

REGIONE ABRUZZO

PROVINCIA DI TERAMO



COMUNE DI ALBA ADRIATICA

*DGRn. 88/2020 - D.M. 15.07.2016, n. 173 - D.lgs. 03/04/2006, n. 152 e s.m.i. - Programmazione opere di difesa costiera 2020/2021 da realizzare a seguito degli eventi meteomarinari del novembre 2019. 1^ Fase Urgente. Comune di Alba Adriatica (TE) - Realizzazione intervento di ingegneria marittima per la realizzazione di una spiaggia di alimentazione per ripascimento a rilascio controllato.*

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ED ECONOMICA

Titolo elaborato :

### STUDIO METEOMARINO

**Committente:**

DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE, TRASPORTI, MOBILITA', RETI E LOGISTICA - SERVIZIO OPERE MARITTIME E ACQUE MARINE  
*Ufficio Attività per Coste e Porti*  
Via Catullo n°2 - 65127 PESCARA - ☎ 085.9181108  
PEC: dpe012@pec.regione.abruzzo.it

**Relazione R 2**

Dimensioni foglio: A4

Data: dicembre 2020

**Il Progettista**

Ing. Andrea SANZONE

Consulente tecnico aspetti di idraulica marittima

Ing. Daniela SAN LORENZO

Consulente tecnico aspetti ambientali

Dott. ssa Sara SCRIMIERI

INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSE .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>FONTE DEI DATI .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ESPOSIZIONE GEOGRAFICA DEL PARAGGIO .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI ONDAMETRICA A LARGO .....</b>	<b>7</b>
4.1	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI A LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA E ALLA DIREZIONE DI PROVENIENZA .....	7
4.2	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI A LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA E AL PERIODO D'ONDA 15 .....	
4.3	ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSI A LARGO .....	16
<b>5</b>	<b>ANALISI ONDAMETRICA SOTTOCOSTA .....</b>	<b>20</b>
5.1	PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI .....	20
5.2	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI SOTTOCOSTA IN BASE ALL'ALTEZZA D'ONDA E ALLA DIREZIONE DI PROVENIENZA .....	20
<b>6</b>	<b>ANALISI ANEMOMETRICA .....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI LIVELLI .....</b>	<b>26</b>
7.1	COMPONENTE ASTRONOMICA .....	26
7.2	COMPONENTE METEOROLOGICA .....	27
<b>8</b>	<b>STIMA DELLA PROFONDITÀ DI CHIUSURA .....</b>	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>ONDE MORFOLOGICAMENTE EQUIVALENTI .....</b>	<b>31</b>

## **1 Premesse**

La presente relazione illustra lo Studio Meteomarino del progetto in epigrafe finalizzato alla definizione dei parametri necessari (onde, livelli e vento) per le analisi specialistiche delle aree oggetto di intervento.

La relazione è organizzata come segue. Nel successivo Capitolo 2 si riporta la fonte dei dati utilizzati nello studio. Nel Capitolo 3 viene identificata l'esposizione geografica del paraggio. Nel Capitolo 4 si descrive l'analisi delle caratteristiche climatiche a largo del paraggio con la relativa analisi degli eventi estremi di moto ondoso. Il Capitolo 5 illustra le caratteristiche del moto ondoso sottocosta. Segue l'analisi del regime dei venti (Capitolo 6) e dei livelli (Capitolo 7) con le relative analisi estremali e la stima della profondità di chiusura su base idrodinamica (Capitolo 8). Il Capitolo 9, infine, riporta le caratteristiche delle onde morfologicamente equivalenti.

## 2 Fonte dei dati

I dati ondametrici, necessari per l'analisi del clima nel paraggio dell'area di intervento, sono stati desunti dal database ERA5, reso disponibile 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 dal 01/01/1979 e hanno una risoluzione temporale pari a 1 ora. In questo studio le serie analizzate si estendono sino al 31/12/2019.

I parametri desumibili dal database ERA5 sono molteplici. In questo caso, in relazione alla risoluzione spaziale della griglia di ERA5 (pari a circa 30x30 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 42.75°N, 14.25°E (punto di Figura 3.1).

Nel medesimo punto di estrazione dei dati ERA5, sono stati desunti, inoltre, i dati anemometri. Quest'ultimi sono forniti con cadenza oraria in termini di componenti zonale (lungo il parallelo, cioè O-E) e meridionale (lungo il meridiano, cioè S-N) della velocità del vento  $u$  e  $v$  rispettivamente, calcolate alla quota +10 m Imm. Dalle suddette componenti, è stata determinata la risultante della velocità del vento ( $w$ ) e la relativa direzione di provenienza. È da sottolineare che sono disponibili anche i dati costituiti dalle osservazioni acquisite dalla stazione anemometrica di San Benedetto, stazione più prossima all'area di interesse. Tuttavia, poiché i dati di vento relativi alle stazioni mareografiche soffrono degli effetti termici tipici delle zone costiere, si è ritenuto opportuno utilizzare i dati di ERA5.

I dati mareografici, infine, necessari per l'analisi dei livelli, sono costituiti dalle osservazioni acquisite dalla stazione mareografica di San Benedetto del Tronto, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale gestita dall'ISPRA. La stazione è situata all'interno del porto di San Benedetto del Tronto alle coordinate 42°57'18,44"N, 13°53'23,13"E. Il punto di misura è molto vicina all'area di interesse, pertanto i livelli misurati possono essere considerati sostanzialmente coincidenti. La serie mareografica analizzata si estende dal 18/06/2010 al 31/12/2018 con un tempo di campionamento pari a 10 minuti.

### 3 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 opera 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 spira 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 distribuzione direzionale 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 rappresentano i seguenti parametri:

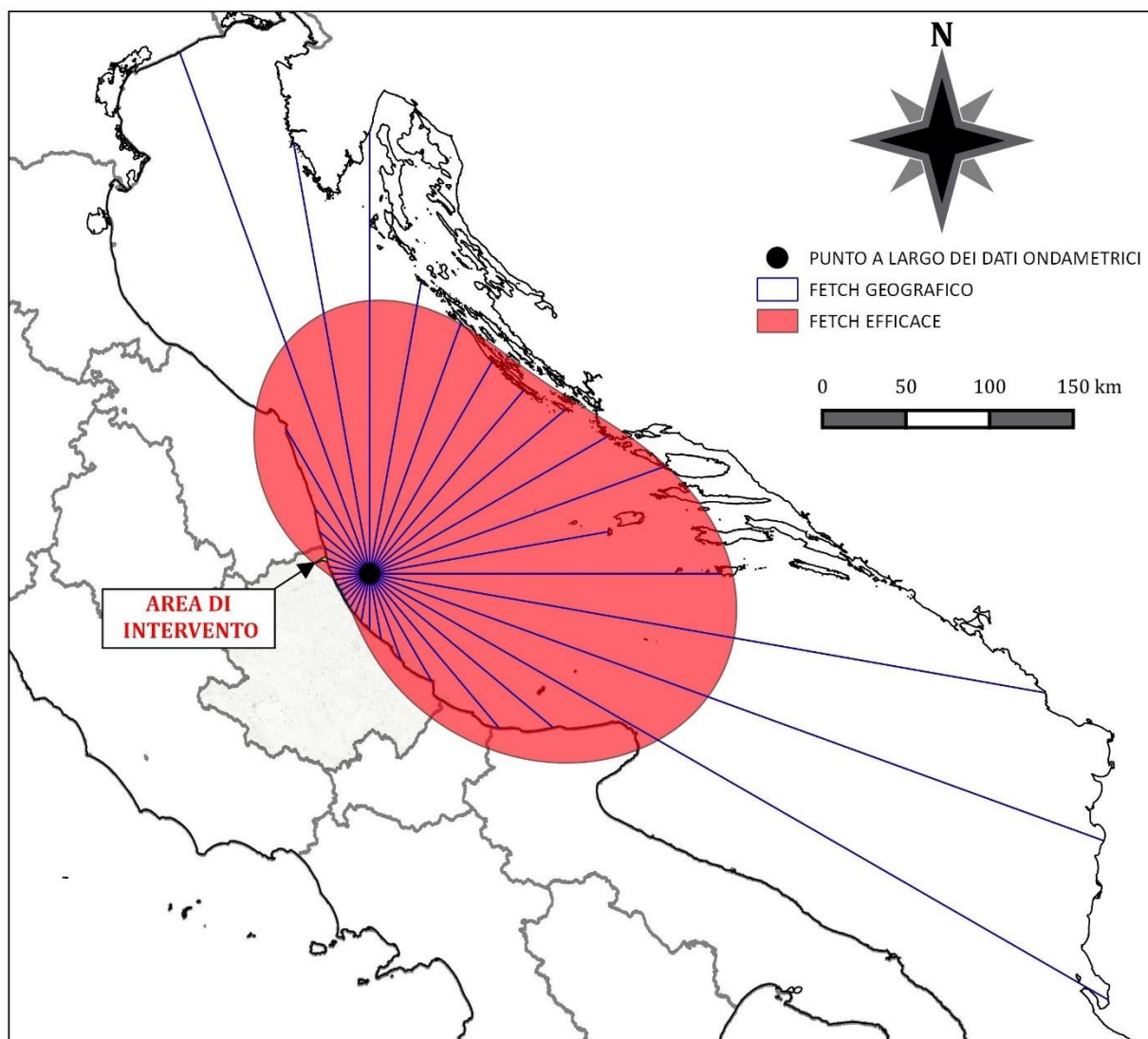
- $F_{e,w}$  lunghezza del *fetch* efficace relativa alla direzione  $\phi_w$ ;
- $F_i$  lunghezza del *fetch* geografico relativa alla direzione i-esima  $\phi_i$ ;
- $\phi_w$  direzione media (riferita al Nord geografico) di provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso;
- $\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$  direzione i-esima (riferita al Nord geografico) compresa in un settore di ampiezza pari a  $2\theta$  considerato nell'intorno della direzione  $\phi_w$  (il metodo di Saville prevede un valore di  $\theta=45^\circ$ , mentre quello di Seymour fa riferimento a un valore di  $\theta=90^\circ$ );
- $\theta$  ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso;
- $n$  termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume  $n=2$ ).

Il litorale di Alba Adriatica si localizza 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 (si veda la "Relazione Morfologica"). Ponendosi nel punto di estrazione dei dati ondametrici più prossimo all'area di interesse di coordinate pari a 42.75°N, 14.25 °E, su fondali di circa -80 m s.l.m, la traversia di provenienza delle onde

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 3.1. 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 Maestrale e Tramontana provenienti dall'alto Adriatico e dagli eventi da Levante 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).

**Tabella 3.1:** Valori dei Fetch Geografici ed Efficaci lungo di Alba Adriatica.

<b>DIREZIONE (°N)</b>	<b>FETCH GEOGRAFICI (Km)</b>	<b>FETCH EFFICACI (Km)</b>	<b>DIREZIONE (°N)</b>	<b>FETCH GEOGRAFICI (Km)</b>	<b>FETCH EFFICACI (Km)</b>
<b>0</b>	264.99	163.55	<b>180</b>	33.86	45.08
<b>10</b>	177.91	163.14	<b>190</b>	29.27	34.18
<b>20</b>	160.17	159.21	<b>200</b>	25.8	27.61
<b>30</b>	146.64	155.1	<b>210</b>	23.68	23.67
<b>40</b>	143.21	154.56	<b>220</b>	22.05	21.3
<b>50</b>	152.26	160.28	<b>230</b>	20.99	20.01
<b>60</b>	164.13	172.49	<b>240</b>	20.31	19.53
<b>70</b>	186.89	188.8	<b>250</b>	20.7	19.78
<b>80</b>	145.07	205.14	<b>260</b>	21.48	21.26
<b>90</b>	210.36	217.18	<b>270</b>	22.47	25.22
<b>100</b>	410.44	221.32	<b>280</b>	24.67	33.11
<b>110</b>	467.51	215.41	<b>290</b>	27.37	45.9
<b>120</b>	510.27	199.28	<b>300</b>	30.94	63.56
<b>130</b>	143.41	174.67	<b>310</b>	39.41	84.88
<b>140</b>	120.68	144.84	<b>320</b>	50.82	107.64
<b>150</b>	74.12	113.75	<b>330</b>	99.67	129.08
<b>160</b>	55.07	85.18	<b>340</b>	332.23	146.57
<b>170</b>	39.96	61.91	<b>350</b>	261.7	158.2

