



REGIONE ABRUZZO
CITTÀ DI MONTESILVANO
PROVINCIA DI PESCARA

REALIZZAZIONE, MANUTENZIONE E RIFIORITURA DI SCOGLIERE NELL'AMBITO DELLA
PROGRAMMAZIONE APPROVATA CON DGR N. 181 DEL 31.03.2021

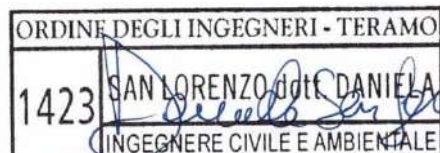
Studio Meteomarinario

IL TECNICO



Daniela San Lorenzo
Ingegnere Idraulico

email: danielasanlor@gmail.com - pec: daniela.sanlorenzo@ingte.it
P.IVA: 01885620672





INDICE

1	PREMESSE	4
2	ESPOSIZIONE GEOGRAFICA DEL PARAGGIO	5
3	FONTE DEI DATI.....	8
3.1	DATI ONDAMETRICI	8
3.2	DATI ANEMOMETRICI	9
3.3	DATI MAREOGRAFICI.....	9
3.4	DATI BATIMETRICI	10
4	ANALISI ANEMOMETRICA AL LARGO	13
4.1	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI ANEMOMETRICI A LARGO IN BASE ALL'INTENSITÀ E ALLA DIREZIONE DI PROVENIENZA	13
4.2	ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI ANEMOMETRICI.....	25
5	ANALISI ONDAMETRICA AL LARGO	35
5.1	VERIFICA E CALIBRAZIONE DELLA SERIE ONDAMETRICA	35
5.2	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSO A LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA E ALLA DIREZIONE DI PROVENIENZA.....	36
5.3	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSO A LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA E AL PERIODO D'ONDA.....	47
5.4	ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO A LARGO	48
6	ANALISI ONDAMETRICA SOTTO COSTA	58
6.1	PROPAGAZIONE DELLE ONDE SOTTO COSTA	58
6.2	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSO A RIVA IN BASE ALL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA E ALLA DIREZIONE DI PROVENIENZA.....	63
6.3	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSO A LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA E AL PERIODO D'ONDA.....	75
6.4	PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO.....	76
7	ANALISI DEI LIVELLI DEL MARE.....	78
7.1	CONSIDERAZIONI GENERALI.....	78
7.2	COMPONENTE ASTRONOMICA	78
7.3	LIVELLO MEDIO.....	81
7.4	COMPONENTE METEOROLOGICA.....	83
7.4.1	<i>Considerazioni generali.....</i>	<i>83</i>
7.4.2	<i>Analisi dei livelli massimi.....</i>	<i>86</i>
7.4.3	<i>Analisi dei livelli minimi.....</i>	<i>87</i>



8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	98
----------	---------------------------------------	-----------



1 PREMESSE

Con Determinazione del Responsabile del Servizio n. 59 del 07/02/2023 il Settore Patrimonio – Attività Tecnologiche e Protezione Civile del Comune di Montesilvano (PE) ha affidato all'Ing. Daniela San Lorenzo l'incarico professionale di riguardante la redazione dello studio Meteomarinario e dello studio Idrodinamico, nell'ambito dell'intervento denominato: *“Realizzazione, manutenzione e rifioritura di scogliere nell'ambito della programmazione approvata con DGR n. 181 del 31.03.2021 avente ad oggetto: Programmazione interventi infrastrutturali per la messa in sicurezza ed il rischio idrogeologico annualità 2021-2022; legge 30.12.2018, n. 145, att. 1 co. 134-135 e s.m.i., interventi a tutela della costa - finanziamento per l'anno 2022 di complessivi € 1.100.000,00”*

La presente relazione illustra lo Studio Meteomarinario finalizzato alla definizione dei parametri meteomarinari a largo e sotto costa necessari per la modellazione idrodinamica.

Il rapporto è organizzato come segue. Nel successivo Capitolo 2 viene definita l'esposizione geografica del paraggio. Nel Capitolo 3 si riporta la fonte dei dati necessari per lo studio meteomarinario. Si descrive poi l'analisi delle caratteristiche climatiche a largo del paraggio con la relativa analisi degli eventi estremi dell'esposizione anemometrica (Capitolo 4) e del moto ondoso (Capitolo 5). Nel Capitolo 6 è analizzato il clima sotto costa. Il Capitolo 7 illustra i risultati delle analisi dei livelli del mare.



2 ESPOSIZIONE GEOGRAFICA DEL PARAGGIO

L'analisi dell'esposizione geografica di un paraggio costiero si basa sulla determinazione dei *fetch* geografici ed efficaci. Per *fetch* si intende la lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso per effetto dell'azione esercitata dal vento. In bacini semichiusi, di estensione limitata come il Mar Adriatico, l'individuazione dei *fetch* può essere eseguita facendo ricorso al concetto di "*fetch* geografico" che indica la distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione. Tale assunzione risulta plausibile, poiché le dimensioni caratteristiche delle perturbazioni che normalmente interessano il Mar Adriatico sono dello stesso ordine di grandezza dei valori massimi che caratterizzano i *fetch* geografici (circa 400÷500 km).

Il valore del *fetch* efficace relativo ad una determinata direzione è funzione dei valori dei *fetch* geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i *fetch* efficaci consentono di tener conto del fatto che il moto ondoso è generato non solo nella direzione lungo la quale spirava mediamente il vento, ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di $\pm 90^\circ$ rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei *fetch* efficaci risulta essere diversa da quella dei *fetch* geografici. Il calcolo dei *fetch* efficaci può essere eseguito in base alla relazione derivata dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo SMB (Sverdrup et al., 1947) e successivi aggiornamenti (Saville, 1954; Seymour, 1977; S.P.M., 1984; Smith, 1991):

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)}$$

nella quale i simboli che compaiono hanno il seguente significato:

- $F_{e,w}$ lunghezza del *fetch* efficace relativa alla direzione ϕ_w ;
- F_i lunghezza del *fetch* geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i ;
- ϕ_w direzione media (riferita al Nord geografico) di provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso;
- $\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$ direzione i-esima (riferita al Nord geografico) relativa ad un settore di $2 \cdot \theta$ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta=45^\circ$, mentre quello di Seymour fa riferimento a un valore di $\theta=90^\circ$);
- θ ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso;



Studio Meteomarino

- n termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente posto pari a $n=2$).

Il litorale in esame, localizzato nel Comune di Montesilvano (PE), è posto nella zona centrale del litorale adriatico della penisola italiana. Esso ricade all'interno dell'unità fisiografica naturale che si estende per circa 80 km dal fiume Tronto (confine con la Regione Marche) sino al promontorio di Ortona. Ponendosi 25 km al largo della costa in esame nel punto di coordinate 42.75°N, 14.25 °E (Figura 2.1), su fondali di circa -80 m s.l.m., la traversia principale del sito costiero in esame è delimitata a Nord-Est dal promontorio del Conero (circa 330°N) e a Sud-Est dalla penisola del Gargano (circa 120 °N). All'interno di questo settore si traggono le coste del golfo di Venezia e della penisola Istriana a Nord (a una distanza di circa 330 km), le coste e le isole della Dalmazia a Est-Nord-Est (a una distanza media di circa 160 km) e le coste del Montenegro e dell'Albania a Est, Sud-Est (ad una distanza massima di circa 510 km). I valori dei fetch sono sintetizzati nella Tabella 2.1. Tenendo conto delle perturbazioni meteorologiche che possono interessare l'area centrale del mare Adriatico, si osserva che il sito in esame è potenzialmente esposto agli eventi da Tramontana e Grecale provenienti dall'alto Adriatico e dagli eventi da Scirocco provenienti dal basso Adriatico. Il valore massimo del fetch efficace risulta pari a circa 220 km ed è riferito al settore di Levante (100°N).

DIREZIONE (°N)	FETCH GEOGRAFICI (Km)	FETCH EFFICACI (Km)	DIREZIONE (°N)	FETCH GEOGRAFICI (Km)	FETCH EFFICACI (Km)
0	264.99	163.55	180	33.86	45.08
10	177.91	163.14	190	29.27	34.18
20	160.17	159.21	200	25.8	27.61
30	146.64	155.1	210	23.68	23.67
40	143.21	154.56	220	22.05	21.3
50	152.26	160.28	230	20.99	20.01
60	164.13	172.49	240	20.31	19.53
70	186.89	188.8	250	20.7	19.78
80	145.07	205.14	260	21.48	21.26
90	210.36	217.18	270	22.47	25.22
100	410.44	221.32	280	24.67	33.11
110	467.51	215.41	290	27.37	45.9
120	510.27	199.28	300	30.94	63.56
130	143.41	174.67	310	39.41	84.88
140	120.68	144.84	320	50.82	107.64
150	74.12	113.75	330	99.67	129.08
160	55.07	85.18	340	332.23	146.57
170	39.96	61.91	350	261.7	158.28

Tabella 2.1: Valori dei Fetch Geografici ed Efficaci al largo del paraggio dell'area di intervento.

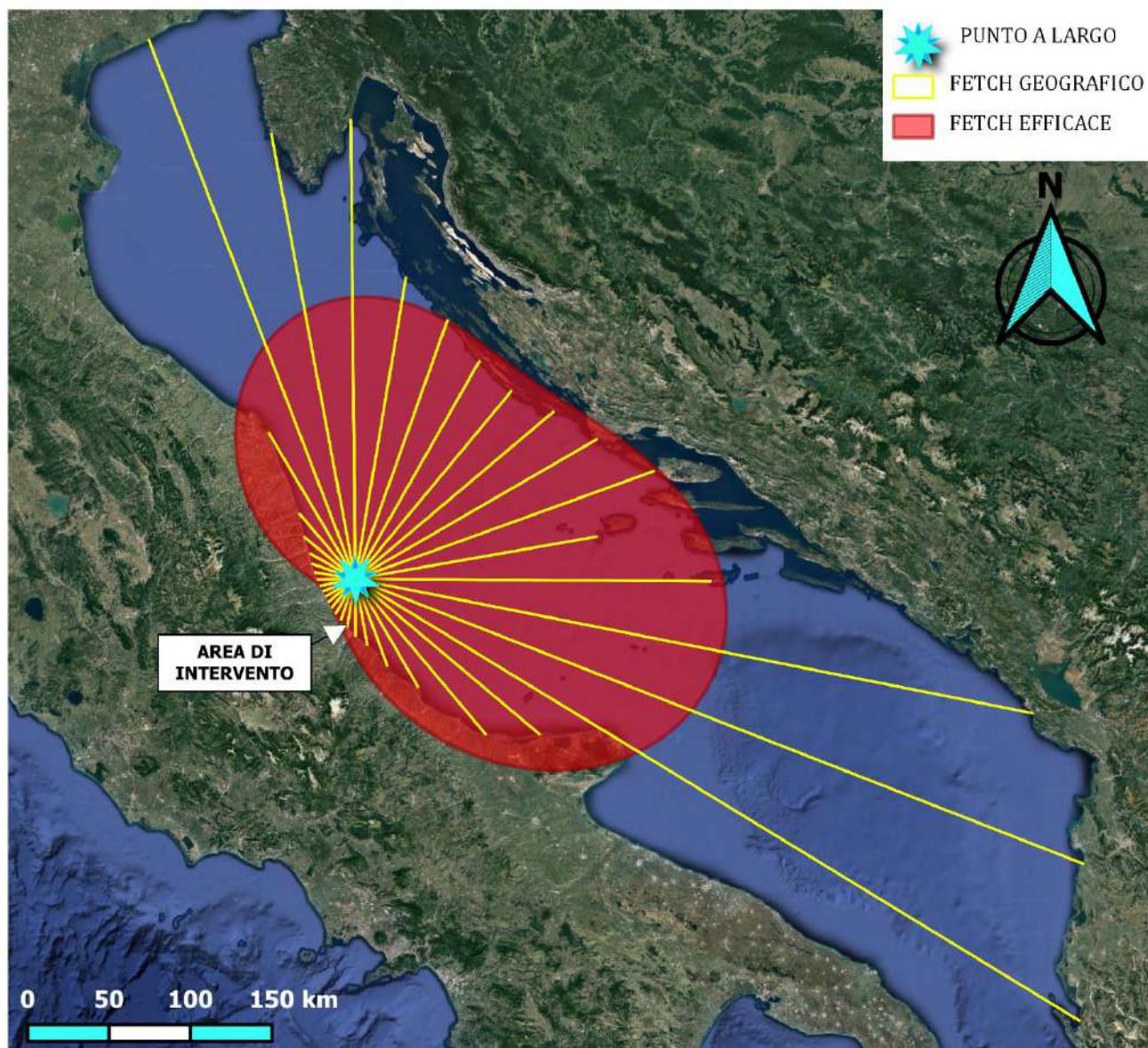


Figura 2.1: Esposizione geografica del paraggio. Fetch geografici (linee gialle) e fetch efficaci (poligono in rosso) a largo del paraggio dell'area di intervento.



3 FONTE DEI DATI

3.1 DATI ONDAMETRICI

I dati ondametrici sono stati desunti dal database ERA5, sviluppato da ECMWF (*European Center for Medium range Weather Forecasts*). I dati di ERA5 sono il risultato di un processo di rianalisi che, sulla base dell'assimilazione di dati disponibili (tramite satelliti e sensori al suolo o posti in mare) a livello globale, fornisce la ricostruzione numerica di parametri atmosferici (es. condizioni anemometriche e pressione atmosferica) e di moto ondoso ad alta risoluzione spaziale e temporale. Tali dati sono a libera consultazione attraverso il servizio *Copernicus Climate Change Service (C3S)* e scaricabili dal *Climate Data Store di Copernicus (CDS)*.

I dati sono attualmente disponibili nel *CDS* con una risoluzione temporale pari a 1 ora. Nell'ambito dello studio è preso in considerazione l'intervallo temporale che si estende dal 01/01/1950 sino al 31/12/2022, per un totale di 73 anni.

I parametri disponibili dal database ERA5 sono molteplici. In questo caso, in relazione alla risoluzione della griglia di ERA5 (pari a circa 30 km) è stata identificata la serie ondametrica (in termini di altezza d'onda significativa, H_s , periodo di picco, T_p , e direzione di provenienza, Dir) nel punto più vicino all'area di interesse, di coordinate geografiche 42.25°N, 14.75°E (riportato in Figura 3.1), dal 01/01/1950 al 31/12/2022.

In particolare, sono stati considerati i seguenti parametri:

- **Altezza d'onda significativa (*Significant wave height*)**

Rappresenta l'altezza media del cosiddetto "terzo superiore" delle onde individuali, ovvero il terzo di onde più alte. In generale, lo spettro energetico degli stati di mare può essere scomposto in onde generate dal vento locale (cosiddette "onde di mare vivo") e in onde che sono state generate altrove (cosiddette "onde di mare morto"). Questo parametro tiene conto di entrambi. Nel dettaglio, esso è stimato come quattro volte la radice quadrata dell'integrale su tutte le direzioni e tutte le frequenze dello spettro direzionale.

- **Periodo di picco (*Peak Wave Period*)**

È definito come il reciproco della frequenza corrispondente al massimo valore dello spettro in frequenza delle onde. Lo spettro in frequenza è ottenuto tramite l'integrazione dello spettro direzionale, ovvero la densità energetica per ogni frequenza è relativo a tutte le direzioni.



- **Direzione media di propagazione (*Mean wave direction*)**

Direzione media del moto ondoso valutata sulla base dell'analisi dello spettro direzionale delle onde, ovvero come direzione media nel dominio delle frequenze e delle direzioni.

La serie ondometrica così definita è stata oggetto di specifica calibrazione tramite analisi sincrona con la serie temporale acquisita tramite la boa ondometrica installata a largo di Ortona e appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale (RON) fino al 2014. In questo caso, la serie ondometrica si estende dal 1/7/1989 al 30/6/2008. La posizione di installazione è mostrata in Figura 3.1 (coordinate 42.41°N, 14.54°E). La procedura di calibrazione è stata effettuata estraendo dal database ERA5 le informazioni relative al punto di coordinate 42.5°N, 14.5°E.

3.2 DATI ANEMOMETRICI

I dati anemometrici sono stati desunti, analogamente alle informazioni ondometriche, dal database ERA5 in corrispondenza dello stesso punto (coordinate geografiche 42.25°N, 14.75°E) e che si estende temporalmente dal 01/01/1950 al 31/12/2022.

In particolare, sono stati considerati i seguenti parametri:

- **Componente zonale del vento alla quota di 10 m lmm (*10m u-component of wind*)**

Componente verso est del vento stimato alla quota pari a 10 m lmm: rappresenta la velocità orizzontale dell'aria che si sposta verso est ad una quota di 10 metri sopra la superficie terrestre, in metri al secondo.

- **Componente meridionale del vento alla quota di 10 m lmm (*10m v-component of wind*)**

Componente verso nord del vento stimato alla quota pari a 10 m lmm: rappresenta la velocità orizzontale dell'aria che si sposta verso nord ad una quota di 10 metri sopra la superficie terrestre, in metri al secondo.

Le componenti zonale e meridionale sono state utilizzate per la stima dell'intensità del vento e della direzione di provenienza.

3.3 DATI MAREOGRAFICI

I dati mareografici, necessari per l'analisi dei livelli del mare, sono costituiti dalle osservazioni acquisite dalla stazione mareografica di Ortona, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale gestita dall'ISPRA. La stazione di Ortona è situata all'interno del porto presso il molo Martello, alle



coordinate 42°21'21.24"N, 14°24'53.50"E, corrispondente al punto "M1" di Figura 3.1. La serie mareografica si estende dal 19/06/1998 al 31/01/2023. Con l'obiettivo di mantenere l'omogeneità della serie analizzate (ovvero della stagionalità), la serie dal 01/01/1999 al 31/12/2022 (per una durata totale di 23 anni) è stata analizzata con un tempo di campionamento pari a 1 ora.

L'analisi dei livelli del mare, inoltre, deve tener conto anche degli effetti a lungo termine correlati al cambiamento climatico. A tal fine, si considera la serie climatologica disponibile nel *Copernicus Climate Change Service*. I dati disponibili sono costituiti da serie temporali del livello del mare calcolati per un dominio a livello europeo. Le stime sono basate sull'utilizzo del *Deltares Global Tide and Surge Model* (GTSM, versione 3.0) insieme alle condizioni iniziali della forzante climatica regionale e dell'innalzamento del livello del mare. In particolare, quest'ultimo è stato preso a riferimento per le analisi illustrate in questo studio. Esso è stato definito per due scenari di evoluzione del clima (*Rappresentative Concentration Pathway, RCP*) che corrispondono a uno scenario di emissione ottimistico in cui le emissioni iniziano in calo oltre il 2040 (RCP4.5) e uno scenario pessimistico in cui le emissioni continuano ad aumentare per tutto il secolo (RCP8.5). Nel dettaglio, le stime forniscono l'evoluzione del livello medio del mare tra il 2041 e il 2070 nello scenario pessimistico (RCP8.5) e tra il 2071 e il 2100 nello scenario ottimistico (RCP4.5).

3.4 DATI BATIMETRICI

La serie ondametria definita al largo è stata propagata sotto costa. Con l'obiettivo di conoscere la configurazione batimetrica dell'area in esame, le informazioni sono state desunte dal portale EMODnet (*European Marine Observation and Data network*) che rende disponibile un DTM armonizzato della batimetria dei mari dell'area europea e, in particolare, dell'area in esame (riportata in Figura 3.1). La risoluzione spaziale del DTM è di circa 115 m (Figura 3.2).

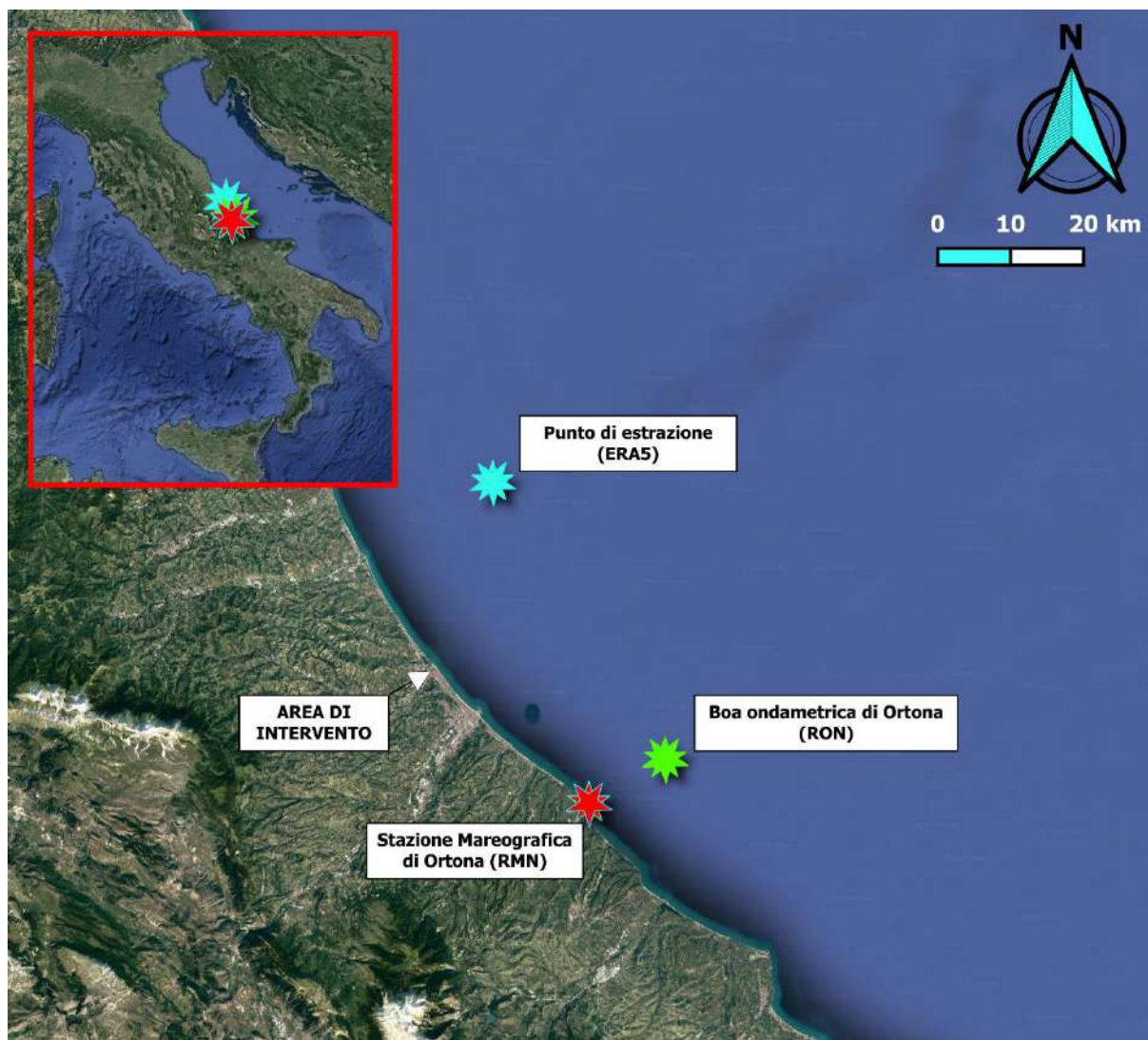


Figura 3.1: Localizzazione dei punti di misura.

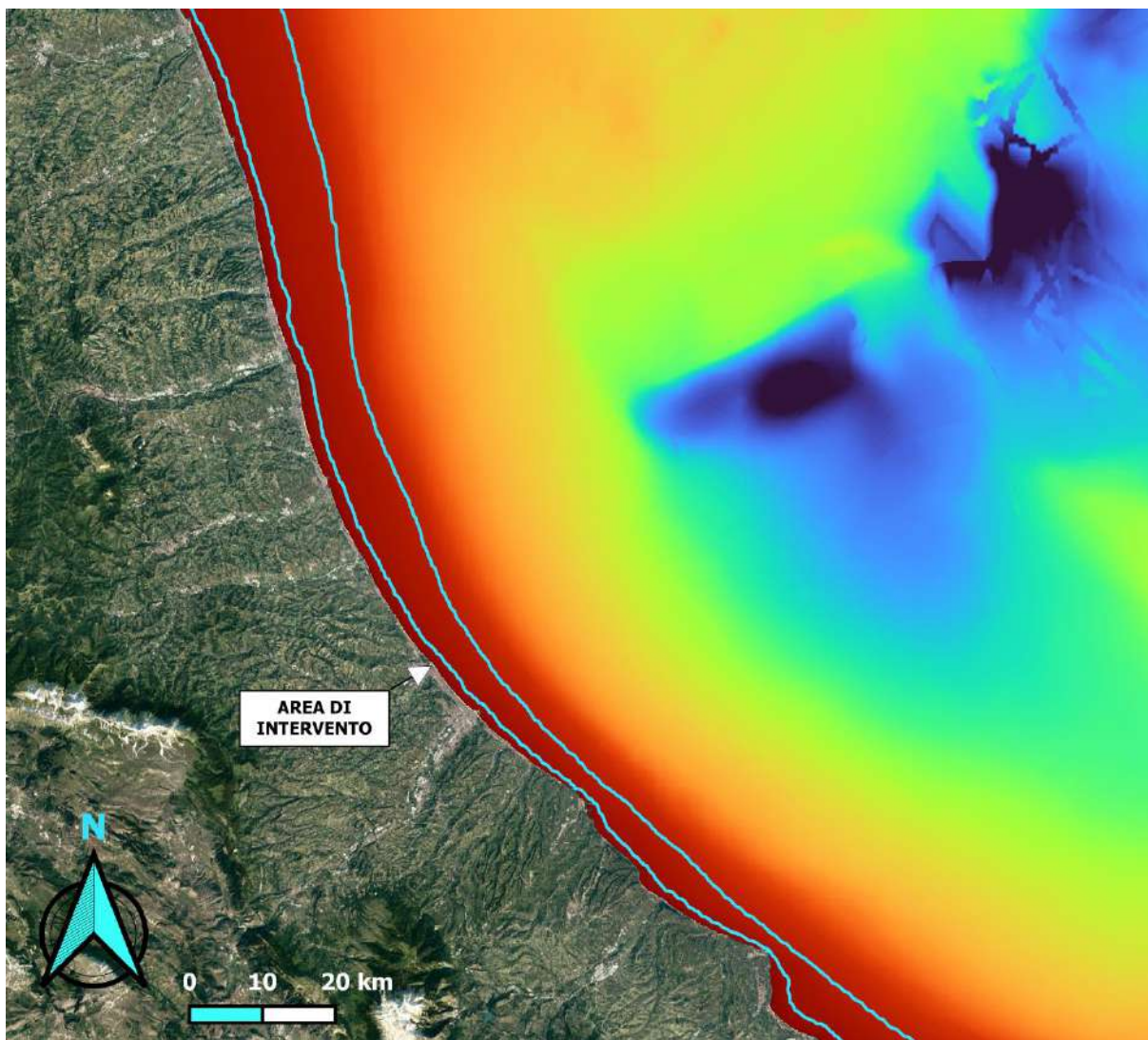


Figura 3.2: Configurazione batimetrica immediatamente a largo del paraggio di interesse. Le due linee batimetriche si riferiscono alle profondità pari a 10 m e 20 m.



4 ANALISI ANEMOMETRICA AL LARGO

4.1 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI ANEMOMETRICI A LARGO IN BASE ALL'INTENSITÀ E ALLA DIREZIONE DI PROVENIENZA

I dati anemometrici estratti al largo del litorale di Montesilvano, in particolare nel punto identificato in Figura 3.1, possono essere classificati in base al valore dell'intensità del vento e alla direzione di provenienza. In tal caso è possibile definire una serie di classi e la relativa frequenza di occorrenza (assoluta e relativa). La rappresentazione polare delle frequenze relative (rosa anemometrica), calcolata su base annuale e stagionale permette di trarre indicazioni sulle caratteristiche climatiche del paraggio e le relative rappresentazioni tabellari permettono la definizione quantitativa dell'esposizione anemometrica. Nella Figura 4.1 sono riportate la rosa ondometrica annuale mentre nella Figura 4.2 e nella Figura 4.3 sono riportate le rose ondometriche stagionali, a largo del paraggio di Montesilvano. Dalla Tabella 4.1 alla Tabella 4.4 sono riportati gli stessi risultati in forma numerica, in termini di frequenza relativa. Dall'analisi dei risultati si evince che al largo del sito di interesse gli eventi anemometrici più frequenti (con frequenza di accadimento superiore a 0.15) e caratterizzati da intensità più elevate provengono dal settore di traversia di Maestrale, in particolare dal settore 245-25°N, che quindi può essere assunto quale settore di traversia principale. Inoltre, è identificabile un settore di traversia secondario che si estende nell'intervallo angolare 45°N-175°N (Levante-Scirocco).

In particolare, con riferimento alla rosa ondometrica media annuale (Figura 4.1), e alla relativa tabella climatica (Tabella 4.1), per quanto riguarda le frequenze di accadimento dell'intensità del vento, si osserva quanto segue:

- il 91.66% degli eventi anemometrici sono caratterizzati da un'intensità superiore a 1.00 m/s;
- il 50.49% degli eventi anemometrici sono caratterizzati da un'intensità superiore a 3.00 m/s;
- il 21.83% degli eventi anemometrici sono caratterizzati da un'intensità superiore a 5.00 m/s;
- il 0.02% degli eventi anemometrici sono caratterizzati da un'intensità superiore a 15.00 m/s.

Inoltre, anche con riferimento al grafico di Figura 4.1, si osserva quanto segue:

- le calme di vento ($V < 0.20$ m/s) costituiscono lo 0.34% degli eventi anemometrici;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da intensità compresa tra 0.20 m/s e 2.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 28.45%;



Studio Meteomarinario

- gli eventi anemometrici caratterizzati da intensità compresa tra 2.00 m/s e 5.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 49.38%;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da intensità compresa tra 5.00 m/s e 10.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 20.49%;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da intensità compresa tra 10.00 m/s e 15.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 1.32%;
- la rimanente percentuale di 0.02% degli eventi anemometrici ha un'intensità superiore a 15.00 m/s.

Con riferimento alle rose ondometriche stagionali (Figura 4.2 e Figura 4.3), e alle relative tabelle climatiche (dalla Tabella 4.1 alla Tabella 4.5), si osserva quanto segue:

- gli eventi anemometrici caratterizzati da un'intensità superiore a 1.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 92.89% in Inverno, a 91.42% in Primavera, a 90.41% in Estate e a 91.92% in Autunno;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da un'intensità superiore a 2.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 74.63% in Inverno, a 69.45% in Primavera, a 68.40% in Estate e a 72.40% in Autunno;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da un'intensità superiore a 5.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 29.06% in Inverno, a 17.07% in Primavera, a 15.81% in Estate e a 25.47% in Autunno;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da un'intensità superiore a 15.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 0.03% in Inverno, a una percentuale trascurabile (inferiore a 0.005%) in Primavera e in Estate, a 0.03% in Autunno;
- le calme ($V < 0.20$ m/s) costituiscono una percentuale degli eventi anemometrici pari a 0.28% in Inverno, a 0.37% in Primavera, a 0.39% in Estate, a 0.32% in Autunno;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da un'intensità compresa tra 0.20 m/s e 2.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 25.09% in Inverno, a 30.18% in Primavera, a 31.21% in Estate, a 27.28% in Autunno;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da un'intensità compresa tra 2.00 m/s e 5.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 45.57% in Inverno, a 52.38% in Primavera, a 52.59% in Estate, a 46.93% in Autunno;
- gli eventi anemometrici caratterizzati da un'intensità compresa tra 5.00 m/s e 10.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 26.46% in Inverno, a 16.54% in Primavera, a 15.52% in Estate, a 23.52% in Autunno;



Studio Meteomarino

- gli eventi anemometrici caratterizzati da un'intensità compresa tra 10.00 m/s e 15.00 m/s rappresentano una percentuale pari a 2.57% in Inverno, a 0.52% in Primavera, a 0.29% in Estate, a 1.93% in Autunno;
- la rimanente percentuale pari a 0.03% in Inverno, a una percentuale trascurabile (inferiore a 0.005%) in Primavera e in Estate, e a 0.03% in Autunno; ha un'intensità superiore a 15.00 m/s.
- in inverno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N) rappresentano il 44.28% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 53.65%;
- in primavera, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N) rappresentano il 49.19% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 46.91%;
- in estate, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N) rappresentano il 43.77% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 52.51%;
- in autunno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N) rappresentano il 46.19% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 51.66%;
- in inverno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 0.20 m/s, rappresentano il 44.12% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 53.55%;
- in primavera, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 0.20 m/s, rappresentano il 48.97% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 46.79%;
- in estate, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 0.20 m/s, rappresentano il 43.54% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 52.37%;
- in autunno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 0.20 m/s, rappresentano il 46.00% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 51.55%;
- in inverno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 2.00 m/s, rappresentano il 28.48% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 44.97%;



- in primavera, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 2.00 m/s, rappresentano il 30.44% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 36.70%;
- in estate, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 2.00 m/s, rappresentano il 24.67% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 41.48%;
- in autunno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 2.00 m/s, rappresentano il 29.30% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 41.98%;
- in inverno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 5.00 m/s, rappresentano il 5.68% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 23.06%;
- in primavera, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 5.00 m/s, rappresentano il 4.13% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 12.72%;
- in estate, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 5.00 m/s, rappresentano il 2.75% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 12.91%;
- in autunno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 5.00 m/s, rappresentano il 6.43% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 18.70%;
- in inverno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 10.00 m/s, rappresentano lo 0.27% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) il 2.30%;
- in primavera, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 10.00 m/s, rappresentano lo 0.04% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) lo 0.47%;
- in estate, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 10.00 m/s, rappresentano lo 0.01% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) lo 0.27%;
- in autunno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 10.00 m/s, rappresentano lo 0.29% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) l'1.60%;
- in inverno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 15.00 m/s, rappresentano una percentuale trascurabile



Studio Meteomarino

- (inferiore a 0.005%) del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) lo 0.03%;
- in primavera, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 15.00 m/s e quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) rappresentano una percentuale trascurabile (inferiore a 0.005%) del totale;
 - in estate, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 15.00 m/s e quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) rappresentano una percentuale trascurabile (inferiore a 0.005%) del totale;
 - in autunno, gli eventi anemometrici provenienti dal settore di traversia principale (245-25°N), con intensità superiore a 15.00 m/s, rappresentano una percentuale trascurabile (inferiore a 0.005%) del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (45-175°N) lo 0.02%;



**Clima Annuale
Medio a lungo
(1950-2022)**

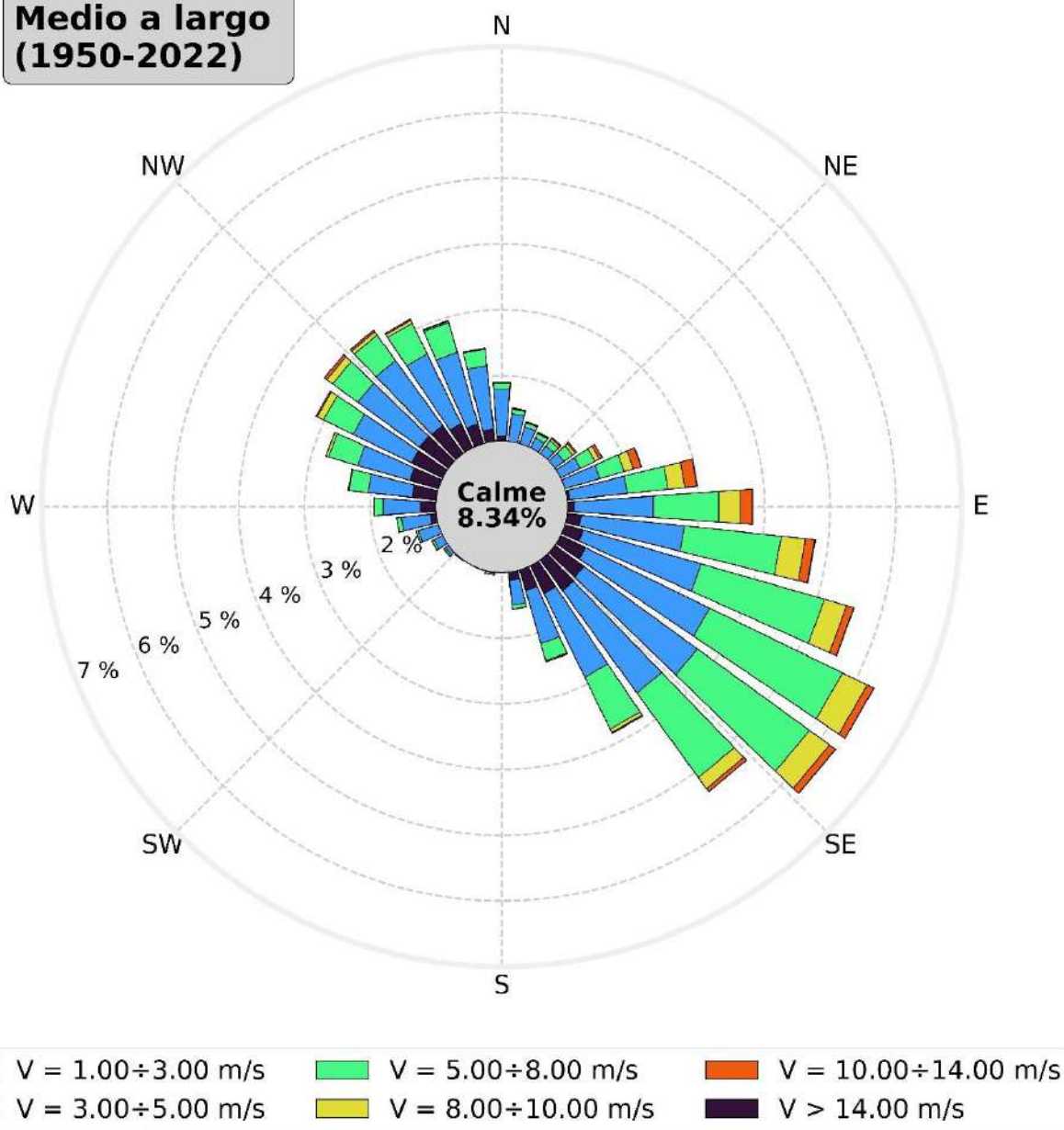


Figura 4.1: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale annuale degli eventi anemometrici a largo del paraggio dell'area di interesse. La percentuale che indica le calme si riferisce ad eventi anemometrici di intensità inferiore a 1.0 m/s.



