto, mentre le unità fisiografiche costiere principali e secondarie sono ambiti dedicati prevalentemente alla pianificazione per la difesa della costa, le unità costiere gestionali sono ambiti minimi in cui si effettuano studi specifici per la progettazione di interventi di difesa della costa, di opere marittime o di attività di gestione dei sedimenti che possono determinare interferenze nella dinamica costiera limitatamente a tale ambito.

Sono previste ulteriori suddivisioni delle unità costiere gestionali o sub-unità gestionali che vengono definite e denominate dalle Regioni (ovvero ambiti costieri di IV ordine) in base alle proprie esigenze di studi, monitoraggi, manutenzioni e attività di gestione ordinaria della costa. L'insieme delle attività ordinarie operate su questi ambiti costituiscono l'attuazione della programmazione gestionale regionale e del governo regionale della costa a scala di unità fisiografica costiera.

In Tabella 5.II sono riportate le definizioni delle Linee Guida TNEC, sopra richiamate, associate ad altre definizioni in gran parte equivalenti e a elementi, parametri e ambiti di riferimento.

Tabella 5.II Definizione di unità fisiografica costiera principale, secondaria, unità gestionale e sub-unità gestionale secondo le linee guida TNEC (MATTM-Regioni, 2018).

Unità fisiografica costiera	Gerarchia degli ambiti costieri	Definizioni equivalenti	Elementi di delimitazione	Tempi di ritorno per la profondità di chiusura	Ambito di riferimento
Principale	1° ordine	UF principale	Elementi naturali	TR 100 anni	Pianificazione stralcio di bacino
Secondaria	2° ordine	Macro-cella	Elementi naturali e grandi porti	TR 50 anni	Pianificazione stralcio di bacino, progettazione grandi porti
Unità Gestionale	3° ordine	Cella, Macrocella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singolari	TR 10 anni	Interventi di difesa della costa, progettazione di porti di medie e piccole dimensioni e di opere marittime, attività di gestione dei sedimenti
sub-unità gestionale	4° ordine	Micro-cella, Cella gestionale	Elementi naturali, grandi porti, porti medi, punti singolari, limiti gestionali	TR 2-5 anni	Statistiche, manutenzioni ordinarie, gestione ordinaria e stagionale

Nell'ambito del presente Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera, la definizione proposta dalle Linee Guida TNEC è stata implementata al caso delle coste siciliane. Tuttavia, al fine di fornire un quadro complessivo unitario, vengono qui richiamate anche le UF definite per tutto il territorio nazionale dall'ISPRA nell'ambito del Progetto COSTE e pubblicate sul Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente. Inoltre, a livello regionale, anche al fine di garantire il più possibile la continuità dei processi pianificatori e amministrativi sul territorio siciliano, la presente proposta di suddivisione in UF delle coste siciliane tiene anche conto delle UF già a duo tempo definite nell'ambito del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Sicilia del 2005.

5.2 Delimitazione delle unità fisiografiche siciliane

5.2.1 Unità fisiografiche definite dal Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente

Il Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente, a cui si rimanda per approfondimenti specifici, riporta una prima suddivisione della

costa italiana peninsulare e della Sicilia e Sardegna, operata dalla Direzione Generale per la Difesa del Suolo. Per questa operazione sono state utilizzate le carte batimetriche 1:100.000 dell'Istituto Idrografico della Marina Militare Italiana, i dati della distribuzione delle coste alte e basse dell'Atlante delle Spiagge del CNR, e la distribuzione dei porti principali individuati con l'analisi della variazione della linea di costa.

In particolare, lo studio è stato rivolto alla definizione dei tratti costieri in cui il trasporto solido, dovuto al moto ondoso e alle correnti litoranee, è confinato. Si è considerato possibile il trasporto di materiale solido oltre gli elementi naturali che non interrompono la linea batimetrica di -10 m. Attraverso l'analisi dell'andamento morfologico della costa emersa e della pendenza della costa sommersa sono stati tracciati i limiti naturali delle unità fisiografiche costiere principali, individuandone in tutta Italia 57, delle quali 11 in Sicilia (vedere Figura 5.1).

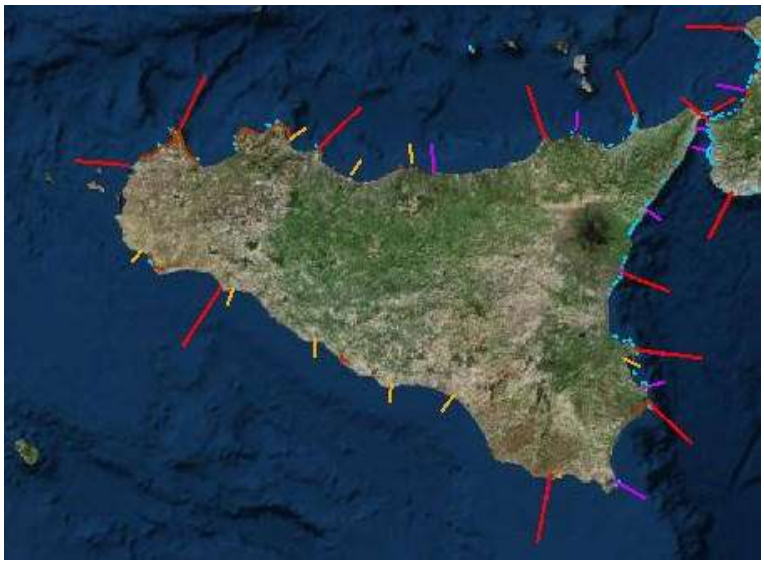


Figura 5.1 Unità fisiografiche secondo il Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente (rosso: delimitazioni principali; viola: delimitazioni secondarie; arancio: delimitazioni antropiche).

Come specificato sul sito del Geoportale Nazionale, detta suddivisione rimane oggetto di revisione sulla base delle nuove definizioni degli ambiti costieri italiani. La condivisione degli ambiti

costieri, anche nelle sotto unità secondarie, ha rappresentato il primo passo per avviare una corretta pianificazione della difesa della costa e per individuare gli interventi necessari per fronteggiare in maniera efficace e duratura l'arretramento della linea di riva che minaccia i beni esposti lungo i litorali.

Nelle Linee Guida nazionali TNEC (MATTM-Regioni, 2018), sono enunciate le definizioni degli ambiti costieri che rappresentano il primo risultato della condivisione dei principi generali tra Ministero dell'Ambiente e Regioni Rivierasche italiane. Da queste definizioni deriva la presente mappatura delle unità fisiografiche che si prevede gerarchizzate in tre ordini: Principali, Secondarie e Gestionali.

5.2.2 Unità fisiografiche secondo il P.A.I. (2005) della Regione Siciliana

Diversamente all'approccio utilizzato nella definizione delle UF indicate nel Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente, nella Relazione Generale del P.A.I., a cui si rimanda per approfondimenti specifici, l'Unità Fisiografica costiera è intesa come "cella di sedimenti" che risulta essere quel tratto di costa ove il movimento di sedimenti può considerarsi limitato alla cella stessa e non esistono scambi significativi con altre celle adiacenti (PAI,2005). Pertanto, il PAI non fa riferimento a UF di diverso ordine.

Come riportato nella relazione generale del PAI, "l'UF può sottendere uno o più corsi d'acqua e rappresenta il tratto minimo di litorale su cui occorre estendere lo studio della dinamica dei sedimenti, l'area di riferimento per una valutazione sul bilancio dei sedimenti e per verificare l'influenza degli interventi in essa attuati o da attuare. I confini delle unità costiere coincidono generalmente con promontori pronunciati o con grandi estuari".

Le coste della Sicilia sono state pertanto suddivise in 21 UF costiere, basandosi su fotografie aeree, su dati geologici e geomorfologici e sulla batimetria (Figura 5.2).

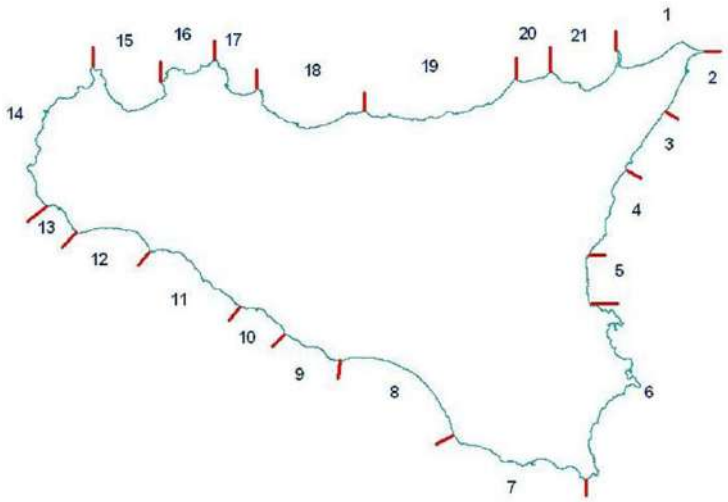


Figura 5.2 Unità fisiografiche definite dal PAI (2005) della Regione Siciliana.

5.2.3 Unità fisiografiche di I, II e III ordine proposte per il presente Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera

La negativa esperienza degli interventi che hanno rappresentato la maggior parte delle azioni di contrasto all'erosione costiera a cavallo dei due secoli è stata essenzialmente caratterizzata dalla realizzazione di opere puntuali che non venivano contestualizzate in un ambito più ampio. La logica della somma urgenza prevedeva un rapporto diretto tra la Regione e le amministrazioni locali che chiedevano protezione a prescindere dalla conoscenza del contesto.

Il PAI-coste sebbene dividesse il territorio costiero in Unità Fisiografiche, non prevedeva una reale interazione tra amministrazioni locali costiere e un'analisi delle reazioni di causa ed effetto innescate nei diversi territori, quindi, di fatto, continuando a mantenere una logica dell'intervento puntuale che non tiene conto degli effetti provocati sottoflutto.

Solo nel 2019, il sistema inizia a cambiare con l'introduzione del Contratto di costa che, a valle di un finanziamento conferito

direttamente alle Amministrazioni locali, si provvede a livello centrale alla proposizione di una strategia d'intervento sinergica, con una serie di azioni consequenziali basate su un'analisi complessiva del territorio e un sistema di monitoraggi a valle che permettesse la verifica e la gestione dei risultati.

Nella volontà di proseguire sull'impronta di questi primi risultati positivi, nell'ambito del presente Piano Regionale di Contrasto all'Erosione Costiera (PREC), si è operato definendo la gerarchizzazione degli ambiti territoriali all'interno dei quali analizzare la dinamica litoranea e gli effetti, diretti e indiretti, dei cambiamenti climatici sulla base di quanto indicato dalle Linee Guida del Tavolo Nazionale contro l'Erosione Costiera (cosi come suggerito dalle linee guida TNEC).

In questa ottica, a livello regionale, è stata definita una gerarchizzazione della costa che considera:

1) Unità Fisiografiche, in senso stretto, di I ordine o principali, pressoché coincidenti con quelle individuate dal Geoportale Nazionale;
2) Macro-Celle o unità fisiografiche di II ordine o secondarie, pressoché coincidenti con quelle definite dal PAI-coste della Regione Siciliana (2008-2013);
3) Unità Gestionali o di III ordine, quelle specificatamente individuate in questo PRCEC, utilizzando come limiti elementi naturali, grandi e medi porti e punti singolari (TNEC).

Le sub-unità gestionali o di IV ordine, le Micro-Celle Gestionali sono definite da limiti amministrativi o geografici che rimandano alla logica del singolo intervento, limitatamente impattante e che possono essere ascritti ai Piani di Utilizzo del Demanio Marittimo, che ogni comune costiero è tenuto a fare e ad aggiornare ogni 3 anni, ma soprattutto che devono superare l'attuale livello "amministrativo" divenendo un

elemento tecnico di base nella logica di un processo pianificatorio a livello regionale.

Nella già citata Tabella 5.II sono sintetizzate le definizioni sopra elencate associate ad altre definizioni in gran parte equivalenti e a elementi, parametri e ambiti di riferimento.

Come già detto, le Unità Fisiografiche sono quegli ambiti territoriali costieri all'interno dei quali si compiono e si esauriscono le interazioni naturali e le diverse reazioni di causa ed effetto di origine antropica che definiscono la dinamica litorale. La diversa gerarchia di classificazione mira a definire un decrescente grado di naturalità e una maggiore influenza delle opere antropiche, passando così dal livello della pianificazione a quello della gestione e del monitoraggio. Per tale ragione con la definizione di unità fisiografica costiera principale si vuole conservare un riferimento "all'ambito costiero naturale"; questa differisce da quelle secondaria e terziaria solo per la presenza di "limiti artificiali più o meno importanti"; mentre l'ultima prende in considerazione la gestione operativa degli specifici tratti di costa dei diversi comuni.

Parafrasando il TNEC, ma riportandolo alla logica dimensionale dell'Isola che, da sola, con il suo perimetro costiero si pone a metà, in Europa, dopo l'Olanda e prima dell'Estonia, questa gerarchizzazione degli ambiti costieri è basata sul concetto che grandi opere e importanti fenomeni idrodinamici possono avere influenza a scala di unità fisiografica costiera principale o secondaria, mentre interventi di difesa del litorale hanno influenza a una scala di unità gestionale costiera (Cella), mentre la gestione stagionale, gli interventi manutentivi e il relativo monitoraggio deve essere considerato a livello di ambito municipale, inquadrandolo all'interno del PUDM.

Nei primi due ambiti territoriali, il I e il II, Unità Fisiografiche e Macro-Celle (le UF del PAI-coste), andremo a definire tutti quegli input naturali che definiscono e diversificano i vari tratti di costa, comprendendo tra essi: la geologia, la geomorfologia che la sottendono, nonché il regime dei corsi d'acqua e il loro apporto liquido e solido al budget sedimentario costiero e in ultimo, ma non meno importanti, il clima d'onda che domina il paraggio, definendo in loro funzione la riattivazione della rete ondametrica regionale. A questo livello deve essere riferito anche il piano per la gestione delle risorse strategiche quali i Depositi di Sedimenti Marini Remoti (DSMR).

A livello dell'Unità Gestionale (III ordine), deve essere definita la pianificazione per la difesa della costa, le unità costiere gestionali sono ambiti limitati in cui si effettuano studi specifici per la progettazione di interventi di difesa della costa, di opere marittime o di attività di gestione dei sedimenti che possono determinare interferenze nella dinamica costiera limitatamente allo stesso ambito.

A livello di Micro-Cella (IV ordine), l'unico che non ha limiti necessariamente fisici, ma generalmente amministrativi, compete l'onere del monitoraggio e quello degli interventi sia di tipo ciclico o gestionale, generalmente entrambi caratterizzati da una forte stagionalità. Nella fattispecie, si è fatto riferimento ai 115 + 8 (isole minori) comuni costieri.

Per quanto concerne il territorio siciliano, le UF di I ordine sono state selezionate tra quelle definite nel Geoportale Nazionale e che coincidono con i limiti di quelle del PAI. Per quelle non coincidenti è stata adottata la definizione di "ambito costiero naturale", in quanto ambito originario, secondo le direttive delle Linee Guida TNEC, e rinumerate, in senso orario, a partire da Capo San Ranieri che di fatto

è un elemento morfologico naturale all'interno del quale è ubicato il porto di Tremestieri (ME).

Per quanto concerne le UF del II ordine, le stesse sono state fatte coincidere con quelle del PAI (2005). E ciò anche per mantenere una continuità e una memoria delle azioni già portate avanti dallo stesso PAI.

Nel dettaglio, le unità fisiografiche di I ordine sono state ridefinite come riportato in Tabella 5.III e rappresentate in Figura 5.3, confrontandole con le UF definite dal Geoportale Nazionale e dal PAI (2005).

Tabella 5.III Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di I ordine per il PRCEC della Regione Sicilia.

UNITA' FISIOGRAFICA I ordine	**Limiti PRCEC**
1	Capo San Ranieri – Porto di Catania
2	Porto di Catania – Punta Castelluccio
3	Punta Castelluccio – Isola delle Correnti
4	Isola delle Correnti – Capo San Marco
5	Capo San Marco – Capo Feto
6	Capo Feto – Capo San Vito
7	Capo San Vito – Capo Mongerbino
8	Capo Mongerbino – Capo d'Orlando
9	Capo d'Orlando – Capo Milazzo
10	Capo Milazzo – Capo San Ranieri
11	Arcipelago delle Pelagie
12	Isola di Pantelleria
13	Arcipelago delle Egadi
14	Isola di Ustica
15	Arcipelago delle Eolie

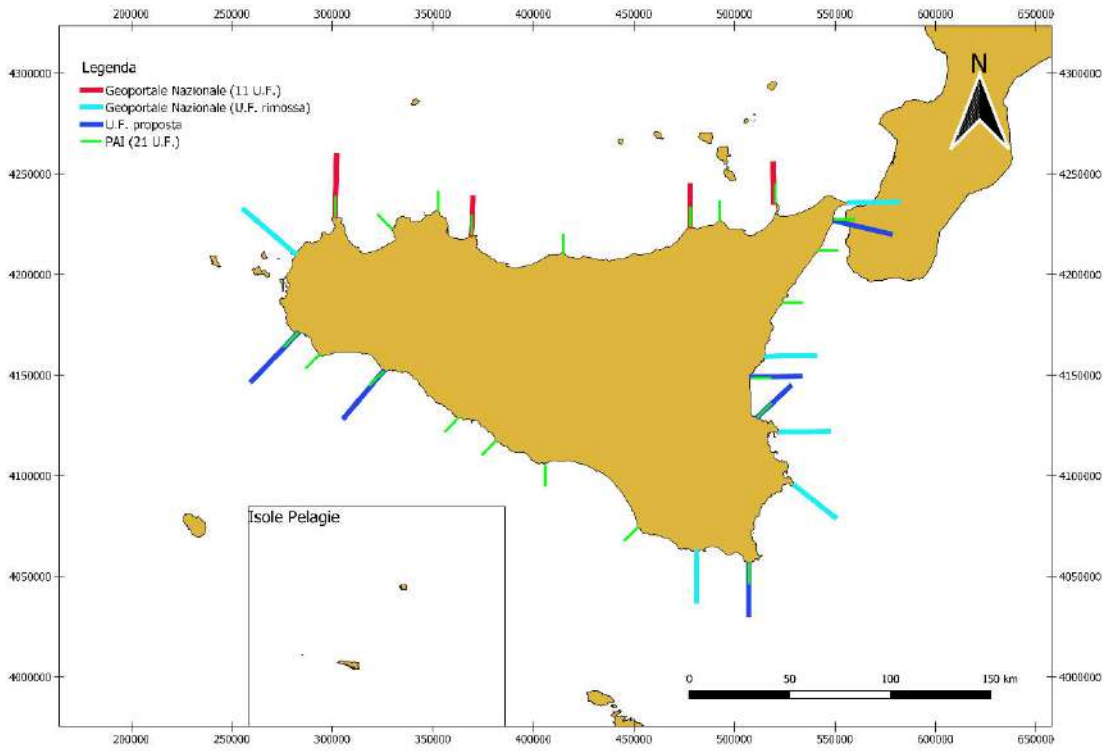


Figura 5.3 Unità fisiografiche di I ordine proposte per il PRCEC e confronto con le UF definite dal Geoportale Nazionale e dal PAI (2005).

In Figura 5.4 e in Figura 5.5, sono riportate rispettivamente le UF di I ordine e di II ordine proposte per il PRCEC.

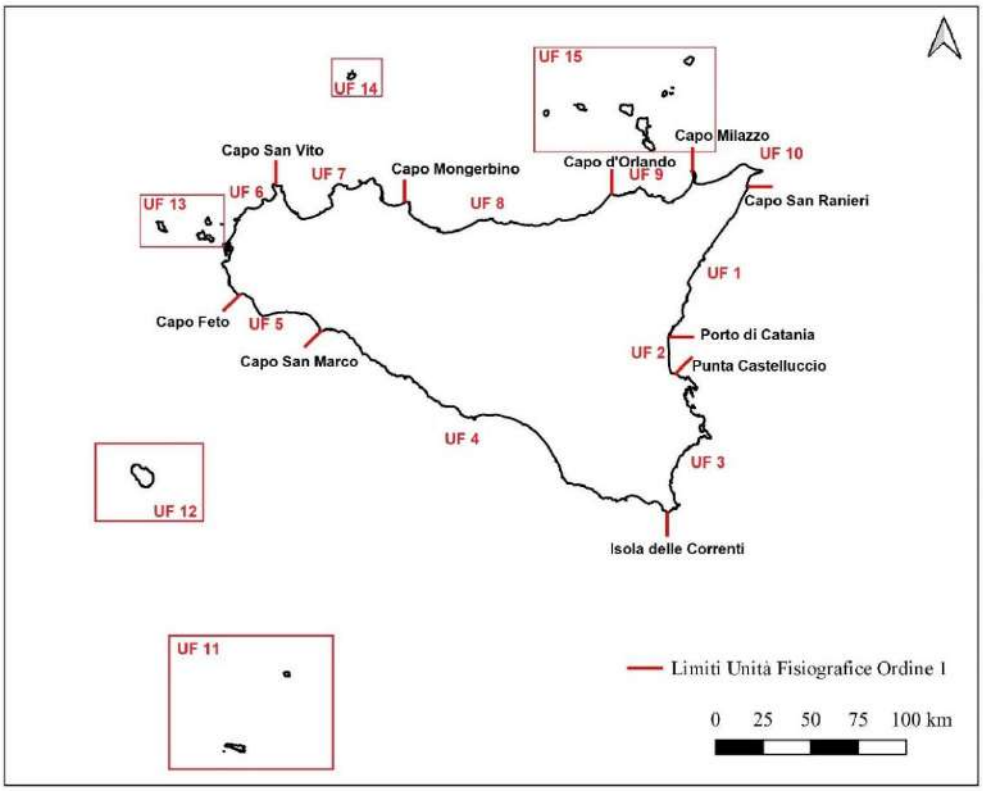


Figura 5.4 Unità fisiografiche di I ordine proposte per il PRCEC.

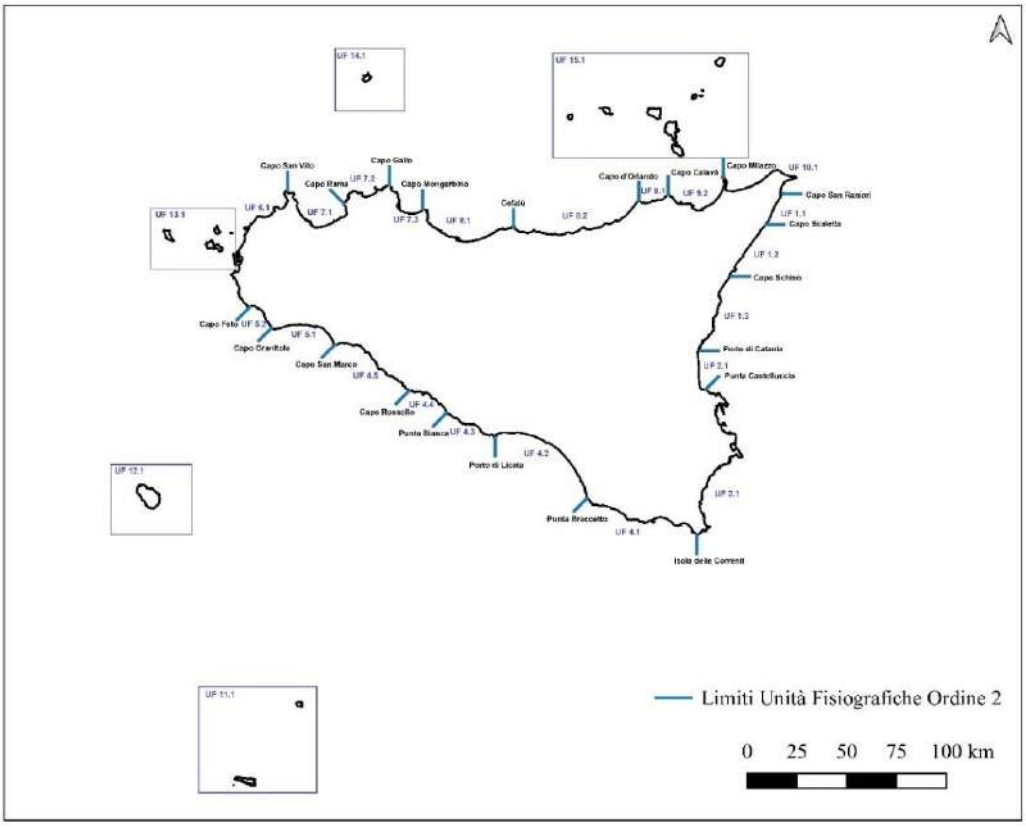


Figura 5.5 Unità fisiografiche di II ordine proposte per il PRCEC.

Le UF di III ordine proposte sono descritte in dettaglio dalla Tabella 5.IV alla Tabella 5.XVIII, sulla base della UF di I ordine di riferimento.

Tabella 5.IV Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 1 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 1.1 Capo San Ranieri –Capo Scaletta	1.1.1 Capo San Raineri – Capo Scaletta	Falce esterna (da Capo san Raineri al T. Taglialegne) Maregrosso – Contesse (da T. Taglialegne a Porto Tremestieri N) Galati (da Porto Tremestieri N a T. Briga) S. Margherita - Giampilieri(da T. Briga a Capo Scaletta)	Messina pp
UF 1.2 Capo Scaletta – Capo Schisò	1.2.1 Capo Scaletta – Capo Sant'Alessio	Spiaggia di Scaletta e di Itala "marine" Spiaggia di Alì Terme Spiaggia di Nizza di Sicilia e Roccalumera Spiaggia di Furci Spiaggia di Santa Tersa Riva Spiaggia di Sant'Alessio	Scaletta Zanclea, Itala, Alì Terme, Nizza di Sicilia, Roccalumera, Furci Siculo, Santa Teresa di Riva, Sant'Alessio Siculo pp
	1.2.2 Capo Sant'Alessio – Capo Sant'Andrea	Spiaggia di Forza d'Agrò, Letojanni e Mazzeo (Taormina)	Sant'Alessio Siculo pp, Forza d'Agrò, Letojanni e Taormina pp.
	1.2.3 Capo Sant'Andrea – Capo Schisò	Due pocket beaches dell'Isola Bella (Taormina) Spiagge di Villagonia (Taormina) e Giardini Naxos	Taormina pp. e Giardini Naxos pp
UF 1.3 Capo Schisò – Porto di Catania	1.3.1 Capo Schisò – Porto di Riposto	Spiaggia di Recanati (Giardini Naxos) Spiaggia di Fiumefreddo e Fondachello (Giarre)	Giardini Naxos pp., Calatabiano, Fiumefreddo di Sicilia, Mascali, Riposto pp.
	1.3.2 Porto di Riposto – Porto di Catania	Costa rocciosa con pocket beach	Riposto pp, Acireale, Aci Castello, Catania pp

Tabella 5.V Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 2 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 2.1 Porto di Catania - Punta Castelluccio	2.1.1 Porto di Catania – Punta Castelluccio	Spiaggia della Plaia Spiaggia di Vaccarizzo, San Leonardo e Agnone	Catania, Carlentini, Augusta

Tabella 5.VI Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 3 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 3.1 Punta Castelluccio - Isola delle Correnti	3.1.1 Punta Castelluccio– Capo Santa Panagia	Costa rocciosa	Augusta, Melilli, Priolo, Gargallo, Siracusa
	3.1.2 Capo Santa Panagia – Faro di Punta Castelluccio	Porto di Augusta Due spiagge di Priolo Costa rocciosa a N di Siracusa Baia di Siracusa	Siracusa
	3.1.3 Faro di Punta Castelluccio–Punta Murro di Porco	Riserva del Plemmirio	Siracusa
	3.1.4 Capo Murro di Porco – Capo Passero	Costa rocciosa con pocket beach Spiaggia Lido di Noto Costa rocciosa con pocket beach Spiaggia di San Lorenzo Costa rocciosa con pocket beach	Siracusa, Avola, Noto, Pachino, Portopalo di Capo Passero
	3.1.5 Capo Passero – Isola delle Correnti	Spiaggia di Portopalo di Capo Passero	Portopalo di Capo Passero

Tabella 5.VII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 4 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 4.1 Isola delle Correnti – Punta Braccetto	4.1.1 Isola delle Correnti – Punta Castellazzo	Spiaggia della punta Spiaggia di mezzo (pocket beach con posidonia) Spiaggia con duna pocket beach Spiaggia costa dell'ambra Falesia Spiaggia di Granelli Falesia con pocket beach	Portopalo di Capo Passero pp, Pachino, Ispica pp
	4.1.2 Punta Castellazzo – Porto di Pozzallo	Spiaggia Santa Maria del Focallo Spiagge Gabbiano – Pietre Nere Spiaggia Pozzallo E Spiaggia Pozzallo Ovest	Ispica pp, Pozzallo pp
	4.1.3 Porto di Pozzallo – Punta Braccetto	Maganuco Marina di Modica Spiaggia della Fornace Penna Costa di Carro Costa alta Cava d'Aliga Arizza e Spinasanta Spiaggia di Donnalucata Costa rocciosa Foce del Fiume Irminio – Plaia Grande Spiagge di Marina di Ragusa Costa rocciosa Casuzze Caucana Santa Croce Est Santa Croce Ovest Costa rocciosa Spiaggia di Torre di Mezzo Costa rocciosa Spiaggia di Punta Braccetto	Pozzallo pp, Modica, Scicli, Ragusa, Santa Croce Camerina

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 4.2 Punta Braccetto – Porto di Licata	4.2.1 Punta Braccetto – Porto di Gela	Randello Club Med Orchidea nera Scoglitti Macconi – Marina di Acate Gela est	Ragusa, Vittoria, Acate, Gela pp
	4.2.2 Porto di Gela- Porto di Licata	Gela Ovest Femmina Morta, Punta Secca e Lido di Manfria Manfria Ovest Falconara Est e Ovest	Gela pp, Butera, Licata pp
UF 4.3 Porto di Licata – Punta Bianca	4.3.1 Porto di Licata – Punta Bianca	Tre spiagge a ovest del porto Costa alta Mollarella Est Mollarella Ovest Costa alta Spiaggia di Torre San Nicola Costa alta 1 spiaggia Spiaggia di Gaffe Costa alta con pocket beach	Licata pp, Palma di Montechiaro
UF 4.4 Punta Bianca – Capo Rossello-	4.4.1 Punta Bianca – Porto di Porto Empedocle	Costa alta con pocket beach e limitate spiagge lineari Spiaggia di Marina di Palma Costa alta	Agrigento, Porto Empedocle pp
	4.4.2 Porto di Porto Empedocle – Capo Rossello	Due spiagge Complesso della Scala dei Turchi con pocket beach	Porto Empedocle pp, Realmonte pp
UF 4.5 Capo Rossello— Capo San Marco	4.5.1 Capo Rossello – Capo San Marco	Coste alte con spiagge e pocket beach Spiaggia di Siculiana Spiagge sottese da costa alta Spiaggia di Cattolica Eraclea	Realmonte pp, Siculiana, Montallegro, Cattolica Eraclea, Ribera, Sciacca pp

Tabella 5.VIII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 5 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF .5.1 Capo San Marco – Capo Granitola	5.1.1 Capo San Marco – Capo Granitola		Sciacca, Menfi, Castelvetrano, Campobello di Mazara
UF 5.2 Capo Granitola– Capo Feto	5.2.1 Capo Granitola – Porto di Mazara del Vallo		Campobello di Mazara, Mazara del Vallo
	5.2.2 Porto di Mazara del Vallo – Capo Feto		Mazara del Vallo

Tabella 5.IX Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 6 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 6.1 Capo Feto – Capo San Vito	6.1.1 Capo Feto – Capo Lilibeo		Mazara del Vallo, Petrosino, Marsala
	6.1.2 Capo Lilibeo– Porto di Trapani		Marsala, Paceco, Trapani
	6.1.3 Porto di Trapani – Capo San Vito	Costa rocciosa con POCKET BEACH	Trapani, Erice, Valderice, Custonaci, San Vito Lo Capo

Tabella 5.X Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 7 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 7.1 Capo San Vito – Capo Rama	7.1.1 Capo San Vito – Torre dell'Usciere	pocket beach di San Vito lo Capo	San Vito Lo Capo
	7.1.2 Torre dell'Usciere - Porto di Castellammare del Golfo	Riserva dello Zingaro con pocket beach Spiagge di Castellammare e Balestrate	San Vito Lo Capo, Castellammare del Golfo, Balestrate
	7.1.3 Porto di Castellammare – Capo Rama	Costa rocciosa con pocket beach	Castellammare del Golfo, Alcamo, Balestrate, Trappeto, Terrasini
UF 7.2 Capo Rama – Capo Gallo	7.2.1 Capo Rama – Torre Muzza	Costa rocciosa con pocket beach	Terrasini, Cinisi, Carini
	7.2.2 Torre Muzza – Punta del Passaggio	Costa Rocciosa Spiaggia di Villagrazia di Carini, Capaci e Isola delle Femmine	Carini, Capaci, Isola delle Femmine
	7.2.3 Punta del Passaggio – Capo Gallo	Costa rocciosa con pocket beach	Isola delle Femmine, Palermo
UF 7.3 Capo Gallo – Capo Mongerbino	7.3.1 Capo Gallo – Capo Mongerbino	Costa rocciosa con la pocket beach di Mondello	Palermo
	7.3.2 Punta di Priola – Capo Mongerbino	Spiagge di Palermo Ficarazzi e Aspra	Palermo, Ficarazzi, Aspra, Bagheria

Tabella 5.XI Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 8 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 8.1 Capo Mongerbino – Cefalù	8.1.1 Capo Mongerbino – Porto di Termini Imerese	Costa rocciosa con spiagge	Bagheria, Santa Flavia, Casteldaccia, Altavilla Milicia, Trabia, Termini Imerese
	8.1.2 Porto di Termini Imerese - Cefalù	Spiaggia di Termini Spiaggia di Campofelice di Roccella Spiaggia di Lascari e Cefalù	Termini Imerese, Campofelice di Roccella, Lascari, Cefalù
UF 8.2 Cefalù – Capo d'Orlando	8.2.1 Capo Cefalù - futuro Porto di Santo Stefano di Camastra	Costa rocciosa Spiagge di Santo Stefano, Caronia e Acquedolci	Cefalù, Pollina, San Mauro Castelverde, Tusa, Motta d'Affermo, Reitano, Santo Stefano di Camastra
	8.2.2 Porto di Santo Stefano di Camastra (futuro) – Porto di Sant'Agata di Militello	Spiagge di c.da Aria e c.da Abbate Spiagge di Canneto, di c.da Piana Foce del torrente Caronia Spiaggie di c.da Saporita, di Caronia, di c.da Chiappe, di Piano Perticone, di Piano Pirrera, di Piano Pampazzo Torre del Lauro Foce torrente Furiano Spiaggia di Acquedolci	Santo Stefano di Camastra, Caronia, Acquedolci, Sant'Agata di Militello
	8.2.3 Porto di Sant'Agata di Militello – Capo d'Orlando	Spiaggia di Sant'Agata e di Giannola Foce del Torrente Rosmarino Spiaggia di Torrenova e di C.da Mandria Spiaggia di Vina Galeotta, di Forno, di S. Lucia Spiaggia di Capo d'Orlando	Sant'Agata di Militello, Torrenova, Capo d'Orlando

Tabella 5.XII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 9 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 9.1 Capo d'Orlando – Capo Calavà	9.1.1 Capo d'Orlando – Capo Calavà	Porto di Capo d'Orlando Testa di Monaco Spiaggia di Naso Foce Fiumara di Naso Spiaggia Gliaca Torre delle Ciavole Spiaggia di Calanovella Spiaggia di Gioiosa Marea	Capo d'Orlando, Naso, Brolo, Piraino, Gioiosa Marea
UF 9.2 Capo Calavà – Capo Milazzo	9.2.1 Capo Calavà – Capo Milazzo	Spiaggia di San Giorgio e di Saliceto Spiaggia di Patti, di c.da Praia Foce Torrente Timeto Spiaggia di Mongiove pocket beach di Capo Tidari e Lingua di Sabbia di Marinello Spiaggia di Oliveri Spiaggia di Falcone Spiaggia di Furnari Porto Rosa Spiaggia di Acquitta Foce Torrente Mazzarrà Lido Marchesana Foce Torrente Termini Spiaggia di c.da Battifoglia e di Calderà Spiaggia di Torretta Spiaggia S. Papino Spiaggia dell'Agonia pocket beach della Penisola di Milazzo Ovest	Gioiosa Marea, Patti, Oliveri, Falcone, Furnari, Terme Vigliatore, Barcellona Pozzo di Gotto, Milazzo

Tabella 5.XIII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 10 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 10.1 Capo Milazzo – Capo San Ranieri	10.1.1 Capo Milazzo – Capo Rasocolmo	pocket beach della Penisola di Milazzo Est	Milazzo, San Filippo del Mela, Pace del Mela, San Pier Niceto, Monforte San Giorgio, Torregrotta, Valdina, Venetico, Spadafora, Rometta, Saponara, Villafranca Tirrena, Messina
	10.1.2 Capo Rasocolmo – Capo San Ranieri		Messina

Tabella 5.XIV Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 11 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 11.1 Lampedusa, Linosa, Lampione	11.1.1 Lampedusa		Lampedusa, Linosa
	11.1.2 Linosa, Lampione		Lampedusa, Linosa

Tabella 5.XV Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 12 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 12.1 Isola di Pantelleria	12.1.1 Isola di Pantelleria		Pantelleria

Tabella 5.XVI Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 13 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 13.1 Favignana, Levanzo, Marettimo	13.1.1 Isola di Favigana		Favigana
	13.1.2 Isola di Levanzo		Favigana
	13.1.3 Isola di Marettimo		Favigana

Tabella 5.XVII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 14 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
			Ustica

Tabella 5.XVIII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 15 per il PRCEC.

UF II ordine	UF III ordine	Tratti di costa/spiaggia	Comuni
UF 15.1Lipari, Vulcano, Stromboli, Panarea, Filicudi, Alicudi, Salina	15.1.1 Isola di Lipari		Lipari
	15.1.2 Isola di Vulcano		Lipari
	15.1.3 Isola di Stromboli		Lipari
	15.1.4 Isola di Panarea		Lipari
	15.1.5 Isola di Filicudi		Lipari
	15.1.6 Isola di Alicudi		Lipari
	15.1.7 Isola di Salina		Santa Marina Salina, Malfa, Leni

5.3 Delimitazione della fascia costiera fino alla profondità di chiusura

Il problema della delimitazione della fascia costiera, all'interno della quale si applicano le azioni proposte dal presente PRCEC, deve essere affrontato sia sotto il profilo fisico, tenendo conto della complessa dinamica che si realizza all'interno di questa zona di interazione tra il mare e la terraferma, sia sotto quello amministrativo.

Sotto il profilo dei fenomeni idro-morfodinamici che si realizzano lungo le coste, bisogna certamente distinguere il caso delle coste basse, dove le spiagge presentano una intensa dinamicità su tempi scala relativamente brevi (e.g. durata delle mareggiate, variazioni stagionali della linea di riva, etc.), e quello delle coste alte, in cui i tempi di evoluzione della linea di costa sono estremamente più lunghi, ma in cui le variazioni possono avvenire in maniera fortemente discontinua anche a seguito di fenomeni parossistici, quali per esempio crolli di porzione di parete ovvero eventi sismici.

Con riferimento alle spiagge, poi, le caratteristiche geomorfologiche e idrodinamiche dei siti rendono la definizione della fascia costiera piuttosto complessa. In particolare, la Figura 5.6 mostra come la fascia costiera si estenda dalla zona in cui il moto ondoso, propagandosi dal largo alla riva, inizia a interagire in maniera significativa con il fondale, ovvero dalla cosiddetta profondità di chiusura, alla zona di retrospiaggia o backshore, fino al punto in cui si registrano variazioni topografiche e/o geomorfologiche importanti.

Si comprende, quindi, come la definizione e la delimitazione della fascia costiera non possa prescindere da considerazioni sull'intrinseca dinamicità di tale zona e non possa, altresì, essere rigidamente legata a misure standard, che risultano certamente efficienti dal punto di vista amministrativo, ma rischiano di non tenere adeguatamente conto delle peculiarità locali dei litorali.

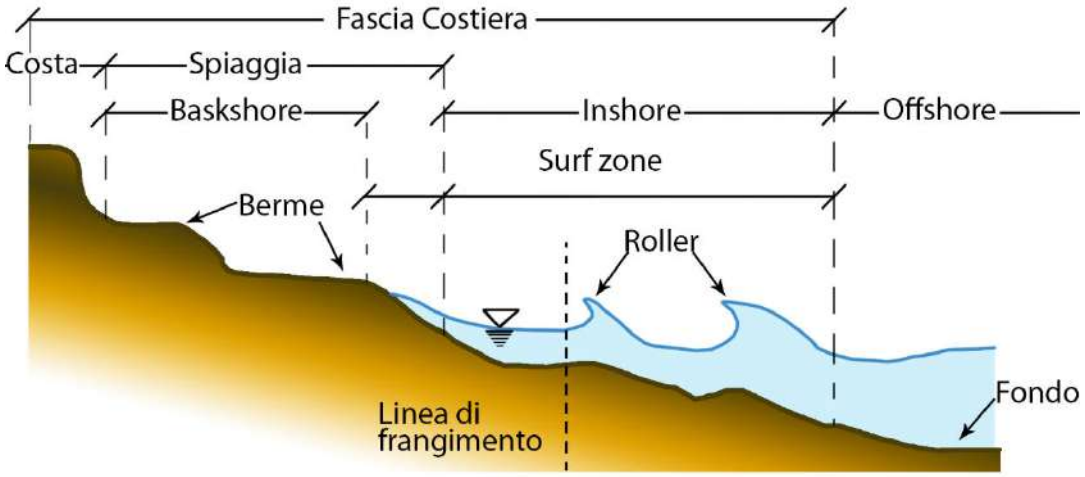


Figura 5.6 Delimitazione trasversale della fascia costiera ed elementi morfologici caratteristici.

Dal punto di vista amministrativo, a livello nazionale, la fascia costiera viene limitata ai primi 300 m dalla linea di costa, in quanto tale zona è da sottoporre a vincolo paesaggistico, in base alla Legge 8 agosto 1985 n. 431 (c.d. Legge Galasso). D'altro canto, in Sicilia, la Legge Regionale 12/06/1976, n. 78 - Provvedimenti per lo sviluppo del turismo in Sicilia, all'art. 15 definisce una fascia di rispetto di 150 m dalla battigia, per cui: "le costruzioni debbono arretrarsi di metri 150 dalla battigia; entro detta fascia sono consentite opere ed impianti destinati alla diretta fruizione del mare, nonché la ristrutturazione degli edifici esistenti senza alterazione dei volumi già realizzati".

Più recentemente, in vista dell'adozione della disciplina relativa alle concessioni demaniali, il Decreto Legislativo 19 giugno 2015 n. 78, convertito in legge 6 agosto 2015 n. 125 all'art. 7 comma 9-septiesdecies, prevede che "in previsione dell'adozione della disciplina relativa alle concessioni demaniali marittime, le regioni, entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto, operano una ricognizione delle rispettive fasce costiere, finalizzata anche alla proposta di revisione organica delle zone di demanio marittimo ricadenti nei propri territori".

Il Decreto Assessoriale 319/GAB del 05/08/2016 - Piani di utilizzo delle aree demaniali marittime (PUDM), all'art. 8 prevede che i comuni costieri effettuino una ricognizione della fascia demaniale di competenza ed elaborino una proposta di revisione delle aree del demanio marittimo che ricadono nel proprio territorio.

Sempre con riferimento alla definizione di una fascia di rispetto, le Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici (MATTM-Regioni, 2018) così sintetizzano i riferimenti normativi di cui tener conto:

- il DL 19 giugno 2015 n. 78, secondo cui la dividente demaniale, attualmente rappresentata nel Sistema Informativo del Demanio Marittimo (SID), probabilmente non assolve più in molti casi al dettato dell'art. 28 del Codice della Navigazione;
- l'art. 55 del Codice della Navigazione, che, anticipando un controllo della zona costiera oltre il demanio marittimo, sottopone le "nuove opere in prossimità del demanio marittimo, entro una zona di trenta metri dalla linea demaniale, all'autorizzazione del capo del compartimento";
- la Direttiva Alluvioni (2007/60), che richiede la perimetrazione delle aree che possono essere interessate da alluvioni, anche marine, secondo scenari di scarsa, media ed elevata probabilità di accadimento;
- l'art. 8 del "Protocollo sulla gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo", uno dei 7 protocolli della Convenzione di Barcellona, che, di fatto, tratta di una sorta di "fascia di rispetto" costiera che potrà essere rappresentata in gran parte dalle zone costiere di cui ai punti precedenti (l'art.8 definisce una zona costiera di inedificabilità per nuove opere della larghezza minima di 100 metri dalla "linea delle più alte acque invernali").

Su tali basi, le Linee Guida suggeriscono di istituire una zona denominata "fascia di rispetto" come l'inviluppo delle seguenti zone:

- il demanio marittimo;
- la zona di 30 metri dal demanio marittimo definita dall'art.55 del Codice della Navigazione;
- la zona definita dal tempo di ritorno di 100 anni, di cui alla Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 – D.Lgs. 219/2010, relativa agli alle aree alluvionabili per eventi di mareggiate estreme, aventi appunto Tr=100 anni.

Si comprende come una tale definizione consenta di tener conto degli effetti dinamici che si realizzano durante la complessa interazione terra-mare e delle peculiarità specifiche di ciascuna unità fisiografica o ambito costiero. Tuttavia, se da un lato la definizione sopra riportata di "fascia di rispetto" consente di risolvere il problema della delimitazione della fascia costiera lato-terra, essa appare monca nella definizione del limite lato-mare. Infatti, come è noto, i processi costieri, relativi all'interazione tra il mare e la costa, al trasporto solido litoraneo e ortogonale alla linea di riva, ai fenomeni di dissesto e di erosione dei litorali, non si limitano alla spiaggia emersa ma interessano anche una porzione sommersa della fascia costiera che si estende dalla linea di riva fino alla cosiddetta profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso.

La letteratura tecnica definisce la profondità di chiusura come quella profondità, definita per un preciso intervallo temporale, che rappresenta la profondità più prossima alla riva, al largo della quale non si registrano modifiche significative della quota del fondale né trasporto solido significativo tra le zone costiere e il largo.

In questa sede, in analogia con la definizione di ambiti costieri e unità fisiografiche fornita dalle Linee Guida TNEC (MATTM-Regioni, 2018), si può considerare cautelativamente di assumere un valore di 100 anni come tempo di ritorno per la profondità di chiusura, che

potrebbe per esempio essere assunta pari alla profondità al frangimento all'interno dell'unità fisiografica di I ordine. Tuttavia, la valutazione di tale profondità richiede una conoscenza di dettaglio delle batimetrie in un dato sito, ottenibile mediante la realizzazione di apposite campagne di misura batimetriche che in questa fase non sono disponibili. In alternativa, è possibile definire la profondità di chiusura h_c sulla base della sola analisi del moto ondoso al largo, per esempio grazie alla formula di Hallermeier (1978):

$$h_c = 2.28H_{s,12} - 68.5\frac{H_{s,12}^2}{gT_{s,12}^2}$$

dove $H_{s,12}$ e $T_{s,12}$ sono rispettivamente l'altezza d'onda significativa dell'onda morfologica che viene superata per 12 ore all'anno e il periodo d'onda corrispondente, mentre g è l'accelerazione di gravità.

I valori relativi all'altezza d'onda e al periodo dell'onda morfologica e alla profondità di chiusura sono forniti in Tabella 5.XIX per ogni unità fisiografica del I ordine.

Tabella 5.XIX Altezza d'onda $H_{s,12}$ e periodo $T_{s,12}$ dell'onda morfologica e profondità di chiusura h_c per ogni unità fisiografica del I ordine.

UF I ordine	**Limiti UF**	**Identificativo punto**	$H_{s,12}$ [m]	$T_{s,12}$ [s]	h_c [m]
1	Capo San Ranieri – Porto di Catania	1.A	3.53	9.74	7.13
1	Capo San Ranieri – Porto di Catania	1.B	3.89	10.28	7.87
2	Porto di Catania - Punta Castelluccio	2.A	3.73	10.19	7.56
3	Punta Castelluccio - Isola delle Correnti	3.A	4.46	10.07	8.80
3	Punta Castelluccio - Isola delle Correnti	3.B	4.28	9.98	8.47
3	Punta Castelluccio - Isola delle Correnti	3.C	5.14	9.98	9.87
4	Isola delle Correnti – Capo San Marco	4.A	4.89	10.40	9.60
4	Isola delle Correnti – Capo San Marco	4.B	4.67	10.34	9.23
4	Isola delle Correnti – Capo San Marco	4.C	4.85	10.85	9.65
4	Isola delle Correnti – Capo San Marco	4.D	4.91	10.83	9.76
4	Isola delle Correnti – Capo San Marco	4.E	4.93	10.48	9.69
5	Capo San Marco – Capo Feto	5.A	4.93	10.46	9.69
5	Capo San Marco – Capo Feto	5.B	5.20	10.50	10.15
6	Capo Feto – Capo San Vito	6.A	5.35	10.82	10.49
6	Capo Feto – Capo San Vito	6.B	5.25	10.62	10.27
7	Capo San Vito – Capo Mongerbino	7.A	5.16	10.54	10.09
7	Capo San Vito – Capo Mongerbino	7.B	5.06	10.38	9.88
7	Capo San Vito – Capo Mongerbino	7.C	4.92	10.47	9.68
8	Capo Mongerbino – Capo d'Orlando	8.A	4.12	9.86	8.17
8	Capo Mongerbino – Capo d'Orlando	8.B	4.46	10.39	8.87
9	Capo d'Orlando – Capo Milazzo	9.A	4.71	10.18	9.25
9	Capo d'Orlando – Capo Milazzo	9.B	4.26	10.12	8.48
10	Capo Milazzo – Capo San Ranieri	10.A	4.21	9.48	8.22
11	Arcipelago delle Pelagie	11.A	5.39	10.24	10.36
11	Arcipelago delle Pelagie	11.B	5.37	10.24	10.32
11	Arcipelago delle Pelagie	11.C	5.29	10.23	10.20
11	Arcipelago delle Pelagie	11.D	5.30	10.10	10.16
11	Arcipelago delle Pelagie	11.E	5.12	9.76	9.75
11	Arcipelago delle Pelagie	11.F	4.44	9.64	8.65
11	Arcipelago delle Pelagie	11.G	4.80	9.60	9.20
11	Arcipelago delle Pelagie	11.H	4.86	9.85	9.38
12	Isola di Pantelleria	12.A	5.77	10.81	11.17
12	Isola di Pantelleria	12.B	4.52	10.11	8.91
12	Isola di Pantelleria	12.C	5.47	10.73	10.66
12	Isola di Pantelleria	12.D	5.75	10.74	11.11
13	Arcipelago delle Egadi	13.A	5.43	10.54	10.53
13	Arcipelago delle Egadi	13.B	5.77	10.68	11.12
14	Isola di Ustica	14.A	5.39	10.71	10.52
14	Isola di Ustica	14.B	5.37	10.64	10.47

UF I ordine	Limiti UF	Identificativo punto	$H_{s,12}$ [m]	$T_{s,12}$ [s]	h_c [m]
14	Isola di Ustica	14.C	5.36	10.82	10.51
14	Isola di Ustica	14.D	5.37	10.49	10.41
15	Arcipelago delle Eolie	15.A	5.09	10.38	9.92
15	Arcipelago delle Eolie	15.B	4.86	10.32	9.54
15	Arcipelago delle Eolie	15.C	5.18	10.26	10.03
15	Arcipelago delle Eolie	15.D	5.19	10.67	10.18

6 Implementazione di un WebGIS per le finalità del Piano

6.1 Definizione del GIS in funzione della realizzazione di un WebGIS

Un GIS (Geographical Information System), conosciuto in Italia anche come SIT (Sistema Informativo Territoriale), è un sistema informatico (hardware e software) disegnato per la memorizzazione ed il processamento di dati geografici nelle modalità grafica ed analitica.

I sistemi GIS consentono di arricchire la cartografia di tutte le suggestioni derivanti dall'analisi delle differenti componenti che interessano lo spazio dato, diventando così strumento fondamentale per valutare, analizzare e rappresentare ogni tipo di fenomeno spaziale.

L'acquisizione della consapevolezza del significato di dato geografico ha permesso all'uomo, nel corso dei secoli, di arrivare alla cognizione di *informazione geografica* e di concretizzarla attraverso la formulazione dei costrutti mentali necessari alla sua rappresentazione.

Il dato geografico presenta caratteristiche specifiche rispetto agli altri tipi di dati perché l'informazione che contiene è caratterizzata da una specifica posizione nello spazio e, volendo, anche nel tempo. Il dato geografico è costituito dall'insieme di coordinate geografiche, dal valore numerico del dato stesso, dalla posizione che occupa nel tempo, dagli attributi, etc. Associando ad una semplice coppia di coordinate geografiche una serie di altri valori numerici, alfanumerici, statistici, il dato geografico si trasforma in informazione, che viene rappresentata su una mappa per mezzo delle tecnologie offerte dai GIS.

L'uso dell'informazione geografica e della sua rappresentazione sul territorio tramite mappe si è rivelato nel tempo uno strumento

insostituibile per conoscere, descrivere, controllare, visualizzare i vari aspetti del mondo circostante.

Le attuali tecnologie GIS hanno offerto l'opportunità di poter manipolare quantità elevate di informazioni geografiche, razionandole al territorio e rivelando così importanti aspetti legati a problemi chiave che sarebbero rimasti nascosti in una forma di rappresentazione statica e non dinamico – geografica.

Durante l'ultimo decennio l'interesse suscitato dalla scienza dell'informazione geografica ed il successo ottenuto dalle tecnologie GIS hanno fortemente incentivato lo sviluppo di nuovi campi di applicazione, favorendo la messa a punto di nuove tecnologie hardware e software, atte a soddisfare le più svariate richieste provenienti sia dal mondo della ricerca scientifica che da quello delle politiche territoriali ed ambientali.

La grande quantità e diversità di sistemi software e hardware nel settore GIS è spiegata dalla varietà dei fenomeni e delle situazioni che questi sistemi sono chiamati a rappresentare e gestire, grazie alla loro versatilità, che li ha resi uno strumento indispensabile per la gestione ed il monitoraggio delle diverse componenti ambientali che coinvolgono il territorio.

I GIS costituiscono una tipologia di software capace di analizzare, per uno spazio dato, le caratteristiche che vengono descritte da dati geografici congiuntamente ad altre che necessitano di dati alfanumerici.

Una delle caratteristiche peculiari che distinguono un software GIS da altri software geografici (in particolare dai software CAD) è proprio la capacità di utilizzare in modo integrato dati geografici e dati alfanumerici, lavorando con database spaziali sui quali operare analisi di vario tipo e complessità. Sinteticamente si può dire che i CAD sono strumenti che, lavorando esclusivamente su informazioni geografiche,

sono utili per la rappresentazione geometrica della realtà; i GIS, invece, sono strumenti per analizzare ed interpretare la realtà.

6.2 Tipi di informazioni utilizzabili mediante GIS

Caratteristica fondamentale dei sistemi informativi geografici è la possibilità di memorizzare e gestire le caratteristiche di elementi territoriali spazialmente riferiti grazie alle loro coordinate geografiche.

Le informazioni utilizzabili con un GIS sono di tipo vocazionale (indirizzi, codici postali, zone censuarie, fogli catastali, edifici, strutture viarie, etc), di tipo geografico (coordinate e descrizione geometrica di punti, linee e zone o porzioni di territorio) e di tipo tabellare (attributi degli oggetti geografici collocati sul territorio).

Le informazioni di tipo geografico utilizzate nei GIS possono essere codificate in base a due modelli:

Vettoriale: punti, linee e poligoni;

Raster : a griglia o immagini.

Nel formato vettoriale, gli oggetti sono descritti attraverso un sistema di coordinate (x, y) che consente attraverso opportuni sistemi di proiezione e di georeferenziazione, una rappresentazione spaziale. I *punti* possono essere utilizzati per rappresentare oggetti spaziali che hanno una posizione precisa su una mappa. Le *linee* possono essere utilizzate per rappresentare tracciati di confine, curve di livello, barriere, fiumi e possono avere associata anche una direzione. I *poligoni*, infine, sono utilizzati per rappresentare porzioni di territorio, per i quali è rilevante identificarne anche la superficie.

La Figura 6.1mostra la Differenza tra modello vettoriale e raster.

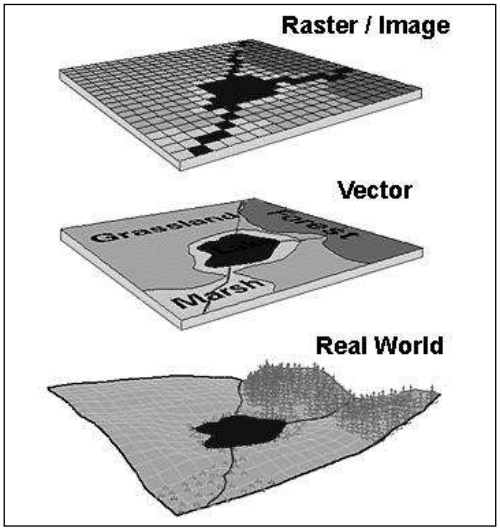


Figura 6.1 Differenza tra modello vettoriale e raster

I dati raster, invece, sono ottenuti suddividendo l'area geografica in una griglia regolare di celle ciascuna contenente un colore od un valore numerico rappresentante una caratteristica della porzione di superficie corrispondente alla cella: tipologia di coperture, tipo di suolo, elevazione media rispetto al livello del mare, etc.

6.3 Elaborazione dei dati

L'utilizzo di un GIS coinvolge aspetti legati alla cartografia (sistemi di coordinate, trasformazioni, acquisizione dei dati, precisione), aspetti informatici (formati, procedure, strutture dati) e conoscenze specialistiche relative al settore di applicazione.

Un primo livello d'elaborazione prevede la realizzazione di cartografia tematica, generalmente finalizzata alla produzione di elaborati di stampa. Le mappe ottenute con i GIS, attraverso l'uso di simboli grafici e di testi, rappresentano le informazioni descritte dagli attributi ai dati spaziali.

Il modo più diffuso per ottenere mappe tematiche è attraverso la costruzione di viste (*view*) che riportano, sui diversi livelli, i diversi tematismi: ogni livello è utilizzato per rappresentare, nella scala scelta, un tipo di oggetti (punti, linee, poligoni) con i simboli appropriati per

descriverli. Attraverso la sovrapposizione di tematismi in un'unica view (*overlay*) si ottengono mappe multi tematiche, che possono essere visualizzate o stampate.

La chiave per effettuare analisi di tipo spaziale è rappresentata dalla possibilità di evidenziare relazioni tra le caratteristiche dei diversi livelli, attraverso operazioni di sovrapposizione spaziale: le relazioni tra gli attributi degli oggetti permettono di selezionare combinazioni o sottoinsiemi di oggetti legati tra loro da tali relazioni.

I software di elaborazione e visualizzazione GIS utilizzabili e attualmente sul mercato sono realizzati come database relazionali le cui *features* (i records) possiedono una componente geografica (*shape*) ed una serie di attributi (tabelle) che codificano le informazioni alfanumeriche e le associano agli oggetti della cartografia vettoriale georeferenziata. Ciò permette di definire la topologia (o geometria), gli attributi e le relazioni con gli altri oggetti del *database*.

La finalità fondamentale dei GIS non è solamente rappresentata dall'acquisizione e gestione dei dati; essi consentono soprattutto di creare nuove informazioni tramite relazioni tra i dati disponibili del database.

Infatti un sistema GIS consente di mettere in relazione tra loro dati diversi, sulla base del loro comune riferimento geografico in modo da creare nuove informazioni a partire dai dati esistenti. Il GIS offre ampie possibilità di interazione con l'utente e una insieme di strumenti che ne facilitano la personalizzazione e l'adattamento alle problematiche specifiche dell'utente.

I sistemi GIS, come già detto, sono costituiti da procedure e strumenti informatici atti a rappresentare in maniera georeferenziata un oggetto che si trova in un determinato punto della Terra. La tecnologia GIS consente di integrare le operazioni tipiche dei database quali la memorizzazione e l'immagazzinamento dei dati, le ricerche e le analisi statistiche, facilitando la lettura e l'interpretazione degli stessi

attraverso la visualizzazione e l'analisi geografica forniti dagli strumenti di disegno cartografico, quindi sotto forma di mappe.

6.4 Dati per le analisi territoriali

6.4.1 Indicatori costieri e GIS

L'utilizzo del GIS è di fondamentale importanza nello studio della gestione costiera, infatti sfruttando le principali capacità dello strumento è possibile rappresentare i singoli parametri che rientrano nella fase di programmazione regionale ed quindi creare un database con tutti i dati di monitoraggio del litorale.

Come già detto, una delle principali capacità dello strumento GIS è quella di sovrapporre diversi strati di dati in modo da ottenere una visione unitaria o scegliere un confronto tra due o più *layers*. Questa caratteristica, seppur semplice, permette in maniera intuitiva di estrapolare maggiori informazioni e raggiungere una migliore consapevolezza informativa. In GIS qualsiasi elemento rappresentato è dotato di un simbolo, di coordinate spaziali che lo rappresentano e di una serie di informazioni numeriche e/o alfanumeriche allegate attraverso uno *shapefile.*

Per il PRCEC sono state utilizzate cartografie raster, vettoriali e ortofoto, che rappresentano gli elementi base su cui inserire le informazioni specifiche. Le diverse tipologie di informazioni hanno permesso di rappresentare su queste cartografie: reticoli idrografici, variazione della linea di costa, opere di difesa costiera, ubicazione dei campioni di spiaggia emersa e sommersa dell'area in esame nei diversi anni di monitoraggio.

Un'altra importante capacità, che costituisce l'elemento chiave del successo e della rapida affermazione dello strumento GIS, è la vasta gamma di simboli che questo offre. La possibilità di associare diverse forme simboliche eleva la capacità di confronto tra i dati e rende tutte

le informazioni tabellari associate agli elementi geografici parte integrante della cartografia.

Il livello più alto della strumentazione GIS è espresso dal *geoprocessing*. Con questo termine vengono indicate le operazioni effettuate per derivare nuove informazioni attraverso l'analisi dei dati disponibili; attraverso le operazioni di geoprocessing si producono informazioni le cui componenti, spaziali e descrittive, sono ottenute dalle rispettive componenti dei dati in input.

Grazie a queste principali capacità, questi strumenti di gestione dei dati geografici, se opportunamente gestiti, si adattano perfettamente alla fase di monitoraggio presente nella pianificazione costiera. Le informazioni di ambito costiero necessitano del reperimento anche bistagionale: granulometrie e ampiezza della spiaggia ad esempio. Soltanto il sistema GIS può permettere di sviluppare carte tematiche "aggiornabili", unico metodo per acquisire le necessarie conoscenze delle dinamiche costiere, legate ad un evoluzione continua.

6.5 Il WebGIS

L'utilizzatore finale di un sistema GIS è di fatto il pianificatore che ha la possibilità di leggere in trasparenza i diversi livelli di informazioni che gli permettono di indirizzare il processo verso una soluzione o un'altra, ma soprattutto gli permettono di inserire quelle chiavi di lettura che possono portare all'evoluzione del piano stesso.

Questo tipo di pianificazione dinamica necessita di due principi irrinunciabili: la trasparenza e l'oggettività.

Per questa ragione è utile trasferire sul Web il sistema, trasformandolo in un WebGIS, in modo che l'utente finale possa, più semplicemente, avere informazioni sulla dinamica degli eventi; talvolta anche al singolo cittadino è data la possibilità di fornire ulteriori informazioni che possono contribuire a formare il data base propedeutico alla pianificazione.

A differenza di un GIS, un WebGIS è pensato e reso accessibile con un numero ridotto di campi di interrogazione e analisi in modo da agevolare la consultazione.

La trasposizione del GIS sul Web permette anche di valutare la percezione di equità che in definitiva è la condizione che determina la qualità della soddisfazione per il servizio offerto.

Per questa ragione un WebGIS deve fornire uno sviluppo semplificato del prodotto iniziale affinché possa essere visualizzato anche da un pubblico non tecnico, consentendo quindi una migliore condivisione e comprensione dei dati, anche complessi.

La Figura 6.2 mostra la rappresentazione schematica del funzionamento di un WEBGIS.

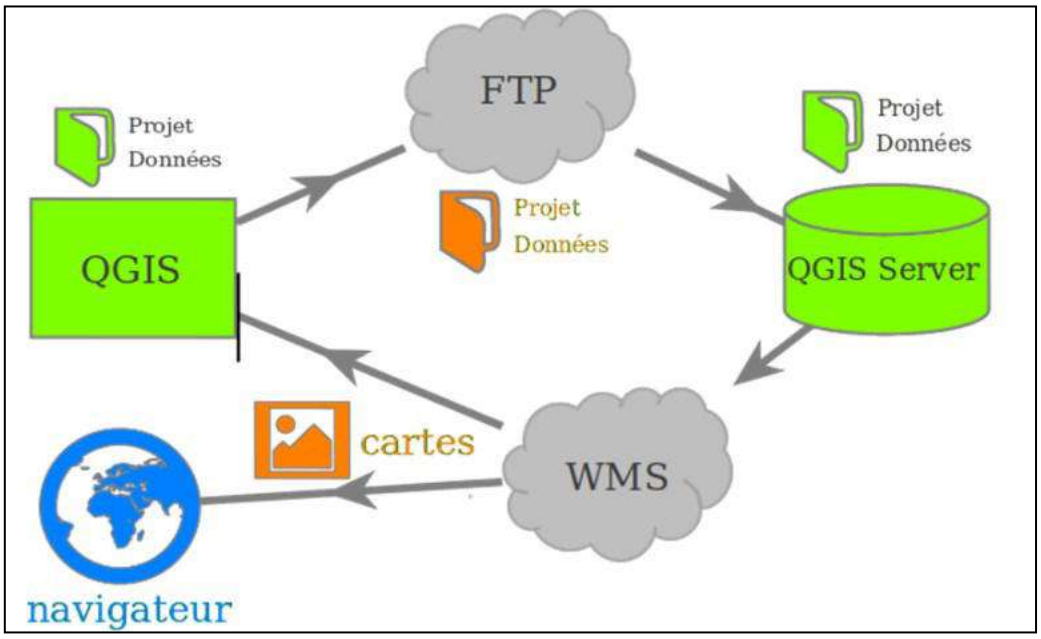


Figura 6.2 Rappresentazione schematica del funzionamento di un WebGIS.

Nello specifico un WebGIS è un sistema ad accesso remoto finalizzato a memorizzare, integrare, manipolare, analizzare e visualizzare le informazioni territoriali senza avere la necessità di un software GIS proprietario.

Quindi qualsiasi utente, da remoto e con un normale browser, potrà accedervi ed interrogare il sistema informativo avendo a disposizione le funzioni tipiche del GIS (zoom, pan, semplici interrogazioni di oggetti geografici, selezioni dalla mappa).

I vantaggi dell'utilizzo di un WebGis sono:

- trasparenza, immediatezza ed efficacia dell'accesso alle informazioni;
- facoltà di integrare più informazioni territoriali in un unico supporto informativo;
- rende possibile la pubblicazione, l'accesso, la visualizzazione e l'interrogazione dei geoservizi attraverso una pagina web interattiva.

La condivisione e la diffusione di questi sistemi consente di raggiungere importanti obiettivi:

- migliorare l'efficacia ed efficienza del lavoro interattivo sia all'interno dell'amministrazione pubblica, sia nei rapporti pubblico - privato;
- mettere a disposizione dei tecnici e degli amministratori uno strumento che consente, in ogni momento, da luoghi diversi ed attraverso una tecnologia diffusa, la consultazione dei dati su set informativi condivisi;
- raggiungere anche una vasta platea di utenti che non possiedono specifiche conoscenze.

6.6 Realizzazione di un GIS per il PRCEC

La realizzazione del GIS è iniziata con la scelta della cartografia di base; scelta che è ricaduta su immagini satellitari, ortofoto del 2012 con servizio WMS dal portale della Regione Siciliana, meglio descritte nei diversi capitoli.

Sulla cartografia di base sono stati poi costruiti gli strati informativi, in formato vettoriale, contenenti i tematismi e i dati puntuali distribuiti lungo le coste siciliane e meglio descritti a seguire.

Linea di costa

La linea di costa, così come rilevata nei diversi anni, è stata ricavata attraverso il procedimento indicato al paragrafo 8.6.

Unità Fisiografiche

Nell'ambito del Piano, si è operato definendo la gerarchizzazione degli ambiti territoriali, ed è stata definita una gerarchizzazione della costa che, considera:

1)Unità Fisiografiche, in senso stretto, di I ordine o principali quelle individuate dal Geoportale Nazionale;

2)Macro-Celle o Unità Fisiografiche di II ordine o secondarie quelle, definite come tali dal PAI-coste della Regione Siciliana (2008-2013);

3)Unità Gestionali o di III ordine, quelle specificatamente individuate in questo PREC, utilizzando come limiti elementi naturali, grandi e medi, porti e punti singolari;

4) le sub-unità gestionali o di IV ordine, le Micro-Celle Gestionali sono definite da limiti amministrativi o geografici che rimandano alla logica del singolo intervento.

Unità Fisiografiche di I ordine

Secondo la definizione del TNEC si considera come Unità Fisiografica di I ordine un Esteso tratto di costa, sotteso a uno o più bacini idrografici, nei quali i sedimenti subiscono movimenti lungo costa sostanzialmente confinati all'interno dei due limiti estremi, costituiti da elementi morfologici naturali (promontori, ecc.), attraverso i quali gli scambi siano da considerarsi scarsamente significativi anche per eventi con lunghi tempi di ritorno. È compresa anche la spiaggia emersa dalla

linea di riva fino all'apparato dunale ove presente, o fino alle prime strutture antropiche rigide continue, e la spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso.

Sono state identificate 15 Unità Fisiografiche di I ordine, suddividendo la linea di costa del 2019 in funzione dei limiti di I ordine imposti sui capisaldi lungo la costa.

Il codice identificativo è costituito da un singolo numero progressivo.

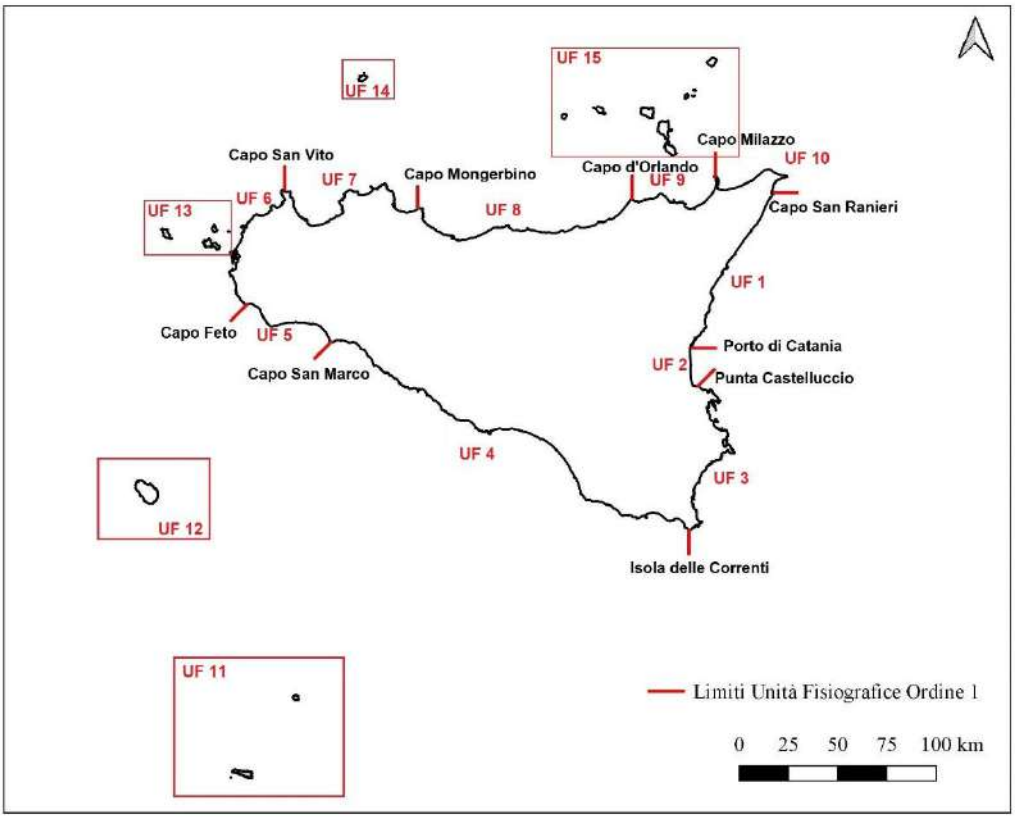


Figura 6.3 Unità Fisiografiche di I ordine così come rappresentate nel GIS.

Per ogni Unità Fisiografica sono stati indicati:

- Codice identificativo;
- Codice UF I ordine;
- Limiti laterali di I ordine;
- Comuni;
- Province.

Unità Fisiografiche di II ordine

Il TNEC considera come Unità Fisiografica di II ordine un Tratto di costa, sotteso a uno o più bacini idrografici, identificabile in base a specificità morfologiche, idrografiche ed infrastrutturali, che lo contraddistinguono rispetto ai tratti contigui. I limiti possono essere costituiti, oltre che da elementi morfologici naturali, anche da opere marittime di grandi dimensioni che interrompono gran parte del trasporto solido litoraneo (grandi porti, ecc.. con opere aggettanti oltre la profondità di chiusura di riferimento). Questi tratti di costa sono contraddistinti da un bilancio sedimentario proprio, naturale o condizionato da opere antropiche, anche rispetto ad eventi con tempi di ritorno medi. E' compresa anche la spiaggia emersa dalla linea di riva fino all'apparato dunoso, ove presente, o fino alle prime strutture antropiche rigide continue, e la spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso. Le 26 (Unità Fisiografiche di II° ordine sono state identificate suddividendo la linea di costa 2019 in funzione dei limiti di II ordine imposti sui capisaldi lungo la costa.

Il codice identificativo è costituito dal singolo numero progressivo delle UF di I° ordine, più un progressivo relativo del II ordine.

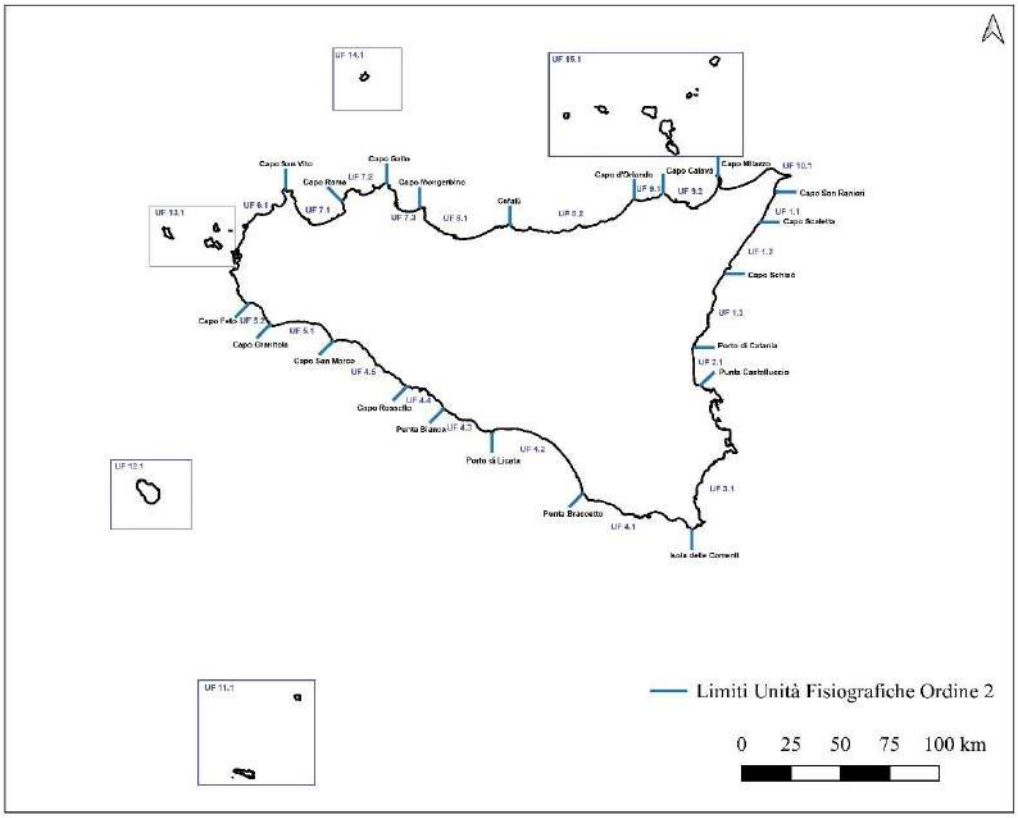


Figura 6.4 Unità Fisiografiche di II ordine così come rappresentate nel GIS.

Per ogni Unità Fisiografica sono stati indicati:

- Codice identificativo;
- Codice UF I ordine;
- Codice UF II ordine;
- Limiti laterali di II ordine;
- Comuni;
- Province.

Unità Fisiografiche di III ordine

Il TNEC considera come Unità Fisiografica di III ordine tratti di costa identificabili in base a specifiche caratteristiche geomorfologiche, sedimentologiche e idrodinamiche i cui limiti possono essere costituiti, oltre che da opere marittime interferenti di medie dimensioni o da elementi morfologici naturali, anche da punti singolari di trasporto

solido che risultino accertati e fissi (punti di convergenza, punti di divergenza, punti di perdita dei sedimenti come fosse e canyon sommersi). Questo tratto di costa è caratterizzato da un bilancio sedimentario anche per eventi con "tempi di ritorno brevi" e rappresenta l'unità territoriale di riferimento minima per l'analisi della dinamica sedimentaria litoranea. E' compresa anche la spiaggia emersa dalla battigia fino all'apparato dunale, ove presente, o fino alle prime strutture antropiche rigide continue che hanno sostituito il sistema dunale, e la spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura o di influenza del moto ondoso.

Sono state individuate 58 Unità Fisiografiche di III ordine suddividendo la linea di costa 2019 in funzione dei limiti di III ordine imposti sui capisaldi lungo la costa.

Il codice identificativo è costituito dal singolo numero progressivo delle UF di I ordine, più il progressivo relativo del II ordine, più un progressivo relativo del III ordine.

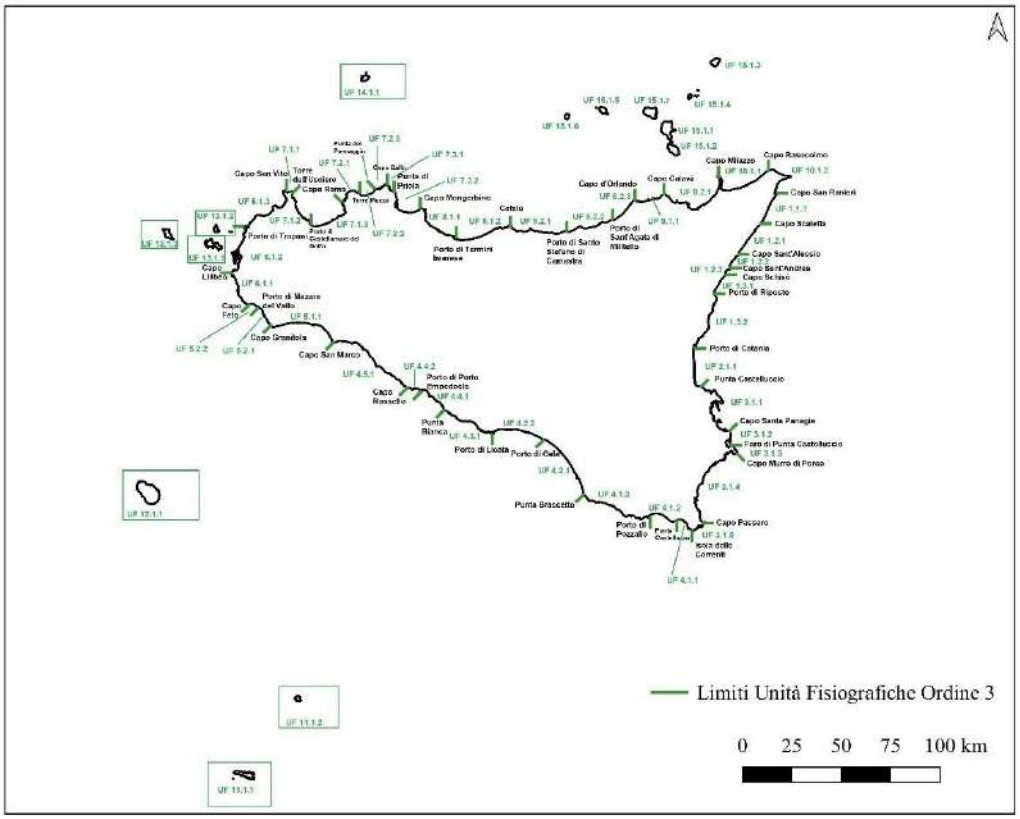


Figura 6.5 Unità Fisiografiche di III° ordine così come rappresentate nel GIS.

Per ogni Unità Fisiografica sono stati indicati:

Codice identificativo;

Codice UF I ordine;

Codice UF II ordine;

Codice UF III ordine;

Limiti laterali di III ordine;

Comuni;

Province.

Limiti Unità Fisiografiche

Per ogni ordine di Unità Fisiografica è stato inserito un livello che identifica i limiti laterali per ogni unità.

Campioni sedimenti costieri

E' stato realizzato un database derivante dall'unione di campagne di prelievi effettuati in date e stagioni differenti per un totale di 1700 campioni di sedimenti e rispettive analisi sedimentologiche/composizionali.

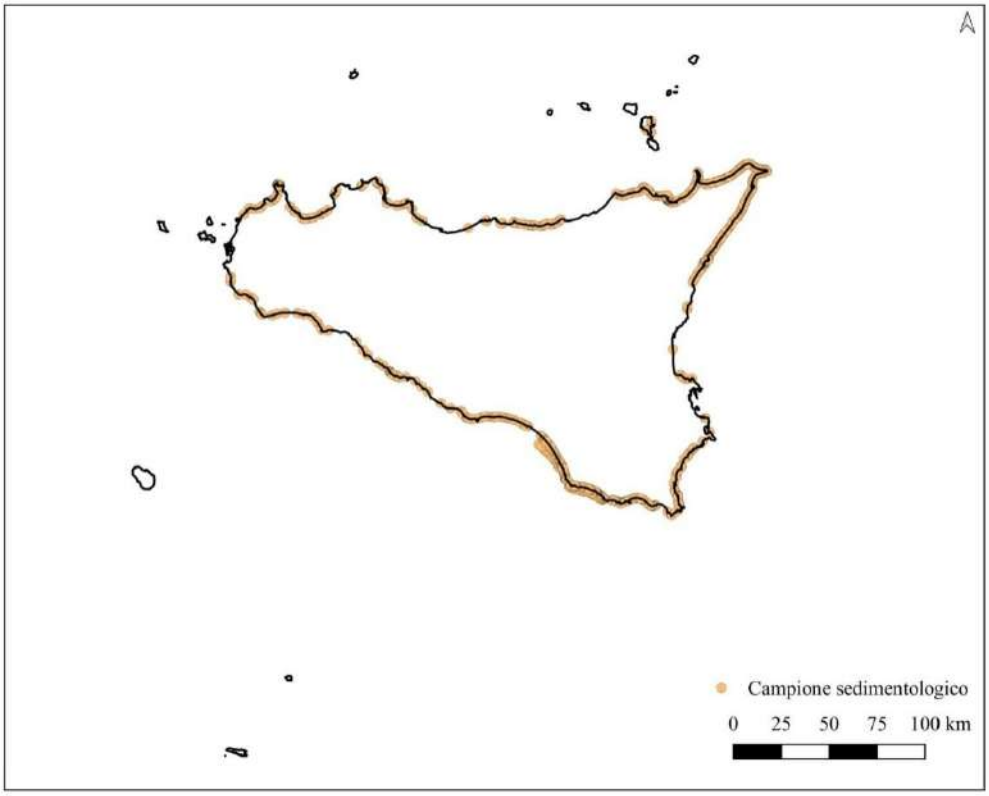


Figura 6.6 Rappresentazione dei siti in sono stati prelevati i campioni di sedimenti costieri

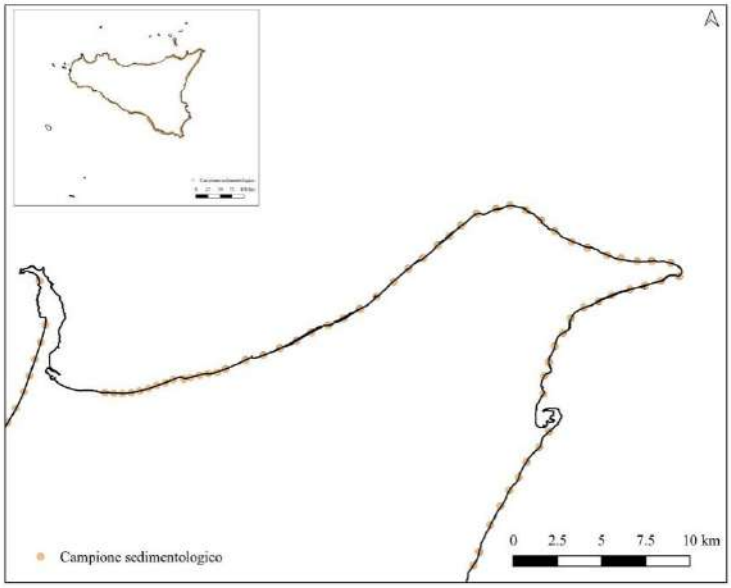


Figura 6.7 Particolare dell'ubicazione dei campioni di sedimenti costieri prelevati ai fine della caratterizzazione dei sediemnti.

Per ogni campione di sedimento, in funzione delle effettive analisi eseguite, è possibile ottenere le seguenti informazioni:

Data/periodo di prelievo;

Posizione geomorfologica;

Quota riferita al livello medio del mare;

Diametro medio espresso in scale ϕ;

Classazione;

Simmetria;

Curtosi;

Moda espressa in scale ϕ;

Mediana espressa in scale ϕ;

Composizione ML in %;

Composizione MP in %;

Composizione Calcite in %;

Composizione FR gusci in %;

Composizione FOR in %;

Composizione SS in %;

Composizione FR CA in %;

Composizione FR VI in %;

Composizione FRM in %;

Composizione FRS in %;

Composizione Miche in %;

Composizione Aggr. In %;

Comune;

Provincia;

Unità Fisiografica di I ordine;

Unità Fisiografica di II ordine;

Unità Fisiografica di III ordine.

Transetti per futuri monitoraggi

Ortogonalmente alla costa siciliana sono stati identificati 1630 transetti utili per le future campagne di monitoraggio e lungo i quali dovranno essere prelevati i campioni di sedimenti su cui eseguire le analisi sedimentologiche (vedere Figura 6.8 e Figura 6.9).

Il numero e l'ubicazione di questi transetti è stato scelto in funzione della lunghezza delle spiagge secondo il seguente criterio:

1 transetto per spiagge con lunghezza inferiore a 300 metri;

3 transetti per spiagge con lunghezza tra 300 e 1000 metri;

1 transetto ogni 500 metri per spiagge con lunghezza oltre i 1000 metri.

Il codice identificativo dei transetti è costituito da una prima parte che indica la provincia, una seconda parte che indica il comune e infine una terza parte da un numero progressivo riferito al comune.

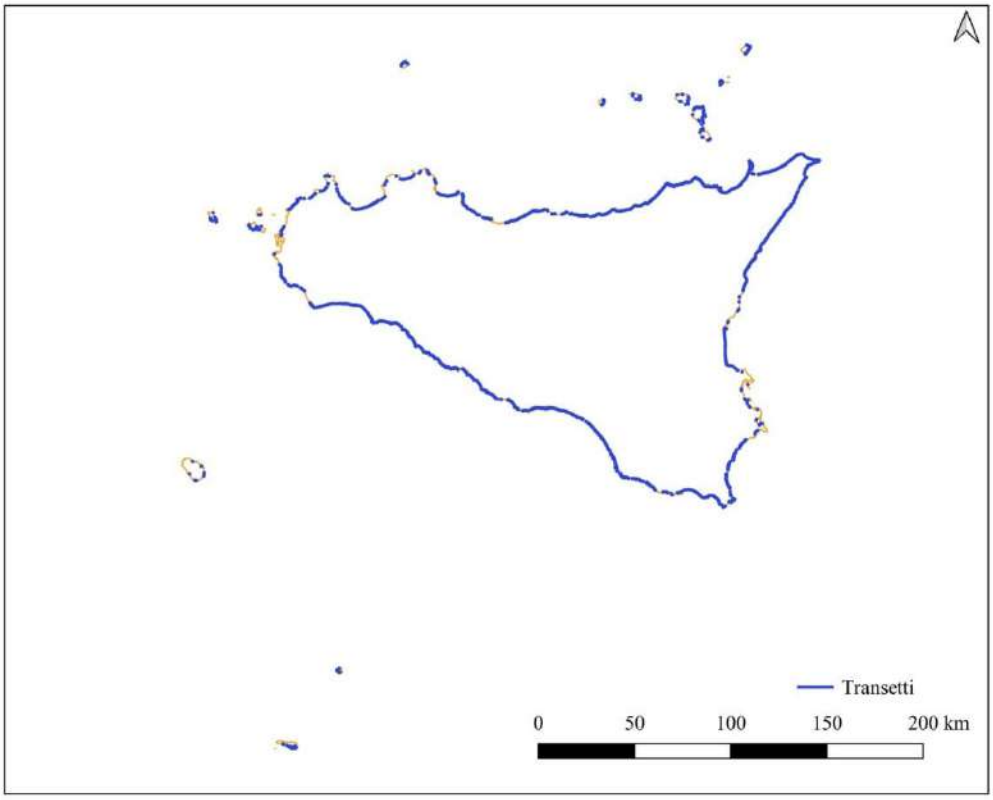


Figura 6.8 Identificazione dei (1630) transetti ai fini di future campagne di monitoraggio.

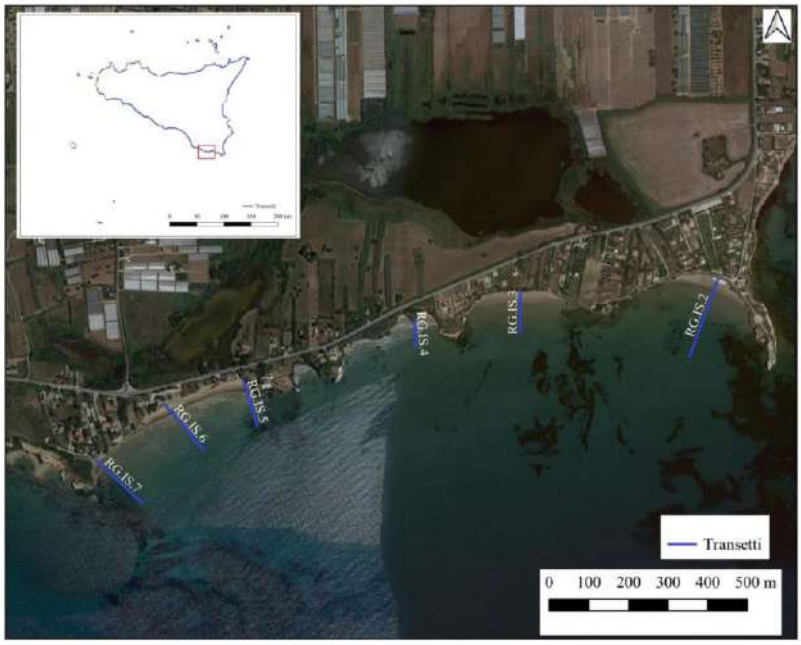


Figura 6.9 Esempio di individuazione di transetti ai fini della caratterizzazione di "pocket beaches".

In totale sono stati ubicati 1663 transetti con le seguenti informazioni:

Codice identificativo del transetto;

Comune;

Provincia;

Unità Fisiografica di I ordine;

Unità Fisiografica di II ordine;

Unità Fisiografica di III ordine.

Spiagge

Le spiagge della Sicilia sono state tutte identificate e codificate.

Il codice identificativo delle spiagge è costituito da una prima parte che indica la provincia; una seconda parte che indica il comune e infine una terza parte da una lettera progressiva riferita al comune.

In totale sono state inserite 774 spiagge con le seguenti informazioni:

Codice identificativo della spiaggia;

Comuni;

Province;

Unità Fisiografica di I ordine;

Unità Fisiografica di II ordine;

Unità Fisiografica di III ordine.

Tipologia di costa

La tipologia di costa è stata differenziata con un primo livello in costa rocciosa, costa artificiale, costa mobile e successivamente con un secondo livello a seguire (vedere Figura 6.10 per un esempio di applicazione delle diverse tipologie di costa).

<u>Costa rocciosa:</u>

- Alta;
- Bassa

Costa Artificiale:

- Banchina portuale;
- Barriere;
- Massicciata;
- Opere marittime;
- Pennelli

Costa mobile:

- Naturale;
- Urbana;
- Pocket beach

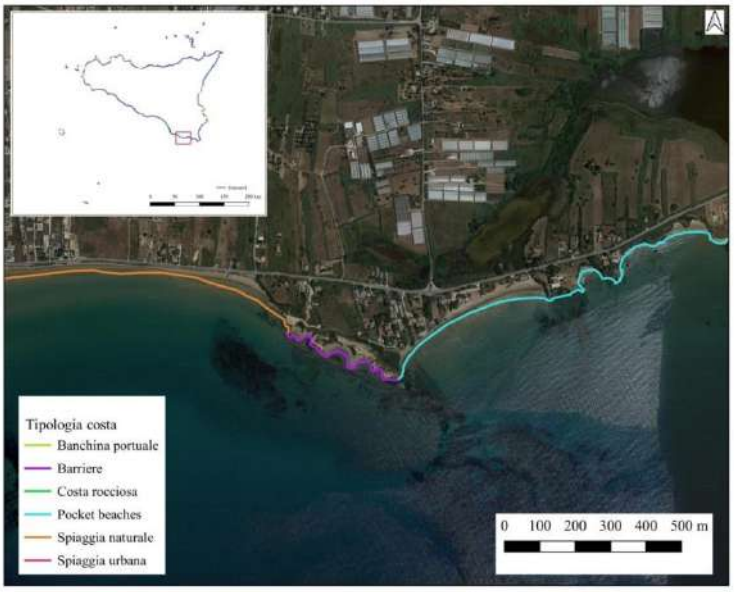


Figura 6.10 Esempio di applicazione delle diverse tipologie di coste.

L'intera costa siciliana è stata classificata in funzione di queste caratteristiche e con le seguenti informazioni:

Tipologia di costa;

Comuni;

Province;

Unità Fisiografica di I ordine;

Unità Fisiografica di II ordine;

Unità Fisiografica di II ordine;

Limiti amministrativi comunali e provinciali

Per la delimitazione dei limiti amministrativi comunali e provinciali sono stati utilizzati i dati messi a disposizione dall'ISTAT aggiornati al 1° gennaio 2020.

Piano di Assetto Idrogeologico

Nel GIS sono stati inseriti i dati del Piano di Assetto idrogeologico messo a disposizione dalla Regione Siciliana.

Sic e Zps

Nel GIS sono state inserite le aree costituite dai Siti di Interesse Comunitario identificati secondo quanto stabilito dalla c.d. direttiva Habitat, che comprendono anche le Zone di Protezione Speciale (ZPS) concernenti le aree per la conservazione degli uccelli selvatici.

Uso del suolo

Il layer dell'uso del suolo è stato ricavato attraverso la procedura descritta nel capitolo 7.1.

Posidonia e coralligeno

La distribuzione della posidonia lungo le coste siciliane è stata mappata attraverso lo studio descritto nel capitolo 7.6.

Inoltre è stato aggiunto il risultato dello studio della distribuzione delle praterie di posidonia e del coralligeno effettuato e fornito da ARPA Sicilia tra il 2014 e il 2018 attraverso la "Strategia Marina (Direttiva quadro 2008/56/CE)".

Pericolosità

I tratti di costa che presentano fenomeni erosivi sono stati classificati secondo livelli di pericolosità da P1 a P4.

Per ogni tratto di costa sono state inserite le seguenti informazioni:

Livello di pericolosità

Tratto di costa interessato

Località

Comuni

Province

Unità Fisiografica di I ordine;

Unità Fisiografica di II ordine;

Unità Fisiografica di III ordine.

La stessa pericolosità è visualizzabile in formato puntuale con le stesse informazioni di cui sopra a meno del tratto di costa.

Analisi meteomarine

I risultati delle analisi meteo marine sono state inserite in due livelli differenti delle Unità Fisiografiche, il primo riguarda l'ordine 1 mentre il secondo riguarda l'ordine 3, nel primo caso per l'analisi eseguita a largo e nel secondo per l'analisi sotto costa.

In entrambi i casi è possibile visualizzare i risultati tramite un collegamento per singolo settore attraverso un layer dedicato.

Opere a mare

E' presente il censimento delle opere a mare, intese come opere di difesa costiera rigide, su tutto il territorio regionale (isole minori comprese) all'anno 2020.

Le informazioni visualizzabili riguardano:

Foci armate;

Isolotti;

Opere miste;

Pennelli a T emersi;

Pennelli obliqui emersi;

Pennelli obliqui sommersi;

Pennelli ortogonali emersi;

Pennelli ortogonali sommersi;

Opere radenti a muro;

Scogliere emerse con varchi;

Scogliere emerse senza varchi;

Scogliere sommerse con varchi;

Scogliere sommerse senza varchi;

Opere portuali

Schede riassuntive

Sono state realizzate 129 schede riassuntive (vedere Allegato -S tato dei litorali per comune), di cui 115 per ogni singolo comune costiero dell'isola maggiore e una scheda rappresentativa per ogni isola minore. In ogni scheda sono stati sintetizzati i dati riguardanti l'ubicazione dei diversi ordini di unità fisiografica, la tipologia di costa, le caratteristiche sedimentologiche dei sedimenti di spiaggia, l'eventuale tratto in erosione ed il suo indice di pericolosità, il numero di transetti per il futuro monitoraggio, il numero di spiagge mobili ricadenti all'interno del tratto costiero.

Questi dati sono visualizzabili all'interno del WEB GIS tramite un collegamento che permette di visualizzare la scheda selezionata.

7 Stato delle coste siciliane al 2020

7.1 Uso del suolo

La carta dell'uso del suolo permette di analizzare le azioni e i cambiamenti indotti dalla attività umana nel territorio. L'Unione Europea dal 1990 produce, ogni 6 anni circa, la carta dell'uso del suolo di tutto il territorio europeo (https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover). La lista delle classi è codificata su vari livelli di dettaglio (circa 44 classi).

Tale carta viene prodotta facendo uso di immagini satellitari e indagini in pieno campo. Tecniche di classificazione avanzata vengono applicate per ricavare la carta tematica, che comunque viene controllata e validata con opportune strategie di campionamento della "verità a terra". L'aggiornamento al Corine Land Cover 2018 è stato eseguito seguendo le "Technical Guidelines" (EEA, 2017) basate su CLC2006 Technical guidelines (EEA Technical report No 17/2007) e CLC2012 Addendum to the CLC2006 Technical Guidelines (ETC/SIA report).

I dati satellitari utilizzati nella fotointerpretazione sono state le immagini Sentinel-2 del 2017. L'unità minima mappabile (MMU) è stata di 25 ha con i cambiamenti mappati solo se > di 5 ha (come nel CLC 1990, 2000, 2006, 2012). Per l'Italia sono state coinvolte 10 Agenzie Regionali (ARPA Campania, Calabria, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Piemonte, Puglia, Sicilia, Toscana, Veneto e Valle d'Aosta) oltre a ISPRA.

Con lo scopo di fornire un ulteriore strumento di analisi al presente piano, è stato preso in considerazione l'ultimo aggiornamento risalente al 2018. La copertura originaria è stata opportunamente trattata, in modo tale da creare una carta di uso del suolo di una fascia di 500 m

dalla linea di costa. La denominazione delle classi è stata resa in lingua italiana.

7.2 Analisi geomorfologica delle coste

Lungo le coste alte l'azione erosiva del mare è prevalente rispetto alla deposizione ed è principalmente determinata dall'azione del moto ondoso e da quella meccanica dei sedimenti in sospensione scagliati contro la costa. Se l'effetto di abrasione è uniforme, si forma il cosiddetto solco di battigia, che con il tempo può provocare anche il cedimento della roccia sovrastante e determinare la formazione di pareti a picco sul mare.

Nei tratti costieri caratterizzati dalla presenza di coste alte la spiaggia è in genere ridotta ad una stretta fascia discontinua se non addirittura assente. I materiali franati vengono portati in profondità dai frangenti e possono accumularsi sul fondale in prossimità della costa (piattaforma di abrasione). Questo tipo di costa è chiamata falesia. Con il passare del tempo, i ripetuti cedimenti delle pareti fanno sì che la falesia subisca un progressivo arretramento.

Pertanto, in relazione alla classificazione morfologica si possono distinguere: *a*) coste alte e profonde, ripide, strapiombanti in mare a falesia, con scarpate verticali che continuano anche al di sotto del livello marino; *b*) coste alte con spiaggia, dove ad un tratto emerso molto alto segue un arenile che si sommerge gradualmente. Sovente derivano dalle prime, per crollo di parte del versante, accumulo alla base dei materiali provenienti dal crollo e loro ridistribuzione ad opera dei movimenti marini; *c*) coste a ripe arretrate con spiaggia, dove una spianata litoranea più o meno ampia è chiusa verso la terraferma da un gradino morfologico, che può avere origini diverse (una faglia, una scarpata di un antico terrazzo marino, ecc.).

Gli agenti ed i processi che in ambito costiero governano la morfogenesi e che assumono un ruolo importante nell'influenzare la

propensione all'instabilità di una costa alta sono ulteriormente legati all'esposizione agli eventi meteo-marini ed ai processi connessi alle variazioni eustatico-climatiche, quest'ultimi fortemente accentuati dagli effetti dei cambiamenti climatici.

In ambiente di falesia la degradazione (*weathering*) meteorica o alterazione meteorica, ad esempio, è il processo di disgregazione della roccia senza il contributo del movimento, mentre l'erosione vera e propria è legata all'azione dinamica dell'acqua e/o del vento.

La degradazione può essere suddivisa in degradazione chimica (*chemical weathering*) e degradazione fisica (*physical weathering*), anche se in natura spesso avvengono simultaneamente (Fairbridge, 1968). Nei processi di arretramento delle falesie, inoltre, un ruolo importante è rivestito dalla presenza e dalle caratteristiche della piattaforma di abrasione e dai fenomeni di scalzamento alla base per formazione di solchi formati sia per erosione meccanica che attività biologica.

Nel primo caso, l'evoluzione delle piattaforme di abrasione marina è in prevalenza dovuta ai processi erosivi meccanici connessi al moto ondoso incidente. Nel secondo caso, l'arretramento delle falesie è accentuato dall'erosione alla base per formazione di un solco di marea o di uno scalzamento.

In passato la genesi del solco di marea era soprattutto ricondotta ai processi di erosione meccanica causati dall'impatto delle onde, ed ai processi di cavitazione dovuti all'aria intrappolata nella massa di acqua in rapido movimento (cosiddetti frangenti), oppure ai processi di abrasione operati dai sedimenti presenti in sospensione.

Più recentemente la morfogenesi del solco è stata relazionata all'attività bio-erosiva ad opera delle comunità litofaghe (Pirazzoli & Evelpidou, 2013).

Naturalmente la combinazione di questi processi è varia, oltreché fortemente condizionata dal contesto territoriale. In alcuni tratti di

costa alta, in particolare nelle aree esposte ad eventi meteo-marini estremi, è più efficace la demolizione conseguente all'aria ed all'acqua "sparata" velocità elevata nelle diaclasi beanti. Le onde impattando sulle rocce generano ed allargano le fratture favorendo il distacco di detriti e di blocchi rocciosi.

Il risultato di questi fenomeni di fratturazione è la formazione di una struttura geometrica costituita da matrice lapidea e fratture. Il fenomeno può avere caratteristiche differenti a seconda dell'intensità del moto ondoso e del tipo di roccia e, con il passare del tempo, determina la formazione di fratture anche sulla parte sommitale della costa alta.

In genere in questi contesti non sono presenti spiagge o comunque queste sono limitate a piccole fasce discontinue. In taluni casi si possono formare delle "pocket beach" tra due coste alte. In altri casi, il mare alla base agisce con processi di erosione favorendo anche la formazione di anfratti, grotte o archi (Figura 7.1).

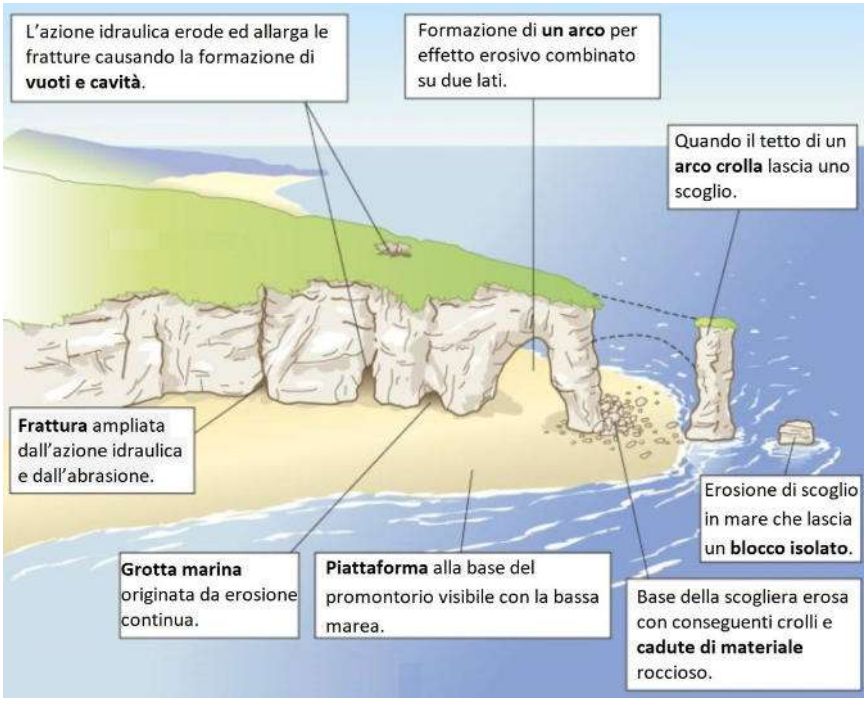


Figura 7.1 Caratteristiche morfologiche di una costa alta in erosione (GCSE -Geography - Revision Guide Coasts, 2010, modificata).

L'incessante azione del mare, con lo scorrere del tempo, favorisce i cedimenti delle pareti provocando un progressivo ed irreversibile arretramento della falesia.

Un profilo acclive privo di vegetazione e con poco detrito alla base indica un processo di ritiro relativamente rapido con dominanza del fattore marino (es. scalzamento al piede). Un profilo convesso con una cresta arrotondata e molto detrito alla base indica la prevalenza del processo gravitativo.

Profili compositi, con alternanze di tratti verticali e tratti convessi, indicano alternanze di processi marini e gravitativi.

A seconda del tipo di roccia, l'azione del mare può creare anche insenature, promontori, o isolare singole parti come scogli e faraglioni (vedere Figura 7.1). Le grotte marine, infine, sono morfo-sculture dimensioni di maggiori, modellate dall'azione del moto ondoso per processi di cavitazione. Si tratta di fenomeni che si verificano in concomitanza dell'impatto delle onde sulla falesia e sono associati alla pressione esercitata dall'acqua nelle discontinuità. L'aria così intrappolata prima si comprime e poi si espande violentemente per decompressione, generando una vera e propria esplosione all'interno delle cavità.

Sulle pareti di una falesia possono anche essere attivi processi carsici, i già menzionati processi di abrasione dei sedimenti mobilitati dalla dinamica del moto ondoso, l'azione delle correnti di fondo, le oscillazione di marea, la mobilità tettonica dell'area.

Quest'ultima, ad esempio, può influenzare deformazioni gravitative profonde che possono evolvere in espansioni laterali o addirittura in grandi frane con superfici di scorrimento sia planare che rotazionale.

Movimenti gravitativi di scivolamento rotazionali o planari si possono osservare anche nel caso siano presenti corpi deposizionali di frana, posti in condizioni di instabilità sia per gravità che erosione.

Per comprendere la realtà fisica del territorio da esaminare e le sue evoluzioni, gli strumenti che allo scopo possono essere utilizzati sono le carte geomorfologiche, redatte mediante rilevamenti diretti e sistematici effettuati sul terreno e con l'ausilio di foto aeree ed immagini satellitari.

L'analisi dei dati consente di delineare il quadro evolutivo e di formulare le previsioni sulle tendenze evolutive future. L'analisi geomorfologica applicata allo studio dei processi gravitativi in ambito costiero deve essere finalizzata alla restituzione di carte elaborate alla scala di dettaglio, che consenta la rappresentazione delle morfologie riconoscibili e la loro definizione.

La rappresentazione della geomorfologia costiera costituisce lo strumento di base per lo studio della costa, riportando le informazioni relative alla presenza di dune, all'ampiezza delle spiagge emerse e sommerse, alle forme di erosione e di accumulo, alle caratteristiche fisiche del litorale, indispensabili per la descrizione dello stato del litorale, per le analisi di vulnerabilità e la valutazione delle criticità.

7.3 Caratterizzazione sedimentologica delle spiagge

Le spiagge sono formate dai sedimenti erosi, in prevalenza nelle aree più alte dei bacini idrografici, modellati e selezionati lungo il trasporto e quindi depositati nella pianura alluvionale e alla foce. Questo materiale viene successivamente distribuito lungo le coste dalle onde e dalle correnti litorali, secondo processi che possono produrre insabbiamenti indesiderati o tratti di costa in forte erosione.

Questa successione di processi di fatto collega la composizione dei sedimenti costieri alle caratteristiche geologiche dell'entroterra. In teoria, in un'area carsica dovremmo avere spiagge composte da sedimenti carbonatici e di colore chiaro (dal giallo trapanese al rosato siracusano e al bianco caraibico di San Vito Lo Capo), nelle vicinanze di un vulcano (Etna, Isole Eolie) i depositi di spiaggia dovrebbero

essere ricchi di minerali femici e di colore nero o rosso, mentre lungo le coste dei golfi di Castellammare (Trapani) e di Termini Imerese (Palermo) e lungo parte delle coste centro meridionali, dovremmo avere spiagge ricche di quarzo e di colore grigiastro.

Nella realtà questo è talvolta complicato o obliterato dalla variabile tempo, comprendendo in questo, tutti quei processi geomorfologici che sono accaduti a causa dei cambiamenti climatici più o meno recenti e delle attività antropiche, specialmente degli ultimi cinquant'anni. Talvolta infatti si verificano invasioni alloctone (da altri bacini lontani), legate all'evoluzione, più o meno recente della paleogeografia, che ci restituiscono spiagge non direttamente associabili ai retrostanti bacini.

7.3.1 Sedimenti delle spiagge siciliane

Ad eccezione dei tratti di costa rocciosa (24% circa) e di quelli artificiali (7% circa), i depositi mobili (spiagge) della Sicilia (69% circa) dal punto di vista sedimentologico possono essere divisi in due grandi sottosettori: 1) quello messinese - catanese, da Tusa fino al Porto di Catania, prevalentemente formato da ghiaie e ciottoli o da sabbie molto grosse provenienti dallo smantellamento delle catene peloritana e nebroidea e dal materiale vulcanico legato all'Etna e 2) la restante costa siciliana caratterizzata prevalentemente da sabbie medio fini che si differenziano per colore e per provenienza, testimoniate dalla maggiore o minore percentuale di silice.

In generale i valori di classazione (o deviazione standard) indicano un netto dominio dei sedimenti ben classati e subordinatamente molto ben classati. Inferiori i sedimenti moderatamente classati e sedimenti poco classati.

I valori di asimmetria presentano una distribuzione piuttosto complessa, con distribuzioni granulometriche in prevalenza simmetriche e subordinatamente asimmetriche, caratterizzate da

code dei grossi (asimmetria negativa) ed in minor parte da code dei fini (asimmetria positiva).

La seguente descrizione è collegata al data base numerico presente in GIS e sintetizza le schede redatte a livello comunale, per ogni comune dell'isola.

Le spiagge della Provincia di Messina, sul lato jonico, da Capo San Raineri a Capo Sant'Andrea, sono caratterizzate da sedimenti di spiaggia, con valori del diametro medio che indicano classi granulometriche da sabbie grosse a molto grosse. La distribuzione areale della classazione presenta un netto dominio dei sedimenti poco classati e moderatamente classati. I valori di asimmetria variano da distribuzioni granulometriche simmetriche a asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa).

I campioni di battigia sono caratterizzati da valori di diametro medio che indicano classi granulometriche che vanno da ciottoli fini alle sabbie molto grosse. Sono prevalentemente poco classati e con una asimmetria molto negativa.

I campioni di spiaggia sommersa (-1) sono caratterizzati da ciottoli fini e medio fini, da poco classati a moderatamente classati, prevalentemente simmetrici.

La spiaggia di Taormina compresa tra Capo Sant'Alessio e Capo Sant'Andrea è caratterizzata da sedimenti di spiaggia che variano dai ciottoli medio grossolani alle sabbie grosse, prevalentemente moderatamente classati e con asimmetria positiva (Figura 7.2).

I sedimenti di battigia presentano valori del diametro medio che indicano classi granulometriche che variano dalle sabbie grosse ai ciottoli grossi, prevalentemente poco classati e con distribuzioni granulometriche asimmetriche caratterizzate prevalentemente da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa).

I campioni di spiaggia sommersa presentano granulometrie ancora più grossolane, infatti, si riscontra una prevalenza di massi e

secondariamente di ciottoli medi. Sono moderatamente classati e con asimmetria negativa.

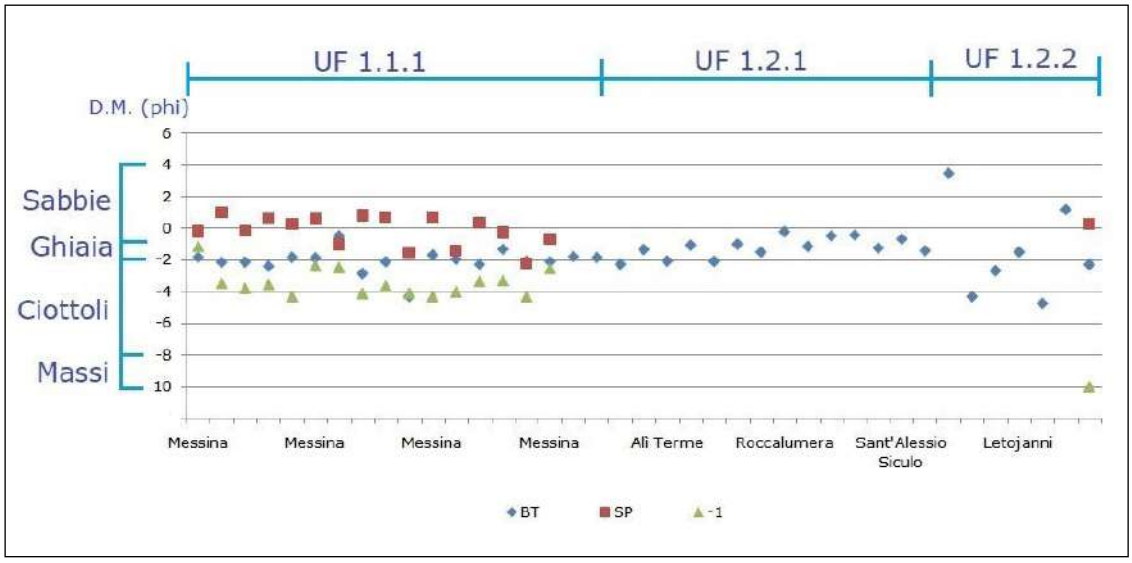


Figura 7.2 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo San Raineri a Capo Sant'Andrea.

Procedendo da capo Sant'Andrea a Capo Schisò, la spiaggia di Giardini Naxos è caratterizzata da sedimenti con granulometria più sottile, infatti sia i campioni di spiaggia emersa, sia i campioni di battigia presentano valori del diametro medio che variano dalle sabbie medie alle sabbie grosse, prevalentemente moderatamente classati e con asimmetria negativa. I sedimenti di spiaggia sommersa (-1m) sono caratterizzati da valori di diametro medio che varia dai ciottoli medi alle sabbie medie, prevalentemente moderatamente classati, con i valori di asimmetria che presentano una distribuzione piuttosto complessa con distribuzioni granulometriche in prevalenza asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) e subordinatamente asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva e molto positiva) ed in minor parte simmetriche (Figura 7.3 e Figura 7.4).

I campioni di spiaggia sommersa prelevati sino alla isobata – 12 m, all'interno della baia, sono caratterizzati da sabbie da medie a sabbie fini, prevalentemente moderatamente classate e simmetriche.

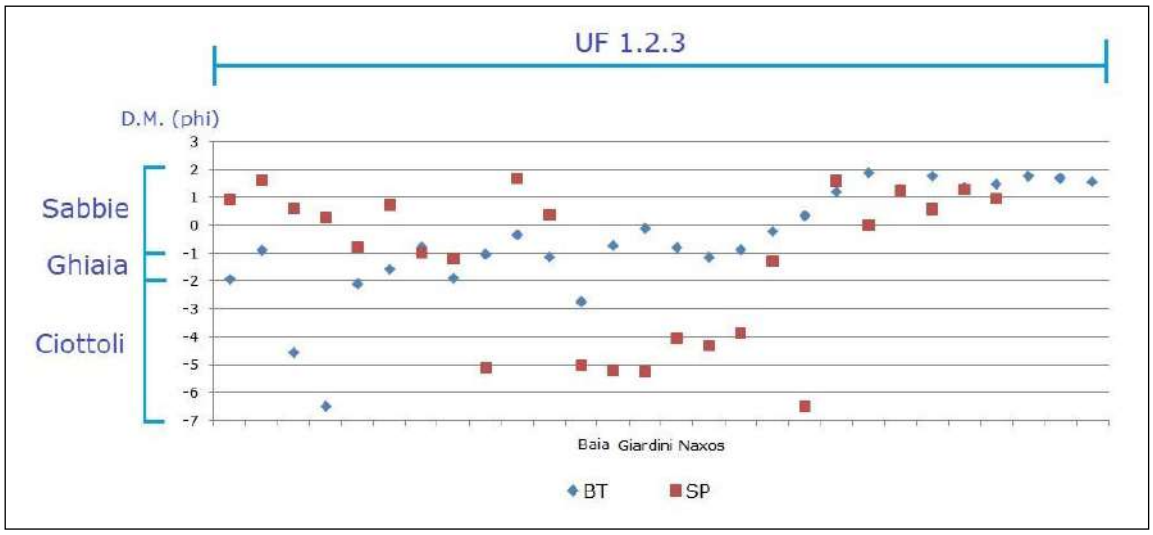


Figura 7.3 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia e Spiaggia (in ordine di disponibilità di dati) nella Baia di Giardini.

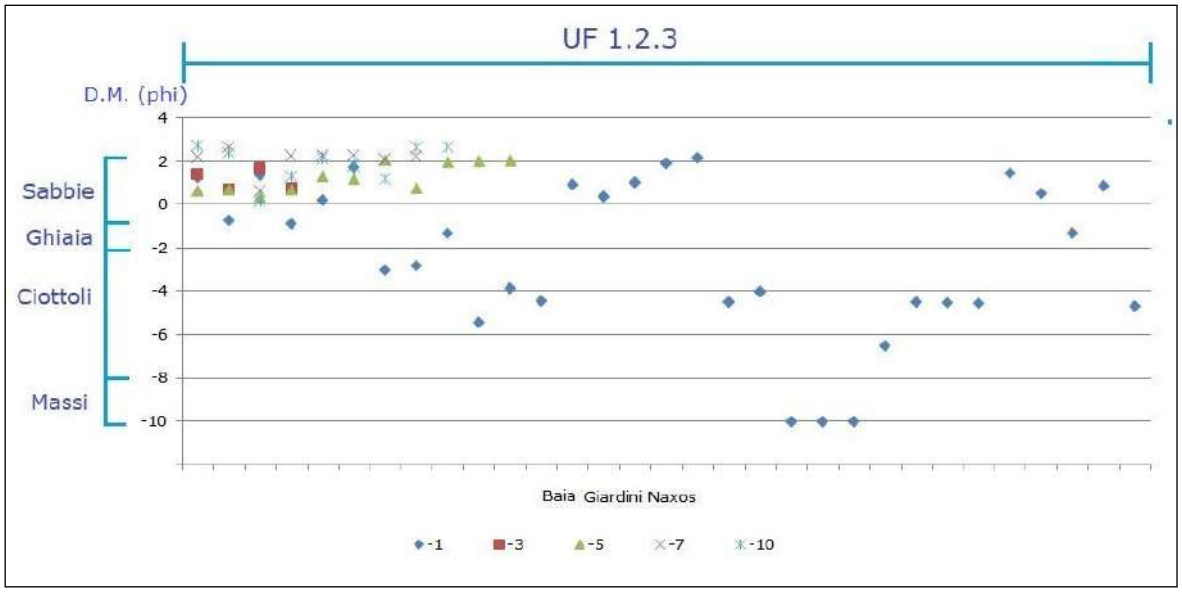


Figura 7.4 Diametro Medio dei sedimenti di spiaggia sommersa alle diverse profondità nella Baia di Giardini.

Procedendo verso Sud, da Capo Schisò a Capo Castelluzzo il panorama geologico passato e presente è dominato dalla presenza dell'Etna e dai due unici veri fiumi della Sicilia: l'Alcantara a Nord e il Simeto a Sud. Le spiagge sono costituite da sabbie grosse, prevalentemente quarzose, arricchite con frammenti vulcanici spesso derivati dalla stessa erosione delle pareti rocciose (Figura 7.5).

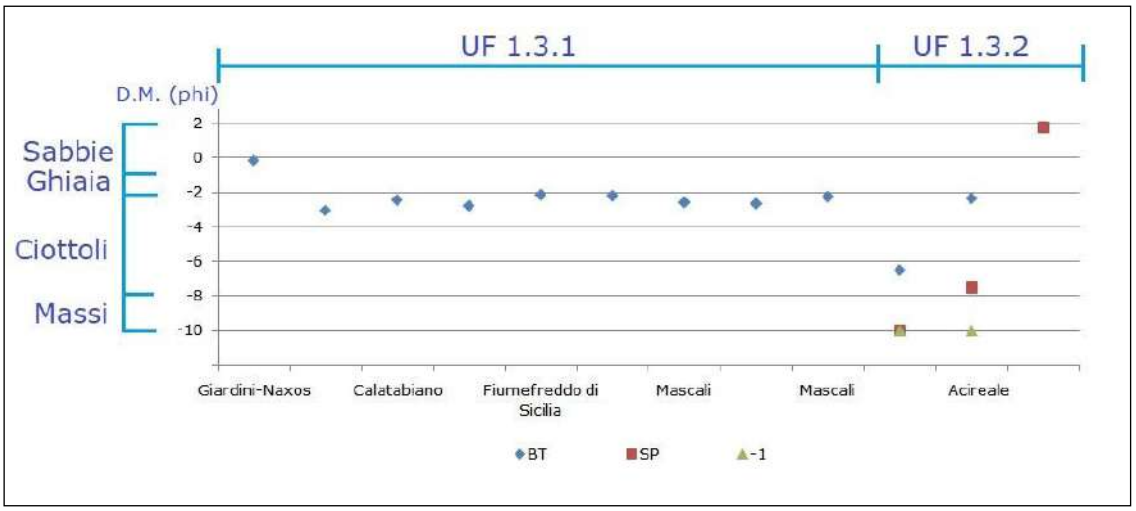


Figura 7.5 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo Schisò a Capo Castelluzzo.

Dal porto di Catania a Punta Castelluzzo il Golfo di Catania è dominato dalla presenza dell'apparato fociale del fiume Simeto, che ha formato una vasta pianura alluvionale. Tra la fine del 1950 e gli inizi del 1960 il Simeto è stato interessato dalla realizzazione di quattro dighe che hanno interrotto il flusso di sedimenti esistente tra le scaturigini e la foce del fiume. Attualmente il deposito alluvionale è mantenuto in equilibrio dall'apporto sedimentario del fiume che erode nel suo tratto terminale sedimenti più sottili che conferiscono alle acque della Playa, quella tipica torbidità color 'caffelatte'. La composizione rimane prevalentemente quarzosa, in quanto la nuova area d'apporto non è altro che quella depositata in precedenza a seguito dell'erosione a monte.

In questo caso si riscontra un esempio di relazione diretta tra entroterra e spiaggia anche al di là di notevoli diversità climatiche e sotto l'effetto di drastici interventi antropici.

I sedimenti che caratterizzano la spiaggia della playa di Catania mostrano granulometrie più sottili, sono infatti dati da sabbie medie molto ben classate e simmetriche.

Dalla Piana di Catania, procedendo verso Sud, quindi lungo tutta la costa meridionale fino a risalire a quella trapanese per giungere alle spiagge di Campofelice di Roccella, la storia dei sedimenti è completamente diversa dal precedente settore e diversificata tra le diverse aree.

I sedimenti della costa siracusana, prevalentemente carbonatici, sono legati all'erosione delle formazioni immediatamente retrostanti che hanno favorito la formazione di pocket beaches immediatamente a contatto con le falesie o di ampie spiagge che bordano piane alluvionali come nella zona di Augusta dove i contrafforti dell'altopiano ibleo sono più lontani dal mare. Le spiagge caratterizzate da sabbie medie e sabbie fini, prevalentemente carbonatiche, con scarsi elementi quarzosi, probabilmente provenienti dal Simeto, sono alimentate anche dall'erosione delle falesie; soprattutto quelle pocket beaches incastonate nei settori più frastagliati.

Proseguendo verso Sud, i corsi d'acqua una volta più competenti, hanno dato luogo a pantani costieri, producendo lingue di sabbia che hanno chiuso piccoli golfi (Vendicari): in queste aree la dominanza dei carbonati è quasi assoluta. Le spiagge assumono un tipico colore bianco "caraibico".

Nel dettaglio, da Punta Castelluccio a Capo Murro di Porco, sino ad Avola i sedimenti di spiaggia sono rappresentati da sabbie grosse e ciottoli, poco classati e con asimmetria molto negativa. I sedimenti di battigia hanno un diametro medio che varia tra le sabbie grosse e i ciottoli molto grossolani, da moderatamente a poco classati e con

simmetria prevalentemente molto negativa. La spiaggia sommersa è caratterizzata prevalentemente da massi (Figura 7.6).

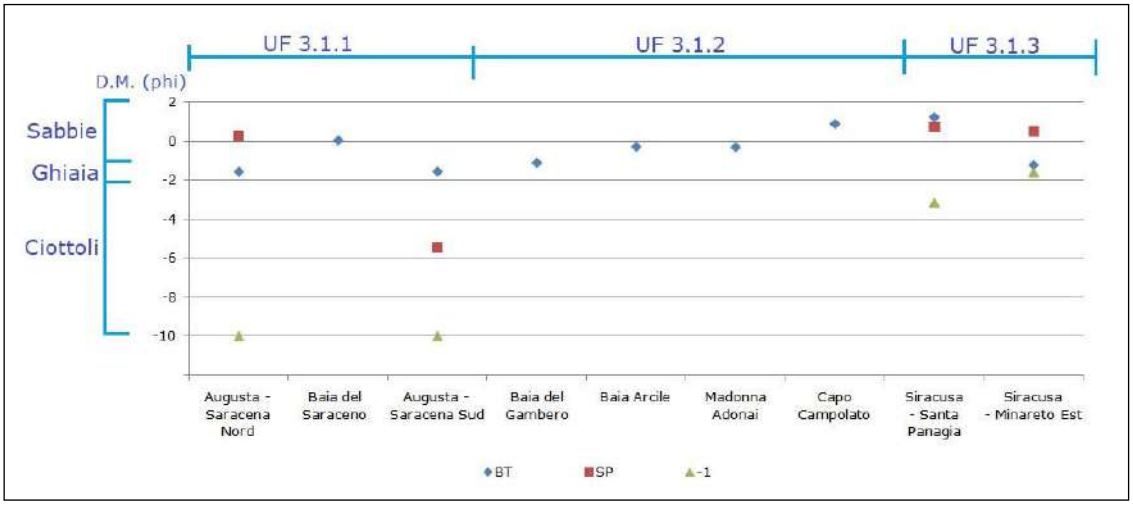


Figura 7.6 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo Castelluzzo ad Avola.

Da Avola sino a Porto Palo di Capo Passero (Figura 7.7) le spiagge si presentano piuttosto omogenee con sedimenti di spiaggia e di battigia caratterizzati da sabbie medie e sabbie fini, prevalentemente ben classati soprattutto i campioni di spiaggia, mentre i campioni di battigia variano da ben classati a moderatamente classati. I valori di asimmetria variano da distribuzioni granulometriche prevalentemente simmetriche a asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa).

I sedimenti di spiaggia sommersa (-1) rientrano prevalentemente nella classe granulometrica delle sabbie medie, da moderatamente classate a ben classate, con valori di asimmetria che variano da distribuzioni granulometriche prevalentemente simmetriche a asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa).

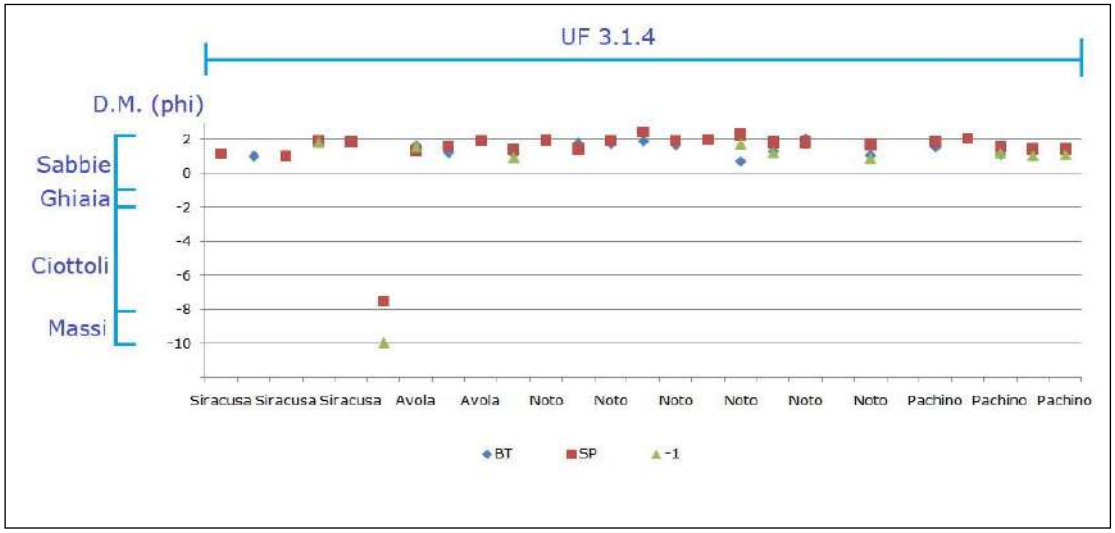


Figura 7.7 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Avola a Porto Palo di Capo Passero.

Superato Capo Passero, tutta la costa meridionale, fino a Capo Granitola è caratterizzata da spiagge dominate da sedimenti sabbiosi (sabbie medie e sabbie fini) che presentano una diversa percentuale di quarzo in funzione della loro maggiore o minore distanza dalla foce del fiume Salso che nel corso degli ultimi millenni è stato il rifornitore dei sedimenti dell'intero settore (vedi paragrafo successivo).

La provincia di Ragusa, fino al Porto di Gela, nel complesso è caratterizzata da un ambiente sedimentario dominato dalle sabbie medio – fini che si riscontrano sia nella spiaggia emersa sia in quella sommersa. Solo raramente sono stati campionati sedimenti ciottolosi che sono concentrati alla foce di fiumi e torrenti, nel periodo invernale, allorquando le mareggiate asportano i sedimenti più sottili (Figura 7.8 e Figura 7.9).

La tendenza generale dei sedimenti sembra mostrare un leggero assottigliamento, dal punto di vista granulometrico andando da Ovest verso Est. Ciò potrebbe essere spiegato con il diverso sistema di apporto solido, infatti nel settore occidentale, e comunque per parte di

quello che geograficamente potrebbe essere definito 'orientale', fino a contrada Cammarana, i sedimenti carbonatici che alimentano le spiagge sono legati all'erosione delle falesie e quindi forniscono materiale prevalentemente sottile.

L'area prettamente orientale, dominata dai fiume Ippari e Dirillo – Acate, è alimentata da materiale leggermente grossolana che viene trasportato, nel corso delle maggiori alluvioni, dai due corsi d'acqua che attraversano litotipi che possono fornire un carico solido meno elaborato (maturo).

In particolare i sedimenti di spiaggia sono rappresentati prevalentemente da sabbie fini, da ben classate a molto ben classate, con valori di asimmetria che variano da distribuzioni granulometriche prevalentemente simmetriche a asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva). Invece i sedimenti di battigia rientrano prevalentemente nella classe delle sabbie medie, con distribuzione areale della classazione che presenta un netto dominio dei sedimenti ben classati e subordinatamente moderatamente classati. I valori di asimmetria presentano una distribuzione con distribuzioni granulometriche in prevalenza simmetriche e subordinatamente asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva e molto positiva).

I sedimenti di spiaggia sommersa mostrano valori di diametro medio che indicano classi granulometriche che vanno da sabbie medie a sabbie fini, con una netta prevalenza delle sabbie fini.

La distribuzione areale della classazione presenta un netto dominio dei sedimenti molto ben classati e subordinatamente ben classati. I valori di asimmetria presentano una distribuzione piuttosto complessa con distribuzioni granulometriche in prevalenza asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva), subordinatamente simmetriche ed in minor parte code dei grossi (asimmetria negativa).

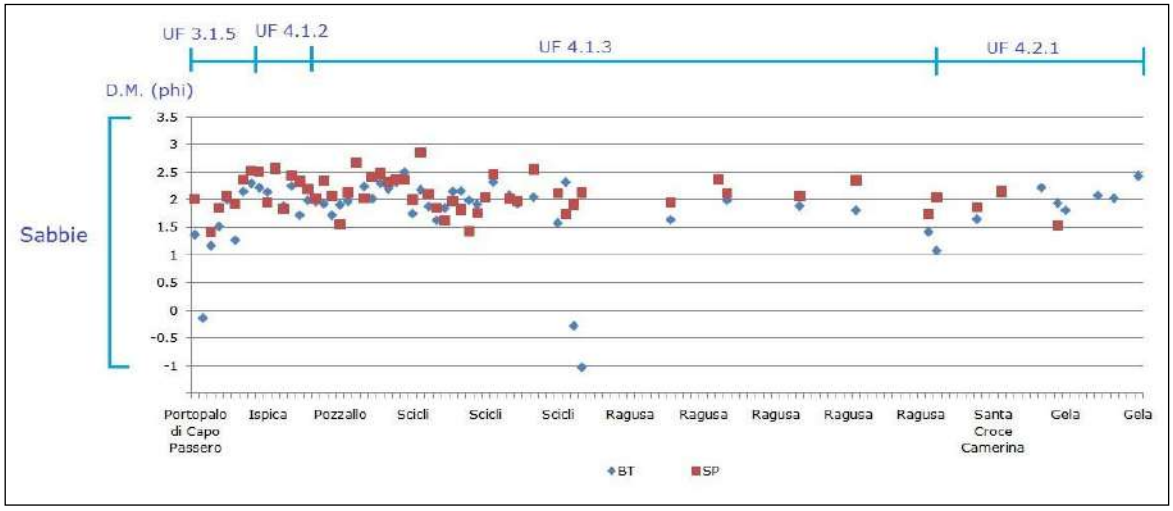


Figura 7.8 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge emerse della Provincia di Ragusa fino al Porto di Gela.

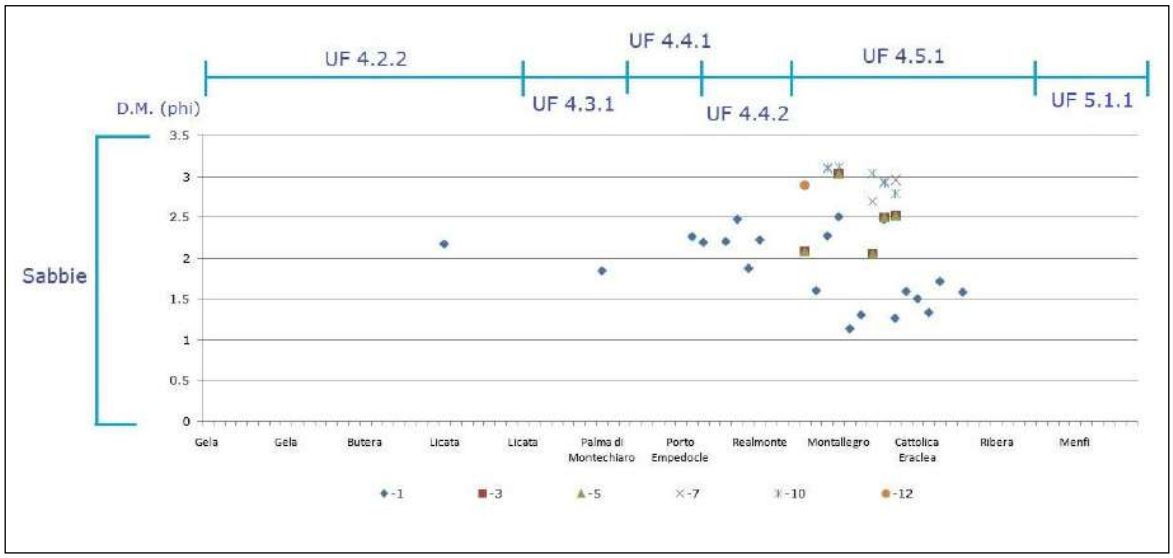


Figura 7.9 Diametro Medio dei sedimenti di fondo alle diverse profondità (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge sommerse della Provincia di Ragusa fino al Porto di Gela.

Dal Porto di Gela (Caltanissetta) fino a Capo Granitola (provincia di Agrigento), i sedimenti di battigia sono alquanto omogenei, infatti la quasi totalità dei campioni sono caratterizzati da sabbie medie, ben classate e simmetriche (Figura 7.10 e Figura 7.11).

Fino a Sciacca i sedimenti di spiaggia presentano valori del diametro medio che variano da sabbie fini a sabbie medie, prevalentemente da ben classate a molto ben classate. I valori di asimmetria presentano una distribuzione piuttosto complessa con distribuzioni prevalentemente asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva e molto positiva) e subordinatamente simmetriche e asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa)

Anche i campioni di battigia presentano valori del diametro medio che variano da sabbie fini a sabbie medie, con qualche sporadico campione di sabbia grossa vicino Licata e nelle spiagge di Cattolica Eraclea, causati dall'asportazione dei sedimenti più sottili a causa dell'erosione. La distribuzione areale della classazione presenta un dominio dei sedimenti ben classati e subordinatamente moderatamente classati, mentre i valori di asimmetria presentano distribuzioni prevalentemente simmetriche e subordinatamente asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) e asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva e molto positiva).

I sedimenti di spiaggia sommersa sono caratterizzati prevalentemente da sabbie fini, da molto ben classati a moderatamente classati, con valori di asimmetria che presentano distribuzioni prevalentemente simmetriche e subordinatamente asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) e asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva e molto positiva).

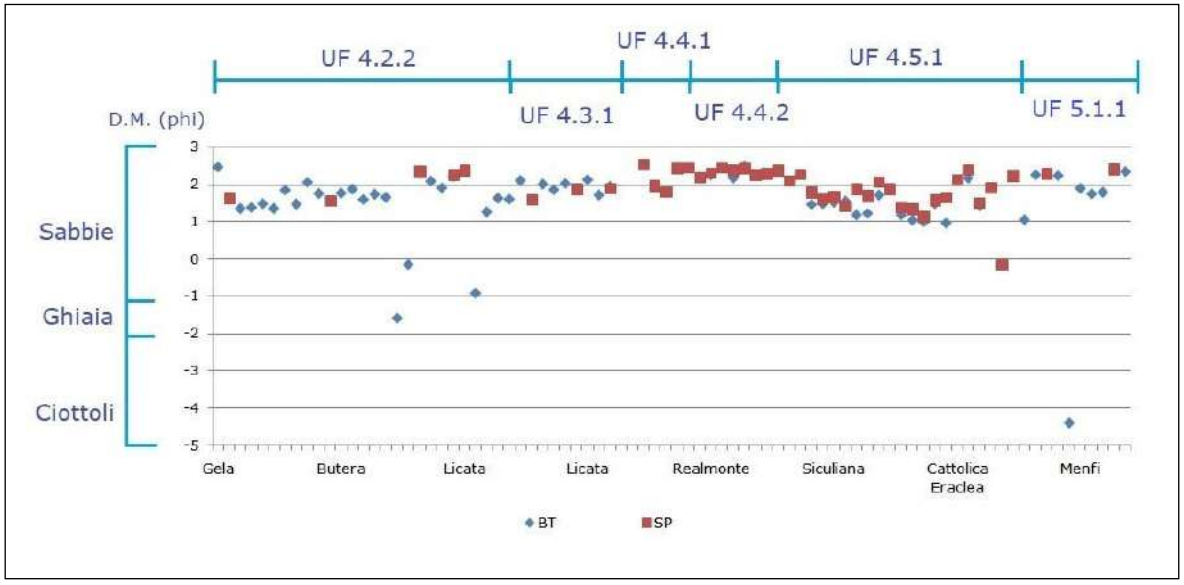


Figura 7.10 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia e Spiaggia (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge emerse tra il Porto di Gela e Capo Granitola.

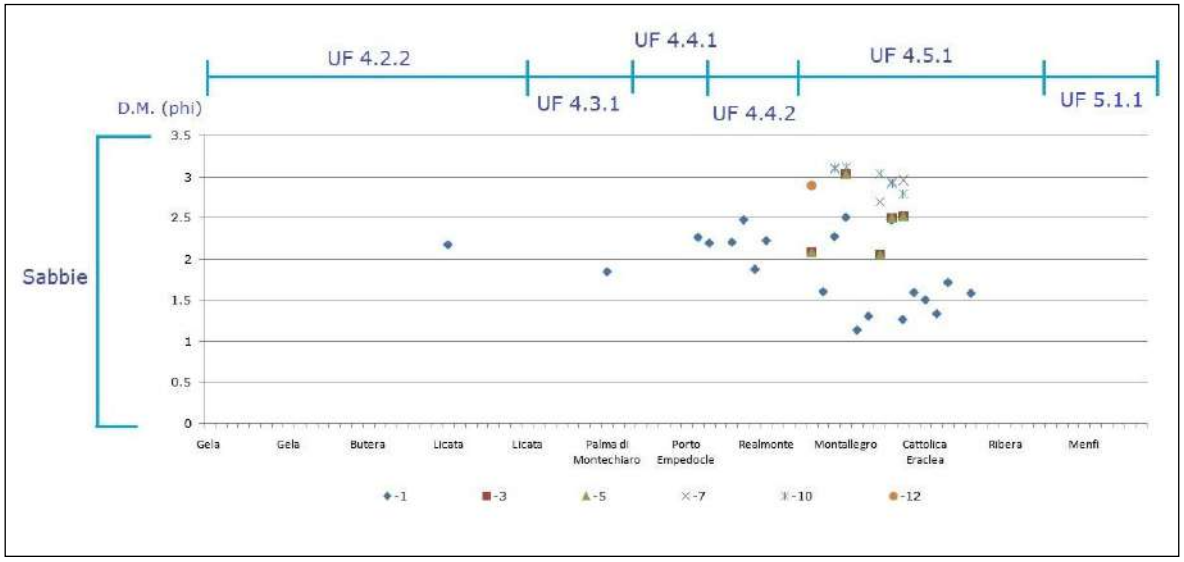


Figura 7.11 Diametro Medio dei sedimenti di fondo alle diverse profondità (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge sommerse tra il Porto di Gela e Capo Granitola.

Superato Capo Granitola si hanno le spiagge del trapanese (da Capo Granitola a Capo Solanto) che acquistano nuovamente un rapporto diretto con la geologia degli affioramenti dell'entroterra.

Le sabbie sono generalmente medie e il colore varia dal giallo al bianco, in diretta funzione del colore degli affioramenti. Alle potenti successioni carbonatiche affioranti nell'entroterra, corrispondono spiagge ricche in frammenti carbonatici organici e non.

Tipica tra queste la spiaggia di San Vito lo Capo, mega pocket beach, che sottende i monti che ospitano le bianche cave di 'marmo' di Custonaci ed ha una bellissima colorazione bianca 'caraibica'.

I sedimenti di spiaggia emersa non sono omogenei, si riscontrano valori di diametro medio che variano dalle ghiaie alle sabbie fini, da ben classati a moderatamente classati e con valori di asimmetria che presentano distribuzioni prevalentemente simmetriche (Figura 7.12 e Figura 7.13).

I sedimenti di battigia presentano valori che variano dai ciottoli alle sabbie fini, prevalentemente ben classati e con distribuzioni prevalentemente simmetriche. I campioni di spiaggia sommersa (-1) non sono stati campionanti in quanto presenti o massi o Posidonia.

Nelle spiagge di Petrosino sia i sedimenti di spiaggia emersa sia i sedimenti di battigia sono omogenei, infatti, entrambi sono caratterizzati da sabbie grosse, ben classate. I campioni di spiaggia emersa sono caratterizzati da distribuzioni simmetriche, mentre i campioni di battigia sono caratterizzati da valori di asimmetria che presentano distribuzioni prevalentemente asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa).

Dal Porto di Trapani a Capo a Punta Solanto, non si riscontrano evidenti variazioni granulometriche, fatta eccezione per la spiaggia di Custonaci.

I sedimenti di spiaggia emersa sono caratterizzati da sabbie medie, ben classate e con i valori di asimmetria che presentano una distribuzioni granulometriche in prevalenza simmetrica e subordinatamente asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa). I sedimenti di battigia sono caratterizzati

prevalentemente da sabbie medie, con qualche campione che rientra nelle classi granulometriche dei ciottoli. Variano da ben classati a moderatamente classati, e con valori di asimmetria che presentano distribuzioni prevalentemente simmetriche e subordinatamente asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) e asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva).

I campioni di spiaggia sommersa sono prevalentemente sabbie medie, con qualche campione che rientra nelle classi granulometriche delle sabbie grosse, da moderatamente classati a ben classati, con valori di asimmetria che presentano distribuzioni prevalentemente simmetriche e subordinatamente asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa).

La spiaggia emersa di Custonaci è caratterizzata da sabbie grosse, moderatamente classate e la battigia da sabbia molto grossa, moderatamente classata.

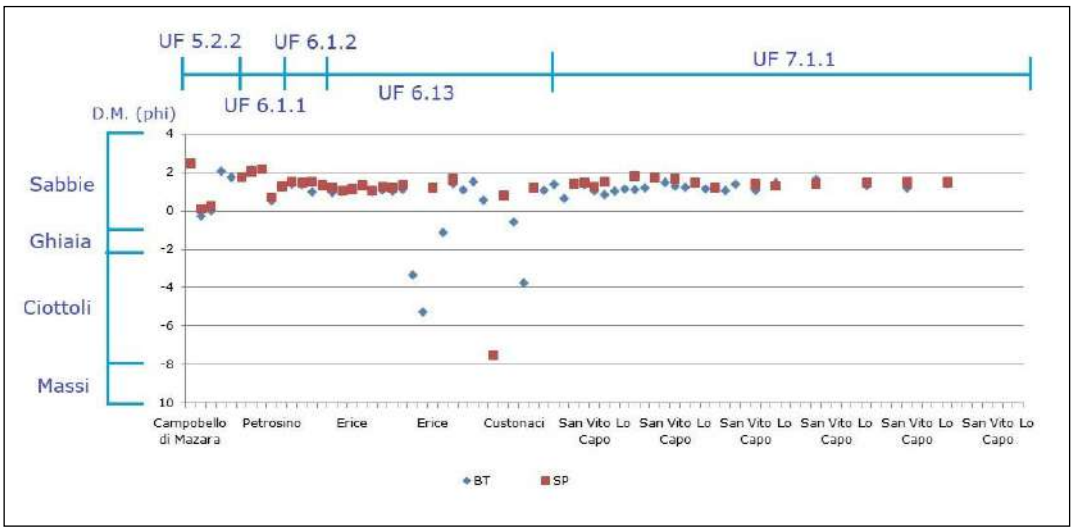


Figura 7.12 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia e Spiaggia (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge emerse tra Capo Granitola e Punta Solanto.

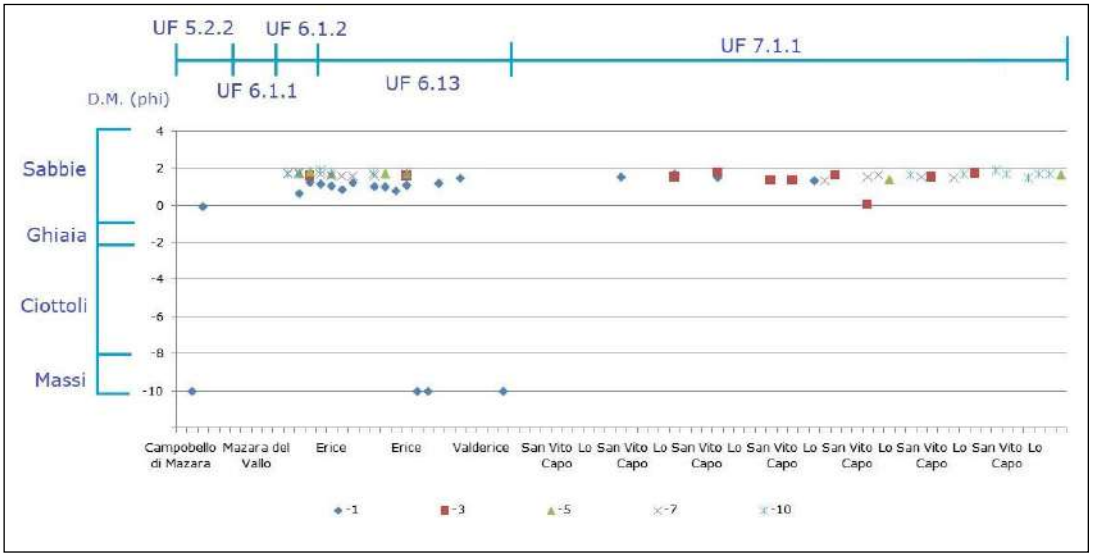


Figura 7.13 Diametro Medio dei sedimenti di fondo alle diverse profondità (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge sommerse tra Capo Granitola e Punta Solanto.

Le spiagge del Golfo di Castellamare del Golfo sono alquanto disomogenea, infatti la spiaggia emersa è caratterizzata da sedimenti che variano da sabbia fine a ciottoli medio fini, da pochissimo classati a molto ben classati, con valori di asimmetria che variano da asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) a simmetriche ad asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva). I sedimenti di battigia variano da sabbie fini a ciottoli fini, da poco classato a ben classato, e con valori di asimmetria che variano da asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) a simmetriche ad asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva). I sedimenti di spiaggia sommersa (-1) sono più grossolani rispetto alla spiaggia emersa, infatti si riscontrano ciottoli fini e medio-fini e massi (Figura 7.14).

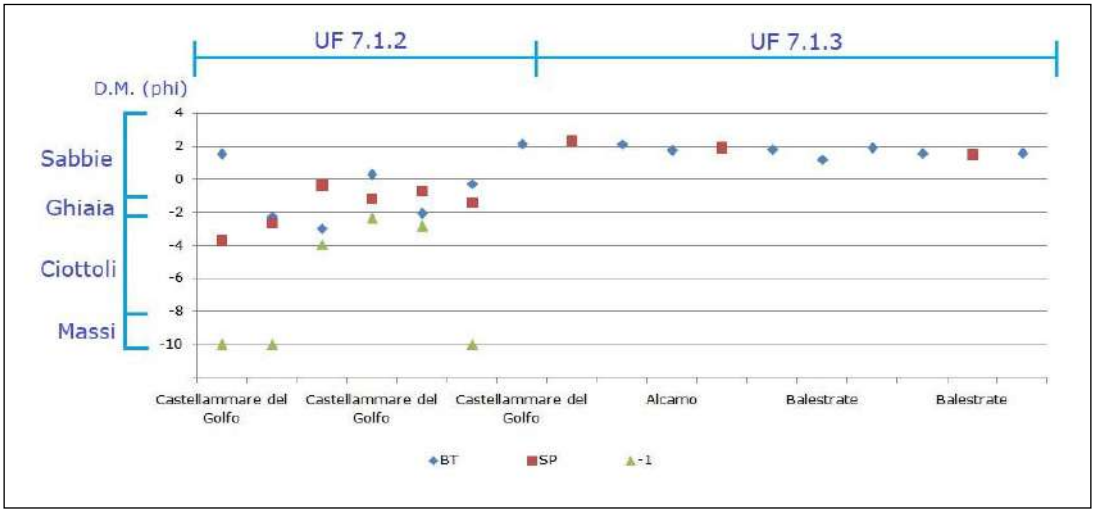


Figura 7.14 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Punta Solanto a Capo Rama.

Le spiagge del palermitano sono caratterizzate da sabbie medie e sabbie grosse, probabilmente fatta eccezione per quella di Campofelice di Roccella dove la frazione granulometrica più sottile risulta completamente erosa, lasciando il posto a una spiaggia relitta ghiaioso – ciottolosa, solo raramente sabbiosa.

Le spiagge della provincia di Palermo, da Capo Rama a Cefalù, si presentano alquanto disomogenee, nella spiaggia emersa si riscontrano sedimenti che variano da sabbie fini a ciottoli medio grossolani, anche se i sedimenti più rappresentativi sono prevalentemente le sabbie medie e secondariamente le sabbie grossolane (Figura 7.15). Variano da ben classati a moderatamente classati e con valori di asimmetria che variano da simmetriche ad asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa).

I sedimenti di battigia variano da sabbie medie a ciottoli medio grossolani, da ben classati a pochissimo classati. I campioni di spiaggia sommersa (-1) variano da sabbia media a ciottoli medio-fini, da ben classati a pochissimo classati. Ci sono tratti in cui sono presenti massi.

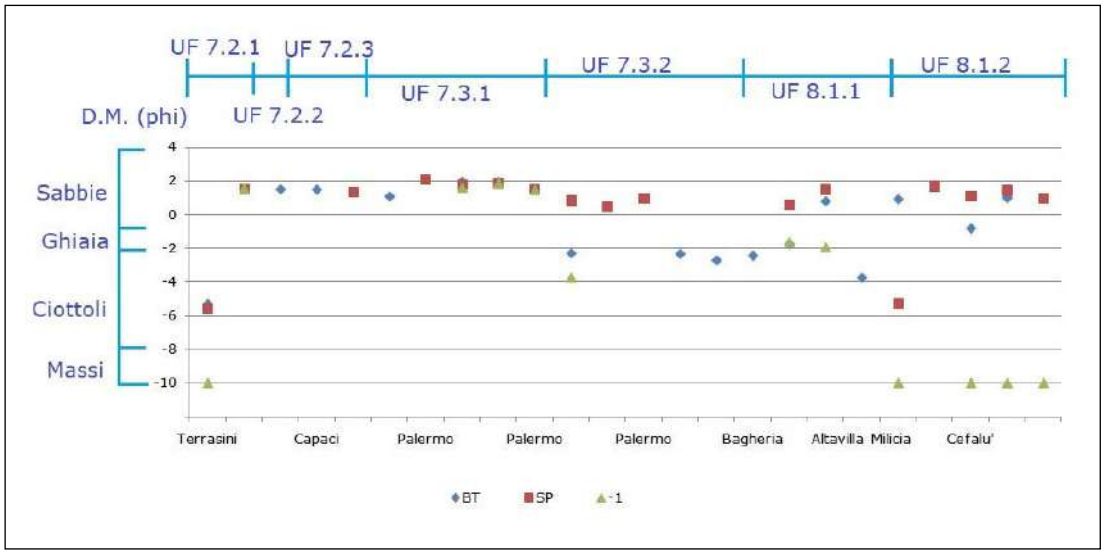


Figura 7.15 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo Rama a Cefalù.

Da Cefalù al Porto di Sant'Agata di Militello le spiagge presentano sedimenti più grossolani; i campioni di battigia sono caratterizzati da ciottoli fini e ciottoli medio fini, prevalentemente poco classati e con asimmetria prevalentemente molto positiva (Figura 7.16).

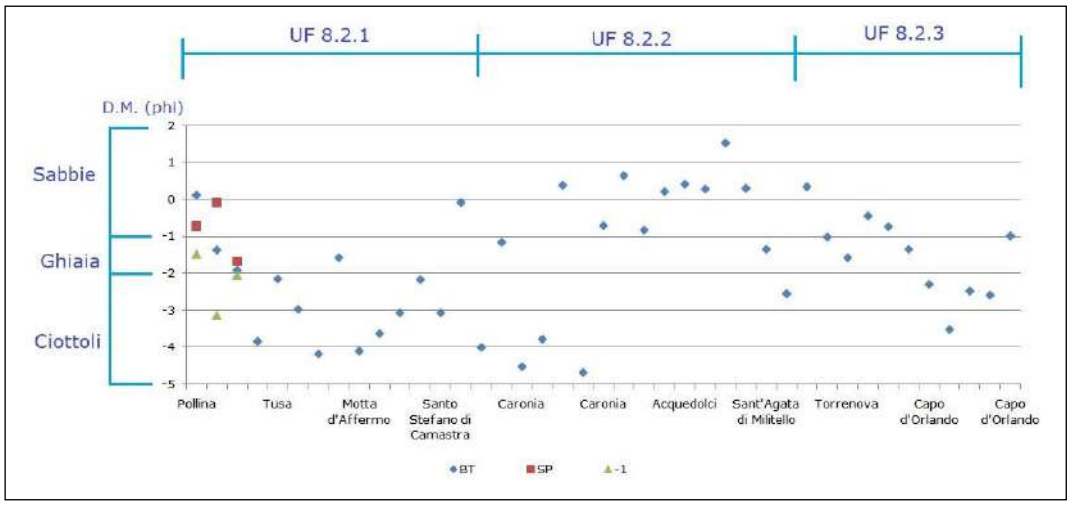


Figura 7.16 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Cefalù al Porto di Sant'Agata di Militello.

Il tratto di litorale compreso tra Capo d'Orlando e Capo San Raineri è caratterizzato da sedimenti grossolani e non omogenei. I sedimenti di spiaggia emersa variano da ciottoli medio-fini a sabbia media, con una predominanza delle sabbie grosse, moderatamente classati (Figura 7.17). I valori di asimmetria variano da asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) a simmetriche ad asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva).

I campioni di battigia sono caratterizzati prevalentemente da sabbie molto grosse e ghiaie, e secondariamente da sabbie grosse, in minor misura sono presenti ciottoli fini. Da pochissimo classati a ben classati, anche se prevalgono i sedimenti poco classati e subordinatamente moderatamente classati. I valori di asimmetria variano da asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) a simmetriche ad asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva e molto positiva).

I sedimenti di spiaggia sommersa (-1) rientrano prevalentemente nella classe delle dei ciottoli fini e subordinatamente nei ciottoli medio fini, con distribuzione areale della classazione da poco classati a moderatamente classati. I valori di asimmetria presentano una distribuzione complessa con distribuzioni prevalentemente asimmetriche caratterizzate da code dei grossi (asimmetria negativa e molto negativa) e subordinatamente simmetriche e asimmetriche caratterizzate da code dei fini (asimmetria positiva e molto positiva).

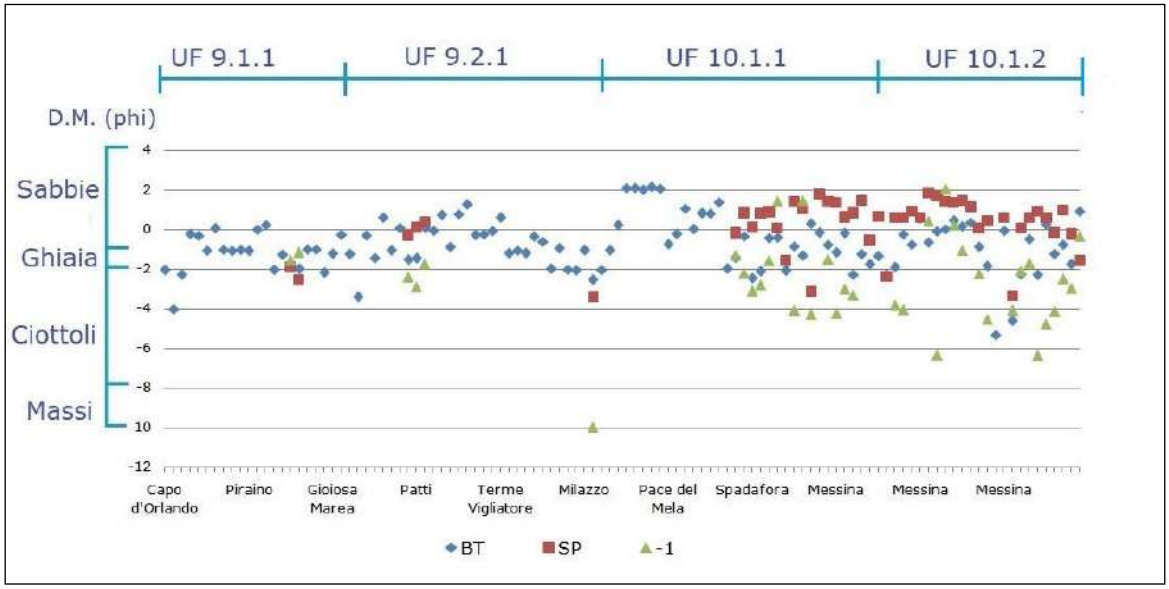


Figura 7.17 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo d'Orlando a Capo San Raineri.

7.3.2 Composizione

L'analisi composizionale eseguita sui campioni provenienti da alcune spiagge siciliane (solo sulla classe granulometrica delle sabbie) evidenzia una variazione composizionale dei sedimenti che, come detto precedentemente, è legata alla geodiversità dell'isola.

Complessivamente sono state distinti granuli terrigeni (minerali leggeri, minerali pesanti, litoclasti calcarei e vulcanici) e granuli di origine bioclastica. Per la componente bioclastica, in ordine di importanza, sono presenti frammenti e gusci interi, foraminiferi e spicole di spugna.

I campioni mostrano una prevalenza di minerali leggeri e subordinatamente di clasti carbonatici. Sono sempre presenti frammenti organogeni, foraminiferi, frammenti litici carbonatici e minerali pesanti, mentre non sempre si riscontrano spicole di spugna e frammenti vulcanici.

La specie mineralogica più rappresentata nei sedimenti di spiaggia analizzati è complessivamente rappresentata dal quarzo. Si tratta

prevalentemente di quarzo cristallino e talvolta è stato possibile riconoscere elementi ascrivibili a selce.

Subordinatamente sono presenti i carbonati che sono rappresentati da litoclasti calcarei monomineralici provenienti da frammenti di rocce e litoclasti polimineralici.

La componente bioclastica è rappresentata da gusci in frammenti di non facile identificazione (talvolta è possibile riconoscere frammenti di bivalvi) e foraminiferi generalmente planctonici. Gli altri elementi non sono sempre rappresentati e sono presenti con percentuali basse.

Dall'analisi dei campioni prelevati lungo le spiagge si evidenzia che la principale discriminante è la variazione percentuale tra la componente silicoclastica su quella carbonatica terrigena.

Nei campioni prelevati lungo le spiagge del settore orientale (provincia di Catania e Siracusa) la specie mineralogica più rappresentata è la calcite. L'unico campione che presenta una predominanza di quarzo è quello della Playa di Catania.

Nelle sabbie prelevate nell"area del siracusano la predominanza della calcite è legata alla presenza della successione carbonatica mesozoico – terziaria che costituisce l'Avampaese Ibleo. I corsi d"acqua dell"area iblea, controllati dalla tettonica e dalla litologia, sono caratterizzati da percorsi brevi che alimentano un'ampio deposito alluvionale costiero.

Il settore meridionale, considerato da Capo Passero a Capo Lilibeo è invece caratterizzato da sedimenti nei quali l"elemento più rappresentato è il quarzo.

Questa netta dominanza di sedimenti quarzosi evidenzia una discrasia con la geologia degli affioramenti retrostanti, soprattutto per i campioni della provincia di Ragusa, che geologicamente fa parte del Plateau Ibleo, caratterizzato da affioramenti carbonatici. La predominanza quarzosa può essere attribuita alla natura dei litotipi

presenti nei bacini di alimentazione, per esempio l"Imera meridionale e quindi essere collegate all"erosione di successioni terrigene a composizione quarzosa, come il Flysch Numidico e la Formazione Terra Vecchia.

Infine, i settori occidentale e settentrionale sono quelli meno omogenei infatti si alternano spiagge nelle quali si ha una predominanza di clasti quarzosi a spiagge nelle quali la predominanza è carbonatica.

In particolare, una parte dei campioni prelevati a Trapani e una parte dei campioni prelevati a Palermo presentano basse percentuali di quarzo, mentre una parte dei campioni delle spiagge di Trapani e una parte dei campioni delle spiagge palermitane sono a predominanza quarzosa.

La composizione delle spiagge è ascrivibile alla presenza di successioni carbonatiche costituenti le Unità Panormidi che caratterizzano i Monti di Palermo e di San Vito.

Nel settore compreso tra le Madonie occidentali, i Monti di Palermo meridionali e i Monti di Termini Imerese affiorano le successioni carbonatiche e silico-carbonatiche, note come successioni Imeresi. Esse rappresentano il substrato originario delle successioni ad argille bruno-giallastre, con intercalazioni di potenti banchi di arenarie quarzose di tipo torbiditico del Flysch Numidico.

7.3.3 Colore

I dati di analisi del colore delle sabbie sono stati ricavati su sabbia asciutta alla luce solare. Il colore rilevato con la Mansell Soil Chart esprime la tinta di fondo del campione.

Il colore predominante che caratterizza i campioni è il marrone chiaro, accompagnato da una varietà di sfumature che vanno dal marrone giallastro al marrone rossastro scuro al giallo, passando per diversi gradi di lucentezza del colore base. Una parte dei campioni

tende al giallo – giallo brunastro. Quasi tutti presentano comunque una comune base marrone chiaro tendente al giallo.

Alcuni campioni invece si discostano e tendendo al grigio chiaro.

7.3.4 Un esempio di geodiversità alterata

Un esempio di geodiversità alterata è fornito, come detto precedentemente, dalle spiagge delle coste ragusane, che sono sorprendentemente ricche in quarzo a fronte di un bacino di riferimento (il plateau ibleo) geologicamente dominato da successioni carbonatiche.

La dominanza del quarzo negli affioramenti e nelle spiagge è legata alle le formazioni geologiche più ricche in clasti di quarzo quali il Flysch Numidico che rappresenta un deposito torbiditico di bordo di piattaforma e la Formazione Terravecchia che rappresenta un prodotto di smantellamento dell"orogene in sollevamento.

Questi depositi si sono probabilmente formati in zone molto profonde di bacini posti alla base o lungo delle scarpate continentali e/o nelle avanfosse delle catene orogeniche sommerse, in seguito a una serie (nel caso dei Flysch) di 'frane' (torbide) sottomarine che hanno dato luogo a una successione stratigrafica, molto spessa e con granulometrie per lo più fini, ben nota in letteratura. L'area di provenienza di questi flysch è per lo più alloctona. Nel caso del Flysch Numidico le quarzareniti che lo formano sono costituite da granuli di quarzo derivanti da sabbie desertiche africane.

Quando la catena, dopo la formazione di diversi cicli flyschioidi orogenici, si è quasi formata ed è quasi tutta emersa, è la molassa ad alimentare l'avanfossa, tramite lo smantellamento delle rocce emerse, colmandola con sedimenti che si depongono in un ambiente marino molto meno profondo, fino ad essere fluvio-deltizio o alluvionale. Il Flysch Numidico e la Formazione Terravecchia sono quindi sedimenti che si sono depositati, in spazi contigui, in concomitanza con l'instaurarsi dell'orogenesi Alpino-Himalayana, in

una paleo- catena siciliana che doveva trovarsi più ad ovest di oggi, nel Mediterraneo occidentale.

Dopo un lungo periodo geologico, nel corso del Pleistocene e dell'Olocene (da 2,58 milioni di anni fa ad oggi), il livello del Mediterraneo è stato interessato da una serie di oscillazioni connesse con i periodi di glaciazioni (periodi freddi) e deglaciazioni (periodi caldi).

Nel Last Glacial Maximum, terminato circa 18.000 anni fa, il livello del Mare Mediterraneo doveva essere al di sotto di quello attuale e dai risultati degli studi effettuati risultava posizionato intorno ai - 130 m s.l.m., quindi la Sicilia paleolitica doveva risultare molto più estesa verso Sud così come l'Africa settentrionale verso Nord. Le isole Maltesi erano di fatto congiunte con l'Altopiano Ibleo e tra Capo Bon e Capo Lilibeo era presente uno stretto canale, costellato da isole, faraglioni e piattaforme (le "vere" Colonne d'Ercole?). Sebbene in modo meno accentuato, anche l'area orientale e settentrionale dell'isola apparivano più estese, interessando soprattutto le aree attualmente occupate dai golfi (Castellammare, Palermo, Termini e Augusta).

La Sicilia dell'ultimo Paleolitico doveva sembrare molto simile all'isola a tre gambe di cui Platone scrive nei suoi Dialoghi e deve avere certamente ispirato il simbolo della Trinacria che troneggia nella bandiera giallo-rossa della Sicilia. Il suo profilo costiero, sebbene molto più esteso di quello attuale,doveva essere identico a quello attuale dal punto di vista geomorfologico e sedimentologico, con il succedersi di tratti rocciosi e di spiagge che si trovavano appunto dove oggi si trova l'isobata di circa – 130 m (Figura 7.18).

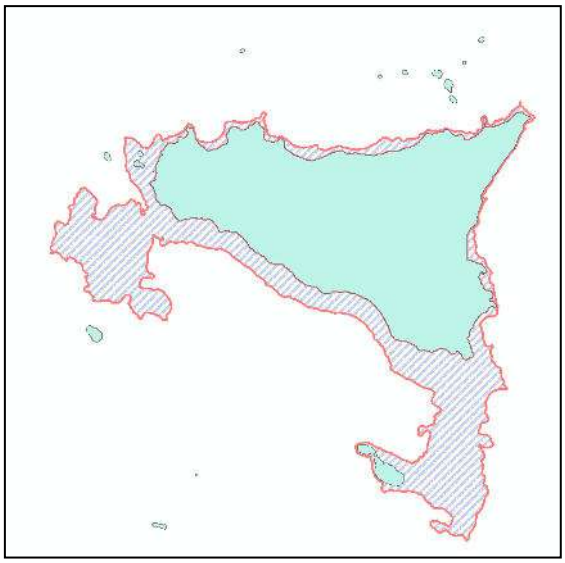


Figura 7.18 La "forma" della Sicilia all'apice dell'ultimo Periodo Glaciale.

7.3.4.1 Le paleospiagge e le spiagge

Il concetto di sabbie relitte distali fu introdotto da Emery il quale osservò che "cinture" di sabbia coprivano molti bordi continentali intorno al mondo a una profondità compresa tra gli 80 e i 120 m. Notò inoltre che esse non erano in equilibrio con gli attuali processi di piattaforma e concluse che questi depositi sedimentarono durante e immediatamente dopo l'ultimo Periodo Glaciale).

In Italia, negli ultimi anni, alcuni depositi profondi sono stati dragati per alimentare dei ripascimenti artificiali sia perché i depositi sommersi garantiscono grandi disponibilità di materiale e sia perché la loro compatibilità con le spiagge attuali è molto alta e l'impatto ambientale inferiore a qualunque altra fonte di approvvigionamento.

Proprio in corrispondenza della profondità, tra i - 100 e i - 130 m, recenti studi, intrapresi in sinergia tra università e privati, hanno permesso di individuare depositi di paleo-spiaggia molto estesi nel settore settentrionale della Sicilia, costituiti da materiali pressoché simili a quelli degli attuali arenili.

Di fatto, allora come oggi, le coste alte e rocciose venivano erose, producendo sedimenti di varie dimensioni, i fiumi portavano una notevole quantità di sedimenti (maggiore di quella attuale) e il mare (le onde e le correnti) la distribuiva lungo la costa (tutto questo confermando il principio dell'attualismo di Lyell).

Sia il quarzo proveniente dai depositi profondi del Golfo di Termini Imerese sia quello attualmente presente lungo le coste meridionali della Sicilia, porta impresso la natura della sua origine, con tipici segni di eolizzazione a testimonianza di un trasporto in un'area desertica africana prima di andare a costituire le formazioni della catena che avrebbe alimentato le spiagge della Sicilia negli ultimi 20.000 anni circa. Tuttavia i granuli di quarzo presentano un diverso grado di maturazione mineralogico – sedimentologica dovuta al fatto che noi li osserviamo in punti diversi della loro storia. I granuli di quarzo provenienti dal bacino idrografico del paleo-Imera Settentrionale, risultano maturi mineralogicamente, ma non sedimentologicamente, sono cioè prevalenti rispetto agli altri minerali presenti nell'ammasso, ma i granuli sono spigolosi. I sedimenti del deposito di paleo spiaggia di Termini Imerese risultano meno maturi sia dal punto di vista mineralogico sia dal punto di vista sedimentologico, questo perché nel deposito i granuli di quarzo si mischiano con elementi carbonatici (frammenti carbonatici più grossolani e da gusci di molluschi e foraminiferi talvolta integri) provenienti da altre parti del bacino e il tempo di deposizione non è riuscito né a selezionarli né ad arrotondarli.

La maturazione, invece, risulta completa lungo le spiagge ragusane dove, le poche migliaia di anni a disposizione, hanno provveduto ad allontanare i granuli composti da altri minerali, facendoli diventare i granuli di quarzo dominanti dal punto di vista mineralogico, conferendogli maturità sedimentologica e arrotondandoli.

Anche i fiumi allora come oggi scorrevano e lo facevano certamente con maggiore efficacia nei settori più alti dei propri bacini idrografici e,

allora come oggi, il fiume Imera Settentrionale (o Fiume Grande) e il fiume Imera Meridionale (Fiume Salso) erodevano i sedimenti lungo i due versanti, rispettivamente settentrionale e meridionale, delle Madonie, dove affiorano le quarzareniti del Flysch Numidico e della Formazione Terravecchia (Figura 7.19).

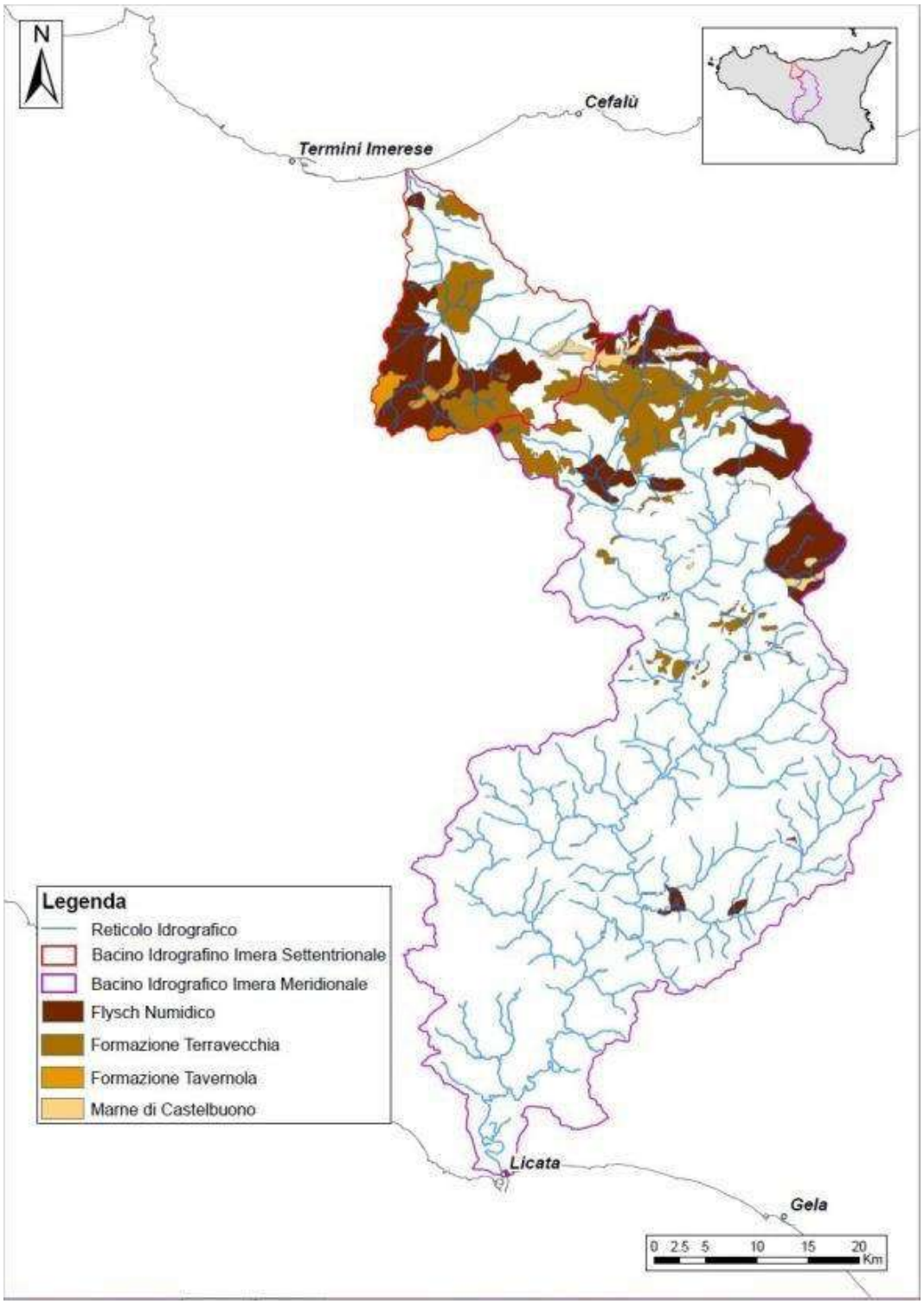


Figura 7.19 Reticolo idrografico e bacino di apporto litologico dei due Imera; la legenda riporta le formazioni affioranti, in ordine proporzionale alla presenza di livelli quarzosi.

Per tale motivo bisogna evidenziare che la fascia costiera meridionale e in particolare il litorale ragusano rappresenta una geodiversità che è in parte legata a caratteristiche geologiche distali. Infatti, tali spiagge sottendono un retroterra costituito da un altopiano carbonatico e gli apporti solidi dei corsi d"acqua sono esclusivamente caratterizzati da frammenti calcarei. A fronte di questo apporto, le spiagge che dovrebbero essere costituite prevalentemente da sedimenti carbonatici, sono invece caratterizzate da sedimenti con percentuali di quarzo che talvolta superano il 70%. Infatti i frammenti calcarei che giungono lungo le coste, trasportati dal reticolo idrologico locale, sono stati, nel tempo,disgregati e resi più piccoli dal quarzo, proveniente dalla foce dell"Imera Meridionale, cioè dalla stessa area di erosione a cui attingeva l'Imera Settentrionale; il materiale carbonatico non è ovviamente scomparso, ma essendo più piccolo e leggero è stato disperso verso il largo e oggi lo troviamo nei depositi presenti oltre la batimetrica dei -35 m, in cui dominano sedimenti più sottili (limi) carbonatici.

7.4 Censimento opere a mare

L'obiettivo principale è stato quello di censire e classificare le opere di difesa costiera rigide presenti su tutto il territorio regionale (isole minori comprese) al 2020. Per svolgere un confronto si è proceduto con identica analisi anche per l'anno 2000. Il censimento delle opere è stato realizzato, in analogia con quanto fatto per l'analisi dell'evoluzione della linea di riva, utilizzando i dati forniti da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). Tali dati sono stati estratti dal file vettoriale già denominato *lc_2000_Sicilia_UTM33,* ottenuto dalla digitalizzazione dei voli aerei IT2000. Ogni opera costiera è stata classificata in termini di tipologia

costruttiva e, per completezza, sono state aggiunte le opere portuali e le foci armate.

Nella Tabella 7.I sono elencate, in ordine di ID, le diverse tipologie di difesa delle coste.

Tabella 7.I Tipologie di opere di difesa costiera censite da ISPRA al 2000 e relative alle Unità Fisiografiche di I Ordine.

ID	OPERE DI DIFESA COSTIERA
1	Foci armate
2	Isolotti
3	Opere miste
4	Pennelli a T emersi
5	Pennelli obliqui emersi
6	Pennelli obliqui sommersi
7	Pennelli ortogonali emersi
8	Pennelli ortogonali sommersi
9	Opere radenti a gettata
10	Opere radenti a muro
11	Scogliere emerse con varchi
12	Scogliere emerse senza varchi
13	Scogliere sommerse con varchi
14	Scogliere sommerse senza varchi
15	Opere portuali

Per quanto riguarda la situazione relativa all'inverno (gennaio e febbraio) 2020 invece, sono state utilizzate le immagini satellitari aventi risoluzione di 3 m x 3 m. Si tratta di immagini ottenute dalla scansione, per mezzo di sensori ottici, dell'intera area costiera siciliana (con larghezza della fascia costiera di circa 2-3 km), comprese le isole minori. Tutte le immagini sono state acquisite nelle quattro bande multispettrali *blue*, *green*, *red* (RGB) e nell'infrarosso vicino (NIR) e hanno assenza di copertura nuvolosa. Queste caratteristiche le rendono adatte all'uso analitico e alla loro interpretazione ai fini di studi riguardanti il territorio.

La ditta fornitrice Planetek Italia ha provveduto alla ortorettifica, al geo-riferimento e alla proiezione di tutto il *dataset* di immagini. In particolare, il *datum* utilizzato è il WGS84 e la proiezione è UTM33N. I *files* consegnati alla Regione Siciliana hanno estensione g*eotiff*.

Le procedure utilizzate per il 2000 e per il 2020 sono essenzialmente differenti.

Procedura anno 2000

La procedura ha previsto il conteggio delle opere attraverso l'utilizzo dei dati vettoriali classificati come in Tabella 7.I, confrontando tali informazioni con immagini di archivio. Tali informazioni sono state minuziosamente verificate per ciascuna Unità Fisiografica e relativamente ai tre ordini di livello (I, II e III) definiti in questo documento.

Procedura anno 2020

Tale procedura consiste nell'aggiornamento delle informazioni ottenute per il 2000 attraverso una dettagliata osservazione delle immagini satellitari relative al 2020, già descritte in precedenza. Il primo passaggio è stato quello di inserire tutte le immagini satellitari in ambiente GIS utilizzando il sistema di riferimento WGS84 UTM33N. Inoltre, le immagini sono state visualizzate sia in modalità RGB che in scala di grigi utilizzando anche la quarta banda relativa all'infrarosso vicino (NIR). Infatti, l'utilizzo del NIR ha permesso di mettere in evidenza tutte le opere costiere rigide.

Una volta realizzato il geo-mosaico delle immagini satellitari, le coste siciliane sono state divise in tre settori: versante settentrionale (Mar Tirreno), versante orientale (Mar Ionio) e versante meridionale (Mar Mediterraneo). Per ogni settore sono state individuate le diverse opere rigide che, successivamente, sono state digitalizzate classificandole per tipologia (analoga a quella del 2000). Ogni settore costiero è stato analizzato dagli operatori alla scala di osservazione di 1:10.000 (Figura 7.20 e Figura 7.21).

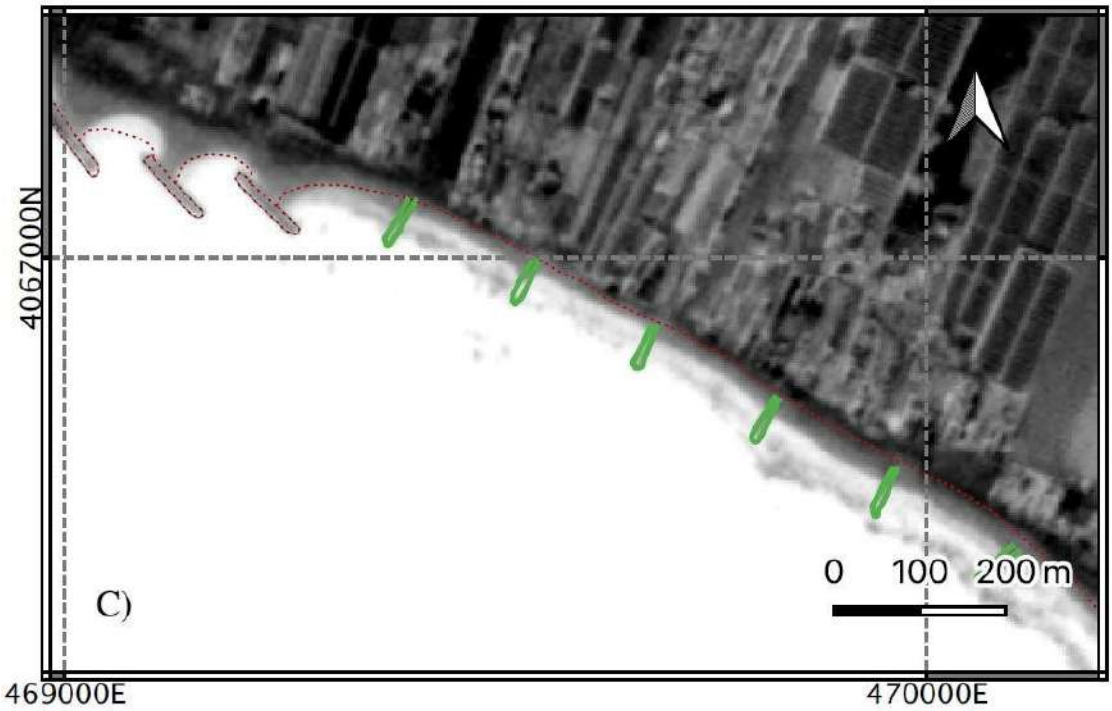


Figura 7.20 Particolare relativo all'individuazione e alla mappatura di opere di difesa (località Donnalucata - RG). La linea rossa tratteggiata rappresenta la linea di riva e le opere al 2000. La linea verde indica le opere di difesa al 2020. L'immagine di sfondo è la banda dell'infrarosso vicino del febbraio 2020 (SR: WGS84 UTM33N).

Al fine di limitare eventuali errori, il conteggio e l'analisi per l'intera costa siciliana sono stato effettuati in tre principali passaggi, con dettaglio via via crescente. Nel primo passaggio sono state contate e classificate le opere in ciascuna Unità Fisiografica di I ordine (10) e nelle isole minori (divise in: Is. Eolie, Is. Egadi, Is. Pelagie, Pantelleria e Ustica). Nel secondo passaggio sono state identificate le stesse opere per ciascuna Unità Fisiografica di II ordine (24). Infine, il terzo passaggio ha permesso di identificare le opere per ciascuna Unità Fisiografica di III ordine (44). I tre passaggi precedenti sono stati realizzati da operatori differenti per poi essere controllati in un ultimo passaggio detto "di verifica".

Il risultato complessivo per il 2000 è stato riportato nelle seguenti dalla Tabella 7.II alla Tabella 7.V e dalla Figura 7.22 alla Figura 7.26.

Figura 7.21 Particolare relativo all'individuazione e mappatura di un'opera portuale (porto di Sant'Agata di Militello - ME). La linea rossa tratteggiata rappresenta la linea di riva e l'opera stessa al 2000. La linea verde indica l'opera al 2020. L'immagine di sfondo è la banda dell'infrarosso vicino acquisita nel febbraio 2020 (SR: WGS84 UTM33N).

Tabella 7.II Opere di difesa costiera al 2000 relative alle Unità Fisiografiche di I Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I.

Unità Fisiografiche I Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-	-	-	1	-	1	5	-	9	1	12	-	3	-	10
2	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
3	-	1	1	-	-	-	1	-	26	14	3	3	5	-	23
4	2	-	3	-	5	-	6	-	20	1	116	3	4	2	25
5	-	-	2	-	-	-	7	-	-	1	1	-	-	-	9
6	6	-	2	-	-	1	9	-	10	14	23	-	-	-	10
7	-	-	2	-	-	-	1	-	14	1	9	1	-	-	23
8	3	-	2	4	7	-	6	3	59	15	64	1	-	-	23
9	-	-	13	-	97	-	34	2	35	2	27	6	13	-	2
10	2	-	20	1	25	-	56	2	22	8	69	1	-	1	5
11	-	-	-	-	-	-	7	-	4	3	5	3	5	1	14
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
14	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
TOTALE	**13**	**1**	**45**	**6**	**136**	**2**	**132**	**7**	**202**	**60**	**329**	**18**	**30**	**4**	**139**

Tabella 7.III Opere di difesa costiera al 2000 relative alle Isole minori. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I.

Isole Minori	**ID - Opere di Difesa**														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Is. Eolie	-	-	-	-	-	-	7	-	4	3	5	3	5	1	14
Is. Egadi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Is. Pelagie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Pantelleria	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
Ustica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
TOTALE	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**7**	**-**	**6**	**3**	**5**	**3**	**5**	**1**	**24**

Tabella 7.IV Opere di difesa costiera al 2000 relative alle Unità Fisiografiche di II Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I.

Unità Fisiografiche II Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-
1.2	-	-	-	1	-	1	3	-	3	-	-	-	3	-	1
1.3	-	-	-	-	-	-	1	-	4	1	12	-	-	-	9
2.1	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
3.1	-	1	1	-	-	-	1	-	26	14	3	3	5	-	23
4.1	-	-	1	-	1	-	3	-	3	1	24	1	-	-	6
4.2	2	-	-	-	-	-	2	-	6	-	33	-	-	-	6
4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	-	-	4
4.4	-	-	2	-	3	-	1	-	10	-	19	1	4	1	5
4.5	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	26	-	-	1	4
5.1	-	-	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	3
5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	6
6.1	6	-	2	-	-	1	9	-	10	14	23	-	-	-	10
7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	9	1	-	-	7
7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
7.3	-	-	2	-	-	-	1	-	7	1	-	-	-	-	8
8.1	3	-	2	4	-	-	1	3	40	6	36	-	-	-	6
8.2	-	-	-	-	7	-	5	-	19	9	28	1	-	-	2
9.1	-	-	2	-	72	-	11	1	5	1	6	2	4	-	1
9.2	-	-	11	-	25	-	23	1	30	1	21	4	9	-	1
10.1	2	-	20	1	25	-	56	2	22	8	69	1	-	1	5
TOTALE	**13**	**1**	**45**	**6**	**136**	**2**	**125**	**7**	**196**	**57**	**324**	**15**	**25**	**3**	**115**

Tabella 7.V Opere di difesa costiera al 2000 relative alle Unità Fisiografiche di III Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I.

Unità Fisiografiche III Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1.1	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-
1.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
1.2.2	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
1.2.3	-	-	-	-	-	1	3	-	1	-	-	-	3	-	1
1.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	7	-	-	-	1
1.3.2	-	-	-	-	-	-	1	-	3	1	5	-	-	-	8
2.1.1	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
3.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	14	2	-	1	-	-	9
3.1.2	-	-	1	-	-	-	-	-	7	12	3	2	5	-	6
3.1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.1.4	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	7
3.1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	1
4.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	1	-	-	2
4.1.3	-	-	1	-	1	-	3	-	3	-	20	-	-	-	4
4.2.1	2	-	-	-	-	-	2	-	4	-	21	-	-	-	1
4.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	12	-	-	-	5
4.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	-	-	4
4.4.1	-	-	2	-	3	-	1	-	7	-	19	-	4	1	1
4.4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	1	-	-	4
4.5.1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	26	-	-	1	4
5.1.1	-	-	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	3
5.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2
5.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	4
6.1.1	2	-	-	-	-	-	3	-	7	2	16	-	-	-	4
6.1.2	4	-	2	-	-	1	6	-	1	8	-	-	-	-	4
6.1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	7	-	-	-	2
7.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7.1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7.1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	9	1	-	-	7
7.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
7.3.2	-	-	2	-	-	-	1	-	7	1	-	-	-	-	4
8.1.1	1	-	1	-	-	-	-	-	17	2	15	-	-	-	5
8.1.2	2	-	1	4	-	-	1	3	23	4	21	-	-	-	1
8.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	13	7	6	-	-	-	1
8.2.2	-	-	-	-	6	-	1	-	2	1	5	1	-	-	-
8.2.3	-	-	-	-	1	-	4	-	4	1	17	-	-	-	1
9.1.1	-	-	2	-	72	-	11	1	5	1	-	2	4	-	1
9.2.1	-	-	11	-	25	-	23	1	30	1	-	4	9	-	1
10.1.1	2	-	2	1	14	-	43	2	13	8	-	1	-	1	2
10.1.2	-	-	18	-	11	-	13	-	9	-	-	-	-	-	3
TOTALE	**13**	**1**	**45**	**6**	**136**	**2**	**125**	**7**	**196**	**57**	**228**	**15**	**25**	**3**	**115**

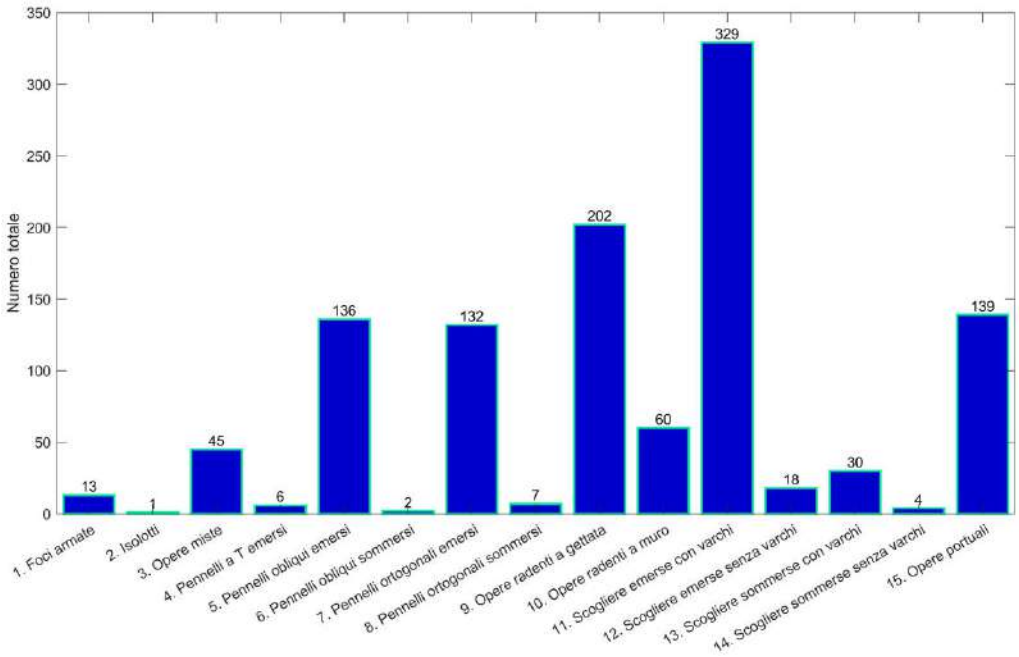


Figura 7.22 Istogramma a barre relativo al totale delle opere censite al 2000. Sicilia e Isole minori.

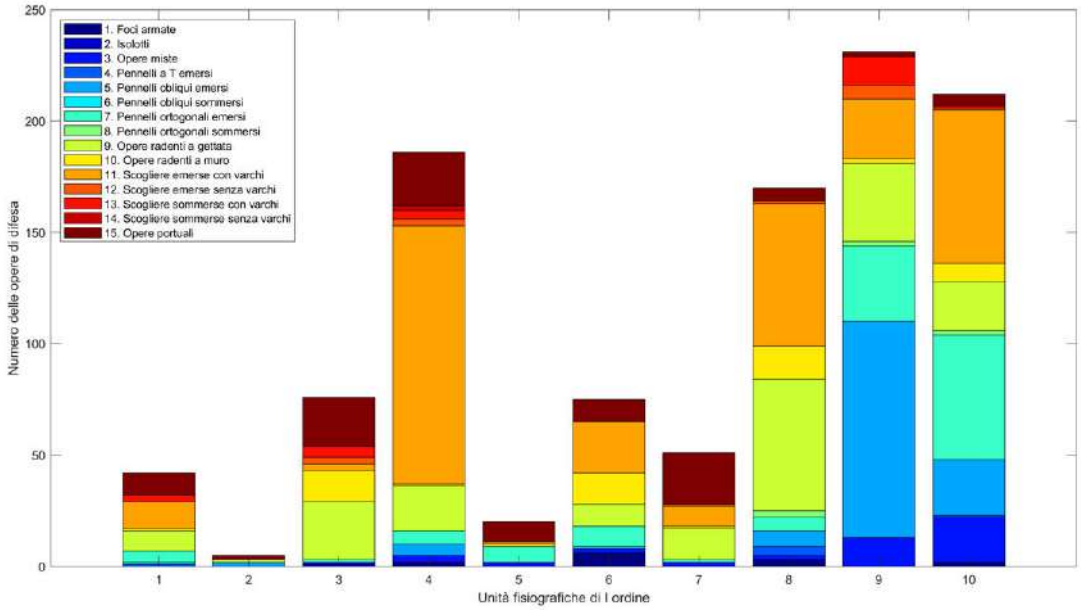


Figura 7.23 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2000 classificate sia per tipologia che per Unità Fisiografica di I ordine delle coste siciliane, escluso le isole minori.

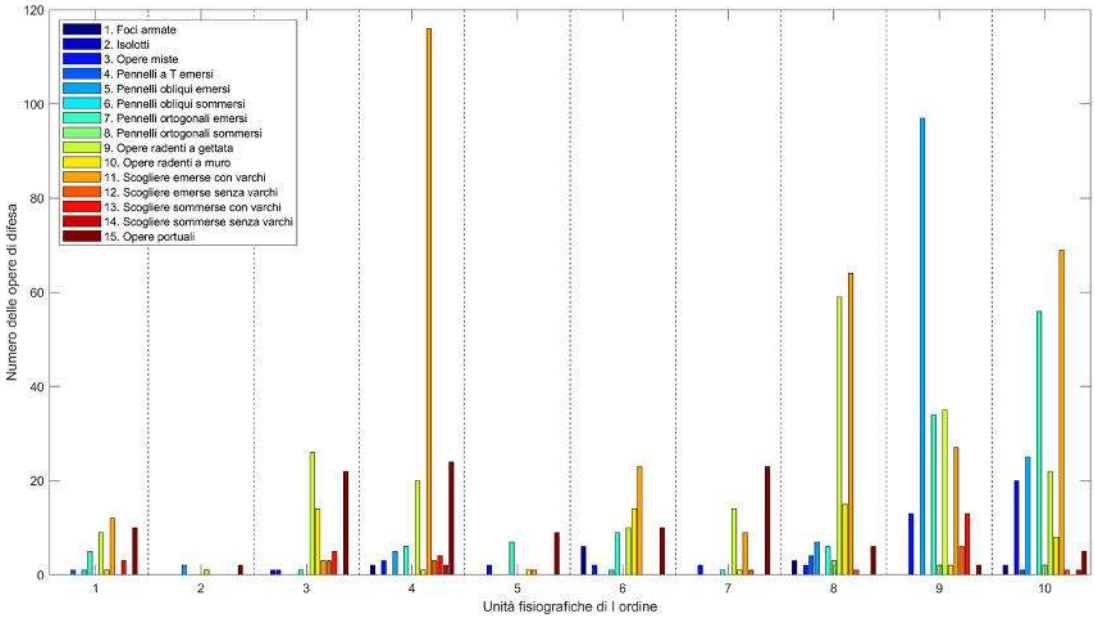


Figura 7.24 Istogramma relativo alle opere censite al 2000 raggruppate per Unità Fisiografica di I ordine e classificate per tipologia.

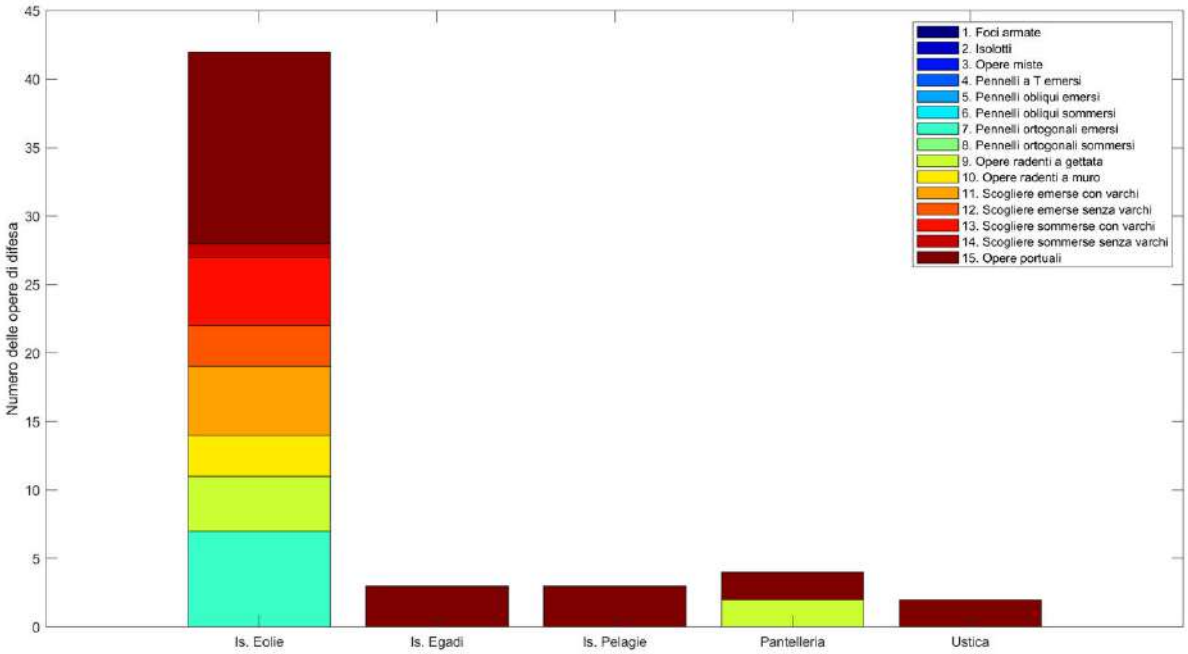


Figura 7.25 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2000 classificate sia per tipologia che per le Isole minori.

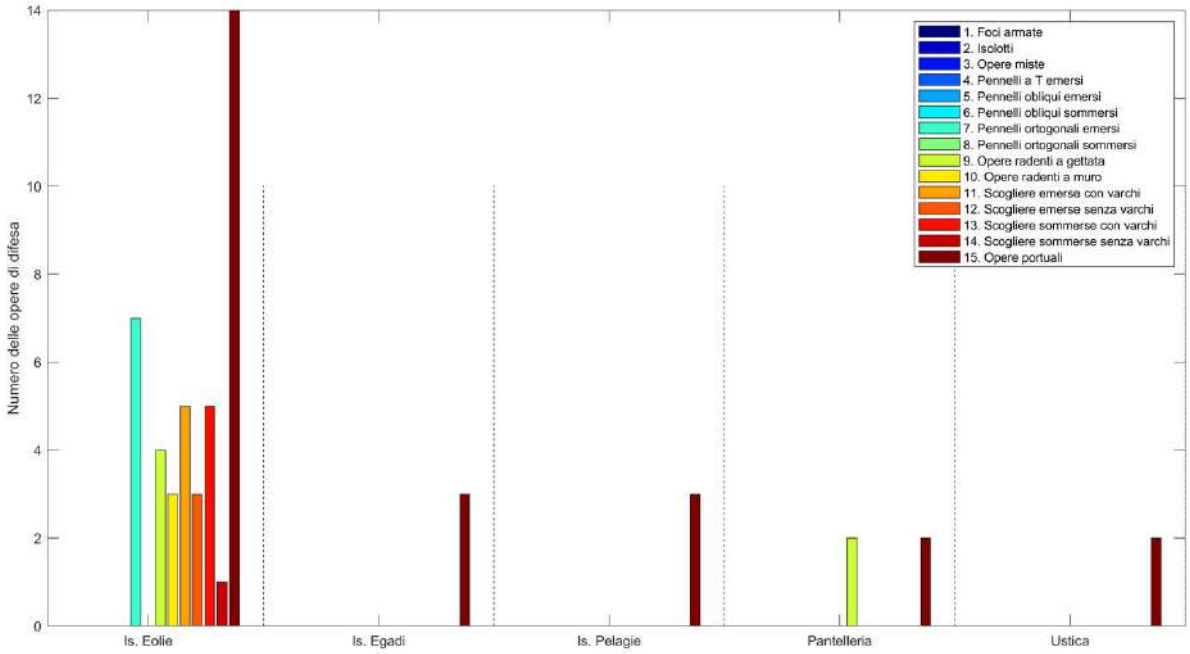


Figura 7.26 Istogramma relativo alle opere censite al 2000 classificate sia per tipologia che per le Isole minori.

Analoghi risultati sono riportati per il 2020 dalla Tabella 7.VI alla Tabella 7.IX e dalla Figura 7.27 alla Figura 7.31.

Tabella 7.VI Opere di difesa costiera al 2020 relative alle Unità Fisiografiche di I ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I.

Unità Fisiografiche I Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-	-	2	1	-	1	25	-	17	3	30	1	5	-	11
2	-	-	-	-	2	-	3	-	1	-	-	-	-	-	2
3	-	-	1	-	-	1	8	1	27	14	4	3	5	1	24
4	2	-	3	-	5	-	32	-	24	1	114	3	4	2	24
5	-	-	2	-	-	-	7	-	1	1	1	-	-	-	9
6	6	1	2	-	4	1	10	-	11	10	35	-	-	1	11
7	-	-	3	-	-	-	5	-	13	-	9	-	-	1	23
8	3	-	2	4	7	-	14	3	47	11	69	1	-	-	6
9	-	1	9	-	96	1	42	1	44	-	25	4	24	3	2
10	6	-	23	1	46	-	71	-	36	5	65	1	2	1	5
11	-	-	-	-	-	-	7	-	4	3	5	3	5	1	15
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
14	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2

15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
TOTALE	**17**	**2**	**47**	**6**	**160**	**4**	**224**	**5**	**227**	**48**	**357**	**16**	**45**	**10**	**142**

Tabella 7.VII Opere di difesa costiera al 2020 relative alle Isole minori. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I.

Isole Minori	**ID - Opere di Difesa**														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Is. Eolie	-	-	-	-	-	-	7	-	4	3	5	3	5	1	15
Is. Egadi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Is. Pelagie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Pantelleria	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
Ustica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
TOTALE	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**7**	**-**	**6**	**3**	**5**	**3**	**5**	**1**	**25**

Tabella 7.VIII Opere di difesa costiera al 2020 relative alle Unità Fisiografiche di II Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I.

Unità Fisiografiche II Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1	-	-	2	-	-	-	17	-	12	1	14	1	-	-	1
1.2	-	-	-	1	-	1	3	-	3	1	-	-	4	-	1
1.3	-	-	-	-	-	-	3	-	2	1	16	-	1	-	9
2.1	-	-	-	-	2	-	2	-	1	-	-	-	-	-	2
3.1	-	-	1	-	-	1	11	1	29	14	4	3	5	1	24
4.1	-	-	1	-	1	-	24	-	3	1	25	1	-	-	6
4.2	2	-	-	-	1	-	4	-	9	-	34	-	-	-	6
4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	-	-	4
4.4	-	-	2	-	2	-	1	-	7	-	19	1	4	1	4
4.5	-	-	-	-	1	-	-	-	4	-	26	-	-	1	4
5.1	-	-	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	3
5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	6
6.1	2	1	-	-	4	-	10	-	10	2	30	-	-	1	11
7.1	4	-	2	-	-	1	3	-	7	8	10	-	-	1	7
7.2	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	6
7.3	-	-	3	-	-	-	1	-	7	-	-	-	-	-	8
8.1	3	-	2	4	-	-	1	3	31	2	39	-	-	-	6
8.2	-	-	-	-	7	-	17	-	15	9	30	1	-	-	2
9.1	-	1	4	-	54	-	12	-	12	-	6	2	4	2	1
9.2	-	-	5	-	43	1	30	1	32	-	19	2	20	1	1
10.1	6	-	23	1	45	-	71	-	36	5	65	1	2	1	5
TOTALE	**17**	**2**	**47**	**6**	**160**	**4**	**217**	**5**	**221**	**45**	**352**	**13**	**40**	**9**	**117**

Tabella 7.IX Opere di difesa costiera al 2020 relative alle Unità Fisiografiche di III Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I.

Unità Fisiografiche III Ordine	ID - Opere di Difesa														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1.1	-	-	2	-	-	-	17	-	12	1	14	1	-	-	1
1.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
1.2.2	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
1.2.3	-	-	-	-	-	1	5	-	1	-	-	-	4	-	1
1.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	1	-	1
1.3.2	-	-	-	-	-	-	3	-	2	1	5	-	-	-	8
2.1.1	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
3.1.1	-	-	-	-	-	-	5	-	14	2	-	1	-	-	10
3.1.2	-	-	1	-	-	-	2	-	7	12	3	2	5	1	6
3.1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.1.4	-	-	-	-	-	1	3	1	1	-	1	-	-	-	7
3.1.5	-	-	-	-	-	-	1	-	5	-	-	-	-	-	1
4.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.1.2	-	-	-	-	-	-	7	-	-	1	4	1	-	-	2
4.1.3	-	-	1	-	1	-	20	-	4	-	21	-	-	-	4
4.2.1	2	-	-	-	-	-	3	-	6	-	22	-	-	-	1
4.2.2	-	-	-	4	1	-	1	-	3	-	12	-	-	-	5
4.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	-	-	4
4.4.1	-	-	2	-	2	-	1	-	4	-	19	-	4	1	1
4.4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	1	-	-	3
4.5.1	-	-	-	-	1	-	-	-	4	-	26	-	-	1	4
5.1.1	-	-	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	3
5.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	2
5.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
6.1.1	2	-	-	-	2	-	5	-	7	-	26	-	-	-	4
6.1.2	4	-	2	-	-	1	3	-	1	10	1	-	-	-	5
6.1.3	-	1	-	-	2	-	2	-	3	-	4	-	-	1	2
7.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7.1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	9	-	-	1	2
7.1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
7.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7.3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
7.3.2	-	-	3	-	-	-	1	-	7	-	-	-	-	-	4
8.1.1	1	-	1	-	-	-	-	-	17	2	16	-	-	-	5
8.1.2	2	-	1	-	-	-	1	3	14	-	23	-	-	-	1
8.2.1	-	-	-	-	-	-	3	-	13	7	6	-	-	-	1
8.2.2	-	-	-	-	6	-	2	-	2	1	7	1	-	-	-
8.2.3	-	-	-	-	1	-	12	-	1	1	17	-	-	-	1
9.1.1	-	1	4	-	54	-	12	-	12	-	6	2	4	2	1
9.2.1	-	-	5	-	42	1	30	1	32	-	19	2	20	1	1
10.1.1	4	-	1	1	17	-	49	-	15	5	49	1	2	1	2
10.1.2	2	-	22	-	29	-	22	-	21	-	16	-	-	-	3
Totale	**17**	**2**	**47**	**6**	**160**	**4**	**217**	**5**	**221**	**45**	**352**	**13**	**40**	**9**	**117**

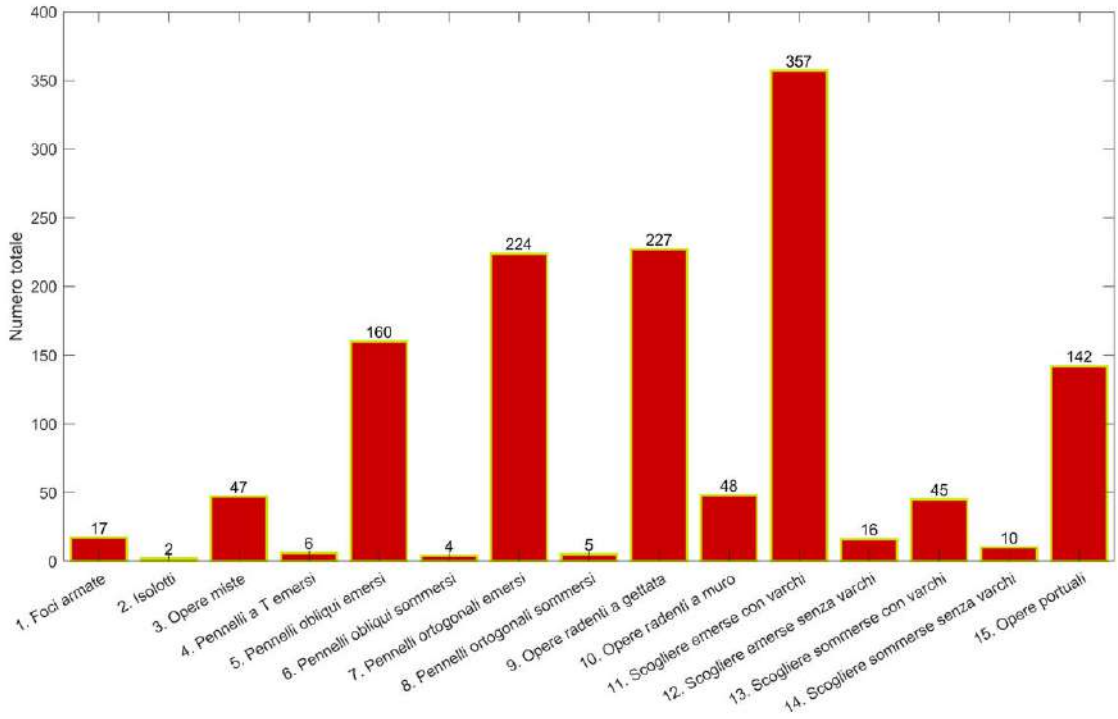


Figura 7.27 Istogramma a barre relativo al totale delle opere censite al 2020. Sicilia e Isole minori.

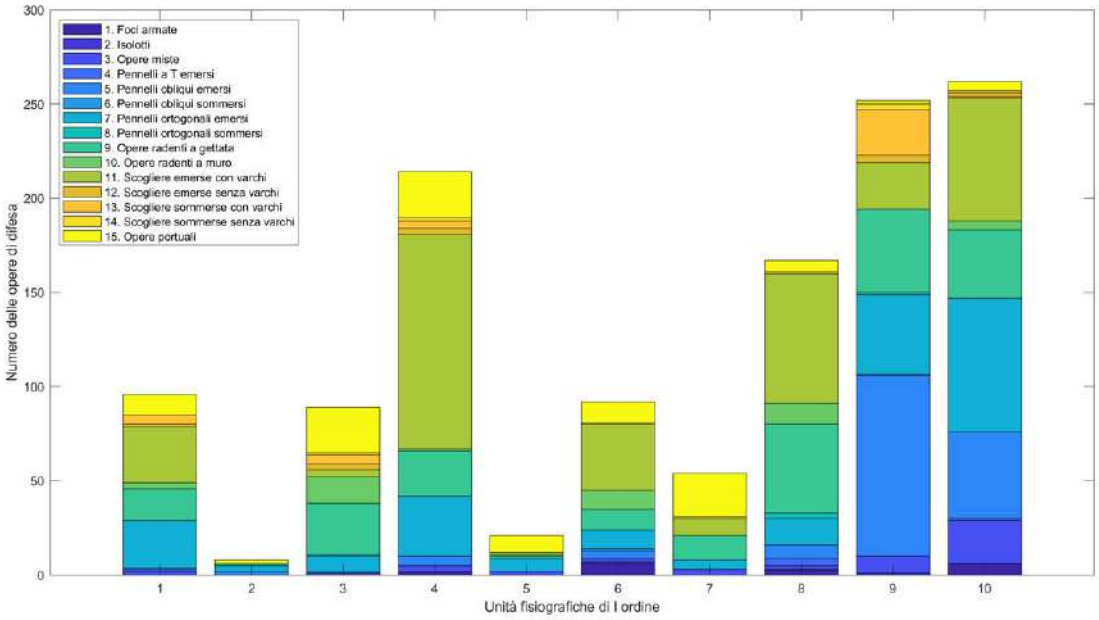


Figura 7.28 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2020 classificate sia per tipologia che per Unità Fisiografica di I ordine delle coste siciliane, escluso le isole minori.

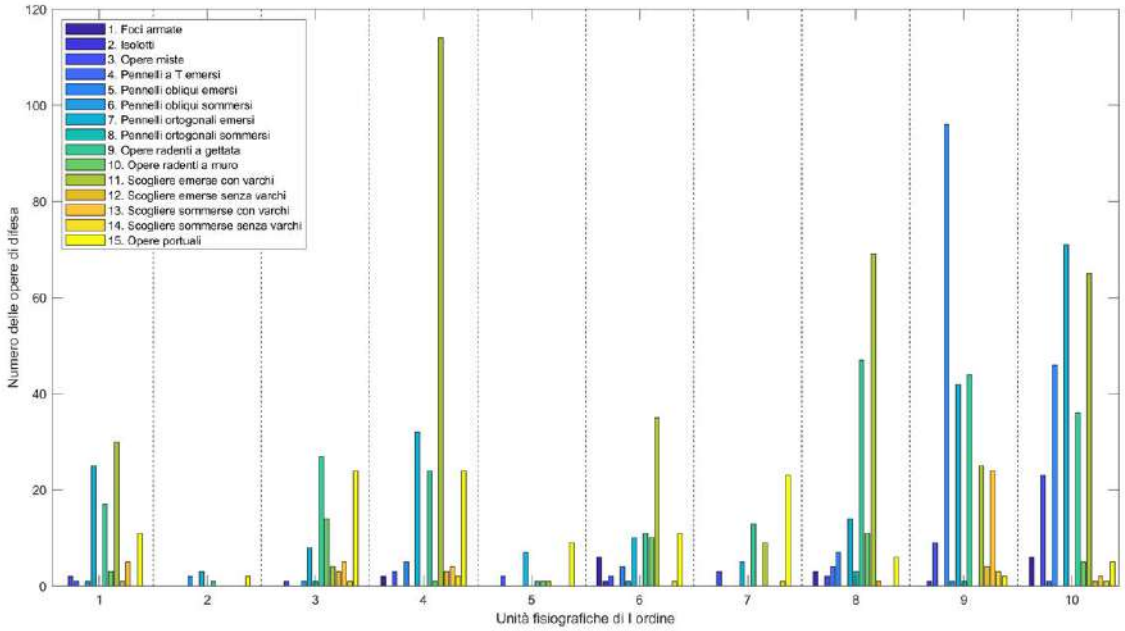


Figura 7.29 Istogramma relativo alle opere censite al 2020 classificate sia per tipologia che per Unità Fisiografica di I ordine delle coste siciliane, escluso le isole minori.

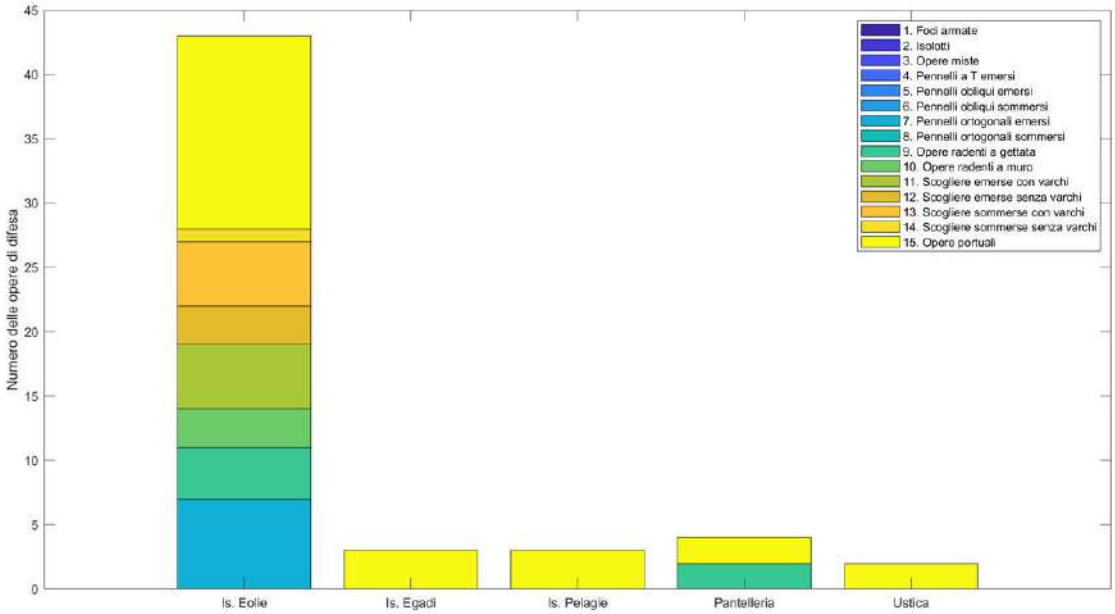


Figura 7.30 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2020 classificate per tipologia. Isole minori.

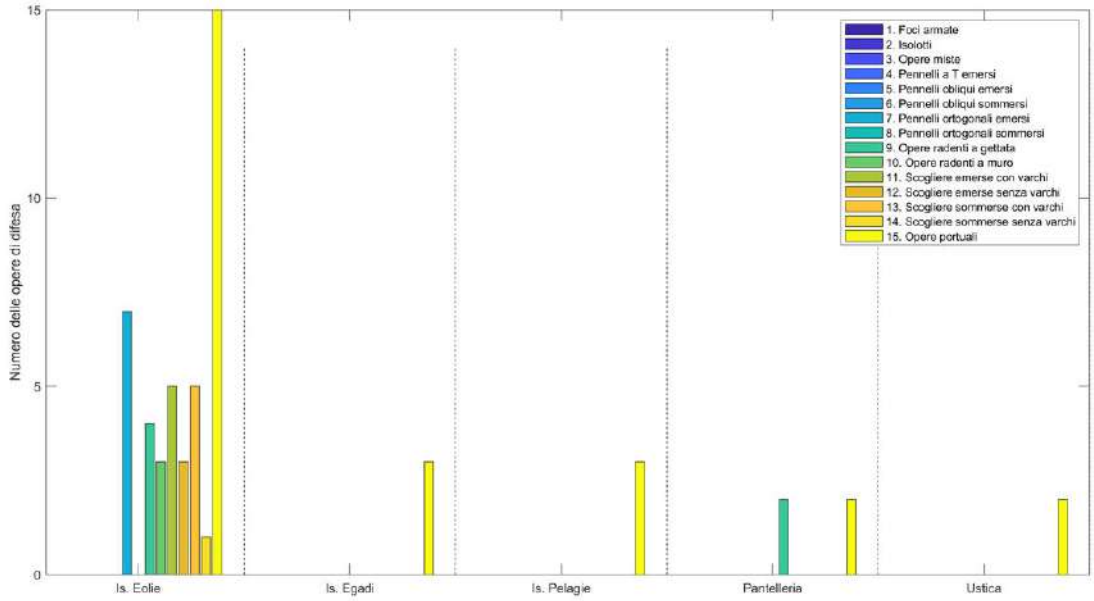


Figura 7.31 Istogramma relativo alle opere censite al 2020 classificate per tipologia. Isole minori.

Infine, nella Figura 7.32 e nella Figura 7.33 sono mostrati i confronti tra le opere censite al 2000 e quelle censite al 2020.

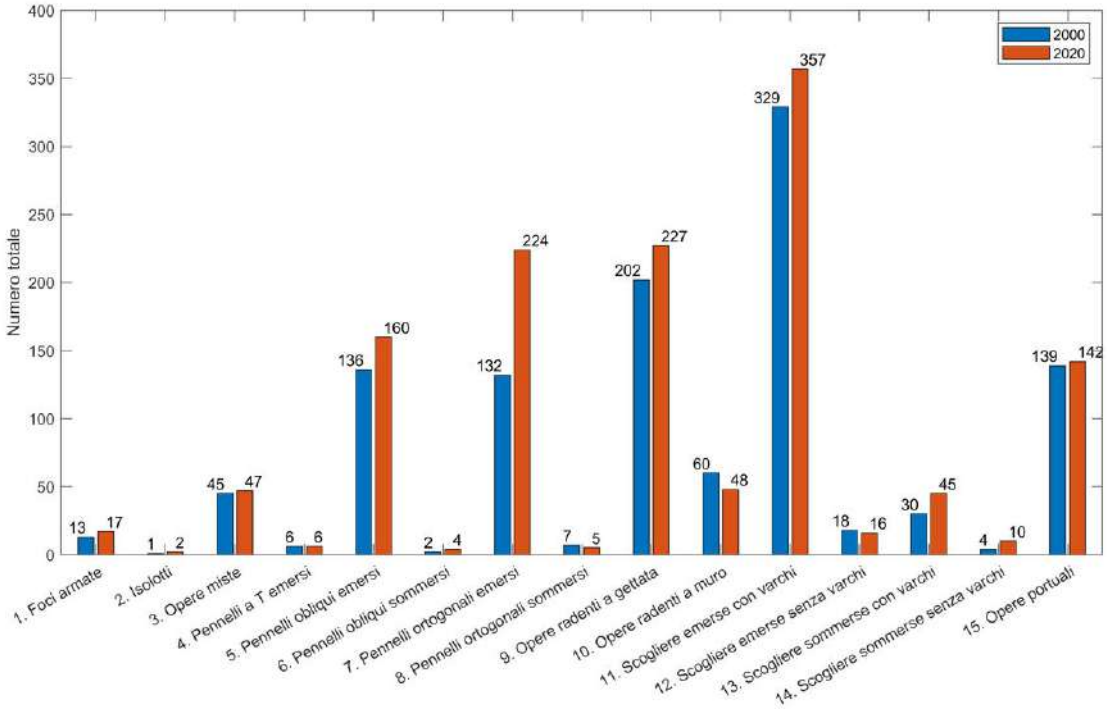


Figura 7.32 Istogramma di confronto tra le opere censite al 2000 e le opere censite al 2020.

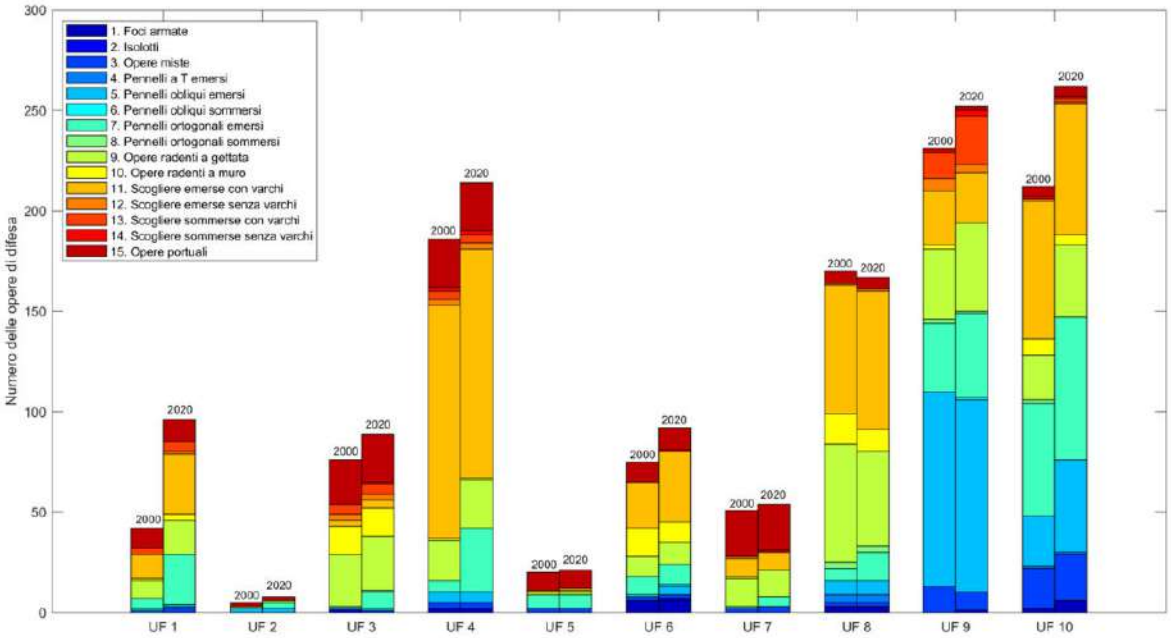


Figura 7.33 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2000 e quelle censite al 2020.

7.5 Aree di particolare pregio ambientale

Il presente PRCEC, volto alla valorizzazione della fascia costiera siciliana, deve interagire e coordinare la sua azione con le aree di particolare pregio paesaggistico, ambientale e storico-culturale ubicate lungo le coste del territorio regionale. Tra esse, si ricordano, in particolare: (i) le Aree Marine Protette (AMP); (ii) i Siti di Interesse Comunitario (SIC);(iii) le Zone di Speciale Conservazione (ZSC) e le Zone di Protezione Speciale (ZPS); (iv) i Parchi Archeologici regionali.

Le **Aree Marine Protette** sono istituite ai sensi delle leggi n. 979 del 1982 e n. 394 del 1991 con un Decreto del Ministro dell'ambiente che contiene la denominazione e la delimitazione dell'area, gli obiettivi e la disciplina di tutela a cui è finalizzata la protezione. Sono costituite da ambienti marini, dati dalle acque, dai fondali e dai tratti di costa prospicenti, che presentano un rilevante interesse per le caratteristiche naturali, geomorfologiche, fisiche, biochimiche con particolare riguardo

alla flora e alla fauna marine e costiere e per l'importanza scientifica, ecologica, culturale, educativa ed economica che rivestono.

Lungo le coste siciliane sono presenti le seguenti aree marine protette e parchi naturali (Figura 7.34):

- Area marina protetta Isola di Ustica;
- Area marina protetta Isole Ciclopi;
- Area marina protetta Isole Pelagie;
- Area naturale marina protetta Capo Gallo - Isola delle Femmine;
- Area naturale marina protetta del Plemmirio;
- Riserva naturale marina Isole Egadi.

I **Siti di Interesse Comunitario** (SIC) sono definiti dalla Direttiva Comunitaria n. 43 del 21 maggio 1992, (92/43/CEE) relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, nota anche come Direttiva "Habitat", recepita in Italia a partire dal 1997.

Le **Zone di Speciale Conservazione** (ZSC) sono siti di importanza comunitaria (SIC) in cui sono state applicate le misure di conservazione necessarie al mantenimento o al ripristino degli habitat naturali e delle popolazioni delle specie per cui il sito è stato designato dalla Commissione Europea.

Le **Zone di Protezione Speciale** (ZPS), sono zone di protezione poste lungo le rotte di migrazione dell'avifauna, finalizzate al mantenimento ed alla sistemazione di idonei habitat per la conservazione e gestione delle popolazioni di uccelli selvatici migratori. Tali aree sono state individuate dagli stati membri dell'Unione europea (Direttiva 79/409/CEE nota come Direttiva Uccelli) e assieme alle zone speciali di conservazione costituiscono la Rete Natura 2000.

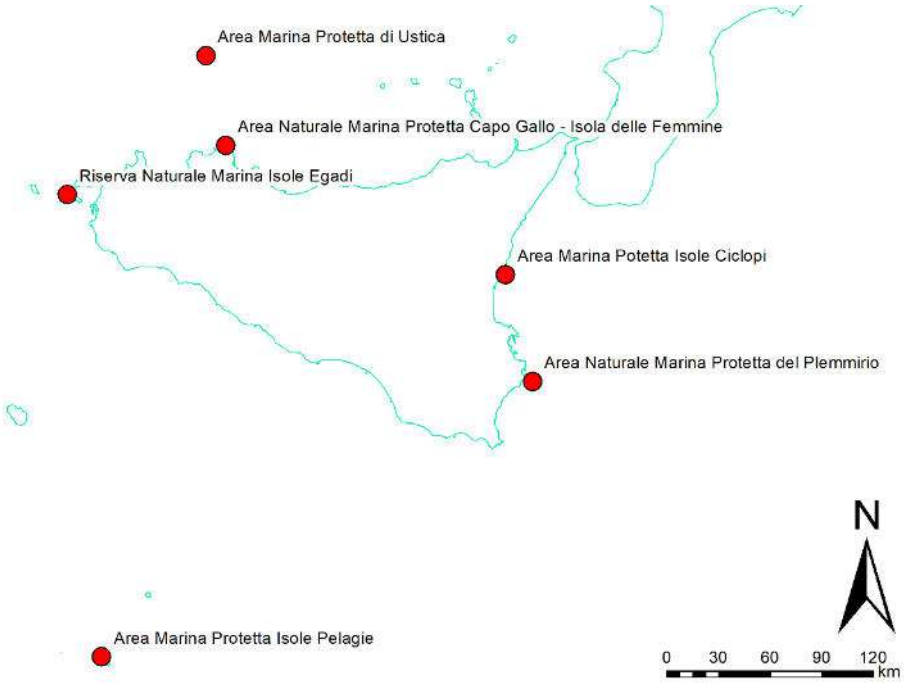


Figura 7.34 Ubicazione delle aree marine protette della Regione Sicilia.

I SIC, le ZSC e i ZPS che interagiscono con le coste Siciliane sono elencati nella Tabella 7.X.

Tabella 7.X Siti di Interesse Comunitario, Zone di Speciale Conservazione e Zone di Protezione Speciale che interessano le coste siciliane.

Codice	**Denominazione**	**SIC**	**ZSC**	**ZPS**
ITA010001	Isole dello Stagnone di Marsala	SI		
ITA010002	Isola di Marettimo	SI	SI	
ITA010003	Isola di Levanzo	SI	SI	
ITA010004	Isola di Favignana	SI	SI	
ITA010006	Paludi di Capo Feto e Margi Spanò	SI		SI
ITA010007	Saline di Trapani	SI		
ITA010011	Sistema dunale Capo Granitola, Porto Palo e Foce del Belice	SI		
ITA010020	Isola di Pantelleria - Area Costiera, Falesie e Bagno dell'Acqua	SI	SI	
ITA010021	Saline di Marsala	SI		
ITA010024	Fondali dell'Arcipelago delle Isole Egadi	SI		
ITA010025	Fondali del Golfo di Custonaci	SI		
ITA010026	Fondali dell'isola dello Stagnone di Marsala	SI		
ITA010027	Arcipelago delle Egadi – area marina e terrestre			SI
ITA010028	Stagnone di Marsala e Saline di Trapani – area marina e terrestre			SI
ITA010029	Monte Cofano, Capo San Vito e Monte Sparagio			SI
ITA010030	Isola di Pantelleria e area marina circostante			SI
ITA020005	Isola delle Femmine	SI	SI	
ITA020006	Capo Gallo	SI	SI	
ITA020009	Cala Rossa e Capo Rama	SI		
ITA020010	Isola di Ustica	SI	SI	SI
ITA020014	Monte Pellegrino	SI	SI	
ITA020019	Rupi di Catalfano e Capo Zafferano	SI	SI	

Codice	Denominazione	SIC	ZSC	ZPS
ITA030012	Laguna di Oliveri - Tindari	SI		
ITA030023	Isola di Alicudi	SI	SI	
ITA030024	Isola di Filicudi	SI	SI	
ITA030025	Isola di Panarea e Scogli Viciniori	SI	SI	
ITA030026	Isole di Stromboli e Strombolicchio	SI	SI	
ITA030027	Isola di Vulcano	SI	SI	
ITA030028	Isola di Salina (Monte Fossa delle Felci e dei Porri)	SI	SI	
ITA030029	Isola di Salina (Stagno di Lingua)	SI	SI	
ITA030030	Isola di Lipari	SI	SI	
ITA030032	Capo Milazzo	SI		
ITA030033	Capo Calavà	SI		
ITA030040	Fondali di Taormina – Isola Bella	SI		
ITA030041	Fondali dell'isola di Salina	SI		
ITA030042	Monti Peloritani, Dorsale Curcuraci, Antennamare e area marina dello stretto di Messina			SI
ITA030043	Arcipelago delle Eolie – area marina e terrestre			SI
ITA040001	Isola di Linosa	SI	SI	
ITA040002	Isola di Lampedusa e Lampione	SI	SI	
ITA040003	Foce del Magazzolo, Foce del Platani, Capo Bianco, Torre Salsa	SI		
ITA040004	Foce del Fiume Verdura	SI	SI	
ITA040010	Litorale di Palma di Montechiaro	SI		
ITA040012	Fondali di Capo San Marco – Sciacca	SI		
ITA040013	Arcipelago delle Pelagie – area marina e terrestre			SI
ITA040014	Fondali delle Isole Pelagie	SI		
ITA040015	Scala dei Turchi	SI		
ITA050001	Biviere e Macconi di Gela	SI		
ITA050011	Torre Manfria	SI		
ITA050012	Torre Manfria, Biviere e Piana di Gela			SI
ITA070001	Foce del Fiume Simeto e Lago Gornalunga	SI	SI	
ITA070002	Riserva naturale Fiume Fiumefreddo	SI	SI	
ITA070003	La Gurna	SI	SI	SI
ITA070004	Timpa di Acireale	SI	SI	
ITA070006	Isole dei Ciclopi	SI		
ITA070028	Fondali di Acicastello (Isola Lachea – Ciclopi)	SI		
ITA080001	Foce del Fiume Irminio	SI		
ITA080004	Punta Braccetto, Contrada Cammarana	SI		
ITA080005	Isola dei Porri	SI		
ITA080006	Cava Randello, Passo Marinaro	SI		
ITA080007	Spiaggia Maganuco	SI		
ITA080008	Contrada Religione	SI		
ITA080010	Fondali Foce del Fiume Irminio	SI		
ITA090001	Isola di Capo Passero	SI		
ITA090002	Vendicari	SI		
ITA090003	Pantani della Sicilia sud orientale	SI		
ITA090004	Pantano Morghella	SI		
ITA090006	Saline di Siracusa e Fiume Ciane	SI		SI
ITA090008	Capo Murro di Porco, Penisola della Maddalena e Grotta Pellegrino	SI		
ITA090010	Isola Correnti, Pantani di Punta Pilieri, chiusa dell'Alga e Parrino	SI		
ITA090013	Saline di Priolo	SI		SI
ITA090014	Saline di Augusta	SI		SI

Infine, le attività di difesa e valorizzazione degli arenili, volte a contrastare l'erosione costiera, previste nell'ambito del presente PRCEC, devono operare in sinergia con gli Enti preposti alla adeguata conservazione, protezione e fruizione del patrimonio storico-culturale, che lungo le coste siciliane risulta di particolare pregio, come

testimoniato dalla presenza di numerosi parchi archeologici regionali, che hanno siti di interesse localizzati lungo le coste. Tra essi si ricordano, i seguenti:

- Parco Archeologico di Himera, Solunto e Iato;
- Parco Archeologico di Lilibeo;
- Parco Archeologico di Selinunte, Cave di Cusa e Pantelleria;
- Parco Archeologico e paesaggistico della Valle dei Templi;
- Parco Archeologico di Gela;
- Parco Archeologico di Kamarina e Cava di Ispica;
- Parco Archeologico di Naxos e Taormina;
- Parco Archeologico di Tindari;
- Parco Archeologico Isole Eolie;

Infine il PRCEC dovrà tener conto anche degli itinerari culturali subacquei della Soprintendenza del Mare, anch'essi distribuiti lungo i litorali siciliani, volti a consentire la divulgazione e la valorizzazione del patrimonio culturale sommerso (Figura 7.35, Tabella 7.XI), in linea con i principi della Convenzione UNESCO sulla protezione del patrimonio culturale sommerso.

Figura 7.35 Mappa degli itinerari culturali subacquei della Sopraintendenza del Mare della Regione Siciliana. Le anfore indicano i siti di interesse presenti elencati in Tabella 7.XI (Fonte: Soprintendenza del Mare, Regione Siciliana)

Tabella 7.XI Elenco degli itinerari culturali subacquei della Sopraintendenza del Mare della Regione Siciliana .

Posizione	Sito	Posizione	Sito
Ustica	Punta Falconiera	Pantelleria	Cala Tramontana
Ustica	Punta Gavazzi	Pantelleria	Punta Li Marsi
Aspra	Mongerbino	Pantelleria	Punta Tracino
Cefalù	Kalura	Pantelleria	Punta Tre Pietre
Filicudi	Capo Graziano	Marsala	Capo Boeo
Panarea	Basiluzzo	Marettimo	Relitto dei Cannoni
Taormina	Relitto delle colonne	Levanzo	Cala Minnola
Acitrezza	Isole dei Ciclopi	San Vito Lo Capo	Relitto delle Anfore
Noto	Relitto delle anfore	San Vito Lo Capo	Relitto delle Macine
Marzamemi	Relitto delle colonne	San Vito Lo Capo	Relitto del Kent
Capo Passero	Relitto dei Marmi	Scopello	Faraglioni
Pantelleria	Cala Gadir		

7.6 Praterie di Posidonia Oceanica e di Cymodocea Nodosa

La Posidonia Oceanica è una pianta superiore endemica del Mediterraneo. Ha caratteristiche simili alle piante terrestri, presentando radici, un fusto rizomatoso e foglie nastriformi lunghe fino ad un metro e unite in ciuffi di 6-7 (vedere Figura 7.36).

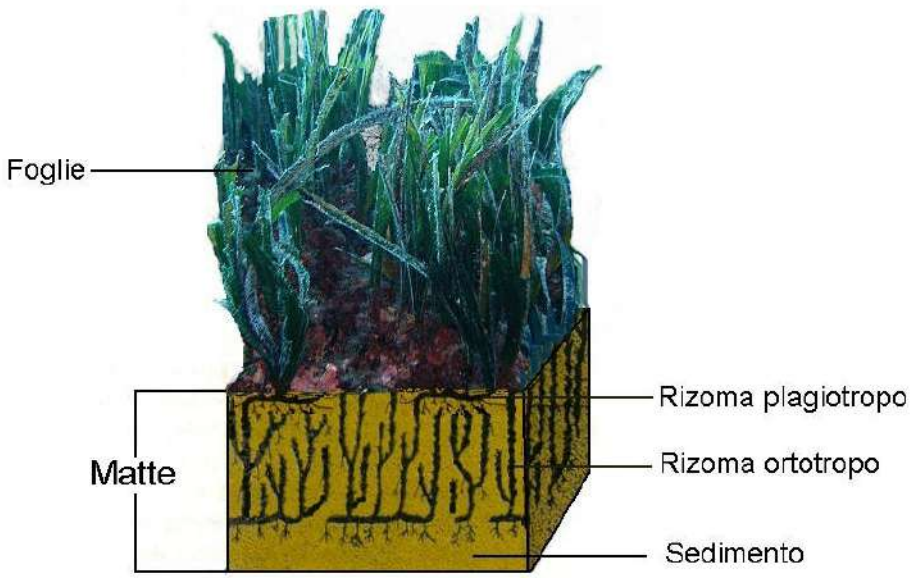


Figura 7.36 Schematizzazione di una pianta di Posidonia Oceanica.

Il nome di questa fanerogama marina deriva da Posidone, una delle più importanti divinità mediterranee, e appare particolarmente appropriato considerando le vaste praterie sottomarine, che si sviluppano lungo il litorale costiero fino a circa 50 m di profondità.

La Posidonia si trova per lo più sui fondali mobili (fangosi e sabbiosi) e i suoi rizomi, che hanno la capacità di crescere sia in verticale che in orizzontale, si intrecciano strettamente fra loro, formando con il sedimento intrappolato dalle foglie una sorta di terrazze sottomarine, chiamate "matte", alte anche diversi decimetri.

Le praterie hanno un ruolo fondamentale nell'ecosistema del bacino mediterraneo. In primo luogo sono uno dei produttori primari di ossigeno (circa 14 l/m^2/anno) e di sostanze organiche (circa 20 t/ha/anno). Inoltre, sono fondamentali per la sopravvivenza di numerose specie di pesci, molluschi, echinodermi e crostacei, costituendo il riparo ideale per questi organismi marini che trovano tra le sue fronde, condizioni ottimali per la riproduzione e l'alimentazione, parte della quale è costituita dalle foglie stesse della pianta e dagli

"epifiti" che vivono adesi ad esse, e ai rizomi. La Posidonia, infine, attenua i fenomeni erosivi del mare sulle coste, infatti il movimento delle foglie rallenta il moto ondoso creando una vera e propria barriera. Nonostante tutte queste caratteristiche positive, nel bacino del Mediterraneo si sta assistendo ad una progressiva regressione delle praterie dovuta a fattori diversi. Oltre alla competizione con le alghe invasive alloctone, Caulerpa racemosa e Caulerpa taxifolia, contribuiscono al regresso della specie, con effetti altamente destabilizzanti per l'equilibrio dell'intero ecosistema marino, altri importanti fattori di disturbo, come la cementificazione delle rive, l'inquinamento, gli effetti dannosi delle reti "a strascico", gli ancoraggi, ecc.

La Cymodocea Nodosa è una pianta acquatica marina dioica, con un fusto eretto di piccole dimensioni, che presenta da 2 a 5 foglie nastriformi di colore verde, larghe 3-4 mm e lunghe sino a 40 cm, con margine seghettato soprattutto verso l'apice (vedere Figura 7.37). Ha un robusto rizoma, che si sviluppa solo in senso parallelo al fondo del mare, con radici inserite ad ogni internodo, molto ramificate. È diffusa nel Mediterraneo e nell'Oceano Atlantico nordorientale tra il golfo di Guascogna e il Senegal. Vive su fondali sabbiosi o fangosi ben illuminati e calmi, da 5 a 20 m di profondità; può colonizzare le matte morte di Posidonia Oceanica. Forma prati estesi, anche se molto meno fitti delle praterie di Posidonia, e crea ambienti di notevole interesse biologico. Spesso rinvenibile nei fondali delle lagune, in associazione a Zostera spp., che la sostituisce quando la salinità scende troppo. La riproduzione avviene per il 90% in modo asessuale per stoloni e solo nel centro dei prati si hanno piante fiorite. La fioritura avviene in primavera, i frutti sono acheni disposti a coppie e molto compressi lateralmente.

La Cymodocea Nodosa è una tipica specie pioniera, che con il suo insediamento "prepara" il substrato ad altre piante più esigenti, come

la Posidonia. Può tollerare l'anossia e la presenza di idrogeno solforato nel suolo. Le sue foglie ospitano una comunità epifita, ricca quasi quanto quella della Posidonia. Tra le sue foglie si riproducono molte specie di pesci.

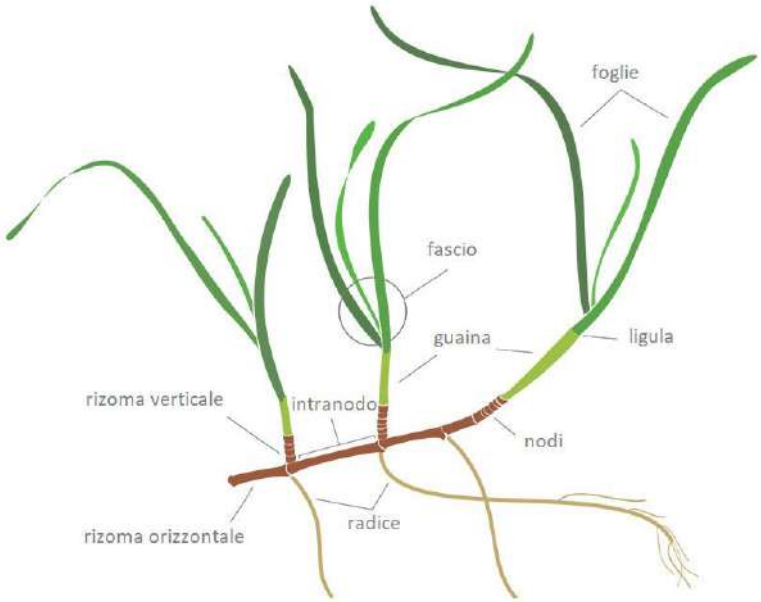


Figura 7.37 Schematizzazione di una pianta di Cymodocea Nodosa

Tra il 1999 e il 2002 il Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente ha realizzato la mappatura delle praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste della Sicilia e isole minori.

In Sicilia e nelle sue isole minori sono state individuate 60 praterie (vedere la Figura 7.38)

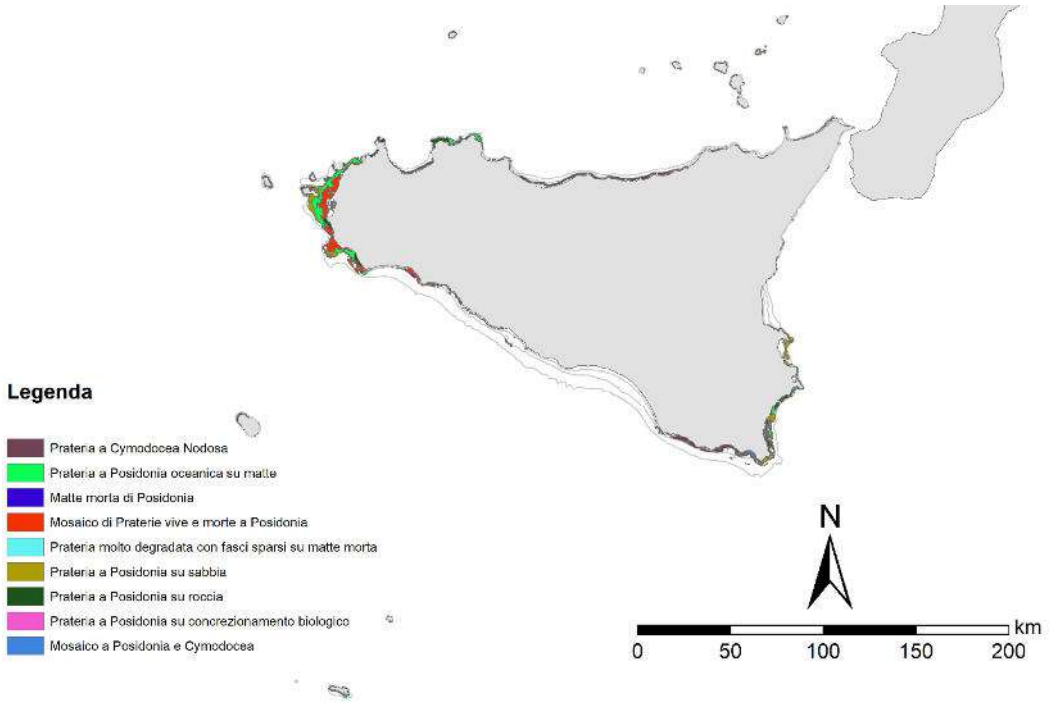


Figura 7.38 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste siciliane (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

La maggiore estensione di praterie di Posidonia Oceanica è riscontrabile nel tratto di mare compreso tra Capo Granitola, Capo San Vito e l'isola di Favignana, in cui si rilevano ampi tratti di prateria a Posidonia Oceanica alternata a mosaico di praterie vive e morte (vedere Figura 7.39).

Nel golfo di Castellammare si osserva un'ampia prateria di Cymodocea Nodosa mentre nel tratto di costa compresa tra Capo Rama e l'area a Nord del porto di Palermo si rilevano praterie di Posidonia su roccia e su matte (vedere Figura 7.39).

Lungo il litorale tirrenico si osserva una netta prevalenza di praterie di Cymodocea Nodosa (vedere Figura 7.40).

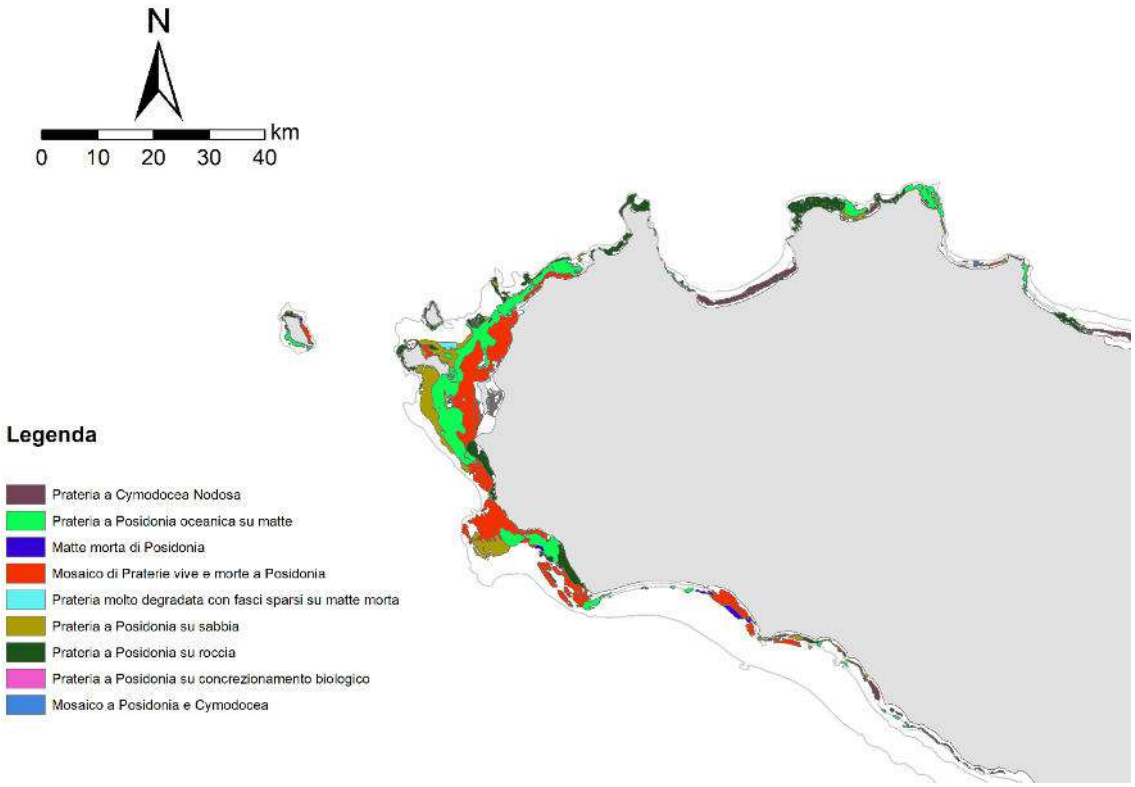


Figura 7.39 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste siciliane occidentali (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

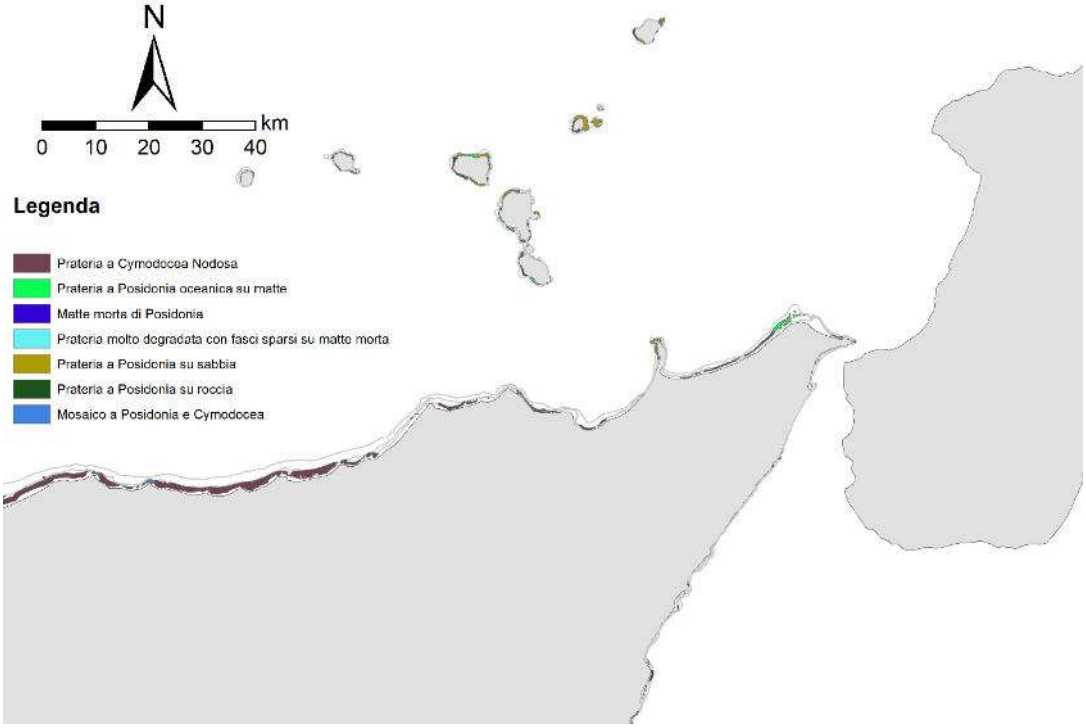


Figura 7.40 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste siciliane Nord-Orientali (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

Lungo la costa Ionica compresa tra Capo Peloro e Punta Cavalluccio, caratterizzata da fondali esternamente acclivi e in parte caratterizzati da fondali rocciosi, si osservano piccole praterie di Posidonia Oceanica sia su sabbia che su roccia (vedere Figura 7.40 e Figura 7.41).

Tutta la costa ionica compresa tra Punta Castelluccio e Capo Passero è caratterizzata da ampie praterie di Posidonia su sabbia, su roccia e su matte (vedere Figura 7.41)

La costa sommersa compresa tra Capo Passero e Punta Braccetto presenta un'ampia prateria a Cymodocea Nodosa con innesti di praterie di Posidonia sia su sabbia che su roccia (vedere Figura 7.41).

Dopo un tratto di costa in cui non è stata rilevata la presenza di praterie di Posidonia Oceanica o Cymodocea Nodosa, corrispondente al Golfo di Gela, da Licata a Capo Granitola si osservano praterie di Cymodocea Nodosa alternate a ampi tratti di praterie di Posidonia

Oceanica morta e a modeste estensioni a Posidona Oceanica (vedere Figura 7.41 e Figura 7.39).

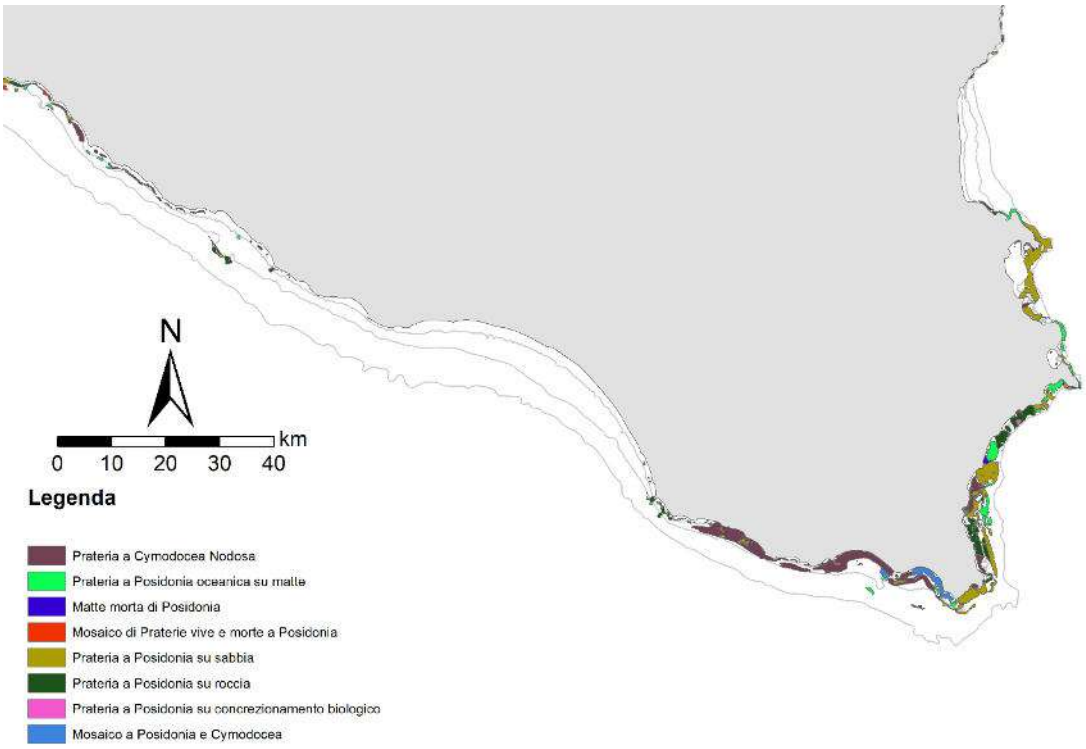


Figura 7.41 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste siciliane Sud-Orientali (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

Nelle isole Pelagie le coste risultano caratterizzate dalla presenza di ampie praterie di Posidonia Oceanica, in prevalenza in buono stato (vedere Figura 7.42 e Figura 7.43).

Le acque circostanti le isole Egadi risultano completamente caratterizzate dalla presenza di prateria di Posidonia Oceanica, anche se in alcune porzioni delle isole di Favignana e Marettimo sono stati rilevati tratti interessati da praterie morte (vedere Figura 7.44).

Le acque dell'isola di Ustica sono caratterizzate da un'ampia prateria di Posidonia Oceanica su roccia nella porzione Nord-Occidentale dell'isola oltre a praterie di più modesta estensione nel resto dell'isola (vedere Figura 7.45).

Infine, le isole Eolie risultato parzialmente interessate da praterie di Posidonia Oceanica prevalentemente su sabbia (vedere Figura 7.46).

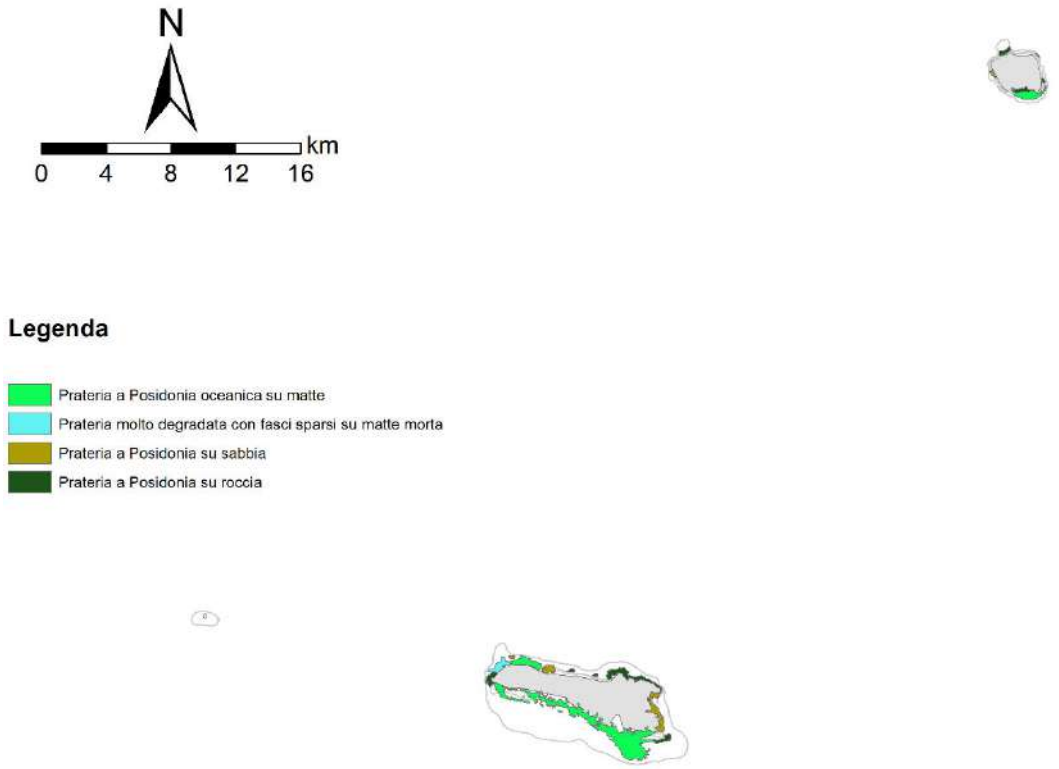


Figura 7.42 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste delle isole Pelagie (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

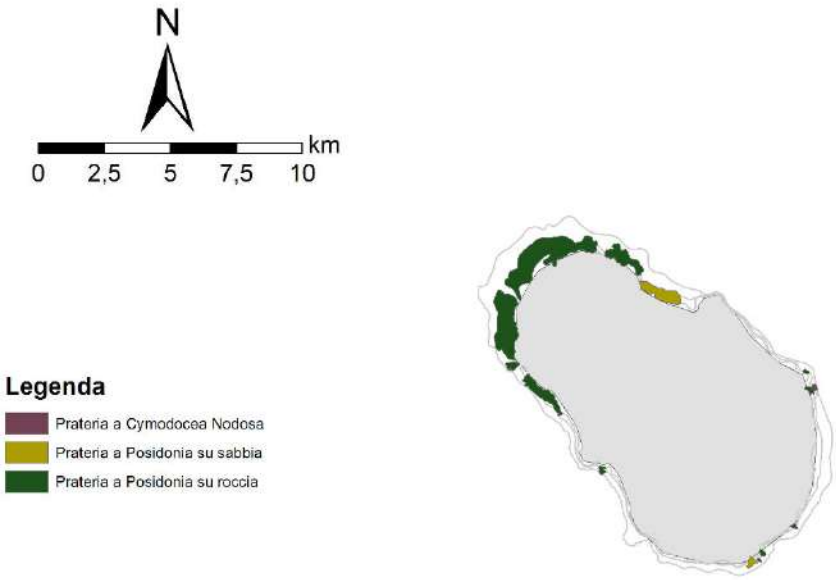


Figura 7.43 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste dell'Isola di Pantelleria (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

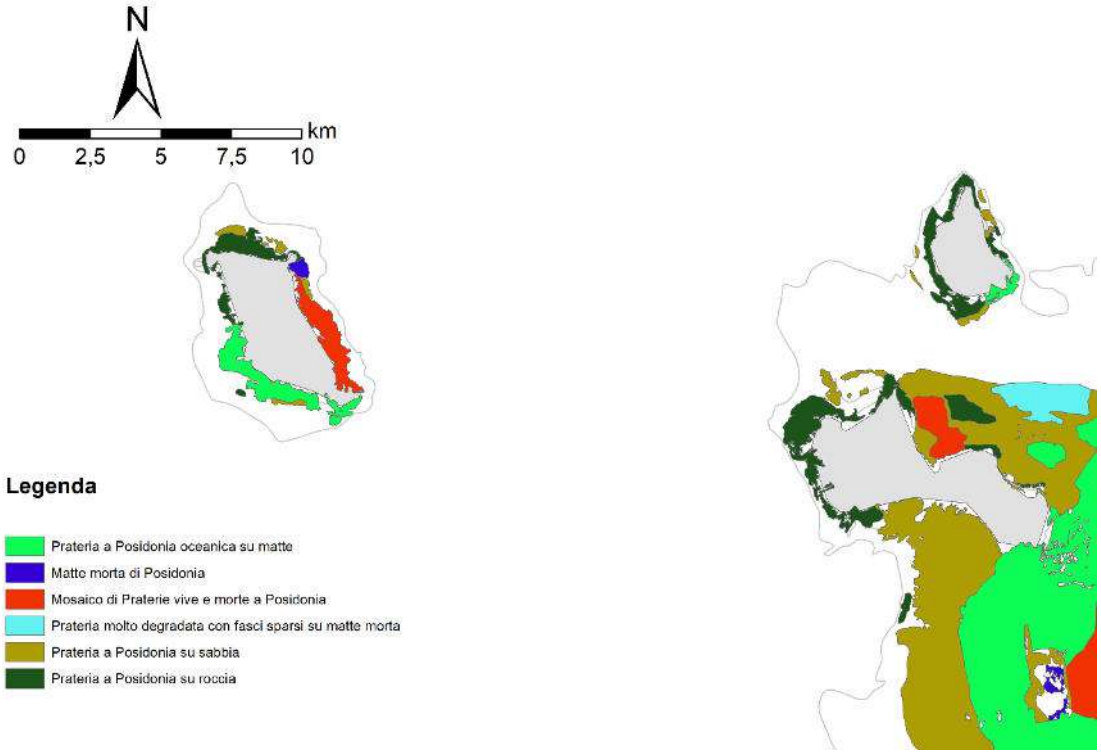


Figura 7.44 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste delle Isole Egadi (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

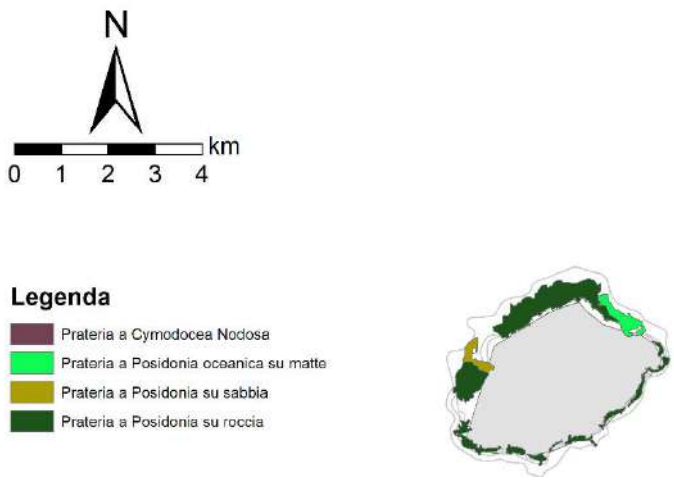


Figura 7.45 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste dell'Isola di Ustica (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

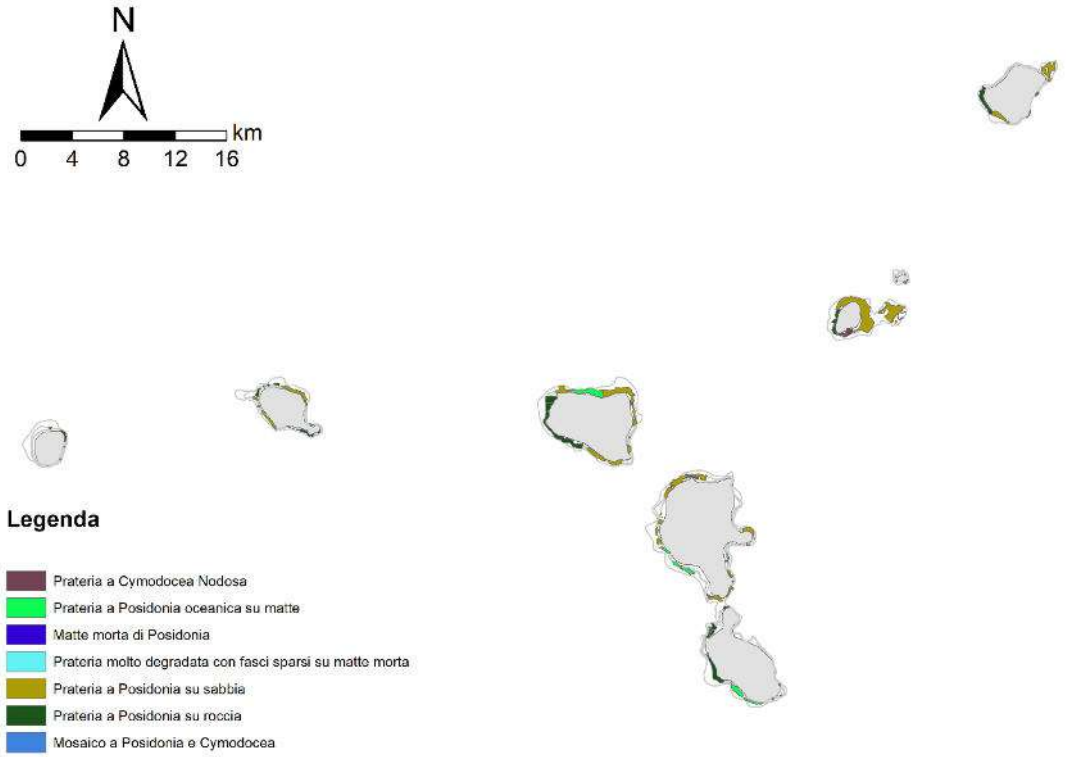


Figura 7.46 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste delle Isole Eolie (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente).

8 Analisi, metodologie e implementazione del PRCEC

8.1 Analisi meteo-marine al largo delle coste siciliane

8.1.1 Determinazione dei fetch geografici ed efficaci

Si ricorda, anzitutto, che il fetch geografico per ogni direzione rappresenta la distanza di mare libero tra la località di riferimento sulla costa e la terra antistante. La sua conoscenza è fondamentale in quanto l'insieme delle diverse direzioni di fetch individuano la superficie di mare su cui il vento, spirando con intensità costante, genera il moto ondoso. Il fetch efficace o effettivo è quella porzione di mare sulla quale si esplica effettivamente ed efficacemente il trasferimento di energia del vento al mare ai fini della generazione del moto ondoso.

Ai fini della redazione del presente PRCEC, per ciascuna unità fisiografica di I ordine è stato individuato almeno un punto al largo. Per ciascuno di detti punti è stata definita l'area di generazione del moto ondoso, individuata in funzione del fetch geografico secondo la definizione sopra riportata. La stessa procedura è stata anche applicata per diversi punti sottocosta ritenuti rappresentativi di ogni unità fisiografica di III ordine in corrispondenza di una profondità prossima a 20 m.

Nel Quaderno dei Punti al Largo sono riportati i fetch geografici per ognuno dei sopracitati punti.

A titolo di esempio, nella Figura 8.1 sono rappresentati i diagrammi dei fetch geografici rappresentativi del paraggio del tratto di costa al largo della costa di Catania, desunti dalla "Carta della serie internazionale – Mar Mediterraneo – Bacino Orientale" in scala 1:2.250.000 pubblicata dall'Istituto Idrografico della Marina (Genova, 1982).

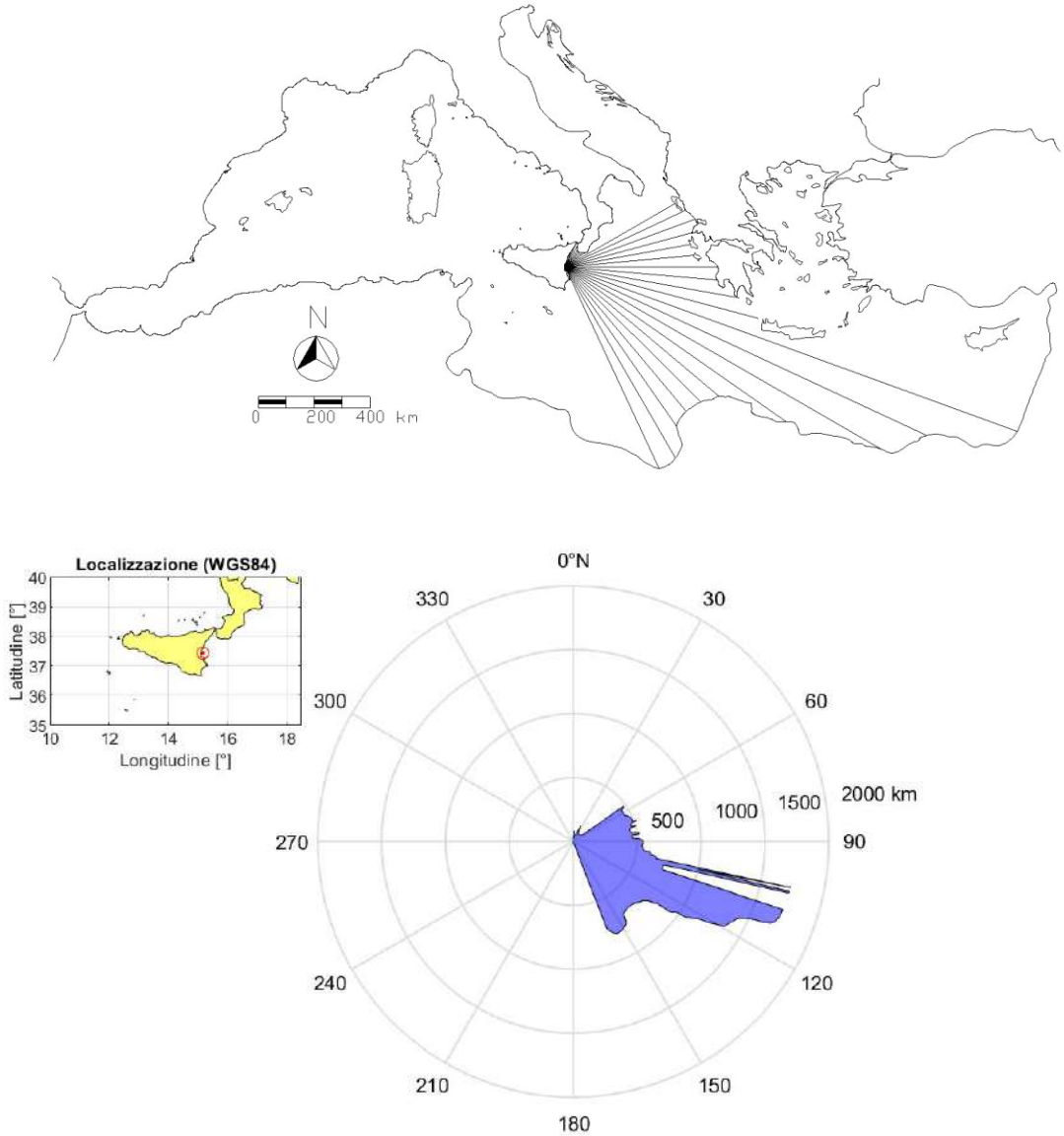


Figura 8.1 Rappresentazione del fetch geografico valutato in corrispondenza di un punto al largo della costa di Catania.

In particolare, si rileva che il settore di traversia del paraggio in esame è ampio all'incirca 95°, risultando compreso tra le direzioni 60°N e 155°N. All'interno di detto settore, i valori maggiori di fetch geografico sono rilevabili nell'intervallo di direzione compreso tra 110° e 120° N, in cui si rilevano distanze anche superiori a 1600 km.

In effetti, la determinazione dell'area di generazione tramite i fetch geografici sopra descritti risulta deficitaria, in quanto non tiene in debito conto il fatto che il vento non trasmette energia alla superficie del mare solo lungo la sua direzione di provenienza, ma anche secondo direzioni ad essa limitrofe. Pertanto, come è noto, è stato introdotto il concetto di fetch efficace, di seguito calcolato secondo la procedura di Seymour (CERC, 1984), il quale, per tener conto dei fenomeni che avvengono all'interno del settore di traversia di un certo paraggio, fa riferimento al fetch efficace definito dalla relazione:

$$F_{eff}(\phi) = \frac{\sum_{\phi_{i=\phi-45^\circ}}^{\phi+45^\circ} x_i \, cos^3(\phi_i - \phi)}{\sum_{\phi_{i=\phi-45^\circ}}^{\phi+45^\circ} cos^2(\phi_i - \phi)}$$

dove: $F_{eff}(\phi)$ è il fetch efficace nella direzione ϕ; x_i è il fetch geografico nella *i*-esima direzione, ϕ_i è l'angolo della *i*-esima direzione.

Inoltre, nel Mare Mediterraneo si può fare l'ipotesi che i fronti di vento abbiano ampiezza massima di 400 km e che il vento spiri su distese di mare lunghe al più 500 km. Tale limitazione porta a limitare le lunghezze dei fetch geografici x_i. come illustrato nella Figura 8.2

.

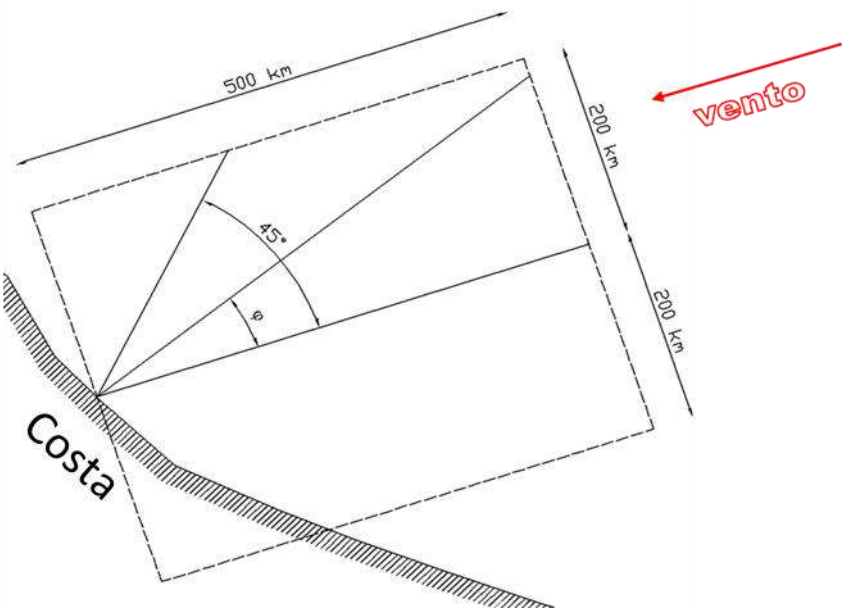


Figura 8.2 Rappresentazione dei limiti del valore del fetch geografico per una generica direzione φ ai fini della determinazione del fetch efficace.

Applicando le definizioni sopra riportate al caso in esame, come illustrato nella Figura 8.3, si rileva che per il paraggio di Catania i valori maggiori di fetch efficace si rilevano in corrispondenza delle direzioni 100°-130° N con fetch efficaci che assumono valori superiori ai 400 km.

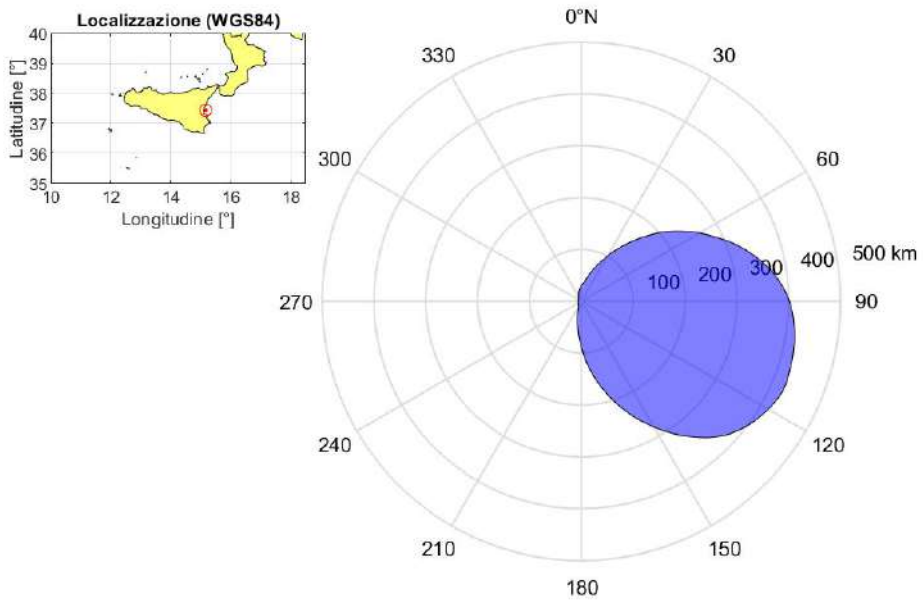


Figura 8.3 Rappresentazione polare del fetch efficace in corrispondenza di un punto al largo della costa di Catania.

8.1.2 Analisi del vento

L'analisi del vento è stata condotta in maniera tale da risultare significativa per ogni Unità Fisiografica sia delle condizioni medie che degli eventi estremi.

Come indicato nel paragrafo 4.3, le stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare coprono solo un numero limitato di Unità Fisiografiche. Inoltre, tali stazioni sono ubicate sulla costa e, dunque, non sempre sono rappresentative delle reali condizioni nell'area di generazione del moto ondoso al largo. Per tale ragione, le analisi effettuate sono state condotte considerando sia i dati rilevati dalle stazioni anemometriche indicate nel paragrafo 4.3 che i punti del modello meteorologico ERA5 dell'European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF).

8.1.2.1 Analisi del clima medio

L'analisi del clima medio del vento è stata condotta per ognuna delle stazioni della rete dell'Aeronautica Militare indicate nella Tabella 8.I e nella Figura 8.4 e al largo di ogni unità fisiografica di I ordine. Inoltre, in Figura 8.5 riporta i punti griglia del dataset ERA5 utilizzati per l'analisi del moto ondoso al largo delle coste della Regione Siciliana.

Tabella 8.I Stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare utilizzate per le analisi del clima anemologico medio.

Stazione	Coordinate	Quota [m s.l.m.m.]
Messina	38° 11' 58,92" N - 15° 32' 55,68" E	51
Palermo Boccadifalco	38° 6' 42,84" N - 13° 18' 41,76" E	105
Palermo Punta Raisi	38° 10' 54,84" N - 13° 5' 57,84" E	34
Trapani Birgi	37° 54' 50,76" N - 12° 29' 28,68" E	7
Gela	37° 4' 34,68" N - 14° 13' 30,00" E	33
Cozzo Spadaro	36° 41' 9,96" N - 15° 7' 52,68" E	51
Catania Fontanarossa	37° 27' 59,76" N - 15° 3' 49,68" E	17
Catania Sigonella	37° 24' 19,80" N - 14° 55' 6,96" E	22
Ustica	38° 42' 25,92" N - 13° 10' 37,92" E	251
Pantelleria	36° 48' 49,68" N - 11° 58' 15,96" E	191
Lampedusa	35° 30' 0,00" N - 12° 36' 36,00" E	20

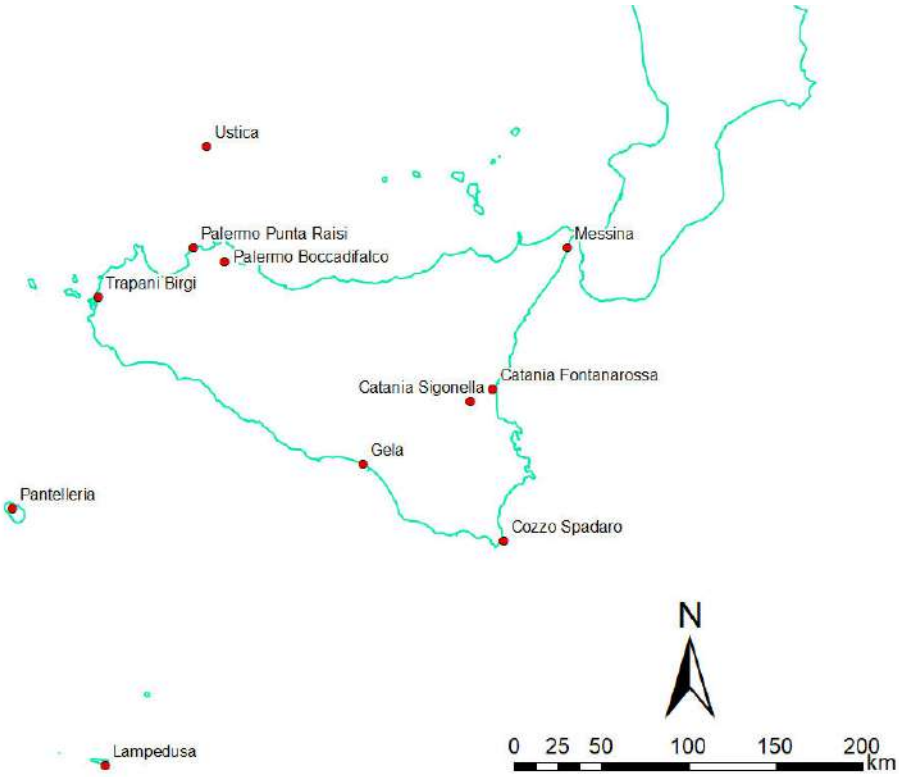


Figura 8.4 Localizzazione delle stazioni metereologiche dell'Aeronautica Militare utilizzate nelle presenti analisi anemologiche a terra.

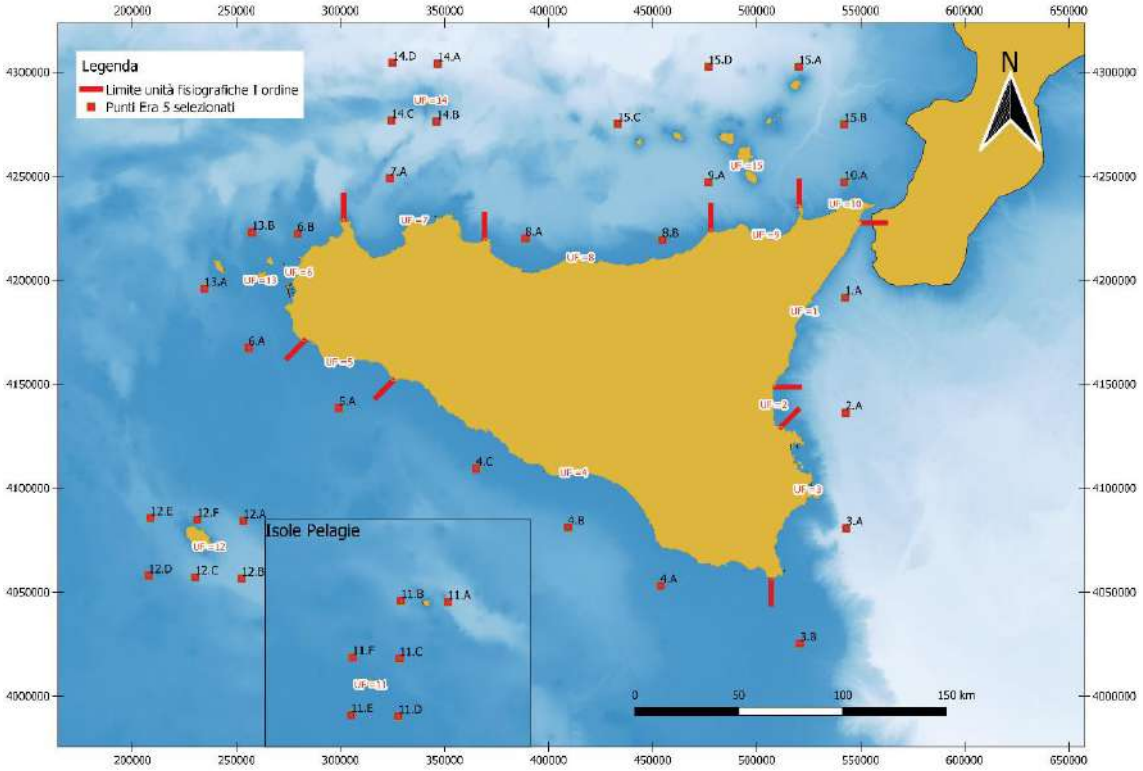


Figura 8.5 Localizzazione dei punti ERA5 selezionati al largo delle coste della Regione Siciliana per le analisi anemologiche relative al clima medio e agli eventi estremi.

Nella Tabella 8.II si riportano le coordinate dei punti selezionati, rispettivamente, al largo delle coste dalla Sicilia e al largo delle coste delle isole minori. Per ogni punto si riporta il codice identificativo e le coordinate espresse nel sistema WGS84 e nel sistema UTM.

Tabella 8.II Punti griglia del dataset ERA5 utilizzati per le analisi al largo delle coste della Sicilia e delle isole minori.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1.A	**15,482789**	**37,870998**	**542461,853**	**4191612,0**
2.A	**15,482789**	**37,370998**	**542747,195**	**4136139,0**
3.A	**15,482789**	**36,870998**	**543029,271**	**4080670,7**
3.B	**15,232737**	**36,370998**	**520877,362**	**4025124,0**
4.A	**14,482579**	**36,620998**	**453734,242**	**4052954,4**
4.B	**13,982473**	**36,870998**	**409310,384**	**4081045,1**
4.C	**13,482368**	**37,120998**	**365177,019**	**4109372,9**
5.A	**12,73221**	**37,370998**	**299191,611**	**4138442,5**
6.A	**12,232105**	**37,620998**	**255716,449**	**4167368,8**
6.B	**12,482158**	**38,120998**	**279286,846**	**4222235,0**
7.A	**12,982264**	**38,370998**	**323735,912**	**4248906,4**
8.A	**13,732421**	**38,120998**	**388890,877**	**4219998,9**
8.B	**14,482579**	**38,120998**	**454646,413**	**4219366,6**
9.A	**14,732632**	**38,370998**	**476644,537**	**4247013,1**
10.A	**15,482789**	**38,370998**	**542173,268**	**4247089,6**
11.A	**12,982264**	**35,870998**	**317838,64**	**3971520,3**
11.B	**12,73221**	**35,870998**	**295260,227**	**3972015,4**
11.C	**12,73221**	**35,620998**	**294618,598**	**3944280,9**
11.D	**12,73221**	**35,370998**	**293980,886**	**3916547,5**
11.E	**12,482158**	**35,370998**	**271260,101**	**3917097,1**
11.F	**12,482158**	**35,620998**	**271968,257**	**3944832,2**
12.A	**12,232105**	**36,870998**	**253281,057**	**4084139,2**
12.B	**12,232105**	**36,620998**	**252478,655**	**4056397,8**
12.C	**11,982053**	**36,620998**	**230111,783**	**4057072,1**
12.D	**11,732**	**36,620998**	**207743,331**	**4057804,8**
12.E	**11,732**	**36,870998**	**208691,129**	**4085549,8**
12.F	**11,982053**	**36,870998**	**230986,86**	**4084815,2**
13.A	**11,982053**	**37,870998**	**234538,324**	**4195796,3**
13.B	**12,232105**	**38,120998**	**257363,381**	**4222859,7**
14.A	**13,232316**	**38,870998**	**346650,365**	**4303946,1**
14.B	**13,232316**	**38,620998**	**346114,469**	**4276201,6**
14.C	**12,982264**	**38,620998**	**324344,337**	**4276650,7**
14.D	**12,982264**	**38,870998**	**324956,118**	**4304396,0**
15.A	**15,232737**	**38,870998**	**520189,66**	**4302487,0**
15.B	**15,482789**	**38,620998**	**542027,765**	**4274830,2**
15.C	**14,232527**	**38,620998**	**433189,645**	**4274999,0**
15.D	**14,732632**	**38,870998**	**476806,137**	**4302495,2**

Per ogni punto sopra descritto sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza del vento. I risultati di tale analisi sono riportati nel WebGIS, nell'Allegato Quaderno delle analisi meteomarine al largo e nell'Allegato Quaderno delle stazioni della rete Aeronautica Militare.

Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°. In particolare, sono stati considerati i settori centrati nelle direzioni: 0°N, 22.5°N, 45°N, 67.5°N, 90.0°N, 112.5°N, 135.0°N, 157.5°N, 180.0°N, 202.5°N, 225.0°N, 247.50°N, 270.0°N, 292.5°N, 315.0°N e 337.5°N.

Per calma si intende una condizione anemometrica caratterizzata da un'intensità del vento inferiore a 1 m/s.

A titolo di esempio, in Figura 8.9 si riporta la rappresentazione grafica della percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza relativa alla stazione anemometrica di Catania Fontanarossa.

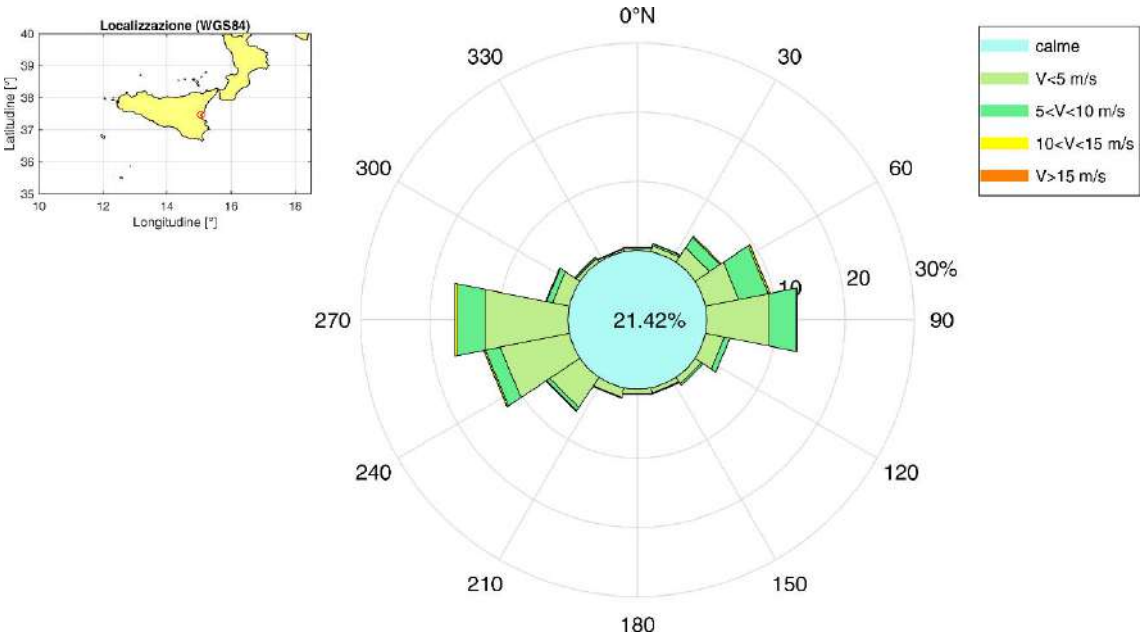


Figura 8.6 Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza relativa alle osservazioni della stazione di Catania Fontanarossa.

8.1.2.2 Analisi degli eventi estremi

Al fine di valutare gli eventi estremi al largo delle unità fisiografiche di I ordine è stata effettuata un'analisi statistica sia dei dati rilevati dalle stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare sia dei dati disponibili sui punti griglia del ERA5 riportati in Tabella 8.XIII e in Tabella 8.XIV. I risultati dell'analisi sono riportati nell'Allegato Quaderno dei Punti al Largo.

Nella fattispecie, dalla serie dei dati originari è stata ricavata la serie dei massimi annuali della velocità del vento. Per tali serie di dati è stato verificato l'adattamento di diverse distribuzioni di probabilità. In particolare, sono state utilizzate le distribuzioni per eventi estremi di Gumbel, Weibull, Lognormale, Pareto e GEV (*Generalized Extreme Value Distribution*). La distribuzione di Gumbel è definita dalla seguente relazione:

$$P(x > X) = e^{-e^{-y}} \qquad 8.1$$

dove $P(x > X)$ indica la probabilità che il generico valore x sia maggiore di un valore di riferimento X, il termine y è definito dalla seguente relazione:

$$y = G1 \cdot (x - G2) \qquad 8.2$$

essendo $G1$ e $G2$ i due parametri dalla distribuzione.

La distribuzione di Weibull a tre parametri è definita dalla relazione:

$$P(x > X) = 1 - e^{-\left(\frac{x - W1}{W2}\right)^{W3}} \qquad 8.3$$

dove $W1$, $W2$ e $W3$ sono i parametri della distribuzione.

Nella distribuzione LogNormale la serie dei logaritmi della variabile originaria segue la distribuzione normale di Gauss Φ, ossia la distribuzione di seguito riportata:

$$P(x > X) = \Phi\left(\frac{\ln(x) - L1}{L2}\right) \qquad 8.4$$

dove $L1$ e $L2$ sono rispettivamente la media e la deviazione standard della serie di dati considerati.

La distribuzione di Pareto è definita dalla seguente relazione:

$$P(x > X) = 1 - e^{\left[-\frac{1}{P3}\ln\left(1+P3\frac{x-P1}{P2}\right)\right]} \qquad 8.5$$

dove $P1$, $P2$ e $P3$ sono i parametri della distribuzione.

La distribuzione GEV è definita dalla seguente relazione:

$$P(x > X) = e^{-\left[1-\frac{V3(x-V1)}{V2}\right]^{1/V3}} \qquad 8.6$$

dove $V1$, $V2$ e $V3$ sono i parametri della distribuzione.

La determinazione dei parametri delle distribuzioni considerate è stata effettuata mediante il metodo dei momenti.

Al fine di determinare l'altezza d'onda significativa per prefissato tempo di ritorno T_r, è preliminarmente necessario determinare sia l'intensità di campionamento λ =(numero di dati estremi)/(numero di anni di osservazione) che la probabilità associata al periodo di ritorno prefissato. Quest'ultima grandezza può essere ricavata come:

$$P = 1 - \frac{1}{\lambda T_r} \qquad 8.7$$

Per verificare se le distribuzioni si adattano alla serie di dati osservati, è stato applicato il test di Kolmogorov. Tale test consente di confrontare la frequenza cumulata dei dati osservati (F_{on}) con una distribuzione teorica (F_n). La frequenza cumulata dei dati osservati, ordinati in modo crescente, è stata stimata mediante la seguente relazione (frequenza di Weibull):

$$F_{on}(x_i) = \frac{i}{N+1} \qquad 8.8$$

dove "*i*" indica l'i-esimo valore del set di dati e *N* è il numero di dati. Si ricorda che il test di Kolmogorov si articola nelle seguenti fasi:

1. si ipotizza che la distribuzione teorica si adatti al campione;
2. si calcola la quantità:

$$D_n = \max\left|F_{on}(x_i) - F_n(x_i)\right| \quad \forall\ i = 1,\ldots,N \qquad 8.9$$

3. si fissa un livello di significatività (generalmente assunto pari a 5%);
4. si confronta il valore D_n con il valore tabellato del D_n^* teorico. Se $D_n \leq D_n^*$ l'ipotesi di buon adattamento alla serie di dati della distribuzione scelta può essere accettata (con livello di significatività fissato); se, invece, $D_n > D_n^*$ l'ipotesi di buon adattamento è rigettata.

A titolo di esempio, per la stazione anemometrica di Catania Fontanarossa, posta nell'immediato entroterra dell'unità fisiografica di I ordine numero 2, si riportano dalla Tabella 8.III alla Tabella 8.V, rispettivamente: i valori del parametro D_n, i valori del parametro D_n^*; i parametri delle distribuzioni teoriche. Per lo stesso punto, in Figura 8.13 si riporta il confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità. Infine, in Tabella 8.XIX si riportano i valori dell'altezza d'onda significativa al variare del tempo di ritorno e della distribuzione di probabilità teoriche considerate.

Tabella 8.III Valori del parametro D_n per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa.

	Gumbel	Weibull	Log-normale	Pareto	GEV
D_n	0.237125	0.205287	0.228024	0.166684	0.229670

Tabella 8.IV Valori del parametro D_n^* al variare del livello di significatività per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa.

	20%	15%	10%	5%	1%
D_n^*	0.1277	0.1355	0.1458	0.1620	0.1944

Tabella 8.V Parametri delle distribuzioni di probabilità per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa.

G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V3
0.0964	16.71	18.28	1.282	5.767	2.99	0.478	0.0875	11.52	10.29	-0.0339	9.906	16.64

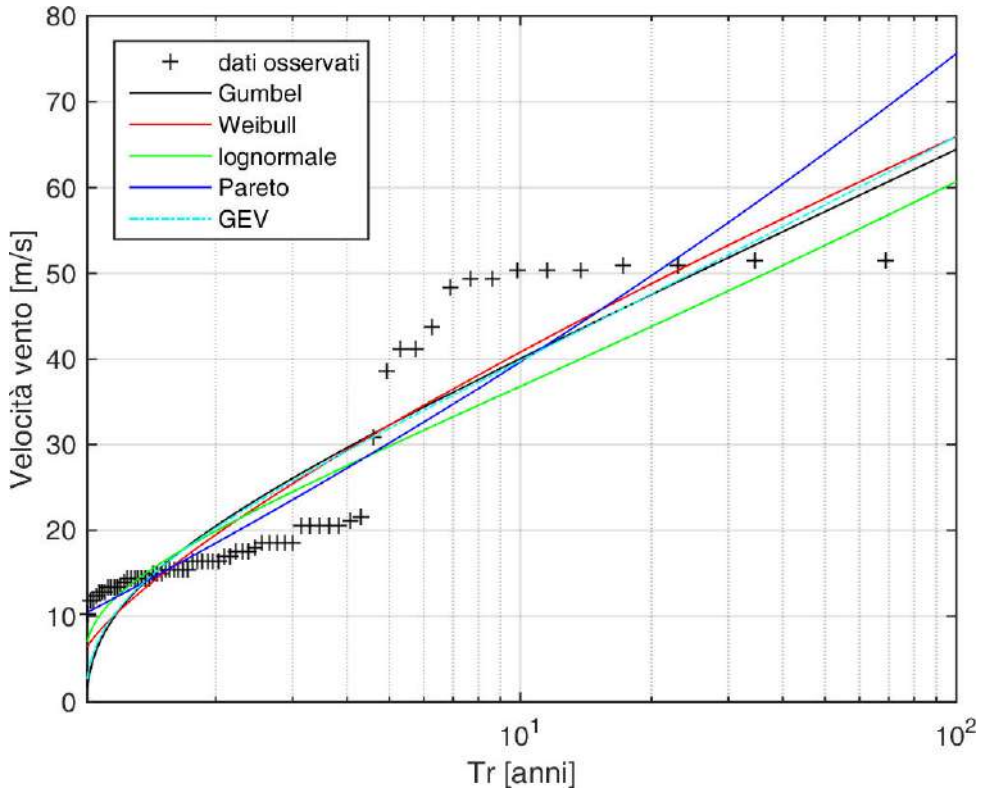


Figura 8.7 Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa.

Tabella 8.VI Velocità del vento al variare del tempo di ritorno e delle distribuzioni di probabilità per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa.

	Velocità del vento [m/s]				
Tr [anni]	Gumbel	Weibull	Log-normale	Pareto	GEV
2	20.5	19.5	19.9	18.5	20.3
5	32.3	32.3	29.8	30.2	31.9
10	40.1	40.8	36.8	39.7	39.8
50	57.2	58.8	53.3	64.0	58.0
100	64.4	65.9	60.7	75.6	66.0
500	20.5	19.5	19.9	18.5	20.3

8.1.3 Analisi del moto ondoso al largo

L'analisi del moto ondoso al largo è stata effettuata in maniera tale da risultare significativa per ogni unità fisiografica del I ordine sia del clima medio che degli eventi estremi.

Come è noto, solo per un numero limitato di unità fisiografiche di I ordine sono anche disponibili dati rilevati da boe ondametriche. Pertanto, per le analisi in oggetto è stato necessario impiegare dati ricavati da modelli numerici distribuiti dai centri di previsione come, ad esempio, *European Center for Medium-range Weather Forecasts* (ECMWF), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e dal servizio *Copernicus - Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS).

Al fine di selezionare il dataset che meglio rappresenta le condizioni di moto ondoso al largo della Sicilia, tali dataset sono stati confrontati con i dati ondametrici rilevati dalla tre boe al largo delle coste dalla Sicilia gestite fino al 2014 dalla Rete Ondametrica Nazionale (Catania, Mazara del Vallo e Capo Gallo). Successivamente, per il dataset selezionato sono state estratte le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza di punti griglia posizionati al largo di ogni unità fisiografica di I ordine. Sulla base di tali dati è stato, quindi, possibile effettuare l'analisi sia del clima medio che degli eventi estremi del moto ondoso.

8.1.3.1 Individuazione del dataset rappresentativo del moto ondoso al largo

Al fine di definire un dataset, tra quelli disponibili, che sia rappresentativo delle condizioni al largo delle coste dalla Sicilia, è stata condotta un'analisi comparativa tra i dati di moto ondoso forniti dai centri di previsioni ECMWF, NOAA e dal servizio CMEMS. In particolare, tali dati sono stati confrontati con quelli osservati dalla tre boe delle

Rete Ondametrica Nazionale (oggi dismessa) posizionate al largo delle coste della Sicilia (Catania, Mazara del Vallo e Capo Gallo). I periodi di confronto sono:

- tra 2006 e il 2014 per i dati CMEMS;
- tra 1989 e il 2014 per i dati NOAA;
- tra 1989 e il 2014 per i dati ECMWF.

La grandezza impiegata per il confronto è l'altezza d'onda significativa, mentre i parametri impiegati per il confronto medesimo sono:

- la media della differenza tra le osservazioni da boa e il modello numerico *Bias* (idealmente pari a zero);
- lo Scarto Quadratico Medio *SQM* calcolato come radice quadrata del rapporto tra il quadrato della differenza fra le osservazioni e il modello (il più piccolo possibile);
- *l'Index of Agreement* (Willmott *et al.*, 1985) *d* che rappresenta la covarianza tra le osservazioni e il modello;
- il coefficiente di correlazione *R* ossia il rapporto tra la covarianza e la varianza delle osservazioni e il modello.

Tali parametri sono definiti dalle seguenti relazioni:

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)}{n} \qquad 8.10$$

$$SQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}} \qquad 8.11$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|X_i^{'}\right| + \left|Y^{'}_i\right|\right)^2} \qquad 8.12$$

dove $\left|X^{'}_i\right| = \left|X_i - \overline{X}\right|$ e $\left|Y^{'}_i\right| = \left|Y_i - \overline{Y}\right|$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)\left(Y_i - \overline{Y}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \overline{Y}\right)^2}} \qquad 8.13$$

in cui X_i corrisponde alle misure da boa; Y_i rappresenta i valori ottenuti dal modello numerico; $\overline{X}$ è il valore medio dei dati da boa; $\overline{Y}$ è il valore medio dei dati da modelli numerici; n è il numero di dati considerarti per il confronto.

Dalla Tabella 8.VII alla Tabella 8.IX si riportano i valori dei suddetti parametri per le boe di Catania, di Mazara del Vallo e di Palermo. Dalla Tabella 8.X alla Tabella 8.XII si riportano i valori parametri per le tre boe considerando unicamente gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 3 m.

Dalla Figura 8.8 alla Figura 8.10 si riportano i confronti grafici tra l'altezza d'onda significativa misurata dalle tre boe ondametriche e quella fornita dal CMEMS, dal NOAA e dall'ECMWF (ERA5).

Tabella 8.VII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Catania e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa.

Dataset	Periodo di confronto	Numero di dati confrontati	*Bias* [m]	*SQM* [m]	*d*	*R*
CMEMS	2006÷2014	35826	0.12	0.24	0.94	0.92
NOAA	1989÷2014	39730	0.23	0.34	0.86	0.86
ECMWF – ERA5	1989÷2014	93767	0.02	0.26	0.93	0.87

Tabella 8.VIII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Mazara del Vallo e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa.

Dataset	Periodo di confronto	Numero di dati confrontati	*Bias* [m]	*SQM* [m]	*d*	*R*
CMEMS	2006÷2014	38490	0.06	0.22	0.98	0.96
NOAA	1989÷2014	40527	0.03	0.26	0.97	0.93
ECMWF – ERA5	1989÷2014	94096	0.07	0.24	0.97	0.95

Tabella 8.IX Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Capo Gallo e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa.

Dataset	Periodo di confronto	Numero di dati confrontati	*Bias* [m]	*SQM* [m]	*d*	*R*
CMEMS	2006÷2014	43911	0.02	0.23	0.97	0.95
NOAA	2006÷2014	13905	0.06	0.25	0.96	0.93
ECMWF – ERA5	2006÷2014	71582	-0.02	0.25	0.96	0.93

Tabella 8.X Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Catania superiore a 3 m e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa.

Dataset	Periodo di confronto	Numero di dati confrontati	*Bias* [m]	*SQM* [m]	*d*	*R*
CMEMS	2006÷2014	298	0.44	0.73	0.78	0.77
NOAA	1989÷2014	221	1.04	1.22	0.46	0.50
ECMWF – ERA5	1989÷2014	838	0.65	0.81	0.65	0.69

Tabella 8.XI Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Mazara del Vallo superiore a 3 m e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa.

Dataset	Periodo di confronto	Numero di dati confrontati	*Bias* [m]	*SQM* [m]	*d*	*R*
CMEMS	2006÷2014	774	0.12	0.55	0.79	0.68
NOAA	1989÷2014	755	0.32	0.66	0.70	0.59
ECMWF – ERA5	1989÷2014	2033	0.39	0.66	0.75	0.69

Tabella 8.XII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Capo Gallo superiore a 3 m e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa.

Dataset	Periodo di confronto	Numero di dati confrontati	*Bias* [m]	*SQM* [m]	*d*	*R*
CMEMS	2006÷2014	781	0.14	0.82	0.65	0.46
NOAA	2006÷2014	147	0.65	1.11	0.49	0.32
ECMWF – ERA5	2006÷2014	1083	0.32	0.82	0.65	0.49

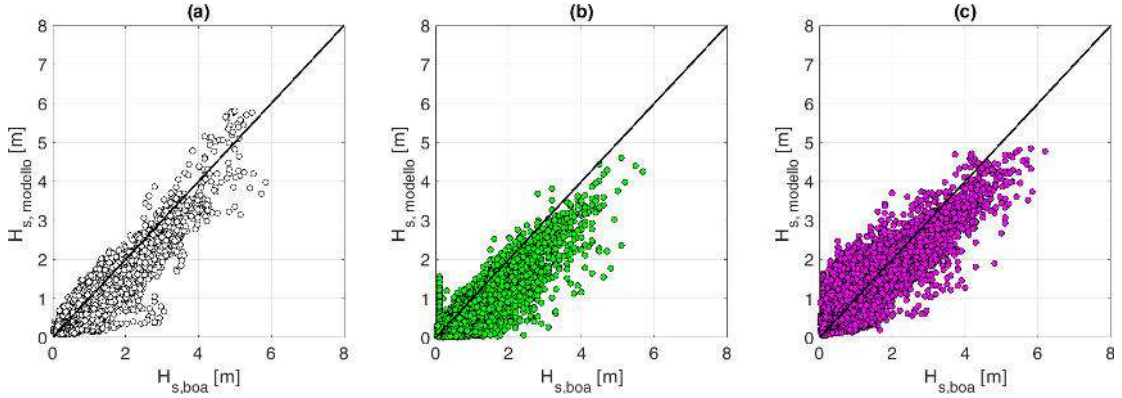


Figura 8.8 Confronto dell'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Catania e: a) i dati del modello numerico del servizio CMEMS; b) i dati del modello del NOAA; c) i dati del modello numerico dell'ECMWF (ERA5).

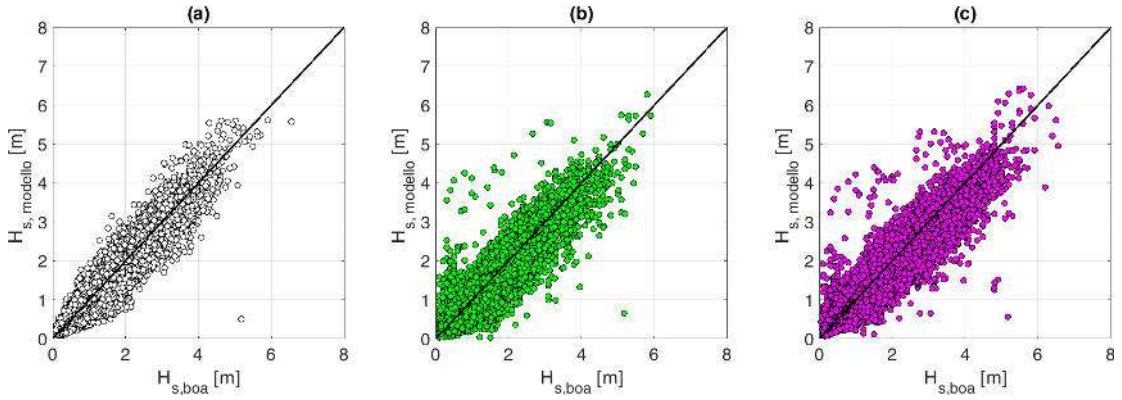


Figura 8.9 Confronto dell'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Mazara del Vallo e: a) i dati del modello numerico del servizio CMEMS; b) i dati del modello del NOAA; c) i dati del modello numerico dell'ECMWF (ERA5).

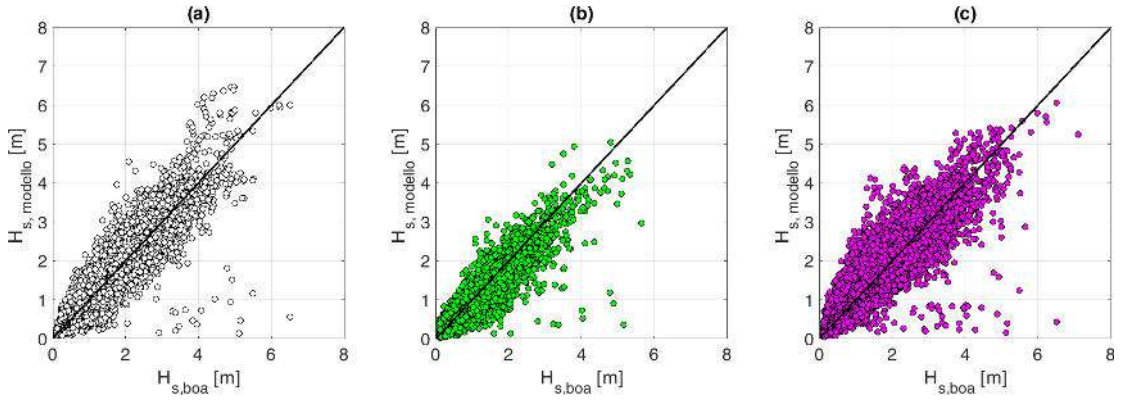


Figura 8.10 Confronto dell'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Capo Gallo e: a) i dati del modello numerico del servizio CMEMS; b) i dati del modello del NOAA; c) i dati del modello numerico dell'ECMWF (ERA5).

Come si evince dalle analisi dei parametri di performance e dai grafici di confronto, i tre modelli considerati risultano tutti sufficientemente affidabili nella stima dell'altezza d'onda significativa. Tuttavia, si rileva come i dati CMEMS siano generalmente in grado di riprodurre meglio gli stati di mare caratterizzati da altezze d'onda significative superiori a 3 m. Pertanto, vista la maggiore affidabilità dei dati CMEMS, si è deciso di adottare tale dataset per le analisi sia del clima medio che degli eventi estremi al largo delle unità fisiografiche di I ordine.

8.1.3.2 Analisi del clima medio

L'analisi del clima medio è stata condotta al largo di ogni unità fisiografica di I ordine. In particolare, la Figura 8.11 riporta i punti griglia del dataset CMEMS utilizzati per l'analisi del moto ondoso al largo delle coste della Regione Siciliana.

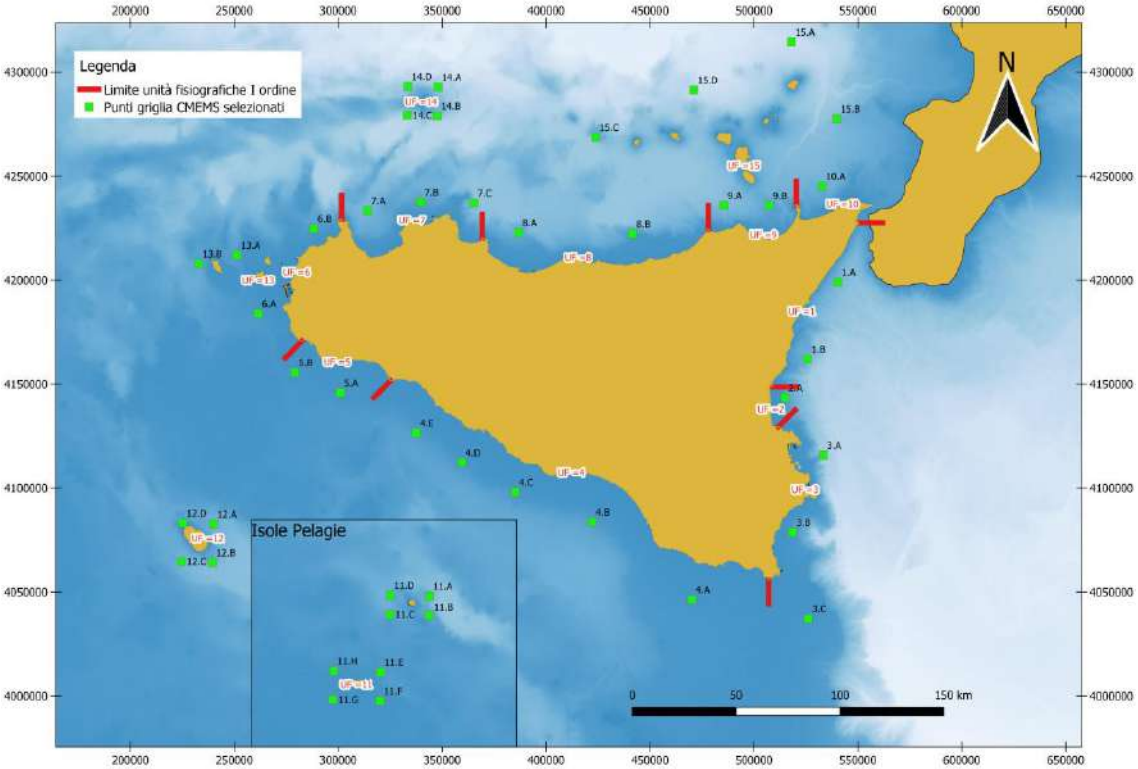


Figura 8.11 Localizzazione dei punti CMEMS selezionati a largo delle coste della Regione Siciliana per l'analisi del clima ondoso.

Nella Tabella 8.XIII e nella Tabella 8.XIV si riportano le coordinate dei punti selezionati, rispettivamente, al largo delle coste della Sicilia e al largo delle coste delle isole minori. Per ogni punto si riporta il codice identificativo e le coordinate espresse nel sistema WGS84 e nel sistema UTM.

Tabella 8.XIII Punti griglia del dataset CMEMS utilizzati per le analisi al largo delle coste della Sicilia.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1.A	15.45833	37.93750	540274.7	4198979.6
1.B	15.29167	37.60417	525744.7	4161938.1
2.A	15.16667	37.43750	514744.1	4143420.5
3.A	15.37500	37.18750	533284.1	4115738.5
3.B	15.20833	36.85417	518572.1	4078715.2
3.C	15.29167	36.47917	526127.4	4037136.9
4.A	14.66667	36.56250	470172.3	4046392.5
4.B	14.12500	36.89583	422039.1	4083674.2
4.C	13.70833	37.02083	385101.3	4097963.2
4.D	13.41667	37.14583	359386.0	4112223.6
4.E	13.16667	37.27083	337450.2	4126492.5
5.A	12.75000	37.43750	300943.3	4145784.1
5.B	12.50000	37.52083	279068.0	4155589.2
6.A	12.29167	37.77083	261455.2	4183843.6
6.B	12.58333	38.14583	288229.0	4224755.1
7.A	12.87500	38.22917	314002.8	4233377.1
7.B	13.16667	38.27083	339625.7	4237454.6
7.C	13.45833	38.27083	365141.3	4236989.0
8.A	13.70833	38.14583	386817.8	4222783.7
8.B	14.33333	38.14583	441584.3	4222205.5
9.A	14.83333	38.27083	485421.1	4235878.2
9.B	15.08333	38.27083	507289.5	4235868.4
10.A	15.37500	38.35417	532765.2	4245178.4

Tabella 8.XIV Punti griglia del dataset CMEMS utilizzati per le analisi al largo delle coste delle isole minori.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est	Identificati del punto
11.A	12.95833	35.89583	315735.5	3974320.2
11.B	12.95833	35.81250	315542.5	3965075.8
11.C	12.75000	35.81250	296717.4	3965488.5
11.D	12.75000	35.89583	296930.1	3974733.3
11.E	12.70833	35.56250	292304.8	3937841.5
11.F	12.70833	35.43750	291982.5	3923974.7
11.G	12.45833	35.43750	269285.0	3924530.1
11.H	12.45833	35.56250	269642.5	3938397.8
12.A	12.08333	36.85417	239960.0	4082666.7
12.B	12.08333	36.68750	239395.9	4064171.6
12.C	11.91667	36.68750	224500.2	4064638.0
12.D	11.91667	36.85417	225096.7	4083133.9
13.A	12.16667	38.02083	251286.7	4211915.9
13.B	11.95833	37.97917	232843.6	4207869.8
14.A	13.25000	38.77083	347971.8	4292800.2
14.B	13.25000	38.64583	347706.7	4278928.1
14.C	13.08333	38.64583	333201.4	4279218.0
14.D	13.08333	38.77083	333491.7	4293090.4
15.A	15.20833	38.97917	518045.3	4314485.5
15.B	15.45833	38.64583	539885.1	4277575.0
15.C	14.12500	38.56250	423767.3	4268591.4
15.D	14.66667	38.77083	471043.3	4291398.8

Per ogni punto griglia del CMEMS selezionato sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza del moto ondoso. I risultati di tali analisi sono riportati nell'Allegato Quaderno delle analisi meteomarine al largo.

Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°. In particolare, sono stati considerati i settori centrati nelle direzioni: 0°N, 22.5°N, 45°N, 67.5°N, 90.0°N, 112.5°N, 135.0°N, 157.5°N, 180.0°N, 202.5°N, 225.0°N, 247.50°N, 270.0°N, 292.5°N, 315.0°N e 337.5°N.

A titolo di esempio, in Figura 8.12 si riporta la rappresentazione grafica della percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.A, ossia relativo al punto posto al largo dell'Unità Fisiografica di I ordine numero 2. I valori delle percentuali sono riportati in Tabella 8.XV.

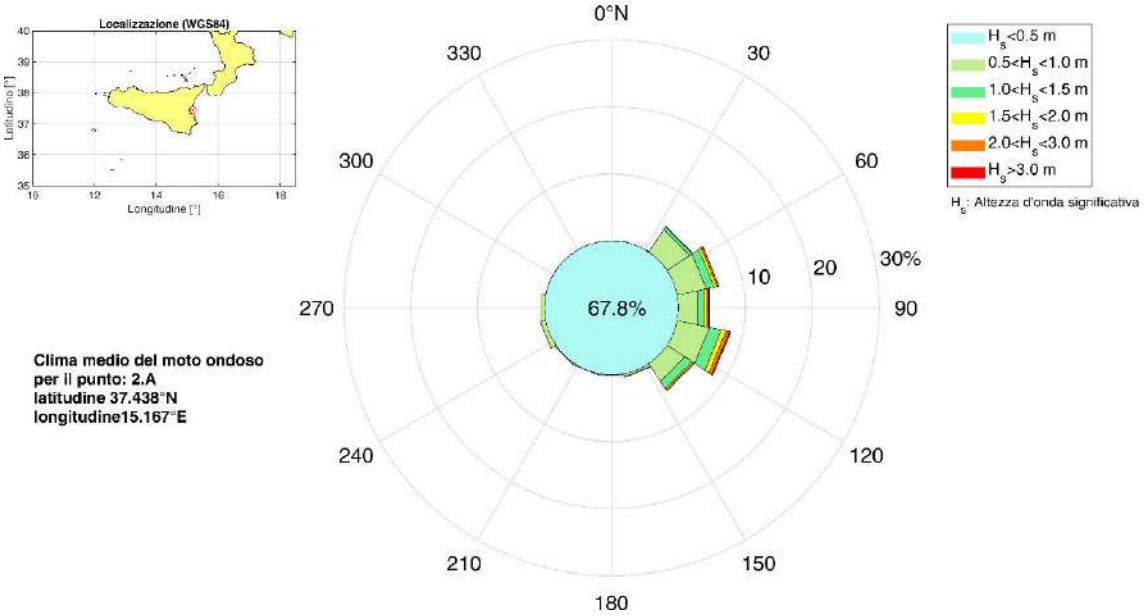


Figura 8.12 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'Unità Fisiografica di I ordine numero 2.

Tabella 8.XV Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'Unità Fisiografica di I ordine numero 2.

	Altezza d'onda significativa [m]					
Direzione [°N]	<0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷3.0	>3.0
0	0.31	0.18	0.03	0.01	-	-
22.5	0.16	0.11	0.01	-	-	-
45	0.09	0.04	-	-	-	-
67.5	0.10	0.06	0.01	-	-	-
90	0.14	0.10	0.02	-	-	-
112.5	0.46	0.26	0.08	0.03	0.01	0.00
135	2.73	3.51	2.27	1.25	1.29	0.36
157.5	3.42	4.00	1.83	0.77	0.42	0.09
180	3.07	2.13	0.70	0.42	0.16	0.02
202.5	2.40	1.36	0.63	0.39	0.16	0.03
225	1.81	0.99	0.43	0.26	0.12	0.02
247.5	1.67	1.25	0.60	0.32	0.21	0.05
270	4.04	5.82	4.23	2.74	2.67	1.32
292.5	7.70	9.48	4.70	2.46	2.32	0.84
315	3.13	2.47	0.54	0.22	0.14	0.01
337.5	1.17	0.55	0.13	0.02	-	-
tot	32.39	32.30	16.21	8.88	7.48	2.75

8.1.3.3 Analisi degli eventi estremi

Al fine di valutare gli eventi estremi al largo delle unità fisiografiche di I ordine è stata effettuata un'analisi statistica dei dati disponibili sui punti griglia del CMEMS riportati in Tabella 8.XIII e in Tabella 8.XIV. I risultati di tale analisi sono riportati nell'Allegato Quaderno delle analisi meteomarine al largo.

Nella fattispecie, dalla serie dei dati originari disponibili nei punti griglia selezionati, è stata ricavata la serie delle altezze d'onda significative massime delle mareggiate. Al riguardo si ricorda che il termine mareggiata viene definita come una successione di stati di mare durante la quale l'altezza d'onda significativa supera una soglia critica e non scende al di sotto di tale soglia per durate di tempo superiori a un valore prefissato t_{crit}. Nel caso in esame è stato considerato un valore di soglia pari a 1.5 m e un valore di t_{crit} pari a 12 ore (Boccotti, 1997).

Per l'analisi degli eventi estremi, dalla serie delle altezze massime delle mareggiate sono stati selezionati i valori superiori a 2 m ed è stato quindi verificato l'adattamento di diverse distribuzioni di probabilità. In particolare, sono state utilizzate le distribuzioni per eventi estremi di Gumbel, Weibull, Lognormale, Pareto e GEV (*Generalized Extreme Value Distribution*) già descritte al paragrafo 8.1.2.

La determinazione dei parametri delle distribuzioni considerate è stata effettuata mediante il metodo dei momenti.

Al fine di determinare l'altezza d'onda significativa per prefissato tempo di ritorno T_r, è preliminarmente necessario determinare sia l'intensità di campionamento λ =(numero di dati estremi)/(numero di anni di osservazione) che la probabilità associata al periodo di ritorno prefissato. Quest'ultima grandezza può essere ricavata come:

$$P = 1 - \frac{1}{\lambda T_r} \qquad 8.14$$

Per verificare se le distribuzioni si adattano alla serie di dati osservati, è stato applicato il test di Kolmogorov. Come già descritto al paragrafo 8.1.2, tale test consente di confrontare la frequenza cumulata dei dati osservati (F_{on}) con una distribuzione teorica (F_n).

A titolo di esempio, per il punto 2.A, al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2, si riportano dalla Tabella 8.XVI alla Tabella 8.XVIII, rispettivamente: i valori del parametro D_n, i valori del parametro D_n^*; i parametri delle distribuzioni teoriche. Per lo stesso punto, in Figura 8.13 si riporta il confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità. Infine, in Tabella 8.XIX si riportano i valori dell'altezza d'onda significativa al variare del tempo di ritorno e della distribuzione di probabilità teoriche considerate.

Tabella 8.XVI Valori del parametro D_n per il punto griglia 5.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 5.

	Gumbel	Weibull	Log-normale	Pareto	GEV
D_n	0.1190	0.0824	0.1347	0.0561	0.1029

Tabella 8.XVII Valori del parametro D_n^* al variare del livello di significatività per il punto griglia 2.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2.

	20%	15%	10%	5%	1%
D_n^*	0.1194	0.1267	0.1364	0.1515	0.1817

Tabella 8.XVIII Parametri delle distribuzioni di probabilità relativi al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2.

G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V3
1.512	2.468	1.85	1.059	1.183	1.011	0.262	2	0.86	-0.012	2.462	0.612	-0.055

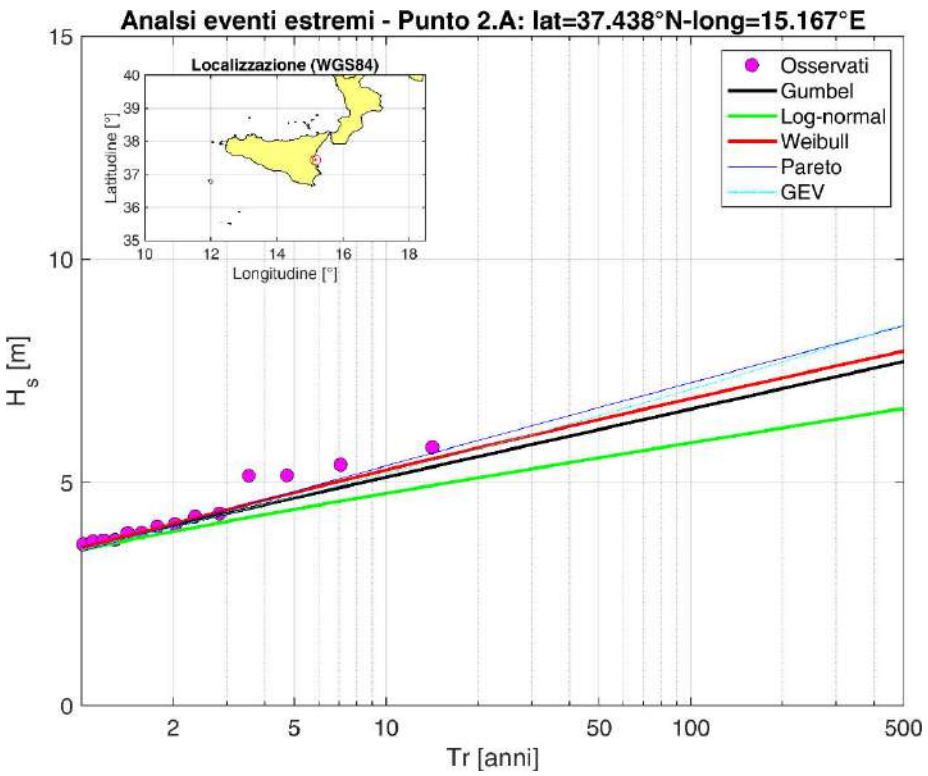


Figura 8.13 Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità relativo al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2.

Tabella 8.XIX Altezza d'onda significativa al variare del tempo di ritorno e delle distribuzioni di probabilità relativa al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2.

	Altezza d'onda significativa [m]				
Tr [anni]	Gumbel	Weibull	Log-normale	Pareto	GEV
2	4.03	4.08	3.91	4.04	4.01
5	4.66	4.78	4.4	4.81	4.68
10	5.12	5.28	4.76	5.38	5.21
50	6.19	6.41	5.56	6.68	6.5
100	6.65	6.88	5.89	7.24	7.09
500	7.71	7.95	6.66	8.51	8.55

8.1.3.4 Sintesi delle analisi del moto ondoso al largo delle coste della Sicilia

L'analisi del moto ondoso al largo delle coste dalla Sicilia è stata effettuata per ogni unità fisiografica del I ordine e in maniera tale da risultare significativa sia del clima medio che degli eventi estremi.

Poiché i dati delle tre boe della Rete Ondametrica Nazionale in Sicilia sono significativi solo per un numero limitatissimo di unità fisiografiche di I ordine, in quanto, come si ricorderà, le stesse boe risultavano collocate al largo di Catania, di Mazara del Vallo e di Capo Gallo, si è ritenuto più opportuno utilizzare i dati del moto ondoso acquisendoli da modelli numerici.

Inizialmente sono stati considerati tutti i dati disponibili distribuiti dai centri di previsione *European Center for Medium-range Weather Forecasts* (ECMWF) e N*ational Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e dal servizio *Copernicus - Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). Tuttavia, in esito all'analisi comparativa tra i dati ondametrici rilevati dalla suddette tre boe al largo delle coste della Sicilia e quelli dei modelli numerici, è emerso come i dati CMEMS risultassero rispetto agli altri dataset più affidabili e pertanto per le analisi del moto ondoso al largo si è deciso di adottare tale dataset.

Per quanto riguarda l'analisi del clima medio, si è fatto riferimento a 46 punti griglia del CMEMS attorno alla Sicilia. In particolare, per ogni punto griglia selezionato sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza del moto ondoso. Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°.

Per quanto concerne l'analisi degli eventi estremi, sono stati impiegati i medesimi punti grigli del CMEMS utilizzati per l'analisi del clima medio. Più precisamente, dalla serie di dati del CMEMS sono stati preliminarmente individuati i valori massimi dell'altezza d'onda significativa osservati durante le mareggiate. Successivamente, la serie delle altezze d'onda significative massime è stata impiegata per stimare i parametri delle distribuzioni teoriche di: Gumbel, Weibull, Lognormale, Pareto e GEV. Per verificare l'adattamento delle serie ai dati osservati, è stato applicato il test di Kolmogorov.

La Tabella 8.XX e la Tabella 8.XXI riportano, per i punti selezionati, una sintesi delle analisi degli eventi estremi. In particolare, per ogni punto è stata selezionata la distribuzione che, tra quelle che verificavano il test di Kolmogorov, riportasse un valore maggiore dell'altezza d'onda significativa corrispondente a un tempo di ritorno di 100 anni. Come si rileva dalla già citata Tabella 8.XX la distribuzione che generalmente riporta valori più cautelativi è quella di Pareto.

Tabella 8.XX Sintesi dell'analisi degli eventi estremi per i punti griglia del dataset CMEMS localizzati al largo delle coste della Sicilia.

ID	Numero di eventi	Valore di Hs massimo della serie	Tr=2 anni	Tr=5 anni	Tr=10 anni	Tr=50 anni	Tr=100 anni	Tr=500 anni	Distribuzione
1.A	80	5.32	4.01	4.75	5.30	6.56	7.09	8.30	Pareto
1.B	103	5.69	4.33	5.13	5.74	7.18	7.80	9.27	Pareto
2.A	78	5.79	4.04	4.81	5.38	6.68	7.24	8.51	Pareto
3.A	168	6.99	4.99	5.97	6.76	8.74	9.66	11.97	Pareto
3.B	147	6.28	4.73	5.76	6.62	8.91	10.05	13.06	Pareto
3.C	444	7.34	5.85	6.51	6.98	8.04	8.47	9.45	Weibull
4.A	430	6.96	5.64	6.13	6.45	7.04	7.25	7.63	Pareto
4.B	374	6.57	5.44	5.96	6.30	6.97	7.21	7.66	Pareto
4.C	393	6.61	5.57	6.06	6.38	6.98	7.19	7.58	Pareto
4.D	399	6.51	5.62	6.11	6.43	7.03	7.23	7.61	Pareto
4.E	386	6.53	5.59	6.04	6.31	6.81	6.97	7.26	Pareto
5.A	405	6.24	5.64	6.19	6.59	7.45	7.79	8.57	Weibull
5.B	425	6.57	5.96	6.55	6.97	7.89	8.26	9.08	Weibull
6.A	424	6.80	6.10	6.58	6.87	7.40	7.57	7.87	Pareto
6.B	351	6.67	5.92	6.45	6.78	7.39	7.59	7.95	Pareto
7.A	338	6.85	5.83	6.33	6.65	7.21	7.39	7.72	Pareto
7.B	326	6.98	5.71	6.32	6.76	7.71	8.10	8.96	Weibull
7.C	313	6.85	5.57	6.17	6.60	7.53	7.91	8.75	Weibull
8.A	228	5.77	4.68	5.29	5.77	6.93	7.45	8.70	GEV
8.B	260	6.55	5.11	5.84	6.41	7.82	8.46	10.04	GEV
9.A	287	7.30	5.54	6.25	6.77	7.92	8.40	9.49	Weibull
9.B	257	6.61	4.97	5.68	6.24	7.63	8.27	9.85	GEV
10.A	250	6.52	5.03	5.71	6.22	7.36	7.85	8.94	Weibull

Tabella 8.XXI Sintesi dell'analisi degli eventi estremi per i punti griglia del dataset CMEMS localizzati al largo delle isole minori.

ID	Numero di eventi	Valore di Hs massimo della serie	Tr=2 anni	Tr=5 anni	Tr=10 anni	Tr=50 anni	Tr=100 anni	Tr=500 anni	Distribuzione
11.A	511	7.57	6.15	6.70	7.05	7.73	7.96	8.41	Pareto
11.B	505	7.54	6.13	6.67	7.02	7.70	7.93	8.37	Pareto
11.C	502	7.59	6.06	6.61	6.97	7.66	7.90	8.36	Pareto
11.D	503	7.57	6.07	6.60	6.94	7.59	7.82	8.24	Pareto
11.E	492	7.32	5.93	6.50	6.88	7.63	7.90	8.43	Pareto
11.F	438	6.41	5.10	5.57	5.89	6.52	6.76	7.21	Pareto
11.G	475	7.55	5.65	6.22	6.61	7.39	7.68	8.26	Pareto
11.H	469	7.68	5.75	6.39	6.84	7.77	8.13	8.87	Pareto
12.A	494	7.36	6.46	6.97	7.29	7.86	8.05	8.39	Pareto
12.B	421	6.45	5.23	5.67	5.96	6.51	6.70	7.06	Pareto
12.C	496	7.21	6.21	6.73	7.07	7.70	7.92	8.31	Pareto
12.D	478	7.43	6.43	7.04	7.43	8.18	8.45	8.95	Pareto
13.A	457	6.91	6.13	6.68	7.04	7.70	7.93	8.36	Pareto
13.B	481	7.45	6.53	7.12	7.51	8.22	8.47	8.93	Pareto
14.A	387	7.49	6.19	6.83	7.25	8.07	8.36	8.93	Pareto
14.B	376	7.56	6.17	6.78	7.18	7.94	8.20	8.70	Pareto
14.C	382	7.46	6.14	6.74	7.14	7.89	8.16	8.66	Pareto
14.D	394	7.42	6.18	6.81	7.22	8.03	8.32	8.88	Pareto
15.A	328	7.91	6.06	6.89	7.49	8.79	9.31	10.43	Pareto
15.B	306	7.44	5.74	6.51	7.07	8.35	8.88	10.09	Weibull
15.C	355	7.87	6.03	6.71	7.16	8.07	8.41	9.07	Pareto
15.D	364	7.97	6.15	6.96	7.54	8.77	9.26	10.31	Pareto

8.2 Analisi della propagazione del moto ondoso dal largo alla costa

Al fine di determinare le caratteristiche del moto ondoso sottocosta e, precisamente, in corrispondenza della batimetrica 20 m a partire dalle informazioni al largo, è stato implementato a scala regionale un modello numerico di propagazione che ha consentito la ricostruzione delle informazioni ondametriche per un periodo pari a circa 14 anni (dal 2006 al 2019).

La propagazione del moto ondoso è stata effettuata con il modello numerico SWAN (Booij *et al.*, 1999), acronimo di *Simulating WAve Nearshore*, sviluppato presso la *Delft University of Technology* fornendo come input i seguenti dati relativi all'area oggetto di studio: i) batimetrici; ii) di vento; iii) di moto ondoso al largo.

Per quanto riguarda i dati batimetrici attorno alle coste della Sicilia e delle isole minori, si è fatto riferimento alle mappe pubblicate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare, integrate, localmente, ove necessario, con i dati forniti dall'organizzazione *The General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO).

Per quanto concerne i dati di vento e i dati di moto ondoso si è fatto riferimento, rispettivamente, ai dati forniti dall'*European Center Medium Weather Forecast* (ECMWF) e ai dati forniti dal *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS).

Dal punto di vista spaziale, al fine di garantire la completa copertura delle coste della Regione Siciliana, ossia anche quelle delle isole minori, le simulazioni sono state condotte impiegando sei diversi domini di calcolo caratterizzati da contorni lato mare a profondità generalmente maggiore di 100 m e da griglie di calcolo non strutturate a celle triangolari.

Per quanto attiene alla lunghezza della serie storica, si precisa che, come detto,i dati di input al largo coprono il periodo tra il 2006 e il 2019, con un intervallo di tempo tri-orario.

La validazione delle caratteristiche del moto ondoso sottocosta stimate mediante il modello SWAN è stata condotta sulla base di dati ondametrici ricavati da satellite e fornite dall'*Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer* (IFREMER) attraverso il progetto *GlobWave*.

La Figura 8.14 riporta uno schema di sintesi delle attività svolte per l'implementazione del modello regionale di propagazione del moto ondoso adottato.

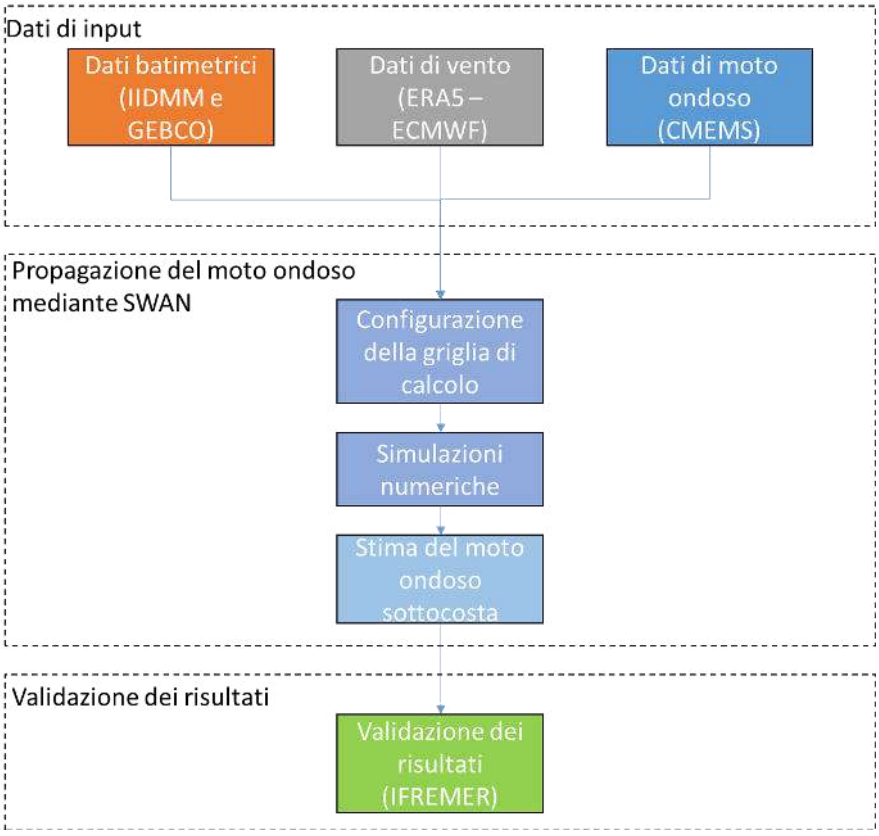


Figura 8.14 Modello regionale adottato per la propagazione del moto ondoso dal largo alla riva: schematizzazione delle attività svolte.

8.2.1 Il modello numerico adottato per la propagazione del moto ondoso

Il modello numerico SWAN (Booij *et al.*, 1999), acronimo di *Simulating WAve Nearshore*, è stato sviluppato presso la *Delft University of Technology* ed è un'estensione alle acque a bassa

profondità dei modelli di terza generazione impiegati a profondità infinita (WAM). Il modello, che può essere impiegato a varie scale rilevanti per le onde gravitazionali generate dal vento, consente di ottenere stime dei parametri delle onde in zone costiere, laghi ed estuari, generate dal vento e influenzate dai fondali o dalle correnti.

I processi di generazione e di dissipazione considerati dal modello sono:

- generazione dal vento;
- dissipazione dai fenomeni di whitecapping;
- dissipazioni causate da frangimento;
- dissipazioni indotte dai fondali.

I processi considerati dal modello nella propagazione delle onde sono:

- propagazione nello spazio;
- rifrazione a causa di variazioni dei fondali e delle correnti;
- diffrazione;
- shoaling;
- trasmissione;
- riflessione.

Il modello è di tipo spettrale, con evidenti vantaggi dal punto di vista computazionale per l'analisi di stati di mare. Infatti, le onde generate dal vento sono caratterizzate da altezze e periodi irregolari, a causa dalla natura irregolare del vento. Quest'ultima determina, appunto, che l'elevazione della superficie del mare varia continuamente, cosa che non consente un approccio di tipo deterministico. Inoltre, una descrizione statistica degli stati di mare mediante l'altezza d'onda media, periodo medio e direzione media è caratterizzata da piccole variazioni nel tempo e nello spazio se confrontate con il periodo e la lunghezza d'onda.

Tutte le informazioni sulla superficie del mare possono essere espresse mediante lo spettro di energia delle onde $E(\sigma_w,\theta_w)$, funzione

della frequenza dell'onda σ_w e della direzione di propagazione θ_w. Nei modelli numerici è più utile fare riferimento alla densità di azione *N*, definita come il rapporto E/σ_w. Il vantaggio dell'impiego di tale parametro è dato dal fatto che esso si conserva durante il processo di propagazione in presenza di correnti, al contrario di *E* (Whitham, 1974).

Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa dell'onda σ (misurata rispetto ad un sistema di riferimento che si muove con la velocità di propagazione dell'azione d'onda) e la direzione dell'onda θ (direzione perpendicolare alla cresta di ciascuna componente spettrale).

Come è noto, l'evoluzione della densità di azione *N* è regolata dalla seguente espressione:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_{\vec{x}} \cdot \left[\left(\overrightarrow{c_g} + \vec{U}\right)N\right] + \frac{\partial c_{\sigma w} N}{\partial \sigma_w} + \frac{\partial c_{\theta w} N}{\partial \theta_w} = \frac{S_{tot}}{\sigma_w}$$

Il primo membro è la parte cinematica. In esso troviamo i seguenti elementi: il primo termine indica la variazione della densità d'azione rispetto al tempo, il secondo termine indica la propagazione dell'onda nelle due dimensioni geografiche nello spazio $\vec{x}$; $\overrightarrow{c_g}$ è la velocità di gruppo delle onde e $\vec{U}$ è il vettore corrente; il terzo termine rappresenta gli effetti del cambiamento di frequenza a causa della profondità e delle correnti medie (con la velocità di propagazione $c_{\sigma w}$ riferita allo spazio delle frequenze σ_w); il quarto rappresenta la rifrazione indotta dalla profondità e dalle correnti (con la velocità di propagazione c_θ riferita allo spazio delle direzioni d'onda θ_w).

Il secondo membro racchiude sia le grandezze che immettono energia nel sistema, sia le grandezze che causano la dissipazione di energia nonché le interazioni non lineari onda-onda.

Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del modello (*SWAN User Manual*).

8.2.2 Domini di calcolo

Per la simulazione della propagazione del moto ondoso attorno alla Sicilia e alle isole minori sono stati impiegati sei differenti domini di calcolo. In particolare, le simulazioni numeriche sono state condotte mediante:

1. un dominio di calcolo comprendente le coste della Sicilia e delle Isole Egadi (nominato dominio "DSE");
2. un dominio di calcolo comprendente l'isola di Pantelleria (nominato dominio "DP");
3. un dominio di calcolo comprendente l'isola di Lampedusa (nominato dominio "DLA");
4. un dominio di calcolo comprendente l'isola di Linosa (nominato dominio "DLI");
5. un dominio di calcolo comprendente l'isola di Ustica (nominato dominio "DU");
6. un dominio di calcolo comprendente le isole Eolie (nominato dominio "DE").

I contorni dei domini di calcolo sono stati definiti in funzione dei punti griglia in cui sono noti i dati dei dataset forniti dal CMEMS. In particolare, sono stati selezionati i punti prossimi alle aree di studio e comunque caratterizzati da profondità maggiori di 100 m. Le caratteristiche del moto ondoso estratte in tali punti griglia sono stati impiegati per la definizione delle condizioni al contorno nelle simulazioni relative alla propagazione del moto ondoso.

Dalla Figura 8.15 alla Figura 8.20 si riportano i domini di calcolo impiegati nelle simulazioni della propagazione del moto ondoso da largo a sottocosta.

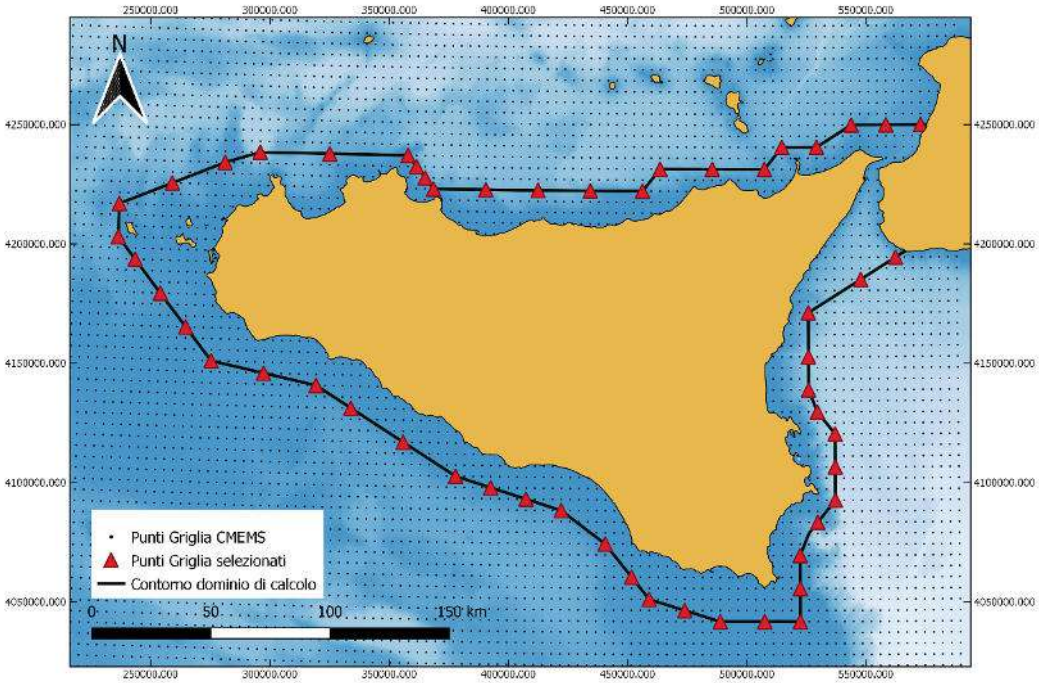


Figura 8.15 Dominio di calcolo comprendente le coste della Sicilia e le Isole Egadi (nominato dominio "DSE").

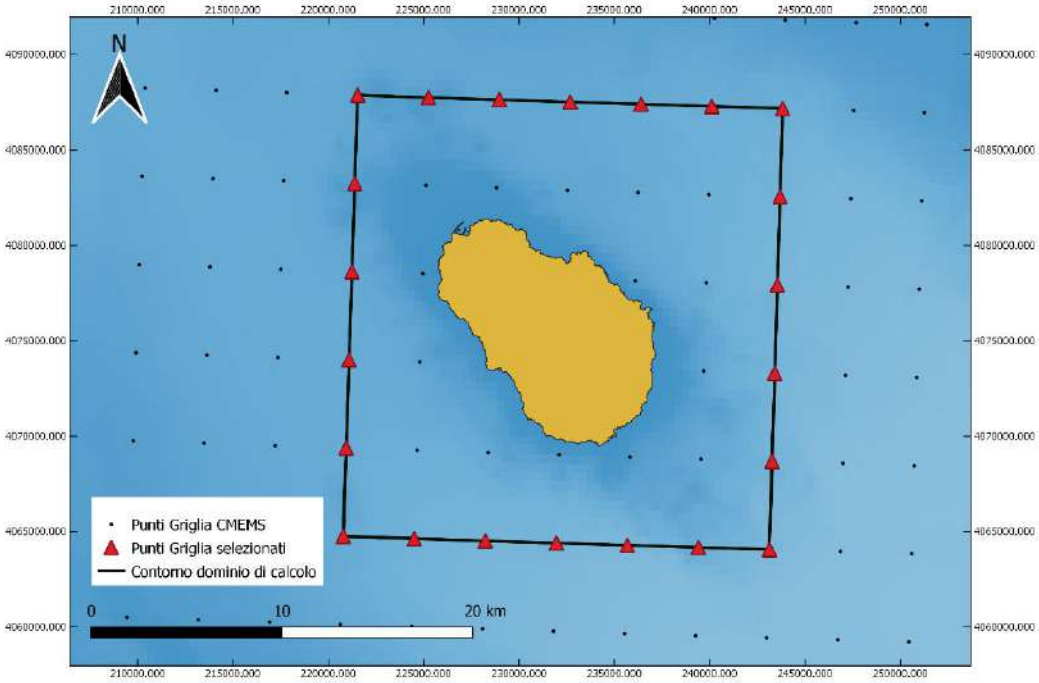


Figura 8.16 Dominio di calcolo comprendente l'isola di Pantelleria (nominato dominio "DP").

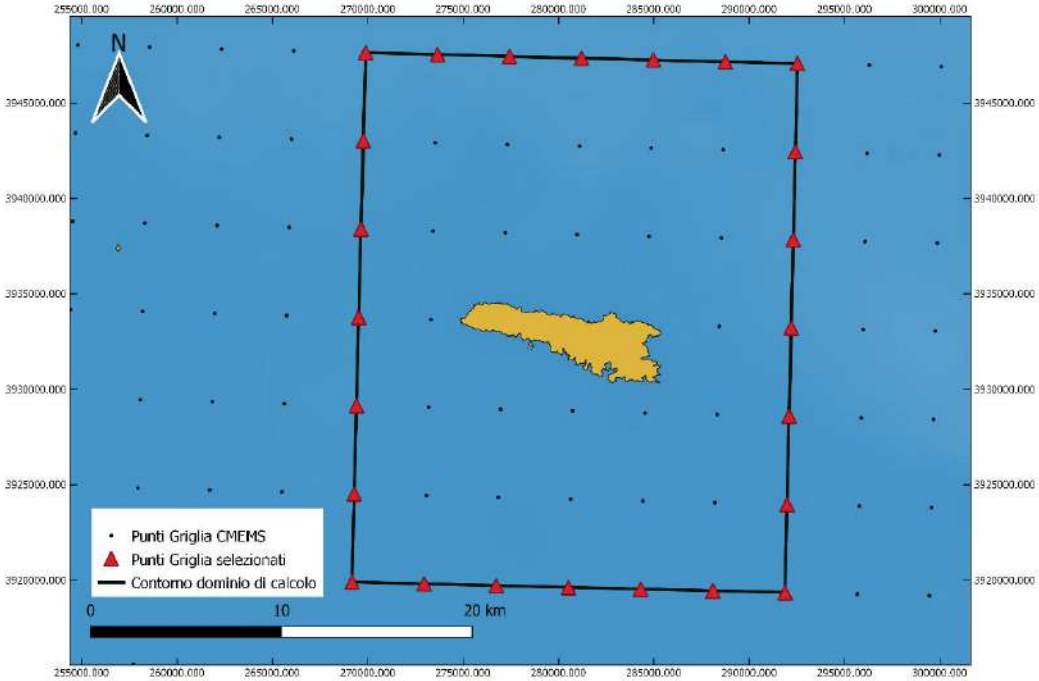


Figura 8.17 Dominio di calcolo comprendente l'isola di Lampedusa (nominato dominio "DLA").

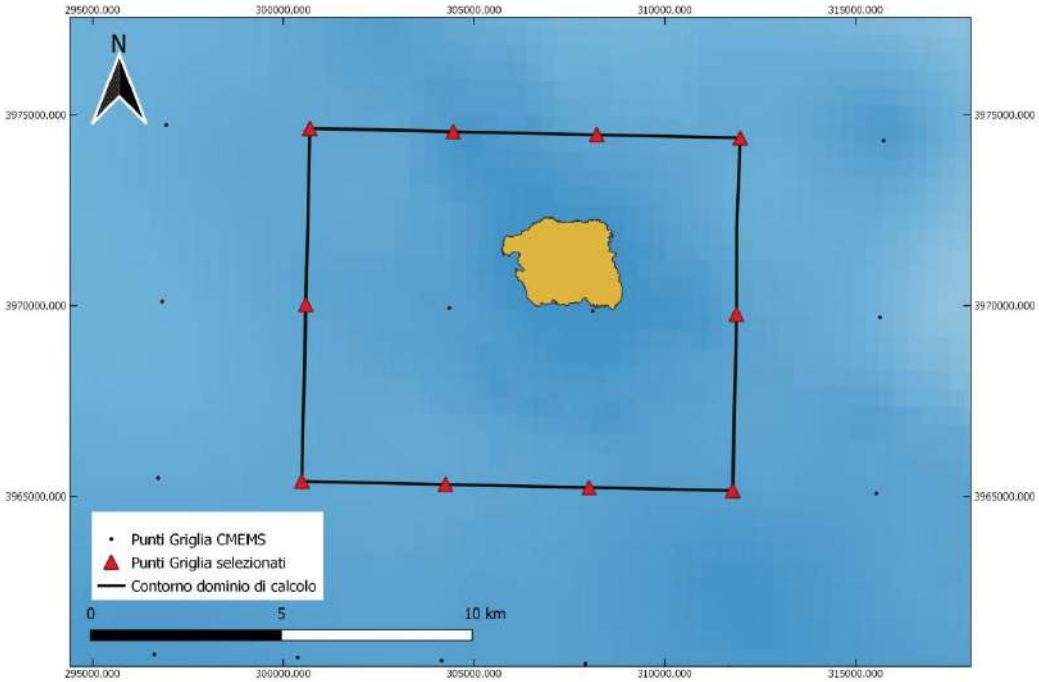


Figura 8.18 Dominio di calcolo comprendente l'isola di Linosa (nominato dominio "DLI").

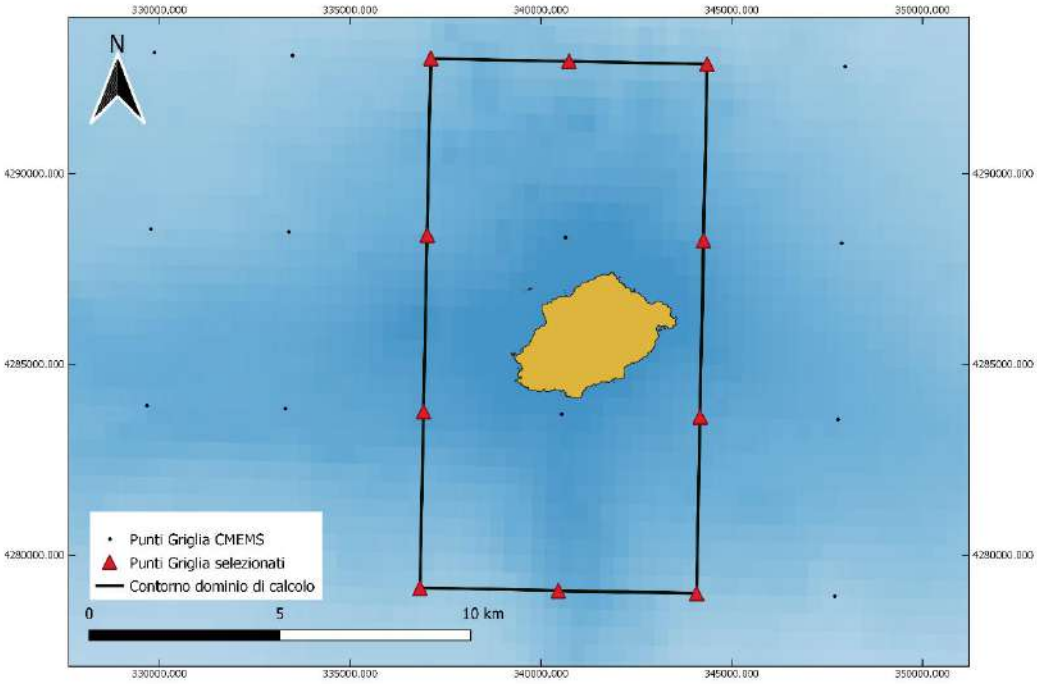


Figura 8.19 Dominio di calcolo comprendente l'isola di Ustica (nominato dominio "DU").

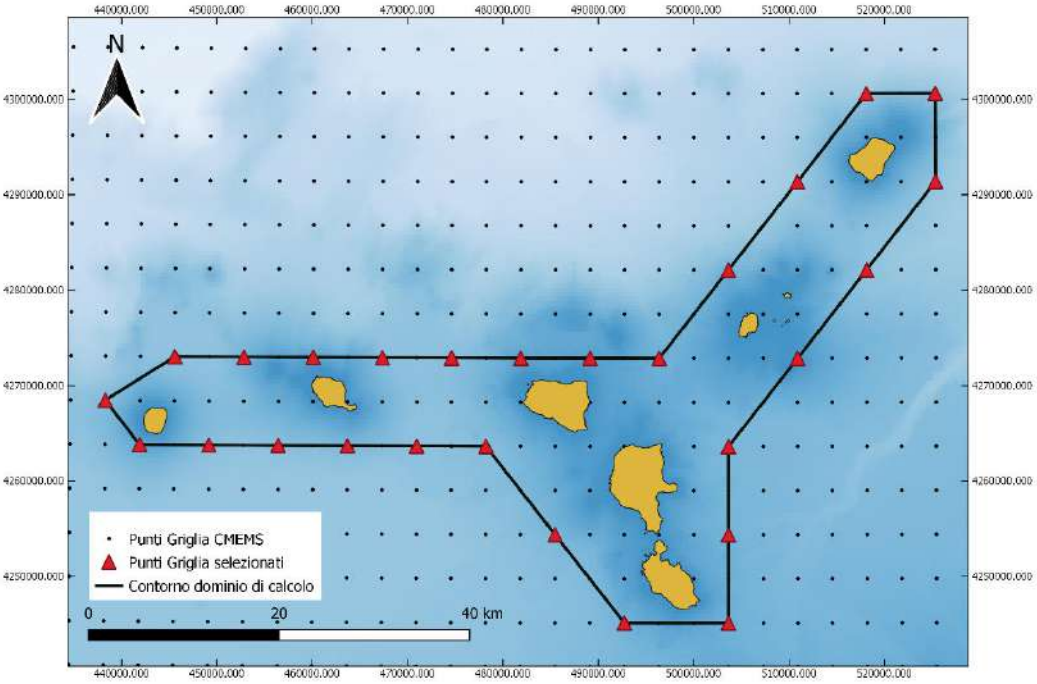


Figura 8.20 Dominio di calcolo comprendente le isole Eolie (nominato dominio "DE").

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso al largo sono stati impiegati i punti griglia riportati dalla Tabella 8.XXII alla Tabella 8.XXVIII.

Tabella 8.XXII Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DSE (punti griglia da 1 a 26).

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1	15.7083	37.8958	562278.09	4194493.93
2	15.5417	37.8125	547678.01	4185150.01
3	15.2917	37.6875	525715.98	4171183.43
4	15.2917	37.5208	525773.42	4152692.46
5	15.2917	37.3958	525816.36	4138824.68
6	15.3333	37.3125	529536.98	4129592.01
7	15.4167	37.2292	536962.01	4120376.53
8	15.4167	37.1042	537022.93	4106509.38
9	15.4167	36.9792	537083.68	4092642.52
10	15.3333	36.8958	529699.21	4083368.64
11	15.2500	36.7708	522310.70	4069479.65
12	15.2500	36.6458	522346.87	4055613.64
13	15.2500	36.5208	522382.93	4041747.91
14	15.0833	36.5208	507461.00	4041722.08
15	14.8750	36.5208	488808.68	4041726.12
16	14.7083	36.5625	473900.75	4046380.44
17	14.5417	36.6042	459008.88	4051060.67
18	14.4583	36.6875	451607.97	4060343.31
19	14.3333	36.8125	440536.97	4074280.01
20	14.1250	36.9375	422081.51	4088296.64
21	13.9583	36.9792	407289.95	4093068.38
22	13.7917	37.0208	392514.50	4097865.82
23	13.6250	37.0625	377754.96	4102689.87
24	13.3750	37.1875	355764.52	4116909.15
25	13.1250	37.3125	333847.25	4131188.22
26	12.9583	37.3958	319276.47	4140740.77
27	12.7083	37.4375	297256.52	4145872.97

Tabella 8.XXIII Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DSE (continua dalla Tabella 8.XXII, punti griglia da 27 a 53).

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
28	12.4583	37.4792	275260.25	4151064.42
29	12.3333	37.6042	264599.12	4165242.20
30	12.2083	37.7292	253975.86	4179435.66
31	12.0833	37.8542	243390.64	4193644.84
32	12.0000	37.9375	236355.05	4203126.23
33	12.0000	38.0625	236802.69	4216999.88
34	12.2500	38.1458	259014.20	4225569.24
35	12.5000	38.2292	281175.15	4234197.44
36	12.6667	38.2708	295882.12	4238440.20
37	13.0000	38.2708	325044.82	4237756.82
38	13.3750	38.2708	357851.24	4237113.81
39	13.4167	38.2292	361417.22	4232427.26
40	13.4583	38.1875	364987.32	4227741.99
41	13.5000	38.1458	368561.72	4223058.43
42	13.7500	38.1458	390469.03	4222733.63
43	14.0000	38.1458	412375.84	4222467.92
44	14.2500	38.1458	434282.25	4222261.26
45	14.5000	38.1458	456188.36	4222113.66
46	14.5833	38.2292	463531.90	4231324.24
47	14.8333	38.2292	485412.82	4231255.31
48	15.0833	38.2292	507293.68	4231245.47
49	15.1667	38.3125	514570.70	4240501.61
50	15.3333	38.3125	529141.25	4240541.02
51	15.5000	38.3958	543661.87	4249853.21
52	15.6667	38.3958	558215.96	4249945.25
53	15.8333	38.3958	572770.08	4250063.58

Tabella 8.XXIV Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DP.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1	11.8750	36.8958	221532.17	4087878.54
2	11.9167	36.8958	225246.12	4087757.62
3	11.9583	36.8958	228959.94	4087638.33
4	12.0000	36.8958	232673.81	4087520.67
5	12.0417	36.8958	236387.63	4087404.63
6	12.0833	36.8958	240101.34	4087290.22
7	12.1250	36.8958	243815.09	4087177.44
8	12.1250	36.8542	243675.75	4082553.97
9	12.1250	36.8125	243536.54	4077930.08
10	12.1250	36.7708	243397.47	4073306.22
11	12.1250	36.7292	243258.55	4068682.82
12	12.1250	36.6875	243119.74	4064059.01
13	12.0833	36.6875	239395.89	4064171.55
14	12.0417	36.6875	235672.08	4064285.72
15	12.0000	36.6875	231948.15	4064401.51
16	11.9583	36.6875	228224.18	4064518.92
17	11.9167	36.6875	224500.25	4064637.96
18	11.8750	36.6875	220776.19	4064758.62
19	11.8750	36.7292	220927.10	4069382.73
20	11.8750	36.7708	221078.13	4074006.43
21	11.8750	36.8125	221229.34	4078630.59
22	11.8750	36.8542	221380.68	4083254.78

Tabella 8.XXV Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DLA.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1	12.4583	35.6458	269881.40	3947642.87
2	12.5000	35.6458	273654.65	3947546.06
3	12.5417	35.6458	277427.86	3947450.85
4	12.5833	35.6458	281200.94	3947357.25
5	12.6250	35.6458	284974.07	3947265.25
6	12.6667	35.6458	288747.17	3947174.85
7	12.7083	35.6458	292520.14	3947086.06
8	12.7083	35.6042	292412.40	3942464.00
9	12.7083	35.5625	292304.76	3937841.53
10	12.7083	35.5208	292197.23	3933219.09
11	12.7083	35.4792	292089.82	3928597.11
12	12.7083	35.4375	291982.51	3923974.72
13	12.7083	35.3958	291875.31	3919352.35
14	12.6667	35.3958	288090.59	3919440.88
15	12.6250	35.3958	284305.75	3919531.01
16	12.5833	35.3958	280520.87	3919622.73
17	12.5417	35.3958	276736.05	3919716.05
18	12.5000	35.3958	272951.09	3919810.97
19	12.4583	35.3958	269166.09	3919907.49
20	12.4583	35.4375	269285.01	3924530.14
21	12.4583	35.4792	269404.05	3929152.81
22	12.4583	35.5208	269523.20	3933775.07
23	12.4583	35.5625	269642.48	3938397.79
24	12.4583	35.6042	269761.89	3943020.54

Tabella 8.XXVI Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DLI.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1	12.7917	35.8958	300691.31	3974647.45
2	12.8333	35.8958	304452.37	3974563.22
3	12.8750	35.8958	308213.48	3974480.59
4	12.9167	35.8958	311974.56	3974399.57
5	12.9167	35.8542	311876.03	3969777.55
6	12.9167	35.8125	311777.59	3965155.12
7	12.8750	35.8125	308012.56	3965236.06
8	12.8333	35.8125	304247.51	3965318.61
9	12.7917	35.8125	300482.51	3965402.76
10	12.7917	35.8542	300586.86	3970025.31

Tabella 8.XXVII Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DU.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1	13.1250	38.7708	337111.78	4293015.40
2	13.1667	38.7708	340731.82	4292942.01
3	13.2083	38.7708	344351.75	4292870.28
4	13.2083	38.7292	344261.22	4288246.48
5	13.2083	38.6875	344170.77	4283622.27
6	13.2083	38.6458	344080.39	4278998.09
7	13.1667	38.6458	340454.14	4279069.76
8	13.1250	38.6458	336827.78	4279143.07
9	13.1250	38.6875	336922.36	4283767.30
10	13.1250	38.7292	337017.03	4288391.55

Tabella 8.XXVIIICoordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DE.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1	14.3750	38.6042	445579.76	4273037.37
2	14.4583	38.6042	452835.82	4272991.28
3	14.5417	38.6042	460091.95	4272951.77
4	14.6250	38.6042	467347.98	4272918.84
5	14.7083	38.6042	474603.99	4272892.50
6	14.7917	38.6042	481860.08	4272872.75
7	14.8750	38.6042	489116.07	4272859.58
8	14.9583	38.6042	496372.05	4272853.00
9	15.0417	38.6875	503623.92	4282099.88
10	15.1250	38.7708	510858.89	4291353.48
11	15.2083	38.8542	518076.99	4300614.27
12	15.2917	38.8542	525307.83	4300634.06
13	15.2917	38.7708	525337.34	4291386.45
14	15.2083	38.6875	518119.10	4282119.64
15	15.1250	38.6042	510884.11	4272859.58
16	15.0417	38.5208	503632.31	4263605.80
17	15.0417	38.4375	503636.50	4254359.19
18	15.0417	38.3542	503640.68	4245112.70
19	14.9167	38.3542	492719.00	4245115.17
20	14.8333	38.4375	485454.53	4254371.52
21	14.7500	38.5208	478206.88	4263634.59
22	14.6667	38.5208	470942.49	4263657.62
23	14.5833	38.5208	463678.01	4263687.24
24	14.5000	38.5208	456413.59	4263723.43
25	14.4167	38.5208	449149.14	4263766.20
26	14.3333	38.5208	441884.59	4263815.56
27	14.2917	38.5625	438288.01	4268466.36

8.2.3 Configurazione delle griglie di calcolo adottate per la propagazione del moto ondoso

I dati batimetrici sono stati interpolati su una griglia di calcolo non strutturata. La risoluzione numerica di tale tipologia di griglia richiede tempi computazionali maggiori rispetto ad una griglia regolare. Tuttavia, rispetto a quest'ultima, la griglia non strutturata consente di discretizzare lo spazio adottando un numero di nodi inferiori, in quanto è possibile modificare la dimensione delle celle all'interno dello stesso dominio di calcolo.

La dimensione della griglia di calcolo è stata definita in relazione alla profondità dei fondali. Per il dominio DSE, considerata l'elevata superficie coperta, è stata fissata una lunghezza delle celle pari a 5000 m per profondità superiori o uguali a 100 m e pari a 500 m per profondità inferiori o uguali a 50 m. Per le profondità intermedie tra 50 m e 100 m la dimensioni delle celle varia linearmente tra 500 m e 5000 m. In corrispondenza delle zone sottocosta, caratterizzate da una elevata pendenza, la lunghezza delle celle è stata modificata da 500 m a circa 250 m. Considerate, inoltre, le ridotte pendenze dei fondali ricadenti tra le unità fisiografiche di I ordine n.4 e n.7 rispetto a quelle del versante Ionico, per dette unità fisiografiche la lunghezza delle celle a profondità maggiori di 100 m è stata modificata da 5000 m a 7500 m. Al fine di garantire delle variazioni graduali delle celle di calcolo, la griglia di calcolo è stata sottoposta ad una funzione di smoothing.

Per i domini di calcolo relativi alle isole minori (domini DP, DLA, DLI, DU e DE) è stata fissata una lunghezza delle celle pari a 2000 mper profondità superiori o uguali a 100 m e pari a 100 m per profondità inferiori o uguali a 50 m. Anche per tali domini, in corrispondenza delle zone sottocosta, caratterizzate da elevate pendenze, la lunghezza delle celle è stata modificata da 100 m a circa 50 m.

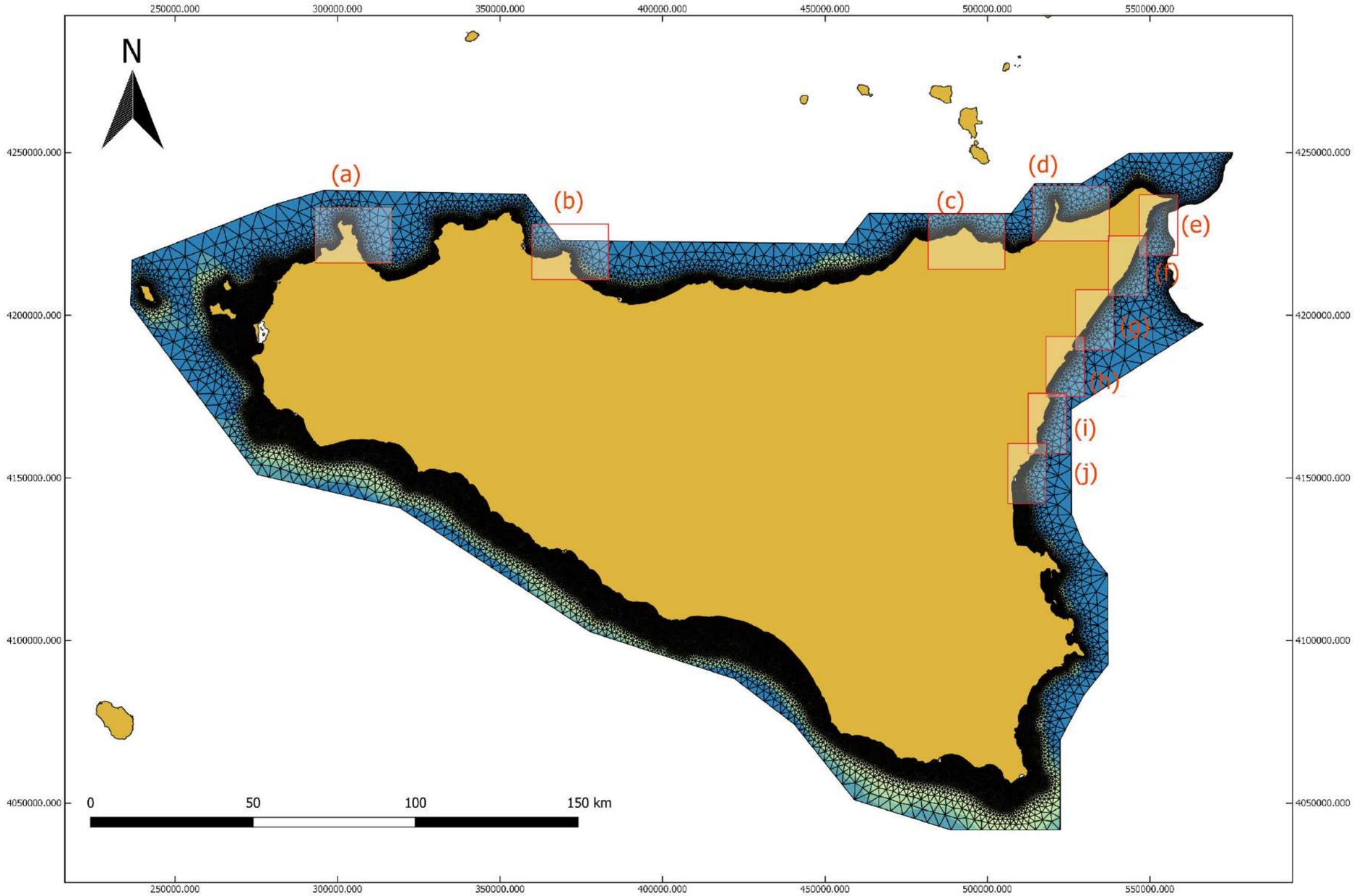


Figura 8.21 Dominio DES: griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni della propagazione del moto ondoso da largo a sottocosta. In rosso sono evidenziate le zone sottoposte al processo di infittimento della griglia di calcolo.

Pe il dominio DSE, il processo di infittimento della griglia di calcolo è stato adottato per le seguenti aree: nell'intorno di San Vito Lo Capo (vedere la Figura 8.22); nell'intorno di Capo Zafferano; nell'intorno di Capo Calavà (vedere la Figura 8.24); nell'intorno di Capo Milazzo; nel tratto di costa compreso tra Capo Peloro e il Porto di Catania (vedere dalla Figura 8.26 alla Figura 8.31).

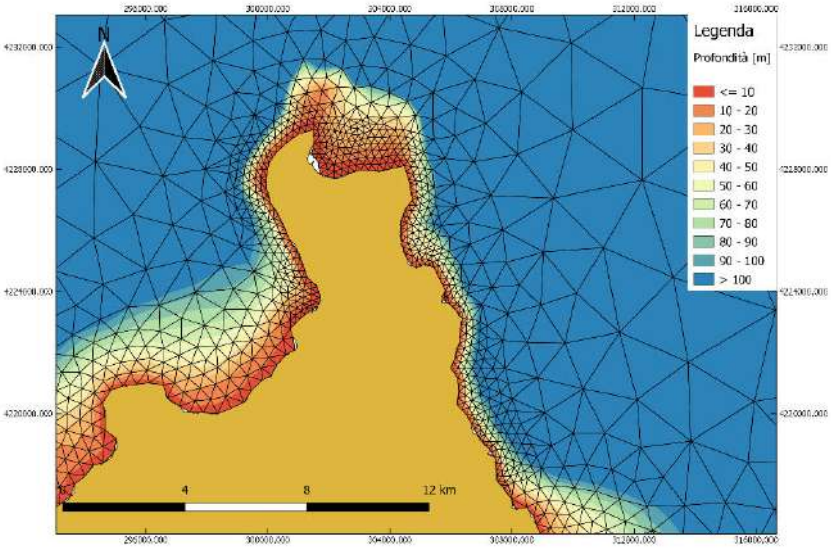


Figura 8.22 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio su San Vito Lo Capo (riquadro a nella Figura 8.21).

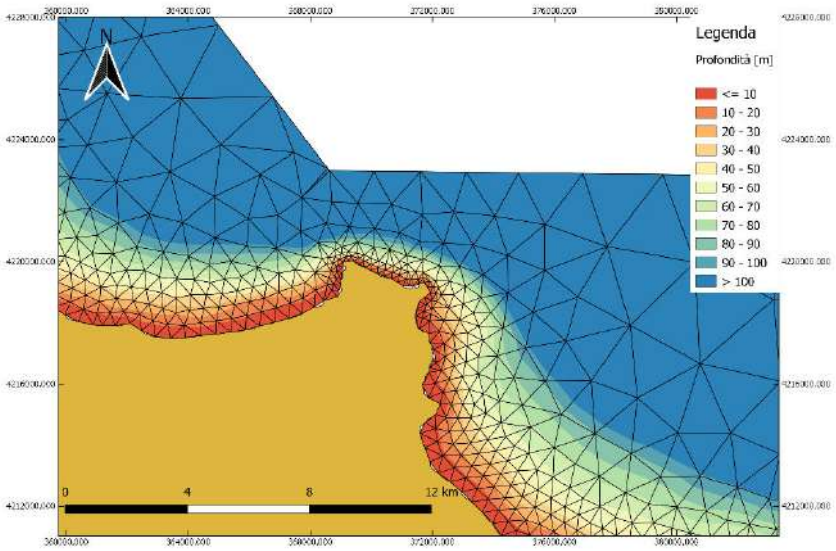


Figura 8.23 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio su Capo Zafferano (riquadro b nella Figura 8.21).

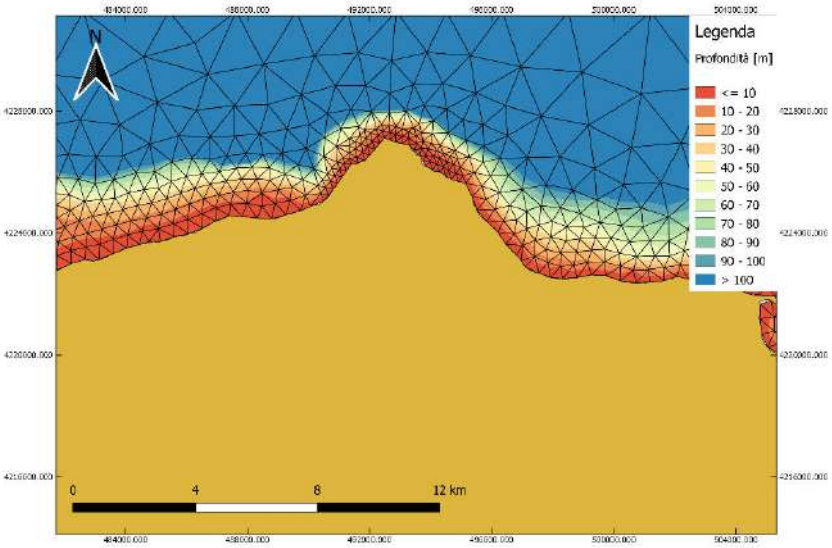


Figura 8.24 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio su Capo Calavà (riquadro c nella Figura 8.21).

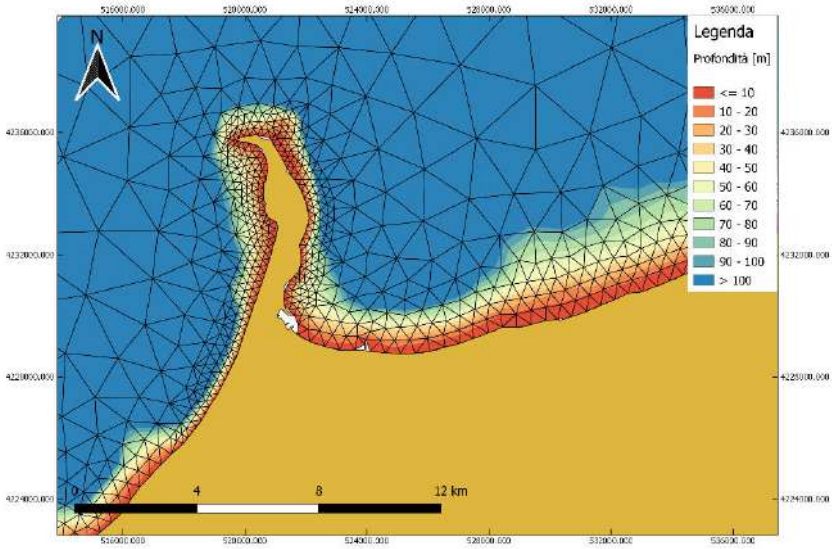


Figura 8.25 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio su Capo Milazzo (riquadro d nella Figura 8.21).

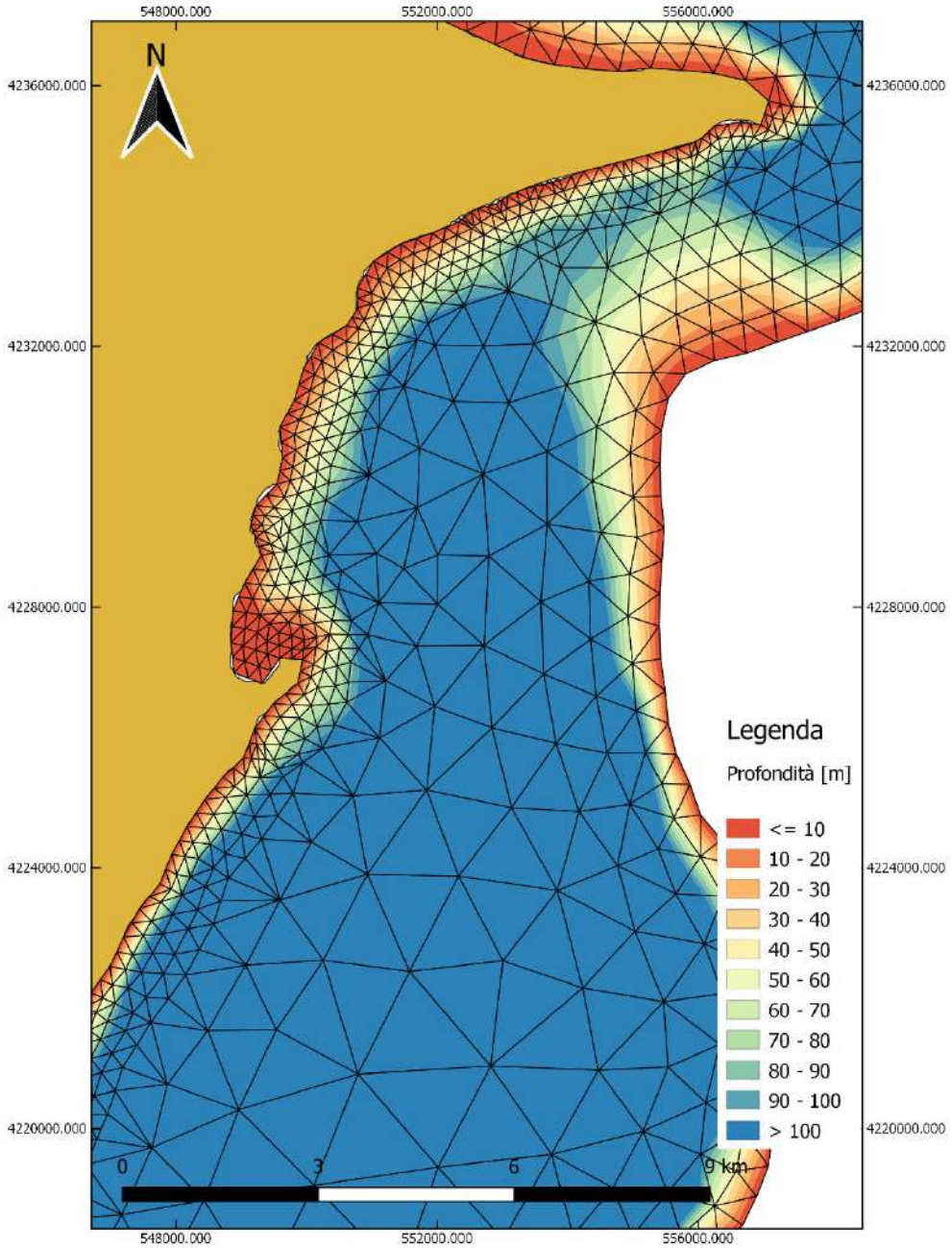


Figura 8.26 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro e nella Figura 8.21).

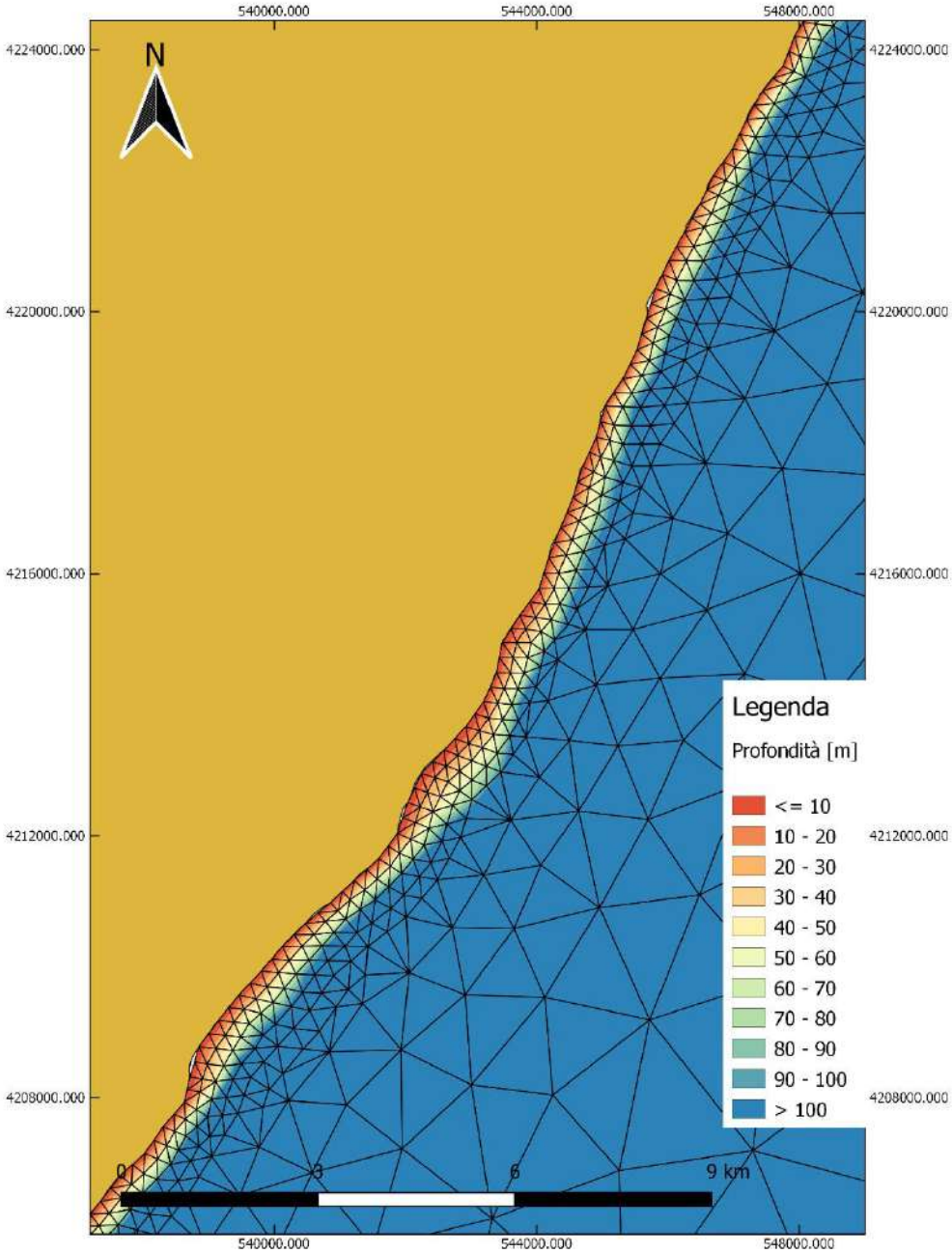


Figura 8.27 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro f nella Figura 8.21).

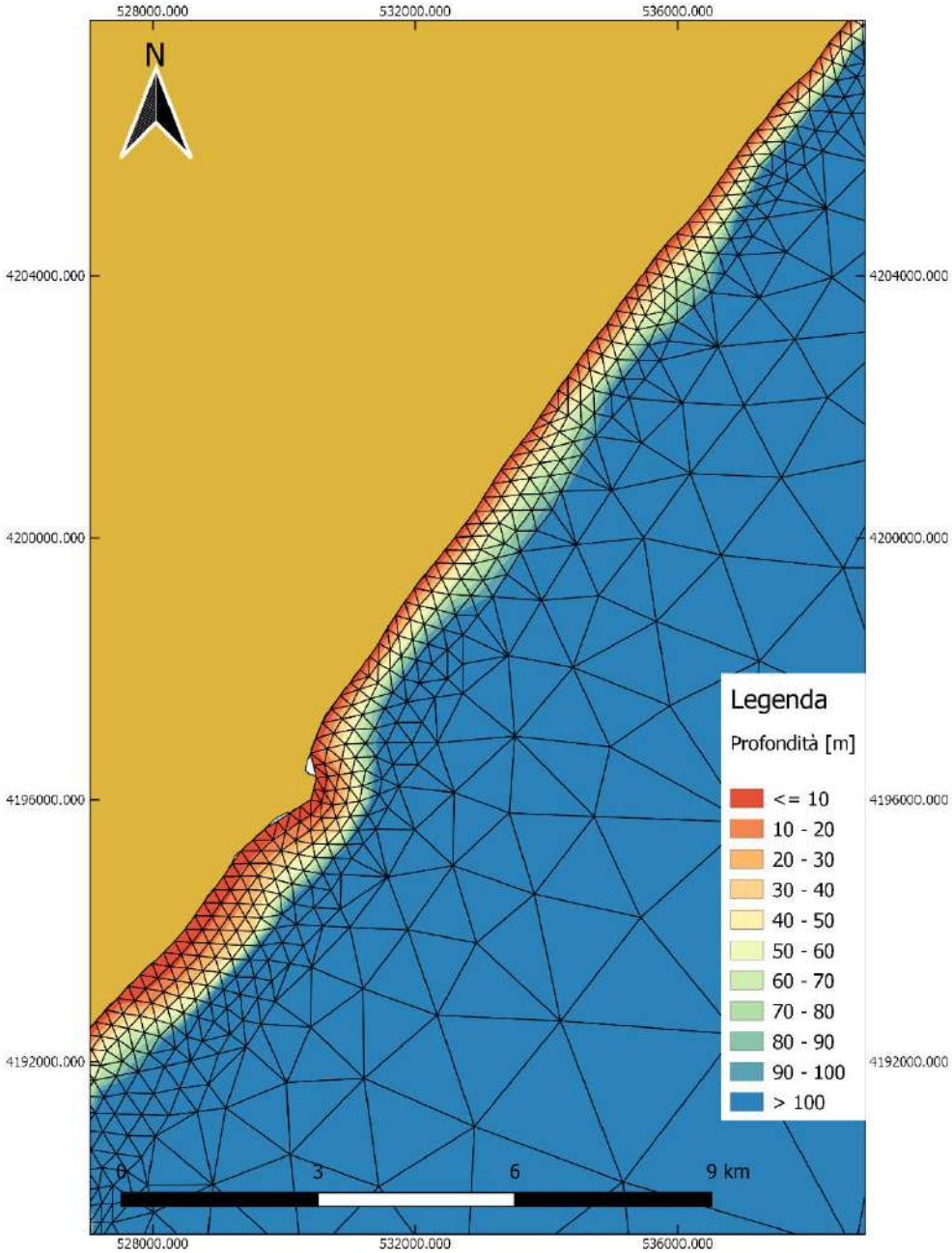


Figura 8.28 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro g nella Figura 8.21).

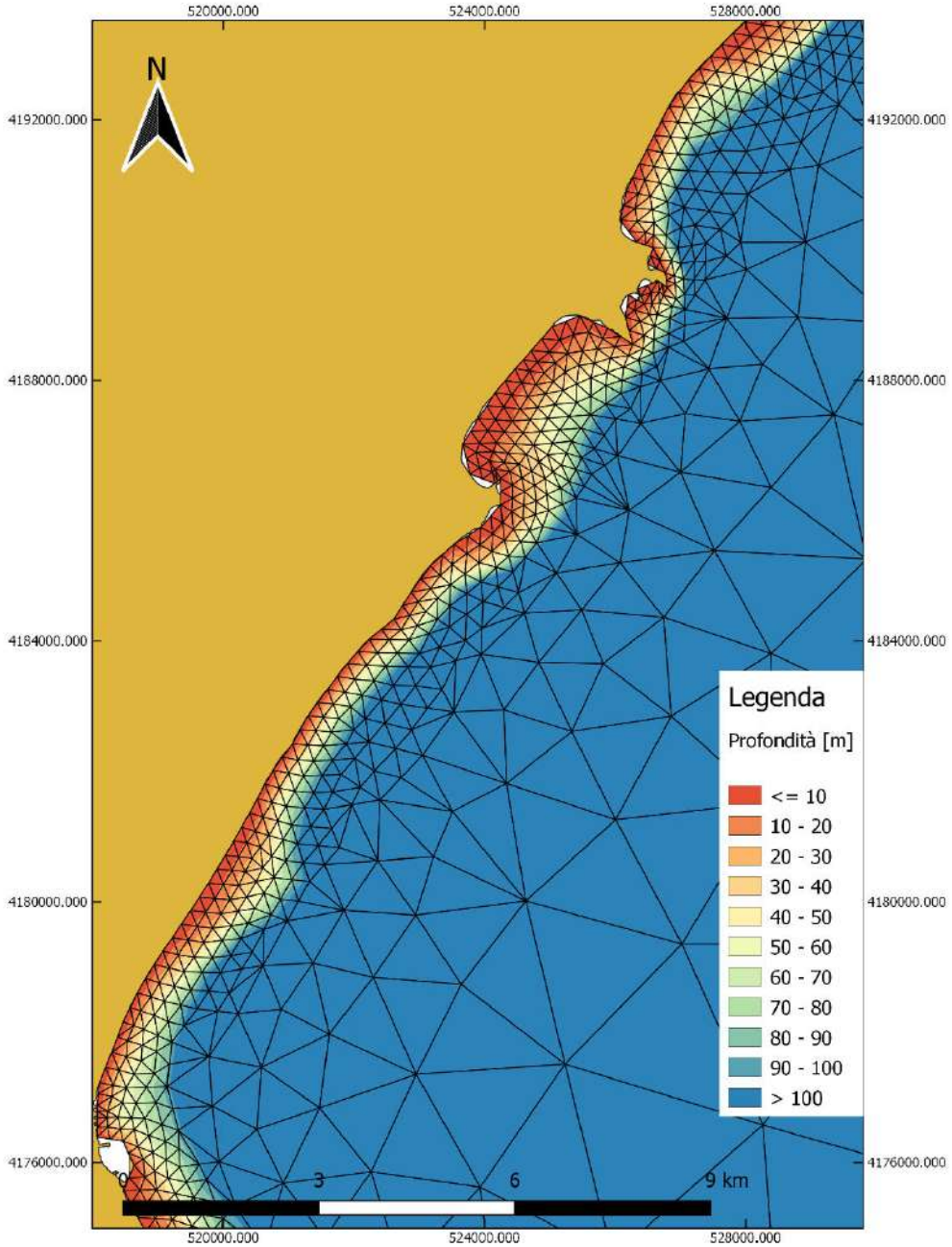


Figura 8.29 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro h nella Figura 8.21).

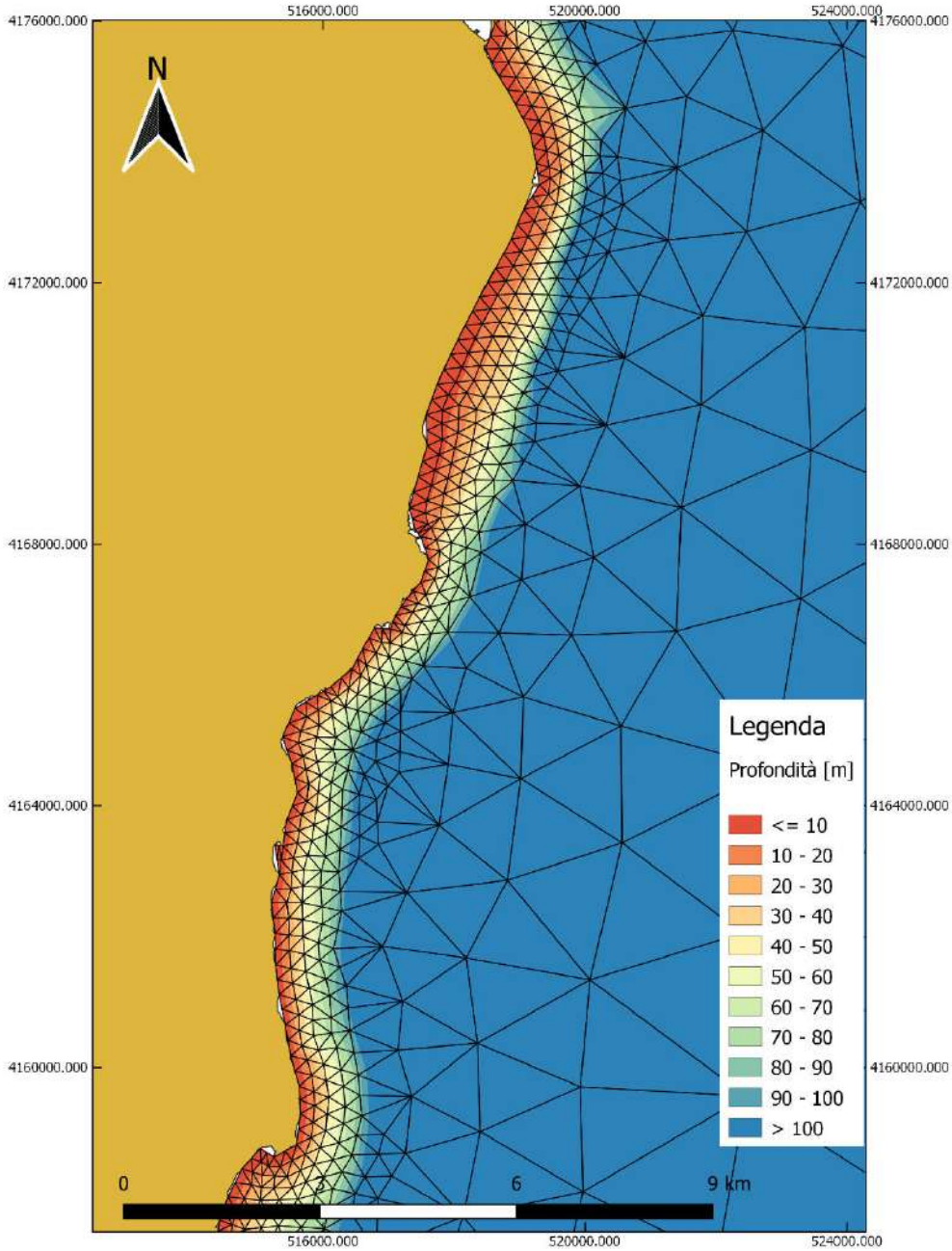


Figura 8.30 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro i nella Figura 8.21).

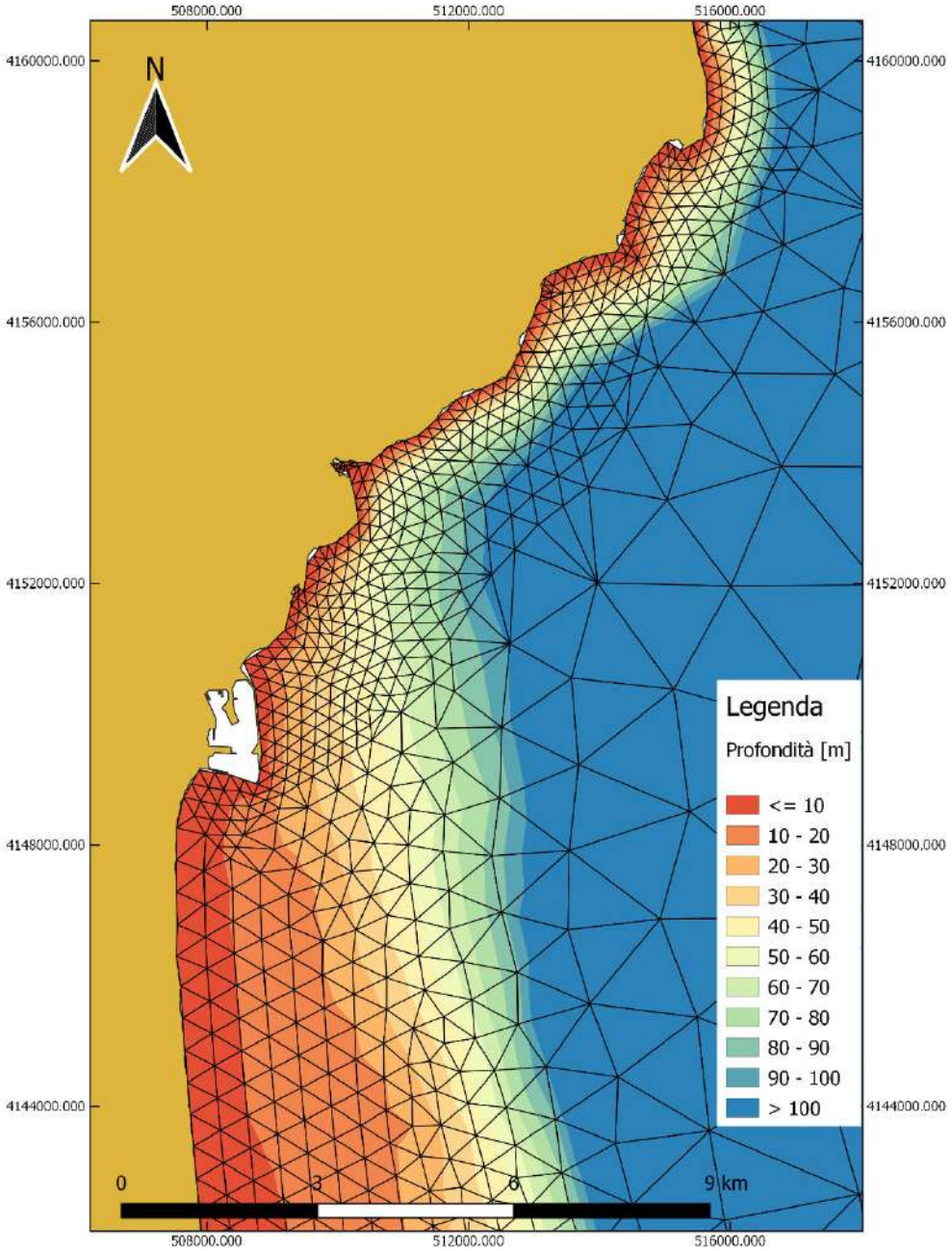


Figura 8.31 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro j nella Figura 8.21).

Per le isole minori, dalla Figura 8.32 alla Figura 8.41 si riportano le griglie di calcolo adottate per la simulazione della propagazione del moto ondoso.

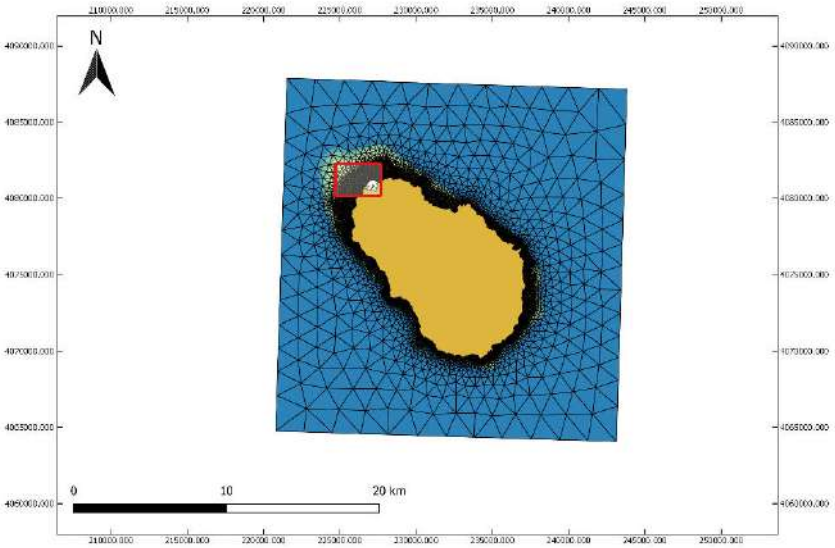


Figura 8.32 Dominio DP: griglia di calcolo e batimetriche.

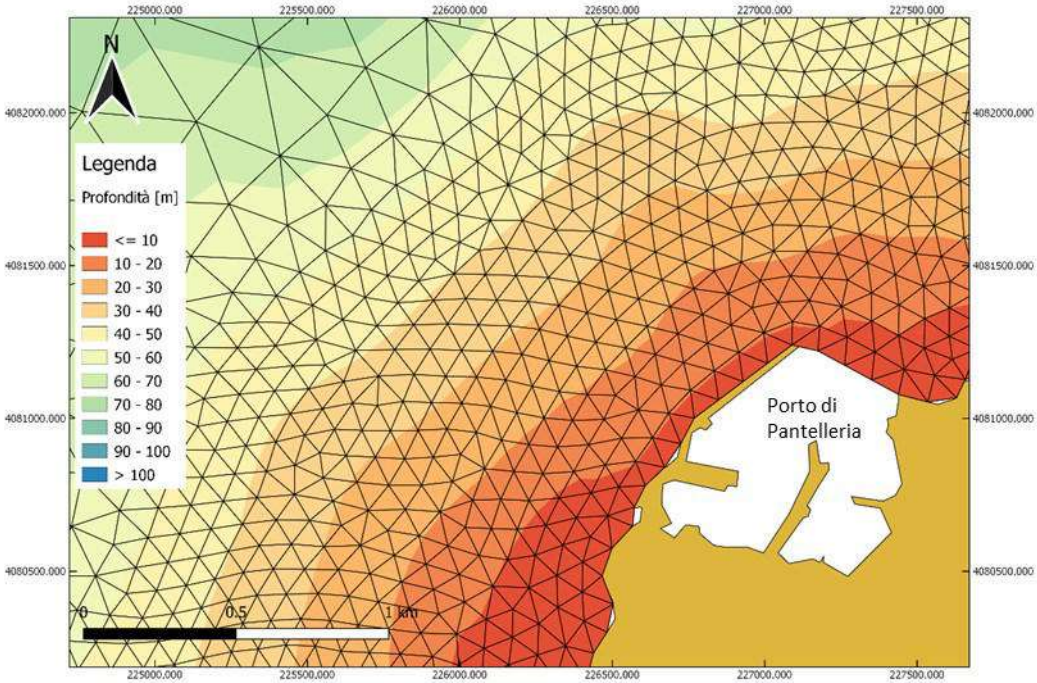


Figura 8.33 Dominio DP: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche.

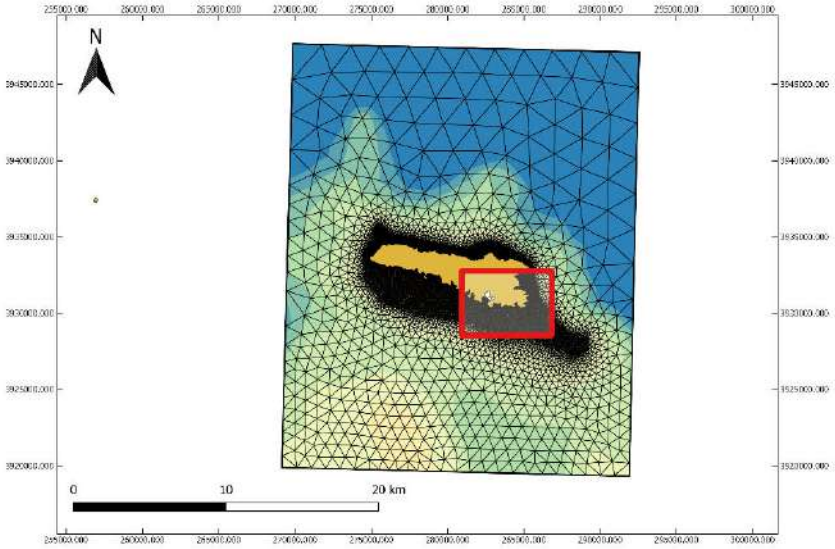


Figura 8.34 Dominio DLA: griglia di calcolo e batimetriche.

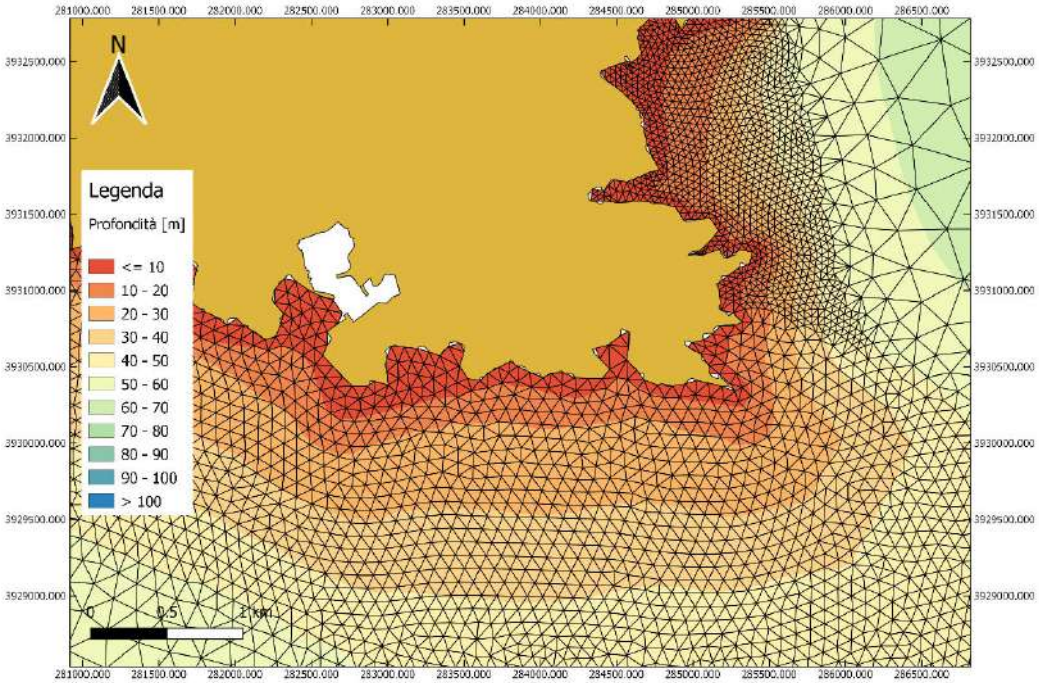


Figura 8.35 Dominio DLA: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche.

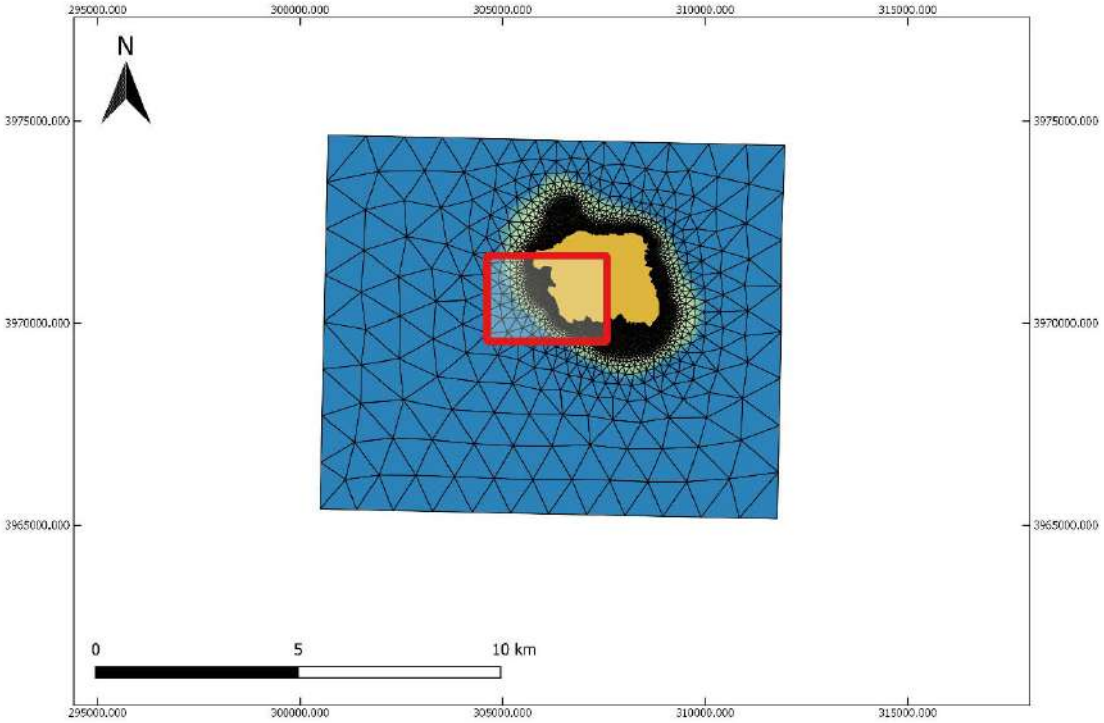


Figura 8.36 Dominio DLI: griglia di calcolo e batimetriche.