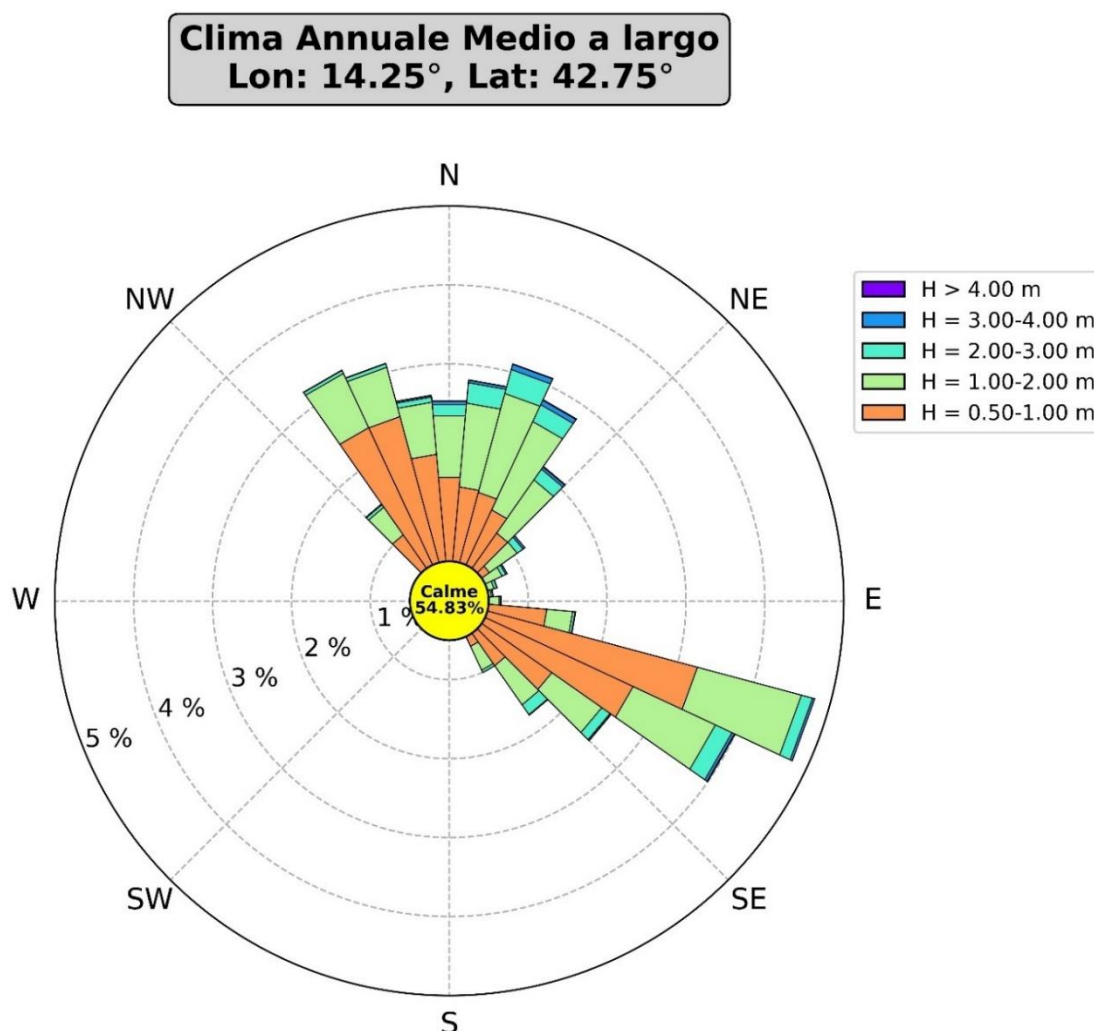


**Figura 3.1:** Esposizione geografica del paraggio: fetch geografico e fetch efficace.

## 4 Analisi ondometrica a largo

### 4.1 Classificazione degli eventi di moto ondoso a largo in base all'altezza d'onda significativa e alla direzione di provenienza

I dati ondometrici estratti al largo, possono essere classificati in base al valore dell'altezza d'onda significativa e alla direzione di provenienza. In questo modo è possibile definire una serie di classi e la relativa frequenza di occorrenza sia assoluta che relativa. La rappresentazione polare delle frequenze relative (rosa climatica), calcolata su base annuale e stagionale permette di fornire indicazioni sulle caratteristiche climatiche del paraggio e le relative rappresentazioni tabellari permettono la definizione quantitativa del clima.



**Figura 4.1:** Rappresentazione polare della distribuzione direzionale annuale degli eventi di moto ondoso a largo. La percentuale che indica le calme si riferisce ad altezze d'onda inferiori a 0.5 m