Studio Meteomarino

Tabella climatica annuale media

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi di intensità del vento (m/s)														Totali	
		0.00 1.00	1.00 3.00	3.00 5.00	5.00 7.00	7.00 9.00	9.00 11.00	11.00 13.00	13.00 15.00	15.00 17.00	17.00 20.00	20.00 23.00	23.00 26.00	26.00 27.00	> 27.00		
S	175 - 185	0.246	0.995	0.186	0.031	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.46
	185 - 195	0.248	0.873	0.143	0.024	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.29
	195 - 205	0.251	0.852	0.129	0.018	0.006	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.26
	205 - 215	0.243	0.848	0.125	0.018	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.24
	215 - 225	0.258	0.837	0.146	0.023	0.007	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.27
	225 - 235	0.252	0.870	0.189	0.025	0.008	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.35
	235 - 245	0.267	0.912	0.235	0.031	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.45
	245 - 255	0.271	0.988	0.332	0.029	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.62
	255 - 265	0.287	1.093	0.445	0.063	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.89
W	265 - 275	0.270	1.238	0.569	0.132	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.22
	275 - 285	0.266	1.368	0.679	0.272	0.031	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.62
	285 - 295	0.270	1.455	0.823	0.376	0.120	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.05
	295 - 305	0.253	1.525	0.993	0.392	0.175	0.058	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.40
	305 - 315	0.249	1.545	1.163	0.385	0.155	0.070	0.018	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.59
	315 - 325	0.238	1.532	1.221	0.409	0.107	0.032	0.018	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.56
	325 - 335	0.225	1.408	1.181	0.455	0.098	0.025	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.40
	335 - 345	0.225	1.311	1.135	0.422	0.063	0.012	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.18
	345 - 355	0.214	1.191	0.967	0.238	0.023	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.64
N	355 - 005	0.203	1.077	0.711	0.093	0.013	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.10
	005 - 015	0.205	0.937	0.487	0.063	0.017	0.008	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.72
	015 - 025	0.196	0.892	0.375	0.050	0.019	0.008	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.54
	025 - 035	0.198	0.837	0.329	0.064	0.023	0.010	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.47
	035 - 045	0.190	0.813	0.331	0.080	0.042	0.025	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.49
	045 - 055	0.201	0.821	0.354	0.119	0.075	0.032	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.61
	055 - 065	0.195	0.889	0.447	0.175	0.114	0.053	0.021	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.90
	065 - 075	0.192	0.941	0.616	0.281	0.181	0.125	0.053	0.015	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.41
	075 - 085	0.194	1.041	0.882	0.458	0.309	0.196	0.089	0.019	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.19
E	085 - 095	0.203	1.106	1.209	0.751	0.433	0.229	0.084	0.018	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.04
	095 - 105	0.204	1.216	1.583	1.135	0.569	0.222	0.058	0.017	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.01
	105 - 115	0.215	1.288	1.872	1.520	0.664	0.175	0.048	0.010	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.80
	115 - 125	0.220	1.421	2.102	1.756	0.772	0.200	0.045	0.009	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.53
	125 - 135	0.220	1.546	2.137	1.663	0.697	0.190	0.042	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.50
	135 - 145	0.230	1.577	1.929	1.304	0.421	0.103	0.026	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.59
	145 - 155	0.243	1.469	1.419	0.765	0.151	0.030	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.08
	155 - 165	0.246	1.327	0.838	0.247	0.036	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.70
	165 - 175	0.257	1.129	0.377	0.054	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.83
Totali		8.34	41.17	28.66	13.92	5.38	1.84	0.56	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella 4.1: *Clima medio annuale a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.*



Studio Meteomarinario

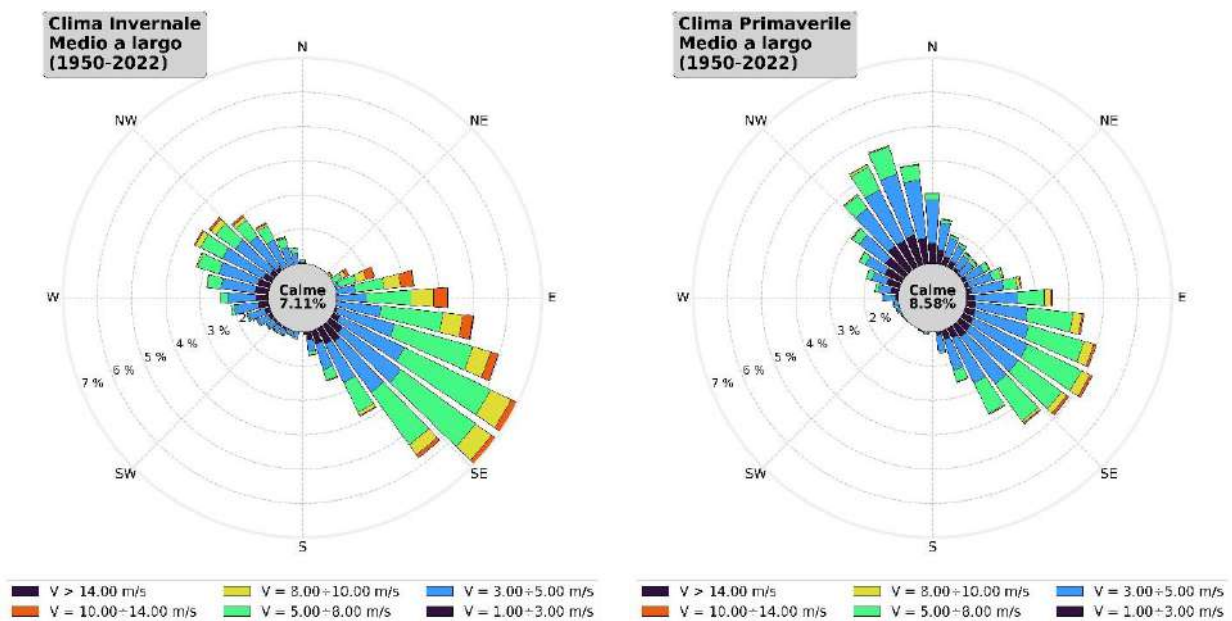


Figura 4.2: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale invernale e primaverile degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di intervento.

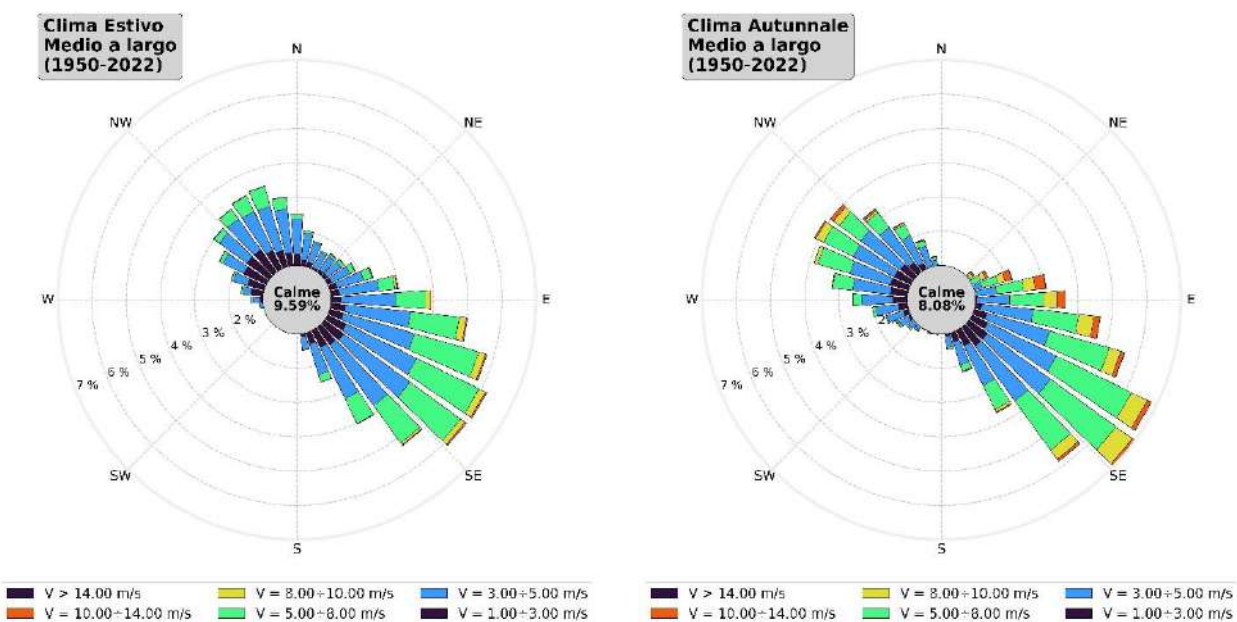


Figura 4.3: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale estiva ed autunnale degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di intervento.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Invernale media

Classi direzione di provenienza (°N)	Classi di intensità di vento (m/s)														Totali	
	0.00 1.00	1.00 3.00	3.00 5.00	5.00 7.00	7.00 9.00	9.00 11.00	11.00 13.00	13.00 15.00	15.00 17.00	17.00 20.00	20.00 23.00	23.00 26.00	26.00 27.00	> 27.00		
S	175 - 185	0.256	1.089	0.209	0.044	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.61
	185 - 195	0.230	1.008	0.168	0.032	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.44
	195 - 205	0.241	0.973	0.144	0.025	0.009	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.40
	205 - 215	0.252	1.058	0.149	0.025	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.50
	215 - 225	0.266	1.058	0.171	0.025	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.53
W	225 - 235	0.254	1.063	0.232	0.022	0.013	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.59
	235 - 245	0.278	1.110	0.331	0.037	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.77
	245 - 255	0.258	1.161	0.489	0.042	0.010	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.96
	255 - 265	0.257	1.312	0.694	0.093	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.36
	265 - 275	0.225	1.353	0.836	0.185	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.61
	275 - 285	0.235	1.393	1.002	0.393	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.06
	285 - 295	0.206	1.364	1.174	0.531	0.154	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.44
	295 - 305	0.204	1.288	1.322	0.570	0.243	0.089	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.73
	305 - 315	0.184	1.176	1.252	0.560	0.254	0.109	0.028	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.57
	315 - 325	0.157	1.102	1.132	0.472	0.169	0.063	0.033	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.13
N	325 - 335	0.156	0.978	0.912	0.387	0.103	0.035	0.023	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.60
	335 - 345	0.164	0.835	0.709	0.233	0.058	0.020	0.011	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.03
	345 - 355	0.171	0.818	0.501	0.123	0.027	0.008	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.65
	355 - 005	0.157	0.699	0.332	0.049	0.021	0.008	0.001	0.000	0.000	0.500	5.000	0.000	0.000	0.000	1.27
	005 - 015	0.152	0.606	0.205	0.051	0.020	0.010	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.05
	015 - 025	0.130	0.579	0.182	0.051	0.030	0.018	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00
	025 - 035	0.144	0.552	0.178	0.071	0.032	0.013	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.99
	035 - 045	0.148	0.527	0.204	0.087	0.062	0.035	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.07
	045 - 055	0.149	0.538	0.228	0.149	0.118	0.043	0.013	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.24
	055 - 065	0.154	0.627	0.323	0.232	0.185	0.077	0.053	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.66
E	065 - 075	0.145	0.667	0.441	0.371	0.329	0.246	0.116	0.027	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.34
	075 - 085	0.120	0.798	0.754	0.566	0.556	0.397	0.184	0.032	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	3.41
	085 - 095	0.166	0.878	0.983	0.931	0.765	0.466	0.186	0.047	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.43
	095 - 105	0.158	0.960	1.367	1.310	0.846	0.379	0.128	0.051	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.21
	105 - 115	0.185	1.066	1.741	1.792	0.936	0.296	0.109	0.023	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.16
	115 - 125	0.201	1.217	2.100	2.113	1.133	0.334	0.080	0.020	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	7.20
	125 - 135	0.194	1.453	2.116	1.996	1.084	0.306	0.059	0.013	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.22
	135 - 145	0.207	1.588	1.832	1.452	0.672	0.183	0.046	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.99
	145 - 155	0.235	1.507	1.255	0.771	0.259	0.051	0.010	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.09
	155 - 165	0.223	1.408	0.777	0.285	0.058	0.012	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.77
165 - 175	0.243	1.242	0.345	0.086	0.022	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.94	
Totali		7.11	37.05	26.79	16.16	8.26	3.23	1.11	0.26	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella 4.2: Clima medio invernale a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Primaveraile media

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi di intensità di vento (m/s)														Totali
		0.00 1.00	1.00 3.00	3.00 5.00	5.00 7.00	7.00 9.00	9.00 11.00	11.00 13.00	13.00 15.00	15.00 17.00	17.00 20.00	20.00 23.00	23.00 26.00	26.00 27.00	> 27.00	
S	175 - 185	0.203	0.935	0.210	0.025	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.37
	185 - 195	0.238	0.906	0.159	0.013	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.32	
	195 - 205	0.235	0.886	0.128	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.26	
	205 - 215	0.227	0.838	0.119	0.020	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.21	
	215 - 225	0.253	0.770	0.133	0.020	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.18	
	225 - 235	0.225	0.805	0.181	0.023	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.24	
	235 - 245	0.250	0.826	0.189	0.024	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.29	
	245 - 255	0.262	0.871	0.223	0.019	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.38	
	255 - 265	0.282	0.881	0.262	0.030	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.46	
W	265 - 275	0.261	1.093	0.317	0.061	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.73	
	275 - 285	0.255	1.227	0.366	0.096	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.95	
	285 - 295	0.262	1.392	0.461	0.142	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.28	
	295 - 305	0.263	1.547	0.635	0.168	0.039	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.66	
	305 - 315	0.251	1.695	0.957	0.211	0.060	0.017	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.19	
	315 - 325	0.287	1.866	1.368	0.390	0.103	0.013	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.03	
	325 - 335	0.256	1.862	1.648	0.648	0.159	0.027	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.60	
	335 - 345	0.267	1.905	1.851	0.741	0.122	0.008	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.90	
	345 - 355	0.244	1.751	1.719	0.416	0.036	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.17	
N	355 - 005	0.218	1.589	1.275	0.159	0.015	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.26	
	005 - 015	0.231	1.412	0.793	0.089	0.021	0.015	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.56	
	015 - 025	0.226	1.258	0.565	0.069	0.015	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.14	
	025 - 035	0.225	1.194	0.496	0.072	0.019	0.006	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.02	
	035 - 045	0.227	1.086	0.450	0.067	0.030	0.014	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.88	
	045 - 055	0.230	1.046	0.450	0.095	0.029	0.013	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.86	
	055 - 065	0.233	1.117	0.558	0.144	0.041	0.016	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.11	
	065 - 075	0.213	1.112	0.725	0.216	0.081	0.033	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.38	
	075 - 085	0.228	1.158	0.941	0.325	0.124	0.063	0.011	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.85	
E	085 - 095	0.234	1.228	1.267	0.623	0.272	0.086	0.027	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	3.75	
	095 - 105	0.223	1.275	1.535	1.063	0.445	0.114	0.023	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	4.68	
	105 - 115	0.216	1.292	1.653	1.288	0.591	0.126	0.031	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	5.20	
	115 - 125	0.220	1.340	1.771	1.367	0.573	0.112	0.043	0.007	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	5.43	
	125 - 135	0.194	1.374	1.734	1.247	0.442	0.091	0.036	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	5.13	
	135 - 145	0.234	1.406	1.712	1.153	0.234	0.040	0.016	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.80	
	145 - 155	0.239	1.308	1.470	0.885	0.115	0.013	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.03	
	155 - 165	0.233	1.275	0.936	0.334	0.027	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.81	
	165 - 175	0.234	1.105	0.472	0.051	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.87	
Totali		8.58	44.63	29.73	12.31	3.66	0.84	0.22	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Tabella 4.3: Clima medio primaverile a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Estivo media

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi di intensità di vento (m/s)														Totali	
		0.00 1.00	1.00 3.00	3.00 5.00	5.00 7.00	7.00 9.00	9.00 11.00	11.00 13.00	13.00 15.00	15.00 17.00	17.00 20.00	20.00 23.00	23.00 26.00	26.00 27.00	> 27.00		
S	175 - 185	0.275	0.965	0.153	0.018	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.41
	185 - 195	0.262	0.722	0.123	0.017	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.13
	195 - 205	0.259	0.679	0.101	0.016	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.06
	205 - 215	0.257	0.646	0.101	0.009	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.02
	215 - 225	0.274	0.597	0.097	0.011	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.98
	225 - 235	0.263	0.638	0.107	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.02
	235 - 245	0.283	0.648	0.089	0.021	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.05
	245 - 255	0.295	0.753	0.123	0.019	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.19
	255 - 265	0.326	0.923	0.160	0.033	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.44
W	265 - 275	0.321	1.094	0.195	0.043	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.66
	275 - 285	0.317	1.356	0.236	0.050	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.97
	285 - 295	0.357	1.508	0.427	0.055	0.017	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.37
	295 - 305	0.306	1.730	0.684	0.097	0.029	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.85
	305 - 315	0.333	1.812	1.008	0.173	0.017	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.35
	315 - 325	0.304	1.808	1.123	0.313	0.032	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.58
	325 - 335	0.280	1.603	1.265	0.468	0.055	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.67
	335 - 345	0.279	1.497	1.348	0.561	0.048	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.74
	345 - 355	0.232	1.377	1.292	0.335	0.015	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.25
N	355 - 005	0.256	1.326	1.041	0.115	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.74
	005 - 015	0.237	1.176	0.786	0.062	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.27
	015 - 025	0.242	1.151	0.592	0.039	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.03
	025 - 035	0.234	1.055	0.483	0.046	0.008	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.83
	035 - 045	0.212	1.089	0.494	0.065	0.020	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.89
	045 - 055	0.243	1.112	0.494	0.087	0.022	0.008	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.97
	055 - 065	0.205	1.143	0.588	0.125	0.046	0.011	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.12
	065 - 075	0.228	1.234	0.803	0.203	0.070	0.012	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.56
	075 - 085	0.215	1.245	1.161	0.403	0.130	0.035	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.20
E	085 - 095	0.217	1.285	1.619	0.739	0.224	0.057	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.15
	095 - 105	0.247	1.435	1.915	1.168	0.405	0.094	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.27
	105 - 115	0.246	1.412	2.178	1.609	0.482	0.090	0.016	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.04
	115 - 125	0.248	1.610	2.300	1.709	0.460	0.081	0.020	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.43
	125 - 135	0.253	1.693	2.400	1.594	0.351	0.068	0.020	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.38
	135 - 145	0.249	1.636	2.189	1.212	0.181	0.040	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.52
	145 - 155	0.269	1.560	1.663	0.751	0.058	0.007	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.31
	155 - 165	0.281	1.345	0.935	0.207	0.018	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.79
	165 - 175	0.287	1.091	0.365	0.032	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.78
Totali		9.59	43.95	30.65	12.42	2.72	0.54	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella 4.4: *Clima medio estivo a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.*



Studio Meteomarino

Tabella climatica Autunnale media

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi di intensità di vento (m/s)														Totali		
		0.00 1.00	1.00 3.00	3.00 5.00	5.00 7.00	7.00 9.00	9.00 11.00	11.00 13.00	13.00 15.00	15.00 17.00	17.00 20.00	20.00 23.00	23.00 26.00	26.00 27.00	> 27.00			
S	175 - 185	0.250	0.995	0.172	0.039	0.010	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.47
	185 - 195	0.259	0.857	0.122	0.034	0.009	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.28
	195 - 205	0.267	0.872	0.143	0.020	0.009	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.31
	205 - 215	0.235	0.855	0.134	0.017	0.008	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.25
	215 - 225	0.240	0.927	0.182	0.034	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.40
	225 - 235	0.266	0.978	0.236	0.042	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.53
	235 - 245	0.259	1.068	0.323	0.042	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.70
	245 - 255	0.270	1.168	0.493	0.037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.97
	255 - 265	0.281	1.259	0.668	0.096	0.010	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.31
W	265 - 275	0.273	1.413	0.929	0.237	0.023	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.88
	275 - 285	0.257	1.498	1.113	0.549	0.062	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.48
	285 - 295	0.252	1.554	1.233	0.777	0.282	0.027	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.13
	295 - 305	0.236	1.531	1.332	0.734	0.389	0.131	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.36
	305 - 315	0.226	1.493	1.436	0.596	0.292	0.146	0.045	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.23
	315 - 325	0.201	1.346	1.259	0.463	0.126	0.050	0.037	0.007	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.49
	325 - 335	0.206	1.185	0.900	0.316	0.074	0.038	0.013	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.74
	335 - 345	0.191	1.004	0.633	0.152	0.025	0.015	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.03
	345 - 355	0.207	0.818	0.355	0.079	0.014	0.008	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.48
N	355 - 005	0.177	0.692	0.196	0.047	0.013	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.13
	005 - 015	0.200	0.552	0.163	0.051	0.024	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00
	015 - 025	0.186	0.581	0.159	0.042	0.030	0.009	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.01
	025 - 035	0.190	0.548	0.156	0.068	0.035	0.019	0.007	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.03
	035 - 045	0.172	0.548	0.176	0.101	0.056	0.045	0.015	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.12
	045 - 055	0.180	0.584	0.243	0.145	0.130	0.065	0.028	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.38
	055 - 065	0.189	0.668	0.318	0.200	0.184	0.106	0.030	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.70
	065 - 075	0.181	0.748	0.493	0.337	0.248	0.210	0.089	0.032	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.34
	075 - 085	0.213	0.959	0.668	0.537	0.429	0.292	0.153	0.042	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.29
E	085 - 095	0.194	1.032	0.964	0.714	0.478	0.310	0.112	0.015	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.82
	095 - 105	0.189	1.190	1.512	1.003	0.585	0.303	0.074	0.011	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.87
	105 - 115	0.214	1.380	1.910	1.394	0.652	0.190	0.038	0.009	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.79
	115 - 125	0.210	1.510	2.233	1.839	0.927	0.274	0.040	0.006	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.04
	125 - 135	0.239	1.660	2.292	1.818	0.916	0.295	0.051	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.28
	135 - 145	0.228	1.675	1.977	1.398	0.599	0.151	0.032	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.07
	145 - 155	0.228	1.502	1.284	0.655	0.174	0.048	0.011	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.90
	155 - 165	0.244	1.282	0.705	0.163	0.041	0.009	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.45
	165 - 175	0.265	1.081	0.327	0.046	0.011	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.73
Totali		8.08	39.01	27.44	14.82	6.90	2.77	0.79	0.16	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Tabella 4.5: Clima medio autunnale a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



4.2 ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI ANEMOMETRICI

Al fine di effettuare l'analisi statistica degli estremi di intensità del vento, è necessario selezionare preliminarmente i campioni di dati che risultino tra loro statisticamente indipendenti ed omogenei. Il metodo di estrazione degli eventi estremi dipende dalla durata della serie storica a disposizione.

Quando questa è sufficientemente lunga e statisticamente rappresentativa, è possibile estrarre il massimo valore dell'altezza d'onda significativa massima che si verifica in un blocco di durata assegnata (metodo di estrazione dei massimi a blocchi). Al fine di assicurare l'omogeneità dei campioni estratti, la durata del blocco è tipicamente posta pari a 1 anno, al fine di non introdurre nell'analisi effetti dovuti alla stagionalità del clima. D'altra parte, è possibile effettuare l'analisi per ognuno dei settori di traversia, al fine di tener conto dell'omogeneità della genesi meteorologica degli stati di mare.

Laddove le serie anemometriche non siano molto lunghe e, di conseguenza, non statisticamente rappresentative, si è soliti utilizzare il metodo POT (*Peaks Over Threshold* detto anche della serie di durata parziale sopra soglia ovvero degli eccessi sopra soglia). Esso consiste nel considerare il solo valore massimo di altezza d'onda (valore di picco) che si verifica nell'ambito di un singolo evento. In tal modo si assicura l'indipendenza statistica degli eventi estratti. L'individuazione di ciascun evento anemometrico nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di intensità del vento e considerando che il singolo evento abbia inizio quando l'intensità superi per la prima volta il valore della soglia prestabilito. Conseguentemente si ipotizza che l'evento termini quando l'intensità assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia oppure quando si verifica un forte scarto della direzione di provenienza. Selezionati gli eventi di picco, l'omogeneità dei dati viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi di intensità registrati o ricostruiti in distinti settori di provenienza.

Gli eventi estremi (estratti con il metodo dei massimi annuali, ovvero con il metodo della serie di durata parziale sopra soglia) sono quindi oggetto di un'elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante adattamento degli eventi estremi secondo note funzioni probabilistiche, l'intensità del vento da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di superamento).

In generale, il campione degli eventi estremi estratti dalla serie temporale rappresenta una serie di realizzazioni di una variabile aleatoria con funzione di ripartizione delle probabilità incognita.

È noto che gli eventi estremi siano estratti da una funzione appartenente ad una famiglia di funzioni di distribuzione di probabilità con parametri ignoti.

Quando gli eventi estremi sono estratti con il metodo dei massimi a blocchi, la funzione teorica è costituita da una GEV (*Generalized Extreme Value Distribution*).



Se il metodo utilizzato per estrarre gli eventi estremi è quello dei picchi sopra soglia gli eccessi rispetto alla soglia sono estratti da una variabile aleatoria con funzione di distribuzione di probabilità GPD (*Generalized Pareto Distribution*).

La funzione di distribuzione generalizzata degli eventi estremi (GEV) assume la seguente forma:

$$\Phi(x) = \exp\left\{-\left[1 + k\left(\frac{x - \varepsilon}{\alpha}\right)\right]^{-1/k}\right\} \quad (4-1)$$

nella quale k è il parametro di forma, α è il parametro di scala, ε è il parametro di locazione, x è la realizzazione della variabile aleatoria (in questo caso un evento estremo), Φ è la probabilità di non superamento.

La funzione di distribuzione generalizzata di Pareto assume, invece, la seguente forma:

$$\Phi(x) = 1 - \left[1 + \frac{k(x - \varepsilon)}{\alpha}\right]^{-1/k} \quad (4-2)$$

Nella quale k è il parametro di forma, α è il parametro di scala, ε è la soglia.

L'adattamento statistico (cioè la stima dei parametri delle funzioni di distribuzione GEV o GPD) è stato effettuato con il metodo della massima verosimiglianza e l'ipotesi nulla (ovvero che il campione è estratto dalla popolazione della variabile aleatoria di cui si sono stimati i parametri) è stata verificata con il test non parametrico di Kolmogorov-Smirnov (Smirnov, 1948).

La stima dei parametri della funzione di distribuzione di probabilità permette di associare a specifici valori del tempo di ritorno i relativi livelli di ritorno. Infatti, la probabilità di non superamento è legata al tempo di ritorno dalla seguente relazione:

$$\Phi(x) = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (4-3)$$

da cui si ottiene la relazione che permette la stima del livello di ritorno x_r :

$$x_r = \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{T_r}\right) \quad (4-4)$$

La Figura 4.4 riporta la rappresentazione polare degli eventi estremi estratti con il metodo dei massimi annuali, sia per il settore di traversia principale (320°N-60°N), sia per il settore di traversia secondario (60°N-170°N). La Figura 4.5, analogamente, riporta la rappresentazione polare degli eventi estremi estratti con il metodo dei picchi sopra soglia. Le soglie, differenziate per i settori di provenienza, sono state individuate con l'obiettivo di estrarre, mediamente, due eventi estremi per



ogni anno. Si è identificata una soglia pari a 10.05 m per il settore di traversia principale (142 eventi), e pari a 13.10 m per il settore di traversia secondaria (143 eventi).

L'analisi statistica estemale è stata effettuata sia utilizzando il metodo di estrazione dei massimi annuali, sia il metodo degli eccessi sopra soglia. Nel primo caso, l'adattamento statistico è stato effettuato utilizzando la GEV quale funzione di distribuzione teorica da cui si ipotizza sia estratto il campione osservato. Nel secondo caso, l'adattamento statistico è stato effettuato utilizzando la GPD quale funzione teorica.

La Figura 4.6 e la Figura 4.7 mostrano i risultati ottenuti utilizzando il metodo di estrazione dei massimi annuali per i due settori di provenienza degli eventi estremi. Si riporta, in particolare, l'intensità del vento con assegnato tempo di ritorno ottenuta utilizzando i risultati dell'adattamento statistico. Il confronto con la stima campionaria del tempo di ritorno permette di osservare che il test di significatività statistica è superato.

Analogamente, la Figura 4.8 e la Figura 4.9 riportano la stessa tipologia di risultato ottenuto applicando il metodo di estrazione degli eccessi sopra soglia. Anche in questo caso, l'ipotesi nulla è accettata.

La Tabella 4.6 sintetizza i risultati ottenuti. La Tabella contiene anche la stima del periodo di picco degli stati di mare estremi, valutata tramite la relazione identificata al paragrafo §4.2.



Studio Meteomarino

SETTORE DI TRAVERSIA PRINCIPALE (240°N-30°N)		
	Metodo dei massimi annuali	Metodo dei massimi sopra soglia (funzione di distribuzione: GPD)
T_r (anni)	V (m/s)	V (m/s)
2	11.80	12.25
5	13.27	13.40
10	14.13	14.18
25	15.11	15.09
50	15.76	15.71
100	16.34	16.27

SETTORE DI TRAVERSIA SECONDARIO (40°N-180°N)		
	Metodo dei massimi annuali	Metodo dei massimi sopra soglia (funzione di distribuzione: GPD)
T_r (anni)	V (m/s)	V (m/s)
2	14.80	14.86
5	16.87	16.06
10	17.78	16.97
25	18.58	18.18
50	19.00	19.10
100	19.31	20.03

Tabella 4.6: Stima dell'intensità del vento per il settore direzionale principale (tabella in alto) e secondario (tabella in basso).



**Eventi estremi
Massimi annuali
(1950-2022)**

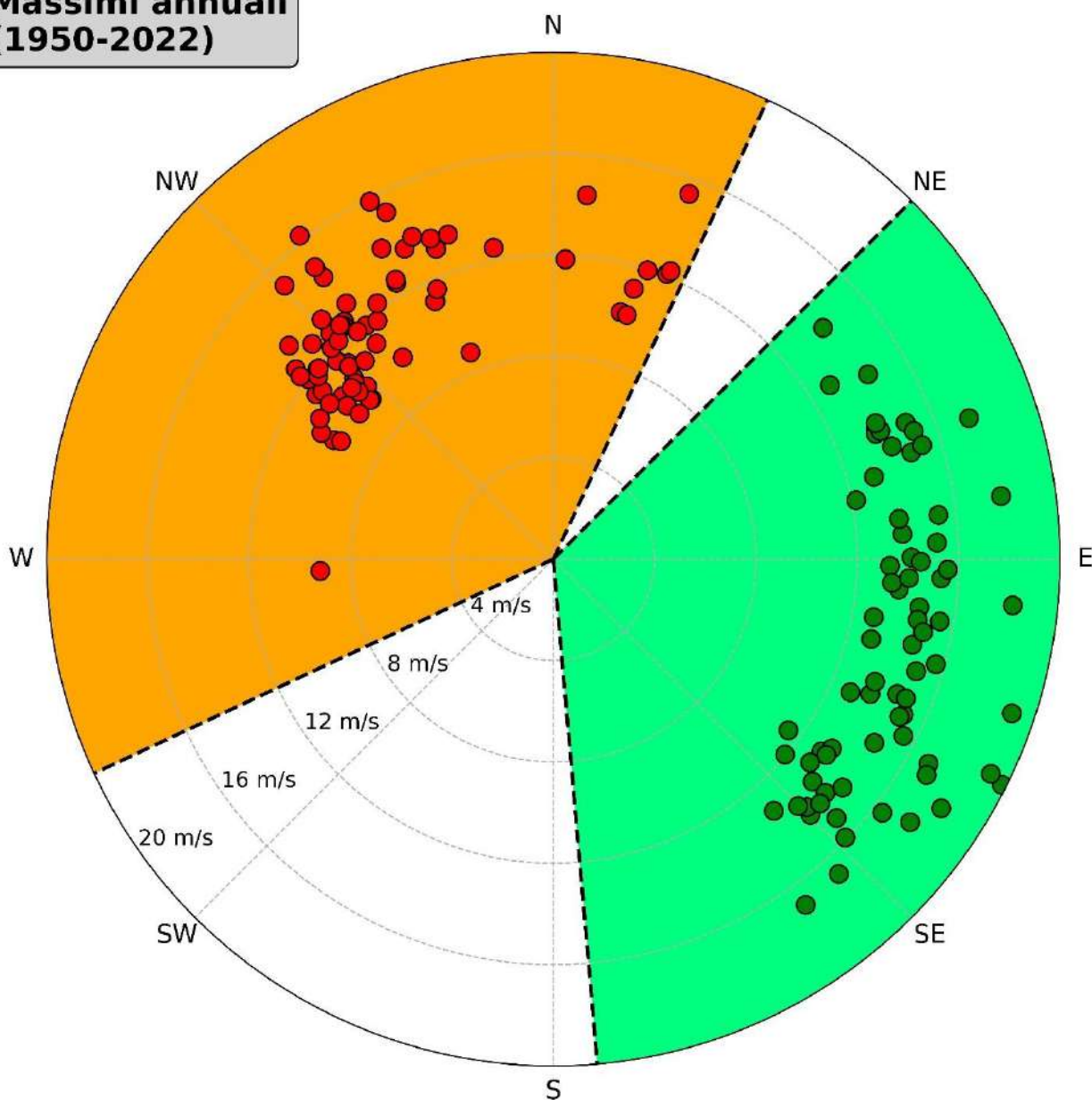


Figura 4.4: Rappresentazione polare degli eventi estremi di vento estratti con il metodo dei massimi a blocchi di durata annuale.