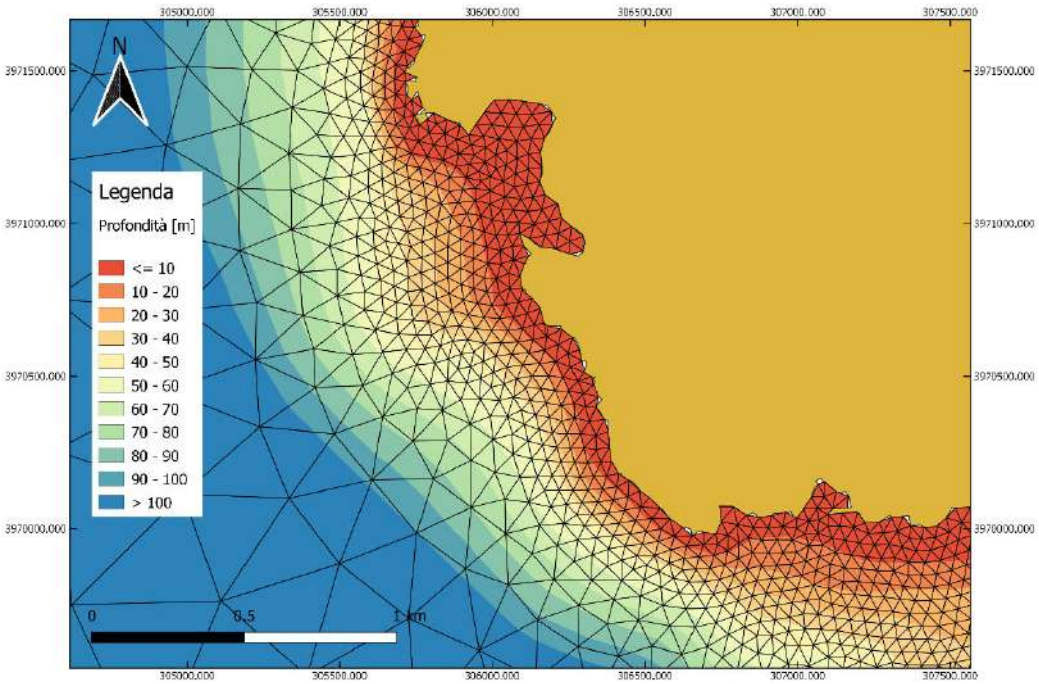


Figura 8.37 Dominio DLI: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche.

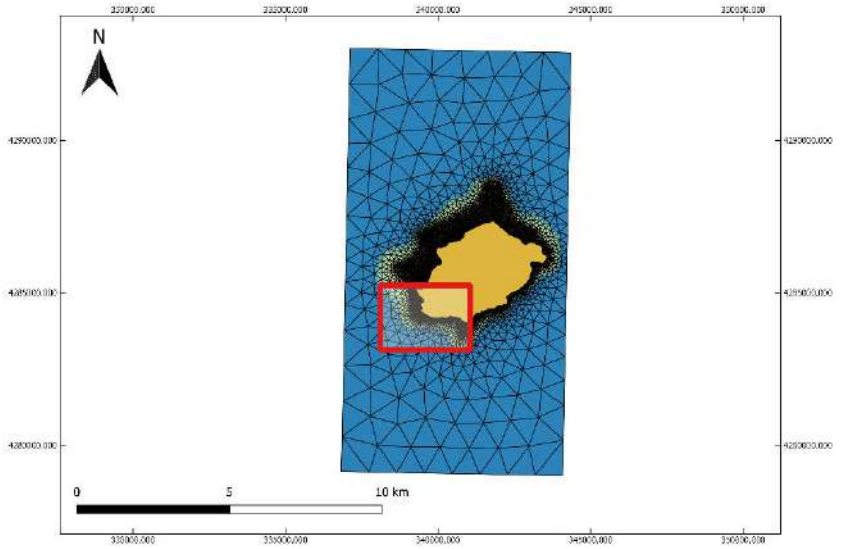


Figura 8.38 Dominio DU: griglia di calcolo e batimetriche.

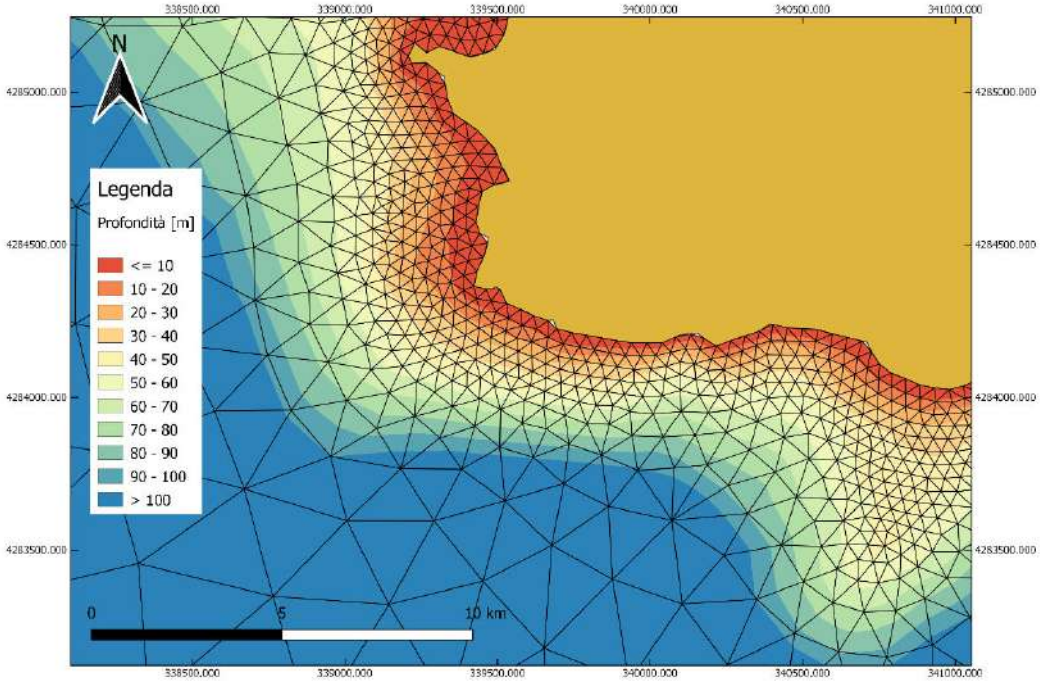


Figura 8.39 Dominio DU: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche.

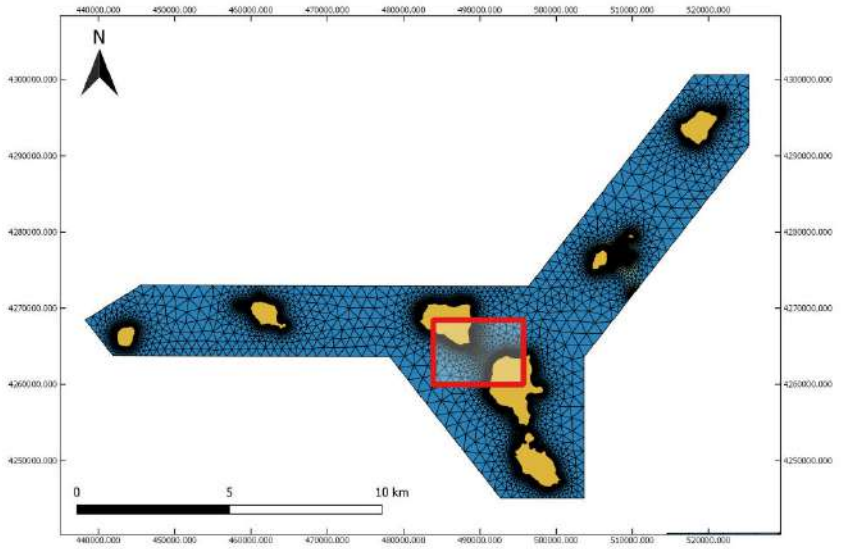


Figura 8.40 Dominio DE: griglia di calcolo e batimetriche.

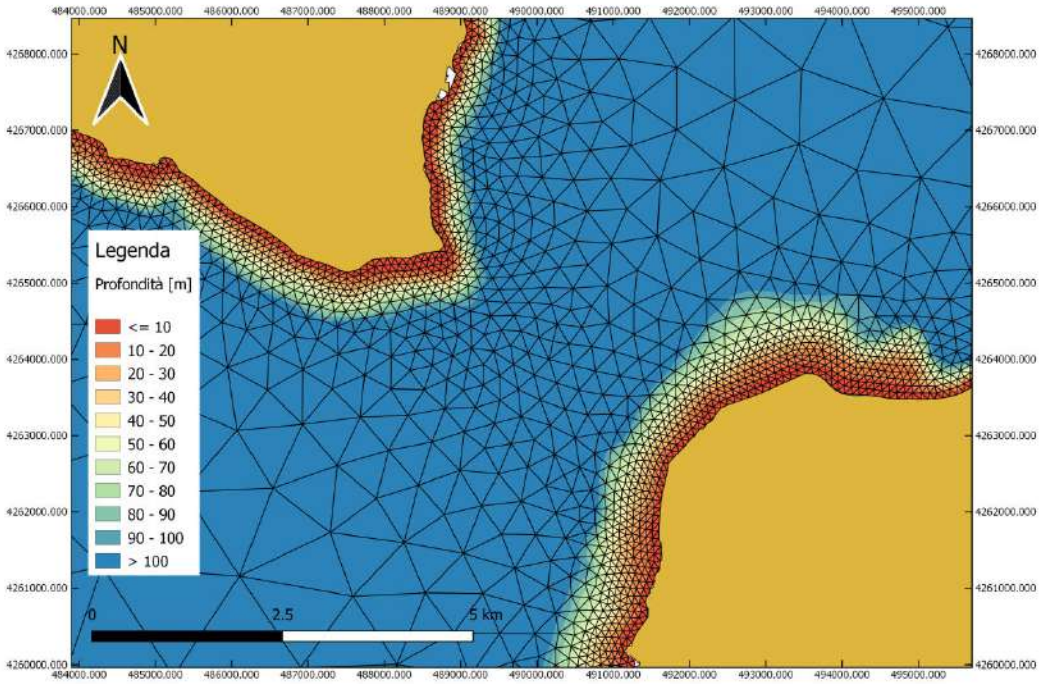


Figura 8.41 Dominio DE: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche.

La Tabella 8.XXIX riporta, per ogni griglia di calcolo, il numero di nodi e di celle triangolari con cui è stato discretizzato il dominio di calcolo.

Tabella 8.XXIX Griglie di calcolo: numero dei nodi e delle celle triangolari.

Nome	Identificativo	Numero di nodi	Numero celle triangolari
Sicilia e Isole Egadi	DSE	29788	55977
Pantelleria	DP	7496	14166
Lampedusa	DLA	10899	21056
Linosa	DLI	3200	6048
Ustica	DU	3954	7580
Eolie	DE	12921	24360

8.2.4 Dati di input

Dai punti griglia disposti lungo il contorni al largo del dominio di calcolo sono state estratte le caratteristiche del moto ondoso. E precisamente: i) l'altezza d'onda significativa; ii) la direzione media del moto ondoso; iii) il periodo di picco. Inoltre, su ogni nodo della griglia di calcolo è stata effettuata un'interpolazione sia dei dati batimetrici (desunti dalle mappe dell'Istituto Idrografico della Marina Militare e dal dataset elaborato dall'organizzazione GEBCO) sia dei dati di vento estratti dal dataset ERA5.

I dati forniti dal CMEMS coprono il periodo di tempo tra febbraio 2006 e dicembre 2019 (circa 14 anni) e hanno una risoluzione nel tempo pari a un'ora. La simulazione di tali stati di mare richiederebbe tempi computazionali eccessivi. Pertanto, è stata condotta un'analisi preliminare al fine di verificare la possibilità di adottare una serie di dati ricampionata con un intervallo di tempo superiore ad un'ora. In particolare, tale analisi è stata condotta considerando ricampionamenti a 3, 6, 9 e 12 ore. Il ricampionamento è stato condotto su tre punti griglia del CMEMS disposti a largo dei versanti della Sicilia. In particolare, sono stati selezionati i punti riportati in Tabella 8.XXX e mostrati in Figura 8.42.

Tabella 8.XXX Coordinate dei punti griglia del CMEMS per la verifica del ricampionamento della serie di dati oraria.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
P1	13.375001	38.270832	357851	4237113
P2	12.458334	37.479168	275260	4151064
P3	15.291668	37.395832	525816	4138824

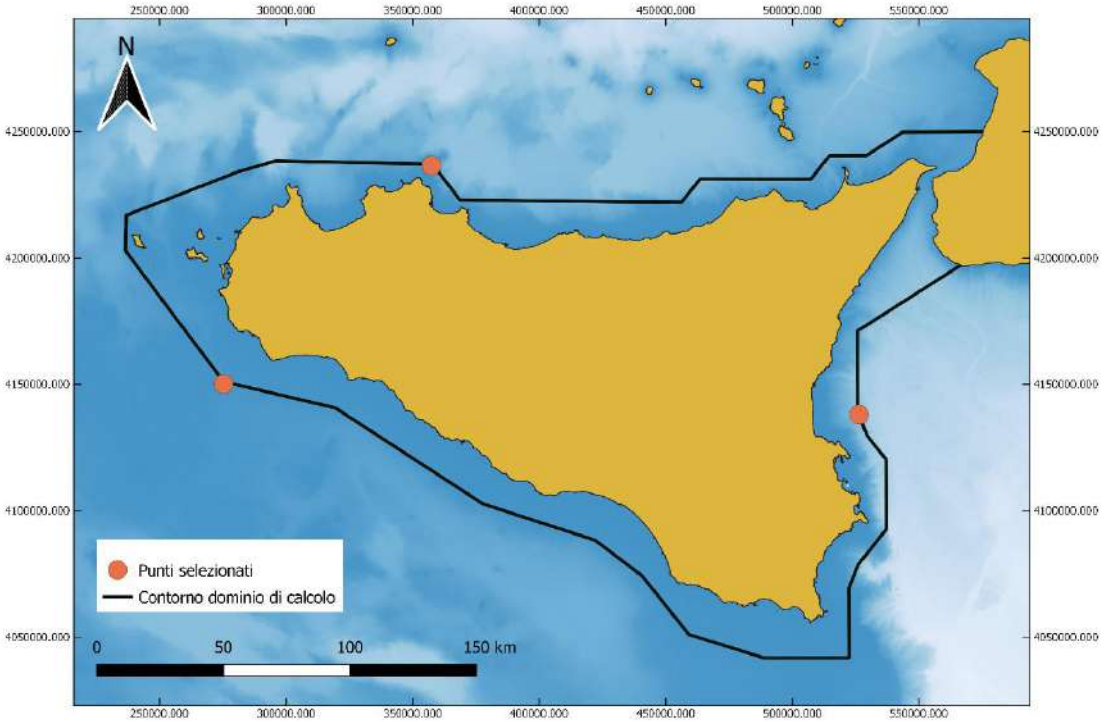


Figura 8.42 Dati CMEMS: punti selezionati per verificare la possibilità di adottare una serie di dati ricampionata con un intervallo di tempo superiore ad un'ora.

Per ogni serie ricampionata è stata misurata la capacità di riprodurre i valori di picco dell'altezza d'onda significativa durante le mareggiate rispetto alla serie oraria di partenza. La mareggiata è stata definita come una successione di stati di mare durante la quale l'altezza d'onda significativa supera una soglia critica e non scende al di sotto di tale soglia per durate di tempo superiori a un valore prefissato. Nel caso in esame, quest'ultimo valore è stato fissato a 12 ore ed è stato adottato un valore della soglia critica pari a 1.5 m (Boccotti, 1997).

Dalla Figura 8.43 alla Figura 8.45 si riportano i confronti tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima stimata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima stimata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati rispettivamente a: a) 3 ore; b) 6 ore; c) 9 ore e d) 12 ore.

Dalla Figura 8.46 alla Figura 8.48 si riporta il *boxplot* della differenza assoluta tra l'altezza d'onda significativa massima stimata durante le mareggiate

individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e l'altezza d'onda significativa massima stimata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati. In particolare, il limite inferiore e il limite superiore del riquadro blu in figura indicano, rispettivamente, il 25° e il 75° percentile mentre la linea rossa in centro indica il valore mediano (50° percentile).

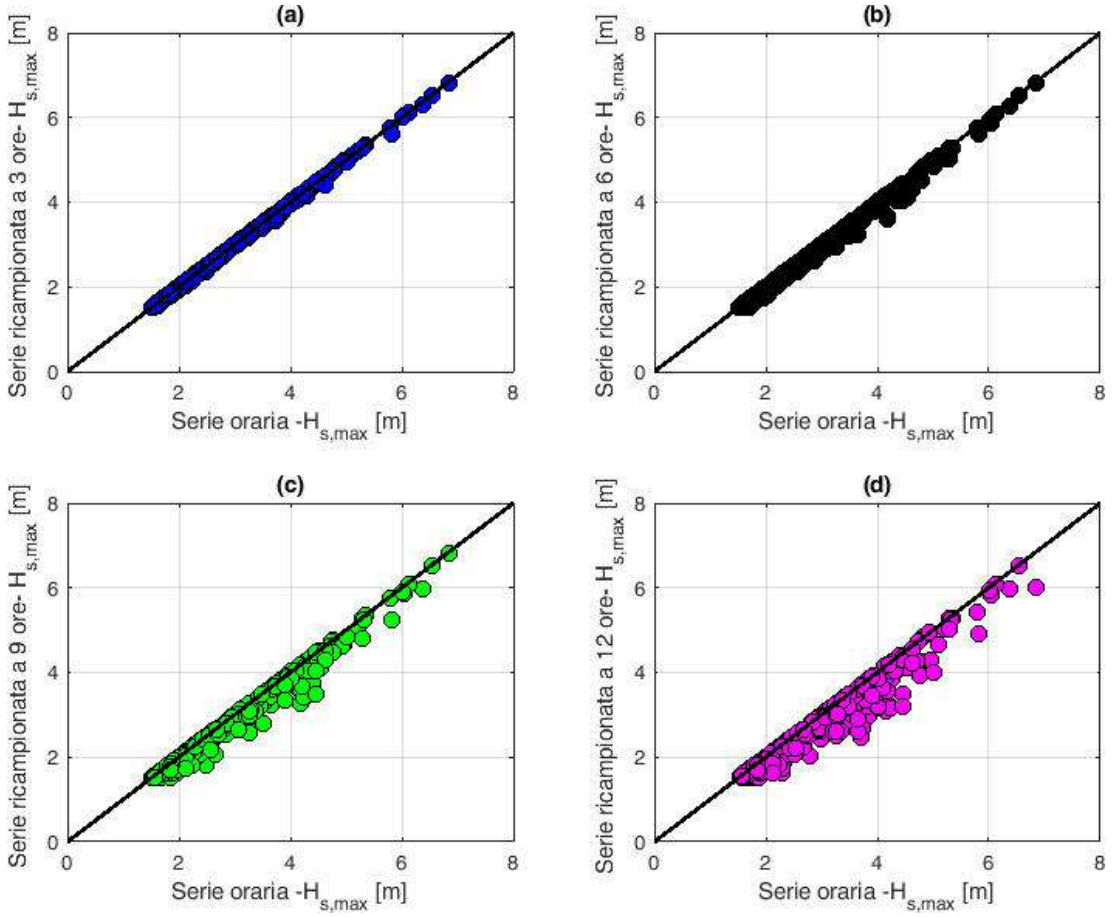


Figura 8.43 Punto P1: Confronto tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati a: a) 3 ore; b) 6 ore; c) 9 ore e d) 12 ore.

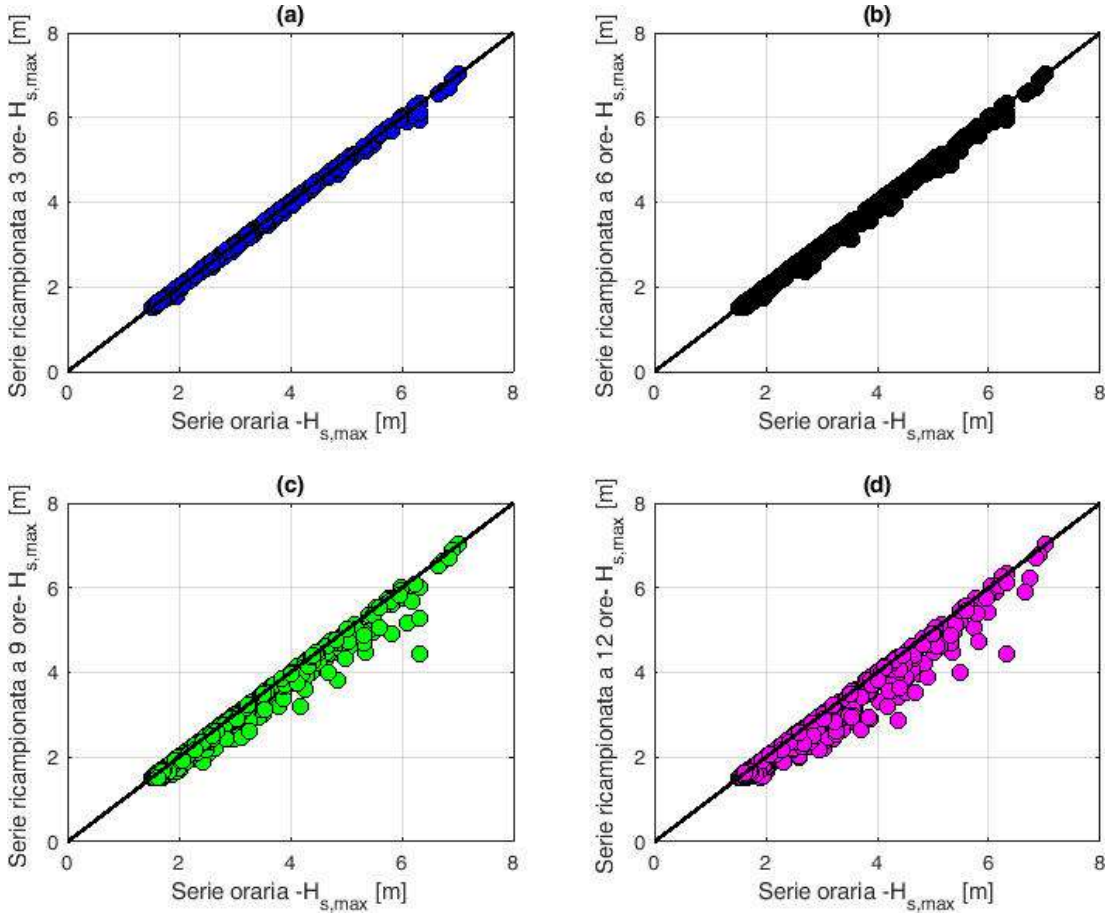


Figura 8.44 Punto P2: Confronto tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati a: a) 3 ore; b) 6 ore; c) 9 ore e d) 12 ore.

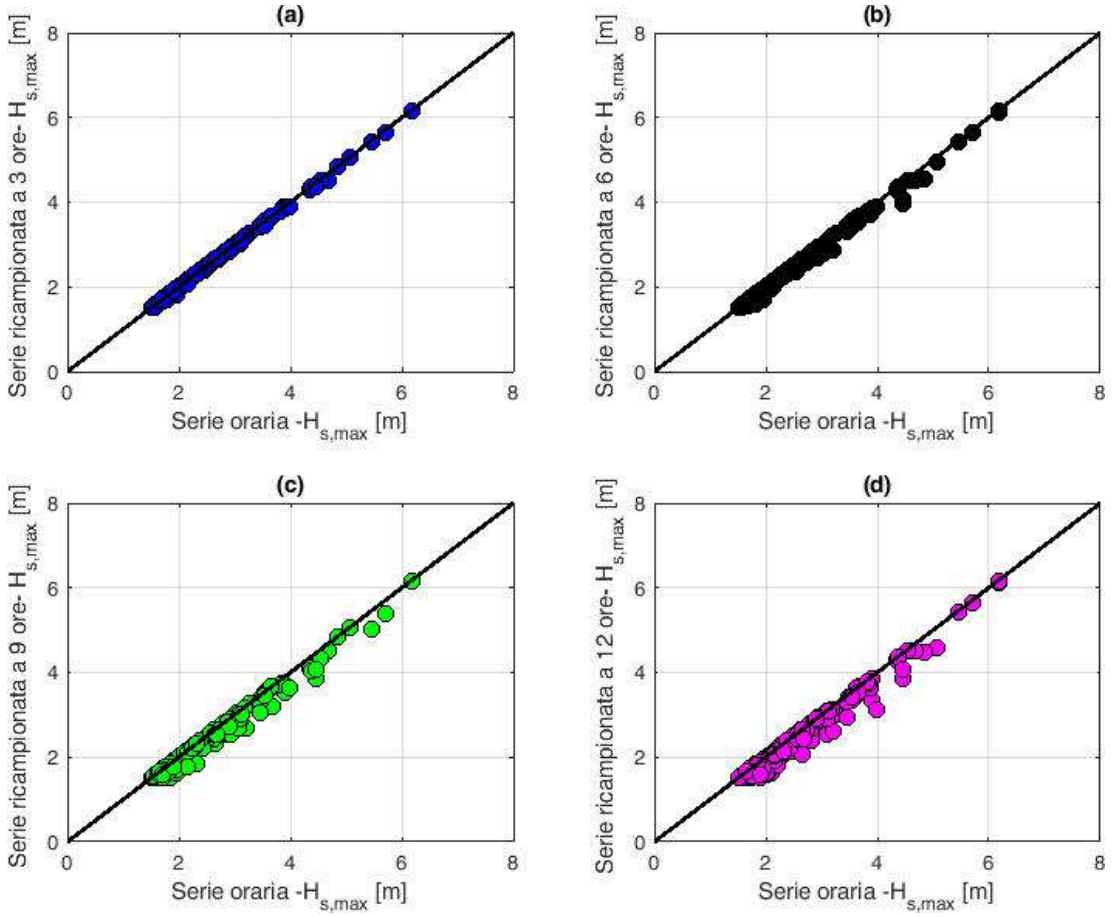


Figura 8.45 Punto P3: Confronto tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati a: a) 3 ore; b) 6 ore; c) 9 ore e d) 12 ore.

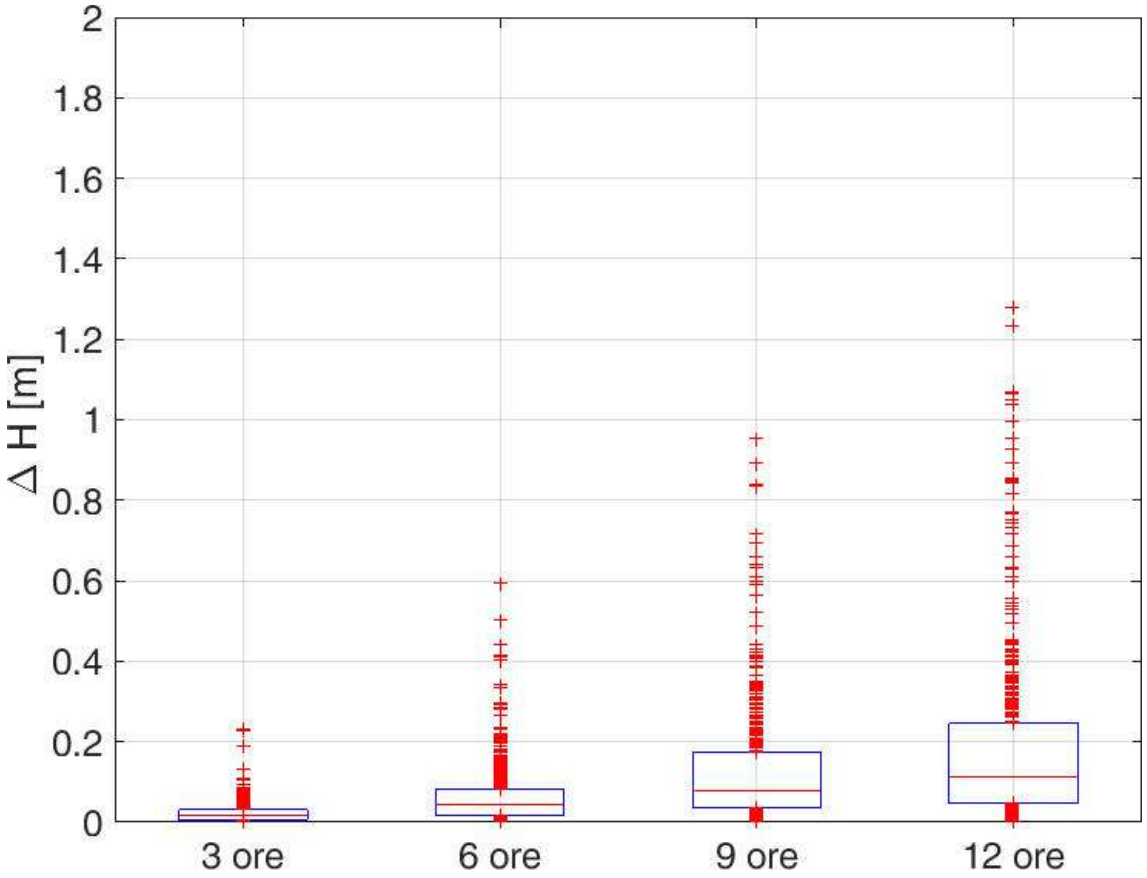


Figura 8.46 Punto P1: boxplot delle differenze tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati.

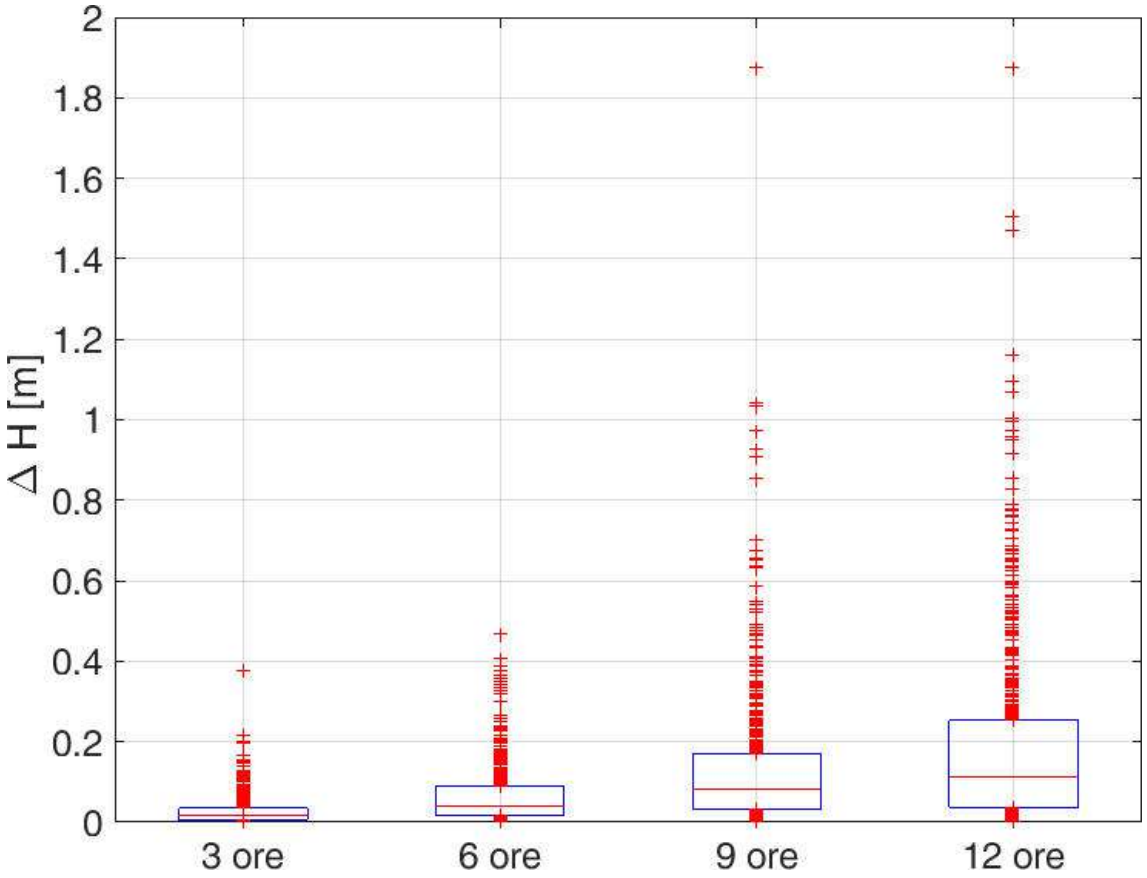


Figura 8.47 Punto P2: boxplot delle differenze tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati.

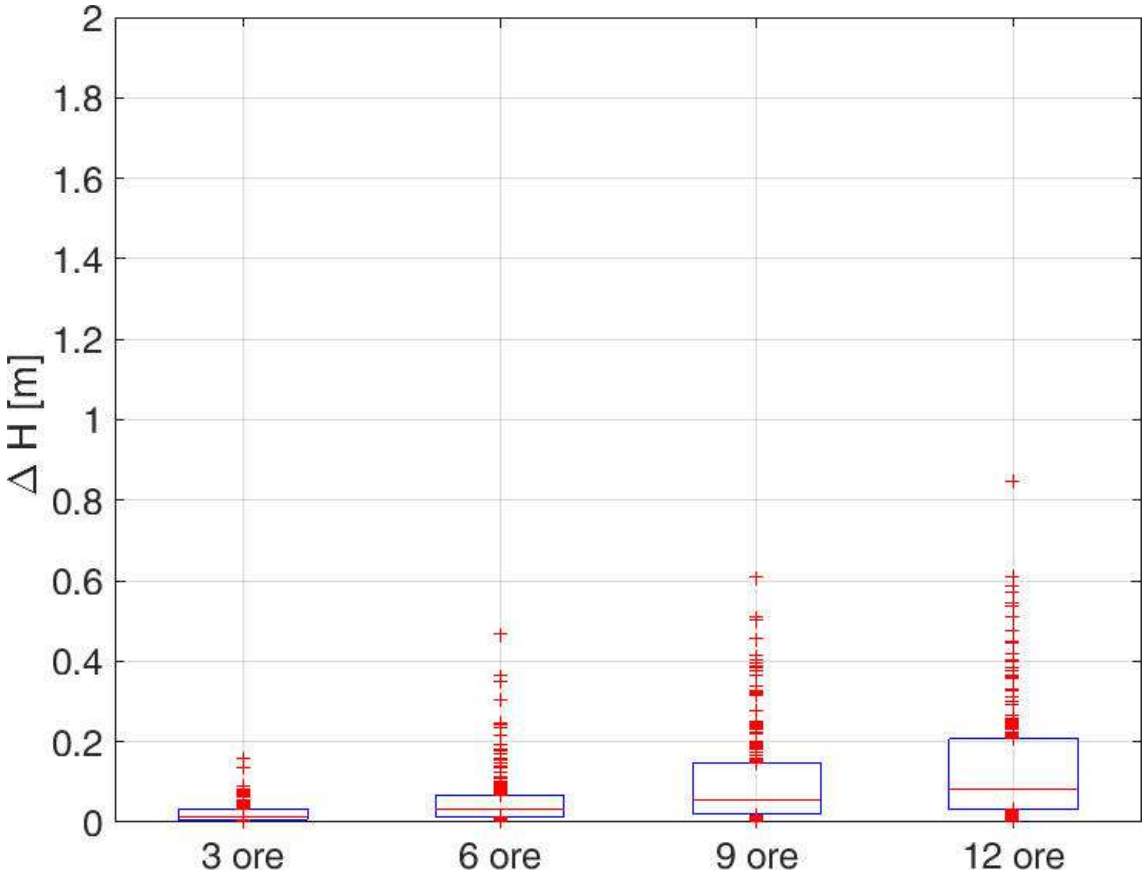


Figura 8.48 Punto P3: boxplot delle differenze tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati.

Come si evince dell'analisi delle suddette figure, se si adotta un intervallo di ricampionamento pari a 3 ore non si rilevano differenze significative con la serie oraria di partenza. Infatti, nella maggior parte dei casi, le differenze risultano essere inferiori a 0.05 m. Il numero di mareggiate con differenze superiori a 0.10 m tende a crescere quando, invece, si adotta un intervallo di ricampionamento uguale o superiore a 6 ore.

Alla luce dei suddetti risultati, si è deciso di adottare la serie dei dati ricampionati a 3 ore. Infatti, tale serie garantisce allo stesso tempo un'adeguata affidabilità e tempi di calcolo compatibili con gli obiettivi del presente PRCEC.

8.2.5 Configurazione delle simulazioni

Il codice SWAN richiede come input un file ".swn" al cui interno sono indicate diverse informazioni relative alle simulazioni. La lista di informazioni è la seguente (tra parantesi è indicato il commando in SWAN):

- nome della simulazione (PROJECT);
- indicazione della tipologia di simulazione (stazionaria, non stazionaria, monodimensionale e bidimensionale) (MODE);
- indicazione del valore di grandezze che si assumono costanti sul dominio di calcolo come, ad esempio, il livello del mare (SET);
- indicazioni delle caratteristiche della griglia di calcolo (CGRID);
- indicazione della posizione dei file contenente le informazioni spaziali della griglia di calcolo (READGRID)
- indicazioni delle griglie su cui sono note le caratteristiche di grandezze quale ad esempio le batimetriche o le componenti del vento;
- indicazione della posizione dei file contenente le informazioni delle grandezze indicate al punto precedente (READINP);
- indicazioni dei fenomeni fisici che devono essere valutati durante la propagazione del moto ondoso (attrito di fondo, frangimento, ecc…);
- caratteristiche del moto ondoso sul contorno del dominio di calcolo (*BOUND*);
- indicazione della versione del modello da adottare nelle simulazioni (GEN1, GEN2, GEN3);
- definizione delle variabili di output;
- valore delle soglie di convergenza adottate dal modello numerico (*NUMeric*).

Per quanto concerne quest'ultimo comando devono essere indicate le soglie per i seguenti parametri:

- differenza assoluta dell'altezza d'onda significativa tra l'iterazione *i-esima* e quella precedente (*dabs*);
- differenza relativa dell'altezza d'onda significativa tra l'iterazione *i-esima* e quella precedente (*dabs*);

- la derivata seconda della curva di iterazione, ossia la curva delle variazioni dell'altezza d'onda significativa tra l'iterazione *i-esima* e quella precedente (*curvat*);
- la percentuale di nodi per il quale i criteri di convergenza sono soddisfatti (*npnts*);
- il numero di iterazioni da effettuare affiche i criteri di convergenza siano soddisfatti (*mxitst*).

SWAN arresta il processo iterativo se *dabs* e contemporaneamente *curvat* sono inferiori alle soglie fissate; oppure se *drel* e contemporaneamente *curvat* sono inferiori alle soglie fissate.

La Tabella 8.XXXI riporta un esempio del file di input per il codice SWAN adottato per le simulazioni della propagazione del moto ondoso da largo fino a sottocosta.

Tabella 8.XXXI Esempio del file di input per il codice di calcolo SWAN.

```
PROJECT  '1'       '1'
MODE STAT TWOD
SET level=0
CGRID UNSTRUCTURED 36 0.04 0.8 50
READ UNSTRUCTURED triangle 'baty\baty_input'
INPGRID BOTTOM UNSTRUCTURED
READ BOTTOM 1 'baty.bot'
INPGRID WIND UNSTRUCTURED
READ WIND 1 'wind_data.dat'
FRICTION JONSWAP CONSTANT
BREaking  CONstant
BOUN SIDE        1       CON PAR   1.259105 4.736243 142.591309
BOUN SIDE        2       CON PAR   1.310075 4.736243 146.337280
..
BOUN SIDE        N       CON PAR   0.141075 11.167814 335.541046
GEN3
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'out\output.mat' LAY 3 HS TMM10
TM02 TM01 RTP DSPR PER DIR DISSIP DISSURF  PROPAGAT TRANSP
WIND 1
```

```
NUMeric STOPC dabs=0.050000 drel=0.050000 curvat=0.005000
npnts=99.500000 STAT mxitst=50
COMPUTE STAT
STOP
```

Per tutte le simulazioni è stata condotta una simulazione bidimensionale e stazionaria.

Per quanto concerne il livello del mare, considerate le modeste escursioni che interessano la zona oggetto di studio, si è assunto nelle simulazioni un valore pari a 0 m.

Gli spettri in input sono del tipo JONSWAP discretizzati nel campo delle direzioni in 36 classi e in 50 classi nel campo delle frequenze. Le frequenze sono comprese tra 0.04 Hz (25 s) e 0.8 Hz (1.25 s). Come si evince dalla Figura 8.49, la distribuzione delle classi è del tipo logaritmica ciò implica un numero di classi maggiori per i periodi d'onda prevalenti nell'area oggetto di studio, ossia per quelli inferiori a 12 s.

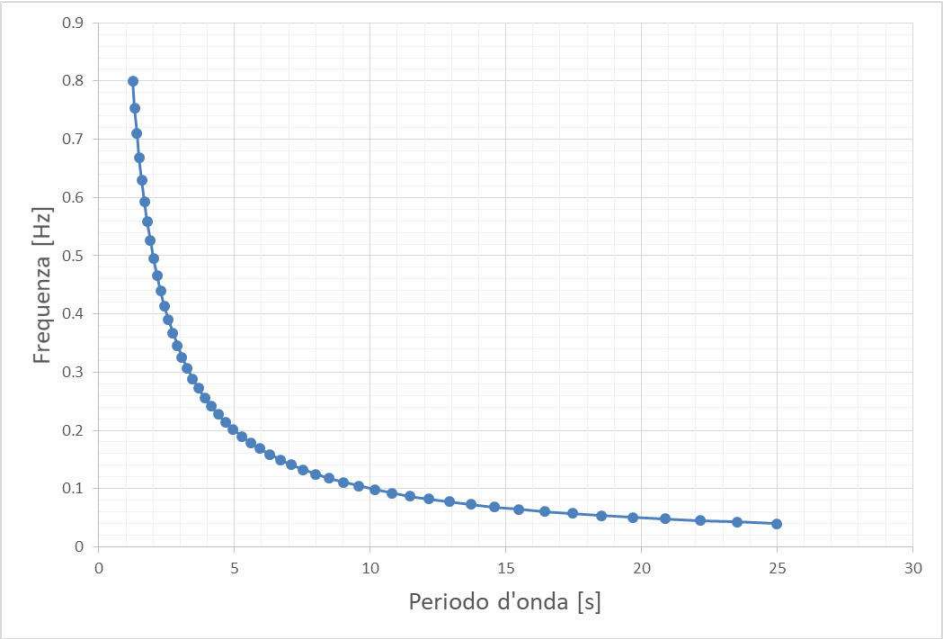


Figura 8.49 Discretizzazioni nel dominio della frequenza considerate nelle simulazioni della propagazione del moto ondoso.

Le informazioni relative alle batimetriche e al campo di vento, interpolate sui nodi della griglia di calcolo, sono state fornite al codice SWAN in file separati.

Le condizioni al contorno relative al moto ondoso sono state definite sulla base dei dati forniti dal CMEMS. In particolare, per ogni punto griglia del CMEMS sono state utilizzate le seguenti informazioni: i) altezza d'onda significativa, ii) periodo di picco e iii) direzione media di provenienza. Tali informazioni sono state adottate per definire lo spettro del moto ondoso sui nodi del contorno lato mare del dominio di calcolo. I dati CMEMS di un generico punto griglia sono stati associati ai nodi ricadenti nella metà del tratto tra il suddetto punto griglia e quello successivo.

Le variabili di ouput del codice SWAN sono: l'altezza d'onda significativa, il periodo d'onda medio e di picco e la direzione media di propagazione del moto ondo.

Per quanto concerne la definizione dei criteri di convergenza sono state condotte alcune apposite analisi al fine di individuare i valori dei parametri *npnts* e *mxitst* che consentano di ottenere, in tempi computazionali contenuti, risultati affidabili. Per gli altri parametri si è ritenuto plausibile adottare i seguenti valori *dabs*=0.05 m *drel*=0.05 *curvat*=0.005. Per le suddette analisi di convergenza è stato adottato il dominio DSE e sono state simulate quattro differenti mareggiate provenienti da levante, da scirocco, da ponente e da tramontana rispettivamente. Per ogni mareggiata sono state considerate tre differenti configurazioni dei parametri di convergenza *npnts* e *mxitst*:

1. Configurazione 1: *npnts*=99.5% e *mxitst*=100;
2. Configurazione 2: *npnts*=99.5% e *mxitst*=50;
3. Configurazione 3: *npnts*=98.75% e *mxitst*=100.

Per ogni mareggiata sono stati considerati 13 stati di mare caratterizzati da intervalli di tempo pari a 6 ore.

Dalla Figura 8.50 alla Figura 8.53 si riportano i risultati di tale analisi. In particolare, si riporta: il confronto dei tempi computazionali tra le diverse configurazioni confrontate; la differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e 3 e la Configurazione 1; la differenza massima stimata durante la mareggiata lungo la batimetrica a 20 m tra l'altezza d'onda valutata per le Configurazione 2 e 3 e la Configurazione 1.

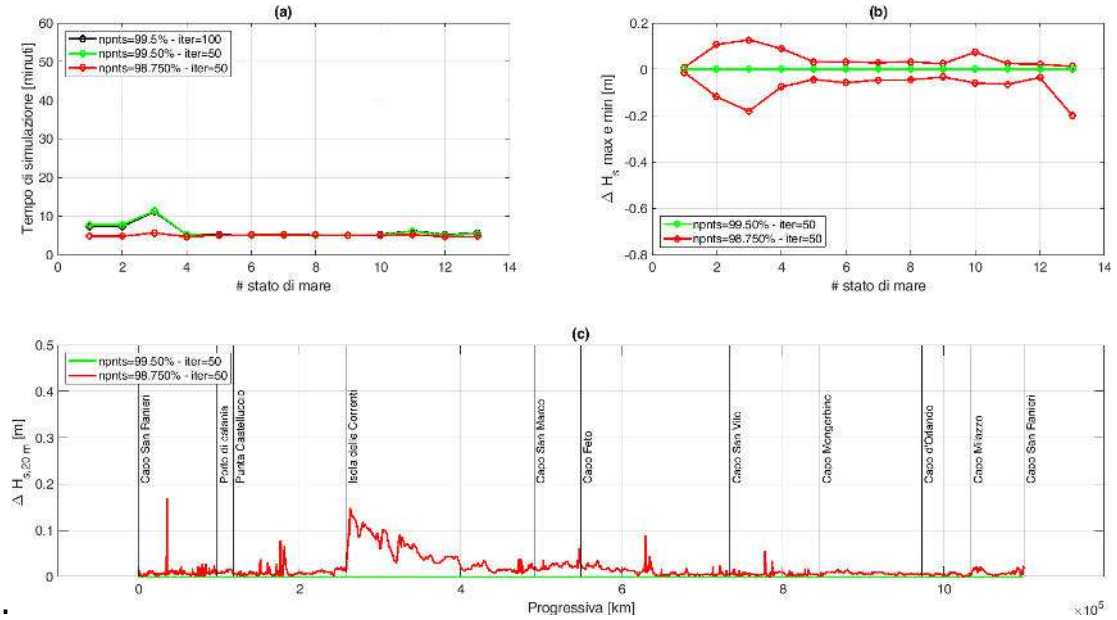


Figura 8.50 Evento di levante: a) confronto dei tempi computazionali; b) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1; c) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1 in corrispondenza della batimetrica 20 m.

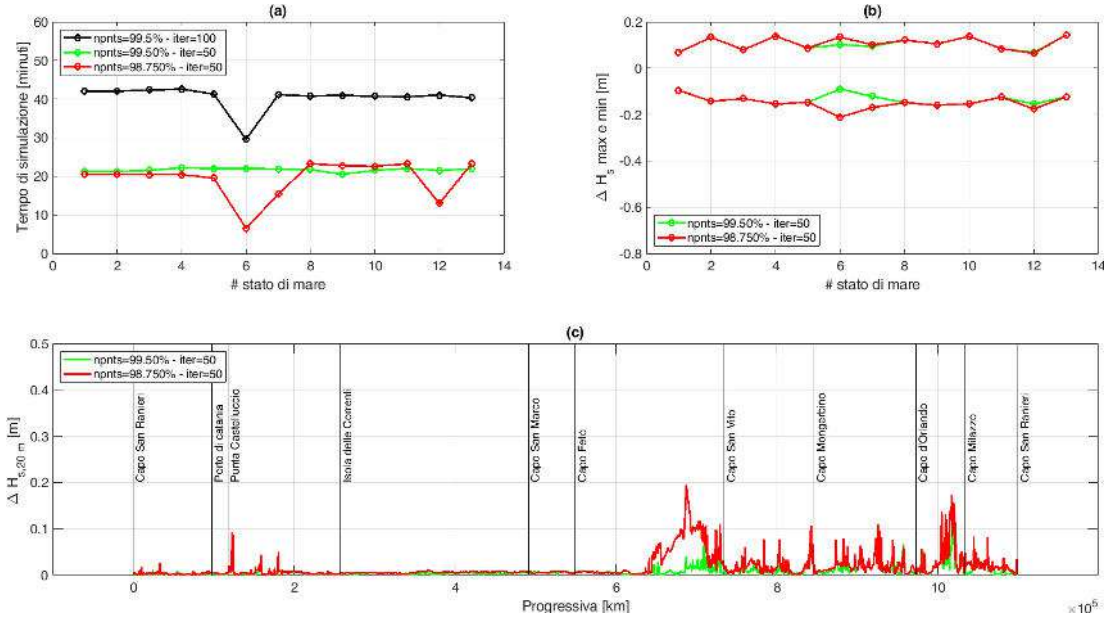


Figura 8.51 Evento di scirocco: a) confronto dei tempi computazionali; b) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1; c) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1 in corrispondenza della batimetrica 20 m.

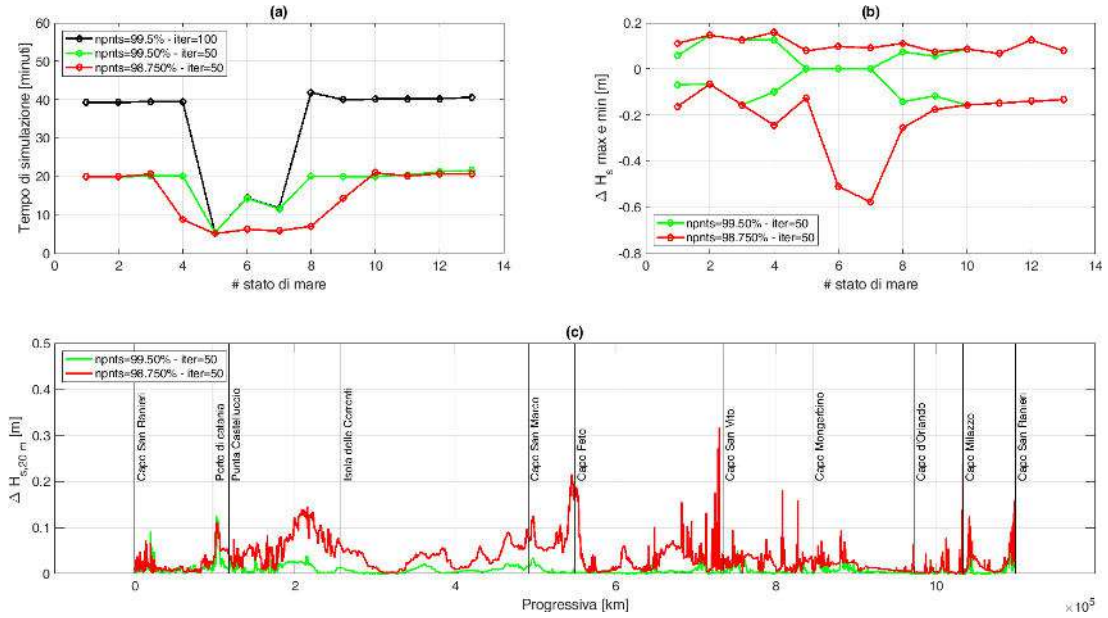


Figura 8.52 Evento di ponente: a) confronto dei tempi computazionali; b) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1; c) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1 in corrispondenza della batimetrica 20 m.

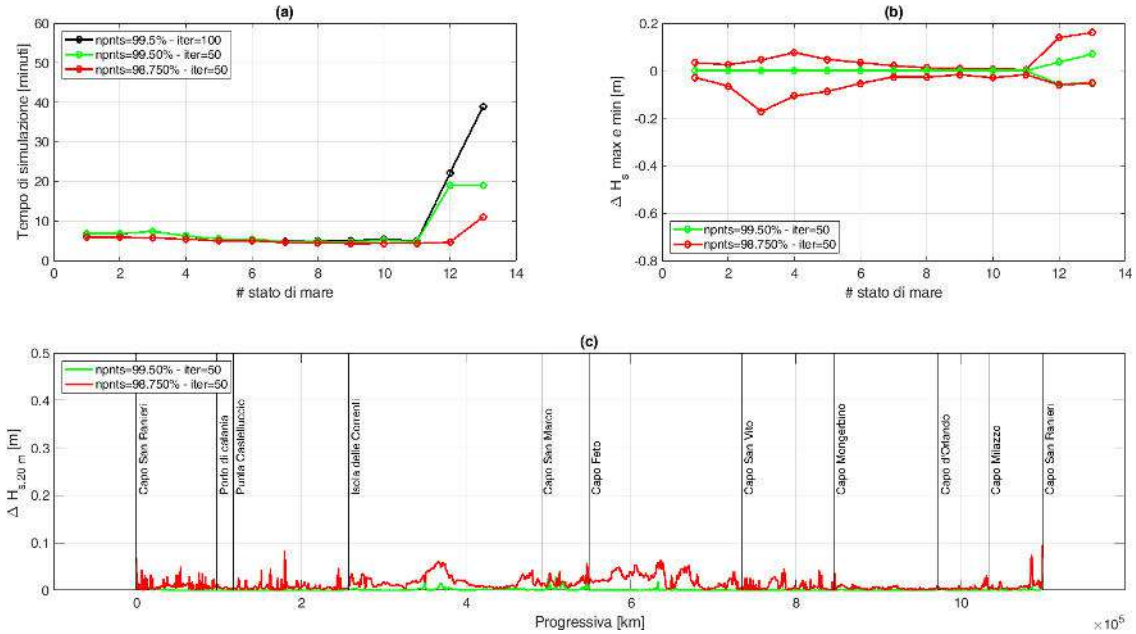


Figura 8.53 Evento di tramontana: a) confronto dei tempi computazionali; b) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1; c) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1 in corrispondenza della batimetrica 20 m.

Come si evince dall'analisi delle suddette figure, la variazione del solo parametro *mxitst* (Configurazione 2) non comporta importanti variazioni

dell'altezza d'onda significativa. Inoltre, si rileva per alcuni stati di mare una significativa riduzione dei tempi computazionali. La riduzione congiunta di *npnts* e *mxitst* (Configurazione 3), sebbene comporti in alcuni casi una riduzione dei tempi computazionali rispetto alla Configurazione 2, determina un significativo incremento degli errori, in alcuni casi, anche dell'ordine di 0.30 m.
Sulla base di tali risultati si è deciso di adottare i seguenti parametri di convergenza: *dabs*=0.05 m, *drel*=0.05, *curvat*=0.005, npnts=99.5% e mxitst=50.

8.2.6 Validazione dei risultati di modellazione

La validazione dei risultati delle simulazioni numeriche relative alla propagazione del moto ondoso per il dominio di calcolo attorno alla Sicilia e alle isole Egadi è stata condotta confrontando alcune altezze d'onda significative ottenute dalle simulazioni con quelle ricavate dalle misure effettuate da satellite e fornite attraverso *GlobWave*. In particolare, al fine di effettuare la validazione dei risultati, sono stati preventivamente selezionati i punti di misura dei satelliti all'interno del dominio di calcolo e, successivamente, sono stati individuati i nodi della griglia di calcolo prossimi a tali punti di misura, assumendo una distanza massima pari a 400 m, e gli stati di mare da confrontare assumendo una tolleranza pari a ± 1.5 ore rispetto al momento in cui sono stati rilevati i dati dai satelliti.
Sulla base di tali criteri, per la validazione sono stati impiegati i dati rilevati dai seguenti satelliti: ERS-2; ENVISAT; Jason-1; GEOSAT Follow-On; Jason-2; Cryosat-2; SARAL/AltiKa.
I punti di misura dei satelliti sono mostrati in Figura 8.54.

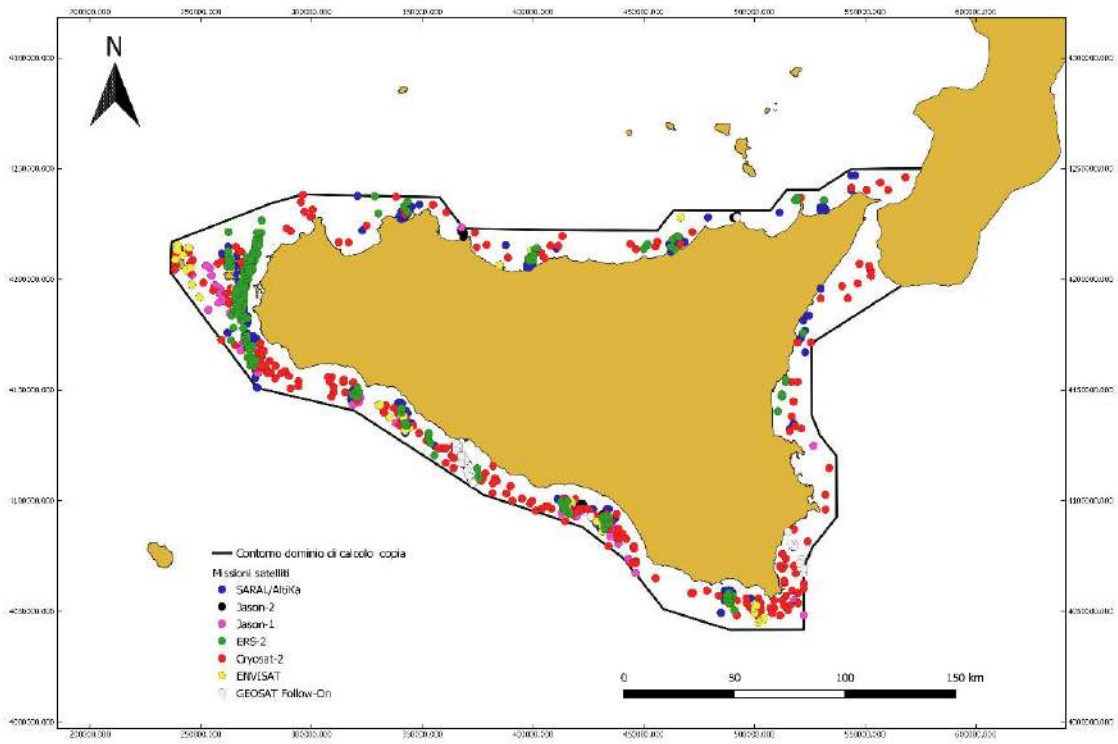


Figura 8.54 Punti di misura impiegati per la validazione dell'altezza d'onda significativa stimata mediante il modello SWAN.

La grandezza impiegata per il confronto è l'altezza d'onda significativa mentre i parametri impiegati per il confronto medesimo sono:

- la media della differenza tra le osservazioni da satellite e il modello numerico *Bias* (idealmente pari a zero);
- lo Scarto Quadratico Medio *SQM* calcolato come radice quadrata del rapporto tra il quadrato della differenza fra le osservazioni e il modello (il più piccolo possibile);
- *l'Index of Agreement* (Willmott *et al.*, 1985) *d* che rappresenta la covarianza tra le osservazioni e il modello;
- il coefficiente di correlazione *R* ossia il rapporto tra la covarianza e la varianza delle osservazioni e il modello.

Tali parametri sono definiti dalle seguenti relazioni:

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)}{n}$$

$$SQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(X_i - Y_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(\left|X_i^{'}\right| + \left|Y^{'}_i\right|\right)^2}$$

dove $\left|X^{'}_i\right| = \left|X_i - \overline{X}\right|$ e $\left|Y^{'}_i\right| = \left|Y_i - \overline{Y}\right|$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(X_i - \overline{X}\right)\left(Y_i - \overline{Y}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(X_i - \overline{X}\right)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(Y_i - \overline{Y}\right)^2}}$$

in cui X_i corrisponde alle misure da satellite; Y_i rappresenta i valori ottenuti dal modello numerico; $\overline{X}$ è il valore medio dei dati da satellite; $\overline{Y}$ è il valore medio dei dati da modelli numerici; n è il numero di dati considerarti per il confronto.

Il confronto è stato condotto classificando i dati da satellite sia in funzione del satellite che in funzione della profondità del punto di misura.

La Tabella 8.XXXIII, per ogni satellite, e la Tabella 8.XXXIII, per ognuna delle tre classi di profondità considerate, riportano i valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE. Il confronto grafico è mostrato in Figura 8.55 e Figura 8.56.

Il confronto tra i dati misurati da satellite e quelli stimati mediante SWAN mostrano: differenze medie comprese tra 0.1 e 0.4 m; scarti quadratici medi compresi tra 0.30 e 0.56 m; valori del parametro *d* compresi tra 0.8 e 0.96; valori del coefficiente di correlazione tra 0.79 e 0.95. Tali risultati evidenziano una più che discreta corrispondenza tra i due dataset e pertanto si può ritenere soddisfatta la validazione dei risultati del modello di propagazione.

Tabella 8.XXXII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE.

Satellite	Numero di dati confrontati	Bias [m]	SQM [m]	d	R
SARAL/AltiKa	478	0.10	0.30	0.96	0.93
Jason-2	464	0.30	0.50	0.83	0.79
Jason-1	440	0.06	0.32	0.94	0.89
ERS-2	338	0.23	0.56	0.87	0.79
Cryosat-2	340	0.37	0.47	0.80	0.82
ENVISAT	269	0.16	0.33	0.96	0.95
GEOSAT Follow-On	54	0.21	0.35	0.87	0.88
Globale	2383	0.20	0.42	0.91	0.86

Tabella 8.XXXIIIValori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE. Classificazione dei dati da satellite in funzione della profondità dell'area misurata.

Profondità	Numero di dati confrontati	Bias [m]	SQM [m]	d	R
Inferiore a 50 m	1072	0.21	0.45	0.89	0.84
Tra 50 m e 100 m	991	0.18	0.39	0.93	0.89
Superiore a 100 m	320	0.21	0.42	0.91	0.86

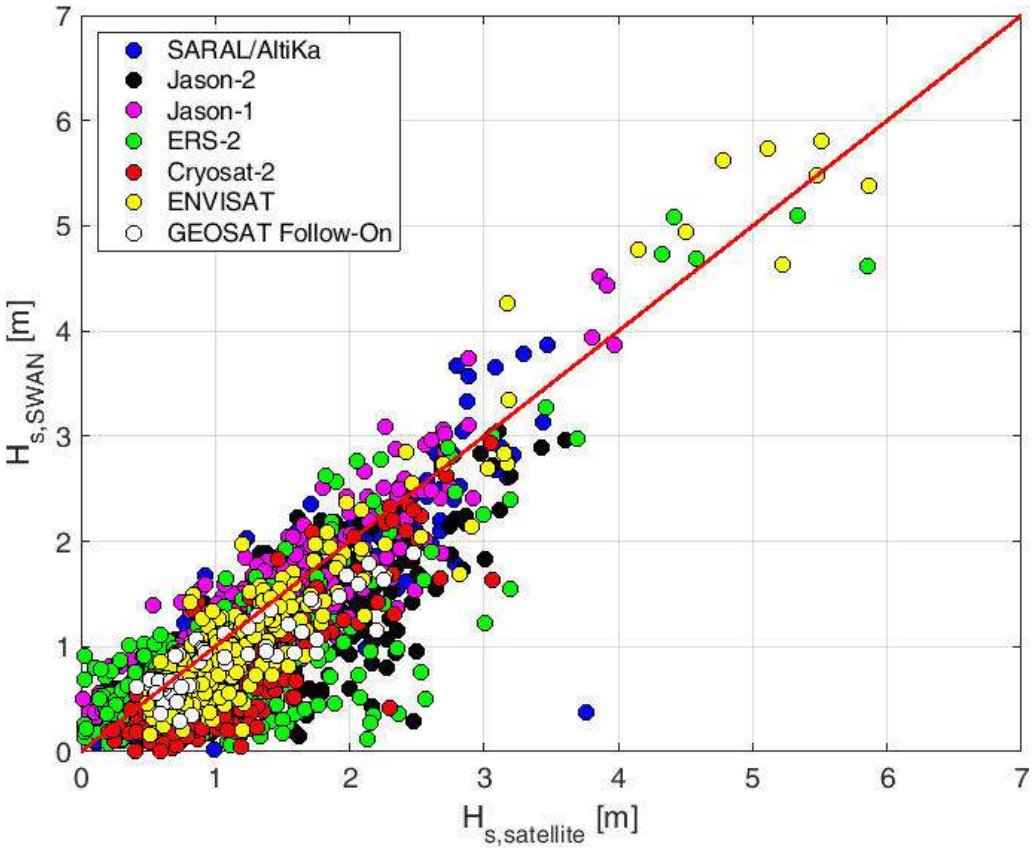


Figura 8.55 Confronto dell'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE.

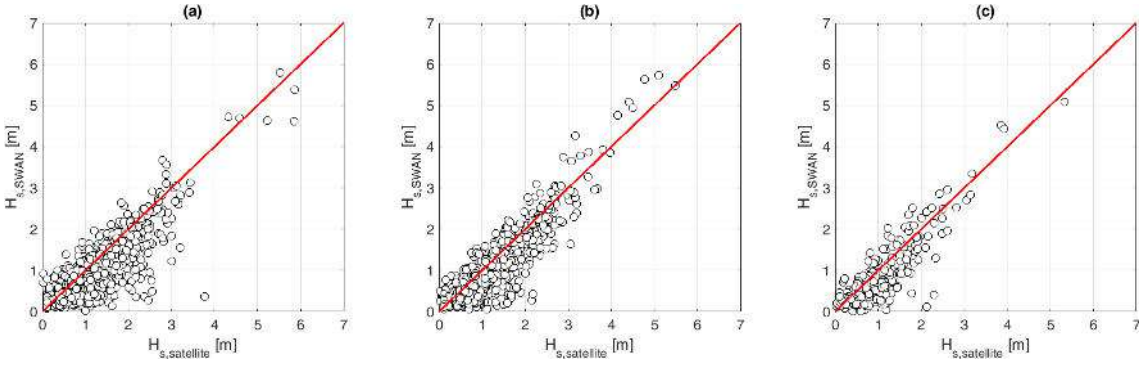


Figura 8.56 Confronto dell'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE: a) profondità inferiore a 50 m; b) profondità tra 50 m e 100 m; c) profondità superiore a 100 m.

8.2.7 Sintesi delle analisi della propagazione del moto ondoso dal largo alla costa

L'analisi della propagazione del moto ondoso descritta nel presente capitolo ha avuto l'obiettivo di valutare le caratteristiche del moto ondoso in prossimità della batimetrica 20 m a partire dai dati di moto ondoso al largo.

La propagazione del moto ondoso è stata effettuata tramite il codice di calcolo SWAN, che consente di riprodurre gli effetti più importanti dei fenomeni che intervengono durante la propagazione del moto ondoso da largo a sottocosta.

Il modello SWAN richiede in input i seguenti dati: i) dati di moto ondoso al largo; ii) dati di vento; iii) dati batimetrici. Per quanto concerne i dati di moto ondoso e i dati di vento si è fatto riferimento, rispettivamente, ai dati forniti dal *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) e ai dati forniti dall'*European Center Medium Weather Forecast* (ECMWF). Per quanto riguarda i dati batimetrici attorno alle coste della Sicilia e delle Isole minori, si è fatto riferimento alle mappe pubblicate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare integrate localmente, ove necessario, con i dati forniti dall'organizzazione *The General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO). Le simulazioni effettuate si riferiscono al periodo di tempo tra il 2006 e 2019, con una risoluzione nel tempo su scala tri-oraria. La scelta di tale scala di tempo è stata oggetto di una dettagliata analisi che ha consentito di dimostrare come l'impiego del ricampionamento a tre ore della serie originaria del CMEMS, anche rispetto ad altri ricampionamenti, fosse, ad un tempo, il più efficiente e il più preciso.

I dati alla batimetrica 20m ricavati dal modello numerico SWAN, sono stati sottoposti ad un processo di validazione attraverso il confronto con i dati di altezza d'onda significativa misurati da satellite. I risultati di tale confronto hanno evidenziano una più che discreta corrispondenza tra i due dataset.

8.3 Analisi meteo-marine sotto-costa

8.3.1 Analisi del moto ondoso in prossimità dell'isobata 20m

L'analisi del moto ondoso sottocosta è stata condotta per ogni unità fisiografica di III ordine. In particolare, per ognuna delle sei griglie di calcolo è stato selezionato almeno un nodo per unità fisiografica di III ordine caratterizzato da una profondità prossima a 20 m, ossia ad una profondità certamente maggiore della profondità di chiusura, e dunque tale che si possano ritenere trascurabili gli effetti del trasporto solido dovuti al moto ondoso e si possono conseguentemente assumere poco variabili le batimetriche adottate. I risultati di tale analisi sono riportati nell'allegato "Quaderni delle analisi meteomarine sottocosta".

La localizzazione dei diversi nodi delle sei griglie di calcolo da cui sono stati estratti i dati per le analisi sottocosta è mostrata in Figura 8.57.

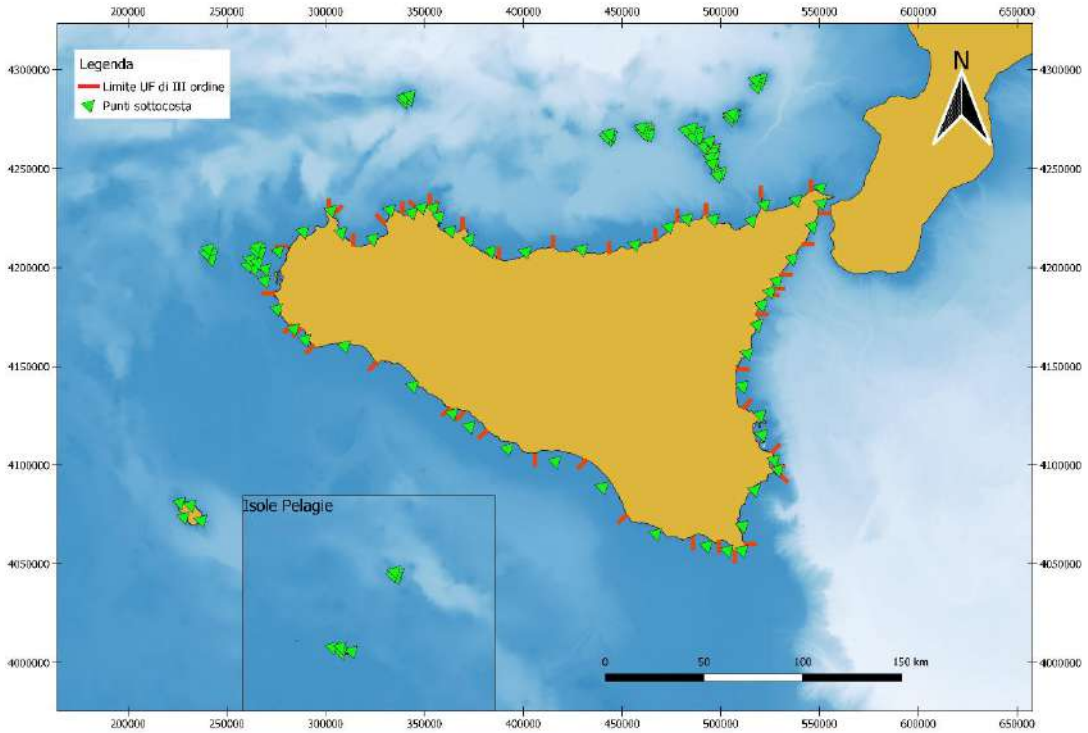


Figura 8.57 Localizzazione dei nodi delle diverse griglie di calcolo utilizzati per le analisi del moto ondoso sottocosta per ogni unità fisiografica del III ordine.

Dalla Tabella 8.XIII alla Tabella 8.XXXVII si riportano le coordinate dei nodi selezionati lungo le coste dalla Regione Siciliana. Per ogni nodo si riportano il

codice identificativo e le coordinate espresse nel sistema WGS84 e nel sistema UTM. Il codice identificativo si compone di una prima parte che indica l'unità fisiografica di I, II e III ordine e una lettera che distingue i punti che si trovano nella stessa unità fiografica di III ordine.

Tabella 8.XXXIV Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi lungo le coste dalla Sicilia.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
1.1.1.a	15.5280	38.1340	546274.94	4220780.07
1.2.1.a	15.4110	37.9870	536066.11	4204416.76
1.2.2.a	15.3230	37.8840	528404.70	4192994.84
1.2.3.a	15.2820	37.8350	524814.03	4187584.62
1.3.1.a	15.2350	37.7760	520694.94	4181014.55
1.3.2.a	15.2100	37.6860	518481.81	4170953.37
1.3.2.b	15.1520	37.5550	513432.21	4156434.66
2.1.1.a	15.1250	37.4060	511060.27	4139944.16
3.1.1.a	15.2260	37.2740	520077.47	4125281.03
3.1.1.b	15.2350	37.1840	520893.52	4115312.25
3.1.2.a	15.3040	37.0680	527001.93	4102450.33
3.1.3.a	15.3260	37.0240	528968.60	4097630.93
3.1.4.a	15.1920	36.9330	517101.53	4087441.79
3.1.4.b	15.1240	36.7690	511069.86	4069225.70
3.1.5.a	15.1210	36.6560	510849.35	4056756.29
4.1.1.a	15.0380	36.6560	503363.91	4056732.94
4.1.2.a	14.9210	36.6770	492950.56	4059086.48
4.1.3.a	14.6330	36.7330	467240.62	4065346.83
4.2.1.a	14.3280	36.9440	440197.67	4088856.50
4.2.2.a	14.0590	37.0590	416301.94	4101812.72
4.3.1.a	13.7850	37.1150	392033.87	4108358.46
4.4.1.a	13.5680	37.2130	372897.11	4119471.77
4.4.2.a	13.4680	37.2720	364141.36	4126125.83
4.5.1.a	13.2400	37.3930	344166.05	4139962.41
5.1.1.a	12.8440	37.5700	309636.38	4160289.17
5.2.1.a	12.6180	37.5940	289741.24	4163452.72
5.2.2.a	12.5510	37.6420	283884.25	4168934.57
6.1.1.a	12.4510	37.7300	275385.06	4178887.06
6.1.2.a	12.3780	37.8590	269301.99	4193408.95
6.1.2.b	12.4500	37.9940	276045.78	4208220.62
6.1.3.a	12.5900	38.0870	288647.36	4218195.80

Tabella 8.XXXV Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi lungo le coste dalla Sicilia (continua da Tabella 8.XIII).

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
7.1.1.a	12.7480	38.1850	302760.92	4228723.84
7.1.2.a	12.8090	38.0860	307893.37	4217660.11
7.1.3.a	12.9930	38.0610	323934.94	4214475.82
7.2.1.a	13.0870	38.1940	332524.25	4229105.29
7.2.2.a	13.2150	38.1840	343653.99	4227719.84
7.2.3.a	13.2710	38.2070	348610.24	4230227.66
7.3.1.a	13.3390	38.2080	354551.64	4230172.17
7.3.2.a	13.3730	38.1690	357440.75	4225813.82
7.3.2.b	13.4390	38.1040	363161.84	4218467.80
8.1.1.a	13.5490	38.0650	372681.82	4214032.65
8.1.1.b	13.6730	38.0140	383529.58	4208178.96
8.1.2.a	13.8740	38.0130	401141.13	4207875.99
8.2.1.a	14.1990	38.0280	429682.89	4209211.58
8.2.2.a	14.5060	38.0520	456642.28	4211646.16
8.2.3.a	14.6990	38.1320	473622.85	4220492.35
9.1.1.a	14.8050	38.1690	482928.91	4224556.03
9.2.1.a	14.9590	38.1670	496391.83	4224396.87
9.2.1.b	15.1770	38.1610	515521.50	4223738.38
10.1.1.a	15.2510	38.2340	522007.51	4231780.40
10.1.1.b	15.4370	38.2540	538230.62	4234042.53
10.1.2.a	15.5790	38.3090	550633.77	4240233.78
10.1.2.b	15.5810	38.2380	550877.61	4232406.57

Tabella 8.XXXVI Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi lungo le coste delle isole Pelagie, dell'isola di Pantelleria, delle isole Egadi e dell'isola di Ustica.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
11.1.1.a	12.6310	35.5090	285113.10	3932092.97
11.1.1.b	12.5730	35.5030	279893.42	3931568.20
11.1.1.c	12.5200	35.5250	275114.10	3934077.35
11.1.1.d	12.5680	35.5260	279523.26	3934129.28
11.1.2.a	12.8820	35.8670	308799.67	3971242.32
11.1.2.b	12.8720	35.8540	307817.39	3969799.68
11.1.2.c	12.8510	35.8610	305971.85	3970693.41
11.1.2.d	12.8610	35.8770	306879.21	3972411.19
12.1.1.a	12.0550	36.7580	237059.09	4072030.95
12.1.1.b	11.9540	36.7690	228170.09	4073611.24
12.1.1.c	11.9290	36.8350	226136.75	4080929.12
12.1.1.d	11.9910	36.8260	231588.38	4079762.30
13.1.1.a	12.3780	37.9120	269483.41	4199322.18
13.1.1.b	12.3140	37.9100	263859.01	4199198.36
13.1.1.c	12.2770	37.9240	260665.61	4200924.43
13.1.1.d	12.2880	37.9530	261741.49	4204020.88
13.1.1.e	12.3320	37.9380	265531.65	4202300.38
13.1.2.a	12.3440	38.0050	266847.04	4209719.35
13.1.2.b	12.3460	37.9850	266936.06	4207475.77
13.1.2.c	12.3200	37.9930	264670.29	4208377.72
13.1.2.d	12.3250	38.0120	265193.02	4210492.98
13.1.3.a	12.0720	37.9760	242810.62	4207156.71
13.1.3.b	12.0640	37.9480	242041.46	4204070.10
13.1.3.c	12.0360	37.9710	239670.79	4206795.38
13.1.3.d	12.0460	37.9960	240583.16	4209465.02
14.1.1.a	13.1870	38.6990	342366.96	4284919.54
14.1.1.b	13.1570	38.6910	339742.79	4284127.34
14.1.1.c	13.1550	38.7080	339606.95	4285963.67
14.1.1.d	13.1900	38.7180	342650.82	4287016.86

Tabella 8.XXXVII Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi lungo le coste delle isole Eolie.

Identificati del punto	Longitudine [°] (WGS84)	Latitudine [°] (WGS84)	m Est (UTM-WGS84)	m Nord (UTM-WGS84)
15.1.1.a	14.9670	38.4890	497138.82	4260020.60
15.1.1.b	14.9570	38.4740	496228.78	4258354.45
15.1.1.c	14.9630	38.4510	496780.72	4255836.90
15.1.1.d	14.9630	38.4510	496780.72	4255836.90
15.1.1.e	14.9390	38.4490	494663.00	4255644.25
15.1.1.f	14.9000	38.4980	491252.59	4261099.47
15.1.1.g	14.9350	38.5240	494306.75	4263965.61
15.1.2.a	14.9620	38.4170	496684.10	4252081.79
15.1.2.b	15.0010	38.3820	500129.12	4248198.74
15.1.2.c	14.9820	38.3660	498435.87	4246452.09
15.1.2.d	14.9490	38.4210	495548.68	4252548.86
15.1.3.a	15.0810	38.6410	507048.36	4276898.57
15.1.3.b	15.0540	38.6250	504705.93	4275111.82
15.1.3.c	15.0550	38.6410	504821.80	4276900.23
15.1.3.d	15.0700	38.6490	506066.48	4277787.02
15.1.4.a	15.2350	38.8090	520426.31	4295628.87
15.1.4.b	15.2320	38.7890	520172.04	4293418.13
15.1.4.c	15.2090	38.7720	518164.40	4291470.51
15.1.4.d	15.2030	38.8030	517616.08	4294924.74
15.1.5.a	14.5650	38.5850	462108.07	4270845.32
15.1.5.b	14.5830	38.5730	463697.63	4269474.74
15.1.5.c	14.5850	38.5610	463879.54	4268111.46
15.1.5.d	14.5850	38.5520	463821.83	4267170.39
15.1.5.e	14.5610	38.5570	461791.38	4267749.86
15.1.5.f	14.5470	38.5640	460557.65	4268531.87
15.1.5.g	14.5400	38.5850	459894.63	4270862.38
15.1.6.a	14.3660	38.5430	444740.24	4266216.62
15.1.6.b	14.3510	38.5300	443451.73	4264829.04
15.1.6.c	14.3360	38.5420	442165.90	4266150.25
15.1.6.d	14.3540	38.5560	443704.84	4267678.24
15.1.7.a	14.8760	38.5660	489166.24	4268629.31
15.1.7.b	14.8710	38.5430	488787.65	4266033.71
15.1.7.c	14.8350	38.5430	485589.88	4266042.79
15.1.7.d	14.7960	38.5740	482220.34	4269513.09
15.2.7.e	14.8340	38.5840	485566.87	4270676.14

Per ogni nodo selezionato sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza del moto ondoso.

Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°. In particolare, sono stati considerati i settori centrati nelle direzioni: 0°N, 22.5°N, 45°N, 67.5°N, 90.0°N, 112.5°N, 135.0°N, 157.5°N, 180.0°N, 202.5°N, 225.0°N, 247.50°N, 270.0°N, 292.5°N, 315.0°N e 337.5°N.

A titolo di esempio, in Figura 8.58 si riporta la rappresentazione grafica della percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.1.1.a, ossia al punto sottocosta ricadente nell'unità fisiografica di I ordine numero 2, nell'unità fisiografica di II ordine numero 1 e nell'unità fisiografica di III ordine numero 1. I valori delle percentuali sono riportati in Tabella 8.XV.

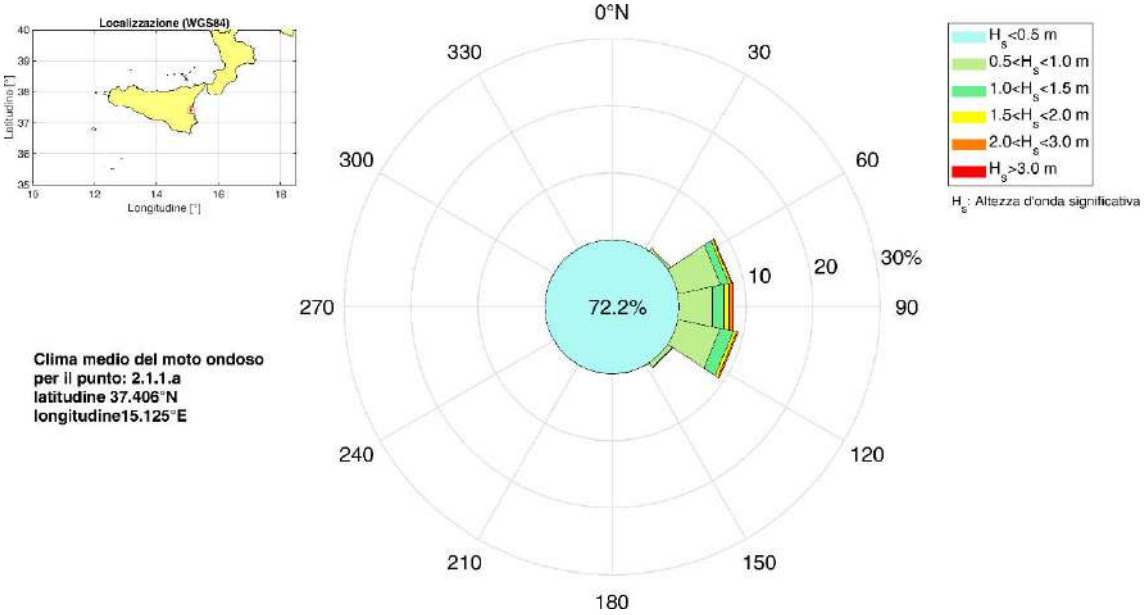


Figura 8.58 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.1.1.a, ossia al punto sottocosta ricadente nell'unità fisiografica di I ordine numero 2, nell'unità fisiografica di II ordine numero 1 e nell'unità fisiografica di III ordine numero 1.

Tabella 8.XXXVIII Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.1.1.a, ossia al punto sottocosta ricadente nell'unità fisiografica di I ordine numero 2, nell'unità fisiografica di II ordine numero 1 e nell'unità fisiografica di III ordine numero 1.

	Altezza d'onda significativa [m]					
Direzione [°N]	<0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷3.0	>3.0
0	0.12	0.01	-	-	-	-
22.5	0.78	0.02	-	-	-	-
45	6.76	0.50	0.05	-	-	-
67.5	22.72	6.57	1.19	0.37	0.16	0.02
90	11.69	5.30	1.73	0.74	0.59	0.18
112.5	13.46	6.50	2.01	0.47	0.23	0.03
135	10.01	0.88	0.04	0.01	-	-
157.5	1.10	0.17	-	-	-	-
180	0.58	0.05	-	-	-	-
202.5	0.64	0.02	-	-	-	-
225	0.97	0.01	-	-	-	-
247.5	1.70	-	-	-	-	-
270	0.87	-	-	-	-	-
292.5	0.42	-	-	-	-	-
315	0.21	-	-	-	-	-
337.5	0.13	-	-	-	-	-
tot	0.12	-	-	-	-	-

Al fine di valutare gli eventi estremi sottocosta in corrispondenza delle unità fisiografiche di III ordine è stata effettuata un'analisi statistica dei dati disponibili sui nodi riportati dalla Tabella 8.XIII alla Tabella 8.XXXVII.

Nella fattispecie, dalla serie dei dati originari disponibili nei nodi selezionati, è stata ricavata la serie delle altezze d'onda significative massime delle mareggiate; quest'ultima definita come una successione di stati di mare durante la quale l'altezza d'onda significativa supera una soglia critica e non scende al di sotto di tale soglia per durate di tempo superiori a un valore prefissato t_{crit} (Boccotti, 1997). Nel caso in esame è stato considerato un valore di soglia pari a 1.5 m e un valore di t_{crit} pari a 12 ore.

Per l'analisi degli eventi estremi, dalla serie delle altezze massime delle mareggiate sono stati selezionati i valori superiori a 2 m ed è stato quindi verificato l'adattamento di diverse distribuzioni di probabilità. In particolare,

sono state utilizzate le distribuzioni per eventi estremi di Gumbel, Weibull, Lognormale , Pareto e GEV (*Generalized Extreme Value Distribution*).

A titolo di esempio, per il punto 2.1.1.a si riportano dalla Tabella 8.XVI alla Tabella 8.XVIII, rispettivamente: i valori del parametro D_n, i valori del parametro D_n^*; i parametri delle distribuzioni teoriche. Per lo stesso punto, in Figura 8.13 si riporta il confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità; infine, in Tabella 8.XIX si riportano i valori dell'altezza d'onda significativa al variare del tempo di ritorno e della distribuzione di probabilità teoriche considerate.

Tabella 8.XXXIX Valori del parametro D_n relativi al punto 2.1.1.a.

	Gumbel	Weibull	Log-normale	Pareto	GEV
D_n	0.14781	0.10594	0.17644	0.09288	0.14288

Tabella 8.XL Valori del parametro D_n^* al variare del livello di significatività relativi al punto 2.1.1.a.

	20%	15%	10%	5%	1%
D_n^*	0.13922	0.14779	0.15907	0.1767	0.212

Tabella 8.XLI Parametri delle distribuzioni di probabilità relativi al punto 2.1.1.a.

G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V3
1.71	2.42	1.853	0.964	1.212	0.983	0.241	2	0.778	-0.027	2.414	0.546	-0.049

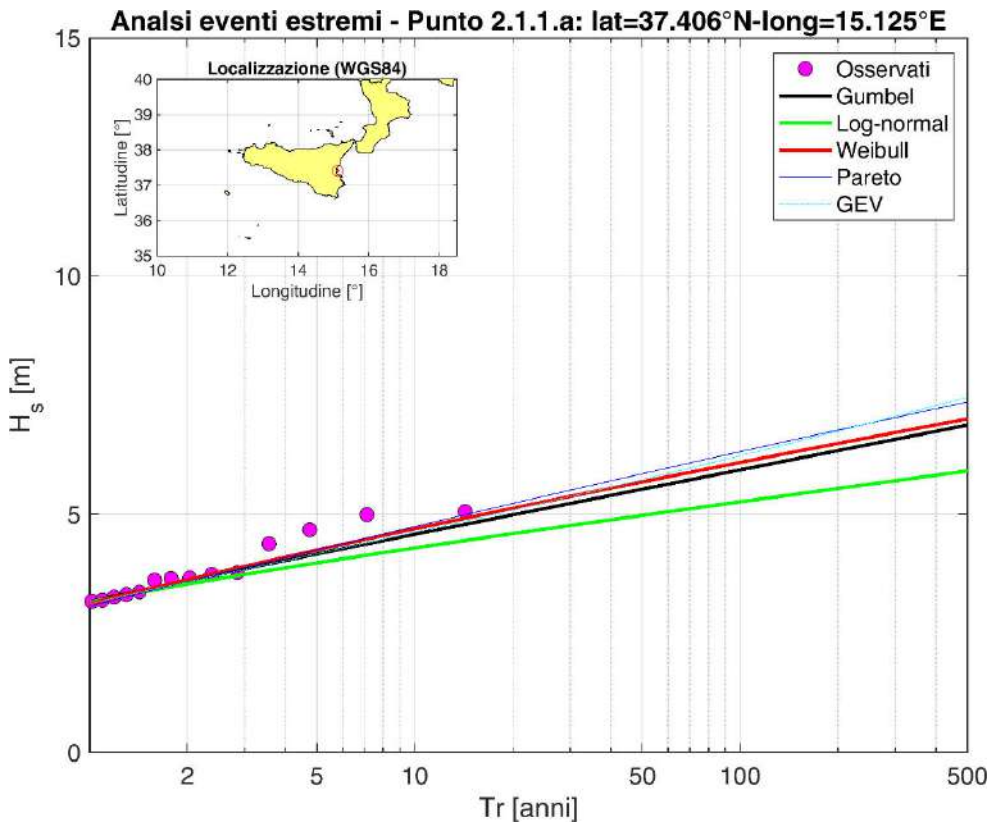


Figura 8.59 Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità relativo al punto 2.1.1.a.

Tabella 8.XLII Altezza d'onda significativa al variare del tempo di ritorno e delle distribuzioni di probabilità relativa al punto 2.1.1.a.

	Altezza d'onda significativa [m]				
Tr [anni]	Gumbel	Weibull	Log-normale	Pareto	GEV
2	3.61	3.63	3.54	3.59	3.58
5	4.17	4.25	3.98	4.25	4.17
10	4.58	4.7	4.29	4.74	4.63
50	5.53	5.68	4.98	5.85	5.73
100	5.93	6.09	5.26	6.32	6.23
500	6.87	7	5.91	7.36	7.46

8.3.2 Stima della deriva dei sedimenti

La morfodinamica della spiagge basse è fortemente influenzata dalle correnti litoranee generate dal moto ondoso e dalla conseguente deriva dei sedimenti. Si è pertanto effettuata la stima della deriva dei sediementi attorno la Sicilia. In particolare, al fine di valutare la direzione media della deriva dei sedimenti in corrispondenza di ogni unità fisiografiche di III ordine è stata condotta un'analisi dell'energia associata al moto ondoso. Tale analisi è stata condotta sulla base del flusso di energia stimato da SWAN mediante le seguenti relazioni:

$$P_x = \rho_w g \iint c_x E(\sigma_w, \theta_w)\, d\sigma_w\, d\theta_w \qquad 8.15$$

$$P_y = \rho_w g \iint c_y E(\sigma_w, \theta_w)\, d\sigma_w\, d\theta_w \qquad 8.16$$

dove ρ_w è la densità dell'acqua, assunta pari a 1025 kg/m^3, g è l'accelerazione di gravità, c_x e c_y sono le componenti rispettivamente in x e y della velocità di gruppo, σ_w è la frequenza angolare e θ_w è la direzione dell'onda. Assunta l'assenza di correnti, per il flusso di energia si è considerata la stessa direzione del moto ondoso. Il sistema di riferimento è caratterizzato dall'asse x orientato verso Est e l'asse y orientato verso Nord.

Le analisi energetiche sono state condotte per i nodi riportati dalla Tabella 1.I alla Tabella 1.IV. Tali nodi sono caratterizzati da una profondità prossima a 20 m.

Per ogni nodo selezionato sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di flusso di energia e per classe di direzione di provenienza del moto ondoso.

Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°. In particolare, sono stati considerati i settori centrati nelle direzioni: 0°N, 22.5°N, 45°N, 67.5°N, 90.0°N, 112.5°N, 135.0°N, 157.5°N, 180.0°N, 202.5°N, 225.0°N, 247.50°N, 270.0°N, 292.5°N, 315.0°N e 337.5°N.

La direzione media del flusso di energia del moto ondoso è stata stimata mediante la seguente relazione:

$$\overline{Dir} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot Dir_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \qquad 8.17$$

dove P è il flusso di energia associato allo *i-esimo* stato di mare e Dir è la direzione di propagazione del moto ondoso.

La convenzione adottata per descrivere la direzione media del flusso di energia del moto ondoso, la direzione media della linea costa e la direzione media della deriva dei sedimenti è illustrata in Figura 8.60. In particolare, analogamente alla definizione della direzione del moto ondoso, la direzione del flusso di energia medio annuo è indicata attraverso la direzione di propagazione. La direzione della linea di costa è rappresentata dall'angolo tra il Nord e il segmento $\overline{OA}$, dove il punto A è convenzionalmente sempre posto a destra della direzione del flusso di energia medio annuo. In funzione del valore che assume l'angolo tra la linea di costa e il flusso di energia medio annuo del moto ondoso, la direzione media della deriva dei sedimenti è uguale alla direzione della linea di costa (Figura 8.60a) oppure alla direzione opposta a quella della linea di costa (Figura 8.60b).

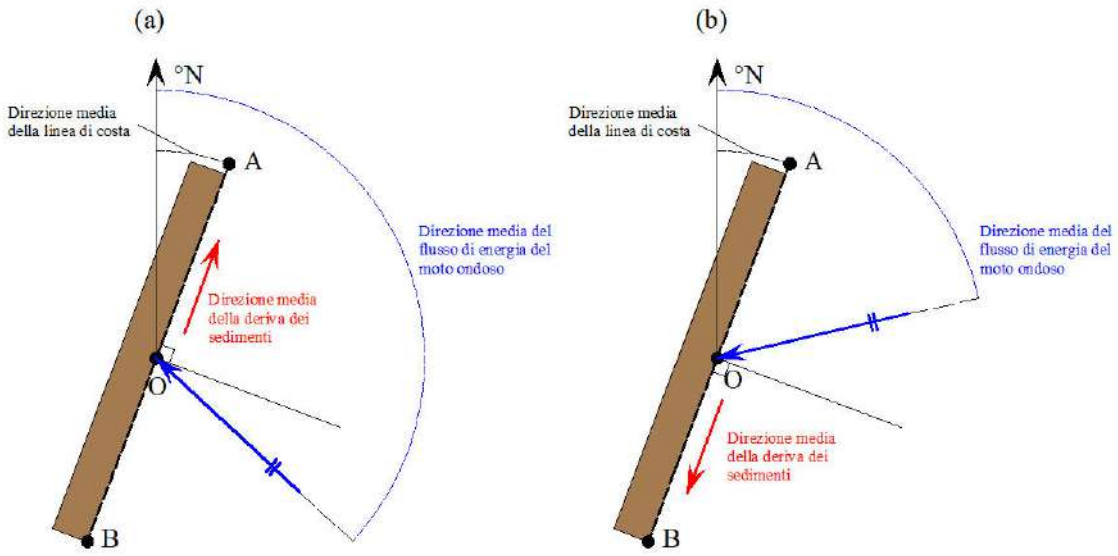


Figura 8.60 Definizione della direzione media del flusso di energia del moto ondoso, della direzione media della linea costa e della direzione media della deriva dei sedimenti: a) direzione della deriva concorde con la direzione della linea di costa; b) direzione della deriva opposta alla direzione della linea di costa.

A titolo di esempio in Figura 8.61 e Figura 8.62 si riportano, rispettivamente, per il punto 3.1.1.a e il punto 3.1.1.b le rappresentazioni grafiche: della distribuzione direzionale del flusso di energia, la direzione media della linea di costa in prossimità del punto selezionato, l'ortogonale alla linea di costa, della direzione media della deriva dei sedimenti. Il cerchio centrale indica il numero di eventi caratterizzati da un flusso di energia inferiore o uguale a 1 kW/m. In grigio sono indicate le direzioni lato terra.

Come si evince dal confronto dei suddetti grafici polari, sebbene i due nodi selezionati appartengano alla stessa unità fisiografica, la variazione della giacitura della linea di riva all'azione del moto ondoso determina un'inversione della deriva dei sedimenti.

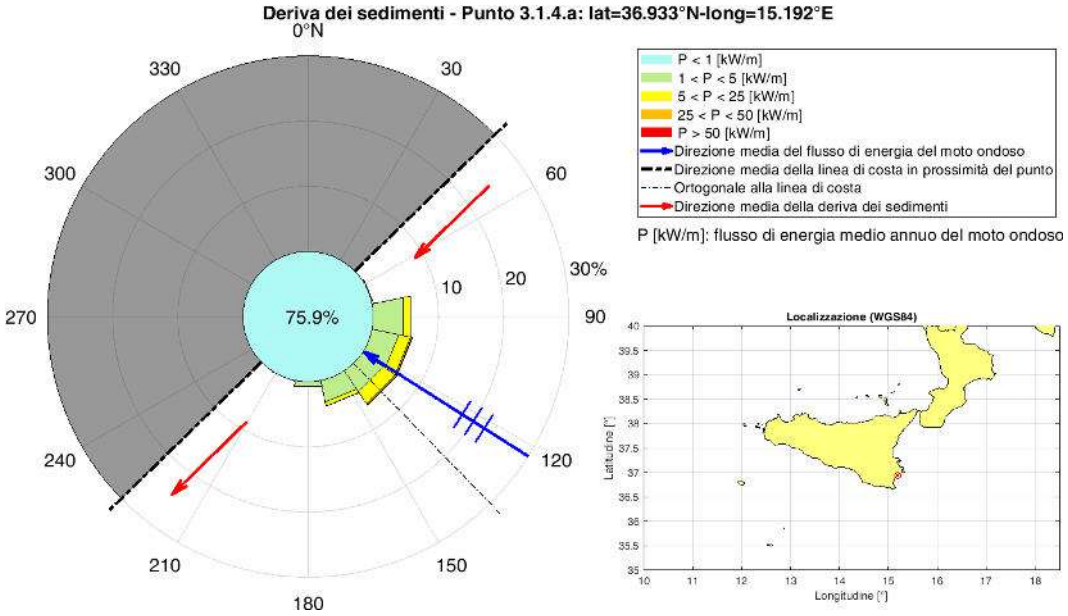


Figura 8.61 Flusso di energia medio annuo del moto ondoso, direzione media della linea di costa e direzione media della deriva dei sedimenti relativi al punto 3.1.4.a. In grigio si indicano le direzioni lato terra.

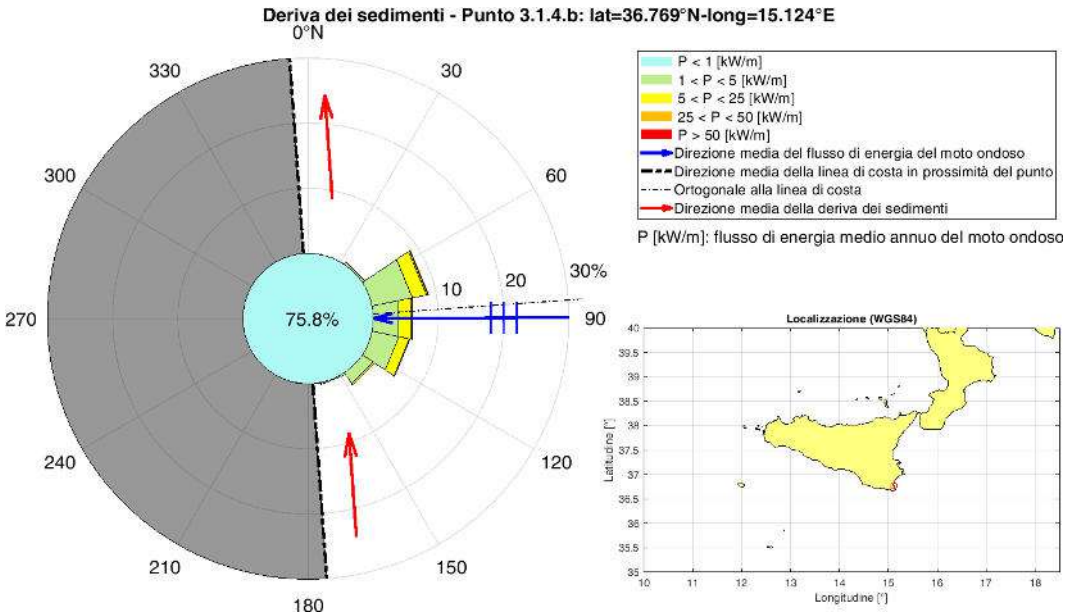


Figura 8.62 Flusso di energia medio annuo del moto ondoso, direzione media della linea di costa e direzione media della deriva dei sedimenti relativi al punto 3.1.4.b. In grigio si indicano le direzioni lato terra.

8.3.3 Sintesi dell'analisi del moto ondoso sottocosta

Il modello SWAN adottato per lo studio a scala regionale della propagazione del moto ondoso dal largo alla costa ha consentito la ricostruzione delle

informazioni sul moto ondoso stesso per un periodo pari a circa 14 anni (dal 2006 al 2019).

Nell'ambito del presente capitolo si è fatto riferimento, in particolare, ai dati di moto ondoso stimati in prossimità della batimetrica 20 m, avendo cura di selezionare almeno un punto per ogni unità fisiografica di III ordine. Tali dati sono stati poi impiegati per la valutazione: i) del moto ondoso medio; ii) degli eventi ondosi estremi; iii) della deriva dei sedimenti.

L'analisi del clima medio è stata effettuata sulla base di 117 punti griglia dei sei domini di calcolo impiegati per la simulazione numerica della propagazione del moto ondoso. In particolare, per ogni punto griglia selezionato sono state valutate le percentuali degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza del moto ondoso. Le analisi sono state condotte considerando settori di direzioni di ampiezza pari a 22.5°.

Per quanto riguarda l'analisi degli eventi ondosi estremi sono stati impiegati i medesimi punti grigli utilizzati per l'analisi del clima medio. In particolare, dalla serie di dati sono stati preliminarmente individuati i valori massimi delle altezze d'onda significativa osservati durante le mareggiate. Successivamente, la serie delle altezze d'onda significative massime è stata impiegata per stimare i parametri delle distribuzioni teoriche Gumbel, Weibull, Lognormale, Pareto e GEV. Per verificare l'adattamento delle distribuzioni distribuzioni di probabilità alla serie di dati osservati, è stato applicato il test di Kolmogorov.

Infine, sulla base delle informazioni relative alla direzione media della linea di costa in prossimità dei suddetti punti e alla direzione media del flusso di energia del moto ondoso medio annuo è stato possibile stimare la direzione media della deriva dei sedimenti.

Una sintesi dei risultati ottenuti in merito alla deriva dei sedimenti stimata lungo le coste della Sicilia è riportata nella Tabella 8.XLIII e Tabella 8.XLIV. Non si riportano i risultati relativi alle Isole minori in quanto, nella maggior parte dei casi, dette Isole sono caratterizzate da coste alte o da spiagge basse ciottolose.

Per le coste della Sicilia, dalla Figura 8.63 alla Figura 8.75 si riportano alcune mappe di dettaglio con l'indicazione della deriva media dei sedimenti e l'indicazione della tipologia di spiaggia.

Tabella 8.XLIII Deriva dei sedimenti lungo le coste dalla Sicilia (continua nella Tabella 8.XLIV)

Identificati del punto	Direzione media del flusso di energia [°N]	Direzione media della linea di costa [°N]	Direzione media della deriva dei sedimenti [°N]
1.1.1.a	158.73	24.51	24.51
1.2.1.a	141.84	36.98	36.98
1.2.2.a	133.73	40.98	40.98
1.2.3.a	124.06	37.50	37.50
1.3.1.a	120.67	31.89	31.89
1.3.2.a	114.75	24.69	24.69
1.3.2.b	120.95	42.56	42.56
2.1.1.a	92.20	357.46	357.46
3.1.1.a	77.21	324.39	324.39
3.1.1.b	92.65	353.96	353.96
3.1.2.a	83.15	12.59	12.59
3.1.3.a	73.16	325.39	325.39
3.1.4.a	122.41	45.74	45.74
3.1.4.b	89.78	355.92	355.92
3.1.5.a	157.46	55.74	55.74
4.1.1.a	213.77	130.83	310.83
4.1.2.a	210.12	114.97	114.97
4.1.3.a	222.80	112.85	112.85
4.2.1.a	235.15	142.84	142.84
4.2.2.a	222.09	96.95	96.95
4.3.1.a	230.58	118.42	118.42
4.4.1.a	235.41	133.25	133.25
4.4.2.a	231.02	99.35	99.35
4.5.1.a	238.42	127.73	127.73
5.1.1.a	208.48	96.11	96.11
5.2.1.a	246.18	154.31	154.31
5.2.2.a	233.34	104.07	104.07
6.1.1.a	258.95	161.26	161.26
6.1.2.a	253.28	191.85	11.85
6.1.2.b	314.88	205.12	205.12
6.1.3.a	320.32	247.63	67.63

Tabella 8.XLIV Deriva dei sedimenti lungo le coste dalla Sicilia (continua da Tabella 8.XLIII).

Identificati del punto	Direzione media del flusso di energia [°N]	Direzione media della linea di costa [°N]	Direzione media della deriva dei sedimenti [°N]
7.1.1.a	345.20	266.56	86.56

7.1.2.a	18.24	322.50	142.50
7.1.3.a	332.77	246.59	66.59
7.2.1.a	320.85	234.35	54.35
7.2.2.a	329.84	250.44	70.44
7.2.3.a	352.83	240.24	240.24
7.3.1.a	3.60	329.36	149.36
7.3.2.a	36.22	344.54	164.54
7.3.2.b	358.80	271.92	91.92
8.1.1.a	36.92	351.53	171.53
8.1.1.b	351.12	288.69	108.69
8.1.2.a	334.82	246.98	66.98
8.2.1.a	338.82	273.21	93.21
8.2.2.a	326.68	254.98	74.98
8.2.3.a	311.55	221.86	41.86
9.1.1.a	311.58	256.52	76.52
9.2.1.a	351.79	320.58	140.58
9.2.1.b	315.15	229.36	49.36
10.1.1.a	26.94	12.65	12.65
10.1.1.b	313.18	237.03	57.03
10.1.2.a	331.24	290.63	110.63
10.1.2.b	136.68	26.96	26.96

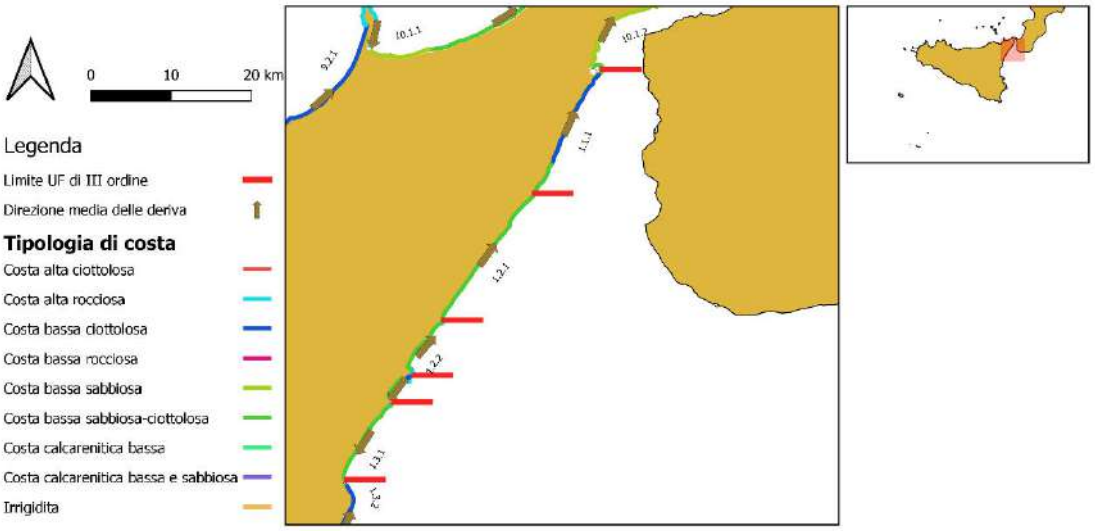


Figura 8.63 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 1 su 13).

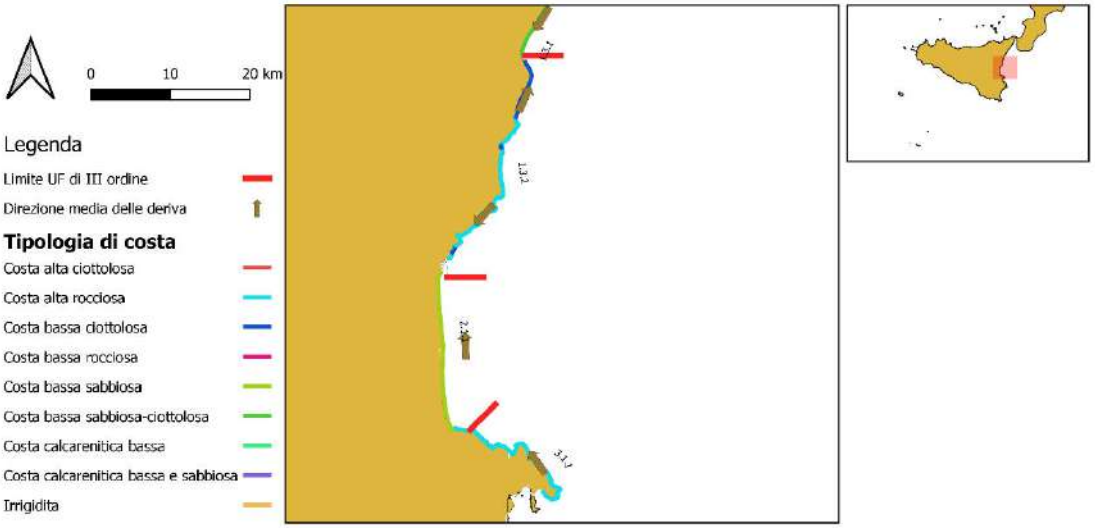


Figura 8.64 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 2 su 13).

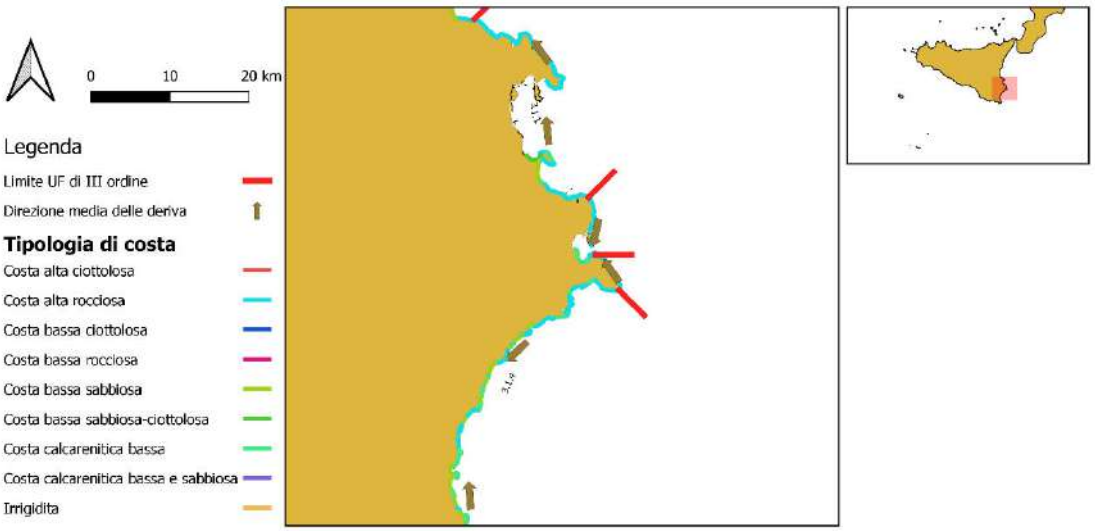


Figura 8.65 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 3 su 13).

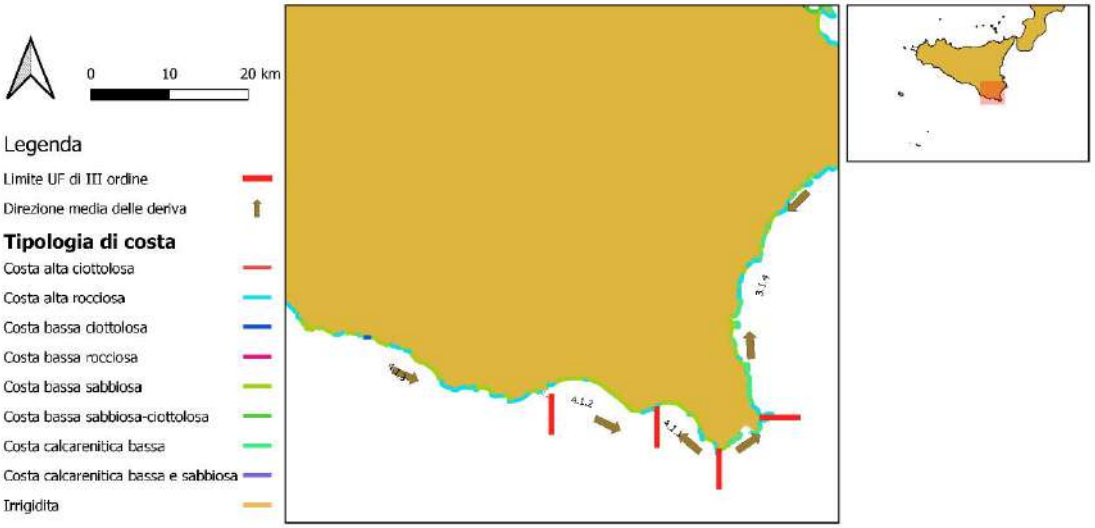


Figura 8.66 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 4 su 13).

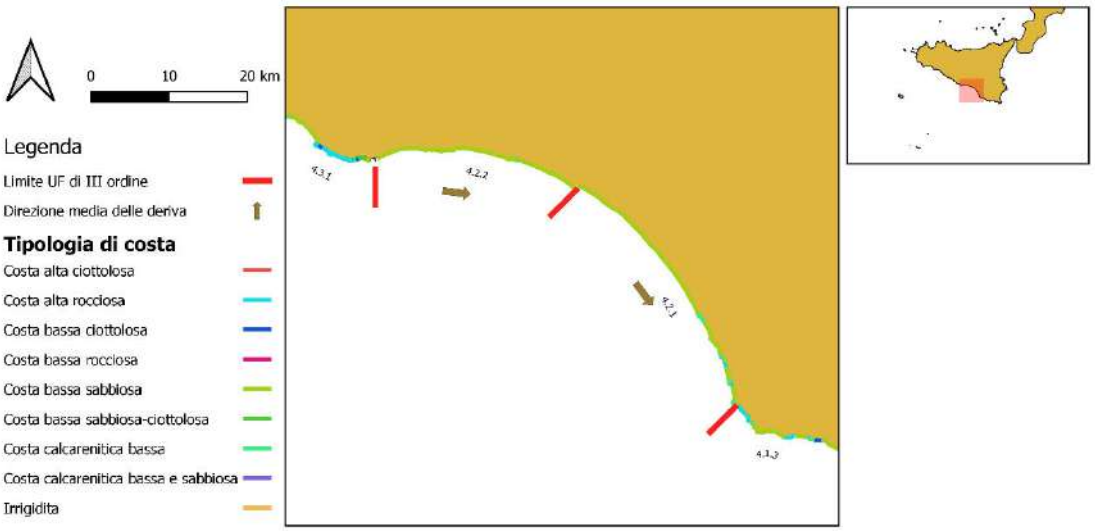


Figura 8.67 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 5 su 13).

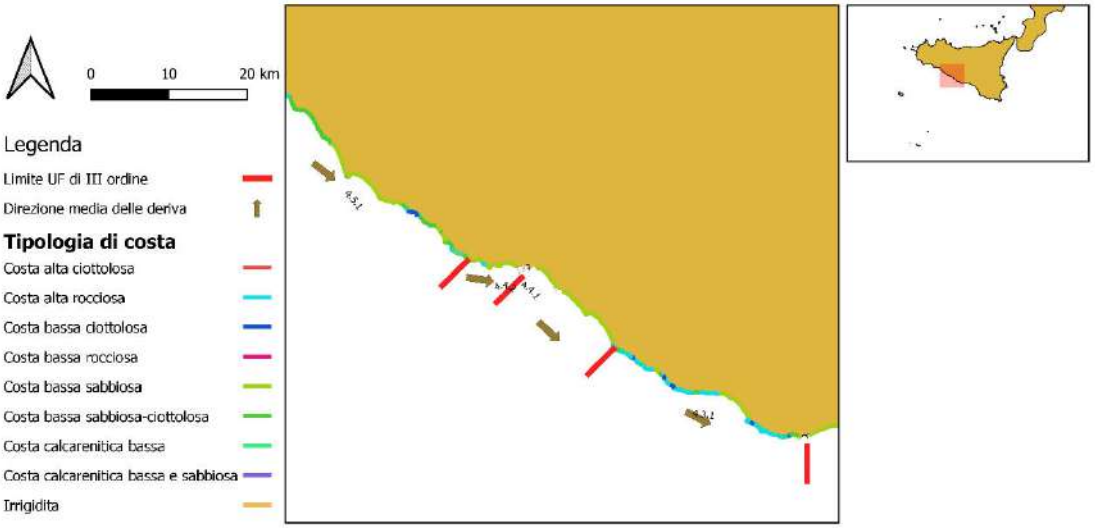


Figura 8.68 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 6 su 13).

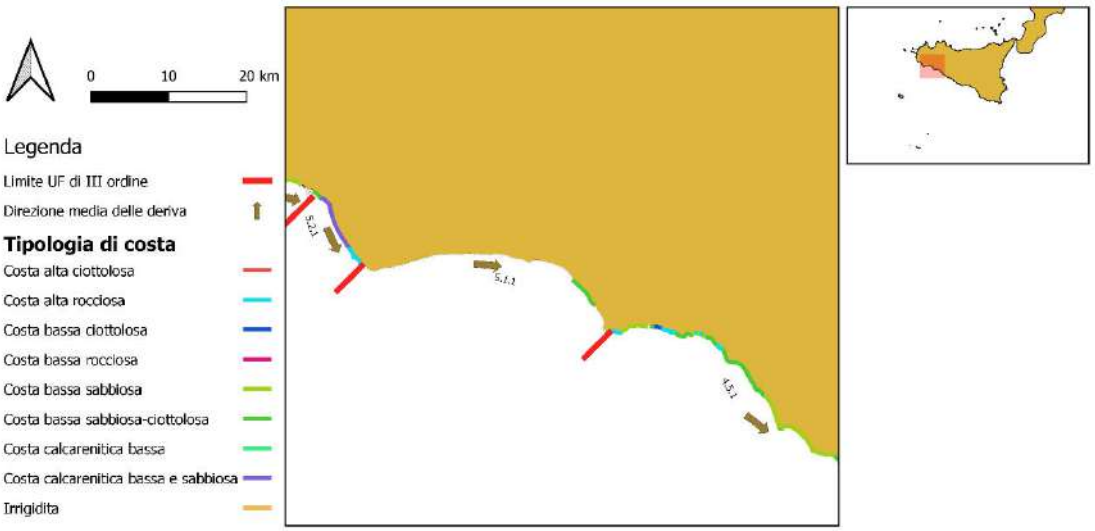


Figura 8.69 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 7 su 13).

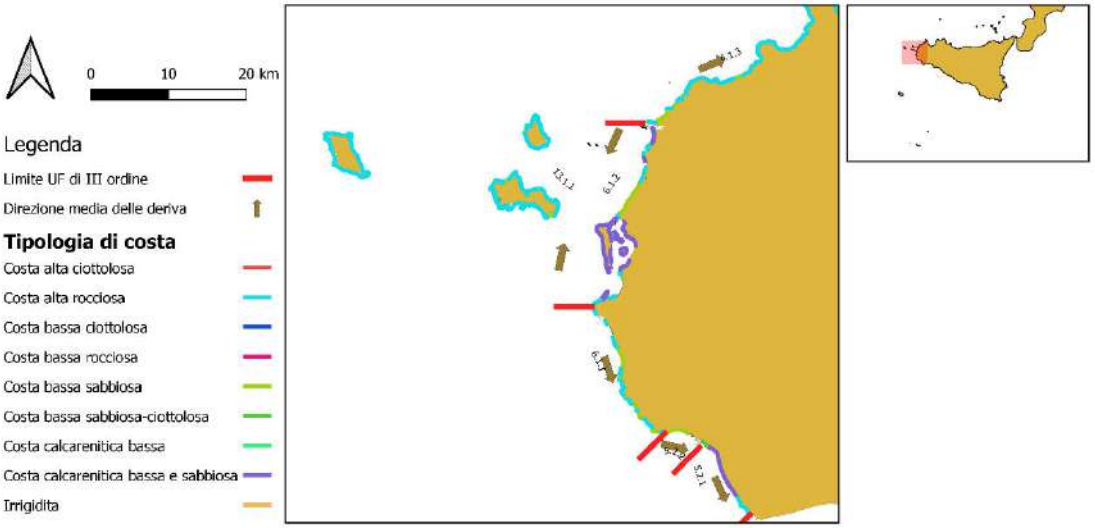


Figura 8.70 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 8 su 13).

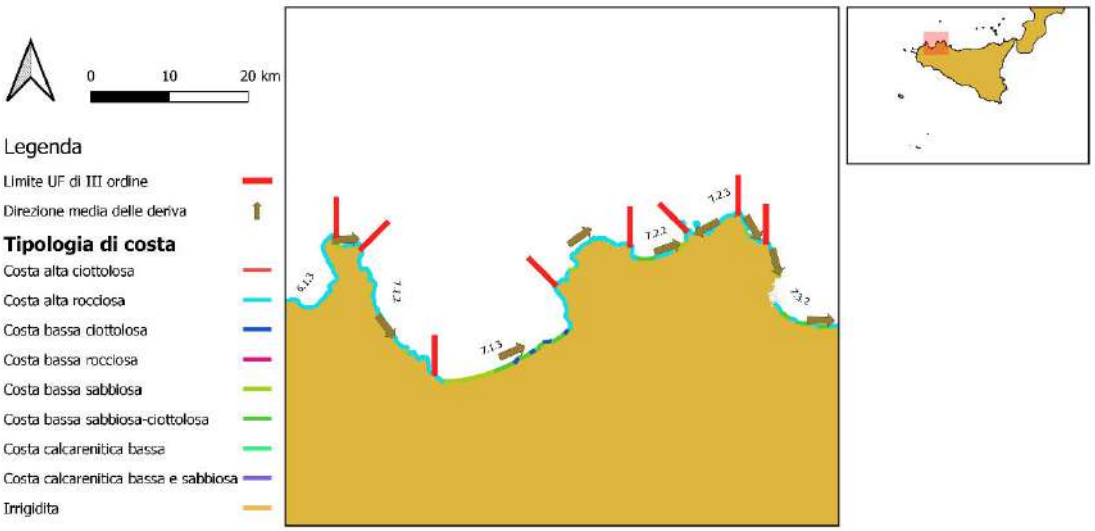


Figura 8.71 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 9 su 13).

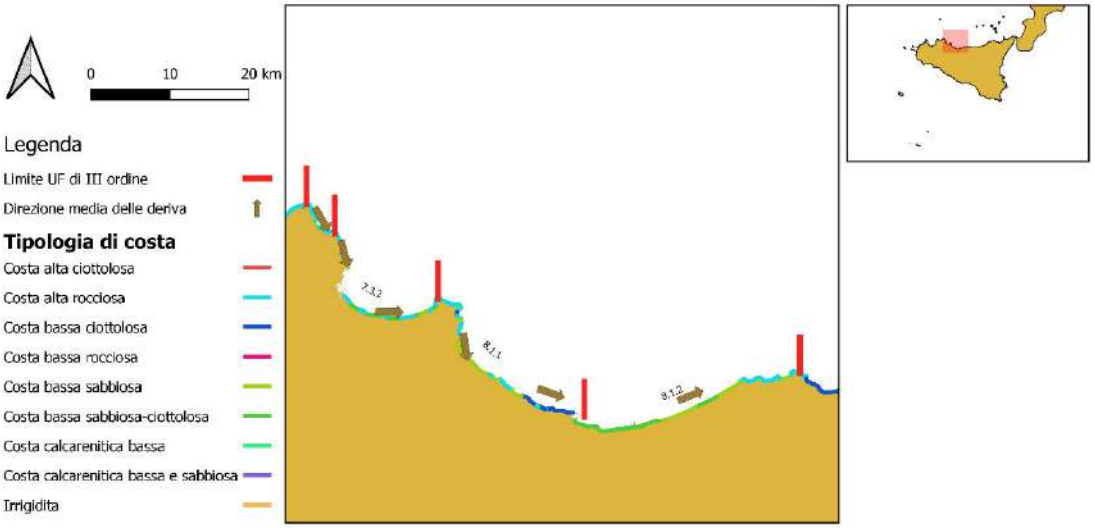


Figura 8.72 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 10 su 13).

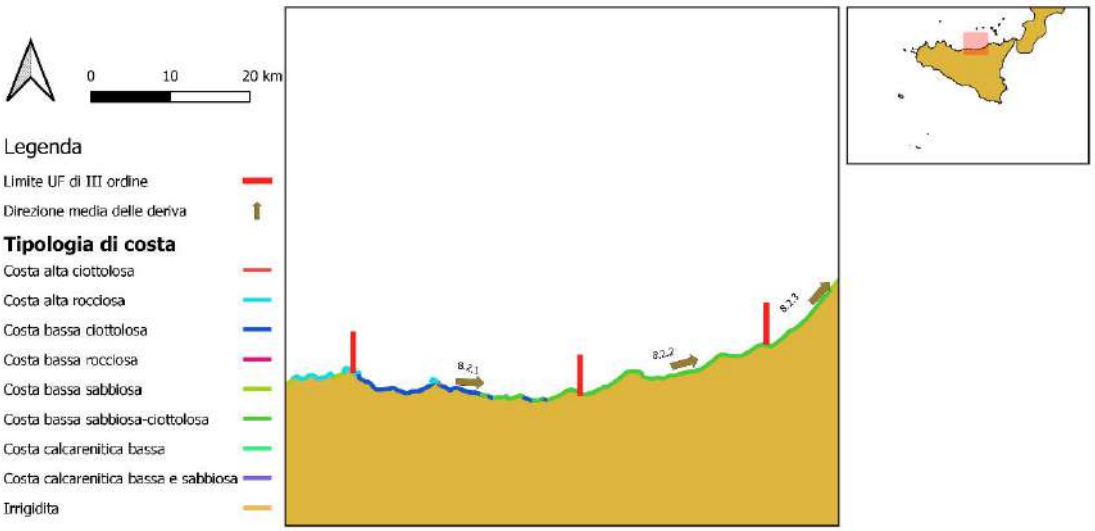


Figura 8.73 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 11 su 13).

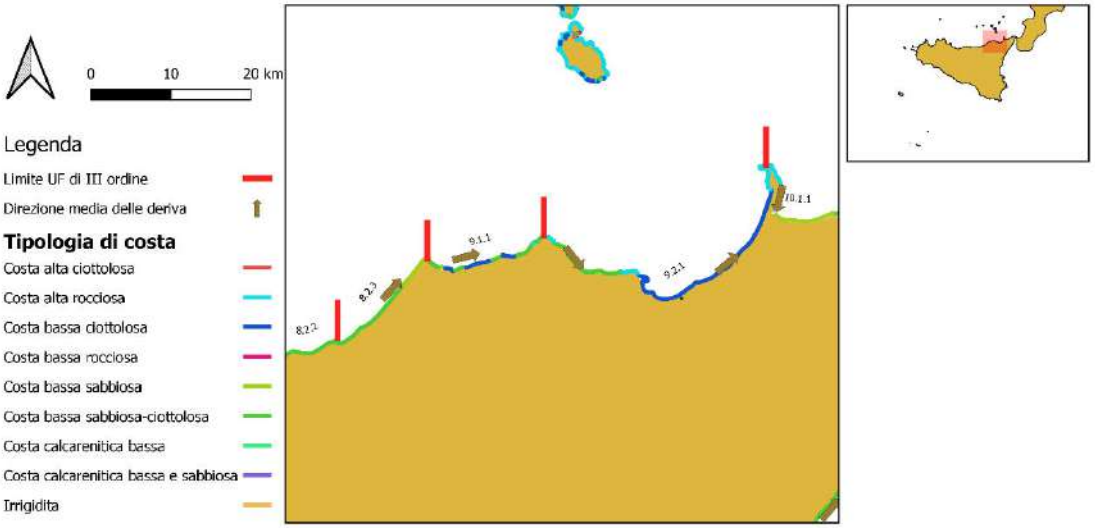


Figura 8.74 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 12 su 13).

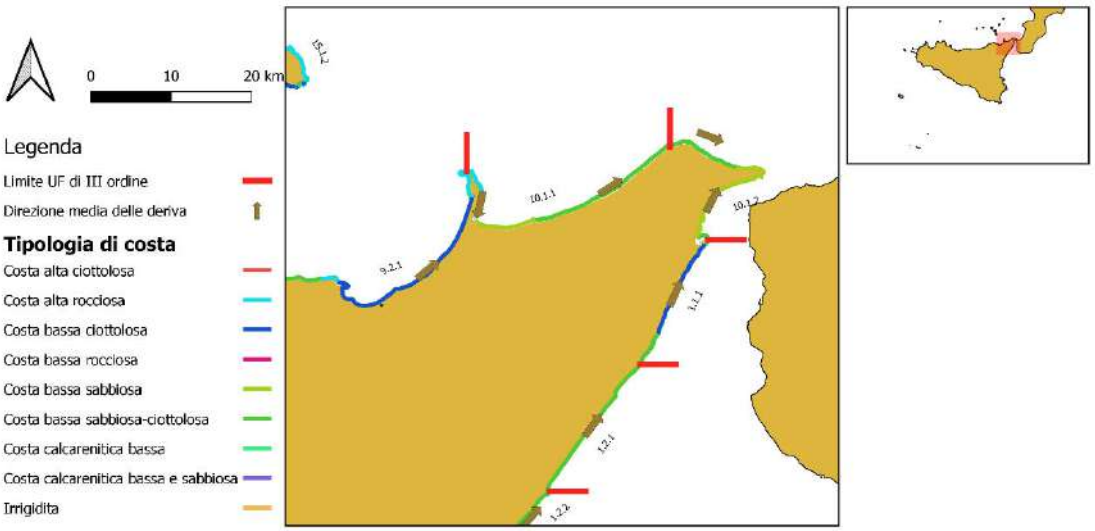


Figura 8.75 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 13 su 13).

8.4 Analisi dei livelli del mare lungo le coste della Sicilia

In generale, l'analisi delle variazioni del livello del mare è di fondamentale importanza ai fini della gestione dei fenomeni di erosione. Ciò in quanto le correnti generate dalla marea possono influire, anche in combinazione con il moto ondoso, sul trasporto dei sedimenti. Tuttavia, è bene evidenziare che lungo le coste della Sicilia, le escursioni di marea, come accade nella maggior parte delle zone del Mar Mediterraneo, sono modeste e pertanto si può ritenere

trascurabile l'effetto delle correnti di marea sul trasporto solido. Tuttavia, per completezza, al fine di fornire indicazioni circa le escursioni del livello del mare lungo le coste della Sicilia, nel presente capitolo è stata condotta un'analisi dei livelli idrici rilevati dalle stazioni delle Rete Mareografica Nazionale (vedere Figura 8.76).

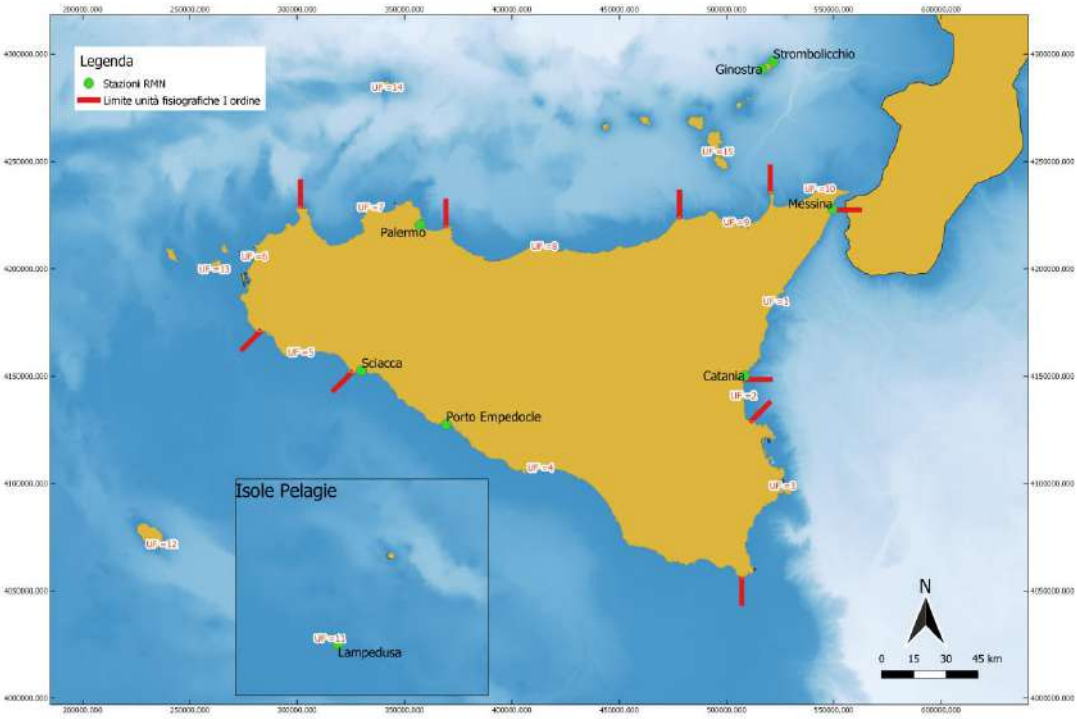


Figura 8.76 Stazioni della Rete Mareografica Nazionale gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

8.4.1 I livelli di marea

Prescindendo dai modesti dislivelli imputabili a variazioni stagionali della densità del mare e a fenomeni di eustatismo, le escursioni di livello della superficie marina possono essere principalmente imputate alla marea astronomica e alla marea meteorologica. Sebbene, in generale, la componente astronomica influenza esclusivamente l'ampiezza della marea, mentre la componente meteorologica agisce direttamente sul livello marino ed è originata dall'azione del vento e dalla pressione atmosferica sulla superficie del mare.

Dalla Figura 8.77 alla Figura 8.84 si riporta il livello del mare rilevato dalle stazioni gestite dalla RMN presenti in Sicilia. Si evidenziano alcune anomalie nelle registrazioni della stazione di Palermo, Ginostra e di Strombolicchio.

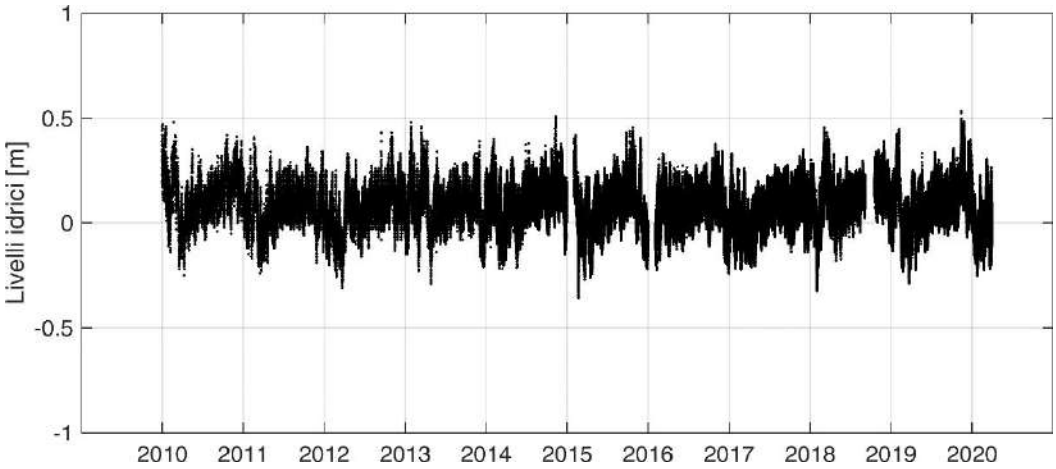


Figura 8.77 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Catania appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

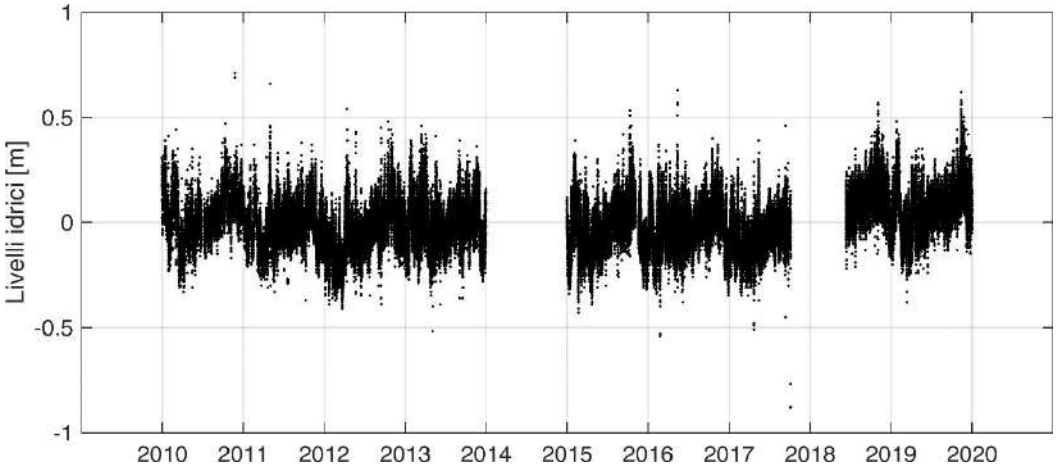


Figura 8.78 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Porto Empedocle appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

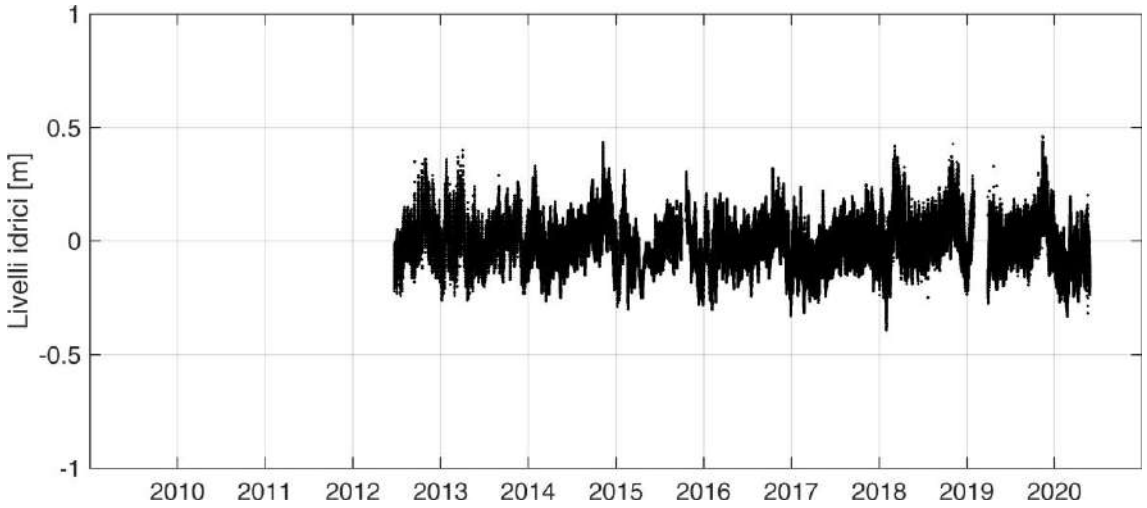


Figura 8.79 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Sciacca appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

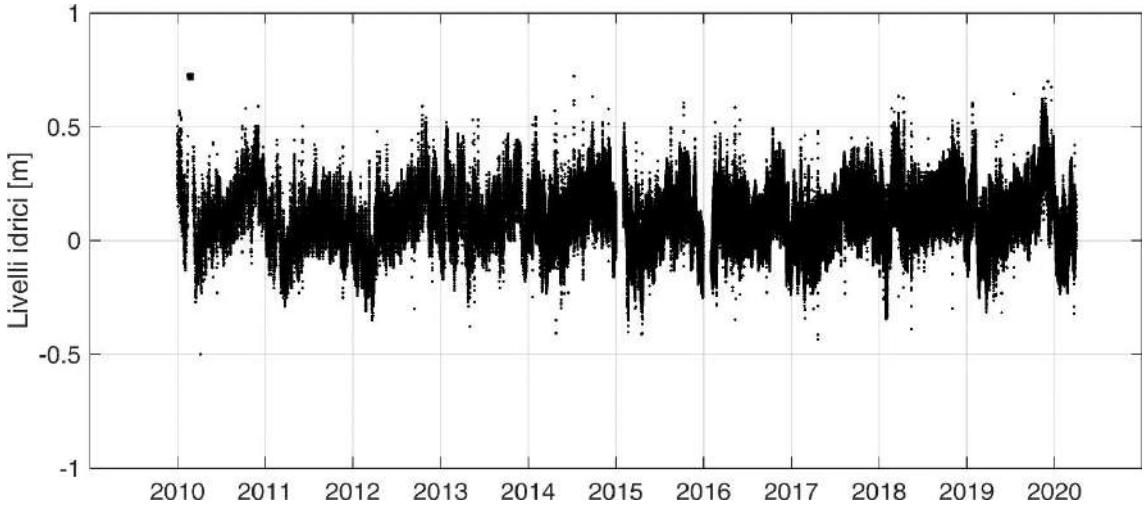


Figura 8.80 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Lampedusa appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

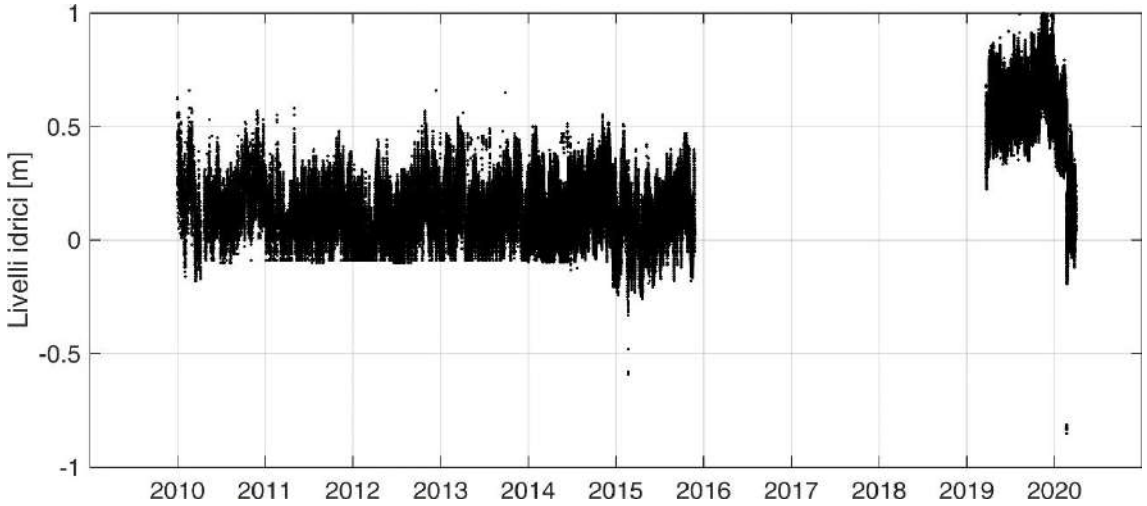


Figura 8.81 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Palermo appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

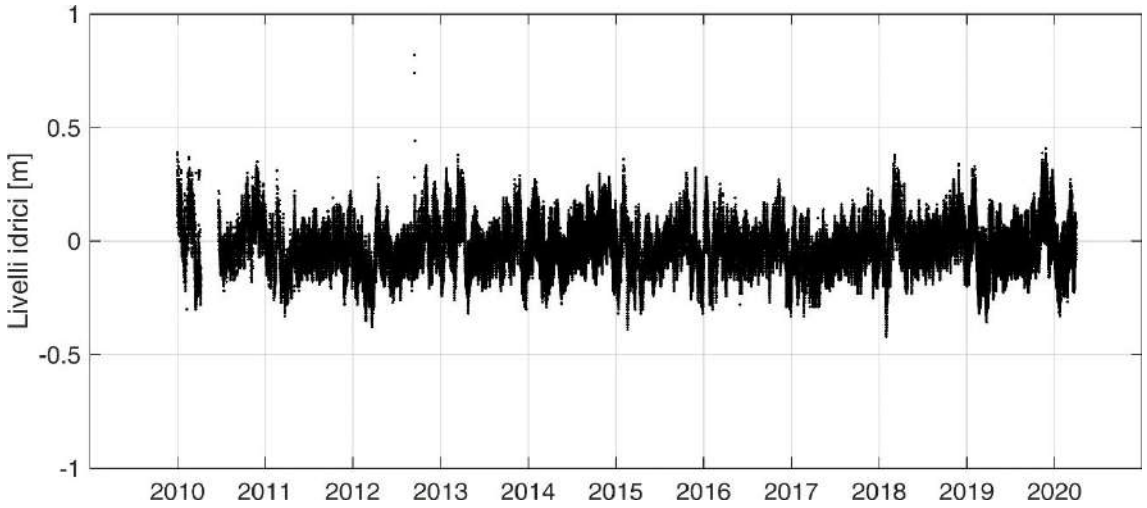


Figura 8.82 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Messina appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

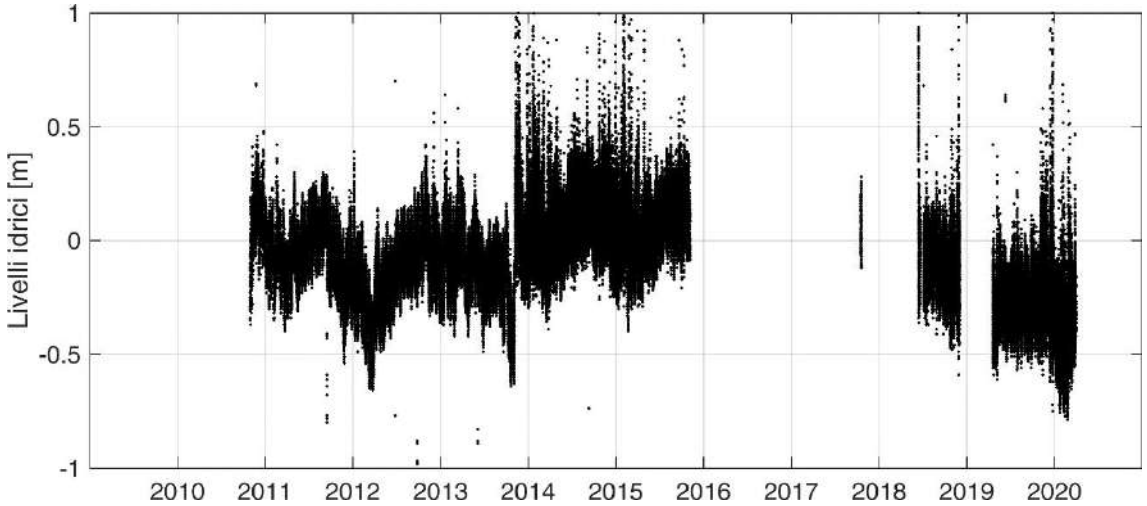


Figura 8.83 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Ginostra appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

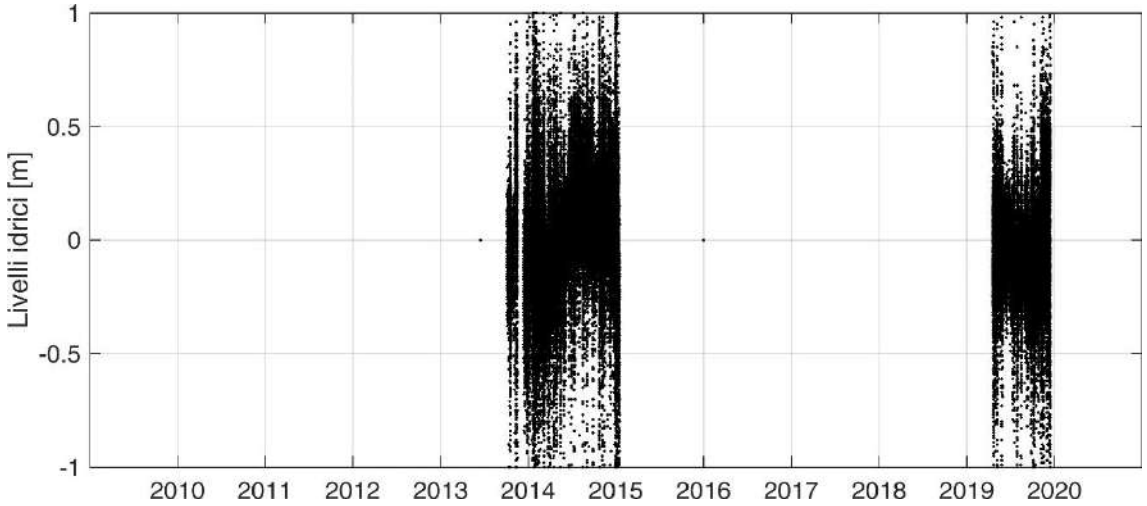


Figura 8.84 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Strombolicchio appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

Gli elementi che forniscono il maggior contributo alla formazione del sovralzo sono, quindi, la pressione atmosferica ed il vento. La pressione atmosferica è data dalla forza che le masse d'aria esercitano sulla superficie terrestre. Tale forza agisce anche sui mari e sugli oceani e li comprime in relazione alla sua intensità: un nucleo di bassa pressione che insiste sopra un bacino esercita una forza ridotta sulla superficie sottostante, con un conseguente incremento del livello marino. Al contrario, un nucleo di alta pressione tende a schiacciare la superficie del mare e ad abbassare il suo livello.

Tale meccanismo è noto come "effetto barometrico inverso". Per avere un'idea del contributo della pressione atmosferica sulla marea basti pensare che, in mare aperto, secondo la teoria idrostatica, ad una diminuzione della pressione atmosferica di 1 hPa (o 1 mbar) corrisponde un innalzamento di circa 1 cm del livello marino.

Il vento, invece, agisce sulla superficie del mare insaccando le acque nel suo verso di propagazione. Se esso soffia verso le coste tende a far aumentare temporaneamente il livello in prossimità dei litorali. Questo fenomeno è noto in letteratura come set-up. Al contrario, se il vento soffia verso il mare tende a far defluire le acque verso il largo, con una diminuzione del livello in vicinanza della costa, ed una conseguente riduzione anche della marea registrata ("Manuale di mareografia e linee guida per i processi di validazione dei dati mareografici", ISPRA, Manuali e Linee Guida 77/2012).

8.4.2 Effetto della marea astronomica

La marea astronomica, dovuta principalmente all'azione esercitata dal campo gravitazionale del sole e della luna sulle masse oceaniche, generalmente, presenta un andamento con due massimi e due minimi durante la giornata, di cui un massimo ed un minimo in genere più accentuati rispetto all'altro.

Per la stima delle oscillazioni dovute alla marea astronomica in una determinata località, si utilizza lo sviluppo della marea in componenti armoniche in cui si assume che il livello ad un certo istante si ottenga come somma di più onde sinusoidali. Il numero delle costituenti armoniche da utilizzare dipende dalla località.

Per il caso in esame sono sufficienti le principali componenti armoniche, indicate da una sigla legata all'origine astronomica: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, S1. L'aggiunta di ulteriori componenti apporterebbe miglioramenti trascurabili, in quanto inferiori a un centimetro, ossia alla incertezza connessa agli errori di misura.

L'esame delle componenti della marea astronomica è stato condotto sulla base di tutti i dati forniti dalle stazioni mareografiche dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Per ciascuna stazione mareografica, dalla Tabella 8.XLV alla Tabella 8.LII sono riportate le principali componenti armoniche della marea risultanti dall'ultima analisi in frequenza disponibile. In particolare, le costanti armoniche, riportate nelle tabelle che seguono, sono state ottenute dall'analisi effettuata sulle misure orarie per il periodo 01 Gennaio 2014 al 31 Dicembre 2014.

Tabella 8.XLV Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Catania (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Componenti armoniche	Periodo	Frequenza	Ampiezza	Fase
	[ore min sec]	[cicli/ora]	[cm]	[gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	1.111	19.79
P1	24 03' 57.20"	0.041	0.502	18.50
K1	23 56' 4.08"	0.042	1.515	28.50
N2	12 39' 30.05"	0.079	1.148	36.53
M2	12 25' 14.16"	0.080	6.433	32.24
S2	11 59' 60.00"	0.083	3.478	38.36
K2	11 58' 2.05"	0.084	0.838	26.67
M4	06 12' 37.08"	0.161	0.064	69.73
MS4	06 06' 12.0"	0.164	0.011	72.45

Tabella 8.XLVI Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Porto Empedocle (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Componenti armoniche	Periodo	Frequenza	Ampiezza	Fase
	[ore min sec]	[cicli/ora]	[cm]	[gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	1.236	52.09
P1	24 03' 57.20"	0.042	0.520	69.43
K1	23 56' 4.08"	0.042	1.840	74.65
N2	12 39' 30.05"	0.079	0.843	65.73
M2	12 25' 14.16"	0.080	4.797	43.40
S2	11 59' 60.00"	0.083	3.523	40.26
K2	11 58' 2.05"	0.084	0.891	34.48
M4	06 12' 37.08"	0.161	0.156	204.28
MS4	06 06' 12.0"	0.164	0.194	236.80

Tabella 8.XLVII Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Sciacca (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Componenti armoniche	Periodo	Frequenza	Ampiezza	Fase
	[ore min sec]	[cicli/ora]	[cm]	[gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	1.175	60.38
P1	24 03' 57.20"	0.042	0.739	66.36
K1	23 56' 4.08"	0.042	2.042	75.19
N2	12 39' 30.05"	0.079	0.889	89.99
M2	12 25' 14.16"	0.081	4.409	69.23
S2	11 59' 60.00"	0.083	3.101	59.56
K2	11 58' 2.05"	0.084	1.097	54.89
M4	06 12' 37.08"	0.161	0.151	222.73
MS4	06 06' 12.0"	0.164	0.209	275.71

Tabella 8.XLVIII Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Lampedusa (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Componenti armoniche	Periodo	Frequenza	Ampiezza	Fase
	[ore min sec]	[cicli/ora]	[cm]	[gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	0.765	69.91
P1	24 03' 57.20"	0.042	0.090	323.91
K1	23 56' 4.08"	0.042	0.664	339.44
N2	12 39' 30.05"	0.079	1.120	19.79
M2	12 25' 14.16"	0.080	7.557	12.81
S2	11 59' 60.00"	0.083	5.085	26.83
K2	11 58' 2.05"	0.084	1.549	27.66
M4	06 12' 37.08"	0.161	0.254	229.38
MS4	06 06' 12.00"	0.164	0.235	258.22

Tabella 8.XLIX Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Palermo (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Componenti armoniche	Periodo	Frequenza	Ampiezza	Fase
	[ore min sec]	[cicli/ora]	[cm]	[gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	1.162	109.47
P1	24 03' 57.20"	0.042	0.998	173.22
K1	23 56' 4.08"	0.042	3.025	181.73
N2	12 39' 30.05"	0.079	2.306	189.79
M2	12 25' 14.16"	0.081	11.502	205.55
S2	11 59' 60.00"	0.083	4.361	227.43
K2	11 58' 2.05"	0.083	1.151	223.26
M4	06 12' 37.08"	0.161	0.386	77.48
MS4	06 06' 12.0"	0.164	0.240	132.30

Tabella 8.L Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Messina (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Componenti armoniche	Periodo	Frequenza	Ampiezza	Fase
	[ore min sec]	[cicli/ora]	[cm]	[gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	0.954	36.1
P1	24 03' 57.20"	0.041	0.092	331.53
K1	23 56' 4.08"	0.042	0.79	259.25
N2	12 39' 30.05"	0.079	0.81	259.25
M2	12 25' 14.16"	0.08	5.156	322.41
S2	11 59' 60.00"	0.083	2.747	349.07
K2	11 58' 2.05"	0.084	0.923	326.01
M4	06 12' 37.08"	0.161	1.48	166.61
MS4	06 06' 12.0"	0.163	1.165	92.12

Tabella 8.LI Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Ginostra (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Componenti armoniche	Periodo	Frequenza	Ampiezza	Fase
	[ore min sec]	[cicli/ora]	[cm]	[gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	0.599	97.30
P1	24 03' 57.20"	0.042	1.015	191.74
K1	23 56' 4.08"	0.042	2.863	186.58
N2	12 39' 30.05"	0.079	1.971	189.74
M2	12 25' 14.16"	0.081	10.904	204.63
S2	11 59' 60.00"	0.083	4.074	223.51
K2	11 58' 2.05"	0.084	1.214	220.35
M4	06 12' 37.08"	0.161	0.430	79.64
MS4	06 06' 12.0"	0.164	0.218	111.62

Tabella 8.LII Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Strombolicchio (fonte ISPRA, serie storica 2014).

Componenti armoniche	Periodo	Frequenza	Ampiezza	Fase
	[ore min sec]	[cicli/ora]	[cm]	[gradi]
O1	25 49' 9.64"	0.039	1.196	115.47
P1	24 03' 57.20"	0.042	0.893	174.49
K1	23 56' 4.08"	0.042	2.809	185.21
N2	12 39' 30.05"	0.079	1.694	199.02
M2	12 25' 14.16"	0.081	10.854	206.89
S2	11 59' 60.00"	0.083	4.424	231.03
K2	11 58' 2.05"	0.084	1.528	204.12
M4	06 12' 37.08"	0.161	0.702	48.30
MS4	06 06' 12.0"	0.164	0.470	77.47

Dalla composizione delle componenti considerate, sono state stimate le escursioni riportate in Tabella 8.LIII.

Tabella 8.LIII Escursione del livello del mare causata dalla marea astronomica sulla base delle componenti armoniche fornite dall'ISPRA.

Stazione	Escursione minima [m]	Escursione massima [m]
Catania	-0.14	0.14
Portopalo di Capo Passero	-0.11	0.13
Sciacca	-0.10	0.13
Lampedusa	-0.16	0.16
Palermo	-0.22	0.24
Messina	-0.11	0.11
Ginostra	-0.20	0.22
Strombolicchio	-0.20	0.23

8.4.3 Effetto della marea meteorologica

Le variazioni del livello medio del mare indotte da cause meteorologiche vengono anche indicate con il termine di marea meteorologica. Come già accennato, le due cause principali che possono dar luogo alle variazioni di livello

sono costituite dalle variazioni di pressione atmosferica rispetto alla pressione al suolo e dall'azione dei venti persistenti sulla superficie del mare al di sopra della piattaforma continentale.

8.4.4 Variazioni di livello del mare per effetto della pressione atmosferica

Per valutare i valori di variazione del livello medio marino si sono ricercati i valori minimi e massimi barometrici registrati per ogni stazione metereologica.

Dalla Figura 8.85 alla Figura 8.92 si riporta la pressione atmosferica rilevata dalle stazioni appartenenti alla Rete Mareografica Nazionale considerate nella presente analisi.

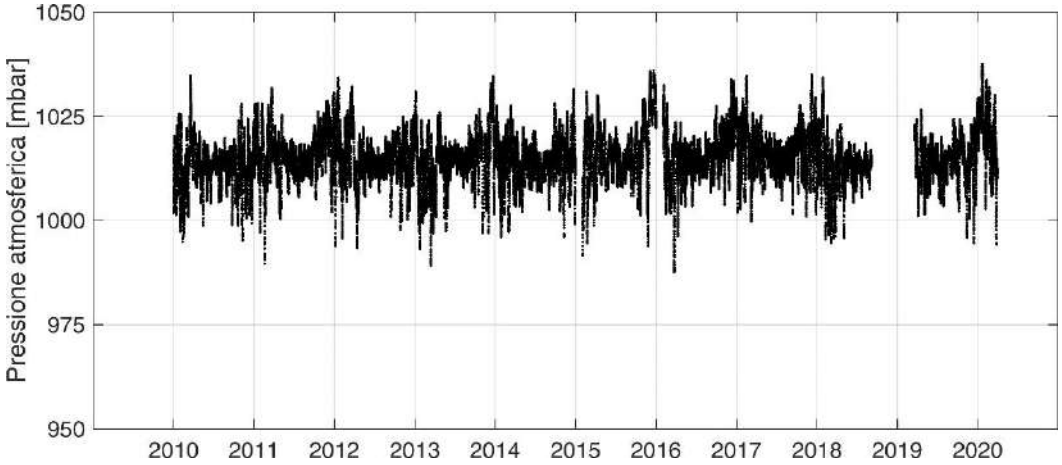


Figura 8.85 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Catania appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

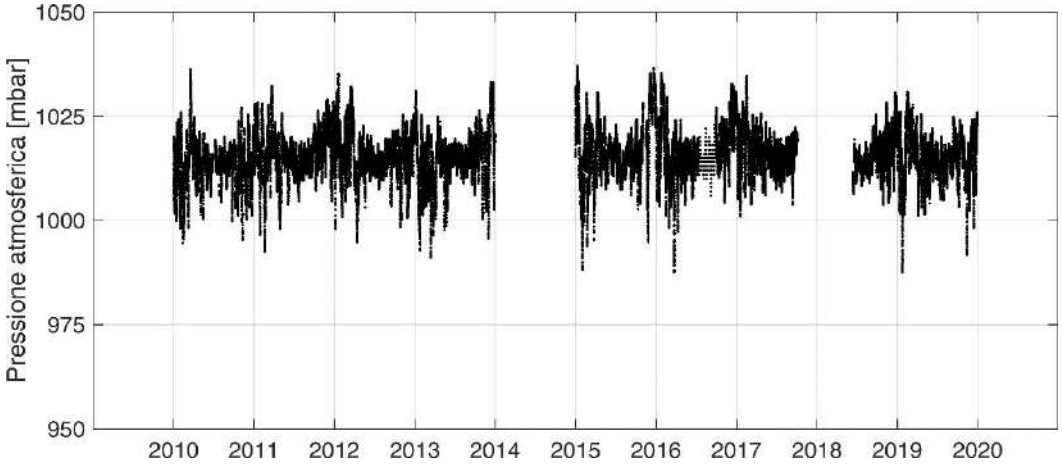


Figura 8.86 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Porto Empedocle appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

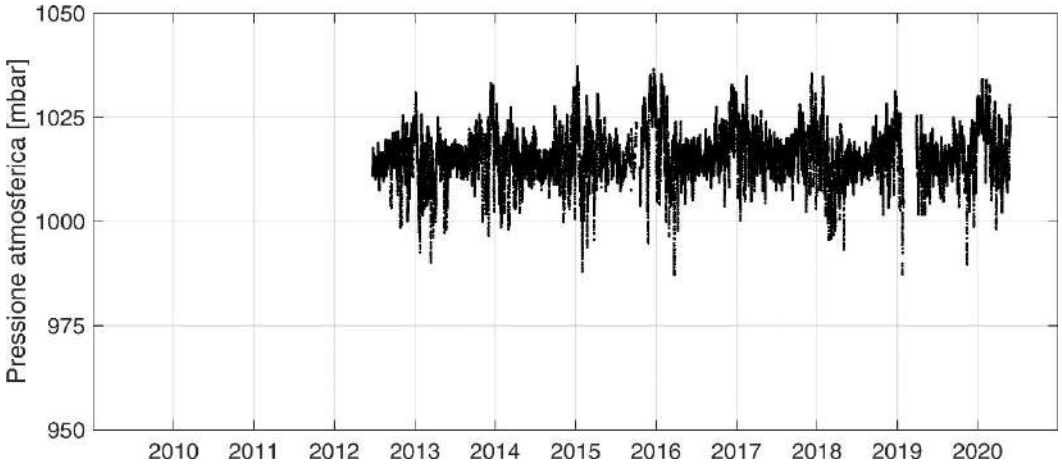


Figura 8.87 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Sciacca appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

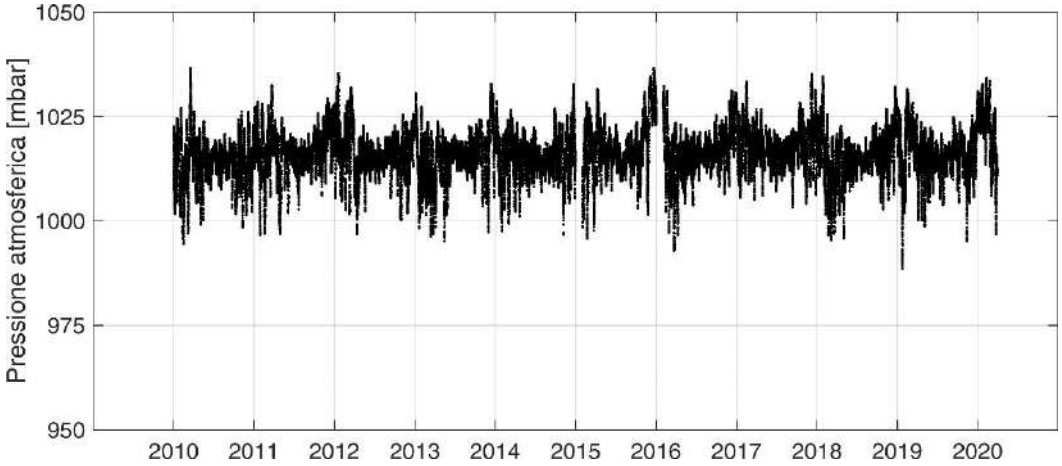


Figura 8.88 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Lampedusa appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

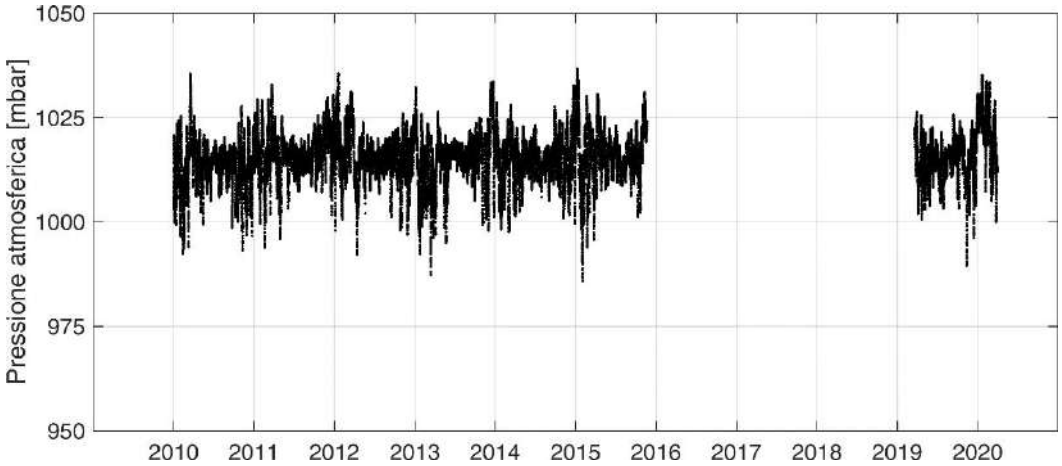


Figura 8.89 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Palermo appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

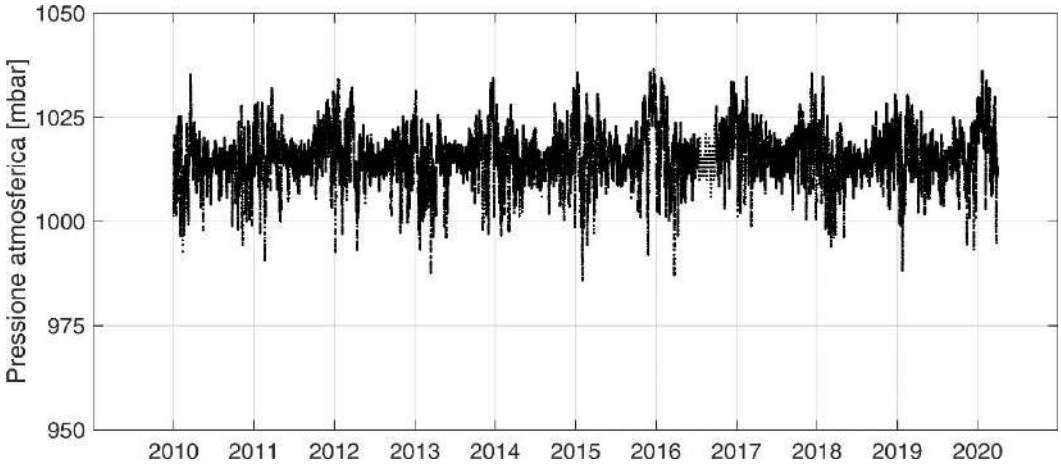


Figura 8.90 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Messina appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

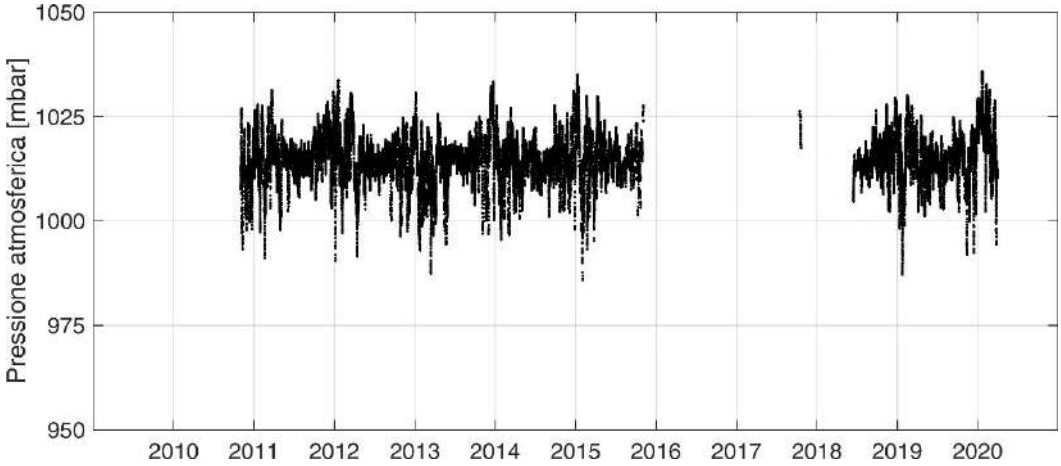


Figura 8.91 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Ginostra appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

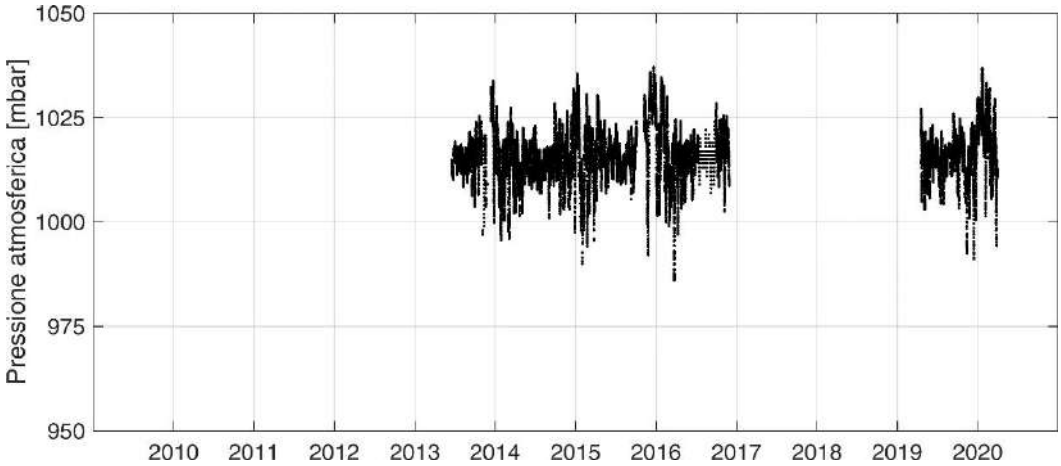


Figura 8.92 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Strombolicchio appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

Nella Tabella 8.LIV si riportano i valori medi e i valori minimi e quelli massimi della pressione atmosferica registrati in ciascuna stazione metereologica insieme

alle corrispondenti variazioni del livello del mare calcolati dalla data di inizio delle registrazioni.

Tabella 8.LIV Valore minimo e massimo della pressione atmosferica registrati in ciascuna stazione mareografica e le corrispondenti variazioni del livello del mare.

Stazione	Numero anni di osservazini	Pressione Min (mbar)	Pressione Max (mbar)	Pressione media (mbar)	Livello medio mare Min (m)	Livello medio mare Max (m)
Catania	11	987.20	1037.50	1015.21	-0.22	0.28
Porto Empedocle	11	987.60	1037.10	1015.65	-0.21	0.28
Sciacca	9	987.30	1037.20	1016.09	-0.21	0.29
Lampedusa	11	988.50	1038.90	1016.39	-0.23	0.28
Palermo	8	985.80	1036.80	1015.55	-0.21	0.30
Messina	11	985.90	1036.60	1015.74	-0.21	0.30
Ginostra	8	985.80	1035.80	1014.94	-0.21	0.29
Strombolicchio	6	986.10	1037.10	1016.23	-0.21	0.30

8.4.5 Variazione di livello del mare per effetto dei venti

Per quanto attiene alla variazione di livello del mare per effetto dei venti, l'azione di essi sulla superficie del mare al di sopra della piattaforma continentale può dar luogo a fenomeni di sovralzo lungo le coste poste sottovento e a corrispondenti abbassamenti lungo quelle sopravento. Questi abbassamenti sono in genere molto modesti e di non agevole determinazione e, dunque, non sono qui valutati.

Per quanto riguarda il sovralzo dovuto alla tempesta, si può ricorrere alla relazione implicita da risolvere iterativamente:

$$S = \left[\frac{KU^2 L}{g(D - d - S)} \right] \ln\left(\frac{D}{d + S} \right)$$

dove g è l'accelerazione di gravità, K è una costante pari a $3 \cdot 10^{-6}$, U è la massima velocità del vento persistente valutata ad una quota di 10 m s.l.m.m., L è l'estensione della piattaforma continentale, D è la profondità media della piattaforma continentale e d è la profondità a cui si effettua il calcolo del sopralzo.

Considerato che l'obiettivo del presente capitolo è quello di fornire una misura delle variazioni del livello del mare, il suddetto metodo empirico è stato applicato per le zone prossime alla stazioni della Rete Mareografica Nazionale caratterizzate da un'estensione della piattaforma continentale maggiore di 1 km. In particolare, nelle analisi si è assunta una velocità del vento corrispondente ad un tempo di ritorno di 50 anni e un valore di *d* ossia della profondità di calcolo del sopralzo pari a 5 m.

Tabella 8.LV Variazione di livello del mare per effetto dei venti calcolato su una profondità pari a *d*=5 m.

Stazione	Velocità del vento persistente [m/s]	Lunghezza della piattaforma continentale [m]	Profondità media della piattaforma continentale [m]	Sovralzo dovuto al vento [m]
Catania	19.27	4000	100	0.02
Portopalo di Capo Passero	17.52	16018	94	0.05
Sciacca	17.60	11884	100	0.03
Palermo	17.91	8307	300	0.01

8.4.6 Sintesi dell'analisi delle variazioni del livello del mare

Le correnti generate dalla marea possono causare impatti modesti sul fenomeno dell'erosione costiera lungo le coste della Sicilia. Tuttavia, per completezza, si è ritenuto opportuno studiare anche tale fenomeno. In particolare, al fine di fornire indicazioni sui livelli del mare, è stata condotta l'analisi sulle componenti della marea, sia astronomica che meteorologica. Per tale analisi si è fatto riferimento ai dati rilevati dalle stazioni della Rete Mareografica Nazionale gestite dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) site a: Catania, Porto Empedocle, Sciacca, Lampedusa, Palermo, Messina, Ginostra e Strombolicchio.

Le analisi sulla marea astronomica, ossia sulla componente dovuta principalmente all'azione esercitata dal campo gravitazionale del sole e della luna sulle masse oceaniche, hanno consentito di rilevare quanto segue: le oscillazioni del livello del mare sono comprese tra -0.15 m e 0.15 m per le stazioni localizzate nel Mar Ionio e nel Canale di Sicilia. Si rilevano, invece, valori tra -0.22 m e 0.24

m per le stazioni posizionate nel Mar Tirreno, ossia per le stazioni di Palermo, Ginostra e Strombolicchio.

Per quanto concerne la marea meteorologica e, in particolare, la componente dovuta alle variazioni della pressione atmosferica, sono state stimate oscillazioni pressoché simili per tutte le stazioni analizzate. In particolare, è stato stimato un valore minimo del livello del mare pari a -0.22 m e un valore massimo pari a 0.30 m.

La componente dalla marea meteorologica determinata dal vento ha un basso impatto sulla variazione del livelli con valori stimati al più pari a 0.05 m.

Tabella 8.LVI Escursione minima e massima dovuta alla marea astronomica e la marea meteorologica.

	Variazioni di livello del mare per effetto della marea astronomica		Variazioni di livello del mare per effetto della pressione atmosferica		Variazioni di livello del mare per effetto del vento	Variazioni di livello del mare per effetto della marea astronomica e la marea meteorologica	
Stazione	Escursione minima [m]	Escursione massima [m]	Escursione minima [m]	Escursione massima [m]	Escursione massima [m]	Escursione minima [m]	Escursione massima [m]
Catania	-0.14	0.14	-0.22	0.28	0.02	-0.36	0.44
Porto Empedocle	-0.11	0.13	-0.21	0.28	0.05	-0.32	0.46
Sciacca	-0.10	0.13	-0.21	0.29	0.03	-0.31	0.45
Lampedusa	-0.16	0.16	-0.23	0.28	0.00	-0.39	0.44
Palermo	-0.22	0.24	-0.21	0.30	0.01	-0.43	0.55
Messina	-0.11	0.11	-0.21	0.30	0.00	-0.32	0.41
Ginostra	-0.20	0.22	-0.21	0.29	0.00	-0.41	0.51
Strombolicchio	-0.20	0.23	-0.21	0.30	0.00	-0.41	0.53

Come si evince dall'analisi della Tabella 8.LVI, l'escursione minima risulta essere prossima a circa -0.43 m mentre l'escursione massima a 0.55 m. Tali valori determinano l'insorgere di correnti caratterizzati da intensità tali che l'effetto sul trasporto solido può ritenersi trascurabile.

8.5 Analisi del trasporto solido fluviale

8.5.1 Denudazione dei versanti e trasporto solido

I processi di denudazione includono tutti quei fenomeni che agiscono sulle terre emerse e che sono responsabili del progressivo smantellamento del rilievo e successivo trasferimento al sistema marino del detrito prodotto. In un sistema morfoclimatico di tipo umido quale quello siciliano, i processi di denudazione dominanti sono quelli associati all'azione dei processi controllati dall'azione delle acque di ruscellamento e della forza di gravità. L'interpretazione dei segnali di avanzamento/arretramento/stasi della linea di costa richiede dunque la stima dell'apporto di sedimento da terra ad opera dei bacini idrografici con foce al tratto preso in considerazione. Infatti, al budget di sedimento proprio della morfodinamica marino-costiera, con perdite al largo fuori costa e trasferimenti litoranei ad opera del moto ondoso e della deriva, si sovrappone l'apporto che i corsi d'acqua garantiscono attraverso il trasporto fluviale. I corsi d'acqua svolgono infatti un ruolo fondamentale nell'assicurare le relazioni di trasferimento tra detrito prodotto dagli agenti dell'erosione sulle terre emerse e sistema marino – costiero (Figura 8.93).

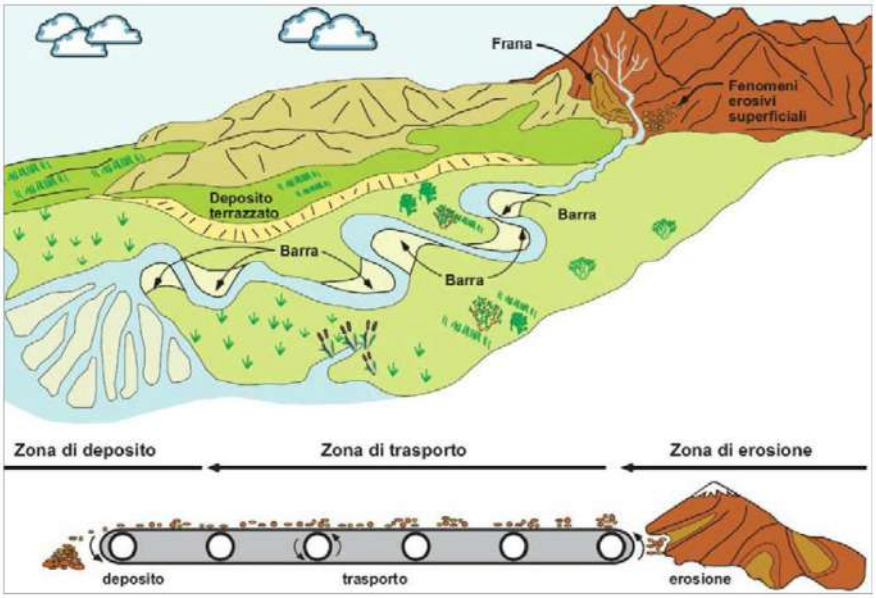


Figura 8.93 Il corso d'acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti (ISPRA, 2016).

I processi che avvengono sui versanti e che alimentano di sedimento la rete idrografica sono essenzialmente riconducibili ai fenomeni di erosione idrica

(processi di dilavamento) ed a quelli gravitativi (frane, soliflusso, reptazione, caduta di detrito): i fenomeni di erosione idrica sono quelli legati all'azione delle correnti di tipo *overland*, nei differenti gradi di convergenza del flusso idrico: *sheet, rill, gully erosion*; i fenomeni gravitativi, ed in particolare il soliflusso e le frane di scorrimento e colamento, sono in grado di mobilizzare in un solo evento deformativo grandi quantità di suolo, esponendo all'azione degli stessi fenomeni di dilavamento notevoli quantità di detrito a maggiore grado di erodibilità (per modificazione della struttura e delle stesse proprietà meccaniche), al tempo stesso modificando la morfologia del versante, con un generale incremento del potere erosivo del flusso idrico.

Caso particolare, quanto evidentemente eclatante negli effetti, è quello legato alle frane di piede o basali, le quali portano direttamente sulla rete fluviale il detrito mobilizzato, esponendolo all'azione diretta dell'erosione fluviale, così come quello dei fenomeni di *debris flows* e *debris flood* (Hungr et al., 2001), le cui miscele acqua/detrito impegnano ed attraversano direttamente la rete fluviale, dotate di un elevato potere erosivo (per velocità, volume e densità) che le rende in grado di trascinare il detrito al fondo, in molti casi fino a raggiungere la foce.

I processi fluviali sono legati al deflusso incanalato all'interno dei segmenti fluviali principali. All'interno del dominio fluviale si realizzano infatti fenomeni di erosione/trasporto/deposito del detrito proveniente dai processi di versante, così come di incisione ed erosione laterale a spese dello stesso sistema letto/sponde.

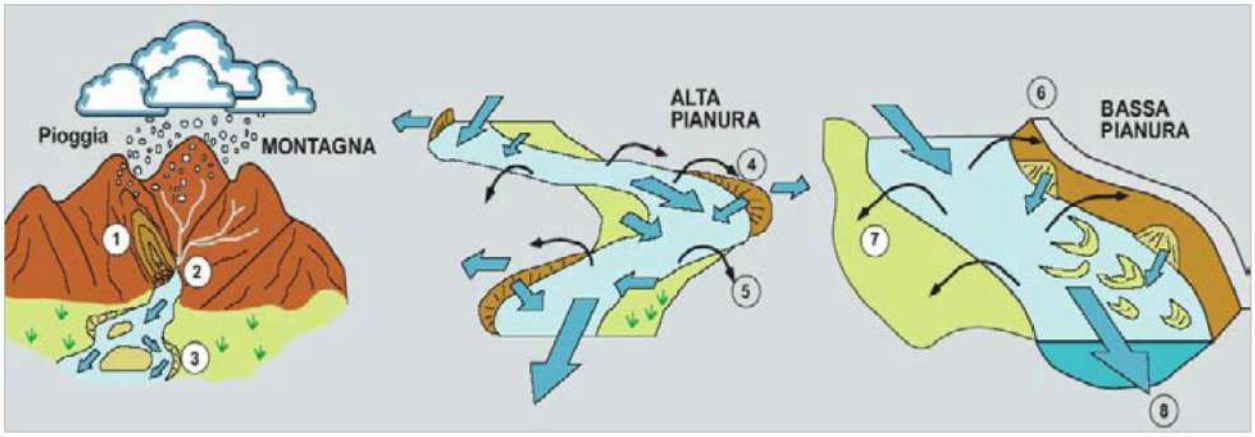


Figura 8.94 Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico. Zona montana di produzione di sedimenti: (1) frane; (2) alimentazione ed eventuale sbarramento da parte dei sedimenti in alveo; (3) sedimentazione in alveo ed erosione delle sponde. Zona di trasferimento di sedimenti (alta pianura): (4) erosione delle sponde ed accrezione delle barre; (5) costruzione delle sponde per tracimazione. Zona di accumulo di sedimenti (bassa pianura): (6) erosione delle sponde per movimenti di massa; (7) deposizione di sedimenti fini nella piana inondabile; (8) trasporto di wash load dei sedimenti fini al mare (ISPRA, 2016).

Le relazioni tra apporti in alveo e capacità morfodinamica della corrente dipendono naturalmente dall'energia a disposizione del corso d'acqua (Figura 8.95), potendosi definire condizioni *transport limited*, nelle quali la potenza della corrente è inferiore a quella necessaria a prendere in carico il detrito proveniente dai versanti, e di *supply limited*, nella quale la potenzia della corrente è superiore a quella necessaria e, dunque, è disponibile una quota residua per erodere per incisione il letto stesso, come nelle aste montane. Un caso intermedio si presenta nei tratti medio vallivi, nei quali in corrispondenza di una pareggio tra le due aliquote, può attivarsi un meccanismo di erosione laterale.

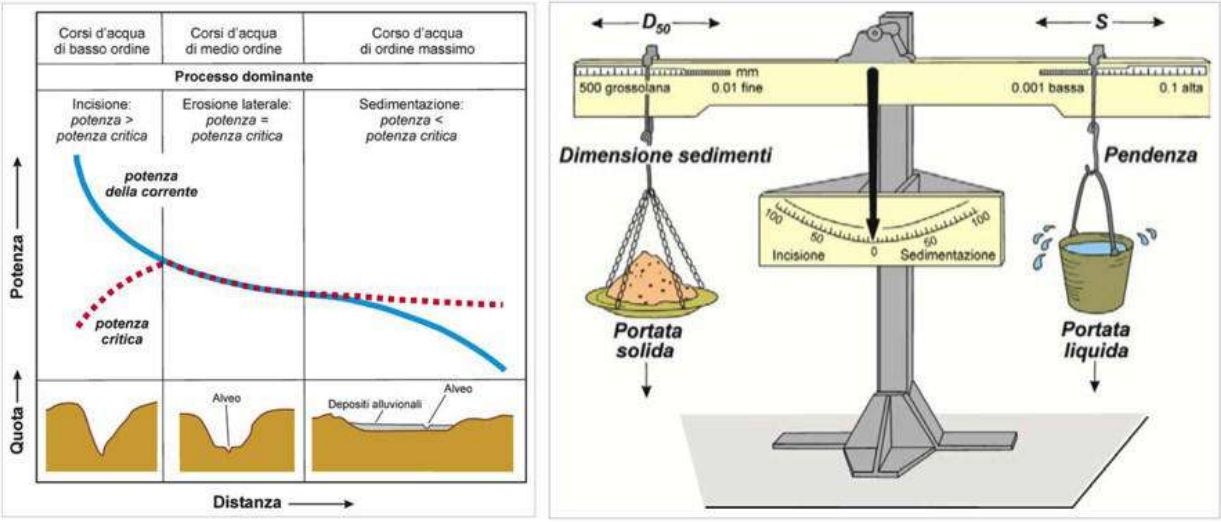


Figura 8.95 Diagramma schematico del rapporto tra potenza e potenza critica della corrente (ISPRA, 2016; modificato da BULL, 1979) e modello concettuale di Lane (1955).

La resa solida di un bacino idrografico (*sediment yield, SY*) è in generale dovuta ai processi di versante e ai processi fluviali di trasporto solido lungo i corsi d'acqua (Figura 8.94). Tra le varie tipologie di materiale trasportato dai corsi d'acqua, il ruolo più importante nel determinare modificazioni della linea di costa sul tratto tributario è giocato dal detrito fluviale più grossolano trasportato sul fondo (rotolamento e trascinamento) o in prossimità (saltazione), mentre il ruolo del trasporto torbido (sospensione) ha un effetto semmai al più indiretto in virtù della maggiore competenza della corrente idrica al crescere della sua densità. Le frazioni più fini, infatti, sono destinate ad essere comunque trasferite al sistema marino al largo oltrepassando il sistema marino-costiero in senso stretto. Le dimensioni del detrito trasportato sono d'altra parte determinate dalle caratteristiche delle rocce erose in termini di struttura e tessitura, le quali condizionano le dimensioni dei singoli frammenti elementari di detrito prodotto al momento dell'erosione, così come delle successive modificazioni a seguito del trasporto sul fondo.

8.5.2 I fattori di condizionamento

L'efficacia con la quale si realizzano i meccanismi di erosione e trasferimento alla foce del detrito prodotto a spese delle aree emerse dipende essenzialmente dall'energia a disposizione dei processi di produzione (disfacimento, erosione idrica e frane) e di trasferimento (erosione e trasporto fluviale) del sedimento,

da un lato, dalla resistenza meccanica che le rocce l.s. affioranti offrono nei confronti delle azioni degli stessi agenti di erosione e trasporto.

Da questo punto di vista, è essenziale tenere in considerazione che l'energia a disposizione dell'intero processo è in generale frutto sia della conformazione idromorfologica dei bacini idrografici, sia dello spettro di energia della forzante pluviometrica, con una ulteriore complessità legata al fatto che i pattern di pioggia più efficaci per i processi erosivi per dilavamento, per frana e di trasporto fluviale coincidono solo parzialmente; così che si possono avere eventi particolarmente erosivi, il cui detrito non raggiunge i canali fluviali principali e, dunque, non contribuisce alla resa alla foce. Viceversa, possono realizzarsi eventi di poggia in grado di attivare un elevato deflusso in alveo, senza necessariamente comportare un'elevata erosività in termini di dilavamento. Questo comportamento è alla base del concetto di *Soil Delivery Ratio* (*SDR*), che definisce appunto il rapporto tra il detrito prodotto e quello reso in uscita per una determinata area in uno stesso intervallo temporale.

Allo stesso tempo, tutti i processi cui di sopra si è fatto riferimento si caratterizzano per un'evoluzione che va letta su due scale di magnitudo differenti: la prima, pur modulata stagionalmente, fa riferimento alle condizioni stazionarie di lungo termine; la seconda è invece caratterizzata dalle pulsazioni di elevata intensità (eventi estremi) che presentano tipicamente una ricorrenza misurabile nell'arco, al minimo, di alcuni anni. Questi ultimi eventi sono spesso in grado, non solo di produrre risposte del sistema (maggiore/minore erosione, maggiore/minore capacità di trasporto, maggiore/minore intensità del moto ondoso, maggiori/minori modificazioni della linea di costa) in grado, per ampiezza, di "oscurare" le risposte al regime stazionario modulato, ma sono in grado di produrre vere e proprie modificazioni del sistema (assetto della spiaggia, assetto idromorfologico del sistema fluviale) che prendono la forma di veri e propri eventi formativi, successivamente ai quali il comportamento del sistema cambia.

8.5.3 Valutazione del quadro regionale

8.5.3.1 Caratterizzazione del sistema dei bacini idrografici e delle unità fisiografiche recipienti in termini di variazione recente della linea di costa

Utilizzando i dati acquisiti presso ISPRA, relativi alle variazioni recenti della linea di costa, e le relazioni di connessione idromorfologica tra bacini idrografici e tratti costieri recipienti, si sono realizzate delle ricostruzioni dell'andamento della linea di costa negli intervalli 1960-1994 e 1994-2012. Dal confronto tra le linee di costa del 1960, del 1994 e del 2012, ISPRA ha infatti ricavato per sovrapposizione una serie di poligoni di arretramento ed avanzamento.

L'archivio delle variazioni 1960-1994 è costituito da 410 poligoni, di cui 233 indicatori di arretramento, per un'area di 12.06 km^2 e 177 di avanzamento, per un'area di 6 km^2. L'archivio delle variazioni 1994-2012 è invece costituito da 604 poligoni, di cui 356 in arretramento, per un'area di 3.98 km^2 e 248 in avanzamento, per un'area di 1.58 km^2. Nel complesso, alla scala regionale si evince un trend nel cinquantennio 1960 – 2012 che vede una perdita di poco meno di 10 km^2, con un'evidente maggiore attività morfodinamica, sia in arretramento che in avanzamento nel periodo 1960-1994. Si tratta evidentemente di un dato cumulato che nulla dice circa gli eventi locali di forte arretramento o di modificazione/deposizione su alcuni tratti di spiaggia, utile semmai per la valutazione di un bilancio generale tra il segnale osservato di perdita di costa ed i fenomeni che controllano il budget di sedimento lungo costa.

Poiché l'avanzamento/arretramento locale alla foce di un bacino idrografico è certamente influenzato dall'eventuale effetto di deriva litoranea o di trasporto al largo da parte del moto ondoso, una prima analisi degli eventuali effetti di maggiore/minore apporto solido è stata condotta associando i poligoni di variazione prodotti da ISPRA alle unità fisiografiche di III ordine (di seguito, UF3), la cui area di avanzamento/arretramento è stata sommata ed il valore diviso per la lunghezza dell'UF3 di appartenenza, in questo modo ottenendo un segnale di variazione medio lungo l'UF3, direttamente espresso in metri lineari (Figura 8.96).

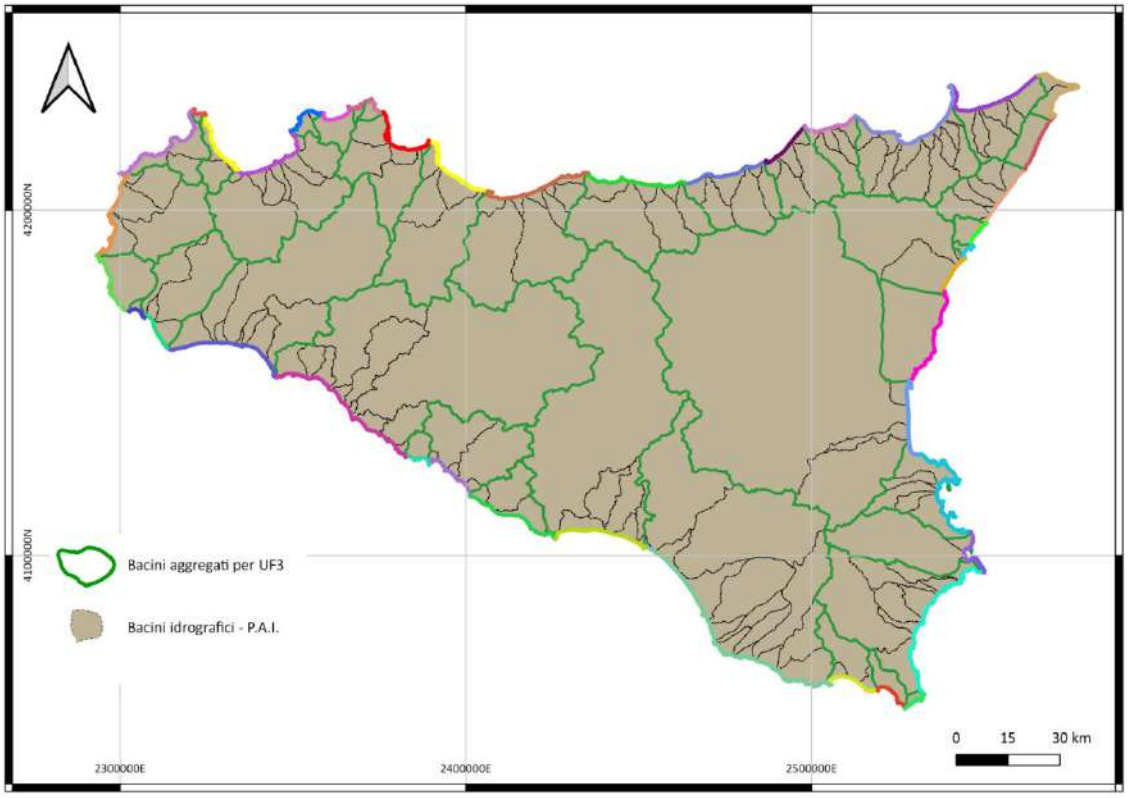


Figura 8.96 Suddivisione del territorio siciliano in bacini idrografici e individuazione lungo costa delle UF3.

Nel periodo 1960-1994 (Figura 8.97) si assiste ad un forte arretramento (arretramenti medi superiori a 15m) del settore tirrenico nebroideo, così come del tratto centrale dei Bacini Torto - Imera sett. E Salso; in arretramento risultano tanti

Leggero avanzamento (e.g., Belice, Simeto, Acate, Ipparo, Lentini, Anapo), con il caso di forte avanzamento sul messinese ionico.

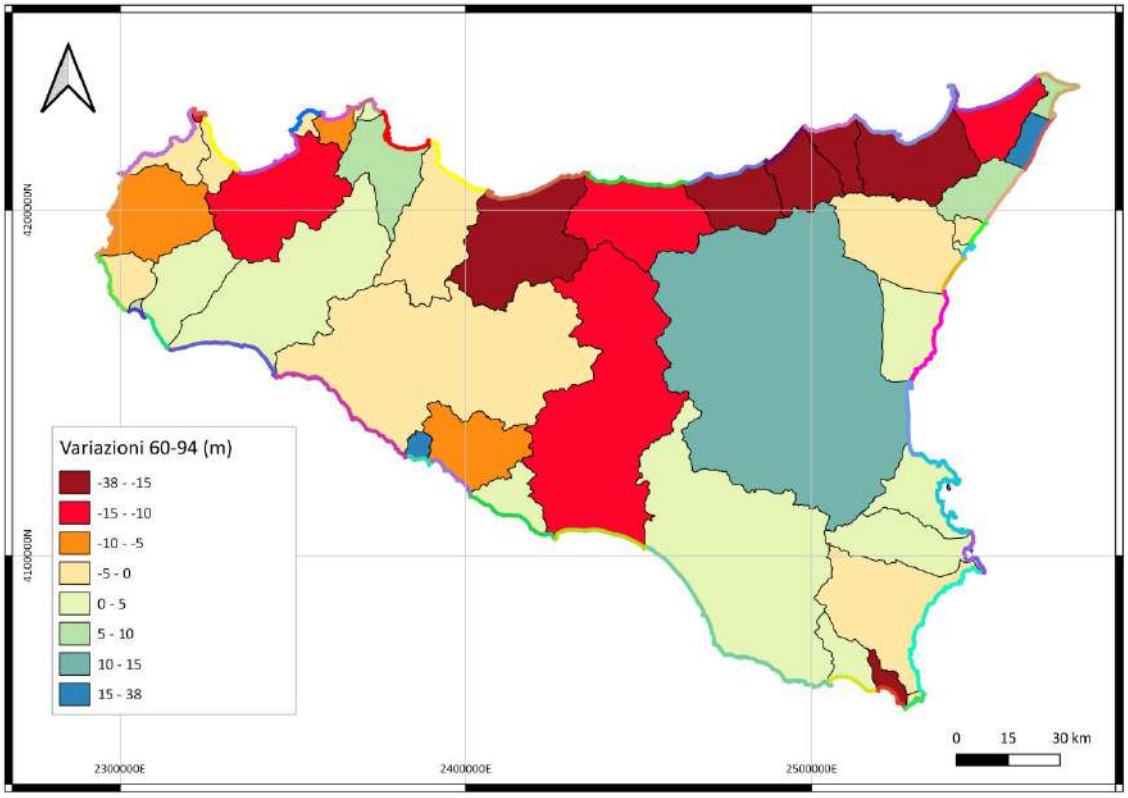


Figura 8.97 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UF3) costieri nel periodo 1960-1994.

Nell'intervallo 1994-2012 (Figura 8.98), il quadro cumulato sulle UF3 vede un incremento delle UF3 soggette ad arretramento, sia pure con intensità decisamente minore di quella osservata nel periodo 1960-1994. In particolare, sul versante ionico si osserva il passaggio da generali condizioni di avanzamento o moderato arretramento a prevalente arretramento, con i casi evidenti del messinese ionico e del Simeto. Analogo comportamento, sul versante Africano viene mostrato dalla UF tributaria del Fiume Belice, con passaggio da stato in avanzamento ad arretramento. Sul settore nord-occidentale si osserva poi una diminuzione dell'arretramento, più accentuata lungo il settore tirrenico nebroideo, dove si osservano anche casi di passaggi da arretramento ad avanzamento (e.g., Fiumare Zappulla e Rosmarino).

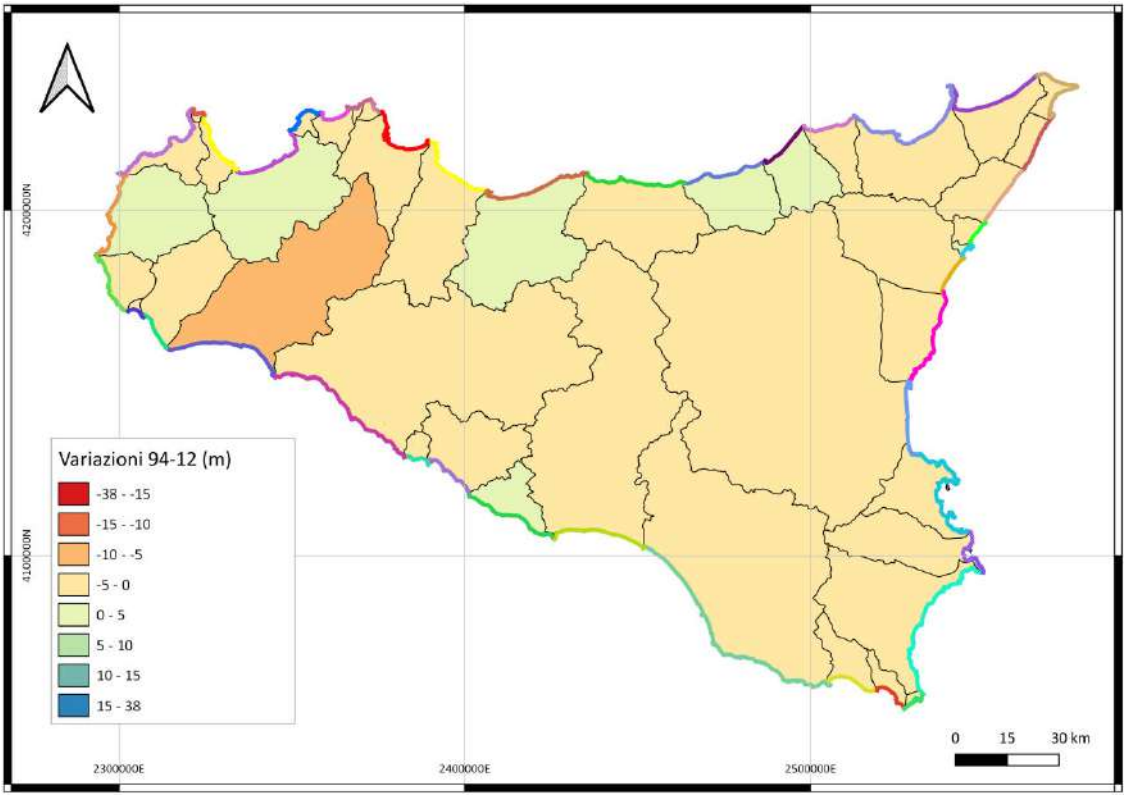


Figura 8.98 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UF3) costieri nel periodo 1994-2012.

Confrontando per ciascuna UF3 il comportamento cumulato nei due intervalli di tempo, emerge come si riscontrino comportamenti coerenti, parzialmente coerenti ed incoerenti per i gruppi di bacini alimentanti uno stesso tratto costiero, così come messo in evidenza dal grafico (Figura 8.99) che mette in relazione le variazioni osservate per gli stessi gruppi di bacini o UF. Le variazioni nell'intervallo 1960-1994 si confermano mediamente più marcate anche alla scala delle UF3.

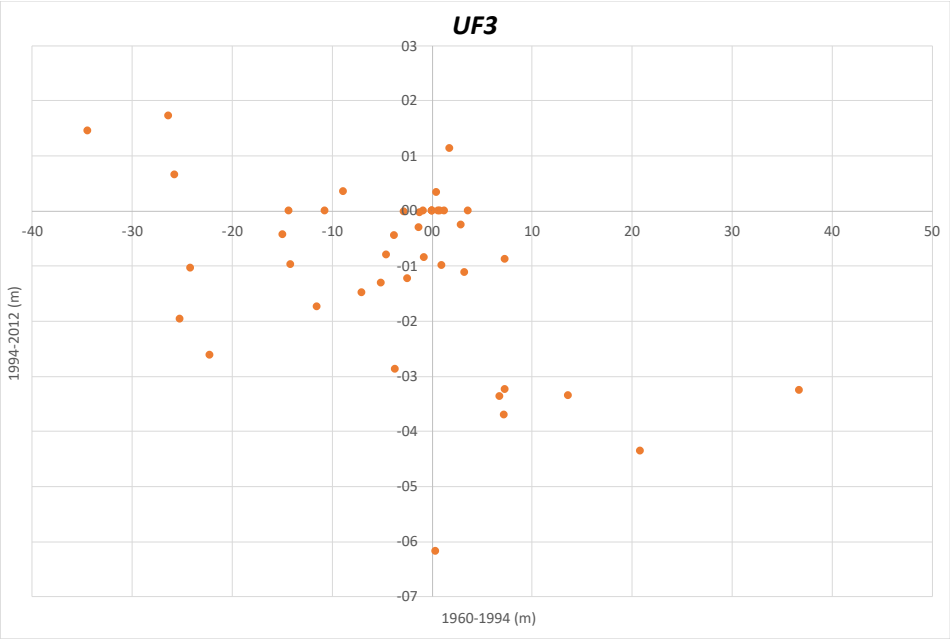


Figura 8.99 Confronto tra le variazioni di linea di costa osservate negli intervalli 1960-1994 e 1994-2012 sulle unità fisiografiche di III ordine.

Al fine di procedere ad un'analisi secondo unità fisiografiche maggiormente in grado di verificare il bilancio di sedimento lungo costa, tenendo anche conto delle differenze a terra tra i bacini idrografici tributari delle UF, si è proceduto ad un ulteriore accorpamento delle UF3, in modo da cumulare gli effetti su unità fisiografiche maggiormente in grado di garantire condizioni di omogeneità e bilancio. A tal fine si sono accorpate le UF3 a costituire delle UF di ordine superiore alle quali di seguito si farà riferimento come UFGEO.

Nell'intervallo di tempo 1960-1994, il segnale avanzamento/arretramento ottenuto per le UFGEO (Figura 8.100) mostra il forte arretramento del settore tirrenico nebroideo, con arretramenti significativo anche per quello madonita e minori per Castellammare ed il Canale di Sicilia. A mostrare segni di avanzamento sono invece le UFGEO Simeto, Palermo ed il tratto ionico peloritano.

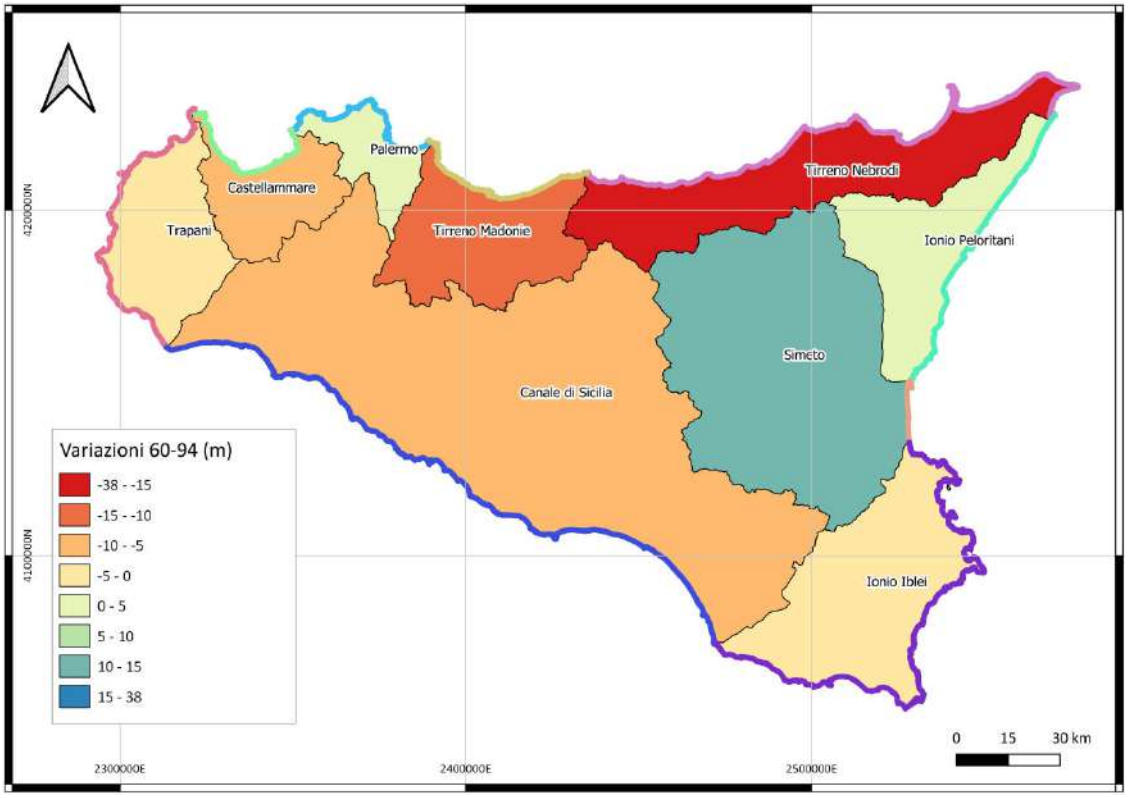


Figura 8.100 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UFGEO) costieri nel periodo 1960-1994.

Nell'intervallo di tempo 1994-2012, si conferma una marcata minore tendenza all'arretramento, che tuttavia interessa sistemicamente tutte le UFGEO, con l'eccezione di quella di Castellammare e Tirreno Madonie, per le quali si registra un moderato avanzamento (Figura 8.101).

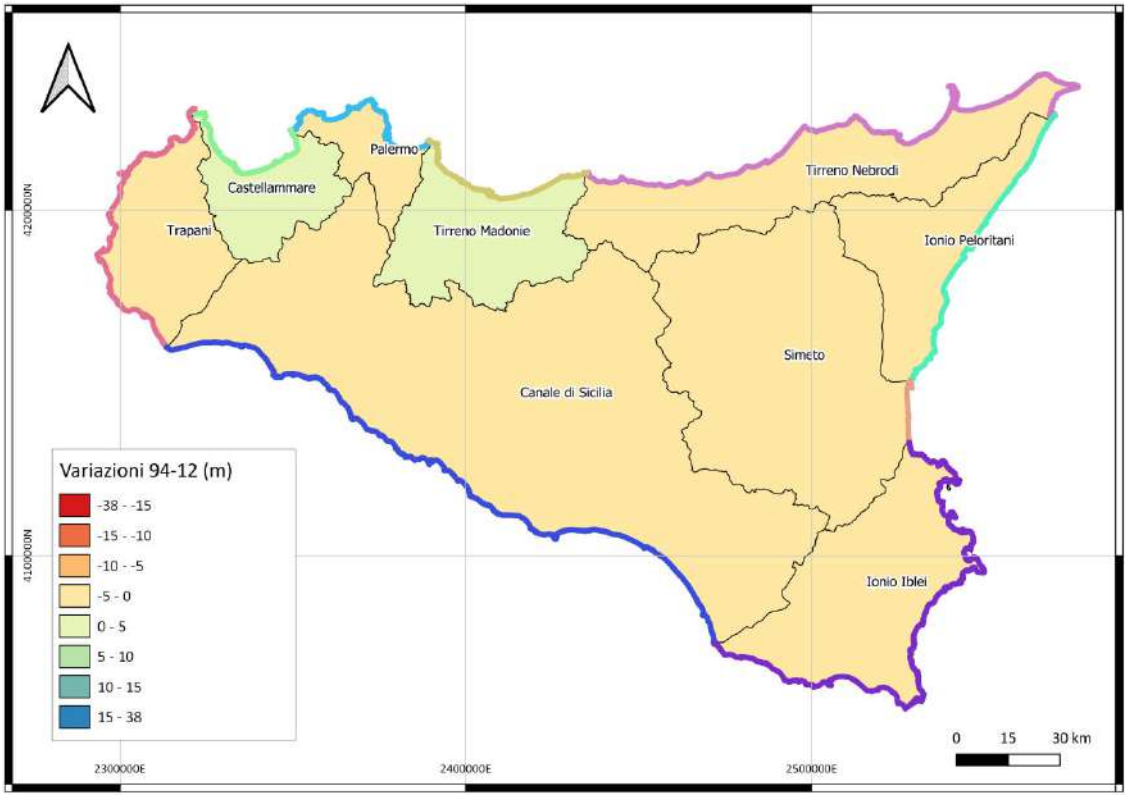


Figura 8.101 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UFGEO) costieri nel periodo 1994-2012.

Anche per le UFGEO si riscontrano nei due periodi andamenti estremamente variabili nei due periodi, con l'eccezione delle UFGEO Tirreno-Nebrodi e Canale di Sicilia che risultano coerentemente in prevalente arretramento (Figura 8.102).

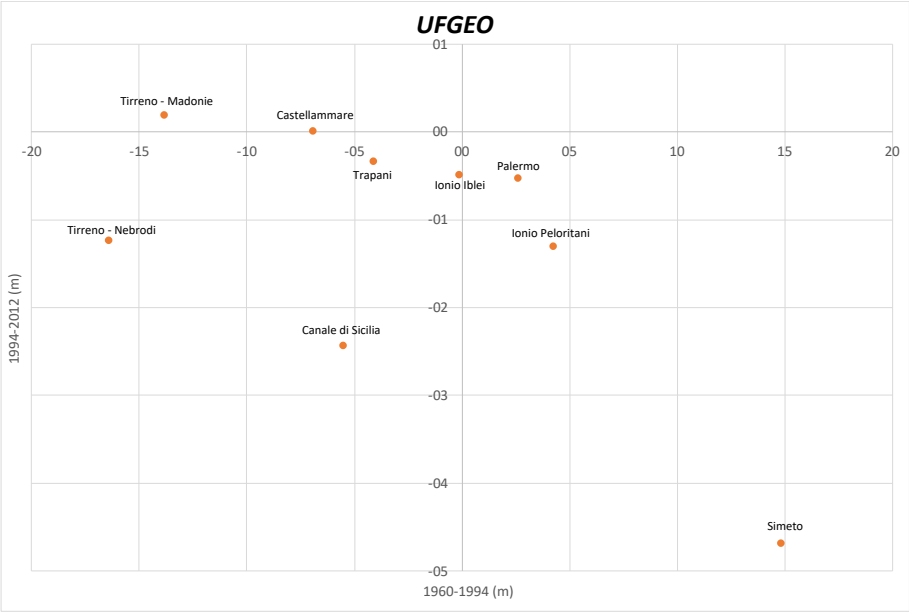


Figura 8.102 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UF3) costieri nel periodo 1960-1994.

8.5.3.2 Stima del trasporto solido (modelli RUSLE2015 e WaTEM/SEDEM)

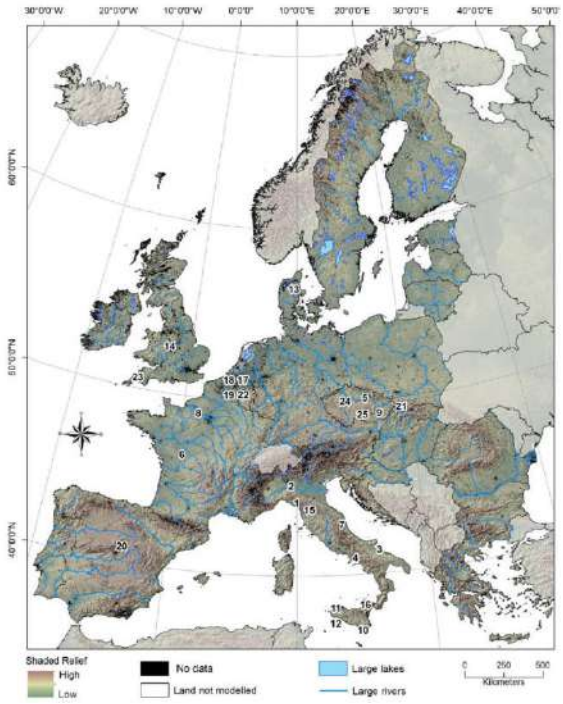
Il modello WaTEM/SEDEM (Van Oost et al., 2000; Van Rompaey et al., 2001) è stato implementato ed applicato presso il Joint Research Centre (JRC), organo tecnico della Commissione Europea ed in particolare dal gruppo ESDAC (European Soil DAta Centre), per ottenere una stima della perdita e del trasferimento di suolo su tutto il territorio dell'Unione (Borrelli et al., 2018).

Il modello integra due componenti che simulano la perdita di suolo ed il suo trasporto in direzione del flusso, assumendo in questo modo, a partire da una struttura RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) di tipo empirico, un carattere distribuito, attraverso l'utilizzo della modellazione idro-morfologica del ruscellamento.

Per ciascuna cella analizzata, a partire da una stima della perdita di suolo (t ha^{-1} $anno^{-1}$), ottenuta utilizzando l'approccio empirico RUSLE, sfruttando attributi topografici secondari in grado di verificare la connettività idrologica e di stimare la capacità di trasporto del flusso per ruscellamento superficiale (*Transport Capacity*), viene valutata l'efficienza del trasferimento (*routing*) del sedimento attraverso la cella.

L'applicazione del metodo WaTEM/SEDEM consente dunque di valutare, per ciascuna cella analizzata: il trasferimento attraverso i suoi limi sopra-flusso (IN), la perdita locale di suolo (LOSS) e la capacità di trasporto verso flusso (OUT). La sommatoria di queste tre componenti consente di stimare il budget totale in termini di erosione (OUT>IN+LOSS) o sedimentazione (OUT<IN+LOSS) netta; in quest'ultimo caso avremo formazione prevalente di colluvio (IN>LOSS) o di eluvio (LOSS>IN). L'output finale del modello assegna dunque a ciascuna cella un valore che è negativo, ove prevale l'erosione, ovvero il trasferimento verso valle del sedimento, e positivo, per le celle nelle quali ci si aspetta invece il deposito dello stesso. In questo modo, analizzando il dato a scala di unità fisiografica, ad esempio alla scala di bacino, è possibile stimare la resa totale di sedimento (*Sediment Yield, SY*) come sommatoria del budget delle celle racchiuse. Il rapporto tra questo valore e quello dell'erosione totale stimato con RUSLE, permette d'altra parte di valutare anche il rapporto di trasferimento alla foce del sedimento eroso ovvero del *SDR*.

Borrelli et alii (2018) hanno calibrato la resa stimata con il modello WaTEM/SEDEM con i valori osservati su una serie di bacini (Figura 8.103), per i quali erano disponibili misure di produzione di sedimento in uscita agli immissari di una serie di invasi artificiali, corrispondenti al loro interrimento medio annuo. In particolare, sono stati utilizzati 25 serbatoi, utilizzando dati di letteratura e ricalcolati, tra i quali quattro serbatoi siciliani: Disueri, Prizzi, Gammauta e Ancipa.



Code no.	Name	Country	Area km^2	Observed SSY Mg ha^{-1} yr^{-1}	Arable land %
1	Mignano	Italy	87	12.8	39 (l)
2	Molato	Italy	81	10.1	48 (l)
3	Locone	Italy	245	1.7	62 (e)
4	Letino	Italy	13	0.5	8 (l)
5	Vrchlice	Czech Republic	97	0.46	60 (l)
6	Le Louroux	France	24	0.71	67 (e)
7	Scandarella	Italy	39	4.9	25 (l)
8	Austreberthe	France	206	0.16	61 (e)
9	Bilovice	Czech Republic	32	1.46	78 (e)
10	Disueri	Italy	189	16.8	57 (e)
11	Prizzi	Italy	21	5.7	77 (l)
12	Gammauta	Italy	91	1.6	52 (l)
13	Gelbaek	Denmark	12	0.8	95 (l)
14	Kyre Pool	UK	3	0.9	18 (l)
15	Santa Luce	Italy	40	9.2	70 (l)
16	Ancipa	Italy	50	5.6	0 (l)
17	Hammeveld2	Belgium	0.3	11.1	100 (l)
18	Hammeveld1	Belgium	0.3	5.9	100 (l)
19	Ganspoel	Belgium	1	4.8	87 (e)
20	Pareja	Spain	88	0.23	25 (l)
21	Brzezowa	Poland	5	0.01	5 (e)
22	Kinderveld	Belgium	3	3.78	82 (e)
24	Nemcice reservoir	Czech Republic	80	0.74	65 (e)
25	Hamry reservoir	Czech Republic	55	0.82	23 (l)

(e) estimated, (l) litterature.

Figura 8.103 Ubicazione dei serbatoi artificiali utilizzati per la calibrazione del modello WaTEM/SEDEM.

Nella procedura sviluppata in seno all'ESDAC, la valutazione dell'erosione del suolo in viene fatta applicando la classica procedura RUSLE, secondo la

$$E = R \cdot K \cdot LS_{2D} \cdot C \cdot P \quad (1)$$

per il cui calcolo, si sono utilizzati i seguenti layer definiti alla scala dell'intero territorio dell'Unione Europea ed attualizzati al 2015:

il fattore **R** (MJ mm ha^{-1} h^{-1} anno^{-1}) è calcolato a partire dai dati di pioggia (durate 5, 10, 15, 30 e 60 min) acquisiti su 1541 stazioni pluviometriche (Panagos et al., 2015);

il fattore **K** (Mg ha h anno^{-1} ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}) stato stimato sulla base dei 20,000 campioni analizzati nel progetto LUCAS (Land Use/Cover Area frame; Toth et al., 2013), i cui valori puntuali sono poi stati interpolati per produrre una carta del fattore K a cella 500m (Panagos et al., 2014).

il fattore $\mathbf{LS_{2D}}$ (adimensionale) è stato calcolato a partire da un modello digitale di terreno a cella 25m (Panagos et al., 2015), utilizzando l'equazione proposta da Desmet and Govers (1996);

il fattore **C** (adimensionale) è stato determinato come combinazione dell'uso suolo e della densità di vegetazione, per le aree non coltivabili, e come integrazione del tipo di coltura e di pratiche di gestione del suolo, per le aree coltivabili (Panagos et al., 2015)

il fattore **P** (adimensionale) è stato stimato tenendo in considerazione (Panagos et al., 2015) l'effetto anti-erosivo associato a tecniche coltivazione secondo le isoipse (girapoggio), alla realizzazione di muretti in pietra e terrazzamenti ed alla realizzazione di fasce alternate con cotica erbosa.

Utilizzando la relazione (1) si ottiene dunque il valore della cessione di suolo da ciascuna cella (Mg ha^{-1} anno^{-1}).

In Figura 8.104 viene presentata la carta della RUSLE estratta a partire dal dataset dell'UE per il territorio regionale, definito per celle da 100m. A partire dal modello a pixel è stata effettuata una valutazione della perdita totale a scala di bacino (Figura 8.105), zonando la somma dei valori ottenuti per ciascuno dei pixel all'interno dei bacini idrografici.

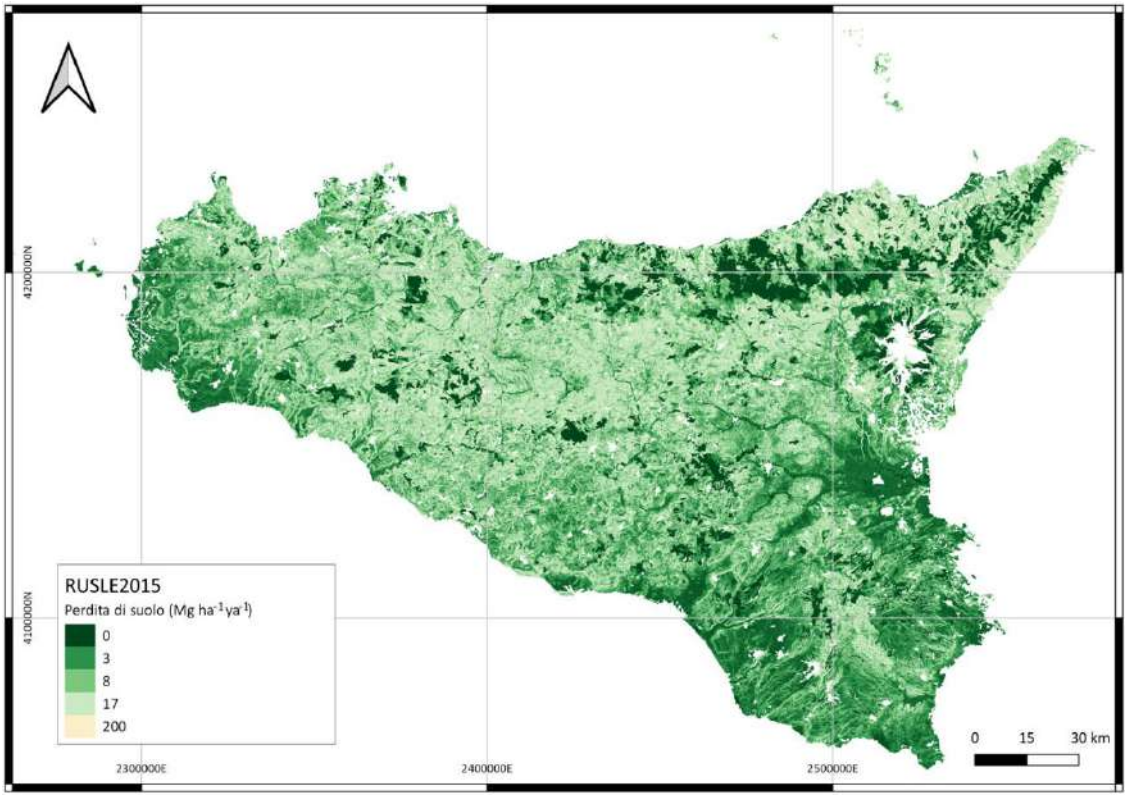


Figura 8.104 Carta della perdita di suolo del territorio siciliano (pixel 100m), (Panagos et al., 2015 mod.).

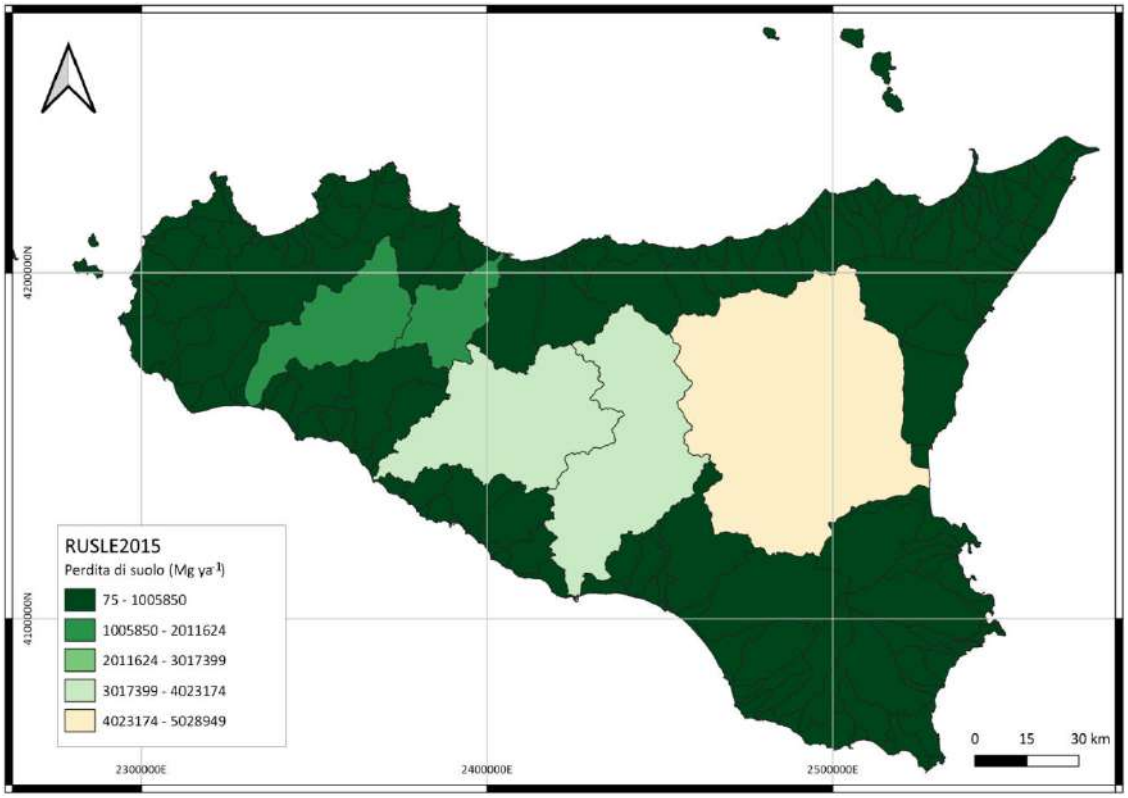


Figura 8.105 Carta della perdita di suolo cumulata sui bacini idrografici del territorio siciliano (Panagos et al., 2015 mod.).

Infine, la carta della RUSLE è stata rielaborata per ottenere la resa potenziale dei bacini tributari della stessa UF (Figura 8.106).

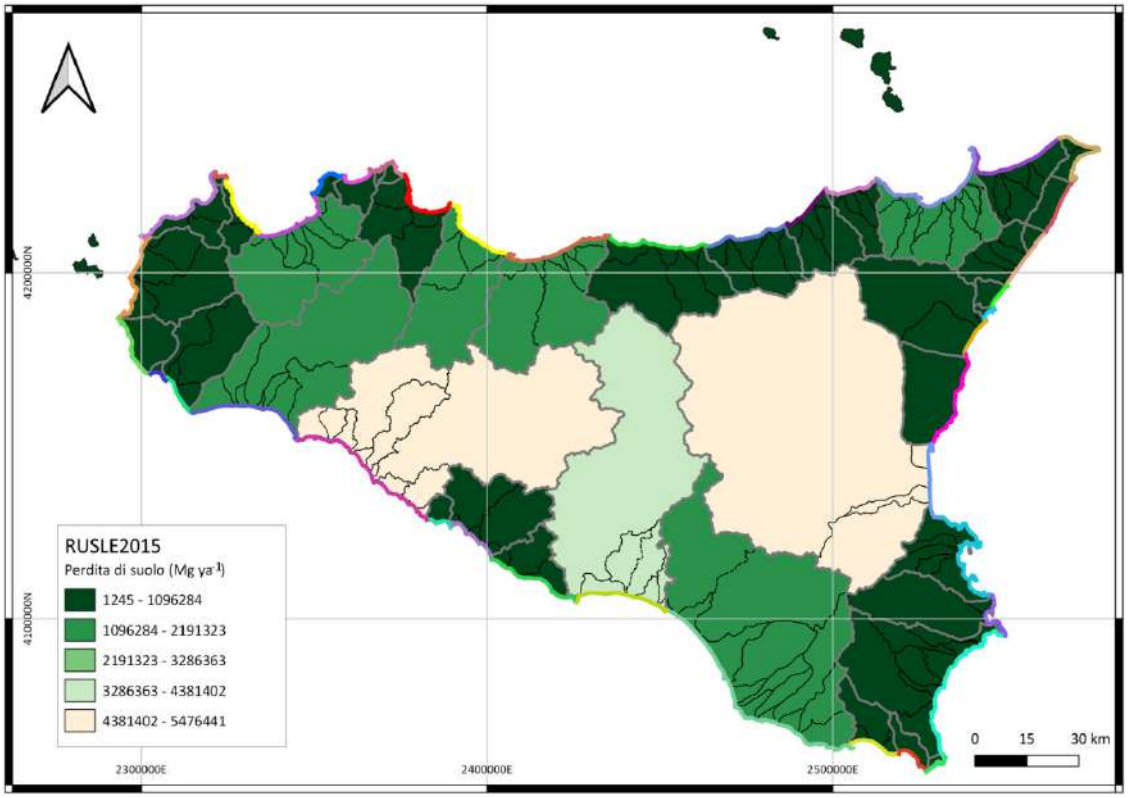


Figura 8.106 Carta della perdita di suolo del territorio siciliano, cumulata sui bacini idrografici tributari delle UF3 (Panagos et al., 2015 mod.).

La seconda componente del modello è quella che consente di valutare l'effettivo *routing* del sedimento ceduto attraverso il reticolo di deflusso. Secondo Desmet & Govers (1995) e Van Oost (2000) la capacità di trasporto può essere assimilata all'erosione potenziale per rill e fossi effimeri, stimabile secondo utilizzando l'equazione:

$$TC = E_{PR} \cdot ktc = R \cdot K \cdot (LS_{2D} - 4.1 \cdot S_{IR}) \cdot ktc \qquad (2)$$

nella quale, $\boldsymbol{E_{PR}}$ è l'erosione a rivoli (*rill erosion*) potenziale, ***ktc*** (m) è un coefficiente di capacità di trasporto, ***R***, ***K*** e $\boldsymbol{LS_{2D}}$ sono gli stessi fattori utilizzati nella (1) e $\boldsymbol{S_{IR}}$ ($m \cdot m^{-1}$) è pari alla pendenza di inter-rill della cella, valutato come pari a $6.8 \cdot Sg^{0.8}$, con Sg pari alla pendenza della cella.

In questo modo è possibile ottenere una stima della resa di sedimento (*Sediment Yield, SY*) in Mg anno^{-1} o della resa specifica di sedimento Mg anno^{-1} ha^{-1}, dividendo per l'area in ettari, all'interno della quale ricadono le celle i cui contributi alla resa vengono sommati.

Le Figura 8.107 e la Figura 8.108 mostrano l'estratto per il territorio siciliano del layer WaTEM/SEDEM con risoluzione 25m, per il modello a pixel e per quello zonato sulle aree dei bacini idrografici (sommando i contributi di tutte le celle), rispettivamente.

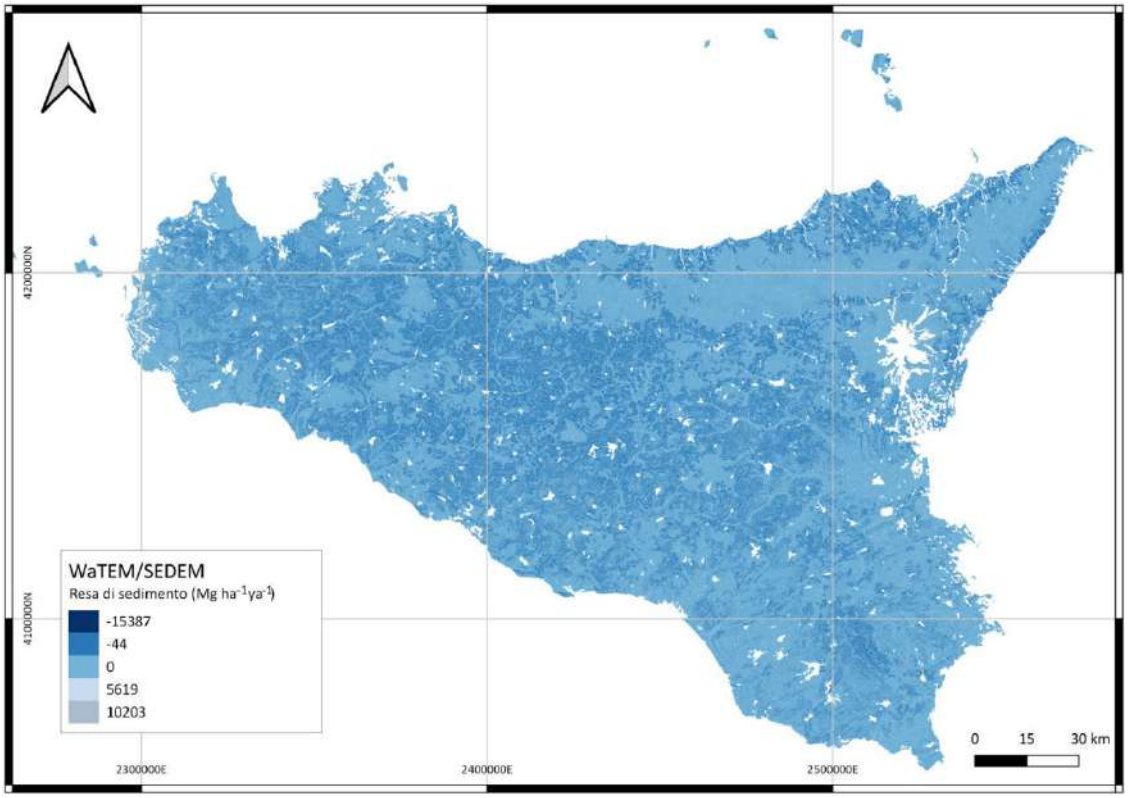


Figura 8.107 Carta della resa di sedimento (deposizione/trasporto) del territorio siciliano (pixel 25m), valutata con la metodologia WaTEM/SEDEM (Borrelli et al., 2018).

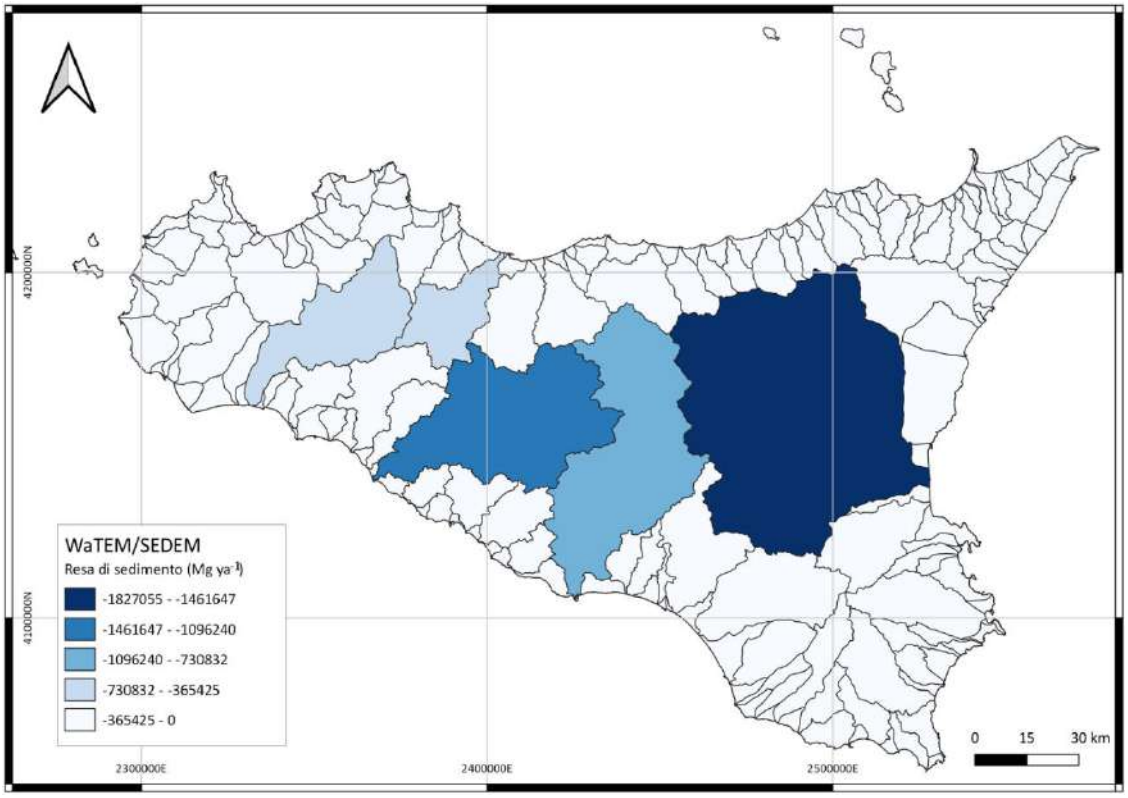


Figura 8.108 Carta della resa di sedimento (deposizione/trasporto) cumulata per i bacini idrografici del territorio siciliano, valutata con la metodologia WaTEM/SEDEM (Borrelli et al., 2018, mod.).

Un'ulteriore elaborazione del layer WaTEM/SEDEM ha poi consentito di ottenere la carta sommando il valore della resa solida per tutti i bacini tributari della stessa UF (Figura 8.109).

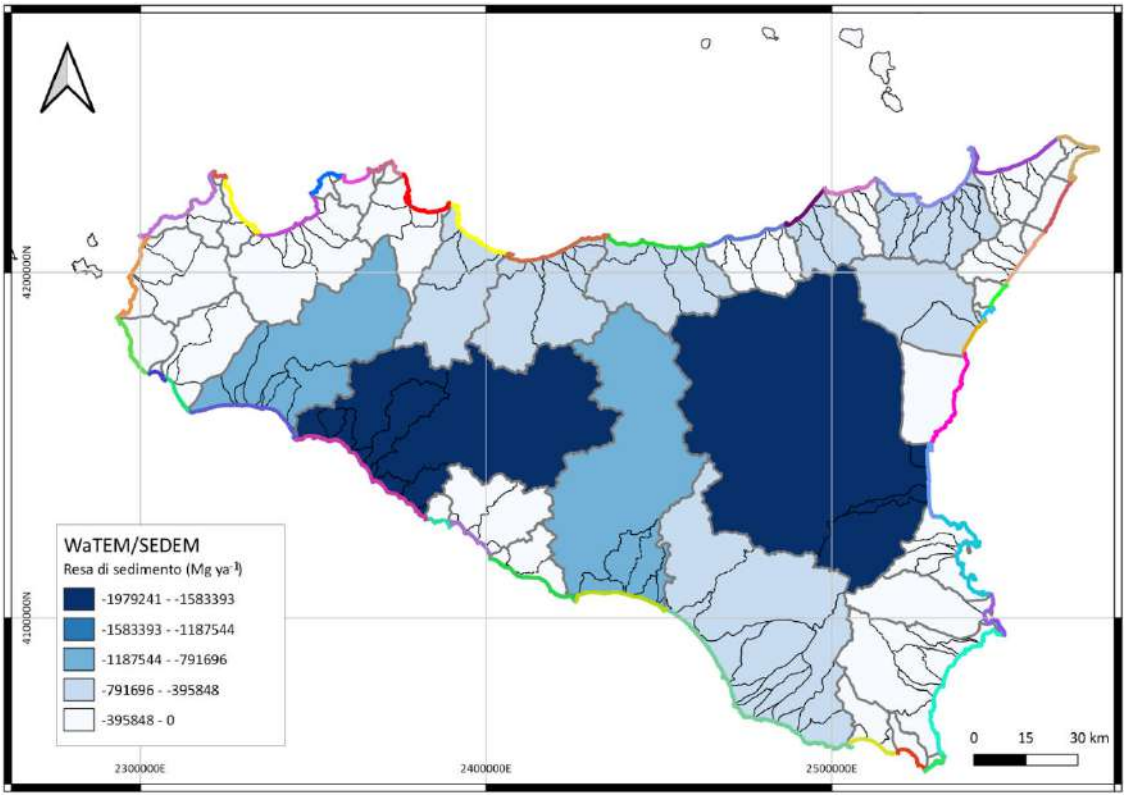


Figura 8.109 Carta della resa di sedimento (deposizione/trasporto) del territorio siciliano, cumulata sui bacini idrografici tributari delle UF3 (Borrelli et al., 2018, mod.).

Dal confronto tra la carta della perdita di sedimento (Figura 8.105) e la carta della resa alla foce (Figura 8.108) è possibile ricavare una carta del delivery ratio atteso (Figura 8.110) per i bacini e, analogamente, per i bacini accorpati per UF3 alimentata (Figura 8.111) e per UFGEO (Figura 8.112).

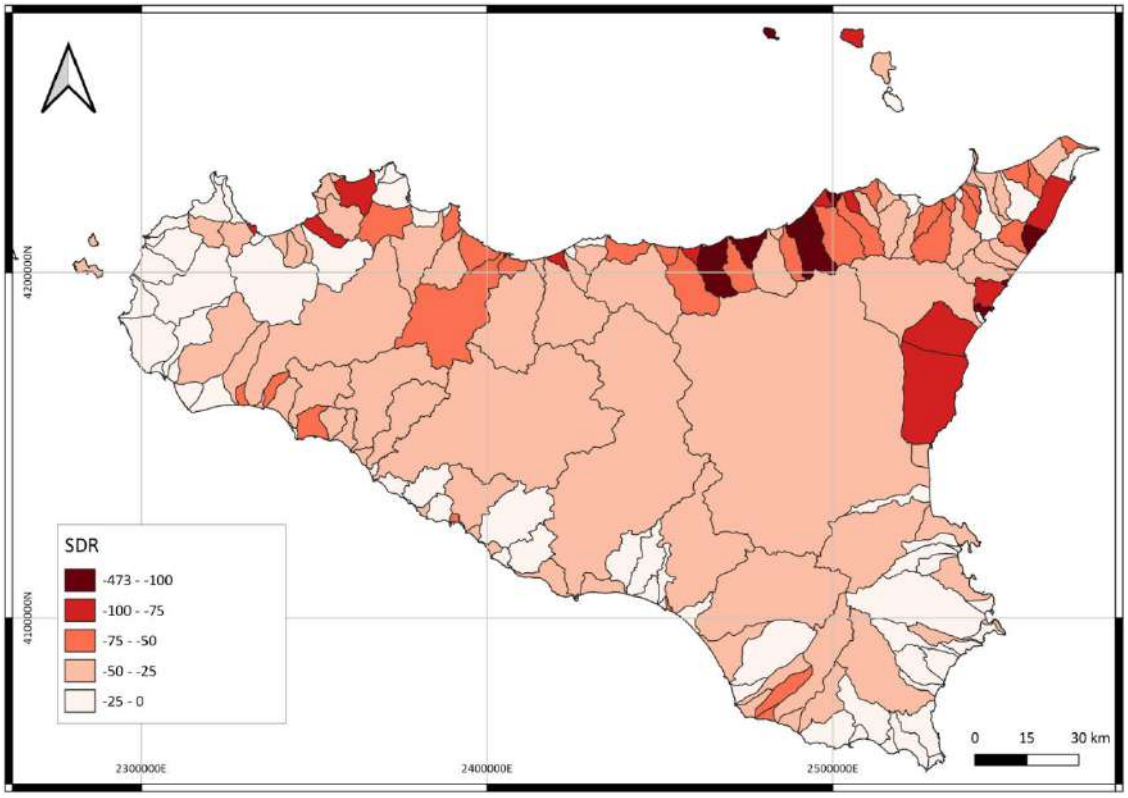


Figura 8.110 Carta del *Sediment Delivery Ratio* simulato da WaTEM/SEDEM e RUSLE.

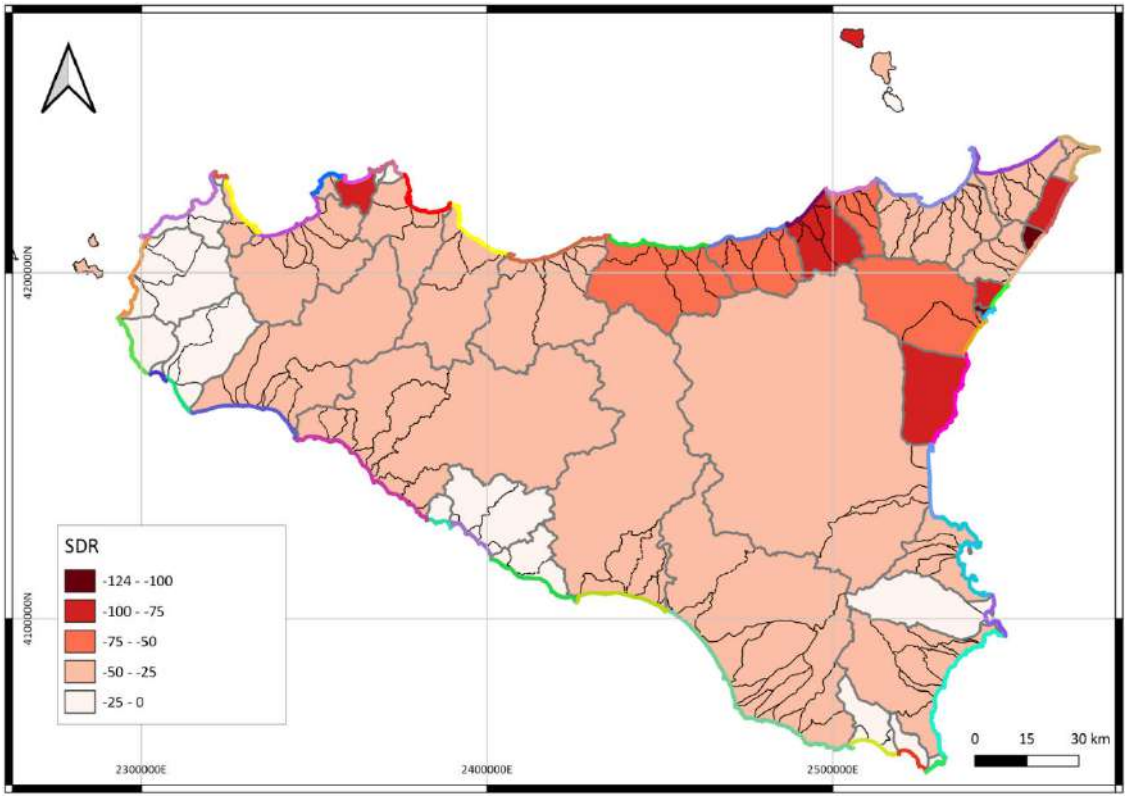


Figura 8.111 Carta del *Sediment Delivery Ratio* simulato da WaTEM/SEDEM e RUSLE.

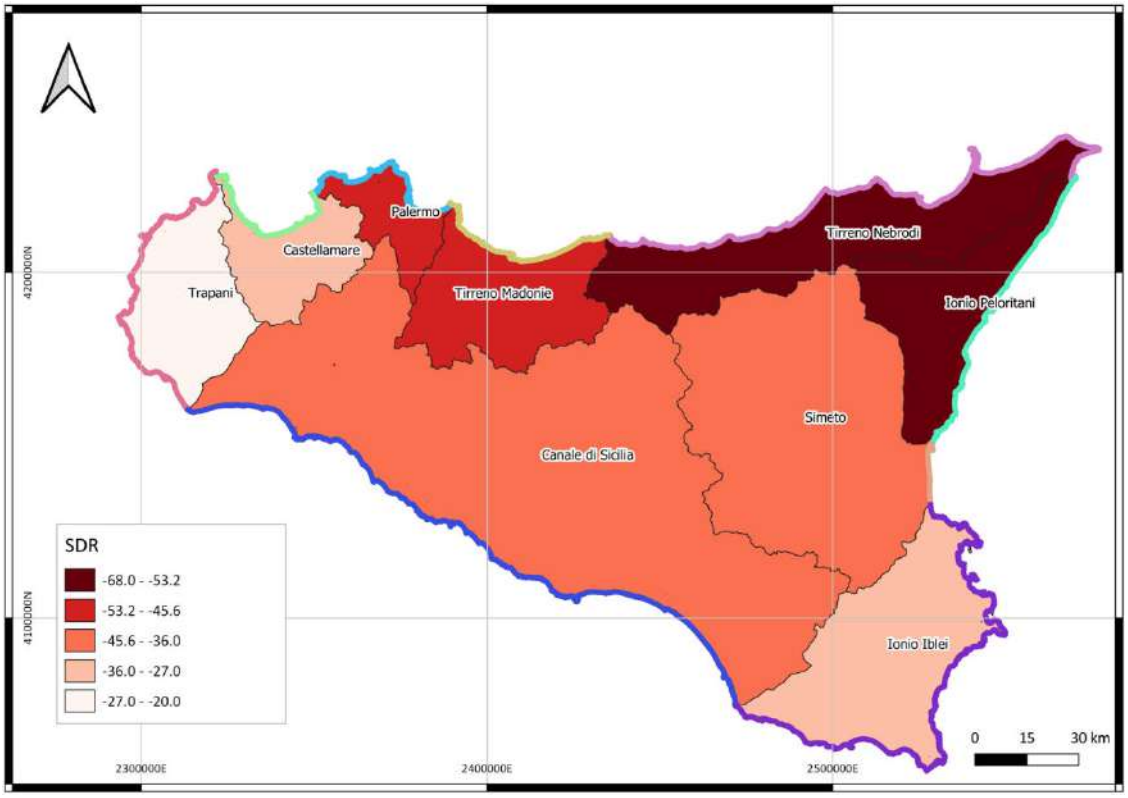


Figura 8.112 Carta del *Sediment Delivery Ratio* simulato da WaTEM/SEDEM e RUSLE su UFGEO.

I database globali dei layer RUSLE e WaTEM/SEDEM sono disponibili ai seguenti link:

- RUSLE: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-erosion-water-rusle2015
- WaTEM/SEDEM: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/estimate-net-erosion-and-sediment-transport-using-watemsedem-european-union

8.5.3.3 Analisi dei segnali di modificazione dei tratti costieri in funzione degli apporti stimati dal modello WaTEM/SEDEM

Al fine di verificare una possibile correlazione tra una serie di variabili di processo a terra, che caratterizzano i bacini idrografici alimentanti la foce o il tratto, ed il segnale di variazione della linea di costa osservato, si sono definiti una serie di layer, espressione dei fattori che potenzialmente possono svolgere un ruolo di controllo nel determinare l'apporto solido e si è applicata una tecnica di analisi multivariata assumendo a variabile dipendente il segnale di variazione negli intervalli di riferimento. In particolare, utilizzando il metodo MARS (Multi-

Adaptive Regression Splines) si è cercato di allenare un modello previsionale alla stima dei valori di variazione della linea di costa nei due periodi (variabile dipendente), in funzione della distribuzione spaziale di una serie di variabili assunte come potenzialmente in grado di esprimere, direttamente o come proxies, i fattori di controllo del processo di trasporto fluviale. Il modello è stato realizzato utilizzando, insieme al layer WaTEM/SEDEM, le seguenti ulteriori variabili indipendenti (Figura 8.113, Figura 8.114 e Figura 8.115): LCL, CORINE18, Erodibilità del substrato (derivata dalla carta litologica realizzata dalla protezione civile per il territorio siciliano).

Sulla base dei riscontri emersi in via preliminare, si è deciso procedere alla modellazione utilizzando due unità di mappatura differenti, corrispondenti alle UF3 ed alle UFGEO. Infatti, l'ipotesi di verificare una relazione alla scala del singolo bacino idrografico, nei confronti della variazione alla foce, non ha retto ad una serie di test condotti su bacini campione.

La costruzione del modello prevede l'individuazione di un sub-set (impostato come corrispondente al 75% dei bacini idrografici) utilizzato per la calibrazione del modello, e di uno (il rimanente 25%), lasciato incognito al modello in fase di calibrazione ed utilizzato per la stima della effettiva capacità previsionale. Il processi di partizione è stato condotto secondo procedura iterativa di tipo cross-validation a 3(calibrazione)+1(validazione) sub-sets, con estrazione random dei casi, con reintroduzione, ripetuta per 100 volte.

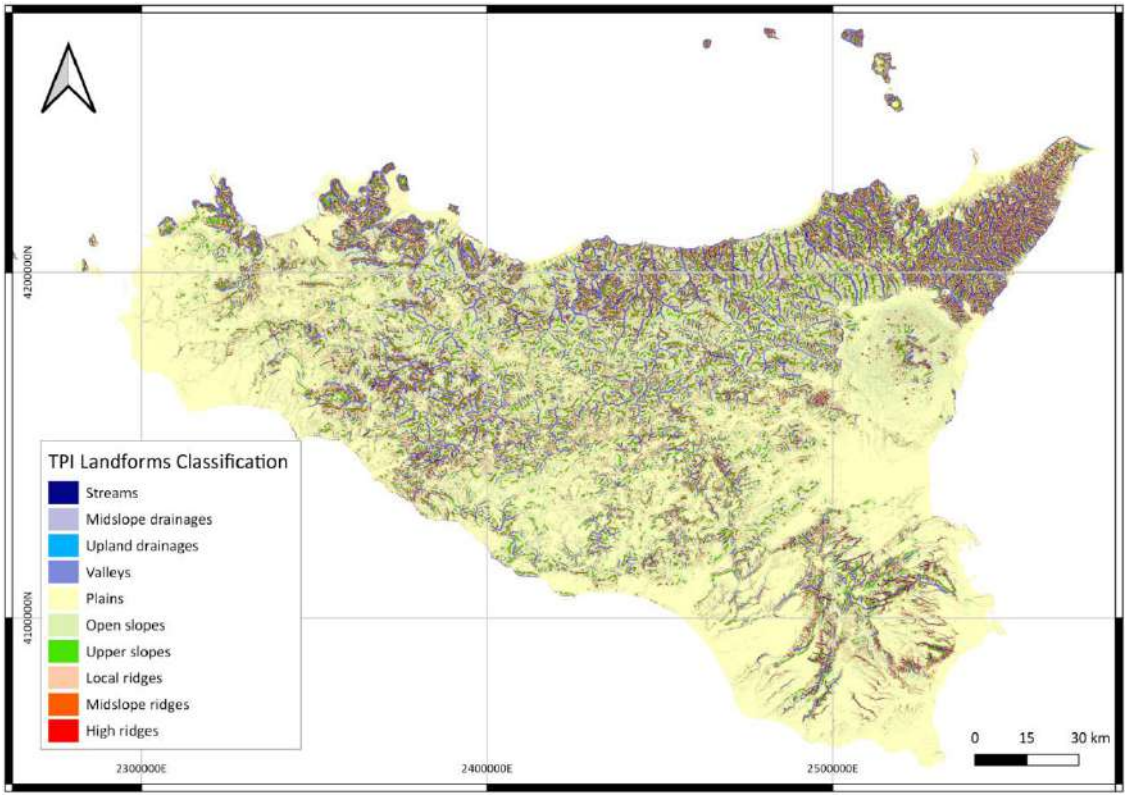


Figura 8.113 Classificazione morfologica automatica del territorio siciliano (Landform CLassification, LCL).

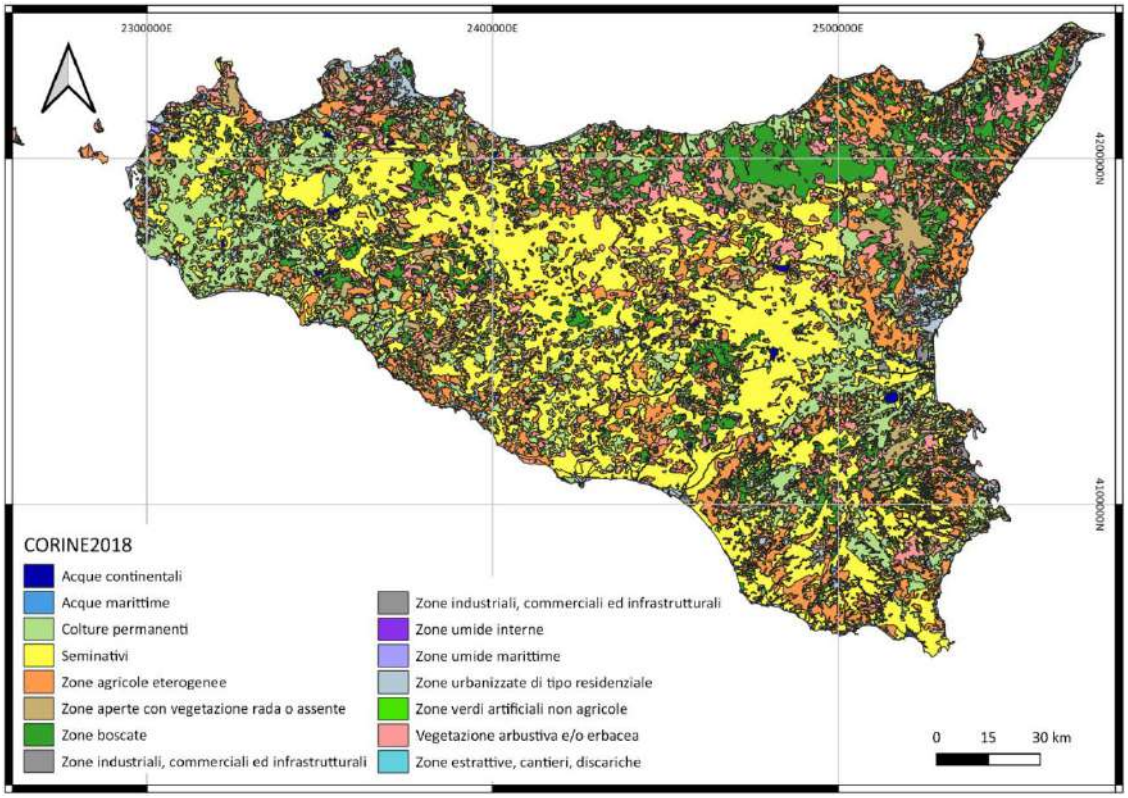


Figura 8.114 Classificazione dell'uso del suolo del territorio siciliano (II livello CORINE2018).

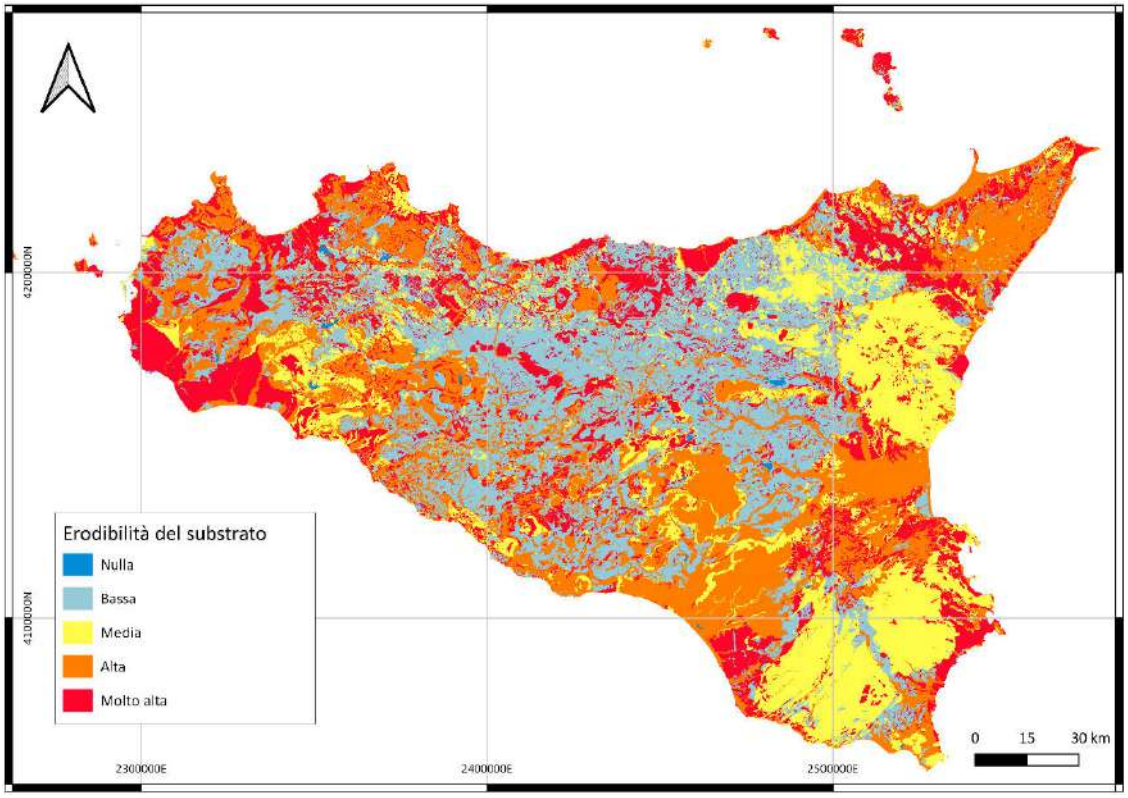


Figura 8.115 Classificazione del territorio siciliano in termini di erodibilità delle rocce affioranti (da carta litologia della Protezione Civile regionale).

Sulla base della regressione effettuata si è poi confrontato, per ciascuno dei bacini idrografici, il valore di variazione prevista con quello osservato nei due intervalli. Al fine di indagare la capacità effettiva delle variabili RUSLE e WaTEM/SEDEM di simulare il processo di erosione e trasporto solido, si sono confrontati i risultati del modello multivariato, con quelli stimati sulla base dell'utilizzo esclusivo delle due variabili.

I risultati ottenuti per il modello basato sulle UF3 mettono in evidenza un grado di correlazione decisamente insoddisfacente tra le variazioni previste dal modello e quelle osservate nel periodo 1994-2012, sia per il modello MARS (Figura 8.116a), sia per quello WaTEM/SEDEM e RUSLE (Figura 8.116 b, c).

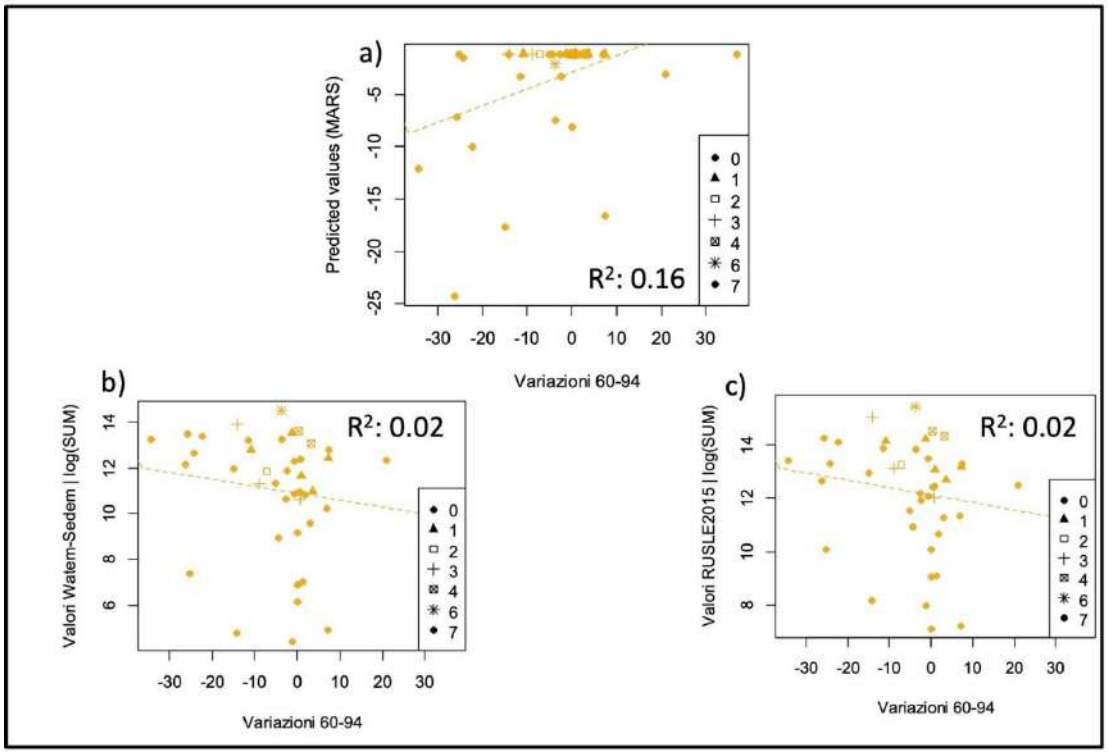


Figura 8.116 Risultati della validazione del modello di previsione della variazione della linea di costa 1960-1994.

Prendendo in considerazione il modello MARS (Figura 8.117a) i risultati ottenuti sembrano trovare una rispondenza ewd una buona correlazione tra valori previsti e variazioni osservate, mentre WaTEM/SEDEM e RUSLE (Figura 8.117b, c) mantengono uno scarso grado di correlazione.

In generale, i risultati sembrano comunque suggerire come troppo limitate le UF3 per rendere conto del complesso dei fenomeni di apporto/asporto e redistribuzione del sedimento sulla costa.

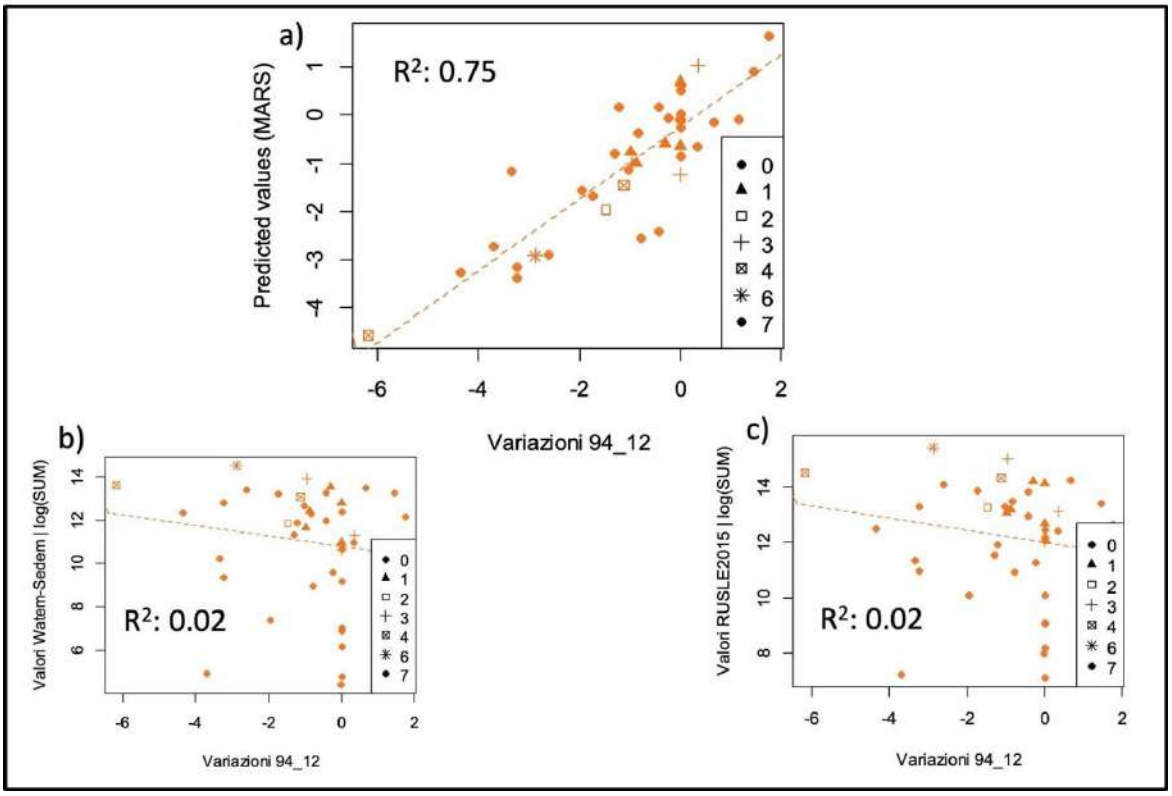


Figura 8.117 Risultati della validazione del modello di previsione della variazione della linea di costa 1994-2012.

L'analisi condotta con le UFGEO mette invece in evidenza un'elevata correlazione tra variazioni stimate da MARS e variazioni osservate, sia nel periodo 1960-1994, sia nel periodo 1994-2012 (vedere la Figura 8.118 e la Figura 8.119), a significare l'ìeffettiva maggiore rappresentatività delle UF alla scala maggiore. Si conferma invece la scarsa perfomance delle previsioni basate solo sui fattori WaTEM/SEDEM e RUSLE.

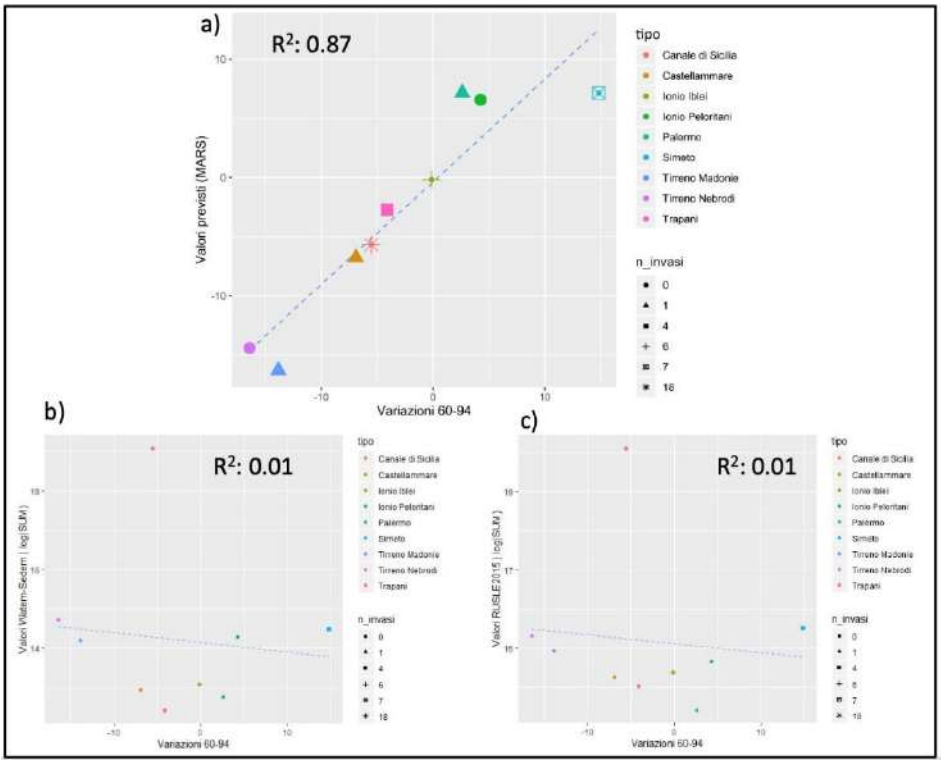


Figura 8.118 Correlazione tra le variazioni previste e le variazioni osservate nel periodo 1960-1994, sulle UFGEO.

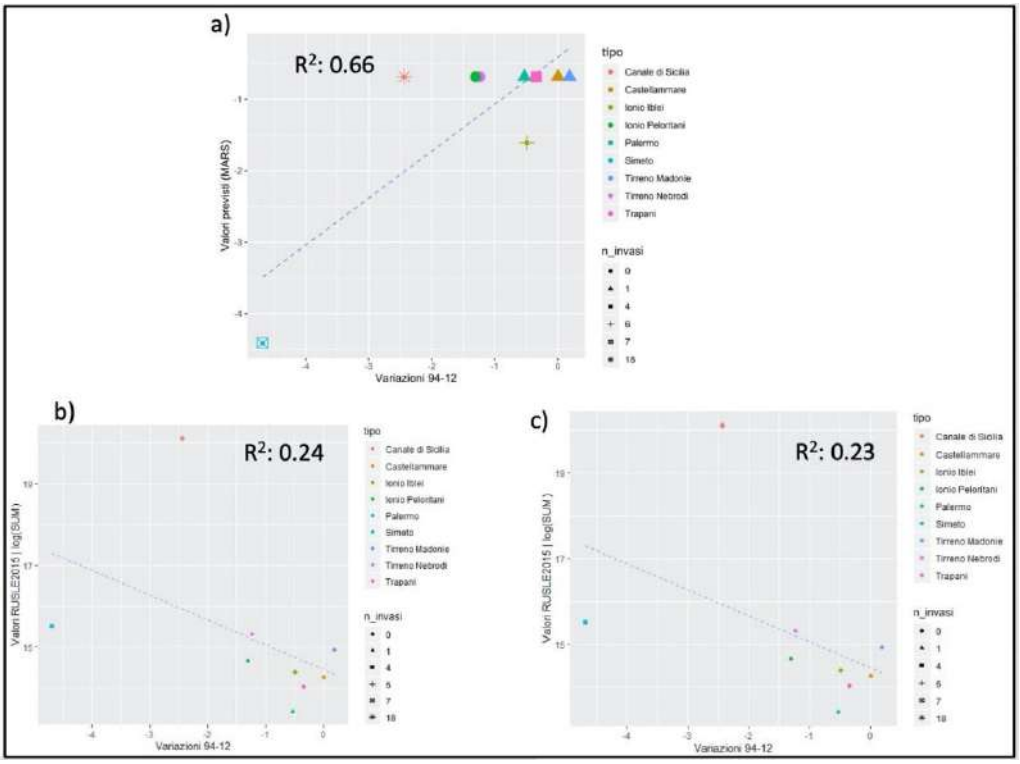


Figura 8.119 Correlazione tra le variazioni previste e le variazioni osservate nel periodo 1994-2012, sulle UFGEO.

8.5.4 Considerazioni conclusive

La stima dell'apporto alle coste proveniente dal trasporto solido ad opera dei corsi d'acqua costituisce uno degli elementi fondamentali nella impostazione di un budget di sedimento sia in senso analitico che, soprattutto, in senso previsionale. La possibilità di modellare con sufficiente accuratezza alla scala regionale la quantità di sedimento eroso e trasportato alla foce da parte dei bacini idrografici richiede infatti, alla scala regionale, il ricorso ad approcci integrati che comunque necessitano di siti sperimentali di calibrazione delle relazioni descrittive del fenomeno, siano esse impostate in termini deterministici (fisico-matematici), siano esse invece definite su base stocastica. Il problema della valutazione del trasporto solido pone questioni di non immediata soluzione, sotto il profilo della scala spaziale e temporale dei fenomeni che controllano la produzione di sedimento, la sua classazione in termini granulometrici ed il suo trasporto alla foce. Ciò nondimeno, sulla base dei dati analizzati in questi sede, i quali giocoforza fanno riferimento ad un'indagine di carattere reginale ed ha risposte di lungo termine del sistema terrestre, è stato possibile individuare un modello statistico in grado di produrre delle stime fortemente correlate con le variazioni osservate. Dal momento che il modello previsionale utilizzato è basato su una serie di variabili di controllo direttamente o indirettamente coinvolte nei modelli morfodinamici che sottendono i processi fluviali ed in particolare quelli di erosione e trasporto, è stato possibile evincere come l'apporto solido dal sistema terrestre sia un elemento assai importante nel determinare l'equilibrio della linea di costa e, dunque, un sottosistema su cui poter agire anche in chiave di mitigazione.

8.6 Analisi diacronica della linea di riva

Nel presente documento con il termine "analisi diacronica" della linea di riva si intende il confronto fra due linee di riva, una prodotta da ISPRA nel 2000, ottenuta da un mosaico di ortofoto riprese nel periodo 1998-1999 (cfr par. 4.2), e una relativa alle acquisizioni satellitari avvenute nel 2019. Per quanto riguarda i dati forniti da ISPRA è stata condotta una accurata analisi che, per ogni tratto

di costa, ha permesso di individuare l'esatta data di acquisizione della ortofoto corrispondente.

Gli effetti diretti e indiretti dei fenomeni fisico-ambientali rendono la morfologia costiera altamente dinamica. Le azioni che prendono parte al modellamento delle coste sono molteplici: fra queste ad esempio si possono citare i venti, le onde, le correnti, le escursioni mareali, gli apporti solidi, ecc. L'intensità e le modalità con cui questi fenomeni fisici si attuano dipendono dalle specifiche caratteristiche geografiche in cui si localizza il litorale.

I litorali che risentono maggiormente delle azioni dei parametri meteomarini sono quelli sabbiosi, ovvero le spiagge. Esse sono soggette al continuo alternarsi tra l'azione distruttiva del moto ondoso e l'azione costruttiva prodotta da nuovi apporti di materiale solido forniti dal reticolo idrografico. Tale alternanza, quasi conflittuale, tende a una naturale condizione di equilibrio dinamico.

L'equilibrio, anche in condizioni ottimali in cui la naturalità risulta "integra", è un "transitorio" di durata generalmente lunga. Tale durata è comunque connessa a fenomeni climatici naturali oppure a eventi geologici. La velocità delle dinamiche costiere però è continuamente alterata dagli interventi antropici sia a tutela delle coste sia di regimentazione e sfruttamento delle acque interne, fonti di sedimento.

L'equilibrio è in ogni caso temporaneo: infatti tutte le volte in cui prevale l'azione costruttiva oppure l'azione distruttiva, si verificano spostamenti della linea di riva. La linea di riva è quindi un esempio naturale della variazione dell'equilibrio della spiaggia, luogo per sua natura sensibile, soggetto al moto ondoso che ne cambia continuamente la configurazione. Si tratta dunque di un limite di separazione fra terra e acqua che ha una posizione temporanea e mutevole, che dipende sia dalle oscillazioni della superficie marina, dovute alle onde e alle maree, sia dalle caratteristiche morfologiche della spiaggia stessa.

Sebbene, da un punto di vista concettuale, la definizione di linea di riva come confine fra la terra emersa ed il mare sia abbastanza chiara, la sua perenne e notevole variabilità temporale la rende di difficile determinazione, poiché essa è in realtà diversa da un istante all'altro.

Ciò, in pratica, rende necessario stabilire rigorosi criteri in base ai quali individuare in modo oggettivo e ripetibile ("convenzionale") una unica linea di separazione tra acqua e terra. Eliminando in tal modo il legame con l'oscillazione istantanea e attribuendo alla stessa una posizione valida per un arco temporale maggiore (giorno, mese, anno, ecc.).

8.6.1 L'analisi diacronica

La scelta delle immagini spesso diventa un compito arduo per diverse ragioni. Sovente le immagini più antiche (per es. 1970 e antecedenti) hanno basse risoluzioni spaziali: ciò comporta inevitabilmente una difficile localizzazione dell'indicatore rappresentativo della linea di riva.

Va specificato che le immagini scelte diventeranno rappresentative delle condizioni fisiche per l'intero anno. Questo significa che se l'immagine riprende una condizione di mareggiata, quella sarà assunta come la condizione fisica rappresentativa per tutto l'anno in cui è stata eseguita l'acquisizione.

Una volta selezionate le immagini (aree o satellitari) da analizzare si dovranno catalogare in ambiente GIS geo-riferendole tutte nello stesso sistema di riferimento. Nel nostro caso i sistemi di riferimento ufficiali, da utilizzare sono: il sistema WGS84–UTM33N (EPSG 32633) oppure il sistema ETRF2000 (EPSG 7930).

Una volta eseguita questa operazione, si otterrà una raccolta di immagini storiche sovrapponibili e confrontabili tra loro. A questo punto si passerà all'identificazione della posizione della linea di riva che coinvolge due fasi distinte. La prima riguarda la scelta e la definizione dell'indicatore morfologico da associare a questo limite (in molti casi la linea di separazione tra terra e acqua). La seconda fase è invece mirata all'identificazione di questo limite all'interno delle immagini scelte. La tecnica più comune per identificare la posizione della linea di riva è di tipo manuale. Essa è basata sull'interpretazione soggettiva del confine di separazione tra la terra e il mare. Alternativamente è possible utilizzare tecniche di analisi automatizzate delle immagini per l'identificazione del confine tra spiaggia emersa e sommersa.

Solitamente come geo-indicatore di linea di riva viene presa l'intersezione tra la quota relativa del livello medio di tutte le alte maree (MHW - Mean High Water)

e la spiaggia. Questo limite non è tuttavia rappresentativo del vero limite all'istante in cui è stata ripresa l'immagine aerea o satellitare. Inoltre, il limite MHW non può essere considerato come un riferimento perché esso stesso non ha come riferimento un datum mareale o una fissata elevazione del livello marino.

Tra i diversi geo-indicatori identificabili nelle immagini aeree e/o satellitari (linea di risalita istantanea del moto ondoso sulla spiaggia, linea di vegetazione della duna più vicina al mare, gradino di erosione della spiaggia, linea delle mareggiate, linea di risorgenza dell'acqua, linea di massimo frangimento, ecc.) ne esiste uno molto utilizzato ovvero il limite noto come asciutto/bagnato (wet/dry). Tale limite separa la spiaggia emersa in asciutta e bagnata, identificando le condizioni di saturazione della sabbia. Questo tipo di geo-indicatore è quello più facilmente distinguibile nelle riprese aeree e/o satellitari. Esso, pur essendo influenzato dal clima meteo-marino, risulta un geo-indicatore stabile della linea di riva e per tale ragione più affidabile dell'indicatore noto come limite di run-up istantaneo. L'uso dell'indicatore wet/dry, anche se tra i più affidabili per la localizzazione della linea di riva, non esclude comunque la presenza di incertezze legate all'esatta posizione del confine ricercato. Ciò vale evidentemente anche per tutti gli altri indicatori.

Le incertezze sono dovute essenzialmente a due tipologie di errori, rispettivamente errori di "posizionamento" ed errori di "misurazione". I primi sono strettamente connessi ai fenomeni fisici costieri (onde e maree) e possono influire significativamente sulla precisione dell'analisi. Infatti, non si deve dimenticare che la posizione di una linea di riva individuata in un'immagine viene assunta come la linea di riva "effettiva" riferita all'interno anno. Questi tipi di errori sono collegati sia alla variabilità stagionale del clima ondoso che allo stato di marea presente al momento della ripresa. Per tale ragione quando si esegue un'analisi diacronica, tali errori devono essere presi in considerazione, stimandone l'entità. La seconda tipologia di errori, ovvero gli errori di misurazione, è collegata a errori di elaborazione delle immagini e di digitalizzazione che vengono prodotti dagli operatori che identificano e mappano la posizione della linea di riva per i diversi anni di osservazione. Da quanto

appena descritto, risulta evidente che l'utilizzo di un indicatore, piuttosto che un altro, avrà un peso differente nel calcolo degli avanzamenti/arretramenti della linea di riva.

Tra le attività che riguardano l'analisi diacronica, la localizzazione e la mappatura della linea di riva rientra tra quelle che richiedono molta accuratezza. Quest'attività è svolta da un operatore che ha il compito di osservare le immagini con un opportuno ingrandimento e localizzare il geo-indicatore scelto.

Purtroppo, tale attività ha lo svantaggio oggettivo collegato al fatto che diversi operatori potrebbero individuare linee di riva diverse. Infatti, operatori diversi (o uno stesso operatore), pur considerando uno specifico geo-indicatore, potrebbero mappare differenti linee di riva (rappresentative di un anno). Nel calcolo degli indici statistici, tali piccoli errori possono essere presi in considerazione come incertezze di posizionamento.

Una volta localizzate e mappate le linee di riva (tutte nello stesso Sistema di Riferimento) associate ad ogni immagine, si inizia il processo di calcolo degli indici statistici che consentono di identificare quantitativamente le sue variazioni. Per eseguire questo calcolo sarà necessario operare in ambiente GIS. Di seguito si spiegherà in modo sintetico e in fasi progressive la parte che riguarda il calcolo che ci consente di stabilire l'entità delle variazioni che ha subito la spiaggia.

Nel GIS che contiene l'insieme di immagini aeree e/o satellitari si dovrà costruire un geo-database costituito da tutti gli shapefile relativi alle linee di riva identificate nelle fasi precedenti. A tutti gli oggetti geografici rappresentativi delle linee di riva, (in formato shapefile), andranno associate le relative informazioni descrittive: fra queste la data di ripresa dell'immagine (gg/mm/aaaa).

La fase successiva è dedicata alla materializzazione in ambiente GIS, di una linea di riferimento necessaria al calcolo degli indici statistici. Tale linea di riferimento è definita come baseline e il suo shapefile all'interno del GIS dovrà avere lo stesso sistema di riferimento. La baseline dovrà essere disegnata in modo tale da essere il più possibile ortogonale ai transetti che divideranno in porzioni uguali il tratto di costa che stiamo analizzando. Per la mappatura della baseline è utile identificare su tutto l'insieme di dati (immagini) caricato in GIS,

gli stessi punti di controllo che potrebbero essere per es. edifici, strutture viarie, ecc.

Giunti a questo punto l'operatore avrà a disposizione in ambiente GIS (con lo stesso sistema di riferimento):

1. Immagini (aeree e/o satellitari) in ambiente GIS, ognuna rappresentativa di un anno specifico;
2. Ad ogni immagine sarà associata una linea di riva;
3. Ad ogni spiaggia sarà associata una linea di riferimento (baseline).

In base alla lunghezza della spiaggia e al grado di accuratezza che si vuole ottenere, si sceglierà la spaziatura e la lunghezza dei transetti (Figura 8.120).

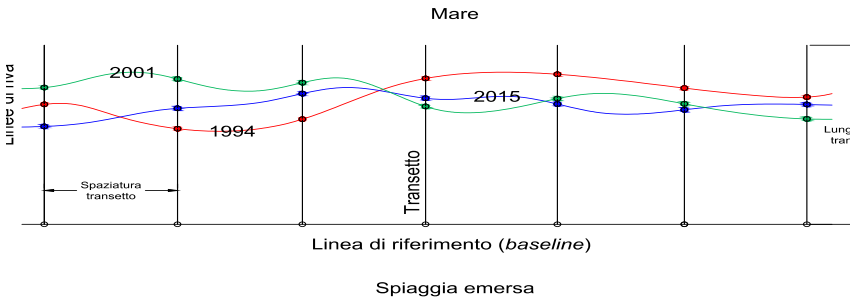


Figura 8.120 Esempio di visualizzazione della linea di riferimento, linee di riva e transetti.

A questo punto nel database che è stato generato sono presenti tutti gli elementi necessari per il calcolo degli indici statistici che ci daranno informazioni quantitative sulle variazioni del litorale in studio.

Tali indici sono elencati di seguito:

1) NSM (Net Shoreline Movement): rappresenta la distanza fra la più recente e la più vecchia delle due linee di costa messe a confronto;
2) SCE (Shoreline Change Envelope) che rappresenta la più grande distanza tra due linee di riva;
3) EPR (End Point Rate): ovvero l'indice ottenuto dal rapporto dalla distanza in metri tra due linee di riva (la più recente e la più antica) e il tempo trascorso tra la più recente e la più antica linea di riva;
4) LRR (Linear Regression) coefficiente angolare della retta di regressione lineare delle distanze dalla baseline;

5) WLR (Weighted Linear Regression) coefficiente angolare uguale a quello precedente ma calcolato con peso inverso all'incertezza. Il peso w è definito dall'equazione
   - w= $1/e^2$
   - come una funzione della varianza delle misure d'incertezza.

Infatti, il valore dell'incertezza della posizione della linea di riva individuata dalle immagini dipende da diversi errori: l'elaborazione dell'immagine, la digitalizzazione (da parte dell'operatore) della linea di riva e lo stato di mare presente al momento della ripresa. Per ciascuna immagine dunque, si devono calcolare i seguenti errori: 1) l'errore di digitalizzazione (σ_d), 2) l'errore dovuto al pixel (σ_p), 3) l'errore dovuto all'orto-rettifica (σ_r), 4) l'errore dovuto alla co-registrazione (σ_r), 5) l'errore dovuto al moto ondoso (σ_{wr}), 6) l'errore dovuto alla marea (σ_{td}). Tutti questi errori infine sono stati sommati (σ_T) tra di loro attraverso l'equazione:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_p^2 + \sigma_r^2 + \sigma_{co}^2 + \sigma_{wr}^2 + \sigma_{td}^2}$$

Va sottolineato come il moto ondoso e le maree generano errori significativi nell'individuazione della linea di riva modificando significativamente i risultati dell'analisi diacronica della spiaggia.

8.6.2 Metodologia utilizzata per l'analisi diacronica

L'analisi diacronica della linea di riva è la ricostruzione storica delle variazioni lineari e areali della spiaggia. Tale analisi viene condotta principalmente attraverso lo studio di immagini aeree e/o satellitari, identificando in esse un opportuno indicatore che rappresenti la linea di riva. Quando si svolge questa tipologia di analisi, allo scopo di minimizzare le incertezze legate alla posizione della linea di riva, è consigliabile utilizzare un insieme di dati continuo e omogeneo.

L'analisi diacronica nasce dal confronto di immagini che dovranno essere preferibilmente alla stessa risoluzione spaziale. Ai fini della redazione di questo documento si sono confrontati i risultati relativi alla linea di riva desunta dal volo IT2000 (ottenuta da un mosaico di ortofoto relative al periodo 1998-1999) e

quella ottenuta dalle foto satellitari riprese nel 2019. In tal modo è stato possibile integrare le informazioni già in possesso della Regione Sicilia colmando le lacune relative agli ultimi diciannove anni.

Il reperimento delle immagini deve garantire tre requisiti fondamentali: l'ortorettifica, l'assenza di copertura nuvolosa (che renderebbe complicata l'operazione di identificazione dell'indicatore rappresentativo della linea di riva) e la presenza di indicazioni relative alle date di ripresa.

Poiché le immagini disponibili diventano rappresentative delle condizioni fisiche per l'intero anno, al fine di limitare gli effetti dovuti alla presenza di mareggiate, sono state utilizzate le immagini satellitari acquisite nel corso dell'estate 2019. In questo modo i risultati delle analisi, depurate da problemi dovuti alla presenza di mareggiate, costituiscono la linea di riva rappresentativa delle condizioni fisiche relative a tutto l'anno 2019.

Riassumendo dunque la linea di riva ottenuta per mezzo delle immagini satellitare recentemente acquisite dall'Ufficio del Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico nella Regione Siciliana (agosto) è convenzionalmente associata all'anno 2019 e nel seguito sarà denominata *linea di riva 2019*.

Viene invece denominata *linea di riva IT2000* la linea già individuata da ISPRA con metodologie del tutto analoghe a quelle qui utilizzate. Tale linea è stata fornita dal predetto ente in forma vettoriale per gli scopi relativi al Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC).

Le immagini utilizzate sono prodotte e fornite dalla Planetek Italia. Tali immagini sono ottenute da scansioni satellitari con sensori ottici, sia nello spettro visibile (RGB) sia nell'infrarosso (IR). Le immagini sono state rettificate, geo-riferite e proiettate dalla stessa ditta fornitrice. Il *datum* utilizzato è il WGS84, la proiezione è UTM33N. Il formato dei *files* consegnati è *geotiff*: ogni file rappresenta una strisciata relativa ad un'orbita satellitare, e la risoluzione degli stessi è di 3 m x 3 m.

Le immagini coprono l'intera fascia costiera della Sicilia, incluse le isole minori.

Al fine di identificare e tracciare la linea di riva al 2019, si è resa necessaria la catalogazione di tutti i file all'interno di un sistema GIS. Le immagini così caricate sono state divise in tre settori:

1. versante tirrenico (compreso le isole Egadi e le isole Eolie);
2. versante mediterraneo;
3. versante ionico;
4. l'isola Ustica e le Isole Pelagie.

La fase successiva ha riguardato la realizzazione del foto-mosaico di tutte le immagini distinte nei quattro settori.

Una volta messe a sistema tutte le informazioni necessarie, si è proceduto all'estrazione della linea di riva. Le fasi di estrazione sono sinteticamente elencate di seguito:

1. Generazione di un gruppo di immagini regolate nel campo del visibile secondo le tre bande RGB (Rosso, Verde e Blu). Tale regolazione permette una migliore osservazione da parte dell'operatore;
2. Generazione di un gruppo di immagini con un'unica banda corrispondente all'infrarosso (IF);
3. Generazione di un gruppo di immagini contenenti una singola banda che definiremo NDWI (*Naturalized Difference Water Index*). Tali immagini si sono ottenute attraverso un semplice calcolo che utilizza le bande Verde ed Infrarosso;
4. Analisi delle immagini con l'indice NDWI. Questa fase prevede la scelta del valore "soglia" che delimita la parte asciutta della costa da quella bagnata.
5. Generazione di una nuova serie di immagini definite Land_Water_BD composte rispettivamente da due valori cromatici 0 e 1. Al primo valore corrisponde la terra mentre al secondo valore corrisponde l'acqua;
6. In questa fase si eliminano eventuali nuvole, ombre, imperfezioni dell'immagine, ecc.;

7. Realizzazione di rettangoli vettoriali denominati AOI (*Area Of Interest*). Con tali rettangoli si realizza un nuovo mosaico che contiene tratti di costa con caratteristiche simili;
8. Generazione di un gruppo di vettori contenente i poligoni "asciutto" e "bagnato" per ciascuna area di interesse;
9. A questo punto è possibile eliminare eventuali aree bagnate all'interno dei poligoni principali;
10. Selezione del poligono terra che contiene la linea di riva. Tale poligono si trasforma in una polilinea;
11. La polilinea così ottenuta contiene anche i contorni dell'area di interesse (lati del rettangolo), che devono essere eliminati;
12. Verifica del risultato ottenuto;
13. Individuazione manuale della linea di riva attraverso il riconoscimento dell'indicatore "asciutto/bagnato".

Così facendo si ottiene una linea di riva che segue l'andamento dei pixel originali. Il procedimento qui esposto ha consentito di ottenere una linea di riva vettoriale, estratta automaticamente, compatibile con la rappresentazione in scala 1:10'000 (risoluzione di 3 m).

8.7 Definizione del rapporto di cause ed effetto tra interventi antropici e processi erosivi

Nell'ambito del presente Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC) sono state presentate diverse schede tecniche rappresentative di un dissesto ritenuto significativo per ognuna delle 15 unità fisiografiche del I ordine. E ciò a dimostrazione del fatto che gran parte dei litorali siciliani patisce problemi connessi alla erosione sia di coste alte che di coste basse.

Le zone costiere, a differenza della maggior parte delle restanti terre emerse, non possono essere considerate come geologicamente statiche neanche in un lasso di tempo breve come quello antropico.

Si parla infatti di dinamicità della zona costiera, determinata da un delicato equilibrio tra diversi processi naturalmente presenti, la cui forzante principale è

caratterizzata dall'azione del moto ondoso, che possono tuttavia essere fortemente influenzati anche da opere realizzate dall'uomo, come la costruzione di bacini portuali o di opere di protezione costiera.

All'interno di questi processi sono presenti sia quelli definibili come erosione costiera, che causano un arretramento della linea di spiaggia verso terra, sia quelli di deposizione, che causano un avanzamento verso mare della costa.

L'erosione costiera causata dal moto ondoso può avvenire sia nelle coste basse o spiagge che nelle coste alte caratterizzate da falesie o costoni rocciosi.

Nelle prime l'erosione avviene evidentemente per l'allontanamento dei sedimenti di spiaggia da una sezione della stessa, che può avvenire, in funzione del clima ondoso presente nel paraggio ed in particolare alla direzione di attacco rispetto alla linea di riva, sia tramite trasporto perpendicolare alla linea di costa (*crosshore sediment transport*) che tramite gradienti positivi del trasporto lungo riva (*longshore sediment transport*), per cui in una data sezione di spiaggia è maggiore la quantità di sedimenti che vengono messi in sospensione rispetto a quelli che vi sedimentano.

Nelle coste alte invece l'erosione può avvenire a causa dell'azione del moto ondoso sul piede della scogliera, che viene degradato e poi eroso fino a quando la parte di roccia sovrastante diventa instabile e si manifesta un crollo (Figura 8.121).

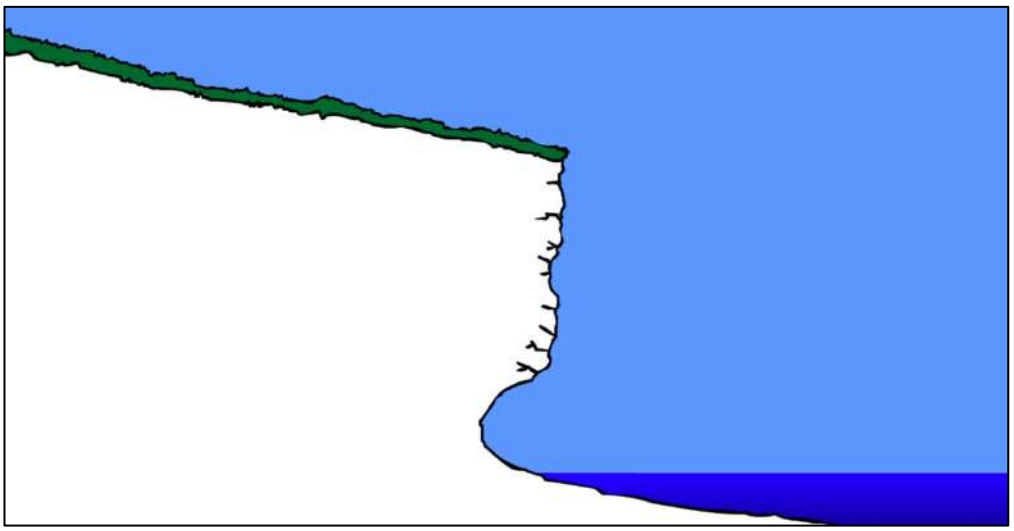


Figura 8.121 Esempio di scalzamento di una scogliera a seguito di erosione al piede.

Tuttavia, come anticipato, la normale dinamicità della zona costiera può essere fortemente alterata dalla realizzazione di strutture o infrastrutture realizzate dall'uomo. Infatti, la presenza di queste nuove strutture può imporre nuove condizioni a contorno sul normale trasporto di sedimenti, come ad esempio la costruzione di un porto che costituisce una barriera al trasporto lungo riva di sedimenti creando deposito sopraflutto ed erosione sottoflutto (Figura 8.122), o modificare il normale apporto di sedimenti derivanti da un corso d'acqua naturale, come ad esempio la realizzazione di invasi tramite dighe lungo il corso di un fiume che vanno a far sedimentare i solidi sospesi all'interno dell'invaso riducendo di molto l'apporto di sedimenti alla foce.

Figura 8.122 Esempio realizzazione del Porto di Capo D'Orlando che costituisce una barriera al normale trasporto di sedimenti lungo riva da Ovest verso Est.

Questa grande capacità d'interferenza delle opere realizzate dall'uomo sul complesso dinamismo della zona costiera all'interno di un'unità fisiografica rende necessaria lo studio di una gestione integrata delle coste, che punti ad uno sviluppo sostenibile nella loro complessità. Tale necessità è stata anche riportata in una pubblicazione di grande importanza nel settore quale "L'Atlante delle opere di sistemazione costiera" (*Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, 2007*). In tale documento è riportata una casistica ragionata delle varie opere, con le tipiche interferenze risultanti, realizzate lungo le coste del territorio nazionale e linee guida sulla progettazione delle diverse tipologie di

opere di protezione costiera che è possibile realizzare per contrastare i dissesti in atto.

A proposito delle opere di protezione costiera, va ricordato che anche le opere realizzate per proteggere dall'erosione un tratto di costa potrebbero comportare l'aggravarsi dei problemi erosivi altrove. È infatti tipico nella letteratura tecnica l'esempio della realizzazione in un tratto di spiaggia di pennelli perpendicolari.

Questa tipologia di soluzione è d'interesse quando si ha la presenza di un elevato trasporto lungo riva di sedimenti della spiaggia sospesi da un attacco ondoso con direzione d'incidenza che si discosta molto dalla perpendicolarità. In questi casi la costruzione di pennelli frangiflutti può risultare economica ed efficace per proteggere un tratto di costa; al contrario invece essi si rilevano quasi completamente inutili nel caso in cui l'attacco ondoso, e il relativo trasporto di sedimenti, sia prevalentemente di tipo frontale.

Bloccando il trasporto lungo riva dei sedimenti i pennelli, che possono essere realizzati con una mantellata di massi naturali o artificiali, riescono a creare anche un allungamento artificiale della spiaggia nel tratto protetto a scapito del tratto di costa sottoflutto rispetto all'area di intervento, per cui in certi casi una soluzione di protezione costiera non risolve il problema dell'erosione ma bensì lo sposta, aggravandolo, altrove (Figura 8.123).

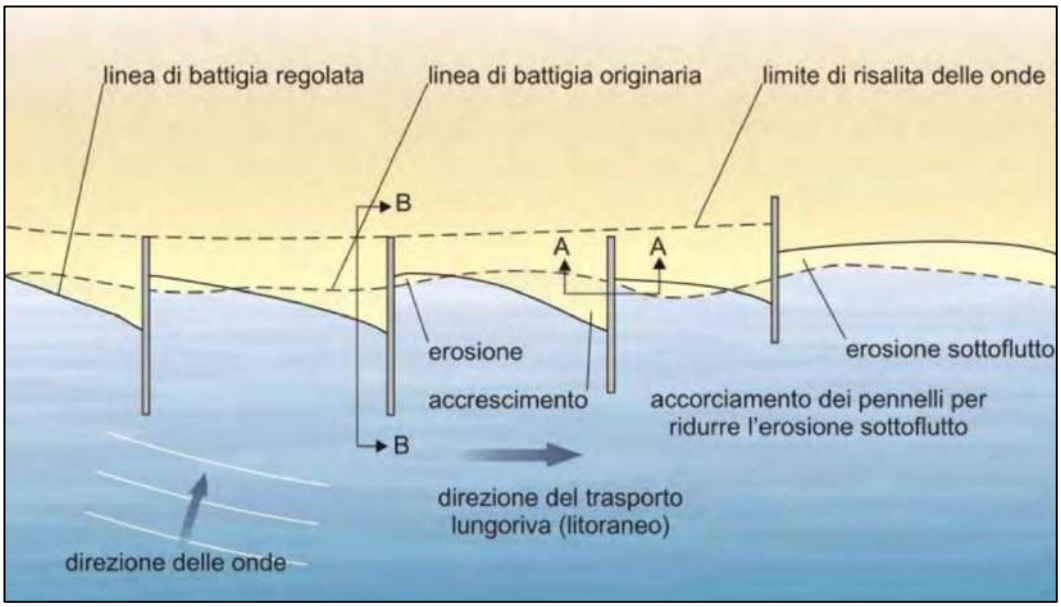


Figura 8.123 Esempio di risposta di un tratto di costa alla realizzazione di pennelli.

Un altro interessante aspetto è quello, parzialmente speculare, delle problematiche causate dall'erosione costiera alle opere realizzate dall'uomo. Infatti come sopra specificato l'erosione costiera, benché in alcuni casi possa essere causata o per lo meno amplificata da opere antropiche, è di base un fenomeno totalmente naturale. Per cui, in siti in cui non sono presenti opere dell'uomo, che siano infrastrutture pubbliche o proprietà private, e che non sono di particolare interesse naturalistico od economico l'interesse a capire le reali cause dell'erosione e ad individuare possibili soluzioni risolutive sarebbe limitato in quanto si potrebbe semplicemente lasciar fare all'erosione il suo corso. Tuttavia, è evidente che in tutta l'Italia, ed in particolar modo in Sicilia, molte aree costiere sono fortemente urbanizzate, per cui un'eccessiva erosione costiera potrebbe creare gravi danni ad abitazioni, infrastrutture e persone, oppure hanno un grandissimo valore economico/naturalistico (si pensi a tute le spiagge utilizzate dai bagnanti, ad esempio quella di Eraclea Minoa, in cui è presente un grave fenomeno erosivo (Figura 8.124).

Un ragionamento simile a quello sopra svolto è seguito nella definizione del livello di rischio delle aree rispetto a diversi fenomeni naturali (erosione costiera, allagamenti ma anche terremoti etc.).

Infine, si vuole ricordare che esistono casi in cui la realizzazione di un'opera antropica sia la causa scatenante del fenomeno di erosione costiera che, proseguendo, arriva a mettere in pericolo l'opera stessa. Un esempio tipico è quello della costruzione di una strada o altre strutture lineari di trasporto costruite lungo la linea costiera. In particolare, la costruzione di questa tipologia di infrastruttura irrigidisce la zona costa facilitando l'erosione di sedimenti al piede delle strutture stesse (fenomeni di scalzamento al piede) ed in altri casi, come spesso è accaduto durante l'evoluzione degli insediamenti sulla costa, nel realizzare queste strutture di trasporto si sono andate a demolire o comunque a scollegare dalla spiaggia le dune costiere, che, dove presenti, hanno un fondamentale ruolo come "serbatoio" di riserva di sedimento fondamentale per l'equilibrio dinamico dalla spiaggia, infatti riescono a compensare parzialmente le perdite di sedimento durante le fasi erosive.

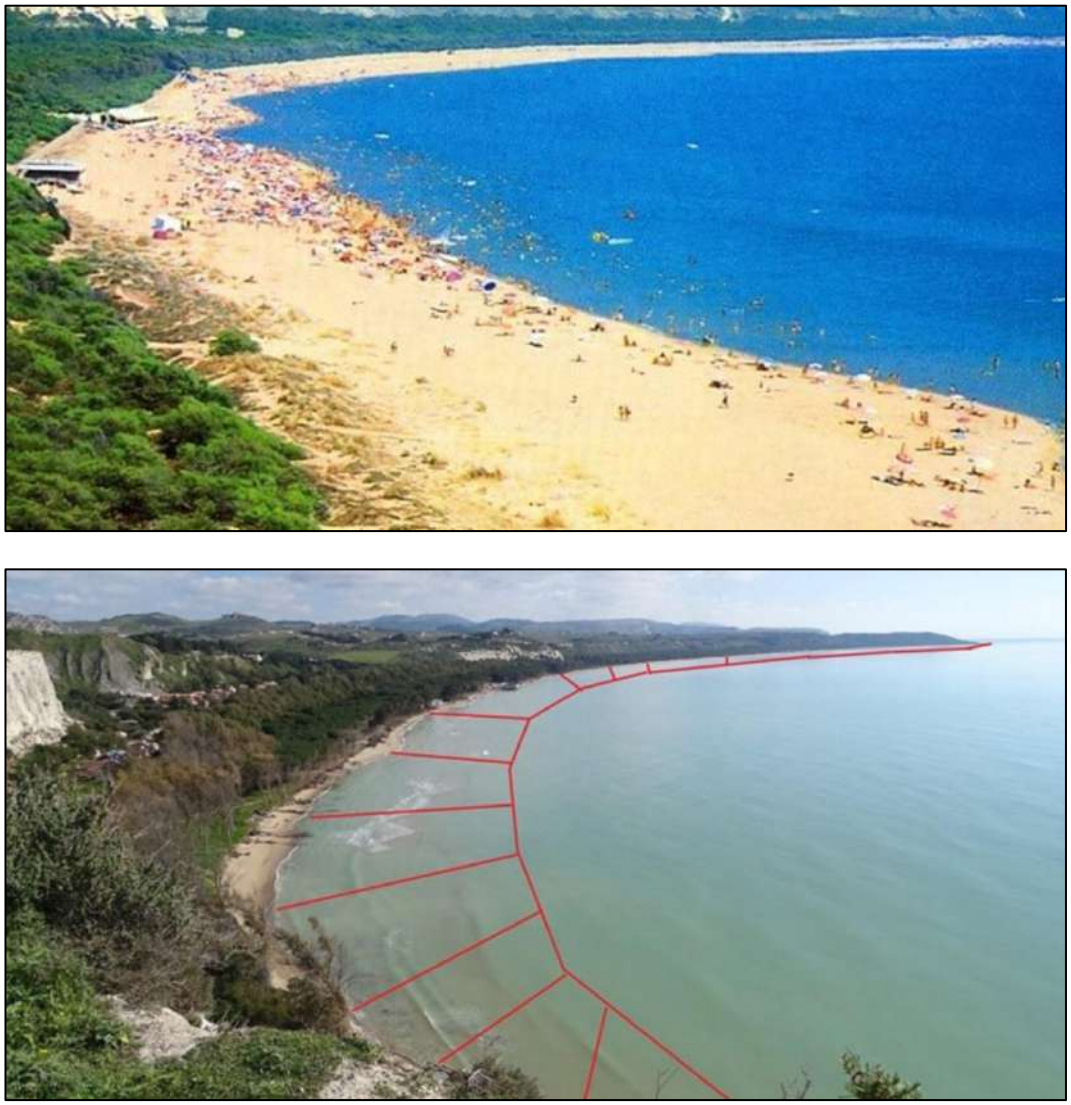


Figura 8.124 Confronto tra immagini della spiaggia di Eraclea Minoa (Agrigento) nel 1987 e nel 2019.

Un famoso esempio di questa tipologia di fenomeno presente in Sicilia è quello della Strada Provinciale 67 a Santa Maria del Focallo (RG), riportato anche nel dossier "Spiagge indifese" (*Legambiente, 2015*), in cui l'arenile ha subito una notevole erosione negli ultimi anni mettendo a serio rischio la sicurezza della viabilità sulla strada stessa (Figura 8.125).

Figura 8.125 Strada provinciale SP67 a Santa Maria del Focallo (RG) [anno 2009]

Nell'ambito della redazione del presente Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC) si è individuato, per ogni unità fisiografica del prim'ordine, un dissesto per cui fosse molto significativa l'interazione tra il processo erosivo e l'azione antropica.

Per ognuno di questi dissesti, come precedentemente richiamato, è stata prodotta una scheda tecnica contenente le seguenti sezioni:

- Inquadramento generale del sito, contenente informazioni sulla localizzazione geografica del sito in cui è presente il dissesto; vengono identificati il Comune e l'unità fisiografica di secondo e terzo ordine, infine si riporta sia la cartografia tecnica disponibile (CTR, IGM e dall'Atlante delle coste) che inquadramenti tramite ortofoto satellitari e su piattaforma GIS.
- Morfologia, in cui viene inizialmente identificato se il dissesto avviene in un tratto di costa alta o bassa ed in seguito riportati i caratteri geologici o litotecnici del tratto di costa interessato ed infine eventuali particolarità dell'assetto morfostrutturale.
- Opere di difesa, in cui vengono elencate le eventuali opere di difesa preesistenti che tuttavia si stanno dimostrando insufficienti in quanto non in grado di arrestare il dissesto in corso.
- Beni esposti a rischio, in cui si presenta un elenco dei beni materiali, costituiti da proprietà private o infrastrutture pubbliche, la cui salvaguardia

o corretto funzionamento sono posti a rischio dal fenomeno di dissesto in atto.

- Vincoli, in cui vengono elencati gli eventuali vincoli ambientali (SIC, ZSC, ZPS), paesaggistici, archeologici, boschivi o di altro tipo in cui il sito in esame ricade e di cui viene riportata la cartografia disponibile.
- Descrizione dei dissesti presenti sul sito, in cui, oltre al recente materiale fotografico (al più 5 anni), viene indicato il tipo (crolli, frane, erosione, accumulo eccessivo etc.) lo stato (quiescente od in atto) le strutture e forme predisponenti (condizioni intrinseche, antropiche, fisiche e geomorofologiche) e gli eventuali segni premonitori evidenti (cedimenti, crolli localizzati, significativo arretramento della linea di spiaggia etc.); nei casi di interesse, se disponibile, viene riportata anche una schematica planimetria dell'area in cui si indica l'evoluzione della linea di costa nel tempo.
- Clima meteomarino, in cui viene riportata una carta delle batimetrie del paraggio in esame, una schematizzazione del fetch geografico e del clima medio del moto ondoso per definire l'aggressività del mare nel sito in esame; infine, per evidenziare il clima ondoso durante gli eventi estremi, è riportata l'altezza d'onda significativa per le mareggiate con tempo di ritorno di 5,10 e 100 anni.

8.7.1 Interazione tra gli interventi antropici e le coste alte

Come già evidenziato, l'ambito costiero si caratterizza per un forte dinamismo dei processi che sottendono la configurazione dei litorali. Arenili sabbiosi e falesie rocciose sono suscettibili di modificazioni, a volte rapide e profonde, conseguenti a perturbazioni, anche minime, delle dinamiche naturali che interagiscono nella fascia tra terra e mare. Spesso sono evidenti le interferenze antropiche, causa di alterazioni dei delicati equilibri di questi ambienti, sede di fragili ecosistemi.

Numerose segnalazioni di criticità ambientale e geomorfologica si registrano da anni nel perimetro costiero regionale per evidenziare i danni causati da dissesti ed inondazioni quali principali minacce alla integrità della fascia costiera. La salvaguardia di quest'ultima è di fondamentale importanza per la fruizione delle risorse naturali, consistenti nei paesaggi e nella biodiversità dei suoi

ambienti, la cui protezione richiede un grosso sforzo di raccordo tra esigenze di sviluppo nel breve periodo e di sostenibilità economico-ambientale.

In questi sistemi ambientali di transizione ed estremamente sensibili, ciascun elemento fisico, biotico e di genesi antropica interagisce con quello contiguo, contribuendo spesso ad accelerare la dinamica dei processi geomorfologici.

In questo contesto, la formazione delle falesie è il risultato della interazione tra processi di ingressione marina e processi gravitativi subaerei. Le onde, impattando sulle falesie con elevata energia, provocano il distacco di detriti e di blocchi rocciosi, anche attraverso fasi di compressione e decompressione dell'aria contenuta nelle fessure e lungo i piani di stratificazione.

Eventuali cinematismi sono in genere caratterizzati da distacchi di blocchi dalla massa rocciosa e dal loro scoscendimento verso valle, per caduta libera, rimbalzando, rotolando, scivolando o, più spesso, a seconda della litologia del blocco, della sua forma, della morfologia del versante, combinando due o più di questi movimenti.

L'azione disgregante esercitata da questi e la natura delle formazioni geologiche comporta la formazione di scarpate di notevole acclività, che diventano sedi di potenziali condizioni di instabilità.

Le coste alte si delineano pertanto su profili verticali e sono generalmente a strapiombo sul mare. L'azione erosiva è prevalente sulla deposizione ed è determinata dalla violenza del moto ondoso e dall'azione meccanica di piccole porzioni di roccia, ciottoli e sabbia scagliati contro la costa.

Nel caso delle falesie i principali fattori di rischio sono in stretta connessione alle peculiarità geomorfologiche che si riscontrano, alle unità litologiche costituenti la costa, all'attività geodinamica degli elementi strutturali, nonché alle unità affioranti ed alla loro acclività. Nello studio dell'interazione tra onde e falesie particolare importanza riveste il trasferimento di energia delle onde che si infrangono sulla falesia e la conseguente risposta dinamica della stessa.

Per l'analisi della pericolosità è indispensabile la stima della velocità di arretramento di una costa alta e per questo occorre implementare degli opportuni modelli. Quest'ultimi devono consentire di stabilire i livelli di sollecitazione a cui la costa rocciosa è soggetta, ovvero lo stato deformativo

generato dal moto ondoso ed i livelli di fatica ciclica a cui il materiale è sottoposto.

In generale gli aspetti morfologici utilizzati per la stima della variazione nel tempo di una falesia sono la base del pendio, la prima significativa rottura di pendenza, oppure la cresta. Alcuni autori (Benumof et al., 2000) propongono correlazioni basate sul confronto tra la velocità di arretramento e la resistenza a compressione del materiale roccioso.

Lo studio dei processi che modellano le coste alte e l'acquisizione dei dati di interesse è tuttavia complicato dalla bassa velocità con cui si manifestano i cambiamenti, dalla difficoltà nel misurare l'effetto del moto ondoso, dalla difficoltà nell'accesso alle zone da investigare, dalla complessità geologica del sistema costiero.

Anche se i fenomeni naturali, di natura tanto eccezionale che stagionale, hanno rilievo sui processi di erosione, gli effetti più gravi a medio termine sono quelli di origine antropica. Le cause di maggior rilievo sono infatti:

- fenomeni innescati da utilizzi morfologicamente non compatibili dei versanti (tagli antropici);
- concentrazione di deflussi;
- presenza di vegetazione (copertura/uso del suolo);
- l'impoverimento dell'apporto solido dei fiumi;
- l'intensa antropizzazione delle coste.

Le zone costiere subiscono pressioni ambientali di origine antropica superiori al normale per effetto del modello di sviluppo e di consumo attuale, proprio perché sono luoghi dove la gente ama vivere e lavorare e dove si svolge la grande percentuale di attività ricreative e turistiche, che si sommano ad una quantità aumentata di attività di commerci e di scambi.

I fattori di pressione in Sicilia sono spesso determinati da una accentuata spinta all'urbanizzazione, dall'abusivismo edilizio, dalla preferenza per l'infrastrutturazione trasportistica in aree costiere (strade, ferrovie), quando non addirittura sulla linea di costa, dai porti, dall'agricoltura, dall'industria, ivi attirata anche da un più facile smaltimento di reflui e deiezioni dagli impianti.

Le necessità di gestione degli effetti e dell'adozione di azioni di contrasto all'erosione costiera, scaturiscono pertanto anche dalla interferenza del fenomeno con gli interessi antropici localizzati. Si tratta di infrastrutture, aree insediative, agricole e/o produttive inserite generalmente senza particolari accorgimenti in un ambiente fortemente dinamico come quello costiero, che anzi spesso ne hanno modificato l'assetto. E' evidente che, anche al fine di attuare una corretta gestione e salvaguardia dell'ambiente costiero, sia necessario conoscere a fondo i processi, i fattori ed i fenomeni agenti e come essi si distribuiscono nel tempo e nello spazio.

Un miglioramento dello stato di conoscenza delle coste alte è necessariamente subordinato ad indagini cartografiche, rilevamenti morfologici, geologici e sedimentologici, nonché all'analisi dei fenomeni di erosione ed osservazione degli interventi antropici sulle aree di studio, con l'obiettivo di individuare, anche attraverso il grado di irregolarità geometrica delle linee di costa, i processi primari e secondari che contribuiscono e concorrono alla loro genesi ed alla loro evoluzione morfologica.

Rilevate e monitorate le variazioni morfologiche e valutate le criticità, occorre stabilire quelle su cui è necessario intervenire secondo una scala di priorità, in funzione del grado di criticità e degli elementi esposti a rischio. Stabilite le priorità si può procedere ad una stima del fabbisogno e ad una verifica delle risorse disponibili rispetto a quelle necessarie. Una minore disponibilità di risorse determina una riduzione del numero di azioni/priorità da ritenere in una prima fase di interventi (Figura 8.126).

La pianificazione comprenderà anche interventi/azioni da realizzare in fasi successive e dovrà necessariamente tenere conto degli effetti dei cambiamenti climatici sul tratto costiero considerato e degli effetti degli interventi che si andranno a realizzare.

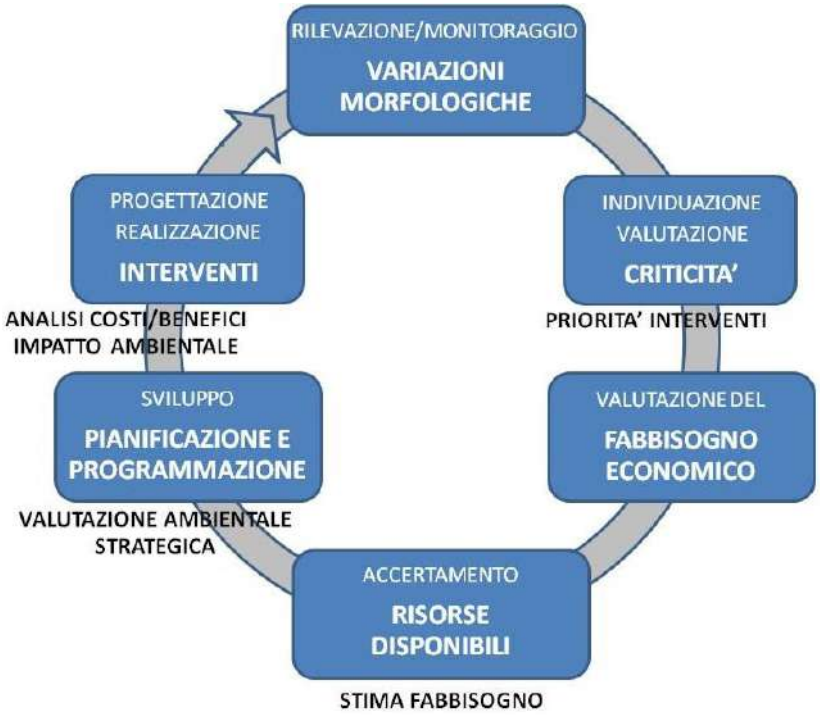


Figura 8.126 Schema metodologico di riferimento per la valutazione e la gestione di interventi di riduzione dell'erosione costiera per le coste alte.

La programmazione di interventi sarà basata sulle risorse effettivamente disponibili, finanziarie e naturali, in un determinato tempo ed in funzione della pianificazione di più lungo periodo. Gli obiettivi della pianificazione e programmazione saranno quindi quelli di individuare e realizzare interventi e azioni per la soluzione o riduzione delle diverse criticità ritenute non accettabili.

La pianificazione è un processo cruciale, in cui attraverso analisi e valutazioni sullo stato attuale si definisce una visione condivisa (fra Pubbliche Amministrazioni e portatori di interesse), con obiettivi di assetto costiero, sicurezza e sviluppo per il futuro.

8.8 Effetti dei cambiamenti climatici sull'erosione e sugli allagamenti costieri

Nel programmare gli interventi sulla costa, fino ad oggi, si è ipotizzato che le azioni sulla costa sarebbero rimaste stabili, che sarebbe stato possibile prevedere le mareggiate basandosi su informazioni storiche e che il livello medio

del mare non sarebbe cambiato. Tuttavia, le osservazioni e le proiezioni delle condizioni meteo-marine indicano che il clima futuro non assomiglierà affatto a quello passato (IPCC, 2014). In particolare, in ambiente costiero si osservano sempre con maggiore evidenza le variazioni di alcuni indicatori di cambiamento climatico globale, quali, per esempio, l'innalzamento delle temperature medie del mare, l'innalzamento del livello del mare (SLR), l'aumento delle temperature, delle tempeste più frequenti, possibili cambiamenti delle caratteristiche del clima ondoso e delle mareggiate, l'acidificazione degli oceani (Church et al., 2013).

L'effetto congiunto della pressione antropica sulle coste e degli effetti dei cambiamenti climatici possono indurre squilibri significativi lungo le coste. Risulta quindi necessario non solo programmare campagne di indagine e di studio volte alla comprensione di tali effetti, ma anche considerare l'implementazione di strategie di adattamento adeguate (Losada et al., 2019).

In tale contesto, a livello europeo, nel 2013 è stata adottata la Strategia Europea per l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici, che fa seguito alle politiche di adattamento già promosse dalla Direttiva Acque (2000/60/CE) e dalla Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (2008/56/CE).

In Italia, la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici è stata approvata con il Decreto Direttoriale n.86 del 16 giugno 2015 (SNAC, 2015). Essa individua i principali impatti dei cambiamenti climatici per una serie di settori socio-economici e naturali e propone azioni di adattamento sul territorio nazionale. Con riferimento ai processi erosivi lungo i litorali, la SNAC indica che quasi l'80% di tutte le spiagge italiane esistenti sono in erosione a causa sia della risalita del livello del mare e dell'azione delle onde generate dal vento, sia degli usi non sostenibili nel territorio costiero e nell'entroterra, sia della riduzione dell'apporto solido dai fiumi dovute alle estese strategie di rimboschimento e alla cattura dei sedimenti negli invasi del medio corso fluviale.

Il problema degli effetti dei cambiamenti climatici sull'erosione costiera, oltre che generare perdita di suolo, danni socio-economici diretti e indiretti legati al turismo balneare, danni infrastrutturali all'entroterra, ha notevoli impatti anche sulla qualità ambientale delle zone costiere. Infatti, i servizi ecosistemici nella

zona costiera sono particolarmente sensibili agli impatti climatici, con effetti che possono propagarsi "in cascata" da un servizio all'altro.

Si comprende quindi come, per una gestione sostenibile delle zone costiere, il problema della valutazione dell'impatto antropico non climatico è strettamente legato e non può prescindere dall'analisi dei trend climatici in corso. La SNAC (2015) sostiene che, pur nella variabilità dei casi, le opere a difesa delle zone costiere presentano un elevato rapporto benefici/costi. Tale dato è ribadito sia da modelli ingegneristici su scala mondiale che da valutazioni sito-specifiche, sia per misure "hard" sia "soft". Se ne deduce quindi il supporto da parte della SNAC (2015), sul territorio nazionale, a interventi di difesa dai litorali dall'erosione, anche in virtù del fatto che i benefici di detti interventi, sono spesso giustificati dall'elevato valore turistico di molte aree costiere del Paese, suscettibili di produrre, se opportunamente tutelate, considerevoli flussi di reddito.

Più recentemente, il documento di supporto al Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, 2017; Gallucci e Mereu, 2017), elaborato dal Centro Euro-Mediterraneo Cambiamenti Climatici (CMCC) per conto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), per le aree marine e per le zone costiere italiane ha:

- individuato le "macroregioni climatiche omogenee" con condizioni climatiche simili per il periodo di riferimento (1987-2010) (zonazione climatica), attraverso la metodologia della cluster analysis, utilizzando le rianalisi dei servizi marini Copernicus, di seguito identificate con REAN;
- analizzato le anomalie climatiche attese sulla base delle proiezioni climatiche future (2021-2050) per lo scenario climatico RCP8.5[15],

[15] Gli scenari RCP (Representative Concentration Pathways, Percorsi Rappresentativi di Concentrazione), indicano un andamento rappresentativo delle concentrazioni dei gas a effetto serra e degli aerosol per un determinato obiettivo climatico (in termini di forzante radiativo nel 2100), che corrisponde a sua volta a un determinato andamento delle emissioni umane. Più elevato è il valore del forzante radiativo, maggiore sarà il cambiamento climatico.

Lo scenario di emissione più ottimistico è RCP2.6 (2,6 W/m^2 alla fine del secolo), che assume che la comunità internazionale si accordi sulla riduzione drastica dei gas

ottenute tramite il modello oceanico NEMO (https://www.nemo-ocean.eu) applicato al Mar Mediterraneo (Lovato et al. 2013) di seguito identificate con MEDSEA;

- effettuato la zonazione delle anomalie climatiche future sulla base delle variazioni climatiche attese per il periodo 2021-2050 (RCP 8.5);
- individuato le "aree climatiche omogenee", attraverso la sovrapposizione delle macroregioni climatiche omogenee e della zonazione delle anomalie, per definire aree con uguale condizione climatica attuale e stessa proiezione climatica di anomalia futura.

Alcuni risultati del PNACC verranno discussi nei paragrafi successivi, al fine di caratterizzare la situazione delle coste siciliane.

Recentemente, sono state emanate le più volte richiamate "Linee Guida Nazionali per la Difesa della Costa dai Fenomeni di Erosione e dagli Effetti dei Cambiamenti Climatici" (MATTM-Regioni, 2018), che suggeriscono, nella pianificazione di interventi/azioni da realizzare in fasi successive, di tener conto degli effetti dei cambiamenti climatici sulle unità costiere e degli effetti degli interventi che si andranno via via a realizzare, stressando la necessità di implementare interventi che aumentino la resilienza costiera, mediante il ripristino del bilancio sedimentario.

8.8.1 Effetti dei cambiamenti climatici attesi sulle coste italiane e loro influenza su erosione e allagamenti

Uno degli effetti più evidenti sulle zone costiere dei cambiamenti climatici che si sono registrati negli ultimi due secoli, a livello globale, è l'innalzamento del livello medio del mare a causa dell'incremento della temperatura media, e quindi per espansione termica e scioglimento dei ghiacciai (Church et al., 2013, IPCC AR5). In particolare, appare molto probabile che nel XXI secolo, la velocità di innalzamento del livello medio del mare (Sea Level Rise, SLR) supererà quella

---

a effetto serra. Lo scenario più pessimistico è RCP8.5 (8,5 W/m^2 alla fine del secolo), che suppone che l'umanità continui come finora ha fatto, emettendo sempre più gas a effetto serra.

osservata nel periodo 1971-2010 e potrà raggiungere a livello globale i 7÷15 mm all'anno, nello scenario emissivo più negativo (RCP8.5). Inoltre, è virtualmente certo che tale crescita continuerà anche dopo il 2100, poiché l'espansione termica degli oceani proseguirà in ogni caso per diversi secoli. Tuttavia, è opportuno sottolineare come mentre i dati a livello globale indicano tendenze ormai definite, a livello regionale si registra una variabilità molto spinta sia nella situazione attuale che in quella futura. Ciò è particolarmente vero per il Mar Mediterraneo, che è un mare chiuso, con condizioni batimetriche molto variabili e con connessione alla circolazione oceanica limitata allo stretto di Gibilterra, la cui adeguata modellazione all'interno dei modelli di circolazione globali e regionali condiziona fortemente i risultati delle analisi climatiche attuali e future (Malanotte-Rizzoli, 2018; Foti et al., 2020).

D'altro canto, sembra che gli effetti dei cambiamenti climatici saranno particolarmente significativi anche per quanto concerne i livelli marini e le condizioni estreme del moto ondoso. In particolare, secondo l'IPCC (AR5), è molto probabile che ci sarà un aumento della frequenza di livelli marini estremi tra il 2050 e il 2100 (Church et al. 2013), mentre per quanto riguarda le proiezioni a scala regionale degli stessi livelli estremi e quelle sulle altezze significative del moto ondoso, esse appaiono affette da importanti incertezze, legate da un lato alla difficoltà di fare previsioni in merito alle tempeste tropicali ed extra-tropicali e dall'altro all'incertezza degli stessi modelli.

E' importante evidenziare come i cambiamenti climatici, al di là degli effetti diretti, aumentano il grado di incertezza delle proiezioni future. Inoltre, bisogna considerare che gli impatti costieri presentano delle dipendenze e hanno degli effetti-cascata (IPCC, 2012). Si pensi per esempio al problema dell'erosione costiera, il cui progressivo aggravarsi contribuisce ad aumentare anche il rischio di allagamenti costieri.

Al fine di meglio inquadrare lo stato delle conoscenze sulle condizioni dei litorali siciliani, nel seguito vengono sintetizzati alcuni dei principali risultati attualmente disponibili, relativi alle variazioni delle principali caratteristiche meteo-marine, sia con riferimento ai valori medi che a quelli estremi.

8.8.1.1 Variazioni di temperatura media del mare e livello medio del mare

Sul fatto che si continuino ad osservare incrementi di temperatura media e del livello medio del mare (SLR) a scala globale, la letteratura scientifica appare piuttosto unanime (IPCC, 2014). Esistono tuttavia delle incertezze in merito alle valore delle proiezioni di questi parametri, in funzione dei diversi scenari futuri che possono realizzarsi, sia in termini di emissioni di gas-serra (noti comunemente come scenari RCP in funzione del livello di emissioni di gas serra in atmosfera), sia di effetti a lungo termine della variazione della temperatura media globale. Tuttavia, a scala regionale e locale la variazione di detti parametri non è affatto uniforme. L'indispensabile modellazione a scala globale e regionale di tale fenomeno richiede adeguati miglioramenti, con particolare riferimento al Mar Mediterraneo, in cui molti modelli globali considerano una errata modellazione degli scambi idrici in corrispondenza dello stretto di Gilbiterra (Sanchez-Roman et al., 2018).

Con riferimento alla situazione italiana, la SNAC indica che:

- il livello relativo del mare negli ultimi 2000 anni nelle aree tettonicamente stabili del Mediterraneo centrale è risalito di circa 1,3/1,4 metri. Di questo sollevamento solo 12 cm sono dovuti allo scioglimento dei ghiacciai, mentre la restante parte è stata causata dal riaggiustamento glacio-idro-isostatico (Lambeck et al., 2004). Tuttavia l'innalzamento di 12 cm è avvenuto solo negli ultimi 100 anni come probabile conseguenza del progressivo riscaldamento globale;
- il Mediterraneo, a causa della complessa fisiografia, della presenza di condizioni meteorologiche peculiari, del bilancio idrogeologico negativo (dal mare evapora più acqua di quanta ne arriva dai fiumi) e delle anomalie di salinità, si comporta diversamente rispetto agli oceani: i dati mareografici, comparati con quelli globali, indicano un sollevamento inferiore negli ultimi 100 anni 1,1 contro 1,8 mm/anno.

Più recentemente, per il bacino del Mediterraneo, nell'ambito dell'elaborazione del PNACC (CMMC, 2017) sono state calcolate le anomalie medie su base annuale per la temperatura superficiale dell'acqua (SSTA) ed il livello del mare (SSHA), usando i dati di MEDSEA e il modello NEMO (Madec,

2008) applicato al Mar Mediterraneo (7 km di risoluzione) forzato con i dati atmosferici e idrologici del modello climatico CMCC-CM a ~80 Km di risoluzione orizzontale (Scoccimarro et al. 2011).

Per il clima corrente (1981-2010) e lo scenario peggiore RCP8.5, altrimenti detto "business as usual" ovvero senza nessuna modifica delle emissioni di gas serra, per il periodo 2021-2050 mediati all'interno delle aree costiere definite dalla entro le 12 miglia marine, sulla base di quanto indicato nella *Marine Strategy Framework Directive* (MSFD, Directive 2008/56/EC). La MSFD identifica nel Mediterraneo cinque macro regioni marine: il Mediterraneo Ovest, il Mar Adriatico, il Mar Ionio, il Mediterraneo Centrale e il Mare Egeo-Levantino.

Dai risultati sui mari italiani riportati in Figura 8.127 e in Tabella 8.LVII si osserva come intorno alle coste siciliane nel periodo 2021-2050, si prevedono rispettivamente incrementi della temperatura media e del livello medio del mare pari a +1.31°C e +7 cm per il Mar Ionio (IONS), +1.26°C e +9 cm per il Mediterraneo centrale (CMED) e+1.28°C e +9 cm per il Mar Tirreno (TYRS).

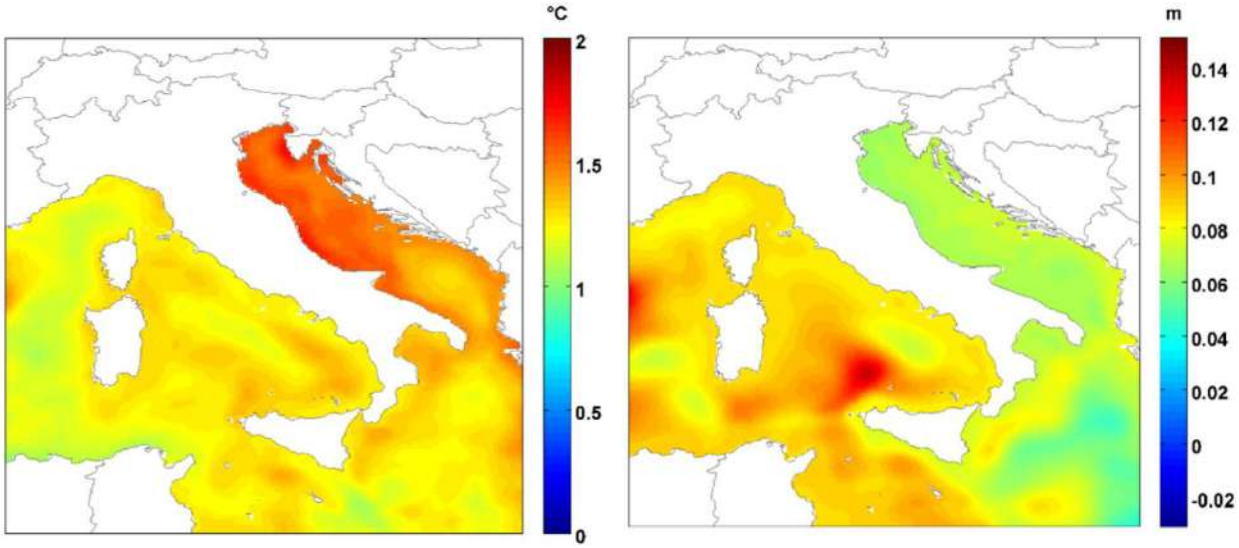


Figura 8.127 Climatologie degli indicatori SSTA (a sinistra) e SSHA (a destra) sul Mediterraneo centrale ottenute dal dataset MEDSEA RCP8.5 per il periodo 2021-2050 vs il periodo 1981-2010 (fonte: PNACC, 2017).

Tabella 8.LVII Anomalia media della temperatura superficiale (SSTA) e del livello del mare (SSHA), calcolata come differenza tra il periodo 2021-2050 e 1981-2010 usando il dataset MEDSEA. I valori si riferiscono all'anomalia media nella fascia entro le 12 miglia marine delle regioni costiere definite dalla MSFD: NADR Nord Adriatico; CADR Centro-Adriatico; SADR Sud Adriatico; IONS Mar Ionio; CMED Mediterraneo Centrale; LIGS Mar Ligure; TYRS Mar Tirreno; WMED Mediterraneo Occidentale (fonte: PNACC, 2017).

Area Costiera	SSTA [°C]	SSHA [cm]
NADR	+1.58	+7
CADR	+1.60	+7
SADR	+1.48	+7
IONS	+1.31	+7
CMED	+1.26	+9
LIGS	+1.27	+8
TYRS	+1.28	+9
WMED	+1.27	+9

8.8.1.2 Variazione del clima ondoso

Secondo Reguero et al. (2019) la potenza globale del moto ondoso, ovvero il trasporto di energia traferito dal vento alla superficie del mare attraverso la generazione delle onde di mare, è incrementato globalmente dello 0.4% all'anno dal 1948 al 2017. Tuttavia, al di là delle stime a livello globale, vale la pena ricordare che per quanto riguarda le zone costiere, le variazioni dei parametri del moto ondoso sono fortemente condizionate dalle condizioni regionali e locali. In particolare, per il Mar Mediterraneo, Lionello e Sanna (2005), analizzando dati relativi al periodo 1958-2001 sottolineano come esista una tendenza statisticamente significativa alla riduzione delle altezze d'onda significative nel periodo invernale nel bacino del Mediterraneo. Nel mar Mediterraneo, inoltre, sebbene fenomeni di larga scala, come l'Oscillazione Nord-Atlantica possano influenzare i valori medi, i loro effetti sono fortemente modulati da fenomeni alla mesoscala e dalla distribuzione geografica tra terra e mare, o in altre parole dal fecth e dall'orientamento dello specifico bacino di mare. In particolare, il fetch agisce come un filtro che seleziona la componente di circolazione atmosferica in

funzione della forma e dell'orientamento del bacino, ovvero quella più efficace per la generazione del moto ondoso.

Con riferimento alle proiezioni future, la SNAC (2015) per l'Italia indica che:

- i cambiamenti della circolazione atmosferica e dei venti alla superficie del mare hanno causato una riduzione dell'intensità di future mareggiate alle coste italiane con una diminuzione sia dei valori medi sia estremi;
- nella regione Mediterranea si registra una tendenza generale alla riduzione in autunno e primavera e alla diminuzione dei cicloni estremi in aprile ed agosto, ma un incremento a marzo.

Tali dati sembrano confortati dalle analisi di Martucci et al. (2010), i quali, considerando dati del modello WAM forzato dal dataset ERA-40 nel periodo 1958-1999, hanno trovato che esiste un trend negativo nelle altezze d'onda significative medie annue e nelle medie relative al periodo invernale. Gli stessi autori mostrano tuttavia che per il Mar Adriatico è possibile osservare agli inizi degli anni '90 un'inversione di tendenza e una progressiva crescita dell'altezza d'onda significativa.

D'altro canto, analizzando il trend dei dati di moto ondoso del dataset di rianalisi dell'ECMWF, ERA-Interim (periodo 1979-2017) in prossimità delle coste della Calabria, Caloiero et al. (2019) hanno trovato che, mentre si registra un incremento lieve o nullo dell'altezza d'onda, si osserva un aumento significativo del periodo energetico, che influenza la potenza del moto ondoso a causa del realizzarsi di onde più lunghe. In particolare, gli stessi autori hanno evidenziato che c'è una tendenza all'incremento dei valori massimi di H_s e T_e. Si comprende quindi come tale fenomeno potrebbe avere un impatto significativo non solo sui processi erosivi, ma anche e soprattutto sui processi di allagamenti costieri, che si realizzano proprio durante le mareggiate estreme.

Secondo la SNAC (2015), con riferimento alle mareggiate estreme (storminess, nella letteratura anglosassone):

- le previsioni di mareggiate estreme per il bacino del Mediterraneo non sono univoche: si prevede un generale incremento di tali eventi per tutta l'Europa, anche se alcune fonti parlano di un decremento della

frequenza verso la parte orientale del Mediterraneo (Busuioc, 2001), ma anche di un incremento della storminess per parti dell'Adriatico, dell'Egeo e del Mare Nero (Guedes Soares, Albiach et al., 2002, Pomaro et al., 2017);

- per quanto riguarda le tempeste e le mareggiate nel nord dell'Adriatico, i dati mostrano una grande variabilità inter-annuale, ciò suggerisce tempeste progressivamente più miti durante la seconda metà del XX secolo (Lionello et al., 2010a). In futuro, le simulazioni di scenario (Lionello et al., 2003) suggeriscono una maggiore frequenza delle tempeste intense per lo scenario B2, ma non per lo scenario A2 (IPCC, 2007). Probabilmente, queste differenze non sono l'effetto dei cambiamenti climatici, ma della variabilità multidecennale del clima;
- gli studi condotti sulle simulazioni di questi eventi estremi non forniscono un'evidente intensificazione né un'attenuazione delle tempeste marine, (Matulla et al, 2011; Lionello et al., 2010a, Lionello et al., 2010b). Le differenze, tuttavia, tra il presente e il futuro, relative all'altezza d'onda significativa sono piccole e comparabili con l'incertezza associata con eventi estremi. Pertanto, non vi è alcuna prova convincente che testimoni il verificarsi di tempeste di entità maggiori in scenari futuri né che le tempeste nel Nord Adriatico siano suscettibili ai cambiamenti climatici.
-

8.8.2 Sintesi dei risultati disponibili sulle coste siciliane

- Con riferimento specifico alle variazioni dei parametri del moto ondoso lungo le coste siciliane, recentemente Stagnitti et al. (2020) hanno analizzato l'andamento in un intervallo temporale sufficientemente esteso di parametri come l'altezza d'onda significativa e la frequenza delle mareggiate, che come ricordato risultano le principali responsabili dei problemi di erosione costiera lungo i litorali.
- In particolare, sono stati studiati i dati delle boe dei due siti siciliani di Catania (37°26'18''N; 15°08'48''E) e Mazara del Vallo (37°31'00''N; 12°32'00''E), per i quali sono disponibili le serie storiche di altezza

d’onda significativa acquisite dalla Rete Ondametrica Nazionale (RON) durante il periodo 1989-2014, seppur affette dalla presenza di dati mancanti causati da malfunzionamenti della strumentazione di misura.

- Oltre ai dati di boa, sono stati presi in considerazione due dataset realizzati mediante modellazione numerica: i) per il periodo 1979-2009, i risultati del progetto *WAVEWATCH III 30-year Hindcast Phase 1*, sviluppato dall'Amministrazione Nazionale Oceanica ed Atmosferica Americana (NOAA); ii) per il periodo 1979-2019, le stime ERA5 prodotte dal più recente modello di rianalisi sviluppato dal Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche a Medio Termine (ECMWF).
- In Figura 8.128 è mostrata la localizzazione geografica delle boe RON di Catania e Mazara del Vallo e dei punti appartenenti alle griglie di calcolo dei modelli NOAA e ERA5 che più si avvicinano alle suddette boe.
- Nel corso della presente analisi, sono stati considerati anche i dati relativi i tre siti siciliani di Catania (37°26'15.00"N; 15°40'1.20"E), Mazara del Vallo (37°31'14.88"N; 12°32'30.12"E) e Palermo (38°16'14.88"N; 13°17'30.12"E), per i quali sono disponibili le serie di altezza d’onda significativa elaborate dal Mediterranean Sea Waves Forecasting system (CMEMS MED-Waves) relative al periodo 2006-2019. Tuttavia, data l’esigua estensione delle serie temporali (13 anni), questi ultimi dati non si prestano all’analisi di trend climatici e non sono qui riportati.
- La valutazione dei possibili effetti dei cambiamenti climatici sui fenomeni di erosione costiera e sull’interazione tra il moto ondoso e le strutture costiere necessita di un’analisi di trend delle caratteristiche degli eventi di mareggiata. Secondo Boccotti (2004), una mareggiata è un evento la cui altezza significativa supera la soglia di 1.5 m e non scende al di sotto di essa per più di 12 h. Dunque, sulla base di tale definizione, è possibile calcolare per ognuno dei tre data-set la frequenza annua di mareggiate e l’altezza significativa media annua delle mareggiate per i siti di Catania e Mazara del Vallo. La frequenza di mareggiata annua f è intesa come il numero di eventi che avvengono ogni anno, mentre l’altezza d’onda

significativa media annua delle mareggiate $H_{s,m}$ è la media annua delle altezze significative sopra soglia.

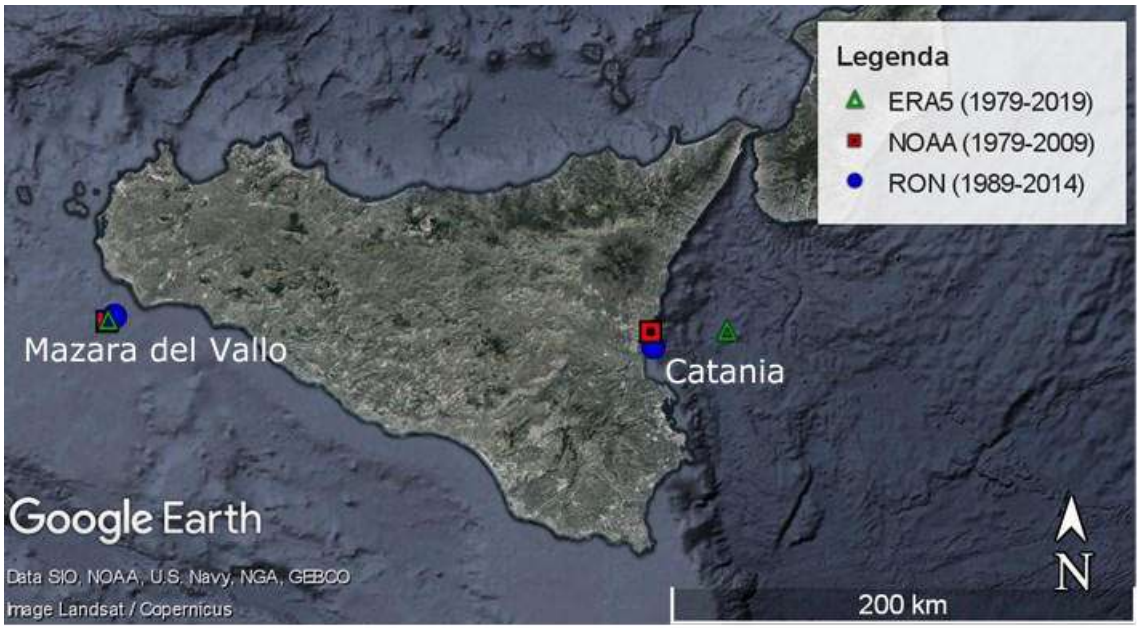


Figura 8.128 Localizzazione geografica dei siti di Catania e Mazara del Vallo per i quali sono disponibili le serie di altezza d'onda significativa RON (1989-2014), NOAA (1979-2009) e ERA5 (1979-2019).

Al fine di individuare variazioni nell'andamento delle caratteristiche delle mareggiate che possano essere legate agli effetti dei cambiamenti climatici, è necessario eseguire l'analisi di trend su periodi temporali sufficientemente lunghi, non inferiori a 30 anni secondo le indicazioni dell'Organizzazione Metereologica Mondiale (WMO, 2000). Le serie storiche della RON coprono un arco temporale al più di 26 anni e per questo è utile valutarne la corrispondenza con i dati modellati NOAA e ERA5, che interessano rispettivamente un periodo di 31 e 41 anni.

Dunque, è stato condotto un confronto preliminare tra i risultati delle analisi delle serie storiche RON, NOAA ed ERA5 per il periodo 1990-2000, scelto non solo perché comune ai tre data-set, ma anche per l'assenza di dati mancanti nelle serie RON. Da tale confronto è possibile valutare per ogni sito studiato l'incertezza nel calcolo delle tendenze dei parametri di interesse derivante dall'utilizzo di data-set differenti e dalla non perfetta coincidenza geografica dei punti analizzati. Per quanto concerne la frequenza annua di mareggiate, nel periodo 1990-2000 sono stati stimati un decremento annuo compreso

nell'intervallo 0.21 – 0.35 eventi/anno per Catania e un incremento annuo compreso nell'intervallo 0.46 – 0.98 eventi/anno per Mazara del Vallo. In merito all'altezza d'onda significativa media annua delle mareggiate, invece, per il periodo 1990-2000 sono emersi un decremento annuo pari a 0.02 m per Catania e l'assenza di trend per Mazara del Vallo.

Dall'analisi di trend condotta sulle serie temporali RON, NOAA e ERA5 complete è possibile calcolare l'andamento della frequenza annua di mareggiate e dell'altezza d'onda significativa media annua rispettivamente per i periodi 1989-2014, 1979-2009 e 1979-2019.

Per il sito di Catania, la frequenza di mareggiate annua presenta un andamento crescente con pendenza pari a 0.28 eventi/anno/anno secondo i dati RON, decrescente con pendenza pari a 0.04 eventi/anno/anno secondo i dati NOAA e decrescente con pendenza pari a 0.02 eventi/anno/anno secondo i dati ERA5 (Figura 8.129a). Per quanto riguarda l'altezza d'onda significativa media annua, i dati RON presentano un trend decrescente con pendenza 0.01 m/anno, mentre i dati NOAA e ERA5 hanno un andamento costante (Figura 8.130a).

Il sito di Mazara del Vallo è caratterizzato da un andamento crescente della frequenza di mareggiate annua, con pendenza pari a 0.28 eventi/anno/anno per i dati RON, 0.10 eventi/anno/anno per i dati NOAA e 0.06 eventi/anno/anno per i dati ERA5 (Figura 8.129b). L'altezza d'onda significativa media annua, invece, si mantiene costante per tutti e tre i data-set (Figura 8.130b).

In sintesi, la frequenza annua di mareggiate ha un trend generalmente crescente, in accordo con quanto descritto da Pomaro et al. (2017) in riferimento al Mar Adriatico, mentre l'altezza d'onda significativa media annua presenta un andamento debolmente decrescente o costante, confermando i risultati di Lionello e Sanna (2005) e Martucci et al. (2010) per il Mar Mediterraneo e sempre in accordo con Pomaro et al. (2017).

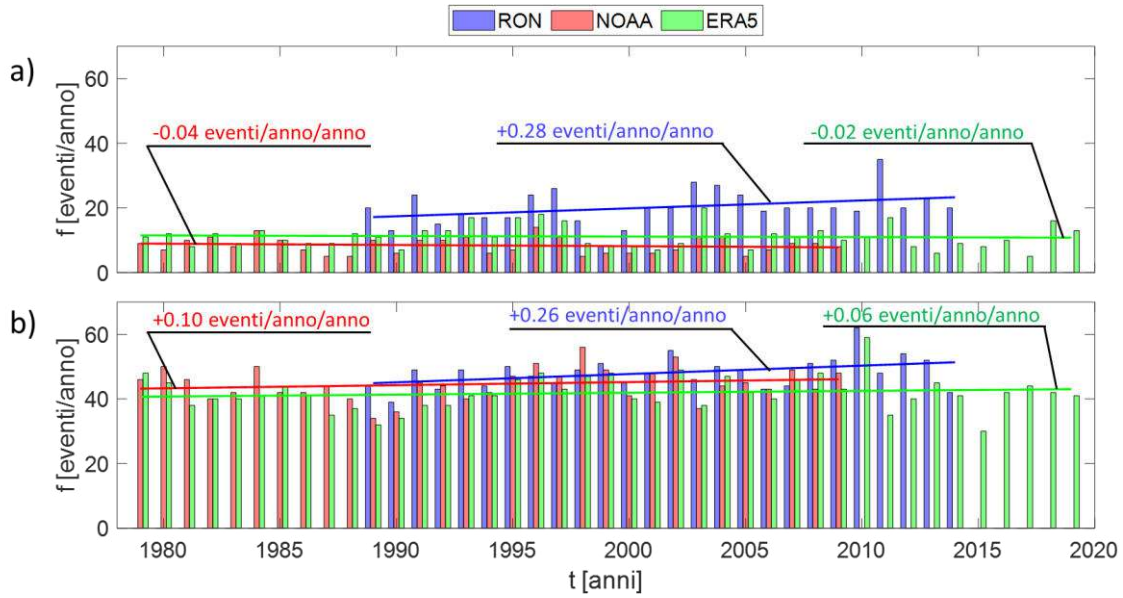


Figura 8.129 Andamento della frequenza annua di mareggiate calcolata dai dati RON, NOAA e ERA5 per i siti di: a) Catania; b) Mazzara del Vallo (fonte: Stagnitti et al., 2020).

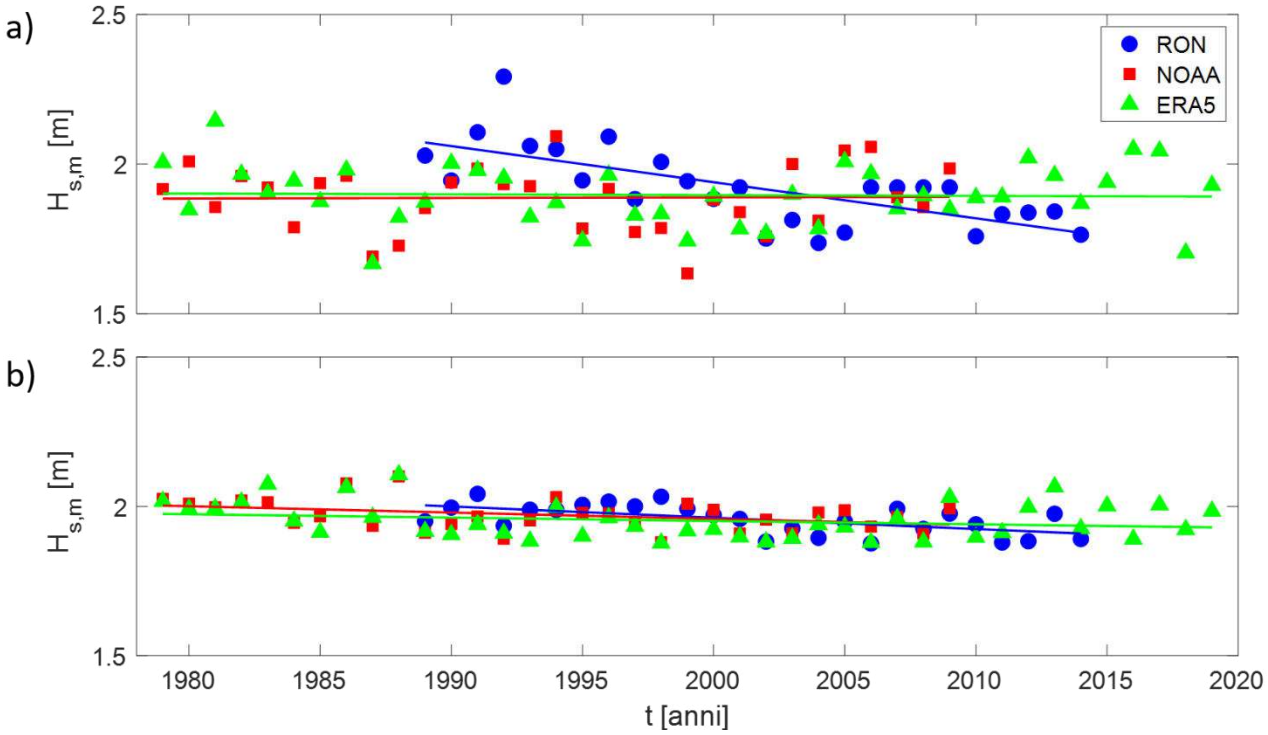


Figura 8.130 Andamento all'altezza d'onda significativa media annua delle mareggiate calcolata dai dati RON, NOAA e ERA5 per i siti di: a) Catania; b) Mazzara del Vallo (fonte: Stagnitti et al., 2020).

8.8.3 Linee guida per l'adattamento ai cambiamenti climatici degli interventi di difesa costiera

Al fine di affrontare le sfide imposte dei cambiamenti climatici, la programmazione della difesa delle coste dai fenomeni di erosione e di allagamenti costieri richiede un cambio di paradigma rispetto alle tradizionali tecniche di intervento di ingegneria costiera (Toimil et al., 2020). In particolare, l'incertezza introdotta dagli effetti dei cambiamenti climatici rende necessario pianificare, progettare, realizzare e mantenere strutture che devono resistere in un clima che cambia. Negli anni passati, l'invito da parte della comunità tecnico-scientifica ad evitare interventi che non fossero alla scala dell'unità fisiografica è purtroppo spesso rimasto inascoltato. Oggi più che mai risulta indispensabile abbandonare la logica di interventi locali per passare a una pianificazione e gestione degli interventi su scala vasta. Inoltre, l'incertezza introdotta dai cambiamenti climatici, la cui evoluzione risulta fortemente legata da un lato alle strategie politiche che verranno messe in atto a scala globale, dall'altro lato alle risposte dei sistemi naturali alle variazioni indotte, rende necessario che gli interventi di difesa costiera siano flessibili e possano consentire progressivi adattamenti, considerate le lunghe scale temporali del SLR. La tendenza a livello globale sembra essere quella di ricorrere a soluzioni di tipo "low-regret", a basso costo, reversibili e che abbiano comunque degli effetti benefici anche in assenza di cambiamenti climatici (Hallegatte, 2009).

In particolare, il rischio di erosione e allagamento costiero deve essere mitigato mediante una combinazione di misure istituzionali, azioni di preparazione e prevenzione e interventi strutturali, tradizionali e non.

Tipiche misure istituzionali comprendono il riallineamento gestito (ad esempio il trasferimento di attività antropiche esistenti e l'identificazione di una linea di difesa più arretrata); l'imposizione di vincoli nelle aree ad alto rischio (Turner et al., 2007; Williams et al., 2018); la promozione di polizze assicurative contro il rischio costiero e politiche di incentivo per interventi edilizi e infrastrutturali privati resilienti, ovvero in grado di funzionare tornando al loro stato iniziale dopo essere stati danneggiati da uno o più mareggiate (Hallegatte 2009).

Le azioni di preparazione e prevenzione consistono, ad esempio, nel potenziamento delle reti di monitoraggio esistenti e nello sviluppo di nuovi sistemi di misura in-situ e/o in remoto, ove necessario. È essenziale, in particolare, supportare l'avanzamento dei modelli di previsione e dei relativi sistemi di allarme, al fine di ridurre il potenziale impatto degli eventi estremi sulle persone. Inoltre, un ruolo chiave viene giocato dall'implementazione di programmi educativi, rivolti sia agli stakeholder sia alla cittadinanza più ampia, allo scopo di sensibilizzare le persone verso la rilevanza e le conseguenze dei rischi costieri (Keim, 2008). In questo contesto, la Protezione Civile dovrebbe svolgere un ruolo importante non solo nella preparazione di queste campagne di sensibilizzazione, ma anche nel coordinamento delle risorse e delle azioni utili per garantire una pronta assistenza in caso di emergenza (Groven et al., 2012).

Infine, gli interventi strutturali possono essere suddivisi in tre tipi: potenziamento e adattamento delle difese costiere esistenti; uso di soluzioni basate sulla Natura, le cosiddette Nature-Based-Solutions (NBS), per la creazione sistemi sostenibili e resilienti; l'integrazione di tecniche tradizionali e tecniche innovative per la realizzazione di sistemi di difesa delle coste resilienti, o ancor meglio "antifragili" (Foti et al., 2020).

L'adattamento delle strutture esistenti può essere condotto seguendo diversi approcci e non esiste allo stato attuale una prassi consolidata che copra l'intero spettro degli interventi possibili. Nel caso di frangiflutti a scogliera, per esempio, è possibile, in funzione delle caratteristiche del sito, pensare a interventi di innalzamento della cresta e di rinforzo della mantellata (Figura 8.131a). Oppure, qualora l'innalzamento del coronamento non sia auspicabile, si possono pensare rafforzamenti differenziali della struttura che riducano le pendenze dei paramenti lato mare (Figura 8.131b), o la realizzazione di berme aggiuntive (Figura 8.131c).

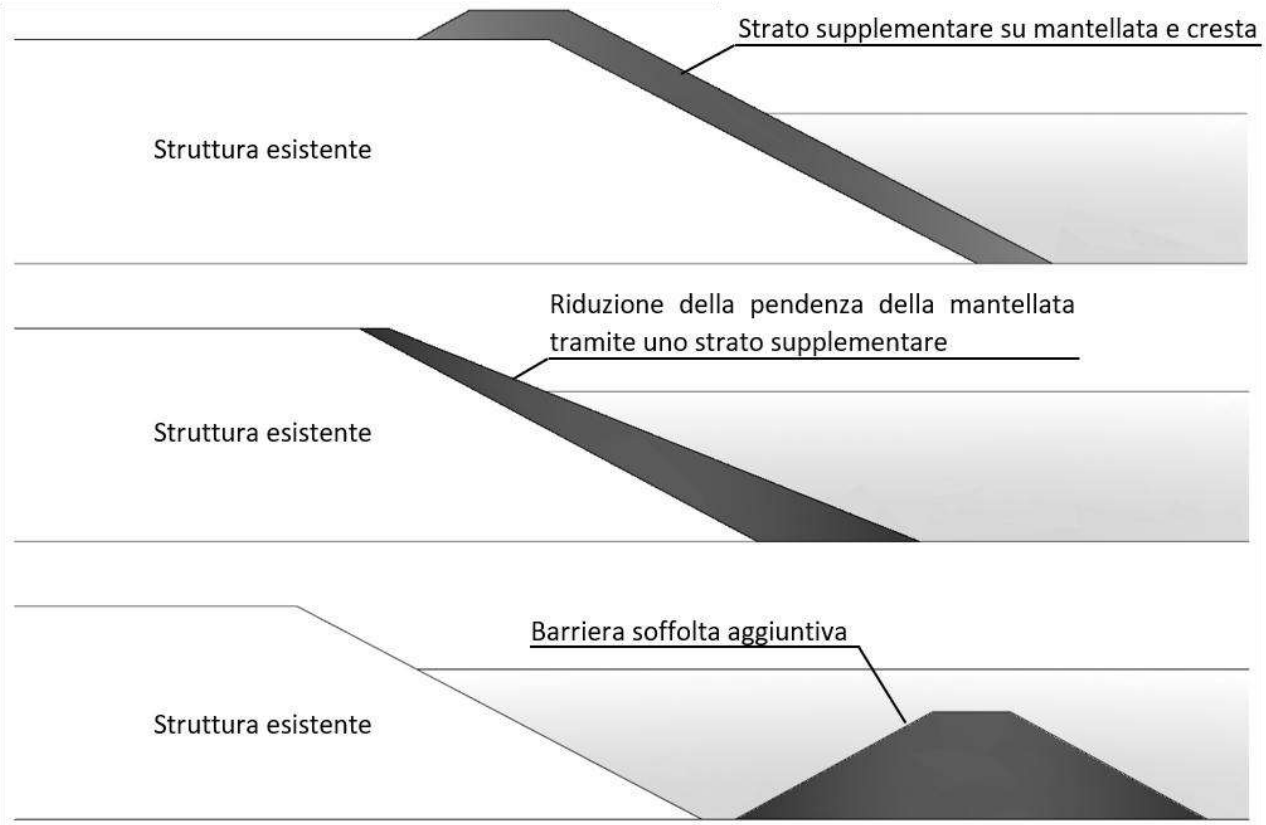


Figura 8.131 Alcune possibili opzioni di adattamento ai cambiamenti climatici di una diga a scogliera (adattata da: Foti et al., 2020).

Con riferimento all'applicazione di tecniche tradizionali, che pure risultano particolarmente efficaci nella protezione delle coste, si consideri che è necessario indagare gli aspetti legati alla sostenibilità delle stesse, sia dal punto di vista strettamente ecologico sia da quello della loro scalabilità e modularità.

Per quanto concerne la sostenibilità ambientale delle strutture di difesa, la modellazione fisica e numerica può contribuire all'ottimizzazione del design, per esempio di frangiflutti, al fine di privilegiarne aspetti costruttivi (e.g. porosità della struttura, presenza di berme, layout geometrico, materiali utilizzati) che contribuiscano a mitigarne l'impatto ambientale in termini di qualità delle acque, possibilità di colonizzazione da parte di specie locali, contrasto alle specie invasive, etc. (Zanuttigh et al., 2011).

Con riferimento alle NBS, esse stanno conoscendo una crescente popolarità (MATTM-Regioni, 2018), grazie al fatto che hanno potenzialmente la capacità di auto-adattarsi ad un clima che cambia. Trattandosi di sistemi che si basano essenzialmente sull'uso di funzioni ecosistemiche e sistemi viventi (e.g. sistemi

lagunari, realizzazione di zone umide-cuscinetto, piantumazione di praterie di Posidonia Oceanica, realizzazione di barriere coralline o di molluschi, etc.) il loro funzionamento è strettamente legato al fatto che le variazioni ambientali e climatiche siano relativamente lente. Tuttavia, allo stato attuale, nonostante alcune sperimentazioni anche di larga scala, si pensi al mega-ripascimento noto come Sand Engine in Olanda, non ci sono evidenze che queste soluzioni funzionino meglio di strutture tradizionali (Toimil et al., 2020).

D'altro canto, proprio alla luce dei cambiamenti climatici in atto, come suggerito da Foti et al. (2020), è anche necessario investire per rendere gli interventi sulla costa non solo resilienti, ovvero in grado di resistere ad eventi intesi riuscendo a garantire le prestazioni iniziali, ma anche "antifragili", ovvero sistemi in cui il sistema si ripristina continuamente approfittando per rafforzarsi durante l'interazione eventi estremi inaspettati. Il concetto di antifragilità, introdotto da Taleb (2012), è tipico dei sistemi biologici (e.g. sistema immunitario; selezione naturale), ma potrebbe essere applicato al caso di sistemi di difesa costiera, mediante l'integrazione di sistemi tradizionali e misure più innovative, che coniughino l'affidabilità degli uni, in termini di protezione, e le potenzialità degli altri, in termini di sviluppo di servizi ecosistemici. Tra gli esempi di interventi antifragili citati da Foti et al. (2020), ci sono il caso del sistema "Living breakwater" in corso di realizzazione lungo le coste del New Jersey, a seguito della super-tempesta SANDY (SCAPE, 2013) o la possibilità di modificare le regole di gestione delle aperture e chiusura delle paratoie del sistema MOSE, realizzato a protezione della laguna di Venezia, per migliorare la circolazione e il ricambio idrico in laguna, proposta da Cavallaro et al. (2017).

9 Analisi delle criticità costiere e proposta di una metodologia per la stima delle pericolosità come strumento di supporto alle decisioni

Nel presente capitolo viene preliminarmente condotta un'analisi speditiva degli interventi effettuati in Sicilia nei tratti di costa classificati dal PAI (2005) a rischio elevato (R3) e molto elevato (R4). L'analisi è stata condotta considerando le lunghezze delle coste oggetto di interventi di difesa. I risultati sono rappresentati alla scala di unità fisiografiche del I ordine, al fine di fornire un quadro complessivo degli interventi già realizzati e quindi di rappresentare un primo strumento di supporto alle decisioni, evidenziando in particolare le unità fisiografiche di ordine I su cui ancora appare necessario intervenire in maniera più estesa.

Si precisa che l'analisi effettuata considera non solo gli interventi già realizzati, ma anche quelli progettati e/o finanziati (per esempio, quelli di pertinenza del Contratto di Costa Tirreno 1 recentemente avviato).

Sono proposte due metodologie per la stima della pericolosità di erosione costiera, specificamente sviluppate per le coste basse e per le coste alte.

Al fine di favorire una corretta programmazione degli interventi, quella relativa alle coste basse viene proposta e applicata a scala regionale come strumento di supporto alle decisioni. Al fine di conseguire le finalità descritte, preliminarmente la metodologia è applicata ai tratti in erosione su scala di U.F. di III ordine. I risultati ottenuti vengono quindi aggregati su scala di U.F. di I ordine proprio per favorire un confronto a grande scala.

La seconda metodologia introduce il problema della valutazione della pericolosità delle coste alte, tenendo conto delle conoscenze attualmente disponibili. I dati necessari per l'applicazione di detta metodologia, tuttavia, sono reperibili mediante specifici sopralluoghi e rilievi in situ. Pertanto, in questa sede, non è stato possibile applicarla a scala regionale.

9.1 Analisi degli interventi per la mitigazione del rischio di erosione costiera previsti dal PAI

Una prima fotografia sistematica dei tratti di costa siciliana in erosione è stata fornita dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico redatto e aggiornato a partire dall'anno 2004.

Il PAI individua quattro classi di rischio di erosione costiera: moderato (R1), medio (R2), elevato (R3) e molto elevato (R4).

Sulla base delle indicazioni del PAI, la Figura 9.1 riporta la lunghezza dei tratti di litorale siciliano soggetto a rischio di erosione elevata e molto elevata, suddivisi per unità fisiografiche del I ordine.

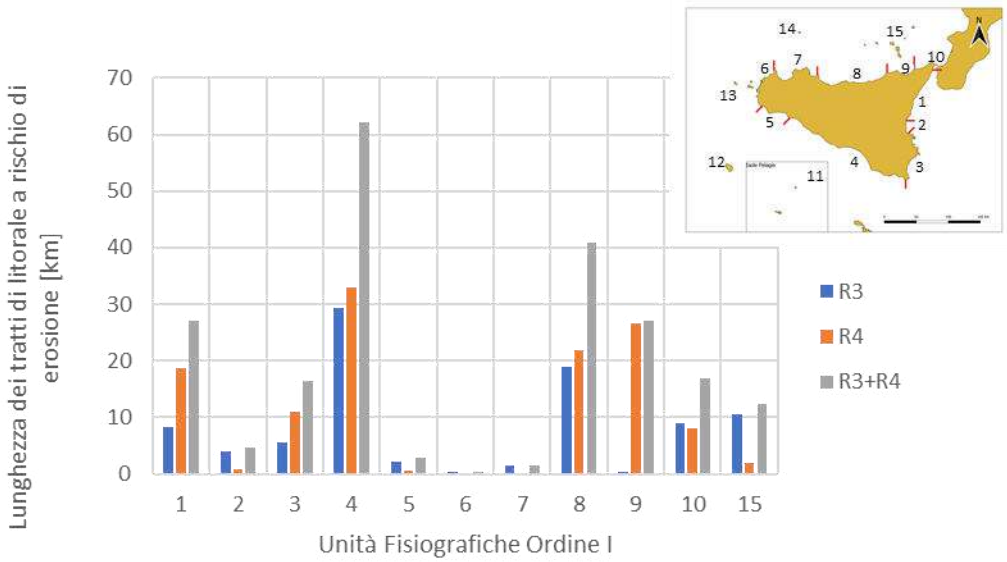


Figura 9.1 Lunghezza dei tratti di litorale siciliano soggetto a rischio di erosione elevata (R3) e molto elevata (R4) secondo le indicazioni del Piano Stralcio di Bacino per Assetto Idrogeologico (nel riquadro si riporta l'individuazione delle UF di I ordine). Sono escluse dal grafico le UF 11, 12, 13 e 14 in quanto non sono presenti spiagge basse di dimensioni significative.

L'analisi dei dati mette in evidenza come le unità fisiografiche maggiormente soggette ad erosione sono:

- U.F. IV – da Isola delle Correnti a Capo San Marco nel litorale sud della Sicilia con quasi 33 km di coste con rischio di erosione molto elevato e oltre 29 km di coste con rischio di erosione elevato;

- U.F. IX – da Capo d'Orlando a Capo Milazzo nel litorale tirrenico con oltre 26 km di litorali con rischio di erosione molto elevato;
- U.F. VII – da Capo Mongerbino a Capo d'Orlando nel litorale tirrenico con quasi 22 km di litorali a rischi R4 e quasi 19 km di litorali a rischio R3;
- U.F. I – da Capo San Raineri al porto di Catania con oltre 18 km di litorale a rischio R4 e oltre 8 km di litorale a rischio R3.

Negli ultimi anni, anche grazie alle iniziative intraprese dal Commissario di Governo Contro il Dissesto Idrogeologico nella Regione Siciliana ex legibus n. 116/2014 e n. 164/2014, sono stati eseguiti (in parte) o programmati numerosi interventi volti alla protezione delle coste nelle aree individuate dal PAI a rischio di erosione molto elevata (R4).

Per ogni unità fisiografica di I ordine e per ogni comune, la Tabella 9.I riporta l'estensione dei tratti di litorale a rischio di erosione elevato o molto elevato interessati da interventi successivi alla pubblicazione e/o all'aggiornamento del PAI.

Tabella 9.I Estensione dei tratti di litorale (m) a rischio R3 e R4 interessati da interventi di protezione delle coste successivi al PAI e relativi stati di realizzazione.

Comune	Appalto Lavori	Appalto Progettazione	Realizzato	Totale complessivo
1	**2824**	**1381**	**3607**	**7812**
GIARDINI NAXOS			1575	1575
LETOJANNI		733		733
MESSINA		648		648
S. ALESSIO SICULO			2032	2032
S. TERESA DI RIVA	2824			2824
3	**2290**	**1405**		**3695**
AVOLA	2290			2290
NOTO		1405		1405
4	**10350**		**2957**	**13307**
CATTOLICA ERACLEA	1373			1373
ISPICA	7970			7970
MONTALLEGRO	1007			1007
SCICLI			2957	2957
8		**23414**		**23414**
ACQUEDOLCI		1915		1915
CAPO D'ORLANDO		3404		3404
CARONIA		5827		5827
MOTTA D'AFFERMO		290		290
REITANO		244		244
S. AGATA DI MILITELLO		2464		2464
S. STEFANO DI CAMASTRA		2745		2745
TORRENOVA		4877		4877
TUSA		1648		1648
9		**20025**	**2303**	**22328**
BARCELLONA POZZO DI GOTTO		4430		4430
BROLO		2410		2410
CAPO D'ORLANDO		803		803
GIOIOSA MAREA		4170		4170
NASO		1769		1769
PATTI		3882		3882
PIRAINO		2561		2561
TERME VIGLIATORE			2303	2303
10		**3938**		**3938**
MESSINA		2855		2855
Villafranca Tirrena		1083		1083
15	**203**	**361**		**564**
LENI	82			82
LIPARI	121	361		482
(vuoto)				
(vuoto)				
Totale complessivo	**15667**	**50524**	**8867**	**75058**

Per ogni unità fisiografica di I ordine, la Figura 9.2 riporta l'estensione delle aree classificate a rischio R4 residuale a seguito degli interventi già realizzati, in corso di realizzazione o con iter di progettazione già avviati.

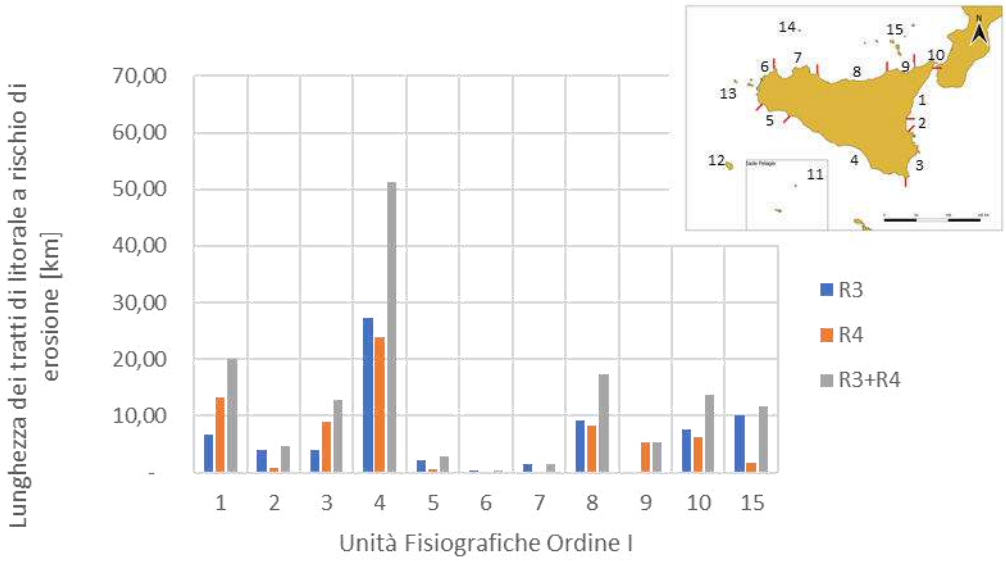


Figura 9.2 Estensione delle aree classificate nel PAI a rischio R3 e R4 residuale a seguito degli interventi già realizzati, in corso di realizzazione o con iter di progettazione già avviati (nel riquadro si riporta l'individuazione delle UF al I ordine). Sono escluse dal grafico le UF 11, 12, 13 e 14 in quanto non sono presenti spiagge basse di dimensioni significative.

Complessivamente si osserva come gli interventi già messi in atto per la riduzione del rischio riguarderanno in modo rilevante i tratti di costa soggetti a rischio di erosione molto elevato nelle U.F. VIII e IX, in cui permangono, comunque, rispettivamente circa 8 e 5 km di tratti di litorale a elevato rischio di erosione.

Si osservano, altresì, come vi siano rilevanti tratti di costa ad elevato rischio di erosione non interessati da interventi realizzati né in via di realizzazione nelle unità fisiografiche IV e I, rispettivamente per circa 24 km e 13 km.

In estrema sintesi, dunque, tutte le unità fisiografiche patiscono ancora oggi significativi problemi di erosione che, localmente, possono mettere davvero rischio aree antropizzate (si veda al riguardo il paragrafo 8.7 e le schede tecniche richiamate). Tuttavia, perlomeno in termini di estensione, l'U.F. 4 è quella che

ancora oggi patisce i maggiori problemi, subito seguita dalla U.F. 1, via via, da ultimo dalla U.F. 6.

9.2 Proposta di una metodologia per la valutazione della pericolosità da erosione costiera per le coste basse

9.2.1.1 Stato dell'arte per la valutazione della pericolosità di coste basse

La stima della pericolosità di erosione costiera è un passaggio essenziale per la corretta e ottimale gestione degli interventi di contrasto all'erosione. Tuttavia, al contrario di quanto avviene, per esempio, per la determinazione della pericolosità idraulica dovuta a piene e inondazioni, la letteratura tecnico-scientifica non suggerisce procedure "standard" per la definizione e la stima della pericolosità indotta da processi erosivi in ambito costiero. Pertanto, a livello nazionale, si registra una varietà di approcci metodologici significativamente diversi da regione a regione.

Secondo le Linee Guida TNEC (MATTM-Regioni, 2018), la stima della pericolosità di erosione costiera dovrebbe essere basata essenzialmente sulla valutazione dell'arretramento, della stabilità o dell'avanzamento di un litorale. Tali stime possono basarsi sull'osservazione-monitoraggio di tre "ordini" dimensionali: la variazione della linea di riva (sostanzialmente monodimensionale), la variazione areale della spiaggia emersa (sostanzialmente bidimensionale), la variazione volumetrica della spiaggia emersa e sommersa (tridimensionale).

La Regione Emilia-Romagna, che ha acquisito una pluri-decennale esperienza nella gestione dei litorali, considera le variazioni volumetriche all'interno di celle litoranee, definite come quei tratti costieri aventi caratteristiche omogenee, idrodinamiche, di sedimentazione, di assetto morfologico e di eventuale presenza di opere, che li contraddistinguono rispetto ai tratti contigui (Gazzolo et al., 2011). Tale definizione corrisponde a quella di sub-Unità gestionale costiera fornita dalle stesse Linee Guida TNEC. Nel caso dell'Emilia- Romagna, i dati associati alle celle litoranee permettono di descriverne le condizioni di stato attraverso la definizione di un "indicatore di stato del litorale" basato principalmente sulle variazioni volumetriche di sedimenti (ASPE - Accumulo,

Stabilità, Precarietà, Erosione). Tale approccio è basato sulla raccolta di dati volumetrici ottenuti da rilievi topo-batimetrici periodici. Sulla base di un "valore soglia" significativo di accumulo/perdita di volume di sedimenti, si definisce la classe di stato dell'unità base di riferimento (Cella) e quindi, per integrazione, delle Macro-celle e del sistema litoraneo nel suo complesso.

La Regione Marche ha adottato, invece, un approccio basato sulle variazioni areali, considerando come unità base per la valutazione dell'avanzamento/arretramento della linea di costa il "transetto", definito come un tratto costiero compreso tra due sezioni successive perpendicolari alla linea di costa (Goffi et al., 2018). Sono stati considerati circa 800 transetti della lunghezza media di 215 m. Gli avanzamenti/arretramenti sono considerati come media pluriennale, considerando linee di costa ottenute in almeno 4 anni differenti. Per ogni transetto e per ogni anno di confronto viene calcolato l'avanzamento o l'arretramento della linea di costa facendo il rapporto tra: la superficie di avanzamento/arretramento compresa tra i due limiti laterali (sezioni) e le due linee di costa di riferimento ("anno zero") e di confronto. Viene inoltre tenuta in conto la lunghezza del singolo transetto. I transetti vengono così classificati in funzione delle variazioni in metri lineari di avanzamento/arretramento come: transetti in arretramento (variazione media nel periodo 1999-2015 < -10 m); transetti stabili (variazione media nel periodo 1999-2015 compresa tra -10 e +10 m) e transetti in avanzamento (variazione media nel periodo 1999-2015 > -10 m). Inoltre, tali transetti vengono anche considerati come riferimento per il monitoraggio granulometrico e morfologico (profilo estivo/invernale) della spiaggia emersa/sommersa fino alla profondità di chiusura.

Un metodo simile è stato adottato dalla Regione Calabria per la valutazione della pericolosità da erosione costiera con l'individuazione di circa 4000 transetti, per una lunghezza media di ogni transetto pari a circa 200 m (Siviglia, 2016). L'analisi della linea di riva ha riguardato 8 diversi periodi a partire dall'anno 1954 fino al 2013. L'individuazione della pericolosità da erosione costiera è stata inizialmente condotta sulla base del rapporto tra l'ampiezza della spiaggia e la velocità massima di arretramento della linea di riva e successivamente è stata

corretta considerando diversi fattori che dipendono dall'energia del moto ondoso, dalla pendenza del litorale, dalla tipologia di spiaggia e dagli apporti di sedimenti provenienti dai corsi d'acqua.

Sebbene l'approccio proposto dalla Regione Calabria appaia piuttosto completo, in quanto tiene conto sia delle forzanti, sia degli elementi che possono aiutare a mitigare/aggravare il processo erosivo, esso non è stato applicato sinora in maniera analitica, ma ci si è limitati a una valutazione "esperta" di un parametro, avente un valore compreso tra 0.2 e 0.8, che complessivamente tiene conto per i diversi transetti di tutti i fattori sopra-elencati.

In questa sede, per la Regione Siciliana, si propone una metodologia per la stima della pericolosità di erosione costiera che, ispirandosi a quella della Regione Calabria, sfrutta le elaborazioni effettuate nell'ambito del presente PRCEC, con riferimento ai tratti in arretramento e tiene conto: delle caratteristiche dei flussi energetici del moto ondoso; della direzione della deriva litoranea, alle caratteristiche degli eventi estremi; della tipologia e geomorfologia delle spiagge; del trasporto solido fluviale; degli impatti delle opere di difesa costiera.

La metodologia riguarda soltanto le coste basse e viene qui proposta come strumento di supporto alle decisioni al fine di contribuire a favorire una corretta programmazione degli interventi su scala regionale. Proprio per conseguire le finalità descritte, preliminarmente la metodologia è applicata ai soli tratti in erosione su scala di U.F. di III ordine. I risultati ottenuti vengono quindi aggregati su scala di U.F. di I ordine proprio per favorire un confronto a scala regionale.

È opportuno precisare che i tratti in erosione sono stati individuati sulla base dell'analisi diacronica effettuata dal confronto tra i rilievi estivi 1998-2019.

La valutazione della pericolosità è stata effettuata in due passi.

Il primo passo comporta il confronto tra la linea di costa del 2019, ottenuta dalla procedura descritta nel paragrafo 8.6.2, e la linea di costa prodotta dall'ISPRA nel 2000. Quest'ultima è ottenuta da un mosaico di ortofoto riprese nel periodo 1998-1999.

Complessivamente sono stati individuati 199 tratti di spiaggia per complessivi 165,9 km, rappresentati in Figura 9.3.

Tale individuazione, tuttavia, può essere affetta da notevoli incertezze determinate da diverse fattori tra i quali:

- le variazioni di livello del mare indotte dalla marea astronomica e metereologica;
- la presenza di banquette di Posidonia Oceanica sulla riva;
- la migrazione lungocosta di accumuli di sedimenti;
- le incertezze intrinseche nei sistemi automatizzati di riconoscimento della linea di riva.

Al fine di ridurre tali incertezze, per ognuno dei siti individuati è stato quindi effettuato un confronto visivo tramite le seguenti ortofoto:

- Ortofoto in bianco e nero anni 1988-1989 (da Portale Cartografico Nazionale);
- Ortofoto in bianco e nero anno 1994-1998 (da Portale Cartografico Nazionale);
- Ortofoto a colori anno 2006 (da Portale Cartografico Nazionale);
- Ortofoto a colori ATA 2007/2008 (da Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Siciliana);
- Ortofoto a colori anno 2012 (da Portale Cartografico Nazionale).

Tale confronto visivo ha consentito di verificare l'effettivo trend evolutivo della spiaggia evidenziando e la presenza di eventuali fattori spuri che possono aver influenzato l'individuazione del sito come tratto in erosione.

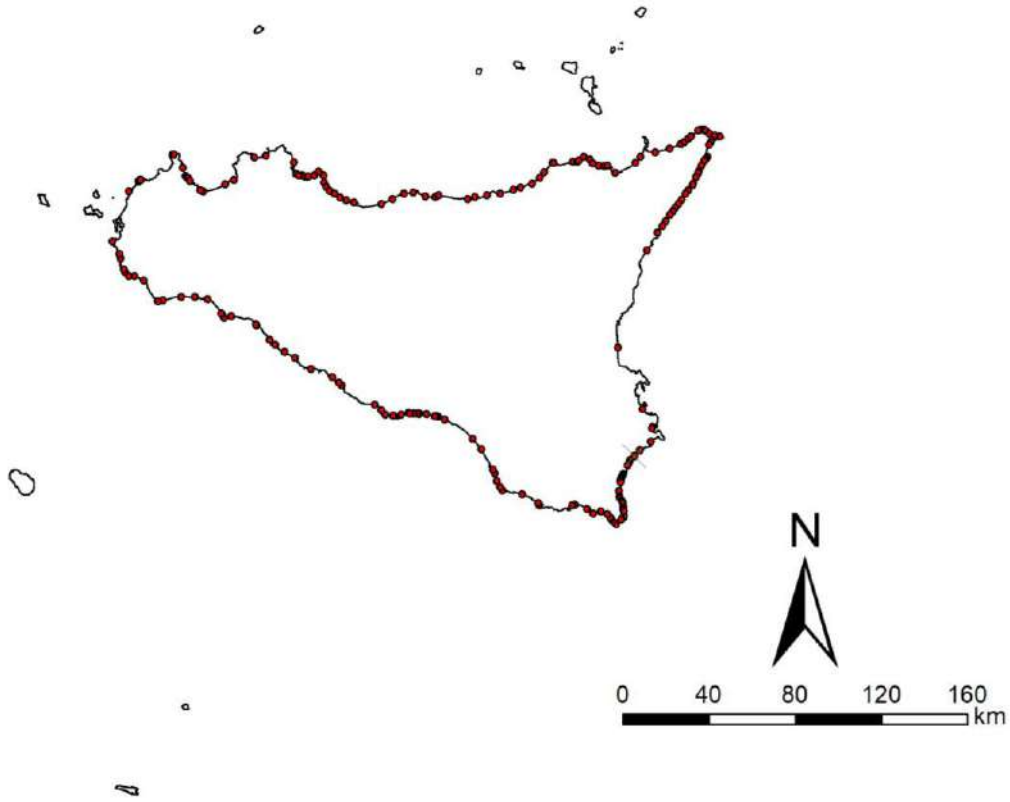


Figura 9.3 Localizzazione dei tratti di costa potenzialmente in erosione ottenuta dal confronto tra la linea di costa 2019 e quella di base relativa al periodo 1997-1998.

Sulla base dei confronti sono stati individuati 52 siti per i quali non è possibile identificare un chiaro trend evolutivo. Tali siti sono stati esclusi dalle analisi successive. Tuttavia, dal momento che essi hanno comunque mostrato un qualche verosimile arretramento, sono stati contrassegnati come siti aventi il valore più basso di pericolosità.

Complessivamente si sono, dunque, individuati 147 tratti di costa certamente in erosione per complessivi 138,8 km. Per detti tratti è stata attribuita la classe di pericolosità meglio descritta nei paragrafi successivi.

9.2.1.2 Classificazione del moto ondoso

Dal momento che il trasporto solido litoraneo e i conseguenti fenomeni erosivi sono principalmente forzati dalle correnti litoranee generate dal moto ondoso, nella presente metodologia particolare attenzione è rivolta all'azione del moto ondoso. In particolare, per ciascun tratto in erosione, viene calcolato un indice

caratteristico del moto ondoso che tiene conto sia delle caratteristiche meteomarine che morfologiche locali dei litorali.

L'indice del moto ondoso è definito pari a:

$$I = I_{\phi} I_{\alpha} I_{\lambda} I_{H(T_r)}$$

dove:

$I_{\phi} = \frac{\phi_i}{\phi_{max}}$ è l'indicatore del flusso di energia, essendo ϕ_i la somma dei valori del flusso di energia calcolati e agenti sul tratto in erosione, mentre ϕ_{max} è il flusso massimo nei tratti in erosione dell'unità fisiografica di I ordine di riferimento;

$I_{\alpha} = \frac{\alpha_i}{90°}$ è l'indicatore della direzione media del flusso di energia, essendo α_i è la direzione media del flusso di energia in corrispondenza del generico tratto in erosione. Si tenga conto che nel caso di moto ondoso ortogonale alla linea di costa (90°) si considera il massimo attacco del moto ondoso;

$I_{\lambda} = \frac{\lambda_i}{\lambda_{max}}$ è l'indicatore della pendenza della spiaggia, in cui λ_i è la pendenza del fondale per il generico tratto in erosione, mentre λ_{max} è la pendenza massima dell'unità fisiografica di I ordine di riferimento. Tale parametro risulta, altresì, rappresentativo della distribuzione dei sedimenti costituenti la spiaggia.

$I_{H(T_r)} = \frac{H(T_r)_i}{H(T_r)_{max}}$ è l'indicatore della variazione di altezza significativa al variare del tempo di ritorno (tra Tr=2 anni e Tr=50 anni), con $H(T_r)_i$ variazione di altezza significativa, al variare del tempo di ritorno nel generico tratto in erosione e $H(T_r)_{max}$ variazione massima di altezza significativa, al variare del tempo di ritorno nell'unità fisiografica di I ordine di riferimento.

È opportuno precisare come la metodologia descritta sia stata elaborata per operare una classificazione del moto ondoso lungo i litorali su scala regionale. Essa, pertanto, non permette di valutare con adeguata precisione gli effetti su piccola scala dovuti, per esempio, a variazioni locali di pendenza, orientamento della costa, ecc.

9.2.1.3 *Procedura proposta per l'individuazione delle classi di pericolosità da erosione costiera nel caso di coste basse*

Per ogni tratto in erosione individuato tramite l'analisi sopra descritta all'interno di ogni unità fisiografica del III ordine:

1. viene calcolata la velocità media di arretramento della linea di riva, V, con riferimento ai periodi (anni 1998-2019);
2. è calcolato il seguente rapporto I_p:

$$I_p = \frac{L_{spiaggia}}{V}$$

   dove con $L_{spiaggia}$, cautelativamente, si è assunta la larghezza minima della spiaggia nella direzione ortogonale alla linea di costa nel tratto in erosione;
3. viene opportunamente corretto il fattore di pericolosità I_p per tener conto di una serie di fattori caratteristici locali relativi alla tipologia e morfologia della costa, agli apporti solidi fluviali, alla presenza di opere costiere e all'energia del moto ondoso. In particolare, si ha che
   - $I_{pc} = I_p f_c$
   - dove il fattore di correzione è ottenuto come
   - $f_c = (p_{tc} f_{c_{tc}}) + (p_{as} f_{c_{as}}) + (p_o f_{c_o}) + (p_{mo} f_{c_{mo}})$

   in cui:

   $f_{c_{tc}}$ fattore correttivo per la tipologia di costa (sabbia: 1; sabbia + ciottoli: 2; ciottoli: 3; massi: 4), data l'esigua consistenza dei cordoni dunali lungo le coste siciliane, cautelativamente in questa analisi non si tiene conto dell'effetto benefico della loro presenza;

   $f_{c_{as}}$ fattore correttivo per gli apporti solidi dai corsi d'acqua all'unità fisiografica. In questa sede tale parametro è assunto cautelativamente pari a 0, per tenere conto della ridotta capacità di trasporto dei corsi d'acqua siciliani;

   $\mathrm{f_{c_o}}$ fattore correttivo per tenere conto dell'influenza di opere costiere o di porti che interferiscono negativamente con il trasporto solido (presenza=0; assenza=1);

- $f_{c_{mo}}$ fattore correttivo per l'energia del moto ondoso e la pendenza del fondale. Tale fattore è assunto pari all'indice I, calcolato secondo la procedura esposta al paragrafo 9.2.1.2.
- I pesi dei diversi fattori sono assunti sulla base di un giudizio esperto rispettivamente pari a:
- p_{tc}=0.20;
- p_{as}=0.20;
- p_{co}=0.20;
- p_{mo}=0.40.

Successivamente per ogni sito viene valutata la classe di pericolosità in relazione al valore dell'indice di pericolosità come indicato nella Tabella 9.II.

Tabella 9.II Classi di pericolosità da erosione costiera di coste basse in funzione del valore dell'indice di pericolosità.

Indice di pericolosità corretto	**Classe di pericolosità**
$I_pc \leq 10$	P4
$10 < I_{pc} \leq 20$	P3
$20 < I_{pc} \leq 30$	P2
$I_{pc} > 30$	P1

9.2.1.4 Analisi dei risultati sulla valutazione della pericolosità

In Figura 9.4 viene presentata la rappresentazione grafica dei siti in cui si è riscontrato un arretramento della linea di costa.

La Tabella 9.III riporta, per ognuno dei siti individuati, la classe di pericolosità individuata e la lunghezza del tratto in erosione.

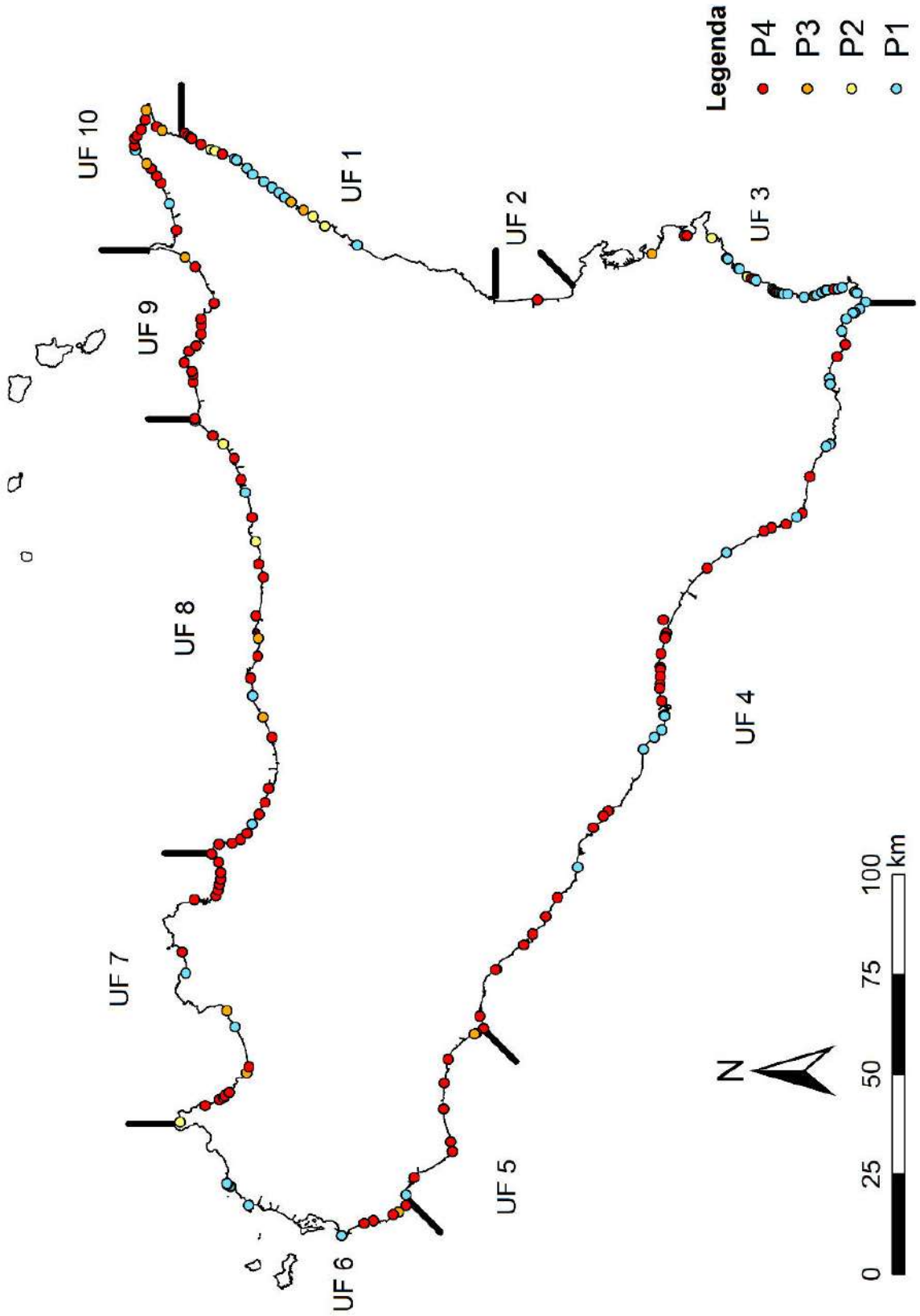


Figura 9.4 Siti in cui si è riscontrato un arretramento della linea di costa e relativa classe di pericolosità.

Tabella 9.III Classe di pericolosità associata ai siti in erosione.

UF	Località	Classe di pericolosità	Lunghezza tratto [m]
1	Messina Cittadella	P4	931,71
	Messina Zaera	P4	502,09
	Messina Zaera 2	P1	234,91
	Messina Bonsignore	P4	217,91
	Messina Gazzi - Tremestieri	P4	3.828,80
	Messina Annunziatella	P2	404,46
	Messina Mili Marina	P2	897,56
	Messina Galati - Santa Margherita	P4	2.272,80
	Messina Malati	P1	345,03
	Messina San Paolo	P1	120,35
	Scaletta Zanclea - Scaletta Marina	P1	857,56
	Itala - Itala Marina	P1	1.568,18
	Alì Terme	P1	1.245,38
	Nizza di Sicilia	P1	1.800,64
	Roccalumera	P1	2.629,99
	Furci Siculo	P1	933,99
	Santa Teresa di Riva	P3	3.035,93
	Sant'Alessio Siculo	P3	318,11
	Letojanni Pietrabianca	P2	1.275,36
	Taormina Mazzeo	P2	808,06
	Calatabiano San Marco	P1	860,29
2	Catania Foce Simeto	P4	3.741,99
3	Priolo Gargallo Fondaco Nuovo	P3	465,56
	Siracusa Pantanelli	P4	471,08
	Siracusa Salina	P4	748,51
	Siracusa Lido Arenella	P2	264,32
	Siracusa Fontane Bianche	P1	96,14
	Siracusa Lido Sayonara	P1	209,22
	Avola Chiuse di Carlo 1	P1	190,00
	Avola Chiuse di Carlo 2	P1	58,73
	Avola Chiuse di Carlo 3	P1	21,86
	Avola Lido d'Avola	P2	657,79
	Avola Pantanello	P4	101,69
	Avola Marina D'Avola	P4	388,43
	Avola Mammaledi	P1	220,61
	Noto Lido di Noto 1	P1	114,18
	Noto Lido di Noto 2	P1	569,70
	Noto Lido di Noto 3	P4	319,61
	Noto Lido di Noto 4	P1	65,54
	Noto Lido di Noto 5	P4	231,32
	Noto Eloro	P1	250,07
	Noto Stampace	P1	410,97
	Noto Poggio dell'Arena	P1	329,20
	Noto Calamosche	P1	100,57
	Noto Vendicari	P1	1.977,98

UF	Località	Classe di pericolosità	Lunghezza tratto [m]
	Noto San lorenzo	P3	297,99
	Noto Reitani	P1	719,07
	Noto Fondo Morto	P1	813,35
	Pachino Marzamemi 1	P1	254,53
	Pachino Marzamemi 2	P1	218,24
	Pachino Calafarina	P4	219,21
	Pachino Vulpiglia 1	P1	148,32
	Pachino Vulpiglia 2	P1	238,72
	Portopalo di Capo Passero Porto 1	P1	258,67
	Portopalo di Capo Passero Porto 2	P1	382,52
	Portopalo di Capo Passero Est Isola delle Correnti	P1	422,65
4	Pachino a Est di Punta delle Formiche	P1	518,65
	Pachino tra Punta Castellazzo e Porto Ulisse 1	P1	378,97
	Pachino tra Punta Castellazzo e Porto Ulisse 2	P1	498,28
	Pachino tra Punta Castellazzo e Porto Ulisse 3	P1	768,60
	Pachino tra Punta Castellazzo e Porto Ulisse 4	P1	1.910,90
	Ispica Marza	P4	1.122,00
	Ispica Santa Maria del Focallo	P4	5.902,02
	Pozzallo Spiaggia Pietre Nere	P1	2.287,83
	Pozzallo	P1	627,80
	Scicli Cava d'Aliga	P1	250,20
	Scicli Bruca	P1	209,75
	Scicli Arizza	P1	962,50
	Ragusa foce del fiume Irminio	P4	954,00
	Santa Croce Camarina Capo Scalambri	P4	259,35
	Santa Croce Camarina Torre di Mezzo	P1	250,44
	Ragusa a Nord di Punta Bracceto	P4	1.933,70
	Ragusa a Sud foce del fiume Ippari	P4	2.406,30
	Vittoria foce del fiume Ippari	P4	800,05
	Acate	P1	1.179,70
	Gela foce fiume Ficuzza	P4	7.846,25
	Gela Ferro di Cipolla	P4	868,37
	Gela Lido di Manfria	P4	1.258,22
	Gela Torre di Manfria 1	P4	181,99
	Gela Torre di Manfria 2	P4	311,79
	Butera	P4	4.893,29
	Butera Castello di Falconara 1	P4	205,38
	Butera Castello di Falconara 2	P4	171,40
	Butera Castello di Falconara 3	P4	181,27
	Licata 1	P4	491,45
	Licata 2	P4	1.127,05
	Licata 3	P4	2.246,09
	Licata Est del porto	P4	1.420,65
	Licata Ovest del porto 1	P1	413,00
	Licata Ovest del porto 2	P1	149,37
	Licata Mollarella	P1	472,73
	Licata Sorgente del Pisciotto	P1	260,52

UF	Località	Classe di pericolosità	Lunghezza tratto [m]
	Palma di Montechiaro P. Ciotta	P1	137,80
	Agrigento Cipolluzze 1	P4	136,27
	Agrigento Cipolluzze 2	P4	168,20
	Agrigento a Est della foce del fiume Naro	P4	1.440,06
	Agrigento a Est di San Leone	P4	1.358,93
	Realmonte Est Punta Grande	P1	1.331,43
	Siculiana a Est del porto	P4	122,24
	Siculiana Foce Salso	P4	451,35
	Cattolina Eraclea - Montallegro	P4	2.529,02
	Ribera a Nord del fiume Platani	P4	3.396,54
	Sciacca T.re Verdura 1	P4	275,83
	Sciacca T.re Verdura 2	P4	375,44
	Sciacca Colonia Marina	P4	263,08
	Sciacca T.re del Tradimento	P4	134,89
	Sciacca a Nord di Capo S. Marco 1	P4	256,35
	Sciacca a Nord di Capo S. Marco 2	P3	241,63
	Menfi	P4	1.872,60
	Castelvetrano foce fiume Belice	P4	2.109,51
5	Castelvetrano a Ovest di Selinunte	P4	832,88
	Campobello di Mazara Pozzitello	P4	2.747,53
	Campobello di Mazara Punta Granitola	P4	631,45
	Mazara del Vallo	P4	482,72
	Mazara del Vallo a Est di Capo Feto	P1	818,84
	Mazara del Vallo Faro Capo Feto	P4	797,31
	Petrosino Margi Spano	P3	377,07
	Petrosino Margi Nespolilla	P4	716,34
	Petrosino-Marsala Lido Signorino	P4	600,46
	Marsala a Sud di Torre Tunna	P4	1.027,35
6	Marsala a Nord di Capo Lilibeo	P1	64,40
	Trapani	P1	245,08
	Erice Pizzolungo a Sud del porticciolo	P1	121,01
	Erice Pizzolungo a Nord del porticciolo	P1	114,29
	Erice Condrata Miliana 1	P1	122,42
	Erice Contrada Miliana 2	P1	135,11
	San Vito lo Capo	P2	905,46
	San vito lo Capo Cala Tonnarella dell'Uzzo	P4	112,24
	San vito Lo CapoCala Capreria	P4	71,31
	Castellammare del Golfo Cala Mazzo di Sciacca	P3	125,96
	Castellammare del Golfo Cala Colajanni Scopello	P4	99,30
	Castellammare del Golfo Cala dell'aberello	P4	46,51
7	Castellammare del Golfo Cala Petrolò	P3	102,83
	Castellammare del Golfo Spiaggia Playa	P4	767,35
	Balestrate	P1	214,01
	Trappeto Spiaggia Città del Mare	P3	613,43
	Carini Carini Mare	P1	482,79
	Capaci	P4	272,14
	Palermo Spiaggia dell'Arenella	P4	236,24

UF	Località	Classe di pericolosità	Lunghezza tratto [m]
	Palermo Spiaggia di Romagnolo	P4	1.118,91
	Palermo Beach	P4	337,56
	Palermo Bandita	P4	571,99
	Palermo Acqua dei Corsari	P4	592,30
	Ficarazzi	P4	200,30
	Bagheria Marina di Aspra	P4	1.334,50
	Bagheria Baia dei Francesi	P4	68,92
8	Santa Flavia Spiaggia Kafara	P4	403,67
	Santa Flavia Fondachello	P4	211,21
	Casteldaccia Fiume Milicia	P4	467,85
	Altavilla Milicia Lido Capannina	P4	583,21
	Altavilla Milicia Ombelico di Venere	P1	145,55
	Trabia Vetrana	P4	123,08
	Trabia	P4	154,81
	Termini Imerese	P4	1.090,13
	Campofelice di Roccella Contrada pistavecchia	P4	2.072,15
	Campofelice di Roccella Piana Calzata	P3	1.879,58
	Cefalù Spiaggia Settefrati	P1	325,43
	Cefalù	P4	1.131,78
	Cefalù Playa degli Uccelli	P4	1.413,16
	Pollina Spiaggia Santa Maria	P3	113,77
	Pollina Spiaggia Torre Conca	P4	370,03
	Motta D'Affermo	P4	756,35
	Reitano Villa Margi	P4	415,26
	Caronia Canneto	P2	669,47
	Caronia Contrada Buzza	P4	179,14
	Caronia Torre del Lauro	P1	626,38
	Acquedolci	P4	793,22
	Sant'Agata di Militello	P4	1.202,10
	Torrenova lungomare	P2	1.084,80
	Torrenova Rocca Capri Leone	P4	847,60
	Capo d'Orlando	P1	373,86
9	Capo d'Orlando San Gregorio	P4	547,75
	Piraino Torre delle Ciavole	P4	596,76
	Piraino Airone	P4	234,50
	Piraino Calanovella	P4	612,16
	Gioiosa marea Capo Calava	P4	992,98
	Gioiosa Marea San Giorgio	P4	681,03
	Gioiosa Marea Villa Livia	P4	192,63
	Patti Galice	P4	1.933,99
	Patti Mongiove	P4	1.605,02
	Patti Marinello	P4	93,23
	Falcone Libera	P4	170,33
	Barcellona Pozzo di Gotto Caldera	P4	2.265,78
	Milazzo Torretta Spiaggia	P3	1.151,32
10	San Filippo del Mela	P4	859,51
	Venetico Marina	P1	1.352,07

UF	Località	Classe di pericolosità	Lunghezza tratto [m]
	Saponara Marittima	P4	790,39
	Messina Fiorini	P4	287,16
	Messina Lido Marmora	P4	1.545,74
	Messina Oasi 2000	P3	256,56
	Messina San Saba	P1	843,01
	Messina Marina Mezzacampa	P4	337,72
	Messina Acquarone Ovest	P4	733,86
	Messina Acquarone Est	P4	1.022,58
	Messina Casa Bianca	P4	3.291,57
	Messina Lido Brigata Aosta	P4	490,98
	Messina Villa Faro	P3	454,32
	Messina Guardia	P4	1.082,40
	Messina Pace	P3	947,70

I risultati sopra riportati sono sintetizzati a scala di unità fisiografica di ordine I nella Figura 9.5 e nella Figura 9.6, che riportano, rispettivamente, l'estensione dei tratti in erosione aggregati per unità fisiografiche di ordine I e per classi di pericolosità e il rapporto tra la stessa estensione e la lunghezza complessiva dell'unità fisiografica.

Complessivamente si osserva che l'U.F. 4 presenta la maggiore estensione dei tratti di costa ad elevato rischio di erosione, mentre in termini di sviluppo relativo le U.F. 10 e 4 presentano la maggiore percentuale di coste ad elevata pericolosità di erosione rispetto allo sviluppo complessivo delle stesse U.F.

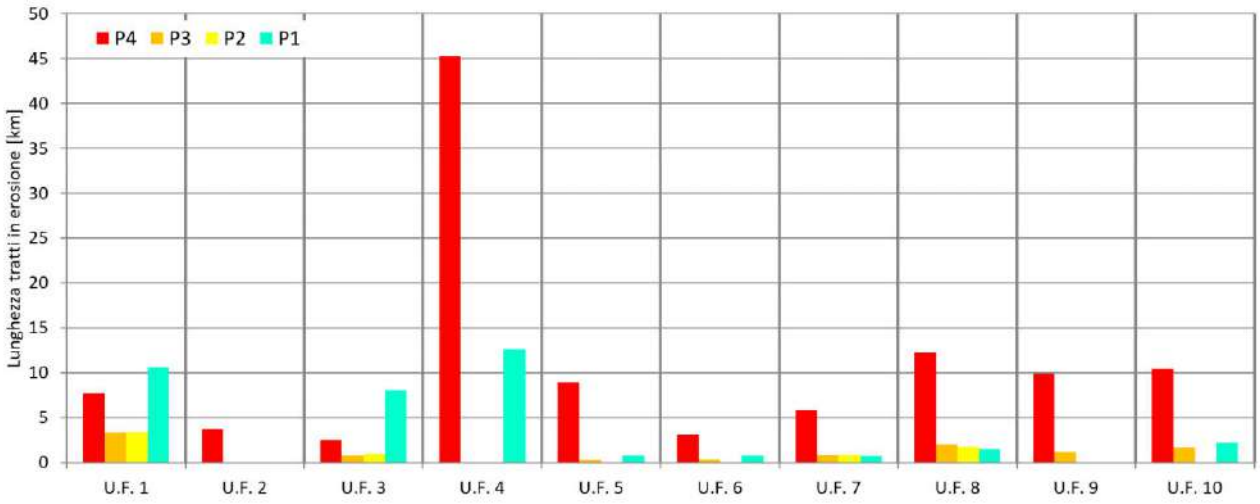


Figura 9.5 Lunghezze dei tratti individuati in erosione classificati per Unità Fisiografiche di ordine I e per classi di pericolosità.

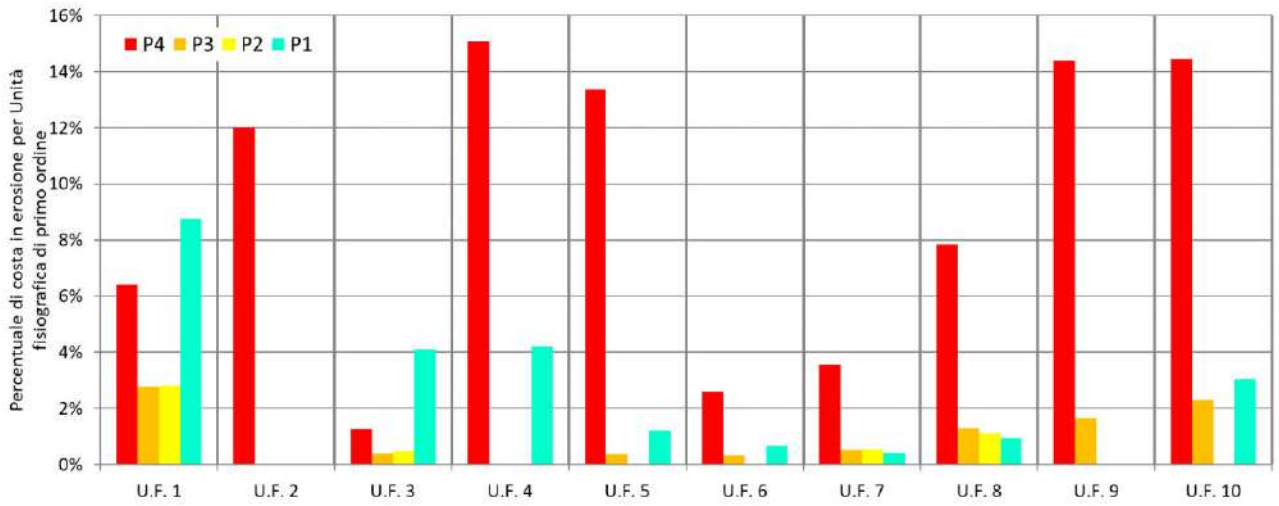


Figura 9.6 Rapporto tra le lunghezze dei tratti individuati in erosione classificati per Unità Fisiografiche di ordine I e per classi di pericolosità e le lunghezze complessive delle Unità Fisiografiche.

9.3 Proposta di metodologia per la valutazione delle criticità delle coste alte

9.3.1.1 Stato dell'arte per la valutazione della pericolosità di coste alte

Il problema della stabilità delle coste alte rocciose, pur essendo di grande interesse, solo in poche Regioni è affrontato in modo sistematico, con una carenza di tecniche di pianificazione ed intervento che nella maggior parte dei casi è colmata con interventi puntuali in occasione di emergenze e senza uno specifico quadro di riferimento.

Questo ha prodotto cataloghi dei dissesti, piuttosto che manuali o programmi di intervento, non sempre completi e specificatamente finalizzati all'analisi delle interazioni tra dinamica "terrestre" e dinamica "marina".

Conseguentemente ci si trova di fronte a situazioni in cui la presenza di tratti di costa a pericolosità media/elevata sono ignorati negli strumenti pianificatori, ed altre con vincoli e limiti di utilizzo che potrebbero essere eliminati se studiati con più attenzione.

Nel caso delle coste alte, inoltre, occorre distinguere tra le situazioni più direttamente connesse alla potenziale franosità dei versanti costieri, connaturata alla natura stessa dei corpi rocciosi e detritici, quantificabile in livelli crescenti

rispetto alla condizione di stabilità riferibile ad ogni formazione geologica, e quelle più chiaramente correlate all'azione dinamica del moto ondoso.

Nel primo caso, le normali dinamiche evolutive di versante legate alle proprietà meccaniche degli ammassi, alla condizione strutturale, alla giacitura delle discontinuità, al grado di fratturazione, alle forme di alterazione indotte dallo spray marino e dagli agenti atmosferici, nonché alle acque di dilavamento, concorrono a determinare il tenore di propensione al dissesto.

Nel secondo caso è soprattutto l'azione idrodinamica del moto ondoso a determinare la modellazione della costa alta.

Tra questi due meccanismi si possono tuttavia verificare legami di interconnessione, con interazione di processi marini e terrestri che creano più di una condizione di instabilità, fino ad arrivare a situazioni in cui nella stessa falesia si possono sviluppare diverse tipologie di frana.

Nelle situazioni più complesse pertanto i meccanismi di attivazione dei processi che portano all'instabilità possono concorrere in misura diversa, oppure in compartecipazione, e sebbene in letteratura ci sia un sostanziale accordo nel classificare due tipologie di meccanismi che innescano frane in contesti di falesie: uno "marino" prevalentemente conseguente all'azione del moto ondoso, ed uno invece più legato a fenomeni "terrestri" di evoluzione del versante, è opportuno caratterizzare bene le diverse situazioni. Ciò anche in considerazione delle implicazioni che la classificazione di un dato evento nell'una o nell'altra tipologia comporta dal punto di vista della modellazione del fenomeno, dell'analisi del processo evolutivo ed, infine, delle soluzioni da adottare.