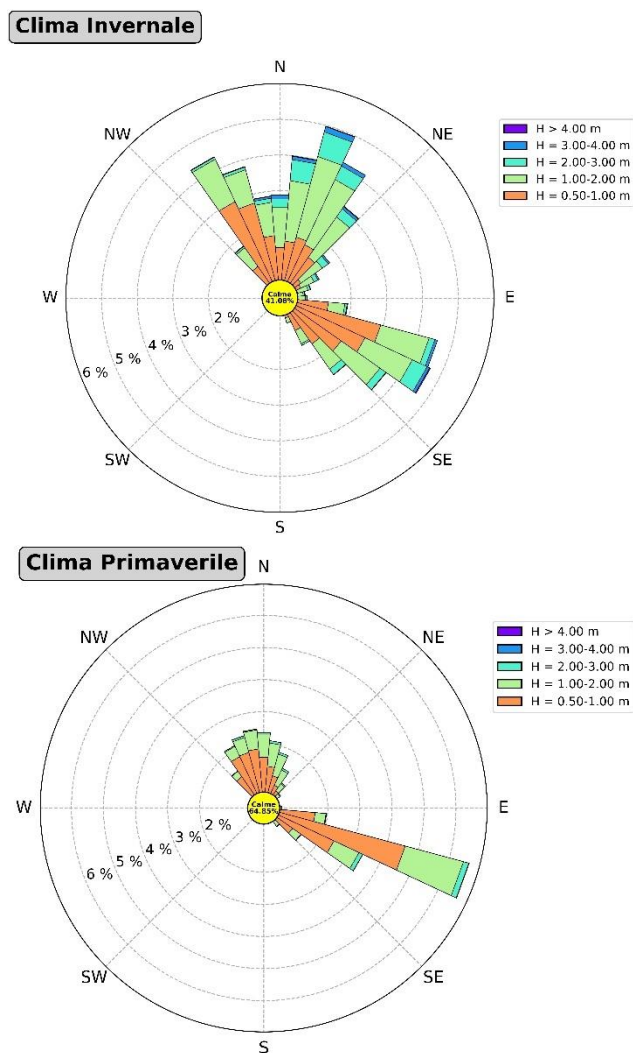


**Tabella climatica annuale media**

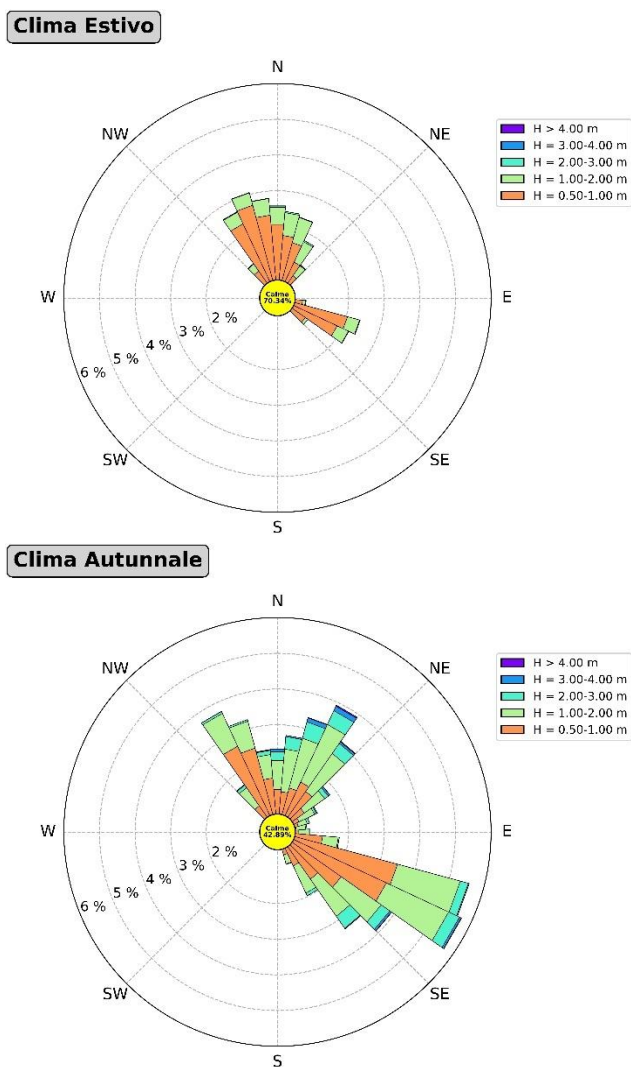
Classi direzione di provenienza (°N)		Classi Altezza d'onda significativa (m)														Totali
		0.00 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
<b>S</b>	175 - 185	0.173	0.036	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.21
	185 - 195	0.244	0.045	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.30
	195 - 205	0.175	0.035	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22
	205 - 215	0.134	0.022	0.009	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.17
	215 - 225	0.129	0.021	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
	225 - 235	0.131	0.020	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.16
<b>W</b>	235 - 245	0.124	0.018	0.005	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15
	245 - 255	0.128	0.016	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.15
	255 - 265	0.146	0.021	0.009	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.18
	265 - 275	0.160	0.030	0.010	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.21
	275 - 285	0.217	0.038	0.013	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.27
	285 - 295	0.293	0.050	0.017	0.009	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.37
<b>N</b>	295 - 305	0.397	0.098	0.047	0.022	0.007	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.57
	305 - 315	0.688	0.228	0.115	0.065	0.017	0.008	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.13
	315 - 325	1.727	1.021	0.326	0.103	0.030	0.011	0.006	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.23
	325 - 335	4.294	2.425	0.631	0.128	0.030	0.012	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.53
	335 - 345	5.466	2.421	0.537	0.111	0.035	0.013	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.59
	345 - 355	3.780	1.866	0.533	0.130	0.049	0.017	0.013	0.006	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	6.40
<b>E</b>	355 - 005	2.539	1.571	0.586	0.199	0.091	0.052	0.030	0.014	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	5.08
	005 - 015	1.884	1.451	0.735	0.332	0.179	0.082	0.025	0.008	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	4.70
	015 - 025	1.657	1.424	0.878	0.422	0.213	0.102	0.050	0.018	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	4.77
	025 - 035	1.460	1.273	0.822	0.416	0.167	0.070	0.036	0.026	0.007	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	4.28
	035 - 045	1.361	1.049	0.510	0.315	0.121	0.047	0.025	0.009	0.004	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	3.44
	045 - 055	1.180	0.623	0.280	0.150	0.056	0.034	0.018	0.010	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.35
<b>Tot</b>	055 - 065	1.121	0.482	0.186	0.073	0.040	0.011	0.017	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.93
	065 - 075	1.099	0.422	0.122	0.044	0.027	0.011	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.73
	075 - 085	1.137	0.386	0.105	0.047	0.015	0.004	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.70
	085 - 095	1.503	0.469	0.129	0.038	0.015	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.16
	095 - 105	2.613	1.244	0.264	0.068	0.020	0.011	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.23
	105 - 115	5.125	3.265	1.036	0.332	0.114	0.033	0.025	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.93
<b>Tot</b>	115 - 125	4.823	2.578	0.813	0.341	0.166	0.066	0.027	0.008	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	8.83
	125 - 135	3.398	1.592	0.535	0.239	0.091	0.037	0.012	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.91
	135 - 145	2.416	1.007	0.406	0.200	0.113	0.040	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.19
	145 - 155	1.552	0.639	0.228	0.105	0.025	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.56
	155 - 165	0.900	0.368	0.092	0.018	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.38
	165 - 175	0.579	0.216	0.029	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.83
<b>Totale</b>		<b>54.75</b>	<b>28.47</b>	<b>10.04</b>	<b>3.93</b>	<b>1.63</b>	<b>0.68</b>	<b>0.31</b>	<b>0.13</b>	<b>0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>

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

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 a scala stagionale, a largo del paraggio in esame. 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 a largo del sito di interesse gli stati di mare più frequenti 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-150°N (Levante-Scirocco).



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



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

**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	0.39	0.11	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53
	185 - 195	0.27	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
	195 - 205	0.18	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
	205 - 215	0.11	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
	215 - 225	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
	225 - 235	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
	235 - 245	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
	245 - 255	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
	255 - 265	0.13	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
W	265 - 275	0.13	0.05	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
	275 - 285	0.19	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
	285 - 295	0.26	0.06	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
	295 - 305	0.33	0.08	0.05	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
	305 - 315	0.42	0.24	0.14	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94
	315 - 325	1.18	1.08	0.48	0.16	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.96
	325 - 335	3.29	2.98	1.09	0.22	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.66
	335 - 345	3.59	2.75	0.78	0.19	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.40
	345 - 355	2.28	1.75	0.75	0.18	0.08	0.04	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.15
N	355 - 005	1.61	1.42	0.82	0.30	0.15	0.09	0.06	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.51
	005 - 015	1.18	1.60	1.13	0.57	0.40	0.19	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.18
	015 - 025	1.10	1.76	1.52	0.81	0.47	0.24	0.12	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	6.09
	025 - 035	1.17	1.65	1.29	0.72	0.29	0.13	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.36
	035 - 045	1.04	1.39	0.78	0.60	0.19	0.09	0.07	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.17
	045 - 055	0.85	0.72	0.45	0.28	0.12	0.08	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.56
	055 - 065	0.91	0.65	0.27	0.14	0.09	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13
	065 - 075	0.83	0.52	0.21	0.09	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.73
	075 - 085	0.85	0.43	0.15	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57
E	085 - 095	1.21	0.48	0.18	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.98
	095 - 105	2.01	1.37	0.35	0.11	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.93
	105 - 115	3.59	2.93	1.05	0.35	0.10	0.07	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.17
	115 - 125	3.48	2.64	1.01	0.46	0.31	0.15	0.06	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	8.14
	125 - 135	2.55	2.10	0.86	0.46	0.16	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20
	135 - 145	2.18	1.58	0.55	0.31	0.12	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81
	145 - 155	1.54	1.01	0.27	0.14	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.01
	155 - 165	1.05	0.58	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78
	165 - 175	0.63	0.37	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06
Totali		41.08	32.65	14.53	6.44	2.88	1.34	0.70	0.27	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	100.00

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



### 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	0.41	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47
	185 - 195	0.26	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
	195 - 205	0.23	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
	205 - 215	0.21	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
	215 - 225	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
	225 - 235	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
	235 - 245	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
	245 - 255	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
	255 - 265	0.20	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
W	265 - 275	0.21	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
	275 - 285	0.29	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
	285 - 295	0.37	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45
	295 - 305	0.57	0.12	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73
	305 - 315	1.07	0.32	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
	315 - 325	2.36	1.19	0.17	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.78
	325 - 335	4.64	1.77	0.29	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.79
	335 - 345	5.52	1.79	0.41	0.08	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.86
	345 - 355	4.04	1.85	0.49	0.10	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.51
N	355 - 005	2.57	1.58	0.56	0.16	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.93
	005 - 015	1.96	1.30	0.57	0.17	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.07
	015 - 025	1.70	1.04	0.55	0.15	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50
	025 - 035	1.39	0.79	0.39	0.13	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76
	035 - 045	1.27	0.66	0.21	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23
	045 - 055	1.19	0.43	0.15	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84
	055 - 065	1.13	0.30	0.08	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.58
	065 - 075	1.19	0.31	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60
	075 - 085	1.29	0.28	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.66
E	085 - 095	1.94	0.46	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50
	095 - 105	3.82	1.61	0.29	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.79
	105 - 115	7.98	4.57	1.44	0.44	0.15	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.62
	115 - 125	6.46	2.42	0.64	0.23	0.12	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.87
	125 - 135	4.08	1.10	0.26	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51
	135 - 145	2.68	0.50	0.17	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.39
	145 - 155	1.70	0.32	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.04
	155 - 165	0.82	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98
	165 - 175	0.62	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74
Totali		64.85	25.29	7.07	1.90	0.69	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