**Eventi estremi
Eventi soprasoglia
(1950-2022)**

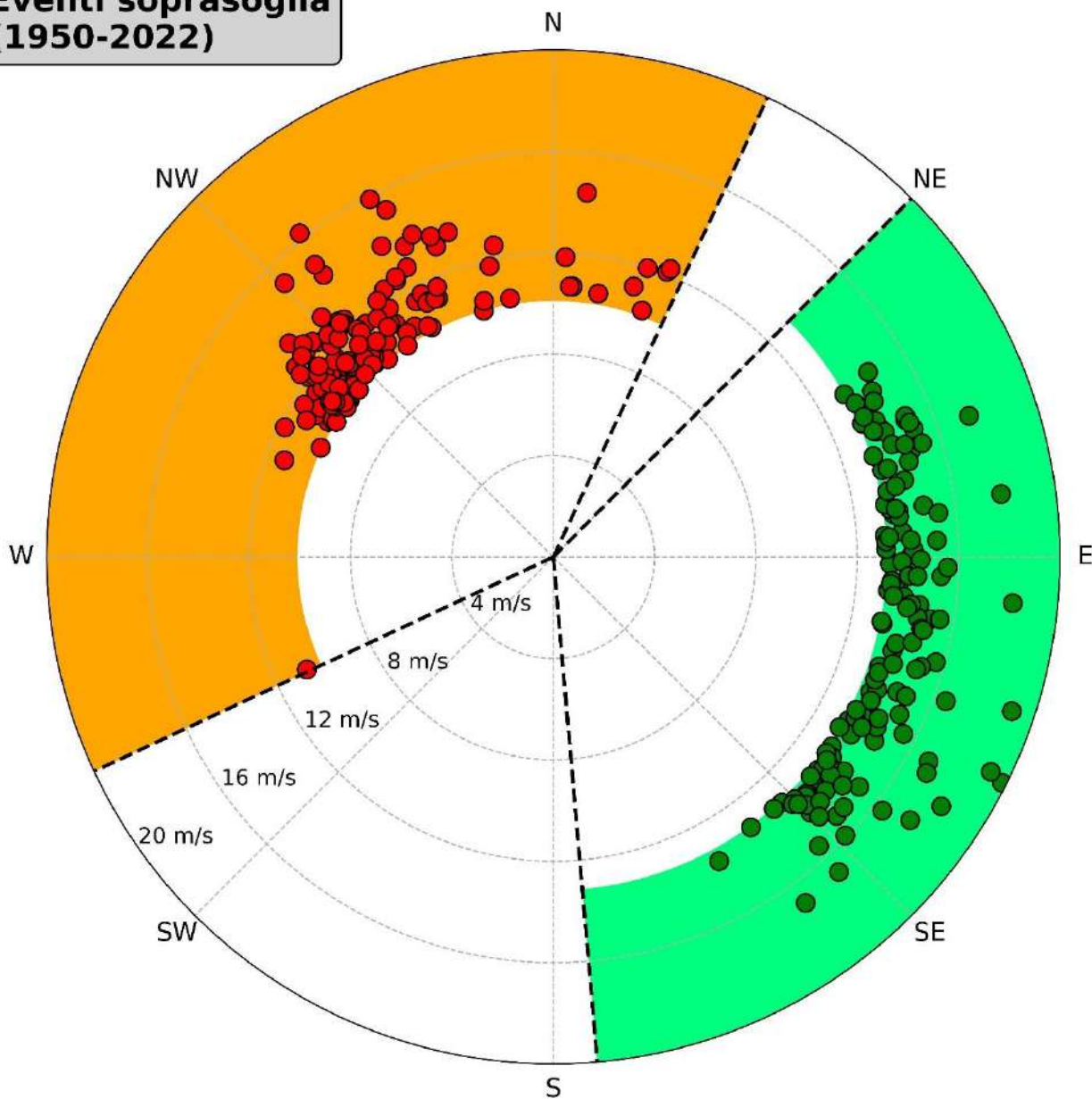


Figura 4.5: Rappresentazione polare degli eventi estremi di vento estratti con il metodo dei massimi sopra soglia (soglia pari a 10.05 m/s per il settore di traversia principale, pari a 13.10 m/s per il settore di traversia secondario).

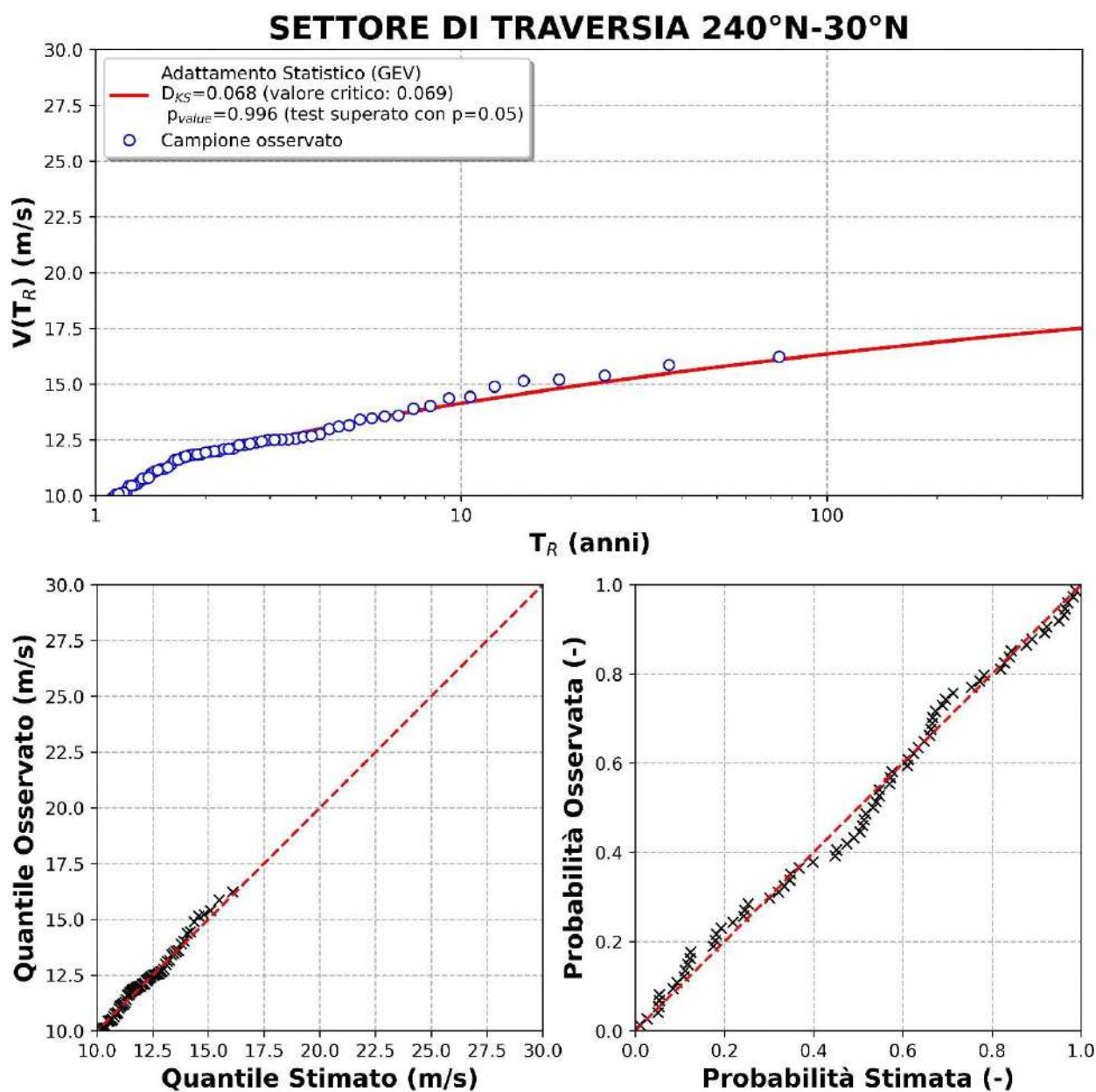


Figura 4.6: Adattamento statistico delle intensità di vento estreme estratte con il metodo dei massimi annuali relative agli eventi provenienti dal settore di traversia principale. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di intensità del vento (V) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (intensità del vento con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

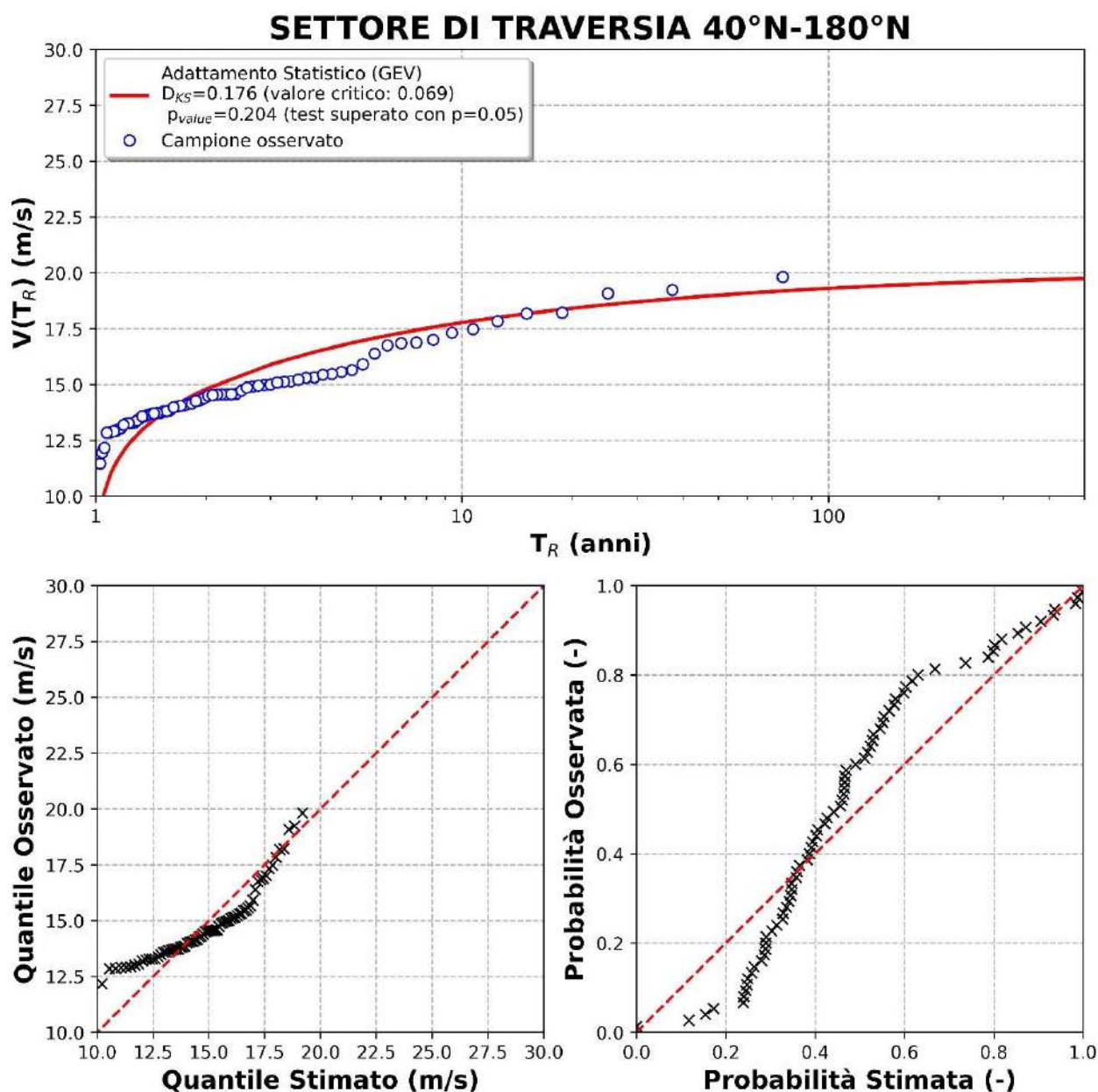


Figura 4.7: Adattamento statistico delle intensità di vento estreme estratte con il metodo dei massimi annuali relative agli eventi provenienti dal settore di traversia secondario. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di intensità del vento (V) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (intensità del vento con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.



SETTORE DI TRAVERSIA 240°N-30°N

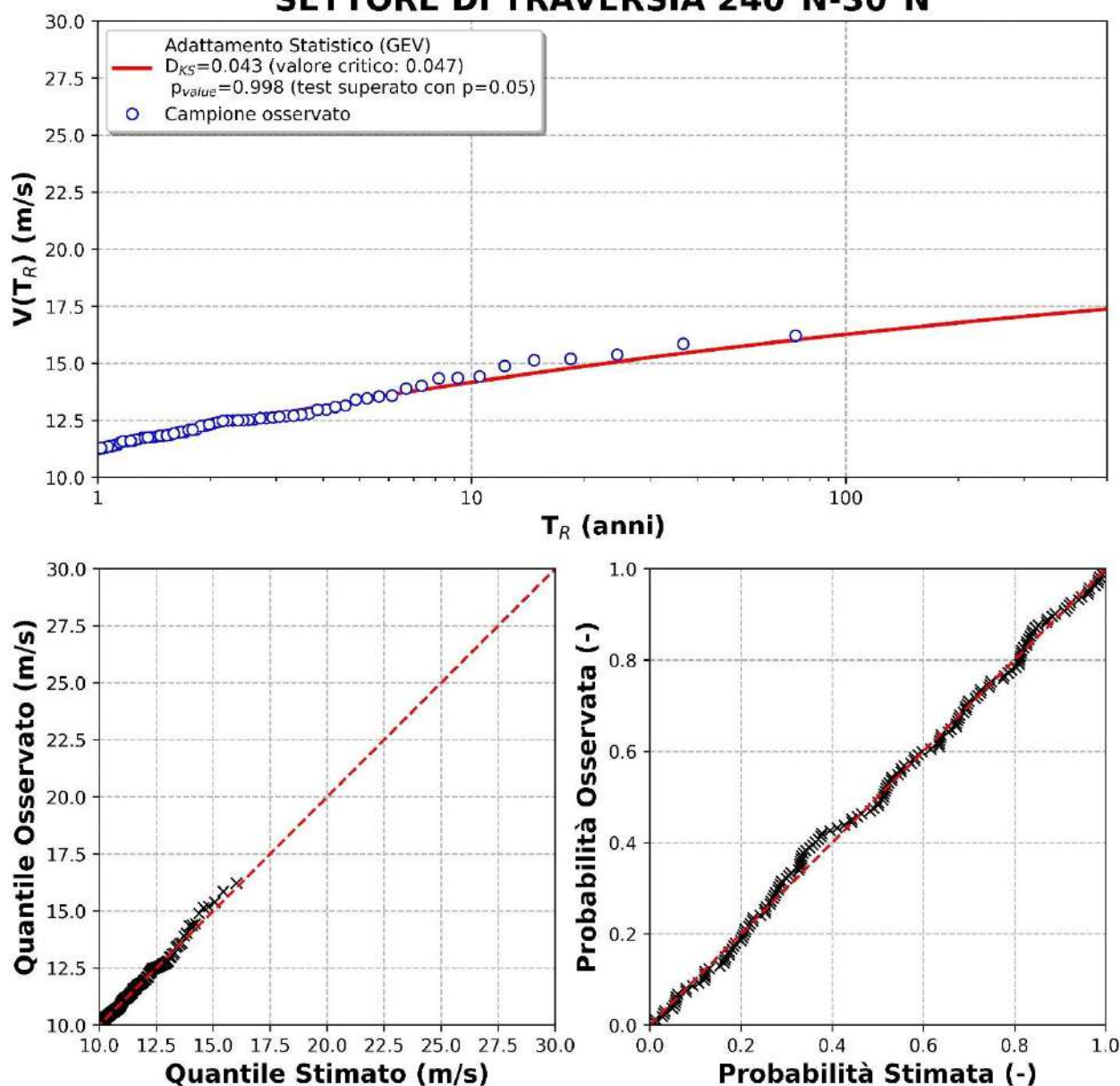


Figura 4.8: Adattamento statistico delle intensità del vento estreme estratte con il metodo degli eccessi sopra soglia relative agli eventi provenienti dal settore di traversia principale. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di intensità del vento (V) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (intensità del vento con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

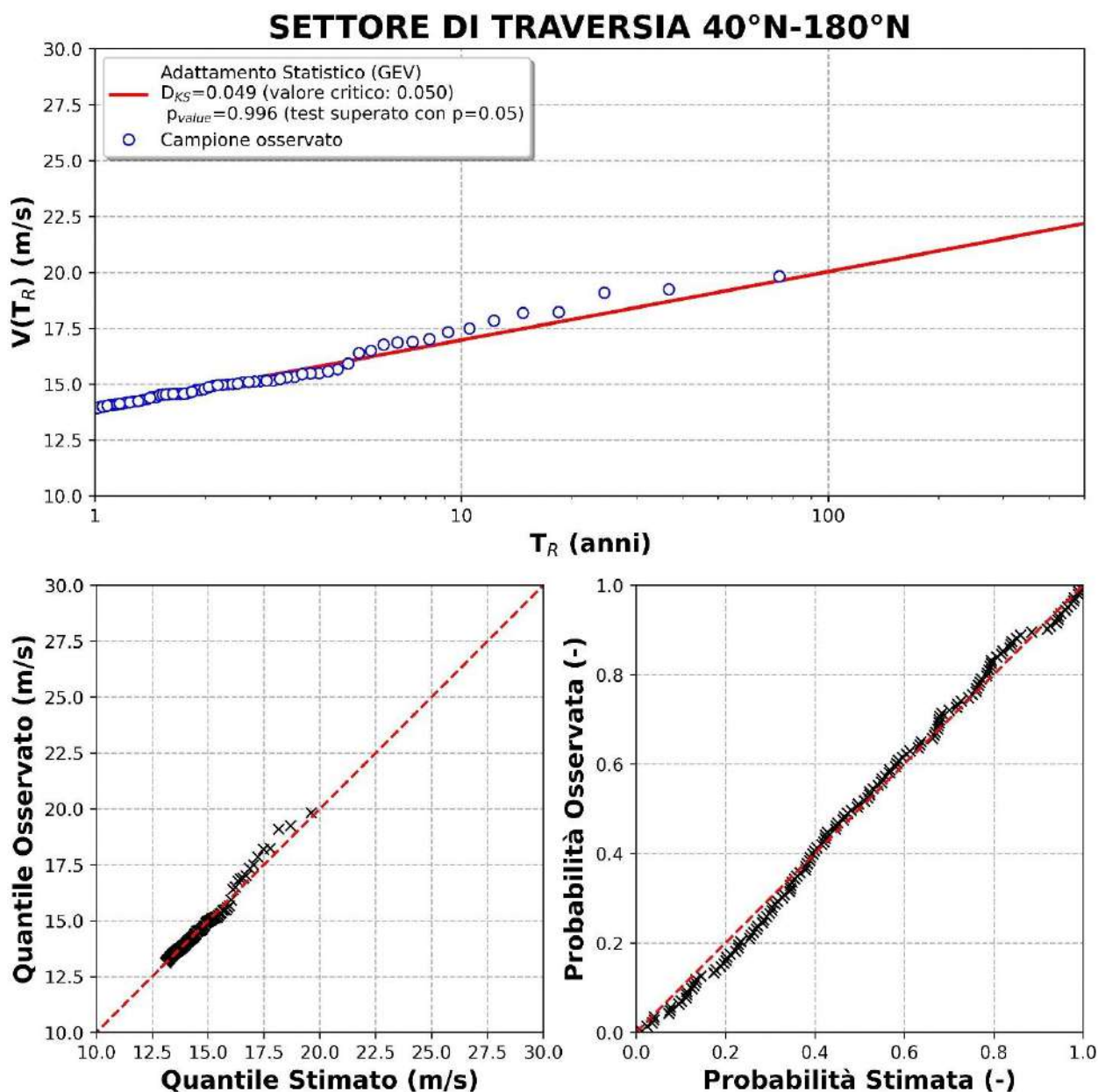


Figura 4.9: Adattamento statistico delle intensità del vento estreme estratte con il metodo degli eccessi sopra soglia relative agli eventi provenienti dal settore di traversia secondario. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di intensità del vento (V) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (intensità del vento con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

5 ANALISI ONDAMETRICA AL LARGO

5.1 VERIFICA E CALIBRAZIONE DELLA SERIE ONDAMETRICA

La serie ondometrica desunta dal database ERA5, come già anticipato, è valutata numericamente. Con l'obiettivo di valutarne l'affidabilità, la serie è stata oggetto di opportuna calibrazione tramite confronto con i dati acquisiti dalla boa di Ortona (appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale). A tal fine, è stata estratta la serie ERA5 ricostruita nel punto 42.5°N,14.5°E, prossimo al punto di installazione della boa RON (42.41°N, 14.54°E).

La Figura 5.1 mostra il confronto tra i dati sincroni e tra i massimi giornalieri. Per entrambe le analisi, i dati ERA5 mostrano una sottostima sostanzialmente comparabile. Pertanto, la serie ondometrica al largo è stata definita prendendo in considerazione la serie ERA5 la cui altezza d'onda è incrementata di circa il 33.3% e il periodo del 15.5% (per mantenere la stessa ripidità). La serie è stata oggetto di analisi statistica così come descritto nel seguito.

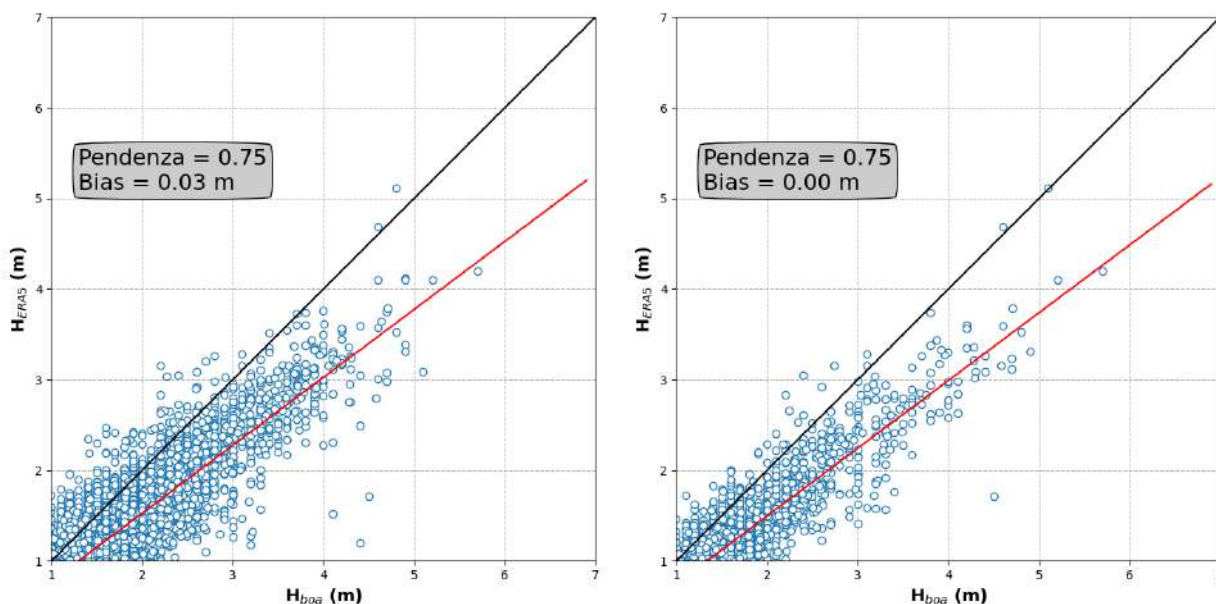


Figura 5.1: Confronto tra l'altezza d'onda significativa ricostruita numericamente e desunta dal database ERA5 e l'altezza d'onda significativa misurata dalla boa di Ortona (appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale). A sinistra sono mostrati i valori sincroni, a destra i valori massimi giornalieri.



5.2 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI A LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA E ALLA DIREZIONE DI PROVENIENZA

I dati ondametrici estratti al largo del litorale di Montesilvano, in particolare nel punto identificato in Figura 3.1, possono essere classificati in base al valore dell'altezza d'onda significativa e alla direzione di provenienza. In tal caso è possibile definire una serie di classi e la relativa frequenza di occorrenza (assoluta e relativa). La rappresentazione polare delle frequenze relative (rosa climatica), calcolata su base annuale e stagionale permette di trarre indicazioni sulle caratteristiche climatiche del paraggio e le relative rappresentazioni tabellari permettono la definizione quantitativa del clima. Nella Figura 5.2 sono riportate la rosa ondometrica annuale mentre nella Figura 5.3 e nella Figura 5.4 sono riportate le rose ondometriche stagionali, a largo del paraggio di Montesilvano. Dalla Tabella 5.1 alla Tabella 5.4 sono riportati gli stessi risultati in forma numerica, in termini di frequenza relativa. Dall'analisi dei risultati si evince che al largo del sito di interesse gli stati di mare più frequenti (con frequenza di accadimento superiore a 0.1) e caratterizzati da altezze d'onda più elevate provengono dal settore di traversia di Tramontana compreso nel settore 300-60°N, che quindi può essere assunto quale settore di traversia principale. Inoltre, è identificabile un settore di traversia secondario che si estende nell'intervallo angolare di Levante 60°N-170°N (Levante-Scirocco).

In particolare, con riferimento alla rosa ondometrica media annuale (Figura 5.2), e alla relativa tabella climatica (Tabella 5.1), per quanto riguarda le frequenze di accadimento dell'altezza d'onda significativa si osserva quanto segue:

- il 58.31% degli stati di mare sono caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m;
- il 27.17% degli stati di mare sono caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m;
- il 6.73% degli stati di mare sono caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m;
- l'1.84% degli stati di mare sono caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m.

Inoltre, con riferimento al grafico di Figura 5.2, si osserva quanto segue:

- le calme ($H_s < 0.50$ m) costituiscono il 41.69% degli stati di mare;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 0.50 m e 1.00 m rappresentano una percentuale pari a 31.14%;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 1.00 m e 2.00 m rappresentano una percentuale pari a 20.45%;



Studio Meteomarino

- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 2.00 m e 3.00 m rappresentano una percentuale pari a 4.89%;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 3.00 m e 4.00 m rappresentano una percentuale pari a 1.38%;
- la rimanente percentuale di 0.46% degli stati di mare ha un'altezza d'onda significativa superiore a 4.00 m.

Con riferimento alle rose ondamiche stagionali (Figura 5.3 e Figura 5.4), e alle relative tabelle climatiche (dalla Tabella 5.1 alla Tabella 5.5), si osserva quanto segue:

- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m rappresentano una percentuale pari a 72.11% in Inverno, a 48.08% in Primavera, a 43.60% in Estate e a 69.60% in Autunno;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m rappresentano una percentuale pari a 40.67% in Inverno, a 18.10% in Primavera, a 12.59% in Estate e a 37.48% in Autunno;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m rappresentano una percentuale pari a 12.14% in Inverno, a 2.76% in Primavera, a 1.32% in Estate e a 10.74% in Autunno;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m rappresentano una percentuale pari a 3.70% in Inverno, a 0.44% in Primavera, a 0.20% in Estate e a 3.03% in Autunno;
- le calme ($H_s < 0.50$ m) costituiscono una percentuale degli stati di mare pari a 27.89% in Inverno, a 51.92% in Primavera, a 56.40% in Estate, a 30.40% in Autunno;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 0.50 m e 1.00 m rappresentano una percentuale pari a 31.44% in Inverno, a 29.98% in Primavera, a 31.01% in Estate, a 32.11% in Autunno;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 1.00 m e 2.00 m rappresentano una percentuale pari a 28.53% in Inverno, a 15.34% in Primavera, a 11.27% in Estate, a 26.74% in Autunno;
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 2.00 m e 3.00 m rappresentano una percentuale pari a 8.44% in Inverno, a 2.32% in Primavera, a 1.12% in Estate, a 7.71% in Autunno;



Studio Meteomarino

- gli stati di caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 3.00 m e 4.00 m rappresentano una percentuale pari a 2.66% in Inverno, a 0.36% in Primavera, a 0.19% in Estate, a 2.33% in Autunno;
- la rimanente percentuale pari a tra 4.00 m e 5.00 m rappresentano una percentuale pari 1.05% in Inverno, a 0.09% in Primavera, a 0.01% in Estate, e a 0.70% in Autunno; ha un'altezza d'onda significativa superiore a 4.00 m.
- in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N) rappresentano il 55.92% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 42.18%;
- in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N) rappresentano il 51.43% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 47.42%;
- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N) rappresentano il 62.42% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 36.65%;
- in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N) rappresentano il 54.22% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 44.09%;
- in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m, rappresentano il 41.47% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 29.57%;
- in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m, rappresentano il 25.47% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 22.31%;
- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m, rappresentano il 29.74% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 13.71%;
- in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m, rappresentano il 37.15% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 31.48%;
- in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m, rappresentano il 25.71% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 14.64%;



Studio Meteomarino

- in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m, rappresentano il 10.11% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 7.94%;
- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m, rappresentano il 9.73% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 2.83%;
- in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m, rappresentano il 20.44% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 16.65%;
- in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m, rappresentano l'8.13% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 3.99%;
- in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m, rappresentano l'1.54% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 1.22%;
- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m, rappresentano l'1.09% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) lo 0.23%;
- in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m, rappresentano il 6.33% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) il 4.39%;
- in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m, rappresentano il 2.53% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) l'1.18%;
- in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m, rappresentano lo 0.26% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) lo 0.18%;
- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m, rappresentano lo 0.17% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) lo 0.03%;
- in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (310-60°N), con altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m, rappresentano l'1.89% del totale, quelle provenienti dal settore di traversia secondario (60-160°N) l'1.13%.



**Clima Annuale
Medio a largo
(1950-2022)**

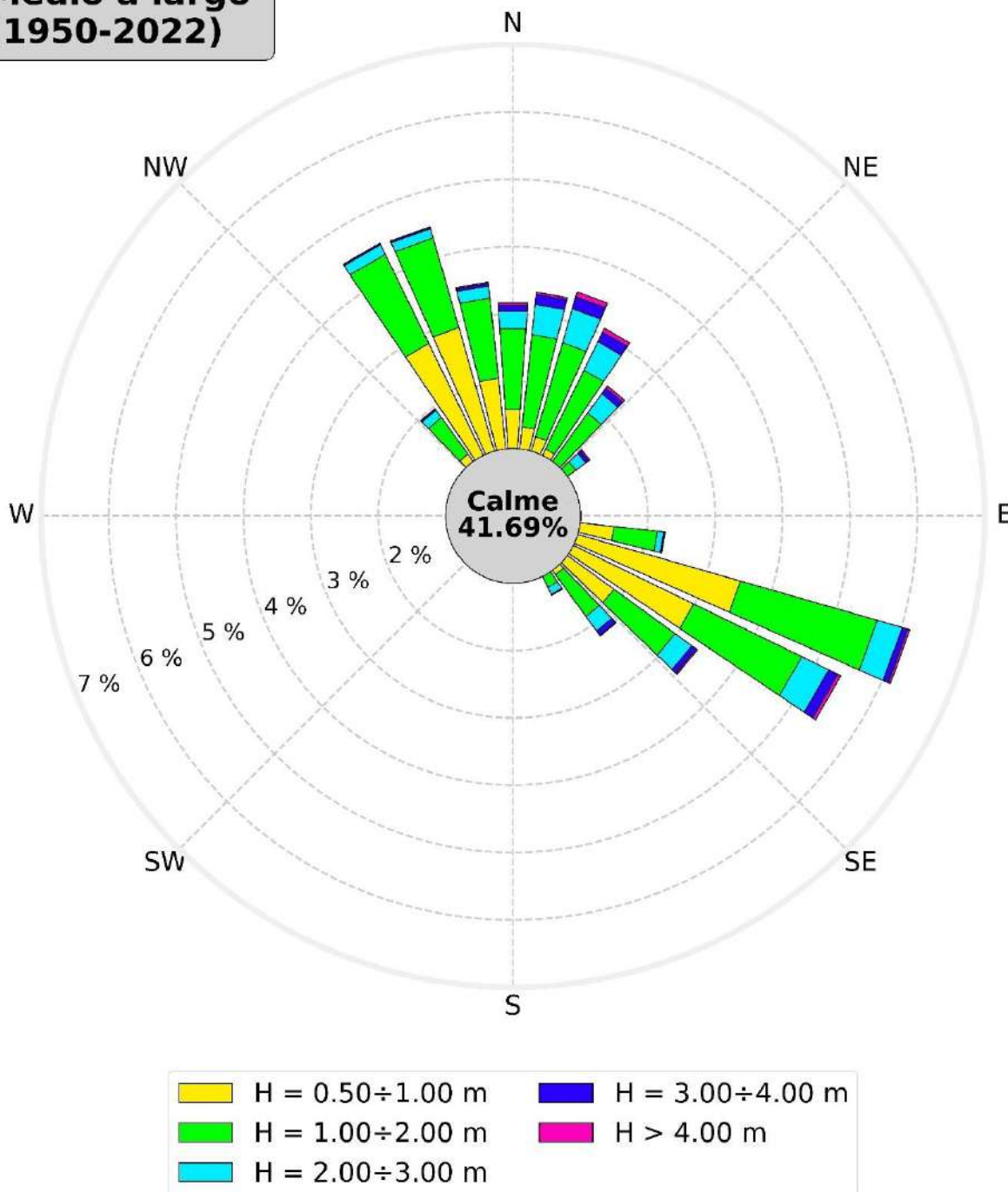


Figura 5.2: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale annuale degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio dell'area di interesse. La percentuale che indica le calme si riferisce ad altezze d'onda significative inferiori a 0.5 m.