Con riferimento a quest'ultimo aspetto, in particolare, la scelta della strategia di intervento non può prescindere dal preventivo accertamento che le soluzioni da mettere in atto possano essere limitate al solo ambito terrestre o se, piuttosto, non sia necessario comprendere anche quello marino. Ovvero se la messa in sicurezza della costa alta o di una porzione della stessa mediante interventi di stabilizzazione localizzati, non richieda la contemporanea previsione di opere di difesa costiera, senza le quali sia elevata la possibilità di vanificare in tempi più o meno rapidi l'efficacia dei primi.

Lo studio degli scenari di recessione costiera nelle diverse possibili situazioni necessita, pertanto, di una adeguata rappresentazione dei processi coinvolti, ed in relazione al grado di interazione è necessario integrare differenti competenze, sia dal punto di vista tecnico e disciplinare che pianificatorio ed amministrativo.

9.3.1.2 Metodologia per l'individuazione delle criticità costiere delle falesie

Nel caso delle coste rocciose la metodologia per la individuazione delle criticità costiere considera prioritariamente la suscettività al dissesto. La definizione delle "fasce di suscettività" è basata sulle perimetrazioni dei corpi franosi costieri già cartografati, sulle analisi di foto-interpretazione, nonché su specifici sopralluoghi, finalizzati a definire l'areale di falesia attiva, intesa come la porzione di costa alta in cui il fattore morfogenetico principale è in genere rappresentato dal moto ondoso.

In prima battuta vengono individuate due classi di "*falesia attiva*":

- la prima comprende i movimenti attivi e quiescenti cartografati sulla base delle informazioni disponibili, comprensivi del ciglio di coronamento, il cui accumulo può essere mobilizzato dall'azione del moto ondoso;
- la seconda, determinata tramite rilevamento diretto, riguarda la fascia di costa alta rocciosa la cui evoluzione morfologica è direttamente correlata al moto ondoso.

Le aree in frana attiva o quiescente il cui accumulo può essere mobilizzato dall'azione del moto ondoso sono inserite in una fascia caratterizzata da suscettività al dissesto molto alta. Le aree di falesia attiva, la cui evoluzione morfologica è correlata all'azione del moto ondoso, vengono inserite, in prima analisi, in una fascia caratterizzata da suscettività al dissesto media, dal piede al ciglio della falesia stessa. In relazione a queste ultime è possibile, sulla base delle caratteristiche morfologiche della falesia e meccaniche dell'ammasso roccioso, condurre una zonizzazione in classi a differente grado di suscettibilità nei confronti dei fenomeni di rottura in roccia: crolli, scivolamenti planari e/o di cunei, ribaltamenti, ecc..

Ai fini della zonizzazione hanno importanza anche le caratteristiche morfologiche della parte sommersa della falesia, per le interazioni con i movimenti ondosi che impattano alla base della stessa, influenzando il relativo rischio di crolli.

L'individuazione delle aree a rischio in ambiente di costa alta può essere effettuata valutando le diverse classi di rischio tenuto conto della sovrapposizione della perimetrazione delle aree in frana, delle falesie e di eventuali fasce di rispetto, con gli elementi a rischio.

Soprattutto in Sicilia la significatività di un controllo dei processi erosivi delle coste alte assume particolare rilevanza, considerato che esse rappresentano una buona parte dei circa 1600 km di costa, per le quali si richiede uno specifico approfondimento metodologico per la classificazione delle criticità geomorfologiche.

È opportuno pertanto mettere in campo uno strumento atto ad individuare linee programmatiche per le aree costiere a maggiore criticità di dissesto ed arretramento, ed indirizzi applicativi di gestione costiera integrata. L'elaborazione di un piano contro l'erosione costiera non può non considerare tale impostazione metodologica.

Quest'ultima deve essere finalizzata alla classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale e deve descrivere e classificare le evidenze fenomenologiche di arretramento della linea di costa connesse a processi erosivi dei litorali. Da tali condizioni critiche scaturiscono implicazioni di natura ambientale, con la consapevolezza che i fenomeni di arretramento della costa non possono essere classificati con la sola accezione negativa. Essi infatti rappresentano il risultato di tendenze evolutive generali che rientrano nelle dinamiche naturali dei sistemi fisici terrestri, che l'uomo può localmente condizionare, modificandone la velocità di trasformazione o addirittura alterandone i processi.

Lo studio delle coste alte è quindi prevalentemente orientato a comprendere il fenomeno dell'erosione e dell'arretramento in modo da poterne predire l'evoluzione e quindi pianificare interventi che possano ridurre i danni. La stragrande maggioranza delle esperienze e delle ricerche presenti nella

letteratura internazionale (Sunamura, 1992; Castedo et al., 2012; Lim et al., 2010; Del Rio & Gracia, 2009) sono concentrate sui fenomeni di arretramento delle coste alte costituite da rocce tenere o molto tenere (resistenza a compressione mono-assiale inferiore a 25-50 MPa).

Sebbene esistano differenti approcci, anche riguardo ai dati rilevati ed al modello di analisi utilizzato, si riscontra in letteratura un sostanziale accordo nel classificare due principali tipologie di meccanismi che innescano frane in contesti di falesie attive (ed applicabili anche a falesie costituite da rocce dure): uno "marino" ed uno "terrestre". Il primo prevalentemente conseguente all'azione del moto ondoso, il secondo più legato a fenomeni di evoluzione del versante. In relazione, inoltre, alla scala di analisi (locale o territoriale) lo studio della dinamica evolutiva di un tratto di costa alta richiede la valutazione di alcune caratteristiche principali, che possono essere considerate indicative per una zonazione delle criticità e che permettano di riconoscere i tratti che hanno una pericolosità tale da richiedere un maggiore approfondimento.

Come sarà più dettagliatamente precisato nel seguito della presente relazione, per questo tipo di zonazioni esistono in genere diversi metodi, che concettualmente possono essere distinti in: *a*) modelli euristici, che fanno affidamento sulle capacità dell'osservatore di selezionare, in base alla sua esperienza gli indicatori significativi per la definizione della propensione al dissesto, attribuendo ad essi un diverso peso a seconda delle diverse condizioni; *b*) modelli empirici, che studiano le relazioni tra diversi parametri fisici (morfologia, azioni trasmesse dal moto ondoso, proprietà meccaniche dell'ammasso, ecc..); *c*) metodi statistici basati principalmente su un repertorio degli eventi franosi. Una integrazione tra questi modelli dovrebbe fornire prodotti più attendibili, a patto di individuare parametri facilmente misurabili in tutte le condizioni.

Rilevate e monitorate, infine, le variazioni morfologiche e valutate le criticità, si procederà a stabilire le aree su cui occorre intervenire secondo una scala di priorità, in funzione di tale grado di criticità.

Le azioni da intraprendere nelle fasi successive dovranno tenere conto degli effetti dei cambiamenti climatici e degli interventi che si andranno via via realizzando.

10 Applicazione di alcune delle metodologie proposte a casi di studio

10.1 Valutazione del traporto solido costiero ai fini dell'analisi dell'arretramento della linea di costa

10.1.1 Descrizione del paraggio in esame

Il tratto di costa in erosione oggetto del presente caso di studio relativo alla valutazione del trasporto solido costiero è localizzato all'interno dell'unità fisiografica di III Ordine che si estende dal Porto di Termini Imerese, a Ovest, al porto di Cefalù, a Est, lungo il litorale Nord-Occidentale Tirrenico della Sicilia, per una lunghezza totale di circa 39 km.

Nella Figura 10.1 si riporta la corografia della zona di interesse.

Dal punto di vista morfologico, all'interno dell'unità fisiografica si possono distinguere tratti di costa di natura differente.

Figura 10.1 Corografia dell'area di interesse (immagine di base: ortofoto 2012 del Portale Cartografico Nazionale).

A Est del Porto di Termini Imerese, la spiaggia si presenta sabbiosa-ciottolosa. Proseguendo sino a Cefalù, la spiaggia è sempre sabbiosa-ciottolosa, ma le granulometrie tendono a ridursi, anche se sono presenti dei tratti caratterizzati da frazione sabbiosa grossolana. La pendenza media della spiaggia sommersa dalla battigia all'isobata di 5 m è pari al 1,5% (fonte Atlante delle Spiagge).

Dal punto di vista idrografico, nell'unità fisiografica sono presenti le foci dei del Fiume Torto del Fiume Imera Settentrionale. Inoltre, sono presenti corsi d'acqua minori come il Torrente Roccella e il Torrente Piletto.

Dal punto di vista del clima meteomarino, l'Unità risulta direttamente esposta ai marosi ed ai venti provenienti dal I° e IV° Quadrante. La costa è disposta con direzione media pari a 70°N, ed è aperta ai venti e ai mari provenienti dalle direzioni comprese fra 300° e 70°N.

Per l'Unità in questione, già all'interno del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del 2004, è contenuto uno studio per l'individuazione del grado di pericolosità e del grado di rischio delle spiagge ad esso appartenenti. Detto studio è stato condotto analizzando i tratti costa distinti per comune. In particolare, all'interno del comune di Campofelice di Roccella si individuano principalmente alcune aree con pericolosità P3 e P4 e con grado di rischio R3 e R4, soprattutto in prossimità della foce del Fiume Imera Settentrionale, dove si è osservato l'arretramento della linea di riva più significativo.

Ai fine della presente applicazione si considera un tratto di litorale localizzato all'interno del comune di Campo Felice di Roccella. L'estensione dell'intervento è pari a circa 5 km, in direzione SudOvest-NordEst. La scelta di questo sito è dovuta al fatto che negli ultimi anni la spiaggia, che si presenta sabbiosa-ciottolosa, è stata interessata da diffusi fenomeni di depauperamento sedimentario che hanno provocato l'arretramento della linea di riva di parecchie decine di metri. Inoltre, l'equilibrio della fascia costiera è stato profondamente modificato dalle opere di regimentazione idraulica dei fiumi limitrofi e da un significativo impatto antropico sulla costa che ha accentuato i fenomeni erosivi dalla spiaggia.

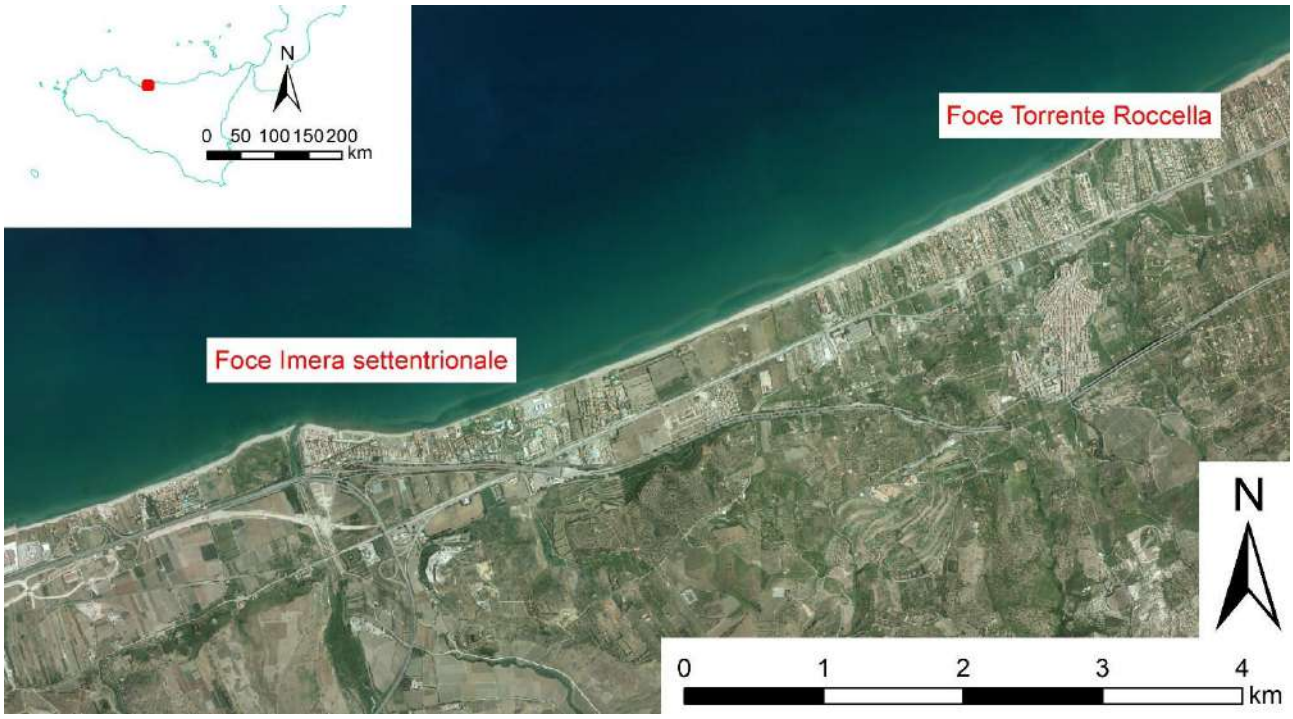


Figura 10.2 Comune di Campofelice di Roccella: localizzazione del tratto in studio (immagine di base: ortofoto 2012 del Portale Cartografico Nazionale).

Gli apporti solidi che garantiscono l'esistenza di una spiaggia lunga e continua sono assicurati dai fiumi Torto e Imera Settentrionale. Infatti, questi fiumi sono caratterizzati da bacini di dimensioni notevoli e con un ciclo erosivo giovanile.

Lungo il litorale in oggetto, nel territorio del Comune di Campofelice di Roccella, si è sviluppata un'intensa urbanizzazione proprio lungo la fascia costiera, caratterizzata principalmente da numerosi complessi alberghieri. Tale forte antropizzazione ha determinato il continuo incremento dell'erosione che ha quindi interessato il lungomare prospiciente tali strutture alberghiere.

A causa dei fenomeni sopra citati, la spiaggia, avente attualmente una ampiezza variabile da un massimo di 50-60 m ad un minimo di circa 5 metri, ha registratonegli anni un fortissimo arretramento della linea di riva.

10.1.2 Caratterizzazione del clima ondoso al largo del paraggio in esame

Ai fini della caratterizzazione del clima ondoso si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 8.3.

In particolare, la Figura 10.3 e la Figura 10.4 riportano le caratteristiche del clima ondoso medio e la distribuzione del flusso medio annuo di energia del moto

ondoso in prossimità della batimetrica 20 m immediatamente al largo del tratto di costa in studio.

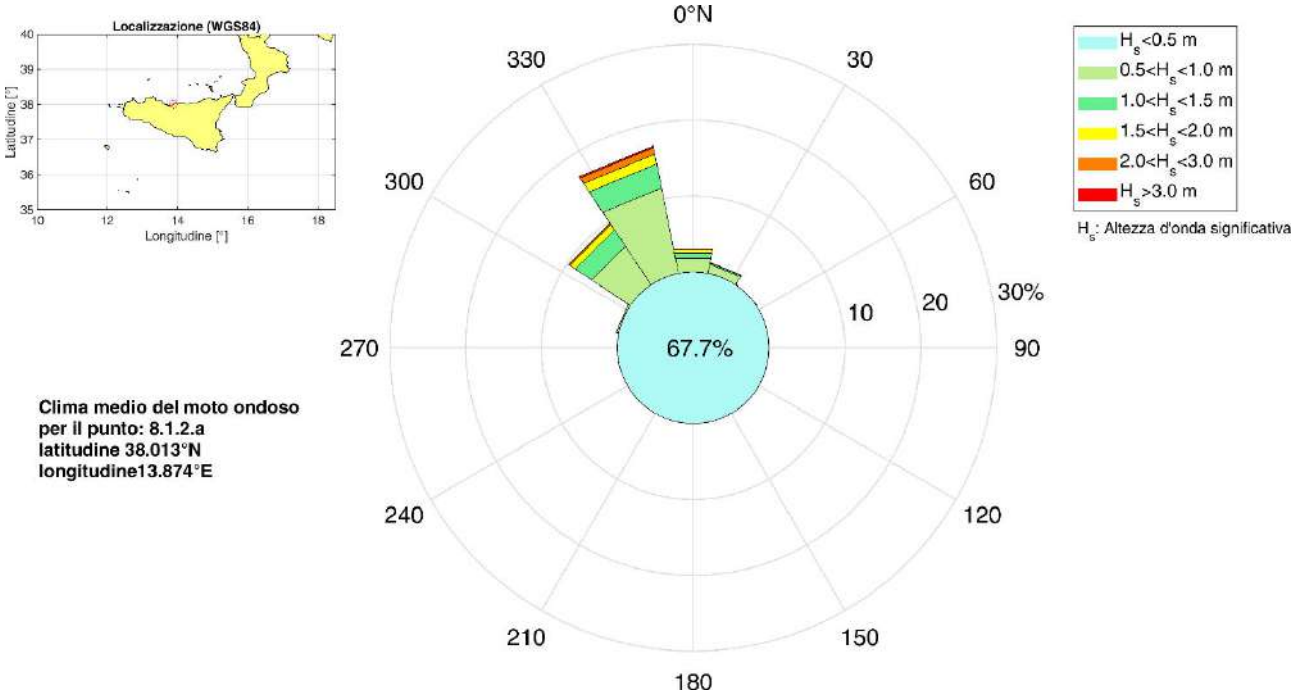


Figura 10.3 Clima medio del moto ondoso in prossimità della spiaggia di Campofelice di Roccella alla profondità di -20 m.

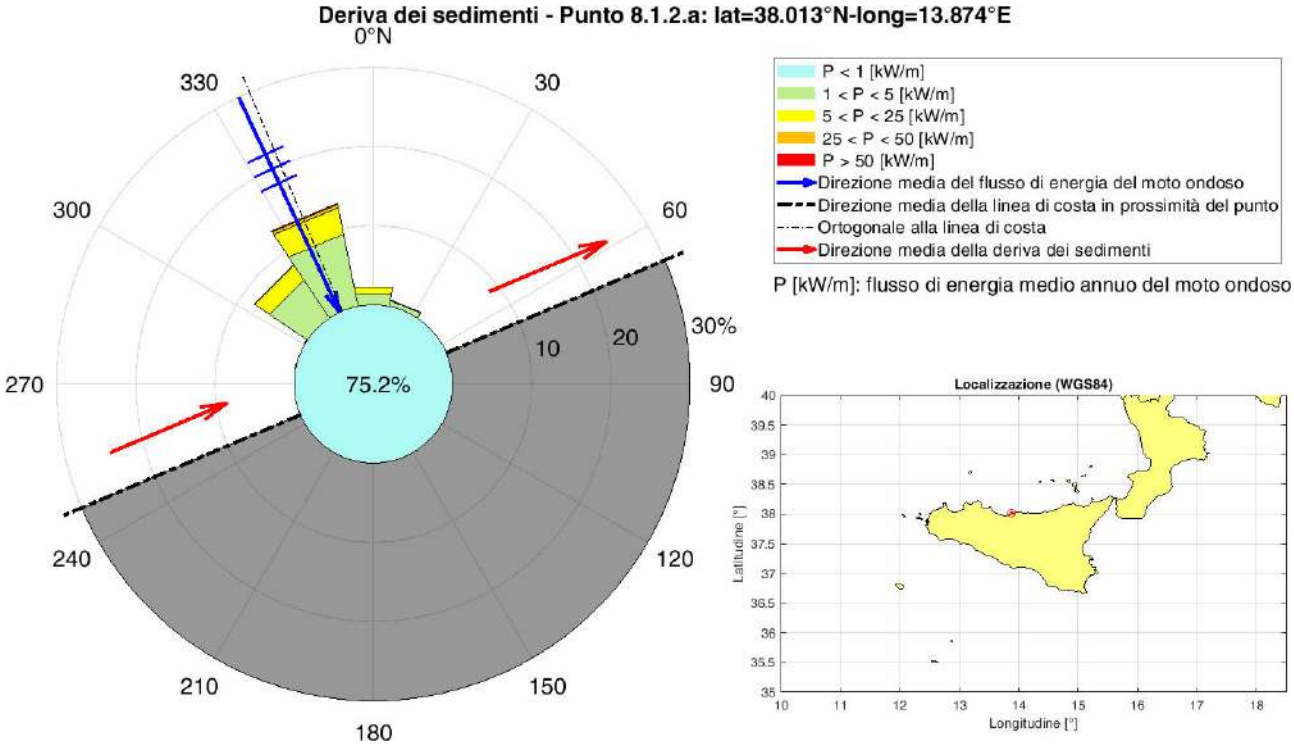


Figura 10.4 Flusso medio annuo di energia del moto ondoso in prossimità della spiaggia di Campofelice di Roccella alla profondità di -20 m e individuazione della deriva dei sedimenti.

10.1.3 Trasporto solido litoraneo

Per la valutazione del trasporto solido nella zona oggetto di studio si sono utilizzati i modelli numerici CMS-Wave e CMS-Flow, sviluppati dal U.S. Army Corps of Engineers.

Il modello CMS-Wave creato da Lin et al. (2006) e da Demiribilek et al. (2007) è un modello bidimensionale per la propagazione dello spettro d'onda, formulato a partire da un approccio ad approssimazione parabolica, contenente termini che tengono in considerazione la dissipazione dell'energia e la diffrazione. Tale modello simula una trasformazione stazionaria spettrale di onde direzionali casuali, coesistenti con le correnti litoranee. Il modello agisce su un semipiano d'onda; ciò implica che le onde possono propagarsi solo dal contorno al largo verso la costa, ed include caratteristiche quali la generazione d'onda causata dal vento, la riflessione e la dissipazione dovuta alle interazioni con il fondale.

Il modello CMS- FLOW permette la risoluzione dell'equazione di continuità integrata sulla profondità e dell'equazione di bilancio dell'azione ondosa applicando il metodo dei volumi finiti in campo bidimensionale.

Tale modello permette di valutare, noti i valori di alcune grandezze rappresentative del moto ondoso sotto costa forniti dal modello CMS-Wave (altezza d'onda, periodo, direzione di propagazione, energia dissipata a causa del frangimento e radiation stress), l'intensità delle correnti litoranee e il relativo trasporto solido.

Più in dettaglio, il trasporto solido al fondo q_b viene stimato utilizzando la formula proposta da Camenen e Larson (2005) riferita sia alla corrente che alle onde:

$$\frac{q_{bw}}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}} = a_w\sqrt{\theta_{net}}\theta_{cw,m}exp\left(-b\frac{\theta_{cr}}{\theta_{cw}}\right)$$

$$\frac{q_{bn}}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}} = a_n\sqrt{\theta_{cn}}\theta_{cw,m}exp\left(-b\frac{\theta_{cr}}{\theta_{cw}}\right)$$

dove $s = \frac{\rho}{\rho_a}$ è la densità relativa dei sedimenti, ρ è la densità dei sedimenti, ρ_a è la densità dell'acqua, g è l'accelerazione di gravità, d_{50} è il diametro mediano dei sedimenti, i pedici w ed n indicano rispettivamente la direzione dell'onda e la direzione normale all'onda, a e b sono dei coefficienti, $\theta_{cw,m}$ e θ_{cw} sono il valore medio e il valore massimo del parametro di Shields trascurando la scabrezza del fondo, θ_{cr} è il valore critico del parametro di Shields. I termini θ_{net} e θ_{cn} rappresentano il contributo della tensione di taglio alla velocità di trasporto durante un ciclo dell'onda in direzione parallela e normale alle onde stesse.

Il trasporto in sospensione q_s viene calcolato considerando un profilo esponenziale della concentrazione e velocità costante lungo l'intera colonna d'acqua (Camenen, B. e Larson, M., 2006):

$$q_s = U_c c_R \frac{\varepsilon}{w_s}\left(1 - exp\left(-\frac{w_s d}{\varepsilon}\right)\right)$$

Dove U_c è la velocità media della corrente, w_f è la velocità di caduta del sedimento, d è la profondità, c_R è la concentrazione di riferimento e ε è la diffusività del sedimento. La portata q_s è valutata nella direzione della corrente in quanto le onde non contribuiscono al trasporto. I termini c_R e ε vengono calcolati in funzione della tensione totale e considerando la scabrezza al fondo. La concentrazione di riferimento è data dalla seguente relazione:

$$c_R = A_{cR}\theta_{cw,m}exp\left(-b\frac{\theta_{cr}}{\theta_{cw}}\right)$$

dove il coefficiente A_{cR} è pari a:

$$A_{cR} = 3.5 \cdot 10^{-3} exp(-0.3 d_*)$$

e la dimensione dei grani adimensionalizzata è $d_* = \left((s-1)g/\nu^2\right)^{1/3} d_{50}$, in cui ν è la viscosità cinematica dell'acqua.

La diffusività del sedimento risulta essere in funzione della dissipazione di energia in accordo con la trattazione di Battjes (1975):

$$\varepsilon = \left(\frac{D_e}{\rho}\right)^{1/3} d$$

dove D_e è la dissipazione totale effettiva di energia data dalla somma delle dissipazioni dovute alla corrente, alle onde e al frangimento delle onde.

10.1.3.1 Propagazione del moto ondoso dalla zona a profondità di 20 m a sottocosta

Al fine di determinare le condizioni idrodinamiche che influenzano il trasporto solido medio annuo nell'area in esame si è condotto uno studio di dettaglio delle caratteristiche del moto ondoso che interessa l'area in esame.

Di seguito vengono descritti i domini di calcolo utilizzati, le condizioni al contorno applicate e i risultati ottenuti.

Domini di calcolo

Lo studio di dettaglio della propagazione del moto ondoso nell'area direttamente interessata dalle opere è stato condotto utilizzando il dominio di calcolo riportato nella Figura 10.5 e nella Figura 10.6.

Il citato dominio è caratterizzato da un asse delle ascisse x inclinato di 160° rispetto al Nord geografico, da uno sviluppo trasversale (in direzione x) di 2320.00 m e longitudinale (in direzione y) di 7340.00 m, da celle di dimensione 4 mx 4 m e da un numero di celle totali pari a 1064300.

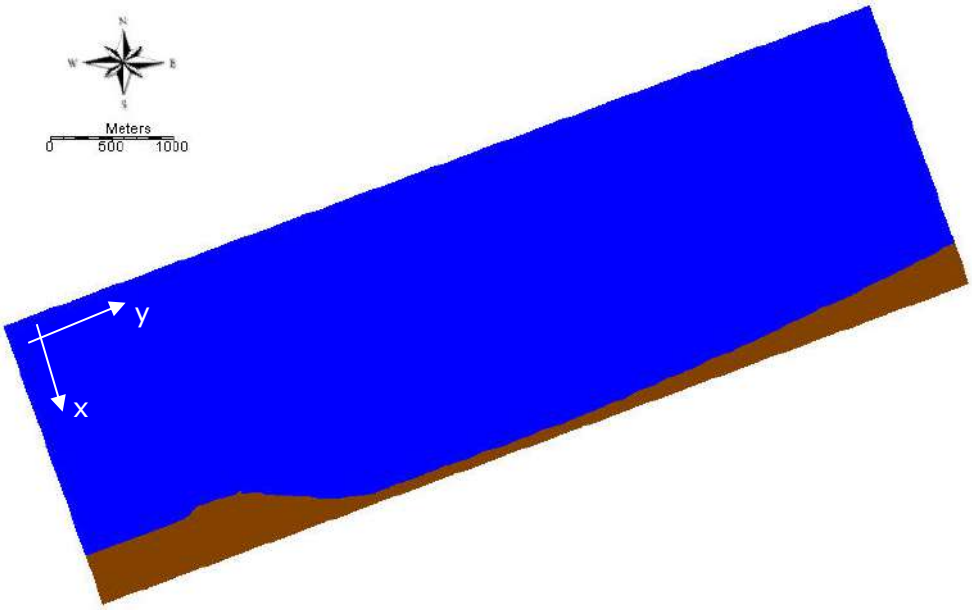


Figura 10.5 Griglia di calcolo avente l'asse delle ascisse inclinato di 160° rispetto il Nord geografico.

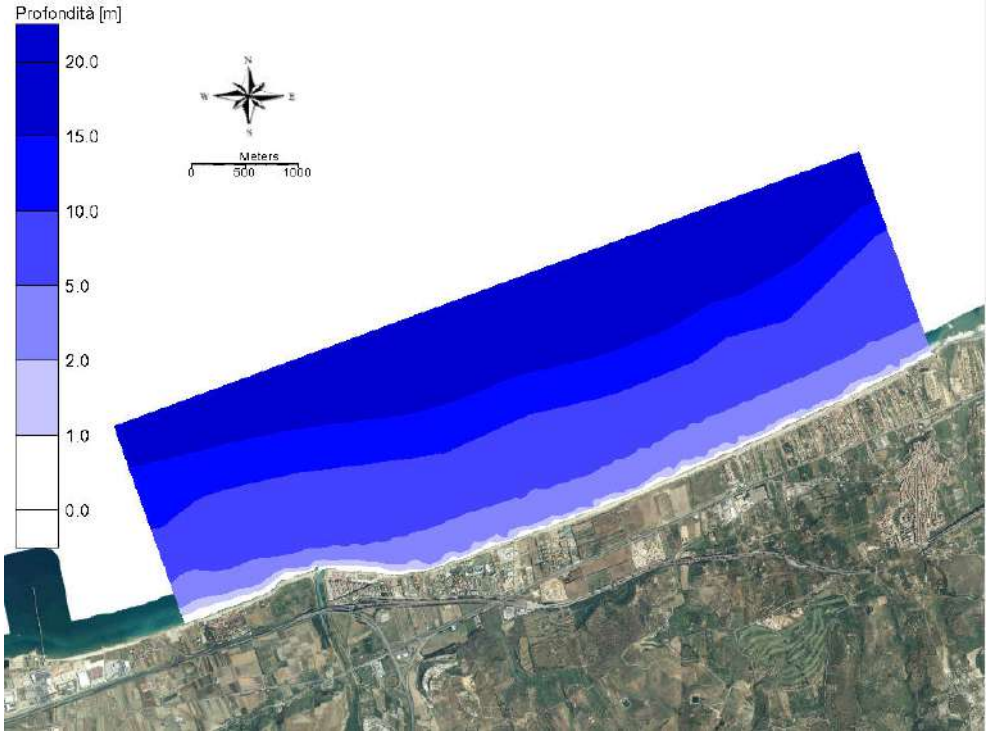


Figura 10.6 Andamento della batimetria.

Condizioni al contorno

Al fine di determinare le caratteristiche del moto ondoso all'interno dell'area in studio utili per la determinazione del trasporto solido medio annuo, il clima ondoso rappresentato nella Figura 10.3 è stato sintetizzato in quattro classi d'onda, per direzione e altezza, energeticamente equivalenti all'intera

distribuzione del moto ondoso medio annuale. Per ogni classe si sono ricavate le caratteristiche delle onde che presentano un'energia equivalente a quella prodotta dall'intera classe. In particolare, la Tabella 10.I, per ciascuna classe, riporta l'altezza d'onda significativa Hs e i corrispondenti periodo di picco Tp, direzione di provenienza Dir e frequenza di osservazione f relativi all'onda energeticamente equivalente.

Tabella 10.I Caratteristiche del moto ondoso energeticamente equivalente: classe, altezza d'onda, periodo, direzione e frequenza di apparizione.

Classe	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	f [%]
I	1.14	4.54	16	4.74
II	2.58	6.58	19	0.36
III	1.15	4.58	318	17.89
IV	2.83	7.17	324	1.47

Analisi dei risultati

Per ognuna delle condizioni di moto ondoso riportata in Tabella 10.I attraverso il modello CMS-Wave è stato determinato il campo delle altezze d'onda e delle altre caratteristiche del moto ondoso necessarie per la valutazione del trasporto solido (periodo, direzione di provenienza del moto ondoso, dissipazione di energia per frangimento, radiation-stress).

In particolare, dalla Figura 10.7 alla Figura 10.10 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le quattro classi di moto ondoso energeticamente equivalente.

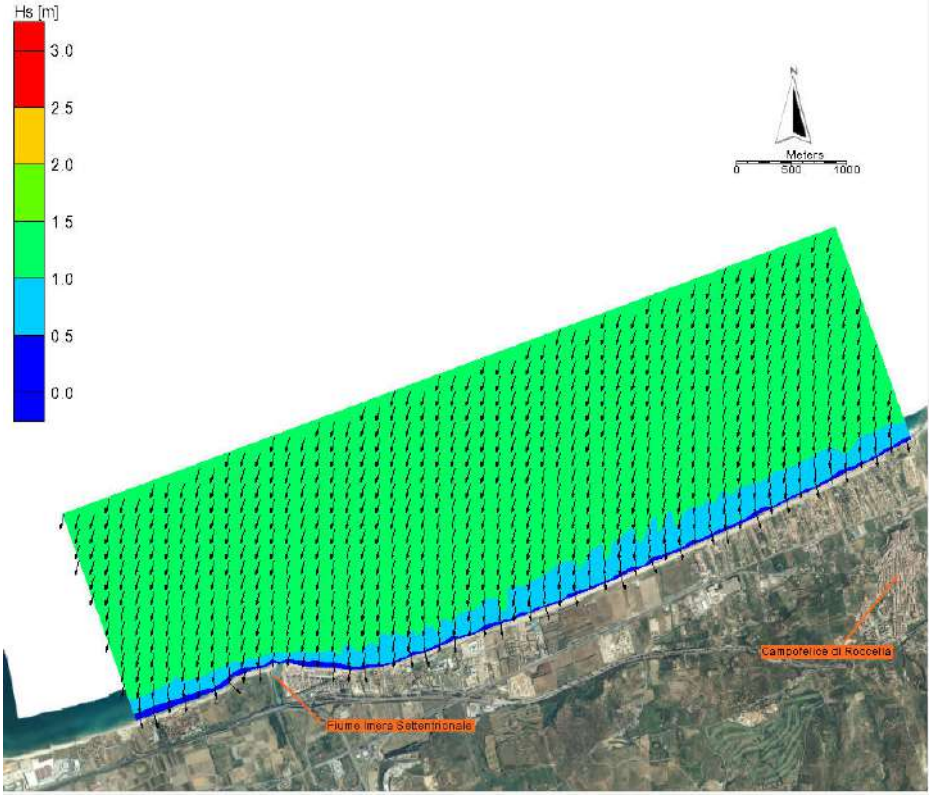


Figura 10.7 Distribuzione delle altezze d'onda sottocosta: Classe I

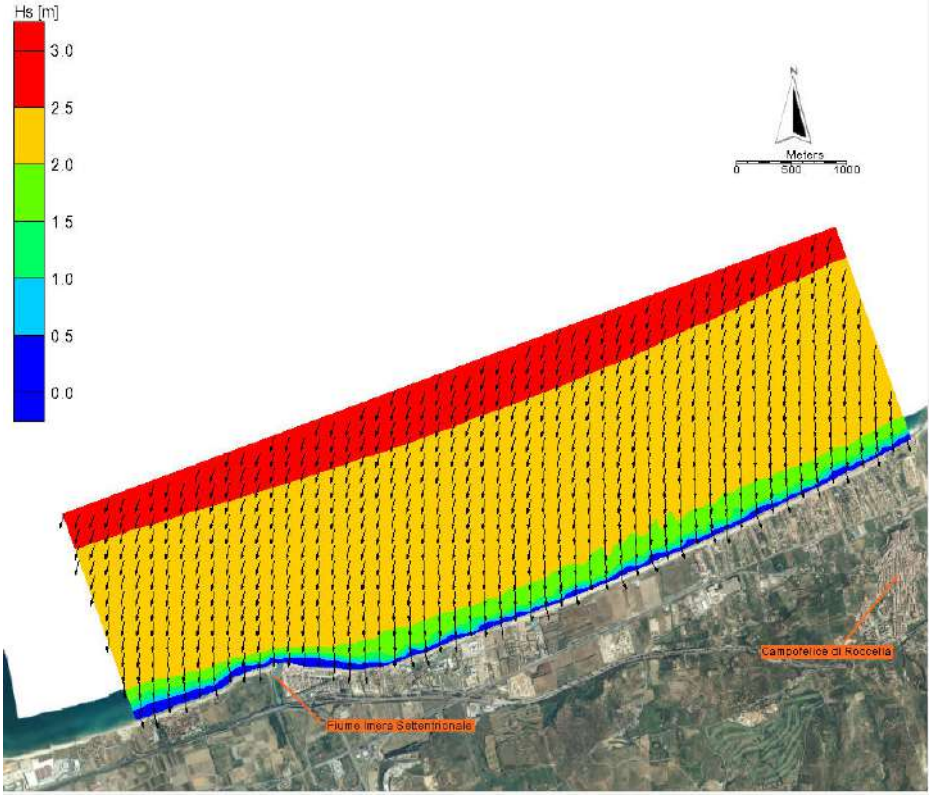


Figura 10.8 Distribuzione delle altezze d'onda sottocosta: Classe II

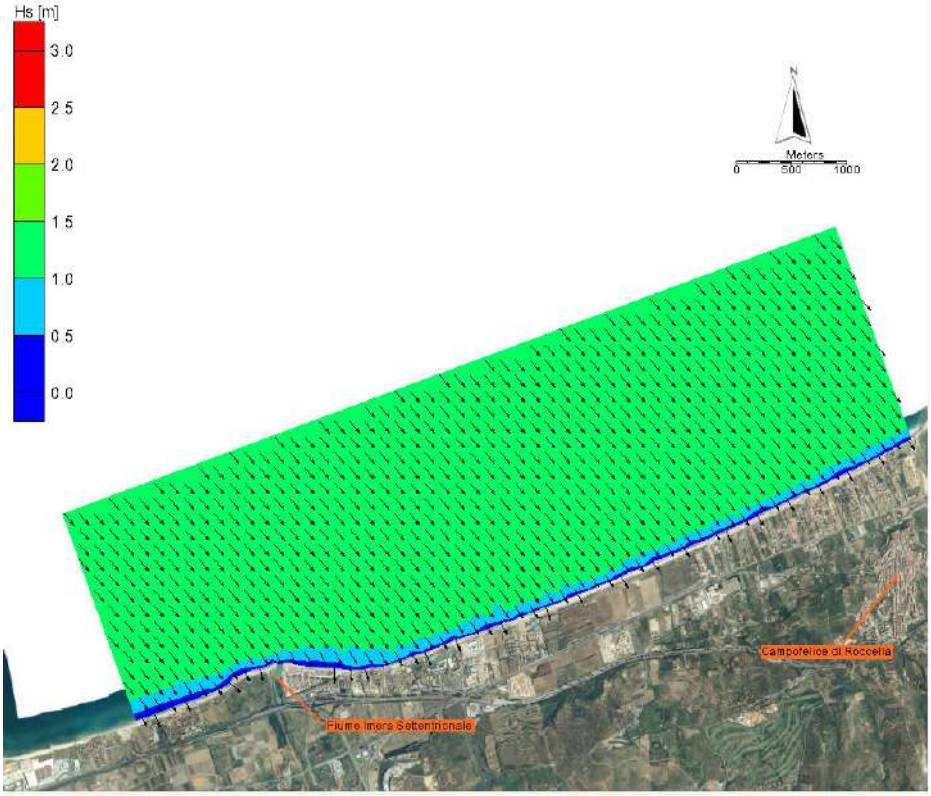


Figura 10.9 Distribuzione delle altezze d'onda sottocosta: Classe III

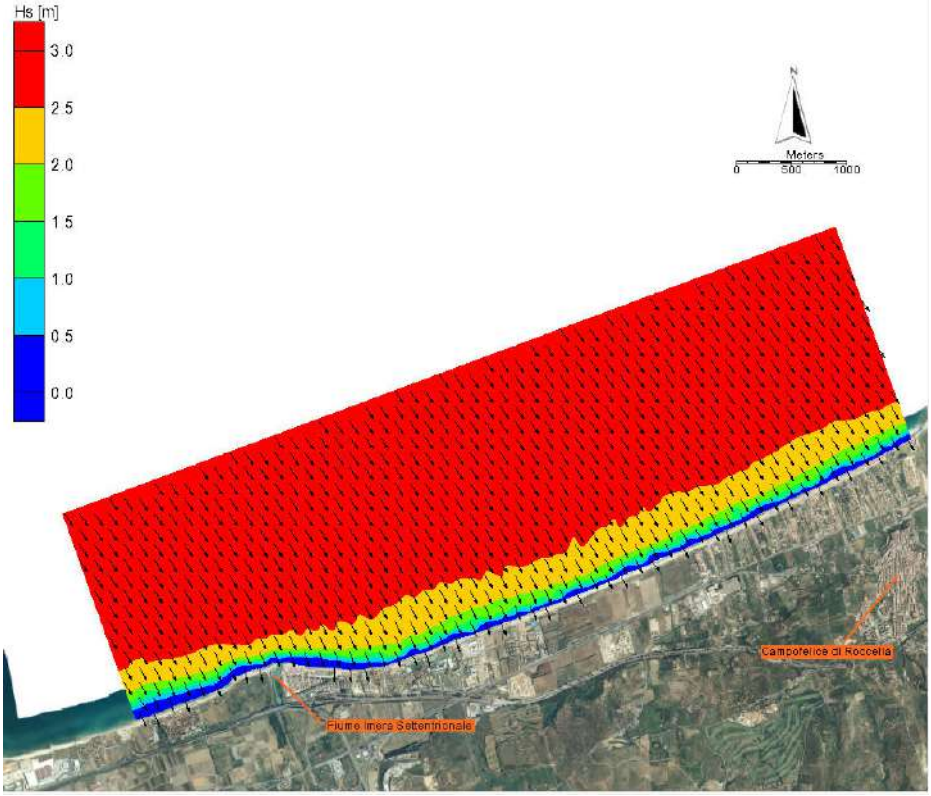


Figura 10.10 Distribuzione delle altezze d'onda sottocosta: Classe IV

10.1.3.2 Determinazione delle correnti indotto dall'attacco del moto ondoso e del relativo trasporto solido

Condizioni al contorno

La definizione delle condizioni al contorno per la modellazione, mediante CMS-Flow, del trasporto sono state desunte sulla base dei risultati della modellazione di dettaglio del moto ondoso descritta nel paragrafo 10.1.3.1. In particolare, si è fatto riferimento alle seguenti grandezze: all'altezza delle onde, al periodo, alla direzione di propagazione dell'onda, all'energia dissipata a causa del frangimento e al radiation stress.

Inoltre, al fine di valutare il trasporto solido si sono considerate le distribuzioni dei sedimenti riportate in Figura 10.11.

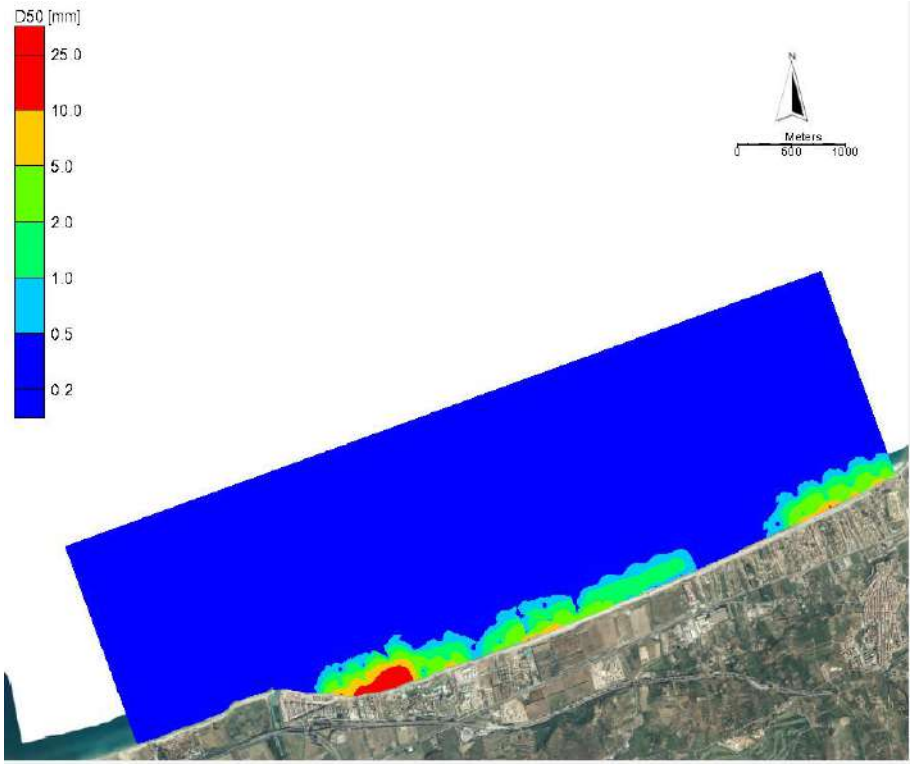


Figura 10.11 Mappa della distribuzione del D_{50}.

Analisi dei risultati

Sulla base delle indagini descritte al paragrafo 10.1.3.1, utilizzando il modello CMS-Flow, sono state determinate le velocità delle correnti indotte dal moto ondoso nel dominio in esame (vedere dalla Figura

10.12 alla Figura 10.15) e quindi le componenti del trasporto solido totale (vedere dalla Figura 10.16 alla Figura 10.19)

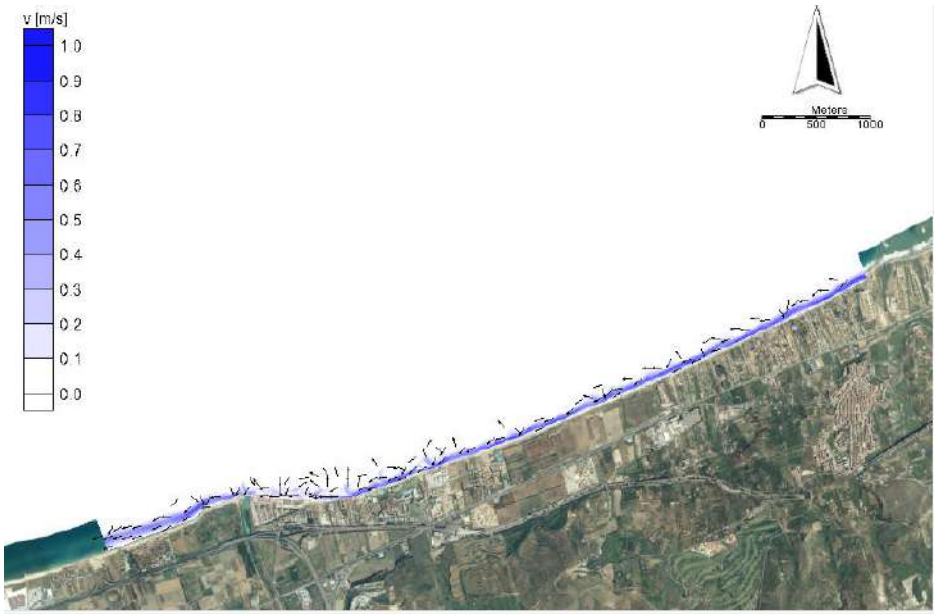


Figura 10.12 Distribuzione delle correnti indotte dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 1.14 m – Tp= 4.54 s - Dir= 16 °N – f = 0.05% - E/Etot=12%.

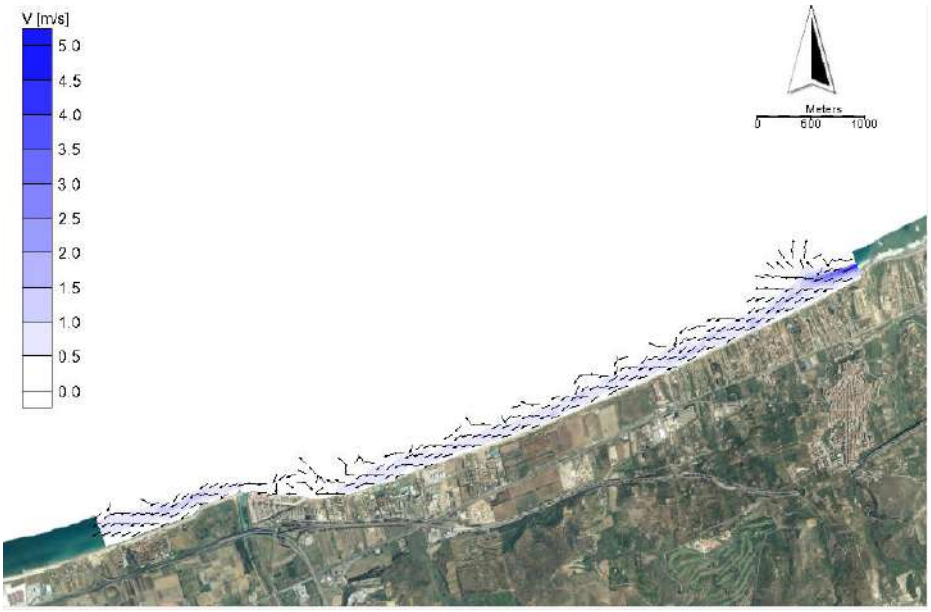


Figura 10.13 Distribuzione delle correnti indotte dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 2.58 m – Tp= 6.85 s - Dir= 19 °N – f = 0.004% - E/Etot=4.0%.

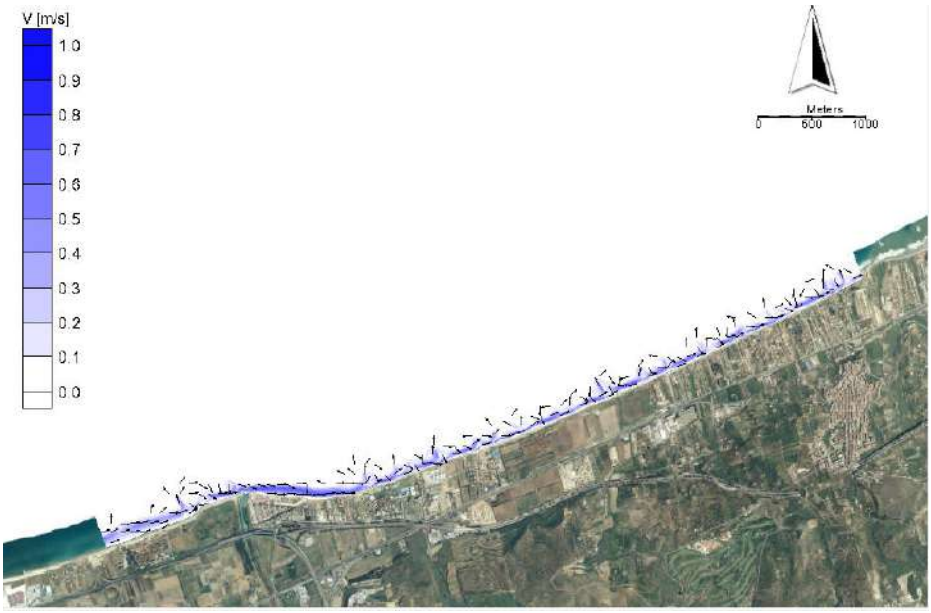


Figura 10.14 Distribuzione delle correnti indotte dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 1.15 m – Tp= 4.58 s - Dir= 3.18 °N – f = 1.7% - E/Etot=43.0%.

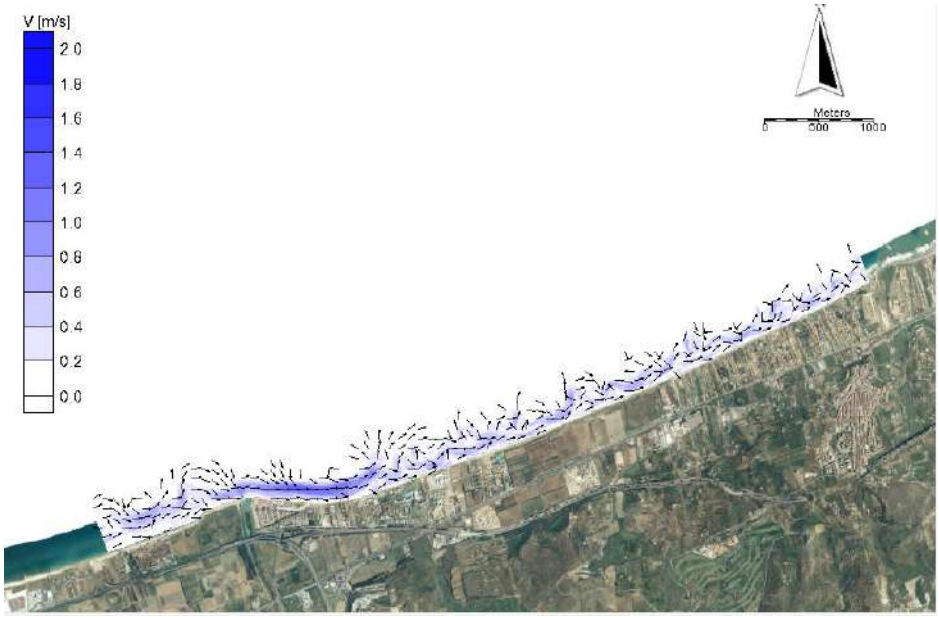


Figura 10.15 Distribuzione delle correnti indotte dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 2.83 m – Tp= 7.17 s - Dir= 324 °N – f = 0.01% - E/Etot=32.0%.

Figura 10.16 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 1.14 m – Tp= 4.54 s - Dir= 16 °N – f = 0.05% - E/Etot=12%.

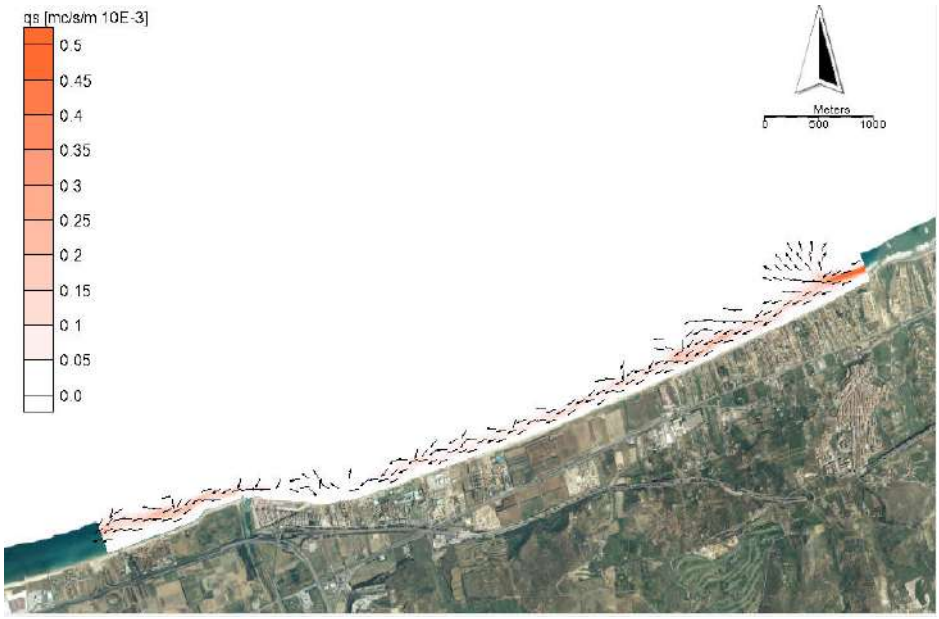


Figura 10.17 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 2.58 m – Tp= 6.85 s - Dir= 19 °N – f = 0.004% - E/Etot=4.0%.

Figura 10.18 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 1.15 m – Tp= 4.58 s - Dir= 3.18 °N – f = 1.7% - E/Etot=43.0%.

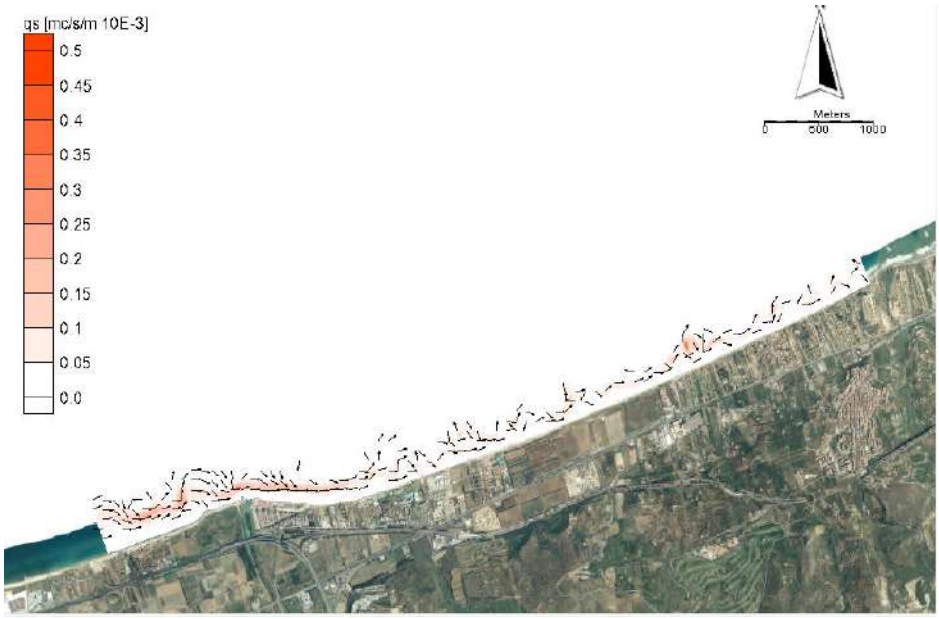


Figura 10.19 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 2.83 m – Tp= 7.17 s - Dir= 324 °N – f = 0.01% - E/Etot=32.0%.

Si rileva come le correnti prodotte dal moto ondoso siano dirette verso Ovest per le classi di moto ondoso I e II, riportate nel paragrafo precedente, mentre esse risultano dirette verso Est per la classe IV.

Per quanto attiene alla classe di moto ondoso III, non si rileva una direzione prevalente delle correnti.

Sulla base delle frequenze di osservazione delle condizioni d'onda rappresentative per il trasporto litoraneo riportate in Tabella 10.I, è stata valutata la portata solida media annua (vedere Figura 10.20). Quest'ultima è stata ottenuta effettuando, per ogni cella di calcolo, una somma pesata dei vettori di portata solida ottenuti dalle diverse condizioni di moto ondoso considerate. I pesi utilizzati sono pari alla frequenza di osservazione delle condizioni del moto ondoso che hanno generato le diverse condizioni di trasporto solido.

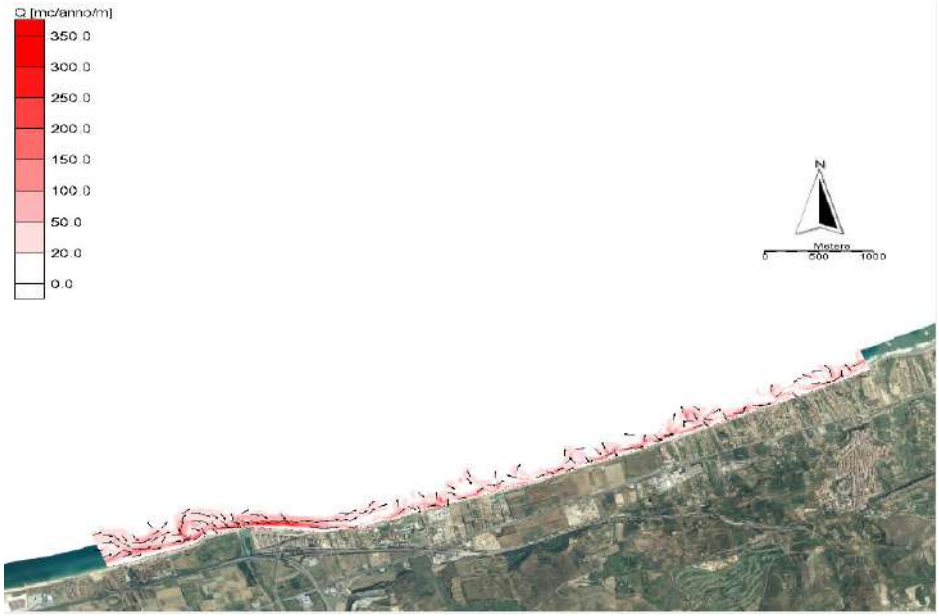


Figura 10.20 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso.

I risultati delle simulazioni mostrano una portata solida pressoché costante lungo il tratto di costa in studio. Tale condizione conferma l'ipotesi che l'arretramento della linea di riva osservata è da attribuire in massima parte alla riduzione degli apporti solidi da bacino. Inoltre, si osserva come il tratto di costa in esame alimenti a sua volta il litorale sottoflutto. Risulta pertanto necessario individuare interventi che interessino l'intero litorale in esame e non determinino l'annullamento del trasporto solido lungo costa, come avverrebbe, per esempio, se si adottassero pennelli trasversali. L'intervento dovrà dunque prevedere

l'impiego di un importante volume di ripascimento, per riequilibrare il budget dei sedimenti. Al fine di ridurre i volumi di ripascimento, potrà essere considerata l'ipotesi di realizzare una protezione al piede dello stesso ripascimento mediante la realizzazione di una barriera soffolta.

10.2 Valutazione della stabilità di coste alte

Le metodologie di studio dei processi di instabilità applicate alle coste alte, come già anticipato, non sempre affrontano in maniera approfondita l'interazione tra l'ambiente marino e quello terrestre. In questo ambiente, infatti, la componente del moto ondoso rappresenta spesso un'azione preponderante che richiede delle specifiche analisi.

Viceversa, i fenomeni di instabilità vengono generalmente trattati finalizzando gli studi ai processi legati alla meccanica degli ammassi rocciosi e solo in pochi casi considerando l'interazione tra costa, moto ondoso e dinamiche dell'ambiente sommerso.

Il fenomeno dell'erosione e, più in generale, dell'arretramento delle coste alte deve essere basato su analisi integrate multi-disciplinari, che permettano di considerare come un unico sistema gli ambienti emerso e sommerso.

L'esame degli scenari di recessione costiera nelle diverse possibili situazioni richiede una rappresentazione dei processi coinvolti capace di integrare le differenti competenze disciplinari che consentono di determinare le relazioni ed il loro grado di interazione, così da pervenire ad un modello di instabilità risultante ed alle conseguenti ipotesi di intervento.

Dagli esiti dello studio sarà possibile dedurre quali grandezze, parametri e/o indicatori siano rilevanti per una zonazione della suscettività al rischio di frana, scegliendo tra i diversi approcci quello che fornisce i risultati più attendibili. L'analisi si dovrà basare su indagini, sistemi di acquisizione, elaborazione ed interpretazione dei dati più idonei a seconda delle condizioni fisiografiche locali.

Essendo la vulnerabilità delle coste alte direttamente correlabile alle caratteristiche morfometriche della falesia ed alle proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso, ai fini della determinazione della dinamica in atto ed all'identificazione delle tendenze evolutive future delle coste rocciose, concorrono tutti gli aspetti ed il quadro di conoscenze acquisito attraverso le metodologie di indagine descritte ai paragrafi §8.7.1 e § 11.4.1.

L'analisi sarà condotta a partire dall'assetto geologico e strutturale, dall'evoluzione geomorfologica e dalla caratterizzazione geotecnica applicata alla verifica di stabilità degli ammassi rocciosi, attraverso la ricostruzione della circolazione delle acque superficiali e profonde, al ruolo delle sorgenti sottomarine, fino ad una valutazione quantitativa dell'energia del moto ondoso, ed alla stima del ruolo del cambiamento climatico nei suoi diversi aspetti (mutamento della distribuzione delle precipitazioni atmosferiche, innalzamento del livello marino, altezza massima delle onde estreme, influenza processi di *weathering*, ecc.).

Le coste alte rocciose, contrariamente alle coste sabbiose, sono caratterizzate dall'irreversibilità dei processi erosivi, che possono portare ad arretramenti variabili da pochi centimetri a diversi metri (Figura 10.21), proprio in relazione alle caratteristiche geologiche e delle dinamiche del tratto costiero analizzato.

I meccanismi di attivazione dei processi che portano all'instabilità ed alla modellazione delle coste alte sono, in misura diversa e spesso in compartecipazione, l'assetto geostrutturale, la variazione del livello del mare, il moto ondoso, i venti, gli eventi meteorologici e l'effetto di alterazione provocato dallo spray marino.

La dinamica dei versanti costieri comprende fenomeni di intensa erosione con movimenti di massa legati a frane, crolli, flussi di detrito e processi complessi di dissesto (Figura 10.22).

Questi fenomeni sono generati dall'interazione del moto ondoso con la falesia (erosione operata dal moto ondoso lungo la costa soprattutto nel caso di forti mareggiate) e dall'azione meccanica delle acque

dilavanti, specie in concomitanza di eventi meteorici intensi, sempre più accentuati dagli effetti dei cambiamenti climatici. I processi, inoltre, sono influenzati dalla naturale degradazione fisico-

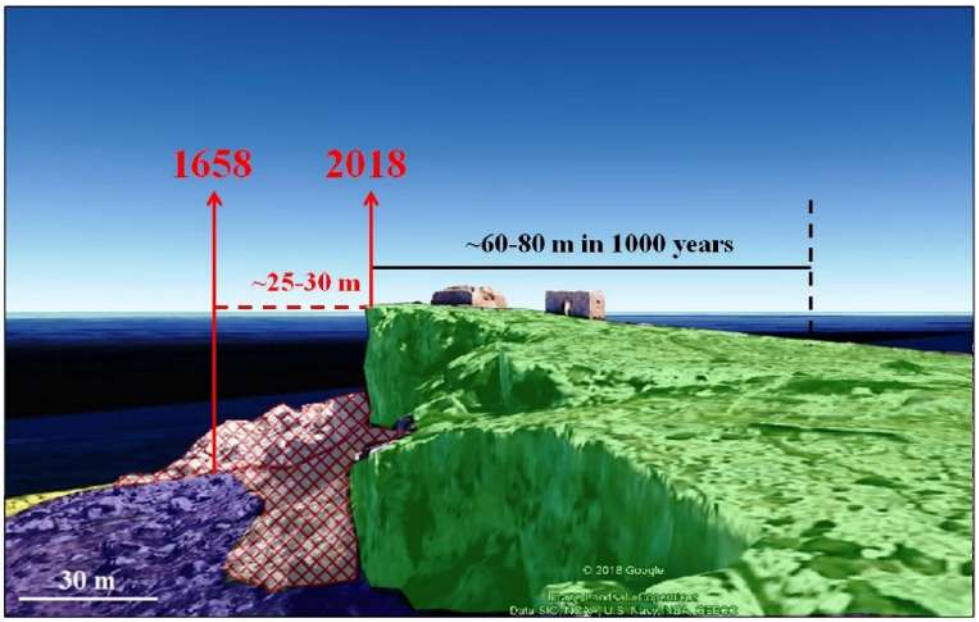


Figura 10.21 Arretramento di una costa alta nell'Isola di Malta (Progetto "NEWS" - INTERREG V-A, D'Amico S., 2019).

meccanica delle rocce ad opera degli agenti atmosferici.

La scelta del modello di analisi è in genere operata classificando due tipologie di meccanismi che innescano frane in contesti di falesie attive, applicabili anche a coste costituite da rocce dure: un modello di tipo "marino", prevalentemente conseguente all'azione del moto ondoso, ed uno invece più legato a fenomeni "terrestri" di evoluzione del versante, tra cui il più rilevante è l'azione delle acque dilavanti.

Nell'ambito di un sistema costiero la "costa alta" è un litorale formato da rocce lapidee omogenee e/o eterogenee che originano falesie e versanti, generalmente ripidi, privi di spiaggia al piede o di ampiezza ridotta. Comprende falesie e scarpate acclivi formatisi a causa di processi di ingressione marina dovuti all'innalzamento del livello del mare ed a processi gravitativi subaerei.

Altre cause sono riconducibili a fenomeni tettonici (formazione di scarpate di faglia) e gravitativi (scarpate per frana).

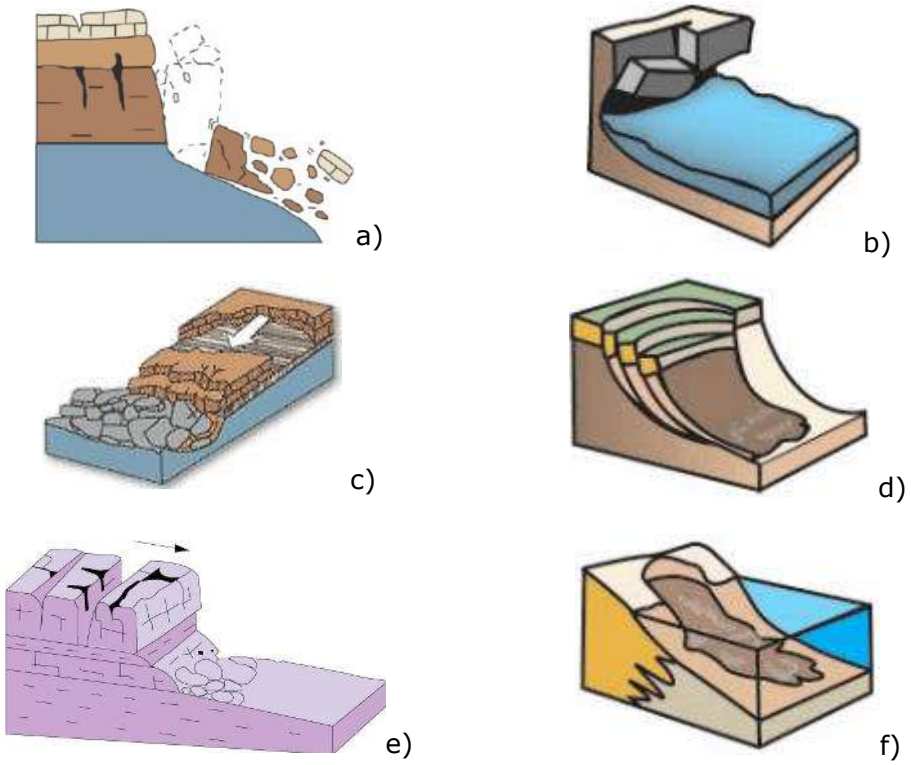


Figura 10.22 Movimenti di massa (Varnes, 1978): crolli (a), ribaltamenti (b), scivolamenti (c), scorrimenti rotazionali (d) e planari (e), flussi subacquei (f) (BGS Landslide Classification).

La forma può essere anche il risultato dell'interazione tra i due differenti fenomeni geomorfologici. Gli stessi processi erosivi possono dare origine ad una falesia, anche in tempi relativamente rapidi se il materiale interessato è sufficientemente erodibile.

La comprensione dei processi che portano alla formazione delle falesie è tuttavia resa complicata da alcuni fattori, quali: *a*) la evoluzione più o meno lenta del processo erosivo; *b*) il carattere temporalmente e spazialmente episodico di questo processo; *c*) la difficoltà di misurare con precisione l'energia del moto ondoso.

Emery e Kuhn (1982) distinguono il processo dominante e lo stato di attività di una falesia dal suo profilo, classificando tra:

- <u>profilo acclive</u> privo di vegetazione e con poco detrito alla base (indica un processo di ritiro relativamente rapido con dominanza del fattore marino, es. scalzamento al piede);

- profilo convesso con una cresta arrotondata e molto detrito alla base (indica la prevalenza del processo gravitativo);
- profili compositi con alternanze di tratti verticali e tratti convessi (indica alternanze di processi marini e gravitativi).

Per quanto attiene il processo erosivo, esso è schematizzabile in quattro fasi: *1*) distacco di massi, lastre o frammenti dalla falesia; *2*) trasporto delle volumetrie lungo il versante; *3*) deposito alla base della scarpata; *4*) rimozione del detrito ad opera del moto ondoso.

Ne consegue un'azione erosiva alla base, la creazione di un solco di battigia (Figura 10.23) e la formazione di pareti aggettanti. Il detrito formatosi alla base della falesia la protegge temporaneamente, fino alla sua rimozione ad opera del moto ondoso. Il processo è ciclico.

Nel caso delle coste alte di natura rocciosa i principali fattori di rischio sono in stretta connessione alle peculiarità geomorfologiche che si riscontrano, alle unità litologiche costituenti la costa, all'attività geodinamica degli elementi strutturali, nonché alle unità affioranti ed alla loro acclività.

Figura 10.23 Esempio di erosione di una falesia (Budetta, 2008).

Eventuali cinematismi sono in genere caratterizzati da distacchi di blocchi dalla massa rocciosa e dal loro scoscendimento verso valle, per caduta libera, rimbalzando, rotolando, scivolando o, più spesso, a seconda della litologia del blocco, della sua forma, della morfologia del versante combinando due o più di tali movimenti (Figura 10.24).

Figura 10.24 Esempio di cinematismi combinati (Santa Maria La Scala - Acireale (CT)).

Questi esempi sono più frequenti dove sono presenti fenomeni di disgregazione e degradazione della roccia, la cui incidenza è maggiore nelle zone più intensamente tettonizzate e fratturate, dove la roccia è più aggredibile da parte degli agenti atmosferici.

L'azione disgregante esercitata da questi e la natura delle formazioni geologiche, comporta la formazione di scarpate con notevole acclività, che diventano potenziali sedi di condizioni di instabilità. Ciò è rilevabile soprattutto nelle zone in cui i terreni presenti risultano affioranti in alternanza a terreni di tipo sciolto, che favoriscono il continuo ripetersi di fenomeni di scalzamento, con conseguenti crolli e quindi con la formazione di notevoli spessori di terreno detritico eterogeneo, ricoprente gli affioramenti sottostanti.

I meccanismi rilevabili risultano pertanto notevolmente influenzati dagli assetti strutturali e dalle configurazioni morfologiche e sono soprattutto riconducibili a ribaltamenti, scorrimenti traslazionali, fenomeni misti erosivi e franosi superficiali.

A questi cinematismi devono essere aggiunti i fenomeni di crollo dovuti al distacco di volumi rocciosi privi di sostegno al piede e svincolati a tergo ed al tetto da discontinuità (Castelli et al., 1996).

Un corretto approccio di studio presuppone innanzitutto la classificazione del fenomeno e, quindi, la determinazione della geometria della massa instabile, della cinematica pregressa, delle caratteristiche meccaniche della roccia, delle relazioni fra fattori di innesco e spostamenti. Questo quadro di conoscenza è indispensabile per la previsione della evoluzione cinematica del fenomeno.

Le cause possono essere distinte in strutturali o predisponenti, in genere connesse a fattori geologici, morfologici ed idrogeologici ed in occasionali o determinanti (o scatenanti), prevalentemente connesse ai fattori climatici, vegetazionali, antropici ed al manifestarsi di eventi sismici. Per quel che riguarda gli aspetti più strettamente analitici le conoscenze del problema possono essere così schematizzate:

- le caratteristiche del fenomeno sono influenzate dalle condizioni geologiche, topografiche, idrogeologiche, climatiche, di alterazione e di uso del suolo;
- le analisi di stabilità costituiscono solo una parte, pur rilevante, della valutazione complessiva delle condizioni di stabilità stesse: l'accuratezza dell'analisi dipende dal dettaglio dei dati raccolti per la definizione dei modelli di partenza (geologico, idrogeologico, topografico e geometrico, geotecnico, meccanico);
- le sollecitazioni prodotte da variazioni del regime delle pressioni interstiziali costituiscono un incremento dello stato tensionale esistente ed influenzano il comportamento della roccia;
- le sollecitazioni dinamiche prodotte da uno scuotimento sismico costituiscono un incremento dello stato tensionale esistente e/o influenzano la resistenza ed il comportamento dell'ammasso;
- le analisi tensio-deformative possono essere usate per stimare, seppure in modo approssimativo, le deformazioni permanenti causate dalle instabilità inerziali.

Valutazioni più rigorose possono essere ottenute utilizzando tecniche numeriche non lineari, che oggi trovano una maggiore

utilizzazione in relazione alla maggiore accuratezza dei modelli costitutivi adottati.

Mediante tali tecniche di calcolo è possibile eseguire analisi con deformazione piana, assialsimmetrica o tridimensionale, ed è altresì possibile considerare differenti modelli costitutivi, nonché utilizzare elementi di tipo particolare come tri-dimensionali e di giunto in modo da studiare situazioni complesse, specie laddove siano presenti contorni irregolari o zone con differenti proprietà.

Poiché la natura dei fenomeni è di solito complessa, per una loro soddisfacente interpretazione è necessario condurre le fasi di studio a partire dalle caratteristiche geomorfologiche dell'area, dal grado di mobilitazione della resistenza dei materiali, dal regime delle pressioni neutre a distanza di tempo e spazio, dalla ricognizione di superfici di discontinuità eventualmente pre-esistenti e dall'assetto strutturale.

Queste finalità potranno essere raggiunte sviluppando le varie fasi di studio secondo i seguenti obiettivi:

- individuazione delle criticità in relazione alla dinamica della costa rocciosa;
- individuazione delle azioni e delle soluzioni per la riduzione del rischio ed il riequilibrio delle condizioni di stabilità;
- individuazione delle zone da assoggettare a specifici vincoli e prescrizioni, in relazioni ai limiti ed alle attitudini del territorio, ai fini della conservazione del suolo ed alla tutela dell'ambiente.

L'analisi dei fenomeni deve essere ovviamente basata su una affidabile conoscenza delle caratteristiche dell'ammasso roccioso dal punto di vista litologico e stratigrafico e di una sufficientemente estesa ed adeguata caratterizzazione meccanica.

Per ottenere questo risultato l'approccio scelto, come precisato in precedenza, è quello di integrare diverse competenze tecniche e scientifiche. Successivamente l'attività sperimentale può permettere di trovare il risultato più soddisfacente.

Esistono in letteratura pochi modelli di risposta al processo di arretramento delle falesie. Questi sono in genere basati sulle relazioni tra i processi fisici dominanti che agiscono sulla costa (Figura 10.25).

Figura 10.25 Processo di arretramento delle falesie (GCSE - Geography - Revision Guide Coasts, 2010).

Bray & Hooke (1997) e Castedo et al. (2012), ad esempio, propongono un modello che attraverso una analisi di stabilità all'equilibrio limite integra il modello di erosione in risposta ai processi agenti. In genere si tratta di metodi validi per rocce tenere dove prevalgono meccanismi di instabilità attivati lungo superfici curvilinee o approssimabili a circolari, pertanto non adeguati a coste formate da rocce da mediamente a molto resistenti.

Lajoie & Mathieson (1998) assumono che l'azione del moto ondoso sia il principale responsabile dell'arretramento al piede di una falesia, mentre Hampton e Dingler (1998) ipotizzano che a volte l'azione delle infiltrazioni di acque sotterranee sia quella prevalente.

Secondo un modello classico (Sunamura, 1992), l'instabilità di una falesia costiera è il risultato del rapporto tra forze resistenti e forze agenti, in cui il prevalere di queste ultime comporta il collasso di una parte della falesia. L'arretramento della falesia si verifica quando la forza agente del moto ondoso è superiore alla resistenza della roccia; al contrario, se l'energia del moto ondoso è inferiore alla resistenza

della roccia si determina l'alterazione della falesia ad opera degli agenti subaerei, quali pioggia, vento, aerosol salato, aloclastismo e termoclastismo.

Soprattutto nelle falesie costituite da rocce tenere il meccanismo è direttamente connesso all'azione delle onde sulle pareti, che provoca una progressiva erosione alla base ed il successivo crollo di volumi di roccia. In questo caso, la presenza di un solco di erosione, non necessariamente legato al moto ondoso, può essere interpretata come causa di una maggiore instabilità, per cui tale presenza può essere un indicatore della possibile predisposizione al collasso di una porzione del fronte anche presenza di rocce resistenti. Parimenti, l'accumulo di materiale collassato al piede della falesia costituisce una protezione dall'erosione.

L'erosione alla base delle falesie è comunque dipendente da fattori diversi: processi di erosione meccanica connessi con l'impatto delle onde, processi di cavitazione dovuti all'aria intrappolata nella massa d'acqua in rapido movimento caratteristica di un frangente, processi carsici, processi di abrasione operati dai sedimenti in sospensione, attività bio-erosiva ad opera delle comunità litofaghe, tassi di mobilità tettonica, presenza di paleo-frane lungo le coste.

I processi erosione litorale dei depositi di paleo-frana possono presentare caratteri di arretramento accelerato (crolli o ribaltamenti), o portare alla riattivazione di superfici di scivolamento (rotazionale o planare) preesistenti.

Per questa ragione la definizione delle superfici sommerse e delle caratteristiche geologiche delle aree prospicienti le falesie costiere riveste un ruolo importante nei processi che innescano l'instabilità.

L'accertamento della loro presenza è possibile mediante rilievi plano-altimetrici dei settori litorali con l'ausilio di batimetrie costruite con il metodo multibeam, ed abbinando su una stessa piattaforma un laser scanner, è possibile acquisire contemporaneamente sia il settore emerso che quello sommerso. In tal modo è possibile pervenire alla

individuazione di quell'unico ambito di studio che bisogna porre alla base dell'analisi dei processi di regressione delle coste alte.

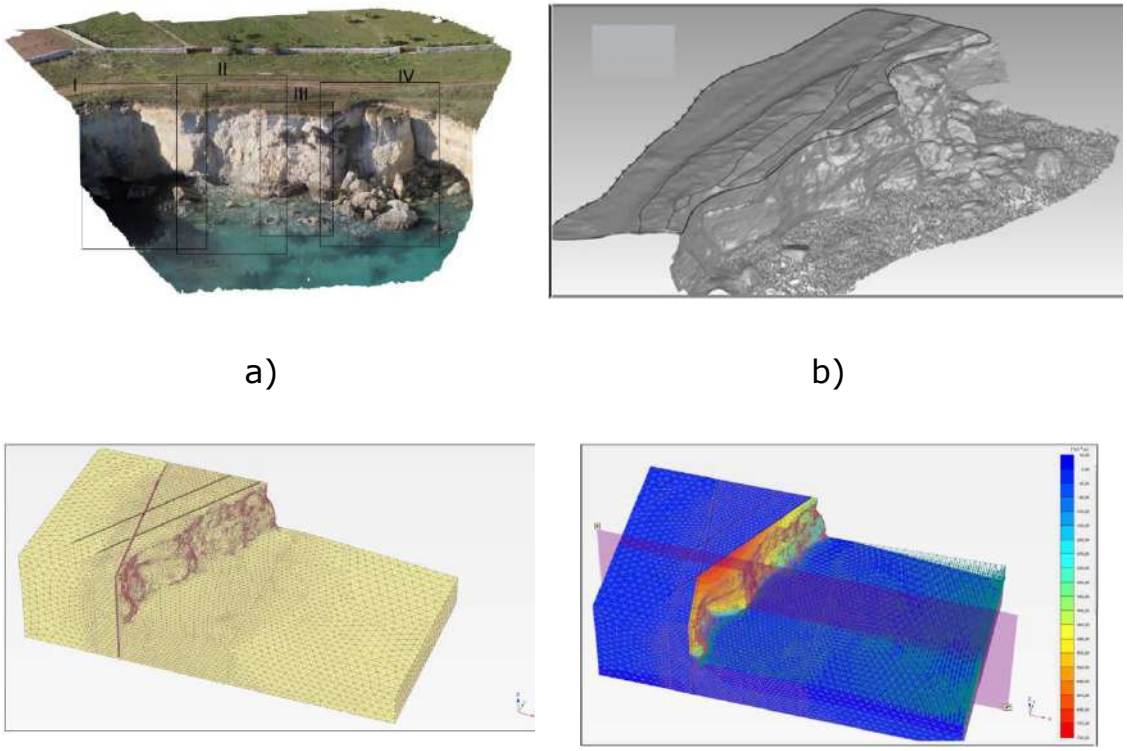
Per la successiva valutazione della dinamica evolutiva della costa in esame occorre definire il contesto in cui si possono sviluppare le condizioni di instabilità, considerando come gli elementi predisponenti al dissesto possono attivare i fenomeni di instabilità.

In analogia con quanto riportato al paragrafo §11.4.2, tale valutazione può essere limitata ad una scala "locale" riferita al singolo fenomeno, oppure alla scala "territoriale", ovvero ad un dominio più vasto.

Nel primo caso, riguardante il singolo tratto costiero (falesia), la finalità è generalmente la progettazione dell'intervento di messa in sicurezza. Nel secondo caso, lo scopo è di individuare con livello di approssimazione accettabile le aree con diversi gradi di propensione al dissesto, in modo da disporre di uno strumento di pianificazione nell'utilizzo delle aree costiere.

Alla scala locale la nuova frontiera delle verifiche di stabilità è certamente rappresentata dalle modellazioni di tipo numerico, che nel caso degli ammassi rocciosi si traducono nel metodo agli elementi finiti (FEM) o agli elementi distinti (DEM). Le simulazioni numeriche in campo bi- e tri-dimensionale consentono di rappresentare sia i blocchi rigidi che quelli separati da discontinuità (Figura 10.26).

Questi metodi, dalle enormi potenzialità di calcolo, non escludono in ogni caso i classici metodi di stabilità all'equilibrio limite, il cui uso consolidato nel tempo offre garanzie che non è possibile trascurare.



a) b)

c) d)

Figura 10.26 Esempio di modellazione FEM 3D: rilievo da drone (a), aerofotogrammetria (b), mesh 3D (c), spostamenti verticali calcolati (d) (Fazio et al., 2019).

Anche negli approcci semplificati, tuttavia, è opportuno considerare aspetti come la deformabilità e le caratteristiche meccaniche delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso.

Relativamente alla relazione tensioni-deformazioni, negli ammassi rocciosi essa è complessa, in quanto si tratta di mezzi costituiti da volumi di matrice rocciosa intatta separati da discontinuità, più o meno deformabili in relazione alle loro caratteristiche intrinseche di: apertura, rugosità, orientazione, riempimento e storia deformativa.

Tra i fattori che maggiormente controllano la deformabilità vi è il grado di separazione e/o fratturazione dell'ammasso (in relazione alla presenza di una o più famiglie di discontinuità).

Per quanto riguarda le caratteristiche delle discontinuità, alcuni modelli trattano l'ammasso roccioso come un mezzo continuo. La presenza di discontinuità naturali viene tenuta in conto assumendo per

il mezzo continuo valori delle caratteristiche di resistenza ridotti rispetto a quelli del materiale intatto.

Un diverso tipo di approccio considera l'ammasso roccioso come costituito da due entità: il materiale roccioso e le discontinuità, che risultano essere l'elemento principale di debolezza.

Se invece si considerano non continui i giunti è necessario tenere in conto la presenza di materiale intatto tra le discontinuità. In questo caso se la possibilità di rottura del materiale intatto viene valutata a partire dagli usuali schemi della resistenza dei materiali, si sovrastima il grado di stabilità della roccia, poiché si trascura il meccanismo di propagazione delle discontinuità.

Bisogna, infine, considerare la presenza dei "ponti di roccia" e quindi della concentrazione di sforzi agli apici delle discontinuità e conseguentemente di possibili fenomeni di rottura progressiva.

La dimensione e l'ubicazione dei ponti di roccia è difficilmente desumibile dall'osservazione esterna del versante. Per questa ragione il loro contributo resistente, spesso decisivo per l'equilibrio, viene in genere trascurato nell'analisi di stabilità. Al contrario, i ponti di roccia forniscono un elevato contributo resistente localizzato e vengono rotti al momento del collasso.

Le problematiche sono essenzialmente legate alla necessità di un rilievo di dettaglio della distribuzione dei ponti di roccia all'interno dell'ammasso, possibile fonte di incertezze, ed alla valutazione della tenacità a frattura del materiale in situ soggetto ad effetti di scala.

Per superare questi limiti è opportuno il ricorso ad un approccio di tipo probabilistico, che permetta di incorporare le incertezze relative alla configurazione geometrica ed ai parametri meccanici in un modello stocastico delle discontinuità.

La stessa superficie di rottura-distacco è in genere individuata dall'orientazione (direzione ed inclinazione) delle discontinuità naturali (giunti). Essa deriva dalla orientazione reciproca dei diversi sistemi di

giunti (Figura 10.27), particolarmente in relazione alle caratteristiche di resistenza e continuità.

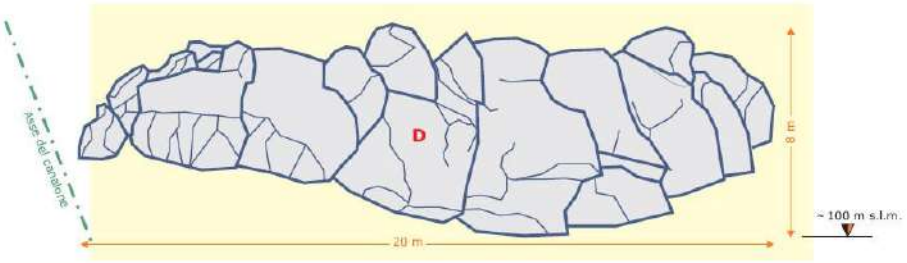


Tabella riepilogativa della superficie degli affioramenti lapidei				
Affioramento	Quota base (m s.l.m.)	Larghezza (m)	Altezza (m)	Superficie (m^2)
A	60	20	8	160
B	70	10	10	100
C	50	30	20	600
D	100	20	8	160
			Totale	1020

Vulcanoclastiti, detrito di falda, manufatti

A Affioramenti lapidei e relativa denominazione

Figura 10.27 Prospetto schematico di caratteristici affioramenti lapidei ("Timpa" di Acireale (CT), Liotta A., 2007).

Negli ammassi rocciosi giuntati il problema della valutazione della stabilità può essere affrontato in modo più aderente alla situazione reale facendo riferimento alle caratteristiche di resistenza dei due elementi costitutivi caratteristici dell'ammasso: i giunti e le parti di roccia intatta.

Ulteriore elemento è la già citata presenza dei ponti di roccia, che nel caso frequente di giunti intermittenti determina un contributo resistente aggiuntivo del sistema.

Secondo il più comune approccio nelle analisi all'equilibrio limite questo contributo è trattato come un incremento resistente attribuito alla coesione della roccia intatta mobilizzata sulla superficie di potenziale rottura corrispondente al giunto intermittente.

Sempre con riferimento allo studio della stabilità di una falesia, a seconda che si ritenga più o meno secondario l'effetto della energia

esercitata dalle onde rispetto all'assetto litologico ed alla resistenza meccanica dell'ammasso, possono essere seguiti approcci differenti.

Il moto ondoso, sia per l'azione meccanica che per quella abrasiva, può comunque accelerare l'erosione della scogliera, insieme alla riduzione delle proprietà meccaniche della roccia per effetto degli agenti atmosferici.

L'azione delle onde alla base della scogliera genera la creazione di masse aggettanti (Figura 10.28a) ed una conseguente concentrazione di sforzi (Castedo et al., 2017).

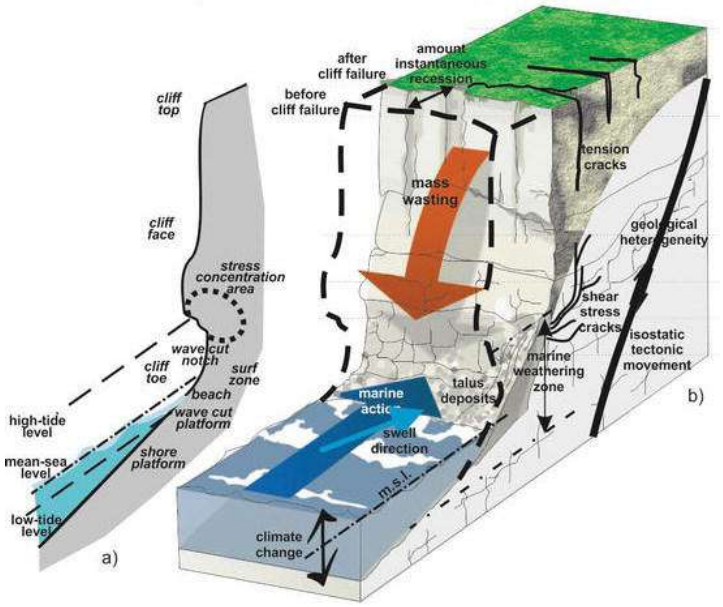


Figura 10.28 Azione del moto ondoso alla base di una falesia: concentrazione di sforzi (a), crolli e cadute di materiale (b), (Castedo et al., 2017).

L'aumento progressivo della massa rocciosa sporgente è all'origine della formazione di crepe e fratture, che evolvono in crolli e cadute di materiale dalla falesia nel momento in cui le sollecitazioni superano la resistenza al taglio dell'ammasso roccioso (Figura 10.28b).

Conseguentemente questi processi di alterazione marina non sono facilmente prevedibili, poiché la recessione della costa è il risultato di fenomeni gravitazionali interagenti, accoppiati all'idrodinamica marina che ha caratteri intermittenti e sporadici. Sebbene essi si verifichino su

piccola scala e siano relativamente lenti, i loro effetti modellano e modificano l'intera topografia costiera.

Per la valutazione delle condizioni di stabilità in relazione alla resistenza della roccia ed alle caratteristiche delle fratture Benumof e Griggs (1999) propongono un approccio di tipo euristico per stimare tali condizioni in rapporto alla velocità di arretramento.

Basandosi sui risultati della resistenza della roccia intatta espressa mediante il martello di Schmidt, misurando il numero di rimbalzo (N) dello sclerometro, unitamente alle caratteristiche delle fratture, si attribuiscono dei "punteggi" (Tabella 10.II) per la determinazione di un punteggio totale che indica il grado di stabilità della falesia.

Gli Autori hanno trovato una correlazione inversa tra la velocità di arretramento, la resistenza a compressione e le condizioni di stabilità di alcuni tratti di costa rocciosa della California dove le proprietà dell'ammasso sono molto variabili (Figura 10.29).

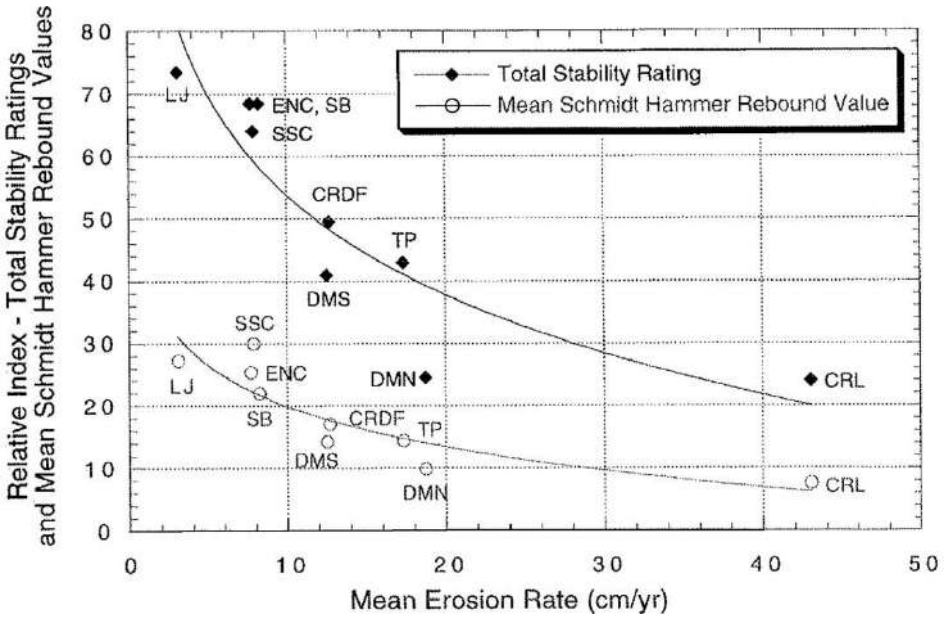


Figura 10.29 Relazione tra resistenza della roccia intatta e tasso medio di erosione (Benumof e Griggs, 1999).

In realtà la velocità appare più elevata laddove il materiale è meno

resistente. Gli Autori concludono che in questi casi l'energia dell'onda è probabilmente un fattore secondario rispetto alla litologia ed alla resistenza del materiale stesso (Benumof et al., 2000).

Tabella 10.II Classificazione semi-quantitativa della stabilità di una falesia (Benumof e Griggs, 1999).

Parametro	**Definizione**					
Resistenza * roccia intatta	*Molto Resistente* (>25)	*Resistente* (25-20)	*Moderata* (20-15)	*Debole* (15-10)	*Molto Debole* (10-0)	*Pseudocoerente*
Punteggio	**20**	**18**	**14**	**10**	**5**	**0**
Alterazione roccia	*Inalterata*	*Debolmente*	*Moderatamente*	*Altamente*	*Completamente*	*Completamente*
Punteggio	**10**	**9**	**7**	**5**	**3**	**0**
Spaziatura fratture	*> 3 m*	*3-1 m*	*1-0,3 m*	*300-50 mm*	*< 50 mm*	∞
Punteggio	**30**	**28**	**21**	**15**	**8**	**5,5**
Orientazione fratture	*Molto favorevole (immerge nel pendio)*	*Favorevole (debolmente immergente)*	*Media (orizzontale o quasi verticale)*	*Sfavorevole (debolmente immergente verso il pendio)*	*Molto sfavorevole (molto inclinata verso il pendio)*	*Estremamente sfavorevole*
Punteggio	**20**	**18**	**14**	**9**	**5**	**3**
Apertura fratture	*< 0,1 mm*	*0,1-1 mm*	*1-5 mm*	*5-20 mm*	*> 20 mm*	*Pseudocoerente*
Punteggio	**7**	**6**	**5**	**4**	**2**	**1**
Continuità fratture	*Non continue o ben cementate*	*Poco continue o parzialmente cementate*	*Continue ma senza riempimento*	*Continue con sottili riempimenti*	*Continue con potenti riempimenti*	*Continue*
Punteggio	**7**	**6**	**5**	**4**	**1**	**1**
Acque sotterranee	*Assenti*	*Isolati stillicidi*	*Moderata con pochi stillicidi localizzati*	*Moderata, molti stillicidi o acqua fluente*	*Molta acqua sorgente*	-
Punteggio	**6**	**5**	**4**	**3**	**1**	**0**
Punteggio Totale	**100-91**	**90-71**	**70-51**	**50-26**	**< 26**	**< 10**

* Resistenza della roccia intatta espressa mediante martello di Schmidt, con (N) numero di rimbalzo dello sclerometro.

La procedura proposta da Benumof e Griggs (1999), analogamente ad altre di tipo semi-quantitativo, è basata sulla metodologia RES (Rock Engineering System) sviluppata da Hudson (1992) al fine di analizzare problemi di meccanica delle rocce secondo una prospettiva sistemica.

Questa metodologia può risultare molto utile per affrontare in maniera speditiva l'analisi di aree che presentano processi diffusi di dissesto, considerando parametri ed interazioni che possono essere adattati di volta in volta al contesto ed agli obiettivi dello studio.

Per gestire un modello in modo sistemico è necessario considerare contemporaneamente gli elementi e le interazioni che lo compongono attraverso l'utilizzo di uno specifico strumento. Nella metodologia RES questo strumento è rappresentato dalla matrice delle interazioni.

Una volta costruita la matrice delle interazioni, si possono utilizzare metodi diversi per la codifica numerica di tali interazioni. I più utilizzati sono appunto i metodi di tipo semi-quantitativo a giudizio esperto (ESQ, Hudson, 1992).

Attraverso la codifica adottata, per ciascun parametro potrà essere valutata l'influenza che esso ha su tutti gli altri (Cause) e l'influenza che tutti gli altri hanno su di esso (Effetti). Il valore numerico di causa ed effetto per ciascun parametro è plottato su un diagramma (C-E), che permette di stabilire l'importanza di ciascun parametro nel sistema considerato, assegnando un punteggio alle classi dei valori determinati per quel dato parametro.

Tra i metodi appartenenti a questa categoria rientra quello proposto da Budetta et al. (2000), basato su una correlazione tra il tasso di erosione e la resistenza della massa rocciosa. Il metodo consente di ottenere una espressione lineare semi-logaritmica che esprime la relazione tra il tasso medio di erosione, la resistenza a compressione della roccia e l'energia del moto ondoso.

La procedura, al pari delle altre basate sul metodo RES, utilizza un indice di instabilità, che fornisce un'indicazione sul livello di instabilità potenziale della falesia. Quanto maggiore risulta questo indice tanto più il versante sarà instabile.

Il parametro di riferimento adottato è la resistenza a compressione monoassiale della roccia espressa mediante l'indice di massa rocciosa RMi (Rock Mass index) definito da Palmstrøm (1995).

L'indice RMi è dato dalla relazione:

$$RMi = \sigma_c J_p$$

nella quale σ_c è la resistenza a compressione misurata su provini di roccia di dimensione 50 mm e J_p è il parametro rappresentativo delle

caratteristiche delle discontinuità, valutato in relazione a: 1) volume rappresentativo del blocco, 2) densità delle fratture, 3) rugosità e 4) grado di alterazione delle pareti del giunto.

In sostanza il parametro J_p esprime l'influenza esercitata dai giunti sulla resistenza della massa rocciosa e vale 1 per la roccia intatta e 0 per la roccia fratturata.

Esso può essere calcolato mediante la seguente espressione:

$$J_p = 0{,}2(j_c)^{1/2}\ V_b^D$$

essendo j_c il fattore relativo alle condizioni dei giunti, V_b il volume rappresentativo dei blocchi (dipendente dalla densità dei giunti e dal numero dei set di discontinuità nell'ammasso roccioso), mentre nella (2) l'esponente D è dato da:

$$D = 0{,}37\ J_c^{-0{,}2}$$

nella quale il parametro J_c (Joint Condition factor) è ulteriormente correlato al parametro J_L che tiene conto del contributo dovuto alla lunghezza ed alla continuità dei giunti, nonché ai parametri J_s e J_w che esprimono rispettivamente il contributo della rugosità e della ondulazione delle discontinuità, ed infine al parametro J_a che dipende dal grado di alterazione del giunto e dalla eventuale presenza di materiale di riempimento, mediante la relazione:

$$J_c = J_s\ J_w\ \left(\frac{J_L}{J_a}\right)$$

I valori da attribuire a questi parametri sono forniti da Palmstrøm (1995) in relazione alle caratteristiche delle discontinuità (Figura 10.30) mediante le indagini descritte al paragrafo §11.4.1.

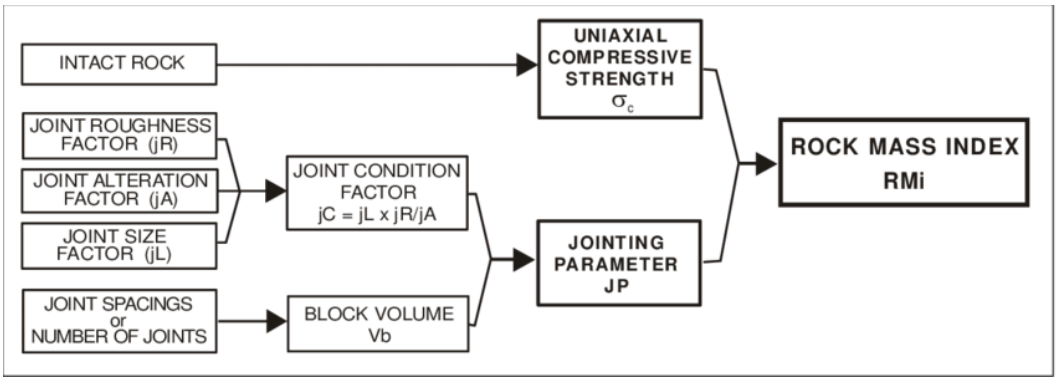


Figura 10.30 Principio RMI per la caratterizzazione delle proprietà di un ammasso roccioso (Budetta et al., 2000).

La relazione perde di significato per valori di J_p prossimi alla unità, ovvero nel caso di ammassi rocciosi massivi o poco fratturati, con diametro equivalente del volume V_b all'incirca maggiore o uguale 2,2 metri. Nel qual caso si può fare direttamente riferimento alla:

$$RMi = \sigma_c \, f_s$$

con il significato dei simboli definito in precedenza, nella quale f_s tiene conto del fattore di scala ed è dato da:

$$f_s = (0{,}05/D_b)^{0{,}2}$$

essendo D_b il diametro equivalente del blocco (in m) dato da:

$$D_b = \sqrt[3]{V_b}$$

La classificazione basata sull'indice RMi è calibrata su sette classi di qualità, comprese tra 0,001>RMi>100MPa (Figura 10.31), ad ognuna delle quali corrisponde un dato valore di resistenza a compressione semplice dell'ammasso σ_{cm}.

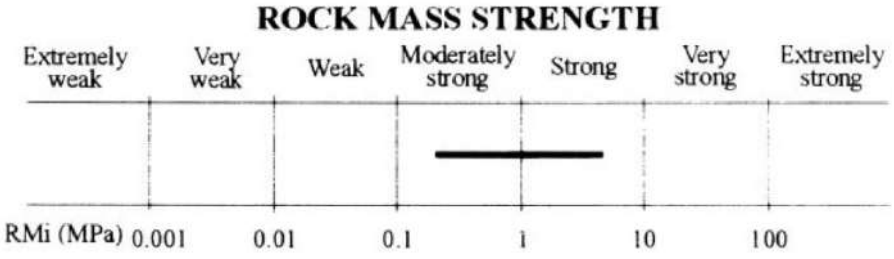


Figura 10.31 Caratterizzazione della resistenza di ammassi rocciosi proposta da Palmstrøm (1995).

Il ricorso al parametro RMi può anche migliorare l'input di altri sistemi di classificazione, ed ha quindi un campo di applicazioni più ampio.

Il metodo permette di correlare la velocità di arretramento della falesia all'energia del moto ondoso, mediante la seguente espressione proposta da Sunamura (1992):

$$R = K \ln \left(\frac{F_w}{F_r} \right)$$

nella quale K è una costante avente le dimensioni di una velocità, F_w esprime l'energia dell'onda alla base della falesia, mentre F_r dipende dalla resistenza meccanica del materiale. Questa relazione è valida ovviamente solo se $F_w > F_r$, tenendo conto che:

$R = (F_w / F_r) - 1$ se $F_w > F_r$

$R = 0$ se $F_w \leq F_r$

L'espressione di Sunamura (1992) rappresenta una relazione lineare semilogaritmica tra il tasso di erosione medio a lungo termine R [LT^{-1}], la forza distruttiva delle onde e la resistenza a compressione della roccia che forma la scogliera. Il valore della costante K deve essere calibrato in relazione alle caratteristiche del moto ondoso e dell'ammasso, ovvero sulla base di dati storici relativi all'arretramento della costa, di frane avvenute, integrando queste informazioni con le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso ricavate mediante indagini e rilievi geomeccanici in siti test opportunamente individuati.

L'obiettivo è di generalizzare il modello mediante la calibrazione dei parametri da cui dipende.

Secondo Sunamura (1992), quando si considera un arco temporale di alcuni decenni, il tasso medio di erosione della costa rocciosa (R) è caratterizzato da un valore definito per ogni località. Ciò si verifica perché l'intensità dell'energia delle onde, rispetto alla resistenza a compressione della massa rocciosa, assume un valore medio costante

nel tempo. Inoltre, considerando brevi periodi (30-40 anni), durante i quali l'azione degli agenti atmosferici può essere ritenuta trascurabile, il valore di F_r può essere assunto indipendente dal tempo.

Tenendo presente che F_w è legato all'altezza dell'onda (H) alla base della falesia e F_r è usualmente espresso in funzione della resistenza a compressione dell'ammasso roccioso, Sunamura (1992) ha proposto le seguenti espressioni per la determinazione di F_w e F_r:

$F_w = A\ \rho gH$ [F/L^2]

$F_r = B\ \sigma_c$ [F/L^2]

Il prodotto (ρgH) rappresenta la pressione dinamica esercitata dall'onda alla base della falesia, essendo ρ la densità dell'acqua e g la accelerazione di gravità. A e B sono due costanti adimensionali che tengono rispettivamente conto dell'effetto abrasivo dovuto alla eventuale presenza di sedimenti alla base della scogliera (A) e della presenza di giunti nell'ammasso roccioso (B).

Quest'ultimo parametro è simile al parametro J_p proposto da Palmstrøm (1995), poiché esprime l'influenza esercitata dai giunti sulla resistenza della massa rocciosa o l'alterazione nel tempo delle proprietà meccaniche della roccia.

L'approccio è stato testato nell'area del Cilento, ed in particolare lungo un tratto di costa di circa 6,0 km caratterizzato dalla presenza di masse rocciose e detriti particolarmente suscettibile all'erosione. Il modello ha validità locale ed i risultati non possono essere estrapolati direttamente a diverse aree di studio, laddove il regime del moto ondoso e le caratteristiche dell'ammasso possono essere differenti.

Un altro metodo basato sulla correlazione tra tasso di erosione, resistenza della massa rocciosa ed effetti del moto ondoso è quello proposto da Lucchetti et al. (2014). Il metodo trae origine dalla nota classificazione geomeccanica fondata sull'indice "Slope Mass Rating" (SMR) (Romana, 1985; 1993), in cui la dinamica delle falesie è presa in considerazione in relazione ai rapporti geometrici tra discontinuità e scogliera.

A partire dall'indice SMR di Romana a cui si rimanda per la relativa valutazione, l'approccio utilizza una classificazione modificata basata sull'indice "Sea Cliff Mass Rating" (SCMR), che permette di valutare sia gli aspetti statici che quelli dinamici delle pareti rocciose (Lucchetti et al., 2013) mediante un parametro che tiene conto dell'azione del moto ondoso. Quest'ultima dipende dall'energia che l'onda esercita sulla parete rocciosa (determinata dalla direzione di provenienza del moto ondoso), dalle caratteristiche delle onde e dalla profondità del fondale (Coastal Engineering Research Center, 2002). A questi fattori occorre aggiungere l'esposizione e l'inclinazione della parete rocciosa.

Come nel caso del metodo precedente l'arretramento della falesia si verifica quando la forza agente del moto ondoso è superiore alla resistenza della roccia. Al contrario, se l'energia del moto ondoso è inferiore alla resistenza della roccia, si determina l'alterazione della falesia ad opera degli agenti subaerei, quali pioggia, vento, aerosol salato, aloclastismo e termoclastismo (Sunamura, 1992).

L'indice "Sea Cliff Mass Rating" (SCMR) è rappresentato dalla seguente formulazione:

$$SCMR = R1+R2+R3+R4+R5 + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4_m - M$$

I parametri *R1*, *R2*, *R3*, *R4*, *R5* sono ripresi dalla classificazione di Bieniawski (1989) e si riferiscono rispettivamente alla resistenza a compressione monoassiale della roccia, all'indice *RQD*, alla spaziatura delle discontinuità ed alle caratteristiche delle discontinuità (apertura persistenza, rugosità, tipo di riempimento ed alterazione), nonché alle condizioni idrauliche.

La classificazione di Bieniawski (1989) tiene conto anche di un parametro (R6) che dipende dall'orientamento delle discontinuità, ma che molti Autori ritengono non applicabile nel caso dei versanti.

I parametri *F1*, *F2* e *F3* sono ripresi dall'SMR di Romana, ovvero tengono in considerazione il parallelismo fra l'immersione del fronte e quella delle discontinuità (*F1*), l'inclinazione dei giunti nell'ipotesi di

scivolamento planare (*F2*) e relazioni proposte da Bieniawski (1989) per l'inclinazione fra fronte e discontinuità (*F3*).

Il parametro *F4* di Romana, riferito al metodo di scavo, è stato sostituito dal parametro $F4_m$, che prende in considerazione eventuali interventi sulla falesia: all'aumentare degli interventi il punteggio diminuisce, poiché in loro assenza la falesia non sarebbe stabile.

Sono definiti n.5 intervalli: pendio naturale (punteggio massimo), interventi minimi, interventi di media entità, interventi di grande entità, parete tagliata artificialmente o cava (punteggio nullo).

Il fattore *M* (da sottrarre al risultato ottenuto), introduce l'azione dinamica alla base della falesia dovuta al moto ondoso. Esso è dato dalla somma di tre parametri $M = (M1+M2+M3)$.

Il parametro *M1* prende in considerazione la modalità con cui le onde raggiungono la parete rocciosa (onde frante oppure frangenti) e l'energia dell'onda (kPa), valutata in relazione all'altezza dell'onda significativa al largo H_s mediante la relazione:

$$E = (1/8)\ \rho g H_s^2$$

Anche in questo caso si ottengono n.5 cinque classi con punteggio crescente: onde frante con $E < 30$, onde frante con $E > 30$, onde frangenti con $E < 15$, onde frangenti con $15 < E < 30$, onde frangenti con $E > 30$.

Le onde frangenti e con energia maggiore hanno il punteggio più elevato, in quanto sono quelle che scaricano la pressione maggiore sulla falesia.

Il parametro *M2* è funzione dell'inclinazione δ della parete rocciosa rispetto all'orizzontale: se la parete è verticale le onde trasmettono l'energia massima alla falesia, pertanto la pressione esercitata dalle onde è direttamente proporzionale all'angolo δ. Anche in questo caso si suddivide l'inclinazione della parete in n.5 classi a punteggio crescente: 0-30°, 30°-55°, 55°-70°, 70°-90°, 90°.

Infine il parametro *M3* è definito in base all'angolo θ formato tra i raggi d'onda e la linea costa, tenuto conto che nel caso i raggi giungano

perpendicolari alla riva scaricano la pressione maggiore sulla parete rocciosa: l'energia riversata sulla falesia è direttamente proporzionale all'angolo *θ*.

Come per gli altri parametri sono individuate n.5 classi a punteggio crescente: 0-25°, 25°-50°, 50°-70°, 70°-90°, 90°.

I punteggi attribuiti ai parametri inseriti nella classificazione sono riportati nella Tabella 10.III, ottenendo come risultato un intervallo di valori che identifica la classe di appartenenza della falesia.

Tabella 10.III Classificazione Sea Cliff Mass Rating (SCMR) (Lucchetti et al., 2014).

PARAMETRI	INTERVALLI VALORI				
resist. compress.	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa
R1: valori parametro	15	12	7	4	2
R.Q.D. (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
R2: valori parametro	20	17	13	8	3
spaziatura discontinuità	> 2 m	0,6-2,0 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m
R3: valori parametro	20	15	10	8	5
persistenza/continuità	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
R4: valori parametro	6	4	2	1	0
apertura delle discontinuità	nessuna	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm
R4: valori parametro	6	5	4	1	0
rugosità del giunto	molto rugoso	rugoso	leggerm.rugoso	liscio	levigato
R4: valori parametro	6	5	3	1	0
tipo di riempimento	nessuno	duro < 5 mm	duro > 5 mm	mollo < 5 mm	mollo > 5 mm
R4: valori parametro	6	4	2	2	0
alterazione del giunto	non alterato	legger. alterato	moderat.alterato	molto alterato	degradato
R4: valori parametro	6	5	3	1	0
condizioni idrauliche	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	venute d'acqua
R5: valori parametro	15	10	7	4	0
FATTORI PER GIUNTI	**INTERVALLI VALORI**				
rottura planare/cuneo (αj- αf)	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
ribaltamento (αj- αf-180) F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
rottura planare/cuneo (βj)	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
F2 piano/cuneo	0,15	0,4	0,7	0,85	1
F2 ribaltamento			1		
rottura planare/cuneo (βj- βf)	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
ribaltamento (βj+ βf)	< 110°	110° - 120°	> 120°	#	#
F3	0	-6	-25	-50	-60
condizioni falesia $F4_m$	pendio naturale	interventi minimi	interventi di media entità	interventi di grande entità	tagliato artificialmente/cave
	15	10	8	5	0
energia dell'onda (M1)	onde frante	onde frante	onde frangenti	onde frangenti	onde frangenti
punteggio	E<30	E>30	E<15	15<E<30	E>30
	1	2	4	6	8
δ parete (M2)	0-30	30-55	55-70	70-90	90
punteggio	0	1	3	5	7
θ moto ondoso (M3)	0-25	25-50	50-70	70-90	90
punteggio	0	3	5	8	10
Totale (M)	**1**	**6**	**12**	**19**	**25**

essendo:

- αj = immersione del giunto;
- αi = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo;
- αf = immersione del fronte del versante;

- βj = inclinazione del giunto;
- βi = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo;
- βf = inclinazione del fronte.

Sono previste le cinque classi di qualità della classificazione SMR di Romana (Tabella 10.IV), ovvero: classe I, molto buona; classe II, buona; classe III, discreta; classe IV, scadente; classe V, molto scadente.

Tabella 10.IV Classi di qualità delle falesie in base alla classificazione SCMR (Lucchetti et al., 2014).

SCMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
classe	I	II	III	IV	V
descrizione	molto buona	buona	discreta	scadente	molto scadente
stabilità	sicuramente stabile	stabile	parzialmente stabile	instabile	sicuramente instabile
modo di rottura	assente	possibili blocchi	lungo piani o per cunei	lungo piani o su grandi cunei	su grandi piani o rototraslazionale
stabilizzazione	nessuna	occasionale	sistematica	estesa	riprofilare la scarpata

La valutazione della suscettività al dissesto di un'area più vasta può allora essere affrontata attraverso l'applicazione di uno degli approcci semi-quantitativi descritti, incrociando i risultati con quelli della pericolosità geomorfologica.

In tal modo è possibile sviluppare una classificazione basata sulla identificazione di alcuni parametri discriminanti (integrati tra ambiente marino, dati climatici ed ondametrici), che rappresentano le condizioni necessarie ma non sufficienti per il verificarsi di una data tipologia di dissesto.

Il modello risultante, opportunamente interpretato ed adattato alla unità fisiografica ed alla dinamica evolutiva della costa rocciosa alta, può essere utilizzato come strumento generale per la pianificazione territoriale in ambito costiero, attualmente affrontata solo in modo parziale nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

A titolo di esempio si riporta nel seguito l'applicazione delle procedure proposte al caso di alcuni tratti di costa alta ricadenti in Sicilia orientale nell'area della "Timpa" di Acireale (CT).

Si tratta di una ripida scarpata di origine tettonica a picco sul mare lungo il basso versante sud-orientale etneo, avente direzione nord-sud, con uno sviluppo complessivo di circa 6,0 km ed una altezza di un centinaio di metri.

Sotto il profilo geomorfologico rappresenta una struttura soggetta alle normali dinamiche evolutive di versante, che comprendono un progressivo arretramento attraverso ripetuti cedimenti e/o crolli di materiale lapideo più o meno localizzati (Figura 10.32), ad opera degli agenti atmosferici, del moto ondoso e delle acque di infiltrazione e dilavamento superficiale.

Figura 10.32 Tratti di costa rocciosa alta nell'area della "Timpa" di Acireale (CT) lungo il basso versante sud-orientale etneo.

In tutta la costa le bancate si presentano fratturate in grossi blocchi prismatici a sviluppo prevalentemente verticale, con volumi che in alcuni casi possono raggiungere qualche decina di m^3.

I risultati del rilevamento geo-strutturale mettono in evidenza la esistenza di una fitta rete di fratture, che determina una intensa e continua frammentazione dell'ammasso roccioso.

I giunti sono presenti esclusivamente nei litotipi lavici massivi, con apertura compresa tra pochi millimetri ed oltre 50 cm; le superfici sono ad andamento sia ondulato che planare, ed i bordi delle fratture sono in genere netti e non alterati. Le lunghezze variano tra pochi centimetri e 2,0 m. Le orientazioni nelle proiezioni polari mostrano un'estrema dispersione dei valori.

I riempimenti si riscontrano nei giunti di dimensioni maggiori e sono costituiti da materiale detritico o scoriaceo.

Nel corso degli anni, a cause delle numerose situazioni di pericolo, diversi tratti del costone roccioso sono stati oggetto di indagine, soprattutto in occasione di interventi di messa in sicurezza aventi sempre il carattere della somma urgenza. Ciò ha comunque consentito di acquisire una buona conoscenza delle dinamiche del tratto costiero in esame, del suo assetto geostrutturale e delle caratteristiche geologiche, nonché meccaniche dell'ammasso roccioso.

I risultati delle indagini hanno generalmente restituito valori della resistenza a compressione (σ_c), ottenuta mediante prove con Martello di Schmidt, compresi tra 64 e 85 MPa rispettivamente nel caso di roccia alterata e roccia integra e con più specifico riferimento al tratto di interesse pari a σ_c = 59,3 MPa (Indice *RQD* = 92,45).

Il valore dell'Indice SMR calcolato sulla base dei seguenti valori *Ri* della classificazione di Bieniawski (1989) ed *Fi* di Romana:

R1 = 7

R2 = 20

R3 = 8

R4 = 24

R5 = 7

F1 = 0,85

F2 = 1

F3 = -50

$F4_m$ = 10

risulta pari a SMR = 33,5.

Per quanto riguarda il calcolo del parametro *M1* si è considerato che le onde siano frangenti, che l'angolo formato tra i raggi d'onda e la linea costa sia θ = 90° e l'altezza dell'onda significativa al largo per un periodo di ritorno T_r = 30 anni pari a H_s = 6,32 m (E > 30).

Si ottiene pertanto:

M1 = 8

M2 = 5

M3 = 10 Totale M = 23

e quindi un valore dell'indice *SCMR* = 10,5 che classifica il tratto di costa in esame di classe V, ovvero di qualità molto scadente (Tabella 10.IV), coerentemente alla situazione in atto.

Incrociando questi risultati con quelli delle zone a pericolosità/ rischio molto elevato (P3-P4/R3-R4) del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico se ne osserva una buona coincidenza.

Approcci come quelli sopra descritti, quindi, possono essere utilmente impiegati per differenziare le problematiche delle falesie, e tenuto conto che classificazioni di questo tipo utilizzano parametri del moto ondoso di facile applicazione, possono essere adottati nel caso delle coste alte come strumento di pianificazione e/o previsione degli effetti dell'arretramento costiero.

11 Messa a punto di un sistema di monitoraggio su scala regionale

11.1 Monitoraggio degli impatti di eventi meteomarini estremi: proposta di redazione di un quaderno delle mareggiate

L'ultimo decennio è stato caratterizzato da numerose catastrofi che hanno colpito le coste di tutto il mondo provocando morti e devastazioni (si citano a questo proposito l'uragano Charley del 2004, lo tsunami di Sumatra del 2004, l'uragano Katrina del 2005, il ciclone Yari del 2011 e lo tsunami di Honshu del 2011), che hanno fortemente accresciuto il livello di attenzione verso questi fenomeni e, più in generale, verso i rischi costieri. In Europa si manifestano altre tipologie di evento, tempeste marine e inondazioni, fortunatamente meno drammatiche delle prime. Tuttavia, si deve ricordare che nel 2010 i Paesi del versante Atlantico sono stati colpiti da una mareggiata così imponente, denominata 'Xynthia', che ha provocato la morte di ben 62 persone, 51 delle quali nella sola Francia.

Più recentemente, ricordiamo il medicane Zorbas che solo marginalmente ha colpito la Sicilia, nonostante durante la sua propagazione l'occhio di questo MEDICAN (MEDIterranean HurriCANE) abbia fortemente cambiato direzione senza impattare direttamente sulle coste siciliane (vedere la Figura 11.1 e la Figura 11.2). Ciò nonostante, si è assistito a diversi eventi di inondazioni costiere e sormonto di strutture sia a difesa costiera che portuale con notevoli danni socio-economici.

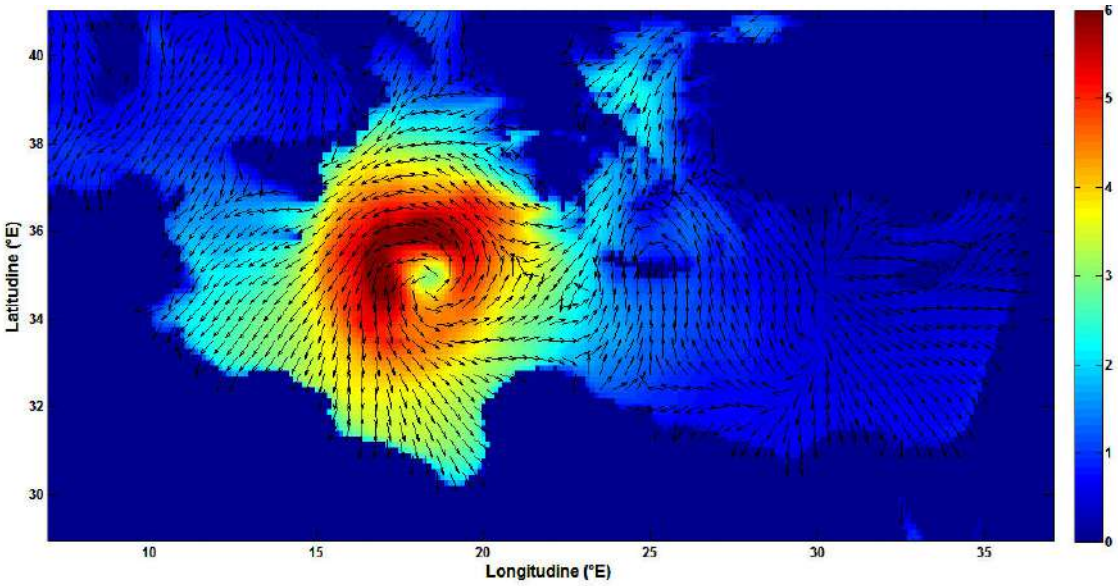


Figura 11.1 Medicane Zorbas del 27-28 settembre 2018, un uragano di categoria tra 1 e 2, caratterizzato da venti oltre i 140 km/h e da altezze d'onda significative al largo oltre 6 m (fonte: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF).

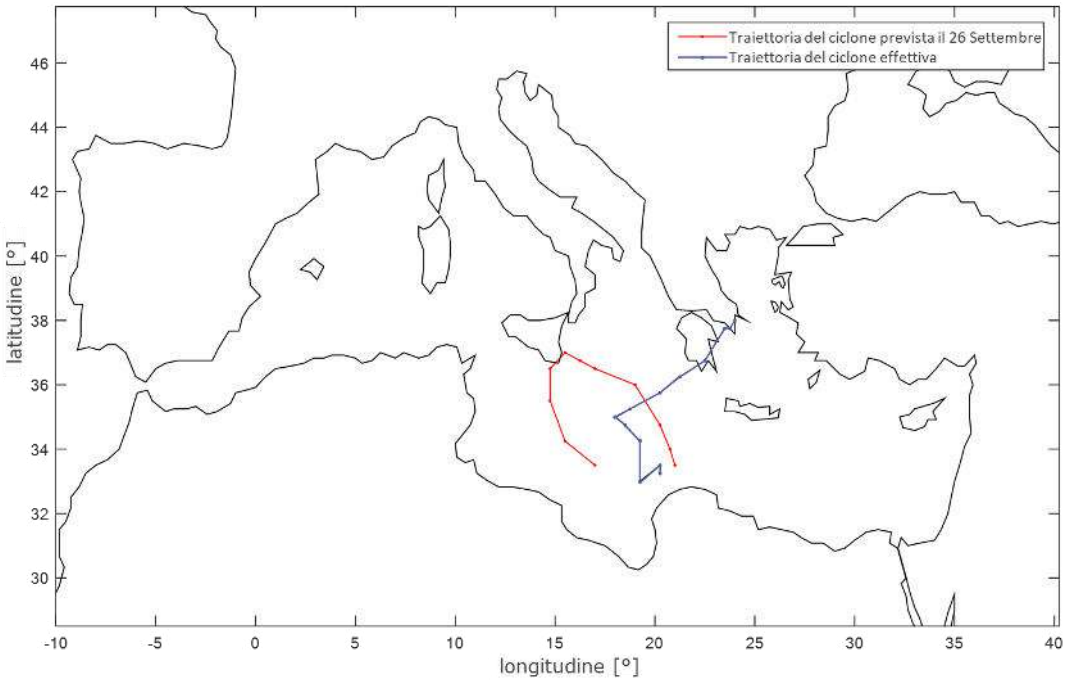


Figura 11.2 Traiettoria del MEDICANE Zorbas: confronto tra la traettoria prevista il 26 settembre 2018 e la traiettoria effettiva. Le traettorie sono state ricostruite sulla base dei dati forniti dall'ECMWF.

A tal proposito, negli ultimi anni l'Unione Europea ha introdotto la Direttiva Alluvioni (*Directive 2007/60/EC of the European Parliament*

and of the Council on the assessment and management of flood risks), che stabilisce che tutti gli Stati Membri devono predisporre un piano di gestione del rischio con particolare attenzione alla prevenzione, protezione, preparazione e risposta alle emergenze e alle catastrofi. Pertanto, la gestione del rischio costiero rappresenta la sfida dell'ultimo decennio.

Strategie integrate, che combinino soluzioni tecniche con opzioni non-strutturali di tipo istituzionali ovvero di tipo "Sistemi di Pre-Allertamento e Preparazione al Rischio", sono alla base di tale iniziativa che le autorità predisposte per la protezione costiera sono chiamate a determinare.

Un ulteriore aggravamento dei fenomeni potrebbe essere associato al previsto innalzamento del livello marino per effetto dei cambiamenti climatici che coinvolgono lo scioglimento dei ghiacci, il cambiamento della densità dell'acqua e i cambiamenti della pressione atmosferica media.

Si deve tuttavia ricordare che l'impatto devastante generato dalle tempeste marine è comunque e soprattutto da attribuire all'intenso sfruttamento delle aree costiere avvenuto a livello globale. Si pensi infatti che, nonostante le zone costiere rappresentino solo il 15% delle terre emerse, su di esse vivono il 60% della popolazione mondiale (EEA, 1999). In Europa sono oltre 70 milioni le persone che abitano lungo le zone costiere e rappresentano circa il 16 % della popolazione totale (Eurosion, 2004).

Per dare alcune importanti risposte a questi temi, in Italia è stato ideato e realizzato il progetto MICORE (Morphological Impact and COastal Risks induced by Extreme storm events) finanziato nell'ambito del VII Programma Quadro (www.micore.eu).

Nell'ambito del progetto Europeo MICORE e la collaborazione in Italia tra la Regione Emilia Romagna, l'ARPA e l'Università di Ferrara, è stata ricostruita la serie storica degli eventi meteo marini rilevanti che hanno generato impatti significativi lungo le coste dell'Emilia-

Romagna. A tale progetto si è fatto riferimento per la stesura del quaderno delle mareggiate per la Regione Sicilia qui descritto.

La conoscenza e la conservazione della memoria storica degli eventi calamitosi naturali sono di estrema importanza per la gestione del territorio; permettono, infatti, di individuare quali siano le zone più frequentemente colpite da tali eventi, e quindi più critiche e vulnerabili, nonché di individuare quale sia la tipologia dei danni ricorrenti e quindi prevedere e prevenire i danni futuri. Per alcune tipologie di rischio, come quello sismico e idrogeologico, esistono già esempi collaudati di cataloghi nazionali e regionali (vedere il PAI Sicilia) a cui fare riferimento, così non è per il rischio da tempesta. Pertanto, tale proposta di quaderno delle mareggiate, nel contesto del Piano Regionale contro l'Erosione Costiera, riflette l'approccio che la Regione Siciliana intende adottare per la difesa costiera.

Per comprendere le cause delle tempeste marine, si devono anzitutto analizzare le condizioni meteorologiche ad ampia scala (sinottiche) combinate con i dati rilevati dalle stazioni meteorologiche, ondametriche e mareografiche presenti sulla costa regionale. Nell'analizzare i dati locali si devono inoltre considerare sia l'altezza dell'onda che il livello del mare.

Per studiare e classificare gli eventi di mareggiata è utile fissare dei valori di riferimento dell'altezza dell'onda e del livello del mare. Queste informazioni devono essere riportate sinteticamente per ciascuno degli eventi catalogati.

Per studiare gli impatti costieri è invece necessario identificare dei valori di soglia che possono essere utilizzati per definire una condizione di rischio costiero e quindi di allerta. In particolare, le finalità per la stesura del presente quaderno delle mareggiate sono:

- Creare un database con tutti i dati relativi ad eventi significativi di tempesta che hanno causato significativi impatti socio-economici. I parametri da inserire nel database sono: caratteristiche delle mareggiate e l'impatto socio-economico

causato dalle tempeste. Le aree a cui estendere l'indagine per la creazione del quaderno sono le unità fisiografiche del III ordine o, eventualmente, tutte quelle aree che si differenziano per la diversa esposizione alle onde, diverse escursioni di marea e un differente valore socio-economico.

- Monitorare i siti di studio attraverso la raccolta di dati topografici e batimetrici e la contemporanea misurazione delle onde, delle maree e delle correnti che innescano le tempeste.
- Testare e sviluppare metodi affidabili di modellazione numerica che siano in grado di prevedere la variazione morfologica indotta dalle mareggiate per la previsione dell'impatto delle mareggiate.
- Valutare gli schemi di intervento del sistema di Protezione Civile e le competenze che sono necessarie per la creazione di strategie di risposta ottimali.
- Impostare un sistema di allerta e implementare il suo utilizzo da parte della Protezione Civile. Un obiettivo specifico prevede di unire i modelli morfologici di previsione dell'impatto delle mareggiate con la previsione dello stato del mare e dei livelli di marea per preparare protocolli di allerta che si combinano ed interagiscono con il progetto INTERREG ITALIA-MALTA News attualmente in corso presso il DICAR dell'Università degli Studi di Catania.
- Disporre di uno strumento dinamico da aggiornare in occasione di ogni evento meteomarino estremo che produca impatti ambientali e socio-economici sui litorali siciliani, a cura degli enti preposti (per esempio, istituendo un Ufficio Coste della Regione Sicilia), anche al fine di favorire il coordinamento tra tutti i Comuni ricadenti nella stessa unità fisiografica.

11.1.1 Preparazione e compilazione del quaderno delle mareggiate

11.1.1.1 Obiettivi

Il quaderno delle mareggiate dovrà essere predisposto con riferimento ai seguenti obiettivi specifici:

- Censimento delle segnalazioni di impatto da mareggiata a partire dalle informazioni disponibili negli archivi regionali
- Confronto tra gli eventi segnalati e la registrazione dei fenomeni meteo-marini
- Organizzazione dei dati raccolti per singolo evento
- Elaborazione dei dati e georeferenziazione delle zone di impatto
- Creazione del catalogo e delle schede evento

11.1.1.2 Identificazione degli eventi

Fonti delle informazioni

Individuazione di fonti attendibili dalle quali attingere le informazioni. Ricerca da effettuare su archivi regionali ed enti territoriali, enti di ricerca, quotidiani e siti internet tematici. Utilizzo di rapporti tecnici effettuati da Servizi Tecnici regionali, Ordinanze di Protezione Civile e Piani d'intervento, foto panoramiche, articoli giornalistici e dati telerilevati.

Catalogazione Evento

Catalogazione effettuata tramite compilazione di singoli campi quali:

Numero Evento:

Fornire una numerazione progressiva degli eventi in modo da facilitarne l'identificazione.

Data Evento:

Indicare i giorni nei quali l'evento si è manifestato. Derivano dai rapporti tecnici, dai quotidiani e dal confronto con i dati meteo-marini.

Località colpite:

Indicare le singole località o i tratti di litorale che sono stati interessati dall'evento preso in considerazione.

Fonte delle informazioni:

Inserire le fonti che hanno fornito i dati utilizzati per la definizione e la descrizione dell'evento e degli impatti riportati

Principali caratteristiche dell'evento:

Riportare sinteticamente le caratteristiche meteorologiche dell'evento. Le informazioni riguardano:

- *Vento* - Indicare il valore di intensità del vento rilevato dalle stazioni meteorologiche.
- *Moto ondoso* - Fornire la massima altezza significativa dell'onda e la relativa direzione *prevalente* sulla costa indicando la fonte di informazione.
- *Livello del mare* - Riportare il massimo valore riportato nelle *stazioni* mareografiche.

Impatto dell'evento:

Descrivere i fenomeni di dissesto che si sono registrati e gli elementi naturali e/o antropici coinvolti.

Azioni ed Interventi:

Elencare sia le azioni di prevenzioni quali allerte meteo che quelle di intervento per arginare i danni, inoltre sono riportati gli interventi successivamente programmati e realizzati per ripristinare le aree colpite (ripascimenti, sistemazione di opere di difesa, ecc).

La Tabella 11.I riporta lo schema del quaderno delle mareggiate in cui inserire le informazioni sopra descritte.

Tabella 11.I Schema della scheda costituente il quaderno delle mareggiate.

Codice evento	**Data evento**		**Fonte informazione**	**Azioni ed Interventi**
	Inizio	Fine		
xx.yy.zz_AAAAMMGG				

CARATTERISTICHE METEO-MARINE DELL'EVENTO							
Vento			**Livello del mare**	**Moto ondoso**			
Velocità max oraria (m/s)	Velocità max (raffica) (m/s)	Direzione prevalente (^{0}N)	Livello massimo (m)	Hs Max (m)	Periodo (Tm) (s)	Direzione (Φ) (^{0}N)	Durata con valori superiori alla soglia (h)

IMPATTO					
E	**I**	**T**	**D**	**B**	**P**

E: Erosione della spiaggia e della duna (Lunghezza in km)
I: Sommersione per ingressione marina (inondazione)(quota max raggiunta dall'acqua rispetto al l.m.m.)
T: Tracimazione dei canali e dei porto-canali (SI/NO)
D: Danni ad opere marittime e di difesa (SI/NO)
B: Danni agli stabilimenti balneari e alle infrastrutture
P: Danni alle persone (vittime/evacuati/feriti…)

11.2 Monitoraggio del clima meteomarino

11.2.1 Progettazione di una Rete Ondametrica Regionale

Come precedentemente discusso, dal 1989 fino al 2014, in Italia era attiva un'estesa Rete Ondametrica Nazionale (RON) costituita da 15 boe dislocate lungo le coste italiane ad una profondità di circa 100 m (Figura 11.3) di proprietà e gestione dell'ISPRA, 3 delle quali installate in Sicilia al largo di Palermo (Capo Gallo), Catania e Mazara del Vallo (Tabella 11.II).

Tale sistema permetteva di monitorare in tempo reale lo stato di mare al largo delle nostre coste, e in particolare il moto ondoso in termini di spettro (altezza, lunghezza e direzione d'onda), alcuni parametri meteorologici (temperatura dell'aria, umidità relativa, pressione atmosferica, velocità e direzione del vento), la temperatura dell'acqua, ed in alcuni casi anche qualche parametro di qualità dell'acqua. I dati, riferiti a periodi di 30 minuti (semiorari), venivano acquisiti in telemisura in tempo-reale ed immessi nella rete internazionale Global Telecommunication System (GTS) del WMO per la condivisione con le comunità meteorologiche e oceanografiche coordinate nel programma internazionale Data Buoy Cooperation Panel (DBCP).

Tale complesso sistema di monitoraggio costituiva la principale piattaforma per lo studio del moto ondoso nei mari italiani nonché uno strumento di primaria importanza per la gestione del territorio costiero, per la progettazione di difese costiere, per la realizzazione e calibrazione di sistemi di preallertamento da eventi estremi di mare, in particolare da mareggiate e uragani mediterranei, da affiancare ai modelli di previsione meteo-marini operativi in Italia. I modelli di previsione prevedono infatti l'assimilazione di dati registrati, in tempo reale, in modo da migliorare e rendere più accurate le soluzioni dei modelli stessi. Le serie temporali delle condizioni di moto ondoso forniscono, infatti, la base per le analisi statistiche dei parametri e

consentono di calcolare con grande accuratezza le condizioni estreme del moto ondoso.

La corretta conoscenza del regime ondoso, basata su una lunga serie di dati, è anche utile alla conoscenza del trasporto solido litoraneo, in quanto esso dipende, come ampiamente discusso, dalla distribuzione dell'altezza delle onde frangenti, dal periodo delle onde e dalla loro direzione.

Appare evidente come la dismissione della RON rappresenti una grave lacuna per l'ingegneria marittimo costiera, soprattutto se si considerano gli effetti dei cambiamenti climatici.

Si evince, pertanto, per le finalità del PRCEC, la necessità di ripristinare la rete RON siciliana operativa fino al 2014, così da avere una continuità delle serie temporali del moto ondoso e allo stesso tempo prevederne anche l'ampliamento con almeno altre 2 boe, una al largo di Portopalo di Capo Passero e l'altra al largo della costa tirrenica del trapanese.

A tal riguardo, nell'ambito dei piani di previsione, prevenzione e gestione dei rischi costieri da mareggiate sono stati fatti importanti progressi grazie alle più recenti tecnologie dei Sistemi Informativi Geografici (GIS), alle potenzialità delle applicazioni Web, alle tecniche di monitoraggio della costa e alla modellistica idrodinamica e morfodinamica. Con il supporto di questi nuovi strumenti, affiancati ad una rete di monitoraggio quale quello delle boe qui proposte, non solo si favorirà la progettazione di opere marittime, ma sarà altresì possibile predisporre una procedura operativa di monitoraggio, di analisi e aggiornamento delle banche dati con lo scopo di far fronte alle emergenze e di predisporre piani di intervento e di pre-allertamento.

La Rete Ondametrica Regionale proposta è mostrata in Figura 11.4.

Figura 11.3 Mappa della Rete Ondametrica Nazionale (RON) operativa fino al 2014.

Tabella 11.II Luogo, coordinate e profondità delle 3 boe in dotazione alla Rete Ondametrica Nazionale ubicate al largo delle coste siciliane fino al 2014.

BUOY CODE	SHORE STATION	LATITUDE	LONGITUDE	Depth (meters)
61207	CATANIA	37°26'24'N	15°08'48'E	90
61208	MAZARA	37°31'05'N	12°32'00'E	85
61209	PALERMO	38°15'30'N	13°20'00''E	145

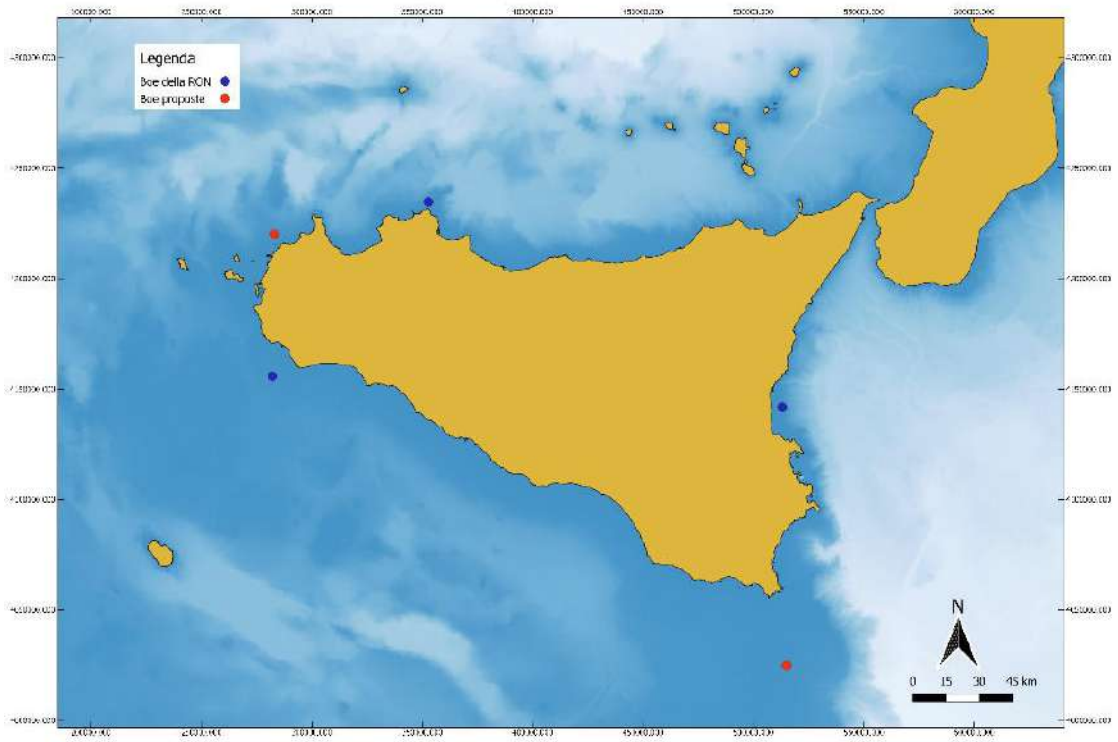


Figura 11.4 Rete Ondametrica Regionale proposta.

11.2.2 Verifica dell'efficienza ed efficacia dell'attuale rete mareografica esistente

La Rete Mareografica Nazionale (RMN) è composta di 36 stazioni di misura uniformemente distribuite sul territorio nazionale ed ubicate prevalentemente all'interno delle strutture portuali (Figura 11.5), 8 delle quali installate in Sicilia.

Nel campo marittimo, il Servizio Mareografico Nazionale aveva assunto la gestione della Rete Ondametrica Nazionale (RON), realizzata a suo tempo dal Ministero dei Lavori Pubblici, ed ha provveduto allo sviluppo e potenziamento della nuova Rete Mareografica Nazionale (RMN).

La RMN è la più importante rete di misura del livello del mare presente nel Mediterraneo. Questo non stupisce dati i 7.375 km di sviluppo delle coste italiane e, soprattutto, la particolare morfologia della nostra Penisola che determina la suddivisione nei due bacini principali che si possono considerare semichiusi: il primo è quello del Mediterraneo occidentale, delimitato dal canale di Sicilia e

caratterizzato da ampie piane abissali, il secondo, il Mediterraneo orientale, è molto più accidentato e dominato dal sistema della dorsale Mediterranea.

Tutte le stazioni sono dotate di un sistema locale di gestione e memorizzazione dei dati e di un apparato di trasmissione (UMTS) in tempo reale alla sede centrale ISPRA di Roma. Inoltre, in 9 stazioni strategiche per la misura di fenomeni particolari (onde anomale) è presente un secondo sistema di trasmissione dati via satellite con tecnologia IRIDIUM che garantisce il collegamento anche in presenza di situazioni di black-out del sistema UMTS.

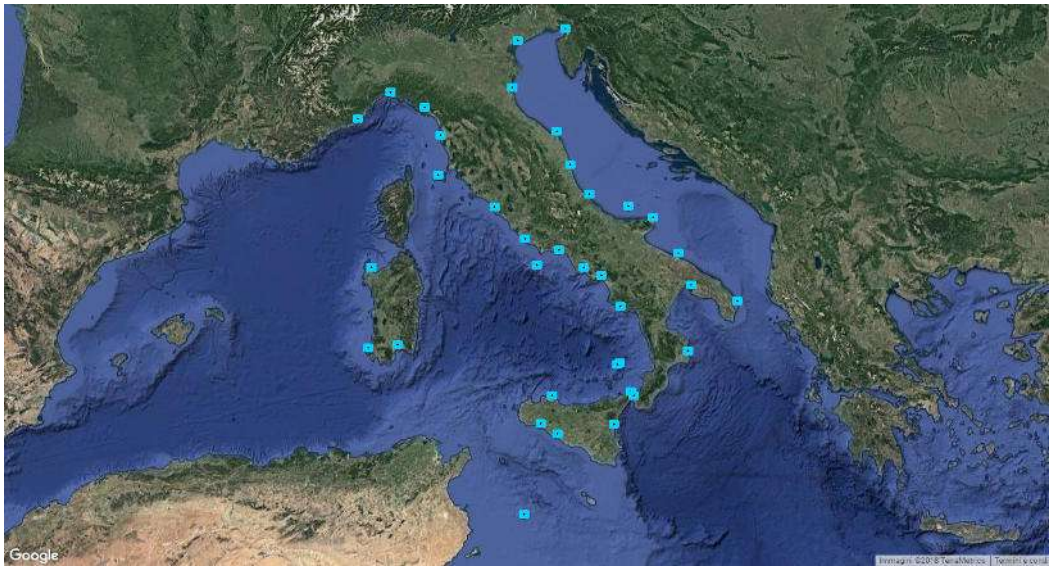


Figura 11.5 Rete Mareografica Nazionale del Servizio Mareografico Nazionale

In aggiunta ai mareografi dell'ISPRA i cui dati sono disponibili sul loro sito web (http://www.isprambiente.gov.it), sono disponibili i livelli dei mari italiani in altre quattro stazioni di monitoraggio (Le Castella, Marina di Teulada, Pantelleria, Portopalo di Capo Passero) nel sito dell'Intergovernmental Oceanographic Commission (http://ioc-sealevelmonitoring.org), gestite dall'Istituto Nazionale di Geologia e Vulcanologia (INGV) (Figura 11.6).

Figura 11.6 Rete mareografica dell'Intergovernmental Oceanographic Commission.

Tale sistema permette di monitorare in tempo reale lo stato del livello del mare lungo le nostre coste, in particolare l'altezza del livello idrico e la temperatura dell'acqua, ed alcuni parametri meteorologici quali temperatura dell'aria, umidità relativa, pressione atmosferica, velocità e direzione del vento (Figura 11.7).

Figura 11.7 Parametri monitorati dall'odierna rete mareografica nazionale dell'ISPRA

La frequenza di misura del livello del mare è per tutte le stazioni di un 1 minuto. Tale frequenza di acquisizione permette la misura di onde anomale e può essere portata a 1 secondo, in automatico, in presenza di fenomeni estremi.

La RMN è compendiata nel sito www.mareografico.it, gestito dall'ISPRA, che permette la visualizzazione dei dati sia in tempo reale che storici, la loro rappresentazione grafica ed il download dei dati stessi.

Come evidenziato nel paragrafo dedicato all'analisi dei livelli del mare (par. 8.4, Figura 8.81, Figura 8.83 e Figura 8.84) si evidenziano alcune anomalie nelle registrazioni delle stazioni di Palermo, Ginostra e Strombolicchio compromettendone la loro efficienza. Tali stazioni necessitano, pertanto, un controllo e verosimilmente un aggiornamento delle strumentazioni installate.

Data la posizione, la conformazione ed i fondali che caratterizzano la Sicilia, la quale si trova al centro di tre mari, il Tirreno, lo Ionio ed il Mediterraneo, la rete mareografica regionale necessita di ulteriori stazioni per ottenere un monitoraggio completo dell'intera costa siciliana.

Si evidenzia, per esempio, che la costa sud-orientale è frequentemente soggetta a eventi anomali di arretramento del mare con conseguente abbassamento del livello idrico, fino ad 1m, dovuto a sesse e/o terremoti sottomarini. Nel Mar Mediterraneo, infatti, si scontrano due grosse placche, quella africana e quella euroasiatica; la prima scivola sotto la seconda e questo provoca terremoti ed eruzioni vulcaniche e di conseguenza tsunami che si propagano verso la costa sud-orientale della Sicilia.

Pertanto, al fine di avere una copertura di informazioni più adeguate, si propone l'ampliamento della rete mareografica prevedendo l'installazione di almeno 6 nuove stazioni posizionate nel porto di: Capo d'Orlando, Siracusa, Gela, Agrigento, Trapani e Pantelleria.

La Figura 11.8 mostra la Rete Mareografica Regionale proposta.

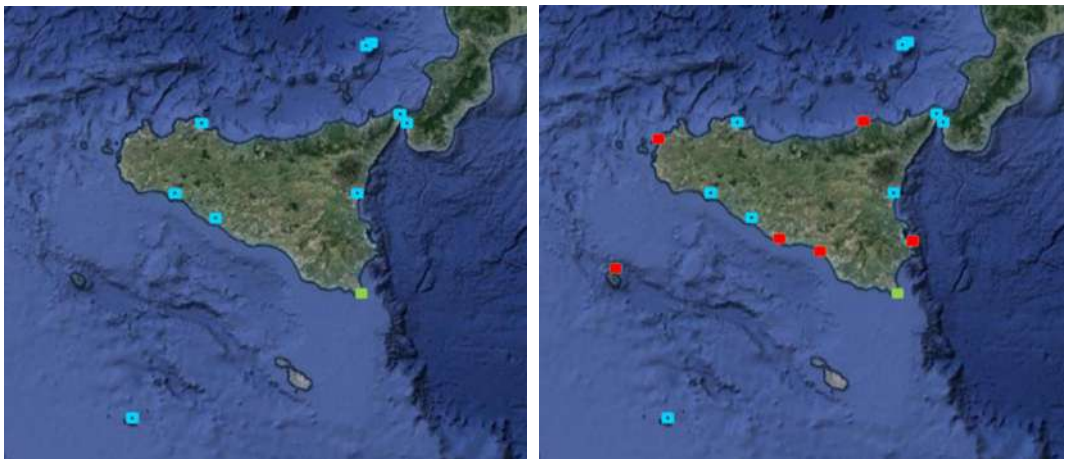


Figura 11.8 Rete Mareografica Regionale esistente (sinistra) e proposta (destra). In rosso le nuove stazioni.

11.2.3 Verifica della copertura e dell'affidabilità della rete radar HF esistente ai fini della stima dei parametri del moto ondoso

Informazioni sulle caratteristiche delle onde marine possono essere ottenute da dati acquisiti da sistemi Radar ad alta frequenza (HF).

I sistemi HF (*High Frequency*) Radar possono essere utilizzati per misurare le correnti e i parametri d'onda e sono in grado di fornire mappe di corrente con frequenza temporale oraria. Tali sistemi hanno quindi la capacità di monitorare simultaneamente la corrente e le onde in tempo reale con risoluzioni temporali e spaziali elevate ed operano tra i 3 e i 30 MHz di frequenza. Inoltre, le ipotesi su cui lavorano sono di acque caratterizzate da una profondità h > 1/20 della lunghezza d'onda del segnale elettromagnetico.

Il meccanismo fisico di base su cui si fonda la tecnologia Radar HF è la *diffusione di Bragg* o *Bragg scattering* che genera la retrodiffusione di onde radio che viaggiano lungo la superficie marina. Il ritorno del segnale dalla superficie del mare descrive uno spettro d'onda caratteristico. Il contributo dominante è prodotto dal ritorno delle onde dell'oceano aventi una lunghezza d'onda pari alla metà della lunghezza d'onda del radar che si muovono radialmente verso il radar o dal radar. L'eco spettrale del secondo ordine contiene profondità e posizione.

Lo spettro d'energia restituito dal segnale retrodiffuso del radar contiene due picchi discreti e ben definiti che corrispondono alle velocità di fase delle onde marine.

In passato l'analisi dell'eco spettrale del mare si arrestava al primo ordine di approssimazione; tuttavia tale approccio non si è rivelato utile per il monitoraggio operativo degli stati di mare ma, piuttosto, per la mappatura delle correnti superficiali

Gli spettri di secondo ordine si sono, invece, rivelati molto correlati con gli spettri tipici delle onde marine. Recenti studi hanno dimostrato che, sotto opportune condizioni di "pulizia" del segnale elettromagnetico, le stime dei parametri d'onda attraverso tali sistemi di "remote sensing" sono abbastanza affidabili.

Le celle su cui si ottengono le misure variano di diversi chilometri e sono acquisite in un settore angolare ben preciso, suddiviso in anelli (settori di corona circolare) posti a differente distanza dal sistema radar costiero. I settori sono caratterizzati da una lunghezza angolare <10° ed una luce angolare che, generalmente, arriva fino a 180°; questa luce angolare non è altro che un semicircolo delimitato dalla linea di costa e in cui la profondità dell'acqua varia da molto bassa ai bordi, fino a profonda allontanandosi dalla costa. Su ognuno di tali anelli vengono calcolati in tempo reale i parametri di moto ondoso su profondità variabile

Figura 11.9 Esempio di settore angolare del Radar HF: mostra la posizione delle celle radar, la profondità al contorno da bassa a alte (Barrick & Lipa,1986).

In Sicilia esiste una rete di radar HF di tipo Codar SeaSonde installati a Marina di Ragusa e Pozzallo. Tale rete è completata da due analoghi radar HF installati a Malta (rete CALYPSO). Tale rete è pienamente operativa dal 2013 ed è in espansione. Le tecnologie CODAR Ocean Sensors consentono di produrre mappe della velocità della corrente bidimensionale estremamente accurate e di stimare i parametri d'onda più importanti come *l'altezza significativa spettrale* (H_{mo}), il *periodo di picco* (T_p) su anelli concentrici aventi come centro ognuna delle antenne.

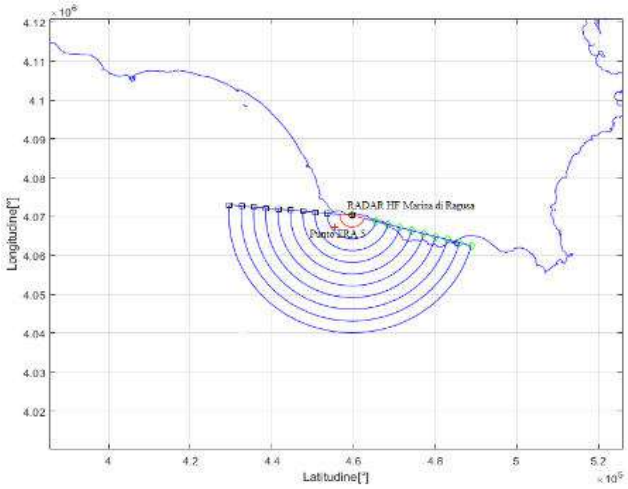


Figura 11.10 Esempio di copertura ad anelli dei dati di onda registrati dal sistema HF Radar di Marina di Ragusa (rete CALYPSO)

Recentemente i dati acquisiti dalla rete sono stati confrontati con i dati di rianalisi ERA5 (generati dal servizio Copernicus – ECMWF), ottenendo risultati e stime soddisfacenti soprattutto per il sistema HF di Marina di Ragusa.

I dati sono pubblicati su piattaforme on-line (http://portus-malt.qrms.net/portus/Portus.html).

11.3 Monitoraggio dell'erosione costiera

11.3.1 Progettazione di una rete di monitoraggio visivo partecipato di tipo CoastSnap

Il monitoraggio dell'erosione costiera può oggi basarsi non solo su strumenti ad appannaggio dei tecnici, ma coinvolgere una fascia ampia della popolazione. Infatti, i più recenti progressi nella tecnologia degli obiettivi per fotocamere e la proliferazione di smartphone di consumo in tutto il mondo suggeriscono che potrebbero esserci opportunità non sfruttate per il monitoraggio del litorale utilizzando immagini da crowdsourcing. Il pubblico in genere visita le spiagge, portando con sé dispositivi fotografici più potenti della tecnologia che è stata applicata con successo nell'imaging costiero per decenni. Insieme a ciò, i social media offrono piattaforme consolidate e ampiamente utilizzate (ad esempio Facebook, Instagram e Twitter) per la condivisione e la gestione delle immagini tra le comunità locali o il pubblico globale.

Riconoscendo il potenziale delle immagini dello smartphone e dei social media, sono state sviluppate diverse iniziative scientifiche per i cittadini che sfruttano le immagini di crowdfunding acquisite nel tempo nella stessa posizione, per monitorare varie forme di cambiamento ambientale (Augar e Fluker, 2014; Bayas et al., 2016; Droege, 2013). Tra queste iniziative, si sta sempre più affermando a livello internazionale la tecnologia CoastSnap, proposta da Harley et al. (2019). Tale tecnologia è stata sviluppata e si sta diffondendo anche grazie a un accordo tra il Department of Planning, Industry and

Environment del NSW Government australiano e il Water Research Laboratory (UNSW di Sydney). Stazioni CoastSnap sono state installate in diverse spiagge australiane (Figura 11.11).

Il concetto alla base di CoastSnap è che, grazie all'installazione di una staffa di montaggio nei siti di interesse e all'uso di una serie di algoritmi di correzione delle immagini, viene fornita una posizione fissa e un angolo di visione della telecamera, indipendenti dall'uso di un particolare smartphone. I cittadini che quindi partecipano al progetto CoastSnap, entrando a far parte di una web-community, possono quindi posizionare il loro telefono sul supporto e acquisire un'immagine della spiaggia da caricare sulla piattaforma social preferita (e.g. Facebook, Twitter, Instagram), consentendo un monitoraggio pressochè continuo dello stato della costa.

Grazie alla semplicità d'uso, ai bassi costi e al suo carattere social, la rete CoastSnap, partita da alcune iniziali installazioni a nord di Sidney, si è ampliata lungo le coste australiane, ed è oggi un fenomeno globale, con alcune applicazione anche in Europa (e.g. Belgio, Inghilterra, Portogallo), in Africa (e.g. Mozambico), in Asia (e.g. Fiji), etc.

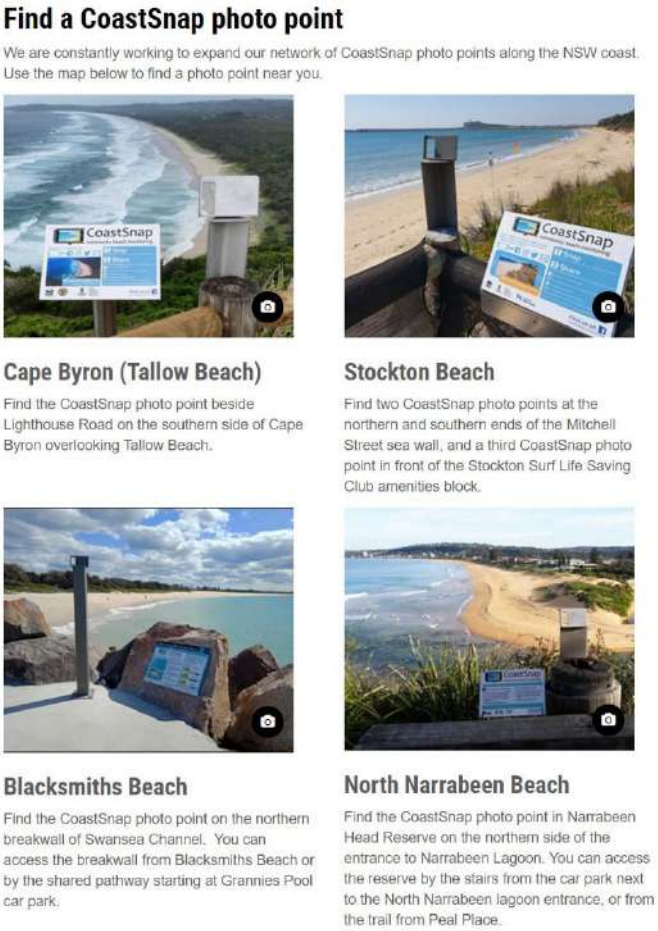


Figura 11.11 Esempi di stazioni CoastSnap installate in alcune spiagge australiane (fonte: https://www.environment.nsw.gov.au)

Le foto di CoastSnap vengono utilizzate per mappare come la spiaggia cambia nel tempo e scoprire come le diverse spiagge rispondono alle condizioni del mare in costante evoluzione. È possibile creare filmati e immagini time-lapse per visualizzare i cambiamenti nella battigia e le dimensioni e la distribuzione delle barre della zona di surf e di battigia. I dati di CoastSnap forniscono una preziosa documentazione del movimento della sabbia tra le parti esposte e sommerse del sistema spiaggia. Questi dati possono essere utili per studiare quanto la spiaggia potrebbe cambiare in condizioni estreme o in risposta agli effetti a lungo termine del cambiamento climatico come l'innalzamento del livello del mare (Harley et al., 2019).

In sostanza, una stazione CoastSnap è costituita da una semplice struttura di supporto (per esempio un paletto in legno) che sostiene un alloggiamento per la fotocamera degli smartphone, realizzato in acciaio inossidabile. L'alloggiamento consente di vincolare la posizione della telecamera, controllare l'azimut, l'inclinazione ed eventuali movimenti delle immagini inviate dalla community. A tal fine ogni stazione è accompagnata da un semplice cartello che riporta le istruzioni di accompagnamento per il caricamento l'immagine sui social media o via e-mail. A seguito di una preliminare fase di calibrazione, ottenuta mediante la realizzazione di campagne topografiche di supporto, vengono definiti una serie di punti di controllo al suolo, che consentono di determinare la lunghezza focale dell'obiettivo dello smartphone e una stima più precisa dei parametri estrinseci della fotocamera. La posizione della linea di rivae viene successivamente mappata su immagini georettificate, utilizzando una tecnica di rilevamento dei contorni basata sui canali di colore rosso e blu.

Harley et al. (2019) hanno testato rigorosamente questa tecnica in due spiagge di Sydney per un periodo di 7 mesi - Manly e North Narrabeen - e hanno dimostrato che le misurazioni effettuate sulla linea di riva ottenute grazie all'applicazione di questa tecnologia basata sulla partecipazione della comunità sono comparabili in termini di accuratezza con quelli raccolti dalle apparecchiature più avanzate utilizzate per il monitoraggio del litorale.

Le potenzialità del sistema sono chiaramente dimostrate dall'esempio di rilevazione della linea di riva alla stazione CoastSnap di North Narrabeen nel mese di maggio 2020, riportato in Figura 11.12, che mostra come nel giro di pochi giorni la linea di riva sia arretrata di circa 32 m a seguito di una mareggiata.

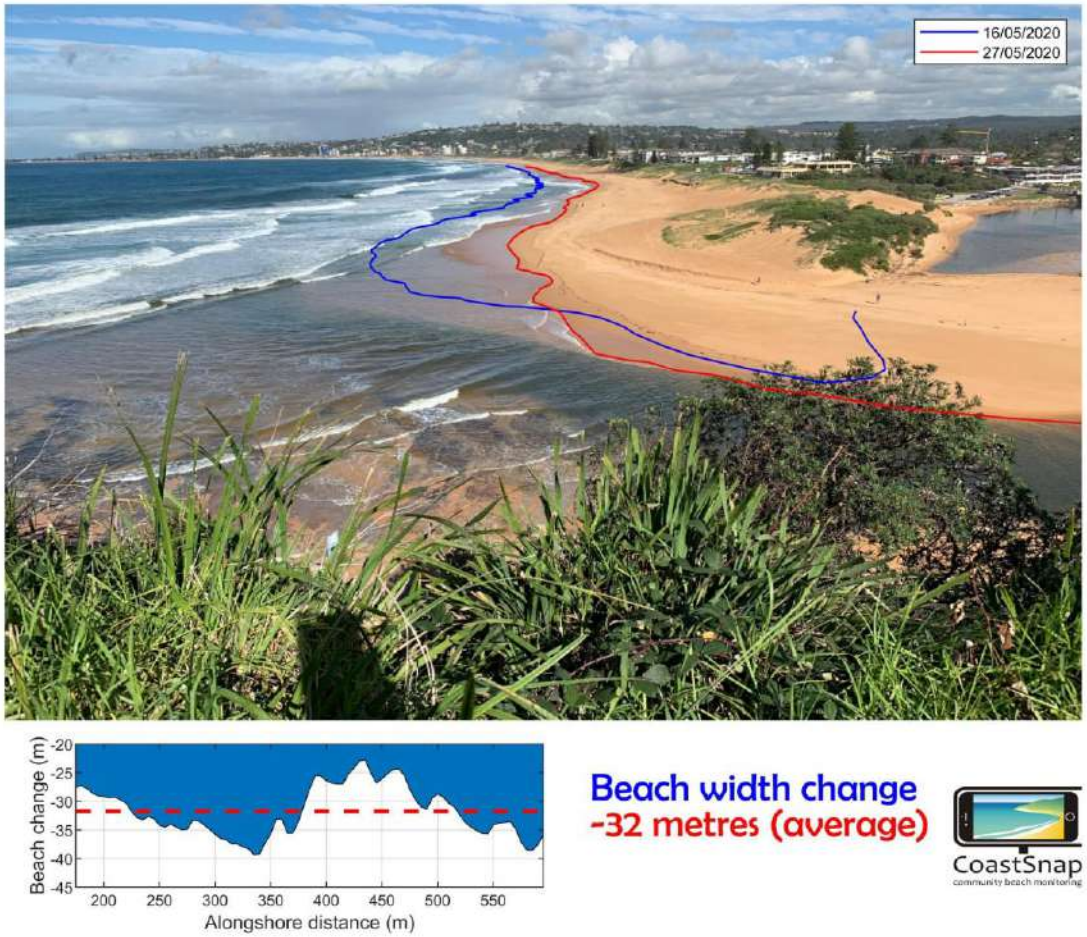


Figura 11.12 Esempio di rilevazione della linea di riva alla stazione CoastSnap di North Narrabeen nel mese di maggio 2020, che mostra come nel giro di pochi giorni la linea di riva sia arretrata di circa 32 m a seguito di una mareggiata (fonte: https://www.facebook.com/coastsnap/)

Nell'ambito del presente documento, nell'ottica di favorire un PRCEC che sia in costante aggiornamento, si suggerisce quindi di approfondire la progettazione, l'installazione e la messa a punto di una rete di monitoraggio dell'erosione costiera mediante tecnologia CoastSnap, costituita da circa una decina di stazioni ubicate lungo i tre versanti delle coste siciliane. La scelta della posizione della specifica stazione, che sarà effettuata a seguito di una fase di sopralluoghi in sito, dovrà tener conto dei seguenti parametri: visibilità della linea di costa, libera accessibilità e condizioni di sicurezza per i cittadini partecipanti, litorali soggetti a elevata dinamicità (preferibilmente tratti in erosione).

11.3.2 Progettazione di un sistema di raccolta centralizzato di immagini di video sorveglianza costiera

Le aree costiere sono in larga parte interessate da specifici strumenti normativi per la loro tutela, anche a livello europeo, tuttavia esse sono tra gli ambienti maggiormente minacciati dal rischio di erosione. Tale minaccia è stata causata negli ultimi decenni, dalla mancata programmazione, pianificazione e gestione delle aree costiere e, in particolare, delle spiagge. Tale tipo di costa infatti, avendo un equilibrio dinamico, risulta quella più "fragile".

Il risultato delle azioni antropiche è una modifica delle dinamiche naturali con conseguenti disequilibri sedimentologici che possono facilmente trasformarsi in fenomeni erosivi.

Il fenomeno che più sintetizza e spesso rappresenta pienamente la criticità dell'effetto sinergico di molte delle attività umane, è dato dalla perdita di spiaggia e dal conseguente arretramento dell'indicatore morfologico "linea di riva". Tale indicatore, essendo strettamente legato alla tendenza evolutiva della spiaggia, è utilizzato per stimare gli avanzamenti e gli arretramenti della stessa.

In questo paragrafo è descritta sinteticamente la struttura di un sistema di video-monitoraggio delle spiagge. Tale impianto acquisisce riprese fotografiche durante tutto il giorno, consentendo osservazioni molto accurate delle dinamiche della spiaggia. Le specifiche riprese fotografiche di questo impianto restituiscono immagini con caratteristiche differenti: immagini istantanee e immagini mediate.

Le immagini istantanee documentano ciò che accade nell'istante dall'acquisizione, e quindi sono utili all'osservazione delle caratteristiche del campo d'onda.

Le immagini mediate invece hanno maggiori potenzialità nel fornire informazioni di tipo morfologico. Esse infatti sono costruite su un numero congruo di immagini in funzione delle condizioni di visibilità e di luce. Le immagini mediate possono identificare le posizioni di

elementi chiave costieri (indicatori morfologici) come la posizione della linea di riva, la posizione delle barre sommerse, ecc.. Quest'ultimo tipo di immagine è fondamentale per l'individuazione della linea di riva e quindi utile per studi inerenti le sue fluttuazioni nel tempo.

L'impianto di monitoraggio è costituito da una componente *hardware* e una *software*.

La componente *hardware* è costituita dai seguenti elementi:

a) Fotocamere reflex ad alta risoluzione;
b) Scafandri impermeabili per le fotocamere;
c) Computer *notebook*;
d) Pannelli fotovoltaici;
e) Regolatore di carica solare;
f) Accumulatori da 12V;
g) Armadio elettrico per esterni;
h) Router 4G/5G;

L'assemblaggio delle componenti *hardware* è realizzato secondo lo schema mostrato in Figura 11.13.

Le due fotocamere vengono installate all'interno di due custodie impermeabili e poste alla opportuna quota di ripresa. Tale altezza deve essere scelta tenendo in considerazione sia una completa estensione della scena di ripresa sia per il processo di ortorettifica delle immagini. Le fotocamere devono essere installate all'interno di due custodie impermeabili che garantiscano anche un minimo ricircolo dell'aria al suo interno.

L'impianto è reso energeticamente autonomo attraverso l'utilizzo di pannelli fotovoltaici (moduli monocristallini da 45W) che generano energia e tramite un regolatore di tensione caricano due accumulatori da 12V e 5 A.

Il PC portatile, di tipo idoneo ad applicazioni in luoghi esterni, svolgerà il ruolo di "controllore del sistema" gestendo per mezzo di apposito software le fotocamere reflex, l'alimentazione elettrica e la connessione alla rete internet.

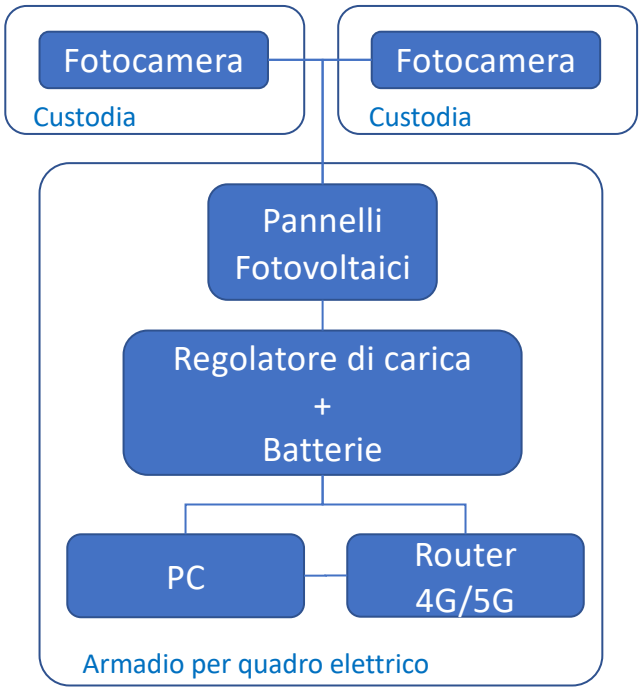


Figura 11.13 Schema dell'impianto di video-sorveglianza.

Il *software* di controllo dell'impianto di ripresa, opportunamente programmato, gestisce tutte le funzioni installate e consente di definire la tipologia di ripresa delle immagini da parte della fotocamera. Il software permette al sistema di ripresa di svolgere automaticamente le seguenti funzioni:

a) La programmazione dei parametri di campionamento delle immagini;
b) La programmazione della frequenza complessiva di campionamento delle immagini;
c) La ripresa di immagini istantanee;
d) La ripresa di immagini mediate;
e) La connessione tramite protocollo FTP verso un sistema remoto (web server) ed invio dei dati raccolti;
f) La grandezza e la compressione dell'immagine (Jpeg, Tiff, ecc.);
g) Il contrasto, la saturazione, i grafici, i testi da scrivere sull'immagine, ecc.;
h) La creazione di file con report sul funzionamento del sistema;

i) Lo spegnimento del dispositivo al termine della sequenza di ripresa

in modo da ridurre i consumi;

In fase di installazione dell'impianto di video-sorveglianza si effettueranno le connessioni delle sue componenti verificandone il collegamento elettrico. Si installerà il software di gestione e controllo in remoto dell'impianto ed infine si verificherà la connessione internet per la trasmissione dei dati registrati.

6.2.3.2 Il Caso Studio di San Leone (Agrigento)

San Leone (37°15'41"N - 13°35'20"E) appartiene amministrativamente al Comune di Agrigento ed è una rinomata residenza estiva e località turistica. Dal punto di vista geomorfologico la spiaggia si localizza tra la foce del fiume *Akragas* (NW) e la foce del fiume Naro (SE). Il litorale di San Leone è una delle spiagge più belle e frequentate della zona. Dagli anni Sessanta si è potuto assistere ad un forte sviluppo antropico che ha trasformato il piccolo borgo di pescatori in un grande centro balneare; basti pensare che da un numero di residenti stabili di circa 4.000 persone nel periodo invernale, nel periodo estivo si passa a circa 30.000 residenti.

Geomorfologicamente la fascia costiera è caratterizzata da estese pianure, delimitate verso terra da colline con quote che mediamente raggiungono i 250 m s.l.m. Il litorale invece è caratterizzato da una spiaggia sabbiosa, più o meno ampia, nella quale, in alcuni tratti, è presente un sistema di cordoni dunali con andamento parallelo alla costa. La spiaggia dissipativa di San Leone è una spiaggia a debole pendenza (con pendenze inferiori a 10°) e la batimetrica -5 m è localizzata mediamente a 500 m dalla linea di riva.

Per facilitare la localizzazione dei luoghi e descrivere meglio la spiaggia si è preferito suddividerla in quattro distinti settori (Figura 11.14.): a) la prima spiaggia (lunga circa 1,8 km) compresa tra la foce del fiume Akragas e il lido "Holiday Park"; b) la seconda spiaggia (lunga circa 1 km) compresa tra l'Holiday Park e il pennello vicino al lido

“Oceano Mare”; c) la terza spiaggia (lunga circa 1,2 km) compresa tra il pennello precedente e il lido “Le Dune” ed infine d) la spiaggia (lunga circa 1,5 km) delle dune compresa tra il lido “Le Dune” e la foce del fiume Naro.

Le opere di difesa costiera terminano con un pennello trasversale alla linea di riva, lungo circa 125 m. A Sud-Est di questa struttura inizia il tratto di spiaggia denominato “terza spiaggia”. Il tratto iniziale di questa parte di litorale è quello nel quale sono state riscontrate le maggiori variazioni morfologiche. Tali variazioni, riconosciute attraverso i cambiamenti della posizione della linea di riva, sono state confermate da studi idrogeologici (http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/), che hanno indicato probabili fenomeni di erosione con arretramenti dell’ordine di 8 m/anno, dovuti sia alla dinamica naturale sia all’esistenza delle opere di difesa presenti.

La spiaggia sabbiosa di San Leone non è un caso unico, ma piuttosto rappresenta le condizioni in cui oggi si trovano diverse spiagge antropizzate, nelle quali le forti oscillazioni della linea di riva sia nel lungo (ultimi decenni) che nel breve periodo (stagionali), indicano grandi variabilità dei fenomeni fisici connessi.

Per studiare le dinamiche costiere connesse a questo tratto di litorale si è ritenuto opportuno installare un impianto di video monitoraggio. In particolare l’installazione di tale impianto è stata una delle molteplici attività svolte nell’ambito del progetto transfrontaliero SIMIT - Italia-Malta (PO Italia Malta 2007-2013).

La prima operazione necessaria è stata la progettazione e la localizzazione del punto di installazione del sistema.

Dalla preliminare analisi diacronica della linea di riva, è stata identificata un’area della spiaggia particolarmente soggetta a forti fluttuazioni della stessa. Tale area è compresa tra il transetto 41 e il transetto 49 mostrati in Figura 11.15.

L’impianto di video sorveglianza è stato installato su un palo dell’illuminazione della strada comunale litoranea ("Viale delle Dune").

Il palo di illuminazione stradale è alto 8 m e quindi, per garantire l'altezza ottimale, è stato prolungato ancorando un tubo di piccola sezione al palo stesso. In tal modo è stata raggiunta l'altezza di ripresa di 15 m rispetto al livello stradale.

Figura 11.14 La spiaggia di San Leone compresa tra le foci del fiume Akragas (NW) e la foce del fiume Naro (SE). In figura sono mostrati gli 81 transetti utilizzati per l'analisi diacronica della linea di riva.

A circa 4 m dalla base del palo trovava alloggio un pannello di controllo e due pannelli solari (85 W) che davano autonomia all'impianto. Invece, in testa al palo sono state montate (dentro due custodie impermeabili) due fotocamere, orientate in modo da inquadrare due tratti di spiaggia contigui. Le fotocamere così orientate acquisivano immagini sovrapponibili sul loro margine laterale, fornendo un'ampia inquadratura del tratto di spiaggia monitorato (Figura 11.16).

Figura 11.15 a) Particolare del sistema di video monitoraggio della spiaggia di San Leone. b) immagine ripresa dal sistema il 16 febbraio 2015 alle ore 16.28. Il tratto di spiaggia è quello prospicente l'ex lido "Oceano Mare". La linea rossa è stata identificata con l'indicatore asciutto/bagnato.

Le immagini venivano riprese da due fotocamere *reflex*, con una risoluzione di 18 mega-*pixel* e zoom ottico 28-88 mm. Le due fotocamere erano collegate ad un modulo di gestione dotato di scheda di controllo e disco rigido di 500 Gb. Tale modulo era gestibile da un opportuno software, che permetteva di definire la tipologia di ripresa delle immagini, i parametri di campionamento, la raccolta delle immagini e dei dati analogici, per tutto il periodo di acquisizione.

L'impianto è stato anche dotato di un sistema di connessione al fine di: 1) trasferire le immagini su di un server; 2) gestire l'impianto in remoto e 3) visualizzare in qualsiasi momento le riprese acquisite tramite una pagina web dedicata.

Ogni giorno, a intervalli di due ore, il sistema riprendeva, elaborava ed acquisiva sei immagini istantanee e sei immagini mediate. Queste ultime erano ottenute attraverso l'elaborazione di una successione di 20 fotogrammi ripresi con una frequenza di 0.5 s.

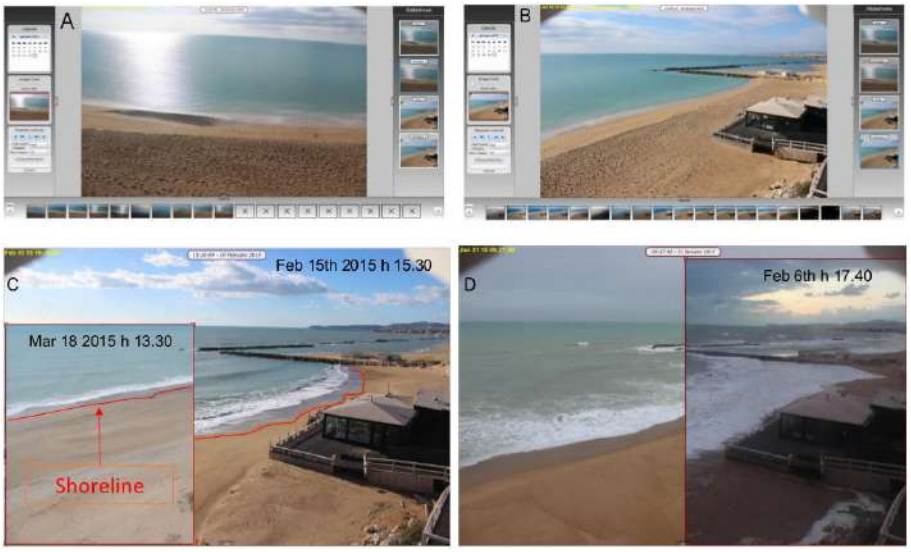


Figura 11.16 A-B) Finestre del software di gestione e controllo delle immagini riprese dal sistema di video monitoraggio. Le immagini mostrano delle riprese "mediate". C-D) Riprese "istantanee" rispettivamente, con piccola altezza d'onda significativa e durante una mareggiata.

Figura 11.17 Differenti linee di riva digitalizzate in condizioni di mareggiata. L'immagine sulla quale sono mostrate le linee di riva è stata ripresa il 15 febbraio 2015 ed è stata assunta come rappresentativa di "condizioni di mare calmo".

Le immagini acquisite sono state oggetto di elaborazioni che hanno avuto l'obiettivo di estrarre la posizione della linea di riva in modo del tutto automatico, rendendo più immediato all'operatore il compito di identificazione (Figura Figura 11.17). A tale riguardo, le immagini mediate sono state classificate in base alla diversa riflettanza della

sabbia alla luce solare, così da ottenere un'immagine nella quale risulta evidente il limite tra sabbia asciutta e sabbia bagnata (limite *wet/dry*) e quindi la linea di riva (Figura 11.18).

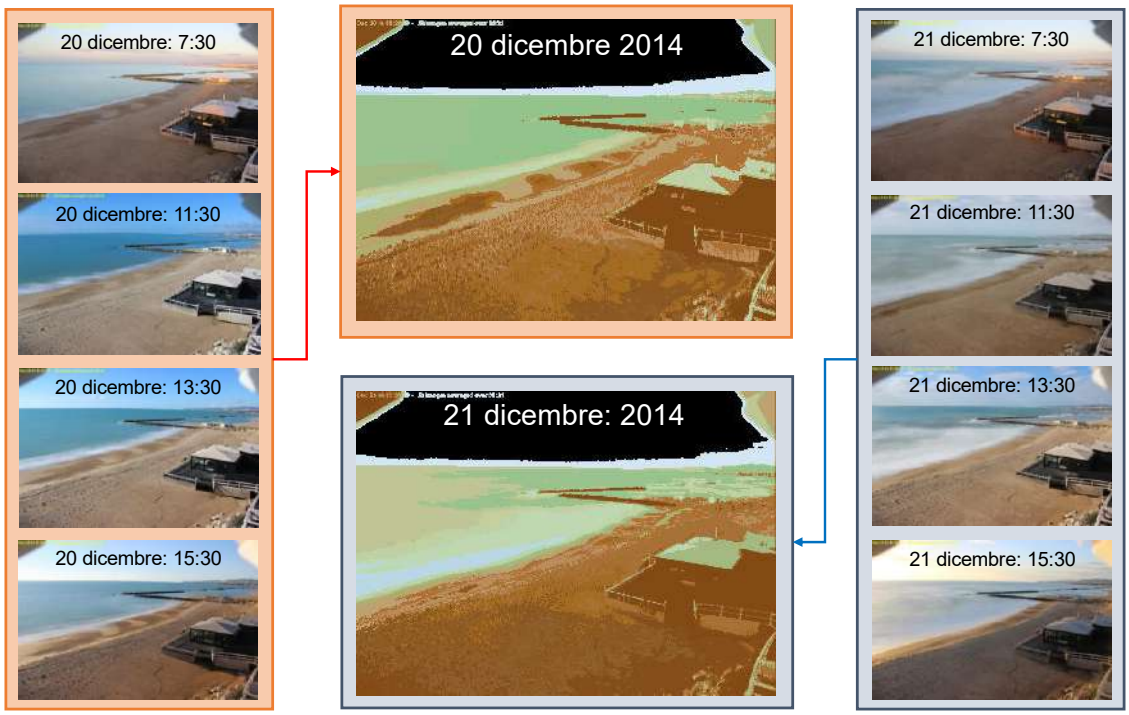


Figura 11.18 Classificazione delle immagini basata sulla riflettanza della sabbia.

11.4 Monitoraggio di opere costiere e pareti rocciose

11.4.1 Indagini e prove per la caratterizzazione delle coste alte

Lo studio del comportamento di una costa rocciosa in relazione all'azione delle onde del mare risulta complesso, dal momento che sono numerose le variabili in gioco.

Alcune incertezze derivano dalla stima dell'energia posseduta dalle onde prima dell'impatto contro l'ammasso roccioso, ed altre dalla stima della resistenza strutturale dell'ammasso stesso. In questo contesto l'analisi delle coste alte rocciose è prevalentemente orientata a comprendere il fenomeno dell'erosione e dell'arretramento costiero,

così da predirne l'evoluzione e pianificare gli interventi che possano ridurre il danno.

La morfologia costiera è correlata all'interazione di processi marini e gravitativi che agiscono sulle litologie affioranti ma è difficile definire con certezza in quale misura percentuale i fattori scatenanti influiscano nel sistema.

I crolli che si verificano lungo le coste alte sono episodici, discontinui nel tempo e nello spazio, e si verificano soprattutto negli ammassi rocciosi molto fratturati in concomitanza di forti mareggiate. In questo caso, la dinamica dei versanti costieri comprende fenomeni di intensa erosione con movimenti in massa legati a frane, crolli, flussi di detrito e vari processi di dissesto. Gli eventi erosionali sono prevalentemente generati dall'azione meccanica delle acque dilavanti (nel corso di precipitazioni intense) e dall'interazione del moto ondoso con la falesia. Questi processi sono anche influenzati dalla degradazione fisico-meccanica delle rocce, dai depositi di crollo alla base della falesia sui versanti e dalle coltri eluvio-colluviali.

I movimenti in massa sono dovuti allo spostamento differenziale di masse rocciose o di materiali sciolti sotto l'azione della gravità e del moto ondoso. Per la loro forte incidenza morfologica, i movimenti franosi si possono ritenere gli agenti principali di modellazione dei versanti costieri.

Come già anticipato, le metodologie di studio dei processi di instabilità applicate all'ambito costiero spesso non affrontano in maniera compiuta la interazione esistente tra l'ambiente marino e quello terrestre. La componente del moto ondoso rappresenta una azione preponderante e non trascurabile che richiede indagini mirate e specifiche analisi.

Anche in questo ambiente i fenomeni di instabilità vengono studiati finalizzando le analisi ai processi legati alla meccanica delle rocce e solo in pochi casi considerano l'interazione della costa con il moto ondoso e soprattutto le dinamiche dell'ambiente sommerso.

Affinché ciò sia possibile, lo studio dei processi di erosione delle coste alte deve essere basato su indagini integrate multidisciplinari, che considerino gli ambienti emerso e sommerso in un unico sistema di dinamiche evolutive e le indagini devono essere supportate da sistemi di acquisizione, elaborazione ed interpretazione dei dati in funzione delle condizioni fisiografiche locali.

E' necessario che le fasi dello studio prevedano indagini finalizzate all'individuazione dell'assetto litologico, stratigrafico, strutturale, geomeccanico, geomorfologico ed idrogeologico, analisi meteo-climatiche, *remote sensing*, prove di caratterizzazione geotecnica, analisi fluidodinamiche, elaborazione dei dati sull'energia del moto ondoso, restituzione cartografica e costituzione di un database anche in ambiente GIS. I principali aspetti da valutare devono comprendere differenti caratteristiche e le relative interazioni (Tabella 11.III).

Tabella 11.III Principali caratteristiche da considerare per definire l'area oggetto di studio.

Caratteristiche	**Tipologia**
Litologiche	*Litotipo, stratificazione, giacitura, ecc.*
Strutturali	*Faglie, pieghe, foliazione, clivaggio, ecc.*
Geomeccaniche	*Fratturazione, resistenza a compressione, angolo di attrito, coesione, alterazione, ecc.*
Geomorfologiche	*Processi e morfologie di erosione, alterazione e dissoluzione, processi di crollo, ecc.*
Morfologiche	*Inclinazione del versante, altezza delle falesie, esposizione e orientazione del versante, ecc.*
Idrogeologiche	*Bacino, presenza di falda, permeabilità, ecc.*
Idrodinamiche	*Tasso d'erosione, interazioni del moto ondoso, ecc.*
Idrologiche e climatiche	*Precipitazioni, soglie pluviometriche, esposizione ai venti dominanti, mareggiate, ecc.*
Instabilità generale	*Presenza di processi attivi e quiescenti, elementi instabili (blocchi).*
Altre caratteristiche	*Presenza di copertura vegetale, presenza di opere di contenimento, ecc.*

Negli ultimi anni, grazie anche alle tecniche di telerilevamento, si sono sviluppate metodologie di indagine che analizzano nel dettaglio le frane sulle coste alte rocciose.

Alcuni studi effettuati di recente valutano l'interazione del moto ondoso con la suscettività di frana, il tasso di erosione e la resistenza dell'ammasso roccioso. L'aspetto morfologico che meglio rappresenta la variazione nel tempo di una falesia è la base del pendio, la prima significativa rottura di pendenza oppure la cresta.

I metodi classici di campagna utilizzano la misura, ripetuta nel tempo, della distanza della cresta della falesia da predeterminati punti fissi come ad esempio strade, case o alberi. L'impiego della cartografia storica è comune ma l'errore può essere molto elevato. L'uso di foto aeree fornisce buoni risultati sebbene esse abbiano distorsioni intrinseche ed esterne al sistema fotografico adoperato (posizione della fotocamera rispetto al terreno). Mediante la orto-rettificazione delle immagini è possibile rimuovere le distorsioni, sebbene con procedimenti costosi e lunghi.

Negli ultimi decenni, migliori risultati sono stati ottenuti mediante la fotogrammetria digitale ed il LIDAR (Light Detection and Ranging) integrati con l'uso di tecniche GIS. Vari Autori hanno utilizzato profili ricavati da dati LIDAR per correlarli all'arretramento delle falesie con il vantaggio di ottenere un grande numero di misure ed informazioni su estesi tratti di costa.

Sia la fotogrammetria digitale che il LIDAR forniscono modelli 3D della costa che possono essere inseriti in ambiente GIS per condurre analisi spaziali e temporali.

L'acquisizione del dato rappresenta un aspetto fondamentale dello studio del processo erosivo e dell'evoluzione della morfologia delle coste alte e può essere ottenuto sia da indagini di tipo diretto (rilevamento geologico-strutturale e geomeccanico, ecc.) che indirette (fotogrammetria da UAV, laser scanner, interferometria differenziale SAR, ecc.).

Molteplici elementi devono essere rilevati quando si studiano le coste alte rocciose con differente approfondimento a seconda della scala prescelta. Le indagini ad ampia scala dovranno comprendere ulteriormente l'inquadramento dell'area oggetto di studio, includendo la cartografia topografica e tutte le informazioni relative agli eventuali vincoli (dove presenti), le prescrizioni di natura urbanistica e ambientale, le disposizioni in materia di Protezione Civile.

Si analizzano nel seguito i rilevamenti e le analisi che devono essere condotte nelle diverse componenti l'ambiente di riferimento.

Caratteristiche morfologiche

La base per la mappatura delle caratteristiche geologiche è costituita dalla cartografia topografica che permette di analizzare le forme del territorio nelle sue caratteristiche morfologiche.

Le superfici verticali, inclinate o molto inclinate non sono visibili dalle carte restituite da dati zenitali e pertanto devono essere rilevate con sistemi di misura posizionati in modo specifico. Inoltre, queste aree spesso non sono completamente accessibili con rilievi diretti e necessitano quindi di sistemi di rilevamento remoti.

Le attuali tecnologie di rilevamento, e soprattutto l'incremento nelle prestazioni dei sistemi di elaborazione di immagini, rendono oggi disponibili dati che permettono la ricostruzione tridimensionale degli oggetti con un dettaglio molto elevato. Il rilevamento potrà allora essere effettuato attraverso l'ausilio di droni o dove possibile anche utilizzando una postazione fissa e da barca.

Di seguito vengono descritte le metodologie di indagine da telerilevamento più idonee per la ricostruzione delle pareti delle falesie e che, come detto, supportano ed integrano le attività di rilevamento diretto e di ricostruzione delle caratteristiche geologiche necessarie per comprendere i processi di evoluzione dei versanti.

Il *telerilevamento* è definibile come quell'insieme di tecniche e strumenti che permettono di estendere e migliorare le capacità percettive dell'occhio umano, fornendo all'osservatore informazioni

qualitative e quantitative su oggetti posti a distanza e nell'ambiente che lo circonda.

Gli strumenti utilizzati per l'acquisizione (Figura 11.19) possono fornire misure singole di radianza, come radiometri o spettro-radiometri, o insiemi di misure di radianza (immagini digitali), come macchine fotografiche, termocamere o dispositivi a scansione. I dati acquisiti vengono restituiti sotto forma di immagini. La risoluzione spaziale del sensore permette di ottenere immagini con un diverso dettaglio in funzione del sistema di telerilevamento.

Possono essere utilizzati sensori capaci di rilevare le lunghezze d'onda caratteristiche per lo specifico riconoscimento degli oggetti. In particolare, in quest'ambito i dati spettrali che consentono di caratterizzare dal punto di vista morfologico e geologico le pareti rocciose sono quelli del visibile in modalità passiva (fotogrammetria) e quelli che permettono con sensori attivi di utilizzare la risposta delle superfici come caratteristica per misurarne la dimensione e la posizione.

(a) *(b)* *(c)*

Figura 11.19 Strumenti per telerilevamento: a) termocamera, b) fotocamera su drone; c) laser scanner.

La *fotogrammetria digitale* permette la restituzione di immagini orto-rettificate. La tecnica è utilizzata ampiamente per il rilevamento topografico, sviluppandosi principalmente nella forma della

fotogrammetria aerea. Numerose esperienze sono state testate per il rilievo di fronti rocciosi sia utilizzando sensori montati su postazioni fisse sia da drone.

La potenza di calcolo e l'utilizzo di software dedicato, permettono di utilizzare una grande mole di informazioni, ovvero di fotogrammi ripresi da diversi punti di vista, che garantiscono la copertura completa del versante in rilevamento.

La tecnica *Laser Scanner* può offrire un dettaglio molto accurato, una buona velocità di esecuzione ed, a volte, una minore potenza di calcolo rispetto alla restituzione fotogrammetrica.

I sensori laser scanner consentono la restituzione di modelli tridimensionali delle superfici, permettendo di riconoscere la risposta dell'eventuale copertura vegetale e di poterla pertanto separare dai valori di elevazione del terreno. Questa caratteristica si esprime con la creazione dei DSM (Modelli Digitali della Superficie) e con i DTM (Modelli Digitali del Terreno).

L'accuratezza ed il valore di risoluzione del pixel, come per tutti i sensori, dipendono dalle caratteristiche tecniche dello strumento e dalle condizioni di acquisizione. I prodotti sono estremamente precisi e caratterizzati da un'elevata ricchezza e completezza descrittiva, tali da costituire uno strumento molto utilizzato nel campo dei rilievi geologici e del monitoraggio dei corpi di frana.

La *termografia ad infrarosso* è usata per studiare il comportamento termico degli ammassi rocciosi, con l'obiettivo di individuare ed analizzare eventuali relazioni di causa/effetto tra anomalie termiche superficiali e fenomeni legati a specifiche variazioni di inerzia termica per condizioni di variabilità mineralogica o di contenuto d'acqua.

In particolare, la termografia, in abbinamento con altre tecniche di telerilevamento (Interferometria SAR Terrestre, Laser Scanner Terrestre e Fotogrammetria), è in grado di fornire informazioni utili per la mappatura delle zone maggiormente predisposte a fenomeni di crollo e, di conseguenza, per la zonazione delle priorità di intervento

per la mitigazione del rischio. I risultati principali di tali tecniche sono rappresentati dalla modellizzazione 3D della parete rocciosa e dai Modelli Digitali del Terreno (DTM).

Caratteristiche Geologico-Strutturali

Le caratteristiche geologiche-strutturali influenzano direttamente ed indirettamente le condizioni di stabilità di un versante costiero e la sua evoluzione nel tempo.

Le caratteristiche composizionali e genetiche delle rocce costituiscono un aspetto fondamentale nello sviluppo dei processi di dissesto di una determinata area, in quanto gran parte del loro comportamento meccanico (nello specifico la resistenza all'erosione, la possibile perdita di coesione, la minore o maggiore resistenza a fenomeni di alterazione, ecc.) varia a seconda dei litotipi (Figura 11.20).

L'altra componente geologica che contribuisce a definire il comportamento meccanico di un versante in roccia è data dalla presenza di discontinuità (superfici di stratificazione, fratture, scistosità, ecc.) e dalle loro caratteristiche. Il rilevamento di dettaglio è quindi necessario per una completa definizione delle caratteristiche geologico-strutturali dell'area in studio.

Il riconoscimento dell'assetto stratigrafico-strutturale permette di distinguere all'interno del medesimo ammasso roccioso quali sono le aree caratterizzate da maggiore instabilità.

Il rilevamento può essere eseguito con le tecniche classiche di lavoro sul terreno ma, data anche la scarsa accessibilità delle falesie in ambito costiero, va sicuramente integrato con forme alternative di rilevamento da remoto, come quelle descritte in precedenza.

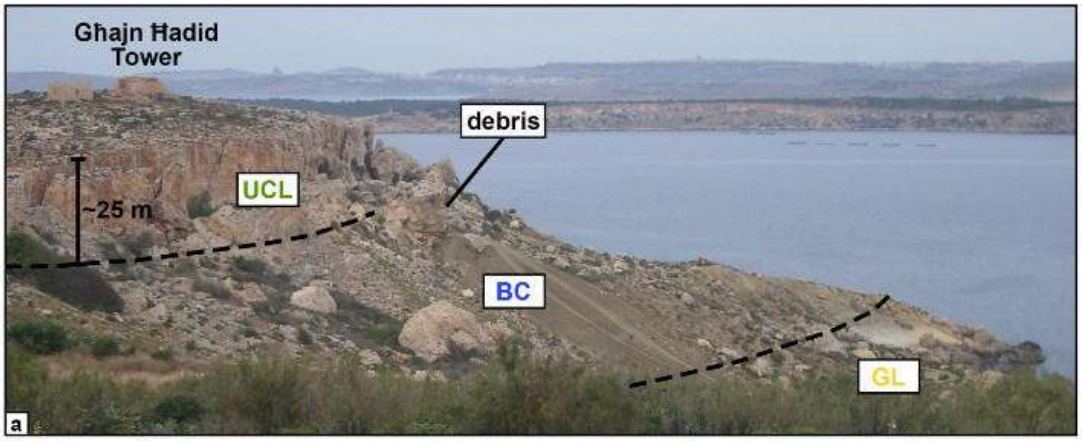


Figura 11.20 Individuazione dei litotipi (Iannucci et al., 2018).

Ovviamente rimane fondamentale l'interpretazione geologica dei dati che possono essere acquisiti con sistemi anche semi-automatici di rilievo fotogrammetrico. Negli elaborati cartografici è importante fare una distinzione dei diversi litotipi all'interno delle formazioni affioranti, nonché la distinzione degli elementi strutturali quali la stratificazione, la presenza di faglie, fratture e scistosità in quanto utili per fissare il modello geologico per le analisi di dettaglio.

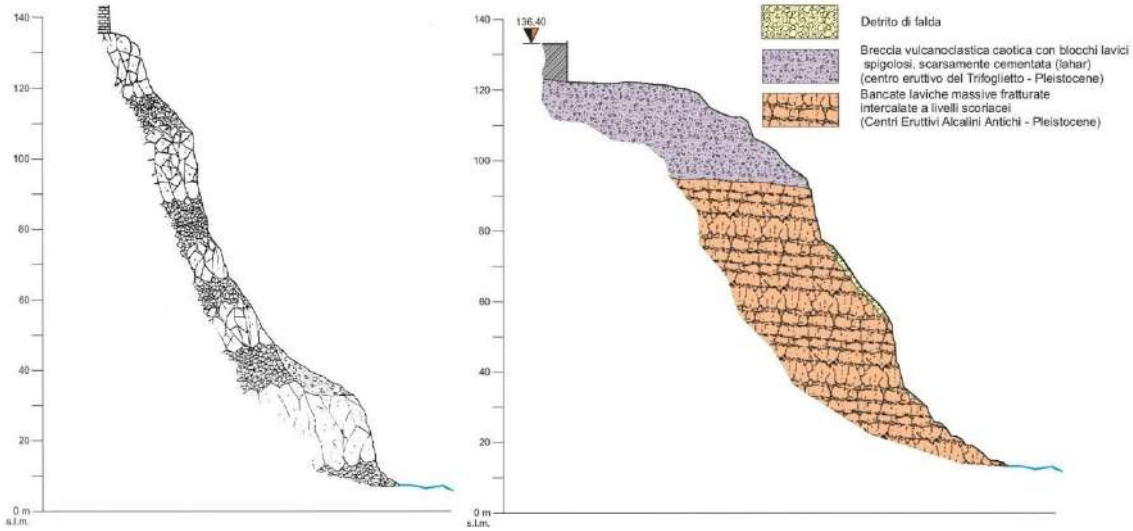


Figura 11.21 Esempi di rappresentazione caratteristiche litologiche e strutturali di un'area in studio.

Per definire le caratteristiche geologiche dell'area di studio, dovrà anche essere disponibile una carta geologica che contenga tutte le informazioni utili all'inquadramento dell'area all'interno del contesto

geologico di riferimento e la stessa dovrà essere completata da un numero di sezioni sufficiente a rappresentare la distribuzione spaziale delle unità geologiche.

Altrettanto rappresentativa è la carta degli elementi geomorfologici dei fenomeni in atto o pregressi, nonché le eventuali variazioni della morfologia/idrografia riconducibili ad azioni antropiche.

Caratteristiche Idrogeologiche

Le caratteristiche idrogeologiche condizionano sia direttamente che indirettamente la stabilità di un'area. L'interazione dell'acquifero con il substrato può influenzare l'alterazione delle rocce e dei versanti, pregiudicandone la stabilità e le caratteristiche geotecniche.

Le caratteristiche idrogeologiche principali sono la permeabilità, l'infiltrazione, la geometria dell'acquifero, la direzione del flusso, il coefficiente di permeabilità.

La permeabilità è sicuramente una delle caratteristiche più importanti da quantificare, perché identifica il comportamento idrodinamico di un complesso idrogeologico. Si possono distinguere due tipi principali di permeabilità: una permeabilità per porosità primaria ed una permeabilità per fratturazione.

La porosità primaria è in gran parte determinata dalla composizione mineralogica della roccia; la porosità secondaria è data dai fattori legati alla storia geologica (fessurazione, fratturazione, stratificazione, scistosità, alterazione).

La permeabilità primaria può essere valutata in situ attraverso una serie di osservazioni dirette considerando ad esempio i rapporti stratigrafici, la stratificazione, la presenza di percolazioni d'acqua o di eventuali sorgenti correlabili con variazioni granulometriche. Queste ultime possono essere determinate attraverso analisi granulometriche di laboratorio.

Negli ammassi rocciosi le modalità di infiltrazione e circolazione idrica sono strettamente legate alla presenza di fratture, giunti, microfessure e diaclasi. In linea generale gran parte degli affioramenti

presentano un certo grado di fratturazione; essi possono essere considerati come un insieme di blocchi di roccia intatti e delimitati.

Per la valutazione delle modalità di infiltrazione e circolazione idrica è necessario elaborare un modello che identifichi la geometria del serbatoio e delle discontinuità in funzione della topografia.

La posizione spaziale delle discontinuità in funzione della morfologia e dell'acclività dei versanti, condiziona notevolmente l'infiltrazione ed il flusso delle acque sotterranee.

Attraverso l'utilizzo di una griglia a maglie quadrate è possibile sovrapporre il campo della fratturazione e riportarlo su un supporto topografico adeguato (DTM).

L'incrocio della morfologia ottenuta dal DTM con il campo delle fratture permette di discriminare la fratturazione secondo le sue funzioni idrogeologiche principali, ottenendo l'andamento delle direzioni potenziali del flusso sotterraneo.

Il complesso dei dati acquisiti riguardanti le caratteristiche geologiche, geomeccaniche, geomorfologiche, idrologiche, sarà eseguito per l'area di studio anche sulla base delle carte tematiche disponibili quali carta geomorfologica, carta idrogeologica e carta relativa alla idrografia.

La carta degli elementi geomorfologici contiene i fenomeni in atto o pregressi, nonché le eventuali variazioni della morfologia/idrografia riconducibili ad azioni antropiche.

Gli studi relativi agli aspetti idrologici ed idraulici, accompagnati da eventuali carte tematiche (carta idrogeologica e carta relativa alla idrografia) dell'area di interesse, contengono le informazioni necessarie alla individuazione dei fattori di natura idrogeologica che possono esercitare un ruolo sulle condizioni di stabilità e la ricostruzione dello schema di circolazione idrica.

Caratteristiche Geomeccaniche

Le caratteristiche geomeccaniche influenzano notevolmente la stabilità delle coste alte. Gli ammassi rocciosi risultano per la maggior

parte fratturati e pertanto largamente condizionati nel loro comportamento meccanico dalle discontinuità che isolano l'ammasso roccioso in volumi di roccia unitaria.

Per prevedere e prevenire fenomeni gravitativi è essenziale, quindi, che sia la struttura dell'ammasso roccioso che la natura delle sue discontinuità siano analizzate attentamente.

In molti casi le complessità geomorfologiche e la difficile accessibilità dei versanti in roccia rendono complicata l'acquisizione sistematica dei parametri geomeccanici (Raccomandazioni I.S.R.M.) e di conseguenza la caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

Negli ultimi anni l'avvento delle citate tecniche di telerilevamento ha aperto nuovi scenari nell'analisi geostrutturale grazie alla capacità di ricostruire modelli anche tridimensionali del versante con elevato dettaglio.

In Tabella 11.IV sono riportati gli elementi ed i parametri essenziali nella definizione delle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi.

Tra questi, le proprietà fisiche ovvero peso di volume, porosità, coefficiente di imbibizione, grado di compattezza, sono importanti per la classificazione degli ammassi, mentre per la valutazione delle caratteristiche meccaniche assumono particolare interesse la resistenza a compressione uniassiale, la resistenza alla trazione, i moduli di elasticità, la resistenza all'abrasione, nonché la loro variazione nel tempo causata dai processi di *weathering*, che in aree costiere sono particolarmente accelerate dallo spray salino.

Le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso variano in funzione del grado di alterazione delle rocce. Le microfratture, i pori ed i vuoti sono i fattori dominanti che controllano la resistenza delle rocce.

Ad esempio, la resistenza a compressione, la velocità delle onde di compressione ed il peso di volume diminuiscono con il grado di alterazione, mentre la porosità e l'assorbimento d'acqua aumentano.

Caratteristiche Geotecniche

Le coste alte rocciose sono costituite oltre che da falesie anche da versanti scoscesi che spesso giungono fino al mare, ricoperti da numerose tipologie di depositi recenti (depositi di versante, coltri eluvio-colluviali, depositi di frana, depositi antropici). Questi depositi, essendo in gran parte sciolti, possiedono caratteristiche geotecniche più simili alle terre che non agli ammassi rocciosi e di conseguenza meritano una trattazione separata rispetto all'ammasso roccioso.

I depositi di versante e le coltri eluvio-colluviali spesso sono interessati da movimenti di massa causati dallo spostamento differenziale di materiali sciolti sotto l'azione della gravità.

Tabella 11.IV Metodi e strumenti per il rilevamento geomeccanico di un ammasso roccioso

Oggetto	Metodi	Strumenti
Natura delle discontinuità: *stratificazione, faglie, fratture, diaclasi, foliazione, clivaggio, giunti da raffreddamento*	Rilevamento geomeccanico diretto e indiretto (Fotogrammetria, Laser Scanner, Foto-analisi, Termografia ad infrarosso)	Misure dirette (sclerometro) e indirette tramite *remote sensing* (UAV, laser scanner, stereovisori, fotocamere digitali e termocamere), Software modellazione 3D, ecc.
Geometria delle discontinuità: *direzione, immersione, inclinazione*		
Caratteristiche delle discontinuità: *spaziatura, JRC, persistenza, apertura, ampiezza, riempimento, alterazione, condizioni idrauliche, resistenza a compressione delle pareti, alterazione*		
Proprietà fisiche: *peso di volume, porosità, coefficiente di imbibizione, grado di compattezza*	Analisi di Laboratorio	Bilancia idrostatica, porosimetro, ecc.
Proprietà meccaniche: *resistenza a compressione monoassiale, resistenza alla trazione, resistenza alla flessione, moduli di elasticità*		Point Load Test, compressione monoassiale, prove di taglio diretto e triassiale, slake durability, tilt test, ecc.

Attraverso le prove in situ e di laboratorio è possibile valutare i parametri fondamentali che definiscono le caratteristiche geotecniche dei depositi di terreno naturale, in particolare granulometria, limiti di Atterberg, il peso di volume, il contenuto d'acqua, l'angolo di attrito, resistenza al taglio, la coesione, ecc.

In particolare, le proprietà meccaniche (coesione ed angolo di resistenza al taglio) potranno essere determinate attraverso prove di taglio dirette o attraverso prove triassiali.

Nel caso di fenomeni in atto è opportuno esplicitare chiaramente la eventuale esistenza di danni riconducibili alle azioni esercitate da tali

fenomeni franosi, anche mediante informazioni acquisite nel corso di rilievi in posto con l'ausilio di schede appositamente predisposte.

Con riferimento alle coste rocciose alte, ciò è possibile, come riportato in precedenza, attraverso il ricorso a rilievi topografici della parete (con laser-scanner o fotogrammetria) associati a rilievi fotografici ad alta definizione per l'individuazione della posizione e dei volumi dei blocchi potenzialmente instabili.

A tal fine risultano necessarie le indagini in situ, che devono essere programmate in funzione degli eventuali meccanismi di instabilità in atto e comprendono il citato rilievo geo-strutturale dell'ammasso e la caratterizzazione meccanica dello stesso.

Le indagini devono essere finalizzate ad identificare le giaciture delle discontinuità (Figura 11.22) che delimitano i blocchi (sia con rilievi remoti che con rilievi tradizionali) e le dimensioni degli stessi. Particolare cura dovrà essere posta nella descrizione dei parametri fisico-meccanici del materiale/ammasso roccioso e delle discontinuità.

Da un punto di vista generale, la fase di indagine deve essere finalizzata all'approfondimento delle conoscenze geologiche, mediante l'esecuzione del rilievo geo-strutturale, rilevando ciascuna famiglia di giunti, le caratteristiche delle discontinuità, le spaziature, in modo da valutare i parametri meccanici che caratterizzano la qualità della roccia e pervenire in modo certo al modello di studio. Quest'ultimo, come meglio evidenziato nel successivo paragrafo 10.2, rappresenta la base di partenza per le valutazioni sulla stabilità delle falesie e sulla evoluzione dei processi di arretramento, essendo la vulnerabilità delle coste alte direttamente correlabile alle caratteristiche morfometriche della falesia ed alle proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso.

Il complesso del modello di indagine è sintetizzato nella Tabella 11.V nella quale sono riportati la tipologia di indagine in funzione delle caratteristiche e dei parametri da rilevare ed i relativi prodotti attesi.

Tabella 11.V Sintesi delle indagini e prodotti attesi.

Caratteristiche	**Tipologia di Indagine**	**Prodotto Atteso**
Dati Esistenti	*Analisi ed integrazione dei dati esistenti*	Geodatabase e modelli cartografici
Morfologiche	*Remote Sensing, Rilievi Batimetrici*	DTM parte emersa e morfologia parte sommersa
Analisi multitemporale	*Analisi delle foto aeree*	Modello della variazione della linea di costa
Geologico-Strutturali	*Rilievi di campo, Remote Sensing, Foto-analisi*	Modello Geologico Strutturale
Geomorfologiche	*Rilievi di campo, Remote Sensing, Foto-analisi, Rilievi in immersione*	Modello Geomorfologico
Geomeccaniche	*Rilievi sul campo, Remote Sensing, Foto-analisi, Analisi in situ e di laboratorio*	Modello Geomeccanico
Geotecniche	*Analisi in situ e di laboratorio*	Modello Geotecnico
Idrogeologiche	*Rilievi di campo, Remote Sensing*	Modello Idrogeologico
Climatiche	*Analisi pluviometriche delle serie storiche*	Soglie Pluviometriche
Moto Ondoso	*Misure dirette e indirette*	Caratterizzazione energetica del moto ondoso

Questo modello è applicabile alla scala del sito o al tratto di costa scelto (ovvero all'unità fisiografica), fino alla scala locale (puntuale) del versante instabile.

Dalle evidenze di questo studio è ulteriormente possibile dedurre quali aspetti e/o indicatori possono risultare rilevanti per una zonazione della suscettività al rischio di frana alla scala regionale.

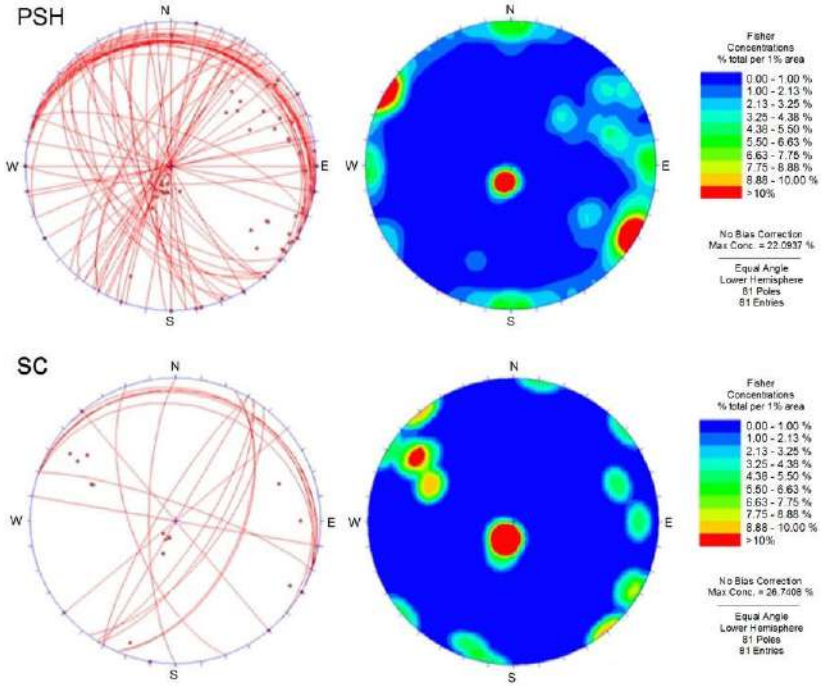


Figura 11.22 Esempio proiezione stereografica e distribuzione delle giaciture.

11.4.2 Linee guida per il monitoraggio delle coste alte

Il procedimento metodologico che conduce alla valutazione della "pericolosità" richiede una serie di attività finalizzate all'individuazione ed alla oggettivazione delle conseguenze connesse ai fenomeni oggetto di studio, che concorrono alla stima del rischio nella sua globalità. Queste attività, in dipendenza dei fattori in gioco, possono essere svolte a livelli diversi, su basi qualitative e/o quantitative.

Con l'ausilio delle moderne "smart technologies", che consentono l'acquisizione, la gestione e la condivisione di informazioni complesse, osservazioni dirette mediante tecnologie di "sensing" da remoto e sul campo e l'implementazione di reti di monitoraggio, è possibile una maggiore conoscenza dei contesti territoriali, nonché valutazioni più affidabili sulla reale esistenza e consistenza dei livelli di pericolosità.

Da un punto di vista generale l'approccio al problema pone innanzitutto la necessità di definire la "scala di riferimento", ovvero se la valutazione della pericolosità e del conseguente grado di rischio

debba essere riferita al singolo tratto di costa, oppure se occorra analizzare le conseguenze indotte da condizioni che si possono sviluppare ad una dimensione maggiore.

La definizione areale è comunque legata alla necessità di estendere le osservazioni ad un ambito che permetta di capire i processi di erosione dell'intera unità fisiografica. Come già precisato, si può pertanto definire una scala "locale" riferita al singolo fenomeno di instabilità, ed una comprendente un dominio più vasto a cui applicare gli esiti degli studi dei contesti locali per identificare le aree a diversa suscettività.

Alla scala locale vengono individuate le specifiche caratteristiche morfometriche della falesia e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, mentre alla macro scala è necessario individuare nelle unità di studio i fattori e le interazioni tra questi che concorrono ad influenzare il sistema di riferimento nella sua globalità.

Sia nell'uno quanto nell'altro caso, il processo metodologico deve partire dalla rappresentazione dello stato di fatto, ricostruendo le successive modificazioni subite nel tempo, come desunte dalla successione degli eventi accaduti.

La conduzione delle varie fasi può essere accompagnata dai risultati delle misure provenienti da sistemi di monitoraggio, che oltre a fornire in tempo quasi reale le condizioni del sistema naturale o delle opere che vi insistono, permettono l'acquisizione di informazioni utili ad alimentare i modelli di previsione.

Tradizionalmente l'acquisizione e l'aggiornamento di queste condizioni è stato condotto tramite l'ispezione visiva. Nell'ultimo decennio hanno invece assunto una sempre maggiore importanza i sistemi di monitoraggio basati sulla installazione di sensori di vario genere (accelerometri, estensimetri, inclinometri, fibre ottiche, ecc.), utilizzati per il monitoraggio delle grandezze fisiche di prevalente interesse disposti in specifiche collocazioni.

I dati acquisiti vengono elaborati, in locale o in remoto, in forma automatica oppure manuale, per ottenere informazioni sempre più strettamente collegate ed aggiornate. Il monitoraggio con controllo remoto, in particolare, se adeguatamente implementato, ha evidenti vantaggi di accuratezza ed immediatezza nella valutazione del livello di rischio.

L'obiettivo di un sistema di monitoraggio è sia quello di registrare grandezze significative durante particolari condizioni ambientali, che di identificare eventuali danni improvvisi o progressivi. Esso si compone quindi di strumenti diversi in grado di rilevare grandezze ambientali, ma contemporaneamente la risposta ed il comportamento delle strutture che interagiscono con l'ambiente fisico.

Una tipica architettura dei sistemi di monitoraggio prevede la collocazione di una serie di sensori periferici direttamente connessi ad un sistema di acquisizione dati centralizzato.

Il ruolo di questo sistema è di immagazzinare ed elaborare le informazioni. All'aumentare del numero di sensori, una mole sempre maggiore di misure converge al sistema di acquisizione, richiedendo dal punto di vista computazionale algoritmi sempre più sofisticati ed onerosi per la gestione dei flussi di dati. Quest'ultimi possono essere elaborati per valutazioni di breve e lungo termine e/o per elaborazioni di supporto alle decisioni (Figura 11.23).

I sistemi di monitoraggio possono anche essere usati per creare un database di misure, ed i dati acquisiti possono essere analizzati per valutare la capacità del contesto territoriale monitorato di resistere a condizioni particolari di sollecitazione.

Nel caso dei sistemi finalizzati all'individuazione del danno, le tecniche maggiormente utilizzate mirano a seguire i cambiamenti nella risposta delle opere esistenti, direttamente o indirettamente legati alle caratteristiche geometriche e strutturali prima e dopo l'eventuale danno (come ad esempio le frequenze naturali). Altre sono basate sul

post-processing delle informazioni per individuare anomalie direttamente dalle misure registrate.

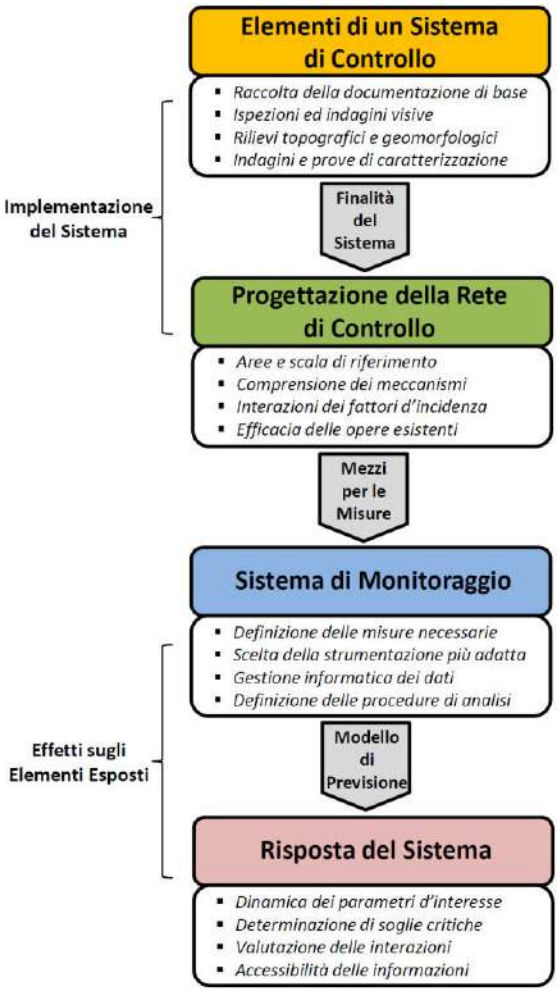


Figura 11.23 Architettura di un sistema di monitoraggio.

In tutte le soluzioni si tende sempre più ad usare metodi capaci di automatizzare il processo di identificazione sfruttando i progressi nelle tecnologie dell'informazione, mentre l'uso di vettori ridondanti per la trasmissione dei dati (analogica, digitale, mezzi elettrici, ottici, satellitare) assicura l'efficacia del sistema anche nel caso di eventi eccezionali.

L'obiettivo di questa sezione non è la rassegna delle strumentazioni disponibili (oggi si possono acquisire con estrema facilità informazioni tecniche e prestazionali dei sistemi in commercio), quanto piuttosto definire un percorso logico d'approccio alla realizzazione di un sistema

di monitoraggio, avendo presente che esso costituisce un valido strumento di controllo, che risulta tuttavia poco utile se non è correlato alle conoscenze morfologiche, geologiche e geotecniche. Al contempo tali conoscenze possono essere migliorate tramite i risultati del monitoraggio.

L'acquisizione di queste misure, inoltre, non può limitarsi al semplice rilevamento dei parametri da controllare, ma piuttosto deve essere orientata alla loro dinamica, ovvero alla identificazione dei tempi con cui evolvono o subiscono variazioni significative.

In questo campo i progressi raggiunti nella sensoristica, nella comunicazione e nell'elaborazione dei dati, hanno consentito lo sviluppo di una nuova generazione di tecnologie per il monitoraggio.

Il crescente interesse per l'impiego di sistemi di acquisizione, elaborazione ed allertamento, richiede tuttavia piattaforme software basate su tecnologia "cloud computing", capaci di garantire il soddisfacimento dei necessari standard di sicurezza e di gestione del ciclo di vita dell'informazione, beneficiando dell'affidabilità, flessibilità ed economicità di scala proprie di questa tecnologia.

L'accessibilità a queste informazioni e la loro condivisione può essere facilitata con l'implementazione di WebGIS (statici o dinamici), ovvero di sistemi informativi geografici (GIS) tradizionalmente sviluppati per utenze stand-alone, che possono essere implementati su web server consentendo l'interazione attraverso internet.

Se il monitoraggio è concentrato sulle proprietà locali dei materiali, di cui si osserva l'andamento sotto variazioni di carico, temperatura, invecchiamento, ecc., i sensori di deformazione con base di misura maggiore della dimensione caratteristica dei materiali componenti, ma abbastanza piccola da considerare costante lo stato tensionale a livello macroscopico, sono ideali per questo tipo di approccio.

Alternativamente il contesto monitorato può essere osservato da un punto di vista geometrico, ed in questo caso è possibile ricavare informazioni sullo stato deformativo.

La disponibilità di affidabili sensori di deformazione come estensimetri a resistenza, o più recentemente le fibre ottiche, ha orientato le ricerche nella direzione del monitoraggio dal punto di vista del materiale, piuttosto che da quello strutturale.

La necessità di superare alcuni aspetti cruciali dei sistemi tradizionali di monitoraggio cablati, unitamente alla crescente necessità di monitoraggio di aree geometricamente estese, ha spinto la ricerca verso ulteriori soluzioni alternative.

I sistemi a fibre ottiche offrono un interessante mezzo di sviluppo del monitoraggio strumentale, con sensori a basso costo installati permanentemente.

Oggi una alternativa ai sistemi cablati, diffusa in numerosi campi di applicazione, è la tecnologia "wireless", che unitamente all'impiego delle fibre ottiche, oltre a favorire una riduzione dei costi, consente la ridondanza dei percorsi di comunicazione, superando i problemi legati al "singolo punto di vulnerabilità".

Le tecnologie sviluppate nel campo della microelettronica hanno ulteriormente reso disponibili microsensori a basso costo (di elevata affidabilità nel tempo, innovativi in alcuni aspetti delle misure.

Si tratta essenzialmente di estensimetri e fessurimetri, inclinometri ed accelerometri triassiali, che possono essere alimentati con fonte energetica esterna o autonoma, oppure operare in modalità wireless con acquisizione diretta (estensimetri a controllo remoto come gli "strain gages") o tramite droni nei casi di difficile accessibilità (sistemi di rilievo a pilotaggio remoto).

La comunicazione wireless é solo una delle caratteristiche di quelli che si definiscono "sensori smart", che rappresentano il futuro per svariate applicazioni di monitoraggio.

Questi sensori rispondono ad una serie di necessità grazie a:

- capacità di calcolo ed "intelligenza" integrata nei sensori, che fanno si che questi siano in grado di operare in maniera che i dati possano essere salvati in locale e pre-processati, ed

eventualmente scartati parzialmente o totalmente se non di interesse,

- capacità di coordinarsi con altri sensori per l'adattamento ed il mantenimento della funzionalità del sistema in caso di malfunzionamento di uno o più nodi,
- capacità di misura. La ricerca in questo ambito è incentrata sui MEMS (Micro-Electro-Mechanical System), sistemi integrati e di ridotte dimensioni, capaci di misurare grandezze fisiche in un unico oggetto gestito dal micro-processore on-board,
- alimentazione autonoma. L'ottimizzazione del consumo energetico del sensore è uno degli aspetti più importanti e cruciali,
- basso costo, altro aspetto fondamentale che ne determina le possibilità di impiego in alternativa ai sistemi tradizionali.

I dati raccolti vengono trasferiti ad una centrale operativa, dove la loro elaborazione mediante modelli appositamente predisposti, ed il successivo confronto tra la risposta reale e quella attesa, può consentire valutazioni in tempo quasi reale delle condizioni di sicurezza.

In questo settore le innovazioni tecnologiche in ambito "smart" offrono notevoli opportunità di miglioramento nella previsione dei rischi e nella gestione delle emergenze.

L'idea alla base di queste soluzioni consiste nello introdurre degli strumenti innovativi per la raccolta, la valutazione e la gestione dei dati relativi ai fenomeni analizzati.

Soluzioni del tipo "Software as a Service" (SaaS), finalizzate a fornire servizi che agevolano la gestione delle informazioni, associati a dispositivi di valutazione e gestione delle informazioni, gestiti su piattaforme con elevatissime prestazioni in termini computazionali e di spazio allocato ("Platform as a Service" - PaaS), offrono strumenti di calcolo attendibili e di grandi potenzialità.

Infine, nel campo delle tecnologie innovative per il monitoraggio in continuo e prolungato di aree estese del territorio è possibile annoverare le tecniche satellitari, che attraverso sensori SAR (Synthetic Aperture Radar) sono in grado di misurare le deformazioni della superficie terrestre, proiettate lungo la congiungente sensore-bersaglio (Line of Sight - LOS).

Queste tecniche, denominate Advanced DInSAR Interferometry, permettono di valutare le deformazioni del terreno caratterizzate prevalentemente da componente verticale.

La tecnica interferometrica monitorizza le serie storiche degli spostamenti di "diffusori permanenti" (Permanent Scatterers - PS), ovvero bersagli radar stabili identificati sulla superficie terrestre dal satellite, in corrispondenza dei quali è possibile eseguire misure di spostamento.

I diffusori permanenti corrispondono ad oggetti presenti sul terreno che vengono identificati in virtù delle loro caratteristiche elettromagnetiche e che forniscono informazioni sul moto del punto osservato con precisione millimetrica.

Tramite le moderne tecniche interferometriche è possibile ottenere modelli digitali del terreno (DEM) di alta precisione.

L'elaborazione dei dati satellitari consente sia di rilevare la presenza di movimenti lenti a larga scala che interessano il territorio, sia di quantificare l'entità degli spostamenti di singoli punti.

L'elevata precisione delle misure e l'ottimizzazione dei tempi di calcolo e dei costi, colloca lo studio e l'analisi dei Permanent Scatterers (PS) nell'ambito del monitoraggio territoriale come un potente strumento per lo studio dei fenomeni deformativi che possono interessare la superficie terrestre.

In questo contesto ad interessare è soprattutto il rilievo dei movimenti. La misura dei cedimenti/spostamenti di punti significativi in superficie e/o in profondità, accoppiata a quella di altre grandezze fisiche, ha lo scopo di controllare l'evoluzione dei fenomeni nel tempo.

Nel caso delle coste alte sono prevalentemente i crolli e le frane caratterizzate da cinematismi rapidi a richiedere la predisposizione di sistemi di monitoraggio. Eventi con queste caratteristiche risultano difficili da contenere con opere di contrasto e spesso presuppongono, per la mitigazione del rischio, procedure di allertamento rapido (early warning) con sistemi semi-automatizzati o automatizzati.

L'implementazione di tali procedure è condizionata dalla capacità di individuare scenari realistici di evoluzione futura dei fenomeni, che a loro volta dipendono dalla qualità e completezza dei dati e dalla efficacia dei metodi di simulazione adottati (modelli di previsione).

La possibilità di operare delle scelte di tipo pianificatorio e mitigatorio richiede tuttavia la disponibilità di informazioni distribuite nello spazio e nel tempo.

Le misure devono essere il più possibile continue ed estese arealmente e la simulazione tramite modelli dei fenomeni osservati deve essere finalizzata alla definizione di scenari realistici, con riguardo non solo alle fasi di attivazione, ma anche a quelle di evoluzione. Secondo questo schema i due aspetti della misura e della modellazione devono essere integrati per mezzo di metodologie che consentano di confrontare direttamente i risultati delle simulazioni con i dati del monitoraggio.

In sostanza, quindi, i dati del monitoraggio devono essere utilizzati per effettuare un confronto con i risultati delle simulazioni su punti significativi e per tarare gli stessi modelli mediante analisi a posteriori. Dal confronto tra i risultati dei modelli così validati ed i dati misurati è possibile estrarre specifici valori di riferimento dei parametri monitorati (ovvero "soglie"), ritenuti più significativi per l'indicazione della condizioni di stabilità.

L'ostacolo posto dalle reali condizioni di operatività di questi modelli, è che essi a volte devono controllare un numero elevato di aree suscettibili al dissesto, ciascuna delle quali può anche presentare

estensione modesta, ma che nell'insieme rappresenta una porzione significativa e distribuita del territorio.

Le soluzioni adottate possono allora essere basate su due famiglie di modelli: una prima è previsionale, ed ha la specifica funzione di individuare in quali aree tra quelle monitorate il grado di suscettibilità ad un nuovo evento abbia superato la soglia di riferimento.

La seconda, invece, è di tempo quasi reale ed ha la funzione di riconoscere quando la progressione di alcune grandezze significative (vibrazioni, deformazioni, spostamenti, pressioni, ecc.), sia tale da preludere alla perdita delle condizioni di equilibrio.

L'utilizzo integrato di tecnologie digitali ed analogiche, associato al monitoraggio di grandezze significative, consente di ottenere una maggiore attendibilità del sistema riducendo il problema dei "falsi positivi".

E' questo il caso dei già citati sistemi di monitoraggio con tecnologia MEMS in grado di registrare gli spostamenti di tipo rotazionale mediante inclinometri, le vibrazioni indotte dall'innesco di una traslazione diffusa mediante accelerometri, ed infine, i movimenti di tipo traslativo con una combinazione di sensori di deformazione basati su tecnologia a fibre ottiche.

Nel caso del monitoraggio delle coste alte lo studio dei caratteri geologici, idrologici e geotecnici risulta basilare per la definizione e l'identificazione dei fattori predisponenti, soprattutto dove evidenze morfologiche indicano la possibilità dell'insorgenza di tali fenomeni.

I crolli sono dissesti tipici di pareti rocciose fratturate e giuntate, con una cinematica tipica dei gravi in caduta libera. L'energia delle onde alla base delle coste alte o falesie rappresenta senza dubbio un importante fattore scatenante.

Considerando i diversi regimi di moto, possono essere eseguiti monitoraggi basati su tipologie di sensori caratterizzati da una diversa risposta in frequenza, correlando i parametri dinamici dell'input (onde) ai parametri dinamici del sistema roccioso (falesia).

Per analizzare il comportamento dinamico, stazionario e non stazionario, della scogliera assoggettata all'energia trasmessa dalle onde del mare, possono essere effettuate misure vibrazionali (dati di microtremori e misure velocimetriche con sensori a bassa frequenza e regime di moto stazionario).

Registrazioni di rumore ambientale consentono l'analisi del comportamento dinamico della falesia sottoposta sia a regimi di moto debole (microtremori) che a regimi di moto forte (mareggiata). Le registrazioni sono in genere effettuate con l'ausilio di accelerometri e velocimetri ad alta sensibilità nell'intervallo di frequenze 1-30Hz.

I dati sono analizzati sia nel dominio del tempo che in quello delle frequenze, ricavando parametri di tipo puntuale (PGA) e parametri a caratteri integrale (Intensità di Housner, Arias).

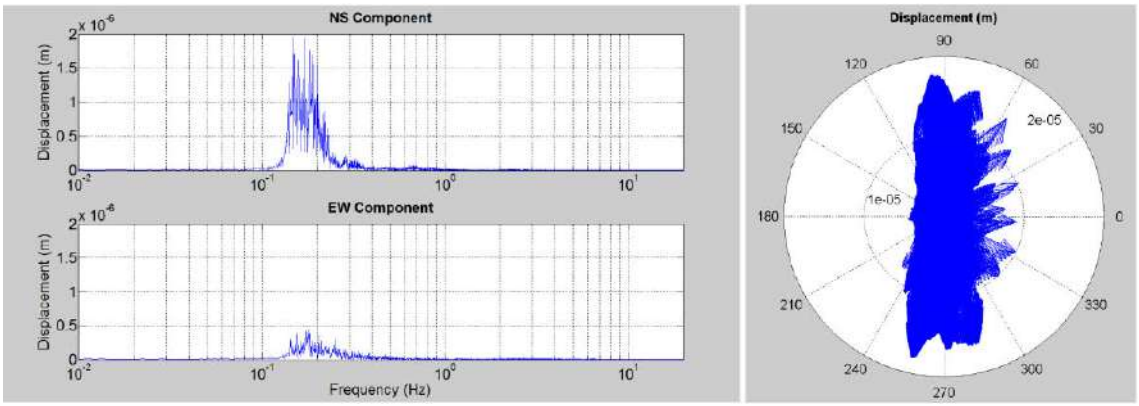
Per individuare eventuali anisotropie comportamentali inoltre tutti i parametri sono valutati ruotando le componenti nel piano orizzontale. Le risultanze sperimentali consentono di evidenziare la presenza di direzioni preferenziali di moto con spiccata anisotropia nell'intervallo di frequenze investigato.

Nello studio del comportamento dinamico di una falesia vengono, in genere, seguiti approcci differenti a seconda che si ritenga più o meno secondario l'effetto dell'energia esercitata dalle onde rispetto all'assetto litologico ed alla resistenza meccanica dell'ammasso.

Per indagare le componenti di moto in bassa frequenza possono inoltre essere effettuate misure vibrazionali mediante velocimetri tri-direzionali. L'utilizzo di tali dispositivi consente di indagare anche le caratteristiche del moto ondoso che, correlato dai dati delle boe ondametriche, permette di caratterizzare i periodi medi di oscillazione, stabilendo l'eventuale relazione tra le caratteristiche dell'input ed i parametri cinematici rappresentativi del modo di vibrare della falesia.

A titolo di esempio nella Figura 11.24 sono rappresentati sia gli spettri di Fourier in spostamento delle componenti orizzontali, che le stesse componenti di spostamento nel dominio del tempo, con

riferimento ad alcune registrazioni eseguite lungo la costa di Polignano a Mare in Puglia (Miccoli et al., 2015).



(a) (b)

Figura 11.24 a) Spettri di Fourier in spostamento, b) Diagramma spostamenti nel piano orizzontale (Miccoli et al., 2015).

L'esame di questi risultati evidenzia una forte direzionalità del moto con frequenza compatibile a quella del moto ondoso.

E' ancora in via sperimentale il monitoraggio di porzioni di falesia in arretramento attraverso sensori sismici in grado di valutare le frequenze di oscillazione di un sistema strutturale.

L'origine di queste vibrazioni è da attribuire a forzanti, che possono essere sia di origine naturale che antropica e con ampiezza molto variabile. Nella maggior parte dei casi le vibrazioni sono impercettibili e misurabili solo con strumentazione adeguata (velocimetri), in altri casi utilizzando forzanti ad hoc possono essere impiegati anche strumenti meno sensibili che consentono, qualora necessario, anche di studiare la risposta non-lineare (accelerometri).

I parametri a cui viene fatto generalmente riferimento sono le frequenze proprie del sistema, i fattori di smorzamento e le deformate modali.

È chiaro che in questo settore nessuna tecnica è in competizione con le altre e nessuna riesce a fornire da sola tutte le risposte di interesse. Piuttosto, in relazione al numero di tipologie di fenomeni, diversamente caratterizzati per estensione, accessibilità, velocità dei movimenti

superficiali e profondi, ecc., la migliore combinazione da adottare è quella che risponde al meglio all'esigenza di pervenire alla modellazione spazio-temporale dei fenomeni, a valutarne la diffusione areale e spaziale e l'eventuale interferenza con le opere esistenti.

12 Linee guida per gli interventi di difesa delle coste siciliane

Il presente capitolo fornisce una serie di indicazioni relative alle tipologie di interventi che possono essere realizzati lungo le coste siciliane per il contrasto all'erosione. Nel formulare le presenti proposte di intervento, si è tenuto conto delle misure per l'incremento della resilienza litorali suggerite dalle Linee Guida Nazionali per la Difesa della Costa dai Fenomeni di Erosione e dagli Effetti dei Cambiamenti Climatici del TNEC (MATTM-Regioni, 2018), più volte citate. Le Linee Guida Nazionali, tuttavia, sono state qui adeguate alla filosofia che ha ispirato il presente PRCEC della Regione Siciliana, traguardandole da quelle che sono le caratteristiche e problemi peculiari dei litorali siciliani.

Occorre precisare, inoltre, che in questa sede si è focalizzata l'attenzione su interventi di tipo "strutturale" che consentono di ottenere risultati nel breve e medio termine. Interventi non-strutturali, quali quelli istituzionali (e.g. zonazione, politiche assicurative, strategie di ritiro, etc.) o le misure di prevenzione e protezione (e.g. sistemi di monitoraggio e allarme) sono stati già descritti al paragrafo 8.8.3, nell'ambito delle strategie di adattamento delle zone costiere agli effetti dei cambiamenti climatici.

Seguendo l'approccio del PRCEC, appare qui opportuno sottolineare come gli interventi di difesa della costa debbano essere programmati alla scala dell'unità fisiografica di III ordine. Ciò, peraltro, è in accordo con quanto suggerito dalle Linee Guida TNEC, che indicano le unità costiere al III ordine quali unità gestionali alle quali definire gli interventi.

Inoltre, è opportuno ricordare come le Linee Guida TNEC focalizzano l'attenzione esclusivamente sulle coste basse, ed in particolare sulle spiagge. Si comprende come, considerata la varietà delle tipologie costiere presenti lungo le coste siciliane, caratterizzate da un continuo

alternarsi di coste alte e coste basse, seguire un tale approccio sarebbe certamente riduttivo. Pertanto, vengono qui affrontati sia il tema della difesa delle spiagge dall'erosione, sia il tema della protezione delle falesie e delle coste rocciose dall'attacco del moto ondoso.

12.1 Interventi di difesa delle spiagge

La dinamica evolutiva delle coste basse è essenzialmente legata alle caratteristiche del trasporto solido, sia in termini di input dall'entroterra, sia in termini di movimenti interni al sistema litoraneo stesso. Pertanto, la ricostituzione della resilienza di tali sistemi costieri è legata alla possibilità di ripristinare l'equilibrio del bilancio sedimentario. A tal fine è necessario che vengano ripristinati, ove possibile, i flussi sedimentari pre-esistenti ed eventualmente i processi che li generavano. In alternativa, appare necessario individuare fonti/riserve strategiche di sedimenti cui ricorrere per il ripascimento degli arenili.

Gli interventi di difesa vengono qui distinti in:

- interventi per la riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema litoraneo;
- interventi per l'alimentazione del sistema litoraneo, da fonti interne e da fonti esterne.

In particolare, gli interventi per la riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema litoraneo possono essere distinti in metodi per la gestione ottimale dei sedimenti già presenti sulla spiaggia e in interventi per la riduzione delle perdite dei sedimenti e per il contrasto all'arretramento della linea di riva.

La gestione ottimale dei sedimenti di spiaggia prevede una serie di operazioni che favoriscono il mantenimento degli stessi all'interno del sistema litoraneo, con particolare riferimento alla spiaggia emersa. Tra essi, si raccomanda che le operazioni di pulizia dei sedimenti di spiaggia e la gestione delle biomasse (per esempio, i tronchi traportati durante le tempeste, i depositi spiaggiati di Posidonia Oceanica, ecc…) vengano

condotte in maniera corretta. In particolare, riprendendo quanto suggerito da MATTM-Regioni (2018), particolare attenzione deve essere posta alle operazioni di rimozione dei rifiuti, al fine di consentire il recupero dei volumi di sedimenti rimossi, mediante opportuna vagliatura in loco. Inoltre, va valutata la possibilità che le biomasse possano, nel periodo invernale, svolgere un'azione di contenimento dell'erosione.

Tra gli interventi per la gestione ottimale dei sedimenti di spiaggia, va sottolineata anche la possibilità di ricostruire i sistemi dunali, ove questi siano minacciati o siano andati perduti a causa della pressione antropica sulle coste. Le dune, infatti, rappresentano, serbatoi di sedimenti per le spiagge, che possono essere attivati in occasione delle mareggiate e costituire una linea di difesa anche dai processi di inondazione costiera. In questo contesto va anche pensato l'inserimento di trappole eoliche (per esempio, piantumazioni, palificate, etc.) che consentano il trattenimento dei sedimenti sulla spiaggia.

Gli interventi per la riduzione delle perdite dei sedimenti e per il contrasto all'arretramento della linea di riva includono sia tutte quelle opere che possono consentire la riduzione dell'impatto del moto ondoso incidente sulla costa (per esempio, barriere frangiflutti emerse o sommerse), sia tutti quegli interventi che contribuiscono a ridurre il trasporto solido litoraneo (per esempio, pennelli, headlands). Trattandosi di opere "attive", ovvero opere che possono modificare in maniera significativa la dinamica dei litorali interessati, è necessario che vengano valutate attentamente soluzioni progettuali alternative, considerando non solo gli aspetti ambientali, geologici e sedimentari, ma anche la modifica alle condizioni idrodinamiche e morfodinamiche che si realizzano all'interno dell'unità fisiografica. Tali analisi devono essere supportate dall'uso di modelli previsionali, numerici e fisici adeguati, al fine di seguire un approccio data-driven chiaro e quantificabile.

Nel caso di nuovi interventi, devono essere attentamente stimati gli impatti delle opere, in termini di costi e benefici non solo della loro realizzazione, ma anche in termini di reversibilità dell'intervento, di necessità/frequenza delle operazioni di manutenzione. Deve inoltre essere previsto ed eseguito il monitoraggio delle performance durante la vita utile dell'opera. Poiché molti litorali siciliani sono già stati oggetto di interventi di difesa della costa, che possono oggi risultare non più adeguati, è necessario prevedere anche la possibilità di adattamento degli interventi esistenti, valutando ove necessario la loro rimozione oppure la loro sostanziale modifica, al fine di ripristinare condizioni di maggiore naturalità (per esempio, rinaturalizzazione di barriere emerse e loro trasformazione in barriere soffolte).

Infine, tra gli interventi per il contrasto all'erosione, vengono qui ricordate le cosiddette Nature-Based-Solutions (NBS), che, seguendo la filosofia del "Building with Nature" (i.e. Costruire con la Natura), prevedono una serie di misure in cui sono i processi fisici e biologici a contribuire a mitigare le perdite di sedimenti. Tra questi interventi, in ambito costiero, si ricordano la creazione di zone umide, il reimpianto di specie vegetali sub-aeree o sommerse, la realizzazione di barriere coralline, gli stessi interventi di ricostituzione dei sistemi dunali, etc. In Sicilia, si è per esempio sperimentato in diversi siti il reimpianto di praterie di Posidonia Oceanica a fini di riqualificazione ambientale. Dette praterie avrebbero la capacità di trattenere meglio i sedimenti sul fondo e contribuirebbero alla riduzione dell'altezza d'onda. Le Nature-Based-Solutions stanno via via conoscendo una crescente popolarità, anche grazie alle strategie internazionali ed europee che sostengono questo tipo di Green Infrastructures. Tuttavia, l'efficacia e la durabilità delle NBS è ancora oggetto di un ampio dibattito, particolarmente in ambito costiero, pertanto se ne raccomanda l'adozione accompagnata da adeguate e sistematiche campagne di monitoraggio dell'evoluzione e delle performances degli interventi stessi.

In Sicilia, le misure per l'alimentazione del sistema litoraneo essenzialmente attraverso interventi di ripascimento degli arenili sono generalmente da preferire, avendo tuttavia bene in mente che tali interventi, pur offrendo un immediato ampliamento delle spiagge e avanzamento della linea di costa, non agiscono sulle cause dell'erosione e hanno bisogno di successive e pianificate operazioni di manutenzione e ricarica. Per la realizzazione dei ripascimenti, il problema principale è l'individuazione delle fonti di sedimenti idonei, che possono essere interne o esterne al sistema litoraneo. Tali interventi devono sempre essere condotti verificando prima la compatibilità sedimentologica del materiale, con particolare riferimento alle caratteristiche granulometriche, litologiche e colorimetriche, e successivamente valutando la compatibilità ambientale, secondo quanto prescritto dalla normativa vigente.

Nel caso delle fonti di sedimento esterne al sistema litoraneo, particolare rilevanza assumono gli interventi di ripascimento da depositi sabbiosi off-shore. A tal fine, si rimanda al paragrafo 12.3 della presente relazione, che fornisce un quadro dettagliato della disponibilità e consistenza di tali depositi al largo delle coste siciliane. Inoltre, come evidenziato al paragrafo 8.5, un ruolo importante nelle dinamiche evolutive del litorale è svolto dalla capacità dei corsi d'acqua di apportare sedimenti alle spiagge. Al fine di ricostituire il bilancio sedimentario, è auspicabile pertanto supportare azioni volte al ripristino del trasporto solido fluviale, significativamente ridotto negli ultimi decenni dall'effetto delle sistemazioni idraulico-forestali per il contrasto all'erosione di versante, dalla realizzazione di sistemi di briglie lungo i corsi d'acqua e dalla presenza di numerosi invasi. In particolare, interventi di dragaggio del materiale sedimentario depositato all'interno dei serbatoi se, da un lato, possono contribuire a ricostruire le spiagge in erosione, dall'altro consentono di ripristinare le capacità di invaso ormai particolarmente ridotte (vedere paragrafo 12.3). Va ricordato, naturalmente, come nel caso dei dragaggi degli

interrimenti dei serbatoi particolare attenzione deve essere prestata al livello di contaminazione dei sedimenti, al fine di garantire la qualità ambientale degli interventi stessi.

Infine, per quanto riguarda gli scavi dall'entroterra costiero, sebbene sia sempre preferibile evitare, se possibile, il ricorso a sedimenti provenienti da cave terrestri, ovvero ottenuti mediante frantumazione meccanica delle rocce, in alcune situazioni è possibile valutare la disponibilità di depositi effimeri di sedimenti, che sono stati creati per fatti storici e/o naturali.

Per il ripascimento delle spiagge, spesso è possibile ed auspicabile ricorrere a fonti di sedimenti interne al sistema litoraneo stesso, come depositi litoranei sommersi o emersi, nonché ai sedimenti dragati in prossimità delle aree delle zone portuali. Anche in questo caso va sempre garantita la compatibilità sedimentologica e ambientale dei sedimenti.

In ogni caso, si auspica uno snellimento delle procedure burocratico-amministrative, al fine di facilitare il riutilizzo delle sabbie che costituiscono una preziosa risorsa per il territorio.

La Tabella 12.I riporta un quadro riepilogativo delle azioni per il contrasto all'erosione costiera sopra citate.

Tabella 12.I Matrice delle azioni/misure per il contrasto all'erosione costiera dei litorali siciliani.

	Ambiti di azione	Possibili azioni/misure
Riduzione delle perdite di sedimenti dal sistema litoraneo	Gestione dei sedimenti di spiaggia	Operazioni corrette di pulizia dei sedimenti di spiaggia (inclusa gestione delle biomasse)
		Interventi a difesa e per la ricostruzione dei sistemi dunali
		Trappole eoliche
	Opere per la riduzione delle perdite di sedimenti e dell'arretramento	Interventi e opere per la riduzione del moto ondoso incidente (incluso adattamento di opere esistenti)
		Interventi e opere per la riduzione del trasporto solido litoraneo (incluso adattamento di opere esistenti)
		Nature-Based-Solutions

	Ambiti di azione	Possibili azioni/misure
Alimentazione del sistema litoraneo	Apporti di sedimenti esterni al sistema litoraneo	Ripascimenti da depositi off-shore
		Azioni volte al ripristino del trasporto solido fluviale (inclusi i dragaggi dei serbatoi)
		Scavi nell'entroterra costiero
	Apporti di sedimenti interni al sistema litoraneo	Depositi litoranei emersi
		Depositi litoranei sommersi
		Azioni di dragaggio di porti

12.2 Interventi di difesa nelle coste alte rocciose

Nel caso delle coste alte le strategie di intervento devono essere principalmente finalizzate a mitigare la possibilità del verificarsi di fenomeni di crollo o di progressivo distacco di blocchi dalle pareti rocciose. Localmente il pericolo può essere attenuato mediante interventi di tipo attivo e/o passivo, operando in termini conservativi attraverso il mantenimento, quando possibile, dell'assetto morfologico esistente. Ciò al duplice scopo di evitare ulteriori arretramenti del ciglio

delle scarpate e di impedire l'impostarsi dell'azione degli agenti atmosferici su porzioni di roccia presumibilmente meno alterate e fessurate.

L'analisi dei dissesti, con particolare riferimento alle dimensioni prevalenti dei blocchi in fase di distacco, al tipo, orientamento ed inclinazione dei giunti e dei piani di discontinuità, nonché alle caratteristiche geo-strutturali, consentirà di individuare le scelte più adeguate per la soluzione delle criticità.

Per le coste alte rocciose, inoltre, occorrerà distinguere tra le situazioni più direttamente connesse alla franosità dei versanti connaturata alla natura stessa degli ammassi rocciosi ed agli effetti atmosferici, e quelle più chiaramente correlate all'azione dinamica del moto ondoso. Poiché tra queste situazioni si possono verificare più meccanismi di interconnessione, la scelta della strategia di intervento non potrà prescindere dalla necessità di accertare preventivamente se le soluzioni da mettere in atto possano essere limitate al solo ambito terrestre o se, piuttosto, non sia necessario comprendere anche quello marino.

La Tabella 12.II riporta la matrice delle azioni/misure per il contrasto all'erosione nelle coste alte rocciose dei litorali siciliani.

Tabella 12.II Matrice delle azioni/misure per il contrasto all'erosione nelle coste alte rocciose dei litorali siciliani.

	Ambiti di azione	Possibili azioni/misure
Riduzione delle azioni che tendono a provocare l' instabilità	Riduzione degli sforzi tangenziali agenti	Controllo dell'erosione superficiale (con conseguente stabilizzazione superficiale)
		Sagomature ed interventi di rimodellazione della scarpata
		Trasferimento degli sforzi mobilitati ad elementi strutturali (profondi)
	Riduzione dell'azione idrodinamica	Interventi ed opere per la riduzione del moto ondoso incidente (incluso adattamento di opere esistenti)

	Ambiti di azione	Possibili azioni/misure
Incremento delle forze resistenti	Aumento degli sforzi normali lungo i piani di discontinuità	Applicazioni di elementi strutturali (chiodature, bulloni) e/o pretesi (ancoraggi attivi)
		Placcaggi o sottomurazioni
		Opere speciali (sigillature, iniezioni)
		Regimazione ed allontanamento delle acque superficiali
	Riduzione delle azioni instabilizzanti ed incremento delle forze resistenti	Interventi combinati sull'ammasso roccioso e di riduzione del moto ondoso

12.3 Fonti di sedimenti per la realizzazione di ripascimenti

Gli interventi di ripascimento artificiale, protetti o meno, che per stabilizzare la spiaggia forniscono la proprietà intrinseca delle spiagge di dissipare l'energia delle onde incidenti possono essere annoverati tra gli interventi resilienti di contrasto all'erosione costiera.

Questi ultimi interventi, sebbene possano sembrare la panacea per qualsiasi problema di erosione, presentano diverse difficoltà esecutive soprattutto connesse alla difficoltà di approvvigionamento della risorsa.

Le spiagge esistenti non atropizzate fanno parte del naturale sistema costiero e dissipano l'onda in modo assolutamente naturale. Infatti, in un contesto non antropizzato, una spiaggia ha dimensioni che sono funzione solo ed esclusivamente della capacità morfogenetica dell'onda, che non provoca alcun effetto negativo. A questo processo

non può essere imputata alcuna controindicazione. Esso risulta naturalmente perfetto.

Il problema inizia quando la spiaggia perde il proprio equilibrio naturale sia perché il bilancio sedimentario costiero (cioè il bilancio tra sedimenti in entrata e sedimenti in uscita nell'ambito dell'unità di sistema: Unità Fisiografica) va in negativo (più uscite che entrate), sia perché l'azione antropica ha occupato parte della fascia costiera attiva (spiaggia e duna), come peraltro avvenuto in quasi tutte le località costiere Siciliane, sottraendo spazio vitale alla spiaggia.

In questi casi (praticamente tutti quelli di erosione costiera di un'area urbanizzata) lo sversamento di materiale di prestito sulla spiaggia può essere considerato un vero e proprio intervento di stabilizzazione.

Si forma una nuova spiaggia e subito dopo va mantenuta in equilibrio affinché sia una spiaggia protettiva, dissipativa, resiliente. Per tale ragione possono essere considerate misure di protezione ausiliare (termine talvolta stravolto nella logica corrente, laddove la parte strutturale eccede significativamente la parte di ripascimento).

Inoltre, è necessario considerare che una spiaggia restaurata non risolve da sola e per sempre il problema dell'erosione. La spiaggia tende comunque a perdere una percentuale del materiale introdotto in quanto il ripascimento non interviene affatto sulle cause di erosione, per questo deve essere ricaricata periodicamente a seguito di un adeguato programma di monitoraggio.

Solo la creazione di una logica di intervento che preveda, il restauro della spiaggia, il monitoraggio e la ricarica, può andare sotto il nome di ripascimento artificiale di una spiaggia. E quando si progetta un intervento di ripascimento svariati sono i fattori che devono essere tenuti in considerazione.

La dimensione che deve essere data ad ogni singola spiaggia deve essere frutto di un'attenta analisi diacronica dell'evoluzione della linea

di riva, facendo in modo che sia nella sua componente emersa sia in quella sommersa ecceda la misura di quanto perso.

Si deve considerare il cambiamento della "forma" delle spiagge emersa e sommersa, per esempio bisogna tenere conto del fatto che un processo erosivo incide in modo molto profondo a livello della battigia, accentuando o creando un vero e proprio gradino che, nella ricostruzione di una spiaggia dissipativa, deve essere adeguatamente colmato.

Si devono considerare le eventuali cause scatenanti l'erosione. Come detto, molto spesso non è possibile rimuoverle, ma è necessario conoscerle per attenuarle: per esempio la presenza di una struttura "erosigena" come un molo o una serie di opere di difesa rigide oppure la semplice presenza del lungomare che riflette le onde incidenti e allontana i sedimenti.

Il monitoraggio della loro azione e la loro comprensione a livello pubblico, può portare alla creazione di programmi di difesa più ampi che tengano in primario conto la rimozione delle cause piuttosto che la riparazione degli effetti.

Si deve definire un quadro preciso degli agenti geomorfologici che agiscono sul sistema: dalla sequenza classica di vento – onda al largo – onda a riva – correnti litorali – drift costiero, alle meno indagate correnti di fondo che tendono a modificare la forma della zona compresa tra il punto di rottura dell'onda e la battigia. Tutti questi aspetti andranno considerati in modo specifico per l'area, inserita nell'ambito della propria Unità Fisiografica, a livello progettuale.

Ma, soprattutto, un aspetto determinante per la buona riuscita di un intervento di ripascimento è la disponibilità di un deposito di prestito e la sua compatibilità granulometrica, composizionale e cromatica con i sedimenti nativi presenti nelle diverse spiagge.

Trovare un buon deposito non è sempre cosa semplice ed economica.

Dalla selezione andrebbero escluse tutte quelle cave subaeree che mettono a disposizione materiale granulometricamente compatibile a seguito di frantumazione. Qualsiasi processo di frantumazione non può generare materiale che sia utilizzabile per un ripascimento artificiale. La spigolosità, la pulverulenza, la scarsa classazione, ma in definitiva la non naturalità dei sedimenti, sono tutti elementi per i quali bisognerebbe evitarne l'uso.

Esistono cave subaeree naturalmente compatibili, cioè costituite da sabbie più o meno sciolte, ma proprio il grado di aggregazione del materiale è il limite maggiore, oltre alla pulverulenza che comunque si registra. Sono depositi utilizzabili, ma non sempre sono realmente compatibili.

Per tutte le cave subaeree dovrebbe comunque valere una preclusione etico - ambientale *ab initio*. Non ha senso, infatti, creare un "buco" sulla "terra", che in alcun modo potrà essere naturalmente colmato, per "buttare" del materiale a mare.

Oltre alle cave subaeree, esistono i depositi artificiali cioè tutti quegli accumuli dovuti alla presenza di strutture antropiche, i più classici dei quali sono i depositi che insabbiano i porti. Se compatibili, i sedimenti che interrano i porti sono materiali che dovrebbero essere assolutamente utilizzati, ma è chiaramente una risorsa occasionale e non rinnovabile (così almeno sperano i gestori delle strutture) e, spesso, risultano contaminati quindi inutilizzabili per qualsiasi ricarica del sistema; non può essere considerata una risorsa all'infinito disponibile. Inoltre, le autorizzazioni necessarie sono complesse, lunghe e costose, tanto da rendere la reale disponibilità di materiale temporalmente discrasica rispetto alla sua utilizzabilità in qualsiasi ripascimento.

Esiste pure la possibilità di prelevare materiale sovralluvionato lungo gli alvei dei fiumi. Anche se bisogna considerare che se da un lato è vero che dighe e briglie sono la principale causa del diminuito apporto solido da parte dei corsi d'acqua, è anche vero che questi si sono

adattati a un nuovo equilibrio idraulico e un qualsiasi intervento potrebbe creare più danni che benefici. Va sempre ricordato che anche in questo caso, dopo l'intervento di ripascimento iniziale, non ci sarebbe materiale utilizzabile per le eventuali ricariche.

Per tutte queste ragioni, nel corso degli ultimi anni, l'attenzione si è focalizzata sui depositi marini profondi. In Europa questa pratica è estremamente diffusa, ed è possibile dragare anche depositi pressoché costieri. In Italia questo non è giustamente ipotizzabile, infatti, i dragaggi costieri potrebbero destabilizzare la spiaggia sommersa e quindi danneggiare i residui affioranti di fanerogame marine ed eventuali aree di pesca.

Mentre dragare i depositi di sedimenti marini remoti, profondi e relitti, non comporta queste controindicazioni e la loro stessa fauna bentonica fissile è praticamente limitata a pochissime specie. Inoltre, sono depositi praticamente inesauribili, a cui si può attingere per tutte le eventuali ricariche.

Hanno anche loro delle contro indicazioni: la prima è di tipo ambientale, in quanto il loro sfruttamento potrebbe danneggiare aree marine protette, specie tutelate o zona archeologiche; per questa ragione è necessario prevedere uno studio di impatto ambientale specifico, introducendo tutte quelle azioni che facilmente possano portare al contenimento dei potenziali impatti; la seconda è di natura economico – gestionale. In funzione della profondità i costi di prelievo sono elevati, quindi è necessario prevedere escavi di diversi milioni di metri cubi per renderli finanziariamente vantaggiosi e di conseguenza è necessario un buon coordinamento nella tempistica tra i diversi interventi e la possibilità di avere aree di stoccaggio temporanee. La terza e la più complessa da superare è l'ignoranza, per cui non ci si rende conto che il corretto sfruttamento di questa risorsa è assolutamente strategico per lo sviluppo turistico e quindi economico della Sicilia.

12.3.1 Definizione della risorsa

In termini di risorsa il problema è duplice, infatti serve il materiale per il primo intervento e poi quello per le ricariche che dovrebbero essere parte integrante del progetto stesso. Di fatto non è ipotizzabile realizzare un ripascimento senza prevederne la sua ciclica ricarica che deve essere guidata da un attento piano di monitoraggio che non si può concludere nei sei mesi successivi alla consegna dei lavori, ma deve integrarsi, in modo strutturato, con la gestione del mantenimento dell'intervento.

Alla luce di ciò, i depositi di sedimenti possono essere come segue definiti:

- Risorse strategiche (da programmare a livello regionale):
  - sedimenti provenienti da Depositi di Sedimenti Marini Remoti (DSMR)
- Risorse occasionali (disponibili una tantum):
  - sedimenti provenienti dagli alvei fluviali
  - sedimenti provenienti da escavi portuali
  - sedimenti provenienti da escavi di accumuli esterni al porto
  - sedimenti provenienti da dragaggi delle dighe
- Risorse cicliche (autotrapianti stagionali):
  - sedimenti provenienti da accumuli superficiali (intra arenile)
  - sedimenti provenienti da depositi sommersi viciniori (intra litorale)
- Attività gestionali (tendenzialmente naturali):
  - pulizia selettiva degli arenili ed eventuale stoccaggio
  - gestione biomasse
  - limitazione dell'impatto dissipativo della deflazione sulle spiagge e sulle dune

12.3.2 Risorse strategiche - Depositi di Sedimenti Marini Remoti (DSMR)

12.3.2.1 Quadro internazionale e nazionale

La sabbia e la ghiaia vengono estratte dal fondo del mare, in tutto il mondo e rappresentano il maggior volume di materiale solido estratto a livello globale.

Nonostante le colossali quantità di sabbia e ghiaia utilizzate, la nostra crescente dipendenza da esse e il significativo impatto che la loro estrazione ha sull'ambiente, le problematiche connesse alla loro estrazione sono state per lo più ignorate dai responsabili politici e rimangono in gran parte sconosciute al grande pubblico.

È evidente che una strategia complessiva della gestione della risorsa e del suo uso sia per fini industriali sia per la protezione delle spiagge richieda cambiamenti significativi nella pianificazione e nella gestione tecnico – economica del sistema.

Nel corso degli ultimi 30 anni la domanda di sabbia è cresciuta del 360% e la proliferazione di specifiche concessioni minerarie è andata concentrandosi nei Paesi a più alto prodotto interno lordo (Figura 12.1).

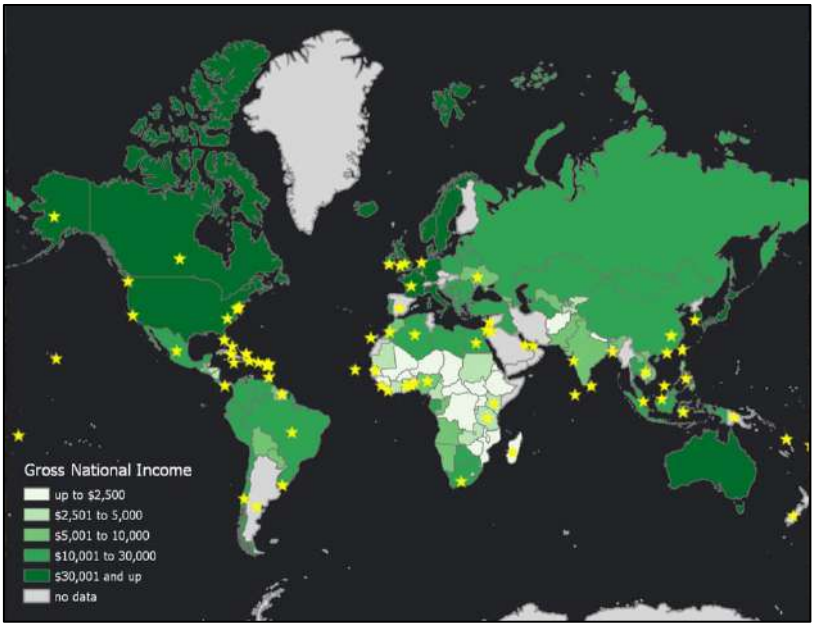


Figura 12.1 Rapporto tra presenza di cave sottomarine e prodotto interno lordo.

In Europa sono presenti circa 400 cave di sedimenti marini, la maggior parte delle quali producono sedimenti per la realizzazione di cemento (vedere Figura 12.2).

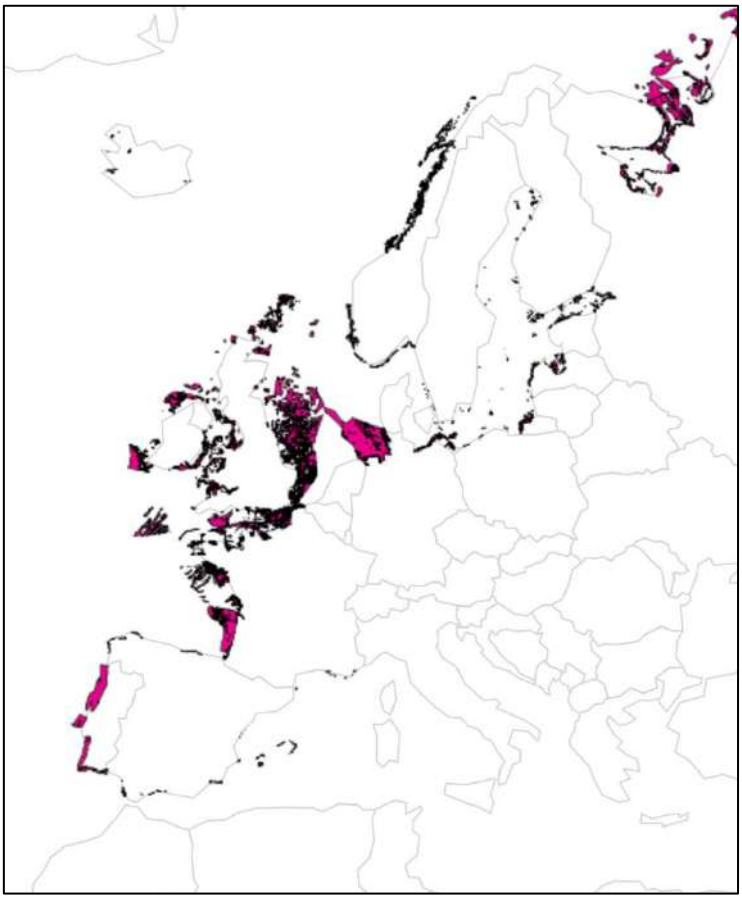


Figura 12.2 Distribuzione dei giacimenti utilizzati di aggregati, intendendo con questo termine depositi costieri non metallici né carbonatici. Questi sono presenti anche lungo le spiagge e nei fondi marini più profondi. Gli aggregati sono principalmente estratti per il loro utilizzo nell'industria delle costruzioni (fonte www.emodnet.geology.eu).

I materiali prelevati dai depositi utilizzati in Italia sono destinati esclusivamente ai ripascimenti artificiali e come evidenzia la Figura 12.3 le aree di prelievo sono presenti nelle regioni a più alto Prodotto Interno Lordo ().

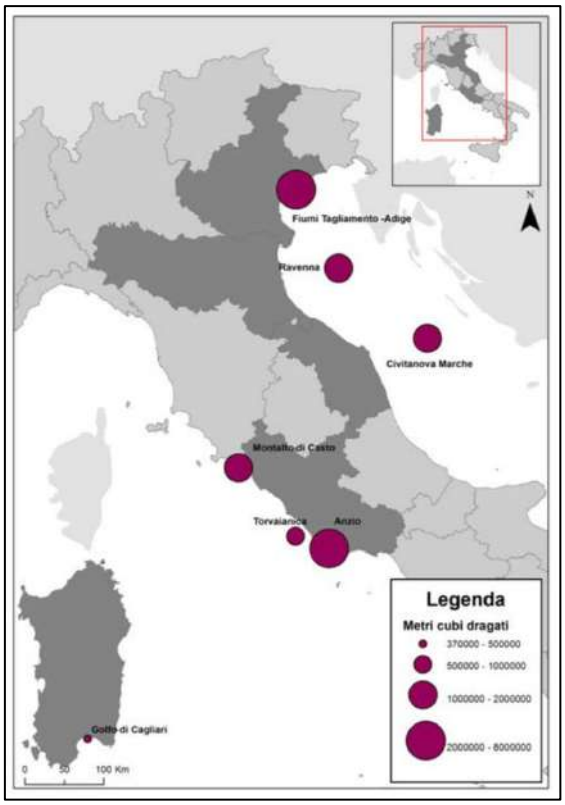


Figura 12.3 Depositi già sfruttati in Italia ubicati in corrispondenza delle regioni Veneto, Emilia Romagna, Marche e Lazio (fonte CNR-ISMAR e ARPA Regione Emilia Romagna, novembre 2016)

Nonostante questa disponibilità, in Italia dal 1996 al 2016 (TNEC) sono stati dragati 20,8 milioni di m^3, mentre in Olanda, solo nel 2011, è stato eseguito un unico progetto pilota (Sand Engine Project) con l'uso di 21,5 milioni di m^3 di materiale (Figura 12.4).

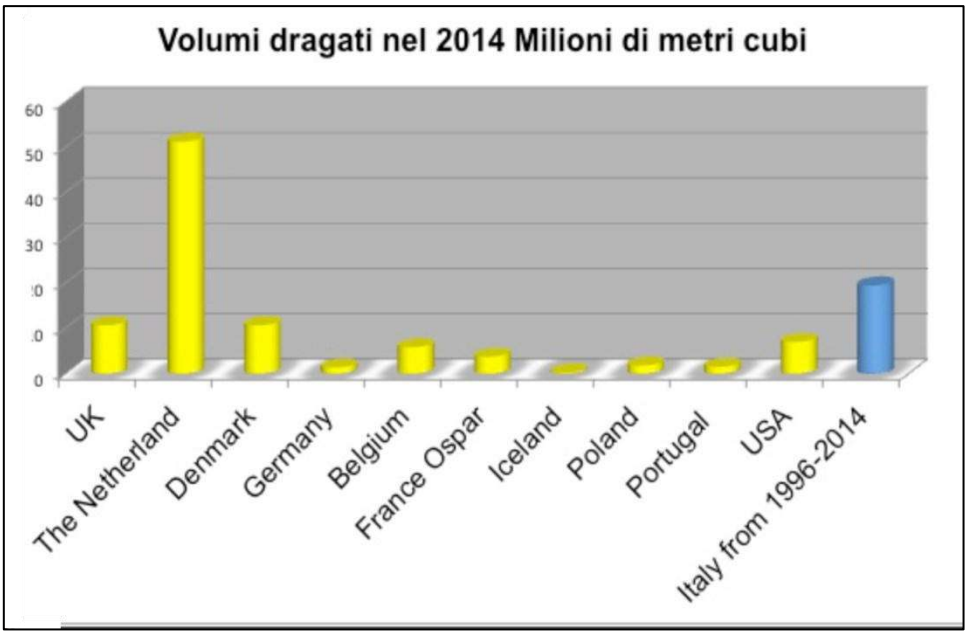


Figura 12.4 A titolo esemplificativo, confronto tra quantità di sedimenti dragati in Europa e quella dragata complessivamente in Italia (fonte CNR-ISMAR e ARPAE Regione Emilia Romagna, novembre 2016)

Gran parte dei mari italiani rimane inesplorata, il che coincide essenzialmente con la scarsità di fondi ad essa destinati, tanto che, a livello mondiale, solo lo 0,5% dei fondi oceanici possono definirsi conosciuti. In Italia abbiamo una consolidata conoscenza della linea di riva corrispondente all'Ultimo Massimo Glaciale, ma poco si sa delle caratteristiche della maggior parte di depositi relitti e la regolamentazione del loro uso non sempre riesce a seguire un'univoca linea di diritto, lasciando così alle decisioni locali la gestione di una risorsa che diventa ogni giorno più strategica (Figura 12.5).

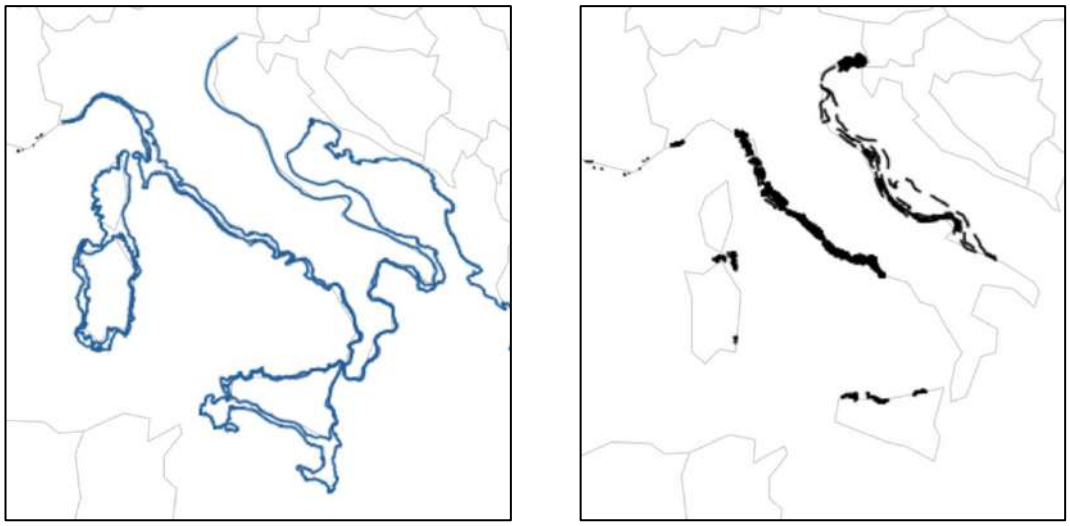


Figura 12.5 La figura di sinistra mostra l'andamento della linea di riva, intorno all'Italia, alla fine dell'Ultimo Massimo Glaciale (18.000 anni fa circa), quello sulla destra mostra i depositi glaciali noti (fonte www.emodnet.geology.eu)

A livello nazionale la potenzialità teorica dei DSMR è di 22,5 miliardi di metri cubi, mentre la potenzialità accessibile, cioè presente in zone di interesse pratico su cui concentrare le indagini successive, è di 3,7 miliardi di metri cubi, includendo i depositi presenti in Sicilia nei golfi di Palermo e di Termini Imerese, stimati rispettivamente in 26 e 108 milioni di metri cubi.

12.3.2.2 Quadro Regionale (fonte TNEC 254-255/305, aggiornato)

Le ricerche di DSMR nell'offshore della Sicilia settentrionale sono state condotte nei golfi di Palermo e di Termini Imerese (Concessione Demaniale Marittima n. 291/2010) e nelle acque antistanti Capo San Marco e Punta Molinazzo (Concessione Demaniale Marittima n. 27/2019). Per la seconda concessione non è stato possibile acquisire alcuna informazione tecnica specifica, mentre per la prima le informazioni sono consistenti.

Per le due aree che rientrano nella prima concessione, è disponibile un grid di profili sismici con varia risoluzione e penetrazione, acquisiti

con sorgente CHIRP, Sparker multitip ed airgun, una copertura continua di dati morfo-batimetrici tra 50 e 1500 m di profondità, nonché rilievi Side Scan Sonar lungo la fascia costiera del Golfo di Palermo. La presenza di numerosi campionamenti di fondo (bennate, box corer e carotaggi sia a gravità che a vibrazione) permette di calibrare i dati geofisici e di caratterizzare i sedimenti fino alla profondità di 6 m.

Il settore indagato fa parte del margine continentale nord-siciliano (Lo Iacono et al., 2011), caratterizzato da una piattaforma continentale con estensione variabile e da una scarpata molto acclive avente una morfologia irregolare (Figura 12.6). Nell'insieme le caratteristiche del sistema piattaforma- scarpata sono riconducibili ad un margine continentale immaturo, con attività tettonica persistente che ancora oggi influenza gli stili deposizionali nei vari ambienti sedimentari costieri e marini (Lo Iacono et al., 2014).

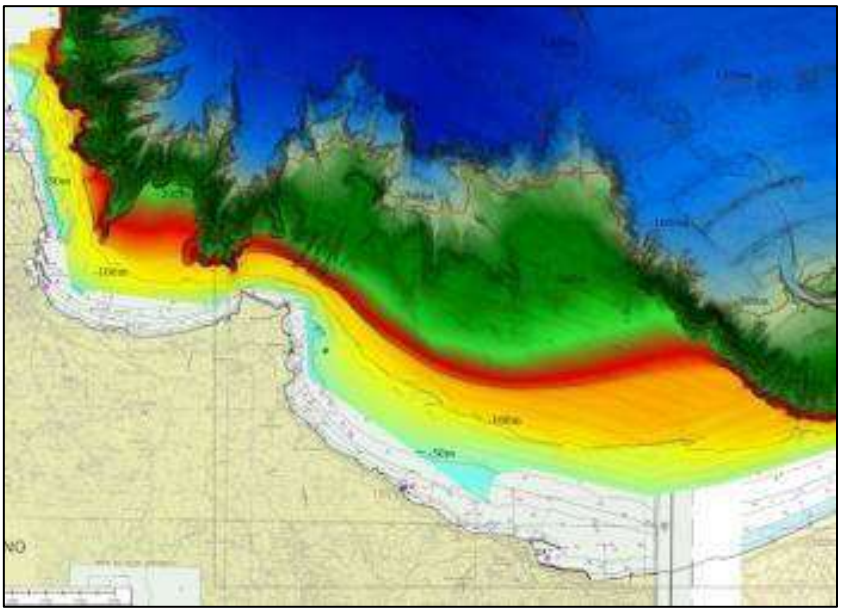


Figura 12.6 Rilievo batimetrico della piattaforma continentale dei golfi di Palermo e di Termini Imerese.

L'analisi sismostratigrafica ha permesso di riconoscere un substrato roccioso prepliocenico, talora affiorante, costituito da successioni

carbonatiche e silicoclastiche, e una successione sedimentaria plio-pleistocenica, costituita da depositi silicoclastici e carbonato-clastici, al cui interno sono riconoscibili diverse superfici di discontinuità che individuano numerose sequenze sismiche; la più alta di queste è costituita dai depositi accumulatisi durante l'ultima oscillazione glacioeustatica. Le successioni sedimentarie sono tuttora interessate da attività tettonica ed emissioni di fluidi.

Nell'area in studio la tipologia più diffusa di DSMR è quella di cunei progradanti corrispondenti a corpi litorali relitti (spiagge), ubicati sul margine della piattaforma continentale ed accumulatisi quando la posizione della linea di riva era prossima a quella del ciglio della piattaforma, nei periodi in cui, in occasione delle fluttuazioni eustatiche occorse durante il Pleistocene glaciale, il livello del mare si trovava a quote di 110-120 m più basse rispetto alla sua quota attuale (Sulli et al., 2012).

Nel Golfo di Palermo i corpi progradanti più sviluppati si osservano lungo il margine di piattaforma (la cui profondità è mediamente di 122 m) del settore orientale, davanti M.te Pellegrino, e lungo il settore occidentale, in corrispondenza di C.po Mongerbino, a profondità comprese tra 102 e 150 m, per ampiezze variabili tra 370 e 850 m. Gli spessori dei depositi, costituiti da sabbie e in misura minore ghiaie con componente bioclastica, sono compresi tra 10 e 50 m mentre la copertura dei depositi pelitici di età olocenica si assottiglia rapidamente da terra verso il ciglio della piattaforma dove, in alcuni punti, è del tutto assente.

Nel Golfo di Termini Imerese, la piattaforma continentale è poco acclive (1-2.7°), con estensione variabile (1.5-8 km) limitata da un ciglio a profondità di 130-140 m. La piattaforma interna è caratterizzata da alti morfologici, rotture di pendio e falesie sommerse che delimitano terrazzi d'abrasione marina, affioramenti rocciosi e paleoalvei fluviali ricoperti da sedimenti (Figura 12.7).

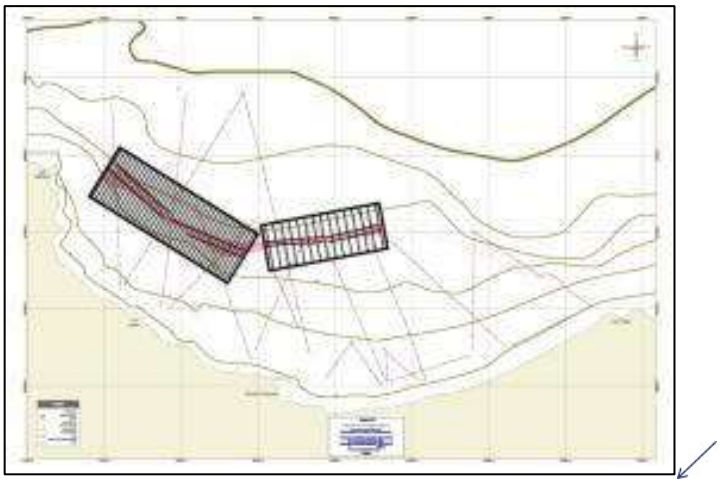


Figura 12.7 Area interessata dal deposito del Golfo di Termini Imerese

I DSMR più estesi si trovano nel settore nord-occidentale del golfo di Termini Imerese, a profondità comprese tra 110 e 140 m, per una estensione di circa 30 kmq, con un volume complessivo di circa 150 milioni di mc ed una copertura pelitica compresa tra 0.2 e 3.8 m. Nell'area sono state effettuati ad hoc numerosi vibrocarotaggi, a profondità comprese tra 97 e 125 m, finalizzati alla caratterizzazione di questi depositi, che hanno messo in evidenza la granulometria prevalentemente da sabbiosa fine a sabbiosa grossolana, con composizione quarzosa, feldspatica e in misura minore carbonatica. La colorimetria secondo il metodo di Munsell ha evidenziato la prevalenza di sedimenti della categoria 10Y4/2 (Grayish Olive).

12.3.2.3 Compatibilità sedimentologica dei DSMR di Termini Imerese

A valle di quanto scritto in precedenza è stata fatta una verifica di compatibilità dei sedimenti tra l'unico deposito sommerso di cui sono disponibili i dati, quello del Golfo di Termini Imerese, e le spiagge siciliane potenzialmente compatibili.

Le discriminanti che hanno portato al campionamento di alcune spiagge piuttosto che altre sono legate soprattutto alle loro caratteristiche granulometriche e composizionali. Infatti, sulla base

dell'analisi fatta e alla luce delle diverse caratteristiche dei tre lati dell'Isola, è stato proposto un campionamento dei sedimenti della fascia costiera relativo a quei settori che mostravano una potenziale compatibilità con quelli presenti nel deposito di Termini Imerese.

Si è quindi scelto di campionare solo lungo alcuni settori escludendone altri, in quanto, dall'analisi effettuata, risulta che le spiagge presenti lungo il settore Nord orientale (da Capo Taormina a Capo Peloro sul lato ionico e da Capo Peloro a Capo Cefalù su quello tirrenico) sono caratterizzate da sedimenti costituiti prevalentemente da clasti metamorfici e granulometricamente rientrano soprattutto nelle classi delle ghiaie e dei ciottoli da fini a grossi. Mentre le aree selezionate presentano spiagge caratterizzate da sedimenti generalmente che rientrano nel range delle sabbie e costituiti da clasti quarzosi o carbonatici.

Inoltre per i settori considerati sono state selezionate per il campionamento soltanto le spiagge sufficientemente lunghe, tali da giustificare potenzialmente un futuro intervento di ripascimento effettuato con diverse centinaia di migliaia di tonnellate di materiale.

Complessivamente sono stati prelevati 51 campioni, la cui distribuzione è rappresentata in Figura 12.8, ad ogni campione è stato attribuito un codice alfanumerico.

Nello specifico, nella provincia di Catania è stato prelevato un unico campione alla Playa, per proseguire verso Sud, lungo la costa jonica siracusana, dove sono stati prelevati 6 campioni e poi doppiato Capo Passero 1 lungo la costa meridionale. Lungo le coste della provincia di Ragusa sono stati prelevati 9 campioni, 2 lungo quella di Caltanissetta e 18 lungo quella di Agrigento. La fascia costiera della provincia di Trapani definisce il passaggio tra il Canale di Sicilia e il Tirreno e lungo questo tratto sono stati prelevati 8 campioni. Il campionamento delle spiagge è stato concluso con le spiagge della costa della provincia di Palermo lungo le quali sono stati prelevati 6 campioni.

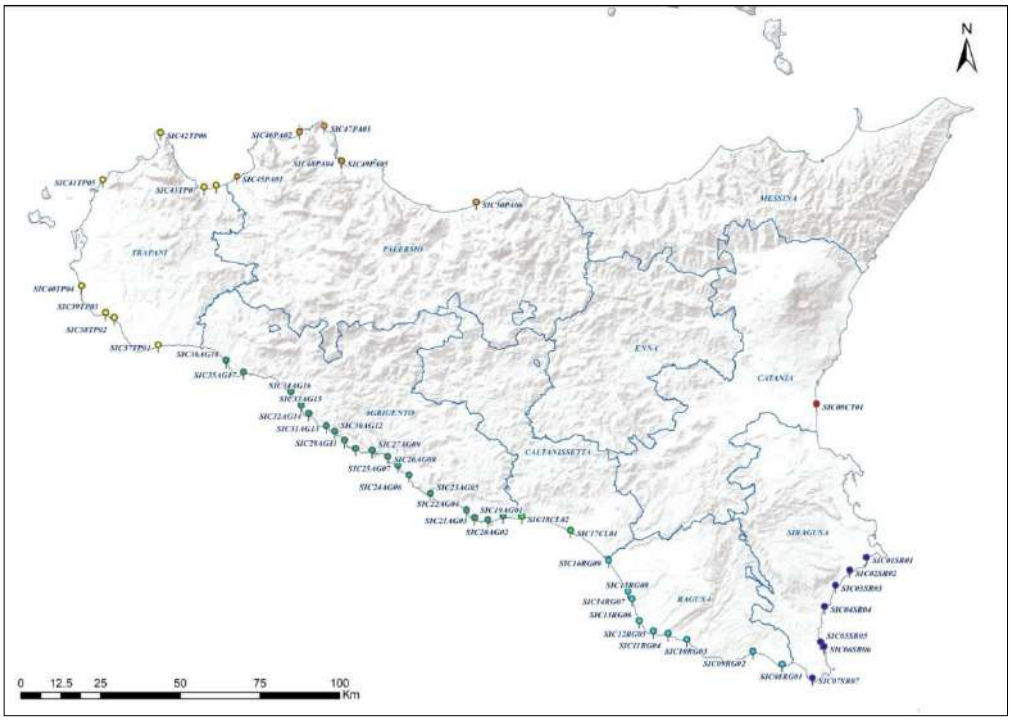


Figura 12.8 Ubicazione campioni di sedimenti prelevati da spiagge potenzialmente compatibili con i sedimenti provenienti dei DSMR di Termine Imerese.

12.3.2.4 Caratteristiche dei sedimenti di spiaggia

Dal punto di vista granulometrico i 51 campioni di spiaggia prelevati nelle diverse province siciliane mostrano valori di diametro medio che variano dalle sabbie grosse alle sabbie fini, con prevalenza di queste ultime e subordinatamente di sabbie medie e i valori di classazione (o deviazione standard) indicano un netto dominio dei sedimenti ben classati e subordinatamente molto ben classati

In particolare, i campioni prelevati nelle province di Siracusa e Caltanissetta sono caratterizzati prevalentemente da sabbie medie ben classate, mentre i campioni provenienti da Catania e Trapani sono costituiti prevalentemente da sabbie medie ma rispettivamente molto ben classate e moderatamente classate.

I campioni prelevati lungo le spiagge delle province di Ragusa e Agrigento sono caratterizzati da sabbie fini molto ben classate. I campioni prelevati nella provincia di Palermo mostrano una distribuzione meno omogenea, non mostrando una dominanza

granulometrica rispetto ad un'altra. Infatti, le sabbie variano da sabbie fini a sabbie grosse, prevalentemente ben classate.

L'analisi composizionale eseguita sui campioni provenienti dalle spiagge siciliane evidenzia una variazione composizionale dei sedimenti che è legata alla geodiversità dell'isola.

Complessivamente sono stati distinti granuli terrigeni (minerali leggeri, minerali pesanti, litoclasti calcarei e vulcanici) e granuli di origine bioclastica. Per la componente bioclastica, in ordine di importanza, sono presenti frammenti e gusci interi, foraminiferi e spicole di spugna.

Nei campioni prelevati lungo le spiagge del settore orientale (provincia di Catania e Siracusa) la specie mineralogica più rappresentata è la calcite presente con percentuali che variano dal 12,0 al 76,0%. L'unico campione che presenta una predominanza di quarzo è quello della Playa di Catania.

Il settore meridionale, considerato da Capo Passero a Capo Lilibeo è invece caratterizzato da sedimenti nei quali l'elemento più rappresentato è il quarzo, presente con percentuali che variano dal 44 al 67%.

Questa netta dominanza di sedimenti quarzosi evidenzia una discrasia con la geologia degli affioramenti retrostanti, soprattutto per i campioni della provincia di Ragusa, che geologicamente fa parte del Plateau Ibleo, caratterizzato da affioramenti carbonatici. La predominanza quarzosa può essere attribuita, come illustrato in precedenza, alla natura dei litotipi presenti nei bacini di alimentazione, per esempio l'Imera meridionale e quindi essere collegate all'erosione di successioni terrigene a composizione quarzosa, come il Flysch Numidico e la Formazione TerraVecchia.

Infine, i settori occidentale e settentrionale sono quelli meno omogenei infatti si alternano spiagge nelle quali si ha una predominanza di clasti quarzosi a spiagge nelle quali la predominanza è carbonatica. In particolare, una parte dei campioni prelevati a Trapani

e una parte dei campioni prelevati a Palermo presentano basse percentuali di quarzo, mentre una parte dei campioni delle spiagge di Trapani e una parte dei campioni delle spiagge palermitane sono a predominanza quarzosa.

La composizione delle spiagge è ascrivibile alla presenza di successioni carbonatiche costituenti le Unità Panormidi che caratterizzano i Monti di Palermo.

Nel settore compreso tra le Madonie occidentali, i Monti di Palermo meridionali e i Monti di Termini Imerese affiorano le successioni carbonatiche e silico-carbonatiche, note come successioni Imeresi. Esse rappresentano il substrato originario delle successioni ad argille bruno-giallastre, con intercalazioni di potenti banchi di arenarie quarzose di tipo torbiditico del Flysch Numidico.

Le valutazioni cromatiche delle sabbie sono state ricavate su sabbia asciutta alla luce solare. Il colore rilevato con la Munsell Soil Chart esprime la tinta di fondo del campione.

Il colore predominante che caratterizza i campioni è il marrone chiaro, accompagnato da una varietà di sfumature che vanno dal marrone giallastro al marrone rossastro scuro al giallo, passando per diversi gradi di lucentezza del colore base. Una parte dei campioni tende al giallo – giallo brunastro. Quasi tutti presentano comunque una comune base marrone chiaro tendente al giallo. Alcuni campioni invece si discostano e tendendo al grigio chiaro.

12.3.2.5 Caratteristiche dei sedimenti del DSMR

Le analisi sono state condotte sui campioni prelevati dal DiSTeM dell'Università degli Studi di Palermo, in particolare sono stati selezionati 3 campioni di sabbie per ognuna delle 18 carote prelevate, per un complessivo numero di 54 campioni.

I campioni presentano percentuale di frazione fine varia dal 9,35% allo 0,10%; in generale la percentuale del fine non supera l'1%, si

riscontrano valori più elevati per i campioni prelevati nella parte sommitale della carota.

I sedimenti sono caratterizzati da valori di diametro medio che rientrano nelle classi granulometriche che vanno dalle sabbie grossolane alle sabbie medie (Figura 12.9).

La classazione (o deviazione standard) presenta un netto dominio dei sedimenti poco classati. Mentre i valori di asimmetria presentano una distribuzione piuttosto omogenea con distribuzioni granulometriche in prevalenza simmetriche. Mettendo a confronto i valori di diametro medio, classazione ed asimmetria risulta evidente un dominio di sabbie grossolane, poco classate con una tendenza a sabbie medie poco classate.

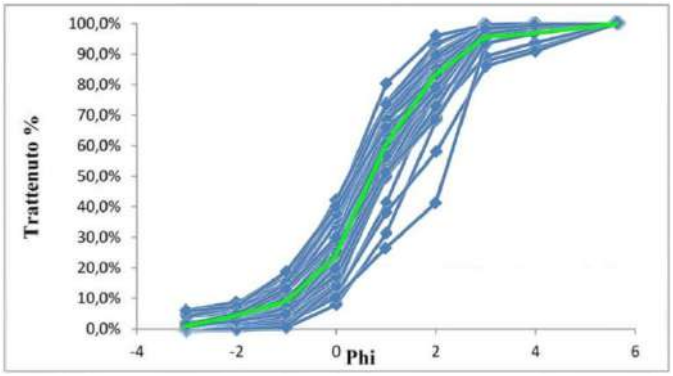


Figura 12.9 Fuso granulometrico rappresentativo dei DSMR.

L'analisi composizionale eseguita sugli stessi elementi considerati per i depositi di spiaggia mostra una prevalenza di minerali leggeri, e subordinatamente di clasti carbonatici. Sono sempre presenti frammenti organogeni, foraminiferi, coralli, spicole di spugna, frammenti litici, mentre non si riscontrano sempre i minerali pesanti (Figura 12.10).

La specie mineralogica più rappresentata nei sedimenti analizzati del deposito è rappresentata dal quarzo che è presente con percentuali che variano dal 59 al 32%. Subordinatamente sono presenti i carbonati che sono rappresentati da litoclasti calcarei monomineralici provenienti da

frammenti di rocce e litoclasti polimineralici. La calcite è presente con percentuali che vanno dal 13 al 35% mentre i frammenti litici hanno percentuali che variano dal 3 al 15%. La componente bioclastica si rinviene generalmente nelle frazioni granulometriche superiori a 0,5 mm, e riveste una certa importanza nel deposito in quanto presente con percentuali che variano dal 3 al 20%.

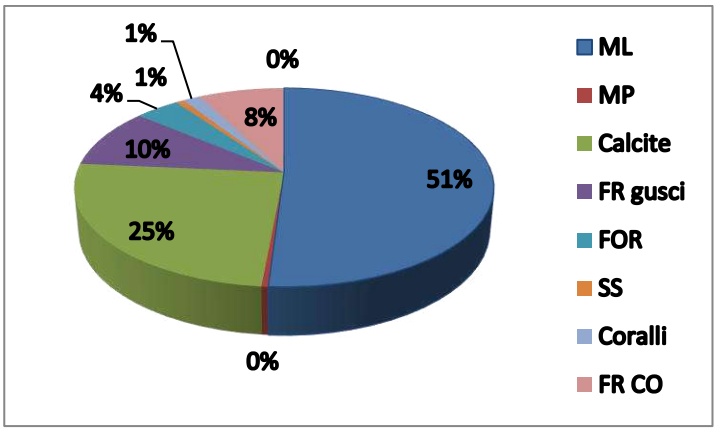


Figura 12.10 Distribuzione percentuale del campione medio composito rappresentativo dei DSMR.

Più complessa la questione relativa al colore, infatti i campioni provenienti da un comunque costipato, presentano dei colori oggettivamente diversi da sedimenti identici provenienti da un deposito di spiaggia, continuamente esposto al sole e dilavato dal mare.

Per ottenere una valutazione oggettiva, ma quanto più conforme alla realtà, i campioni sono stati lavati e quindi valutati cromaticamente. Il risultato definitivo sebbene migliore di quello inizialmente percepito, rimane con una tonalità "ingiallita", quasi virata a seppia, dovuta alla mancata esposizione al sole (Figura 12.11).

I campioni del deposito di Termini Imerese sono caratterizzati dal colore giallo scuro tendente al grigio al giallo, con tutta una varietà di sfumature dal verde al marrone.

VC08 – sporco

VC08 - pulito

VC11 – sporco

VC11 - pulito

VC14 – sporco

VC14 - pulito

Figura 12.11 Esempio di alcuni campioni provenienti dal deposito di Termini Imerese prima e dopo la pulitura.

12.3.2.6 Compatibilità

Le spiagge possono dissipare l'energia delle onde e possono essere considerate a tutti gli effetti come strutture di protezione delle aree immediatamente retrostanti, se mantenute nelle giuste dimensioni. Tale azione è esercitata innanzi tutto dalla profondità della spiaggia lungo la quale l'onda scarica la propria energia, poi dalla sua forma, cioè dalla pendenza, dalla presenza o meno di berme e dalla sua permeabilità che le permette di assorbire e "de-energizzare" parte del film liquido che la ricopre. Proprio questa caratteristica è funzione della dimensione dei sedimenti, e qua arriviamo all'oggetto di questo paragrafo.

Laddove la spiaggia non assolve completamente o parzialmente a questa funzione l'energia dell'onda si scarica contro la prima struttura rigida che incontra: la parete di una falesia, il limite di una lottizzazione o più frequentemente il muro di sostegno di un lungomare o di una strada costiera o di una ferrovia. Quando ciò avviene, l'onda viene riflessa con energia uguale e contraria secondo un angolo uguale a quello d'incidenza. Questo moto opposto a quello dell'onda erode i sedimenti dalla superficie della spiaggia, li trasporta verso mare e, con processi un po' più complessi, li disperde.

Non basta però che ci sia una spiaggia per proteggere l'entroterra, è necessario che sia delle giuste dimensioni; proprio per questa ragione spiagge mediamente stabili ad un certo punto vengono improvvisamente erose oppure interventi di ripascimento, non adeguatamente realizzati sono destinanti a sparire, non avendo le giuste dimensioni o perdendole per ragioni che comunque sono facilmente osservabili.

Da un lato le dimensioni a cui si riferisce lo Shore Protection Manual sono essenzialmente riportabili alla profondità. La spiaggia deve avere delle caratteristiche dissipative, deve permettere che la propria superficie smorzi l'onda incidente. Nel 1984 il termine resilienza non era ancora di moda, ma in definitiva la spiaggia per essere protettiva

o dissipativa deve essere resiliente. Cioè capace di assorbire l'impatto dell'onda e riprendere la propria forma originaria.

Per quanto riguarda la compatibilità, in relazione alla granulometria, è stata utilizzata la metodologia di James (1975) che, seppure basata su un impianto piuttosto semplicistico, appare più oggettivo e comprensibile.

Il metodo grafico si compone di due diagrammi: uno considera la compatibilità in senso stretto, mentre il secondo riguarda la ricarica.

Il primo considera la compatibilità in senso stretto e stima, di conseguenza, la quantità di metri cubi di materiale di prestito necessari per produrre un metro cubo di spiaggia. Di fatto minore è la compatibilità, minore è la dimensione del materiale di prestito, soprattutto minore la classazione e quindi la percentuale di materiale che si allontana dal diametro medio che rappresenta la "maggioranza" del campione, maggiore sarà la quantità di materiale necessario per creare un metro cubo di nuova spiaggia (Figura 12.12).

Il grafico è diviso in quattro quadranti numerati in senso antiorario da quello in alto a destra (numerazione anomala rispetto alla nostra tradizione). I primi due quadranti rappresentano materiali compatibili che però hanno un grado di stabilità inferiore andando dal secondo quadrante dove per realizzare un metro cubo di spiaggia ci vogliono da 1,05 a 1,75 mc di materiale di prestito al primo quadrante dove per realizzare 1 metro cubo di spiaggia nativa ci vogliono da 2 a 10 mc di materiale di prestito.

Il terzo quadrante presenta materiale genericamente stabile. Si tratta di materiale di prestito oggettivamente più grosso di quello nativo. E' evidente che se mettiamo dei ciottoli in una spiaggia originariamente sabbiosa, questi saranno stabili, ma abbiamo alterato la consistenza naturale della spiaggia. In questo quadrante ricade quel materiale che necessita delle osservazioni che vanno al di là della mera analisi di compatibilità, rientrando in quello della opportunità.

Il quarto quadrante comprende i materiali troppo sottili che non possono essere compatibili. Cioè quelle spiagge costituite da materiali più grossolani su cui eventuali materiali di prestito più sottili verrebbero dispersi in una nuvola torbida verso il largo.

Come detto in precedenza, un aspetto fondamentale è quello relativo alla ricarica dell'intervento di ripascimento. Tale perdita è considerata da James che propone una sorta di fattore di ricarica anche se, riconoscendone i limiti, raccomanda un'attenta valutazione in ambito progettuale. Il fattore di ricarica può essere considerato un aggiustamento al primo anno di vita del ripascimento (Figura 12.13).

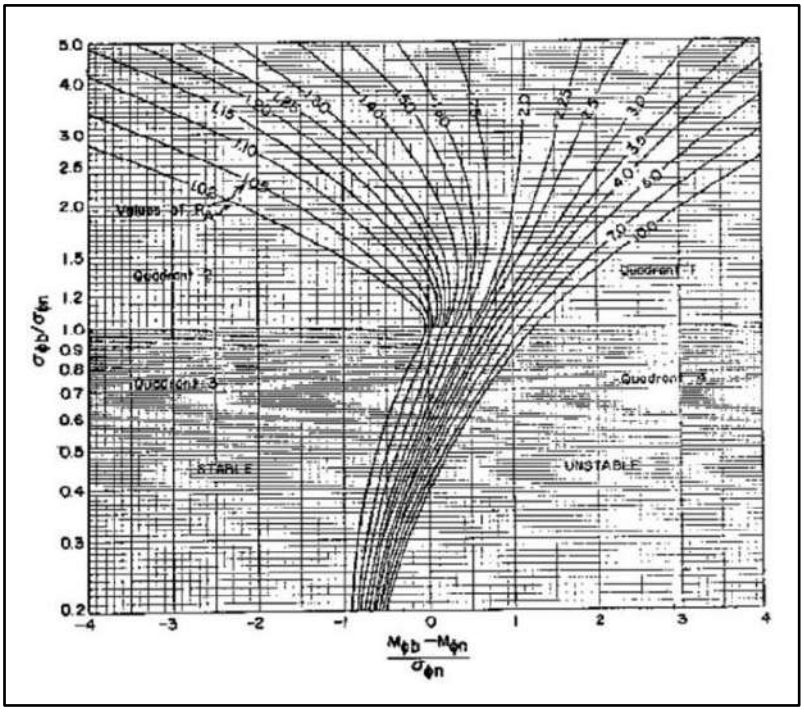


Figura 12.12 In ordinata il rapporto tra la differenza del diametro medio dei sedimenti di prestito e dei sedimenti nativi e la classazione dei sedimenti nativi, mentre in ascissa il rapporto tra la classazione dei sedimenti di prestito e i sedimenti nativi.

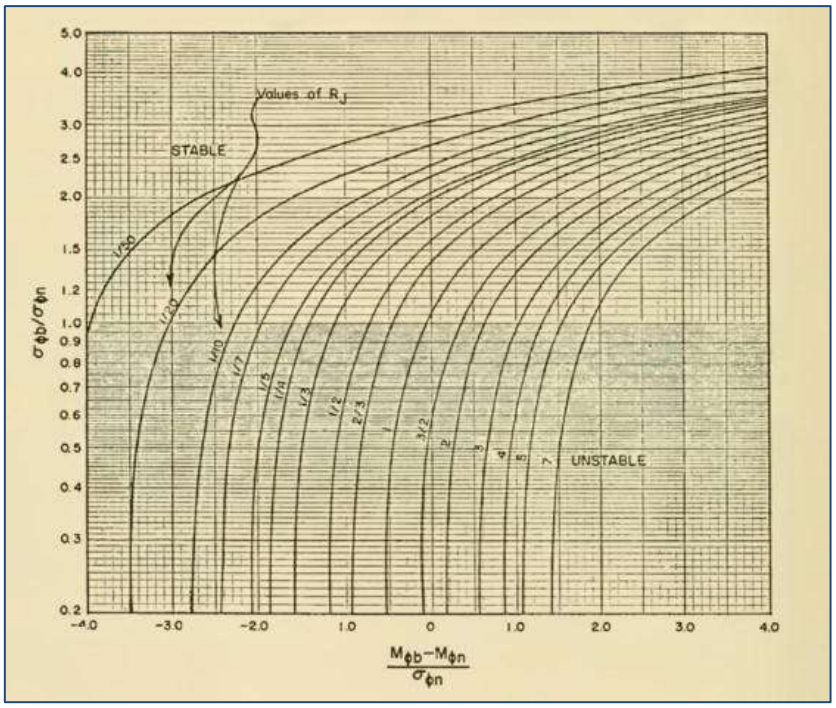


Figura 12.13 La stabilità del sedimento è decrescente da sinistra verso destra, laddove con la massima stabilità sarà necessaria una ricarica pari a 1/50 del materiale immesso con il primo intervento, mentre spostandoci verso destra si riscontrano valori che testimoniano l'assoluto insuccesso dell'intervento iniziale.

Ogni campione composito medio, rappresentativo delle 51 spiagge, considerate nell'analisi perché le altre erano state escluse per evidente incompatibilità (granulometrica, composizionale) è stato confrontato (Figura 12.14) con il campione composito medio del DSMR, seguendo il metodo grafico di James (1975).

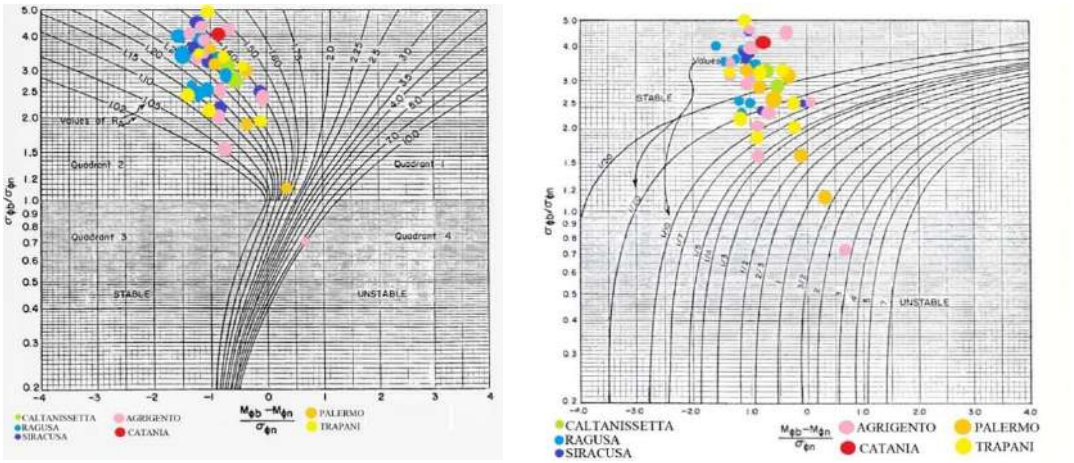


Figura 12.14 Confronto tra il sedimento composito medio del DSMR e il campione rappresentativo delle spiagge Siciliane.

È evidente che i campioni provenienti dal deposito di Termini Imerese e quelli di parte delle spiagge dell'Isola appaiono assolutamente compatibili dal punto di vista granulometrico. Le uniche eccezioni sono puntuali (un campione della provincia di Agrigento e due delle provincia di Palermo), legate a condizioni locali e probabilmente anche ad una tecnica di campionamento troppo rigorosa.

L'analisi composizionale dei campioni, è stata spesso relegata a una mera analisi diffrattometrica al fine di definire la componente mineralogica del campione, nel suo insieme.

Alla luce dell'esperienza delle recenti esperienze il confronto tra le caratteristiche composizionali di un deposito e quelle delle spiagge potenzialmente interessate da un ripascimento è assolutamente indispensabile. Ne vale della sua stabilità, ma anche della sua reale quantizzazione, nonché dell'aspetto paesaggistico.

E come precedentemente detto la valenza paesaggistica del bene spiaggia è determinata anche dal colore della stessa che, a sua volta, è direttamente correlato alla composizione mineralogico - petrografica (Pranzini, 2008). Per questo motivo la determinazione della composizione della sabbia è un aspetto imprescindibile nella caratterizzazione di un sistema costiero.

Facendo riferimento alla scala di MOHS i minerali più duri tendono a scalfire i più teneri. Questo comporta due conseguenze: 1) il materiale più tenero viene eroso e disperso verso il largo, 2) il reale volume del ripascimento risulta minore di quello programmato. Un esempio evidente di ciò, come spiegato in precedenza, è dato dai sedimenti di spiaggia della costa ragusana.

Il fatto che i materiali di un deposito sommerso presentino frammenti organici e frammenti carbonatici in numero e dimensioni superiori a quello presente sulle spiagge emerse è un fatto facilmente spiegabile. Il materiale depositato nelle paleo spiagge è stato rielaborato per un tempo molto limitato, pertanto questa frazione e rimasta presente in quantità maggiore e con dimensioni maggiori.

Nel presente paragrafo, al di là delle ragioni geomorfologiche, si vuole evidenziare, in modo analitico descrittivo, la maggiore o minore compatibilità tra i sedimenti provenienti dal deposito di Termini Imerese e quelli prelevati lungo le spiagge considerate.

Come detto, in letteratura non esiste nulla che possa essere preso in considerazione per quanto riguarda la compatibilità composizionale. Del resto bisogna considerare che la compatibilità, come inteso per gli aspetti granulometrici, non può essere esteso tout court a quelli composizionali.

Un elemento di prestito, per essere considerato stabile, dal punto di vista granulometrico, deve essere poco più grande di quello nativo; se è più sottile viene disperso verso il largo da onde e correnti, mentre se è troppo grosso snatura la morfologia stessa della spiaggia trasformandone la forma e le potenzialità di fruizione.

In ambito composizionale, paradossalmente, un materiale di prestito "straricco" di un elemento particolarmente stabile (per esempio il quarzo) non sarà compatibile con il sedimento nativo di una spiaggia carbonatica di tipo caraibico, ma risulterà comunque estremamente stabile. Stabile a tal punto che, nel tempo potrebbe eliminare, abradendoli ed erodendoli, i clasti carbonatici, diventando la

componente composizionale percentualmente dominante. Di fatto non sarebbe neanche un comportamento innaturale, visto che lungo le spiagge meridionali della Sicilia è appunto accaduto questo: sedimenti quarzosi provenienti da un bacino alloctono al sistema costiero sono diventati dominanti rispetto ai sedimenti autoctoni, in origine carbonatici.

Per questa ragione il concetto di compatibilità, esteso alla composizione del sedimento, non permette una interpretazione univoca. In quest'ottica abbiamo provato a dare un'indicazione in base alla stabilità dei granuli che abbiamo riscontrato nell'ambito delle spiagge osservate, precisando che questo è solo un tentativo iniziale che andrebbe assolutamente approfondito con esperienze empiriche.

Il gruppo composizionale che abbiamo preso come riferimento è quello dei minerali leggeri che appunto sulle spiagge attuali è quello che risulta più stabile. Considerato che il campione composito del deposito di prestito ha una componente quarzosa di poco superiore al 50%, abbiamo definito (senza un vero approfondimento empirico, ma basandoci su esperienza e osservazione) tre classi di "compatibilità": da 0 a 15% non compatibile, da 15 a 30% parzialmente compatibile e dal 30% in su compatibile.

Con percentuali inferiori al 15% nel sedimento nativo, il rischio che i granuli di quarzo erodano i granuli carbonatici è molto alto. Con percentuali del 15-30%, considerato che anche il deposito di prestito ha una percentuale superiore al 30% di carbonati dovrebbe risultare compatibile o comunque non dovrebbe alterare, nel breve termine, l'equilibrio della spiaggia. Con depositi nativi che presentano percentuali di minerali leggeri superiori al 30%, il ragionamento precedente dovrebbe risultare ulteriormente corroborato.

Un'ultima considerazione è utile fare. Proprio perché il materiale ricco di minerali leggeri risulterebbe non compatibile ma più stabile su una spiaggia carbonatica, si potrebbe considerare l'eventualità di diminuire la percentuale di ripascimento proprio in virtù di questa

considerazione. Si potrebbe valutare, caso per caso, l'opportunità di bilanciare la compatibilità secondo James con la composizione di ogni singolo campione nativo.

L'unico campione proveniente dalla provincia di Catania presenta una percentuale di quarzo leggermente superiore a quella del campione di prestito, mentre vi si differenzia nettamente per il minore tasso di calcite compensata nella composizione della sabbia da elementi carbonatici e frammenti vulcanici.

Tutti i campioni della fascia jonica siracusana, presentano una scarsa compatibilità composizionale, stante il fatto che la percentuale di quarzo, in questi campioni nativi, varia dal 4 al 19% circa. I campioni come era ovvio aspettarsi sono composti in maggioranza da calcite e altri elementi comunque carbonatici. L'ultimo campione prelevato nella provincia di Siracusa mostra una risalita della percentuale di minerali leggeri, questo trend continuerà lungo tutta la fascia meridionale dell'Isola.

I campioni dell'intera fascia costiera meridionale, comprendente le province di Ragusa, Caltanissetta e Agrigento, sono simili rispetto ai campioni provenienti dal deposito sommerso di Termini Imerese. Non solo i minerali leggeri sono nell'ordine del 50-60%, ma anche la calcite è presente nell'ordine del 20-30%. L'uso di questo materiale in queste aree sembrerebbe assolutamente compatibile.

Il bacino che ha originato sia i sedimenti del deposito sommerso sia quelli della fascia meridionale, sono di fatto gli stessi. Gli uni erodono negli affioramenti del lato settentrionale i secondi in quelli del lato meridionale.

La provincia di Trapani risulta essere la più complessa e la meno omogenea. Percentuali simili a quelle registrate nel settore meridionale si trovano appunto solo nelle sue spiagge più a Sud, mentre quelle centrali sono dominate dagli apporti carbonaticii. Nel settore settentrionale, all'interno del golfo di Castellammare i ML ritornano ad

essere dominanti in virtù della presenza di altri affioramenti flyschoidi ricchi in quarzo.

Nel palermitano la compatibilità è minore nel settore occidentale, mentre cresce in quello orientale.

Come visto alcuni depositi di spiaggia sono assolutamente compatibili con quelli di prestito anche se si trovano dall'altra parte dell'Isola e questo è dovuto al processo delle sabbie migranti e della geodiversità alterate descritti prima. È però da sottolineare che, anche in presenza di sedimenti non compatibili, come nel siracusano jonico e nel trapanese centrale, l'eventuale immissione di materiale quarzoso compatibile dal punto di vista granulometrico, comporterebbe un'ulteriore stabilizzazione del sistema al di là del mero equilibrio fisico. Il quarzo sarebbe ancora più stabile in un ambiente simile e potrebbe giocare positivamente sulla minore quantità di materiale da utilizzare per un eventuale ripascimento (Figura 12.15).

Una reale compatibilità cromatica tra depositi profondi e materiale di spiaggia non è obiettivamente definibile. I campioni di deposito sono generalmente pulverulenti e sono realmente apprezzabili solo dopo essere stati lavati, perdendo però quella naturalezza che contraddistingue i campioni di spiaggia.

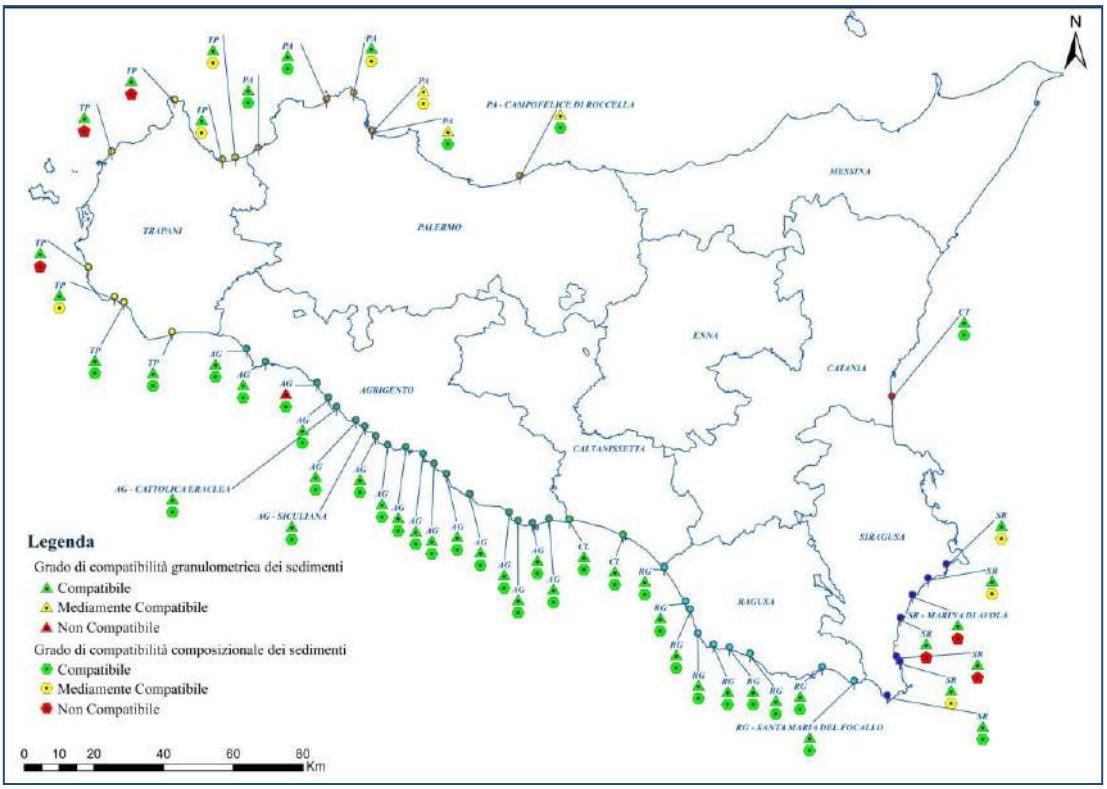


Figura 12.15 Compatibilità granulometrica e composizionale tra il campione composito del deposito di Termine Imerese e i campioni prelevati lungo le spiagge siciliane.

12.3.3 Risorse occasionali

Dalle Linee Guida del TNEC appare un quadro sconfortante in termini di conoscenza delle risorse che comunque non corrisponde assolutamente alla realtà dei fatti, ma alla mancanza di un coordinamento tra diverse fonti e l'assenza di una banca dati a supporto del processo di pianificazione.

Qui di seguito vengono riportate le tabelle TNEC relative alle diverse fonti di approvvigionamento, necessario punto di partenza per la gestione del sistema di acquisizione e di organizzazione dei dati.

Tabella 2.2.1	Depositi Litoranei - quantità media m3/anno (movim autorizzate)			
Regione	Dragaggi portuali	Barre di avanspiaggia	Depositi alle foci o bocche lagunari	Depositi emers e sommersi artificiali
Liguria	43.842	19.236	520	0
Toscana	80.000	0	0	0
Lazio	113.863	55.534	1.500	19.458
Sardegna	nd	nd	nd	n
Campania	43.525	26.025	0	0
Basilicata	nd	nd	nd	n
Calabria	215.000	20.000	20.000	0
Sicilia	np	np	np	n
Puglia	nd	nd	nd	n
Molise	nd	nd	nd	n
Abbruzzo	25.000	0	0	0
Marche	60.000	50.000	5.000	0
Emilia-Romagna	10.000	50.000	80.000	0
Veneto	0	0	222.554	0
Friuli Venezia Giulia	45.250	0	34.000	0
totale	636.480	220.795	363.574	19.458

Tabella 2.2.2	Depositi Litoranei - quantità media m3/anno (valori p			
Regione	Dragaggi portuali	Barre di avanspiaggia	Depositi alle foci o bocche lagunari	Depositi emersi e sommersi artificiali
Liguria	0	0	150.000	0
Toscana	80.000	0	0	0
Lazio	200.000	50.000	50.000	50.000
Sardegna	nd	nd	nd	n
Campania	nd	nd	nd	n
Basilicata	0	0	10.000	0
Calabria	215.000	20.000	20.000	0
Sicilia	38.000	np	np	n
Puglia	nd	nd	nd	n
Molise	nd	nd	nd	n
Abbruzzo	25.000	0	0	0
Marche	100.000	50.000	5.000	0
Emilia-Romagna	115.000	92.500	321.500	150.000
Veneto	70.000	0	580.000	0
Friuli Venezia Giulia	45.250	0	34.000	0
totale	888.250	212.500	1.170.500	200.000

Tabella 3.1.2	Depositi di sedimenti accumulati nei Bacini Artificiali					
Regione	capacità morta di progetto Mm3	stima sedimenti già accumulati %	totale Mm3	stima sedimenti rimovimentabili annualmente dai piani di gestione %	sedimenti movimentati da alveo m3/anno	M
Liguria	0,10	100,0%	0,10	5,0%	124.749	
Toscana	nd					
Lazio	58,36	100,0%	58,36	0,3%		
Sardegna	116,69	16,7%	19,46	0,3%		
Campania	29,58	50,0%	14,79	0,3%		
Basilicata	100,00	50,0%	50,00	0,3%		
Calabria	nd					
Sicilia	np					
Puglia	64,21	20,0%	12,84	0,3%		
Molise	12,85	20,0%	2,57	0,3%		
Abbruzzo	nd					
Marche	7,00	100,0%	7,00	0,3%		
Emilia-Romagna	nd					
Veneto	230,00	16,0%	36,80	0,3%		
Friuli Venezia Giulia	29,44	100,0%	29,44	0,3%		
totale	**648,23**		**231,36**			

12.3.3.1 Sedimenti provenienti dagli alvei fluviali(dal contratto di costa del Tirreno)

- Le aste fluviali, intese come elementi di primo ordine del reticolo idrografico (corsi d'acqua principali), sfocianti in mare e oggetto di potenziali interventi per il miglioramento della funzionalità idraulica attraverso la movimentazione di sedimenti; i limiti di interesse delle aste fluviali, per le finalità di cui al presente piano, sono identificati come segue:
- dalla sezione di foce di ogni singolo corso d'acqua, punto in cui avviene l'interazione con la spiaggia;

- dalla sezione di monte oltre la quale non si riscontrano significativi fenomeni di sovralluvionamento o potenziali benefici idraulici legati alla risagomatura del corso d'acqua conseguente al prelievo di sedimenti;
- nell'ambito del tratto di corso d'acqua delimitato dalle sezioni di cui sopra, dai limiti laterali coincidenti con gli argini – ove esistenti – ovvero dai confini delle aree golenali, e comunque dal limite delle aree d'alveo potenzialmente interessate dal deflusso delle portate di massima piena per i tempi di ritorno di progetto.

Per quanto riguarda questi sedimenti non dovrebbe necessario ricorrere a tutte le analisi previste dal Decreto n. 173 del 15 luglio 2016 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo dei fondali marini", in quanto questi sono frutto della fisiologica dinamica dei litorali.

Se i sedimenti non sono stati esposti a specifiche fonti inquinanti, e questo può essere certificato dal professionista incaricato, con una semplice relazione di contesto, i sedimenti, per il loro intero volume, vanno sottoposti ad analisi sedimentologiche e verifiche di compatibilità tra deposito di prestito e deposito nativo.

12.3.3.2 Sedimenti provenienti da escavi portuali

Generalmente i porti sono caratterizzati da un restringimento al loro ingresso che influenza lo scambio di sedimenti con il sistema costiero viciniori. Il materiale trasportato al fondo e in sospensione tende a depositarsi lungo i bracci del porto formando delle vere e proprie "spiagge" e modificandone la morfologia e la batimetria dei fondali. Peraltro il frequente dragaggio dell'ingresso portuale tende a favorire la cattura dei sedimenti trasportati dal drift litorale.

Per questa ragione la quantificazione del volume dragabile dai porti è diventato di fondamentale importanza per la gestione dell'erosione

costiera. Soprattutto considerando il fatto che queste risorse sono disponibili con tempistiche divere tra loro e che spesso non sono utilizzabili sia perché granulometricamente non compatibili sia perché "inquinate" dal punto di vista chimico – batteriologico. In questo senso vanno ritenute, oltremodo occasionali, sia per la tempistica di formazione sia per le lungaggini burocratico – amministrative, sia, come detto per la loro qualità.

La gestione di questi sedimenti deve passare dalla realizzazione di un database contenente informazioni circa il progressivo accumularsi dei sedimenti, utilizzando rilievi topo - batimetrici da droni equipaggiati con spettrocamere o mediante immagini satellitari ad alta definizione.

I dati devono essere acquisiti dal sistema centrale insieme alla caratterizzazione sedimentologica e chimico – batteriologica dei sedimenti e a un'anamnesi sulla loro provenienza.

Questi dati costituiranno un gruppo di shape files nell'ambito del più ampio progetto GIS funzionale alla gestione del Piano Regionale contro l'Erosione Costiera.

Questi depositi devono essere sottoposti alla procedura d'analisi prevista dal Decreto n. 173 del 15 luglio 2016 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo dei fondali marini".

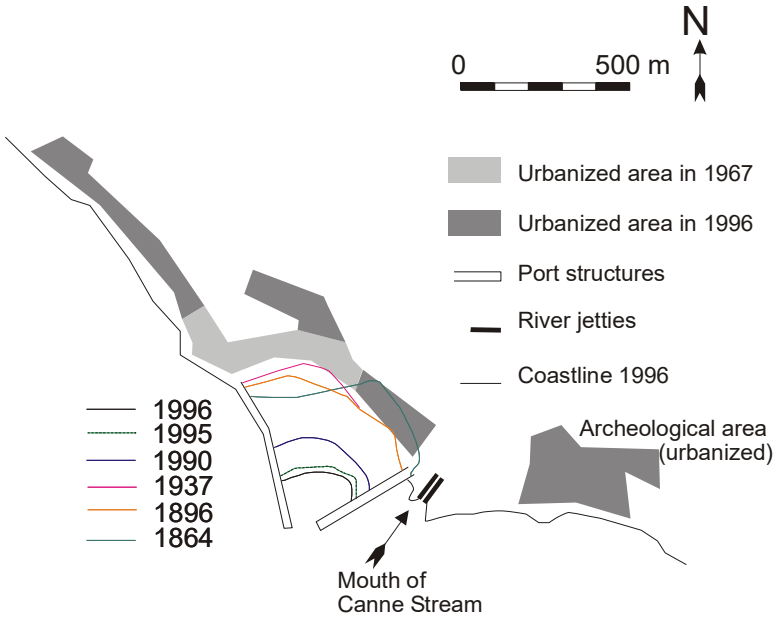


Figura 12.16 Evoluzione dell'interrimento del Porto di Siculiana; Da: RANDAZZO G., MAMMINO P. (1999) - Involution of a harbour structure and its impact on the downdrift coastlines in Siculiana Marina (SW Sicily). *COASTline* 199-3, p. 8 - 9.

Figura 12.17 Attuale situazione del Porto di Siculiana (14.04.20).

12.3.3.3 Sedimenti provenienti da escavi di accumuli esterni al porto

Le strutture portuali con i loro effetti sono un ostacolo insormontabile per il drift litorale, per cui è quasi fisiologico che sopraflutto si verifichino depositi e sottoflutto un processo erosivo. Ciò

non significa che i porti non vanno costruiti bensì deve essere considerata anche la loro gestione all'interno della cella sedimentaria.

Una soluzione interessante, laddove possibile, sarebbe quella di intervenire con la loro rimozione, mediante by passing, prima che questi sedimenti arrivino all'imboccatura del porto, risparmiando in questo modo anche sulle analisi propedeutiche al loro spostamento ed eventuale utilizzo.

Selinunte 26.04.03

Selinunte 15.04.13

Selinunte 07.04.19

Figura 12.18 Evoluzione dell'interrimento all'esterno del Porto di Selinunte

Anche per quanto riguarda questi sedimenti non dovrebbe essere necessario ricorrere a tutte le analisi previste dal Decreto 173 del 15 luglio 2016 n. 173 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo dei

fondali marini", in quanto questi sono frutto della fisiologica dinamica dei litorali.

Se i sedimenti non sono stati esposti a specifiche fonti inquinanti, e questo può essere certificato dal professionista incaricato, con una semplice relazione di contesto, i sedimenti, per il loro intero volume, vanno sottoposti ad analisi sedimentologiche e verifiche di compatibilita tra deposito di prestito e deposito nativo.

12.3.4 Risorse cicliche (autotrapianti stagionali):

12.3.4.1 Sedimenti *provenienti da accumuli superficiali (intra arenile)*

Nell'ambito della stessa spiaggia spesso si registrano degli accumuli ciclici che rendono poco gestibile e fruibile l'arenile.

Tra i comuni Siciliani il processo è estremamente diffuso, soprattutto laddove le spiagge sono controllate da promontori, naturali e artificiali, più o meno aggettanti.

Per ragioni diverse le spiagge di Giardini Naxos e di San Vito lo Capo possono essere utilizzate come caso esplicativo. Nel breve volgere di poche stagioni i sedimenti, in entrambe le spiagge, tendono a "scivolare" verso Sud a Giardini e verso Ovest San Vito, determinando l'insabbiamento delle aree portuali.

I sedimenti si muovono nell'ambito della stessa baia e non corrono quindi il rischio di essere inquinati.

Se questo processo rimane non governato per anni, diventa difficile la gestione pluriennale del demanio marittimo, per questo è necessario programmare interventi di riequilibrio che vanno correttamente progettati ed eseguiti, ma non devono essere aggravati nei costi da analisi spesso assolutamente inutili.

12.3.4.2 Sedimenti provenienti da depositi sommersi viciniori (intra litorale)

Lenti processi di erosione della spiaggia o mareggiate improvvise possono portare all'asportazione di sedimenti dalla spiaggia emersa e

la loro risedimentazione lungo la spiaggi sommersa, quindi rimanendo nello stesso ambito geomorfologico delimitato al piede esterno dalla profondità di chiusura e a monte dal limite della spiaggia emersa.

Il caso più classico che può essere esemplificato con la spiaggia di Campofelice di Roccella (un caso simile è pure quello della spiaggia della Riserva della Macchia Foresta del Fiume Irminio) è quello in cui l'erosione, asporta i sedimenti più sottili e, come avviene fisiologicamente in inverno, li deposita in una o più serie di barre sommerse parallele alla spiaggia emersa.

Nel momento in cui si rompe l'equilibrio di questa ciclica transumanza sedimentologica tra le barre sommerse in inverno e la spiaggi emersa in estate, ci si ritrova con due sistemi separati morfologicamente da un gradino di battigia che, costituito da sedimenti sempre più grossi, diventa sempre più acclive e impedisce ai sedimenti sottili depositati lungo le barre sommerse di risalire verso la spiaggia emersa.

In questo caso, per mantenere la funzionalità delle spiagge in funzione turistica, e quindi mantenendone la consistenza sabbiosa, sarebbe necessario programmare ogni estate o con cadenze dettate da un corretto piano di monitoraggio, la ricarica della spiaggia emersa utilizzando i sedimenti depositati dei fondali immediatamente antistanti.

Anche in questo caso, non potendo subire i sedimenti impatti diversi da quelli dell'intero sistema a cui appartengono, potrebbero essere intraprese attività autorizzative semplificate e più economiche. L'intervento in se potrebbe essere realizzato con una piccola idrovora semplificando così anche le fasi di appalto dell'intervento.

12.3.5 Attività gestionali (tendenzialmente naturali)

12.3.5.1 Pulizia selettiva degli arenili ed eventuale stoccaggio

All'inizio della stagione balneare vengono realizzati degli interventi di pulizia degli arenili. In tempi di Covid-19 qualcuno ha anche sentito la necessità di sanificarli con l'uso dell'ipoclorito di sodio(così come dei parchi, dei giardini, ville, prati fino al manto stradale in città); questa è una pratica da evitare, in quanto la sua utilità ed efficacia non sono accertate mentre sono ben evidenti i gravi impatti ambientali e sulla salute che questa sostanza può determinare.

La pulizia generalmente consiste nella rimozione della patina superficiale del sedimento e il suo avvio in discarica. Sarebbe più utile, vagliare il materiale, buttare la parte più grossolana, prevalentemente inorganica e mantenere la quota di sedimenti che possono essere rilasciati nell'arenile.

12.3.5.2 Gestione delle biomasse

Lungo le coste della Sicilia sono presenti vaste aree colonizzate da praterie a *Posidonia oceanica* in particolare, nella Sicilia Nord-Occidentale e Sud-Orientale si rinvengono delle praterie continue con tratti di produttività tra i maggiori nel Mediterraneo. La presenza di queste este- se praterie in molte aree costiere dell'isola determina un grosso spiaggiamento di foglie e la successiva formazione di *banquettes* con ricadute sia sul settore turistico-balneare che su quel-lo naturalistico e di conservazione degli ecosistemi. Per conoscere l'entità del fenomeno (quantità di materiali spiaggiato sugli arenili, estensione e periodicità del fenomeno e soluzioni adatte per la gestione) è stato inviato ai Comuni della Provincia di Palermo, Messina, Catania, Siracusa, Agrigento, Caltanissetta e Trapani che presentano praterie di *Posidonia oceanica* nello specchio di mare prospiciente i propri litorali.

Quanto sinora evidenziato dalla letteratura, dimostra come gli spiaggiamenti di fanerogame marine (segnatamente *Posidonia oceanica*) dovrebbero essere lasciati lungo i litorali, in modo tale da consentire loro di poter completare il proprio ciclo biologico e svolgere le proprie funzioni ecologiche. Qualora, per motivazioni turistico-balneari, si renda necessaria la rimozione, e nell'impossibilità di una loro reimmissione in mare, tali biomasse dovrebbero poter essere utilizzate per interventi di restauro e protezione dei litorali sabbiosi e dei sistemi dunali in parti- colare, in modo tale di sfruttarne le proprietà ammendanti, mantenendo queste risorse all'in- terno del sistema spiaggia-duna (Marevivo, 2001).

La sottrazione di ingenti quantità di materiale vegetale spiaggiato può quindi essere critica ed è necessaria la massima cautela poiché i nutrienti derivanti dalle *banquettes* e le particelle di detrito contribuiscono in modo non trascurabile alla produttività costiera globale.

12.3.5.3 Limitazione dell'impatto dissipativo della deflazione sulle spiagge e sulle dune

Si tratta essenzialmente di interventi di ingegneria naturalistica che possono essere utili a limitare l'azione erosiva del vento.

A contorno di interventi di ripascimento, per dare una forma più naturale alla spiaggia, può essere utile realizzare degli interventi che limitino la dissipazione dei sedimenti da parte del vento.

12.3.5.4 Caratterizzazione dei materiali di prestito

Il materiale di prestito utilizzato per i ripascimenti artificiali, oltre a essere disponibile in quantità sufficienti per il primo intervento e essere reperibile per i successivi fisiologici interventi di ricarica, deve avere delle precise caratteristiche fisiche e chimico – batteriologiche affinché

l'intervento sia: 1) stabile, 2) omogeneo dal punto di vista della composizione e del colore, nonché ambientalmente compatibile.

La norma vigente prevede che, dovendo caratterizzare sia le sabbie della spiaggia emersa e sommersa, sia il materiale proveniente da aree fluviali, il programma di indagine è stato redatto in base al Decreto 173 del 15 luglio 2016 n. 173 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo dei fondali marini".

Nello specifico in base alla normativa vigente bisogna quindi caratterizzare sia le aree da escavare sia quelle che saranno soggette a ripascimento.

Per la caratterizzazione dei sedimenti litoranei tutte le Regioni, salvo la Sicilia, nel corso degli anni hanno acquisito molti dati nell'ambito di campagne di prelievo e analisi geotecniche di laboratorio, generalmente avviate in fase di indagine conoscitiva propedeutica o all'elaborazione di piani di gestione delle aree costiere o alla programmazione di interventi di ripristino mediante ripascimento artificiale di tratti di litorale in erosione (TNEC pag 186/305).

La qualità del materiale deve essere prima testata dal punto di vista sedimentologico (granulometrico, compatibilità dimensionale, composizionale e cromatico); solo a questo punto, cioè verificata la compatibilità fisica del sedimento di prestito, deve essere effettuata l'analisi chimico batteriologica che sancirà la definitiva possibilità di utilizzarlo.

In passato queste analisi chimico batteriologiche e sedimentologiche venivano eseguite contestualmente e relativamente all'ultima componente non is prendeva in considerazione l'aspetto composizionale e cromatico e non sempre veniva oggettivamente verificata la compatibilità granulometrica. D'altra parte, per tutti i campioni veniva eseguita una costosissima analisi chimico – batteriologica su campioni che poi potevano risultare non compatibili.

Il problema della spesa delle analisi e il loro approfondimento in termini territoriali più d'una volta ha portato l'amministrazione a soprassedere sull'uso di tecniche di ripascimento locale o di sistemazione dell'arenile.

La procedura di compatibilità è stata immaginata per l'usi dei sedimenti portuali e quindi giustamente, prioritariamente, votata ad accertarne la qualità chimico batteriologica, ponendo in secondo piano l'aspetto sedimentologico.

Nell'ambito di un ripascimento artificiale di una spiaggia che nella maggior parte dei casi prende il materiale di prestito da sorgenti assolutamente non esposte a fattori inquinanti (si pensi a un deposito sommerso a -120 m in mezzo al mare Mediterraneo in cui si cercano gli IPA oppure un deposito di sovrasedimentazione a ridosso di un pennello a difesa di un arenile normalmente utilizzato, dove si cerca la potenziale carica batterica) l'aspetto prioritario per la determinazione della sua utilizzabilità deve essere la compatibilità dal punto di vista della dimensione e della composizione che sono condizioni necessarie per favorire un ripascimento stabile, quindi valutare l'aspetto cromatico affinché la nuova spiaggia non contrasti con i desiderata dei fruitori abituali.

L'aspetto chimico – batteriologico andrà testo laddove la committenza, il progettista o l'ARPA dovessero avere dei ragionevoli dubbi di un eventuale carico inquinante.

Nella maggior parte dei casi, come per i sedimenti provenienti dallo stesso arenile o dalla spiaggia sommersa immediatamente prospiciente a quella da ripascere o nel caso di sedimenti fluviali, potrebbe bastare una semplice dichiarazione del professionista che, fatta una breve disamina del contesto ambientale, potrebbe certificare come superflua di appesantire l'esame del deposito di prestito con le analisi di tipo chimico. batteriologiche.

12.3.6 Aree di Stoccaggio

Un aspetto connesso con i dragaggi, soprattutto quelli connessi agli interventi di ripascimento, e ad oggi poco approfondito è quello relativo all'esigenza di costituire delle aree di stoccaggio di sedimenti "puliti", senza andare ad inficiare il paesaggio costiero o ad impelagarsi nelle norme e nei vincoli connessi alle aree portuali; è così che nasce l'idea di stoccare sedimenti o in mare aperto a profondità non raggiunte dalle onde e in aree con limitata corrente oppure direttamente sotto il pelo dell'acqua, in mare non molto profondo, in zone costiere riparate così da evitare qualsivoglia oltraggio al panorama delle aree interessate.

L'esigenza di trovare aree di stoccaggio transitorie ha svariate ragioni: la prima, e "originaria", è connessa con la necessità di dragare considerevoli quantità di materiale al fine di rendere l'attività economicamente vantaggiosa. Di fatto il nolo di una jumbo draga supera i 100.000 € al giorno e non è immaginabile un prelievo di quantità inferiori al milione di metri cubi, considerando soprattutto che prelievi di quantità maggiori andrebbero a vantaggio dell'economicità degli interventi e quindi della casse dello Stato.

La seconda è legata alla difficoltà di trovare progetti che prevedano da soli quantità di materiale superiori al milione di metri cubi oppure a quella di coordinare temporalmente interventi da realizzare presso diverse amministrazioni. Nel primo caso, la scarsa quantità che spesso si prevede in progetto è collegata con il fatto che i progettisti sanno che la fonte non è facilmente disponibile, e quindi si tende a minimizzare l'impatto del ripascimento sul progetto rispetto agli aspetti protettivi. Questo ha portato alla proliferazione di progetti morbidi protetti dove il 70-80% dell'importo era destinato a strutture rigide e solo il 10-20% per una "spruzzatina" di materiale di prestito.

Nel secondo caso, l'incomunicabilità spesso esistente tra diversi enti rende di difficile coordinazione i progetti che vengono assegnati ad amministrazioni diverse. Sarebbe utile istituzionalizzare il sistema proposto con il "contratto di costa" dalla Regione Siciliana. Mettendo

insieme sotto un unico ombrello "superiore" – regionale i diversi interventi previsti nell'ambito di una stessa Unità Fisiografica (UF), si potrebbero verificare non solo le eventuali reazioni di causa ed effetto che generalmente affliggono la maggior parte degli interventi rigidi in area costiera, ma soprattutto si potrebbero prevedere dragaggi funzionali a più interventi, massimizzando così la funzionalità dell'intervento, minimizzandone inoltre l'impatto ambientale.

In questi due casi la possibilità di stoccare temporaneamente dei sedimenti permetterebbe di programmare dragaggi più consistenti, non immediatamente collegati con le necessità di specifici interventi che a quel punto potrebbero attingere alla fonte con tempistiche a loro più funzionali.

L'utilità delle aree di stoccaggio è inoltre da individuare nella possibilità di accantonare materiale che successivamente potrà essere utilizzato per gli interventi di manutenzione dei ripascimenti. In generale in Sicilia, ma più in generale ovunque in Italia, è accaduto che si siano realizzati dei ripascimenti artificiali ben quantificati e sufficientemente protetti, ma che fisiologicamente sono stati sottoposti a una perdita annuale che deve essere contrastata con un'adeguata azione di mantenimento e ricarica.

L'assenza di materiale disponibile per queste attività, ha portato alla progressiva dispersione dei sedimenti artificialmente deposti, vanificando nel breve volgere di pochi anni l'intervento nel suo complesso.

La disponibilità di materiale facilmente reperibile a un prezzo ragionevole, permetterebbe di ovviare alla mancata manutenzione dell'intervento di ripascimento, consentendo così all'amministrazione pubblica di risparmiare una grande quantità di fondi che altrimenti verrebbero mangiati dal mare.

12.4 Deposito di sedimenti a monte delle dighe di sbarramento: disponibilità ai fini del ripascimento dei litorali

In Sicilia le opere di sbarramento che rispondono alla definizione di "grandi dighe" sono 48, e 5 sono le dighe con lavori sospesi da oltre 20 anni: Blufi, Piano del Campo, Pietrarossa, Laura e Cannamasca. Due sono le dighe fuori esercizio (Cuba e Pasquasia), due invasi, Guadalami e Scanzano sono realizzati mediante due sbarramenti ciascuno (vedere Tabella 12.III). Ciò detto, in atto i serbatoi regolati da grandi dighe in esercizio sono 39.

Il serbatoio Gibbesi in atto non è utilizzato per mancanza di allacciamenti. In origine era previsto l'utilizzo industriale.

Un'importante distinzione va fatta fra invasi "in alveo" ed invasi "fuori alveo": i primi sono ottenuti tramite lo sbarramento diretto di un corso d'acqua, i secondi sono alimentati indirettamente da acque provenienti da fiumi, torrenti o altri serbatoi che vengono "allacciati" tramite opportune opere di derivazione. Dei 39 invasi siciliani, sei appartengono a quest'ultima categoria: Gorgo, Guadalami, Lentini, Monte Cavallaro, Ponte Diddino e Vasca Ogliastro (Bruno et al., 2003). Gli invasi fuori alveo, proprio per le loro caratteristiche, sono poco soggetti a fenomeni di interrimento.

Tabella 12.III Caratteristiche di utilizzo delle dighe in Sicilia.

INVASO	UTILIZZAZIONE	INVASO	UTILIZZAZIONE
Arancio	Irrigua	Rosamarina	Irrigua, potabile e industriale
Cimia		Castello	Irrigua e potabile
Comunelli		Fanaco	
Disueri		Garcia	
Furore		Poma	
Gorgo		S. Rosalia	
Olivo		Scanzano	
Rubino		Don Sturzo	Irrigua e industriale
S. Giovanni		Lentini	
Sciaguana		Licodia Eubea	
Trinità		Nicoletti	
Villarosa		Ponte Barca	
Zaffarana		Ancipa	Idroelettrica, irrigua e potabile
Guadalami	Idroelettrica	Piana degli Albanesi	
Monte Cavallaro		Prizzi	
Ponte Diddino		Gammauta	Idroelettrica e irrigua
Fiumara Grande	Industriale	Pozzillo	
Mulinello		Paceco	Irrigua e di laminazione delle piene
Vasca Ogliastro			
Piano del Leone	Potabile		

Secondo i dati parziali disponibili, che riguardano 16 serbatoi su 39 invasi, il volume globale perso per interrimento è pari ad almeno 84 milioni di metri cubi, sulla base dell'elenco di cui sotto (Tabella 12.IV). Si osservi peraltro che i dati sono approssimati per difetto, in quanto le attività di rilievo della batimetria dei fondali per la parte immersa, e dell'aerofotogrammetria per la parte emersa, sono in corso di svolgimento.

Tabella 12.IV Volumi di interrimento di alcuni serbatoi siciliani.

Diga	Volume (m3)	Anno di riferimento
Arancio	7.700	2020
Castello	900.000	2020
Cimia	1.680.000	2020
Comunelli	5.375.000	2020
Don Sturzo	22.500.000	2010
Disueri	11.200.000	2014
Furore	539.000	2020
Gibbesi	995.000	2020
Nicoletti	2.000.000	2020
Olivo	1.312.000	2020
Pozzillo	31.700.000	2015
S. Giovanni	910.000	2020
Scanzano-Rossella	1.150.000	2020
Sciaguana	2.080.000	2020
Villarosa	690.000	2020
Zaffarana	313.000	2020

L'interrimento dei serbatoi artificiali è un fenomeno generalmente inevitabile, che si sviluppa lentamente nel tempo, legato all'erosione del bacino di alimentazione, al trasporto solido nei corsi d'acqua e alla sedimentazione nell'invaso. La presenza di uno sbarramento artificiale, infatti, altera la naturale condizione di equilibrio dei corsi d'acqua, creando un'area caratterizzata da velocità idriche basse e da una elevata capacità di sedimentazione del materiale solido. Il sedimento trattenuto si distribuisce all'interno del serbatoio in relazione alla granulometria, alle condizioni idrauliche e al tipo di gestione.

Quando il livello idrico nei serbatoi permane elevato per lunghi periodi, si verifica una significativa selezione granulometrica; in particolare, i materiali più grossolani sedimentano a monte o all'interno del serbatoio formando depositi a delta, viceversa, i sedimenti più fini vengono trasportati in sospensione e si depositano nell'invaso fino a ridosso dell'opera di sbarramento. Tali sedimenti possono essere trasportati anche sotto forma di corrente di densità. Quando invece il

livello oscilla o viene tenuto basso, la distribuzione granulometrica è più uniforme.

La gestione dei sedimenti per il controllo dell'interrimento nei serbatoi può riguardare due tipologie principali di interventi: interventi nel bacino idrografico di alimentazione e interventi nell'invaso.

In un serbatoio può porsi il problema di dover intervenire per recuperare parte della capacità persa o per allontanare i sedimenti dalle opere di presa e di scarico. A tale scopo possono adottarsi tecniche di rimozione attuate utilizzando la medesima corrente idrica, dragaggio, sifonamento (speciale tecnica di dragaggio idraulico che sfrutta la differenza di carico tra monte e valle della diga per la suzione dei sedimenti) ed escavazione meccanica.

12.4.1 Esperienze di controllo e gestione dei sedimenti in alcuni serbatoi siciliani

In Sicilia sono in esercizio 27 serbatoi in alveo con bacino idrografico superiore ad 8 Km^2; il volume regolato da tali serbatoi (circa $650 \cdot 10^6$ m^3) rappresenta circa il 25% delle risorse idriche superficiali utilizzabili nell'Isola (Saggio S., 2010). Per molti dei serbatoi di più antica realizzazione (15 sono in pieno esercizio da oltre 18 anni), l'apporto di materiale solido ha determinato una consistente riduzione della capacità di invaso e/o l'ostruzione degli scarichi di fondo.

In Figura 12.19 è evidenziata l'ubicazione sul territorio di 13 tra i più importanti serbatoi siciliani. In Tabella 12.V vengono riportati, per gli stessi serbatoi, alcuni dati relativi sia all'entità del deposito solido (Barbagallo et al., 2004), sia agli interventi effettuati per il controllo dei sedimenti.

Figura 12.19 Ubicazione dei maggiori serbatoi artificiali in Sicilia

Dalle rilevazioni effettuate è emerso che la capacità totale dei serbatoi presi in esame è passata da un valore iniziale di $489 \cdot 10^6$ m^3 a $432 \cdot 10^6$ m^3, con una perdita complessiva di circa il 12%.

L'interrimento ha determinato problemi, talvolta molto gravi, di ostruzione delle opere di scarico di fondo. Fatta eccezione per il Comunelli, generalmente, le opere di presa dei serbatoi, pur essendo minacciate dal deposito solido, risultano ancora funzionanti grazie al fatto che vengono tenute in esercizio più o meno continuo; ciò consente lo scarico del fango, che si deposita in prossimità di tali opere, assieme alle acque derivate per i diversi usi.

A fronte della rilevante entità del materiale depositato, gli interventi effettuati dagli enti gestori per il controllo dell'interrimento, salvo poche eccezioni, sono stati saltuari e generalmente poco efficaci. I principali interventi effettuati sono consistiti in: cacciate degli scarichi di fondo (generalmente nei casi di elevato livello idrico del serbatoio), dragaggi in prossimità degli scarichi, sovralzi delle opere di presa e di scarico.

Cacciate dagli scarichi di fondo, effettuate saltuariamente e con modeste portate e durate di scarico, hanno riguardato principalmente i serbatoi Pozzillo, Ragoleto, Ancipa e Poma. Nel serbatoio Pozzillo (CT) (Figura 12.20(a)) le cacciate, eseguite con livello idrico elevato durante il periodo invernale, hanno determinato all'interno dell'invaso la

formazione di un cono di chiamata in prossimità dello scarico di fondo, che si è riusciti a demolire con cacciate di fango effettuate tra il 1968 e il 1984.

Tabella 12.V Dati sull'interrimento in alcuni grandi serbatoi siciliani (Barbagallo et al. 2004). I simboli: A: ostruzione scarichi di fondo; B: ostruzione opere di presa; C: interrimento alveo a valle della diga; D: elevata riduzione capacità

Serbatoio	Periodo di deposito (anni) [16]	Capacità utile (10^6 m^3)	Riduzione capacità %	Problemi evidenziati	Interventi effettuati
Ancipa	43	22,0 (2)	6,1	A	cacciate mensili dallo scarico di fondo
Comunelli	20	5,6	27	AB	sovralzo presa, sostituzione scarico di fondo con sifoni
Disueri	11	7,1 (3)	45	ABD	costruzione nuovo serbatoio
Gammauta	54	0,7	65	ABD	dragaggio imbocco scarico
Nicoletti	22	17	2,6		
Ogliastro	29	102,1	5.5	A	
Piana degli Albanesi	60	29,8	9,1	A	sovralzo opere di prese e di scarico
Poma	18	67	2		cacciate mensili dallo scarico di fondo
Pozzillo	25	123,7	17,2	ABCD	cacciate dallo scarico di fondo
Prizzi	40	8,4	8,7		
Ragoleto	23	20	6	A	cacciate dallo scarico di fondo, dragaggio imbocco opere scarico e presa
Rubino	23	10	1,8	D	cacciate mensili dallo scarico di fondo
Trinità	22	11,7	33,9		cacciate saltuarie dallo scarico di fondo

Nel serbatoio Ancipa (EN) (Figura 12.20(b)) sono state, nel passato, eseguite con cadenza mensile, regolari cacciate dallo scarico di esaurimento, anche se da qualche tempo queste operazioni non vengono effettuate a causa di un prolungato guasto alle opere di intercettazione.

[16] Periodo tra inizio esercizio e ultima rilevazione dell'interrimento

(a) (b)

Figura 12.20 (a) Serbatoio Pozzillo; (b) Serbatoio Ancipa

Interventi di dragaggio del materiale solido sono stati effettuati nei serbatoi Gammauta (Figura 12.21(a)) e Ragoleto con l'obiettivo di disostruire gli scarichi di fondo.

(a) (b)

Figura 12.21 (a) Serbatoio Gammauta; (b) Serbatoio Comunelli

In alcuni serbatoi siciliani il mantenimento della funzionalità delle opere di presa e di scarico, minacciata dall'eccessivo deposito solido, è stato assicurato non attraverso interventi di controllo e rimozione del fango, ma innalzando la quota di imbocco delle opere. Interventi di tale tipo sono stati realizzati nei serbatoi Piana degli Albanesi (PA) e Comunelli (CL) (Figura 12.21(b)). In quest'ultimo serbatoio, le cui acque vengono utilizzate per irrigazione, non sono mai state effettuate cacciate dallo scarico di fondo. Allo stato attuale, il sedimento che perviene al serbatoio resta quasi completamente intrappolato nell'invaso la cui capacità utile si è ridotta sensibilmente anche a causa del sovralzo dell'opera di presa. Anche nel serbatoio Piana degli Albanesi (Figura 12.22(a)), a seguito del completo interrimento dello scarico di fondo, si è intervenuti con la costruzione, sulla stessa galleria di scarico, di una tramoggia che ha portato la soglia di imbocco da 580,6 m a 590,5 m s.m.m.

Nel caso del serbatoio Disueri (Figura 12.22(b)) l'entità con cui, in assenza di una adeguata gestione dei sedimenti, si è manifestato l'interrimento, unitamente a problemi di stabilità delle sponde, ha indotto alla costruzione di un nuovo serbatoio.

(a) (b)

Figura 12.22 (a) Serbatoio Piana degli Albanesi; (b) Serbatoio Disueri.

Dalle esperienze descritte risulta evidente che il controllo dell'interrimento e la gestione dei sedimenti rivestono una rilevante importanza nella gestione dei grandi serbatoi, specie nel caso in cui si evidenziano, nel bacino di alimentazione, accentuati fenomeni erosivi. Il controllo periodico della evoluzione del deposito solido dovrebbe peraltro costituire un'ordinaria attività di gestione dei serbatoi, anche al fine di individuare la più idonea tipologia di intervento di rimozione del materiale solido sedimentato.

La mancanza di sufficienti esperienze, nonché l'estrema variabilità delle situazioni, rende difficile affrontare tale problema sulla base di schemi consolidati di analisi e di intervento. Nella gran parte dei serbatoi siciliani il problema più urgente posto dall'interrimento è costituito dall'ostruzione (o dal rischio di ostruzione) degli scarichi di fondo.

Lo scarico di sedimenti a valle degli sbarramenti, con opportune portate, durate e concentrazioni, consentirebbe di tendere al ripristino delle condizioni di equilibrio tra afflussi e deflussi solidi, preesistente alla realizzazione dello sbarramento. A tal proposito occorrerebbe considerare, tra i possibili usi dell'acqua, anche il trasporto solido fino al mare ai fini del ripascimento delle spiagge. La esecuzione di consistenti cacciate dal fondo andrebbe comunque preceduta da

indagini finalizzate a valutare gli effetti (anche ambientali) sull'alveo a valle.

Le esperienze condotte nei serbatoi siciliani evidenziano la necessità che in tutti i serbatoi possano essere ordinariamente effettuate cacciate dagli scarichi di fondo, in modo da evitare un eccessivo accumulo che rende poi indispensabili interventi di emergenza non ottimali dal punto di vista tecnico e/o economico. A tale scopo, occorre prevedere (per il futuro possibilmente sin dalle fasi di progetto e realizzazione dei serbatoi) opere idonee alla gestione dei sedimenti, che consentano almeno lo sfangamento delle aree prossime agli scarichi e alle prese. La necessità di destinare una parte degli afflussi idrici al serbatoio all'allontanamento dei sedimenti richiede in alcuni casi di ridurre le derivazioni per gli usi convenzionali o, più opportunamente, di reperire risorse idriche integrative. Inoltre, in alcuni casi, una maggiore interconnessione dei sistemi idrici consentirebbe di attenuare i problemi legati alla perdita temporanea dell'uso di un invaso, permettendo di effettuare gli interventi necessari al mantenimento a lungo termine della sua funzionalità.

In ogni caso persiste il problema di rendere funzionali i serbatoi siciliani mediante il ripristino della loro capacità di invaso: da un lato intervenendo, ove necessario, sul corpo diga, per i lavori di ripristino e messa in sicurezza, e dall'altro sui sedimenti presenti nell'invaso. Il volume di questi, infatti, ha dimensioni tali da meritare opportuna considerazione ai fini di un eventuale utilizzo per la protezione dall'erosione costiera mediante ripascimento. Ovviamente andranno in via preliminare considerate le condizioni di compatibilità di tali sedimenti con l'ubicazione dei siti di ripascimento, la distanza dai luoghi di utilizzo, e infine dovrà condursi lo studio delle caratteristiche dei sedimenti ai fini di valutarne l'utilizzabilità in relazione alle normative vigenti.

13 Conclusioni

Il presente Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC) è stato elaborato dall'Ufficio del Commissario di Governo contro il Dissesto Idrogeologico in attuazione del Delibarazione del Presidente dalla Regione Siciliana n.74 del 27 febbraio 2020.

Il PRCEC è stato redatto sulla base delle "Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici", elaborate dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera (TNEC) (MATTM - Regioni, 2018). Pertanto, sono state preliminarmente individuate e definite le unità fisiografiche del I, II, e III ordine per tutto il litorale siciliano. Tale processo è stato condotto tenendo anche conto di quanto riportato sia sul Geoportale Nazionale sia nel PAI (2005).

E' stata effettuata una ricognizione delle diverse tipologie costiere, della geomorfologia e della sedimentologia delle coste siciliane. In particolare, per ogni spiaggia della Sicilia sono stati individuati diversi transetti, lungo i quali sono state fornite e georiferite su piattaforma GIS le seguenti informazioni: i) profilo topo-batimetrico; ii) campioni di sedimenti in corrispondenza della spiaggia emersa, della battigia e dell'isobata -1 m s.l.m.m.

È stata effettuata un'analisi diacronica dell'evoluzione della linea di riva rilevata dal volo IT2000 fornito dall'ISPRA (ottenuto da un mosaico di ortofoto del periodo 1998-1999) e dalle immagini satellitari ad alta risoluzione relative all'anno 2019. Gli stessi dati sono stati anche utilizzati per un'analisi dell'uso del suolo, nonché per un dettagliato censimento delle opere a mare.

Rispetto a studi precedenti, nel presente PRCEC è stata rivolta particolare attenzione anche verso il mare, ossia cercando di avere una visione dei processi che hanno luogo oltre la linea di riva. Infatti, sono stati forniti risultati relativi:

- alle indagini sedimentologiche subacque;
- alle profondità di chiusura, al fine di fornire informazioni circa l'estensione di quella porzione di spiaggia attiva subacquea;
- alla individuazione delle praterie di Posidonia Oceanica e di Cymodocea Nodosa, in quanto specie protette da salvaguardare anche da eventuali interventi di difesa;
- alla segnalazione di itinerari culturali subacquei;
- al clima meteomarino.

Relativamente a quest'ultimo punto, è stata effettuata un'approfondita analisi del clima meteomarino sia al largo sia sottocosta. In particolare, al largo di ogni unità fisiografica del I ordine, sono stati elaborati i dati di moto ondoso e di vento al fine di fornire informazioni sia sul clima medio che sugli eventi estremi. Inoltre, attraverso l'implementazione ad hoc di un modello di propagazione del moto ondoso da largo verso costa su scala regionale, per ogni unità fisiografica del III ordine sono state elaborate e georiferite su piattaforma GIS le seguenti informazioni: i) fetch geografico ed efficace; ii) livelli marini; iii) clima medio del moto ondoso; iv) eventi estremi del moto ondoso; v) deriva dei sedimenti.

Sulla base delle informazioni meteomarine disponibili, sono stati sintetizzati i principali impatti dei cambiamenti climatici sulle coste siciliane, fornendo, inoltre, una serie di linee guida per l'implementazione di possibili interventi di mitigazione e di adattamento.

È stata effettuata un'analisi speditiva a scala regionale degli interventi di difesa costiera effettuati nei tratti di litorale classificati a rischio elevato (R3) e molto elevato (R4) nel PAI. Tale valutazione è proposta come primo strumento di supporto alle decisioni per l'individuazione di priorità di intervento lungo le coste siciliane.

Sono state elaborate metodologie per la valutazione su scala regionale della pericolosità associata a fenomeni di erosione costiera sia per coste alte sia per coste basse. In particolare, per quanto concerne la nuova proposta di metodologia per l'analisi della pericolosità delle coste basse, sulla scorta dei risultati delle indagini e delle elaborazioni sopra descritte, è stato calcolato l'indice di pericolosità per i tratti di costa in erosione, aggregando i risultati su scala di unità fisiografica del I ordine. Tale metodologia si ritiene possa ulteriormente, e in maniera più puntuale, supportare il decisore nell'individuazione delle priorità di intervento.

Per quanto attiene alla stabilità delle coste alte rocciose, poichè non sempre vengono compiutamente analizzate le mutue interazioni tra dinamica "terrestre" e "marina", ci si può trovare di fronte a situazioni in cui la presenza di tratti di costa a pericolosità media/elevata sono ignorati negli strumenti pianificatori, ed altri con vincoli e limiti di utilizzo che potrebbero essere eliminati se studiati con più attenzione. In presenza di coste alte, inoltre, occorre distinguere tra le situazioni più direttamente connesse alla potenziale franosità dei versanti costieri, connaturata alla natura stessa dei corpi rocciosi e detritici, e quelle più chiaramente correlate all'azione dinamica del moto ondoso. Tra questi meccanismi si possono verificare più legami di interconnessione. La scelta della strategia di intervento, pertanto, non può prescindere dall'accertare preventivamente se le soluzioni da mettere in atto possano essere limitate al solo ambito terrestre o se, piuttosto, non sia necessario comprendere anche quello marino.

Tutti i dati e le informazioni desunte dalle elaborazioni effettuate sono stati georiferiti per popolare un WebGIS. Ciò al fine di realizzare un PRCEC dinamico che, a partire da una approfondita analisi dello stato dei litorali al 2020, possa essere continuamente aggiornato e, dunque, possa considerarsi sempre attuale, in un'ottica di sviluppo sostenibile e di tutela ambientale delle coste siciliane. In tale contesto va anche inquadrata la scelta di impiegare come strumento di gestione delle informazioni del PRCEC la piattaforma WebGIS, che consentirà una facile accessibilità a chiunque abbia l'interesse di acquisire le informazioni di carattere ambientale, urbanistico o territoriale relative alle coste siciliane.

Poiché il PRCEC richiederà continui aggiornamenti, si suggerisce la costituzione di un Ufficio Regionale Coste. Ciò consentirà, infatti, di aggiornare periodicamente le informazioni e di gestire in maniera appropriata l'implementazione del processo di pianificazione, di progettazione e di controllo delle opere realizzate. In quest'ottica, preso atto dell'assoluta carenza di reti di monitoraggio delle grandezze che influenzano lo stato delle coste siciliane, anche per la dismissione della Rete Ondametrica Nazionale a partire dal 2014, il PRCEC propone l'istituzione di reti di monitoraggio adeguate alle finalità del medesimo Piano.

Infine, tenuto conto dei benefici connessi alla tutela delle coste di cui sono portatori di interesse i comuni rivieraschi siciliani e del ruolo che detti comuni inevitabilmente ricoprono anche sotto il profilo operativo, si suggerisce l'istituzione di una conferenza di servizi permanente (sul modello di quelle di fatto costituite con i Contratti di Costa) che serva a garantire l'interazione e il coordinamento tra i Sindaci, l'Ufficio del Commissario di Governo contro il Dissesto

Idrogeologico della Regione Siciliana, l'Assessorato Regionale per il Territorio e per l'Ambiente e la Presidenza della Regione.

Elenco delle Figure

Figura 2.1 Carta di sintesi dei tratti di litorali in erosione..... 12
Figura 2.2 Tendenza evolutiva delle spiagge italiane (Atlante delle spiagge, 1997) 13
Figura 2.3 Interventi di difesa costiera in Italia [Elaborazione Diego Paltrinieri (COREMA s.r.l.) da dati provenienti dalle seguenti fonti: Commissione De Marchi, CNR, ISPRA e TNEC]. 15
Figura 2.4 Interventi di difesa costiera in Europa [adattato da Policy Research corporation]. 15
Figura 2.5 Variazione della linea di costa in Italia nel periodo 1960-1994 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017) 17
Figura 2.6 Variazione della linea di costa in Italia nel periodo 1994-2012 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017) 18
Figura 2.7 Variazione della linea di costa in Italia nel periodo 1960-2012 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017) 19
Figura 2.8 Principali interventi di ripascimento con sabbie prelevate da cave marine dal 1997 al 2011 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017). 23
Figura 2.9 Tratti costieri con beni esposti a potenziale rischio di erosione (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017). 26
Figura 2.10 Unità fisiografiche principali individuate dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Difesa del Suolo. 28
Figura 2.11 Capo d'Orlando 2004 - Risultato del ripascimento e della realizzazione dei pennelli sommersi; a sinistra si vedono le chiazze di materiale "diverso" e a destra gli effetti di calcestruzzizazione. 39
Figura 2.12 Caucana: a sinistra, durante il ripascimento si vede il cumulo di brecciolino cromaticamente diverso dalla spiaggia, mentre a destra se ne apprezzano i risultati in spiaggia (si noti come il bambino cammini col passo del fachiro e l'adulto abbia i sandali, impensabile a quelle latitudini)..... 40
Figura 4.1 Flussi di informazione che, in maniera indipendente dall'organizzazione "operazionale", fornisce un

riferimento generale per l'implementazione del sistema 57
Figura 4.2 Esempio di rilievo LIDAR, con DSM in basso. 59
Figura 4.3 Stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare in Sicilia. 62
Figura 4.4 Dati anemometrici: distribuzione spaziale dei punti griglia del database ERA5 attorno la Sicilia. 64
Figura 4.5 Stazioni della Rete Mareografica Nazionale gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). 65
Figura 4.6 La rete HF del sistema CALYPSO: esempio di copertura di correnti superficiali. 71
Figura 4.7 Fonte dei dati batimetrici: quadranti delle mappa nautiche pubblicate dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e la mappa batimetrica fornita dall'organizzazione GEBCO. In numeri in figura indentificano i quadranti secondo la numerazione adottata dall'Istituto Idrografico della Marina Militare. 74
Figura 5.1 Unità fisiografiche secondo il Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente (rosso: delimitazioni principali; viola: delimitazioni secondarie; arancio: delimitazioni antropiche). 81
Figura 5.2 Unità fisiografiche definite dal PAI (2005) della Regione Siciliana..... 83
Figura 5.3 Unità fisiografiche di I ordine proposte per il PRCEC e confronto con le UF definite dal Geoportale Nazionale e dal PAI (2005)..... 89
Figura 5.4 Unità fisiografiche di I ordine proposte per il PRCEC. .. 90
Figura 5.5 Unità fisiografiche di II ordine proposte per il PRCEC. . 90
Figura 5.6 Delimitazione trasversale della fascia costiera ed elementi morfologici caratteristici. 99
Figura 6.1 Differenza tra modello vettoriale e raster 108
Figura 6.2 Rappresentazione schematica del funzionamento di un WebGIS. 112
Figura 6.3 Unità Fisiografiche di I ordine così come rappresentate nel GIS. 115
Figura 6.4 Unità Fisiografiche di II ordine così come rappresentate nel GIS. 117
Figura 6.5 Unità Fisiografiche di III° ordine così come rappresentate nel GIS. 119
Figura 6.6 Rappresentazione dei siti in sono stati prelevati i campioni di sedimenti costieri 120
Figura 6.7 Particolare dell'ubicazione dei campioni di sedimenti costieri prelevati ai fine della caratterizzazione dei sediemnti. 121
Figura 6.8 Identificazione dei (1630) transetti ai fini di future campagne di monitoraggio. 123

Figura 6.9 Esempio di individuazione di transetti ai fini della caratterizzazione di "pocket beaches". 123
Figura 6.10 Esempio di applicazione delle diverse tipologie di coste. 125
Figura 7.1 Caratteristiche morfologiche di una costa alta in erosione (GCSE -Geography - Revision Guide Coasts, 2010, modificata). 132
Figura 7.2 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo San Raineri a Capo Sant'Andrea. 137
Figura 7.3 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia e Spiaggia (in ordine di disponibilità di dati) nella Baia di Giardini. . 138
Figura 7.4 Diametro Medio dei sedimenti di spiaggia sommersa alle diverse profondità nella Baia di Giardini. 138
Figura 7.5 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo Schisò a Capo Castelluzzo. 139
Figura 7.6 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo Castelluzzo ad Avola. 141
Figura 7.7 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Avola a Porto Palo di Capo Passero. 142
Figura 7.8 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge emerse della Provincia di Ragusa fino al Porto di Gela. 144
Figura 7.9 Diametro Medio dei sedimenti di fondo alle diverse profondità (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge sommerse della Provincia di Ragusa fino al Porto di Gela. 144
Figura 7.10 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia e Spiaggia (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge emerse tra il Porto di Gela e Capo Granitola. 146
Figura 7.11 Diametro Medio dei sedimenti di fondo alle diverse profondità (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge sommerse tra il Porto di Gela e Capo Granitola. 146
Figura 7.12 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia e Spiaggia (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge emerse tra Capo Granitola e Punta Solanto. 148
Figura 7.13 Diametro Medio dei sedimenti di fondo alle diverse profondità (in ordine di disponibilità di dati) presenti lungo le spiagge sommerse tra Capo Granitola e Punta Solanto. 149
Figura 7.14 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Punta Solanto a Capo Rama. 150

Figura 7.15 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo Rama a Cefalù. 151
Figura 7.16 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Cefalù al Porto di Sant'Agata di Militello. 151
Figura 7.17 Diametro Medio dei sedimenti di Battigia, Spiaggia e -1m (in ordine di disponibilità di dati) da Capo d'Orlando a Capo San Raineri. 153
Figura 7.18 La "forma" della Sicilia all'apice dell'ultimo Periodo Glaciale. 158
Figura 7.19 Reticolo idrografico e bacino di apporto litologico dei due Imera; la legenda riporta le formazioni affioranti, in ordine proporzionale alla presenza di livelli quarzosi. 161
Figura 7.20 Particolare relativo all'individuazione e alla mappatura di opere di difesa (località Donnalucata - RG). La linea rossa tratteggiata rappresenta la linea di riva e le opere al 2000. La linea verde indica le opere di difesa al 2020. L'immagine di sfondo è la banda dell'infrarosso vicino del febbraio 2020 (SR: WGS84 UTM33N). 165
Figura 7.21 Particolare relativo all'individuazione e mappatura di un'opera portuale (porto di Sant'Agata di Militello - ME). La linea rossa tratteggiata rappresenta la linea di riva e l'opera stessa al 2000. La linea verde indica l'opera al 2020. L'immagine di sfondo è la banda dell'infrarosso vicino acquisita nel febbraio 2020 (SR: WGS84 UTM33N). 166
Figura 7.22 Istogramma a barre relativo al totale delle opere censite al 2000. Sicilia e Isole minori. 170
Figura 7.23 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2000 classificate sia per tipologia che per Unità Fisiografica di I ordine delle coste siciliane, escluso le isole minori.... 170
Figura 7.24 Istogramma relativo alle opere censite al 2000 raggruppate per Unità Fisiografica di I ordine e classificate per tipologia. 171
Figura 7.25 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2000 classificate sia per tipologia che per le Isole minori. . 171
Figura 7.26 Istogramma relativo alle opere censite al 2000 classificate sia per tipologia che per le Isole minori. . 172
Figura 7.27 Istogramma a barre relativo al totale delle opere censite al 2020. Sicilia e Isole minori. 176
Figura 7.28 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2020 classificate sia per tipologia che per Unità Fisiografica di I ordine delle coste siciliane, escluso le isole minori.... 176
Figura 7.29 Istogramma relativo alle opere censite al 2020 classificate sia per tipologia che per Unità Fisiografica di I ordine delle coste siciliane, escluso le isole minori.... 177

Figura 7.30 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2020 classificate per tipologia. Isole minori. 177
Figura 7.31 Istogramma relativo alle opere censite al 2020 classificate per tipologia. Isole minori. 178
Figura 7.32 Istogramma di confronto tra le opere censite al 2000 e le opere censite al 2020. 178
Figura 7.33 Istogramma a pila relativo alle opere censite al 2000 e quelle censite al 2020. 179
Figura 7.34 Ubicazione delle aree marine protette della Regione Sicilia. 181
Figura 7.35 Mappa degli itinerari culturali subacquei della Sopraintendenza del Mare della Regione Siciliana. Le anfore indicano i siti di interesse presenti elencati in Tabella 7.XI (Fonte: Soprintendenza del Mare, Regione Siciliana) 184
Figura 7.36 Schematizzazione di una pianta di Posidonia Oceanica. 186
Figura 7.37 Schematizzazione di una pianta di Cymodocea Nodosa 188
Figura 7.38 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste siciliane (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente)..... 189
Figura 7.39 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste siciliane occidentali (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente). 190
Figura 7.40 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste siciliane Nord-Orientali (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente). 191
Figura 7.41 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste siciliane Sud-Orientali (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente). 192
Figura 7.42 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste delle isole Pelagie (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente). 193
Figura 7.43 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste dell'Isola di Pantelleria (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente). 194
Figura 7.44 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste delle Isole Egadi (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente). 194
Figura 7.45 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste dell'Isola di Ustica

(fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente). 195
Figura 7.46 Distribuzione delle Praterie di Posidonia Oceanica e Cymodocea Nodosa lungo le coste delle Isole Eolie (fonte: Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente)..... 195
Figura 8.1 Rappresentazione del fetch geografico valutato in corrispondenza di un punto al largo della costa di Catania. 197
Figura 8.2 Rappresentazione dei limiti del valore del fetch geografico per una generica direzione φ ai fini della determinazione del fetch efficace. 199
Figura 8.3 Rappresentazione polare del fetch efficace in corrispondenza di un punto al largo della costa di Catania. 200
Figura 8.4 Localizzazione delle stazioni metereologiche dell'Aeronautica Militare utilizzate nelle presenti analisi anemologiche a terra. 202
Figura 8.5 Localizzazione dei punti ERA5 selezionati al largo delle coste della Regione Siciliana per le analisi anemologiche relative al clima medio e agli eventi estremi. 203
Figura 8.6 Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza relativa alle osservazioni della stazione di Catania Fontanarossa. 205
Figura 8.7 Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa. 209
Figura 8.8 Confronto dell'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Catania e: a) i dati del modello numerico del servizio CMEMS; b) i dati del modello del NOAA; c) i dati del modello numerico dell'ECMWF (ERA5). 214
Figura 8.9 Confronto dell'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Mazara del Vallo e: a) i dati del modello numerico del servizio CMEMS; b) i dati del modello del NOAA; c) i dati del modello numerico dell'ECMWF (ERA5). 215
Figura 8.10 Confronto dell'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Capo Gallo e: a) i dati del modello numerico del servizio CMEMS; b) i dati del modello del NOAA; c) i dati del modello numerico dell'ECMWF (ERA5). 215
Figura 8.11 Localizzazione dei punti CMEMS selezionati a largo delle coste della Regione Siciliana per l'analisi del clima ondoso. 216
Figura 8.12 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'Unità Fisiografica di I ordine numero 2..... 219

Figura 8.13 Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità relativo al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2..... 223
Figura 8.14 Modello regionale adottato per la propagazione del moto ondoso dal largo alla riva: schematizzazione delle attività svolte..... 229
Figura 8.15 Dominio di calcolo comprendente le coste della Sicilia e le Isole Egadi (nominato dominio "DSE")..... 233
Figura 8.16 Dominio di calcolo comprendente l'isola di Pantelleria (nominato dominio "DP"). 233
Figura 8.17 Dominio di calcolo comprendente l'isola di Lampedusa (nominato dominio "DLA"). 234
Figura 8.18 Dominio di calcolo comprendente l'isola di Linosa (nominato dominio "DLI"). 234
Figura 8.19 Dominio di calcolo comprendente l'isola di Ustica (nominato dominio "DU"). 235
Figura 8.20 Dominio di calcolo comprendente le isole Eolie (nominato dominio "DE"). 235
Figura 8.21 Dominio DES: griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni della propagazione del moto ondoso da largo a sottocosta. In rosso sono evidenziate le zone sottoposte al processo di infittimento della griglia di calcolo..... 244
Figura 8.22 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio su San Vito Lo Capo (riquadro a nella Figura 8.21). 245
Figura 8.23 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio su Capo Zafferano (riquadro b nella Figura 8.21)..... 245
Figura 8.24 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio su Capo Calavà (riquadro c nella Figura 8.21)..... 246
Figura 8.25 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio su Capo Milazzo (riquadro d nella Figura 8.21)..... 246
Figura 8.26 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro e nella Figura 8.21). .. 247
Figura 8.27 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro f nella Figura 8.21). ... 248
Figura 8.28 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro g nella Figura 8.21). .. 249
Figura 8.29 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro h nella Figura 8.21). .. 250

Figura 8.30 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro i nella Figura 8.21). ... 251
Figura 8.31 Griglia di calcolo e batimetriche adottate nelle simulazioni: dettaglio sul tratto di costa tra Capo Peloro e il porto di Catania (riquadro j nella Figura 8.21). ... 252
Figura 8.32 Dominio DP: griglia di calcolo e batimetriche. 253
Figura 8.33 Dominio DP: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche..... 253
Figura 8.34 Dominio DLA: griglia di calcolo e batimetriche. 254
Figura 8.35 Dominio DLA: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche..... 254
Figura 8.36 Dominio DLI: griglia di calcolo e batimetriche. 255
Figura 8.37 Dominio DLI: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche..... 255
Figura 8.38 Dominio DU: griglia di calcolo e batimetriche..... 256
Figura 8.39 Dominio DU: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche..... 256
Figura 8.40 Dominio DE: griglia di calcolo e batimetriche. 257
Figura 8.41 Dominio DE: dettaglio della griglia di calcolo e delle batimetriche..... 257
Figura 8.42 Dati CMEMS: punti selezionati per verificare la possibilità di adottare una serie di dati ricampionata con un intervallo di tempo superiore ad un'ora..... 259
Figura 8.43 Punto P1: Confronto tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati a: a) 3 ore; b) 6 ore; c) 9 ore e d) 12 ore. 260
Figura 8.44 Punto P2: Confronto tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati a: a) 3 ore; b) 6 ore; c) 9 ore e d) 12 ore. 261
Figura 8.45 Punto P3: Confronto tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati a: a) 3 ore; b) 6 ore; c) 9 ore e d) 12 ore. 262
Figura 8.46 Punto P1: boxplot delle differenze tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS

originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati..... 263
Figura 8.47 Punto P2: boxplot delle differenze tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati..... 264
Figura 8.48 Punto P3: boxplot delle differenze tra i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS originari, ossia con intervallo di tempo orario, e i valori dell'altezza d'onda significativa massima osservata durante le mareggiate individuate sulla base dei dati CMEMS ricampionati..... 265
Figura 8.49 Discretizzazioni nel dominio della frequenza considerate nelle simulazioni della propagazione del moto ondoso. 268
Figura 8.50 Evento di levante: a) confronto dei tempi computazionali; b) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1; c) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1 in corrispondenza della batimetrica 20 m. 270
Figura 8.51 Evento di scirocco: a) confronto dei tempi computazionali; b) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1; c) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1 in corrispondenza della batimetrica 20 m. 270
Figura 8.52 Evento di ponente: a) confronto dei tempi computazionali; b) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1; c) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1 in corrispondenza della batimetrica 20 m. 271
Figura 8.53 Evento di tramontana: a) confronto dei tempi computazionali; b) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1; c) differenza massima e minima tra l'altezza d'onda stimata per le Configurazione 2 e la Configurazione 1 in corrispondenza della batimetrica 20 m. 271

Figura 8.54 Punti di misura impiegati per la validazione dell'altezza d'onda significativa stimata mediante il modello SWAN. 273
Figura 8.55 Confronto dell'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE. 276
Figura 8.56 Confronto dell'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE: a) profondità inferiore a 50 m; b) profondità tra 50 m e 100 m; c) profondità superiore a 100 m. 276
Figura 8.57 Localizzazione dei nodi delle diverse griglie di calcolo utilizzati per le analisi del moto ondoso sottocosta per ogni unità fisiografica del III ordine. 278
Figura 8.58 Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.1.1.a, ossia al punto sottocosta ricadente nell'unità fisiografica di I ordine numero 2, nell'unità fisiografica di II ordine numero 1 e nell'unità fisiografica di III ordine numero 1. 283
Figura 8.59 Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilità relativo al punto 2.1.1.a. 286
Figura 8.60 Definizione della direzione media del flusso di energia del moto ondoso, della direzione media della linea costa e della direzione media della deriva dei sedimenti: a) direzione della deriva concorde con la direzione della linea di costa; b) direzione della deriva opposta alla direzione della linea di costa. 289
Figura 8.61 Flusso di energia medio annuo del moto ondoso, direzione media della linea di costa e direzione media della deriva dei sedimenti relativi al punto 3.1.4.a. In grigio si indicano le direzioni lato terra. 290
Figura 8.62 Flusso di energia medio annuo del moto ondoso, direzione media della linea di costa e direzione media della deriva dei sedimenti relativi al punto 3.1.4.b. In grigio si indicano le direzioni lato terra. 290
Figura 8.63 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 1 su 13). 293
Figura 8.64 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 2 su 13). 294
Figura 8.65 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 3 su 13). 294
Figura 8.66 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 4 su 13). 295
Figura 8.67 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 5 su 13). 295

Figura 8.68 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 6 su 13). 296
Figura 8.69 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 7 su 13). 296
Figura 8.70 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 8 su 13). 297
Figura 8.71 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 9 su 13). 297
Figura 8.72 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 10 su 13). 298
Figura 8.73 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 11 su 13). 298
Figura 8.74 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 12 su 13). 299
Figura 8.75 Indicazioni sulla deriva dei sedimenti (dettaglio 13 su 13). 299
Figura 8.76 Stazioni della Rete Mareografica Nazionale gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). 300
Figura 8.77 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Catania appartenente alla Rete Mareografica Nazionale. 301
Figura 8.78 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Porto Empedocle appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 301
Figura 8.79 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Sciacca appartenente alla Rete Mareografica Nazionale. 302
Figura 8.80 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Lampedusa appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 302
Figura 8.81 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Palermo appartenente alla Rete Mareografica Nazionale. 302
Figura 8.82 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Messina appartenente alla Rete Mareografica Nazionale. 303
Figura 8.83 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Ginostra appartenente alla Rete Mareografica Nazionale. 303
Figura 8.84 Livello de mare rilevato dalla stazione mareografica di Strombolicchio appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 303
Figura 8.85 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Catania appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 309

Figura 8.86 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Porto Empedocle appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 309
Figura 8.87 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Sciacca appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 310
Figura 8.88 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Lampedusa appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 310
Figura 8.89 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Palermo appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 310
Figura 8.90 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Messina appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 311
Figura 8.91 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Ginostra appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 311
Figura 8.92 Pressione atmosferica rilevata dalla stazione mareografica di Strombolicchio appartenente alla Rete Mareografica Nazionale..... 311
Figura 8.93 Il corso d'acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti (ISPRA, 2016). 315
Figura 8.94 Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico. Zona montana di produzione di sedimenti: (1) frane; (2) alimentazione ed eventuale sbarramento da parte dei sedimenti in alveo; (3) sedimentazione in alveo ed erosione delle sponde. Zona di trasferimento di sedimenti (alta pianura): (4) erosione delle sponde ed accrezione delle barre; (5) costruzione delle sponde per tracimazione. Zona di accumulo di sedimenti (bassa pianura): (6) erosione delle sponde per movimenti di massa; (7) deposizione di sedimenti fini nella piana inondabile; (8) trasporto di wash load dei sedimenti fini al mare (ISPRA, 2016). 317
Figura 8.95 Diagramma schematico del rapporto tra potenza e potenza critica della corrente (ISPRA, 2016; modificato da BULL, 1979) e modello concettuale di Lane (1955). 318
Figura 8.96 Suddivisione del territorio siciliano in bacini idrografici e individuazione lungo costa delle UF3. 321
Figura 8.97 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UF3) costieri nel periodo 1960-1994. 322
Figura 8.98 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UF3) costieri nel periodo 1994-2012. 323

Figura 8.99 Confronto tra le variazioni di linea di costa osservate negli intervalli 1960-1994 e 1994-2012 sulle unità fisiografiche di III ordine. 324
Figura 8.100 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UFGEO) costieri nel periodo 1960-1994. 325
Figura 8.101 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UFGEO) costieri nel periodo 1994-2012. 326
Figura 8.102 Caratterizzazione dei bacini idrografici in funzione delle variazioni totali calcolate sui tratti (UF3) costieri nel periodo 1960-1994. 326
Figura 8.103 Ubicazione dei serbatoi artificiali utilizzati per la calibrazione del modello WaTEM/SEDEM. 328
Figura 8.104 Carta della perdita di suolo del territorio siciliano (pixel 100m), (Panagos et al., 2015 mod.). 330
Figura 8.105 Carta della perdita di suolo cumulata sui bacini idrografici del territorio siciliano (Panagos et al., 2015 mod.). .. 330
Figura 8.106 Carta della perdita di suolo del territorio siciliano, cumulata sui bacini idrografici tributari delle UF3 (Panagos et al., 2015 mod.)..... 331
Figura 8.107 Carta della resa di sedimento (deposizione/trasporto) del territorio siciliano (pixel 25m), valutata con la metodologia WaTEM/SEDEM (Borrelli et al., 2018). .. 332
Figura 8.108 Carta della resa di sedimento (deposizione/trasporto) cumulata per i bacini idrografici del territorio siciliano, valutata con la metodologia WaTEM/SEDEM (Borrelli et al., 2018, mod.). 333
Figura 8.109 Carta della resa di sedimento (deposizione/trasporto) del territorio siciliano, cumulata sui bacini idrografici tributari delle UF3 (Borrelli et al., 2018, mod.). 334
Figura 8.110 Carta del *Sediment Delivery Ratio* simulato da WaTEM/SEDEM e RUSLE. 335
Figura 8.111 Carta del *Sediment Delivery Ratio* simulato da WaTEM/SEDEM e RUSLE. 335
Figura 8.112 Carta del *Sediment Delivery Ratio* simulato da WaTEM/SEDEM e RUSLE su UFGEO. 336
Figura 8.113 Classificazione morfologica automatica del territorio siciliano (Landform CLassification, LCL). 338
Figura 8.114 Classificazione dell'uso del suolo del territorio siciliano (II livello CORINE2018)..... 338
Figura 8.115 Classificazione del territorio siciliano in termini di erodibilità delle rocce affioranti (da carta litologia della Protezione Civile regionale)..... 339
Figura 8.116 Risultati della validazione del modello di previsione della variazione della linea di costa 1960-1994. 340
Figura 8.117 Risultati della validazione del modello di previsione della variazione della linea di costa 1994-2012. 341

Figura 8.118 Correlazione tra le variazioni previste e le variazioni osservate nel periodo 1960-1994, sulle UFGEO..... 342
Figura 8.119 Correlazione tra le variazioni previste e le variazioni osservate nel periodo 1994-2012, sulle UFGEO..... 342
Figura 8.120 Esempio di visualizzazione della linea di riferimento, linee di riva e transetti. 348
Figura 8.121 Esempio di scalzamento di una scogliera a seguito di erosione al piede. 353
Figura 8.122 Esempio realizzazione del Porto di Capo D'Orlando che costituisce una barriera al normale trasporto di sedimenti lungo riva da Ovest verso Est. 354
Figura 8.123 Esempio di risposta di un tratto di costa alla realizzazione di pennelli. 355
Figura 8.124 Confronto tra immagini della spiaggia di Eraclea Minoa (Agrigento) nel 1987 e nel 2019. 357
Figura 8.125 Strada provinciale SP67 a Santa Maria del Focallo (RG) [anno 2009]..... 358
Figura 8.126 Schema metodologico di riferimento per la valutazione e la gestione di interventi di riduzione dell'erosione costiera per le coste alte..... 363
Figura 8.127 Climatologie degli indicatori SSTA (a sinistra) e SSHA (a destra) sul Mediterraneo centrale ottenute dal dataset MEDSEA RCP8.5 per il periodo 2021-2050 vs il periodo 1981-2010 (fonte: PNACC, 2017). 369
Figura 8.128 Localizzazione geografica dei siti di Catania e Mazara del Vallo per i quali sono disponibili le serie di altezza d'onda significativa RON (1989-2014), NOAA (1979-2009) e ERA5 (1979-2019)..... 374
Figura 8.129 Andamento della frequenza annua di mareggiate calcolata dai dati RON, NOAA e ERA5 per i siti di: a) Catania; b) Mazzara del Vallo (fonte: Stagnitti et al., 2020)..... 376
Figura 8.130 Andamento all'altezza d'onda significativa media annua delle mareggiate calcolata dai dati RON, NOAA e ERA5 per i siti di: a) Catania; b) Mazzara del Vallo (fonte: Stagnitti et al., 2020)..... 376
Figura 8.131 Alcune possibili opzioni di adattamento ai cambiamenti climatici di una diga a scogliera (adattata da: Foti et al., 2020)..... 379
Figura 9.1 Lunghezza dei tratti di litorale siciliano soggetto a rischio di erosione elevata (R3) e molto elevata (R4) secondo le indicazioni del Piano Stralcio di Bacino per Assetto Idrogeologico (nel riquadro si riporta l'individuazione delle UF di I ordine). Sono escluse dal grafico le UF 11, 12, 13 e 14 in quanto non sono presenti spiagge basse di dimensioni significative..... 382
Figura 9.2 Estensione delle aree classificate nel PAI a rischio R3 e R4 residuale a seguito degli interventi già realizzati, in corso di realizzazione o con iter di progettazione già

avviati (nel riquadro si riporta l'individuazione delle UF al I ordine). Sono escluse dal grafico le UF 11, 12, 13 e 14 in quanto non sono presenti spiagge basse di dimensioni significative..... 385
Figura 9.3 Localizzazione dei tratti di costa potenzialmente in erosione ottenuta dal confronto tra la linea di costa 2019 e quella di base relativa al periodo 1997-1998..... 390
Figura 9.4 Siti in cui si è riscontrato un arretramento della linea di costa e relativa classe di pericolosità. 394
Figura 9.5 Lunghezze dei tratti individuati in erosione classificati per Unità Fisiografiche di ordine I e per classi di pericolosità. 399
Figura 9.6 Rapporto tra le lunghezze dei tratti individuati in erosione classificati per Unità Fisiografiche di ordine I e per classi di pericolosità e le lunghezze complessive delle Unità Fisiografiche..... 400
Figura 10.1 Corografia dell'area di interesse (immagine di base: ortofoto 2012 del Portale Cartografico Nazionale). ... 406
Figura 10.2 Comune di Campofelice di Roccella: localizzazione del tratto in studio (immagine di base: ortofoto 2012 del Portale Cartografico Nazionale)..... 408
Figura 10.3 Clima medio del moto ondoso in prossimità della spiaggia di Campofelice di Roccella alla profondità di -20 m... 409
Figura 10.4 Flusso medio annuo di energia del moto ondoso in prossimità della spiaggia di Campofelice di Roccella alla profondità di -20 m e individuazione della deriva dei sedimenti. 410
Figura 10.5 Griglia di calcolo avente l'asse delle ascisse inclinato di 160° rispetto il Nord geografico. 413
Figura 10.6 Andamento della batimetria. 413
Figura 10.7 Distribuzione delle altezze d'onda sottocosta: Classe I 415
Figura 10.8 Distribuzione delle altezze d'onda sottocosta: Classe II 415
Figura 10.9 Distribuzione delle altezze d'onda sottocosta: Classe III 416
Figura 10.10 Distribuzione delle altezze d'onda sottocosta: Classe IV 416
Figura 10.11 Mappa della distribuzione del D_{50}. 417
Figura 10.12 Distribuzione delle correnti indotte dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 1.14 m – Tp= 4.54 s - Dir= 16 °N – f = 0.05% - E/Etot=12%. 418
Figura 10.13 Distribuzione delle correnti indotte dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 2.58 m – Tp= 6.85 s - Dir= 19 °N – f = 0.004% - E/Etot=4.0%. 418

Figura 10.14 Distribuzione delle correnti indotte dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 1.15 m – Tp= 4.58 s - Dir= 3.18 °N – f = 1.7% - E/Etot=43.0%. 419
Figura 10.15 Distribuzione delle correnti indotte dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 2.83 m – Tp= 7.17 s - Dir= 324 °N – f = 0.01% - E/Etot=32.0%. 419
Figura 10.16 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 1.14 m – Tp= 4.54 s - Dir= 16 °N – f = 0.05% - E/Etot=12%..... 420
Figura 10.17 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 2.58 m – Tp= 6.85 s - Dir= 19 °N – f = 0.004% - E/Etot=4.0%..... 420
Figura 10.18 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 1.15 m – Tp= 4.58 s - Dir= 3.18 °N – f = 1.7% - E/Etot=43.0%..... 421
Figura 10.19 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. Caratteristiche del moto ondoso al contorno Hs= 2.83 m – Tp= 7.17 s - Dir= 324 °N – f = 0.01% - E/Etot=32.0%..... 421
Figura 10.20 Distribuzione del trasporto solido indotto dal moto ondoso. 422
Figura 10.21 Arretramento di una costa alta nell'Isola di Malta (Progetto "NEWS" - INTERREG V-A, D'Amico S., 2019). 425
Figura 10.22 Movimenti di massa (Varnes, 1978): crolli (a), ribaltamenti (b), scivolamenti (c), scorrimenti rotazionali (d) e planari (e), flussi subacquei (f) (BGS Landslide Classification)..... 426
Figura 10.23 Esempio di erosione di una falesia (Budetta, 2008). . 427
Figura 10.24 Esempio di cinematismi combinati (Santa Maria La Scala - Acireale (CT)). 428
Figura 10.25 Processo di arretramento delle falesie (GCSE -Geography - Revision Guide Coasts, 2010)..... 431
Figura 10.26 Esempio di modellazione FEM 3D: rilievo da drone (a), aerofotogrammetria (b), mesh 3D (c), spostamenti verticali calcolati (d) (Fazio et al., 2019)..... 434
Figura 10.27 Prospetto schematico di caratteristici affioramenti lapidei ("Timpa" di Acireale (CT), Liotta A., 2007). 436
Figura 10.28 Azione del moto ondoso alla base di una falesia: concentrazione di sforzi (a), crolli e cadute di materiale (b), (Castedo et al., 2017)..... 437
Figura 10.29 Relazione tra resistenza della roccia intatta e tasso medio di erosione (Benumof e Griggs, 1999). 438

Figura 10.30 Principio RMI per la caratterizzazione delle proprietà di un ammasso roccioso (Budetta et al., 2000). 442
Figura 10.31 Caratterizzazione della resistenza di ammassi rocciosi proposta da Palmstrøm (1995). 442
Figura 10.32 Tratti di costa rocciosa alta nell'area della "Timpa" di Acireale (CT) lungo il basso versante sud-orientale etneo. 449
Figura 11.1 Medicane Zorbas del 27-28 settembre 2018, un uragano di categoria tra 1 e 2, caratterizzato da venti oltre i 140 km/h e da altezze d'onda significative al largo oltre 6 m (fonte: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF). 453
Figura 11.2 Traiettoria del MEDICANE Zorbas: confronto tra la traettoria prevista il 26 settembre 2018 e la traiettoria effettiva. Le traettorie sono state ricostruite sulla base dei dati forniti dall'ECMWF..... 453
Figura 11.3 Mappa della Rete Ondametrica Nazionale (RON) operativa fino al 2014. 462
Figura 11.4 Rete Ondametrica Regionale proposta. 463
Figura 11.5 Rete Mareografica Nazionale del Servizio Mareografico Nazionale..... 464
Figura 11.6 Rete mareografica dell'Intergovernmental Oceanographic Commission. 465
Figura 11.7 Parametri monitorati dall'odierna rete mareografica nazionale dell'ISPRA..... 465
Figura 11.8 Rete Mareografica Regionale esistente (sinistra) e proposta (destra). In rosso le nuove stazioni..... 467
Figura 11.9 Esempio di settore angolare del Radar HF: mostra la posizione delle celle radar, la profondità al contorno da bassa a alte (Barrick & Lipa,1986). 469
Figura 11.10 Esempio di copertura ad anelli dei dati di onda registrati dal sistema HF Radar di Marina di Ragusa (rete CALYPSO) 469
Figura 11.11 Esempi di stazioni CoastSnap installate in alcune spiagge australiane (fonte: https://www.environment.nsw.gov.au) 472
Figura 11.12 Esempio di rilevazione della linea di riva alla stazione CoastSnap di North Narrabeen nel mese di maggio 2020, che mostra come nel giro di pochi giorni la linea di riva sia arretrata di circa 32 m a seguito di una mareggiata (fonte: https://www.facebook.com/coastsnap/)..... 474
Figura 11.13 Schema dell'impianto di video-sorveglianza. 477
Figura 11.14 La spiaggia di San Leone compresa tra le foci del fiume Akragas (NW) e la foce del fiume Naro (SE). In figura sono mostrati gli 81 transetti utilizzati per l'analisi diacronica della linea di riva. 480
Figura 11.15 a) Particolare del sistema di video monitoraggio della spiaggia di San Leone. b) immagine ripresa dal sistema il

16 febbraio 2015 alle ore 16.28. Il tratto di spiaggia è quello prospicente l'ex lido "Oceano Mare". La linea rossa è stata identificata con l'indicatore asciutto/bagnato. 481
Figura 11.16 A-B) Finestre del software di gestione e controllo delle immagini riprese dal sistema di video monitoraggio. Le immagini mostrano delle riprese "mediate". C-D) Riprese "istantanee" rispettivamente, con piccola altezza d'onda significativa e durante una mareggiata. 482
Figura 11.17 Differenti linee di riva digitalizzate in condizioni di mareggiata. L'immagine sulla quale sono mostrate le linee di riva è stata ripresa il 15 febbraio 2015 ed è stata assunta come rappresentativa di "condizioni di mare calmo". 482
Figura 11.18 Classificazione delle immagini basata sulla riflettanza della sabbia. 483
Figura 11.19 Strumenti per telerilevamento: a) termocamera, b) fotocamera su drone; c) laser scanner..... 488
Figura 11.20 Individuazione dei litotipi (Iannucci et al., 2018)..... 491
Figura 11.21 Esempi di rappresentazione caratteristiche litologiche e strutturali di un'area in studio. 491
Figura 11.22 Esempio proiezione stereografica e distribuzione delle giaciture. 499
Figura 11.23 Architettura di un sistema di monitoraggio. 502
Figura 11.24 a) Spettri di Fourier in spostamento, b) Diagramma spostamenti nel piano orizzontale (Miccoli et al., 2015). 510
Figura 12.1 Rapporto tra presenza di cave sottomarine e prodotto interno lordo. 526
Figura 12.2 Distribuzione dei giacimenti utilizzati di aggregati, intendendo con questo termine depositi costieri non metallici né carbonatici. Questi sono presenti anche lungo le spiagge e nei fondi marini più profondi. Gli aggregati sono principalmente estratti per il loro utilizzo nell'industria delle costruzioni (fonte www.emodnet.geology.eu). 527
Figura 12.3 Depositi già sfruttati in Italia ubicati in corrispondenza delle regioni Veneto, Emilia Romagna, Marche e Lazio (fonte CNR-ISMAR e ARPA Regione Emilia Romagna, novembre 2016)..... 528
Figura 12.4 A titolo esemplificativo, confronto tra quantità di sedimenti dragati in Europa e quella dragata complessivamente in Italia (fonte CNR-ISMAR e ARPAE Regione Emilia Romagna, novembre 2016) 529
Figura 12.5 La figura di sinistra mostra l'andamento della linea di riva, intorno all'Italia, alla fine dell'Ultimo Massimo Glaciale (18.000 anni fa circa), quello sulla destra mostra i depositi glaciali noti (fonte www.emodnet.geology.eu) 530

Figura 12.6 Rilievo batimetrico della piattaforma continentale dei golfi di Palermo e di Termini Imerese. 531
Figura 12.7 Area interessata dal deposito del Golfo di Termini Imerese 533
Figura 12.8 Ubicazione campioni di sedimenti prelevati da spiagge potenzialmente compatibili con i sedimenti provenienti dei DSMR di Termine Imerese. 535
Figura 12.9 Fuso granulometrico rappresentativo dei DSMR. 538
Figura 12.10 Distribuzione percentuale del campione medio composito rappresentativo dei DSMR..... 539
Figura 12.11 Esempio di alcuni campioni provenienti dal deposito di Termini Imerese prima e dopo la pulitura. 540
Figura 12.12 In ordinata il rapporto tra la differenza del diametro medio dei sedimenti di prestito e dei sedimenti nativi e la classazione dei sedimenti nativi, mentre in ascissa il rapporto tra la classazione dei sedimenti di prestito e i sedimenti nativi..... 543
Figura 12.13 La stabilità del sedimento è decrescente da sinistra verso destra, laddove con la massima stabilità sarà necessaria una ricarica pari a 1/50 del materiale immesso con il primo intervento, mentre spostandoci verso destra si riscontrano valori che testimoniano l'assoluto insuccesso dell'intervento iniziale..... 544
Figura 12.14 Confronto tra il sedimento composito medio del DSMR e il campione rappresentativo delle spiagge Siciliane. . 545
Figura 12.15 Compatibilità granulometrica e composizionale tra il campione composito del deposito di Termine Imerese e i campioni prelevati lungo le spiagge siciliane..... 550
Figura 12.16 Evoluzione dell'interrimento del Porto di Siculiana; Da: RANDAZZO G., MAMMINO P. (1999) - Involution of a harbour structure and its impact on the downdrift coastlines in Siculiana Marina (SW Sicily). *COASTline* 199-3, p. 8 - 9. 554
Figura 12.17 Attuale situazione del Porto di Siculiana (14.04.20).. 554
Figura 12.18 Evoluzione dell'interrimento all'esterno del Porto di Selinunte 555
Figura 12.19 Ubicazione dei maggiori serbatoi artificiali in Sicilia .. 568
Figura 12.20 (a) Serbatoio Pozzillo; (b) Serbatoio Ancipa 570
Figura 12.21 (a) Serbatoio Gammauta; (b) Serbatoio Comunelli... 570
Figura 12.22 (a) Serbatoio Piana degli Albanesi; (b) Serbatoio Disueri. 571

Elenco delle Tabelle

Tabella 2.I Variazione della superficie degli arenili e della linea di costa dell'Italia peninsulare e delle isole maggiori dal 1960 al 1994 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017). 21
Tabella 2.II Variazione della superficie degli arenili e della linea di costa dell'Italia peninsulare e delle isole maggiori dal 1994 al 2012 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017). 21
Tabella 2.III Variazione della superficie degli arenili e della linea di costa dell'Italia peninsulare e delle isole maggiori dal 1960 al 2012 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017). 22
Tabella 2.IV Variazione della superficie degli arenili e della linea di costa rapportati ai volumi di ripascimento operati nel periodo 1997-2011 (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017)..... 24
Tabella 2.V Tratti a potenziale rischio di erosione costiera in funzione dei beni esposti (elaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque, 2017)..... 25
Tabella 2.VI - Morfotipi costieri siciliani e loro evoluzione. 29
Tabella 2.VII – Interventi finanziati nell'ambito della Misura 1.2.4. - Tutela Integrata delle Aree Costiere" del P.O.R Sicilia 2000 – 2006 36
Tabella 4.I Stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare in Sicilia. 62
Tabella 4.II Coordinate di ciascun mareografo della regione Sicilia (fonte ISPRA)..... 65
Tabella 5.I Classificazione delle tipologie di coste..... 77
Tabella 5.II Definizione di unità fisiografica costiera principale, secondaria, unità gestionale e sub-unità gestionale secondo le linee guida TNEC (MATTM-Regioni, 2018). 80
Tabella 5.III Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di I ordine per il PRCEC della Regione Sicilia. 88
Tabella 5.IV Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 1 per il PRCEC..... 91

Tabella 5.V Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 2 per il PRCEC. 91
Tabella 5.VI Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 3 per il PRCEC. 92
Tabella 5.VII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 4 per il PRCEC. 92
Tabella 5.VIII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 5 per il PRCEC. 93
Tabella 5.IX Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 6 per il PRCEC. 94
Tabella 5.X Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 7 per il PRCEC. 94
Tabella 5.XI Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 8 per il PRCEC. 95
Tabella 5.XII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 9 per il PRCEC. 96
Tabella 5.XIII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 10 per il PRCEC. 96
Tabella 5.XIV Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 11 per il PRCEC. 96
Tabella 5.XV Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 12 per il PRCEC. 97
Tabella 5.XVI Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 13 per il PRCEC. 97
Tabella 5.XVII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 14 per il PRCEC. 97
Tabella 5.XVIII Proposta di suddivisione in unità fisiografiche costiere di II e III ordine dell'UF 15 per il PRCEC. 97
Tabella 5.XIX Altezza d'onda $Hs,12$ e periodo $Ts,12$ dell'onda morfologica e profondità di chiusura hc per ogni unità fisiografica del I ordine. 103
Tabella 7.I Tipologie di opere di difesa costiera censite da ISPRA al 2000 e relative alle Unità Fisiografiche di I Ordine.... 163
Tabella 7.II Opere di difesa costiera al 2000 relative alle Unità Fisiografiche di I Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I. 167
Tabella 7.III Opere di difesa costiera al 2000 relative alle Isole minori. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I. 167
Tabella 7.IV Opere di difesa costiera al 2000 relative alle Unità Fisiografiche di II Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I. 168
Tabella 7.V Opere di difesa costiera al 2000 relative alle Unità Fisiografiche di III Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I. 169
Tabella 7.VI Opere di difesa costiera al 2020 relative alle Unità Fisiografiche di I ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I. 172

Tabella 7.VII Opere di difesa costiera al 2020 relative alle Isole minori. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I. 173
Tabella 7.VIII Opere di difesa costiera al 2020 relative alle Unità Fisiografiche di II Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I..... 174
Tabella 7.IX Opere di difesa costiera al 2020 relative alle Unità Fisiografiche di III Ordine. Gli ID delle opere di difesa sono riportati in Tabella 7.I. 175
Tabella 7.X Siti di Interesse Comunitario, Zone di Speciale Conservazione e Zone di Protezione Speciale che interessano le coste siciliane. 181
Tabella 7.XI Elenco degli itinerari culturali subacquei della Sopraintendenza del Mare della Regione Siciliana . .. 185
Tabella 8.I Stazioni anemometriche dell'Aeronautica Militare utilizzate per le analisi del clima anemologico medio. 201
Tabella 8.II Punti griglia del dataset ERA5 utilizzati per le analisi al largo delle coste della Sicilia e delle isole minori. 204
Tabella 8.III Valori del parametro D_n per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa. 208
Tabella 8.IV Valori del parametro D_n^* al variare del livello di significatività per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa. 208
Tabella 8.V Parametri delle distribuzioni di probabilità per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa. 208
Tabella 8.VI Velocità del vento al variare del tempo di ritorno e delle distribuzioni di probabilità per la serie dei dati della stazione di Catania Fontanarossa. 209
Tabella 8.VII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Catania e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa. 212
Tabella 8.VIII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Mazara del Vallo e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa. 213
Tabella 8.IX Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Capo Gallo e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri

che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa. 213
Tabella 8.X Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Catania superiore a 3 m e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa. 213
Tabella 8.XI Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Mazara del Vallo superiore a 3 m e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa.214
Tabella 8.XII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa ondametrica di Capo Gallo superiore a 3 m e quella stimata mediante i modelli numerici dei centri ECMWF e NOAA e dal servizio CMEMS. In verde sono evidenziati i valori dei parametri che, tra quelli stimati, indicano una maggiore corrispondenza con i dati rilevati dalla boa.214
Tabella 8.XIII Punti griglia del dataset CMEMS utilizzati per le analisi al largo delle coste della Sicilia. 217
Tabella 8.XIV Punti griglia del dataset CMEMS utilizzati per le analisi al largo delle coste delle isole minori. 218
Tabella 8.XV Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'Unità Fisiografica di I ordine numero 2..... 220
Tabella 8.XVI Valori del parametro D_n per il punto griglia 5.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 5. 222
Tabella 8.XVII Valori del parametro D_n^* al variare del livello di significatività per il punto griglia 2.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2. 222
Tabella 8.XVIII Parametri delle distribuzioni di probabilità relativi al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2..... 222
Tabella 8.XIX Altezza d'onda significativa al variare del tempo di ritorno e delle distribuzioni di probabilità relativa al punto 2.A, ossia al punto al largo dell'unità fisiografica di I ordine numero 2..... 223
Tabella 8.XX Sintesi dell'analisi degli eventi estremi per i punti griglia del dataset CMEMS localizzati al largo delle coste della Sicilia. 226

Tabella 8.XXI Sintesi dell'analisi degli eventi estremi per i punti griglia del dataset CMEMS localizzati al largo delle isole minori. 227
Tabella 8.XXII Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DSE (punti griglia da 1 a 26). 237
Tabella 8.XXIII Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DSE (continua dalla Tabella 8.XXII, punti griglia da 27 a 53)..... 238
Tabella 8.XXIV Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DP. 239
Tabella 8.XXV Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DLA. 240
Tabella 8.XXVI Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DLI. 241
Tabella 8.XXVII Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DU. 241
Tabella 8.XXVIII Coordinate dei punti griglia del CMEMS selezionati per la definizione delle condizioni al contorno al largo per il domino DE. 242
Tabella 8.XXIX Griglie di calcolo: numero dei nodi e delle celle triangolari. 258
Tabella 8.XXX Coordinate dei punti griglia del CMEMS per la verifica del ricampionamento della serie di dati oraria..... 258
Tabella 8.XXXI Esempio del file di input per il codice di calcolo SWAN. 267
Tabella 8.XXXII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE. 275
Tabella 8.XXXIII Valori dei parametri sintetici impiegati per il confronto tra l'altezza d'onda significativa stimata mediante le misure da satelliti e quella stimata mediante il codice SWAN per il dominio di calcolo DSE. Classificazione dei dati da satellite in funzione della profondità dell'area misurata..... 275
Tabella 8.XXXIV Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi lungo le coste dalla Sicilia..... 279
Tabella 8.XXXV Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi lungo le coste dalla Sicilia (continua da Tabella 8.XIII)..... 280

Tabella 8.XXXVI Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi lungo le coste delle isole Pelagie, dell'isola di Pantelleria, delle isole Egadi e dell'isola di Ustica. 281
Tabella 8.XXXVII Coordinate dei nodi estratti dalla griglia di calcolo per l'analisi lungo le coste delle isole Eolie. 282
Tabella 8.XXXVIII Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza relativa al punto 2.1.1.a, ossia al punto sottocosta ricadente nell'unità fisiografica di I ordine numero 2, nell'unità fisiografica di II ordine numero 1 e nell'unità fisiografica di III ordine numero 1. 284
Tabella 8.XXXIX Valori del parametro D_n relativi al punto 2.1.1.a. 285
Tabella 8.XL Valori del parametro D_n^* al variare del livello di significatività relativi al punto 2.1.1.a. 285
Tabella 8.XLI Parametri delle distribuzioni di probabilità relativi al punto 2.1.1.a. 285
Tabella 8.XLII Altezza d'onda significativa al variare del tempo di ritorno e delle distribuzioni di probabilità relativa al punto 2.1.1.a. 286
Tabella 8.XLIII Deriva dei sedimenti lungo le coste dalla Sicilia (continua nella Tabella 8.XLIV) 292
Tabella 8.XLIV Deriva dei sedimenti lungo le coste dalla Sicilia (continua da Tabella 8.XLIII)..... 292
Tabella 8.XLV Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Catania (fonte ISPRA, serie storica 2014). 305
Tabella 8.XLVI Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Porto Empedocle (fonte ISPRA, serie storica 2014). 305
Tabella 8.XLVII Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Sciacca (fonte ISPRA, serie storica 2014). 306
Tabella 8.XLVIII Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Lampedusa (fonte ISPRA, serie storica 2014)..... 307
Tabella 8.XLIX Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Palermo (fonte ISPRA, serie storica 2014)..... 307
Tabella 8.L Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Messina (fonte ISPRA, serie storica 2014)..... 307

Tabella 8.LI Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Ginostra (fonte ISPRA, serie storica 2014)..... 308
Tabella 8.LII Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo sito nel porto di Strombolicchio (fonte ISPRA, serie storica 2014)..... 308
Tabella 8.LIII Escursione del livello del mare causata dalla marea astronomica sulla base delle componenti armoniche fornite dall'ISPRA..... 308
Tabella 8.LIV Valore minimo e massimo della pressione atmosferica registrati in ciascuna stazione mareografica e le corrispondenti variazioni del livello del mare. 312
Tabella 8.LV Variazione di livello del mare per effetto dei venti calcolato su una profondità pari a *d*=5 m. 313
Tabella 8.LVI Escursione minima e massima dovuta alla marea astronomica e la marea meteorologica. 314
Tabella 8.LVII Anomalia media della temperatura superficiale (SSTA) e del livello del mare (SSHA), calcolata come differenza tra il periodo 2021-2050 e 1981-2010 usando il dataset MEDSEA. I valori si riferiscono all'anomalia media nella fascia entro le 12 miglia marine delle regioni costiere definite dalla MSFD: NADR Nord Adriatico; CADR Centro-Adriatico; SADR Sud Adriatico; IONS Mar Ionio; CMED Mediterraneo Centrale; LIGS Mar Ligure; TYRS Mar Tirreno; WMED Mediterraneo Occidentale (fonte: PNACC, 2017)..... 370
Tabella 9.I Estensione dei tratti di litorale (m) a rischio R3 e R4 interessati da interventi di protezione delle coste successivi al PAI e relativi stati di realizzazione. 384
Tabella 9.II Classi di pericolosità da erosione costiera di coste basse in funzione del valore dell'indice di pericolosità. 393
Tabella 9.III Classe di pericolosità associata ai siti in erosione. 395
Tabella 10.I Caratteristiche del moto ondoso energeticamente equivalente: classe, altezza d'onda, periodo, direzione e frequenza di apparizione..... 414
Tabella 10.II Classificazione semi-quantitativa della stabilità di una falesia (Benumof e Griggs, 1999). 439
Tabella 10.III Classificazione Sea Cliff Mass Rating (SCMR) (Lucchetti et al., 2014)..... 447
Tabella 10.IV Classi di qualità delle falesie in base alla classificazione SCMR (Lucchetti et al., 2014)..... 448
Tabella 11.I Schema della scheda costituente il quaderno delle mareggiate. 459
Tabella 11.II Luogo, coordinate e profondità delle 3 boe in dotazione alla Rete Ondametrica Nazionale ubicate al largo delle coste siciliane fino al 2014. 462

Tabella 11.III Principali caratteristiche da considerare per definire l'area oggetto di studio. 485
Tabella 11.IV Metodi e strumenti per il rilevamento geomeccanico di un ammasso roccioso 496
Tabella 11.V Sintesi delle indagini e prodotti attesi. 498
Tabella 12.I Matrice delle azioni/misure per il contrasto all'erosione costiera dei litorali siciliani. 518
Tabella 12.II Matrice delle azioni/misure per il contrasto all'erosione nelle coste alte rocciose dei litorali siciliani. 520
Tabella 12.III Caratteristiche di utilizzo delle dighe in Sicilia. 565
Tabella 12.IV Volumi di interrimento di alcuni serbatoi siciliani. 565
Tabella 12.V Dati sull'interrimento in alcuni grandi serbatoi siciliani (Barbagallo et al. 2004). I simboli: A: ostruzione scarichi di fondo; B: ostruzione opere di presa; C: interrimento alveo a valle della diga; D: elevata riduzione capacità 569

Elenco degli Allegati

1. Schede dissesti.
2. Quaderno delle analisi meteomarine al largo.
3. Quaderno delle stazioni della rete Aeronautica Militare
4. Quaderno delle analisi meteomarine sottocosta.

Elenco delle Tavole

- Tavola 1. Localizzazione dei punti griglia del CMEMS selezionati per lo studio.
- Tavola 2. Domini di calcolo impiegati per la propagazione del moto ondoso.
- Tavola 3. Moto ondoso sottocosta.
- Tavola 4. Direzione media della deriva dei sedimenti.

Bibliografia

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici. L'Atlante delle opere di sistemazione costiera, 44,2007.

Anselmi B., Brondi A., Falchi G., Ferretti O. (1978) - Lineamenti granulometrici e mineralogici generali dei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano, Mem. Soc. Geol. It., 19, 307-314.

Augar, N., Fluker, M., 2014. Developing social media for community based environmental monitoring. In: Proc. 25th Australas. Conf. Inf. Syst. ACIS 2014, pp. 1–10.

Battjes, J. A. (1975). Surf similarity. In Coastal Engineering 1974 (pp. 466-480).

Barrick, D. & Lipa, B. The second-order shallow-water hydrodynamic coupling coefficient in interpretation of HF radar sea echo. IEEE journal of oceanic engineering, 1986, 11(2), 310-315.

Barsanti M., Calda N., Valloni R. (2008). Definizione operativa delle unità sedimentarie di trasporto litorale. Convegno nazionale GNRAC "Coste prevenire, programmare, pianificare ", Maratea 15 -17 maggio 2008, 205 -212

Bayas, J.C.L., See, L., Fritz, S., Sturn, T., Perger, C., Dürauer, M., Karner, M., Moorthy, I., Schepaschenko, D., Domian, D., McCallum, I., 2016. Crowdsourcing in-situ data on land cover and land use using gamification and mobile technology. Rem. Sens. 8, 1–18.

Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley Ed., New York. 257 pp.

Benumof, B., Griggs, G., 1999. The dependence of seacliff erosion rates on cliff material properties and physical processes: San Diego County, California". Shore and Beach, no.67, 29-41.

Benumof, B., Storlazzi, C., Seymour, R., Griggs, G., 2000. The relationship between incident wave energy and seacliff erosion rates: San Diego County, California". Journal of Coastal Research., no.16, 1162-1178.

Boccotti, P. (1997). Idraulica marittima. UTET.

Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen, 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, J. Geophys. Res. C4, 104, 7649-7666.

Borrelli, P., Van Oost, K., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Panagos, P. 2018. A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: coupling on-site erosion with sediment transfer and carbon fluxes. Environmental Research, 161: 291-298.

Bray, M.J., Hooke, J.M., 1997. Prediction of soft-cliff retreat with accelerating sea-level rise. Journal of Coastal Research, 13, 453-467.