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

**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	0.34	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
	185 - 195	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
	195 - 205	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	205 - 215	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
	215 - 225	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
	225 - 235	0.13	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
	235 - 245	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
	245 - 255	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
	255 - 265	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
W	265 - 275	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
	275 - 285	0.23	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
	285 - 295	0.38	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41
	295 - 305	0.42	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54
	305 - 315	0.84	0.17	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12
	315 - 325	2.15	0.92	0.20	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.32
	325 - 335	5.78	2.29	0.33	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.45
	335 - 345	8.27	2.69	0.31	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.33
	345 - 355	6.07	2.33	0.43	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.87
N	355 - 005	4.11	2.06	0.40	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.69
	005 - 015	2.82	1.76	0.48	0.16	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.26
	015 - 025	2.27	1.60	0.59	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.62
	025 - 035	2.04	1.11	0.50	0.13	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.81
	035 - 045	1.74	0.76	0.27	0.07	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.87
	045 - 055	1.63	0.41	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16
	055 - 065	1.55	0.31	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89
	065 - 075	1.50	0.25	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.76
	075 - 085	1.45	0.30	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78
E	085 - 095	1.80	0.35	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20
	095 - 105	2.74	0.71	0.06	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.55
	105 - 115	5.42	2.04	0.29	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.82
	115 - 125	5.50	1.85	0.29	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.71
	125 - 135	4.08	0.96	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.12
	135 - 145	2.75	0.33	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.17
	145 - 155	1.61	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84
	155 - 165	0.87	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96
	165 - 175	0.52	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57
Totali		70.34	23.70	4.70	0.97	0.20	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

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

### 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	0.42	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55
	185 - 195	0.22	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
	195 - 205	0.09	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
	205 - 215	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
	215 - 225	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
	225 - 235	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
	235 - 245	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
	245 - 255	0.08	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
	255 - 265	0.09	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
W	265 - 275	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
	275 - 285	0.15	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
	285 - 295	0.16	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
	295 - 305	0.25	0.11	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49
	305 - 315	0.41	0.18	0.15	0.12	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
	315 - 325	1.20	0.89	0.44	0.18	0.06	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.82
	325 - 335	3.41	2.65	0.82	0.19	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.13
	335 - 345	4.39	2.43	0.64	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.65
	345 - 355	2.66	1.51	0.47	0.20	0.09	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.98
N	355 - 005	1.83	1.20	0.56	0.24	0.16	0.09	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.15
	005 - 015	1.53	1.13	0.77	0.43	0.23	0.12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.25
	015 - 025	1.53	1.28	0.86	0.58	0.32	0.15	0.08	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.85
	025 - 035	1.22	1.54	1.10	0.68	0.30	0.12	0.07	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.14
	035 - 045	1.37	1.38	0.77	0.53	0.26	0.09	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.47
	045 - 055	1.03	0.93	0.44	0.25	0.07	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83
	055 - 065	0.87	0.67	0.36	0.12	0.04	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.11
	065 - 075	0.86	0.61	0.20	0.06	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80
	075 - 085	0.94	0.53	0.18	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.77
E	085 - 095	1.05	0.59	0.22	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96
	095 - 105	1.85	1.27	0.35	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60
	105 - 115	3.46	3.49	1.35	0.48	0.19	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.04
	115 - 125	3.80	3.38	1.31	0.62	0.23	0.11	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.51
	125 - 135	2.83	2.19	0.94	0.44	0.19	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.75
	135 - 145	2.03	1.61	0.82	0.45	0.31	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.34
	145 - 155	1.34	1.05	0.56	0.28	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.32
	155 - 165	0.85	0.67	0.22	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79
	165 - 175	0.54	0.33	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94
Totali		42.89	32.14	13.84	6.38	2.75	1.17	0.48	0.23	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	100.00

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



## 4.2 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 e al periodo di picco al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. La Tabella 4.6 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):

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

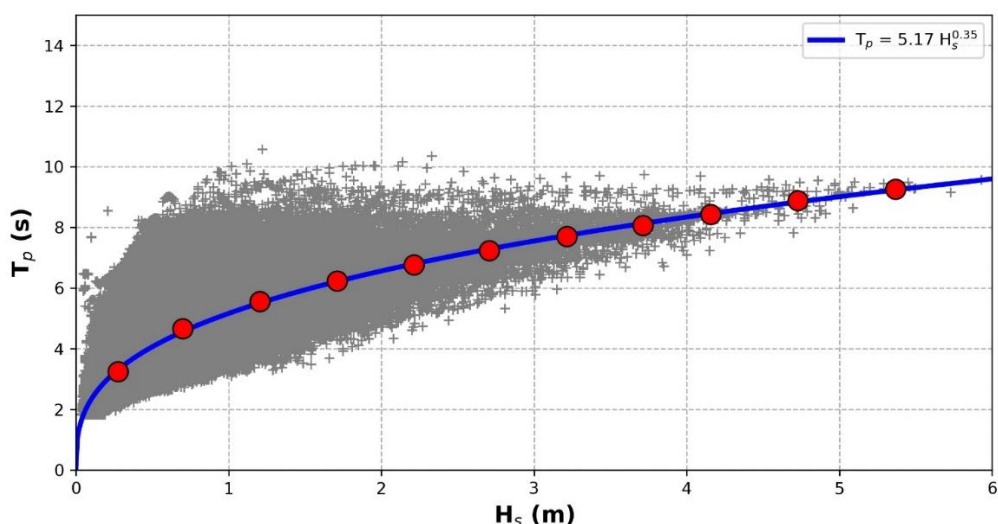
ove i parametri  $a$  e  $b$  sono stati ricavati mediante il metodo dei minimi quadrati sulla base delle coppie di valori osservati dell'altezza d'onda e del periodo. Nella Figura 4.4 sono riportati tutti gli eventi della serie storica diagrammati in funzione del periodo di picco e dell'altezza d'onda significativa con indicata la funzione di correlazione ricavata mediante il metodo dei minimi quadrati e, pertanto, i valori dei parametri  $a$  e  $b$  (in alto a destra).