Studio Meteomarino

Tabella climatica annuale media

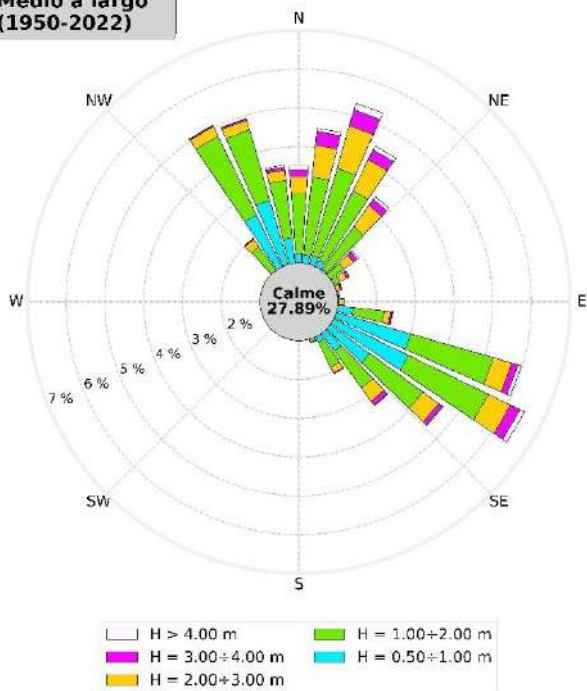
Classi direzione di provenienza (°N)	Classi Altezza d'onda significativa (m)															Totali
	0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50		
S	175 - 185	0.324	0.127	0.025	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.49
	185 - 195	0.207	0.070	0.013	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.30	
	195 - 205	0.156	0.046	0.016	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22	
	205 - 215	0.126	0.031	0.013	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18	
	215 - 225	0.125	0.025	0.013	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.17	
	225 - 235	0.121	0.027	0.008	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16	
	235 - 245	0.123	0.027	0.006	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16	
	245 - 255	0.124	0.021	0.011	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16	
	255 - 265	0.138	0.026	0.012	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18	
W	265 - 275	0.160	0.030	0.013	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.21	
	275 - 285	0.197	0.042	0.019	0.006	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.27	
	285 - 295	0.272	0.062	0.025	0.012	0.005	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.38	
	295 - 305	0.363	0.110	0.052	0.025	0.017	0.011	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.58	
	305 - 315	0.595	0.265	0.125	0.078	0.057	0.018	0.013	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	1.16	
	315 - 325	1.356	1.135	0.463	0.206	0.092	0.044	0.016	0.006	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	3.32	
	325 - 335	3.236	2.849	1.098	0.374	0.121	0.040	0.014	0.008	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	7.74	
	335 - 345	4.173	2.909	1.063	0.323	0.101	0.043	0.016	0.009	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	8.64	
	345 - 355	2.898	2.055	0.875	0.325	0.123	0.055	0.027	0.014	0.009	0.004	0.003	0.001	0.001	6.39	
N	355 - 005	1.954	1.585	0.815	0.385	0.163	0.097	0.055	0.029	0.019	0.011	0.007	0.003	0.002	5.12	
	005 - 015	1.436	1.330	0.856	0.521	0.285	0.165	0.103	0.048	0.019	0.007	0.004	0.002	0.000	4.78	
	015 - 025	1.210	1.225	0.876	0.573	0.326	0.200	0.118	0.066	0.044	0.019	0.009	0.002	0.001	4.67	
	025 - 035	1.031	1.106	0.759	0.542	0.314	0.158	0.103	0.055	0.032	0.017	0.012	0.002	0.001	4.13	
	035 - 045	0.955	0.964	0.576	0.348	0.230	0.128	0.063	0.037	0.020	0.013	0.005	0.002	0.002	3.34	
	045 - 055	0.850	0.636	0.338	0.183	0.114	0.066	0.033	0.023	0.011	0.010	0.002	0.000	0.000	2.27	
	055 - 065	0.860	0.514	0.229	0.118	0.057	0.036	0.019	0.008	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	1.85	
	065 - 075	0.850	0.483	0.175	0.086	0.037	0.023	0.017	0.006	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	1.68	
	075 - 085	0.923	0.501	0.185	0.078	0.033	0.019	0.009	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	1.75	
E	085 - 095	1.162	0.647	0.215	0.087	0.036	0.019	0.005	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	2.18	
	095 - 105	1.890	1.508	0.487	0.163	0.062	0.028	0.013	0.007	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	4.16	
	105 - 115	3.474	3.514	1.502	0.610	0.259	0.127	0.057	0.030	0.022	0.007	0.002	0.000	0.002	9.61	
	115 - 125	3.527	2.986	1.232	0.553	0.279	0.165	0.096	0.055	0.023	0.013	0.006	0.004	0.002	8.94	
	125 - 135	2.587	1.855	0.750	0.370	0.205	0.103	0.051	0.030	0.013	0.005	0.002	0.001	0.001	5.97	
	135 - 145	1.867	1.079	0.500	0.269	0.163	0.104	0.058	0.024	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	4.07	
	145 - 155	1.219	0.700	0.324	0.158	0.086	0.030	0.010	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.53	
	155 - 165	0.722	0.409	0.184	0.051	0.014	0.005	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	1.39	
	165 - 175	0.481	0.236	0.085	0.012	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.82	
Totali	41.69	31.14	13.94	6.51	3.20	1.69	0.91	0.47	0.25	0.12	0.06	0.02	0.01	0.01	100.00	

Tabella 5.1: Clima medio annuale a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

**Clima Invernale
Medio a largo
(1950-2022)**



**Clima Primaverile
Medio a largo
(1950-2022)**

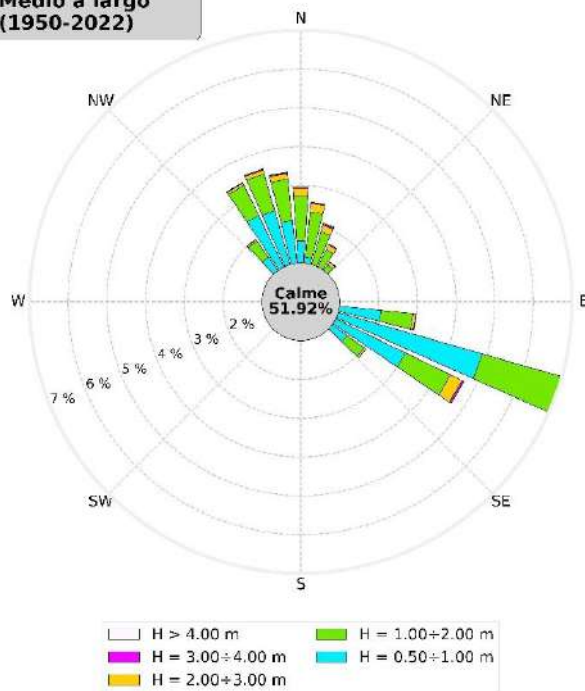
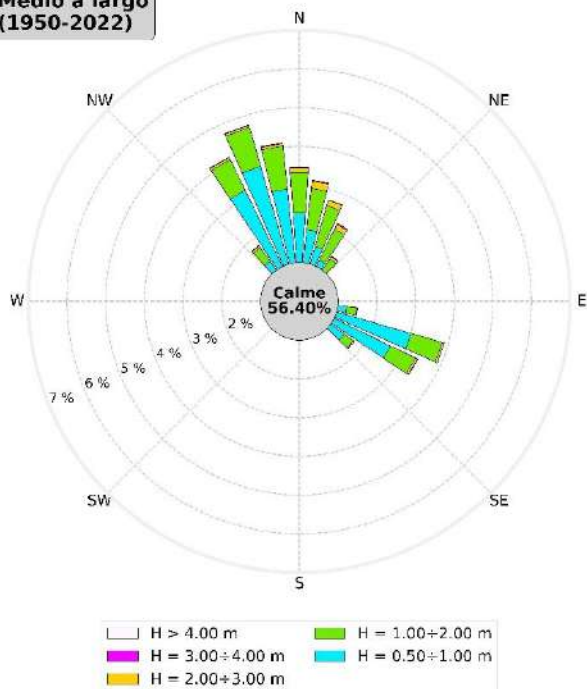


Figura 5.3: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale invernale e primaverile degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di intervento.

**Clima Estivo
Medio a largo
(1950-2022)**



**Clima Autunnale
Medio a largo
(1950-2022)**

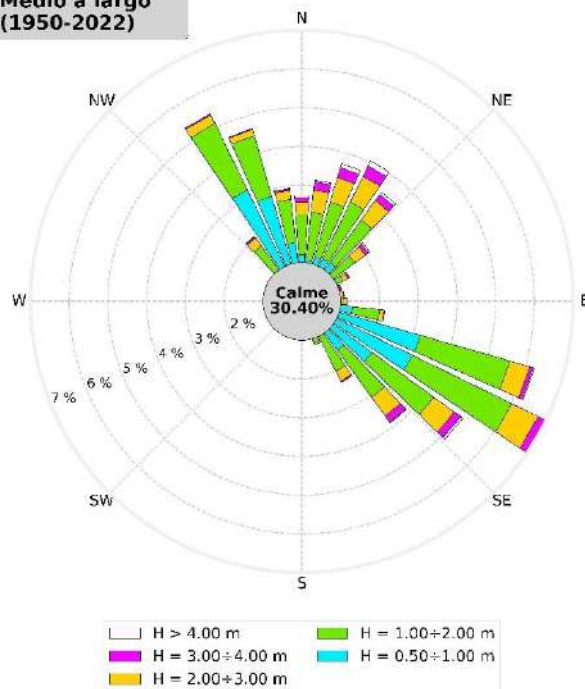


Figura 5.4: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale estiva ed autunnale degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di intervento.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Invernale media

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi Altezza d'onda significativa (m)														Totali
		0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
S	175 - 185	0.303	0.197	0.039	0.017	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.56
	185 - 195	0.195	0.083	0.017	0.010	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.31	
	195 - 205	0.140	0.062	0.025	0.008	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.24	
	205 - 215	0.092	0.042	0.021	0.010	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.17	
	215 - 225	0.101	0.034	0.017	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16	
	225 - 235	0.112	0.034	0.008	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16	
	235 - 245	0.111	0.042	0.009	0.009	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.17	
	245 - 255	0.101	0.035	0.017	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16		
	255 - 265	0.104	0.045	0.016	0.011	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18		
W	265 - 275	0.132	0.035	0.022	0.009	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.20	
	275 - 285	0.142	0.060	0.038	0.008	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.25	
	285 - 295	0.185	0.090	0.027	0.014	0.008	0.006	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.33	
	295 - 305	0.271	0.094	0.053	0.037	0.026	0.018	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.51	
	305 - 315	0.359	0.211	0.122	0.122	0.100	0.026	0.028	0.011	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.99	
	315 - 325	0.864	0.861	0.582	0.323	0.145	0.070	0.019	0.004	0.004	0.003	0.003	0.000	0.000	2.88	
	325 - 335	2.212	2.496	1.649	0.606	0.204	0.071	0.015	0.013	0.006	0.003	0.002	0.001	0.000	7.28	
	335 - 345	2.596	2.722	1.359	0.533	0.177	0.078	0.022	0.020	0.006	0.003	0.004	0.001	0.000	7.52	
N	345 - 355	1.647	1.661	1.002	0.489	0.182	0.089	0.050	0.024	0.023	0.013	0.008	0.004	0.004	5.20	
	355 - 005	1.169	1.261	0.956	0.586	0.259	0.175	0.119	0.058	0.037	0.032	0.025	0.013	0.006	4.70	
	005 - 015	0.779	1.222	1.180	0.840	0.491	0.331	0.243	0.111	0.046	0.021	0.011	0.004	0.001	5.28	
	015 - 025	0.732	1.247	1.266	1.074	0.656	0.479	0.281	0.150	0.106	0.048	0.015	0.003	0.003	6.06	
	025 - 035	0.675	1.187	1.083	0.922	0.572	0.316	0.192	0.093	0.071	0.027	0.015	0.000	0.000	5.15	
	035 - 045	0.599	1.044	0.780	0.581	0.447	0.227	0.114	0.071	0.048	0.027	0.007	0.003	0.004	3.95	
	045 - 055	0.521	0.669	0.463	0.304	0.192	0.118	0.070	0.041	0.023	0.020	0.006	0.000	0.000	2.42	
	055 - 065	0.584	0.638	0.349	0.192	0.113	0.083	0.040	0.019	0.022	0.002	0.000	0.000	0.000	2.04	
	065 - 075	0.555	0.535	0.269	0.181	0.080	0.049	0.024	0.011	0.008	0.006	0.000	0.000	0.000	1.72	
	075 - 085	0.576	0.513	0.253	0.153	0.062	0.035	0.020	0.008	0.011	0.003	0.000	0.000	0.000	1.63	
E	085 - 095	0.820	0.619	0.291	0.147	0.065	0.031	0.008	0.014	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	2.00	
	095 - 105	1.285	1.403	0.600	0.214	0.105	0.057	0.033	0.013	0.009	0.003	0.002	0.000	0.000	3.72	
	105 - 115	2.212	3.004	1.556	0.663	0.331	0.161	0.097	0.069	0.056	0.020	0.004	0.002	0.006	8.18	
	115 - 125	2.243	3.149	1.509	0.779	0.412	0.224	0.171	0.102	0.054	0.034	0.021	0.013	0.006	8.72	
	125 - 135	1.728	2.260	1.090	0.604	0.354	0.154	0.083	0.028	0.008	0.007	0.004	0.003	0.002	6.32	
	135 - 145	1.453	1.567	0.791	0.386	0.268	0.156	0.091	0.038	0.008	0.004	0.001	0.000	0.000	4.76	
	145 - 155	1.055	1.161	0.502	0.207	0.121	0.051	0.018	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.12	
	155 - 165	0.741	0.729	0.262	0.080	0.020	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.84	
	165 - 175	0.494	0.432	0.136	0.026	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.09	
Totali		27.89	31.44	18.36	10.17	5.42	3.02	1.75	0.91	0.55	0.28	0.13	0.04	0.03	0.01	100.00

Tabella 5.2: Clima medio invernale a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Primavera media

Classi direzione di provenienza (°N)	Classi Altezza d'onda significativa (m)														Totali	
	0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50		
S	175 - 185	0.361	0.097	0.015	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.48
	185 - 195	0.241	0.053	0.010	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.31
	195 - 205	0.199	0.050	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.26
	205 - 215	0.182	0.033	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22
	215 - 225	0.166	0.027	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.20
	225 - 235	0.162	0.028	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.19
	235 - 245	0.152	0.024	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18
	245 - 255	0.168	0.023	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.20
	255 - 265	0.190	0.020	0.008	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22
W	265 - 275	0.218	0.028	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.25
	275 - 285	0.290	0.034	0.004	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.33
	285 - 295	0.391	0.059	0.014	0.008	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.48
	295 - 305	0.562	0.127	0.040	0.009	0.009	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.75
	305 - 315	0.898	0.386	0.120	0.046	0.019	0.005	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.48
	315 - 325	1.875	1.422	0.420	0.102	0.023	0.014	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	3.86
	325 - 335	3.723	2.480	0.676	0.188	0.043	0.021	0.012	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	7.14
	335 - 345	4.525	2.449	0.754	0.235	0.063	0.040	0.018	0.008	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	8.10
	345 - 355	3.151	2.107	0.778	0.299	0.109	0.034	0.016	0.014	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	6.52
N	355 - 005	2.013	1.574	0.804	0.354	0.145	0.045	0.018	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.96
	005 - 015	1.623	1.154	0.771	0.412	0.160	0.058	0.018	0.004	0.004	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	4.21
	015 - 025	1.365	0.975	0.569	0.334	0.121	0.056	0.019	0.009	0.012	0.003	0.004	0.004	0.000	0.000	3.47
	025 - 035	1.075	0.822	0.442	0.241	0.082	0.050	0.011	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.74
	035 - 045	0.995	0.698	0.351	0.135	0.050	0.032	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.27
	045 - 055	0.960	0.488	0.215	0.090	0.042	0.019	0.006	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.82
	055 - 065	0.941	0.413	0.117	0.049	0.020	0.017	0.010	0.003	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	1.58
	065 - 075	0.966	0.450	0.098	0.041	0.010	0.016	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	1.59
	075 - 085	1.130	0.443	0.117	0.029	0.011	0.006	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	1.74
E	085 - 095	1.539	0.701	0.177	0.044	0.012	0.014	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.49
	095 - 105	2.876	2.086	0.625	0.207	0.053	0.013	0.004	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.87
	105 - 115	5.762	4.868	2.175	0.828	0.304	0.163	0.062	0.020	0.009	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	14.19
	115 - 125	5.062	2.999	0.904	0.390	0.184	0.147	0.031	0.016	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	9.74
	125 - 135	3.298	1.478	0.395	0.145	0.042	0.011	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.37
	135 - 145	2.246	0.642	0.197	0.083	0.021	0.017	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.21
	145 - 155	1.360	0.380	0.106	0.029	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.88
	155 - 165	0.726	0.203	0.054	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.99
	165 - 175	0.532	0.154	0.036	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.72
Totali		51.92	29.98	11.03	4.31	1.53	0.79	0.25	0.11	0.06	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	100.00

Tabella 5.3: Clima medio primaverile a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Estivo media

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi Altezza d'onda significativa (m)														Totali	
		0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50		
S	175 - 185	0.310	0.046	0.009	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.37
	185 - 195	0.205	0.021	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.23
	195 - 205	0.164	0.016	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.19
	205 - 215	0.142	0.014	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	215 - 225	0.125	0.009	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.14
	225 - 235	0.110	0.011	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.13
	235 - 245	0.138	0.011	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15
	245 - 255	0.122	0.006	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.13
	255 - 265	0.137	0.011	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15
	W	265 - 275	0.167	0.012	0.006	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
275 - 285		0.208	0.019	0.011	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.24
285 - 295		0.334	0.037	0.023	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.40
295 - 305		0.388	0.084	0.047	0.014	0.006	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.54
305 - 315		0.721	0.267	0.101	0.053	0.019	0.006	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.17
315 - 325		1.736	1.279	0.326	0.117	0.038	0.016	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.53
325 - 335		4.322	3.196	0.691	0.186	0.045	0.015	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.47
335 - 345		6.329	3.632	0.899	0.143	0.040	0.013	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.07
345 - 355		4.787	2.923	0.911	0.198	0.047	0.017	0.014	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.91
N		355 - 005	3.356	2.292	0.841	0.209	0.074	0.036	0.019	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	005 - 015	2.325	1.868	0.780	0.292	0.123	0.063	0.019	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.47
	015 - 025	1.741	1.485	0.776	0.315	0.120	0.022	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.47
	025 - 035	1.522	1.186	0.579	0.315	0.115	0.018	0.019	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.76
	035 - 045	1.373	0.867	0.337	0.156	0.052	0.011	0.009	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.81
	045 - 055	1.267	0.509	0.145	0.051	0.010	0.004	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.99
	055 - 065	1.287	0.405	0.082	0.017	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.80
	065 - 075	1.271	0.409	0.054	0.008	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.75
	075 - 085	1.315	0.465	0.071	0.012	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.87
	E	085 - 095	1.549	0.633	0.094	0.027	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
095 - 105		2.323	1.235	0.217	0.035	0.012	0.007	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.84
105 - 115		3.967	3.010	0.659	0.172	0.047	0.008	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.87
115 - 125		4.305	2.624	0.568	0.142	0.043	0.014	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.71
125 - 135		3.357	1.441	0.240	0.047	0.019	0.004	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.11
135 - 145		2.302	0.550	0.079	0.034	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.98
145 - 155		1.449	0.266	0.060	0.020	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.80
155 - 165		0.793	0.108	0.025	0.004	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.93
165 - 175		0.450	0.063	0.022	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.54
Totali		56.40	31.01	8.69	2.58	0.86	0.27	0.14	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella 5.4: Clima medio estivo a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarinario

Tabella climatica Autunnale media

Classi direzione di provenienza (°N)	Classi Altezza d'onda significativa (m)															Totali
	0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50		
S	175 - 185	0.321	0.169	0.038	0.014	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.54
	185 - 195	0.187	0.122	0.022	0.007	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.34	
	195 - 205	0.120	0.055	0.023	0.011	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.21	
	205 - 215	0.087	0.038	0.020	0.012	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16	
	215 - 225	0.108	0.031	0.026	0.007	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18	
	225 - 235	0.099	0.034	0.019	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16	
	235 - 245	0.091	0.032	0.011	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.14	
	245 - 255	0.104	0.019	0.016	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15	
W	255 - 265	0.119	0.030	0.020	0.005	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18	
	265 - 275	0.123	0.047	0.020	0.010	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.21	
	275 - 285	0.147	0.056	0.023	0.016	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.25	
	285 - 295	0.177	0.061	0.035	0.023	0.008	0.004	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.31	
	295 - 305	0.233	0.136	0.068	0.038	0.026	0.020	0.009	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.53	
	305 - 315	0.401	0.196	0.155	0.091	0.092	0.034	0.020	0.009	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	1.00	
	315 - 325	0.947	0.975	0.526	0.282	0.161	0.076	0.027	0.015	0.004	0.006	0.002	0.000	0.000	3.02	
	325 - 335	2.675	3.211	1.382	0.518	0.193	0.053	0.022	0.011	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	8.07	
	335 - 345	3.217	2.825	1.241	0.383	0.125	0.043	0.019	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.86	
	345 - 355	1.986	1.523	0.810	0.317	0.153	0.082	0.028	0.011	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	4.92	
N	355 - 005	1.261	1.207	0.661	0.395	0.175	0.135	0.067	0.050	0.033	0.011	0.001	0.001	0.001	4.00	
	005 - 015	1.007	1.073	0.699	0.546	0.367	0.210	0.136	0.075	0.027	0.008	0.007	0.000	0.000	4.15	
	015 - 025	0.995	1.192	0.899	0.576	0.411	0.248	0.168	0.103	0.058	0.027	0.016	0.002	0.002	4.70	
	025 - 035	0.844	1.228	0.932	0.695	0.491	0.248	0.192	0.109	0.055	0.039	0.031	0.009	0.002	4.88	
	035 - 045	0.847	1.246	0.839	0.522	0.373	0.241	0.125	0.069	0.029	0.024	0.012	0.004	0.002	4.34	
	045 - 055	0.646	0.875	0.532	0.287	0.213	0.125	0.051	0.048	0.019	0.018	0.004	0.001	0.001	2.82	
	055 - 065	0.625	0.604	0.368	0.217	0.091	0.042	0.025	0.012	0.009	0.011	0.001	0.000	0.000	2.00	
	065 - 075	0.604	0.540	0.281	0.115	0.048	0.024	0.040	0.014	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	1.67	
	075 - 085	0.664	0.583	0.299	0.118	0.053	0.032	0.014	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.77	
	E	085 - 095	0.737	0.636	0.299	0.131	0.062	0.030	0.011	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	1.91
095 - 105		1.076	1.313	0.511	0.199	0.079	0.035	0.010	0.006	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	3.23	
105 - 115		1.956	3.180	1.627	0.780	0.357	0.175	0.070	0.030	0.019	0.007	0.002	0.000	0.000	8.20	
115 - 125		2.490	3.175	1.947	0.904	0.480	0.276	0.174	0.100	0.032	0.016	0.004	0.005	0.003	9.61	
125 - 135		1.956	2.245	1.279	0.686	0.409	0.243	0.115	0.088	0.043	0.012	0.006	0.002	0.001	7.08	
135 - 145		1.464	1.563	0.933	0.572	0.356	0.238	0.141	0.058	0.017	0.004	0.000	0.000	0.000	5.35	
145 - 155		1.009	0.998	0.629	0.375	0.215	0.067	0.023	0.013	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	3.33	
155 - 165		0.628	0.600	0.393	0.114	0.032	0.016	0.001	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	1.79	
165 - 175	0.450	0.297	0.145	0.022	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.92		
Totali	30.40	32.11	17.73	9.01	5.01	2.70	1.49	0.83	0.37	0.18	0.09	0.02	0.01	0.02	100.00	

Tabella 5.5: Clima medio autunnale a largo dell'area di interesse: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



5.3 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSO A LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA E AL PERIODO D'ONDA

I dati ondametrici, inoltre, possono essere classificati in base al valore dell'altezza d'onda significativa e al periodo di picco al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. La Tabella 5.6 riporta le frequenze di occorrenza annuale degli eventi moto ondoso classificati in base all'altezza d'onda significativa e al periodo di picco.

Allo scopo di individuare una legge di dipendenza tra il periodo di picco delle onde T_p e l'altezza d'onda significativa H_s si è fatto riferimento alla relazione (Mathiesen et al., 1994):

$$T_p = a (H_s)^b$$

ove i parametri a e b sono stati ricavati mediante il metodo dei minimi quadrati sulla base delle coppie di valori dell'altezza d'onda significativa e del periodo di picco. Nella Figura 5.5 sono riportati tutti gli eventi della serie storica diagrammati in funzione del periodo di picco e dell'altezza d'onda significativa. È inoltre indicata la funzione di correlazione ricavata mediante il metodo dei minimi quadrati e, pertanto, i valori dei parametri a e b pari, rispettivamente, a 5.424 e 0.344.

Correlazione Annuale Media tra Altezza d'onda significativa e Periodo di picco

Classi altezza d'onda significativa (m)	Classi Periodo di Picco (s)								Totali
	0.00 2.00	2.00 4.00	4.00 6.00	6.00 8.00	8.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	> 14.00	
0.00 - 0.50	0.00	31.33	9.64	0.71	0.01	0.00	0.00	0.00	41.69
0.50 - 1.00	0.00	5.80	20.75	4.13	0.45	0.00	0.00	0.00	31.14
1.00 - 1.50	0.00	0.19	8.01	5.06	0.66	0.01	0.00	0.00	13.94
1.50 - 2.00	0.00	0.00	1.81	4.10	0.57	0.02	0.00	0.00	6.51
2.00 - 2.50	0.00	0.00	0.22	2.48	0.47	0.02	0.00	0.00	3.20
2.50 - 3.00	0.00	0.00	0.02	1.18	0.47	0.01	0.00	0.00	1.69
3.00 - 3.50	0.00	0.00	0.00	0.42	0.48	0.01	0.00	0.00	0.91
3.50 - 4.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.37	0.01	0.00	0.00	0.47
4.00 - 4.50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.23	0.01	0.00	0.00	0.25
4.50 - 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.01	0.00	0.00	0.12
> 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00	0.09
Totali	0.00	37.33	40.46	18.20	3.89	0.13	0.00	0.00	100.00

Tabella 5.6: Distribuzione percentuale annuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e periodo di picco a largo.

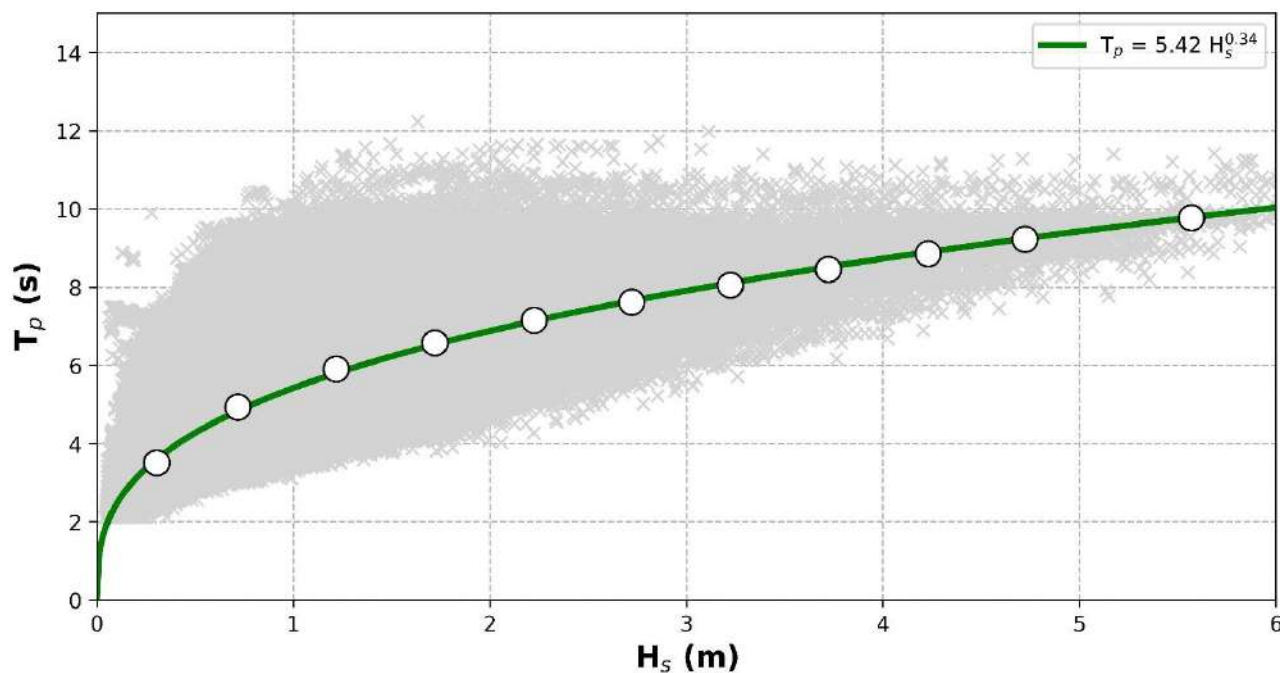


Figura 5.5: Rappresentazione cartesiana della distribuzione annuale del periodo di picco rispetto all'altezza d'onda significativa a largo. In verde, la funzione di correlazione ricavata con il metodo dei minimi quadrati.

5.4 ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO A LARGO

Al fine di effettuare l'analisi statistica degli estremi di altezze d'onda, è necessario selezionare preliminarmente dei campioni di dati che risultino tra loro statisticamente indipendenti ed omogenei. Il metodo di estrazione degli eventi estremi dipende dalla durata della serie storica a disposizione.

Quando questa è sufficientemente lunga e statisticamente rappresentativa, è possibile estrarre il massimo valore dell'altezza d'onda significativa massima che si verifica in un blocco di durata assegnata (metodo di estrazione dei massimi a blocchi). Al fine di assicurare l'omogeneità dei campioni estratti, la durata del blocco è tipicamente posta pari a 1 anno, al fine di non introdurre nell'analisi effetti dovuti alla stagionalità del clima. D'altra parte, è possibile effettuare l'analisi per ognuno dei settori di traversia, al fine di tener conto dell'omogeneità della genesi meteorologica degli stati di mare.

Laddove le serie ondometriche non siano molto lunghe e, di conseguenza, non statisticamente rappresentative, si è soliti utilizzare il metodo POT (*Peaks Over Threshold* detto anche della serie di durata parziale sopra soglia ovvero degli eccessi sopra soglia). Esso consiste nel considerare il solo



valore massimo di altezza d'onda (valore di picco) che si verifica nell'ambito di una singola mareggiata. In tal modo si assicura l'indipendenza statistica degli eventi estratti. L'individuazione di ciascuna mareggiata nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di altezza d'onda e considerando che il singolo evento (mareggiata) abbia inizio quando l'altezza d'onda significativa superi per la prima volta il valore della soglia prestabilito. Conseguentemente si ipotizza che l'evento termini quando l'altezza d'onda significativa assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia oppure quando si verifica un forte scarto della direzione del moto ondoso. Selezionati gli eventi di picco, l'omogeneità dei dati viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi di altezze d'onda registrati in distinti settori di provenienza degli stati di mare.

Gli eventi estremi (estratti con il metodo dei massimi annuali, ovvero con il metodo della serie di durata parziale sopra soglia) sono quindi oggetto di un'elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante adattamento degli eventi estremi secondo note funzioni probabilistiche, le caratteristiche del moto ondoso da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di superamento).

In generale, il campione degli eventi estremi estratti dalla serie temporale rappresenta una serie di realizzazioni di una variabile aleatoria con funzione di ripartizione delle probabilità incognita.

È noto, tuttavia, che gli eventi estremi siano estratti da una funzione appartenente ad una famiglia di funzioni di distribuzione di probabilità con parametri ignoti.

Quando gli eventi estremi sono estratti con il metodo dei massimi a blocchi, la funzione teorica è costituita da una GEV (*Generalized Extreme Value Distribution*).

Se il metodo utilizzato per estrarre gli eventi estremi è quello dei picchi sopra soglia gli eccessi rispetto alla soglia sono estratti da una variabile aleatoria con funzione di distribuzione di probabilità GPD (*Generalized Pareto Distribution*).

La funzione di distribuzione generalizzata degli eventi estremi (GEV) assume la seguente forma:

$$\Phi(x) = \exp \left\{ - \left[1 + k \left(\frac{x - \varepsilon}{\alpha} \right) \right]^{-1/k} \right\} \quad (5-1)$$

nella quale k è il parametro di forma, α è il parametro di scala, ε è il parametro di locazione, x è la realizzazione della variabile aleatoria (in questo caso un evento estremo), Φ è la probabilità di non superamento.

La funzione di distribuzione generalizzata di Pareto assume, invece, la seguente forma:

$$\Phi(x) = 1 - \left[1 + \frac{k(x - \varepsilon)}{\alpha} \right]^{-1/k} \quad (5-2)$$

Nella quale k è il parametro di forma, α è il parametro di scala, ε è la soglia.



L'adattamento statistico (cioè la stima dei parametri delle funzioni di distribuzione GEV o GPD) è stato effettuato con il metodo della massima verosimiglianza e l'ipotesi nulla (ovvero che il campione è estratto dalla popolazione della variabile aleatoria di cui si sono stimati i parametri) è stata verificata con il test non parametrico di Kolmogorov-Smirnov (Smirnov, 1948).

La stima dei parametri della funzione di distribuzione di probabilità permette di associare a specifici valori del tempo di ritorno i relativi livelli di ritorno. Infatti, la probabilità di non superamento è legata al tempo di ritorno dalla seguente relazione:

$$\Phi(x) = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (5-3)$$

da cui si ottiene la relazione che permette la stima del livello di ritorno x_r :

$$x_r = \Phi^{-1} \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \quad (5-4)$$

La Figura 5.6 riporta la rappresentazione polare degli eventi estremi estratti con il metodo dei massimi annuali, sia per il settore di traversia principale (320°N-60°N), sia per il settore di traversia secondario (60°N-170°N). La Figura 5.7, analogamente, riporta la rappresentazione polare degli eventi estremi estratti con il metodo dei picchi sopra soglia. Le soglie, differenziate per i settori di provenienza, sono state individuate con l'obiettivo di estrarre, mediamente, due eventi estremi per ogni anno. Si è identificata una soglia pari a 4.20 m per il settore di traversia principale (145 eventi), e pari a 3.75 m per il settore di traversia secondaria (136 eventi).

L'analisi statistica estremale è stata effettuata sia utilizzando il metodo di estrazione dei massimi annuali, sia il metodo degli eccessi sopra soglia. Nel primo caso, l'adattamento statistico è stato effettuato utilizzando la GEV quale funzione di distribuzione teorica da cui si ipotizza sia estratto il campione osservato. Nel secondo caso, l'adattamento statistico è stato effettuato utilizzando la GPD quale funzione teorica.

La Figura 5.8 e la Figura 5.9 mostrano i risultati ottenuti utilizzando il metodo di estrazione dei massimi annuali per i due settori di provenienza degli eventi estremi. Si riporta, in particolare, l'altezza d'onda significativa con assegnato tempo di ritorno ottenuta utilizzando i risultati dell'adattamento statistico. Il confronto con la stima campionaria del tempo di ritorno permette di osservare che il test di significatività statistica è superato.

Analogamente, la Figura 5.10 e la Figura 5.11 riportano la stessa tipologia di risultato ottenuto applicando il metodo di estrazione degli eccessi sopra soglia. Anche in questo caso, l'ipotesi nulla è accettata.



Studio Meteomarino

La Tabella 5.7 sintetizza i risultati ottenuti. La Tabella contiene anche la stima del periodo di picco degli stati di mare estremi, valutata tramite la relazione identificata al paragrafo §5.3.

SETTORE DI TRAVERSIA PRINCIPALE (310°N-60°N)				
T_r (anni)	Metodo dei massimi annuali (funzione di distribuzione GEV)		Metodo dei massimi sopra soglia (funzione di distribuzione: GPD)	
	H_s (m)	T_p (s)	H_s (m)	T_p (s)
2	5.05	9.47	5.24	9.59
5	5.89	9.98	5.90	9.99
10	6.39	10.27	6.36	10.25
25	6.98	10.58	6.93	10.56
50	7.39	10.79	7.33	10.76
100	7.76	10.98	7.70	10.95

SETTORE DI TRAVERSIA SECONDARIO (60°N-160°N)				
T_r (anni)	Metodo dei massimi annuali (funzione di distribuzione GEV)		Metodo dei massimi sopra soglia (funzione di distribuzione: GPD)	
	H_s (m)	T_p (s)	H_s (m)	T_p (s)
2	4.53	9.12	4.78	9.29
5	5.35	9.66	5.41	9.69
10	5.85	9.96	5.85	9.96
25	6.43	10.29	6.38	10.26
50	6.82	10.50	6.75	10.46
100	7.20	10.69	7.09	10.64

Tabella 5.7: Stima dei parametri sintetici degli eventi estremi in relazione alle onde provenienti dal settore direzionale principale 320°N-60°N (tabella in alto) e secondario 60°N-170°N (tabella in basso).