Budetta, P., Galietta, G., Santo, A. (2000). A methodology for the study of the relation between coastal cliff erosion and the mechanical strength of soils and rock masses. Engineering Geology Vol.56, 243-256.

Budetta, P., 2008. Stabilità delle falesie costiere in Campania: stato e tendenze. Progetto A.G.I.R.E., Sviluppo di un sistema informativo per la gestione della costa della Regione Campania, Napoli, 2008.

Bull, W.B. (1979). Threshold of critical power in streams. Geological Society of America Bulletin, 90, 453-464.

Calda N., Ferretti O., Valloni R. (2003) - Unità fisiche e opere marittime costiere: definizioni e rilevamento con tecnologie GIS, Atti Conferenza Internazionale CITTAM: "La Riqualificazione delle Coste del Mediterraneo", Napoli 26-28 Giugno 2003, Arte Tipografica Editrice, Napoli, 535-541

Caloiero, T., Aristodemo, F., Algieri Ferraro, D., 2019. Trend analysis of significant wave height and energy period in southern Italy. Theoretical and Applied Climatology (2019) 138:917–930.

Camenen, B., & Larson, M. (2005). A general formula for non-cohesive bed load sediment transport. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 63(1-2), 249-260.

Camenen, B., & Larson, M. (2006). Phase-lag effects in sheet flow transport. Coastal Engineering, 53(5-6), 531-542.

Castedo, R., Paredes, C., de la Vega-Panizo, R., Santos, A.P., 2017. The Modelling of Coastal Cliffs and Future Trends. In Hydro-Geomorphology-Models and Trends. InTech Ed.

Castedo, R., Murphy, W., Lawrence, J., Paredes, C., 2012. A new process-response coastal recession model of soft rock cliffs. Geomorphology, 177, 128-143.

Castelli, F., Maugeri, M., Minaldi, S., Sciortino, I., 1996. Frane innescate dall'alluvione del 13 Marzo 1995 sulla "Timpa" di Acireale (Sicilia) ed interventi per la riduzione del rischio. Atti Convegno "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, 5-7 Novembre 1996, Vol.1, 599-612.

Cavallaro, L., Iuppa, C., Foti, E., 2017. Effect of partial use of Venice flood barriers. J Mar Sci Eng 5(4):58.

Church JA, Clark PU, Cazenave A, Gregory JM, Jevrejeva S, Levermann A, Merrifield MA, Milne GA, Nerem RS, Nunn PD, Payne AJ, Stammer D, Unnikrishnan AS (2013) 2013: Sea level change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1137–1216.

Coastal Engineering Research Center (CERC). (1984). Shore protection manual. Vicksburg, Miss. : Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineer, U.S.A.C.E.

Coastal Engineering Research Center, 2002. Coastal Engineering Manual. EM 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Internet Publishing Group.

Corsini S., Lisi I., Bruschi A., Del Gizzo M., Archina M., Barbano A., Paone M. (2008). Caratteristiche della costa italiana: le unità fisiografiche e le profondità di chiusura", Convegno nazionale GNRAC "Coste: prevenire, programmare, pianificare", Maratea, Maggio 2008.

Del Río, L., Gracia, F.J., (2009) - Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. Geomorphology 112, 82-95.

Desmet, P., Govers, G., 1996. A GIS procedure for automatically calculating the ULSE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation 51 (5): 427–433.

Demirbilek, Z., L. Lin, and A. Zundel. (2007). WABED model in the SMS: Part 2. Graphical interface. ERDC/CHL CHETN-I-74. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.

Droege, S., 2013. Monitorchange.org [WWW Document]. Monit. Environ. Soc. Chang. Using iPhones, Photo-Stitching, Time Lapse | Monit. Chang.

Emery, O., Kuhn, K.G., 1982. Sea cliffs: their processes, profiles and classification. Bull. Geological Soc. of America, 93.10.1130/0016-7606.

Environment Agency, 2005. 'State of the Environment Report'. Crown copyright.

European Environment Agency, 2004. 'Mapping the impacts of recent natural disasters and technological incidents in Europe'. Environmental issue report No. 35.

EUROPEAN Commission - Directorate general Environment 2004. Eurosion Guidelines for implementing local information systems dedicated to coastal erosion management, May 2004 http://www.EUROSION.org/reportsonline/reports.html.

Fairbridge, F.W., 1968. The Encyclopedia of Geomorphology, Vol.2. Fairbridge Ed., Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, 1295 pp.

Fazio, N., Perrotti, M., Andriani, G., Mancini, F., Rossi, P., Castagnetti, C., Lollino, P., 2019. A new methodological approach to assess the stability of discontinuous rocky cliffs using in-situ surveys supported

by UAV-based techniques and 3-D finite element model: a case study. Engineering Geology Journal, Vol. 260, (3).

Foresight, 2004. 'Future Flooding Executive Summary'. Office of Science and Technology, UK.

Foti, E., Musumeci, R.E., Stagnitti, M. (2020). Coastal defence techniques and climate change: a review. Rend. Fis. Acc. Lincei. DOI:10.1007/s12210-020-00877-y.

Galluccio, G., Mereu, V., 2017. Supporto tecnico-scientifico per il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ai fini dell'Elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), CMCC , Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici PNACC, Prima stesura per la consultazione pubblica Luglio 2017.

Gazzolo, P., Bortone, G., Bonotto, P., 2011. Strategie e strumenti di gestione della costa in Emilia-Romagna. Regione EMILIA-ROMAGNA, Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica.

Goffi, N., Smargiasso, M., Diotallevi, L., 2018. Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere (Piano GIZC). Regione MARCHE, Servizio Tutela, Gestione e Assetto del Territorio, P.F. Difesa del Suolo e della Costa.

Groven, K., Aall, C., Van Den Berg, M., 2012. Integrating climate change adaptation into civil protection: comparative lessons from Norway, Sweden and the Netherlands. Local Environ 17(6–7):679–694.

Hallegatte, S., 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change. Glob. Environ. Chang. 19, 240–247.

Hallermeier, R.J., 1978. Uses for a calculated limit depth for beach erosion. ICCE.

Hampton, M., Dingler, J., 1998. Short term evolution of three coastal cliffs in San Mateo County, California: shore and beach. Vol.66, 4, 2430 pp.

Harley, M.D., Kinselab, M.A., Sánchez-Garcíac, E., Vos, K., 2019. Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. Coastal Engineering 150 (2019) 175–189.

Hudson, J.A., 1992. Rock Engineering Systems: Theory and Practice. New York, Ellis Horwood.

Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J., Hutchinson, J.N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. Environmental and Engineering Science, VII(3): 221-238.

Iannucci, R., Martino, S., Paciello, A., D'Amico, S., Galea, P., 2018. Engineering geological zonation of a complex landslide system through seismic ambient noise measurements at the Selmun Promontory (Malta). *Geophysical Journal International* 213(2): 1146-1161. DOI: 10.1093/gji/ggy025.

IPCC, 2012. In: Field, C.B., et al. (Eds.), Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, p. 582.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA (2016). IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua (Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussettini M.) – Versione aggiornata 2016 – ISPRA – Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, gennaio 2016.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA (2012) Manuale di mareografia e linee guida per i processi di validazione dei dati mareografici. Manuali e Linee Guida 77/2012.

James, W.R. (1975). Techniques in evaluating suitability of borrow material for beach nourishment. Report TM60, US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS

Keim, M.E., 2008. Building human resilience: the role of public health preparedness and response as an adaptation to climate change. Am J Prev Med 35(5):508–516.

Kundzewicz, Z., & Robson, A. (2000). Detecting trend and other changes in hydrological data. World Meteorological Organization.

Lajoie, K.R., Mathieson, S.A., 1998. 1982-83 El Niño Coastal Erosion, San Mateo County. U.S. Geologic Survey Open-File Report 98-041, CA., 61 pp.

Lambeck K., Antonioli F., Purcell A., Silenzi S., 2004. Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs. Quaternary Science Reviews, 23, 1567-1598.

Lane, E.W. (1957). A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in an erodible material, MRD Sediment Series 9, US Army Engineer Division, Missouri River.

Legambiente (2015). Spiagge indifese. Dossier di Legambiente.

Lim, M., Rosser, N.J., Allison, R.J., & Petley, D.N. (2010). Erosional processes in the hard rock coastal cliffs at Staithes, North Yorkshire. Geomorphology, 114(1-2), 12-21.

Lin, L., H. Mase, F. Yamada, and Z. Demirbilek. 2006b. Wave-action balance equation diffraction (WABED) model: Tests of wave diffraction and reflection at inlets. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-III-73. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.

Lionello, P., Sanna, A., 2005. Mediterranean wave climate variability and its links with NAO and Indian Monsoon. Climate Dynamics (2005) 25: 611–623

Lo Iacono C., Sulli A., Agate M. e Lo Presti V. (2011). Submarine canyon morphologies in the Gulf of Palermo (Southern Tyrrhenian

Sea) and possible implications for geo-hazard. Marine Geophysical Researches, 32, 127–138

Lo Iacono C., Sulli A., Agate M. (2014). Submarine canyons of north-western Sicily (Southern Tyrrhenian Sea): Variability in morphology, sedimentary processes and evolution on a tectonically active margin. ,104, 93-105

Losada I.J., Toimila A., Muñoz A., Garcia-Fletcher A.P., Diaz-Simala P., 2019. A planning strategy for the adaptation of coastal areas to climate change: The Spanish case. Ocean & Coastal Management, 182, 104983.

Lovato, T., Vichi, M., & Oddo, P. (2013). High-resolution simulations of Mediterranean Sea physical oceanography under current and scenario climate conditions: model description, assessment and scenario analysis. CMCC Research Paper, (207).

Lucchetti, A., Brandolini, P., Faccini, F., Firpo, M., 2014. Proposta di valutazione della stabilità delle coste rocciose (SCMR - Sea Cliff Mass Rating): Il caso studio delle falesie tra Genova e Camogli Liguria orientale). Studi costieri 2014, Vol.22, 145-157.

Lucchetti, A., Brandolini, P., Robbiano, A., Firpo, M., Faccini, F., 2013. The Sea Cliff Mass Rating geomechanical classification for the rocky coastal management plan. Proc. 12th European Geoparks Conference National Park of Cilento, Vallo di Diano and Alburni Geopark- Italy, September 2013, 158-161.

Malanotte-Rizzoli, P., 2018. Projections of sea level rise in oceans and in the Mediterranean sea: what MoSE can do for Venice. Marchi Lecture. Catania, 22/06/2018.

Martucci,G. , Carniel, S., Chiggiato, J., Sclavo, M., Lionello, P., Galati, M. B., 2010. Statistical trend analysis and extreme distribution of significant wave height from 1958 to 1999 – an application to the Italian Seas. Ocean Sci., 6, 525–538.

MATTM-Regioni, 2018. Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici.

Versione 2018 - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp.

Miccoli, D., Spilotro, G., Pellicani, R., Ditommaso, R., Ponzo, F., 2015. Interazione dinamica tra moto ondoso e falesia lungo la costa di Polignano a Mare (Puglia). Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2015 - IARG 2015 - Cagliari, 24-26 Giugno 2015.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 2017. L'erosione costiera in Italia. Le variazioni della linea di costa dal 1960 al 2012 (agg. al 2017).

Palmstrøm, A., 1995. RMi - A rock mass characterization system for rock engineering purposes. Ph.D. Thesis, Oslo University, Norway.

Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C., 2014. Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. Science of Total Environment 189–200.

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environmental Science & Policy, 54: 438-447.

Perini,L., et al., 2011. Le mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna 1946-2010. Arpa Emilia-Romagna.

Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana, 2005 (PAI, 2005).

Pirazzoli, P.A., Evelpidou, N., 2013. Tidal notches: a sea-level indicator of uncertain archival trustworthiness. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 369, 377-384.

Pomaro, A., Cavalieri, L., Lionello, P., 2017. Climatology and trends of the Adriatic Sea wind waves: analysis of a 37-year long instrumental data set. Int. J. Climatol. 37: 4237–4250.

PNACC, (2017). Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici- Supporto tecnico-scientifico per il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ai fini

dell'Elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC).

Pranzini E. (2008). Il colore della sabbia: percezione, caratterizzazione e compatibilità nel ripascimento artificiale delle spiagge. Studi costieri 15, 89 -108

Programma di Cooperazione INTERREG V - ITALIA-MALTA 2014/2020 - Programma Trasfontaliero - "Progetto NEWS - Nearshore hazard monitoring and Early Warning System" - Obiettivo Specifico 3.2.

OCR - GCSE Geography Revision Guide Paperback, September 2010.

Nomisma S.p.A., Eurobuilding S.r.l., & Regione Lazio. (2005). Projet BEACHMED – Phase C. Attività 1: Fabbisogni di sabbia per la ricostruzione e la manutenzione dei litorali "La valutazione economica delle località balneari " (studio sviluppato dalla EUROBUILDING S.r.l. con la consulenza della Nomisma S.p.A. ed il c. 101–109

Reguero, B., Losada, I.J., Méndez, J., 2019. A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. Nature Communications.

Romana, M., 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Proceedings ISRM Int. Symp. on the Role of Rock Mech., Zacatecas, 49-53.

Romana, M., 1993. A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating. Hudson, J. Ed., Comprehensive Rock Engineering, Pergamon 3, 575-600.

Sanchez-Roman, A., Jorda, G., Sannino, G., Gomis, D., 2018. Modelling study of transformations of the exchange flows along the Strait of Gibraltar. Ocean Science, Volume 14, Issue 6, 1547-1566.

SCAPE/Landscape Architecture PLLC, Brinckerhoff P, Steven Institute of Technology, Ocean and Coastal Consultants, SeArc Consulting, The New York Harbor School, LOT-EK, MTWTF, & Greenberg, P , 2013. Living Breakwaters. IP EDition Staten Isalnd and Raritan Bay.

Siviglia, S., 2016. Piano di Bacino Stralcio per l'erosione costiera – Relazione di Piano. Autorità di Bacino Regione Calabria.

SNAC, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Stagnitti, M., Musumeci, R.E., Foti, E. (2020). Trend analysis of the wave climate along the Italian coasts (in preparation).

Stive M. J.F., Aarninkhof S.G.J., Hamm L., Hanson H., Larson M., Wijnberg K.M., Nicholls R J., Capobianco M. (2002). Variability of shore and shoreline evolution. Coastal Engineering 47, 211 – 235

Sulli A., Agate M., Mancuso M., Pepe F., Pennino V., Polizzi S., Lo Presti V., Gargano F., Interbartolo F. (2012). Variability of Depositional Setting Along The North-Western Sicily Continental Shelf (Italy) During Late Quaternary: Effects Of Sea Level Changes And Tectonic Evolution. Alpine And Mediterranean Quaternary, 25, 141-156.

Sunamura, T., 1992. The Geomorphology of Rocky Coasts. Wiley Ed., Chichester.

Taleb, N.N., 2012. Antifragile. Things that gain from disorder. Random House Incorporated.

Toimil, A., Losada, I.J., Nicholls, R.G., Dalrymple, R. A., Stive, M.F., 2020. Addressing the challenges of climate change risks and adaptation in coastal areas: A review. Coastal Engineering, 156, 103611, DOI: 10.1016/j.coastaleng.2019.103611.

Turner, R.K., Burgess, D., Hadley, D., Coombes, E., Jackson, N., 2007. A cost–benefit appraisal of coastal managed realignment policy. Global Environ Change. 17(3–4):397–407.

U.S. Army Corps of Engineers, 2002. Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).

Van Oost, K., Govers, G., Desmet, P., 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. Landsc. Ecol. 15 (6), 577–589.

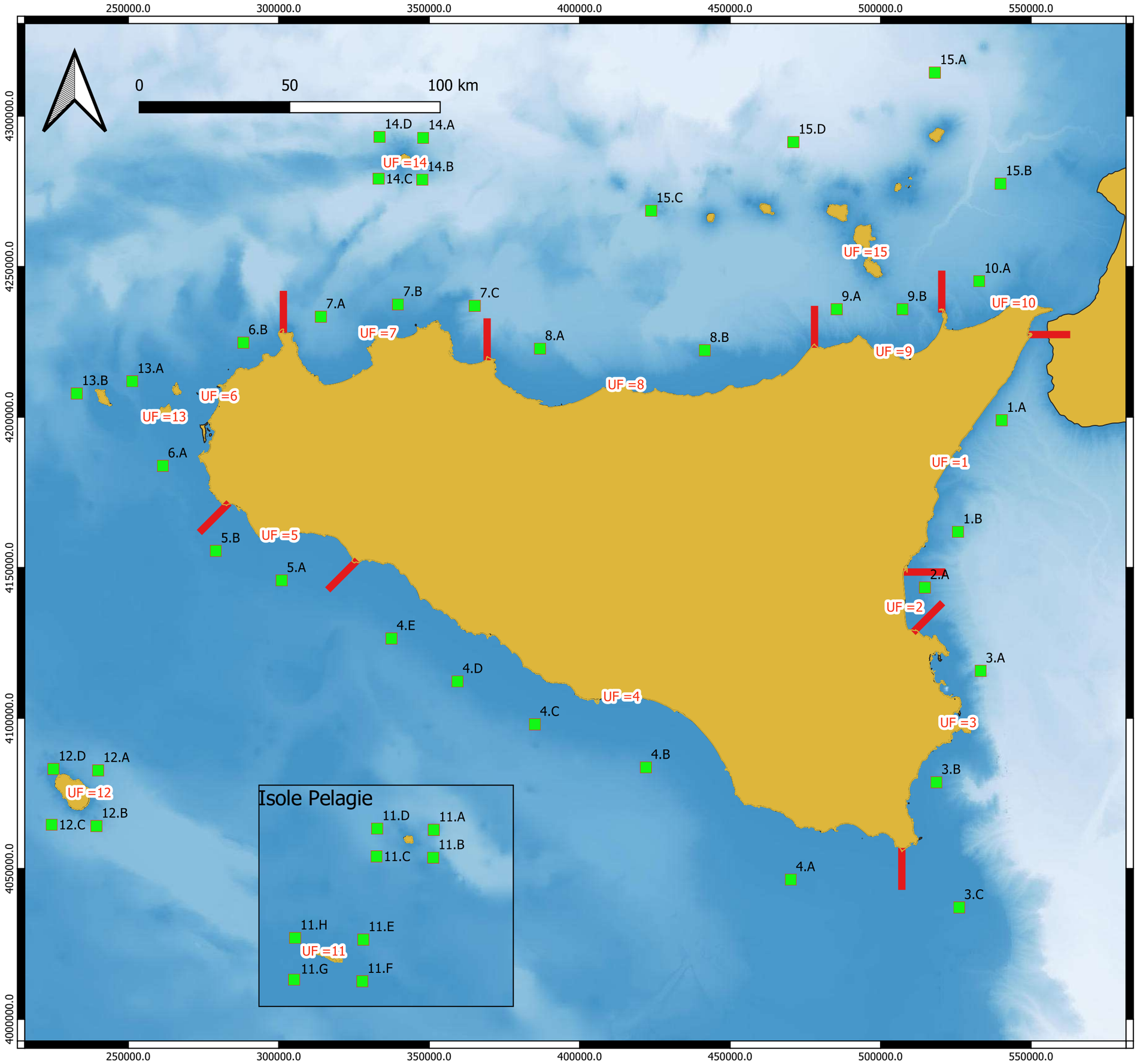
Van Rompaey, A.J., Verstraeten, G., Van Oost, K., Govers, G., Poesen, J., 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surf. Process. Landf. 26 (11), 1221-1236.

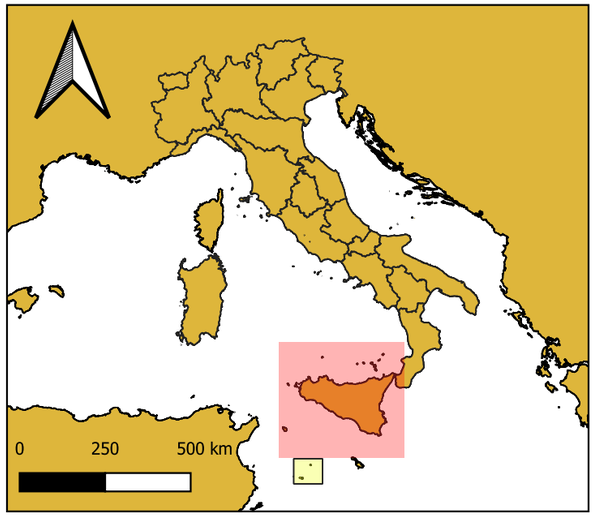
Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. Special Report no.176, Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Whitham, G. B. (1974). Linear and nonlinear waves (Vol. 42). John Wiley & Sons.

Williams, A.T., Rangel-Buitrago, N., Pranzini, E., Anfuso, G., 2018. The management of coastal erosion. Ocean Coast Manag 156:4–200.

Zanuttigh, B., Losada, I.J., Thompson, R.J., 2011. Ecologically based approach to coastal defence design and planning. ICCE.





Note

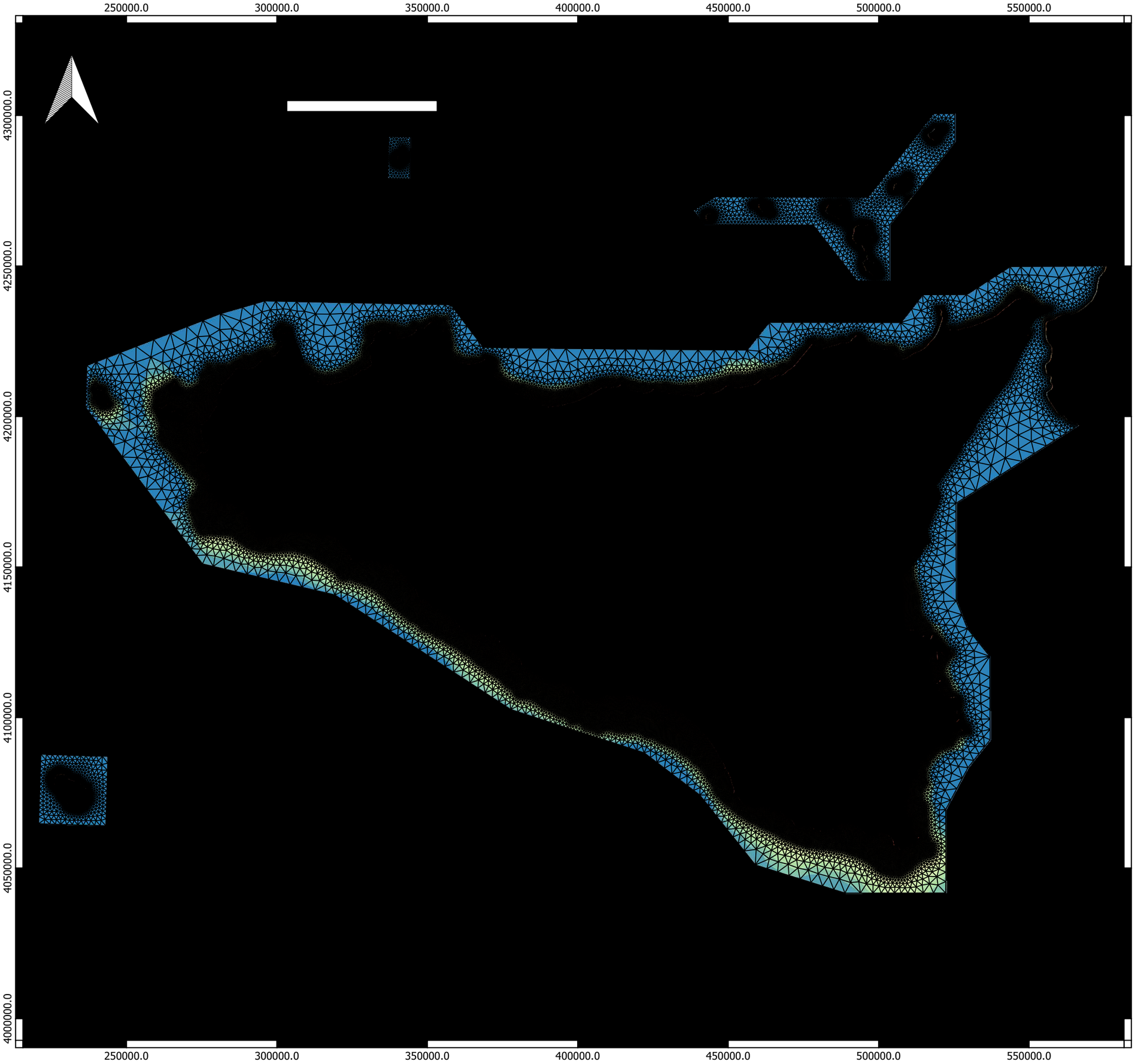
I punti griglia del servizio Copernicus - Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) sono stati selezionati al largo di ogni unità fisiografica di I ordine. Su tali punti griglia è stata condotta un'analisi sia del clima medio che degli eventi estremi del moto ondoso.

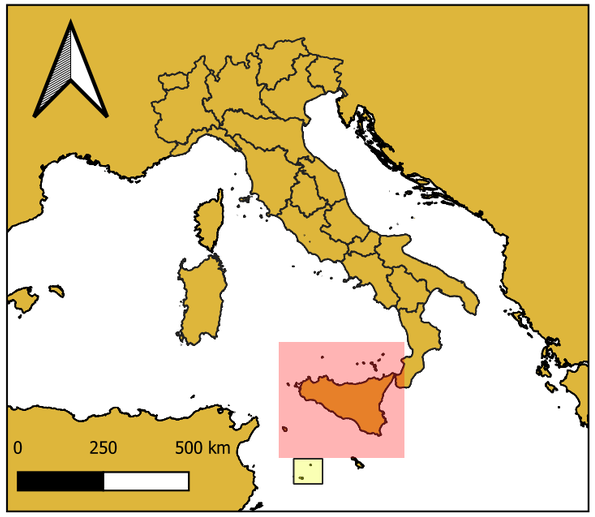
I dati di moto ondoso utilizzati nello studio coprono il periodo tra il 2016 e il 2019 (14 anni).

Legenda

- Limiti unità fisiografiche I ordine
- Punti griglia CMEMS selezionati

Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico nella Regione Siciliana	
Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera	**Tavola 1**
Localizzazione dei punti griglia del CMEMS selezionati per lo studio	
Scala: indicata	Anno: 2020



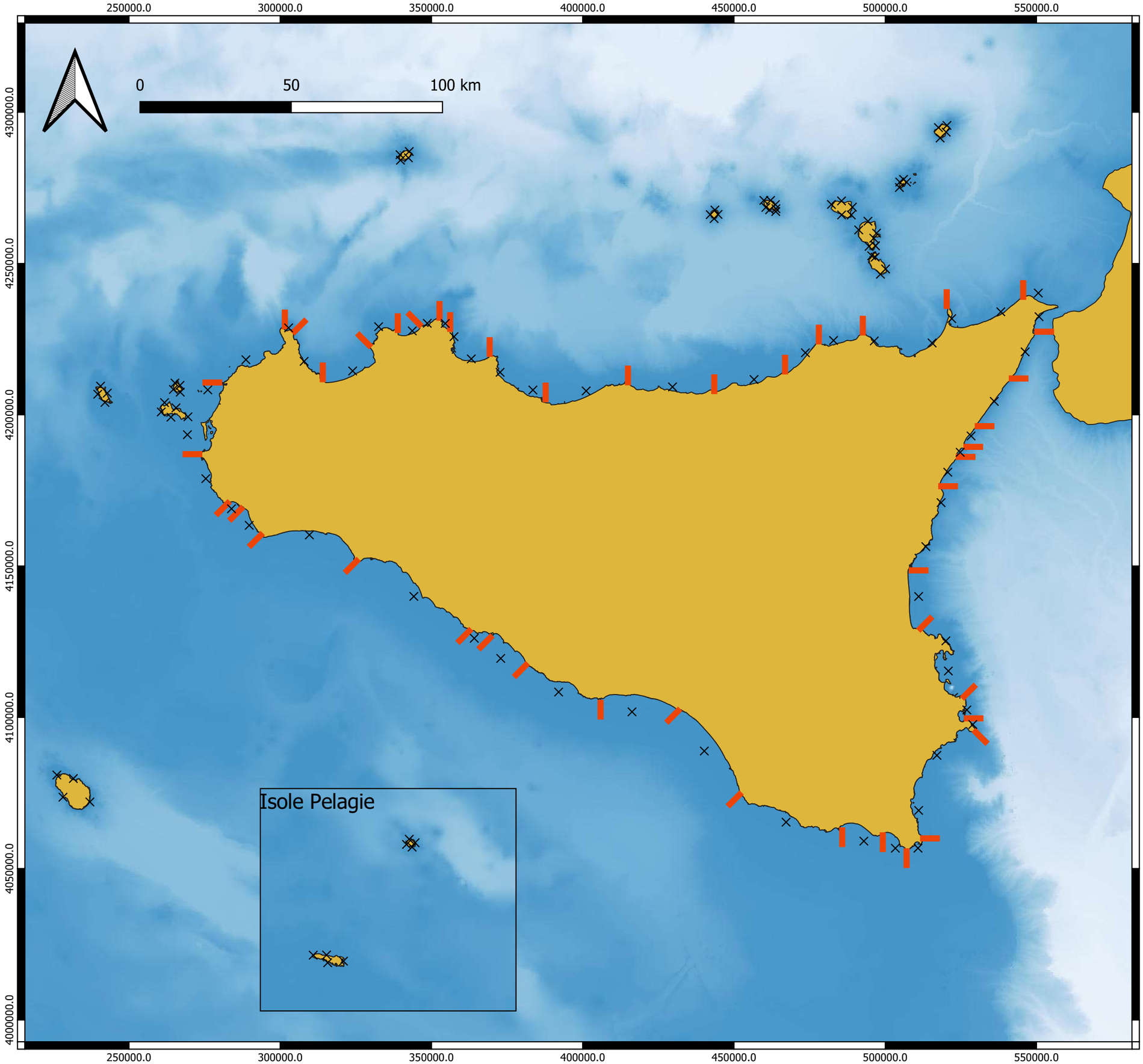


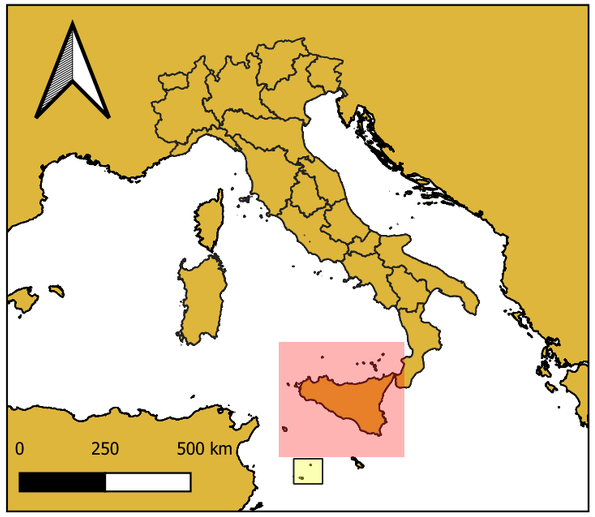
Note

Al fine di determinare le caratteristiche del moto ondoso sottocosta a partire dalle informazioni al largo, e precisamente in prossimità della batimetrica 20 m, è stato implementato un modello numerico di propagazione a scala regionale che ha consentito la ricostruzione delle informazioni ondametriche per un periodo pari a circa 14 anni (da febbraio 2006 al dicembre 2019).

Per la propagazione del moto ondoso da largo a sottocosta sono stati impiegati 6 domini di calcolo.

Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico nella Regione Siciliana	
Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera	**Tavola 2**
Domini di calcolo impiegati per la propagazione del moto ondoso	
Scala: indicata	Anno: 2020





Note

Per ogni unità fisiografica di III ordine è stato selezionato un punto griglia del modello di propagazione implementato nell'ambito del PRCEC posto ad una profondità prossima a 20 m.

Le caratteristiche del moto ondoso valutate in corrispondenza di tali punti sono state impiegate per:

i) l'analisi del clima medio;

ii) l'analisi degli eventi estremi;

iii) l'analisi del flusso di energia del moto ondoso.

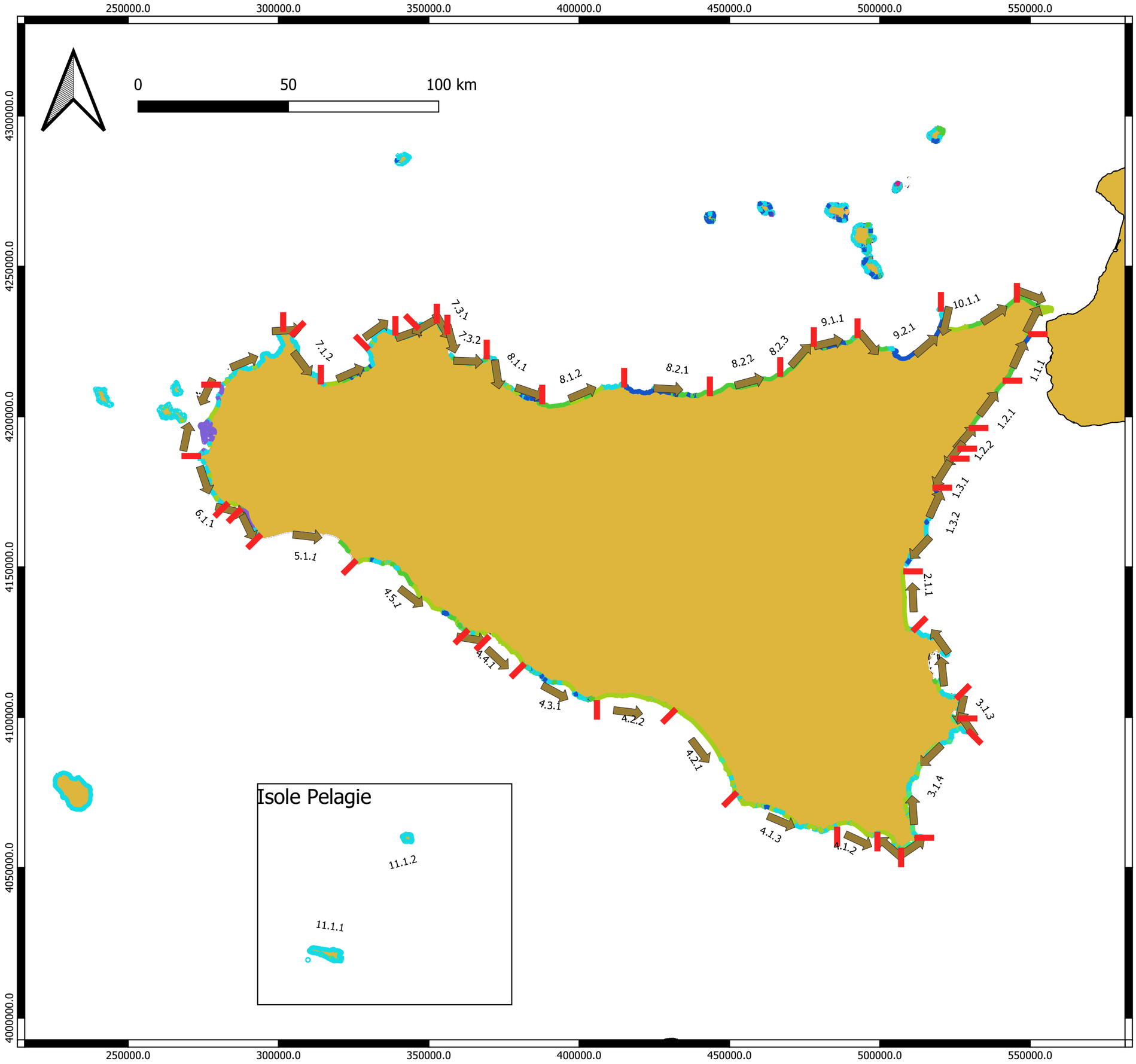
La combinazione delle informazioni relative alla direzione media della costa in prossimità dei punti griglia selezionati e alla direzione media del flusso di energia ha consentito di valutare la direzione media della deriva dei sedimenti.

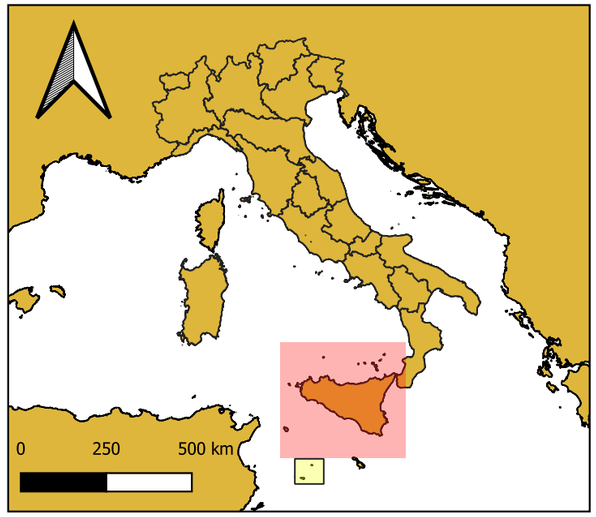
Legenda

× Punti selezionati per le analisi del moto ondoso sottocosta

Limiti UF di III ordine

Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico nella Regione Siciliana	
Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera	**Tavola 3**
Moto ondoso sottocosta	
Scala: indicata	Anno: 2020





Note

Per ogni unità fisiografica di III ordine è stata valutata la deriva dei sedimenti attraverso la combinazione delle informazioni relative alla direzione media della linea di costa e alla direzione media del flusso di energia del moto ondoso medio annuo.

Legenda

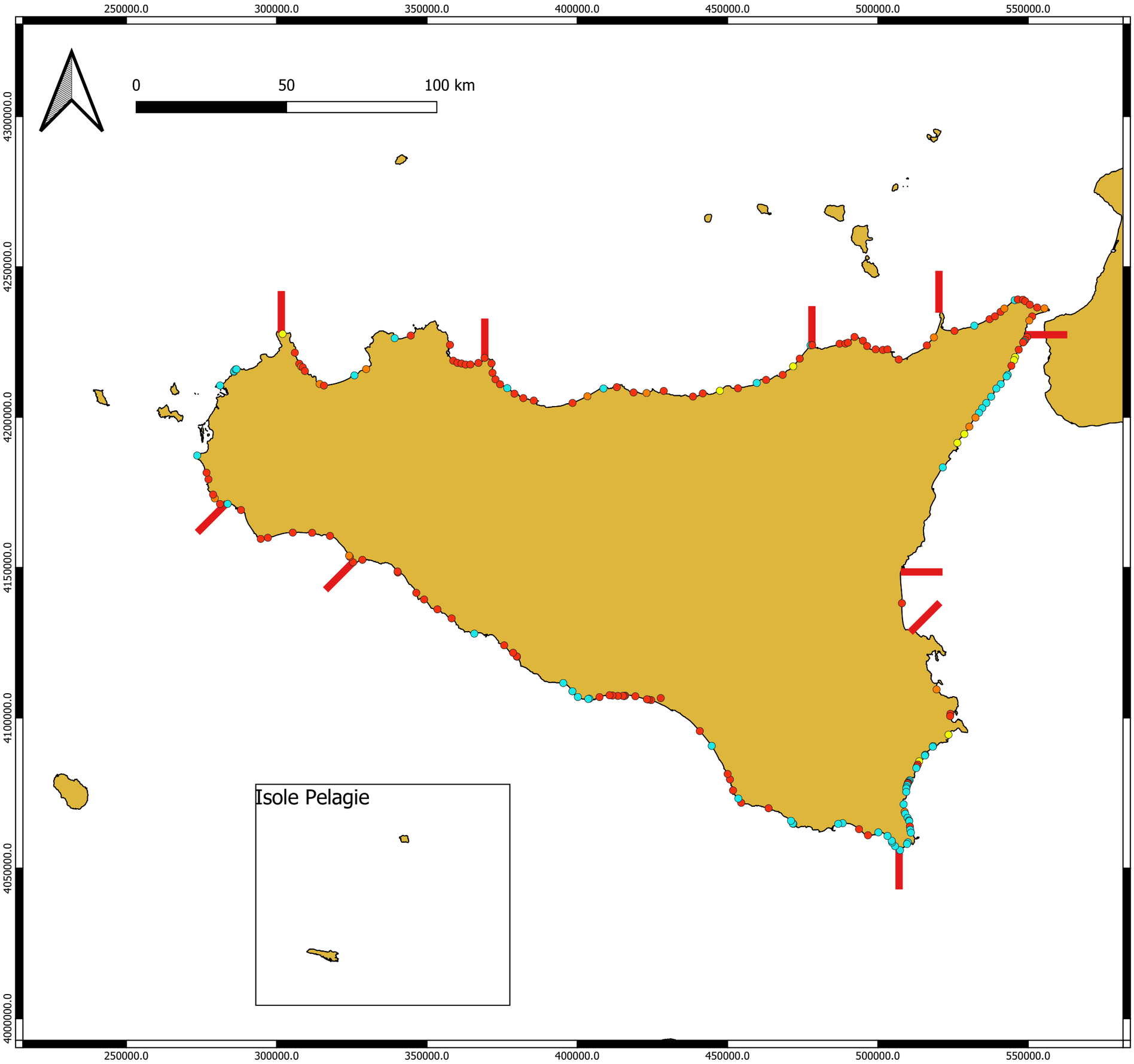
Deriva dei sedimenti

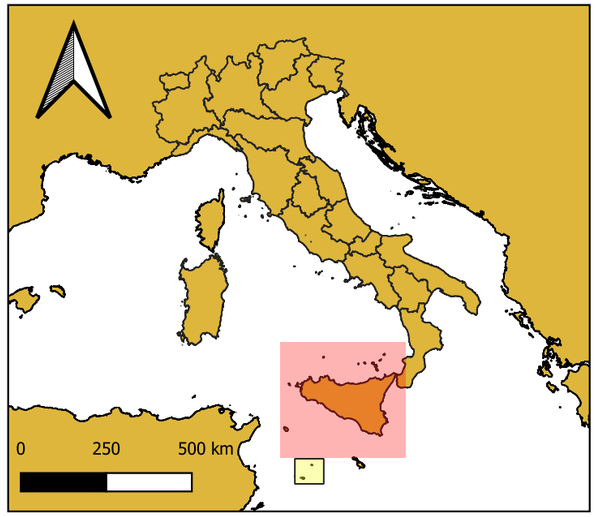
Limiti UF di III ordine

Tipologia di costa

- Costa alta ciottolosa
- Costa alta rocciosa
- Costa bassa ciottolosa
- Costa bassa rocciosa
- Costa bassa sabbiosa
- Costa bassa sabbiosa-ciottolosa
- Costa calcarenitica bassa
- Costa calcarenitica bassa e sabbiosa
- Irrigidita

Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico nella Regione Siciliana	
Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera	**Tavola 4**
Direzione media della deriva dei sedimenti	
Scala: indicata	Anno: 2020





Note

Lungo le coste della Sicilia sono stati individuati 191 tratti di costa in erosione per complessivi 164 km. Per detti tratti è stata attribuita la classe di pericolosità definità in funzione dell'indice di pericolosità (Ipc).

Legenda

Classe di pericolosità per i siti in cui si è riscontrato un arretramento della linea di costa

- P1 (Ipc>30)
- P2 (20<Ipc<30)
- P3 (10<Ipc<20)
- P4 (Ipc<10)
- Limite unità fisiografiche I ordine

Commissario di Governo contro il dissesto idrogeologico nella Regione Siciliana	
Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera	**Tavola 5**
Classe di pericolosità	
Scala: indicata	Anno: 2020

Unità fisiografica di I ordine
1

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Messina (identificativo: 16420)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Messina

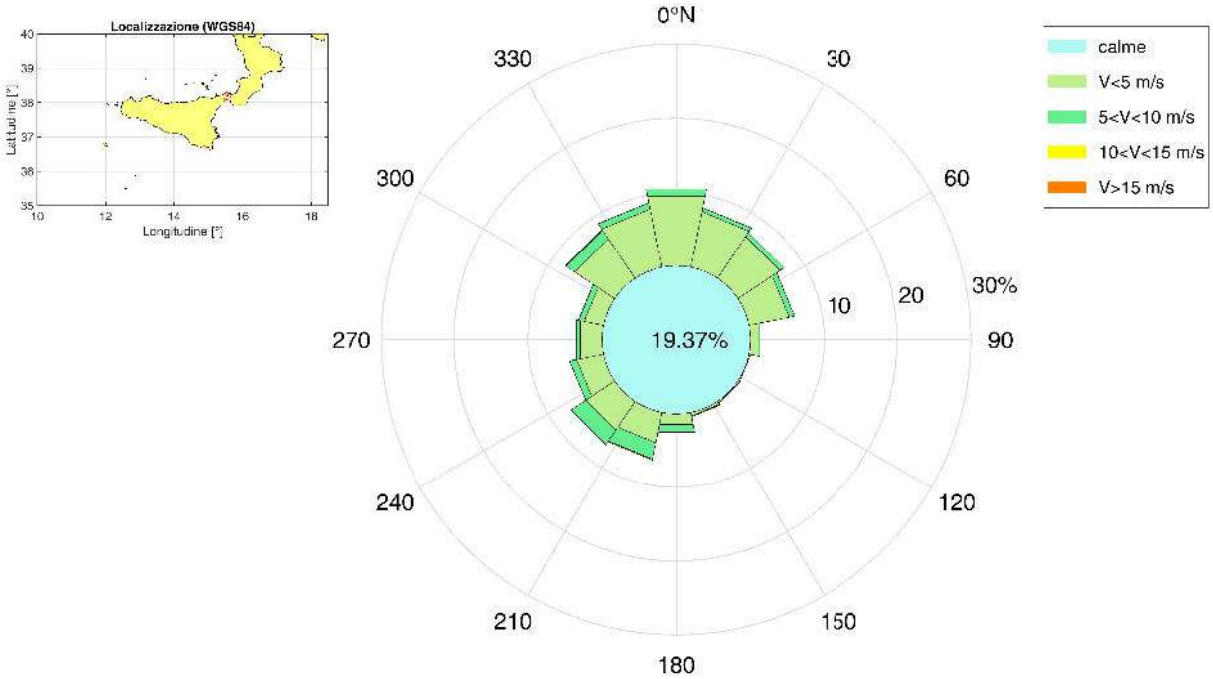


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	17.09	9.88	0.92	0.01	0.01
22.5	0.17	7.71	0.54	0.01	-
45.0	0.14	6.87	0.65	-	-
67.5	0.09	5.54	0.73	-	-
90.0	0.04	1.34	0.14	-	-
112.5	0.02	0.23	0.01	-	-
135.0	0.02	0.27	0.01	0.01	-
157.5	0.03	0.46	0.10	0.03	-
180.0	0.05	1.61	1.01	0.12	-
202.5	0.06	4.18	2.24	0.11	-
225.0	0.08	4.73	2.30	0.08	-
247.5	0.13	3.71	0.95	0.02	-
270.0	0.25	3.17	0.48	0.02	-
292.5	0.09	2.67	0.76	0.04	-
315.0	0.13	6.44	1.48	0.04	-
337.5	0.20	8.08	0.86	0.02	-

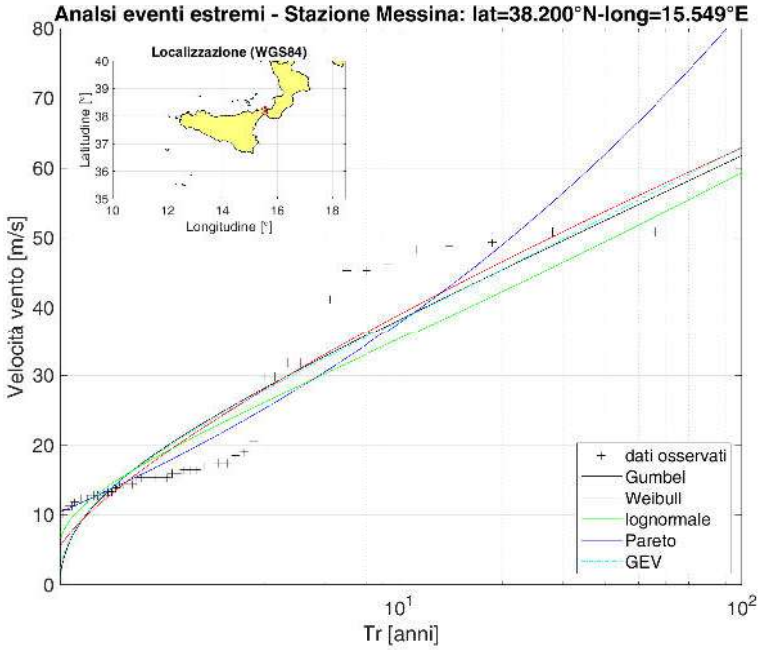


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.14168	0.15040	0.16188	0.17983	0.21574
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.24389	0.21036	0.23143	0.16569	0.23918

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.100	15.661	18.070	4.777	1.307	2.928	0.497	10.289	9.273	0.211	15.600	9.645	-0.029

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	19.34	18.43	18.69	17.21	19.15
5	30.70	30.78	28.39	28.06	30.38
10	38.22	38.98	35.32	37.78	38.02
50	54.78	56.07	51.84	66.65	55.42
100	61.78	62.89	59.36	82.44	63.03
500	77.96	77.86	78.09	129.36	81.20

Unità fisiografica di I ordine
2

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Catania Sigonella (identificativo: 16459)
Stazione dell'Aeronautica Militare di Catania Fontanarossa (identificativo: 16460)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Catania Sigonella

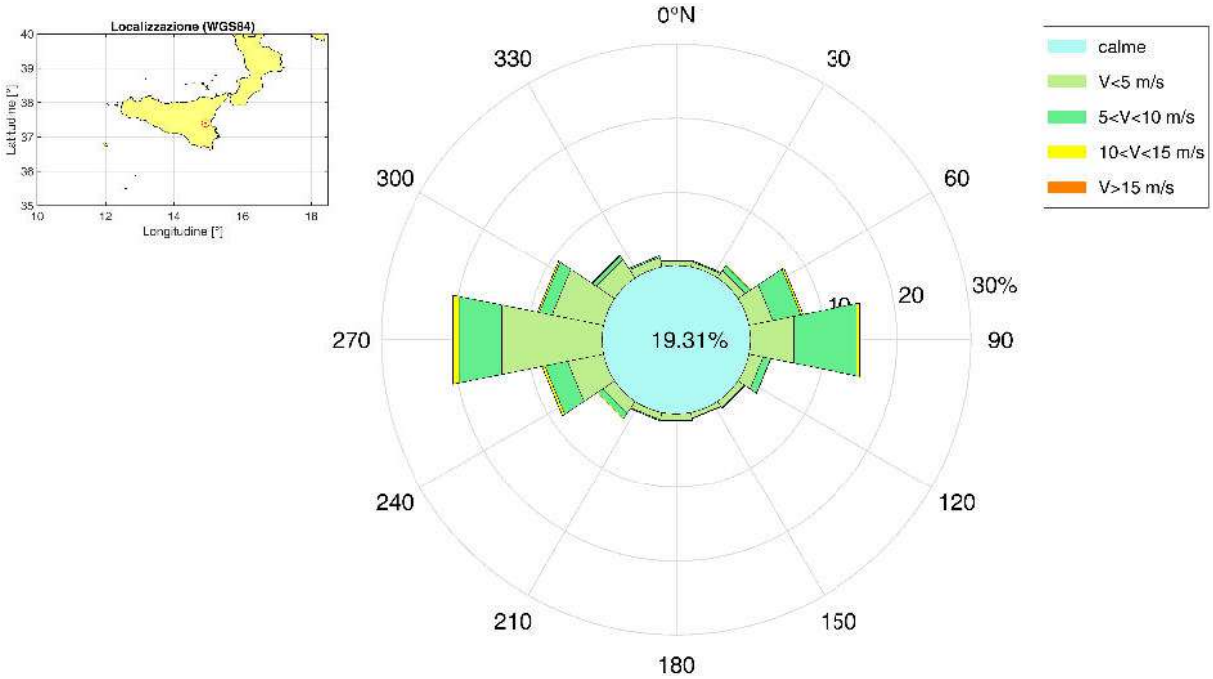


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	18.76	0.82	0.06	0.01	0.02
22.5	0.03	0.72	0.15	0.01	0.01
45.0	0.02	1.24	0.78	0.10	0.01
67.5	0.02	3.29	3.84	0.31	0.01
90.0	0.03	6.15	8.82	0.48	0.01
112.5	0.02	1.96	1.03	0.04	-
135.0	0.02	1.00	0.16	0.01	-
157.5	0.02	0.80	0.06	-	-
180.0	0.03	1.11	0.07	0.01	-
202.5	0.03	1.03	0.14	0.01	-
225.0	0.04	1.90	0.85	0.12	-
247.5	0.04	4.96	3.11	0.38	0.01
270.0	0.08	13.98	5.89	0.79	0.05
292.5	0.07	7.10	1.72	0.24	0.01
315.0	0.04	3.00	0.61	0.10	0.01
337.5	0.03	1.34	0.21	0.03	-

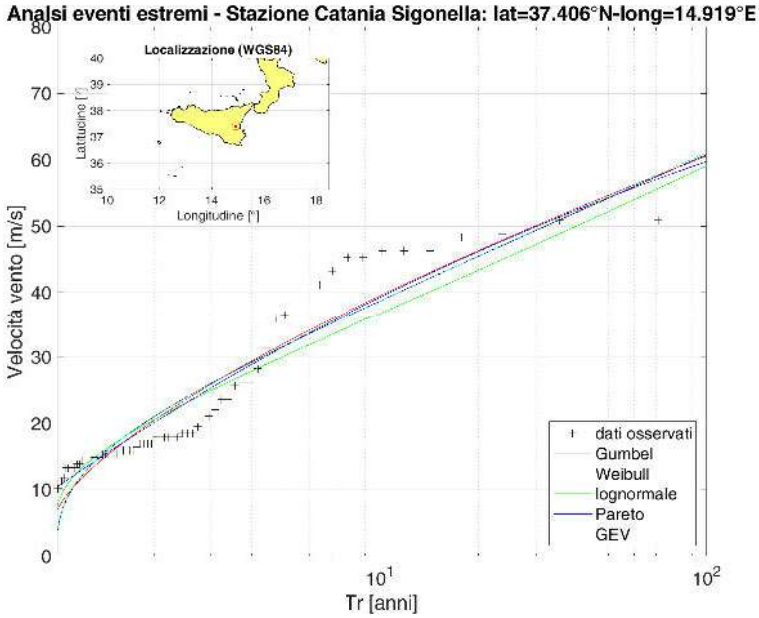


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12589	0.13362	0.14382	0.15975	0.19167
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.21439	0.18779	0.21048	0.18137	0.21340

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.106	17.561	18.499	6.155	1.415	3.023	0.454	10.289	14.897	-0.151	17.544	9.319	-0.007

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	21.01	20.43	20.55	20.09	20.96
5	31.66	32.05	30.12	31.58	31.60
10	38.72	39.51	36.78	39.28	38.68
50	54.25	54.67	52.23	54.33	54.41
100	60.81	60.59	59.11	59.77	61.11
500	75.98	73.44	75.94	70.42	76.73

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Catania Fontanarossa

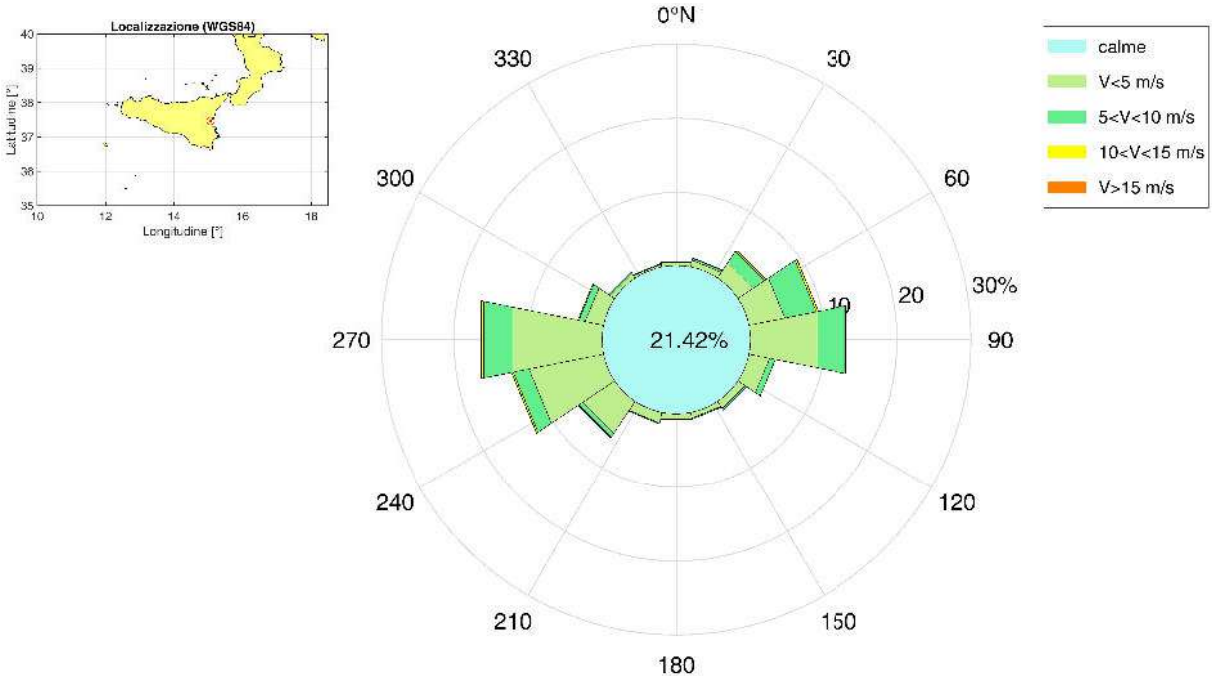


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	19.06	0.53	0.06	0.01	0.05
22.5	0.05	0.92	0.28	0.05	0.02
45.0	0.05	2.51	1.86	0.19	0.01
67.5	0.05	4.93	4.33	0.28	0.02
90.0	0.10	9.41	4.00	0.11	0.01
112.5	0.04	2.83	0.78	0.01	-
135.0	0.04	1.14	0.28	0.01	-
157.5	0.05	0.79	0.14	0.01	-
180.0	0.09	0.88	0.09	-	-
202.5	0.09	1.45	0.11	0.01	0.01
225.0	0.13	5.24	0.58	0.10	0.01
247.5	0.15	10.25	2.17	0.23	0.02
270.0	0.22	12.49	3.97	0.40	0.03
292.5	0.09	2.54	0.86	0.12	0.01
315.0	0.05	0.67	0.23	0.04	0.01
337.5	0.04	0.39	0.09	0.02	-

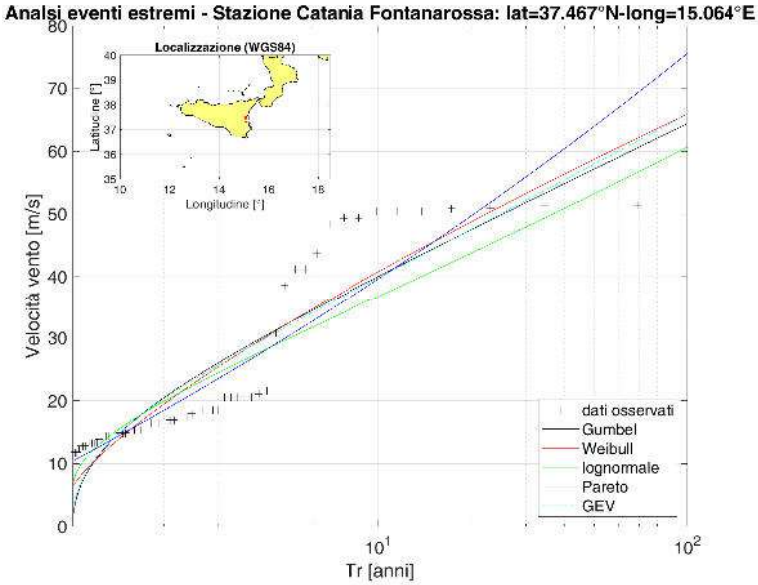


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12769	0.13554	0.14588	0.16205	0.19442
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.23713	0.20529	0.22802	0.16668	0.22967

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.096	16.715	18.285	5.767	1.282	2.993	0.478	10.289	11.519	0.088	16.642	9.906	-0.034

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	20.52	19.51	19.94	18.52	20.30
5	32.28	32.27	29.83	30.20	31.89
10	40.06	40.81	36.82	39.67	39.81
50	57.20	58.76	53.27	64.03	57.97
100	64.44	65.95	60.69	75.62	65.96
500	81.18	81.80	79.03	105.40	85.17

Unità fisiografica di I ordine
3

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Cozzo Spadaro (identificativo: 16480)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Cozzo Spadaro

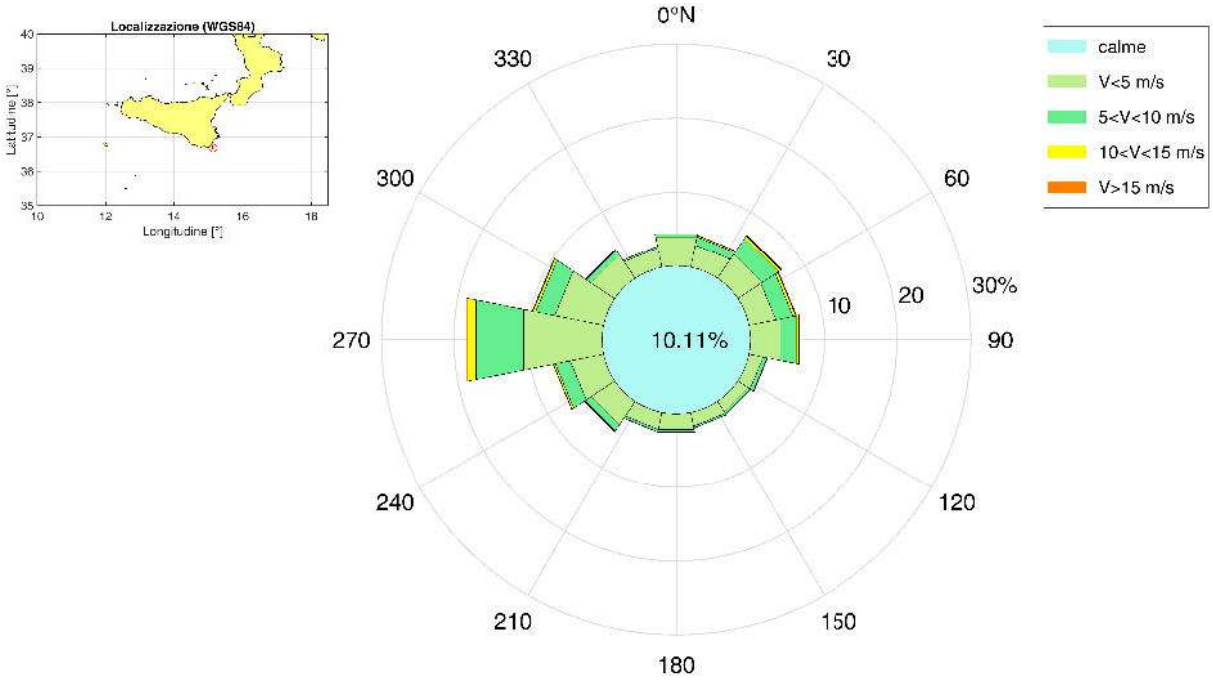


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	8.86	4.26	0.36	0.05	0.01
22.5	0.08	3.10	1.13	0.20	0.04
45.0	0.10	4.00	2.54	0.43	0.10
67.5	0.07	3.70	2.36	0.39	0.08
90.0	0.09	4.30	2.17	0.33	0.05
112.5	0.05	1.96	0.53	0.07	0.01
135.0	0.05	1.70	0.27	0.03	0.01
157.5	0.04	1.90	0.24	0.01	-
180.0	0.07	2.33	0.31	0.03	0.01
202.5	0.05	2.35	0.33	0.03	0.01
225.0	0.07	3.86	0.94	0.09	0.02
247.5	0.10	4.59	2.04	0.28	0.04
270.0	0.20	10.97	6.52	1.16	0.18
292.5	0.10	6.71	2.62	0.37	0.08
315.0	0.07	3.92	0.69	0.08	0.01
337.5	0.07	2.69	0.24	0.01	-

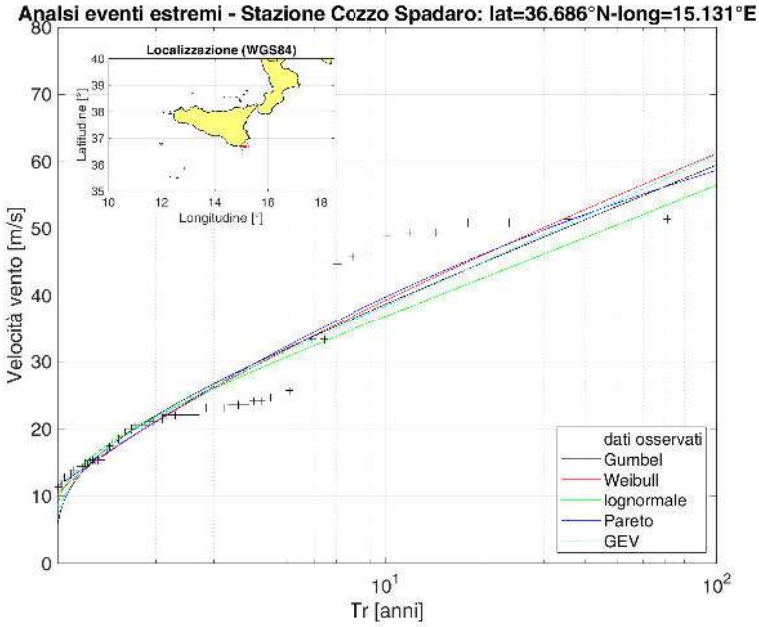


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12589	0.13362	0.14382	0.15975	0.19167
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.18946	0.16302	0.16976	0.16910	0.17799

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.113	18.769	15.090	9.813	1.246	3.083	0.409	11.318	15.058	-0.177	18.696	8.358	-0.042

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	22.01	21.06	21.82	21.14	21.78
5	32.04	31.92	30.78	32.40	31.63
10	38.69	39.28	36.85	39.78	38.41
50	53.30	54.90	50.54	53.79	54.10
100	59.48	61.21	56.50	58.70	61.06
500	73.77	75.19	70.81	68.01	77.95

Unità fisiografica di I ordine
4

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Gela (identificativo: 16453)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Gela

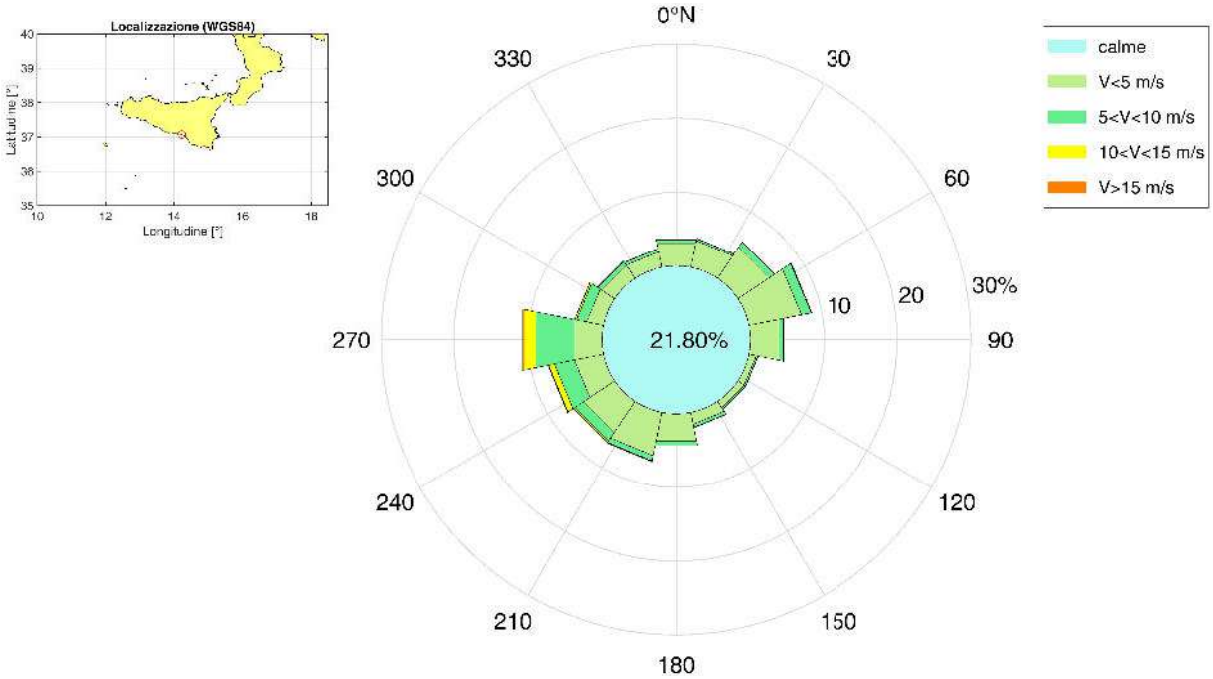


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	20.52	3.34	0.52	0.04	0.02
22.5	0.11	3.70	0.28	0.02	0.01
45.0	0.13	5.13	0.81	0.05	-
67.5	0.11	7.22	1.33	0.09	0.01
90.0	0.08	4.12	0.63	0.03	-
112.5	0.02	0.99	0.24	0.03	-
135.0	0.01	0.98	0.32	0.03	-
157.5	0.03	1.63	0.44	0.05	-
180.0	0.05	3.91	0.62	0.05	0.01
202.5	0.06	5.96	0.72	0.08	0.02
225.0	0.04	5.10	1.36	0.16	0.02
247.5	0.03	4.01	2.75	0.81	0.07
270.0	0.04	4.00	5.29	1.58	0.21
292.5	0.03	2.31	1.40	0.24	0.03
315.0	0.03	2.17	0.60	0.05	0.01
337.5	0.03	2.15	0.42	0.04	-

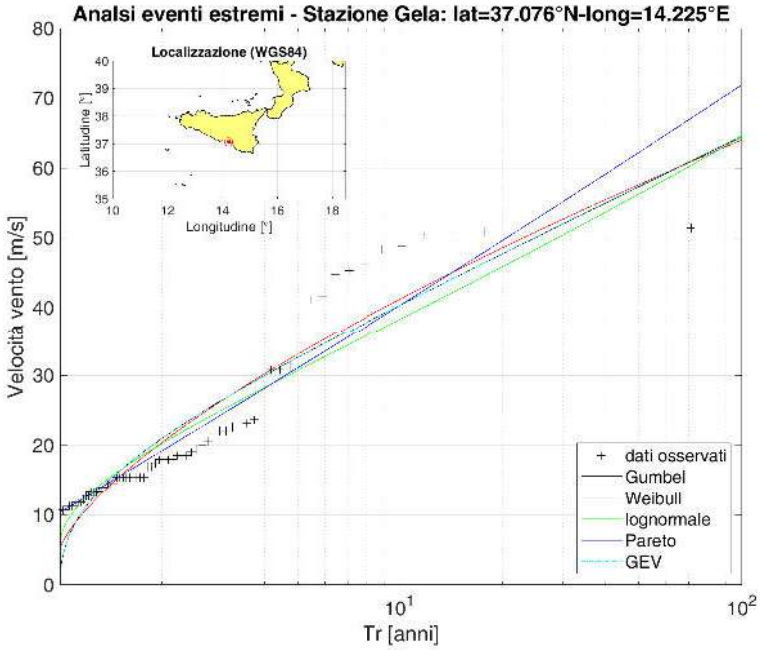


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12589	0.13362	0.14382	0.15975	0.19167
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.16075	0.14204	0.14612	0.10465	0.16023

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.097	17.150	20.555	4.426	1.435	3.005	0.499	10.289	12.694	0.023	17.140	10.255	-0.003

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	20.92	20.35	20.19	19.16	20.90
5	32.59	33.07	30.73	31.10	32.56
10	40.31	41.19	38.27	40.30	40.30
50	57.31	57.62	56.27	62.23	57.40
100	64.50	64.02	64.47	71.93	64.66
500	81.11	77.87	84.91	95.04	81.49

Unità fisiografica di I ordine
6

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Trapani Birgi (identificativo: 16429)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Trapani Birgi

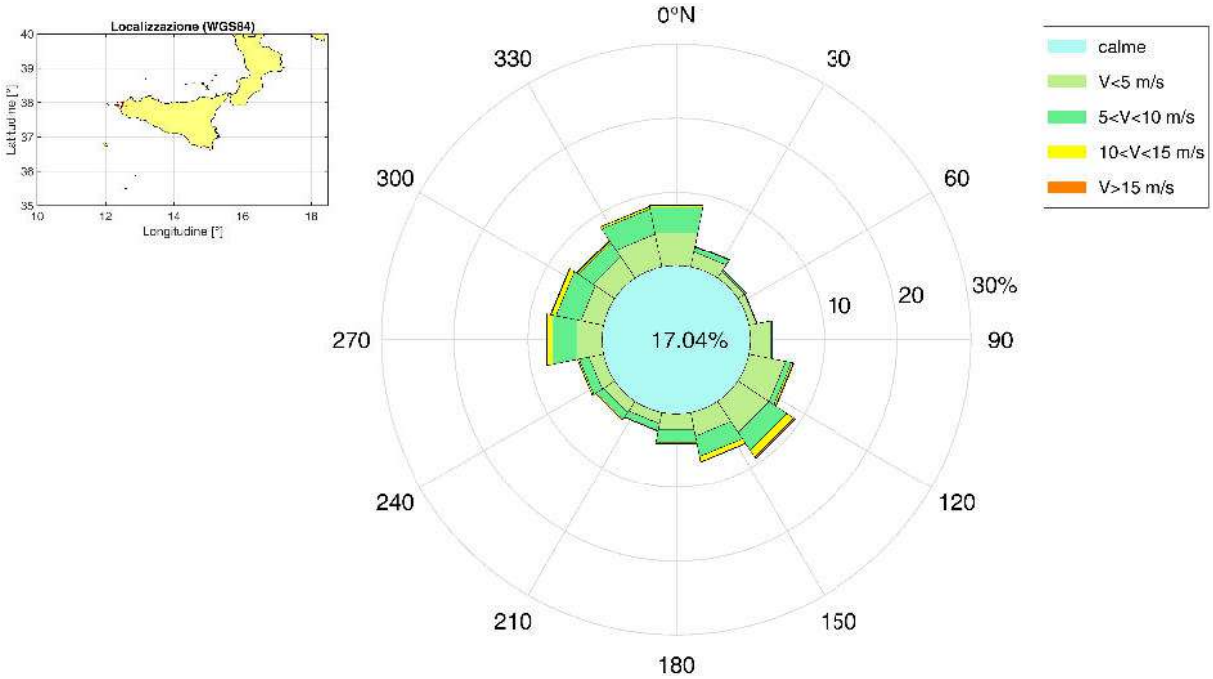


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	14.32	4.77	3.58	0.27	0.04
22.5	0.11	2.11	0.77	0.08	0.02
45.0	0.13	1.10	0.22	0.02	-
67.5	0.16	1.05	0.09	-	-
90.0	0.41	2.95	0.18	0.02	0.01
112.5	0.38	5.06	0.76	0.26	0.10
135.0	0.26	5.04	2.84	1.13	0.31
157.5	0.11	3.26	2.79	0.74	0.06
180.0	0.08	2.31	1.74	0.20	0.01
202.5	0.04	1.55	0.98	0.06	0.01
225.0	0.04	1.75	1.12	0.12	0.01
247.5	0.03	2.00	1.36	0.21	0.02
270.0	0.06	3.63	3.33	0.81	0.12
292.5	0.04	3.12	3.40	0.70	0.09
315.0	0.06	3.43	2.39	0.32	0.06
337.5	0.08	4.64	3.47	0.32	0.04

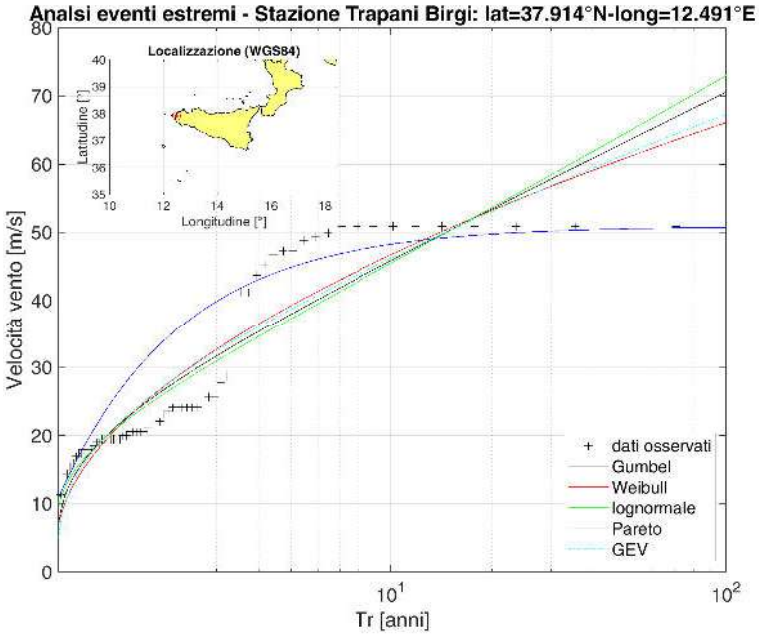


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12589	0.13362	0.14382	0.15975	0.19167
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.18418	0.18648	0.16680	0.33067	0.19632

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.095	22.236	26.953	4.357	1.842	3.239	0.452	10.289	48.236	-1.187	22.456	11.437	0.071

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	26.09	26.45	25.51	33.08	26.59
5	38.00	39.26	37.31	44.91	38.73
10	45.89	46.75	45.52	48.29	46.24
50	63.24	60.89	64.54	50.54	61.43
100	70.58	66.13	73.00	50.76	67.33
500	87.54	77.04	93.68	50.90	79.90

Unità fisiografica di I ordine
7

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Palermo Punta Raisi (identificativo: 16405)
Stazione dell'Aeronautica Militare di Palermo Boccadifalco (identificativo: 16410)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Palermo Punta Raisi

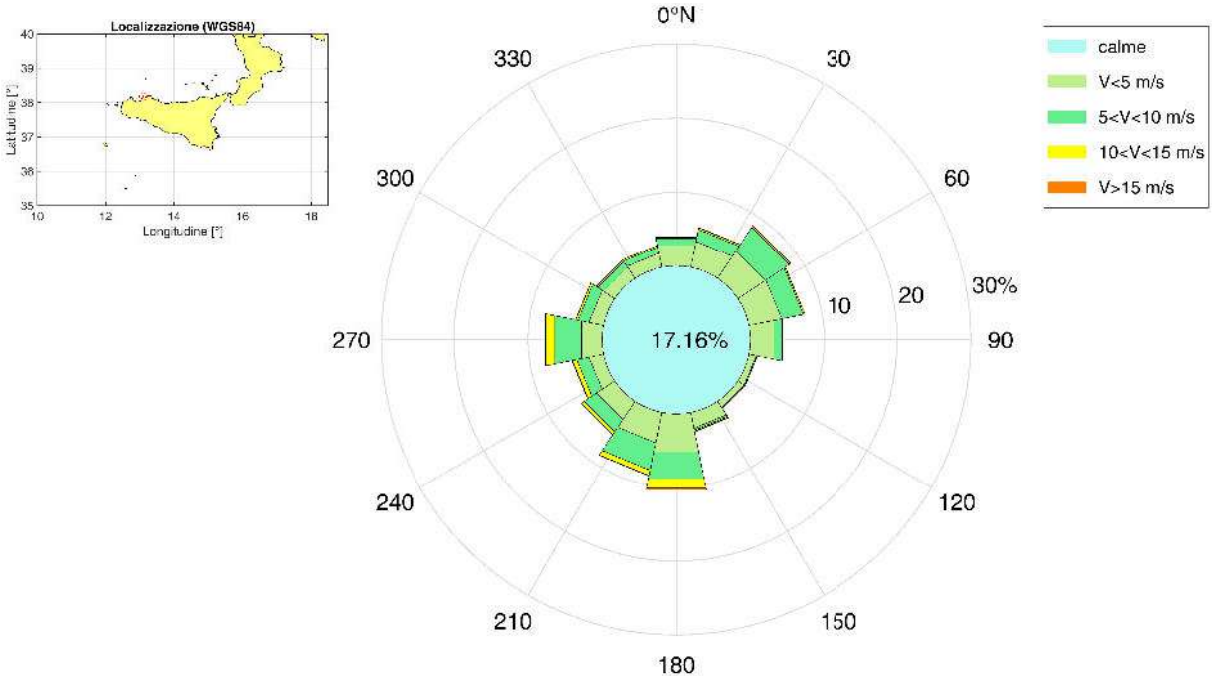


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	14.45	3.01	0.96	0.21	0.09
22.5	0.06	3.60	1.65	0.23	0.06
45.0	0.06	4.41	3.90	0.27	0.01
67.5	0.08	4.52	2.97	0.19	0.01
90.0	0.14	3.38	1.18	0.09	0.02
112.5	0.10	1.00	0.13	0.02	0.01
135.0	0.16	1.01	0.06	0.02	0.01
157.5	0.19	2.17	0.27	0.16	0.06
180.0	0.26	5.46	3.73	1.35	0.20
202.5	0.13	4.20	3.79	0.73	0.05
225.0	0.08	2.94	2.02	0.42	0.03
247.5	0.07	2.01	1.67	0.60	0.07
270.0	0.10	3.00	3.67	1.27	0.13
292.5	0.05	2.02	1.50	0.30	0.03
315.0	0.06	1.79	0.92	0.22	0.02
337.5	0.05	1.95	0.86	0.21	0.01

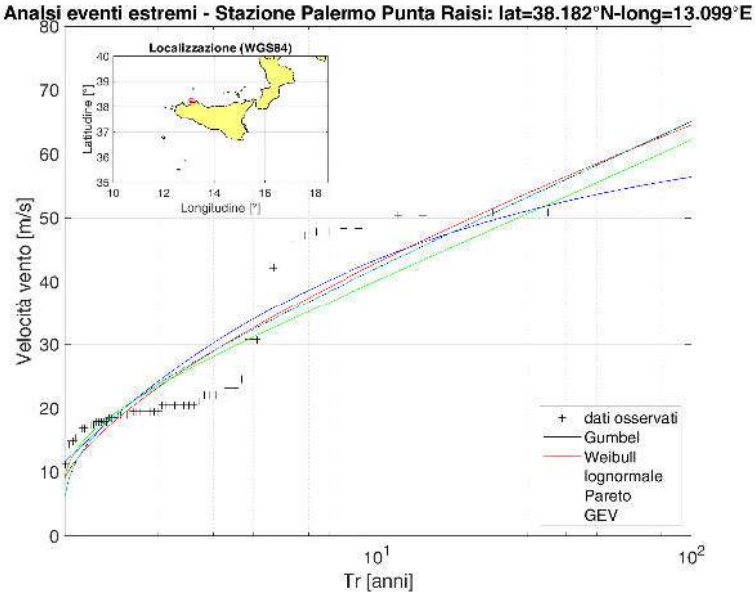


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12678	0.13457	0.14484	0.16089	0.19303
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.23797	0.21861	0.23944	0.24836	0.23755

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.103	20.236	19.570	8.105	1.441	3.158	0.418	11.318	21.304	-0.396	20.230	9.730	-0.002

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	23.81	23.28	23.52	24.23	23.80
5	34.86	35.33	33.44	36.67	34.84
10	42.18	43.01	40.20	43.50	42.17
50	58.28	58.52	55.53	53.69	58.33
100	65.09	64.56	62.24	56.43	65.18
500	80.82	77.61	78.40	60.53	81.03

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Palermo Boccadifalco

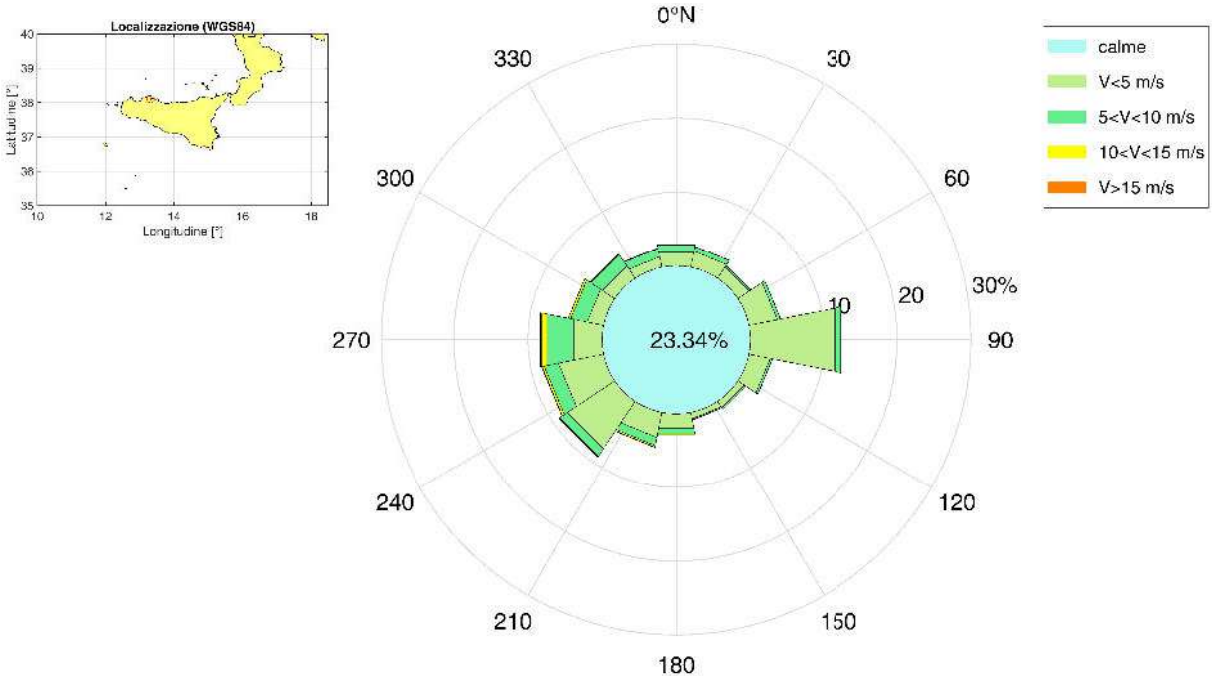


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	22.72	2.10	0.96	0.06	0.01
22.5	-	2.22	0.66	0.02	0.01
45.0	-	1.80	0.30	0.01	-
67.5	-	3.89	0.44	0.01	-
90.0	-	11.83	1.02	0.02	-
112.5	-	2.91	0.29	0.02	0.01
135.0	-	1.05	0.18	0.01	-
157.5	-	0.87	0.15	0.03	0.01
180.0	-	2.11	0.80	0.19	0.04
202.5	-	3.46	1.11	0.23	0.03
225.0	0.01	7.71	1.20	0.15	0.01
247.5	0.01	6.21	1.96	0.31	0.05
270.0	0.01	4.12	3.62	0.79	0.13
292.5	-	2.26	2.26	0.31	0.02
315.0	-	1.97	1.87	0.14	0.01
337.5	-	1.46	1.17	0.07	-

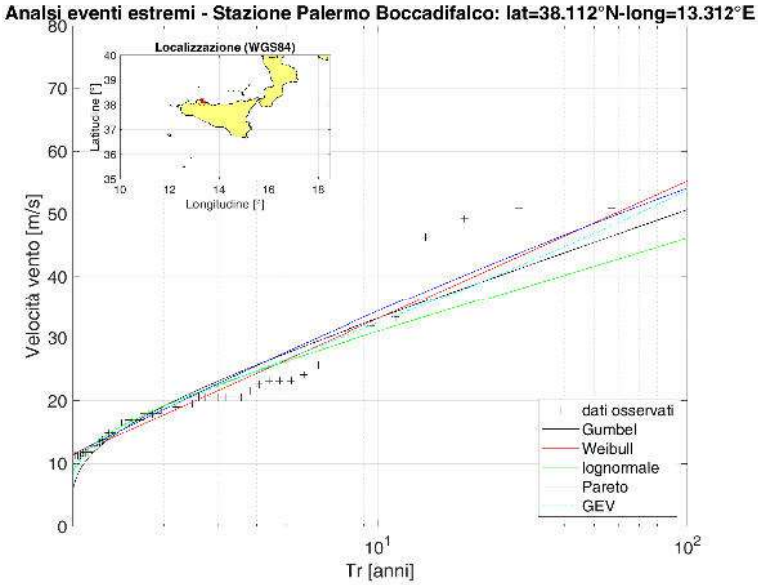


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.14044	0.14907	0.16046	0.17824	0.21384
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15527	0.12772	0.14416	0.13302	0.12791

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.134	16.421	9.491	11.211	0.994	2.952	0.379	11.318	10.803	-0.067	16.324	6.392	-0.102

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	19.15	17.78	19.15	18.64	18.71
5	27.61	26.53	26.34	27.81	26.68
10	33.20	33.17	31.11	34.38	32.49
50	45.52	48.62	41.67	48.53	46.94
100	50.72	55.29	46.20	54.17	53.82
500	62.75	70.80	56.93	66.31	71.72

Unità fisiografica di I ordine
8

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Finale Pollina (identificativo: 16444)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Finale Pollina

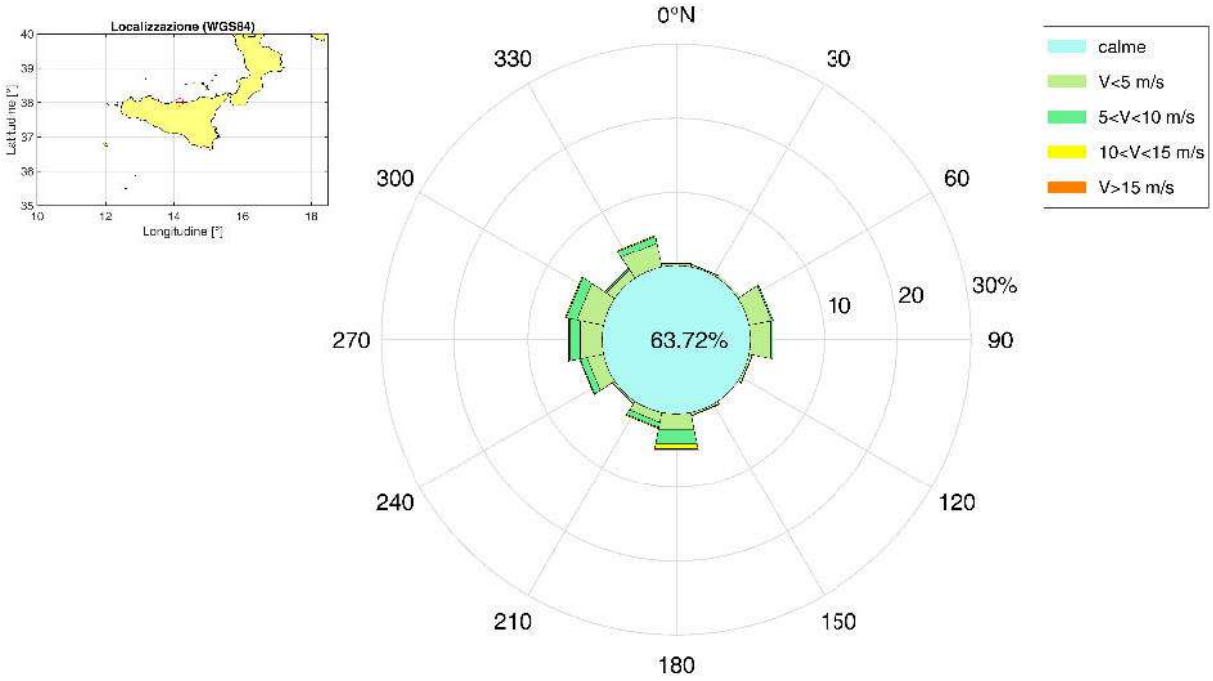


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	63.67	0.44	0.10	0.02	-
22.5	-	0.32	0.05	0.01	-
45.0	-	0.38	0.03	-	-
67.5	-	3.12	0.18	0.01	-
90.0	-	2.97	0.28	0.02	-
112.5	-	0.46	0.05	0.01	-
135.0	-	0.07	-	-	-
157.5	-	0.41	0.07	-	-
180.0	-	2.30	2.03	0.69	0.10
202.5	-	1.36	0.71	0.15	-
225.0	-	0.36	0.07	0.01	0.01
247.5	-	2.30	0.92	0.11	0.01
270.0	-	3.18	1.38	0.21	0.02
292.5	-	3.69	1.43	0.14	0.01
315.0	-	1.35	0.23	0.01	-
337.5	-	3.40	0.94	0.15	0.01

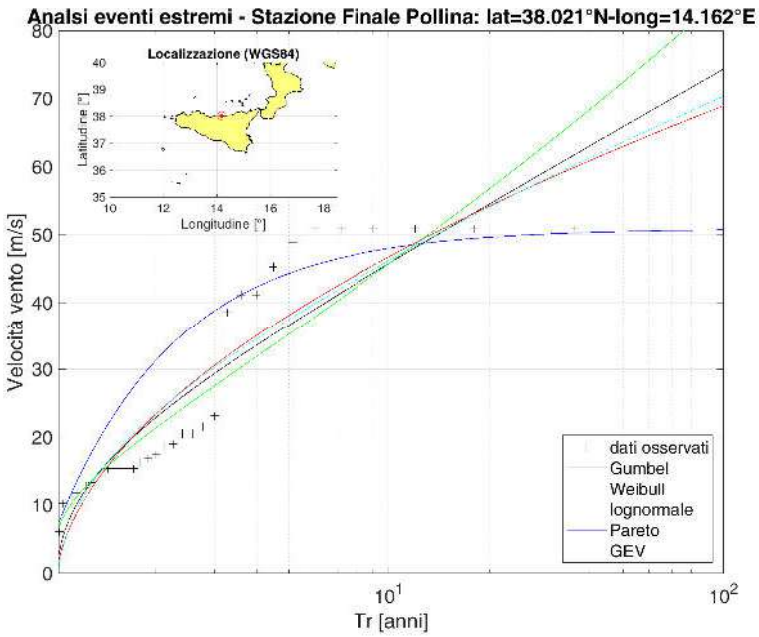


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.17667	0.18755	0.20189	0.22427	0.26898
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.17889	0.18344	0.14538	0.33988	0.19159

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.082	18.441	31.595	-2.595	1.868	3.063	0.594	6.173	53.272	-1.190	18.716	13.293	0.076

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	22.90	23.37	21.38	31.32	23.52
5	36.67	38.17	35.25	44.34	37.56
10	45.80	46.78	45.78	48.04	46.22
50	65.87	62.99	72.42	50.50	63.63
100	74.36	68.97	85.14	50.74	70.36
500	93.97	81.43	118.17	50.90	84.61

Unità fisiografica di I ordine
11

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Lampedusa (identificativo: 16490)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Lampedusa

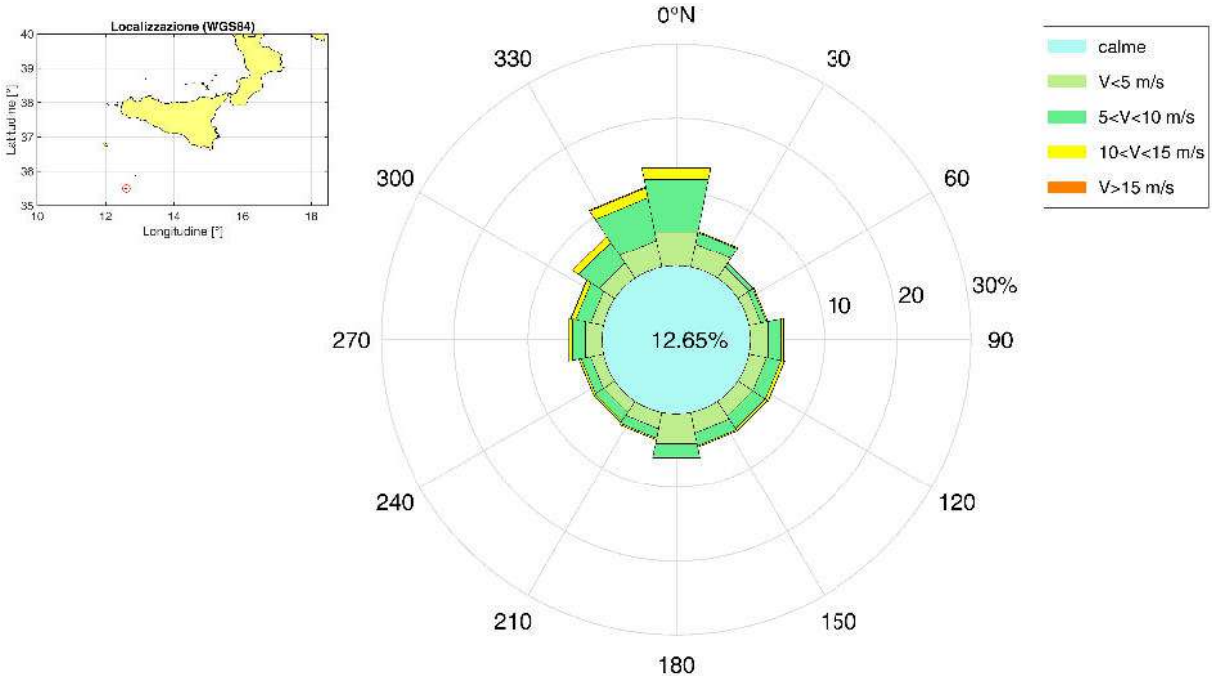


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	12.03	4.96	7.23	1.44	0.11
22.5	0.04	3.25	1.61	0.14	0.02
45.0	0.02	1.82	0.62	0.08	-
67.5	0.01	1.64	0.73	0.18	0.01
90.0	0.02	2.59	1.76	0.36	0.05
112.5	0.02	2.41	2.01	0.45	0.03
135.0	0.02	2.47	1.96	0.32	0.01
157.5	0.02	2.86	1.74	0.18	-
180.0	0.03	4.26	1.87	0.10	0.01
202.5	0.01	2.25	1.29	0.21	0.01
225.0	0.02	1.86	1.28	0.34	0.03
247.5	0.02	1.81	1.26	0.32	0.02
270.0	0.04	2.50	1.78	0.42	0.05
292.5	0.04	1.76	2.06	0.64	0.07
315.0	0.04	2.46	3.40	0.95	0.11
337.5	0.04	3.74	5.89	1.38	0.14

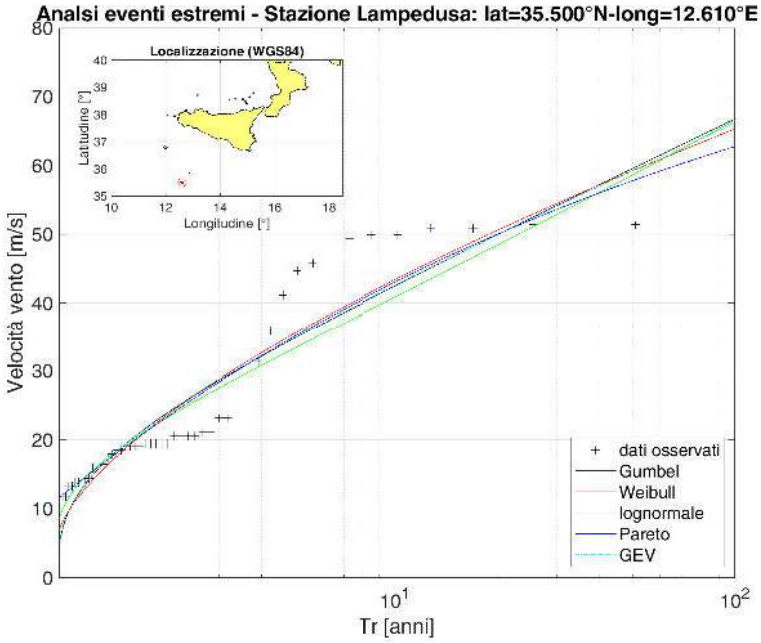


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.14844	0.15758	0.16962	0.18842	0.22604
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.21487	0.19775	0.20178	0.19618	0.21705

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.097	19.278	21.951	5.457	1.522	3.113	0.467	11.318	17.340	-0.207	19.311	10.513	0.014

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	23.06	22.71	22.49	22.51	23.15
5	34.77	35.46	33.31	35.05	34.92
10	42.52	43.42	40.90	43.07	42.61
50	59.57	59.23	58.64	57.79	59.26
100	66.78	65.31	66.59	62.77	66.18
500	83.44	78.34	86.15	71.91	81.94

Unità fisiografica di I ordine
12

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Pantelleria (identificativo: 16470)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Pantelleria

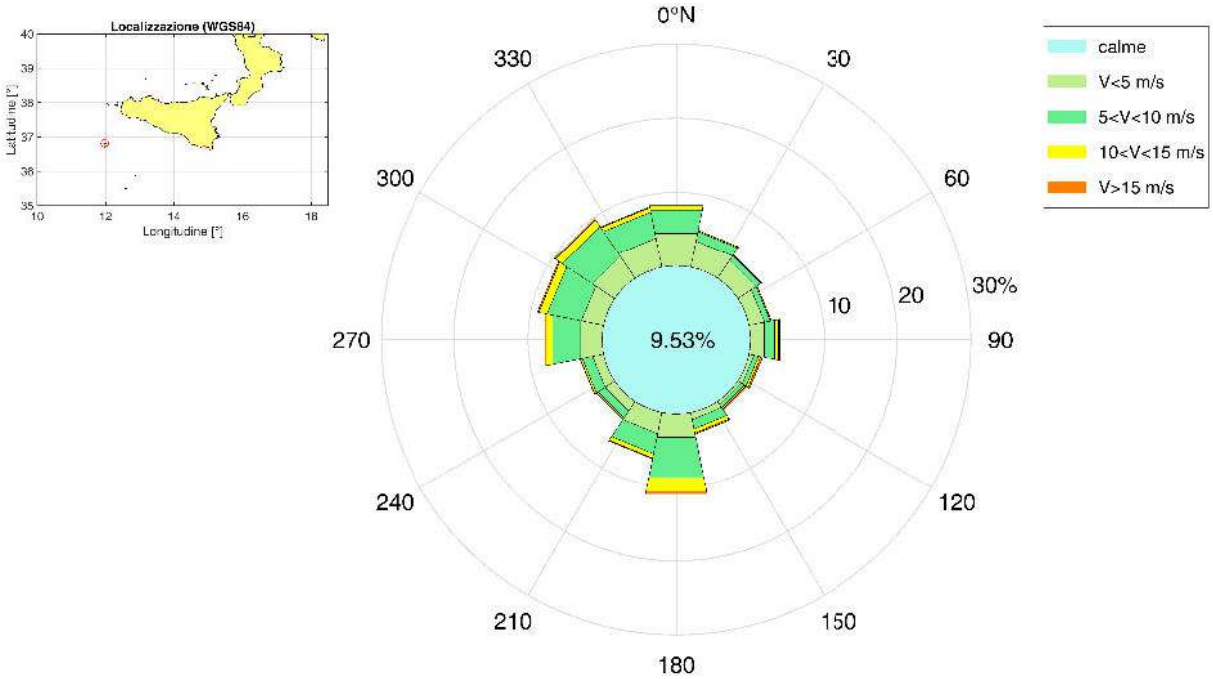


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	8.65	4.69	3.26	0.54	0.10
22.5	0.03	3.65	1.33	0.15	0.02
45.0	0.03	2.91	0.83	0.09	0.02
67.5	0.03	2.15	0.76	0.13	0.04
90.0	0.03	2.10	1.42	0.52	0.21
112.5	0.02	0.69	0.61	0.32	0.25
135.0	0.03	0.56	0.49	0.25	0.17
157.5	0.03	0.98	1.28	0.56	0.18
180.0	0.06	3.40	5.54	2.00	0.36
202.5	0.03	2.93	2.76	0.60	0.10
225.0	0.03	1.52	1.18	0.21	0.03
247.5	0.02	1.53	1.40	0.28	0.04
270.0	0.03	3.15	3.84	0.91	0.12
292.5	0.02	3.04	4.72	1.12	0.19
315.0	0.03	3.55	4.97	1.08	0.21
337.5	0.03	4.05	3.61	0.62	0.12

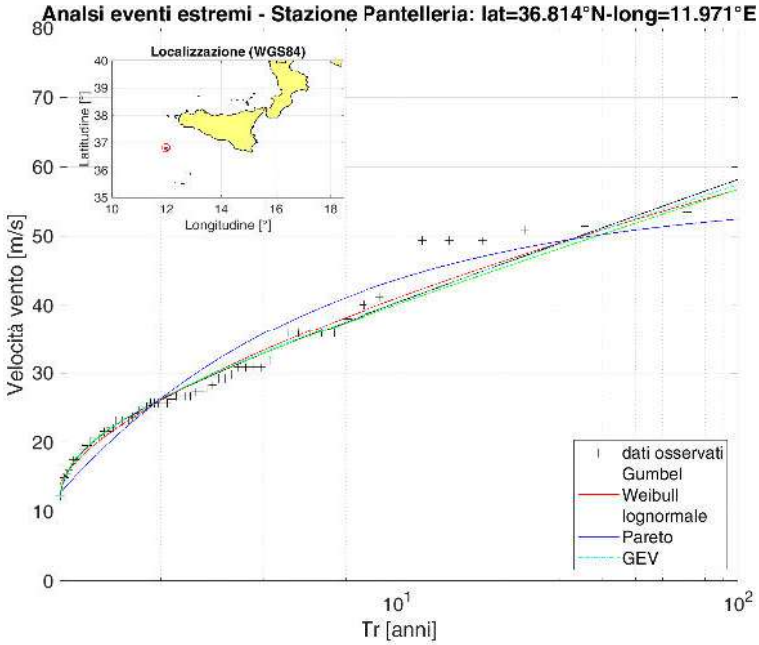


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12589	0.13362	0.14382	0.15975	0.19167
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07080	0.06894	0.07501	0.11587	0.07666

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.132	23.398	16.636	12.826	1.574	3.268	0.331	12.347	24.240	-0.558	23.442	7.794	0.023

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	26.17	26.01	26.27	26.28	26.29
5	34.75	35.34	34.72	38.09	34.93
10	40.42	41.09	40.16	43.77	40.53
50	52.92	52.41	51.87	50.89	52.52
100	58.20	56.73	56.77	52.46	57.45
500	70.41	65.95	68.16	54.43	68.54

Unità fisiografica di I ordine
14

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di Ustica (identificativo: 16400)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
Ustica

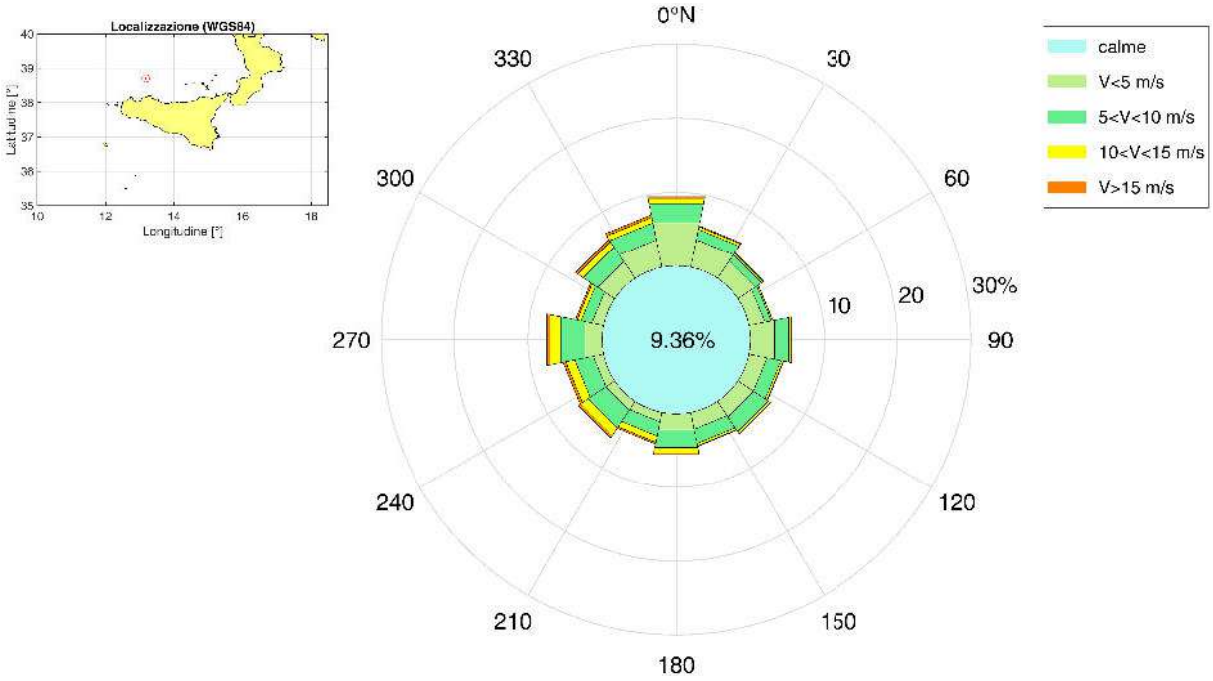


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	8.81	6.23	2.61	0.69	0.26
22.5	0.02	3.84	1.42	0.37	0.14
45.0	0.01	2.78	1.07	0.27	0.06
67.5	0.01	2.20	0.86	0.19	0.04
90.0	0.01	3.50	1.96	0.36	0.07
112.5	0.01	2.49	1.93	0.31	0.05
135.0	0.01	2.54	2.37	0.34	0.07
157.5	0.01	2.31	1.96	0.33	0.07
180.0	0.01	2.43	2.40	0.78	0.15
202.5	0.01	1.31	1.93	0.86	0.25
225.0	0.01	1.45	2.81	1.34	0.35
247.5	0.01	1.41	2.54	1.25	0.37
270.0	0.01	2.56	3.32	1.46	0.46
292.5	0.01	1.62	1.46	0.55	0.24
315.0	0.01	2.71	2.39	0.90	0.37
337.5	0.01	3.82	2.35	0.76	0.36

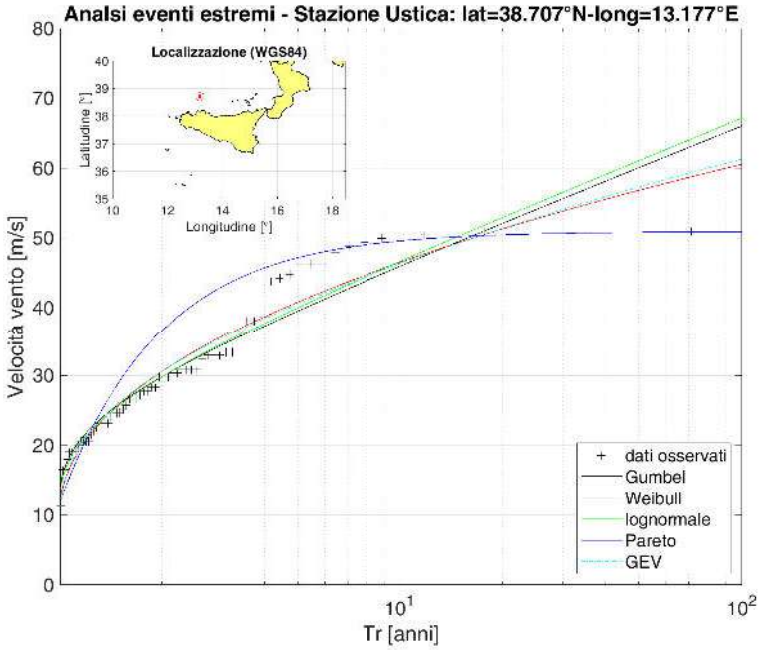


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12589	0.13362	0.14382	0.15975	0.19167
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11227	0.10683	0.10370	0.27580	0.10199

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.117	26.655	25.631	8.895	2.180	3.394	0.350	11.318	57.889	-1.461	27.027	9.849	0.128

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	29.79	30.56	29.77	36.55	30.55
5	39.49	40.78	39.96	47.16	40.47
10	45.91	46.47	46.60	49.56	46.29
50	60.05	56.81	61.04	50.80	57.28
100	66.02	60.53	67.15	50.88	61.27
500	79.83	68.14	81.43	50.93	69.25

Unità fisiografica di I ordine
15

Indice

Analisi anemometrica:
Stazione dell'Aeronautica Militare di STROMBOLI (identificativo: 16416)

Analisi anemometrica
Stazione Aeronautica Militare
STROMBOLI

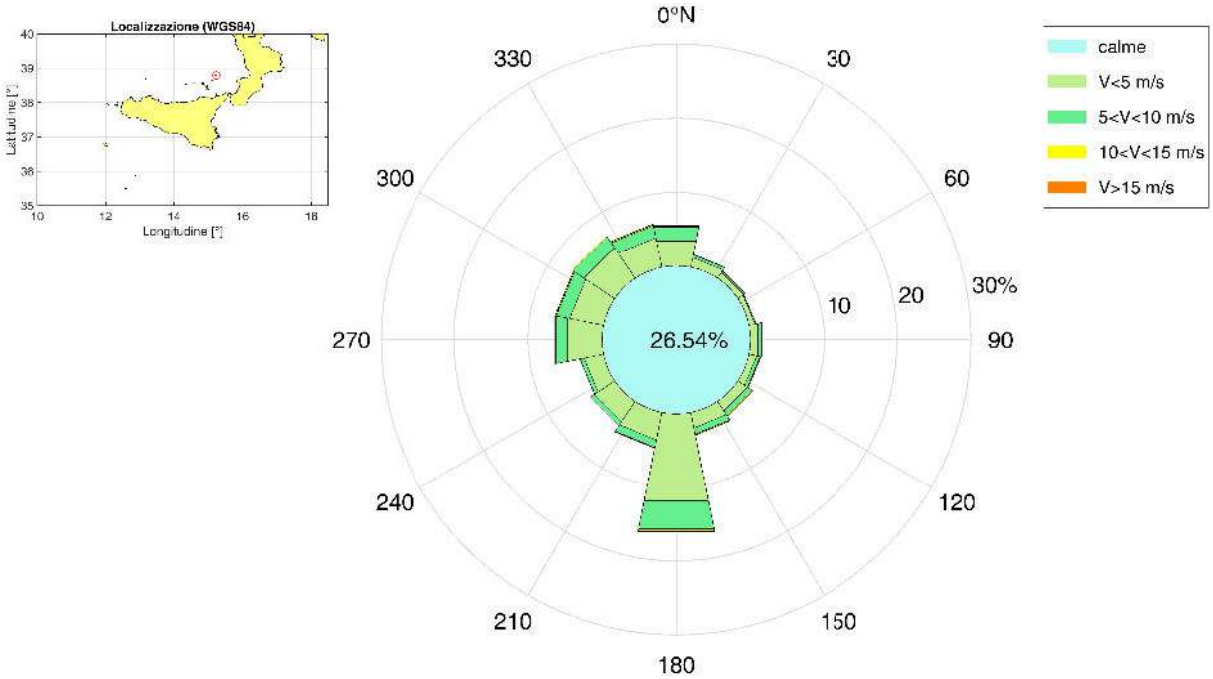


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	23.58	3.65	1.92	0.22	0.02
22.5	0.05	1.33	0.38	0.05	-
45.0	0.03	0.95	0.20	0.03	-
67.5	0.03	0.82	0.12	0.01	-
90.0	0.04	1.22	0.40	0.09	0.02
112.5	0.03	1.06	0.47	0.10	0.01
135.0	0.03	1.54	0.67	0.12	0.02
157.5	0.04	2.14	0.84	0.13	0.01
180.0	0.82	12.30	3.81	0.39	0.03
202.5	0.31	3.80	1.04	0.09	-
225.0	0.38	3.26	0.61	0.02	-
247.5	0.34	2.69	0.54	0.02	-
270.0	0.37	4.99	1.58	0.12	0.01
292.5	0.18	4.67	1.83	0.15	0.01
315.0	0.13	4.94	1.86	0.12	0.01
337.5	0.08	4.12	1.69	0.18	0.02

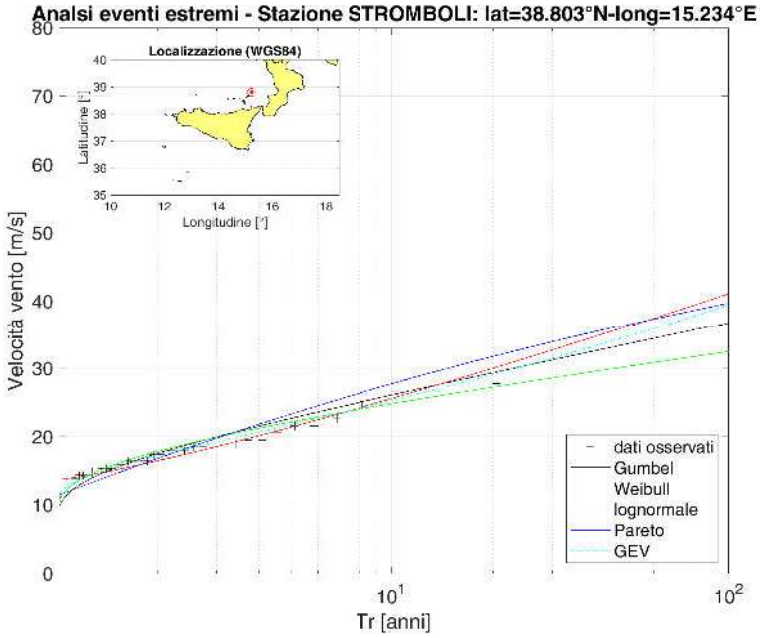


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16554	0.17573	0.18916	0.21013	0.25205
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11701	0.10486	0.11904	0.16969	0.07089

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.220	15.897	4.362	13.704	0.831	2.883	0.258	11.318	8.341	-0.138	15.856	3.516	-0.156

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.56	16.51	17.86	16.83	17.18
5	22.71	21.44	22.18	23.35	21.80
10	26.12	25.61	24.85	27.77	25.33
50	33.63	36.24	30.31	36.53	34.74
100	36.80	41.13	32.52	39.74	39.50
500	44.14	53.05	37.48	46.11	52.70

Unità fisiografica di I ordine
1

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 1.A)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 1.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 1.B)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
1.A

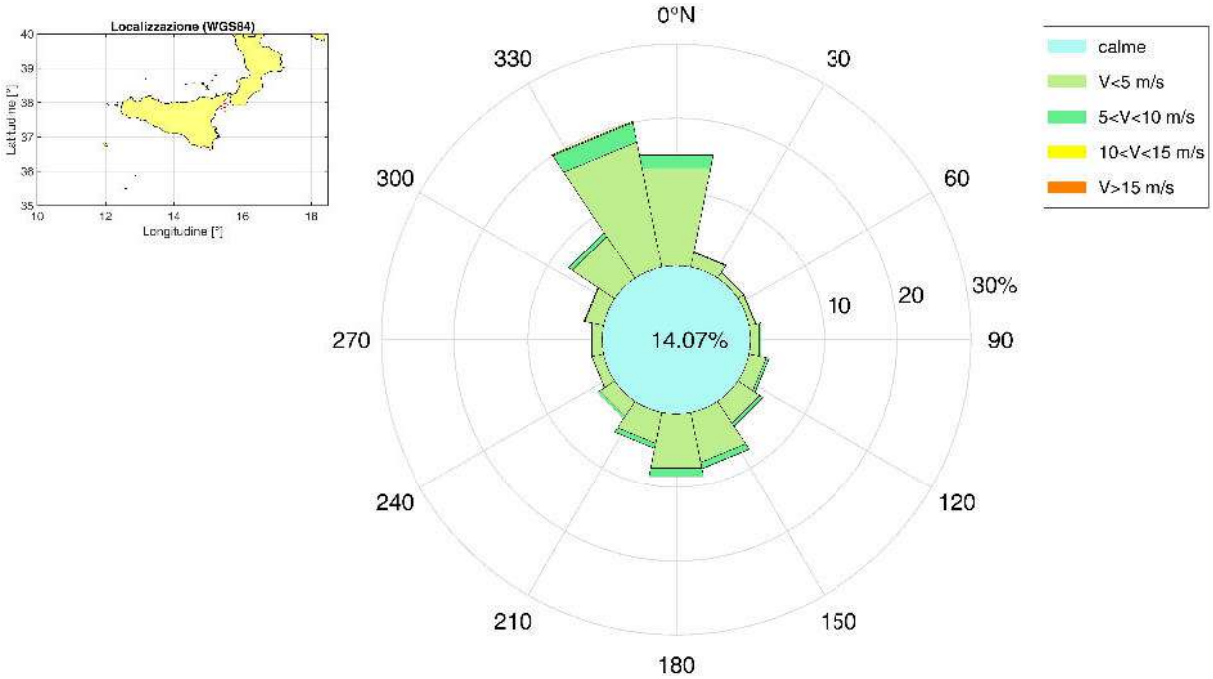


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	1.03	13.68	1.86	0.03	-
22.5	0.68	2.01	0.10	-	-
45.0	0.51	0.94	0.05	-	-
67.5	0.43	0.89	0.07	-	-
90.0	0.47	1.42	0.21	0.01	-
112.5	0.53	2.39	0.36	0.02	-
135.0	0.69	3.55	0.50	0.04	-
157.5	0.86	6.87	0.86	0.03	-
180.0	1.08	7.68	1.15	0.02	-
202.5	1.19	4.26	0.69	0.01	-
225.0	1.08	2.49	0.25	-	-
247.5	1.04	1.60	0.03	-	-
270.0	1.04	1.56	0.02	-	-
292.5	1.18	2.59	0.10	-	-
315.0	1.22	6.89	0.57	0.01	-
337.5	1.03	17.30	2.69	0.15	-

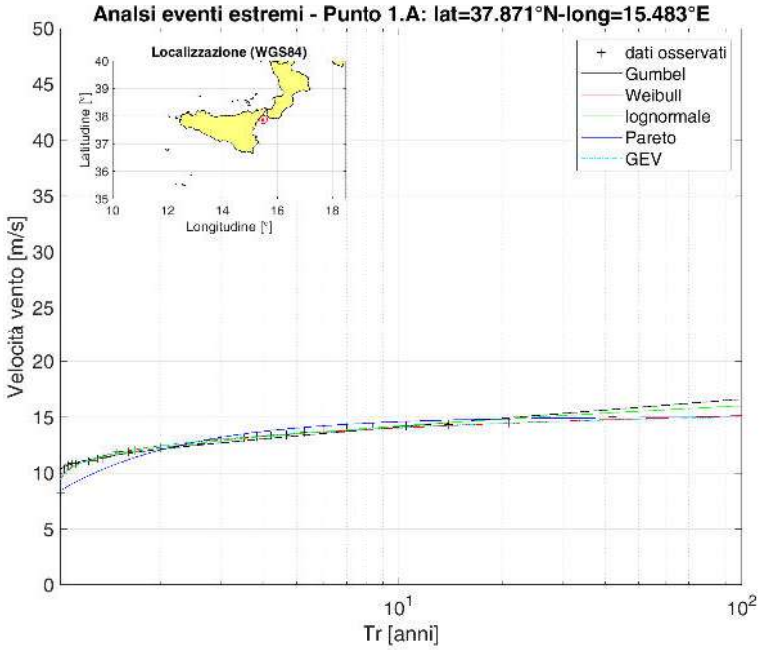


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08891	0.08290	0.05883	0.24662	0.08049

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.941	11.744	7.079	5.819	5.542	2.508	0.115	8.269	8.030	-1.185	11.946	1.431	0.390

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	12.13	12.45	12.28	12.07	12.43
5	13.34	13.53	13.52	14.04	13.57
10	14.13	14.05	14.22	14.60	14.09
50	15.89	14.87	15.54	14.98	14.81
100	16.63	15.14	16.03	15.02	15.00
500	18.34	15.66	17.08	15.04	15.29

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
1.A

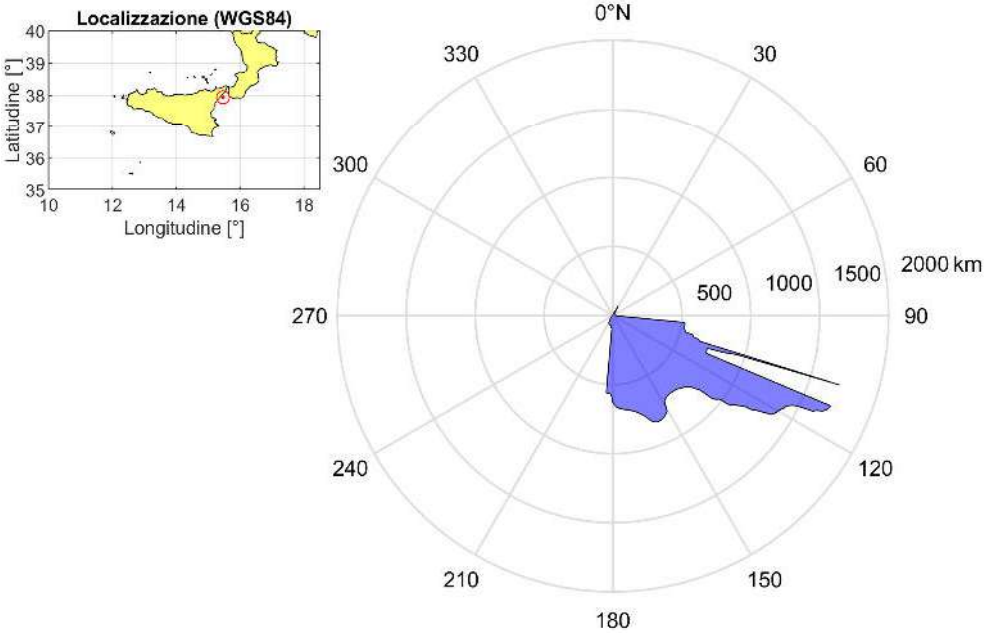


Figura 3: Fetch geografico.

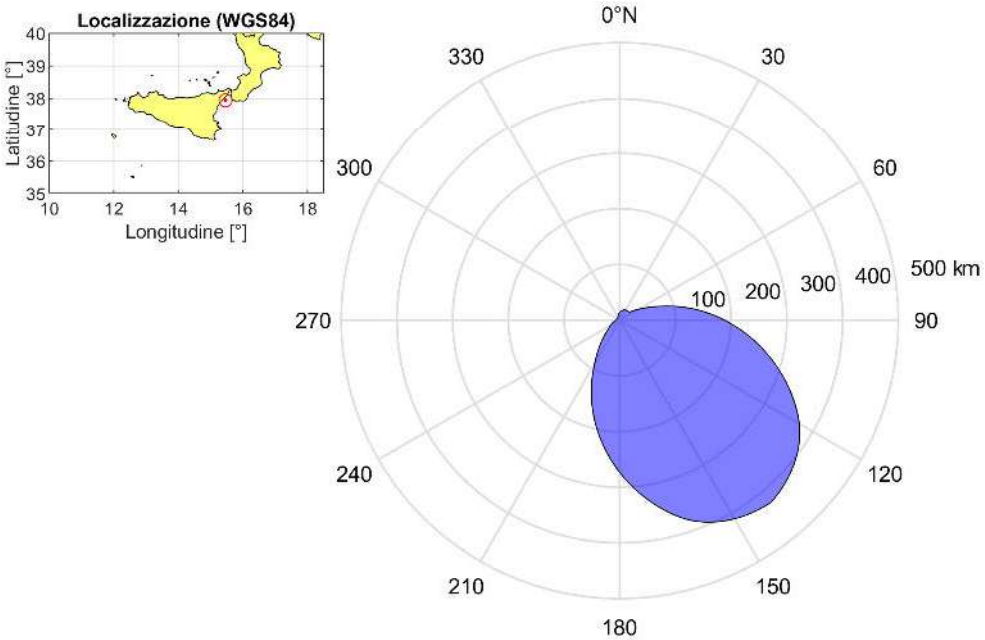


Figura 4: Fetch efficace.

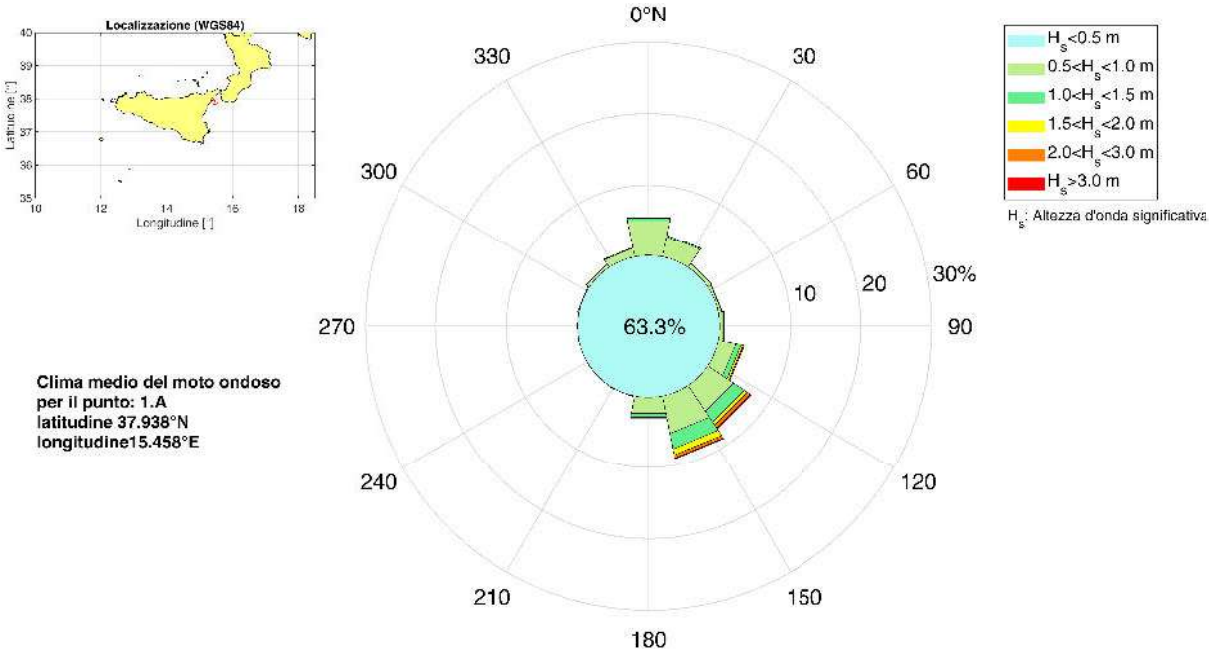


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	9.12	5.24	0.39	0.02	-	-
22.5	12.89	3.02	0.18	0.01	-	-
45.0	3.85	0.65	0.03	0.01	-	-
67.5	2.24	0.48	0.06	0.01	-	-
90.0	2.24	0.65	0.12	0.02	0.01	-
112.5	5.74	2.52	0.73	0.30	0.15	0.02
135.0	6.68	4.37	1.77	0.59	0.45	0.22
157.5	9.68	5.36	2.23	0.89	0.42	0.11
180.0	7.15	2.43	0.59	0.12	0.01	0.01
202.5	0.69	0.17	0.01	-	-	-
225.0	0.25	0.06	-	-	-	-
247.5	0.16	0.06	-	-	-	-
270.0	0.17	0.08	-	-	-	-
292.5	0.23	0.19	0.01	-	-	-
315.0	0.56	0.51	0.02	-	-	-
337.5	1.71	1.25	0.10	-	-	-

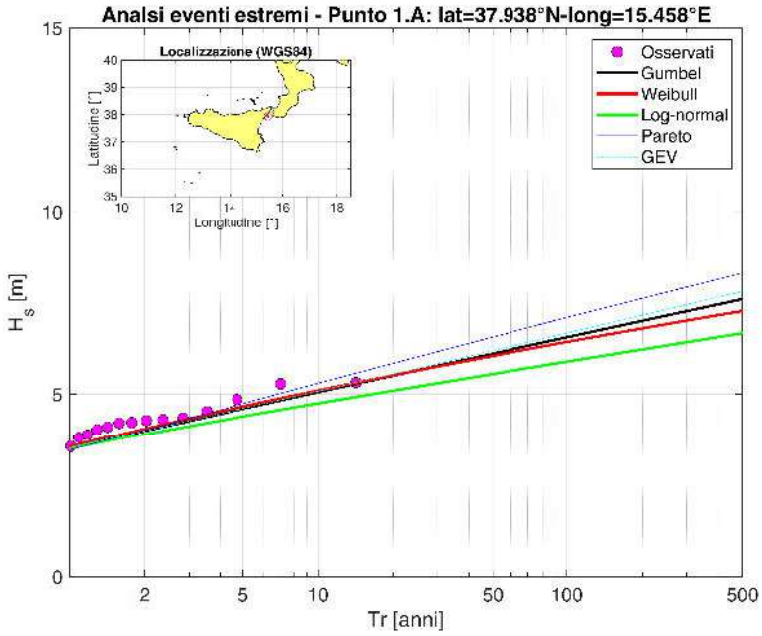


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	80	5.714	2.830	0.828	5.32
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.11790	0.12514	0.13468	0.14960	0.17949
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.12039	0.12068	0.13139	0.10267	0.11658

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.549	2.457	1.230	1.705	1.374	1.004	0.264	2.000	0.843	-0.016	2.455	0.633	-0.015

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.00	4.06	3.90	4.01	4.00
5	4.61	4.67	4.40	4.75	4.62
10	5.06	5.11	4.76	5.30	5.09
50	6.11	6.05	5.55	6.56	6.19
100	6.56	6.43	5.89	7.09	6.67
500	7.59	7.27	6.67	8.30	7.81

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
1.B

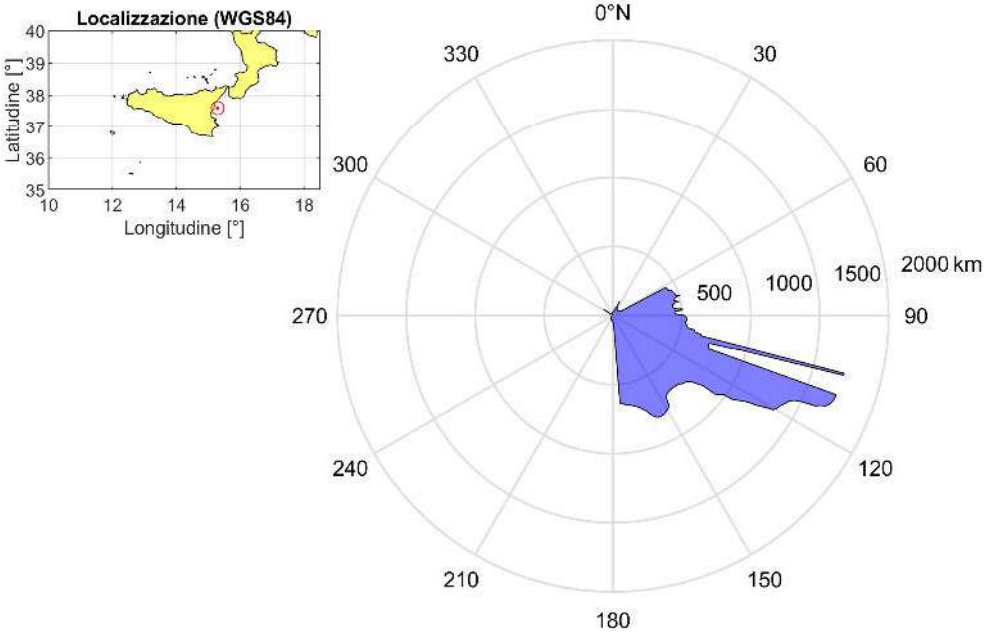


Figura 7: Fetch geografico.

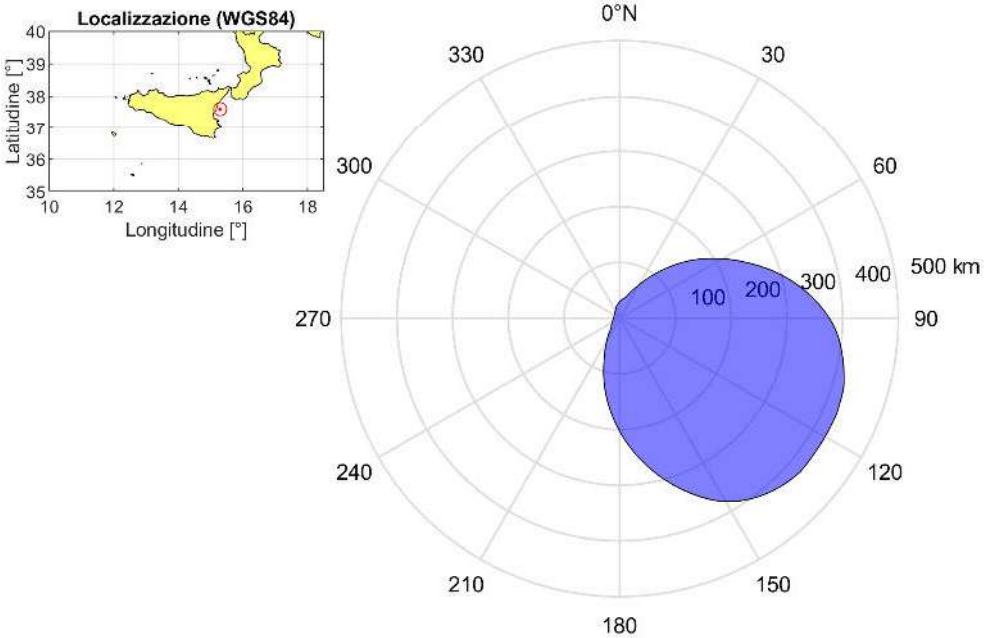


Figura 8: Fetch efficace.

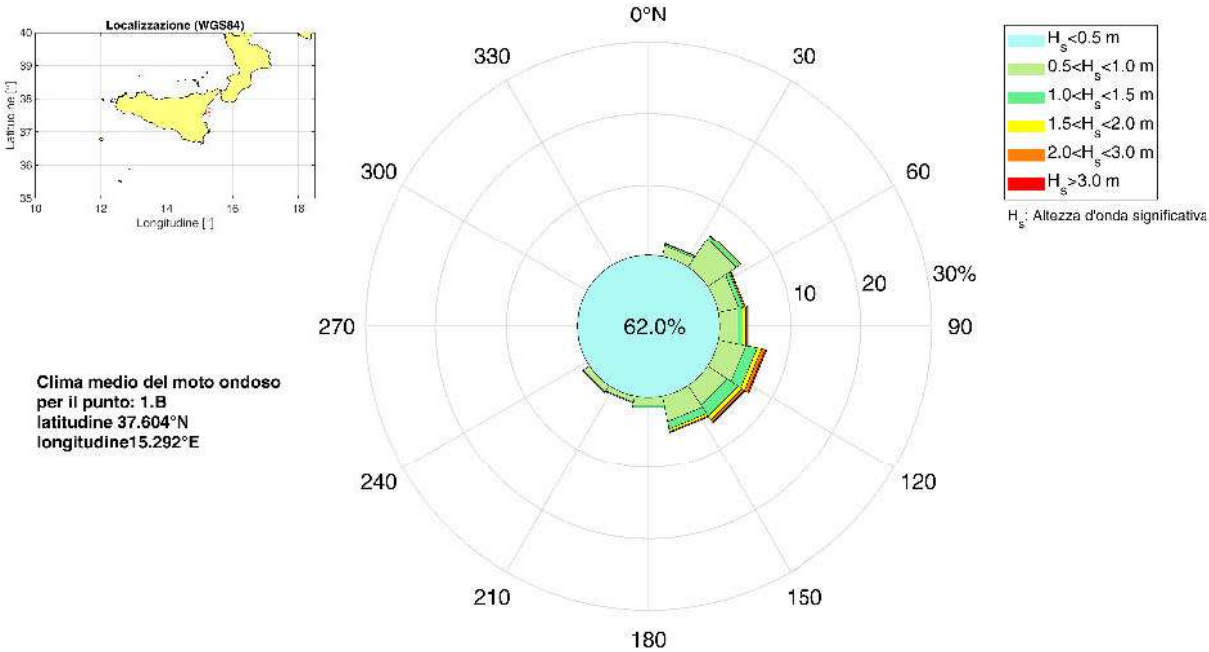


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.11	0.03	-	-	-	-
22.5	2.85	1.54	0.25	0.10	0.01	-
45.0	16.17	4.84	0.58	0.17	0.06	-
67.5	8.80	2.97	0.61	0.16	0.14	0.01
90.0	8.13	2.74	0.75	0.40	0.28	0.08
112.5	6.07	3.95	1.61	0.64	0.51	0.22
135.0	5.46	3.35	1.75	0.67	0.39	0.16
157.5	8.15	3.63	1.07	0.37	0.14	0.04
180.0	2.30	1.30	0.27	0.03	-	-
202.5	1.98	0.88	0.14	-	-	-
225.0	1.56	1.10	0.07	-	-	-
247.5	0.17	0.02	-	-	-	-
270.0	0.08	-	-	-	-	-
292.5	0.04	-	-	-	-	-
315.0	0.03	-	-	-	-	-
337.5	0.04	-	-	-	-	-

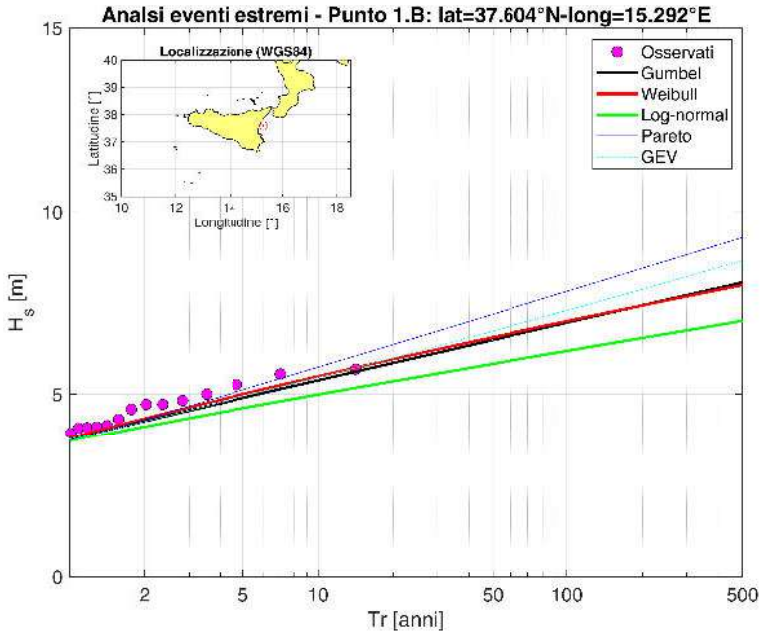


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	103	7.357	2.863	0.871	5.69
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10412	0.11050	0.11893	0.13209	0.15848
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.12606	0.11219	0.12023	0.06098	0.11626

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.473	2.471	1.185	1.763	1.271	1.013	0.270	2.000	0.856	0.008	2.466	0.646	-0.036

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.27	4.34	4.12	4.33	4.27
5	4.91	5.01	4.63	5.13	4.94
10	5.39	5.50	5.00	5.74	5.47
50	6.48	6.56	5.83	7.18	6.72
100	6.95	6.99	6.18	7.80	7.28
500	8.05	7.97	7.00	9.27	8.64

Unità fisiografica di I ordine
2

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 2.A)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 2.A)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
2.A

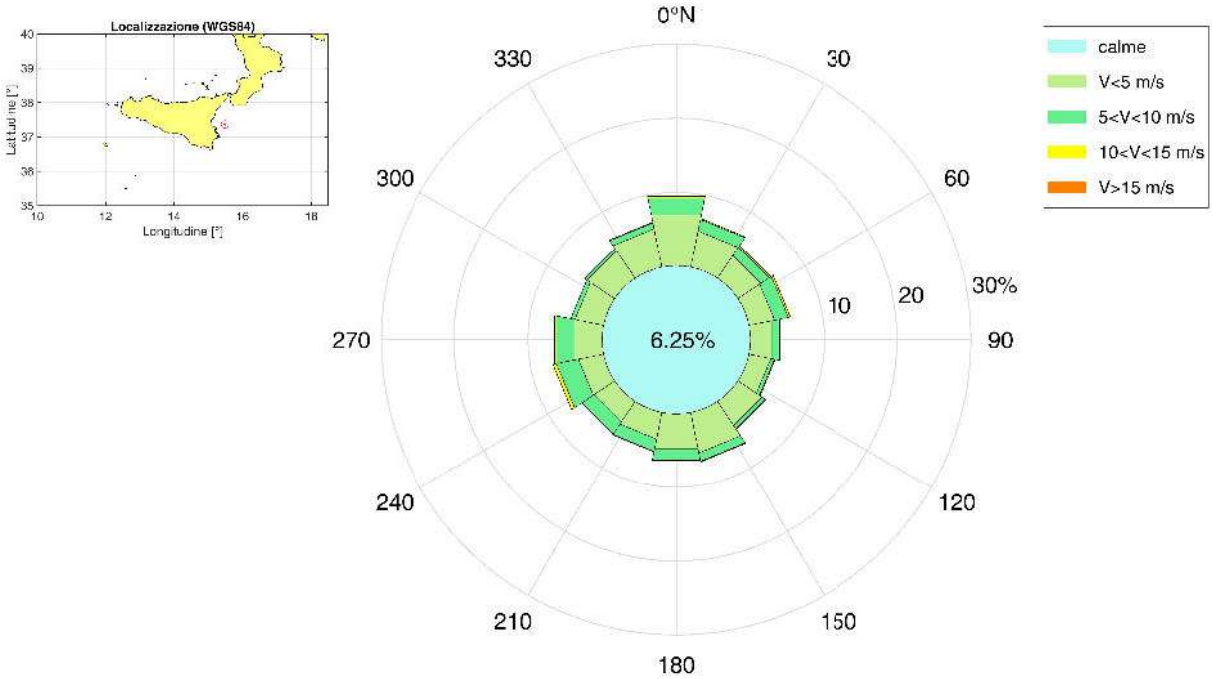


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.46	7.29	2.32	0.26	0.01
22.5	0.40	5.06	1.60	0.14	0.01
45.0	0.39	3.70	1.41	0.24	0.01
67.5	0.36	3.51	1.90	0.26	0.02
90.0	0.37	3.09	1.03	0.10	0.01
112.5	0.37	3.00	0.48	0.10	-
135.0	0.39	3.91	0.54	0.10	-
157.5	0.38	5.58	1.15	0.08	-
180.0	0.39	4.94	1.68	0.06	-
202.5	0.37	3.67	1.69	0.06	-
225.0	0.38	3.25	1.99	0.09	-
247.5	0.39	3.46	3.03	0.48	-
270.0	0.38	3.99	2.49	0.25	-
292.5	0.41	3.93	0.56	0.02	-
315.0	0.41	4.52	0.39	0.01	-
337.5	0.39	5.37	0.83	0.09	-

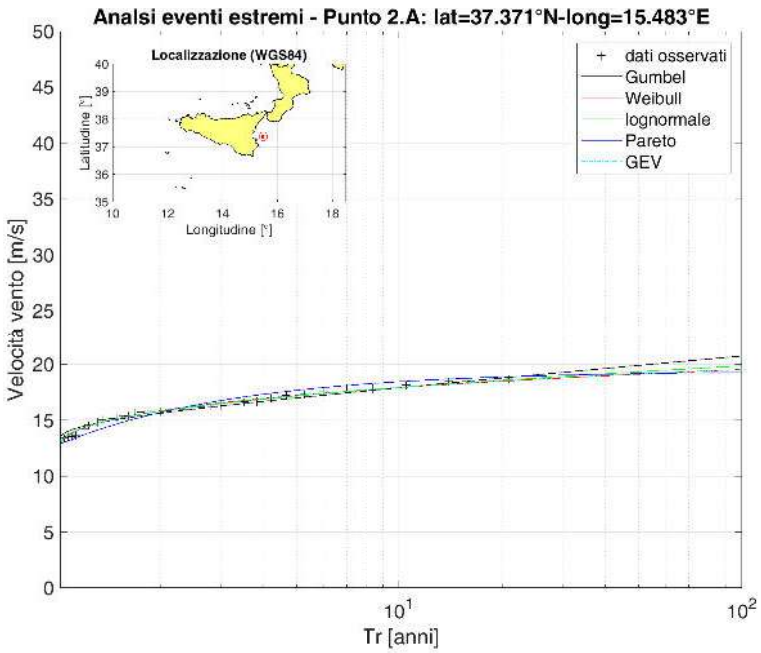


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10625	0.05769	0.06653	0.13596	0.06221

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.826	15.185	4.902	11.502	3.085	2.761	0.098	12.780	5.529	-0.831	15.304	1.516	0.238

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	15.63	15.85	15.81	15.69	15.84
5	17.00	17.22	17.17	17.69	17.22
10	17.91	17.93	17.93	18.45	17.95
50	19.91	19.13	19.34	19.18	19.16
100	20.76	19.54	19.87	19.29	19.54
500	22.71	20.36	20.97	19.40	20.23

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
2.A

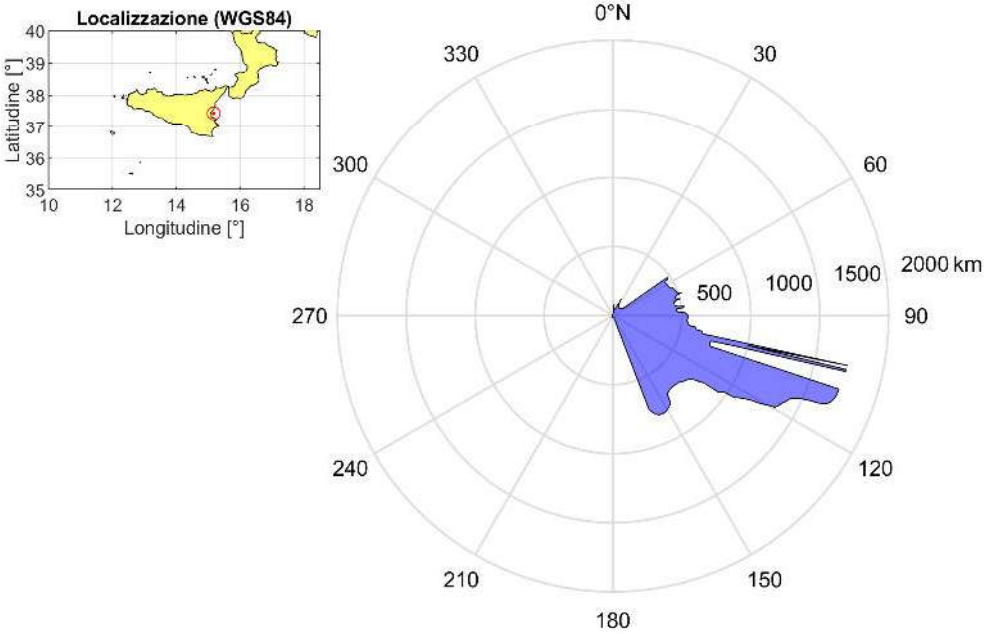


Figura 3: Fetch geografico.

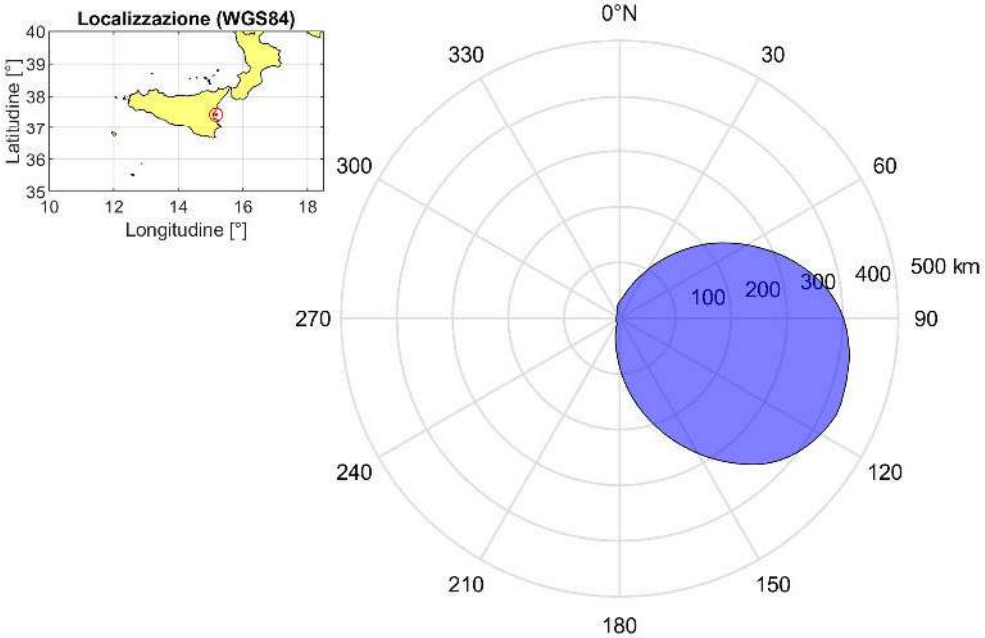


Figura 4: Fetch efficace.

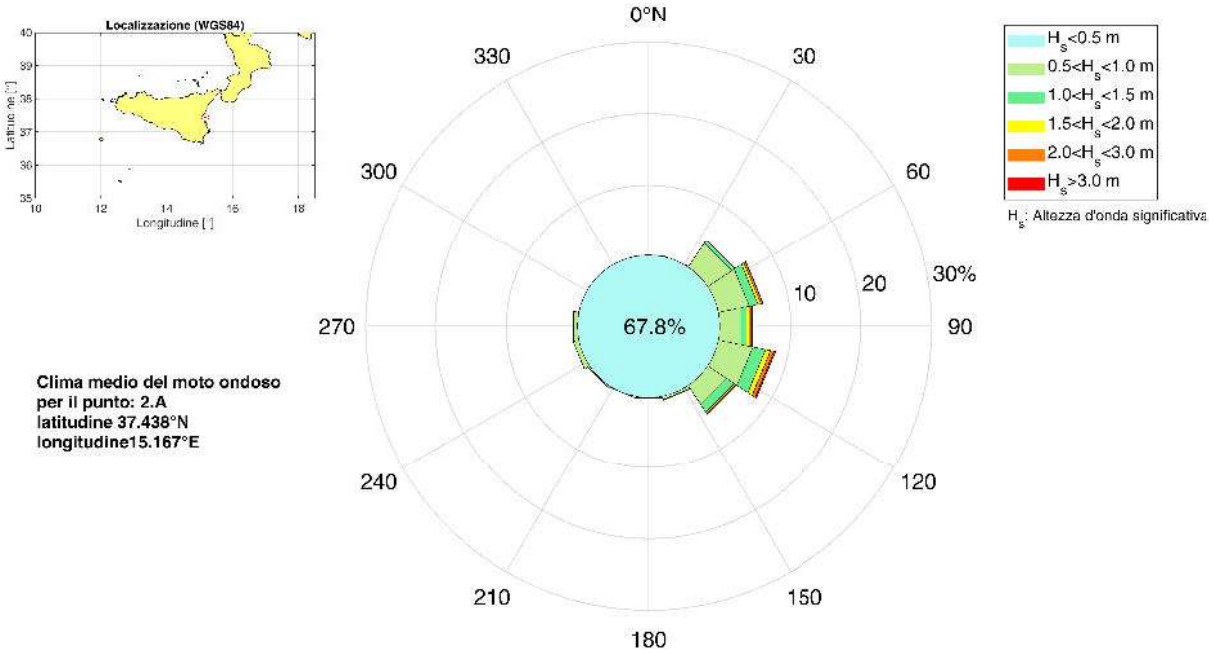


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.32	0.03	-	-	-	-
22.5	0.84	0.13	-	-	-	-
45.0	17.30	4.04	0.48	0.09	0.02	-
67.5	13.37	4.45	1.24	0.41	0.28	0.04
90.0	9.19	3.12	0.89	0.40	0.31	0.13
112.5	7.40	4.94	1.83	0.72	0.50	0.21
135.0	8.59	3.22	1.25	0.29	0.15	0.02
157.5	2.22	0.49	0.08	0.01	-	-
180.0	0.99	0.24	0.02	-	-	-
202.5	0.77	0.21	0.01	-	-	-
225.0	0.98	0.26	0.01	-	-	-
247.5	2.64	0.83	0.01	-	-	-
270.0	2.14	0.73	-	-	-	-
292.5	0.50	0.08	-	-	-	-
315.0	0.29	0.03	-	-	-	-
337.5	0.26	0.02	-	-	-	-

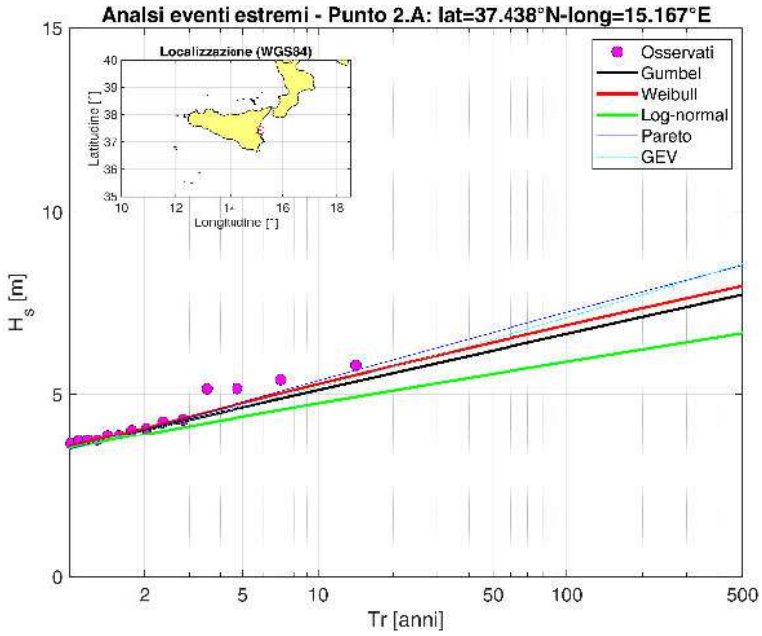


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	78	5.571	2.850	0.848	5.79
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.11937	0.12670	0.13637	0.15148	0.18174
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11903	0.08241	0.13470	0.05608	0.10286

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.512	2.468	1.059	1.850	1.183	1.011	0.262	2.000	0.860	-0.012	2.462	0.612	-0.055

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.03	4.08	3.91	4.04	4.01
5	4.66	4.78	4.40	4.81	4.68
10	5.12	5.28	4.76	5.38	5.21
50	6.19	6.41	5.56	6.68	6.50
100	6.65	6.88	5.89	7.24	7.09
500	7.71	7.95	6.66	8.51	8.55

Unità fisiografica di I ordine
3

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 3.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 3.B)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 3.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 3.B)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 3.C)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
3.A

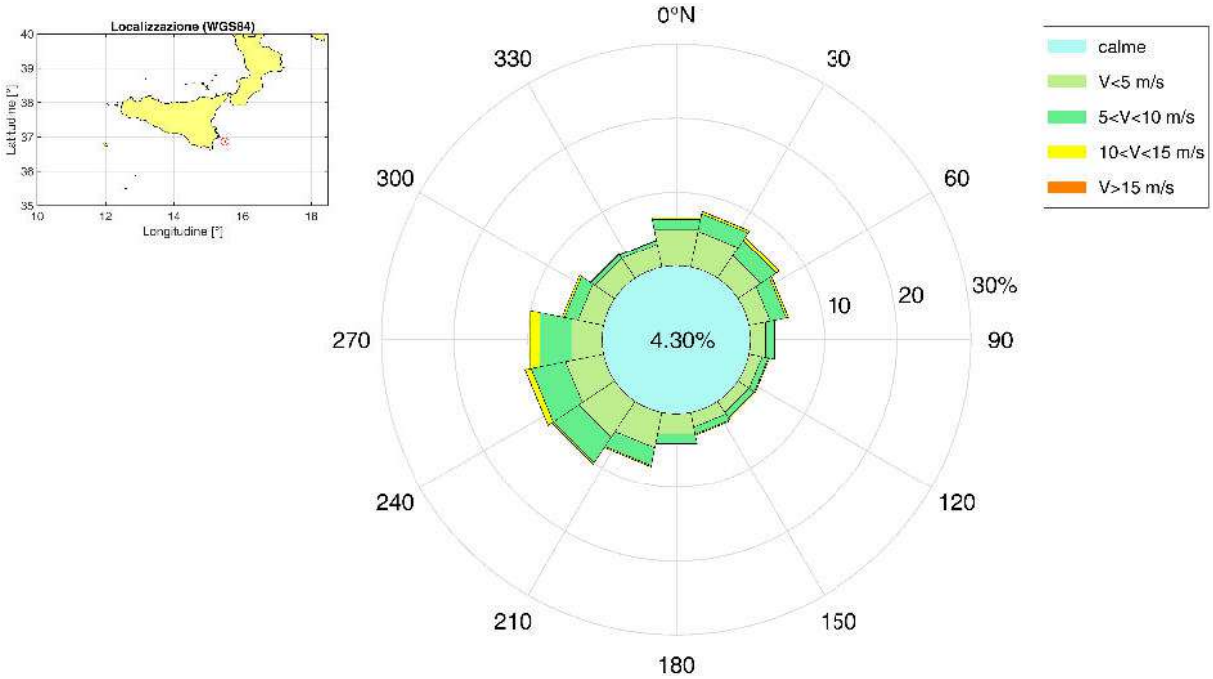


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.34	5.21	1.48	0.24	0.01
22.5	0.28	5.02	2.42	0.34	0.03
45.0	0.25	3.73	2.49	0.52	0.04
67.5	0.25	2.93	2.17	0.31	0.02
90.0	0.23	2.27	1.14	0.13	0.01
112.5	0.23	1.81	0.83	0.14	0.01
135.0	0.23	1.79	0.86	0.18	0.01
157.5	0.25	2.04	0.95	0.14	-
180.0	0.26	2.92	1.30	0.12	-
202.5	0.27	4.87	2.42	0.18	0.01
225.0	0.29	5.83	4.06	0.31	-
247.5	0.29	5.23	4.72	0.82	0.01
270.0	0.28	4.36	4.40	1.39	0.01
292.5	0.29	3.53	1.84	0.32	-
315.0	0.31	3.21	0.67	0.05	-
337.5	0.26	3.23	0.53	0.06	-

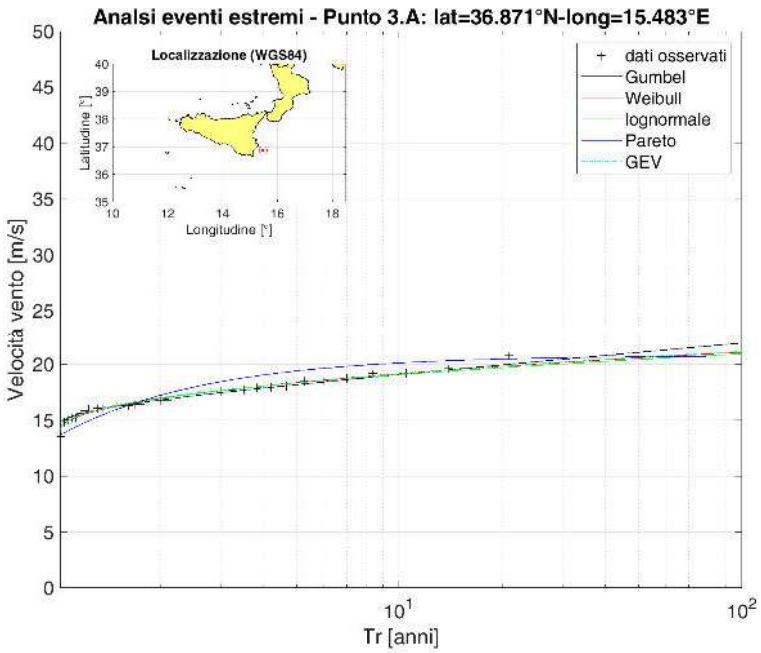


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07159	0.08381	0.07815	0.16871	0.07321

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.829	16.377	3.741	13.760	2.268	2.834	0.090	13.526	7.463	-1.023	16.437	1.405	0.142

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	16.82	16.94	17.01	17.23	16.94
5	18.19	18.37	18.34	19.42	18.34
10	19.09	19.16	19.08	20.13	19.14
50	21.08	20.58	20.45	20.69	20.65
100	21.92	21.09	20.95	20.76	21.18
500	23.87	22.13	22.01	20.81	22.24

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
3.B

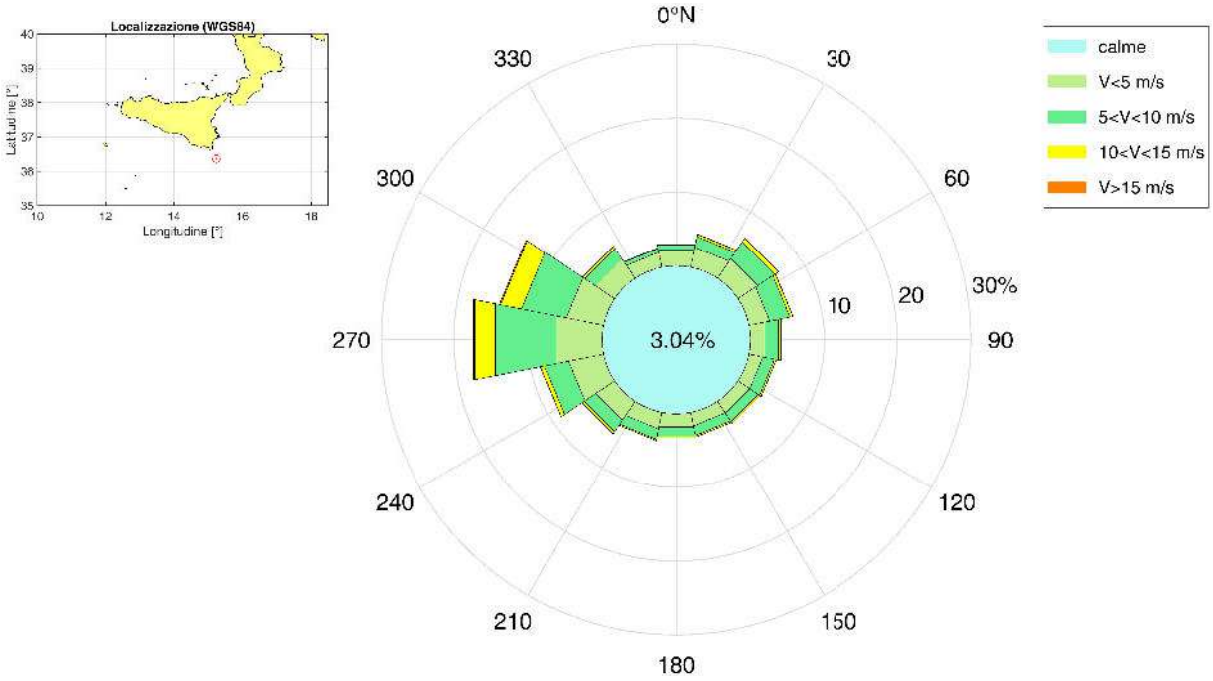


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.24	2.39	0.65	0.10	0.01
22.5	0.20	2.78	1.47	0.33	0.04
45.0	0.18	3.20	2.80	0.53	0.06
67.5	0.18	2.86	2.77	0.41	0.02
90.0	0.15	2.19	1.87	0.28	0.02
112.5	0.17	1.91	1.59	0.26	0.01
135.0	0.16	1.90	1.40	0.27	0.01
157.5	0.14	1.86	1.31	0.22	-
180.0	0.17	2.01	1.29	0.18	-
202.5	0.18	2.28	1.41	0.18	0.01
225.0	0.20	3.07	1.88	0.33	0.01
247.5	0.22	4.82	3.31	0.56	0.02
270.0	0.22	6.49	8.37	2.80	0.17
292.5	0.23	5.13	6.14	2.88	0.16
315.0	0.21	3.15	1.69	0.38	0.01
337.5	0.20	2.09	0.52	0.07	-

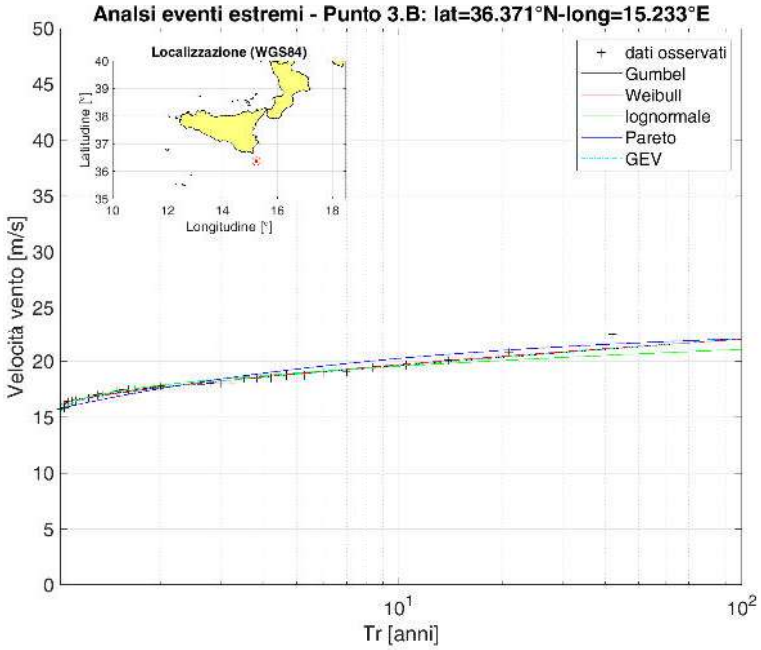


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06434	0.08834	0.11865	0.14571	0.06466

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.976	17.322	2.046	16.056	1.434	2.883	0.071	15.729	3.042	-0.409	17.321	1.021	-0.003

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.70	17.64	17.87	17.57	17.70
5	18.86	18.91	18.97	19.32	18.86
10	19.63	19.72	19.57	20.27	19.63
50	21.32	21.35	20.67	21.66	21.33
100	22.04	21.99	21.08	22.03	22.05
500	23.69	23.37	21.92	22.58	23.73

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
3.A

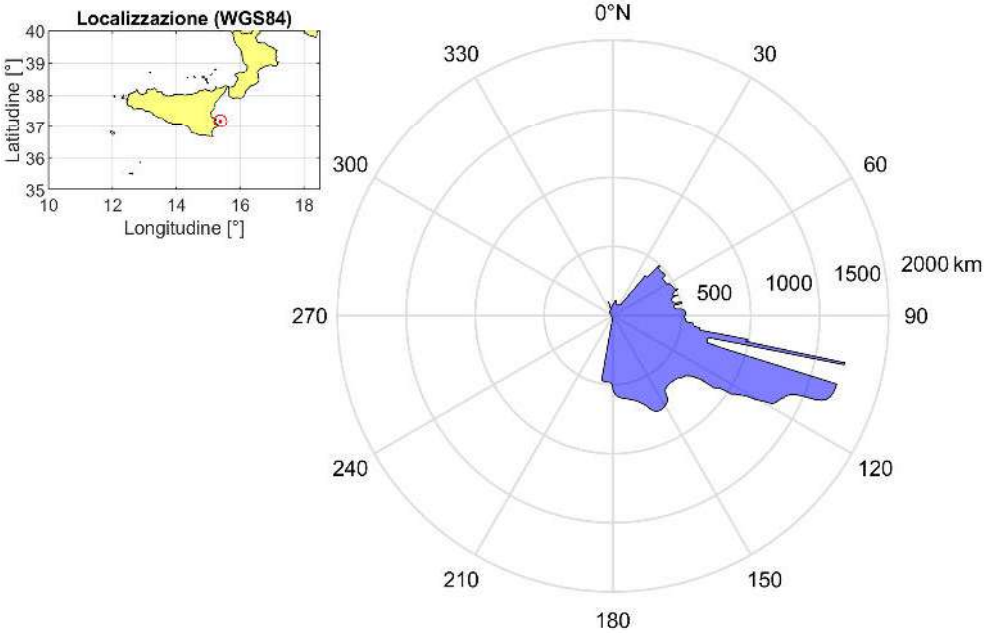


Figura 5: Fetch geografico.

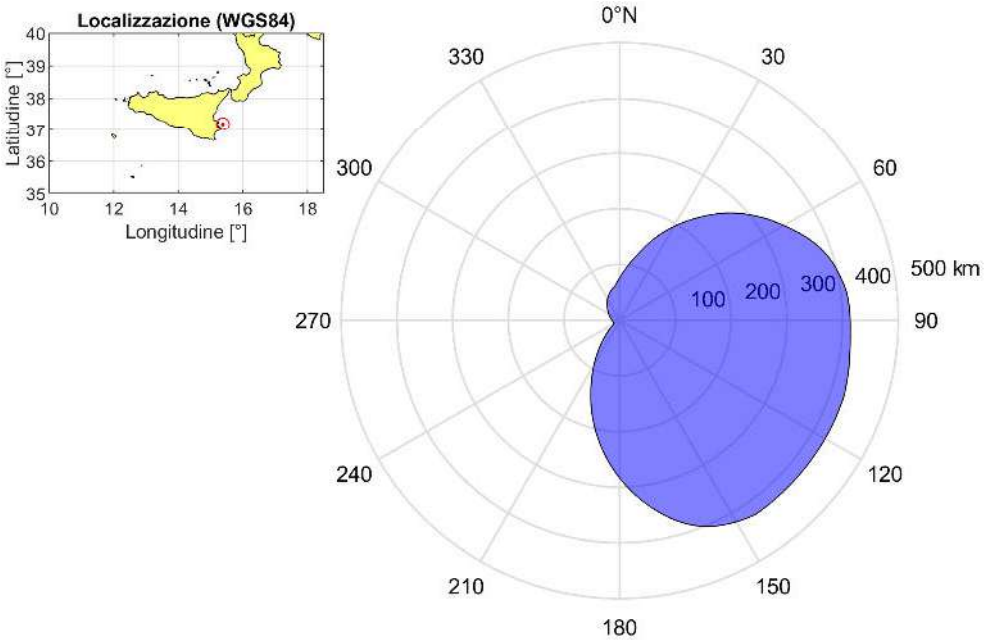


Figura 6: Fetch efficace.

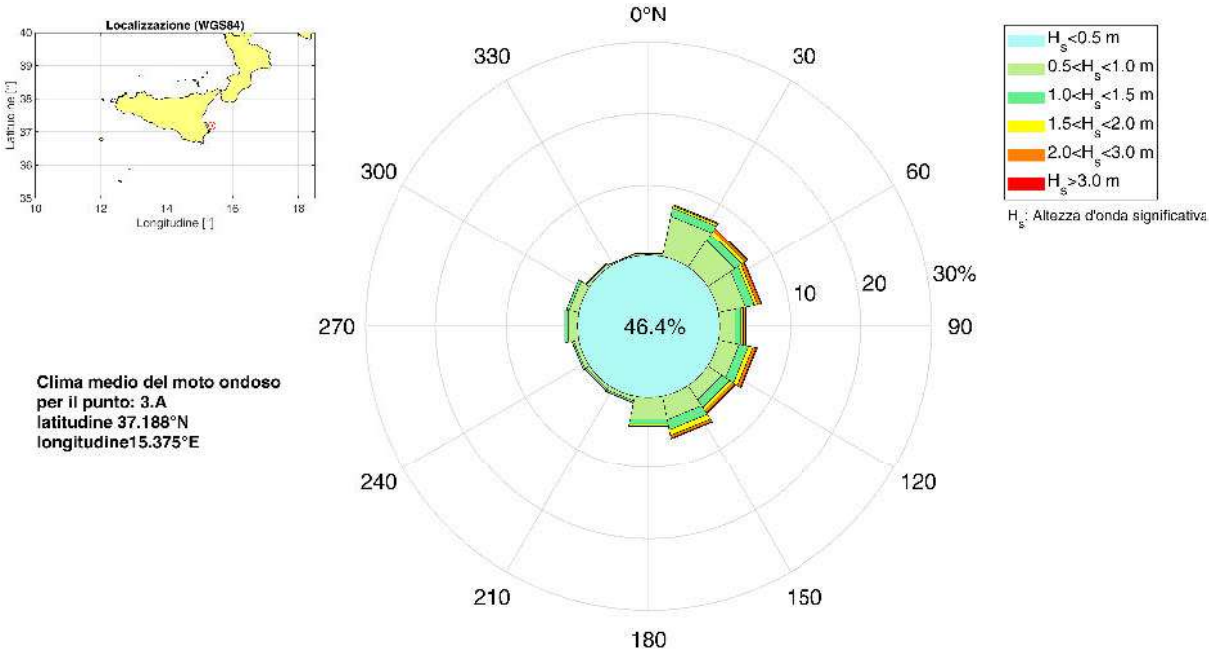


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.61	0.35	0.12	0.03	0.01	-
22.5	8.60	5.98	1.18	0.31	0.17	0.04
45.0	7.66	4.57	1.21	0.54	0.39	0.13
67.5	6.34	3.86	1.29	0.46	0.47	0.15
90.0	3.65	2.40	0.81	0.35	0.28	0.12
112.5	2.85	3.00	1.33	0.64	0.45	0.18
135.0	2.89	2.41	1.30	0.56	0.30	0.16
157.5	4.41	3.40	1.43	0.81	0.41	0.11
180.0	5.23	3.31	0.68	0.22	0.04	0.02
202.5	1.18	0.68	0.27	0.05	-	-
225.0	0.60	0.60	0.21	0.02	-	-
247.5	0.55	0.74	0.25	0.02	-	-
270.0	0.54	1.53	0.45	0.03	-	-
292.5	0.51	1.40	0.38	0.01	-	-
315.0	0.41	0.51	0.11	-	-	-
337.5	0.36	0.28	0.06	-	-	-

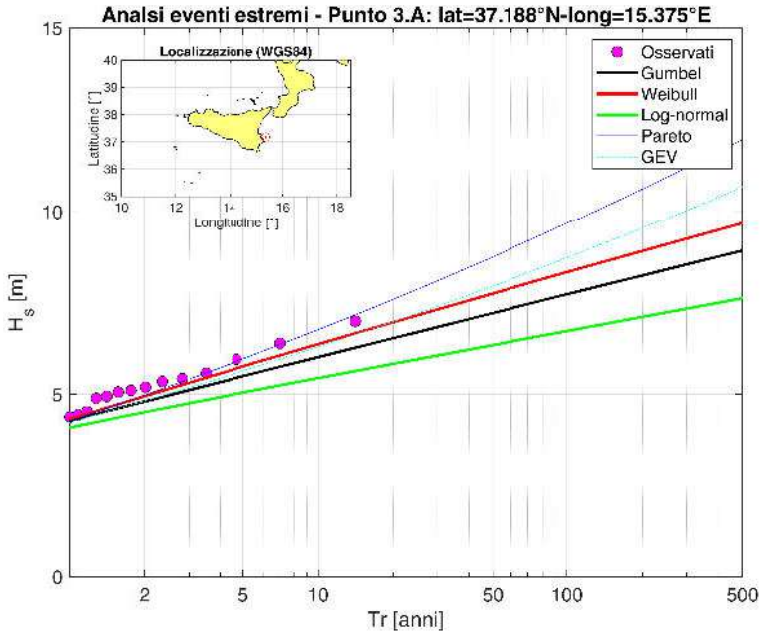


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	168	12.000	2.903	0.950	6.99
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08180	0.08680	0.09341	0.10374	0.12445
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.14449	0.09155	0.13378	0.05101	0.12168

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.351	2.476	1.064	1.872	1.087	1.023	0.281	2.000	0.842	0.068	2.467	0.661	-0.078

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.81	4.96	4.52	4.99	4.83
5	5.50	5.77	5.05	5.97	5.65
10	6.02	6.37	5.45	6.76	6.30
50	7.21	7.74	6.34	8.74	7.94
100	7.72	8.33	6.72	9.66	8.72
500	8.92	9.66	7.62	11.97	10.69

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
3.B

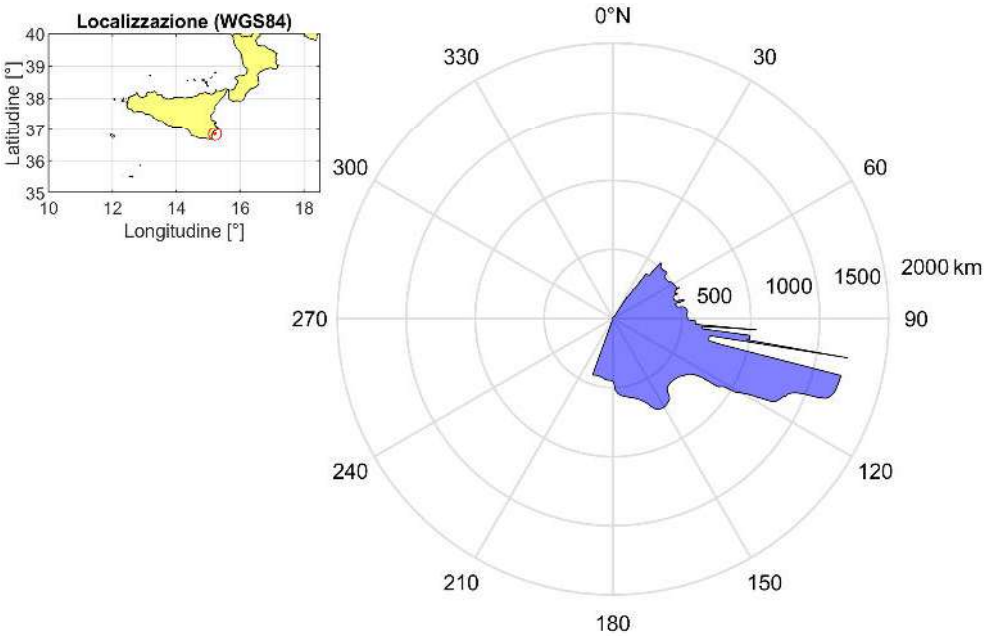


Figura 9: Fetch geografico.

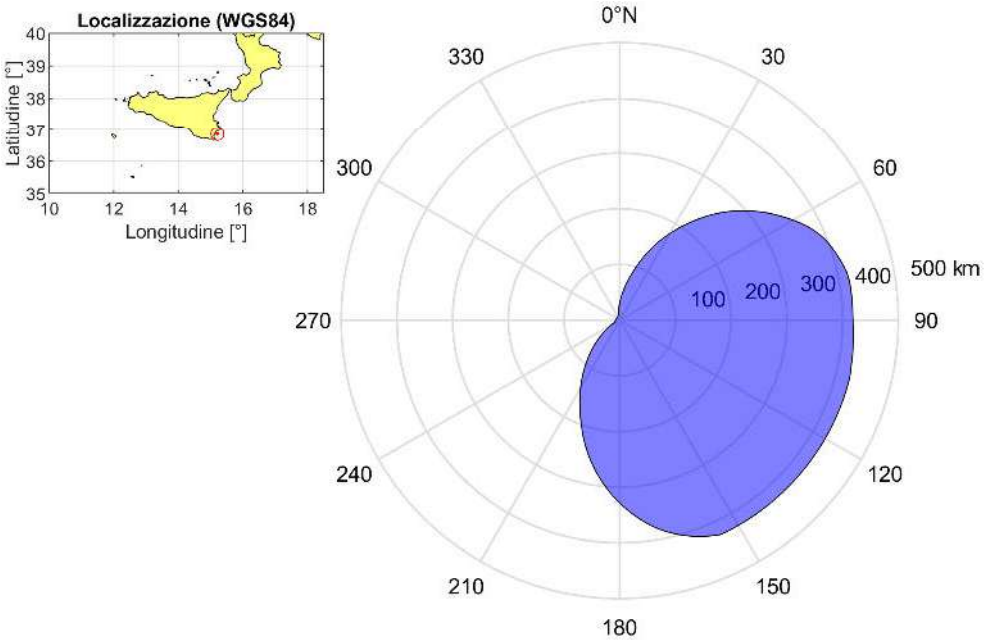


Figura 10: Fetch efficace.

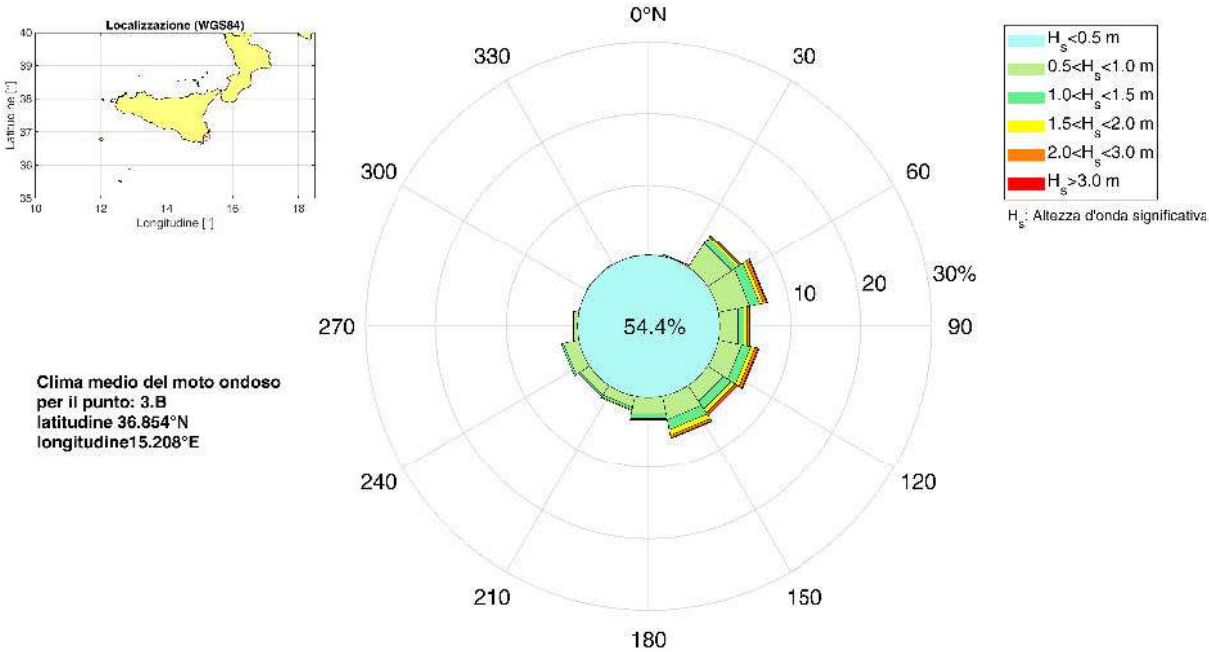


Figura 11: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.24	0.12	0.02	-	-	-
22.5	0.69	0.24	0.06	0.01	-	-
45.0	11.04	4.05	0.86	0.43	0.24	0.03
67.5	9.69	4.48	1.45	0.51	0.46	0.15
90.0	5.24	2.80	0.85	0.41	0.30	0.11
112.5	3.77	3.35	1.31	0.60	0.43	0.17
135.0	3.33	2.63	1.31	0.66	0.32	0.16
157.5	4.47	3.38	1.43	0.79	0.37	0.10
180.0	5.13	2.53	0.65	0.18	0.05	0.01
202.5	4.35	1.58	0.36	0.13	-	-
225.0	3.00	1.56	0.26	0.02	-	-
247.5	2.09	2.25	0.28	0.01	-	-
270.0	0.75	0.76	0.03	-	-	-
292.5	0.31	0.13	-	-	-	-
315.0	0.17	0.09	-	-	-	-
337.5	0.17	0.10	0.01	-	-	-

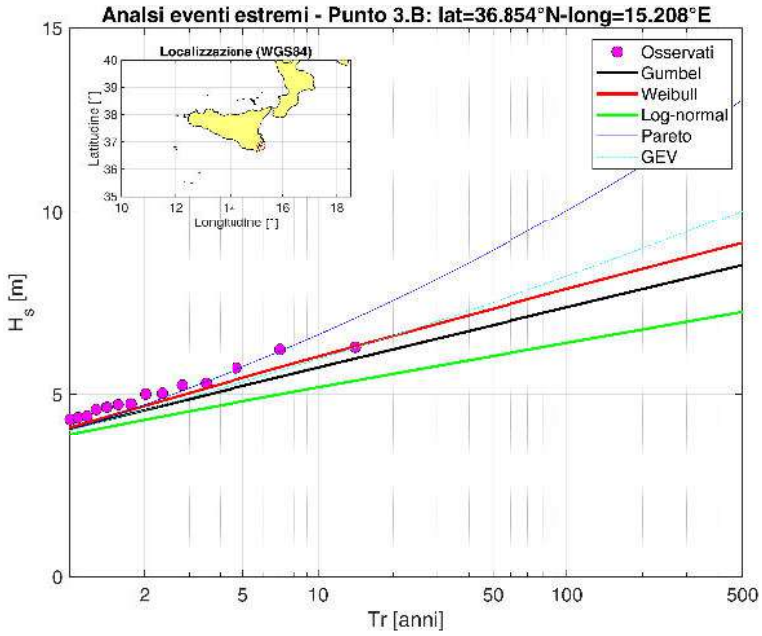


Figura 12: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	147	10.500	2.842	0.911	6.28
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08737	0.09272	0.09978	0.11082	0.13295
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15438	0.11803	0.13733	0.04727	0.13424

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.408	2.432	1.045	1.835	1.106	1.003	0.275	2.000	0.744	0.119	2.423	0.639	-0.073

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.58	4.69	4.31	4.73	4.58
5	5.24	5.46	4.82	5.76	5.35
10	5.73	6.03	5.20	6.62	5.96
50	6.88	7.32	6.04	8.91	7.50
100	7.37	7.87	6.40	10.05	8.22
500	8.51	9.12	7.24	13.06	10.03

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
3.C

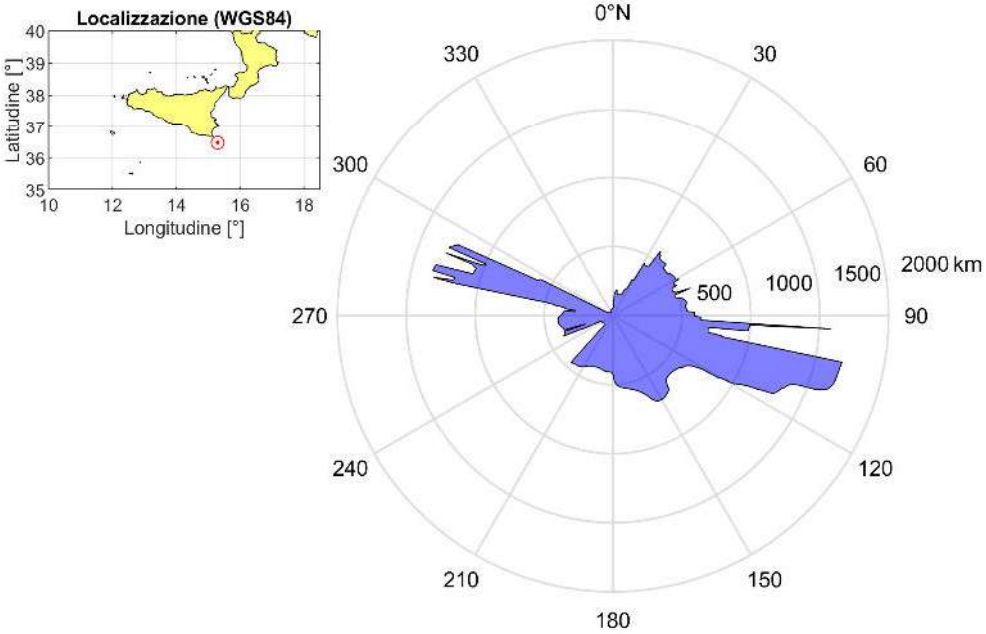


Figura 13: Fetch geografico.

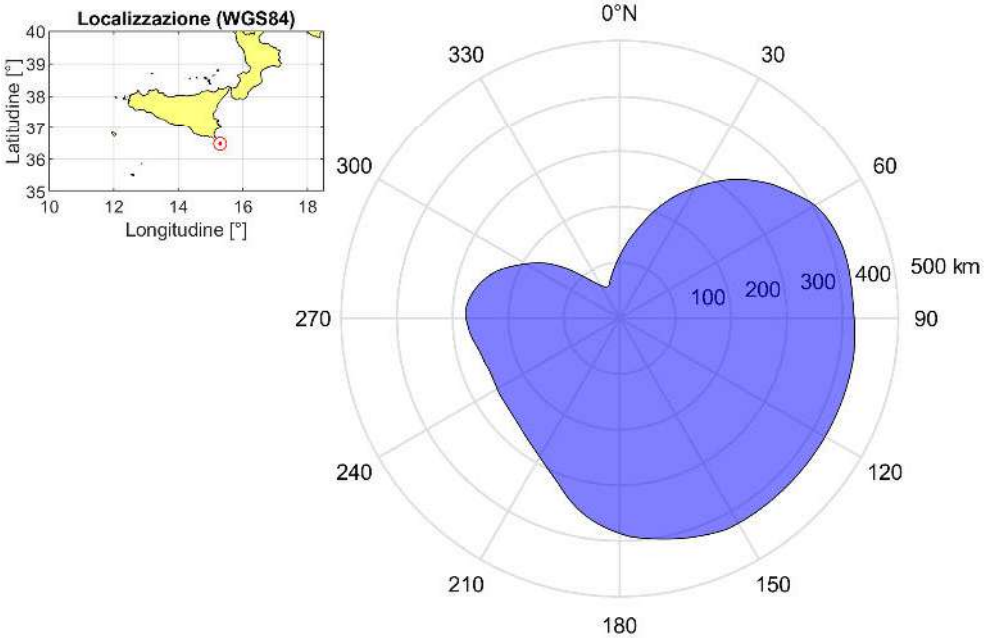


Figura 14: Fetch efficace.

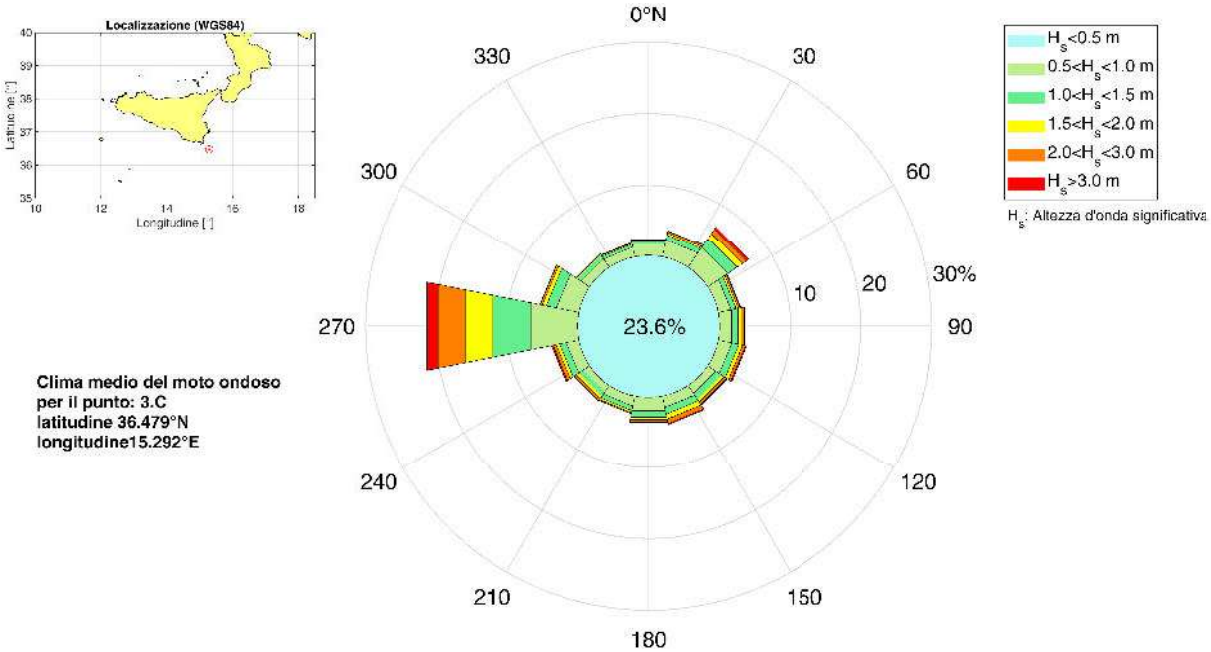


Figura 15: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 17: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.45	1.75	0.51	0.17	0.11	0.01
22.5	1.98	2.44	0.81	0.26	0.29	0.06
45.0	2.53	3.39	1.60	0.86	0.76	0.36
67.5	1.34	1.82	0.73	0.33	0.26	0.11
90.0	0.95	1.87	0.94	0.45	0.38	0.10
112.5	0.79	1.94	1.01	0.54	0.40	0.16
135.0	0.62	1.39	0.94	0.49	0.34	0.17
157.5	0.86	1.63	0.95	0.71	0.66	0.15
180.0	1.29	2.08	0.95	0.37	0.28	0.06
202.5	1.31	1.42	0.64	0.31	0.13	0.03
225.0	1.02	1.15	0.65	0.40	0.36	0.09
247.5	1.50	1.81	0.95	0.49	0.47	0.21
270.0	2.98	6.89	5.46	3.94	3.88	1.59
292.5	2.31	3.21	1.44	0.58	0.31	0.03
315.0	1.42	1.49	0.55	0.17	0.09	-
337.5	1.26	1.40	0.41	0.17	0.09	-

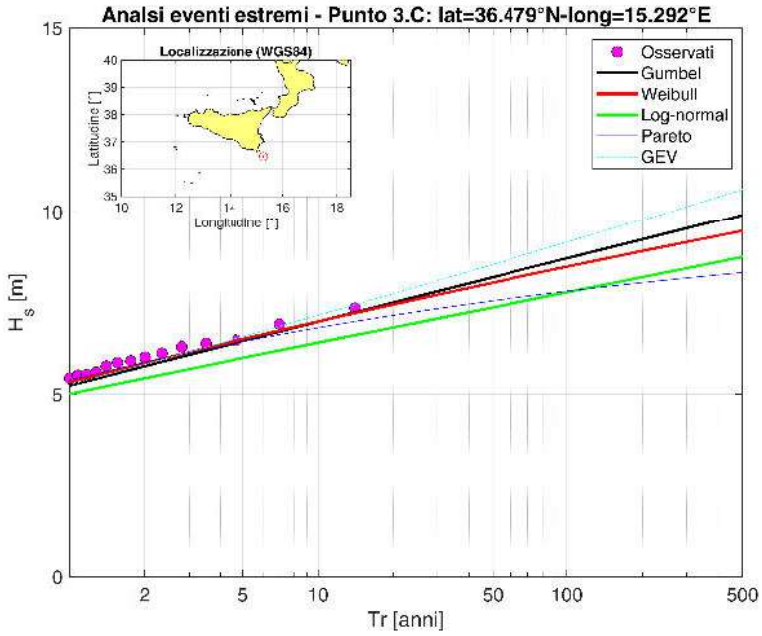


Figura 16: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 18: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	444	31.714	3.098	0.961	7.34
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05055	0.05363	0.05770	0.06407	0.07684
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08577	0.05638	0.07796	0.02718	0.07811

Tabella 19: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.335	2.666	1.365	1.841	1.320	1.089	0.281	2.000	1.271	-0.157	2.662	0.723	-0.026

Tabella 20: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.77	5.85	5.44	5.87	5.82
5	6.46	6.51	6.00	6.44	6.57
10	6.98	6.98	6.41	6.81	7.15
50	8.18	8.04	7.36	7.54	8.53
100	8.70	8.47	7.77	7.80	9.15
500	9.91	9.45	8.74	8.31	10.61

Unità fisiografica di I ordine
4

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 4.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 4.B)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 4.C)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 4.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 4.B)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 4.C)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 4.D)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 4.E)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
4.A

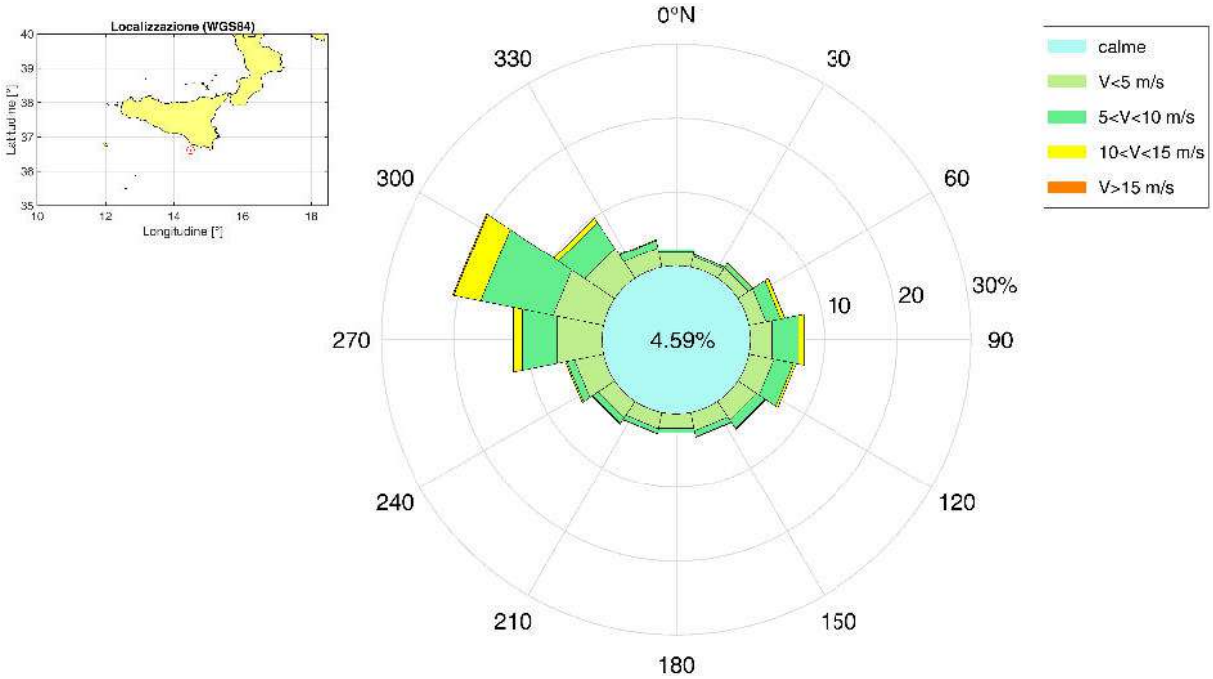


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.34	2.08	0.41	0.02	-
22.5	0.28	1.50	0.28	0.02	-
45.0	0.27	1.68	0.60	0.14	0.01
67.5	0.27	2.36	2.00	0.54	0.04
90.0	0.26	3.13	3.69	0.77	0.02
112.5	0.25	3.44	2.69	0.35	-
135.0	0.26	3.07	1.31	0.15	-
157.5	0.26	2.53	0.82	0.07	-
180.0	0.26	2.19	0.58	0.04	-
202.5	0.27	2.24	0.67	0.06	-
225.0	0.28	2.71	0.82	0.14	-
247.5	0.31	4.01	1.03	0.21	0.01
270.0	0.32	6.35	4.80	1.16	0.08
292.5	0.34	6.93	9.97	3.69	0.17
315.0	0.33	4.89	4.28	0.73	0.02
337.5	0.29	2.70	1.06	0.12	-

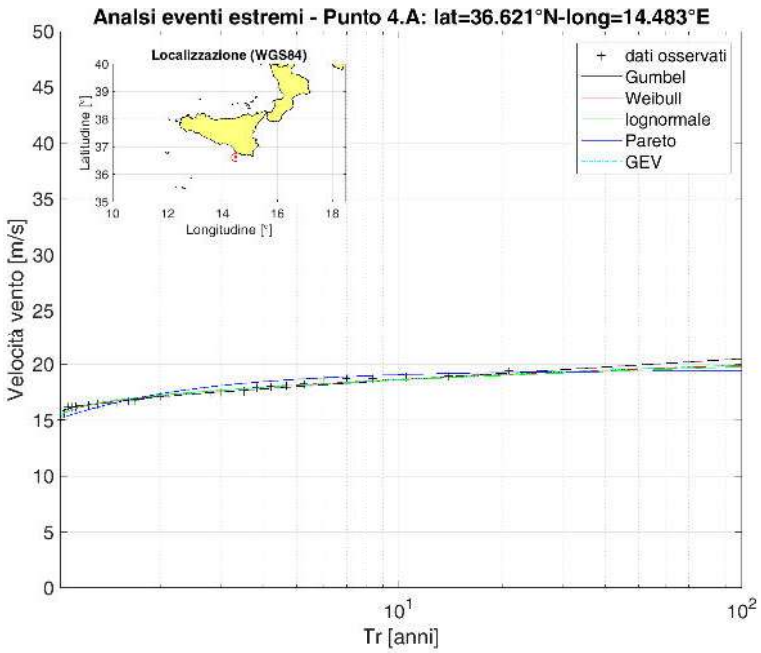


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07543	0.08174	0.09349	0.17119	0.07796

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.244	16.811	2.592	14.977	2.370	2.848	0.059	15.061	4.713	-1.075	16.857	0.950	0.159

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.11	17.20	17.24	17.36	17.19
5	18.02	18.15	18.13	18.67	18.12
10	18.62	18.66	18.60	19.08	18.65
50	19.95	19.59	19.47	19.38	19.62
100	20.51	19.91	19.79	19.41	19.96
500	21.80	20.58	20.45	19.44	20.61

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
4.B

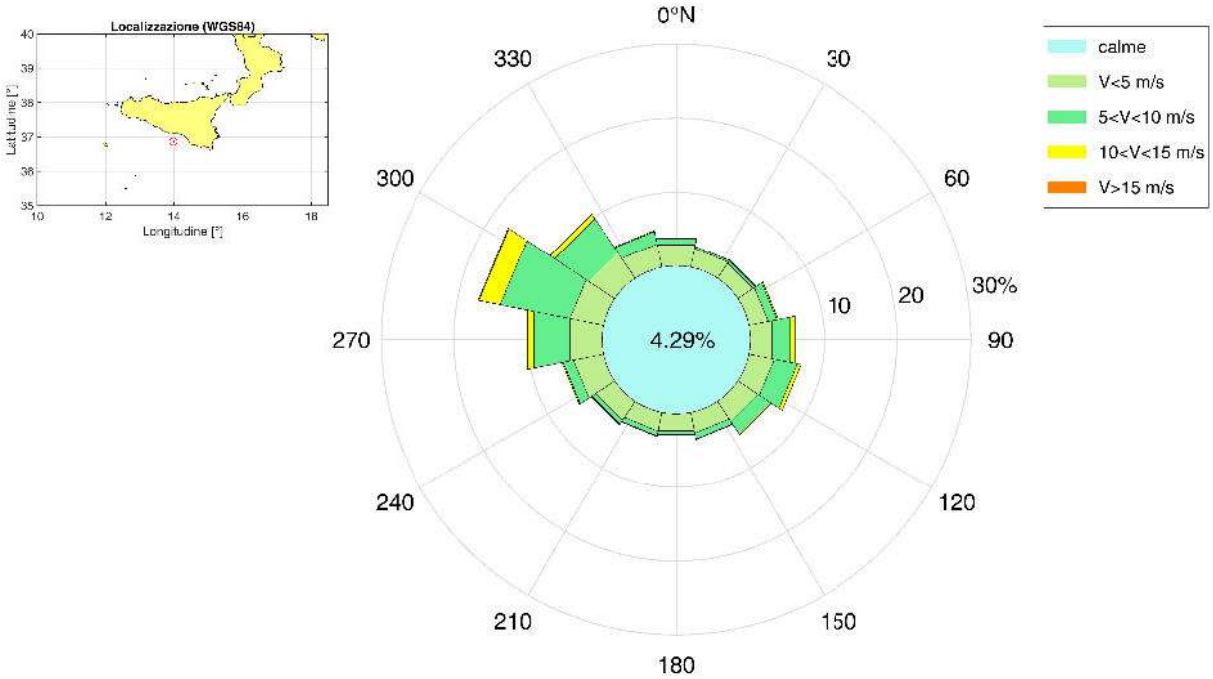


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.33	3.14	0.87	0.04	-
22.5	0.30	2.62	0.27	0.01	-
45.0	0.32	2.46	0.42	0.03	-
67.5	0.30	2.65	1.18	0.19	0.01
90.0	0.28	3.18	2.52	0.58	0.01
112.5	0.27	3.48	3.16	0.52	-
135.0	0.24	3.24	1.98	0.15	0.01
157.5	0.23	2.84	0.82	0.05	-
180.0	0.24	2.49	0.58	0.03	-
202.5	0.22	2.59	0.66	0.07	-
225.0	0.23	3.02	0.67	0.10	-
247.5	0.24	4.14	1.41	0.15	0.01
270.0	0.25	4.58	5.01	0.87	0.06
292.5	0.27	4.61	9.60	2.92	0.12
315.0	0.30	4.17	5.59	0.70	0.02
337.5	0.26	3.25	1.74	0.12	-

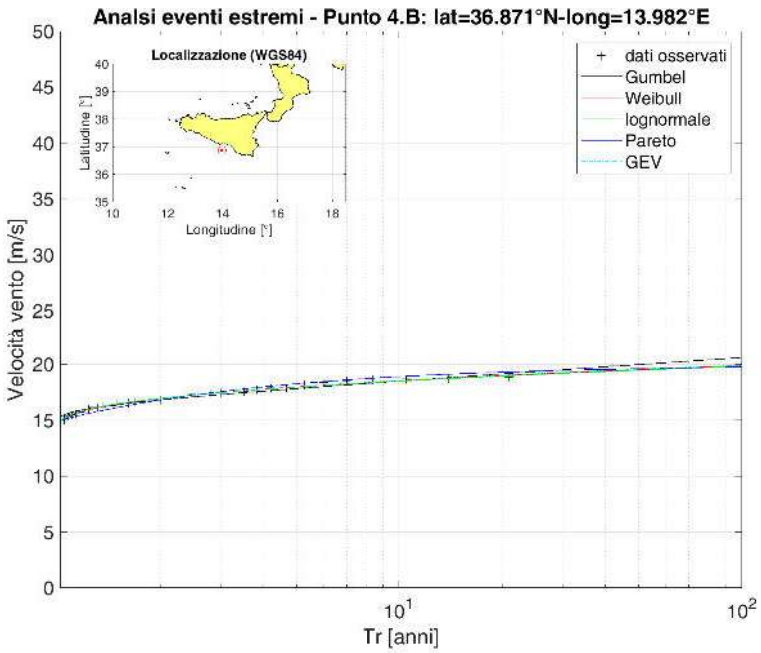


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08368	0.05434	0.06661	0.12192	0.05233

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.115	16.490	3.071	14.281	2.539	2.831	0.067	14.955	3.349	-0.664	16.549	1.075	0.176

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	16.82	16.94	16.97	16.82	16.93
5	17.84	17.99	17.96	18.27	17.97
10	18.51	18.55	18.50	18.90	18.55
50	19.99	19.54	19.48	19.62	19.58
100	20.62	19.89	19.84	19.76	19.94
500	22.06	20.59	20.59	19.92	20.61

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
4.C

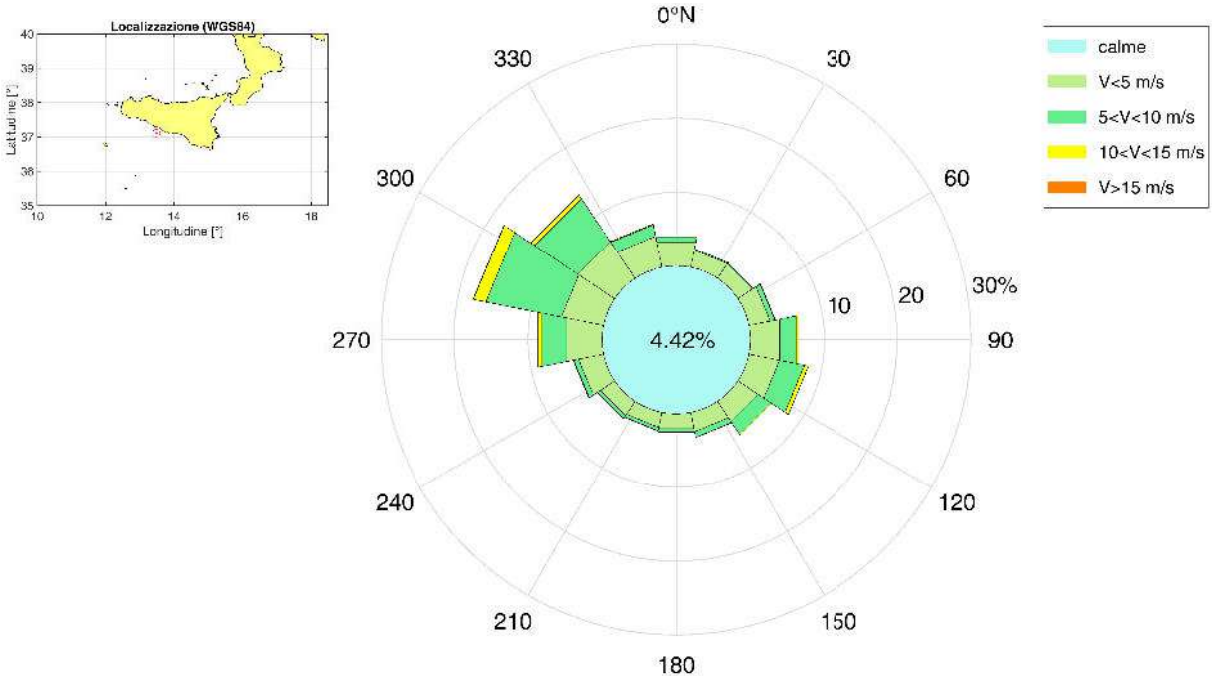


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.34	3.52	0.72	0.02	-
22.5	0.33	2.38	0.16	-	-
45.0	0.33	2.27	0.14	-	-
67.5	0.32	2.92	0.65	0.05	-
90.0	0.30	4.21	2.27	0.33	-
112.5	0.27	4.19	3.43	0.56	0.01
135.0	0.27	3.24	2.11	0.12	-
157.5	0.23	2.65	0.78	0.02	-
180.0	0.23	2.21	0.47	0.02	-
202.5	0.22	2.08	0.46	0.04	-
225.0	0.25	2.33	0.40	0.03	-
247.5	0.25	3.44	0.66	0.07	-
270.0	0.26	5.07	3.39	0.51	0.01
292.5	0.27	5.80	10.38	1.72	0.04
315.0	0.27	5.95	7.05	0.63	0.01
337.5	0.28	4.31	1.59	0.12	-

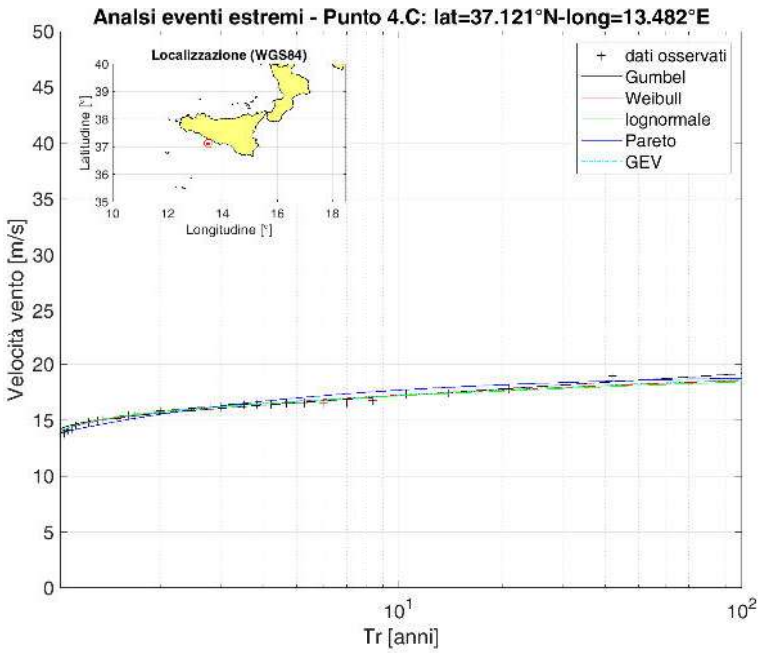


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10167	0.07552	0.07176	0.14095	0.06968

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.191	15.311	2.665	13.434	2.327	2.757	0.068	13.816	2.995	-0.558	15.356	0.987	0.152

Tabella 12: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	15.62	15.71	15.76	15.54	15.71
5	16.57	16.70	16.68	17.00	16.68
10	17.20	17.25	17.19	17.70	17.24
50	18.59	18.22	18.11	18.58	18.26
100	19.17	18.57	18.45	18.77	18.62
500	20.53	19.28	19.15	19.01	19.33

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
4.A

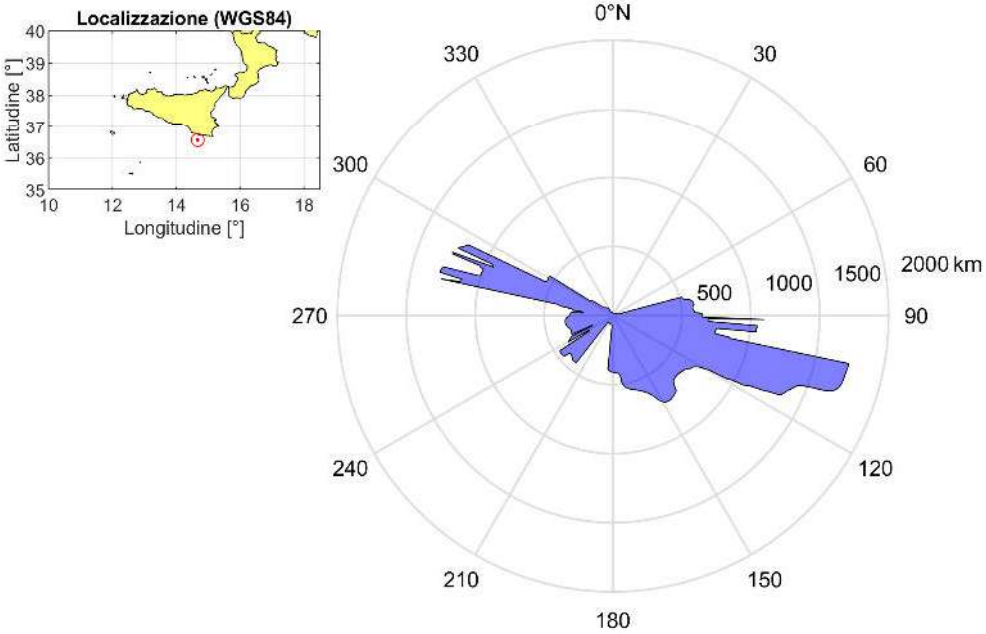


Figura 7: Fetch geografico.

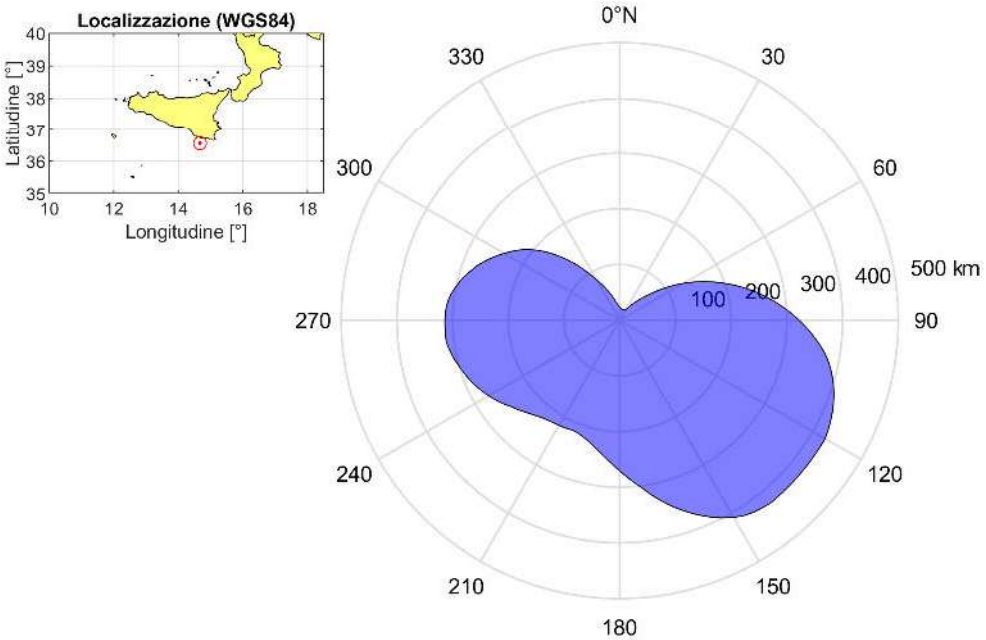


Figura 8: Fetch efficace.

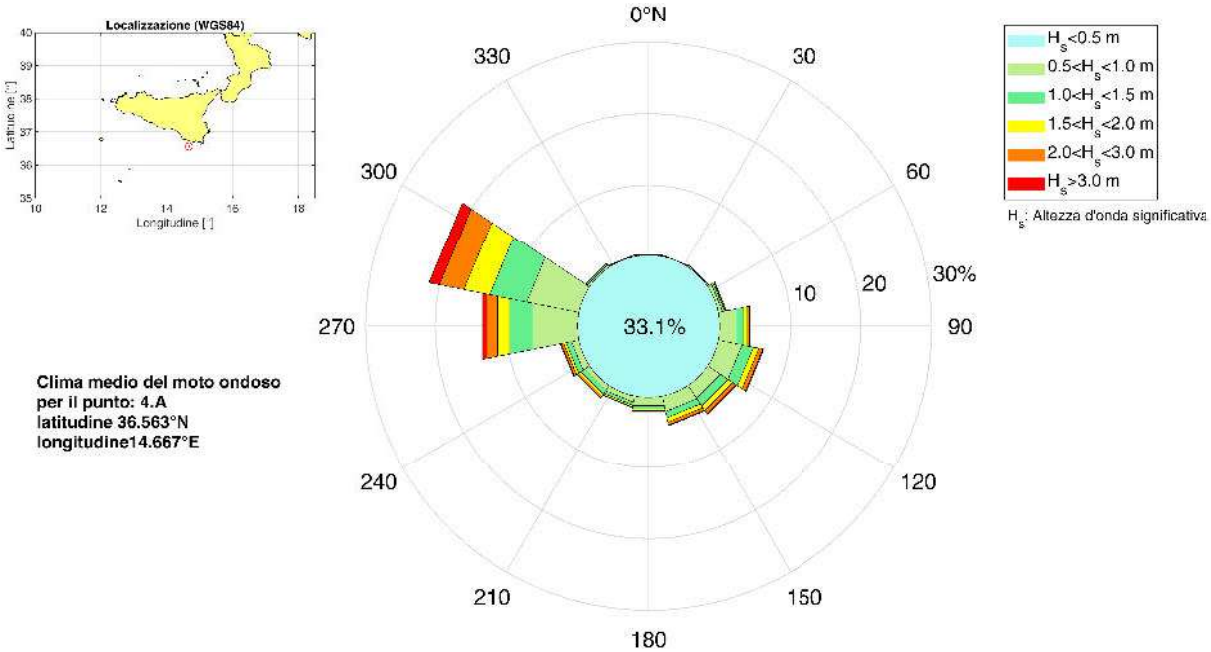


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.15	0.12	0.06	0.01	-	-
22.5	0.22	0.14	0.06	0.01	-	-
45.0	0.32	0.22	0.07	0.02	-	-
67.5	0.72	0.61	0.30	0.13	0.12	0.02
90.0	2.34	2.56	1.04	0.54	0.31	0.08
112.5	2.56	3.40	1.61	0.80	0.54	0.14
135.0	1.63	2.11	1.33	0.76	0.50	0.19
157.5	2.00	2.21	0.89	0.64	0.42	0.11
180.0	1.84	1.32	0.53	0.23	0.12	0.02
202.5	1.60	0.88	0.44	0.24	0.07	0.02
225.0	1.69	0.87	0.58	0.36	0.26	0.04
247.5	2.58	1.07	0.76	0.37	0.35	0.12
270.0	9.04	6.62	3.30	1.75	1.48	0.65
292.5	5.74	7.48	5.30	3.70	3.50	1.50
315.0	0.45	0.41	0.20	0.05	0.01	-
337.5	0.21	0.17	0.08	0.01	-	-

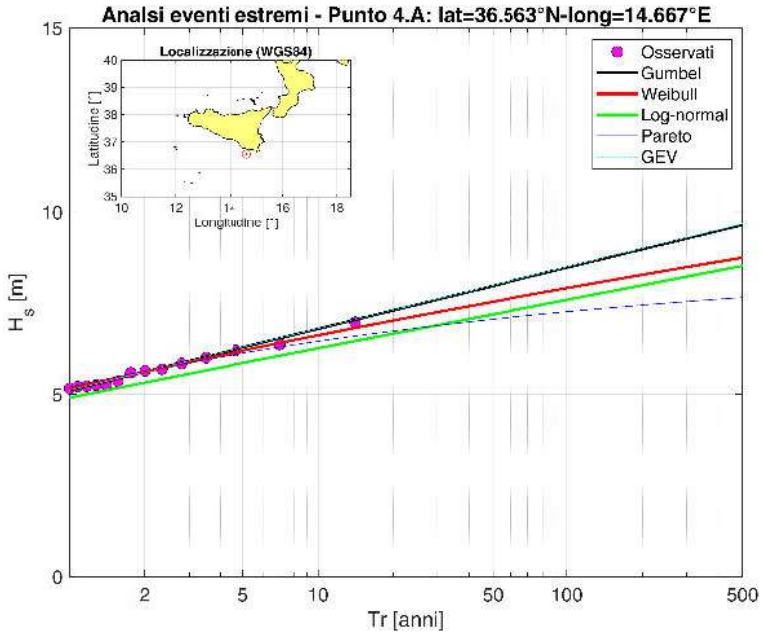


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	430	30.714	3.068	0.926	6.96
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05136	0.05449	0.05863	0.06509	0.07807
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08431	0.08030	0.09868	0.03682	0.08409

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.386	2.651	1.452	1.751	1.445	1.081	0.277	2.000	1.272	-0.189	2.651	0.721	-0.001

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.62	5.62	5.32	5.64	5.62
5	6.28	6.19	5.86	6.13	6.29
10	6.78	6.61	6.26	6.45	6.79
50	7.94	7.52	7.17	7.04	7.96
100	8.44	7.89	7.57	7.25	8.46
500	9.61	8.72	8.50	7.63	9.64

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
4.B

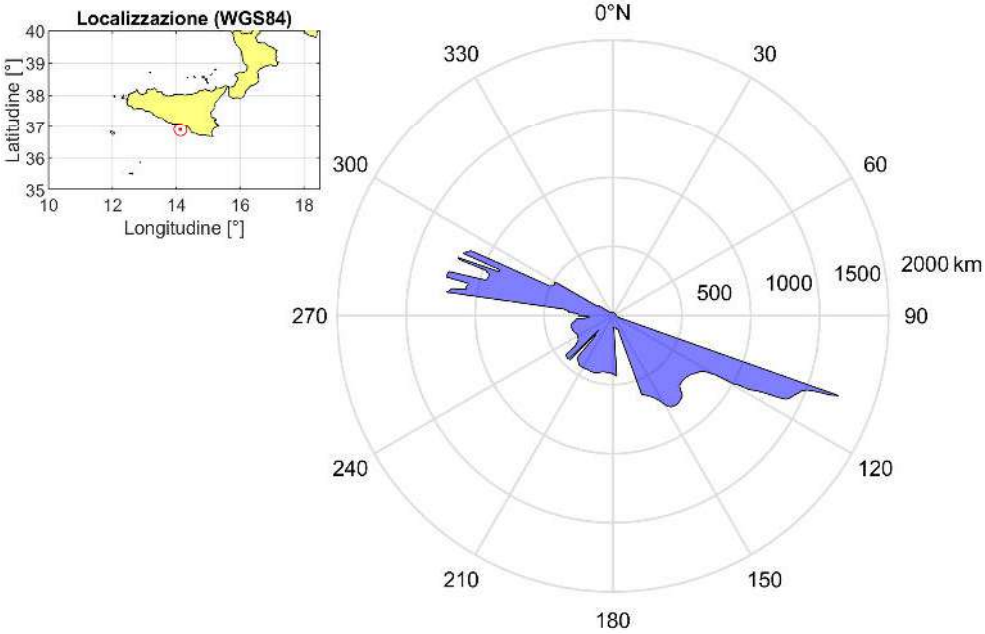


Figura 11: Fetch geografico.

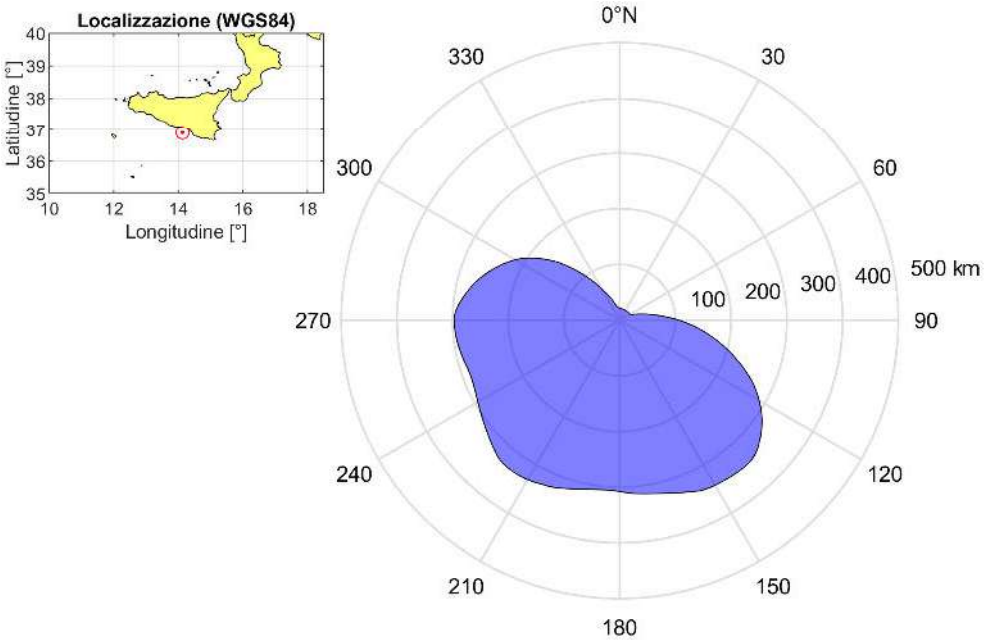


Figura 12: Fetch efficace.

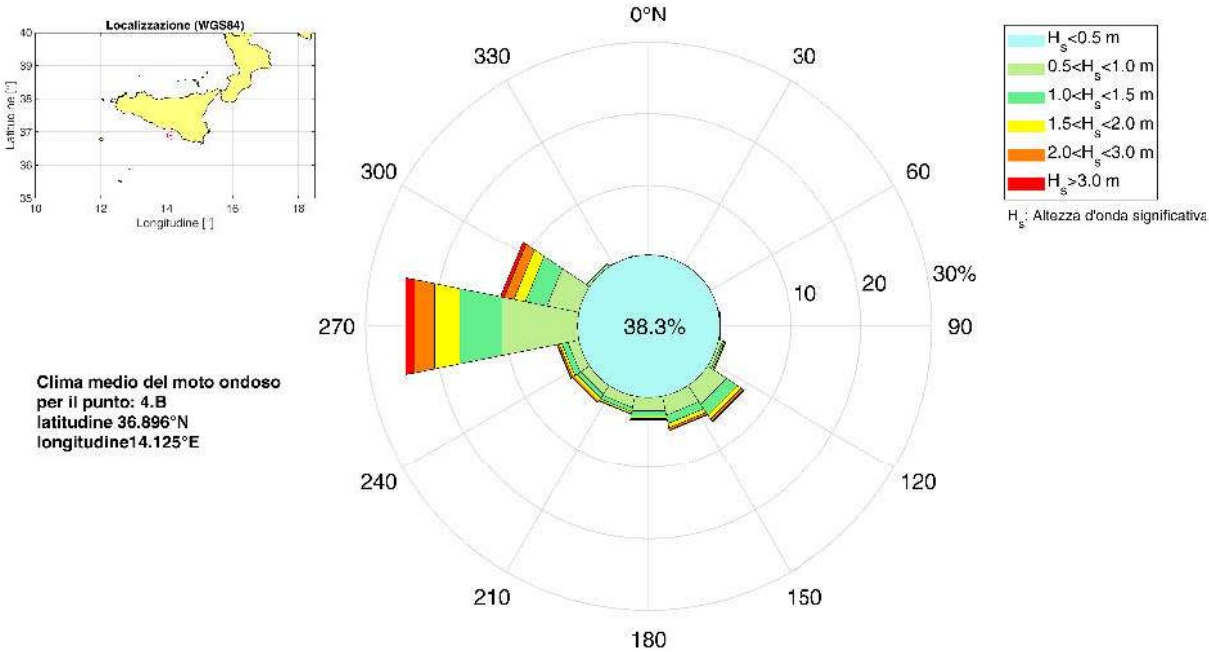


Figura 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 17: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.07	0.06	0.03	-	-	-
22.5	0.06	0.06	0.03	-	-	-
45.0	0.07	0.05	0.03	-	-	-
67.5	0.08	0.07	0.03	-	-	-
90.0	0.15	0.19	0.07	0.02	-	-
112.5	0.58	0.58	0.28	0.14	0.07	0.01
135.0	2.62	3.21	1.76	0.72	0.38	0.07
157.5	3.14	2.72	1.19	0.62	0.31	0.11
180.0	2.92	2.07	0.82	0.32	0.15	0.03
202.5	3.38	1.64	0.58	0.28	0.08	0.01
225.0	3.44	1.43	0.74	0.42	0.32	0.06
247.5	4.65	1.58	0.86	0.37	0.26	0.09
270.0	13.94	11.02	6.05	3.60	2.86	1.28
292.5	2.76	4.58	3.07	1.65	1.41	0.53
315.0	0.34	0.32	0.16	0.04	0.01	-
337.5	0.14	0.14	0.03	-	-	-

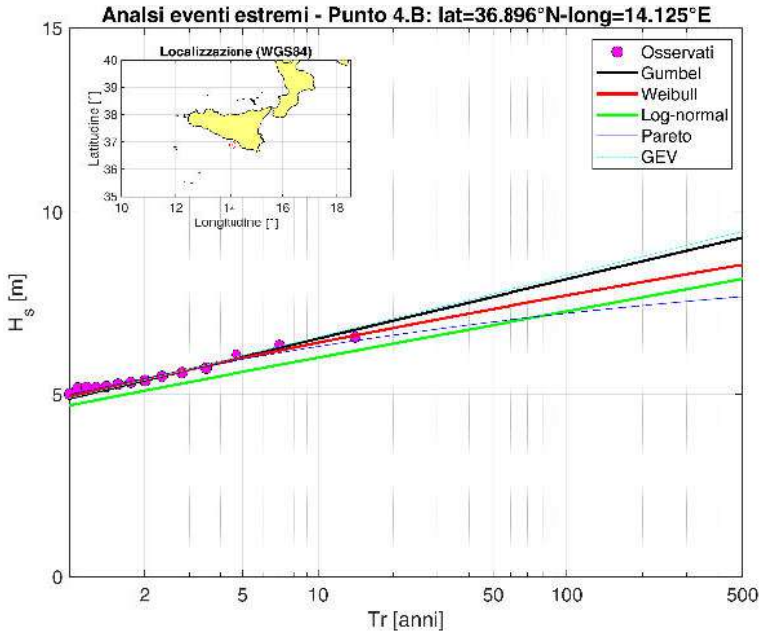


Figura 14: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 18: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	374	26.714	3.009	0.899	6.57
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05504	0.05840	0.06283	0.06976	0.08368
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09197	0.08317	0.10986	0.04437	0.09120

Tabella 19: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.427	2.605	1.378	1.756	1.414	1.063	0.273	2.000	1.178	-0.165	2.604	0.694	-0.007

Tabella 20: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.39	5.41	5.11	5.44	5.40
5	6.03	5.99	5.62	5.96	6.06
10	6.52	6.41	6.00	6.30	6.56
50	7.65	7.32	6.88	6.97	7.73
100	8.13	7.69	7.26	7.21	8.24
500	9.26	8.52	8.14	7.66	9.43

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
4.C

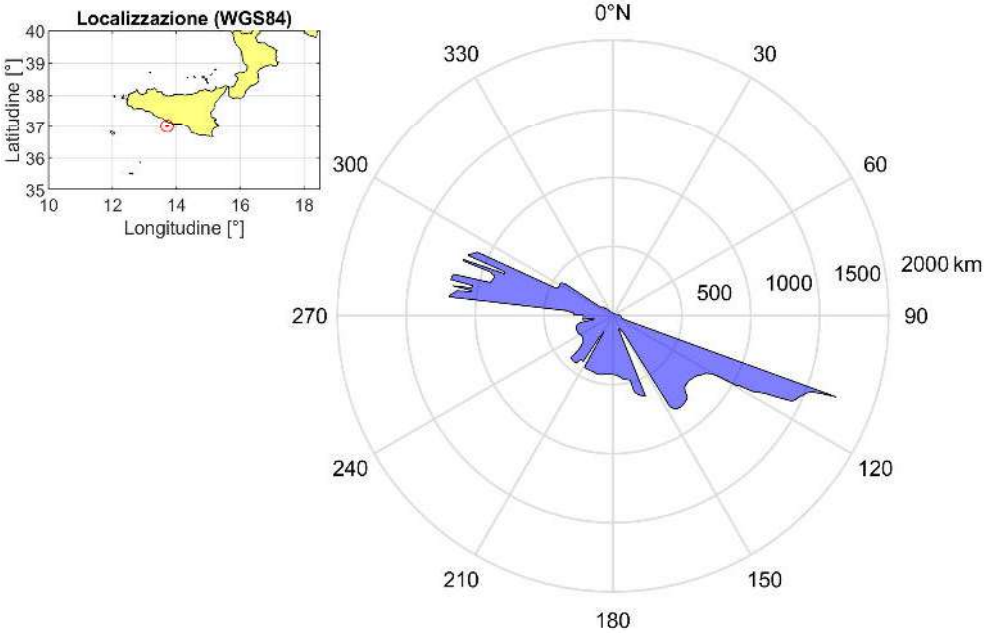


Figura 15: Fetch geografico.

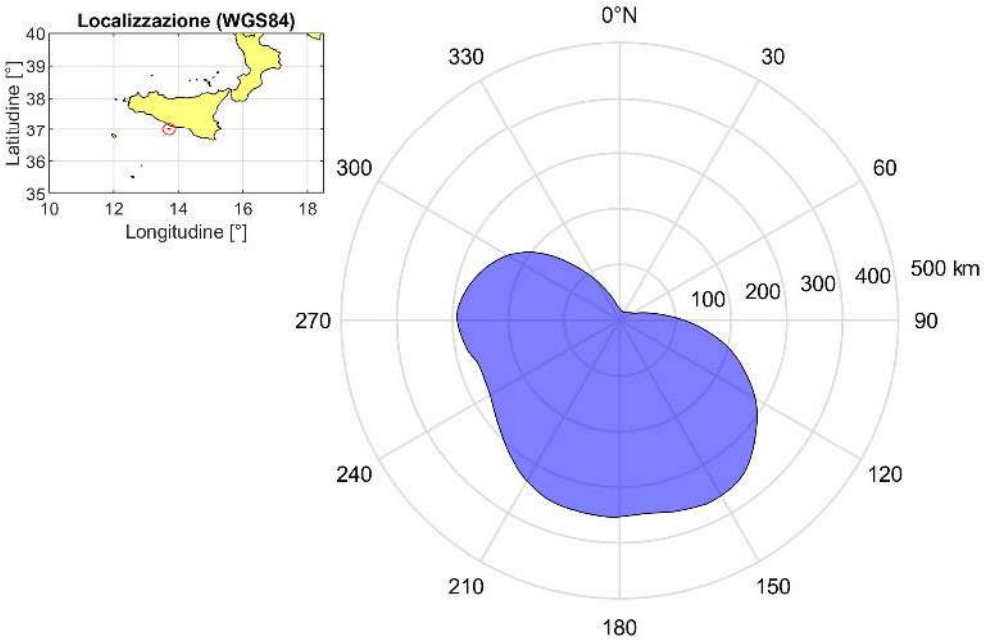


Figura 16: Fetch efficace.

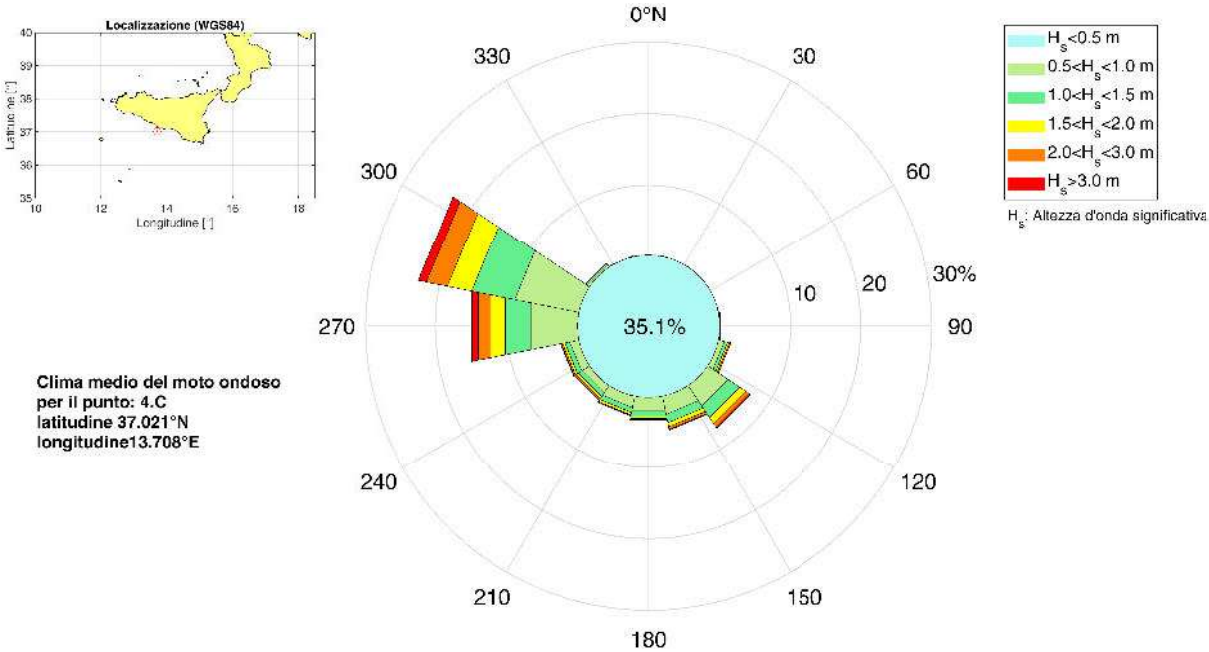


Figura 17: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 21: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.12	0.04	0.03	-	-	-
22.5	0.11	0.04	0.01	-	-	-
45.0	0.10	0.05	0.01	-	-	-
67.5	0.10	0.04	0.01	-	-	-
90.0	0.20	0.16	0.05	0.02	0.01	-
112.5	0.79	0.88	0.46	0.27	0.18	0.02
135.0	2.81	3.40	1.96	1.02	0.63	0.16
157.5	3.17	2.58	1.21	0.60	0.36	0.11
180.0	3.06	2.12	0.78	0.31	0.12	0.02
202.5	2.85	1.65	0.69	0.36	0.13	0.02
225.0	2.72	1.25	0.62	0.35	0.22	0.05
247.5	2.95	1.30	0.69	0.35	0.22	0.08
270.0	9.03	6.90	3.60	2.15	1.76	0.91
292.5	6.44	9.20	6.17	3.49	3.00	1.17
315.0	0.49	0.45	0.19	0.05	-	-
337.5	0.20	0.14	0.03	-	-	-

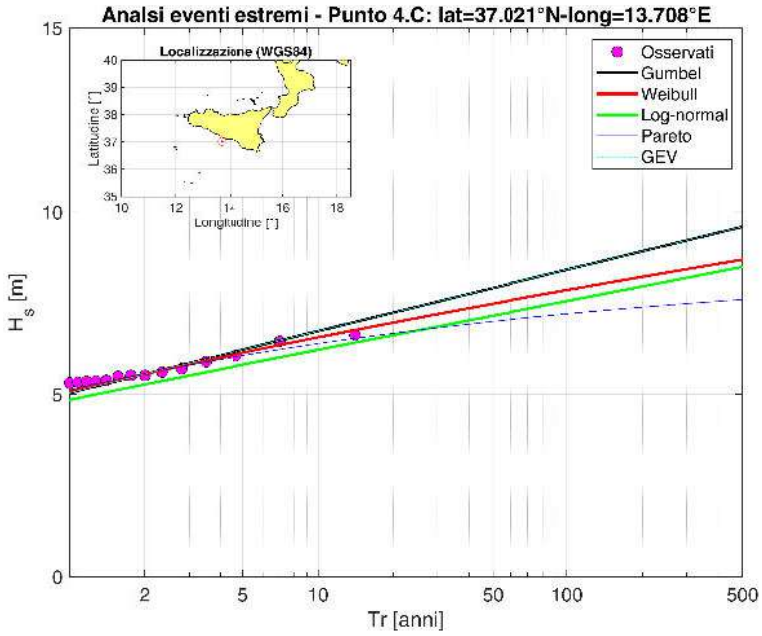


Figura 18: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 22: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	393	28.071	3.063	0.928	6.61
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05370	0.05698	0.06131	0.06807	0.08164
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08675	0.08009	0.10209	0.04215	0.08688

Tabella 23: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.382	2.645	1.463	1.737	1.451	1.079	0.278	2.000	1.269	-0.191	2.645	0.724	0.000

Tabella 24: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.55	5.56	5.27	5.57	5.55
5	6.22	6.14	5.81	6.06	6.22
10	6.72	6.55	6.21	6.38	6.72
50	7.89	7.46	7.14	6.98	7.89
100	8.39	7.83	7.54	7.19	8.39
500	9.55	8.66	8.47	7.58	9.56

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
4.D

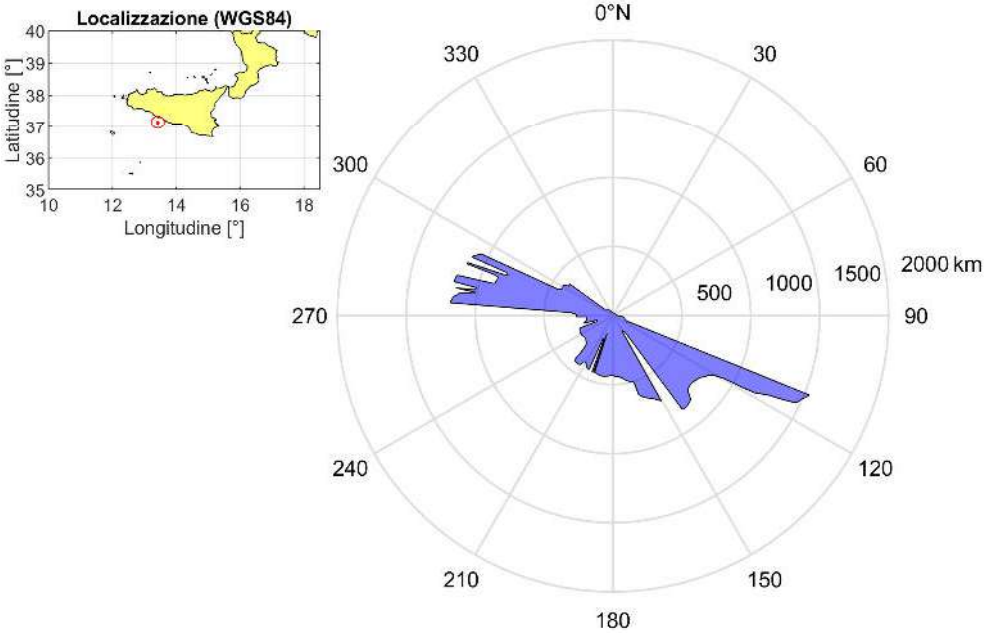


Figura 19: Fetch geografico.

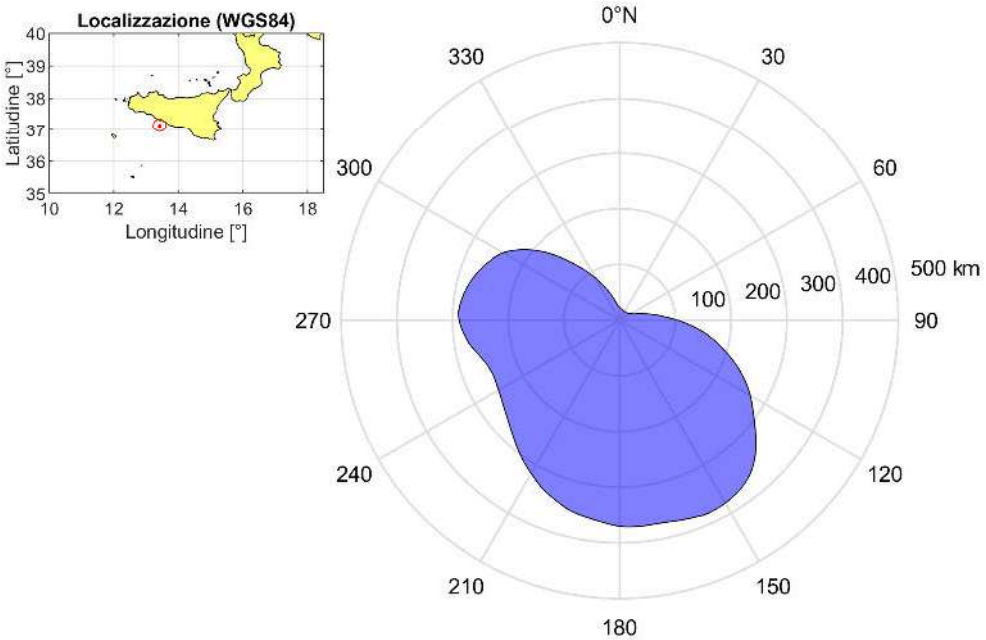


Figura 20: Fetch efficace.

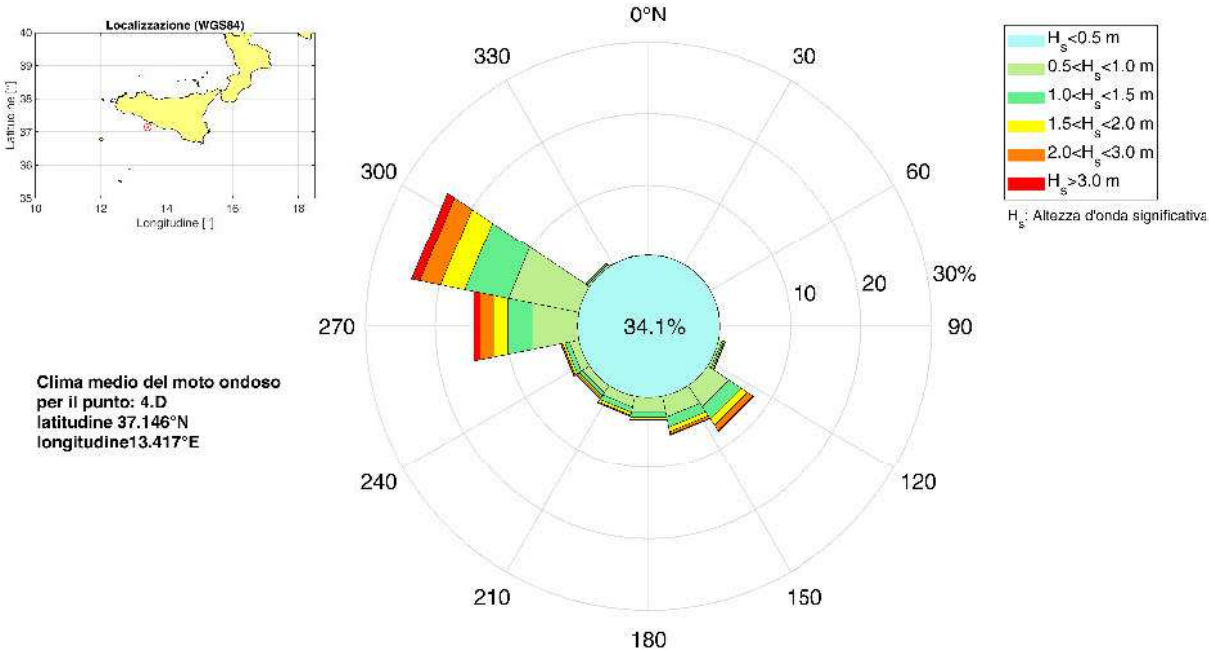


Figura 21: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 25: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.12	0.05	0.02	-	-	-
22.5	0.10	0.05	0.01	-	-	-
45.0	0.11	0.03	-	-	-	-
67.5	0.10	0.04	-	-	-	-
90.0	0.16	0.10	0.01	-	-	-
112.5	0.57	0.50	0.27	0.15	0.10	0.01
135.0	2.75	3.56	2.07	1.08	0.87	0.22
157.5	3.38	2.98	1.45	0.66	0.39	0.11
180.0	3.16	2.21	0.77	0.31	0.11	0.02
202.5	2.80	1.58	0.74	0.42	0.14	0.03
225.0	2.60	1.19	0.53	0.33	0.18	0.03
247.5	2.68	1.36	0.65	0.35	0.19	0.07
270.0	7.72	6.59	3.54	2.13	1.86	0.95
292.5	7.07	10.07	6.29	3.48	2.98	1.18
315.0	0.58	0.44	0.18	0.05	0.01	-
337.5	0.24	0.14	0.03	0.01	-	-

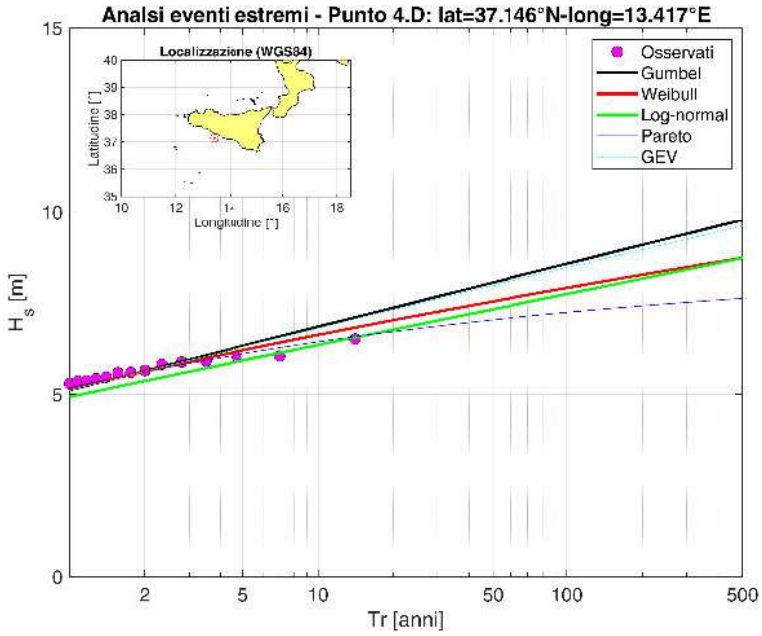


Figura 22: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 26: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	399	28.500	3.077	0.952	6.51
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05330	0.05655	0.06085	0.06756	0.08103
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09432	0.08900	0.10949	0.05219	0.09523

Tabella 27: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.347	2.648	1.540	1.685	1.487	1.081	0.284	2.000	1.292	-0.194	2.650	0.749	0.007

Tabella 28: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.64	5.62	5.37	5.62	5.63
5	6.33	6.20	5.93	6.11	6.30
10	6.84	6.62	6.35	6.43	6.80
50	8.04	7.53	7.31	7.03	7.95
100	8.55	7.89	7.73	7.23	8.45
500	9.75	8.71	8.70	7.61	9.58

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
4.E

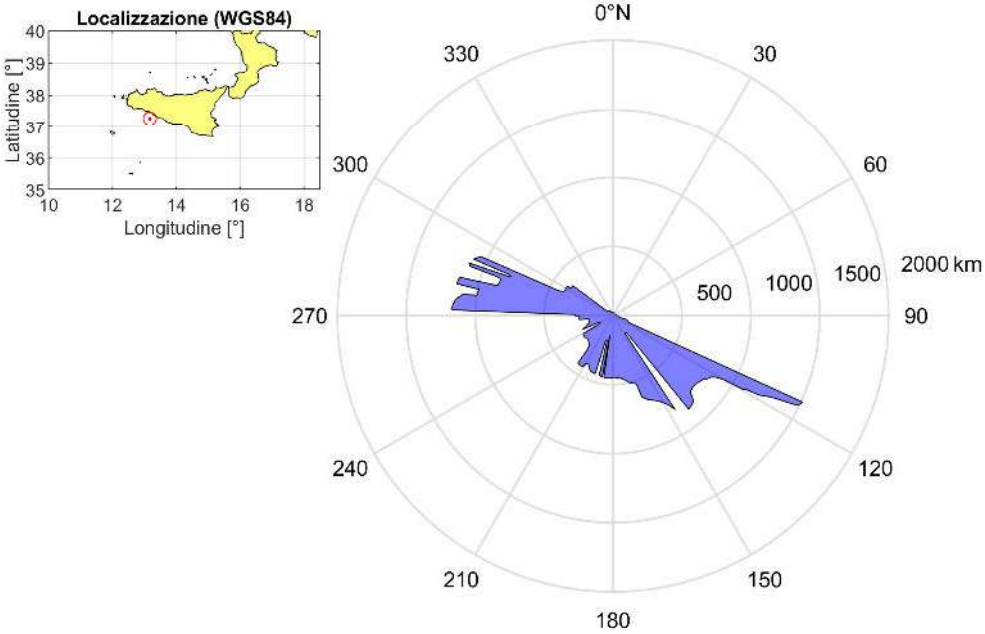


Figura 23: Fetch geografico.

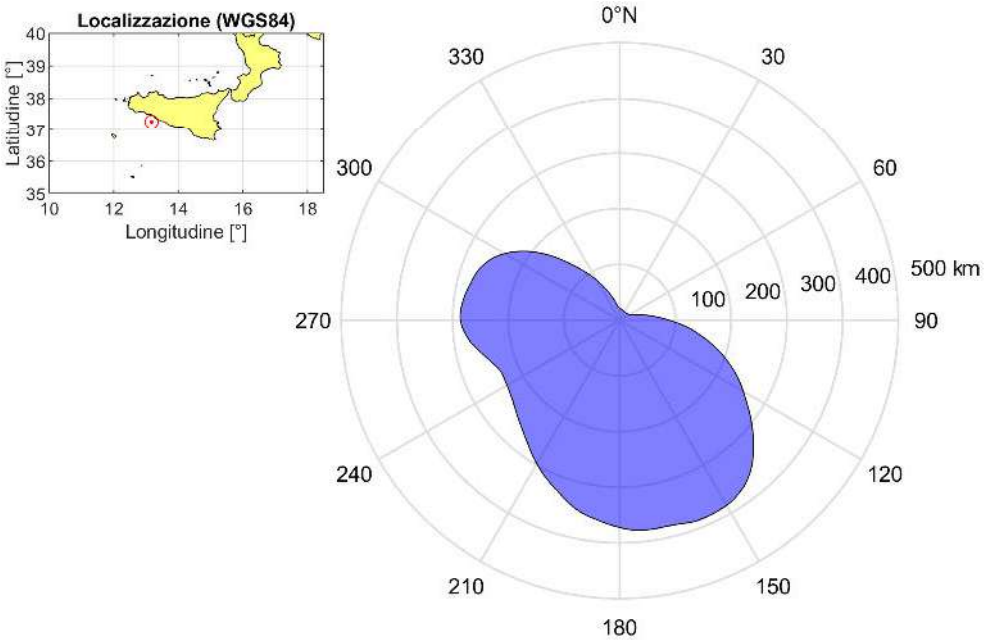


Figura 24: Fetch efficace.

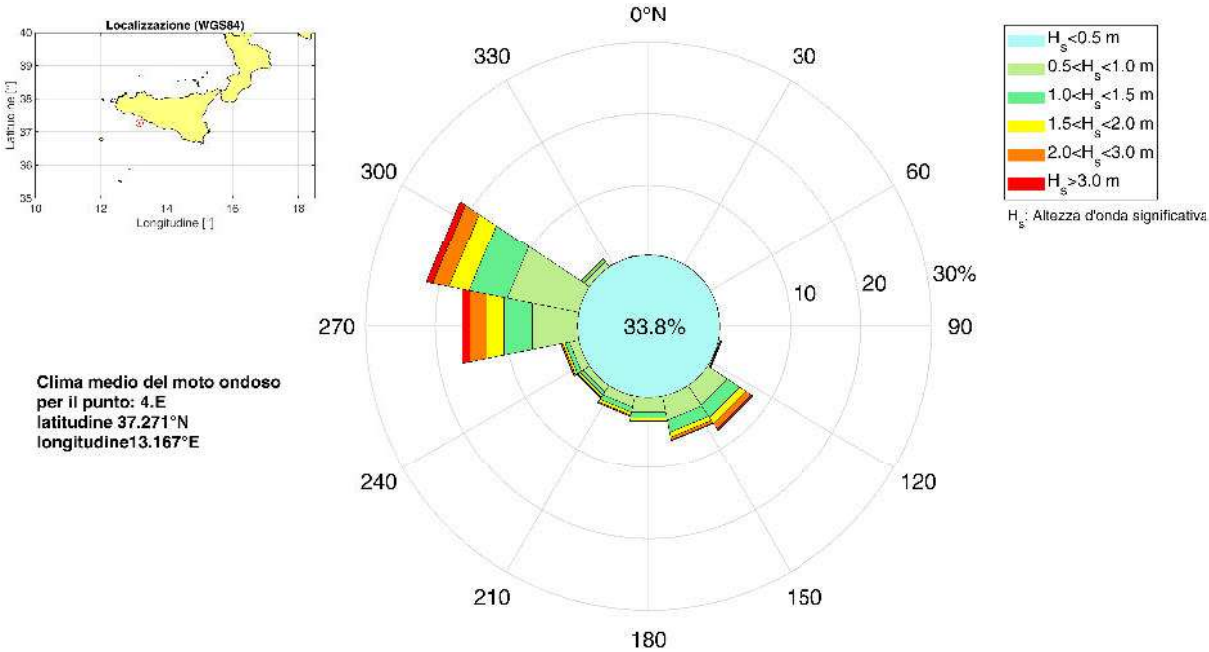


Figura 25: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 29: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.10	0.05	0.01	-	-	-
22.5	0.07	0.04	-	-	-	-
45.0	0.06	0.01	-	-	-	-
67.5	0.07	0.03	-	-	-	-
90.0	0.13	0.03	-	-	-	-
112.5	0.40	0.27	0.11	0.08	0.04	-
135.0	2.74	3.36	2.03	1.01	0.97	0.23
157.5	3.58	3.43	1.75	0.71	0.41	0.10
180.0	3.36	2.32	0.78	0.37	0.11	0.01
202.5	2.87	1.56	0.74	0.44	0.16	0.03
225.0	2.41	1.13	0.50	0.34	0.14	0.02
247.5	2.58	1.36	0.63	0.35	0.21	0.06
270.0	6.97	6.66	4.07	2.47	2.37	1.15
292.5	7.31	10.26	5.48	2.88	2.34	0.92
315.0	0.94	0.94	0.33	0.12	0.07	-
337.5	0.22	0.11	0.05	-	-	-

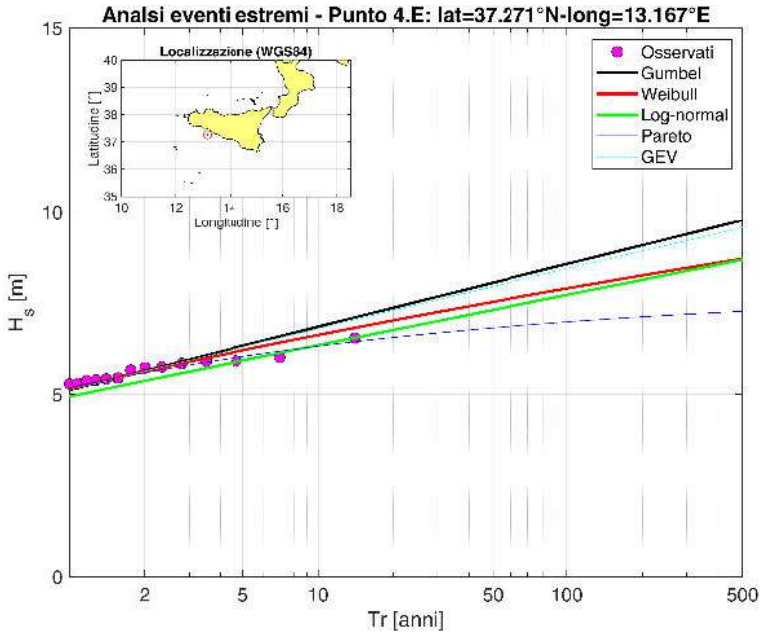


Figura 26: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 30: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	386	27.571	3.115	0.949	6.53
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05418	0.05749	0.06186	0.06868	0.08237
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07790	0.07564	0.09056	0.04282	0.08038

Tabella 31: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.352	2.688	1.543	1.721	1.495	1.095	0.280	2.000	1.382	-0.235	2.689	0.748	0.009

Tabella 32: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.65	5.63	5.37	5.59	5.63
5	6.33	6.20	5.93	6.04	6.29
10	6.84	6.62	6.34	6.31	6.79
50	8.03	7.51	7.29	6.81	7.93
100	8.55	7.88	7.70	6.97	8.42
500	9.74	8.69	8.66	7.26	9.54

Unità fisiografica di I ordine
5

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 5.A)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 5.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 5.B)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
5.A

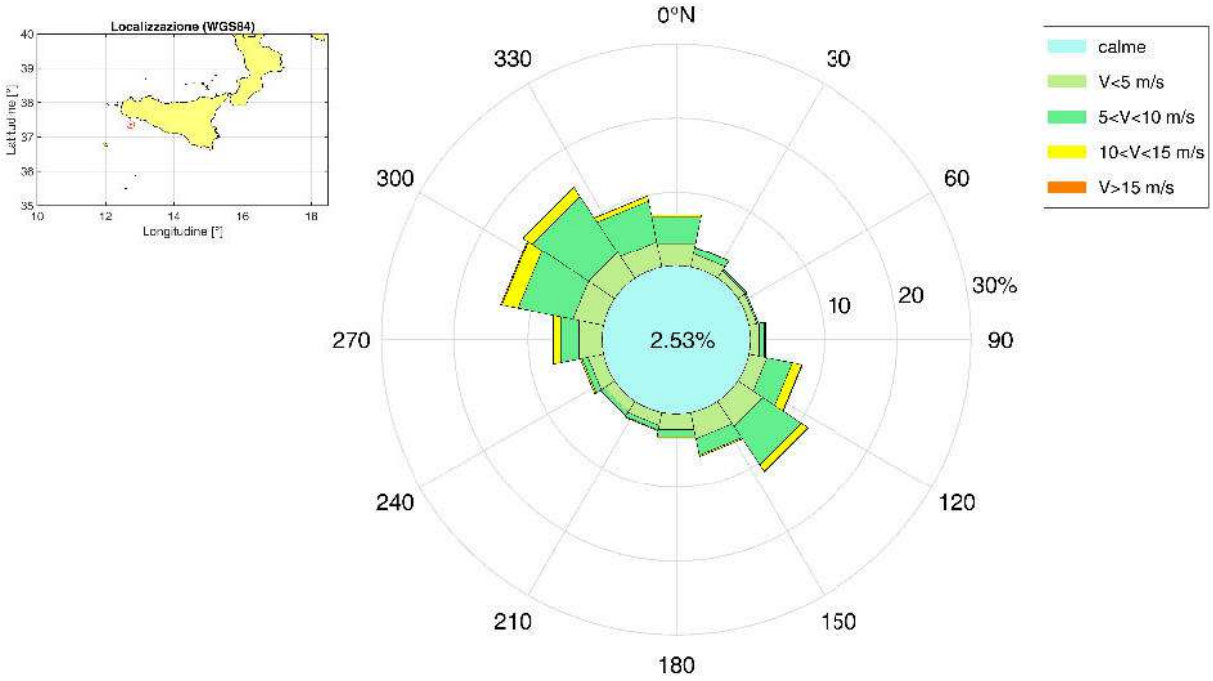


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.17	3.37	3.60	0.31	0.01
22.5	0.14	1.87	0.91	0.05	-
45.0	0.14	1.23	0.23	0.01	-
67.5	0.14	1.08	0.21	0.01	-
90.0	0.14	1.39	0.72	0.16	-
112.5	0.15	2.48	3.48	1.31	0.08
135.0	0.16	4.06	6.23	1.04	0.04
157.5	0.18	3.62	2.25	0.20	-
180.0	0.18	2.35	1.01	0.15	-
202.5	0.17	1.80	0.63	0.11	-
225.0	0.17	1.75	0.51	0.08	-
247.5	0.18	2.15	0.82	0.23	0.01
270.0	0.17	3.36	2.51	1.00	0.05
292.5	0.16	4.21	7.53	2.24	0.16
315.0	0.15	4.22	9.15	1.49	0.09
337.5	0.13	3.55	5.63	0.69	0.03

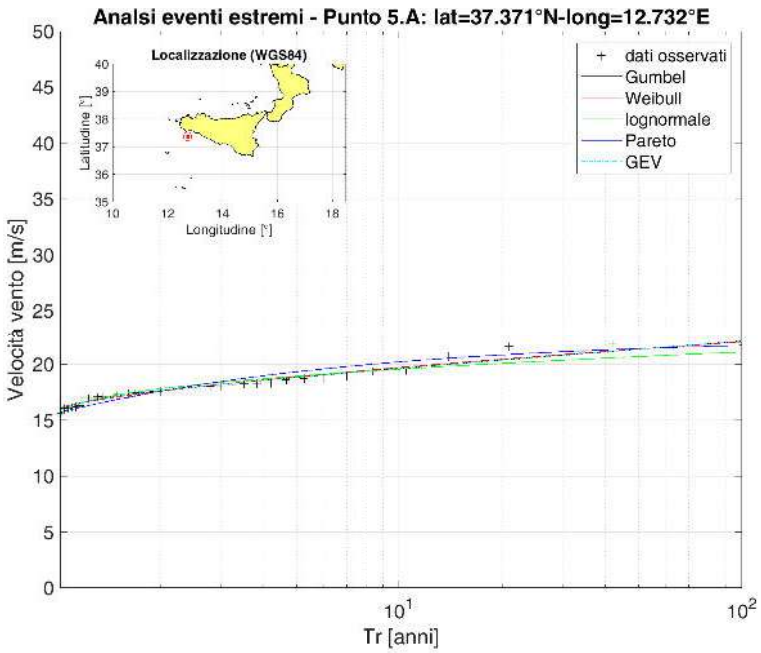


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10135	0.12853	0.10381	0.19398	0.10151

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.953	17.269	2.127	15.947	1.455	2.881	0.073	15.649	3.314	-0.490	17.269	1.051	0.001

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.65	17.60	17.83	17.60	17.65
5	18.84	18.90	18.95	19.34	18.84
10	19.63	19.72	19.57	20.22	19.63
50	21.36	21.38	20.70	21.42	21.36
100	22.10	22.02	21.12	21.71	22.09
500	23.79	23.41	21.98	22.09	23.78

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
5.A

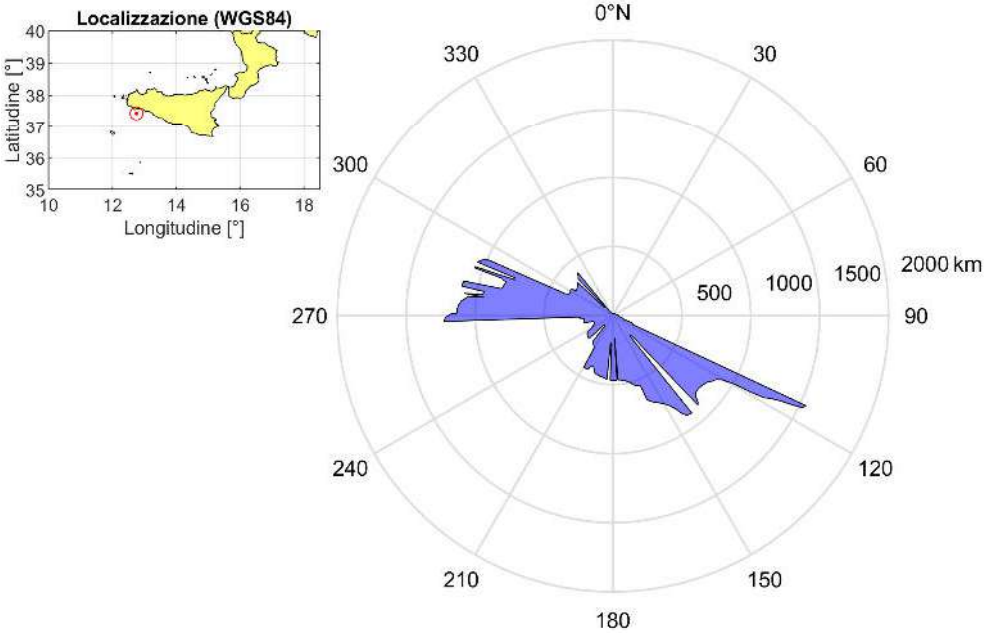


Figura 3: Fetch geografico.

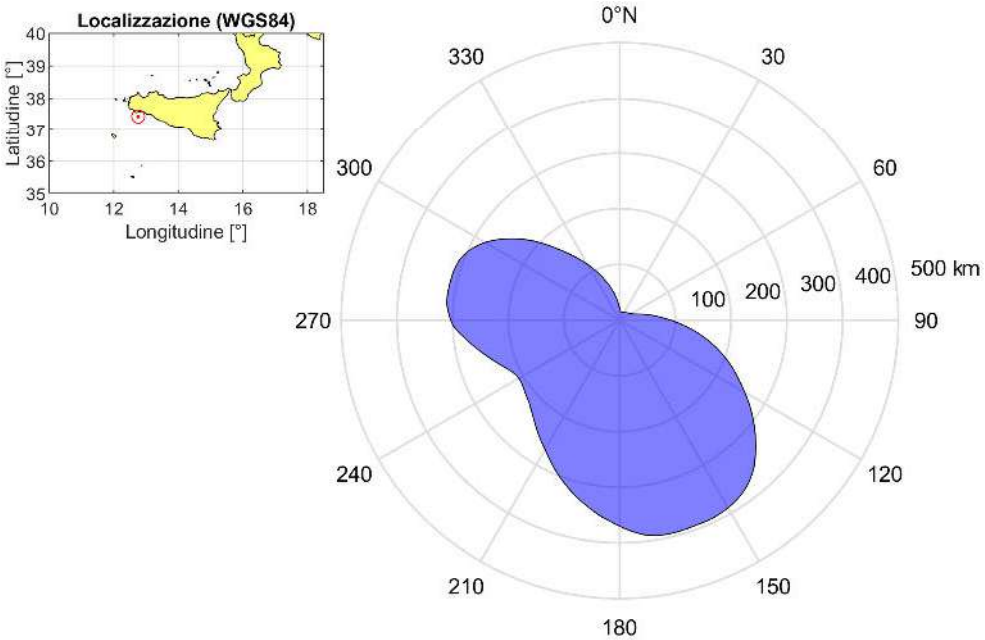


Figura 4: Fetch efficace.

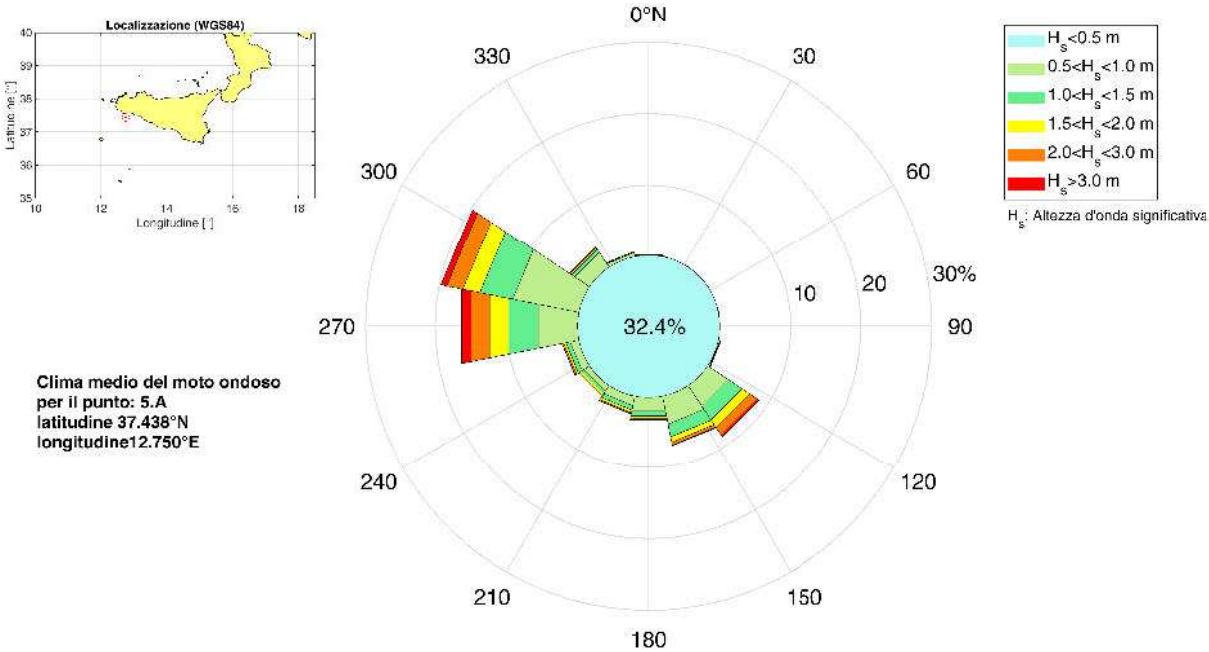


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.31	0.18	0.03	0.01	-	-
22.5	0.16	0.11	0.01	-	-	-
45.0	0.09	0.04	-	-	-	-
67.5	0.10	0.06	0.01	-	-	-
90.0	0.14	0.10	0.01	-	-	-
112.5	0.46	0.26	0.08	0.03	0.01	-
135.0	2.73	3.51	2.27	1.25	1.29	0.36
157.5	3.42	4.00	1.83	0.77	0.42	0.09
180.0	3.07	2.13	0.70	0.42	0.16	0.02
202.5	2.40	1.36	0.63	0.39	0.16	0.03
225.0	1.80	0.99	0.43	0.26	0.12	0.02
247.5	1.67	1.25	0.60	0.32	0.21	0.05
270.0	4.04	5.82	4.23	2.74	2.67	1.32
292.5	7.70	9.48	4.70	2.46	2.31	0.84
315.0	3.13	2.47	0.54	0.21	0.14	0.01
337.5	1.17	0.55	0.13	0.02	-	-

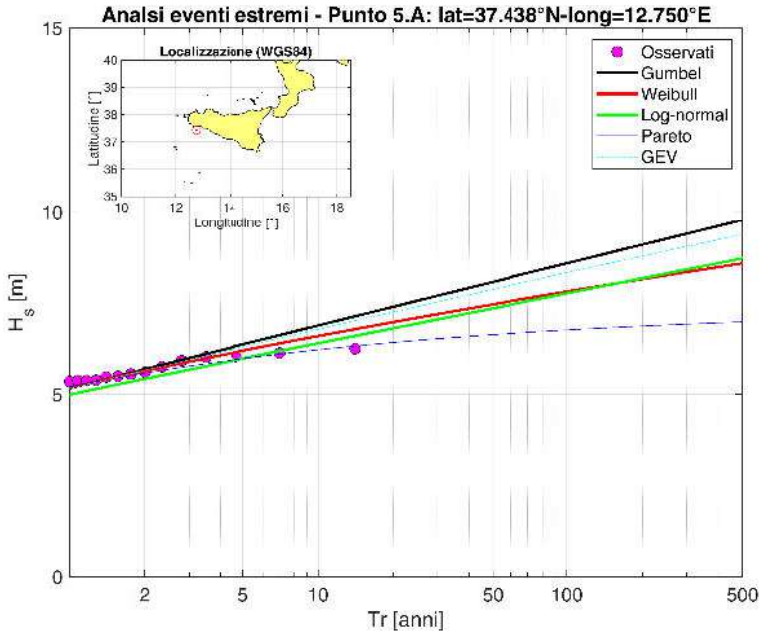


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	405	28.929	3.139	0.942	6.24
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05291	0.05614	0.06040	0.06706	0.08043
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07598	0.06600	0.09066	0.03545	0.07769

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.362	2.715	1.579	1.718	1.540	1.103	0.278	2.000	1.454	-0.270	2.718	0.750	0.017

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.69	5.64	5.43	5.58	5.65
5	6.36	6.19	5.98	5.98	6.29
10	6.87	6.59	6.39	6.21	6.77
50	8.06	7.45	7.34	6.62	7.85
100	8.57	7.79	7.75	6.75	8.31
500	9.75	8.57	8.70	6.97	9.35

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
5.B

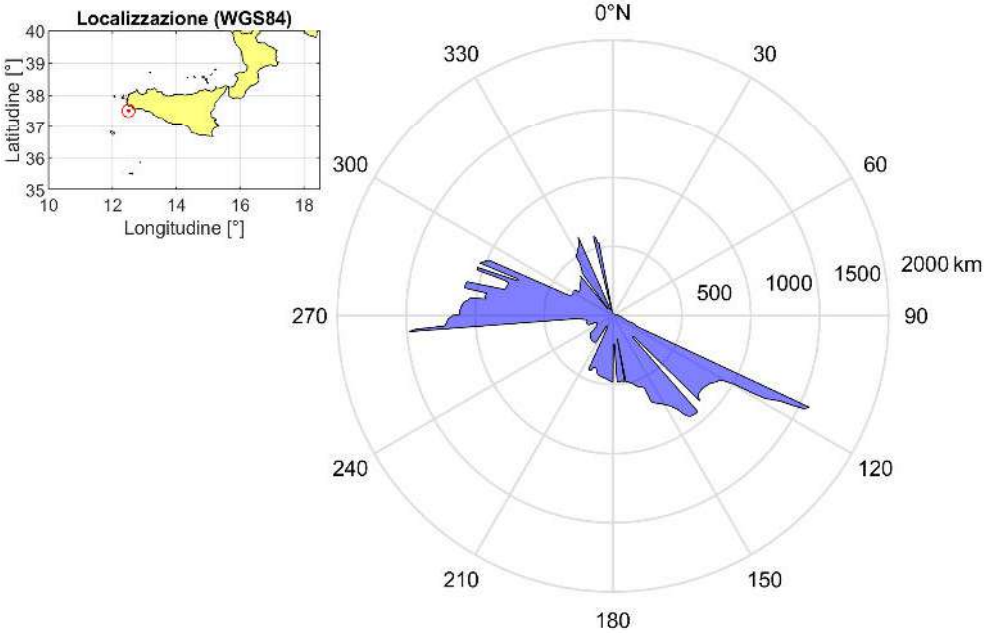


Figura 7: Fetch geografico.

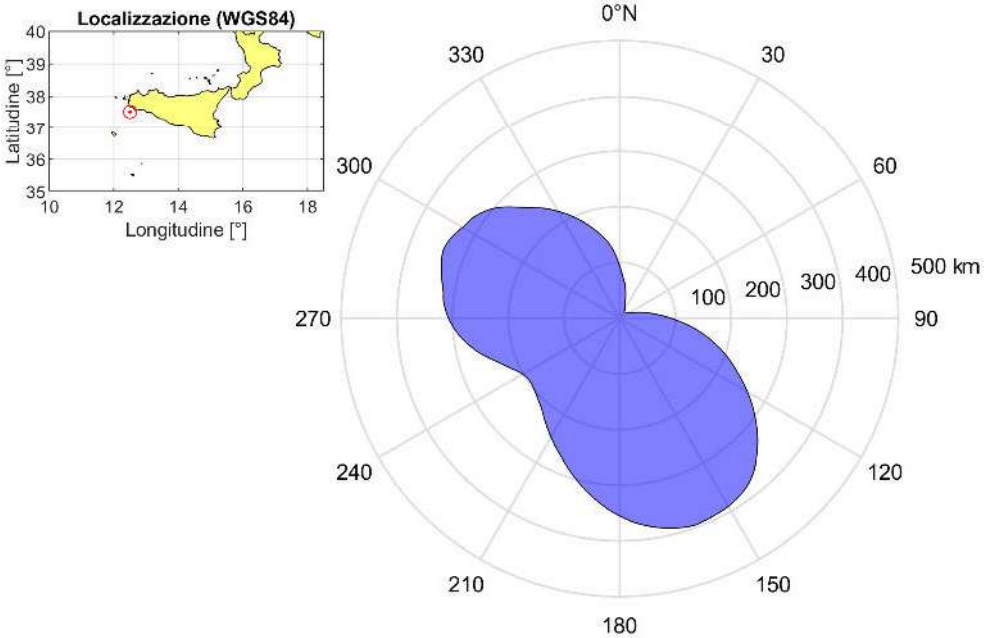


Figura 8: Fetch efficace.

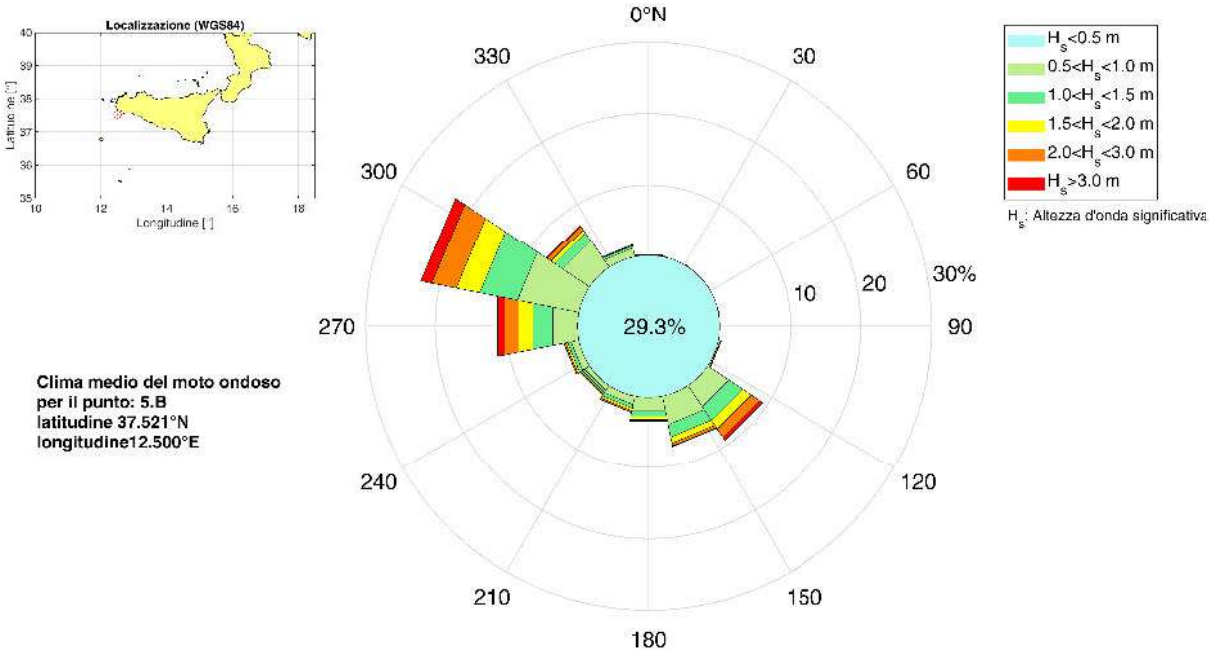


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.51	0.25	0.04	0.01	-	-
22.5	0.21	0.09	0.03	-	-	-
45.0	0.14	0.05	0.02	-	-	-
67.5	0.13	0.07	0.02	-	-	-
90.0	0.23	0.10	0.01	0.01	-	-
112.5	0.72	0.31	0.07	0.03	0.01	-
135.0	2.28	3.54	2.42	1.40	1.46	0.47
157.5	3.08	4.08	1.80	0.85	0.42	0.08
180.0	2.45	2.15	0.74	0.45	0.23	0.03
202.5	1.95	1.20	0.52	0.36	0.21	0.04
225.0	1.27	0.81	0.40	0.23	0.12	0.01
247.5	1.09	1.14	0.49	0.30	0.21	0.04
270.0	1.84	3.69	2.90	2.03	2.00	1.04
292.5	5.85	8.80	5.39	3.38	3.51	1.56
315.0	5.16	4.62	1.32	0.61	0.57	0.21
337.5	2.34	1.24	0.32	0.11	0.05	-

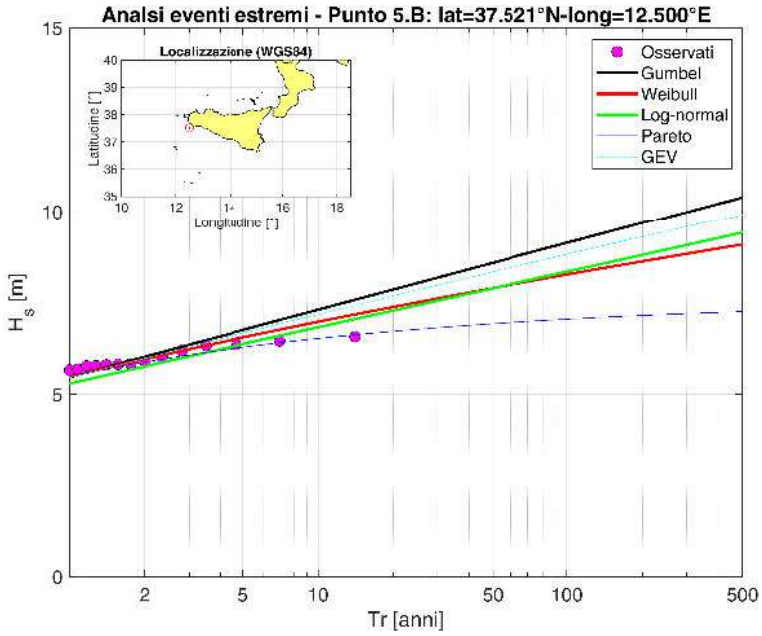


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	425	30.357	3.246	1.014	6.57
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05166	0.05481	0.05897	0.06547	0.07853
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07142	0.06272	0.08337	0.04293	0.07373

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.266	2.790	1.712	1.707	1.551	1.134	0.290	2.000	1.612	-0.288	2.794	0.810	0.019

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.03	5.96	5.76	5.88	5.99
5	6.76	6.55	6.37	6.28	6.67
10	7.30	6.97	6.83	6.52	7.18
50	8.58	7.89	7.88	6.92	8.33
100	9.12	8.26	8.34	7.05	8.81
500	10.40	9.08	9.41	7.25	9.92

Unità fisiografica di I ordine
6

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 6.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 6.B)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 6.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 6.B)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
6.A

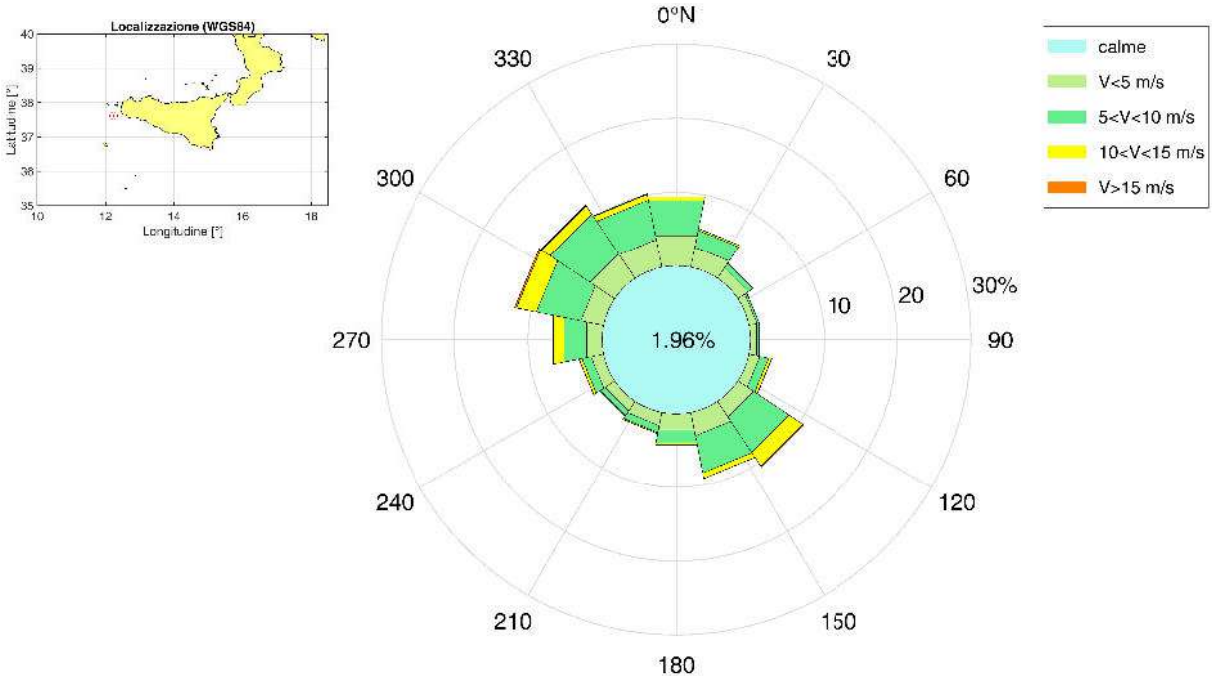


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.14	4.39	4.84	0.52	0.02
22.5	0.11	2.80	2.34	0.25	0.01
45.0	0.12	1.65	0.75	0.04	-
67.5	0.12	1.11	0.29	0.02	-
90.0	0.11	1.03	0.39	0.05	-
112.5	0.12	1.50	1.20	0.41	0.03
135.0	0.12	2.52	5.77	2.27	0.14
157.5	0.12	3.22	5.12	0.75	0.01
180.0	0.13	2.44	1.77	0.30	0.01
202.5	0.12	1.83	0.93	0.16	0.01
225.0	0.13	1.53	0.74	0.13	-
247.5	0.14	1.74	1.23	0.40	0.02
270.0	0.13	2.32	3.12	1.47	0.08
292.5	0.13	3.12	6.11	2.74	0.25
315.0	0.12	3.98	6.48	1.41	0.11
337.5	0.12	3.85	5.46	0.81	0.08

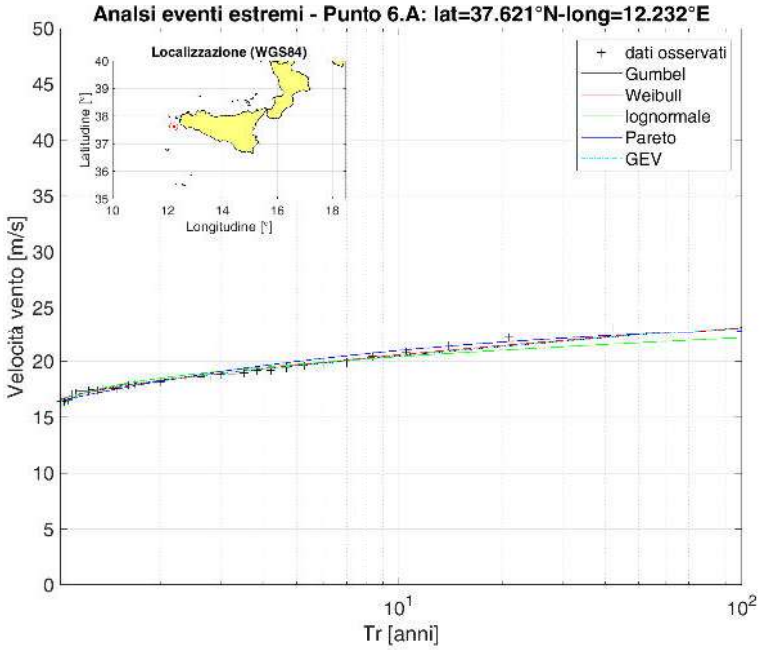


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07113	0.09434	0.09145	0.14885	0.07081

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.862	17.882	2.318	16.447	1.435	2.918	0.077	16.417	2.981	-0.382	17.881	1.156	-0.003

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	18.31	18.24	18.50	18.23	18.31
5	19.62	19.68	19.74	20.00	19.62
10	20.49	20.59	20.42	20.98	20.49
50	22.41	22.44	21.68	22.47	22.42
100	23.22	23.17	22.14	22.88	23.24
500	25.09	24.73	23.11	23.49	25.13

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
6.B

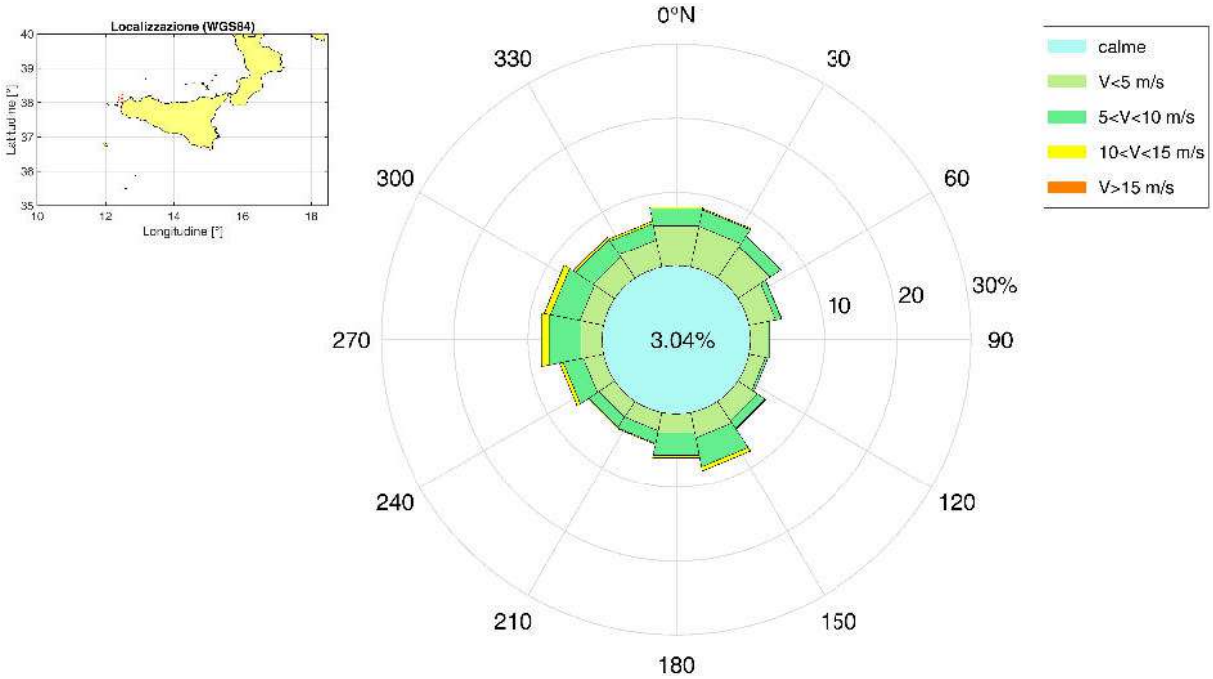


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.22	5.81	2.36	0.17	0.01
22.5	0.19	5.72	2.27	0.17	-
45.0	0.21	5.21	1.73	0.09	-
67.5	0.20	3.66	0.78	0.04	-
90.0	0.20	2.51	0.24	-	-
112.5	0.20	2.25	0.34	0.01	-
135.0	0.20	3.10	1.33	0.10	-
157.5	0.18	3.50	3.97	0.58	-
180.0	0.19	2.78	3.13	0.32	-
202.5	0.18	2.52	1.75	0.12	-
225.0	0.17	2.54	1.66	0.15	-
247.5	0.17	2.79	2.76	0.52	0.01
270.0	0.18	3.11	4.39	1.05	0.02
292.5	0.18	3.26	4.03	0.86	0.03
315.0	0.18	3.53	2.86	0.39	0.01
337.5	0.18	3.85	2.26	0.33	0.01

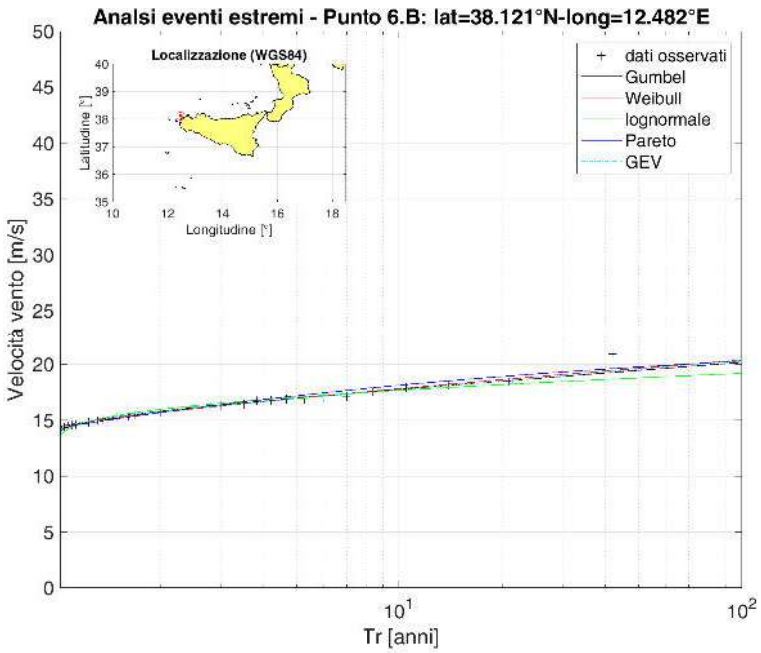


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.04540	0.04696	0.08243	0.06554	0.04900

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.966	15.425	1.759	14.382	1.243	2.771	0.079	14.297	2.179	-0.246	15.416	0.976	-0.042

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	15.80	15.69	15.97	15.69	15.78
5	16.98	16.96	17.07	17.19	16.93
10	17.75	17.82	17.68	18.13	17.72
50	19.46	19.65	18.79	19.77	19.56
100	20.19	20.39	19.20	20.30	20.38
500	21.86	22.03	20.06	21.24	22.36

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
6.A

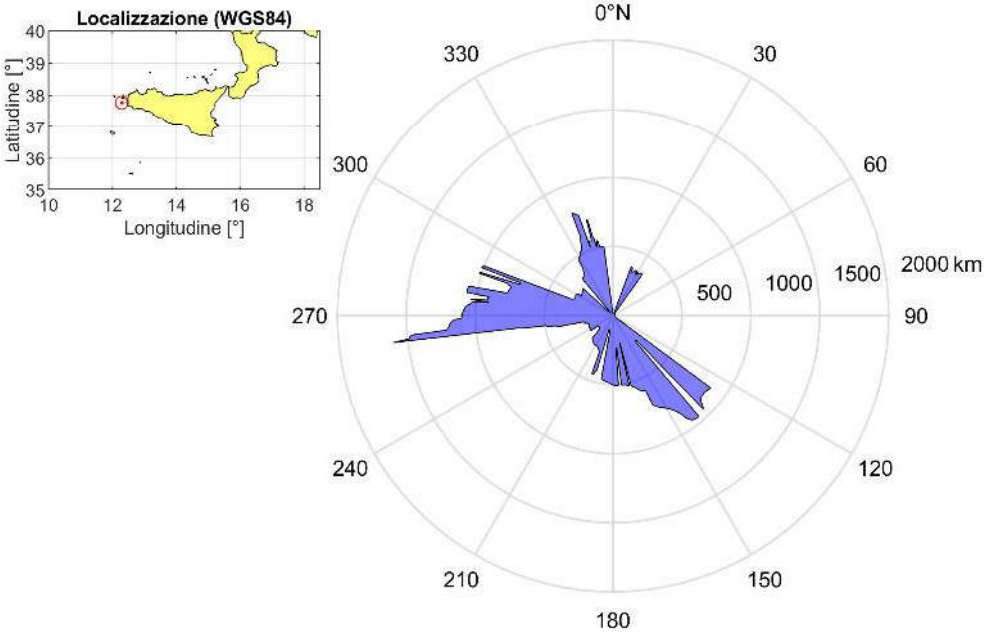


Figura 5: Fetch geografico.

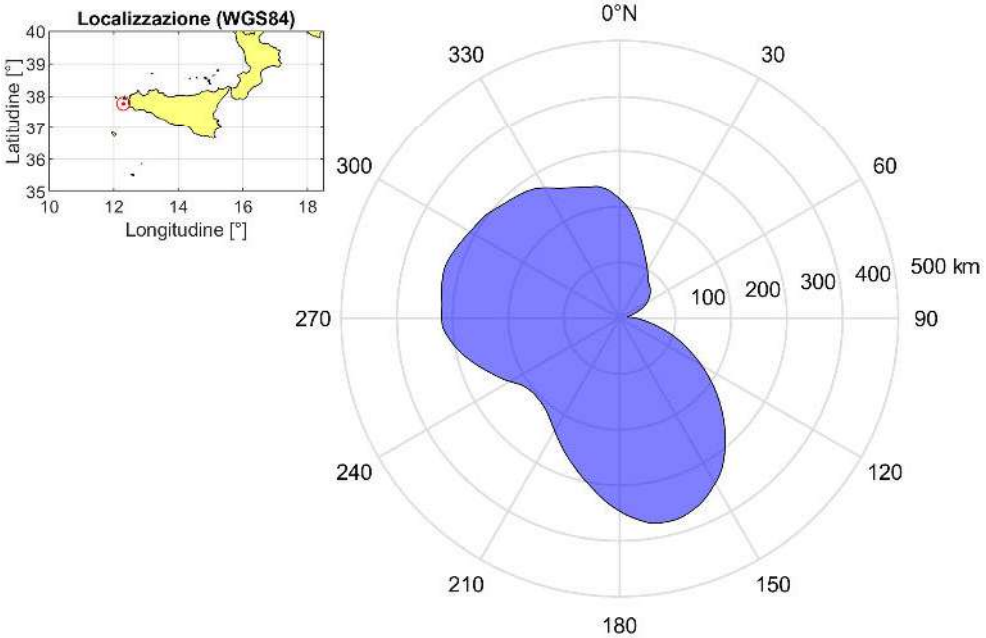


Figura 6: Fetch efficace.

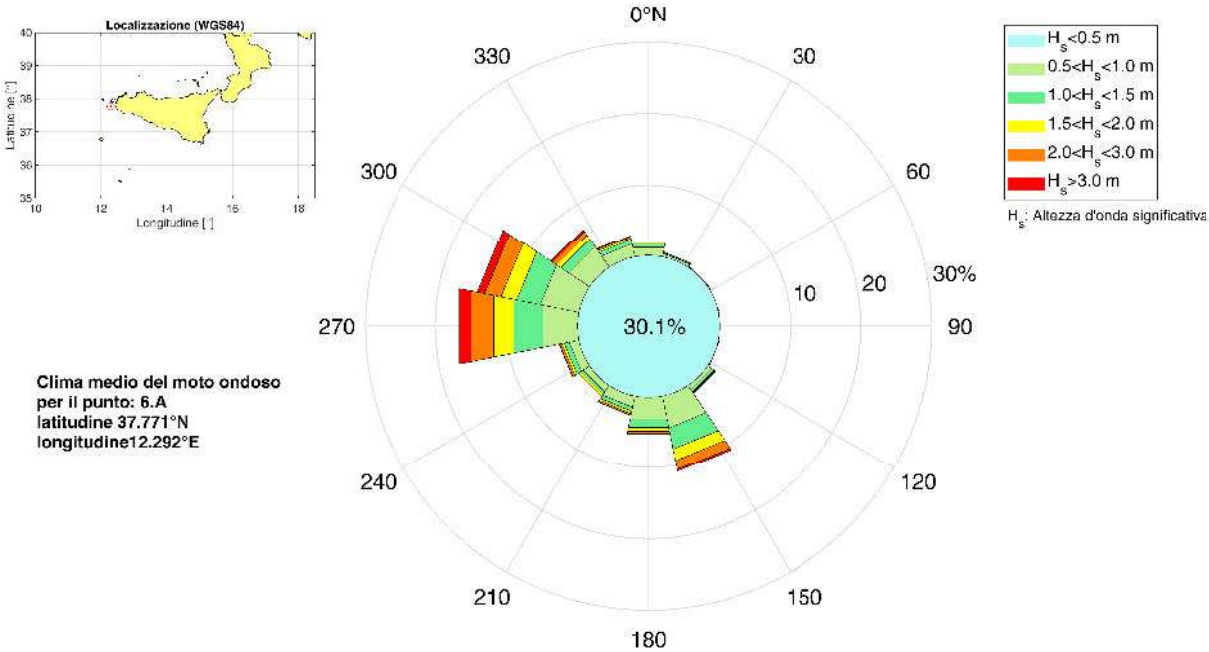


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.15	1.35	0.40	0.16	0.06	0.01
22.5	1.31	0.44	0.16	0.05	-	-
45.0	0.41	0.17	0.02	0.01	-	-
67.5	0.31	0.13	0.01	0.01	0.01	-
90.0	0.30	0.10	0.01	-	0.01	-
112.5	0.40	0.13	0.04	0.01	-	-
135.0	0.88	0.75	0.34	0.14	0.07	0.04
157.5	2.56	4.59	3.04	1.68	1.33	0.28
180.0	3.01	3.33	1.16	0.57	0.30	0.04
202.5	2.24	1.61	0.57	0.33	0.23	0.05
225.0	1.32	1.05	0.47	0.26	0.12	0.02
247.5	0.98	1.39	0.70	0.38	0.32	0.06
270.0	2.27	5.10	4.22	2.90	3.16	1.73
292.5	3.64	5.54	3.37	2.25	2.35	1.07
315.0	3.74	3.58	1.30	0.66	0.68	0.31
337.5	3.61	1.89	0.62	0.30	0.24	0.09

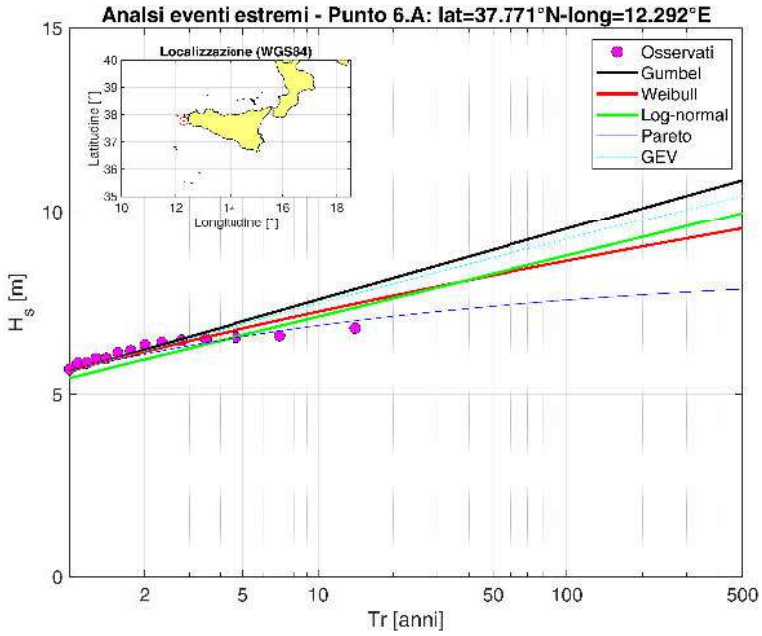


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	424	30.286	3.263	1.078	6.80
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05172	0.05487	0.05904	0.06555	0.07862
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09037	0.07895	0.10052	0.05757	0.09347

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.190	2.778	1.801	1.641	1.534	1.134	0.305	2.000	1.579	-0.243	2.781	0.858	0.016

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.22	6.16	5.95	6.10	6.18
5	6.99	6.80	6.62	6.58	6.92
10	7.58	7.25	7.11	6.87	7.47
50	8.93	8.23	8.27	7.40	8.71
100	9.51	8.63	8.78	7.57	9.24
500	10.87	9.52	9.97	7.87	10.44

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
6.B

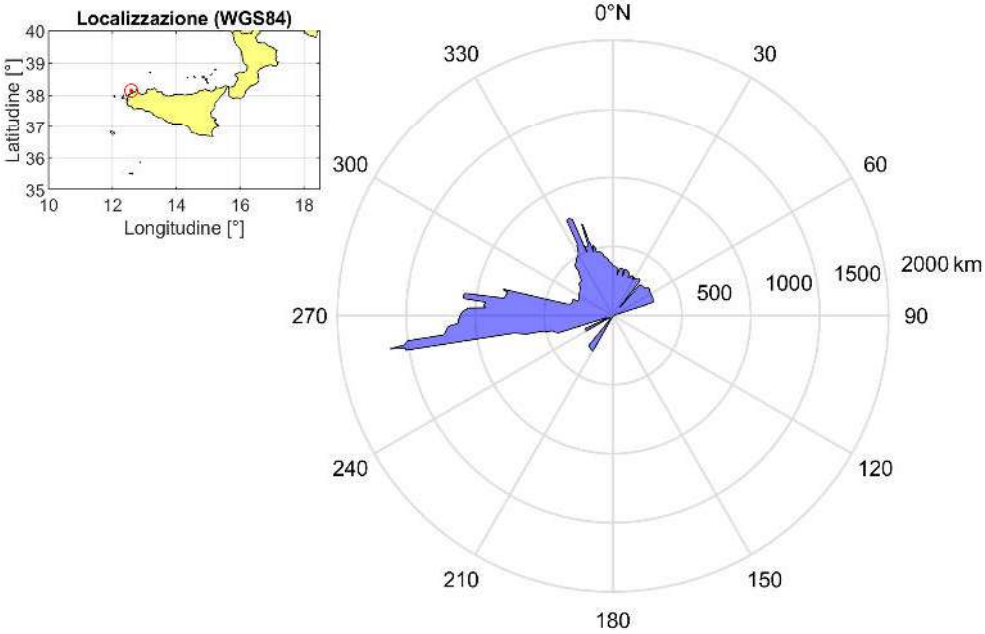


Figura 9: Fetch geografico.

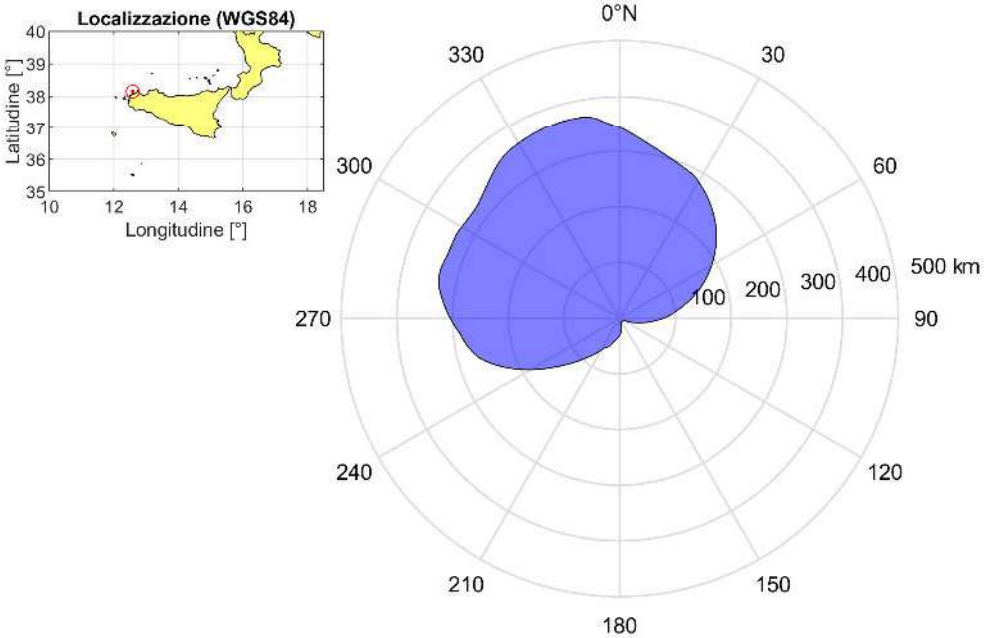


Figura 10: Fetch efficace.

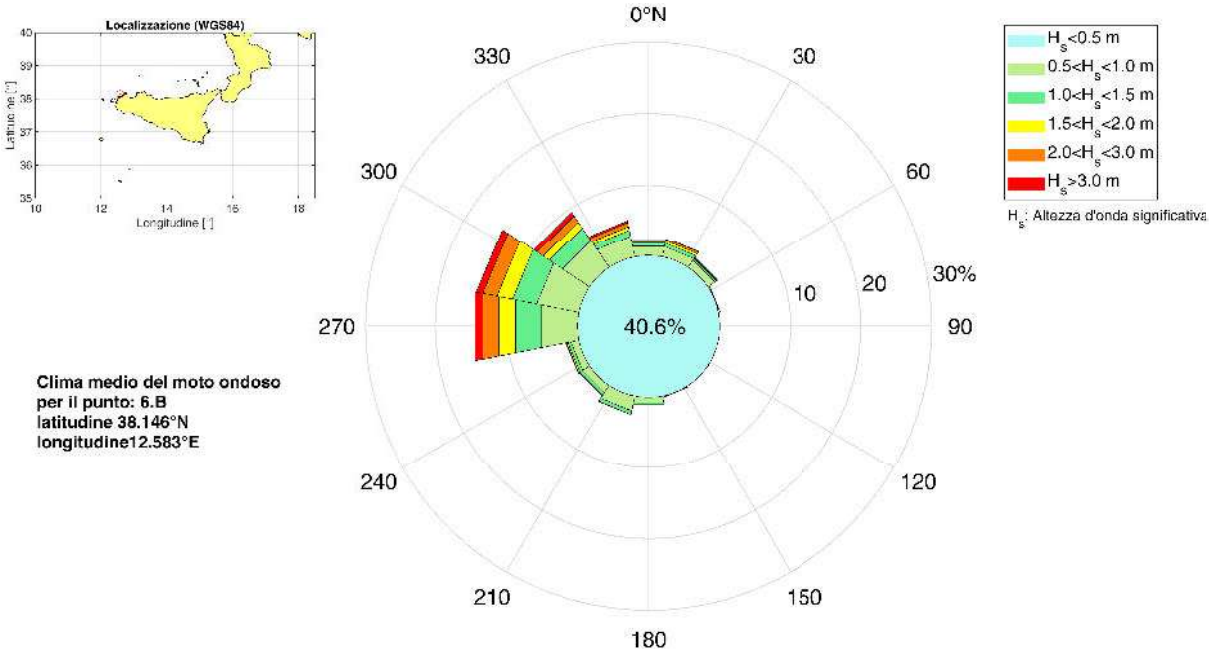


Figura 11: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.22	1.52	0.50	0.28	0.16	0.06
22.5	4.63	1.47	0.50	0.34	0.28	0.06
45.0	4.39	1.18	0.32	0.10	0.06	0.01
67.5	0.66	0.21	0.05	-	-	-
90.0	0.22	0.07	0.02	-	-	-
112.5	0.18	0.05	-	-	-	-
135.0	0.21	0.08	0.02	-	-	-
157.5	0.29	0.18	0.03	0.01	-	-
180.0	0.64	0.89	0.32	0.01	-	-
202.5	1.93	2.13	0.52	0.03	-	-
225.0	2.41	1.26	0.39	0.09	0.01	-
247.5	2.22	1.15	0.43	0.22	0.08	-
270.0	3.45	5.32	3.70	2.48	2.25	1.13
292.5	3.97	6.05	3.45	2.23	2.02	0.95
315.0	4.60	4.59	2.19	1.06	0.99	0.62
337.5	5.58	3.04	0.91	0.51	0.54	0.28

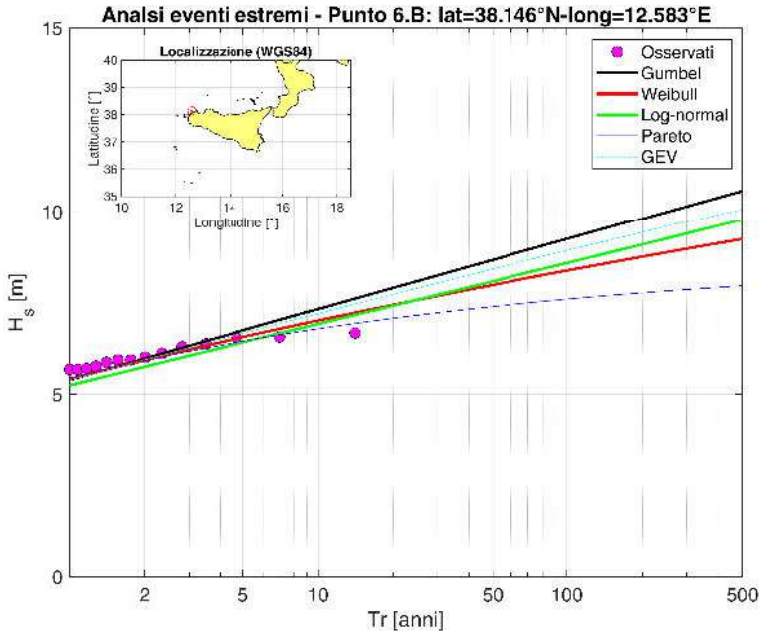


Figura 12: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	351	25.071	3.217	1.065	6.67
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05680	0.06027	0.06484	0.07200	0.08636
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08484	0.09012	0.08806	0.04568	0.09030

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.205	2.738	1.803	1.596	1.555	1.119	0.307	2.000	1.492	-0.219	2.742	0.851	0.020

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.98	5.93	5.76	5.92	5.94
5	6.75	6.56	6.42	6.45	6.66
10	7.32	7.01	6.92	6.78	7.20
50	8.66	7.98	8.07	7.39	8.41
100	9.23	8.37	8.58	7.59	8.92
500	10.57	9.23	9.76	7.95	10.07

Unità fisiografica di I ordine
7

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 7.A)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 7.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 7.B)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 7.C)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
7.A

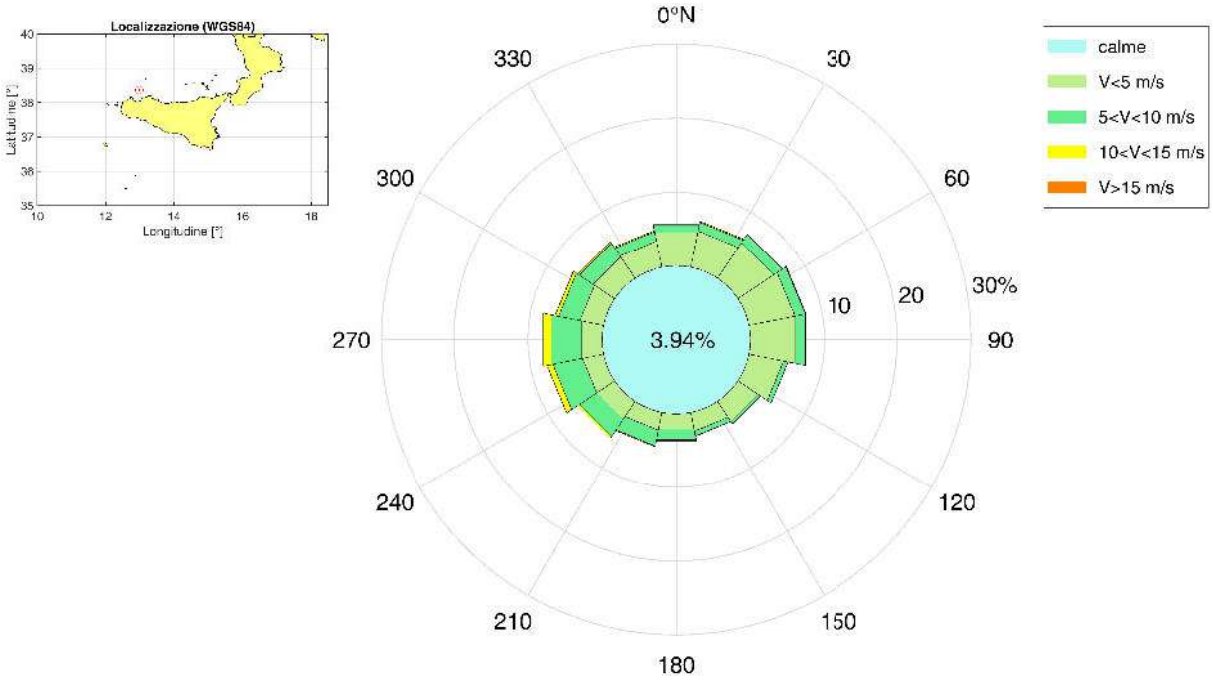


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.29	4.83	1.00	0.10	0.01
22.5	0.29	5.04	1.20	0.16	-
45.0	0.31	5.79	1.36	0.11	-
67.5	0.31	6.33	1.41	0.08	-
90.0	0.30	6.38	1.42	0.04	-
112.5	0.29	4.75	0.63	-	-
135.0	0.25	3.22	0.40	0.02	-
157.5	0.23	2.57	0.66	0.03	-
180.0	0.21	2.26	1.54	0.09	-
202.5	0.21	2.44	2.16	0.11	-
225.0	0.19	2.86	2.89	0.27	-
247.5	0.21	2.89	4.08	0.81	0.01
270.0	0.21	2.96	4.24	1.05	0.03
292.5	0.20	3.26	2.93	0.47	0.02
315.0	0.22	3.46	2.26	0.30	0.01
337.5	0.22	3.64	1.30	0.16	-

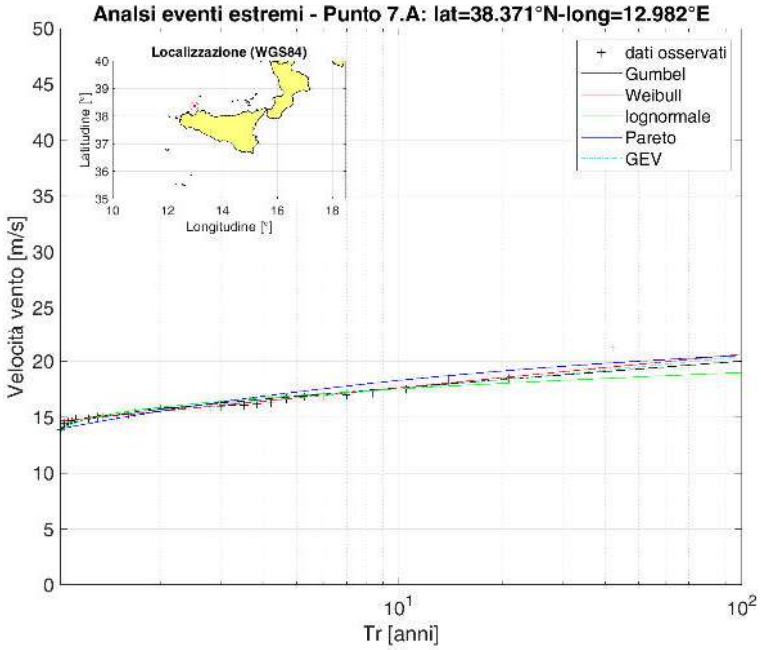


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09618	0.11443	0.14815	0.20245	0.07040

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.984	15.353	1.302	14.637	0.999	2.766	0.077	13.905	2.618	-0.291	15.340	0.873	-0.100

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	15.73	15.54	15.89	15.55	15.67
5	16.88	16.73	16.95	17.27	16.75
10	17.64	17.64	17.54	18.30	17.54
50	19.32	19.74	18.61	20.02	19.51
100	20.03	20.64	19.00	20.54	20.45
500	21.67	22.74	19.83	21.42	22.87

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
7.A

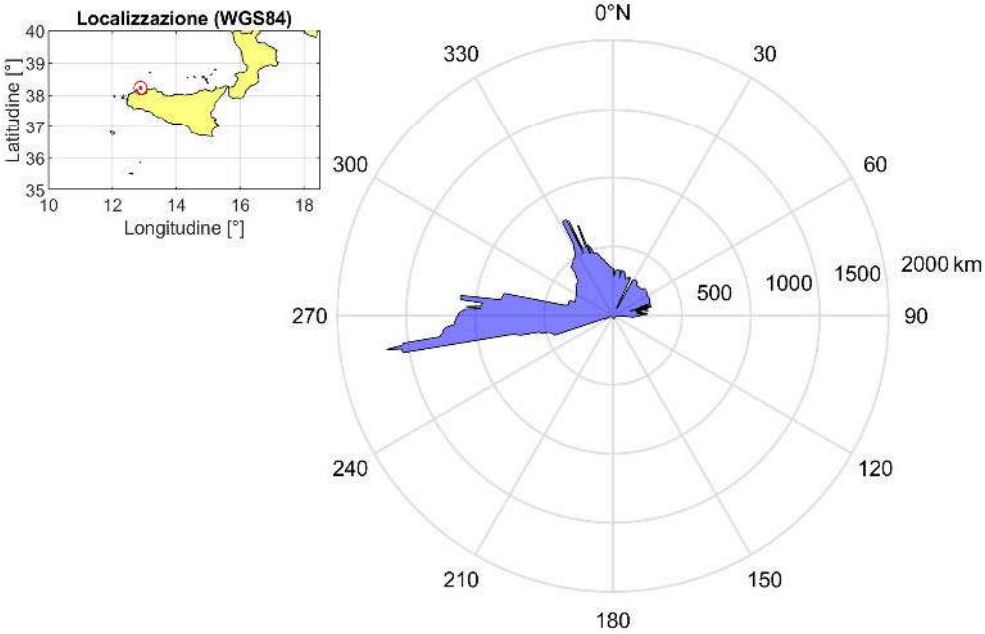


Figura 3: Fetch geografico.

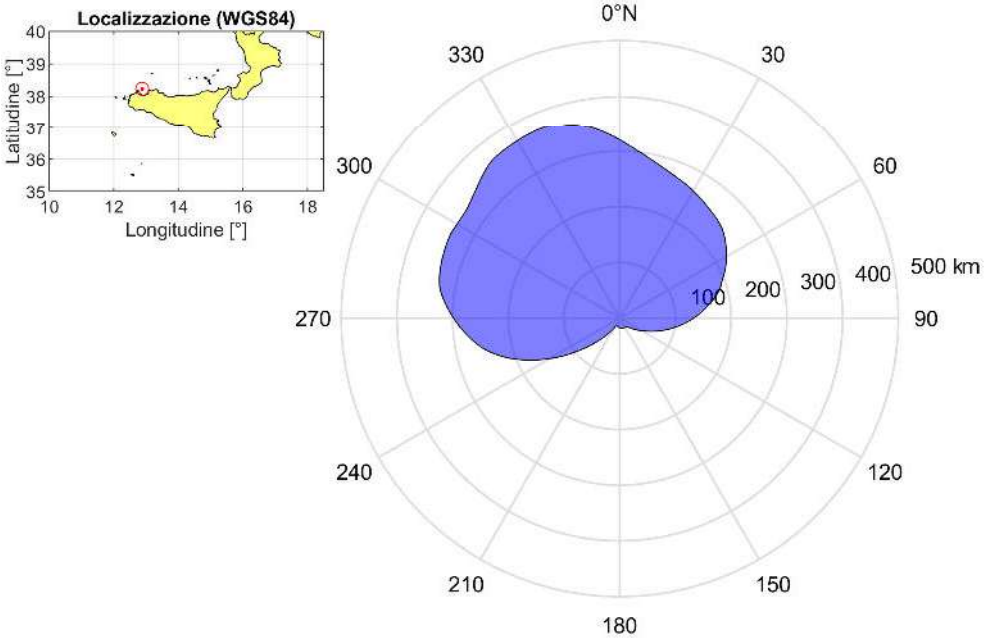


Figura 4: Fetch efficace.

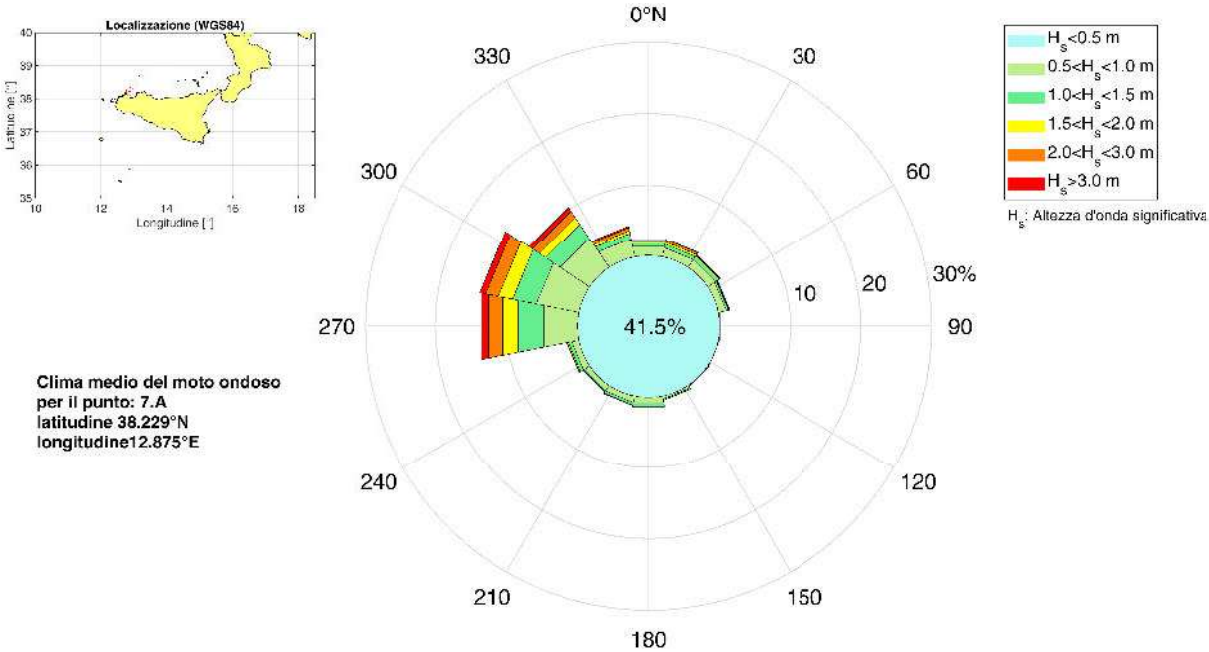


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	4.97	1.45	0.50	0.29	0.19	0.07
22.5	4.00	1.29	0.53	0.31	0.34	0.06
45.0	4.64	1.38	0.41	0.16	0.09	0.04
67.5	4.09	1.15	0.29	0.09	0.07	0.02
90.0	0.65	0.17	0.02	-	-	-
112.5	0.34	0.10	0.02	0.01	-	-
135.0	0.30	0.13	0.05	0.01	-	-
157.5	0.45	0.41	0.17	0.03	-	-
180.0	0.67	1.05	0.41	0.06	-	-
202.5	0.75	0.94	0.36	0.07	0.01	-
225.0	0.71	0.74	0.24	0.08	0.01	-
247.5	1.11	1.01	0.48	0.19	0.05	-
270.0	3.38	5.04	3.62	2.25	2.06	0.96
292.5	4.41	6.10	3.40	2.05	1.81	0.84
315.0	5.07	5.00	2.40	1.14	1.08	0.63
337.5	5.97	2.64	0.84	0.41	0.43	0.21

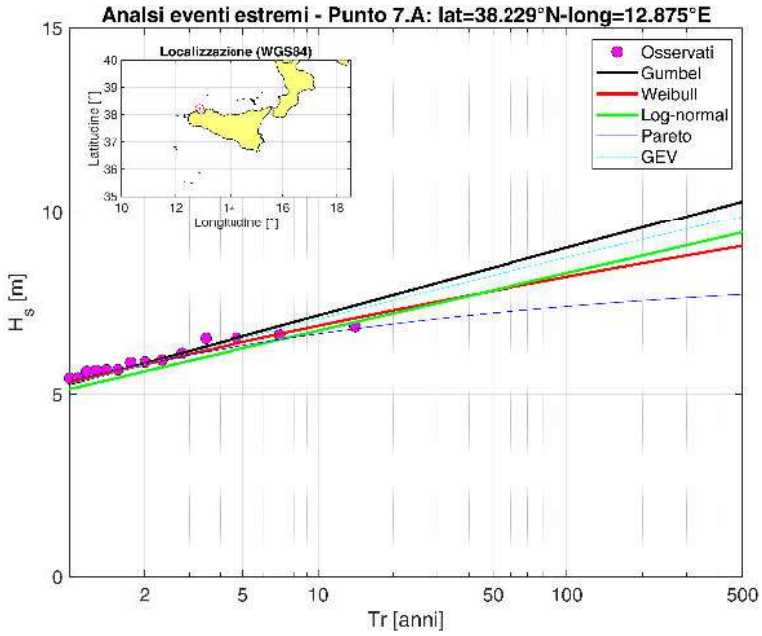


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	338	24.143	3.213	1.028	6.85
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05787	0.06141	0.06607	0.07336	0.08799
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07634	0.07732	0.08414	0.04007	0.08122

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.248	2.750	1.726	1.659	1.542	1.121	0.298	2.000	1.500	-0.233	2.754	0.820	0.017

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.85	5.82	5.63	5.83	5.82
5	6.59	6.43	6.26	6.33	6.52
10	7.15	6.87	6.73	6.65	7.04
50	8.44	7.81	7.82	7.21	8.23
100	8.99	8.19	8.30	7.39	8.73
500	10.28	9.04	9.41	7.72	9.86

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
7.B

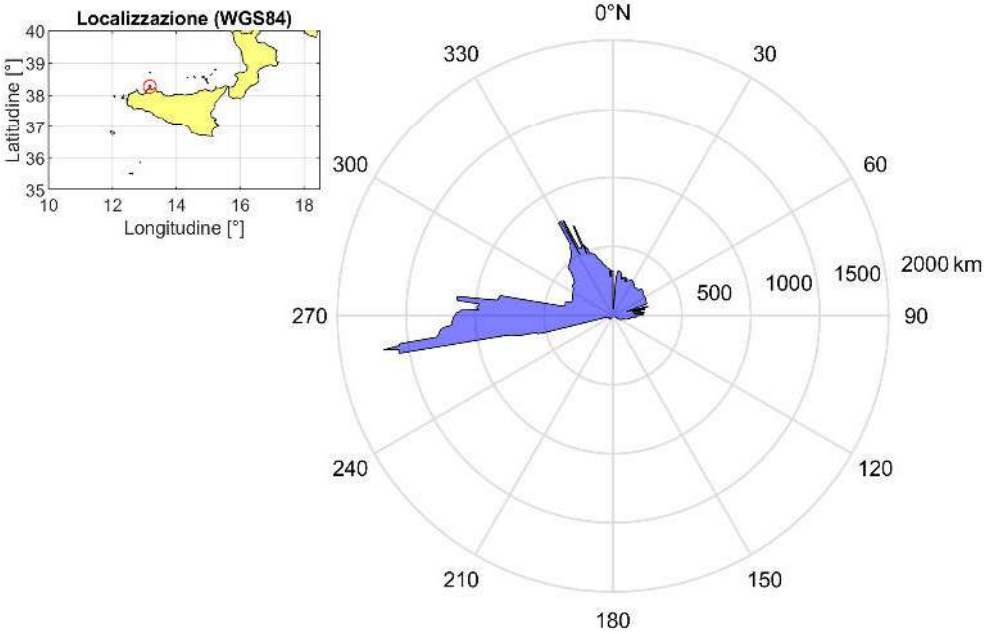


Figura 7: Fetch geografico.

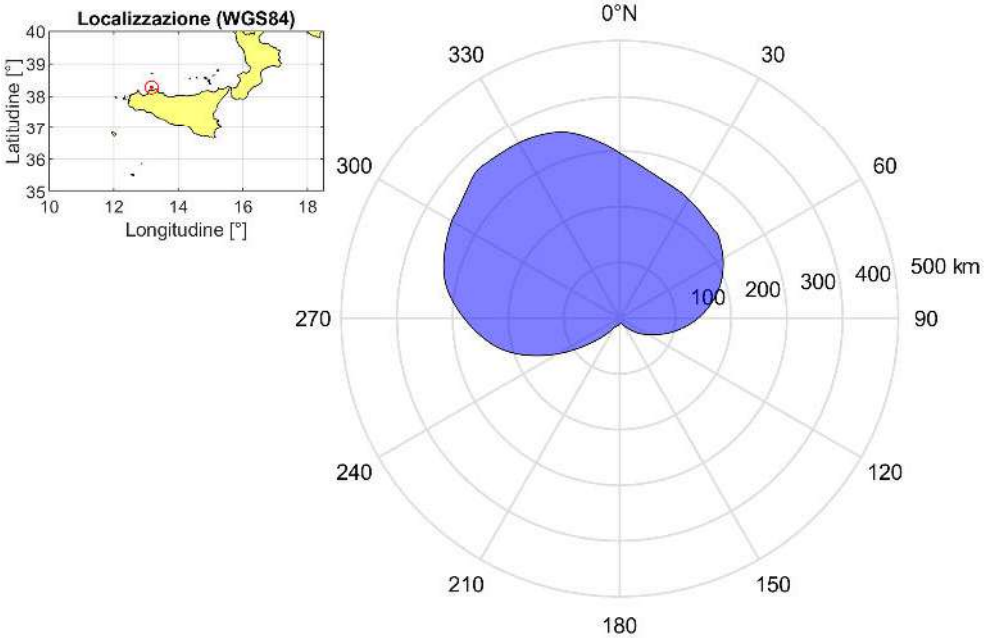


Figura 8: Fetch efficace.

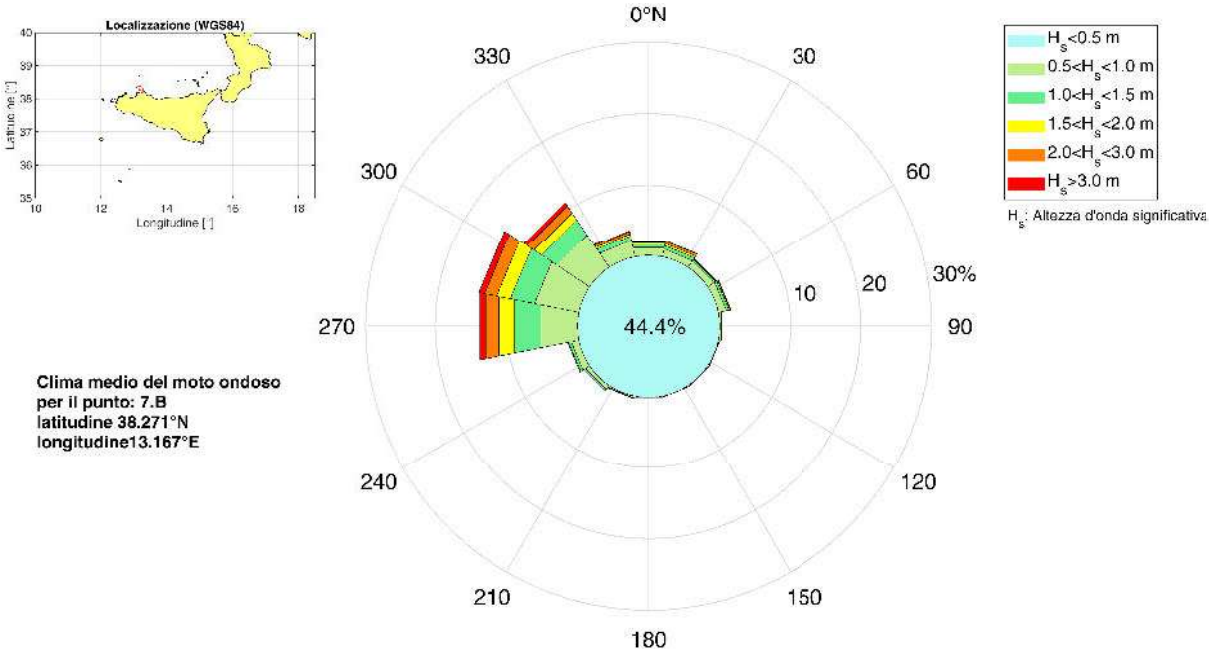


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	4.97	1.28	0.47	0.29	0.19	0.08
22.5	3.40	1.11	0.48	0.29	0.35	0.05
45.0	3.28	1.04	0.31	0.10	0.05	0.02
67.5	5.17	1.16	0.36	0.16	0.08	0.03
90.0	2.01	0.46	0.04	0.01	-	-
112.5	0.38	0.19	0.05	-	-	-
135.0	0.22	0.12	0.03	-	-	-
157.5	0.15	0.13	0.04	-	-	-
180.0	0.17	0.14	0.04	-	-	-
202.5	0.29	0.29	0.09	0.01	-	-
225.0	0.65	0.68	0.21	0.03	-	-
247.5	1.18	1.09	0.38	0.11	0.02	-
270.0	3.89	5.45	3.77	2.22	1.92	0.84
292.5	5.37	6.35	3.46	1.99	1.70	0.84
315.0	6.39	5.55	2.58	1.24	1.14	0.61
337.5	6.93	2.39	0.69	0.32	0.31	0.14

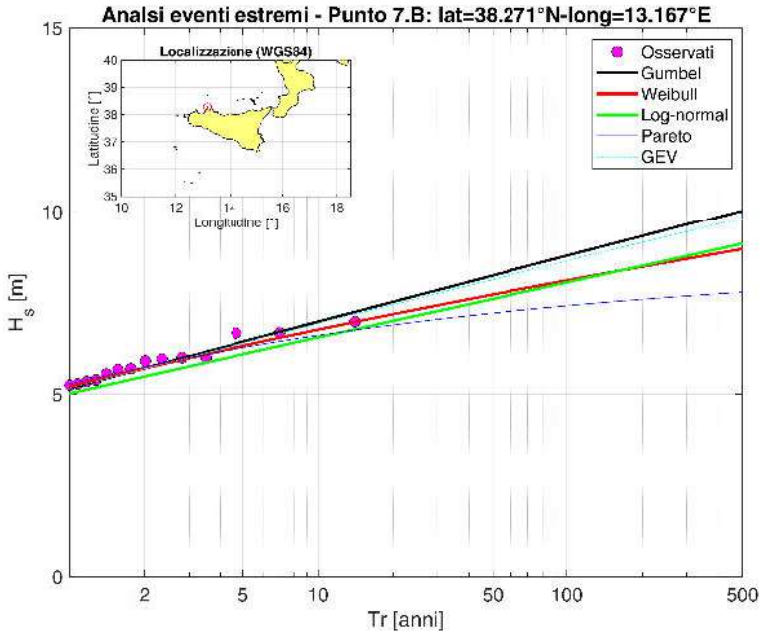


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	326	23.286	3.180	1.001	6.98
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05892	0.06252	0.06726	0.07469	0.08959
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07582	0.07149	0.08322	0.03517	0.07857

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.282	2.729	1.633	1.706	1.500	1.112	0.292	2.000	1.436	-0.215	2.731	0.790	0.009

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.72	5.71	5.49	5.75	5.70
5	6.44	6.32	6.10	6.27	6.40
10	6.98	6.76	6.55	6.61	6.92
50	8.23	7.71	7.59	7.21	8.12
100	8.78	8.10	8.05	7.41	8.63
500	10.03	8.96	9.11	7.78	9.81

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
7.C

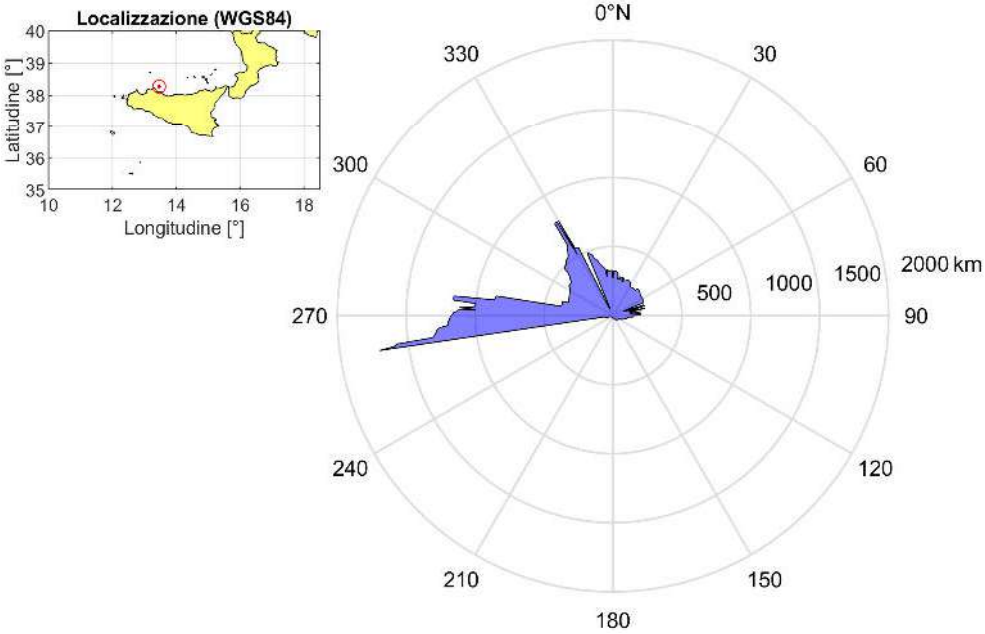


Figura 11: Fetch geografico.

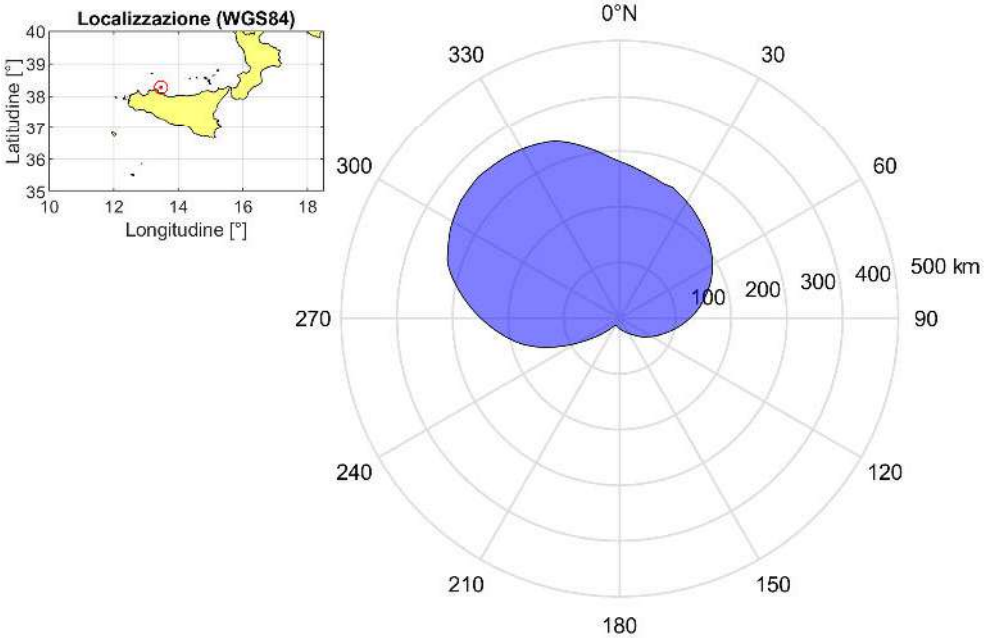


Figura 12: Fetch efficace.

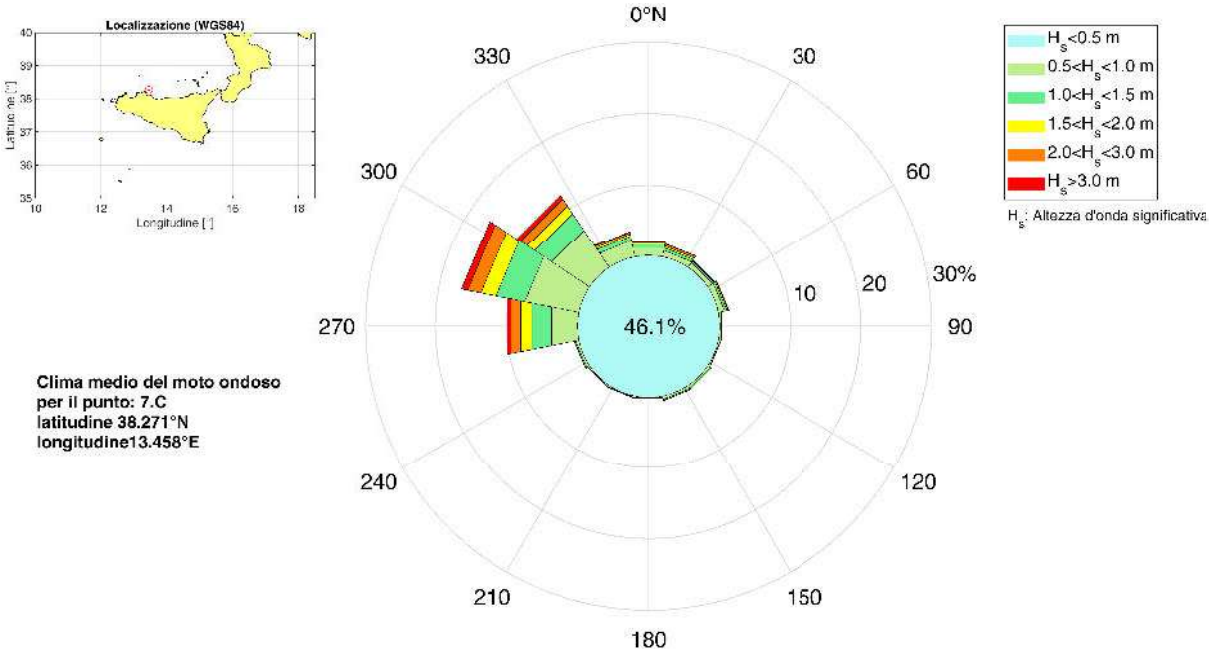


Figura 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.46	1.23	0.51	0.29	0.25	0.10
22.5	2.94	0.92	0.37	0.27	0.29	0.05
45.0	2.72	0.83	0.25	0.08	0.05	0.02
67.5	3.85	0.91	0.33	0.16	0.07	0.03
90.0	2.04	0.37	0.05	0.01	-	-
112.5	0.81	0.32	0.05	0.01	-	-
135.0	0.75	0.50	0.13	0.01	-	-
157.5	0.41	0.47	0.16	0.03	-	-
180.0	0.22	0.25	0.06	-	-	-
202.5	0.19	0.24	0.07	-	-	-
225.0	0.23	0.26	0.09	-	-	-
247.5	0.46	0.45	0.18	0.03	0.01	-
270.0	2.93	3.89	2.85	1.61	1.34	0.55
292.5	6.57	7.74	4.12	2.17	1.90	0.89
315.0	8.16	6.39	2.86	1.31	1.13	0.61
337.5	8.37	2.40	0.65	0.30	0.27	0.12

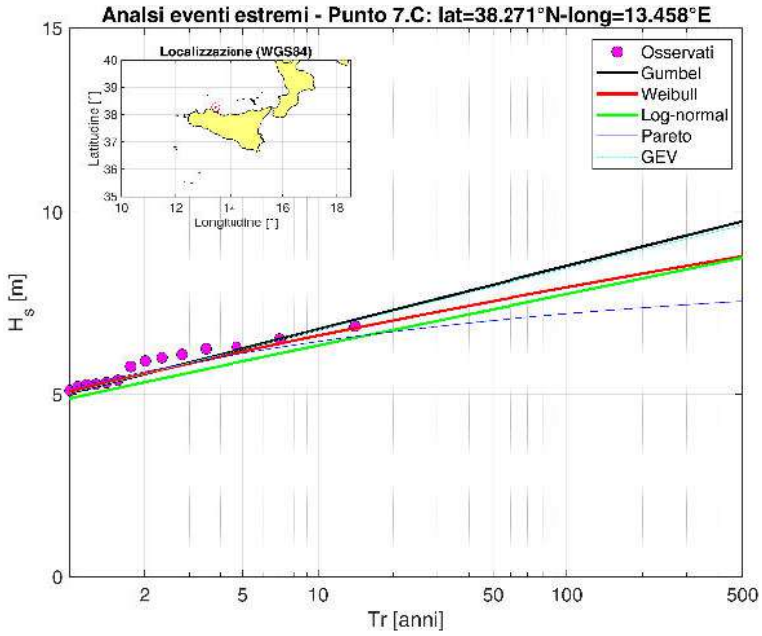


Figura 14: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	313	22.357	3.158	0.960	6.85
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06012	0.06379	0.06864	0.07621	0.09141
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08231	0.05971	0.09491	0.03204	0.08222

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.336	2.726	1.540	1.765	1.476	1.108	0.282	2.000	1.417	-0.225	2.726	0.753	0.005

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.56	5.57	5.34	5.62	5.55
5	6.25	6.17	5.91	6.12	6.24
10	6.77	6.60	6.33	6.44	6.75
50	7.98	7.53	7.31	7.01	7.93
100	8.50	7.91	7.73	7.19	8.43
500	9.70	8.75	8.71	7.53	9.59

Unità fisiografica di I ordine
8

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 8.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 8.B)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 8.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 8.B)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
8.A

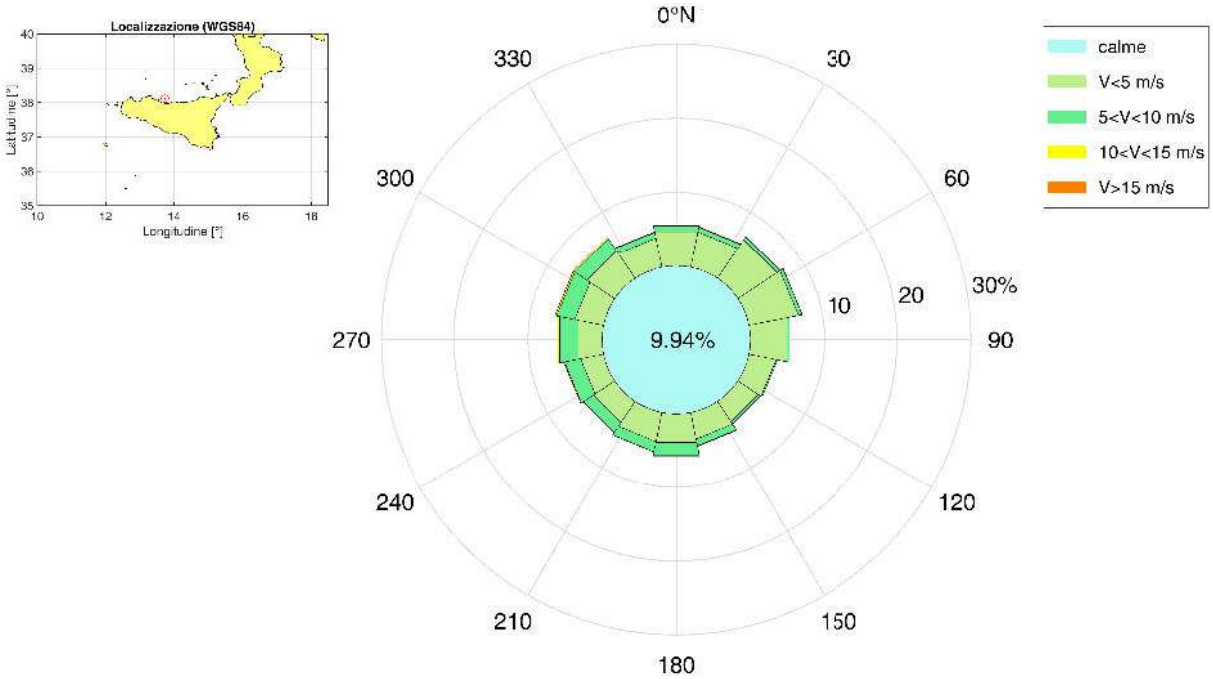


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.66	4.97	0.75	0.09	-
22.5	0.62	4.92	0.65	0.07	-
45.0	0.66	6.35	0.51	0.03	-
67.5	0.71	6.80	0.49	0.03	-
90.0	0.74	5.23	0.31	-	-
112.5	0.74	3.73	0.18	-	-
135.0	0.74	3.29	0.35	0.01	-
157.5	0.71	3.67	0.93	0.07	-
180.0	0.66	4.12	1.83	0.05	-
202.5	0.60	4.02	1.40	0.03	-
225.0	0.56	3.46	1.60	0.04	-
247.5	0.53	3.16	2.21	0.12	-
270.0	0.50	3.47	2.52	0.28	-
292.5	0.51	3.98	2.47	0.24	-
315.0	0.51	4.49	2.04	0.17	-
337.5	0.49	4.08	0.80	0.07	-

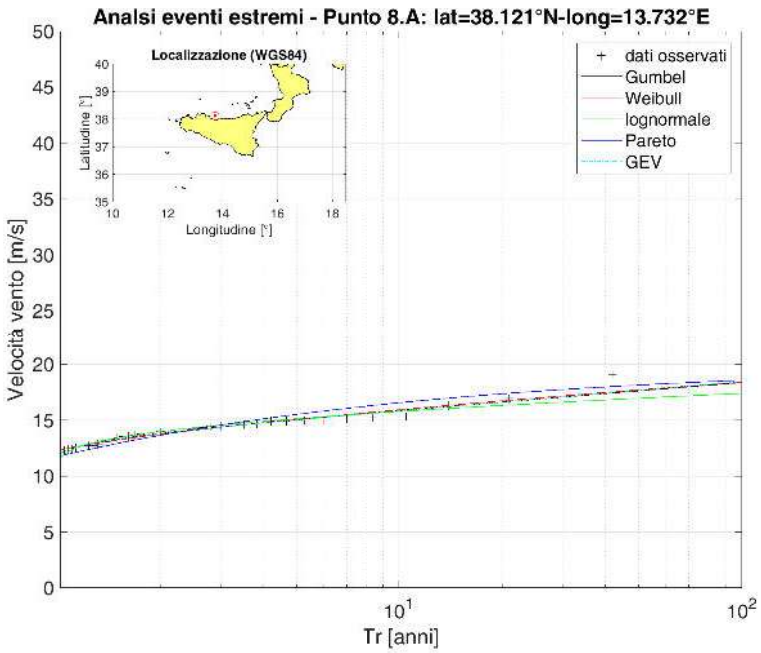


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06499	0.08296	0.07386	0.13811	0.06346

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.929	13.431	2.030	12.193	1.362	2.638	0.094	11.744	3.139	-0.378	13.427	1.051	-0.018

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	13.83	13.74	13.99	13.66	13.81
5	15.05	15.07	15.14	15.53	15.02
10	15.85	15.94	15.78	16.57	15.84
50	17.63	17.72	16.97	18.15	17.67
100	18.38	18.42	17.41	18.59	18.46
500	20.12	19.96	18.34	19.25	20.33

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
8.B

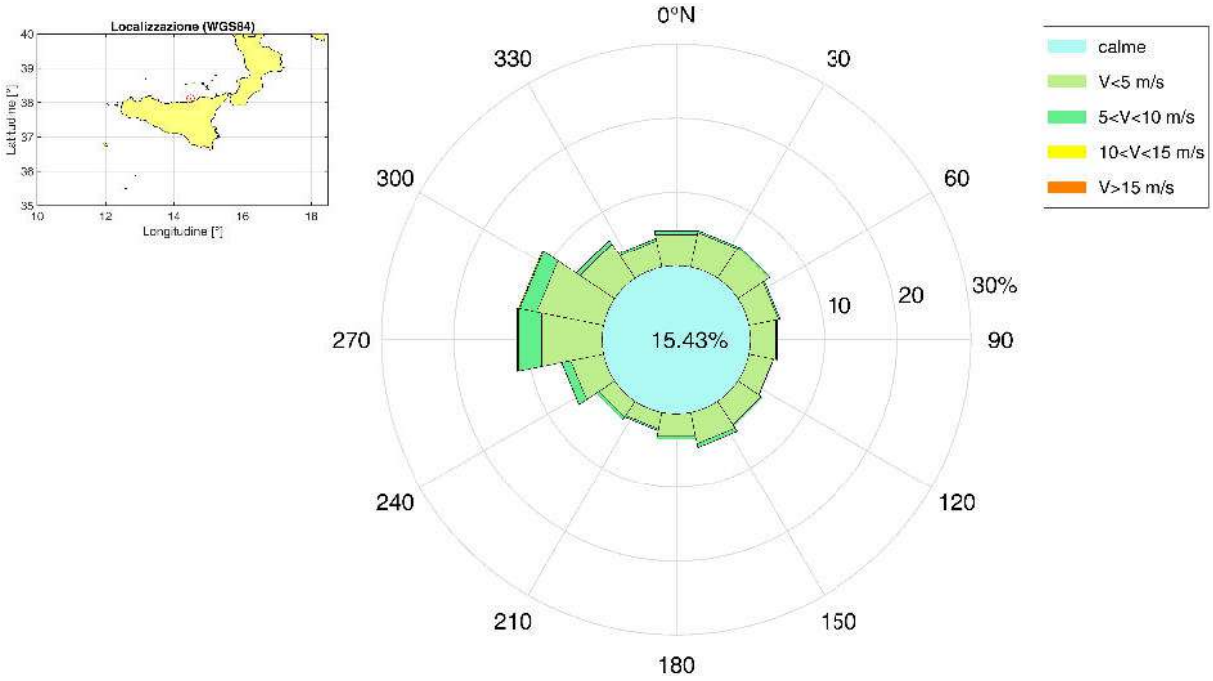


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	1.09	4.52	0.51	0.03	-
22.5	1.00	4.85	0.26	-	-
45.0	1.08	5.02	0.22	-	-
67.5	1.04	4.04	0.22	-	-
90.0	1.09	3.69	0.16	-	-
112.5	1.05	3.36	0.06	-	-
135.0	0.94	3.79	0.19	-	-
157.5	0.86	4.31	0.54	0.01	-
180.0	0.80	3.27	0.40	-	-
202.5	0.77	2.27	0.24	-	-
225.0	0.84	2.52	0.47	0.01	-
247.5	0.91	4.52	1.22	0.03	-
270.0	1.00	8.51	3.13	0.21	-
292.5	1.02	9.19	2.32	0.14	-
315.0	1.00	5.62	0.57	0.05	-
337.5	0.93	3.70	0.33	0.02	-

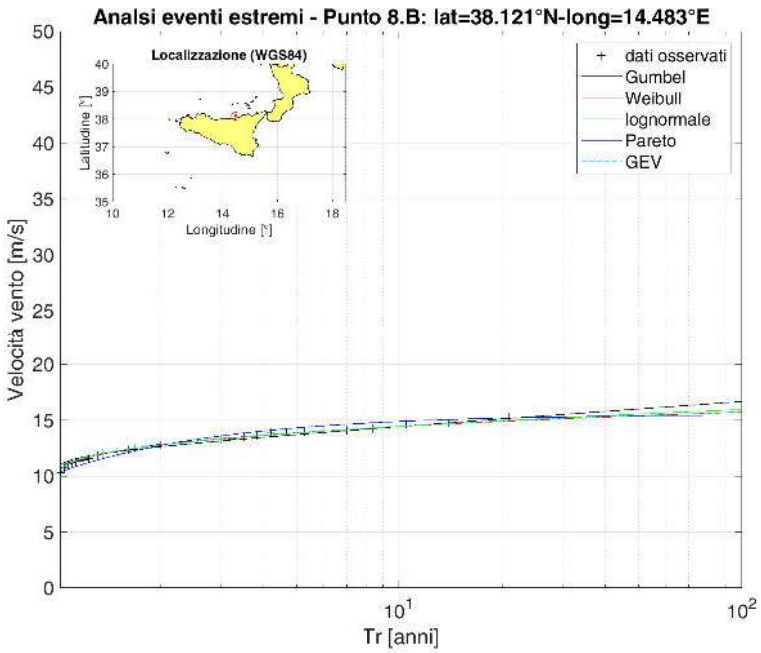


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08255	0.03783	0.04051	0.10339	0.03639

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.046	12.282	3.824	9.418	3.042	2.548	0.096	10.292	4.742	-0.902	12.373	1.193	0.232

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	12.63	12.81	12.78	12.74	12.79
5	13.72	13.89	13.85	14.32	13.88
10	14.43	14.45	14.45	14.89	14.46
50	16.01	15.41	15.56	15.40	15.43
100	16.68	15.74	15.97	15.47	15.74
500	18.22	16.39	16.83	15.53	16.29

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
8.A

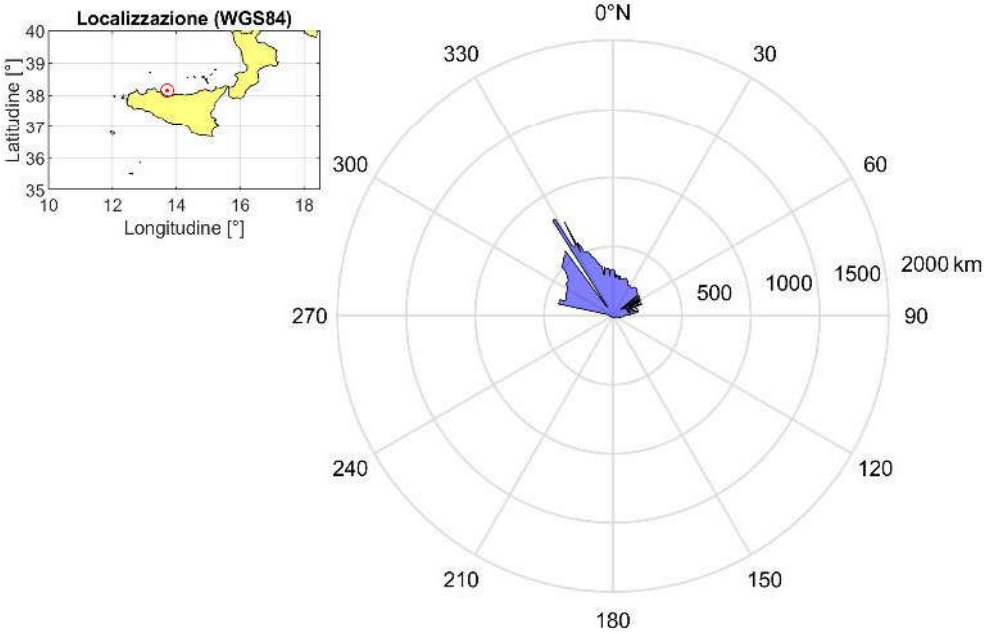


Figura 5: Fetch geografico.

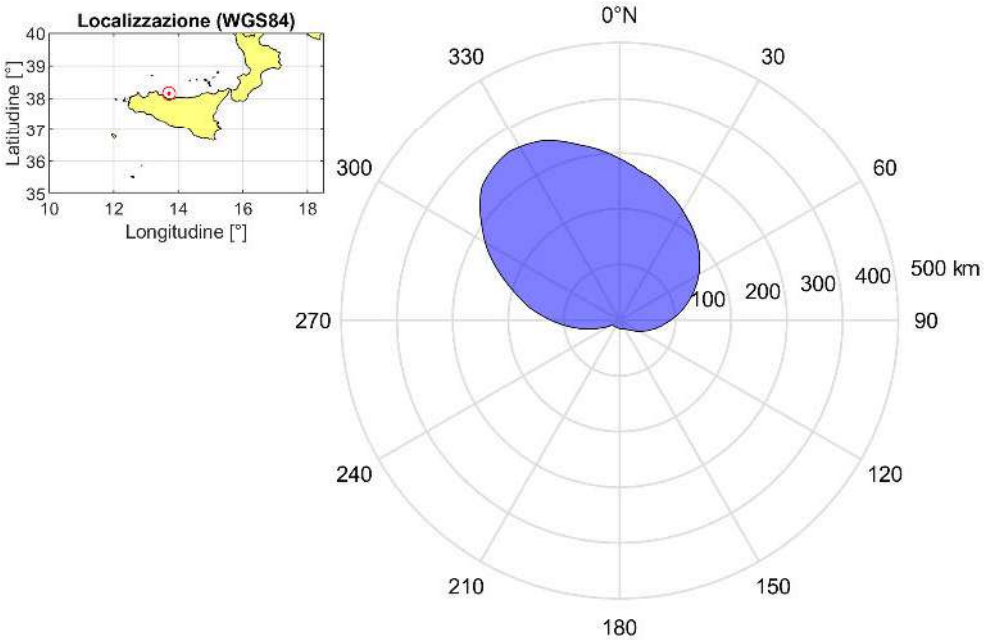


Figura 6: Fetch efficace.

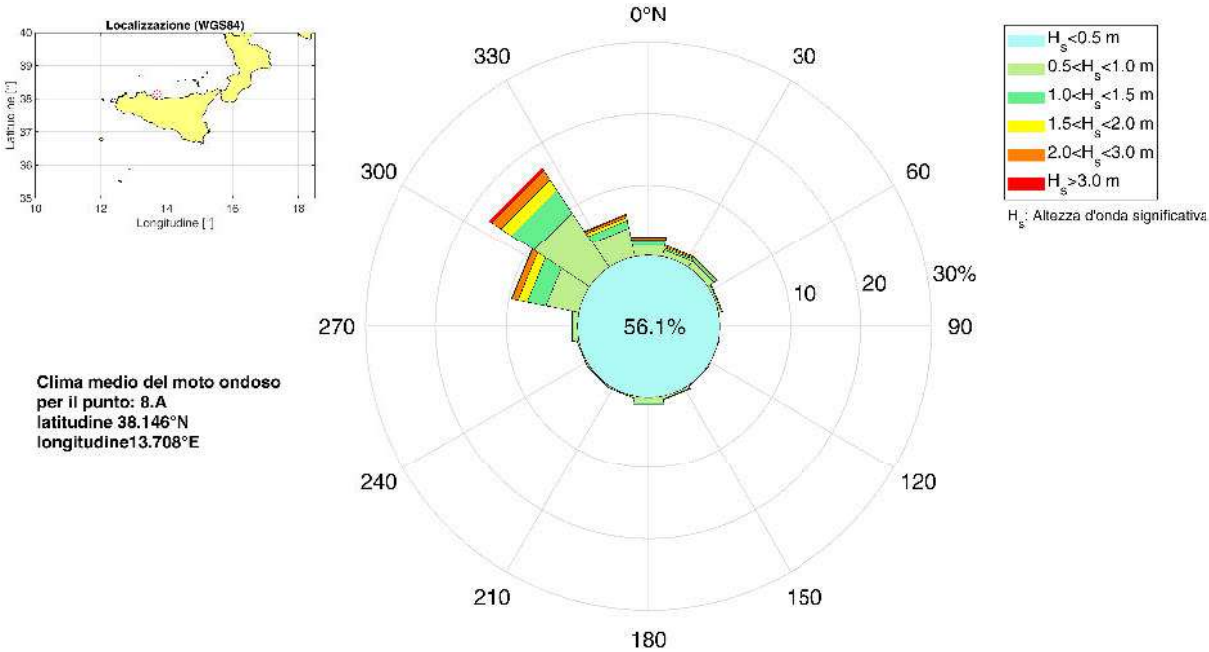


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	8.05	1.62	0.63	0.33	0.29	0.09
22.5	4.40	0.99	0.29	0.20	0.19	0.03
45.0	5.22	1.06	0.36	0.12	0.07	0.02
67.5	3.11	0.45	0.12	0.02	0.01	-
90.0	0.86	0.12	0.02	-	-	-
112.5	0.57	0.12	0.02	-	-	-
135.0	0.56	0.17	0.02	-	-	-
157.5	0.94	0.43	0.10	0.01	-	-
180.0	1.06	0.89	0.21	0.01	-	-
202.5	0.43	0.30	0.03	-	-	-
225.0	0.34	0.23	0.04	-	-	-
247.5	0.31	0.29	0.04	0.01	-	-
270.0	0.51	0.67	0.27	0.06	0.01	-
292.5	4.00	4.72	2.69	1.31	0.87	0.09
315.0	11.63	9.36	3.84	1.79	1.49	0.50
337.5	14.11	4.24	1.11	0.47	0.34	0.14

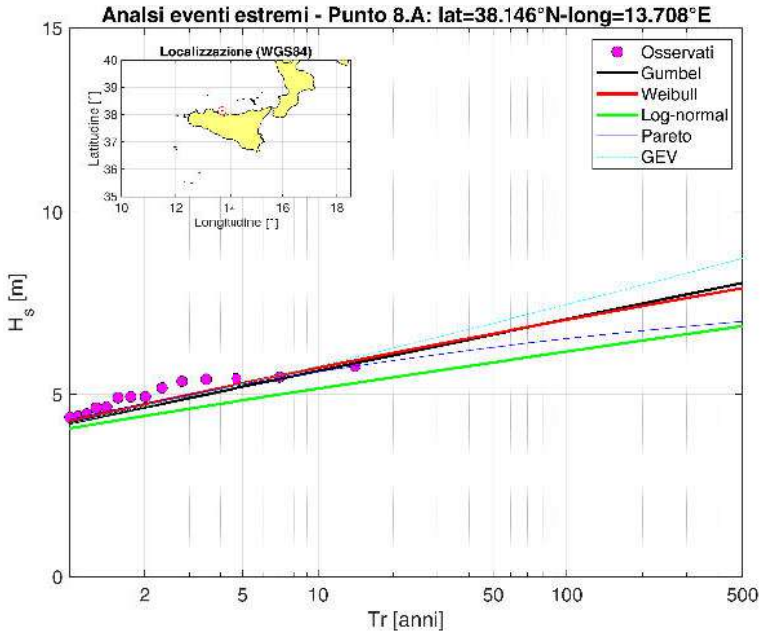


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	228	16.286	2.888	0.783	5.77
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07033	0.07463	0.08031	0.08918	0.10698
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08926	0.05068	0.08370	0.04048	0.07859

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.639	2.535	1.068	1.897	1.275	1.029	0.245	2.000	1.026	-0.155	2.531	0.581	-0.036

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.65	4.74	4.42	4.76	4.68
5	5.22	5.31	4.85	5.27	5.29
10	5.64	5.73	5.16	5.62	5.77
50	6.62	6.65	5.87	6.28	6.93
100	7.05	7.03	6.17	6.52	7.45
500	8.03	7.89	6.86	6.98	8.70

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
8.B

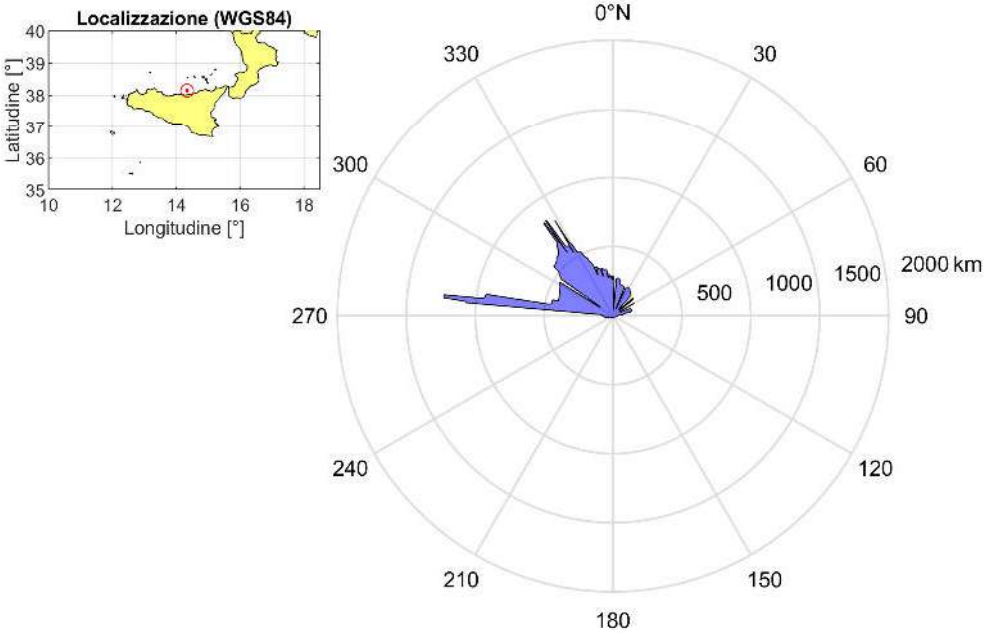


Figura 9: Fetch geografico.

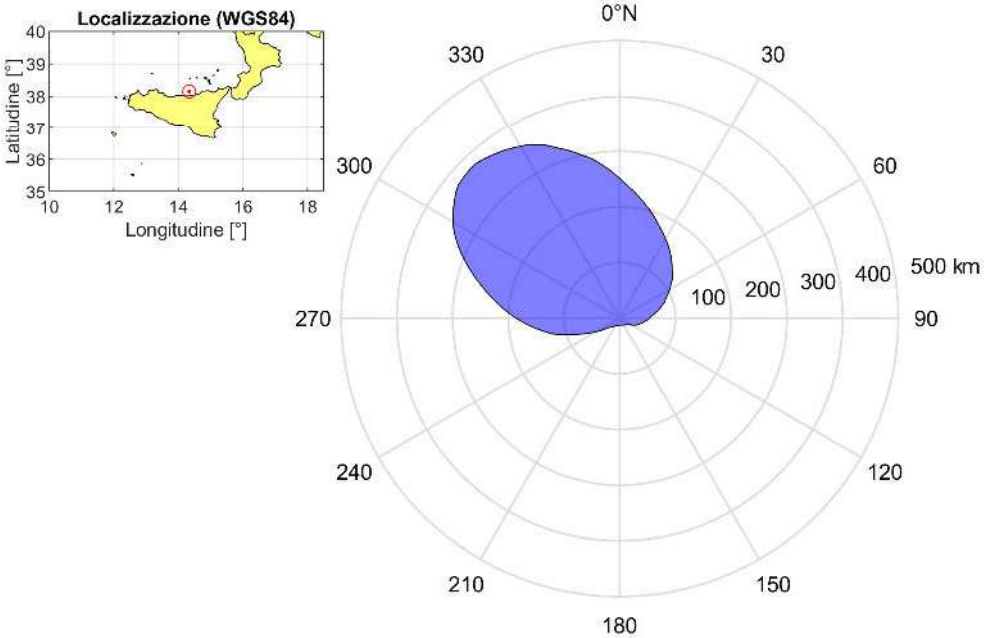


Figura 10: Fetch efficace.

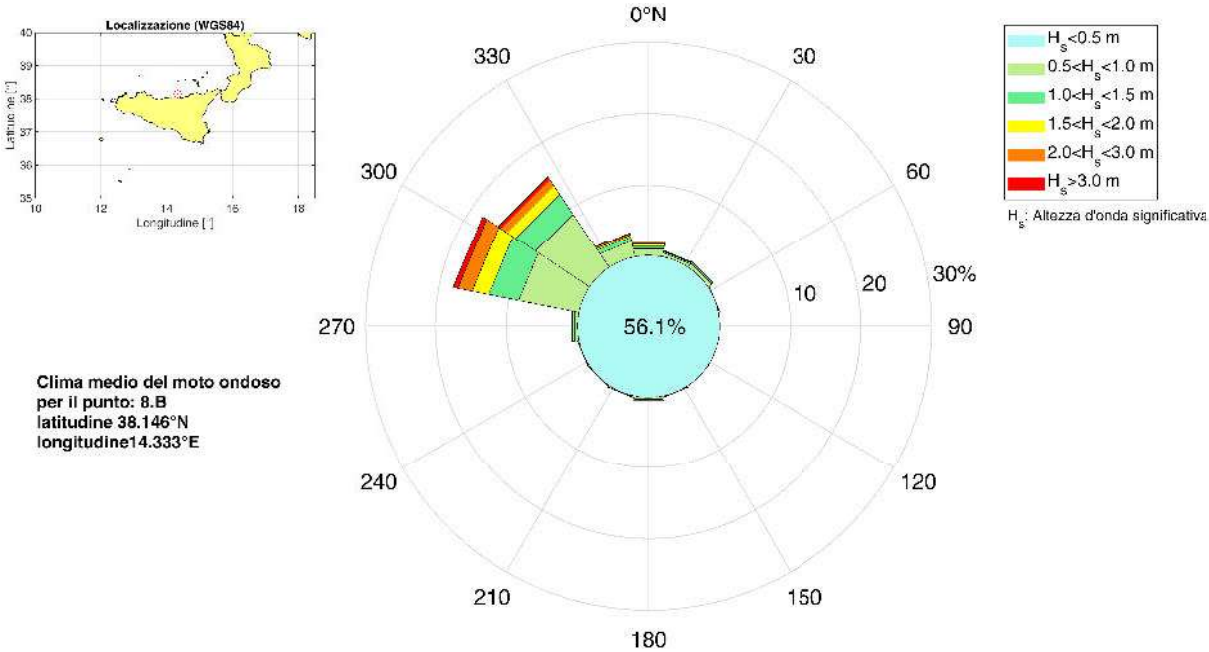


Figura 11: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.81	1.11	0.45	0.32	0.25	0.05
22.5	3.73	0.55	0.17	0.07	0.07	0.01
45.0	3.74	0.68	0.23	0.04	0.04	-
67.5	0.71	0.17	0.04	-	-	-
90.0	0.29	0.04	-	-	-	-
112.5	0.20	0.05	-	-	-	-
135.0	0.27	0.06	0.01	-	-	-
157.5	0.53	0.16	0.06	0.01	-	-
180.0	0.67	0.43	0.14	0.01	-	-
202.5	0.40	0.24	0.05	-	-	-
225.0	0.33	0.16	0.01	-	-	-
247.5	0.36	0.18	0.04	-	-	-
270.0	0.80	0.62	0.24	0.07	0.02	-
292.5	8.30	8.64	4.28	2.38	2.03	0.70
315.0	16.34	9.13	3.34	1.51	1.04	0.47
337.5	13.59	2.29	0.64	0.27	0.23	0.10

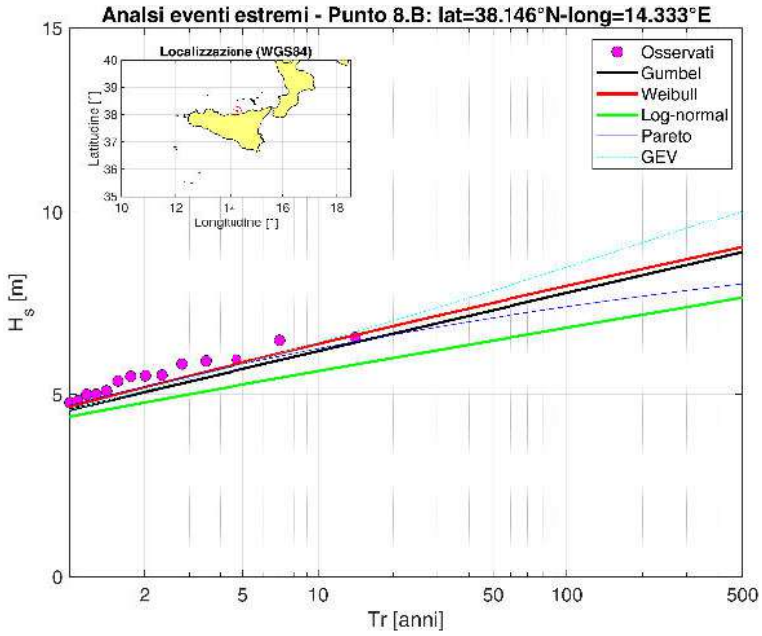


Figura 12: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	260	18.571	2.988	0.881	6.55
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06590	0.06993	0.07525	0.08356	0.10023
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09071	0.03339	0.09053	0.03254	0.07468

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.456	2.591	1.121	1.933	1.201	1.057	0.264	2.000	1.114	-0.128	2.584	0.639	-0.051

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.06	5.20	4.79	5.22	5.11
5	5.70	5.88	5.28	5.83	5.84
10	6.18	6.37	5.64	6.25	6.41
50	7.29	7.49	6.46	7.08	7.82
100	7.76	7.95	6.81	7.39	8.46
500	8.87	9.00	7.63	8.01	10.04

Unità fisiografica di I ordine
9

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 9.A)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 9.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 9.B)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
9.A

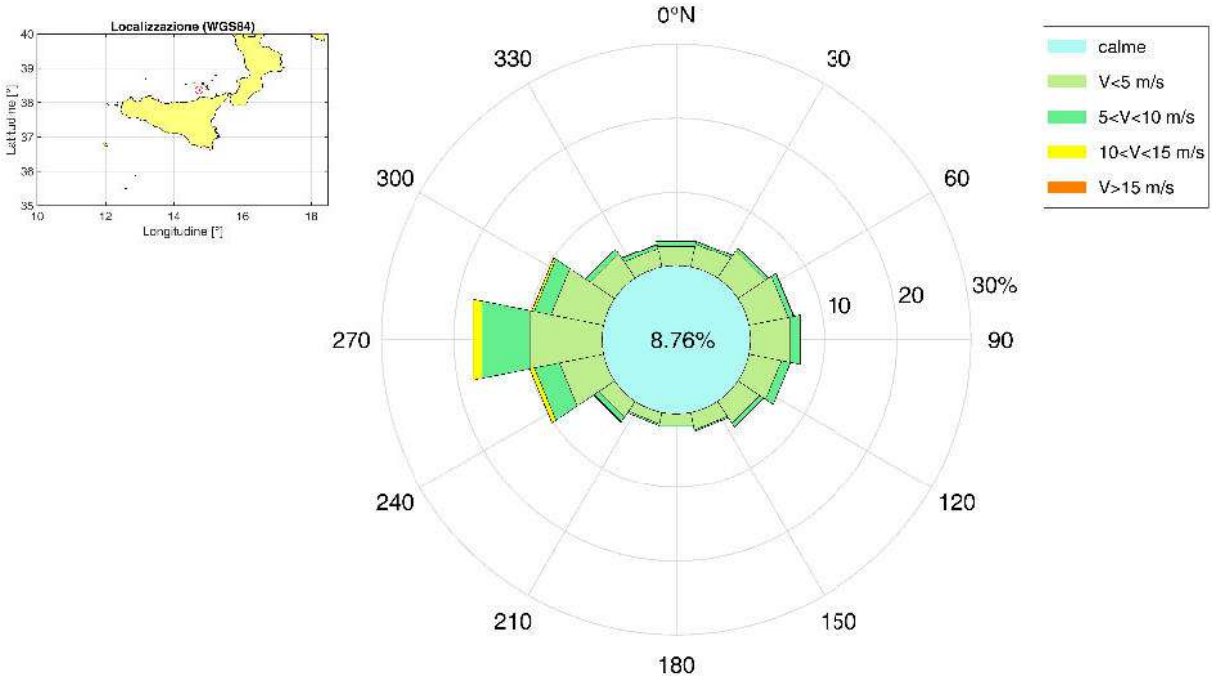


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.63	2.96	0.58	0.09	-
22.5	0.61	3.29	0.37	0.03	-
45.0	0.60	4.50	0.45	0.02	-
67.5	0.60	5.41	0.70	0.07	-
90.0	0.60	5.68	1.24	0.12	-
112.5	0.54	4.47	1.22	0.02	-
135.0	0.48	3.54	0.65	0.02	-
157.5	0.44	2.42	0.19	-	-
180.0	0.42	1.75	0.13	-	-
202.5	0.45	1.58	0.25	0.01	-
225.0	0.48	2.52	0.80	0.08	-
247.5	0.58	6.07	3.44	0.64	0.01
270.0	0.60	10.15	6.57	1.22	0.04
292.5	0.62	7.24	2.29	0.33	0.02
315.0	0.58	4.03	0.67	0.08	-
337.5	0.53	2.62	0.58	0.07	-

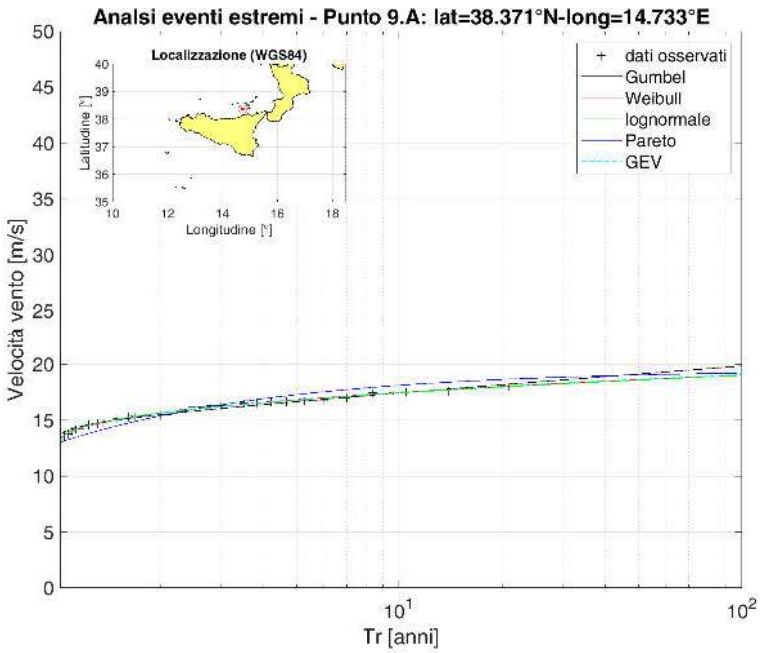


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11208	0.06364	0.07294	0.16062	0.07014

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.972	15.125	3.508	12.606	2.526	2.751	0.084	12.939	4.427	-0.672	15.193	1.232	0.175

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	15.50	15.64	15.67	15.39	15.63
5	16.67	16.84	16.81	17.29	16.82
10	17.44	17.49	17.43	18.13	17.48
50	19.14	18.63	18.60	19.05	18.67
100	19.86	19.03	19.02	19.23	19.08
500	21.52	19.84	19.92	19.43	19.86

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
9.A

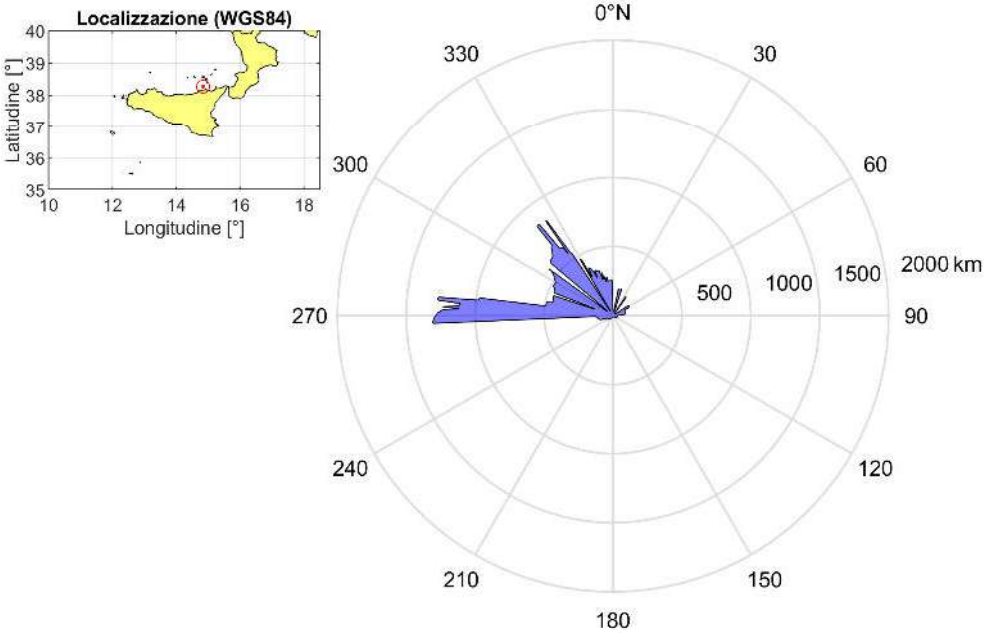


Figura 3: Fetch geografico.

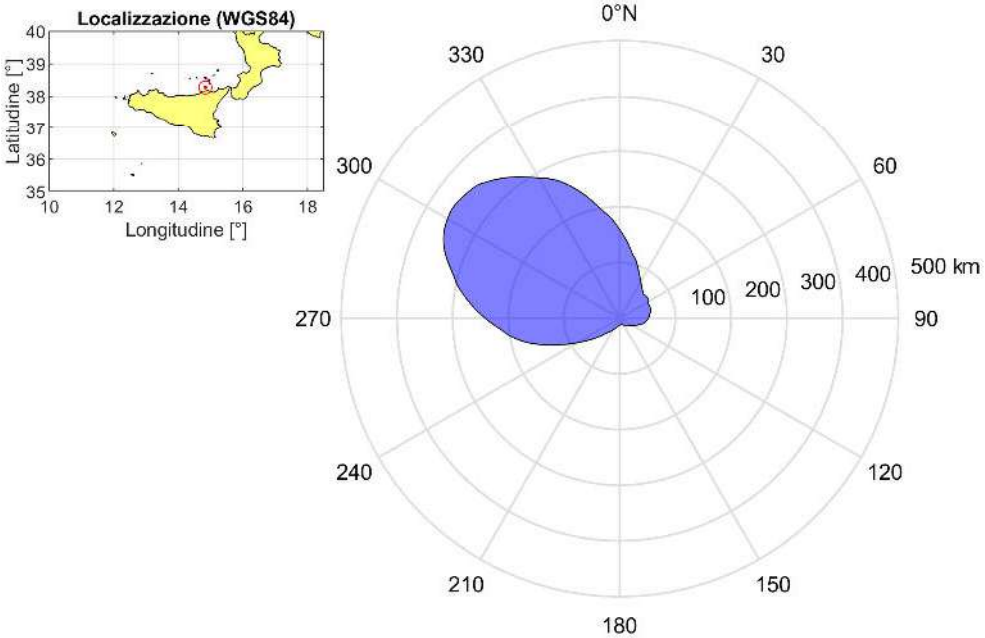


Figura 4: Fetch efficace.

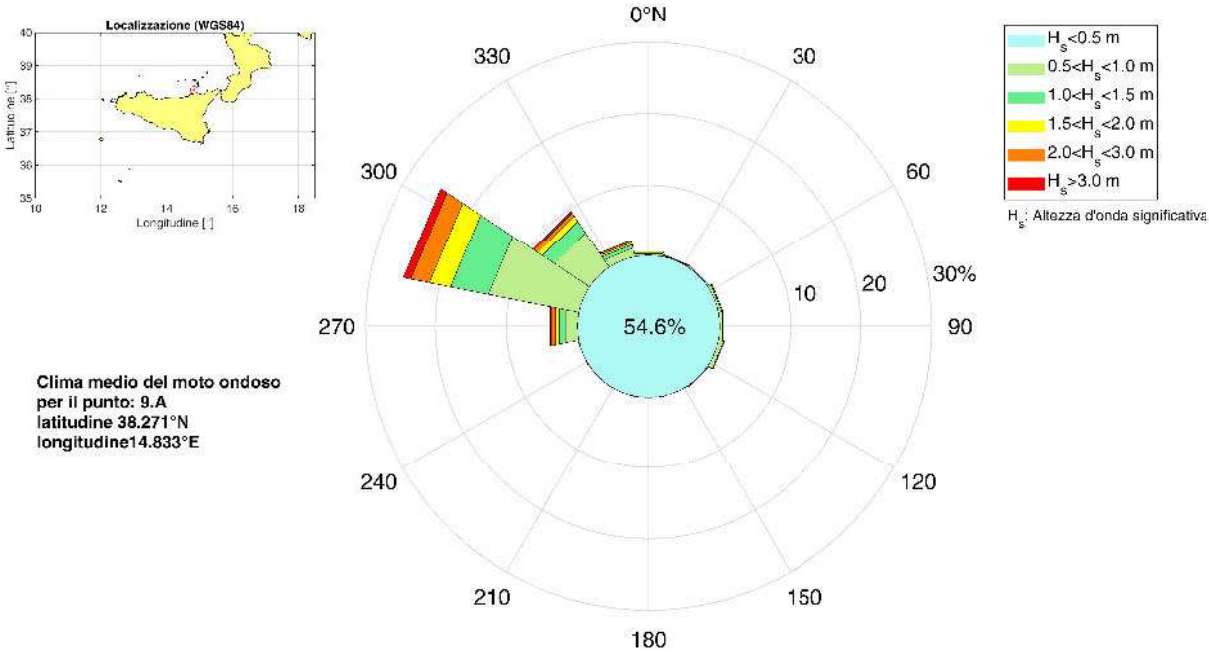


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.96	0.37	0.17	0.12	0.03	-
22.5	1.62	0.20	0.07	0.03	0.01	-
45.0	1.62	0.23	0.02	0.01	-	-
67.5	1.78	0.48	0.15	0.03	0.02	-
90.0	1.70	0.51	0.13	0.02	-	-
112.5	1.34	0.76	0.11	0.02	-	-
135.0	0.33	0.20	0.04	0.02	-	-
157.5	0.18	0.05	0.01	-	-	-
180.0	0.12	0.04	0.01	-	-	-
202.5	0.12	0.04	0.01	-	-	-
225.0	0.16	0.05	0.01	-	-	-
247.5	0.35	0.15	0.02	-	-	-
270.0	2.00	1.94	0.84	0.52	0.52	0.26
292.5	14.90	12.97	5.42	3.04	2.67	1.06
315.0	18.70	5.93	2.00	0.87	0.53	0.28
337.5	7.74	1.25	0.53	0.28	0.28	0.05

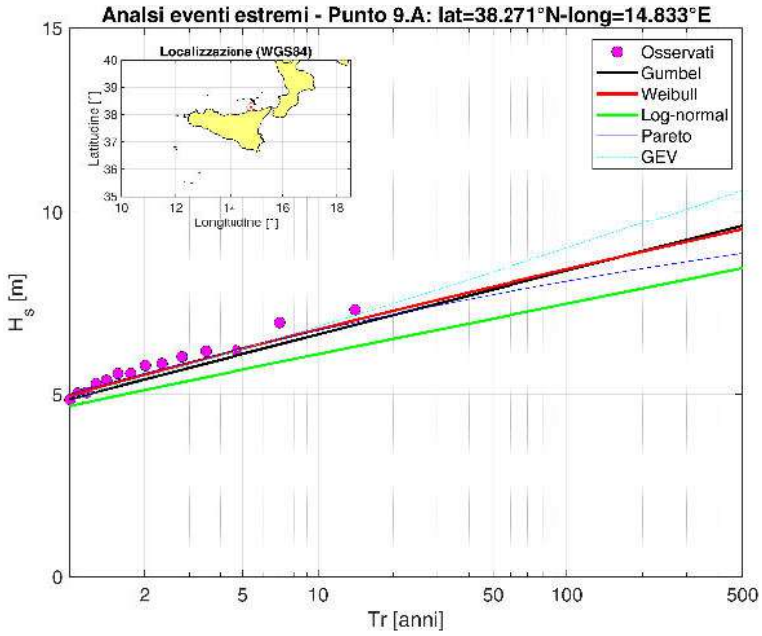


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	287	20.500	3.056	0.967	7.30
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06276	0.06659	0.07165	0.07956	0.09544
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09949	0.06096	0.10046	0.03267	0.08729

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.326	2.620	1.291	1.853	1.251	1.074	0.284	2.000	1.170	-0.108	2.614	0.713	-0.041

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.41	5.54	5.12	5.58	5.46
5	6.11	6.25	5.68	6.26	6.24
10	6.63	6.77	6.10	6.74	6.85
50	7.85	7.92	7.05	7.71	8.32
100	8.37	8.40	7.47	8.08	8.99
500	9.58	9.49	8.43	8.83	10.60

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
9.B

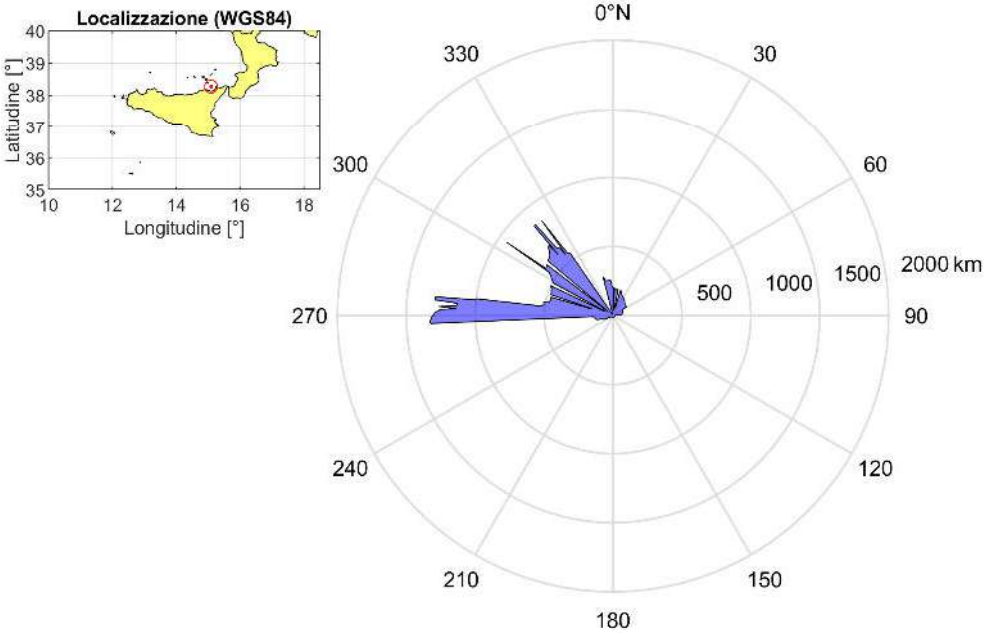


Figura 7: Fetch geografico.

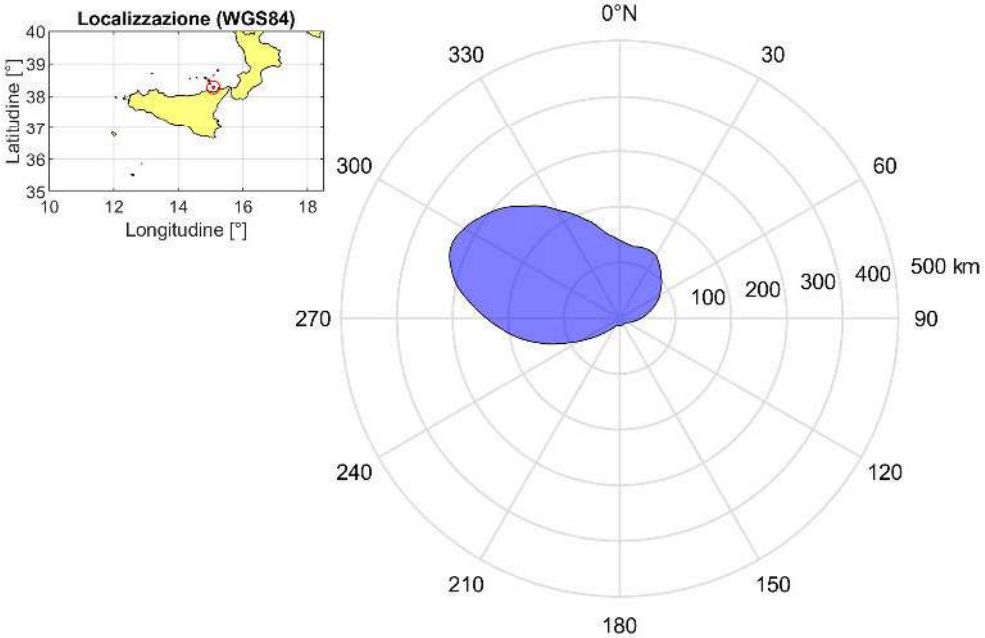


Figura 8: Fetch efficace.

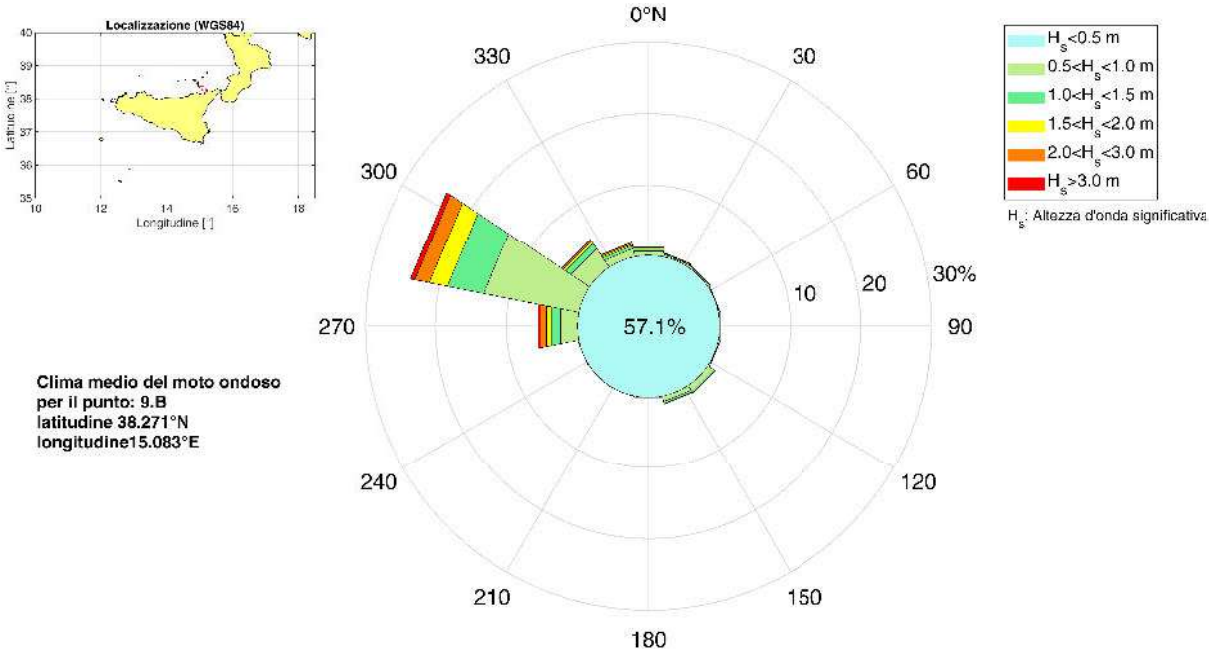


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.14	0.73	0.34	0.17	0.09	0.01
22.5	1.91	0.34	0.14	0.10	0.03	-
45.0	1.31	0.34	0.07	0.03	0.02	-
67.5	0.72	0.20	0.05	-	-	-
90.0	0.66	0.14	0.03	-	-	-
112.5	0.80	0.25	0.04	-	-	-
135.0	1.67	1.02	0.23	0.03	-	-
157.5	1.25	0.78	0.30	0.07	0.01	-
180.0	0.41	0.16	0.02	-	-	-
202.5	0.24	0.08	0.02	-	-	-
225.0	0.32	0.09	0.01	-	-	-
247.5	0.46	0.15	0.01	-	-	-
270.0	2.75	2.66	1.30	0.72	0.81	0.30
292.5	19.21	13.66	5.17	2.62	2.05	0.66
315.0	13.85	3.18	0.91	0.40	0.23	0.08
337.5	8.39	1.17	0.42	0.21	0.23	0.05

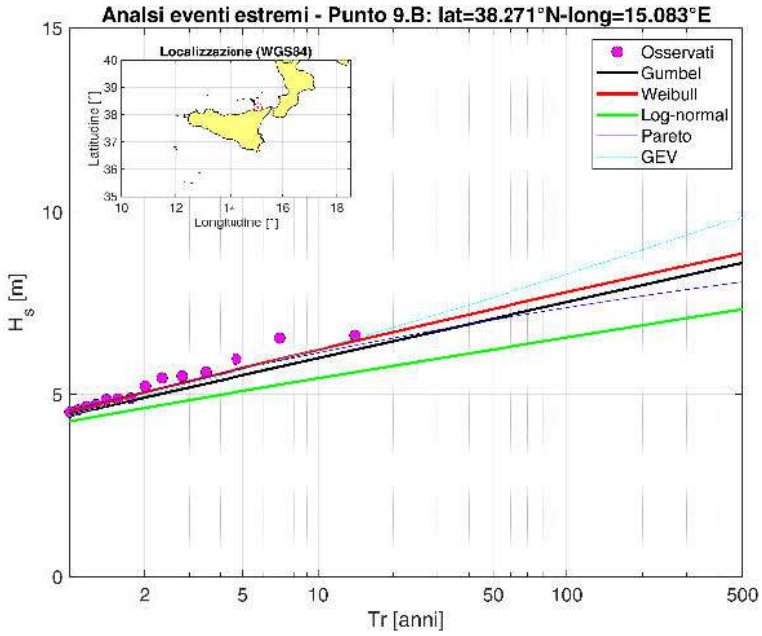


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	257	18.357	2.929	0.847	6.61
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06628	0.07034	0.07568	0.08404	0.10081
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09788	0.03530	0.10024	0.03346	0.07978

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.514	2.548	1.047	1.938	1.173	1.039	0.257	2.000	1.025	-0.103	2.541	0.609	-0.058

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.92	5.06	4.64	5.08	4.97
5	5.53	5.73	5.10	5.70	5.68
10	5.99	6.22	5.44	6.13	6.24
50	7.05	7.32	6.22	7.02	7.63
100	7.51	7.78	6.55	7.36	8.27
500	8.58	8.83	7.32	8.06	9.85

Unità fisiografica di I ordine
10

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 10.A)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 10.A)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
10.A

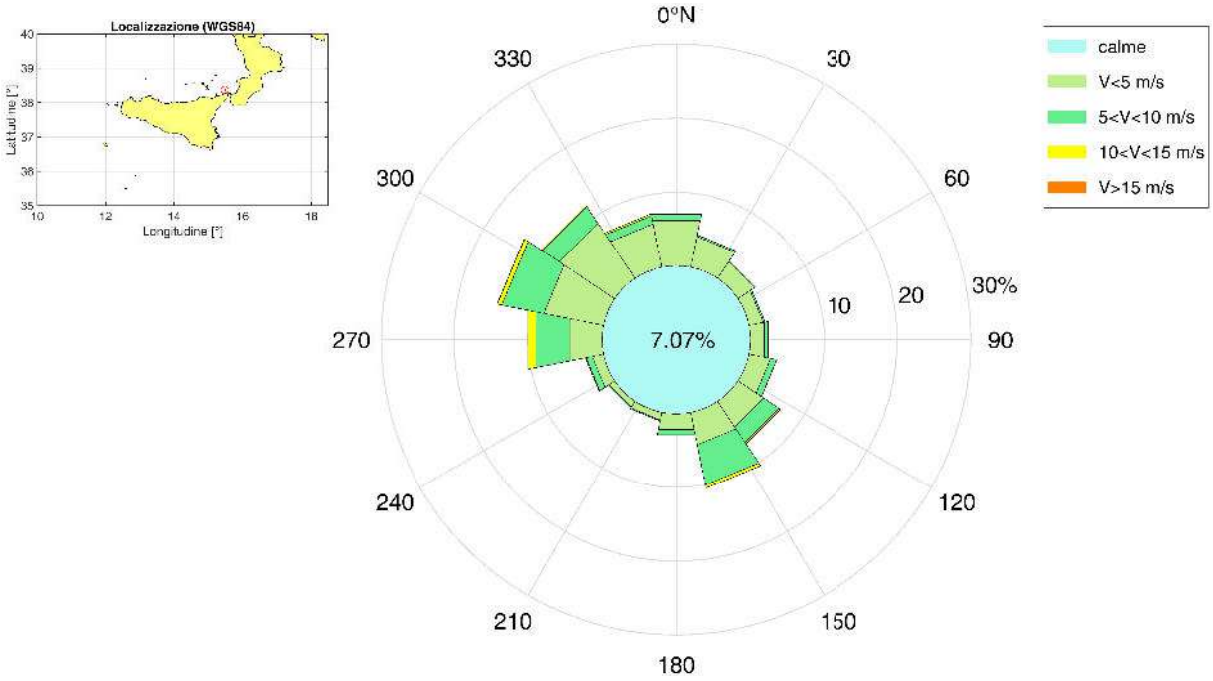


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.67	6.49	0.80	0.09	-
22.5	0.60	4.27	0.22	0.01	-
45.0	0.58	2.65	0.12	0.01	-
67.5	0.54	1.98	0.22	0.01	-
90.0	0.48	2.11	0.49	0.02	-
112.5	0.42	2.97	0.84	0.01	-
135.0	0.38	4.13	2.56	0.19	-
157.5	0.33	4.46	5.56	0.44	0.01
180.0	0.27	2.32	0.79	0.01	-
202.5	0.26	1.06	0.13	-	-
225.0	0.27	0.95	0.17	-	-
247.5	0.34	1.56	0.84	0.10	-
270.0	0.40	4.64	4.66	1.06	0.03
292.5	0.47	8.20	5.79	0.61	0.03
315.0	0.54	8.94	2.78	0.21	0.01
337.5	0.53	6.01	1.13	0.26	-

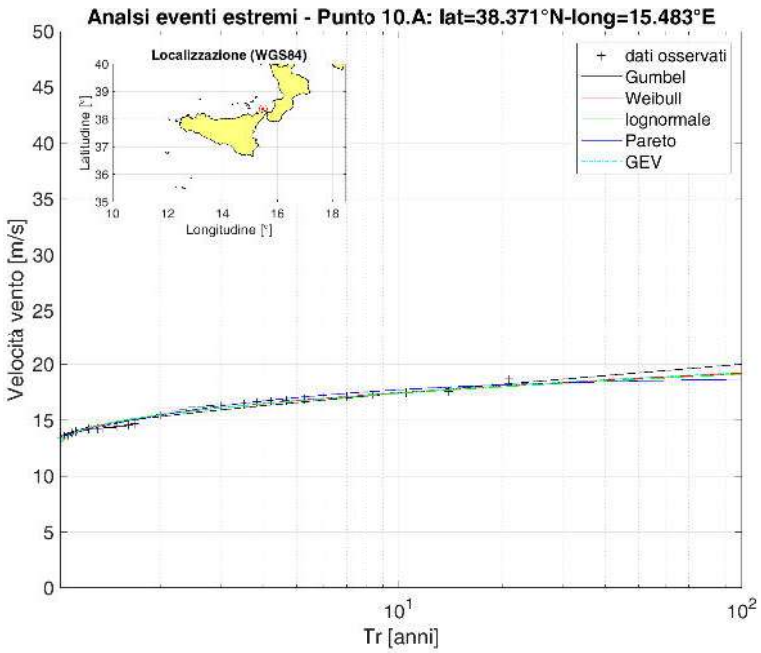


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.12698	0.11451	0.13353	0.08733	0.12419

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.902	14.925	3.557	12.413	2.357	2.741	0.090	13.457	3.605	-0.659	14.988	1.307	0.156

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	15.33	15.46	15.50	15.46	15.45
5	16.59	16.77	16.73	17.03	16.74
10	17.42	17.48	17.40	17.73	17.47
50	19.25	18.76	18.66	18.51	18.81
100	20.02	19.21	19.13	18.67	19.28
500	21.81	20.13	20.10	18.84	20.18

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
10.A

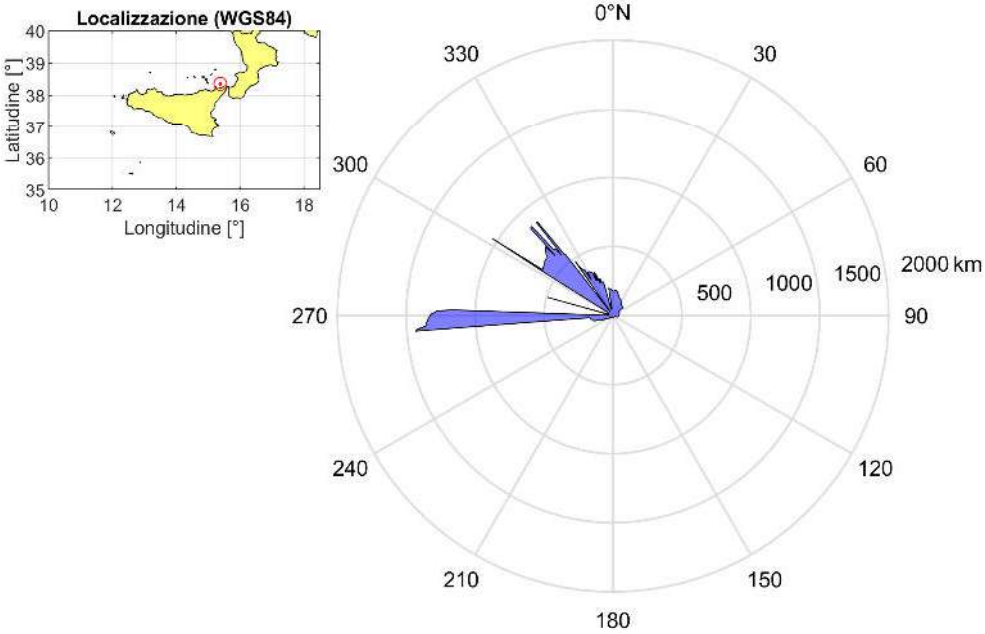


Figura 3: Fetch geografico.