**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	0.96	44.19	8.97	0.70	0.01	0.00	0.00	0.00	54.83
0.50 - 1.00	0.00	7.49	18.20	2.61	0.14	0.00	0.00	0.00	28.43
1.00 - 1.50	0.00	0.18	7.17	2.52	0.14	0.00	0.00	0.00	10.02
1.50 - 2.00	0.00	0.00	1.54	2.26	0.11	0.00	0.00	0.00	3.92
2.00 - 2.50	0.00	0.00	0.17	1.39	0.06	0.00	0.00	0.00	1.63
2.50 - 3.00	0.00	0.00	0.01	0.61	0.06	0.00	0.00	0.00	0.68
3.00 - 3.50	0.00	0.00	0.00	0.24	0.07	0.00	0.00	0.00	0.31
3.50 - 4.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.13
4.00 - 4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03
4.50 - 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
> 5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
<b>Totali</b>	<b>0.96</b>	<b>51.87</b>	<b>36.07</b>	<b>10.38</b>	<b>0.72</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>

**Tabella 4.6:** Distribuzione percentuale annuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e periodo di picco.





**Figura 4.4:** Rappresentazione cartesiana della distribuzione annuale del periodo di picco rispetto all'altezza d'onda significativa. In giallo, la funzione di correlazione ricavata con il metodo dei minimi quadrati.

### 4.3 Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso a largo

Per poter effettuare l'analisi statistica degli estremi delle altezze d'onda è necessario selezionare preliminarmente dei campioni di dati che risultino tra loro statisticamente indipendenti ed omogenei. In questo tipo di analisi, se le serie ondametriches non sono molto lunghe, per assicurare l'indipendenza statistica si è soliti utilizzare il metodo POT (*Peaks Over Threshold* detto anche della serie di durata parziale sopra soglia) che consiste nel considerare il solo valore massimo di altezza d'onda (valore di picco) che si verifica nell'ambito di una singola mareggiata. 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 stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) superiore alla soglia individuata 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 occorrenza).

In particolare, 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 descritti da una GEV (*Generalized Extreme Value Distribution*) nel caso in cui

il metodo di estrazione degli eventi sia quello dei massimi a blocchi. Se il metodo utilizzato per estrarre gli eventi estremi è quello dei picchi sopra soglia, a rigore, gli eccessi rispetto alla soglia sono estratti da una variabile aleatoria con funzione di distribuzione di probabilità GPD (*Generalized Pareto Distribution*). Tuttavia, è comunemente accettato (a favore di sicurezza), l'utilizzo della funzione GEV anche in quest'ultimo caso (Goda, 2010).

Alla luce di quanto esposto, nell'ambito di questo studio gli eventi estremi estratti con la tecnica POT sono stati utilizzati per stimare i parametri di una funzione di distribuzione di tipo GEV:

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

nella quale  $k$  è il parametro di forma,  $\alpha$  è il parametro di scala,  $\varepsilon$  è il parametro di locazione,  $x$  è la realizzazione della variabile aleatoria (in questo caso un evento estremo della marea meteorologica),  $\Phi$  è la probabilità di non superamento. L'adattamento statistico (cioè la stima dei parametri) è stato effettuato con il metodo dei momenti lineari (metodo dei *L-moments*, Hosking, 1990) e l'ipotesi nulla è stata verificata con il test non parametrico di Kolmogorov-Smirnov (Smirnov, 1948).

La stima dei parametri della funzione di distribuzione di probabilità permette, tramite inversione della (4-1), di associare a specifici valori del tempo di ritorno i relativi livelli di ritorno. Infatti, la probabilità di non superamento fornita dalla (4-1) è legata al tempo di ritorno dalla seguente relazione:

$$\Phi(x) = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (4-2)$$

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

$$x_r = \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{T_r}\right) \quad (4-3)$$

La Figura 4-5 e la Figura 4-6 mostrano il risultato dell'adattamento statistico effettuato per i due settori di traversia di provenienza del moto ondoso (300°N-60°N e 60°N-150°N). La Figura 4-7 e la Figura 4-8 mostrano per gli stessi settori i valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno, riportati in forma numerica nella Tabella 4.7.

$T_r$ (anni)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$T_r$ (anni)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)
2	4.00	8.40	2	3.70	8.20
5	4.50	8.75	5	4.00	8.40
10	4.95	9.00	10	4.40	8.70
25	5.60	9.40	25	4.95	9.10
50	6.20	9.80	50	5.50	9.40
100	6.90	10.15	100	6.10	9.75

**Tabella 4.7:** Stima degli eventi estremi in relazione alle onde provenienti dal settore direzionale principale 300N-60N (tabella a sinistra) e secondario 60N-150N (tabella a destra).

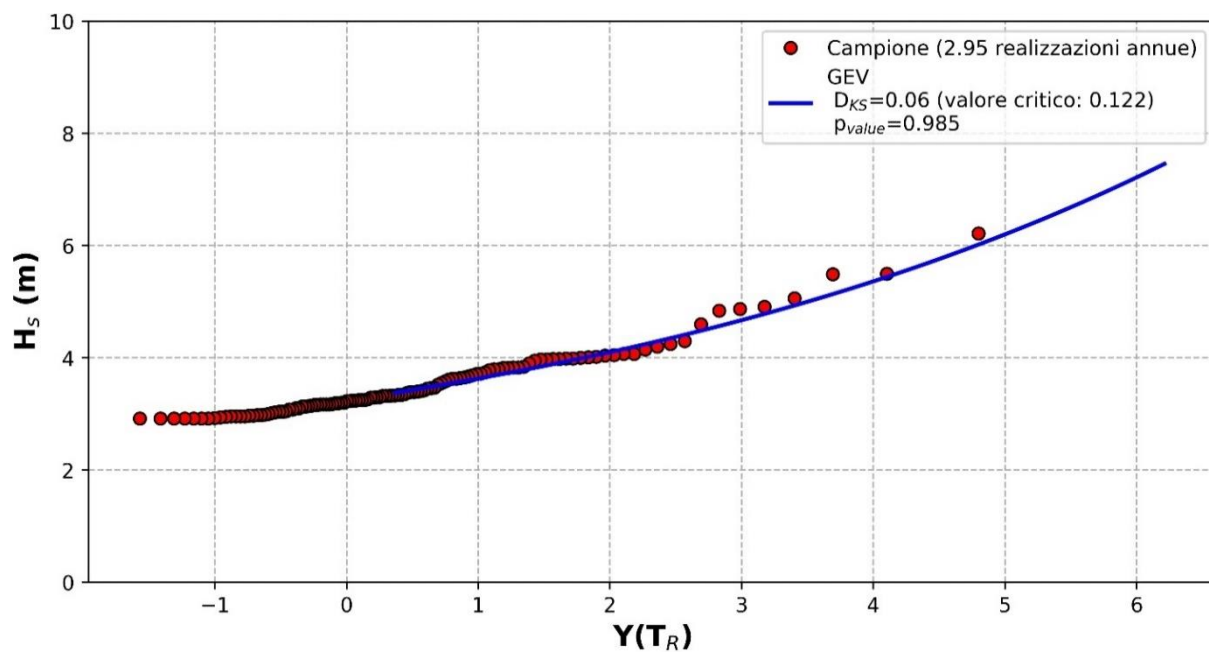


Figura 4-5: Adattamento statistico delle altezze d'onda significative relative agli eventi provenienti dal settore 300°N- 60°N.