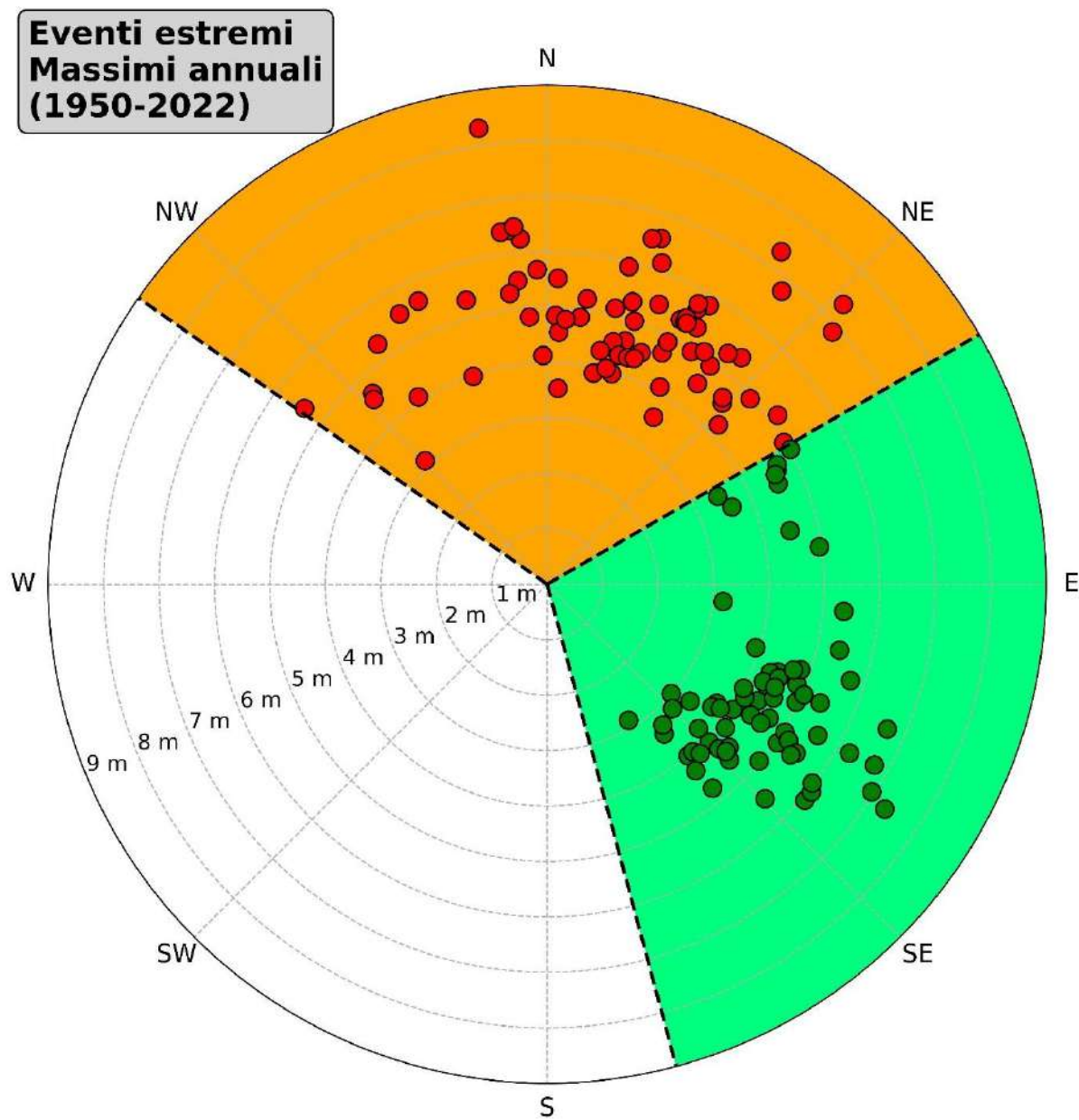


Figura 5.6: Rappresentazione polare degli eventi estremi estratti con il metodo dei massimi a blocchi di durata annuale.



**Eventi estremi
Eventi sopra soglia
(1950-2022)**

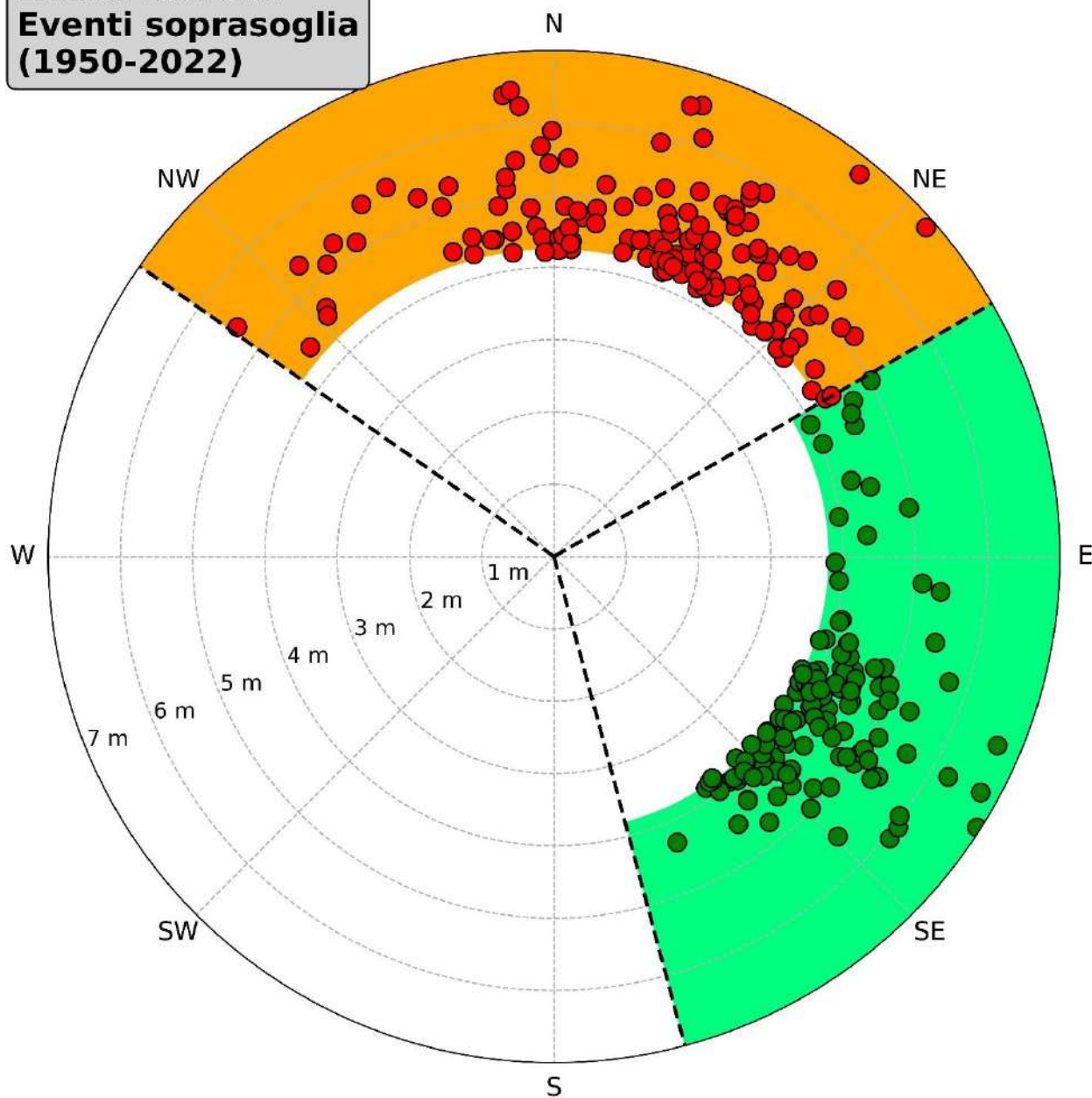


Figura 5.7: Rappresentazione polare degli eventi estremi estratti con il metodo dei massimi sopra soglia (soglia pari a 4.20 m per il settore di traversia principale, pari a 3.75 m per il settore di traversia secondario).

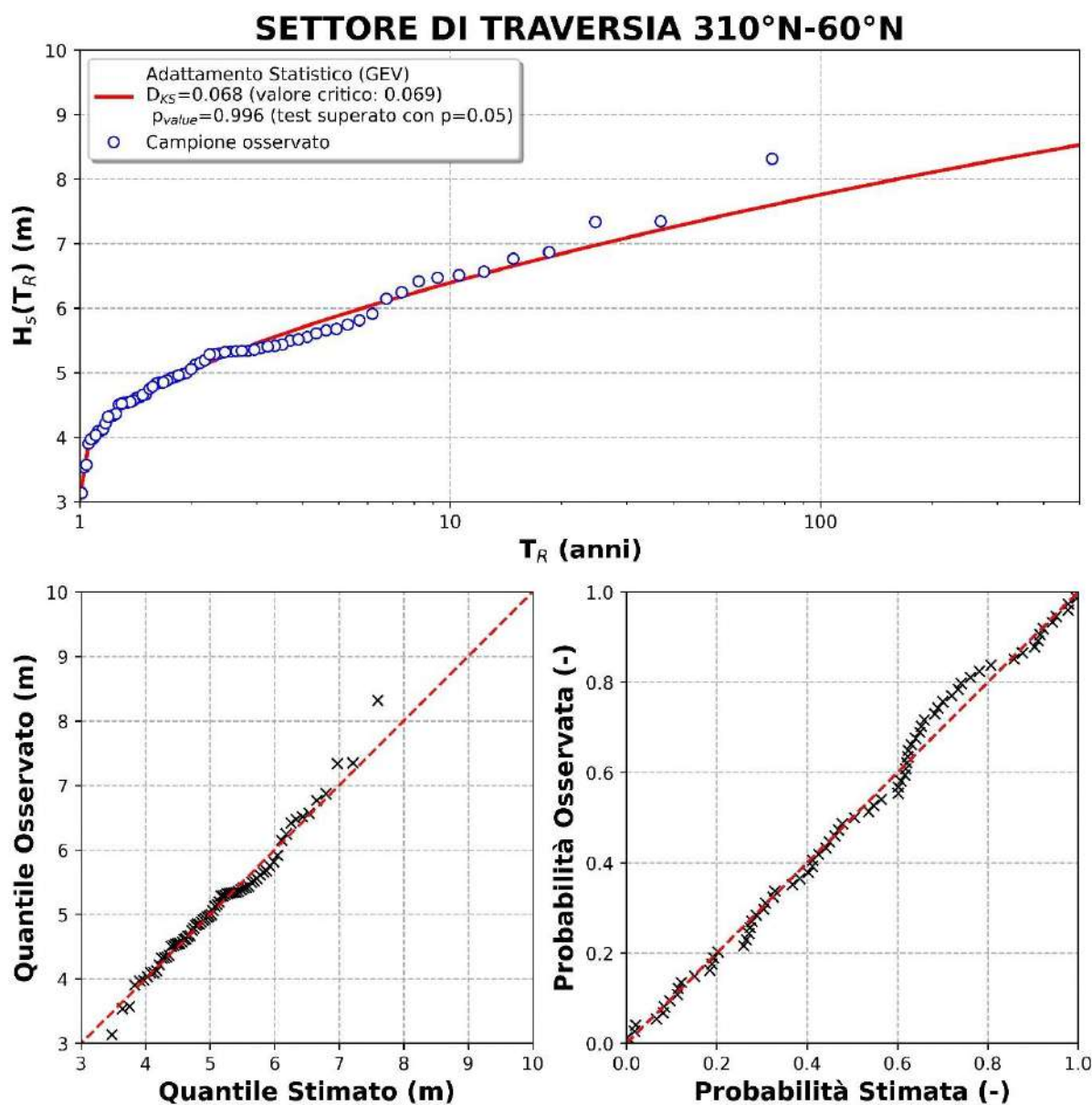


Figura 5.8: Adattamento statistico delle altezze d'onda significative estreme estratte con il metodo dei massimi annuali relative agli eventi provenienti dal settore di traversia principale. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di altezza d'onda significativa (H_s) con assegnato tempo di ritorno (T_R); in legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (altezza d'onda significativa con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

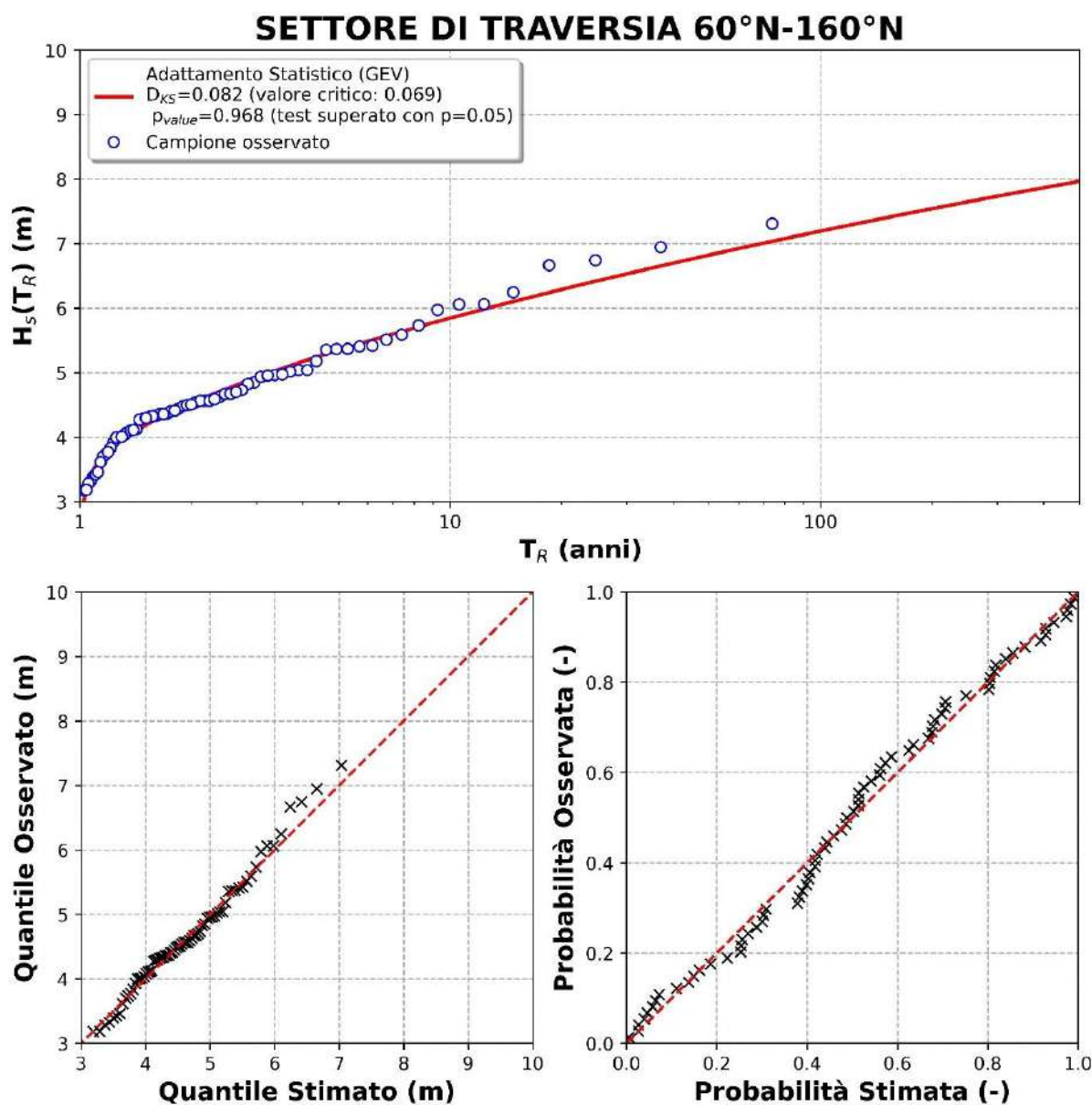


Figura 5.9: Adattamento statistico delle altezze d'onda significative estratte con il metodo dei massimi annuali relative agli eventi provenienti dal settore di traversia secondario. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di altezza d'onda significativa (H_s) con assegnato tempo di ritorno (T_R); in legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (altezza d'onda significativa con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

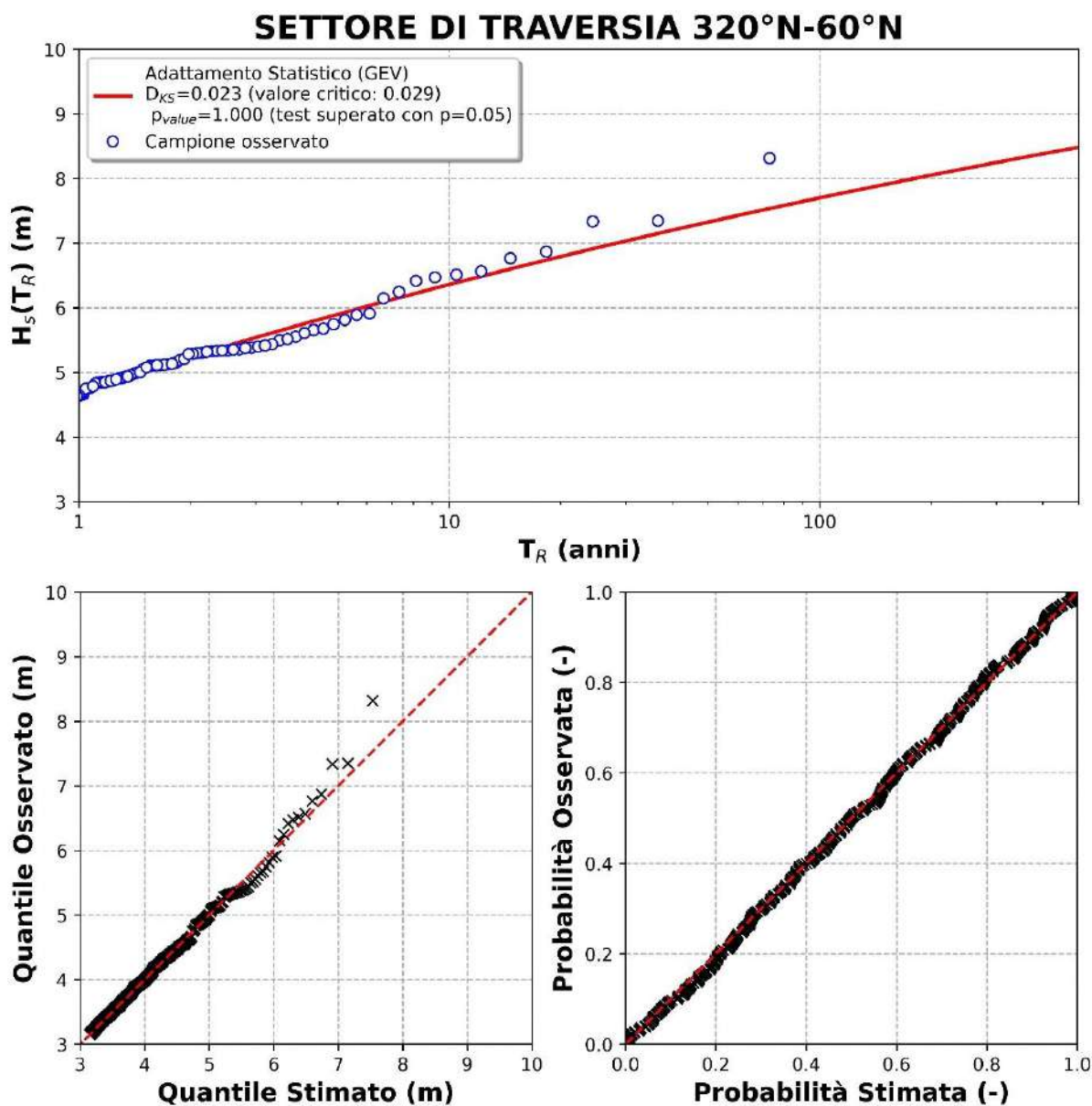


Figura 5.10: Adattamento statistico delle altezze d'onda significative estratte con il metodo degli eccessi sopra soglia relative agli eventi provenienti dal settore di traversia principale. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di altezza d'onda significativa (H_s) con assegnato tempo di ritorno (T_R). ; in legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (altezza d'onda significativa con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

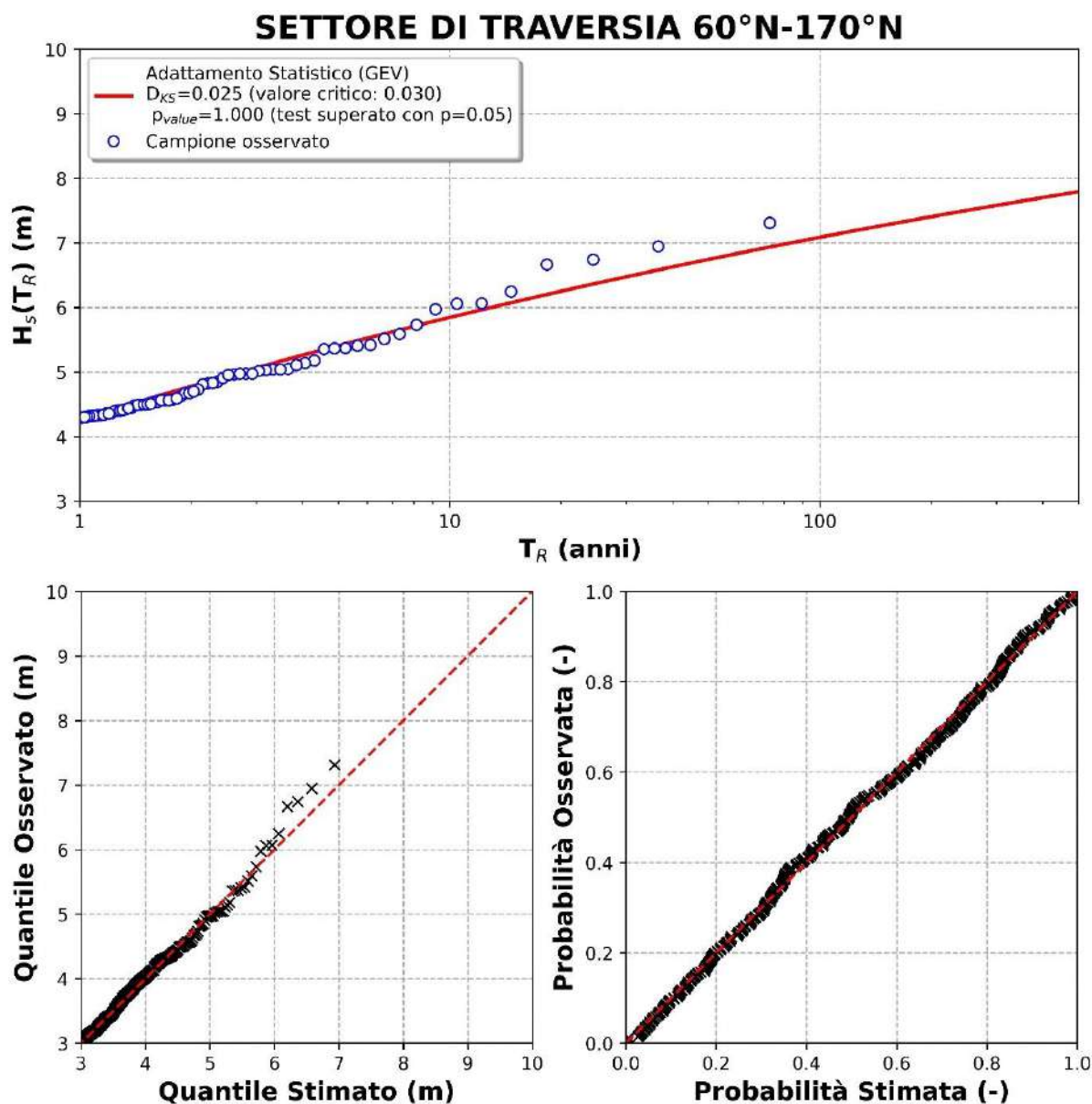


Figura 5.11: Adattamento statistico delle altezze d'onda significative estratte con il metodo degli eccessi sopra soglia relative agli eventi provenienti dal settore di traversia secondario. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di altezza d'onda significativa (H_s) con assegnato tempo di ritorno (T_R); in legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (altezza d'onda significativa con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.



6 ANALISI ONDAMETRICA SOTTO COSTA

6.1 PROPAGAZIONE DELLE ONDE SOTTO COSTA

La propagazione del moto ondoso sino al margine dell'area costiera è stato effettuato tramite l'applicazione della teoria lineare.

Pur semplificata, la teoria lineare fornisce risultati di affidabilità compatibile con le caratteristiche dell'area in esame. La configurazione batimetria, infatti, ha caratteristiche tali da rendere accettabile l'ipotesi di batimetria rettilinea e parallela (Figura 3.2), almeno fino a profondità pari a circa 10 m.

La teoria lineare è in grado di riprodurre il fenomeno dello *shoaling* e quello della rifrazione. Sono trascurati, invece, i fenomeni riconducibili alle dissipazioni e produzioni energetiche, così come sono trascurati i fenomeni di riflessione e diffrazione.

In sintesi, l'altezza d'onda sotto costa H_{sc} è calcolata tramite la stima del coefficiente di shoaling (K_s) e del coefficiente di rifrazione (K_r):

$$H_{sc} = K_s K_r H_{s0} \quad (6-1)$$

Nella quale H_{s0} è l'altezza d'onda (significativa) di largo.

Il coefficiente di shoaling può essere valutato tramite la stima delle celerità di gruppo in acqua profonda (C_{g0}) e quella in corrispondenza della profondità sotto costa (C_{gs}):

$$K_s = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_{gs}}} \quad (6-2)$$

nella quale, la celerità di gruppo può essere stimata tramite la nota relazione desunta dalla teoria lineare:

$$C_g = \frac{\omega}{2k} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (6-3)$$

nella quale h è la profondità locale e nella quale la frequenza angolare ($\omega = \frac{2\pi}{T}$, con T pari al periodo di picco) è legata al numero d'onda ($k = \frac{2\pi}{L}$, con L pari alla lunghezza d'onda) tramite la relazione di dispersione:



$$\omega^2 = gk \tan h kh \quad (6-4)$$

nella quale g è l'accelerazione di gravità.

D'altro canto, il coefficiente di rifrazione dipende dalla direzione locale di propagazione:

$$Ks = \sqrt{\frac{\cos \beta_0}{\cos \beta_s}} \quad (6-5)$$

nella quale β è l'angolo che la direzione di propagazione delle onde forma con la normale locale alle batimetriche (β_0 a largo, β_s sotto costa). Nell'ipotesi di batimetria rettilinea e parallela, l'angolo di propagazione sotto costa può essere determinato applicando la legge di Snell:

$$\beta_s = \sin^{-1} \left(\frac{C_s}{C_0} \sin \beta_0 \right) \quad (6-6)$$

nella quale C è la celerità di fase (C_s sotto costa, C_0 a largo) è pari al rapporto tra la frequenza angolare e il numero d'onda. Si osserva che, al fine di poter valutare il coefficiente di rifrazione, è necessaria la conoscenza dell'orientazione delle linee batimetriche, ipotizzate rettilinee e parallele.

L'equazione (6-1) è stata utilizzata, insieme alle equazioni (6-2)-(6-6) per propagare l'intera serie ondometrica definita al largo (640'656 eventi) in corrispondenza di un punto posto alla profondità sotto costa pari a 10 m (Figura 6.1). Il punto di propagazione è stato selezionato per rispettare l'ipotesi di batimetria rettilinea e parallela. Le linee batimetriche si orientano lungo la direzione 320°N.

La tecnica di propagazione si inserisce nell'ambito di un approccio spettrale. Infatti, ogni stato di mare è stato rappresentato con una distribuzione energetica in frequenza parametrizzata secondo la forma JONSWAP definito come segue (Goda, 2010):

$$S(f) = B_j H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp \left[-1.25 (T_p f)^{-4} \right] \gamma^B \quad (6-7)$$

nella quale

$$B_j = \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} (1.094 - 0.01915 \ln \gamma) \quad (6-8)$$



Figura 6.1: Localizzazione del punto sotto costa.

$$B = \exp \left[-\frac{(T_p f - 1)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (6-9)$$

con

$$\sigma = \begin{cases} 0.07: f < f_p \\ 0.09: f \geq f_p \end{cases} \quad (6-10)$$

Il parametro γ influenza la larghezza di banda dello spettro ed assume tipicamente un valore pari a 3.3.



Lo spettro è stato discretizzato con una risoluzione spettrale pari a Δf al fine di descrivere la distribuzione spettrale come una successione di componenti con assegnata densità spettrale ΔS_i :

$$\Delta S(f_i) = \frac{1}{\Delta f} \int_{f_i - \Delta f/2}^{f_i + \Delta f/2} S(f) df \quad (6-11)$$

In questo modo, ogni componente può essere intesa come un treno di onde regolari con periodo T_i e altezza d'onda pari a H_i , definite dalle relazioni che seguono:

$$H_i = 2\sqrt{2\Delta S_i \Delta f} \quad (6-12)$$

$$T_i = \frac{1}{f_i} \quad (6-13)$$

Nella procedura di discretizzazione, sono trascurate le componenti con densità energetica inferiore ad una frazione (α) del valore massimo dello spettro Jonswap. Pertanto, con il fine di conservare l'energia complessiva di ogni stato di mare, l'altezza di ogni componente è stata amplificata con un coefficiente calcolato numericamente.

Ognuna delle componenti, quindi, è propagata sino al punto posto sotto costa e l'altezza d'onda significativa (H_{sc}) è valutata sovrapponendo tutti i risultati:

$$H_{sc} = 4 \sqrt{\sum_i \Delta S_p \Delta f} \quad (6-14)$$

nella quale, il valore ΔS_p è quello della densità spettrale propagata di ogni componente:

$$H_{sc} = 4 \sqrt{\sum_i \Delta S_p \Delta f} \quad (6-15)$$

Si osserva che è trascurata la dispersione direzionale degli stati di mare a largo.

La Figura 6.2 sintetizza il metodo di propagazione.



Studio Meteomarino

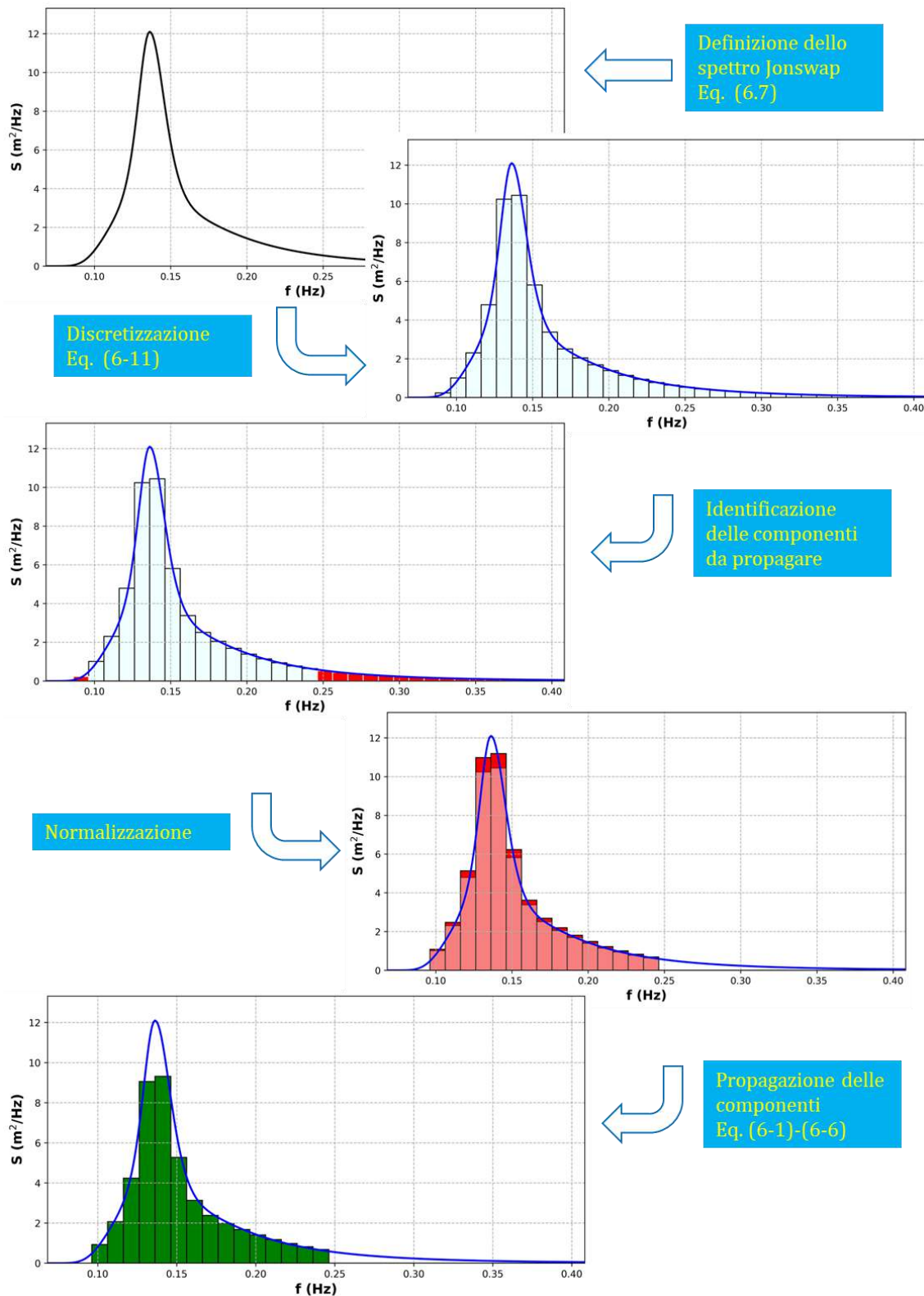


Figura 6.2: Schema di calcolo per la propagazione sotto costa.



6.2 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI A RIVA IN BASE ALL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA E ALLA DIREZIONE DI PROVENIENZA

I dati ondametrici estratti al largo del litorale di Montesilvano e propagati sotto costa come descritto nel precedente paragrafo §6.1, possono essere classificati in base al valore dell'altezza d'onda significativa e alla direzione di provenienza. Analogamente a quanto già effettuato al largo (capitolo §5), è possibile definire una serie di classi e la relativa frequenza di occorrenza (assoluta e relativa). La rappresentazione polare delle frequenze relative (rosa climatica), calcolata su base annuale e stagionale permette di trarre indicazioni sulle caratteristiche climatiche sotto costa e le relative rappresentazioni tabellari permettono la definizione quantitativa del clima. Nella Figura 6.3 sono riportate la rosa ondometrica annuale mentre nella Figura 6.4 e nella Figura 6.5 sono riportate le rose ondometriche stagionali, a largo del paraggio di Montesilvano. Dalla Tabella 6.1 alla Tabella 6.5 sono riportati gli stessi risultati in forma numerica, in termini di frequenza relativa. Dall'analisi dei risultati si evince che al largo del sito di interesse gli stati di mare più frequenti (con frequenza di accadimento superiore a 0.1) e caratterizzati da altezze d'onda più elevate provengono dal settore di traversia di Tramontana compreso nel settore 320°N - 70°N , che quindi può essere assunto quale settore di traversia principale. Inoltre, è identificabile un settore di traversia secondario che si estende nell'intervallo angolare di Levante 70°N - 130°N (Levante-Scirocco). Si può osservare l'ampiezza del settore di provenienza delle onde (300°N - 170°N) diminuisca rispetto a quanto osservato a largo (320°N - 130°N) a causa dell'influenza del fenomeno di rifrazione.