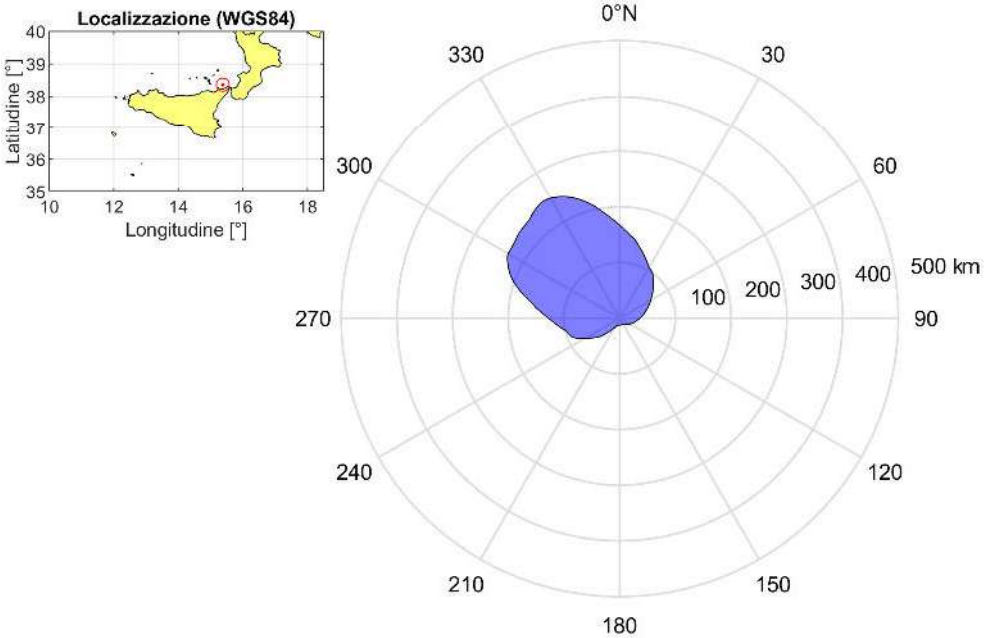


Figura 4: Fetch efficace.

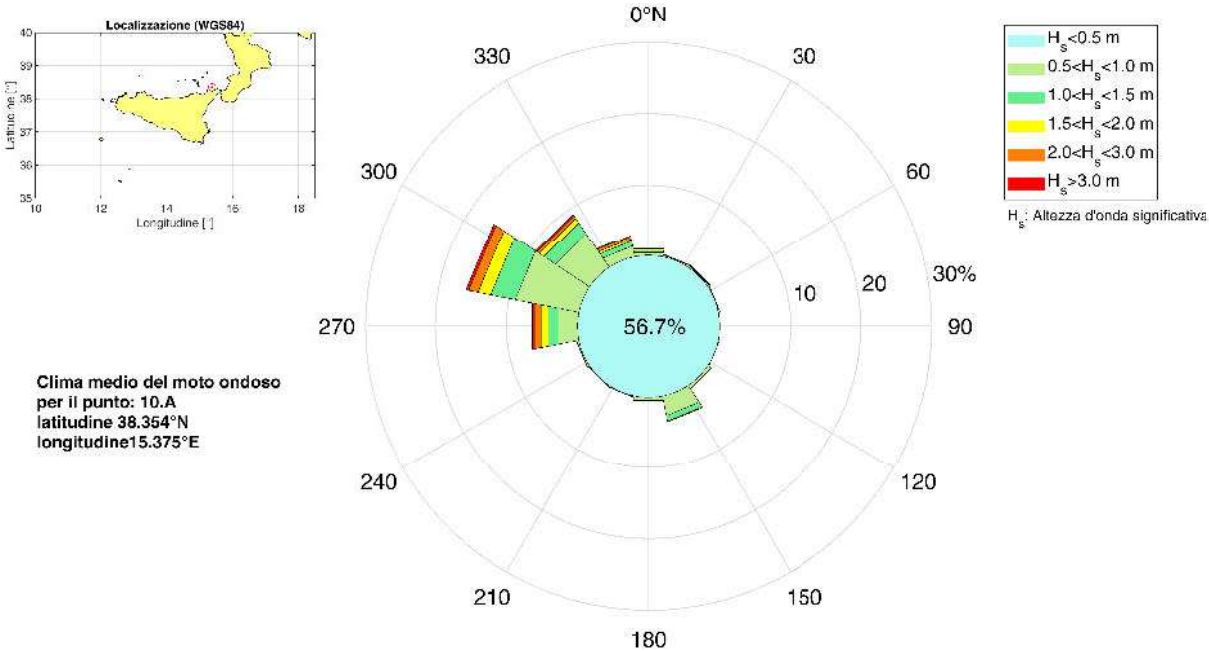


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.73	0.56	0.28	0.20	0.09	-
22.5	1.11	0.28	0.05	0.03	-	-
45.0	0.80	0.28	0.08	0.02	0.01	-
67.5	0.50	0.22	0.03	-	-	-
90.0	0.40	0.12	0.01	-	-	-
112.5	0.42	0.15	0.02	-	-	-
135.0	0.95	0.51	0.06	0.01	-	-
157.5	2.61	2.81	0.77	0.11	0.01	-
180.0	0.94	0.61	0.07	-	-	-
202.5	0.49	0.20	0.03	-	-	-
225.0	0.42	0.19	0.03	-	-	-
247.5	0.57	0.32	0.04	-	-	-
270.0	3.18	2.88	1.48	1.06	0.92	0.35
292.5	11.78	9.13	3.51	1.81	1.32	0.40
315.0	20.53	5.80	1.88	0.75	0.45	0.20
337.5	10.26	1.56	0.72	0.36	0.40	0.10

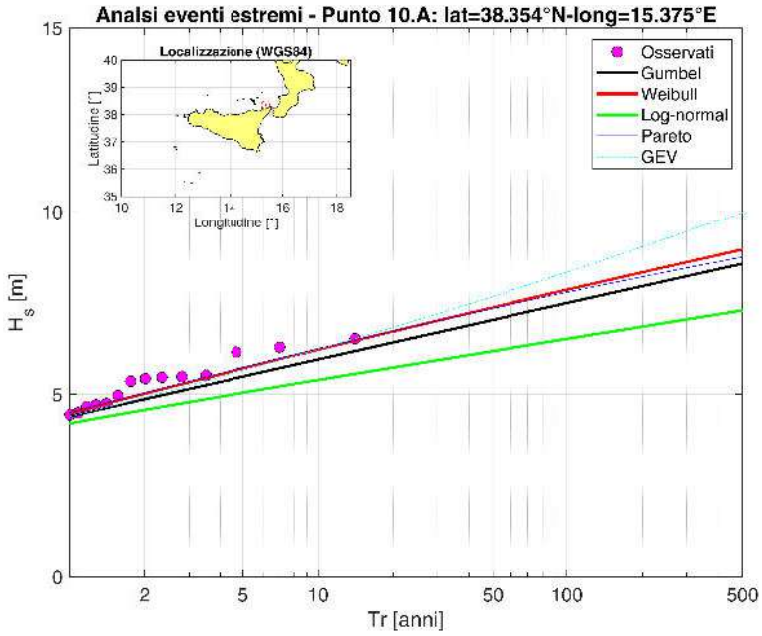


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	250	17.857	2.891	0.853	6.52
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06720	0.07131	0.07673	0.08520	0.10220
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11524	0.05564	0.11194	0.03270	0.09546

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.504	2.507	1.024	1.915	1.146	1.025	0.260	2.000	0.939	-0.054	2.500	0.607	-0.064

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.87	5.03	4.58	5.05	4.93
5	5.49	5.71	5.05	5.74	5.65
10	5.95	6.22	5.39	6.24	6.23
50	7.02	7.36	6.18	7.33	7.66
100	7.49	7.85	6.51	7.78	8.33
500	8.56	8.94	7.29	8.74	9.98

Unità fisiografica di I ordine
11

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 11.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 11.B)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 11.C)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 11.F)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 11.E)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 11.D)

Fetch geografico

Fetch efficace

Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 11.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 11.B)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 11.C)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 11.D)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 11.E)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 11.F)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 11.G)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 11.H)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
11.A

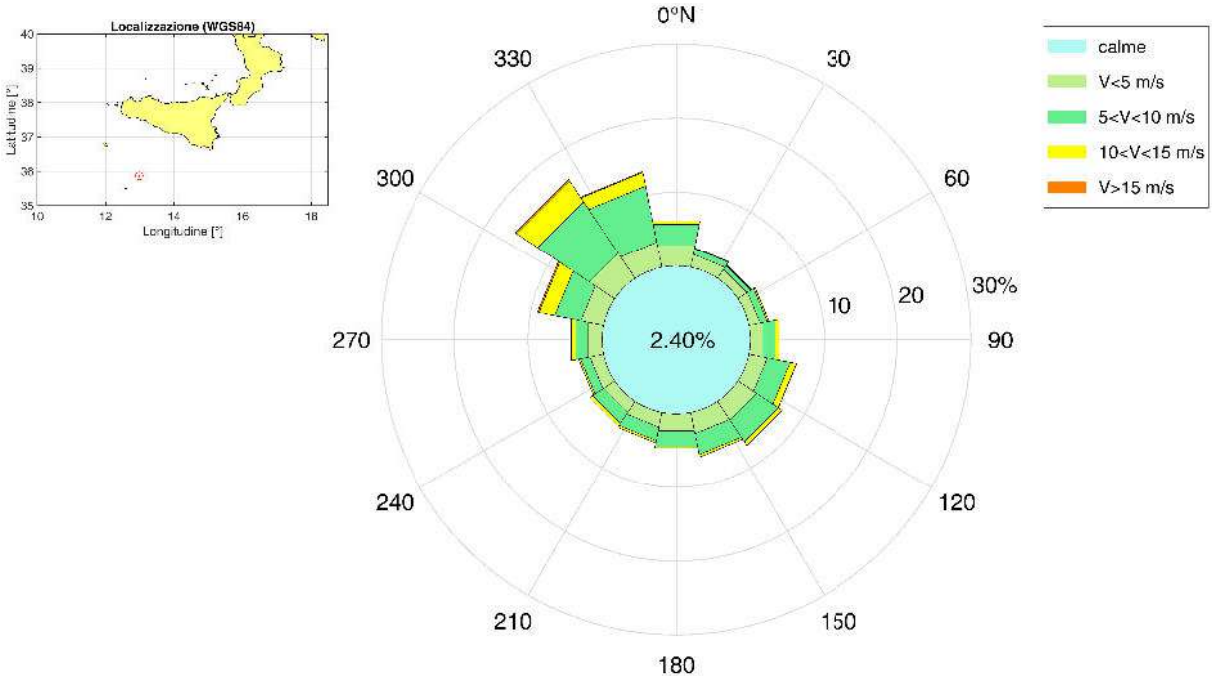


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.18	3.02	2.96	0.46	0.01
22.5	0.14	1.78	0.84	0.08	0.01
45.0	0.14	1.45	0.62	0.11	-
67.5	0.13	1.54	0.98	0.22	0.01
90.0	0.15	1.85	1.75	0.51	0.02
112.5	0.14	2.52	3.14	0.86	0.03
135.0	0.14	3.00	3.50	0.62	0.02
157.5	0.15	2.92	2.88	0.34	0.01
180.0	0.15	2.50	2.24	0.13	-
202.5	0.16	2.04	1.86	0.30	-
225.0	0.15	1.85	1.69	0.46	0.01
247.5	0.15	1.89	1.29	0.25	0.01
270.0	0.16	2.19	1.64	0.64	0.07
292.5	0.15	3.12	3.59	2.16	0.22
315.0	0.17	4.06	8.42	3.45	0.22
337.5	0.14	3.49	7.75	1.89	0.12

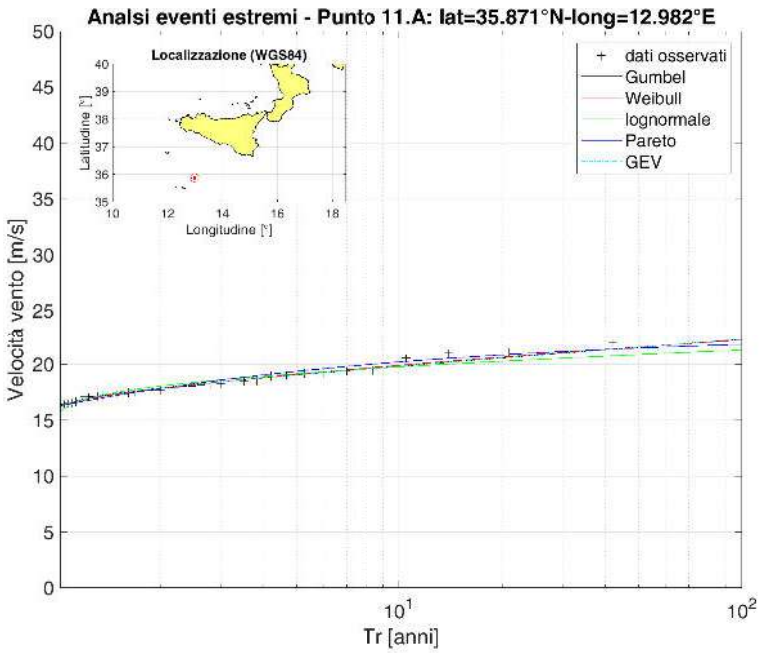


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07069	0.08238	0.11755	0.12255	0.07072

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.966	17.507	2.095	16.205	1.454	2.894	0.071	16.246	2.649	-0.402	17.507	1.036	0.001

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.89	17.83	18.06	17.85	17.89
5	19.06	19.11	19.17	19.39	19.06
10	19.84	19.92	19.77	20.22	19.84
50	21.54	21.56	20.89	21.47	21.54
100	22.27	22.20	21.29	21.80	22.27
500	23.94	23.57	22.14	22.29	23.93

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
11.B

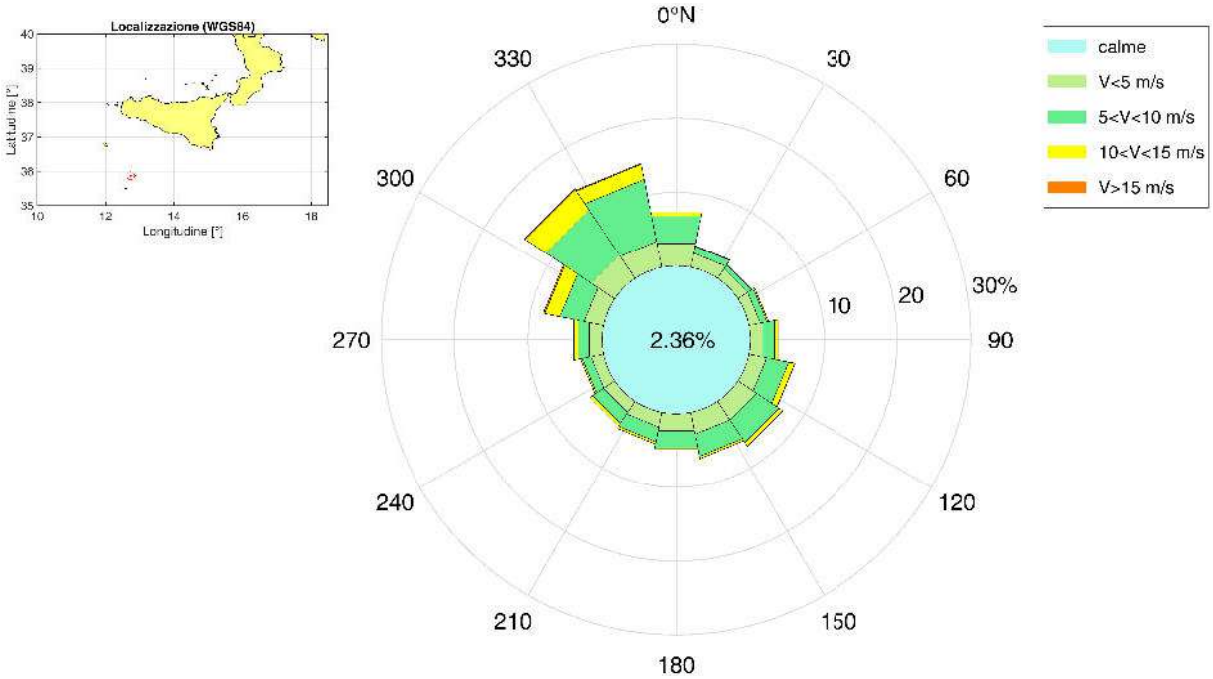


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.18	3.32	3.78	0.55	0.01
22.5	0.14	1.96	0.95	0.08	0.01
45.0	0.14	1.53	0.64	0.10	-
67.5	0.14	1.55	0.92	0.19	0.01
90.0	0.14	1.86	1.63	0.46	0.02
112.5	0.14	2.45	3.02	0.85	0.03
135.0	0.15	3.00	3.64	0.64	0.02
157.5	0.15	3.00	3.05	0.32	-
180.0	0.14	2.51	2.40	0.14	-
202.5	0.15	2.04	2.00	0.34	-
225.0	0.14	1.83	1.70	0.47	0.01
247.5	0.16	1.74	1.19	0.23	0.01
270.0	0.15	1.96	1.51	0.61	0.06
292.5	0.15	2.69	3.31	2.08	0.20
315.0	0.15	3.79	7.41	3.23	0.22
337.5	0.14	3.58	8.58	2.10	0.12

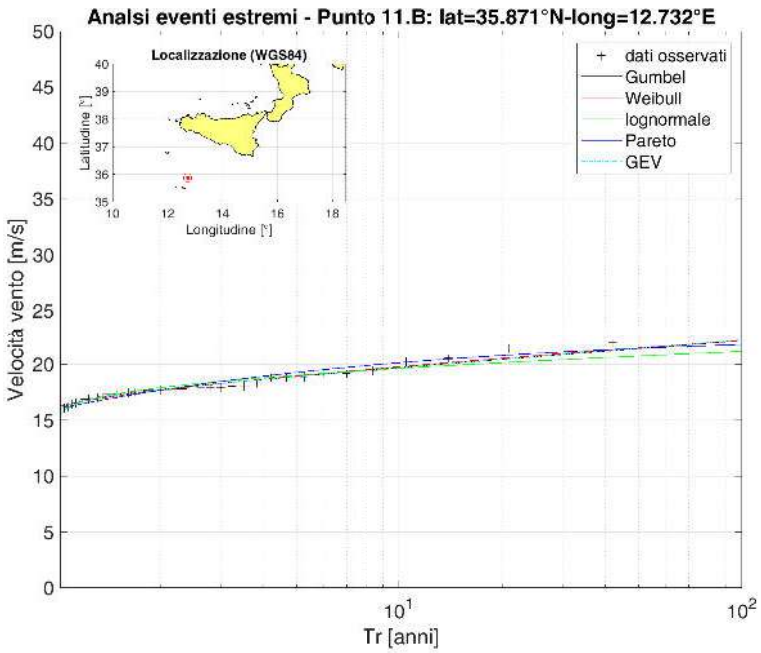


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11375	0.10221	0.16914	0.12914	0.11075

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.962	17.364	2.014	16.128	1.395	2.886	0.072	16.029	2.749	-0.403	17.362	1.025	-0.011

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.75	17.68	17.92	17.69	17.74
5	18.92	18.96	19.03	19.28	18.91
10	19.70	19.79	19.64	20.15	19.70
50	21.42	21.48	20.76	21.44	21.45
100	22.15	22.15	21.16	21.78	22.20
500	23.83	23.59	22.02	22.29	23.95

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
11.C

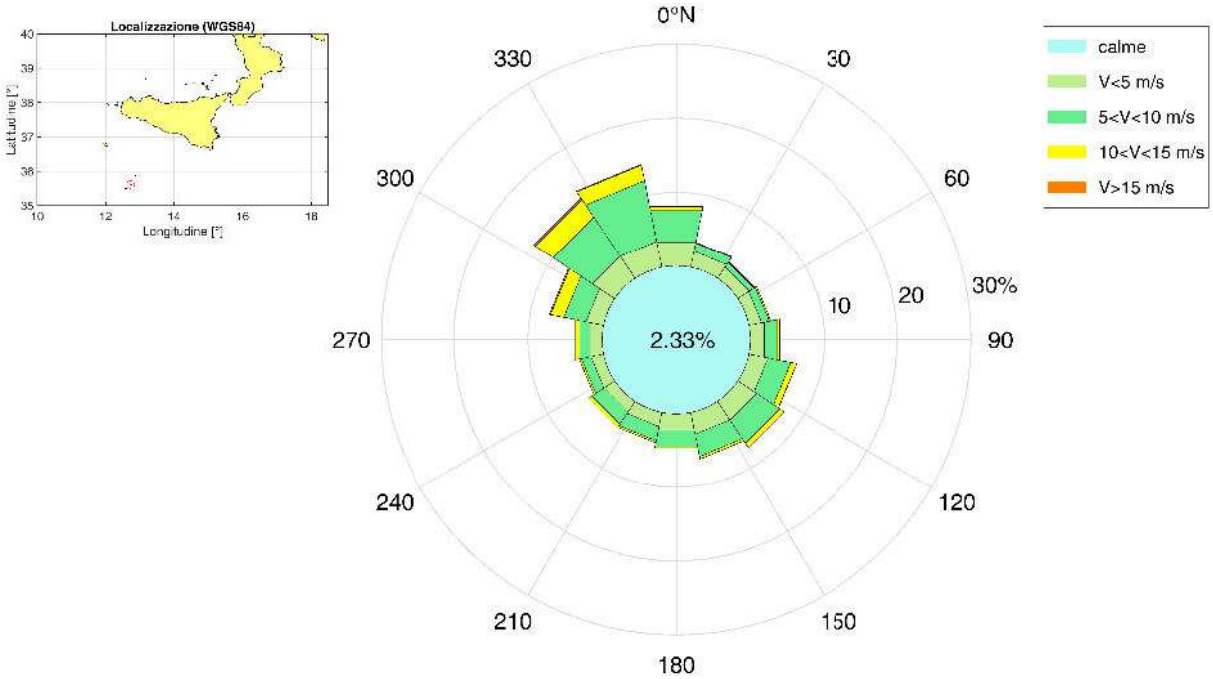


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.16	3.51	4.37	0.58	0.01
22.5	0.15	2.22	1.16	0.10	0.01
45.0	0.14	1.81	0.77	0.11	-
67.5	0.14	1.74	1.04	0.21	0.01
90.0	0.14	2.08	1.74	0.42	0.01
112.5	0.15	2.62	3.13	0.79	0.02
135.0	0.14	3.05	3.73	0.70	0.02
157.5	0.14	2.99	3.07	0.35	-
180.0	0.14	2.42	2.34	0.11	-
202.5	0.14	1.94	1.97	0.27	-
225.0	0.14	1.74	1.95	0.54	0.01
247.5	0.15	1.72	1.33	0.29	0.01
270.0	0.15	1.83	1.44	0.54	0.05
292.5	0.14	2.44	3.02	1.84	0.17
315.0	0.16	3.57	6.44	2.87	0.20
337.5	0.14	3.58	8.40	2.15	0.11

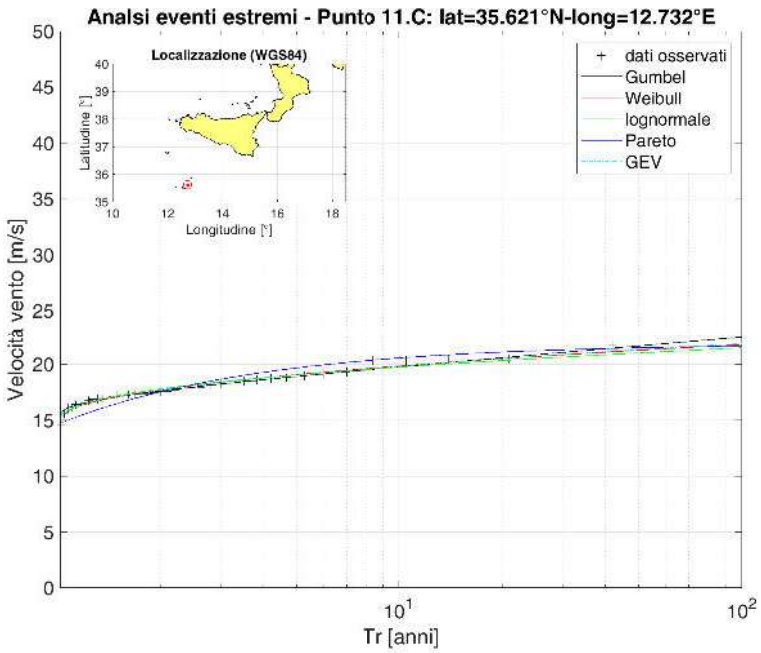


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05933	0.07078	0.08650	0.20030	0.06191

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.876	17.207	3.309	14.934	2.104	2.880	0.081	14.627	5.381	-0.740	17.250	1.298	0.115

Tabella 12: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.63	17.71	17.81	17.54	17.72
5	18.92	19.08	19.06	19.69	19.04
10	19.77	19.85	19.75	20.57	19.82
50	21.66	21.26	21.02	21.49	21.33
100	22.46	21.77	21.49	21.65	21.88
500	24.30	22.82	22.47	21.82	23.01

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
11.F

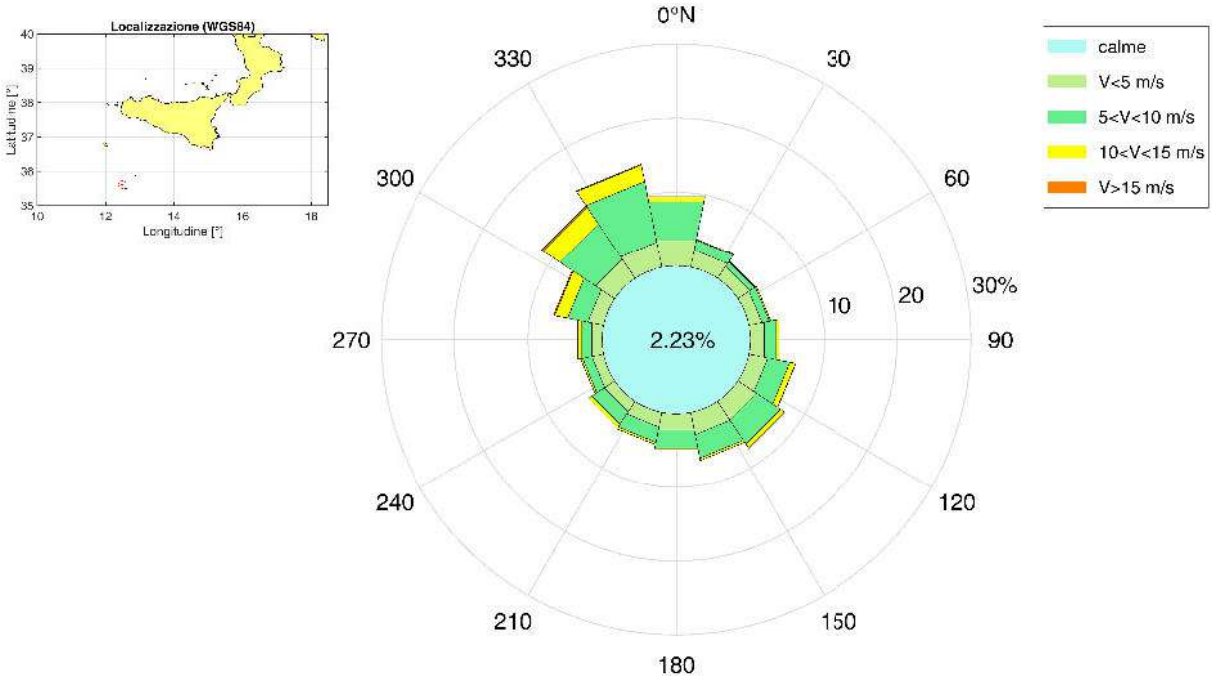


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.17	3.75	5.33	0.71	0.01
22.5	0.14	2.40	1.40	0.11	0.01
45.0	0.14	1.91	0.82	0.10	-
67.5	0.14	1.78	1.01	0.19	0.01
90.0	0.14	2.09	1.64	0.38	0.01
112.5	0.15	2.60	3.03	0.79	0.02
135.0	0.13	3.09	3.80	0.69	0.02
157.5	0.14	3.06	3.24	0.31	-
180.0	0.13	2.43	2.50	0.11	-
202.5	0.13	2.01	2.11	0.31	-
225.0	0.13	1.70	1.98	0.56	0.01
247.5	0.13	1.61	1.27	0.27	0.01
270.0	0.14	1.65	1.33	0.52	0.04
292.5	0.14	2.17	2.77	1.78	0.14
315.0	0.15	3.14	5.76	2.77	0.21
337.5	0.13	3.50	8.38	2.28	0.11

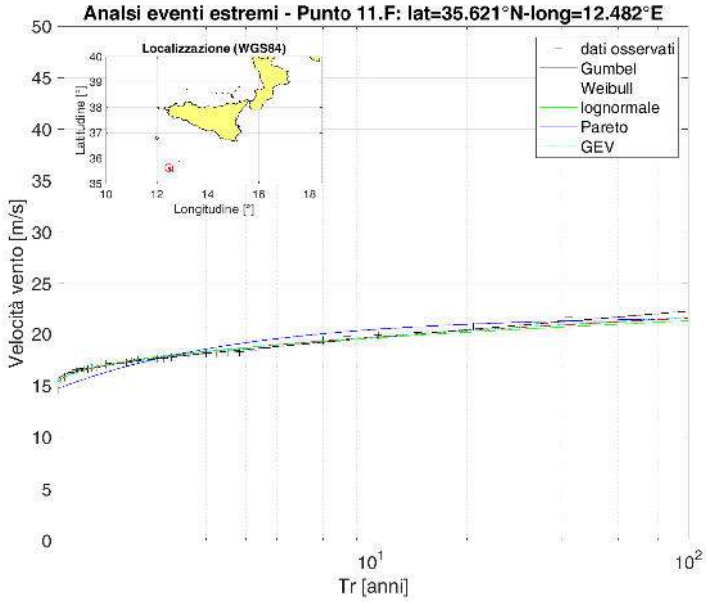


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05051	0.07332	0.08320	0.20829	0.06613

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.905	17.147	3.260	14.898	2.144	2.875	0.079	14.595	5.283	-0.740	17.192	1.265	0.122

Tabella 16: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.55	17.64	17.73	17.46	17.65
5	18.80	18.97	18.94	19.56	18.93
10	19.63	19.71	19.61	20.43	19.68
50	21.46	21.06	20.84	21.34	21.12
100	22.23	21.54	21.29	21.50	21.65
500	24.01	22.54	22.24	21.66	22.70

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
11.E

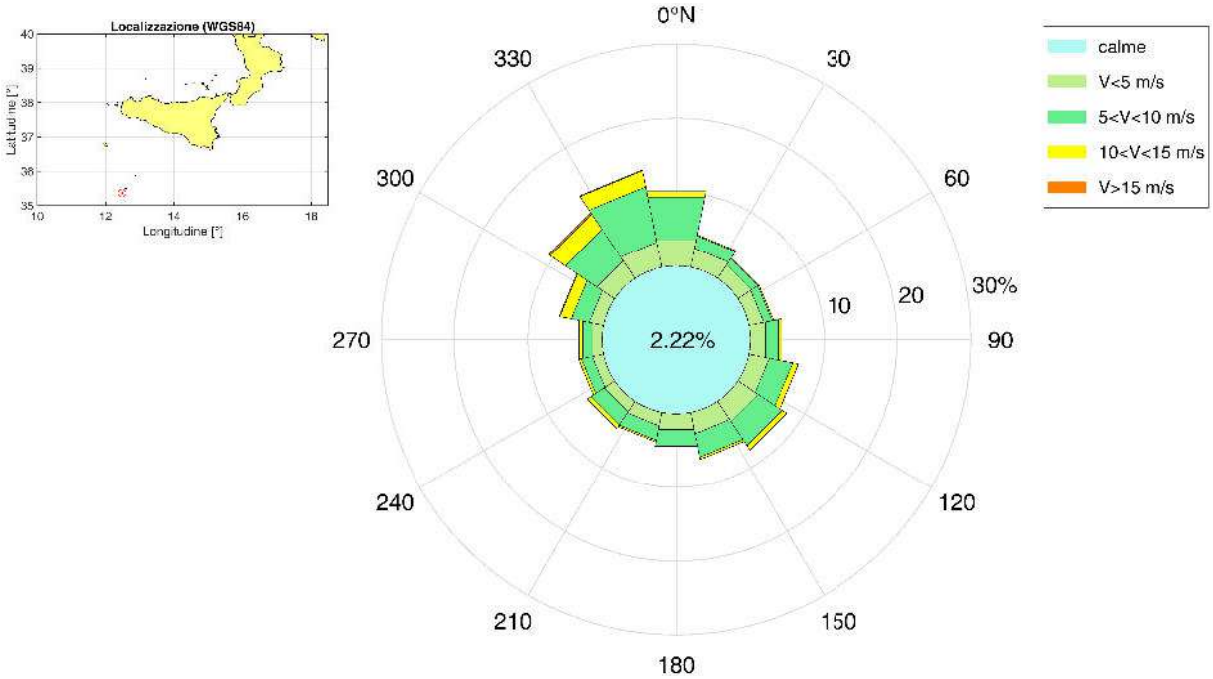


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 17: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.17	3.79	5.93	0.80	0.01
22.5	0.14	2.64	1.73	0.14	0.01
45.0	0.15	2.16	1.01	0.11	-
67.5	0.13	2.05	1.14	0.19	0.01
90.0	0.14	2.30	1.78	0.37	0.01
112.5	0.15	2.79	3.22	0.77	0.02
135.0	0.14	3.24	3.92	0.72	0.02
157.5	0.13	2.95	3.23	0.31	-
180.0	0.13	2.32	2.33	0.10	-
202.5	0.13	1.85	1.99	0.24	-
225.0	0.13	1.65	2.20	0.61	0.01
247.5	0.13	1.55	1.50	0.39	0.01
270.0	0.14	1.54	1.32	0.48	0.03
292.5	0.15	1.97	2.47	1.56	0.11
315.0	0.14	2.88	5.14	2.52	0.18
337.5	0.13	3.48	7.66	2.22	0.10

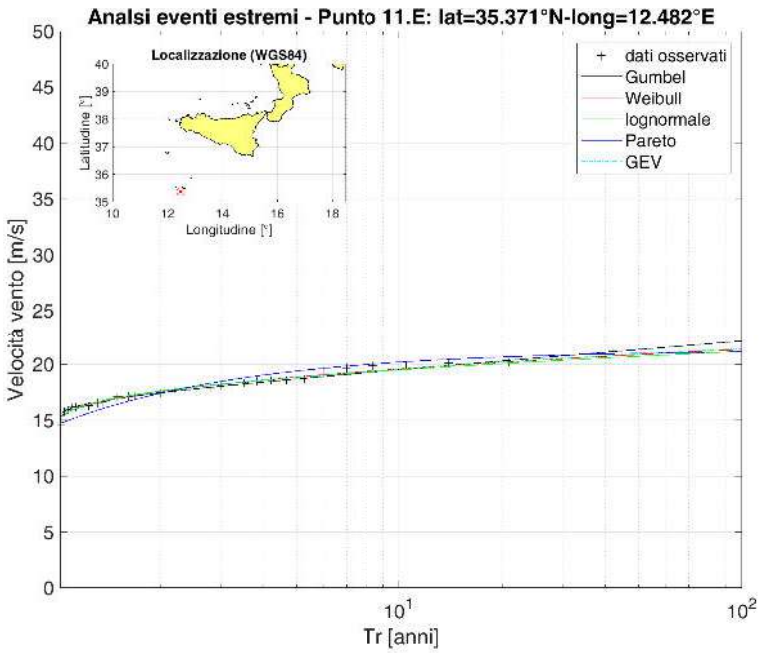


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 18: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05632	0.05310	0.06231	0.19146	0.05436

Tabella 19: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.908	17.048	3.408	14.664	2.263	2.870	0.079	14.616	5.235	-0.781	17.102	1.282	0.141

Tabella 20: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.45	17.56	17.63	17.42	17.56
5	18.70	18.87	18.84	19.41	18.83
10	19.52	19.59	19.51	20.21	19.57
50	21.34	20.89	20.73	21.00	20.95
100	22.11	21.36	21.18	21.13	21.44
500	23.89	22.30	22.13	21.27	22.40

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
11.D

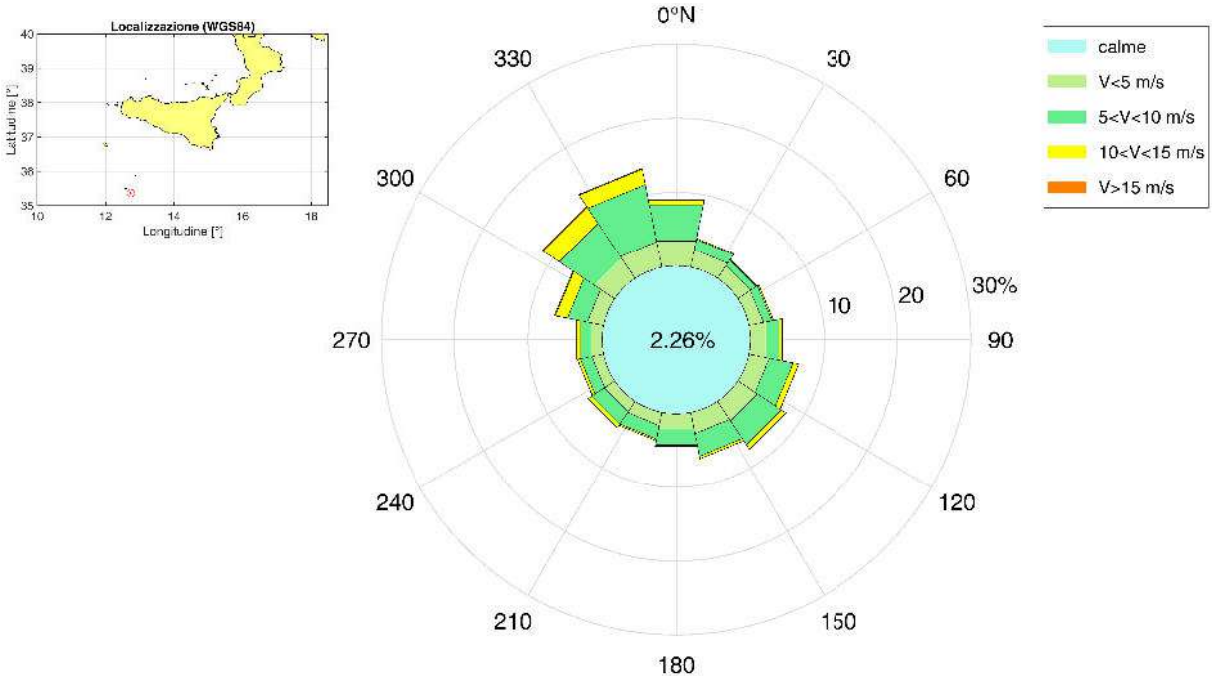


Figura 11: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 21: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.17	3.67	4.99	0.64	0.01
22.5	0.14	2.46	1.43	0.13	0.01
45.0	0.15	2.05	0.95	0.12	-
67.5	0.14	1.98	1.17	0.21	0.01
90.0	0.14	2.34	1.83	0.39	0.01
112.5	0.13	2.78	3.28	0.77	0.02
135.0	0.15	3.15	3.88	0.75	0.02
157.5	0.14	2.92	3.12	0.35	-
180.0	0.13	2.25	2.25	0.10	-
202.5	0.13	1.80	1.87	0.21	-
225.0	0.14	1.66	2.09	0.56	0.01
247.5	0.14	1.61	1.56	0.42	0.01
270.0	0.13	1.71	1.45	0.51	0.05
292.5	0.14	2.25	2.71	1.66	0.13
315.0	0.15	3.30	5.68	2.60	0.20
337.5	0.14	3.55	7.89	2.14	0.10

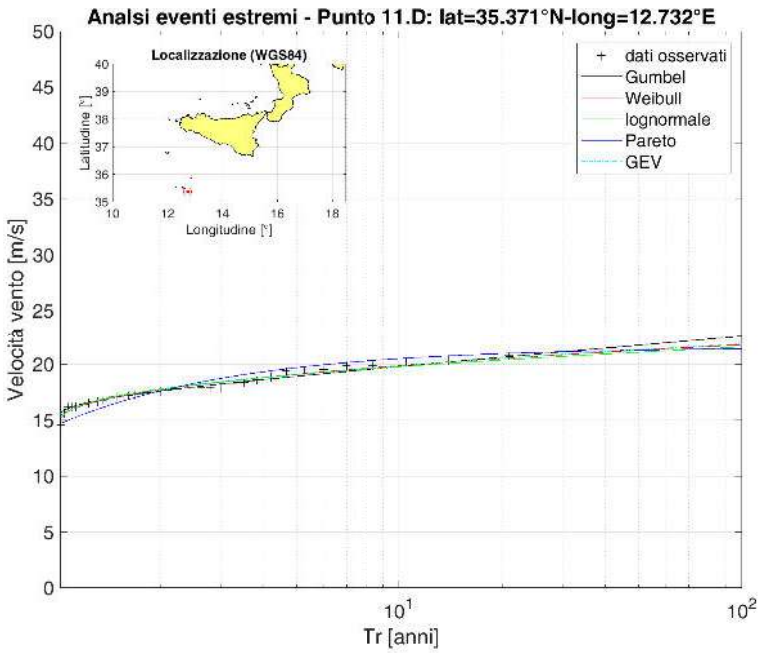


Figura 12: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 22: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07553	0.09530	0.11008	0.20140	0.09126

Tabella 23: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.859	17.192	3.547	14.722	2.224	2.879	0.083	14.586	5.763	-0.826	17.246	1.348	0.135

Tabella 24: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.62	17.73	17.80	17.63	17.73
5	18.94	19.12	19.08	19.72	19.08
10	19.81	19.88	19.79	20.52	19.86
50	21.73	21.27	21.09	21.29	21.33
100	22.54	21.77	21.57	21.41	21.86
500	24.42	22.79	22.58	21.52	22.91

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
11.A

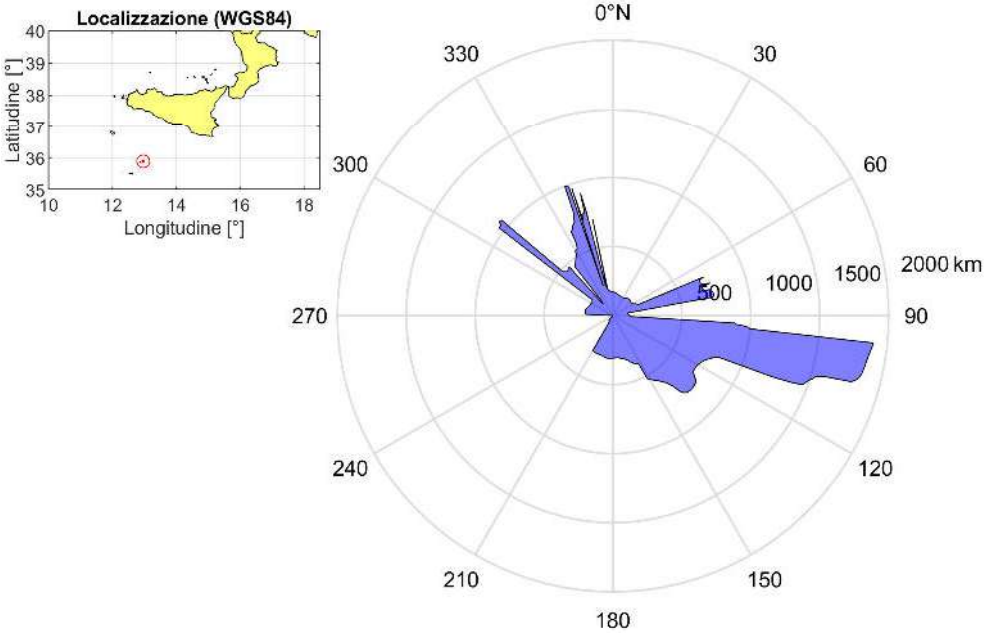


Figura 13: Fetch geografico.

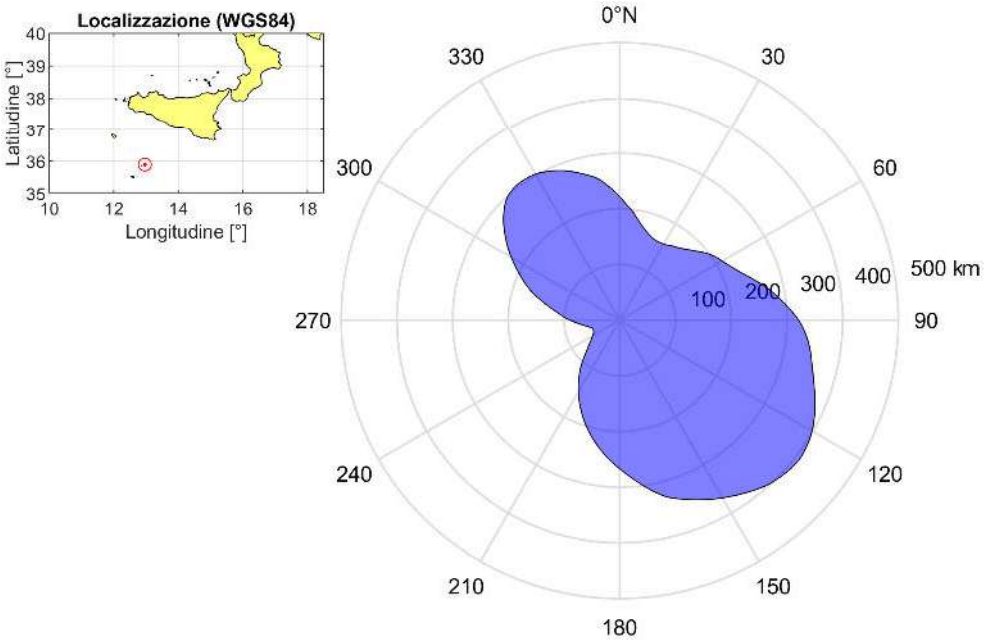


Figura 14: Fetch efficace.

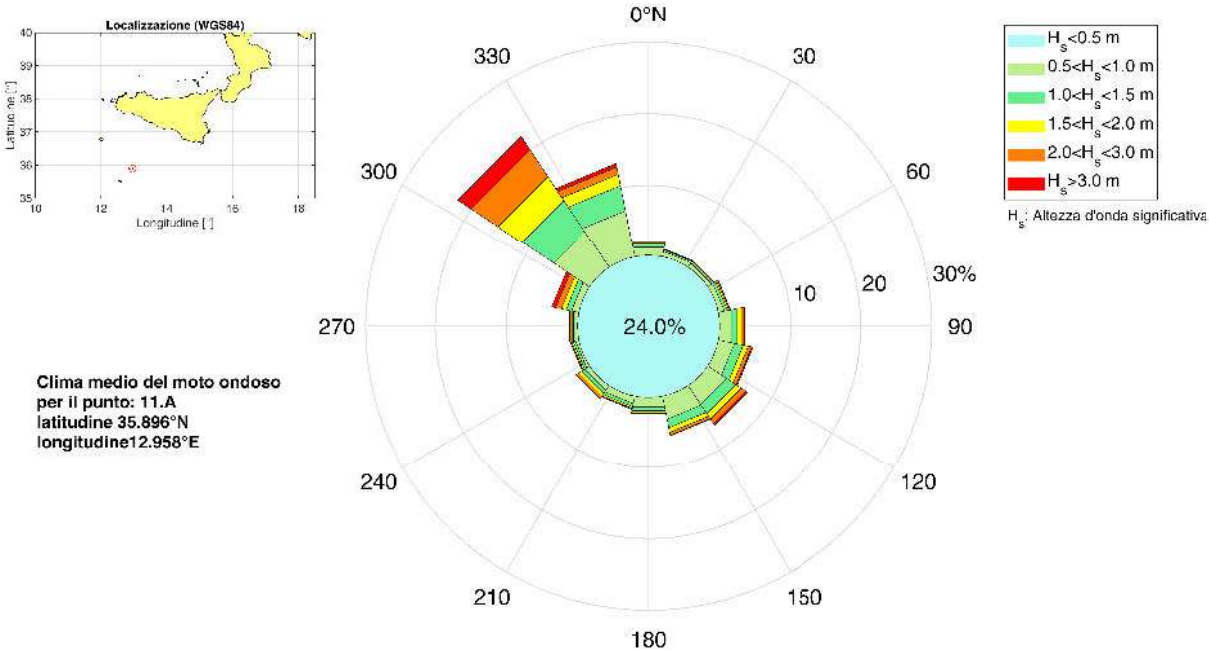


Figura 15: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 25: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.65	1.34	0.49	0.19	0.12	0.03
22.5	0.92	0.73	0.22	0.10	0.05	0.01
45.0	0.82	0.68	0.20	0.12	0.06	0.01
67.5	0.87	0.86	0.43	0.22	0.18	0.05
90.0	1.44	1.85	0.85	0.56	0.34	0.17
112.5	1.54	2.32	1.25	0.72	0.49	0.19
135.0	2.01	3.13	1.58	0.94	0.75	0.28
157.5	2.49	3.29	1.24	0.65	0.41	0.08
180.0	1.78	1.49	0.61	0.24	0.09	0.01
202.5	0.88	1.06	0.44	0.27	0.13	0.01
225.0	0.54	0.77	0.61	0.42	0.42	0.05
247.5	0.41	0.49	0.35	0.23	0.15	0.04
270.0	0.42	0.47	0.32	0.21	0.19	0.11
292.5	0.57	1.06	0.78	0.68	0.81	0.55
315.0	2.50	6.04	5.43	4.02	4.50	2.27
337.5	5.16	6.74	3.59	1.61	1.03	0.51

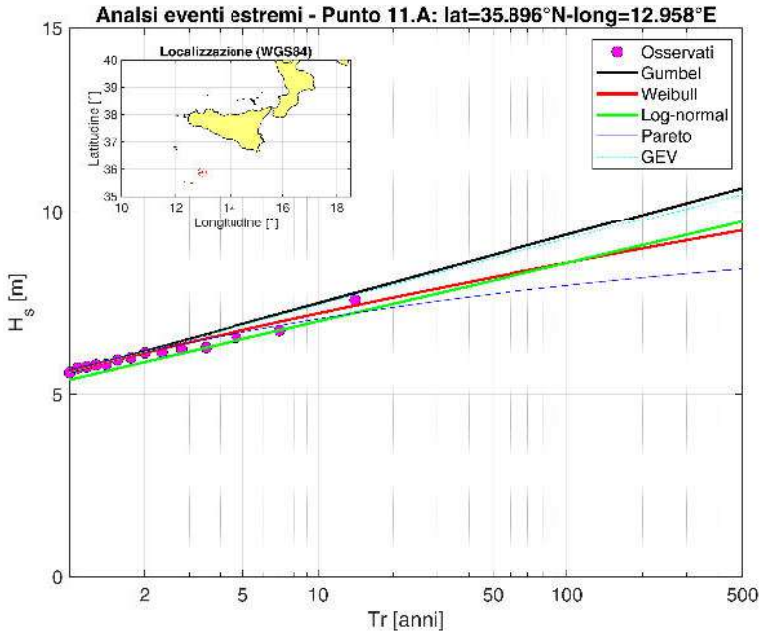


Figura 16: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 26: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	511	36.500	3.172	1.039	7.57
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04714	0.05002	0.05381	0.05974	0.07165
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09006	0.08903	0.08316	0.04503	0.09192

Tabella 27: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.235	2.705	1.676	1.657	1.484	1.107	0.301	2.000	1.385	-0.179	2.706	0.817	0.006

Tabella 28: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.17	6.13	5.88	6.15	6.16
5	6.92	6.75	6.51	6.70	6.89
10	7.48	7.20	6.99	7.05	7.44
50	8.79	8.18	8.09	7.73	8.70
100	9.35	8.58	8.57	7.96	9.24
500	10.65	9.47	9.71	8.41	10.48

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
11.B

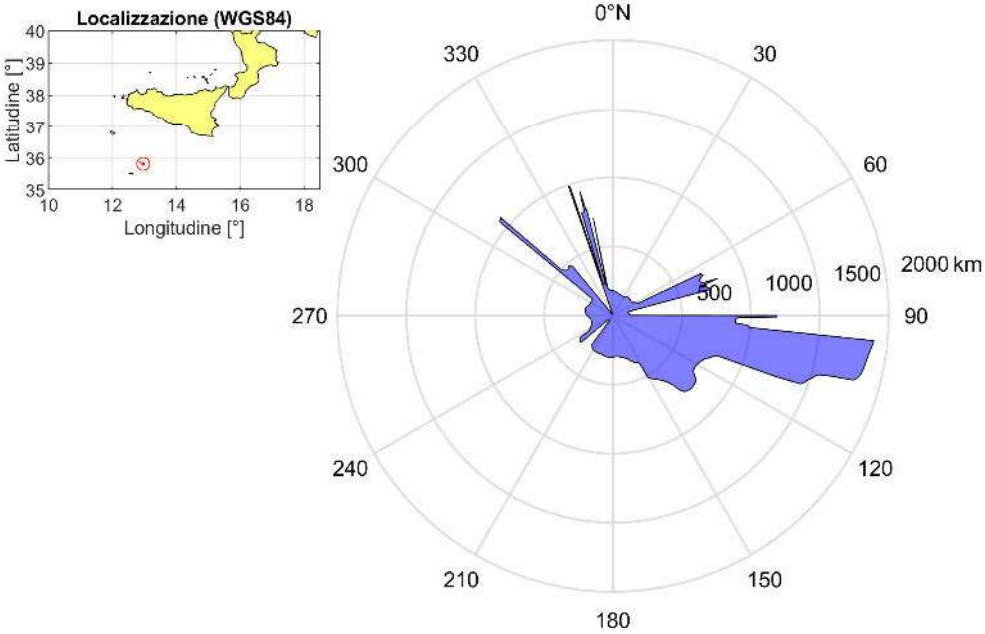


Figura 17: Fetch geografico.

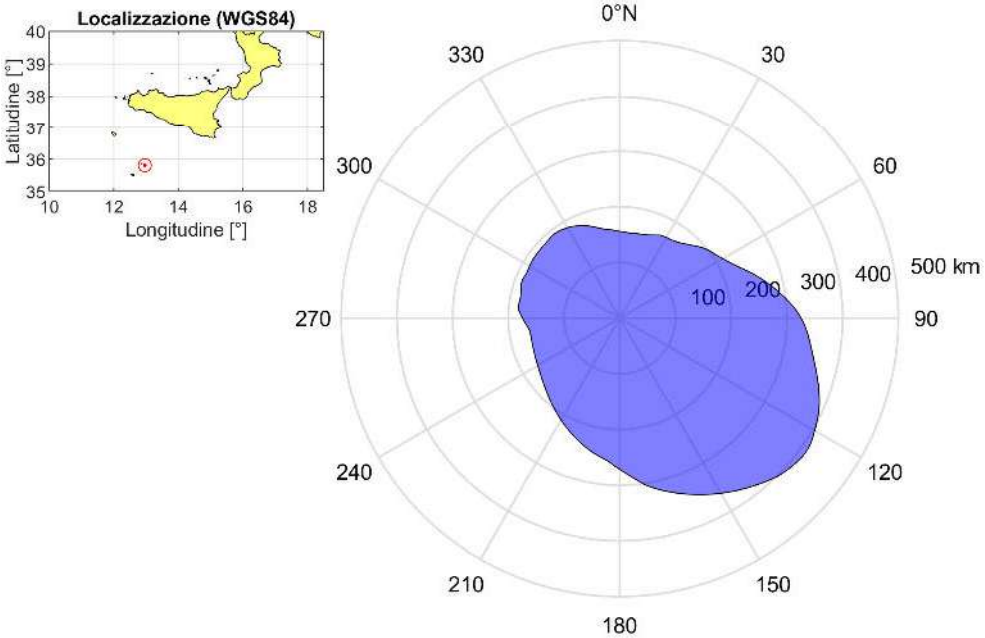


Figura 18: Fetch efficace.

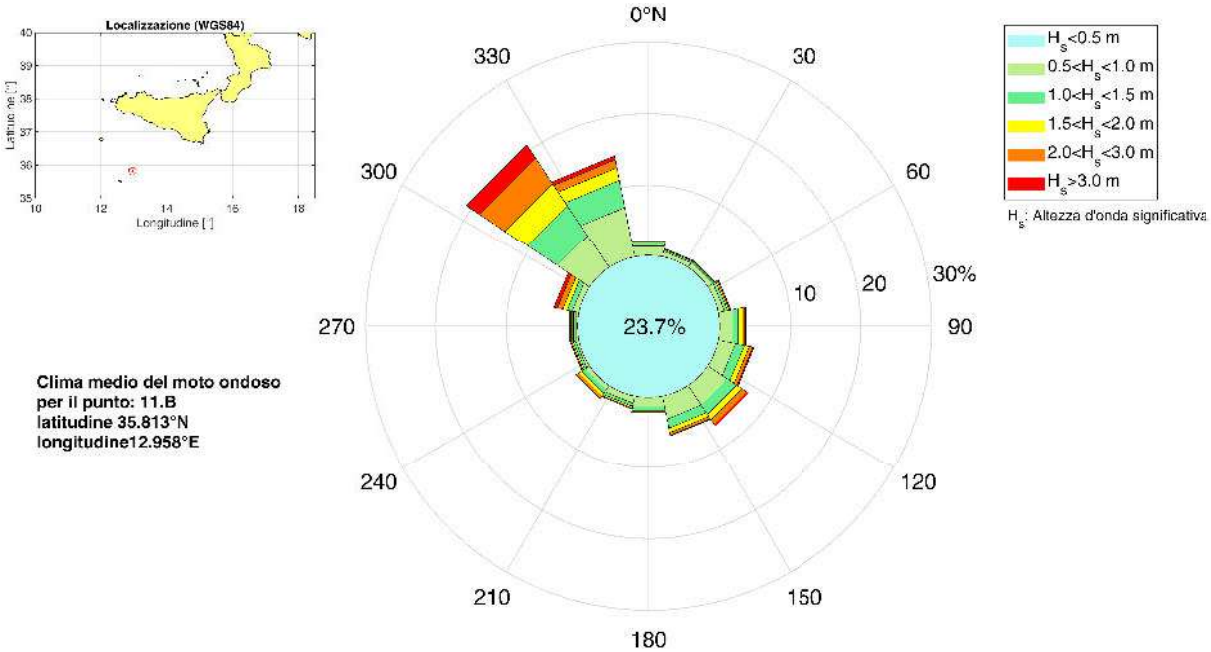


Figura 19: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 29: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.79	1.50	0.53	0.20	0.12	0.03
22.5	0.96	0.76	0.23	0.12	0.06	0.01
45.0	0.88	0.75	0.24	0.13	0.06	0.02
67.5	0.93	0.89	0.44	0.23	0.19	0.05
90.0	1.45	2.00	0.85	0.58	0.34	0.17
112.5	1.60	2.46	1.27	0.70	0.49	0.19
135.0	2.06	3.24	1.62	0.96	0.78	0.29
157.5	2.53	3.30	1.28	0.64	0.39	0.08
180.0	1.59	1.47	0.60	0.24	0.08	0.02
202.5	0.78	1.05	0.42	0.27	0.12	0.01
225.0	0.52	0.77	0.60	0.43	0.41	0.05
247.5	0.37	0.48	0.35	0.23	0.16	0.05
270.0	0.40	0.45	0.32	0.22	0.19	0.10
292.5	0.54	0.96	0.72	0.64	0.75	0.51
315.0	2.15	5.43	5.06	3.79	4.37	2.22
337.5	5.17	7.20	3.89	1.81	1.13	0.55

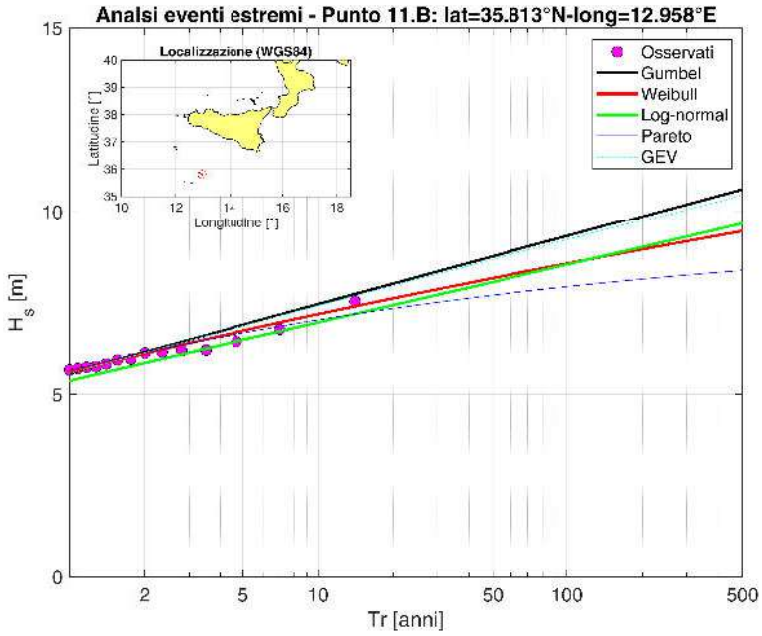


Figura 20: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 30: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	505	36.071	3.169	1.036	7.54
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04742	0.05031	0.05413	0.06009	0.07207
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08996	0.08833	0.08306	0.04242	0.09168

Tabella 31: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.239	2.704	1.667	1.662	1.481	1.106	0.301	2.000	1.384	-0.180	2.705	0.813	0.006

Tabella 32: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.15	6.11	5.86	6.13	6.14
5	6.89	6.73	6.48	6.67	6.87
10	7.45	7.18	6.96	7.02	7.41
50	8.75	8.16	8.05	7.70	8.67
100	9.31	8.56	8.53	7.93	9.21
500	10.61	9.45	9.66	8.37	10.45

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
11.C

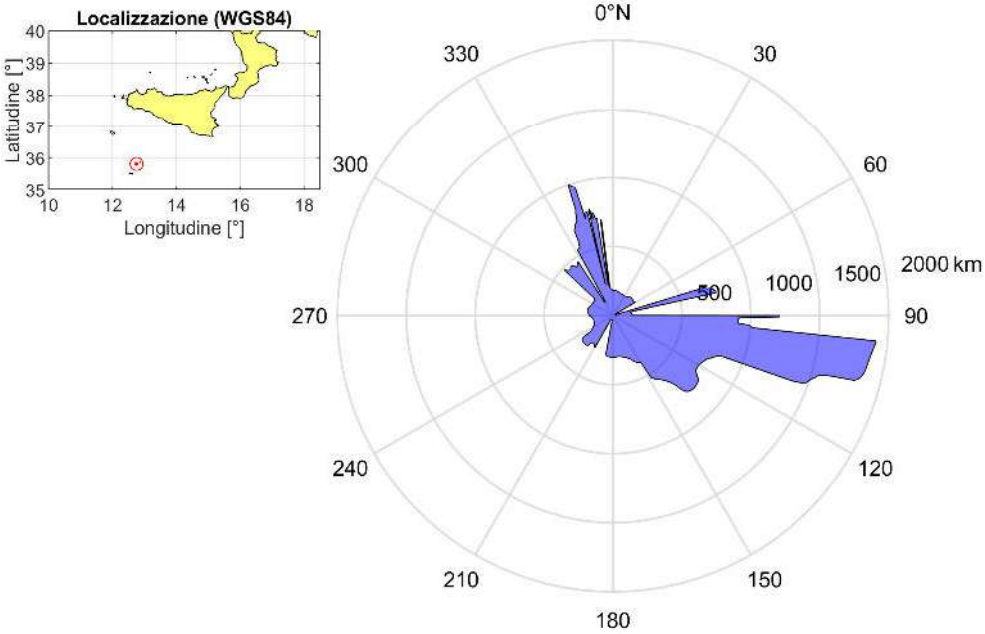


Figura 21: Fetch geografico.

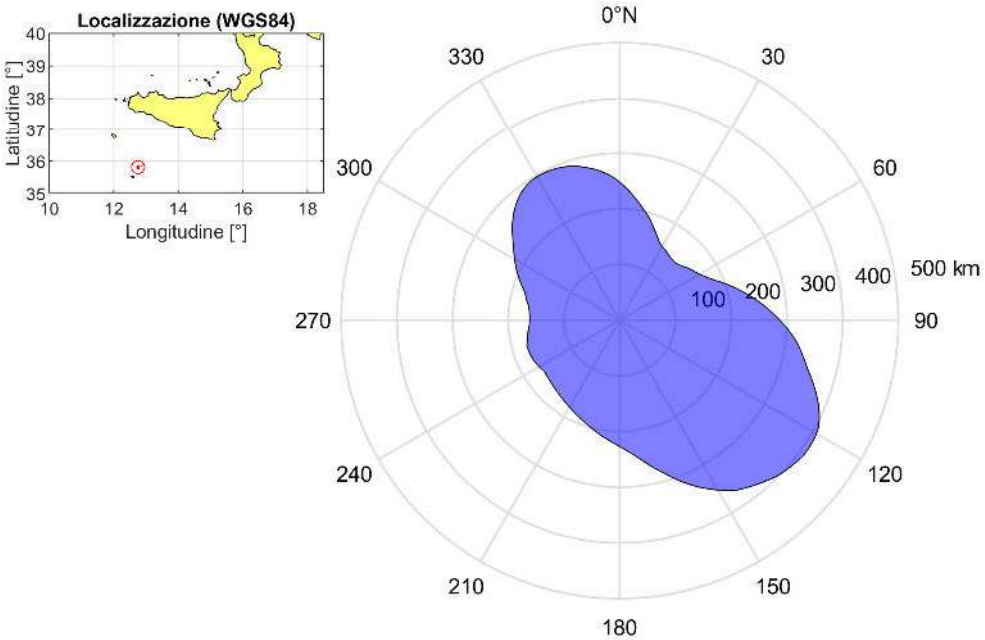


Figura 22: Fetch efficace.

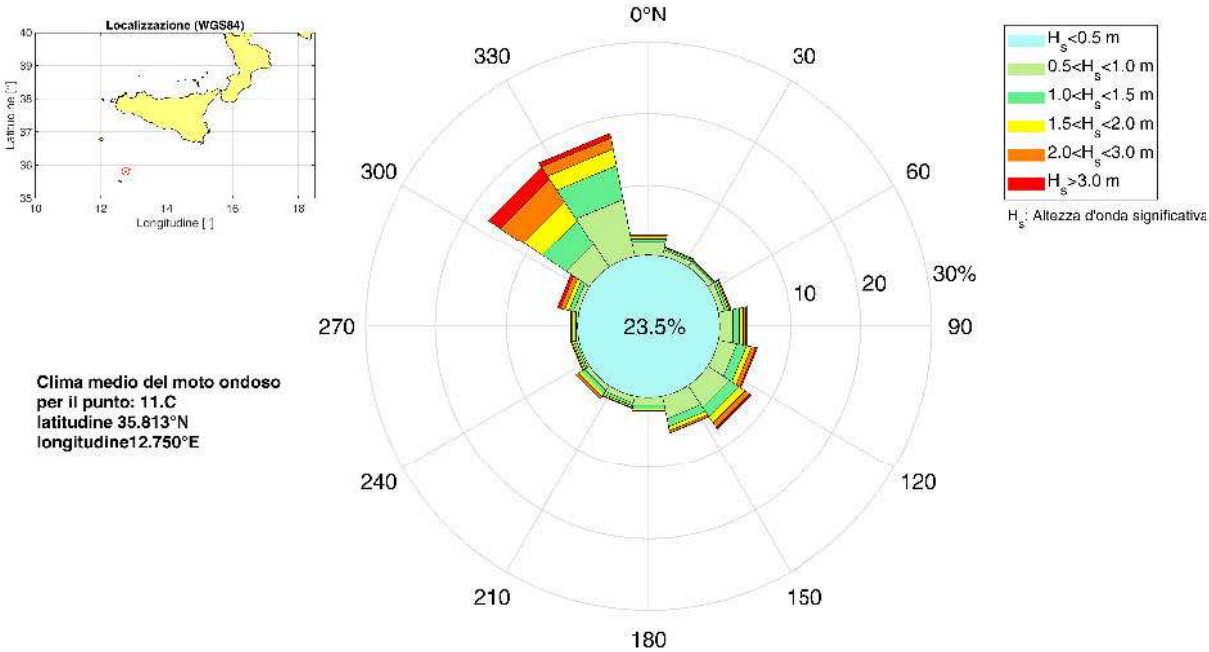


Figura 23: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 33: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.38	2.02	0.74	0.30	0.17	0.04
22.5	1.20	0.91	0.28	0.12	0.07	0.01
45.0	0.90	0.74	0.25	0.12	0.07	0.01
67.5	0.99	0.96	0.42	0.24	0.18	0.05
90.0	1.43	2.08	0.94	0.56	0.33	0.17
112.5	1.74	2.66	1.39	0.73	0.58	0.22
135.0	2.29	3.64	1.69	0.98	0.76	0.28
157.5	2.61	3.23	1.14	0.55	0.32	0.04
180.0	1.38	1.28	0.57	0.20	0.07	0.01
202.5	0.70	1.00	0.40	0.23	0.11	0.01
225.0	0.46	0.80	0.61	0.42	0.35	0.03
247.5	0.34	0.41	0.33	0.23	0.15	0.02
270.0	0.33	0.41	0.30	0.20	0.16	0.08
292.5	0.41	0.78	0.63	0.61	0.66	0.43
315.0	1.34	3.96	4.06	3.25	3.80	2.04
337.5	5.06	8.39	4.80	2.39	1.55	0.67

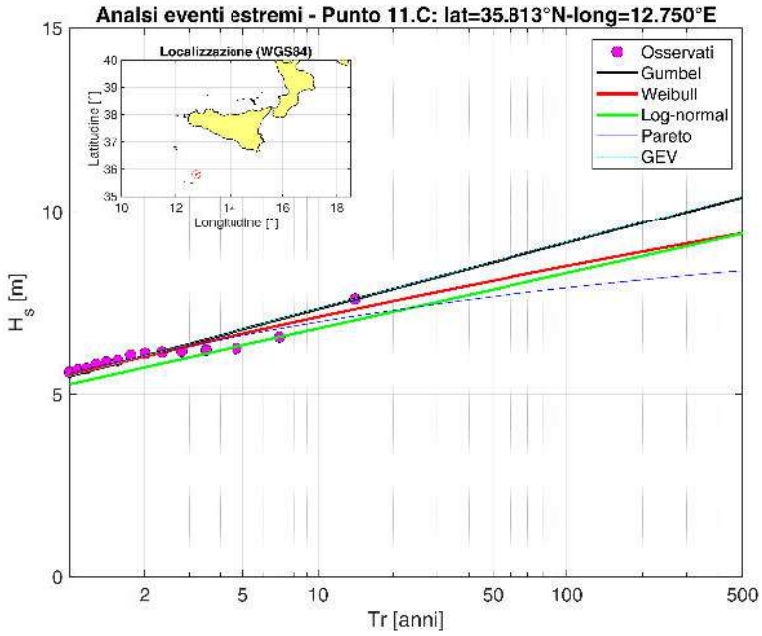


Figura 24: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 34: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	502	35.857	3.141	1.010	7.59
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04756	0.05046	0.05429	0.06027	0.07229
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08996	0.08373	0.08592	0.03356	0.08980

Tabella 35: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.270	2.687	1.586	1.703	1.446	1.099	0.295	2.000	1.339	-0.171	2.686	0.787	-0.001

Tabella 36: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.05	6.03	5.74	6.06	6.05
5	6.77	6.66	6.34	6.61	6.78
10	7.32	7.10	6.79	6.97	7.33
50	8.59	8.09	7.85	7.66	8.60
100	9.13	8.49	8.30	7.90	9.15
500	10.40	9.39	9.38	8.36	10.43

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
11.D

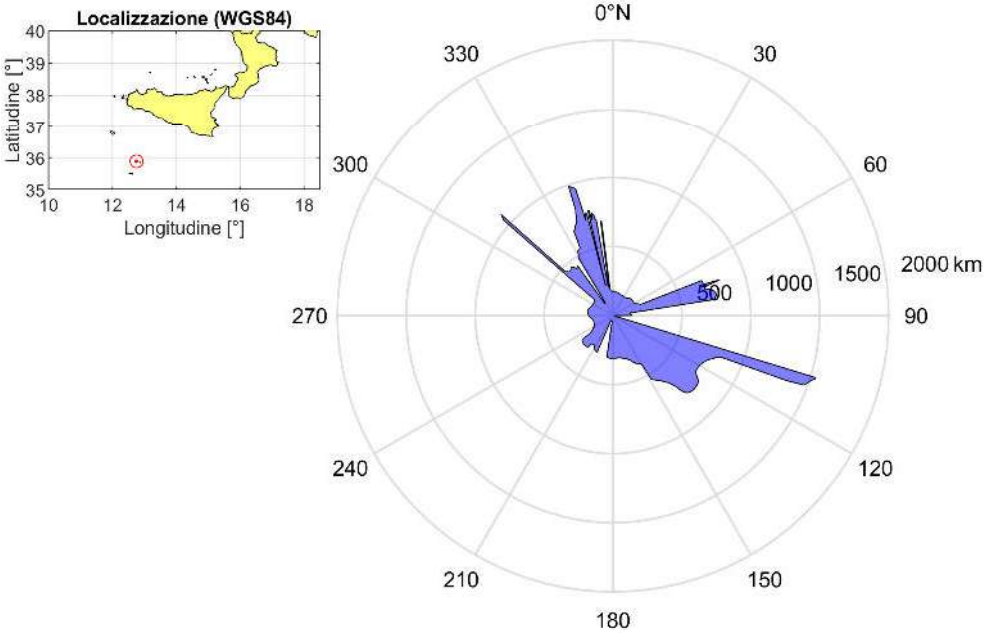


Figura 25: Fetch geografico.

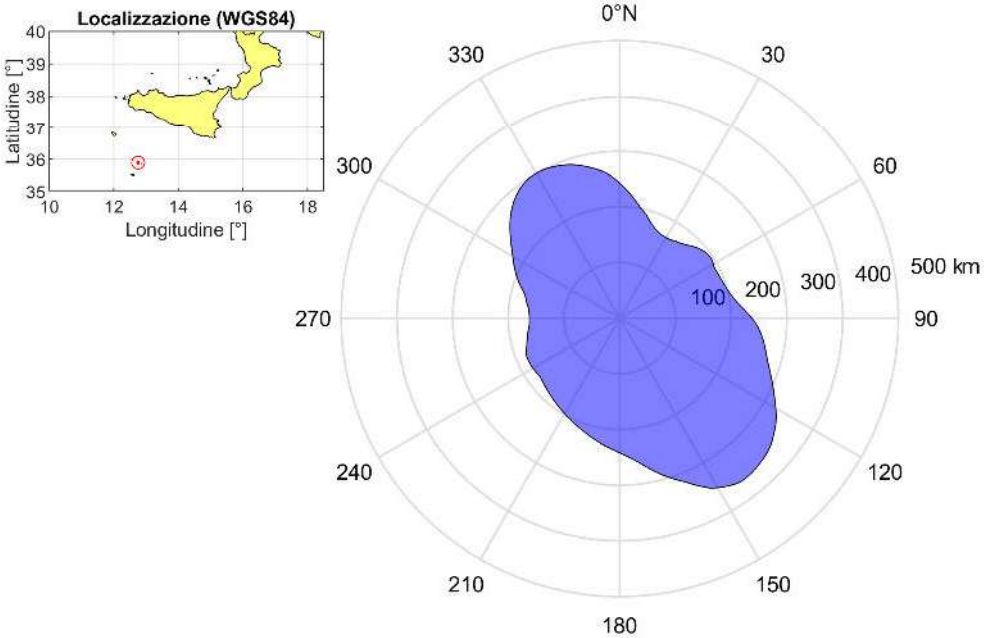


Figura 26: Fetch efficace.

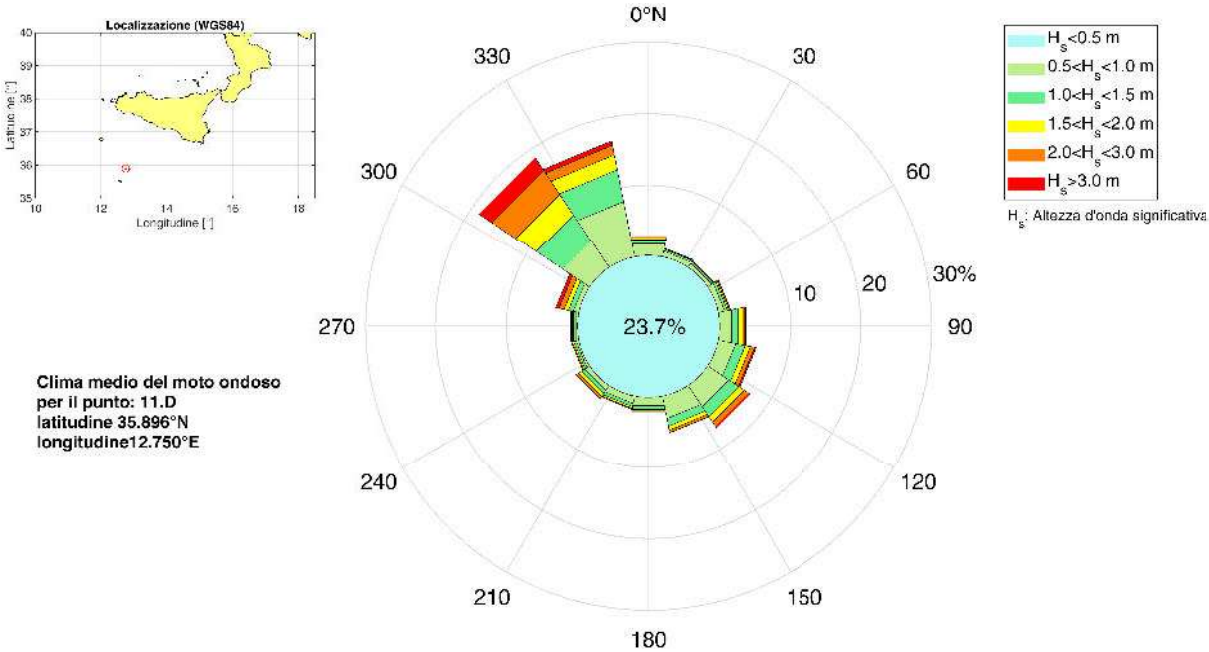


Figura 27: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 37: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.25	1.87	0.69	0.28	0.16	0.04
22.5	1.10	0.81	0.26	0.12	0.06	0.01
45.0	0.85	0.68	0.22	0.11	0.06	0.01
67.5	0.95	0.91	0.41	0.21	0.17	0.05
90.0	1.37	1.94	0.92	0.57	0.34	0.17
112.5	1.65	2.50	1.35	0.77	0.57	0.23
135.0	2.13	3.55	1.66	0.95	0.73	0.28
157.5	2.67	3.20	1.10	0.57	0.34	0.04
180.0	1.52	1.32	0.59	0.22	0.07	0.01
202.5	0.82	1.06	0.47	0.25	0.12	0.01
225.0	0.49	0.79	0.60	0.43	0.38	0.04
247.5	0.37	0.42	0.33	0.20	0.15	0.03
270.0	0.36	0.44	0.31	0.20	0.19	0.09
292.5	0.44	0.80	0.69	0.63	0.72	0.47
315.0	1.59	4.51	4.49	3.50	4.09	2.09
337.5	5.10	8.05	4.54	2.13	1.36	0.63

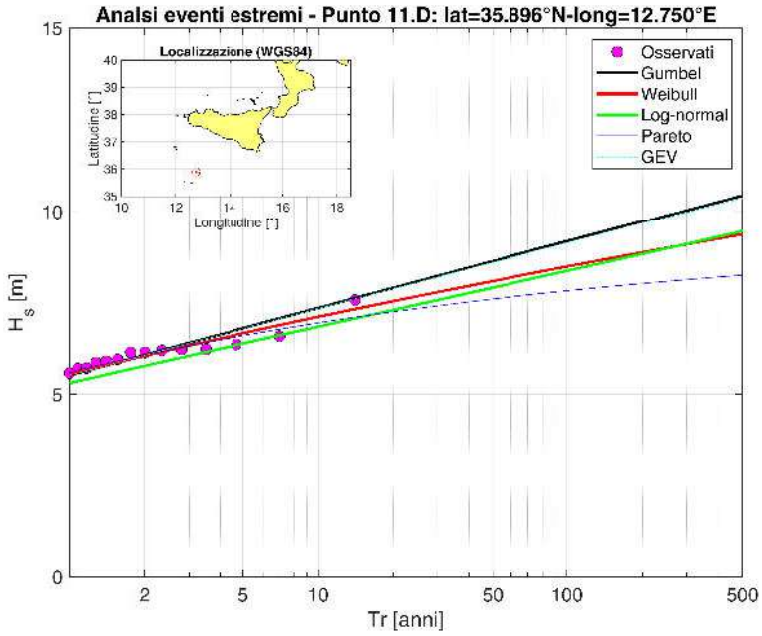


Figura 28: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 38: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	503	35.929	3.159	1.014	7.57
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04751	0.05041	0.05423	0.06021	0.07222
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08584	0.08038	0.07987	0.03657	0.08668

Tabella 39: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.266	2.703	1.613	1.699	1.464	1.105	0.295	2.000	1.375	-0.184	2.704	0.793	0.003

Tabella 40: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.08	6.05	5.78	6.07	6.07
5	6.80	6.67	6.39	6.60	6.79
10	7.35	7.11	6.84	6.94	7.33
50	8.62	8.08	7.90	7.59	8.59
100	9.17	8.48	8.36	7.82	9.13
500	10.44	9.36	9.44	8.24	10.38

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
11.E

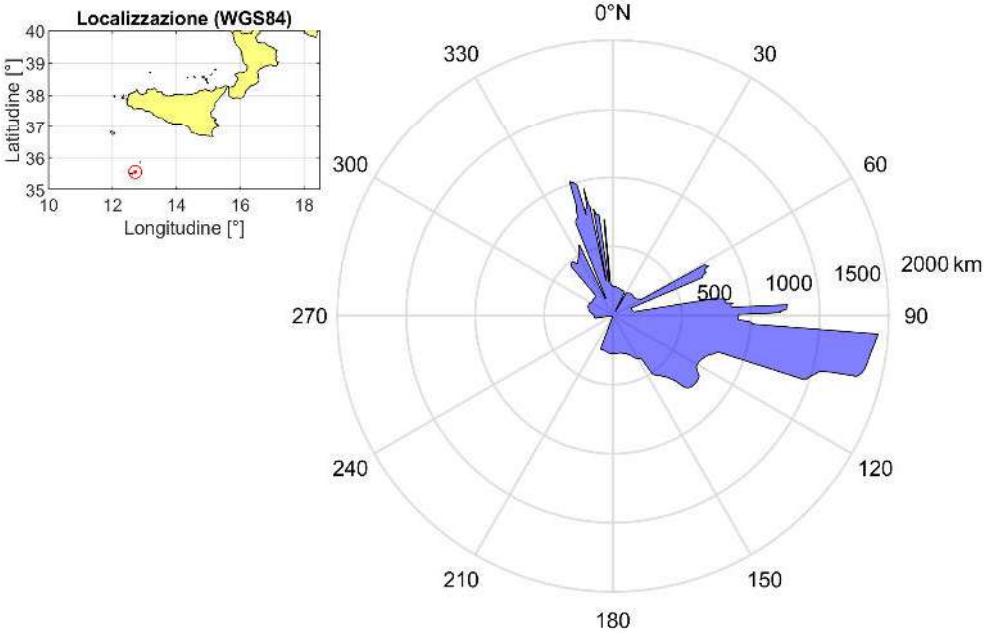


Figura 29: Fetch geografico.

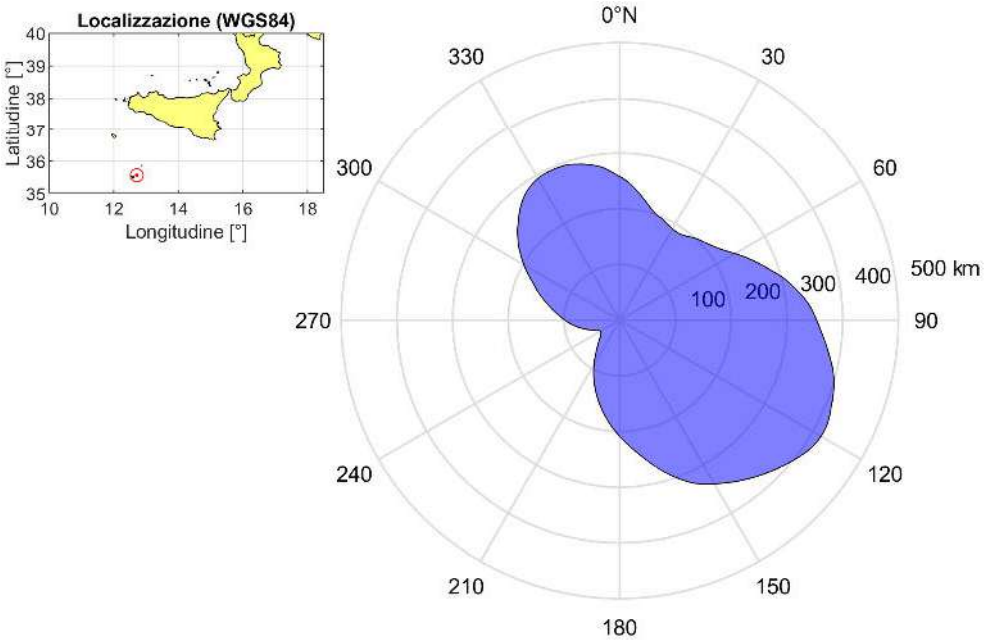


Figura 30: Fetch efficace.

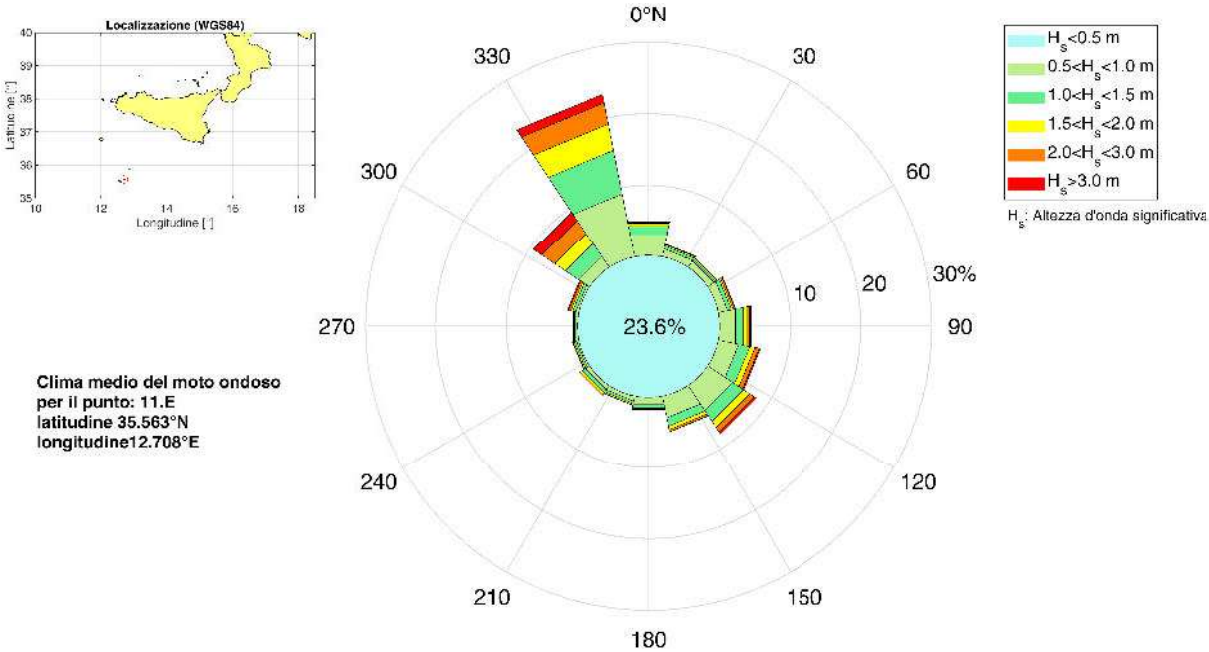


Figura 31: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 41: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.52	3.24	1.27	0.43	0.22	0.06
22.5	1.50	1.14	0.41	0.19	0.10	0.02
45.0	1.15	1.06	0.32	0.15	0.10	0.02
67.5	1.29	1.33	0.56	0.25	0.26	0.07
90.0	1.75	2.42	1.11	0.62	0.33	0.17
112.5	2.11	2.92	1.60	0.74	0.59	0.20
135.0	2.56	4.18	1.87	1.04	0.82	0.29
157.5	2.60	3.11	1.20	0.50	0.29	0.03
180.0	1.05	1.20	0.52	0.15	0.05	0.01
202.5	0.53	0.73	0.35	0.20	0.05	-
225.0	0.27	0.66	0.52	0.34	0.14	0.01
247.5	0.17	0.37	0.32	0.18	0.10	0.01
270.0	0.19	0.28	0.28	0.15	0.08	0.01
292.5	0.29	0.45	0.44	0.27	0.30	0.16
315.0	0.60	1.90	2.13	1.83	2.22	1.44
337.5	3.99	9.13	6.23	3.77	3.01	1.21

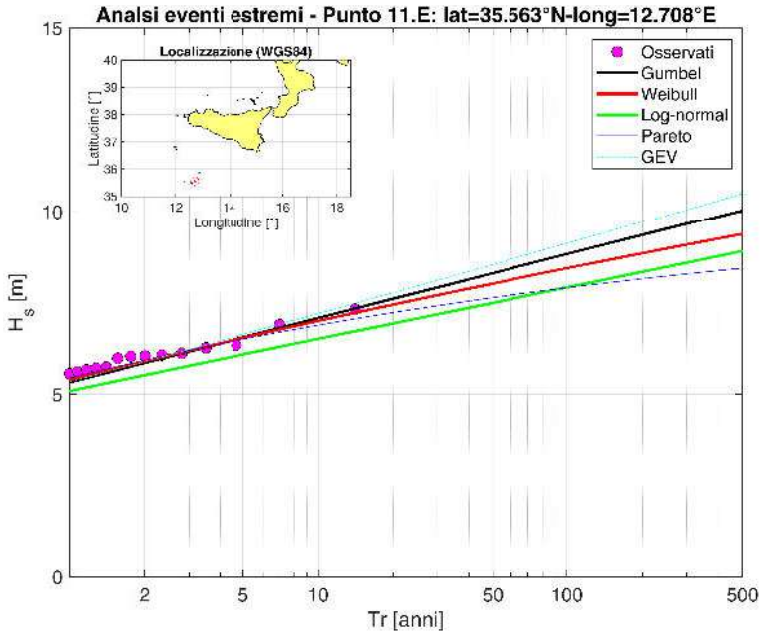


Figura 32: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 42: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	492	35.143	3.085	0.970	7.32
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04804	0.05097	0.05483	0.06088	0.07301
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09359	0.08026	0.09116	0.03690	0.08885

Tabella 43: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.323	2.649	1.431	1.776	1.366	1.083	0.286	2.000	1.248	-0.149	2.646	0.739	-0.017

Tabella 44: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.86	5.90	5.53	5.93	5.90
5	6.55	6.54	6.09	6.50	6.64
10	7.08	7.00	6.51	6.88	7.20
50	8.30	8.01	7.49	7.63	8.53
100	8.82	8.43	7.91	7.90	9.11
500	10.04	9.37	8.90	8.43	10.50

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
11.F

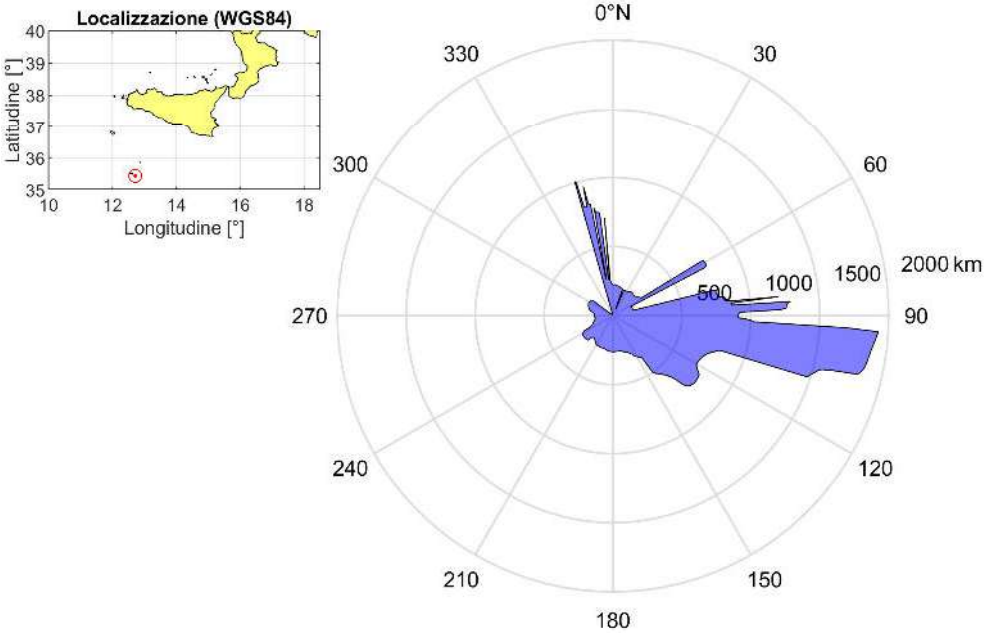


Figura 33: Fetch geografico.

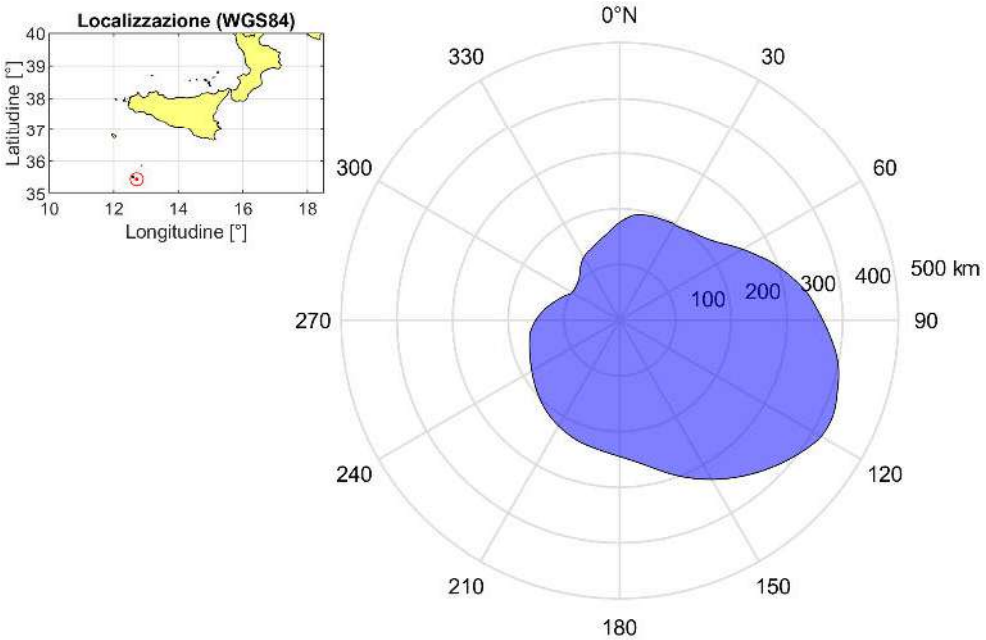


Figura 34: Fetch efficace.

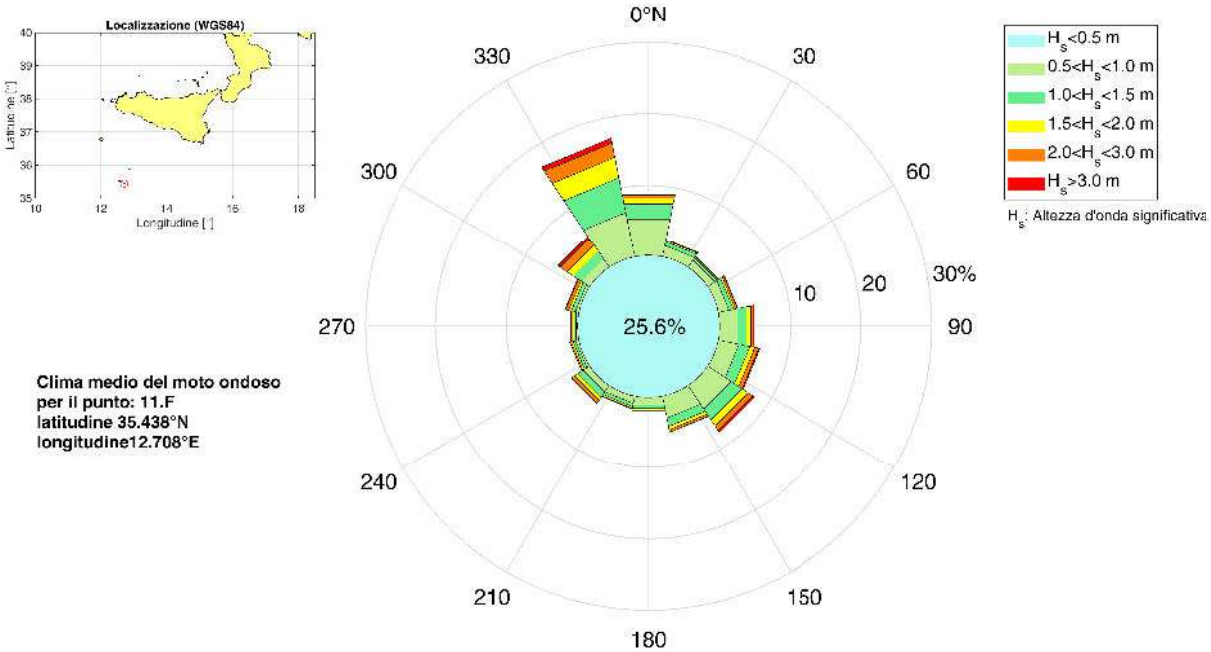


Figura 35: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 45: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.09	5.56	2.17	0.85	0.40	0.10
22.5	2.10	1.59	0.56	0.22	0.09	0.03
45.0	1.49	1.16	0.40	0.20	0.10	0.02
67.5	1.68	1.53	0.63	0.29	0.26	0.08
90.0	2.16	2.72	1.28	0.64	0.33	0.16
112.5	2.36	2.96	1.56	0.71	0.56	0.18
135.0	2.56	3.93	1.86	1.04	0.81	0.29
157.5	2.42	3.14	1.19	0.50	0.32	0.04
180.0	1.11	1.25	0.52	0.20	0.07	0.01
202.5	0.67	1.04	0.47	0.25	0.07	0.02
225.0	0.43	1.07	0.88	0.59	0.50	0.09
247.5	0.29	0.47	0.37	0.29	0.18	0.02
270.0	0.27	0.39	0.31	0.19	0.18	0.05
292.5	0.25	0.50	0.57	0.37	0.43	0.12
315.0	0.39	1.37	1.32	1.07	1.19	0.40
337.5	2.33	6.49	4.96	2.93	2.02	0.69

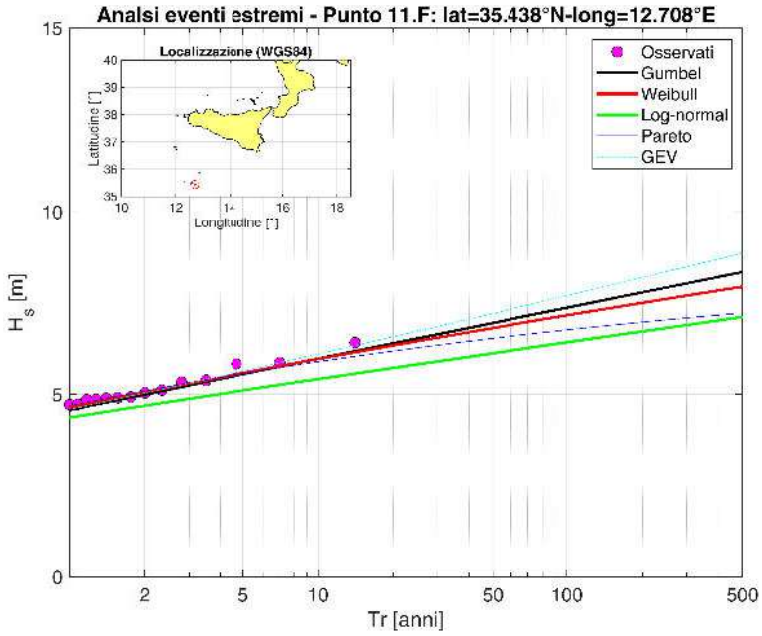


Figura 36: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 46: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	438	31.286	2.865	0.772	6.41
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05089	0.05400	0.05809	0.06450	0.07736
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09303	0.06850	0.10376	0.03516	0.08605

Tabella 47: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.662	2.518	1.105	1.849	1.330	1.021	0.245	2.000	0.987	-0.141	2.515	0.582	-0.024

Tabella 48: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.00	5.06	4.70	5.10	5.04
5	5.56	5.59	5.11	5.57	5.64
10	5.97	5.96	5.42	5.89	6.10
50	6.94	6.80	6.12	6.52	7.20
100	7.36	7.15	6.42	6.76	7.69
500	8.33	7.93	7.11	7.21	8.85

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
11.G

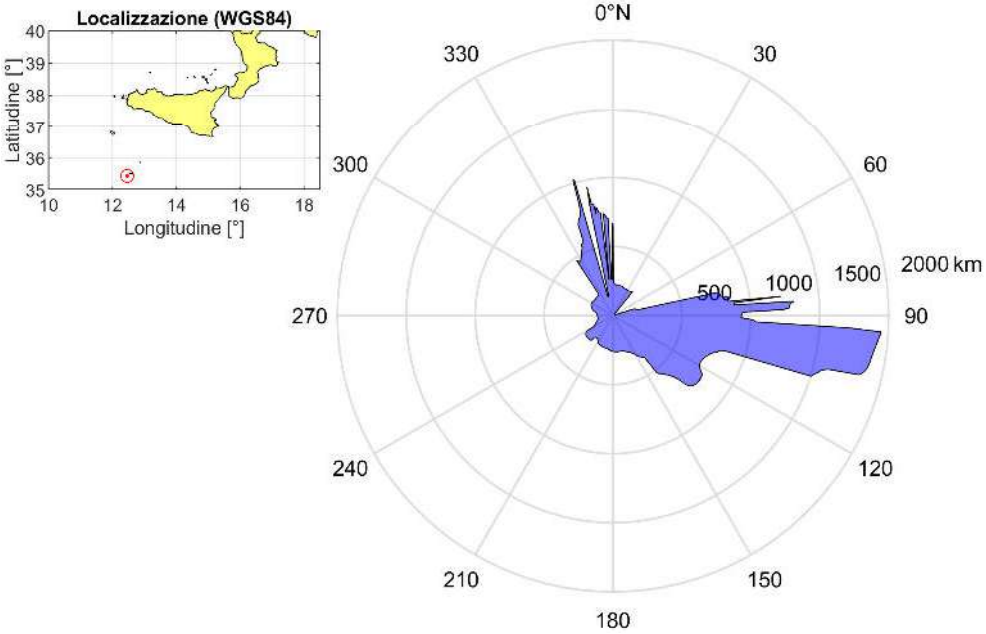


Figura 37: Fetch geografico.

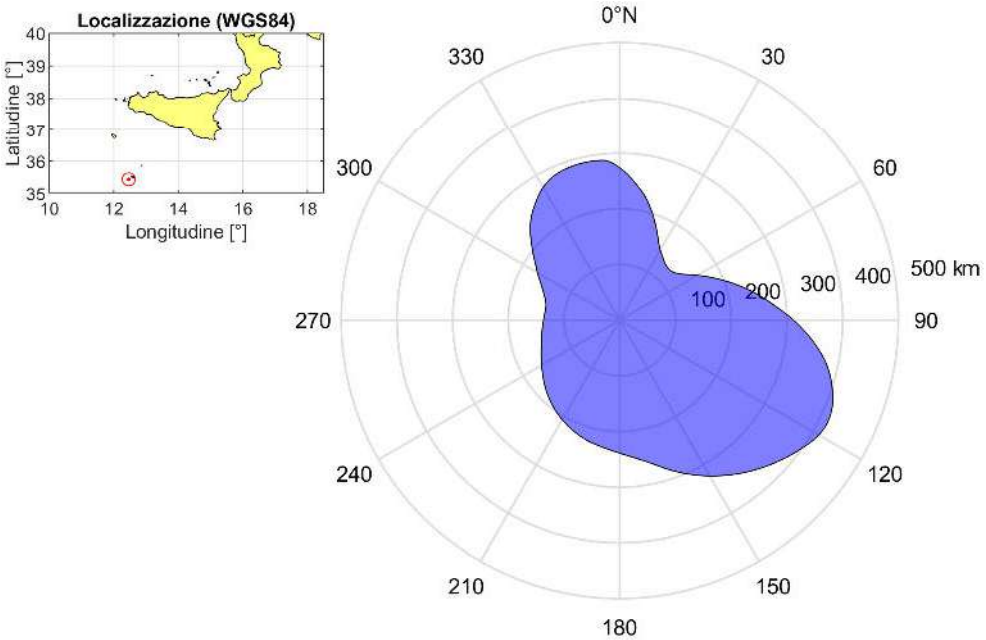


Figura 38: Fetch efficace.

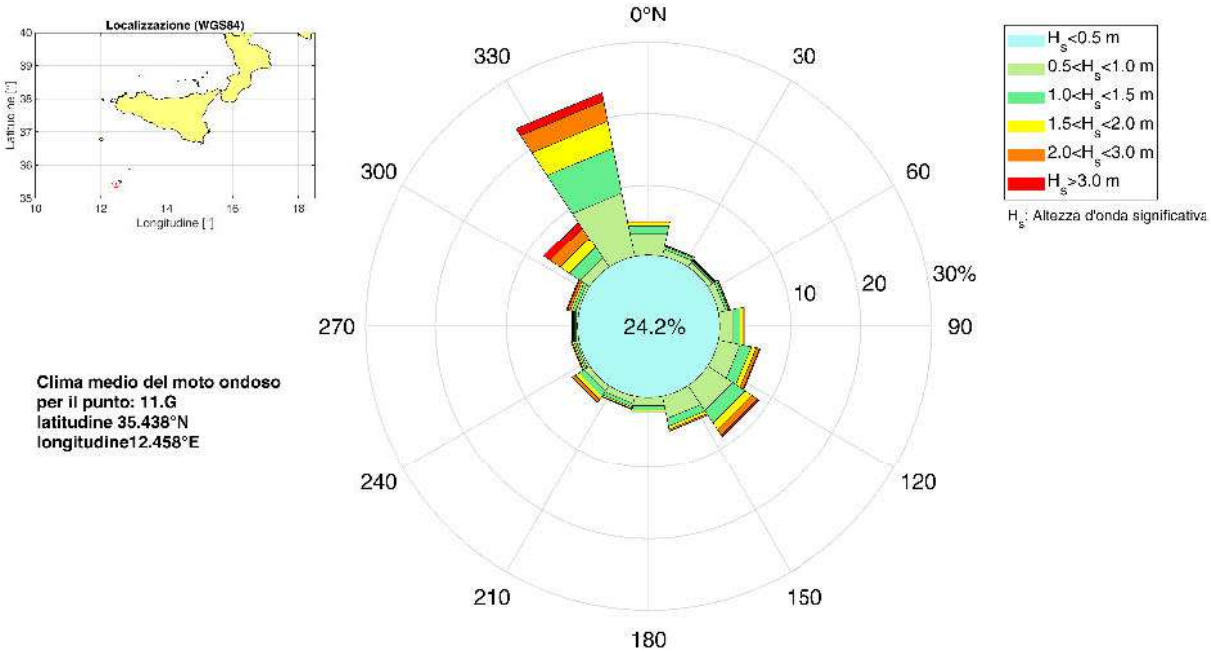


Figura 39: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 49: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	4.07	3.44	1.19	0.41	0.20	0.04
22.5	1.49	1.06	0.38	0.14	0.06	0.01
45.0	1.11	0.86	0.23	0.13	0.09	0.01
67.5	1.02	1.09	0.37	0.16	0.10	0.02
90.0	1.60	2.14	0.94	0.37	0.18	0.06
112.5	2.31	3.13	1.61	0.70	0.48	0.14
135.0	2.75	4.24	2.09	1.11	0.93	0.29
157.5	2.52	3.20	1.09	0.46	0.23	0.02
180.0	1.06	1.38	0.57	0.21	0.06	0.01
202.5	0.61	1.08	0.49	0.25	0.09	0.01
225.0	0.41	0.99	0.82	0.59	0.49	0.08
247.5	0.27	0.43	0.31	0.24	0.14	0.01
270.0	0.27	0.38	0.25	0.17	0.14	0.03
292.5	0.25	0.50	0.45	0.32	0.35	0.19
315.0	0.44	1.63	1.78	1.54	1.75	1.09
337.5	4.02	9.29	6.39	3.84	2.87	1.18

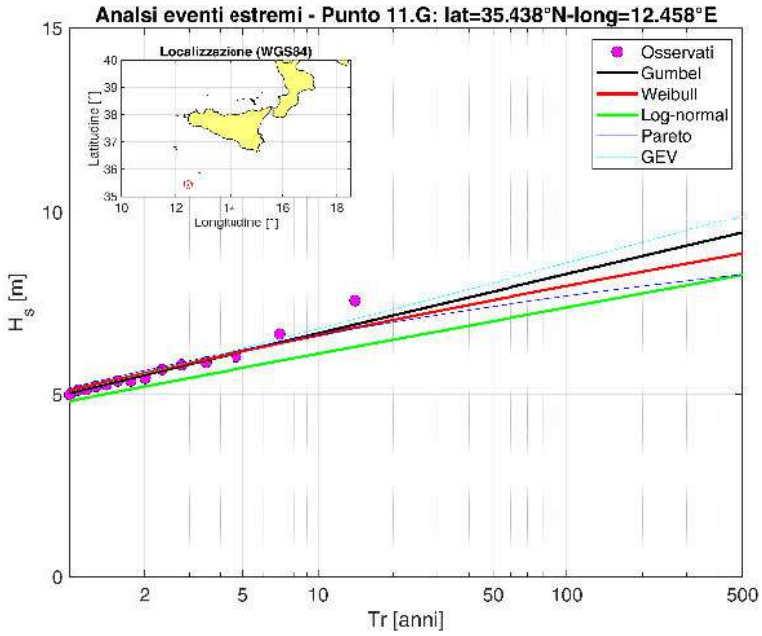


Figura 40: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 50: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	475	33.929	2.992	0.897	7.55
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04888	0.05186	0.05580	0.06195	0.07430
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09667	0.07896	0.09553	0.03866	0.09130

Tabella 51: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.430	2.589	1.313	1.789	1.355	1.057	0.274	2.000	1.119	-0.127	2.586	0.682	-0.019

Tabella 52: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.53	5.59	5.22	5.65	5.57
5	6.18	6.18	5.73	6.22	6.26
10	6.66	6.61	6.11	6.61	6.79
50	7.79	7.56	6.99	7.39	8.03
100	8.27	7.95	7.36	7.68	8.58
500	9.40	8.83	8.25	8.26	9.88

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
11.H

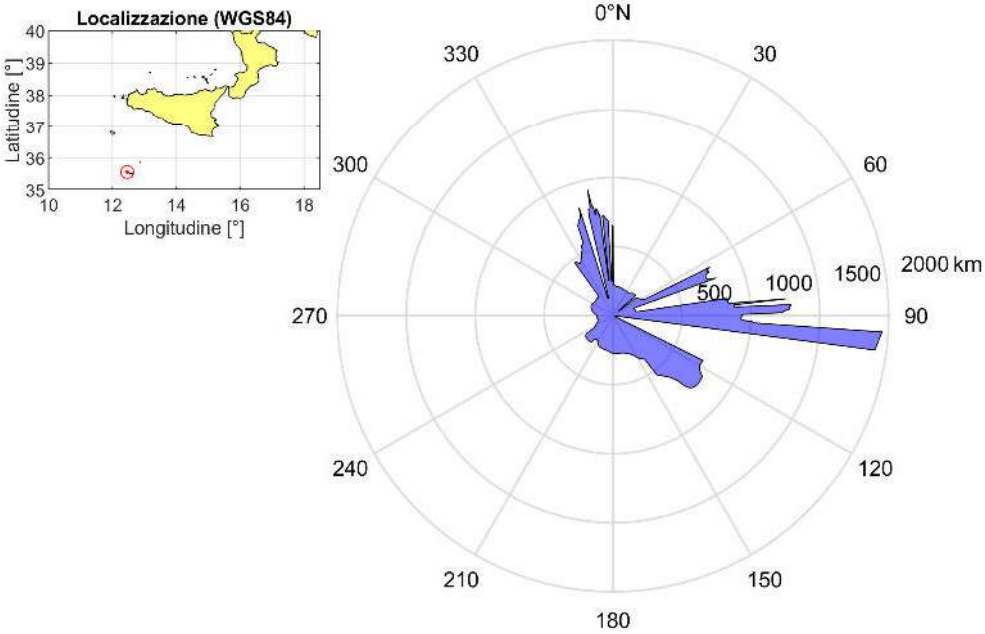


Figura 41: Fetch geografico.

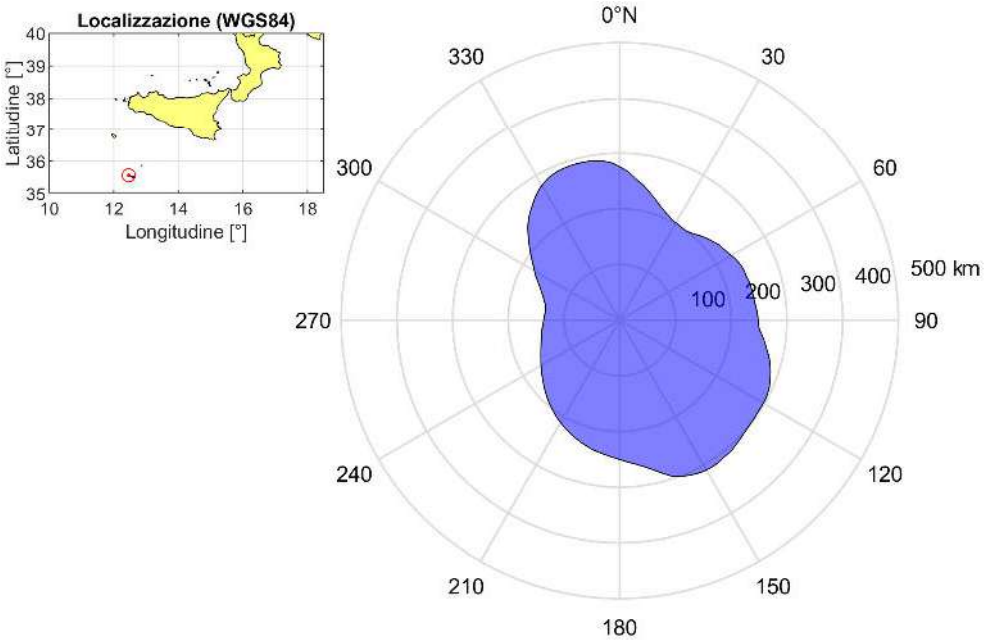


Figura 42: Fetch efficace.

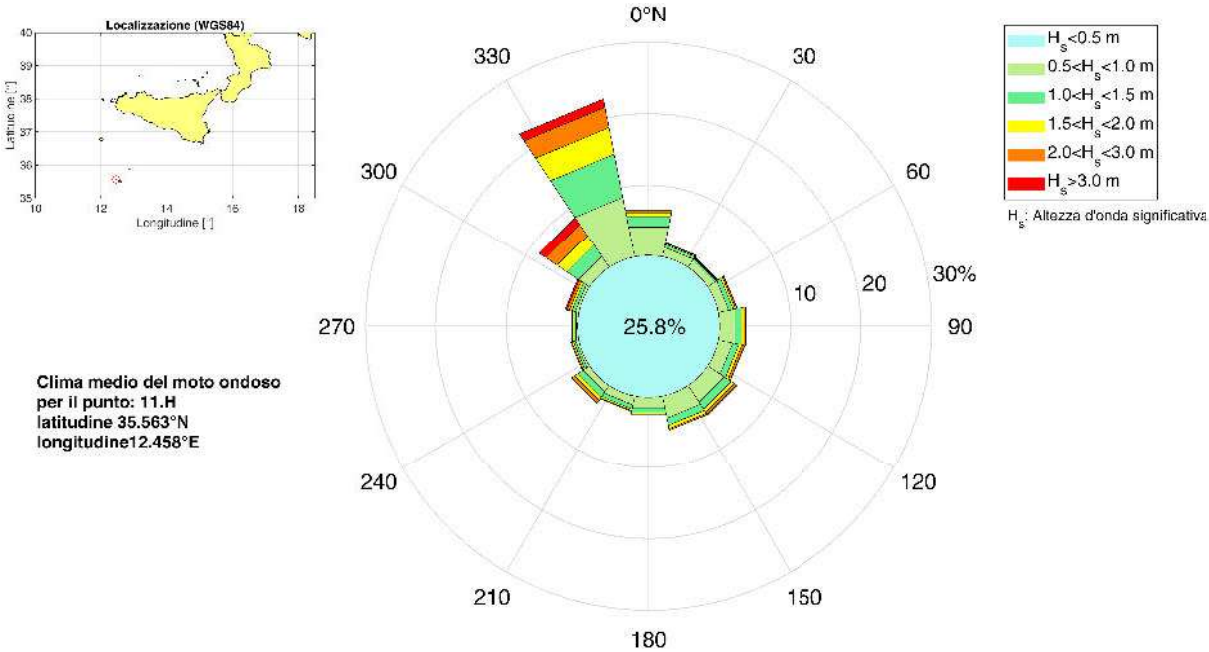


Figura 43: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 53: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	4.84	4.42	1.53	0.51	0.26	0.06
22.5	1.78	1.35	0.43	0.16	0.08	0.02
45.0	1.48	1.16	0.31	0.15	0.13	0.02
67.5	1.27	1.52	0.62	0.32	0.19	0.08
90.0	1.78	2.33	0.97	0.37	0.21	0.09
112.5	1.85	2.07	0.90	0.44	0.35	0.05
135.0	2.13	2.80	1.16	0.50	0.41	0.09
157.5	2.59	3.15	1.03	0.48	0.20	0.02
180.0	1.66	1.69	0.66	0.19	0.05	0.01
202.5	0.83	1.26	0.58	0.27	0.10	0.01
225.0	0.44	1.12	0.83	0.56	0.47	0.07
247.5	0.32	0.45	0.34	0.24	0.14	0.02
270.0	0.29	0.42	0.26	0.17	0.12	0.03
292.5	0.34	0.54	0.47	0.35	0.38	0.24
315.0	0.55	1.86	1.98	1.63	1.89	1.20
337.5	3.63	8.63	6.17	3.80	2.89	1.18

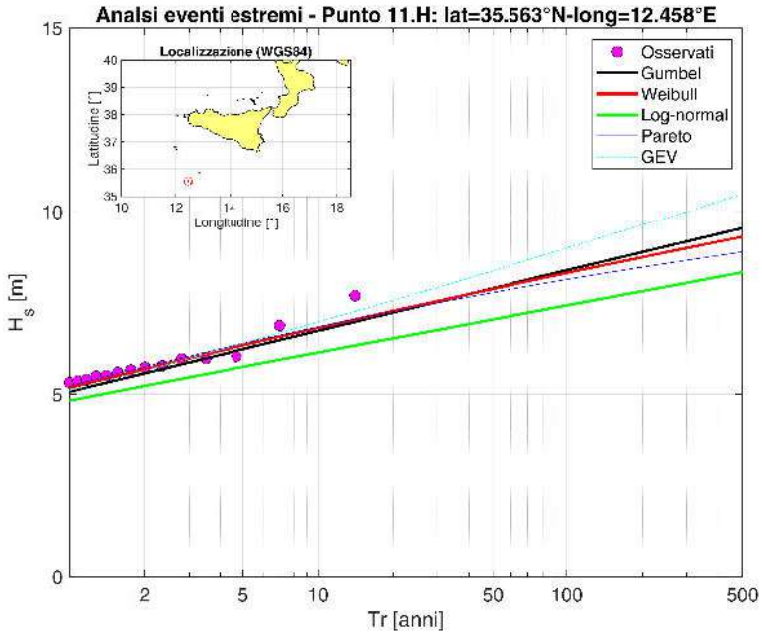


Figura 44: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 54: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	469	33.500	2.988	0.917	7.68
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04919	0.05219	0.05615	0.06234	0.07477
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10621	0.07681	0.09541	0.04994	0.09566

Tabella 55: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.399	2.575	1.250	1.829	1.273	1.054	0.277	2.000	1.082	-0.095	2.570	0.681	-0.036

Tabella 56: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.58	5.69	5.23	5.75	5.65
5	6.23	6.34	5.75	6.39	6.39
10	6.73	6.81	6.14	6.84	6.97
50	7.88	7.86	7.03	7.77	8.36
100	8.38	8.30	7.42	8.13	8.98
500	9.53	9.29	8.32	8.87	10.49

Unità fisiografica di I ordine
12

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 12.E)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 12.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 12.B)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 12.D)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 12.F)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 12.C)

Fetch geografico

Fetch efficace

Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 12.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 12.B)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 12.C)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 12.D)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
12.E

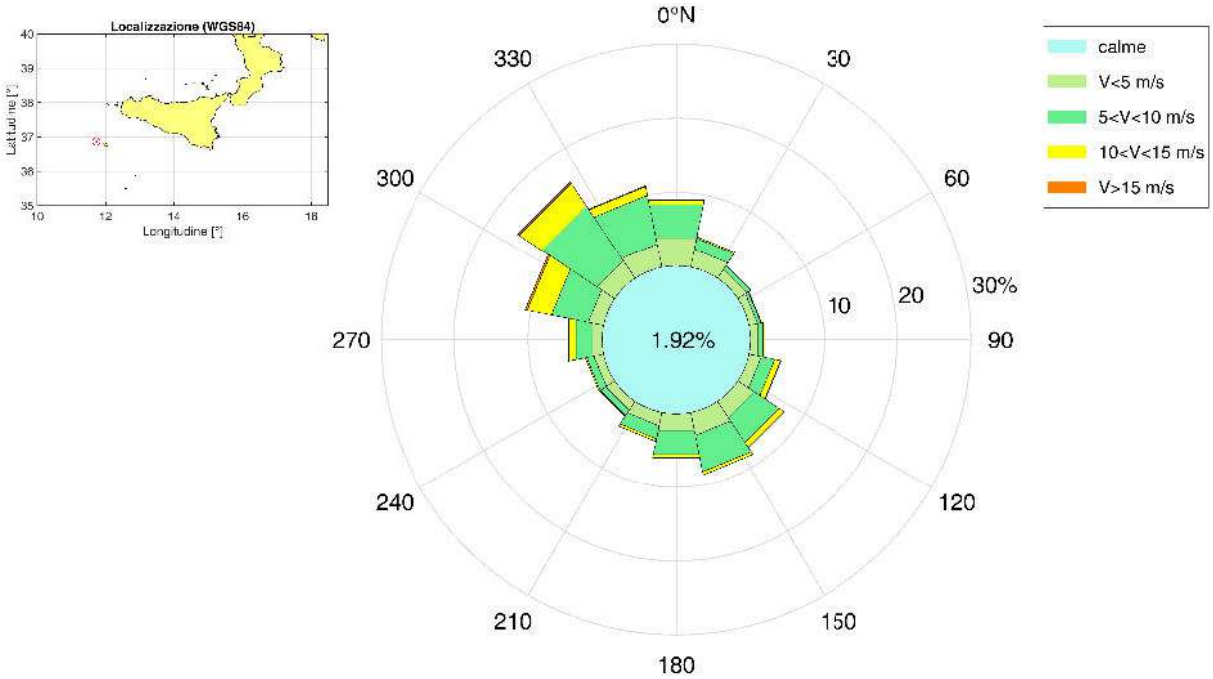


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.13	4.09	4.63	0.64	0.04
22.5	0.12	2.51	1.53	0.19	0.01
45.0	0.13	1.50	0.54	0.04	-
67.5	0.13	1.20	0.44	0.08	-
90.0	0.12	1.26	0.67	0.24	0.02
112.5	0.12	1.71	1.84	0.81	0.06
135.0	0.12	2.61	4.01	0.84	0.03
157.5	0.12	3.17	5.00	0.44	0.01
180.0	0.13	2.49	3.29	0.45	-
202.5	0.11	1.84	1.79	0.37	0.01
225.0	0.12	1.40	0.93	0.11	0.01
247.5	0.12	1.34	0.98	0.19	0.01
270.0	0.11	1.54	2.23	1.05	0.06
292.5	0.12	2.10	5.07	3.32	0.28
315.0	0.10	2.91	8.91	3.65	0.29
337.5	0.12	3.25	6.74	1.21	0.12

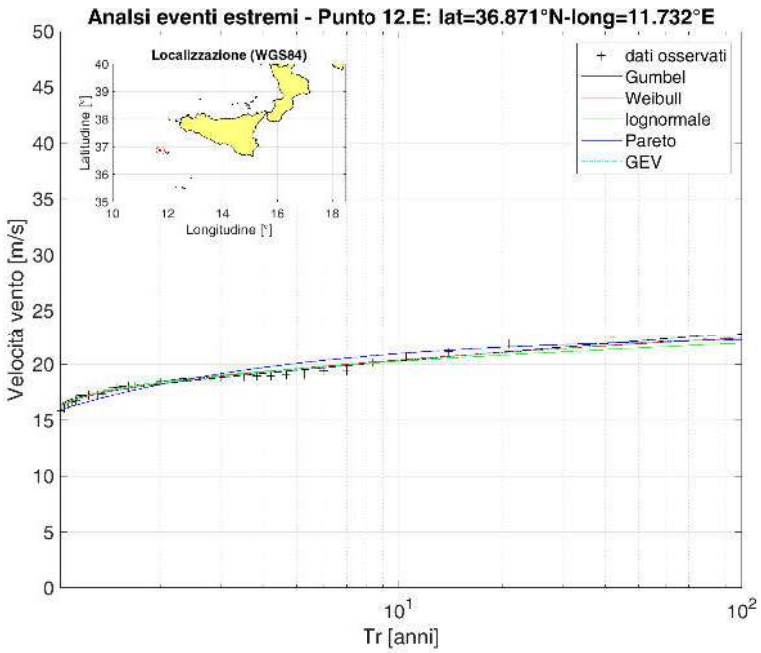


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08400	0.09623	0.10988	0.16420	0.08774

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.911	17.837	2.879	15.915	1.885	2.913	0.075	15.852	4.154	-0.614	17.863	1.205	0.079

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	18.24	18.29	18.42	18.20	18.30
5	19.48	19.62	19.62	20.10	19.57
10	20.31	20.40	20.27	20.97	20.35
50	22.12	21.85	21.48	22.01	21.91
100	22.89	22.39	21.92	22.22	22.51
500	24.66	23.50	22.84	22.47	23.78

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
12.A

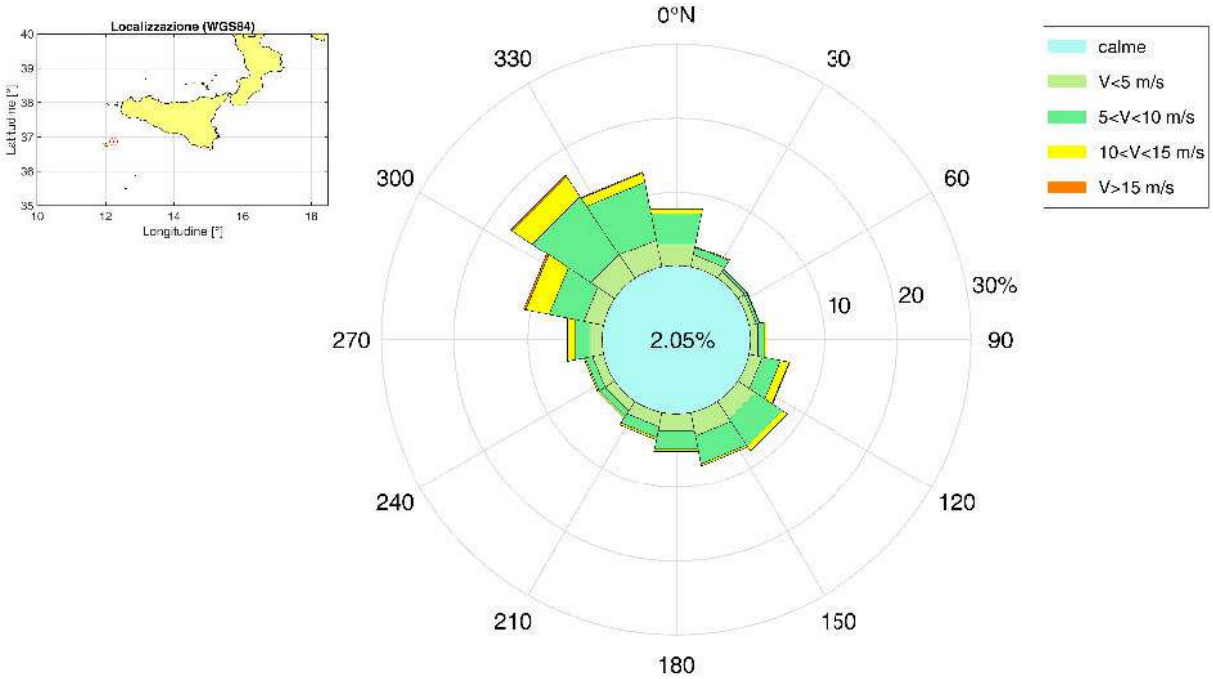


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.14	3.23	4.20	0.67	0.03
22.5	0.12	1.71	1.10	0.13	0.01
45.0	0.12	1.07	0.38	0.03	-
67.5	0.12	1.01	0.38	0.09	0.01
90.0	0.12	1.21	0.84	0.32	0.03
112.5	0.13	1.85	2.50	1.16	0.09
135.0	0.12	2.85	4.37	0.77	0.03
157.5	0.13	3.24	3.83	0.29	-
180.0	0.14	2.57	2.47	0.31	-
202.5	0.13	1.98	1.48	0.30	0.01
225.0	0.14	1.58	0.91	0.14	0.01
247.5	0.14	1.54	0.97	0.21	0.01
270.0	0.14	1.86	2.01	1.05	0.10
292.5	0.14	2.71	4.76	3.20	0.29
315.0	0.13	3.89	9.49	3.28	0.23
337.5	0.12	3.83	7.95	1.29	0.13

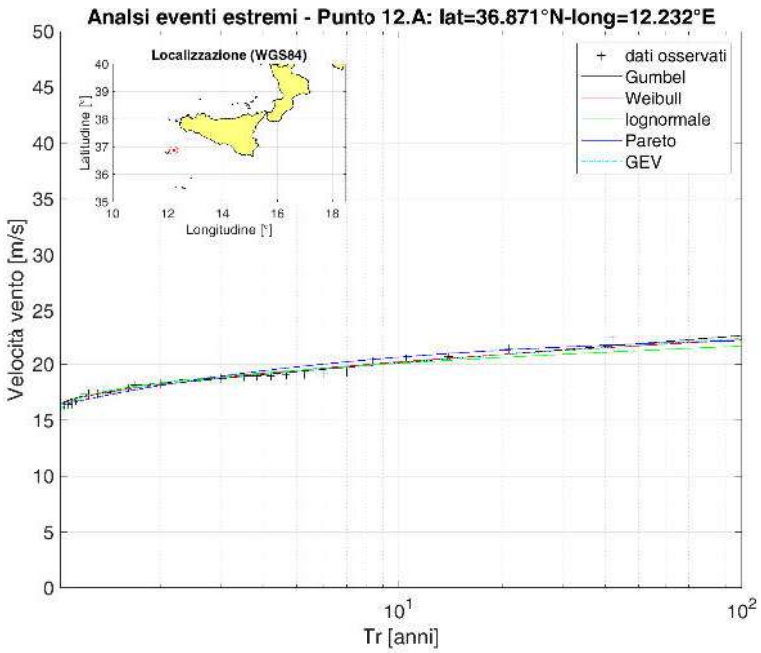


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09281	0.08707	0.08696	0.15609	0.07998

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.961	17.794	2.566	16.111	1.767	2.910	0.071	16.280	3.092	-0.466	17.811	1.117	0.058

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	18.18	18.20	18.35	18.11	18.22
5	19.36	19.47	19.48	19.78	19.42
10	20.14	20.23	20.10	20.64	20.17
50	21.86	21.66	21.23	21.84	21.71
100	22.58	22.20	21.64	22.14	22.32
500	24.26	23.33	22.51	22.54	23.64

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
12.B

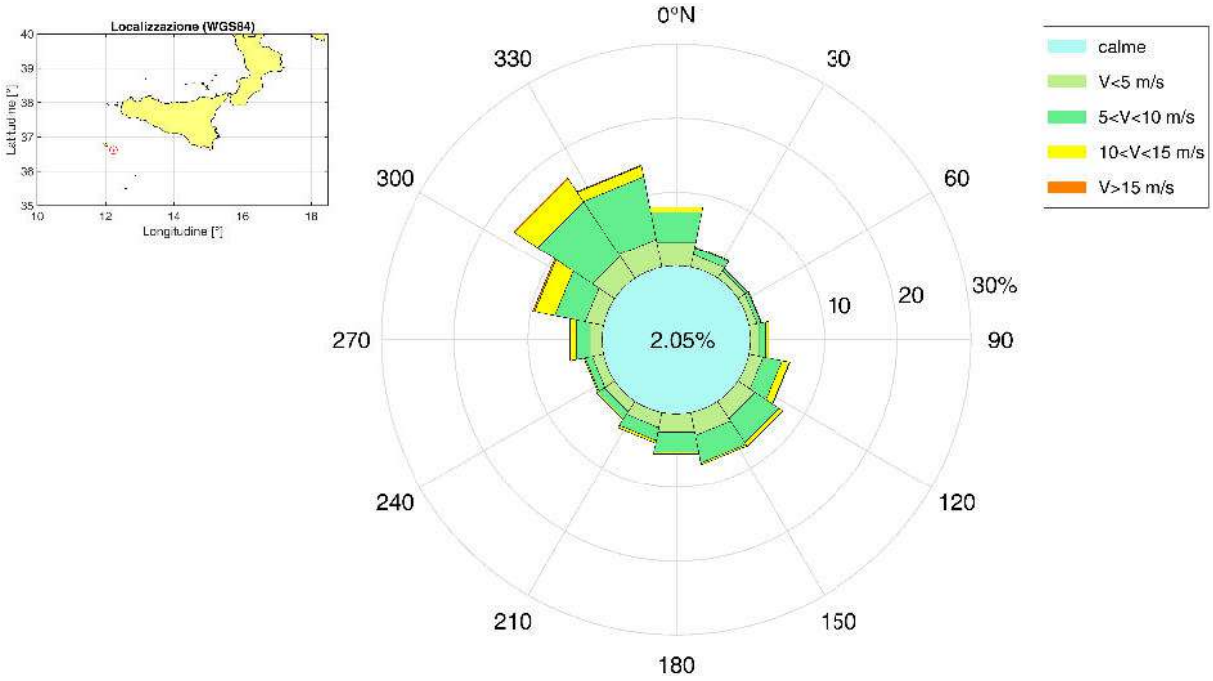


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.14	3.43	4.24	0.66	0.02
22.5	0.13	1.74	1.00	0.12	-
45.0	0.13	1.17	0.42	0.04	-
67.5	0.12	1.11	0.52	0.10	0.01
90.0	0.11	1.32	0.98	0.37	0.03
112.5	0.13	1.95	2.60	1.02	0.07
135.0	0.13	2.77	3.92	0.62	0.02
157.5	0.12	3.18	3.76	0.26	-
180.0	0.13	2.68	2.77	0.28	-
202.5	0.14	2.09	1.77	0.37	0.01
225.0	0.13	1.67	1.06	0.17	0.01
247.5	0.13	1.57	0.96	0.17	0.01
270.0	0.13	1.83	1.86	0.89	0.07
292.5	0.13	2.53	4.16	2.77	0.25
315.0	0.13	3.65	8.87	3.66	0.23
337.5	0.12	3.89	8.64	1.50	0.12

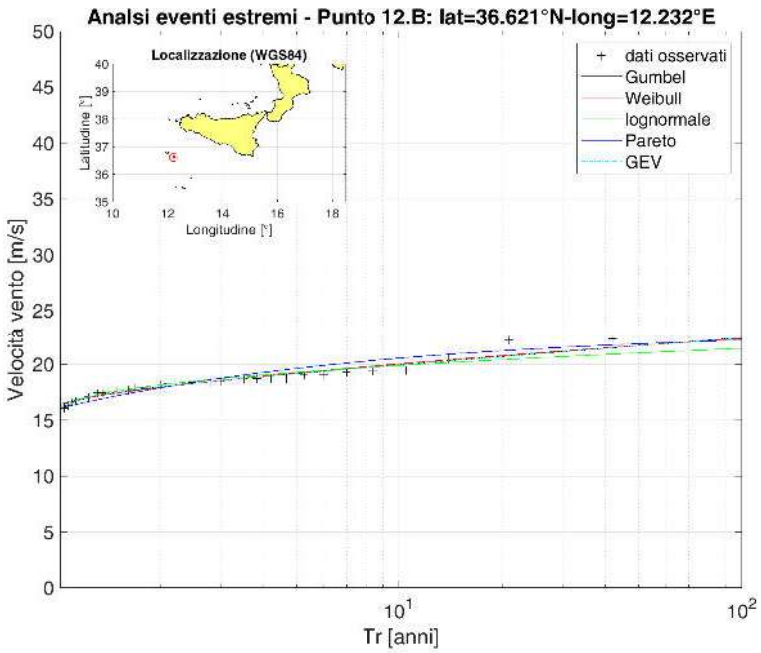


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07467	0.10202	0.09997	0.15850	0.07475

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.956	17.612	2.131	16.285	1.462	2.900	0.071	16.028	3.156	-0.447	17.613	1.049	0.002

Tabella 12: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	18.00	17.94	18.17	17.91	18.00
5	19.18	19.24	19.29	19.65	19.18
10	19.97	20.06	19.91	20.57	19.97
50	21.69	21.70	21.04	21.86	21.69
100	22.42	22.34	21.45	22.19	22.41
500	24.11	23.72	22.31	22.65	24.09

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
12.D

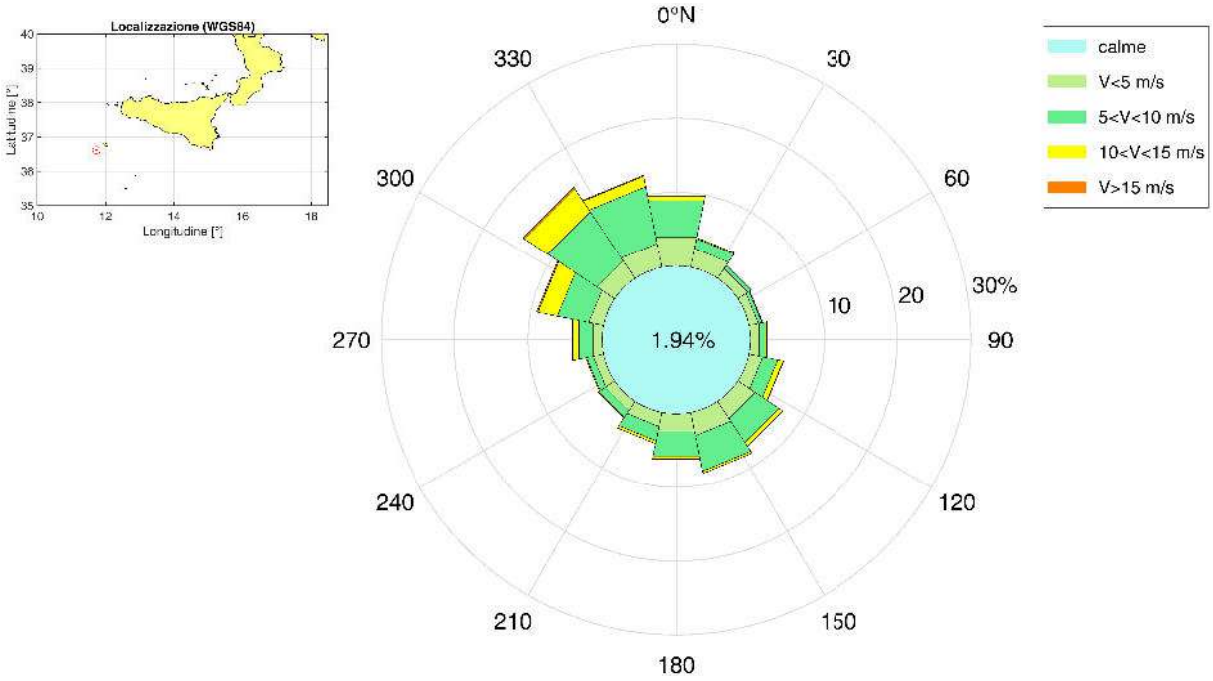


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.14	4.17	5.11	0.64	0.03
22.5	0.13	2.62	1.36	0.15	0.01
45.0	0.12	1.58	0.53	0.05	-
67.5	0.12	1.29	0.49	0.09	-
90.0	0.12	1.41	0.80	0.27	0.02
112.5	0.12	1.89	2.07	0.75	0.05
135.0	0.12	2.76	3.88	0.67	0.02
157.5	0.11	3.21	4.89	0.31	-
180.0	0.12	2.61	3.40	0.38	-
202.5	0.11	1.95	1.97	0.37	0.01
225.0	0.12	1.51	1.00	0.13	-
247.5	0.12	1.43	0.90	0.14	-
270.0	0.11	1.47	1.90	0.86	0.04
292.5	0.13	2.03	4.32	2.68	0.18
315.0	0.12	2.80	8.09	3.77	0.24
337.5	0.13	3.30	7.85	1.47	0.11

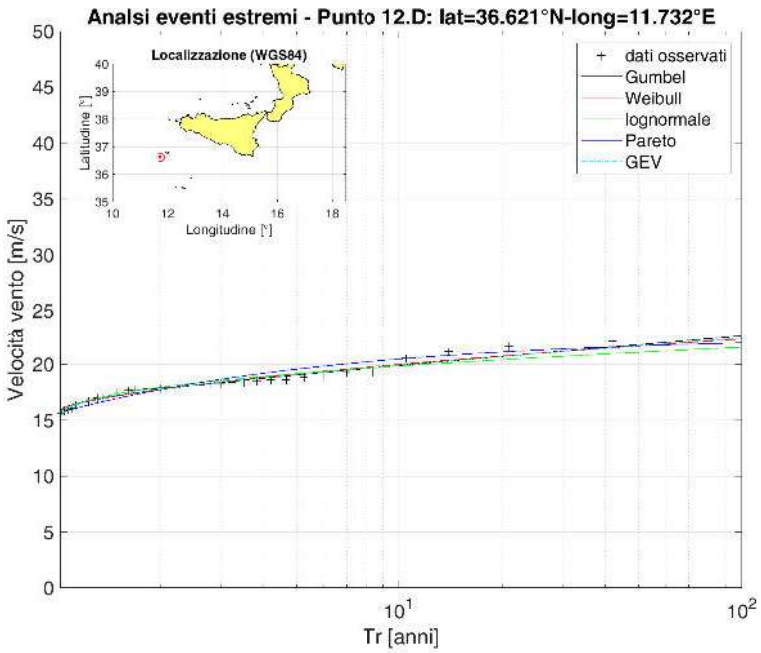


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09873	0.10625	0.10661	0.12630	0.09244

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.882	17.355	2.583	15.697	1.631	2.888	0.078	15.637	3.625	-0.524	17.365	1.182	0.034

Tabella 16: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.77	17.76	17.95	17.74	17.80
5	19.05	19.16	19.18	19.58	19.09
10	19.91	20.00	19.85	20.49	19.93
50	21.78	21.66	21.09	21.67	21.69
100	22.57	22.29	21.55	21.94	22.40
500	24.40	23.62	22.50	22.29	23.99

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
12.F

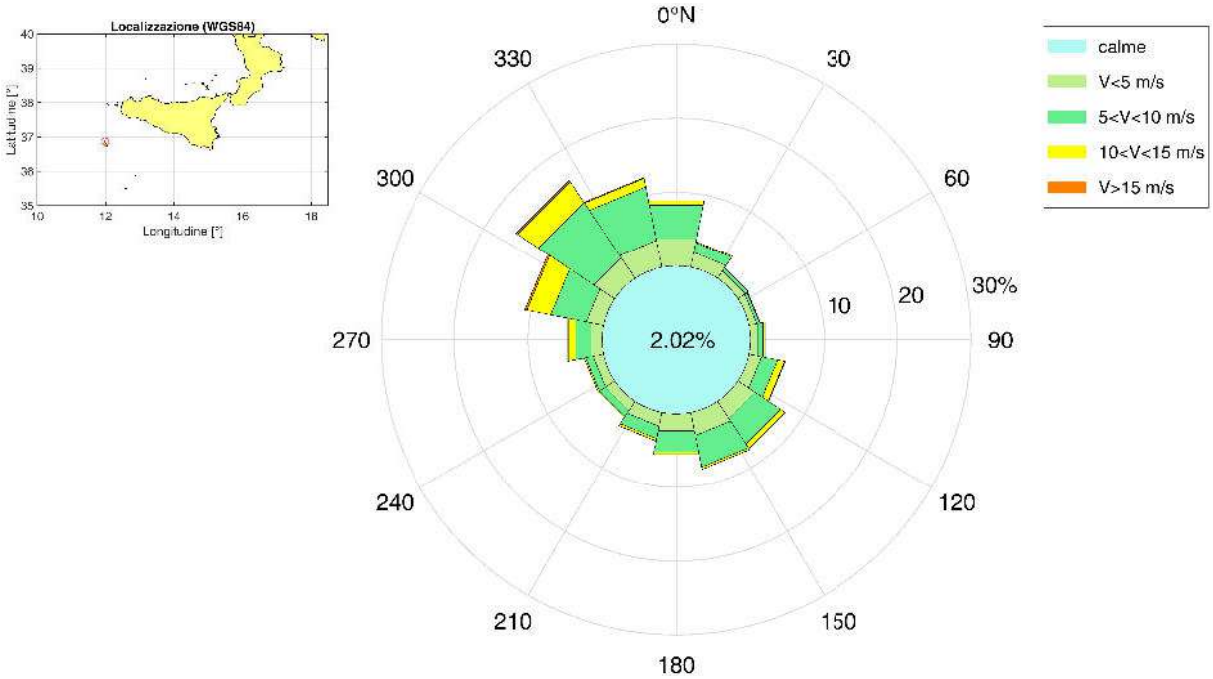


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 17: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.15	3.89	4.72	0.63	0.03
22.5	0.13	2.07	1.35	0.15	0.01
45.0	0.13	1.23	0.46	0.04	-
67.5	0.12	1.08	0.39	0.08	-
90.0	0.11	1.18	0.76	0.28	0.02
112.5	0.13	1.74	2.21	0.96	0.07
135.0	0.13	2.71	4.18	0.78	0.03
157.5	0.12	3.18	4.35	0.30	-
180.0	0.13	2.52	2.88	0.35	-
202.5	0.13	1.91	1.70	0.33	0.01
225.0	0.13	1.51	0.96	0.13	-
247.5	0.12	1.45	1.01	0.20	0.01
270.0	0.13	1.67	2.13	1.05	0.07
292.5	0.13	2.37	4.88	3.28	0.27
315.0	0.13	3.36	9.03	3.38	0.22
337.5	0.12	3.72	7.38	1.20	0.11

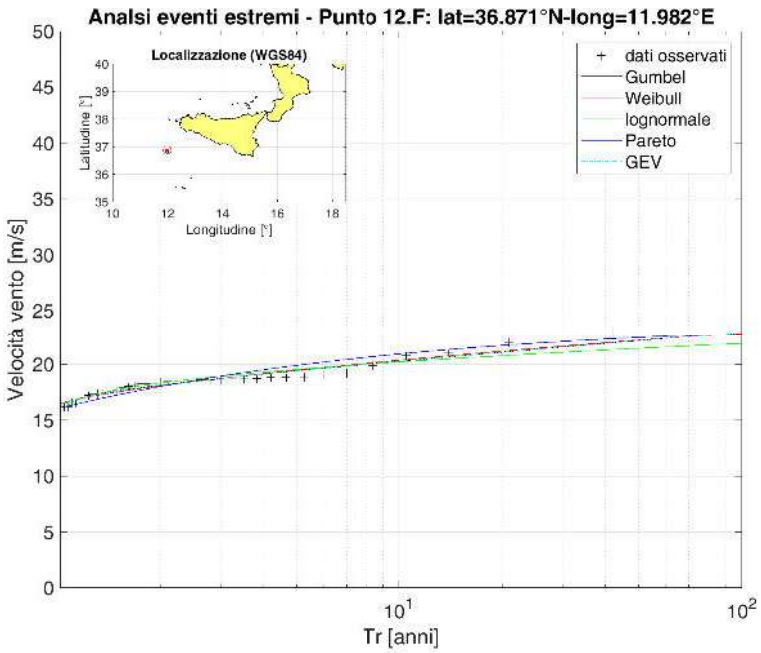


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 18: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11252	0.11457	0.15781	0.15308	0.11155

Tabella 19: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.882	17.731	2.260	16.334	1.431	2.909	0.076	16.031	3.307	-0.414	17.730	1.129	-0.004

Tabella 20: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	18.15	18.08	18.33	18.02	18.14
5	19.43	19.48	19.55	19.92	19.43
10	20.28	20.38	20.22	20.94	20.28
50	22.16	22.19	21.45	22.44	22.17
100	22.95	22.90	21.90	22.84	22.97
500	24.78	24.43	22.84	23.41	24.83

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
12.C

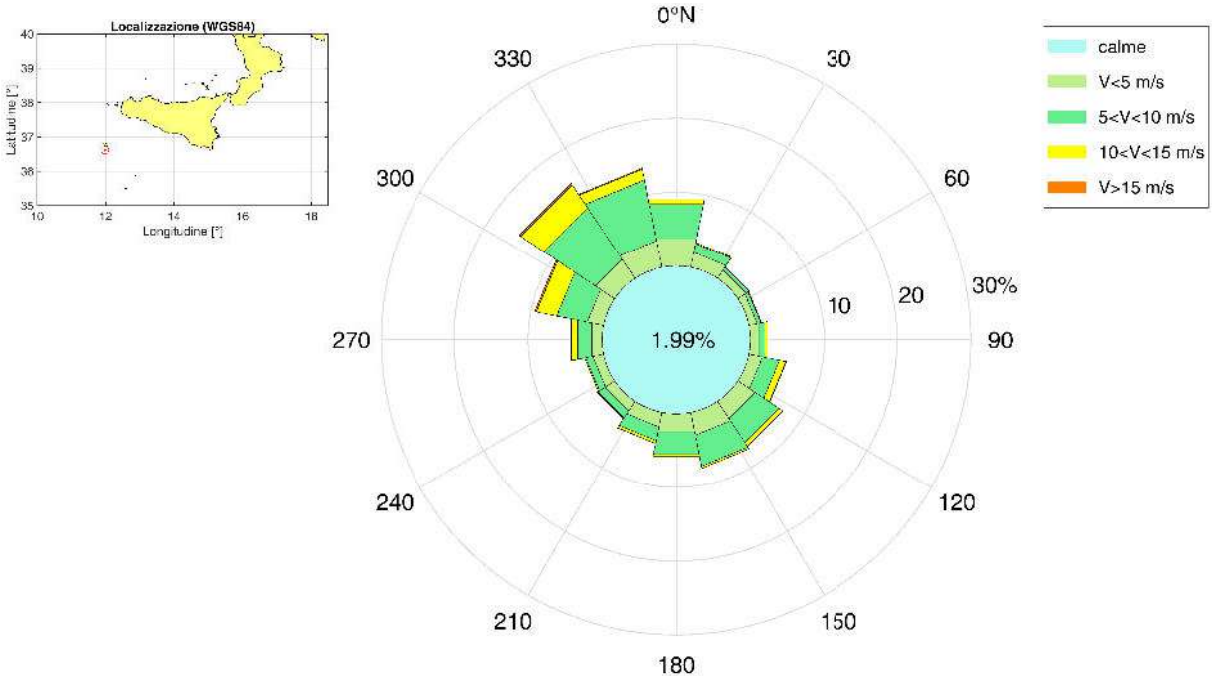


Figura 11: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 21: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.13	3.89	4.87	0.65	0.03
22.5	0.13	2.07	1.21	0.14	0.01
45.0	0.13	1.32	0.48	0.04	-
67.5	0.12	1.13	0.50	0.10	0.01
90.0	0.12	1.32	0.87	0.32	0.02
112.5	0.11	1.86	2.33	0.90	0.06
135.0	0.13	2.74	3.88	0.67	0.02
157.5	0.12	3.14	4.28	0.28	0.01
180.0	0.12	2.63	3.12	0.32	-
202.5	0.13	2.01	1.89	0.39	0.01
225.0	0.13	1.59	1.07	0.15	0.01
247.5	0.12	1.47	0.97	0.16	0.01
270.0	0.13	1.65	1.87	0.89	0.06
292.5	0.13	2.24	4.20	2.80	0.22
315.0	0.12	3.14	8.32	3.77	0.25
337.5	0.12	3.69	8.39	1.50	0.12

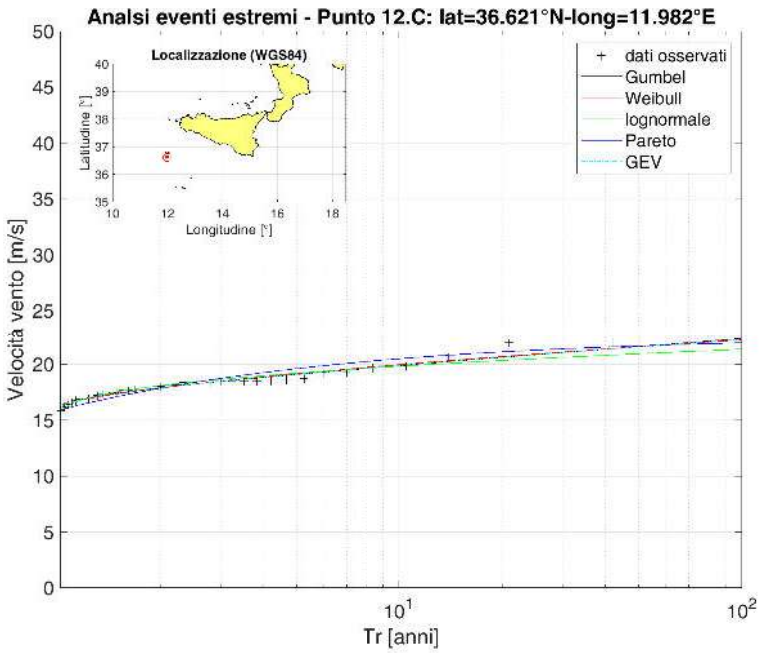


Figura 12: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 22: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07950	0.08635	0.12468	0.14126	0.08236

Tabella 23: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.961	17.546	2.189	16.172	1.508	2.896	0.071	15.868	3.424	-0.510	17.549	1.055	0.011

Tabella 24: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.93	17.89	18.10	17.87	17.93
5	19.11	19.17	19.22	19.63	19.12
10	19.89	19.98	19.83	20.51	19.89
50	21.60	21.58	20.95	21.67	21.58
100	22.33	22.20	21.37	21.94	22.28
500	24.01	23.52	22.22	22.30	23.89

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
12.A

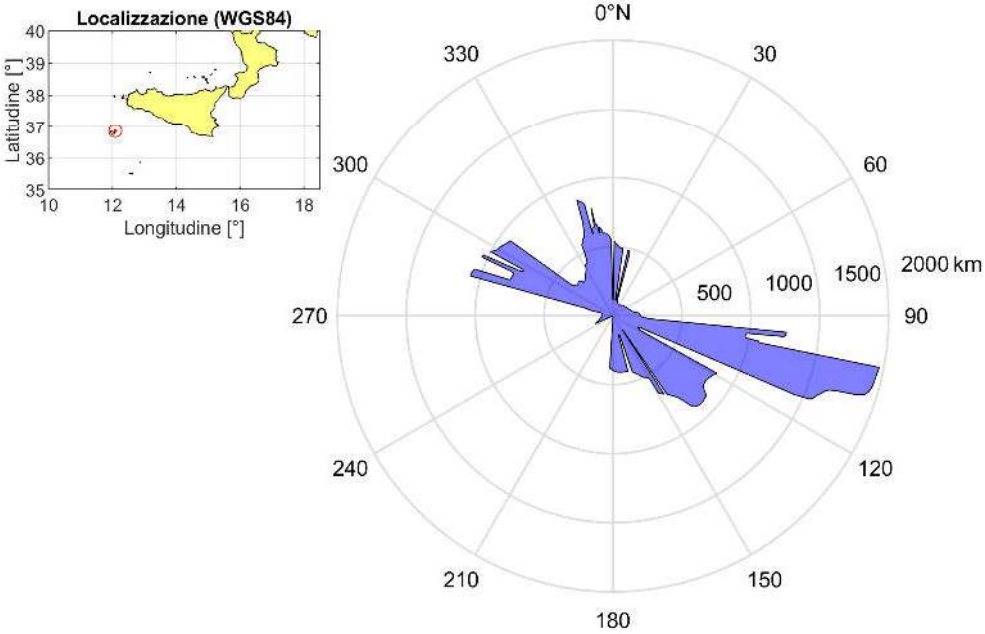


Figura 13: Fetch geografico.

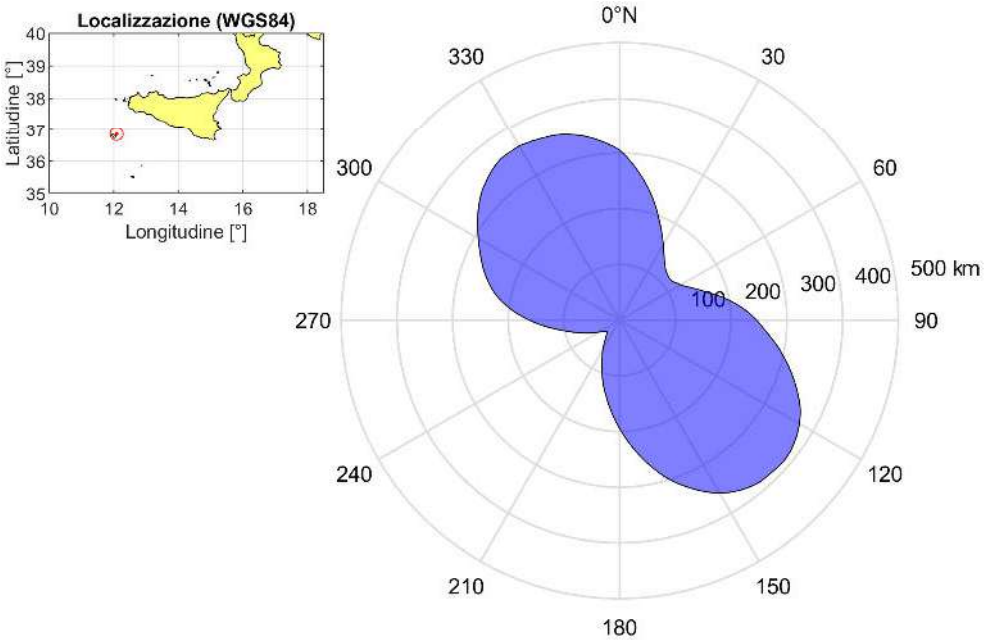


Figura 14: Fetch efficace.

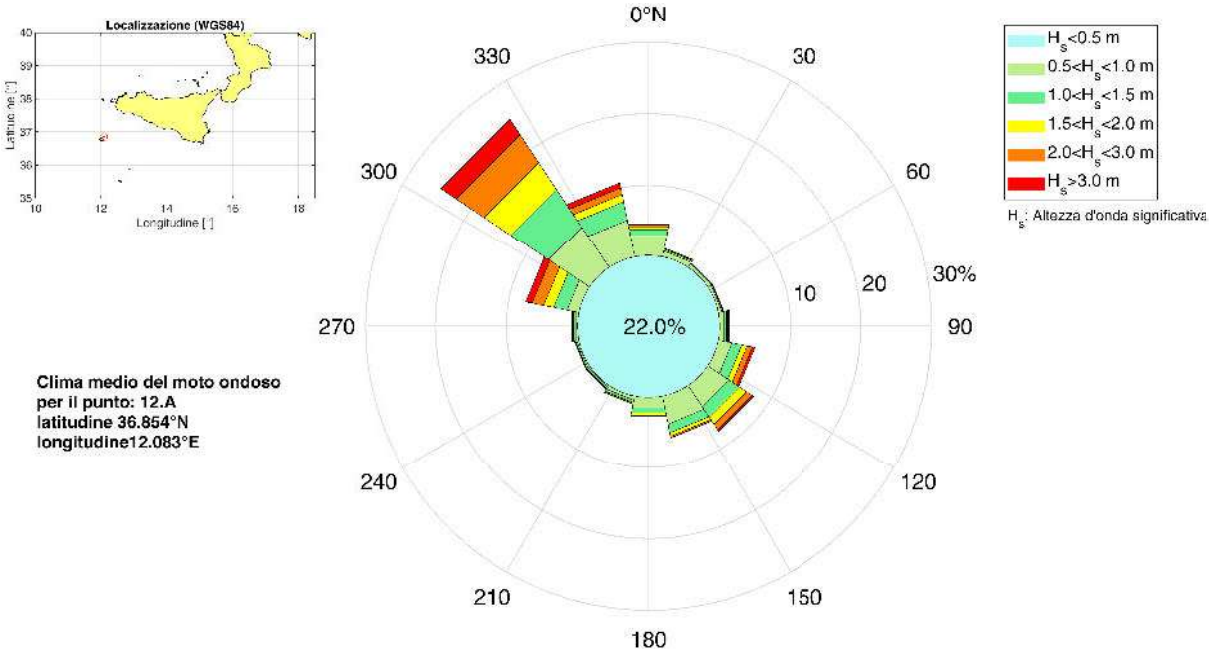


Figura 15: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 25: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.33	3.19	0.90	0.37	0.30	0.10
22.5	1.26	0.83	0.23	0.14	0.06	-
45.0	0.65	0.48	0.14	0.07	0.05	0.01
67.5	0.61	0.49	0.16	0.07	0.04	0.01
90.0	0.82	0.82	0.36	0.16	0.12	0.02
112.5	1.17	1.96	1.40	0.77	0.74	0.37
135.0	1.79	3.54	1.81	1.24	0.87	0.30
157.5	2.89	4.01	1.25	0.50	0.22	0.02
180.0	1.84	1.63	0.74	0.39	0.11	0.01
202.5	0.54	0.61	0.35	0.15	0.06	-
225.0	0.36	0.34	0.21	0.09	0.03	0.01
247.5	0.29	0.31	0.20	0.10	0.03	0.01
270.0	0.34	0.45	0.30	0.14	0.10	0.01
292.5	0.69	1.70	1.91	1.43	1.64	0.93
315.0	2.21	6.92	6.42	4.48	4.72	2.62
337.5	3.21	5.38	2.63	1.08	0.93	0.73

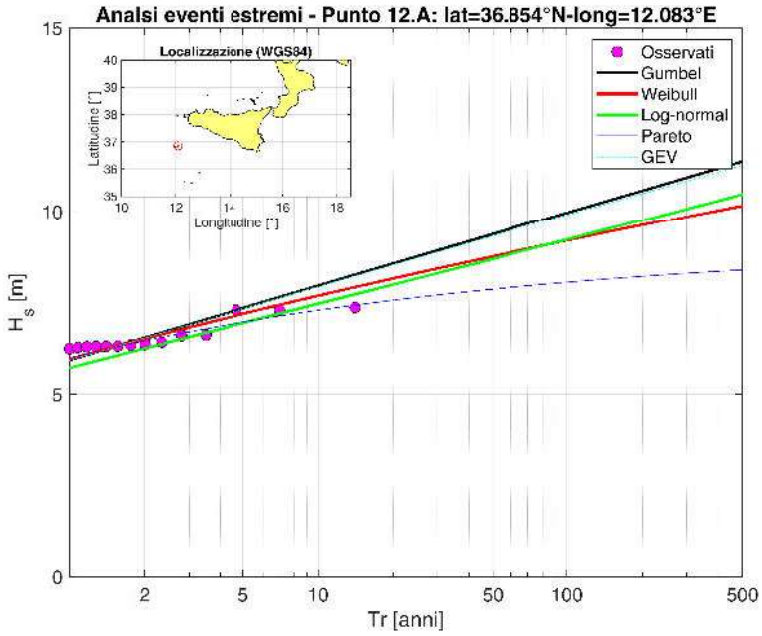


Figura 16: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 26: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	494	35.286	3.332	1.122	7.36
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04794	0.05086	0.05472	0.06076	0.07287
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07439	0.06476	0.08015	0.02278	0.07552

Tabella 27: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.143	2.827	1.792	1.710	1.470	1.153	0.310	2.000	1.643	-0.230	2.827	0.879	0.004

Tabella 28: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.54	6.51	6.25	6.46	6.54
5	7.35	7.19	6.94	6.97	7.33
10	7.96	7.68	7.47	7.29	7.93
50	9.37	8.75	8.69	7.86	9.31
100	9.97	9.19	9.22	8.05	9.90
500	11.38	10.17	10.48	8.39	11.27

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
12.B

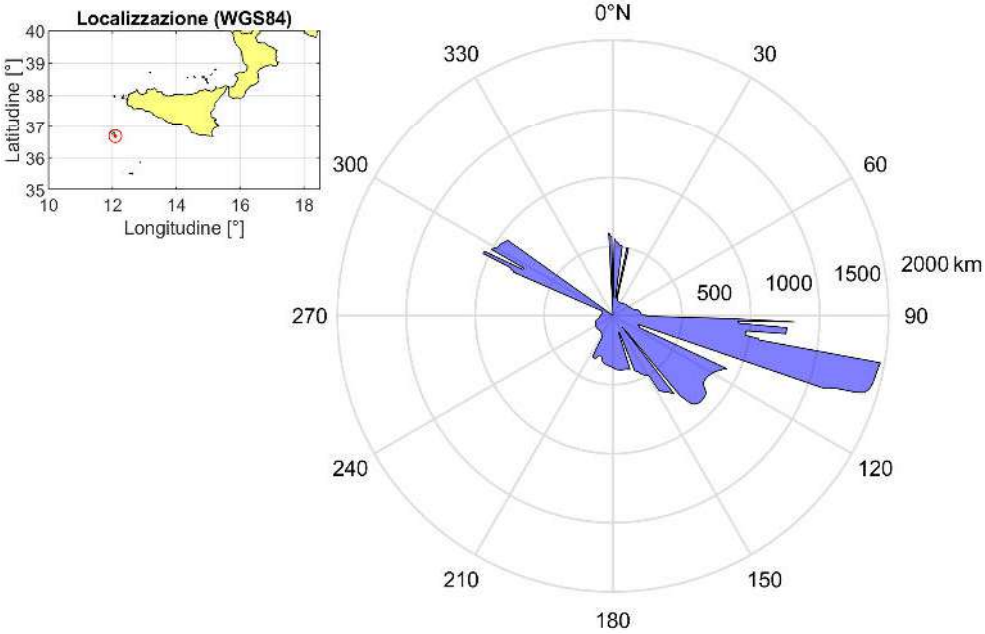


Figura 17: Fetch geografico.

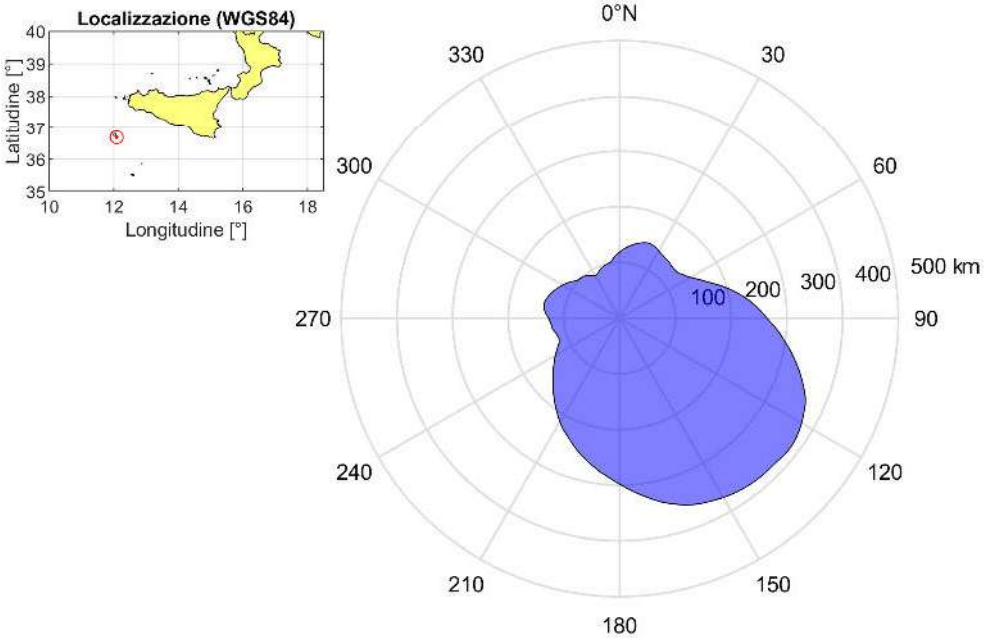


Figura 18: Fetch efficace.

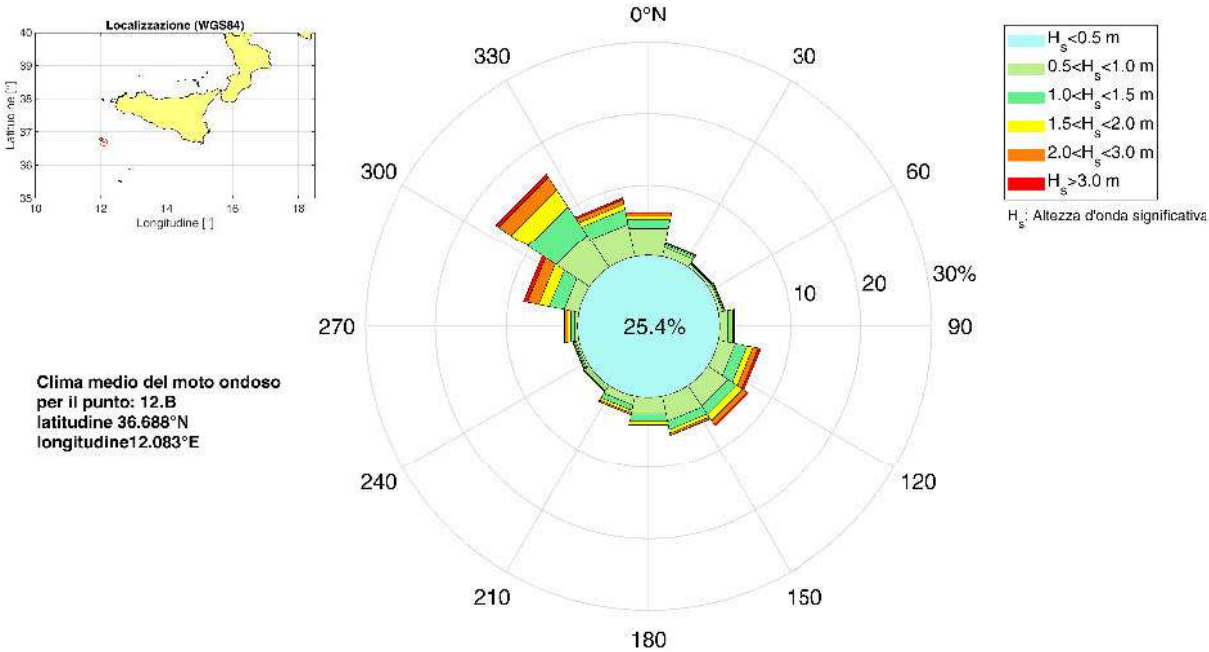


Figura 19: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 29: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.95	4.20	1.32	0.48	0.35	0.14
22.5	2.16	1.32	0.40	0.20	0.09	0.01
45.0	1.04	0.52	0.18	0.07	0.04	-
67.5	0.81	0.62	0.18	0.10	0.07	0.01
90.0	1.06	1.36	0.48	0.27	0.17	0.05
112.5	1.39	2.47	1.66	0.86	0.74	0.35
135.0	1.90	3.41	1.51	1.00	0.72	0.26
157.5	2.48	3.61	1.20	0.51	0.28	0.04
180.0	2.42	2.54	0.98	0.48	0.13	0.02
202.5	1.27	1.31	0.73	0.39	0.22	0.03
225.0	0.55	0.48	0.28	0.18	0.10	0.01
247.5	0.39	0.45	0.23	0.13	0.10	0.02
270.0	0.41	0.64	0.55	0.40	0.38	0.08
292.5	0.70	2.13	2.12	1.52	1.59	0.57
315.0	1.95	5.61	4.80	2.83	2.13	0.57
337.5	2.93	4.82	2.16	0.75	0.61	0.29

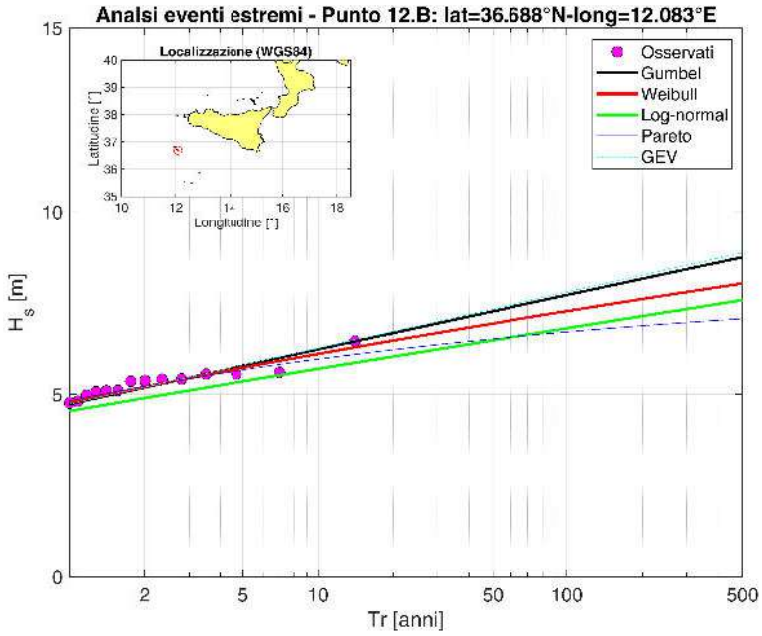


Figura 20: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 30: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	421	30.071	2.945	0.821	6.45
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05190	0.05507	0.05925	0.06578	0.07890
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08440	0.07207	0.10052	0.03216	0.08285

Tabella 31: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.563	2.576	1.265	1.795	1.421	1.046	0.256	2.000	1.120	-0.184	2.575	0.635	-0.006

Tabella 32: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.19	5.21	4.91	5.23	5.20
5	5.78	5.73	5.36	5.67	5.80
10	6.23	6.10	5.70	5.96	6.26
50	7.26	6.93	6.47	6.51	7.32
100	7.70	7.26	6.80	6.70	7.78
500	8.73	8.02	7.57	7.06	8.86

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
12.C

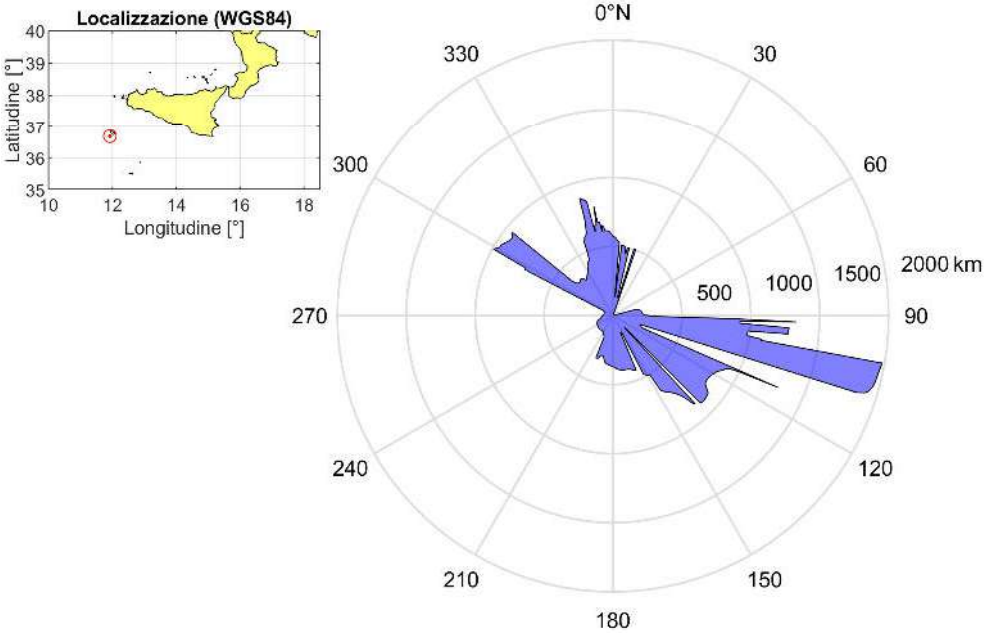


Figura 21: Fetch geografico.

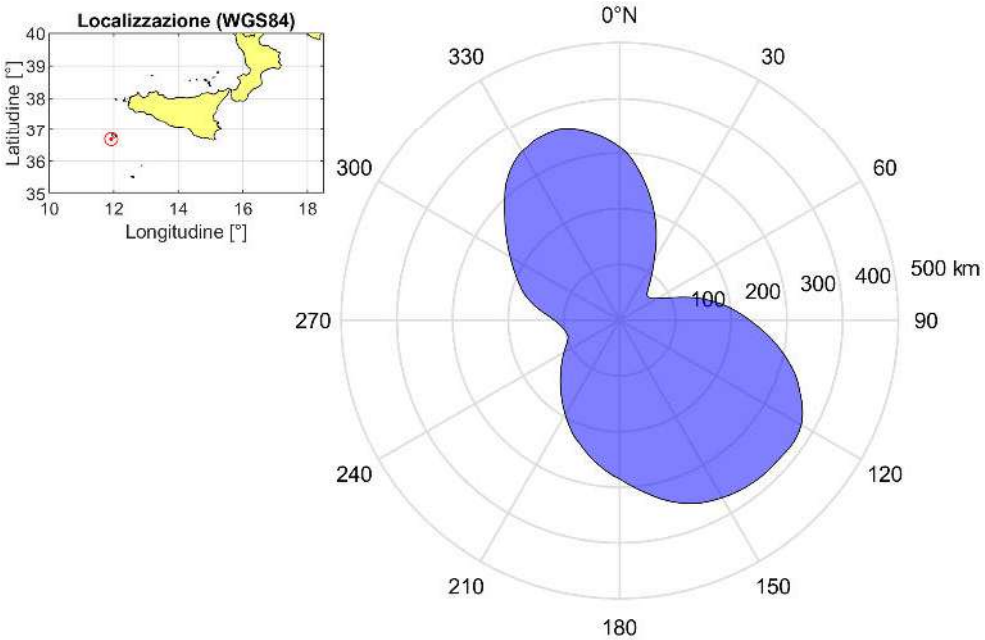


Figura 22: Fetch efficace.

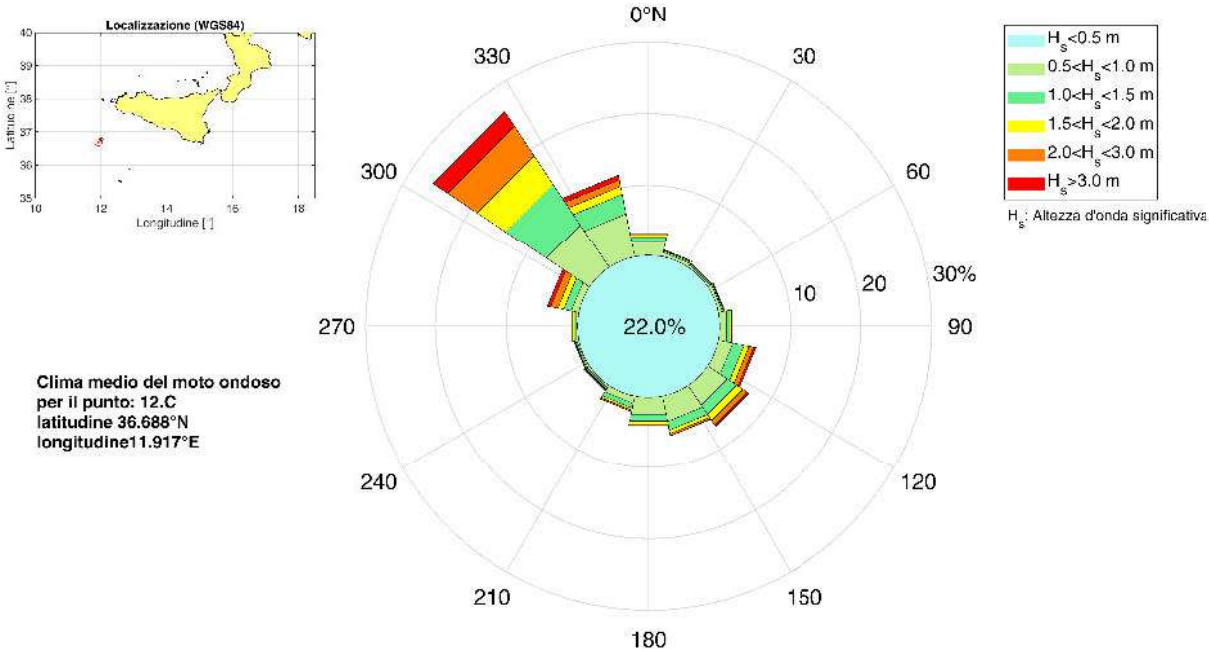


Figura 23: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 33: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.88	2.28	0.68	0.26	0.18	0.06
22.5	0.98	0.61	0.20	0.13	0.05	0.01
45.0	0.55	0.46	0.13	0.06	0.04	0.01
67.5	0.61	0.60	0.17	0.11	0.05	0.01
90.0	0.85	1.14	0.45	0.21	0.13	0.03
112.5	1.19	2.10	1.58	0.74	0.65	0.30
135.0	1.70	3.31	1.55	1.04	0.80	0.27
157.5	2.27	3.64	1.25	0.51	0.27	0.04
180.0	2.09	2.58	0.99	0.52	0.14	0.02
202.5	1.00	1.07	0.64	0.32	0.18	0.03
225.0	0.43	0.45	0.25	0.14	0.07	0.01
247.5	0.32	0.31	0.21	0.12	0.08	0.01
270.0	0.34	0.43	0.25	0.16	0.14	0.05
292.5	0.60	1.09	1.10	0.81	1.03	0.47
315.0	2.36	7.28	6.85	4.86	4.93	2.51
337.5	3.82	6.28	2.81	1.15	0.93	0.66

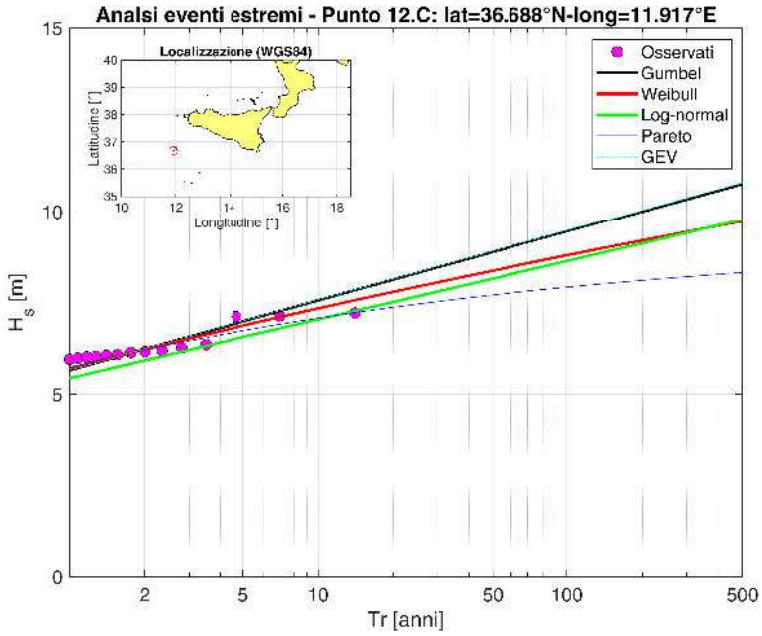


Figura 24: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 34: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	496	35.429	3.219	1.051	7.21
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04784	0.05076	0.05461	0.06063	0.07272
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08409	0.07498	0.08373	0.02950	0.08382

Tabella 35: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.220	2.746	1.648	1.724	1.444	1.122	0.300	2.000	1.465	-0.199	2.746	0.818	-0.001

Tabella 36: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.23	6.22	5.93	6.21	6.24
5	6.99	6.87	6.56	6.73	6.99
10	7.55	7.34	7.04	7.07	7.57
50	8.87	8.36	8.15	7.70	8.90
100	9.44	8.78	8.63	7.92	9.47
500	10.76	9.72	9.77	8.31	10.80

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
12.D

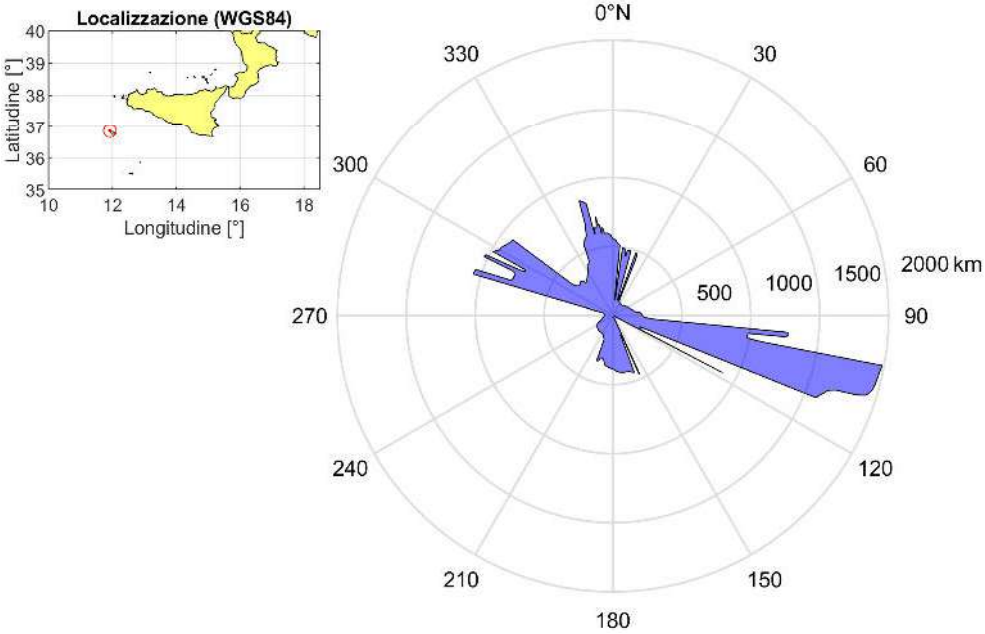


Figura 25: Fetch geografico.

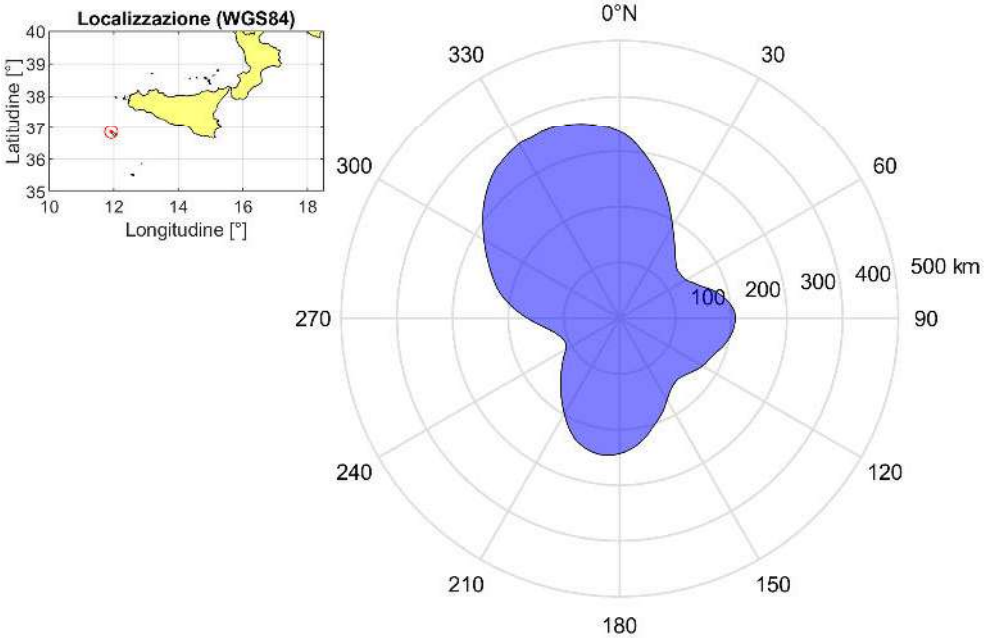


Figura 26: Fetch efficace.

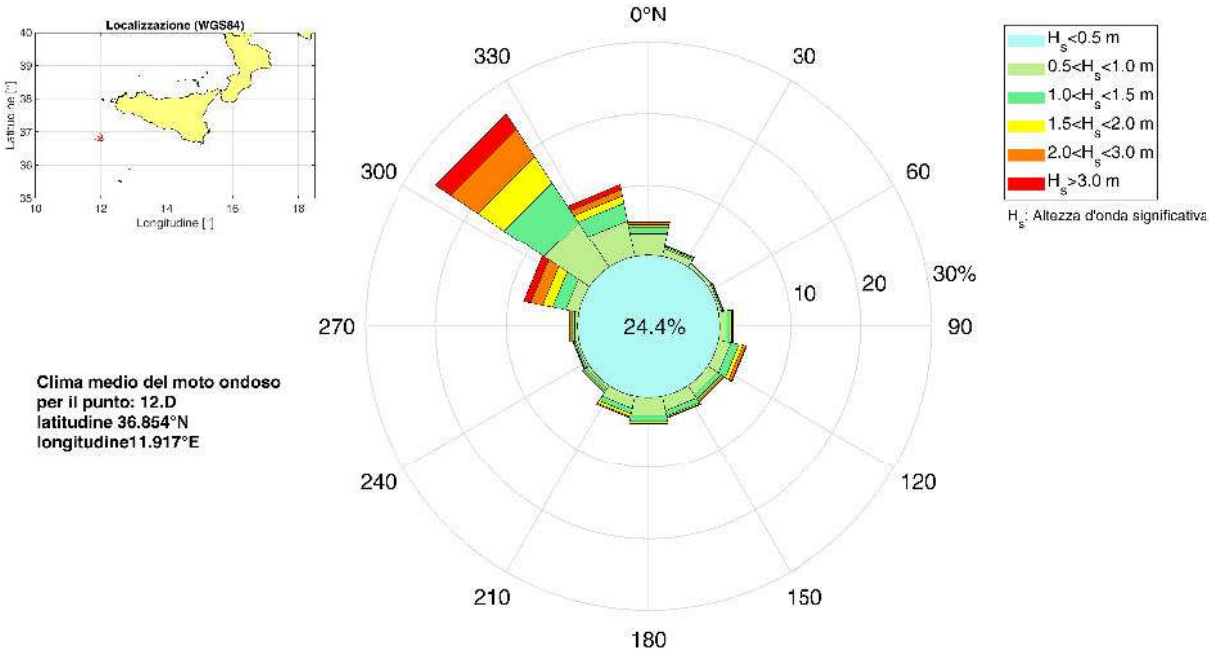


Figura 27: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 37: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.68	3.47	0.89	0.41	0.34	0.12
22.5	1.82	1.12	0.25	0.14	0.08	0.01
45.0	0.81	0.47	0.15	0.05	0.03	0.02
67.5	0.68	0.52	0.17	0.09	0.05	-
90.0	0.79	1.09	0.52	0.28	0.21	0.04
112.5	0.98	1.81	1.16	0.56	0.43	0.12
135.0	1.31	1.57	0.68	0.32	0.19	0.03
157.5	1.85	2.11	0.74	0.21	0.10	0.01
180.0	2.22	2.76	0.83	0.31	0.07	-
202.5	1.75	1.78	0.75	0.43	0.16	0.03
225.0	0.72	0.59	0.39	0.17	0.07	0.01
247.5	0.50	0.46	0.26	0.11	0.07	0.01
270.0	0.48	0.56	0.34	0.20	0.12	0.06
292.5	0.96	1.87	1.89	1.42	1.71	1.03
315.0	2.51	7.73	6.69	4.41	4.66	2.54
337.5	3.38	5.32	2.52	1.07	0.88	0.73

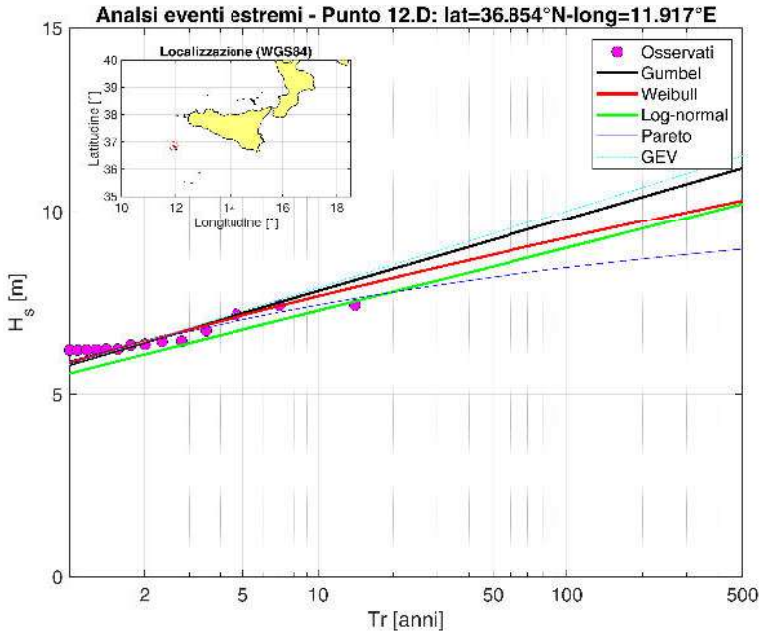


Figura 28: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 38: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	478	34.143	3.260	1.111	7.43
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04873	0.05170	0.05563	0.06176	0.07407
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08949	0.07530	0.09650	0.03594	0.08650

Tabella 39: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.155	2.760	1.679	1.729	1.396	1.131	0.310	2.000	1.483	-0.174	2.758	0.854	-0.011

Tabella 40: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.41	6.44	6.09	6.43	6.44
5	7.21	7.15	6.77	7.04	7.27
10	7.81	7.67	7.28	7.43	7.90
50	9.21	8.80	8.47	8.18	9.38
100	9.81	9.27	8.99	8.45	10.02
500	11.20	10.31	10.22	8.95	11.53

Unità fisiografica di I ordine
13

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 13.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 13.B)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 13.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 13.B)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
13.A

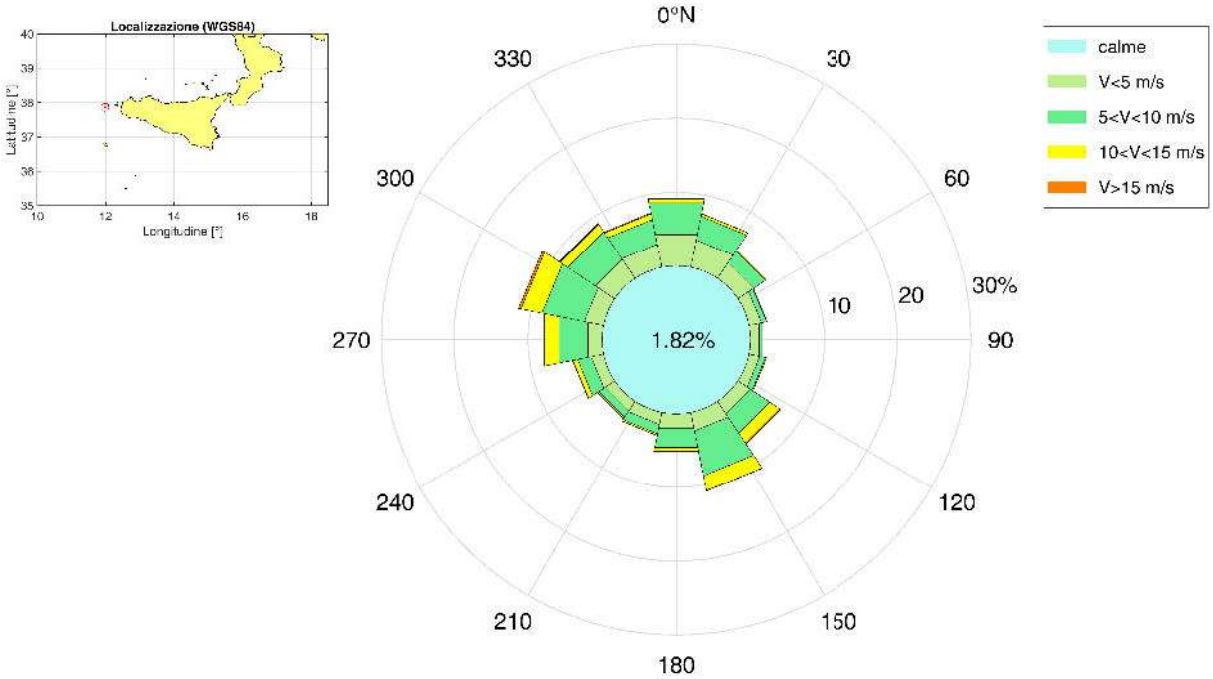


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.13	4.55	4.35	0.56	0.03
22.5	0.12	3.78	3.29	0.37	0.02
45.0	0.12	2.64	1.77	0.20	-
67.5	0.12	1.72	0.70	0.06	-
90.0	0.11	1.35	0.43	0.03	-
112.5	0.11	1.48	0.79	0.15	0.01
135.0	0.10	2.05	3.10	1.56	0.18
157.5	0.10	2.55	6.20	2.09	0.04
180.0	0.10	2.14	2.67	0.56	0.02
202.5	0.11	1.66	1.28	0.24	0.01
225.0	0.11	1.49	1.09	0.19	0.01
247.5	0.12	1.72	1.85	0.65	0.05
270.0	0.11	2.12	3.96	2.02	0.15
292.5	0.12	2.67	5.79	2.90	0.33
315.0	0.12	3.08	4.55	1.22	0.13
337.5	0.11	3.21	3.40	0.82	0.12

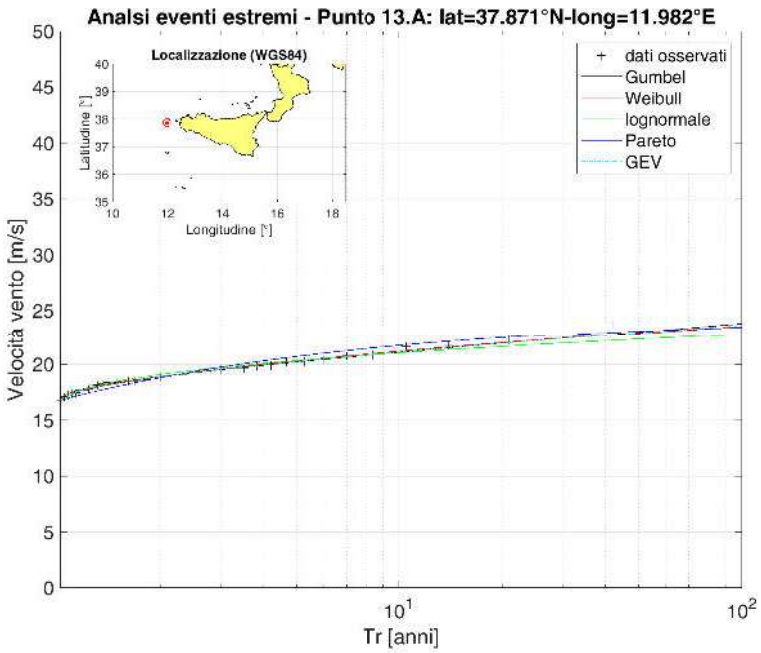


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.04610	0.06994	0.08868	0.14404	0.04720

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.861	18.488	2.634	16.800	1.623	2.950	0.076	16.733	3.508	-0.457	18.498	1.209	0.032

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	18.91	18.90	19.10	18.82	18.94
5	20.23	20.33	20.36	20.73	20.27
10	21.10	21.20	21.05	21.73	21.12
50	23.02	22.90	22.31	23.12	22.93
100	23.83	23.55	22.77	23.47	23.67
500	25.70	24.92	23.74	23.95	25.31

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
13.B

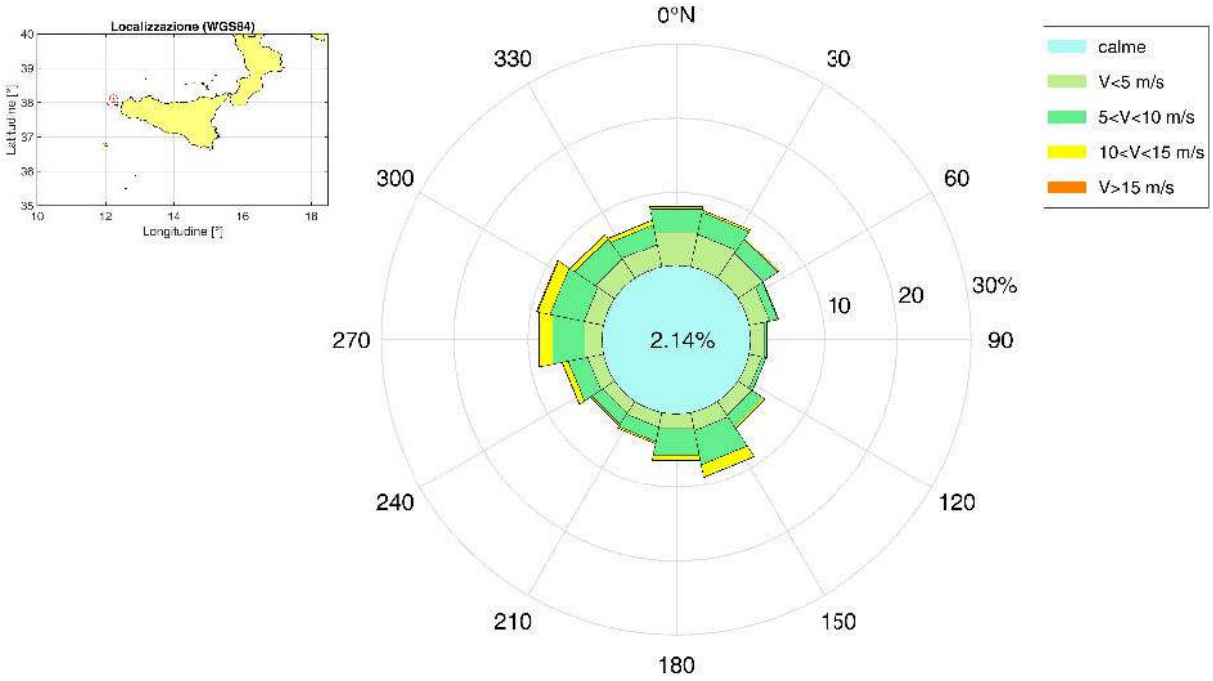


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.17	4.94	3.12	0.37	0.02
22.5	0.13	4.65	3.02	0.29	0.01
45.0	0.13	4.06	2.38	0.21	-
67.5	0.15	2.85	1.13	0.10	-
90.0	0.15	2.05	0.43	0.01	-
112.5	0.12	1.83	0.51	0.02	-
135.0	0.13	2.29	1.80	0.30	0.02
157.5	0.12	2.51	4.70	1.71	0.03
180.0	0.12	2.22	3.63	0.73	0.02
202.5	0.13	2.06	1.98	0.26	0.01
225.0	0.13	1.99	1.67	0.24	0.01
247.5	0.14	2.21	2.66	0.81	0.04
270.0	0.13	2.55	4.42	1.82	0.09
292.5	0.13	2.70	4.65	1.74	0.14
315.0	0.13	3.07	3.40	0.75	0.07
337.5	0.14	3.21	2.71	0.62	0.05

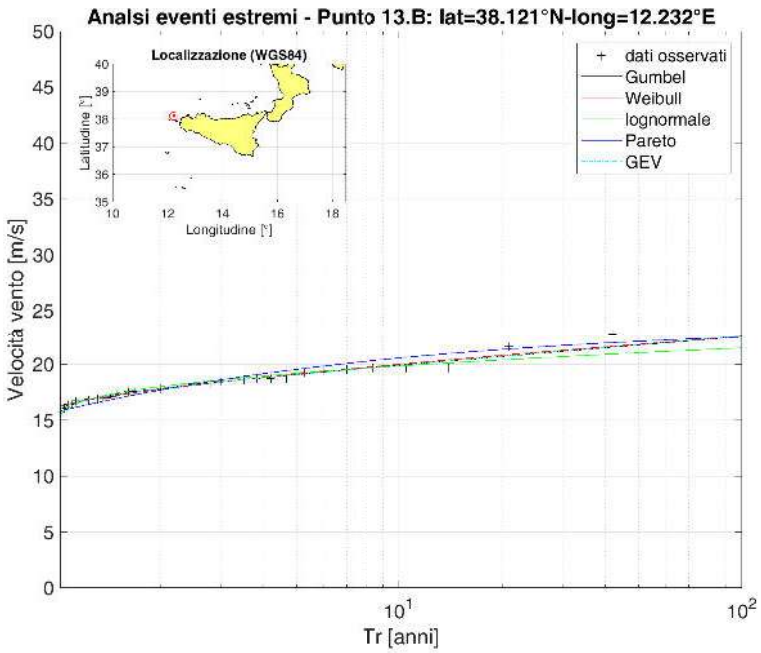


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05589	0.06651	0.07409	0.16375	0.05710

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.903	17.431	2.145	16.114	1.395	2.891	0.076	15.768	3.202	-0.402	17.428	1.091	-0.011

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.84	17.76	18.02	17.70	17.83
5	19.09	19.13	19.20	19.56	19.08
10	19.92	20.01	19.85	20.58	19.91
50	21.75	21.82	21.05	22.08	21.78
100	22.52	22.52	21.49	22.49	22.58
500	24.31	24.06	22.41	23.08	24.44

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
13.A

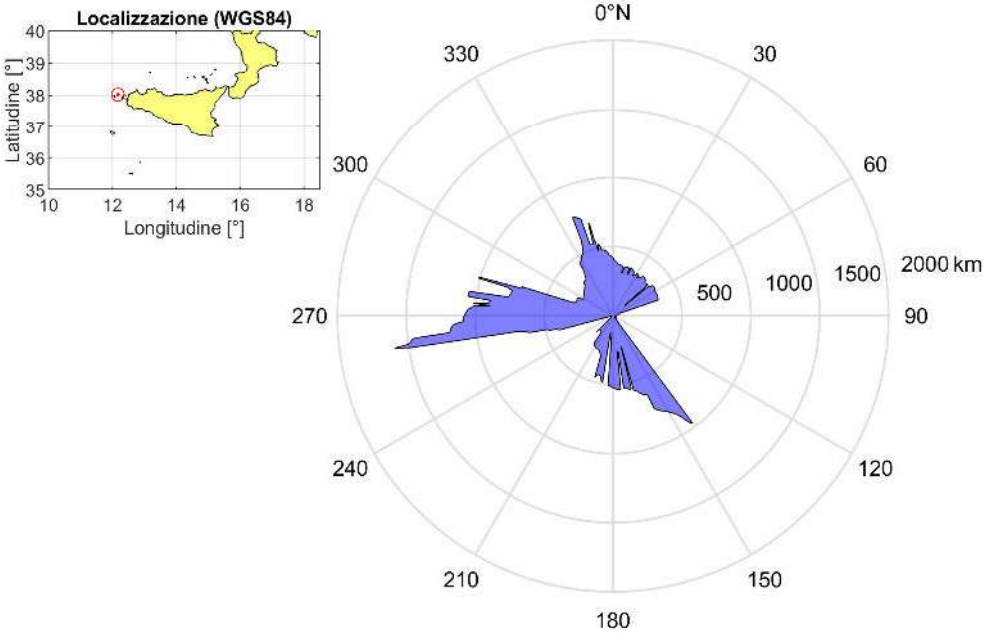


Figura 5: Fetch geografico.

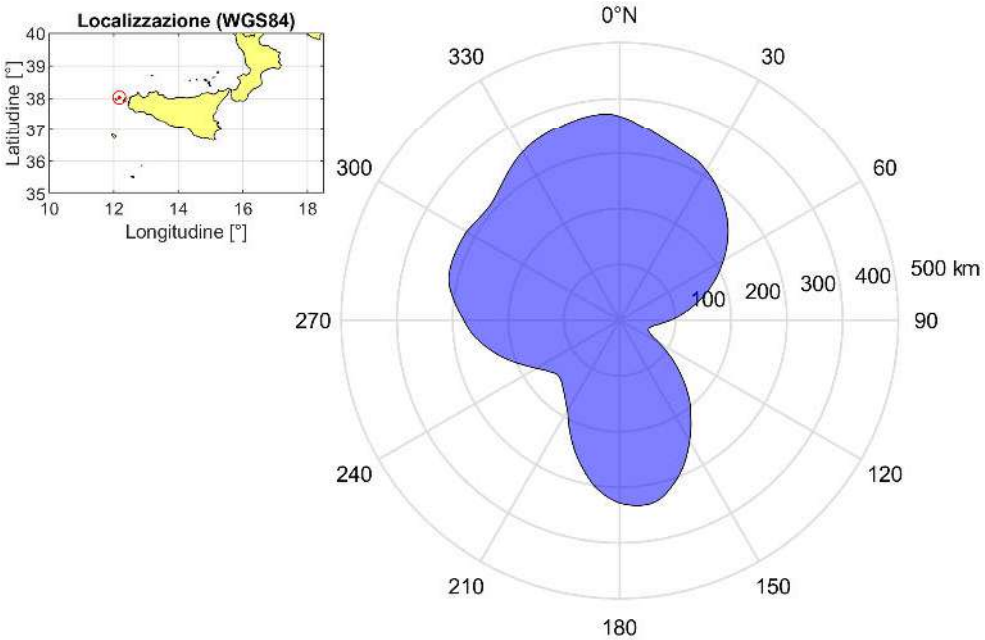


Figura 6: Fetch efficace.

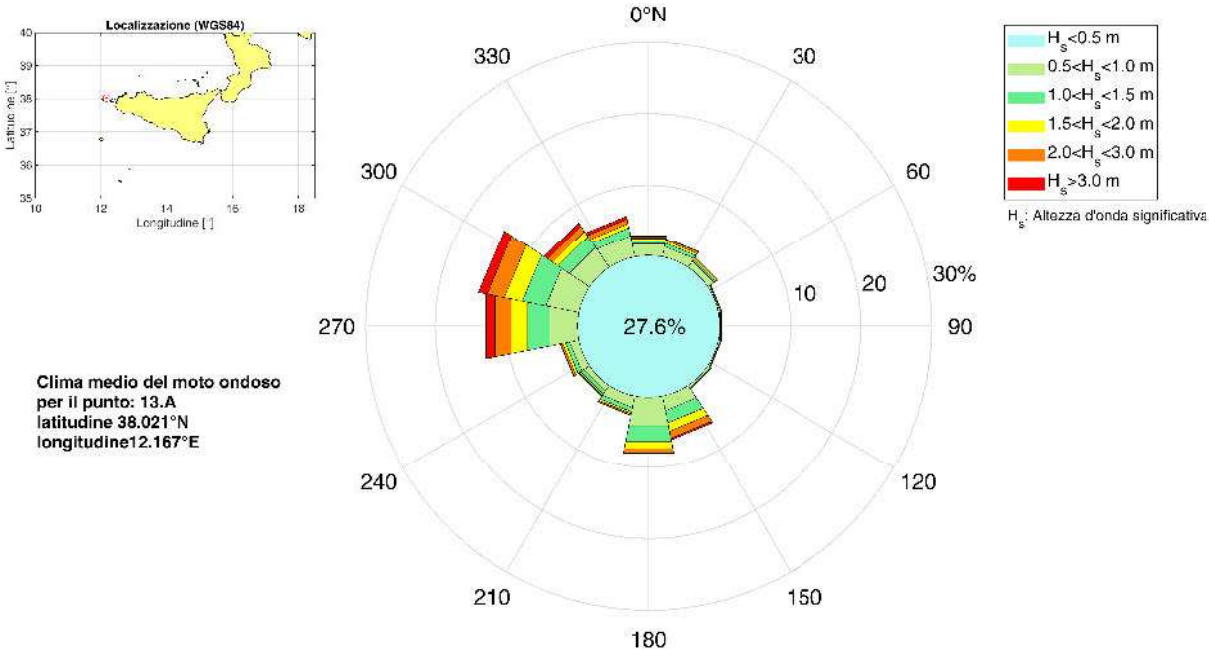


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.09	1.86	0.58	0.34	0.21	0.09
22.5	3.23	1.49	0.50	0.33	0.27	0.06
45.0	2.39	1.10	0.29	0.14	0.11	0.03
67.5	0.75	0.31	0.13	0.04	0.01	-
90.0	0.45	0.24	0.11	0.03	0.01	-
112.5	0.35	0.30	0.09	0.02	0.01	-
135.0	0.56	0.41	0.13	0.06	0.03	-
157.5	1.36	2.08	1.74	1.21	1.00	0.24
180.0	2.55	4.25	2.23	1.03	0.58	0.06
202.5	1.73	1.66	0.59	0.28	0.20	0.04
225.0	1.01	0.98	0.46	0.26	0.13	0.01
247.5	0.81	1.33	0.59	0.40	0.30	0.06
270.0	1.58	4.18	3.17	2.32	2.34	1.27
292.5	2.31	4.72	3.38	2.60	2.46	1.23
315.0	2.48	3.41	1.91	0.89	0.90	0.58
337.5	2.98	3.12	1.15	0.59	0.66	0.43

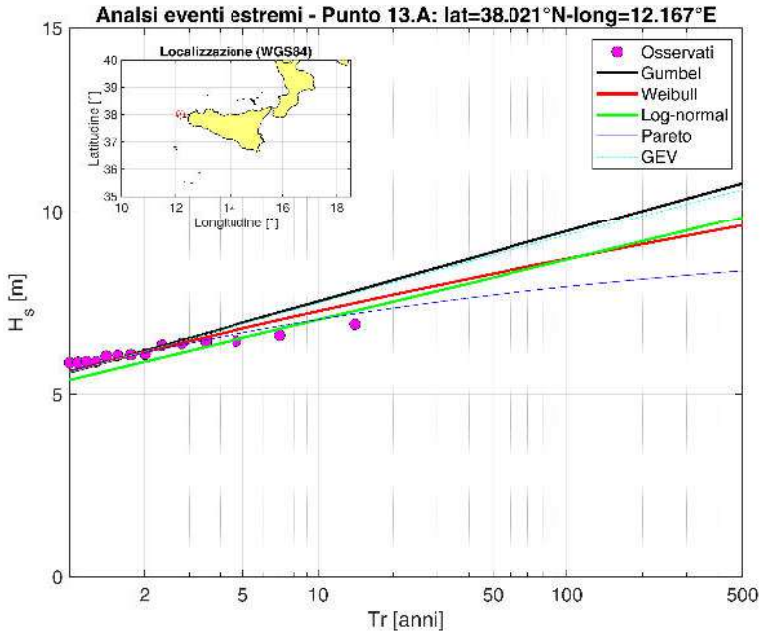


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	457	32.643	3.198	1.067	6.91
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04983	0.05287	0.05688	0.06315	0.07574
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09172	0.09108	0.10044	0.04569	0.09354

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.203	2.718	1.720	1.643	1.483	1.113	0.305	2.000	1.431	-0.189	2.719	0.839	0.006

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.19	6.15	5.89	6.13	6.17
5	6.95	6.80	6.54	6.68	6.92
10	7.53	7.26	7.03	7.04	7.49
50	8.87	8.27	8.17	7.70	8.78
100	9.45	8.69	8.67	7.93	9.34
500	10.78	9.60	9.84	8.36	10.61

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
13.B

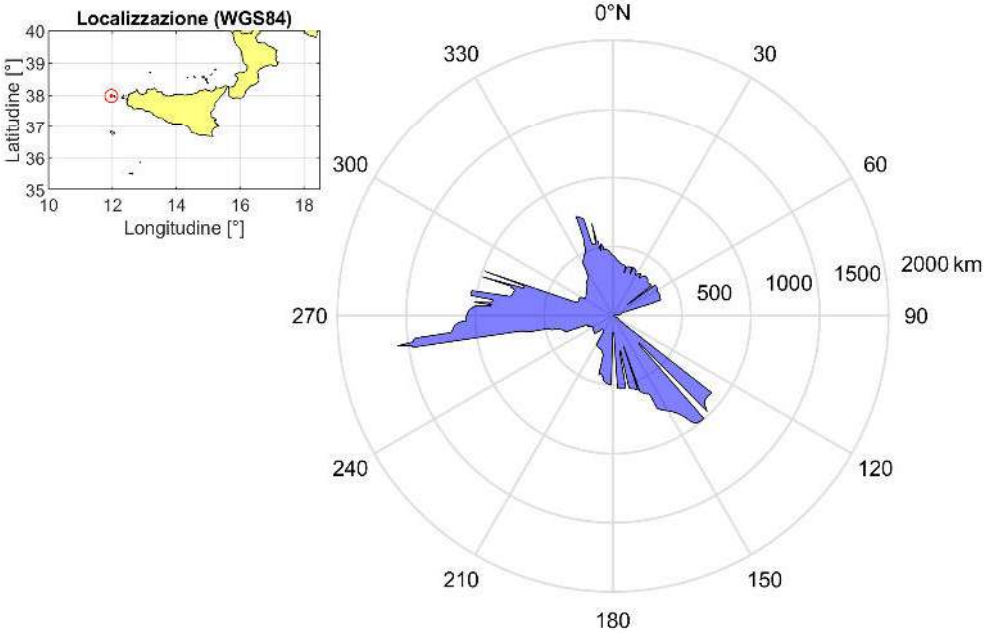


Figura 9: Fetch geografico.

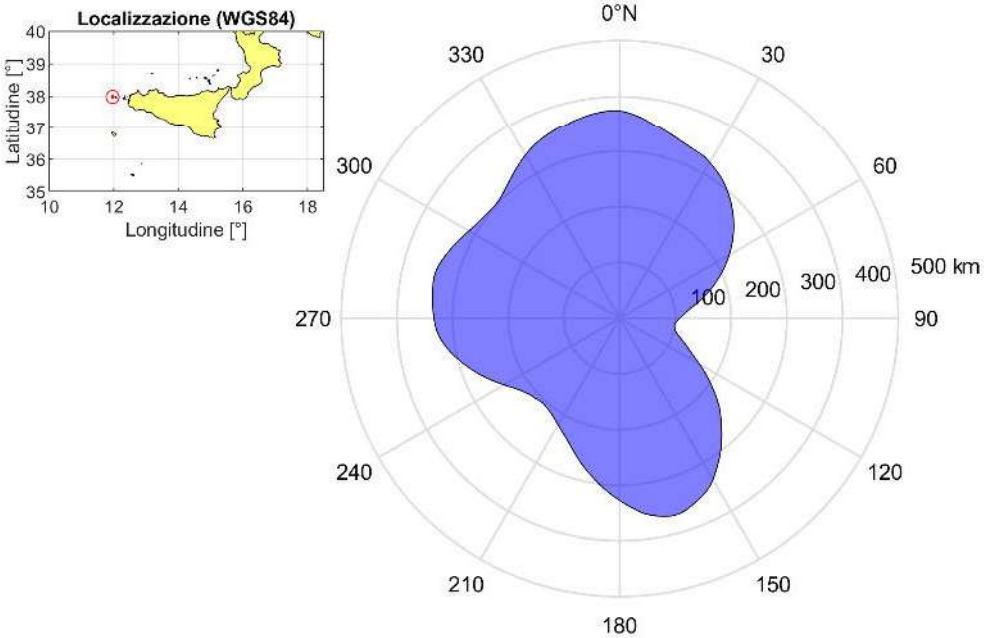


Figura 10: Fetch efficace.

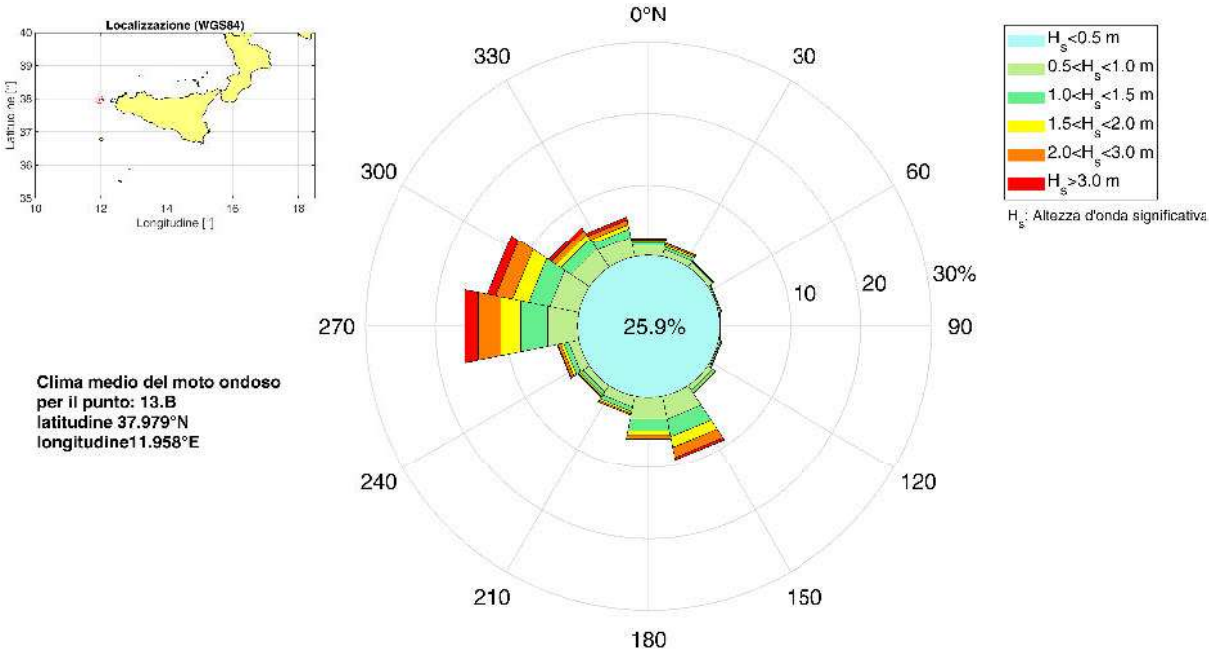


Figura 11: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.76	1.57	0.52	0.29	0.23	0.10
22.5	2.56	1.03	0.41	0.29	0.24	0.04
45.0	2.07	0.75	0.18	0.08	0.06	0.03
67.5	0.79	0.31	0.12	0.03	0.01	-
90.0	0.48	0.20	0.08	0.03	0.01	-
112.5	0.48	0.32	0.15	0.06	0.02	0.01
135.0	0.76	0.89	0.28	0.13	0.08	0.01
157.5	1.52	3.30	2.53	1.53	1.45	0.38
180.0	2.31	3.28	1.62	0.74	0.47	0.05
202.5	1.67	1.59	0.61	0.31	0.20	0.04
225.0	0.82	1.06	0.49	0.28	0.15	0.02
247.5	0.76	1.49	0.69	0.45	0.39	0.12
270.0	1.59	4.46	3.85	2.86	3.22	1.97
292.5	2.15	4.18	3.02	2.31	2.42	1.23
315.0	2.37	3.20	1.68	0.78	0.76	0.53
337.5	2.78	2.92	1.21	0.64	0.66	0.46

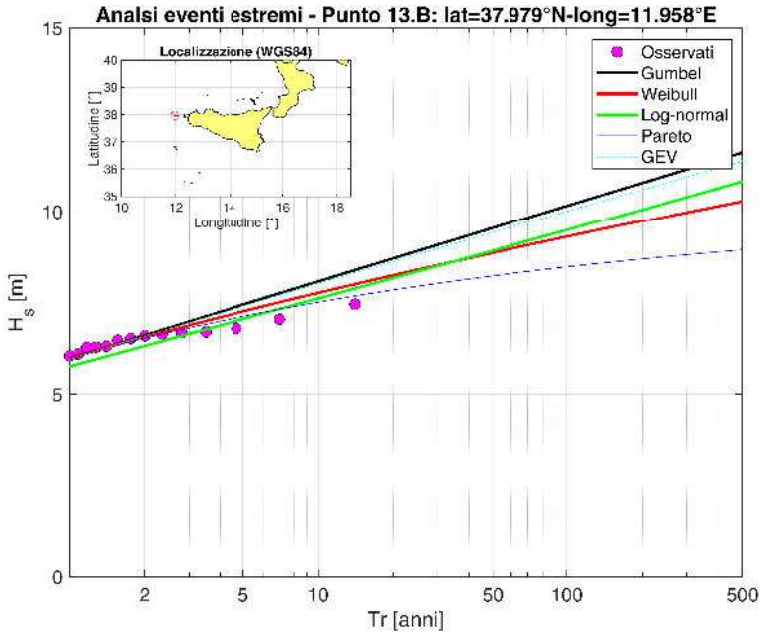


Figura 12: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	481	34.357	3.303	1.163	7.45
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.04858	0.05154	0.05545	0.06157	0.07384
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09421	0.09540	0.10094	0.04921	0.09644

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.103	2.780	1.886	1.599	1.491	1.140	0.322	2.000	1.557	-0.189	2.781	0.916	0.008

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.61	6.56	6.32	6.53	6.59
5	7.44	7.26	7.05	7.12	7.40
10	8.07	7.76	7.61	7.51	8.01
50	9.53	8.85	8.91	8.22	9.41
100	10.16	9.30	9.48	8.47	10.01
500	11.62	10.29	10.83	8.93	11.39

Unità fisiografica di I ordine
14

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 14.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 14.D)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 14.C)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 14.B)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 14.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 14.B)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 14.C)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 14.D)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
14.A

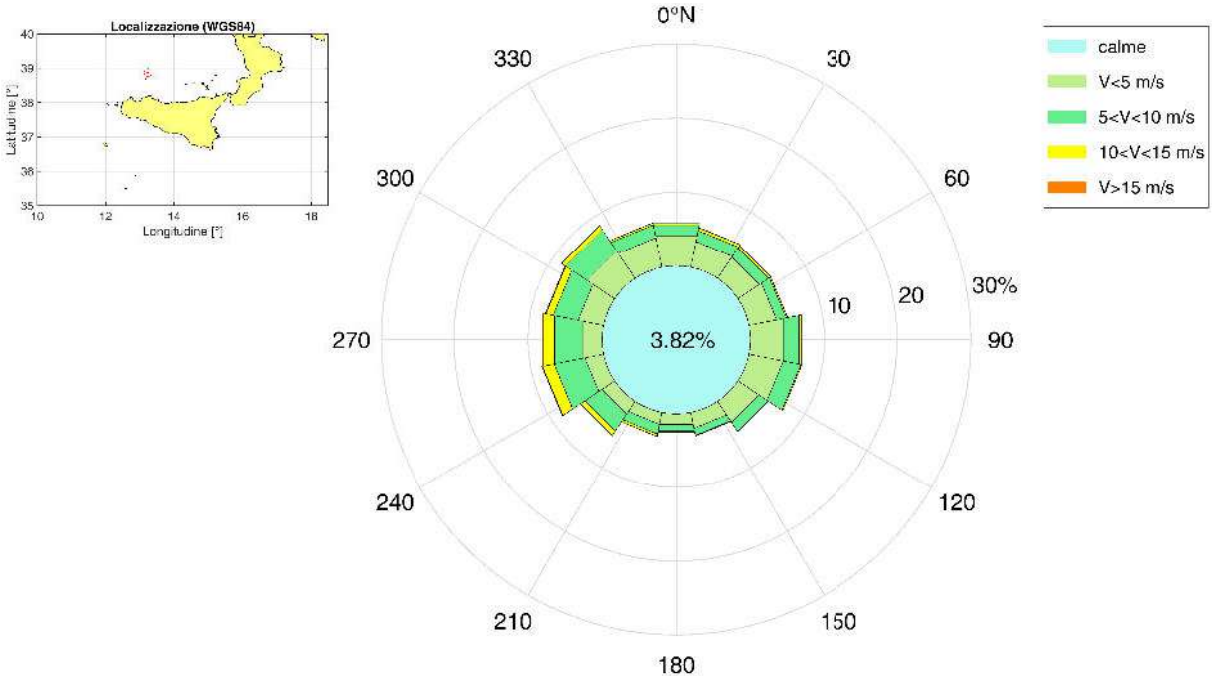


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.29	4.41	1.43	0.23	0.01
22.5	0.28	3.58	1.51	0.41	0.02
45.0	0.30	3.43	1.54	0.34	0.01
67.5	0.28	3.80	1.30	0.18	0.01
90.0	0.29	4.69	2.17	0.32	0.01
112.5	0.25	4.71	2.41	0.14	-
135.0	0.24	3.44	1.45	0.07	-
157.5	0.21	2.19	0.97	0.09	-
180.0	0.21	1.64	0.93	0.15	-
202.5	0.18	1.64	1.33	0.33	0.01
225.0	0.19	2.06	2.72	0.75	0.04
247.5	0.20	2.57	4.23	1.60	0.07
270.0	0.20	2.89	3.82	1.59	0.12
292.5	0.23	3.50	3.42	0.99	0.10
315.0	0.23	4.54	3.41	0.61	0.06
337.5	0.25	4.09	1.77	0.28	0.02

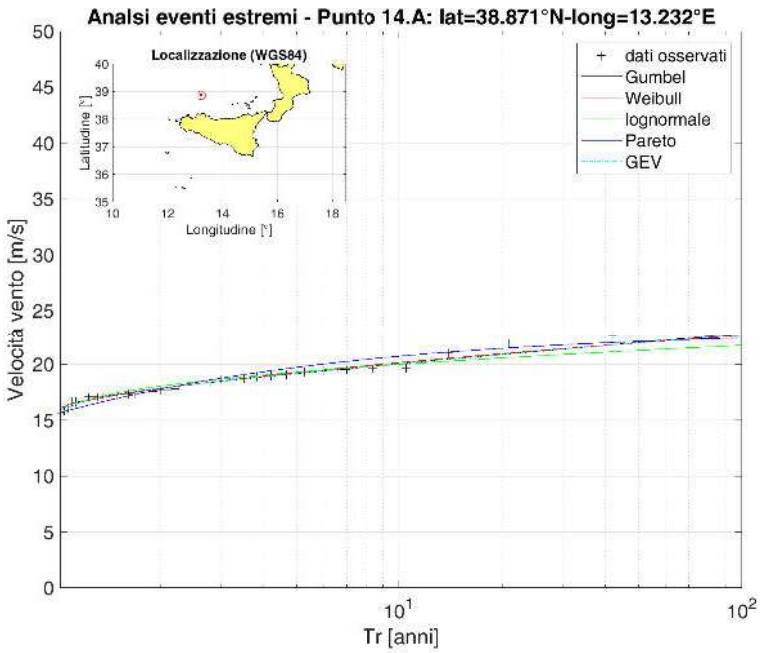


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08265	0.10866	0.11727	0.18822	0.08380

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.862	17.448	2.462	15.898	1.520	2.894	0.079	15.597	3.727	-0.491	17.452	1.181	0.013

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.87	17.83	18.06	17.79	17.88
5	19.19	19.27	19.31	19.74	19.21
10	20.06	20.16	20.00	20.74	20.07
50	21.98	21.94	21.26	22.08	21.94
100	22.79	22.63	21.73	22.40	22.72
500	24.66	24.09	22.70	22.83	24.50

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
14.D

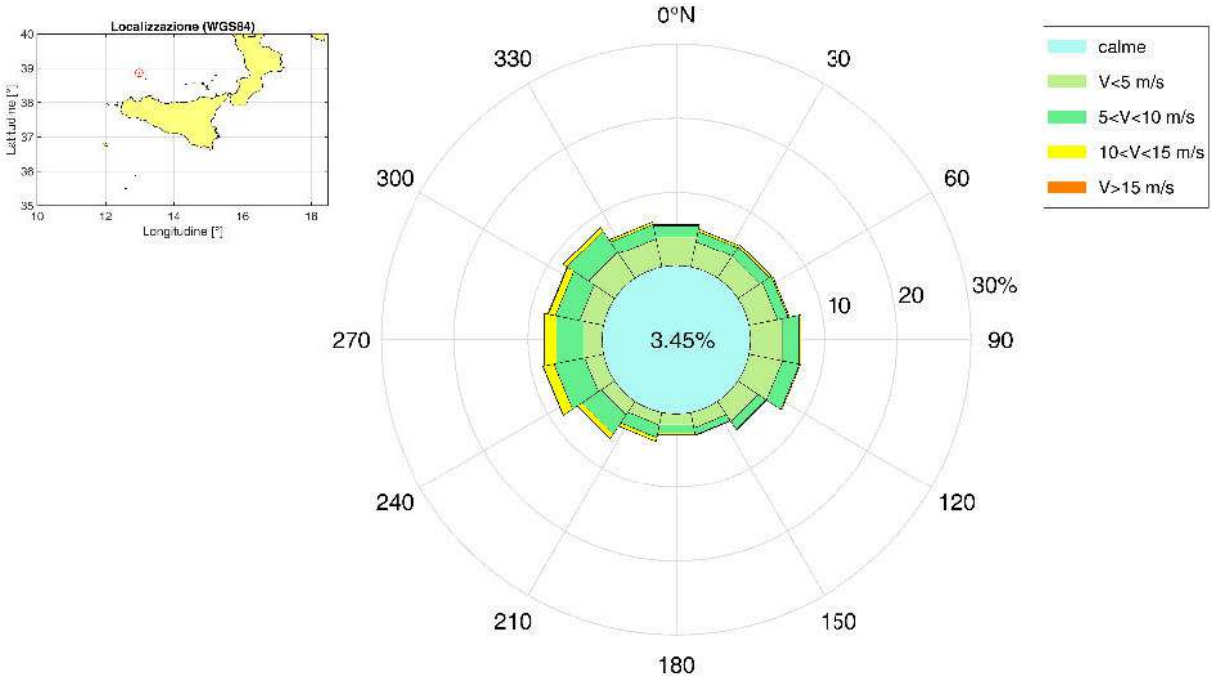


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.28	4.30	1.44	0.21	0.01
22.5	0.26	3.61	1.40	0.34	0.02
45.0	0.26	3.54	1.57	0.36	0.01
67.5	0.25	3.93	1.44	0.20	0.01
90.0	0.25	4.63	2.22	0.28	0.01
112.5	0.22	4.61	2.33	0.13	-
135.0	0.22	3.29	1.29	0.06	-
157.5	0.20	2.15	0.94	0.07	-
180.0	0.17	1.72	1.08	0.20	-
202.5	0.18	1.74	1.73	0.52	0.01
225.0	0.18	2.17	3.10	0.81	0.04
247.5	0.17	2.62	4.20	1.49	0.06
270.0	0.19	2.76	3.72	1.65	0.11
292.5	0.19	3.30	3.31	0.98	0.10
315.0	0.21	4.24	3.44	0.67	0.06
337.5	0.21	4.00	1.96	0.35	0.02

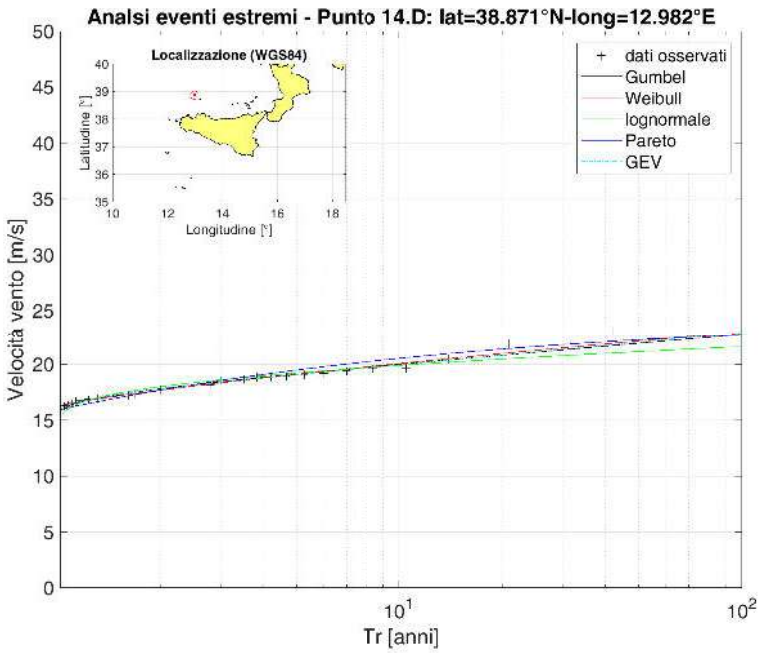


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05867	0.05602	0.10071	0.12880	0.05546

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.864	17.393	1.987	16.211	1.254	2.891	0.079	15.917	2.865	-0.328	17.384	1.096	-0.040

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.82	17.70	18.01	17.69	17.79
5	19.13	19.12	19.24	19.50	19.08
10	20.00	20.08	19.91	20.55	19.96
50	21.91	22.11	21.16	22.23	22.01
100	22.72	22.93	21.61	22.72	22.92
500	24.59	24.75	22.57	23.51	25.11

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
14.C

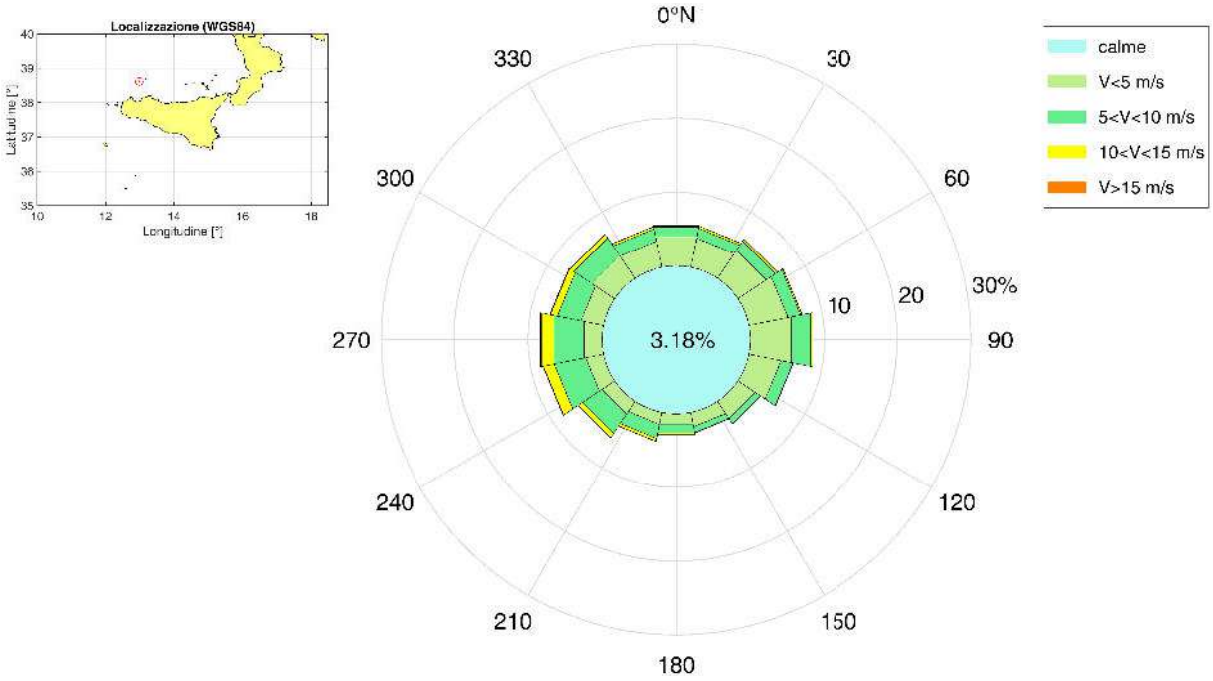


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.26	4.28	1.32	0.20	0.02
22.5	0.27	4.05	1.35	0.31	0.01
45.0	0.27	4.59	1.51	0.28	0.01
67.5	0.23	5.37	1.73	0.18	0.02
90.0	0.24	5.83	2.67	0.22	0.01
112.5	0.20	4.42	1.62	0.05	-
135.0	0.19	2.82	0.84	0.04	-
157.5	0.18	1.96	0.81	0.04	-
180.0	0.16	1.58	1.24	0.18	-
202.5	0.15	1.64	1.94	0.41	0.01
225.0	0.15	2.05	3.18	0.66	0.03
247.5	0.16	2.46	4.33	1.50	0.06
270.0	0.17	2.70	4.11	1.74	0.13
292.5	0.17	3.10	3.25	0.96	0.08
315.0	0.20	3.69	2.93	0.58	0.06
337.5	0.19	3.63	1.68	0.33	0.02

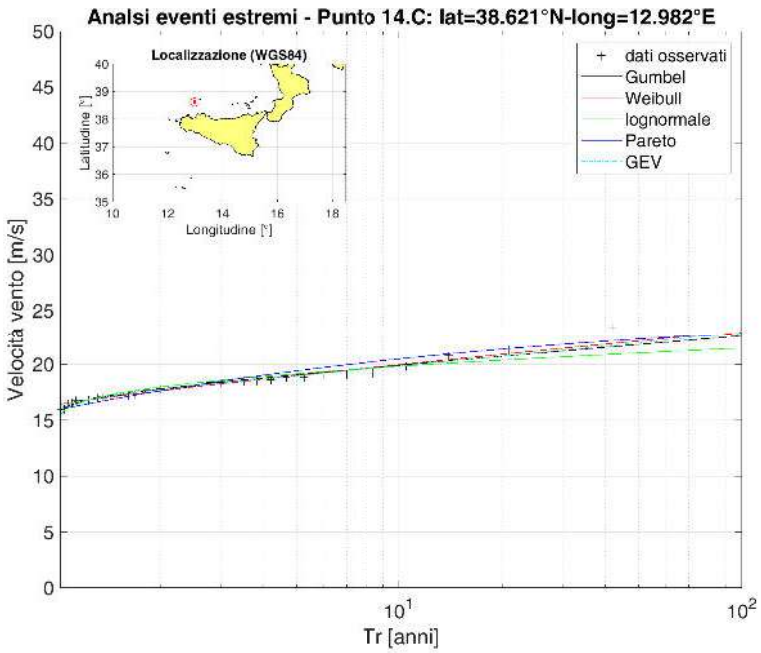


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06932	0.07276	0.09315	0.16494	0.05407

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.882	17.375	1.723	16.383	1.134	2.889	0.077	15.926	2.725	-0.290	17.362	1.031	-0.067

Tabella 12: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.79	17.63	17.98	17.64	17.74
5	19.08	19.00	19.17	19.43	18.99
10	19.93	19.98	19.83	20.50	19.86
50	21.80	22.12	21.04	22.30	21.95
100	22.59	23.00	21.48	22.85	22.91
500	24.42	25.01	22.41	23.77	25.29

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
14.B

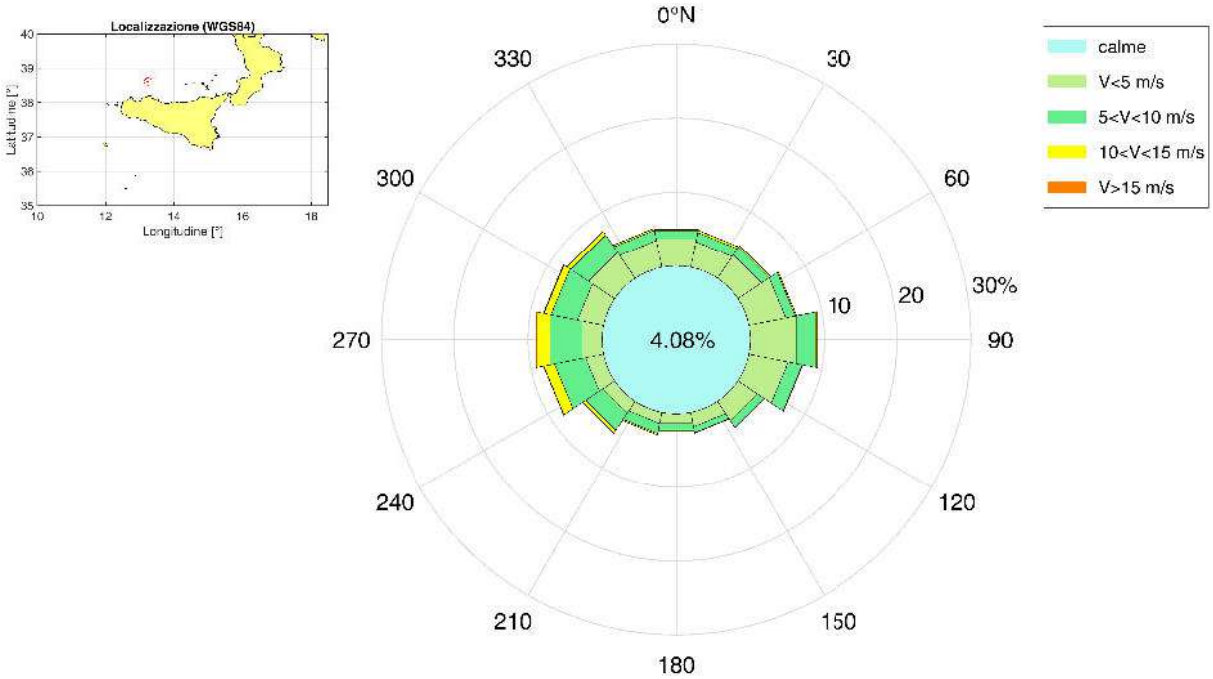


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.32	3.92	1.14	0.20	0.01
22.5	0.30	3.54	1.28	0.32	0.01
45.0	0.34	3.86	1.26	0.22	0.01
67.5	0.31	5.06	1.30	0.15	0.02
90.0	0.30	6.48	2.66	0.25	0.01
112.5	0.29	5.39	1.93	0.06	-
135.0	0.27	3.19	1.02	0.05	-
157.5	0.22	1.98	0.81	0.05	-
180.0	0.20	1.52	0.93	0.09	-
202.5	0.20	1.53	1.37	0.18	-
225.0	0.20	1.99	2.66	0.50	0.02
247.5	0.19	2.48	4.26	1.48	0.05
270.0	0.20	2.93	4.41	1.77	0.14
292.5	0.22	3.58	3.65	0.97	0.08
315.0	0.27	4.23	2.90	0.56	0.05
337.5	0.26	3.73	1.42	0.25	0.01

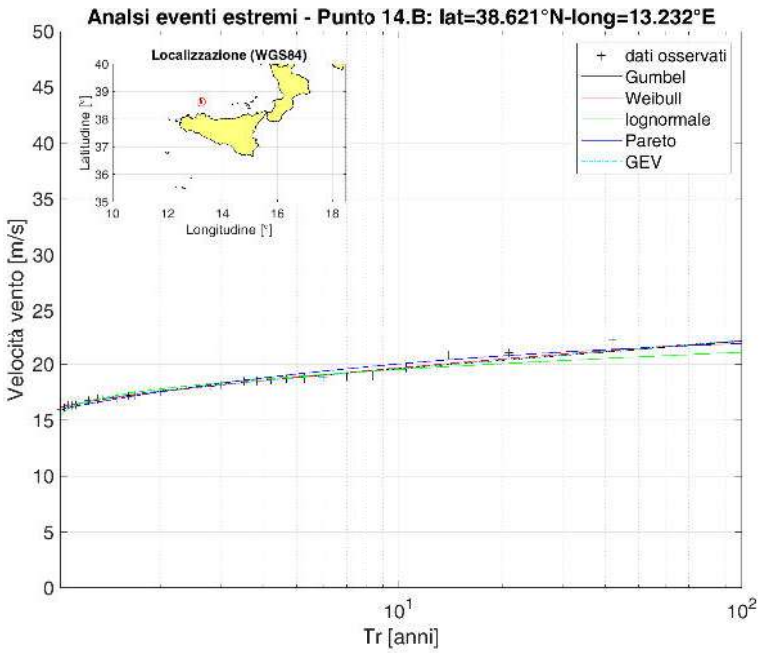


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05080	0.05655	0.09478	0.10541	0.04784

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.950	17.241	1.977	16.037	1.356	2.879	0.073	15.949	2.596	-0.351	17.236	1.027	-0.019

Tabella 16: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.63	17.55	17.80	17.55	17.61
5	18.82	18.85	18.93	19.14	18.80
10	19.61	19.70	19.54	20.05	19.60
50	21.35	21.45	20.67	21.47	21.40
100	22.09	22.14	21.09	21.87	22.17
500	23.79	23.65	21.95	22.51	24.01

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
14.A

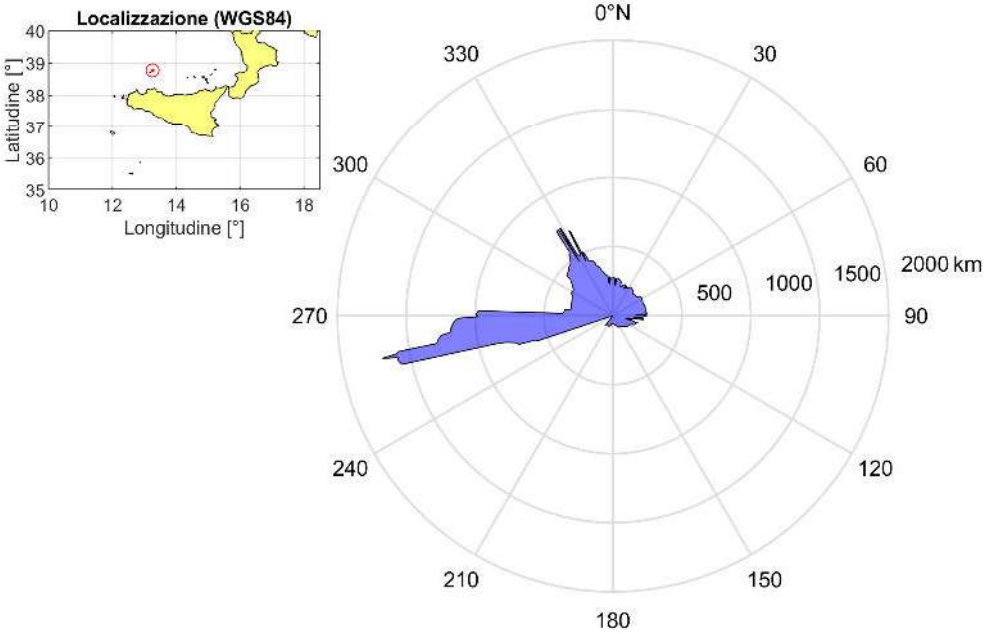


Figura 9: Fetch geografico.

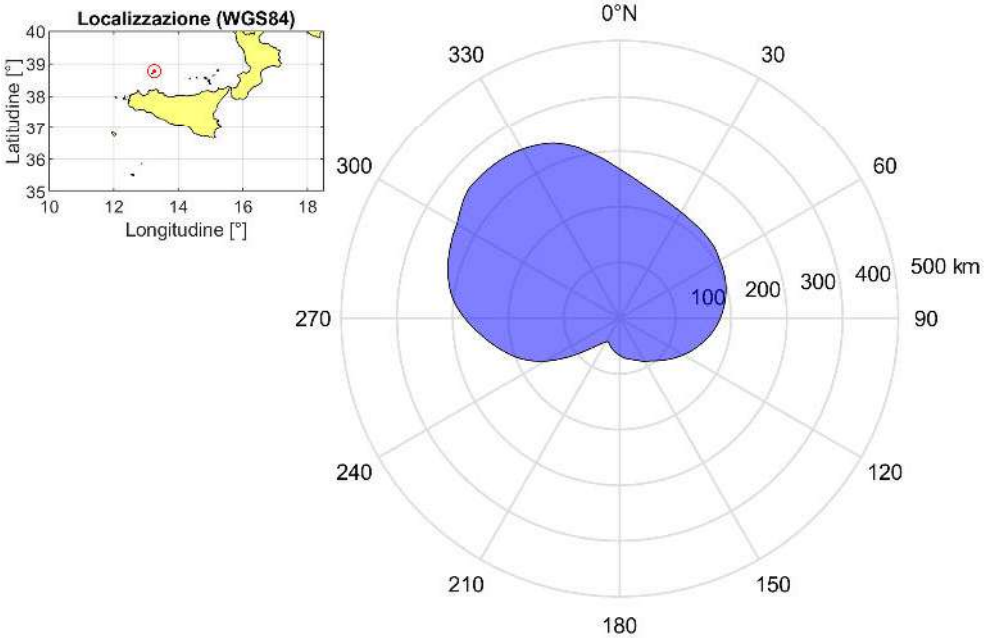


Figura 10: Fetch efficace.

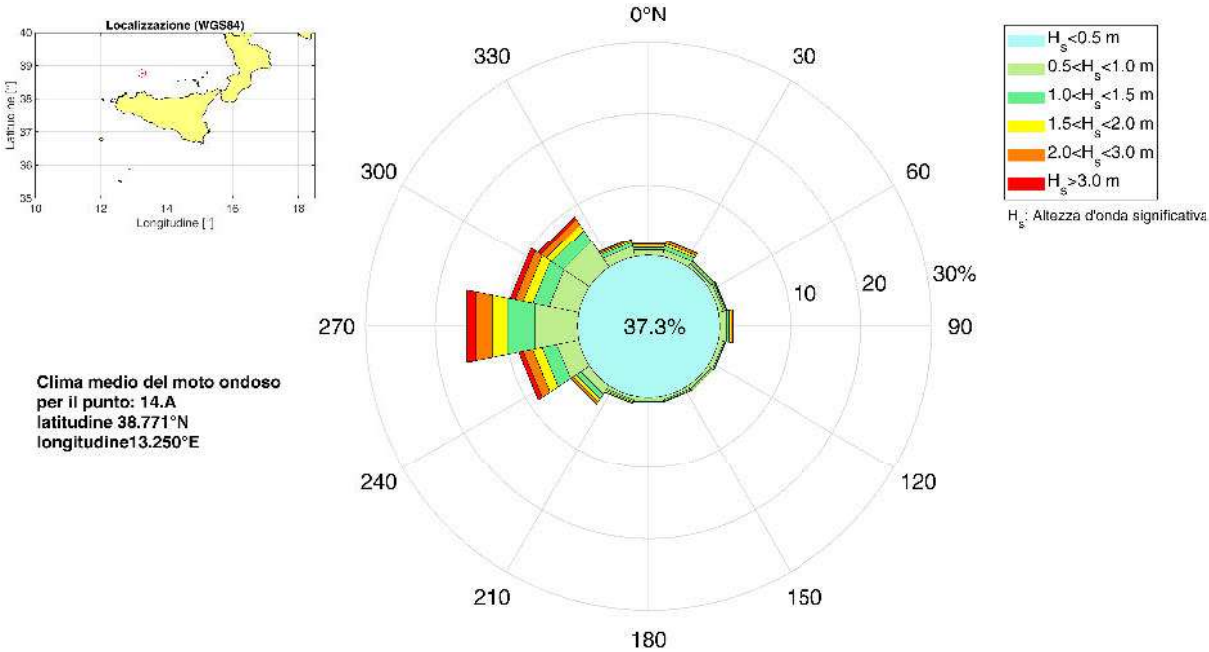


Figura 11: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 17: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.29	0.96	0.36	0.29	0.23	0.07
22.5	1.58	0.98	0.59	0.36	0.38	0.08
45.0	0.84	0.59	0.28	0.12	0.10	0.02
67.5	0.90	0.72	0.30	0.13	0.08	0.03
90.0	1.35	1.12	0.43	0.27	0.24	0.03
112.5	1.83	0.81	0.17	0.06	0.03	-
135.0	1.42	0.61	0.18	0.10	0.02	-
157.5	0.83	0.51	0.22	0.11	0.04	-
180.0	0.66	0.50	0.21	0.10	0.03	-
202.5	0.81	0.57	0.28	0.19	0.07	-
225.0	1.61	1.48	0.80	0.53	0.31	0.03
247.5	2.66	3.19	2.08	1.37	1.32	0.68
270.0	3.88	6.26	3.95	2.19	2.31	1.31
292.5	4.44	4.28	2.30	1.40	1.16	0.73
315.0	5.60	4.39	1.96	0.99	0.91	0.49
337.5	5.64	1.53	0.55	0.26	0.23	0.09

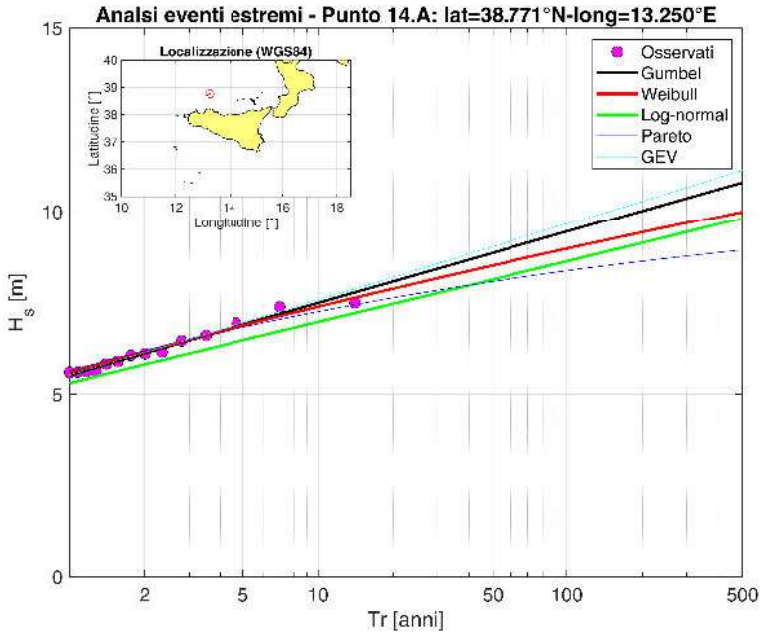


Figura 12: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 18: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	387	27.643	3.217	1.086	7.49
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05411	0.05742	0.06178	0.06859	0.08227
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09177	0.07809	0.09269	0.03366	0.08850

Tabella 19: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.181	2.728	1.635	1.725	1.391	1.119	0.306	2.000	1.413	-0.159	2.725	0.834	-0.012

Tabella 20: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.12	6.17	5.82	6.19	6.14
5	6.90	6.87	6.47	6.83	6.95
10	7.49	7.38	6.97	7.25	7.57
50	8.85	8.51	8.12	8.07	9.02
100	9.44	8.97	8.62	8.36	9.65
500	10.80	10.00	9.81	8.93	11.14

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
14.B

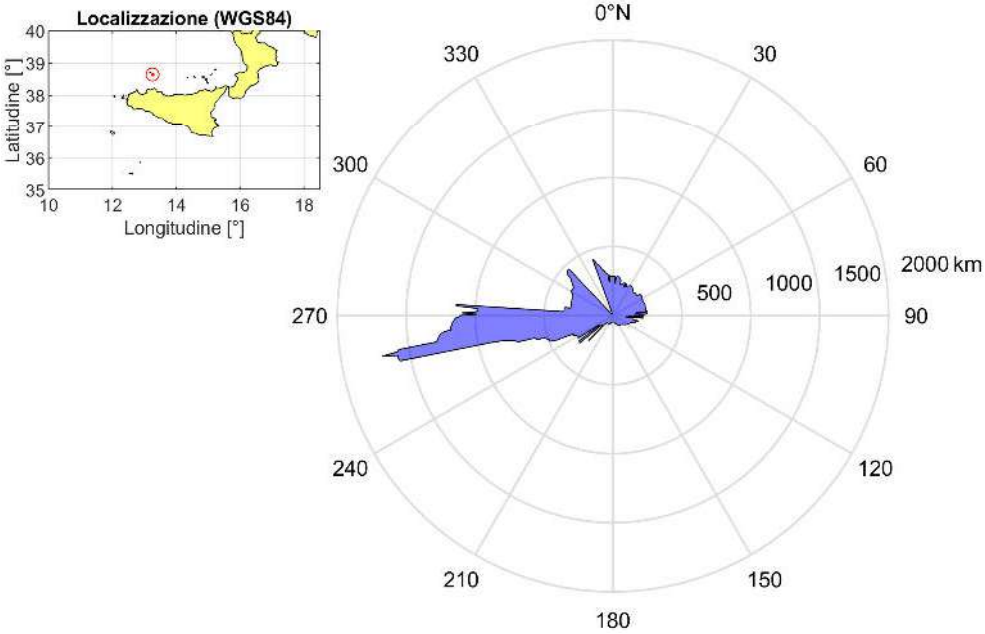


Figura 13: Fetch geografico.

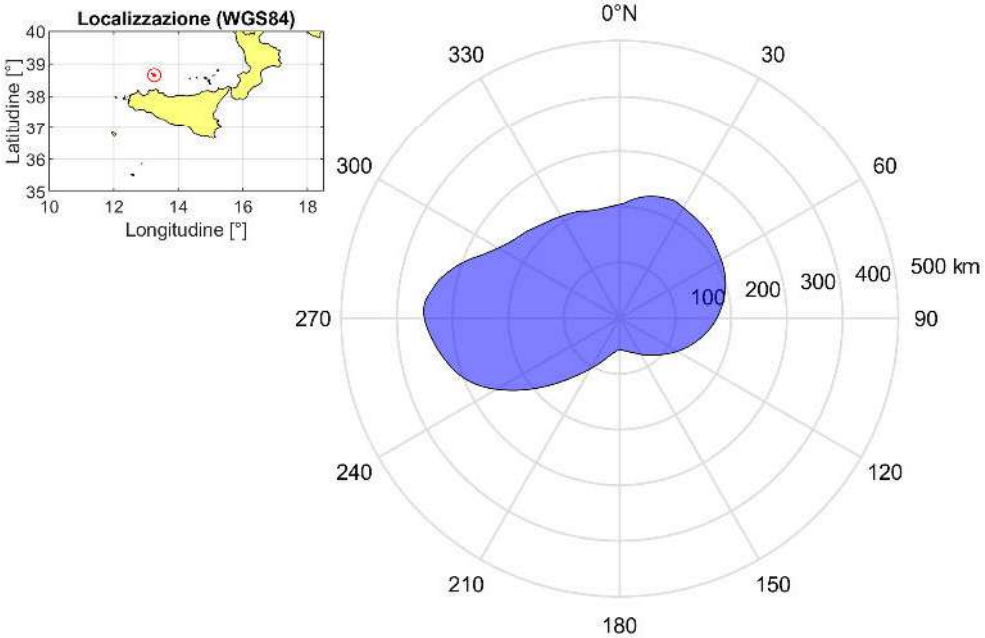


Figura 14: Fetch efficace.

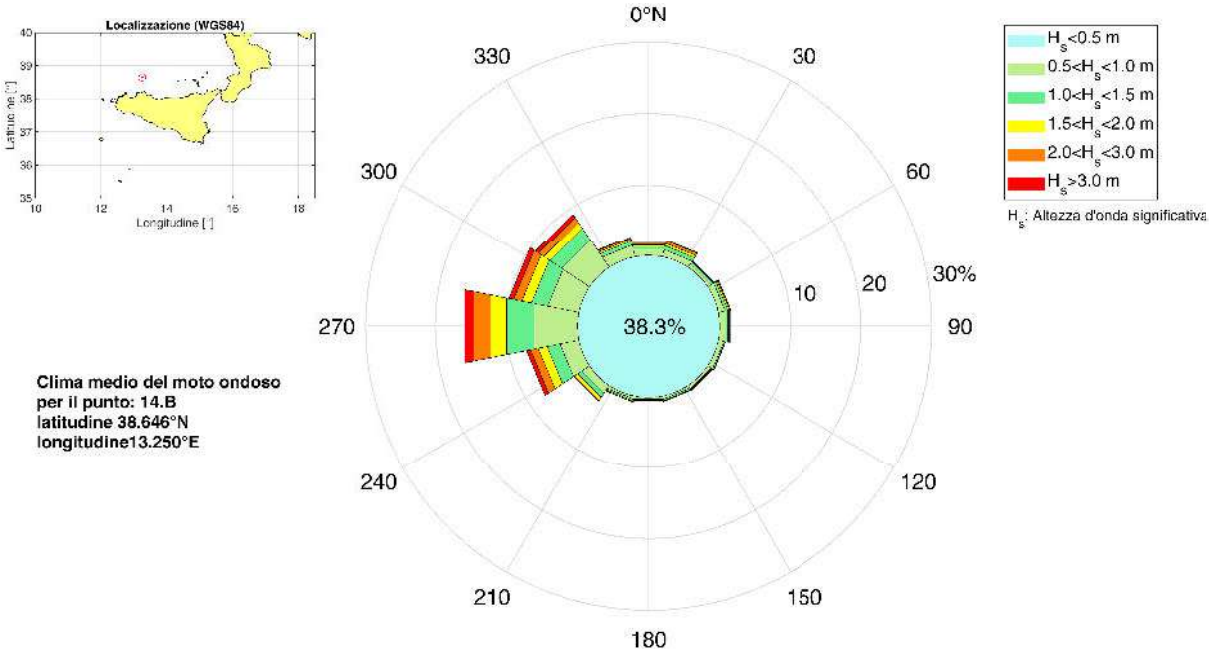


Figura 15: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 21: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.83	1.02	0.38	0.29	0.22	0.08
22.5	1.87	1.01	0.57	0.35	0.41	0.07
45.0	1.04	0.60	0.28	0.09	0.07	0.02
67.5	1.32	0.97	0.39	0.22	0.13	0.04
90.0	1.80	1.04	0.32	0.17	0.14	0.01
112.5	2.23	0.82	0.16	0.05	0.02	-
135.0	1.19	0.58	0.16	0.08	0.03	-
157.5	0.64	0.44	0.23	0.09	0.01	-
180.0	0.49	0.40	0.16	0.07	0.01	-
202.5	0.63	0.47	0.25	0.14	0.04	-
225.0	1.16	1.30	0.71	0.43	0.20	0.01
247.5	2.59	2.71	1.85	1.27	1.10	0.58
270.0	3.82	6.38	3.95	2.28	2.40	1.37
292.5	4.22	4.46	2.33	1.37	1.16	0.69
315.0	5.58	4.65	2.06	1.01	0.91	0.53
337.5	5.84	1.71	0.58	0.28	0.25	0.10

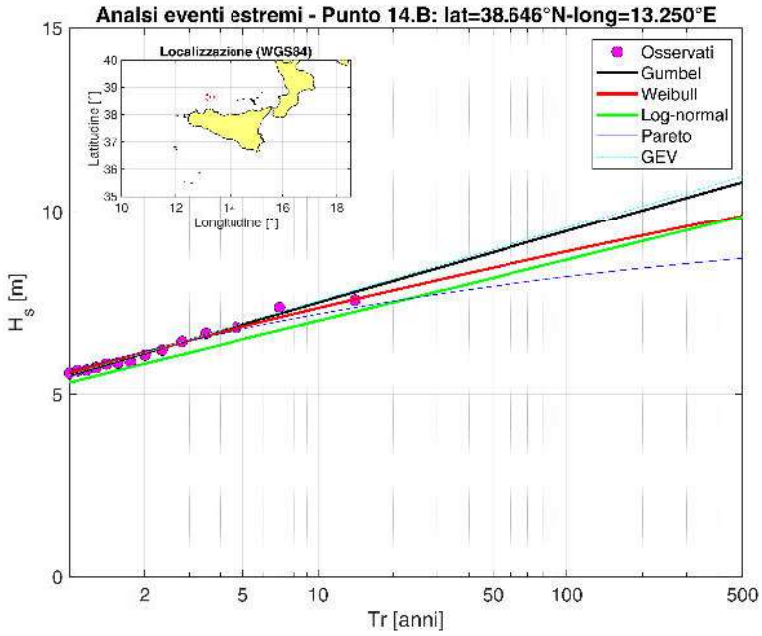


Figura 16: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 22: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	376	26.857	3.240	1.089	7.56
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05489	0.05824	0.06267	0.06958	0.08346
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08981	0.08036	0.09986	0.03901	0.08837

Tabella 23: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.178	2.750	1.680	1.713	1.423	1.126	0.306	2.000	1.464	-0.178	2.749	0.843	-0.005

Tabella 24: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.12	6.15	5.84	6.17	6.14
5	6.91	6.85	6.50	6.78	6.93
10	7.50	7.35	7.00	7.18	7.53
50	8.86	8.44	8.16	7.94	8.94
100	9.45	8.89	8.67	8.20	9.55
500	10.82	9.89	9.86	8.70	10.97

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
14.C

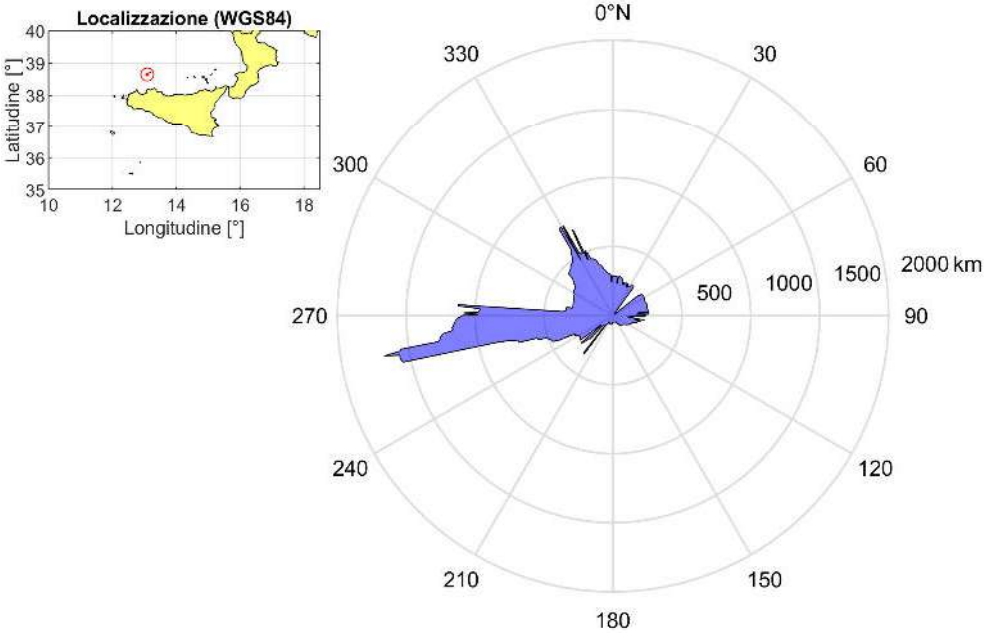


Figura 17: Fetch geografico.

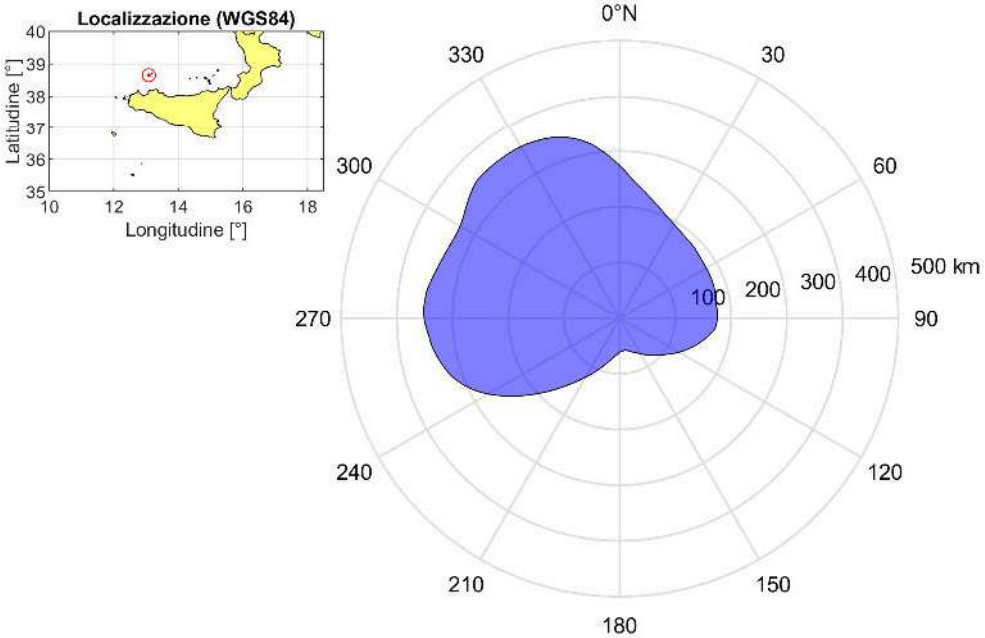


Figura 18: Fetch efficace.

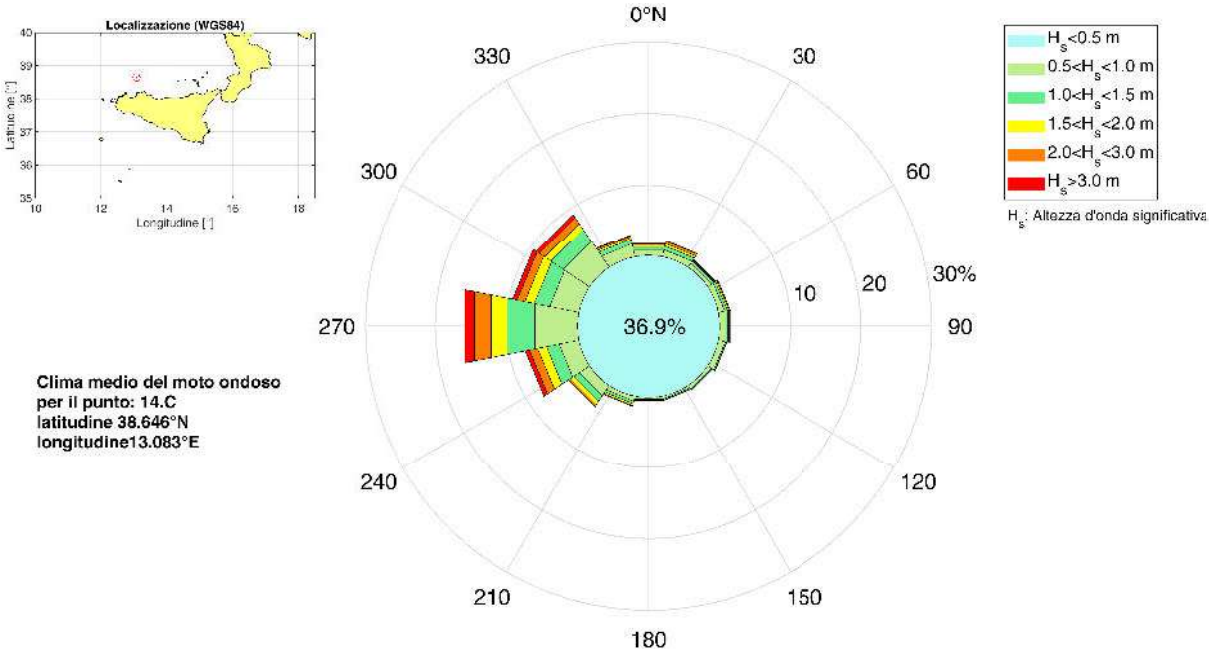


Figura 19: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 25: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.78	1.00	0.37	0.26	0.21	0.07
22.5	1.95	1.00	0.55	0.34	0.36	0.07
45.0	1.12	0.72	0.33	0.13	0.14	0.02
67.5	1.23	0.92	0.38	0.22	0.13	0.05
90.0	1.72	1.04	0.32	0.16	0.13	0.02
112.5	2.25	1.00	0.18	0.05	0.02	-
135.0	1.20	0.53	0.16	0.07	0.03	-
157.5	0.62	0.41	0.17	0.05	0.01	-
180.0	0.62	0.39	0.17	0.10	0.02	-
202.5	0.74	0.73	0.37	0.27	0.11	-
225.0	1.59	1.76	0.92	0.53	0.30	0.02
247.5	2.48	2.84	1.80	1.28	1.16	0.62
270.0	3.50	6.29	3.97	2.31	2.41	1.34
292.5	3.78	4.20	2.20	1.34	1.10	0.66
315.0	4.92	4.47	2.09	1.01	0.95	0.55
337.5	5.39	1.89	0.67	0.30	0.26	0.13

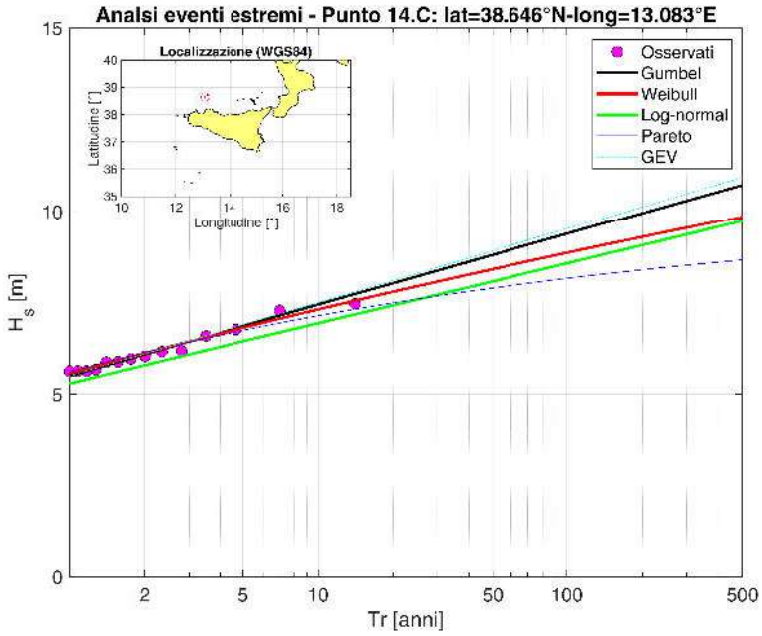


Figura 20: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 26: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	382	27.286	3.223	1.077	7.46
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05446	0.05779	0.06218	0.06903	0.08280
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09062	0.07747	0.10563	0.04699	0.09051

Tabella 27: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.191	2.738	1.647	1.724	1.411	1.121	0.304	2.000	1.441	-0.176	2.736	0.831	-0.008

Tabella 28: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.09	6.12	5.79	6.14	6.10
5	6.86	6.81	6.45	6.74	6.90
10	7.44	7.31	6.93	7.14	7.50
50	8.80	8.41	8.07	7.89	8.91
100	9.38	8.86	8.57	8.16	9.52
500	10.73	9.86	9.73	8.66	10.95

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
14.D

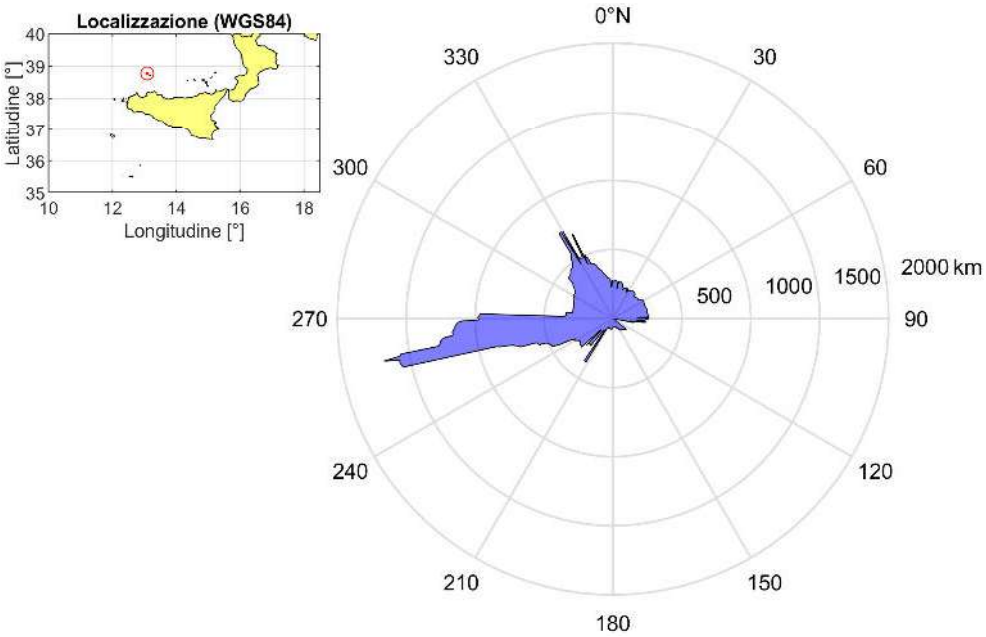


Figura 21: Fetch geografico.

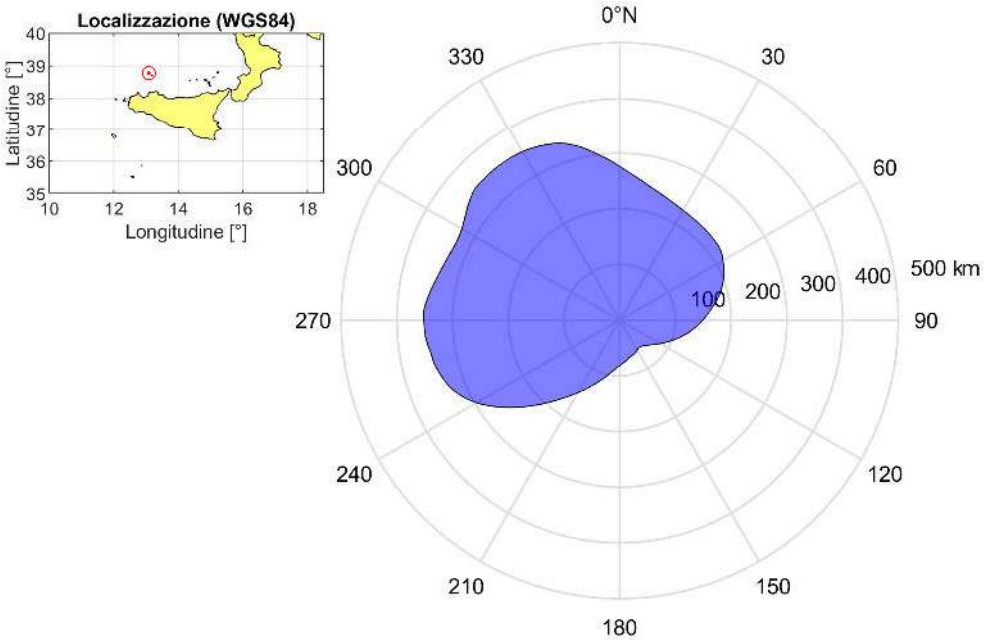


Figura 22: Fetch efficace.

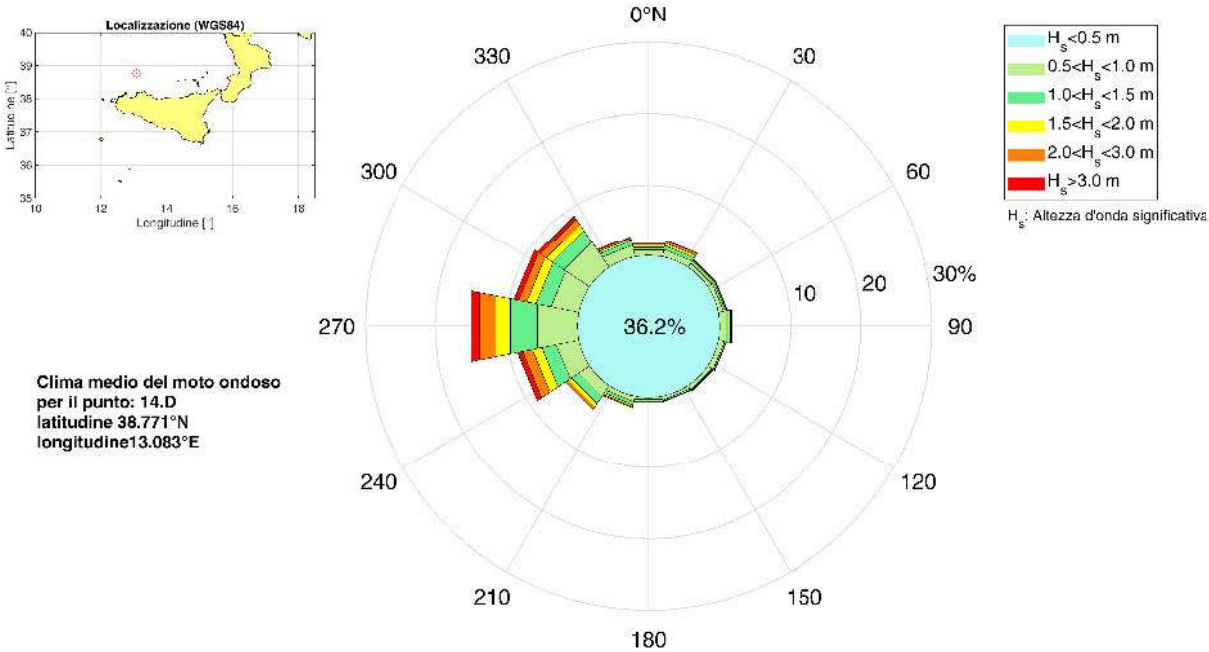


Figura 23: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 29: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.61	0.97	0.36	0.24	0.20	0.07
22.5	1.72	1.03	0.56	0.37	0.34	0.07
45.0	0.92	0.68	0.34	0.17	0.17	0.03
67.5	0.87	0.75	0.31	0.14	0.09	0.03
90.0	1.30	1.04	0.40	0.25	0.20	0.04
112.5	1.74	0.90	0.18	0.06	0.03	-
135.0	1.60	0.66	0.18	0.09	0.03	-
157.5	0.88	0.51	0.19	0.07	0.02	-
180.0	0.72	0.47	0.23	0.11	0.03	-
202.5	0.99	0.80	0.44	0.27	0.16	-
225.0	1.98	1.93	1.08	0.61	0.38	0.04
247.5	2.33	3.25	2.05	1.37	1.41	0.73
270.0	3.56	5.95	3.85	2.15	2.25	1.27
292.5	3.90	3.99	2.15	1.34	1.13	0.68
315.0	4.86	4.31	2.01	1.03	0.96	0.54
337.5	5.25	1.70	0.63	0.30	0.26	0.12

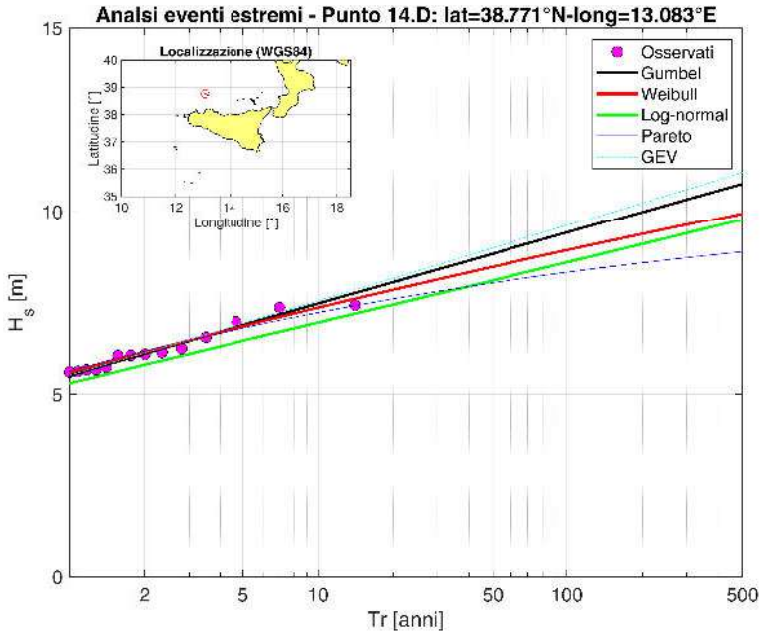


Figura 24: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 30: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	394	28.143	3.209	1.080	7.42
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05363	0.05691	0.06123	0.06798	0.08154
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09328	0.08098	0.08881	0.03704	0.09025

Tabella 31: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.188	2.723	1.631	1.722	1.395	1.117	0.306	2.000	1.406	-0.160	2.721	0.830	-0.011

Tabella 32: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	6.11	6.15	5.81	6.18	6.13
5	6.89	6.85	6.46	6.81	6.94
10	7.47	7.36	6.95	7.22	7.55
50	8.83	8.47	8.10	8.03	8.98
100	9.41	8.93	8.60	8.32	9.61
500	10.77	9.95	9.77	8.88	11.08

Unità fisiografica di I ordine
15

Indice

Analisi anemometrica:
- **Punto ERA-5** (identificativo: 15.C)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 15.D)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 15.A)
- **Punto ERA-5** (identificativo: 15.B)

Fetch geografico
Fetch efficace
Analisi del moto ondoso:
- **Punto CMEMS** (identificativo: 15.A)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 15.B)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 15.C)
- **Punto CMEMS** (identificativo: 15.D)

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
15.C

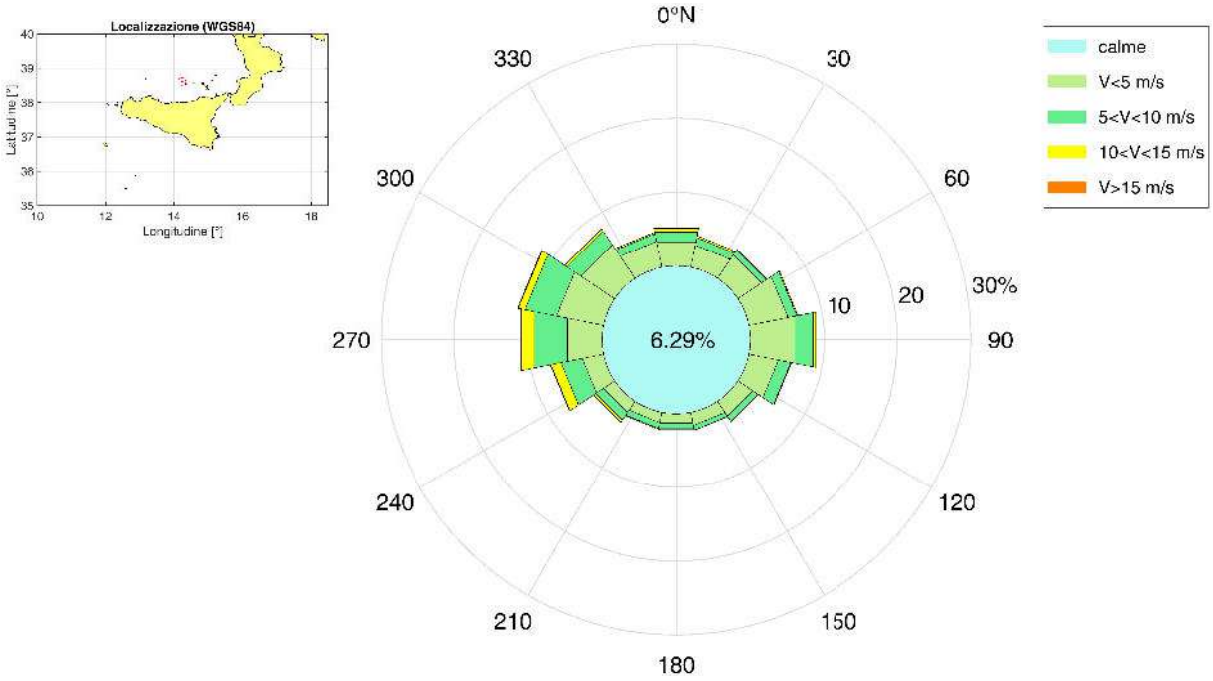


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.52	3.54	1.38	0.46	0.02
22.5	0.49	3.09	1.03	0.27	-
45.0	0.46	3.82	0.79	0.11	-
67.5	0.45	5.38	1.20	0.13	0.02
90.0	0.41	6.28	2.49	0.44	0.01
112.5	0.37	4.05	1.71	0.08	-
135.0	0.34	2.43	0.85	0.04	-
157.5	0.30	1.80	0.63	0.03	-
180.0	0.30	1.47	0.76	0.06	-
202.5	0.28	1.42	0.81	0.11	-
225.0	0.31	1.81	1.24	0.38	0.01
247.5	0.35	2.93	2.92	1.40	0.07
270.0	0.40	4.96	4.53	1.72	0.15
292.5	0.41	6.48	4.32	0.94	0.09
315.0	0.47	5.53	2.25	0.35	0.04
337.5	0.43	3.60	1.07	0.19	0.01

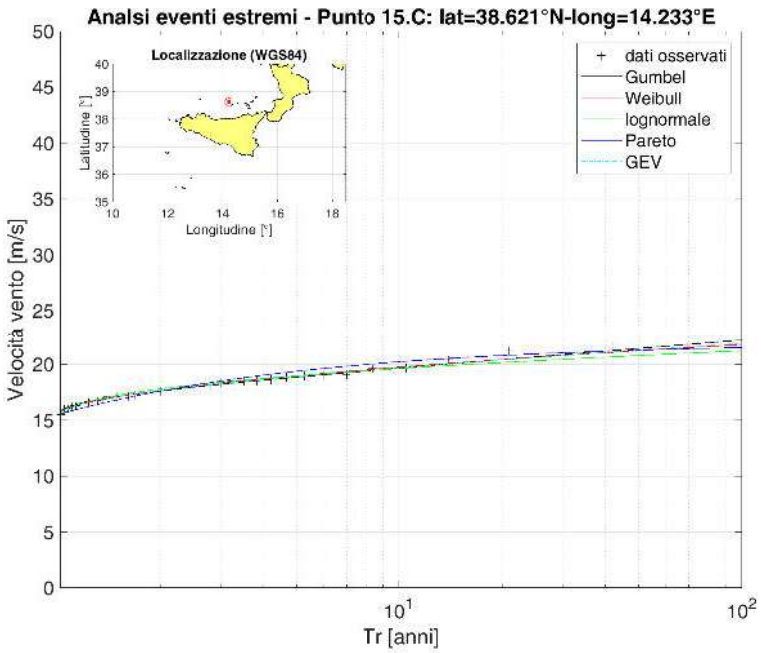


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.04675	0.05605	0.07555	0.11707	0.04249

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.929	17.243	2.672	15.487	1.780	2.880	0.075	15.495	3.700	-0.571	17.262	1.157	0.060

Tabella 4: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.64	17.66	17.81	17.61	17.68
5	18.86	18.98	18.98	19.39	18.92
10	19.66	19.76	19.62	20.24	19.70
50	21.44	21.24	20.80	21.28	21.29
100	22.19	21.79	21.23	21.51	21.91
500	23.93	22.94	22.13	21.79	23.26

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
15.D

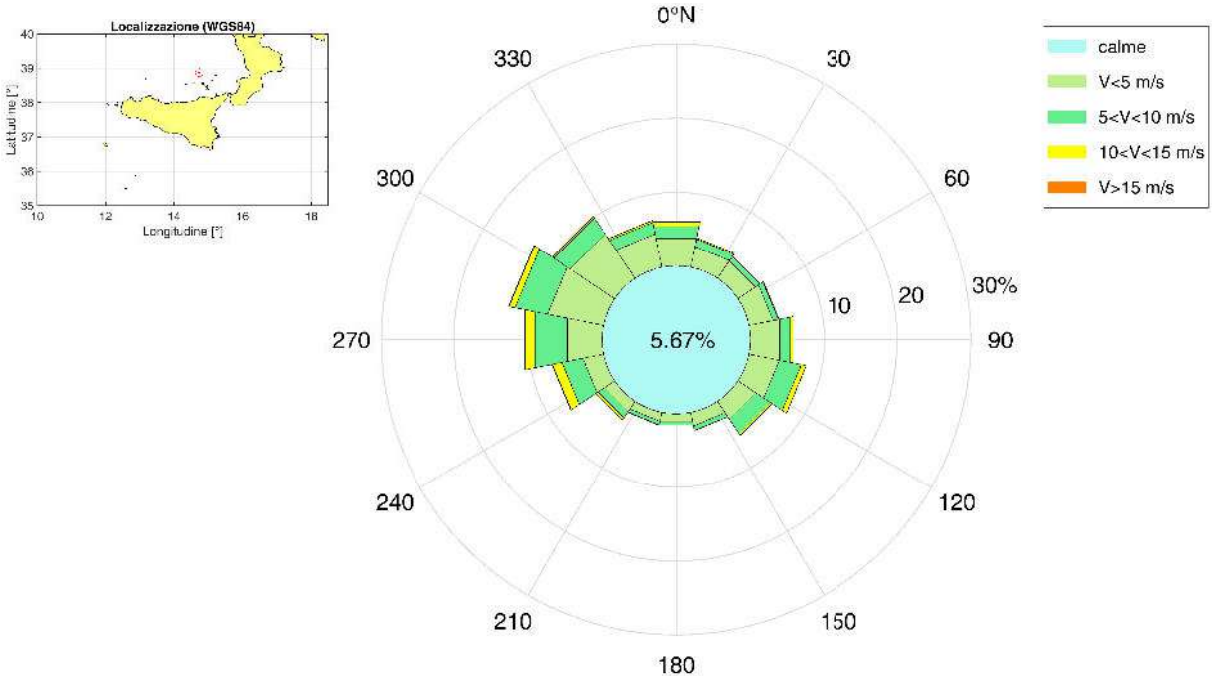


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.52	4.00	1.72	0.58	0.02
22.5	0.43	2.89	1.04	0.17	-
45.0	0.40	2.80	0.73	0.10	-
67.5	0.38	3.33	0.71	0.09	-
90.0	0.36	4.19	1.48	0.39	-
112.5	0.33	4.17	3.01	0.69	0.01
135.0	0.30	2.95	2.28	0.28	-
157.5	0.27	1.85	0.63	0.02	-
180.0	0.25	1.35	0.34	0.01	-
202.5	0.26	1.24	0.49	0.05	-
225.0	0.28	1.72	0.96	0.34	0.01
247.5	0.29	2.85	2.88	1.32	0.06
270.0	0.37	4.97	4.44	1.36	0.10
292.5	0.40	7.69	4.48	0.82	0.07
315.0	0.41	7.20	2.67	0.27	0.02
337.5	0.41	4.63	1.60	0.26	0.02

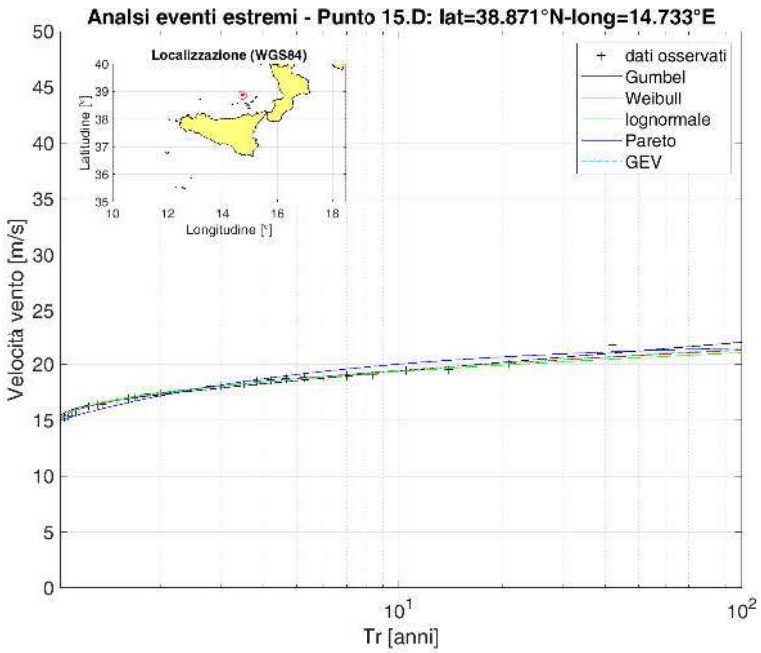


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06980	0.04085	0.05500	0.12976	0.04574

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.903	16.888	3.294	14.610	2.162	2.861	0.080	14.964	3.852	-0.543	16.935	1.272	0.125

Tabella 8: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.29	17.39	17.47	17.19	17.39
5	18.55	18.72	18.69	19.10	18.67
10	19.38	19.45	19.36	20.03	19.43
50	21.21	20.80	20.59	21.21	20.86
100	21.98	21.29	21.05	21.48	21.38
500	23.77	22.28	22.00	21.82	22.43

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
15.A

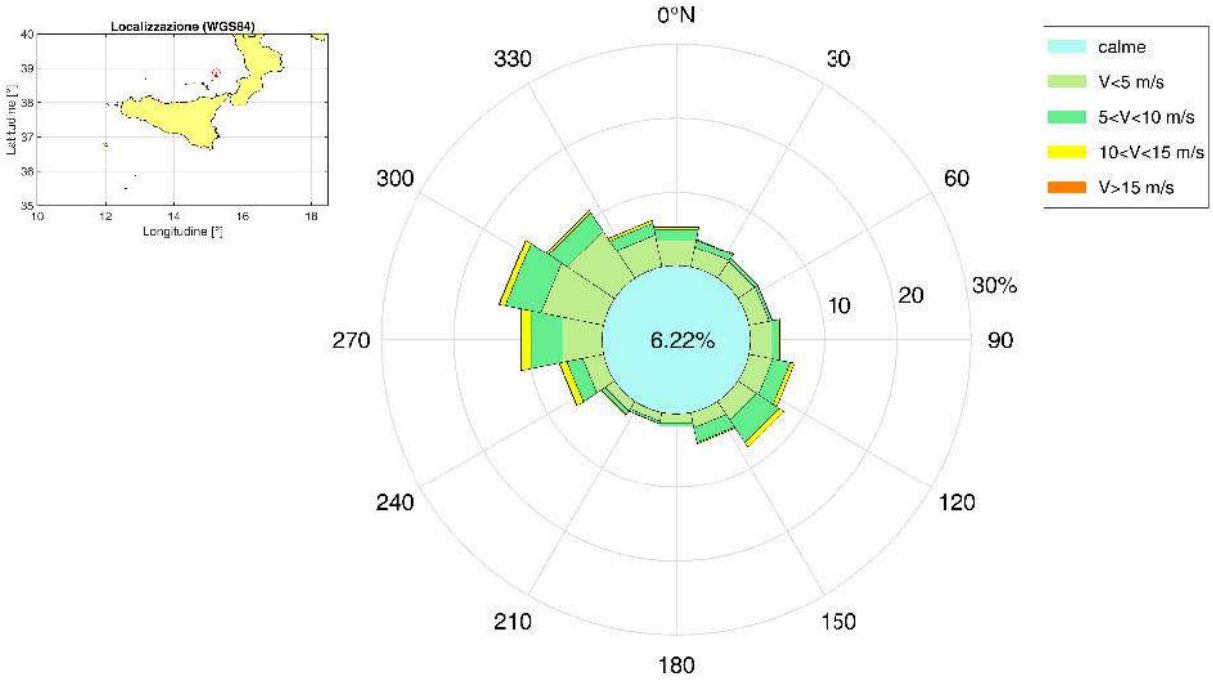


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.54	3.75	1.53	0.35	0.01
22.5	0.44	2.85	0.97	0.11	-
45.0	0.44	2.69	0.48	0.04	-
67.5	0.41	2.79	0.39	0.05	-
90.0	0.34	3.06	0.92	0.24	-
112.5	0.34	3.31	2.38	0.57	0.01
135.0	0.30	2.99	3.63	0.83	0.01
157.5	0.31	2.12	2.03	0.17	0.01
180.0	0.28	1.40	0.49	0.01	-
202.5	0.28	1.22	0.33	0.02	-
225.0	0.31	1.56	0.61	0.18	0.01
247.5	0.36	2.89	2.17	1.01	0.06
270.0	0.41	5.60	4.36	1.40	0.09
292.5	0.49	8.60	4.92	0.82	0.06
315.0	0.49	7.79	2.97	0.29	0.02
337.5	0.48	4.53	1.61	0.40	0.02

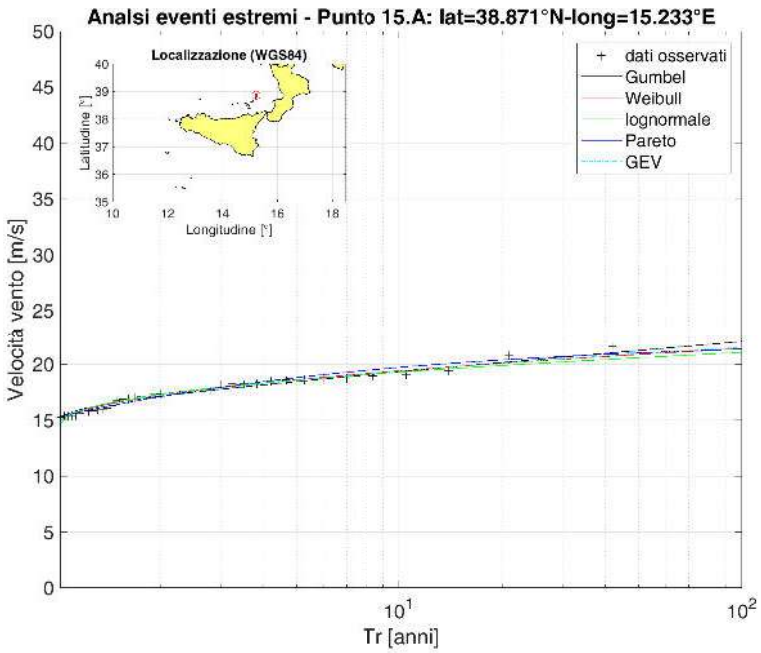


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10904	0.08051	0.09867	0.09511	0.09525

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.861	16.720	3.248	14.513	2.020	2.852	0.084	15.291	3.039	-0.431	16.758	1.304	0.101

Tabella 12: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.15	17.22	17.33	17.11	17.23
5	18.46	18.62	18.60	18.82	18.57
10	19.34	19.42	19.30	19.73	19.38
50	21.25	20.89	20.60	21.04	20.96
100	22.07	21.43	21.08	21.38	21.55
500	23.94	22.54	22.08	21.86	22.77

Analisi anemometrica
Punto ERA-5
15.B

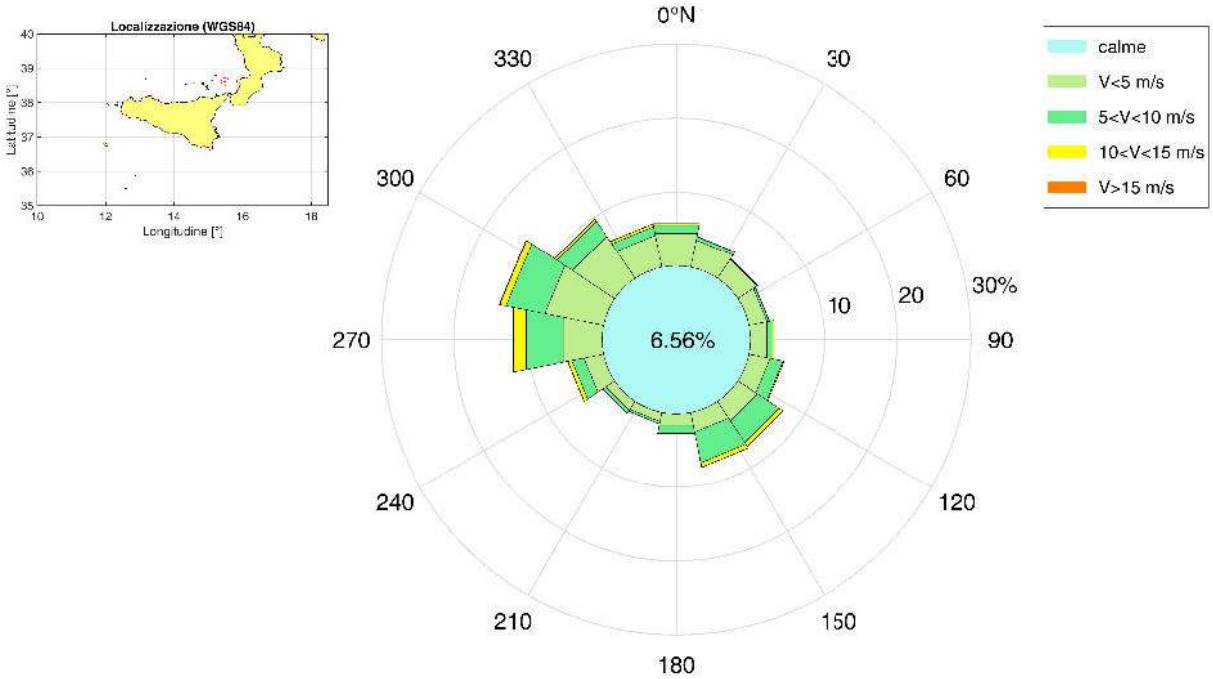


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di velocità del vento e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<1 m/s	1−5 m/s	5−10 m/s	10−15 m/s	>15 m/s
0.0	0.57	4.70	1.16	0.23	0.01
22.5	0.50	3.78	0.48	0.05	-
45.0	0.47	3.04	0.19	0.02	-
67.5	0.42	2.49	0.28	0.04	-
90.0	0.41	2.47	0.77	0.17	-
112.5	0.39	2.89	1.78	0.15	-
135.0	0.32	3.18	3.51	0.59	0.01
157.5	0.30	2.71	4.22	0.62	0.01
180.0	0.30	1.76	1.04	0.04	-
202.5	0.28	1.26	0.32	0.01	-
225.0	0.32	1.44	0.44	0.04	-
247.5	0.37	2.71	1.66	0.56	0.03
270.0	0.43	5.56	5.09	1.72	0.13
292.5	0.47	8.06	5.34	0.86	0.06
315.0	0.53	6.87	2.52	0.31	0.02
337.5	0.49	4.45	1.21	0.37	0.02

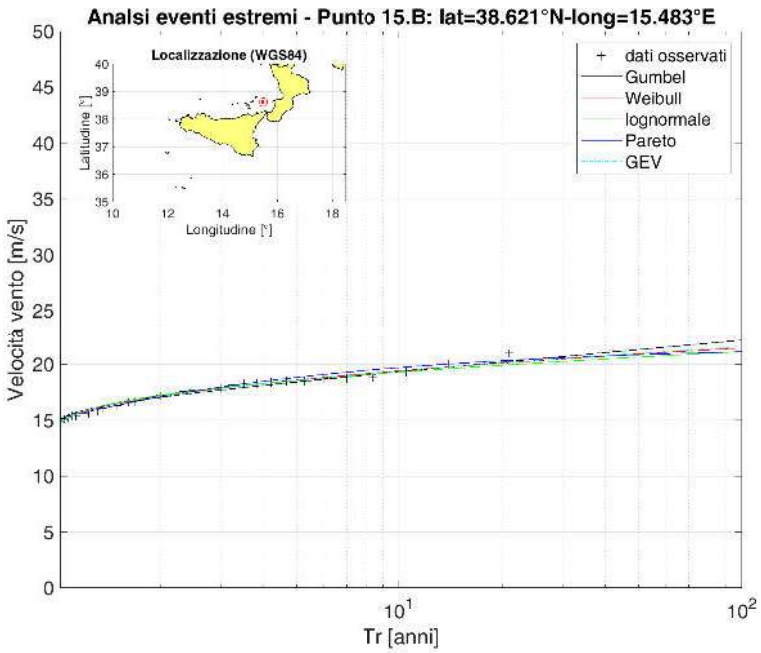


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16356	0.17363	0.18690	0.20761	0.24904
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07525	0.04807	0.07634	0.07782	0.06058

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
0.826	16.610	3.451	14.252	2.066	2.847	0.088	15.098	3.413	-0.512	16.653	1.368	0.109

Tabella 16: Velocità del vento [m/s]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	17.05	17.14	17.24	17.09	17.14
5	18.43	18.60	18.57	18.84	18.55
10	19.33	19.42	19.30	19.71	19.38
50	21.33	20.93	20.66	20.87	21.00
100	22.18	21.48	21.16	21.14	21.60
500	24.13	22.61	22.22	21.49	22.83

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
15.A

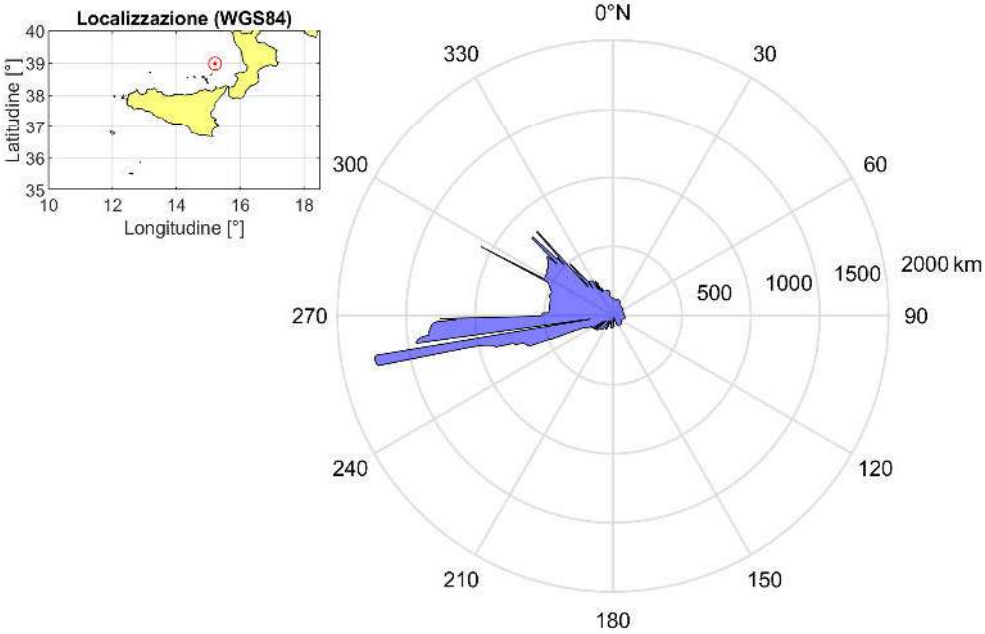


Figura 9: Fetch geografico.

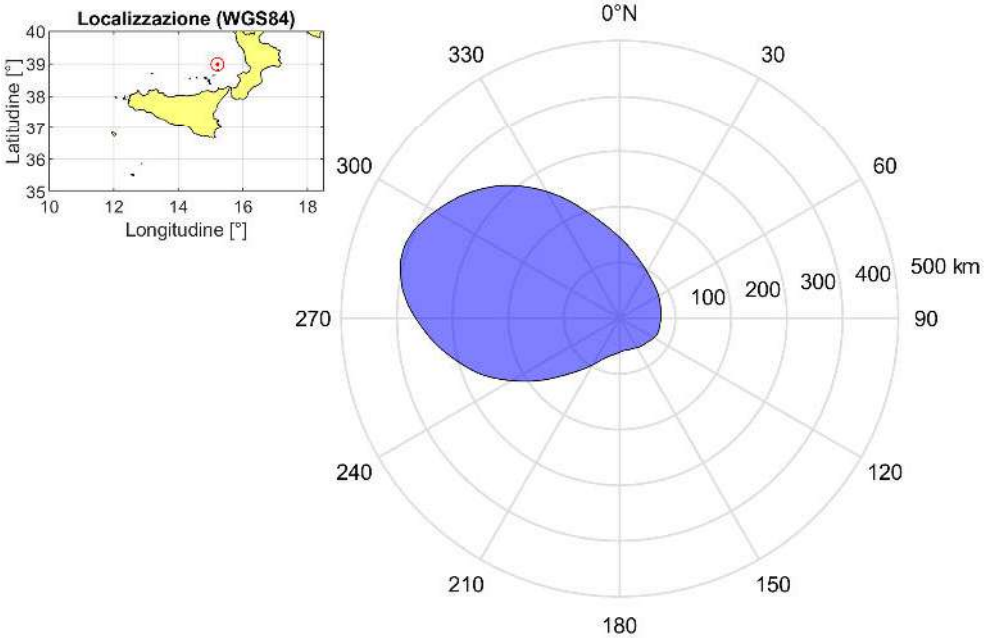


Figura 10: Fetch efficace.

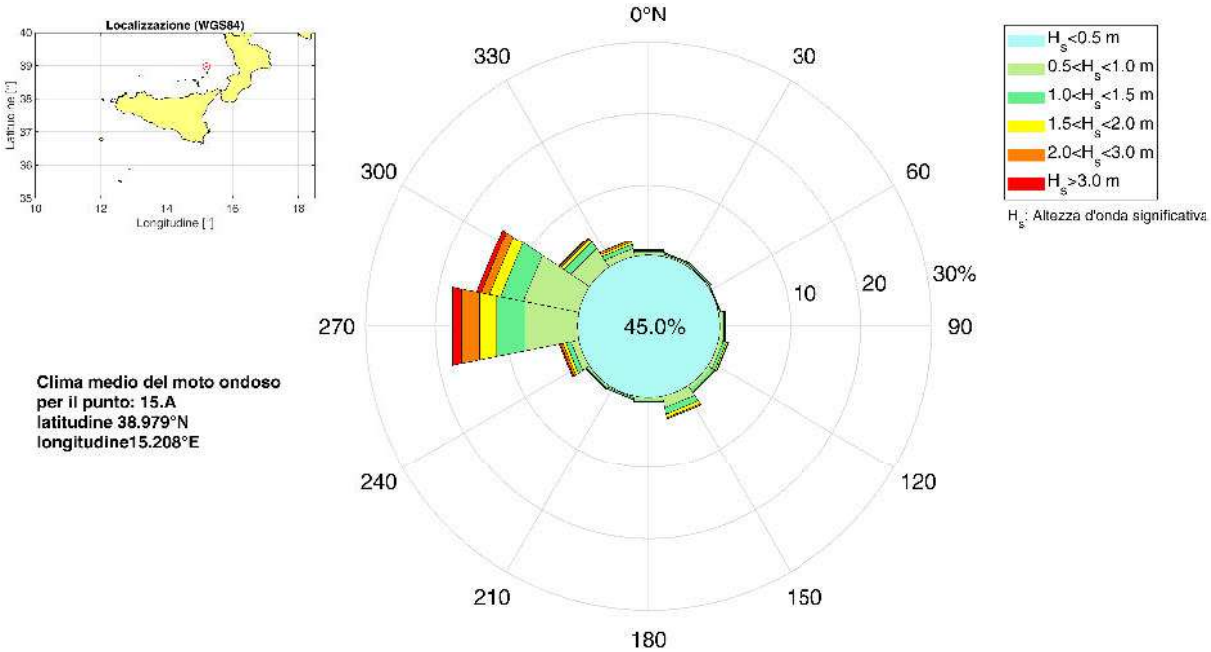


Figura 11: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 17: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.80	0.52	0.25	0.15	0.07	-
22.5	0.51	0.36	0.16	0.08	0.03	-
45.0	0.39	0.32	0.16	0.08	0.04	-
67.5	0.36	0.22	0.09	0.04	-	-
90.0	0.45	0.49	0.31	0.17	0.03	-
112.5	0.69	0.73	0.45	0.23	0.08	-
135.0	0.86	0.62	0.42	0.15	0.08	-
157.5	0.95	1.67	0.90	0.50	0.19	0.01
180.0	0.56	0.49	0.24	0.10	0.03	-
202.5	0.45	0.29	0.19	0.06	0.01	-
225.0	0.51	0.38	0.17	0.09	0.02	-
247.5	1.15	1.15	0.72	0.44	0.34	0.21
270.0	6.85	7.69	4.07	2.48	2.53	1.32
292.5	13.62	7.96	3.27	1.59	1.20	0.65
315.0	13.60	3.15	1.17	0.48	0.30	0.11
337.5	3.28	1.14	0.62	0.35	0.31	0.04

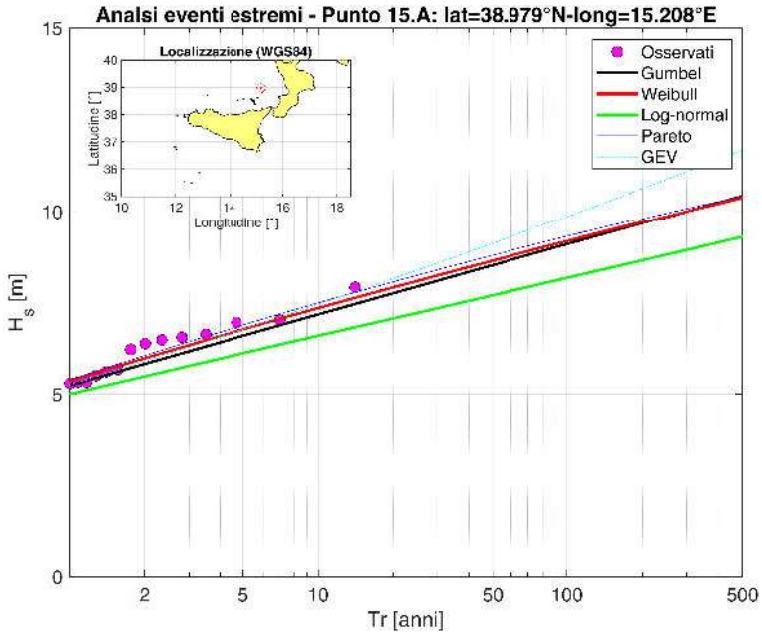


Figura 12: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 18: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	328	23.429	3.115	1.068	7.91
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05874	0.06233	0.06706	0.07446	0.08931
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11481	0.08272	0.12897	0.05623	0.10665

Tabella 19: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.201	2.634	1.407	1.802	1.237	1.087	0.304	2.000	1.184	-0.061	2.627	0.784	-0.044

Tabella 20: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.83	5.98	5.49	6.06	5.90
5	6.60	6.77	6.12	6.89	6.77
10	7.18	7.35	6.60	7.49	7.45
50	8.52	8.64	7.69	8.79	9.11
100	9.09	9.18	8.17	9.31	9.86
500	10.43	10.39	9.30	10.43	11.70

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
15.B

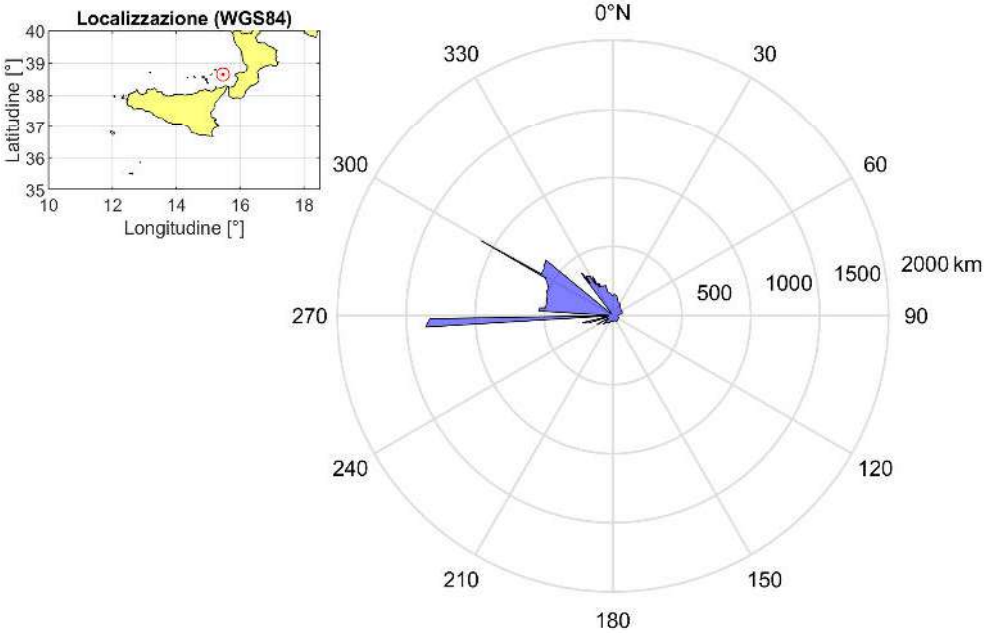


Figura 13: Fetch geografico.

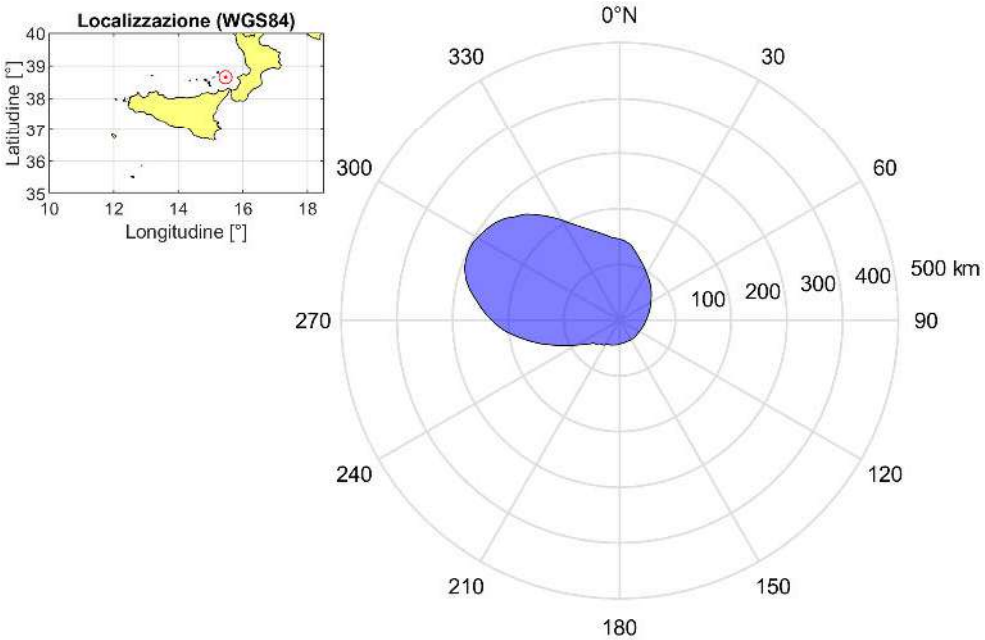


Figura 14: Fetch efficace.

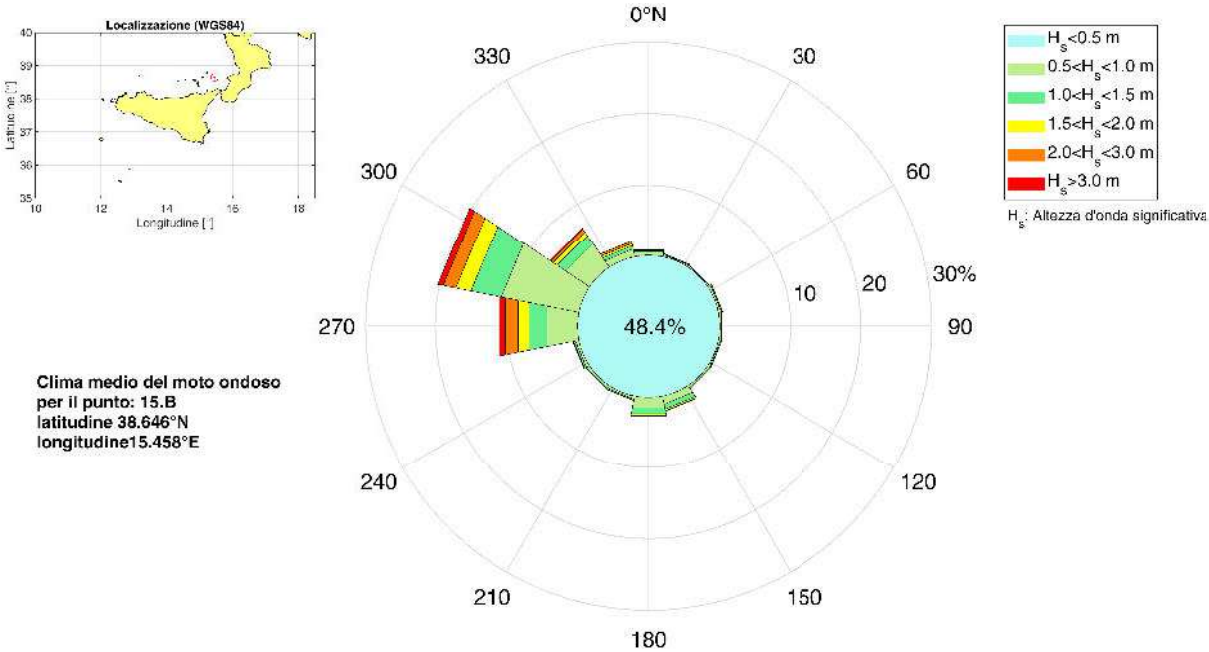


Figura 15: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 21: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.82	0.50	0.22	0.20	0.07	-
22.5	0.51	0.27	0.11	0.07	-	-
45.0	0.45	0.26	0.06	0.01	-	-
67.5	0.59	0.41	0.14	0.04	0.01	-
90.0	0.51	0.39	0.12	0.01	-	-
112.5	0.41	0.32	0.13	0.03	-	-
135.0	0.47	0.37	0.12	0.03	-	-
157.5	1.08	1.17	0.69	0.25	0.06	-
180.0	1.16	1.64	0.86	0.28	0.03	-
202.5	0.61	0.43	0.17	0.03	0.01	-
225.0	0.52	0.36	0.15	0.03	-	-
247.5	0.71	0.50	0.27	0.07	0.02	-
270.0	4.33	4.53	2.58	1.59	1.80	0.91
292.5	15.44	11.13	4.33	2.19	1.76	0.81
315.0	16.94	4.00	1.48	0.65	0.43	0.17
337.5	3.90	1.09	0.51	0.31	0.31	0.04

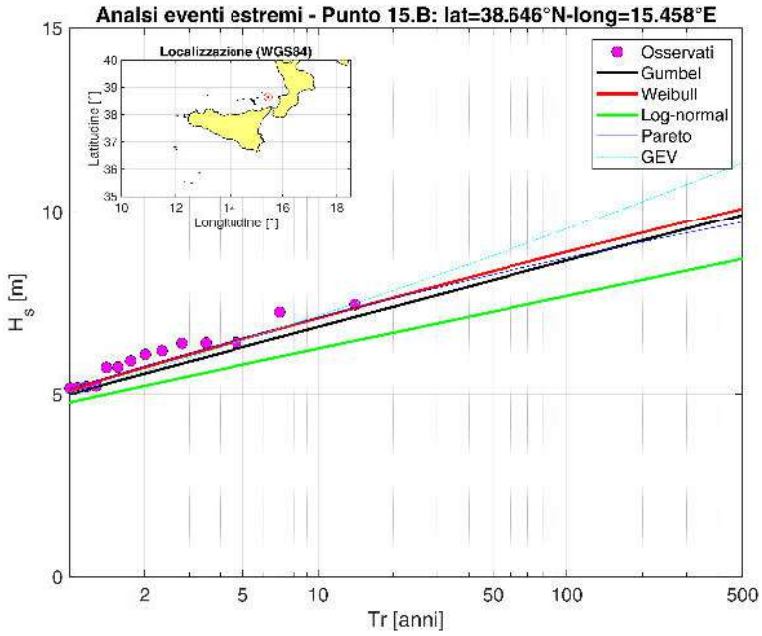


Figura 16: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 22: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	306	21.857	3.064	1.007	7.44
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06080	0.06451	0.06941	0.07707	0.09245
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11006	0.06294	0.10983	0.04038	0.09404

Tabella 23: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.274	2.611	1.274	1.865	1.196	1.074	0.291	2.000	1.148	-0.075	2.603	0.729	-0.053

Tabella 24: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.57	5.74	5.23	5.78	5.64
5	6.29	6.51	5.82	6.54	6.48
10	6.84	7.07	6.25	7.09	7.14
50	8.10	8.35	7.25	8.25	8.77
100	8.65	8.88	7.68	8.71	9.51
500	9.91	10.09	8.69	9.69	11.35

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
15.C

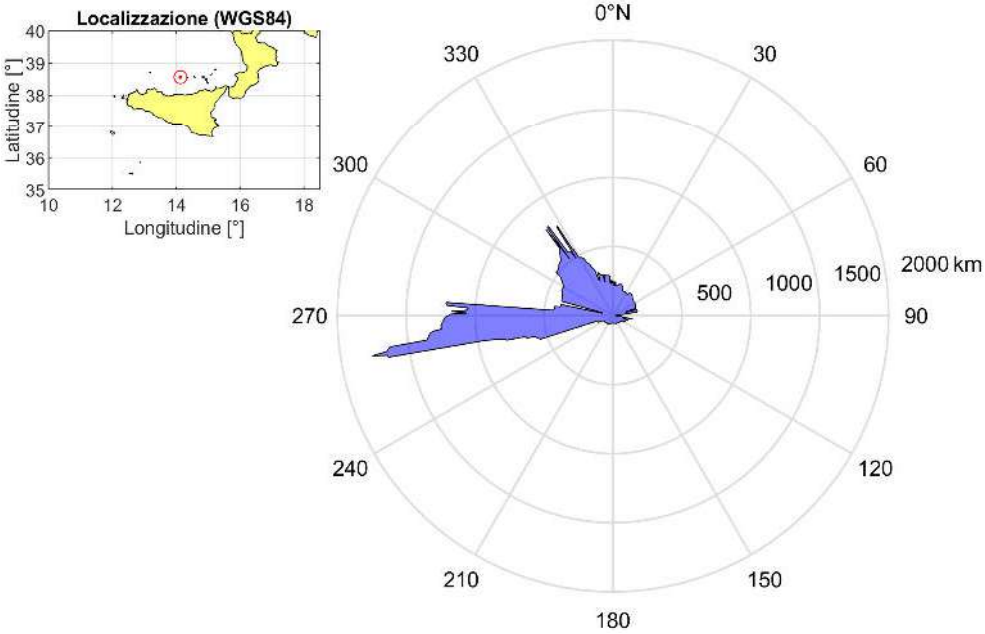


Figura 17: Fetch geografico.

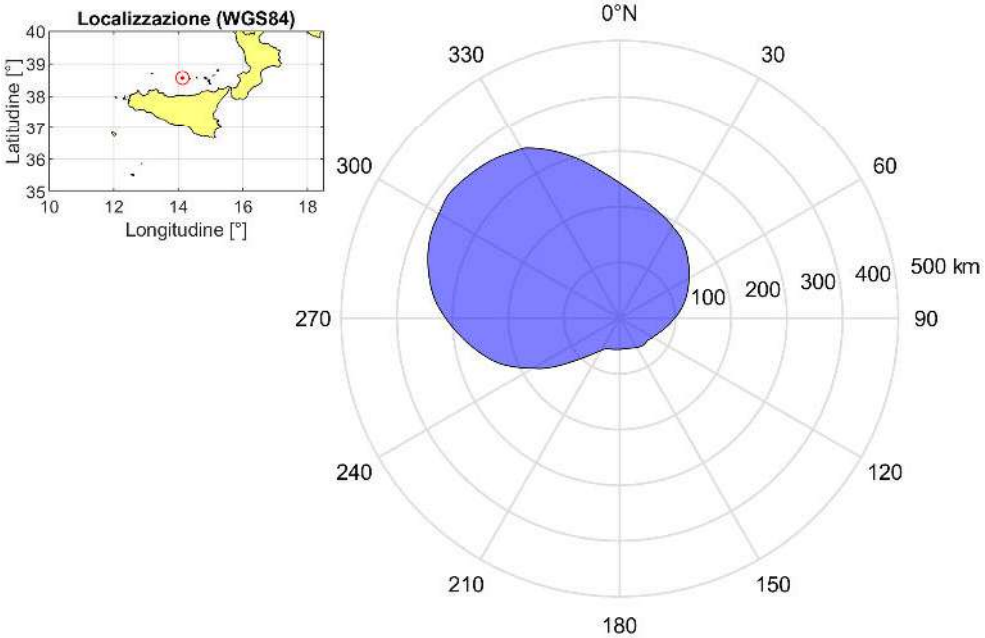


Figura 18: Fetch efficace.

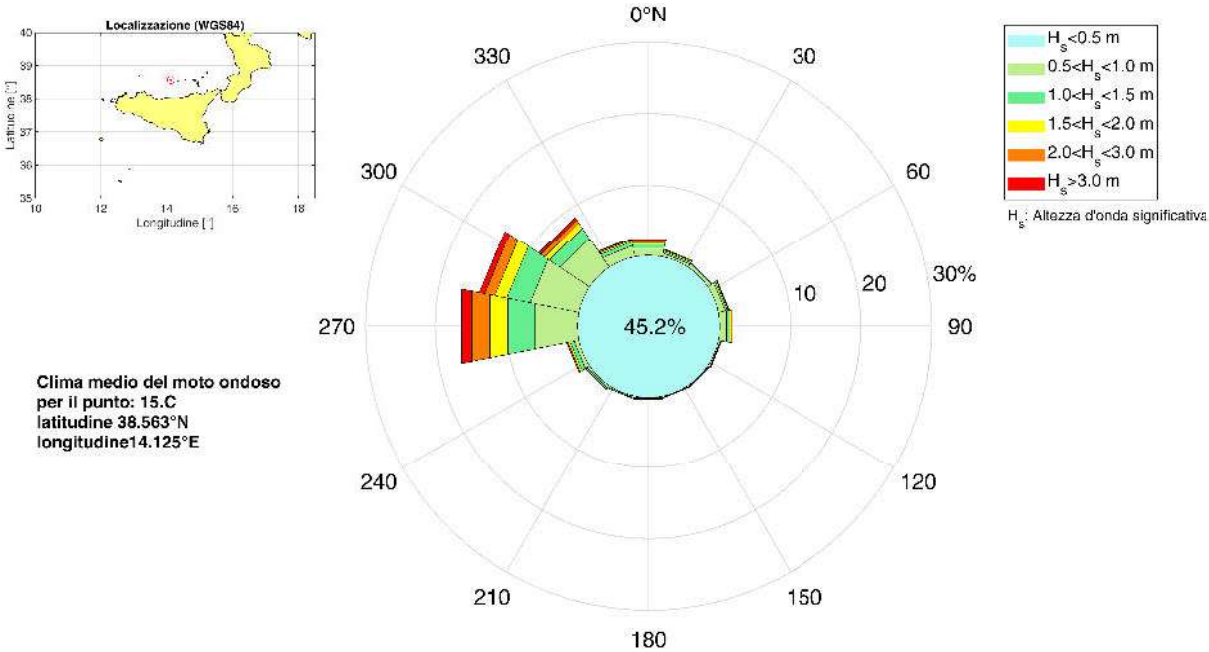


Figura 19: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 25: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.35	1.20	0.56	0.35	0.41	0.11
22.5	1.21	0.49	0.27	0.18	0.13	0.01
45.0	1.23	0.49	0.17	0.05	0.06	-
67.5	2.13	1.00	0.28	0.18	0.09	0.03
90.0	2.49	1.16	0.45	0.24	0.16	0.01
112.5	1.08	0.34	0.09	0.03	0.02	-
135.0	0.40	0.19	0.05	0.03	0.01	-
157.5	0.34	0.19	0.08	0.03	-	-
180.0	0.34	0.26	0.12	0.03	-	-
202.5	0.34	0.28	0.12	0.03	-	-
225.0	0.47	0.40	0.24	0.08	0.01	-
247.5	0.87	0.70	0.54	0.31	0.16	0.03
270.0	4.77	6.26	3.93	2.55	2.58	1.46
292.5	7.95	6.99	3.33	1.74	1.44	0.77
315.0	9.73	4.92	1.86	0.83	0.64	0.37
337.5	8.49	1.62	0.56	0.24	0.22	0.08

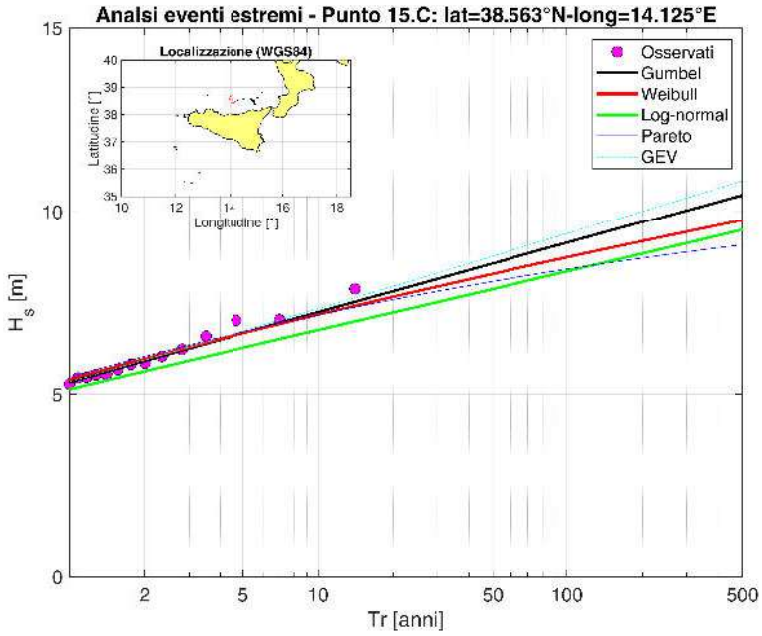


Figura 20: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 26: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	355	25.357	3.164	1.055	7.87
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05648	0.05993	0.06448	0.07159	0.08587
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09729	0.08411	0.10457	0.04130	0.09325

Tabella 27: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.217	2.690	1.570	1.729	1.377	1.103	0.303	2.000	1.322	-0.134	2.687	0.807	-0.014

Tabella 28: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.91	5.97	5.63	6.03	5.94
5	6.67	6.67	6.27	6.71	6.73
10	7.24	7.17	6.75	7.16	7.33
50	8.56	8.28	7.86	8.07	8.76
100	9.13	8.73	8.35	8.41	9.38
500	10.46	9.75	9.49	9.07	10.85

Fecth e analisi del moto ondoso
Punto
15.D

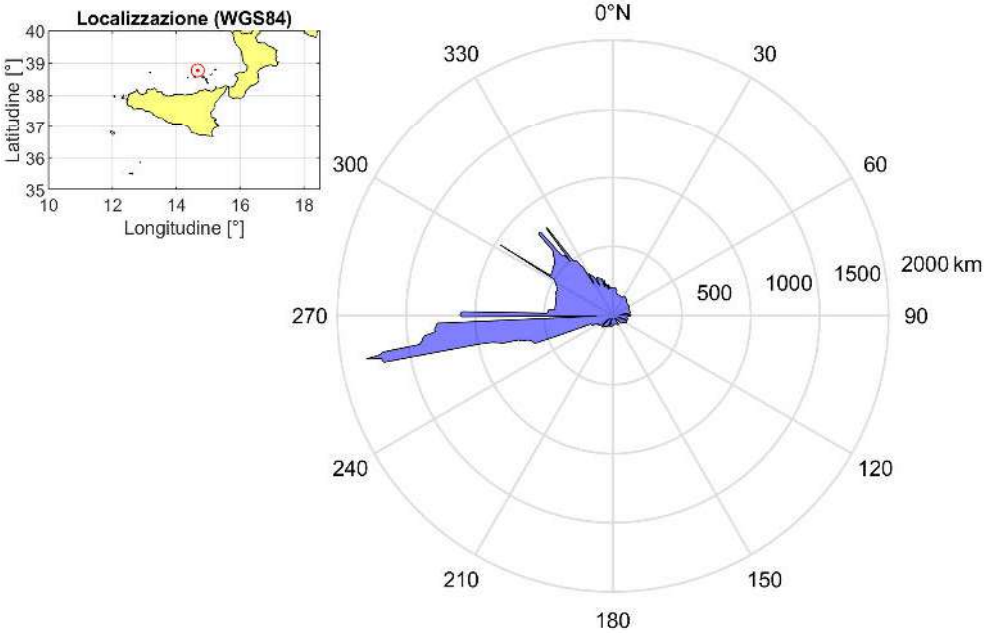


Figura 21: Fetch geografico.

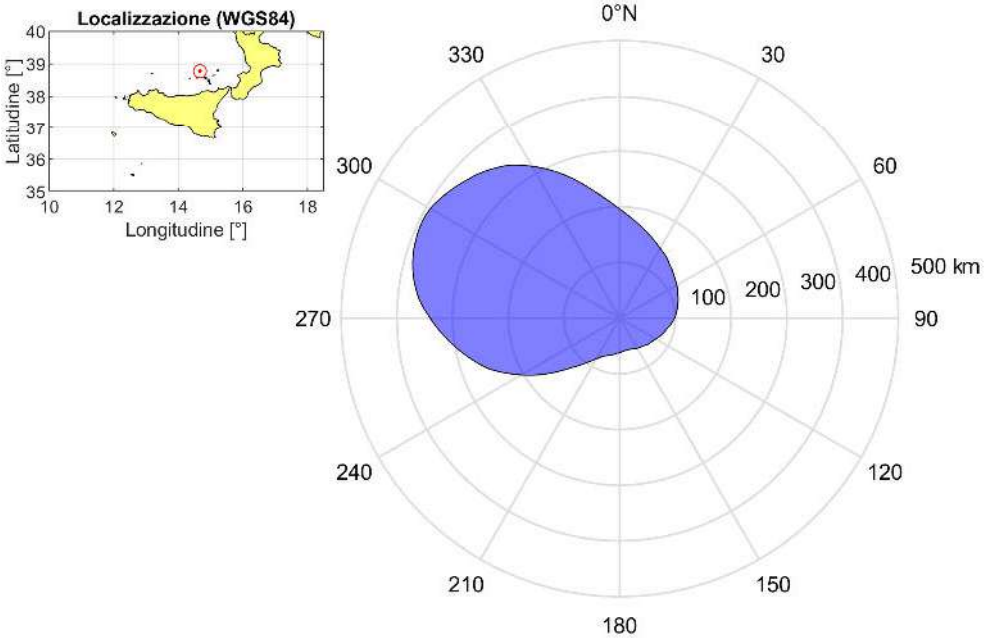


Figura 22: Fetch efficace.

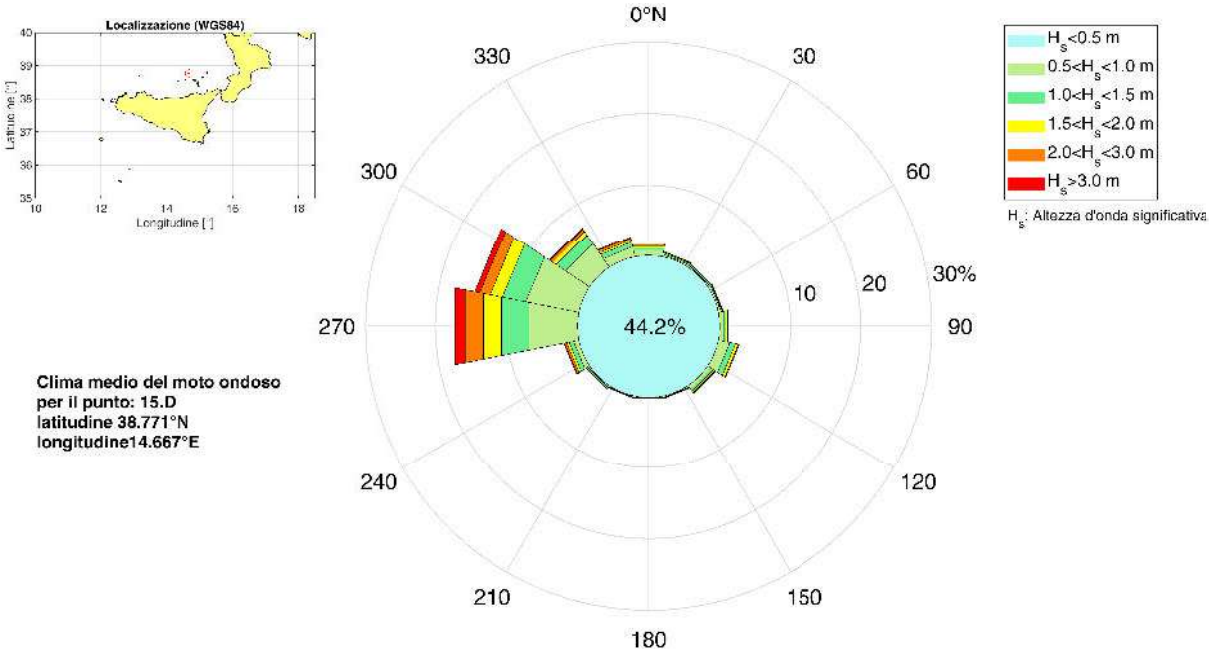


Figura 23: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 29: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.40	0.86	0.40	0.28	0.24	0.03
22.5	0.68	0.33	0.22	0.12	0.08	0.01
45.0	0.57	0.32	0.16	0.06	0.06	-
67.5	0.83	0.41	0.15	0.07	0.07	-
90.0	1.37	0.73	0.34	0.20	0.12	0.01
112.5	1.74	1.65	0.82	0.41	0.12	0.01
135.0	0.69	0.63	0.36	0.20	0.15	0.02
157.5	0.32	0.26	0.09	0.04	0.01	-
180.0	0.27	0.19	0.07	0.03	-	-
202.5	0.26	0.23	0.07	0.03	0.01	-
225.0	0.39	0.32	0.18	0.05	0.01	-
247.5	0.99	0.77	0.60	0.38	0.28	0.13
270.0	5.45	7.09	4.02	2.56	2.62	1.49
292.5	10.07	7.61	3.35	1.75	1.47	0.75
315.0	12.53	4.10	1.51	0.60	0.42	0.16
337.5	6.61	1.46	0.69	0.32	0.35	0.13

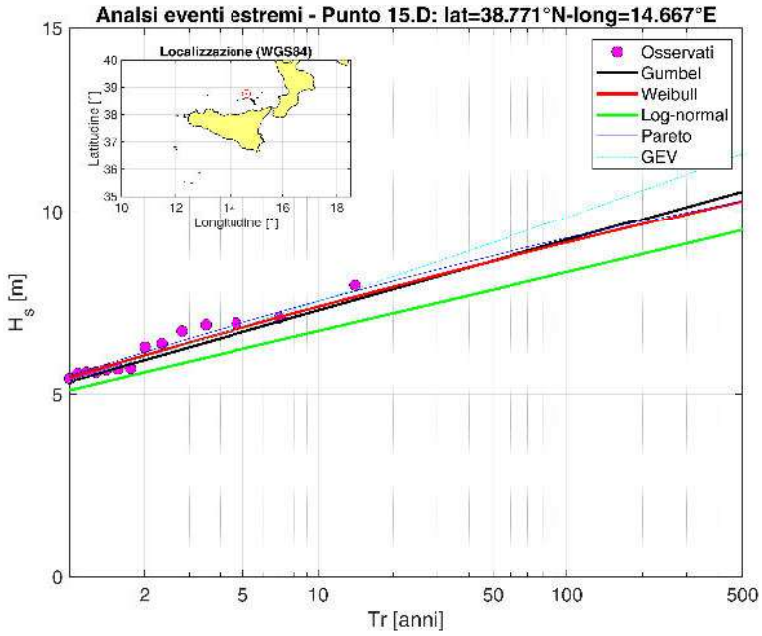


Figura 24: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 30: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	364	26.000	3.125	1.072	7.97
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05578	0.05919	0.06368	0.07071	0.08481
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11330	0.08927	0.10918	0.04848	0.10313

Tabella 31: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.197	2.643	1.464	1.768	1.276	1.089	0.306	2.000	1.206	-0.071	2.637	0.796	-0.035

Tabella 32: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.93	6.07	5.60	6.15	6.00
5	6.71	6.83	6.24	6.96	6.86
10	7.29	7.38	6.73	7.54	7.52
50	8.63	8.62	7.84	8.77	9.13
100	9.21	9.14	8.33	9.26	9.85
500	10.55	10.30	9.48	10.31	11.59

Unità fisiografica di I ordine
1
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 1.1.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

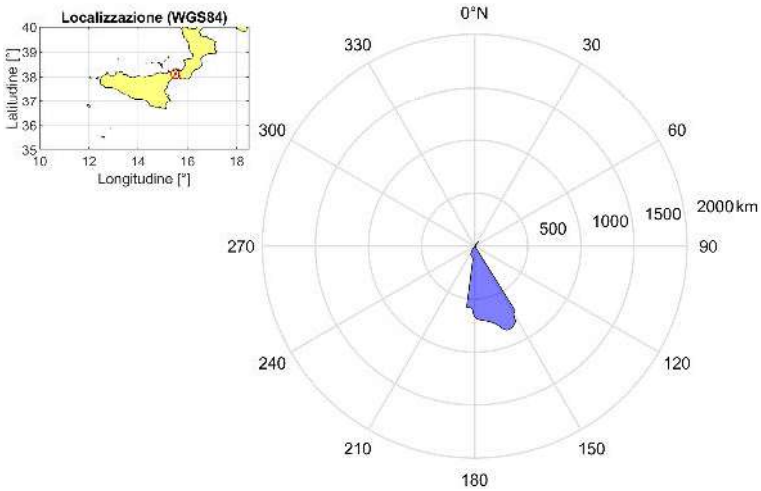


Figura 1: Fetch geografico.

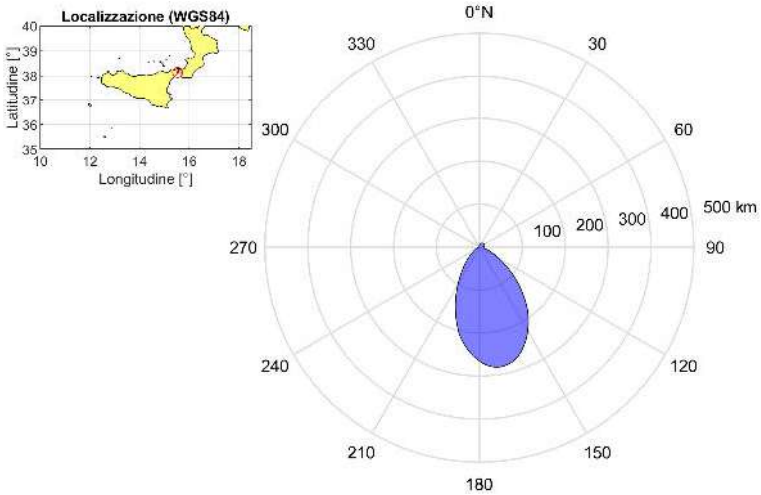


Figura 2: Fetch efficace.

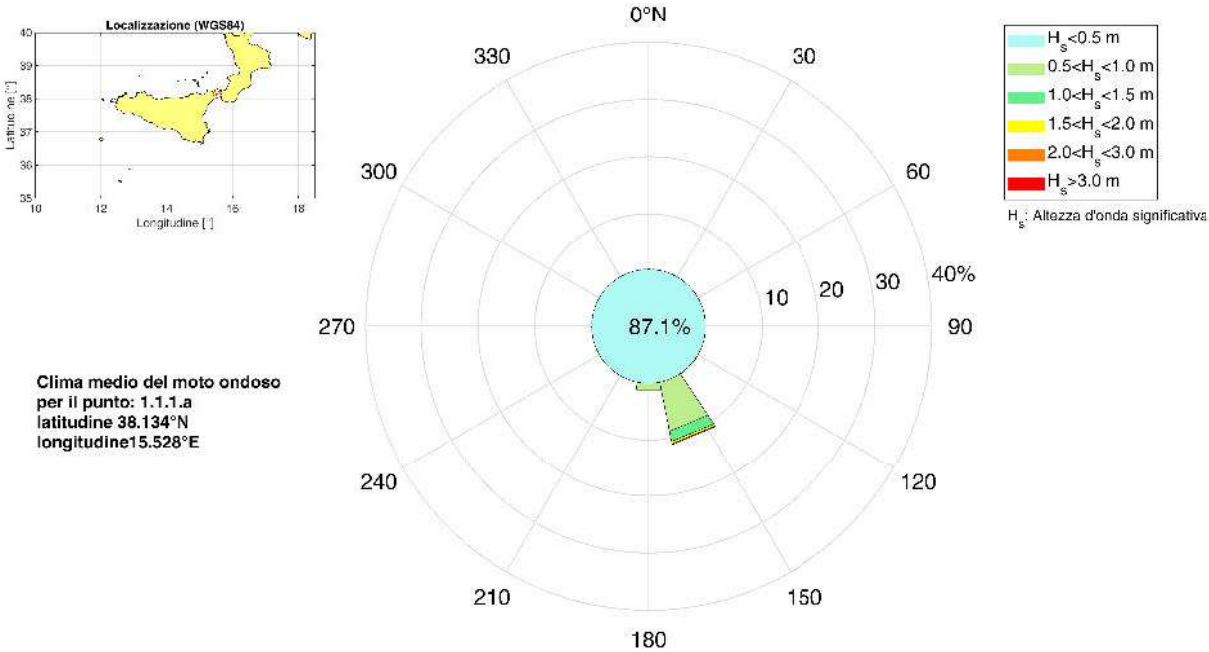


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.11	-	-	-	-	-
22.5	0.37	-	-	-	-	-
45.0	32.93	0.05	-	-	-	-
67.5	2.73	-	-	-	-	-
90.0	0.65	0.01	-	-	-	-
112.5	0.79	0.03	-	-	-	-
135.0	1.72	0.10	0.01	-	-	-
157.5	32.66	8.77	1.84	0.43	0.14	0.01
180.0	14.41	1.46	0.08	-	-	-
202.5	0.28	-	-	-	-	-
225.0	0.02	-	-	-	-	-
247.5	0.06	-	-	-	-	-
270.0	0.05	-	-	-	-	-
292.5	0.11	-	-	-	-	-
315.0	0.11	-	-	-	-	-
337.5	0.09	-	-	-	-	-

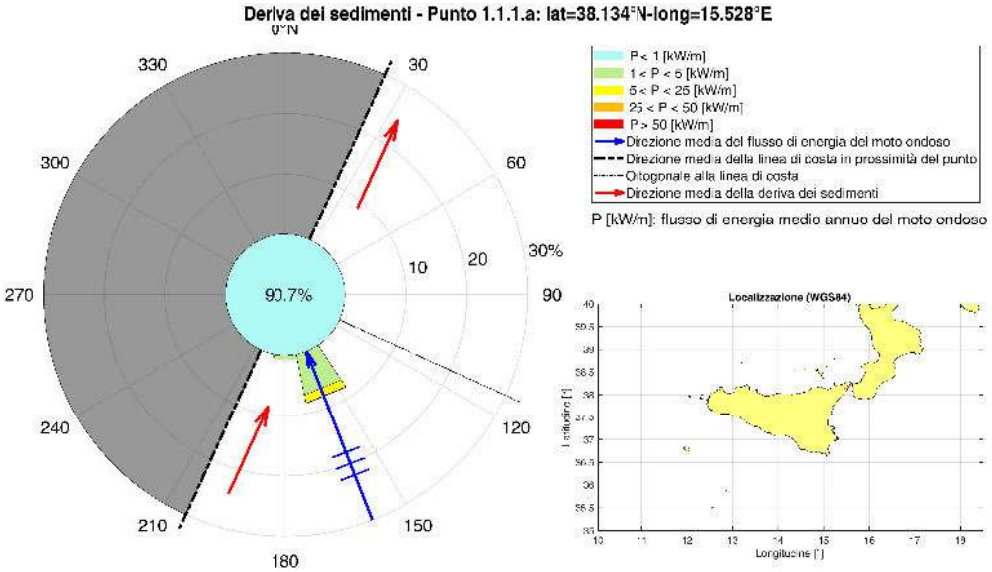


Figura 4: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
1
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 1.2.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

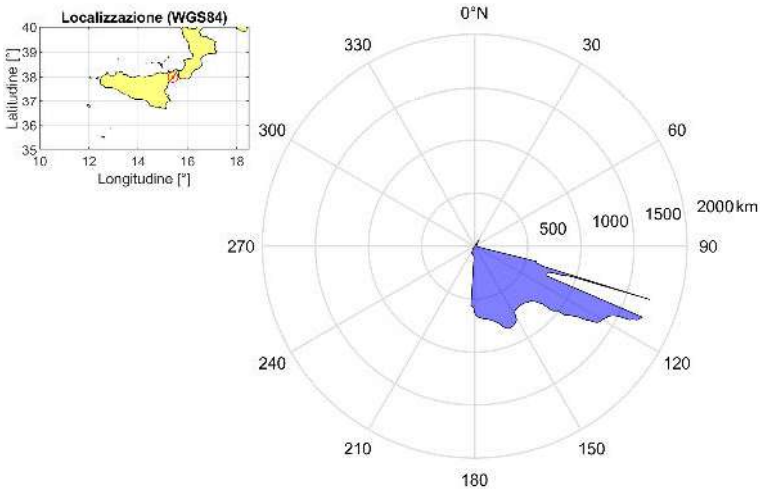


Figura 1: Fetch geografico.

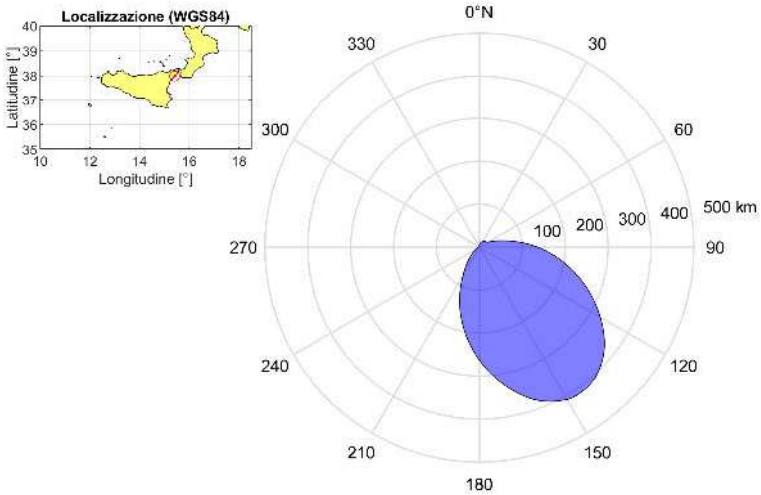


Figura 2: Fetch efficace.

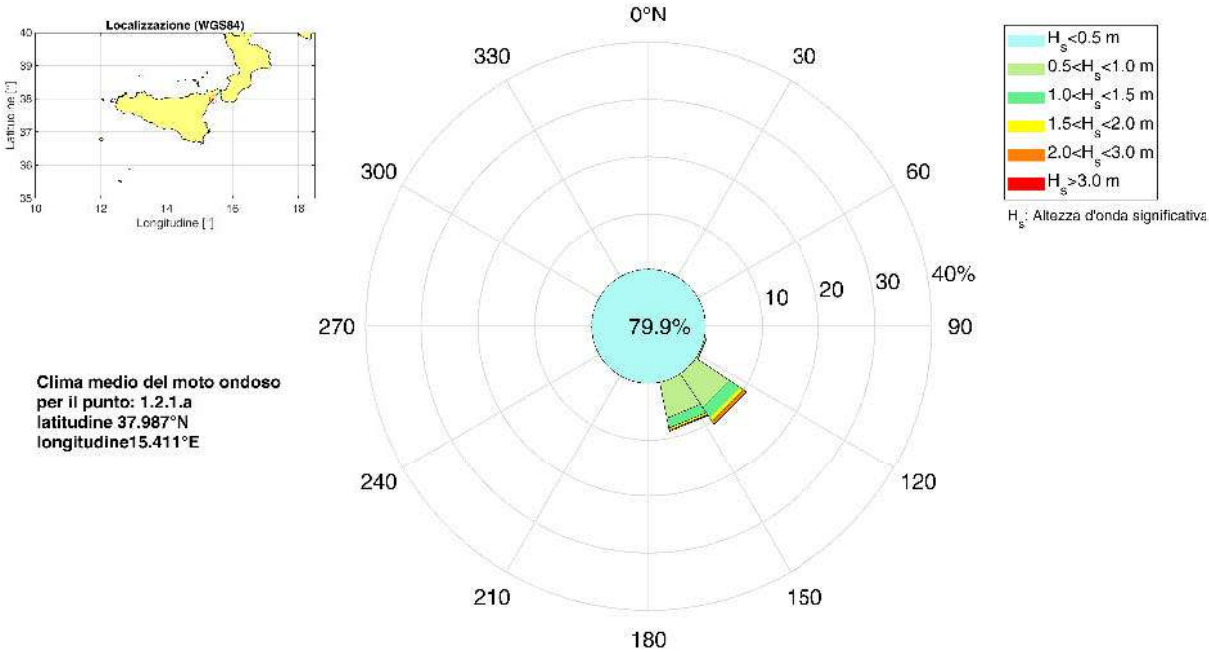


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.03	-	-	-	-	-
22.5	0.05	-	-	-	-	-
45.0	17.88	0.01	-	-	-	-
67.5	5.81	0.02	-	-	-	-
90.0	2.06	0.04	-	-	-	-
112.5	7.15	0.37	0.04	0.01	-	-
135.0	15.71	7.04	2.29	0.78	0.51	0.12
157.5	21.58	6.42	1.78	0.42	0.17	0.03
180.0	7.96	0.01	-	-	-	-
202.5	1.63	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	0.02	-	-	-	-	-
315.0	0.03	-	-	-	-	-
337.5	0.02	-	-	-	-	-

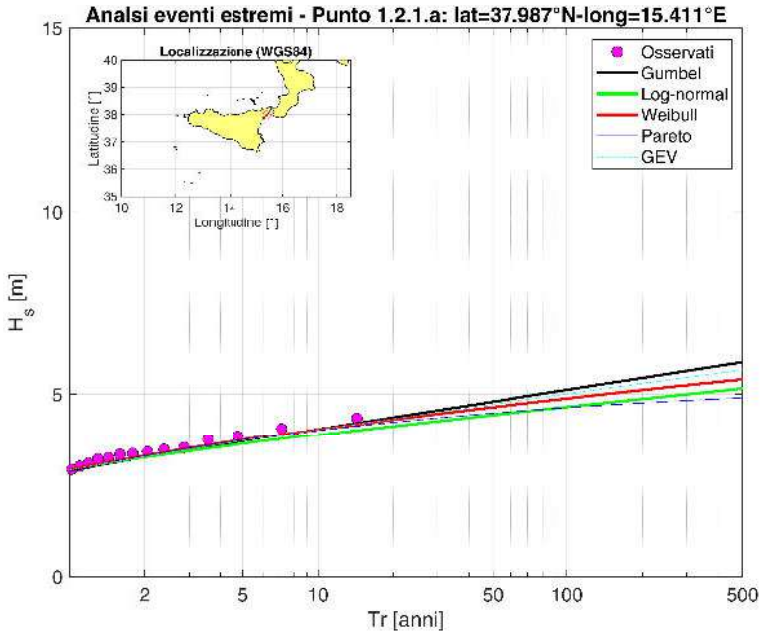


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	46	3.286	2.683	0.601	4.35
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.15462	0.16414	0.17668	0.19626	0.23544
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10593	0.09722	0.13218	0.08043	0.10953

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.135	2.413	1.043	1.748	1.594	0.965	0.209	2.000	0.862	-0.249	2.416	0.485	0.027

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.26	3.30	3.25	3.29	3.27
5	3.71	3.74	3.63	3.74	3.71
10	4.04	4.03	3.88	4.01	4.03
50	4.80	4.65	4.43	4.49	4.73
100	5.13	4.89	4.66	4.64	5.02
500	5.88	5.41	5.16	4.91	5.67

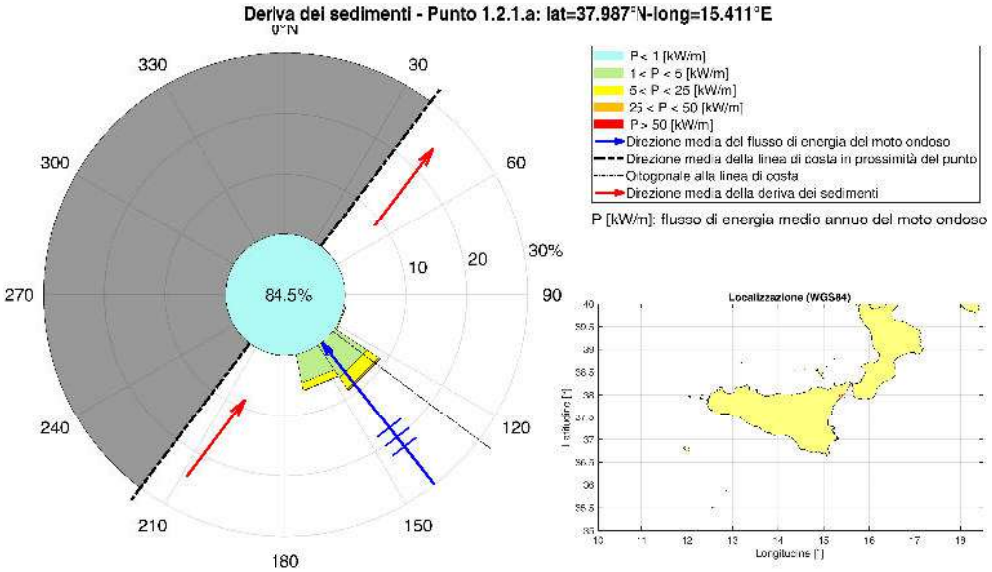


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
1
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 1.2.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

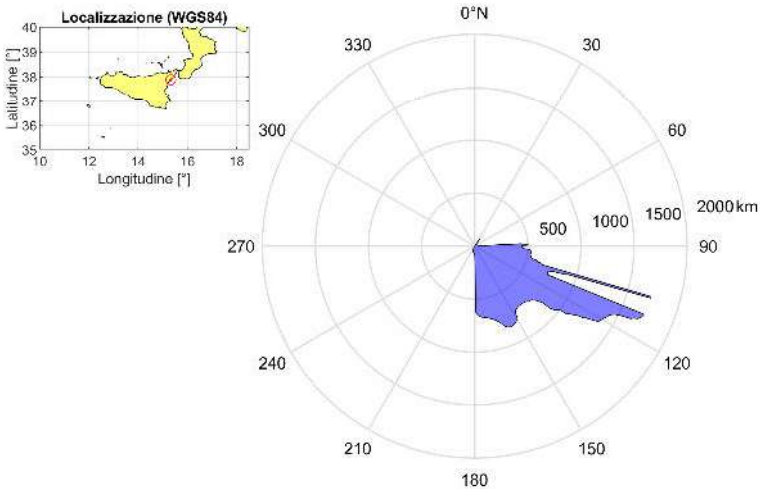


Figura 1: Fetch geografico.

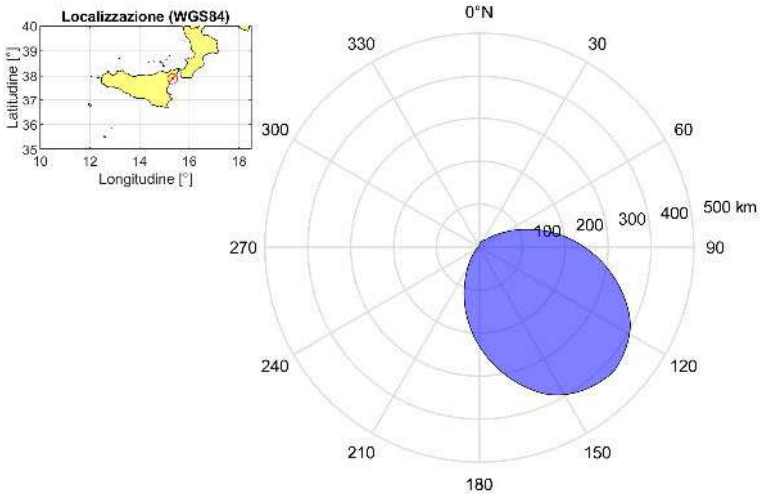


Figura 2: Fetch efficace.

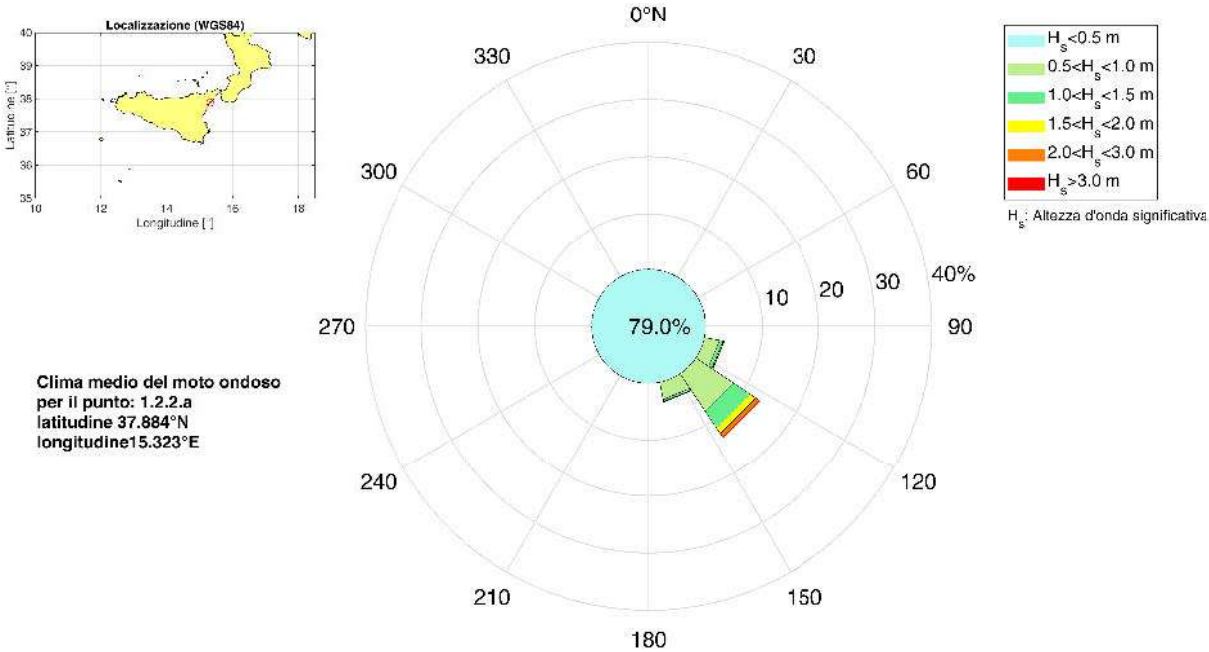


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.03	-	-	-	-	-
22.5	0.14	-	-	-	-	-
45.0	8.58	0.10	-	-	-	-
67.5	8.53	0.07	-	-	-	-
90.0	8.59	0.10	0.02	-	-	-
112.5	14.71	2.69	0.64	0.16	0.05	0.01
135.0	16.31	7.87	3.57	1.23	0.73	0.18
157.5	19.61	3.09	0.37	0.05	0.03	0.01
180.0	2.41	0.02	-	-	-	-
202.5	0.08	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	0.01	-	-	-	-	-
337.5	0.02	-	-	-	-	-

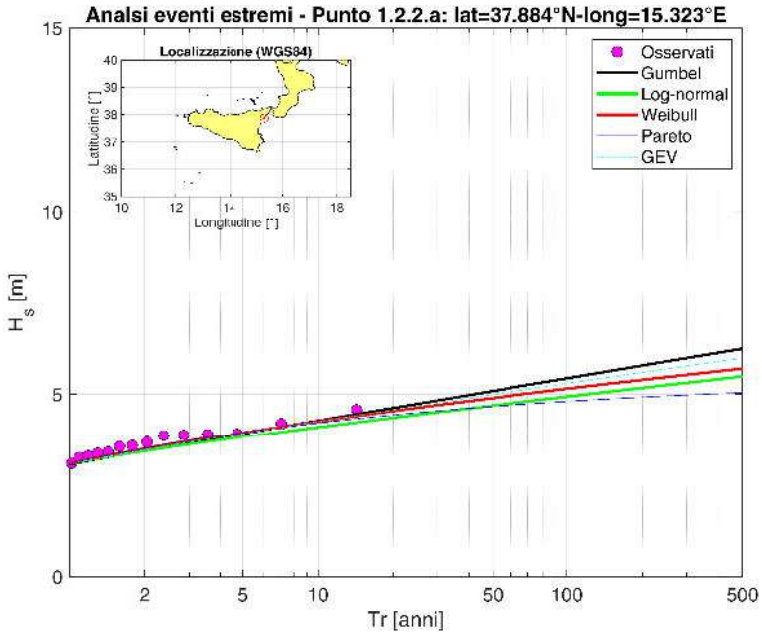


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	53	3.786	2.752	0.644	4.58
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.14427	0.15315	0.16485	0.18312	0.21969
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10529	0.08665	0.12686	0.07300	0.10757

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.993	2.463	1.127	1.742	1.608	0.988	0.218	2.000	0.973	-0.281	2.467	0.521	0.030

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.44	3.49	3.43	3.50	3.46
5	3.92	3.95	3.82	3.95	3.92
10	4.28	4.26	4.10	4.22	4.25
50	5.09	4.90	4.69	4.67	5.00
100	5.44	5.16	4.94	4.81	5.30
500	6.25	5.70	5.49	5.05	5.99

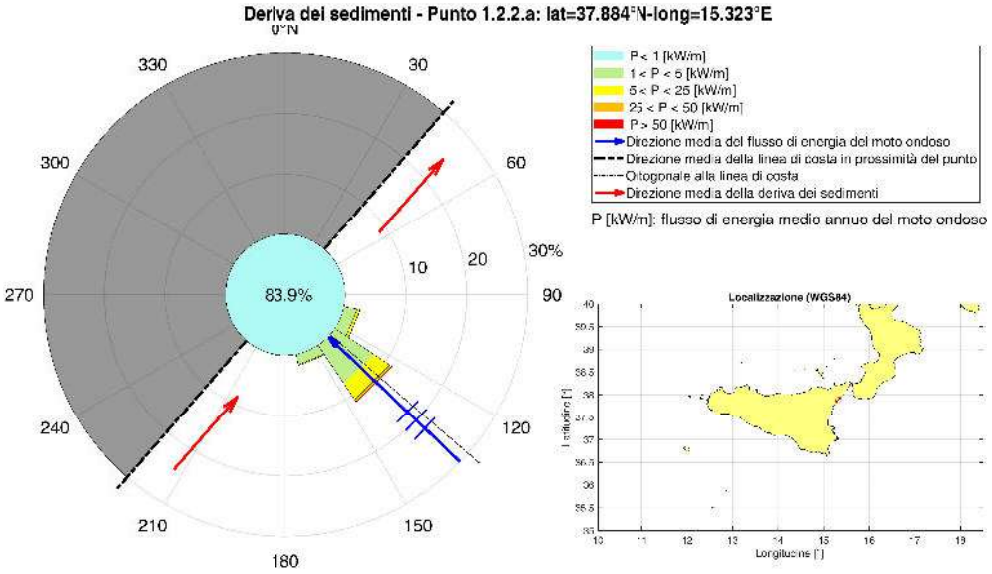


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
1
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 1.2.3.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

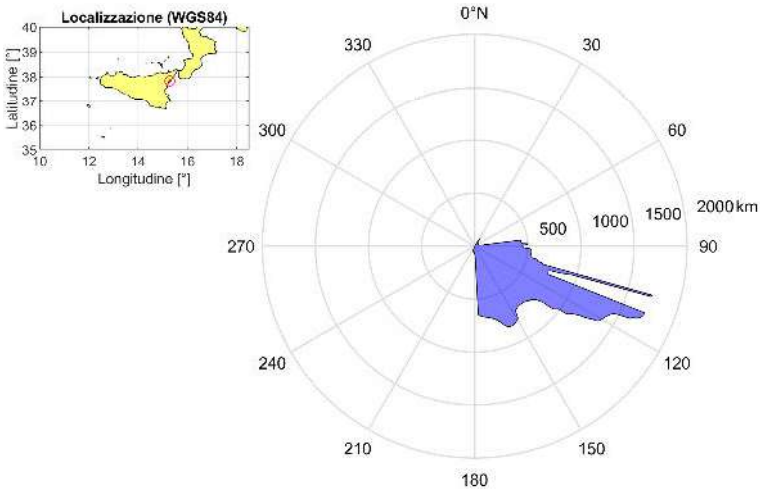


Figura 1: Fetch geografico.

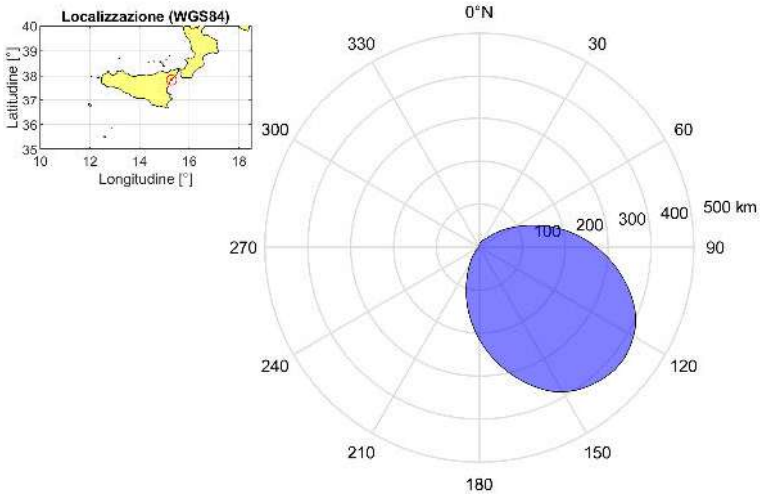


Figura 2: Fetch efficace.

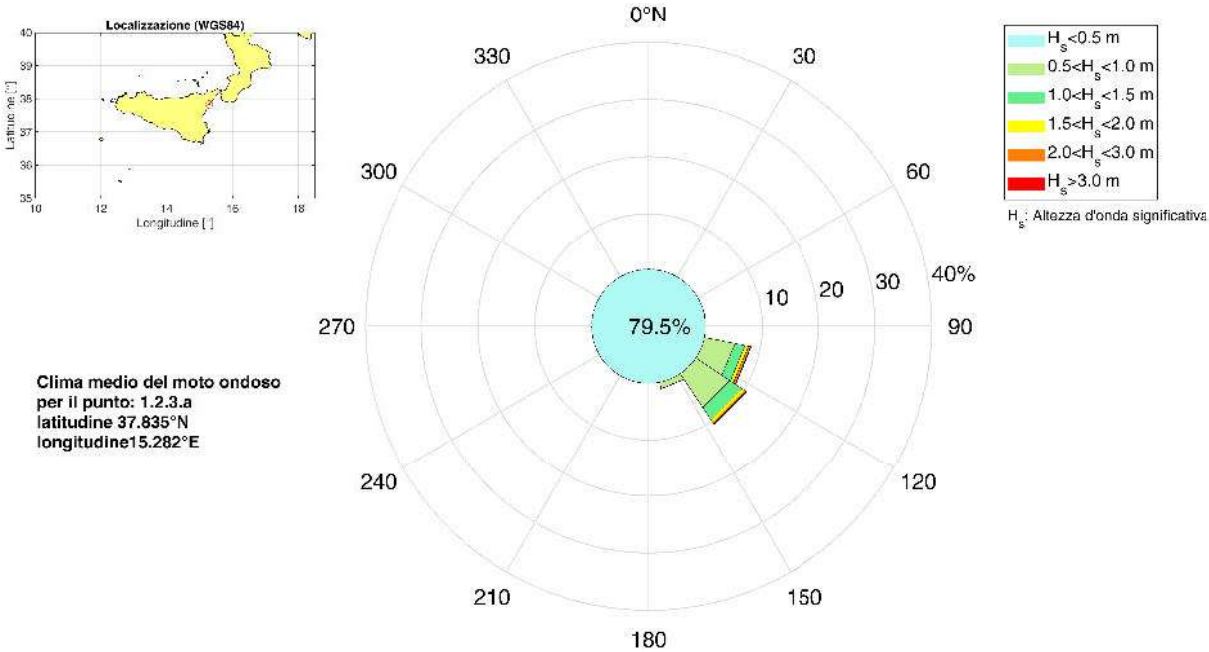


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	-	-	-	-	-
22.5	0.08	-	-	-	-	-
45.0	0.54	-	-	-	-	-
67.5	6.86	0.05	-	-	-	-
90.0	12.66	0.14	0.02	-	-	-
112.5	25.66	5.49	1.79	0.61	0.41	0.08
135.0	20.36	7.10	2.56	0.61	0.34	0.06
157.5	12.56	1.16	0.04	-	-	-
180.0	0.77	0.01	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	0.01	-	-	-	-	-
337.5	0.01	-	-	-	-	-

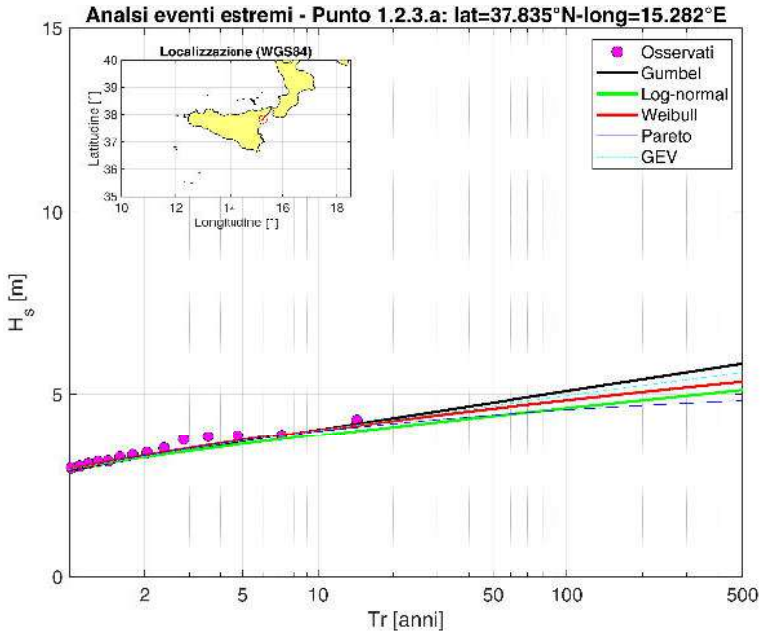


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	48	3.429	2.673	0.591	4.30
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.15144	0.16076	0.17304	0.19222	0.23060
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.13355	0.11179	0.15254	0.10512	0.13419

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.170	2.407	1.039	1.743	1.613	0.961	0.207	2.000	0.855	-0.257	2.411	0.479	0.030

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.26	3.30	3.25	3.30	3.27
5	3.70	3.73	3.62	3.72	3.70
10	4.03	4.02	3.87	3.98	4.01
50	4.78	4.61	4.41	4.44	4.69
100	5.10	4.84	4.63	4.58	4.97
500	5.84	5.35	5.12	4.83	5.60

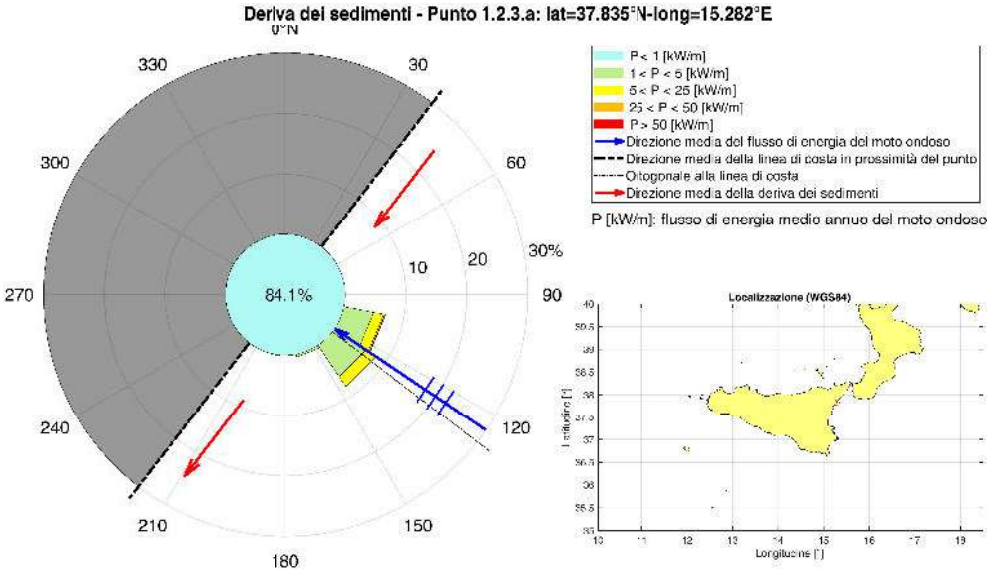


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
1
Unità fisiografica di II ordine
3
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 1.3.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

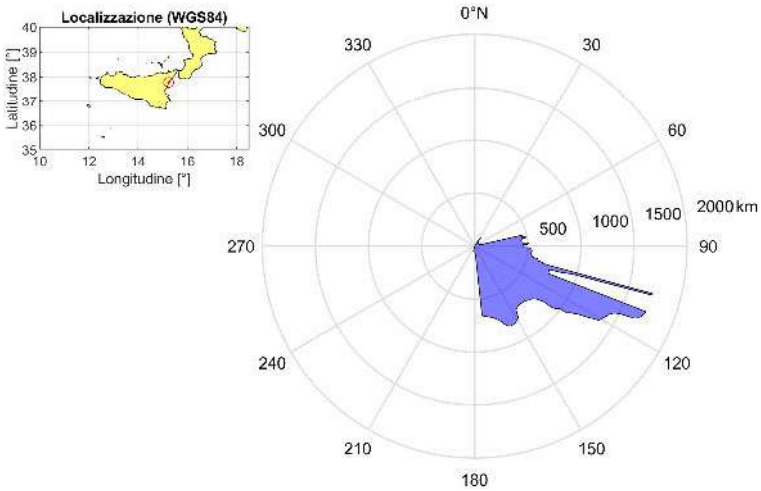


Figura 1: Fetch geografico.

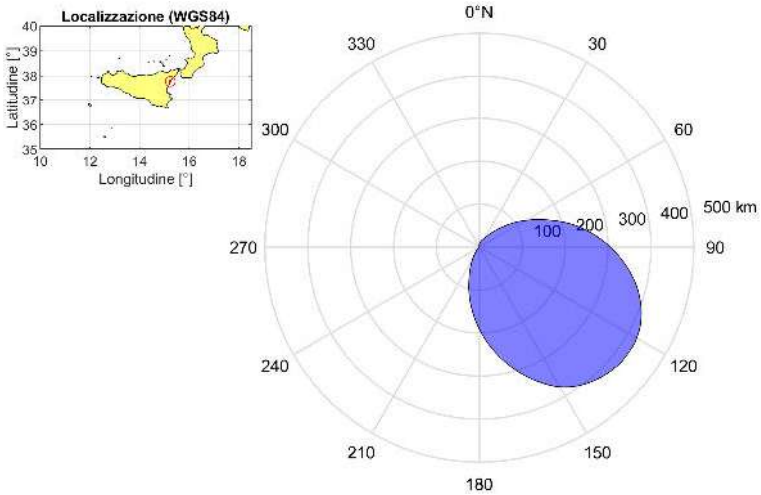


Figura 2: Fetch efficace.

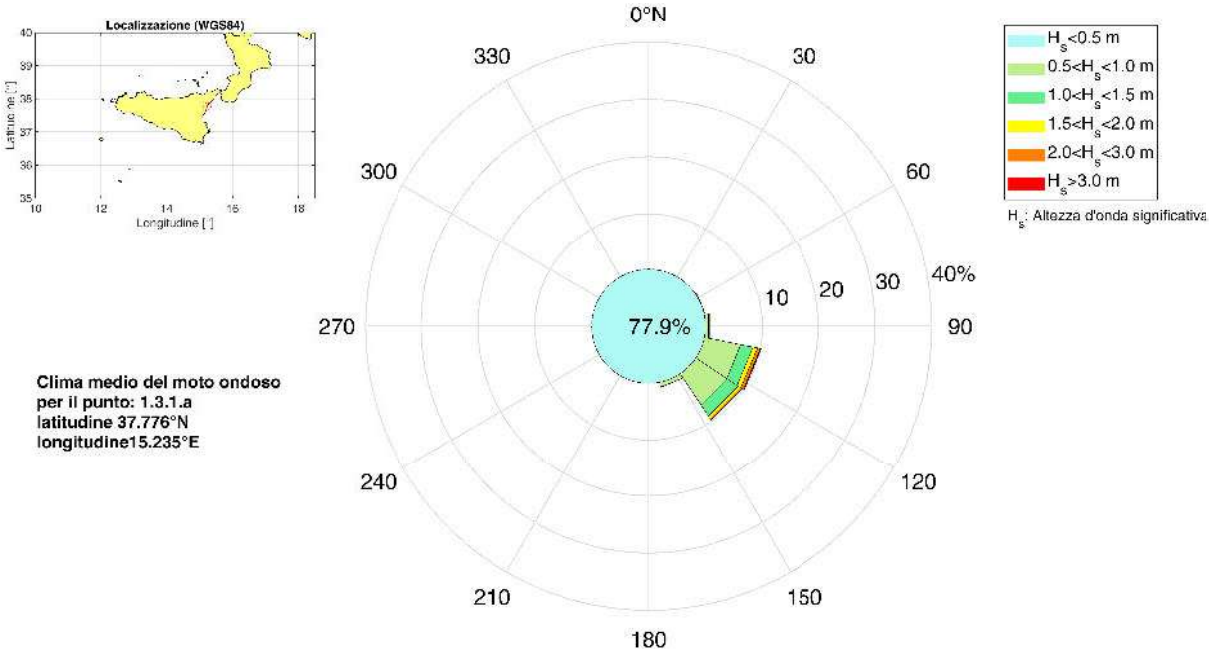


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	0.01	-	-	-	-	-
45.0	0.49	0.06	-	-	-	-
67.5	3.61	0.20	-	-	-	-
90.0	24.51	0.73	0.11	0.03	0.01	-
112.5	22.81	6.51	2.19	0.78	0.52	0.16
135.0	18.48	6.58	2.35	0.56	0.30	0.04
157.5	7.55	0.88	0.04	-	-	-
180.0	0.47	0.01	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

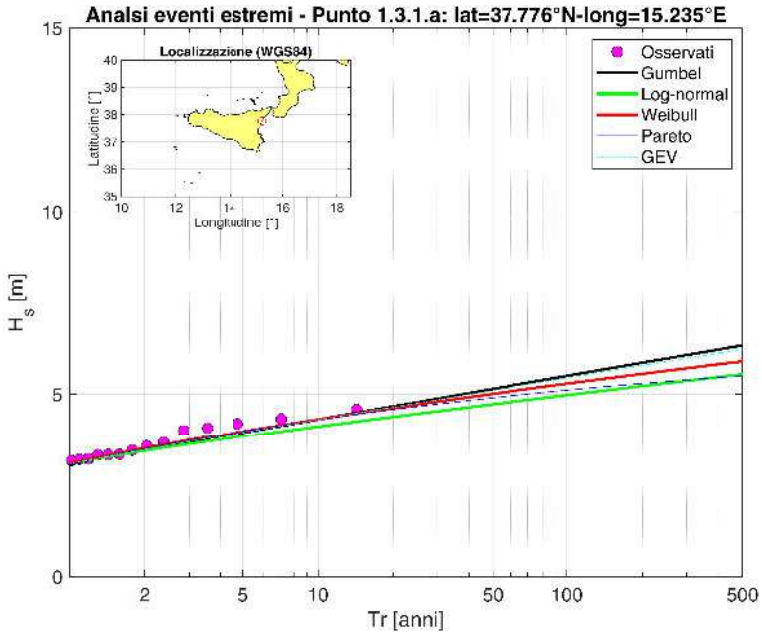


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	55	3.929	2.728	0.661	4.59
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.14168	0.15040	0.16188	0.17983	0.21574
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11044	0.08785	0.13366	0.07301	0.11144

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.941	2.431	1.087	1.748	1.511	0.978	0.224	2.000	0.871	-0.189	2.432	0.523	0.012

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.46	3.50	3.43	3.49	3.46
5	3.95	3.99	3.84	3.98	3.95
10	4.32	4.32	4.12	4.31	4.31
50	5.15	5.02	4.73	4.91	5.11
100	5.51	5.29	4.98	5.12	5.45
500	6.34	5.90	5.55	5.51	6.23

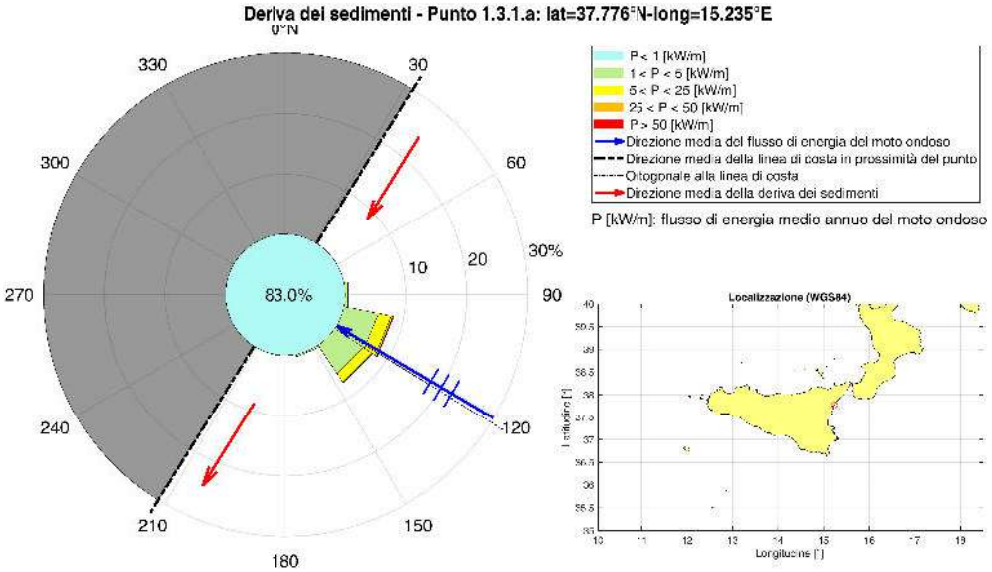


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
1
Unità fisiografica di II ordine
3
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 1.3.2.a)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

Punto griglia (identificativo: 1.3.2.b)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

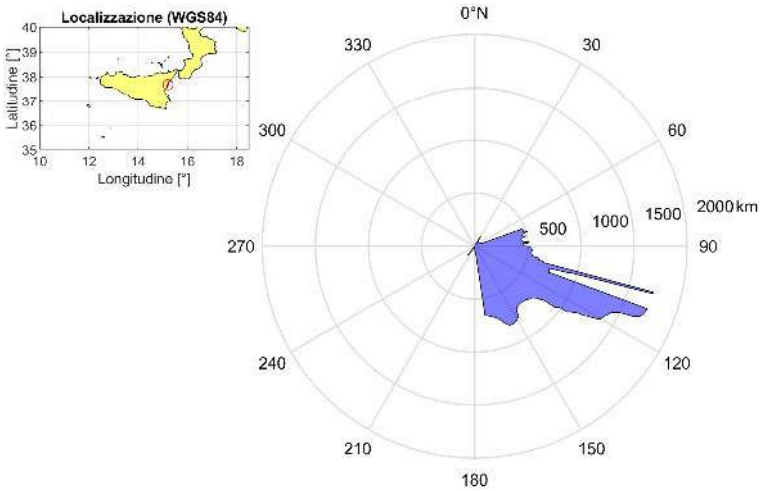


Figura 1: Fetch geografico.

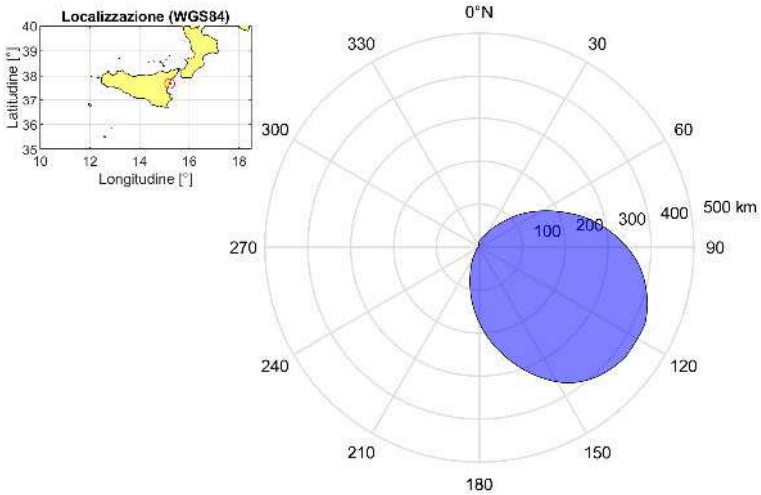


Figura 2: Fetch efficace.

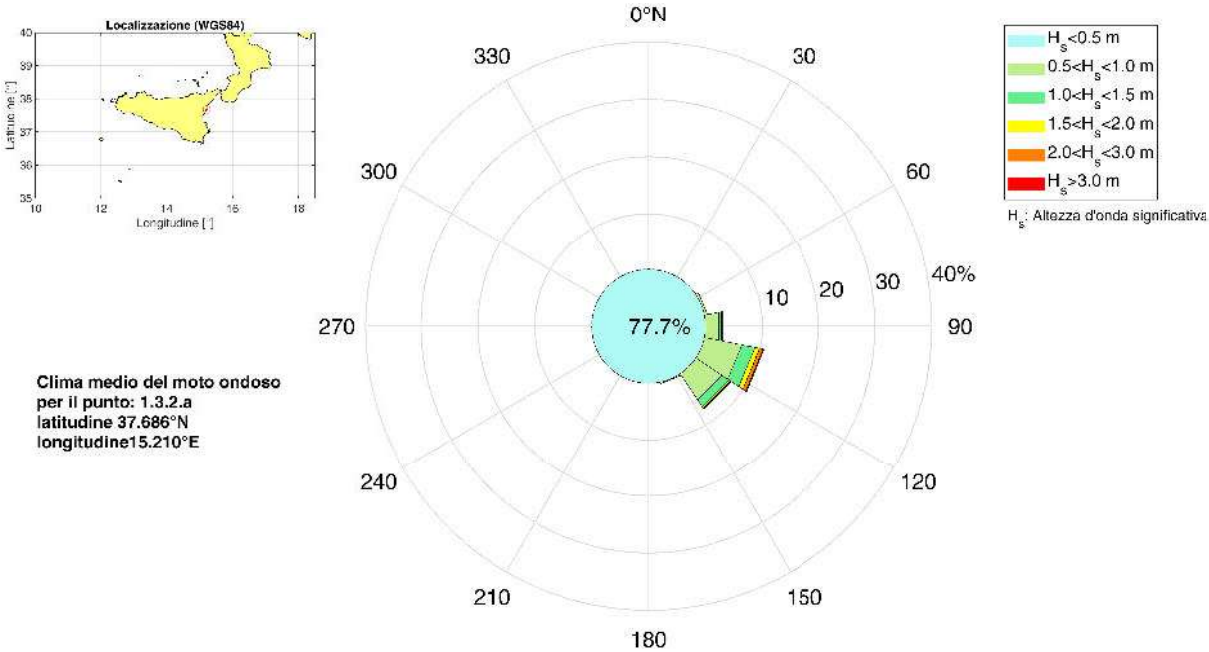


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	-	-	-	-	-
22.5	0.01	-	-	-	-	-
45.0	0.49	0.06	-	-	-	-
67.5	8.43	0.52	0.04	-	-	-
90.0	29.18	2.54	0.46	0.17	0.03	-
112.5	15.89	6.72	2.34	0.84	0.61	0.17
135.0	17.65	5.53	1.50	0.29	0.12	0.01
157.5	4.88	0.31	0.01	-	-	-
180.0	1.19	0.01	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

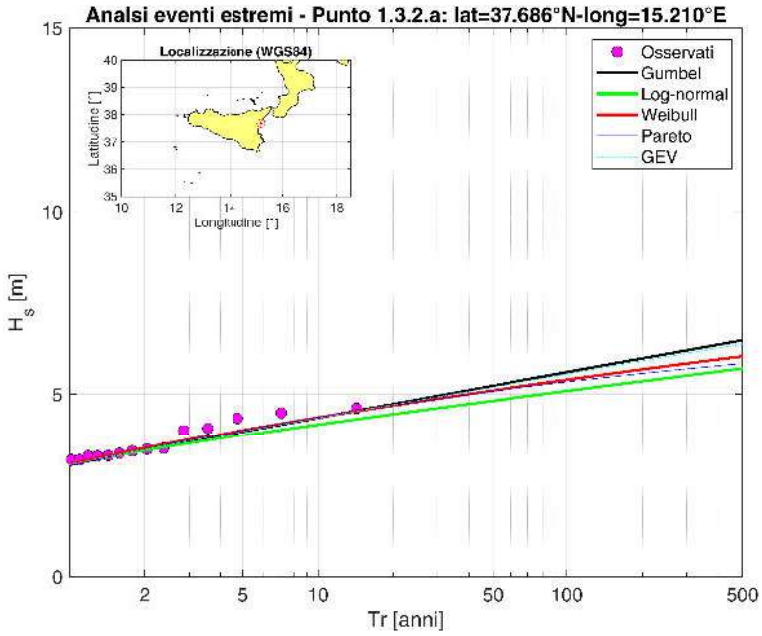


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	51	3.643	2.742	0.691	4.62
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.14701	0.15606	0.16798	0.18660	0.22386
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09153	0.09902	0.10102	0.09695	0.09443

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.856	2.431	1.133	1.720	1.506	0.981	0.233	2.000	0.859	-0.152	2.433	0.546	0.011

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.46	3.51	3.44	3.47	3.47
5	3.98	4.02	3.87	4.02	3.98
10	4.36	4.37	4.17	4.38	4.35
50	5.23	5.11	4.82	5.09	5.20
100	5.61	5.40	5.09	5.34	5.56
500	6.48	6.04	5.71	5.84	6.38

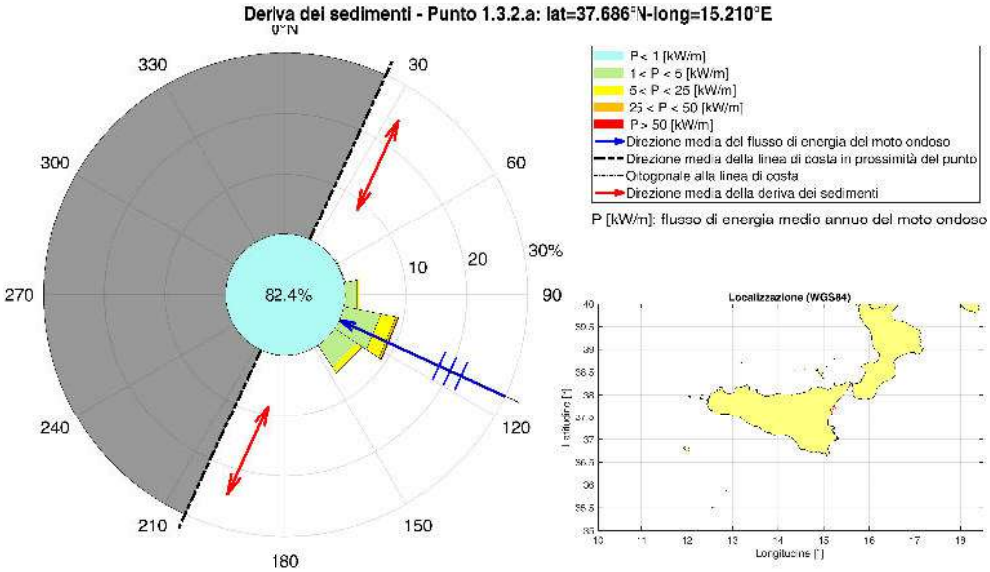


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

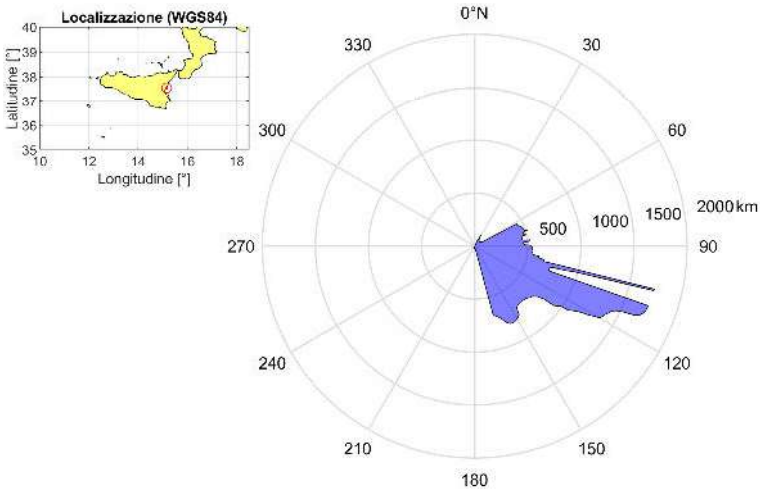


Figura 6: Fetch geografico.

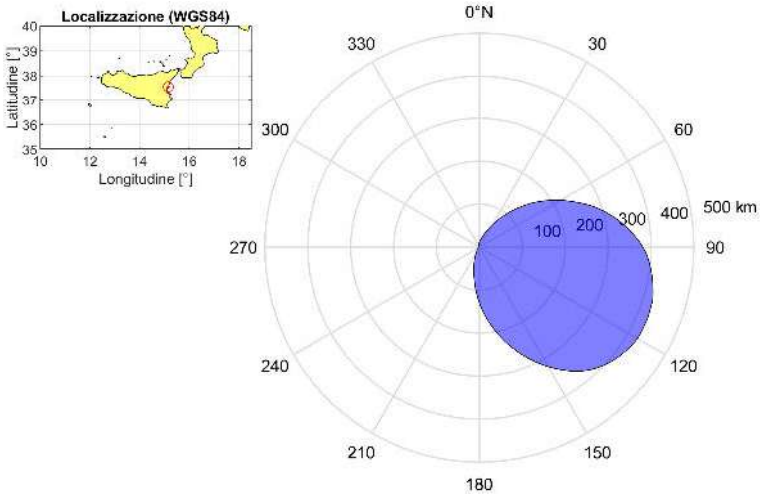


Figura 7: Fetch efficace.

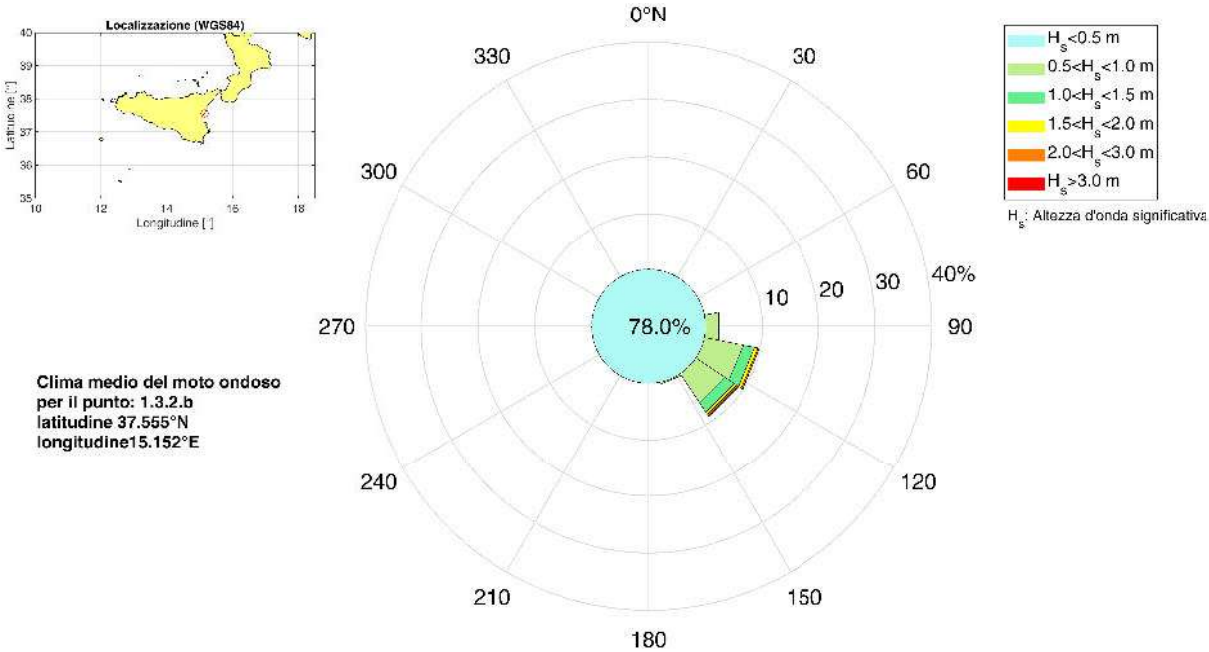


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	13.55	0.06	-	-	-	-
90.0	24.27	2.49	0.11	-	-	-
112.5	14.84	6.98	2.01	0.58	0.27	0.03
135.0	16.01	6.09	2.00	0.52	0.35	0.06
157.5	5.70	0.39	0.01	-	-	-
180.0	3.31	0.01	-	-	-	-
202.5	0.34	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

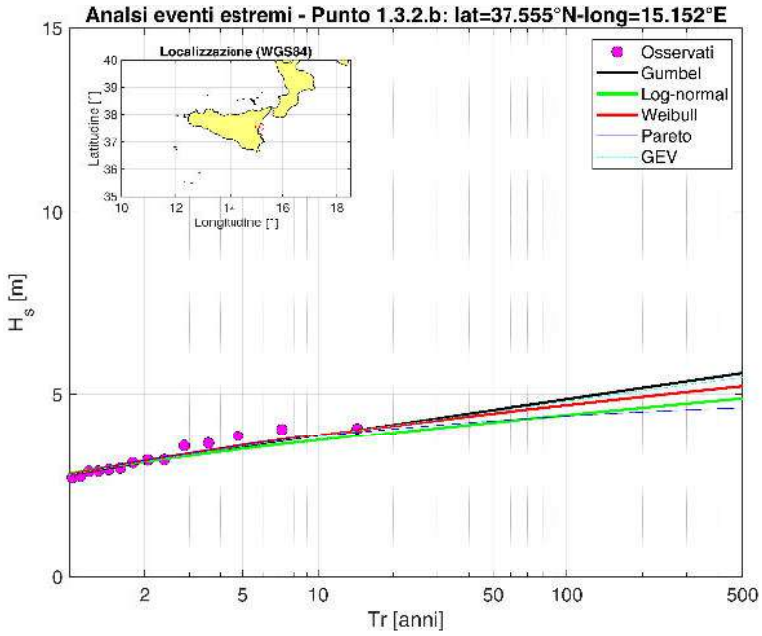


Figura 9: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	39	2.786	2.660	0.563	4.06
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.16759	0.17791	0.19152	0.21274	0.25518
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07426	0.08143	0.08659	0.08353	0.07879

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.279	2.407	0.942	1.812	1.538	0.958	0.198	2.000	0.854	-0.281	2.409	0.448	0.017

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.12	3.15	3.13	3.16	3.13
5	3.55	3.58	3.48	3.59	3.55
10	3.86	3.87	3.72	3.85	3.85
50	4.57	4.47	4.23	4.28	4.53
100	4.88	4.71	4.44	4.41	4.82
500	5.58	5.23	4.90	4.64	5.47

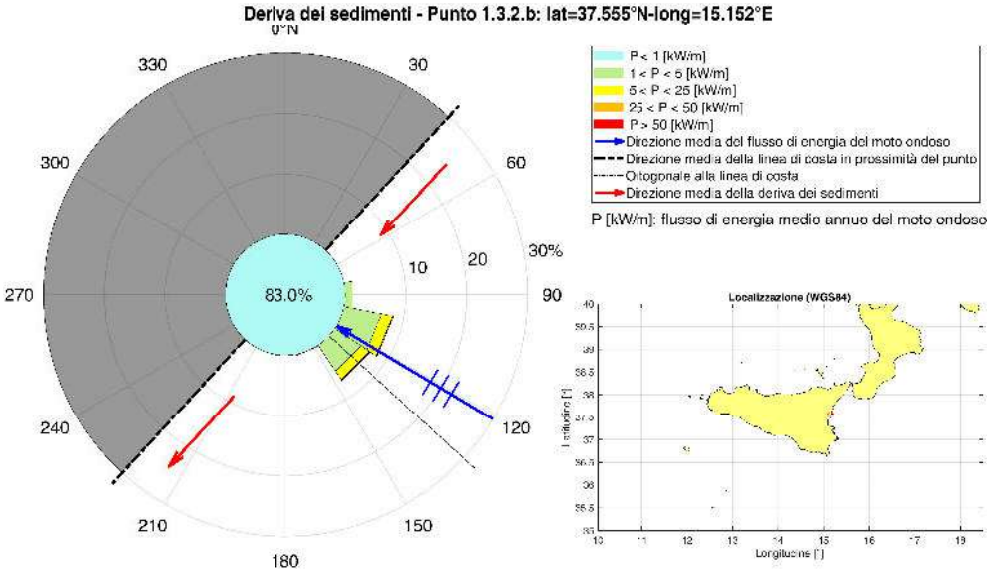


Figura 10: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
2
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 2.1.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

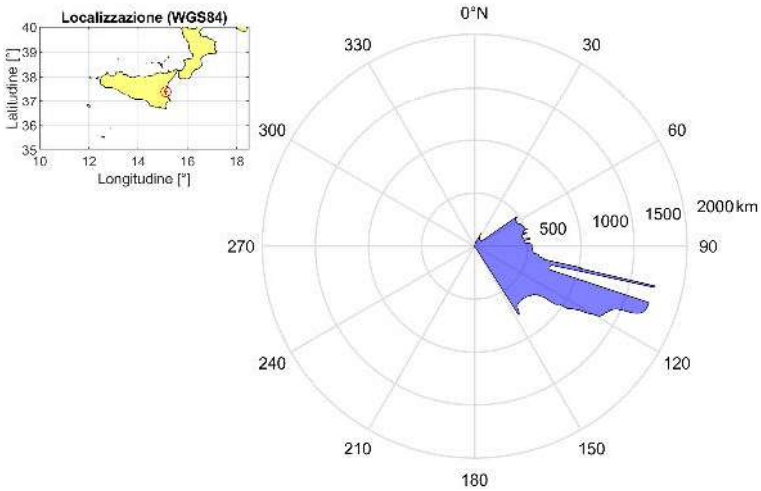


Figura 1: Fetch geografico.

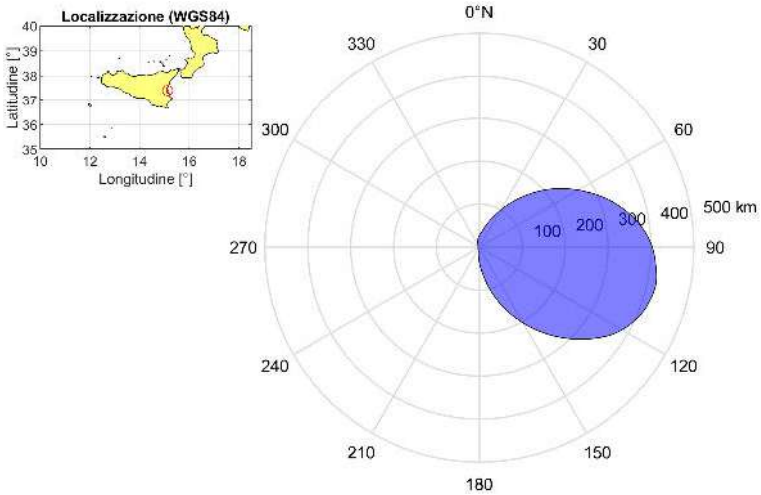


Figura 2: Fetch efficace.