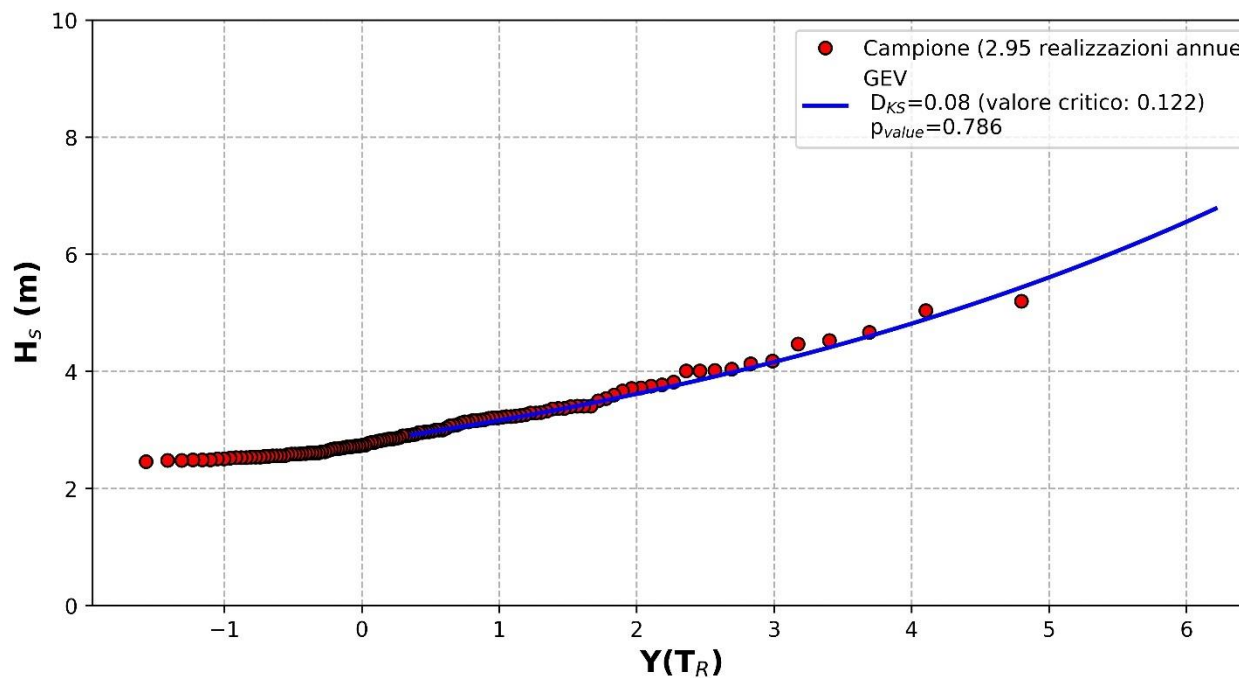
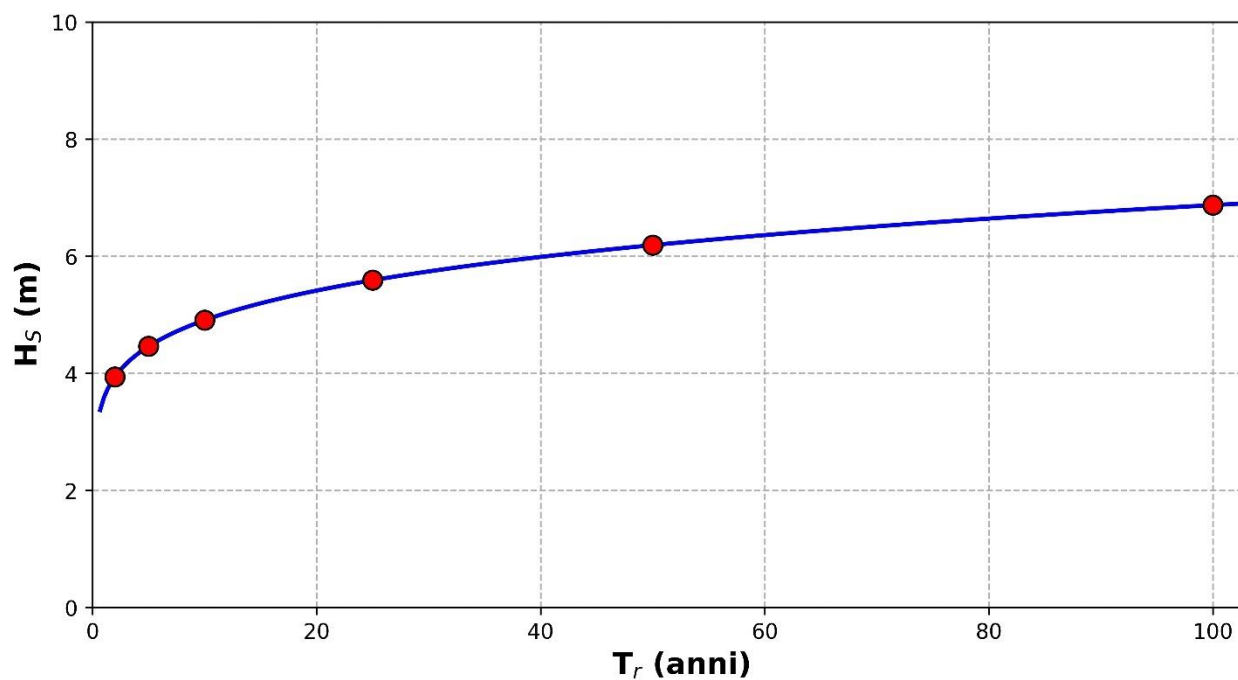
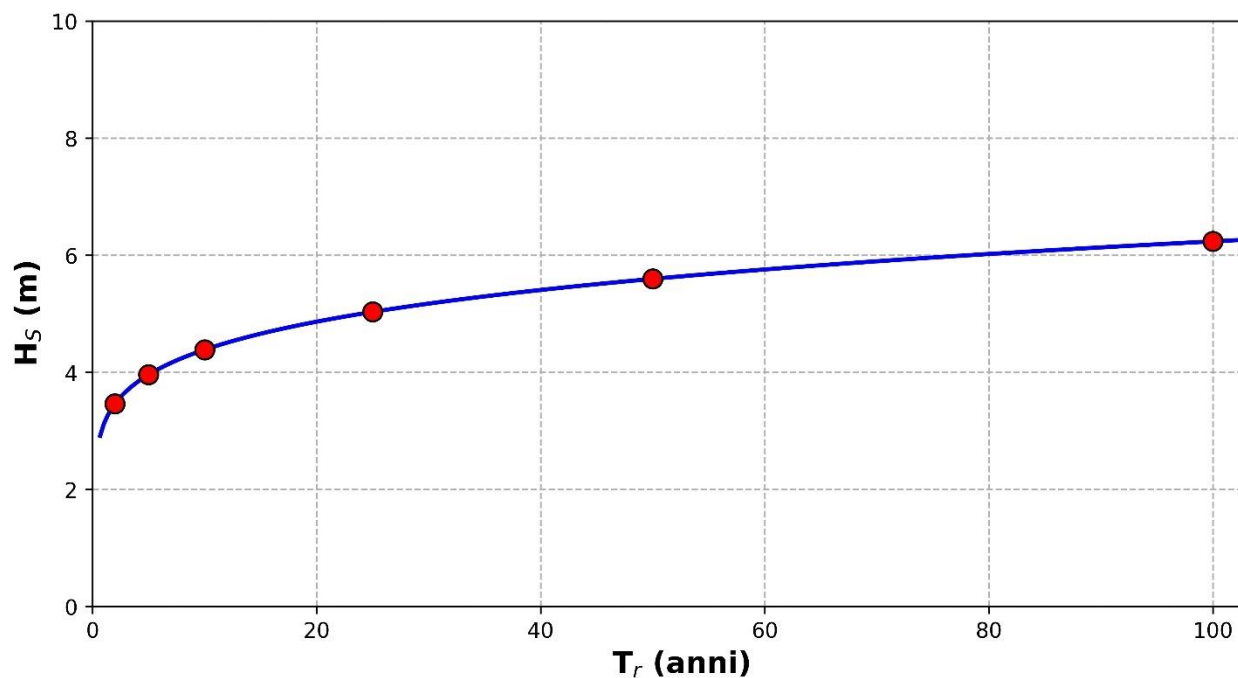