In particolare, con riferimento alla rosa ondometrica media annuale (Figura 6.3), e alla relativa tabella climatica (Tabella 6.1), per quanto riguarda le frequenze di accadimento dell'altezza d'onda significativa si osserva quanto segue:

- il 46.00% degli stati di mare sono caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m (58.31% a largo);
- il 17.36% degli stati di mare sono caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m (27.17% a largo);
- il 3.45% degli stati di mare sono caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m (6.73% a largo);
- lo 0.82% degli stati di mare sono caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m (1.84% a largo).

Inoltre, con riferimento al grafico di Figura 6.3, si osserva quanto segue:

- le calme ($H_s < 0.50$ m) costituiscono l'82.64% degli stati di mare (41.69% a largo);
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 0.50 m e 1.00 m rappresentano una percentuale pari a 28.65% (31.14% a largo);



Studio Meteomarino

- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 1.00 m e 2.00 m rappresentano una percentuale pari a 13.91% (20.45% a largo);
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 2.00 m e 3.00 m rappresentano una percentuale pari a 2.63% (4.89% a largo);
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 3.00 m e 4.00 m rappresentano una percentuale pari a 0.63% (1.38% a largo);
- la rimanente percentuale di 0.19% degli stati di mare ha un'altezza d'onda significativa superiore a 4.00 m (0.46% a largo).

Con riferimento alle rose ondamiche stagionali (Figura 6.4 e Figura 6.5), e alle relative tabelle climatiche (dalla Tabella 6.1 alla Tabella 6.5), si osserva quanto segue:

- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m rappresentano una percentuale pari a 56.51% in Inverno (72.11% a largo), a 38.48% in Primavera (48.08% a largo), a 36.06% in Estate (43.60% a largo) e a 53.08% in Autunno (69.60% a largo);
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m rappresentano una percentuale pari a 27.31% in Inverno (40.67% a largo), a 11.81% in Primavera (18.10% a largo), a 7.81% in Estate (12.59% a largo) e a 22.63% in Autunno (37.48% a largo);
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m rappresentano una percentuale pari a 6.96% in Inverno (12.14% a largo), a 1.14% in Primavera (2.76% a largo), a 0.58% in Estate (1.32% a largo) e a 5.15% in Autunno (10.74% a largo);
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m rappresentano una percentuale pari a 1.80% in Inverno (3.70% a largo), a 0.13% in Primavera (0.44% a largo), a 0.06% in Estate (0.20% a largo) e a 1.31% in Autunno (3.03% a largo);
- le calme ($H_s < 0.50$ m) costituiscono una percentuale degli stati di mare pari a 43.49% in Inverno (27.89% a largo), a 61.52% in Primavera (51.92% a largo), a 63.94% in Estate (56.40% a largo), a 46.92% in Autunno (30.40% a largo);
- gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 0.50 m e 1.00 m rappresentano una percentuale pari a 29.20% in Inverno (31.44% a largo), a 26.67% in Primavera (29.98% a largo), a 28.25% in Estate (31.01% a largo), a 30.45% in Autunno (32.11% a largo);



Studio Meteomarinario

- gli stati di caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 1.00 m e 2.00 m rappresentano una percentuale pari a 20.35% in Inverno (28.53% a largo), a 10.66% in Primavera (15.34% a largo), a 7.23% in Estate (11.27% a largo), a 17.48% in Autunno (26.74% a largo);
- gli stati di caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 2.00 m e 3.00 m rappresentano una percentuale pari a 5.16% in Inverno (8.44% a largo), a 1.01% in Primavera (2.32% a largo), a 0.52% in Estate (1.12% a largo), a 3.84% in Autunno (7.71% a largo);
- gli stati di caratterizzati da un'altezza d'onda significativa compresa tra 3.00 m e 4.00 m rappresentano una percentuale pari a 1.38% in Inverno (2.66% a largo), a 0.11% in Primavera (0.36% a largo), a 0.06% in Estate (0.19% a largo), a 1.00% in Autunno (2.33% a largo);
- la rimanente percentuale pari a tra 4.00 m e 5.00 m rappresentano una percentuale pari 0.43% in Inverno (1.05% a largo), a 0.02% in Primavera (0.09% a largo), ad una percentuale trascurabile (inferiore allo 0.005%) in Estate (0.01% a largo), e a 0.31% in Autunno (0.70% a largo); ha un'altezza d'onda significativa superiore a 4.00 m.
- in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N) rappresentano il 64.12% del totale (55.92% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 32.06% (42.18% a largo);
- in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N) rappresentano il 53.08% del totale (51.43% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 40.96% (47.42% a largo);
- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N) rappresentano il 64.66% del totale (62.42% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 30.19% (36.65% a largo);
- in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N) rappresentano il 62.64% del totale (54.22% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 33.41% (44.09% a largo);
- in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m, rappresentano il 37.46% del totale (41.47% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 18.88% (29.57% a largo);
- in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m, rappresentano il 21.24% del totale (25.47% a



Studio Meteomarino

- largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 17.10% (22.31% a largo);
- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m, rappresentano il 25.67% del totale (29.74% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 10.22% (13.71% a largo);
 - in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 0.50 m, rappresentano il 32.75% del totale (37.15% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 20.15% (31.48% a largo);
 - in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m, rappresentano il 20.67% del totale (25.71% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 6.64% (14.64% a largo);
 - in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m, rappresentano il 7.24% del totale (10.11% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 4.56% (7.94% a largo);
 - in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m, rappresentano il 6.53% del totale (9.73% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 1.28% (2.83% a largo);
 - in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 1.00 m, rappresentano il 15.72% del totale (20.44% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 6.92% (16.65% a largo);
 - in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m, rappresentano il 5.93% del totale (8.13% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 1.03% (3.99% a largo);
 - in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m, rappresentano il 0.83% del totale (1.54% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 0.31% (1.22% a largo);



Studio Meteomarino

- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m, rappresentano il 0.53% del totale (1.09% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 0.05% (0.23% a largo);
- in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 2.00 m, rappresentano il 4.35% del totale (6.33% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 0.80% (4.39% a largo);
- in inverno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m, rappresentano l'1.61% del totale (2.53% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) il 0.20% (1.18% a largo);
- in primavera, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m, rappresentano lo 0.11% del totale (0.26% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) lo 0.02% (0.18% a largo);
- in estate, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m, rappresentano lo 0.05% del totale (0.17% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) una percentuale trascurabile inferiore allo 0.005% (0.03% a largo);
- in autunno, le onde provenienti dal settore di traversia principale (a largo 320-70°N), con altezza d'onda significativa superiore a 3.00 m, rappresentano l'1.24% del totale (1.89% a largo), quelle provenienti dal settore di traversia secondario (a largo 70-130°N) lo 0.07% (1.13% a largo).



**Clima Annuale
Medio sotto costa
(1950-2022)**

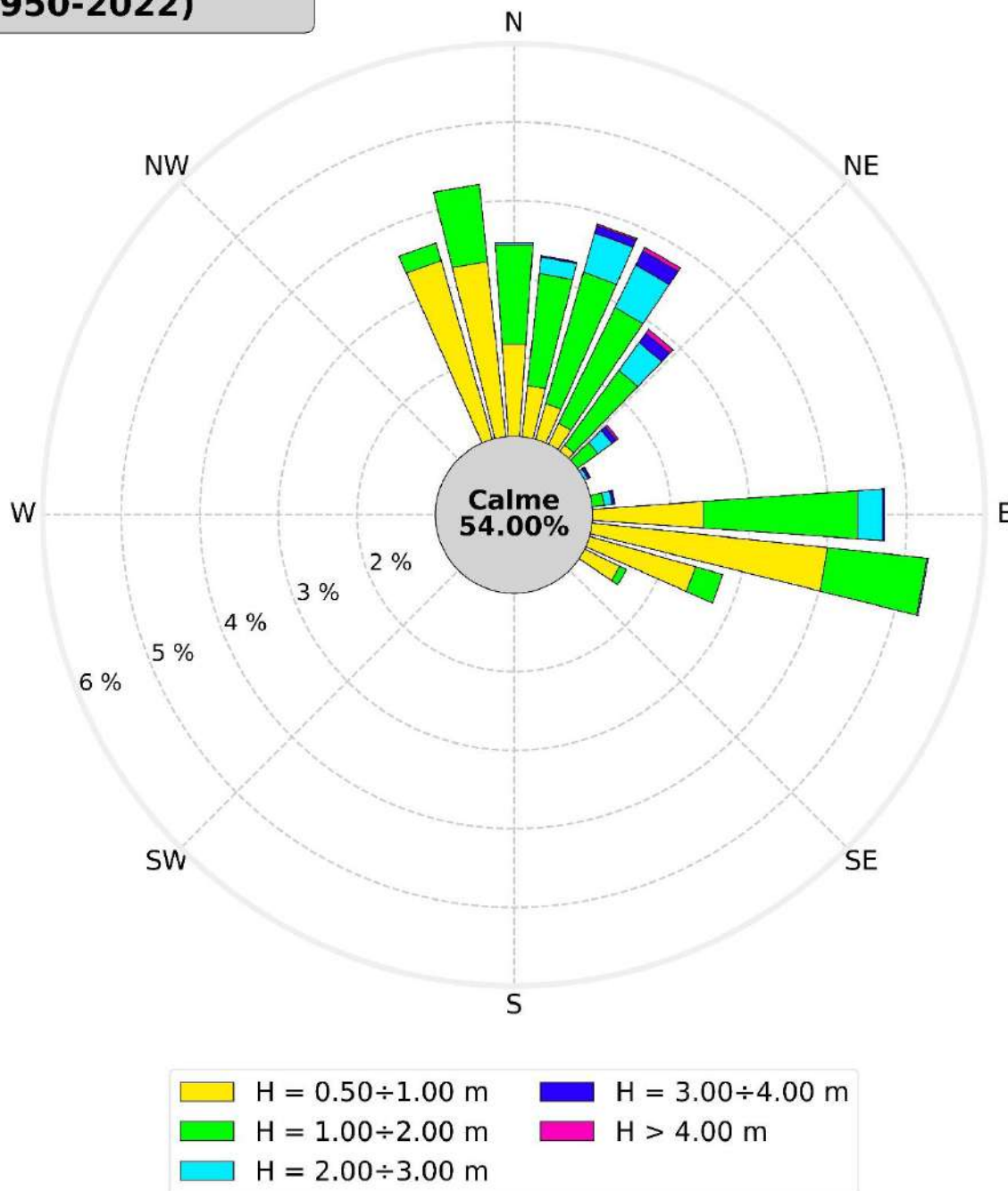


Figura 6.3: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale annuale degli eventi di moto ondoso sotto costa. La percentuale che indica le calme si riferisce ad altezze d'onda significative inferiori a 0.5 m.



Studio Meteomarino

Tabella climatica annuale media

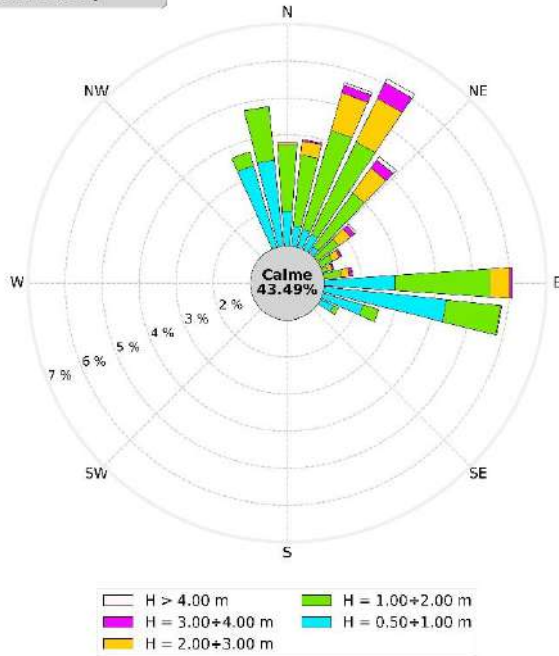
Classi direzione di provenienza (°N)	Classi Altezza d'onda significativa (m)														Totali
	0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
S	175 - 185	0.212	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.21
	185 - 195	0.182	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18
	195 - 205	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	205 - 215	0.161	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	215 - 225	0.161	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	225 - 235	0.168	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.17
	235 - 245	0.177	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18
	245 - 255	0.225	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22
	W	255 - 265	0.298	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
265 - 275		0.488	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.49
275 - 285		0.817	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.82
285 - 295		1.386	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.39
295 - 305		2.532	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.53
305 - 315		4.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.07
315 - 325		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
325 - 335		2.928	0.875	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.81
335 - 345		5.065	3.368	0.230	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.67
345 - 355	3.428	3.244	0.935	0.051	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.66	
N	355 - 005	2.172	2.177	1.019	0.247	0.026	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.64
	005 - 015	1.543	1.656	1.005	0.426	0.162	0.049	0.017	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.86
	015 - 025	1.308	1.472	1.086	0.655	0.334	0.185	0.074	0.025	0.015	0.006	0.001	0.000	0.001	5.16
	025 - 035	1.104	1.297	0.970	0.669	0.385	0.215	0.130	0.073	0.035	0.013	0.004	0.002	0.000	4.90
	035 - 045	1.029	1.094	0.721	0.455	0.286	0.154	0.094	0.052	0.031	0.019	0.008	0.002	0.001	3.95
	045 - 055	0.894	0.717	0.400	0.205	0.148	0.074	0.048	0.022	0.017	0.010	0.002	0.001	0.001	2.54
	055 - 065	0.905	0.569	0.249	0.128	0.059	0.039	0.019	0.011	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	1.99
	065 - 075	0.916	0.554	0.217	0.085	0.041	0.023	0.007	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	1.85
	075 - 085	1.046	0.709	0.315	0.128	0.070	0.034	0.023	0.009	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	2.34
E	085 - 095	1.665	2.418	1.372	0.597	0.243	0.080	0.023	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.40
	095 - 105	3.521	4.017	1.071	0.198	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.82
	105 - 115	4.062	2.405	0.347	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.83
	115 - 125	3.394	1.500	0.093	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.99
	125 - 135	5.584	0.572	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.16
	135 - 145	1.159	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.16
	145 - 155	0.584	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.58
155 - 165	0.379	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.38	
165 - 175	0.268	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.27	
Totali		54.00	28.65	10.05	3.86	1.77	0.85	0.43	0.20	0.11	0.05	0.02	0.00	0.00	100.00

Tabella 6.1: Clima medio annuale sotto costa: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

**Clima Invernale
Medio sotto costa
(1950-2022)**



**Clima Primaverile
Medio sotto costa
(1950-2022)**

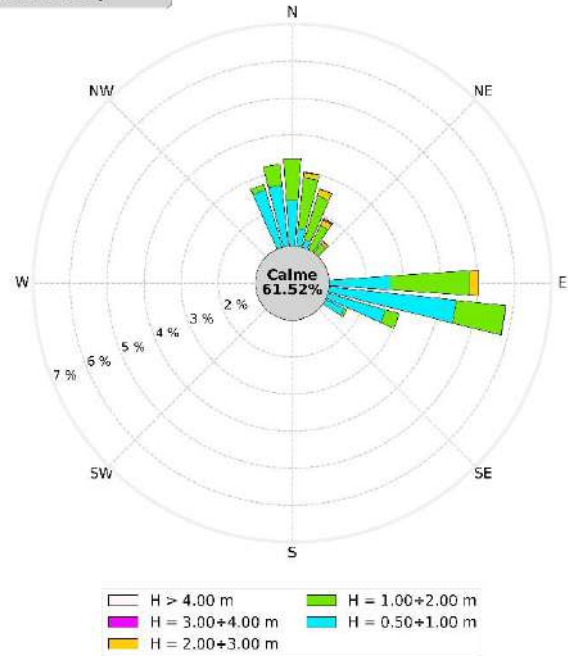
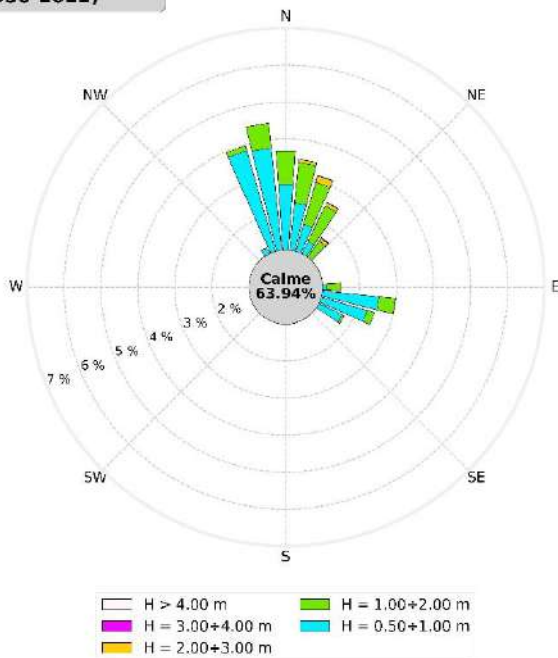


Figura 6.4: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale invernale e primaverile degli eventi di moto ondoso sotto costa.

**Clima Estivo
Medio sotto costa
(1950-2022)**



**Clima Autunnale
Medio sotto costa
(1950-2022)**

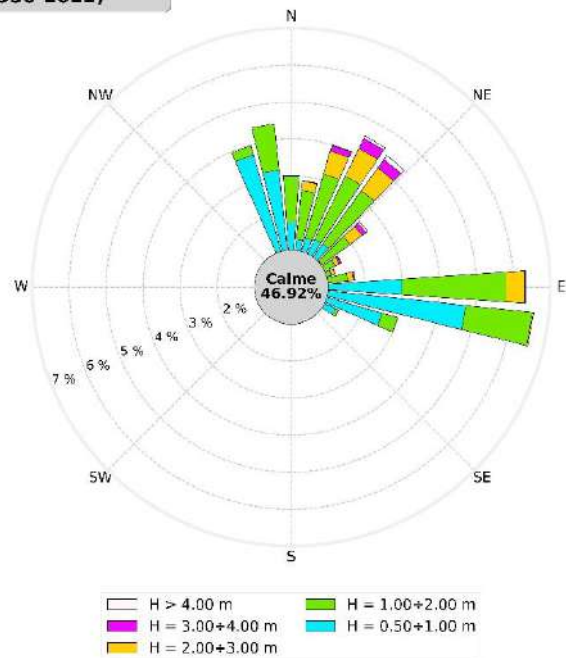


Figura 6.5: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale estiva ed autunnale degli eventi di moto sotto costa.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Invernale media

Classi direzione di provenienza (°N)	Classi Altezza d'onda significativa (m)														Totali
	0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
S	175 - 185	0.203	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.20
	185 - 195	0.179	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18
	195 - 205	0.161	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	205 - 215	0.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.17
	215 - 225	0.161	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	225 - 235	0.161	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	235 - 245	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.17
	245 - 255	0.240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.24
W	255 - 265	0.312	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.31
	265 - 275	0.564	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.56
	275 - 285	1.094	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.09
	285 - 295	1.839	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.84
	295 - 305	3.121	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.12
	305 - 315	4.764	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.76
	315 - 325	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
	325 - 335	1.835	0.628	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.48
N	335 - 345	3.408	3.300	0.375	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.09
	345 - 355	2.243	3.348	1.349	0.097	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.04
	005 - 015	0.902	1.553	1.314	0.608	0.280	0.102	0.040	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.80
	015 - 025	0.813	1.514	1.649	1.126	0.646	0.412	0.157	0.054	0.050	0.023	0.003	0.000	0.000	6.45
	025 - 035	0.765	1.469	1.511	1.264	0.843	0.467	0.290	0.180	0.083	0.031	0.005	0.004	0.001	6.91
	035 - 045	0.685	1.211	1.029	0.768	0.555	0.279	0.161	0.109	0.071	0.033	0.006	0.003	0.002	4.91
	045 - 055	0.570	0.768	0.586	0.359	0.261	0.133	0.095	0.040	0.034	0.022	0.001	0.001	0.001	2.87
	055 - 065	0.634	0.735	0.398	0.223	0.132	0.085	0.032	0.025	0.017	0.001	0.000	0.000	0.000	2.28
E	065 - 075	0.626	0.635	0.330	0.177	0.078	0.043	0.021	0.013	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	1.93
	075 - 085	0.715	0.739	0.476	0.257	0.135	0.075	0.056	0.025	0.013	0.008	0.000	0.000	0.000	2.50
	085 - 095	1.400	2.921	1.763	0.804	0.364	0.168	0.064	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.49
	095 - 105	3.075	4.329	1.243	0.231	0.025	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.91
	105 - 115	2.878	2.138	0.409	0.025	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.45
	115 - 125	2.117	1.392	0.141	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.65
	125 - 135	4.250	0.582	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.84
	135 - 145	0.988	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.99
Totali	145 - 155	0.508	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.51
	155 - 165	0.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.33
	165 - 175	0.254	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.25
Totali		43.49	29.20	14.01	6.34	3.38	1.77	0.92	0.46	0.28	0.12	0.02	0.01	0.00	100.00

Tabella 6.2: Clima medio invernale sotto costa: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Primavera media

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi Altezza d'onda significativa (m)														Totali
		0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
S	175 - 185	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.25
	185 - 195	0.218	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22
	195 - 205	0.197	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.20
	205 - 215	0.178	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18
	215 - 225	0.193	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.19
	225 - 235	0.195	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.20
	235 - 245	0.223	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22
	245 - 255	0.262	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.26
	255 - 265	0.305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.31
W	265 - 275	0.476	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.48
	275 - 285	0.723	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.72
	285 - 295	0.989	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.99
	295 - 305	1.882	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.88
	305 - 315	3.210	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.21
	315 - 325	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
N	325 - 335	3.415	0.857	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.28
	335 - 345	5.409	2.619	0.154	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.18
	345 - 355	3.583	2.659	0.549	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.82
	005 - 015	2.279	2.232	0.904	0.226	0.012	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.65
	015 - 025	1.707	1.480	0.976	0.409	0.101	0.033	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.72
	025 - 035	1.466	1.221	0.790	0.438	0.143	0.046	0.008	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.12
	035 - 045	1.150	0.914	0.560	0.262	0.111	0.057	0.016	0.016	0.006	0.004	0.006	0.000	0.000	0.000	3.10
	045 - 055	1.053	0.780	0.376	0.153	0.053	0.033	0.009	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.46
	055 - 065	1.002	0.531	0.236	0.096	0.046	0.028	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.95
E	065 - 075	0.974	0.447	0.123	0.052	0.017	0.021	0.006	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.65
	075 - 085	1.036	0.499	0.121	0.030	0.023	0.004	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.72
	085 - 095	1.261	0.614	0.179	0.057	0.029	0.010	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.16
	095 - 105	2.204	2.669	1.546	0.588	0.191	0.041	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.25
	105 - 115	4.980	4.458	1.137	0.211	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.80
	115 - 125	6.270	2.626	0.365	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.27
	125 - 135	4.676	1.572	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.32
	135 - 145	6.713	0.497	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.21
	145 - 155	1.477	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.48
Totali	155 - 165	0.753	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.75
	165 - 175	0.477	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.48
	175 - 185	0.332	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.33
Totali		61.52	26.67	8.10	2.56	0.74	0.27	0.08	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabella 6.3: Clima medio primaverile sotto costa: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Estivo media

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi Altezza d'onda significativa (m)														Totali
		0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
S	175 - 185	0.187	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.19
	185 - 195	0.153	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15	
	195 - 205	0.134	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.13	
	205 - 215	0.152	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15	
	215 - 225	0.127	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.13	
	225 - 235	0.140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.14	
	235 - 245	0.158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16	
	245 - 255	0.186	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.19	
	255 - 265	0.233	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.23	
W	265 - 275	0.370	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.37	
	275 - 285	0.538	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.54		
	285 - 295	0.934	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.93		
	295 - 305	1.798	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.80		
	305 - 315	2.977	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.98		
	315 - 325	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00		
	325 - 335	4.159	1.181	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.35	
	335 - 345	7.182	3.834	0.136	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.15	
	345 - 355	5.304	3.783	0.664	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.76	
N	355 - 005	3.600	2.779	0.816	0.091	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.29	
	005 - 015	2.490	2.297	0.871	0.218	0.061	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.96	
	015 - 025	1.848	1.768	0.859	0.322	0.132	0.049	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.99	
	025 - 035	1.601	1.372	0.747	0.326	0.079	0.018	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.15	
	035 - 045	1.429	0.939	0.418	0.187	0.063	0.022	0.020	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.08	
	045 - 055	1.297	0.553	0.159	0.043	0.010	0.006	0.003	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	2.08	
	055 - 065	1.327	0.416	0.068	0.016	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.84	
	065 - 075	1.318	0.437	0.062	0.011	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.83	
	075 - 085	1.402	0.625	0.101	0.025	0.010	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.17	
E	085 - 095	1.798	1.098	0.279	0.085	0.020	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.29	
	095 - 105	3.226	2.546	0.394	0.051	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.22	
	105 - 115	4.368	2.297	0.194	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.86	
	115 - 125	4.401	1.703	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.17	
	125 - 135	6.759	0.620	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.38	
	135 - 145	1.169	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.17	
	145 - 155	0.542	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.54	
	155 - 165	0.396	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.40	
	165 - 175	0.240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.24	
Totali		63.94	28.25	5.84	1.39	0.40	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Tabella 6.4: Clima medio estivo sotto costa: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



Studio Meteomarino

Tabella climatica Autunnale media

Classi direzione di provenienza (°N)	Classi Altezza d'onda significativa (m)															Totali
	0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50		
S	175 - 185	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.21
	185 - 195	0.179	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18
	195 - 205	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15
	205 - 215	0.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.14
	215 - 225	0.164	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	225 - 235	0.177	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18
	235 - 245	0.161	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	245 - 255	0.213	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.21
W	255 - 265	0.342	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.34
	265 - 275	0.544	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.54
	275 - 285	0.919	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.92
	285 - 295	1.787	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.79
	295 - 305	3.332	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.33
	305 - 315	5.345	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.35
	315 - 325	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
	325 - 335	2.286	0.828	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.12
N	335 - 345	4.232	3.712	0.255	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.20
	345 - 355	2.559	3.181	1.181	0.071	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.99
	355 - 005	1.444	1.755	0.959	0.281	0.028	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.47
	005 - 015	1.064	1.292	0.862	0.474	0.208	0.040	0.009	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.95
	015 - 025	1.098	1.384	1.055	0.739	0.417	0.234	0.122	0.038	0.009	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	5.10
	025 - 035	0.895	1.433	1.068	0.832	0.511	0.321	0.205	0.097	0.049	0.017	0.004	0.002	0.001	0.000	5.44
	035 - 045	0.941	1.447	1.063	0.713	0.477	0.284	0.187	0.092	0.053	0.042	0.025	0.006	0.003	0.004	5.34
	045 - 055	0.699	1.016	0.623	0.324	0.277	0.128	0.089	0.041	0.034	0.017	0.006	0.002	0.001	0.004	3.26
E	055 - 065	0.679	0.681	0.408	0.221	0.076	0.050	0.038	0.013	0.011	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	2.18
	065 - 075	0.682	0.646	0.357	0.125	0.058	0.043	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.92
	075 - 085	0.803	0.855	0.507	0.173	0.105	0.048	0.026	0.011	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.54
	085 - 095	1.260	2.997	1.907	0.914	0.398	0.109	0.016	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.60
	095 - 105	2.810	4.746	1.514	0.297	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.40
	105 - 115	2.733	2.557	0.420	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.73
	115 - 125	2.373	1.332	0.094	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.80
	125 - 135	4.599	0.589	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.20
Totali	135 - 145	1.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00
	145 - 155	0.533	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.53
	155 - 165	0.313	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.31
	165 - 175	0.248	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.25
	Totali	46.92	30.45	12.29	5.19	2.59	1.26	0.70	0.30	0.17	0.08	0.04	0.01	0.01	0.01	100.00

Tabella 6.5: Clima medio autunnale sotto costa: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



6.3 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI A LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA E AL PERIODO D'ONDA

I dati ondametrici propagati sotto costa, inoltre, possono essere classificati in base al valore dell'altezza d'onda significativa e al periodo di picco al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. La Tabella 6.6 riporta le frequenze di occorrenza annuale degli eventi moto ondoso classificati in base all'altezza d'onda significativa e al periodo di picco.

Allo scopo di individuare una legge di dipendenza tra il periodo di picco delle onde T_p e l'altezza d'onda significativa H_s si è fatto riferimento alla relazione (Mathiesen et al., 1994):

$$T_p = a (H_s)^b$$

ove i parametri a e b sono stati ricavati mediante il metodo dei minimi quadrati sulla base delle coppie di valori dell'altezza d'onda significativa e del periodo di picco. Nella Figura 6.6 sono riportati tutti gli eventi della serie storica diagrammati in funzione del periodo di picco e dell'altezza d'onda significativa. È inoltre indicata la funzione di correlazione ricavata mediante il metodo dei minimi quadrati e, pertanto, i valori dei parametri a e b pari, rispettivamente, a 5.950 e 0.294.

Correlazione Annuale Media tra Altezza d'onda significativa e Periodo di picco

Classi altezza d'onda significativa (m)	Classi Periodo di Picco (s)								Totali
	0.00 2.00	2.00 4.00	4.00 6.00	6.00 8.00	8.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	> 14.00	
0.00 - 0.50	0.00	33.55	15.78	3.95	0.69	0.02	0.00	0.00	54.00
0.50 - 1.00	0.00	3.72	19.40	4.78	0.72	0.02	0.00	0.00	28.65
1.00 - 1.50	0.00	0.06	4.76	4.60	0.60	0.02	0.00	0.00	10.05
1.50 - 2.00	0.00	0.00	0.48	2.91	0.45	0.02	0.00	0.00	3.86
2.00 - 2.50	0.00	0.00	0.03	1.38	0.35	0.01	0.00	0.00	1.77
2.50 - 3.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.37	0.01	0.00	0.00	0.85
3.00 - 3.50	0.00	0.00	0.00	0.09	0.34	0.01	0.00	0.00	0.43
3.50 - 4.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.19	0.00	0.00	0.00	0.20
4.00 - 4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.11
4.50 - 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05
> 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03
Totali	0.00	37.33	40.46	18.20	3.89	0.13	0.00	0.00	100.00

Tabella 6.6: Distribuzione percentuale annuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e periodo di picco sotto costa.

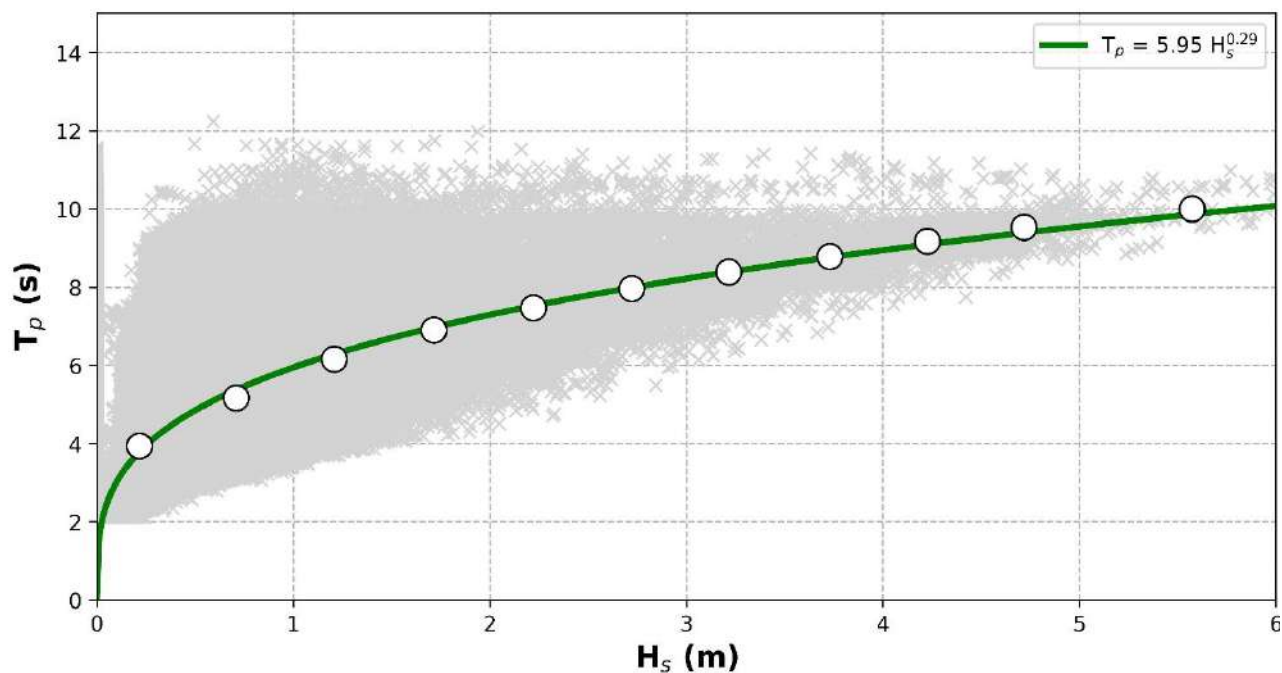


Figura 6.6: Rappresentazione cartesiana della distribuzione annuale del periodo di picco rispetto all'altezza d'onda significativa sotto costa. In verde, la funzione di correlazione ricavata con il metodo dei minimi quadrati.

6.4 PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSI

L'analisi estrema non può essere effettuata sotto costa, altrimenti si violerebbe l'ipotesi di indipendenza degli eventi estremi. Infatti, sotto costa, gli eventi sono dipendenti poiché correlati dagli stessi processi fisici in corrispondenza della stessa profondità che, diversamente dalle condizioni di acqua profonda, influenzano la meccanica della propagazione.

Al fine di caratterizzare gli eventi estremi sotto costa, pertanto, è stata effettuata la propagazione degli eventi estremi i cui parametri sintetici sono sintetizzati in Tabella 5.7. A favore di sicurezza, la direzione di provenienza (a largo) è stata selezionata come quella più vicina alla direzione ortogonale alle linee batimetriche (pari a $40^\circ N$). Pertanto, per il settore di traversia principale (a largo $300-60^\circ N$) è stata selezionata la direzione pari a $40^\circ N$. Per il settore di traversia secondario (a largo $60^\circ N-$



170°N), è stata selezionata la direzione pari a 60°N. In questo modo si limita l'attenuazione dovuta alla rifrazione.

La Tabella 5.7 sintetizza i risultati ottenuti.

SETTORE DI TRAVERSIA PRINCIPALE (320°N-60°N)				
	Metodo dei massimi annuali (funzione di distribuzione GEV)		Metodo dei massimi sopra soglia (funzione di distribuzione: GPD)	
T_r (anni)	H_s (m)	T_p (s)	H_s (m)	T_p (s)
2	4.83	9.47	5.03	9.59
5	5.70	9.98	5.71	9.99
10	6.23	10.27	6.20	10.25
25	6.86	10.58	6.81	10.56
50	7.31	10.79	7.25	10.76
100	7.72	10.98	7.65	10.95

SETTORE DI TRAVERSIA SECONDARIO (60°N-170°N)				
	Metodo dei massimi annuali (funzione di distribuzione GEV)		Metodo dei massimi sopra soglia (funzione di distribuzione: GPD)	
T_r (anni)	H_s (m)	T_p (s)	H_s (m)	T_p (s)
2	4.30	9.12	4.55	9.29
5	5.14	9.66	5.20	9.69
10	5.66	9.96	5.66	9.96
25	6.27	10.29	6.22	10.26
50	6.69	10.50	6.61	10.46
100	7.10	10.69	6.98	10.64

Tabella 6.7: Stima dei parametri sintetici degli eventi estremi sotto costa in relazione alle onde provenienti dal settore direzionale principale (tabella in alto) e secondario (tabella in basso).