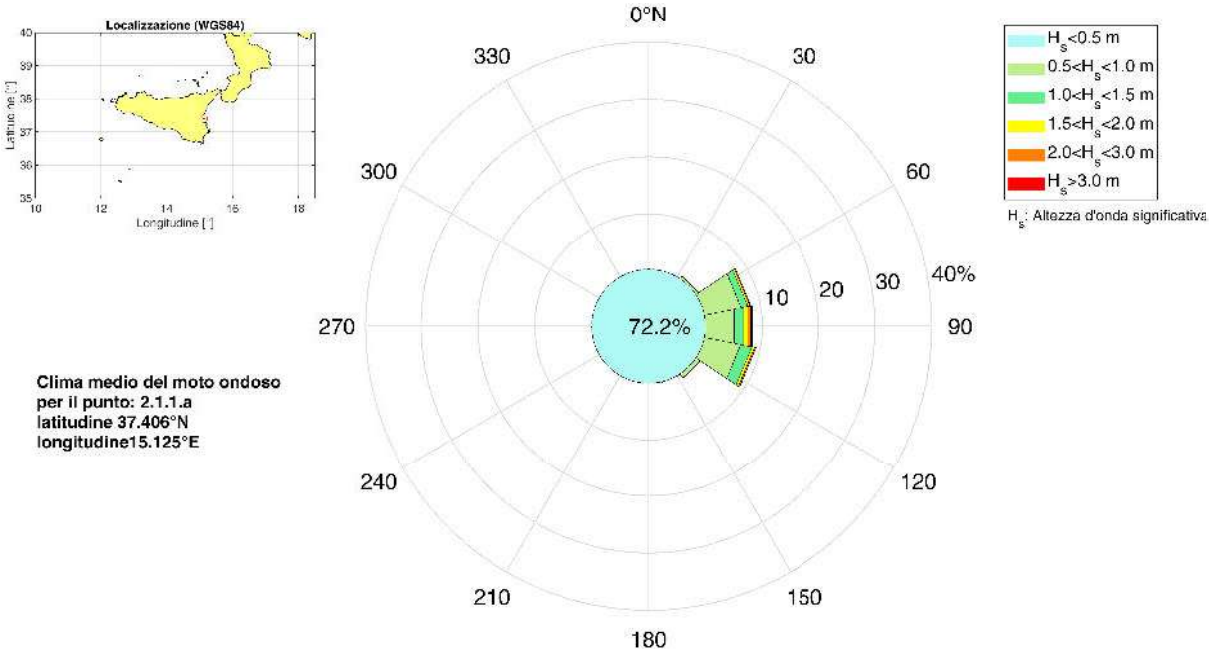


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.12	0.01	-	-	-	-
22.5	0.78	0.02	-	-	-	-
45.0	6.76	0.50	0.05	-	-	-
67.5	22.72	6.57	1.19	0.37	0.16	0.01
90.0	11.69	5.30	1.73	0.74	0.59	0.17
112.5	13.46	6.50	2.01	0.47	0.23	0.03
135.0	10.01	0.88	0.04	0.01	-	-
157.5	1.10	0.17	-	-	-	-
180.0	0.58	0.05	-	-	-	-
202.5	0.64	0.02	-	-	-	-
225.0	0.97	0.01	-	-	-	-
247.5	1.70	-	-	-	-	-
270.0	0.87	-	-	-	-	-
292.5	0.42	-	-	-	-	-
315.0	0.21	-	-	-	-	-
337.5	0.13	-	-	-	-	-

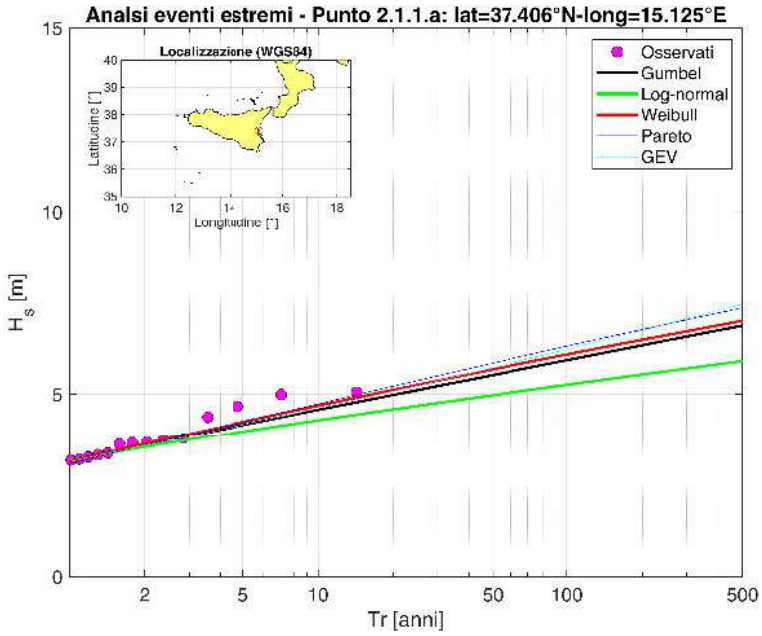


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	57	4.071	2.757	0.750	5.05
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.13922	0.14779	0.15907	0.17670	0.21200
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.14781	0.10594	0.17644	0.09288	0.14288

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.710	2.420	0.964	1.853	1.212	0.983	0.241	2.000	0.778	-0.027	2.414	0.546	-0.049

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.61	3.63	3.54	3.59	3.58
5	4.17	4.25	3.98	4.25	4.17
10	4.58	4.70	4.29	4.74	4.63
50	5.53	5.68	4.98	5.85	5.73
100	5.93	6.09	5.26	6.32	6.23
500	6.87	7.00	5.91	7.36	7.46

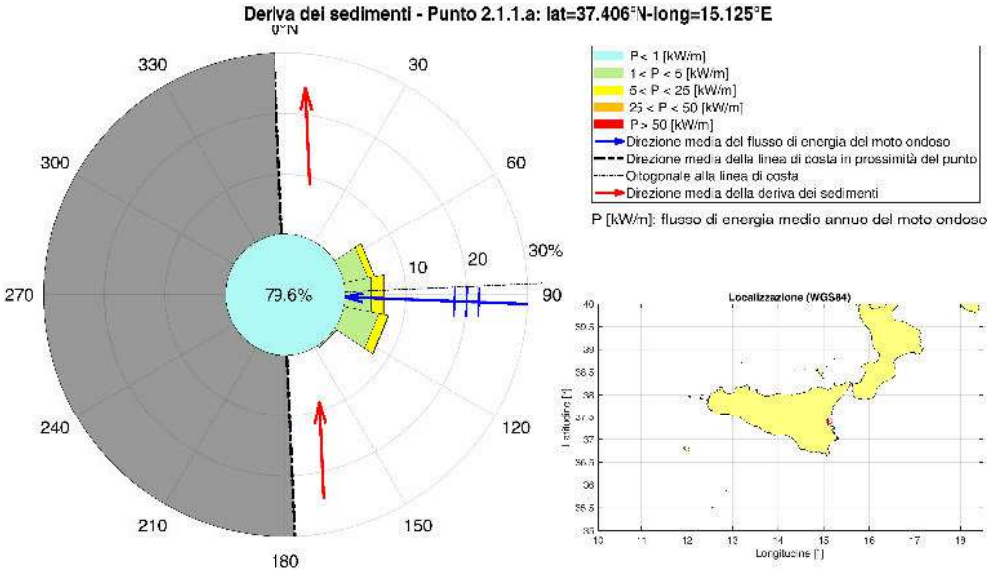


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
3
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 3.1.1.a)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

Punto griglia (identificativo: 3.1.1.b)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

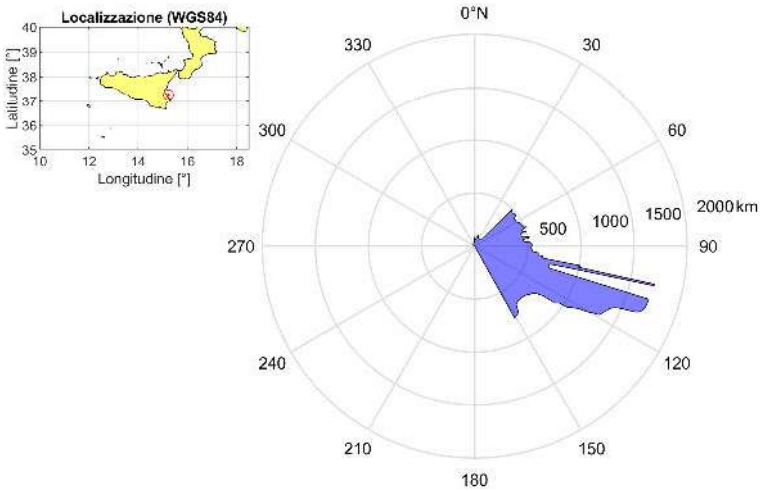


Figura 1: Fetch geografico.

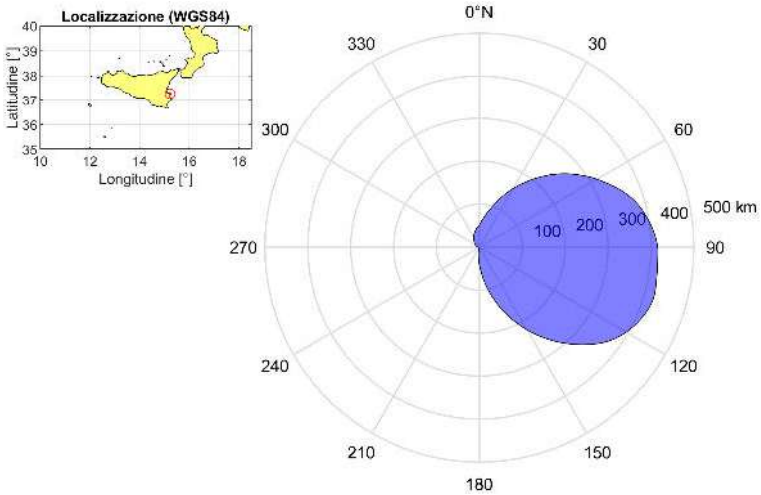


Figura 2: Fetch efficace.

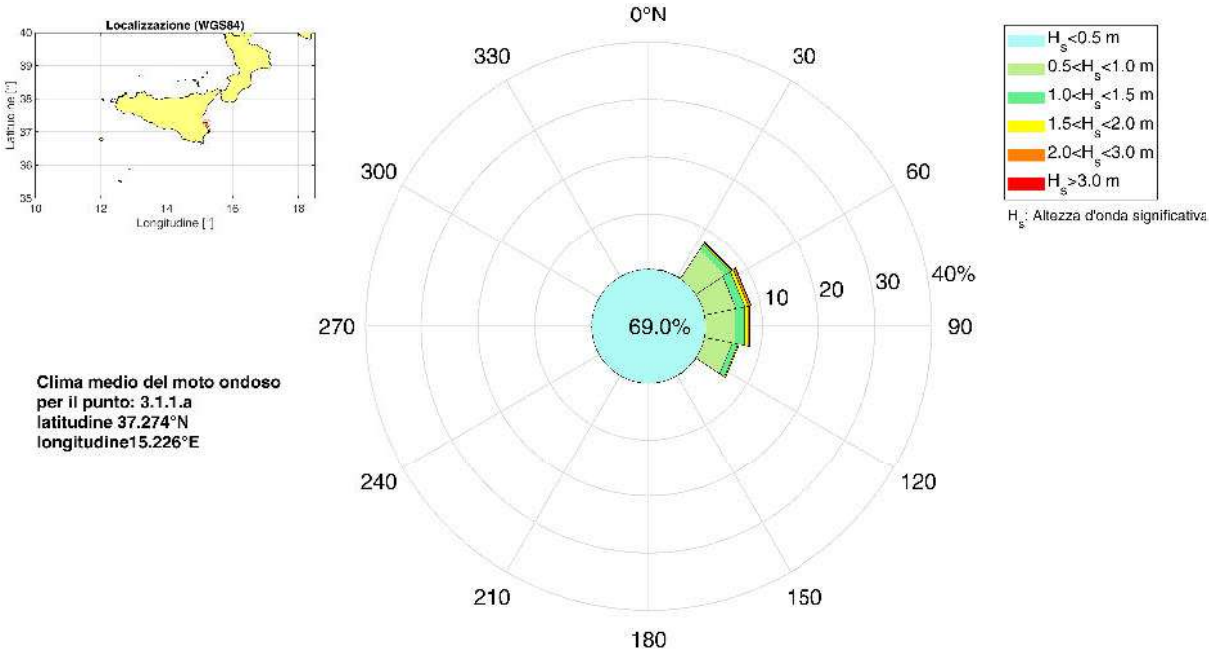


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.89	0.05	-	-	-	-
22.5	1.63	0.16	0.02	0.01	-	-
45.0	17.13	6.21	1.00	0.36	0.18	0.02
67.5	11.95	5.68	1.57	0.64	0.43	0.10
90.0	8.83	5.49	1.71	0.58	0.35	0.04
112.5	16.49	5.03	0.97	0.19	0.03	-
135.0	4.64	0.13	-	-	-	-
157.5	0.16	-	-	-	-	-
180.0	0.08	-	-	-	-	-
202.5	0.08	-	-	-	-	-
225.0	0.08	-	-	-	-	-
247.5	0.20	-	-	-	-	-
270.0	0.55	-	-	-	-	-
292.5	1.40	-	-	-	-	-
315.0	2.67	-	-	-	-	-
337.5	2.25	0.01	-	-	-	-

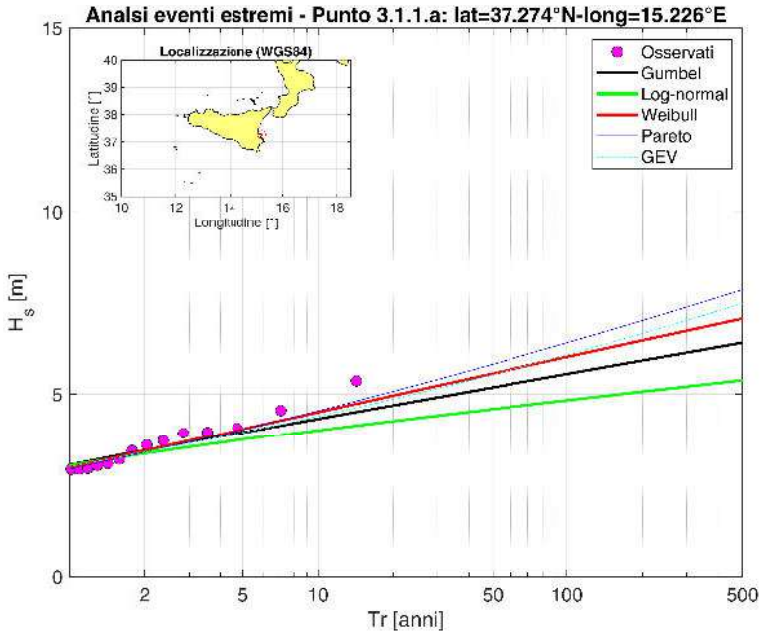


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	60	4.286	2.646	0.681	5.37
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.13577	0.14412	0.15512	0.17231	0.20673
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15100	0.09325	0.13653	0.06515	0.12497

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.884	2.339	0.712	1.942	1.033	0.946	0.223	2.000	0.609	0.057	2.332	0.463	-0.091

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.45	3.44	3.36	3.39	3.40
5	3.95	4.05	3.74	4.04	3.96
10	4.33	4.51	4.01	4.55	4.40
50	5.19	5.57	4.60	5.82	5.54
100	5.56	6.02	4.84	6.41	6.08
500	6.41	7.06	5.38	7.85	7.48

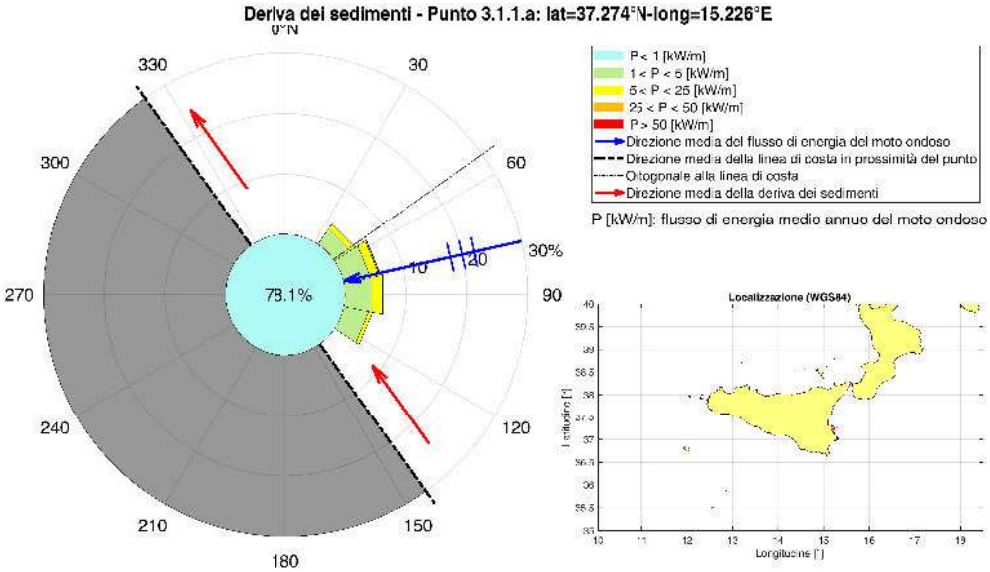


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

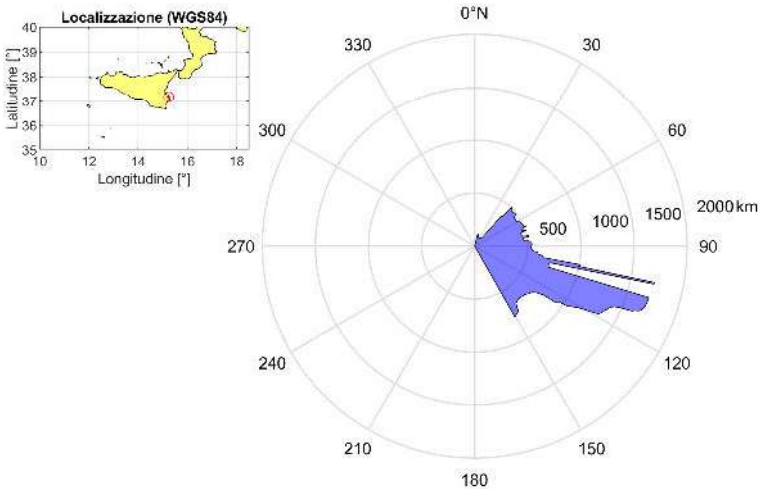


Figura 6: Fetch geografico.

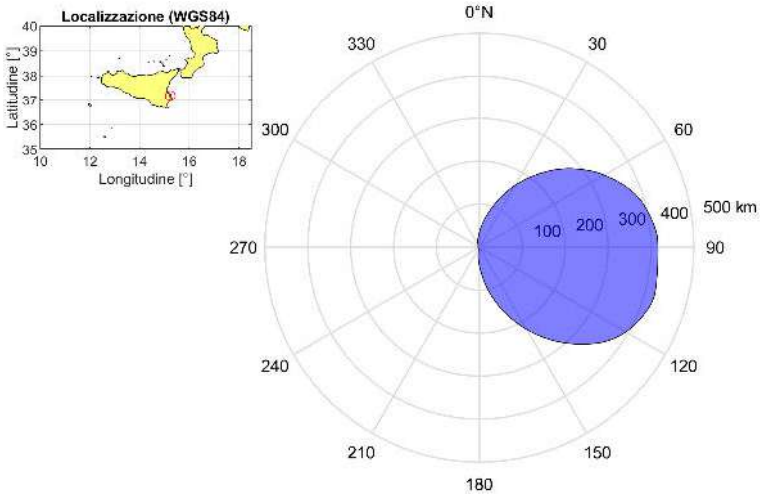


Figura 7: Fetch efficace.

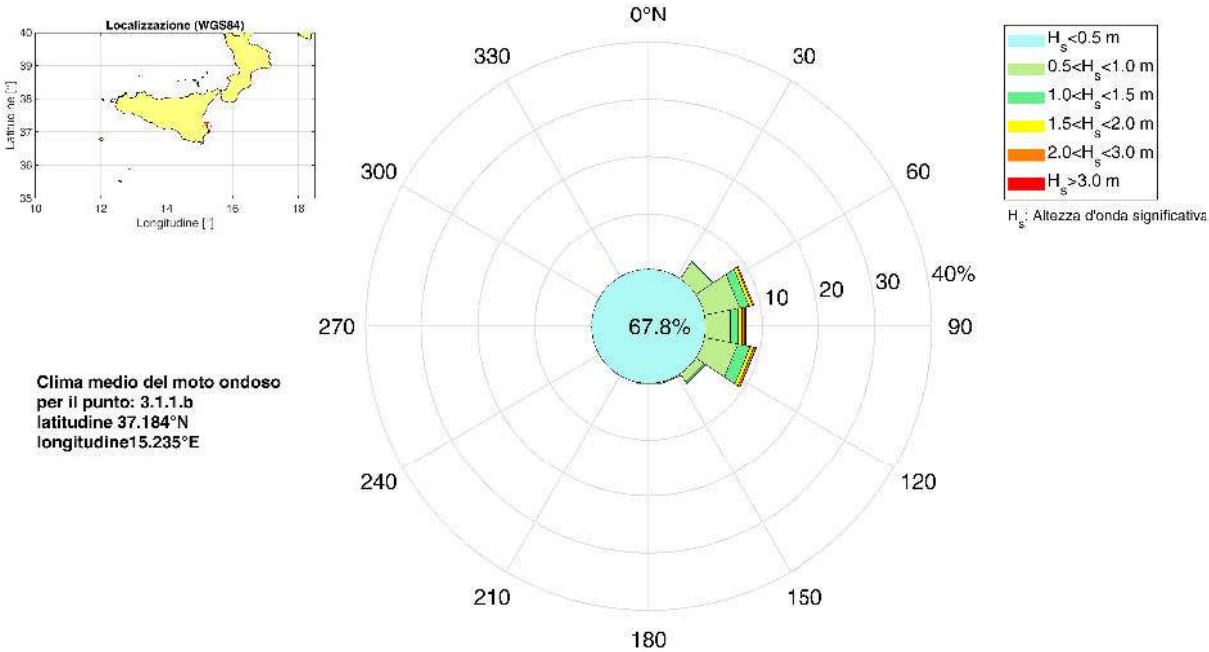


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.14	0.02	-	-	-	-
22.5	0.94	0.05	-	-	-	-
45.0	14.47	3.44	0.20	0.01	-	-
67.5	13.38	6.38	1.63	0.60	0.25	0.01
90.0	7.61	4.62	1.46	0.67	0.46	0.17
112.5	8.45	6.02	2.19	0.63	0.40	0.06
135.0	12.48	1.80	0.26	0.04	0.01	-
157.5	1.22	0.32	0.01	-	-	-
180.0	0.76	0.19	-	-	-	-
202.5	0.62	0.09	-	-	-	-
225.0	0.93	0.04	-	-	-	-
247.5	2.00	0.05	-	-	-	-
270.0	3.32	0.08	-	-	-	-
292.5	1.16	0.01	-	-	-	-
315.0	0.24	0.01	-	-	-	-
337.5	0.09	0.01	-	-	-	-

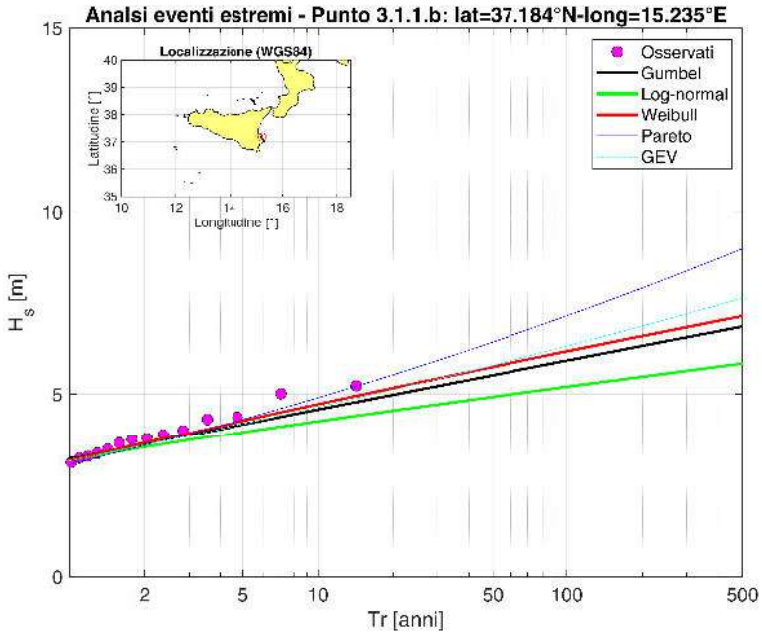


Figura 9: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	66	4.714	2.699	0.741	5.24
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12957	0.13754	0.14804	0.16444	0.19729
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.14206	0.11694	0.14661	0.06608	0.12563

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.732	2.366	0.900	1.844	1.158	0.962	0.241	2.000	0.643	0.081	2.360	0.529	-0.061

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.63	3.65	3.53	3.58	3.60
5	4.18	4.28	3.96	4.32	4.19
10	4.58	4.73	4.26	4.91	4.65
50	5.52	5.75	4.93	6.42	5.79
100	5.92	6.17	5.21	7.14	6.32
500	6.85	7.13	5.84	8.97	7.62

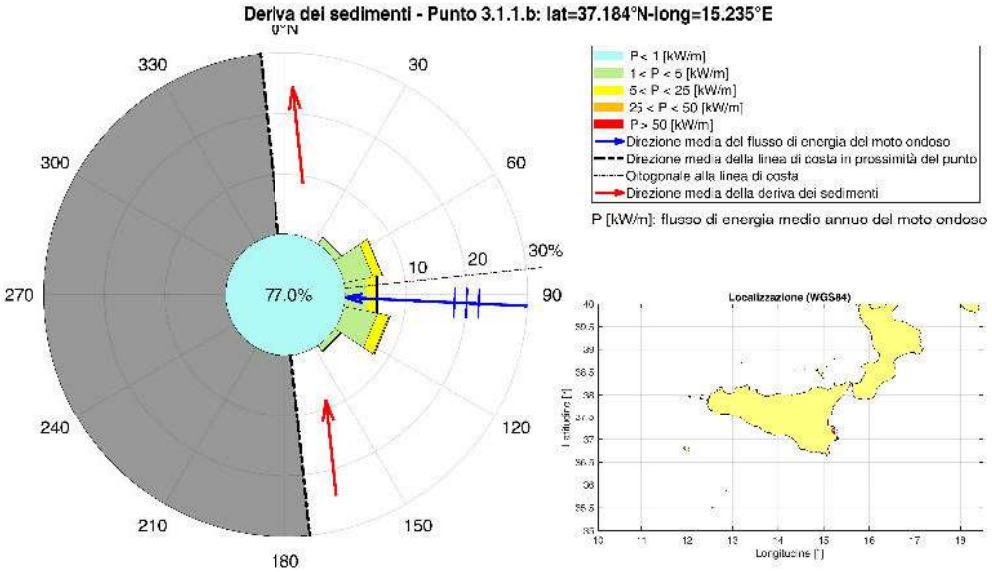


Figura 10: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
3
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 3.1.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

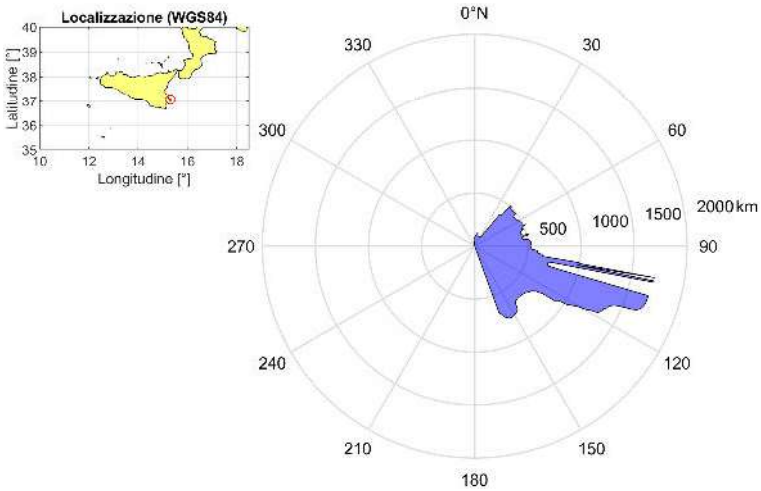


Figura 1: Fetch geografico.

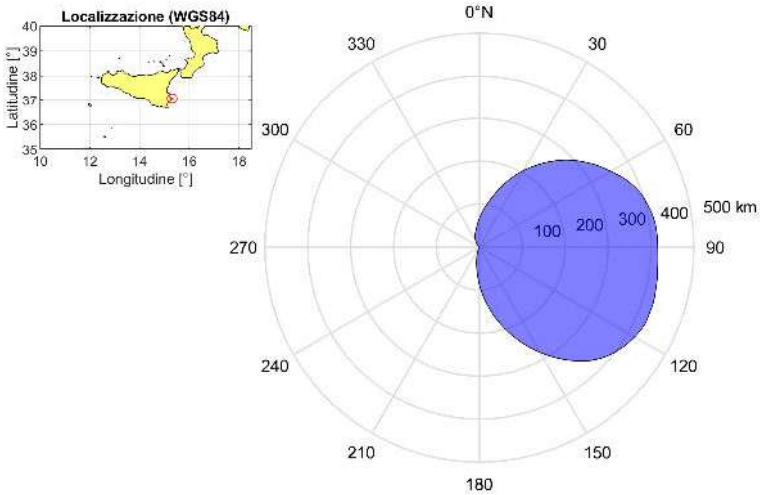


Figura 2: Fetch efficace.

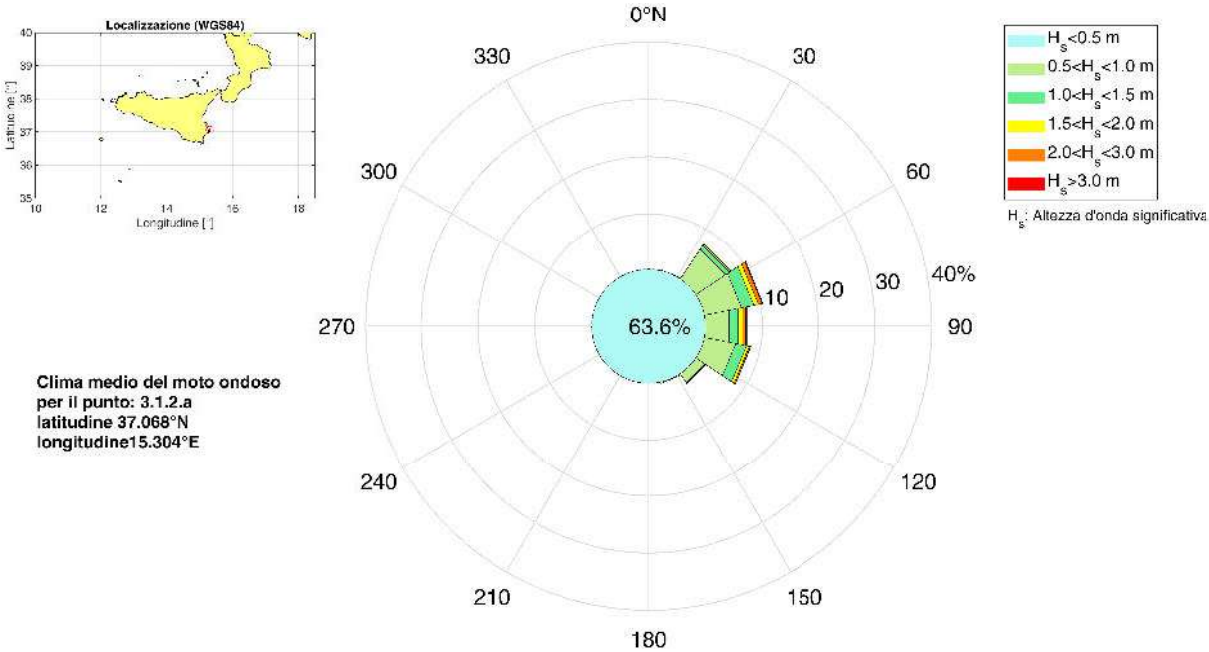


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.35	0.01	-	-	-	-
22.5	2.01	0.16	-	-	-	-
45.0	16.35	6.29	0.83	0.24	0.12	-
67.5	9.48	6.66	2.18	0.83	0.65	0.17
90.0	5.10	4.38	1.70	0.79	0.54	0.17
112.5	5.93	5.61	1.93	0.50	0.25	0.03
135.0	13.62	1.88	0.20	0.02	0.01	-
157.5	3.14	0.29	-	-	-	-
180.0	1.39	0.02	-	-	-	-
202.5	0.76	-	-	-	-	-
225.0	0.84	-	-	-	-	-
247.5	1.04	-	-	-	-	-
270.0	1.40	-	-	-	-	-
292.5	1.25	-	-	-	-	-
315.0	0.63	-	-	-	-	-
337.5	0.27	-	-	-	-	-

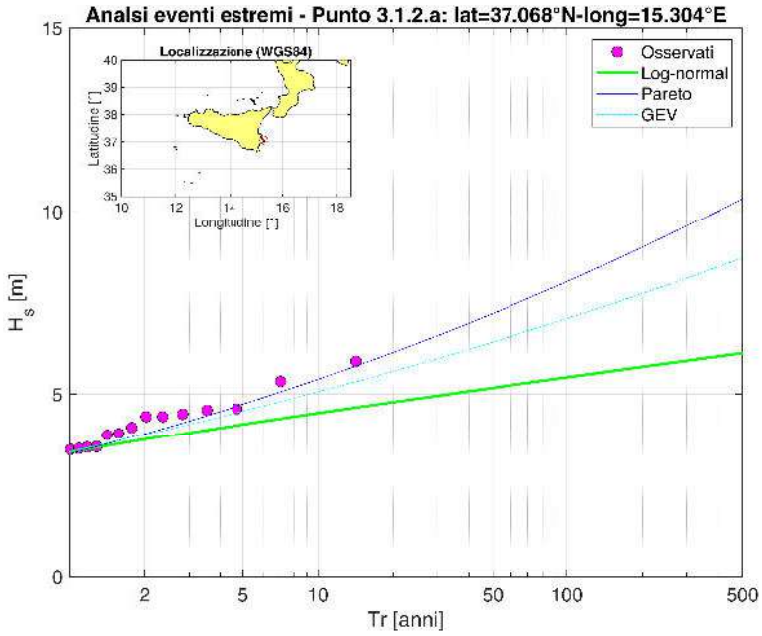


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	92	6.571	2.721	0.784	5.90
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.11007	0.11682	0.12573	0.13965	0.16756
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15245	0.09441	0.14885	0.04335	0.12678

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.636	2.368	0.830	1.904	1.042	0.968	0.247	2.000	0.644	0.109	2.360	0.536	-0.089

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.92	3.96	3.75	3.91	3.88
5	4.49	4.66	4.18	4.73	4.54
10	4.92	5.19	4.49	5.41	5.07
50	5.91	6.39	5.18	7.20	6.42
100	6.33	6.90	5.46	8.07	7.06
500	7.32	8.09	6.13	10.37	8.72

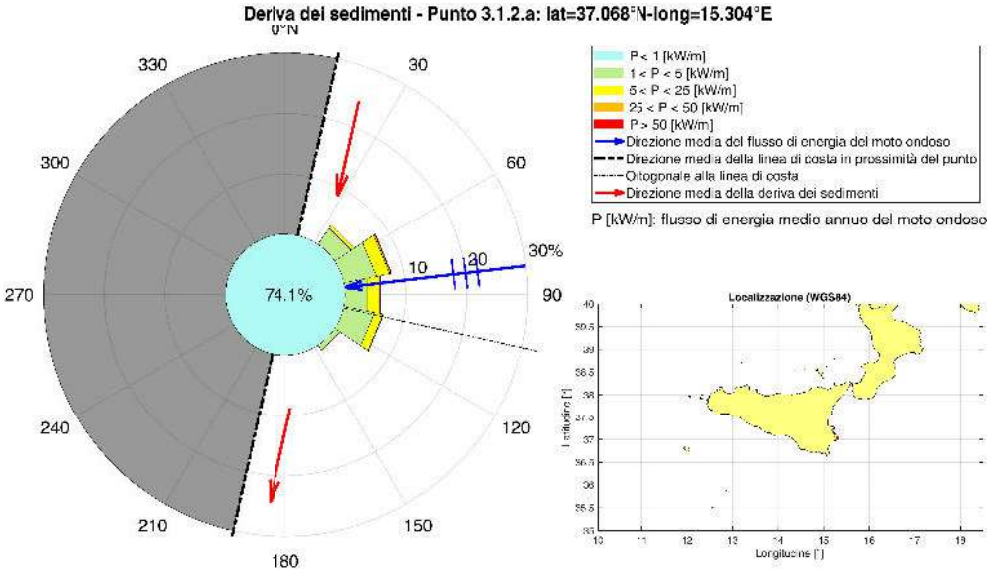


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
3
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 3.1.3.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

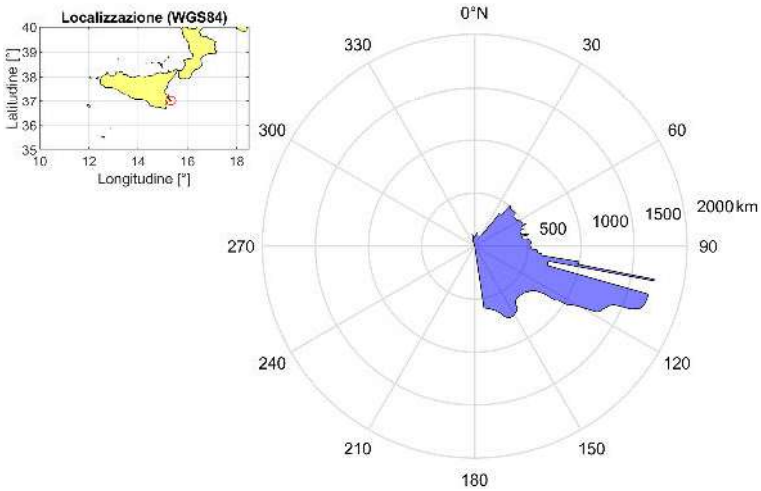


Figura 1: Fetch geografico.

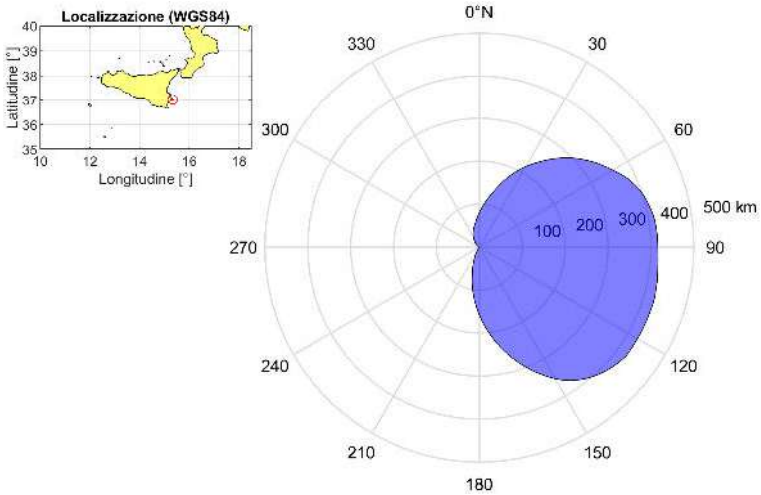


Figura 2: Fetch efficace.

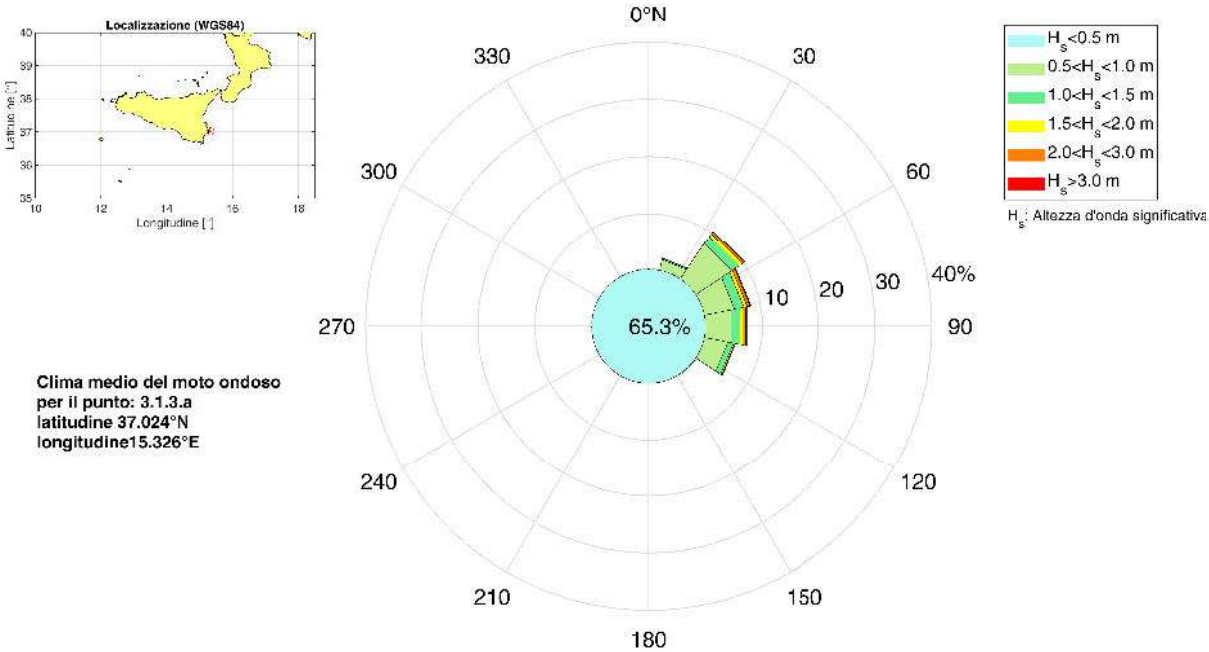


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.12	0.14	-	-	-	-
22.5	5.81	1.95	0.22	0.05	0.01	-
45.0	13.70	7.52	1.61	0.69	0.46	0.10
67.5	7.84	5.40	1.69	0.58	0.51	0.17
90.0	5.74	4.76	1.64	0.62	0.44	0.12
112.5	9.69	4.21	1.00	0.24	0.12	0.01
135.0	12.68	0.35	0.01	-	-	-
157.5	0.96	0.01	-	-	-	-
180.0	0.66	-	-	-	-	-
202.5	0.52	-	-	-	-	-
225.0	0.59	-	-	-	-	-
247.5	0.78	-	-	-	-	-
270.0	0.97	-	-	-	-	-
292.5	1.23	-	-	-	-	-
315.0	1.57	0.01	-	-	-	-
337.5	1.47	0.03	-	-	-	-

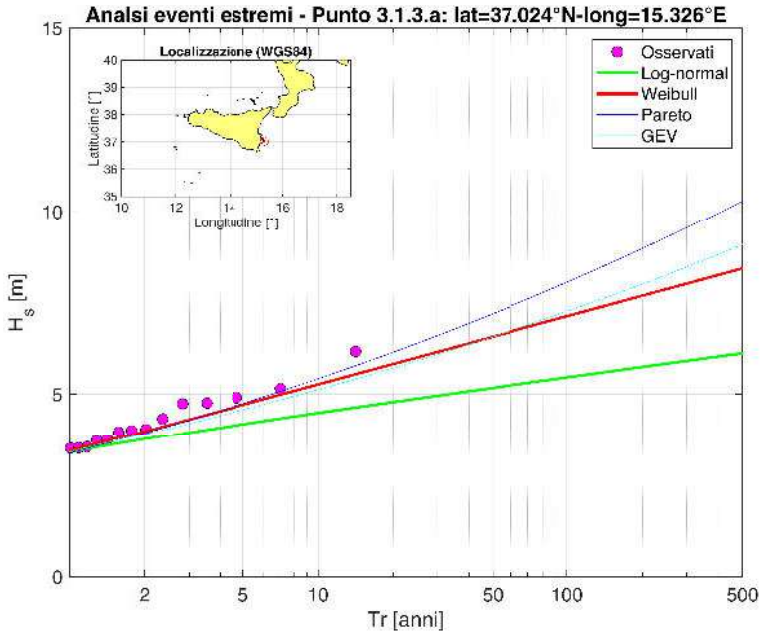


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	94	6.714	2.723	0.791	6.17
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10891	0.11559	0.12441	0.13818	0.16579
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15990	0.08120	0.13358	0.04044	0.12933

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.622	2.367	0.775	1.943	0.986	0.969	0.246	2.000	0.648	0.105	2.359	0.526	-0.104

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.95	3.98	3.76	3.94	3.90
5	4.52	4.72	4.18	4.75	4.58
10	4.96	5.27	4.49	5.43	5.13
50	5.95	6.57	5.18	7.19	6.57
100	6.38	7.13	5.46	8.05	7.26
500	7.37	8.43	6.12	10.30	9.08

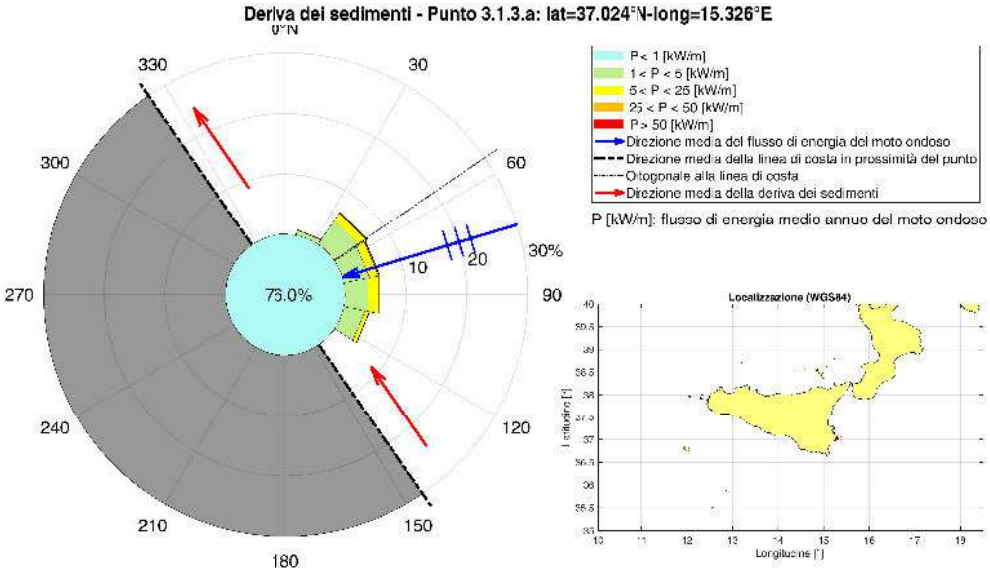


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
3
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
4

Indice

Punto griglia (identificativo: 3.1.4.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti
Punto griglia (identificativo: 3.1.4.b)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

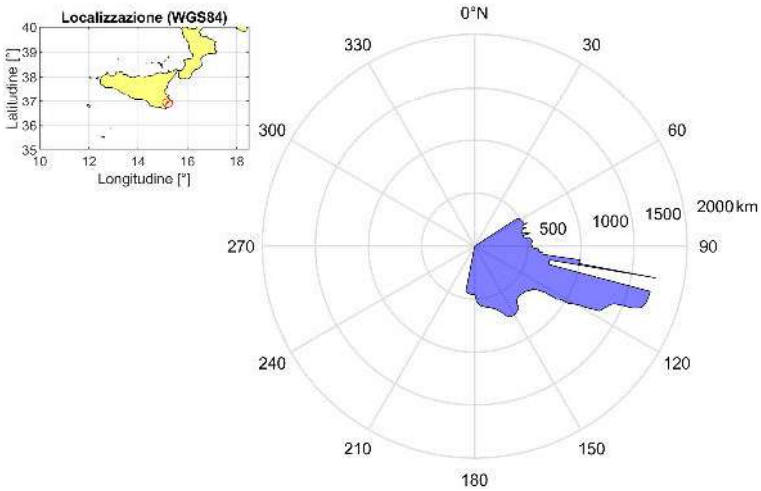


Figura 1: Fetch geografico.

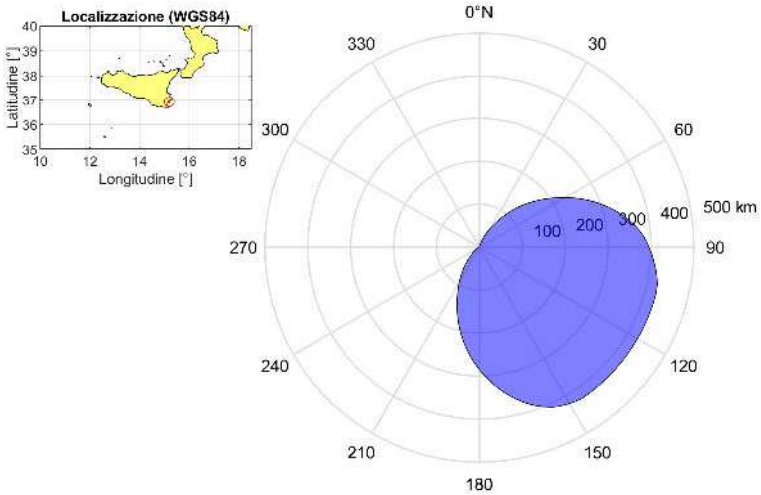


Figura 2: Fetch efficace.

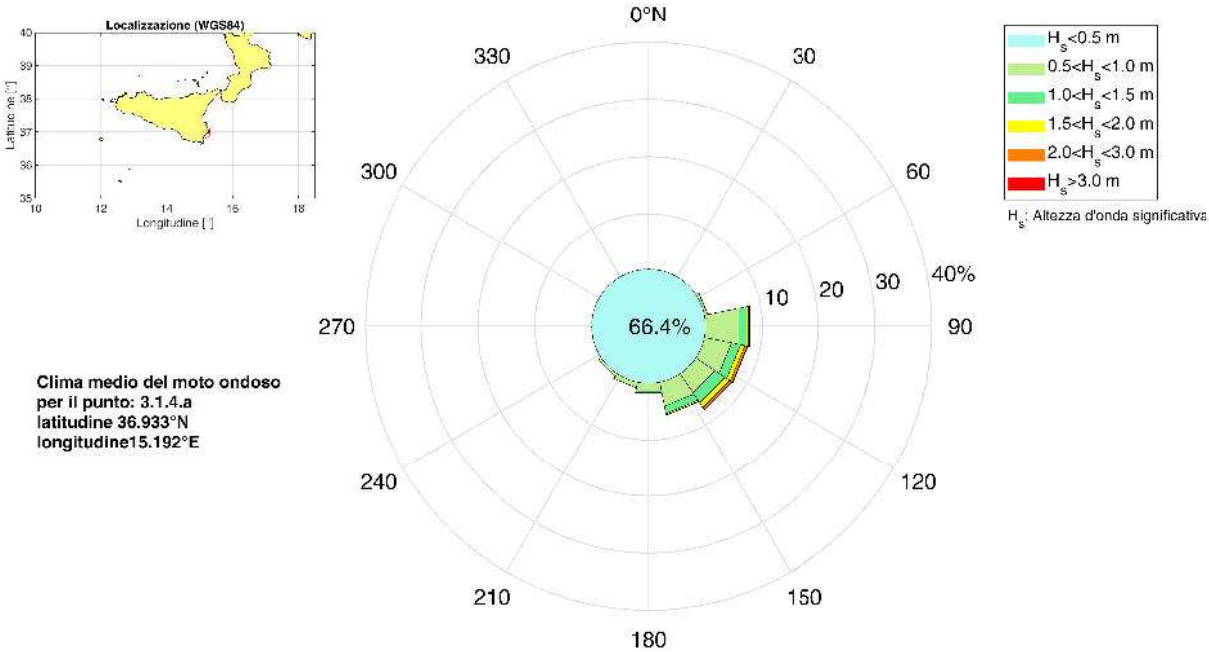


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.05	-	-	-	-	-
22.5	0.03	-	-	-	-	-
45.0	0.08	0.01	-	-	-	-
67.5	9.80	0.58	0.03	-	-	-
90.0	20.87	6.11	1.37	0.46	0.15	0.03
112.5	6.37	4.88	1.61	0.76	0.44	0.11
135.0	4.33	4.03	2.10	0.96	0.47	0.12
157.5	10.70	4.31	1.29	0.26	0.04	0.01
180.0	6.48	1.57	0.28	0.01	-	-
202.5	2.70	1.01	0.01	-	-	-
225.0	2.73	0.53	-	-	-	-
247.5	1.33	0.05	-	-	-	-
270.0	0.66	-	-	-	-	-
292.5	0.18	-	-	-	-	-
315.0	0.08	-	-	-	-	-
337.5	0.03	-	-	-	-	-

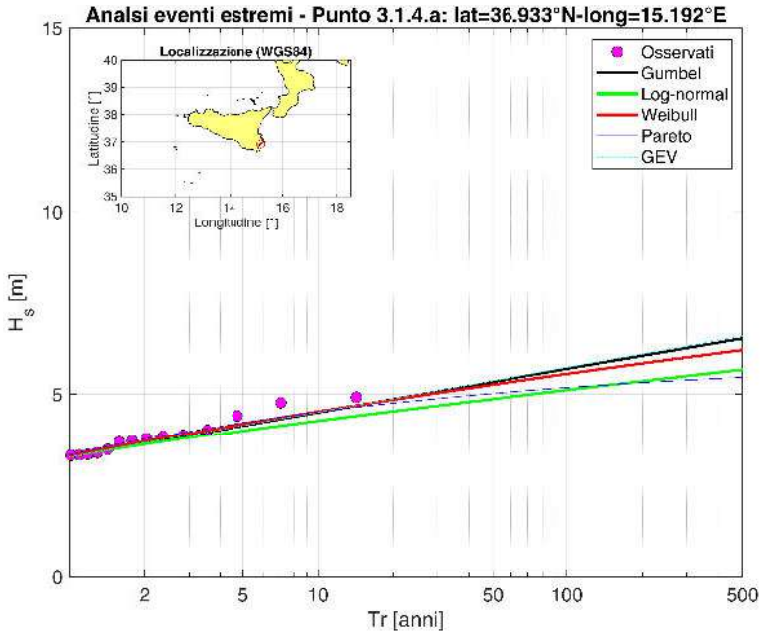


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	67	4.786	2.817	0.661	4.93
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12862	0.13653	0.14695	0.16323	0.19584
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07316	0.05271	0.09792	0.06467	0.07240

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.942	2.520	1.015	1.894	1.417	1.011	0.217	2.000	1.025	-0.255	2.519	0.511	-0.007

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.65	3.70	3.61	3.76	3.65
5	4.14	4.19	4.00	4.23	4.15
10	4.51	4.53	4.28	4.52	4.51
50	5.34	5.26	4.87	5.03	5.37
100	5.70	5.56	5.12	5.19	5.73
500	6.53	6.21	5.68	5.47	6.60

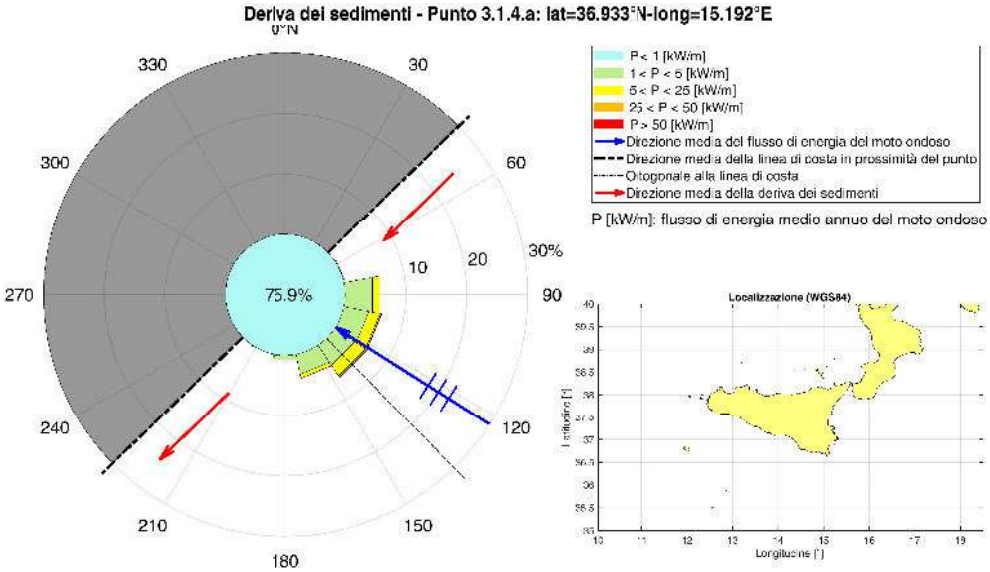


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

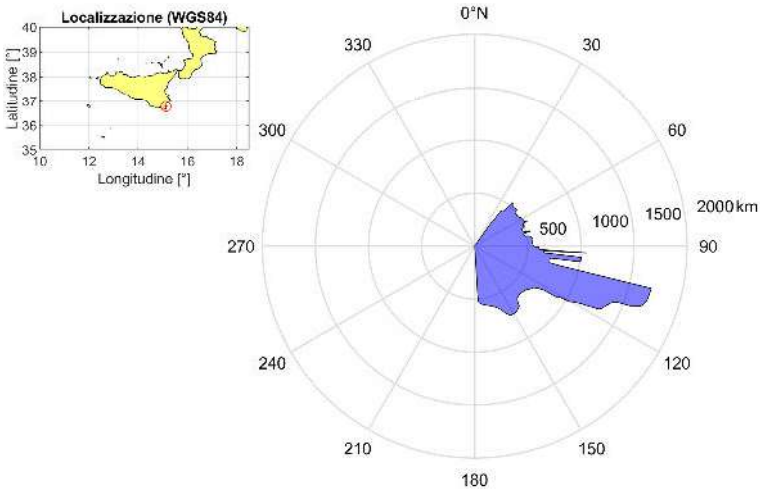


Figura 6: Fetch geografico.

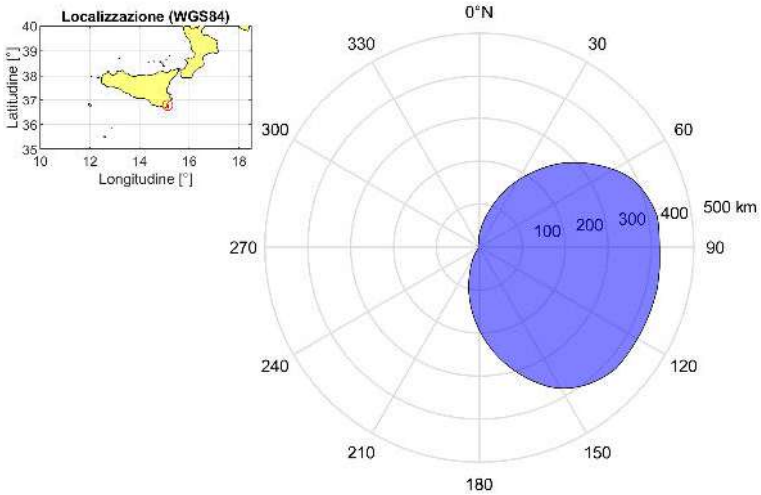


Figura 7: Fetch efficace.

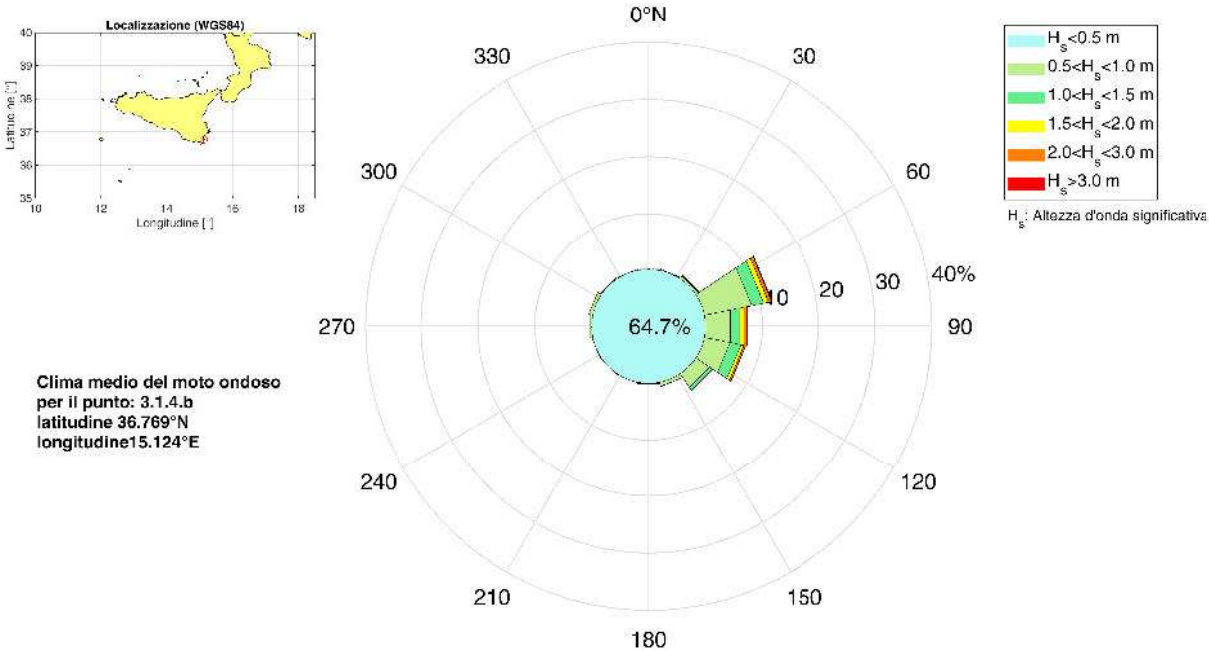


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.47	0.15	-	-	-	-
22.5	0.55	0.23	0.01	-	-	-
45.0	4.94	0.58	0.17	0.01	-	-
67.5	21.42	8.48	2.14	0.89	0.53	0.14
90.0	5.59	4.62	1.69	0.77	0.52	0.15
112.5	4.14	4.58	1.95	0.53	0.31	0.03
135.0	8.71	2.87	0.64	0.06	0.02	-
157.5	5.17	0.78	0.03	-	-	-
180.0	0.75	0.27	0.01	-	-	-
202.5	0.66	0.10	-	-	-	-
225.0	0.92	0.14	-	-	-	-
247.5	1.58	0.17	-	-	-	-
270.0	3.56	0.51	0.01	-	-	-
292.5	4.20	0.73	0.02	-	-	-
315.0	1.45	0.27	0.01	-	-	-
337.5	0.61	0.18	-	-	-	-

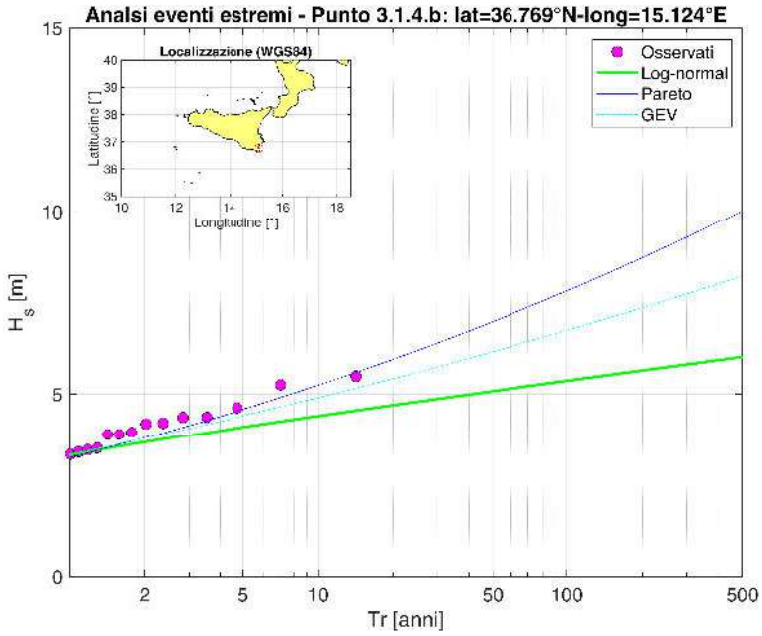


Figura 9: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	83	5.929	2.709	0.766	5.49
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.11578	0.12289	0.13227	0.14692	0.17627
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15334	0.11838	0.14851	0.04490	0.13301

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.674	2.364	0.871	1.868	1.099	0.964	0.244	2.000	0.635	0.107	2.357	0.536	-0.075

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.82	3.85	3.67	3.80	3.78
5	4.38	4.51	4.10	4.59	4.41
10	4.80	5.00	4.41	5.25	4.91
50	5.76	6.11	5.09	6.98	6.16
100	6.18	6.58	5.37	7.82	6.74
500	7.14	7.65	6.02	10.03	8.22

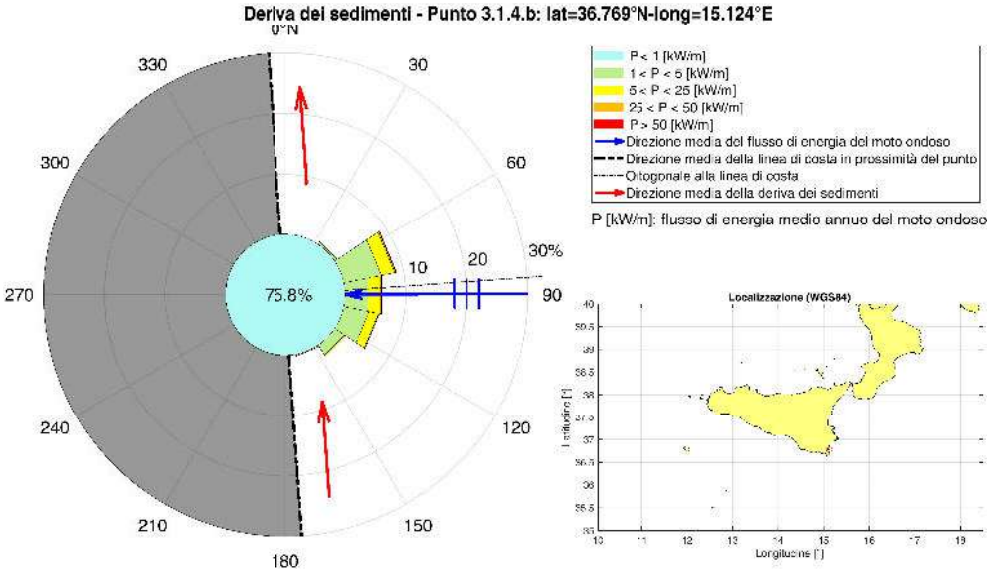


Figura 10: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
3
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
5

Indice

Punto griglia (identificativo: 3.1.5.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

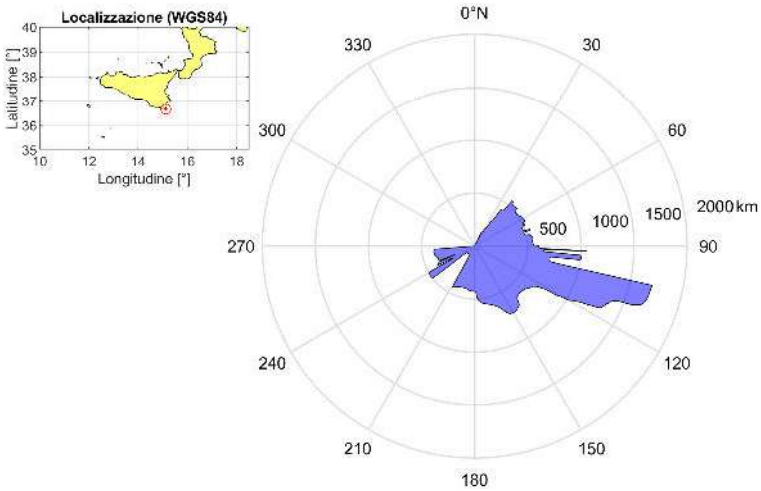


Figura 1: Fetch geografico.

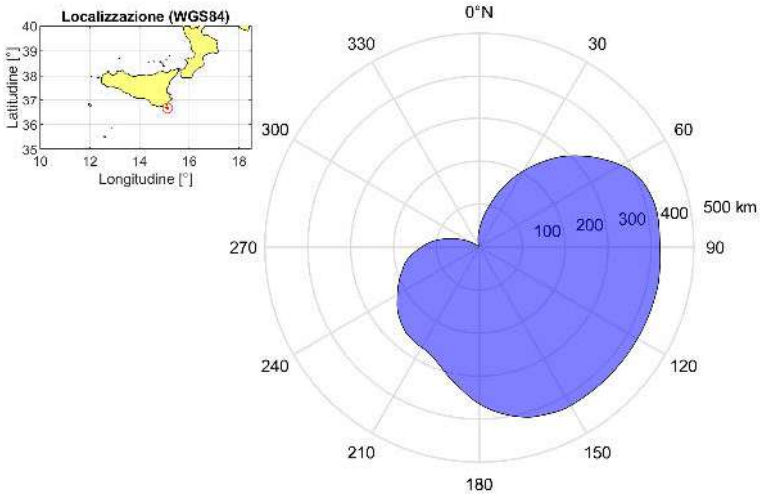


Figura 2: Fetch efficace.

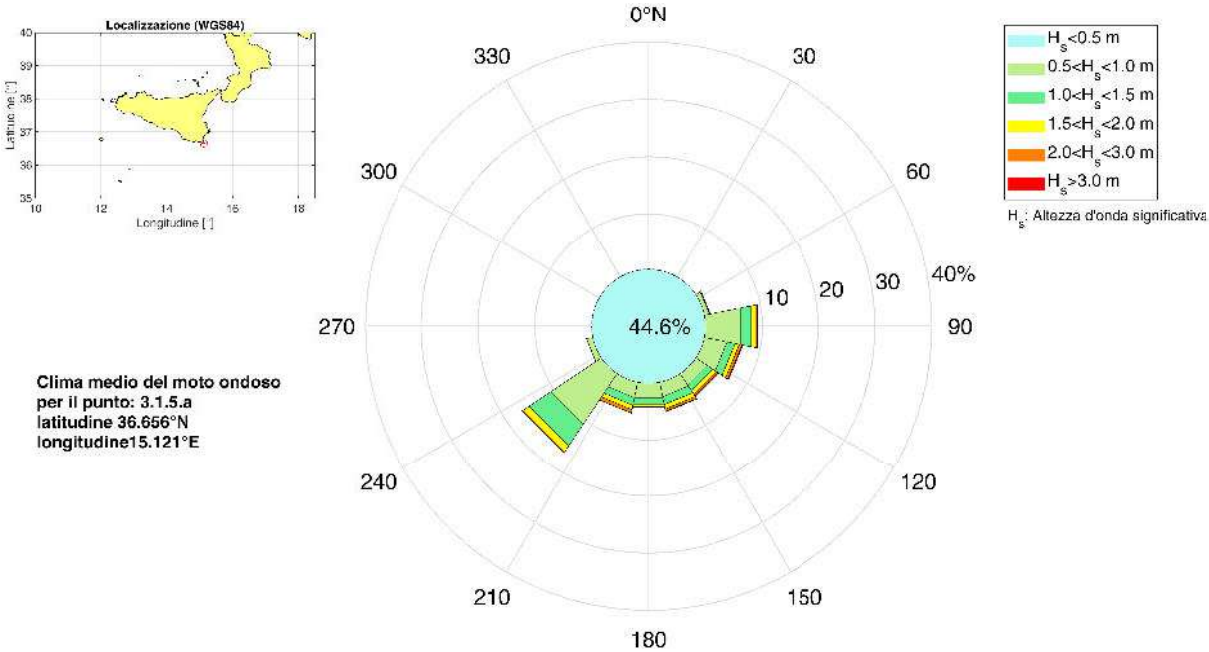


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	4.21	0.88	0.14	0.02	-	-
90.0	10.17	6.45	1.91	0.77	0.31	0.09
112.5	3.24	4.08	1.43	0.74	0.48	0.14
135.0	1.94	2.31	1.29	0.68	0.35	0.15
157.5	1.96	2.61	1.39	0.81	0.42	0.07
180.0	2.86	2.87	1.04	0.40	0.10	0.03
202.5	3.77	2.77	1.36	0.79	0.60	0.04
225.0	15.19	10.73	4.50	1.27	0.23	-
247.5	1.23	1.15	-	-	-	-
270.0	0.01	0.01	-	-	-	-
292.5	0.01	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

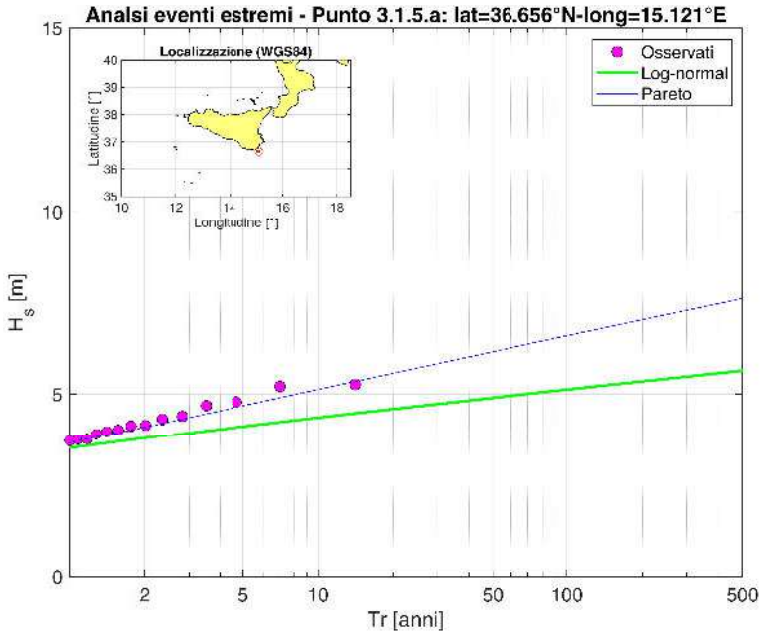


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	175	12.500	2.655	0.653	5.27
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08016	0.08507	0.09154	0.10166	0.12196
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.12830	0.07256	0.12840	0.03199	0.10638

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.963	2.361	0.754	1.929	1.112	0.951	0.217	2.000	0.658	-0.006	2.355	0.459	-0.072

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.99	4.09	3.78	4.10	4.01
5	4.46	4.63	4.12	4.69	4.56
10	4.82	5.04	4.36	5.13	5.00
50	5.64	5.96	4.90	6.16	6.11
100	5.99	6.35	5.13	6.60	6.63
500	6.81	7.23	5.65	7.61	7.94

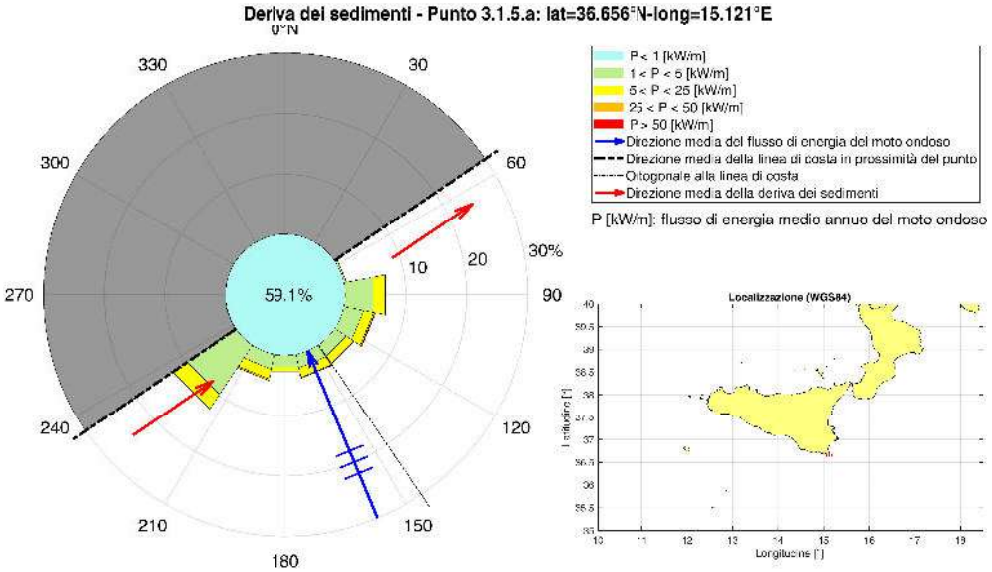


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.1.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

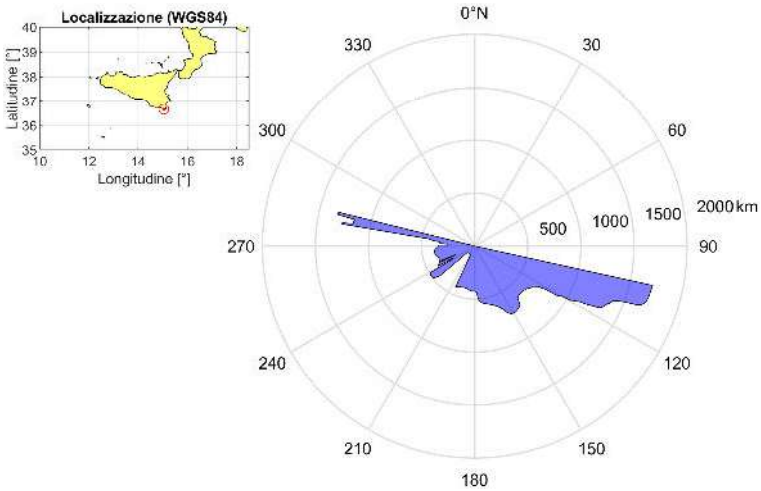


Figura 1: Fetch geografico.

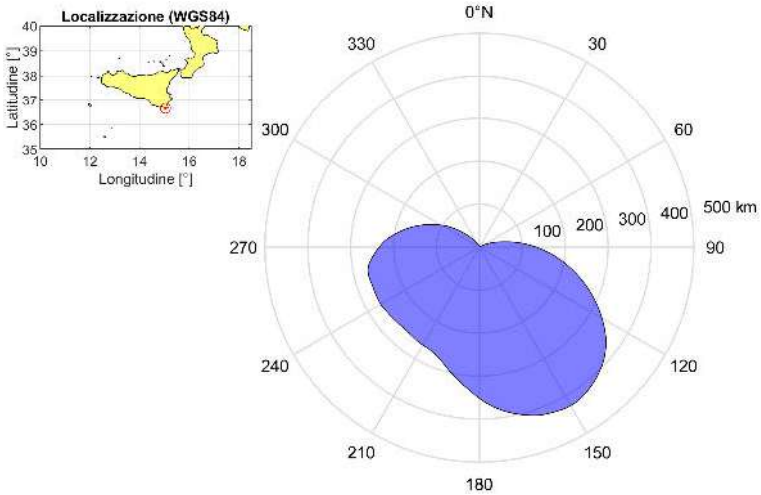


Figura 2: Fetch efficace.

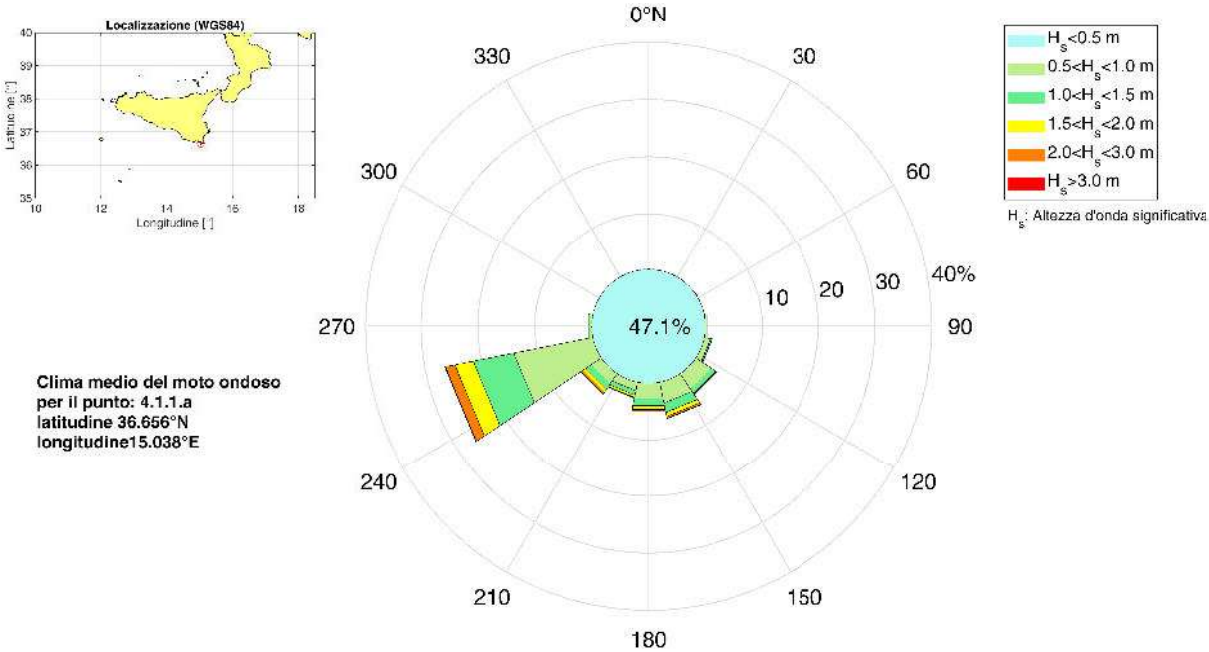


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.02	0.01	-	-	-	-
22.5	0.03	0.01	-	-	-	-
45.0	0.06	0.05	-	-	-	-
67.5	0.25	0.10	0.01	-	-	-
90.0	0.54	0.36	0.06	-	-	-
112.5	2.95	1.13	0.23	0.05	-	-
135.0	6.73	3.29	0.88	0.19	0.08	-
157.5	3.34	3.75	1.67	0.73	0.33	0.07
180.0	3.08	2.93	1.28	0.64	0.32	0.07
202.5	2.56	1.54	0.80	0.40	0.10	0.02
225.0	4.54	2.14	1.17	0.61	0.42	0.04
247.5	22.09	14.16	7.24	3.30	1.70	0.10
270.0	0.82	0.65	0.17	0.01	-	-
292.5	0.07	0.02	-	-	-	-
315.0	0.03	0.01	-	-	-	-
337.5	0.02	0.01	-	-	-	-

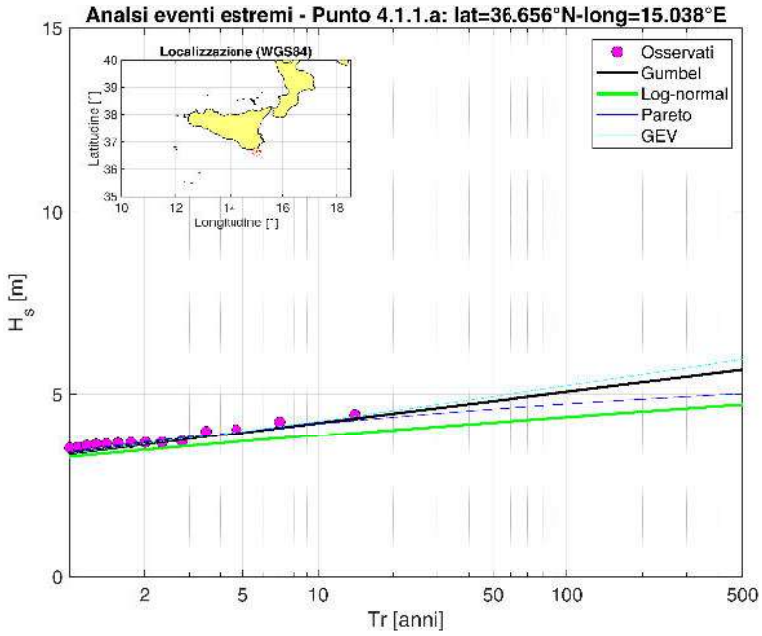


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	219	15.643	2.542	0.480	4.44
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07175	0.07614	0.08193	0.09098	0.10913
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08963	0.06609	0.11471	0.03328	0.08239

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.674	2.326	0.685	1.912	1.325	0.917	0.174	2.000	0.628	-0.156	2.324	0.362	-0.025

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.61	3.65	3.45	3.67	3.62
5	3.95	3.99	3.69	3.98	3.99
10	4.21	4.24	3.86	4.19	4.27
50	4.82	4.78	4.23	4.60	4.94
100	5.08	5.00	4.38	4.74	5.24
500	5.68	5.49	4.73	5.03	5.96

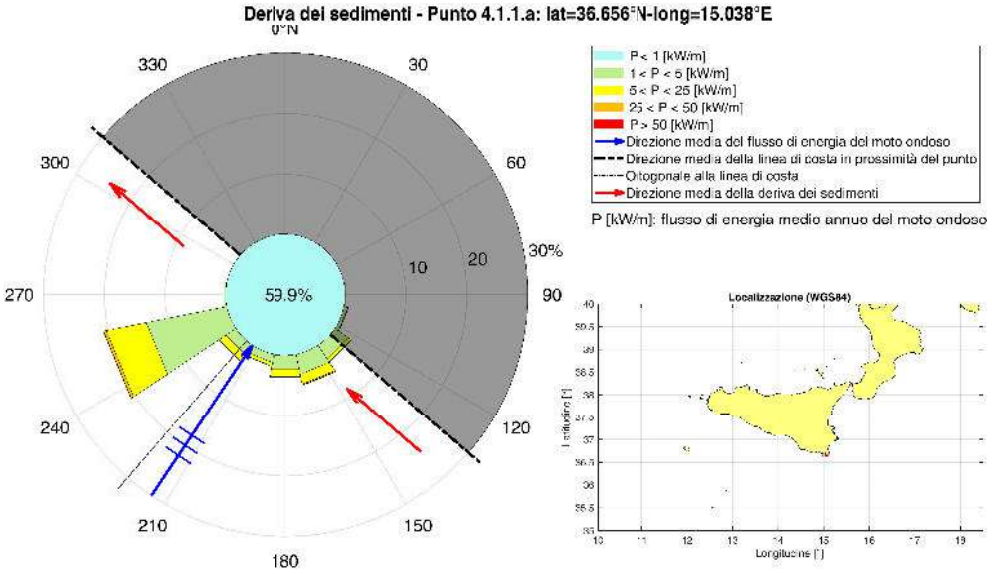


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.1.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

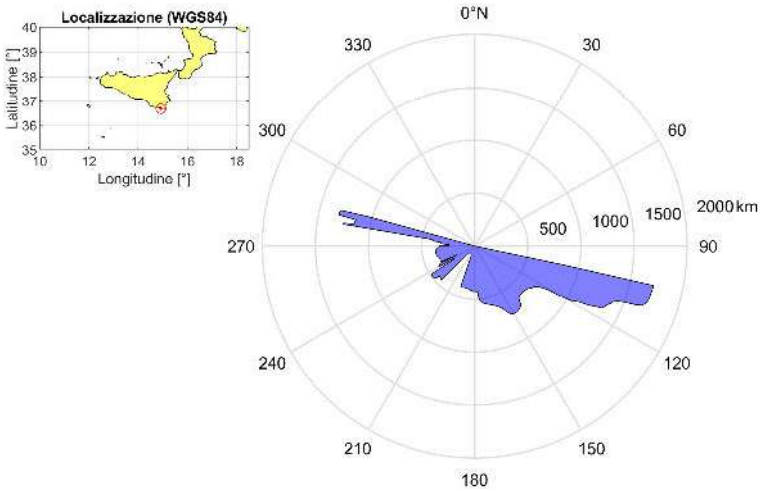


Figura 1: Fetch geografico.

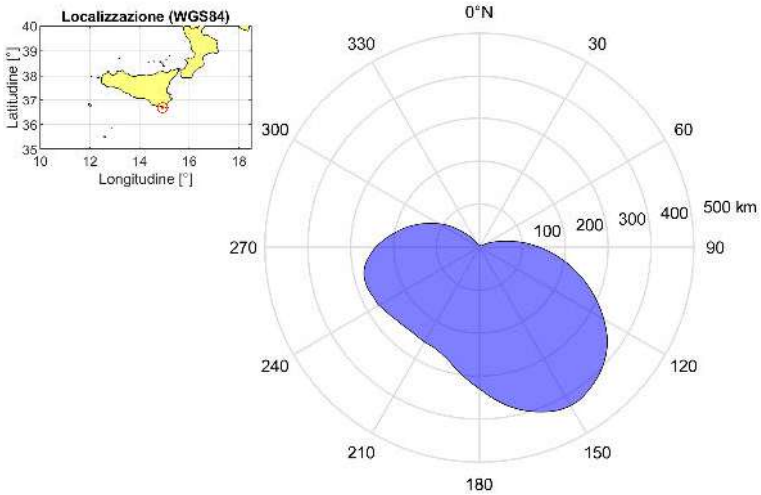


Figura 2: Fetch efficace.

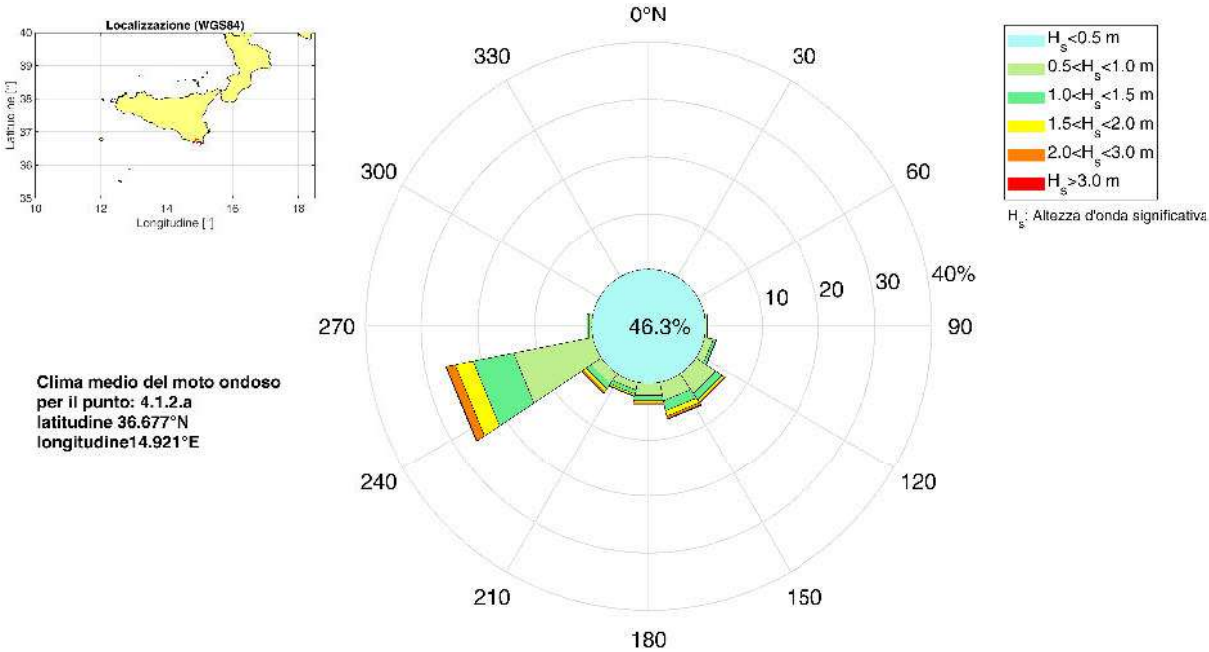


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	0.01	-	-	-	-
22.5	-	0.01	-	-	-	-
45.0	0.01	0.01	-	-	-	-
67.5	0.09	0.06	0.01	-	-	-
90.0	0.49	0.40	0.07	0.01	-	-
112.5	3.32	1.60	0.52	0.06	0.03	-
135.0	5.94	4.23	1.31	0.38	0.17	0.01
157.5	3.05	3.35	1.78	0.96	0.47	0.11
180.0	2.84	2.33	0.86	0.43	0.23	0.05
202.5	2.70	1.41	0.72	0.37	0.09	0.02
225.0	4.47	2.16	1.05	0.58	0.36	0.04
247.5	22.78	14.21	7.25	3.20	1.60	0.11
270.0	0.60	0.74	0.24	0.01	-	-
292.5	0.03	0.02	-	-	-	-
315.0	0.01	0.01	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

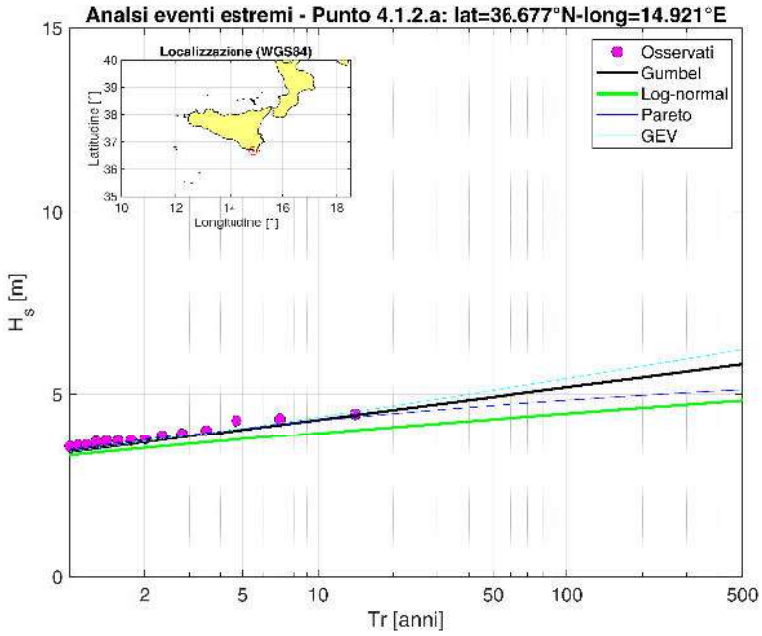


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	214	15.286	2.570	0.499	4.47
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07257	0.07701	0.08287	0.09202	0.11039
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08521	0.05818	0.11850	0.03659	0.08071

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.570	2.346	0.685	1.935	1.281	0.927	0.178	2.000	0.663	-0.162	2.343	0.371	-0.034

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.67	3.72	3.51	3.74	3.68
5	4.03	4.09	3.75	4.07	4.08
10	4.30	4.35	3.93	4.28	4.38
50	4.93	4.94	4.32	4.70	5.11
100	5.20	5.18	4.48	4.85	5.44
500	5.83	5.72	4.84	5.13	6.23

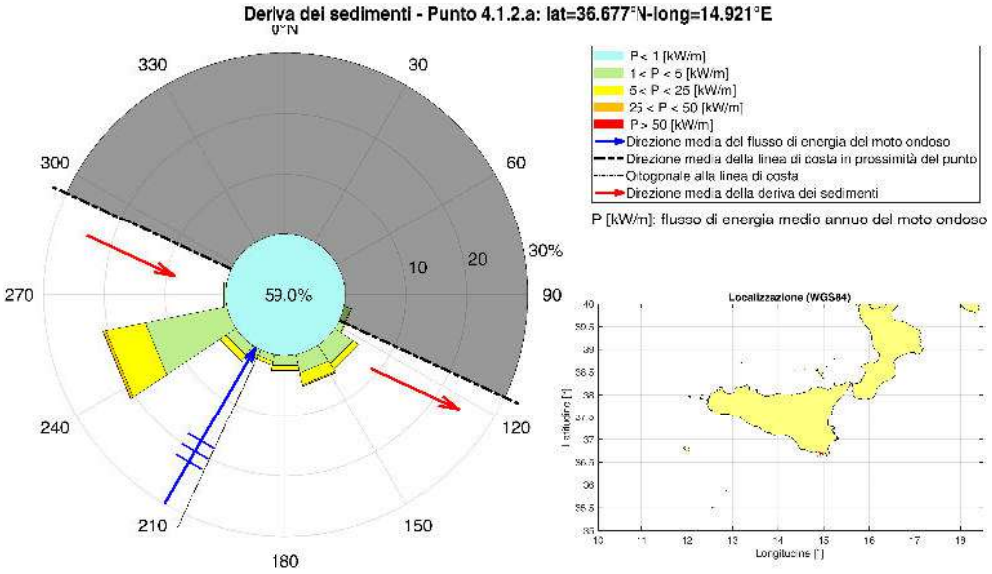


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.1.3.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

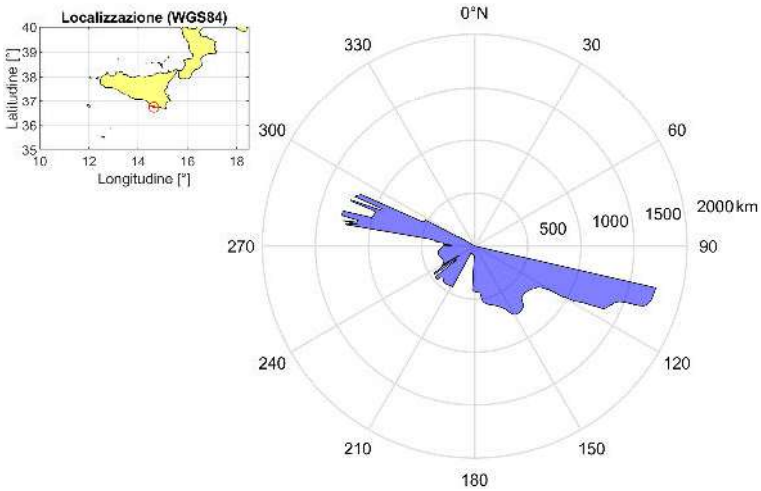


Figura 1: Fetch geografico.

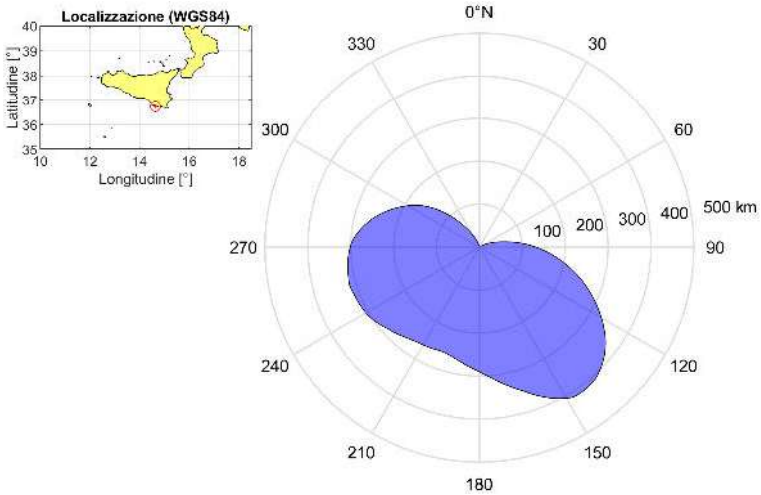


Figura 2: Fetch efficace.

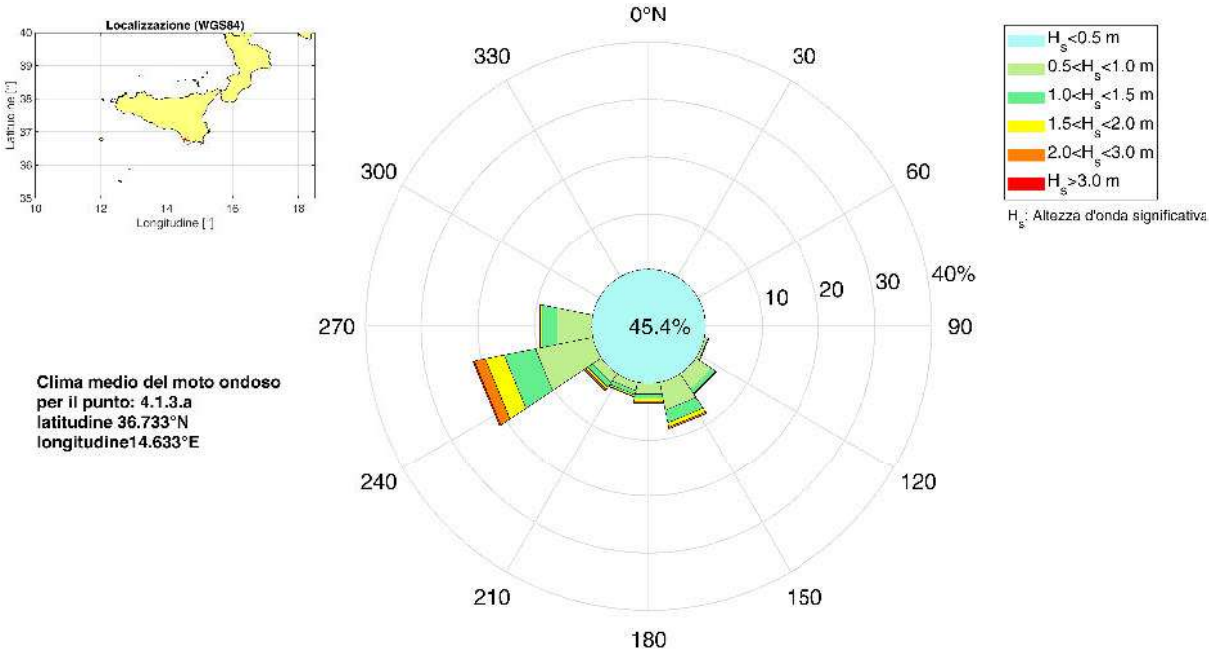


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	-	-	-	-	-	-
67.5	-	0.01	-	-	-	-
90.0	0.03	0.02	-	-	-	-
112.5	0.34	0.66	0.12	0.01	-	-
135.0	6.14	3.31	0.91	0.15	0.02	-
157.5	4.88	5.04	2.20	0.80	0.30	0.03
180.0	2.77	2.11	0.82	0.47	0.24	0.04
202.5	2.79	1.50	0.76	0.34	0.09	0.01
225.0	3.97	1.83	1.01	0.51	0.33	0.05
247.5	17.85	10.29	5.61	3.38	1.93	0.27
270.0	6.57	6.33	2.75	0.35	-	-
292.5	0.03	0.01	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

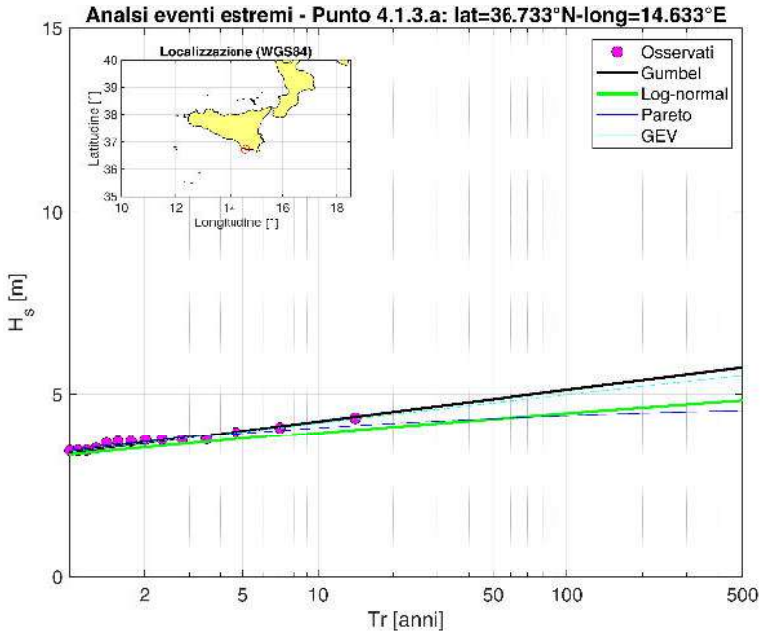


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	206	14.714	2.599	0.484	4.35
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07395	0.07848	0.08445	0.09378	0.11250
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06102	0.05765	0.09549	0.04787	0.06586

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.654	2.382	0.825	1.858	1.566	0.939	0.175	2.000	0.761	-0.270	2.384	0.388	0.022

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.65	3.65	3.52	3.69	3.64
5	4.00	3.95	3.77	3.94	3.97
10	4.26	4.16	3.94	4.09	4.22
50	4.87	4.61	4.33	4.34	4.77
100	5.13	4.79	4.48	4.42	5.00
500	5.74	5.19	4.84	4.56	5.52

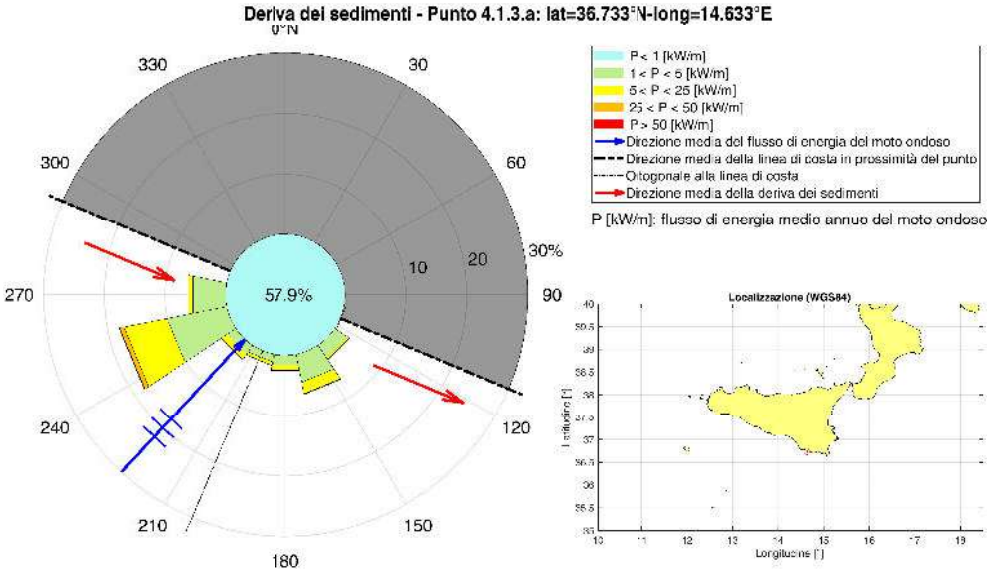


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.2.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

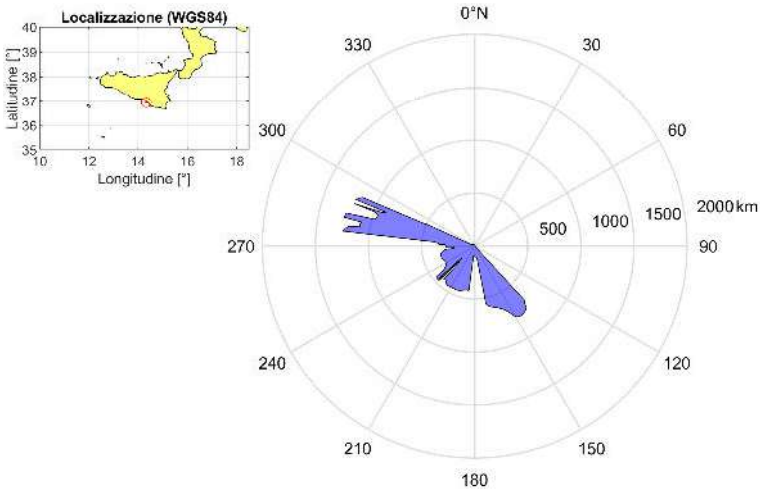


Figura 1: Fetch geografico.

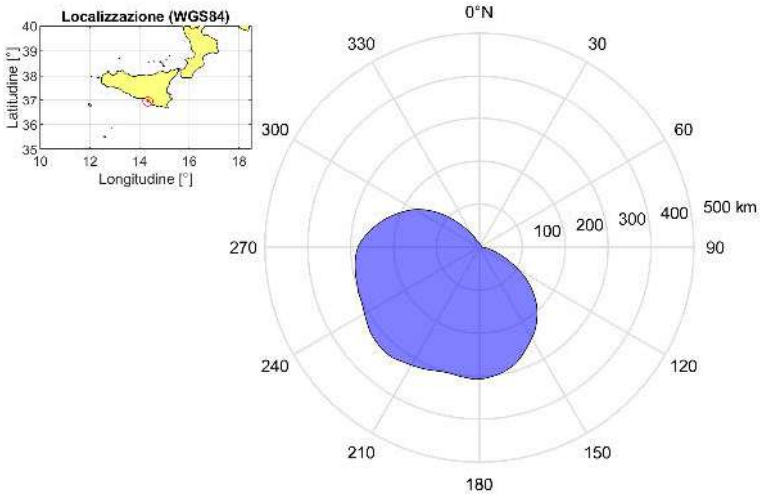


Figura 2: Fetch efficace.

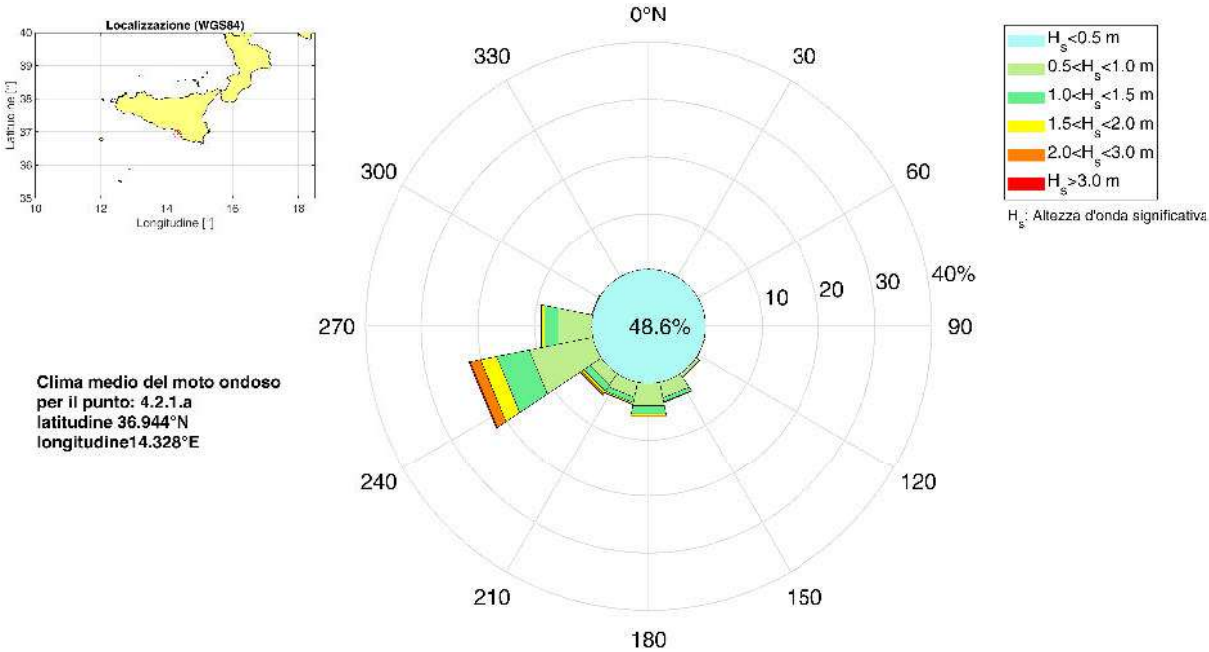


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.05	0.01	-	-	-	-
22.5	0.03	0.01	-	-	-	-
45.0	0.03	0.03	-	-	-	-
67.5	0.03	0.05	-	-	-	-
90.0	0.05	0.06	-	-	-	-
112.5	0.13	0.19	0.01	-	-	-
135.0	0.41	0.70	0.12	0.01	-	-
157.5	2.88	2.82	0.73	0.12	0.01	-
180.0	8.04	4.22	1.40	0.35	0.14	-
202.5	5.14	2.73	0.92	0.29	0.09	-
225.0	5.43	2.44	1.23	0.54	0.28	0.05
247.5	20.58	11.40	5.83	2.89	1.85	0.23
270.0	5.61	6.09	2.56	0.59	0.06	-
292.5	0.12	0.23	0.03	-	-	-
315.0	0.08	0.04	-	-	-	-
337.5	0.04	0.03	-	-	-	-

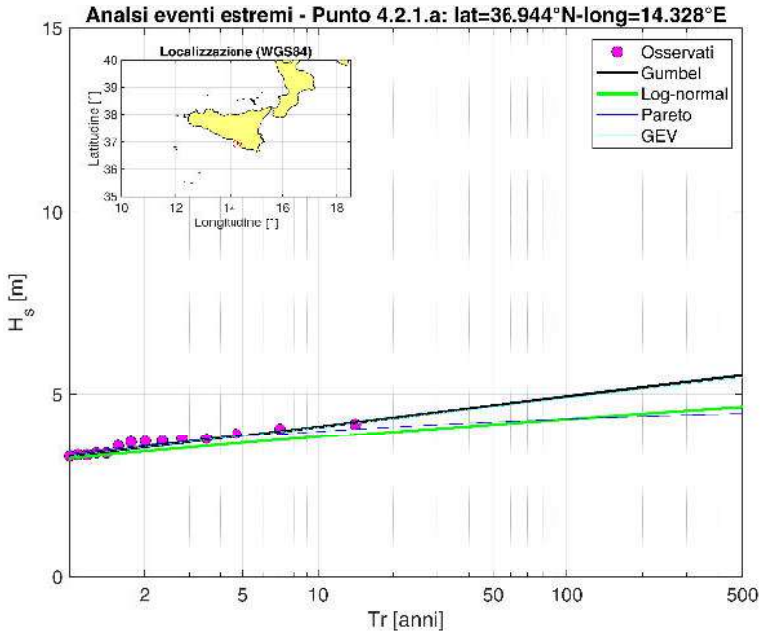


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	178	12.714	2.574	0.464	4.19
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07949	0.08436	0.09078	0.10081	0.12094
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06582	0.05674	0.10195	0.04289	0.06765

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.766	2.365	0.751	1.895	1.489	0.931	0.169	2.000	0.725	-0.263	2.366	0.365	0.007

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.53	3.55	3.41	3.58	3.53
5	3.86	3.85	3.65	3.83	3.86
10	4.12	4.06	3.81	3.98	4.10
50	4.70	4.52	4.18	4.25	4.67
100	4.95	4.71	4.33	4.33	4.91
500	5.53	5.12	4.66	4.48	5.46

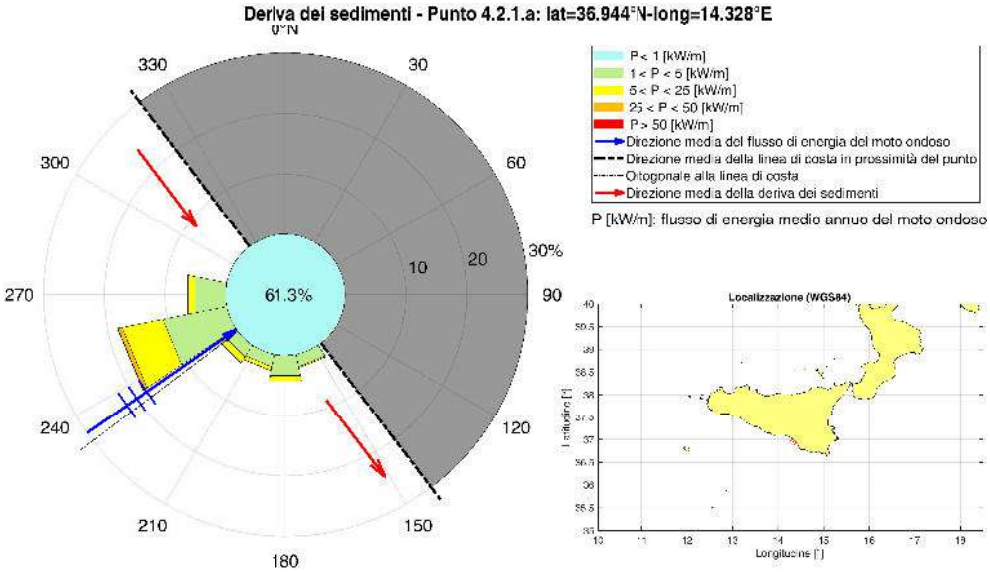


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.2.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

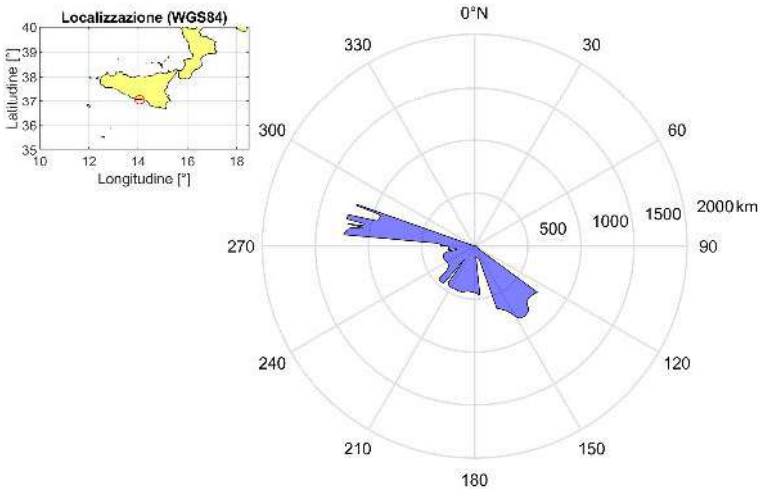


Figura 1: Fetch geografico.

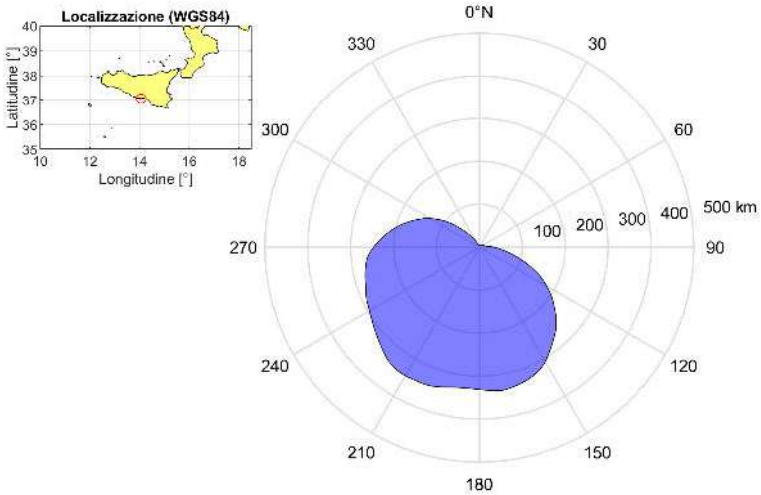


Figura 2: Fetch efficace.

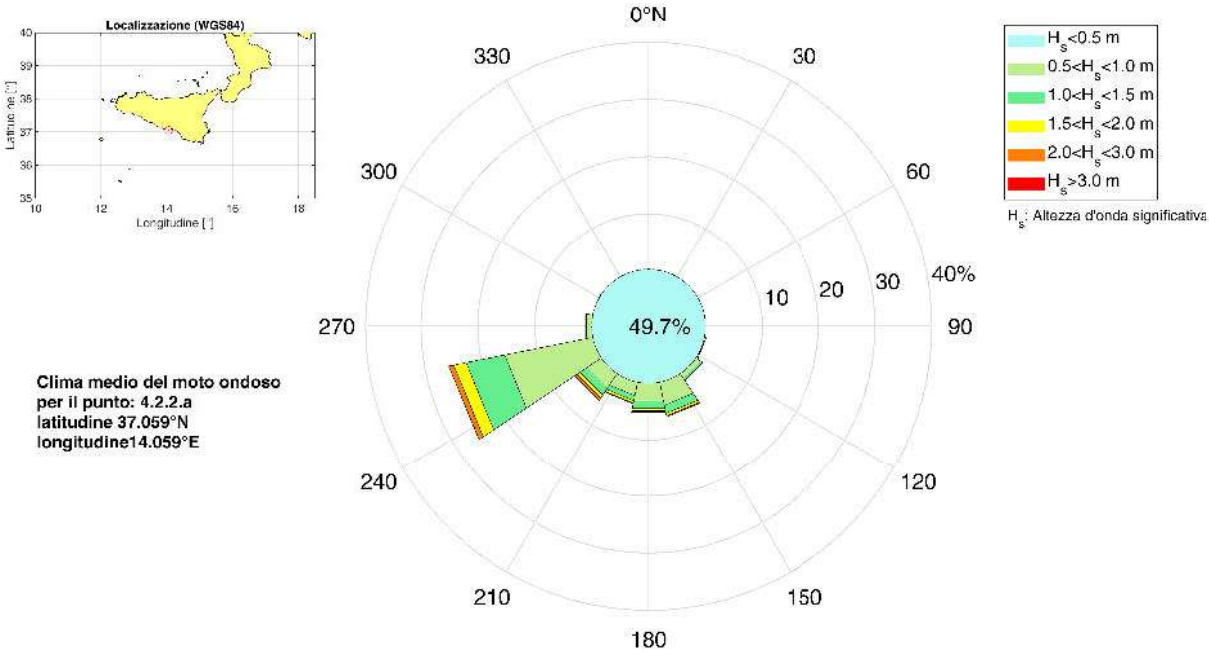


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.04	0.01	-	-	-	-
22.5	0.05	-	-	-	-	-
45.0	0.03	0.01	-	-	-	-
67.5	0.03	0.01	-	-	-	-
90.0	0.07	0.06	-	-	-	-
112.5	0.26	0.26	0.05	0.01	-	-
135.0	1.03	1.01	0.42	0.07	-	-
157.5	5.48	4.13	1.45	0.45	0.18	-
180.0	5.21	3.38	1.32	0.42	0.18	0.02
202.5	4.51	2.39	0.91	0.43	0.12	0.02
225.0	6.65	3.09	1.44	0.59	0.49	0.06
247.5	24.45	15.81	6.91	2.21	0.87	0.02
270.0	1.67	1.18	0.14	-	-	-
292.5	0.12	0.13	0.01	-	-	-
315.0	0.05	0.03	-	-	-	-
337.5	0.05	0.01	-	-	-	-

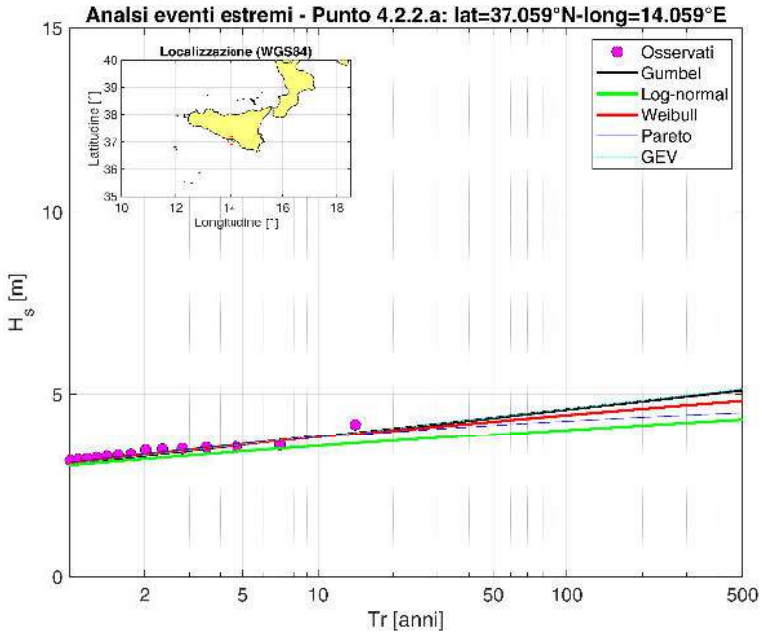


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	149	10.643	2.485	0.422	4.18
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08679	0.09211	0.09912	0.11008	0.13206
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08022	0.07173	0.09903	0.05377	0.07929

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.040	2.295	0.656	1.889	1.432	0.897	0.159	2.000	0.573	-0.180	2.295	0.327	-0.004

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.29	3.32	3.20	3.35	3.29
5	3.60	3.61	3.41	3.63	3.60
10	3.83	3.81	3.56	3.81	3.83
50	4.36	4.25	3.89	4.15	4.37
100	4.59	4.43	4.02	4.27	4.61
500	5.12	4.83	4.32	4.50	5.15

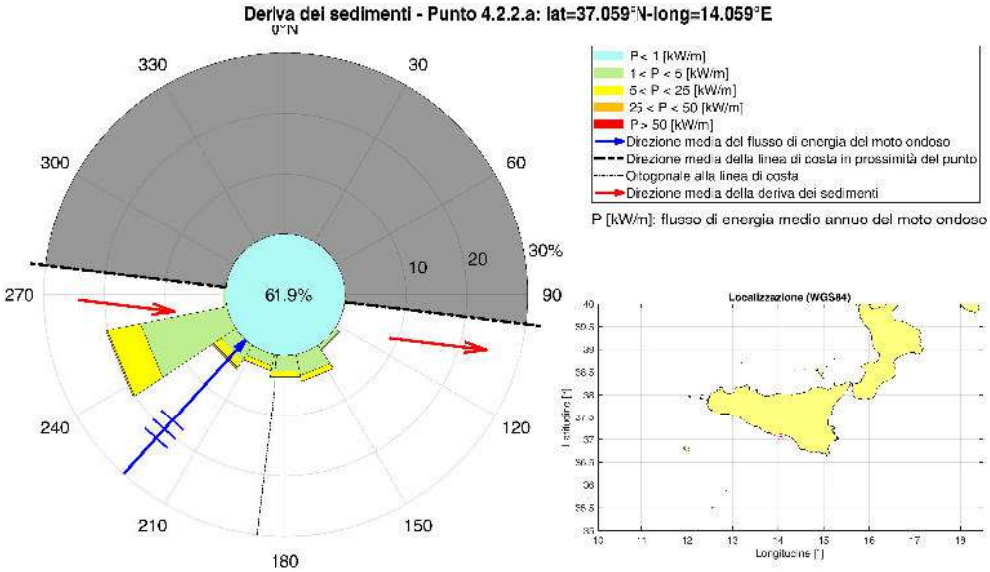


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
3
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.3.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

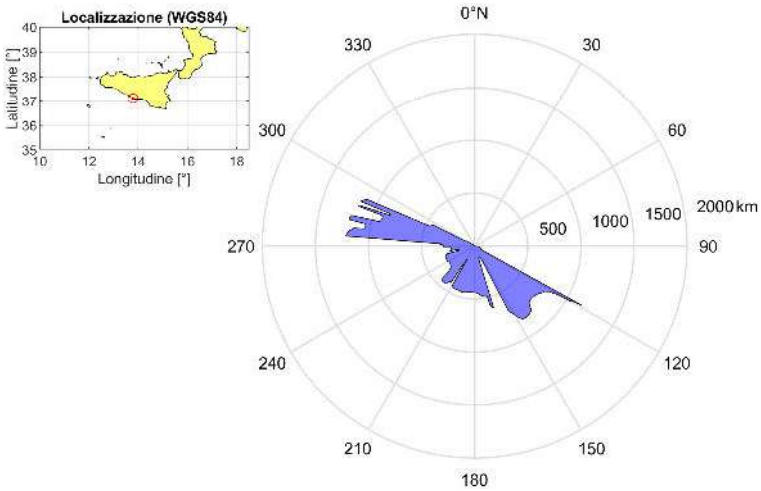


Figura 1: Fetch geografico.

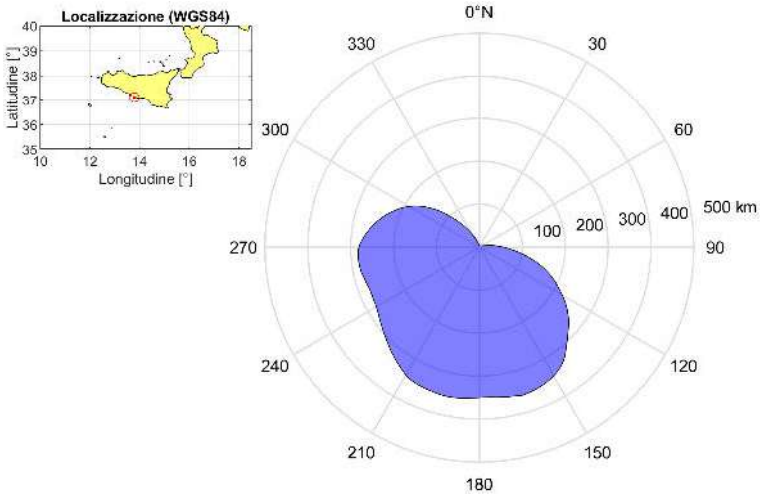


Figura 2: Fetch efficace.

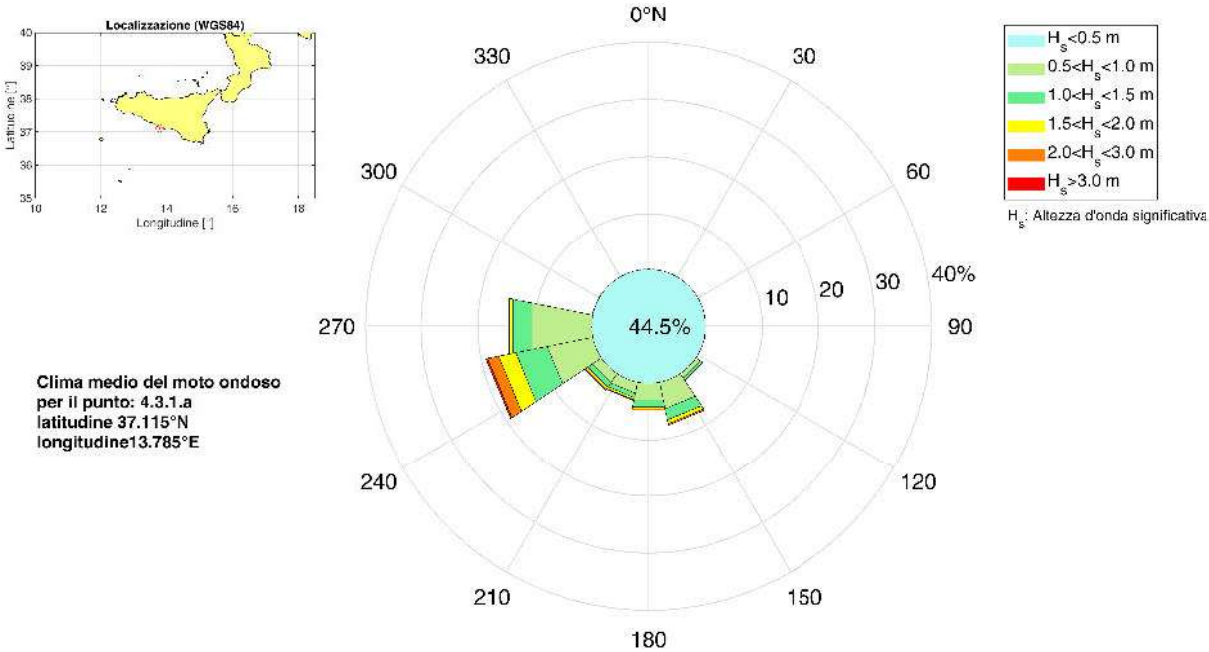


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	-	-	-	-	-
22.5	0.02	-	-	-	-	-
45.0	0.02	-	-	-	-	-
67.5	0.03	0.01	-	-	-	-
90.0	0.03	-	-	-	-	-
112.5	0.14	0.07	0.01	-	-	-
135.0	0.98	1.00	0.34	0.05	-	-
157.5	6.08	4.77	1.98	0.68	0.28	0.01
180.0	4.86	3.11	1.26	0.45	0.18	0.02
202.5	3.56	1.98	0.80	0.39	0.10	0.02
225.0	3.90	1.86	0.98	0.46	0.24	0.03
247.5	10.35	8.17	5.60	3.10	1.98	0.32
270.0	14.18	10.93	3.41	0.64	0.03	-
292.5	0.27	0.19	0.01	-	-	-
315.0	0.06	0.02	-	-	-	-
337.5	0.02	0.01	-	-	-	-

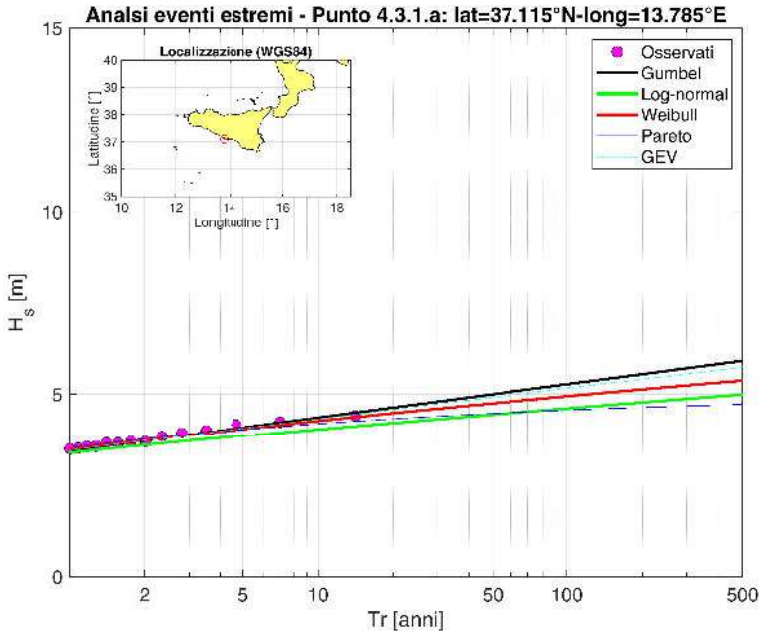


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	205	14.643	2.621	0.508	4.42
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07413	0.07867	0.08465	0.09400	0.11277
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06383	0.06020	0.07832	0.03319	0.06852

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.526	2.393	0.851	1.856	1.538	0.947	0.182	2.000	0.783	-0.258	2.394	0.405	0.017

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.72	3.73	3.59	3.76	3.72
5	4.09	4.05	3.85	4.03	4.07
10	4.37	4.27	4.04	4.19	4.33
50	5.00	4.75	4.45	4.48	4.92
100	5.28	4.95	4.62	4.57	5.17
500	5.92	5.38	5.00	4.73	5.74

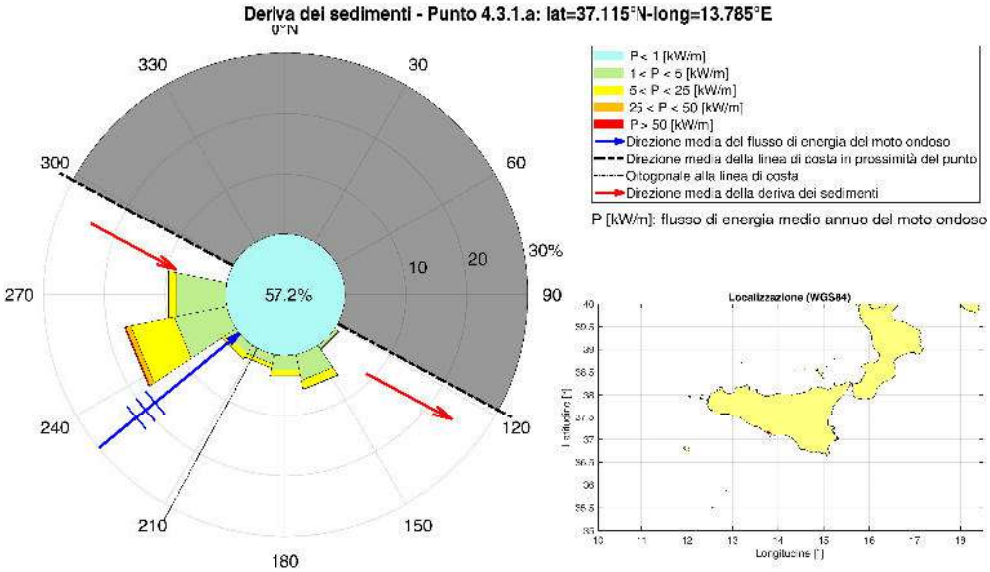


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
4
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.4.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

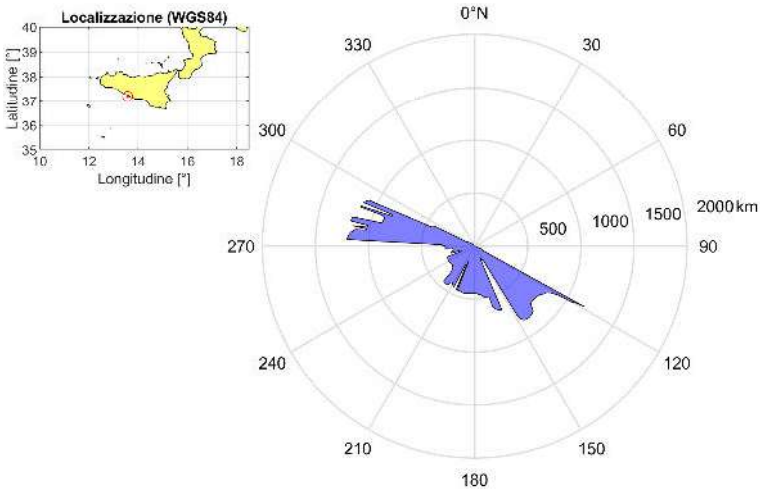


Figura 1: Fetch geografico.

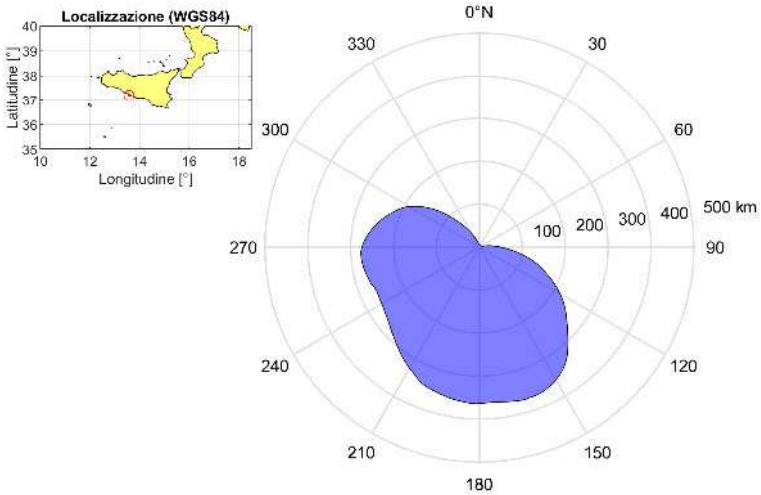


Figura 2: Fetch efficace.

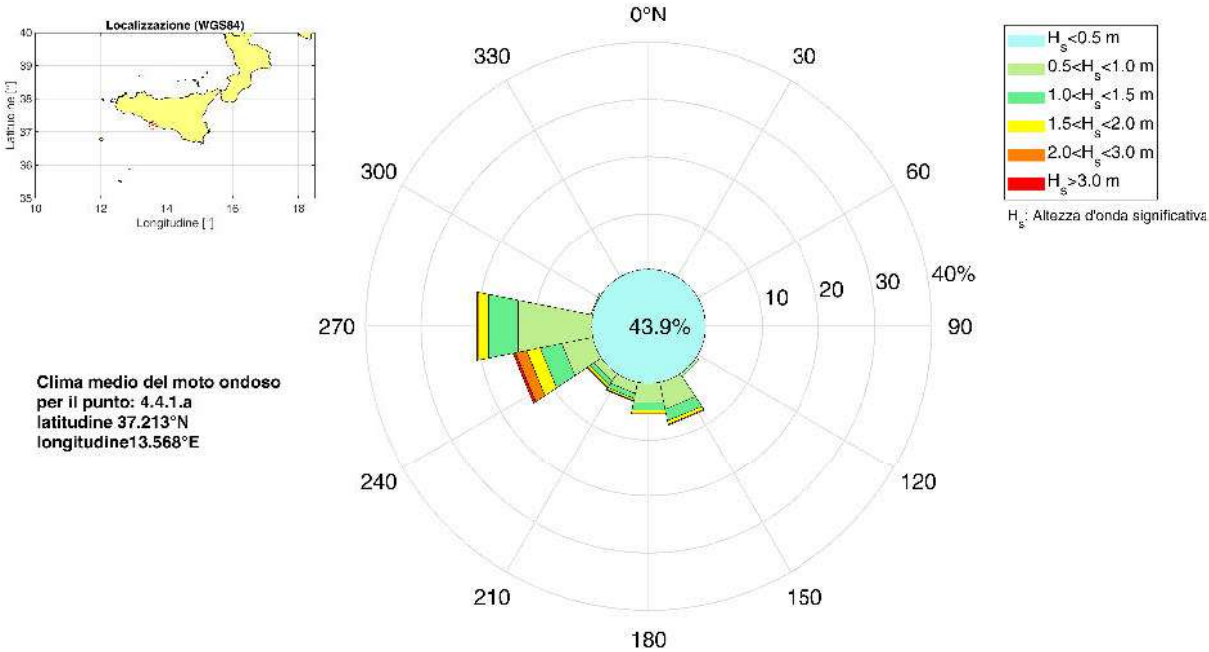


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.03	0.01	-	-	-	-
22.5	0.04	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	0.01	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	0.04	0.02	-	-	-	-
135.0	0.69	0.56	0.14	0.01	-	-
157.5	6.06	4.84	2.03	0.64	0.18	-
180.0	5.23	3.57	1.38	0.48	0.22	0.02
202.5	3.58	2.02	0.91	0.40	0.11	0.01
225.0	3.66	1.60	0.82	0.38	0.18	0.02
247.5	8.16	5.55	3.88	2.46	1.95	0.47
270.0	15.88	13.36	5.36	1.71	0.34	-
292.5	0.40	0.35	0.02	-	-	-
315.0	0.08	0.06	-	-	-	-
337.5	0.05	0.01	-	-	-	-

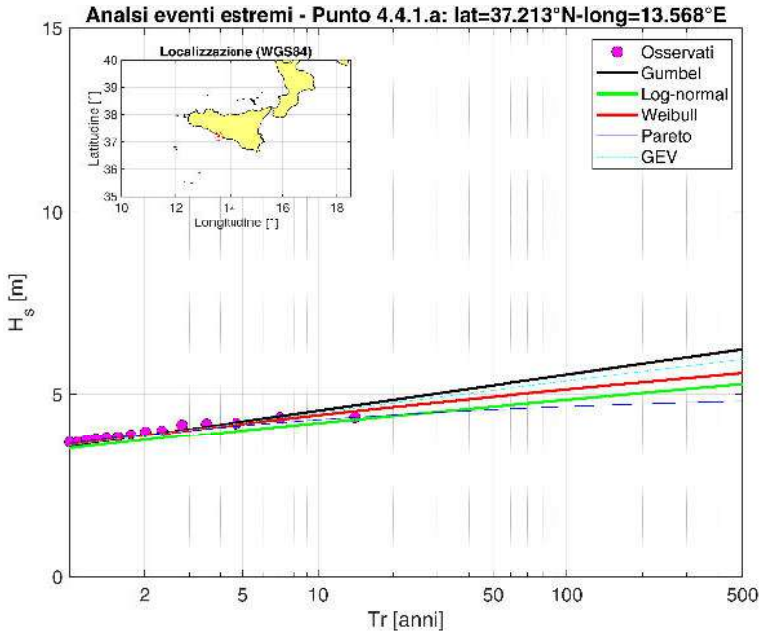


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	216	15.429	2.661	0.546	4.38
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07224	0.07666	0.08249	0.09160	0.10988
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06591	0.06773	0.07926	0.04362	0.07257

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.348	2.416	0.939	1.818	1.578	0.960	0.193	2.000	0.847	-0.274	2.418	0.439	0.024

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.87	3.87	3.73	3.88	3.86
5	4.26	4.20	4.01	4.15	4.23
10	4.56	4.44	4.22	4.31	4.50
50	5.25	4.94	4.67	4.59	5.12
100	5.54	5.14	4.86	4.68	5.37
500	6.23	5.58	5.28	4.82	5.95

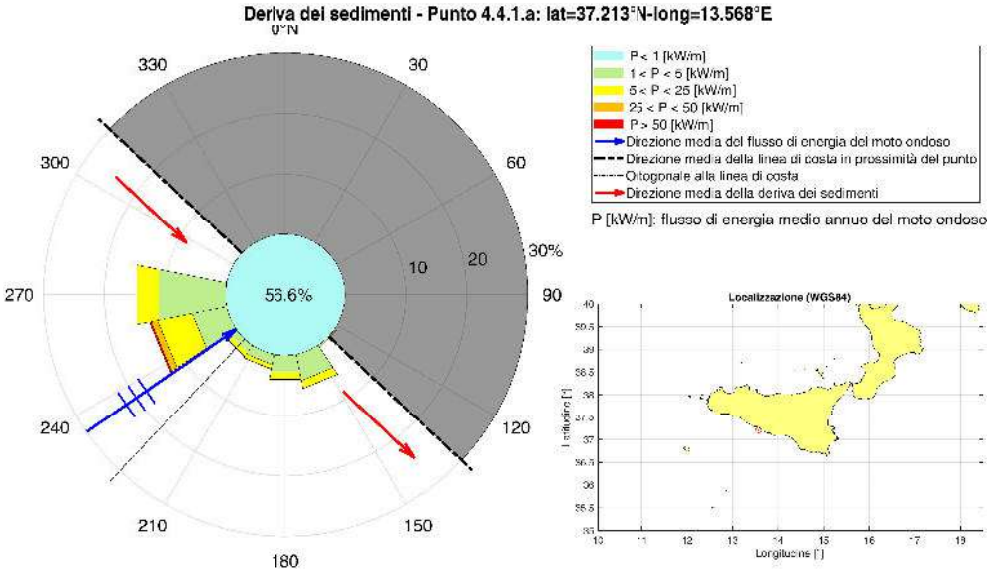


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
4
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.4.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

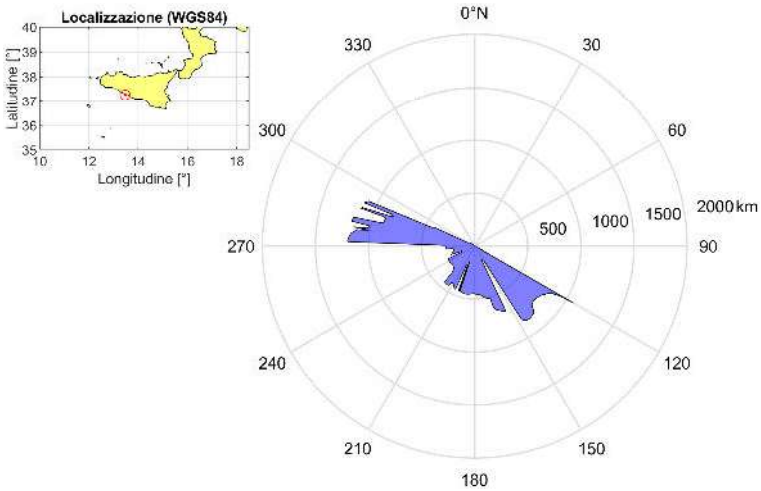


Figura 1: Fetch geografico.

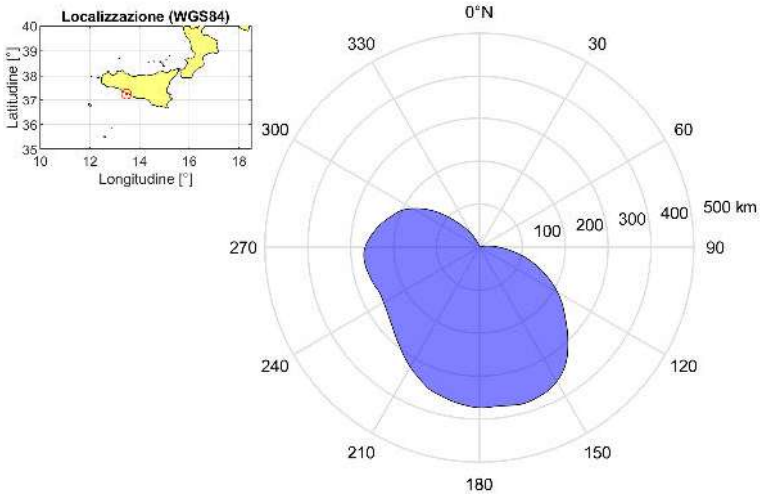


Figura 2: Fetch efficace.

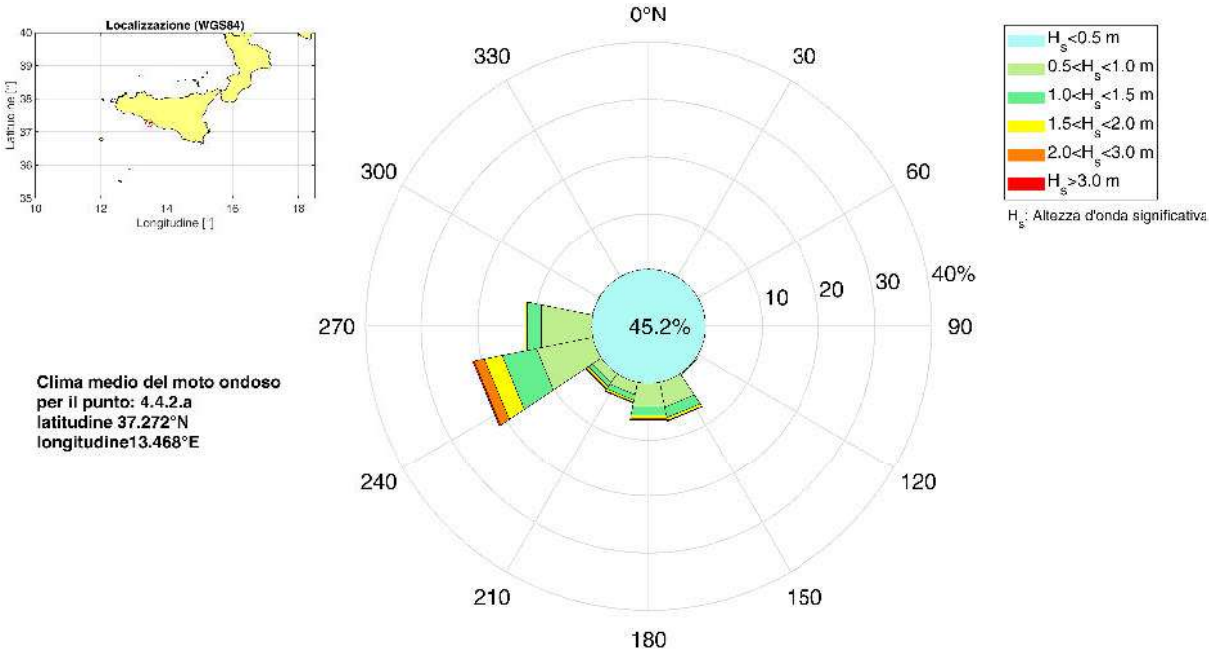


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	-	-	-	-	-
22.5	0.01	-	-	-	-	-
45.0	0.02	-	-	-	-	-
67.5	0.01	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	0.02	-	-	-	-	-
135.0	0.44	0.22	0.03	-	-	-
157.5	5.80	4.48	1.85	0.53	0.11	-
180.0	5.78	4.30	1.60	0.52	0.24	0.01
202.5	3.93	2.22	0.99	0.40	0.13	0.01
225.0	3.84	1.86	0.86	0.42	0.22	0.01
247.5	11.31	10.10	6.15	3.18	1.83	0.26
270.0	13.68	9.23	2.51	0.30	0.01	-
292.5	0.27	0.17	-	-	-	-
315.0	0.06	0.01	-	-	-	-
337.5	0.03	0.01	-	-	-	-

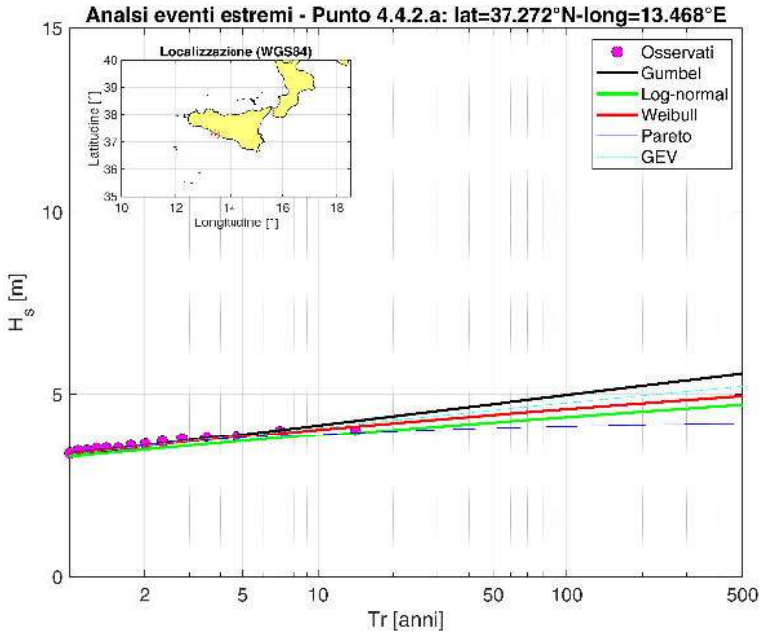


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	182	13.000	2.603	0.464	4.00
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07862	0.08344	0.08978	0.09971	0.11961
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05585	0.05856	0.09150	0.04566	0.06490

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.765	2.394	0.840	1.853	1.661	0.942	0.169	2.000	0.818	-0.353	2.398	0.380	0.039

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.57	3.56	3.46	3.59	3.55
5	3.90	3.84	3.70	3.79	3.86
10	4.15	4.03	3.87	3.90	4.08
50	4.74	4.44	4.23	4.08	4.57
100	4.99	4.60	4.38	4.14	4.77
500	5.57	4.96	4.72	4.22	5.22

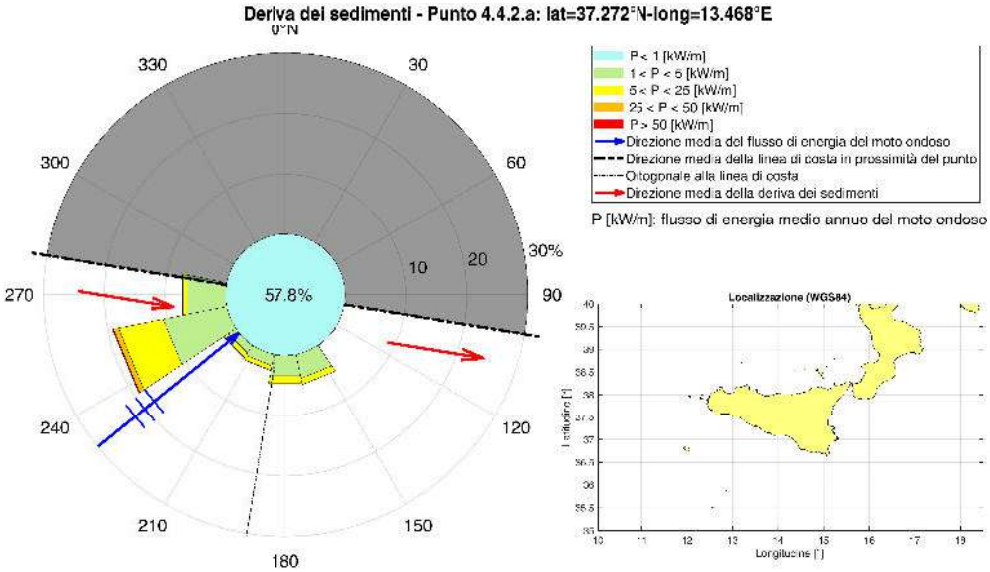


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
4
Unità fisiografica di II ordine
5
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 4.5.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

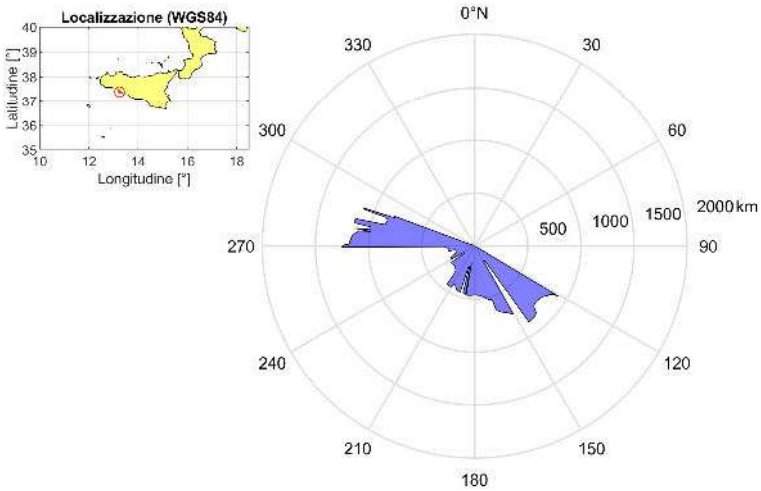


Figura 1: Fetch geografico.

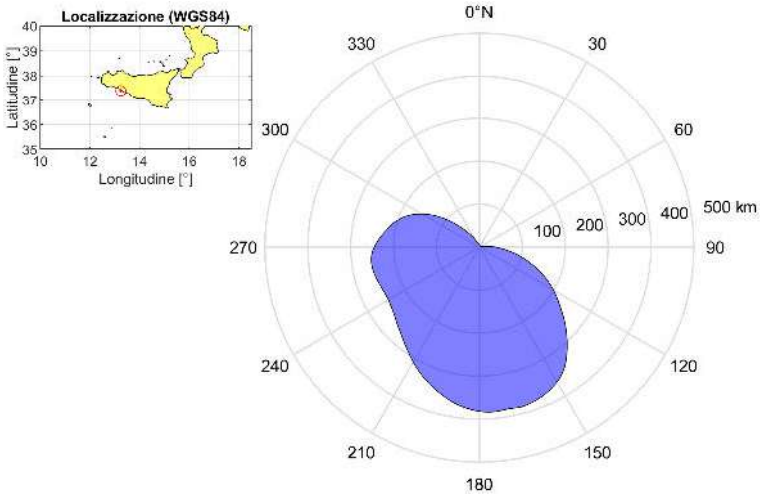


Figura 2: Fetch efficace.

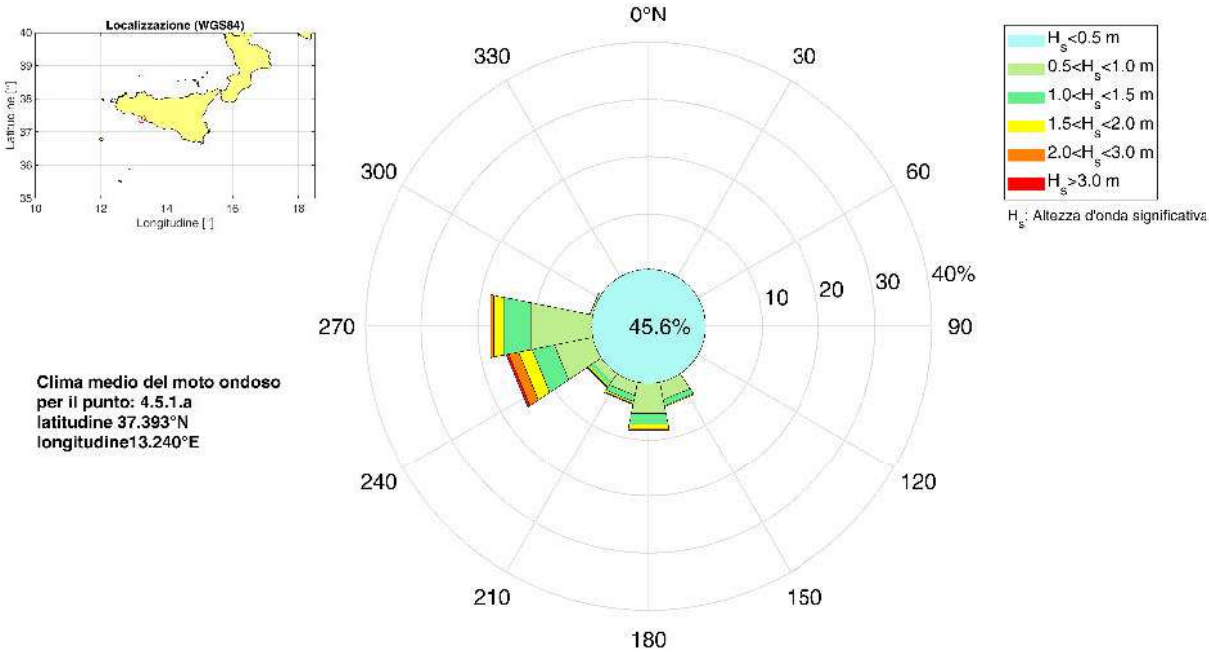


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.07	-	-	-	-	-
22.5	0.03	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	0.01	-	-	-	-	-
135.0	0.18	0.03	-	-	-	-
157.5	4.48	3.15	1.06	0.18	-	-
180.0	7.56	5.53	2.03	0.67	0.27	0.01
202.5	4.35	2.38	1.09	0.39	0.13	0.01
225.0	3.83	1.66	0.80	0.38	0.14	0.02
247.5	10.95	6.88	4.00	2.41	1.78	0.45
270.0	13.30	11.14	4.81	1.80	0.51	0.01
292.5	0.61	0.52	0.05	-	-	-
315.0	0.13	0.11	-	-	-	-
337.5	0.08	0.01	-	-	-	-

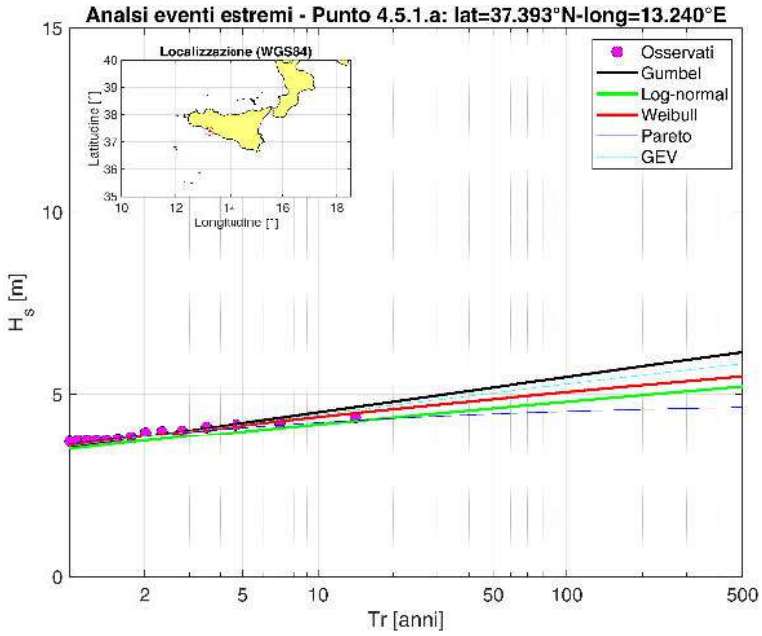


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	207	14.786	2.673	0.536	4.39
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07378	0.07829	0.08424	0.09355	0.11223
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05828	0.05608	0.08961	0.03761	0.06423

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.395	2.432	0.936	1.834	1.603	0.965	0.189	2.000	0.888	-0.314	2.435	0.433	0.029

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.84	3.84	3.71	3.85	3.83
5	4.23	4.16	3.98	4.09	4.19
10	4.52	4.39	4.18	4.24	4.45
50	5.19	4.87	4.62	4.47	5.04
100	5.48	5.07	4.81	4.54	5.29
500	6.15	5.49	5.22	4.65	5.84

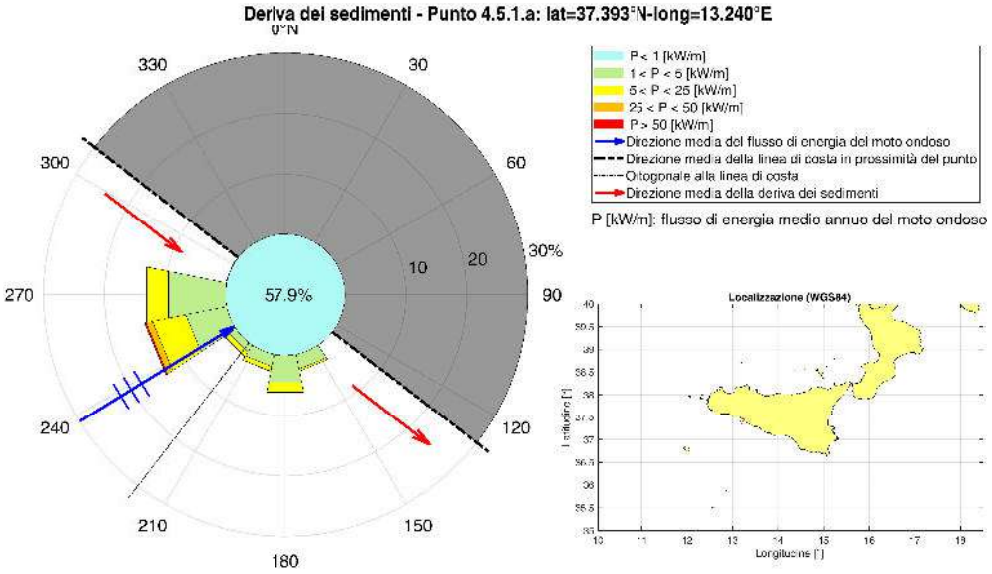


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
5
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 5.1.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

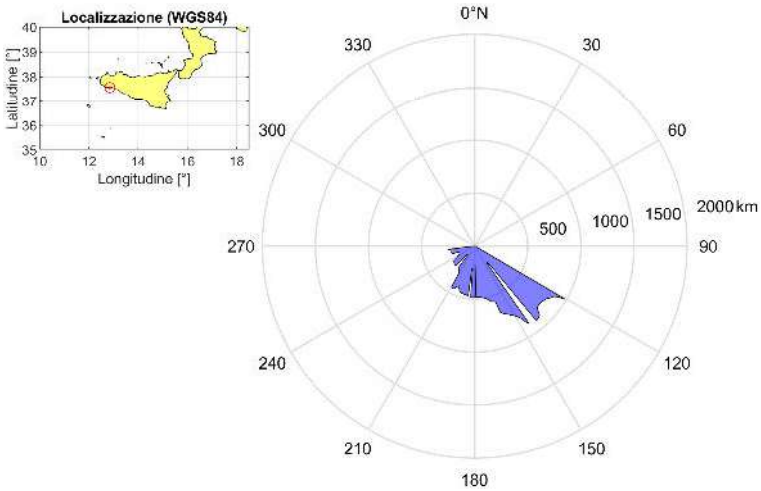


Figura 1: Fetch geografico.

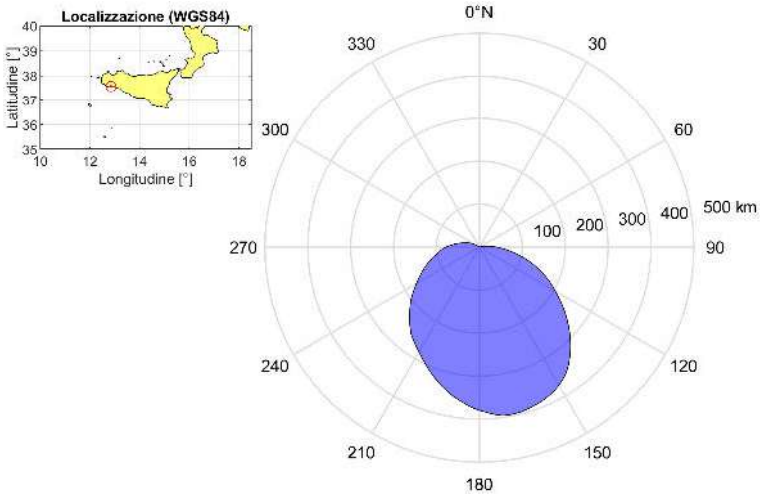


Figura 2: Fetch efficace.

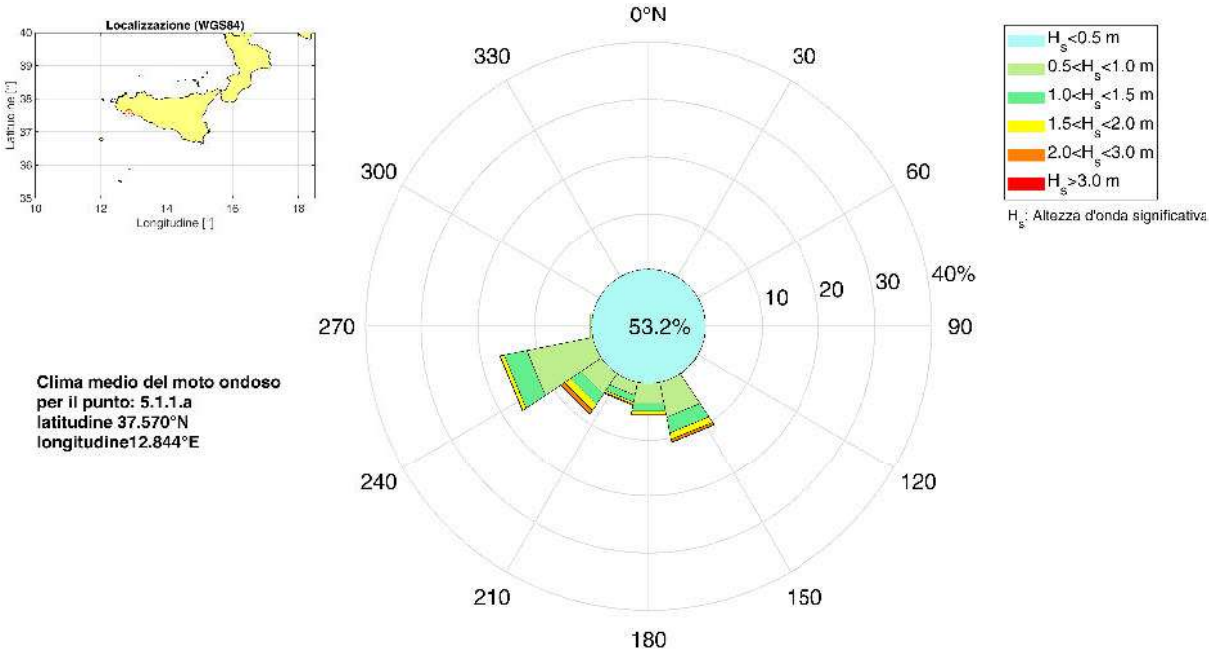


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.22	-	-	-	-	-
22.5	0.20	-	-	-	-	-
45.0	0.22	-	-	-	-	-
67.5	0.12	-	-	-	-	-
90.0	0.07	-	-	-	-	-
112.5	0.10	0.01	-	-	-	-
135.0	0.95	0.12	0.01	-	-	-
157.5	6.95	6.29	2.79	1.16	0.48	0.06
180.0	6.03	3.78	1.38	0.56	0.16	0.03
202.5	4.33	2.35	1.19	0.41	0.18	0.01
225.0	7.02	4.25	2.29	1.17	0.85	0.02
247.5	22.59	11.82	4.06	0.73	0.07	-
270.0	3.03	0.54	0.01	-	-	-
292.5	0.71	0.01	-	-	-	-
315.0	0.42	0.01	-	-	-	-
337.5	0.24	-	-	-	-	-

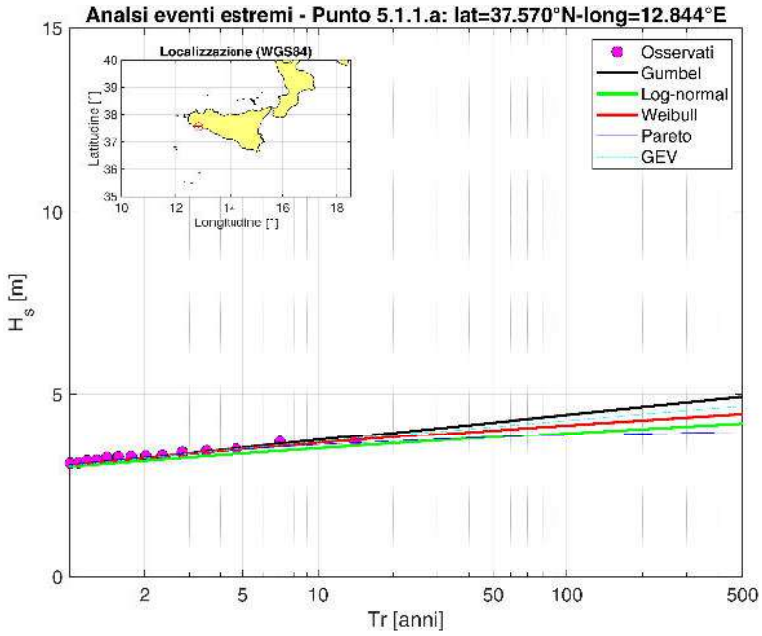


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	139	9.929	2.482	0.398	3.71
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08982	0.09532	0.10258	0.11393	0.13668
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07215	0.07244	0.08710	0.04363	0.07353

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.221	2.302	0.713	1.843	1.644	0.897	0.153	2.000	0.624	-0.289	2.305	0.325	0.036

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.22	3.23	3.15	3.25	3.22
5	3.51	3.48	3.35	3.46	3.49
10	3.73	3.65	3.50	3.59	3.68
50	4.23	4.01	3.80	3.80	4.11
100	4.44	4.15	3.93	3.87	4.29
500	4.94	4.47	4.21	3.98	4.68

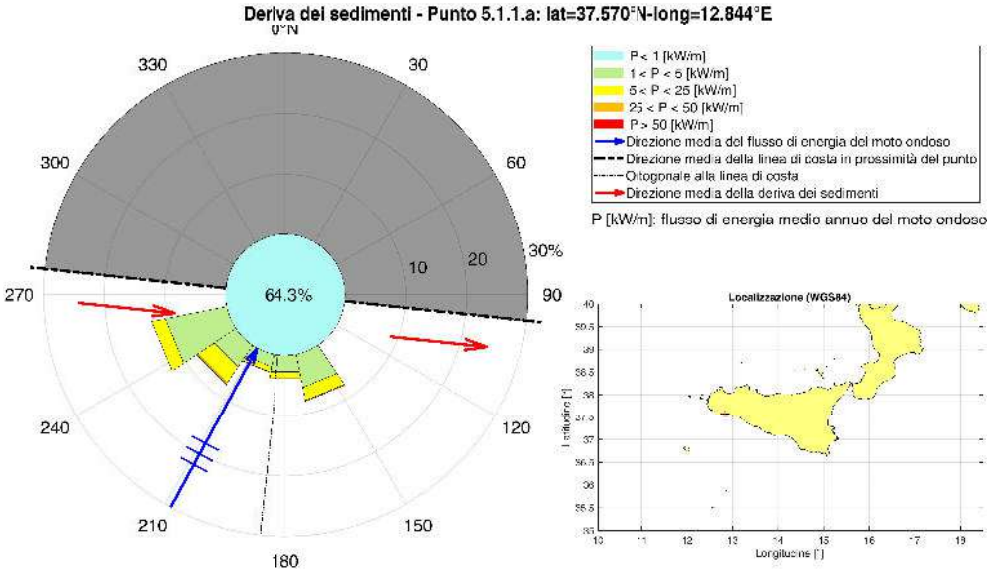


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
5
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 5.2.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

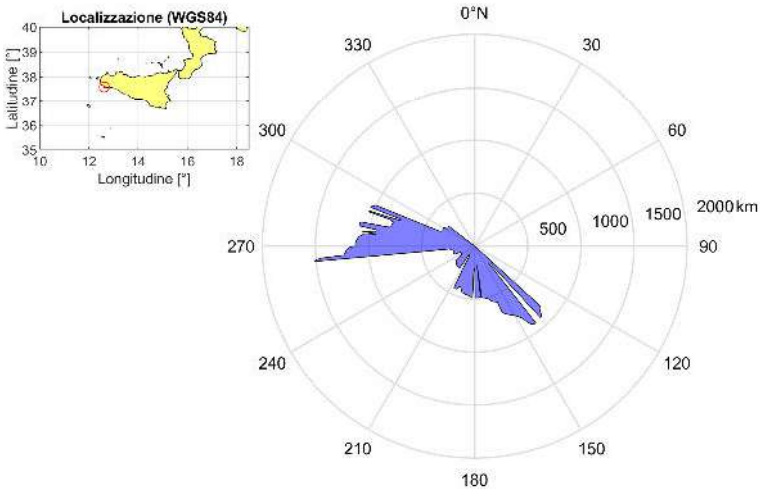


Figura 1: Fetch geografico.

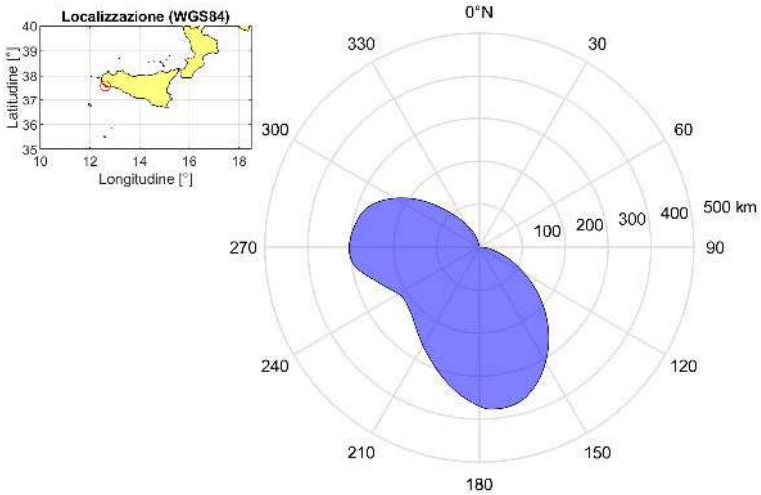


Figura 2: Fetch efficace.

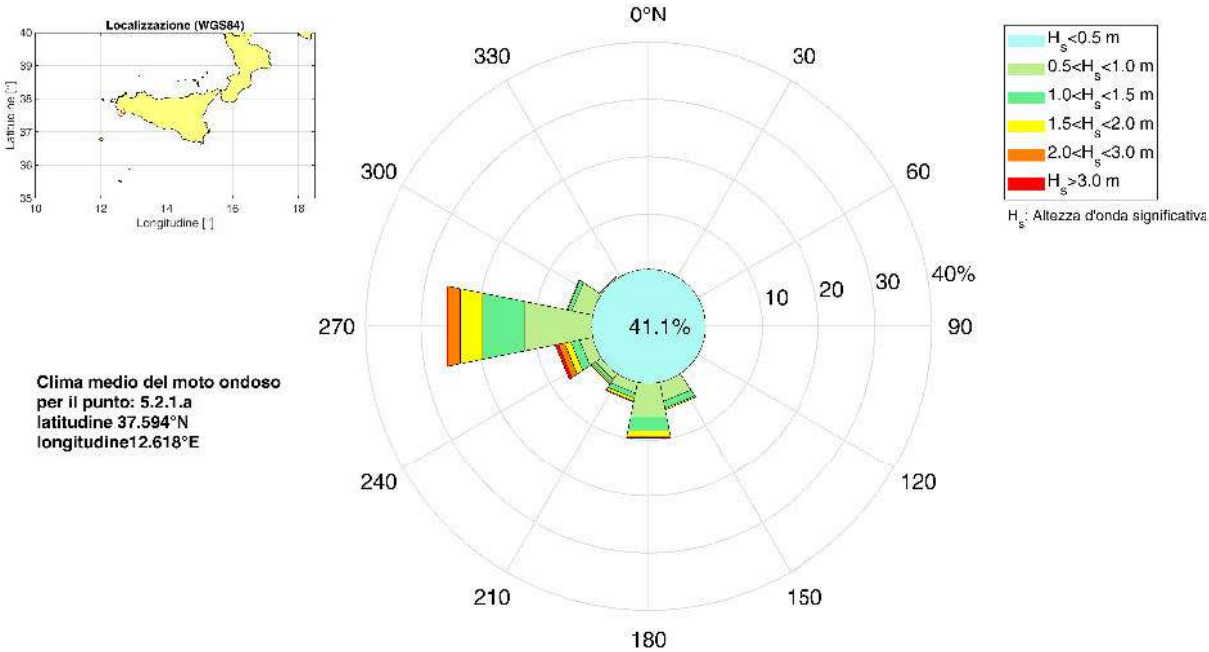


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.11	-	-	-	-	-
22.5	0.05	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	0.01	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	0.01	-	-	-	-	-
135.0	0.12	0.01	-	-	-	-
157.5	3.83	3.43	1.25	0.25	0.01	-
180.0	7.95	6.14	2.48	1.02	0.33	0.04
202.5	3.13	1.97	0.91	0.52	0.16	0.02
225.0	1.96	1.19	0.63	0.34	0.12	0.01
247.5	1.95	2.39	1.54	1.15	1.11	0.57
270.0	10.08	12.27	7.47	3.95	2.24	0.26
292.5	9.64	3.77	0.75	0.15	0.01	-
315.0	1.87	0.38	0.01	-	-	-
337.5	0.41	0.03	-	-	-	-

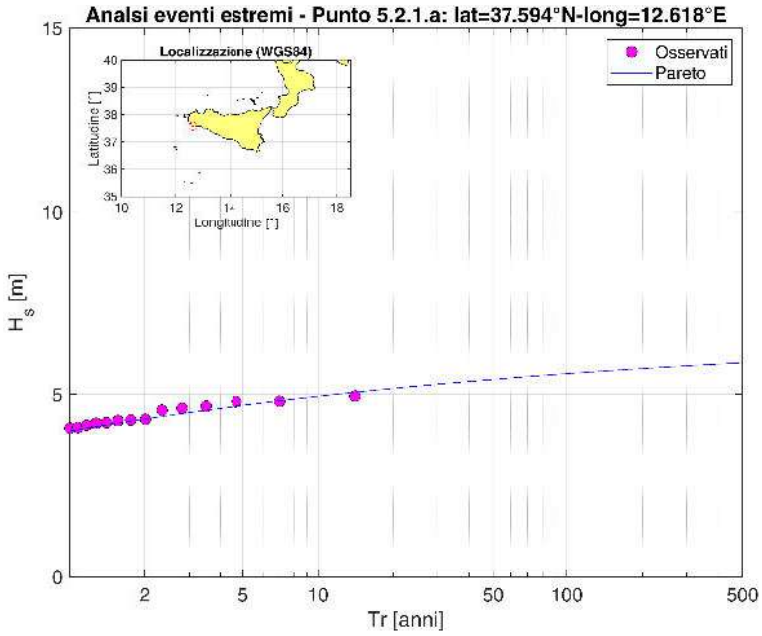


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	277	19.786	2.737	0.657	4.96
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06387	0.06777	0.07292	0.08097	0.09713
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09024	0.09315	0.09571	0.05738	0.09363

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.954	2.441	1.081	1.762	1.513	0.981	0.223	2.000	0.878	-0.186	2.443	0.520	0.012

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.32	4.32	4.13	4.34	4.31
5	4.79	4.72	4.48	4.71	4.76
10	5.15	5.01	4.73	4.95	5.11
50	5.97	5.64	5.31	5.41	5.88
100	6.33	5.89	5.55	5.57	6.22
500	7.15	6.45	6.11	5.86	6.97

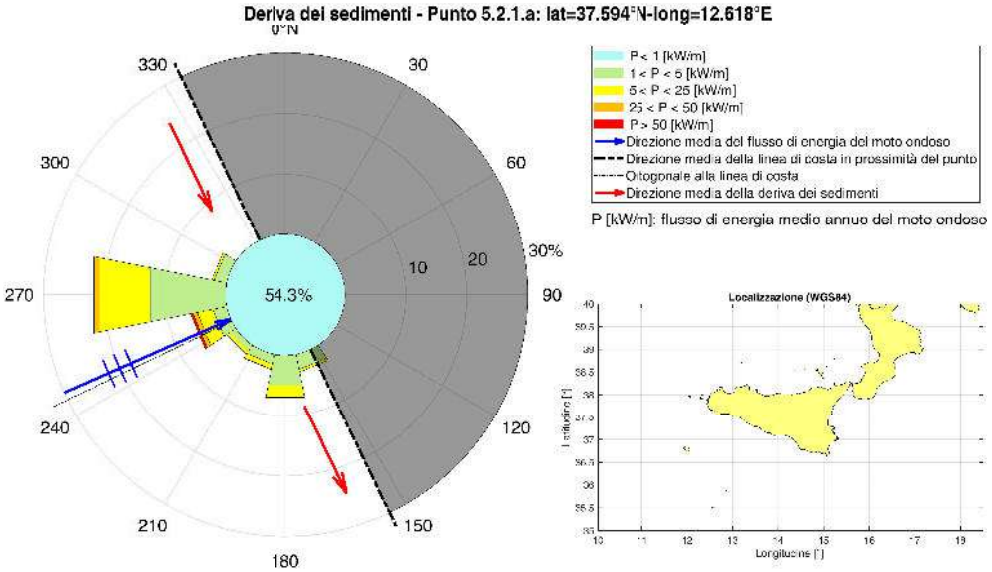


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
5
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 5.2.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

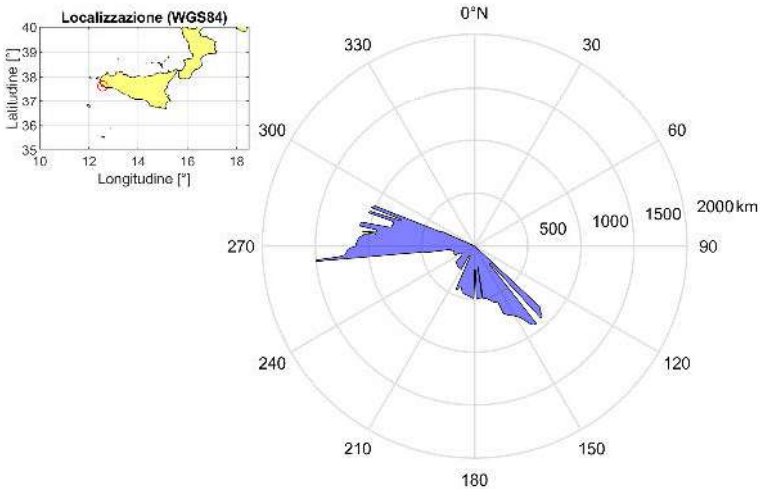


Figura 1: Fetch geografico.

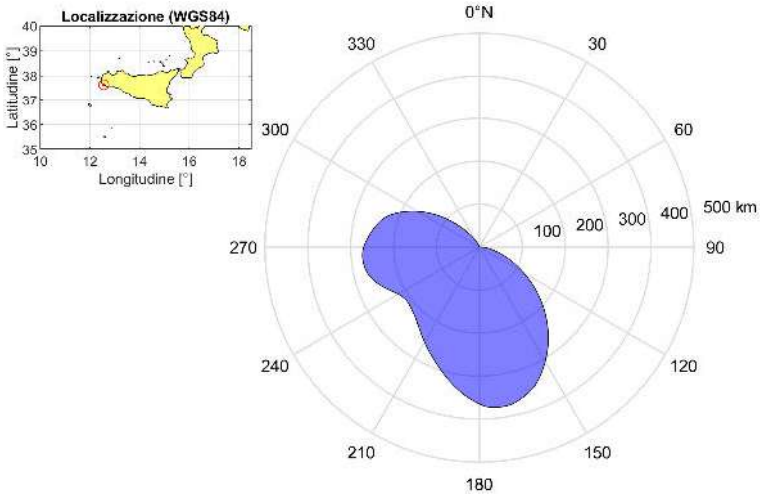


Figura 2: Fetch efficace.

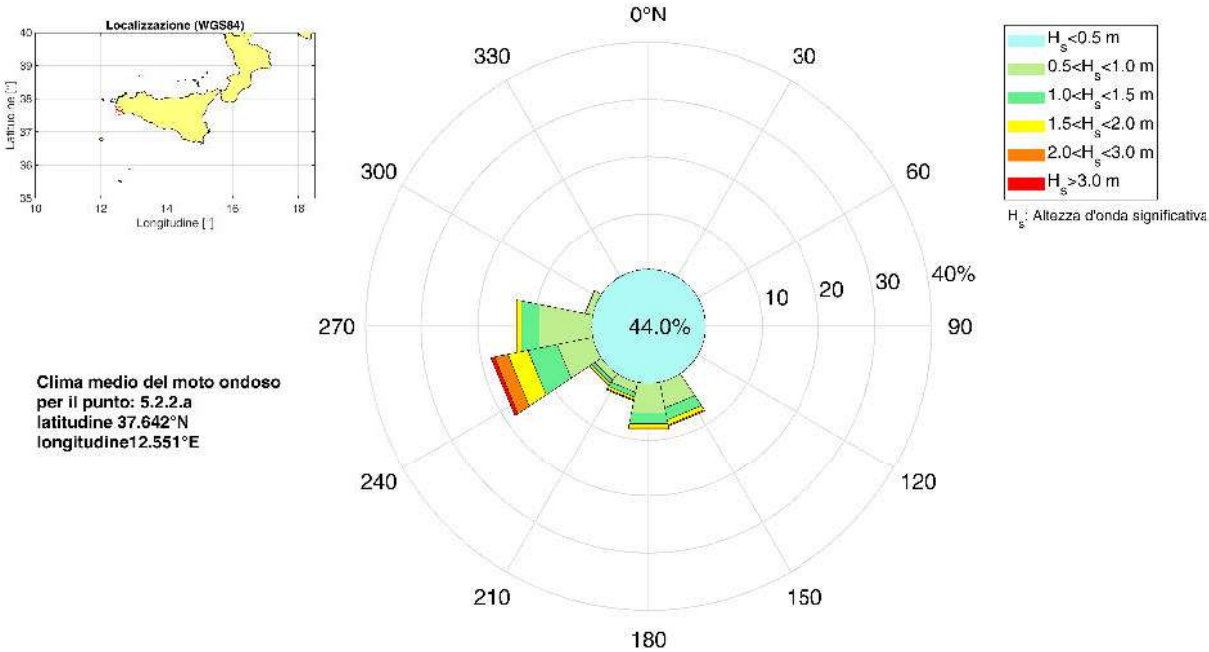


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.41	0.01	-	-	-	-
22.5	0.17	-	-	-	-	-
45.0	0.09	-	-	-	-	-
67.5	0.03	-	-	-	-	-
90.0	0.02	-	-	-	-	-
112.5	0.03	0.01	-	-	-	-
135.0	0.19	0.01	-	-	-	-
157.5	5.37	4.63	2.11	0.87	0.23	0.01
180.0	6.31	5.47	1.93	0.76	0.30	0.05
202.5	3.06	1.82	0.84	0.50	0.18	0.02
225.0	1.89	1.40	0.70	0.36	0.13	0.01
247.5	3.21	6.39	5.24	3.59	2.39	0.66
270.0	12.84	9.52	3.25	0.77	0.15	-
292.5	8.41	1.38	0.05	-	-	-
315.0	1.39	0.13	-	-	-	-
337.5	0.63	0.08	-	-	-	-

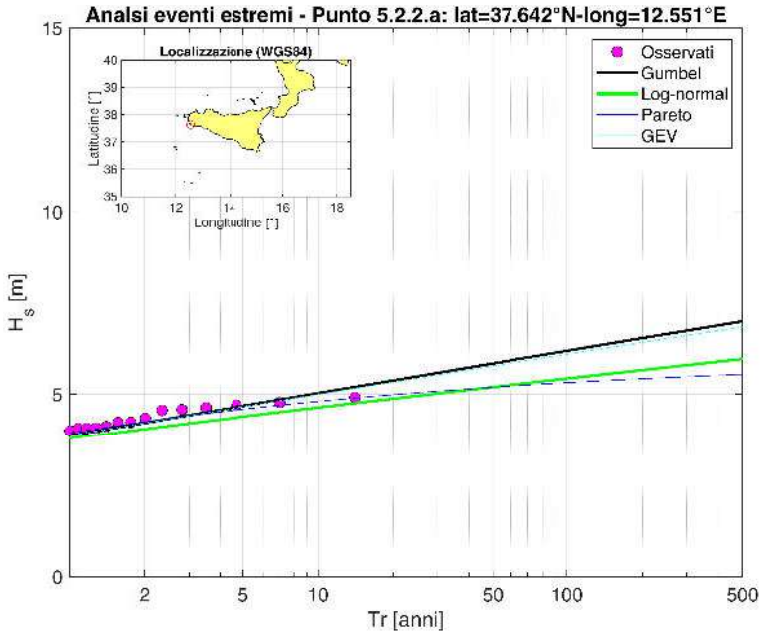


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	240	17.143	2.755	0.641	4.92
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06857	0.07276	0.07829	0.08694	0.10429
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07553	0.07431	0.09210	0.04911	0.07864

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.001	2.466	1.051	1.806	1.507	0.989	0.217	2.000	0.931	-0.230	2.468	0.507	0.011

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.23	4.24	4.05	4.25	4.22
5	4.69	4.64	4.39	4.60	4.67
10	5.04	4.92	4.64	4.81	5.00
50	5.84	5.54	5.20	5.19	5.77
100	6.19	5.79	5.43	5.32	6.09
500	6.99	6.34	5.97	5.55	6.84

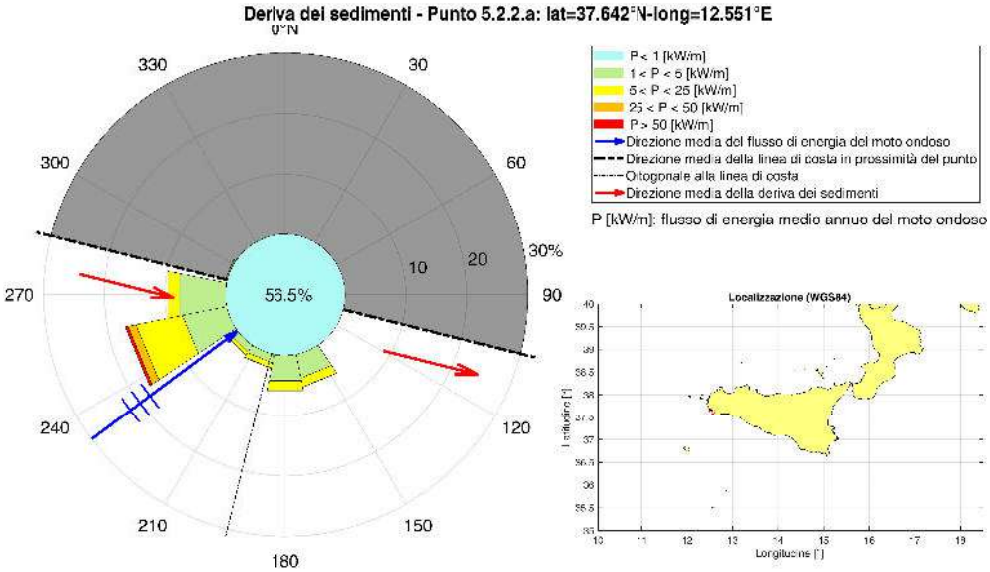


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
6
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 6.1.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

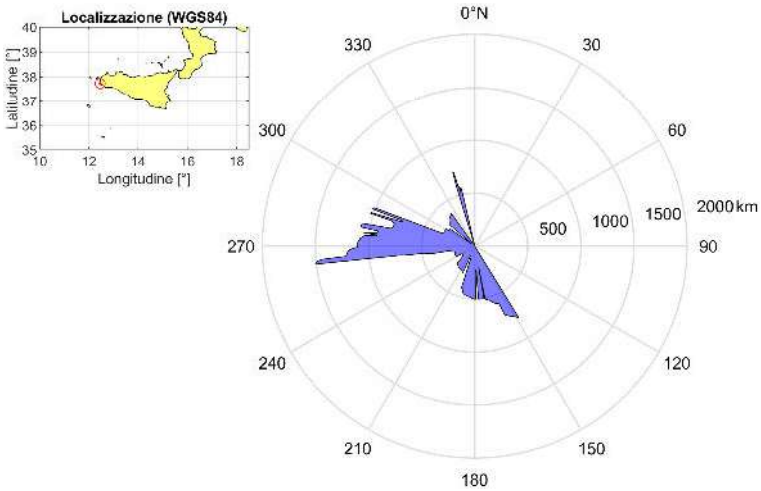


Figura 1: Fetch geografico.

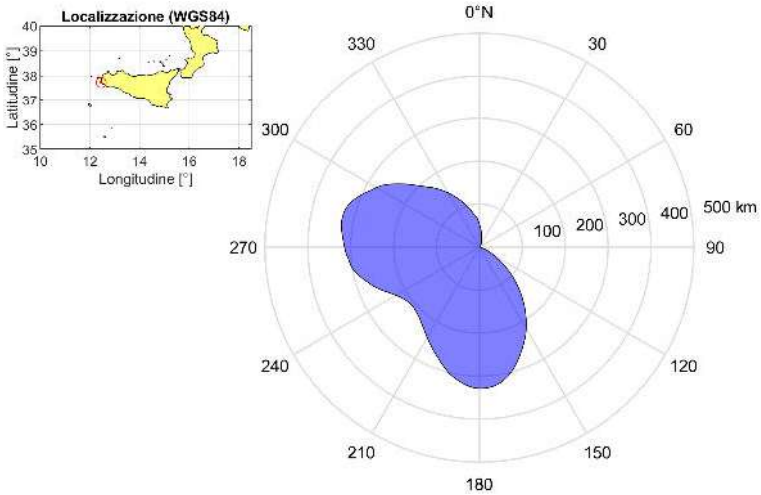


Figura 2: Fetch efficace.

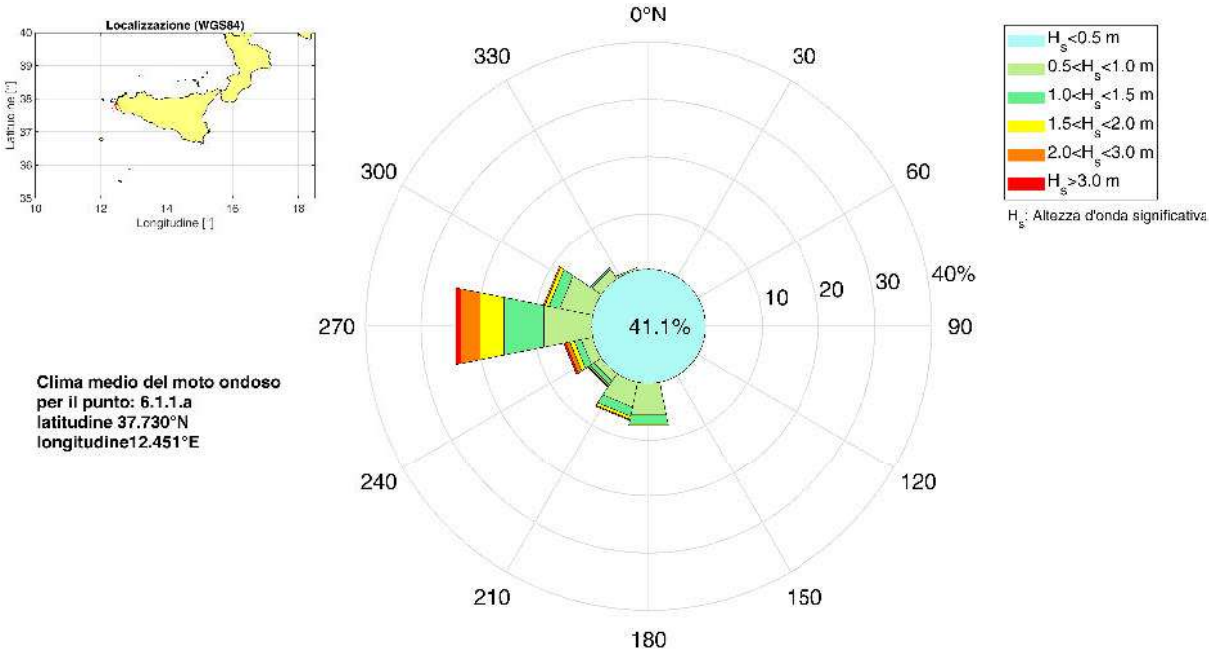


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.31	0.03	-	-	-	-
22.5	0.04	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	0.01	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	0.16	0.01	-	-	-	-
180.0	6.82	5.83	1.68	0.19	-	-
202.5	7.32	4.46	1.65	0.55	0.18	-
225.0	2.19	1.58	0.77	0.37	0.14	-
247.5	1.54	2.08	1.24	0.81	0.73	0.39
270.0	3.70	8.75	7.17	4.26	3.45	0.91
292.5	7.44	5.95	1.91	0.72	0.29	-
315.0	8.32	2.02	0.28	0.03	-	-
337.5	3.21	0.48	0.01	-	-	-

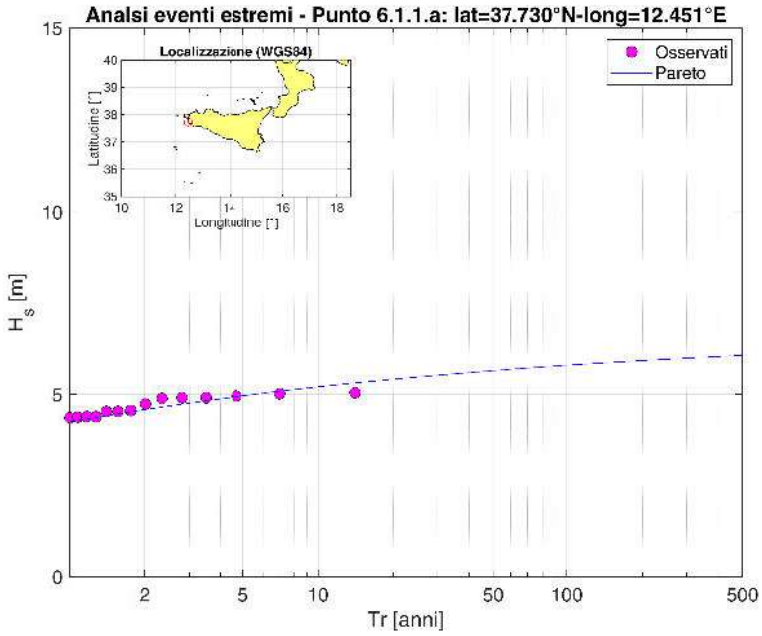


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	297	21.214	2.822	0.727	5.05
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06170	0.06547	0.07045	0.07822	0.09383
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09162	0.09558	0.10813	0.06458	0.09442

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.765	2.495	1.227	1.719	1.550	1.008	0.239	2.000	1.002	-0.212	2.497	0.580	0.019

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.61	4.60	4.40	4.59	4.59
5	5.13	5.03	4.80	4.97	5.09
10	5.53	5.34	5.09	5.21	5.45
50	6.44	6.01	5.75	5.65	6.29
100	6.83	6.28	6.04	5.80	6.64
500	7.75	6.88	6.68	6.07	7.43

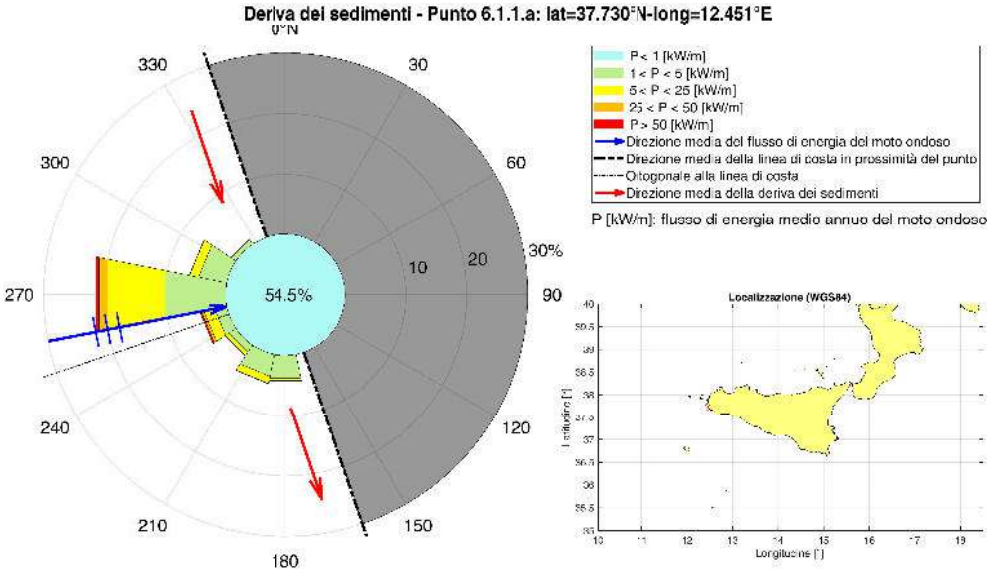


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
6
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 6.1.2.a)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

Punto griglia (identificativo: 6.1.2.b)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

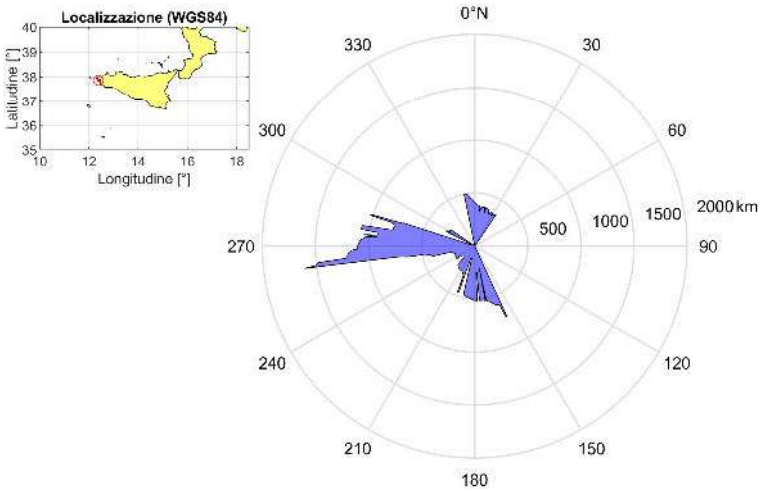


Figura 1: Fetch geografico.

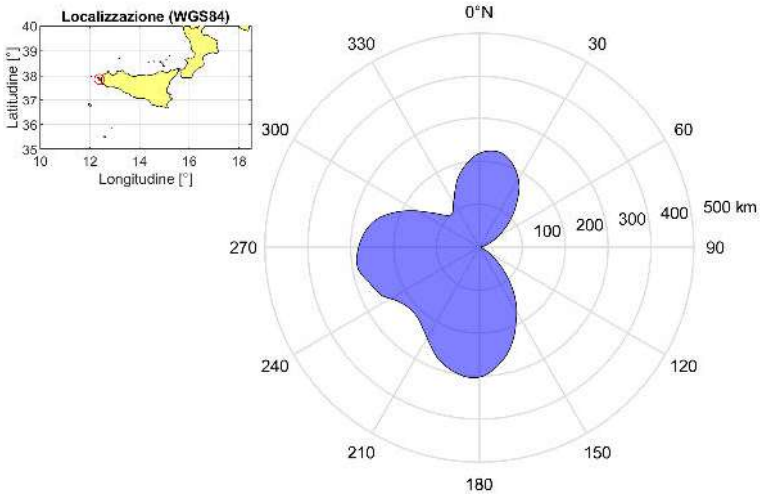


Figura 2: Fetch efficace.

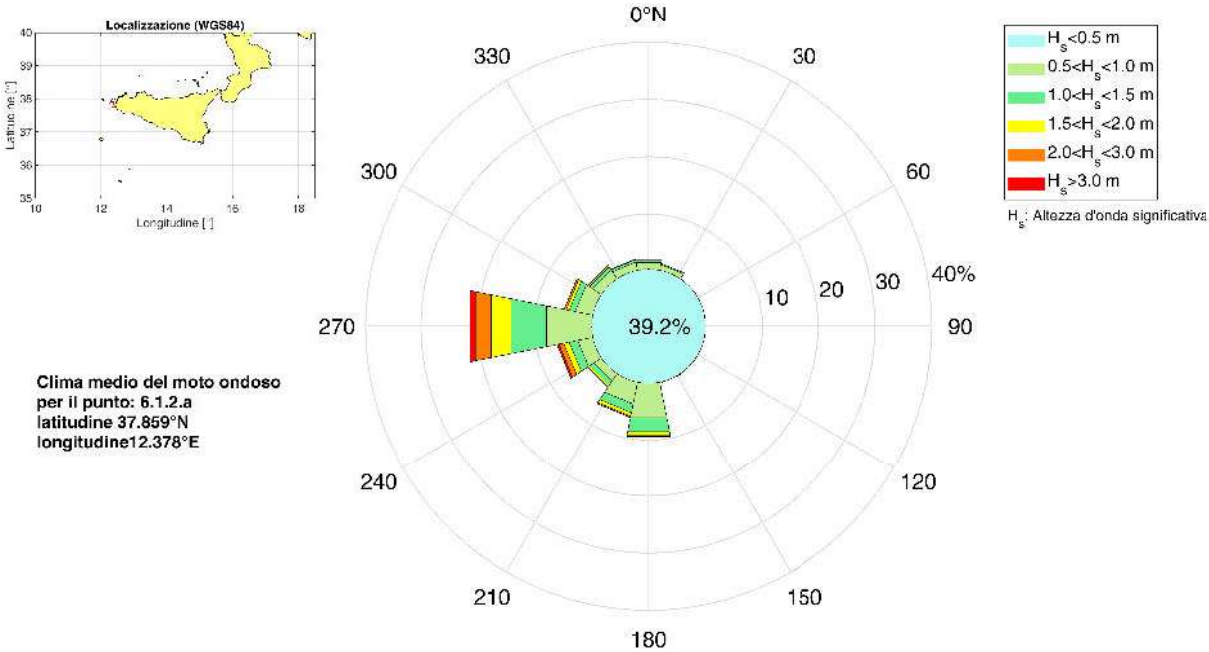


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.61	1.39	0.33	0.06	0.01	-
22.5	4.93	1.01	0.21	0.01	-	-
45.0	0.45	0.07	0.01	-	-	-
67.5	0.22	0.03	-	-	-	-
90.0	0.14	0.02	-	-	-	-
112.5	0.12	0.01	-	-	-	-
135.0	0.20	0.05	0.01	-	-	-
157.5	0.57	0.18	0.01	-	-	-
180.0	5.01	6.35	2.51	0.67	0.15	-
202.5	5.20	3.90	1.56	0.64	0.21	0.01
225.0	1.63	1.63	0.83	0.37	0.13	0.01
247.5	1.47	2.69	1.53	1.01	0.86	0.34
270.0	4.22	8.35	6.28	3.58	2.79	0.94
292.5	3.02	3.17	1.05	0.56	0.34	0.03
315.0	2.77	1.91	0.62	0.27	0.13	-
337.5	3.63	1.48	0.40	0.09	0.02	-

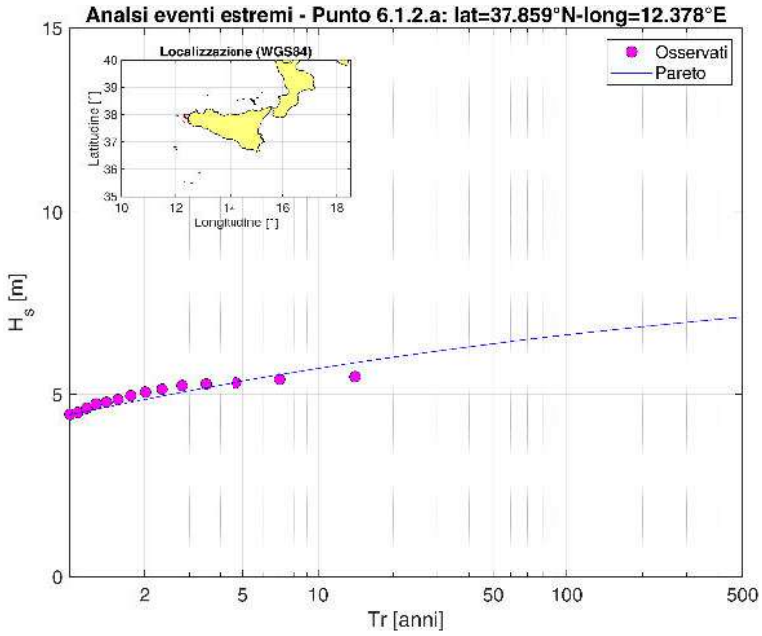


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	291	20.786	2.865	0.797	5.48
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06233	0.06614	0.07116	0.07902	0.09478
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10130	0.10147	0.10863	0.06312	0.10174

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.610	2.507	1.261	1.722	1.457	1.018	0.255	2.000	0.991	-0.142	2.507	0.622	0.001

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.81	4.83	4.58	4.87	4.81
5	5.39	5.34	5.03	5.37	5.39
10	5.82	5.70	5.36	5.71	5.82
50	6.82	6.49	6.11	6.38	6.81
100	7.25	6.81	6.43	6.62	7.24
500	8.25	7.53	7.17	7.10	8.23

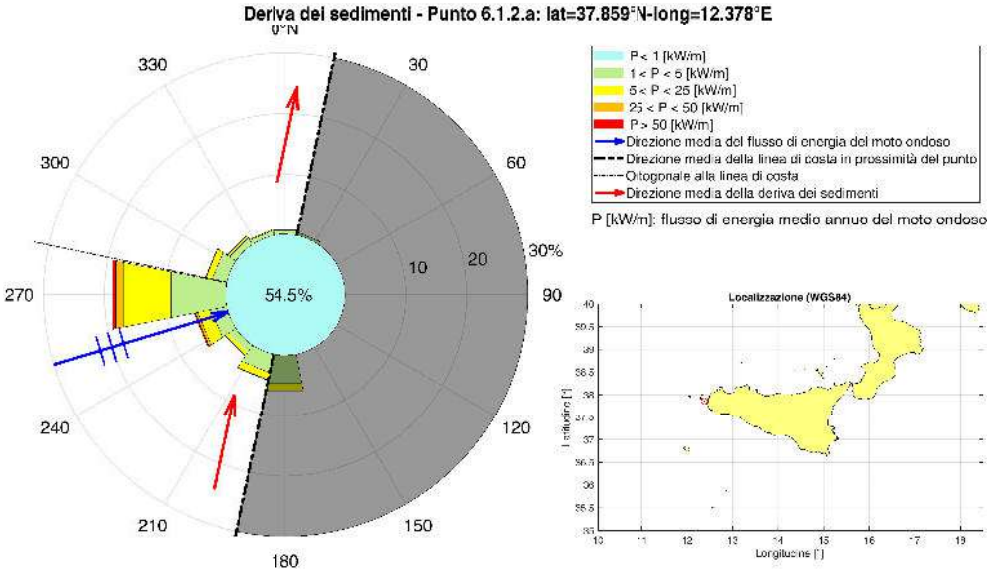


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

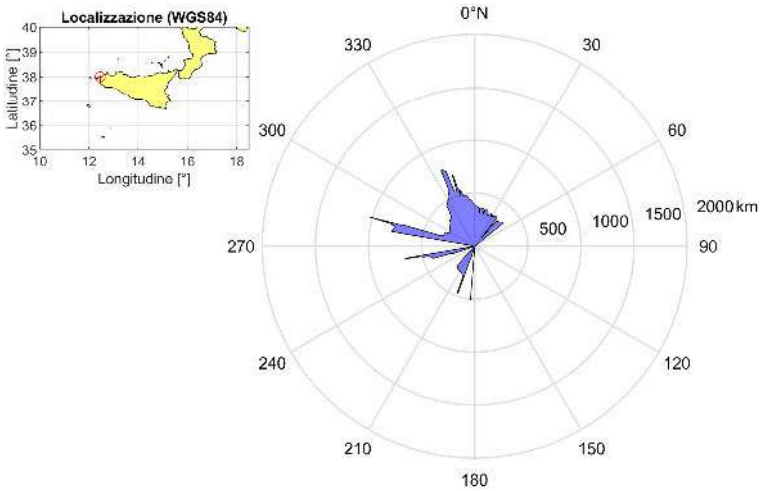


Figura 6: Fetch geografico.

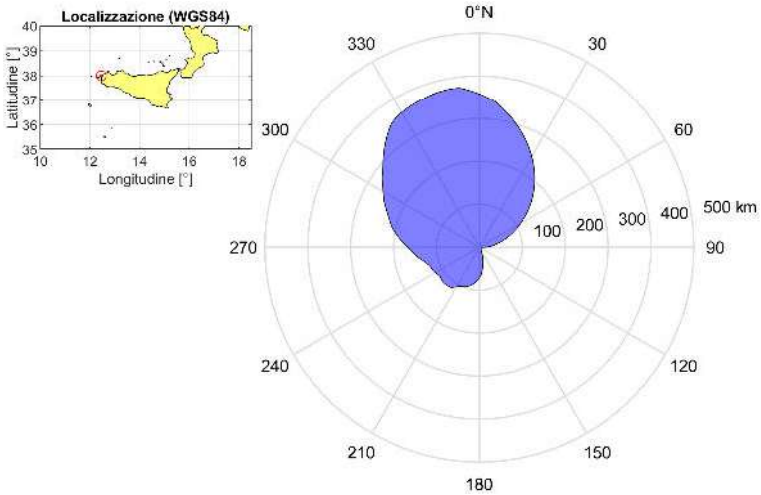


Figura 7: Fetch efficace.

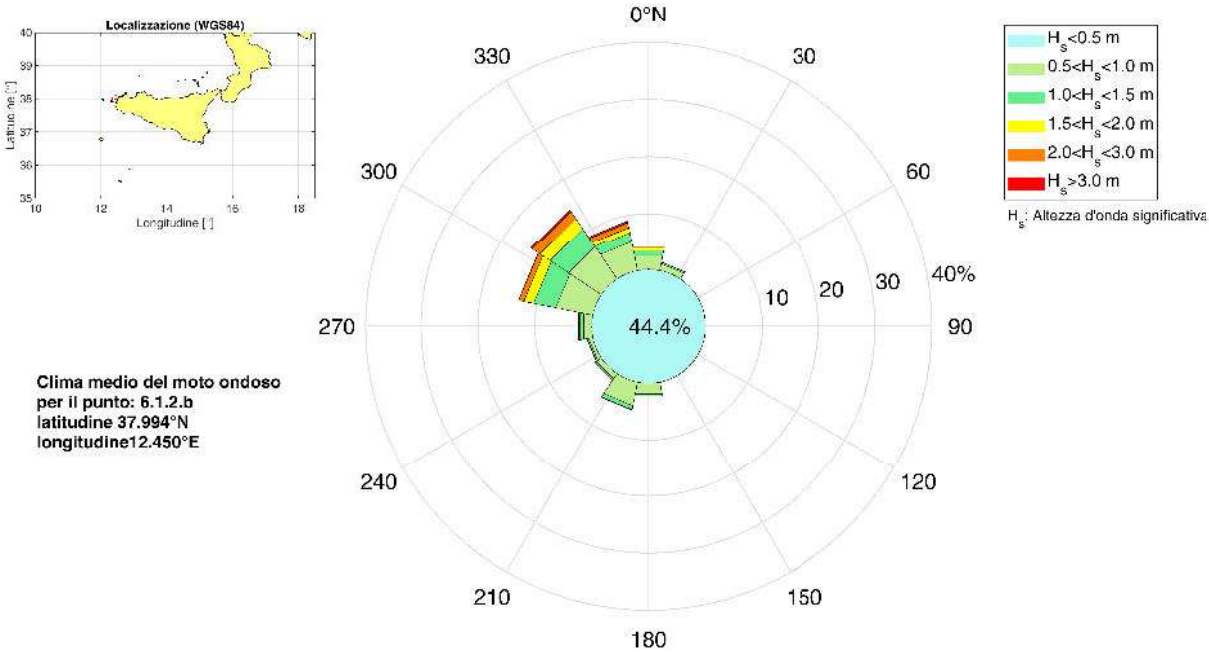


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	7.50	2.69	0.92	0.44	0.16	0.02
22.5	5.52	1.20	0.26	0.04	0.01	-
45.0	0.20	0.06	-	-	-	-
67.5	0.06	0.03	-	-	-	-
90.0	0.03	0.01	0.01	-	-	-
112.5	0.01	0.01	0.01	-	-	-
135.0	0.09	0.03	-	-	-	-
157.5	0.14	0.07	0.01	-	-	-
180.0	1.73	2.10	0.30	0.02	-	-
202.5	7.77	4.19	0.72	0.09	-	-
225.0	2.93	1.04	0.26	0.03	-	-
247.5	1.58	0.77	0.27	0.04	-	-
270.0	1.69	1.63	0.64	0.21	0.03	-
292.5	3.89	6.64	3.94	1.77	0.92	0.04
315.0	5.19	6.94	3.91	2.14	1.53	0.41
337.5	6.03	5.21	1.76	0.92	0.88	0.31

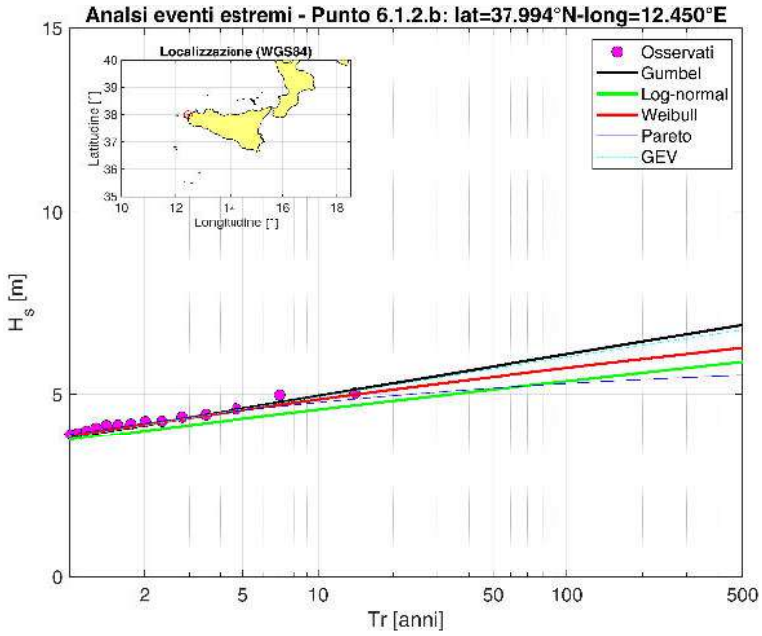


Figura 9: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	223	15.929	2.757	0.631	5.04
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07111	0.07546	0.08119	0.09016	0.10816
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06882	0.06248	0.07780	0.04476	0.07170

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.033	2.473	1.031	1.826	1.503	0.990	0.214	2.000	0.933	-0.231	2.474	0.498	0.010

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.17	4.18	4.01	4.22	4.16
5	4.62	4.58	4.34	4.57	4.61
10	4.97	4.86	4.59	4.78	4.94
50	5.76	5.48	5.13	5.17	5.69
100	6.10	5.72	5.36	5.30	6.02
500	6.89	6.27	5.89	5.53	6.76

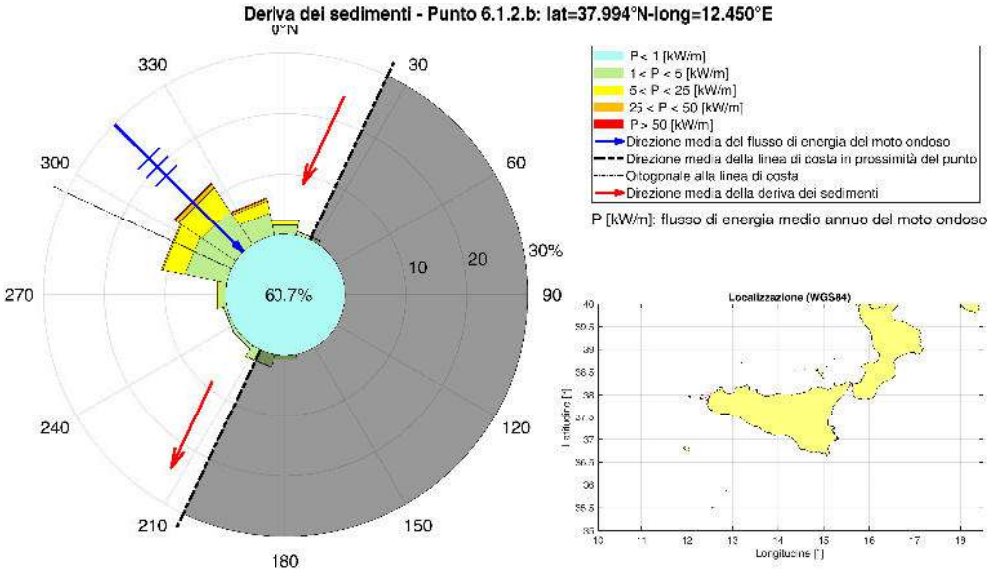


Figura 10: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
6
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 6.1.3.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

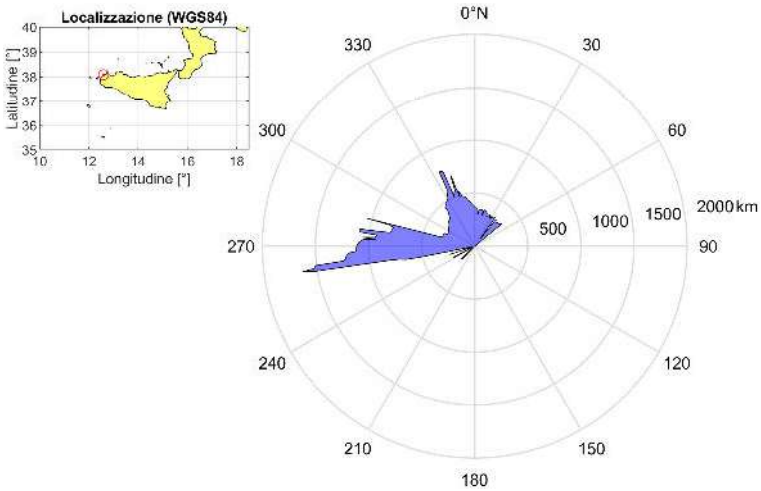


Figura 1: Fetch geografico.

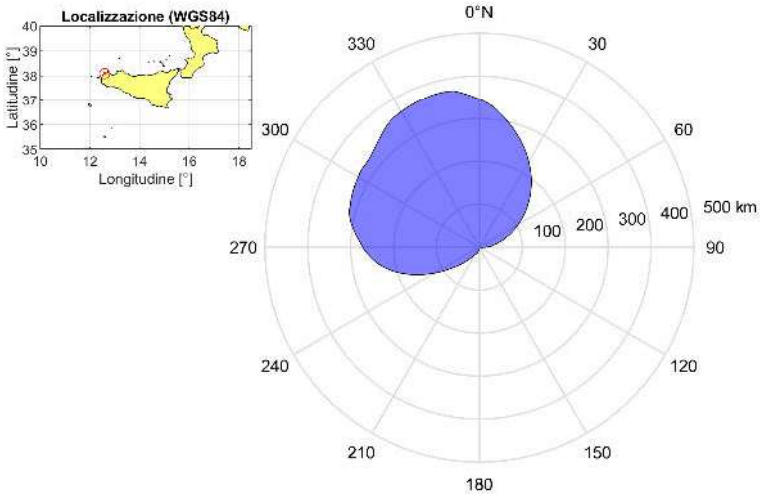


Figura 2: Fetch efficace.

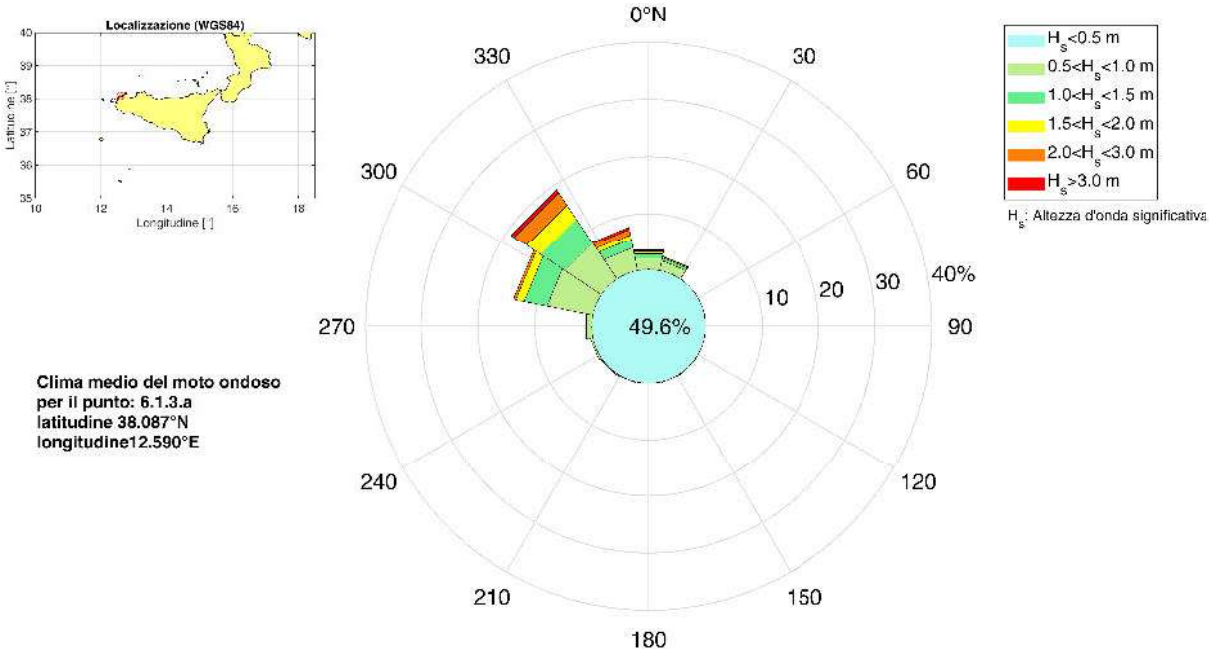


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	7.09	2.18	0.82	0.43	0.24	0.07
22.5	10.22	1.80	0.49	0.19	0.09	-
45.0	0.35	0.14	0.01	-	-	-
67.5	0.14	0.05	-	-	-	-
90.0	0.20	0.03	-	-	-	-
112.5	0.25	0.02	-	-	-	-
135.0	0.72	0.11	-	-	-	-
157.5	1.08	0.17	-	-	-	-
180.0	1.39	0.15	-	-	-	-
202.5	1.40	0.22	-	-	-	-
225.0	0.96	0.29	-	-	-	-
247.5	3.44	0.47	0.01	-	-	-
270.0	4.22	0.99	0.14	0.01	-	-
292.5	6.54	8.21	4.08	1.50	0.44	0.01
315.0	5.82	7.82	5.03	3.00	2.56	0.73
337.5	5.74	4.14	1.58	0.82	0.95	0.43

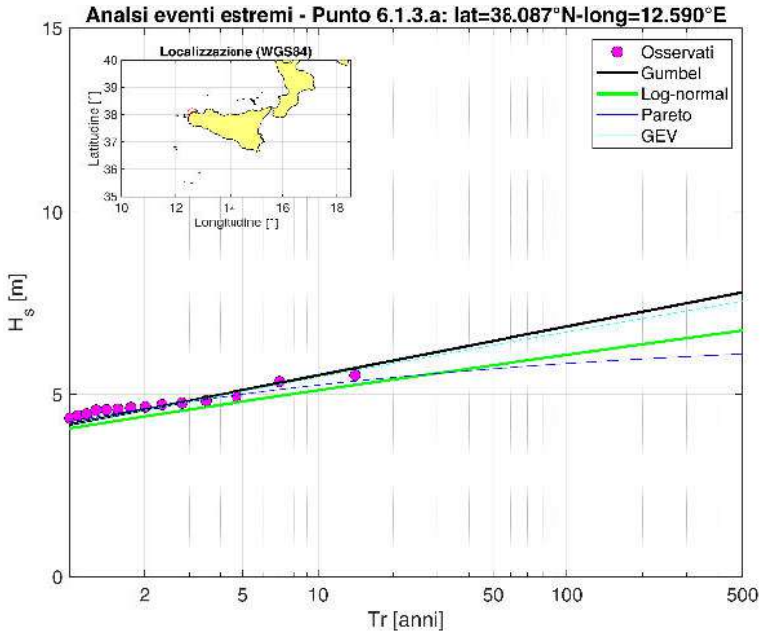


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	255	18.214	2.868	0.737	5.53
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06654	0.07061	0.07598	0.08437	0.10120
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07509	0.07424	0.08441	0.04253	0.07924

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.741	2.536	1.225	1.764	1.528	1.024	0.239	2.000	1.069	-0.228	2.538	0.586	0.015

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.59	4.60	4.41	4.62	4.58
5	5.12	5.05	4.82	5.01	5.09
10	5.52	5.37	5.12	5.26	5.47
50	6.45	6.07	5.79	5.70	6.34
100	6.85	6.35	6.08	5.84	6.70
500	7.77	6.97	6.74	6.10	7.54

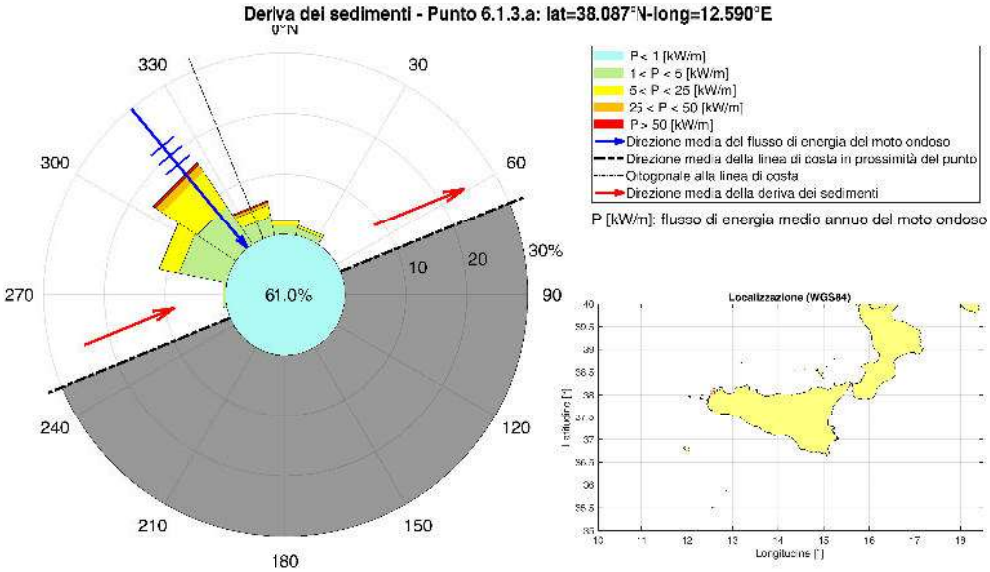


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
7
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 7.1.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

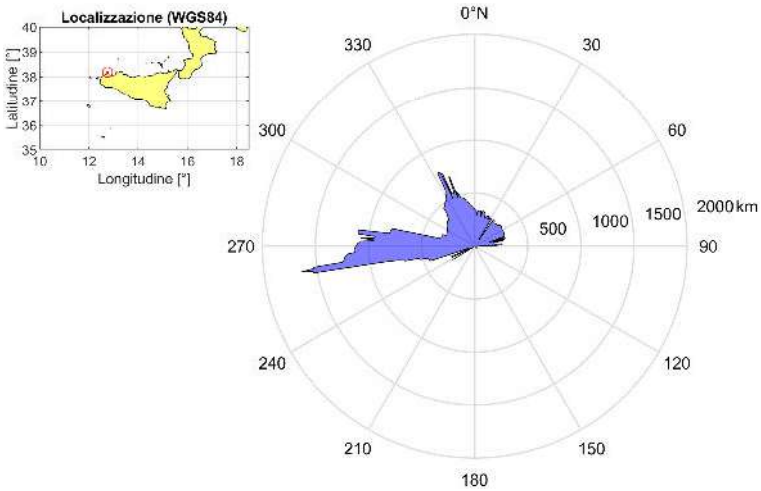


Figura 1: Fetch geografico.

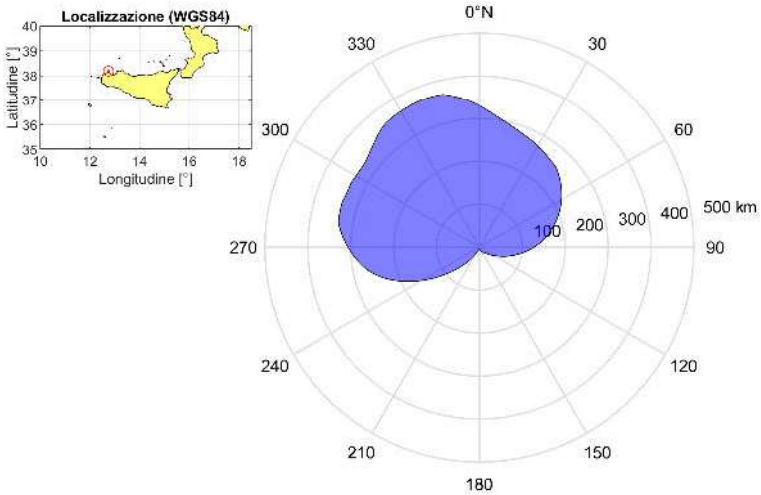


Figura 2: Fetch efficace.

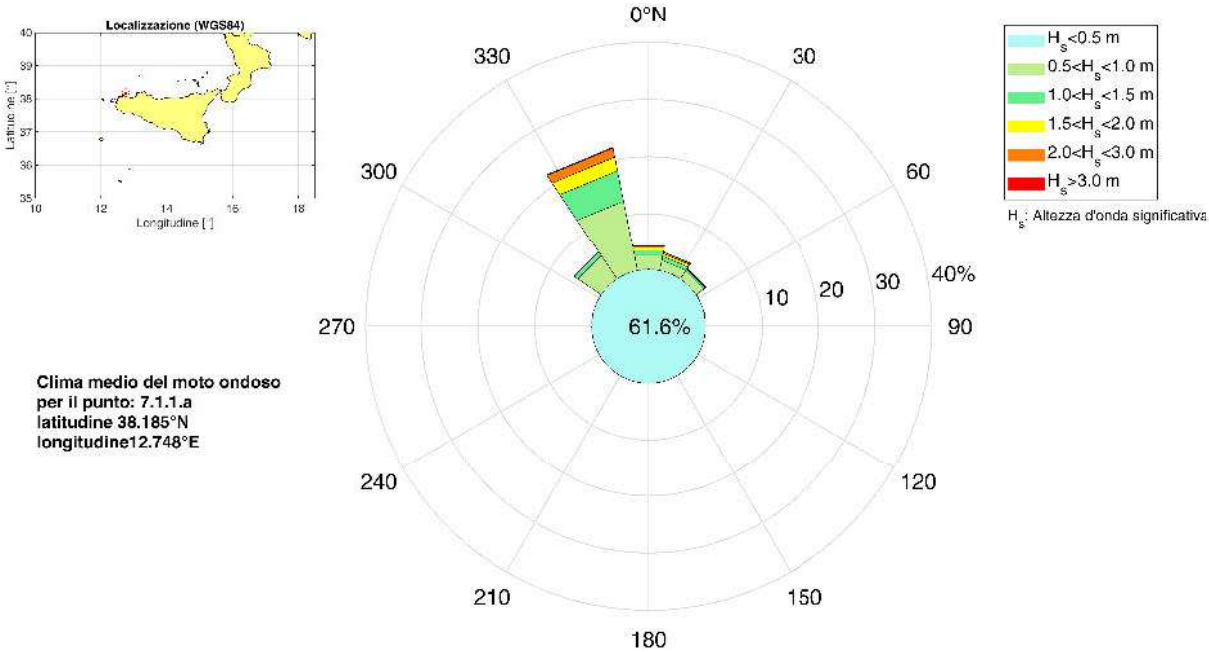


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	7.61	2.67	0.87	0.52	0.35	0.16
22.5	5.64	1.81	0.73	0.46	0.26	0.03
45.0	7.75	1.66	0.40	0.09	0.03	0.01
67.5	4.31	0.12	0.02	-	-	-
90.0	2.33	0.06	-	-	-	-
112.5	0.58	0.03	-	-	-	-
135.0	0.36	-	-	-	-	-
157.5	0.36	-	-	-	-	-
180.0	0.40	-	-	-	-	-
202.5	0.32	-	-	-	-	-
225.0	0.23	-	-	-	-	-
247.5	0.17	-	-	-	-	-
270.0	0.16	0.01	-	-	-	-
292.5	1.17	0.09	-	-	-	-
315.0	15.43	4.97	0.80	0.01	-	-
337.5	14.77	12.64	5.43	2.44	1.59	0.15

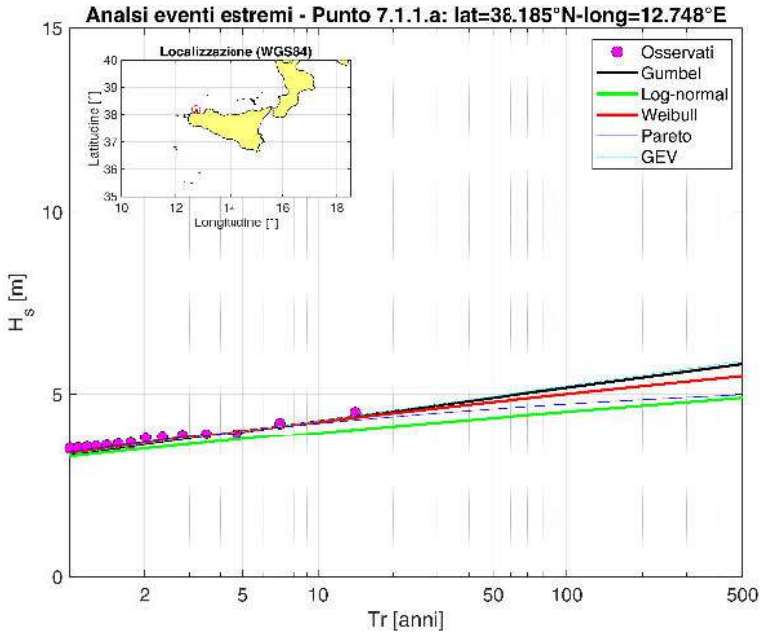


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	165	11.786	2.590	0.513	4.51
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08253	0.08758	0.09425	0.10467	0.12556
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08201	0.06845	0.09425	0.02679	0.07982

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.502	2.359	0.783	1.877	1.410	0.934	0.184	2.000	0.703	-0.189	2.359	0.396	-0.008

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.61	3.65	3.49	3.67	3.62
5	3.99	4.00	3.76	4.00	3.99
10	4.26	4.25	3.94	4.21	4.28
50	4.91	4.79	4.36	4.60	4.95
100	5.19	5.01	4.53	4.74	5.24
500	5.83	5.50	4.91	5.00	5.91

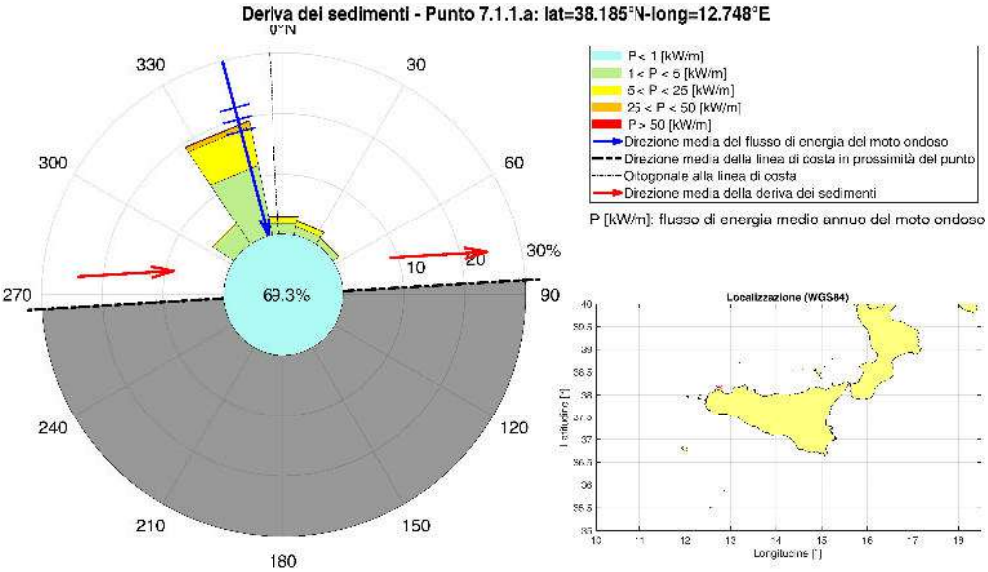


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
7
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 7.1.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

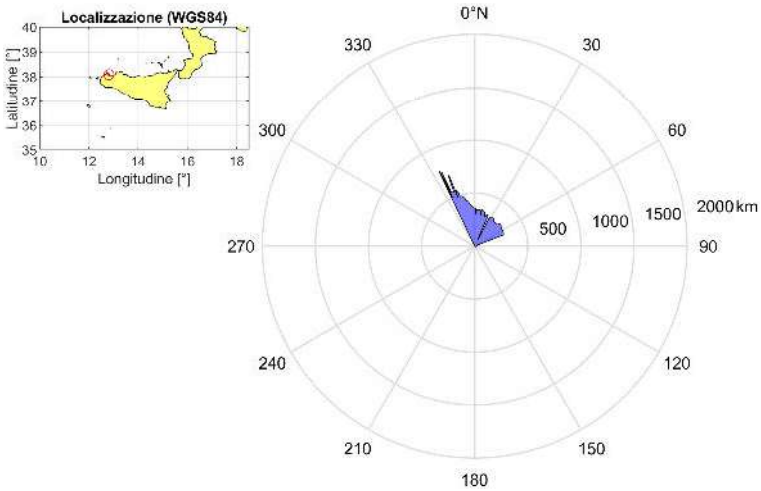


Figura 1: Fetch geografico.

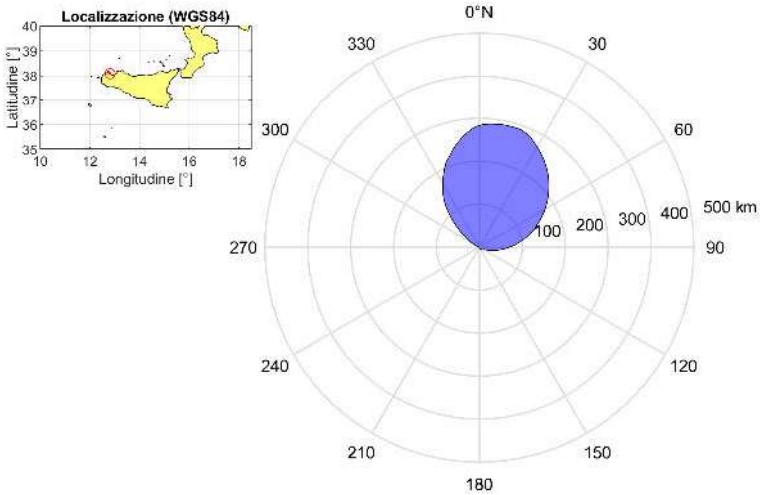


Figura 2: Fetch efficace.

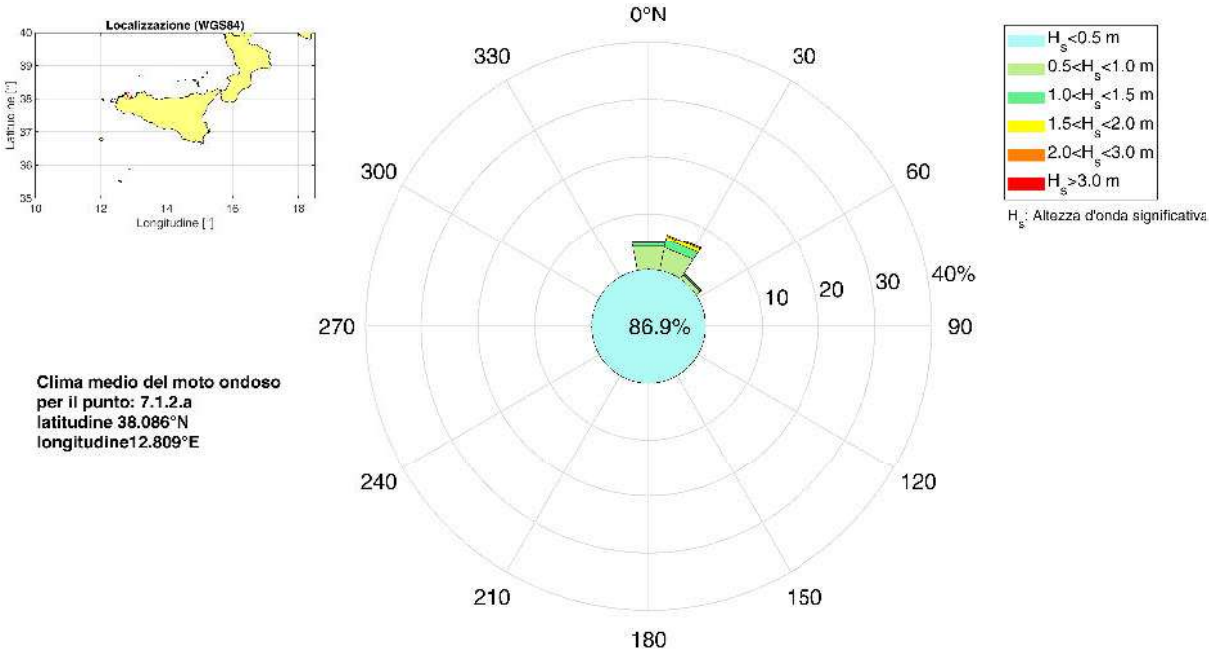


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	44.20	4.33	0.75	0.07	-	-
22.5	20.46	4.13	1.55	0.67	0.25	0.01
45.0	9.51	0.92	0.23	0.04	0.03	-
67.5	2.37	0.08	-	-	-	-
90.0	2.00	0.03	-	-	-	-
112.5	3.95	0.01	-	-	-	-
135.0	1.50	-	-	-	-	-
157.5	0.13	-	-	-	-	-
180.0	0.06	-	-	-	-	-
202.5	0.02	-	-	-	-	-
225.0	0.01	-	-	-	-	-
247.5	0.01	-	-	-	-	-
270.0	0.03	-	-	-	-	-
292.5	0.02	-	-	-	-	-
315.0	0.10	-	-	-	-	-
337.5	2.54	-	-	-	-	-

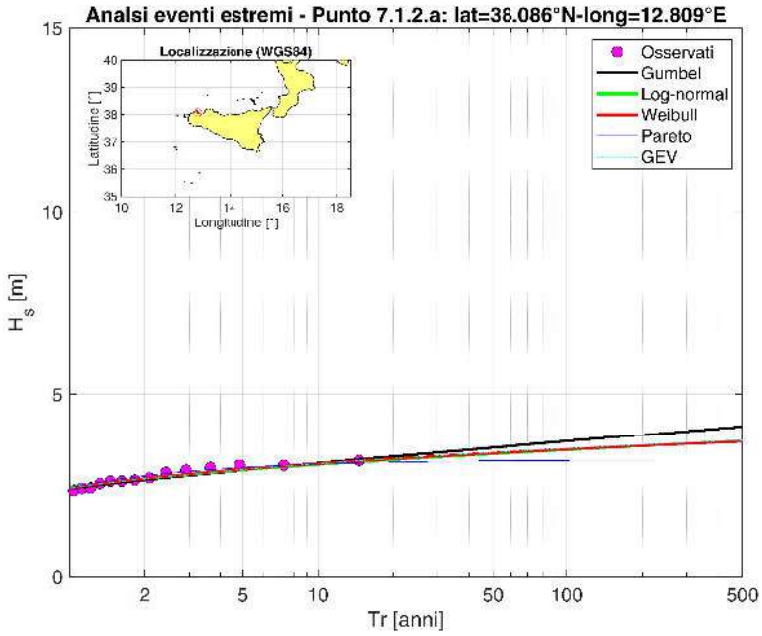


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	24	1.714	2.501	0.336	3.16
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.21219	0.22527	0.24249	0.26934	0.32287
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09536	0.09689	0.11848	0.11098	0.10577

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.819	2.350	0.786	1.805	2.186	0.908	0.131	2.000	0.943	-0.798	2.361	0.302	0.129

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.63	2.67	2.67	2.74	2.66
5	2.90	2.92	2.90	2.97	2.91
10	3.09	3.07	3.05	3.06	3.07
50	3.51	3.36	3.34	3.15	3.38
100	3.70	3.47	3.45	3.16	3.49
500	4.12	3.69	3.70	3.18	3.72

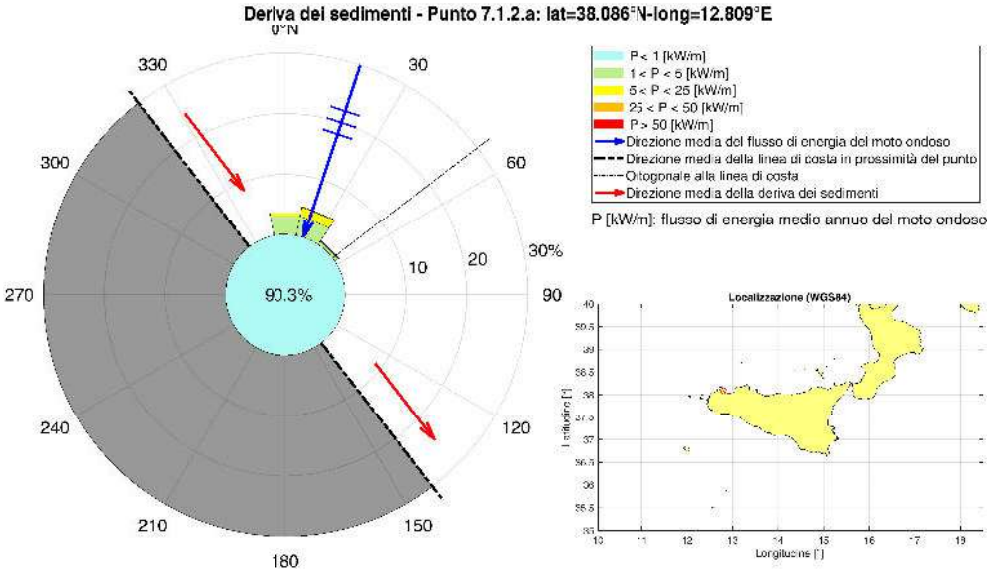


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
7
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 7.1.3.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

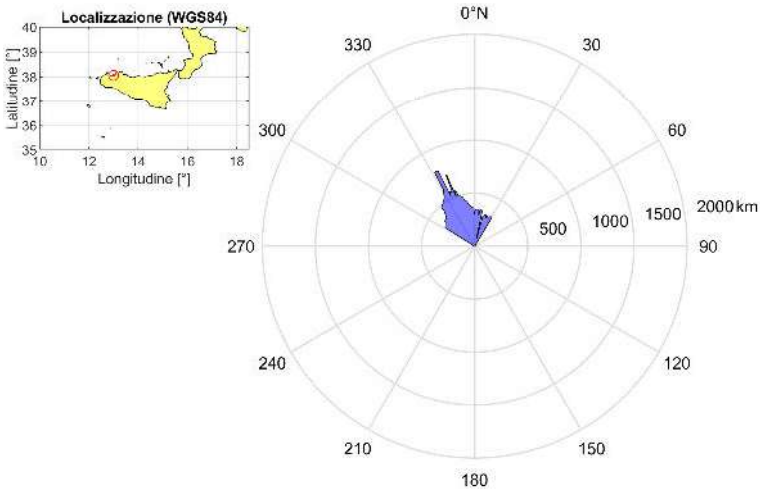


Figura 1: Fetch geografico.

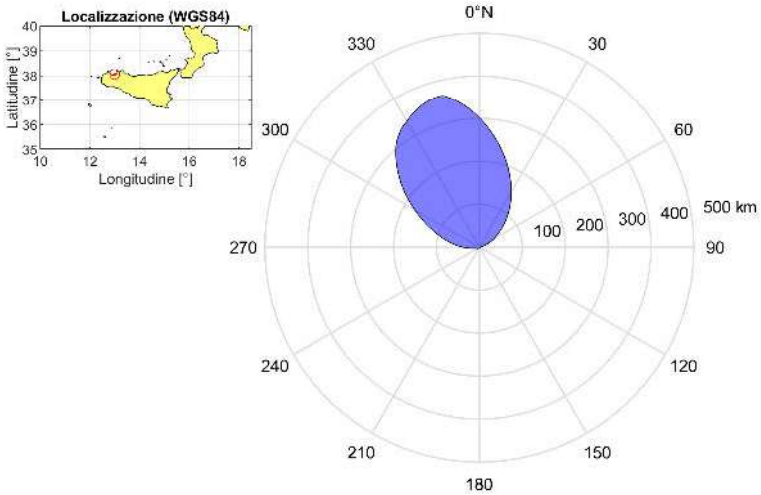


Figura 2: Fetch efficace.

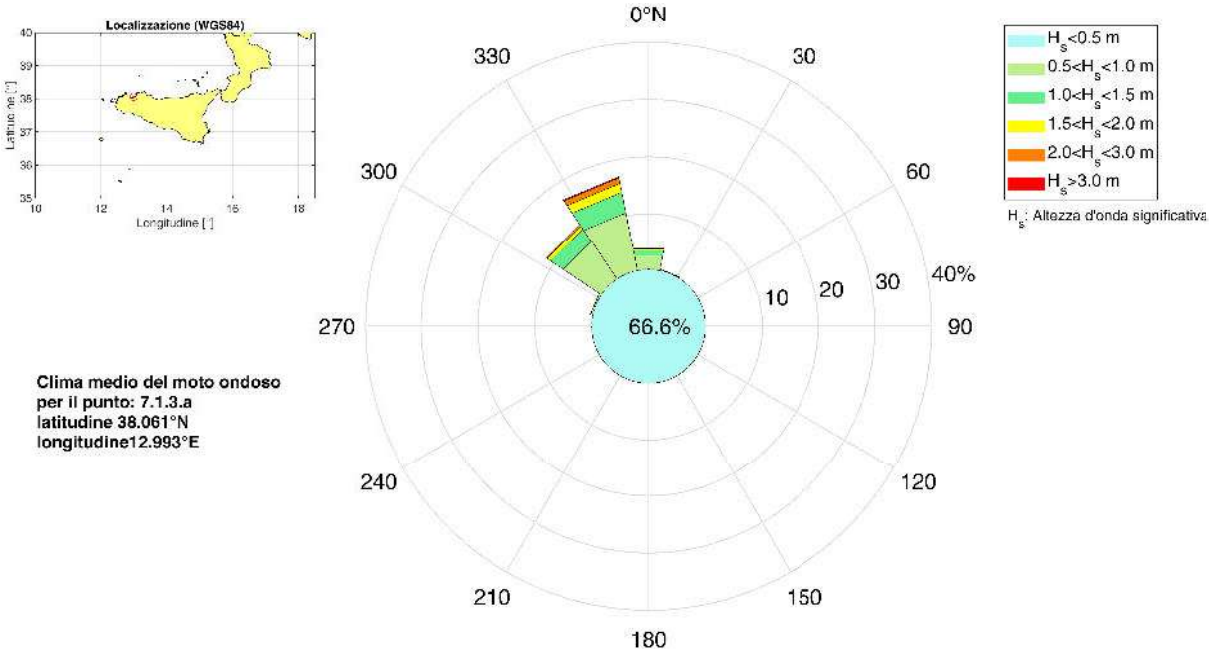


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	14.98	2.64	0.89	0.29	0.06	-
22.5	8.58	0.24	0.01	-	-	-
45.0	0.16	0.01	-	-	-	-
67.5	0.06	-	-	-	-	-
90.0	0.05	-	-	-	-	-
112.5	0.08	-	-	-	-	-
135.0	0.19	-	-	-	-	-
157.5	0.40	-	-	-	-	-
180.0	0.69	-	-	-	-	-
202.5	0.89	-	-	-	-	-
225.0	0.66	-	-	-	-	-
247.5	0.60	0.03	-	-	-	-
270.0	0.87	0.07	-	-	-	-
292.5	1.75	0.43	0.02	-	-	-
315.0	15.97	8.08	2.67	0.74	0.20	-
337.5	20.71	10.53	3.67	1.60	0.99	0.19

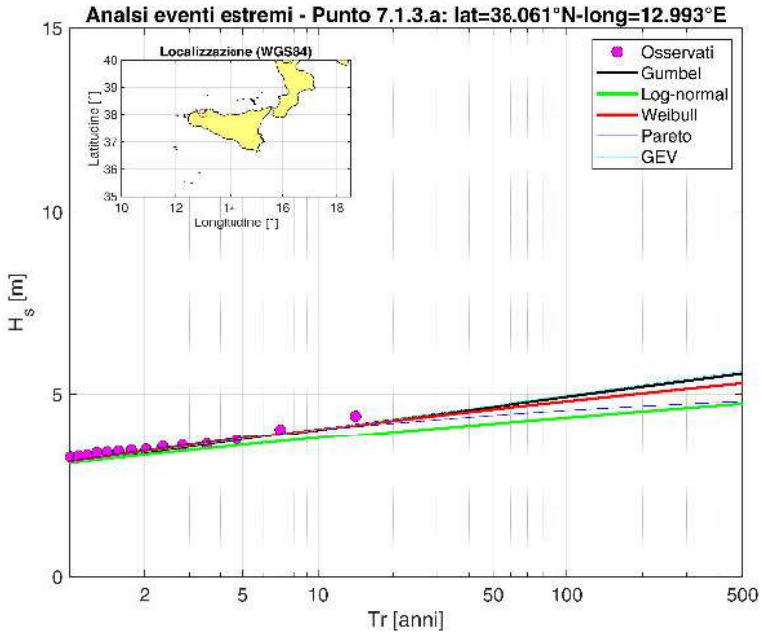


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	96	6.857	2.595	0.505	4.41
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10779	0.11440	0.12313	0.13676	0.16408
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07868	0.05874	0.11041	0.05719	0.07745

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.540	2.368	0.771	1.892	1.409	0.937	0.181	2.000	0.720	-0.209	2.367	0.390	-0.008

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.38	3.42	3.32	3.45	3.38
5	3.75	3.78	3.59	3.80	3.76
10	4.03	4.04	3.78	4.02	4.04
50	4.67	4.59	4.20	4.43	4.70
100	4.94	4.81	4.37	4.56	4.98
500	5.57	5.31	4.75	4.82	5.65

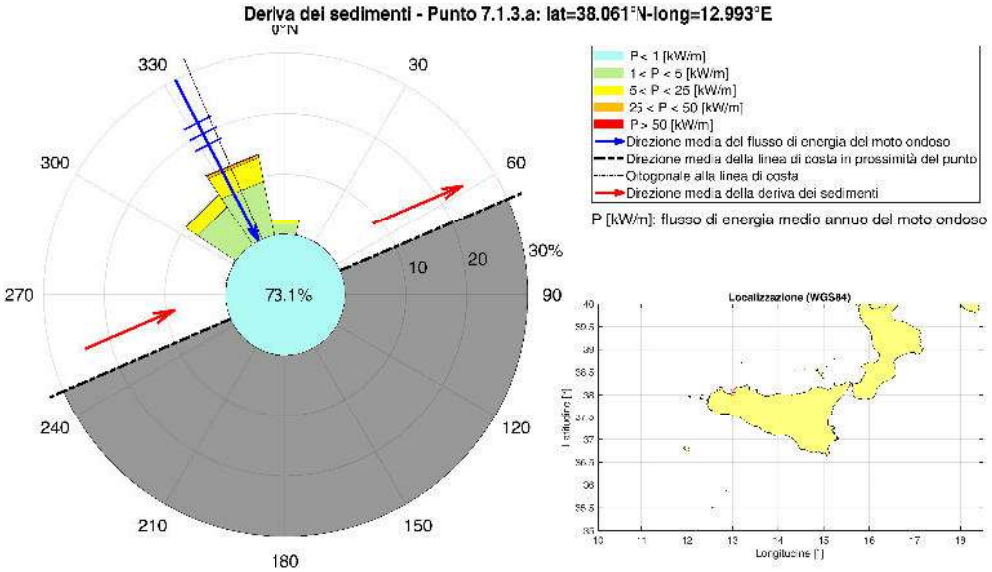


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
7
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 7.2.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

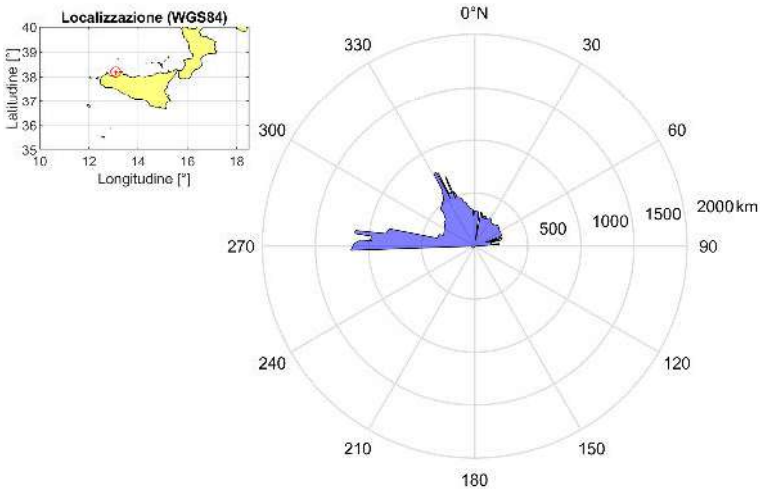


Figura 1: Fetch geografico.

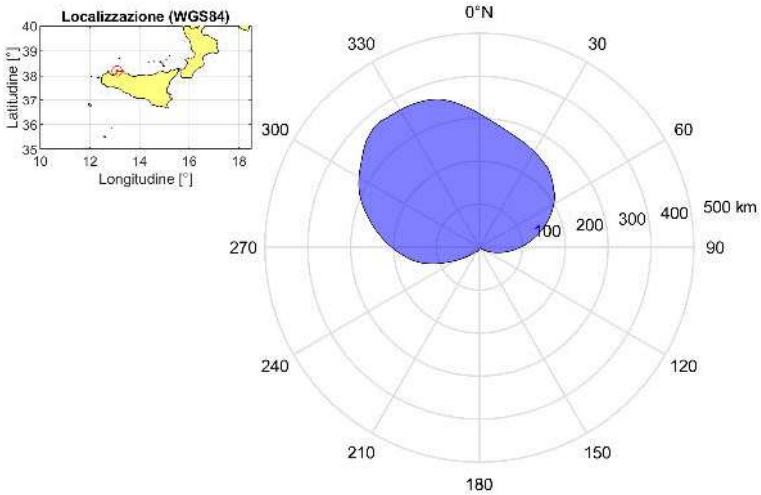


Figura 2: Fetch efficace.

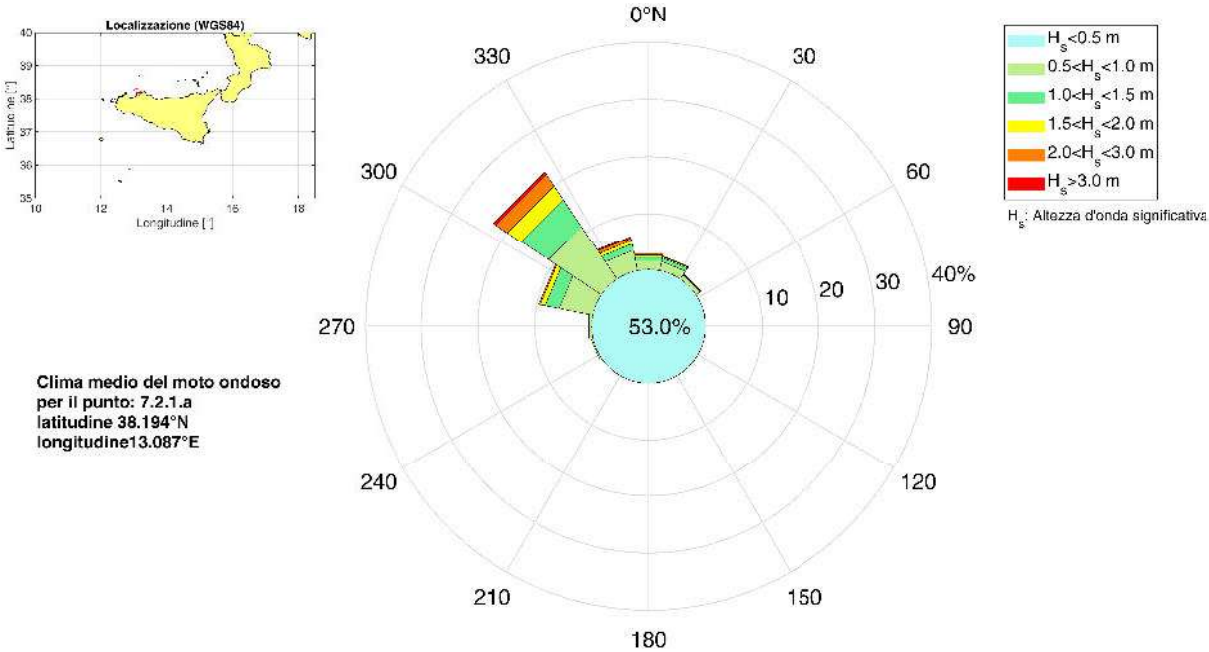


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	6.29	1.68	0.70	0.43	0.25	0.05
22.5	6.29	1.66	0.60	0.24	0.10	-
45.0	7.96	0.93	0.11	0.01	-	-
67.5	1.19	0.05	-	-	-	-
90.0	0.22	0.03	-	-	-	-
112.5	0.14	0.02	-	-	-	-
135.0	0.08	-	-	-	-	-
157.5	0.13	-	-	-	-	-
180.0	0.17	0.01	-	-	-	-
202.5	0.31	-	-	-	-	-
225.0	0.92	0.16	-	-	-	-
247.5	1.25	0.39	-	-	-	-
270.0	1.88	0.67	0.11	-	-	-
292.5	7.69	6.02	2.52	0.89	0.24	-
315.0	10.48	11.18	5.85	2.87	2.39	0.57
337.5	8.01	3.67	1.15	0.63	0.54	0.25

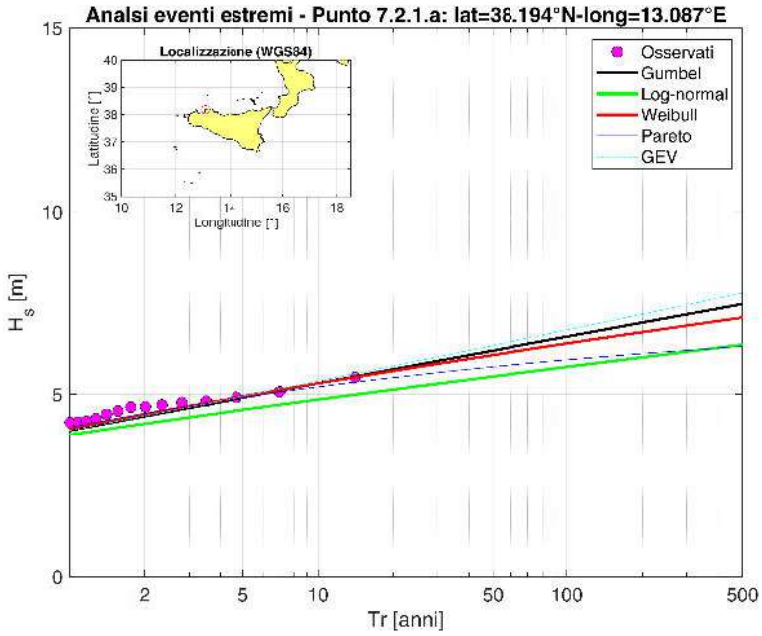


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	232	16.571	2.806	0.707	5.47
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06973	0.07399	0.07962	0.08841	0.10606
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08539	0.06730	0.08579	0.02798	0.08018

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.814	2.488	1.037	1.856	1.359	1.004	0.230	2.000	0.949	-0.175	2.486	0.538	-0.018

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.41	4.46	4.21	4.48	4.42
5	4.92	4.95	4.59	4.92	4.96
10	5.30	5.30	4.86	5.21	5.37
50	6.19	6.07	5.49	5.75	6.33
100	6.57	6.39	5.75	5.94	6.75
500	7.46	7.09	6.35	6.31	7.76

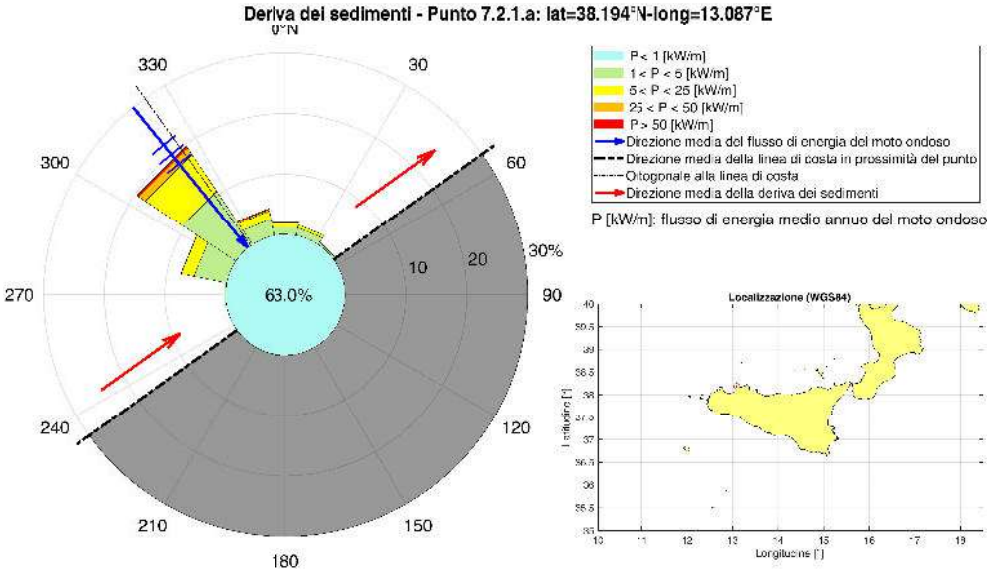


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
7
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 7.2.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

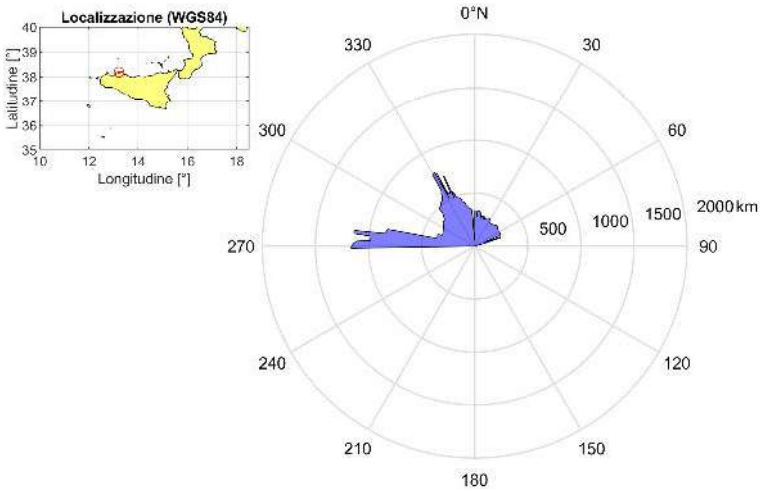


Figura 1: Fetch geografico.

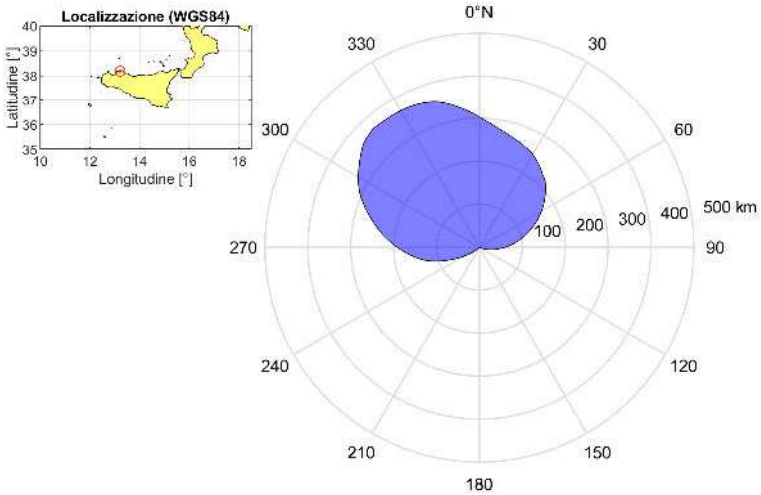


Figura 2: Fetch efficace.

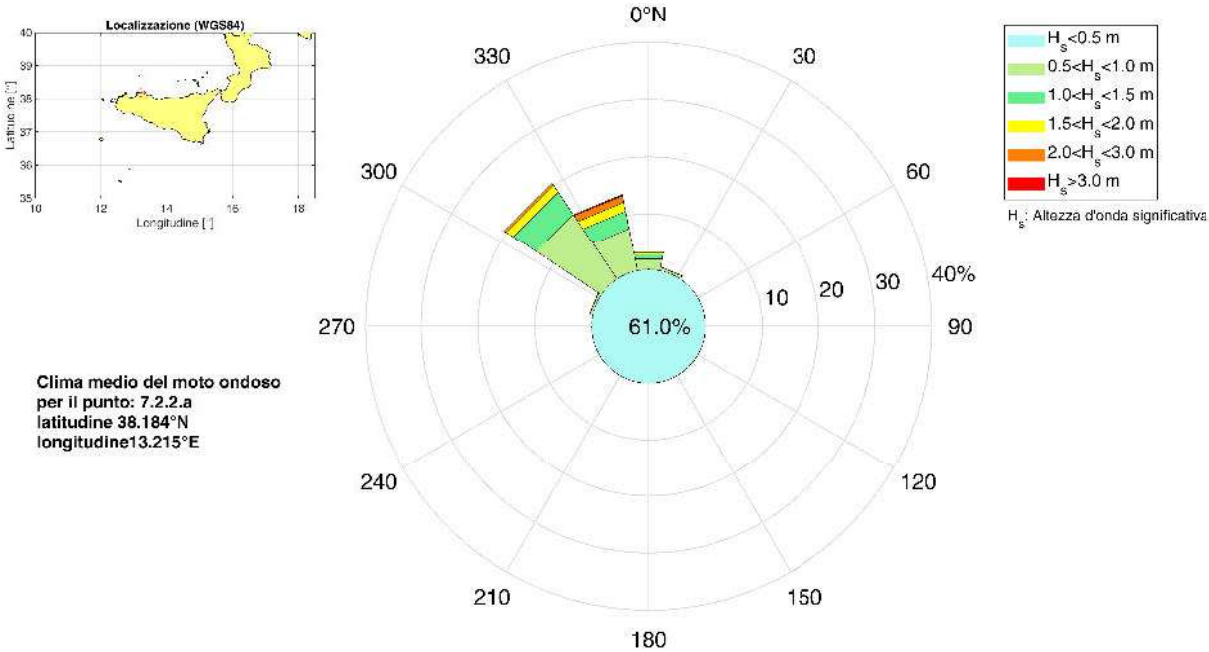


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	10.54	2.03	0.85	0.41	0.10	-
22.5	9.86	0.62	0.05	0.01	-	-
45.0	0.73	-	-	-	-	-
67.5	0.09	-	-	-	-	-
90.0	0.08	-	-	-	-	-
112.5	0.11	-	-	-	-	-
135.0	0.13	-	-	-	-	-
157.5	0.18	-	-	-	-	-
180.0	0.17	-	-	-	-	-
202.5	0.25	-	-	-	-	-
225.0	0.39	-	-	-	-	-
247.5	0.38	-	-	-	-	-
270.0	0.49	0.03	-	-	-	-
292.5	3.69	0.59	0.03	-	-	-
315.0	19.14	13.85	4.80	1.48	0.34	-
337.5	14.76	7.67	3.13	1.62	1.20	0.19

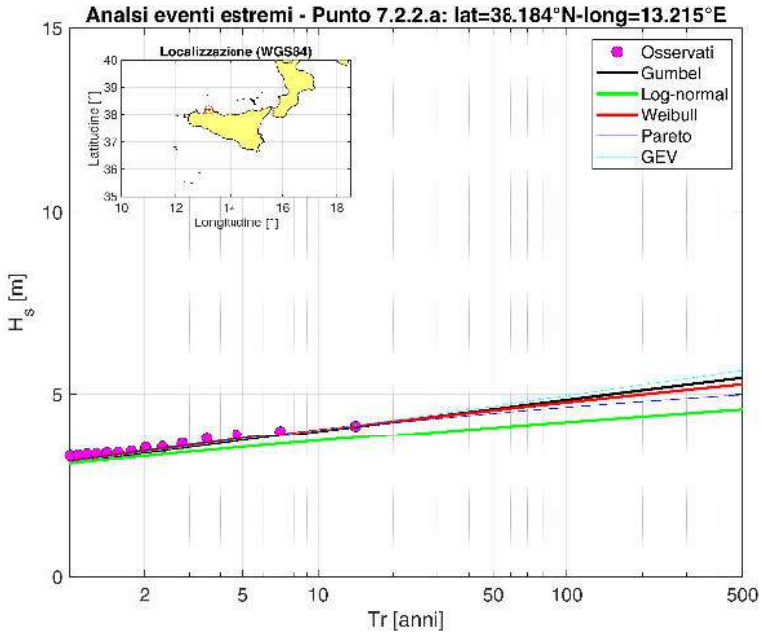


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	128	9.143	2.523	0.480	4.13
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09354	0.09928	0.10684	0.11866	0.14236
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09742	0.08108	0.10470	0.04578	0.09147

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.675	2.307	0.695	1.885	1.345	0.910	0.175	2.000	0.595	-0.135	2.306	0.363	-0.021

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.38	3.42	3.29	3.43	3.38
5	3.73	3.77	3.53	3.78	3.75
10	3.99	4.02	3.71	4.01	4.03
50	4.60	4.56	4.09	4.48	4.68
100	4.86	4.78	4.24	4.65	4.97
500	5.46	5.28	4.59	4.99	5.66

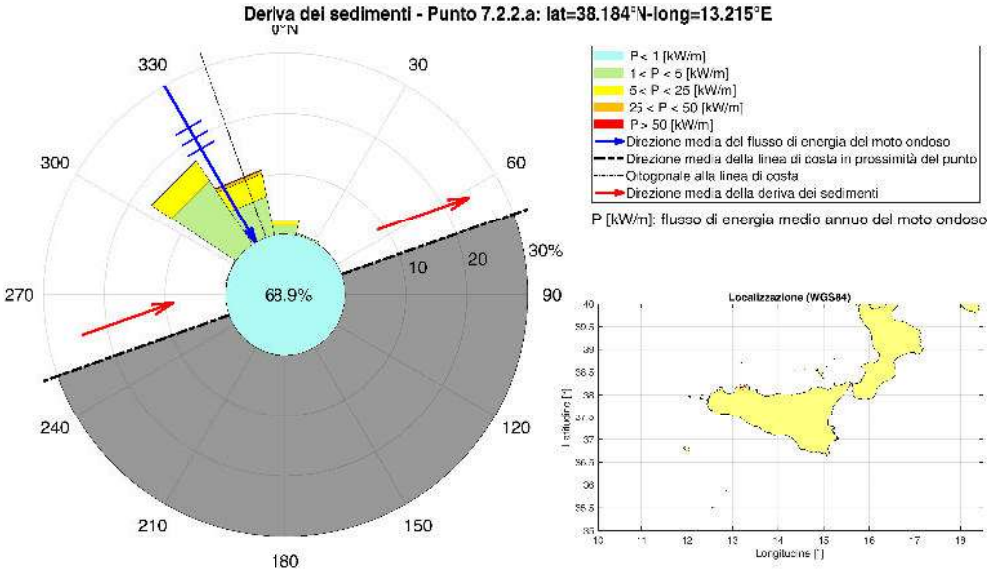


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
7
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 7.2.3.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

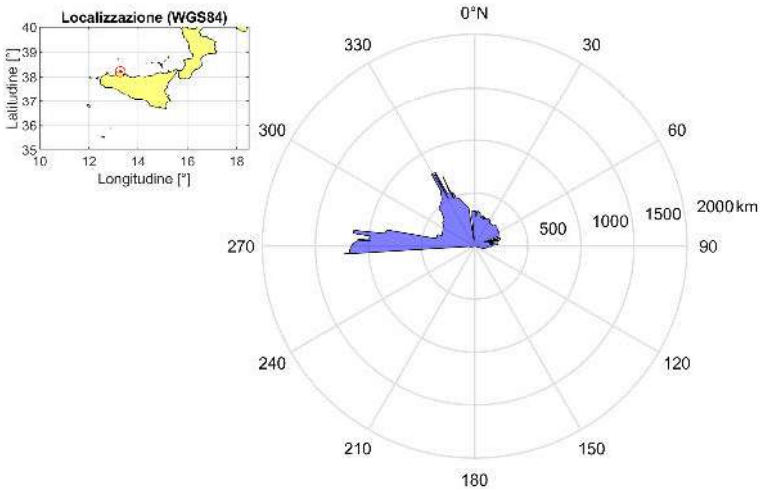


Figura 1: Fetch geografico.

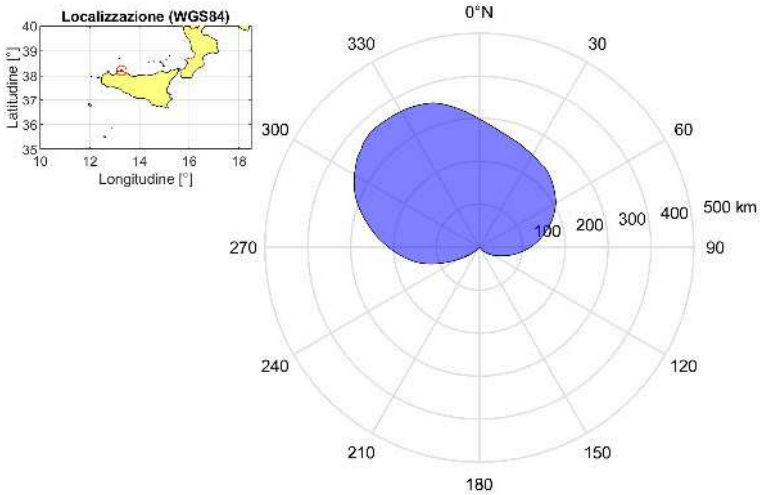


Figura 2: Fetch efficace.

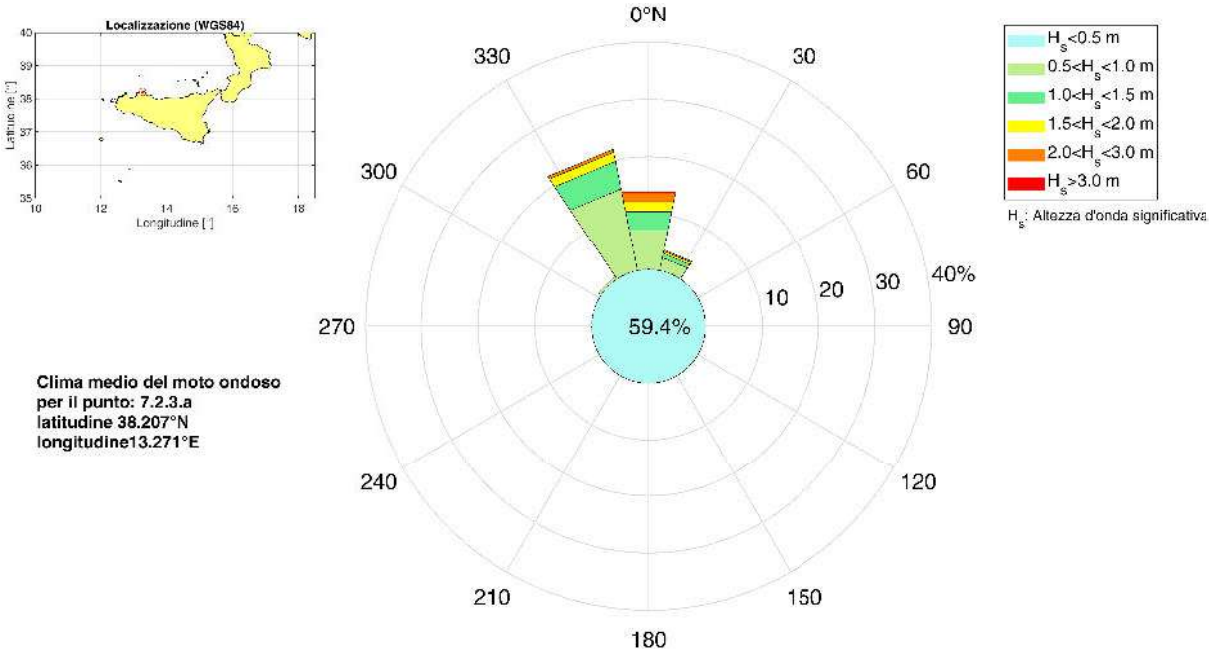


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	15.51	7.44	3.30	1.83	1.50	0.34
22.5	10.84	2.31	0.75	0.39	0.24	0.01
45.0	3.95	0.07	-	-	-	-
67.5	0.11	-	-	-	-	-
90.0	0.07	-	-	-	-	-
112.5	0.13	-	-	-	-	-
135.0	0.15	-	-	-	-	-
157.5	0.20	-	-	-	-	-
180.0	0.14	-	-	-	-	-
202.5	0.14	-	-	-	-	-
225.0	0.12	-	-	-	-	-
247.5	0.15	-	-	-	-	-
270.0	0.17	-	-	-	-	-
292.5	0.90	0.01	-	-	-	-
315.0	4.21	0.50	-	-	-	-
337.5	22.61	14.81	4.94	1.62	0.53	-

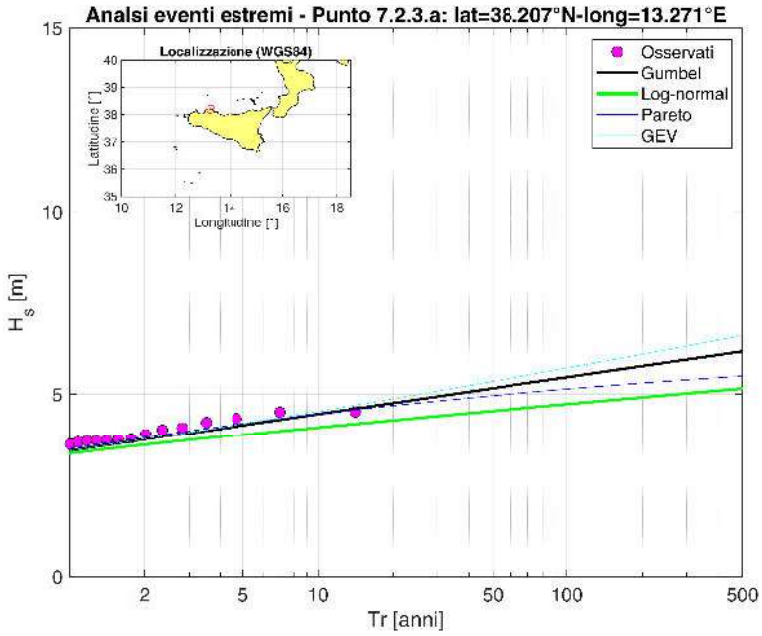


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	164	11.714	2.629	0.562	4.52
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08277	0.08784	0.09453	0.10498	0.12594
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08954	0.05682	0.11858	0.04196	0.07894

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.284	2.376	0.767	1.918	1.275	0.947	0.194	2.000	0.726	-0.151	2.373	0.417	-0.035

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.75	3.81	3.60	3.82	3.76
5	4.15	4.22	3.89	4.20	4.20
10	4.46	4.53	4.09	4.46	4.54
50	5.17	5.20	4.55	4.97	5.36
100	5.47	5.47	4.73	5.15	5.72
500	6.18	6.09	5.16	5.50	6.61

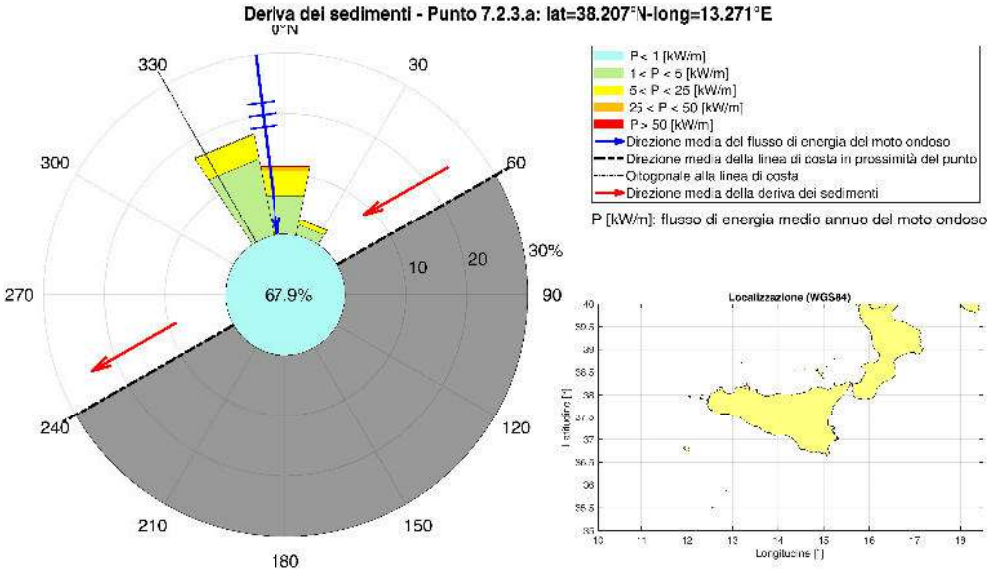


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
7
Unità fisiografica di II ordine
3
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 7.3.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

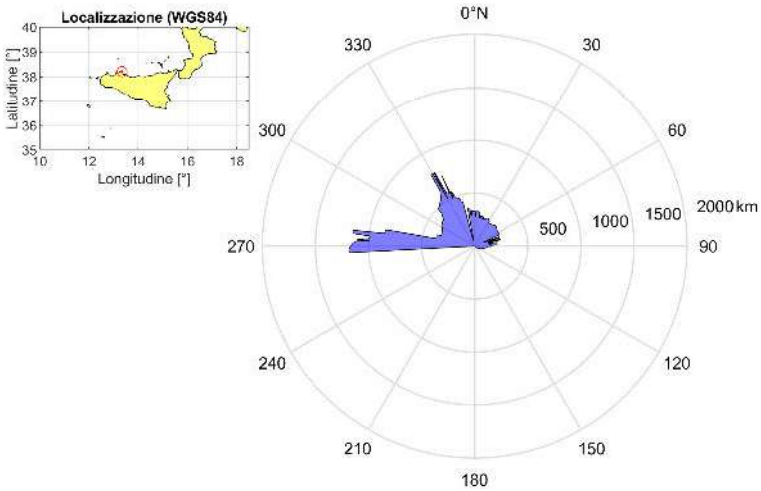


Figura 1: Fetch geografico.

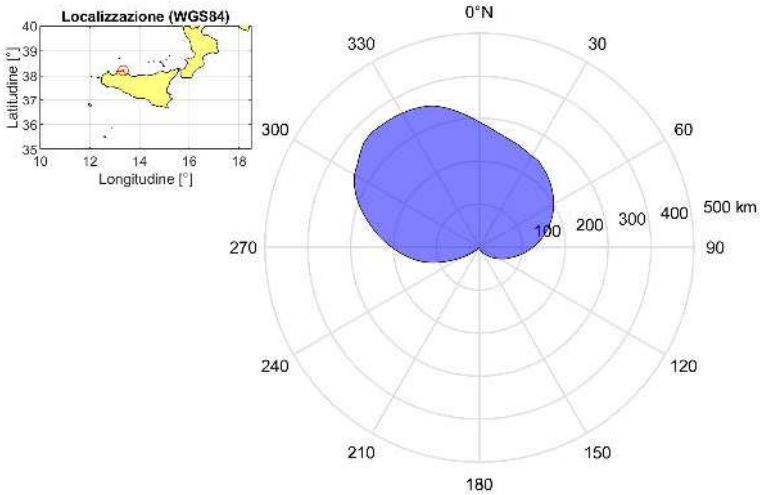


Figura 2: Fetch efficace.

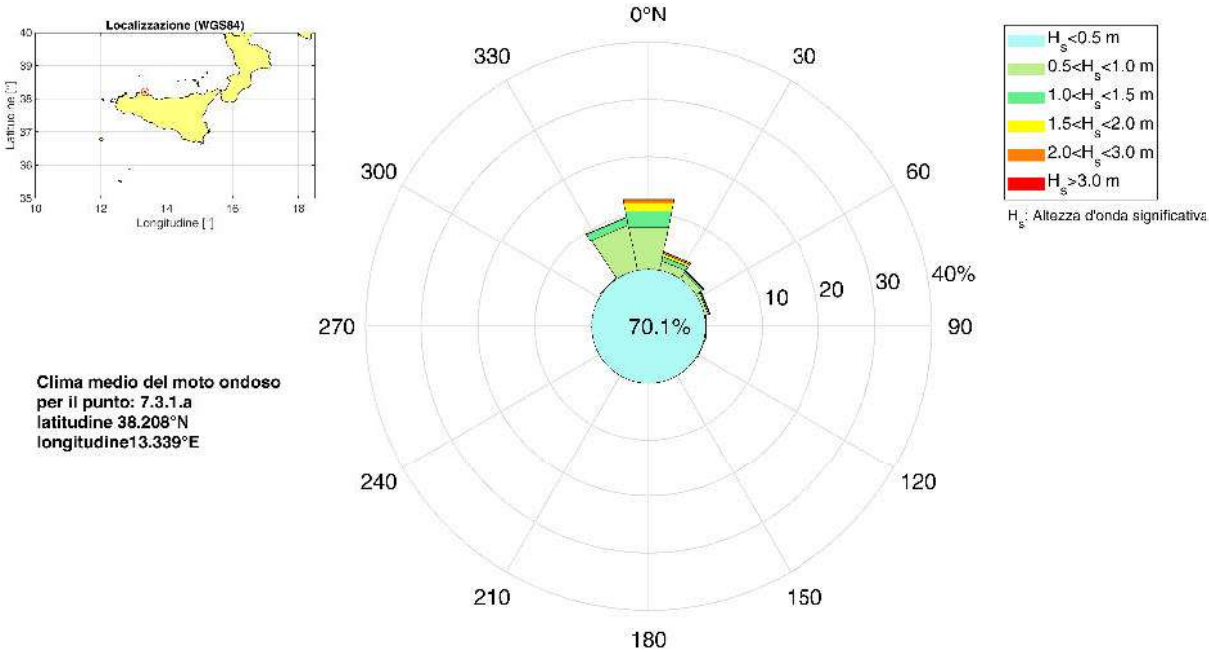


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	17.85	7.93	2.94	1.40	0.62	0.12
22.5	5.85	1.69	0.80	0.50	0.30	0.06
45.0	4.73	1.18	0.38	0.13	0.10	0.01
67.5	5.51	0.68	0.23	0.08	0.04	0.01
90.0	2.19	0.27	0.03	-	-	-
112.5	1.63	0.26	0.01	-	-	-
135.0	0.52	0.01	-	-	-	-
157.5	0.39	-	-	-	-	-
180.0	0.20	-	-	-	-	-
202.5	0.12	-	-	-	-	-
225.0	0.06	-	-	-	-	-
247.5	0.09	-	-	-	-	-
270.0	0.09	-	-	-	-	-
292.5	0.21	0.01	-	-	-	-
315.0	1.28	0.27	-	-	-	-
337.5	29.40	8.38	1.36	0.08	-	-

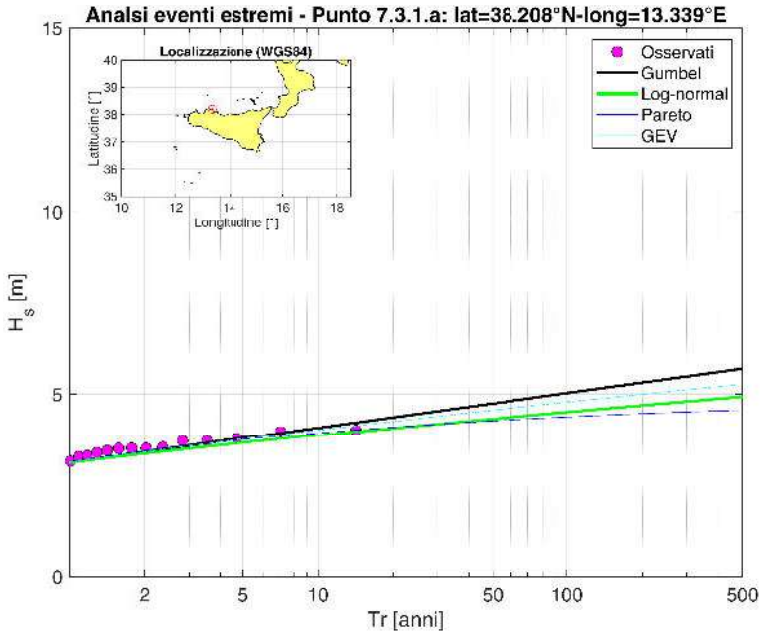


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	92	6.571	2.593	0.530	4.02
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.11007	0.11682	0.12573	0.13965	0.16756
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.13600	0.11620	0.15118	0.12056	0.13600

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.419	2.355	0.997	1.705	1.727	0.934	0.194	2.000	0.755	-0.257	2.361	0.440	0.051

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.40	3.43	3.36	3.42	3.41
5	3.79	3.76	3.66	3.74	3.76
10	4.08	3.99	3.87	3.94	4.02
50	4.75	4.46	4.33	4.28	4.57
100	5.04	4.65	4.51	4.38	4.79
500	5.70	5.05	4.94	4.57	5.28

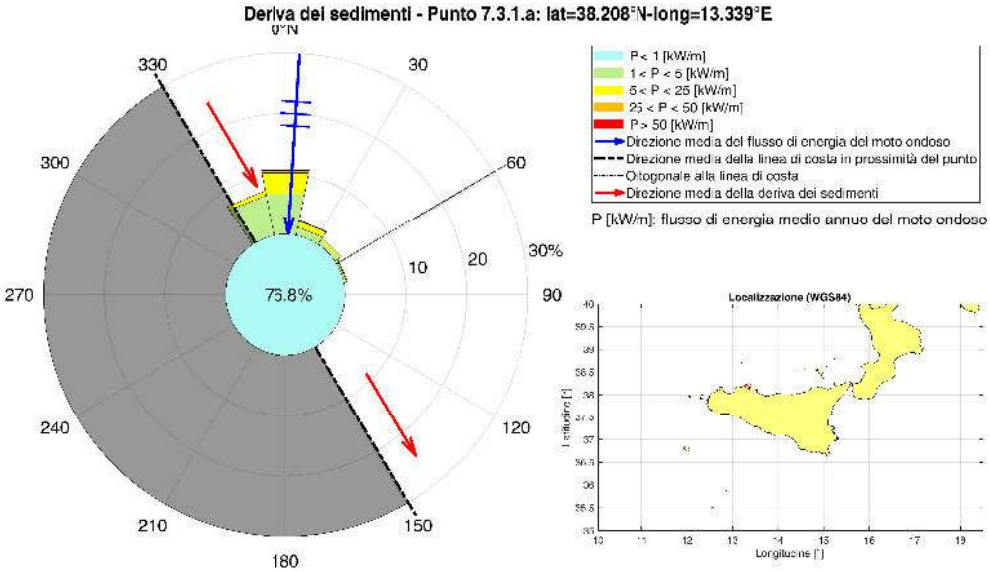


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
7
Unità fisiografica di II ordine
3
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 7.3.2.a)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

Punto griglia (identificativo: 7.3.2.b)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

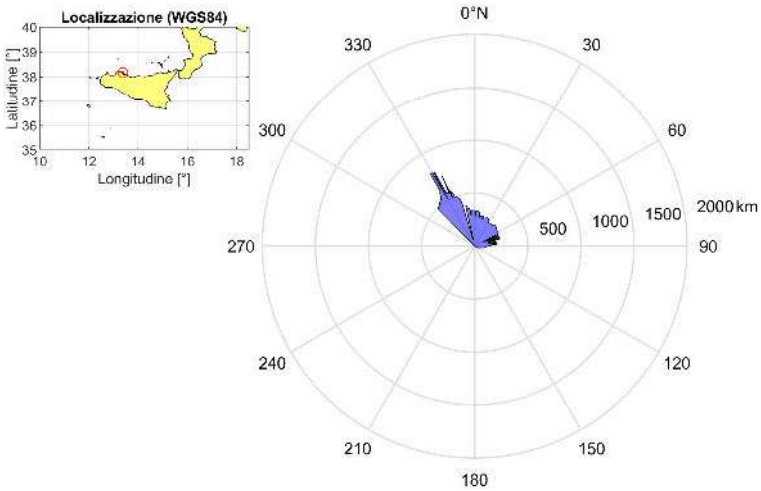


Figura 1: Fetch geografico.

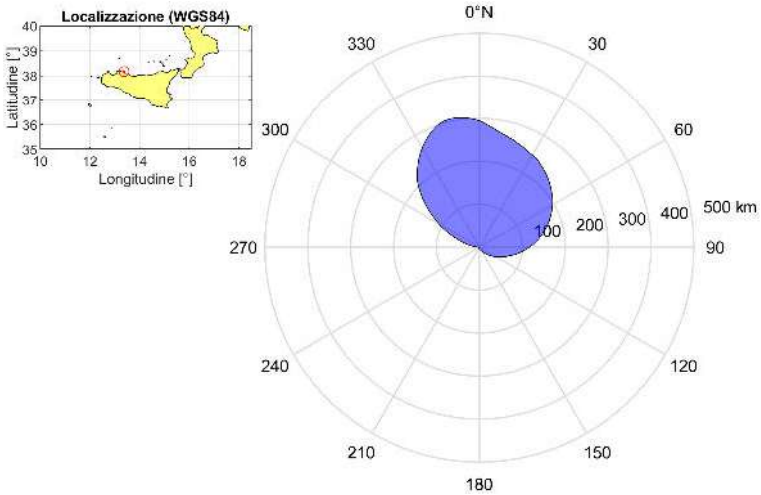


Figura 2: Fetch efficace.

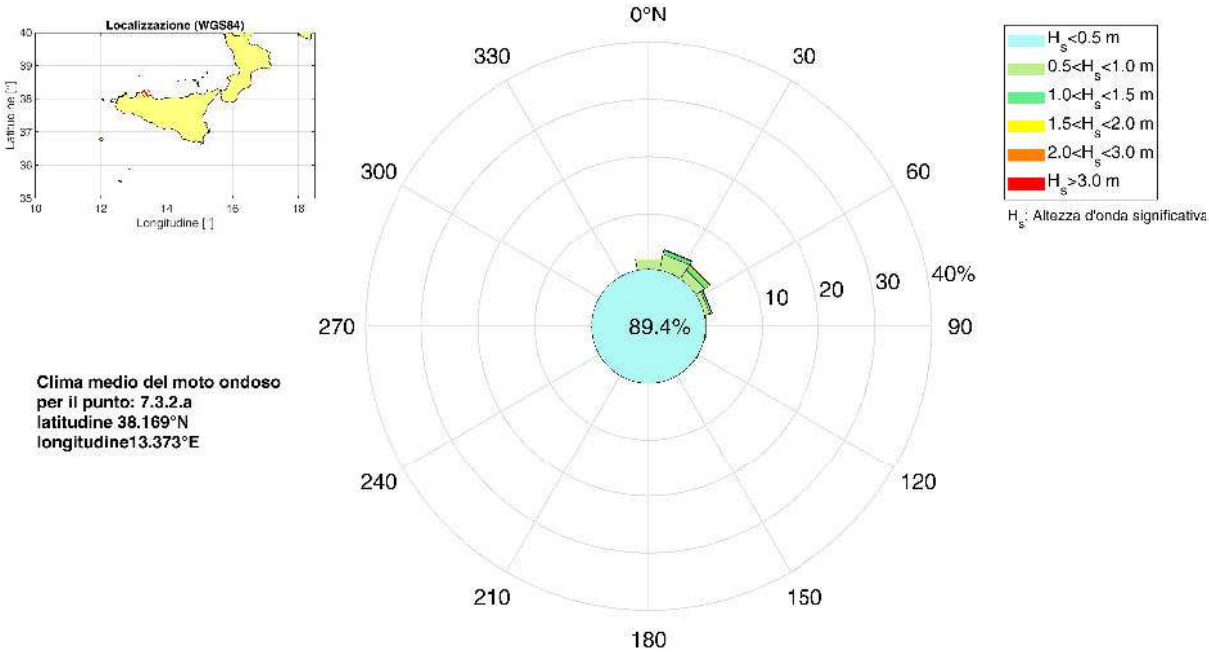


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	29.06	1.94	0.02	-	-	-
22.5	29.62	2.94	0.67	0.13	0.03	-
45.0	11.65	1.89	0.73	0.29	0.10	-
67.5	8.70	1.01	0.32	0.08	0.04	0.01
90.0	2.39	0.22	0.01	-	-	-
112.5	1.96	0.16	-	-	-	-
135.0	1.43	-	-	-	-	-
157.5	0.65	-	-	-	-	-
180.0	0.25	-	-	-	-	-
202.5	0.30	-	-	-	-	-
225.0	0.32	-	-	-	-	-
247.5	0.25	-	-	-	-	-
270.0	0.21	-	-	-	-	-
292.5	0.27	-	-	-	-	-
315.0	0.54	-	-	-	-	-
337.5	1.79	-	-	-	-	-

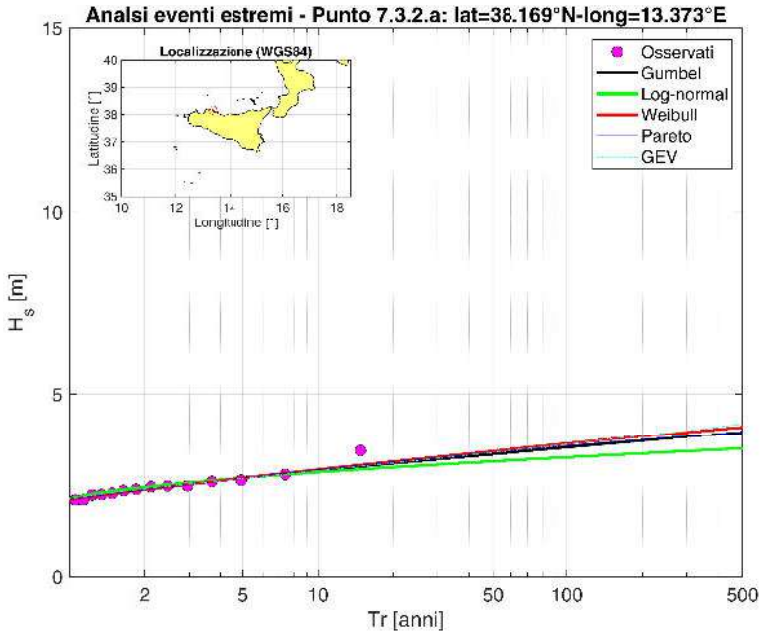


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	18	1.286	2.365	0.348	3.43
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.24360	0.25801	0.27851	0.30936	0.37062
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10696	0.10473	0.12015	0.11731	0.11985

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.692	2.208	0.413	1.970	1.137	0.852	0.135	2.000	0.397	-0.087	2.205	0.247	-0.066

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.40	2.36	2.43	2.36	2.38
5	2.69	2.68	2.69	2.68	2.67
10	2.89	2.91	2.84	2.91	2.88
50	3.33	3.42	3.14	3.38	3.38
100	3.52	3.63	3.25	3.57	3.61
500	3.96	4.10	3.50	3.96	4.19

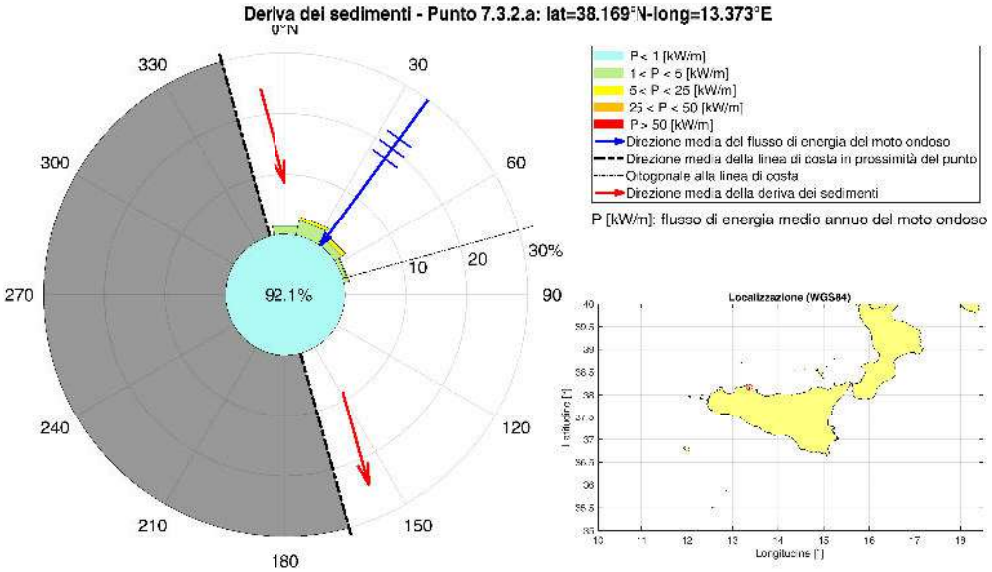


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

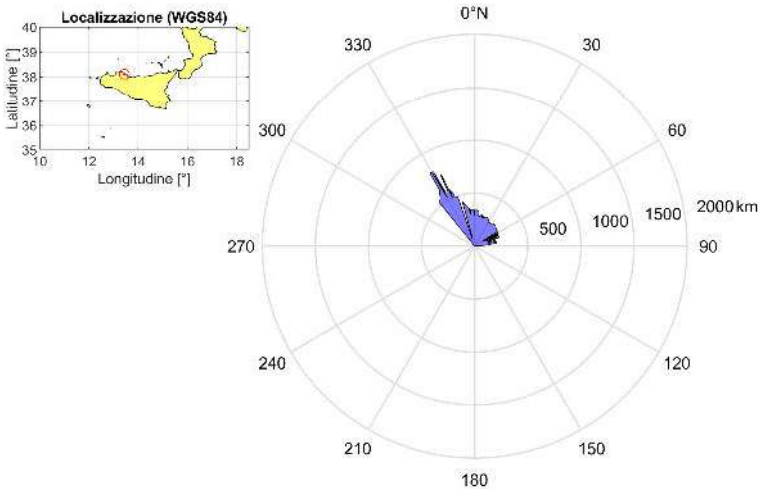


Figura 6: Fetch geografico.

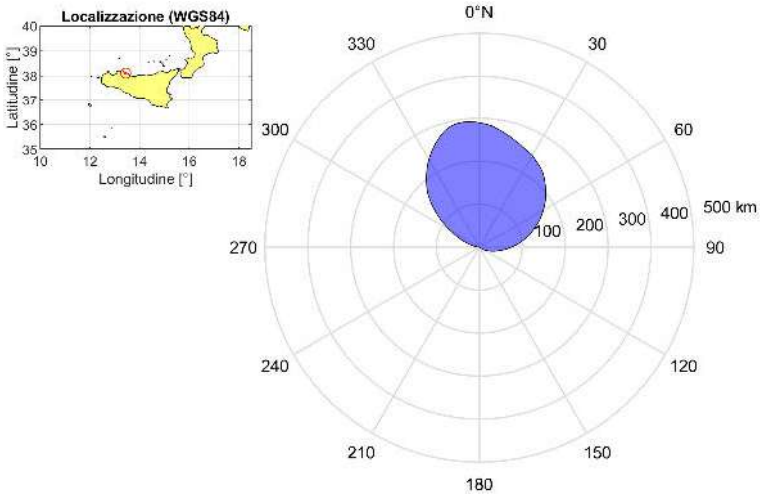


Figura 7: Fetch efficace.

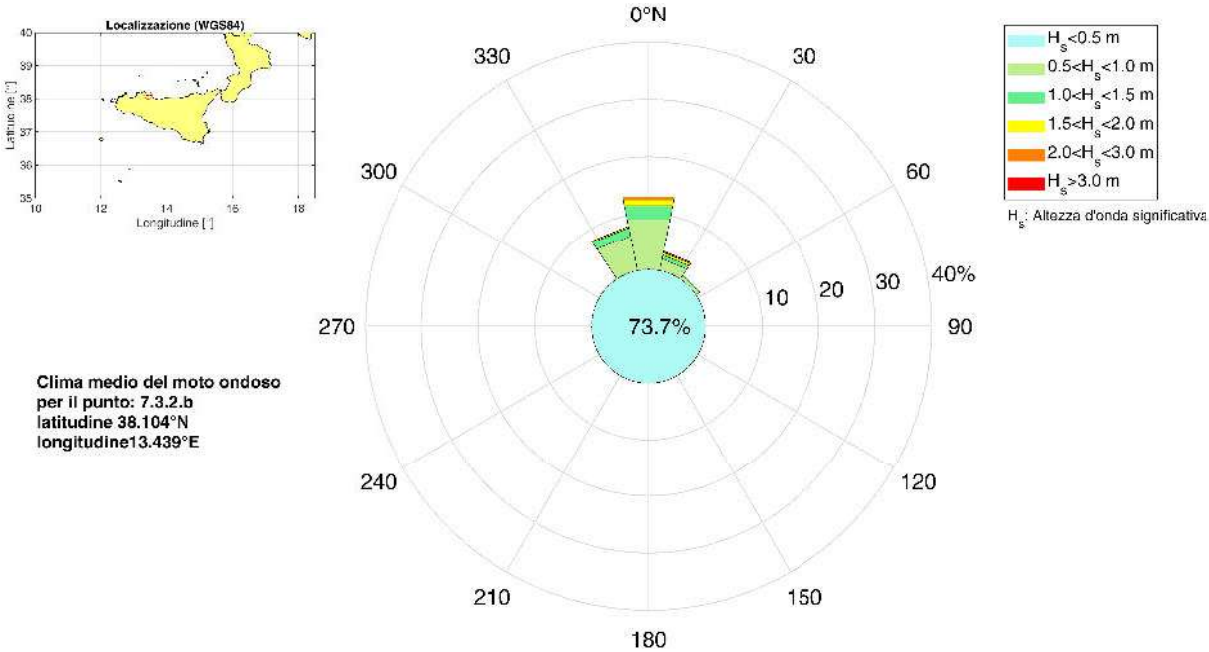


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	31.48	9.26	2.57	1.05	0.48	0.06
22.5	10.80	2.10	0.69	0.44	0.24	0.01
45.0	8.39	0.71	0.13	0.01	-	-
67.5	2.08	0.03	-	-	-	-
90.0	0.22	-	-	-	-	-
112.5	0.28	-	-	-	-	-
135.0	0.28	-	-	-	-	-
157.5	0.35	-	-	-	-	-
180.0	0.49	-	-	-	-	-
202.5	0.32	-	-	-	-	-
225.0	0.18	-	-	-	-	-
247.5	0.14	-	-	-	-	-
270.0	0.14	-	-	-	-	-
292.5	0.28	0.02	-	-	-	-
315.0	0.95	0.33	-	-	-	-
337.5	17.30	6.34	1.55	0.26	0.02	-

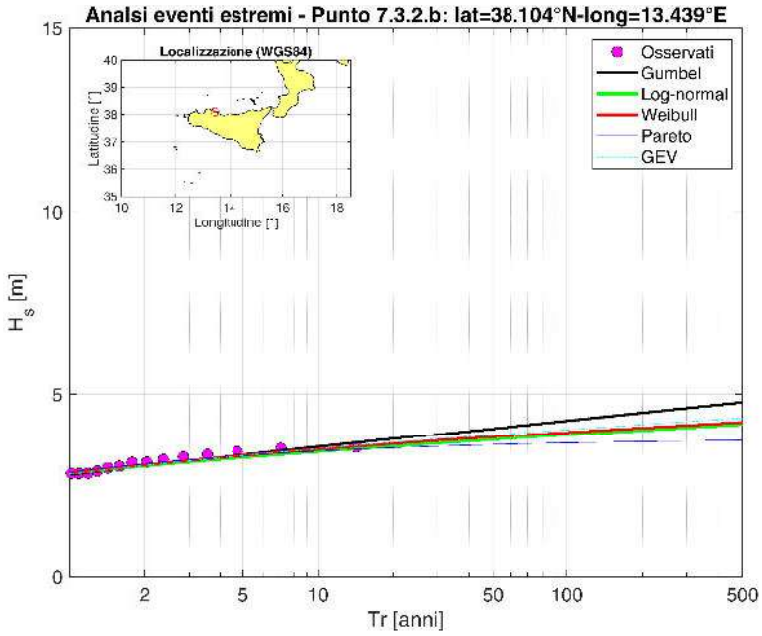


Figura 9: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	65	4.643	2.511	0.407	3.53
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.13055	0.13857	0.14915	0.16568	0.19877
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10868	0.08193	0.10583	0.08453	0.09885

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.153	2.328	0.832	1.773	1.886	0.908	0.156	2.000	0.732	-0.408	2.336	0.348	0.079

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.02	3.05	3.01	3.07	3.03
5	3.32	3.30	3.24	3.30	3.30
10	3.54	3.47	3.40	3.42	3.49
50	4.06	3.82	3.74	3.60	3.88
100	4.28	3.95	3.88	3.65	4.03
500	4.79	4.24	4.18	3.72	4.35

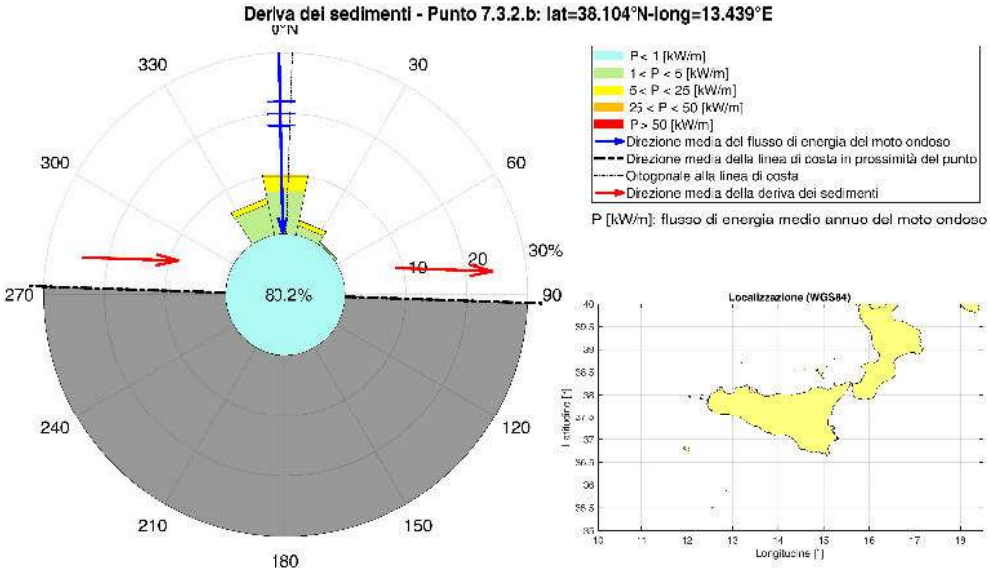


Figura 10: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
8
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 8.1.1.a)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

Punto griglia (identificativo: 8.1.1.b)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

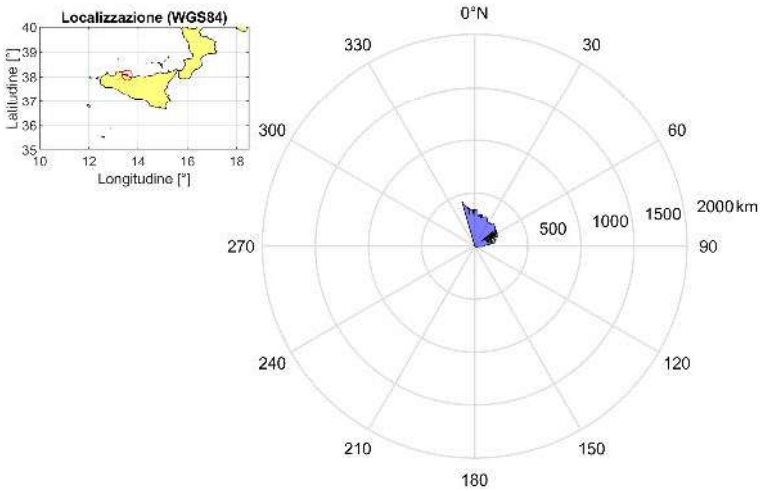


Figura 1: Fetch geografico.

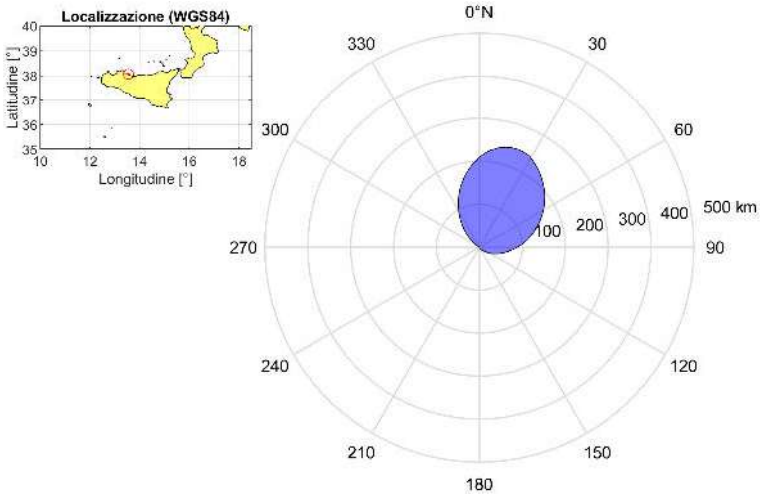


Figura 2: Fetch efficace.

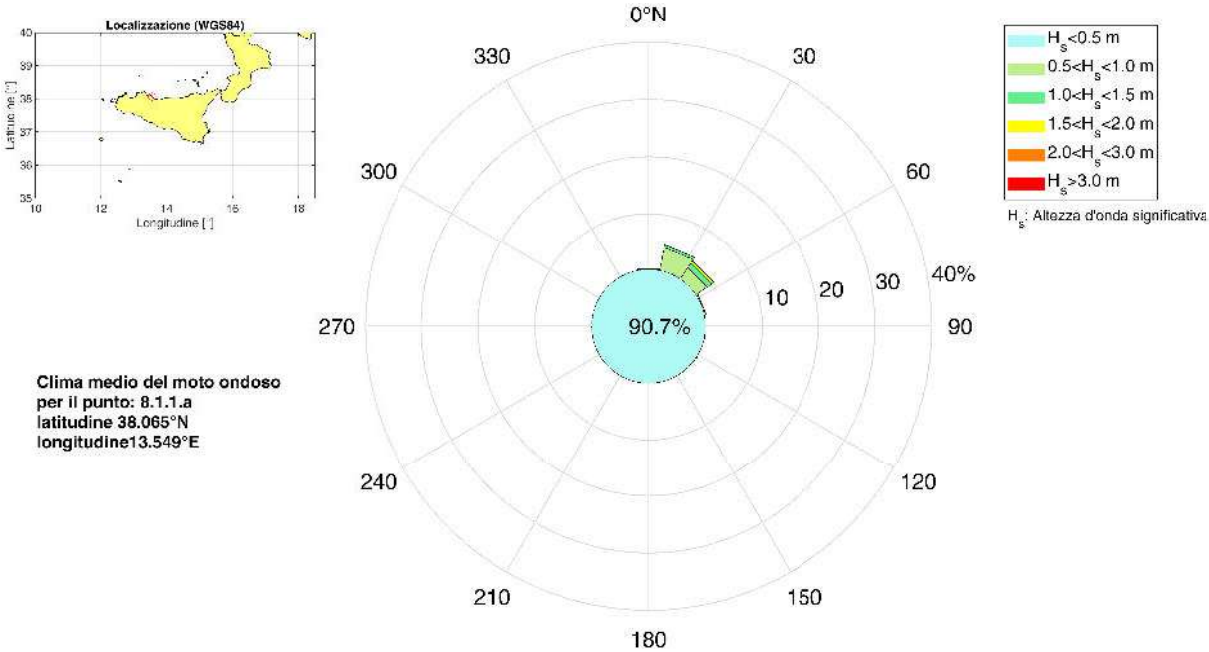


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.26	0.19	-	-	-	-
22.5	56.17	4.10	0.45	0.04	-	-
45.0	17.34	2.41	1.01	0.36	0.10	-
67.5	3.02	0.31	0.03	-	-	-
90.0	1.88	0.10	-	-	-	-
112.5	1.89	0.12	-	-	-	-
135.0	0.91	0.01	-	-	-	-
157.5	0.77	-	-	-	-	-
180.0	0.47	-	-	-	-	-
202.5	0.35	-	-	-	-	-
225.0	0.32	-	-	-	-	-
247.5	0.30	-	-	-	-	-
270.0	0.27	-	-	-	-	-
292.5	0.27	-	-	-	-	-
315.0	0.55	-	-	-	-	-
337.5	0.97	0.01	-	-	-	-

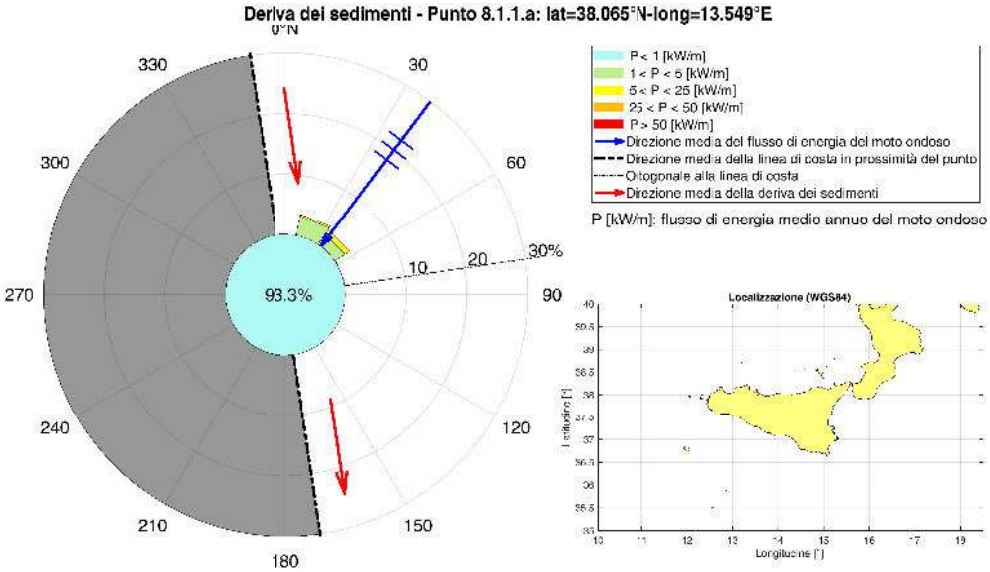


Figura 4: Deriva dei sedimenti.

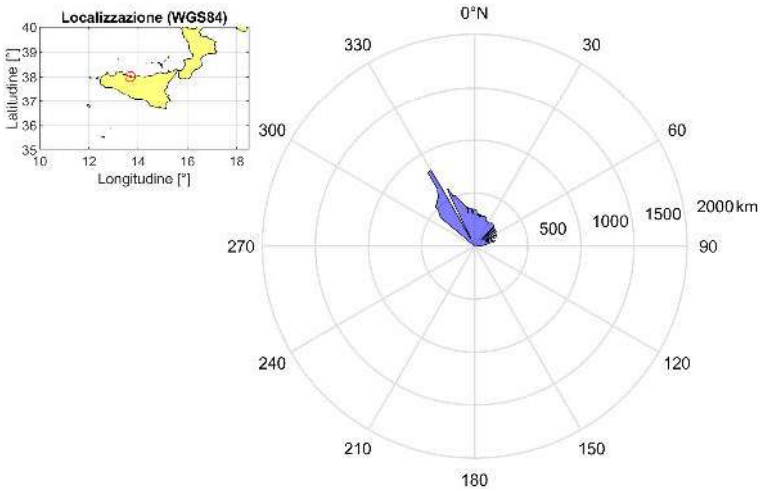


Figura 5: Fetch geografico.

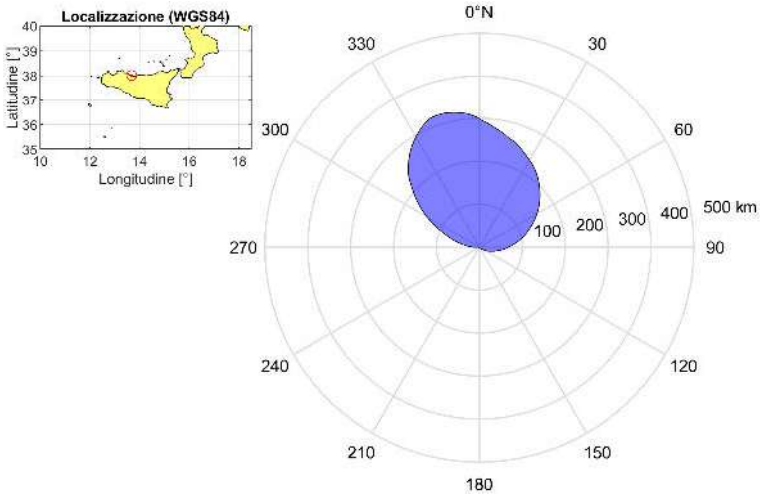


Figura 6: Fetch efficace.

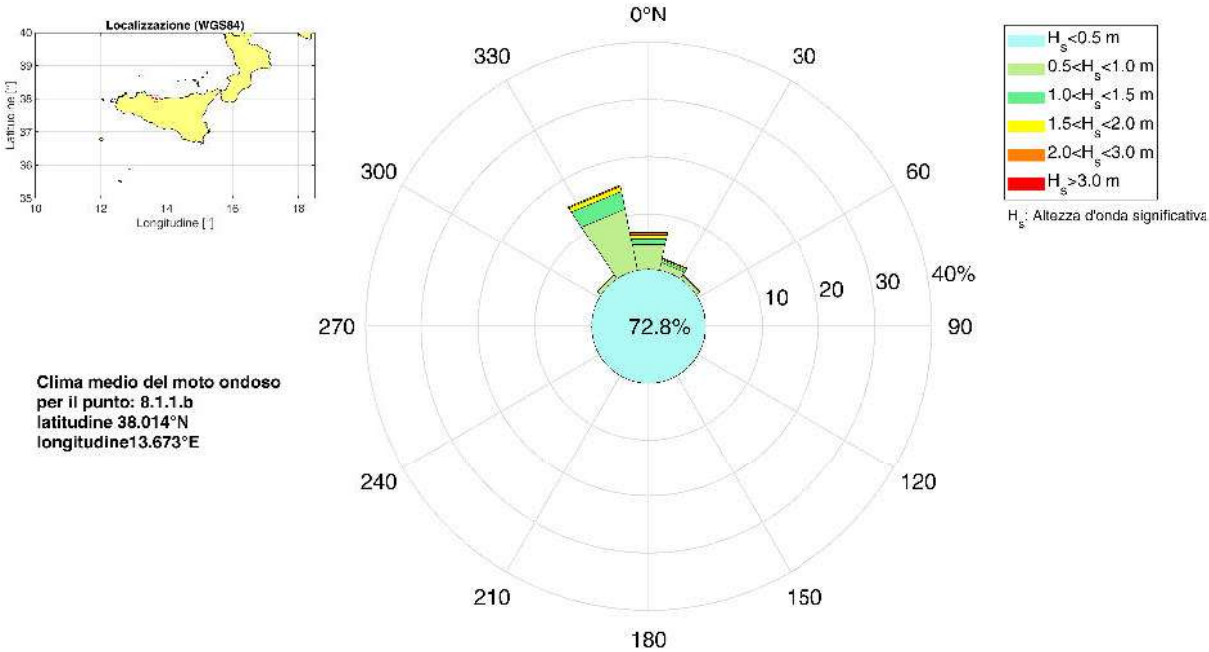


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 2: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	22.21	4.56	1.34	0.69	0.48	0.09
22.5	8.65	1.37	0.46	0.23	0.15	0.01
45.0	6.47	0.79	0.18	0.03	0.01	-
67.5	1.59	0.08	-	-	-	-
90.0	0.85	0.07	-	-	-	-
112.5	0.70	0.08	-	-	-	-
135.0	0.58	0.01	-	-	-	-
157.5	0.66	-	-	-	-	-
180.0	0.68	-	-	-	-	-
202.5	0.36	-	-	-	-	-
225.0	0.17	-	-	-	-	-
247.5	0.14	-	-	-	-	-
270.0	0.15	0.02	-	-	-	-
292.5	0.26	0.05	-	-	-	-
315.0	1.72	0.92	0.03	-	-	-
337.5	27.62	11.26	3.16	0.87	0.22	0.01

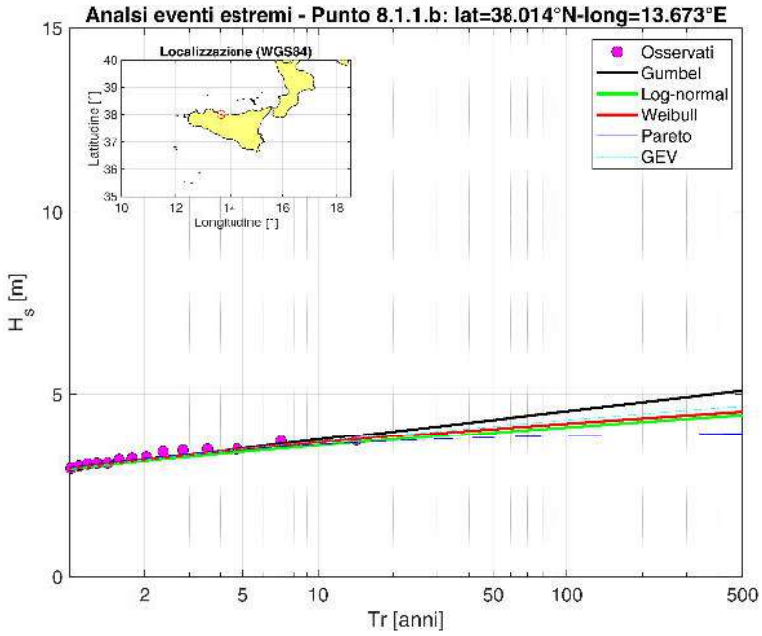


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 3: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	72	5.143	2.567	0.448	3.72
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12416	0.13179	0.14184	0.15756	0.18903
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.12611	0.10625	0.13747	0.09174	0.12440

Tabella 4: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.866	2.366	0.884	1.782	1.818	0.929	0.167	2.000	0.805	-0.400	2.373	0.378	0.067

Tabella 5: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.16	3.19	3.14	3.22	3.17
5	3.49	3.47	3.40	3.46	3.47
10	3.74	3.66	3.57	3.60	3.68
50	4.30	4.05	3.95	3.79	4.12
100	4.54	4.20	4.10	3.85	4.30
500	5.11	4.53	4.44	3.92	4.68

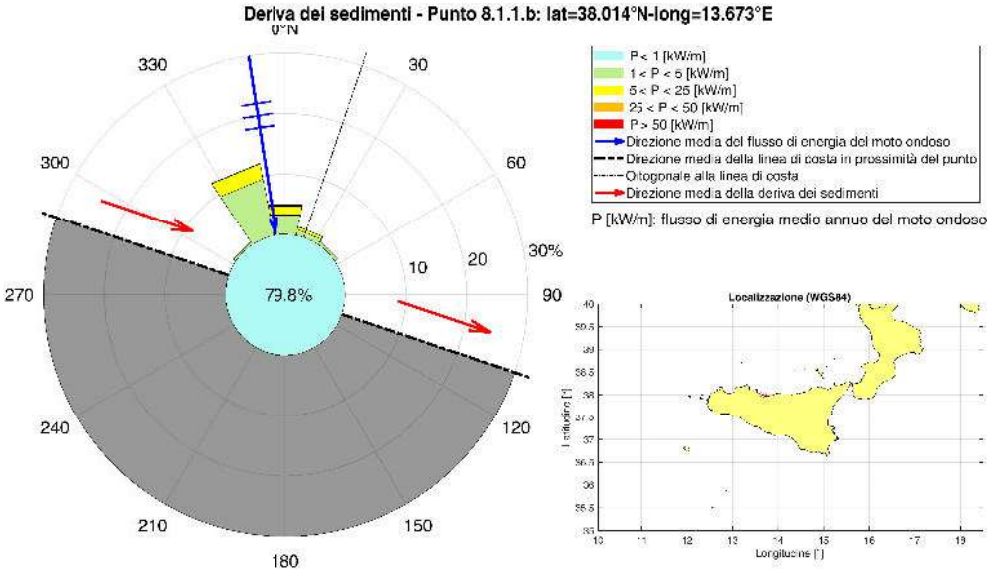


Figura 9: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
8
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 8.1.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

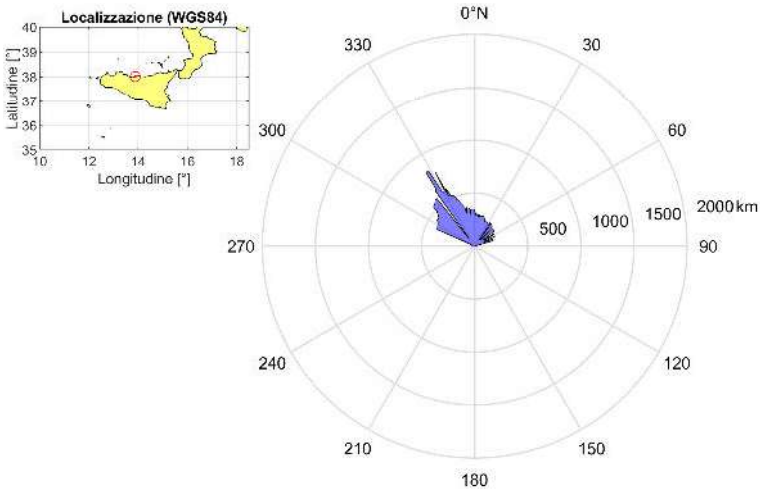


Figura 1: Fetch geografico.

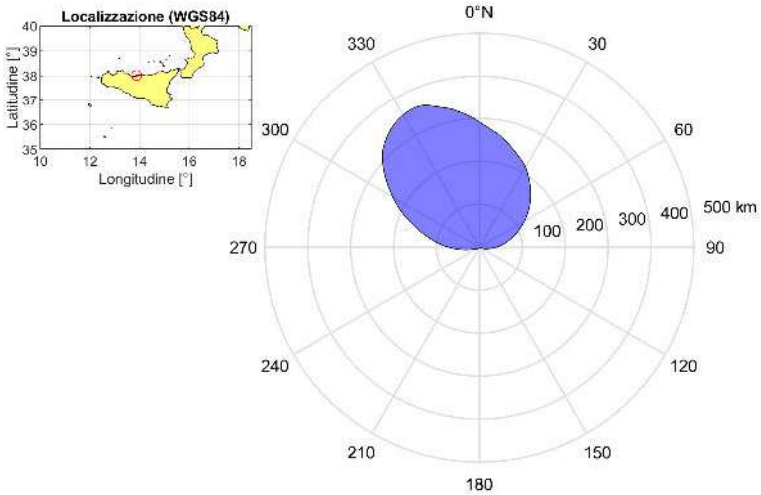


Figura 2: Fetch efficace.

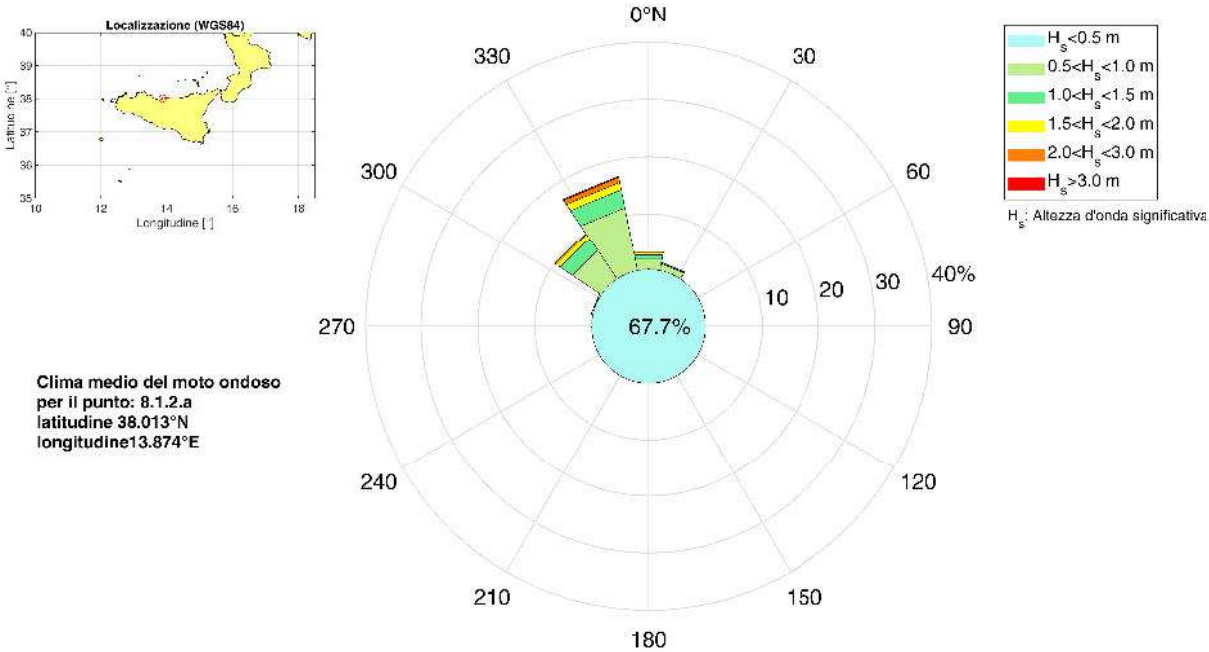


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	11.73	2.00	0.73	0.46	0.18	-
22.5	9.22	1.23	0.17	0.06	0.01	-
45.0	3.27	0.11	-	-	-	-
67.5	0.68	0.01	-	-	-	-
90.0	0.16	0.01	-	-	-	-
112.5	0.22	0.01	-	-	-	-
135.0	0.31	-	-	-	-	-
157.5	0.40	0.01	-	-	-	-
180.0	0.67	0.01	-	-	-	-
202.5	0.91	-	-	-	-	-
225.0	0.56	0.01	-	-	-	-
247.5	0.34	0.01	-	-	-	-
270.0	0.49	0.05	-	-	-	-
292.5	1.01	0.33	0.02	-	-	-
315.0	8.10	6.11	2.61	0.85	0.22	0.01
337.5	29.65	11.46	3.24	1.33	0.87	0.21

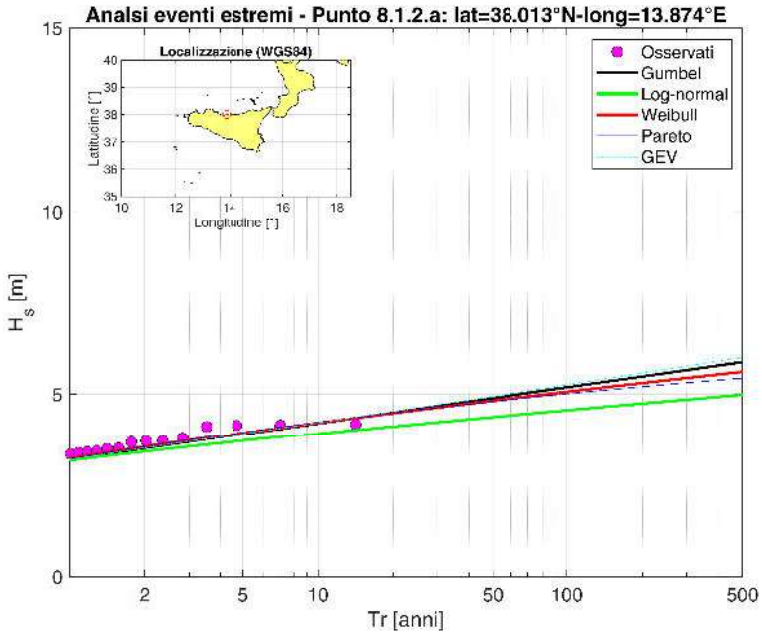


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	110	7.857	2.588	0.549	4.18
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10080	0.10698	0.11514	0.12788	0.15342
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10145	0.09450	0.12550	0.04570	0.09806

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.337	2.341	0.824	1.836	1.387	0.931	0.195	2.000	0.661	-0.122	2.340	0.421	-0.013

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.51	3.55	3.41	3.55	3.51
5	3.91	3.94	3.71	3.96	3.92
10	4.21	4.22	3.92	4.24	4.23
50	4.90	4.82	4.38	4.80	4.95
100	5.19	5.07	4.57	5.02	5.27
500	5.88	5.62	4.99	5.44	6.01

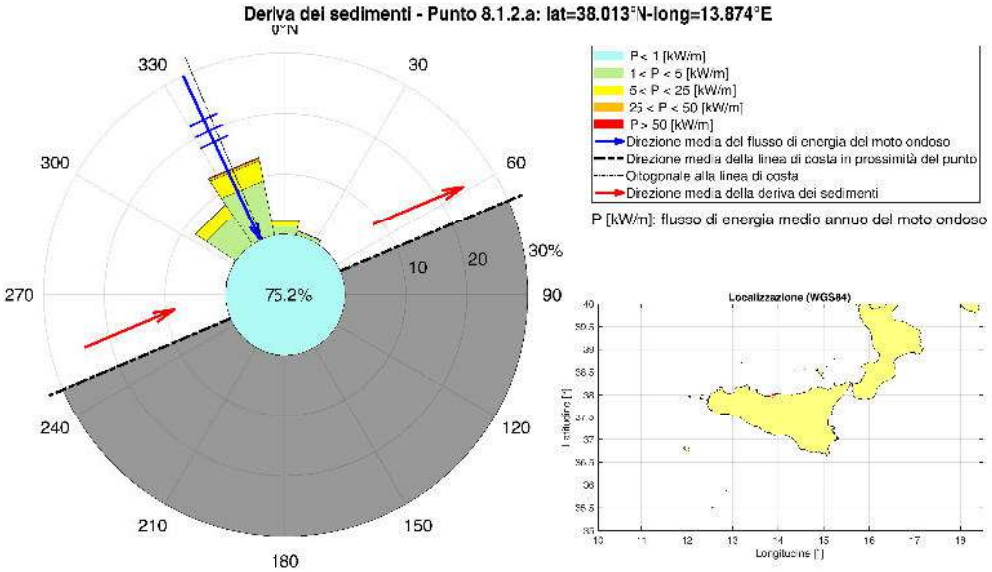


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
8
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 8.2.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

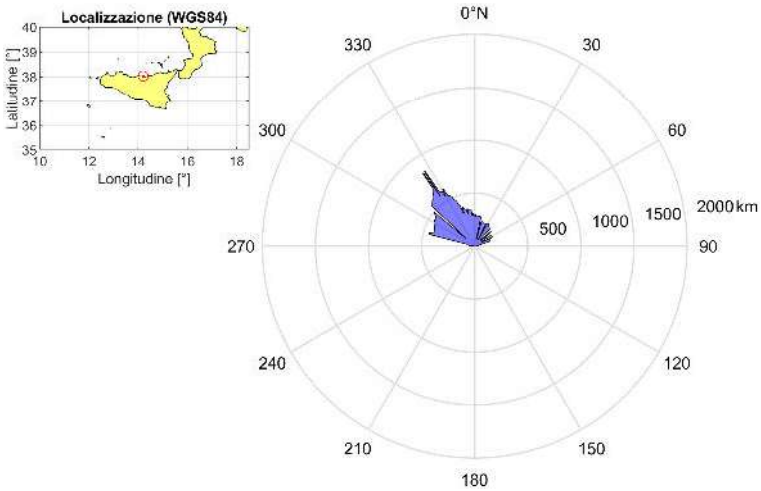


Figura 1: Fetch geografico.

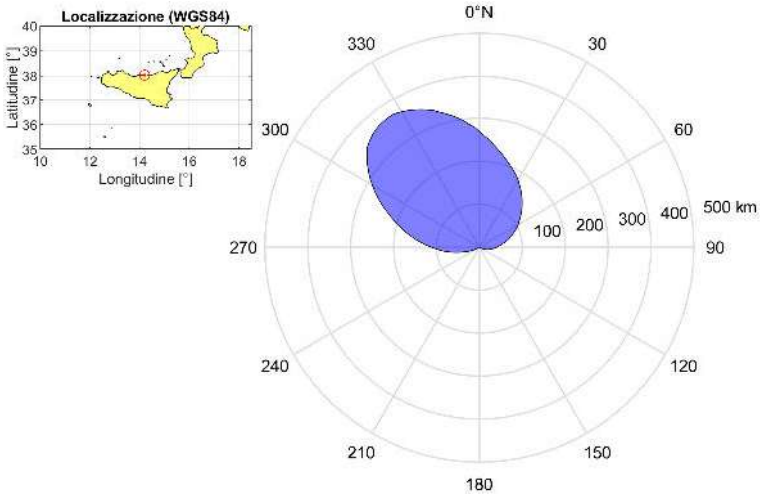


Figura 2: Fetch efficace.

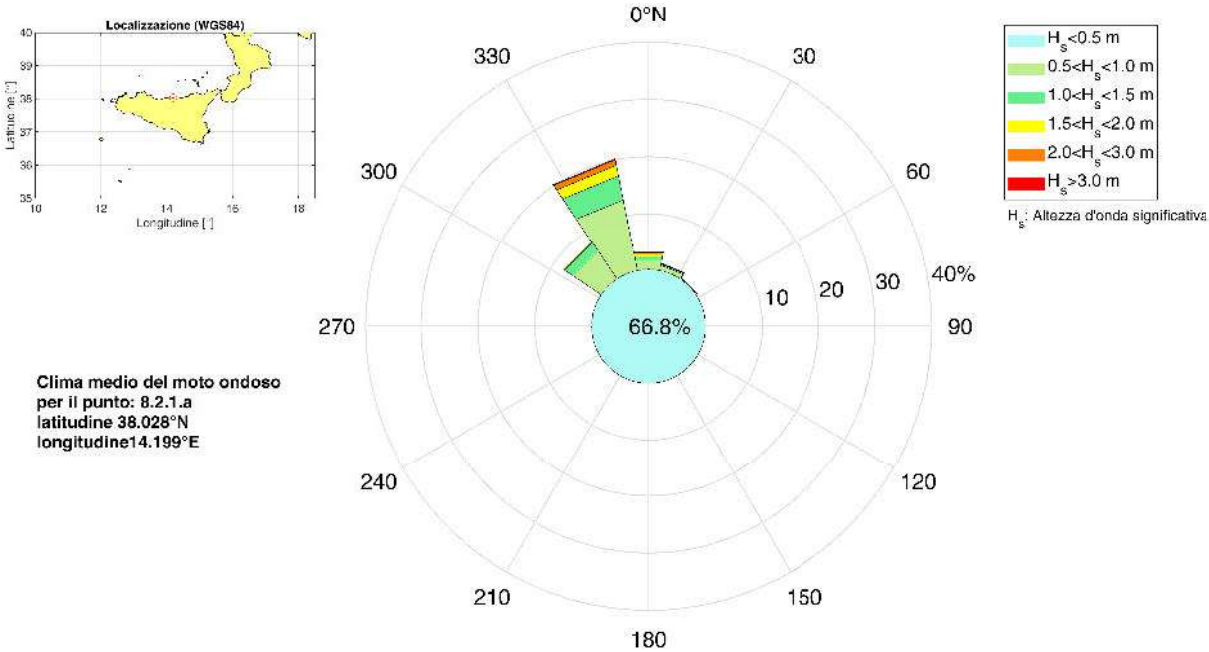


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	9.66	1.72	0.73	0.46	0.29	0.03
22.5	7.38	0.95	0.21	0.11	0.03	-
45.0	1.76	0.29	0.01	-	-	-
67.5	0.88	0.03	-	-	-	-
90.0	0.47	0.02	-	-	-	-
112.5	0.64	0.02	-	-	-	-
135.0	0.73	0.01	-	-	-	-
157.5	0.54	-	-	-	-	-
180.0	0.17	-	-	-	-	-
202.5	0.08	-	-	-	-	-
225.0	0.06	-	-	-	-	-
247.5	0.03	-	-	-	-	-
270.0	0.10	-	-	-	-	-
292.5	0.94	0.08	-	-	-	-
315.0	13.24	6.00	1.70	0.26	0.01	-
337.5	30.14	12.90	4.29	1.88	0.99	0.15

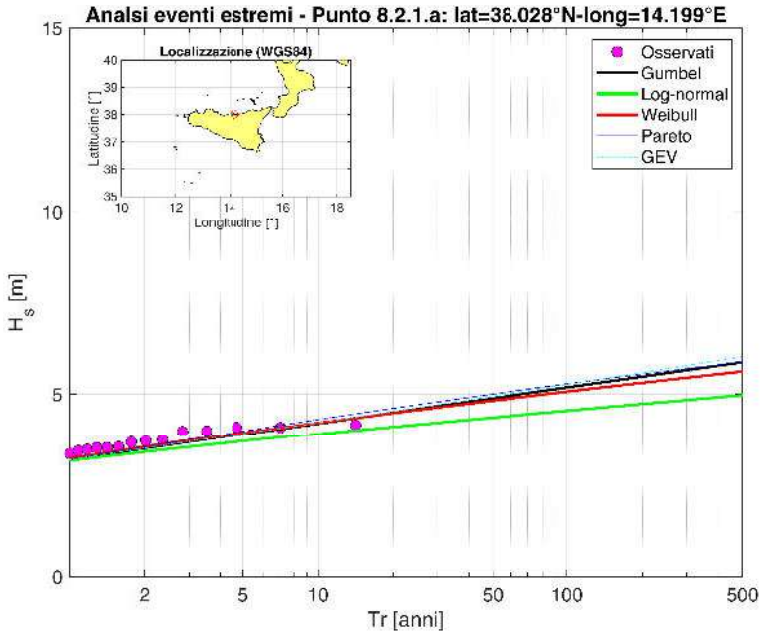


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	114	8.143	2.566	0.549	4.16
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09904	0.10512	0.11313	0.12564	0.15074
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.12075	0.12015	0.12085	0.08230	0.11704

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.335	2.319	0.818	1.819	1.377	0.922	0.196	2.000	0.603	-0.064	2.318	0.420	-0.015

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.50	3.54	3.40	3.54	3.50
5	3.90	3.94	3.70	3.99	3.91
10	4.20	4.22	3.91	4.31	4.22
50	4.89	4.83	4.36	5.01	4.96
100	5.19	5.08	4.55	5.29	5.28
500	5.88	5.63	4.98	5.89	6.03

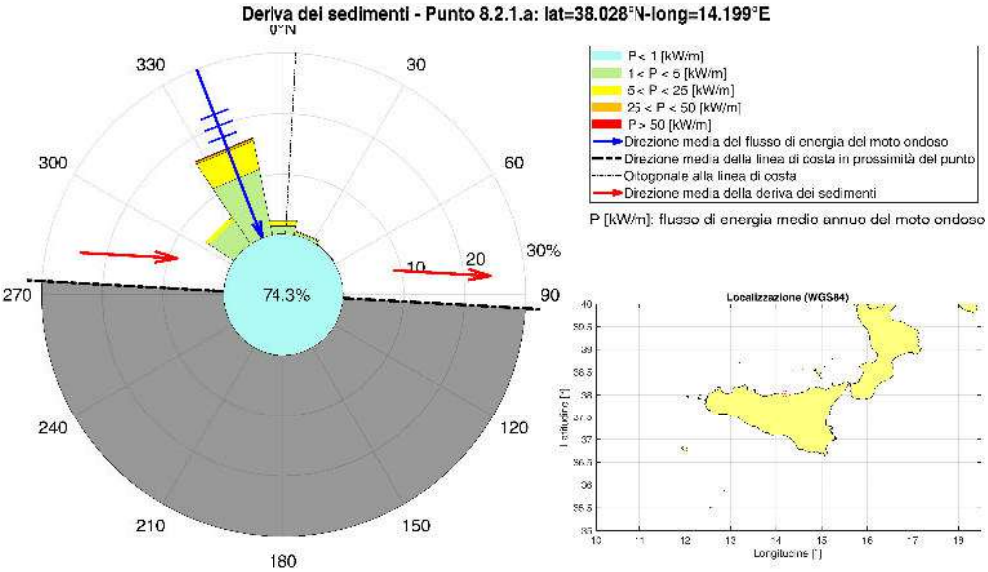


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
8
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 8.2.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

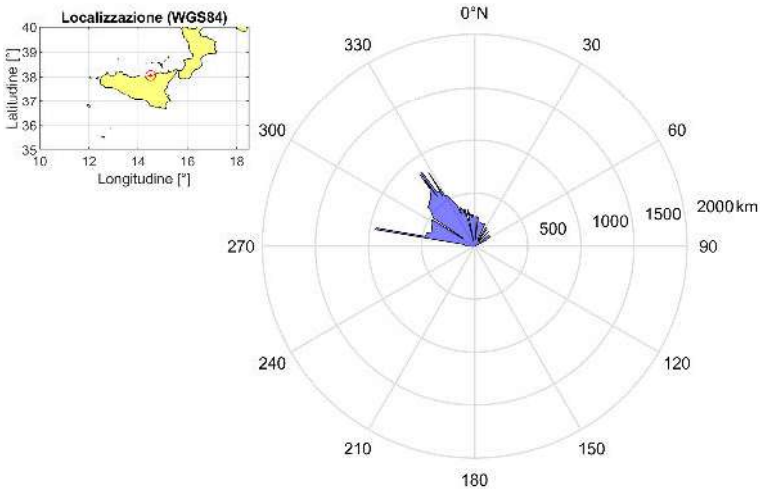


Figura 1: Fetch geografico.

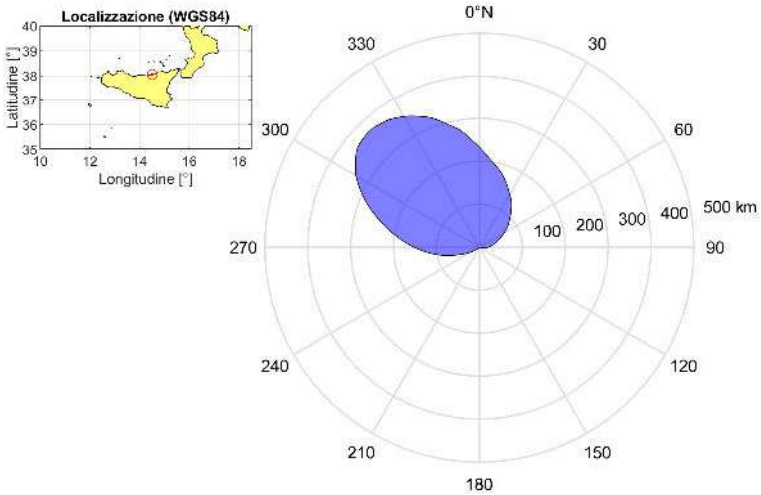


Figura 2: Fetch efficace.

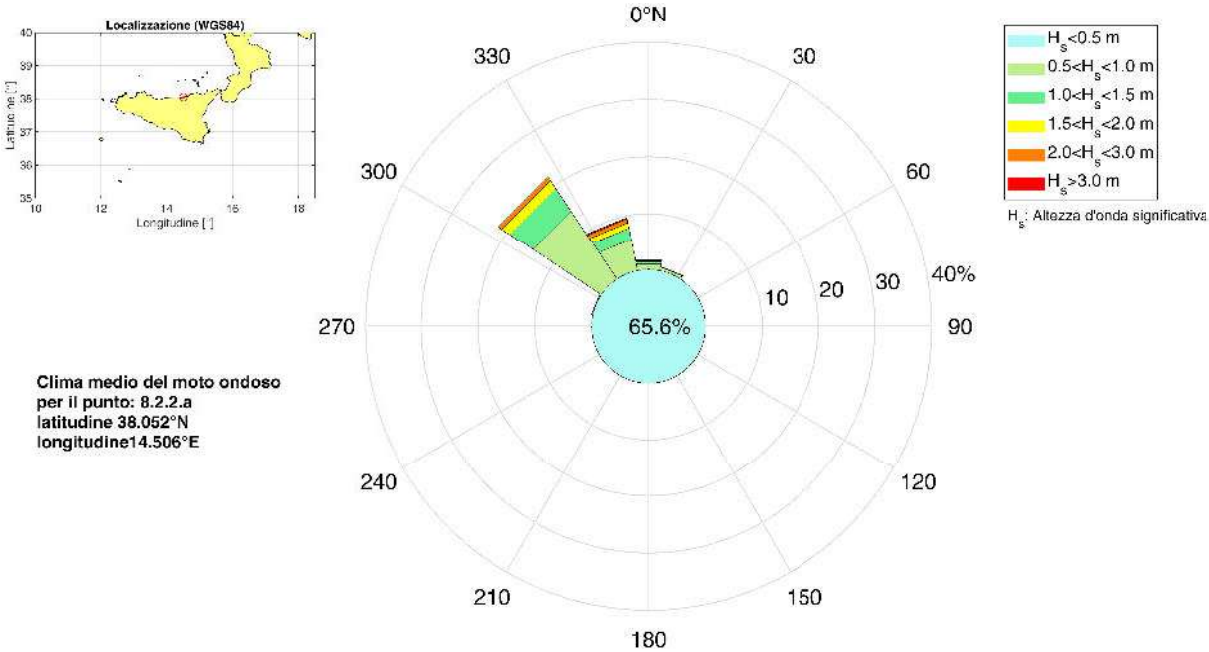


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	7.56	1.10	0.47	0.25	0.10	-
22.5	5.43	0.64	0.05	0.03	-	-
45.0	1.41	0.04	-	-	-	-
67.5	0.15	0.01	-	-	-	-
90.0	0.06	-	-	-	-	-
112.5	0.11	-	-	-	-	-
135.0	0.15	-	-	-	-	-
157.5	0.12	-	-	-	-	-
180.0	0.07	-	-	-	-	-
202.5	0.07	-	-	-	-	-
225.0	0.05	-	-	-	-	-
247.5	0.06	-	-	-	-	-
270.0	0.53	0.01	-	-	-	-
292.5	1.29	0.24	0.02	-	-	-
315.0	27.17	14.47	4.87	1.74	0.70	0.02
337.5	21.34	5.63	2.15	0.96	0.73	0.21

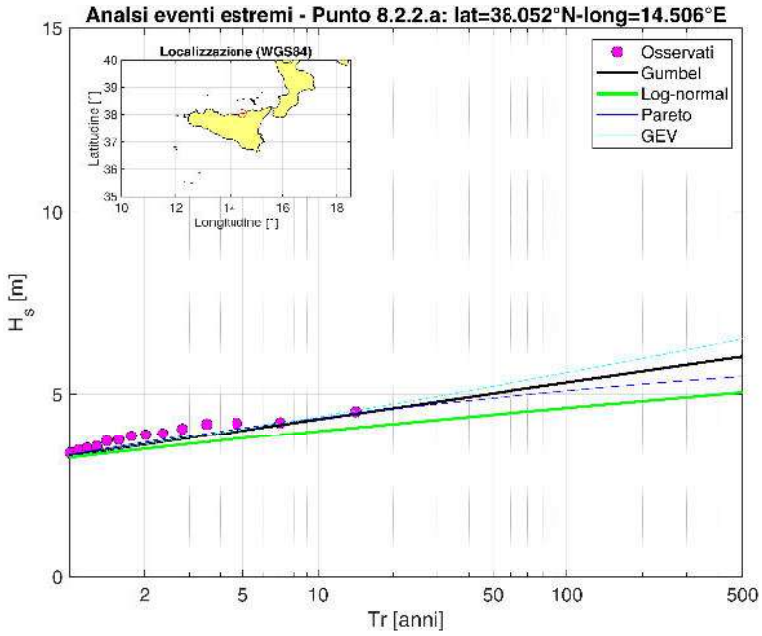


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	120	8.571	2.625	0.562	4.53
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09657	0.10249	0.11030	0.12250	0.14697
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10476	0.06767	0.13681	0.06697	0.10064

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.283	2.372	0.744	1.931	1.243	0.945	0.193	2.000	0.715	-0.142	2.368	0.413	-0.042

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.60	3.66	3.48	3.67	3.60
5	4.01	4.09	3.78	4.08	4.05
10	4.32	4.41	3.99	4.36	4.39
50	5.03	5.10	4.44	4.90	5.22
100	5.33	5.39	4.63	5.10	5.60
500	6.03	6.04	5.06	5.49	6.51

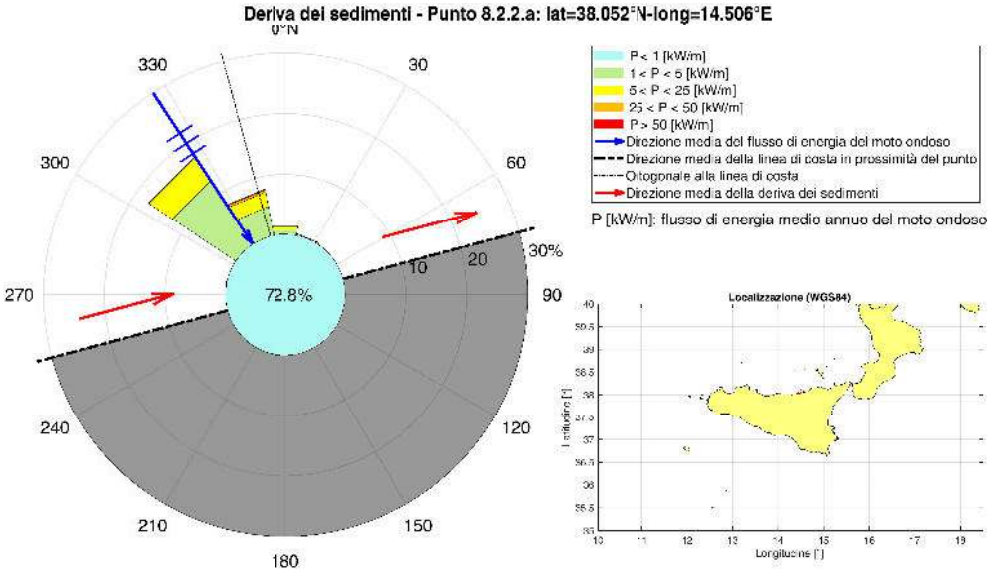


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
8
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 8.2.3.a)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

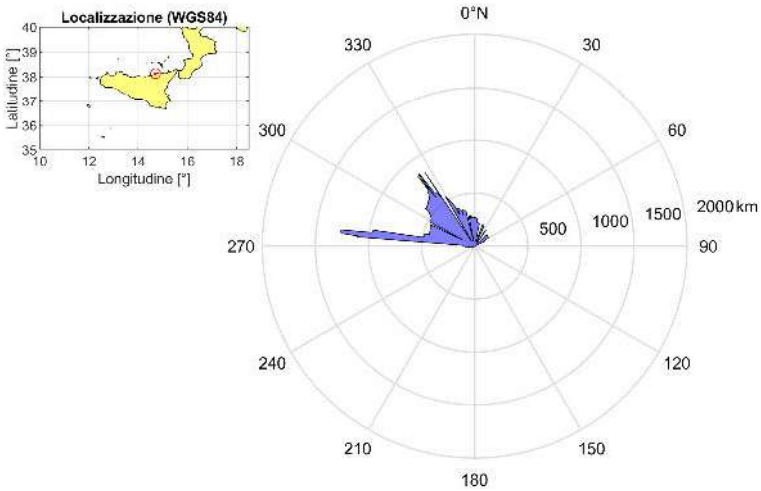


Figura 1: Fetch geografico.

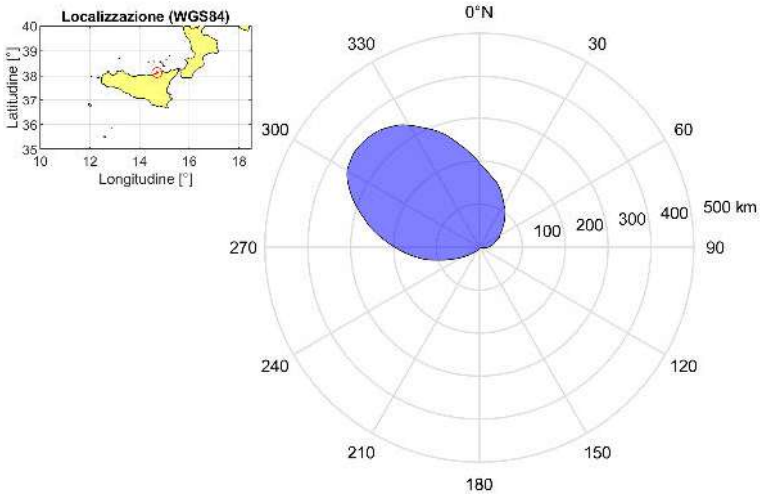


Figura 2: Fetch efficace.

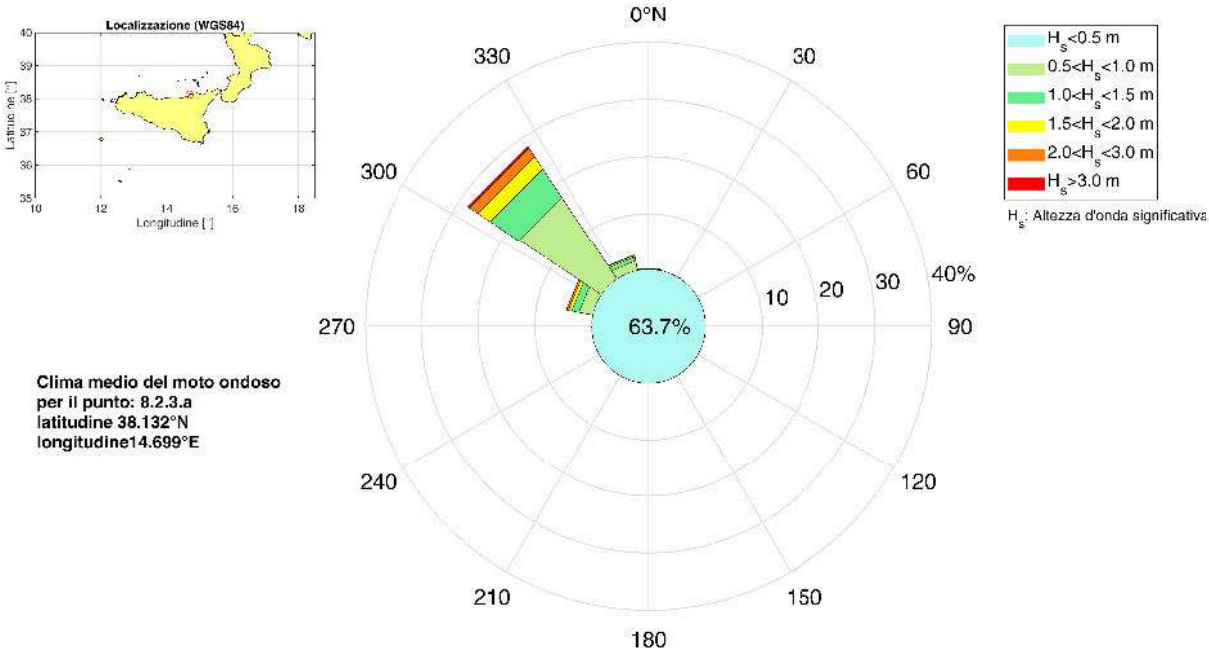


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	4.58	0.28	0.07	-	-	-
22.5	4.83	0.12	-	-	-	-
45.0	1.15	-	-	-	-	-
67.5	0.04	-	-	-	-	-
90.0	0.02	-	-	-	-	-
112.5	0.03	-	-	-	-	-
135.0	0.07	-	-	-	-	-
157.5	0.04	-	-	-	-	-
180.0	0.05	-	-	-	-	-
202.5	0.04	-	-	-	-	-
225.0	0.03	-	-	-	-	-
247.5	0.23	-	-	-	-	-
270.0	0.77	0.03	-	-	-	-
292.5	4.24	2.49	1.28	0.61	0.35	0.01
315.0	33.53	17.41	6.08	2.58	1.83	0.39
337.5	14.01	1.71	0.70	0.29	0.10	0.01

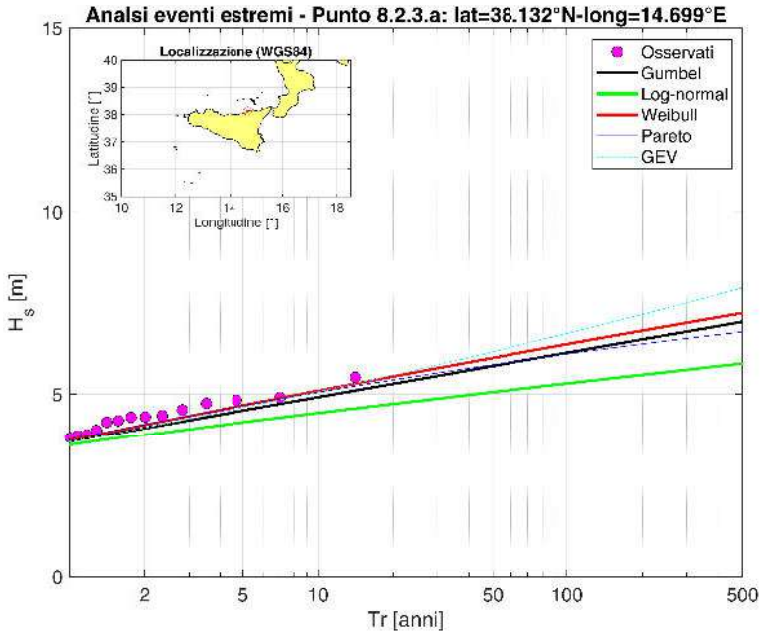


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	166	11.857	2.728	0.672	5.47
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08228	0.08732	0.09396	0.10435	0.12519
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10367	0.04228	0.09538	0.03109	0.08501

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.908	2.426	0.823	1.948	1.164	0.978	0.220	2.000	0.798	-0.096	2.420	0.481	-0.060

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.07	4.16	3.88	4.18	4.09
5	4.56	4.70	4.24	4.70	4.64
10	4.93	5.10	4.49	5.06	5.08
50	5.77	5.99	5.06	5.81	6.16
100	6.13	6.37	5.30	6.10	6.66
500	6.98	7.22	5.84	6.70	7.90

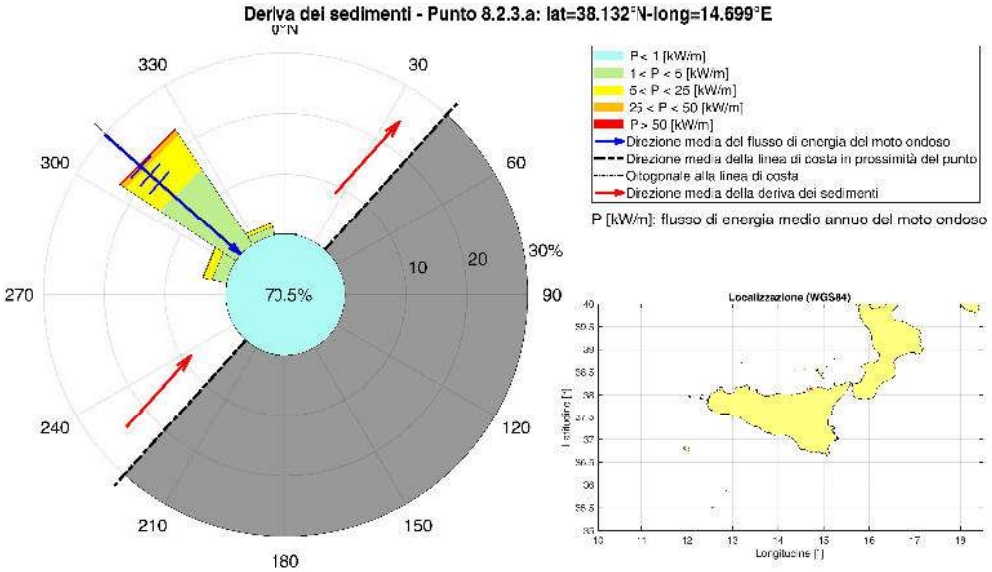


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
9
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 9.1.1.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti

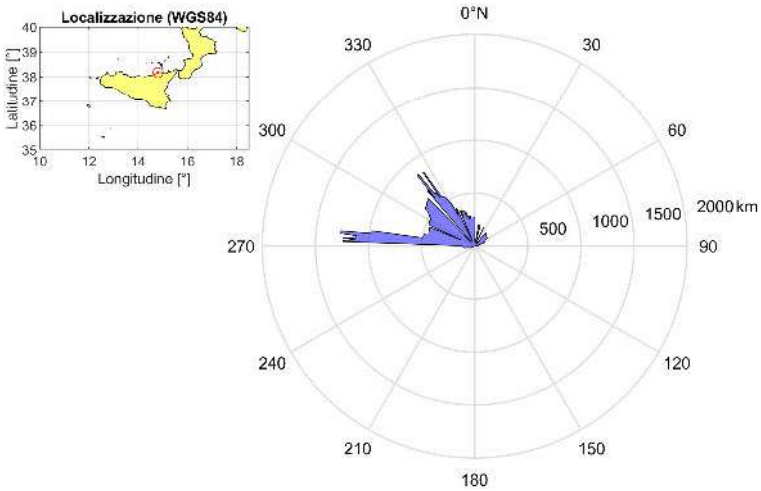


Figura 1: Fetch geografico.

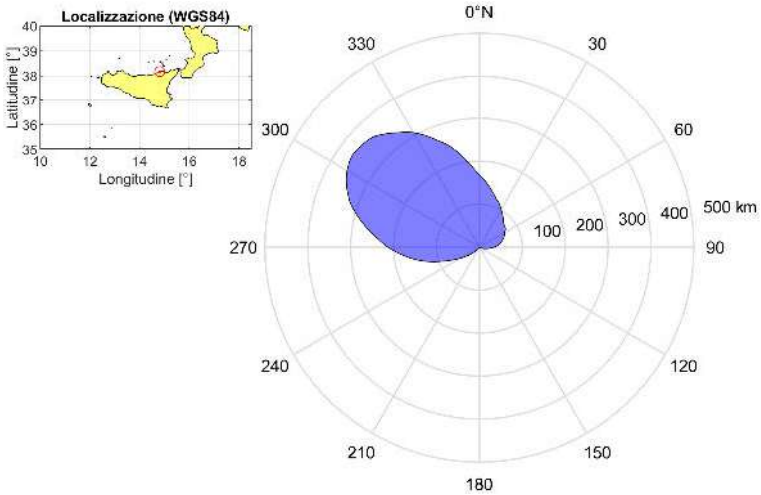


Figura 2: Fetch efficace.

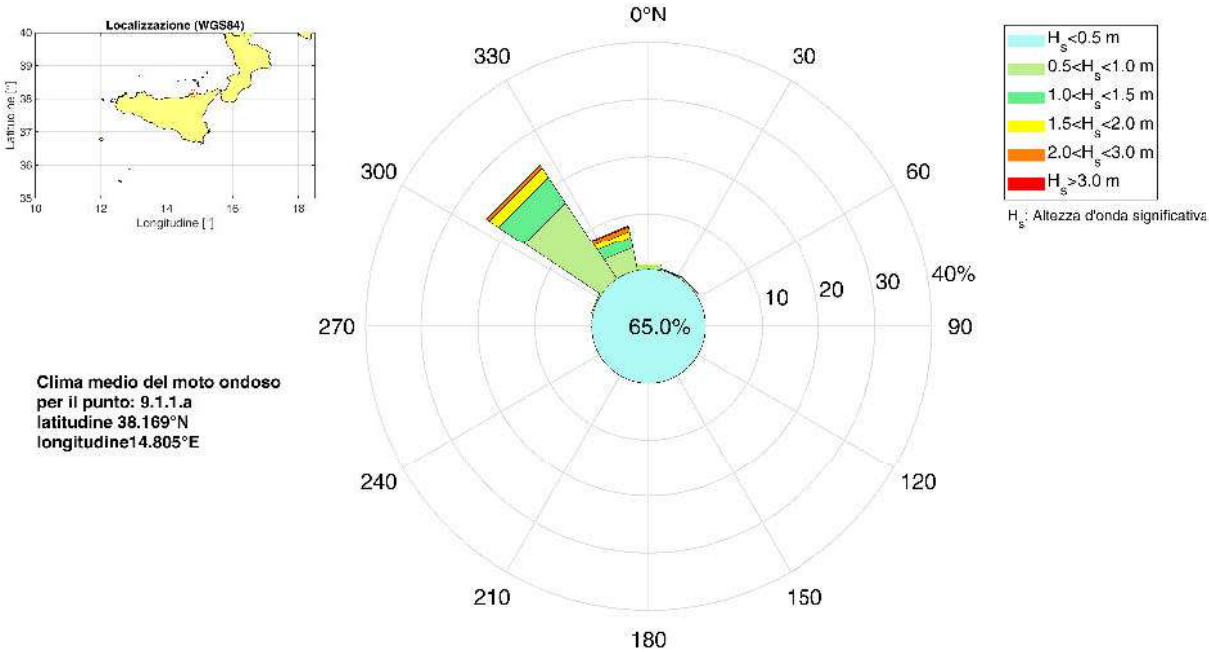


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.21	0.56	0.28	0.16	0.05	0.01
22.5	3.24	0.31	0.09	0.02	-	-
45.0	3.96	0.43	0.04	-	-	-
67.5	1.17	0.03	-	-	-	-
90.0	0.25	-	-	-	-	-
112.5	0.11	-	-	-	-	-
135.0	0.06	-	-	-	-	-
157.5	0.01	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	0.01	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	0.01	-	-	-	-	-
270.0	0.24	-	-	-	-	-
292.5	1.79	0.37	0.02	-	-	-
315.0	35.66	16.32	5.42	1.91	0.65	0.01
337.5	15.32	4.12	2.05	1.06	0.86	0.20

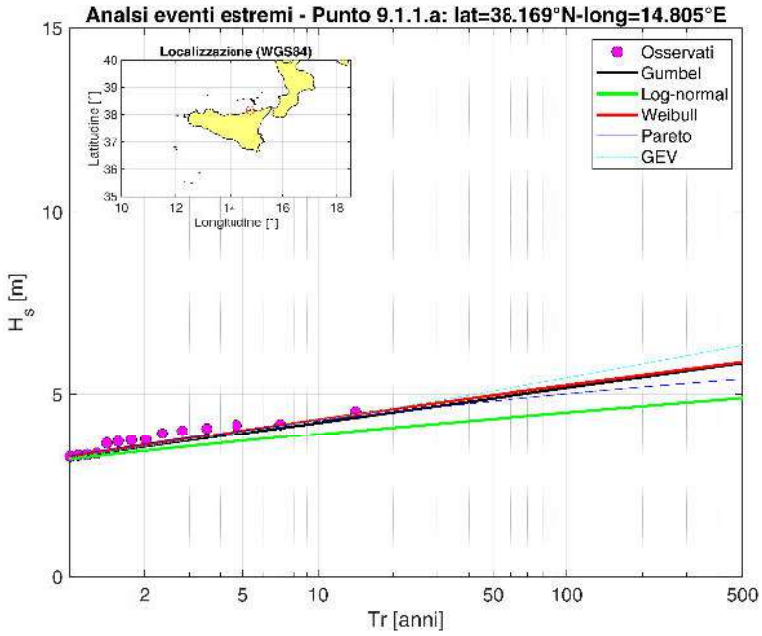


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	126	9.000	2.591	0.534	4.52
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09427	0.10005	0.10768	0.11959	0.14347
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09339	0.04845	0.09427	0.04310	0.07984

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.401	2.350	0.701	1.936	1.233	0.934	0.187	2.000	0.668	-0.130	2.347	0.392	-0.044

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.54	3.59	3.43	3.61	3.54
5	3.93	4.01	3.70	4.01	3.97
10	4.22	4.31	3.90	4.28	4.30
50	4.89	4.98	4.33	4.82	5.10
100	5.18	5.26	4.51	5.02	5.46
500	5.85	5.88	4.91	5.42	6.34

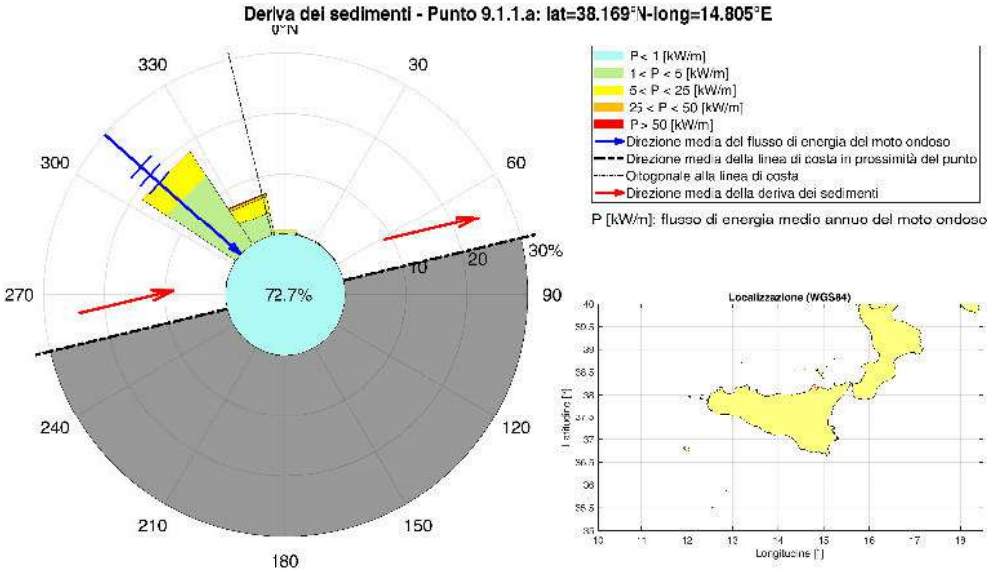


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
9
Unità fisiografica di II ordine
2
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 9.2.1.a)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

Punto griglia (identificativo: 9.2.1.b)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

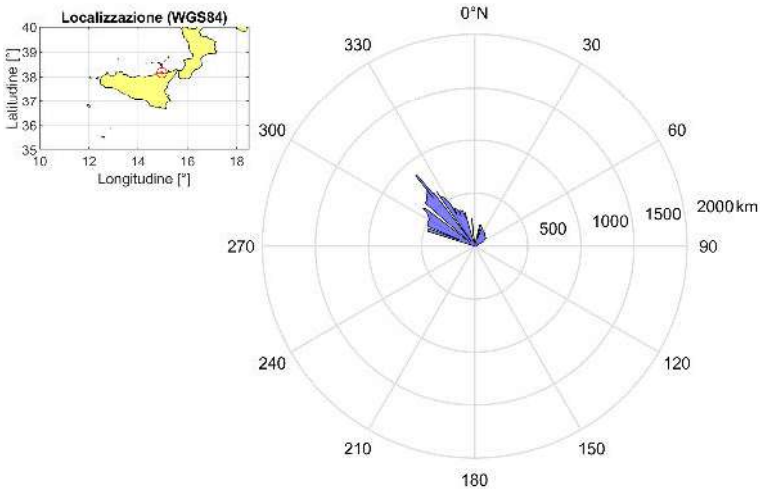


Figura 1: Fetch geografico.

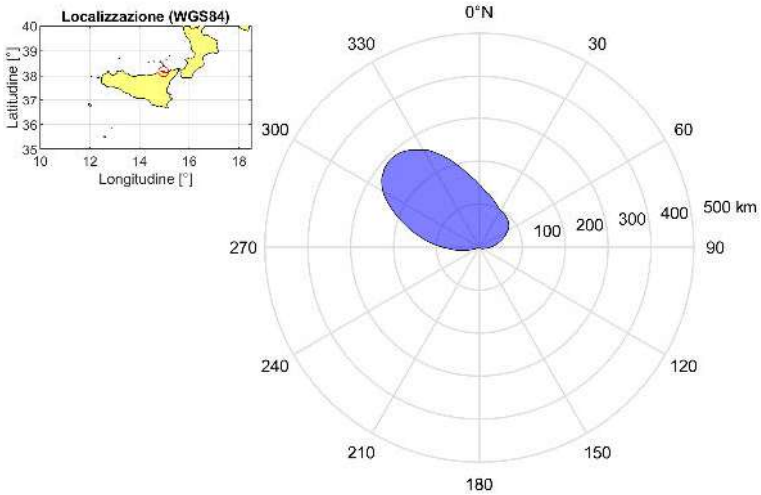


Figura 2: Fetch efficace.

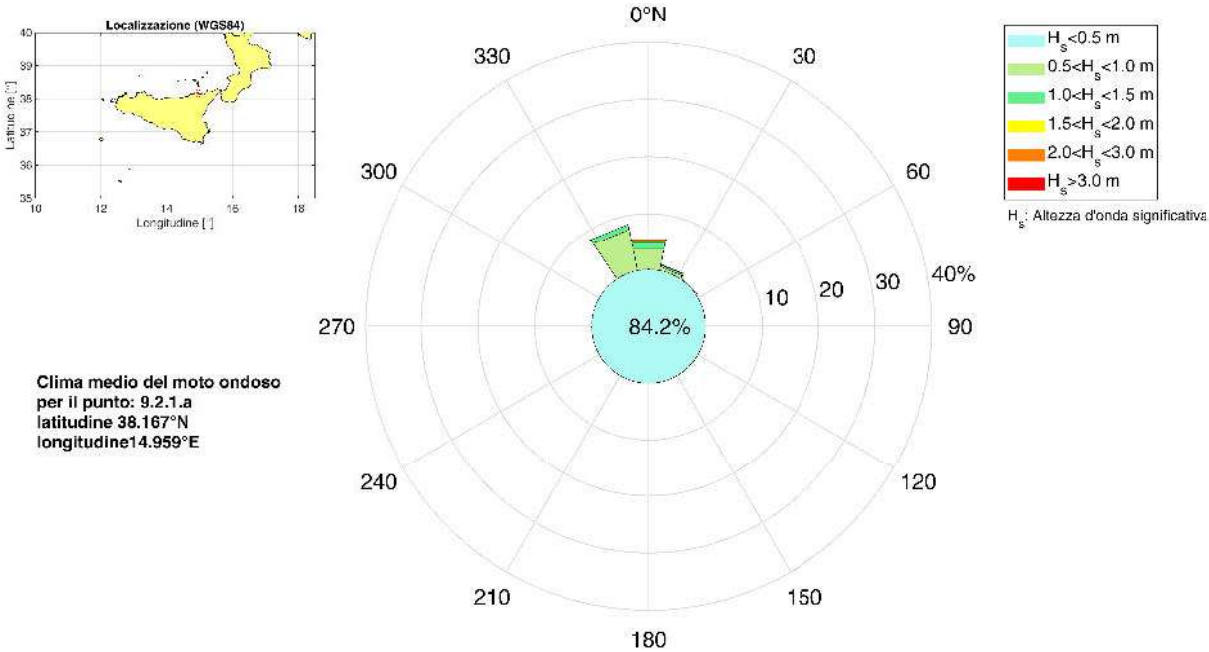


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	19.87	3.84	1.28	0.53	0.18	-
22.5	4.51	0.68	0.31	0.08	-	-
45.0	1.76	0.30	0.02	-	-	-
67.5	1.80	0.04	-	-	-	-
90.0	2.31	0.02	-	-	-	-
112.5	0.45	-	-	-	-	-
135.0	0.01	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	0.01	-	-	-	-	-
315.0	0.14	-	-	-	-	-
337.5	53.38	7.55	0.92	0.02	-	-

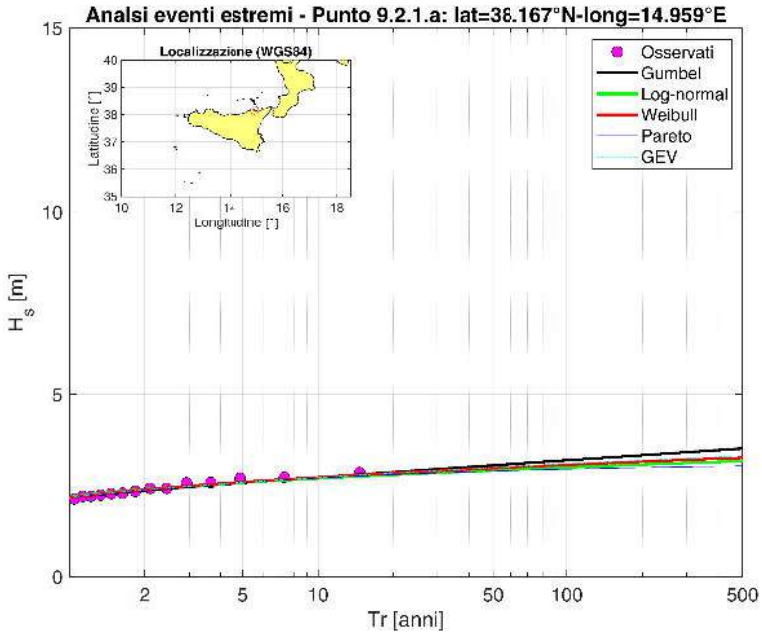


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	21	1.500	2.278	0.255	2.83
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.22634	0.24030	0.25866	0.28728	0.34428
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15245	0.12346	0.14260	0.20118	0.13910

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
5.024	2.164	0.530	1.808	1.917	0.818	0.109	2.000	0.385	-0.344	2.169	0.220	0.084

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.34	2.36	2.37	2.35	2.36
5	2.55	2.57	2.56	2.56	2.56
10	2.70	2.70	2.67	2.68	2.69
50	3.02	2.95	2.88	2.87	2.96
100	3.16	3.04	2.97	2.92	3.07
500	3.48	3.23	3.14	3.01	3.28

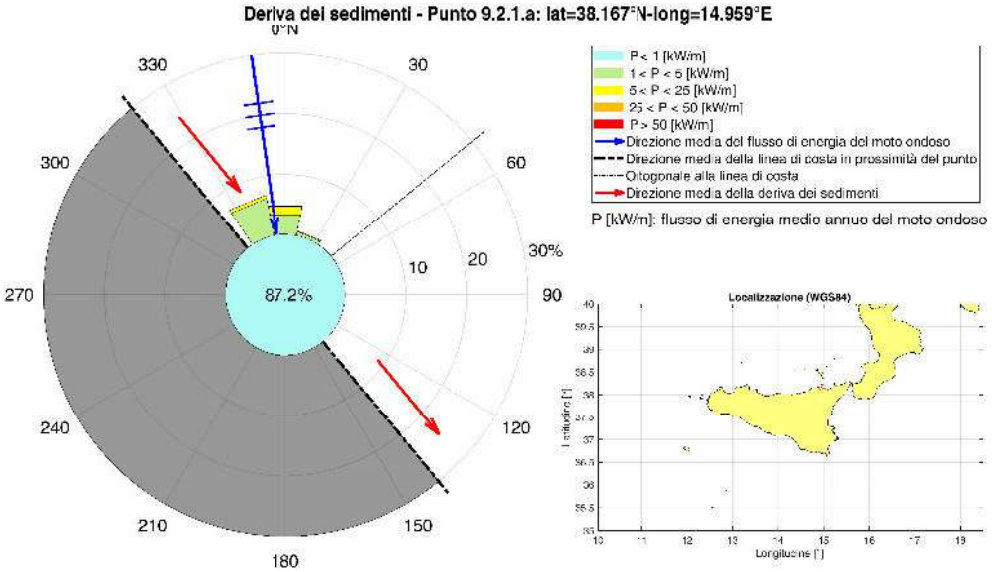


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

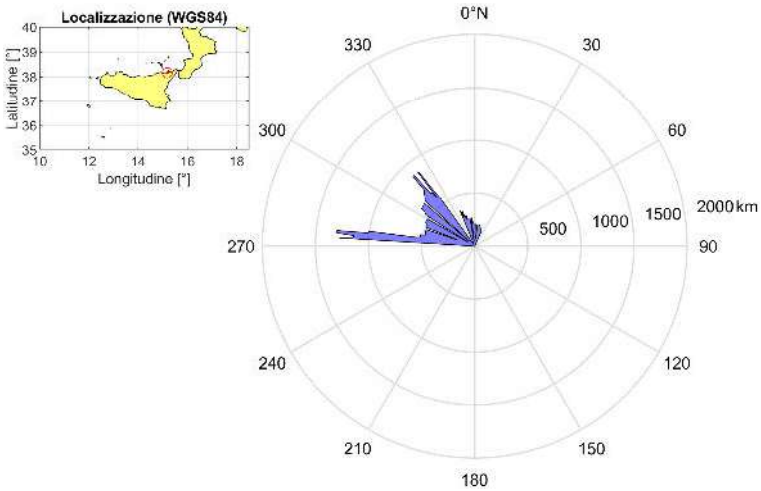


Figura 6: Fetch geografico.

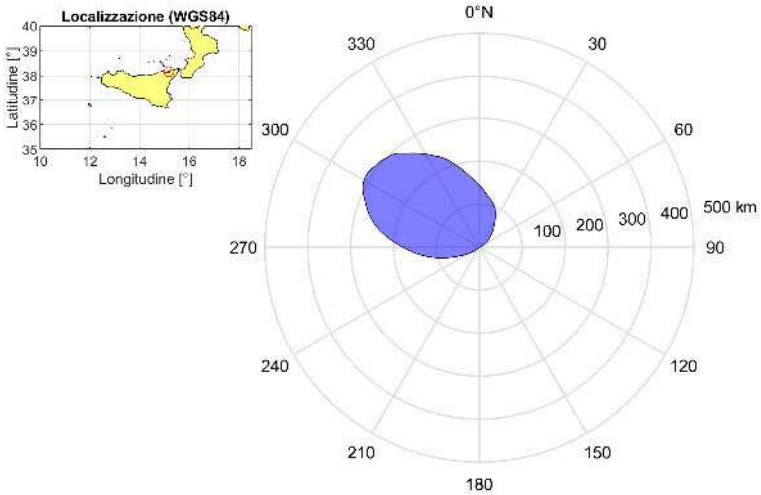


Figura 7: Fetch efficace.

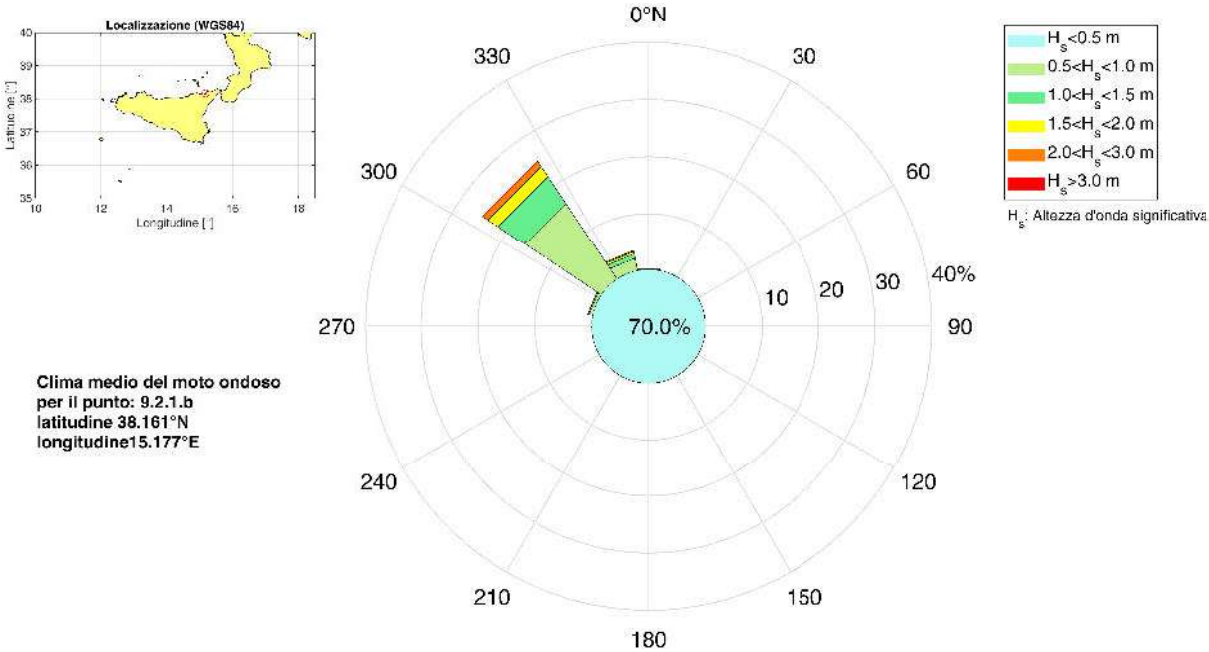


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.27	0.25	0.07	0.01	-	-
22.5	2.19	0.01	-	-	-	-
45.0	0.09	-	-	-	-	-
67.5	0.08	-	-	-	-	-
90.0	0.12	-	-	-	-	-
112.5	0.19	-	-	-	-	-
135.0	0.34	-	-	-	-	-
157.5	0.57	-	-	-	-	-
180.0	0.24	-	-	-	-	-
202.5	0.06	-	-	-	-	-
225.0	0.03	-	-	-	-	-
247.5	0.09	-	-	-	-	-
270.0	0.82	-	-	-	-	-
292.5	6.11	0.65	0.20	0.04	-	-
315.0	41.00	16.23	5.64	2.14	1.03	0.14
337.5	14.81	2.21	0.79	0.38	0.19	0.01

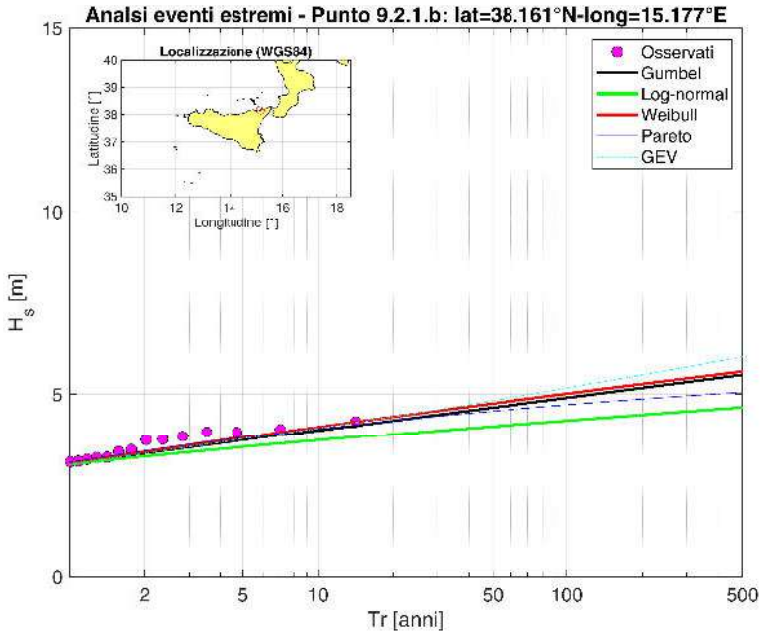


Figura 9: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	101	7.214	2.566	0.500	4.25
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10513	0.11158	0.12008	0.13338	0.16002
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08907	0.05401	0.12213	0.06364	0.07509

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.564	2.341	0.637	1.967	1.203	0.926	0.177	2.000	0.652	-0.151	2.337	0.363	-0.051

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.37	3.41	3.28	3.43	3.36
5	3.73	3.81	3.54	3.80	3.76
10	4.01	4.10	3.72	4.05	4.07
50	4.64	4.75	4.12	4.54	4.83
100	4.91	5.02	4.28	4.72	5.18
500	5.54	5.63	4.64	5.06	6.03

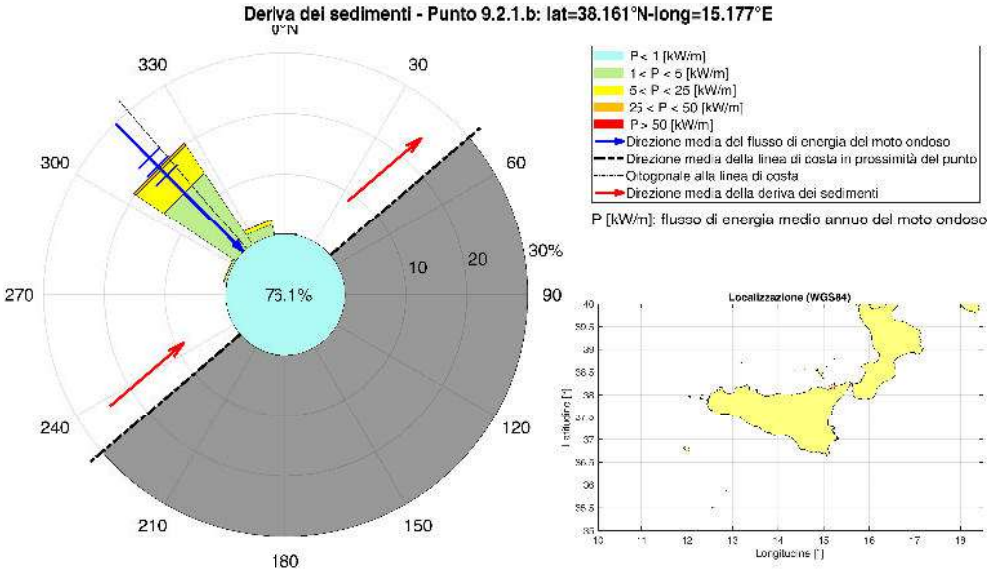


Figura 10: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
10
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 10.1.1.a)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

Punto griglia (identificativo: 10.1.1.b)
- **Fetch geografico e fetch efficace**
- **Analisi del moto ondoso**
- **Analisi della deriva di sedimenti**

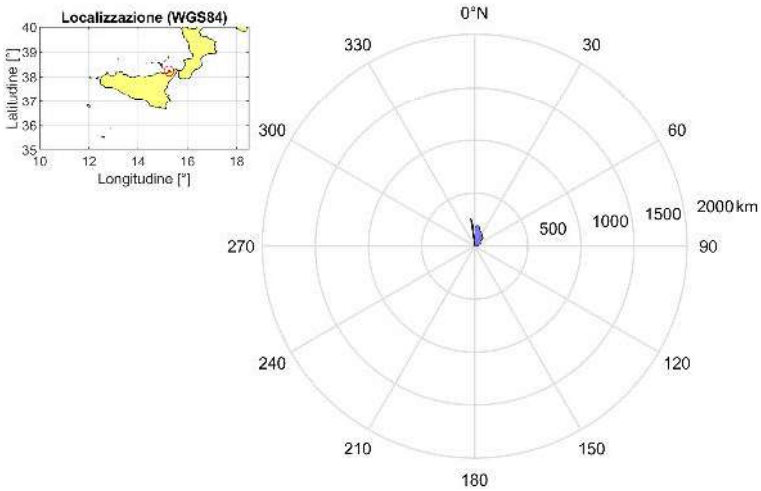


Figura 1: Fetch geografico.

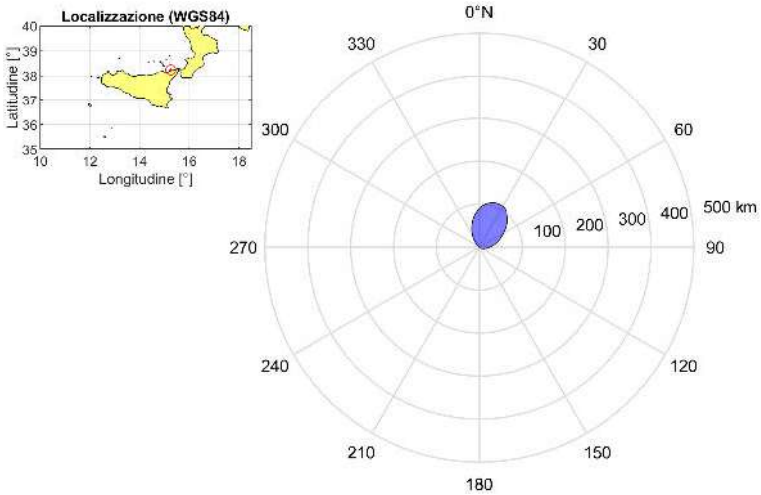


Figura 2: Fetch efficace.

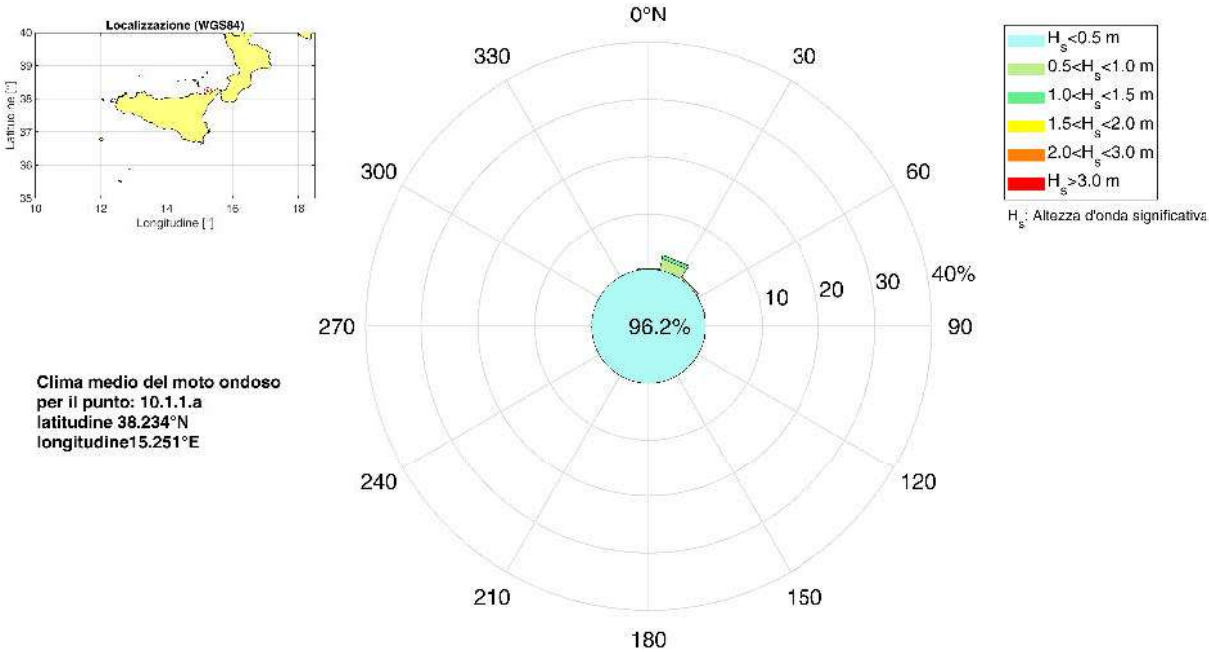


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	36.24	0.27	-	-	-	-
22.5	41.68	2.10	0.60	0.05	-	-
45.0	5.39	0.36	0.05	-	-	-
67.5	4.69	0.15	-	-	-	-
90.0	2.84	0.11	-	-	-	-
112.5	2.94	0.08	-	-	-	-
135.0	1.73	-	-	-	-	-
157.5	0.05	-	-	-	-	-
180.0	0.03	-	-	-	-	-
202.5	0.09	-	-	-	-	-
225.0	0.03	-	-	-	-	-
247.5	0.02	-	-	-	-	-
270.0	0.01	-	-	-	-	-
292.5	0.04	-	-	-	-	-
315.0	0.11	-	-	-	-	-
337.5	0.32	-	-	-	-	-

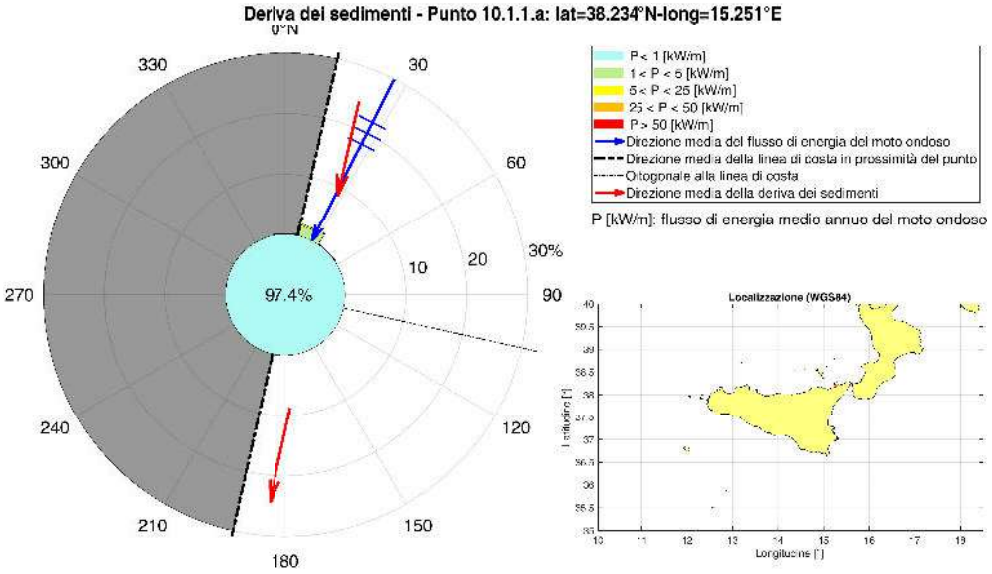


Figura 4: Deriva dei sedimenti.

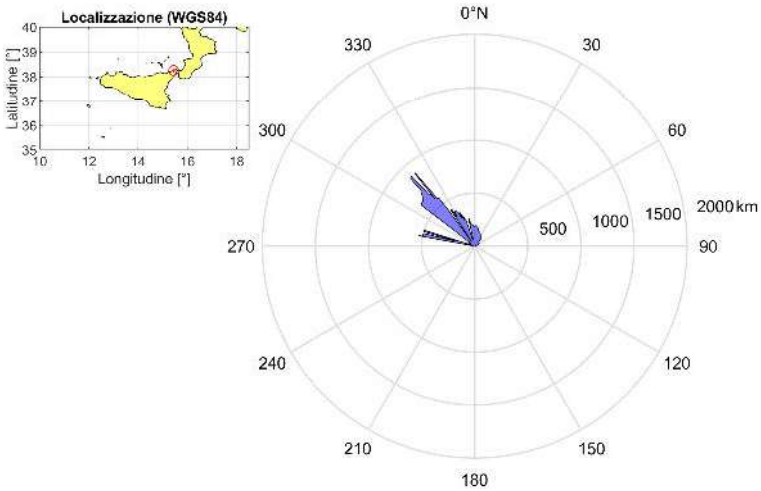


Figura 5: Fetch geografico.

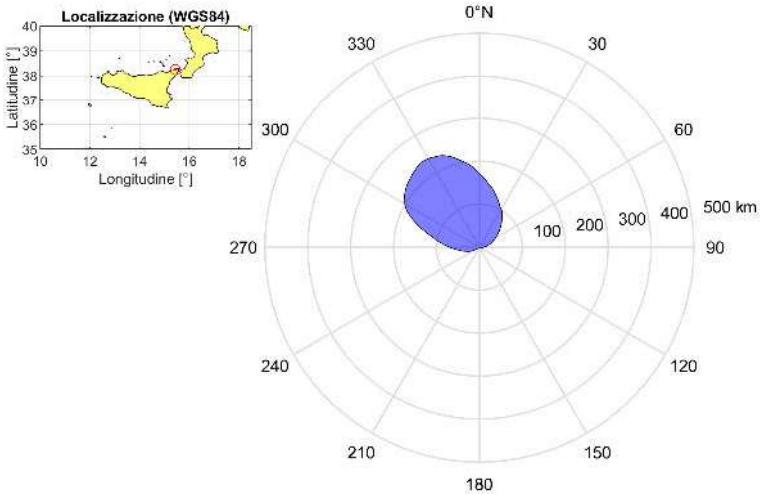


Figura 6: Fetch efficace.

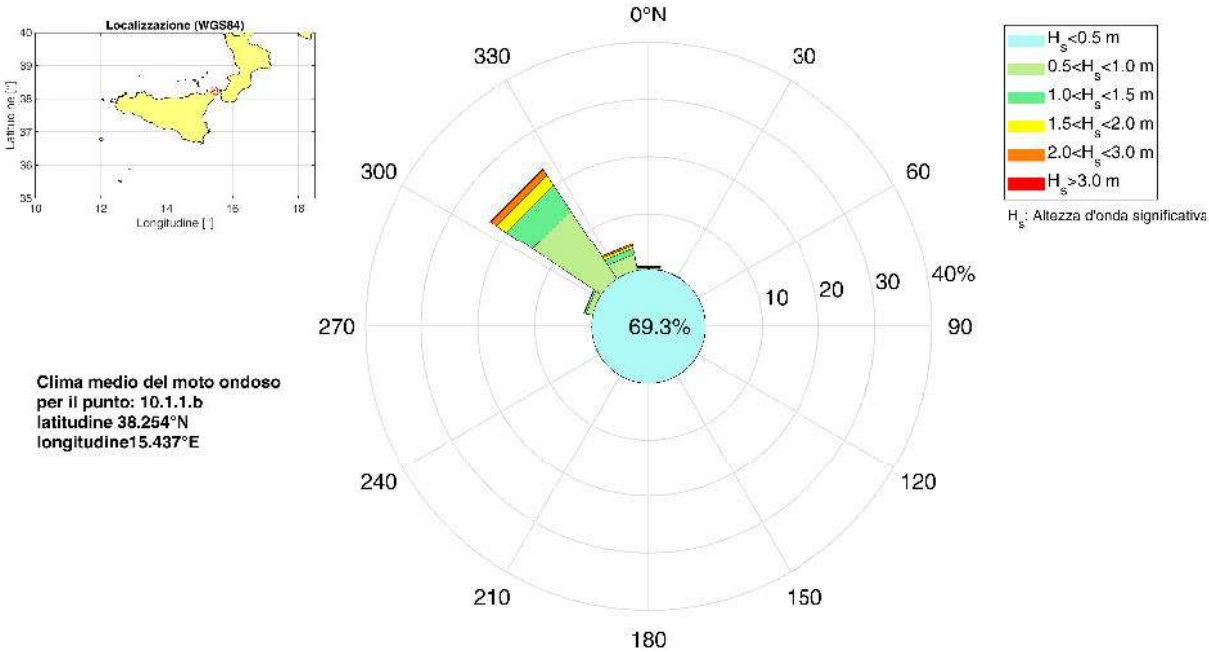


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 2: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.04	0.45	0.17	0.05	-	-
22.5	1.65	0.14	0.02	-	-	-
45.0	2.89	0.02	-	-	-	-
67.5	0.45	0.01	-	-	-	-
90.0	0.19	-	-	-	-	-
112.5	0.40	-	-	-	-	-
135.0	0.69	-	-	-	-	-
157.5	1.49	-	-	-	-	-
180.0	1.60	-	-	-	-	-
202.5	0.29	-	-	-	-	-
225.0	0.11	-	-	-	-	-
247.5	0.21	-	-	-	-	-
270.0	0.75	-	-	-	-	-
292.5	4.28	1.18	0.34	0.09	0.01	-
315.0	31.75	14.63	5.38	2.15	1.12	0.20
337.5	19.47	2.90	1.03	0.51	0.33	0.03

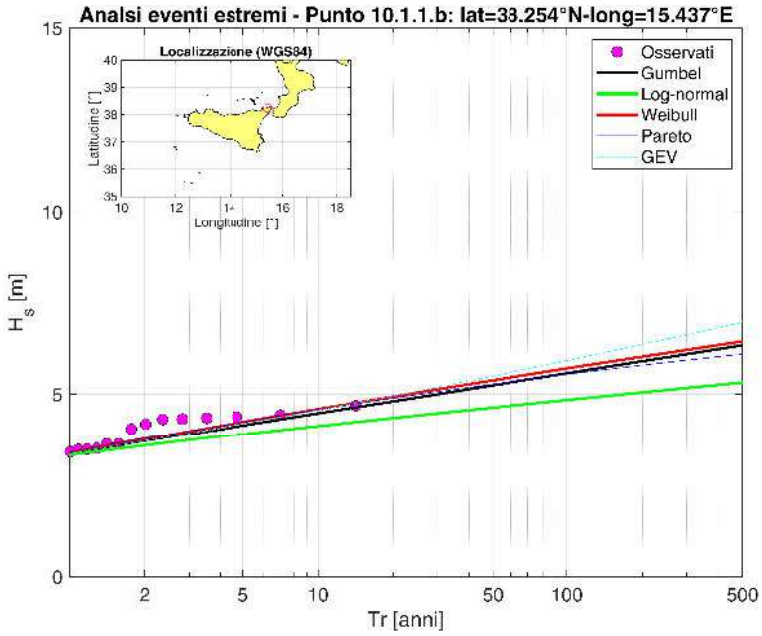


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 3: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	119	8.500	2.653	0.608	4.69
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09697	0.10291	0.11076	0.12301	0.14758
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10251	0.05630	0.09720	0.03265	0.08710

Tabella 4: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.110	2.380	0.776	1.924	1.205	0.953	0.206	2.000	0.717	-0.097	2.375	0.442	-0.051

Tabella 5: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.71	3.77	3.58	3.78	3.71
5	4.15	4.25	3.90	4.25	4.19
10	4.48	4.60	4.13	4.59	4.57
50	5.25	5.38	4.64	5.28	5.50
100	5.58	5.71	4.85	5.55	5.92
500	6.34	6.44	5.33	6.10	6.97

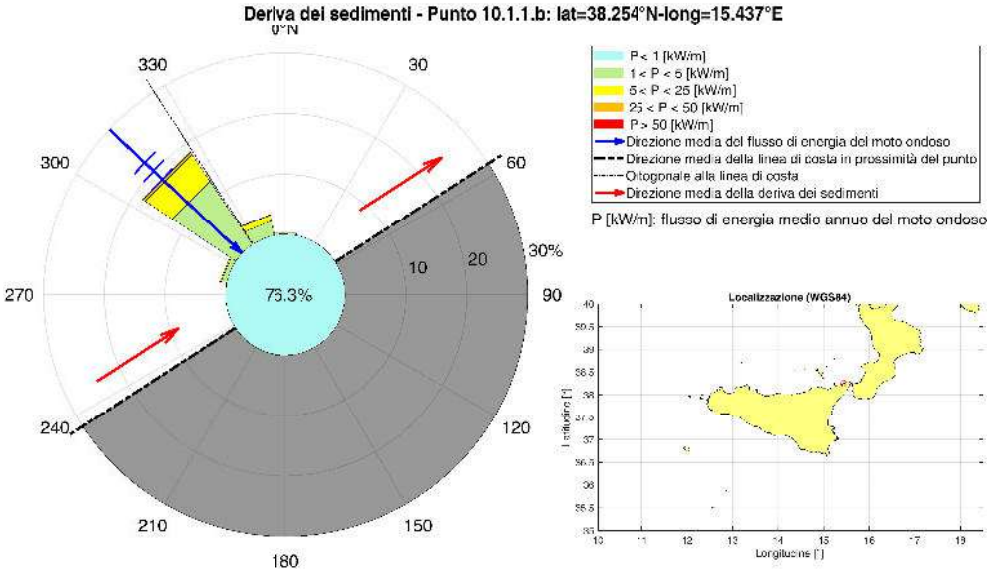


Figura 9: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
10
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 10.1.2.a)
Fetch geografico e fetch efficace
Analisi del moto ondoso
Analisi della deriva di sedimenti
Punto griglia (identificativo: 10.1.2.b)
Analisi del moto ondoso

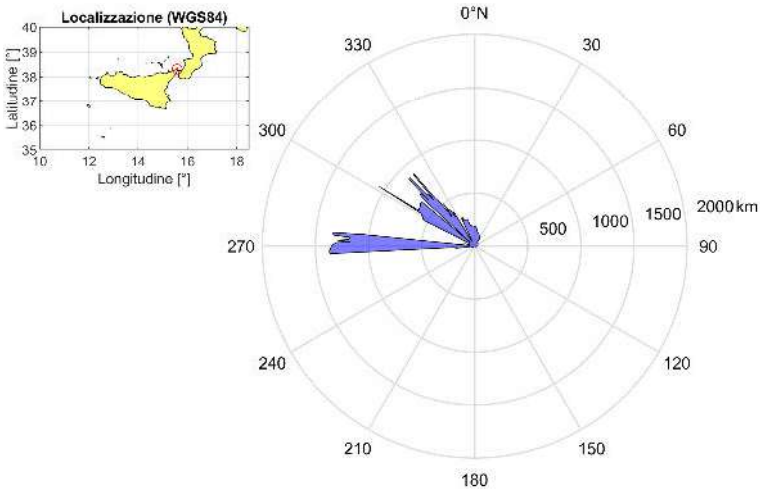


Figura 1: Fetch geografico.

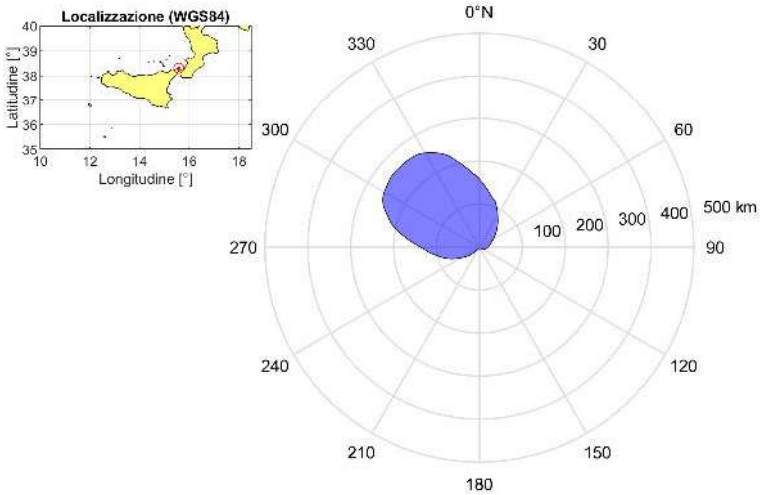


Figura 2: Fetch efficace.

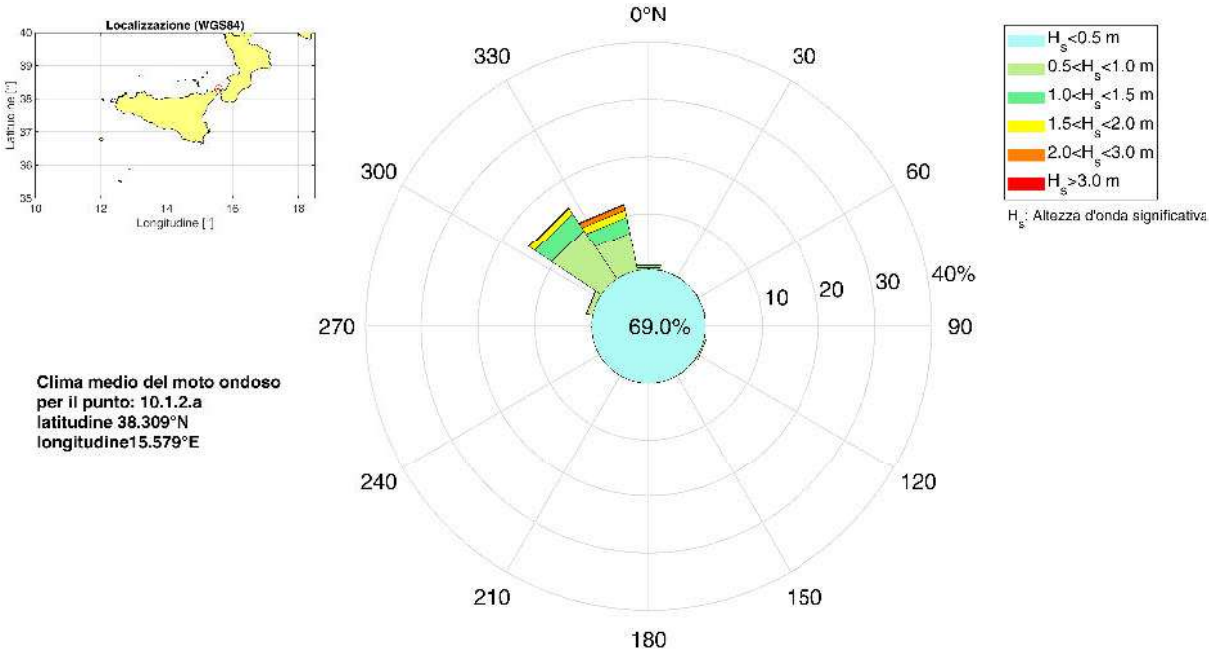


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.94	0.49	0.30	0.16	0.08	0.04
22.5	0.77	0.13	0.01	-	-	-
45.0	0.52	0.17	0.01	-	-	-
67.5	0.78	0.15	0.01	-	-	-
90.0	1.53	0.14	-	-	-	-
112.5	3.44	0.43	-	-	-	-
135.0	4.31	0.17	-	-	-	-
157.5	1.08	0.01	-	-	-	-
180.0	0.25	0.01	-	-	-	-
202.5	0.13	-	-	-	-	-
225.0	0.08	-	-	-	-	-
247.5	0.11	-	-	-	-	-
270.0	0.63	0.01	-	-	-	-
292.5	3.73	1.14	0.08	-	-	-
315.0	33.75	10.48	3.61	1.04	0.22	-
337.5	15.95	6.90	2.84	1.31	0.92	0.14

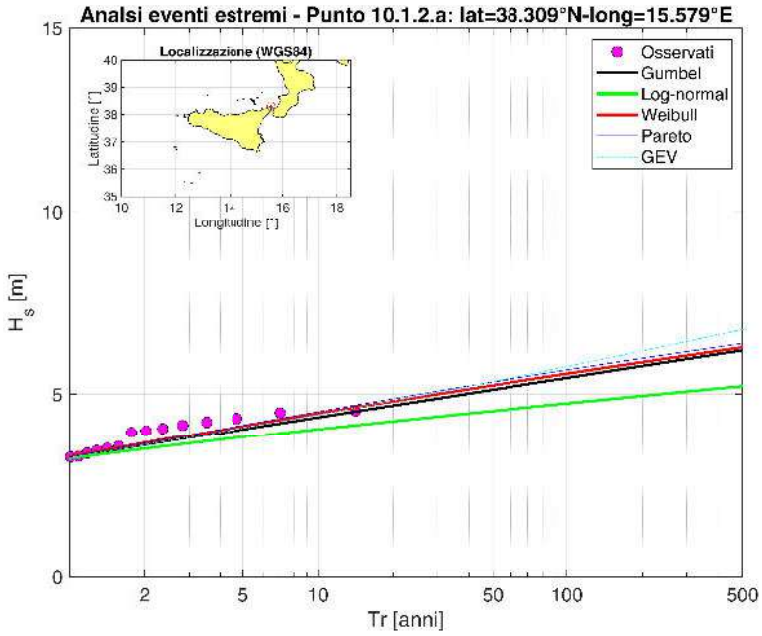


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	105	7.500	2.620	0.601	4.55
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10314	0.10946	0.11781	0.13085	0.15699
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11432	0.08278	0.11464	0.05739	0.10014

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.134	2.349	0.775	1.893	1.215	0.941	0.206	2.000	0.651	-0.050	2.345	0.438	-0.048

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.60	3.65	3.49	3.65	3.60
5	4.04	4.13	3.81	4.16	4.07
10	4.37	4.48	4.04	4.53	4.44
50	5.13	5.25	4.55	5.34	5.35
100	5.45	5.57	4.75	5.67	5.76
500	6.21	6.29	5.23	6.39	6.77

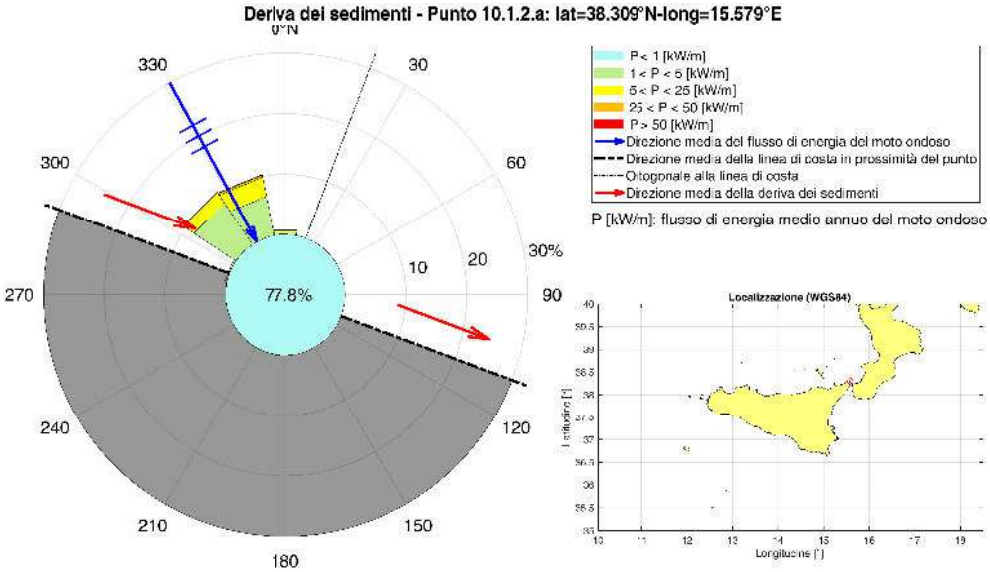


Figura 5: Deriva dei sedimenti.

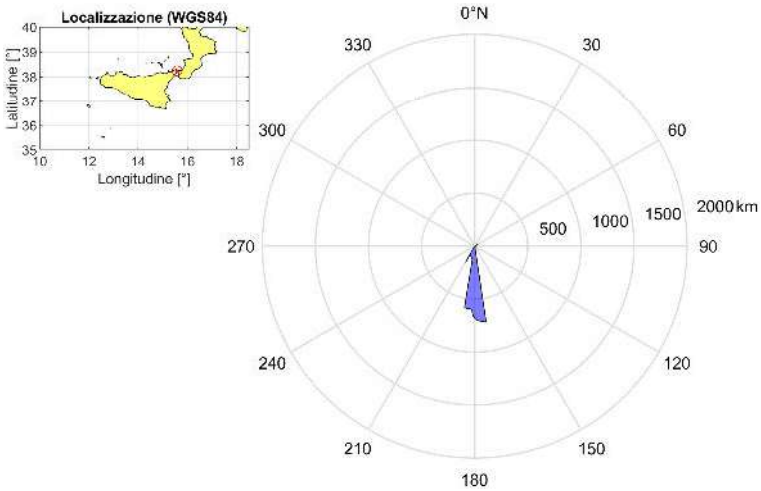


Figura 6: Fetch geografico.

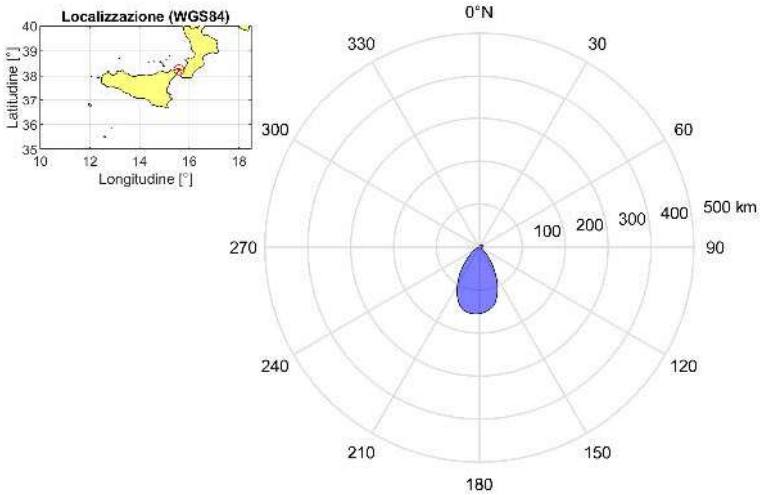


Figura 7: Fetch efficace.

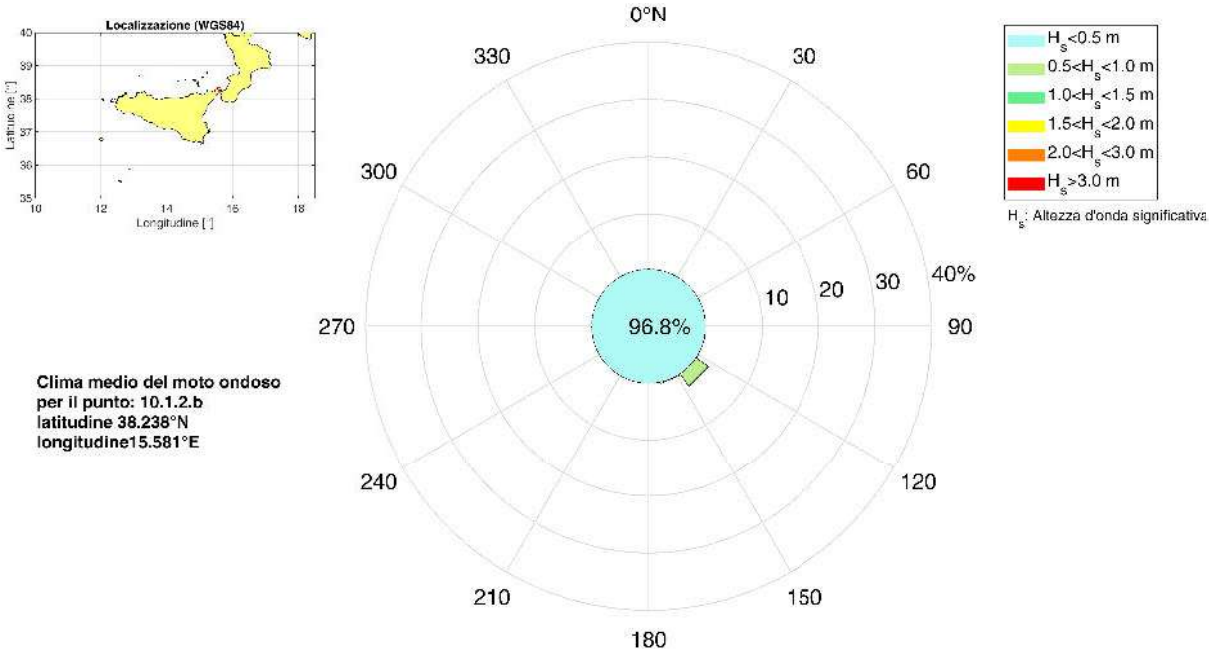


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.10	-	-	-	-	-
22.5	0.31	-	-	-	-	-
45.0	0.64	-	-	-	-	-
67.5	15.67	-	-	-	-	-
90.0	20.97	0.01	-	-	-	-
112.5	3.47	0.13	0.01	-	-	-
135.0	29.80	2.61	0.15	0.01	-	-
157.5	24.38	0.27	-	-	-	-
180.0	0.50	-	-	-	-	-
202.5	0.14	-	-	-	-	-
225.0	0.18	-	-	-	-	-
247.5	0.17	-	-	-	-	-
270.0	0.22	-	-	-	-	-
292.5	0.13	-	-	-	-	-
315.0	0.09	-	-	-	-	-
337.5	0.05	-	-	-	-	-

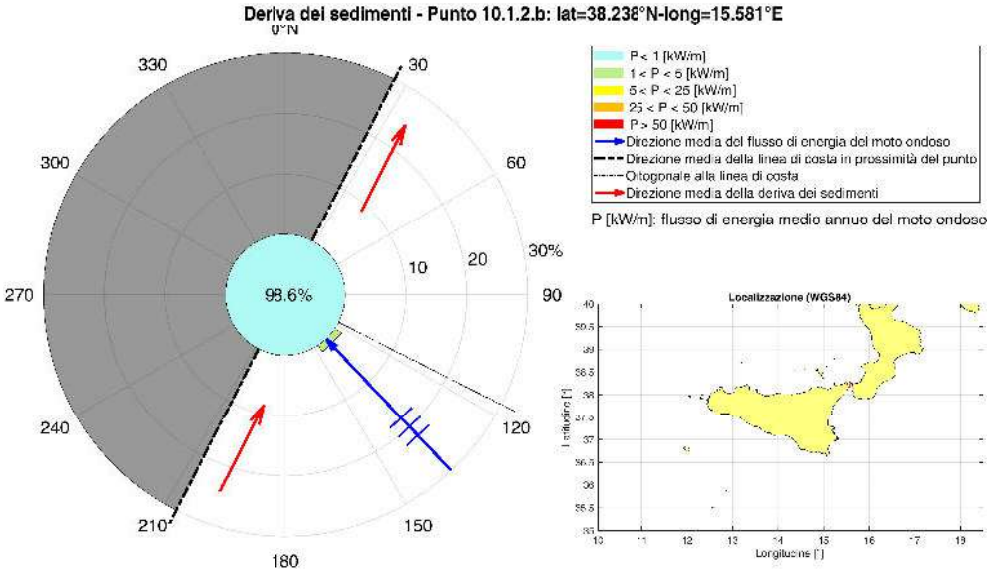


Figura 9: Deriva dei sedimenti.

Unità fisiografica di I ordine
11
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 11.1.1.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 11.1.1.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 11.1.1.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 11.1.1.d)
Analisi del moto ondoso

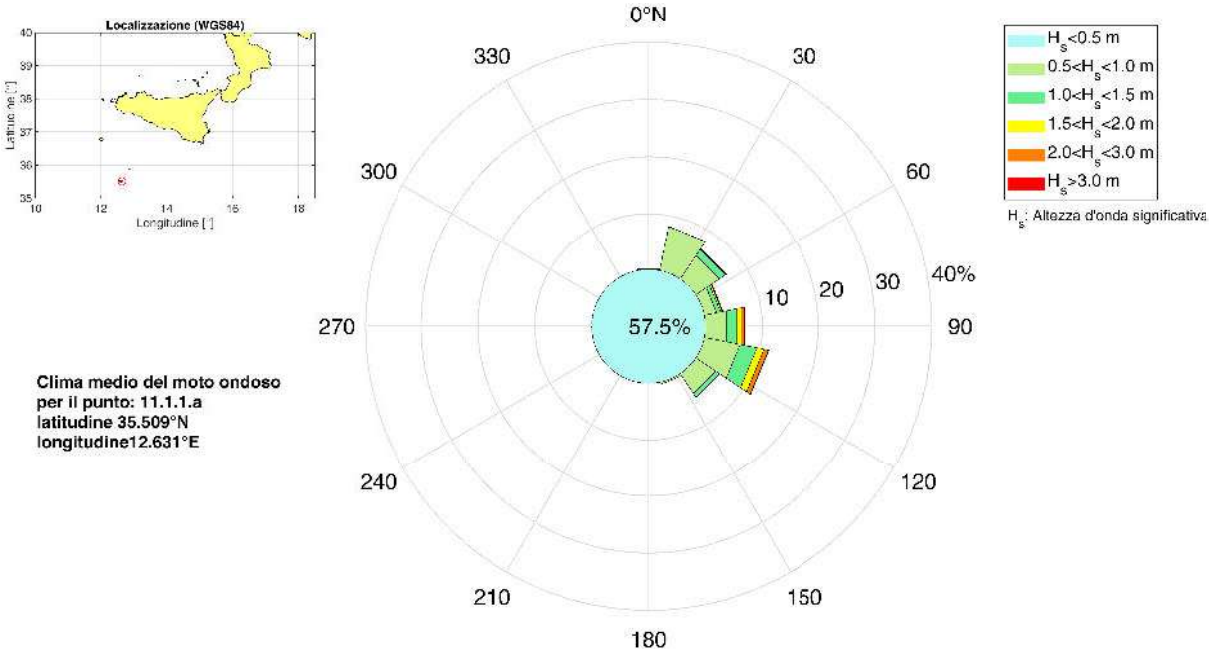


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.63	0.23	-	-	-	-
22.5	19.68	8.12	0.04	-	-	-
45.0	12.98	5.01	1.27	0.14	0.01	-
67.5	3.50	2.19	0.71	0.28	0.15	0.01
90.0	3.61	3.92	1.84	0.86	0.45	0.16
112.5	5.08	6.40	3.02	1.27	0.78	0.08
135.0	8.12	4.20	0.74	0.07	-	-
157.5	3.46	0.42	-	-	-	-
180.0	0.21	0.08	-	-	-	-
202.5	0.05	-	-	-	-	-
225.0	0.02	-	-	-	-	-
247.5	0.01	-	-	-	-	-
270.0	0.01	-	-	-	-	-
292.5	0.03	-	-	-	-	-
315.0	0.03	-	-	-	-	-
337.5	0.12	-	-	-	-	-

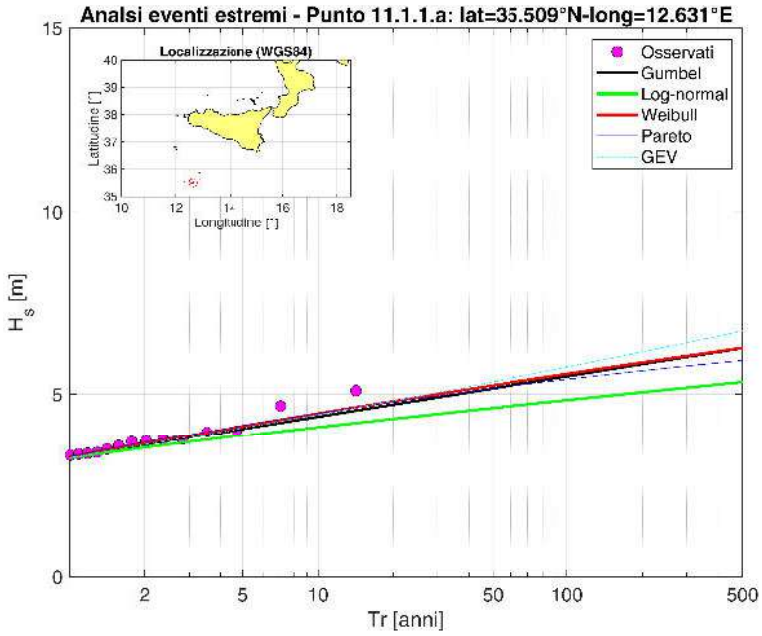


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	91	6.500	2.675	0.613	5.10
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.11066	0.11745	0.12641	0.14041	0.16846
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09423	0.06786	0.10396	0.06672	0.09312

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.092	2.399	0.817	1.914	1.249	0.961	0.208	2.000	0.756	-0.119	2.395	0.452	-0.041

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.61	3.65	3.52	3.67	3.60
5	4.06	4.13	3.86	4.15	4.08
10	4.39	4.48	4.10	4.49	4.45
50	5.16	5.25	4.63	5.16	5.34
100	5.49	5.56	4.85	5.41	5.75
500	6.26	6.27	5.34	5.93	6.73

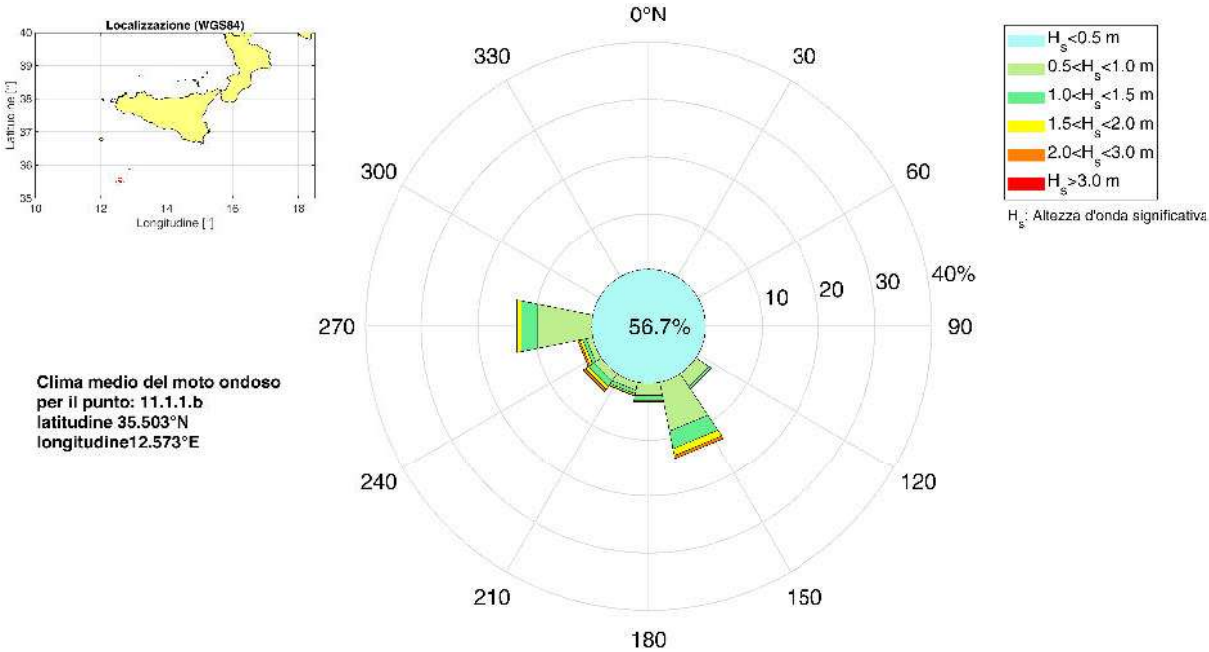


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	-	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	0.06	-	-	-	-	-
135.0	9.32	2.76	0.38	0.07	-	-
157.5	10.38	8.74	3.17	1.23	0.54	0.02
180.0	3.15	2.32	0.88	0.27	0.08	0.01
202.5	1.70	1.46	0.64	0.34	0.08	0.01
225.0	1.84	1.52	1.12	0.72	0.46	0.01
247.5	2.33	1.22	0.63	0.55	0.35	0.01
270.0	26.81	9.85	2.96	0.80	0.04	-
292.5	1.12	0.03	-	-	-	-
315.0	0.01	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

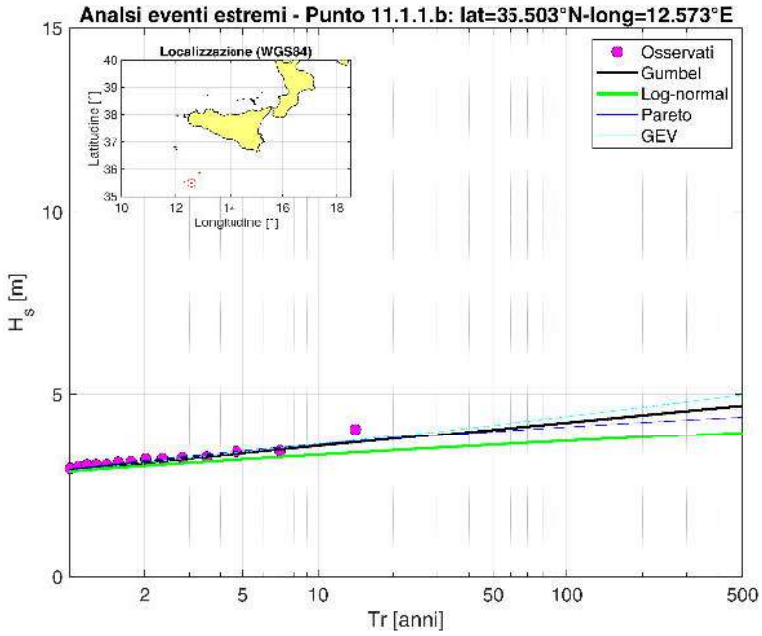


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	133	9.500	2.417	0.370	4.05
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09179	0.09742	0.10484	0.11644	0.13969
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10097	0.06778	0.12458	0.04523	0.08933

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.467	2.251	0.497	1.955	1.257	0.872	0.142	2.000	0.475	-0.137	2.249	0.273	-0.039

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.09	3.13	3.01	3.15	3.09
5	3.36	3.41	3.19	3.42	3.38
10	3.56	3.61	3.32	3.61	3.61
50	4.03	4.07	3.59	3.98	4.15
100	4.23	4.25	3.70	4.11	4.40
500	4.69	4.67	3.95	4.38	4.99

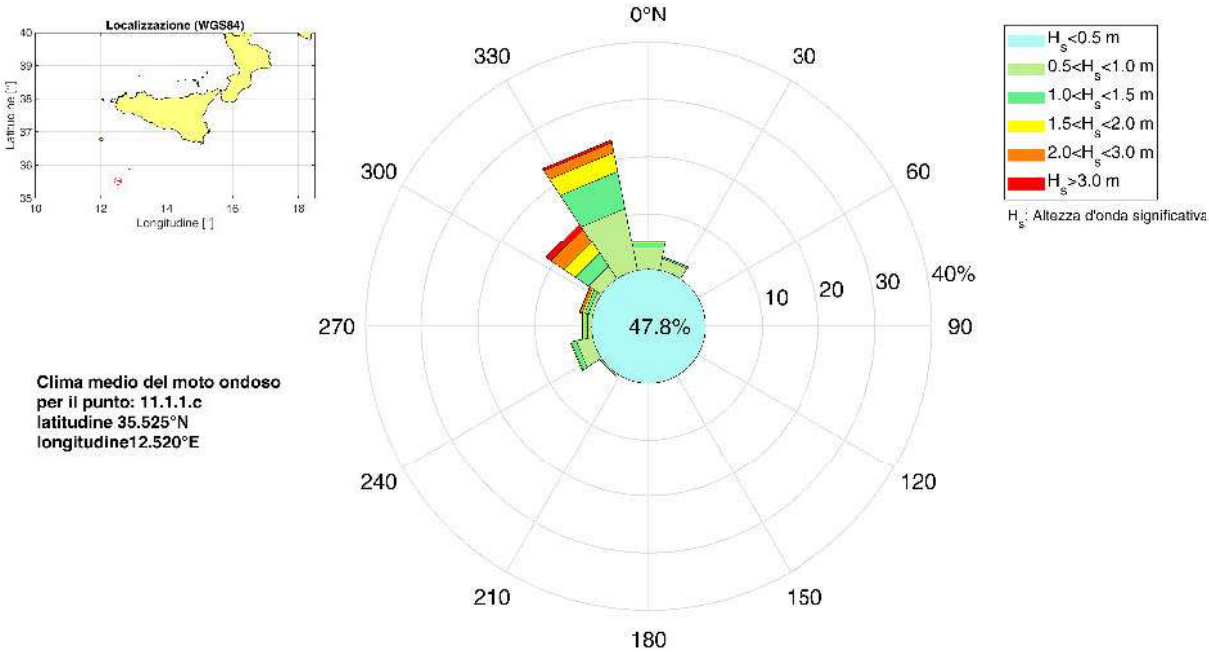


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	7.48	4.02	0.95	0.28	0.06	0.01
22.5	9.46	2.17	0.31	0.02	-	-
45.0	3.37	0.01	-	-	-	-
67.5	0.15	-	-	-	-	-
90.0	0.06	-	-	-	-	-
112.5	0.02	-	-	-	-	-
135.0	0.03	-	-	-	-	-
157.5	0.03	-	-	-	-	-
180.0	0.10	-	-	-	-	-
202.5	0.59	-	-	-	-	-
225.0	14.65	0.47	-	-	-	-
247.5	3.05	2.97	0.91	0.17	-	-
270.0	1.08	0.88	0.60	0.31	0.13	-
292.5	0.70	0.80	0.67	0.42	0.44	0.11
315.0	1.18	2.65	2.83	2.47	2.77	1.16
337.5	5.90	11.33	6.60	3.40	1.76	0.48

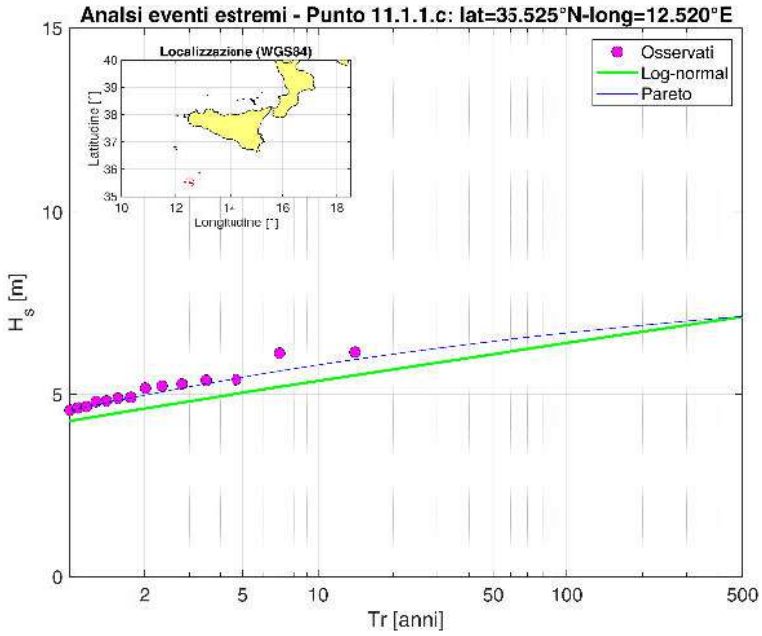


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	319	22.786	2.895	0.789	6.15
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05955	0.06319	0.06799	0.07550	0.09056
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08813	0.06167	0.10183	0.02750	0.08124

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.627	2.540	1.131	1.855	1.332	1.030	0.248	2.000	1.032	-0.153	2.537	0.596	-0.024

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.88	4.95	4.62	4.98	4.91
5	5.45	5.49	5.05	5.47	5.52
10	5.88	5.88	5.37	5.80	5.98
50	6.87	6.75	6.09	6.44	7.10
100	7.29	7.11	6.40	6.67	7.59
500	8.28	7.91	7.11	7.12	8.76

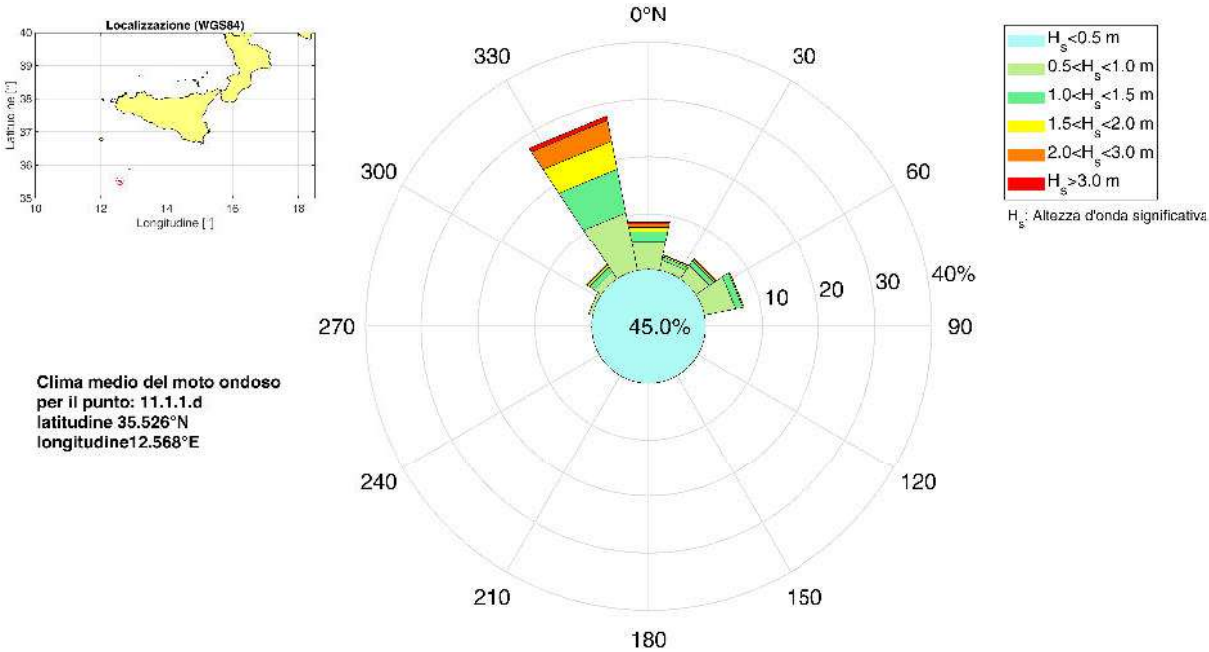


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.23	5.10	2.04	0.87	0.56	0.32
22.5	2.71	1.81	0.61	0.27	0.12	0.01
45.0	3.97	2.89	0.92	0.32	0.27	0.03
67.5	17.20	5.60	1.26	0.19	0.04	-
90.0	4.60	-	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	0.01	-	-	-	-	-
292.5	4.99	0.77	0.01	-	-	-
315.0	1.62	1.49	1.01	0.49	0.13	-
337.5	4.69	10.58	7.79	5.00	3.69	0.78

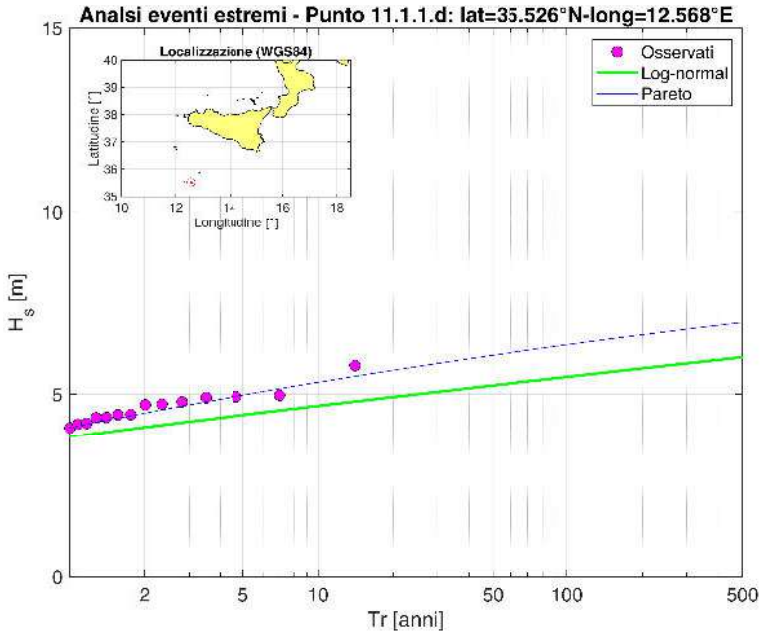


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	314	22.429	2.705	0.661	5.79
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06002	0.06369	0.06853	0.07609	0.09127
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10753	0.06794	0.10276	0.03889	0.09345

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.940	2.407	0.859	1.901	1.222	0.969	0.220	2.000	0.763	-0.083	2.403	0.483	-0.047

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.36	4.46	4.10	4.49	4.41
5	4.84	4.96	4.44	4.98	4.95
10	5.20	5.32	4.69	5.33	5.38
50	6.03	6.13	5.24	6.07	6.42
100	6.38	6.47	5.48	6.35	6.89
500	7.21	7.24	6.02	6.96	8.05

Unità fisiografica di I ordine
11
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 11.1.2.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 11.1.2.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 11.1.2.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 11.1.2.d)
Analisi del moto ondoso

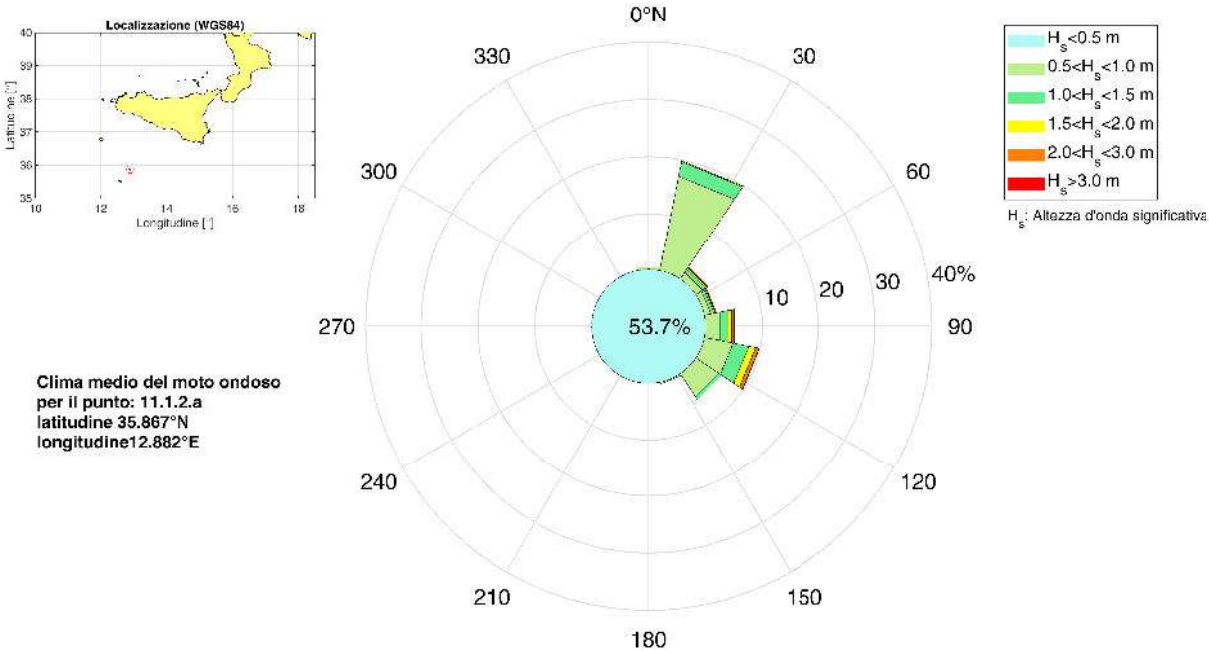


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	10.08	0.60	-	-	-	-
22.5	19.42	17.11	2.59	0.17	-	-
45.0	2.56	1.44	0.56	0.42	0.15	0.01
67.5	1.52	1.16	0.54	0.23	0.17	0.03
90.0	2.30	2.73	1.40	0.77	0.43	0.15
112.5	3.56	5.16	2.82	1.21	0.63	0.07
135.0	7.90	4.78	0.64	0.02	-	-
157.5	6.25	0.34	-	-	-	-
180.0	0.04	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	0.03	-	-	-	-	-

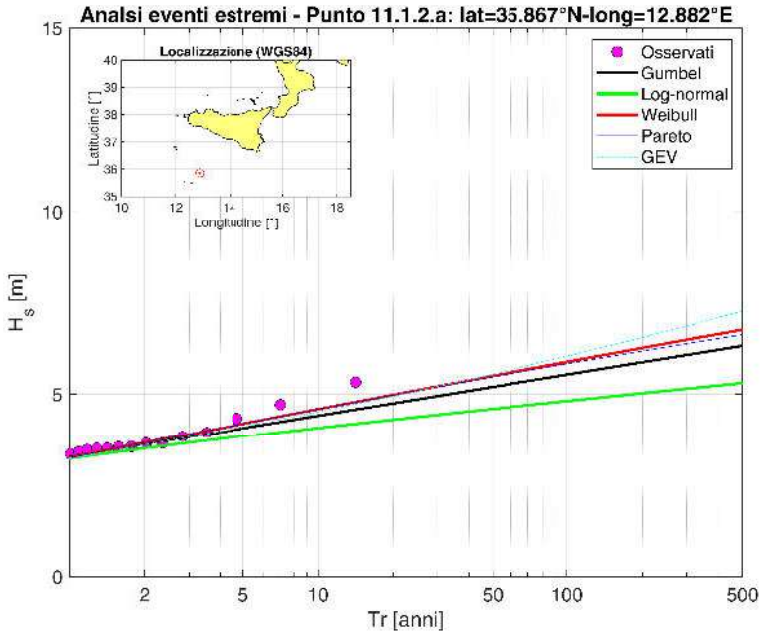


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	95	6.786	2.645	0.625	5.33
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10834	0.11499	0.12376	0.13746	0.16493
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11651	0.04109	0.11735	0.04476	0.09238

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.053	2.364	0.705	1.963	1.092	0.949	0.210	2.000	0.673	-0.042	2.358	0.436	-0.076

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.62	3.66	3.50	3.66	3.60
5	4.07	4.20	3.84	4.20	4.11
10	4.41	4.60	4.08	4.60	4.52
50	5.20	5.50	4.60	5.47	5.56
100	5.54	5.89	4.82	5.83	6.04
500	6.32	6.76	5.31	6.63	7.27

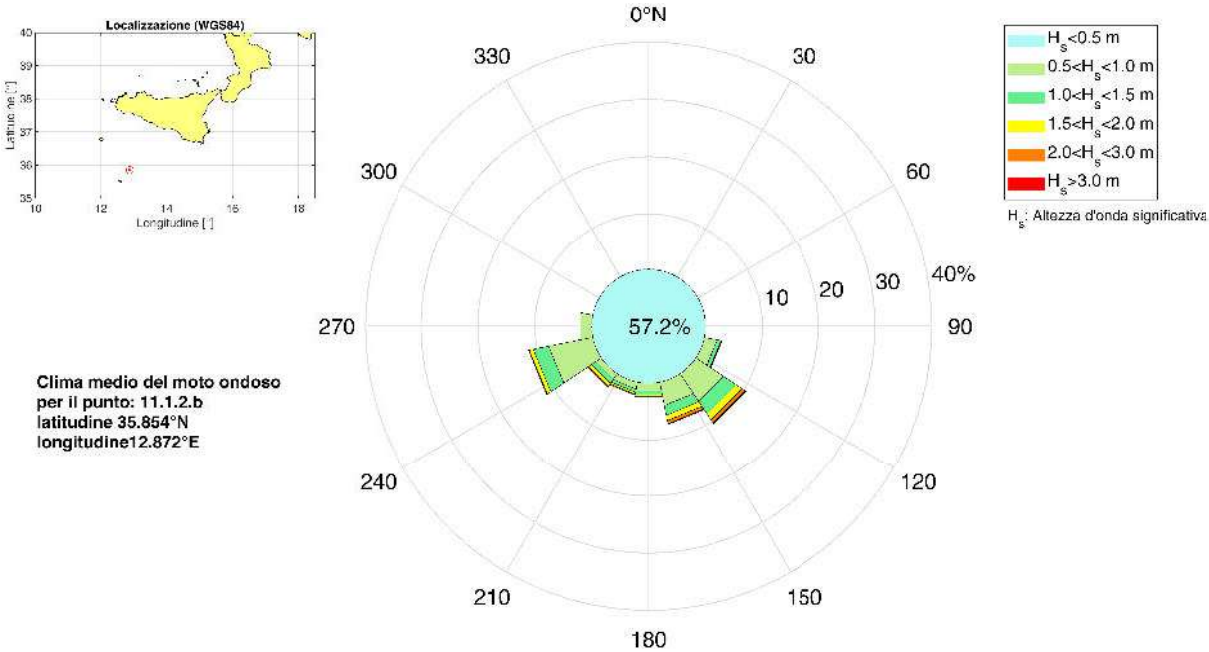


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.02	-	-	-	-	-
22.5	0.03	-	-	-	-	-
45.0	0.05	-	-	-	-	-
67.5	0.19	-	-	-	-	-
90.0	3.36	0.04	-	-	-	-
112.5	5.53	2.30	0.68	0.11	0.05	-
135.0	4.72	5.86	2.66	1.21	0.69	0.11
157.5	3.41	4.18	1.73	0.95	0.57	0.13
180.0	1.89	1.54	0.66	0.25	0.07	0.01
202.5	1.13	1.25	0.56	0.34	0.15	0.01
225.0	1.44	1.19	0.91	0.55	0.28	0.01
247.5	6.68	7.94	2.72	0.75	0.12	-
270.0	28.39	2.22	-	-	-	-
292.5	0.27	0.01	-	-	-	-
315.0	0.04	-	-	-	-	-
337.5	0.04	-	-	-	-	-

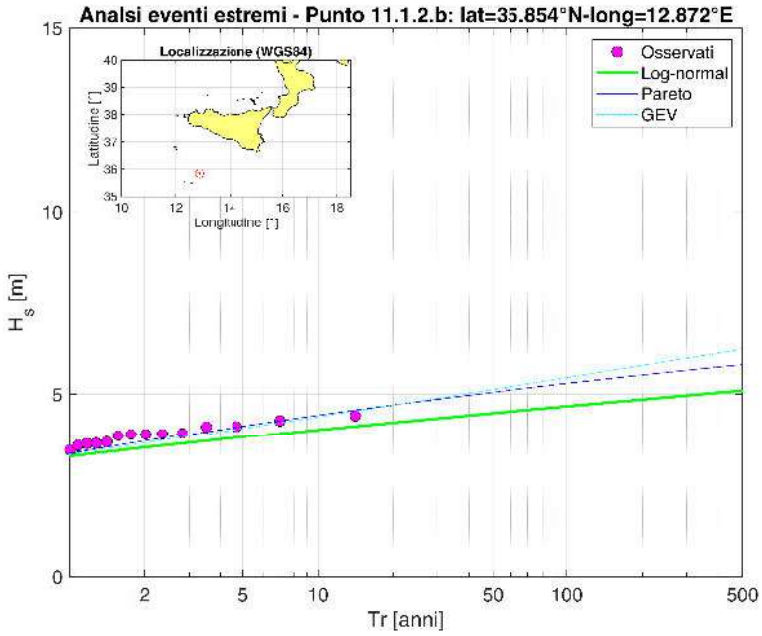


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	148	10.571	2.585	0.556	4.42
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08708	0.09241	0.09945	0.11045	0.13250
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11408	0.10871	0.12924	0.07570	0.10970

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.307	2.335	0.821	1.833	1.367	0.929	0.197	2.000	0.638	-0.090	2.333	0.424	-0.016

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.65	3.69	3.52	3.70	3.65
5	4.05	4.08	3.81	4.13	4.07
10	4.35	4.37	4.02	4.43	4.39
50	5.05	4.98	4.48	5.06	5.13
100	5.35	5.23	4.67	5.30	5.46
500	6.05	5.79	5.11	5.81	6.24

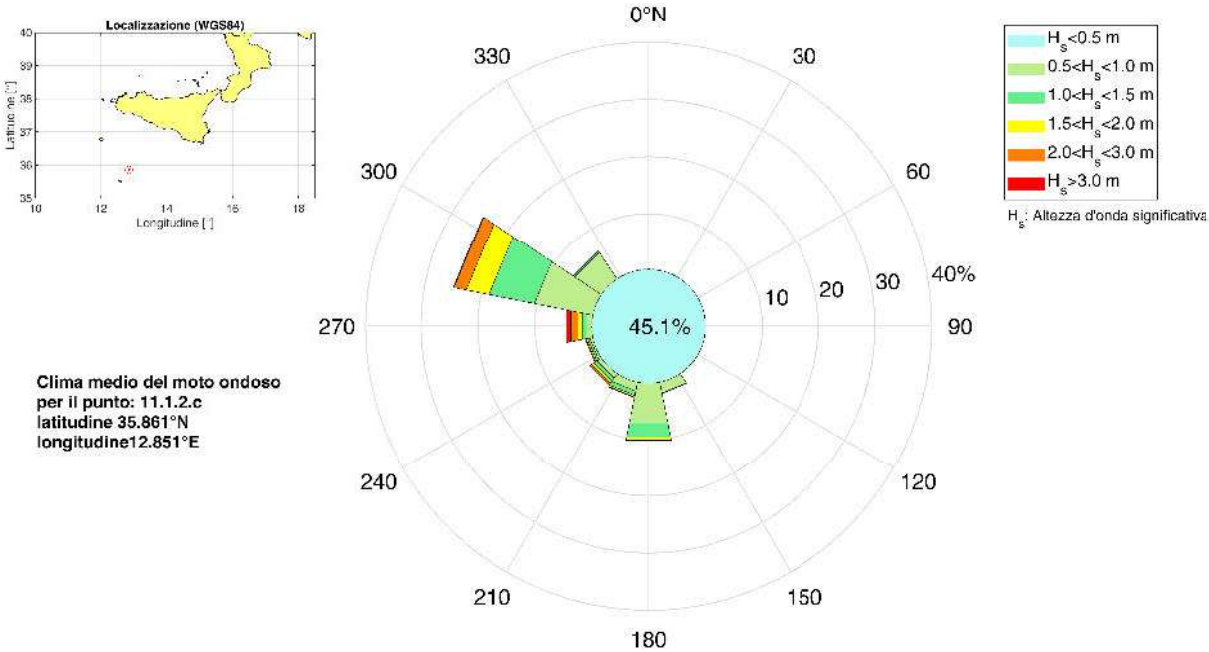


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.03	-	-	-	-	-
22.5	0.01	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	0.02	-	-	-	-	-
135.0	0.29	-	-	-	-	-
157.5	11.08	1.96	0.07	-	-	-
180.0	9.20	7.33	2.51	0.58	0.12	-
202.5	1.58	1.63	0.74	0.33	0.08	0.01
225.0	0.81	0.93	0.68	0.49	0.35	0.03
247.5	0.64	0.54	0.41	0.24	0.15	0.03
270.0	0.99	1.06	0.83	0.73	1.27	0.84
292.5	5.74	10.46	8.14	4.10	2.17	0.14
315.0	13.66	5.65	0.30	0.01	-	-
337.5	1.01	-	-	-	-	-

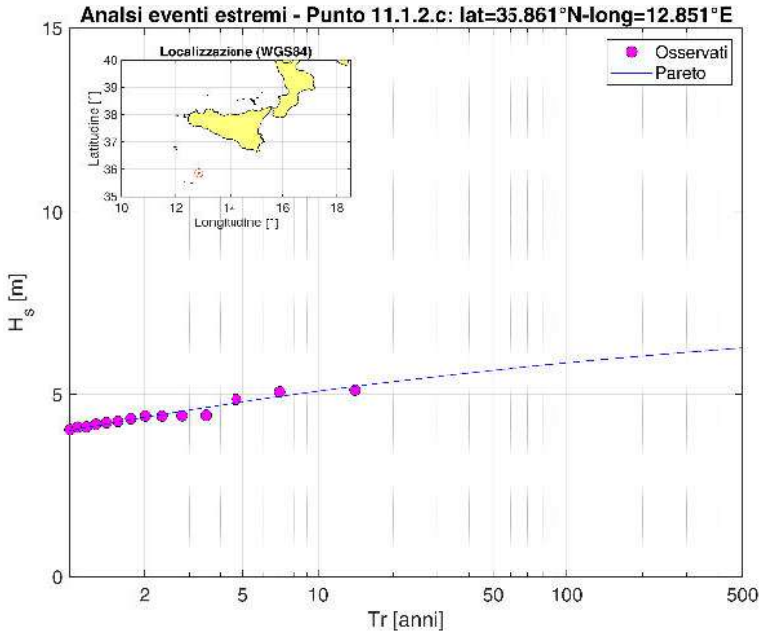


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	278	19.857	2.726	0.669	5.12
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06376	0.06765	0.07279	0.08083	0.09696
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10113	0.10377	0.11461	0.06206	0.10267

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.918	2.425	1.075	1.754	1.478	0.976	0.227	2.000	0.832	-0.142	2.425	0.525	0.005

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.34	4.35	4.13	4.38	4.33
5	4.82	4.77	4.49	4.81	4.81
10	5.18	5.07	4.75	5.09	5.16
50	6.02	5.72	5.34	5.66	5.98
100	6.38	5.99	5.59	5.86	6.34
500	7.22	6.58	6.16	6.27	7.14

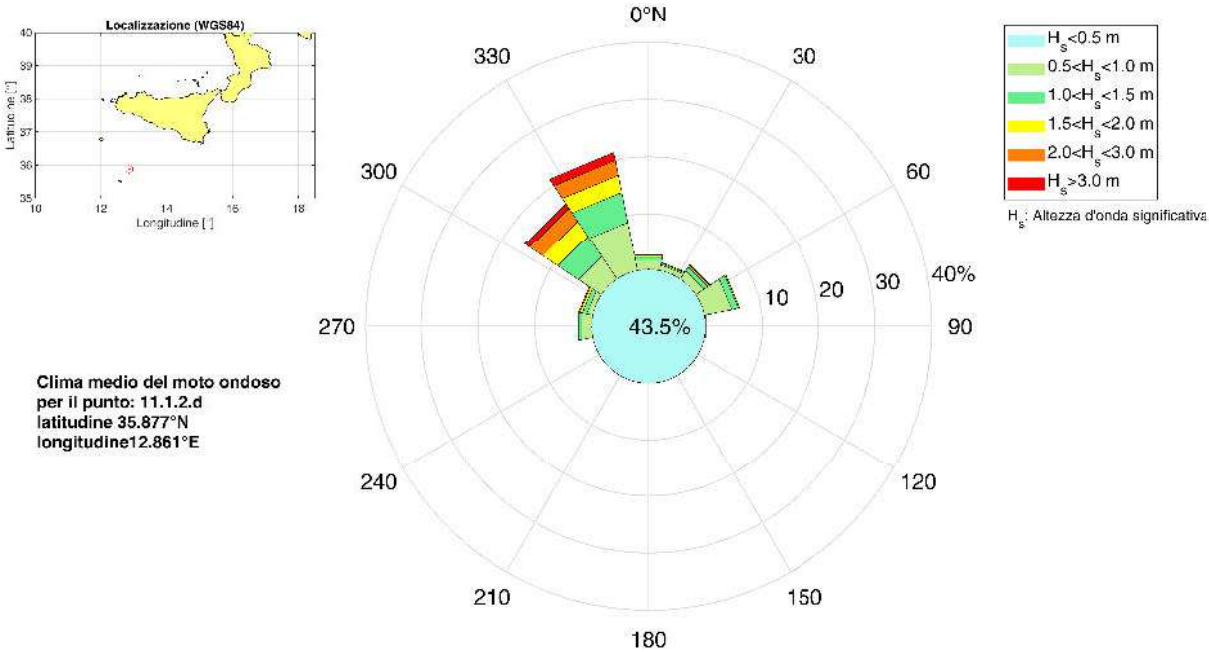


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.18	1.76	0.60	0.28	0.14	0.03
22.5	1.32	1.00	0.29	0.14	0.04	0.01
45.0	2.32	1.77	0.72	0.33	0.20	0.03
67.5	9.39	4.93	1.15	0.19	0.03	-
90.0	10.26	0.22	-	-	-	-
112.5	0.61	-	-	-	-	-
135.0	0.23	-	-	-	-	-
157.5	0.17	-	-	-	-	-
180.0	0.13	-	-	-	-	-
202.5	0.22	-	-	-	-	-
225.0	0.51	-	-	-	-	-
247.5	4.25	0.01	-	-	-	-
270.0	2.92	2.01	0.55	0.03	-	-
292.5	1.08	1.08	0.80	0.45	0.20	0.02
315.0	2.21	4.83	4.35	3.19	2.79	1.01
337.5	5.66	8.81	5.37	3.10	2.66	1.40

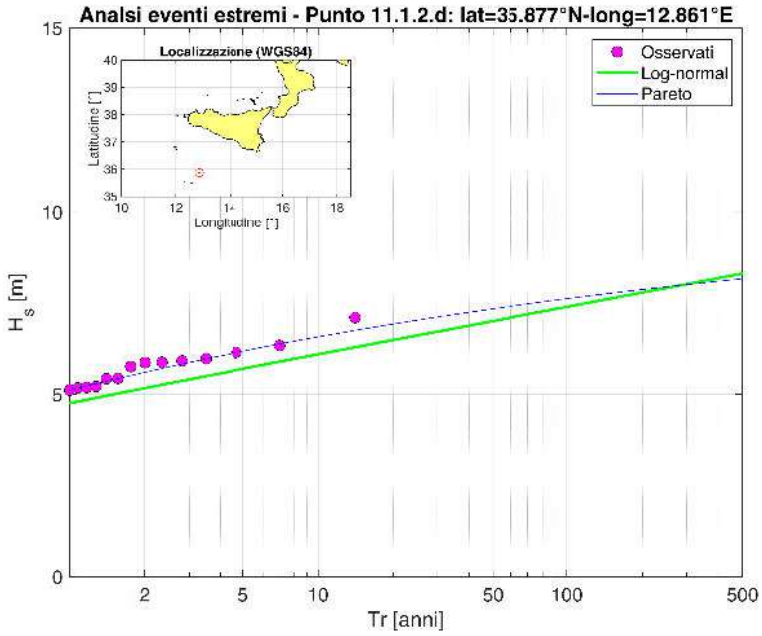


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	369	26.357	3.044	0.930	7.08
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05541	0.05879	0.06325	0.07023	0.08424
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09059	0.05936	0.10605	0.04140	0.08265

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.380	2.626	1.303	1.841	1.305	1.073	0.275	2.000	1.198	-0.146	2.622	0.697	-0.029

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.49	5.59	5.17	5.60	5.54
5	6.16	6.23	5.70	6.18	6.27
10	6.66	6.70	6.09	6.57	6.84
50	7.83	7.75	6.99	7.33	8.19
100	8.33	8.18	7.38	7.60	8.79
500	9.50	9.15	8.29	8.14	10.23

Unità fisiografica di I ordine
12
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 12.1.1.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 12.1.1.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 12.1.1.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 12.1.1.d)
Analisi del moto ondoso

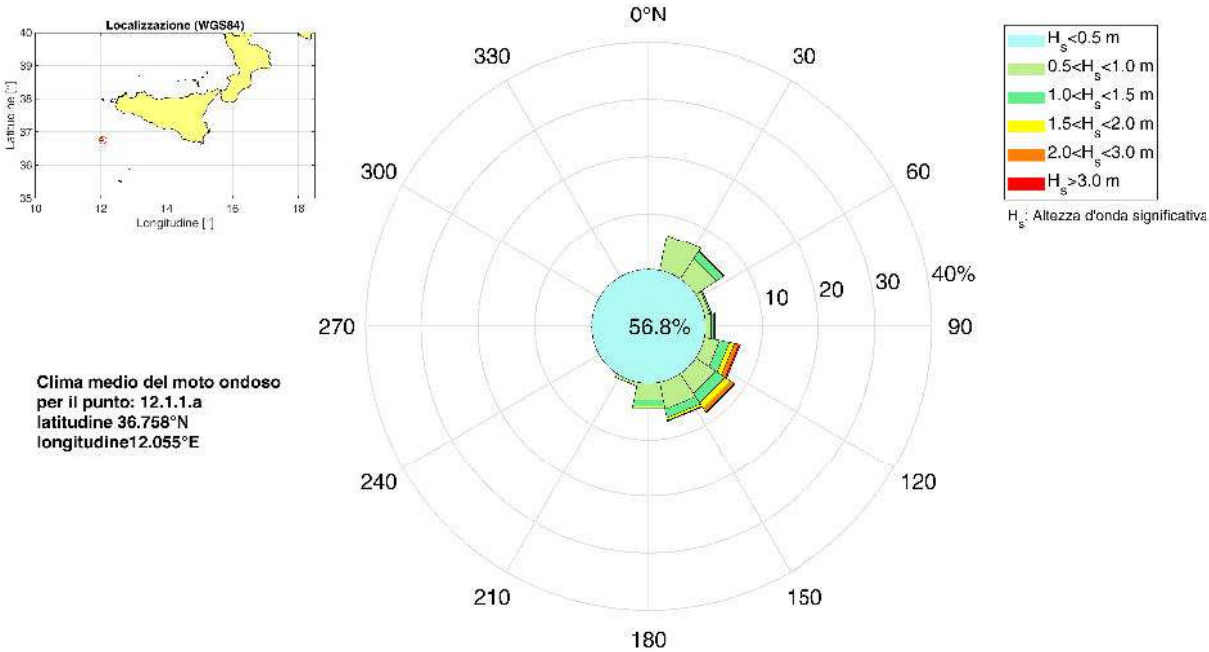


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.27	0.13	-	-	-	-
22.5	27.22	6.53	0.03	-	-	-
45.0	9.81	4.36	1.38	0.25	0.01	-
67.5	1.83	1.01	0.23	0.06	0.01	-
90.0	1.39	1.20	0.50	0.22	0.08	0.01
112.5	1.72	2.74	1.74	0.89	0.79	0.29
135.0	2.40	4.23	1.93	1.21	0.76	0.18
157.5	4.08	4.86	1.51	0.49	0.14	0.01
180.0	4.95	3.11	1.18	0.26	0.05	-
202.5	2.74	0.68	0.03	-	-	-
225.0	0.18	0.06	-	-	-	-
247.5	0.07	0.03	-	-	-	-
270.0	0.03	0.01	-	-	-	-
292.5	0.02	0.01	-	-	-	-
315.0	0.03	0.01	-	-	-	-
337.5	0.05	0.03	-	-	-	-

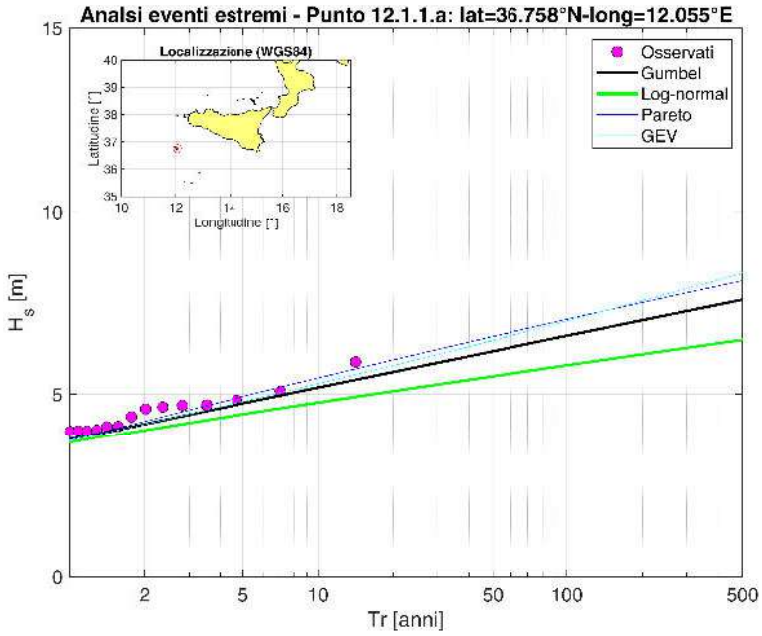


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	125	8.929	2.797	0.784	5.89
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09465	0.10045	0.10810	0.12006	0.14404
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11996	0.09309	0.14339	0.06119	0.11235

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.636	2.444	1.027	1.837	1.231	0.995	0.249	2.000	0.821	-0.030	2.439	0.574	-0.045

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.19	4.26	4.02	4.27	4.19
5	4.76	4.87	4.46	4.95	4.81
10	5.19	5.32	4.78	5.45	5.29
50	6.17	6.30	5.49	6.58	6.47
100	6.60	6.71	5.79	7.04	7.00
500	7.58	7.63	6.49	8.09	8.30

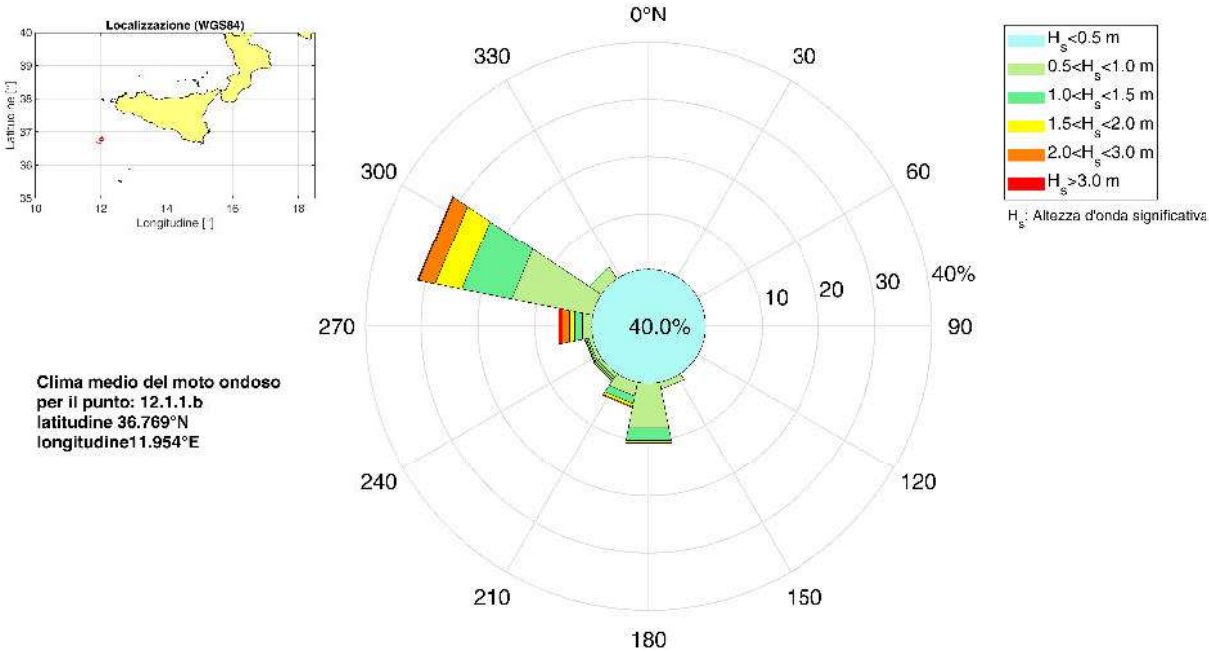


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	-	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	3.00	1.25	0.01	-	-	-
180.0	11.07	8.16	2.29	0.42	0.04	-
202.5	2.88	2.48	1.34	0.57	0.15	-
225.0	1.16	0.81	0.47	0.21	0.12	-
247.5	1.10	0.81	0.36	0.22	0.10	0.01
270.0	1.55	1.86	1.36	0.94	1.29	0.67
292.5	9.70	14.52	8.94	4.81	2.97	0.19
315.0	9.57	2.42	0.14	-	-	-
337.5	0.01	-	-	-	-	-

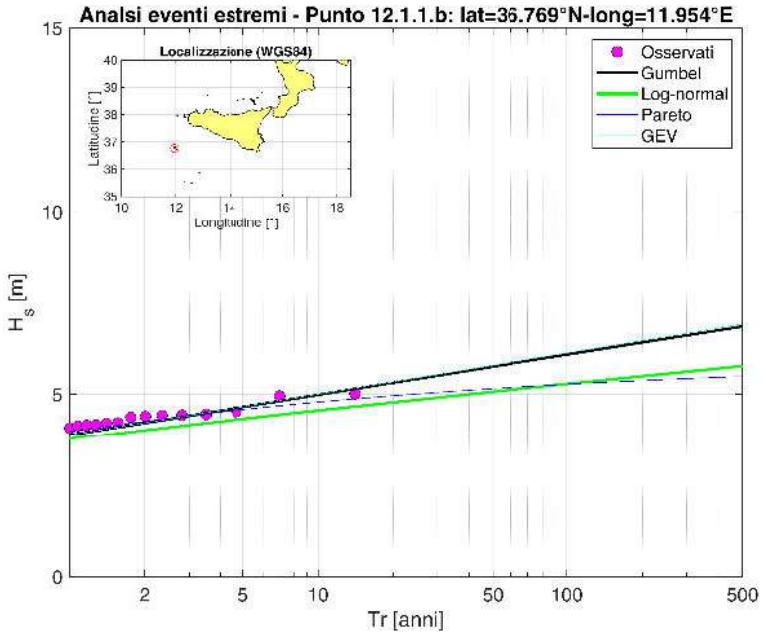


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	287	20.500	2.737	0.610	5.02
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06276	0.06659	0.07165	0.07956	0.09544
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06956	0.05022	0.08659	0.02494	0.06969

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.104	2.462	0.943	1.880	1.426	0.985	0.206	2.000	0.904	-0.227	2.462	0.472	-0.005

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.22	4.25	4.02	4.27	4.23
5	4.66	4.64	4.33	4.59	4.67
10	4.99	4.93	4.56	4.79	5.01
50	5.76	5.55	5.07	5.16	5.79
100	6.09	5.80	5.29	5.28	6.13
500	6.85	6.36	5.77	5.49	6.92

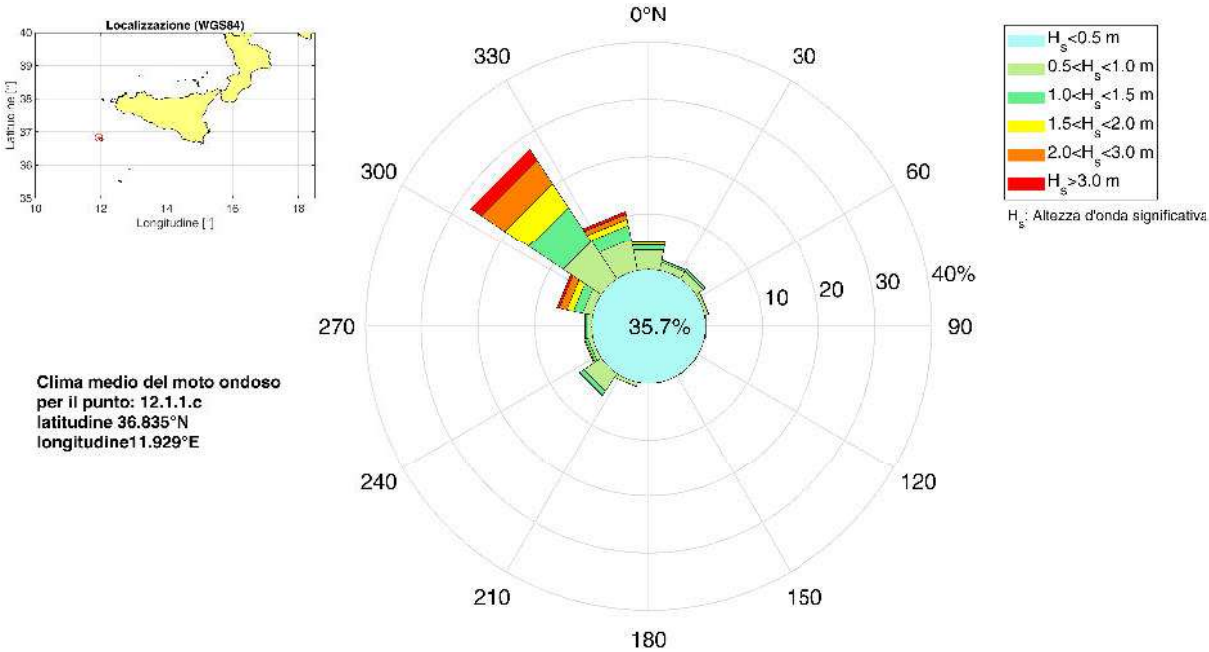


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	4.18	3.71	0.94	0.45	0.24	0.04
22.5	3.07	1.48	0.34	0.07	0.03	0.01
45.0	3.85	1.56	0.45	0.08	-	-
67.5	1.81	0.73	0.07	-	-	-
90.0	0.59	0.19	0.01	-	-	-
112.5	0.33	0.09	0.01	-	-	-
135.0	0.31	0.09	0.01	-	-	-
157.5	0.42	0.11	0.01	-	-	-
180.0	0.74	0.16	-	-	-	-
202.5	4.87	0.78	0.04	-	-	-
225.0	7.02	3.69	0.86	0.10	-	-
247.5	1.15	0.90	0.48	0.17	0.05	-
270.0	0.67	0.81	0.40	0.19	0.10	0.01
292.5	0.91	1.81	1.63	1.25	1.31	0.43
315.0	2.43	8.06	7.35	4.93	5.01	2.30
337.5	3.32	5.66	2.66	1.10	0.89	0.52

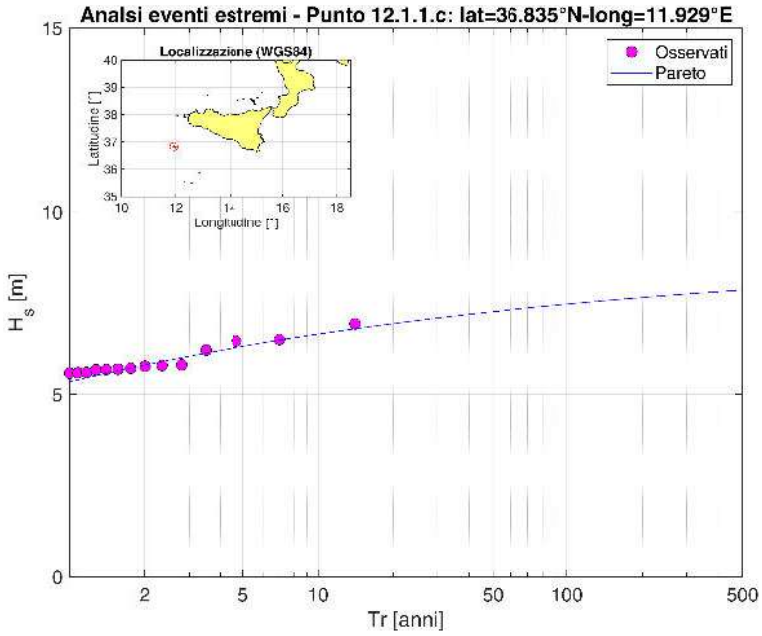


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	396	28.286	3.142	0.984	6.92
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05350	0.05677	0.06107	0.06781	0.08133
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08112	0.06851	0.07904	0.02356	0.07999

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.304	2.699	1.524	1.757	1.428	1.102	0.287	2.000	1.375	-0.201	2.699	0.763	-0.004

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.79	5.80	5.50	5.80	5.80
5	6.49	6.43	6.08	6.31	6.51
10	7.03	6.88	6.51	6.64	7.05
50	8.26	7.86	7.51	7.25	8.32
100	8.79	8.26	7.95	7.45	8.86
500	10.03	9.16	8.96	7.84	10.14

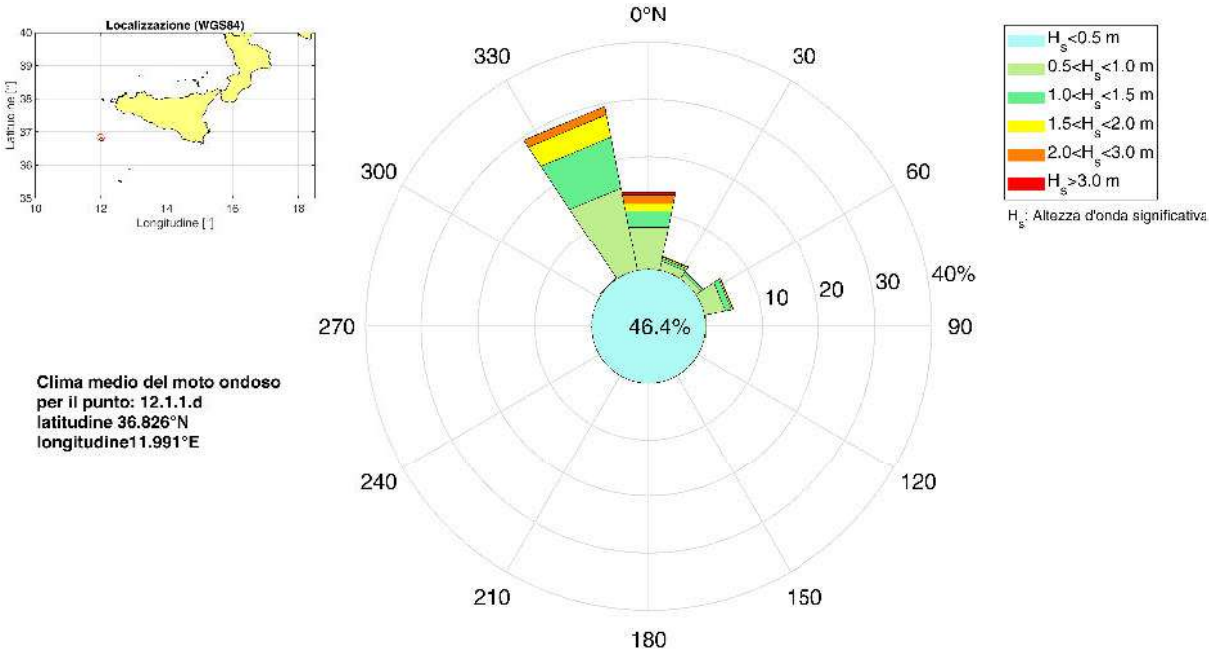


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	7.50	8.03	2.84	1.34	1.53	0.55
22.5	2.98	1.65	0.47	0.28	0.13	0.02
45.0	2.52	1.15	0.30	0.09	0.01	0.01
67.5	10.86	3.79	1.05	0.27	0.07	-
90.0	10.27	0.31	-	-	-	-
112.5	0.04	-	-	-	-	-
135.0	0.01	-	-	-	-	-
157.5	0.02	-	-	-	-	-
180.0	0.01	-	-	-	-	-
202.5	0.03	-	-	-	-	-
225.0	0.03	-	-	-	-	-
247.5	0.03	-	-	-	-	-
270.0	0.02	-	-	-	-	-
292.5	0.03	-	-	-	-	-
315.0	1.94	0.18	0.01	-	-	-
337.5	10.09	14.97	9.08	4.00	1.45	0.01

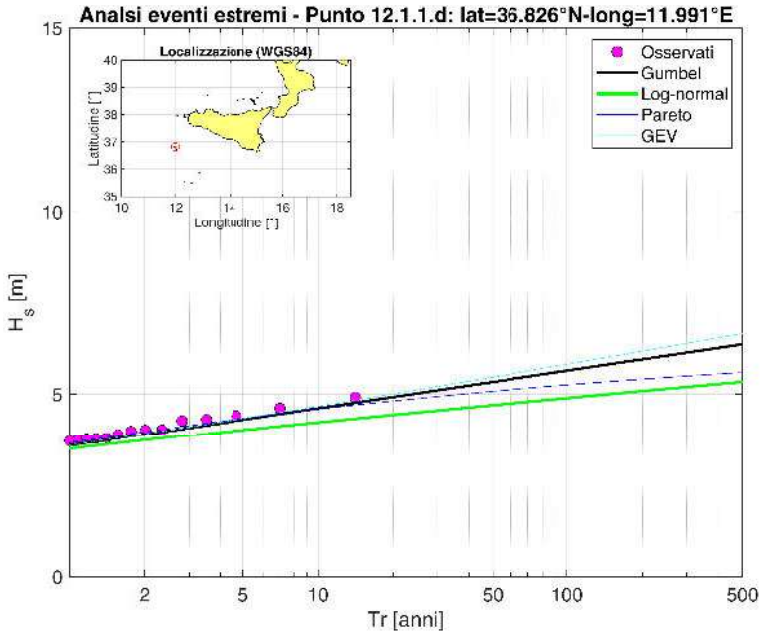


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	209	14.929	2.646	0.572	4.91
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07343	0.07792	0.08384	0.09311	0.11169
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08797	0.06359	0.10067	0.03470	0.08146

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.242	2.388	0.825	1.888	1.338	0.952	0.199	2.000	0.747	-0.156	2.386	0.433	-0.022

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.90	3.95	3.73	3.97	3.91
5	4.31	4.35	4.02	4.35	4.34
10	4.62	4.64	4.23	4.60	4.68
50	5.34	5.28	4.70	5.08	5.47
100	5.65	5.54	4.90	5.26	5.82
500	6.37	6.12	5.34	5.60	6.66

Unità fisiografica di I ordine
13
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 13.1.1.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.1.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.1.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.1.d)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.1.e)
Analisi del moto ondoso

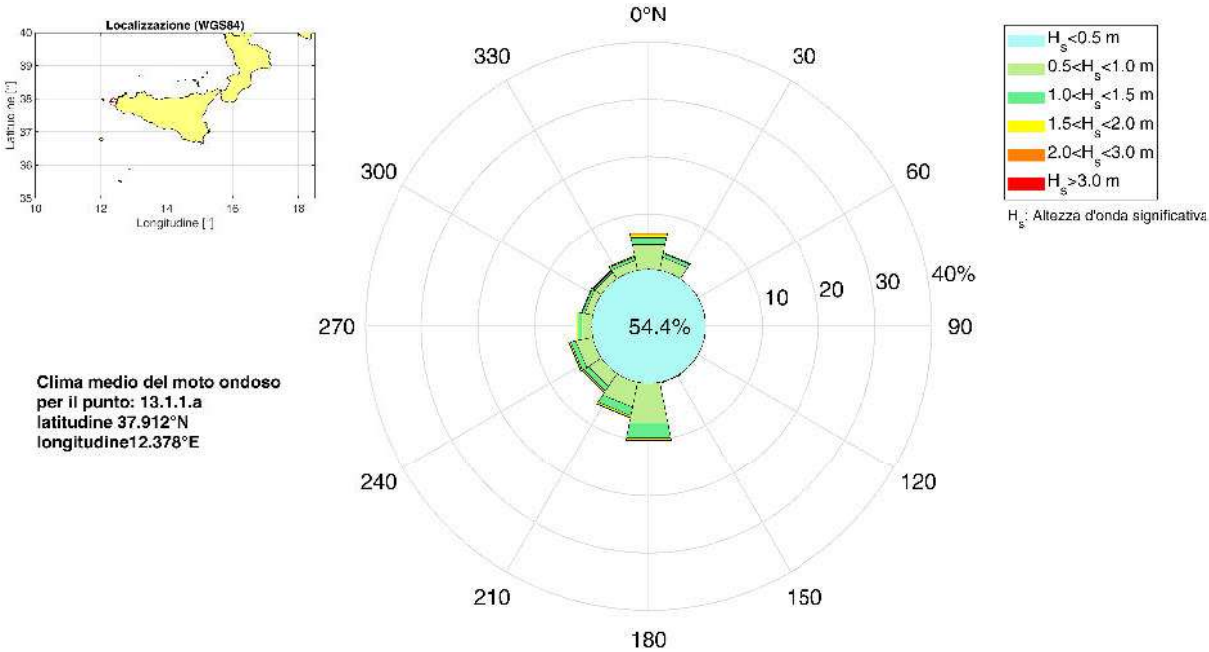


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	13.11	4.64	1.55	0.51	0.24	-
22.5	8.58	2.37	0.66	0.14	0.03	-
45.0	0.50	0.16	0.02	-	-	-
67.5	0.19	0.09	0.01	-	-	-
90.0	0.14	0.06	0.01	-	-	-
112.5	0.19	0.05	0.01	-	-	-
135.0	0.17	0.06	-	-	-	-
157.5	0.48	0.21	0.02	-	-	-
180.0	5.63	7.31	2.57	0.49	0.12	-
202.5	8.36	4.50	1.50	0.34	0.08	-
225.0	4.05	2.73	0.93	0.34	0.06	-
247.5	3.57	3.08	0.91	0.25	0.09	-
270.0	2.14	1.95	0.70	0.18	0.09	-
292.5	1.87	1.44	0.46	0.13	0.04	-
315.0	2.00	1.35	0.38	0.11	0.03	-
337.5	3.39	1.80	0.58	0.17	0.06	-

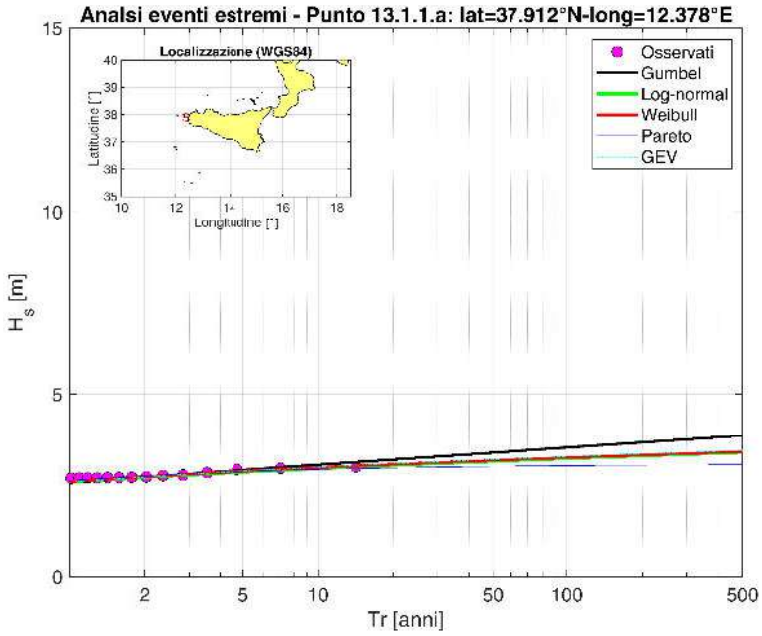


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	76	5.429	2.344	0.263	2.98
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12090	0.12833	0.13812	0.15342	0.18408
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10096	0.09537	0.12078	0.07582	0.10643

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
4.886	2.226	0.598	1.814	2.120	0.846	0.110	2.000	0.521	-0.490	2.234	0.233	0.118

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.70	2.71	2.69	2.73	2.71
5	2.90	2.86	2.83	2.85	2.87
10	3.04	2.96	2.93	2.91	2.98
50	3.37	3.16	3.13	3.00	3.19
100	3.51	3.24	3.20	3.02	3.27
500	3.84	3.40	3.37	3.04	3.43

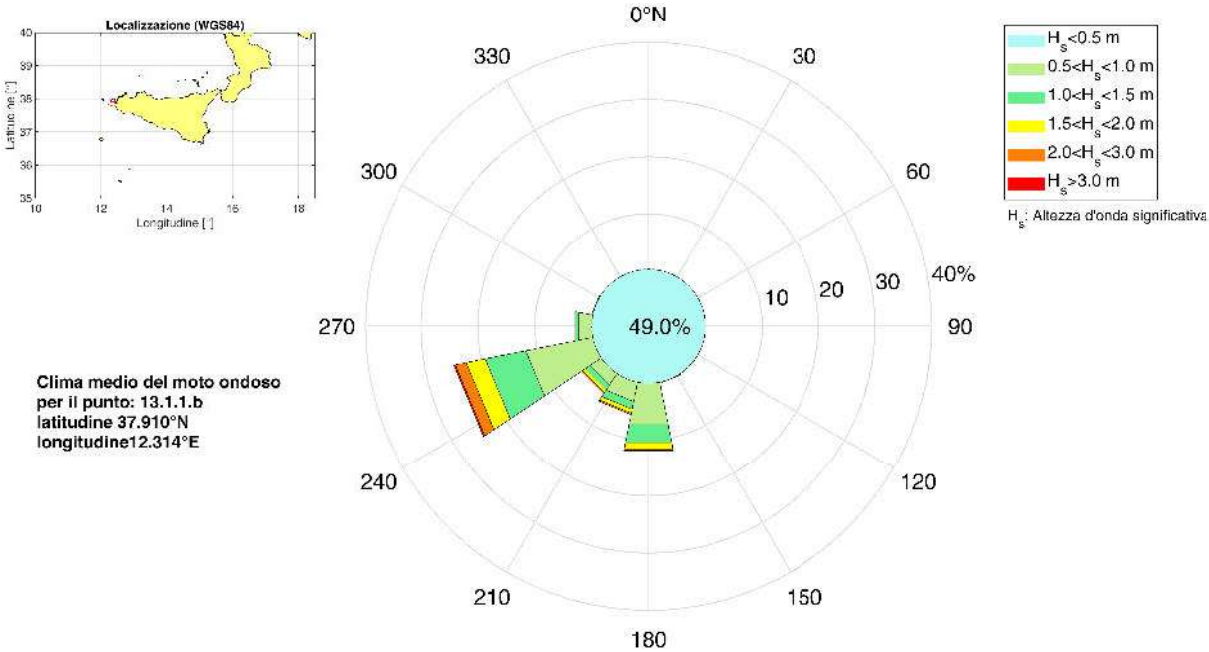


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.31	0.01	-	-	-	-
22.5	0.38	0.01	-	-	-	-
45.0	0.44	0.02	-	-	-	-
67.5	0.37	-	-	-	-	-
90.0	0.54	0.01	-	-	-	-
112.5	1.63	0.01	-	-	-	-
135.0	0.79	0.02	-	-	-	-
157.5	2.29	0.20	0.01	-	-	-
180.0	8.93	7.47	3.31	1.18	0.31	0.01
202.5	4.34	3.46	1.38	0.71	0.25	0.01
225.0	2.25	2.33	1.10	0.55	0.29	0.01
247.5	8.67	12.01	7.25	3.42	1.93	0.28
270.0	16.01	2.58	0.57	0.03	-	-
292.5	1.39	0.23	-	-	-	-
315.0	0.37	0.01	-	-	-	-
337.5	0.26	0.01	-	-	-	-

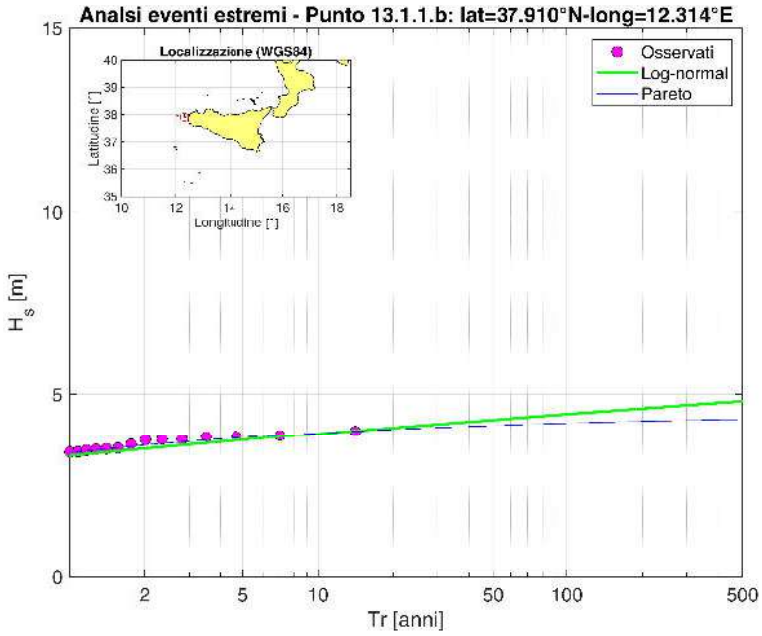


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	207	14.786	2.566	0.480	3.98
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07378	0.07829	0.08424	0.09355	0.11223
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10246	0.09006	0.12302	0.07351	0.10473

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.672	2.350	0.894	1.768	1.710	0.926	0.178	2.000	0.741	-0.297	2.355	0.397	0.048

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.61	3.59	3.49	3.58	3.59
5	3.96	3.87	3.74	3.80	3.90
10	4.22	4.06	3.91	3.93	4.12
50	4.82	4.46	4.30	4.15	4.60
100	5.08	4.63	4.46	4.21	4.80
500	5.68	4.98	4.82	4.32	5.23

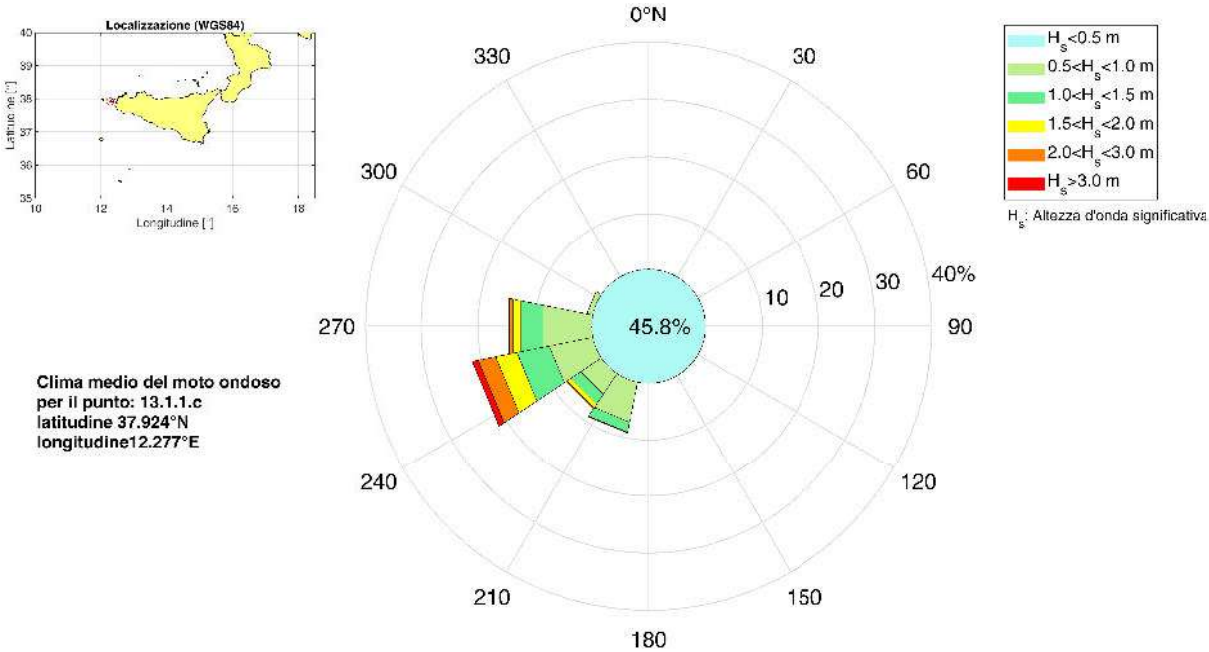


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	-	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	0.01	-	-	-	-	-
180.0	1.04	-	-	-	-	-
202.5	10.47	7.16	1.81	0.11	-	-
225.0	5.03	4.34	2.06	0.85	0.24	0.01
247.5	3.91	7.80	5.80	3.79	3.13	1.07
270.0	9.47	8.93	3.95	1.43	0.59	0.04
292.5	10.90	1.06	0.02	-	-	-
315.0	4.93	-	-	-	-	-
337.5	0.03	-	-	-	-	-

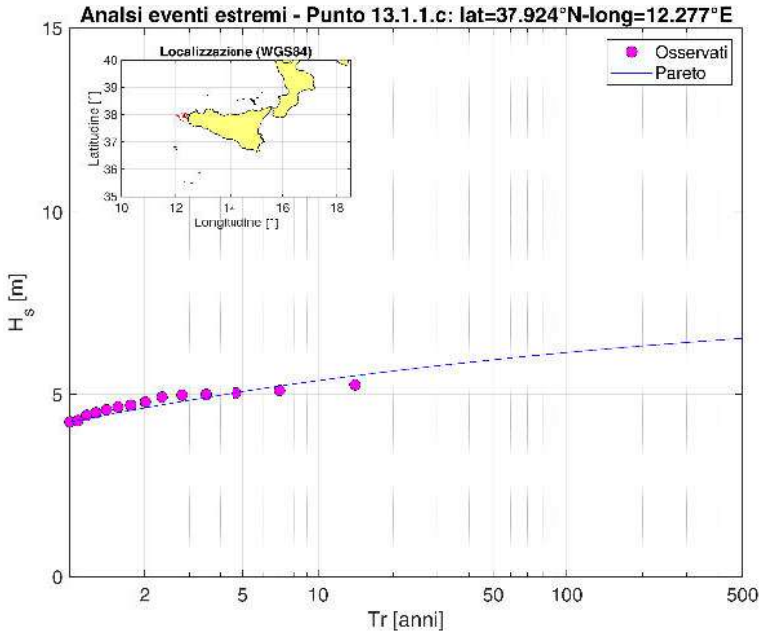


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	267	19.071	2.826	0.750	5.26
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06504	0.06902	0.07426	0.08246	0.09892
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09715	0.10023	0.10847	0.06351	0.09949

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.711	2.489	1.218	1.726	1.493	1.008	0.245	2.000	0.969	-0.169	2.490	0.591	0.008

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.61	4.62	4.40	4.64	4.60
5	5.15	5.09	4.82	5.08	5.13
10	5.56	5.42	5.12	5.38	5.53
50	6.50	6.15	5.81	5.94	6.43
100	6.90	6.44	6.11	6.14	6.82
500	7.84	7.09	6.78	6.52	7.71

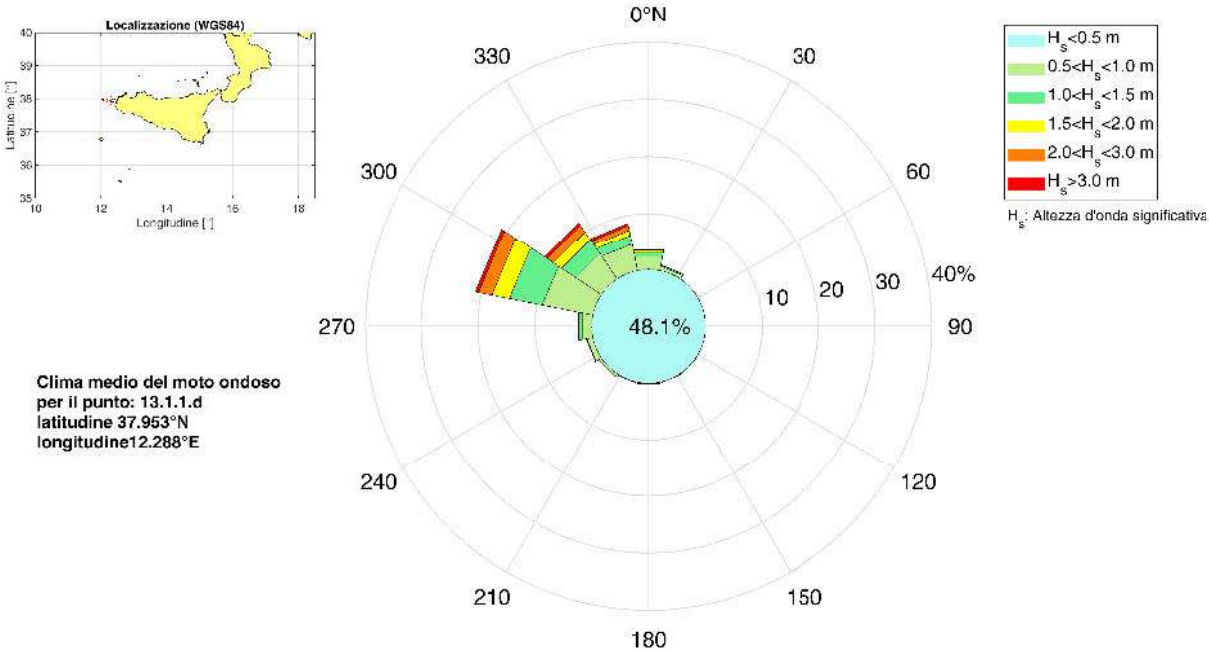


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	8.45	2.44	0.74	0.36	0.14	0.02
22.5	4.86	0.76	0.20	0.03	0.01	-
45.0	0.58	0.09	-	-	-	-
67.5	0.24	0.02	-	-	-	-
90.0	0.36	0.04	-	-	-	-
112.5	0.40	0.04	-	-	-	-
135.0	0.65	0.08	-	-	-	-
157.5	1.10	0.20	-	-	-	-
180.0	1.68	0.28	-	-	-	-
202.5	1.42	0.23	-	-	-	-
225.0	1.51	0.51	0.02	-	-	-
247.5	7.74	1.09	0.12	-	-	-
270.0	4.05	1.92	0.64	0.14	0.02	-
292.5	4.91	9.03	5.90	3.15	2.37	0.58
315.0	4.21	5.39	3.02	1.70	1.41	0.54
337.5	5.96	4.81	1.68	0.91	0.82	0.43

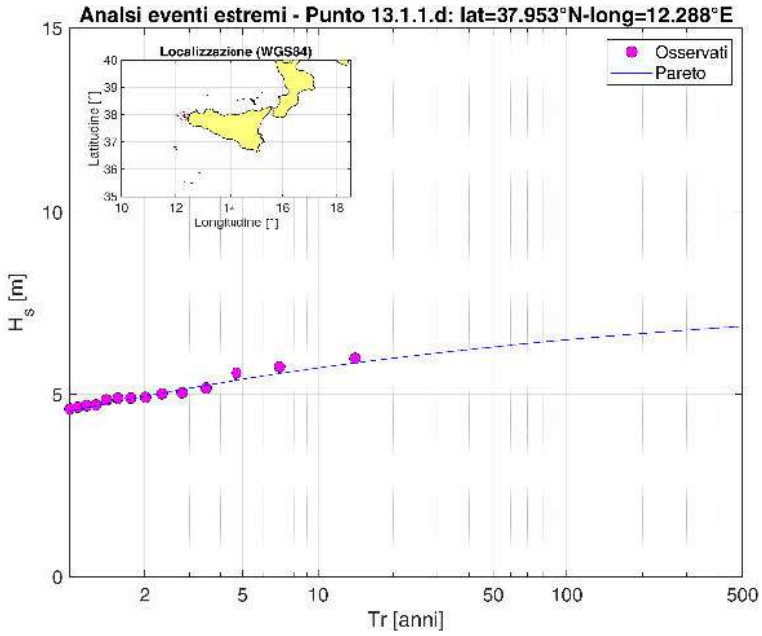


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	284	20.286	2.930	0.818	5.98
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06309	0.06694	0.07203	0.07998	0.09593
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09308	0.08980	0.10676	0.07529	0.09267

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.569	2.562	1.315	1.741	1.479	1.040	0.258	2.000	1.107	-0.188	2.562	0.642	0.005

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.91	4.93	4.70	4.96	4.91
5	5.50	5.44	5.16	5.42	5.49
10	5.95	5.81	5.50	5.72	5.92
50	6.97	6.60	6.28	6.29	6.92
100	7.41	6.93	6.61	6.49	7.35
500	8.44	7.64	7.39	6.85	8.34

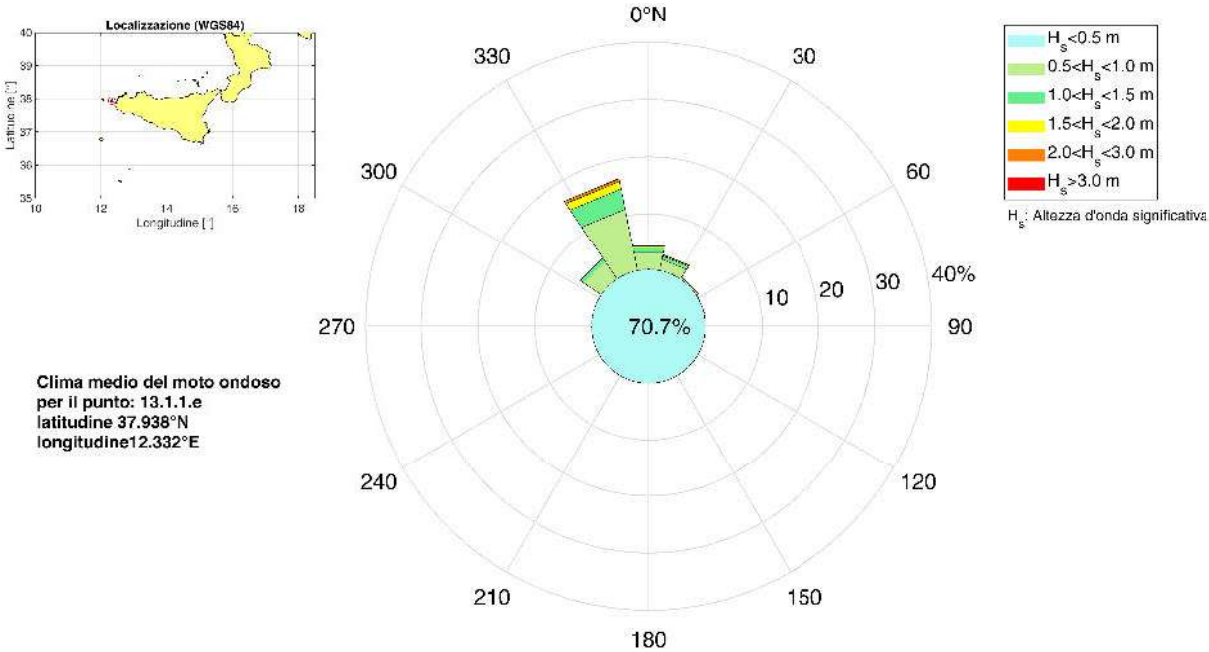


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 17: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	9.40	3.16	0.89	0.27	0.14	-
22.5	9.04	2.02	0.60	0.19	0.05	-
45.0	6.96	0.36	0.04	-	-	-
67.5	2.95	0.16	-	-	-	-
90.0	7.66	0.15	-	-	-	-
112.5	1.40	-	-	-	-	-
135.0	1.18	-	-	-	-	-
157.5	0.65	-	-	-	-	-
180.0	0.33	-	-	-	-	-
202.5	0.32	-	-	-	-	-
225.0	0.24	-	-	-	-	-
247.5	0.13	-	-	-	-	-
270.0	0.15	-	-	-	-	-
292.5	0.35	0.03	-	-	-	-
315.0	5.73	3.74	0.74	0.01	-	-
337.5	24.24	11.21	3.63	1.35	0.48	0.03

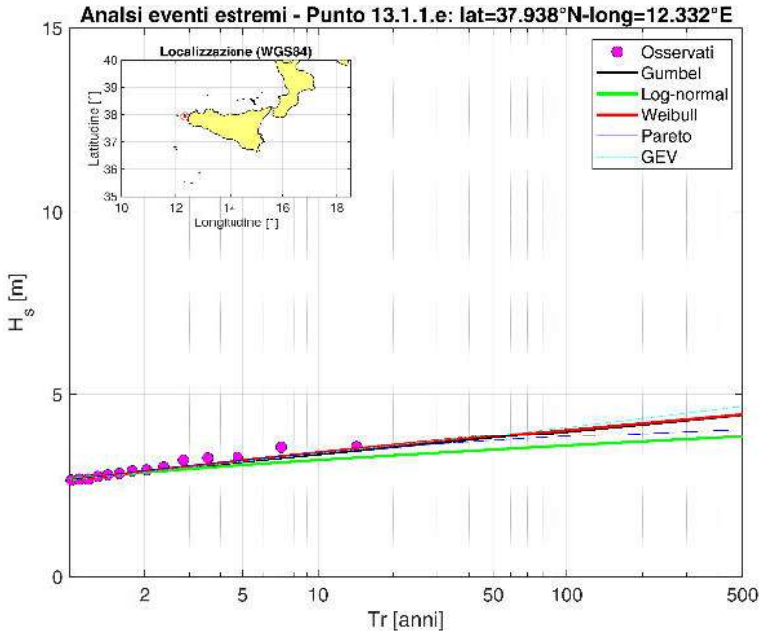


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 18: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	58	4.143	2.425	0.368	3.53
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.13804	0.14653	0.15772	0.17520	0.21020
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09871	0.06829	0.13717	0.07171	0.09427

Tabella 19: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.486	2.260	0.493	1.967	1.254	0.876	0.140	2.000	0.507	-0.188	2.258	0.272	-0.040

Tabella 20: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.85	2.86	2.83	2.88	2.84
5	3.12	3.16	3.03	3.17	3.12
10	3.32	3.37	3.17	3.36	3.34
50	3.79	3.84	3.45	3.70	3.87
100	3.99	4.03	3.56	3.82	4.11
500	4.45	4.46	3.81	4.05	4.68

Unità fisiografica di I ordine
13
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 13.1.2.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.2.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.2.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.2.d)
Analisi del moto ondoso

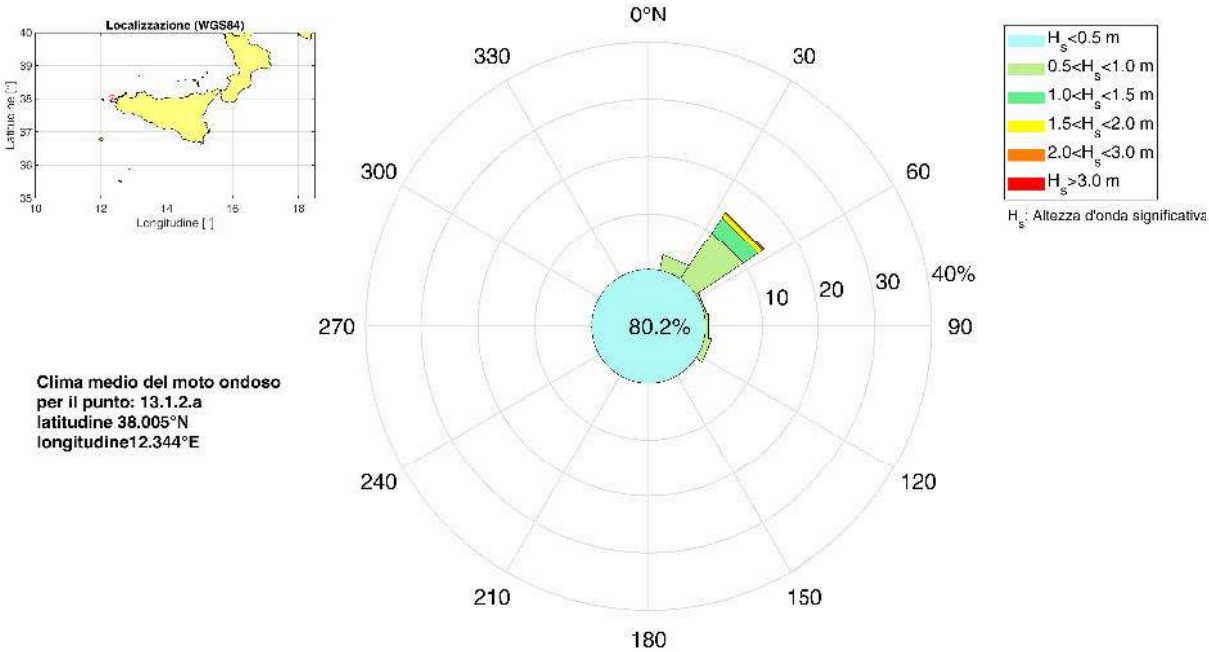


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.78	-	-	-	-	-
22.5	27.63	2.81	-	-	-	-
45.0	28.80	10.04	3.14	0.93	0.30	0.01
67.5	3.39	0.47	0.06	0.01	0.01	-
90.0	2.88	0.66	0.05	-	-	-
112.5	9.96	1.31	-	-	-	-
135.0	5.05	-	-	-	-	-
157.5	0.23	-	-	-	-	-
180.0	0.08	-	-	-	-	-
202.5	0.06	-	-	-	-	-
225.0	0.04	-	-	-	-	-
247.5	0.02	-	-	-	-	-
270.0	0.01	-	-	-	-	-
292.5	0.05	-	-	-	-	-
315.0	0.05	-	-	-	-	-
337.5	0.16	-	-	-	-	-

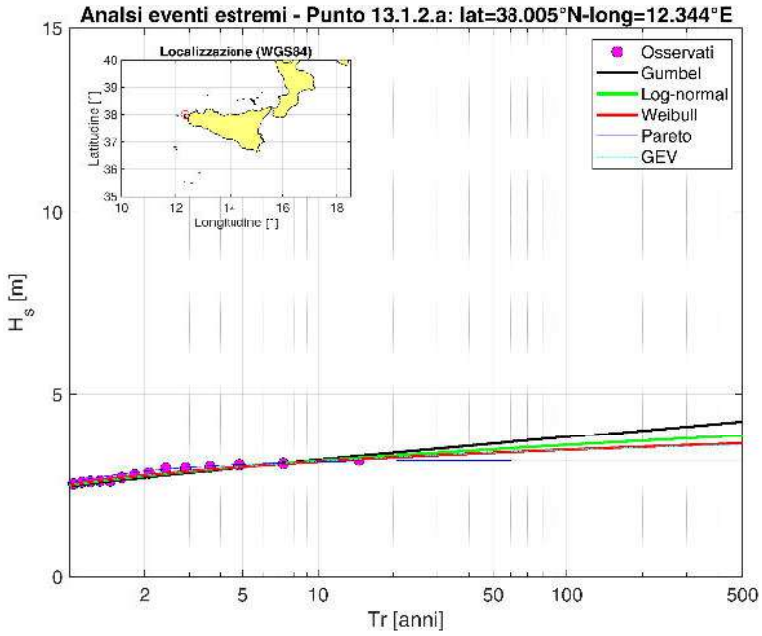


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	26	1.857	2.539	0.352	3.17
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.20412	0.21670	0.23327	0.25911	0.31064
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.12959	0.09317	0.09806	0.12287	0.09209

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.644	2.381	1.084	1.571	2.996	0.923	0.139	2.000	1.203	-1.026	2.406	0.341	0.226

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.70	2.76	2.74	2.87	2.75
5	2.98	2.99	2.99	3.05	2.99
10	3.17	3.12	3.15	3.11	3.13
50	3.62	3.37	3.46	3.16	3.37
100	3.81	3.45	3.59	3.17	3.45
500	4.26	3.63	3.85	3.17	3.59

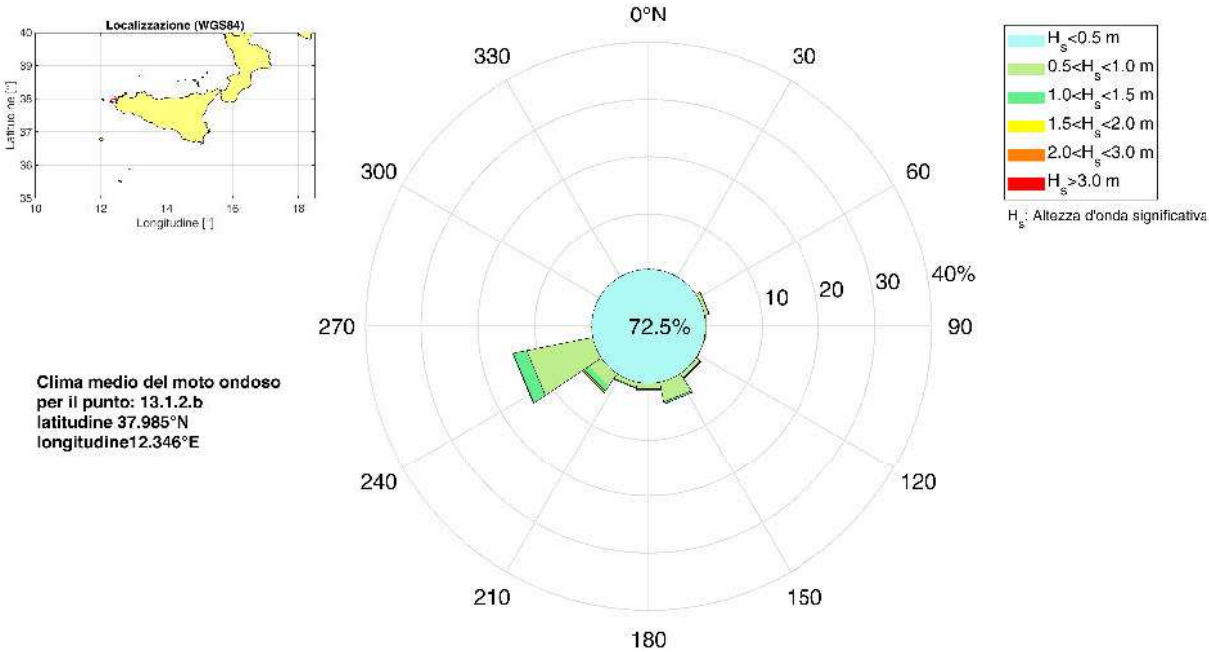


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.32	-	-	-	-	-
22.5	0.49	0.01	-	-	-	-
45.0	3.04	0.02	-	-	-	-
67.5	12.92	0.82	0.05	-	-	-
90.0	2.51	0.30	0.07	-	-	-
112.5	1.55	0.13	0.04	-	-	-
135.0	2.79	0.91	0.17	0.01	-	-
157.5	5.82	3.56	0.34	0.01	-	-
180.0	3.76	1.22	0.17	0.01	-	-
202.5	3.09	1.00	0.13	-	-	-
225.0	6.33	2.63	1.06	0.35	-	-
247.5	26.96	11.84	2.42	0.10	-	-
270.0	1.95	0.09	-	-	-	-
292.5	0.49	0.01	-	-	-	-
315.0	0.26	0.01	-	-	-	-
337.5	0.23	0.01	-	-	-	-

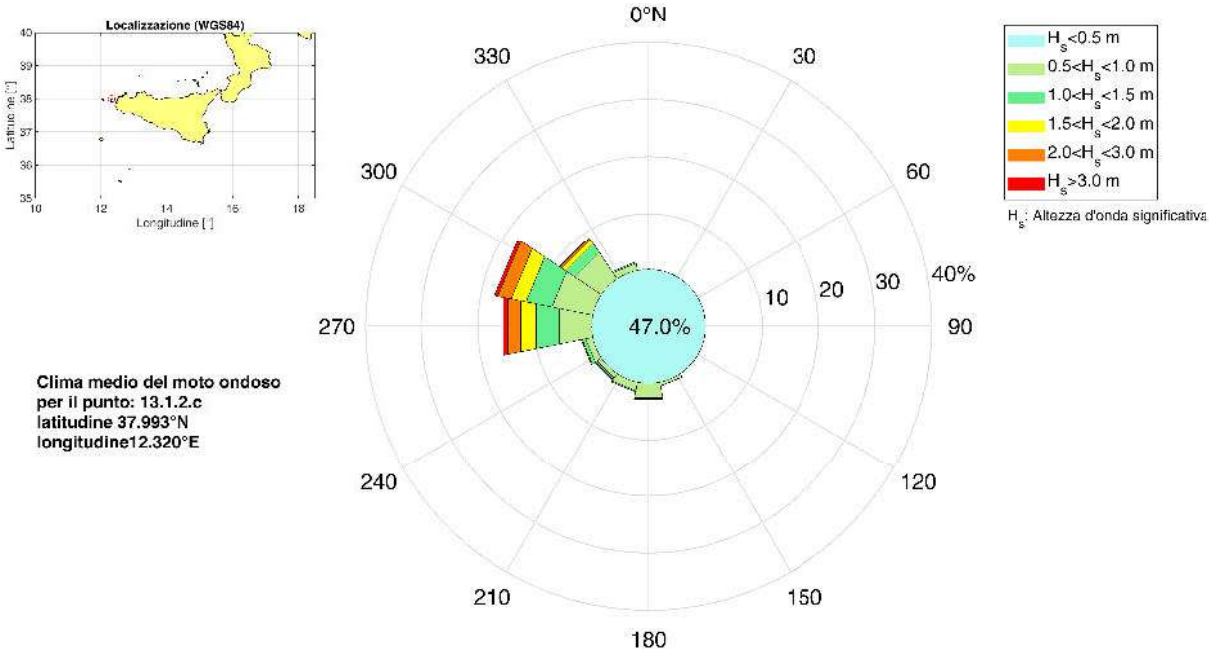


Figura 4: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 6: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.76	0.03	-	-	-	-
22.5	0.04	-	-	-	-	-
45.0	0.04	-	-	-	-	-
67.5	0.03	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	0.04	-	-	-	-	-
135.0	0.07	-	-	-	-	-
157.5	1.67	0.67	0.01	-	-	-
180.0	3.99	2.82	0.25	0.01	-	-
202.5	3.41	1.51	0.22	-	-	-
225.0	5.75	0.91	0.39	0.07	0.01	-
247.5	3.12	1.29	0.58	0.17	0.04	-
270.0	3.28	5.96	4.22	2.75	2.21	0.85
292.5	4.57	7.31	4.64	2.66	2.39	0.63
315.0	8.88	5.69	1.82	0.81	0.46	0.05
337.5	11.35	1.29	0.24	-	-	-

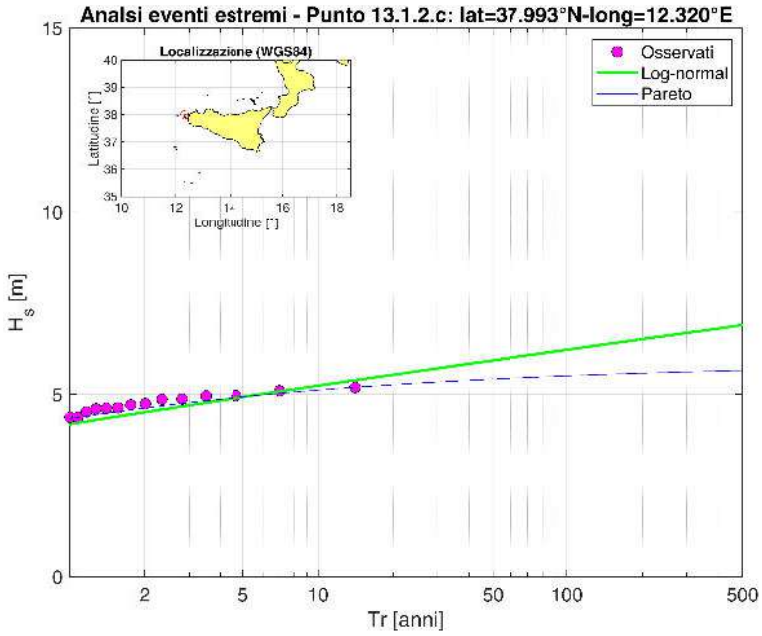


Figura 5: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 7: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	289	20.643	2.901	0.740	5.19
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06254	0.06636	0.07141	0.07929	0.09511
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08639	0.07687	0.10194	0.04760	0.08885

Tabella 8: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.735	2.569	1.348	1.698	1.673	1.035	0.240	2.000	1.185	-0.305	2.575	0.607	0.041

Tabella 9: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.71	4.65	4.52	4.64	4.66
5	5.24	5.07	4.94	4.94	5.13
10	5.64	5.36	5.24	5.12	5.48
50	6.57	5.99	5.93	5.42	6.24
100	6.97	6.24	6.22	5.51	6.55
500	7.90	6.79	6.89	5.65	7.24

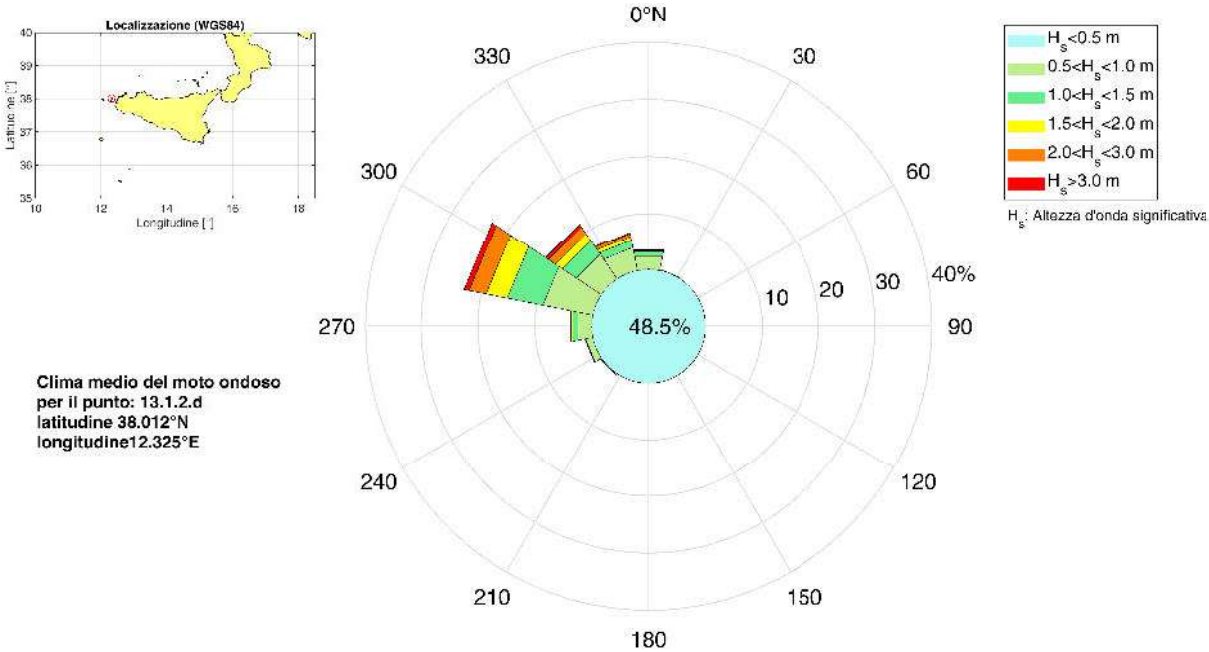


Figura 6: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 10: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	9.95	2.58	0.83	0.31	0.08	-
22.5	4.47	0.21	-	-	-	-
45.0	0.03	-	-	-	-	-
67.5	0.01	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	0.02	-	-	-	-	-
135.0	0.09	-	-	-	-	-
157.5	0.28	-	-	-	-	-
180.0	0.65	-	-	-	-	-
202.5	1.23	-	-	-	-	-
225.0	1.86	0.29	-	-	-	-
247.5	11.35	1.31	0.11	-	-	-
270.0	3.76	2.67	0.93	0.30	0.07	-
292.5	4.66	8.95	6.38	3.80	3.04	0.90
315.0	4.21	5.30	2.88	1.54	1.46	0.60
337.5	5.89	4.18	1.34	0.71	0.57	0.18

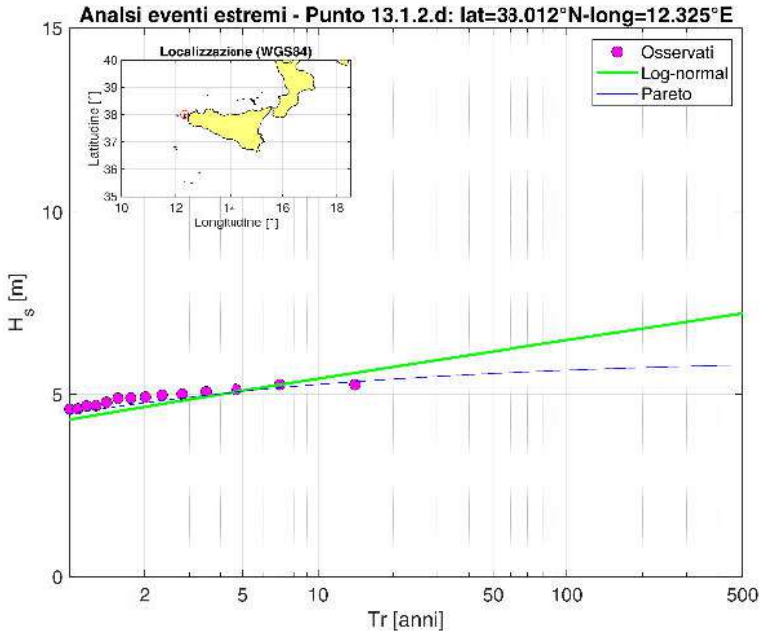


Figura 7: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 11: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	287	20.500	2.958	0.779	5.27
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06276	0.06659	0.07165	0.07956	0.09544
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09392	0.07448	0.10503	0.05363	0.09319

Tabella 12: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.648	2.608	1.404	1.703	1.655	1.053	0.247	2.000	1.270	-0.316	2.614	0.636	0.038

Tabella 13: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.85	4.80	4.67	4.78	4.81
5	5.41	5.25	5.11	5.09	5.31
10	5.84	5.56	5.43	5.27	5.68
50	6.81	6.23	6.17	5.57	6.49
100	7.24	6.49	6.48	5.66	6.83
500	8.21	7.08	7.20	5.80	7.57

Unità fisiografica di I ordine
13
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 13.1.3.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.3.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.3.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 13.1.3.d)
Analisi del moto ondoso

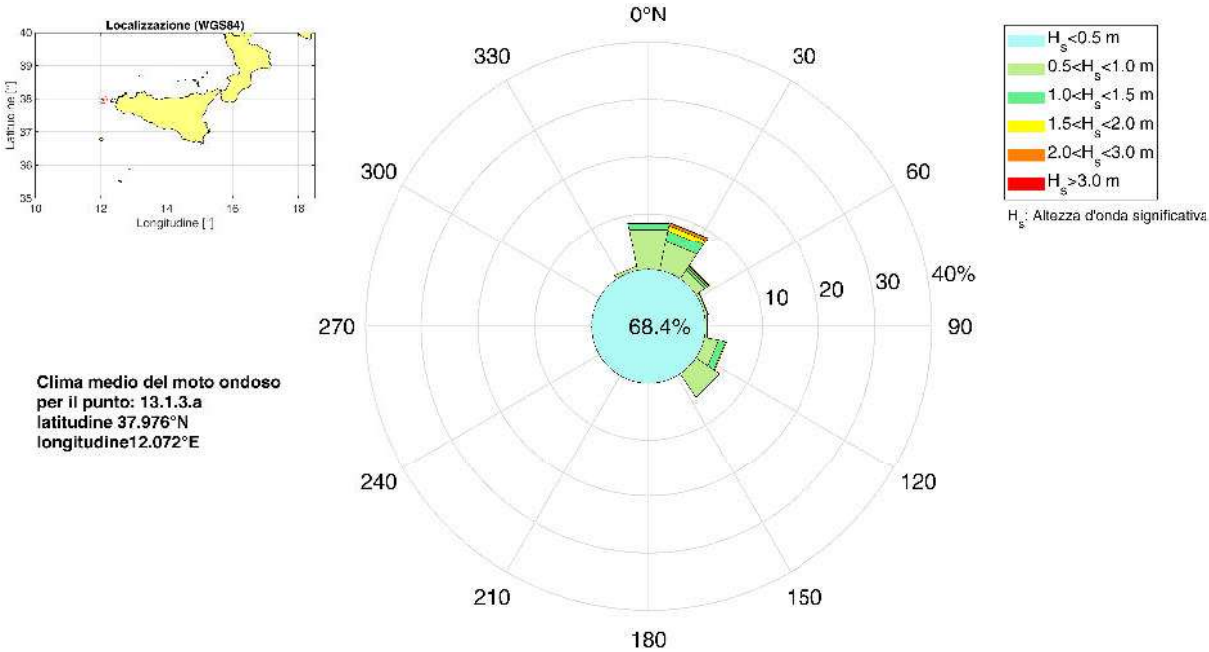


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	22.19	7.55	1.14	0.12	-	-
22.5	13.65	5.27	2.07	0.95	0.53	0.07
45.0	5.88	1.84	0.58	0.27	0.19	0.03
67.5	2.35	0.58	0.09	0.01	0.01	-
90.0	2.02	0.47	0.09	0.01	-	-
112.5	4.64	2.52	1.25	0.17	0.03	-
135.0	12.26	4.94	0.07	-	-	-
157.5	0.43	0.01	-	-	-	-
180.0	0.13	-	-	-	-	-
202.5	0.07	-	-	-	-	-
225.0	0.07	-	-	-	-	-
247.5	0.10	-	-	-	-	-
270.0	0.15	-	-	-	-	-
292.5	0.28	-	-	-	-	-
315.0	0.84	-	-	-	-	-
337.5	3.37	0.73	-	-	-	-

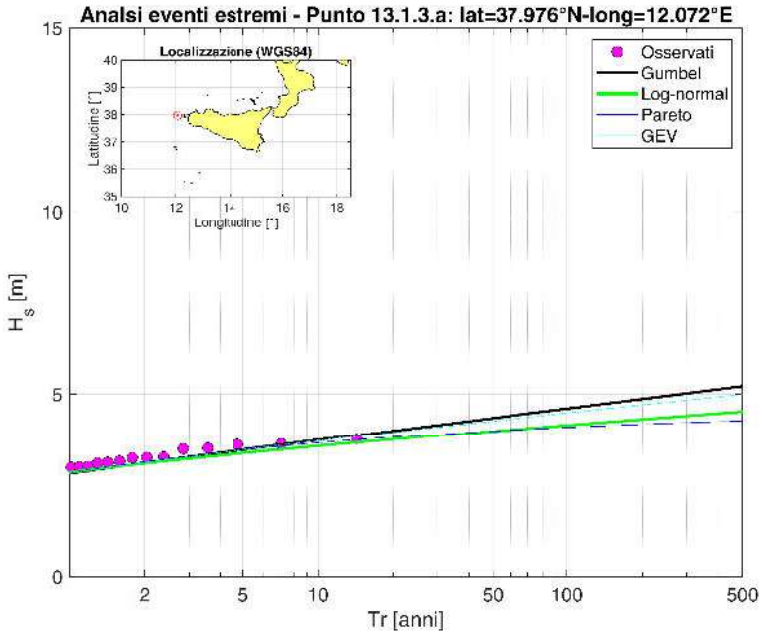


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	57	4.071	2.546	0.488	3.77
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.13922	0.14779	0.15907	0.17670	0.21200
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.16610	0.15621	0.19815	0.14384	0.17161

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.631	2.327	0.863	1.774	1.624	0.918	0.180	2.000	0.704	-0.270	2.330	0.396	0.033

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.10	3.14	3.09	3.13	3.11
5	3.46	3.48	3.37	3.45	3.46
10	3.73	3.71	3.57	3.65	3.71
50	4.35	4.19	3.98	3.99	4.26
100	4.61	4.38	4.15	4.09	4.49
500	5.22	4.79	4.53	4.28	5.00

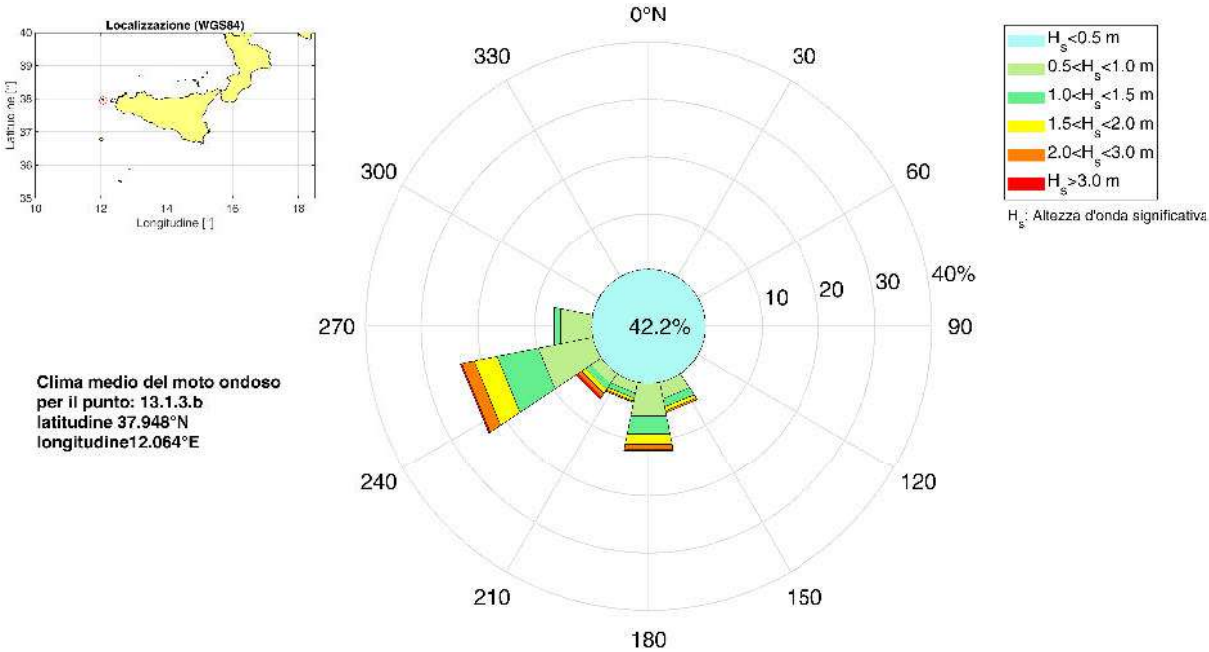


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.08	0.01	-	-	-	-
22.5	0.08	-	-	-	-	-
45.0	0.09	-	-	-	-	-
67.5	0.17	-	-	-	-	-
90.0	0.47	0.01	-	-	-	-
112.5	2.00	0.05	-	-	-	-
135.0	2.78	0.15	0.01	-	-	-
157.5	4.18	2.94	1.48	0.69	0.35	-
180.0	4.24	6.03	3.25	1.78	1.01	0.21
202.5	2.29	1.96	0.92	0.51	0.25	0.04
225.0	1.37	2.15	1.16	0.83	0.78	0.49
247.5	4.27	9.76	7.39	4.11	2.20	0.28
270.0	14.14	5.81	1.06	0.03	-	-
292.5	5.40	0.14	-	-	-	-
315.0	0.43	0.01	-	-	-	-
337.5	0.19	-	-	-	-	-

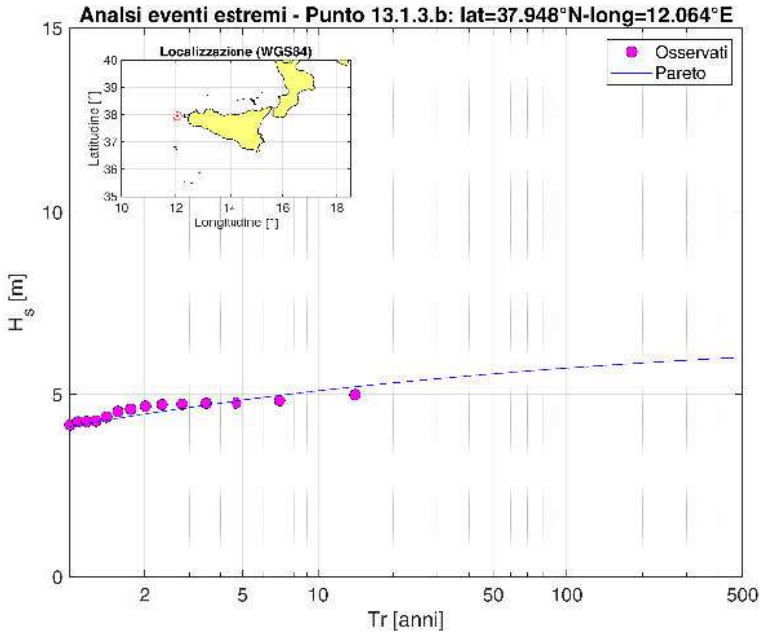


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	287	20.500	2.778	0.694	5.00
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06276	0.06659	0.07165	0.07956	0.09544
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09138	0.09368	0.10490	0.04811	0.09433

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.848	2.465	1.137	1.752	1.505	0.994	0.231	2.000	0.933	-0.194	2.467	0.549	0.010

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.47	4.47	4.26	4.47	4.46
5	4.97	4.90	4.63	4.85	4.94
10	5.34	5.20	4.91	5.10	5.31
50	6.22	5.87	5.52	5.56	6.14
100	6.59	6.14	5.79	5.72	6.49
500	7.46	6.73	6.39	6.01	7.30

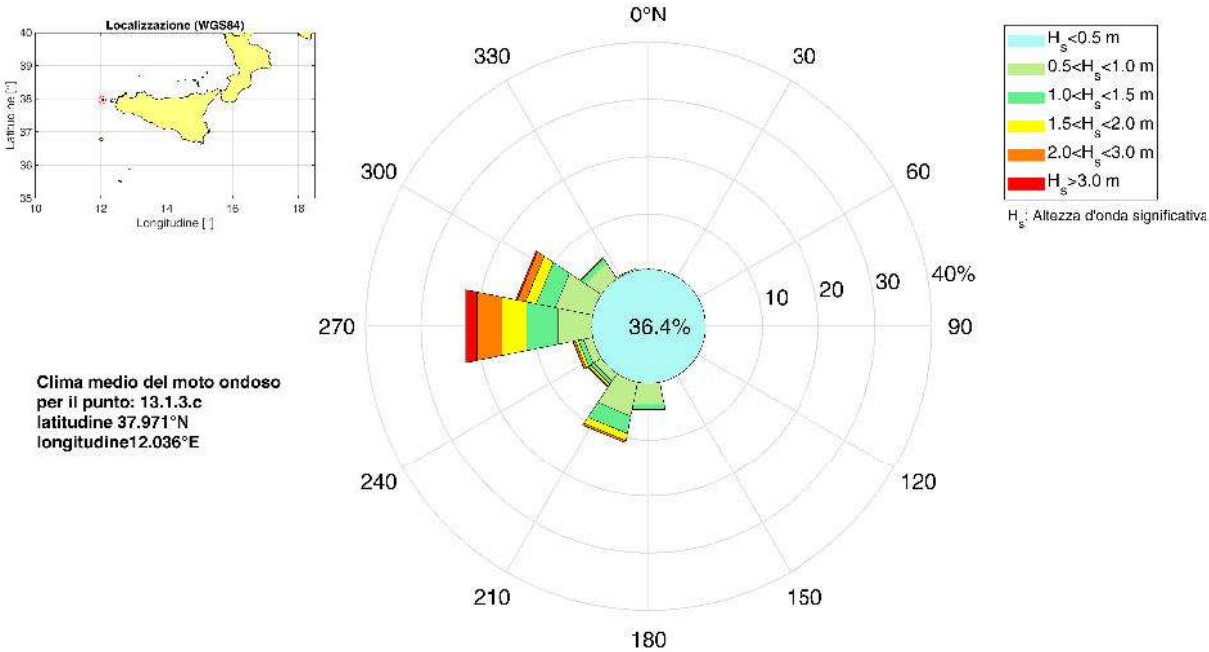


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.14	-	-	-	-	-
22.5	0.03	-	-	-	-	-
45.0	-	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	0.01	-	-	-	-	-
135.0	0.01	-	-	-	-	-
157.5	0.24	0.01	-	-	-	-
180.0	5.03	3.84	1.00	0.03	-	-
202.5	6.28	6.07	3.10	1.28	0.38	0.03
225.0	1.32	1.57	0.68	0.41	0.16	0.02
247.5	0.99	1.70	0.89	0.54	0.42	0.07
270.0	2.32	6.26	5.66	4.33	4.49	2.01
292.5	4.58	6.74	3.40	1.93	1.42	0.30
315.0	9.15	3.42	0.86	0.15	0.02	-
337.5	6.32	0.40	-	-	-	-

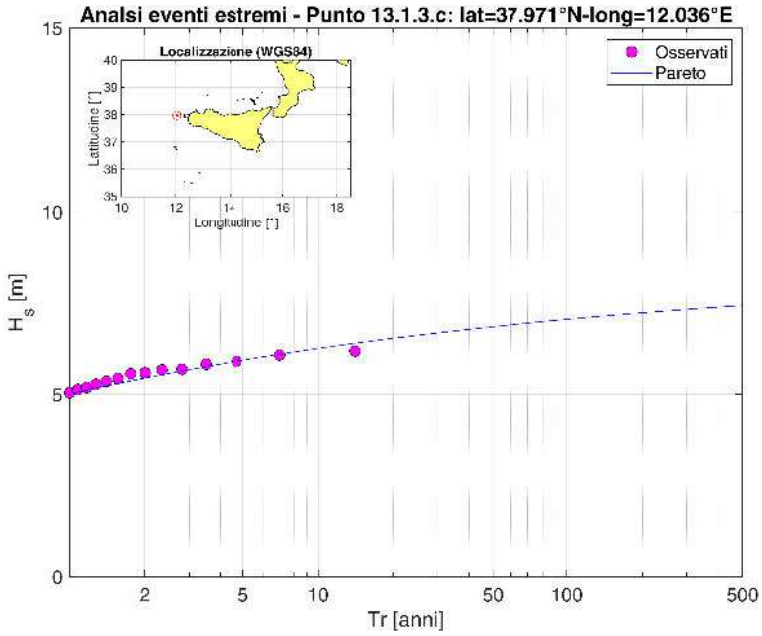


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	365	26.071	3.040	0.920	6.18
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.05571	0.05911	0.06360	0.07061	0.08470
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08835	0.08530	0.09739	0.03857	0.08962

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.395	2.626	1.472	1.709	1.472	1.071	0.277	2.000	1.246	-0.193	2.627	0.721	0.004

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.45	5.45	5.18	5.45	5.45
5	6.11	6.02	5.72	5.93	6.10
10	6.61	6.43	6.12	6.25	6.59
50	7.77	7.32	7.03	6.84	7.72
100	8.26	7.68	7.42	7.04	8.21
500	9.42	8.49	8.34	7.42	9.33

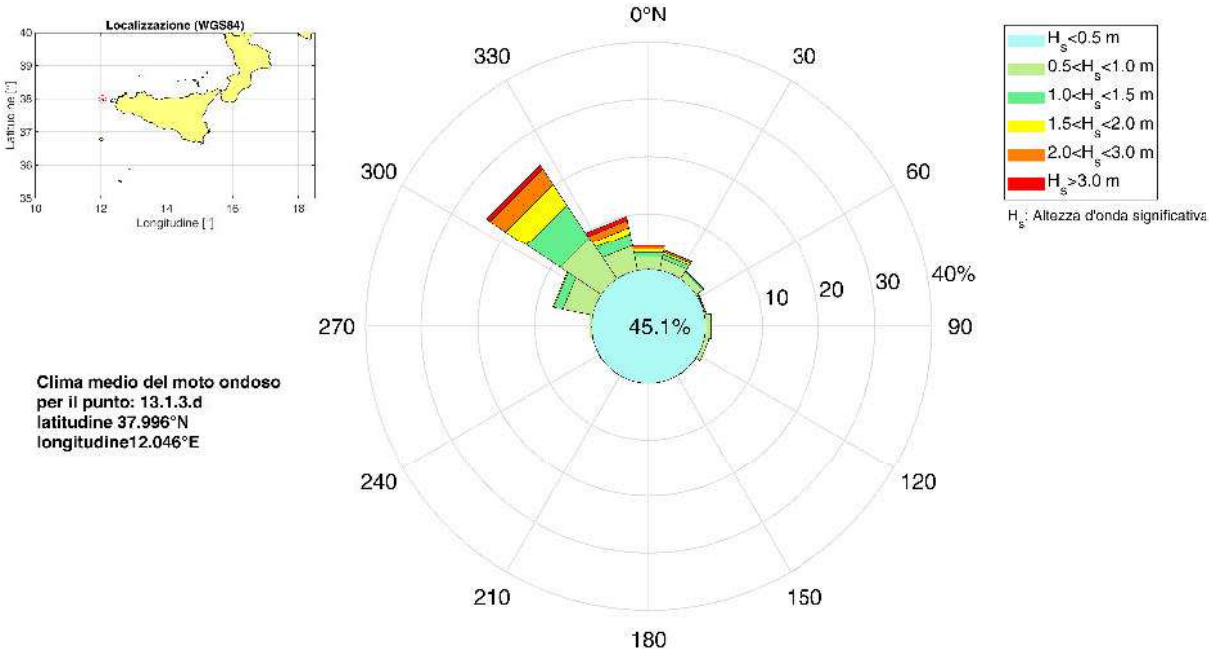


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.45	2.43	0.84	0.52	0.41	0.28
22.5	5.13	2.08	0.78	0.43	0.32	0.07
45.0	5.36	1.34	0.27	0.08	0.02	-
67.5	2.25	0.31	0.13	0.03	-	-
90.0	3.89	1.20	0.08	-	-	-
112.5	3.46	0.89	-	-	-	-
135.0	1.55	0.09	-	-	-	-
157.5	0.55	0.05	-	-	-	-
180.0	0.31	0.03	-	-	-	-
202.5	0.37	0.02	-	-	-	-
225.0	0.43	0.05	-	-	-	-
247.5	1.06	0.14	-	-	-	-
270.0	3.29	0.59	-	-	-	-
292.5	5.92	5.36	1.64	0.18	-	-
315.0	4.59	8.77	7.10	4.32	3.32	0.82
337.5	3.46	4.54	2.21	1.16	1.27	0.76

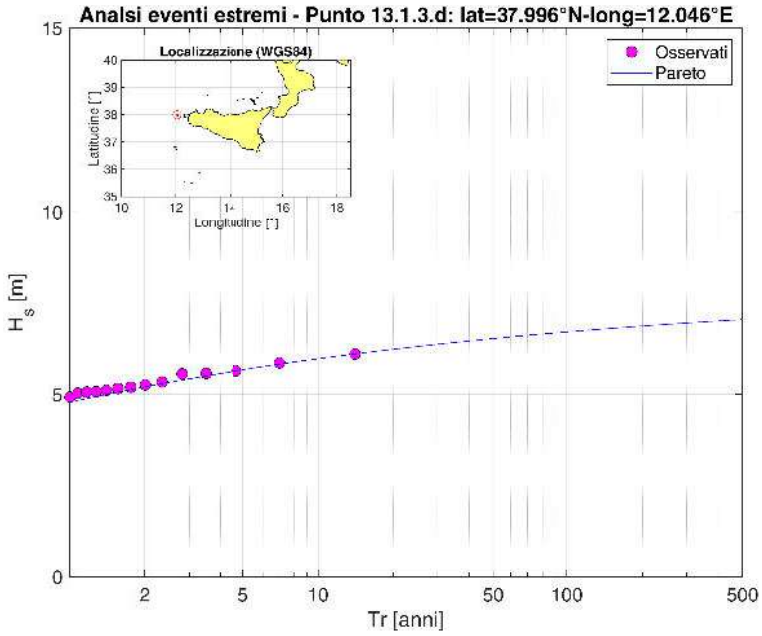


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	303	21.643	3.014	0.883	6.10
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06109	0.06483	0.06975	0.07745	0.09290
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09329	0.08443	0.10770	0.05514	0.09302

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.452	2.617	1.438	1.716	1.497	1.065	0.270	2.000	1.232	-0.210	2.618	0.697	0.009

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.20	5.20	4.97	5.21	5.19
5	5.84	5.75	5.48	5.67	5.81
10	6.32	6.14	5.86	5.97	6.27
50	7.43	6.99	6.73	6.52	7.34
100	7.90	7.33	7.10	6.70	7.79
500	9.01	8.09	7.97	7.04	8.83

Unità fisiografica di I ordine
14
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 14.1.1.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 14.1.1.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 14.1.1.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 14.1.1.d)
Analisi del moto ondoso

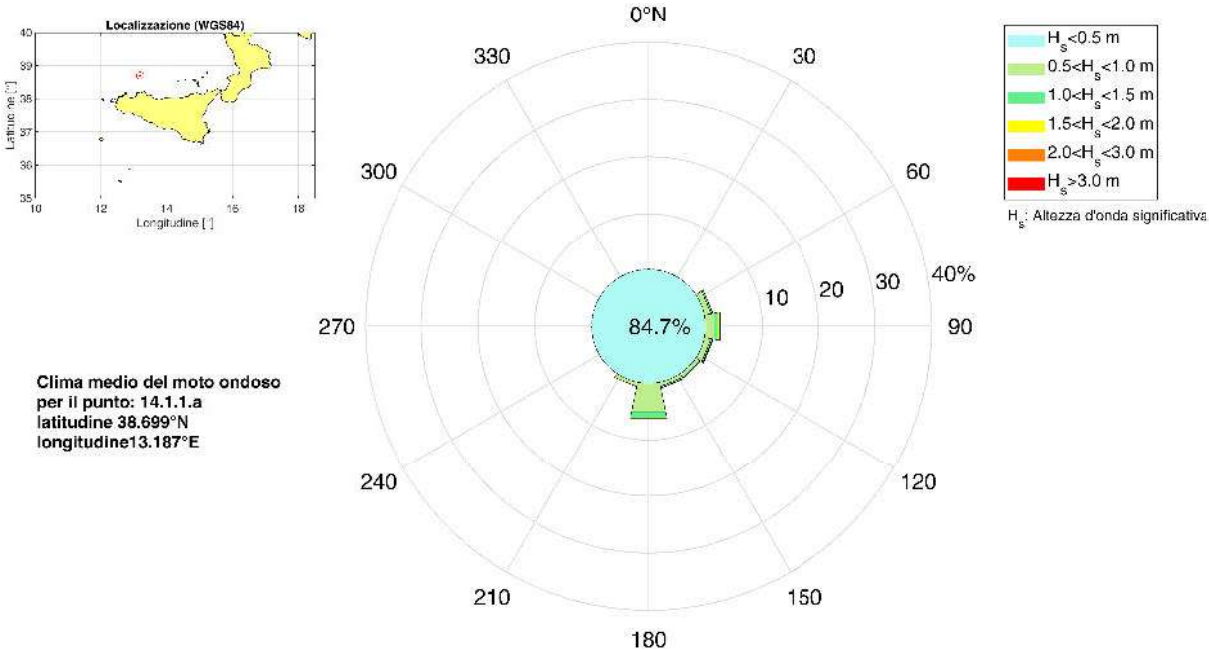


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	6.21	-	-	-	-	-
67.5	18.27	1.20	0.29	0.01	-	-
90.0	5.53	1.81	0.62	0.26	0.11	0.01
112.5	4.41	1.20	0.25	0.09	0.04	-
135.0	2.79	0.67	0.23	0.10	0.02	-
157.5	2.91	0.78	0.27	0.06	-	-
180.0	13.96	5.28	1.09	0.14	-	-
202.5	28.04	0.78	-	-	-	-
225.0	2.56	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

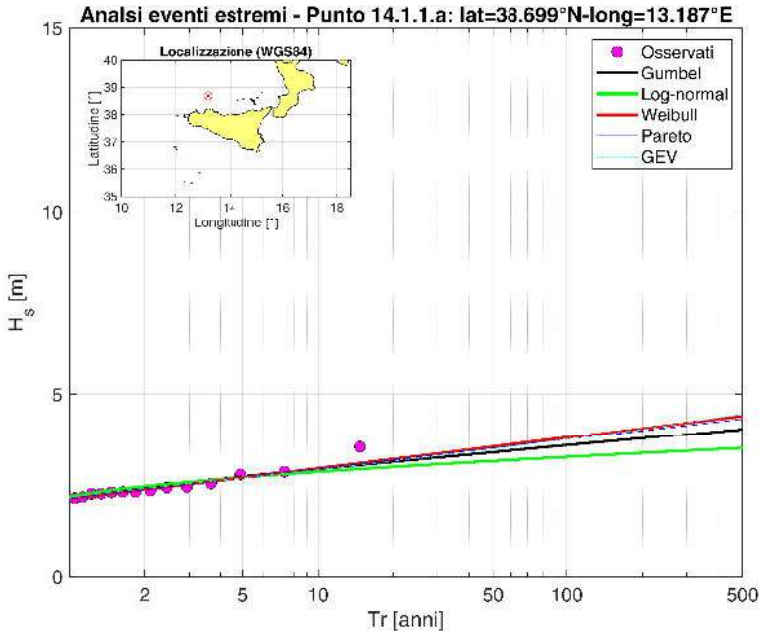


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	20	1.429	2.350	0.361	3.54
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.23156	0.24523	0.26473	0.29408	0.35241
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.14191	0.08840	0.16212	0.08142	0.11270

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.553	2.188	0.346	2.000	0.971	0.845	0.137	2.000	0.349	0.004	2.184	0.238	-0.108

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.43	2.36	2.45	2.37	2.39
5	2.72	2.69	2.70	2.69	2.69
10	2.93	2.95	2.85	2.93	2.91
50	3.39	3.54	3.15	3.50	3.48
100	3.58	3.80	3.26	3.75	3.75
500	4.04	4.41	3.51	4.33	4.47

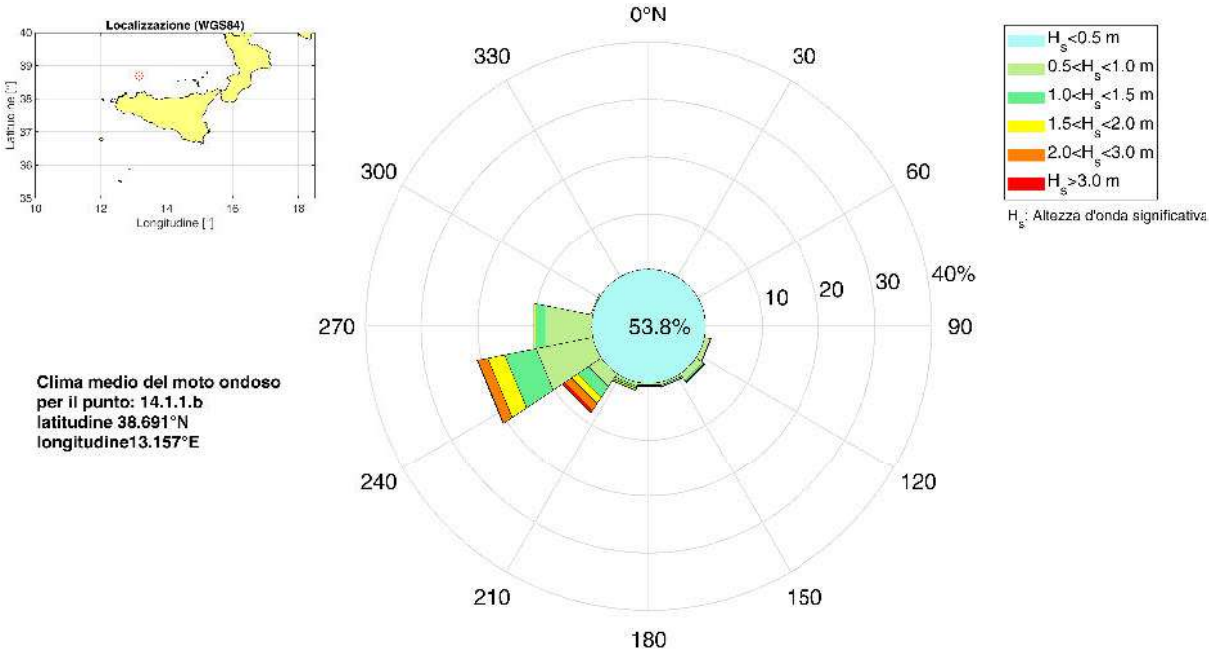


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.08	-	-	-	-	-
22.5	0.08	-	-	-	-	-
45.0	0.09	-	-	-	-	-
67.5	0.18	-	-	-	-	-
90.0	0.84	-	-	-	-	-
112.5	7.00	1.12	0.09	-	-	-
135.0	4.52	1.36	0.38	0.12	0.01	-
157.5	1.18	0.56	0.25	0.07	0.01	-
180.0	0.84	0.46	0.19	0.08	0.02	-
202.5	0.98	0.72	0.39	0.33	0.09	-
225.0	2.14	2.75	2.19	1.36	1.40	0.57
247.5	6.22	10.17	5.61	3.05	1.81	0.10
270.0	13.05	8.42	1.84	0.28	-	-
292.5	15.55	0.37	-	-	-	-
315.0	0.94	-	-	-	-	-
337.5	0.13	-	-	-	-	-

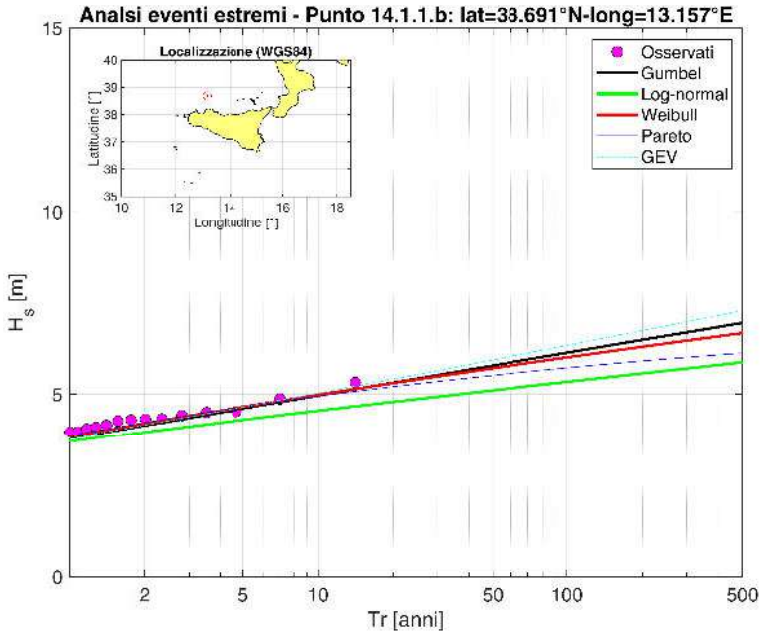


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	213	15.214	2.723	0.649	5.33
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07274	0.07719	0.08306	0.09224	0.11065
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09095	0.06822	0.09132	0.03880	0.08447

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.978	2.432	0.935	1.864	1.338	0.977	0.217	2.000	0.831	-0.147	2.429	0.491	-0.022

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.15	4.21	3.96	4.23	4.16
5	4.62	4.66	4.31	4.66	4.66
10	4.97	4.99	4.55	4.95	5.04
50	5.78	5.71	5.11	5.52	5.94
100	6.14	6.01	5.34	5.72	6.34
500	6.95	6.67	5.87	6.13	7.28

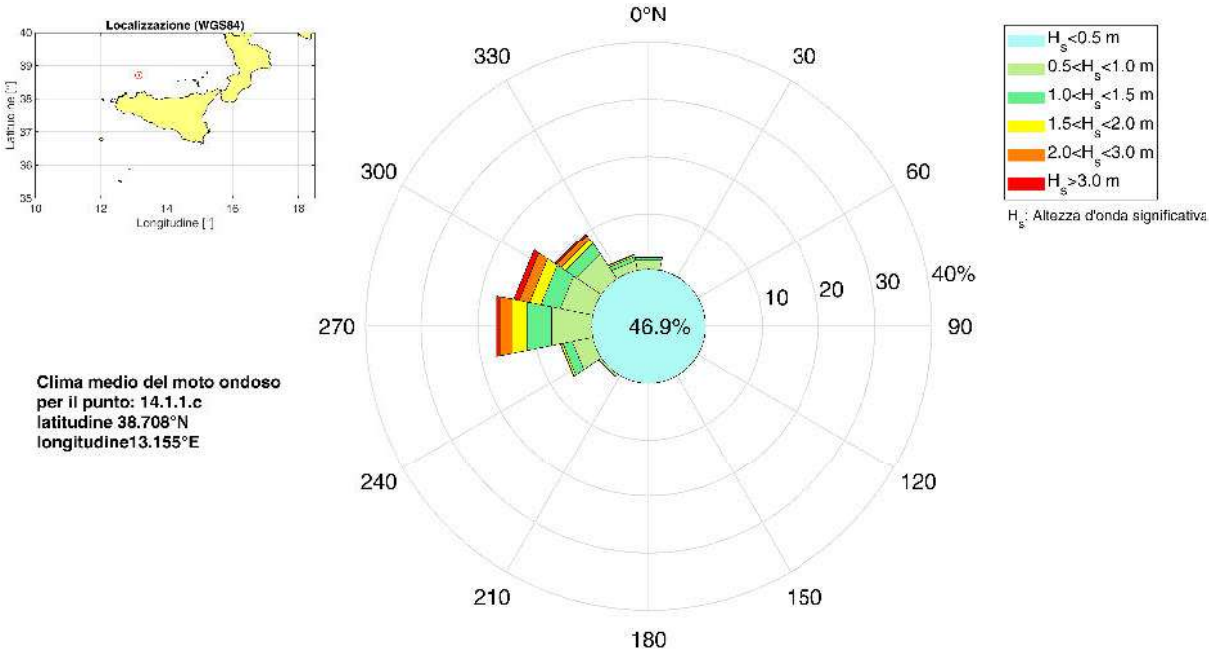


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.20	1.80	0.54	0.04	-	-
22.5	8.43	0.14	-	-	-	-
45.0	0.32	-	-	-	-	-
67.5	0.03	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	0.01	-	-	-	-	-
135.0	0.01	-	-	-	-	-
157.5	0.01	-	-	-	-	-
180.0	0.03	-	-	-	-	-
202.5	1.26	-	-	-	-	-
225.0	3.49	0.51	0.05	-	-	-
247.5	4.28	3.72	1.66	0.40	0.07	-
270.0	4.74	7.39	4.41	2.66	2.18	0.61
292.5	4.80	5.85	3.45	2.04	1.85	0.99
315.0	6.63	5.34	2.20	1.04	0.91	0.36
337.5	7.65	1.74	0.72	0.30	0.12	-

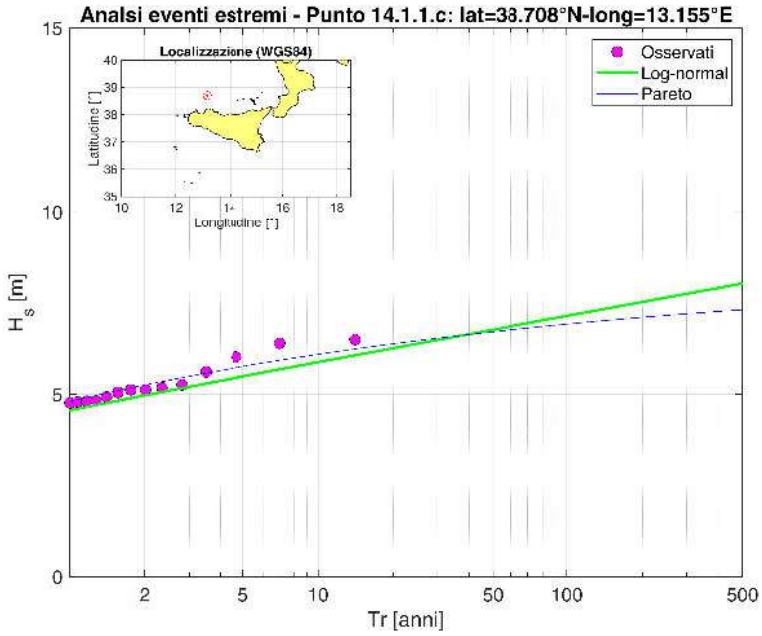


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	286	20.429	3.030	0.889	6.49
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06287	0.06671	0.07178	0.07970	0.09560
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08233	0.07735	0.08658	0.03747	0.08369

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.443	2.630	1.424	1.742	1.474	1.070	0.271	2.000	1.230	-0.193	2.631	0.697	0.004

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.19	5.21	4.98	5.26	5.19
5	5.83	5.77	5.50	5.77	5.82
10	6.31	6.17	5.88	6.09	6.29
50	7.43	7.04	6.76	6.70	7.39
100	7.91	7.39	7.14	6.91	7.85
500	9.03	8.17	8.01	7.30	8.94

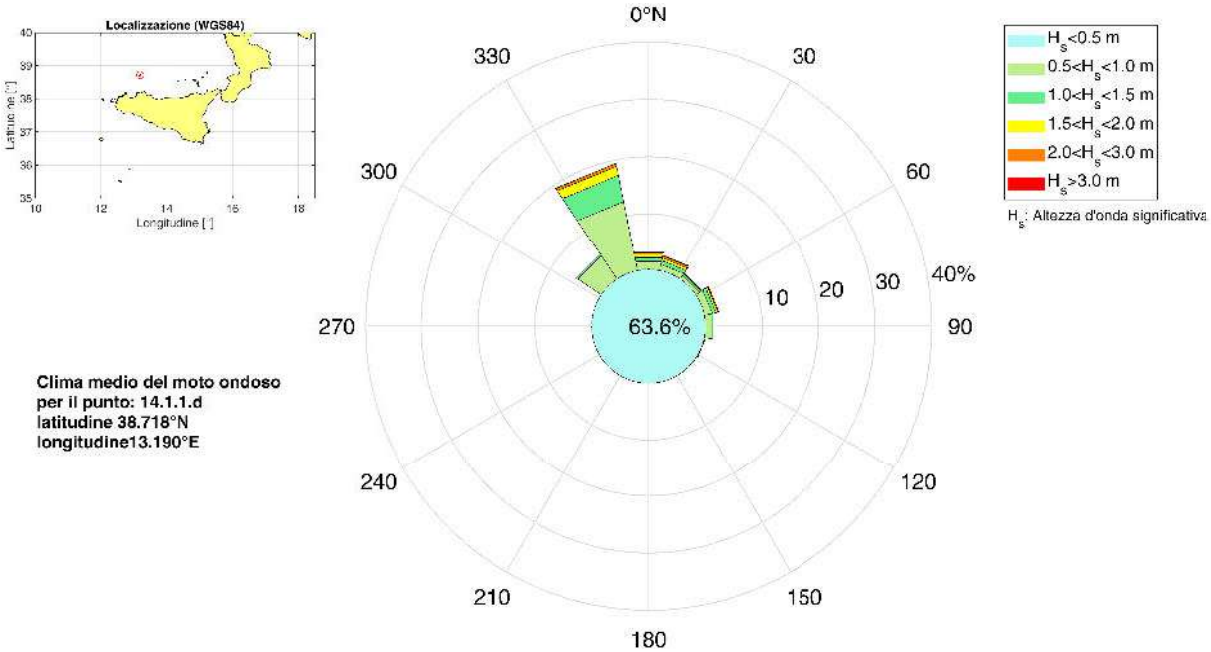


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	5.25	1.60	0.71	0.52	0.40	0.10
22.5	1.96	1.14	0.66	0.48	0.39	0.08
45.0	1.17	0.71	0.33	0.15	0.12	0.01
67.5	1.92	1.43	0.65	0.36	0.15	0.03
90.0	5.17	1.34	0.17	0.03	-	-
112.5	3.88	0.23	-	-	-	-
135.0	0.08	-	-	-	-	-
157.5	0.02	-	-	-	-	-
180.0	0.01	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	0.01	-	-	-	-	-
247.5	0.01	-	-	-	-	-
270.0	0.02	-	-	-	-	-
292.5	3.17	-	-	-	-	-
315.0	24.08	4.92	0.30	-	-	-
337.5	16.84	12.55	4.70	1.64	0.50	0.02

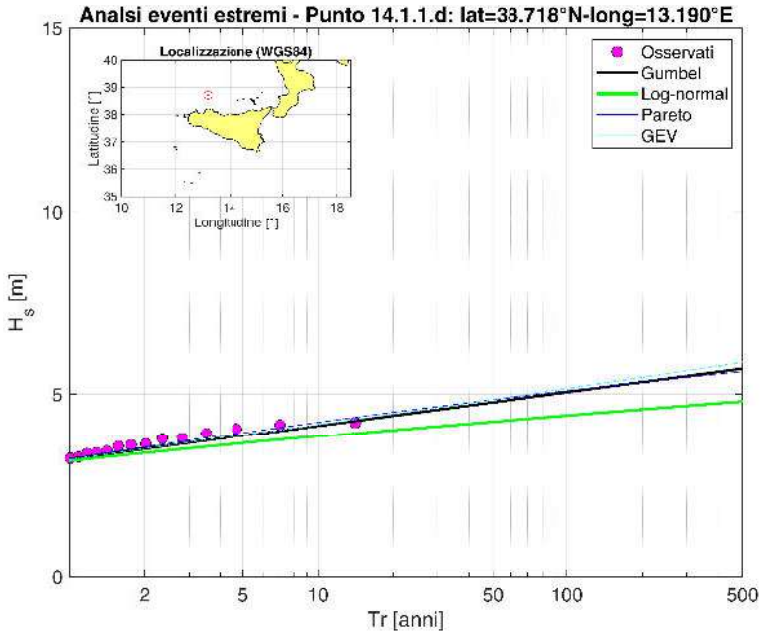


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	138	9.857	2.534	0.513	4.22
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09014	0.09566	0.10295	0.11433	0.13717
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11392	0.10827	0.12927	0.06537	0.10938

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.499	2.303	0.757	1.842	1.364	0.912	0.186	2.000	0.574	-0.074	2.301	0.391	-0.017

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.49	3.53	3.38	3.54	3.49
5	3.86	3.89	3.64	3.94	3.87
10	4.14	4.15	3.83	4.24	4.17
50	4.78	4.72	4.25	4.86	4.86
100	5.06	4.96	4.42	5.10	5.16
500	5.70	5.47	4.81	5.63	5.88

Unità fisiografica di I ordine
15
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
1

Indice

Punto griglia (identificativo: 15.1.1.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.1.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.1.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.1.d)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.1.e)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.1.f)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.1.g)
Analisi del moto ondoso

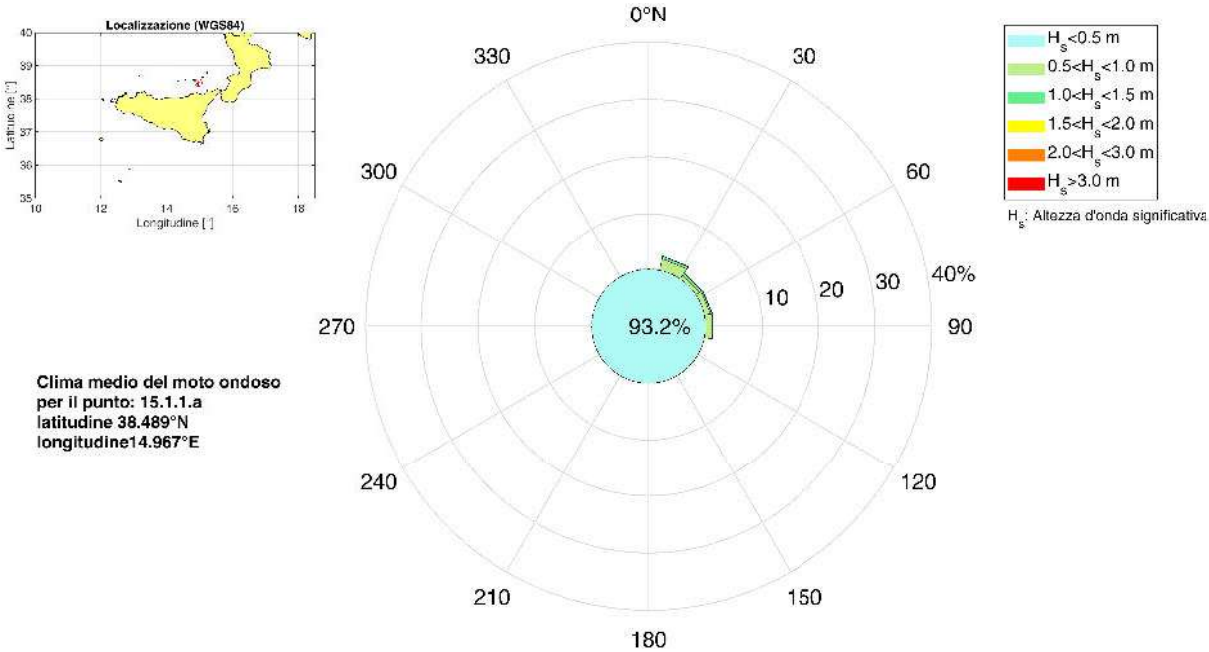


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	28.66	0.17	-	-	-	-
22.5	41.99	2.08	0.46	0.05	-	-
45.0	6.58	0.82	0.34	0.08	-	-
67.5	6.61	1.07	0.27	0.05	0.01	-
90.0	9.24	1.35	0.04	-	-	-
112.5	0.08	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	0.05	-	-	-	-	-

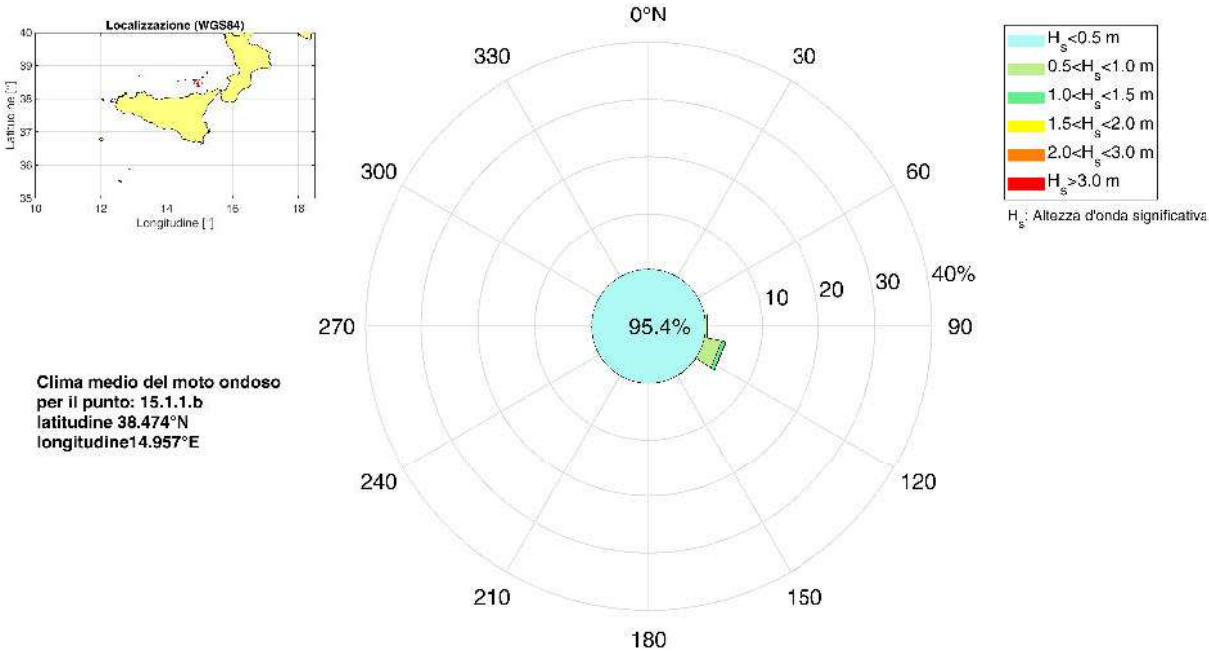


Figura 2: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 2: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	-	-	-	-	-
22.5	0.01	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	20.32	-	-	-	-	-
90.0	33.19	0.43	0.08	0.01	-	-
112.5	19.67	3.12	0.70	0.08	-	-
135.0	11.98	0.12	0.02	-	-	-
157.5	9.95	-	-	-	-	-
180.0	0.10	-	-	-	-	-
202.5	0.06	-	-	-	-	-
225.0	0.05	-	-	-	-	-
247.5	0.05	-	-	-	-	-
270.0	0.01	-	-	-	-	-
292.5	0.01	-	-	-	-	-
315.0	0.01	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

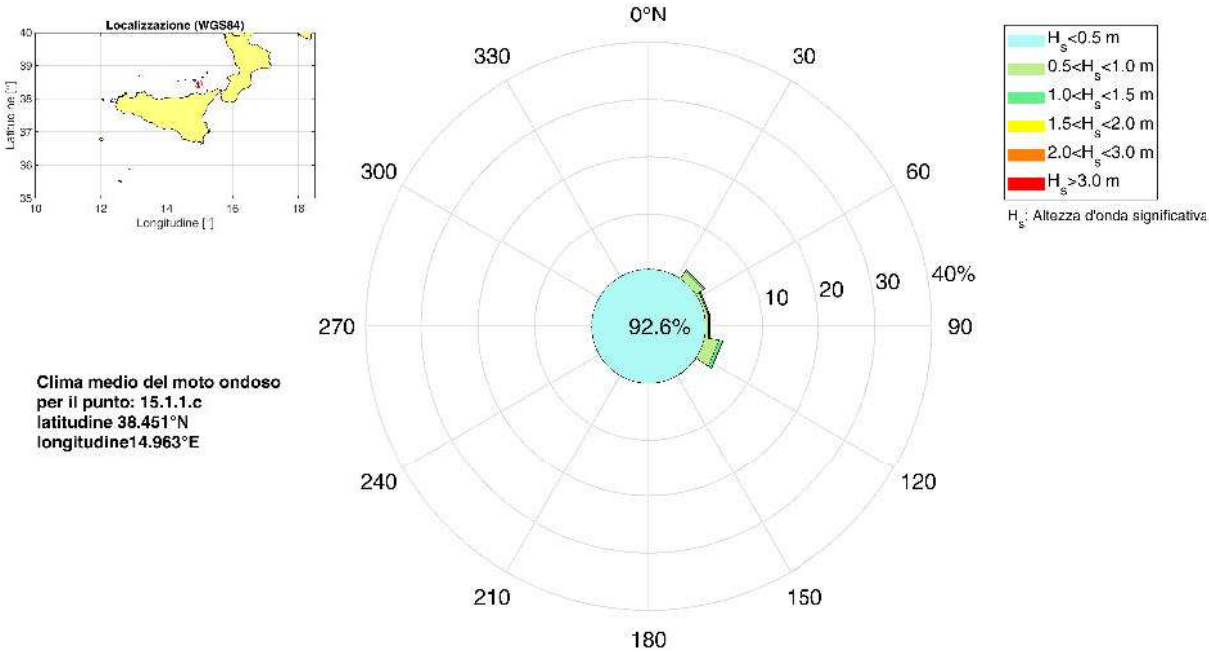


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.03	-	-	-	-	-
22.5	11.31	0.02	-	-	-	-
45.0	35.16	1.60	0.32	0.02	-	-
67.5	9.58	0.65	0.19	0.07	0.02	-
90.0	6.45	0.76	0.22	0.03	-	-
112.5	7.86	2.63	0.62	0.08	0.01	-
135.0	2.70	0.08	0.01	-	-	-
157.5	4.70	0.01	-	-	-	-
180.0	11.47	0.05	-	-	-	-
202.5	3.33	-	-	-	-	-
225.0	0.03	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	0.01	-	-	-	-	-

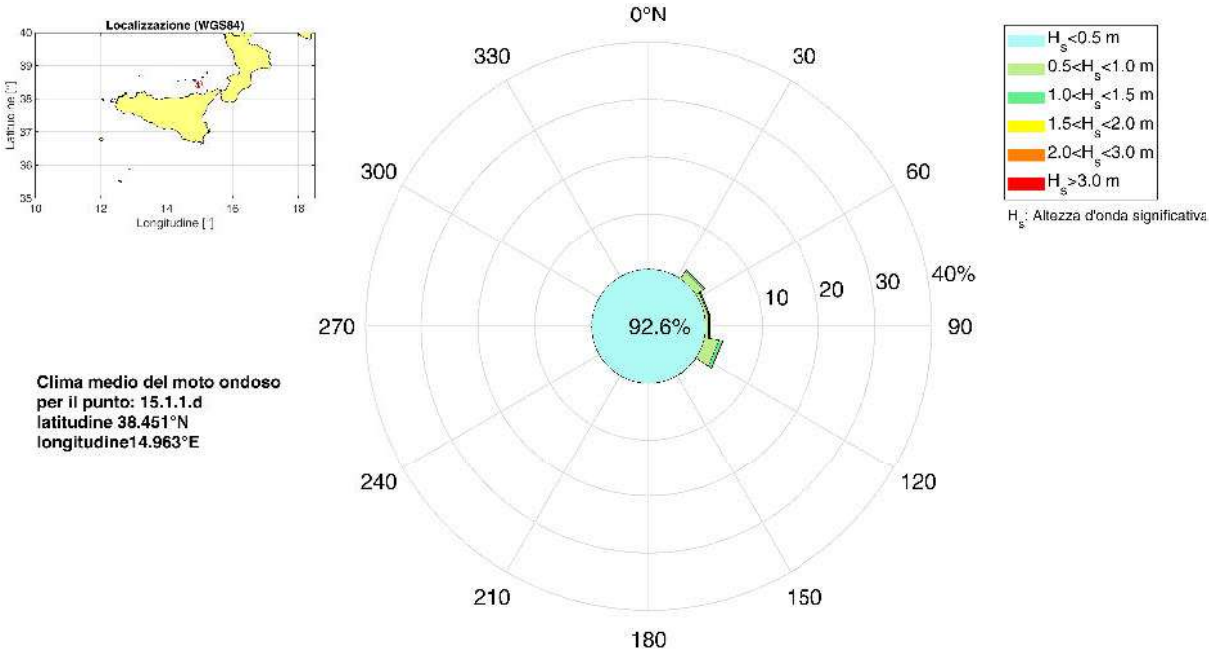


Figura 4: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 4: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.03	-	-	-	-	-
22.5	11.31	0.02	-	-	-	-
45.0	35.16	1.60	0.32	0.02	-	-
67.5	9.58	0.65	0.19	0.07	0.02	-
90.0	6.45	0.76	0.22	0.03	-	-
112.5	7.86	2.63	0.62	0.08	0.01	-
135.0	2.70	0.08	0.01	-	-	-
157.5	4.70	0.01	-	-	-	-
180.0	11.47	0.05	-	-	-	-
202.5	3.33	-	-	-	-	-
225.0	0.03	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	0.01	-	-	-	-	-

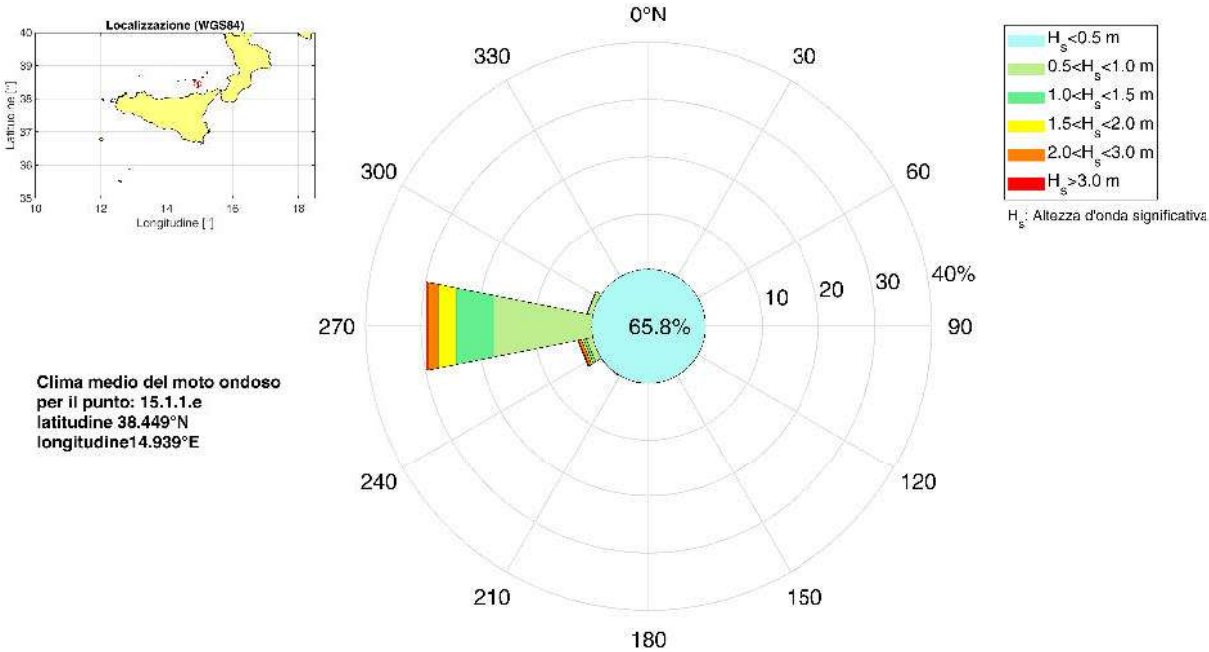


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	-	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	0.16	-	-	-	-	-
157.5	2.19	-	-	-	-	-
180.0	5.08	0.08	-	-	-	-
202.5	2.15	0.12	-	-	-	-
225.0	1.15	0.18	0.01	-	-	-
247.5	2.60	1.22	0.46	0.38	0.49	0.20
270.0	34.66	17.67	6.82	3.20	1.89	0.31
292.5	17.68	1.00	0.14	-	-	-
315.0	0.16	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

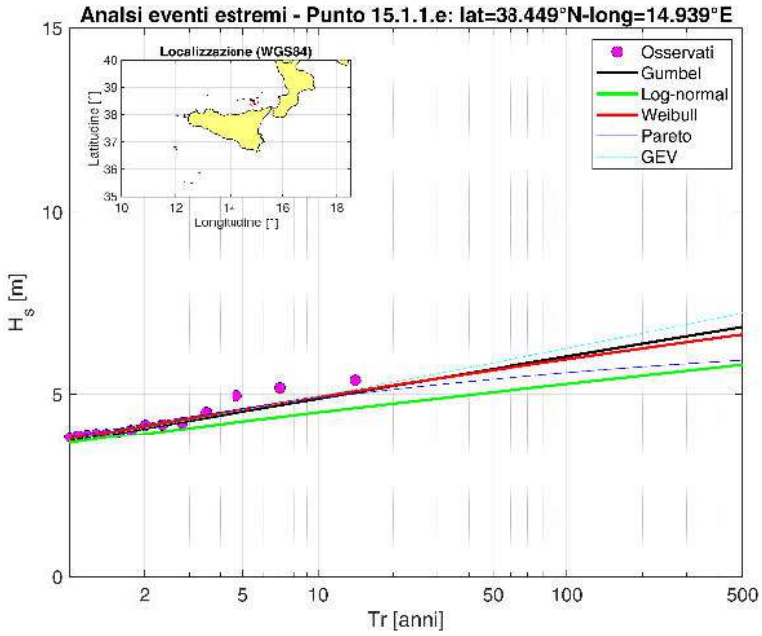


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	179	12.786	2.763	0.638	5.38
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07927	0.08412	0.09053	0.10053	0.12060
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07124	0.04308	0.08523	0.04300	0.07194

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.010	2.476	0.904	1.930	1.317	0.993	0.213	2.000	0.900	-0.183	2.473	0.480	-0.027

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.08	4.14	3.92	4.20	4.09
5	4.54	4.60	4.27	4.62	4.58
10	4.89	4.93	4.51	4.90	4.96
50	5.69	5.66	5.06	5.41	5.86
100	6.04	5.96	5.29	5.59	6.26
500	6.84	6.63	5.81	5.93	7.21

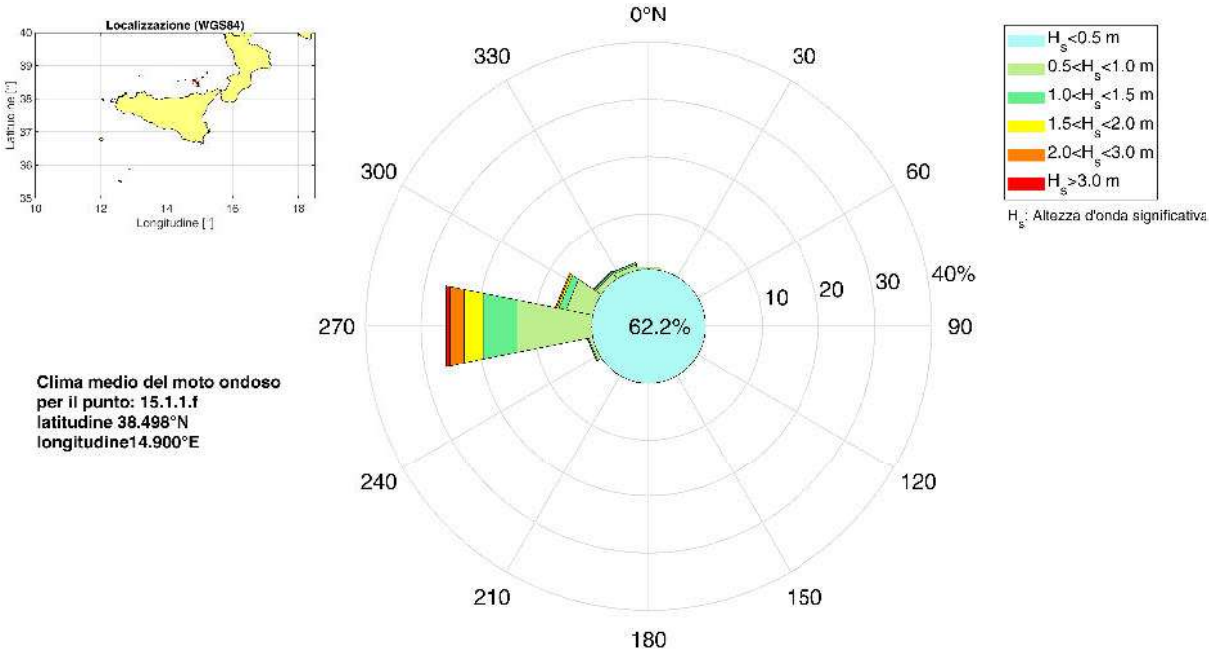


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	6.39	0.52	0.02	-	-	-
22.5	0.20	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	0.01	-	-	-	-	-
180.0	0.06	-	-	-	-	-
202.5	5.04	0.07	-	-	-	-
225.0	1.25	0.14	-	-	-	-
247.5	1.91	0.74	0.18	0.06	0.01	-
270.0	16.33	13.50	6.17	3.37	2.50	0.70
292.5	15.00	4.80	1.27	0.36	0.26	0.02
315.0	9.58	1.17	0.32	0.15	0.03	-
337.5	6.44	1.04	0.34	0.04	-	-

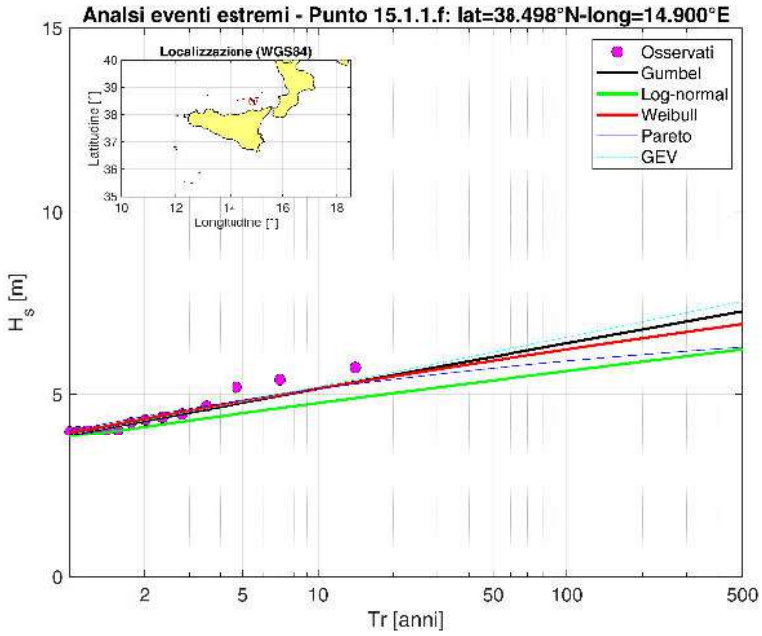


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	198	14.143	2.810	0.689	5.74
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07542	0.08003	0.08612	0.09563	0.11473
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07414	0.04677	0.08229	0.05014	0.07097

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.863	2.501	1.012	1.884	1.360	1.007	0.227	2.000	0.950	-0.175	2.498	0.524	-0.018

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.29	4.34	4.12	4.41	4.29
5	4.78	4.82	4.50	4.86	4.81
10	5.16	5.16	4.77	5.15	5.21
50	6.02	5.92	5.38	5.71	6.15
100	6.39	6.23	5.64	5.91	6.56
500	7.26	6.91	6.23	6.29	7.53

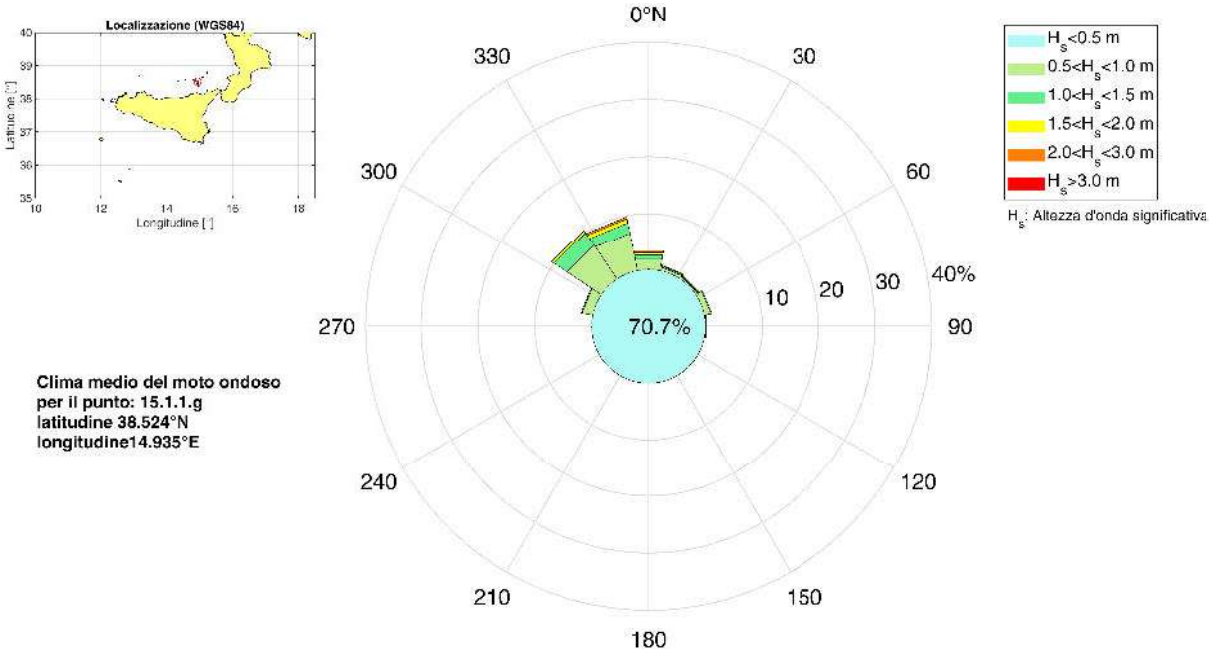


Figura 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	8.13	1.99	0.80	0.45	0.32	0.03
22.5	2.51	0.63	0.22	0.13	0.03	-
45.0	2.19	0.47	0.14	0.05	0.01	-
67.5	7.79	1.17	0.16	-	-	-
90.0	0.98	0.27	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	0.48	0.03	-	-	-	-
292.5	3.99	1.93	0.18	-	-	-
315.0	18.38	7.22	2.76	0.51	0.03	-
337.5	26.20	6.85	1.88	0.73	0.35	0.03

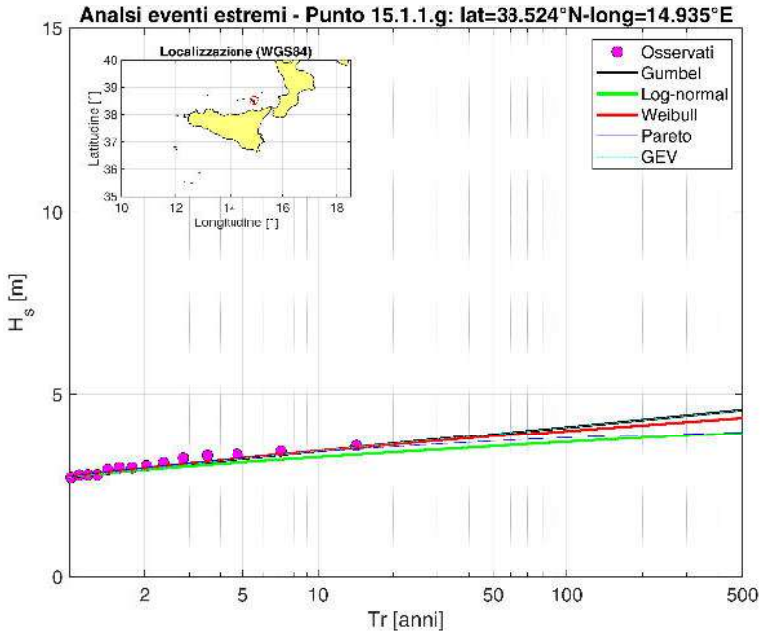


Figura 10: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	67	4.786	2.442	0.380	3.57
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.12862	0.13653	0.14695	0.16323	0.19584
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10133	0.07921	0.13848	0.06401	0.10145

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.373	2.271	0.602	1.897	1.457	0.882	0.146	2.000	0.549	-0.235	2.271	0.297	0.001

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.92	2.95	2.90	2.96	2.93
5	3.21	3.23	3.11	3.23	3.21
10	3.41	3.42	3.25	3.40	3.41
50	3.89	3.83	3.55	3.69	3.89
100	4.10	4.00	3.67	3.79	4.10
500	4.58	4.36	3.94	3.96	4.57

Unità fisiografica di I ordine
15
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
2

Indice

Punto griglia (identificativo: 15.1.2.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.2.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.2.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.2.d)
Analisi del moto ondoso

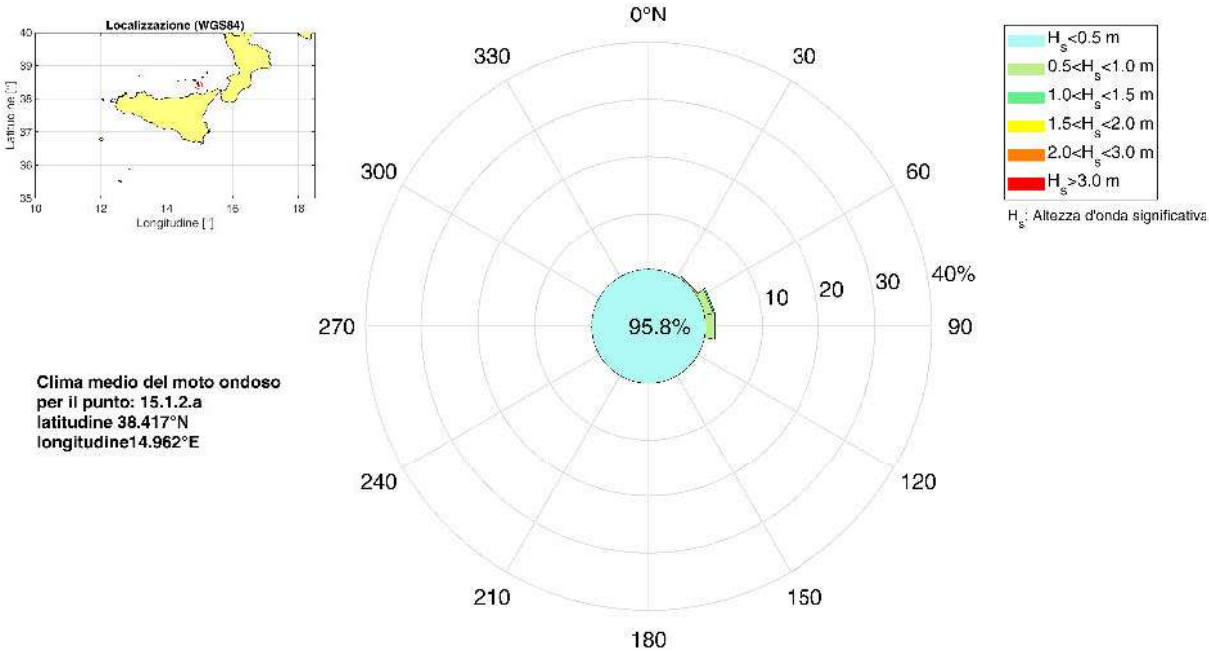


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.05	-	-	-	-	-
22.5	2.73	-	-	-	-	-
45.0	66.71	0.43	-	-	-	-
67.5	14.79	1.60	0.26	0.03	0.01	-
90.0	11.14	1.76	0.14	-	-	-
112.5	0.15	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	0.03	-	-	-	-	-
292.5	0.05	-	-	-	-	-
315.0	0.05	-	-	-	-	-
337.5	0.06	-	-	-	-	-

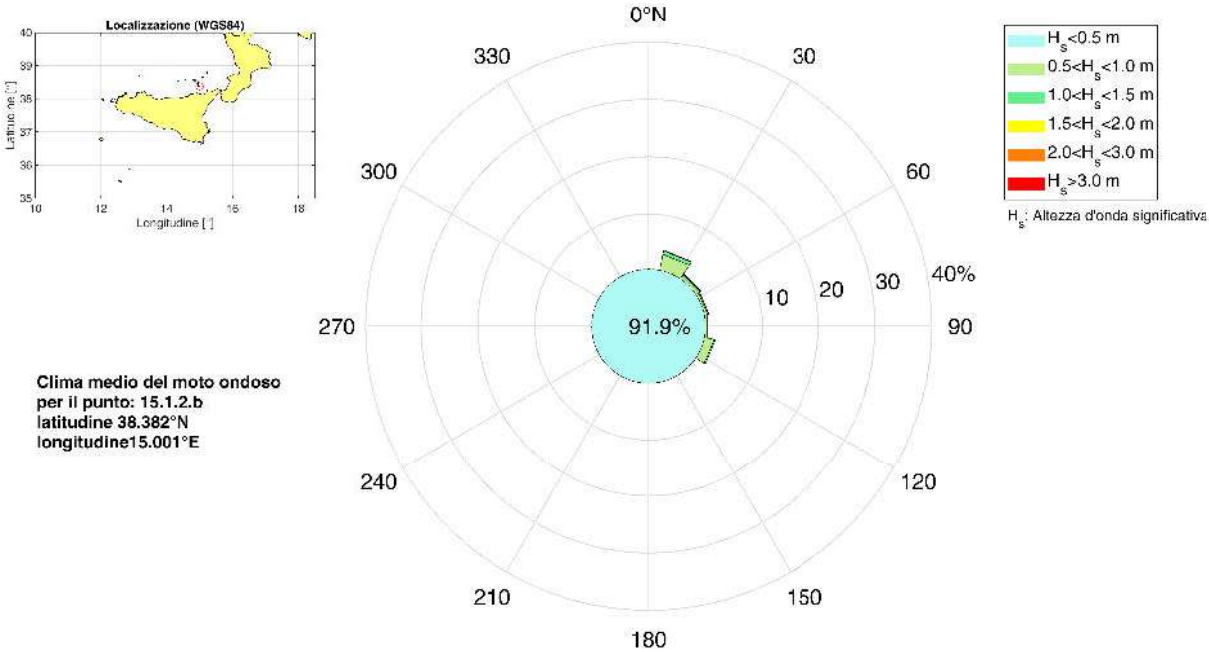


Figura 2: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 2: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	16.37	-	-	-	-	-
22.5	54.74	2.86	0.64	0.11	-	-
45.0	7.33	0.64	0.32	0.09	0.01	-
67.5	3.75	0.54	0.18	0.04	0.02	-
90.0	3.25	0.52	0.10	0.02	-	-
112.5	5.82	1.75	0.21	0.01	-	-
135.0	0.68	-	-	-	-	-
157.5	0.01	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

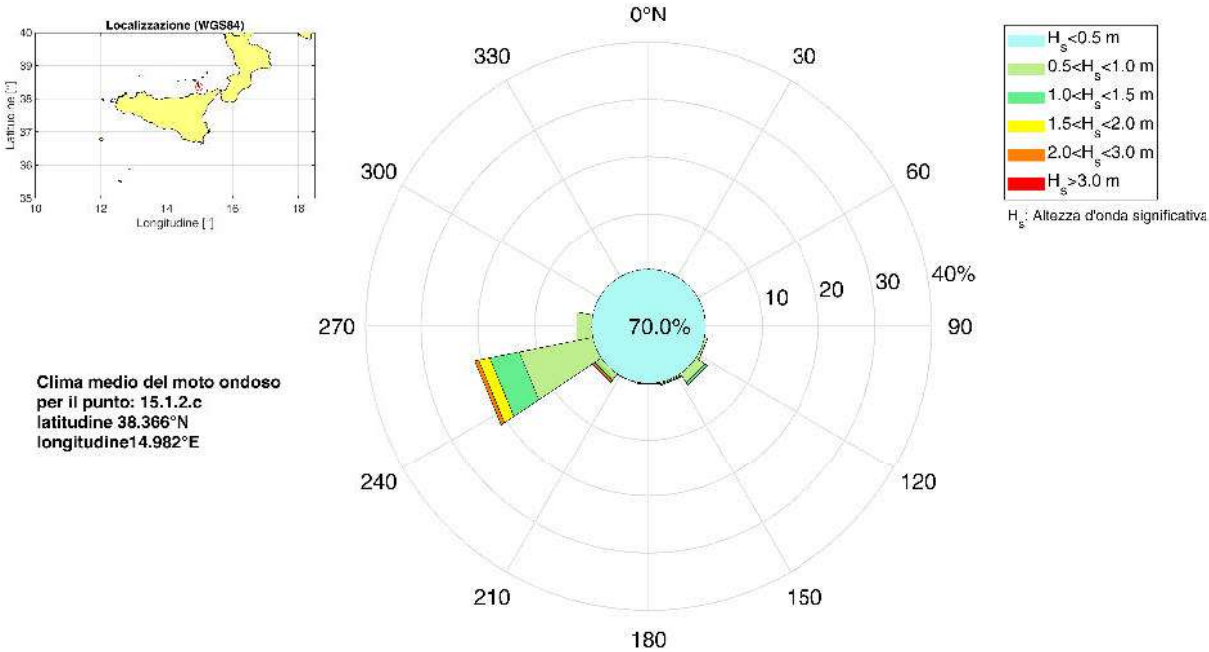


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.04	-	-	-	-	-
22.5	0.08	-	-	-	-	-
45.0	0.10	-	-	-	-	-
67.5	0.17	-	-	-	-	-
90.0	2.66	0.01	-	-	-	-
112.5	3.66	0.58	0.02	-	-	-
135.0	3.48	1.96	0.40	0.02	-	-
157.5	0.58	0.34	0.21	0.06	-	-
180.0	0.43	0.20	0.04	-	-	-
202.5	0.50	0.18	0.03	-	-	-
225.0	1.23	0.86	0.32	0.23	0.39	0.12
247.5	15.46	13.20	5.28	1.98	0.70	-
270.0	36.05	2.90	0.02	-	-	-
292.5	5.22	-	-	-	-	-
315.0	0.23	-	-	-	-	-
337.5	0.06	-	-	-	-	-

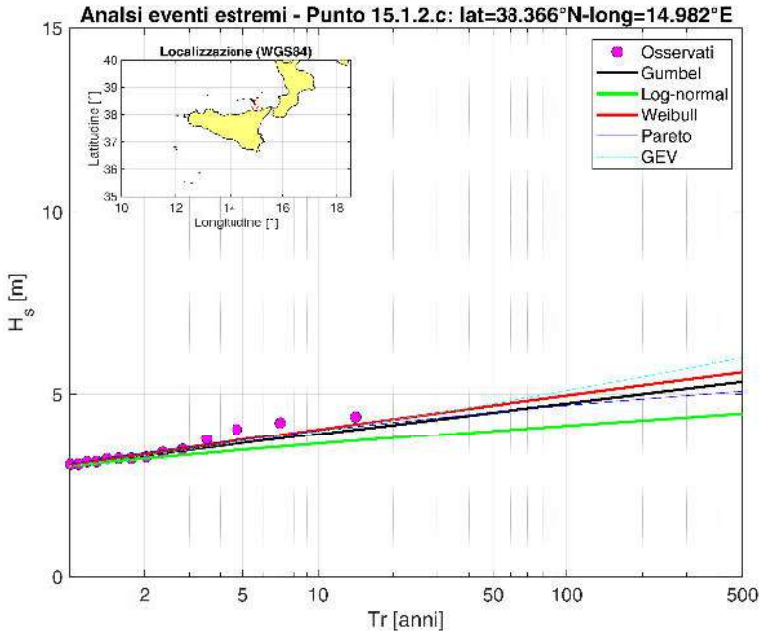


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 4: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	104	7.429	2.533	0.472	4.39
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10362	0.10998	0.11836	0.13147	0.15773
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08718	0.04794	0.08965	0.05825	0.06471

Tabella 5: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.717	2.321	0.552	2.004	1.123	0.914	0.169	2.000	0.599	-0.124	2.317	0.333	-0.069

Tabella 6: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.30	3.34	3.21	3.37	3.29
5	3.65	3.74	3.46	3.74	3.68
10	3.90	4.03	3.63	4.00	3.99
50	4.50	4.69	3.99	4.51	4.75
100	4.75	4.97	4.14	4.70	5.11
500	5.35	5.61	4.48	5.09	6.01

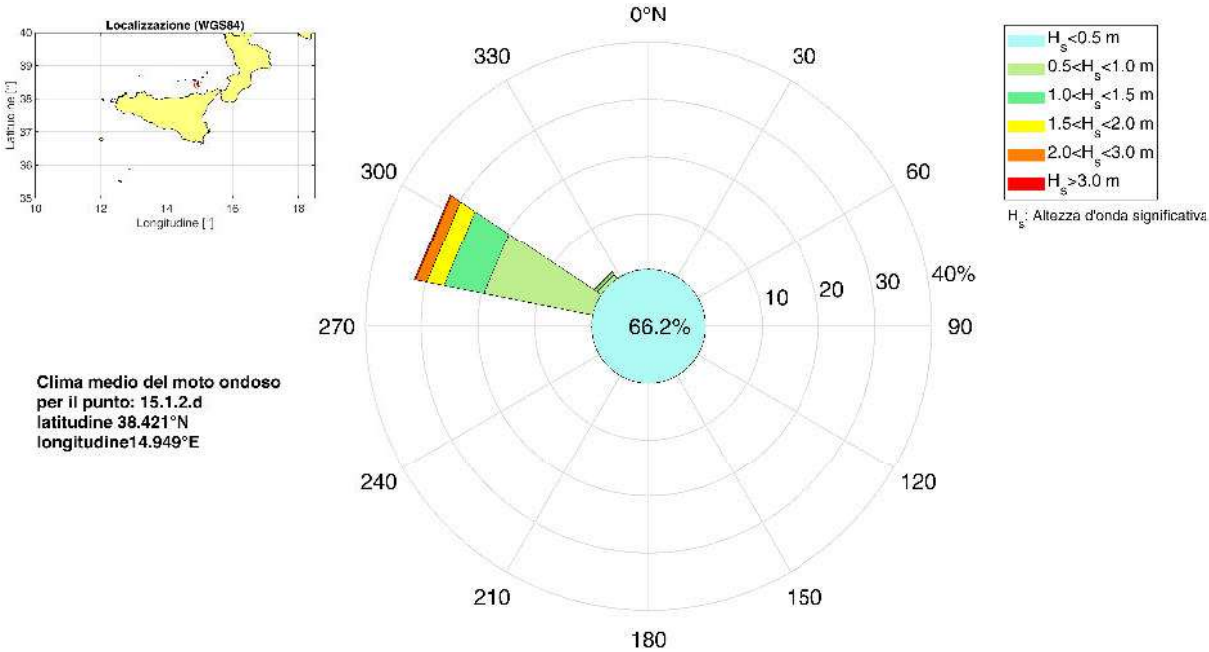


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.22	0.02	-	-	-	-
22.5	7.61	0.01	-	-	-	-
45.0	0.02	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	0.58	-	-	-	-	-
270.0	2.65	0.11	-	-	-	-
292.5	49.70	19.51	7.15	3.12	1.94	0.26
315.0	3.58	0.92	0.41	0.15	0.07	0.03
337.5	0.85	0.10	-	-	-	-

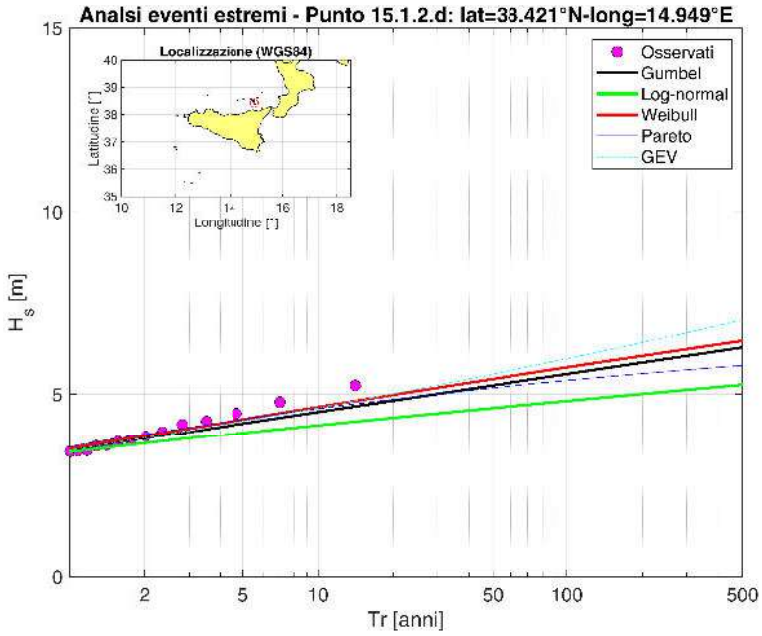


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 8: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	151	10.786	2.670	0.578	5.24
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08622	0.09150	0.09847	0.10936	0.13120
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.07849	0.04593	0.08678	0.05308	0.06027

Tabella 9: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.218	2.410	0.715	1.993	1.173	0.962	0.196	2.000	0.764	-0.142	2.405	0.416	-0.058

Tabella 10: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.78	3.85	3.64	3.90	3.79
5	4.20	4.32	3.94	4.32	4.26
10	4.52	4.66	4.15	4.61	4.63
50	5.24	5.42	4.63	5.18	5.55
100	5.56	5.74	4.82	5.38	5.98
500	6.28	6.46	5.26	5.79	7.02

Unità fisiografica di I ordine
15
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
3

Indice

Punto griglia (identificativo: 15.1.3.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.3.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.3.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.3.d)
Analisi del moto ondoso

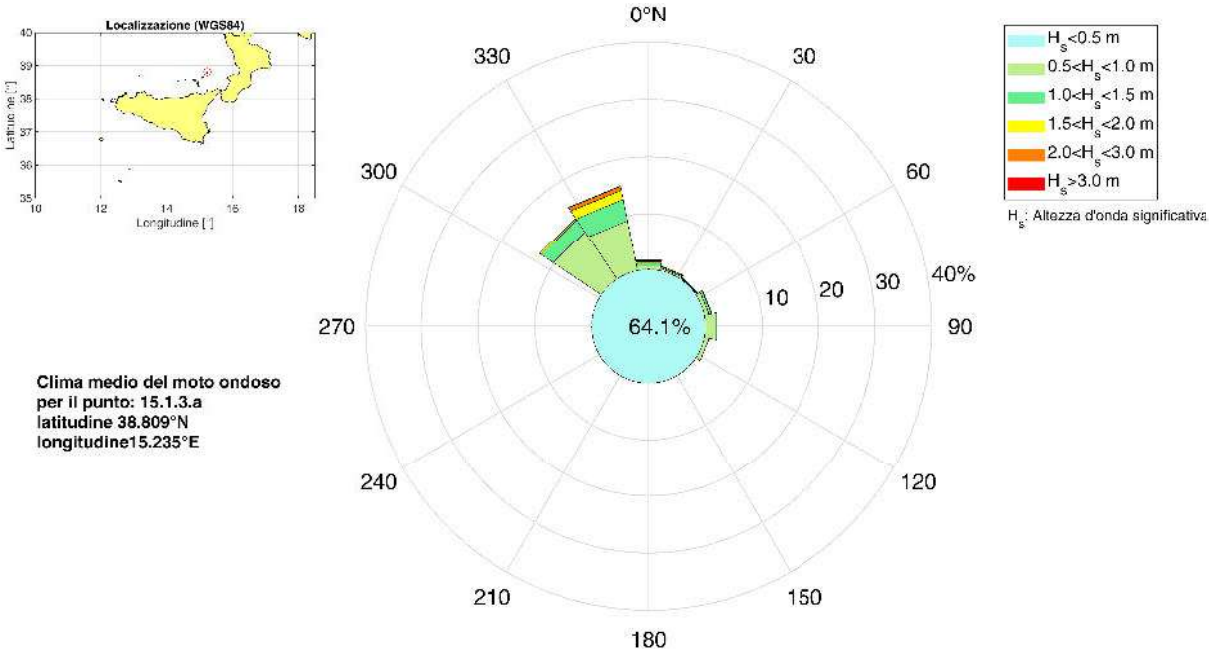


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.87	0.86	0.44	0.30	0.23	0.01
22.5	0.91	0.45	0.21	0.14	0.03	-
45.0	0.76	0.28	0.10	0.01	-	-
67.5	1.11	0.85	0.43	0.08	-	-
90.0	2.48	1.96	0.22	-	-	-
112.5	5.41	0.87	-	-	-	-
135.0	0.05	-	-	-	-	-
157.5	0.01	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	0.01	-	-	-	-	-
247.5	0.01	-	-	-	-	-
270.0	0.03	-	-	-	-	-
292.5	0.49	0.01	-	-	-	-
315.0	33.33	10.16	2.56	0.33	-	-
337.5	17.60	9.12	3.82	1.67	0.71	0.07

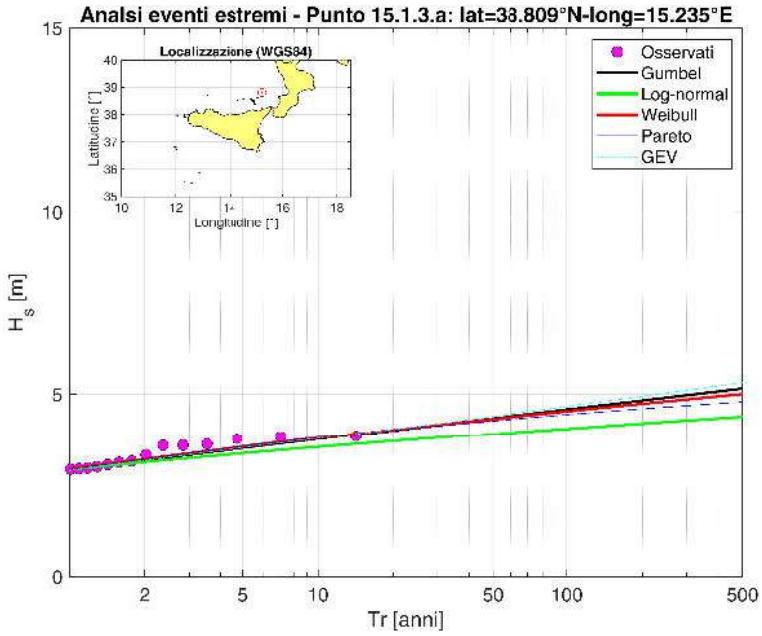


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	85	6.071	2.499	0.460	3.84
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.11444	0.12146	0.13073	0.14520	0.17421
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09704	0.08337	0.10785	0.05592	0.09145

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.792	2.292	0.669	1.885	1.350	0.901	0.170	2.000	0.566	-0.132	2.290	0.349	-0.020

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.17	3.20	3.12	3.20	3.17
5	3.51	3.55	3.36	3.55	3.52
10	3.76	3.79	3.54	3.79	3.78
50	4.34	4.32	3.91	4.27	4.40
100	4.59	4.54	4.06	4.45	4.67
500	5.16	5.01	4.39	4.80	5.32

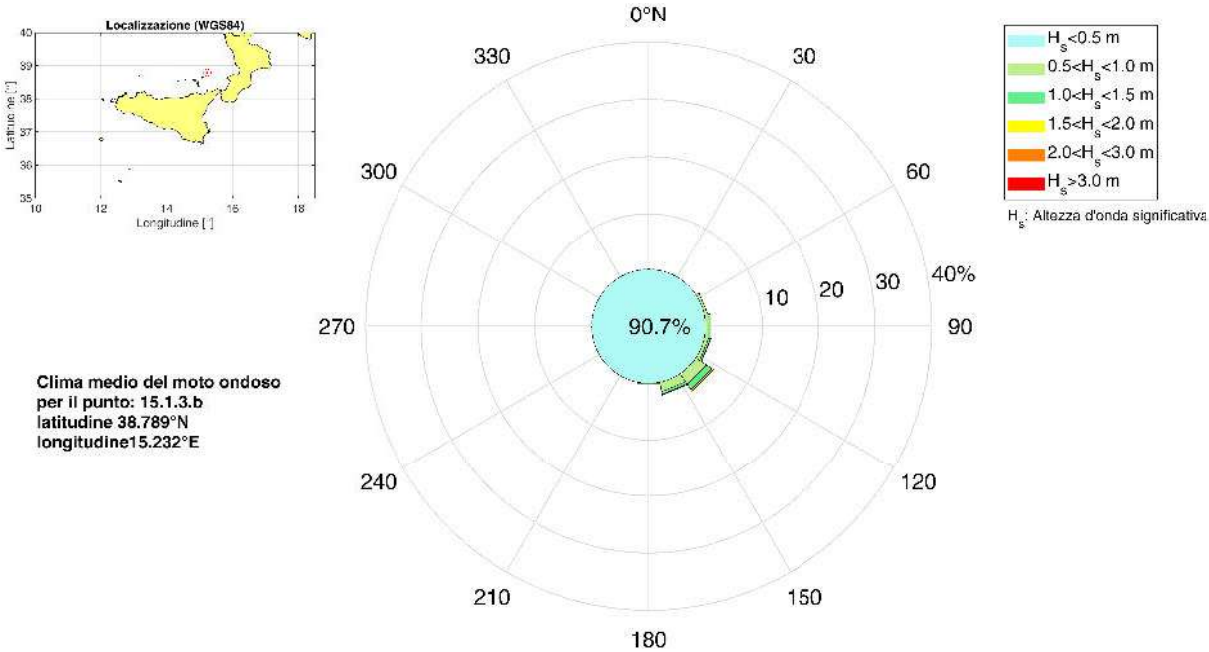


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	17.05	-	-	-	-	-
67.5	27.13	0.61	0.03	-	-	-
90.0	8.12	0.79	0.26	0.06	0.01	-
112.5	5.56	0.77	0.34	0.07	0.01	-
135.0	6.62	2.22	1.14	0.30	0.07	-
157.5	9.52	1.69	0.47	0.13	0.02	-
180.0	15.98	0.35	-	-	-	-
202.5	0.72	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

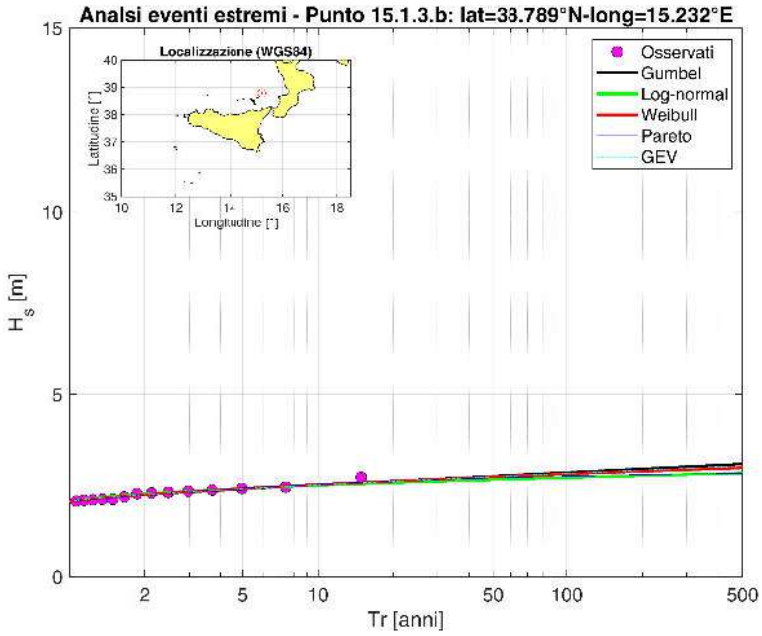


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	16	1.143	2.230	0.184	2.70
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.25778	0.27306	0.29472	0.32733	0.39201
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15883	0.13414	0.17073	0.11829	0.15654

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
6.961	2.147	0.328	1.936	1.635	0.799	0.080	2.000	0.309	-0.338	2.148	0.150	0.034

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.23	2.23	2.25	2.22	2.23
5	2.38	2.40	2.40	2.41	2.39
10	2.49	2.50	2.48	2.51	2.49
50	2.73	2.71	2.63	2.68	2.71
100	2.83	2.79	2.69	2.73	2.80
500	3.06	2.95	2.81	2.81	3.00

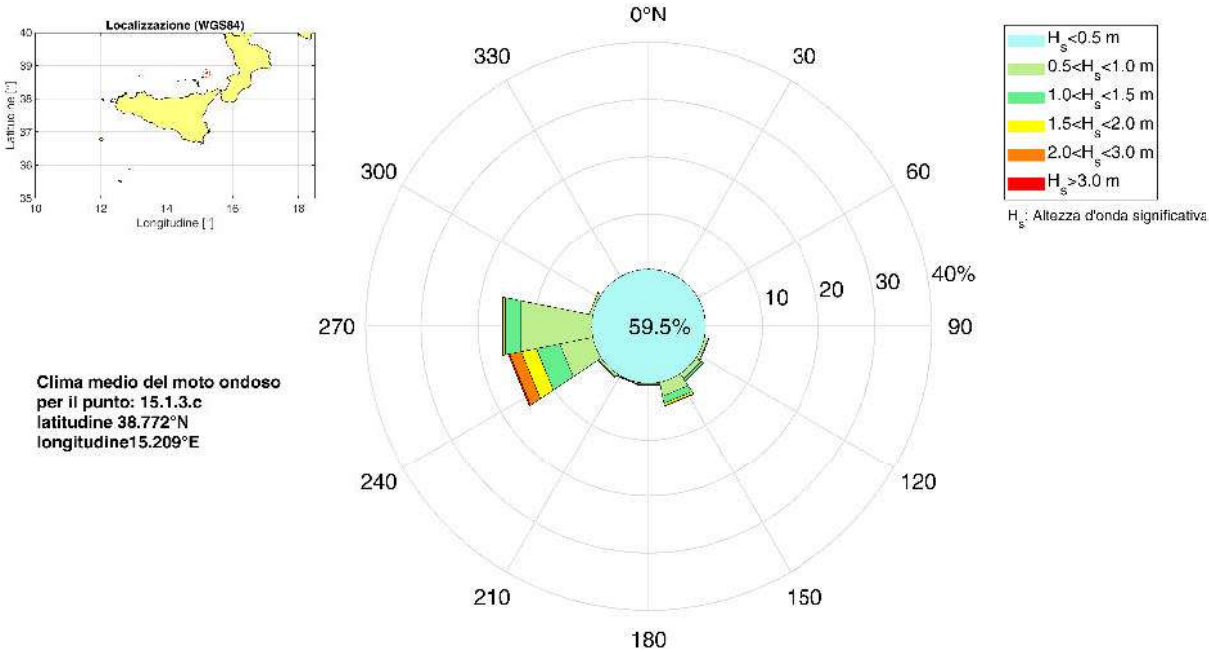


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.04	-	-	-	-	-
22.5	0.03	-	-	-	-	-
45.0	0.04	-	-	-	-	-
67.5	0.10	-	-	-	-	-
90.0	0.60	-	-	-	-	-
112.5	2.28	0.71	0.15	-	-	-
135.0	2.20	1.11	0.49	0.05	-	-
157.5	1.81	2.52	1.27	0.44	0.09	-
180.0	0.46	0.33	0.13	0.02	-	-
202.5	0.43	0.27	0.11	0.01	-	-
225.0	0.63	0.52	0.24	0.03	0.01	0.01
247.5	3.91	5.91	4.19	2.76	2.05	0.27
270.0	31.24	12.85	2.86	0.42	0.01	-
292.5	15.34	0.66	-	-	-	-
315.0	0.29	-	-	-	-	-
337.5	0.10	-	-	-	-	-

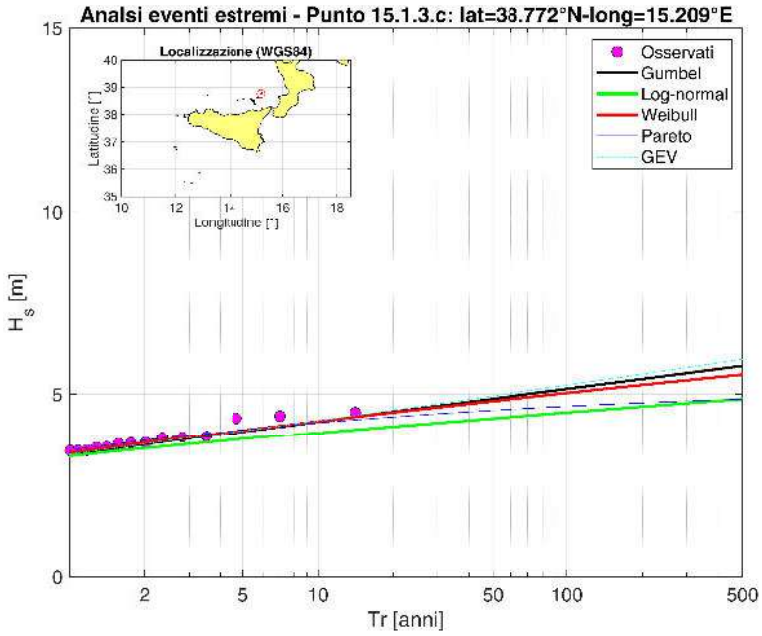


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	158	11.286	2.633	0.501	4.51
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08431	0.08948	0.09629	0.10693	0.12829
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.05287	0.02920	0.07160	0.05764	0.05488

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.562	2.408	0.738	1.958	1.364	0.952	0.177	2.000	0.779	-0.236	2.407	0.382	-0.017

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.62	3.66	3.50	3.72	3.62
5	3.98	4.01	3.76	4.03	4.00
10	4.25	4.26	3.94	4.22	4.28
50	4.88	4.81	4.34	4.56	4.96
100	5.15	5.04	4.50	4.68	5.26
500	5.78	5.54	4.87	4.88	5.96

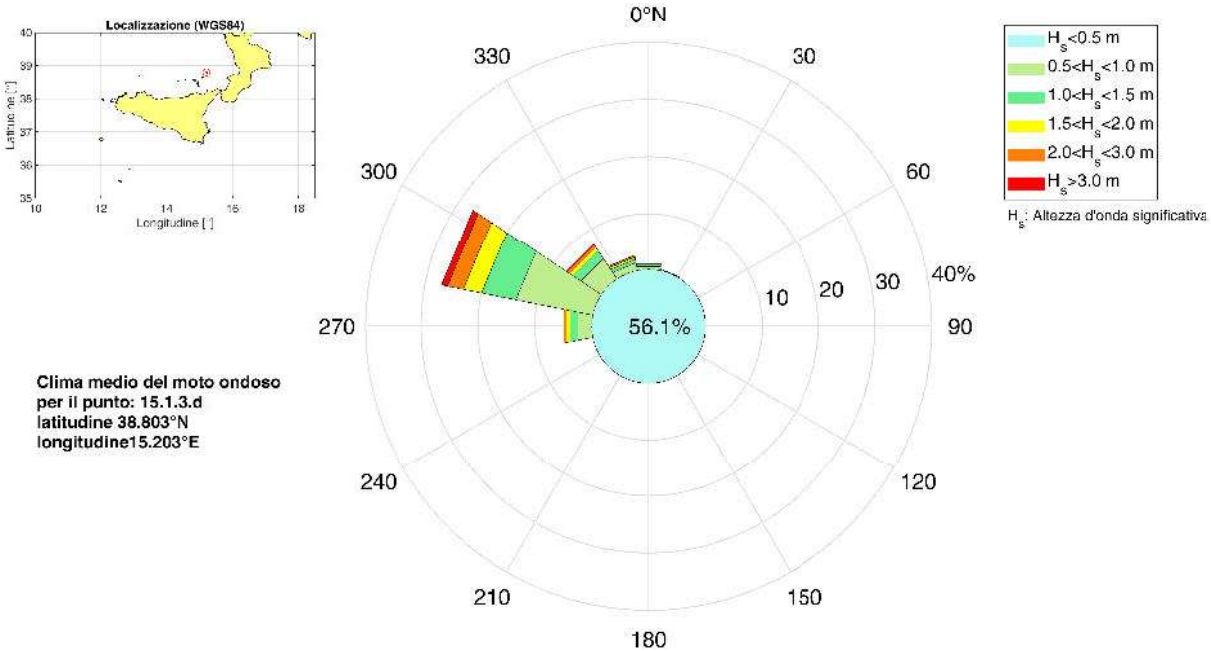


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.82	0.72	0.33	0.08	0.01	-
22.5	5.73	0.26	-	-	-	-
45.0	1.51	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	4.52	0.05	-	-	-	-
270.0	3.94	2.71	1.37	0.64	0.48	0.04
292.5	17.57	13.77	6.15	3.30	2.81	1.09
315.0	16.39	4.35	1.67	0.69	0.46	0.21
337.5	4.67	1.36	0.64	0.39	0.28	0.02

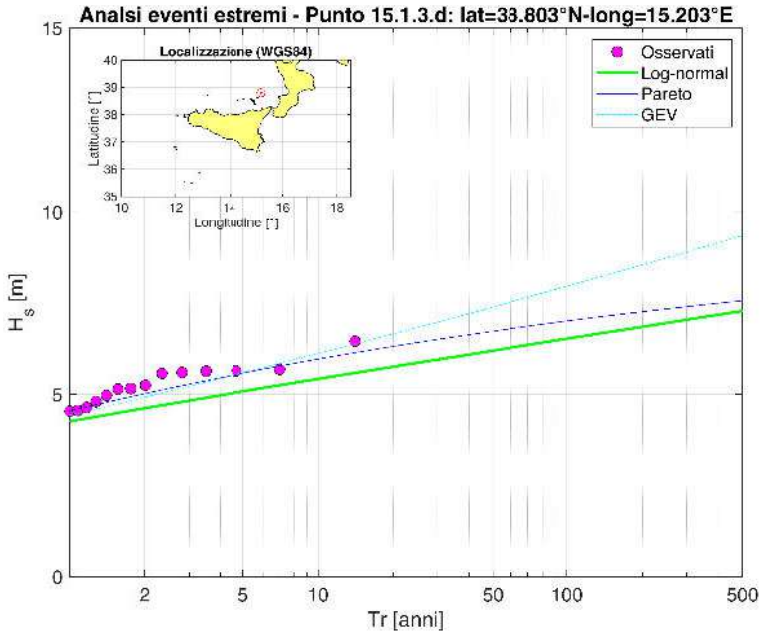


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	262	18.714	2.930	0.830	6.45
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06566	0.06967	0.07496	0.08324	0.09985
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09304	0.05553	0.09175	0.02673	0.08087

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.546	2.557	1.108	1.898	1.251	1.041	0.255	2.000	1.056	-0.135	2.551	0.612	-0.041

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.89	5.00	4.63	5.03	4.93
5	5.49	5.61	5.09	5.58	5.60
10	5.94	6.06	5.42	5.96	6.11
50	6.98	7.05	6.19	6.72	7.37
100	7.43	7.46	6.52	7.00	7.94
500	8.47	8.40	7.27	7.55	9.32

Unità fisiografica di I ordine
15
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
4

Indice

Punto griglia (identificativo: 15.1.4.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.4.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.4.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.4.d)
Analisi del moto ondoso

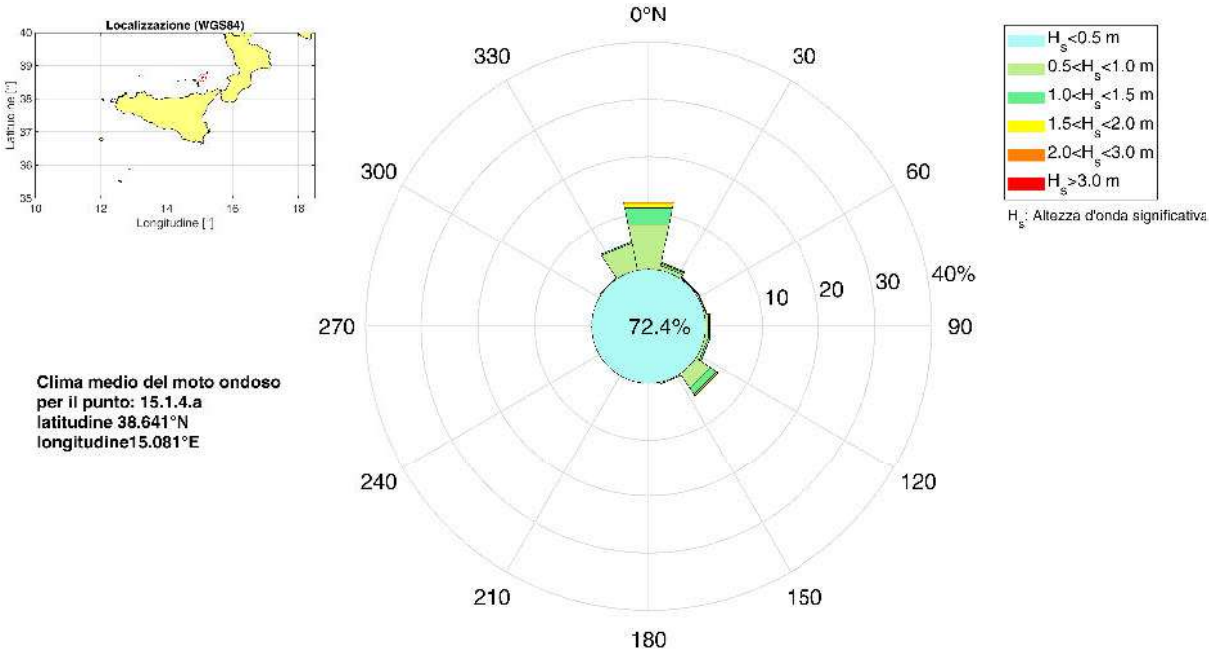


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	14.62	8.55	2.90	0.79	0.26	0.01
22.5	2.76	0.82	0.41	0.14	0.07	0.01
45.0	1.54	0.26	0.08	0.03	0.01	-
67.5	1.14	0.38	0.09	0.04	0.01	-
90.0	1.33	0.69	0.23	0.11	0.01	-
112.5	1.57	0.67	0.31	0.05	0.02	-
135.0	2.84	3.10	1.28	0.30	0.05	-
157.5	0.99	0.33	0.02	-	-	-
180.0	0.43	0.04	-	-	-	-
202.5	0.20	0.02	-	-	-	-
225.0	0.12	0.03	-	-	-	-
247.5	0.11	0.03	-	-	-	-
270.0	0.11	0.04	-	-	-	-
292.5	0.26	0.06	-	-	-	-
315.0	1.69	0.21	0.01	-	-	-
337.5	42.69	4.91	0.26	-	-	-

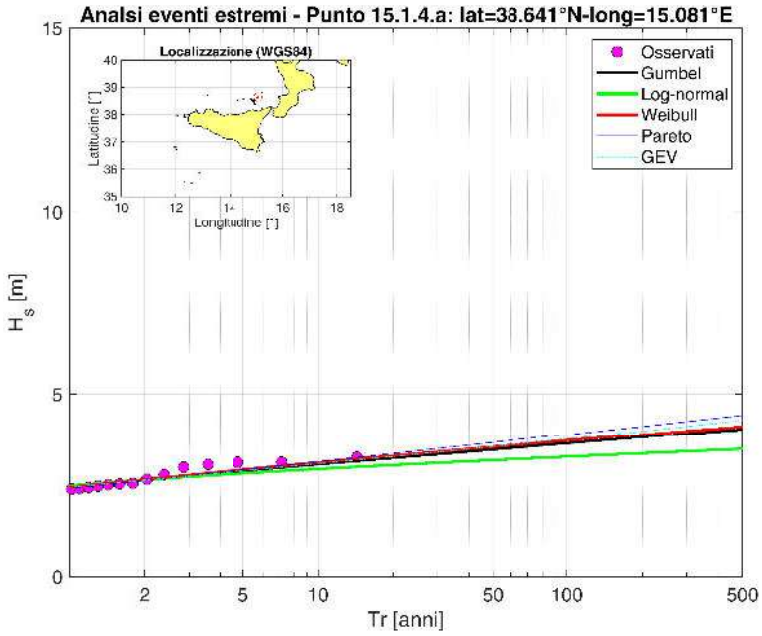


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	49	3.500	2.316	0.321	3.25
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.14992	0.15914	0.17130	0.19029	0.22828
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11856	0.09037	0.13394	0.05357	0.10375

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
3.995	2.171	0.406	1.933	1.196	0.831	0.128	2.000	0.312	0.011	2.169	0.233	-0.052

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.64	2.64	2.63	2.61	2.63
5	2.88	2.91	2.81	2.91	2.88
10	3.06	3.11	2.93	3.13	3.07
50	3.46	3.54	3.17	3.66	3.55
100	3.64	3.71	3.27	3.89	3.76
500	4.04	4.12	3.48	4.43	4.29

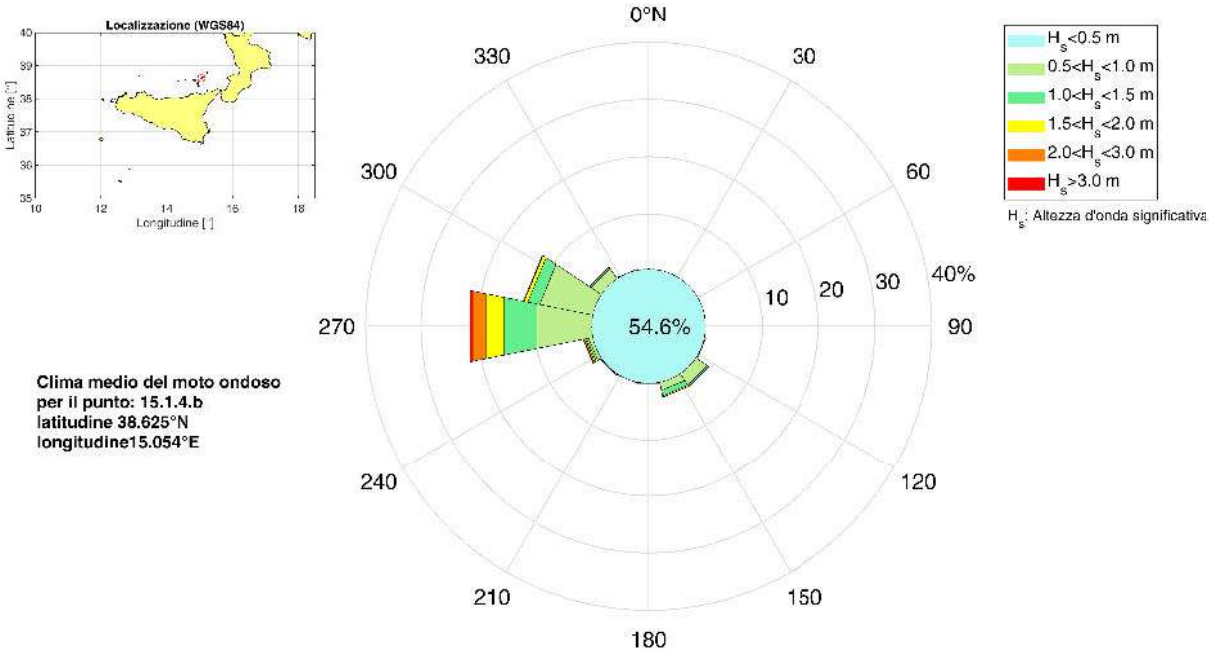


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.30	0.01	-	-	-	-
22.5	0.15	0.01	-	-	-	-
45.0	0.15	0.01	-	-	-	-
67.5	0.13	0.01	-	-	-	-
90.0	0.26	0.01	-	-	-	-
112.5	1.35	0.24	0.01	-	-	-
135.0	4.40	2.37	0.36	-	-	-
157.5	1.08	1.47	0.96	0.23	0.01	-
180.0	0.32	0.21	0.03	-	-	-
202.5	0.26	0.13	0.01	-	-	-
225.0	0.28	0.28	0.03	-	-	-
247.5	0.76	0.75	0.36	0.23	0.29	0.10
270.0	6.93	10.02	5.83	3.33	2.34	0.49
292.5	20.11	9.54	2.12	0.66	0.14	-
315.0	16.64	2.16	0.40	0.01	-	-
337.5	1.54	0.21	-	-	-	-

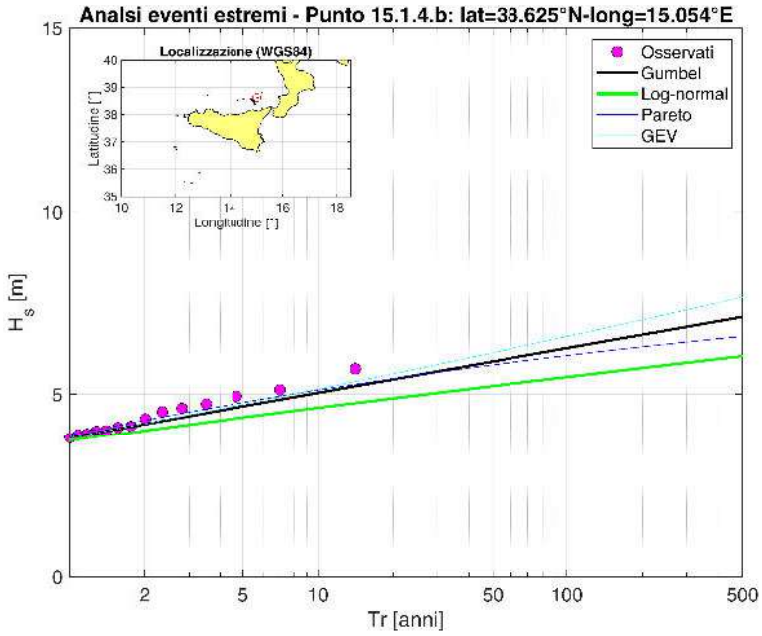


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	195	13.929	2.745	0.677	5.70
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07599	0.08064	0.08677	0.09636	0.11560
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09538	0.06363	0.10545	0.06308	0.08974

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.895	2.441	0.927	1.886	1.279	0.983	0.225	2.000	0.833	-0.118	2.437	0.503	-0.035

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.19	4.26	4.01	4.29	4.20
5	4.68	4.76	4.37	4.78	4.73
10	5.04	5.12	4.64	5.12	5.14
50	5.89	5.92	5.23	5.80	6.13
100	6.26	6.25	5.47	6.06	6.58
500	7.11	6.99	6.04	6.58	7.65

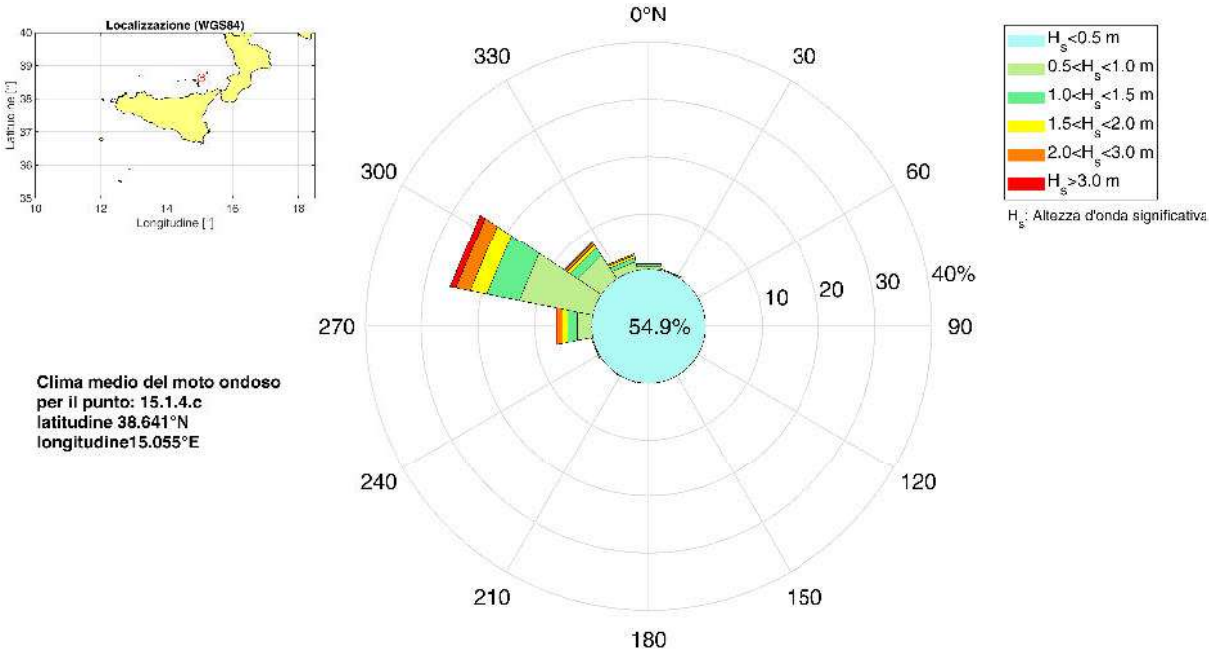


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.61	0.73	0.33	0.11	0.01	-
22.5	2.52	0.34	0.03	-	-	-
45.0	1.36	0.02	-	-	-	-
67.5	0.27	-	-	-	-	-
90.0	0.14	-	-	-	-	-
112.5	0.11	-	-	-	-	-
135.0	0.13	-	-	-	-	-
157.5	0.25	-	-	-	-	-
180.0	1.41	0.03	-	-	-	-
202.5	4.65	0.17	-	-	-	-
225.0	1.35	0.04	-	-	-	-
247.5	0.83	0.30	0.04	-	-	-
270.0	2.62	2.83	1.66	0.96	0.89	0.24
292.5	14.88	13.15	5.82	3.01	2.54	1.07
315.0	16.61	4.90	1.64	0.69	0.45	0.17
337.5	6.12	1.53	0.73	0.42	0.30	0.02

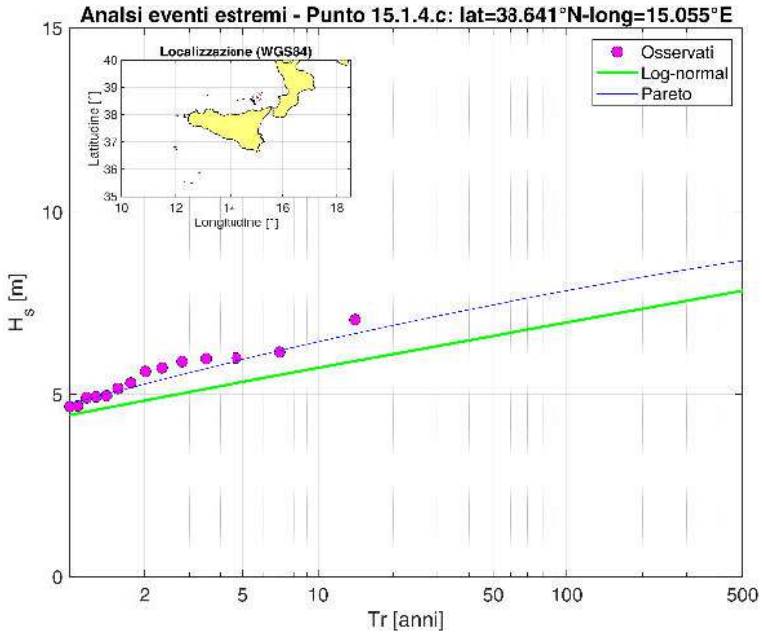


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	273	19.500	2.962	0.900	7.03
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06433	0.06826	0.07345	0.08156	0.09783
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10835	0.06978	0.10830	0.05309	0.09469

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.426	2.557	1.175	1.863	1.228	1.047	0.272	2.000	1.046	-0.086	2.551	0.658	-0.046

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.12	5.25	4.84	5.29	5.17
5	5.77	5.92	5.35	5.96	5.90
10	6.25	6.42	5.73	6.43	6.47
50	7.38	7.52	6.59	7.43	7.87
100	7.87	7.98	6.96	7.82	8.51
500	9.00	9.02	7.82	8.64	10.06

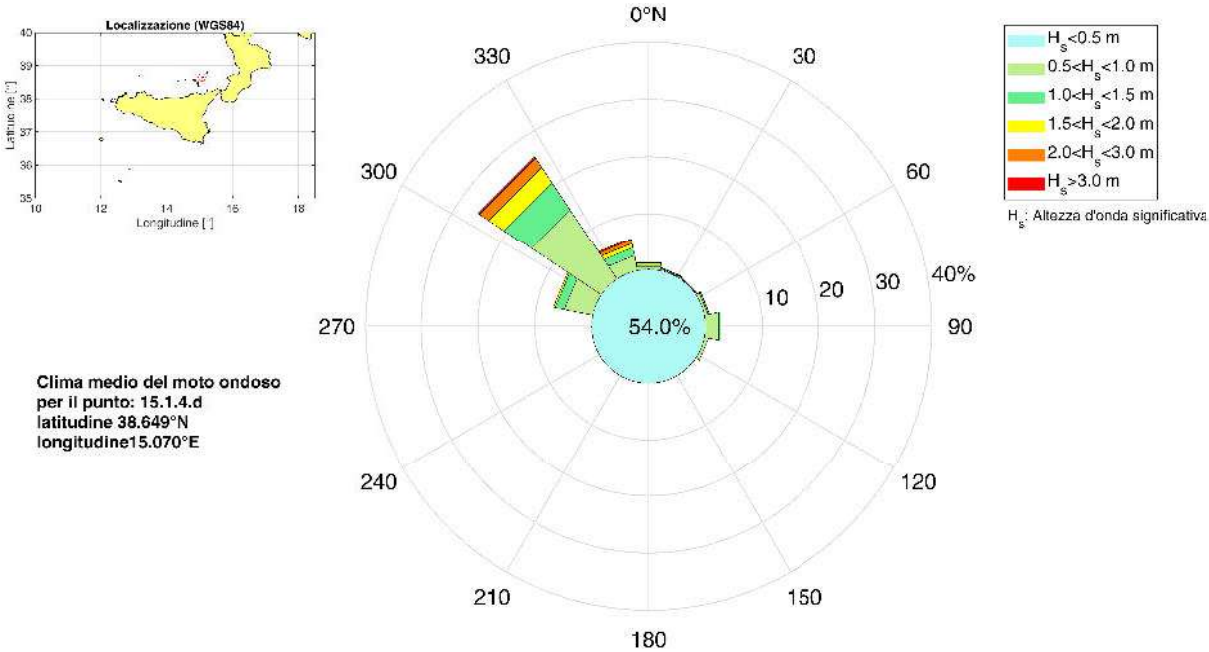


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	1.55	0.73	0.34	0.23	0.08	0.01
22.5	0.95	0.33	0.17	0.05	0.01	-
45.0	0.80	0.24	0.08	0.03	-	-
67.5	1.04	0.66	0.26	0.03	-	-
90.0	2.56	2.53	0.38	-	-	-
112.5	4.17	0.73	-	-	-	-
135.0	0.13	0.01	-	-	-	-
157.5	0.04	-	-	-	-	-
180.0	0.04	-	-	-	-	-
202.5	0.04	-	-	-	-	-
225.0	0.05	-	-	-	-	-
247.5	0.14	-	-	-	-	-
270.0	0.59	0.15	-	-	-	-
292.5	9.52	5.11	1.64	0.33	-	-
315.0	25.07	14.80	5.81	3.21	1.98	0.25
337.5	7.29	2.73	1.40	0.76	0.68	0.27

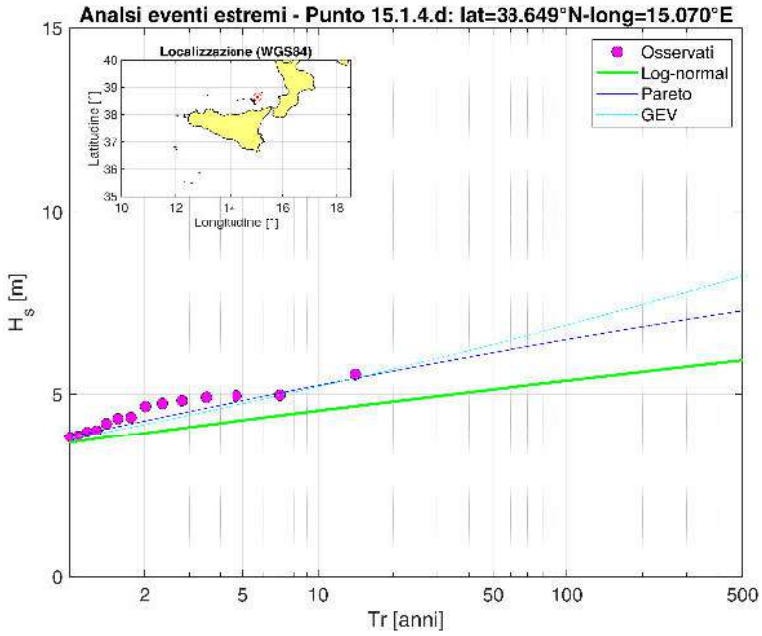


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	191	13.643	2.714	0.684	5.55
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07677	0.08147	0.08767	0.09735	0.11679
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.11234	0.04641	0.12302	0.03401	0.09149

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.876	2.406	0.810	1.939	1.135	0.972	0.223	2.000	0.752	-0.054	2.400	0.485	-0.066

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.16	4.26	3.94	4.28	4.18
5	4.65	4.82	4.30	4.84	4.76
10	5.02	5.24	4.56	5.25	5.21
50	5.88	6.17	5.14	6.13	6.36
100	6.25	6.57	5.38	6.49	6.89
500	7.11	7.46	5.93	7.28	8.22

Unità fisiografica di I ordine
15
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
5

Indice

Punto griglia (identificativo: 15.1.5.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.5.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.5.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.5.d)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.5.e)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.5.f)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.5.g)
Analisi del moto ondoso

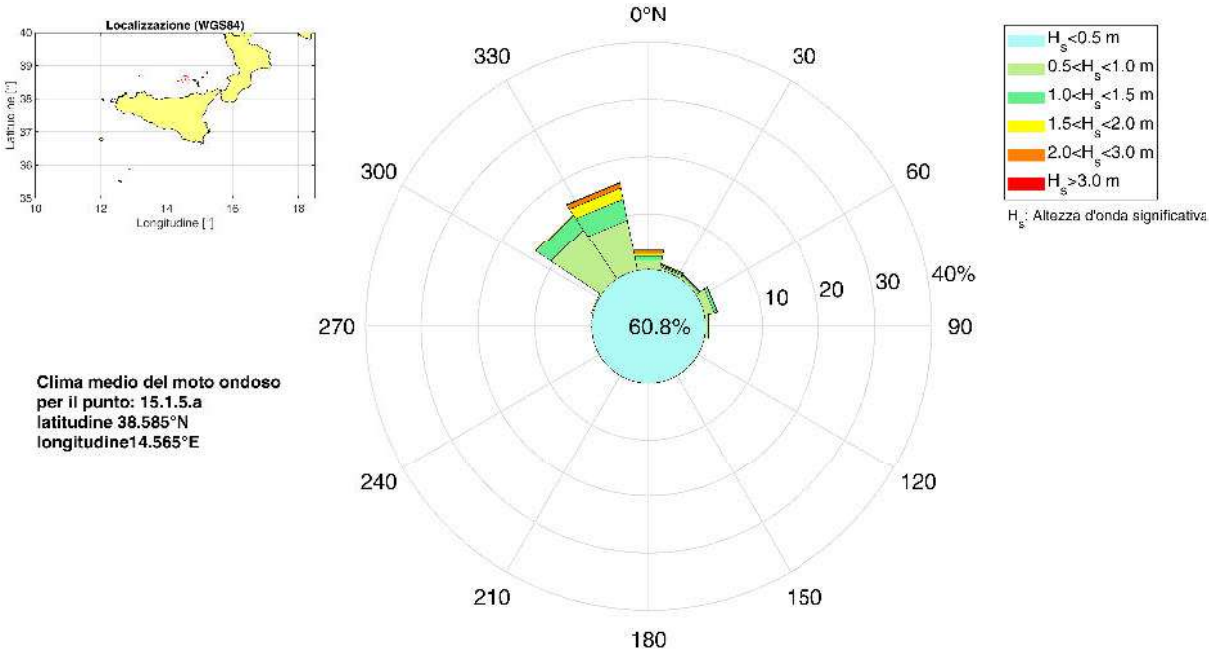


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.56	1.74	0.83	0.51	0.51	0.07
22.5	1.54	0.61	0.28	0.17	0.11	-
45.0	2.09	0.64	0.15	0.10	0.06	-
67.5	4.84	1.78	0.54	0.10	0.01	-
90.0	2.66	0.68	0.02	-	-	-
112.5	0.13	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	0.01	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	0.03	-	-	-	-	-
292.5	2.66	0.37	-	-	-	-
315.0	25.76	10.64	3.04	0.28	-	-
337.5	17.47	9.21	3.80	2.02	0.85	0.12

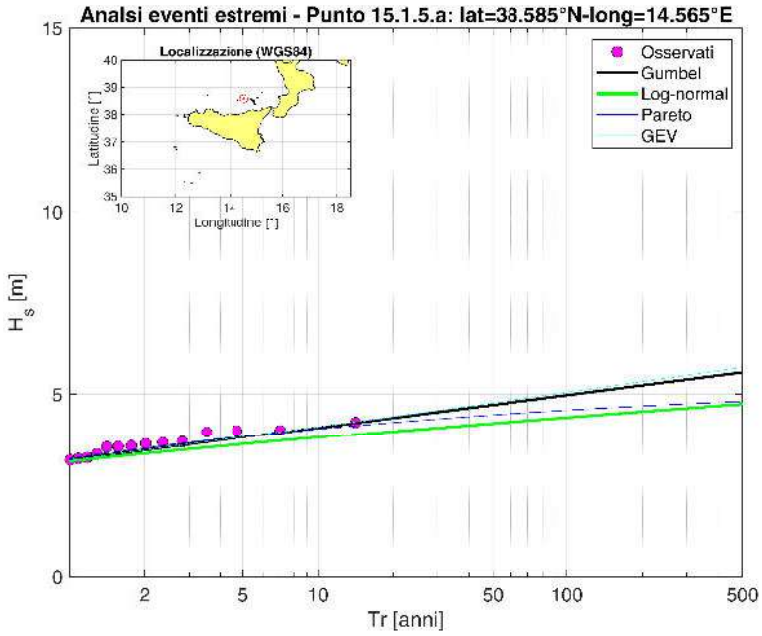


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	122	8.714	2.577	0.498	4.23
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09579	0.10166	0.10940	0.12151	0.14578
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09778	0.06923	0.12762	0.05099	0.09640

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.577	2.353	0.741	1.899	1.377	0.930	0.178	2.000	0.695	-0.201	2.351	0.381	-0.014

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.45	3.49	3.36	3.51	3.45
5	3.81	3.84	3.62	3.84	3.82
10	4.08	4.10	3.80	4.05	4.11
50	4.71	4.65	4.20	4.44	4.77
100	4.98	4.87	4.37	4.57	5.06
500	5.60	5.37	4.74	4.81	5.74

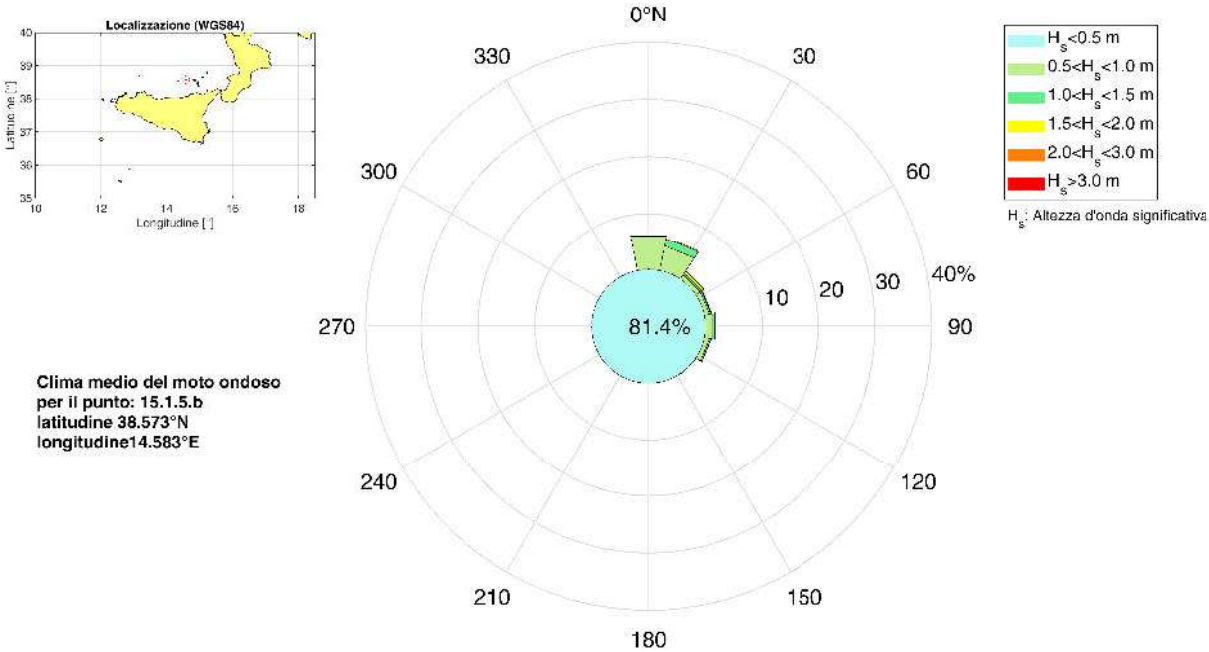


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	50.23	6.32	0.03	-	-	-
22.5	7.67	4.46	1.29	0.17	-	-
45.0	3.89	0.86	0.41	0.37	0.05	-
67.5	4.02	0.89	0.26	0.11	0.06	-
90.0	4.11	1.50	0.35	0.14	0.01	-
112.5	2.08	0.94	0.24	0.05	-	-
135.0	0.86	0.10	-	-	-	-
157.5	0.08	-	-	-	-	-
180.0	0.01	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	0.03	-	-	-	-	-
337.5	8.42	0.01	-	-	-	-

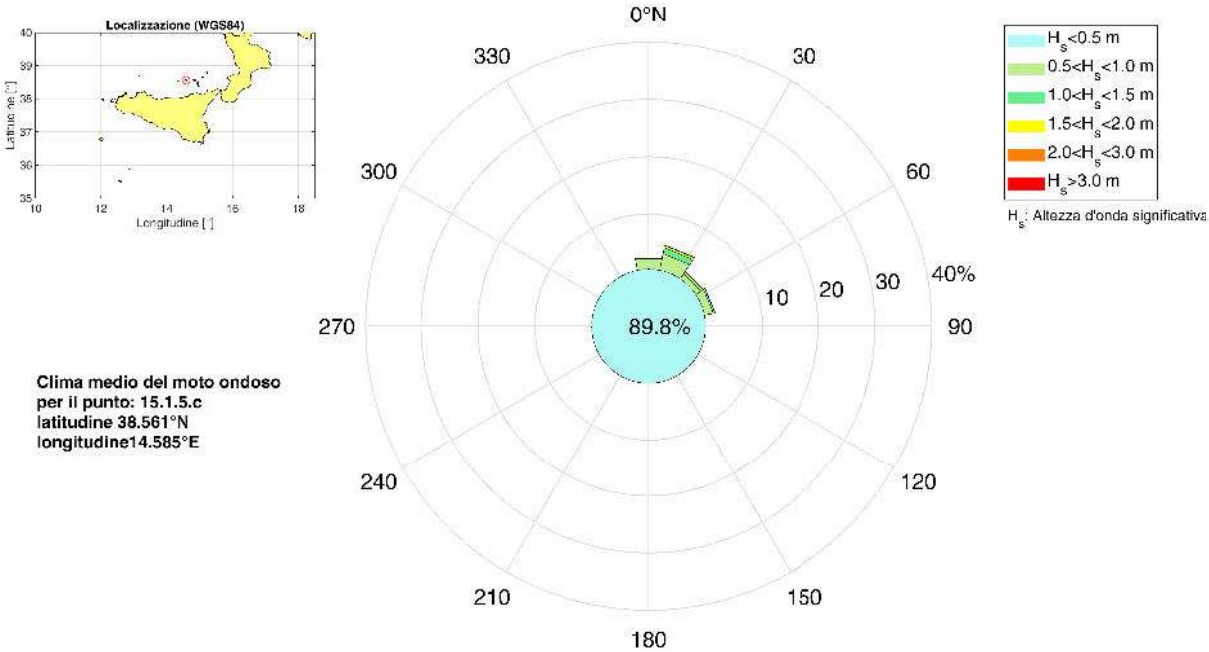


Figura 4: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 6: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	59.15	2.08	0.05	-	-	-
22.5	12.46	2.98	1.08	0.40	0.07	-
45.0	6.51	1.03	0.30	0.19	0.08	-
67.5	8.93	1.58	0.32	0.02	-	-
90.0	2.34	0.05	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	0.01	-	-	-	-	-
315.0	0.01	-	-	-	-	-
337.5	0.35	-	-	-	-	-

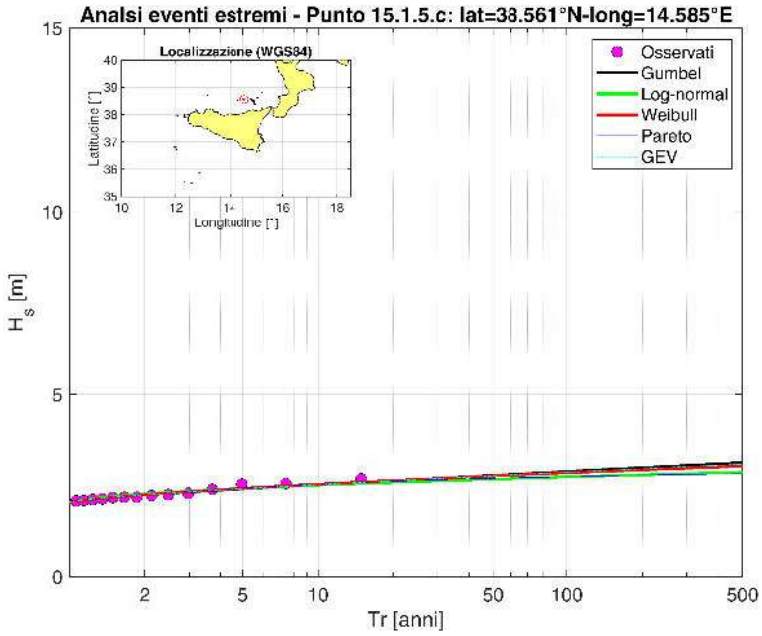


Figura 5: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 7: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	16	1.143	2.225	0.194	2.66
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.25778	0.27306	0.29472	0.32733	0.39201
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.10479	0.09111	0.14957	0.09210	0.10872

Tabella 8: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
6.613	2.138	0.335	1.925	1.585	0.797	0.084	2.000	0.310	-0.348	2.139	0.156	0.025

Tabella 9: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.22	2.22	2.25	2.22	2.22
5	2.39	2.40	2.40	2.40	2.39
10	2.50	2.51	2.49	2.51	2.50
50	2.75	2.73	2.65	2.67	2.74
100	2.85	2.82	2.71	2.72	2.84
500	3.10	3.00	2.84	2.79	3.05

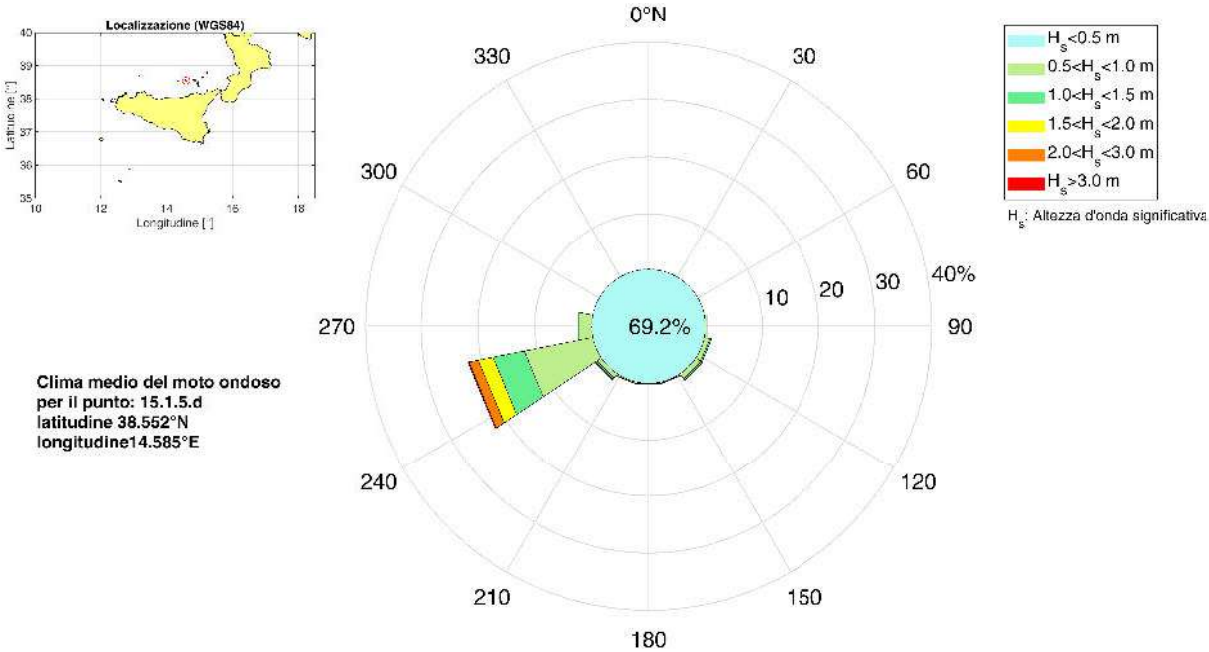


Figura 6: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 10: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.11	-	-	-	-	-
22.5	0.15	-	-	-	-	-
45.0	0.23	-	-	-	-	-
67.5	1.49	0.01	-	-	-	-
90.0	5.76	0.43	0.01	-	-	-
112.5	5.15	1.01	0.27	0.02	-	-
135.0	1.72	1.08	0.33	0.06	0.01	-
157.5	0.51	0.26	0.08	0.01	-	-
180.0	0.46	0.22	0.06	-	-	-
202.5	0.59	0.33	0.07	0.01	-	-
225.0	1.21	0.92	0.32	0.07	0.04	0.02
247.5	17.52	12.27	5.60	2.65	1.66	0.19
270.0	31.44	2.49	0.21	0.01	-	-
292.5	2.45	0.03	-	-	-	-
315.0	0.32	0.01	-	-	-	-
337.5	0.14	-	-	-	-	-

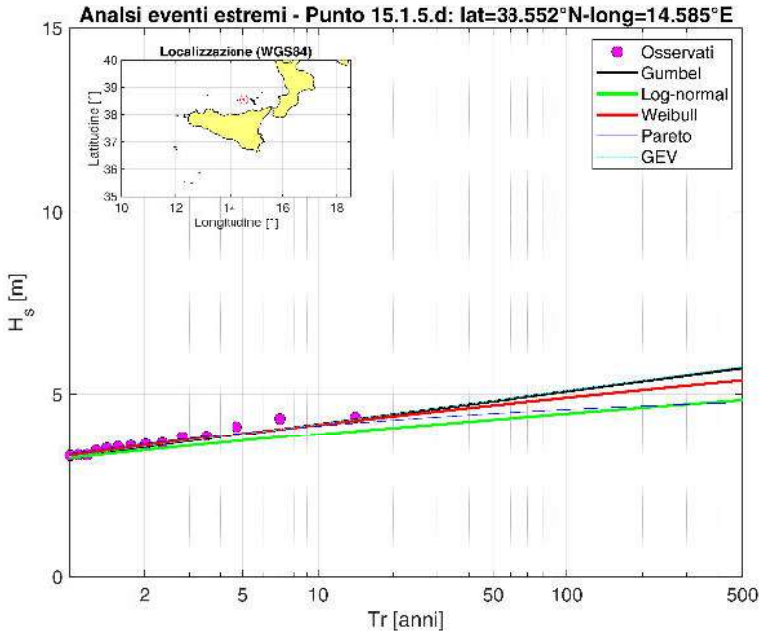


Figura 7: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 11: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	134	9.571	2.621	0.503	4.38
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09146	0.09706	0.10445	0.11601	0.13918
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06886	0.04354	0.08240	0.04217	0.06908

Tabella 12: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.549	2.394	0.781	1.911	1.431	0.947	0.179	2.000	0.768	-0.239	2.394	0.390	-0.004

Tabella 13: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.54	3.58	3.45	3.63	3.54
5	3.91	3.92	3.71	3.94	3.91
10	4.18	4.17	3.90	4.13	4.19
50	4.81	4.70	4.31	4.48	4.83
100	5.09	4.91	4.48	4.59	5.11
500	5.72	5.39	4.85	4.79	5.76

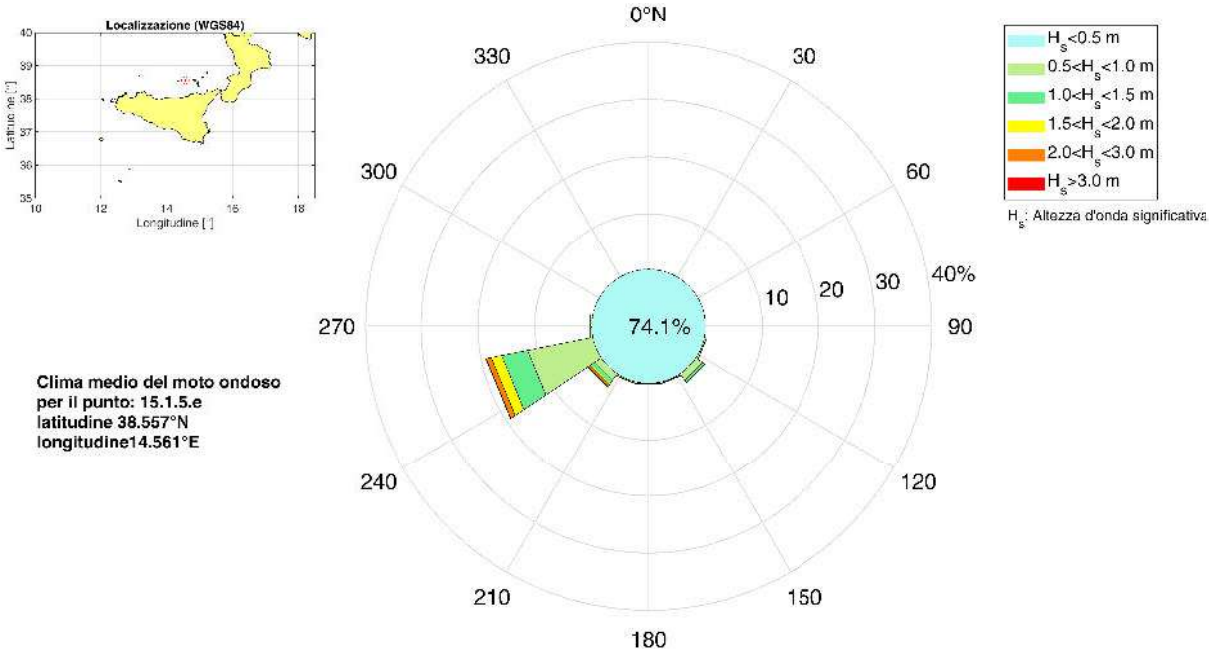


Figura 8: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 14: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.01	-	-	-	-	-
22.5	0.01	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	0.02	-	-	-	-	-
90.0	0.14	-	-	-	-	-
112.5	7.42	0.40	0.03	-	-	-
135.0	5.26	1.49	0.35	0.04	-	-
157.5	0.86	0.28	0.09	0.01	-	-
180.0	0.64	0.25	0.07	-	-	-
202.5	0.99	0.33	0.06	0.01	-	-
225.0	2.43	1.45	0.67	0.32	0.34	0.09
247.5	31.01	11.70	4.64	1.85	0.92	0.07
270.0	23.19	0.43	-	-	-	-
292.5	2.10	-	-	-	-	-
315.0	0.02	-	-	-	-	-
337.5	0.01	-	-	-	-	-

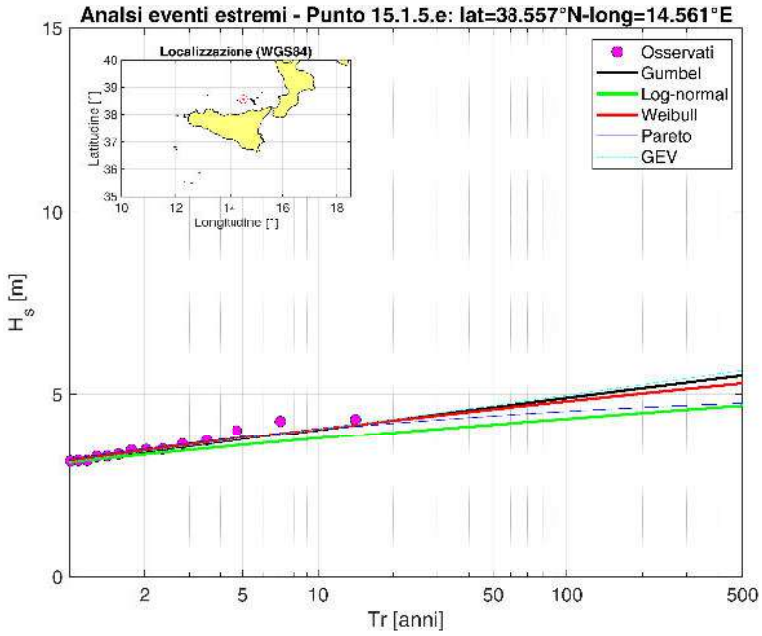


Figura 9: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 15: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	107	7.643	2.596	0.489	4.31
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.10218	0.10845	0.11672	0.12963	0.15553
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06102	0.04529	0.07832	0.05000	0.05680

Tabella 16: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.622	2.376	0.728	1.931	1.375	0.938	0.176	2.000	0.726	-0.219	2.375	0.374	-0.015

Tabella 17: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.40	3.44	3.33	3.49	3.40
5	3.76	3.79	3.59	3.82	3.77
10	4.03	4.05	3.77	4.03	4.05
50	4.64	4.59	4.17	4.41	4.70
100	4.91	4.81	4.33	4.54	4.98
500	5.52	5.31	4.70	4.77	5.66

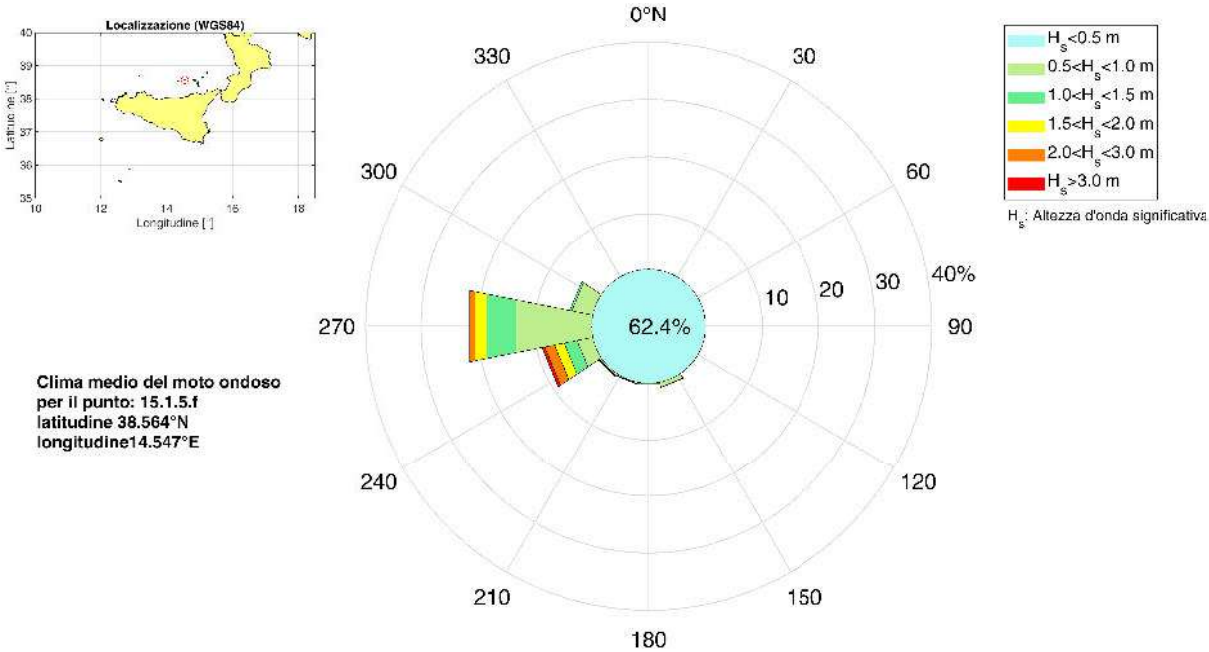


Figura 10: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 18: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.02	-	-	-	-	-
22.5	0.01	-	-	-	-	-
45.0	0.01	-	-	-	-	-
67.5	0.01	-	-	-	-	-
90.0	0.01	-	-	-	-	-
112.5	0.06	-	-	-	-	-
135.0	3.93	0.02	-	-	-	-
157.5	5.01	0.91	0.05	-	-	-
180.0	0.69	0.31	0.06	-	-	-
202.5	0.67	0.30	0.08	0.01	-	-
225.0	0.65	0.42	0.14	0.01	0.01	-
247.5	2.25	2.83	2.27	1.76	1.75	0.50
270.0	14.05	13.71	5.29	2.09	0.90	0.07
292.5	27.41	3.75	0.37	0.01	-	-
315.0	7.31	-	-	-	-	-
337.5	0.29	-	-	-	-	-

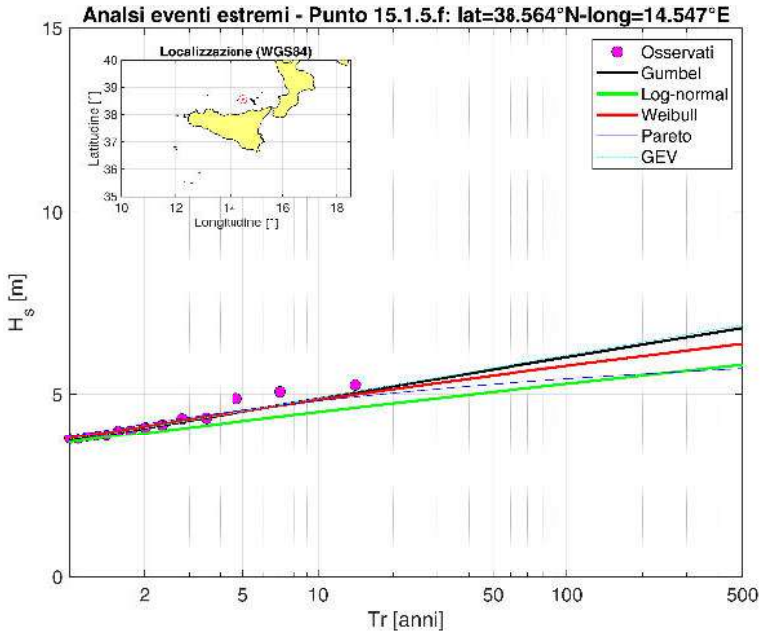


Figura 11: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 19: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	186	13.286	2.768	0.630	5.26
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.07778	0.08254	0.08882	0.09864	0.11833
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06376	0.04192	0.08705	0.03297	0.06197

Tabella 20: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.037	2.485	0.967	1.888	1.417	0.995	0.212	2.000	0.929	-0.212	2.484	0.487	-0.007

Tabella 21: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.09	4.13	3.94	4.20	4.09
5	4.54	4.55	4.28	4.58	4.55
10	4.88	4.85	4.52	4.83	4.90
50	5.68	5.51	5.07	5.28	5.72
100	6.02	5.78	5.29	5.43	6.07
500	6.81	6.38	5.81	5.70	6.90

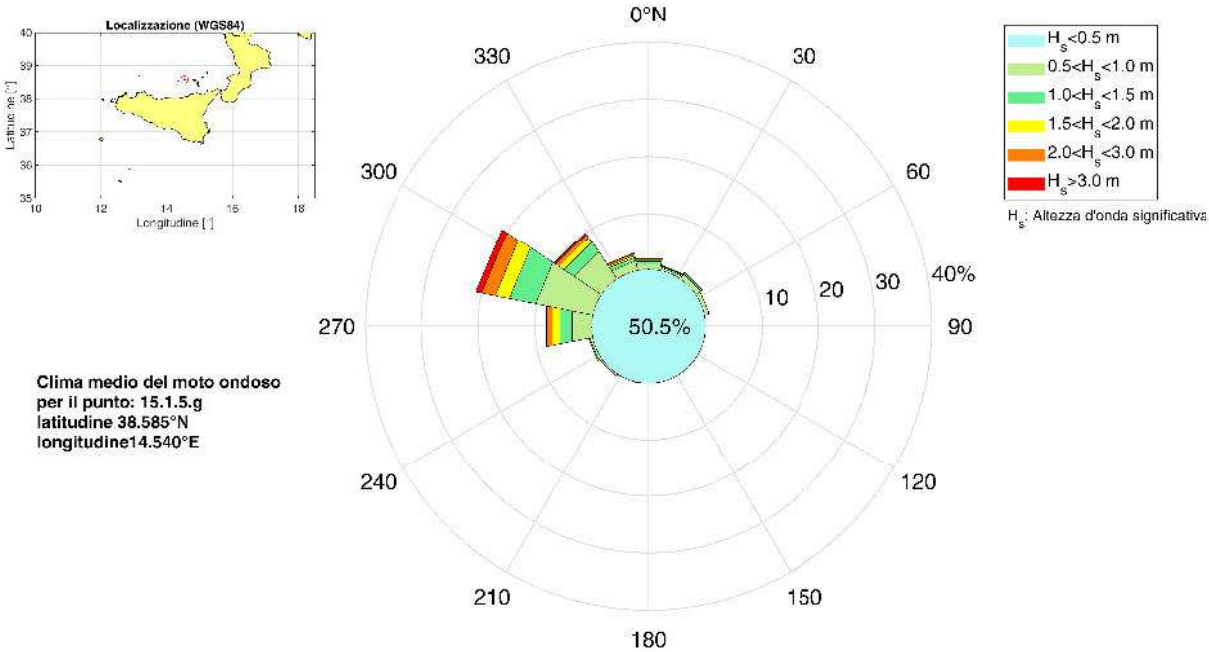


Figura 12: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 22: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.66	1.08	0.48	0.33	0.23	-
22.5	1.42	0.56	0.24	0.11	0.07	-
45.0	3.50	1.10	0.33	0.05	0.01	-
67.5	3.81	0.87	0.01	-	-	-
90.0	0.38	0.06	-	-	-	-
112.5	0.21	0.02	-	-	-	-
135.0	0.10	0.02	-	-	-	-
157.5	0.16	0.02	-	-	-	-
180.0	0.18	0.03	-	-	-	-
202.5	0.52	0.15	-	-	-	-
225.0	0.72	0.34	0.04	-	-	-
247.5	0.74	0.55	0.20	0.03	-	-
270.0	3.52	3.69	2.17	1.37	1.10	0.13
292.5	10.52	10.25	4.69	2.55	2.40	1.06
315.0	13.26	5.81	2.11	1.02	0.72	0.37
337.5	8.78	1.71	0.68	0.32	0.34	0.11

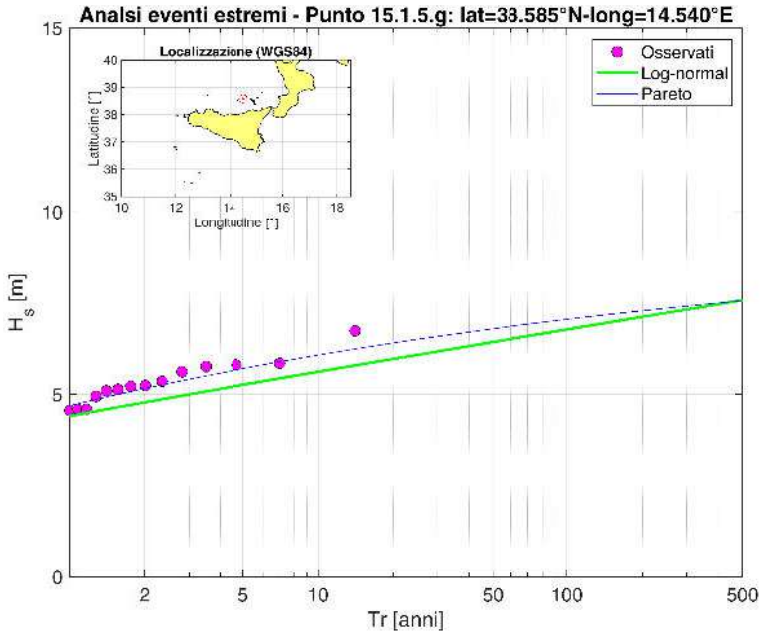


Figura 13: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 23: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	292	20.857	2.962	0.850	6.73
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06222	0.06603	0.07104	0.07888	0.09462
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08746	0.05936	0.09453	0.03921	0.08015

Tabella 24: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.510	2.580	1.212	1.846	1.325	1.050	0.261	2.000	1.105	-0.149	2.576	0.640	-0.025

Tabella 25: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.04	5.12	4.79	5.16	5.07
5	5.65	5.71	5.27	5.71	5.73
10	6.11	6.14	5.62	6.07	6.23
50	7.18	7.08	6.42	6.79	7.44
100	7.64	7.47	6.77	7.04	7.97
500	8.71	8.34	7.57	7.55	9.24

Unità fisiografica di I ordine
15
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
6

Indice

Punto griglia (identificativo: 15.1.6.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.6.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.6.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.6.d)
Analisi del moto ondoso

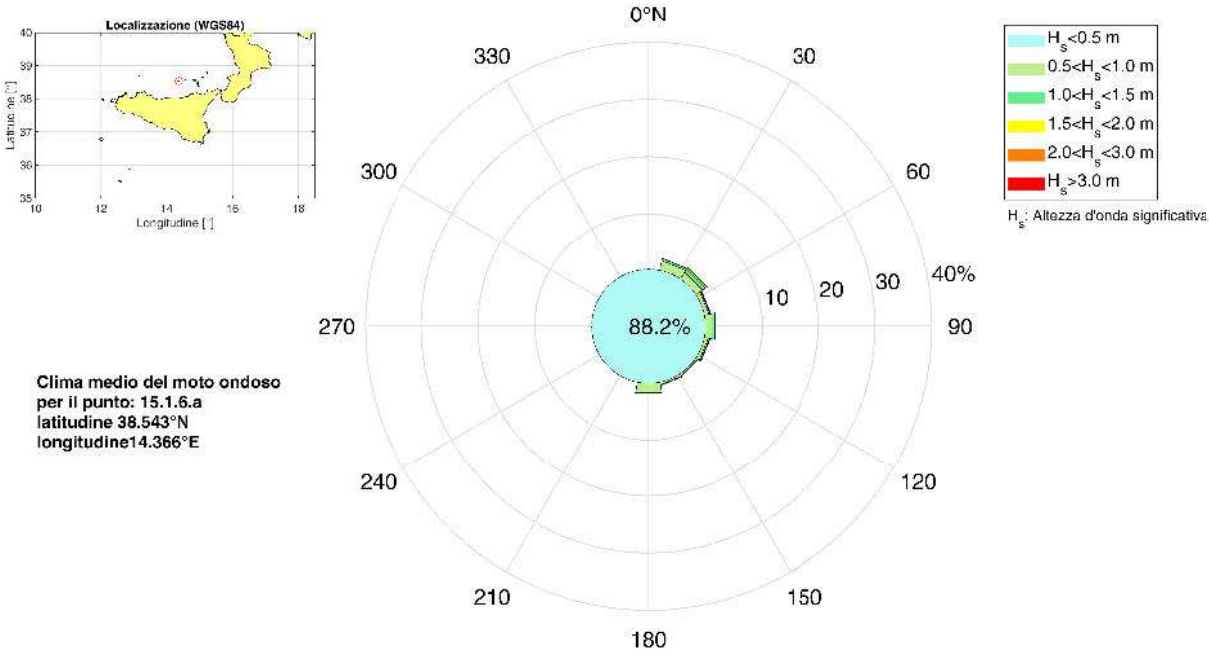


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.14	-	-	-	-	-
22.5	46.21	1.77	0.36	0.04	-	-
45.0	6.33	1.41	0.70	0.21	0.04	-
67.5	6.56	0.81	0.20	0.09	0.06	0.01
90.0	4.88	1.34	0.40	0.15	0.02	-
112.5	2.01	0.69	0.21	0.13	0.01	-
135.0	1.35	0.36	0.08	0.03	-	-
157.5	1.96	0.49	0.14	0.01	-	-
180.0	8.81	1.84	0.17	0.01	-	-
202.5	6.90	0.02	-	-	-	-
225.0	0.38	-	-	-	-	-
247.5	0.14	-	-	-	-	-
270.0	0.10	-	-	-	-	-
292.5	0.08	-	-	-	-	-
315.0	0.12	-	-	-	-	-
337.5	0.22	-	-	-	-	-

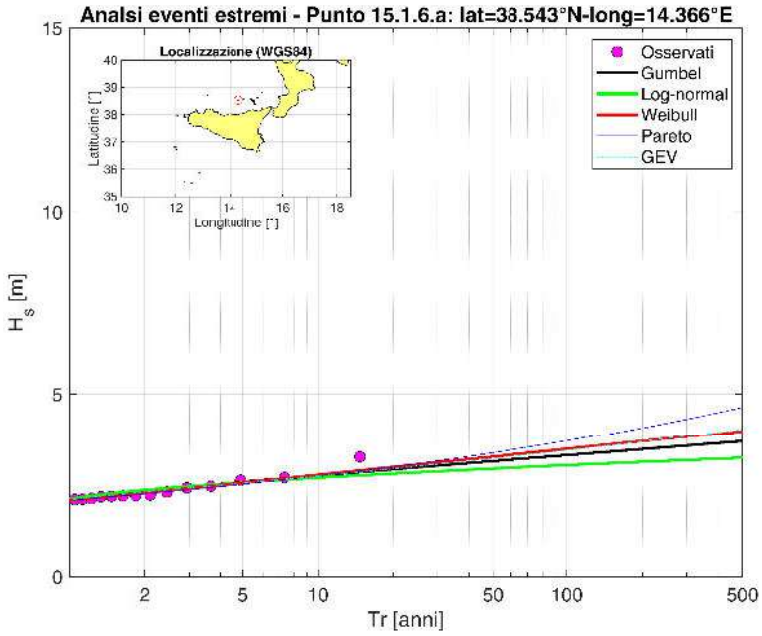


Figura 2: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 2: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	20	1.429	2.263	0.306	3.26
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.23156	0.24523	0.26473	0.29408	0.35241
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.15608	0.08833	0.20437	0.07910	0.13203

Tabella 3: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
4.191	2.125	0.301	1.960	0.989	0.809	0.122	2.000	0.220	0.169	2.122	0.204	-0.103

Tabella 4: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	2.33	2.28	2.35	2.25	2.30
5	2.58	2.56	2.56	2.51	2.55
10	2.75	2.77	2.69	2.74	2.74
50	3.14	3.27	2.94	3.37	3.21
100	3.31	3.48	3.03	3.71	3.44
500	3.69	3.98	3.24	4.64	4.04

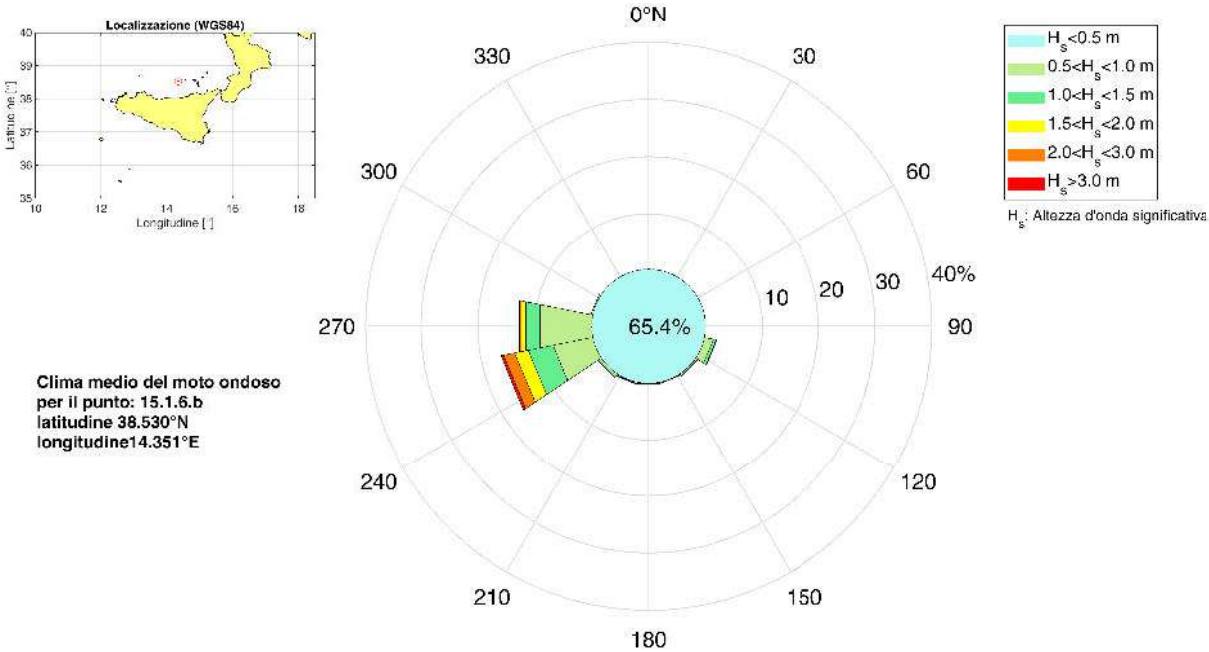


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.17	-	-	-	-	-
22.5	0.18	-	-	-	-	-
45.0	0.27	0.01	-	-	-	-
67.5	0.61	-	-	-	-	-
90.0	3.88	0.13	-	-	-	-
112.5	6.60	1.62	0.50	0.09	0.01	-
135.0	0.87	0.34	0.08	0.03	0.01	-
157.5	0.36	0.17	0.06	0.02	-	-
180.0	0.31	0.26	0.12	0.03	-	-
202.5	0.36	0.28	0.11	0.03	-	-
225.0	0.58	0.51	0.23	0.04	0.01	-
247.5	6.93	7.13	4.42	2.44	1.99	0.46
270.0	33.23	9.43	2.53	0.85	0.30	0.01
292.5	10.12	0.35	-	-	-	-
315.0	0.66	0.01	-	-	-	-
337.5	0.25	-	-	-	-	-

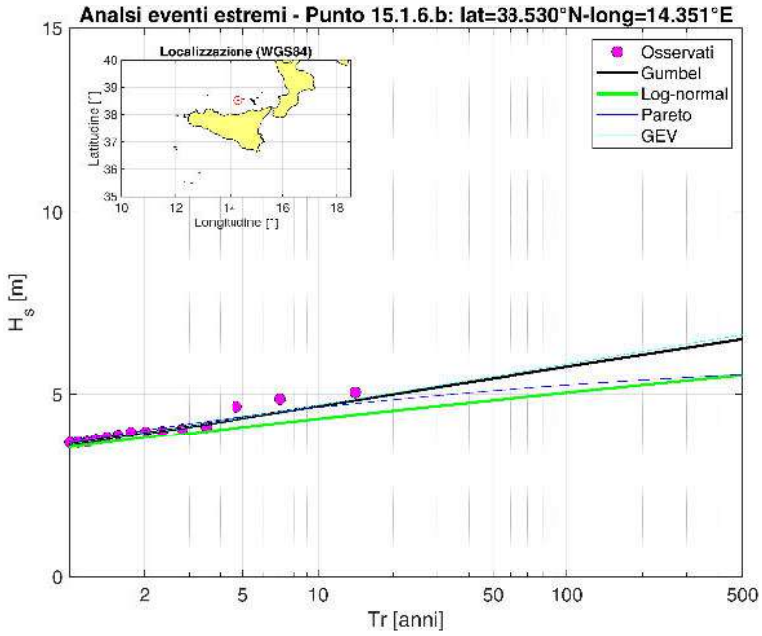


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 6: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	174	12.429	2.710	0.597	5.05
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08039	0.08531	0.09180	0.10195	0.12231
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09061	0.06111	0.11086	0.03770	0.09050

Tabella 7: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.149	2.441	0.906	1.884	1.402	0.975	0.204	2.000	0.848	-0.196	2.440	0.460	-0.010

Tabella 8: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.93	3.97	3.79	4.02	3.93
5	4.36	4.38	4.11	4.40	4.37
10	4.68	4.67	4.34	4.65	4.71
50	5.43	5.30	4.84	5.10	5.49
100	5.76	5.56	5.05	5.26	5.83
500	6.51	6.14	5.53	5.55	6.63

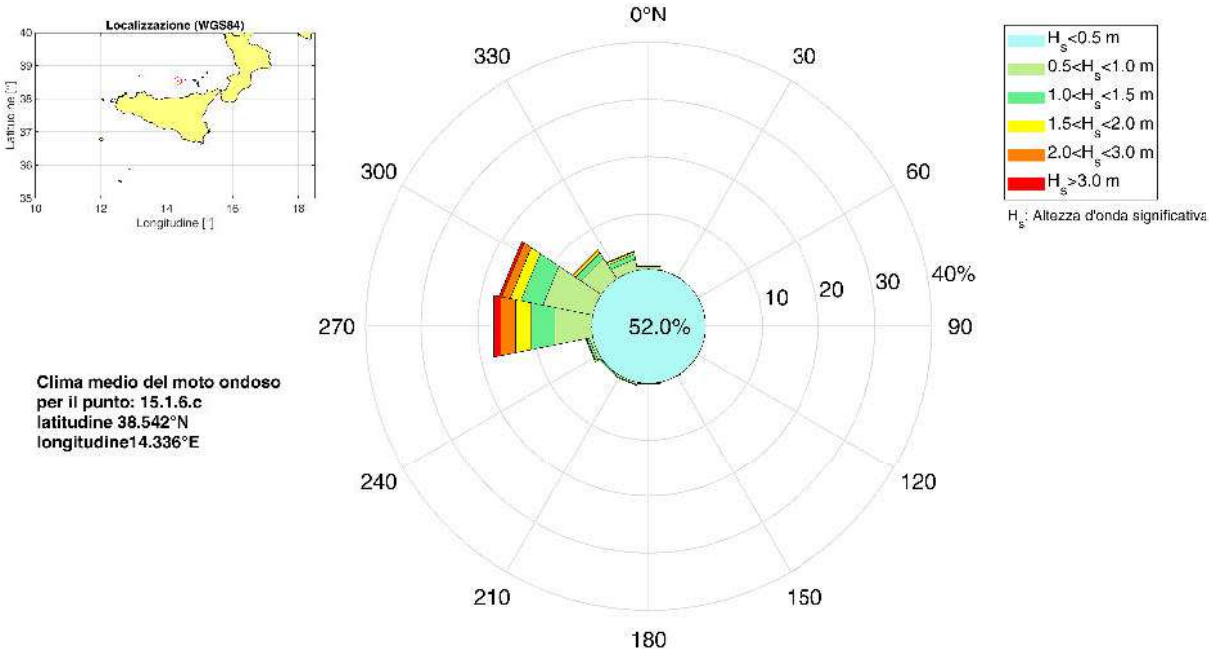


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 9: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.65	0.69	0.15	-	-	-
22.5	3.40	0.15	-	-	-	-
45.0	0.74	0.03	-	-	-	-
67.5	0.47	0.03	-	-	-	-
90.0	0.40	0.01	-	-	-	-
112.5	0.52	0.01	-	-	-	-
135.0	0.78	0.03	-	-	-	-
157.5	2.13	0.13	-	-	-	-
180.0	1.02	0.24	0.03	-	-	-
202.5	0.60	0.45	0.13	0.01	-	-
225.0	0.42	0.33	0.16	0.01	-	-
247.5	0.75	0.68	0.40	0.16	0.05	-
270.0	5.04	6.78	4.21	2.79	2.71	1.24
292.5	10.01	8.94	3.95	1.92	1.50	0.50
315.0	12.47	4.36	1.10	0.38	0.30	0.03
337.5	9.62	2.00	0.88	0.41	0.13	-

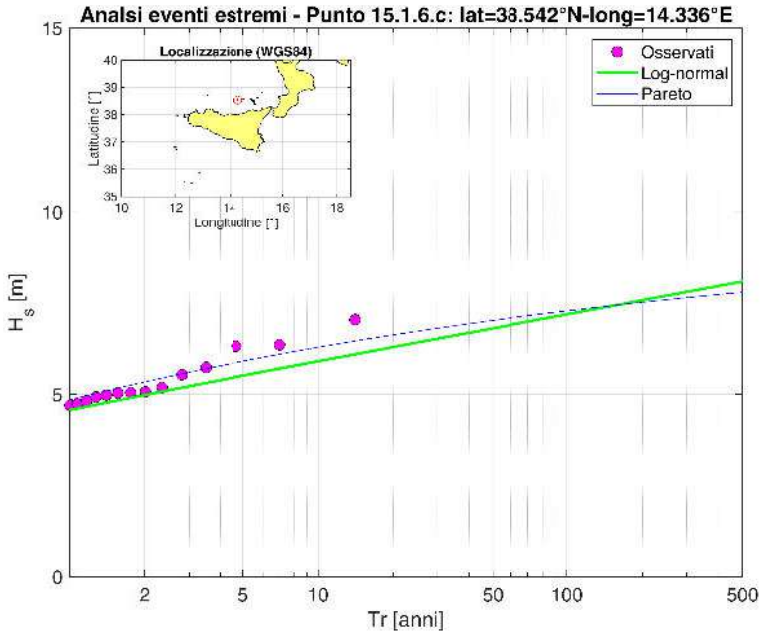


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 10: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	282	20.143	3.032	0.904	7.04
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06331	0.06718	0.07228	0.08026	0.09627
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.08516	0.06844	0.10038	0.04313	0.08455

Tabella 11: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.419	2.625	1.359	1.792	1.389	1.070	0.274	2.000	1.197	-0.160	2.623	0.694	-0.012

Tabella 12: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.22	5.27	4.99	5.34	5.24
5	5.87	5.88	5.51	5.91	5.91
10	6.36	6.31	5.90	6.28	6.42
50	7.50	7.26	6.80	7.01	7.63
100	7.99	7.65	7.18	7.27	8.15
500	9.12	8.51	8.07	7.78	9.39

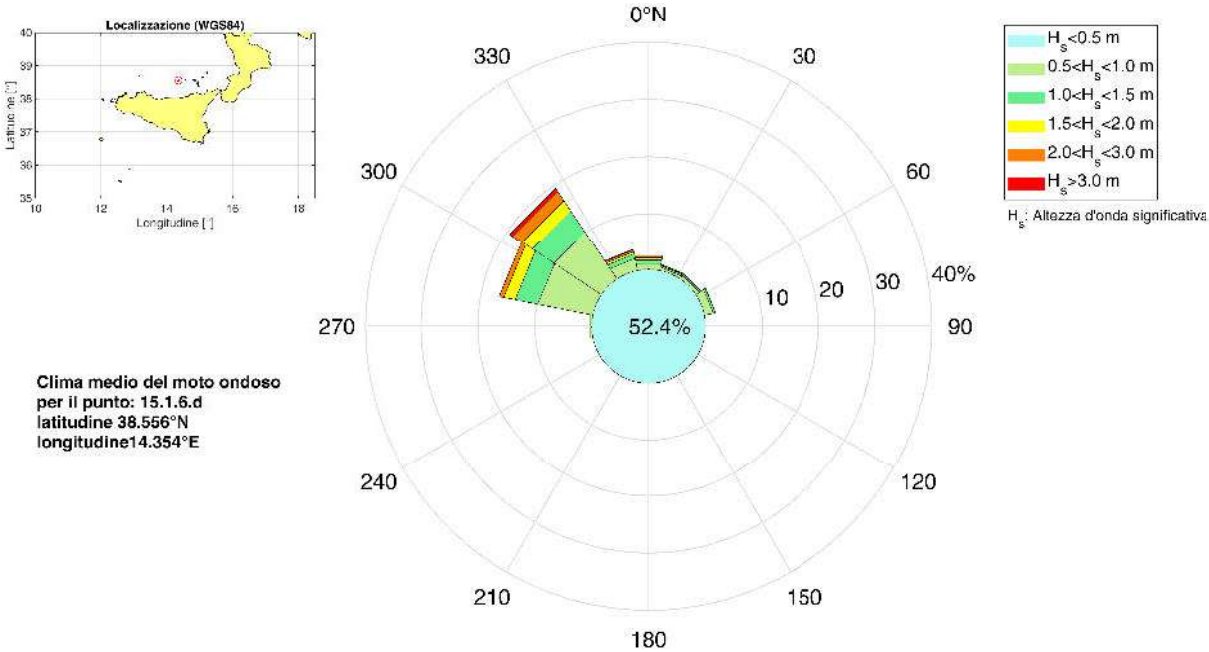


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 13: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	3.39	1.24	0.62	0.39	0.37	0.04
22.5	1.78	0.60	0.28	0.14	0.09	0.01
45.0	2.79	0.76	0.22	0.10	0.05	-
67.5	5.39	1.60	0.38	0.04	-	-
90.0	0.87	0.05	-	-	-	-
112.5	0.09	-	-	-	-	-
135.0	0.04	-	-	-	-	-
157.5	0.03	-	-	-	-	-
180.0	0.01	-	-	-	-	-
202.5	0.03	-	-	-	-	-
225.0	0.05	-	-	-	-	-
247.5	0.47	-	-	-	-	-
270.0	1.57	0.53	0.07	-	-	-
292.5	11.89	9.88	4.04	2.05	0.82	0.01
315.0	14.83	10.05	4.55	2.17	2.06	0.60
337.5	9.13	2.16	0.83	0.39	0.32	0.13

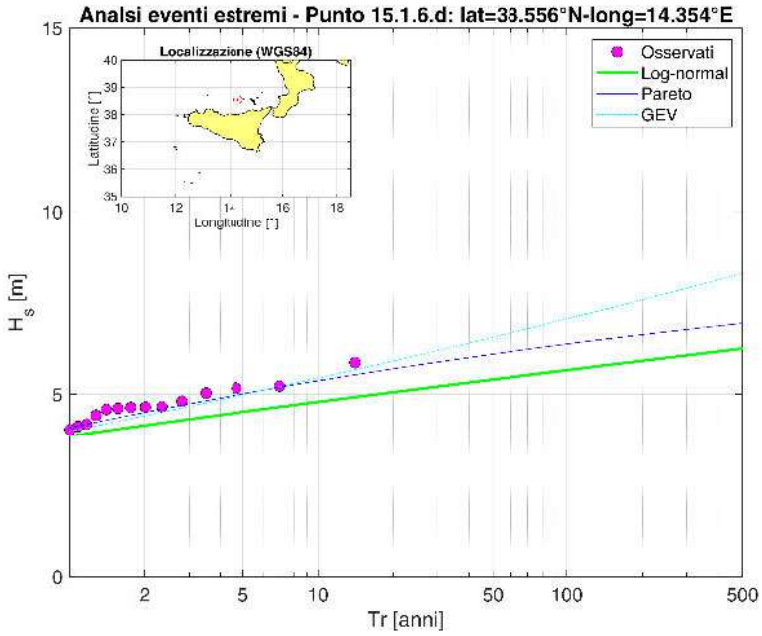


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 14: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	241	17.214	2.771	0.704	5.86
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06843	0.07261	0.07813	0.08676	0.10408
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09807	0.04734	0.09299	0.02758	0.08298

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.823	2.454	0.905	1.922	1.212	0.991	0.229	2.000	0.854	-0.108	2.449	0.512	-0.049

Tabella 16: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	4.39	4.49	4.16	4.51	4.42
5	4.89	5.03	4.53	5.02	5.00
10	5.28	5.42	4.80	5.37	5.45
50	6.16	6.30	5.41	6.10	6.55
100	6.54	6.67	5.66	6.37	7.06
500	7.42	7.50	6.25	6.94	8.29

Unità fisiografica di I ordine
15
Unità fisiografica di II ordine
1
Unità fisiografica di III ordine
7

Indice

Punto griglia (identificativo: 15.1.7.a)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.7.b)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.7.c)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.7.d)
Analisi del moto ondoso
Punto griglia (identificativo: 15.1.7.e)
Analisi del moto ondoso

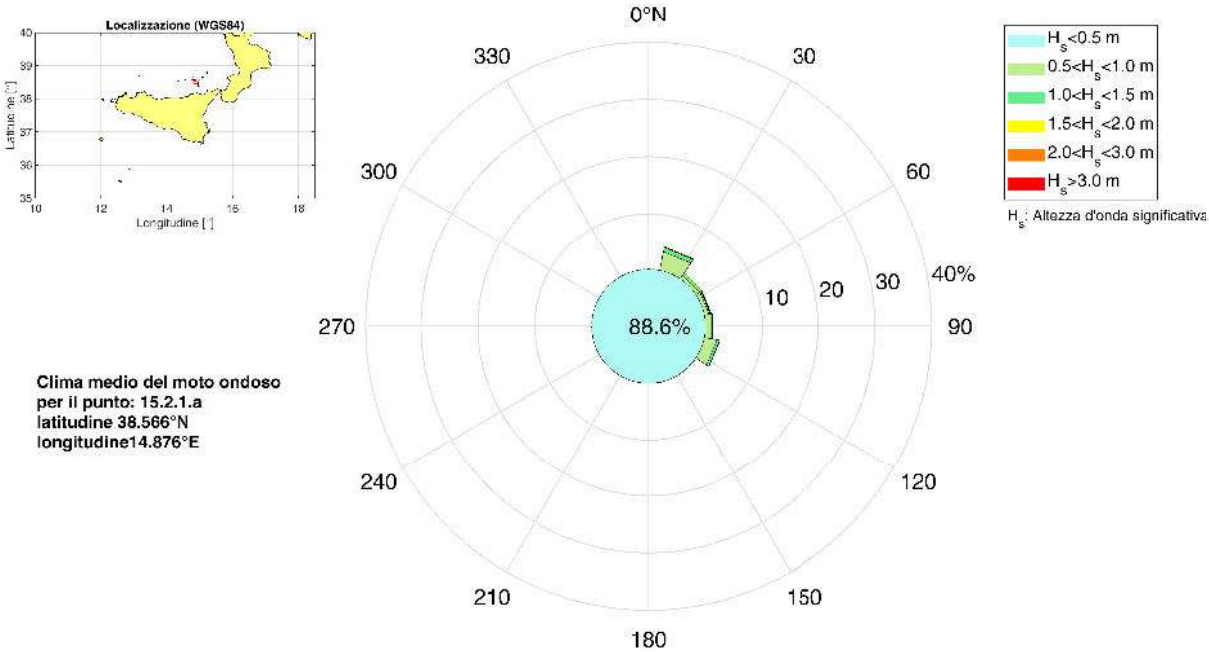


Figura 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 1: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	32.74	0.10	-	-	-	-
22.5	25.68	3.37	0.72	0.13	-	-
45.0	7.24	0.79	0.38	0.14	0.02	-
67.5	5.96	0.83	0.22	0.13	0.04	-
90.0	5.90	1.12	0.29	0.06	-	-
112.5	5.90	2.25	0.46	0.05	-	-
135.0	2.12	0.20	-	-	-	-
157.5	2.34	0.07	-	-	-	-
180.0	0.68	-	-	-	-	-
202.5	0.02	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	0.01	-	-	-	-	-
292.5	0.01	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	0.03	-	-	-	-	-

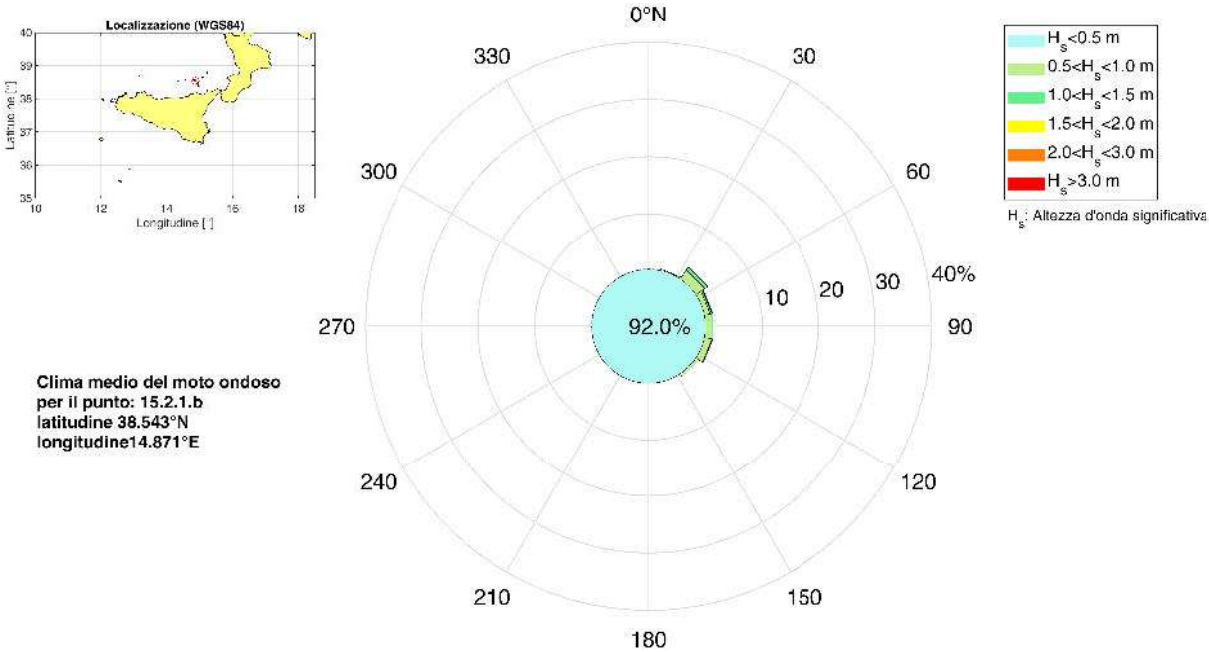


Figura 2: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 2: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	0.10	-	-	-	-	-
22.5	29.83	0.32	-	-	-	-
45.0	11.47	1.93	0.63	0.03	-	-
67.5	9.07	1.05	0.31	0.11	0.02	-
90.0	9.26	1.31	0.22	0.01	-	-
112.5	7.38	1.39	0.12	-	-	-
135.0	13.31	0.55	-	-	-	-
157.5	10.68	0.05	-	-	-	-
180.0	0.85	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	-	-	-	-	-	-
292.5	-	-	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

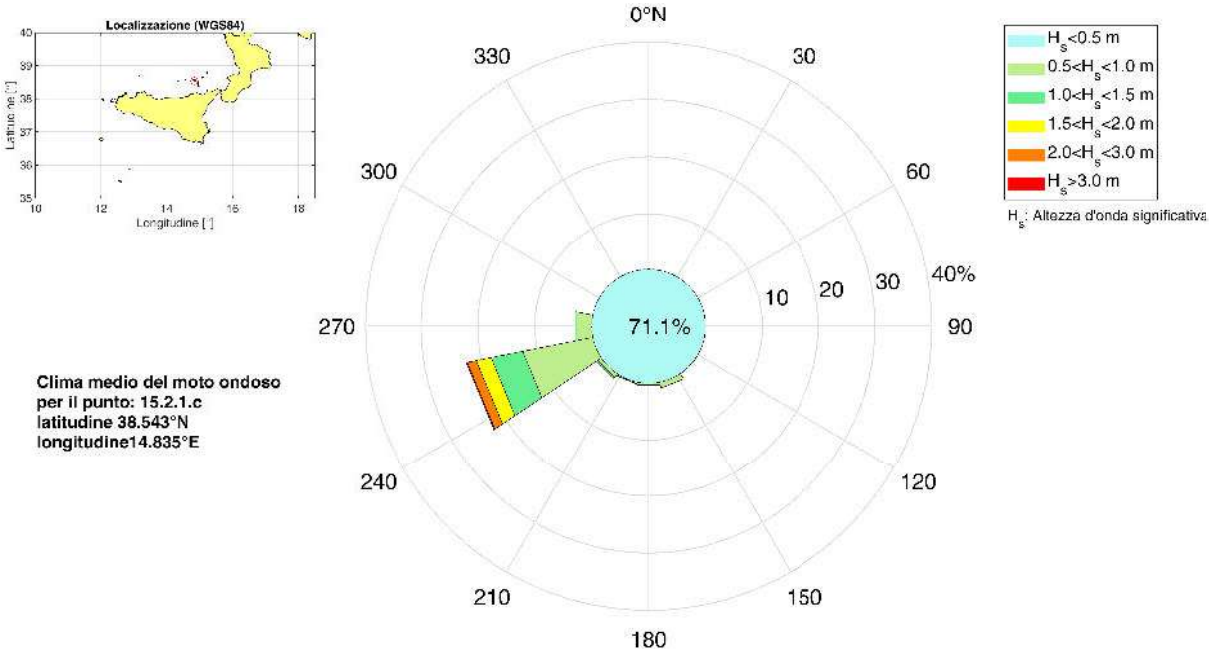


Figura 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 3: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	-	-	-	-	-	-
22.5	-	-	-	-	-	-
45.0	-	-	-	-	-	-
67.5	-	-	-	-	-	-
90.0	-	-	-	-	-	-
112.5	0.28	-	-	-	-	-
135.0	3.08	0.05	-	-	-	-
157.5	6.02	1.05	0.05	-	-	-
180.0	1.62	0.46	0.09	0.01	-	-
202.5	1.24	0.31	0.06	-	-	-
225.0	1.78	0.79	0.18	0.03	0.01	-
247.5	17.69	12.57	5.66	2.64	1.59	0.20
270.0	33.70	2.87	0.22	0.01	-	-
292.5	5.72	0.01	-	-	-	-
315.0	-	-	-	-	-	-
337.5	-	-	-	-	-	-

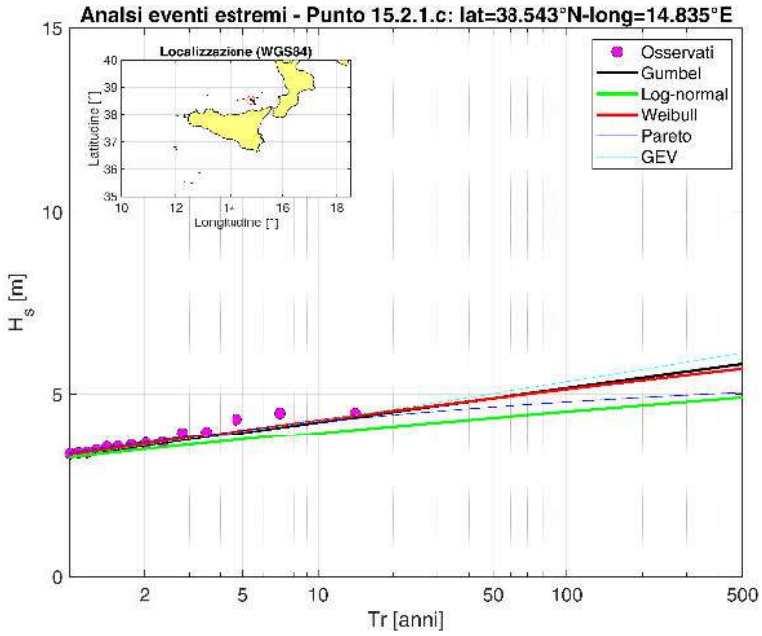


Figura 4: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 4: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	132	9.429	2.629	0.521	4.49
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.09214	0.09778	0.10523	0.11687	0.14021
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.06781	0.04920	0.09038	0.06632	0.06831

Tabella 5: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.461	2.395	0.732	1.954	1.308	0.949	0.183	2.000	0.755	-0.202	2.392	0.391	-0.029

Tabella 6: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.58	3.62	3.47	3.67	3.58
5	3.96	4.01	3.75	4.02	3.98
10	4.24	4.29	3.94	4.25	4.29
50	4.90	4.89	4.36	4.66	5.02
100	5.18	5.14	4.53	4.80	5.35
500	5.83	5.70	4.92	5.06	6.13

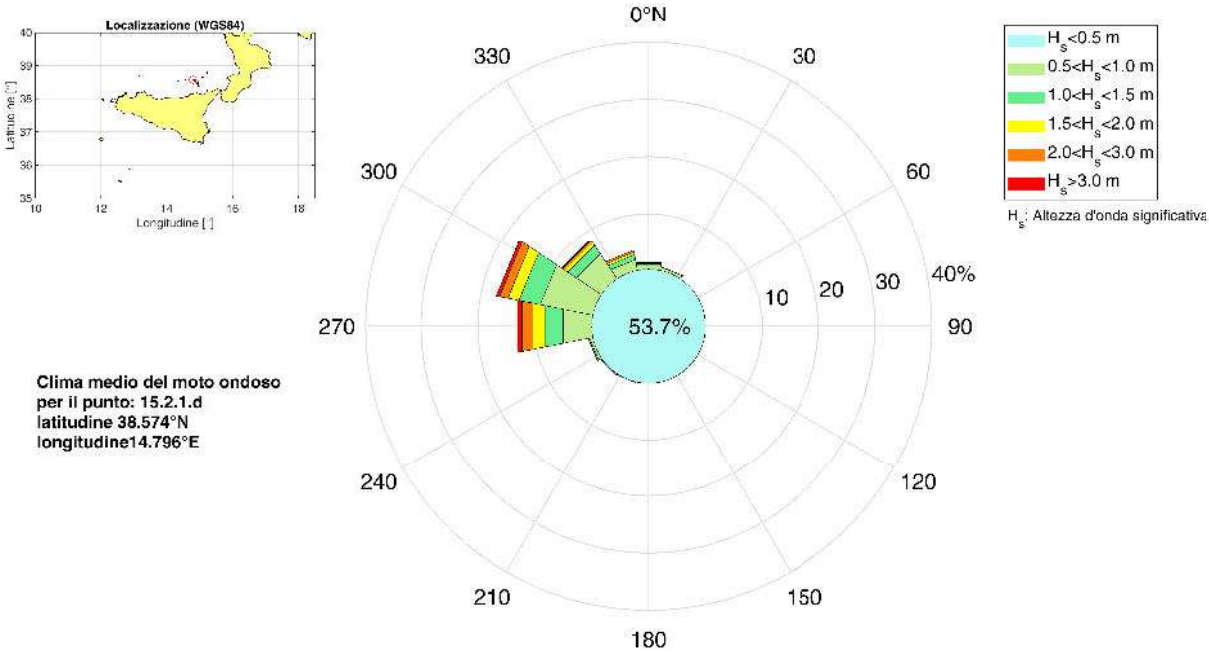


Figura 5: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.44	0.83	0.35	0.15	0.02	-
22.5	4.15	0.63	0.06	-	-	-
45.0	1.34	0.03	-	-	-	-
67.5	0.31	-	-	-	-	-
90.0	0.21	0.01	-	-	-	-
112.5	0.15	-	-	-	-	-
135.0	0.23	-	-	-	-	-
157.5	0.38	-	-	-	-	-
180.0	1.54	0.07	-	-	-	-
202.5	1.34	0.20	-	-	-	-
225.0	1.12	0.32	0.04	-	-	-
247.5	0.89	0.58	0.21	0.06	0.01	-
270.0	4.66	5.35	3.26	2.08	2.02	0.75
292.5	10.87	9.43	3.80	1.97	1.51	0.59
315.0	14.56	5.30	1.74	0.74	0.44	0.14
337.5	9.49	1.93	0.86	0.46	0.36	0.02

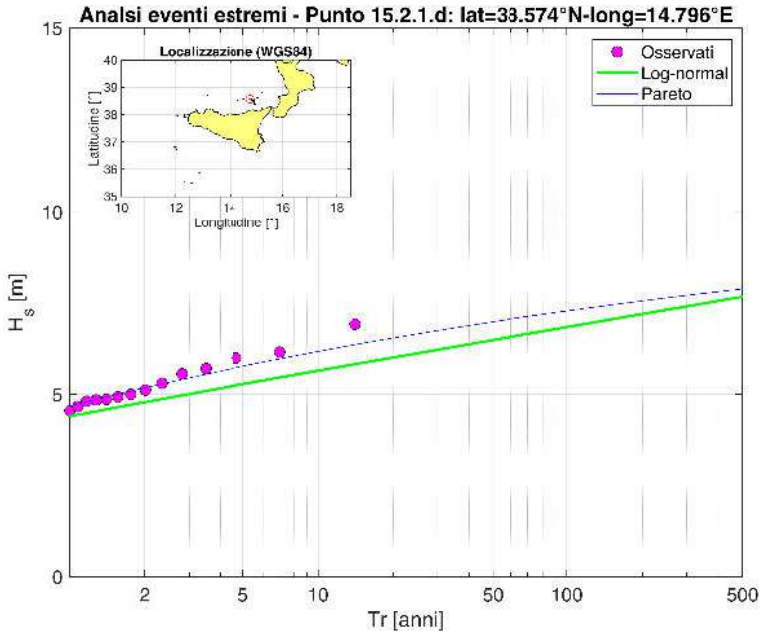


Figura 6: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 8: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	272	19.429	2.966	0.868	6.91
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.06445	0.06839	0.07358	0.08171	0.09801
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09418	0.06449	0.09674	0.03992	0.08525

Tabella 9: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
1.478	2.576	1.211	1.847	1.300	1.050	0.266	2.000	1.091	-0.129	2.571	0.649	-0.030

Tabella 10: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	5.04	5.13	4.79	5.18	5.08
5	5.67	5.75	5.28	5.77	5.76
10	6.14	6.20	5.65	6.17	6.28
50	7.23	7.19	6.48	6.97	7.54
100	7.70	7.60	6.83	7.27	8.10
500	8.79	8.52	7.66	7.87	9.44

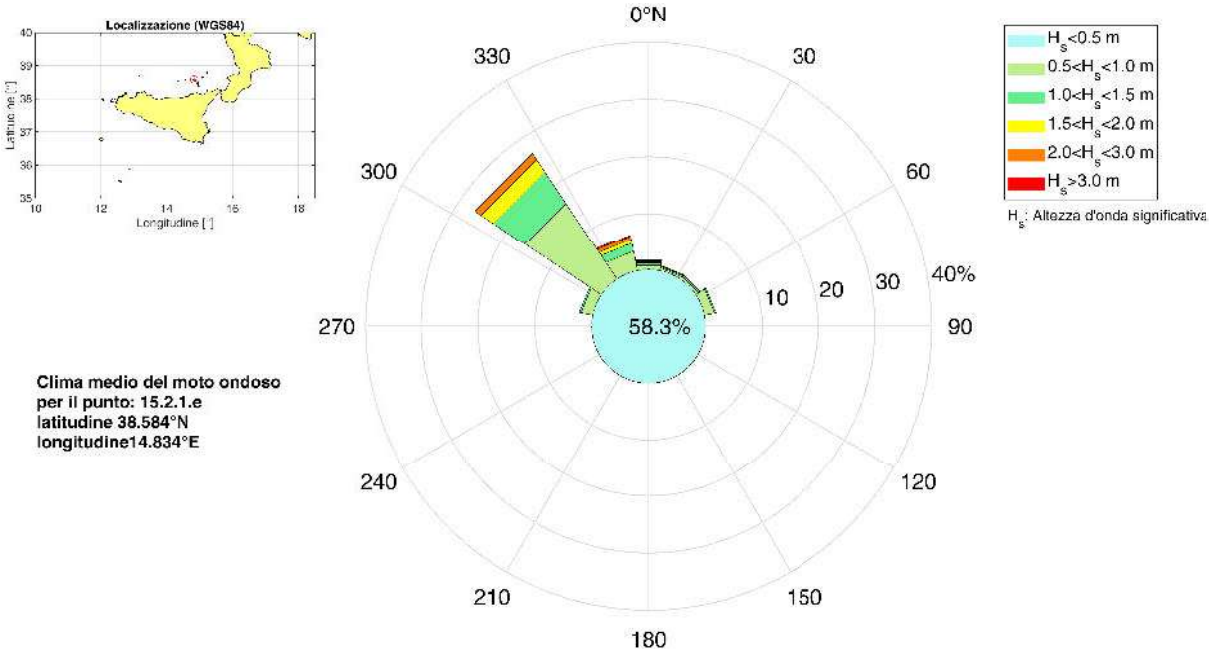


Figura 7: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Tabella 11: Percentuale degli eventi per classe di altezza d'onda significativa e per classe di direzione di provenienza.

Direzione [° N]	<0.5 m	0.5−1.0 m	1.0−1.5 m	1.5−2.0 m	2.0−3.0 m	>3.0 m
0.0	2.27	0.95	0.41	0.28	0.23	0.03
22.5	1.36	0.47	0.24	0.16	0.06	-
45.0	2.04	0.62	0.20	0.08	0.03	-
67.5	6.86	1.82	0.25	0.01	-	-
90.0	0.66	0.07	-	-	-	-
112.5	-	-	-	-	-	-
135.0	-	-	-	-	-	-
157.5	-	-	-	-	-	-
180.0	-	-	-	-	-	-
202.5	-	-	-	-	-	-
225.0	-	-	-	-	-	-
247.5	-	-	-	-	-	-
270.0	0.03	-	-	-	-	-
292.5	4.69	2.12	0.29	-	-	-
315.0	29.21	16.19	6.60	2.62	1.29	0.10
337.5	11.22	3.50	1.50	0.68	0.64	0.23

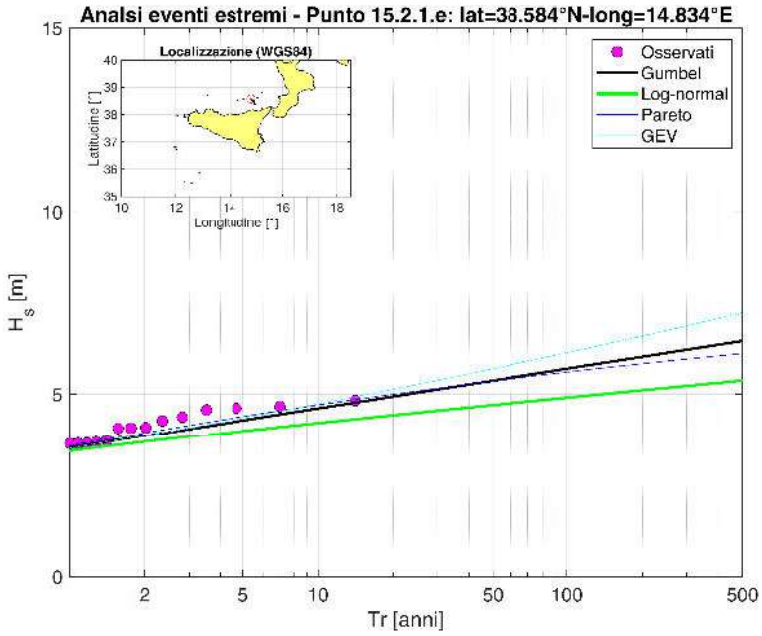


Figura 8: Confronto grafico della serie delle frequenze osservate con le distribuzioni di probabilitá teoriche.

Tabella 12: Verifica di adattamento delle distribuzioni

Caratteristiche dalla serie di dati					
Numero di anni	Numero di mareggiate	λ	μ	σ	Valore massimo di H_s [m]
14	162	11.571	2.657	0.603	4.83
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n^*					
Parametro	α=20%	α=15%	α=10%	α=5%	α=1%
D_n^*	0.08328	0.08838	0.09510	0.10562	0.12671
Test di Kolmogorov - Valori del parametro D_n					
Parametro	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
D_n	0.09712	0.05276	0.11987	0.04011	0.07964

Tabella 13: Parametri delle distribuzioni

Gumbel		Weibull			LogNormale		Pareto			GEV		
G1	G2	W1	W2	W3	L1	L2	P1	P2	P3	V1	V2	V2
2.128	2.386	0.751	1.948	1.181	0.955	0.203	2.000	0.728	-0.106	2.381	0.434	-0.056

Tabella 14: Altezza d'onda significativa [m]

Tr [anni]	Gumbel	Weibull	LogNormale	Pareto	GEV
2	3.85	3.93	3.68	3.94	3.86
5	4.29	4.41	3.99	4.40	4.36
10	4.62	4.76	4.22	4.71	4.74
50	5.38	5.55	4.71	5.36	5.70
100	5.70	5.88	4.91	5.61	6.14
500	6.46	6.62	5.38	6.12	7.22

Scheda Tecnica dei Dissesti

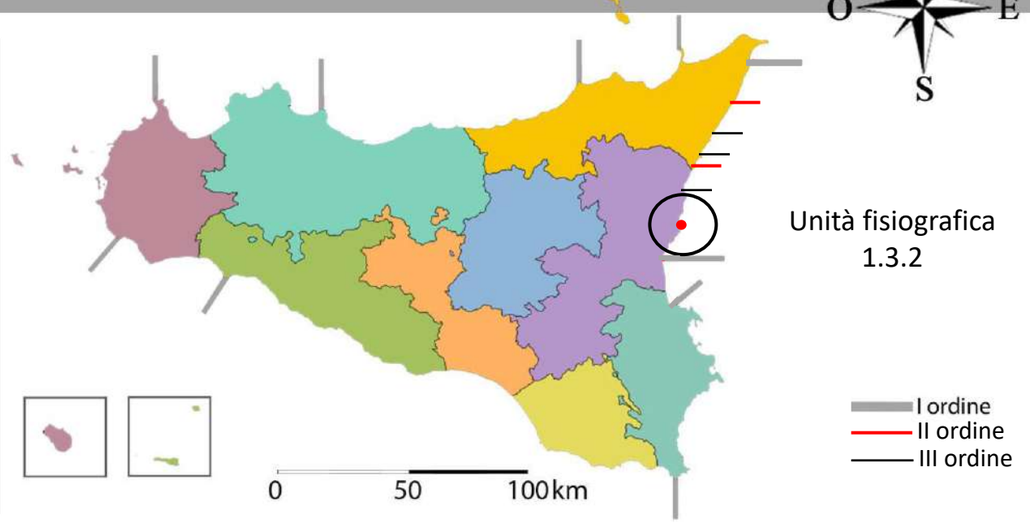
S.1.3.2 – Porto di Riposto – Porto di Catania

Inquadramento

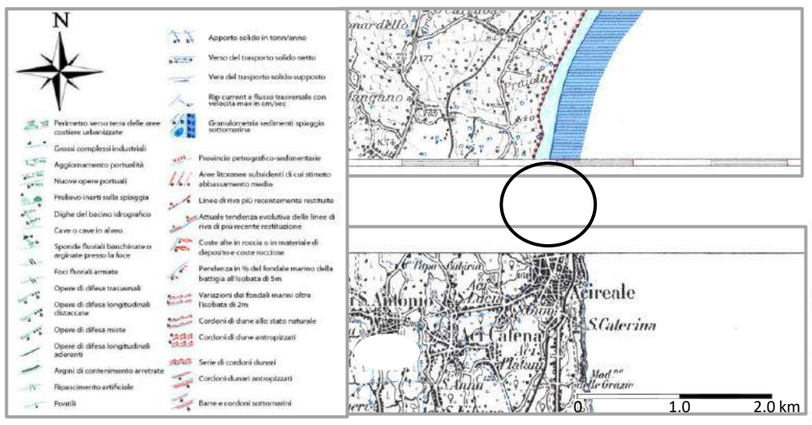
Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Catania

Comune: Acireale Unità Fisiografica: 1.3.2

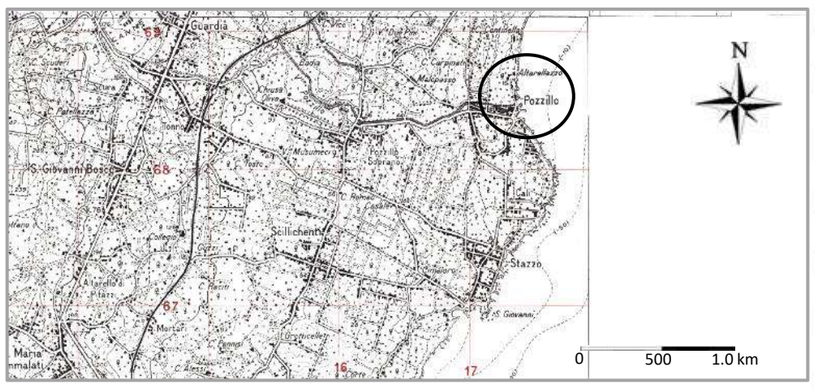
VERSANTE IONICO



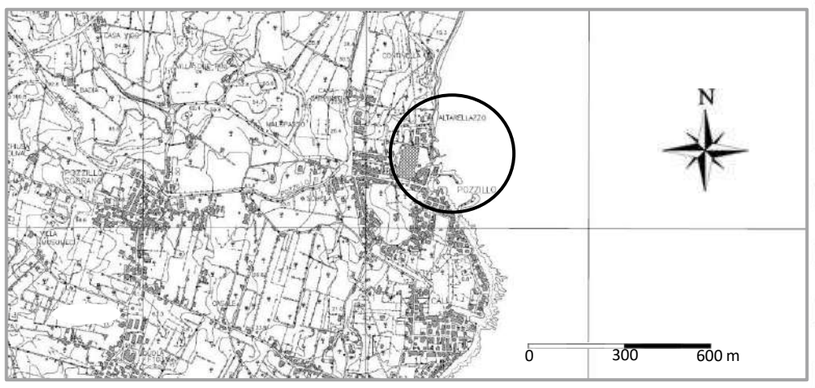
Atlante delle Coste



IGM 1:25000



Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto 2020

DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi

- [ ] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [ ] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti

- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [x] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

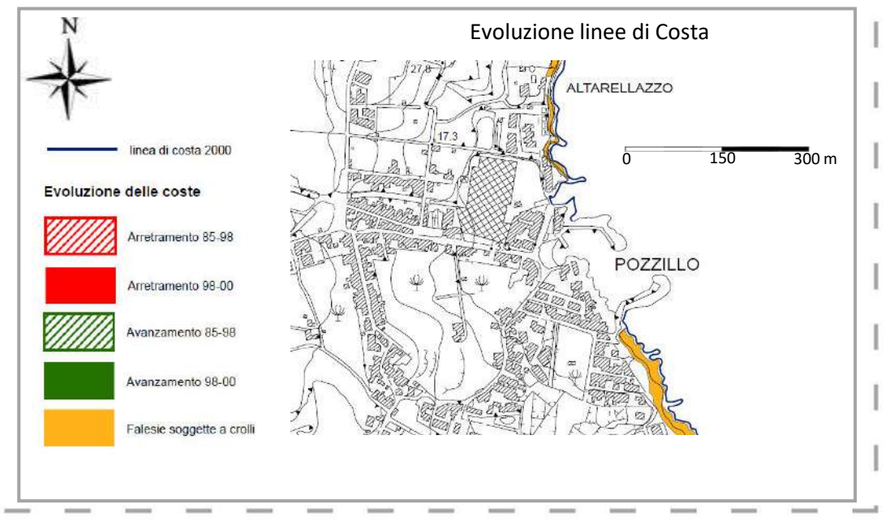
- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria _____

CARATTERI LITOTECNICI

- [x] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

Roccia di natura basaltica

Opere di Difesa

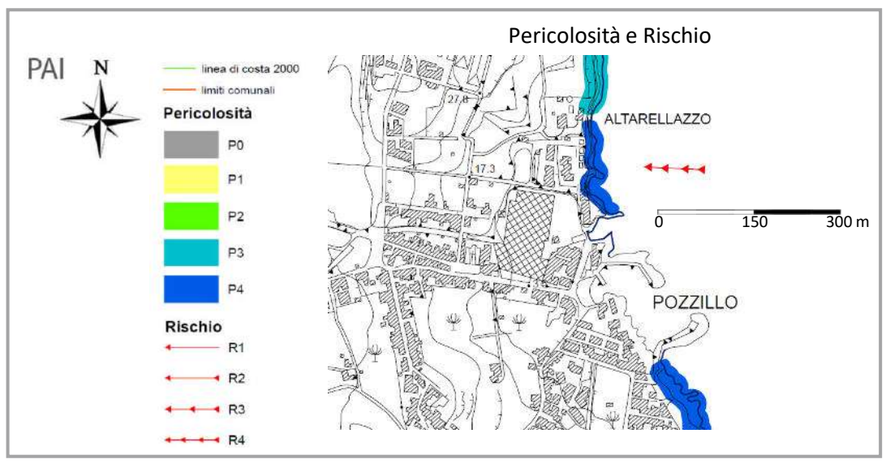
- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [x] Altro Chiodature su parete rocciosa in dissesto

Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [ ] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [ ] Altro_____

Vincoli

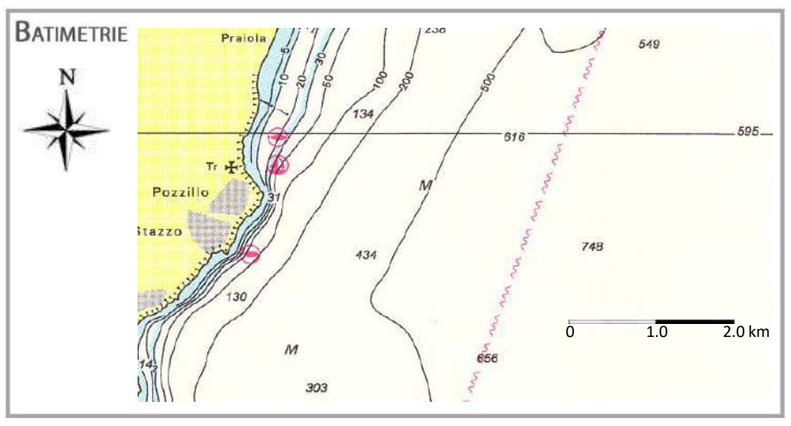
- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [ ] Vincolo SIC/ZSC/ZPS _____
- [ ] Altro _____



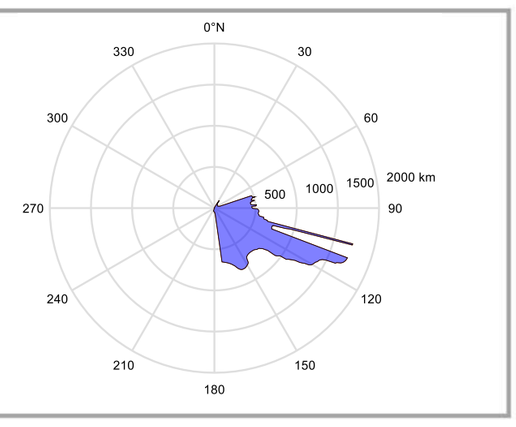
Pericolosità e Rischio

Clima Meteomarino

Batimetrie

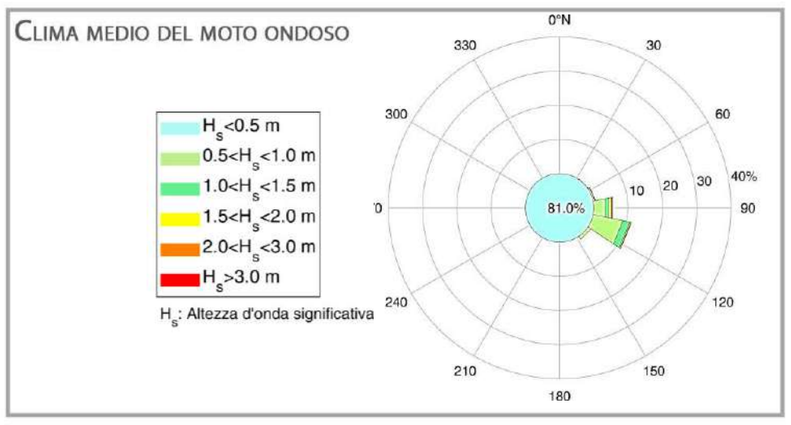


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s* [m]	Tp [s]
5	3.40	7.86
10	3.67	8.16
100	4.43	8.97

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

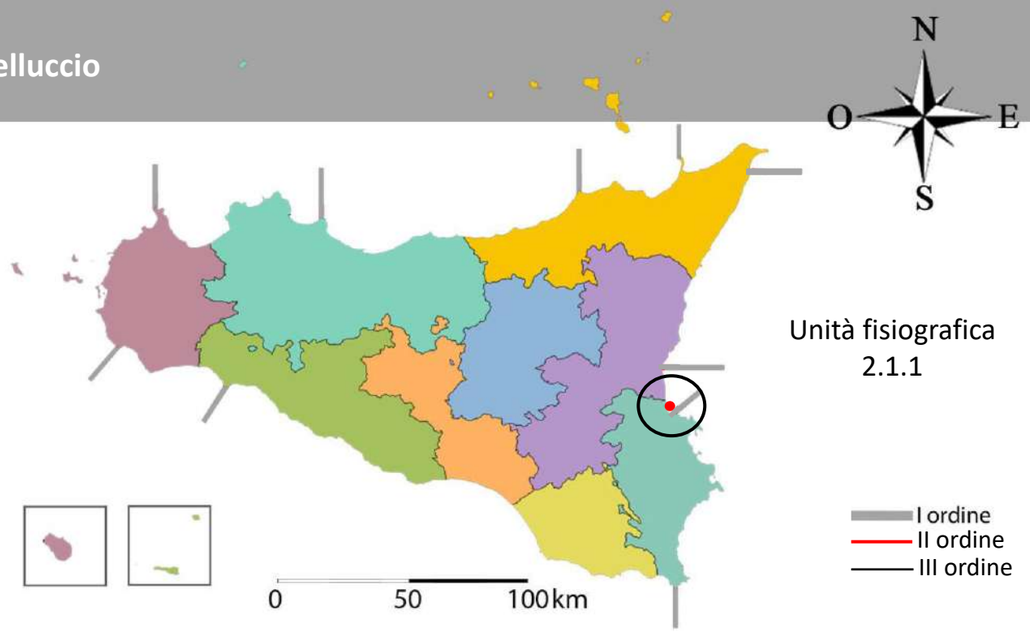
S.2.1.1 – Porto di Catania – Punta Castelluccio

Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Siracusa

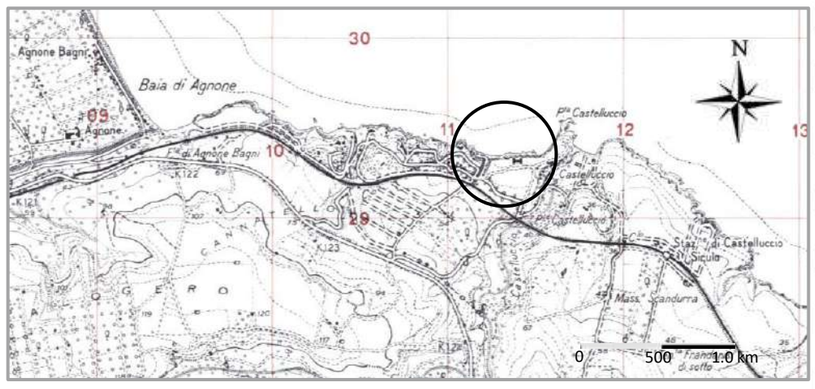
Comune: Castelluccio Unità Fisiografica: 2.1.1

VERSANTE IONICO

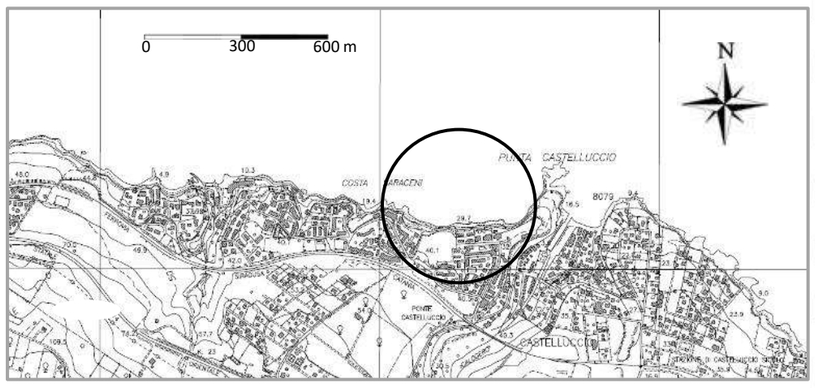


Atlante delle Coste

IGM 1:25000

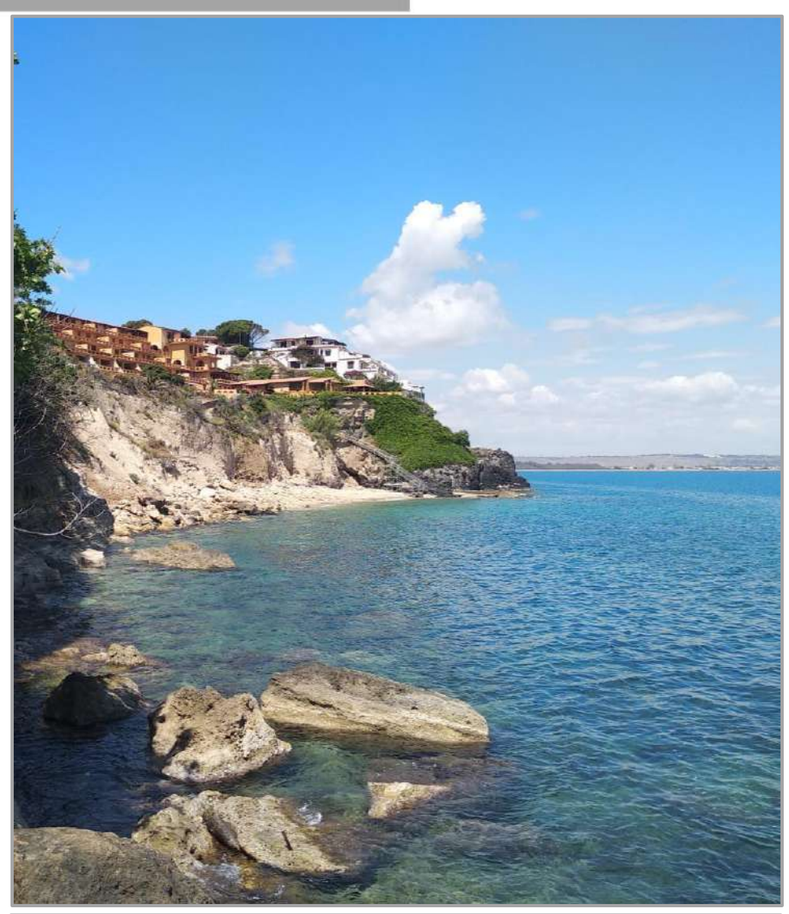


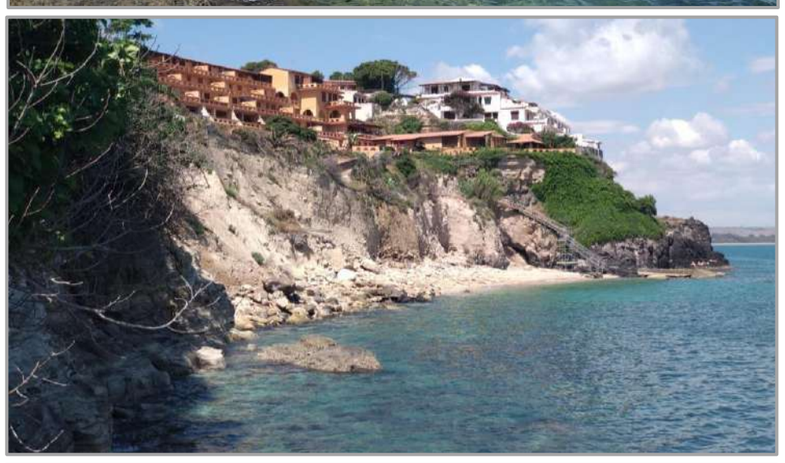
Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto Maggio 2020





DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi
- [ ] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [ ] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti
- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

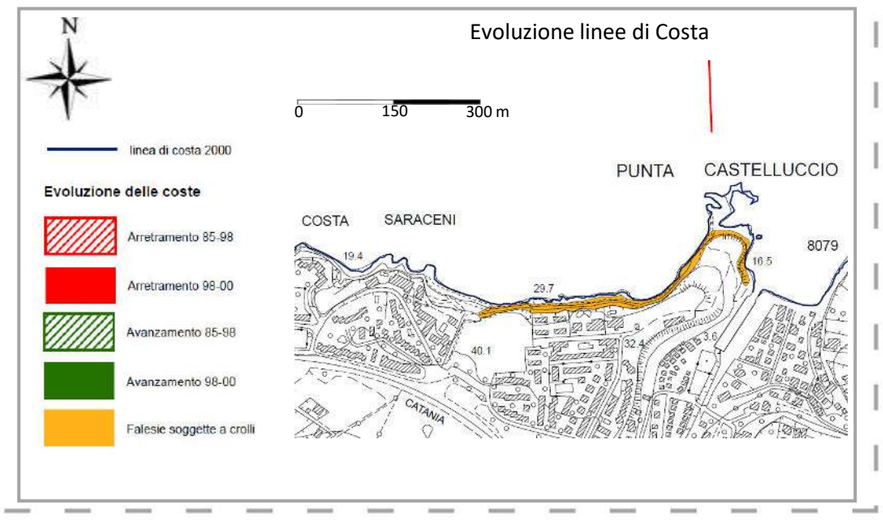
- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria _____

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [x] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

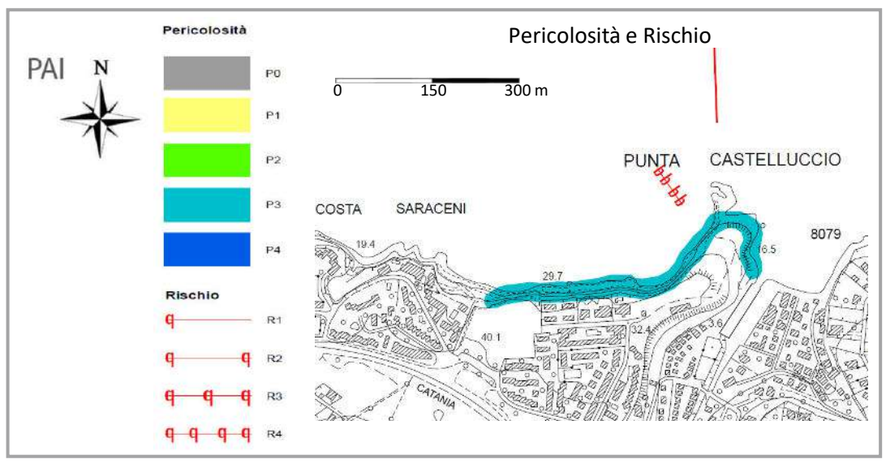
- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [ ] Strade extraurbane secondarie
- [x] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [ ] Altro_____

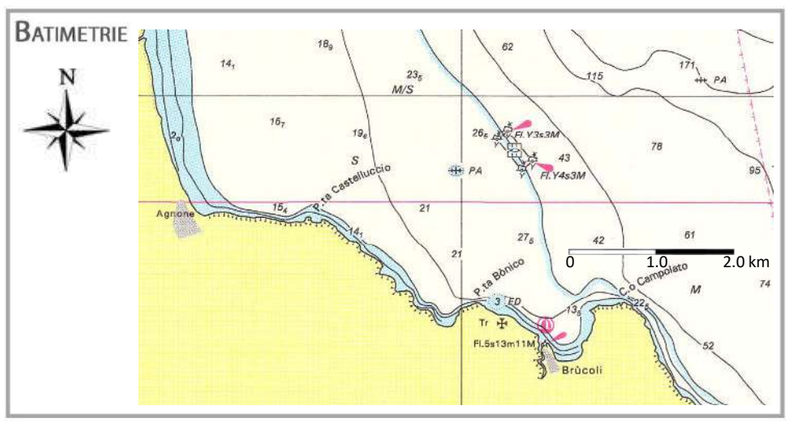
Vincoli

- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [x] Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA090026 Fondali di Brucoli - Agnone
- [ ] Altro _____

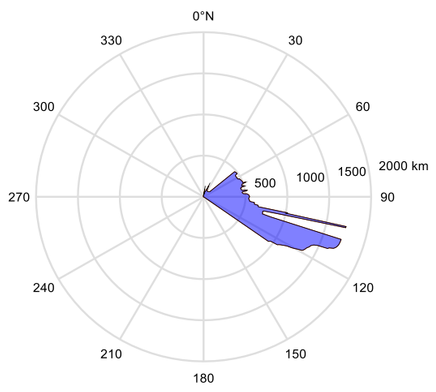


Clima Meteomarino

Batimetrie

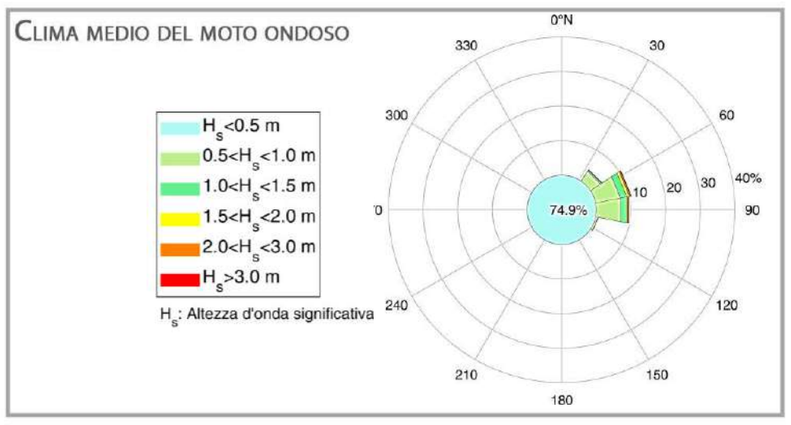


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	3.85	8.36
10	4.27	8.81
100	5.61	10.09

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

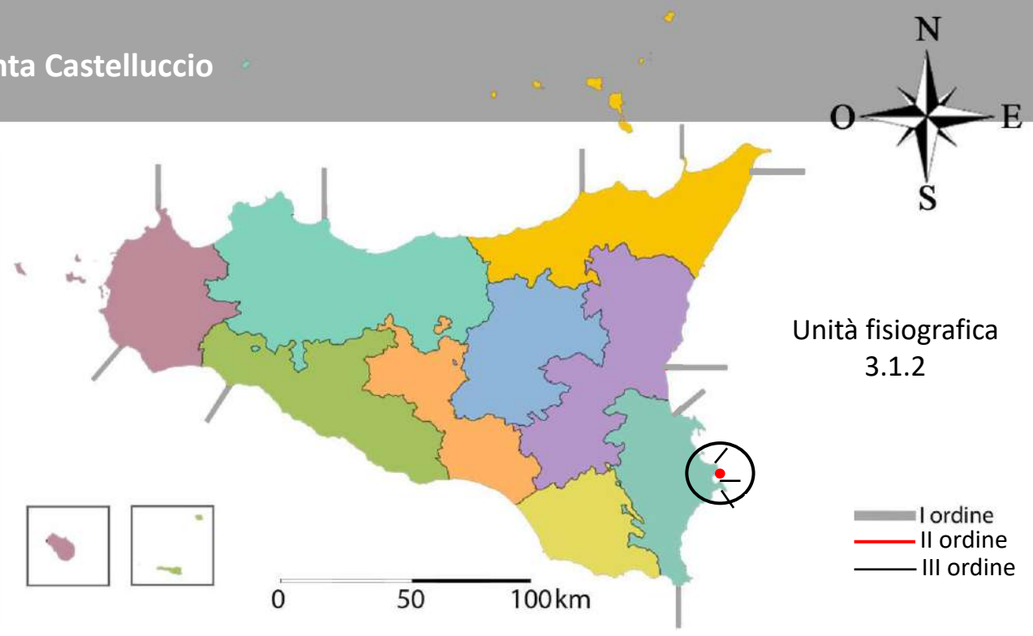
S.3.1.2 – Capo Santa Panagia – Faro Punta Castelluccio

Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Siracusa

Comune: Siracusa Unità Fisiografica: 3.1.2

VERSANTE IONICO

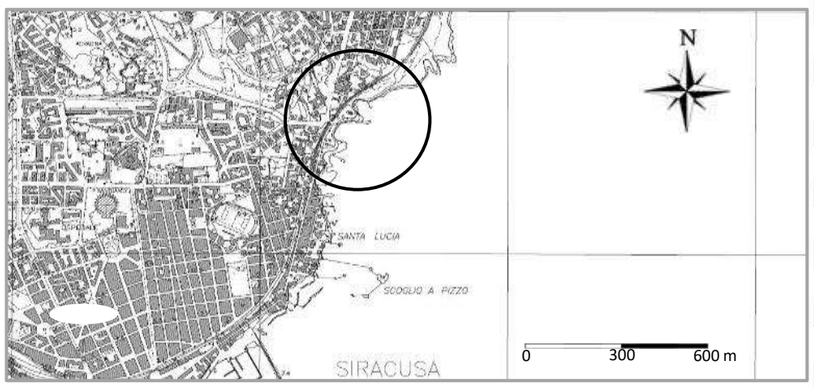


Unità fisiografica 3.1.2

Atlante delle Coste

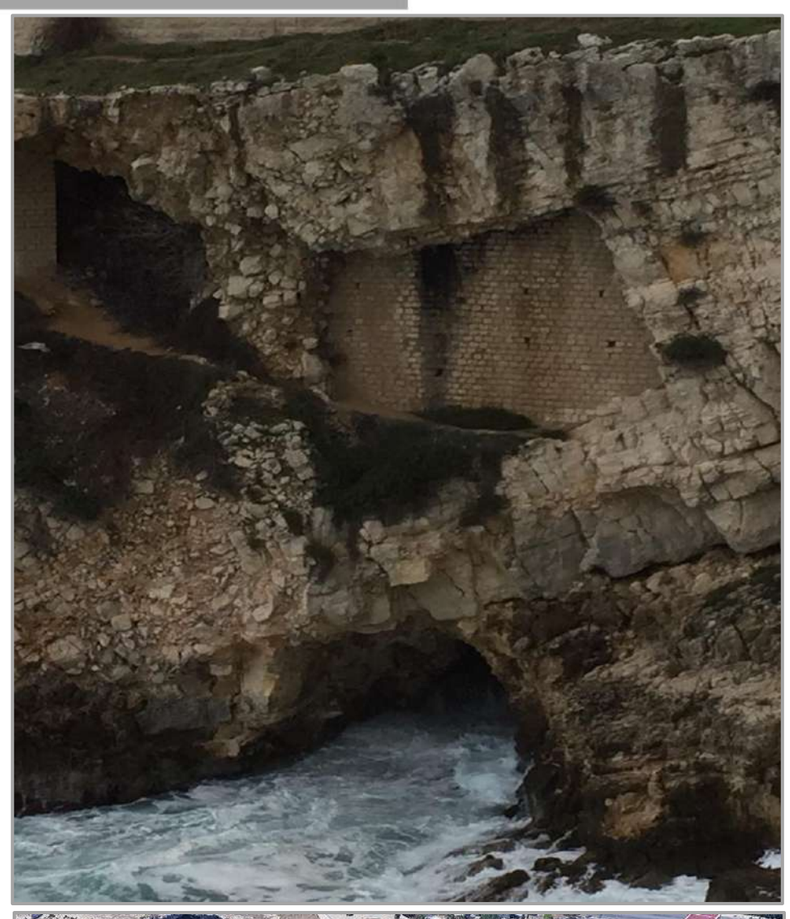
IGM 1:25000

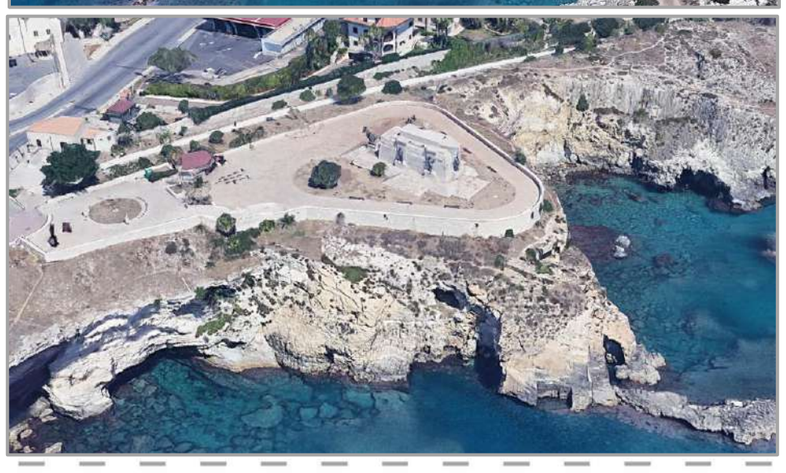
Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto 2019





DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi
- [ ] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [ ] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [x] Lesioni ai manufatti
- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

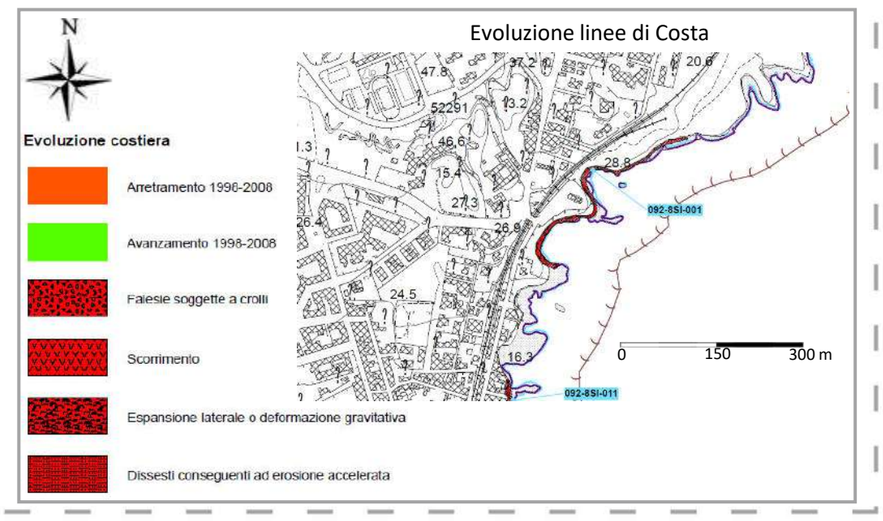
- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria _____

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [x] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

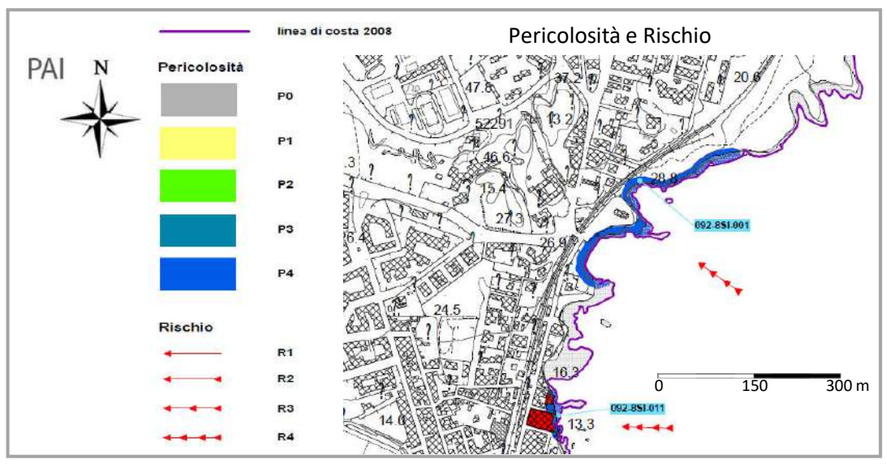
- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [ ] Strade extraurbane secondarie
- [x] Centri abitati
- [ ] Edifici privati sparsi
- [x] Altro Monumento ai caduti

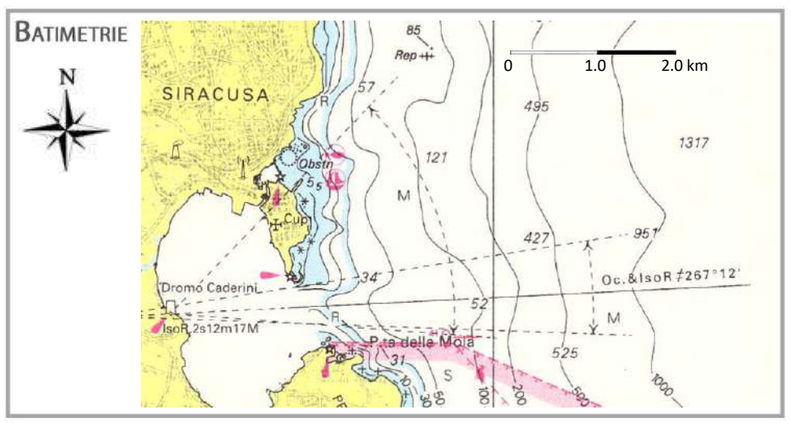
Vincoli

- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [ ] Vincolo SIC/ZSC/ZPS _____
- [ ] Altro _____

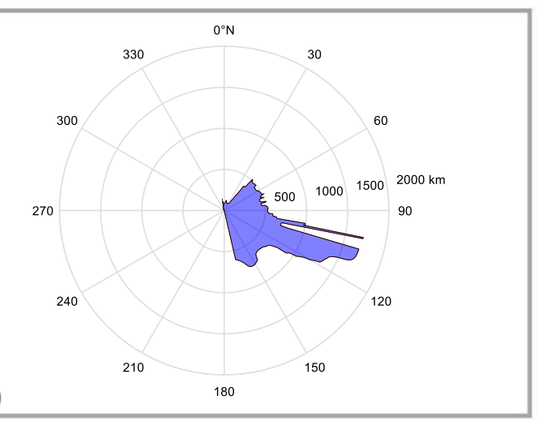


Clima Meteomarino

Batimetrie

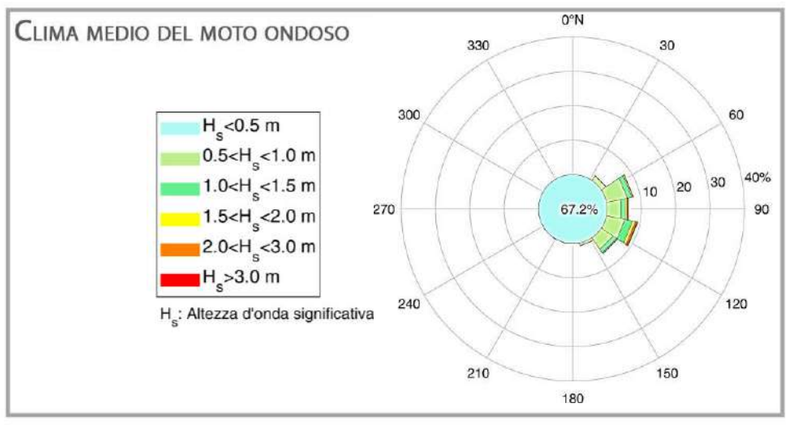


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	4.28	8.82
10	4.70	9.24
100	5.99	10.43

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

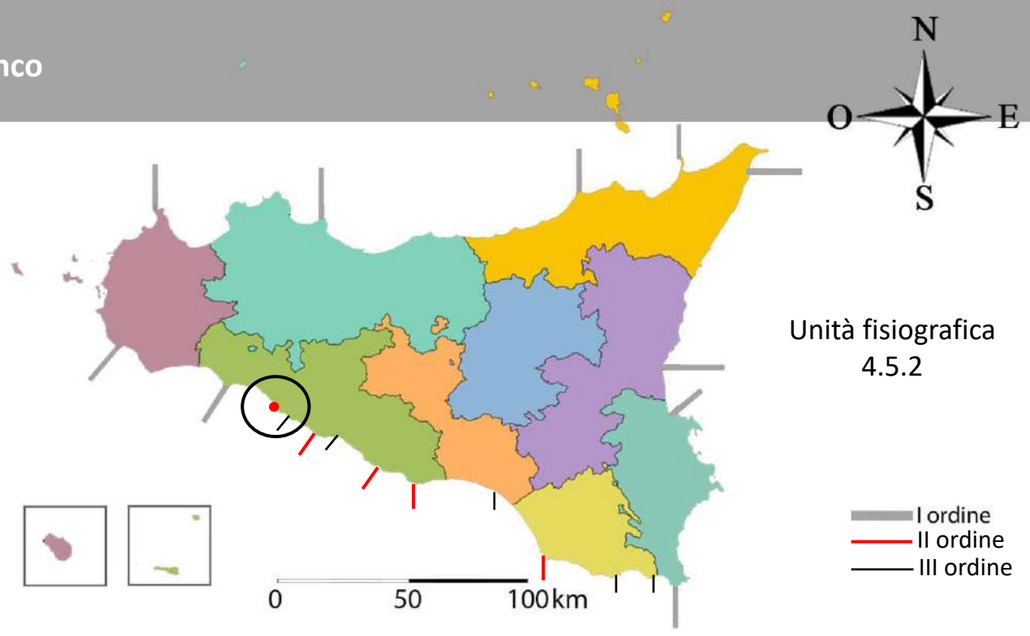
S.4.5.2 – Capo Rossello – Capo Bianco

Inquadramento

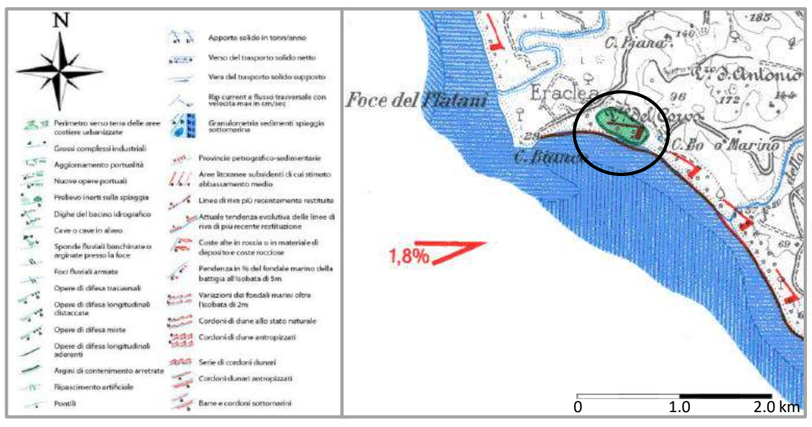
Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Agrigento

Comune: Cattolica Eraclea Unità Fisiografica: 4.5.2

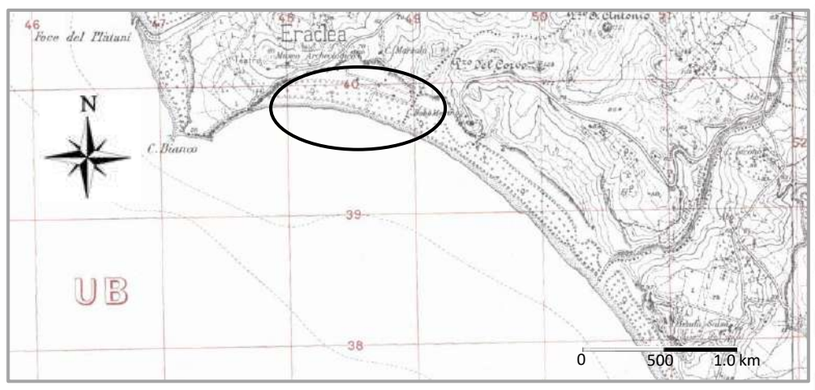
VERSANTE CANALE DI SICILIA



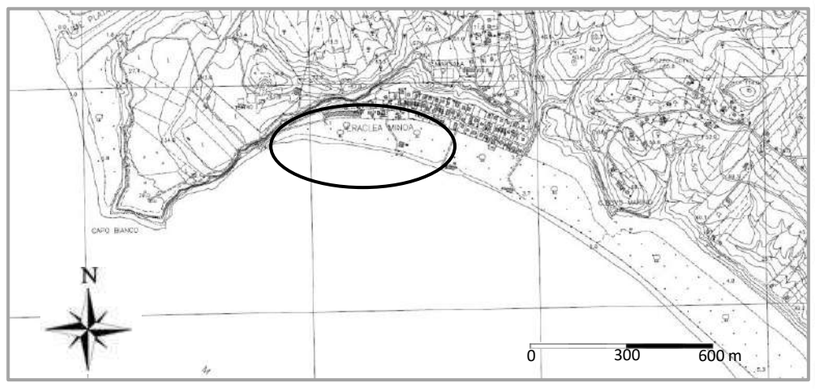
Atlante delle Coste



IGM 1:25000



Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto 2018 -2019

DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [ ] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi

- [x] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [x] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti

- [ ] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [x] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

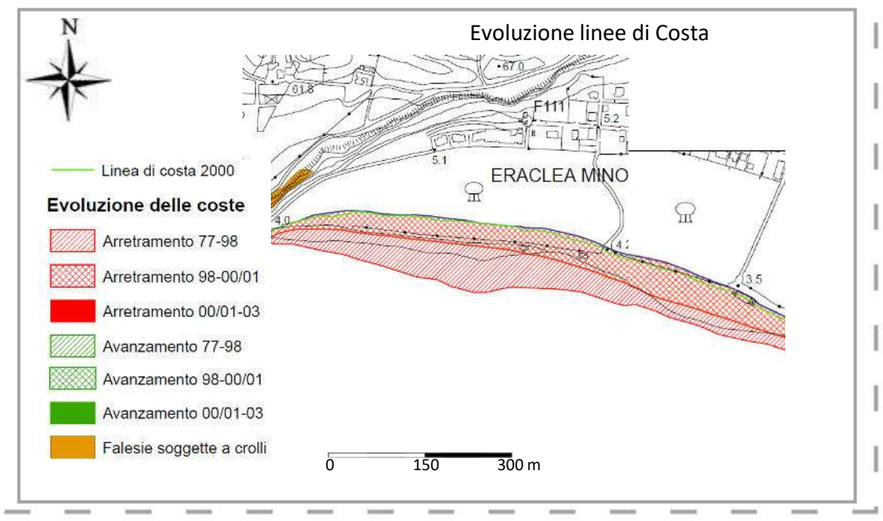
- [ ] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [ ] Roccia
- [x] Materiale incoerente con granulometria: Sabbia

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [x] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

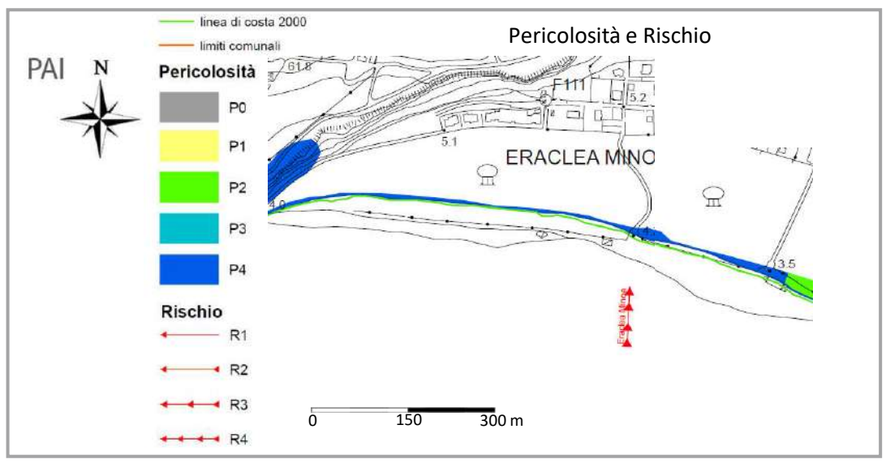
- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [x] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [x] Altro Chioschi in legno

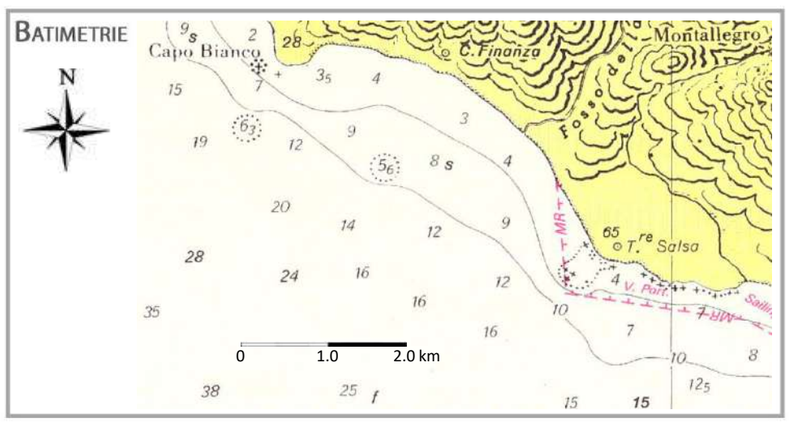
Vincoli

- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [x] Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA0400016 Fondali di Torre Salsa
- [ ] Altro _____

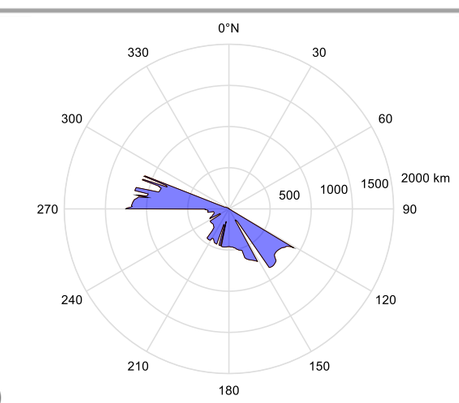


Clima Meteomarino

Batimetrie

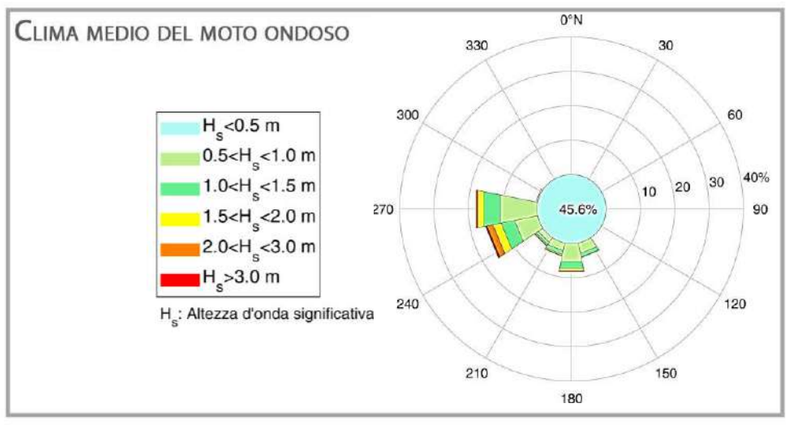


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	4.16	8.70
10	4.39	8.93
100	5.07	9.60

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

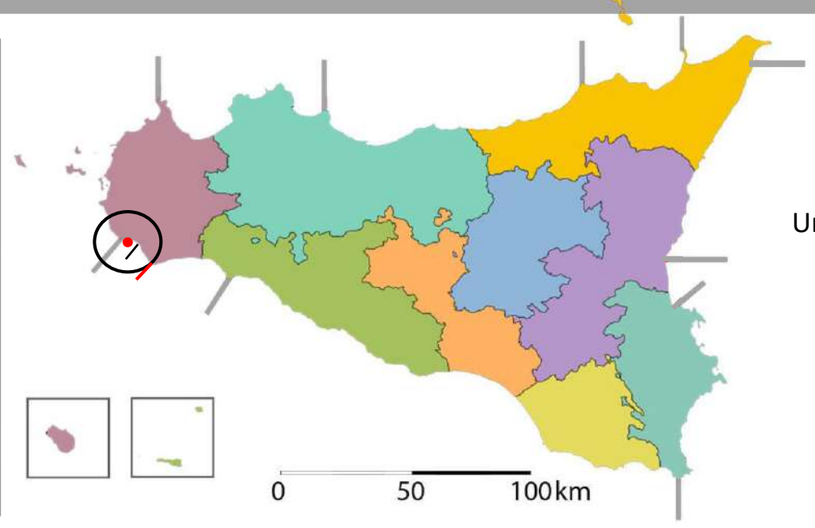
S.5.2.2 – Porto di Mazara del Vallo – Capo Feto

Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Trapani

Comune: Mazara del Vallo Unità Fisiografica: 5.2.2

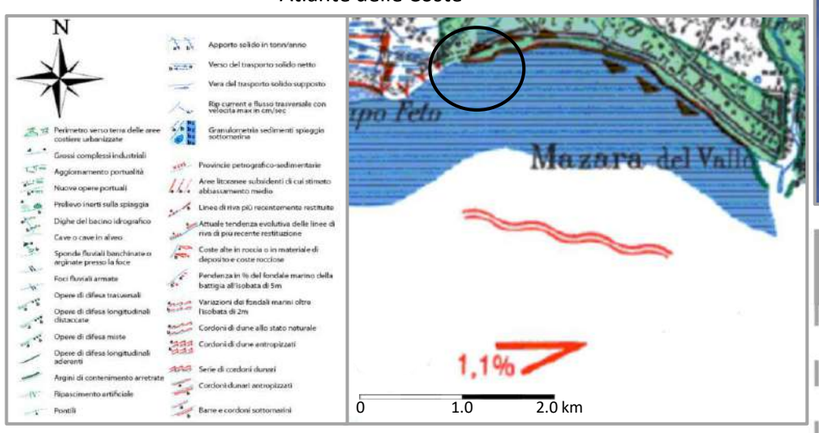
VERSANTE CANALE DI SICILIA



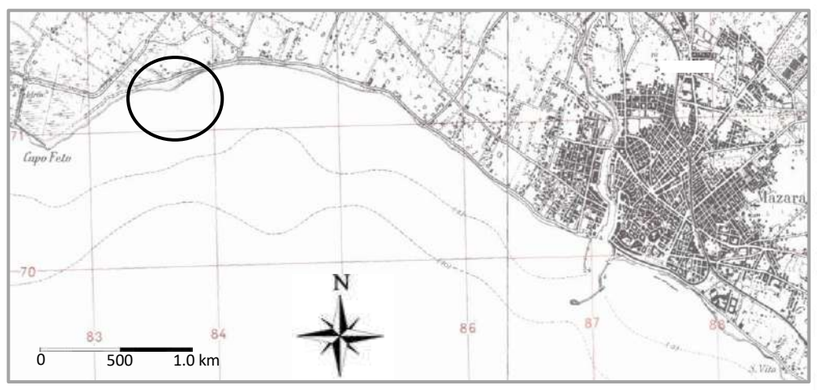
Unità fisiografica 5.2.2

I ordine
II ordine
III ordine

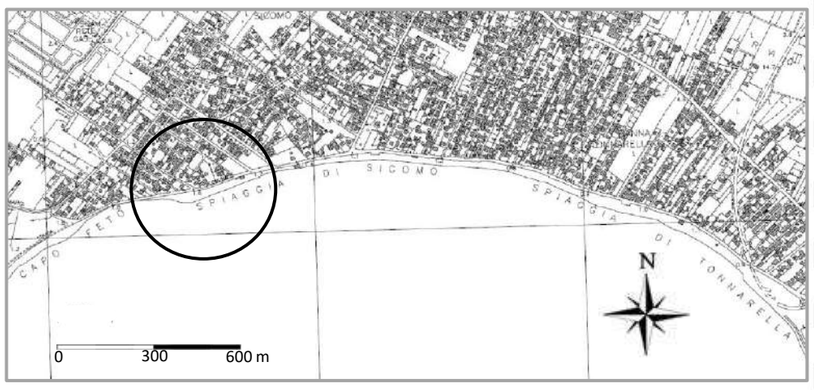
Atlante delle Coste



IGM 1:25000

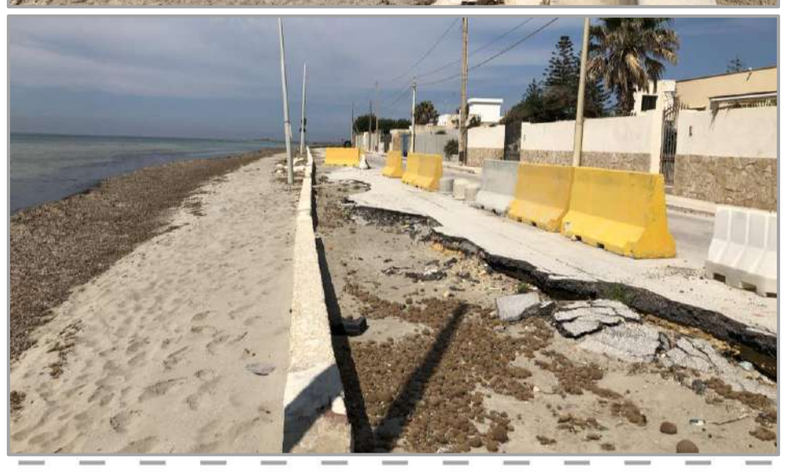


Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto Maggio 2020



DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [ ] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi
- [x] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [x] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [x] Lesioni ai manufatti
- [ ] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

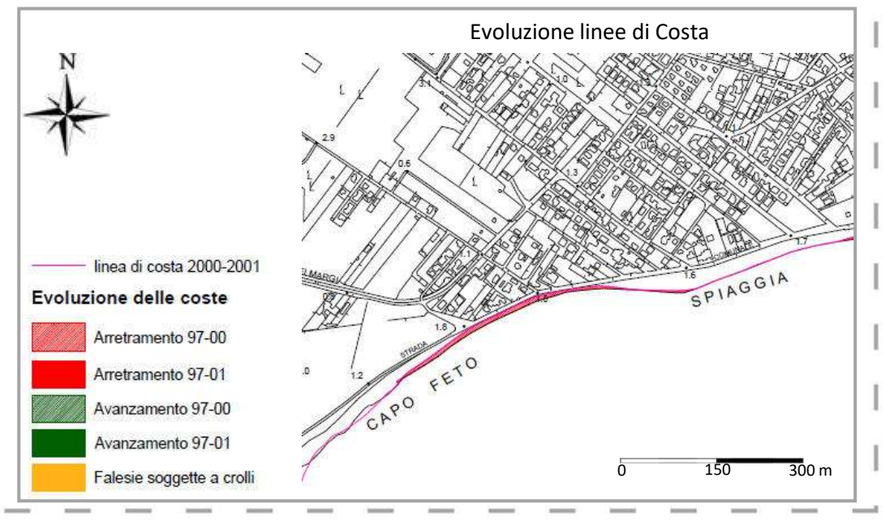
GEOMORFOLOGICHE

- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [x] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Evoluzione linee di Costa



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [ ] Roccia
- [x] Materiale incoerente con granulometria: Sabbia

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

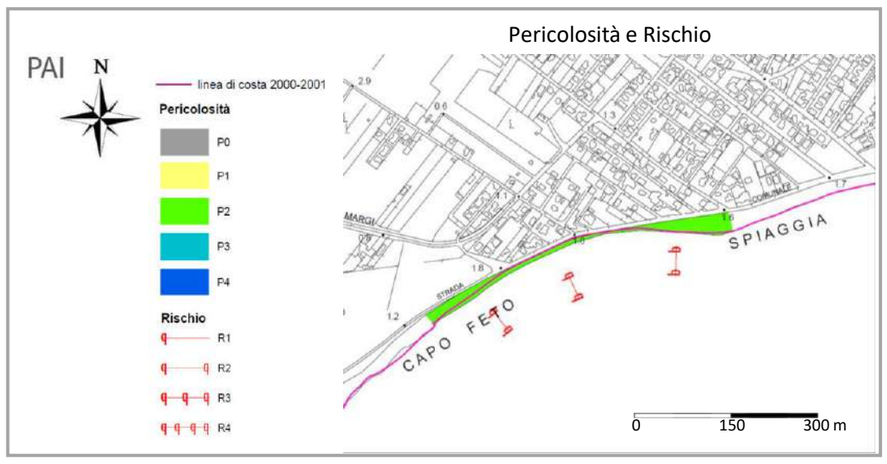
Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [x] Strade extraurbane secondarie
- [x] Centri abitati
- [ ] Edifici privati sparsi
- [ ] Altro_____

Vincoli

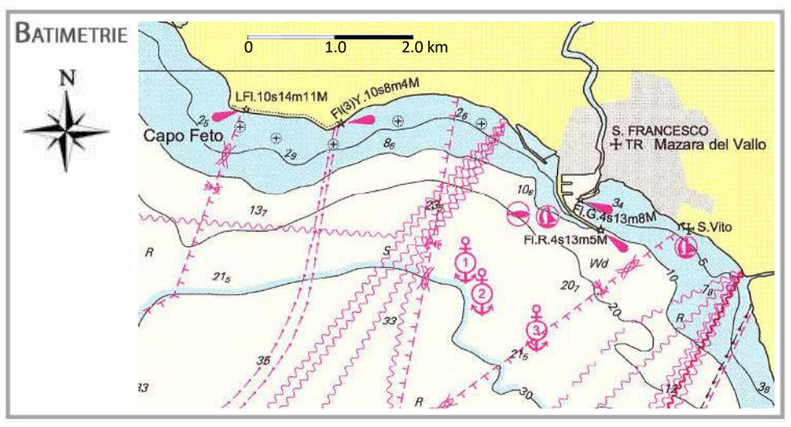
- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [ ] Vincolo SIC/ZSC/ZPS _____
- [ ] Altro _____

Pericolosità e Rischio

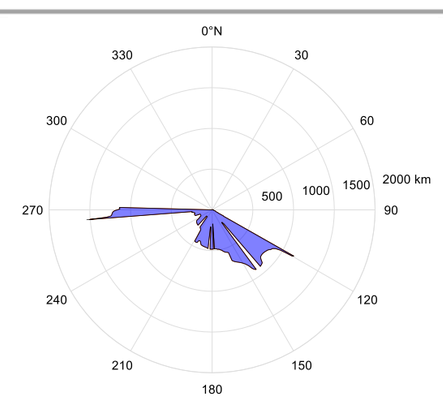


Clima Meteomarino

Batimetrie

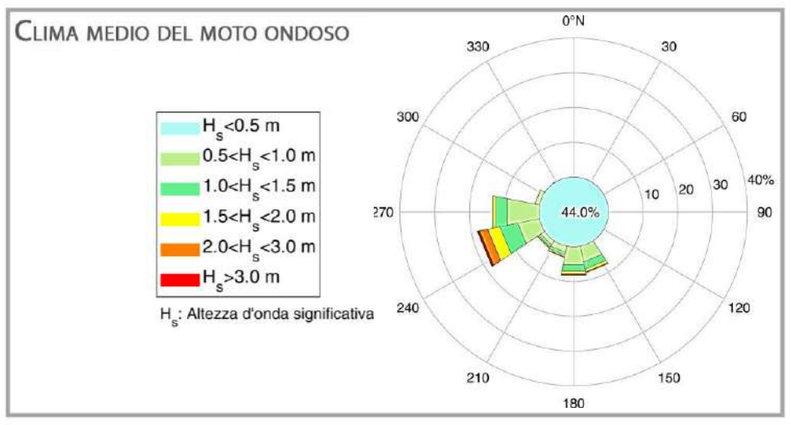


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	4.64	9.18
10	4.92	9.46
100	5.79	10.26

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

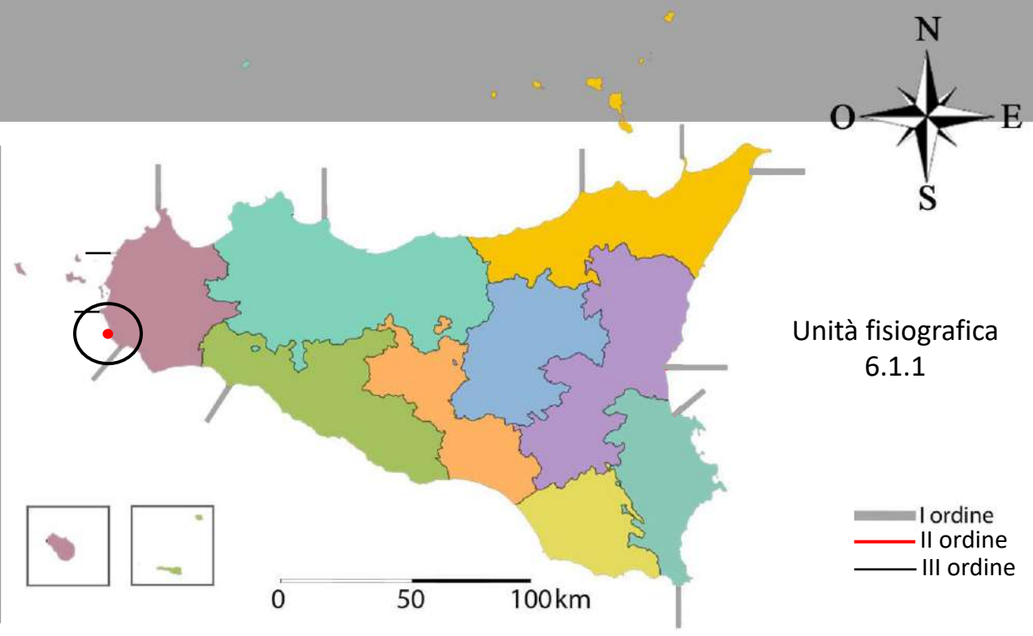
S.6.1.1 – Capo Feto – Capo Lilibeo

Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Trapani

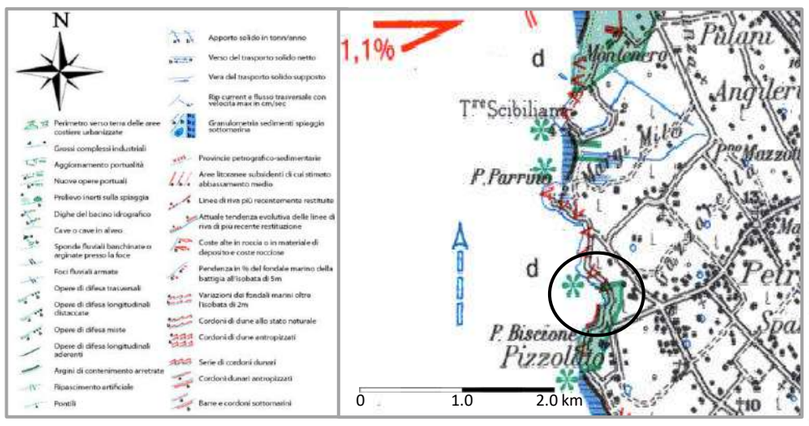
Comune: Petrosino Unità Fisiografica: 6.1.1

VERSANTE CANALE DI SICILIA

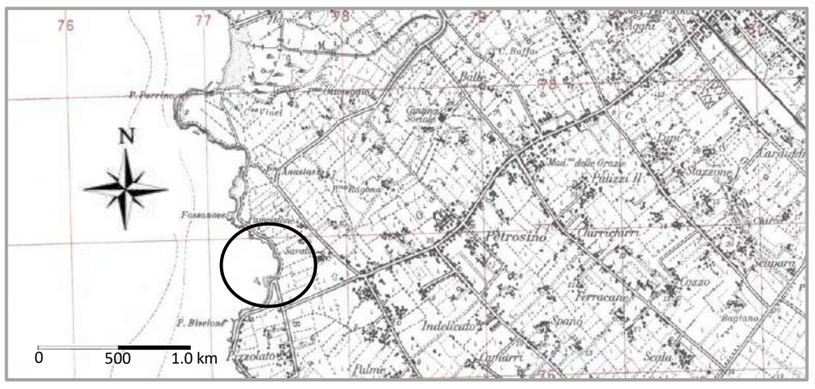


Unità fisiografica 6.1.1

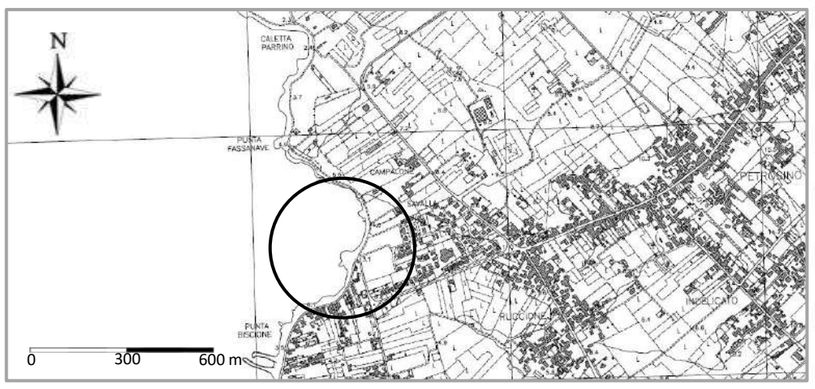
Atlante delle Coste



IGM 1:25000



Cartografia tecnica regionale (CTR)