7 ANALISI DEI LIVELLI DEL MARE

7.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

La componente statica dei livelli del mare, indotta dalla sovrapposizione della cosiddetta marea meteorologica e dal perpetuarsi della componente astronomica, può essere caratterizzata tramite l'analisi di una serie mareografica.

La serie temporale identificata (si veda il paragrafo §3.3) è stata oggetto di specifica analisi armonica finalizzata all'estrazione della componente astronomica dei livelli, dalla quale è possibile stimare i livelli caratteristici. Ipotizzando la sovrapposizione degli effetti (ipotesi di linearità comunemente accettata per bacini simili al Mar Adriatico, Roos & Schuttelaars, 2011), la differenza tra la serie temporale misurata e la componente astronomica costituisce la componente meteorologica dei livelli.

Quest'ultima può essere sottoposta a specifica analisi estrema per la stima probabilistica dell'aumento e della diminuzione del livello del mare indotti dalla componente meteorologica (principalmente dovuta al sovrizzo barico inverso e alla dinamica alla scala del bacino del Mar Adriatico).

Nel seguito, si descrive sinteticamente l'analisi effettuata sulla componente astronomica e sulla componente meteorologica e i risultati ottenuti.

7.2 COMPONENTE ASTRONOMICA

Le variazioni periodiche a carattere deterministico sono prevalentemente dovute alla propagazione delle onde di marea astronomica. Le cause del fenomeno sono legate alla posizione che la Terra occupa nello Spazio Celeste, ovvero all'interazione con i corpi celesti, in particolare con il Sole e la Luna. L'origine astronomica giustifica la denominazione di marea "astronomica" comunemente data al fenomeno.

La marea astronomica, essendo originata dall'azione di attrazione indotta dai moti di rivoluzione della Terra con i corpi celesti che la circondano, ha un carattere essenzialmente deterministico. L'elevata affidabilità con la quale, a cavallo del XIX e XX secolo, sono state definite le caratteristiche dei moti della Luna attorno alla Terra e di questa attorno al Sole (Brown, 1914), ha consentito di scomporre il potenziale della marea astronomica in centinaia di costituenti armoniche (Darwin,



1883; Doodson, 1921; Cartwright e Tayler, 1971), permettendo di identificare ciclicità con periodi sino a circa 18 anni (nutazione e ciclo di Saros).

Se la Terra fosse un'Idrosfera, ovvero una sfera completamente ricoperta di acqua con tirante idrico costante, e qualora la risposta del fluido potesse ipotizzarsi istantanea (mancanza di reazione inerziale), una tale precisione nella conoscenza del potenziale generatore della marea permetterebbe di derivare teoricamente, con altrettanto elevata precisione, le variazioni temporali del livello marino in ogni punto del globo. La presenza dei continenti, l'irregolarità dei fondali e delle coste, nonché l'inerzia con la quale il fluido reagisce alla forzante, non permettono tuttavia una tale derivazione teorica. Quindi, mentre i periodi delle varie costituenti della marea sono conosciuti con elevata precisione (poiché sono noti con precisione i moti dei Corpi Celesti), l'ampiezza e la fase con le quali si esplicano nei vari punti del globo rimangono indeterminate. Esse possono tuttavia essere calcolate per mezzo dell'analisi armonica delle misure di livello acquisite in prossimità dell'area in esame (Doodson, 1928), risultando il calcolo tanto più affidabile quanto più lunga risulta la serie analizzata. A rigore, a causa della presenza di componenti con periodi che raggiungono circa i 18 anni, per calcolare l'ampiezza e la fase di tutte le 368 costituenti di marea note occorrerebbero almeno 18 anni di dati continui campionati con frequenza adeguata. Tuttavia, per ottenere ricostruzioni o previsioni di marea dotate di approssimazione accettabile, sono sufficienti l'ampiezza e la fase di un numero di costituenti molto minore. Per il Mar Adriatico, infatti, possono essere sufficienti anche solo 7 costituenti (K1, M2, P1, K2, O1, S2, N2) per ricostruire o prevedere fino al 96%-98% dell'escursione di livello mareale (Defant, 1961). Mediamente, sono sufficienti da un minimo di 15 giorni a un massimo di un anno di dati continui per poter calcolare, con affidabilità crescente, da 7 fino a circa 68 costituenti di marea.

La cosiddetta "analisi armonica" consiste, pertanto, nella stima numerica dell'ampiezza e della fase delle componenti astronomiche basata sull'analisi di una serie mareografica misurata. In questo studio, l'analisi è stata effettuata con l'ausilio delle funzioni numeriche rese disponibili dal modulo Utide (Codiga, 2011).

La stima dell'ampiezza e della fase delle componenti astronomiche permette la ricostruzione della serie temporale dovuta alla sola oscillazione deterministica astronomica. Da essa è possibile estrarre una serie di livelli caratteristici:

- HAT (*Highest Astronomical Tide*): il livello più alto raggiunto in condizioni meteorologiche normali;
- MHWS (*Mean High Water Spring*): la media delle alte maree di sizigia (in condizioni di luna piena o nuova);
- MHWN (*Mean High Water Neap*): la media delle alte maree in quadratura (in condizioni di primo e ultimo quarto lunare);



Studio Meteomarino

- MSL (*Mean Sea Level*): livello medio;
- MLWN (*Mean Low Water Neap*): la media delle basse maree in quadratura (in condizioni di primo e ultimo quarto lunare);
- MLWS (*Mean Low Water Spring*): la media delle basse maree di sizigia (in condizioni di luna piena o nuova);
- LAT (*Lowest Astronomical Tide*): il livello più basso raggiunto in condizioni meteorologiche normali.

La Tabella 7.1 riporta i risultati dell'analisi armonica, in termini di ampiezza e fase delle 7 componenti astronomiche più importanti. La stima è stata effettuata dividendo l'intera serie mareografica in serie temporali di durata annuale. La Tabella contiene il valor medio delle stime. Le componenti sono ordinate, in senso decrescente, rispetto all'ampiezza stimata. Si può osservare che le componenti più importanti sono quelle semidiurne.

<i>Componente</i>	<i>Periodo (ore)</i>	<i>Ampiezza (cm)</i>	<i>Fase (°)</i>
M2	23.93	8.89±0.23	1.47±0.04
S2	12.42	6.71±0.08	60.29±0.71
N2	12	4.73±0.08	69.01±1.01
K2	25.82	3.02±0.23	57.1±4.34
K1	24.07	2.63±0.23	57.47±4.95
O1	11.97	1.45±0.08	67.33±3.43
P1	12.66	1.04±0.08	4.62±0.08

Tabella 7.1: Risultati dell'analisi armonica dei livelli misurati a Ortona.

Le costanti armoniche sono state utilizzate per ricostruire la serie temporale relativa alla sola componente astronomica, da cui sono stati desunti i livelli caratteristici riportati in Tabella 7.2.

HAT (m)	MHWS (m)	MHWN (m)	MSL (m)	MLWN (m)	MLWS (m)	LAT (m)
0.243	0.190	0.102	-0.042	-0.101	-0.167	-0.207

Tabella 7.2: Livelli caratteristici dell'oscillazione astronomica ricostruita a Ortona.



7.3 LIVELLO MEDIO

Il bacino Adriatico è caratterizzato da oscillazioni del livello medio che si esplicano su scale temporali mensili, annuali e infra-annuali. Tali oscillazioni sono da ricondursi alla circolazione delle grandi masse e possono raggiungere valori significativi a causa dello scambio idrico tra il Mar Adriatico e il Mar Mediterraneo e, a più grande scala, tra il Mar Mediterraneo e il Nord Atlantico.

Al fine di quantificare l'oscillazione del livello medio, la serie mareografica è stata oggetto di un'analisi specifica finalizzata alla valutazione del livello medio valutato su finestre temporali di durata diversa. In particolare, è stata valutato il valor medio dei livelli su finestre temporali di durata annuale, trimestrale e mensile.

La Figura 7.1 mostra le serie temporali dei livelli medi ottenuti e la Tabella 7.1 sintetizza i principali risultati delle analisi.

Si osserva che, su scala annuale, il livello medio ha subito un'oscillazione pluriennale tra un minimo di -12.0 cm (-7.8 cm rispetto al valore medio pluriennale), osservato nel 2002, e +5.6 cm (+9.8 cm rispetto al valore medio pluriennale), osservato nel 2014. Alla scala trimestrale, è possibile osservare la stagionalità dei livelli che raggiunge i suoi valori massimi durante il I e il IV trimestre. In questo caso si osserva un'oscillazione pluriennale (del valore medio trimestrale) tra il minimo di -22.5 cm (-18.3 cm rispetto al valore medio pluriennale), osservato nel I trimestre del 2000, e il massimo di +14.5 cm (+18.7 cm rispetto al valore medio pluriennale), osservato nel IV trimestre del 2010. Alla scala mensile, le oscillazioni mostrano un'ampiezza maggiore tra il valore minimo di -31.1 cm (-26.9 cm rispetto al valore medio pluriennale), osservato nel marzo 2008, e il valore massimo +26.5 cm (+30.7 cm rispetto al valore medio pluriennale), osservato nel dicembre 2010.

Alle oscillazioni osservate nel passato, si sovrappongono le stime delle variazioni del livello medio a lungo termine indotte dagli effetti dei cambiamenti climatici, anch'essi riportati nella Tabella 7.1 e mostrati in Figura 7.2. L'effetto dei cambiamenti climatici, sulla base della stima climatologica desunta dal database CMEMS, prevede un incremento del livello medio del mare compreso tra +16.4 cm (nel 2041) e +42.3 cm (nel 2100).



Studio Meteomarino

	Livello medio (cm)	Periodo
Livello medio pluriennale	-4.2	1999-2022
Minimo della media annuale	-12.0	2002
Massimo della media annuale	+5.6	2014
Minimo della media trimestrale	-22.5	2000 (I Trimestre)
Massimo della media trimestrale	+14.5	2010 (IV Trimestre)
Minimo della media mensile	-31.1	2008 (marzo)
Massimo della media mensile	+26.5	2010 (dicembre)
Incremento del livello medio indotto dai cambiamenti climatici (stima climatologica)	+16.4	2041
	+33.4	2070
	+42.3	2100

Tabella 7.3: Valori caratteristici (minimo e massimo) dei livelli medi valutati su finestre temporali di diversa durata. Nella tabella sono riportati anche i valori attesi dell'incremento del livello medio indotto dal cambiamento climatico.

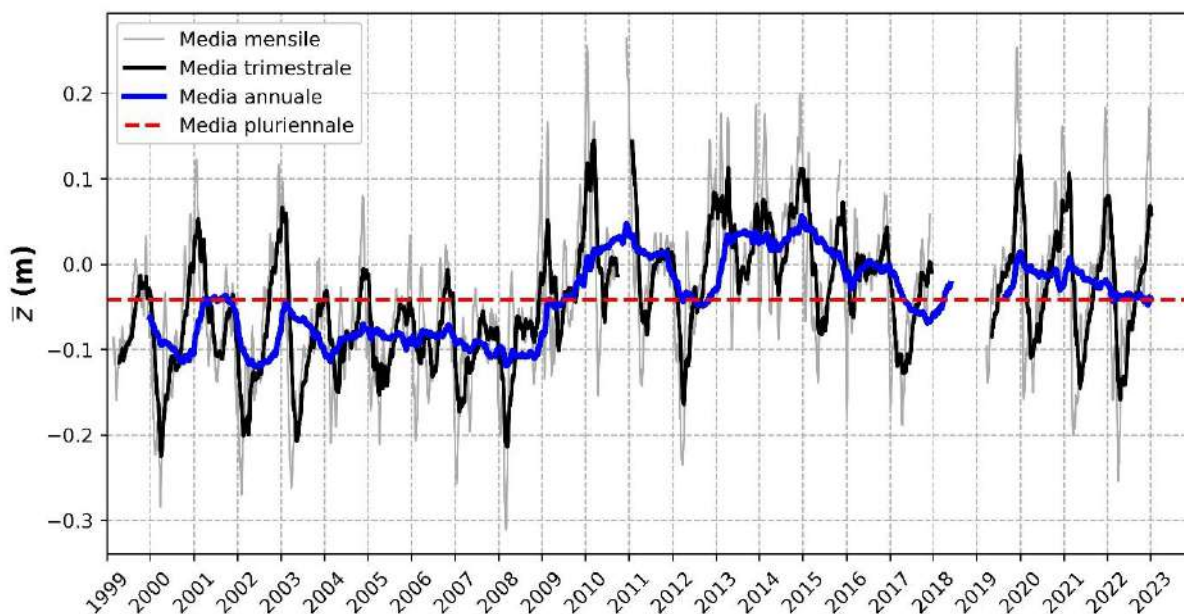


Figura 7.1: Serie temporale dei livelli medi valutati su finestre temporali di durata mensile, trimestrale e annuale.

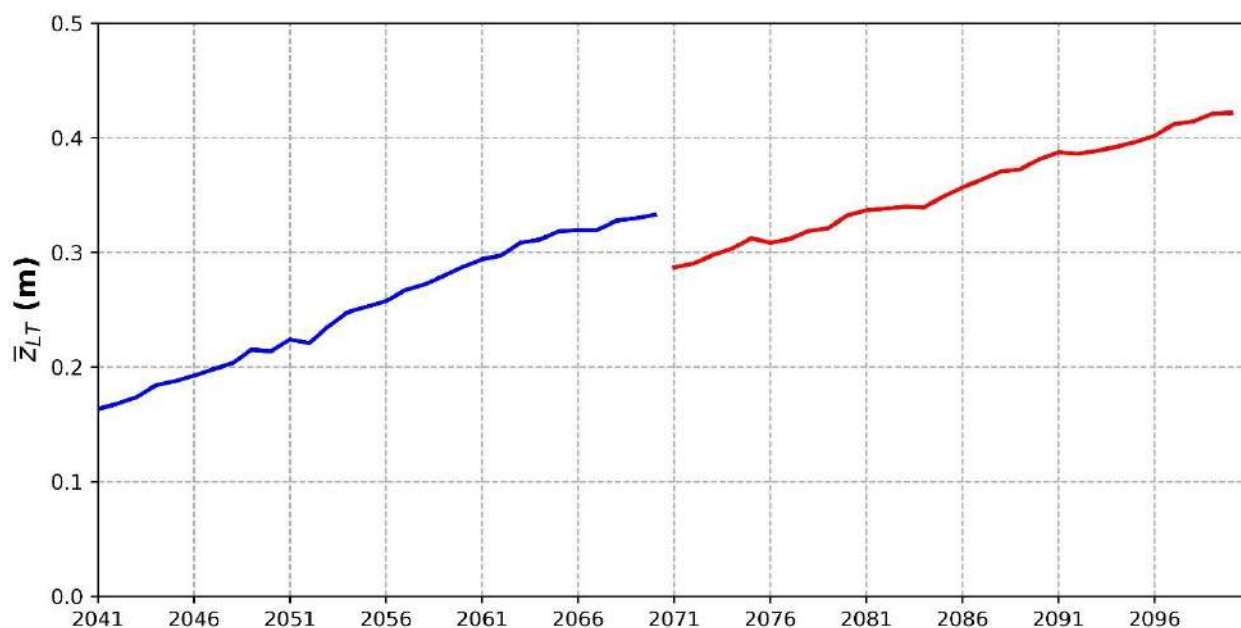


Figura 7.2: Stima climatologica dell'incremento del livello medio del mare (come fornito dal database CMEMS).

7.4 COMPONENTE METEOROLOGICA

7.4.1 Considerazioni generali

L'oscillazione astronomica può essere disturbata da cause meteorologiche quali le variazioni bariche e l'azione tangenziale del vento, causa della cosiddetta marea meteorologica. In ogni caso, qualunque sia l'entità del disturbo, la regolarità del fenomeno propriamente astronomico torna sempre ad esplicitarsi invariato allorché il disturbo meteorologico cessa la sua azione. Rispetto alla componente astronomica, risultato di un fenomeno deterministico e del tutto prevedibile (si veda paragrafo precedente), l'oscillazione del livello del mare indotta da cause meteorologiche, essenzialmente dovuta a gradienti di pressione e azione tangenziale del vento alla grande scala, può essere ricondotta ad un fenomeno a carattere stocastico. Per quanto alcuni tipi di oscillazione rientranti in questa categoria possano essere studiati analiticamente (ad esempio le oscillazioni di sessa forzate da una perturbazione che si verifica in un bacino quale il Mar Adriatico), la stima dell'entità del sovrizzo meteorologico, ovvero alla diminuzione del livello indotto da forzanti meteorologiche e di grande scala, finalizzato alla definizione dei carichi idraulici da utilizzare a fini ingegneristici deve essere basato sull'analisi statistica della marea meteorologica osservata. In tal modo, la serie temporale del livello di marea meteorologica può essere assimilato al livello residuo, dato dalla sottrazione dei livelli ricostruiti di marea astronomica da quelli osservati. Occorre notare che tale



metodo parte dal presupposto che il bacino considerato risponda linearmente alle due forzanti, ipotesi peraltro ampiamente accettata (Pasquali et al., 2015, 2019).

La definizione della serie storica della marea meteorologica permette di effettuare l'analisi estrema. Essa è finalizzata alla stima della marea meteorologica (intesa come incremento o diminuzione del livello medio a cui si sovrappone la componente astronomica) associata al tempo di ritorno, ovvero alla probabilità di non superamento (Coles et al., 2001). In estrema sintesi, è necessario individuare la funzione di distribuzione di probabilità della variabile aleatoria da cui sono estratti gli eventi estremi osservati (massimi o minimi), in maniera del tutto analoga a quanto effettuato per gli eventi estremi degli eventi anemometrici e di moto ondoso (si vedano i paragrafi §4.2 e §5.4). Pertanto, la prima operazione da effettuare è l'estrazione degli eventi estremi, omogenei e indipendenti, dalla serie temporale di marea meteorologica (livello residuo). Tale estrazione può essere effettuata con il metodo dei "massimi a blocchi" (ovvero dei "minimi a blocchi"), qualora la serie temporale sia lunga a sufficienza (cioè copra un numero di anni pari a circa la metà del massimo tempo di ritorno per cui è necessario fornire il relativo livello di ritorno), oppure con il metodo dei "picchi sopra soglia" (*peak over threshold*, POT), sia dei massimi, sia dei minimi. Pertanto, il residuo di marea, definito come la differenza tra serie misurata (depurata dal livello medio) e componente astronomica ricostruita come descritto nel paragrafo precedente, è stato oggetto di analisi estrema.

La tecnica di analisi coincide con quanto già descritto nei paragrafi §4.2 e §5.4. Si riportano nel seguito, per facilità di lettura, le caratteristiche principali dell'analisi.

Al fine di effettuare l'analisi statistica degli estremi della marea meteorologica (sia massimi, sia minimi), è necessario selezionare preliminarmente i campioni di dati che risultino tra loro statisticamente indipendenti ed omogenei. Il metodo di estrazione degli eventi estremi dipende dalla durata della serie storica a disposizione. Quando questa è sufficientemente lunga e statisticamente rappresentativa, è possibile estrarre il massimo valore della marea meteorologica che si verifica in un blocco di durata assegnata (metodo di estrazione dei massimi a blocchi). Al fine di assicurare l'omogeneità dei campioni estratti, la durata del blocco è tipicamente posta pari a 1 anno, al fine di non introdurre nell'analisi effetti dovuti alla stagionalità del clima.

Laddove le serie mareografiche non siano molto lunghe e, di conseguenza, non statisticamente rappresentative, si è soliti utilizzare il metodo POT (*Peaks Over Threshold* detto anche della serie di durata parziale sopra soglia). Esso consiste nel considerare il solo valore massimo della marea meteorologica (valore di picco) che si verifica nell'ambito di un singolo evento (ovvero del solo valore minimo dell'evento). In tal modo si assicura l'indipendenza statistica degli eventi estratti. L'individuazione di ciascun evento di marea meteorologica nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di livello e considerando che il singolo evento abbia inizio quando il livello superi (in valore assoluto) per la prima volta il valore della soglia prestabilito.



Conseguentemente si ipotizza che l'evento termini quando il livello assume per la prima volta un valore inferiore (in valore assoluto) a quello di soglia.

Gli eventi estremi (estratti con il metodo dei massimi annuali, ovvero con il metodo della serie di durata parziale sopra soglia) sono quindi oggetto di un'elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante adattamento degli eventi estremi secondo note funzioni probabilistiche, il valore della marea meteorologica da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di superamento).

In generale, il campione degli eventi estremi estratti dalla serie temporale rappresenta una serie di realizzazioni di una variabile aleatoria con funzione di ripartizione delle probabilità incognita.

È noto, tuttavia, che gli eventi estremi siano estratti da una funzione appartenente ad una famiglia di funzioni di distribuzione di probabilità con parametri ignoti.

Quando gli eventi estremi sono estratti con il metodo dei massimi a blocchi, la funzione teorica è costituita da una GEV (*Generalized Extreme Value Distribution*).

Se il metodo utilizzato per estrarre gli eventi estremi è quello dei picchi sopra soglia gli eccessi rispetto alla soglia sono estratti da una variabile aleatoria con funzione di distribuzione di probabilità GPD (*Generalized Pareto Distribution*).

La funzione di distribuzione generalizzata degli eventi estremi (GEV) assume la seguente forma:

$$\Phi(x) = \exp \left\{ - \left[1 + k \left(\frac{x - \varepsilon}{\alpha} \right) \right]^{-1/k} \right\} \quad (7-1)$$

nella quale k è il parametro di forma, α è il parametro di scala, ε è il parametro di locazione, x è la realizzazione della variabile aleatoria (in questo caso un evento estremo), Φ è la probabilità di non superamento.

La funzione di distribuzione generalizzata di Pareto assume, invece, la seguente forma:

$$\Phi(x) = 1 - \left[1 + \frac{k(x - \varepsilon)}{\alpha} \right]^{-1/k} \quad (7-2)$$

nella quale k è il parametro di forma, α è il parametro di scala, ε è la soglia.

L'adattamento statistico (cioè la stima dei parametri delle funzioni di distribuzione GEV o GPD) è stato effettuato con il metodo della massima verosimiglianza e l'ipotesi nulla (ovvero che il campione sia estratto dalla popolazione della variabile aleatoria di cui si sono stimati i parametri) è stata verificata con il test non parametrico di Kolmogorov-Smirnov (Smirnov, 1948).

La stima dei parametri della funzione di distribuzione di probabilità permette di associare a specifici valori del tempo di ritorno i relativi livelli di ritorno. Infatti, la probabilità di non superamento è legata al tempo di ritorno dalla seguente relazione:



$$\Phi(x) = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (7-3)$$

da cui si ottiene la relazione che permette la stima del livello di ritorno x_r :

$$x_r = \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{T_r}\right) \quad (7-4)$$

7.4.2 Analisi dei livelli massimi

La Tabella 7.4 mostra gli eventi estremi estratti con il metodo dei massimi annuali. La Tabella contiene i valori del sovrizzo meteorologico ottenuto dalla serie misurata depurata dalla componente astronomica e dal livello medio mensile (massimi annuali depurati dalla media) e quelli ottenuti dalla serie misurata depurata dalla sola componente astronomica (massimi annuali non depurati dalla media). Per ogni evento è riportata anche la data di accadimento e i valori simultanei della componente armonica, del livello medio mensile e del valore effettivamente misurato. In entrambi i casi, si può osservare che gli eventi estremi avvengono prevalentemente nel mese di novembre (il 47.8% degli eventi depurati dalla media e il 43.5% degli eventi non depurati dalla media), nel mese di dicembre (il 21.7% degli eventi depurati dalla media e il 30.4% degli eventi non depurati dalla media). In sintesi, gli eventi avvengono prevalentemente nei mesi autunnali (ottobre, novembre e dicembre) raggiungendo una percentuale compresa tra il 69.6% (massimi annuali depurati dalla media) e il 73.9% (massimi annuali non depurati dalla media).

Il massimo valore osservato si riferisce all'evento del novembre del 2010, nel caso dei massimi depurati dalla media, e all'evento del dicembre 2019, nel caso dei massimi non depurati della media. È importante ricordare che gli eventi di sovrizzo meteorologico si sovrappongono al livello medio e alla componente armonica. Infatti, considerando il livello totale, l'evento a cui corrisponde il massimo valore osservato è relativo a quello del novembre 2012 (marea astronomica pari a +14.0 cm e livello medio pari a +9.3 cm), seguito dal recente evento del novembre 2022 (marea astronomica +4.1 cm e livello medio pari a +6.6 cm).

I massimi annuali sono stati oggetto di analisi statistica. La Figura 7.3 mostra i risultati dell'analisi degli eventi estremi depurati dalla media mensile, la Figura 7.4 mostra i risultati dell'analisi degli eventi estremi non depurati dalla media mensile. Si riporta, in particolare, il valore della marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno ottenuto utilizzando i risultati dell'adattamento statistico. Il confronto con la stima campionaria del tempo di ritorno permette di osservare che il test di significatività statistica è superato.



L'analisi è stata ripetuta anche sulla base dei valori estremi estratti con il metodo degli eccessi sopra soglia. La Figura 7.5 mostra i risultati dell'analisi degli eventi depurati dalla media mensile, la Figura 7.6 mostra i risultati dell'analisi degli eventi non depurati dalla media mensile.

A favore di sintesi, la Tabella 7.5 sintetizza i risultati ottenuti.

7.4.3 Analisi dei livelli minimi

La Tabella 7.6 mostra gli eventi estremi estratti con il metodo dei minimi annuali. La Tabella contiene i valori del minimo meteorologico ottenuto dalla serie misurata depurata dalla componente astronomica e dal livello medio mensile (minimi annuali depurati dalla media) e quelli ottenuti dalla serie misurata depurata dalla sola componente astronomica (minimi annuali non depurati dalla media). Per ogni evento è riportata anche la data di accadimento e i valori simultanei della componente armonica, del livello medio mensile e del valore effettivamente misurato. In entrambi i casi, si può osservare che gli eventi estremi depurati dalla media avvengono prevalentemente nei mesi di novembre e dicembre (il 47.8%), nel mese di gennaio (il 30.4%) e nei mesi di febbraio e marzo (il 21.8%). Per gli eventi non depurati dalla media, diminuisce la frequenza degli eventi estremi nei mesi di novembre e dicembre (che scende al 21.7%) e di gennaio (che scende all'8.7%) a favore dei mesi di febbraio e marzo (il 65.6%)..

Il minimo valore della marea meteorologica osservato si riferisce all'evento del gennaio del 2003, nel caso dei minimi depurati dalla media, e all'evento del febbraio 2008, nel caso dei minimi non depurati dalla media. È importante ricordare che gli eventi di minimo meteorologico si sovrappongono al livello medio e alla componente armonica. Infatti, considerando il livello totale, l'evento a cui corrisponde il minimo valore meteorologico è relativo a quello del gennaio 2002 (marea astronomica pari a -11.0 cm e livello medio pari a +18.8 cm).

I massimi annuali sono stati oggetto di analisi statistica. La Figura 7.7 mostra i risultati dell'analisi degli eventi estremi minimi depurati dalla media mensile, la Figura 7.8 mostra i risultati dell'analisi degli eventi estremi minimi non depurati dalla media mensile. Si riporta, in particolare, il valore del minimo della marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno ottenuto utilizzando i risultati dell'adattamento statistico. Il confronto con la stima campionaria del tempo di ritorno permette di osservare che il test di significatività statistica è superato.

L'analisi è stata ripetuta anche sulla base dei valori minimi estremi estratti con il metodo degli eccessi sopra soglia. La Figura 7.9 mostra i risultati dell'analisi degli eventi depurati dalla media mensile, la Figura 7.10 mostra i risultati dell'analisi degli eventi non depurati dalla media mensile.

A favore di sintesi, la Tabella 7.7 sintetizza i risultati ottenuti.



Studio Meteomarino

Massimi annuali (depurati dalla media mensile)

giorno	mese	anno	Residuo (cm)	Armonica (cm)	Medio (cm)	Misurato (cm)
19	11	1999	44.7	5.6	1.7	52.0
27	12	2000	52.0	-10.3	-2.7	39.0
13	11	2001	62.3	3.2	-5.5	60.0
12	4	2002	45.2	-16.0	-17.2	12.0
2	11	2003	43.4	10.8	-0.2	54.0
14	11	2004	50.8	-0.2	7.4	58.0
26	1	2005	51.8	8.6	-16.4	44.0
5	3	2006	34.5	5.2	-7.7	32.0
13	2	2007	50.8	7.3	-14.2	44.0
1	12	2008	48.1	-3.0	2.9	48.0
19	12	2009	54.5	3.9	2.6	61.0
24	11	2010	78.0	-10.8	-4.2	63.0
17	12	2011	40.8	6.1	-0.9	46.0
1	11	2012	60.6	14.0	9.3	84.0
11	11	2013	56.2	-0.4	4.3	60.0
5	1	2014	40.2	-5.1	-6.1	29.0
1	2	2015	57.7	-6.4	-1.3	50.0
6	1	2016	54.2	-5.3	-15.0	34.0
25	11	2017	48.7	-7.3	2.6	44.0
12	11	2019	62.3	3.7	8.0	74.0
6	12	2020	58.0	-5.6	4.6	57.0
3	11	2021	52.4	-17.2	2.8	38.0
22	11	2022	68.3	4.1	6.6	79.0

Massimi annuali (non depurati dalla media)

giorno	mese	anno	Residuo (cm)	Armonica (cm)	Medio (cm)	Misurato (cm)
19	11	1999	46.4	5.6	1.7	52.0
27	12	2000	49.3	-10.3	-2.7	39.0
13	11	2001	56.8	3.2	-5.5	60.0
4	12	2002	44.3	-3.3	7.4	41.0
7	1	2003	46.5	15.5	6.9	62.0
14	11	2004	58.2	-0.2	7.4	58.0
26	1	2005	35.4	8.6	-16.4	44.0
2	11	2006	27.0	6.0	0.1	33.0
13	2	2007	36.7	7.3	-14.2	44.0
1	12	2008	51.0	-3.0	2.9	48.0
19	12	2009	57.1	3.9	2.6	61.0
24	11	2010	73.8	-10.8	-4.2	63.0
7	10	2011	40.9	3.1	0.2	44.0
1	11	2012	70.0	14.0	9.3	84.0
5	4	2013	61.3	-0.3	15.9	61.0
18	11	2014	51.8	8.2	13.6	60.0
1	2	2015	56.4	-6.4	-1.3	50.0
11	11	2016	40.5	-5.5	7.3	35.0
25	11	2017	51.3	-7.3	2.6	44.0
22	12	2019	76.5	-7.5	14.6	69.0
9	12	2020	65.7	-4.7	8.5	61.0
9	12	2021	66.6	6.4	14.8	73.0
22	11	2022	74.9	4.1	6.6	79.0

Tabella 7.4: Eventi estremi di sovrizzo di marea meteorologica estratti con il metodo dei massimi annuali. La tabella a sinistra riporta i risultati ottenuti depurando la serie misurata dalla componente astronomica e dalla media mensile. La tabella a destra riporta i risultati ottenuti depurando la serie misurata dalla sola componente astronomica.

	Metodo dei massimi annuali (funzione di distribuzione GEV)		Metodo dei massimi sopra soglia (funzione di distribuzione: GPD)	
	Depurati dalla media	Non depurati dalla media	Depurati dalla media	Non depurati dalla media
T_r (anni)	Z_w (cm)	Z_w (cm)	Z_w (cm)	Z_w (cm)
2	51.8	54.4	53.8	58.4
5	60.1	65.4	60.6	66.1
10	65.2	70.4	65.5	71.1
25	71.2	74.9	71.5	76.9
50	75.5	77.4	75.7	80.6
100	79.5	79.2	79.8	84.0

Tabella 7.5: Risultati dell'analisi estrema della marea meteorologica.