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria:_____

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [x] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

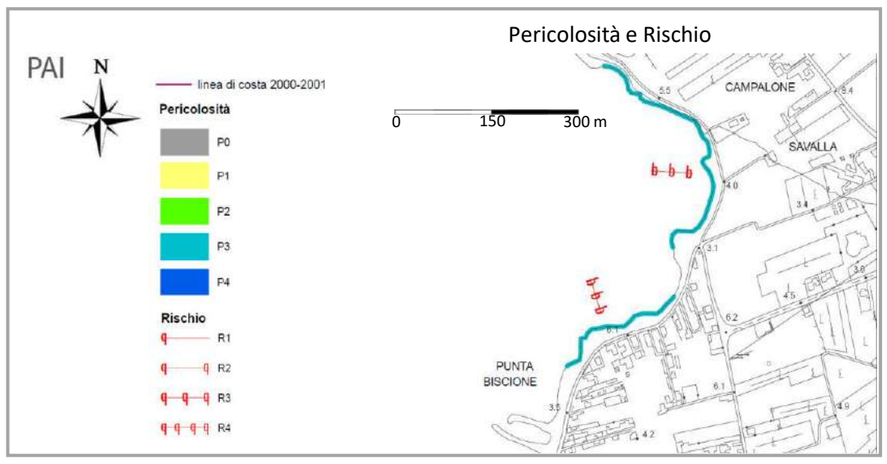
Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [x] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [ ] Altro_____

Vincoli

- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [x] Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA01006 Paludi di Capo Feto e Margi Spano
- [ ] Altro _____

Pericolosità e Rischio



Dissesti

Foto Maggio 2020

DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi
- [ ] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [ ] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti
- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [x] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

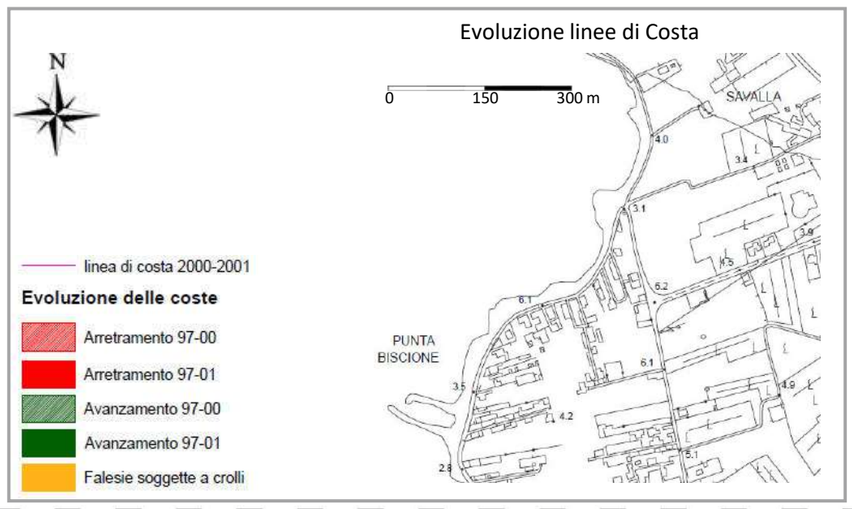
FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

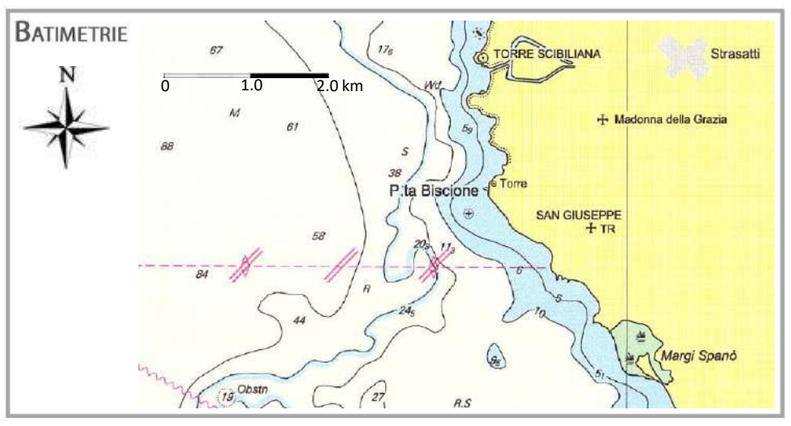
- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Evoluzione linee di Costa

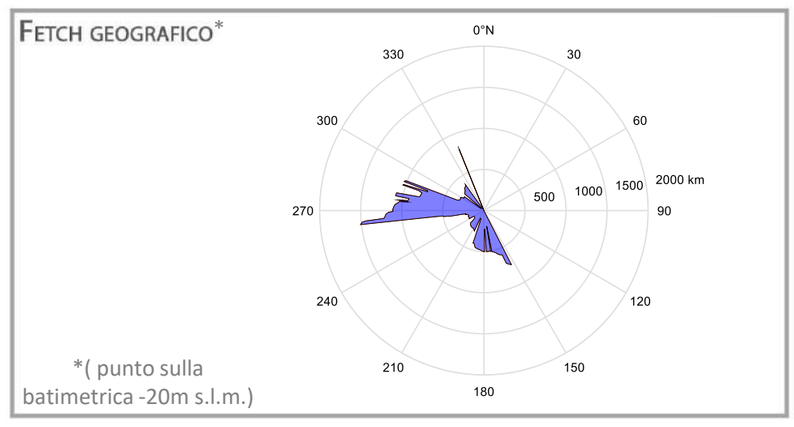


Clima Meteomarino

Batimetrie

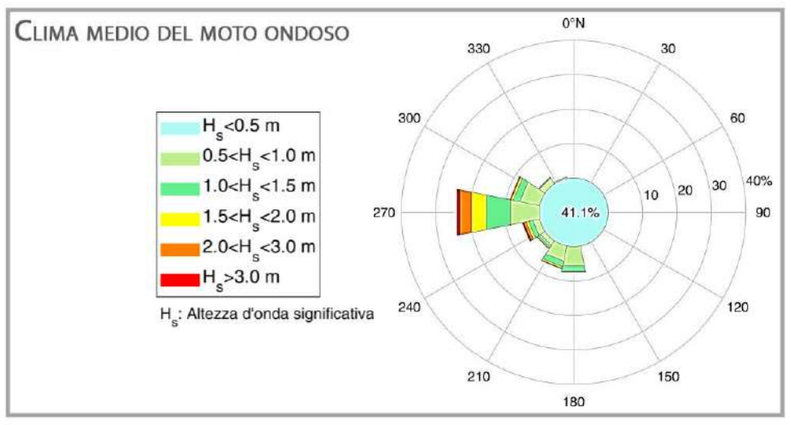


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s* [m]	Tp [s]
5	4.59	9.50
10	4.97	9.73
100	5.80	10.26

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

S.7.1.3 – Porto di Castellamare – Capo Rama

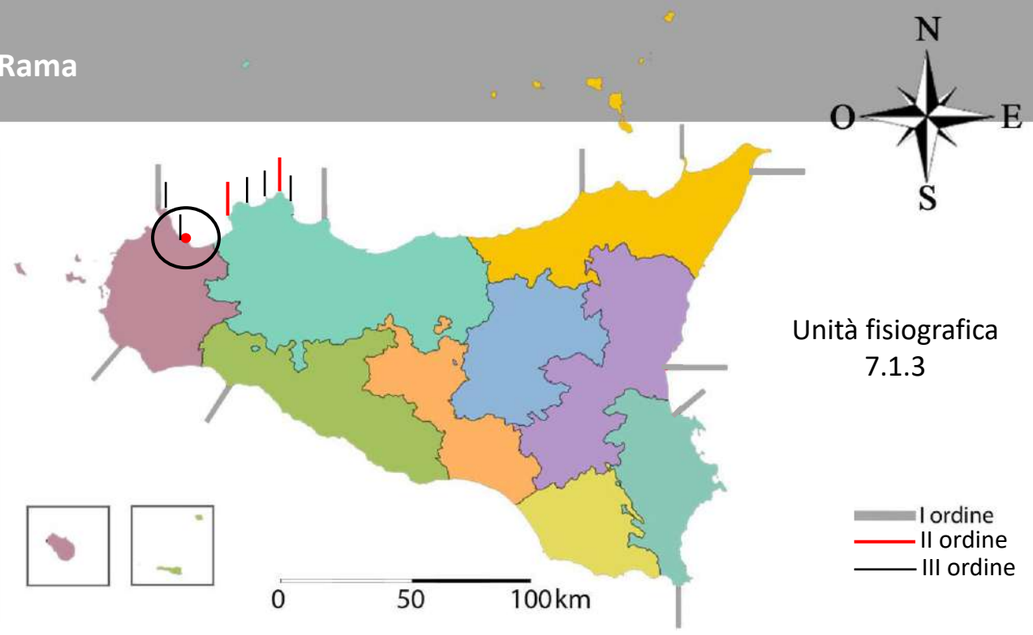
Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Trapani

Comune: Castellamare del Golfo

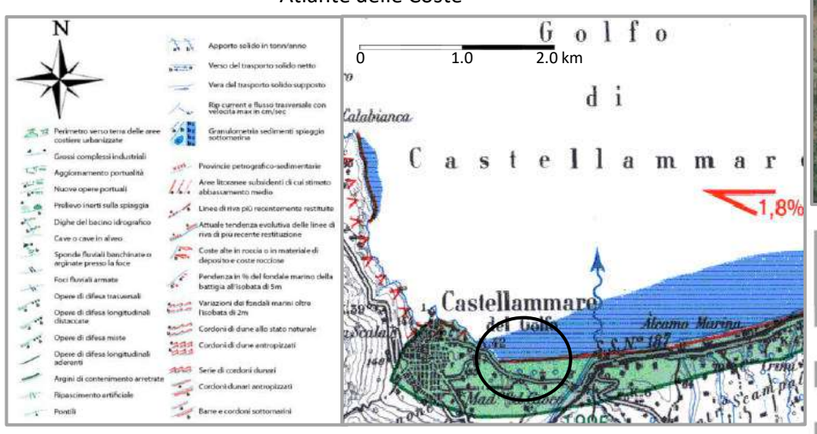
Unità Fisiografica: 7.1.3

VERSANTE TIRRENICO

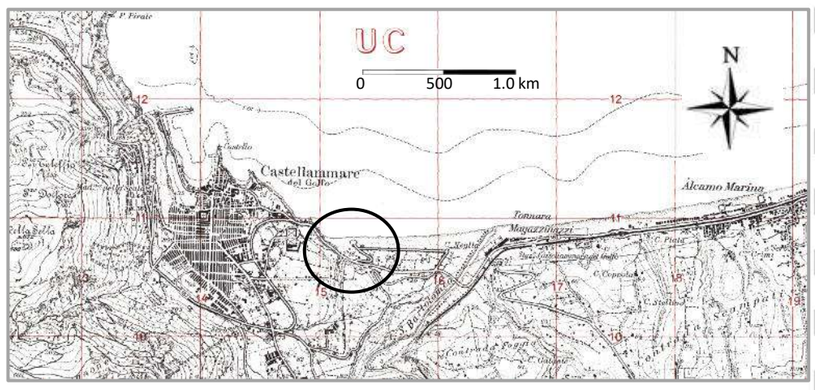


Unità fisiografica 7.1.3

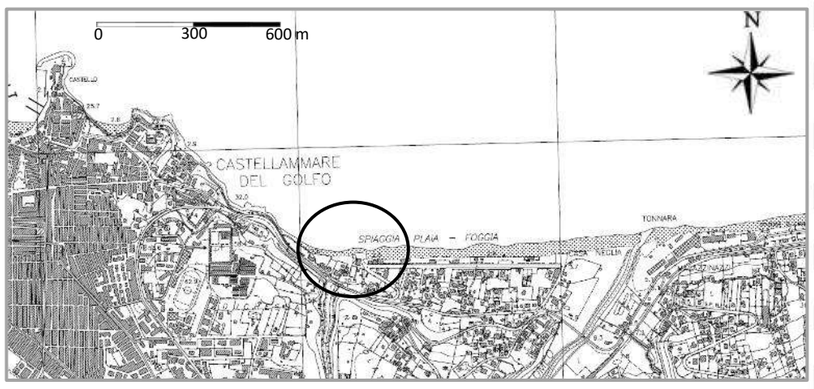
Atlante delle Coste



Cartografia IGM 1:25000

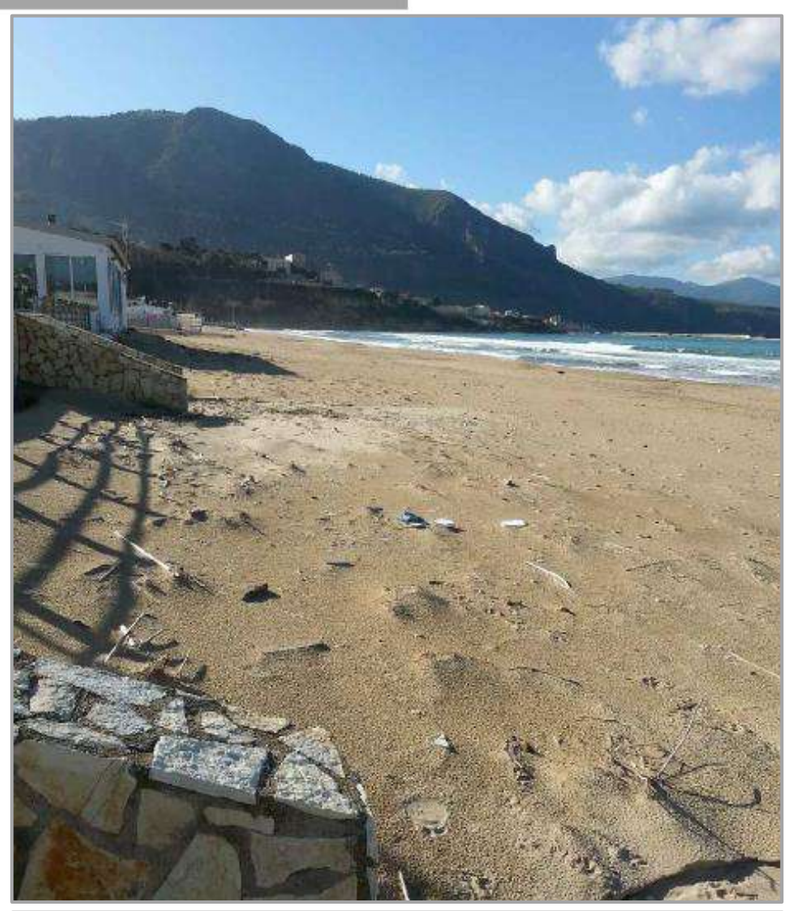


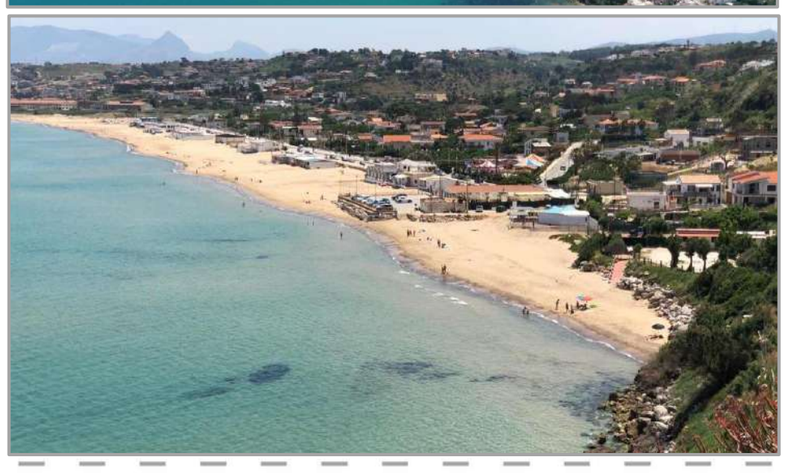
Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto Gennaio 2020





DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [ ] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi

- [x] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [x] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti

- [ ] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

- [ ] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

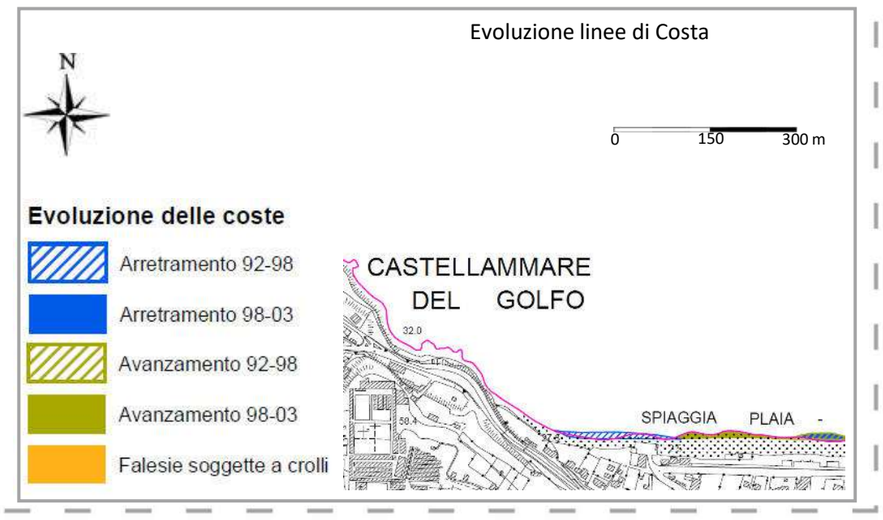
FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [x] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Evoluzione linee di Costa



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [ ] Roccia
- [x] Materiale incoerente con granulometria: Sabbia

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [x] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

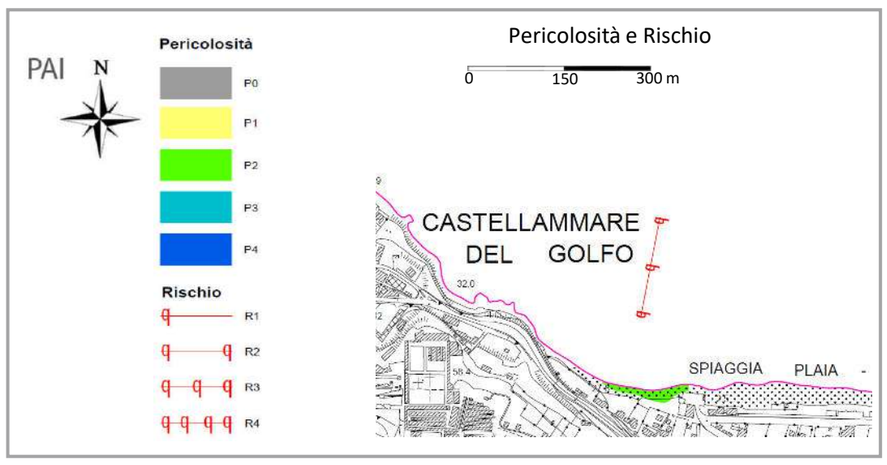
- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [ ] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [x] Altro Lidi stagionali

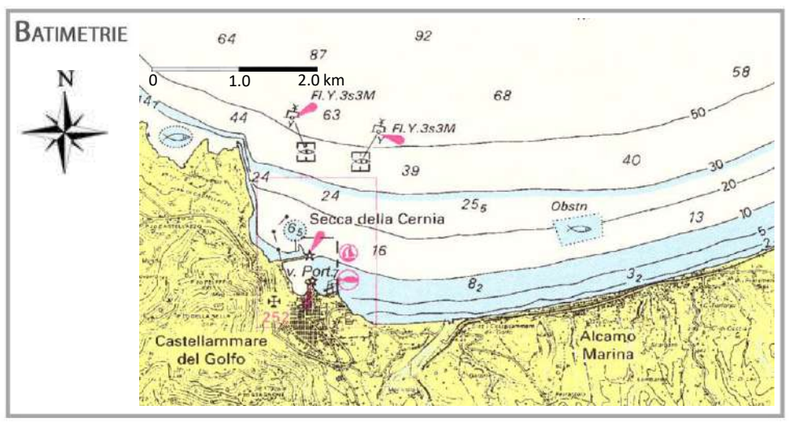
Vincoli

- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [ ] Vincolo SIC/ZSC/ZPS _____
- [ ] Altro _____

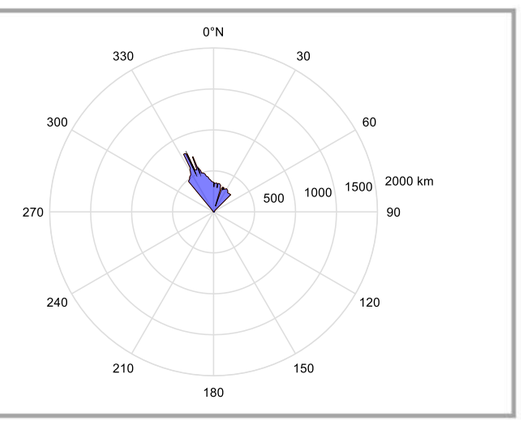


Clima Meteomarino

Batimetrie

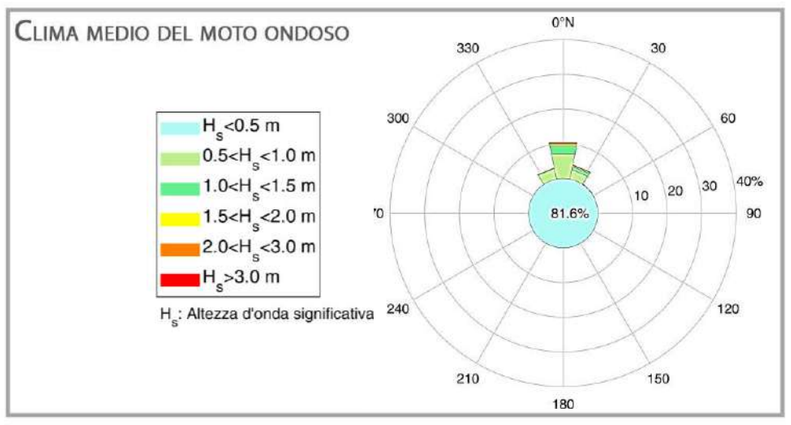


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	3.22	7.65
10	3.43	7.90
100	4.03	8.56

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

S.8.1.2 – Porto Termini Imerese – Cefalù

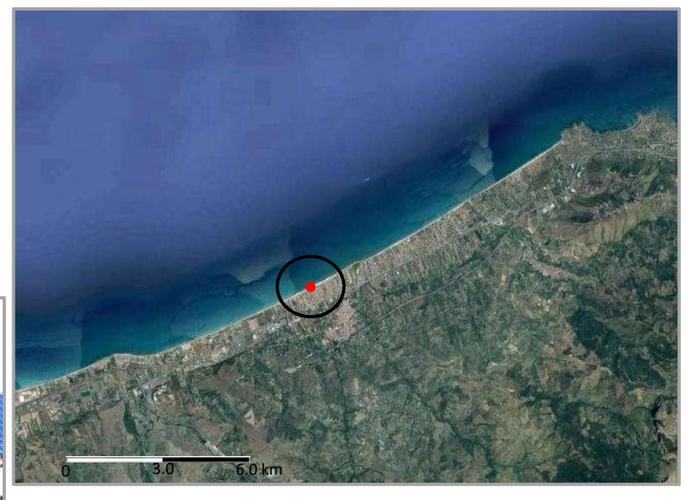
Inquadramento

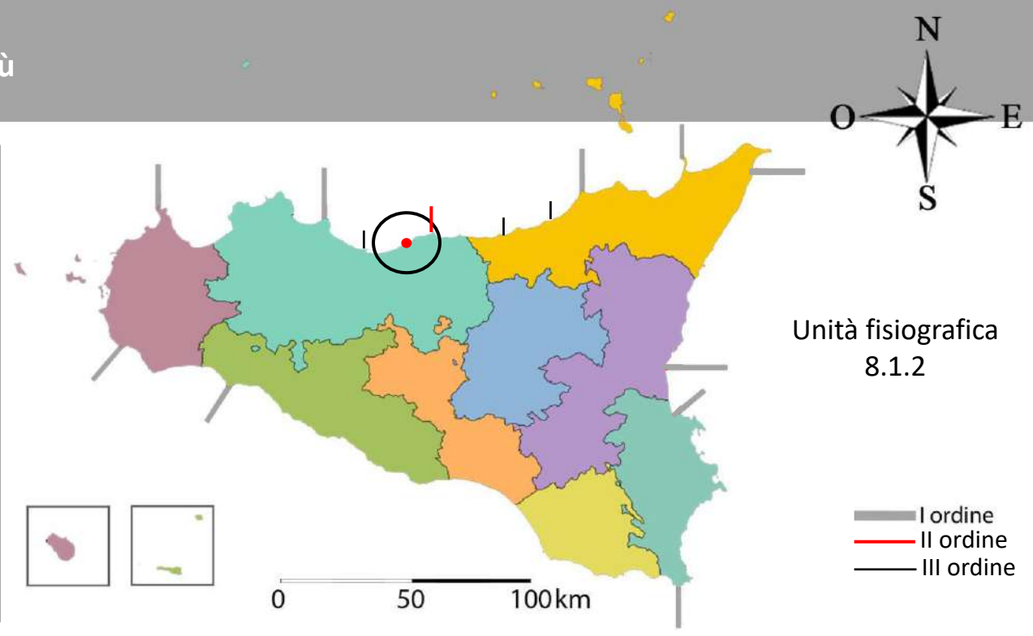
Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Palermo

Comune: Campofelice di Roccella

Unità Fisiografica: 8.1.2

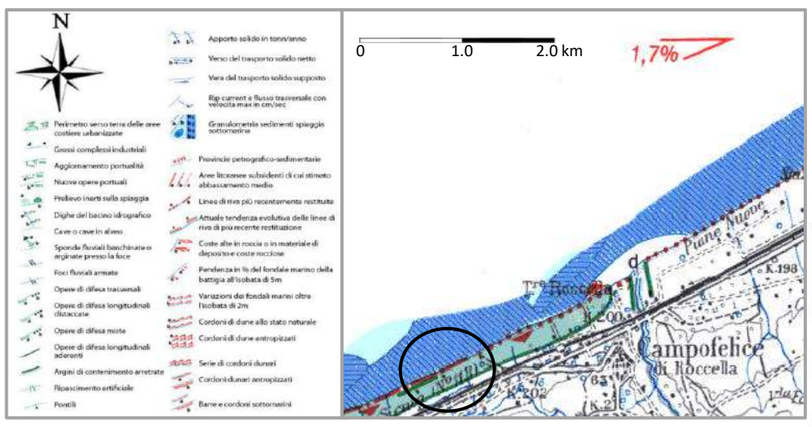
VERSANTE TIRRENICO



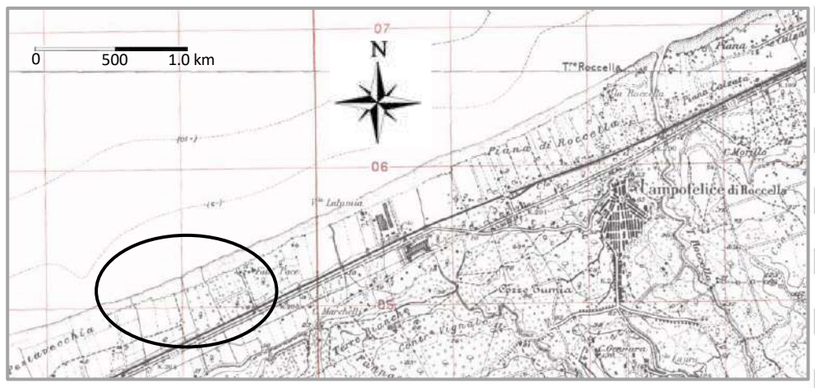


Unità fisiografica 8.1.2

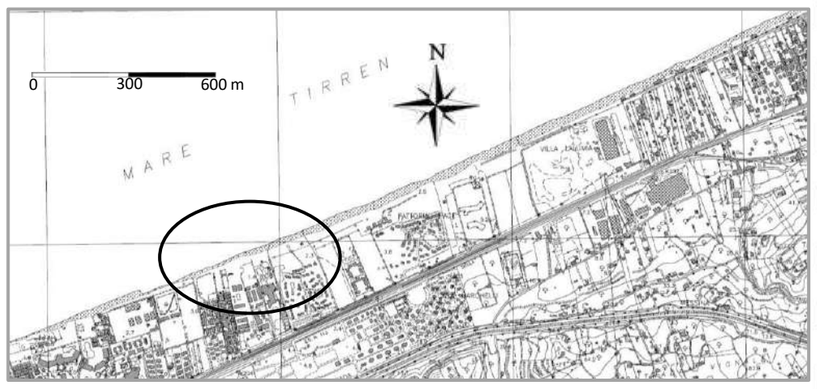
Atlante delle Coste



Cartografia Istituto Geografico Militare (IGM)



Cartografia tecnica regionale (CTR)



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- ☐ Roccia
- ☒ Materiale incoerente con granulometria: Sabbia con ciottoli

CARATTERI LITOTECNICI

- ☐ Litotipo coerente
- ☐ Litotipo semicoerente
- ☐ Litotipo pseudocoerente
- ☒ Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

Opere di Difesa

- ☐ Ripascimenti
- ☐ Barriere emerse
- ☐ Barriere soffolte
- ☐ Pennelli
- ☐ Scogliera radente
- ☐ Altro

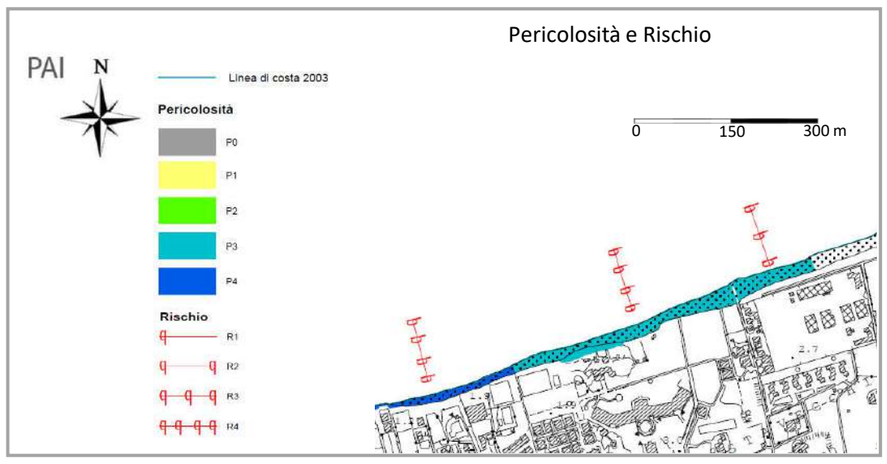
Beni esposti a Rischio

- ☐ Ferrovia
- ☐ Strade extraurbane principali
- ☐ Strade extraurbane secondarie
- ☐ Centri abitati
- ☒ Edifici privati sparsi
- ☒ Altro Villaggi turistici

Vincoli

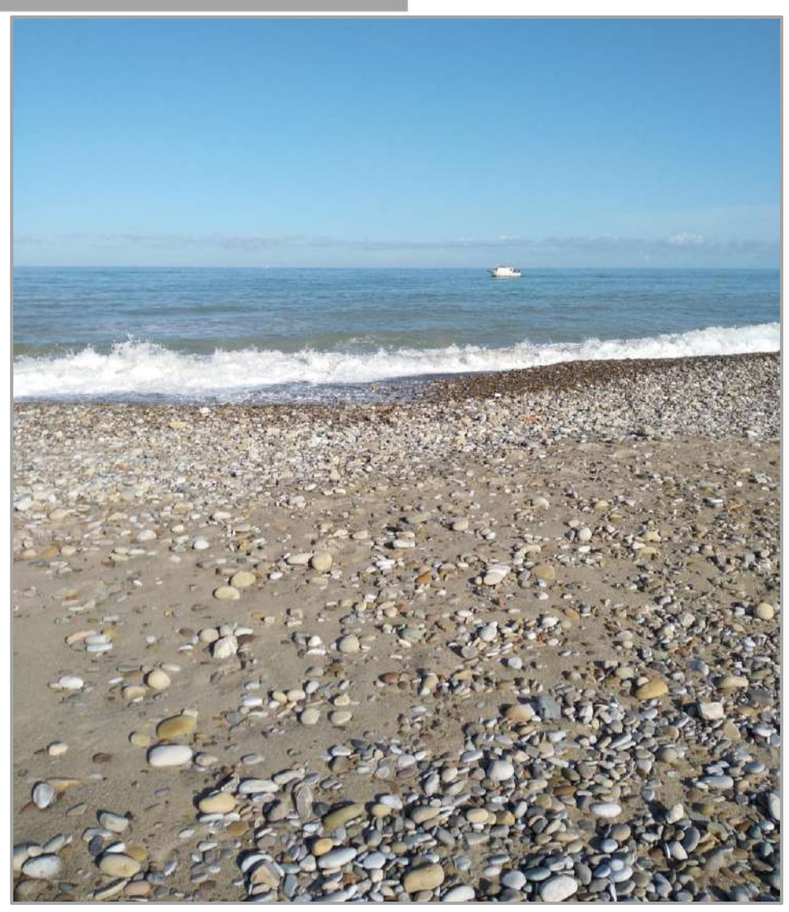
- ☐ Vincolo Idrogeologico
- ☐ Vincolo archeologico
- ☐ Vincolo Paesaggistico
- ☐ Vincolo Boschivo
- ☐ Vincolo SIC/ZSC/ZPS
- ☐ Altro

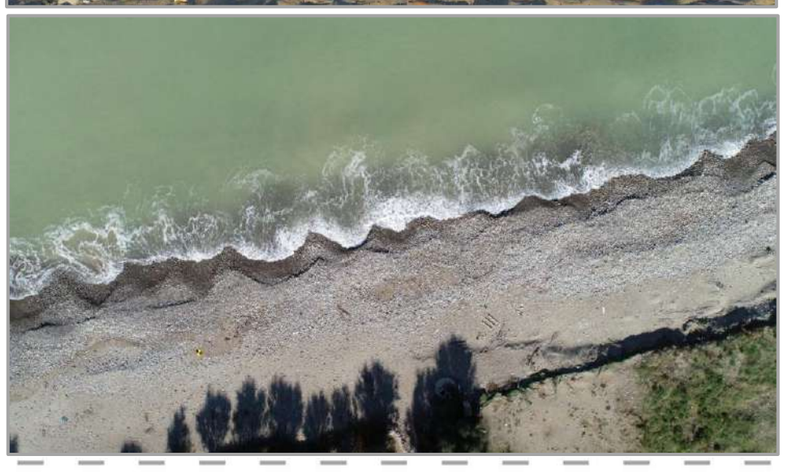
Pericolosità e Rischio



Dissesti

Foto Novembre 2018





DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- ☒ Attivo
- ☐ Quiescente

- ☐ Crolli
- ☐ Ribaltamenti
- ☐ Insabbiamenti
- ☐ Accumulo eccessivo
- ☐ Movimenti complessi
- ☒ Erosione
- ☐ Crollo di strutture antropiche
- ☐ Scivolamenti
- ☐ Scorrimenti
- ☐ Altro

SEGNI PREMONITORI

- ☒ Arretramento della linea di spiaggia
- ☐ Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- ☐ Cedimenti
- ☐ Lesioni ai manufatti
- ☐ Crolli localizzati
- ☐ Inclinazione di pali o alberi
- ☐ Fenditure, fratture
- ☐ Altro

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- ☐ Materiale alterato e/o fratturato
- ☐ Superfici di taglio preesistenti
- ☐ Constrasto di competenza
- ☐ Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

- ☐ Moto ondoso al piede
- ☐ Erosione per ruscellamento
- ☐ Asportazione vegetazione
- ☐ Erosione sotterranea

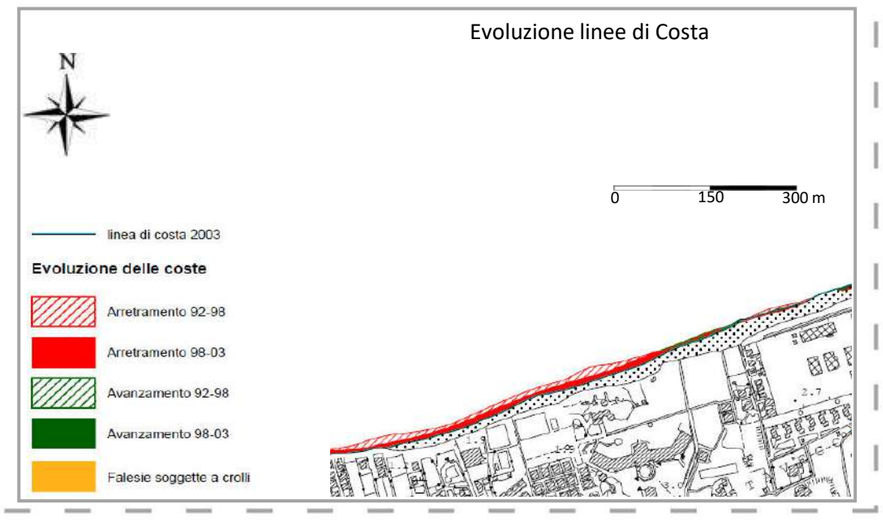
FISICHE

- ☐ Precipitazioni intense
- ☐ Alluvionamento
- ☐ Aloclastismo
- ☐ Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

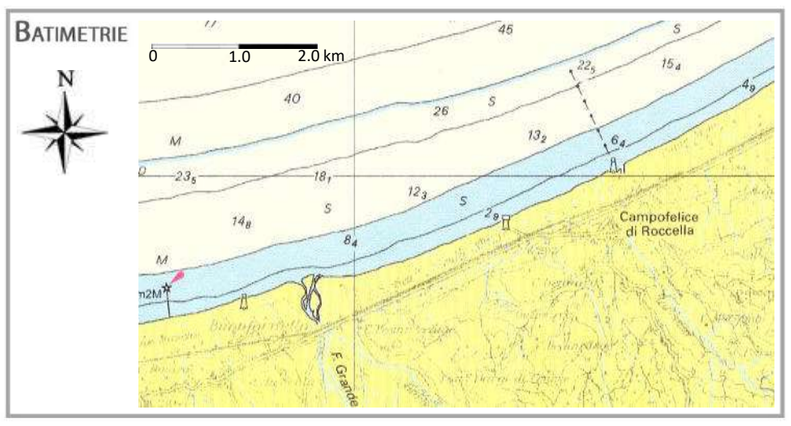
- ☐ Tagli antropici
- ☐ Disboscamento
- ☐ Perdite d'acqua
- ☐ Sovraccarichi sulla cresta
- ☒ Riduzione apporti fluviali
- ☐ Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- ☐ Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Evoluzione linee di Costa

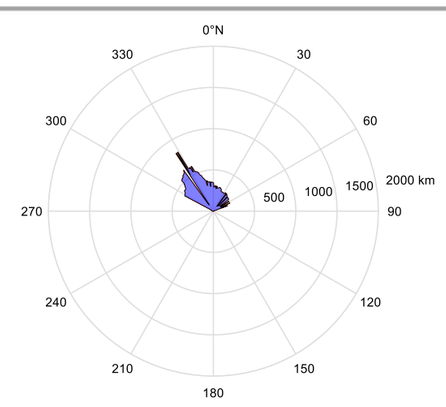


Clima Meteomarino

Batimetrie

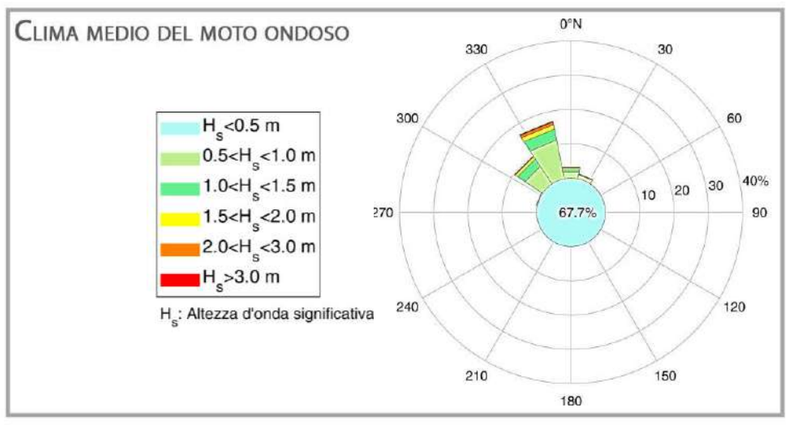


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	3.94	8.46
10	4.22	8.76
100	5.07	9.60

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

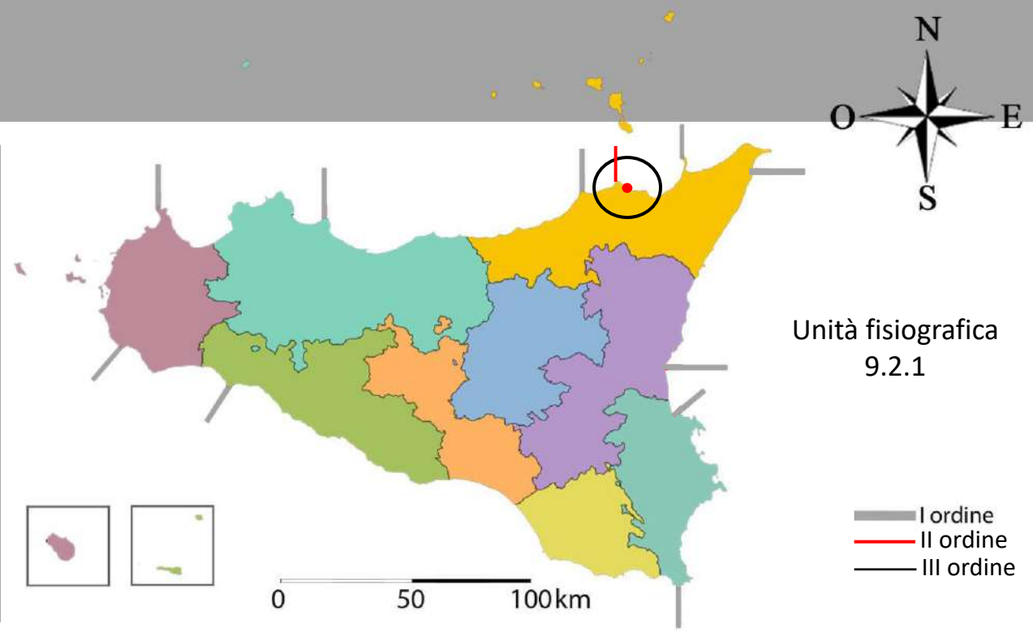
S.9.2.1 – Capo Calavà – Capo Milazzo

Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Messina

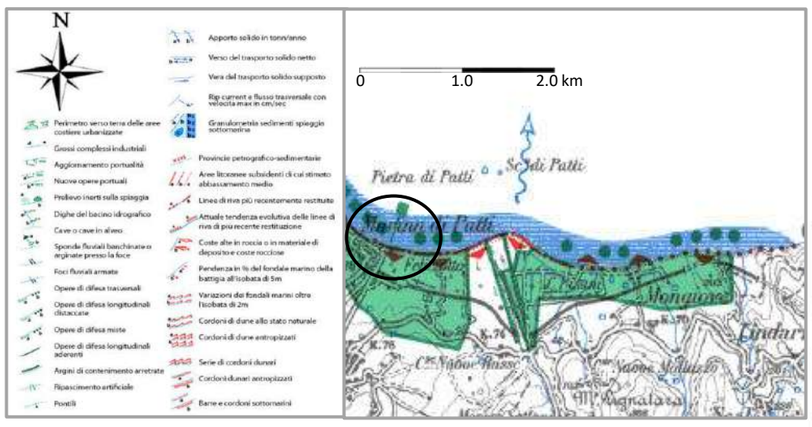
Comune: Patti Unità Fisiografica: 9.2.1

VERSANTE TIRRENICO

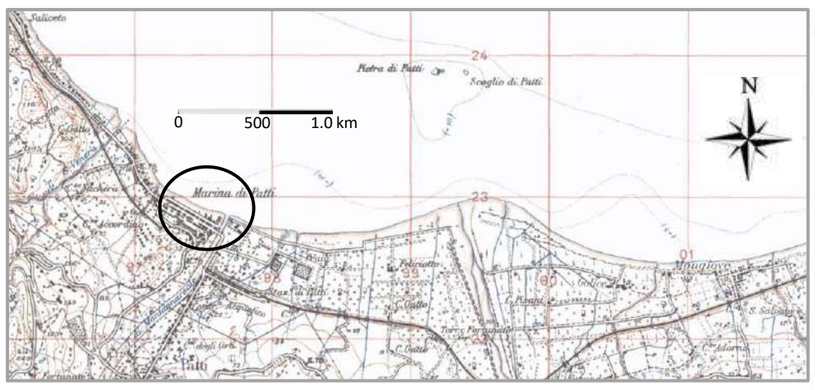


Unità fisiografica 9.2.1

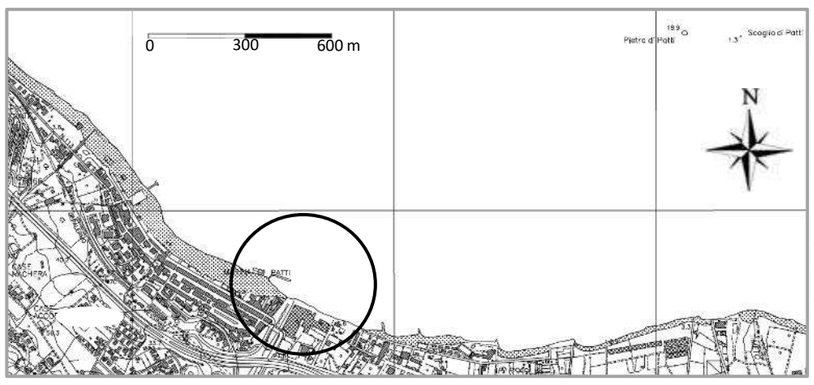
Atlante delle Coste



IGM 1:25000

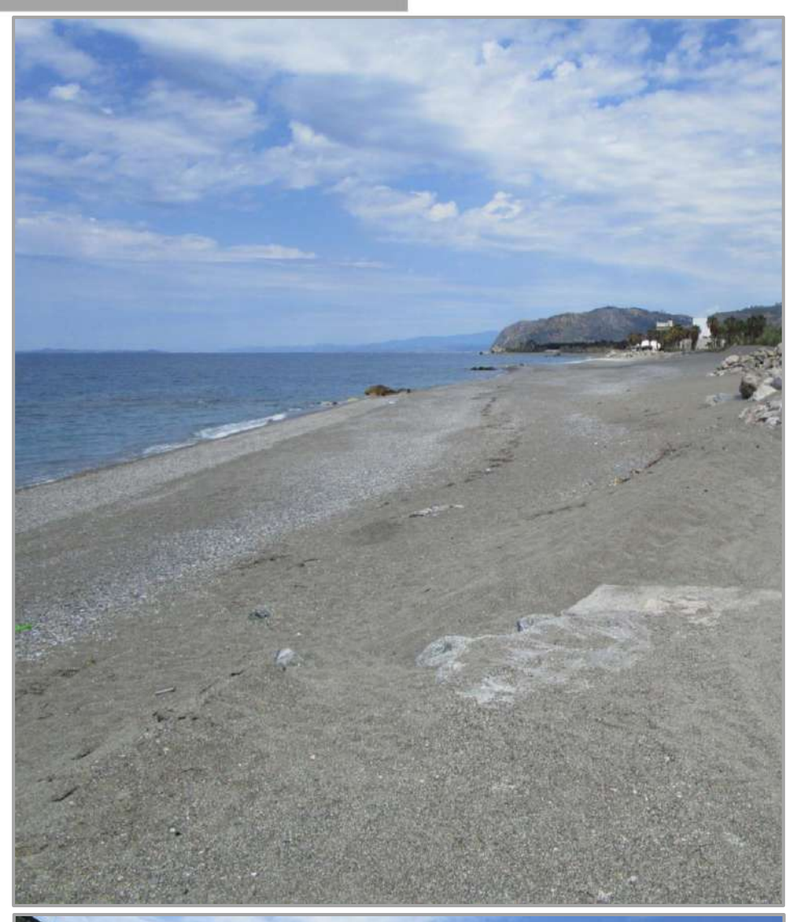


Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto Maggio 2020



DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente
- [ ] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi
- [x] Erosione
- [x] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [x] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [x] Lesioni ai manufatti
- [ ] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

- [ ] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [x] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [ ] Roccia
- [x] Materiale incoerente con granulometria: ciottoli

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [x] Litotipo incoerente

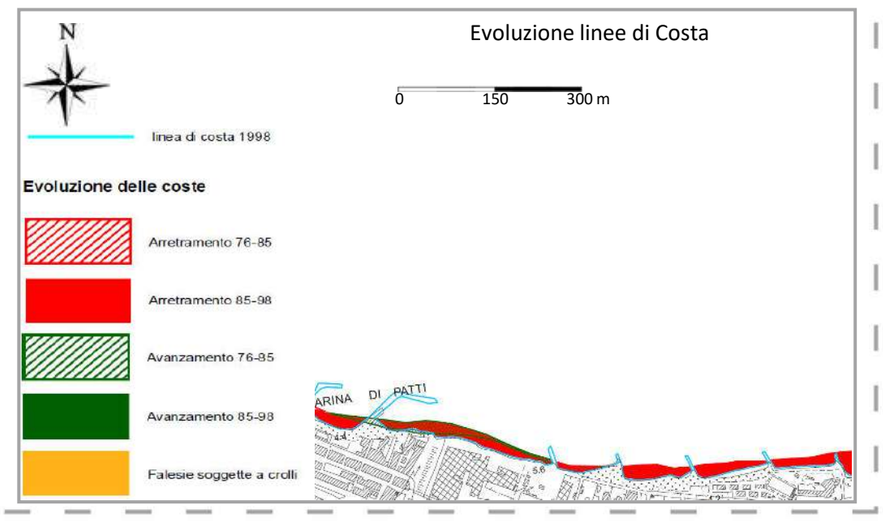
ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

_____

_____

_____



Opere di Difesa

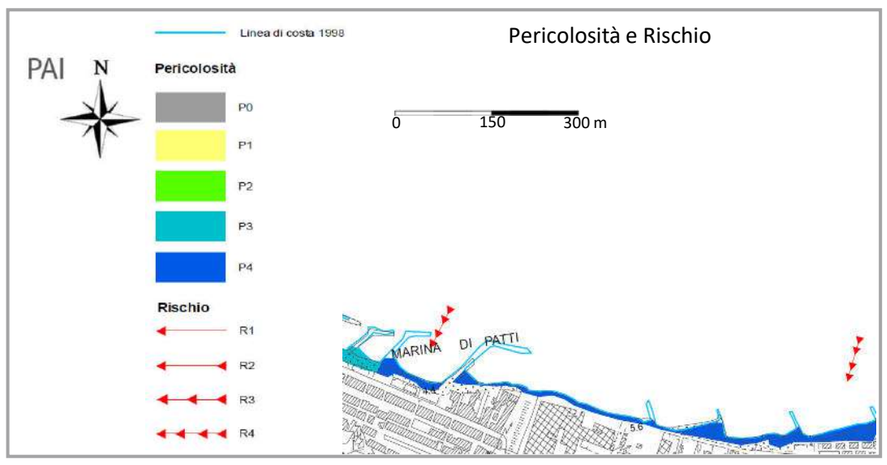
- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [x] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [x] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [ ] Altro_____

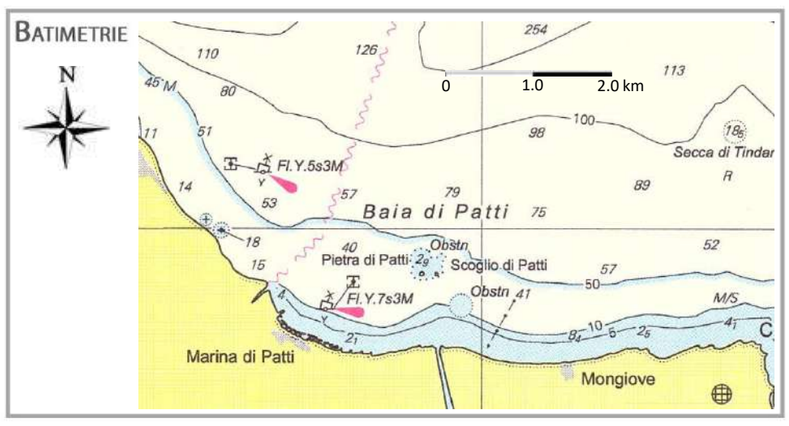
Vincoli

- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [ ] Vincolo SIC/ZSC/ZPS _____
- [ ] Altro _____

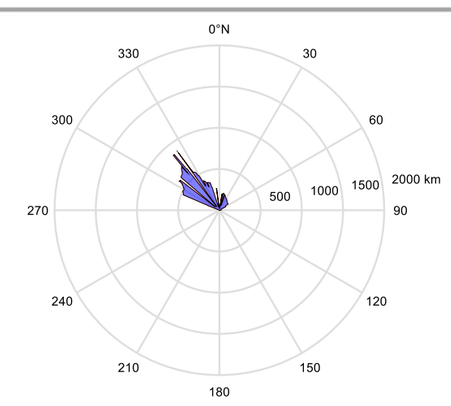


Clima Meteomarino

Batimetrie

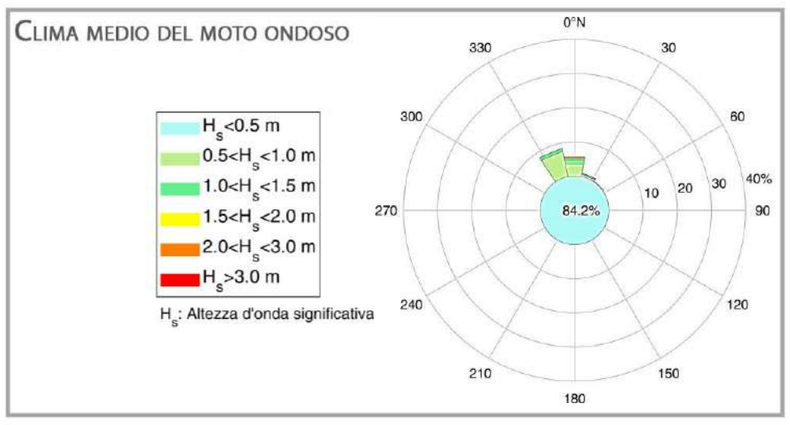


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	2.57	6.84
10	2.70	7.01
100	3.04	7.43

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

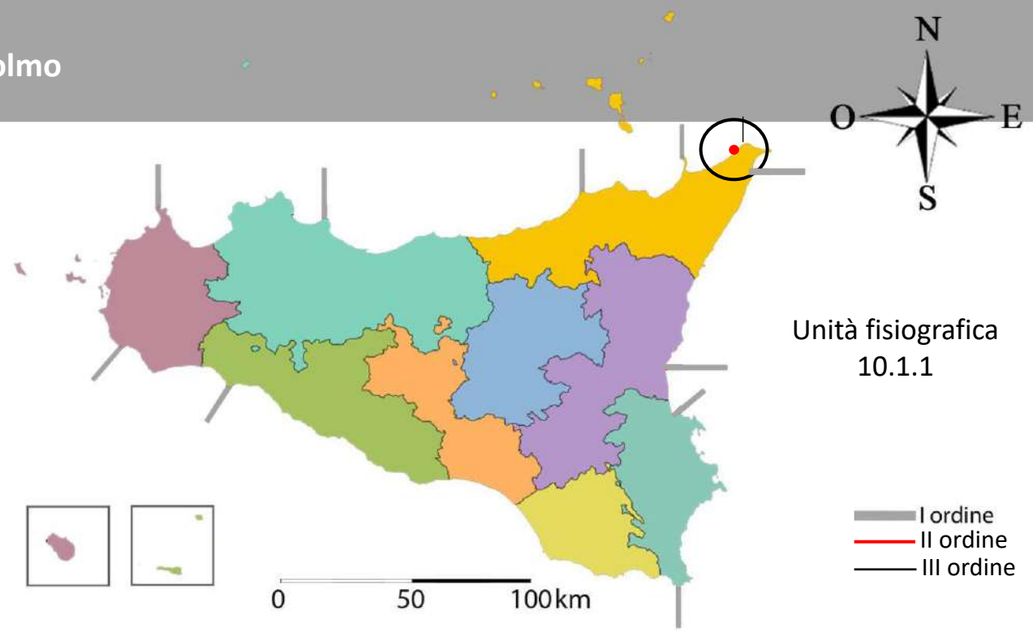
S.10.1.1 – Capo Milazzo – Capo Rasocolmo

Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Messina

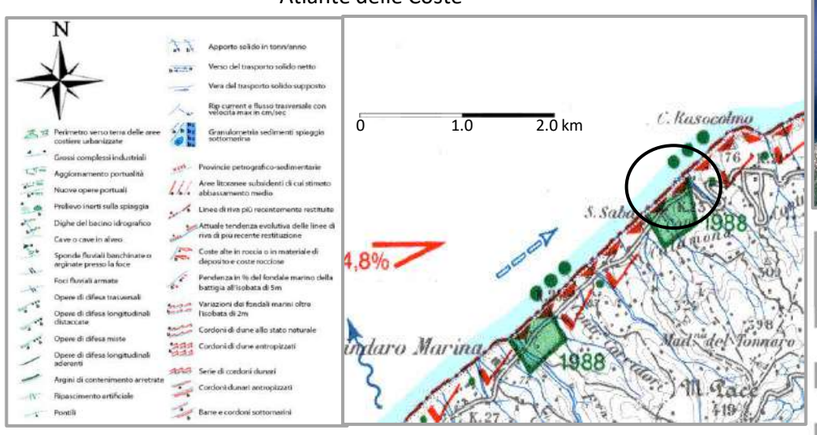
Comune: Messina Unità Fisiografica: 10.1.1

VERSANTE TIRRENICO

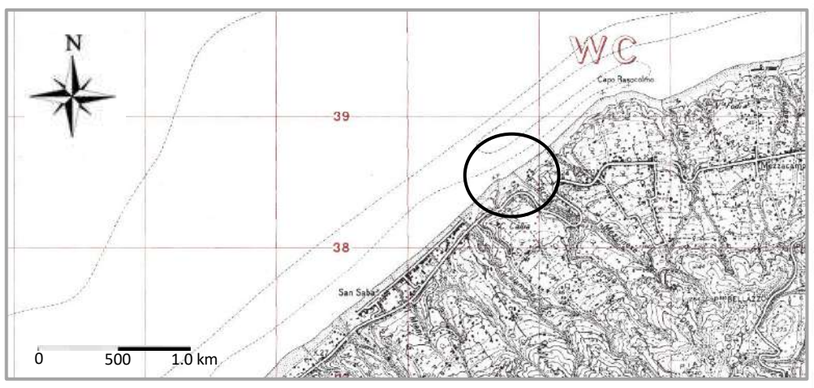


Unità fisiografica 10.1.1

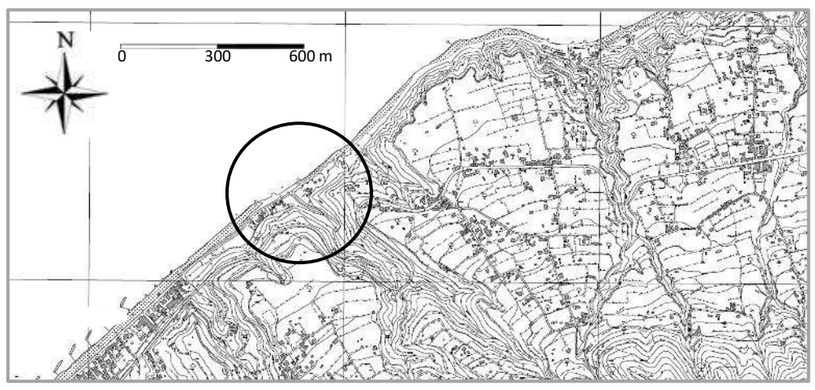
Atlante delle Coste



Cartografia IGM 1:25000



Cartografia tecnica regionale (CTR)



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- ☐ Roccia
- ☒ Materiale incoerente con granulometria: Sabbia fine

CARATTERI LITOTECNICI

- ☐ Litotipo coerente
- ☐ Litotipo semicoerente
- ☐ Litotipo pseudocoerente
- ☒ Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

Opere di Difesa

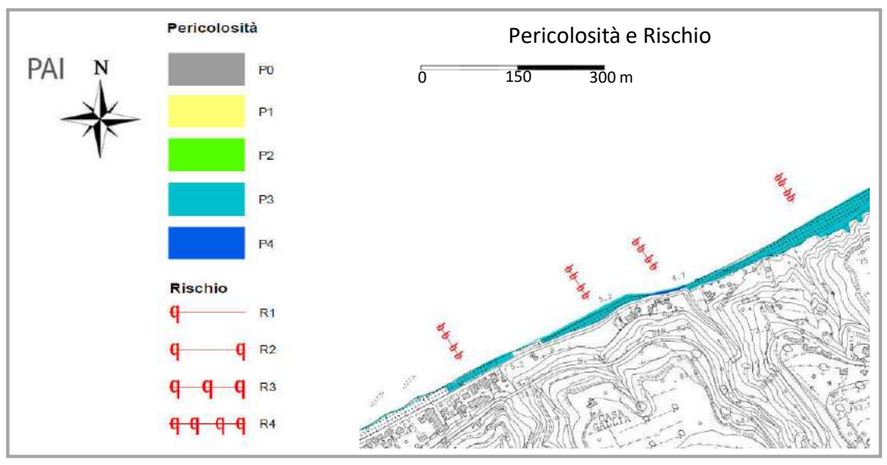
- ☐ Ripascimenti
- ☐ Barriere emerse
- ☐ Barriere soffolte
- ☐ Pennelli
- ☒ Scogliera radente
- ☐ Altro

Beni esposti a Rischio

- ☐ Ferrovia
- ☐ Strade extraurbane principali
- ☒ Strade extraurbane secondarie
- ☐ Centri abitati
- ☒ Edifici privati sparsi
- ☐ Altro

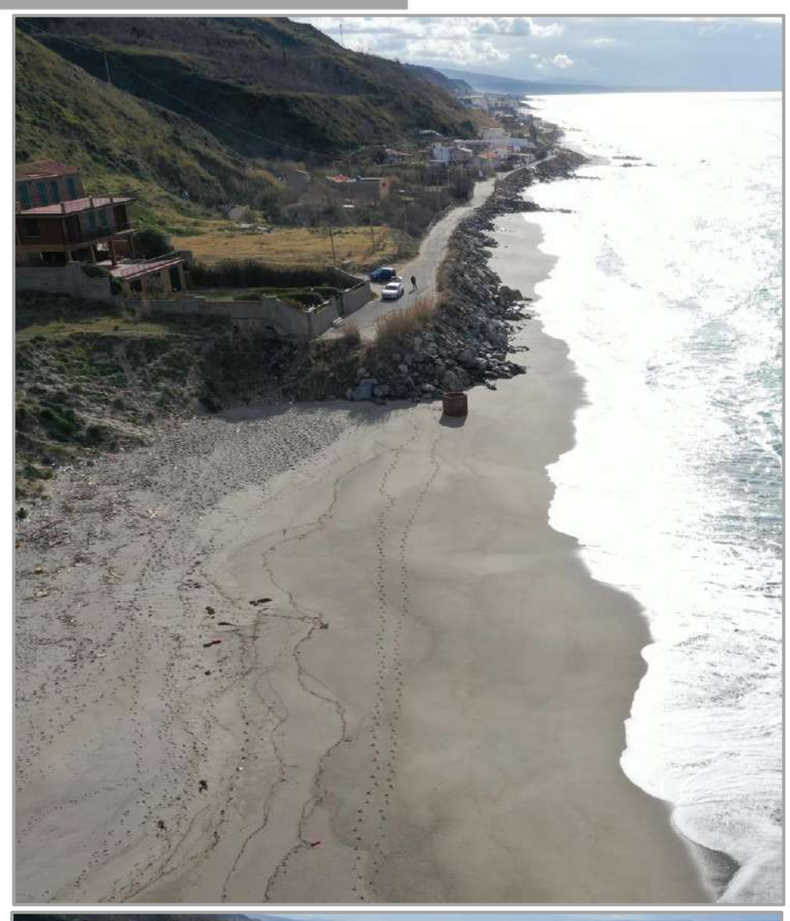
Vincoli

- ☐ Vincolo Idrogeologico
- ☐ Vincolo archeologico
- ☐ Vincolo Paesaggistico
- ☐ Vincolo Boschivo
- ☒ Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA030042 Monti Peloritani, Dorsale Curcuraci e Antennamare
- ☐ Altro



Dissesti

Foto Maggio 2020



DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- ☒ Attivo
- ☐ Quiescente
- ☐ Crolli
- ☐ Ribaltamenti
- ☐ Insabbiamenti
- ☐ Accumulo eccessivo
- ☐ Movimenti complessi
- ☒ Erosione
- ☐ Crollo di strutture antropiche
- ☐ Scivolamenti
- ☐ Scorrimenti
- ☐ Altro

SEGNI PREMONITORI

- ☒ Arretramento della linea di spiaggia
- ☐ Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- ☐ Cedimenti
- ☐ Lesioni ai manufatti
- ☐ Crolli localizzati
- ☐ Inclinazione di pali o alberi
- ☐ Fenditure, fratture
- ☐ Altro

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- ☐ Materiale alterato e/o fratturato
- ☐ Superfici di taglio preesistenti
- ☐ Constrasto di competenza
- ☐ Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

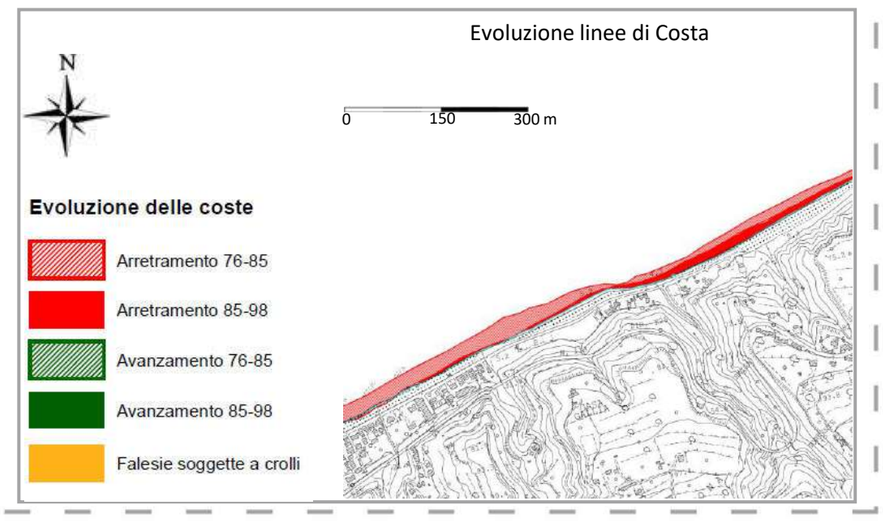
- ☐ Moto ondoso al piede
- ☐ Erosione per ruscellamento
- ☐ Asportazione vegetazione
- ☐ Erosione sotterranea

FISICHE

- ☐ Precipitazioni intense
- ☐ Alluvionamento
- ☐ Aloclastismo
- ☐ Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

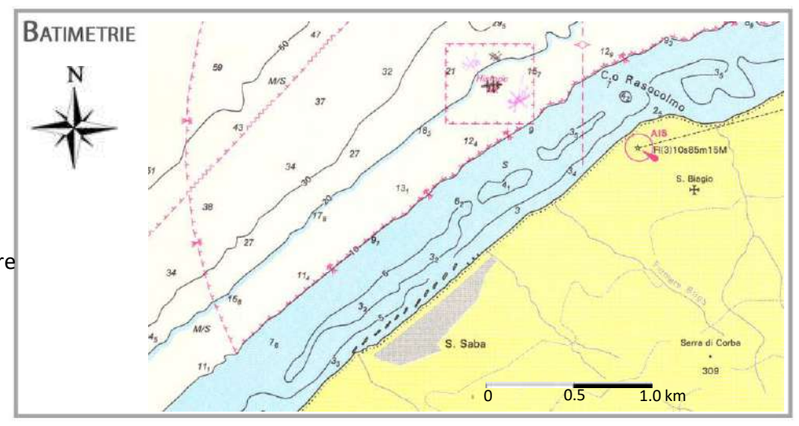
ANTROPICHE

- ☐ Tagli antropici
- ☐ Disboscamento
- ☐ Perdite d'acqua
- ☐ Sovraccarichi sulla cresta
- ☐ Riduzione apporti fluviali
- ☐ Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- ☐ Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

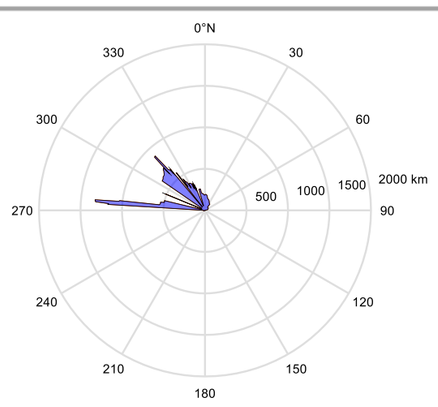


Clima Meteomarino

Batimetrie

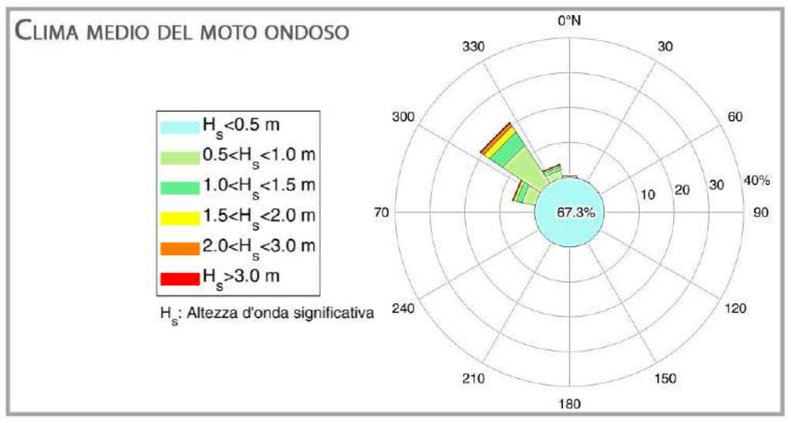


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	4.50	9.05
10	4.88	9.42
100	6.09	10.52

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti S.11.1.1 – Isola di Lampedusa

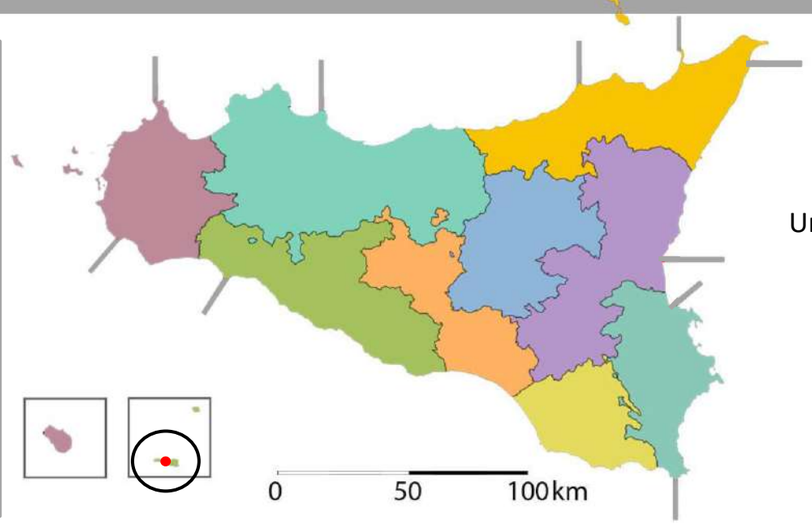
Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Agrigento

Comune: Lampedusa e Linosa

Unità Fisiografica: 11.1.1

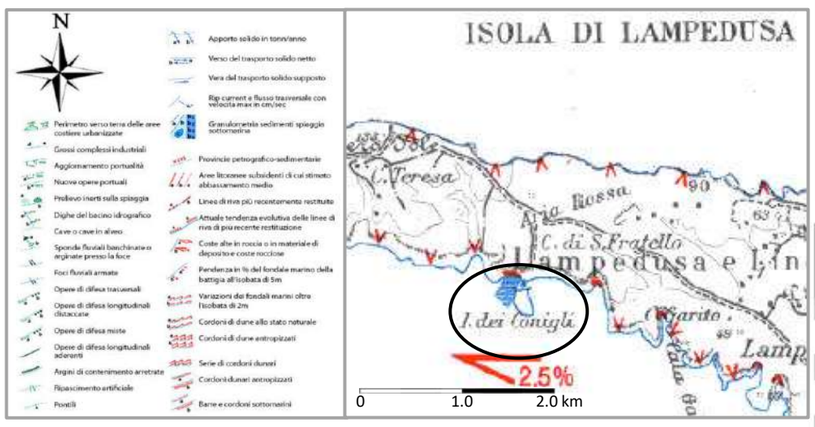
VERSANTE CANALE DI SICILIA



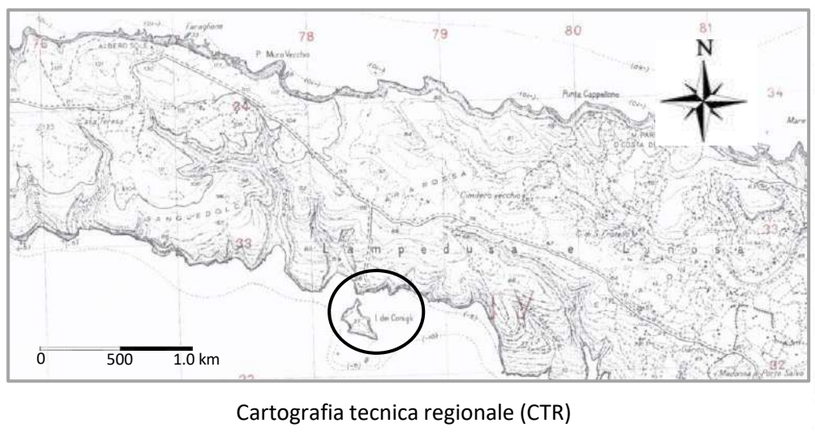
Unità fisiografica 11.1.1

I ordine
II ordine
III ordine

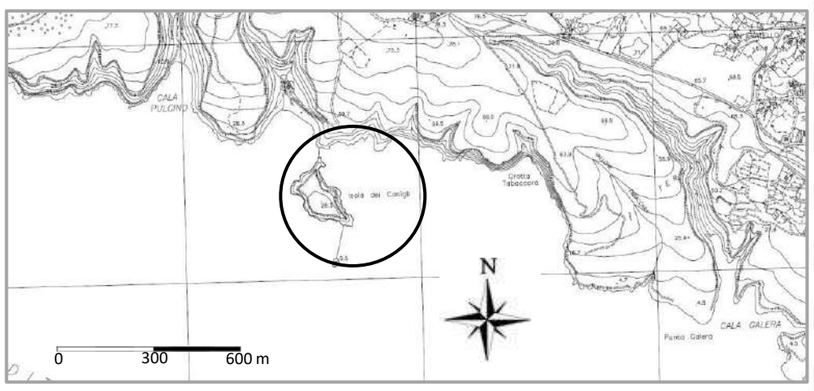
Atlante delle Coste



IGM 1:25000

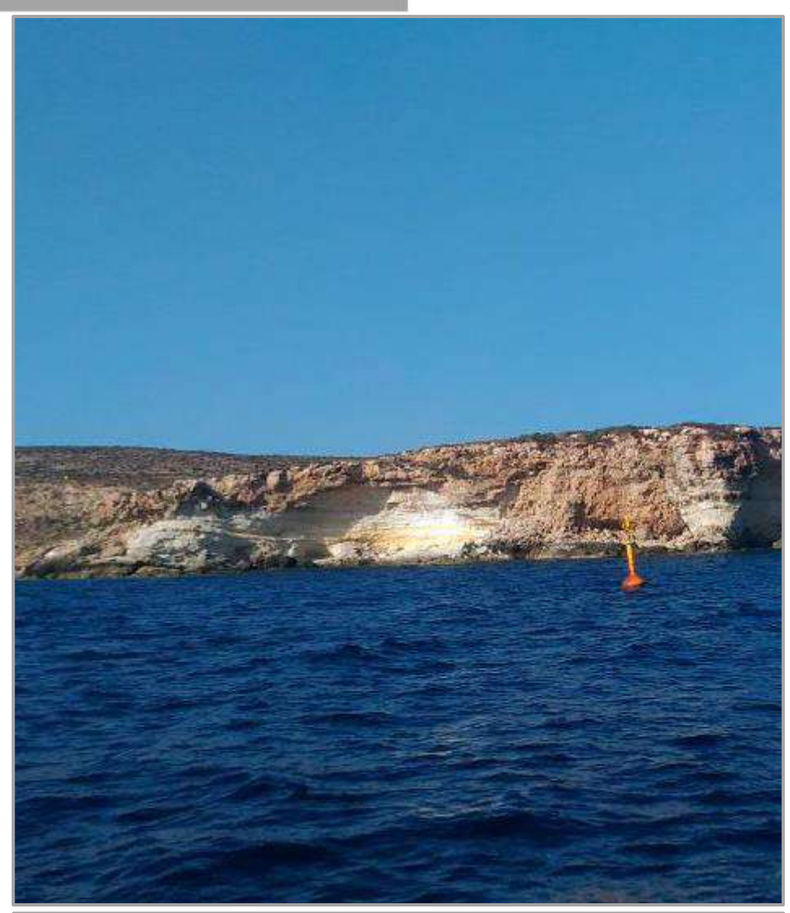


Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto Maggio 2020



DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi
- [ ] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [ ] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti
- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [x] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

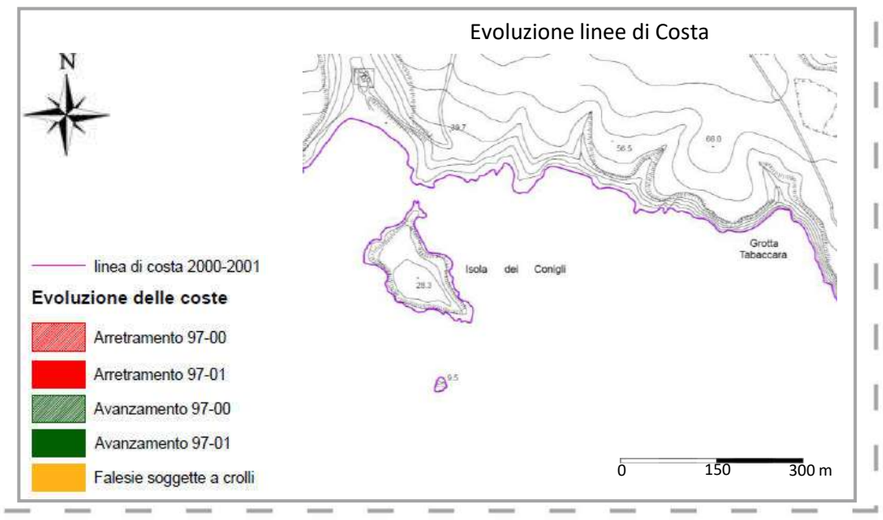
FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Evoluzione linee di Costa



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria:_____

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [x] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

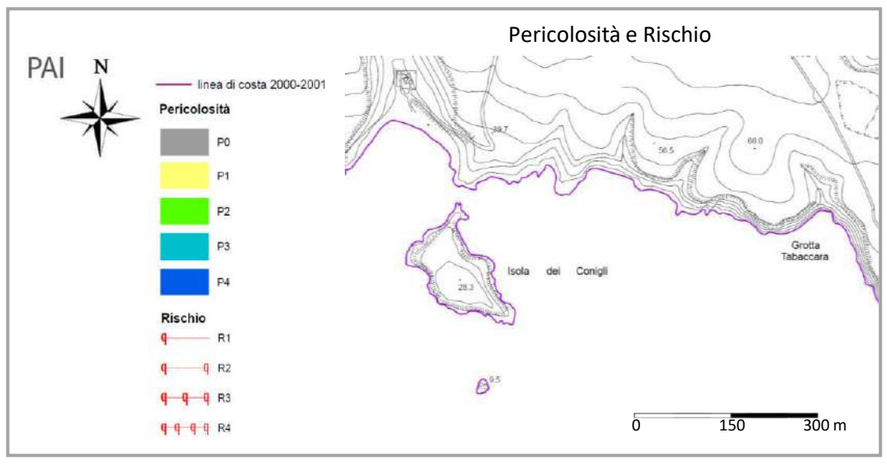
Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [ ] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [ ] Edifici privati sparsi
- [x] Altro Sito di grande interesse naturalistico e turistico

Vincoli

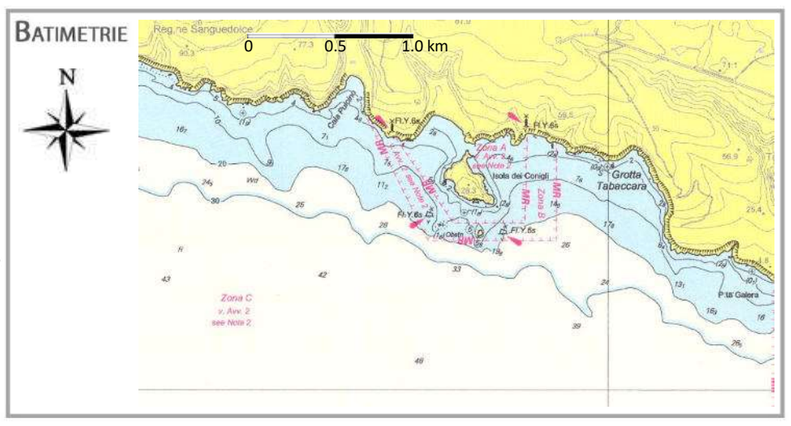
- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [x] Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA040013 Arcipelago delle Pelagie - area terrestre
- [x] Altro ITA040014 Fondali delle Isole Pelagie

Pericolosità e Rischio

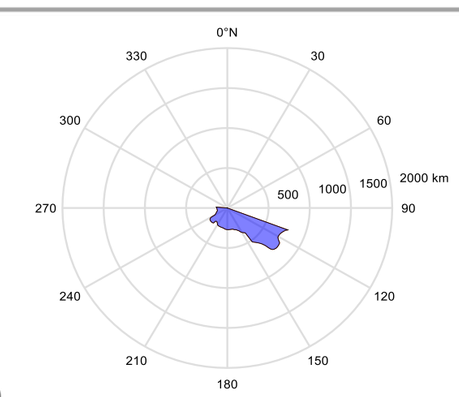


Clima Meteomarino

Batimetrie

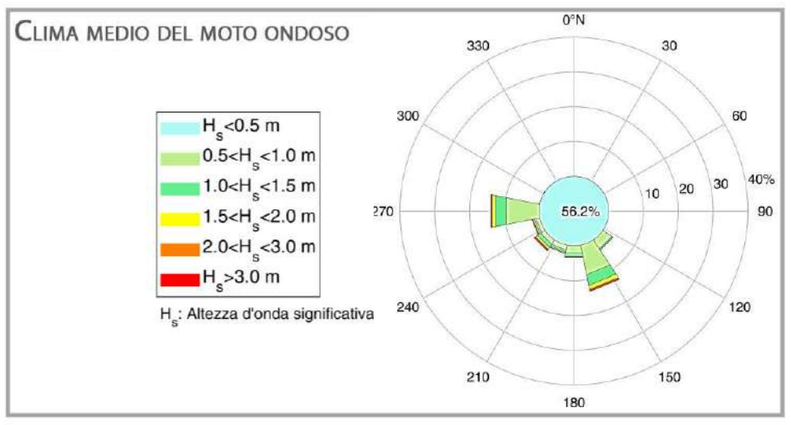


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	3.99	7.93
10	4.26	8.18
100	5.12	8.91

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

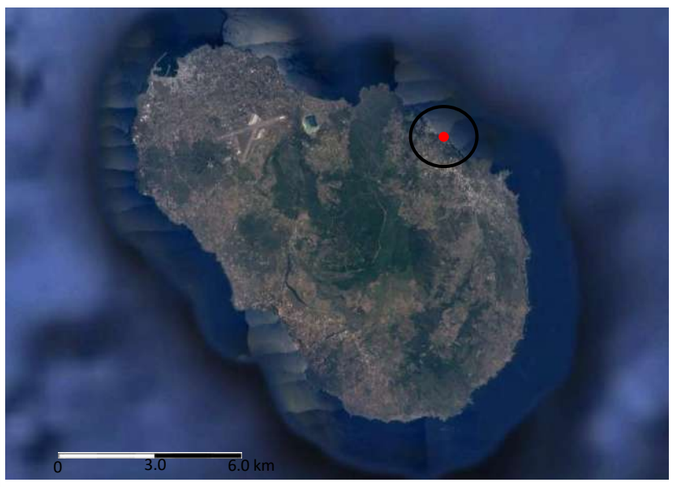
Scheda Tecnica dei Dissesti S.12.1.1 – Isola di Pantelleria

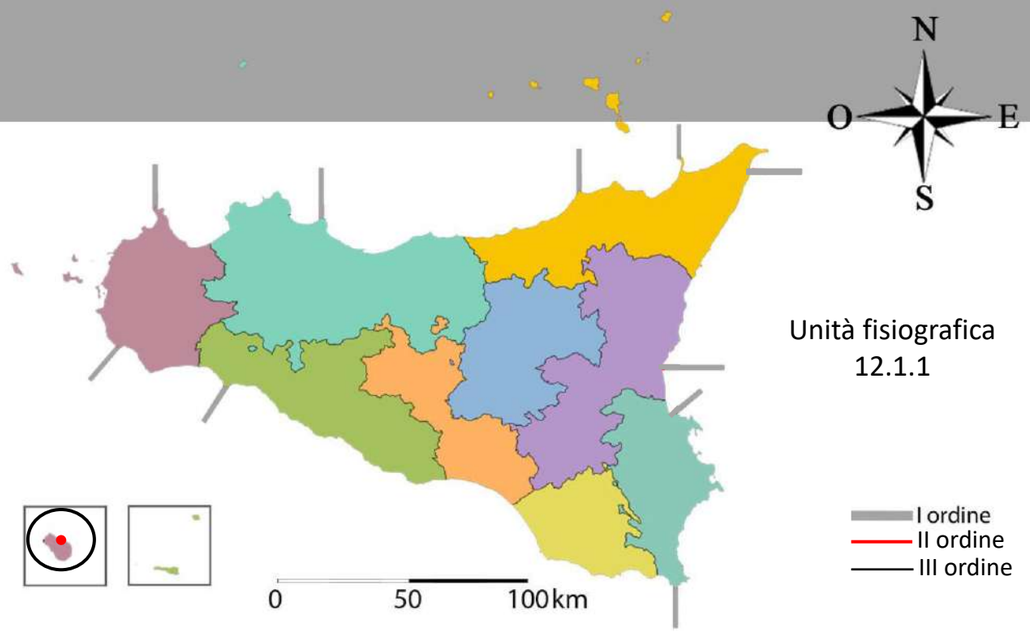
Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Trapani

Comune: Pantelleria Unità Fisiografica: 12.1.1

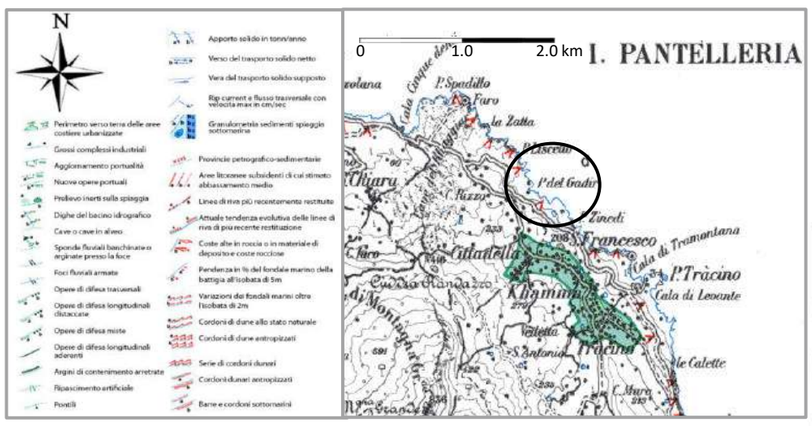
VERSANTE CANALE DI SICILIA



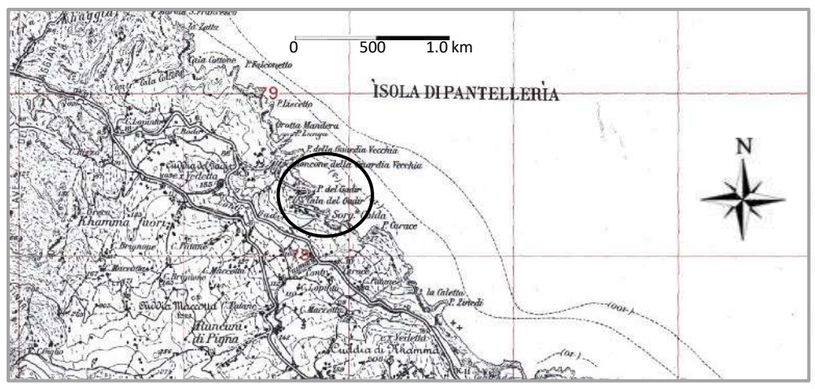


Unità fisiografica 12.1.1

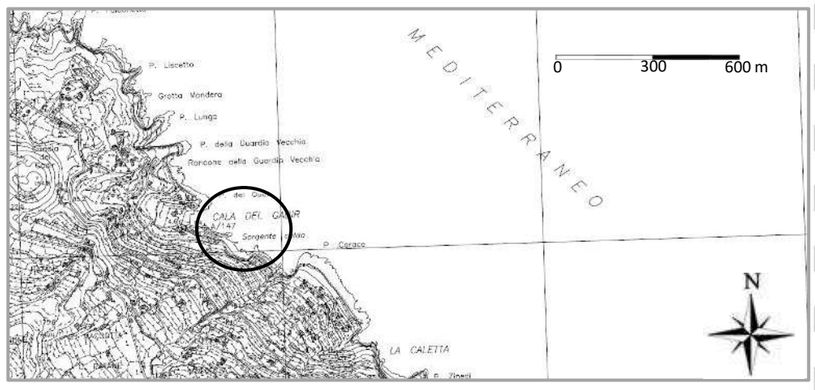
Atlante delle Coste



Cartografia IGM 1:25000

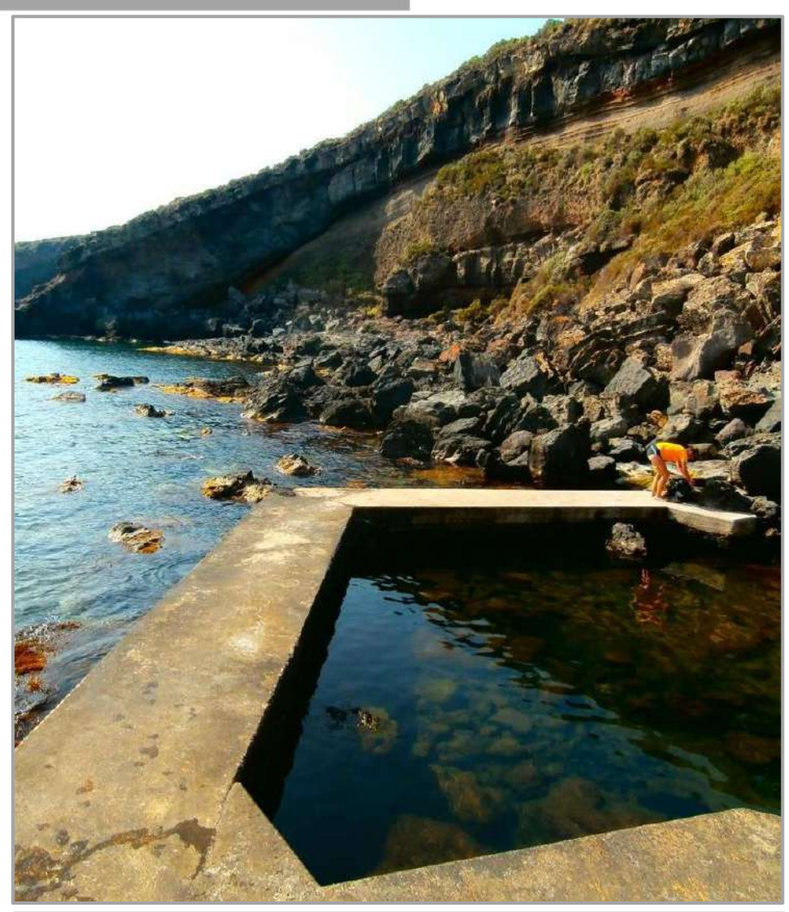


Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto 2017 - 2020



DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi

- [ ] Erosione
- [x] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [ ] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti

- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

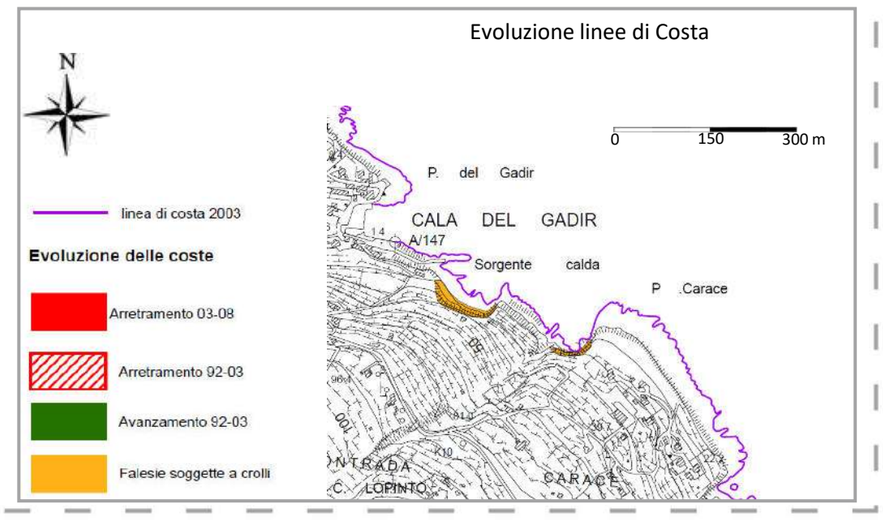
FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Evoluzione linee di Costa



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria:_____

CARATTERI LITOTECNICI

- [x] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [x] Altro E' previsto un intervento di rimozione dei massi pericolanti

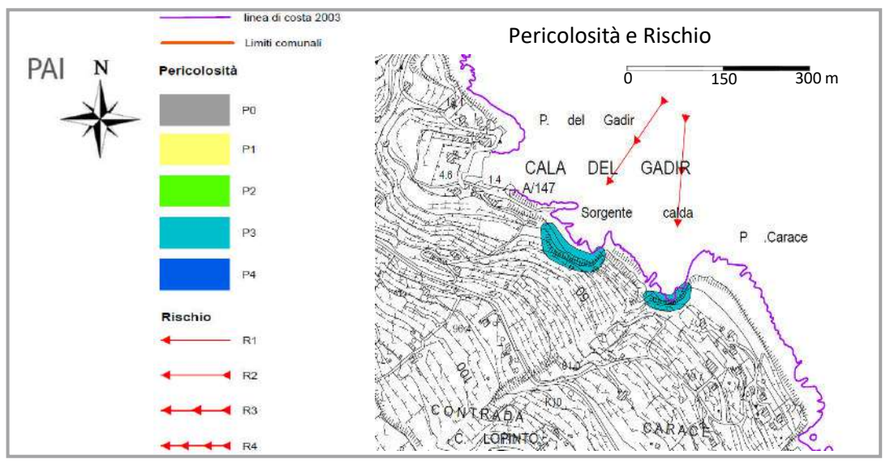
Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [ ] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [x] Altro Sorgente termale molto frequentata da turisti e balneanti

Vincoli

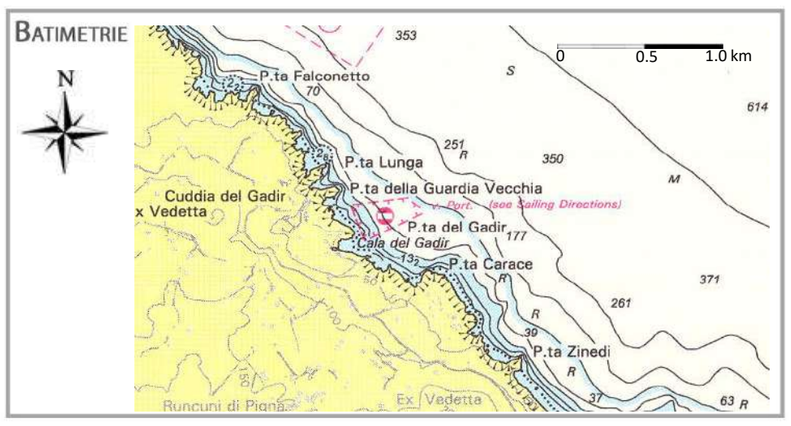
- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [x] Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA010030 Isola di Pantelleria ed area marina
- [x] Altro ITA010020 Isola di Pantelleria – Area Costiera, Falesie e Bagno dell'Acqua

Pericolosità e Rischio

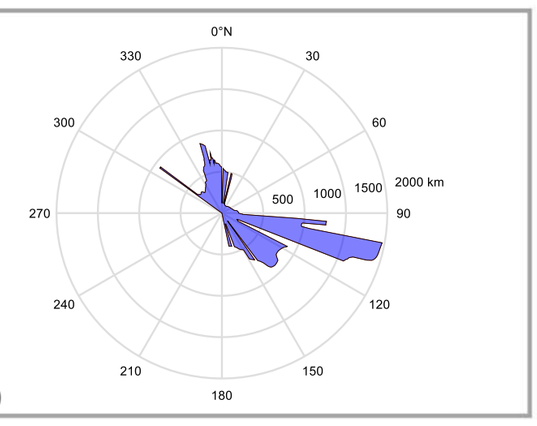


Clima Meteomarino

Batimetrie

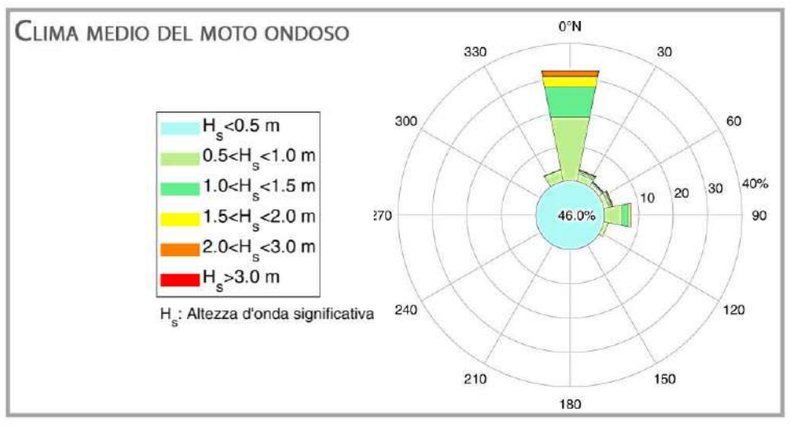


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	3.99	8.51
10	4.26	8.80
100	5.12	9.65

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

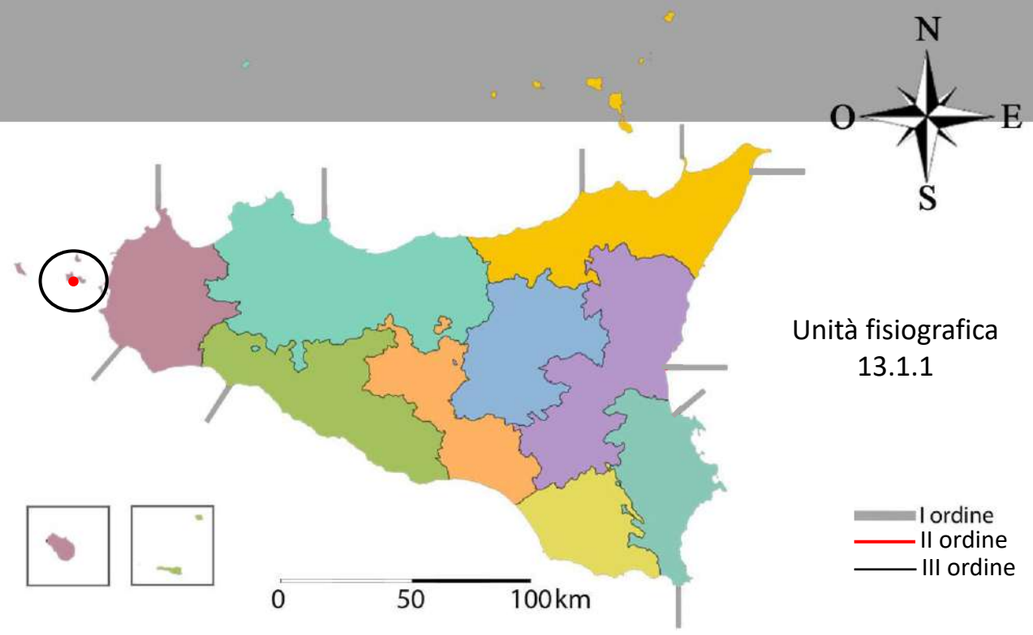
Scheda Tecnica dei Dissesti S.13.1.1 – Isola di Favignana

Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Trapani

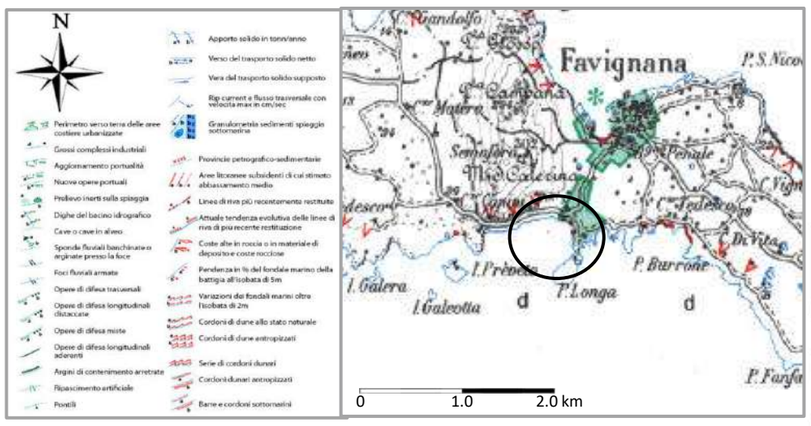
Comune: Favignana Unità Fisiografica: 13.1.1

VERSANTE CANALE DI SICILIA

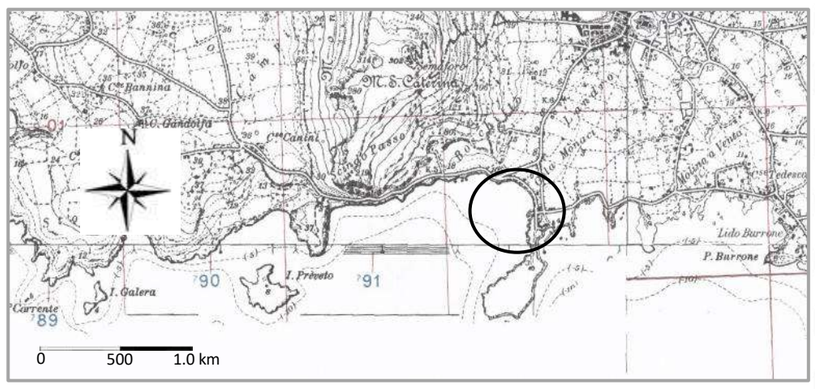


Unità fisiografica 13.1.1

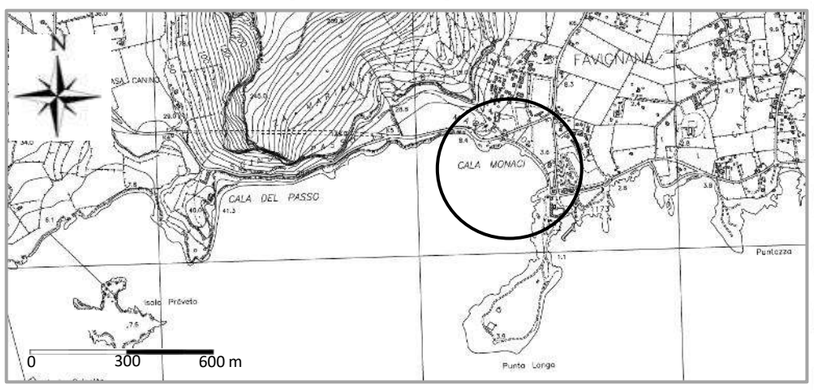
Atlante delle Coste



IGM 1:25000

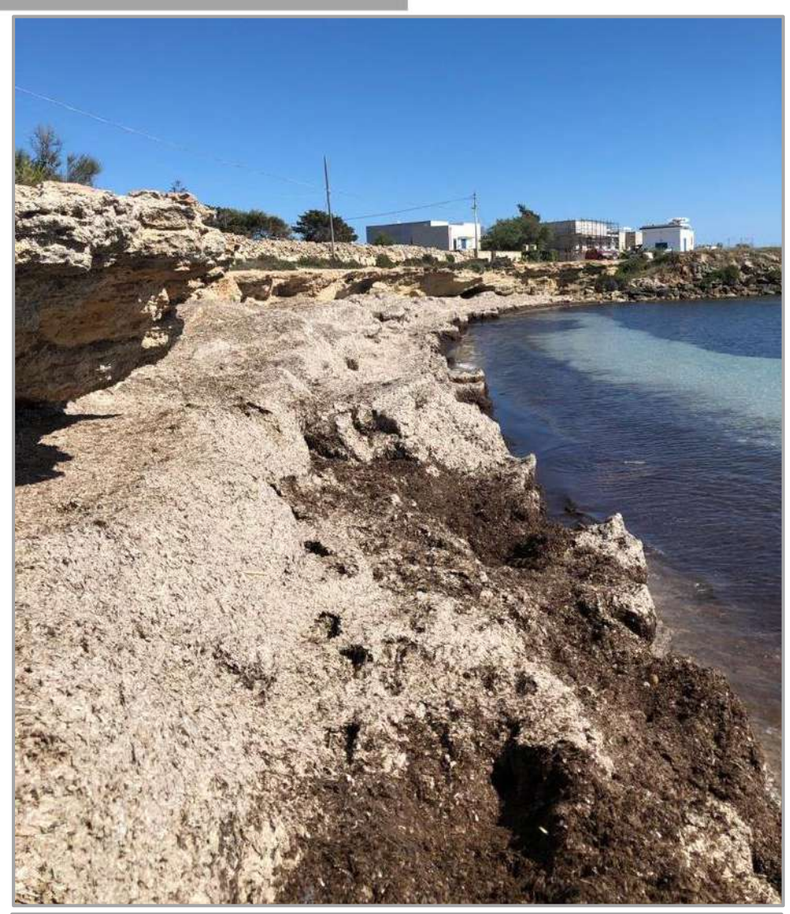


Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto Maggio 2020



DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi
- [x] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [x] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti
- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [ ] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

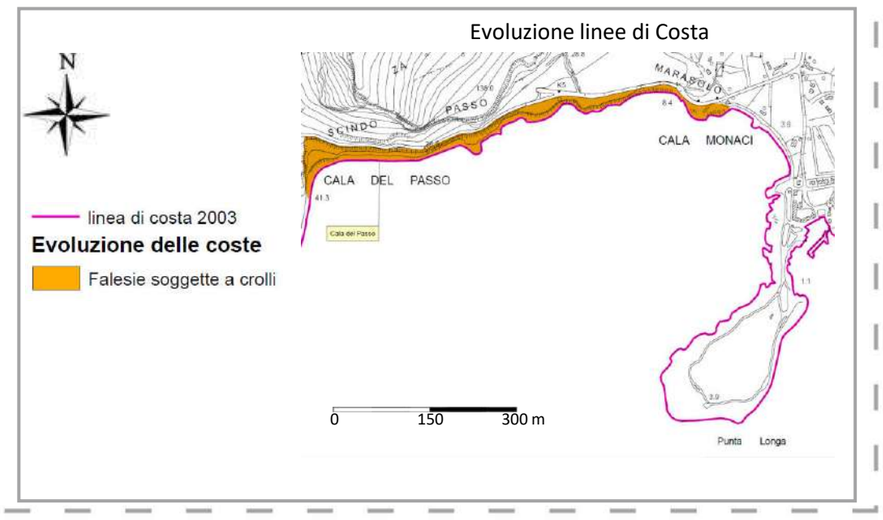
FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Evoluzione linee di Costa



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria:_____

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [x] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

Fino al recente passato era presente una sottile spiaggia emersa in fronte alla falesia

Opere di Difesa

- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

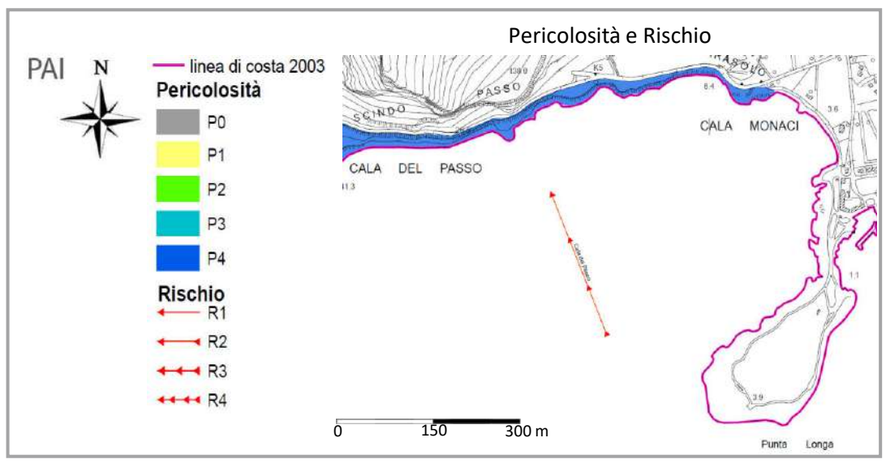
Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [x] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [ ] Altro_____

Vincoli

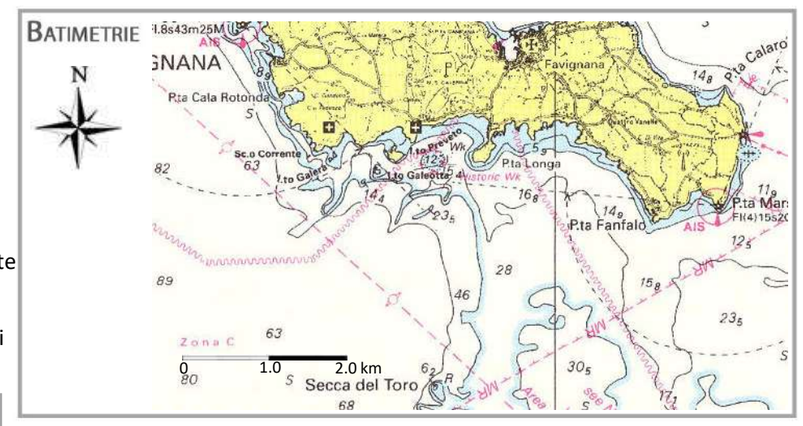
- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [x] Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA010027 Arcipelago delle Egadi area marina e terreste
- [x] Altro ITA010024 Fondali dell'arcipelago delle Isole Egadi

Pericolosità e Rischio

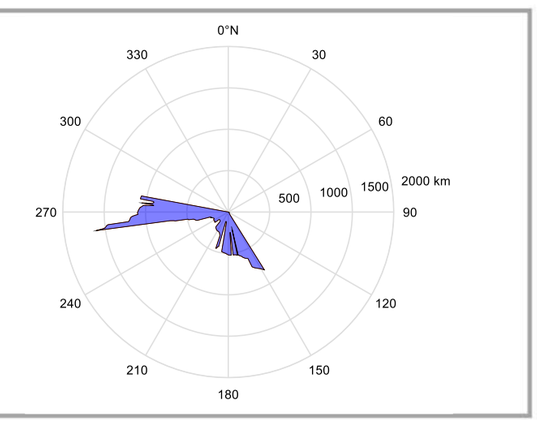


Clima Meteomarino

Batimetrie

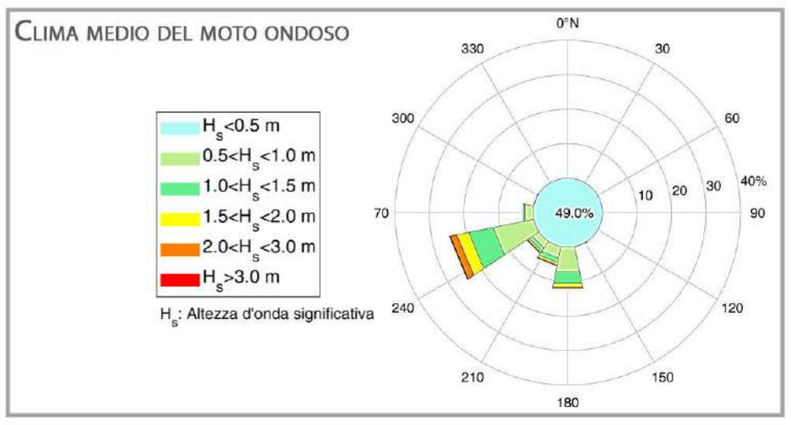


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

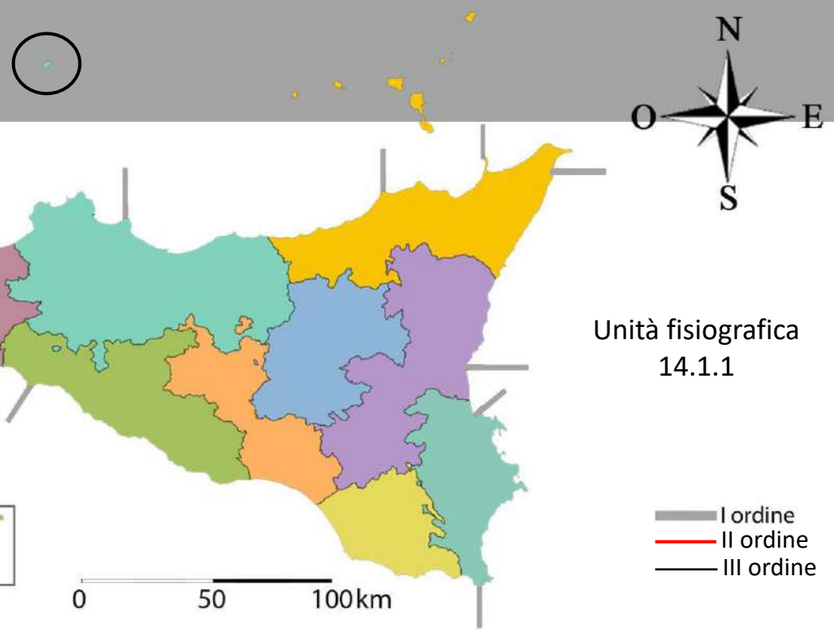
Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	3.87	8.38
10	4.06	8.59
100	4.63	9.17

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti

S.14.1.1 – Isola di Ustica



Unità fisiografica 14.1.1

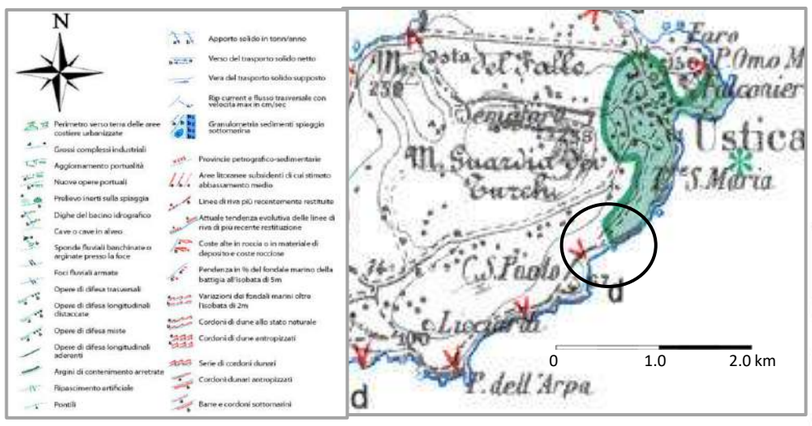
Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Palermo

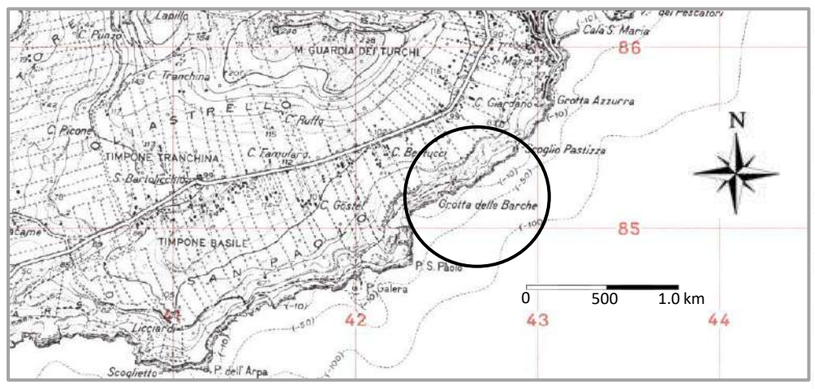
Comune: Ustica Unità Fisiografica: 14.1.1

VERSANTE TIRRENICO

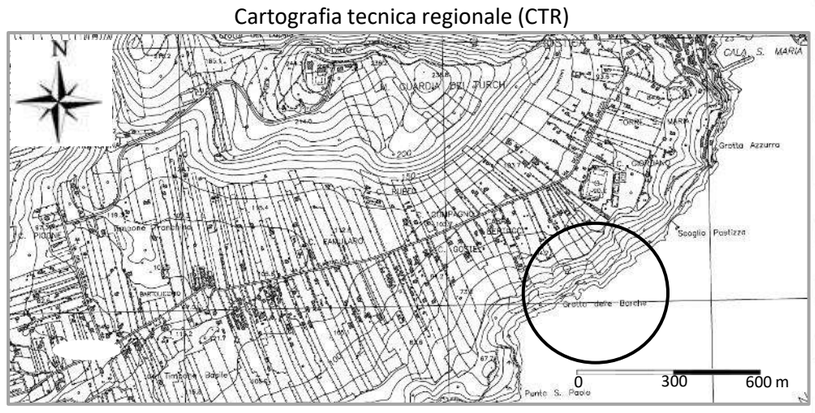
Atlante delle Coste



IGM 1:25000

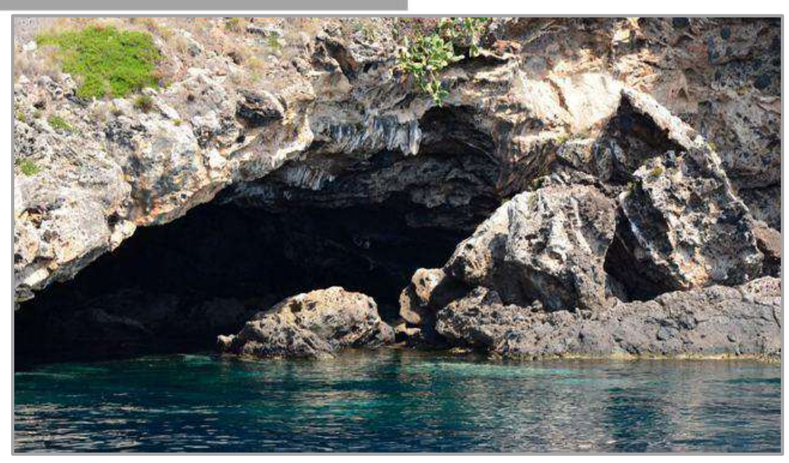


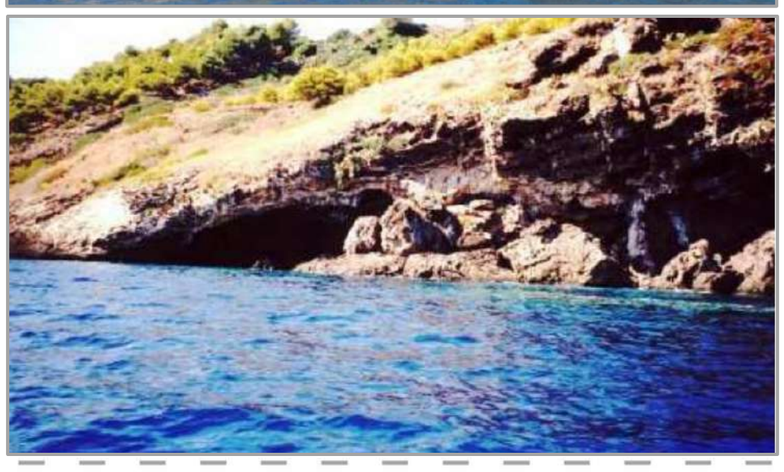
Cartografia tecnica regionale (CTR)



Dissesti

Foto 2017 - 2019





DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi

- [ ] Erosione
- [ ] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [ ] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti

- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [x] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

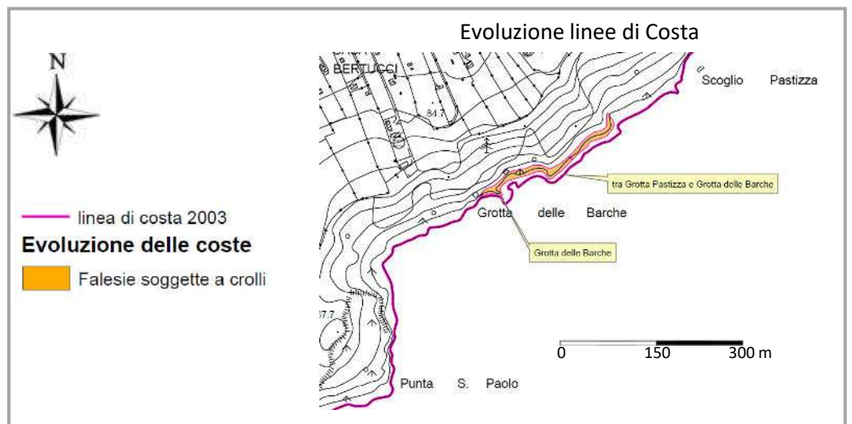
FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [ ] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

Evoluzione linee di Costa



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria:_____

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [x] Litotipo semicoerente
- [ ] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

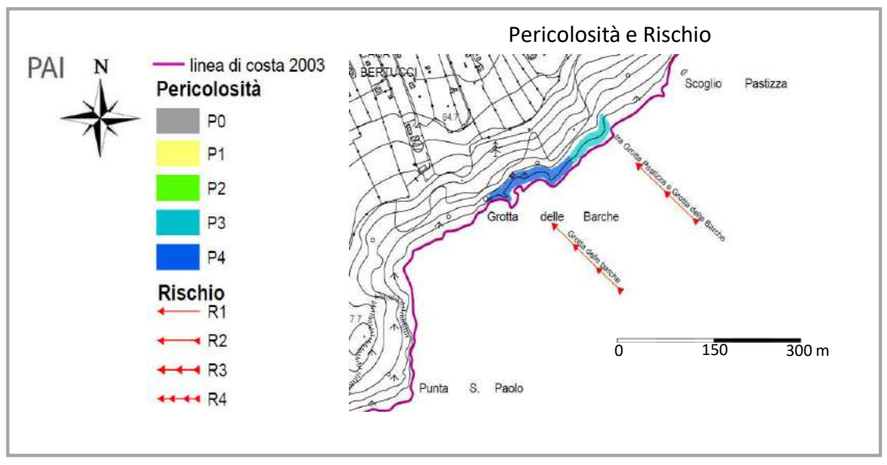
Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [ ] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [ ] Edifici privati sparsi
- [x] Altro Grotta di pregio naturalistico molto affollata nella stagione estiva

Vincoli

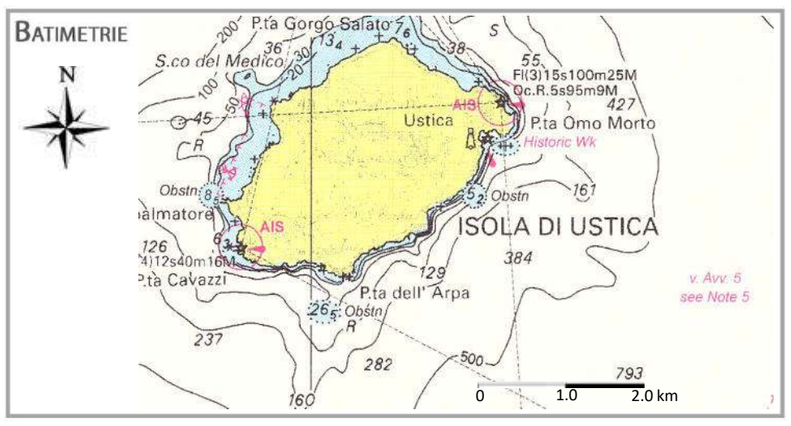
- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [x] Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA020010 Isola di Ustica
- [x] Altro ITA020046 Fondali dell'isola di Ustica

Pericolosità e Rischio

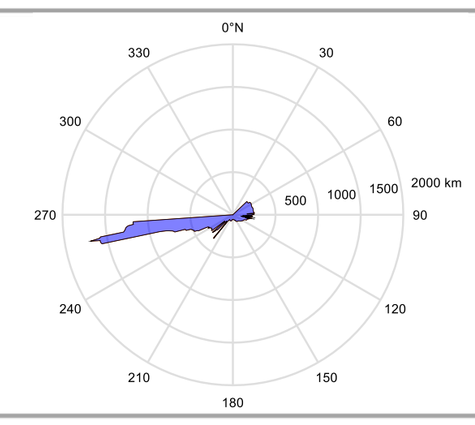


Clima Meteomarino

Batimetrie

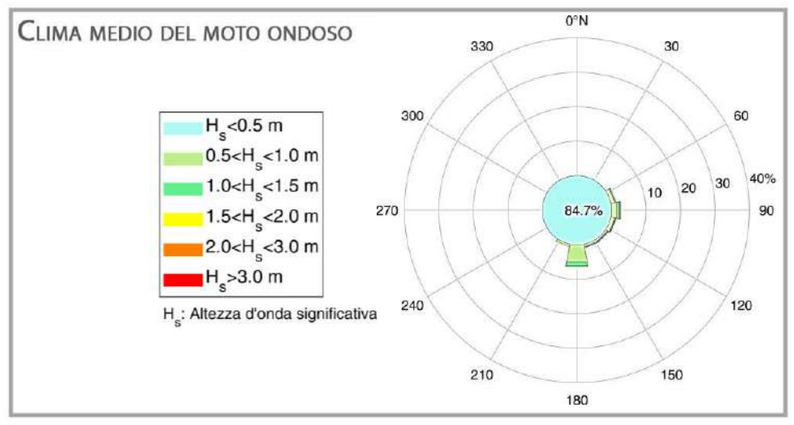


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



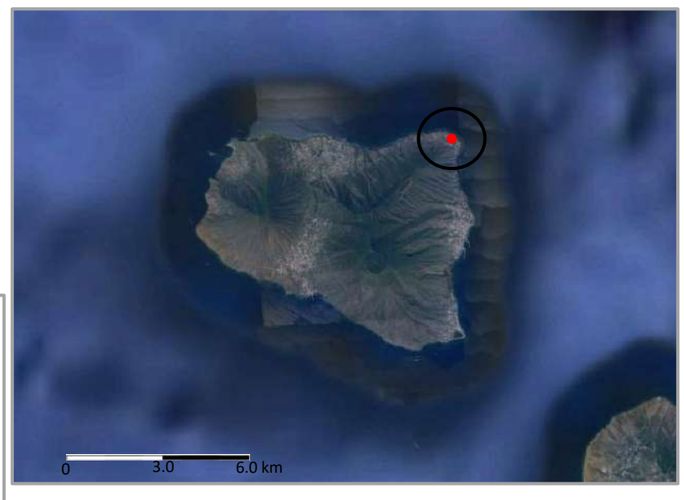
Eventi estremi

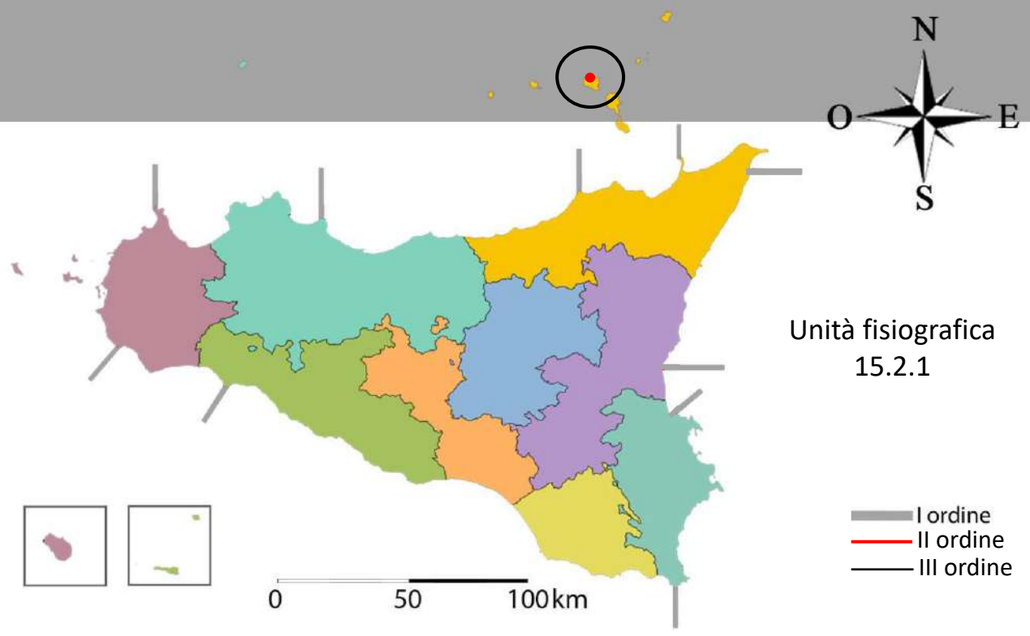
Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	2.69	7.00
10	2.95	7.32
100	3.80	8.31

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Scheda Tecnica dei Dissesti S.15.2.1 – Isola di Salina





Unità fisiografica 15.2.1

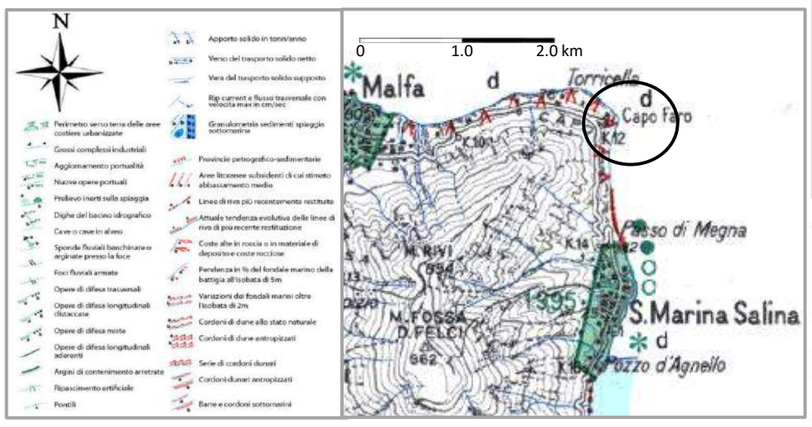
Inquadramento

Città Metropolitana/Libero consorzio comunale: Messina

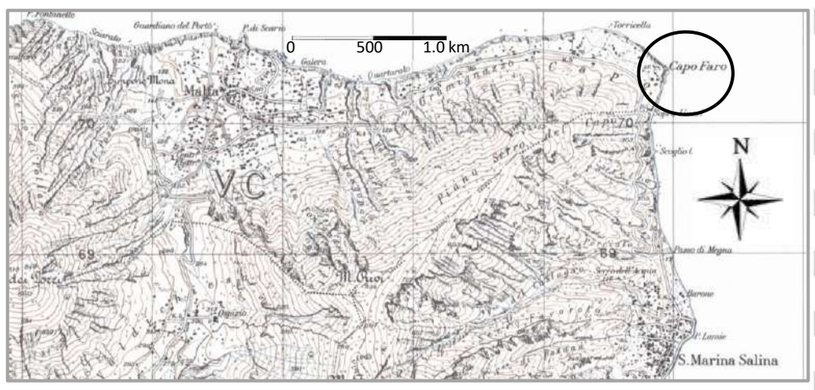
Comune: Malfa Unità Fisiografica: 15.2.1

VERSANTE TIRRENICO

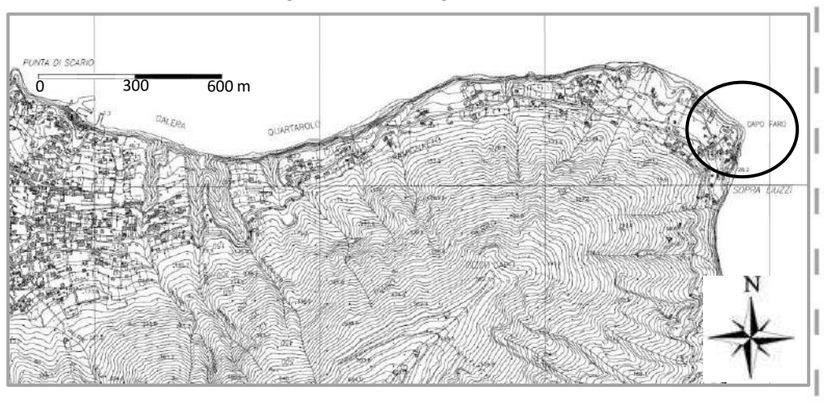
Atlante delle Coste



IGM 1:25000



Cartografia tecnica regionale (CTR)



Morfologia

CARATTERI GEOLOGICI

- [x] Roccia
- [ ] Materiale incoerente con granulometria:_____

CARATTERI LITOTECNICI

- [ ] Litotipo coerente
- [ ] Litotipo semicoerente
- [x] Litotipo pseudocoerente
- [ ] Litotipo incoerente

ASSETTO MORFOSTRUTTURALE E ULTERIORI INFORMAZIONI

_____

Opere di Difesa

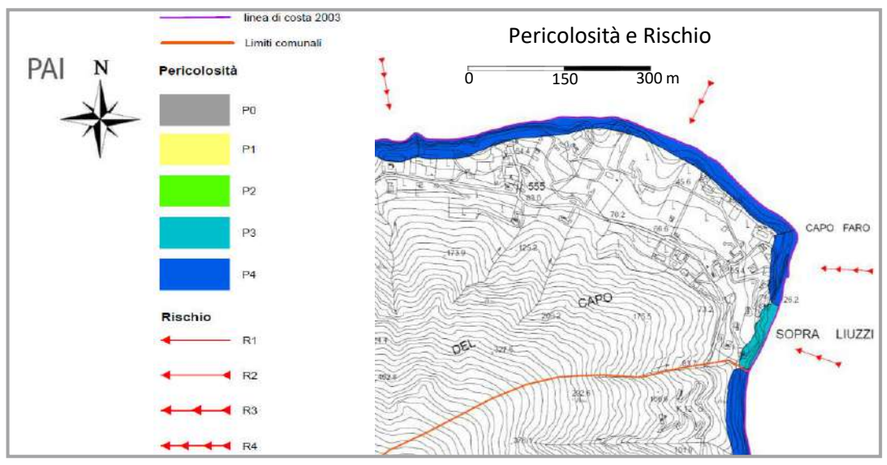
- [ ] Ripascimenti
- [ ] Barriere emerse
- [ ] Barriere soffolte
- [ ] Pennelli
- [ ] Scogliera radente
- [ ] Altro_____

Beni esposti a Rischio

- [ ] Ferrovia
- [ ] Strade extraurbane principali
- [ ] Strade extraurbane secondarie
- [ ] Centri abitati
- [x] Edifici privati sparsi
- [x] Altro Strada pedonale di accesso al mare

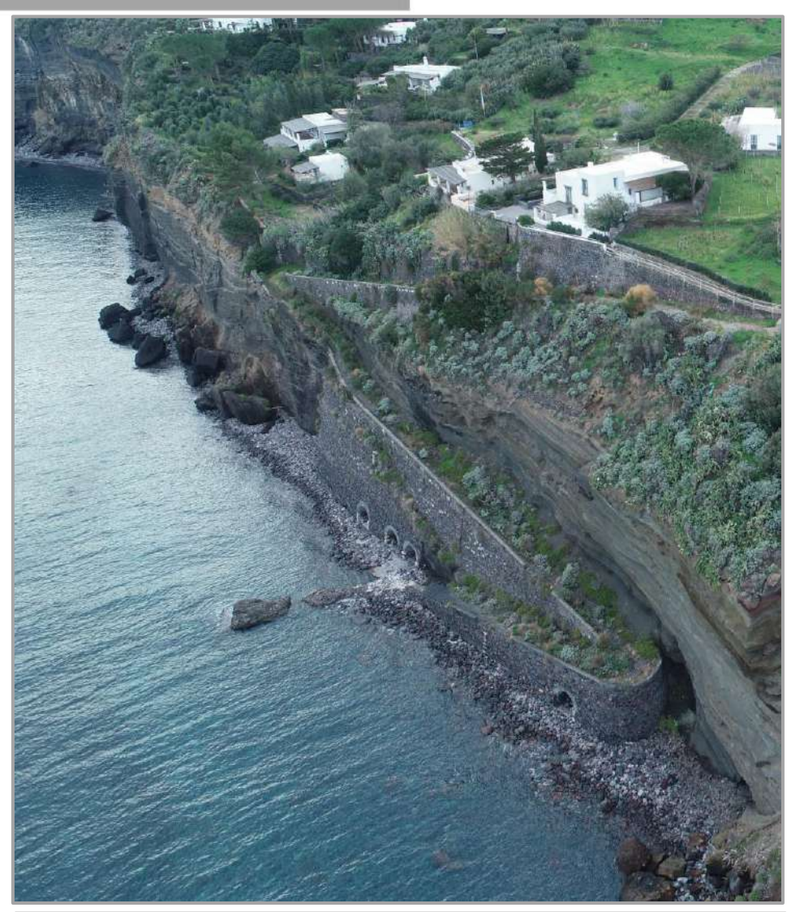
Vincoli

- [ ] Vincolo Idrogeologico _____
- [ ] Vincolo archeologico _____
- [ ] Vincolo Paesaggistico _____
- [ ] Vincolo Boschivo _____
- [x] Vincolo SIC/ZSC/ZPS ITA0300041 Fondali dell'isola di Salina
- [x] Altro ITA030044 Arcipelago delle Eolie – area marina e terrestre



Dissesti

Foto Gennaio 2020



DESCRIZIONE DISSESTI

STATO

- [x] Attivo
- [ ] Quiescente

- [x] Crolli
- [ ] Ribaltamenti
- [ ] Insabbiamenti
- [ ] Accumulo eccessivo
- [ ] Movimenti complessi
- [ ] Erosione
- [x] Crollo di strutture antropiche
- [ ] Scivolamenti
- [ ] Scorrimenti
- [ ] Altro_____

SEGNI PREMONITORI

- [ ] Arretramento della linea di spiaggia
- [ ] Accumulo sedimenti in prossimità di strutture portuali
- [ ] Cedimenti
- [ ] Lesioni ai manufatti
- [x] Crolli localizzati
- [ ] Inclinazione di pali o alberi
- [ ] Fenditure, fratture
- [ ] Altro_____

STRUTTURE E FORME PREDISPONENTI

INTRINSECHE

- [x] Materiale alterato e/o fratturato
- [ ] Superfici di taglio preesistenti
- [ ] Constrasto di competenza
- [ ] Orientazione sfavorevole

GEOMORFOLOGICHE

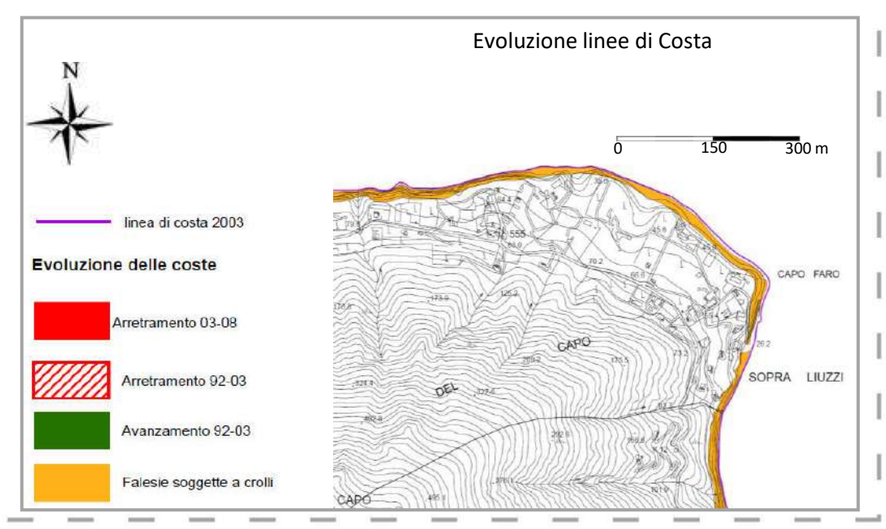
- [x] Moto ondoso al piede
- [ ] Erosione per ruscellamento
- [ ] Asportazione vegetazione
- [ ] Erosione sotterranea

FISICHE

- [ ] Precipitazioni intense
- [ ] Alluvionamento
- [ ] Aloclastismo
- [ ] Inadeguata regimentazione delle acque meteoriche

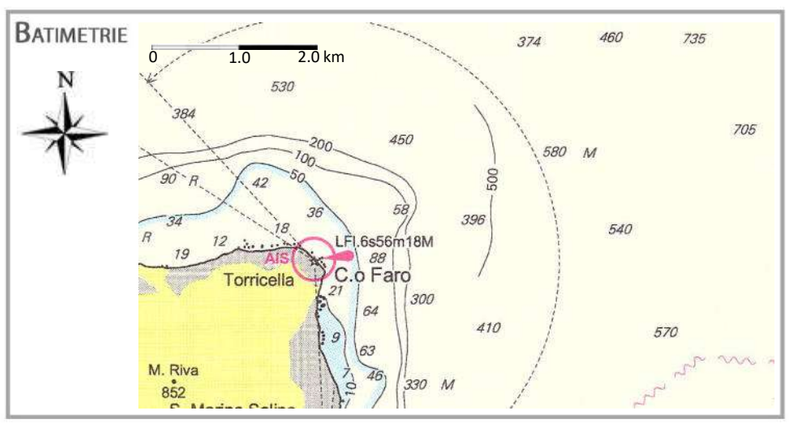
ANTROPICHE

- [ ] Tagli antropici
- [ ] Disboscamento
- [ ] Perdite d'acqua
- [x] Sovraccarichi sulla cresta
- [ ] Riduzione apporti fluviali
- [ ] Riduzione opere portuali e/o di difesa sulla costa
- [ ] Realizzazione strutture riflettenti sulla spiaggia

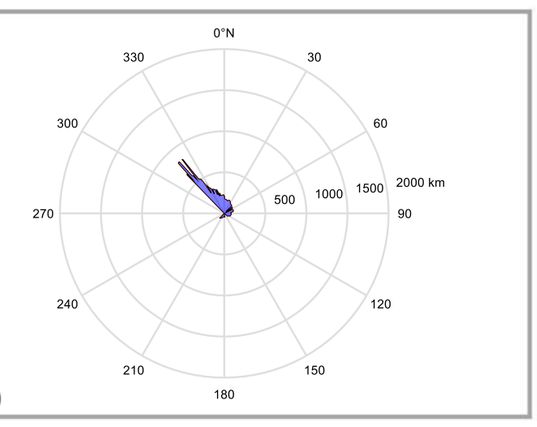


Clima Meteomarino

Batimetrie

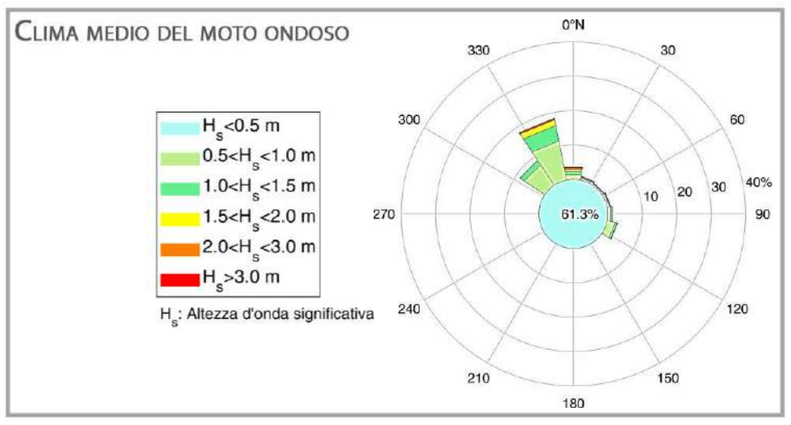


Fetch geografico*



*(punto sulla batimetrica -20m s.l.m.)

Clima medio del moto ondoso



Eventi estremi

Altezza d'Onda

T_R [anni]	H_s^* [m]	Tp [s]
5	3.59	8.08
10	3.83	8.35
100	4.58	9.12

*(in corrispondenza della batimetrica -20m s.l.m.)

Identificativo Spiaggia: CT.CT.C

Comune: Catania

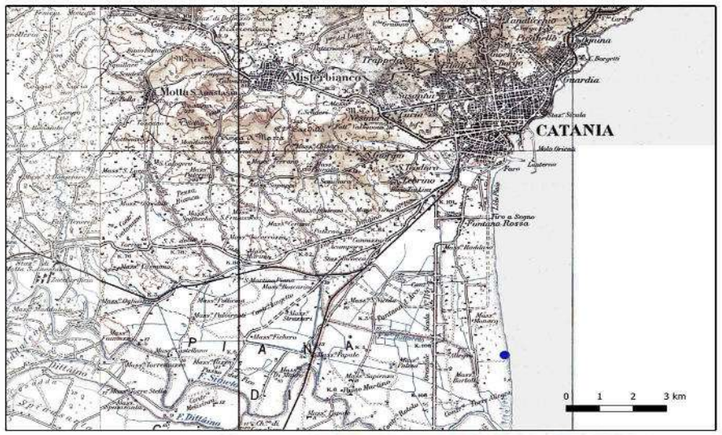
Provincia: Catania

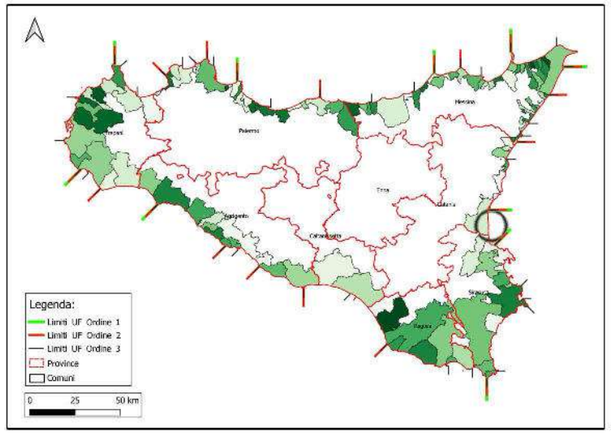
Identificativo Unità Fisiografica: 2.1.1

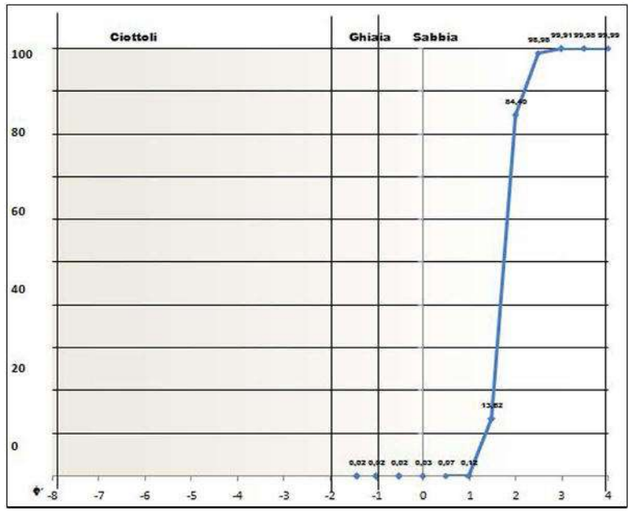
Unità Fisiografica ordine 1: 2

Unità Fisiografica ordine 2: 1

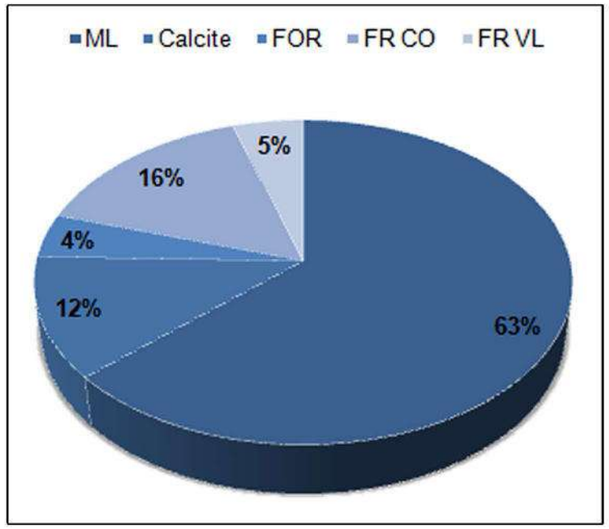
Unità Fisiografica ordine 3: 1

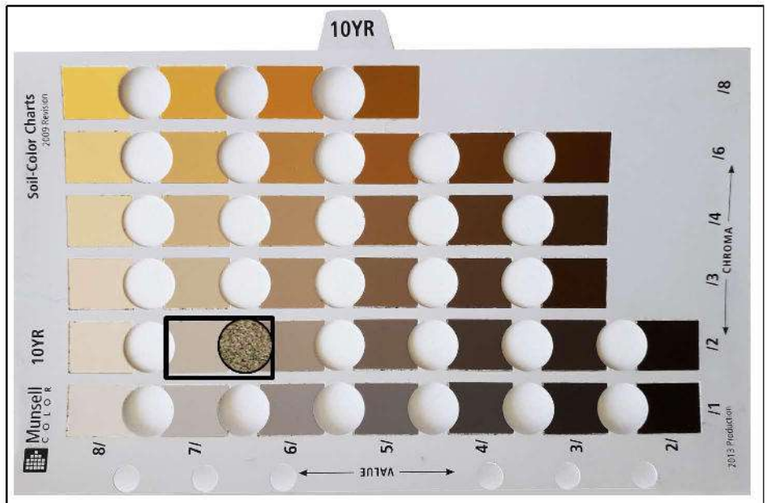




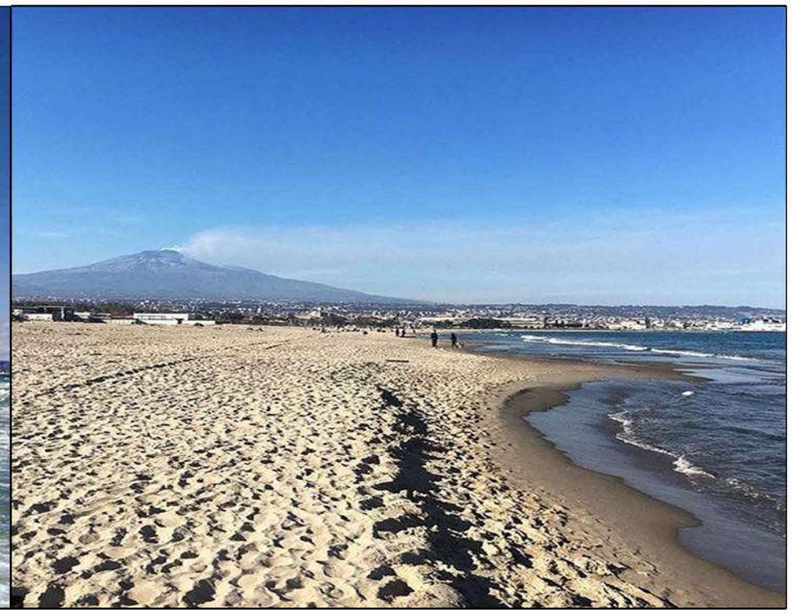


Parametri Statistici	
D. medio:	1,757 *Mz*
Dev. standard:	0,299 *s*
Skewness:	0,013 *Sk*
Kurtosis:	1,372 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,757





HUE 10YR 7/2 Light Gray



Identificativo Spiaggia: SR.SR.P

Comune: Siracusa

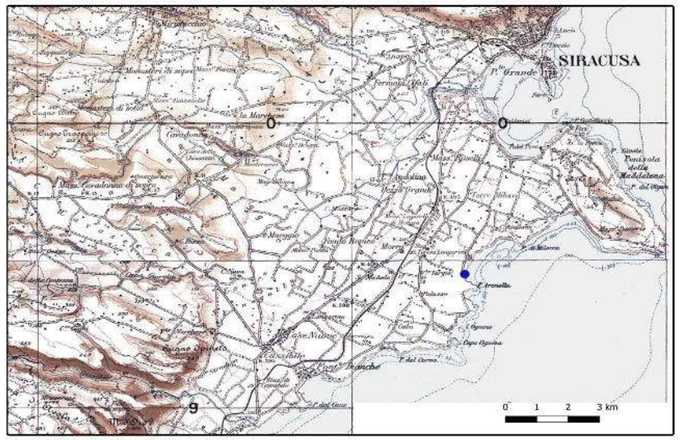
Provincia: Siracusa

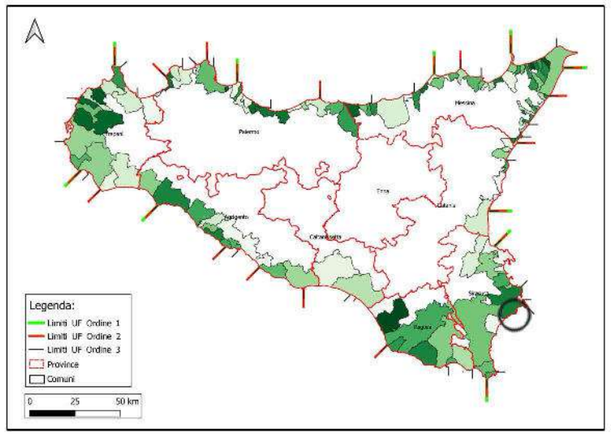
Identificativo Unità Fisiografica: 3.1.4

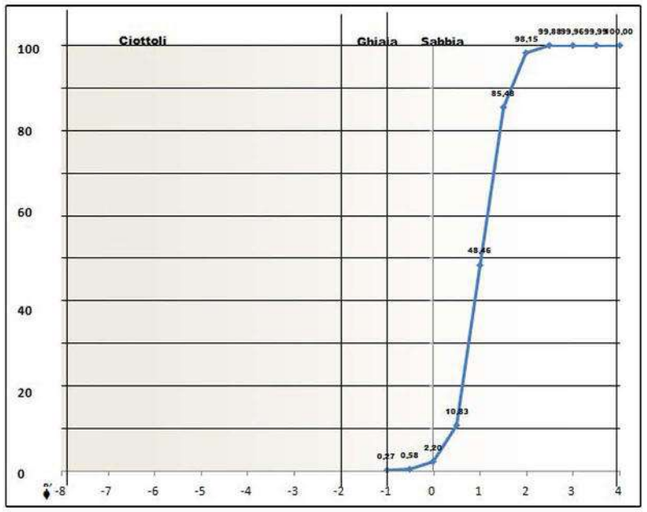
Unità Fisiografica ordine 1: 3

Unità Fisiografica ordine 2: 1

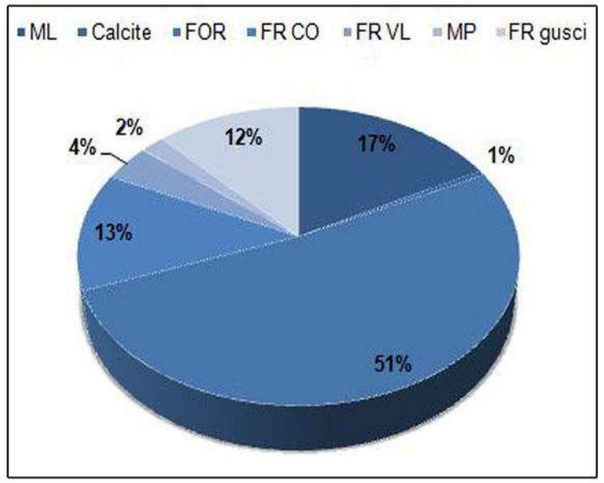
Unità Fisiografica ordine 3: 4







Parametri Statistici	
D. medio:	1,023 *Mz*
Dev. standard:	0,487 *s*
Skewness:	0,003 *Sk*
Kurtosis:	1,048 *Kg*
Moda:	1,000 *g*
Mediana:	1,021



Identificativo Spiaggia: SR.SR.S

Comune: Siracusa

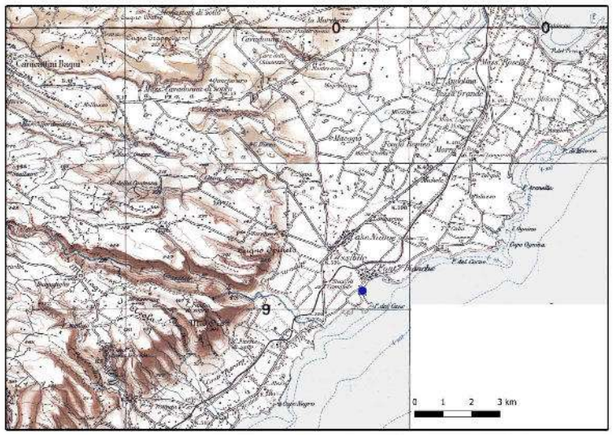
Provincia: Siracusa

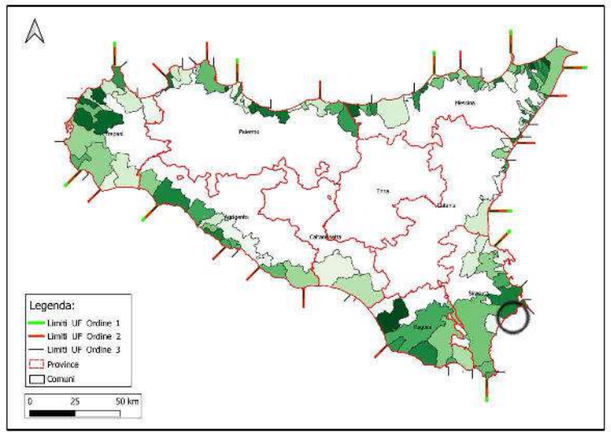
Identificativo Unità Fisiografica: 3.1.4

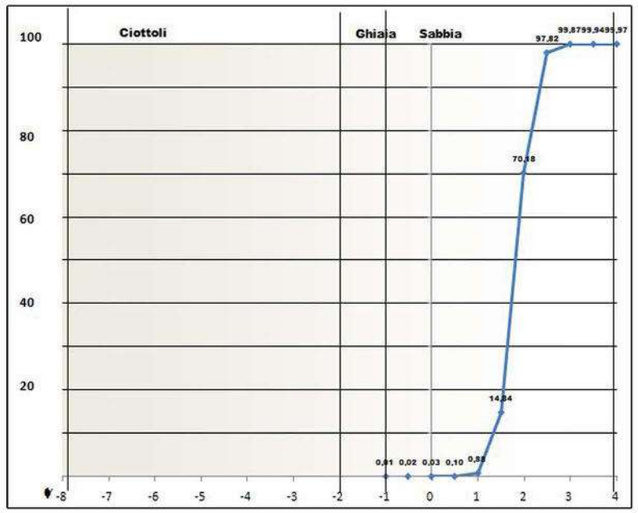
Unità Fisiografica ordine 1: 3

Unità Fisiografica ordine 2: 1

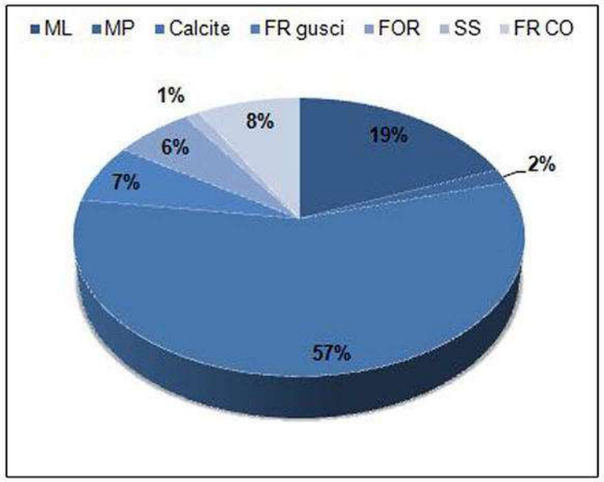
Unità Fisiografica ordine 3: 4

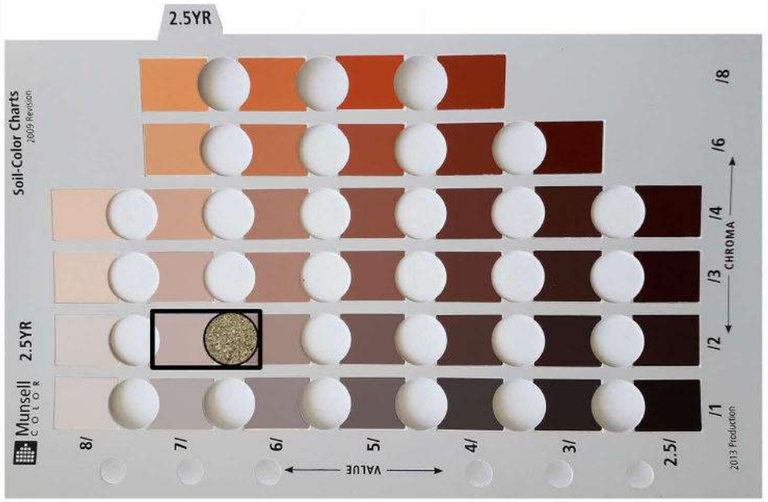






Parametri Statistici	
D. medio:	1,859 *Mz*
Dev. standard:	0,382 *s*
Skewness:	0,070 *Sk*
Kurtosis:	1,077 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,818





HUE 2.5 YR 7/2 Pink Red

Identificativo Spiaggia: SR.SR.S

Comune: Avola

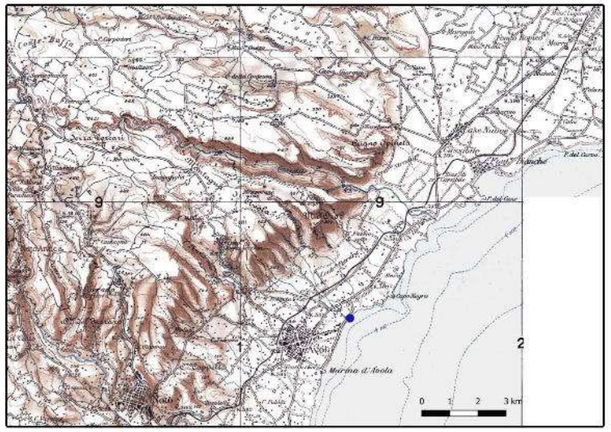
Provincia: Siracusa

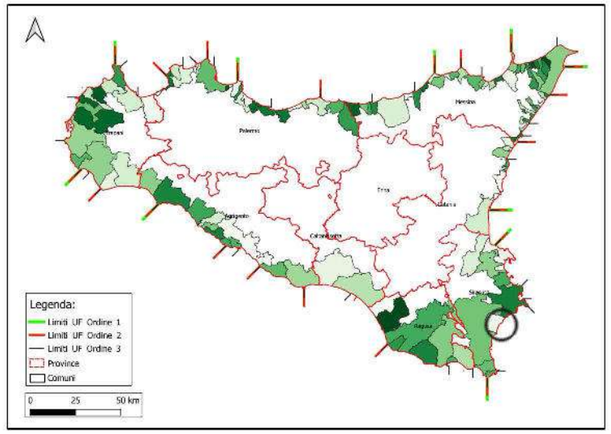
Identificativo Unità Fisiografica: 3.1.4

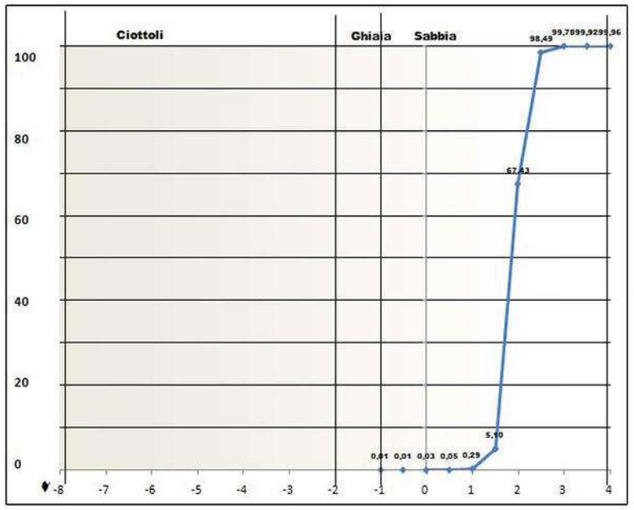
Unità Fisiografica ordine 1: 3

Unità Fisiografica ordine 2: 1

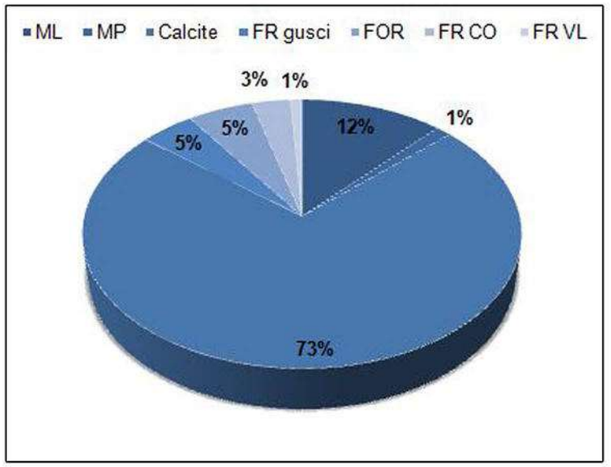
Unità Fisiografica ordine 3: 4

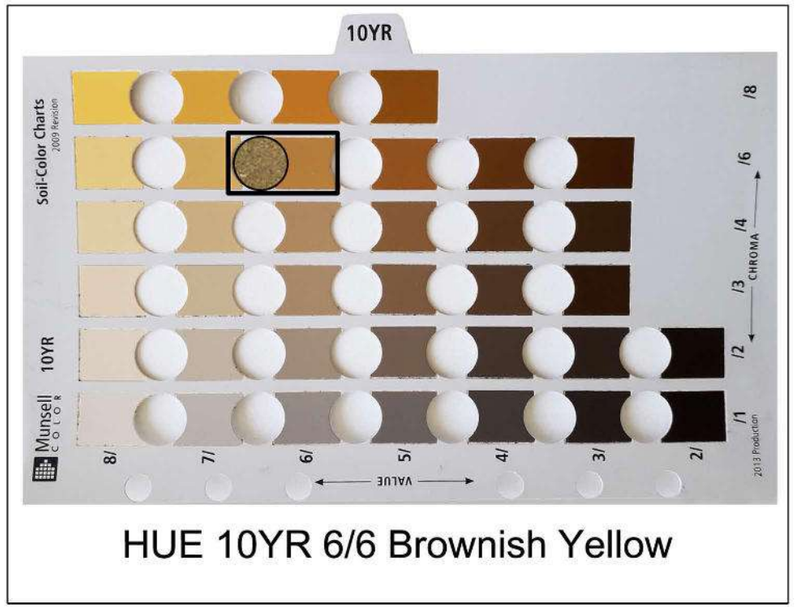




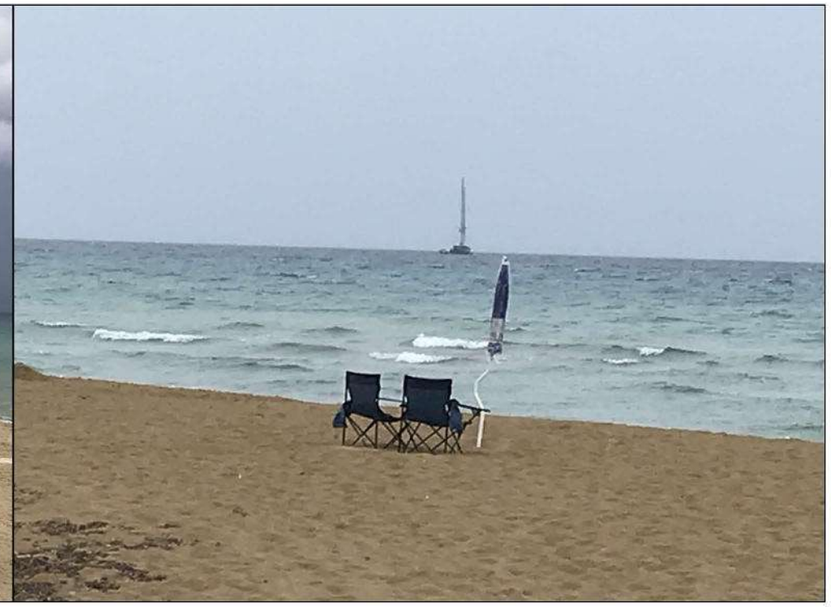


Parametri Statistici	
D. medio:	1,905 *Mz*
Dev. standard:	0,314 *s*
Skewness:	0,210 *Sk*
Kurtosis:	0,846 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,860





HUE 10YR 6/6 Brownish Yellow



Identificativo Spiaggia: SR.NO.D

Comune: Noto

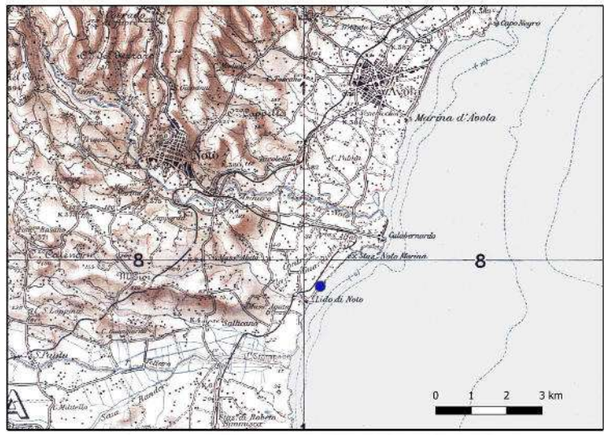
Provincia: Siracusa

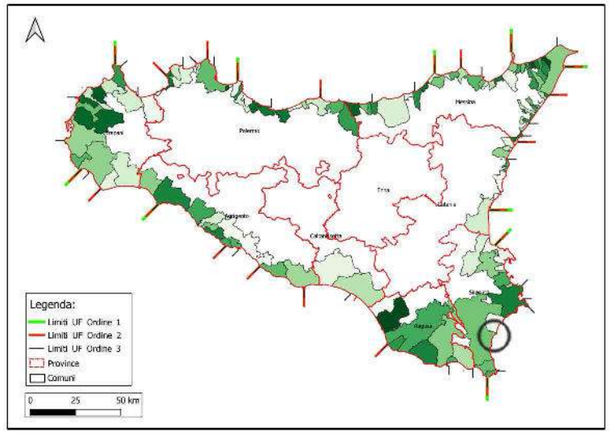
Identificativo Unità Fisiografica: 3.1.4

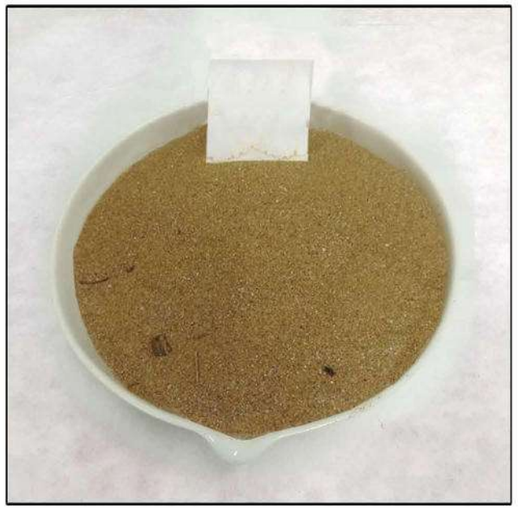
Unità Fisiografica ordine 1: 3

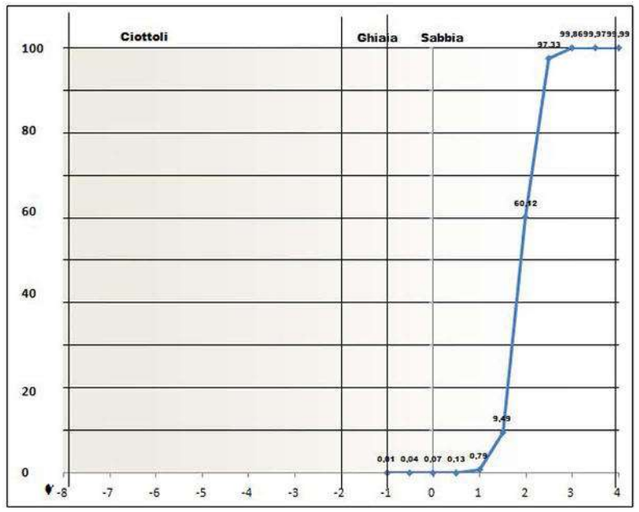
Unità Fisiografica ordine 2: 1

Unità Fisiografica ordine 3: 4

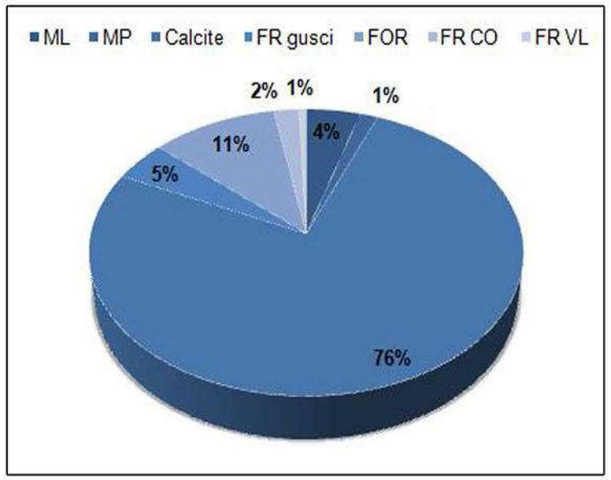








Parametri Statistici	
D. medio:	1,928 *Mz*
Dev. standard:	0,375 *s*
Skewness:	0,020 *Sk*
Kurtosis:	0,920 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,900



Identificativo Spiaggia: SR.NO.R

Comune: Noto

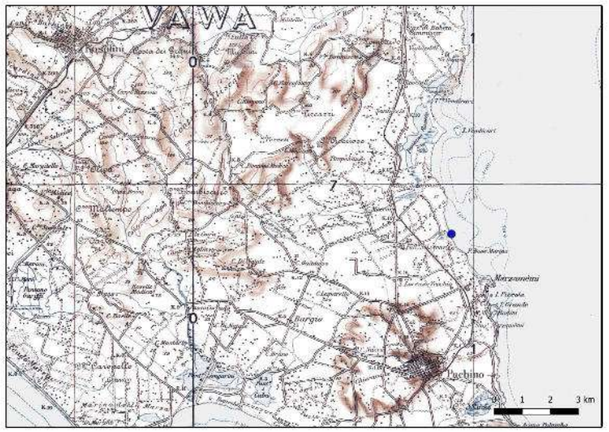
Provincia: Siracusa

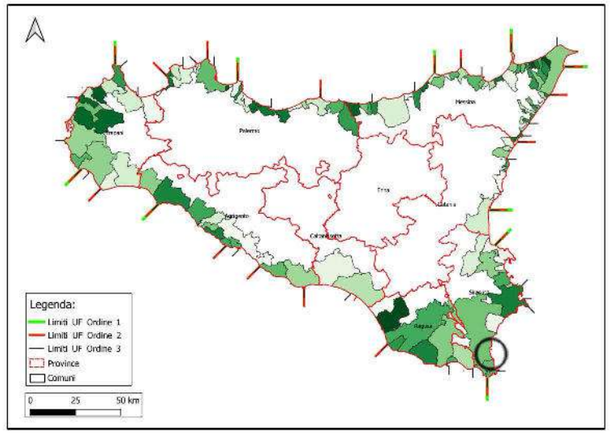
Identificativo Unità Fisiografica: 3.1.4

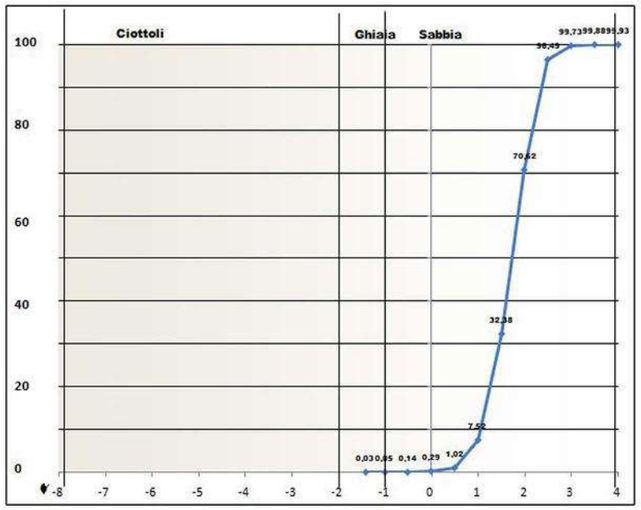
Unità Fisiografica ordine 1: 3

Unità Fisiografica ordine 2: 1

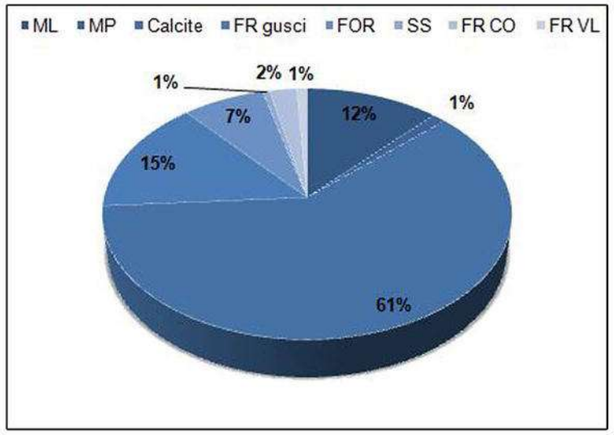
Unità Fisiografica ordine 3: 4

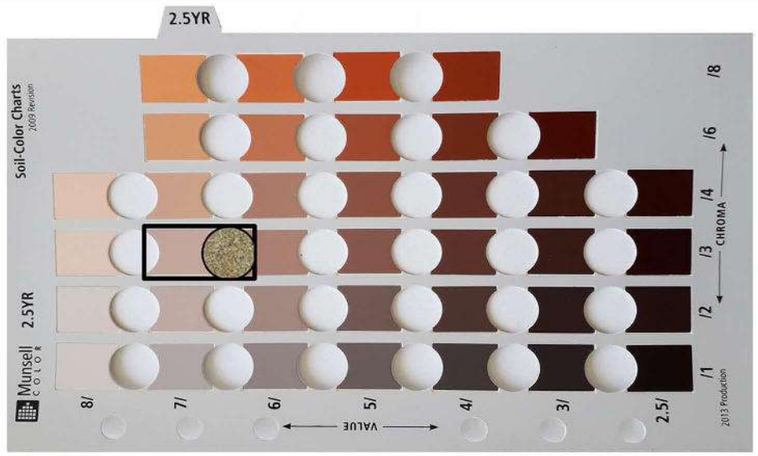






Parametri Statistici		
D. medio:	1,720	*Mz*
Dev. standard:	0,524	*s*
Skewness:	-0,070	*Sk*
Kurtosis:	0,931	*Kg*
Moda:	2,000	*g*
Mediana:	1,730	





HUE 2.5YR 7/3 Light Reddish Brown

Identificativo Spiaggia: SR.NO.S

Comune: Noto

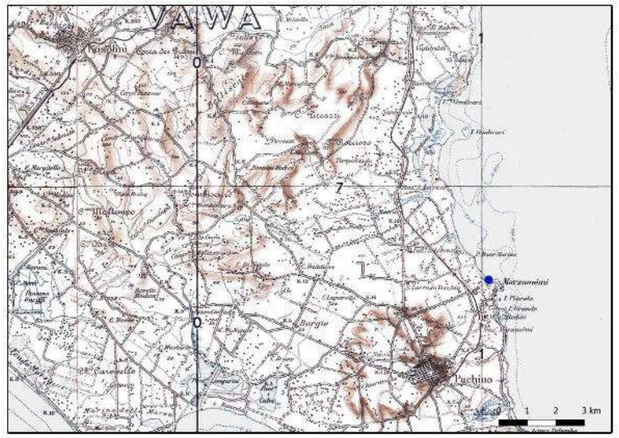
Provincia: Siracusa

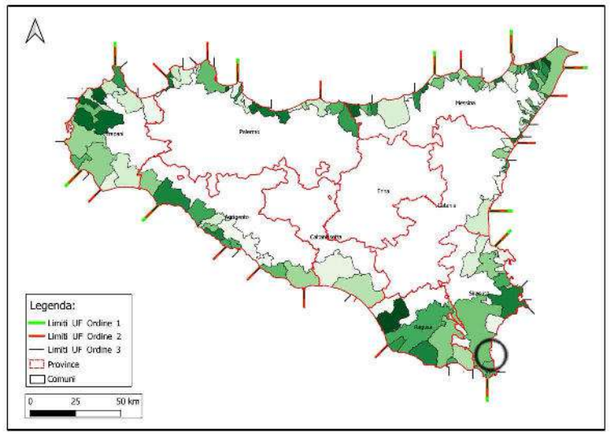
Identificativo Unità Fisiografica: 3.1.4

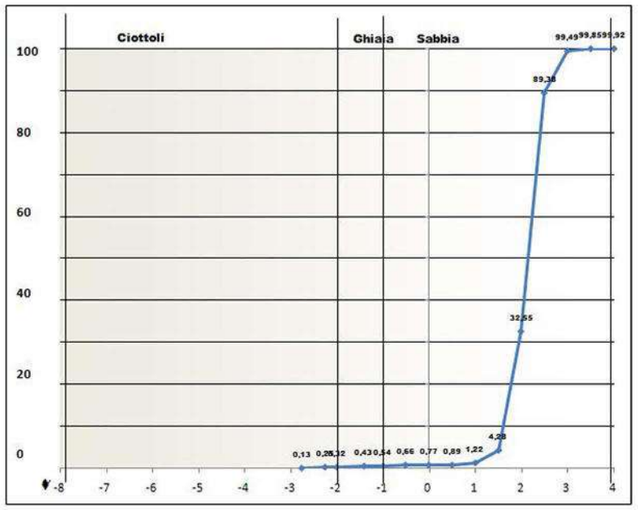
Unità Fisiografica ordine 1: 3

Unità Fisiografica ordine 2: 1

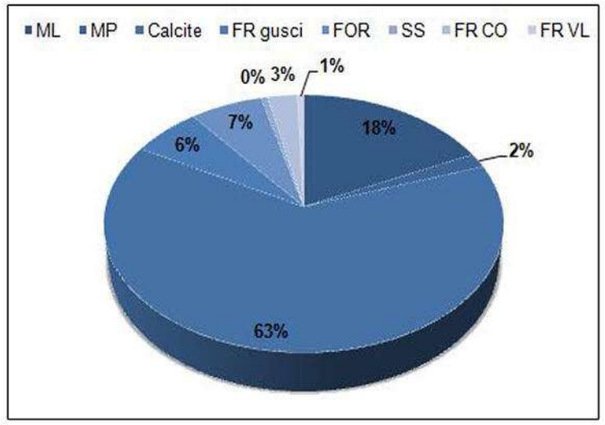
Unità Fisiografica ordine 3: 4

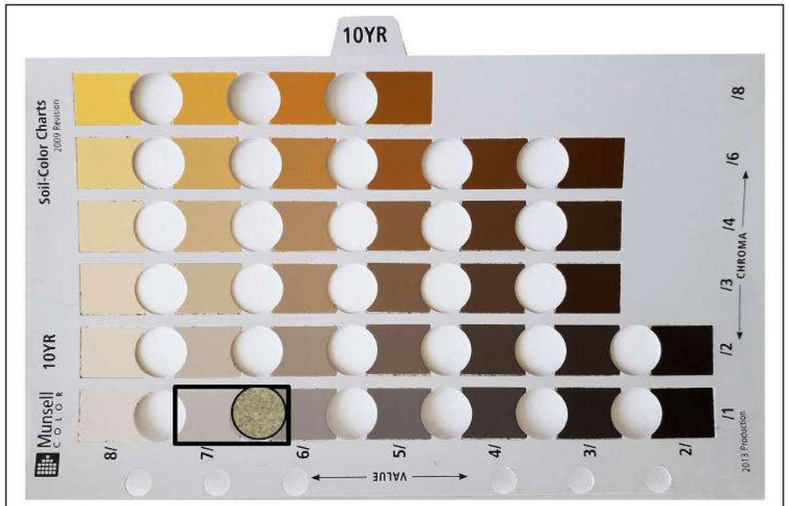






Parametri Statistici		
D. medio:	2,104	*Mz*
Dev. standard:	0,378	*s*
Skewness:	-0,105	*Sk*
Kurtosis:	1,023	*Kg*
Moda:	2,500	*g*
Mediana:	2,154	





HUE 10YR 7/1 Light Grey

Identificativo Spiaggia: SR.PA.F

Comune: Pachino

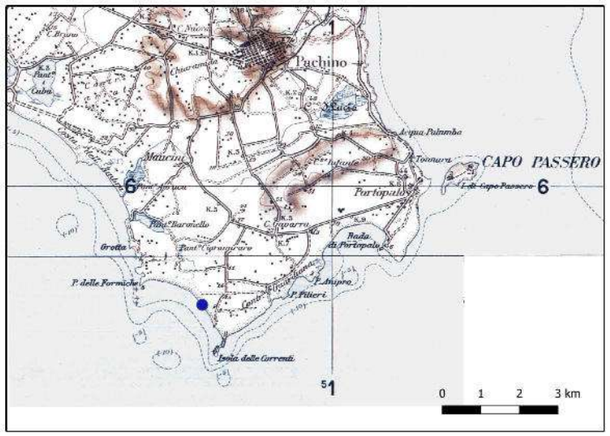
Provincia: Siracusa

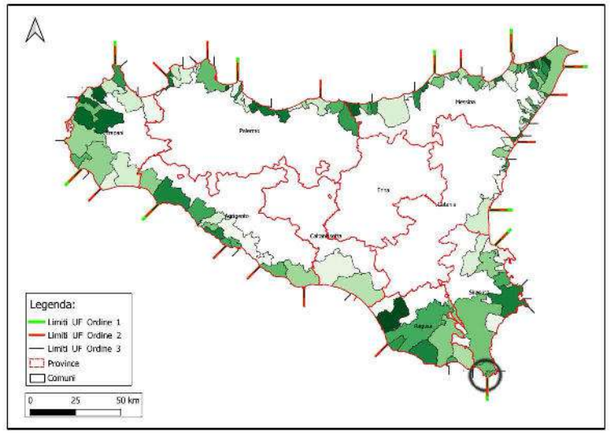
Identificativo Unità Fisiografica: 4.1.1

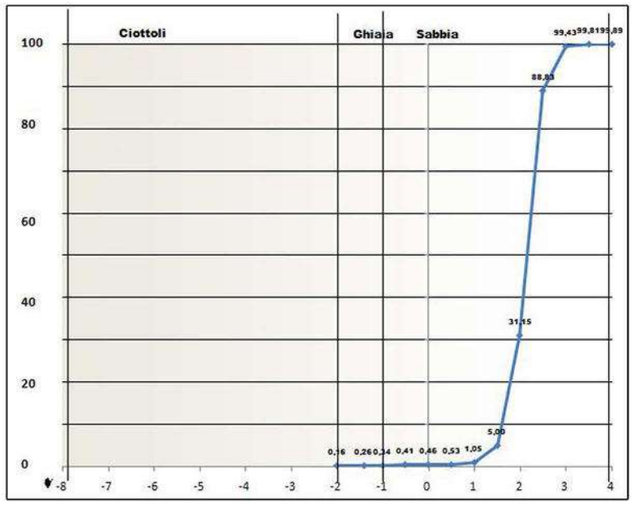
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 1

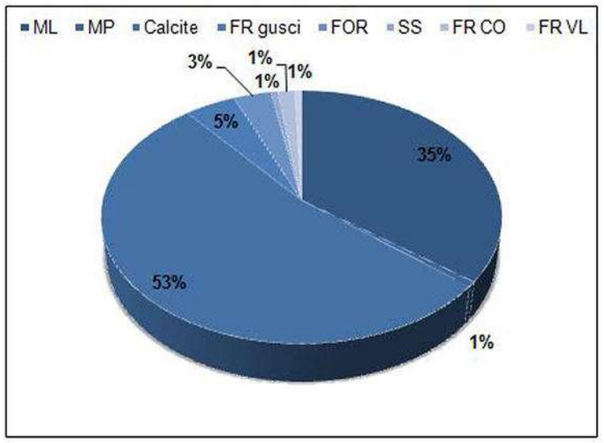
Unità Fisiografica ordine 3: 1

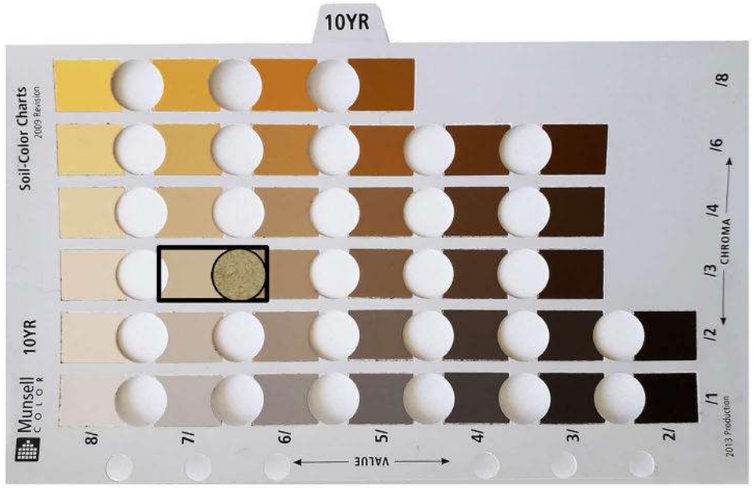






Parametri Statistici		
D. medio:	2,111	*Mz*
Dev. standard:	0,383	*s*
Skewness:	-0,120	*Sk*
Kurtosis:	1,063	*Kg*
Moda:	2,500	*g*
Mediana:	2,163	





HUE 10YR 7/3 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: RG.IS.G

Comune: Ispica

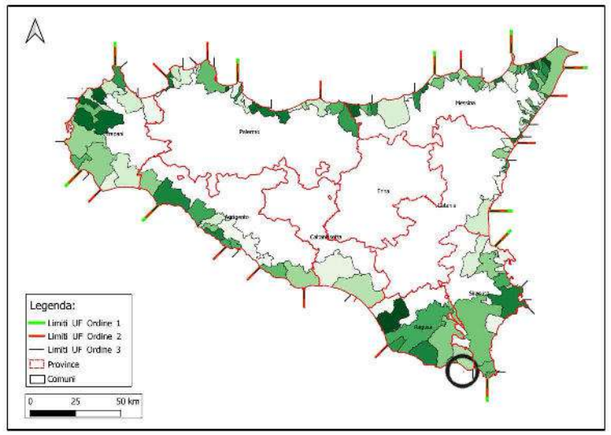
Provincia: Ragusa

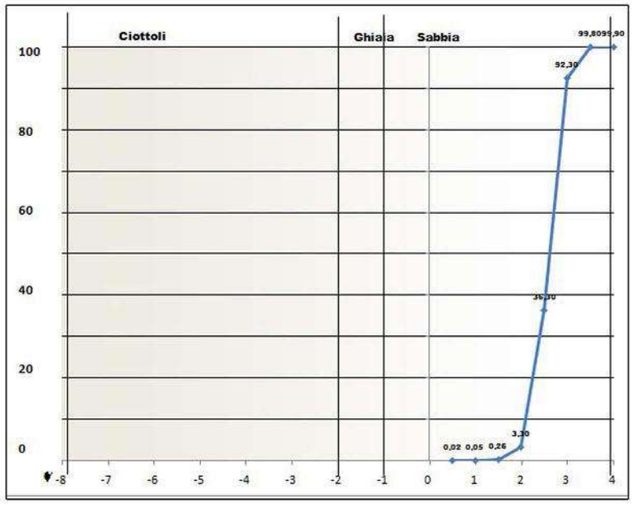
Identificativo Unità Fisiografica: 4.1.2

Unità Fisiografica ordine 1: 4

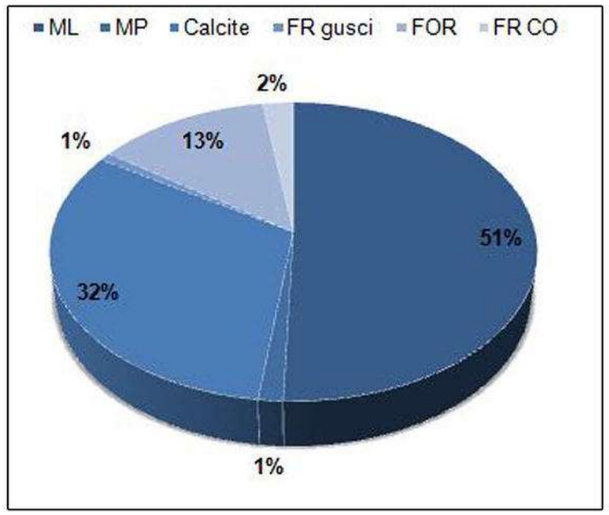
Unità Fisiografica ordine 2: 1

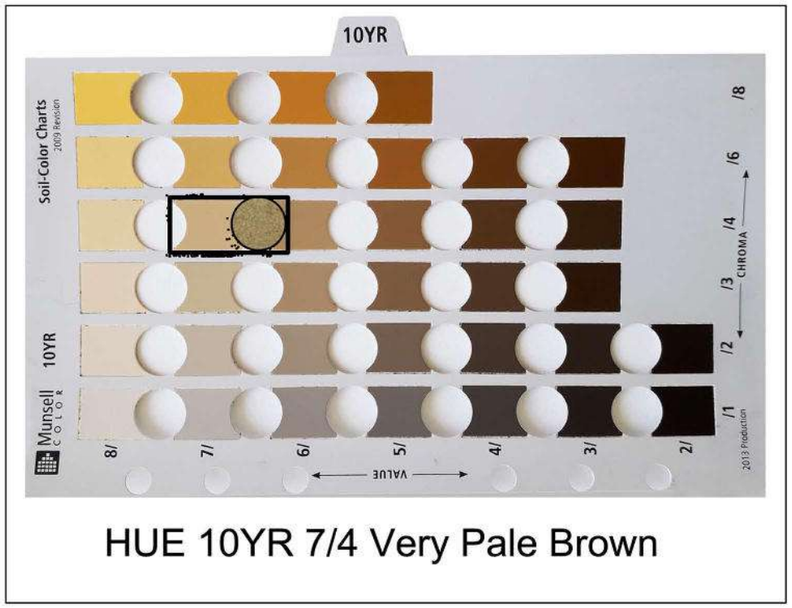
Unità Fisiografica ordine 3: 2





Parametri Statistici		
D. medio:	2,580	*Mz*
Dev. standard:	0,358	*s*
Skewness:	-0,103	*Sk*
Kurtosis:	0,916	*Kg*
Moda:	3,000	*g*
Mediana:	2,622	





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: RG.PO.F

Comune: Pozzallo

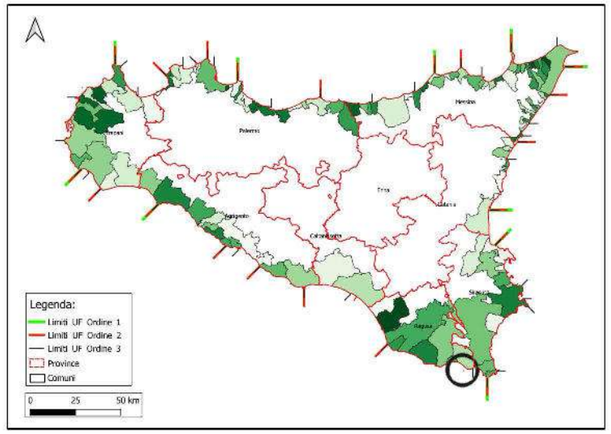
Provincia: Ragusa

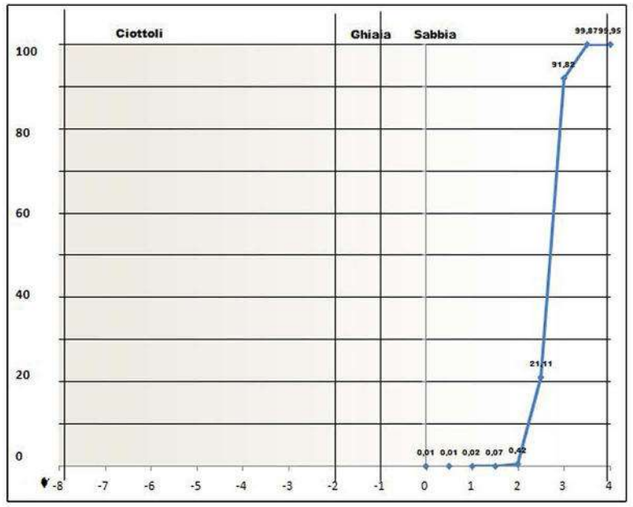
Identificativo Unità Fisiografica: 4.1.2

Unità Fisiografica ordine 1: 4

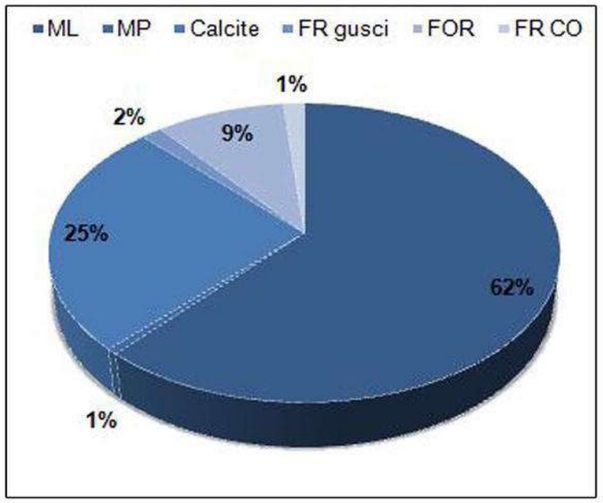
Unità Fisiografica ordine 2: 1

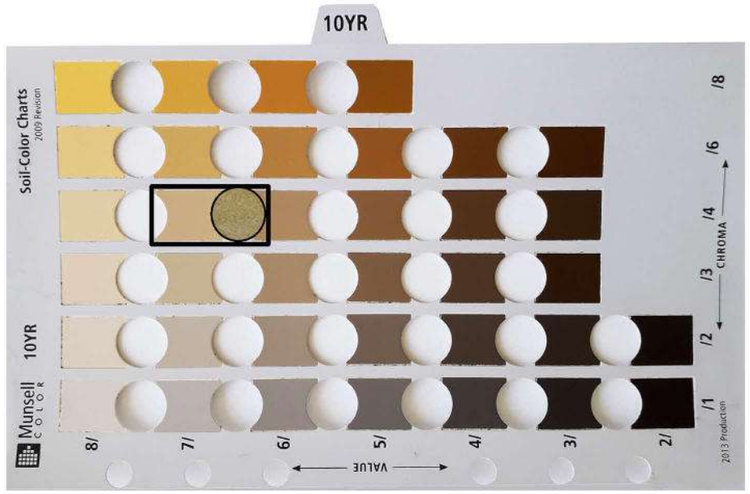
Unità Fisiografica ordine 3: 2



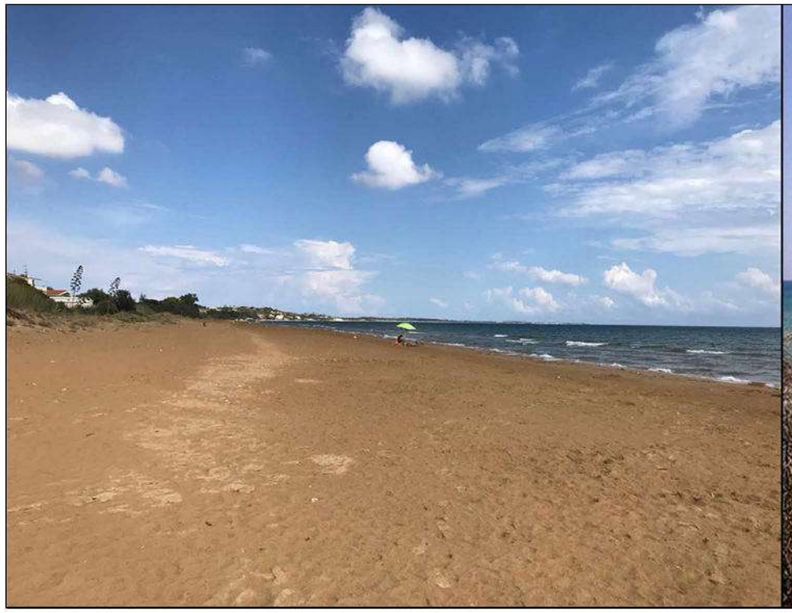


Parametri Statistici	
D. medio:	2,675 *Mz*
Dev. standard:	0,307 *s*
Skewness:	-0,123 *Sk*
Kurtosis:	1,260 *Kg*
Moda:	3,000 *g*
Mediana:	2,704





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown



Identificativo Spiaggia: RG.SCI.G

Comune: Scicli

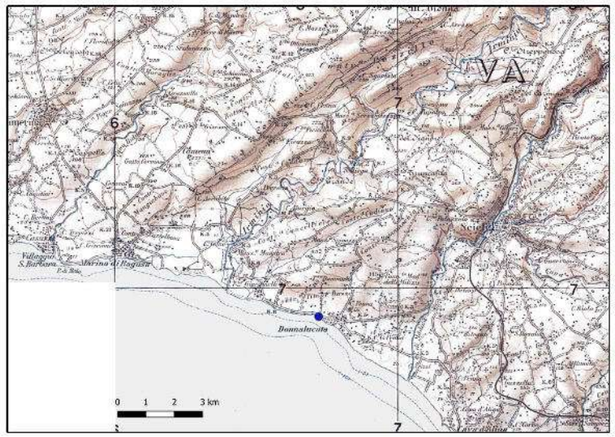
Provincia: Ragusa

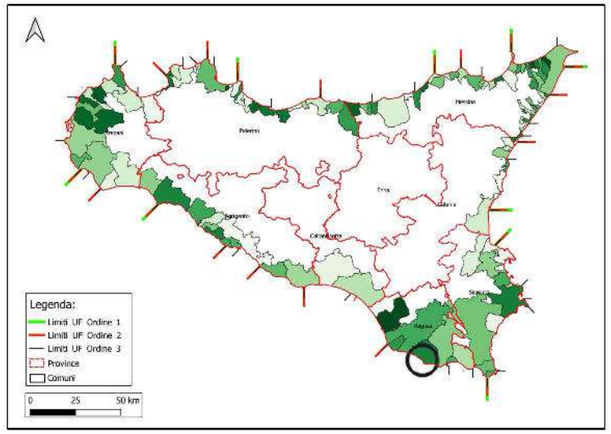
Identificativo Unità Fisiografica: 4.1.3

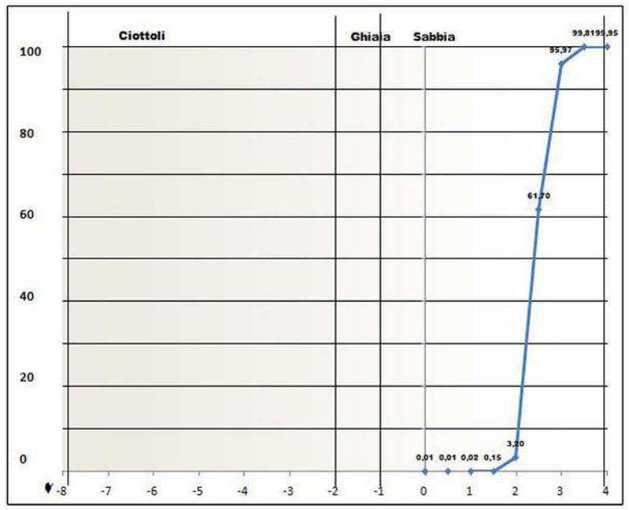
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 1

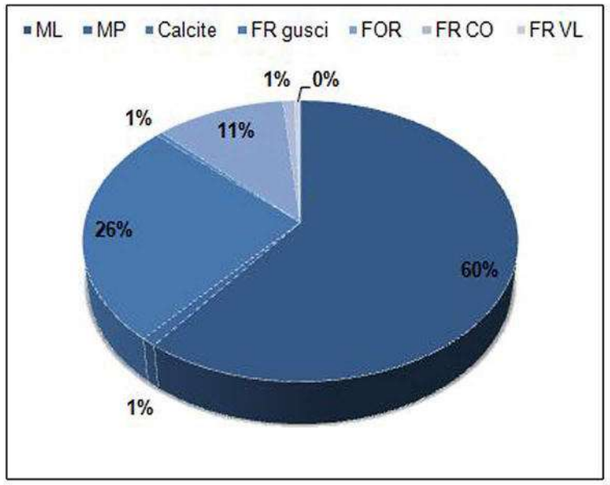
Unità Fisiografica ordine 3: 3

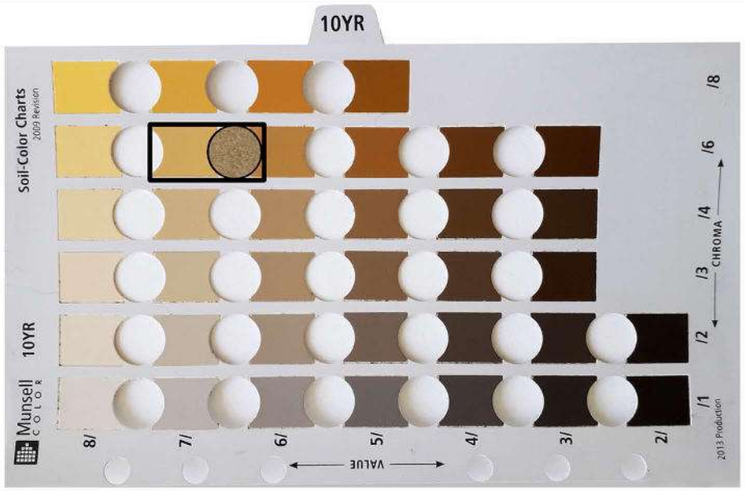






Parametri Statistici		
D. medio:	2,445	*Mz*
Dev. standard:	0,326	*s*
Skewness:	0,198	*Sk*
Kurtosis:	0,783	*Kg*
Moda:	2,500	*g*
Mediana:	2,400	





HUE 10YR 7/6 Yellow

Identificativo Spiaggia: RG.RG.F

Comune: Ragusa

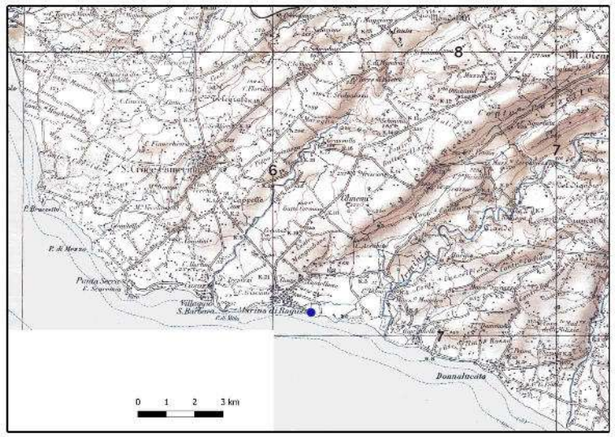
Provincia: Ragusa

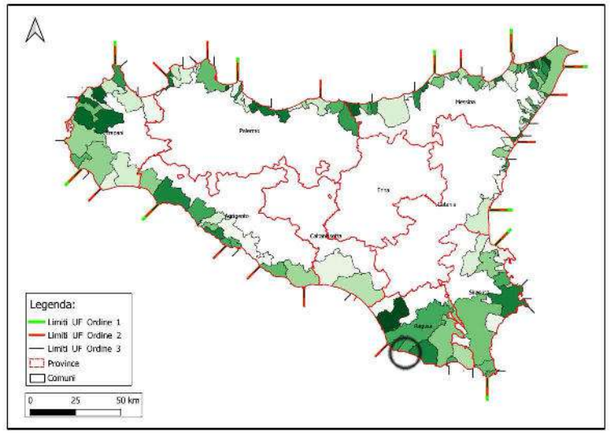
Identificativo Unità Fisiografica: 4.1.3

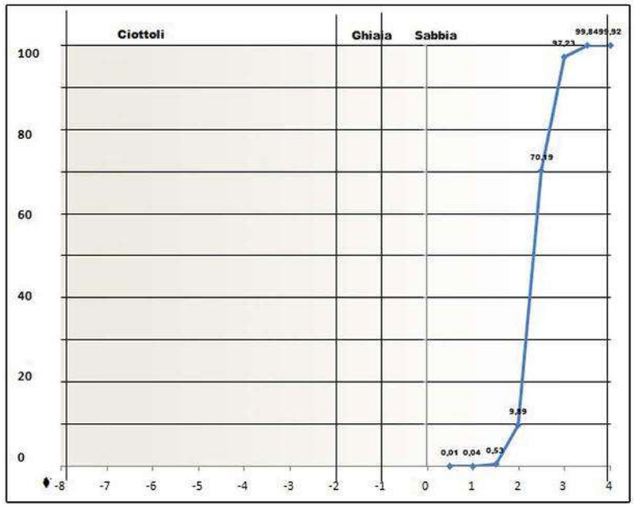
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 1

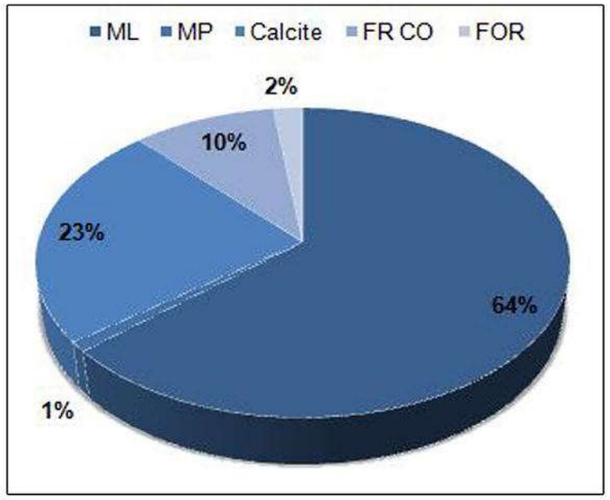
Unità Fisiografica ordine 3: 3

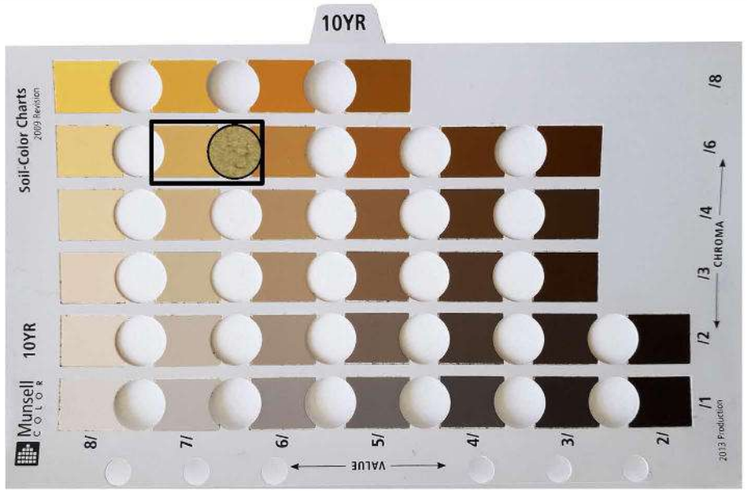






Parametri Statistici		
D. medio:	2,379	*Mz*
Dev. standard:	0,361	*s*
Skewness:	0,113	*Sk*
Kurtosis:	1,079	*Kg*
Moda:	2,500	*g*
Mediana:	2,333	





HUE 10YR 7/6 Yellow

Identificativo Spiaggia: RG.SCC.A

Comune: Santa Croce Camerina

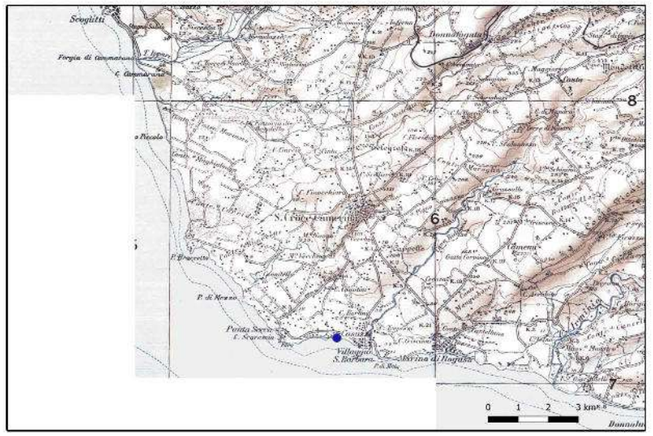
Provincia: Ragusa

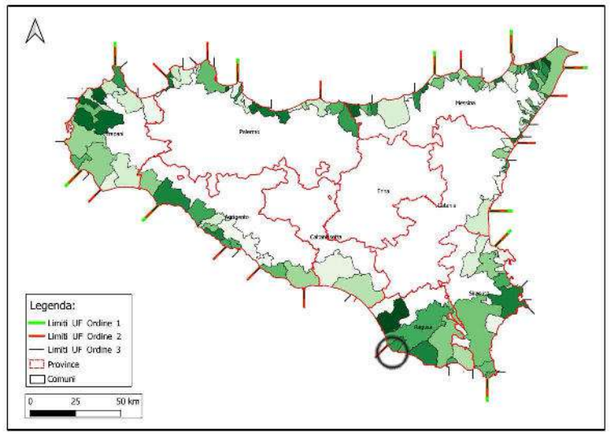
Identificativo Unità Fisiografica: 4.1.3

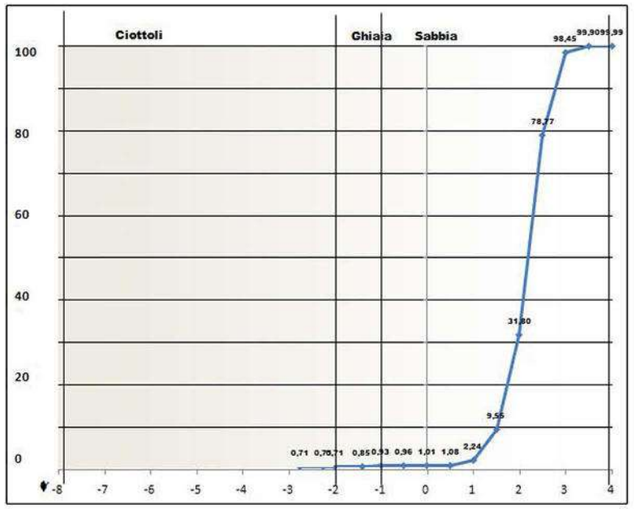
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 1

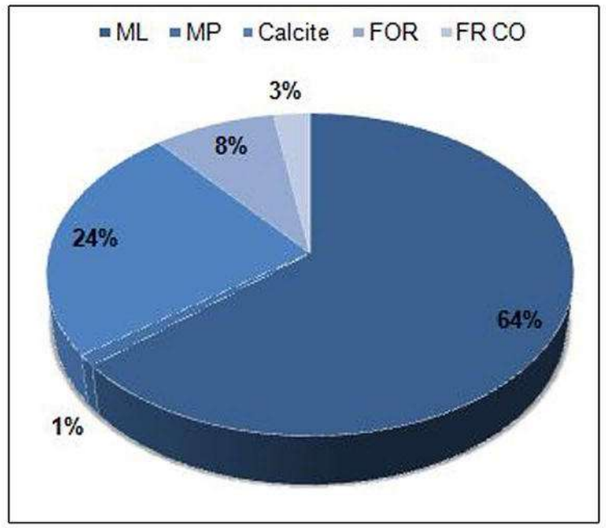
Unità Fisiografica ordine 3: 3

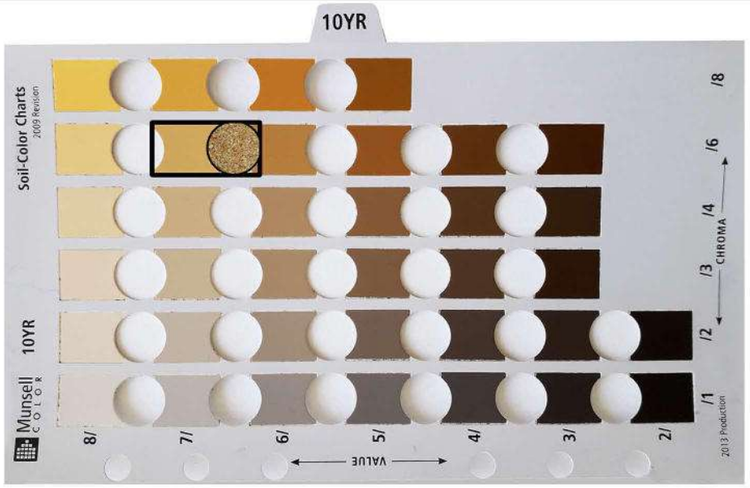






Parametri Statistici	
D. medio:	2,157 *Mz*
Dev. standard:	0,508 *s*
Skewness:	-0,139 *Sk*
Kurtosis:	1,153 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,194





HUE 10YR 7/6 Yellow

Identificativo Spiaggia: RG.RG.L

Comune: Ragusa

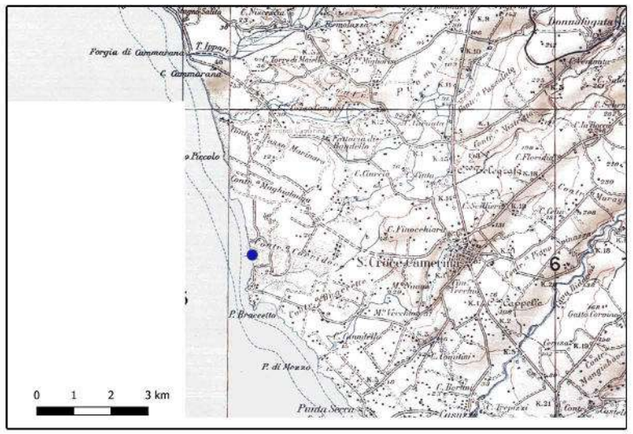
Provincia: Ragusa

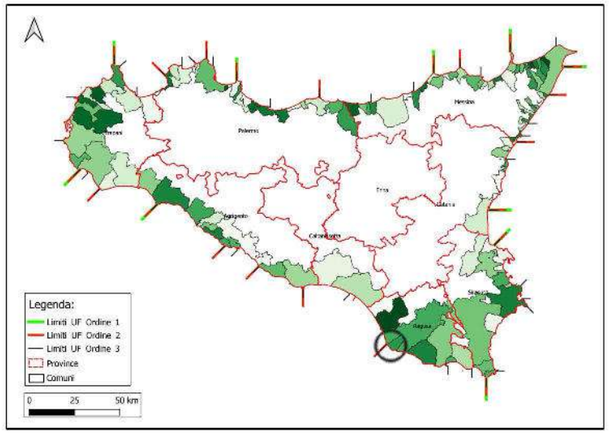
Identificativo Unità Fisiografica: 4.2.1

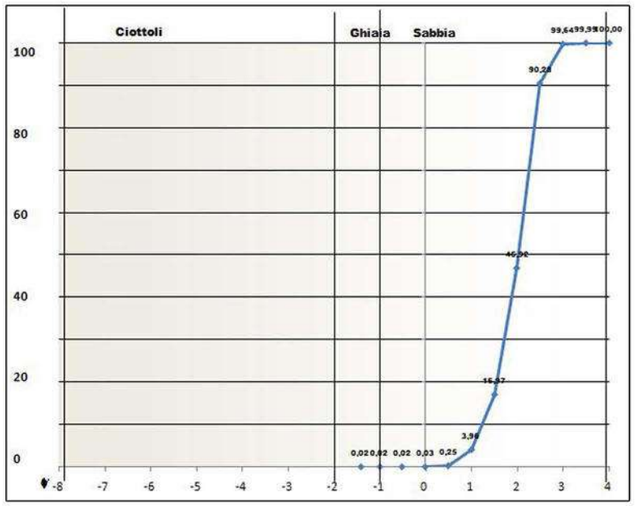
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 2

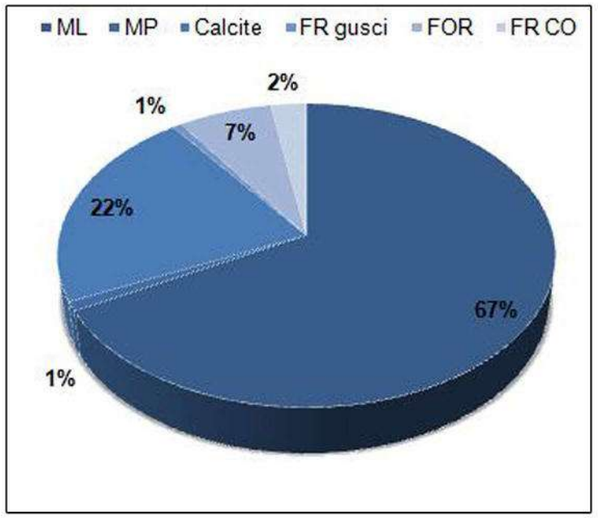
Unità Fisiografica ordine 3: 1







Parametri Statistici	
D. medio:	1,975 *Mz*
Dev. standard:	0,501 *s*
Skewness:	-0,175 *Sk*
Kurtosis:	1,017 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,036



Identificativo Spiaggia: RG.VI.A

Comune: Vittoria

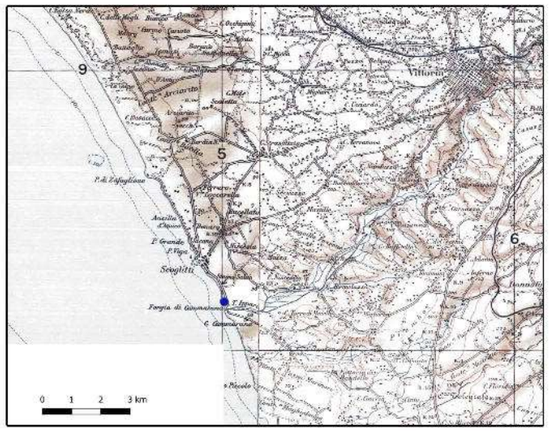
Provincia: Ragusa

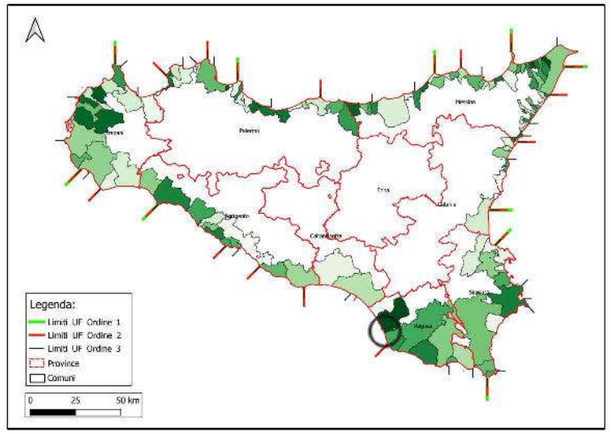
Identificativo Unità Fisiografica: 4.2.1

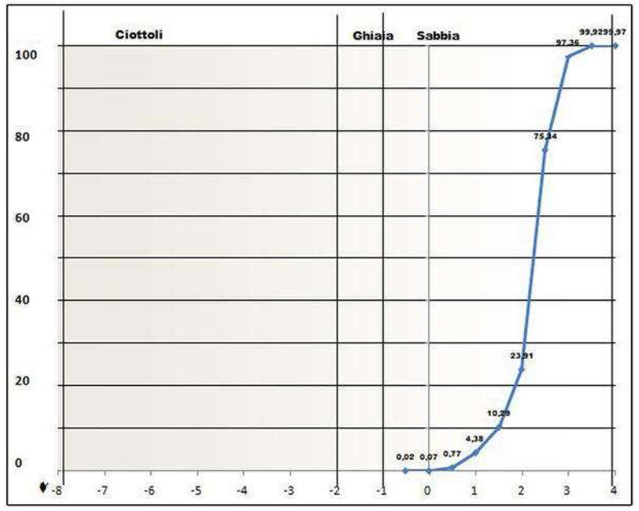
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 2

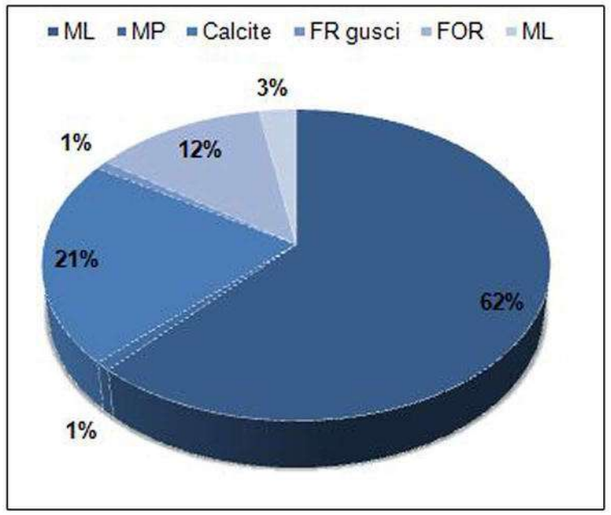
Unità Fisiografica ordine 3: 1

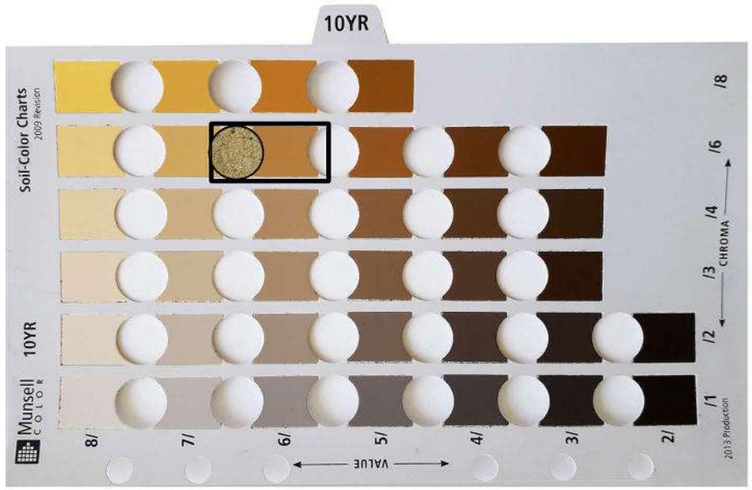






Parametri Statistici	
D. medio:	2,220 *Mz*
Dev. standard:	0,534 *s*
Skewness:	-0,185 *Sk*
Kurtosis:	1,596 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,254





HUE 10YR 6/6 Brownish Yellow

Identificativo Spiaggia: RG.VI.C

Comune: Vittoria

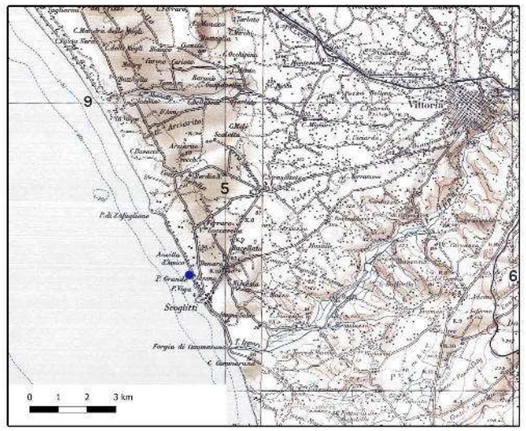
Provincia: Ragusa

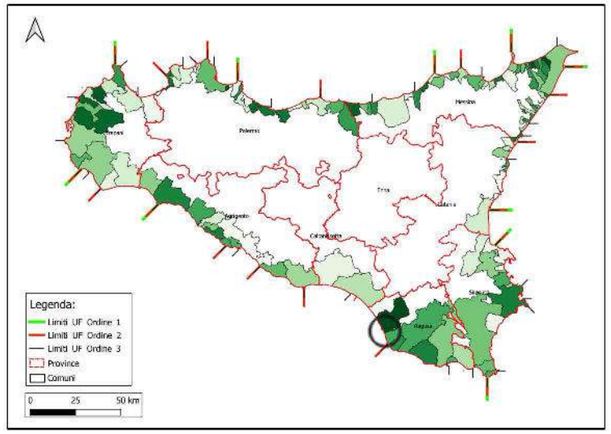
Identificativo Unità Fisiografica: 4.2.1

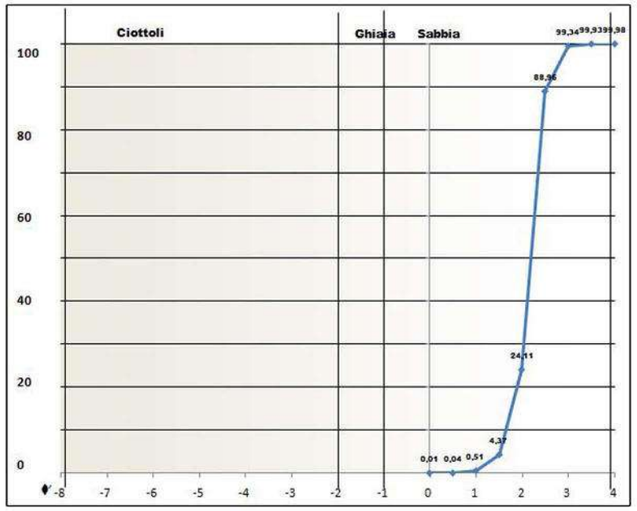
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 2

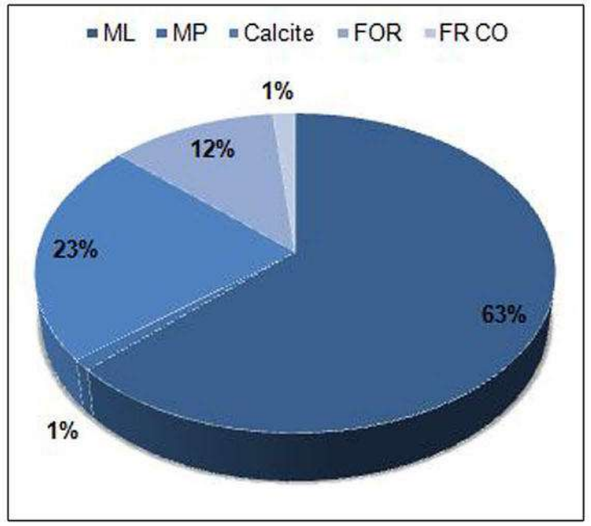
Unità Fisiografica ordine 3: 1







Parametri Statistici	
D. medio:	2,152 *Mz*
Dev. standard:	0,360 *s*
Skewness:	-0,143 *Sk*
Kurtosis:	1,355 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,200



HUE 10YR 7/6 Yellow

Identificativo Spiaggia: RG.AC.A

Comune: Acate

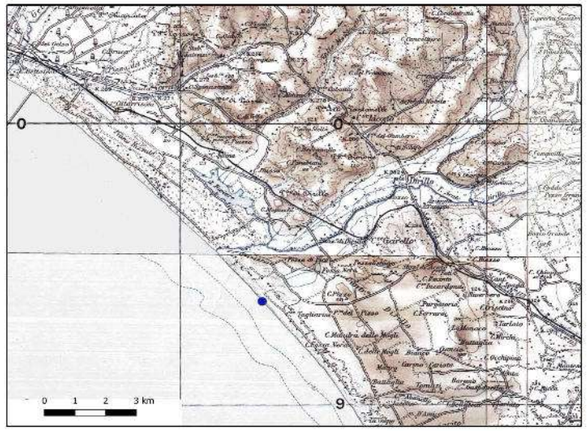
Provincia: Ragusa

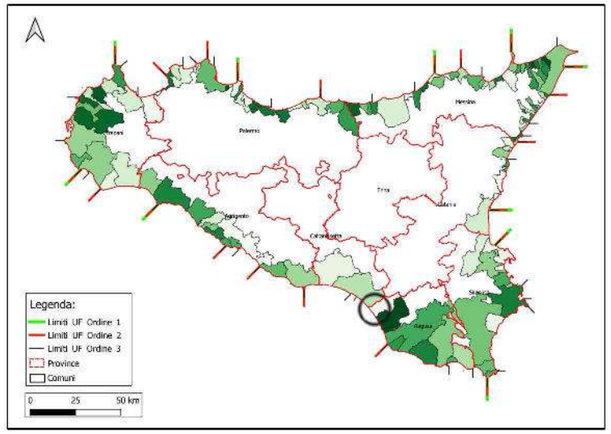
Identificativo Unità Fisiografica: 4.2.1

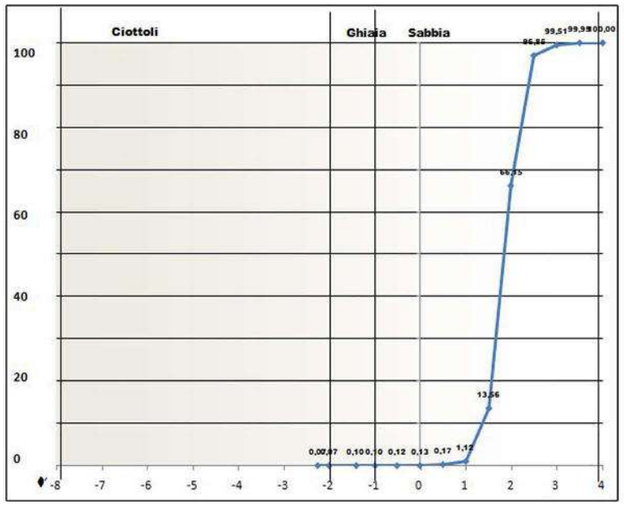
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 2

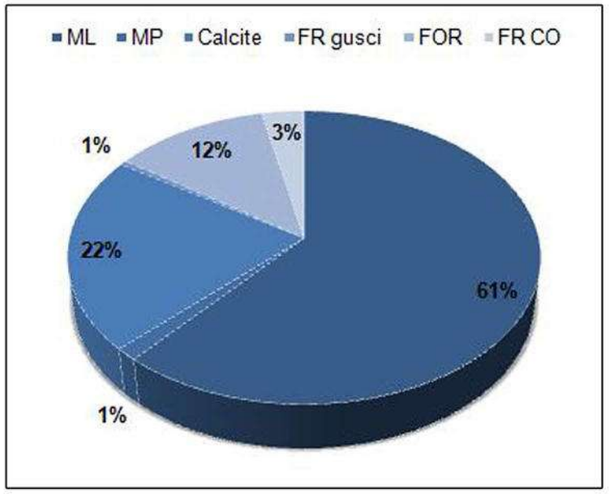
Unità Fisiografica ordine 3: 1

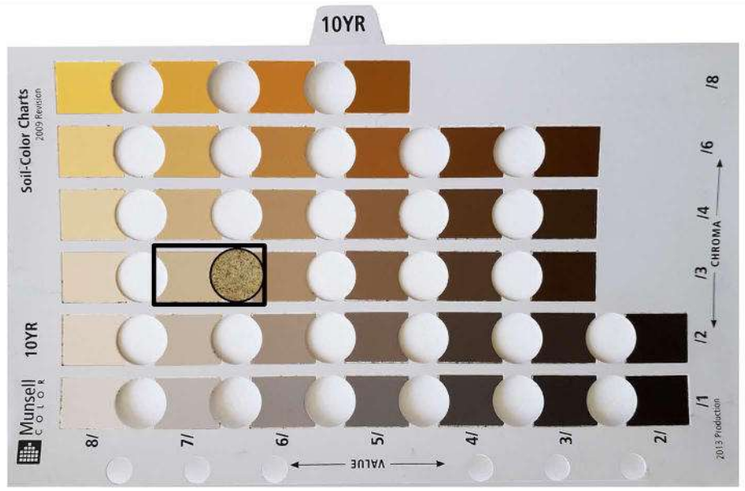






Parametri Statistici	
D. medio:	1,887 *Mz*
Dev. standard:	0,391 *s*
Skewness:	0,053 *Sk*
Kurtosis:	1,006 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,846





HUE 10YR 7/3 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: GL.GE.D

Comune: Gela

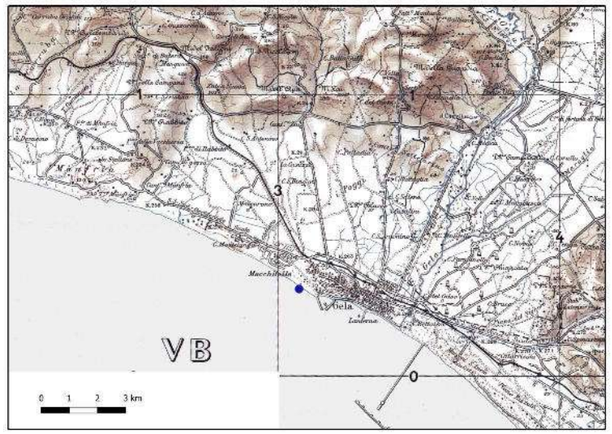
Provincia: Caltanissetta

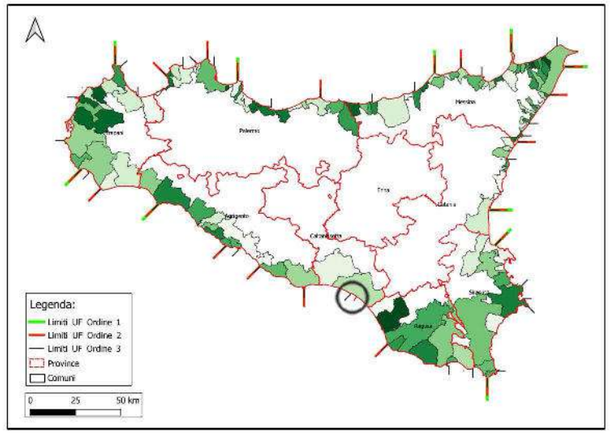
Identificativo Unità Fisiografica: 4.2.2

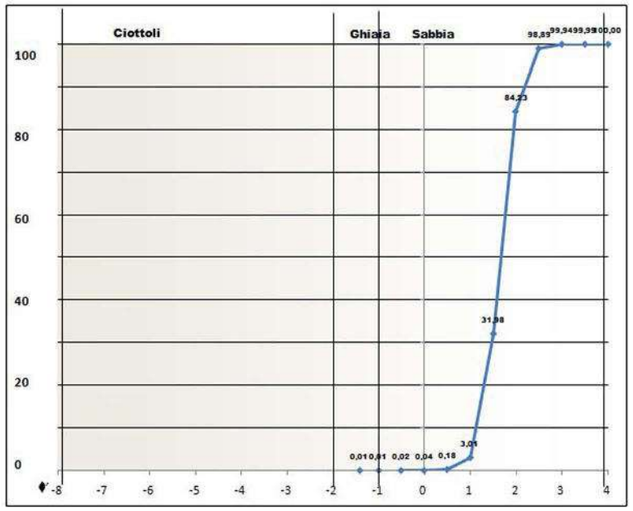
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 2

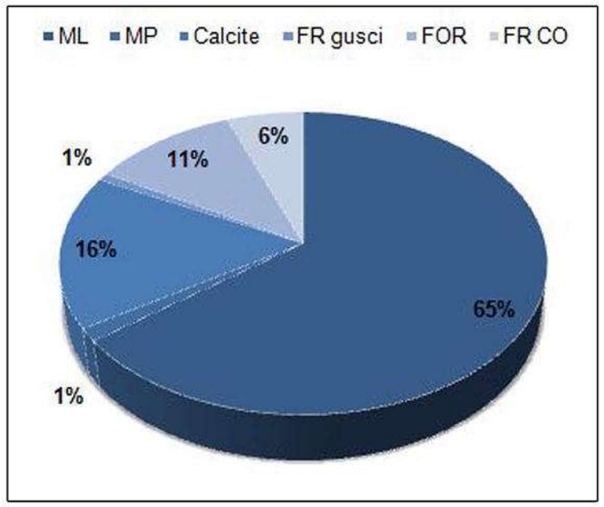
Unità Fisiografica ordine 3: 2



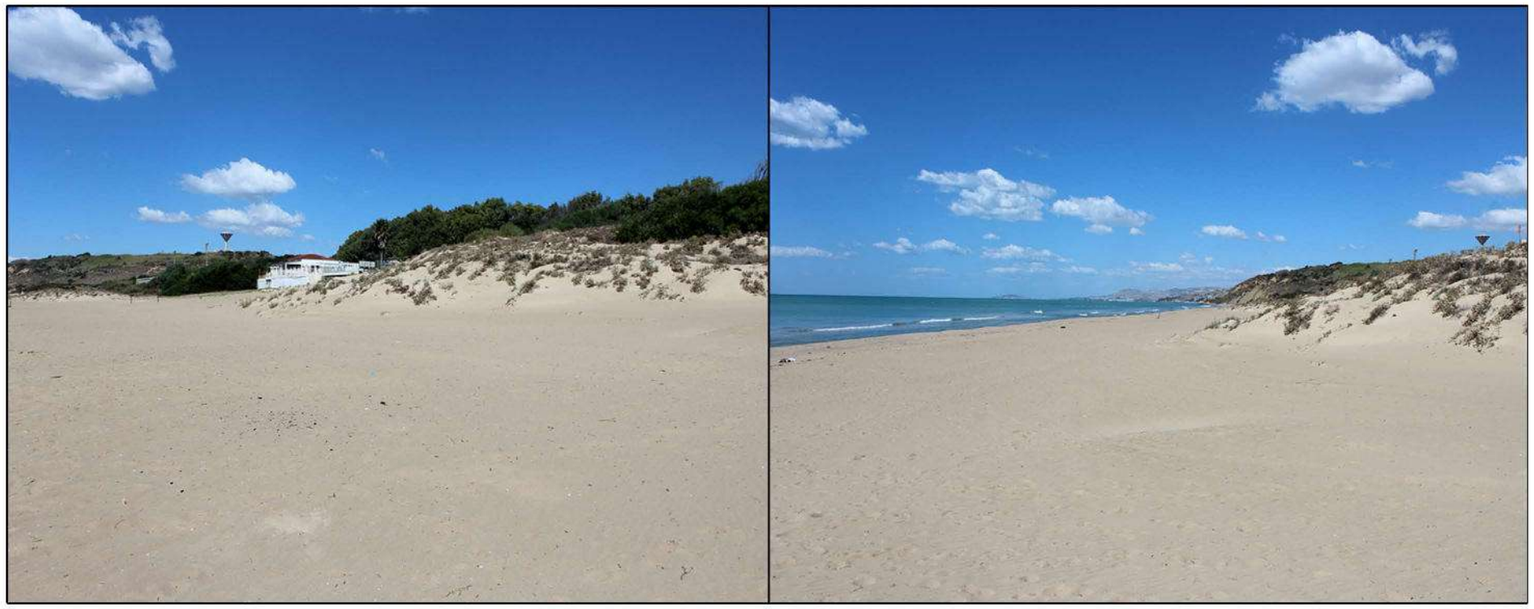




Parametri Statistici	
D. medio:	1,631 *Mz*
Dev. standard:	0,395 *s*
Skewness:	-0,058 *Sk*
Kurtosis:	1,027 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,672



HUE 10YR 6/4 Light Yellowish Brown



Identificativo Spiaggia: CL.BU.E

Comune: Butera

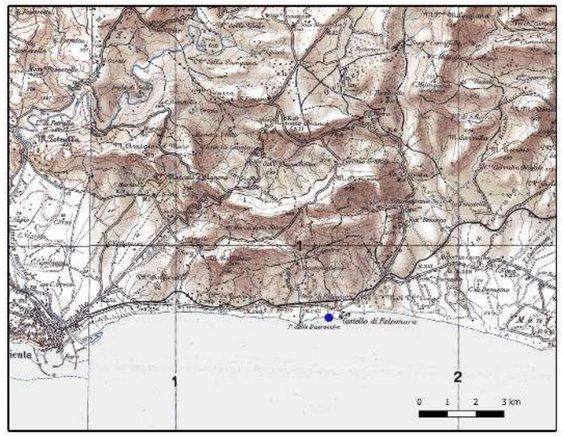
Provincia: Caltanissetta

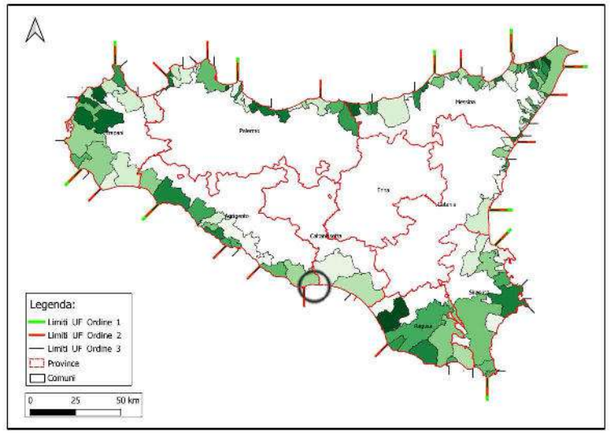
Identificativo Unità Fisiografica: 4.2.2

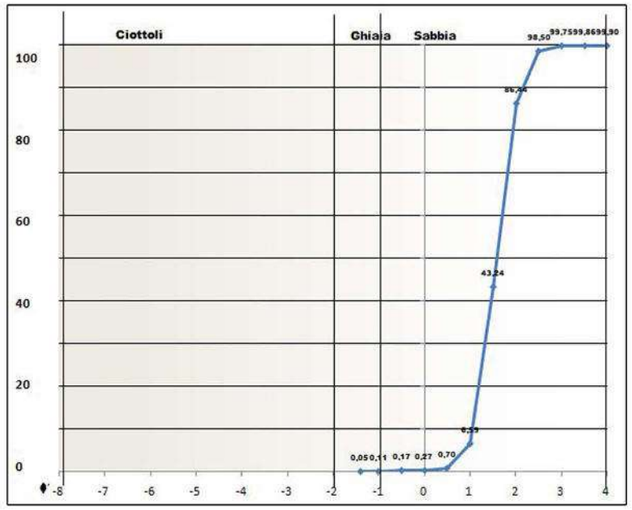
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 2

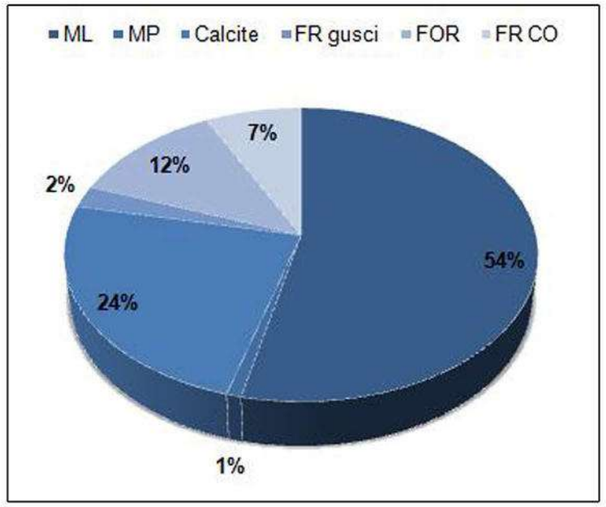
Unità Fisiografica ordine 3: 2







Parametri Statistici	
D. medio:	1,559 *Mz*
Dev. standard:	0,437 *s*
Skewness:	-0,012 *Sk*
Kurtosis:	0,991 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,578



HUE 10YR 6/4 Light Yellowish Brown

Identificativo Spiaggia: AG.LI.D

Comune: Licata

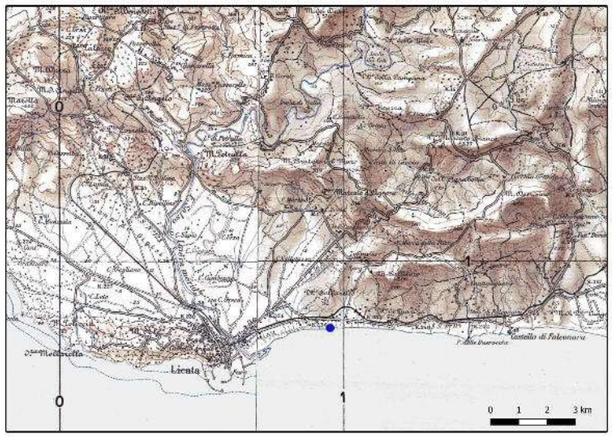
Provincia: Agrigento

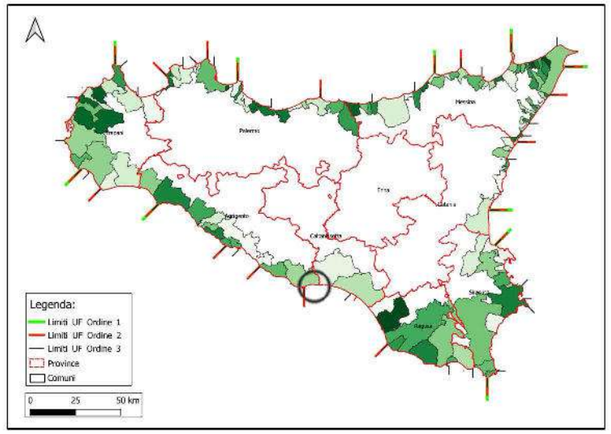
Identificativo Unità Fisiografica: 4.2.2

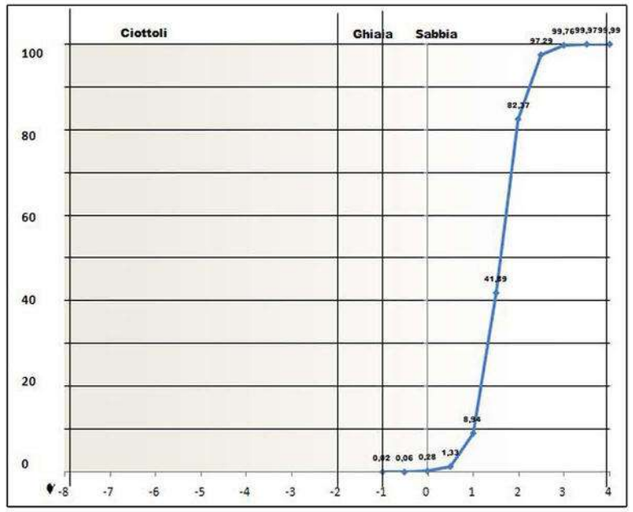
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 2

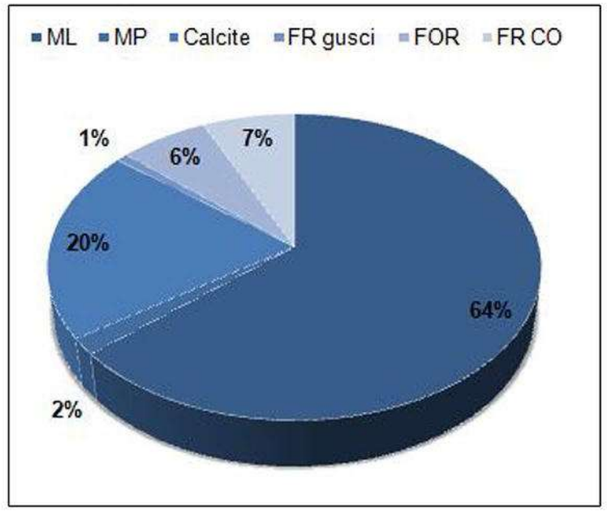
Unità Fisiografica ordine 3: 2



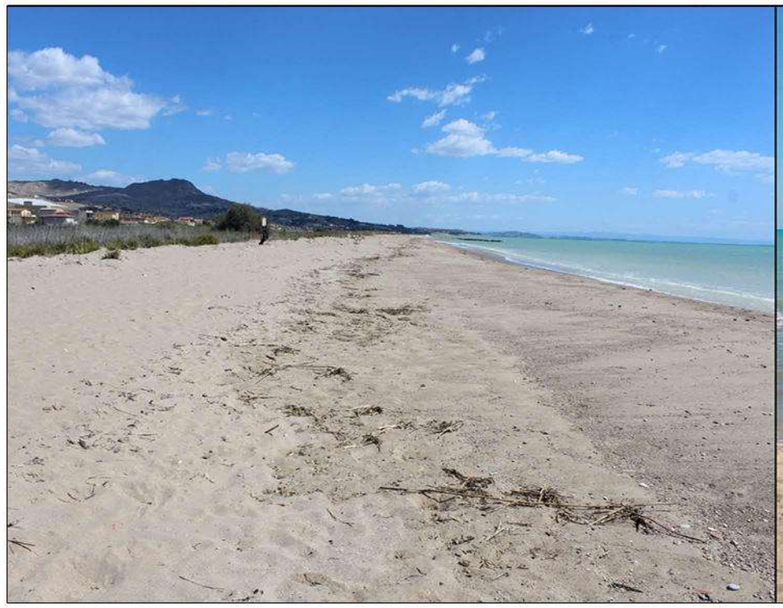




Parametri Statistici	
D. medio:	1,587 *Mz*
Dev. standard:	0,492 *s*
Skewness:	-0,031 *Sk*
Kurtosis:	1,036 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,600



HUE 10YR 7/2 Light Gray



Identificativo Spiaggia: AG.LI.F

Comune: Licata

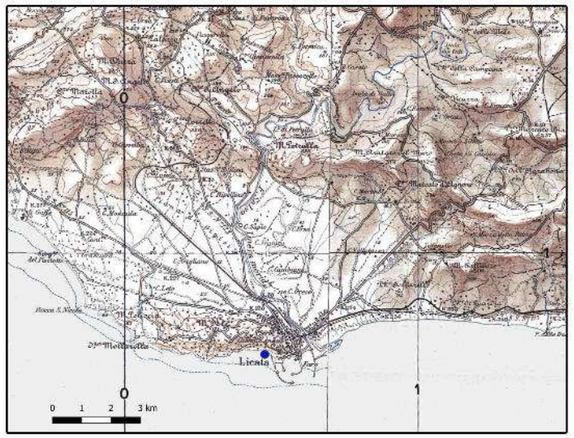
Provincia: Agrigento

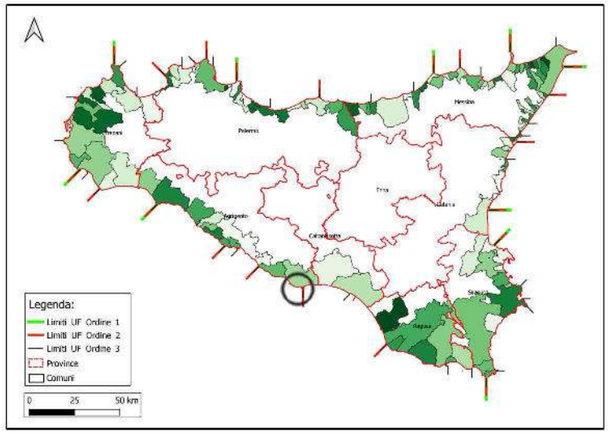
Identificativo Unità Fisiografica: 4.3.1

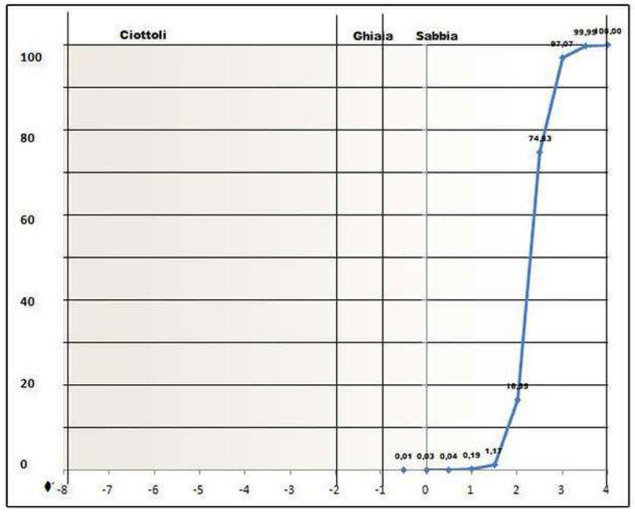
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 3

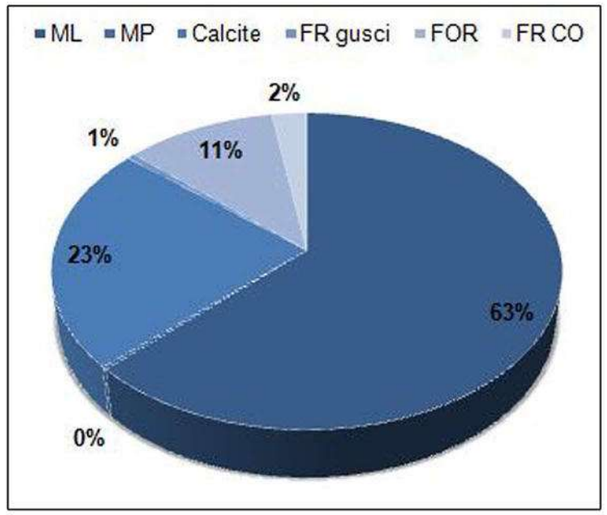
Unità Fisiografica ordine 3: 1







Parametri Statistici	
D. medio:	2,325 *Mz*
Dev. standard:	0,382 *s*
Skewness:	0,080 *Sk*
Kurtosis:	1,263 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,287



Identificativo Spiaggia: AG.LI.N

Comune: Licata

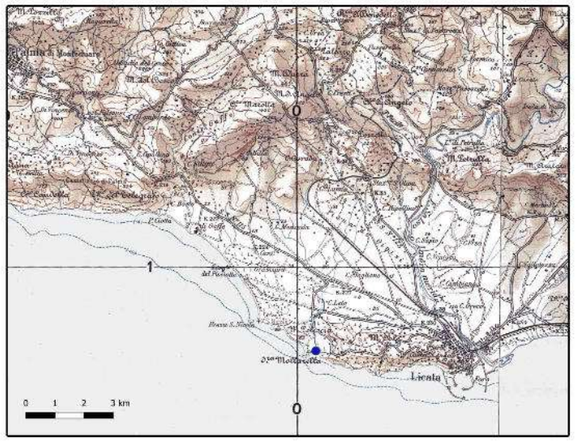
Provincia: Agrigento

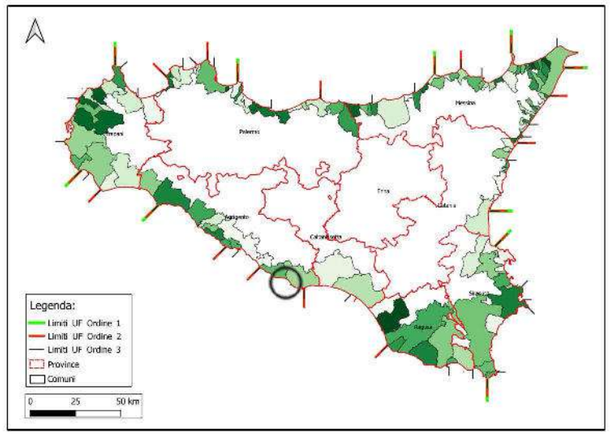
Identificativo Unità Fisiografica: 4.3.1

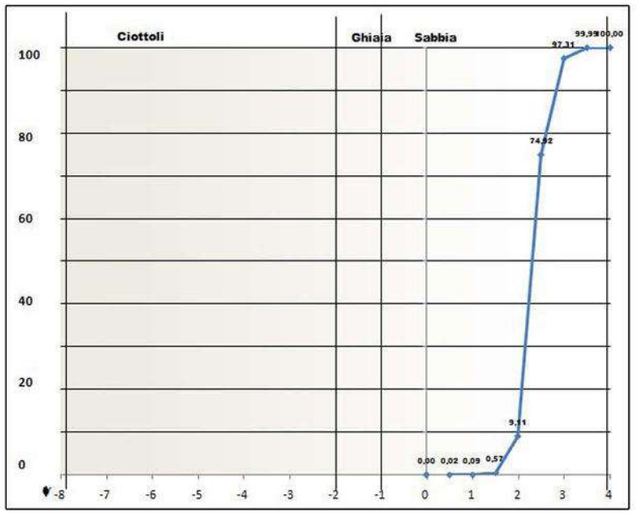
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 3

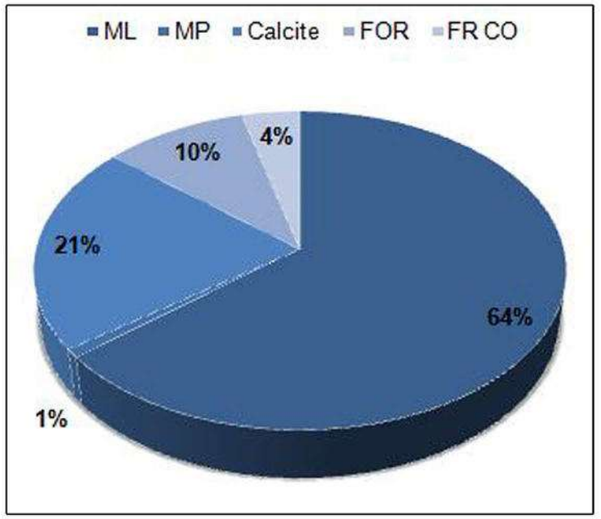
Unità Fisiografica ordine 3: 1

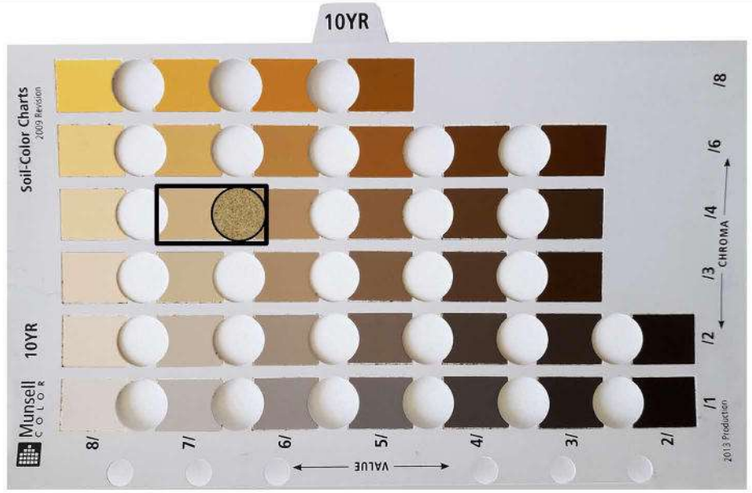






Parametri Statistici	
D. medio:	2,355 *Mz*
Dev. standard:	0,343 *s*
Skewness:	0,139 *Sk*
Kurtosis:	1,279 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,311





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: AG.LI.S

Comune: Licata

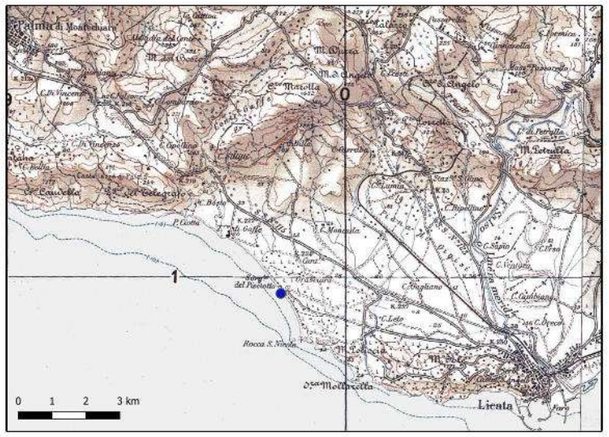
Provincia: Agrigento

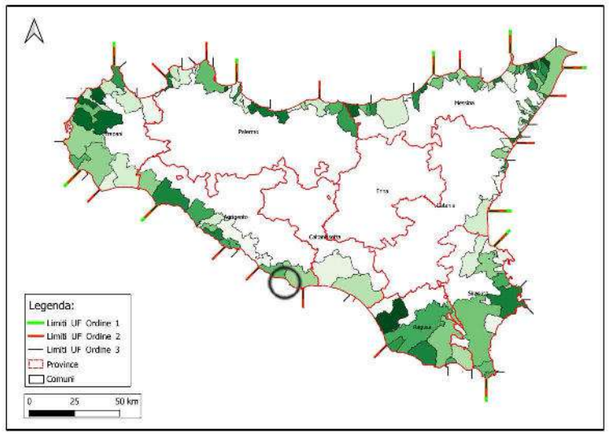
Identificativo Unità Fisiografica: 4.3.1

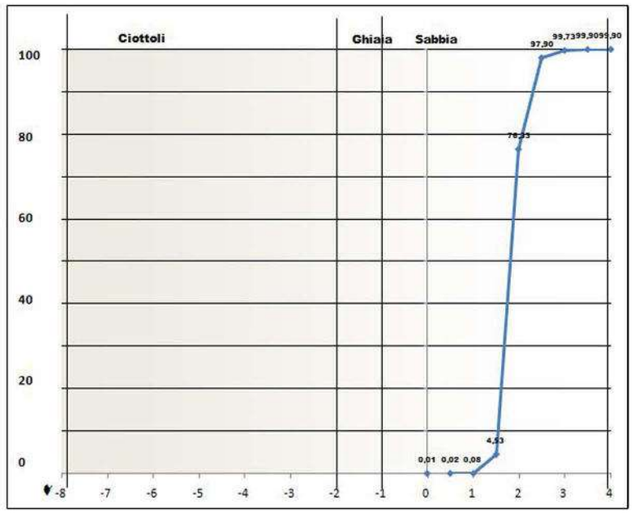
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 3

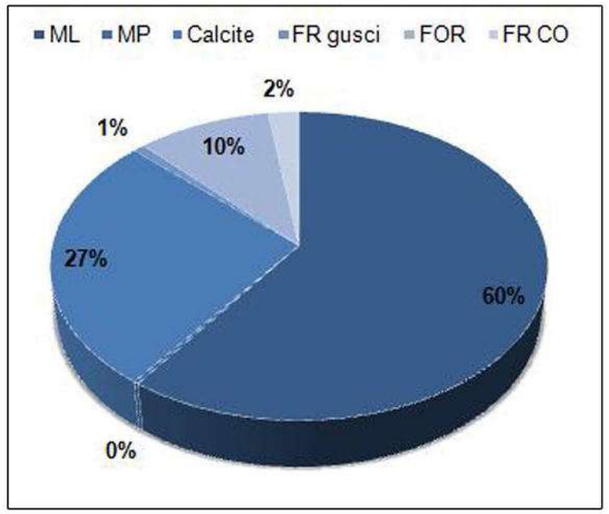
Unità Fisiografica ordine 3: 1

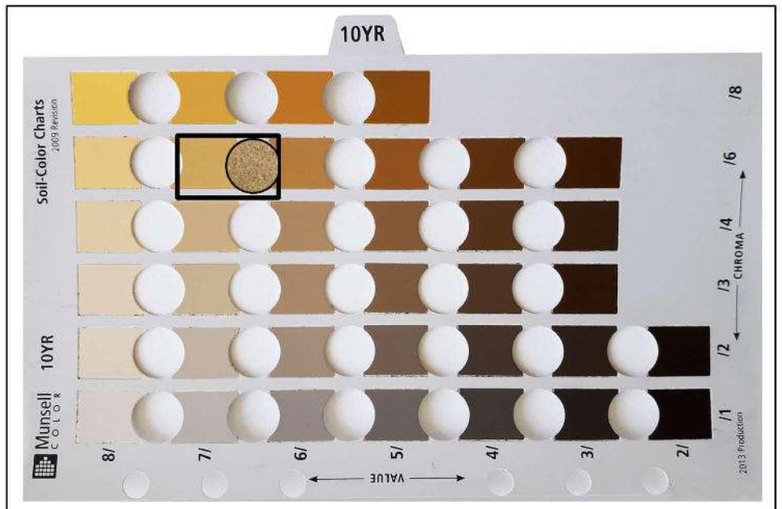






Parametri Statistici	
D. medio:	1,858 *Mz*
Dev. standard:	0,290 *s*
Skewness:	0,267 *Sk*
Kurtosis:	1,094 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,817





HUE 10YR 7/6 Yellow

Identificativo Spiaggia: AG.PdM.M

Comune: Palma di Montechiaro

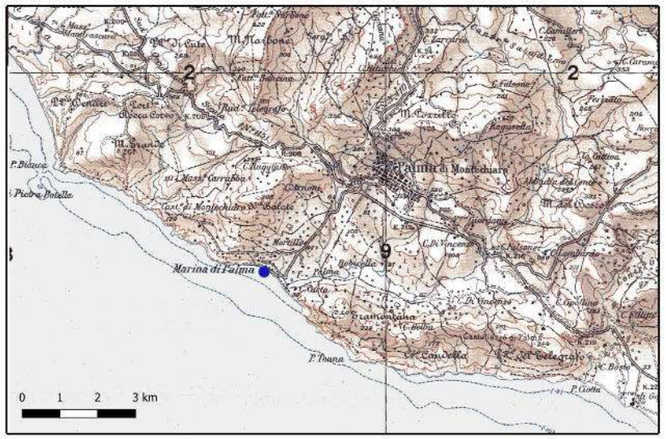
Provincia: Agrigento

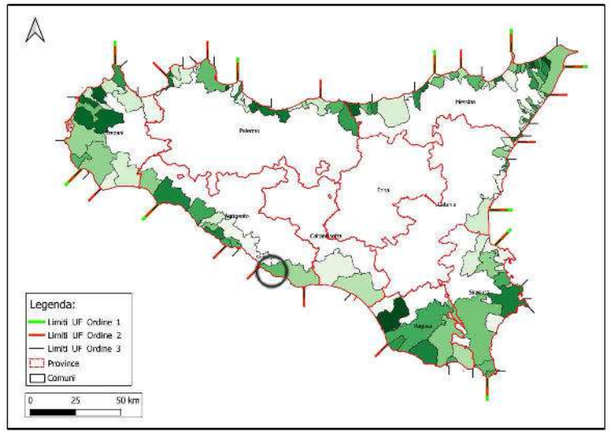
Identificativo Unità Fisiografica: 4.3.1

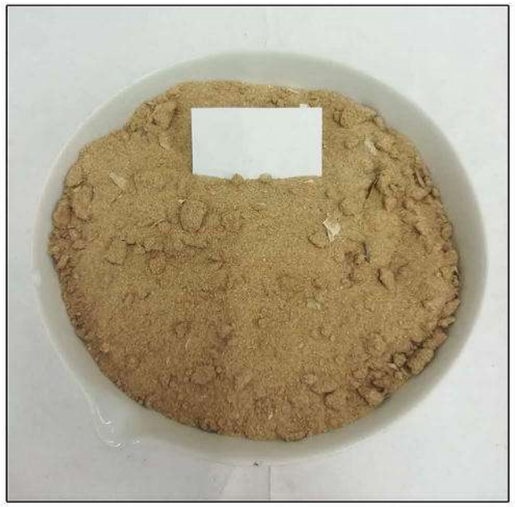
Unità Fisiografica ordine 1: 4

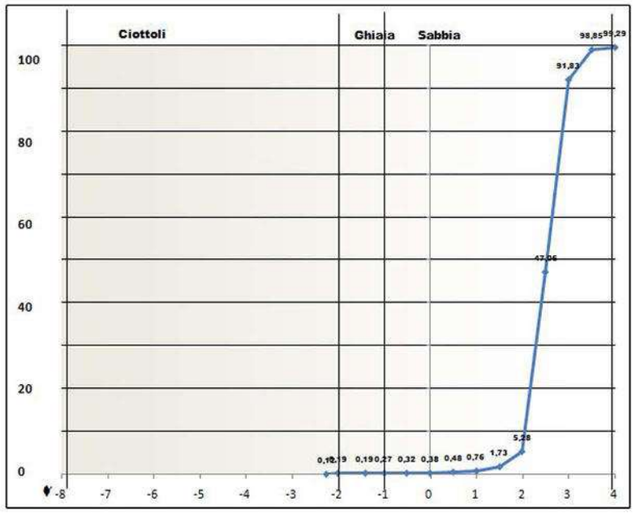
Unità Fisiografica ordine 2: 3

Unità Fisiografica ordine 3: 1

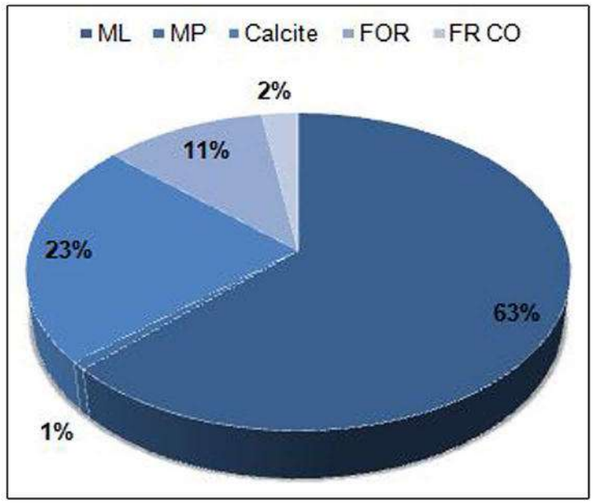


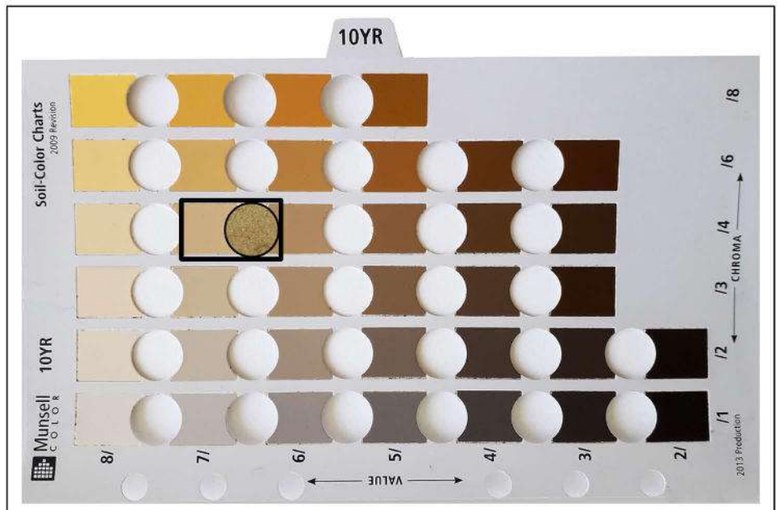






Parametri Statistici	
D. medio:	2,525 *Mz*
Dev. standard:	0,388 *s*
Skewness:	0,032 *Sk*
Kurtosis:	0,900 *Kg*
Moda:	3,000 *g*
Mediana:	2,533





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: AG.AG.F

Comune: Agrigento

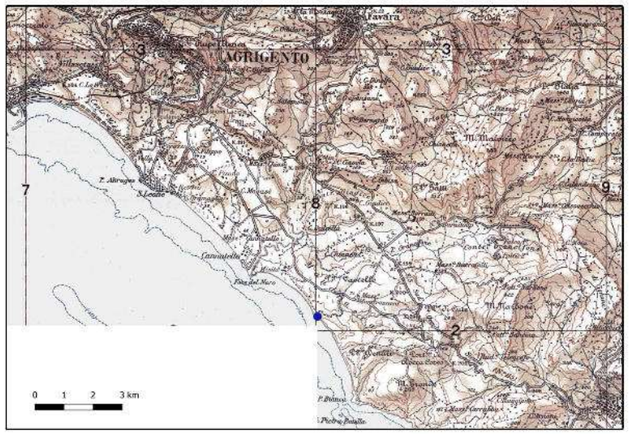
Provincia: Agrigento

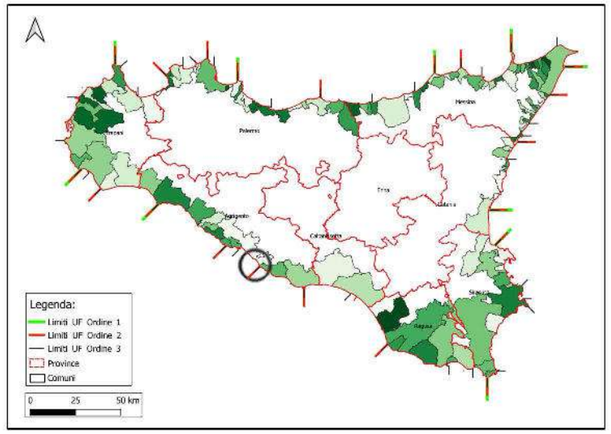
Identificativo Unità Fisiografica: 4.4.1

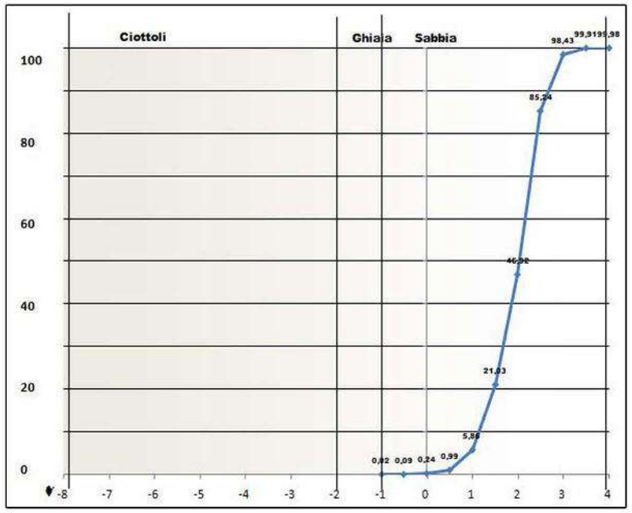
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 4

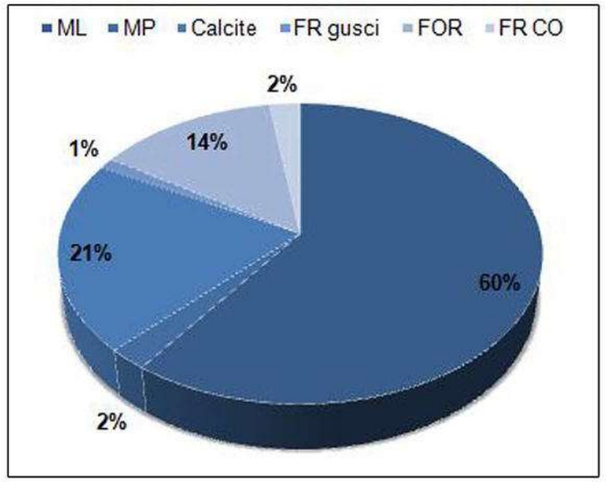
Unità Fisiografica ordine 3: 1

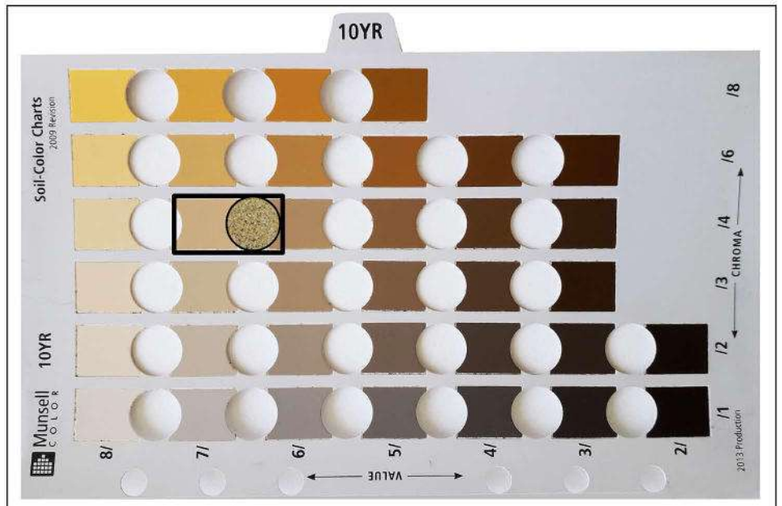






Parametri Statistici	
D. medio:	1,953 *Mz*
Dev. standard:	0,584 *s*
Skewness:	-0,190 *Sk*
Kurtosis:	1,016 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,040





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: AG.AG.L

Comune: Agrigento

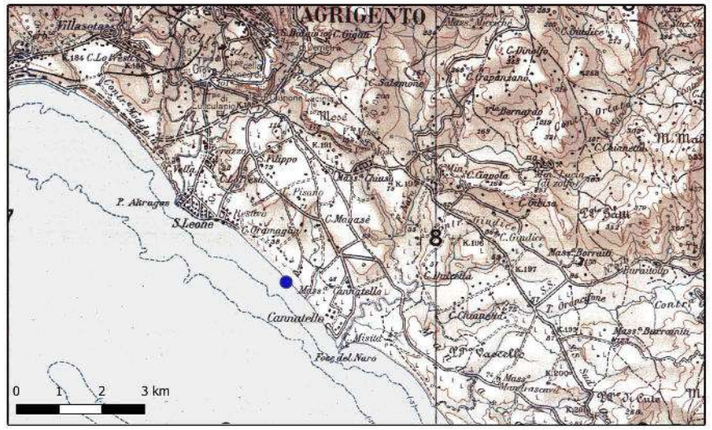
Provincia: Agrigento

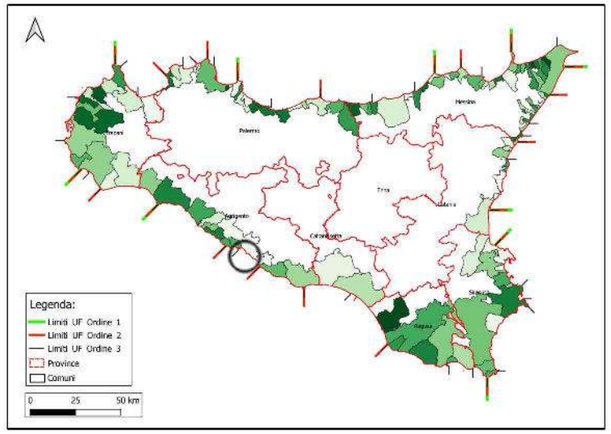
Identificativo Unità Fisiografica: 4.4.1

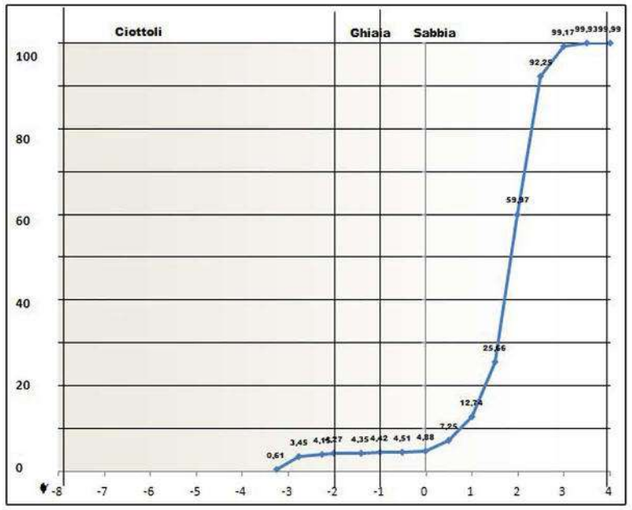
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 4

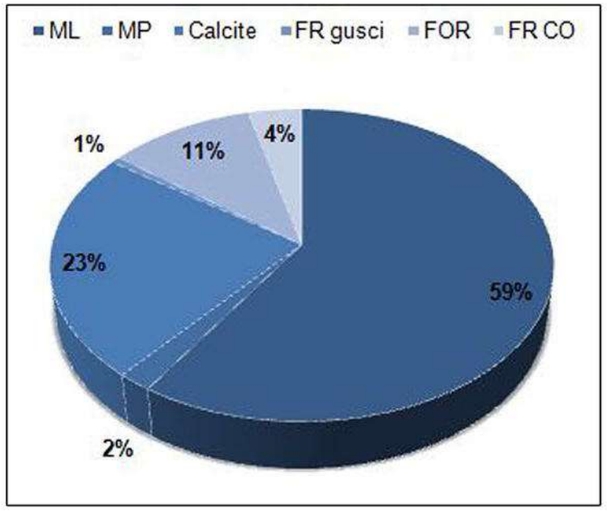
Unità Fisiografica ordine 3: 1

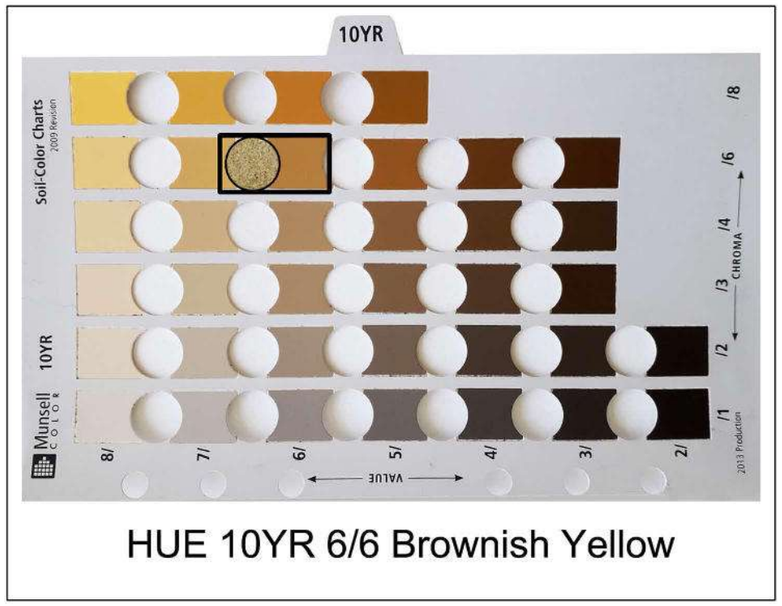




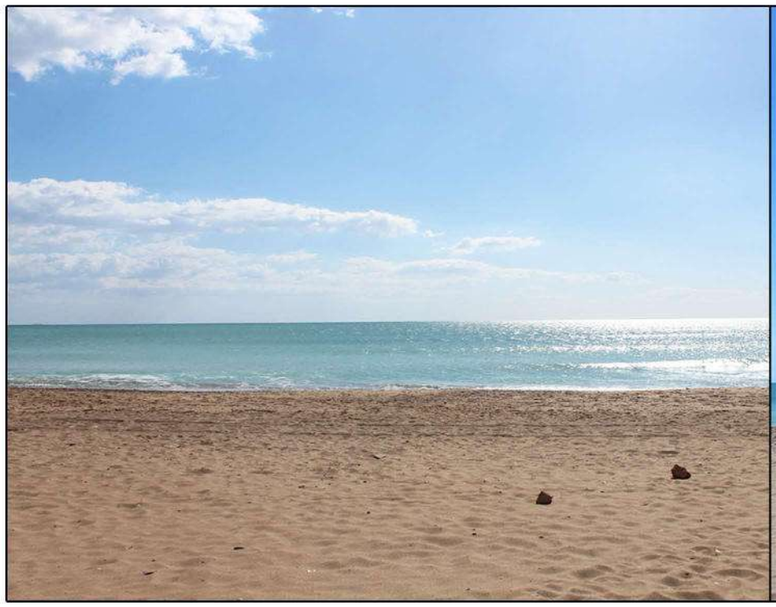


Parametri Statistici	
D. medio:	1,784 *Mz*
Dev. standard:	0,717 *s*
Skewness:	-0,269 *Sk*
Kurtosis:	1,445 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,855





HUE 10YR 6/6 Brownish Yellow



Identificativo Spiaggia: AG.AG.L

Comune: Agrigento

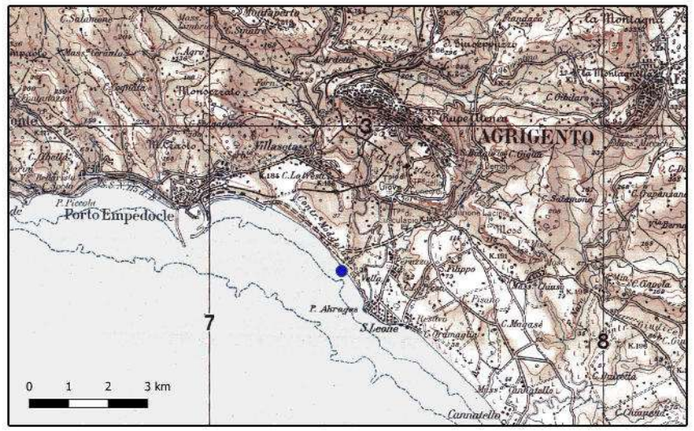
Provincia: Agrigento

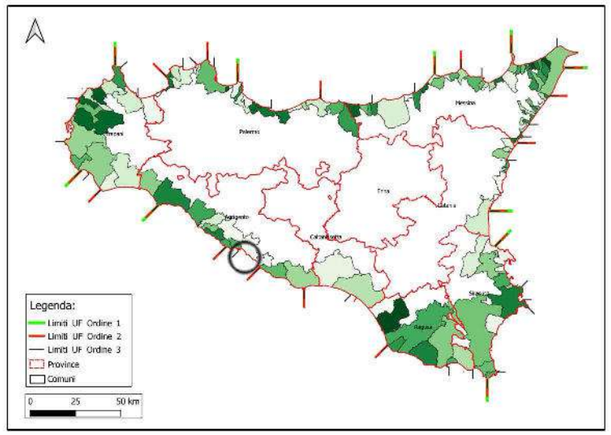
Identificativo Unità Fisiografica: 4.4.1

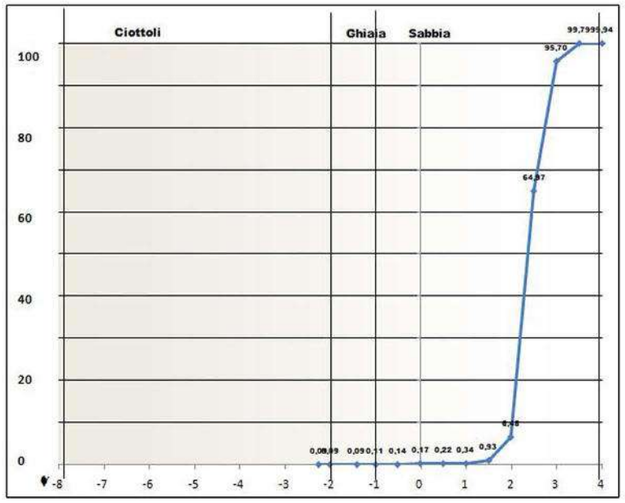
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 4

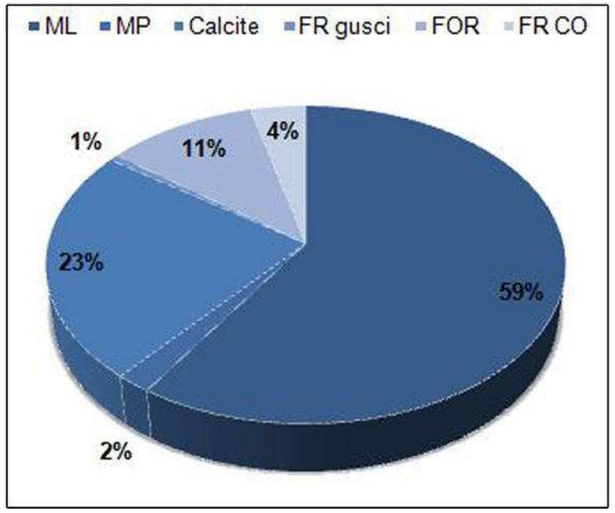
Unità Fisiografica ordine 3: 1

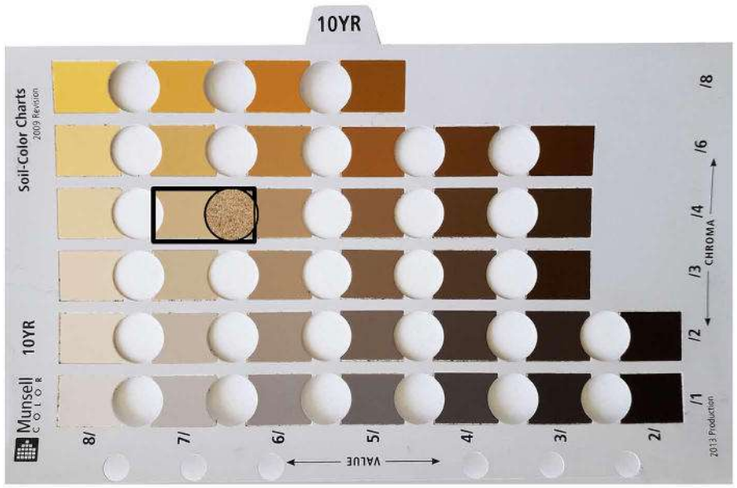




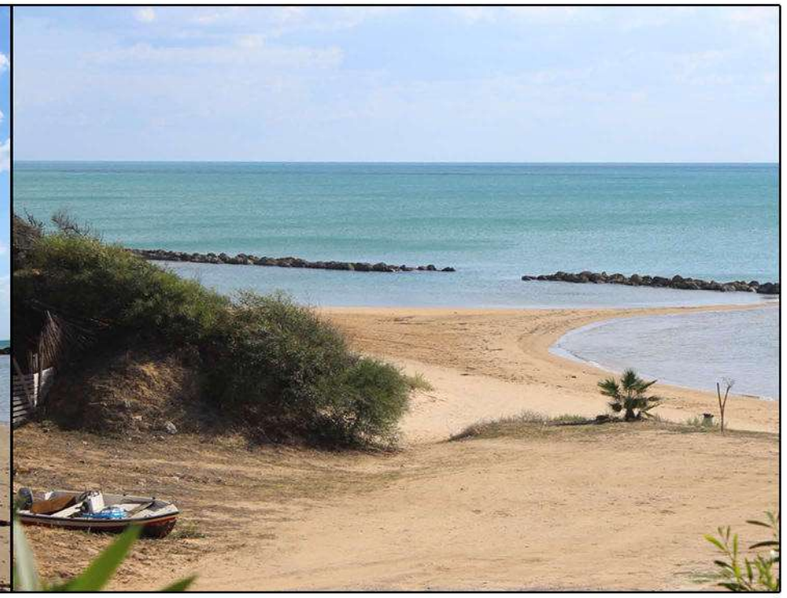


Parametri Statistici	
D. medio:	2,421 *Mz*
Dev. standard:	0,352 *s*
Skewness:	0,150 *Sk*
Kurtosis:	0,911 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,372





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown



Identificativo Spiaggia: AG.PE.C

Comune: Porto Empedocle

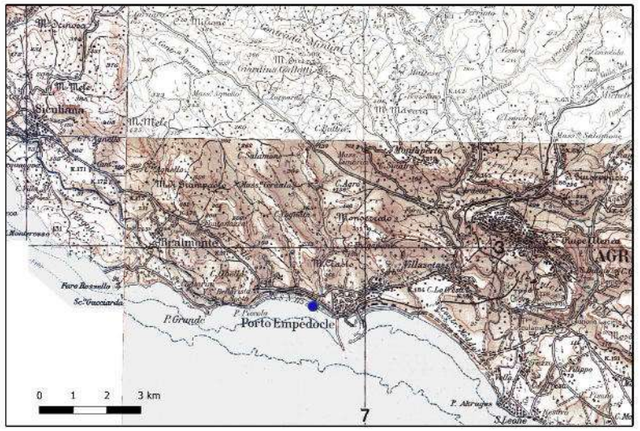
Provincia: Agrigento

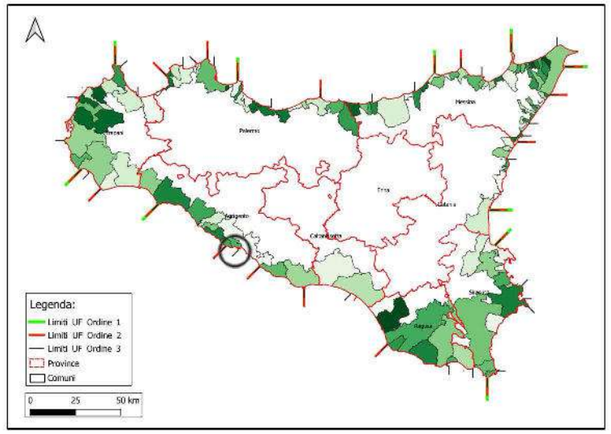
Identificativo Unità Fisiografica: 4.4.2

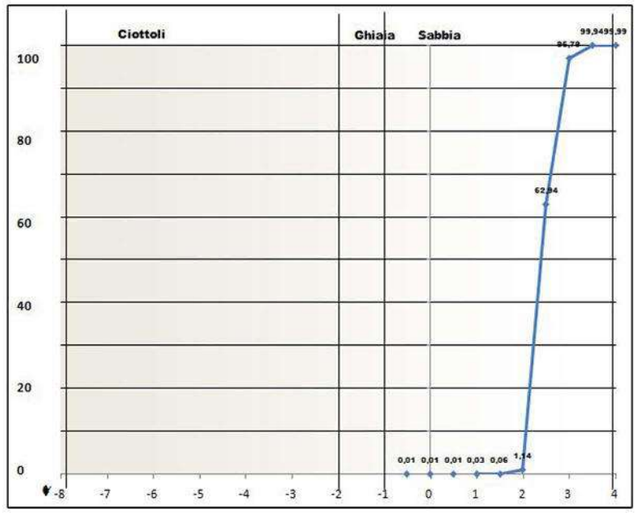
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 4

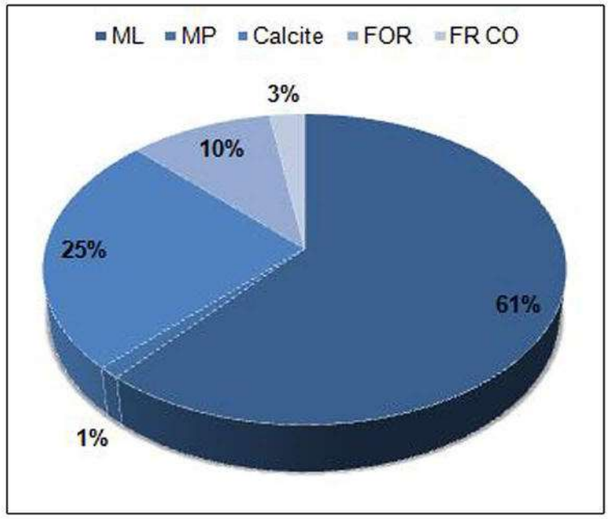
Unità Fisiografica ordine 3: 2

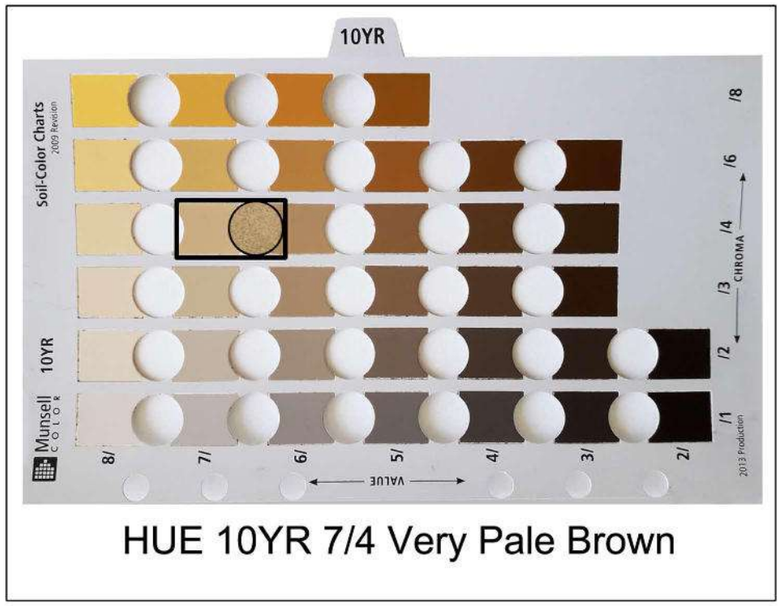






Parametri Statistici	
D. medio:	2,442 *Mz*
Dev. standard:	0,315 *s*
Skewness:	0,215 *Sk*
Kurtosis:	0,796 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,395





Identificativo Spiaggia: AG.REA.F

Comune: Realmonte

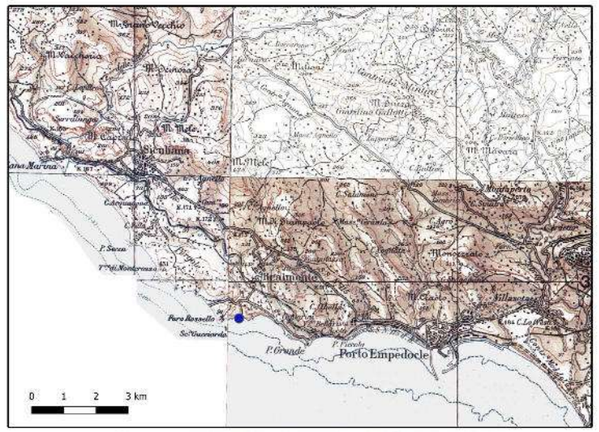
Provincia: Agrigento

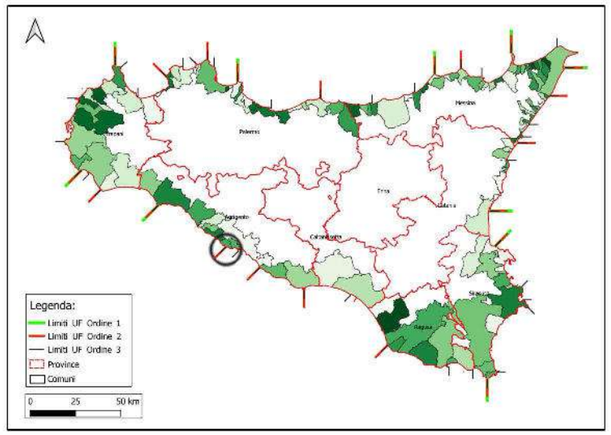
Identificativo Unità Fisiografica: 4.4.2

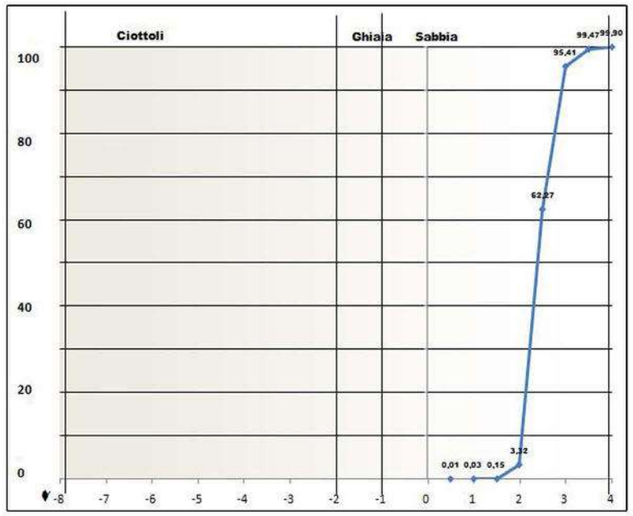
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 4

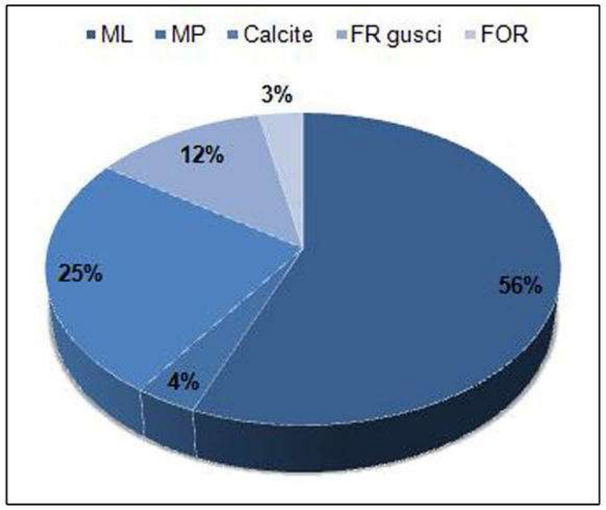
Unità Fisiografica ordine 3: 2

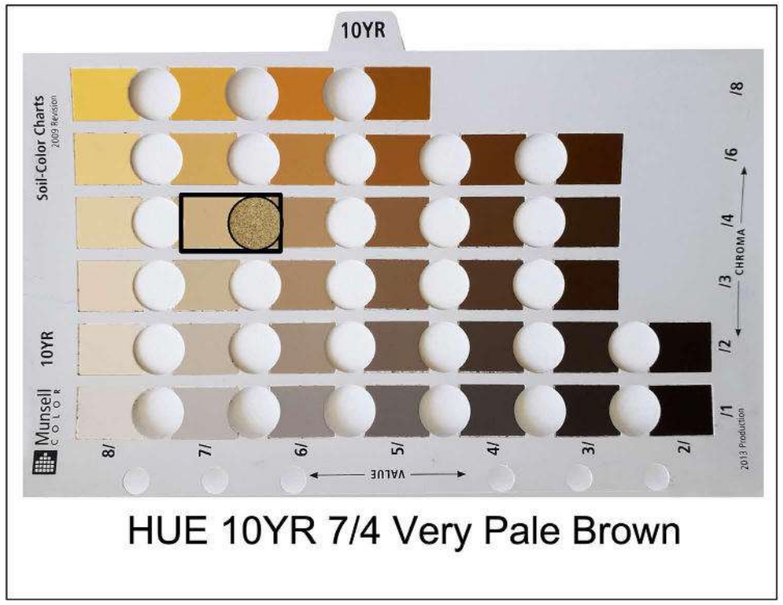






Parametri Statistici		
D. medio:	2,444	*Mz*
Dev. standard:	0,329	*s*
Skewness:	0,210	*Sk*
Kurtosis:	0,790	*Kg*
Moda:	2,500	*g*
Mediana:	2,396	





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: AG.REA.T

Comune: Realmonte

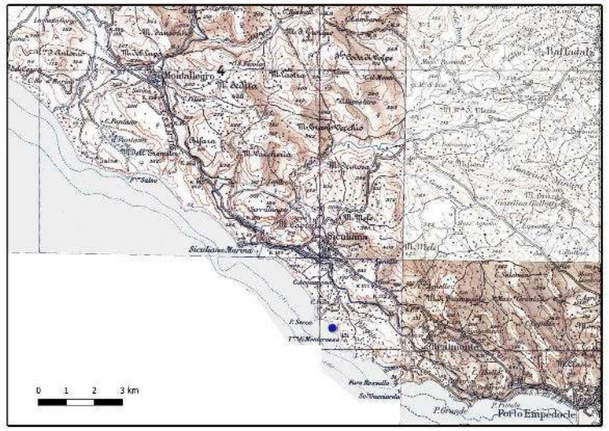
Provincia: Agrigento

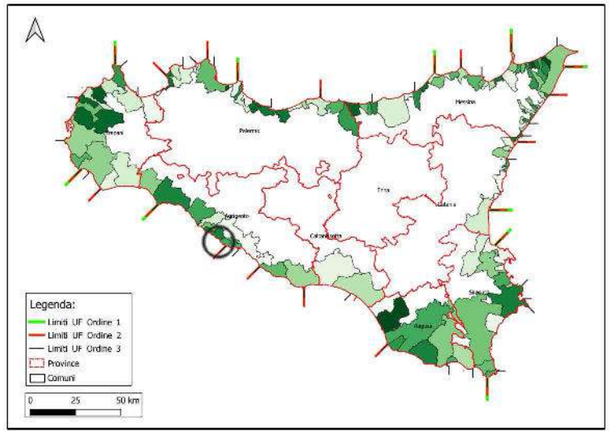
Identificativo Unità Fisiografica: 4.5.1

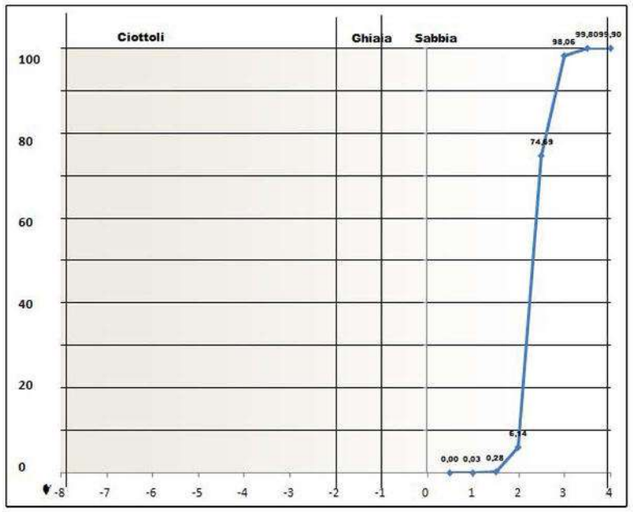
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 5

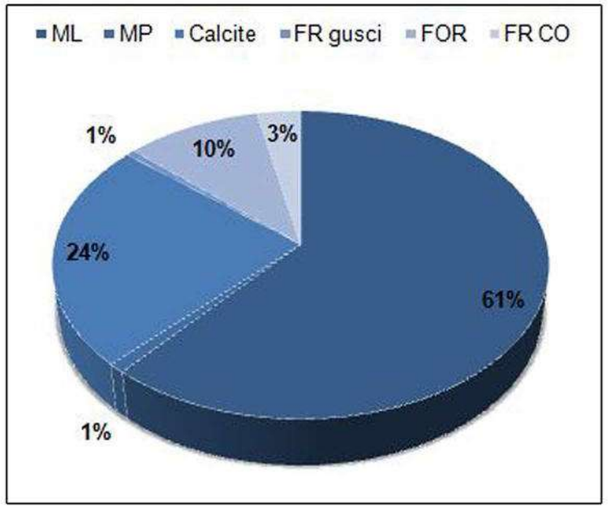
Unità Fisiografica ordine 3: 1

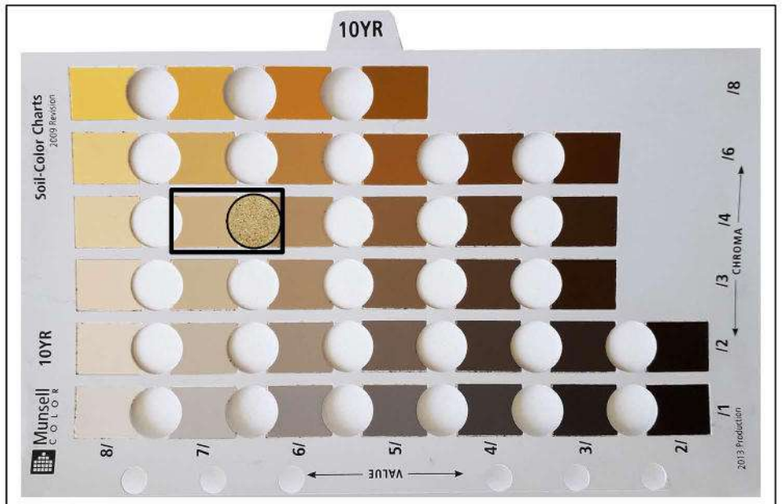






Parametri Statistici		
D. medio:	2,364	*Mz*
Dev. standard:	0,313	*s*
Skewness:	0,200	*Sk*
Kurtosis:	1,146	*Kg*
Moda:	2,500	*g*
Mediana:	2,320	





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: AG.SI.H

Comune: Siculiana

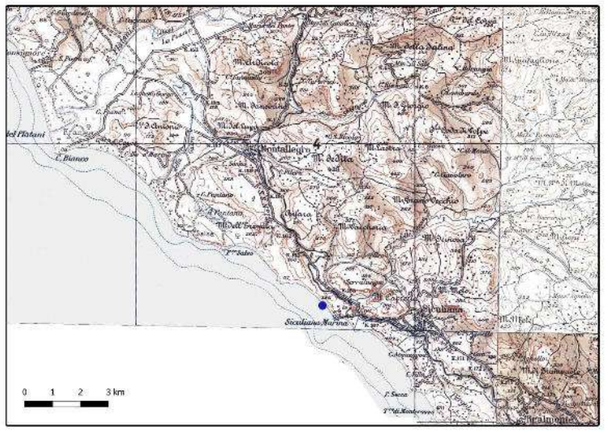
Provincia: Agrigento

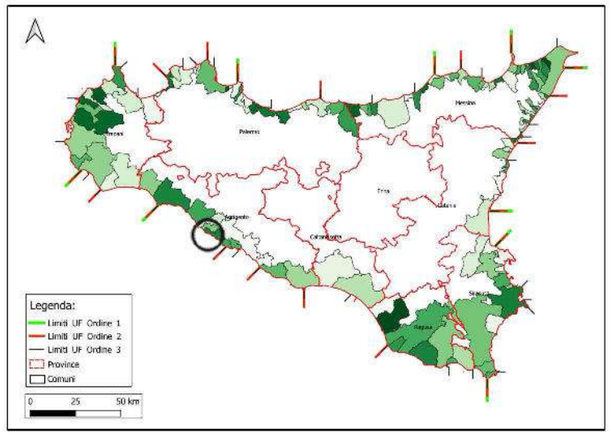
Identificativo Unità Fisiografica: 4.5.1

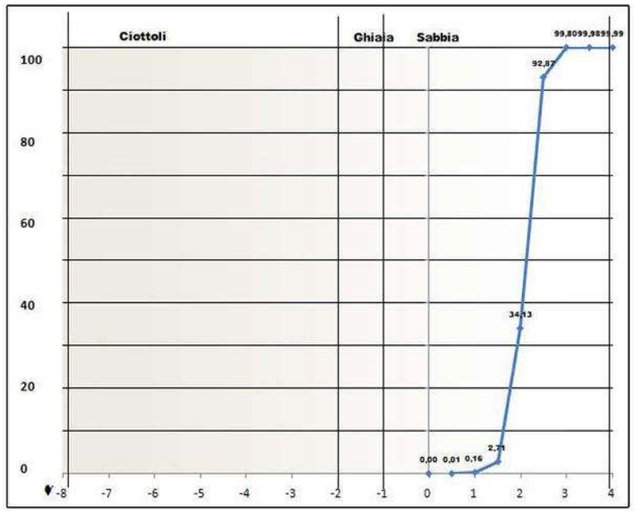
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 5

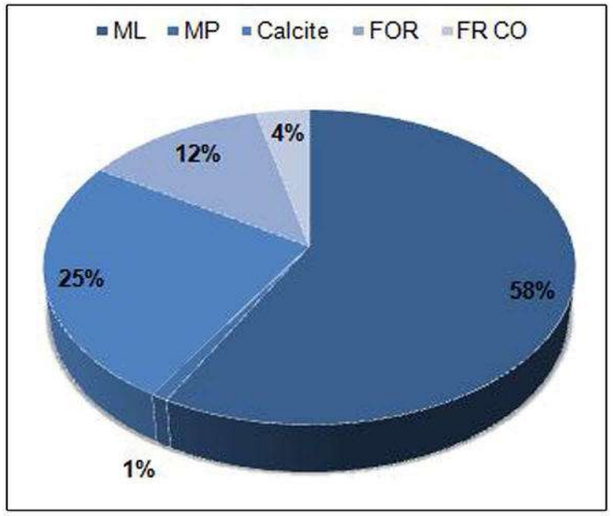
Unità Fisiografica ordine 3: 1

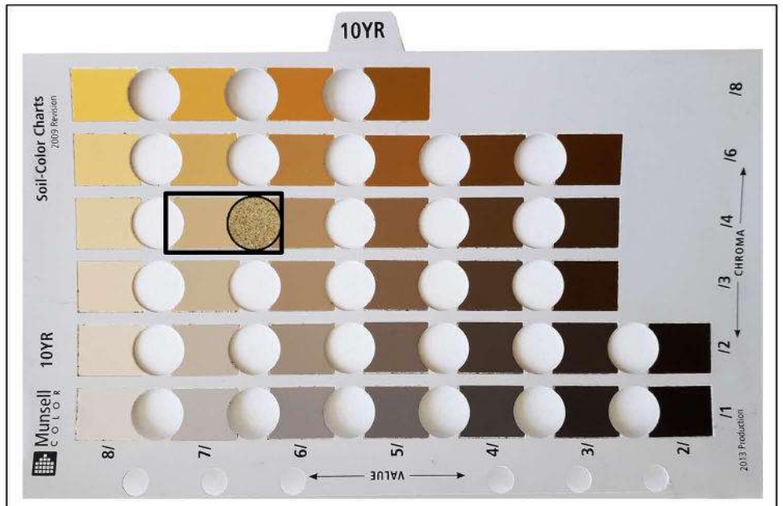






Parametri Statistici	
D. medio:	2,090 *Mz*
Dev. standard:	0,348 *s*
Skewness:	-0,130 *Sk*
Kurtosis:	0,929 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,135





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: AG.SI.M

Comune: Siculiana

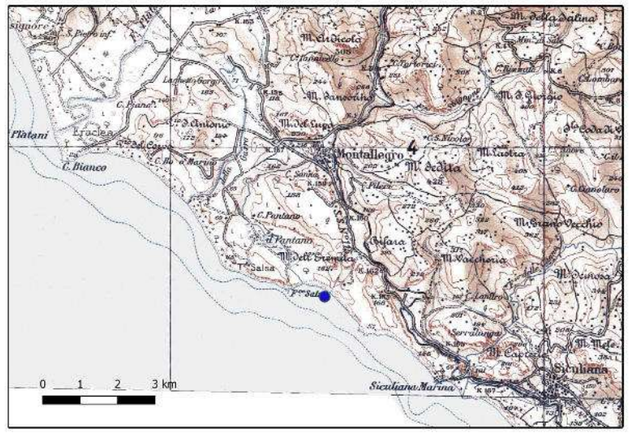
Provincia: Agrigento

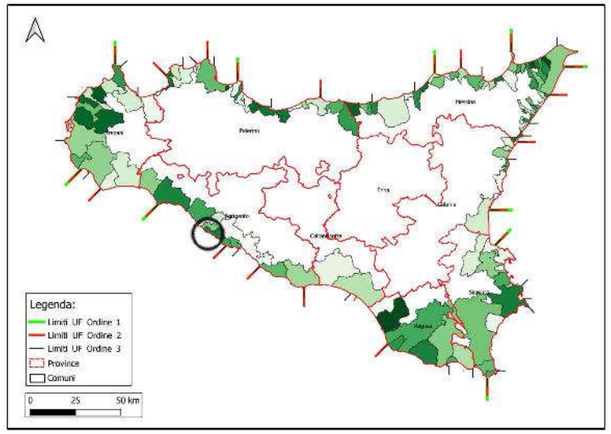
Identificativo Unità Fisiografica: 4.5.1

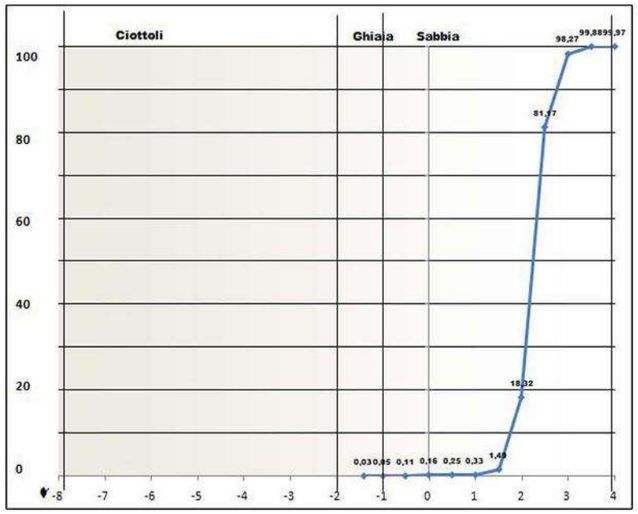
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 5

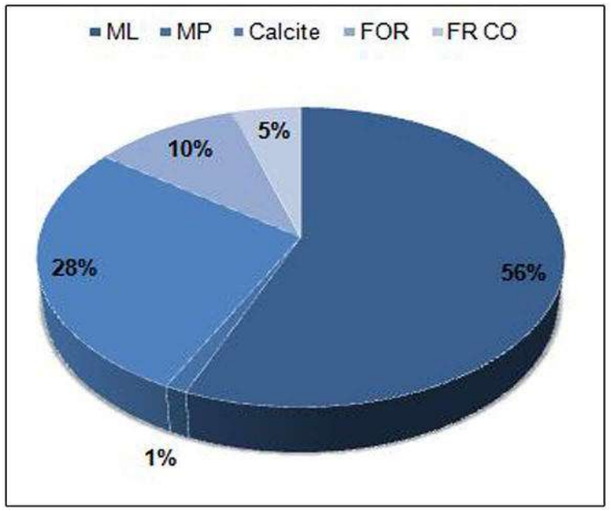
Unità Fisiografica ordine 3: 1







Parametri Statistici		
D. medio:	2,255	*Mz*
Dev. standard:	0,360	*s*
Skewness:	0,009	*Sk*
Kurtosis:	1,340	*Kg*
Moda:	2,500	*g*
Mediana:	2,252	



HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: AG.CE.A

Comune: Cattolica Eraclea

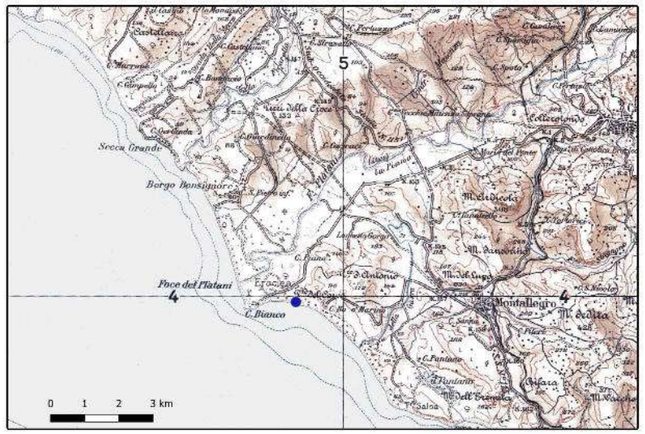
Provincia: Agrigento

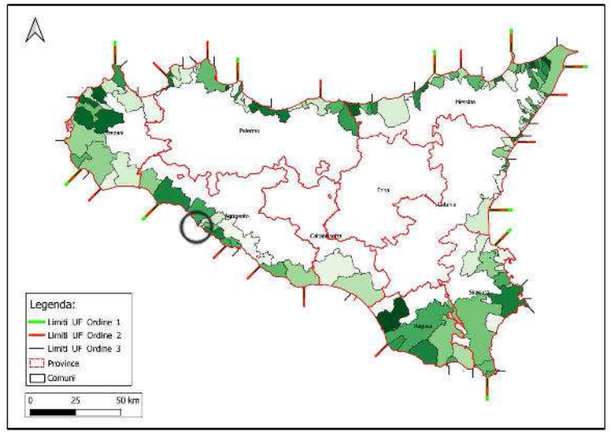
Identificativo Unità Fisiografica: 4.5.1

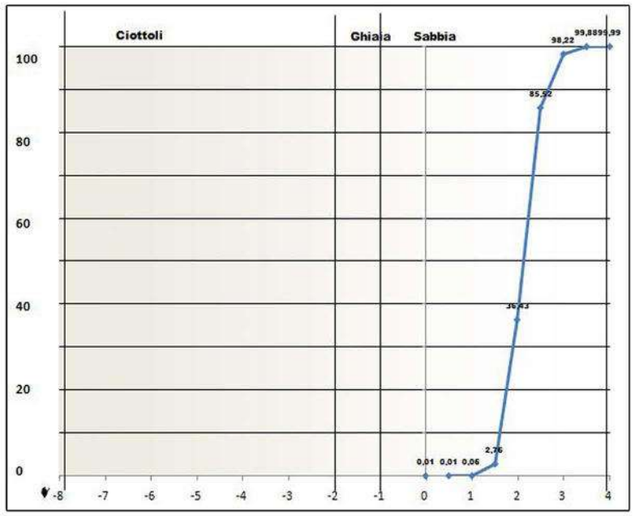
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 5

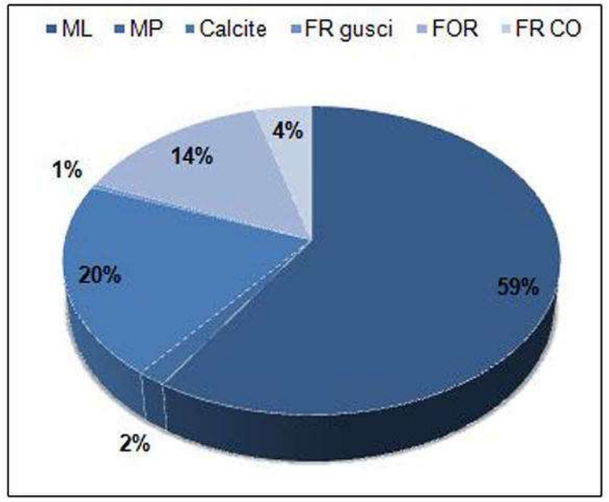
Unità Fisiografica ordine 3: 1

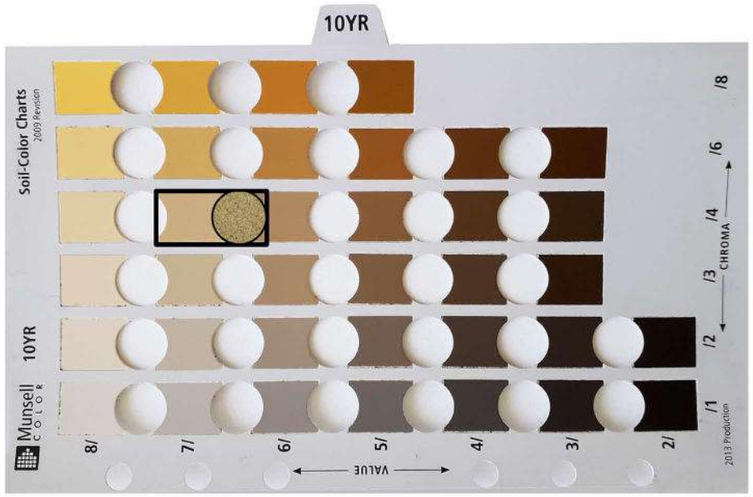






Parametri Statistici		
D. medio:	2,106	*Mz*
Dev. standard:	0,400	*s*
Skewness:	-0,012	*Sk*
Kurtosis:	0,976	*Kg*
Moda:	2,500	*g*
Mediana:	2,138	





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: AG.RI.A

Comune: Ribera

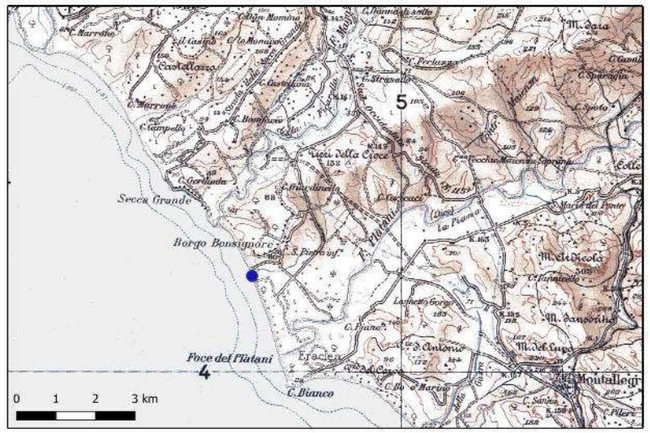
Provincia: Agrigento

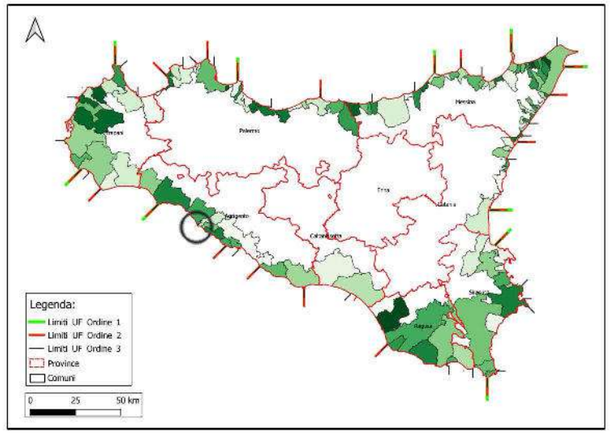
Identificativo Unità Fisiografica: 4.5.1

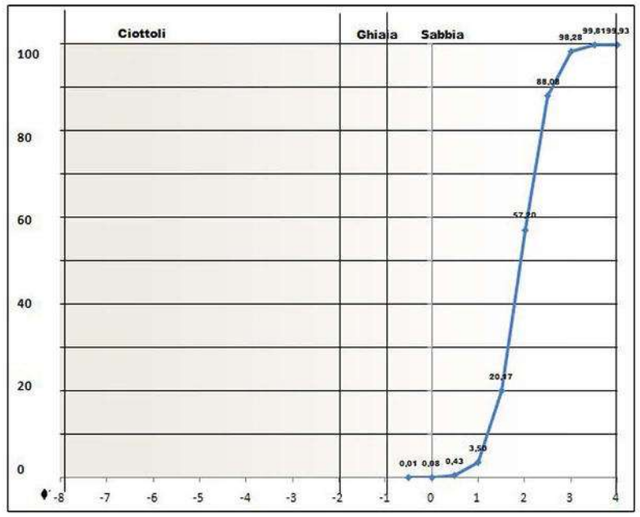
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 5

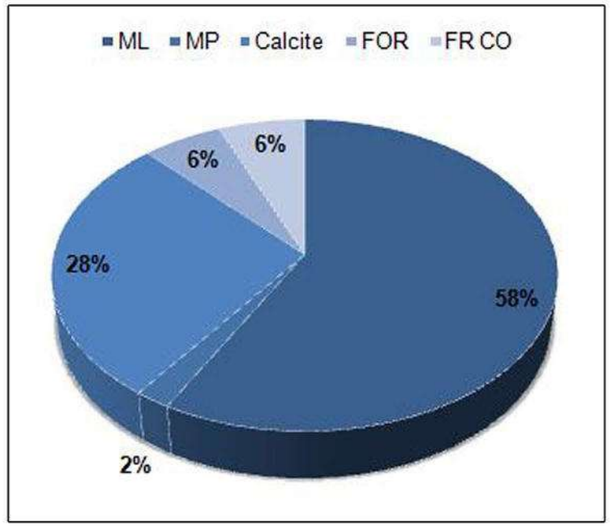
Unità Fisiografica ordine 3: 1

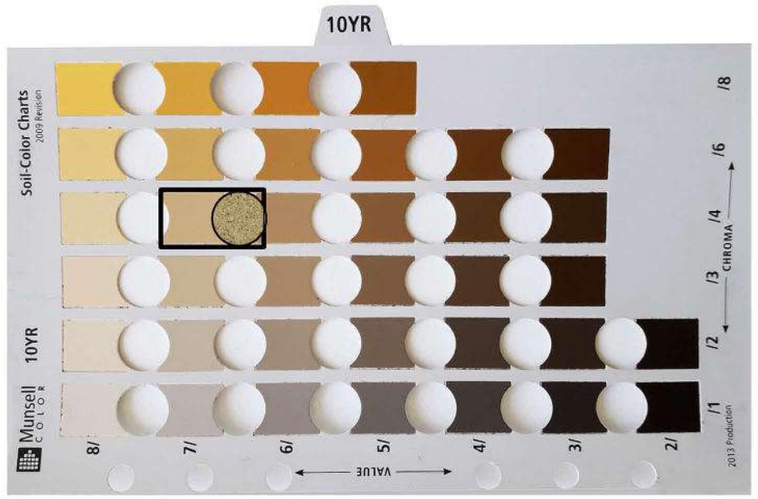




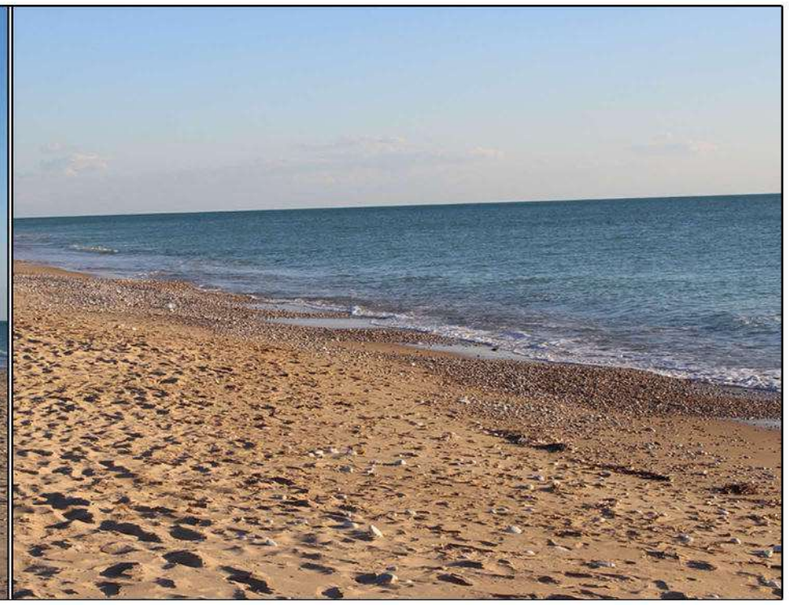


Parametri Statistici	
D. medio:	1,904 *Mz*
Dev. standard:	0,537 *s*
Skewness:	0,024 *Sk*
Kurtosis:	1,017 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,903





HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown



Identificativo Spiaggia: AG.RI.E

Comune: Ribera

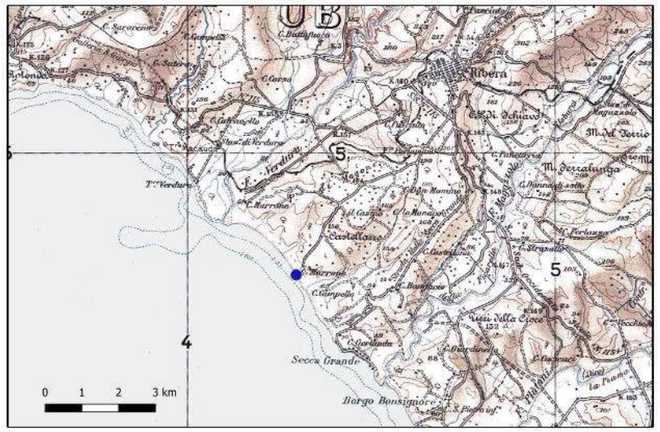
Provincia: Agrigento

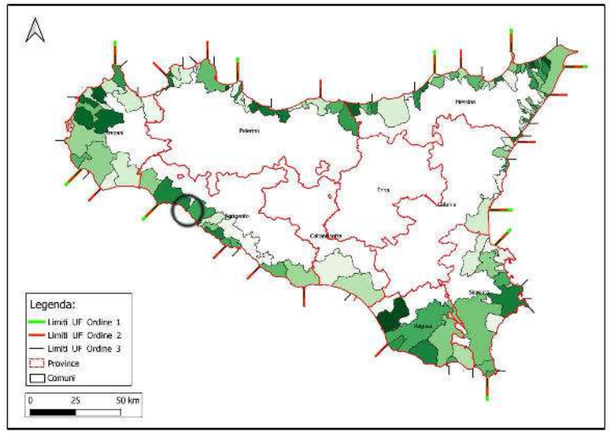
Identificativo Unità Fisiografica: 4.5.1

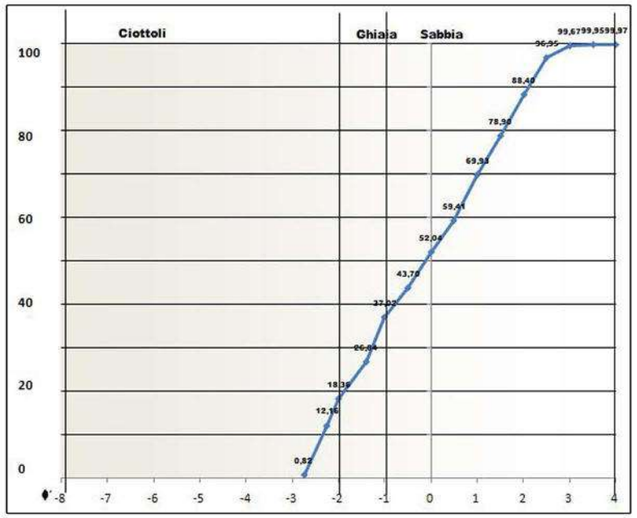
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 5

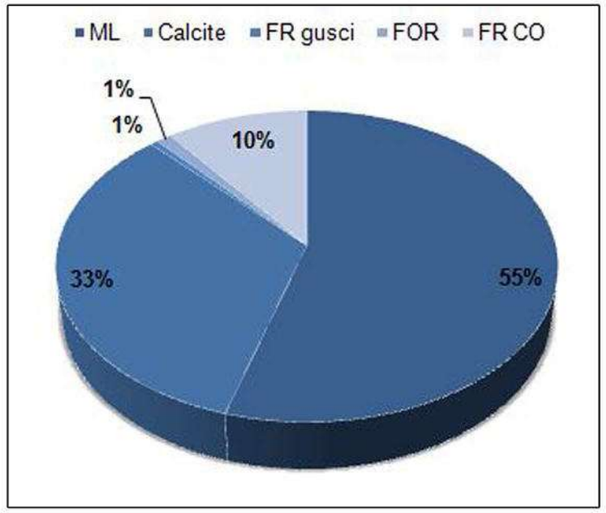
Unità Fisiografica ordine 3: 1



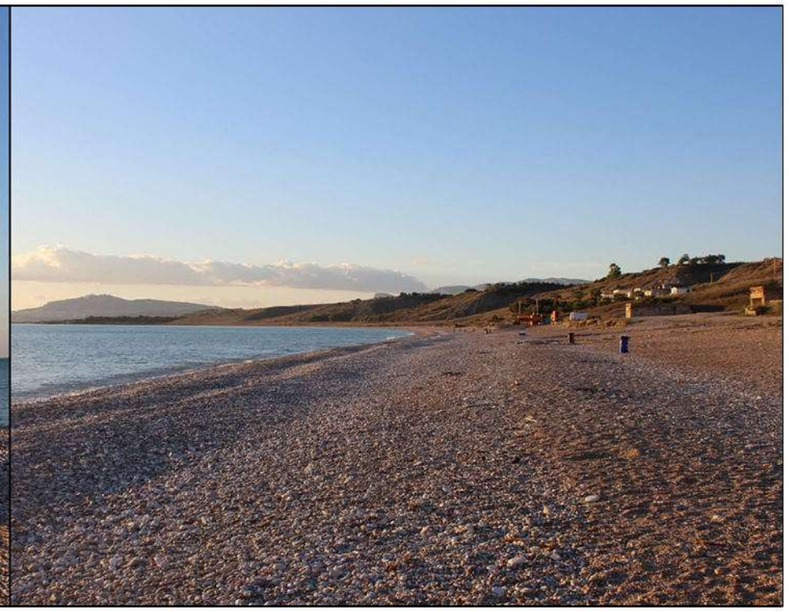




Parametri Statistici	
D. medio:	-0,150 *Mz*
Dev. standard:	1,716 *s*
Skewness:	-0,004 *Sk*
Kurtosis:	0,720 *Kg*
Moda:	-2,250 *g*
Mediana:	-0,122



HUE 10YR 6/3 Pale Brown



Identificativo Spiaggia: AG.SC.Z

Comune: Sciacca

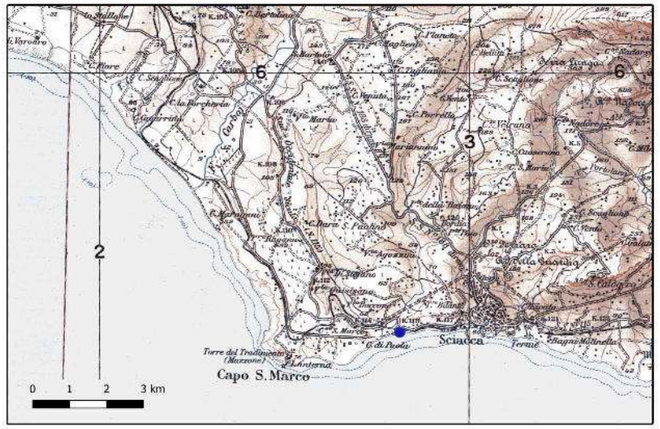
Provincia: Agrigento

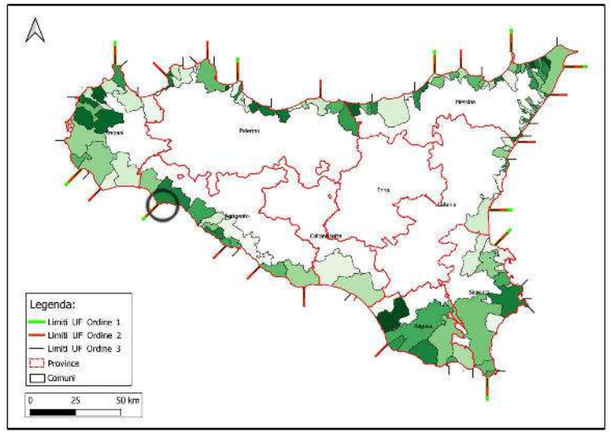
Identificativo Unità Fisiografica: 4.5.1

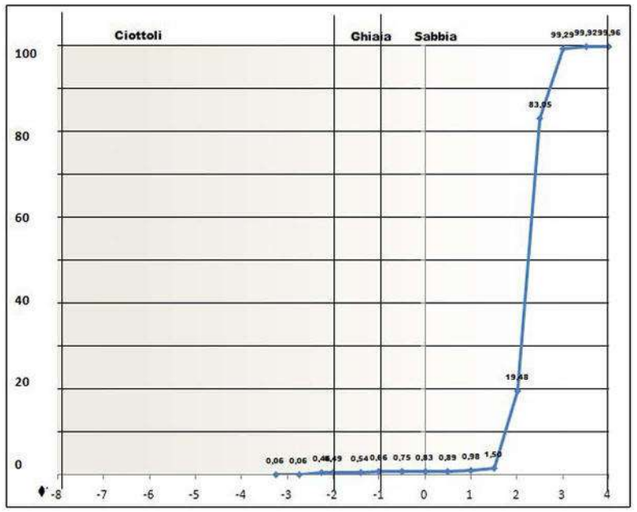
Unità Fisiografica ordine 1: 4

Unità Fisiografica ordine 2: 5

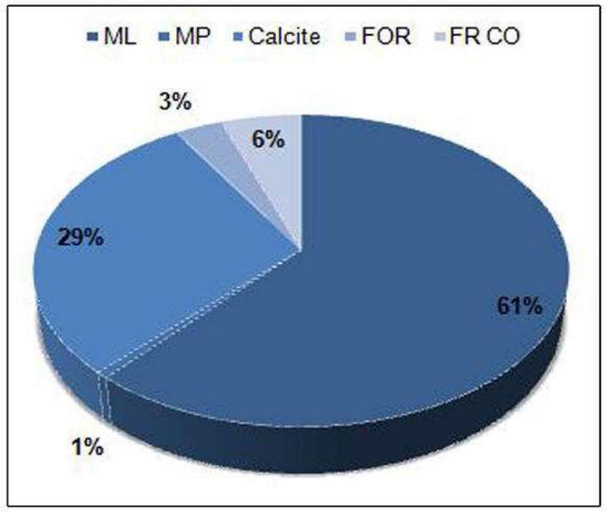
Unità Fisiografica ordine 3: 1

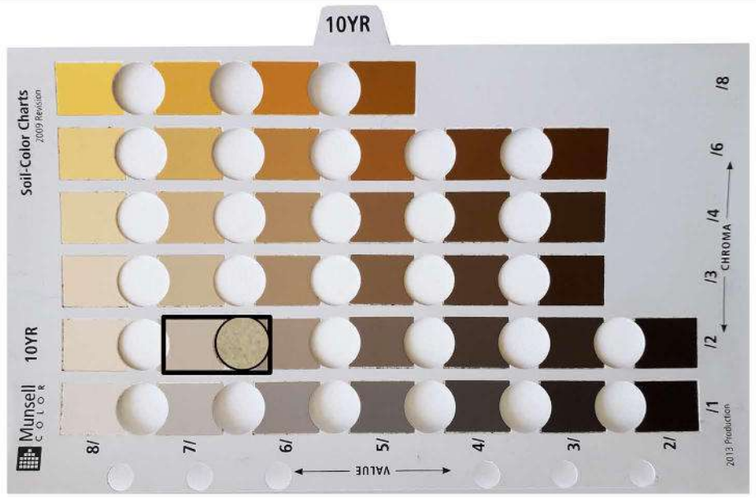






Parametri Statistici	
D. medio:	2,224 *Mz*
Dev. standard:	0,349 *s*
Skewness:	-0,044 *Sk*
Kurtosis:	1,324 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,240





HUE 10YR 7/2 Light Gray

Identificativo Spiaggia: AG.SC.AN

Comune: Sciacca

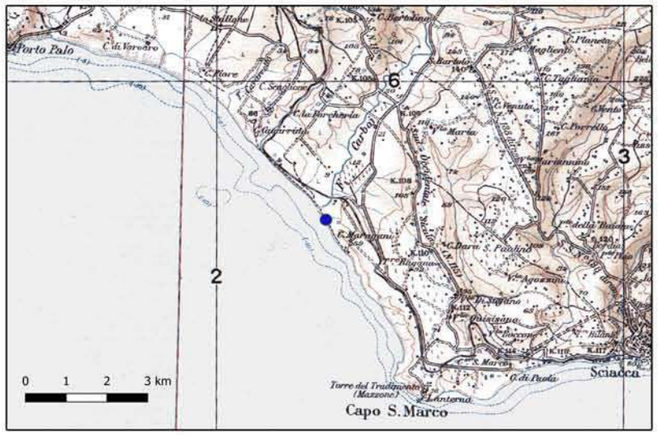
Provincia: Agrigento

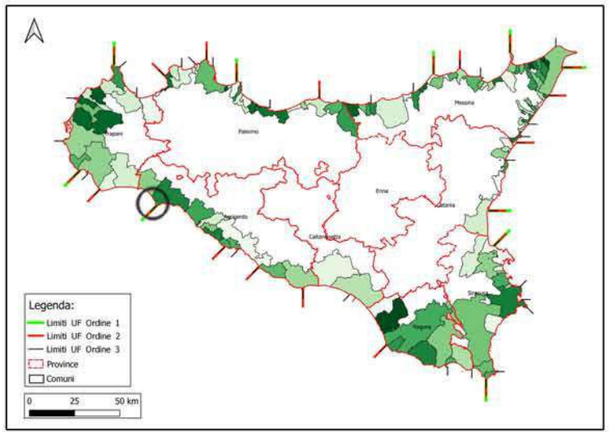
Identificativo Unità Fisiografica: 5.1.1

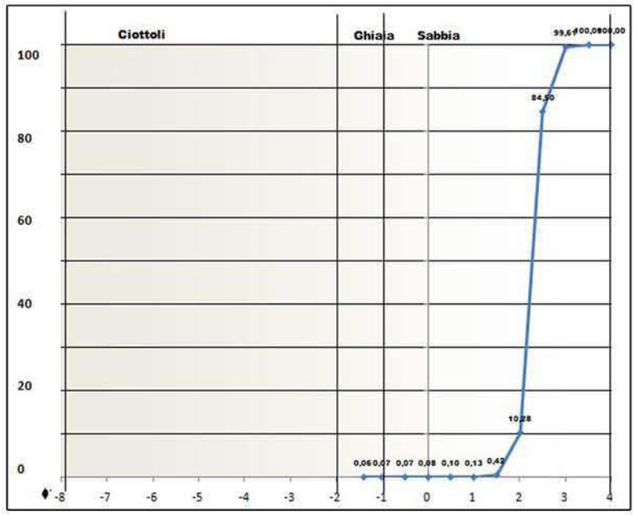
Unità Fisiografica ordine 1: 5

Unità Fisiografica ordine 2: 1

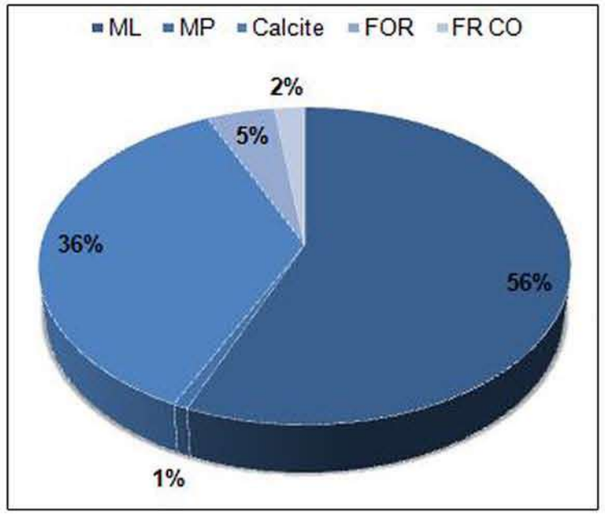
Unità Fisiografica ordine 3: 1

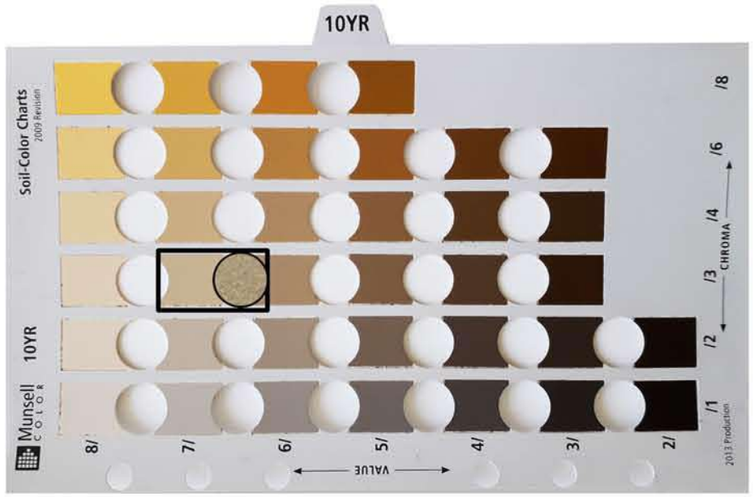






Parametri Statistici	
D. medio:	2,268 *Mz*
Dev. standard:	0,283 *s*
Skewness:	0,020 *Sk*
Kurtosis:	1,357 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,268





HUE 10YR 7/3 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: TP.CdM.A

Comune: Campobello di Mazara

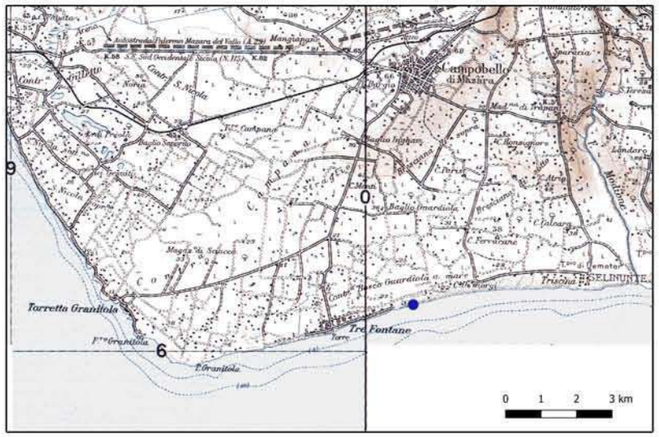
Provincia: Trapani

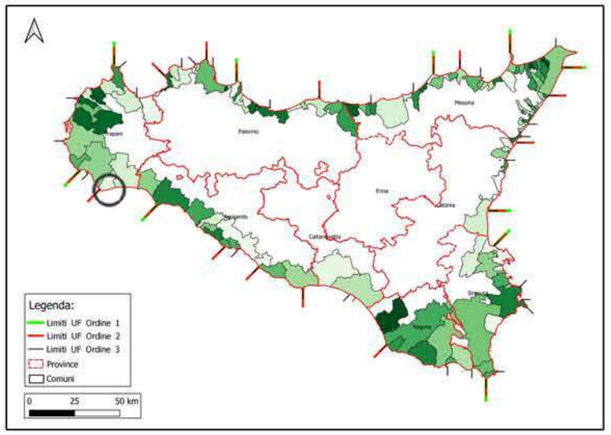
Identificativo Unità Fisiografica: 5.1.1

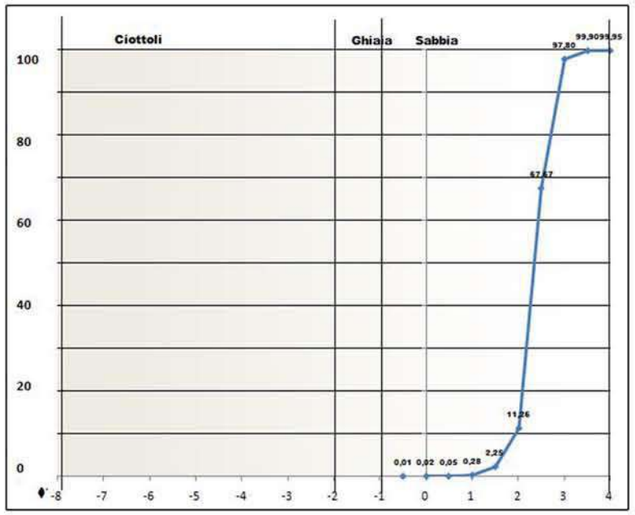
Unità Fisiografica ordine 1: 5

Unità Fisiografica ordine 2: 1

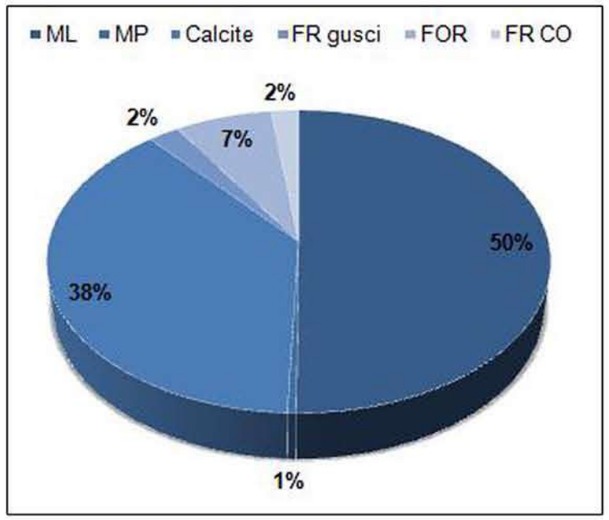
Unità Fisiografica ordine 3: 1

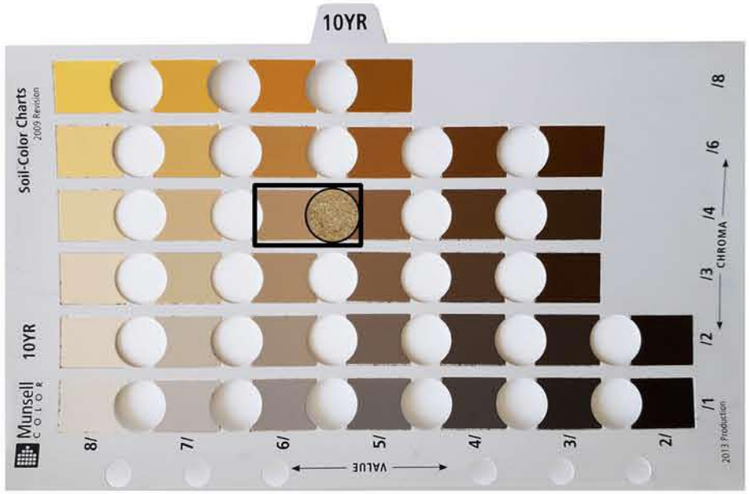






Parametri Statistici	
D. medio:	2,385 *Mz*
Dev. standard:	0,379 *s*
Skewness:	0,056 *Sk*
Kurtosis:	1,067 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,343





HUE 10YR 6/4 Light Yellowish Brown

Identificativo Spiaggia: TP.MdV.E

Comune: Mazara del Vallo

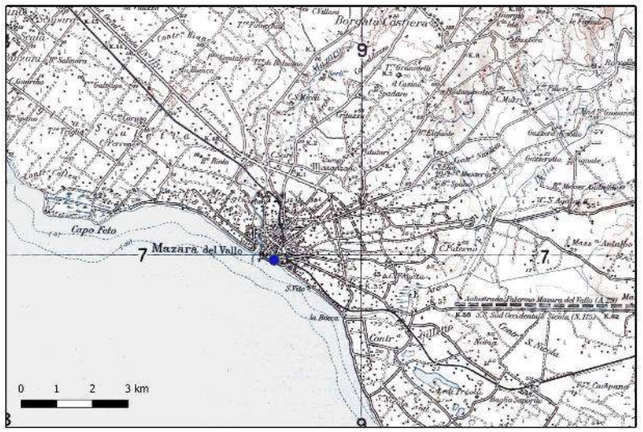
Provincia: Trapani

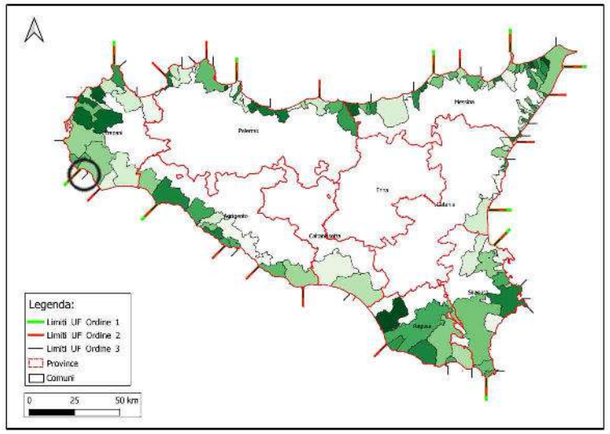
Identificativo Unità Fisiografica: 5.2.1

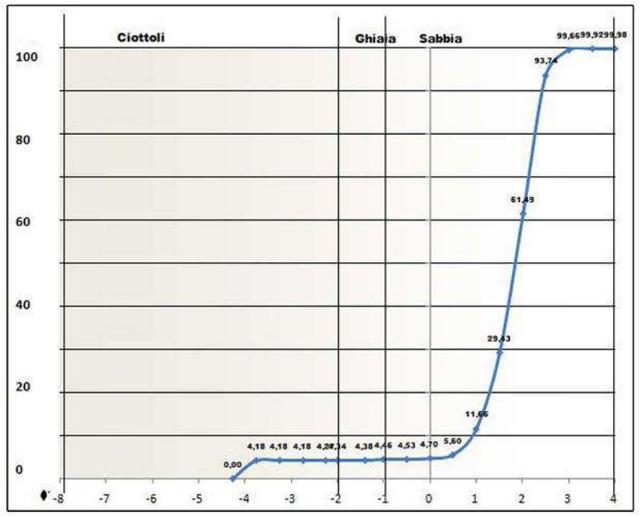
Unità Fisiografica ordine 1: 5

Unità Fisiografica ordine 2: 2

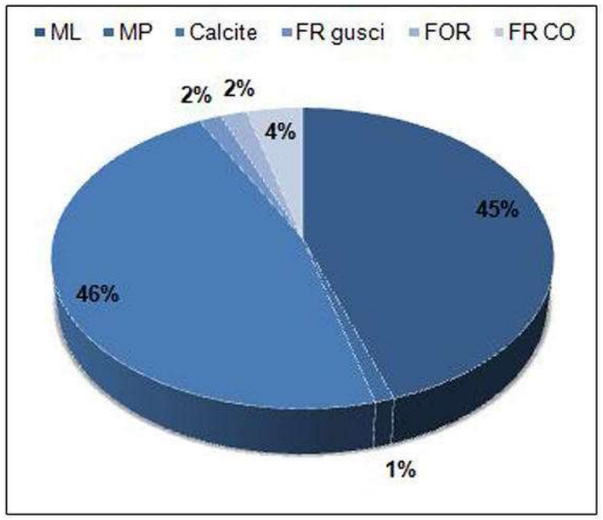
Unità Fisiografica ordine 3: 1







Parametri Statistici	
D. medio:	1,764 *Mz*
Dev. standard:	0,676 *s*
Skewness:	-0,247 *Sk*
Kurtosis:	1,199 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	1,821



HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: TP.MdV.G

Comune: Mazara del Vallo

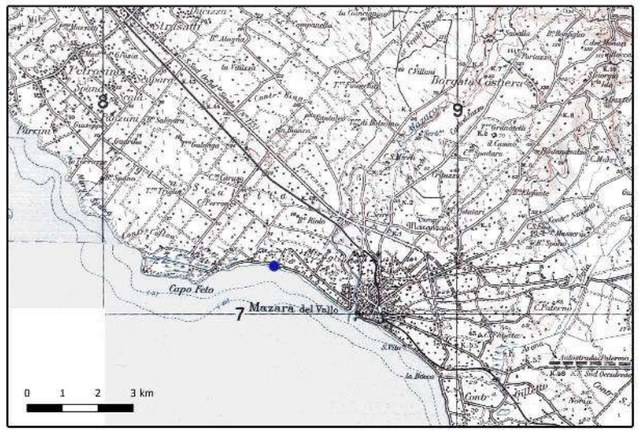
Provincia: Trapani

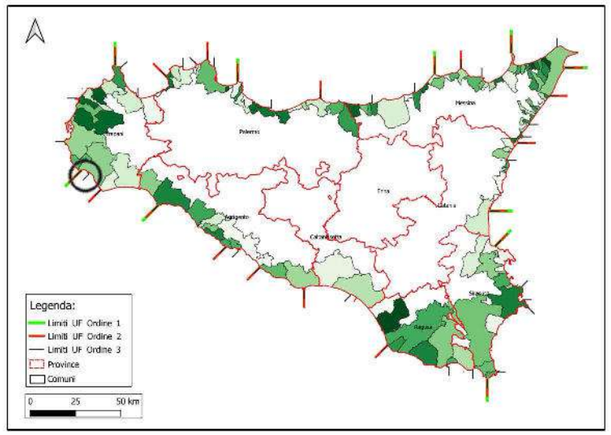
Identificativo Unità Fisiografica: 5.2.2

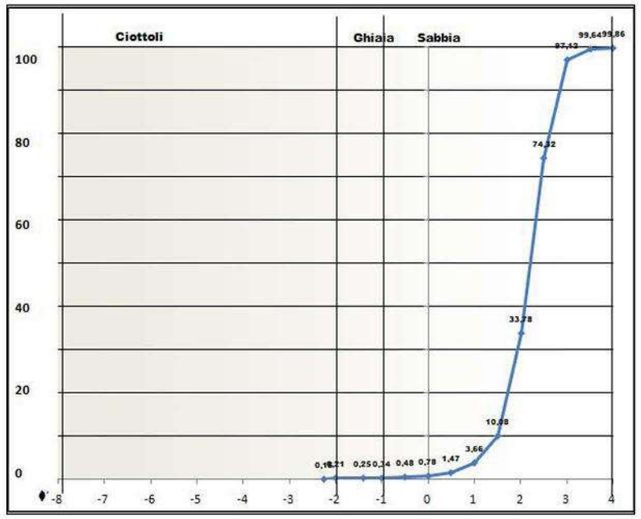
Unità Fisiografica ordine 1: 5

Unità Fisiografica ordine 2: 2

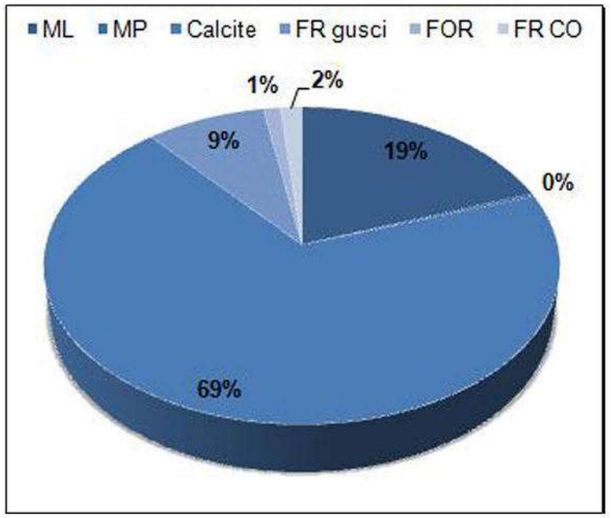
Unità Fisiografica ordine 3: 2

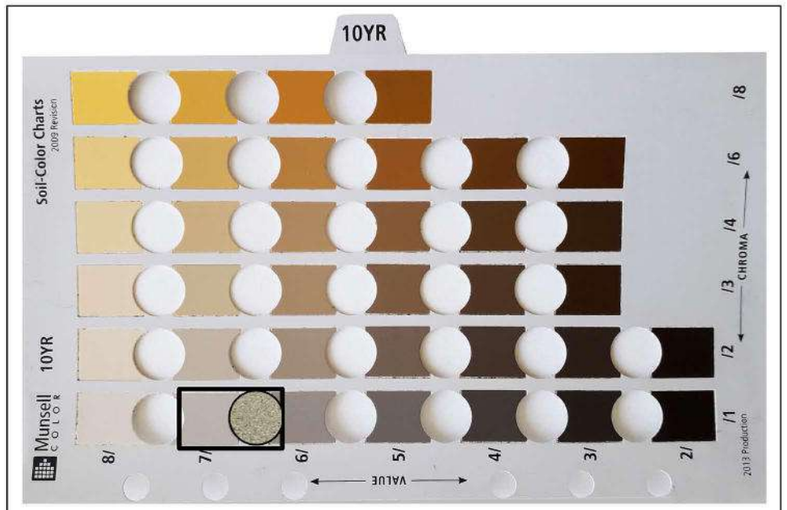






Parametri Statistici	
D. medio:	2,179 *Mz*
Dev. standard:	0,552 *s*
Skewness:	-0,122 *Sk*
Kurtosis:	1,083 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,200





HUE 10YR 7/1 Light Gray

Identificativo Spiaggia: TP.MA.A

Comune: Marsala

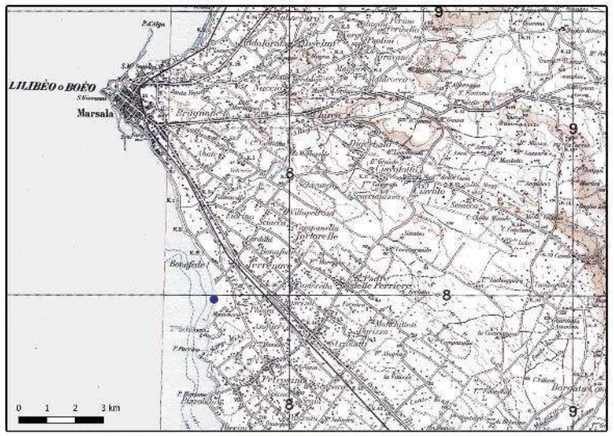
Provincia: Trapani

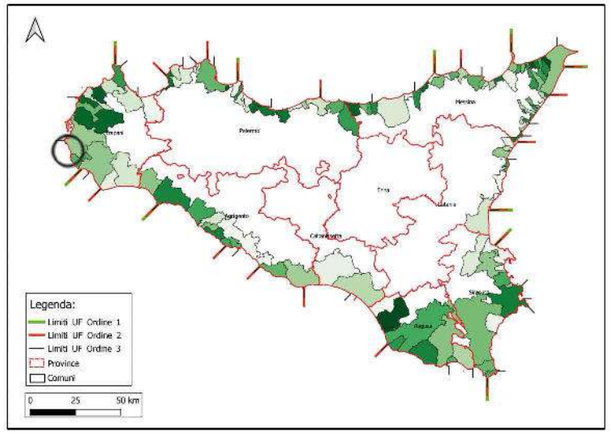
Identificativo Unità Fisiografica: 6.1.1

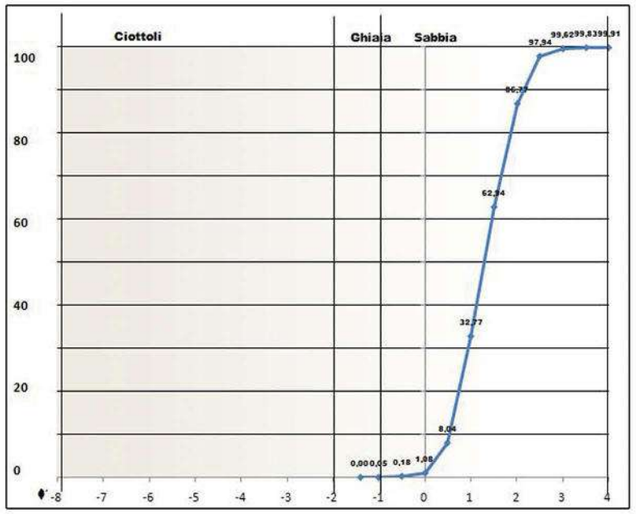
Unità Fisiografica ordine 1: 6

Unità Fisiografica ordine 2: 1

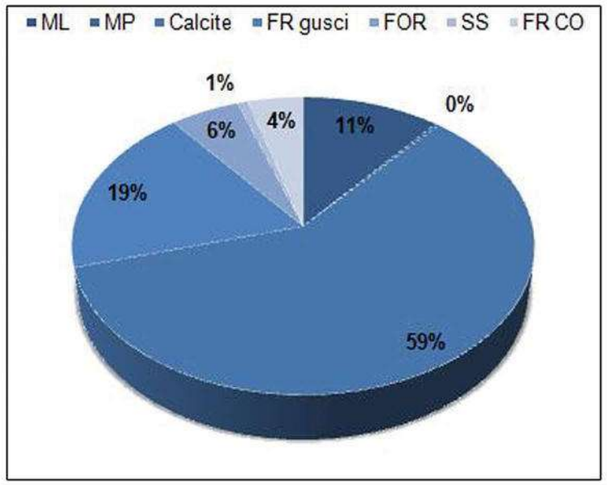
Unità Fisiografica ordine 3: 1







Parametri Statistici	
D. medio:	1,296 *Mz*
Dev. standard:	0,636 *s*
Skewness:	0,031 *Sk*
Kurtosis:	0,940 *Kg*
Moda:	1,500 *g*
Mediana:	1,286



HUE 10YR 6/2 Light Brownish Gray

Identificativo Spiaggia: TP.ER.A

Comune: Erice

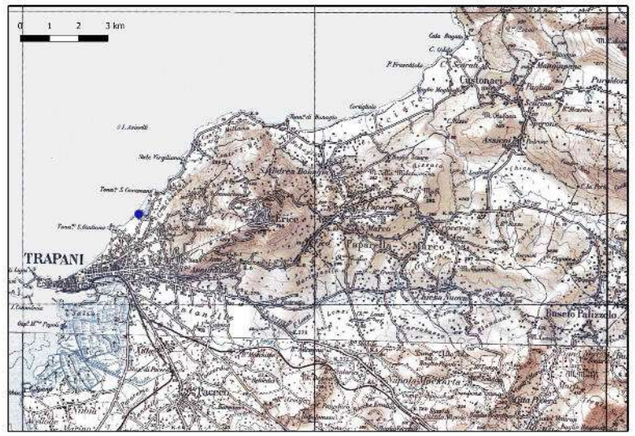
Provincia: Trapani

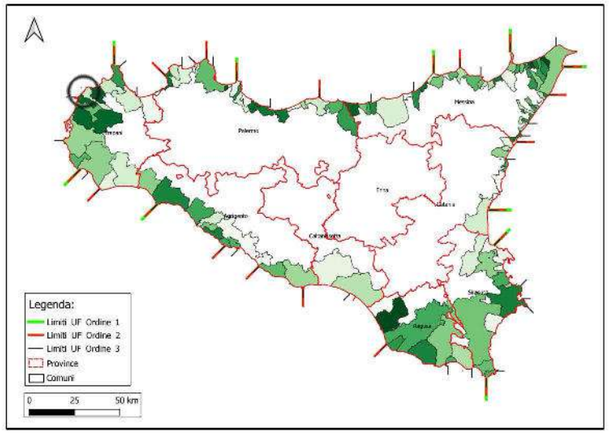
Identificativo Unità Fisiografica: 6.1.3

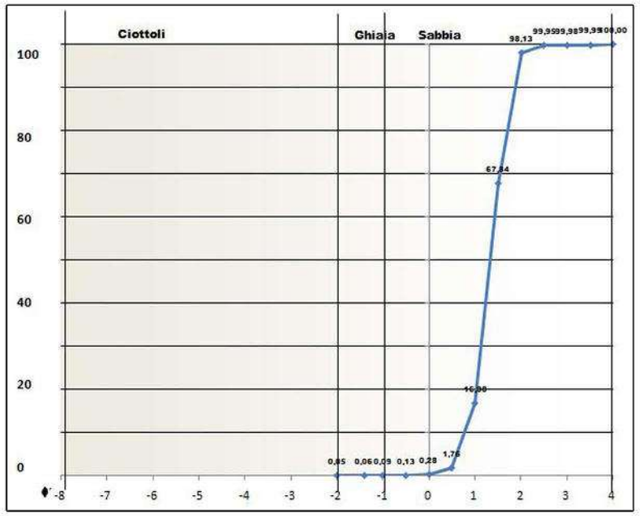
Unità Fisiografica ordine 1: 6

Unità Fisiografica ordine 2: 1

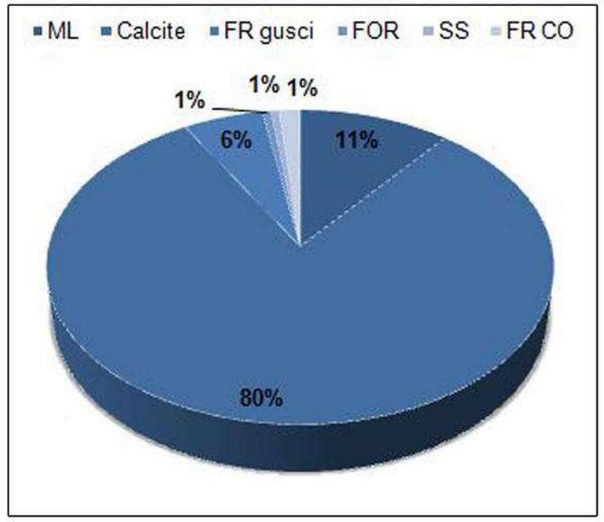
Unità Fisiografica ordine 3: 3







Parametri Statistici	
D. medio:	1,354 *Mz*
Dev. standard:	0,402 *s*
Skewness:	0,020 *Sk*
Kurtosis:	1,021 *Kg*
Moda:	1,500 *g*
Mediana:	1,325



HUE 10YR 6/4 Light Yellowish Brown

Identificativo Spiaggia: TP.SVC.H

Comune: San Vito Lo Capo

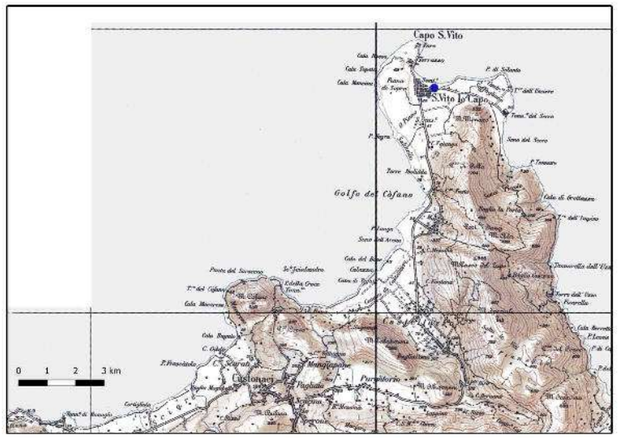
Provincia: Trapani

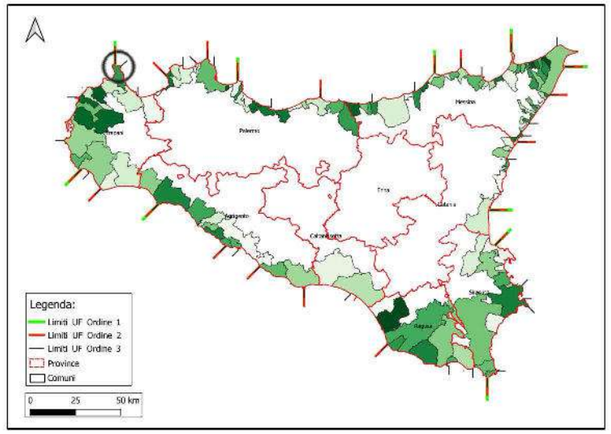
Identificativo Unità Fisiografica: 7.1.1

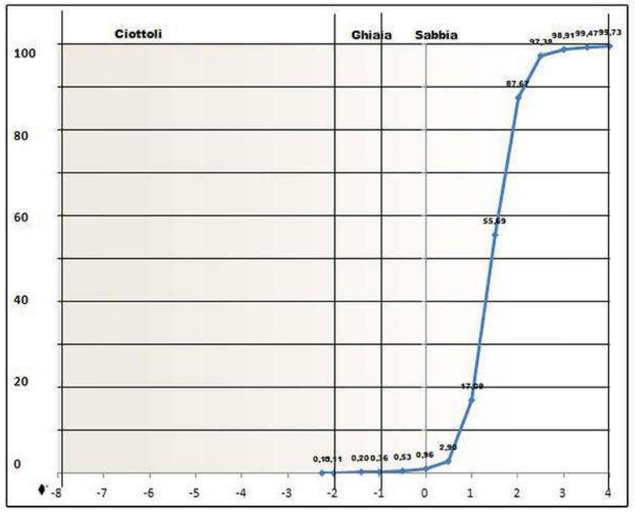
Unità Fisiografica ordine 1: 7

Unità Fisiografica ordine 2: 1

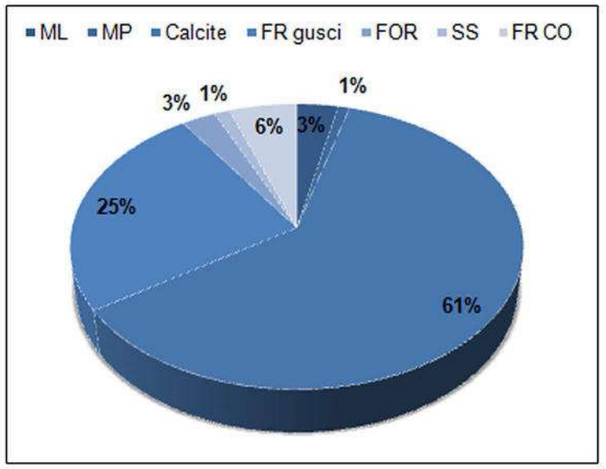
Unità Fisiografica ordine 3: 1







Parametri Statistici	
D. medio:	1,444 *Mz*
Dev. standard:	0,519 *s*
Skewness:	0,054 *Sk*
Kurtosis:	1,057 *Kg*
Moda:	1,500 *g*
Mediana:	1,426



HUE 10YR 8/2 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: TP.CdG.M

Comune: Castellammare del Golfo

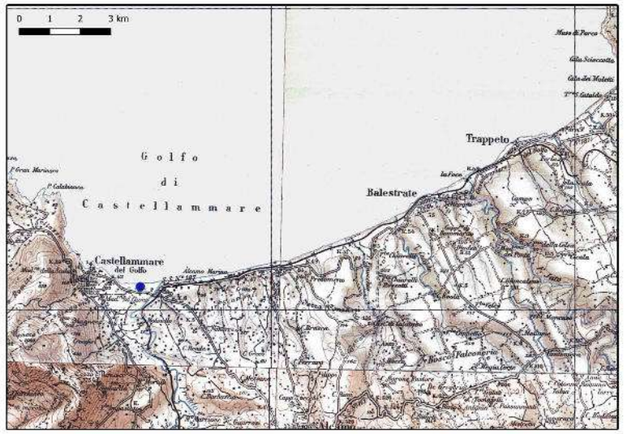
Provincia: Trapani

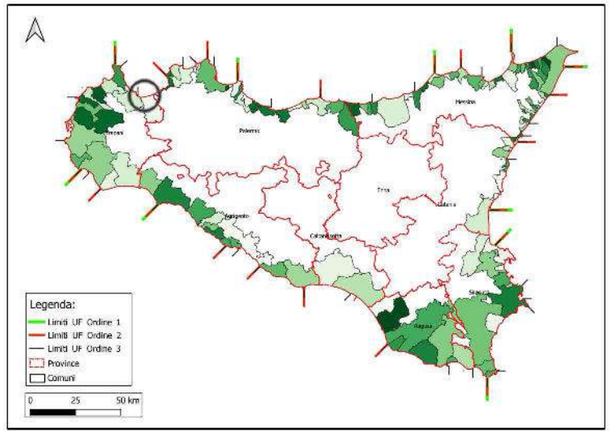
Identificativo Unità Fisiografica: 7.1.3

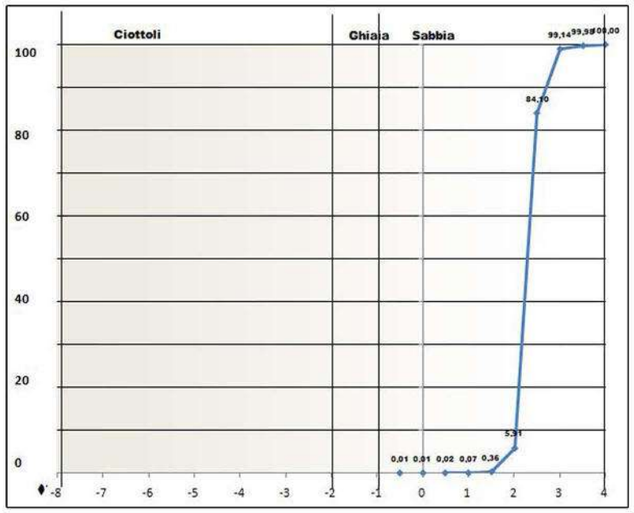
Unità Fisiografica ordine 1: 7

Unità Fisiografica ordine 2: 1

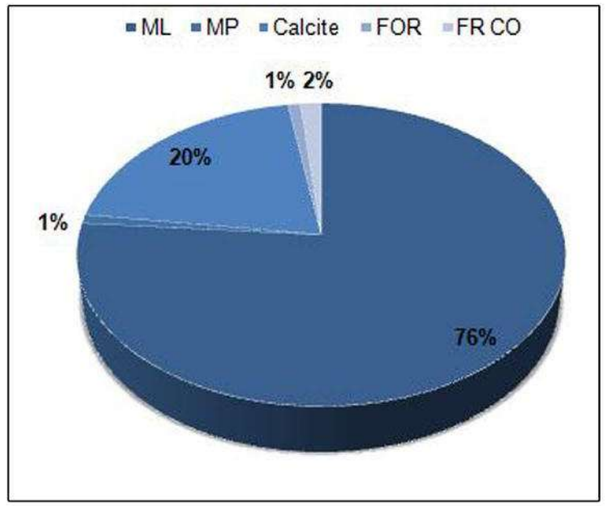
Unità Fisiografica ordine 3: 3

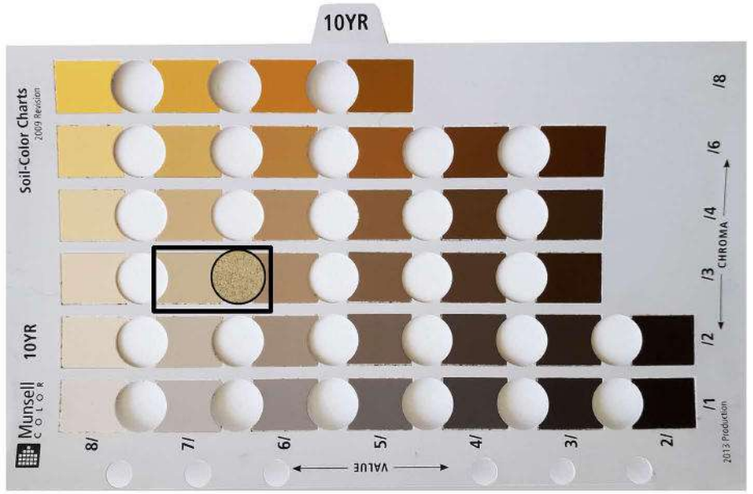






Parametri Statistici	
D. medio:	2,282 *Mz*
Dev. standard:	0,252 *s*
Skewness:	0,115 *Sk*
Kurtosis:	1,210 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,282





HUE 10YR 7/3 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: TP.AL.A

Comune: Alcamo

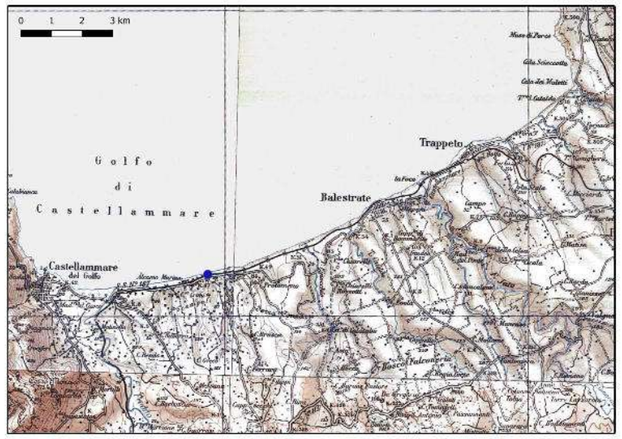
Provincia: Trapani

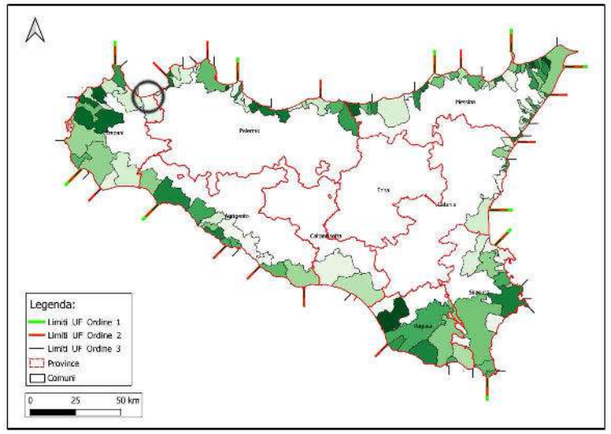
Identificativo Unità Fisiografica: 7.1.3

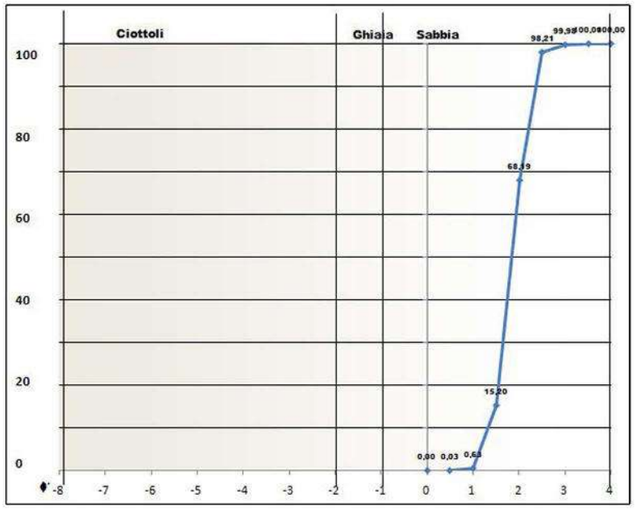
Unità Fisiografica ordine 1: 7

Unità Fisiografica ordine 2: 1

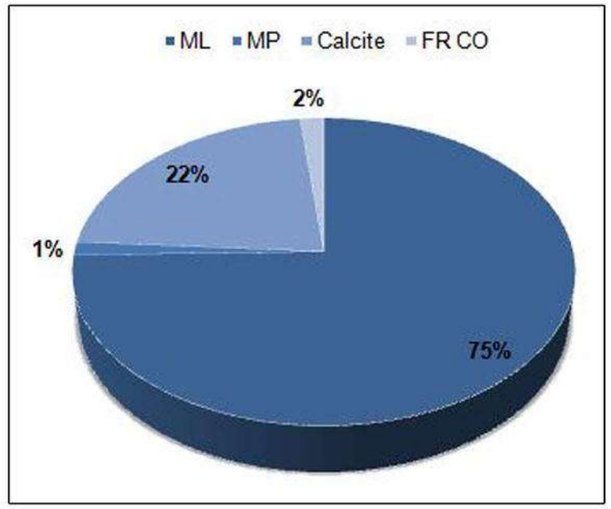
Unità Fisiografica ordine 3: 3

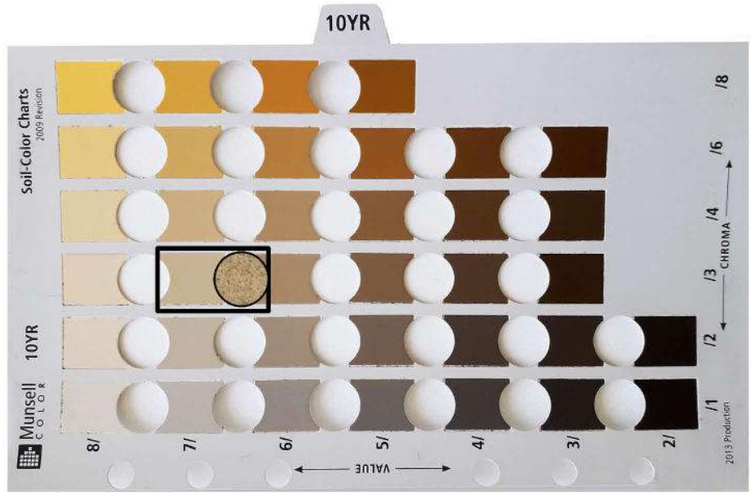




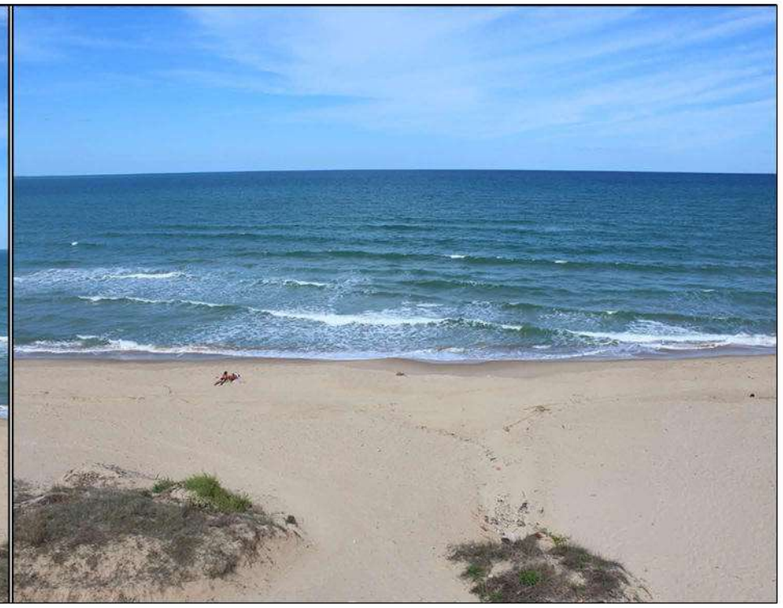


Parametri Statistici	
D. medio:	1,866 *Mz*
Dev. standard:	0,385 *s*
Skewness:	0,052 *Sk*
Kurtosis:	1,020 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,828





HUE 10YR 7/3 Very Pale Brown



Identificativo Spiaggia: PA.BAL.C

Comune: Balestrate

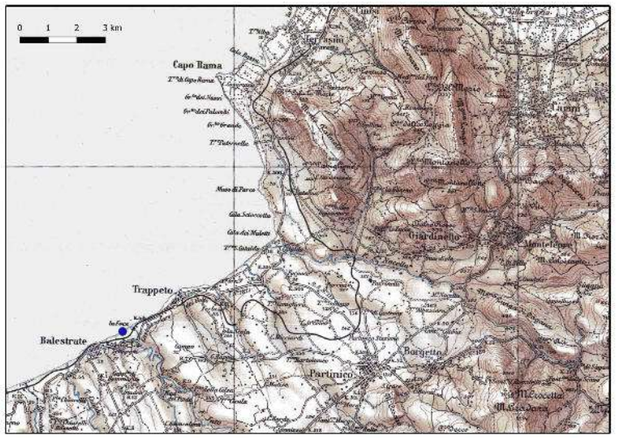
Provincia: Palermo

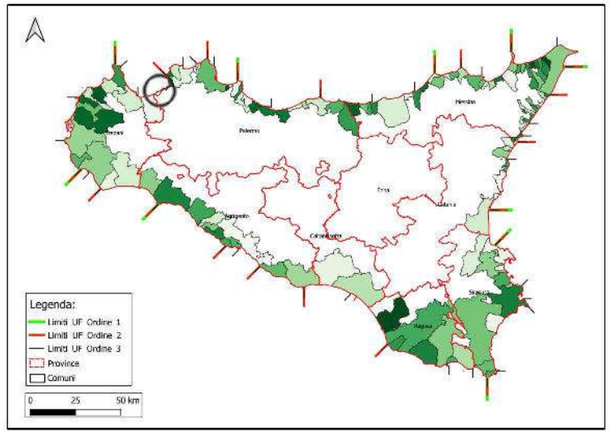
Identificativo Unità Fisiografica: 7.1.3

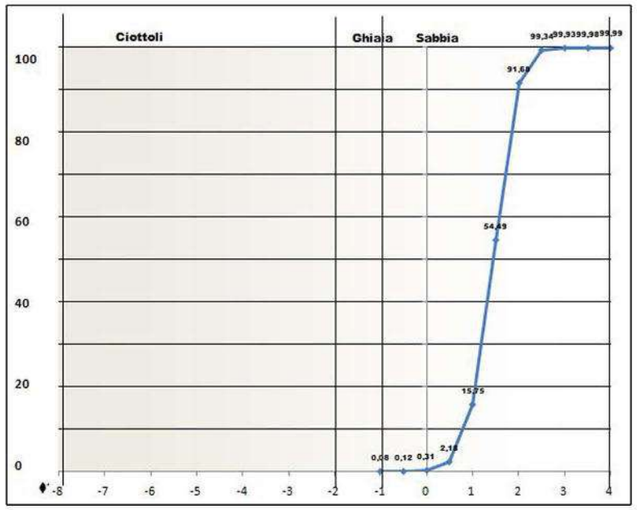
Unità Fisiografica ordine 1: 7

Unità Fisiografica ordine 2: 1

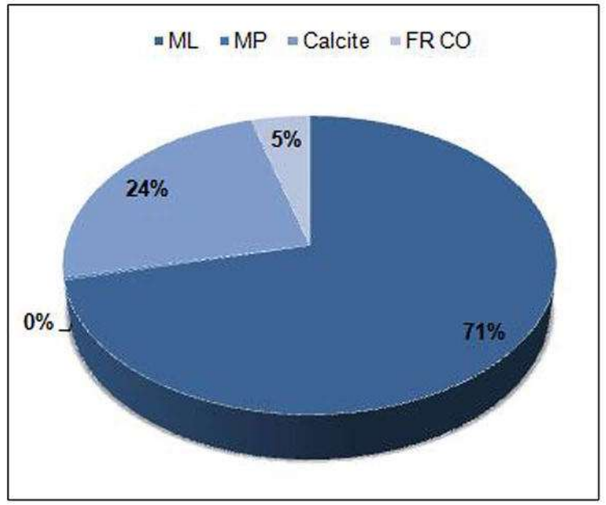
Unità Fisiografica ordine 3: 3







Parametri Statistici	
D. medio:	1,447 *Mz*
Dev. standard:	0,468 *s*
Skewness:	-0,011 *Sk*
Kurtosis:	1,007 *Kg*
Moda:	1,500 *g*
Mediana:	1,442



HUE 10YR 7/4 Very Pale Brown

Identificativo Spiaggia: PA.CAP.A

Comune: Capaci

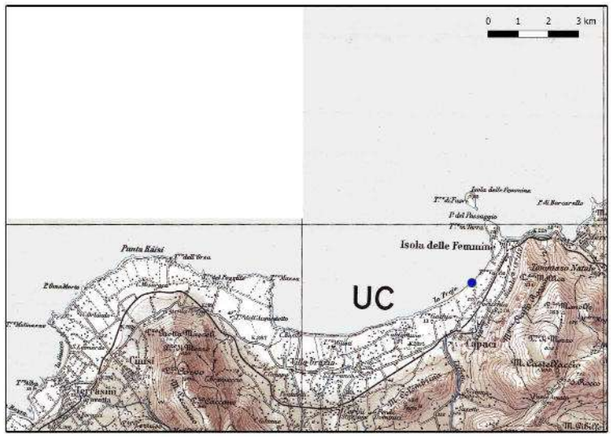
Provincia: Palermo

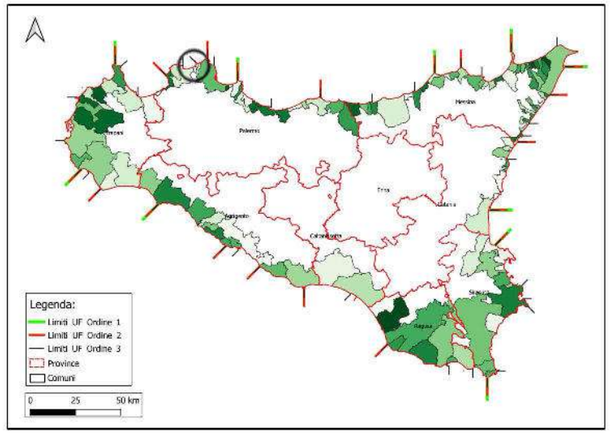
Identificativo Unità Fisiografica: 7.2.2

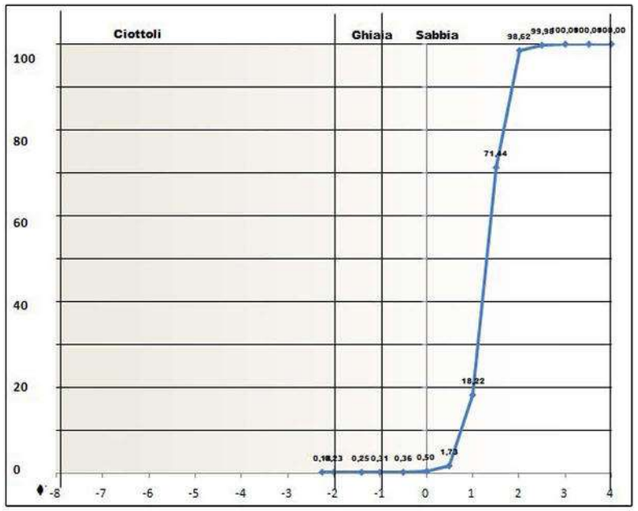
Unità Fisiografica ordine 1: 7

Unità Fisiografica ordine 2: 2

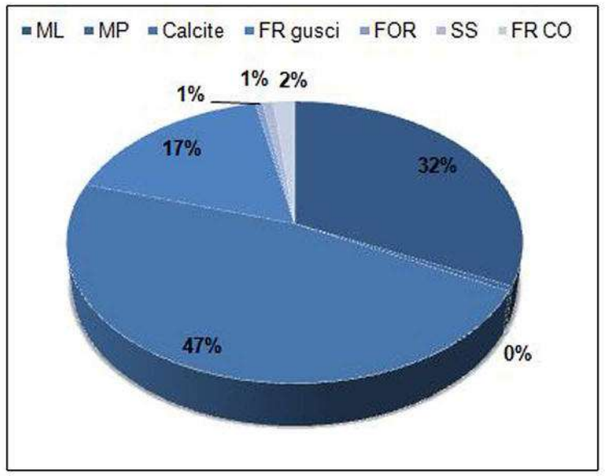
Unità Fisiografica ordine 3: 2

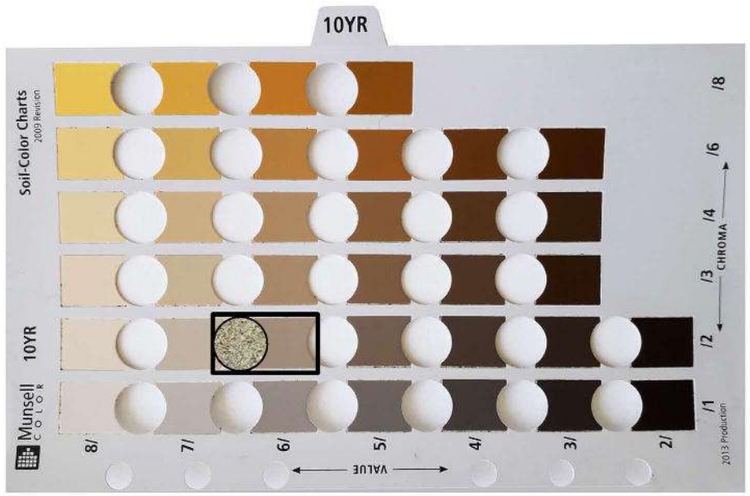






Parametri Statistici	
D. medio:	1,321 *Mz*
Dev. standard:	0,402 *s*
Skewness:	0,018 *Sk*
Kurtosis:	1,090 *Kg*
Moda:	1,500 *g*
Mediana:	1,299





HUE 10YR 6/2 Light Brownish Gray

Identificativo Spiaggia: PA.PA.E

Comune: Palermo

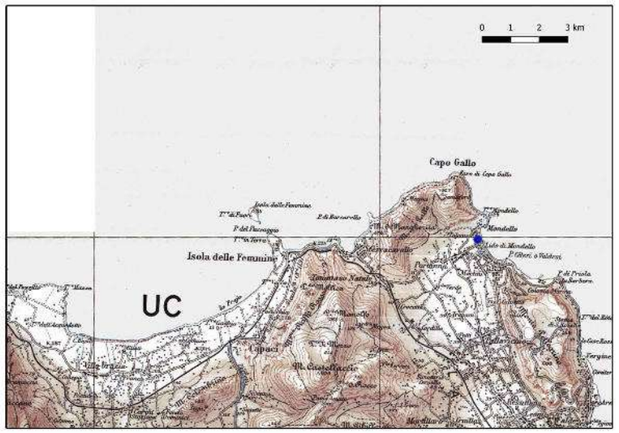
Provincia: Palermo

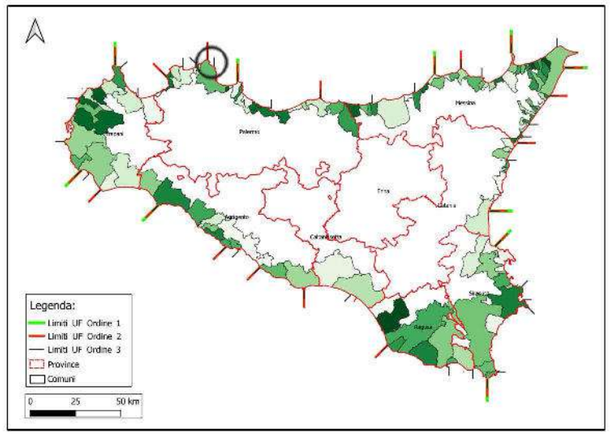
Identificativo Unità Fisiografica: 7.3.1

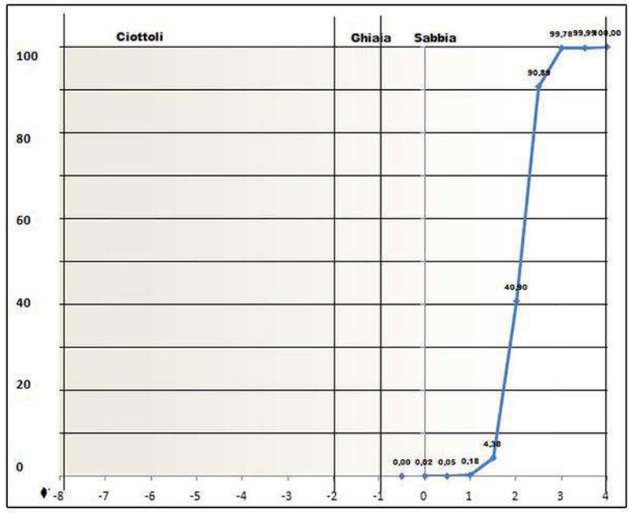
Unità Fisiografica ordine 1: 7

Unità Fisiografica ordine 2: 3

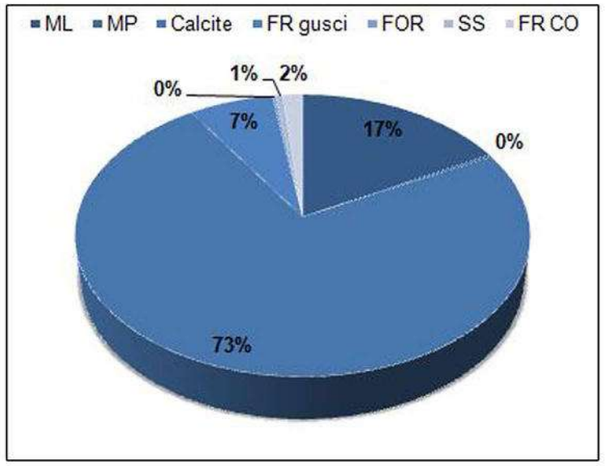
Unità Fisiografica ordine 3: 1

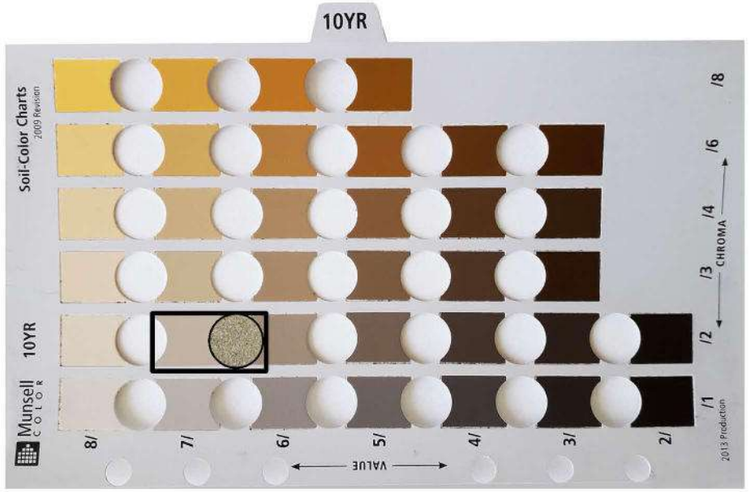






Parametri Statistici	
D. medio:	2,060 *Mz*
Dev. standard:	0,378 *s*
Skewness:	-0,036 *Sk*
Kurtosis:	0,897 *Kg*
Moda:	2,500 *g*
Mediana:	2,091





HUE 10YR 7/2 Light Gray

Identificativo Spiaggia: PA.PA.L

Comune: Palermo

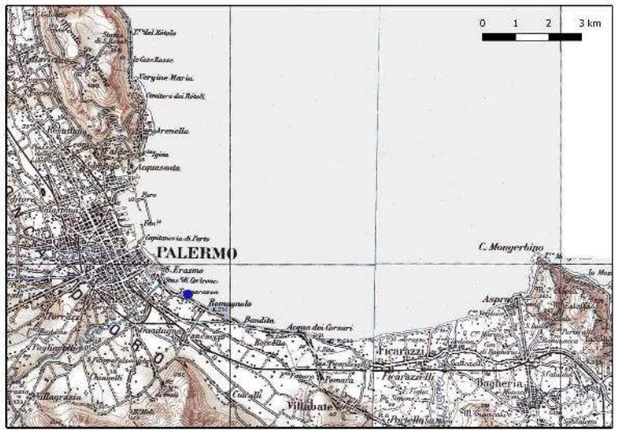
Provincia: Palermo

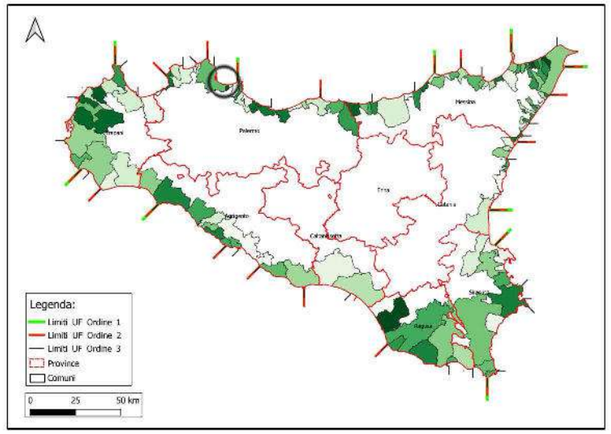
Identificativo Unità Fisiografica: 7.3.2

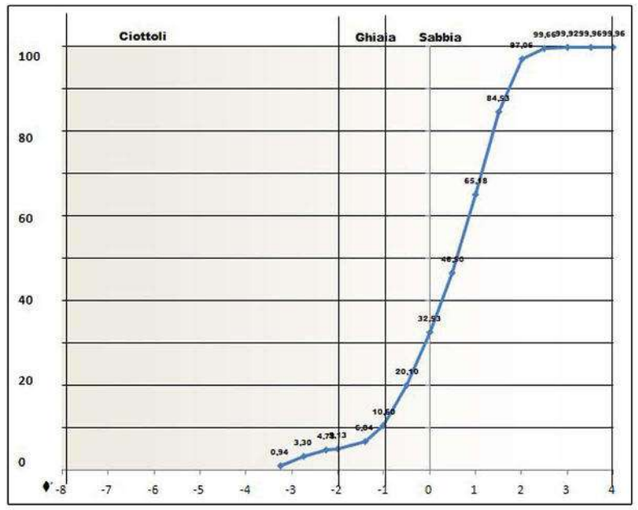
Unità Fisiografica ordine 1: 7

Unità Fisiografica ordine 2: 3

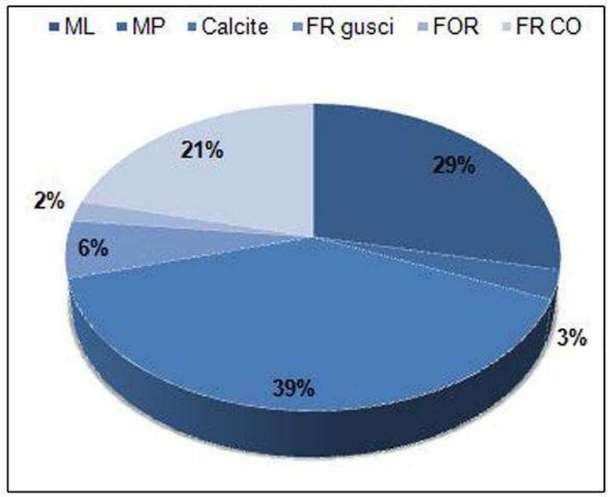
Unità Fisiografica ordine 3: 2







Parametri Statistici	
D. medio:	0,455 *Mz*
Dev. standard:	1,158 *s*
Skewness:	-0,265 *Sk*
Kurtosis:	1,056 *Kg*
Moda:	1,500 *g*
Mediana:	0,594



HUE 10YR 6/4 Light Yellowish Brown

Identificativo Spiaggia: PA.PA.M

Comune: Palermo

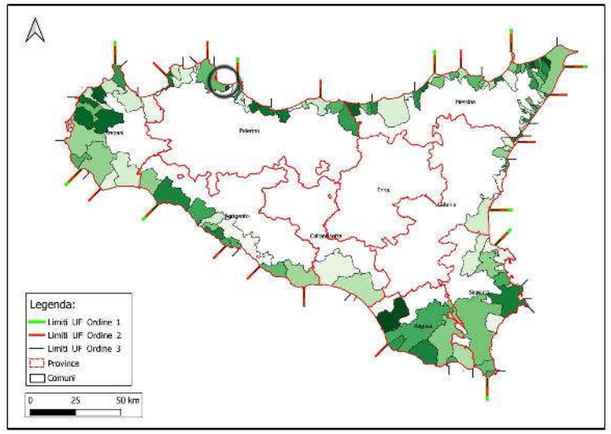
Provincia: Palermo

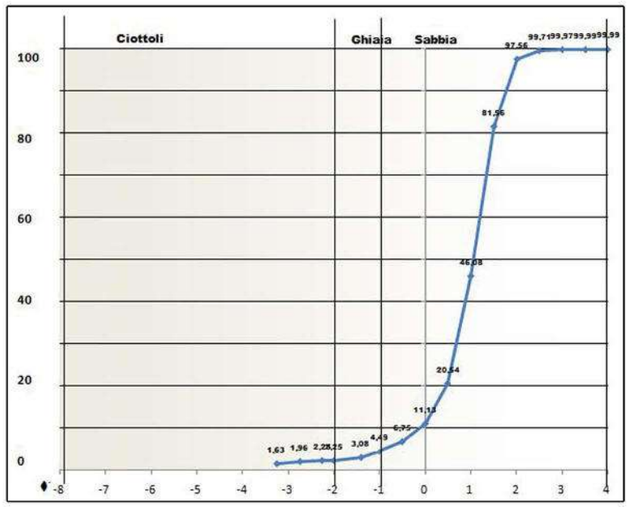
Identificativo Unità Fisiografica: 7.3.2

Unità Fisiografica ordine 1: 7

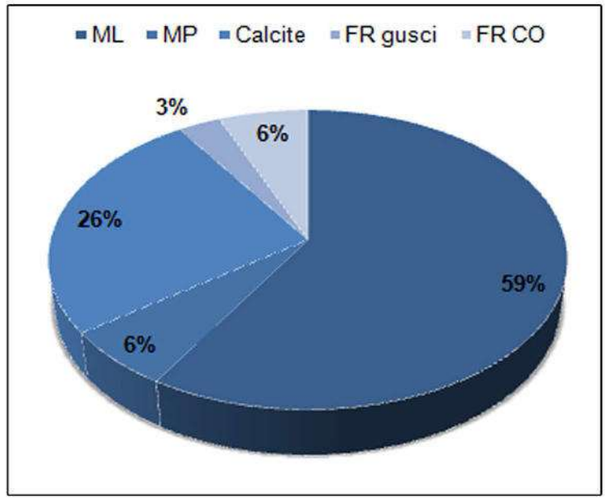
Unità Fisiografica ordine 2: 3

Unità Fisiografica ordine 3: 2





Parametri Statistici	
D. medio:	0,963 *Mz*
Dev. standard:	0,755 *s*
Skewness:	-0,297 *Sk*
Kurtosis:	1,403 *Kg*
Moda:	1,500 *g*
Mediana:	1,055



HUE 10YR 7/2 Light Gray

Identificativo Spiaggia: PA.CdR.A

Comune: Campofelice di Roccella

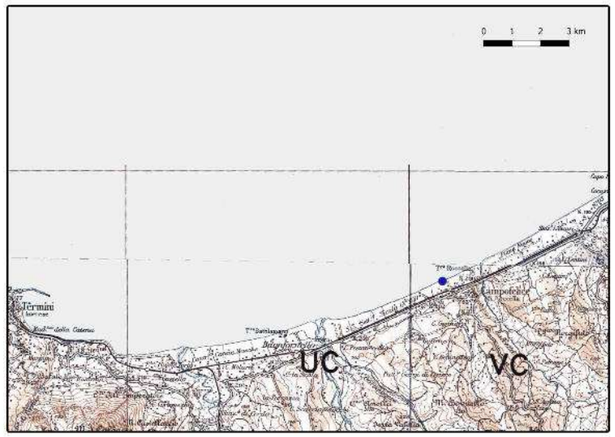
Provincia: Palermo

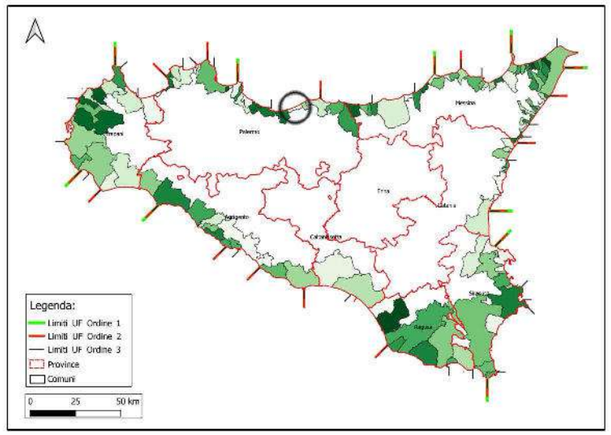
Identificativo Unità Fisiografica: 8.1.2

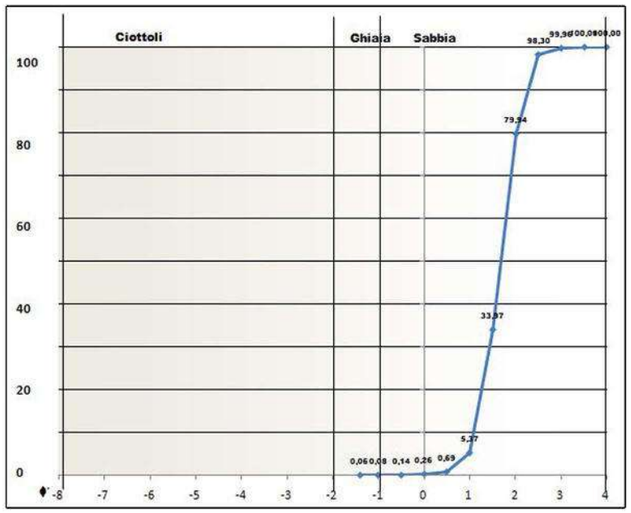
Unità Fisiografica ordine 1: 8

Unità Fisiografica ordine 2: 1

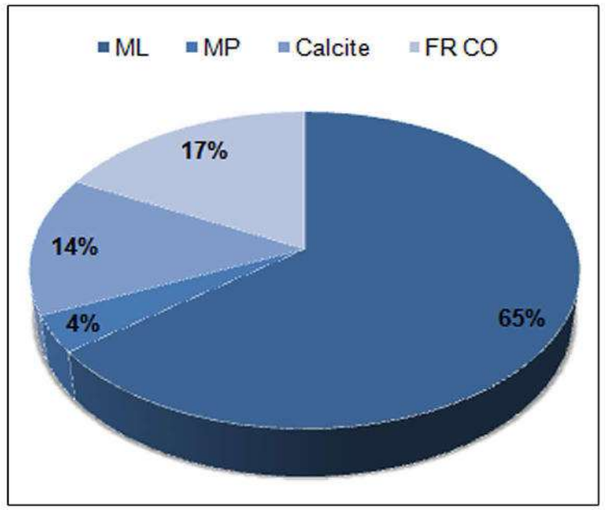
Unità Fisiografica ordine 3: 2

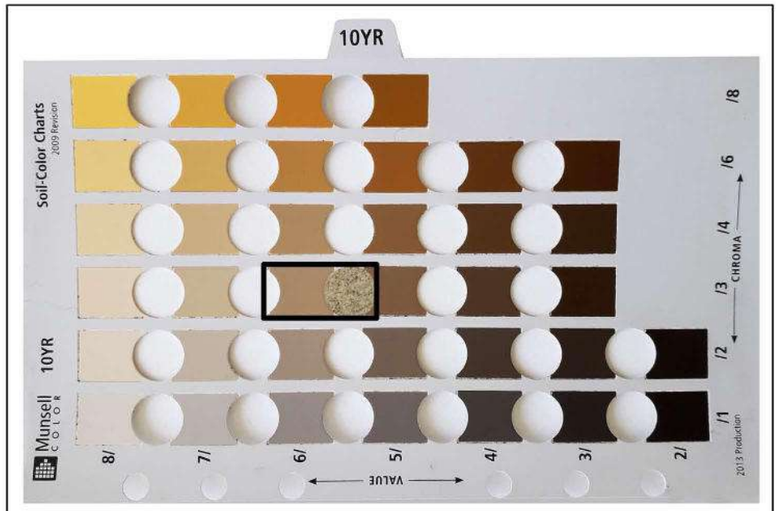






Parametri Statistici	
D. medio:	1,657 *Mz*
Dev. standard:	0,451 *s*
Skewness:	-0,021 *Sk*
Kurtosis:	0,985 *Kg*
Moda:	2,000 *g*
Mediana:	1,674





HUE 10YR 6/3 Pale Brown