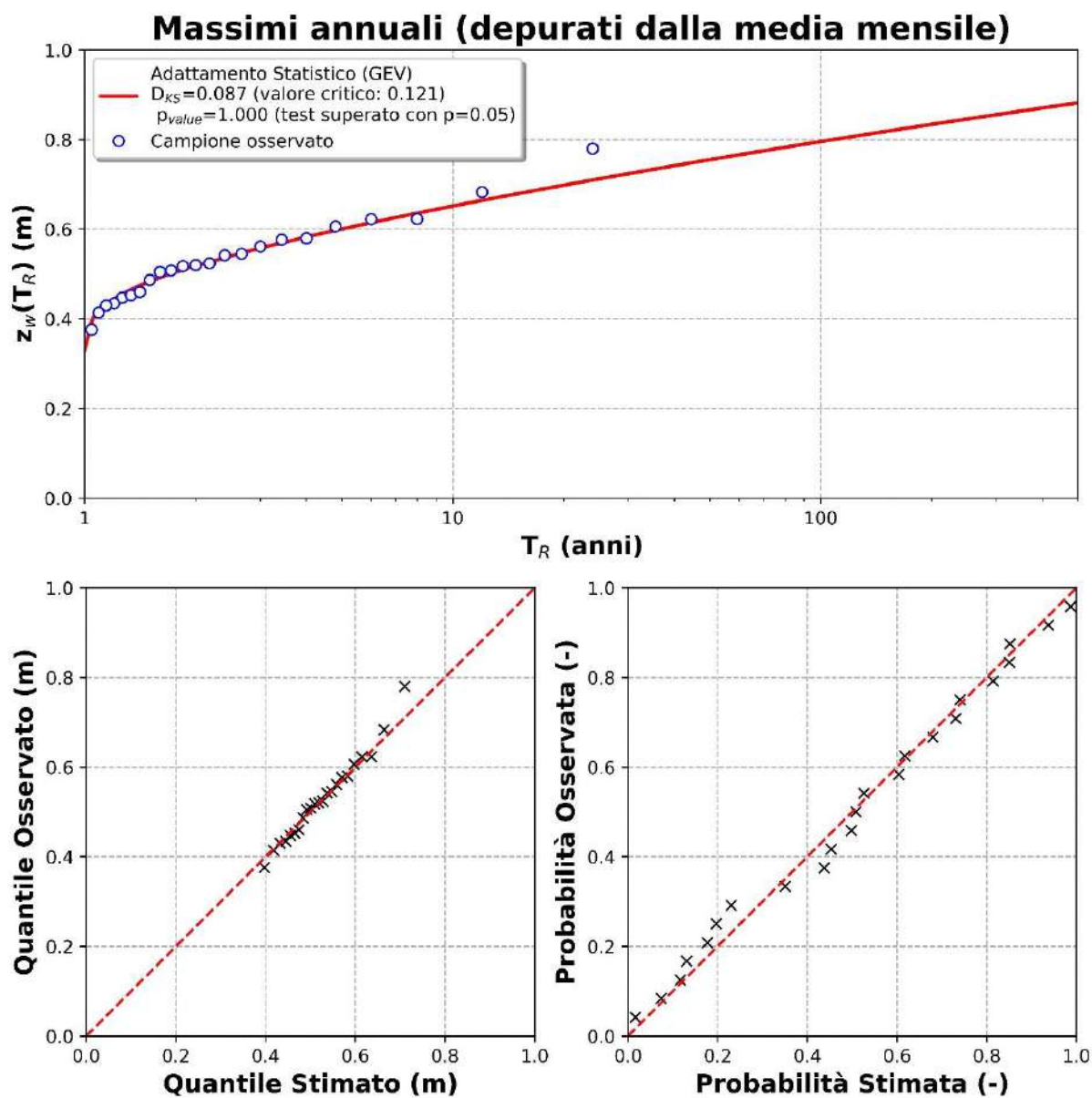


Figura 7.3: Adattamento statistico dei livelli estremi di sovralzo dovuto alla marea meteorologica estratti con il metodo dei massimi annuali dalla serie misurata depurata dalla componente astronomica e dalla media mensile. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di marea meteorologica (z_w) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

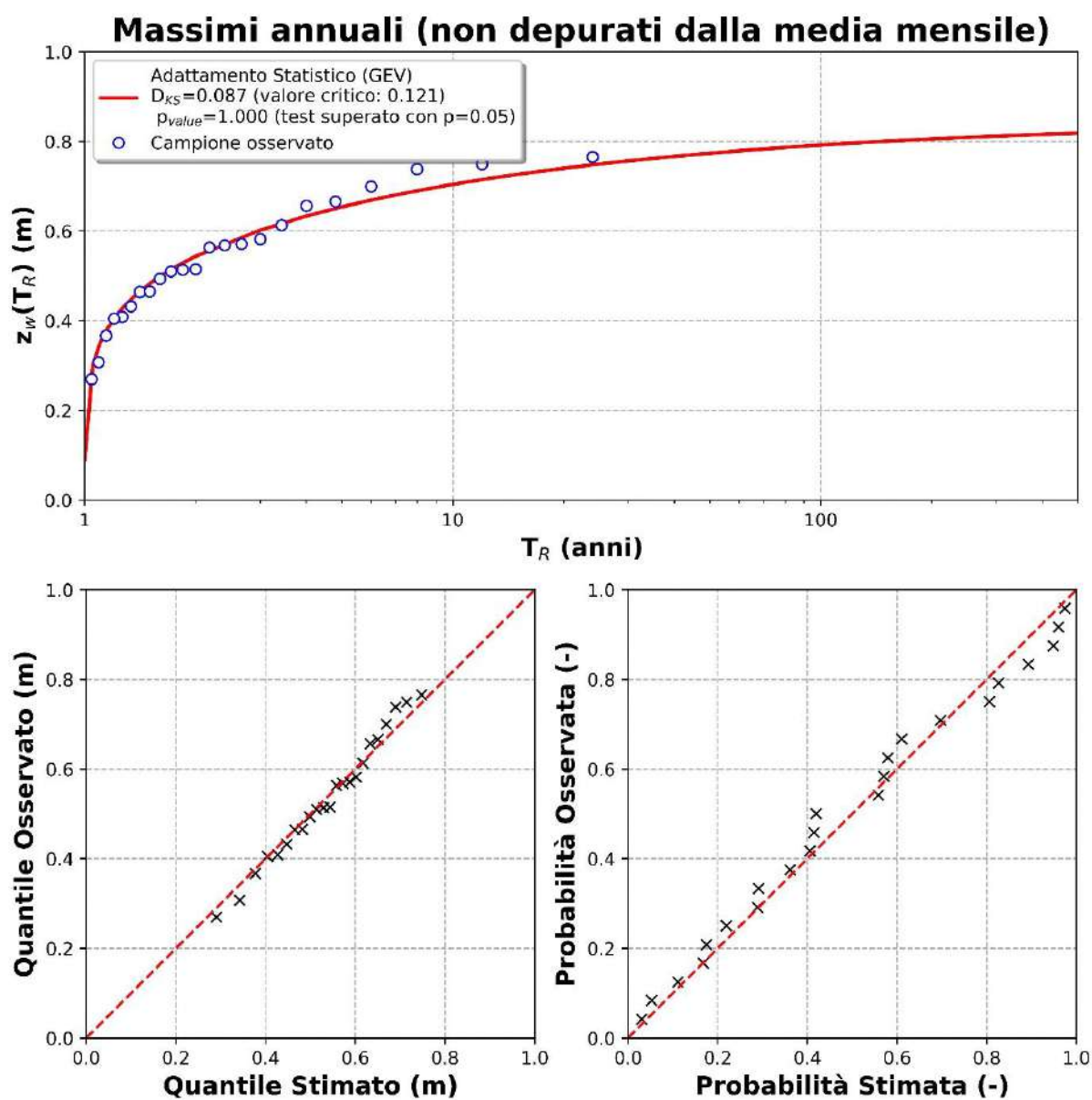


Figura 7.4: Adattamento statistico dei livelli estremi di sovralzo dovuto alla marea meteorologica estratti con il metodo dei massimi annuali dalla serie misurata depurata dalla sola componente astronomica. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di marea meteorologica (z_w) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.



Analisi POT (depurati dalla media mensile)

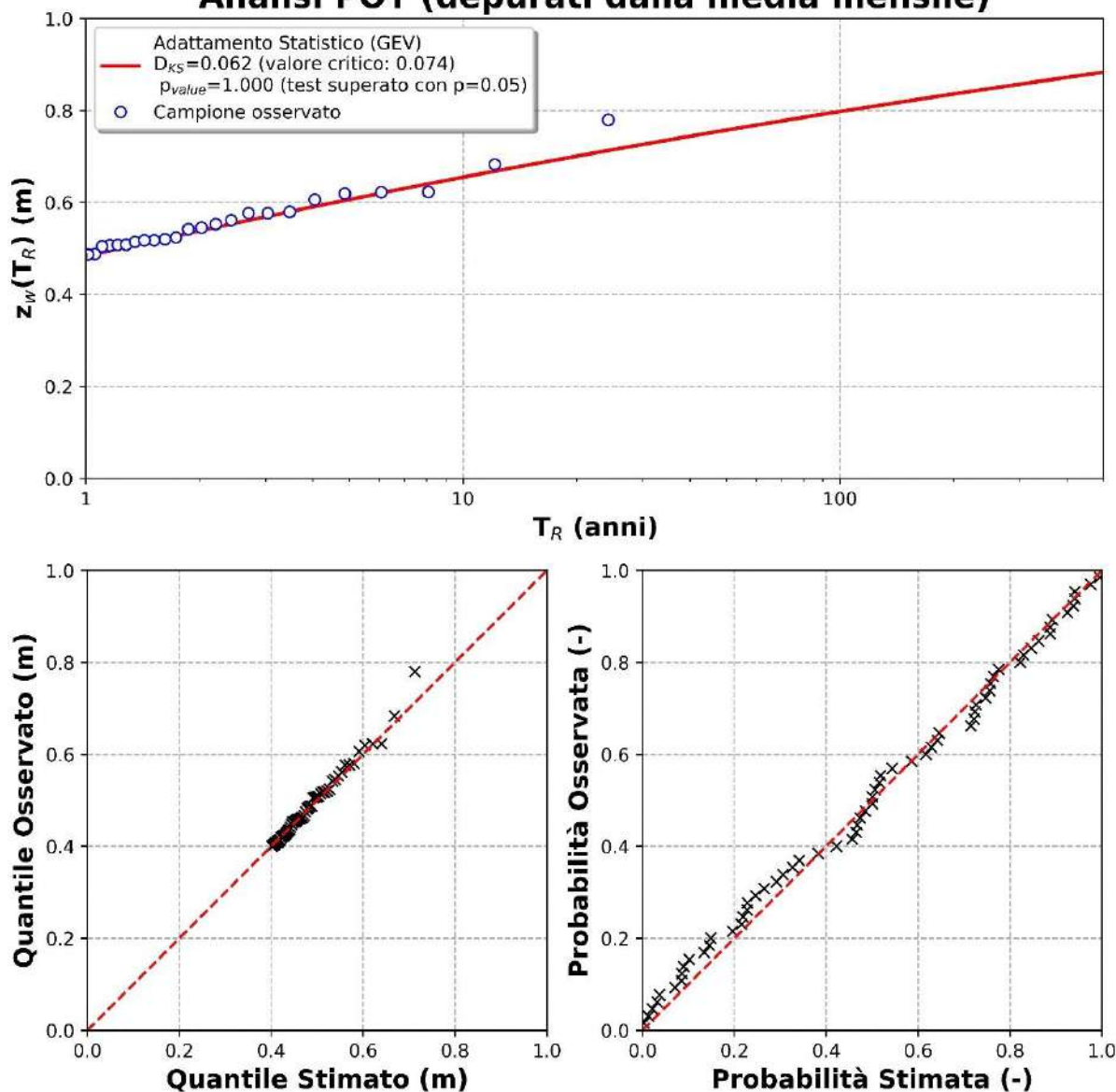


Figura 7.5: Adattamento statistico dei livelli estremi di sovralzo dovuto alla marea meteorologica estratti con il metodo degli eccessi sopra soglia dalla serie misurata depurata dalla componente astronomica e dalla media mensile. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di marea meteorologica (z_w) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

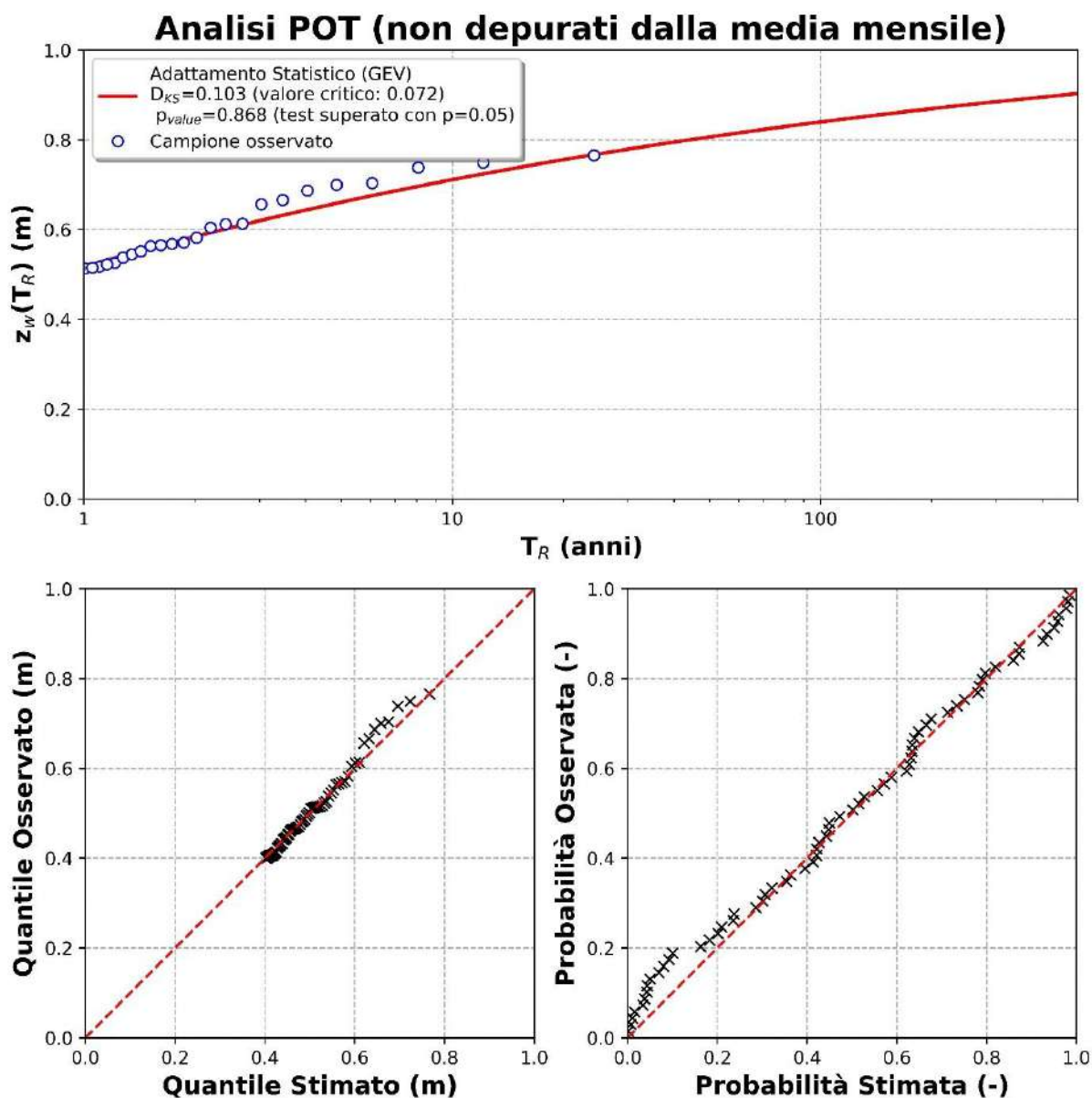


Figura 7.6: Adattamento statistico dei livelli estremi di sovranzo dovuto alla marea meteorologica estratti con il metodo degli eccessi sopra soglia dalla serie misurata depurata dalla sola componente astronomica. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di marea meteorologica (z_w) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.



Studio Meteomarino

Minimi annuali (depurati dalla media mensile)

giorno	mese	anno	Residuo (cm)	Armonica (cm)	Medio (cm)	Misurato (cm)
30	11	1999	-35.4	11.2	-0.8	-25.0
4	1	2000	-26.8	13.2	-4.4	-18.0
23	1	2001	-31.3	4.3	12.0	-15.0
9	1	2002	-28.2	-11.0	-18.8	-58.0
17	1	2003	-39.0	-16.3	7.3	-48.0
25	11	2004	-46.8	2.8	5.0	-39.0
23	12	2005	-43.3	-4.1	0.4	-47.0
11	11	2006	-35.1	-5.5	-3.4	-44.0
29	12	2007	-27.5	-4.6	-14.9	-47.0
24	12	2008	-34.3	-0.3	10.6	-24.0
20	2	2009	-43.9	-3.8	15.6	-32.0
18	3	2010	-40.9	-8.1	12.0	-37.0
16	1	2011	-29.0	15.8	11.2	-2.0
13	11	2012	-32.8	12.2	13.6	-7.0
10	12	2013	-40.1	-10.9	13.0	-38.0
22	12	2014	-28.0	-2	15.0	-15.0
19	2	2015	-46.0	-7.5	11.5	-42.0
26	1	2016	-34.8	4.2	-0.4	-31.0
15	3	2017	-22.9	-2.5	-10.6	-36.0
8	12	2019	-31.6	1.7	21.8	-8.0
1	1	2020	-39.0	-3.9	8.9	-34.0
18	12	2021	-37.6	-6.5	17.2	-27.0
20	3	2022	-31.8	9.8	-15.0	-37.0

Minimi annuali (non depurati dalla media)

giorno	mese	anno	Residuo (cm)	Armonica (cm)	Medio (cm)	Misurato (cm)
30	11	1999	-36.2	11.2	-0.8	-25.0
8	3	2000	-45.8	9.8	-21.6	-36.0
24	11	2001	-34.2	3.2	-3.9	-31.0
9	1	2002	-47.0	-11	-18.8	-58.0
24	3	2003	-43.6	2.6	-25.3	-41.0
12	2	2004	-50.7	-6.3	-13.2	-57.0
10	2	2005	-47.7	-10.3	-13.1	-58.0
30	12	2006	-44.1	1.1	-19.4	-43.0
29	12	2007	-42.4	-4.6	-14.9	-47.0
17	2	2008	-55.2	-12.8	-23.9	-68.0
27	2	2009	-36.4	-11.6	6.3	-48.0
10	4	2010	-34.1	-1.9	-12.3	-36.0
24	3	2011	-29.6	8.6	-5.1	-21.0
27	2	2012	-40.4	-0.6	-13.1	-41.0
7	1	2013	-34.6	-3.4	0.8	-38.0
24	3	2014	-28.0	4	-5.3	-24.0
20	2	2015	-35.5	5.5	10.5	-30.0
29	12	2016	-39.1	3.1	-12.8	-36.0
15	3	2017	-33.5	-2.5	-10.6	-36.0
29	3	2019	-39.2	8.2	-13.0	-31.0
24	2	2020	-41.3	4.3	-10.4	-37.0
29	3	2021	-39.9	6.9	-18.8	-33.0
22	3	2022	-47.9	4.9	-17.9	-43.0

Tabella 7.6: Eventi estremi di minimo della marea meteorologica estratti con il metodo dei massimi annuali. La tabella a sinistra riporta i risultati ottenuti depurando la serie misurata dalla componente astronomica e dalla media mensile. La tabella a destra riporta i risultati ottenuti depurando la serie misurata dalla sola componente astronomica.

	Metodo dei minimi annuali (funzione di distribuzione GEV)		Metodo dei minimi sopra soglia (funzione di distribuzione: GPD)	
	Depurati dalla media	Non depurati dalla media	Depurati dalla media	Non depurati dalla media
T_r (anni)	Z_w (cm)	Z_w (cm)	Z_w (cm)	Z_w (cm)
2	-35.5	-40.4	-36.3	-42.3
5	-40.7	-46.1	-40.2	-46.2
10	-43.3	-49.2	-42.9	-48.8
25	-45.7	-52.4	-46.1	-51.9
50	-47.2	-54.4	-48.3	-54.0
100	-48.3	-56.1	-50.4	-55.9

Tabella 7.7: Risultati dell'analisi estrema della marea meteorologica.

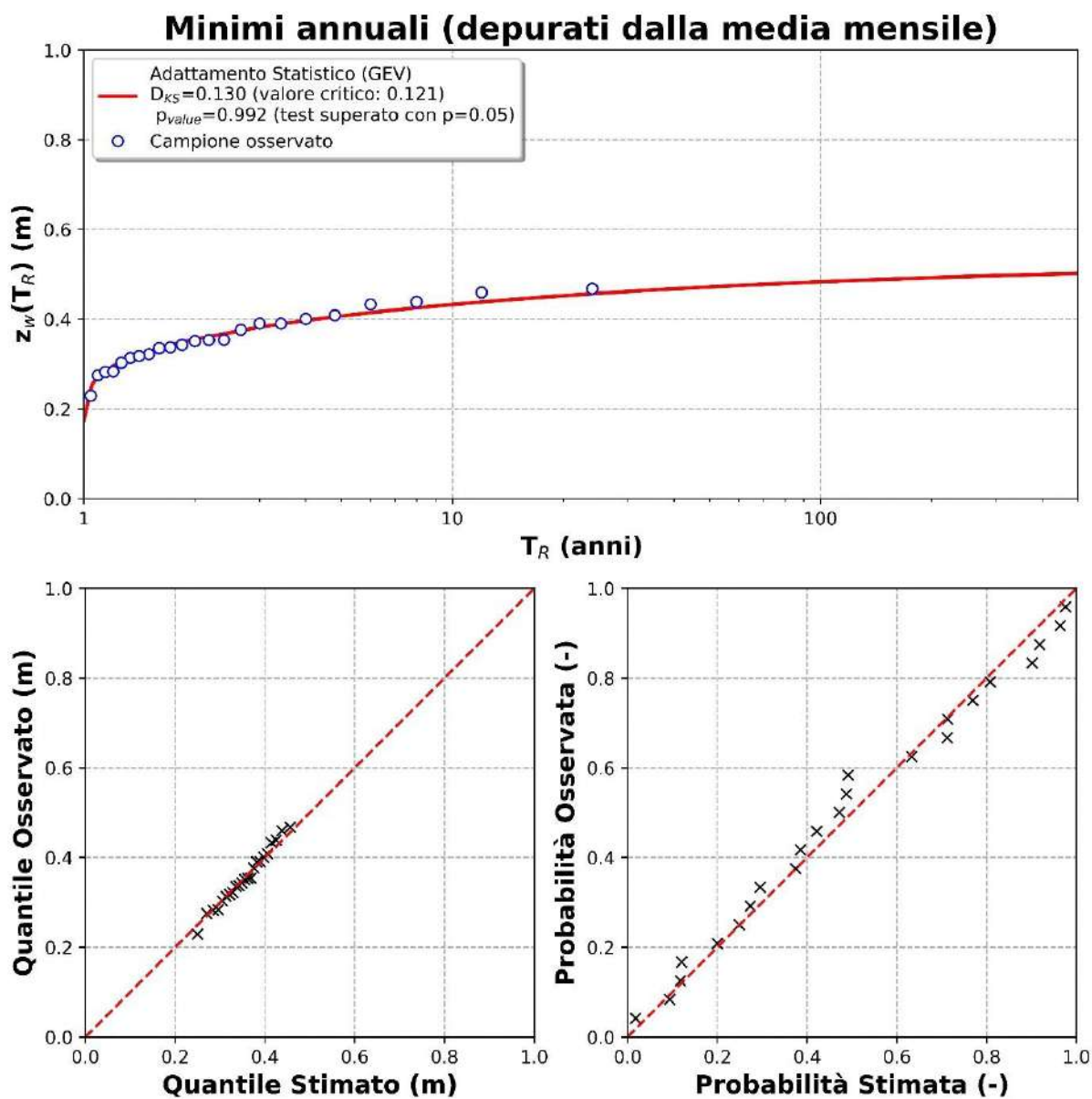


Figura 7.7: Adattamento statistico dei livelli estremi di minimo della marea meteorologica estratti con il metodo dei massimi annuali dalla serie misurata depurata dalla componente astronomica e dalla media mensile. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di marea meteorologica (z_w) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

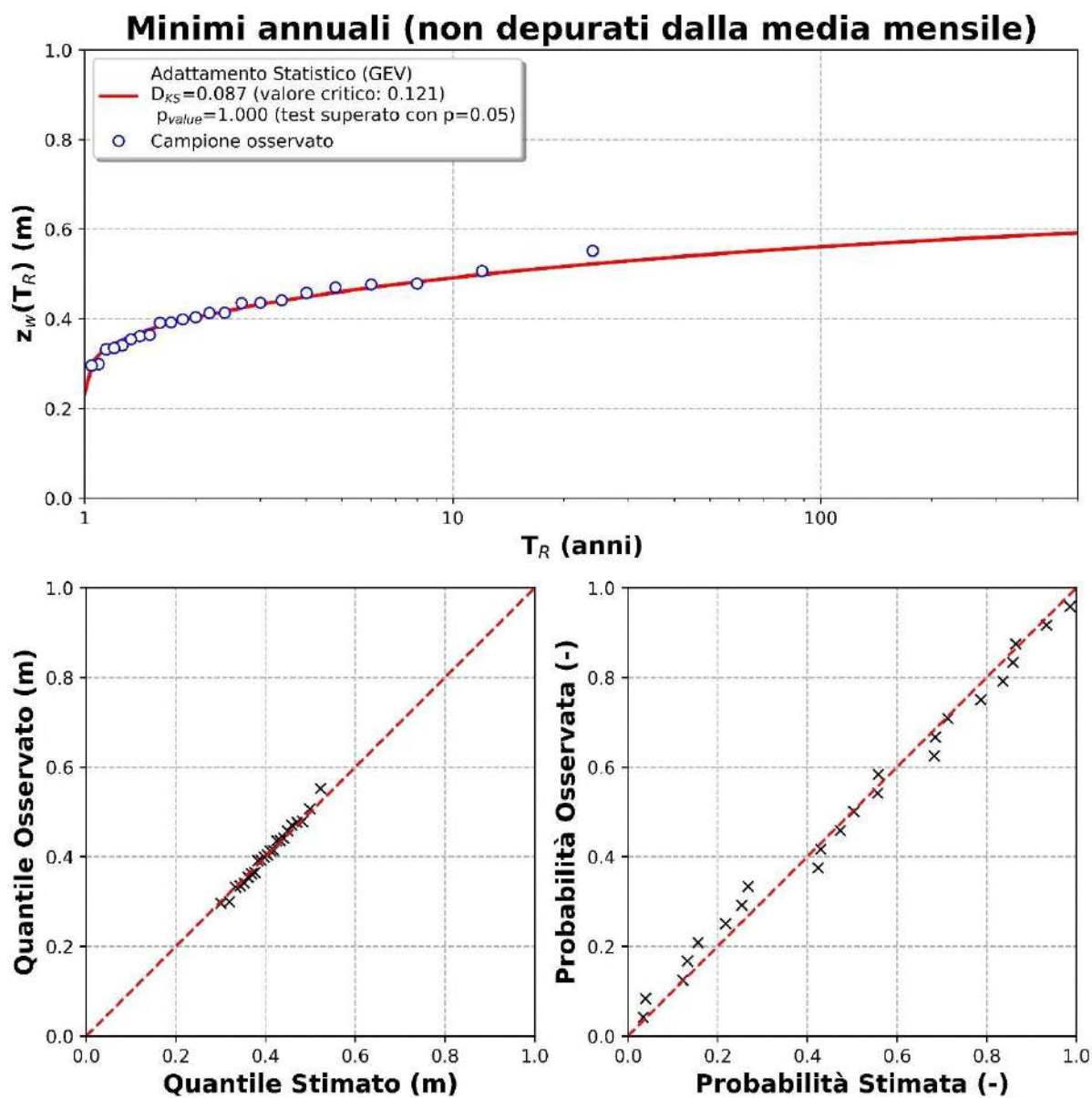


Figura 7.8: Adattamento statistico dei livelli estremi di minimo della marea meteorologica estratti con il metodo dei massimi annuali dalla serie misurata depurata dalla sola componente astronomica. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tonde) e le stime in termini di marea meteorologica (z_w) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.



Analisi POT (depurati dalla media mensile)

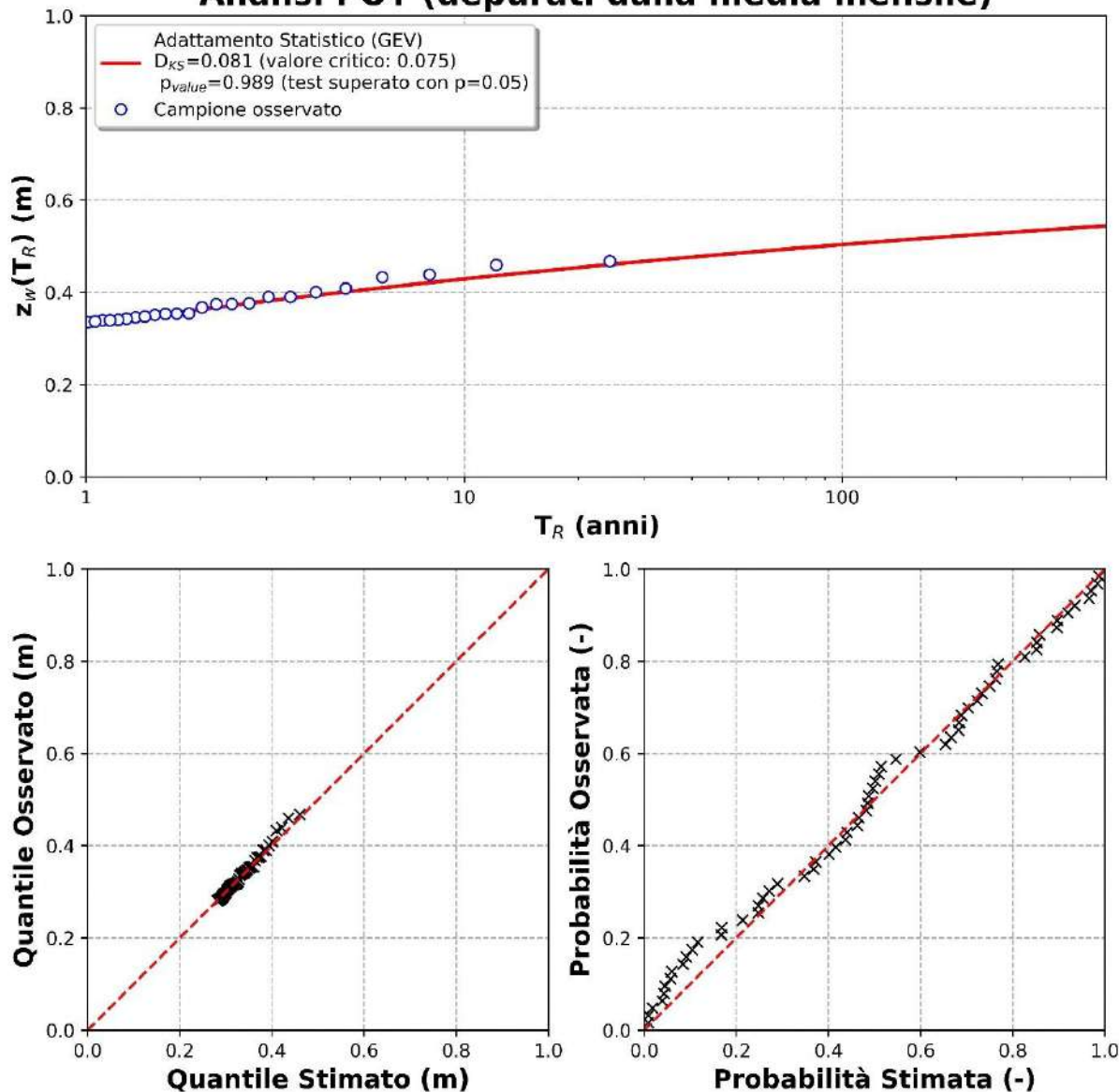


Figura 7.9: Adattamento statistico dei livelli estremi di minimo della marea meteorologica estratti con il metodo degli eccessi sopra soglia dalla serie misurata depurata dalla componente astronomica e dalla media mensile. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di marea meteorologica (z_w) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.

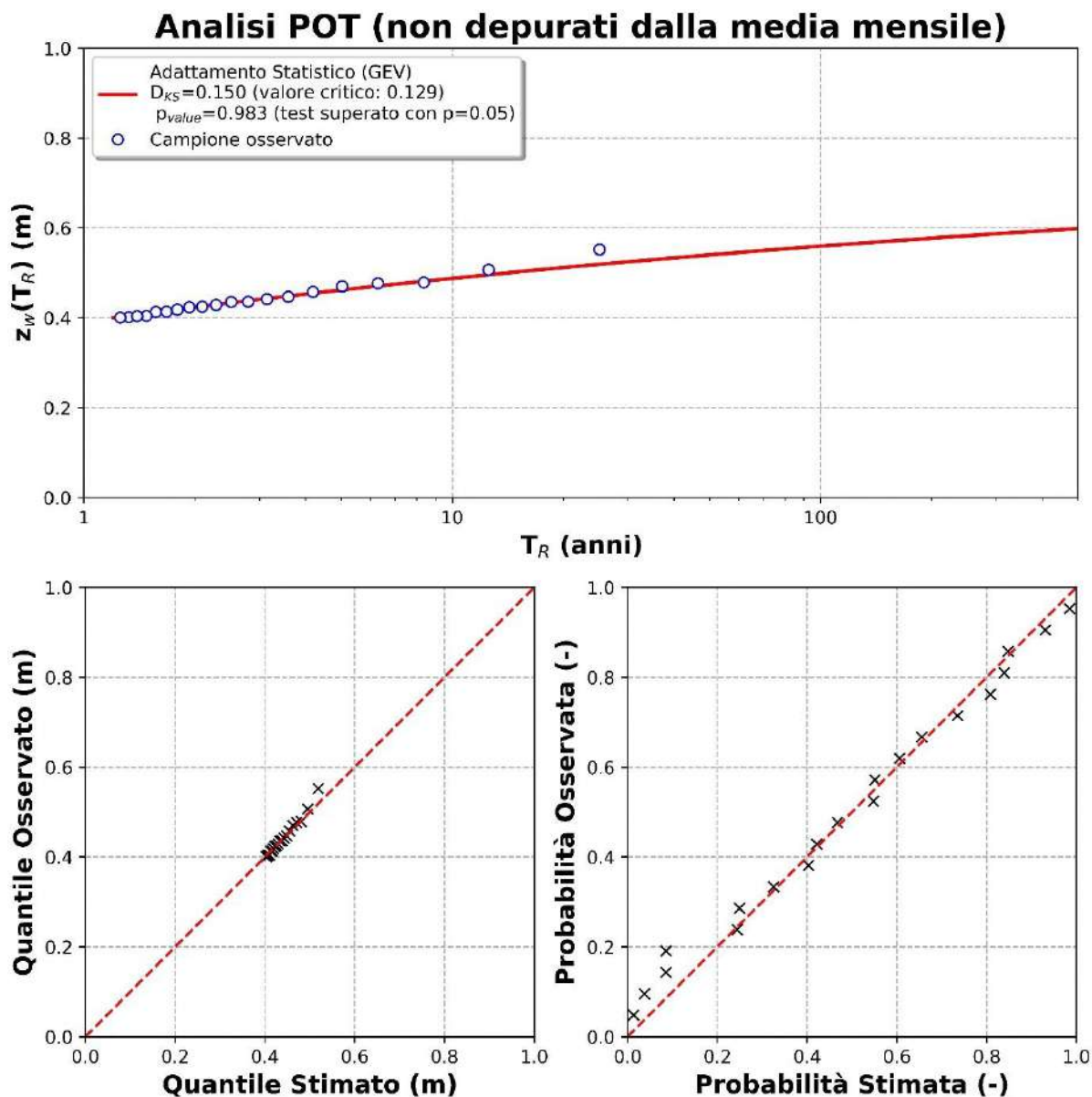


Figura 7.10: Adattamento statistico dei livelli estremi di minimo della marea meteorologica estratti con il metodo degli eccessi sopra soglia dalla serie misurata depurata dalla sola componente astronomica. In alto: confronto tra le osservazioni (simboli tondi) e le stime in termini di marea meteorologica (z_w) con assegnato tempo di ritorno (T_R). In legenda, D_{KS} è la statistica del test di Kolmogorov-Smirnov (valore critico tra parentesi), p_{value} è il valore p (livello di significatività osservato) del test. In basso a sinistra: diagramma a dispersione dei quantili (marea meteorologica con assegnato tempo di ritorno) osservati e stimati. In basso a destra: diagramma a dispersione della probabilità osservata e stimata.



8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Brown, E.W. (1908). Theory of the motion of the moon, Memories of the Royal Astronomical Society, London.
- Cartwright, D.E., Tayler, R.J. (1971): "New computations of the tide-generating potential" Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, London.
- Codiga, D.L. (2011). Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions. Technical Report 2011-01. Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI. 59pp.
- Coles, S. (2001): "An introduction to statistical modelling of extreme values", Springer.
- Darwin, G. H. (1883). Report for the Harmonic Analysis of Tidal Observations. British association for the advancement of science.
- Defant, A., 1961. Physical Oceanography. Pergamon Press, New York, London, Paris, Vol.II, 1960, Vol.I.
- Doodson, A.T. (1921): "The harmonic development of the tide generating potential" Proceeding of the Royal Society, London.
- Goda, Y. (2010). Random seas and design of maritime structures. World scientific.
- Mathiesen, M., Goda, Y., Hawkes, P. J., Mansard, E., Martín, M. J., Peltier, E., Thompson, E.F., Van Vledder, G. (1994). Recommended practice for extreme wave analysis. Journal of hydraulic Research, 32(6), 803-814.
- Pasquali, D., Di Risio, M., De Girolamo, P. (2015). A simplified real time method to forecast semi-enclosed basins storm surge. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 165, 61-69.
- Pasquali, D., Bruno, M. F., Celli, D., Damiani, L., Di Risio, M. (2019). A simplified hindcast method for the estimation of extreme storm surge events in semi-enclosed basins. Applied Ocean Research, 85, 45-5.
- Roos, P.C., Schuttelaars, H.M. (2011). Influence of topography on tide propagation and amplification in semi-enclosed basins, Ocean Dyn. 61:21-38.
- Saville, T., Jr. (1954): "The effect of fetch width on wave generation". Technical Memorandum No. 70, US Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, pp. 9.
- Seymour, RJ (1977): "Estimating Wave Generation in Restricted fetches", J. ASME WW2, pp251-263.
- Smirnov, N. (1948). Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. The annals of mathematical statistics, 19(2), 279-281.



Smith, J. M. (1991). Wind-wave generation on restricted fetches. Coastal Engineering Research Center Vicksburg MS.

Coastal Engineering Research Center (1984). Shore protection manual. Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, 1984.

Sverdrup, H.U. e Munk, W.H. (1947): "Wind, sea and swell. Theory of relations for forecasting". U.S. Navy Hydrographic Office, Pub. 601, pp. 44.