Figura 4-6: Adattamento statistico delle altezze d'onda significative relative agli eventi provenienti dal settore 60°N- 150°N.



**Figura 4-7:** Andamento dei valori dell'altezza d'onda significativa degli eventi provenienti dal settore 300°N- 60°N in funzione del tempo di ritorno  $T_r$ . I simboli tondi evidenziano i valori dell'altezza d'onda significativa per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anni



**Figura 4-8:** Andamento dei valori dell'altezza d'onda significativa degli eventi provenienti dal settore 60°N- 150°N in funzione del tempo di ritorno  $T_r$ . I simboli tondi evidenziano i valori dell'altezza d'onda significativa per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anni

## 5 Analisi ondometrica sottocosta

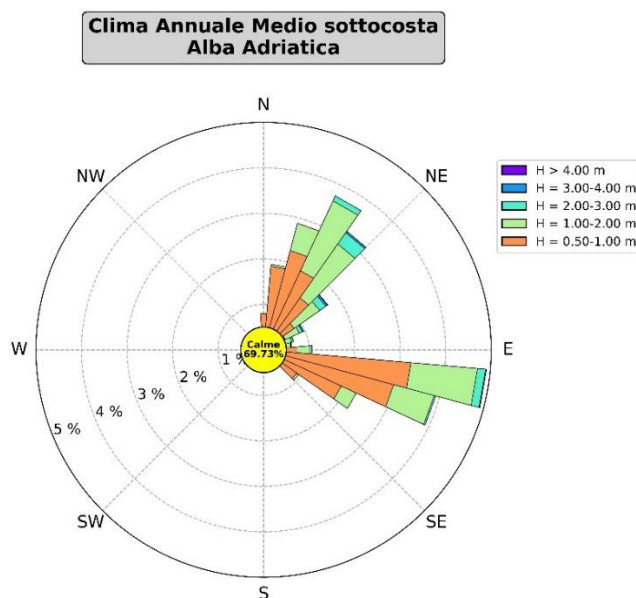
### 5.1 Propagazione del moto ondoso

I fondali prospicienti l'area di interesse non mostrano configurazioni singolari. Pertanto l'assunzione di batimetria rettilinea e parallela può essere accettata e la propagazione sottocosta è stata effettuata applicando la teoria lineare fino alla profondità pari a 8 m. Nei paragrafi successivi sono riportati i risultati ottenuti.

### 5.2 Classificazione degli eventi di moto ondoso sottocosta in base all'altezza d'onda e alla direzione di provenienza

In completa analogia con quanto effettuato a largo, al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi, gli elementi della serie ondometrica propagata in prossimità del litorale di Alba Adriatica, in corrispondenza di una profondità pari a 8 m, sono stati classificati in base al valore dell'altezza d'onda significativa ed alla direzione di provenienza. Nella Figura 5.1 è riportata la rosa ondometrica annuale sottocosta mentre nella Tabella 5.1 sono riportati gli stessi risultati in forma numerica, in termini di frequenza relativa.

Dall'analisi dei risultati si evince che sia in prossimità della costa i settori di provenienza del moto ondoso non subiscono una variazione sostanziale rispetto al largo, anche se risulta evidente la riduzione del numero degli eventi e l'effetto della rifrazione che tende a "restringere" i settori di provenienza del moto ondoso.



**Figura 5.1:** Rappresentazione polare della distribuzione direzionale annuale degli eventi di moto ondoso sottocosta. La percentuale che indica le calme si riferisce ad altezze d'onda inferiori a 0.5 m

**Tabella climatica annuale sottocosta**

Classi direzione di provenienza (°N)		Classi Altezza d'onda significativa (m)														
		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	Totali
S	175 - 185	0.094	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	
	185 - 195	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	0.18	
	195 - 205	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	
	205 - 215	0.147	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	0.157	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	0.155	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	0.217	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	
	255 - 265	0.296	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.30	
W	265 - 275	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	0.48	
	275 - 285	0.825	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.83	
	285 - 295	1.379	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.38	
	295 - 305	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	0.00	
	305 - 315	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	
	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	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	
	335 - 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	0.00	
	345 - 355	3.131	0.131	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.26	
	355 - 005	3.786	0.798	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.59	
	005 - 015	2.733	1.843	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.62	
	015 - 025	2.111	2.262	0.594	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.00	
	025 - 035	1.687	1.920	1.210	0.487	0.113	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.42	
	035 - 045	1.547	1.397	1.006	0.442	0.218	0.087	0.033	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.74	
	045 - 055	1.313	0.822	0.423	0.263	0.116	0.052	0.034	0.008	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	3.04	
	055 - 065	1.201	0.529	0.225	0.114	0.048	0.028	0.026	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	2.18	
	065 - 075	1.175	0.459	0.131	0.050	0.032	0.010	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.86	
	075 - 085	1.263	0.426	0.126	0.050	0.011	0.003	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.88	
	085 - 095	1.739	0.726	0.213	0.084	0.027	0.019	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.82	
	095 - 105	3.813	3.254	1.046	0.425	0.127	0.052	0.013	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	8.74	
	105 - 115	14.745	2.962	0.748	0.177	0.029	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.66	
	115 - 125	12.585	1.886	0.331	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.83	
	125 - 135	6.633	0.895	0.048	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.58	
	135 - 145	3.421	0.390	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.82	
	145 - 155	1.915	0.156	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.07	
	155 - 165	0.372	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	
	165 - 175	0.274	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		69.69	20.86	6.16	2.15	0.72	0.26	0.12	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

**Tabella 5.1:** Clima medio annuale sottocosta: distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda significativa e direzione media di provenienza.



## 6 Analisi anemometrica

Le analisi come di consueto hanno riguardato valori medi (clima) e valori estremi.

Al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi, gli eventi di vento contenuti nella serie anemometrica sono stati suddivisi in base al valore dell'intensità ed alla direzione di provenienza.

La Figura 6-1 riporta la rosa anemometrica valutata sulla base della serie storica fornita da ERA 5.

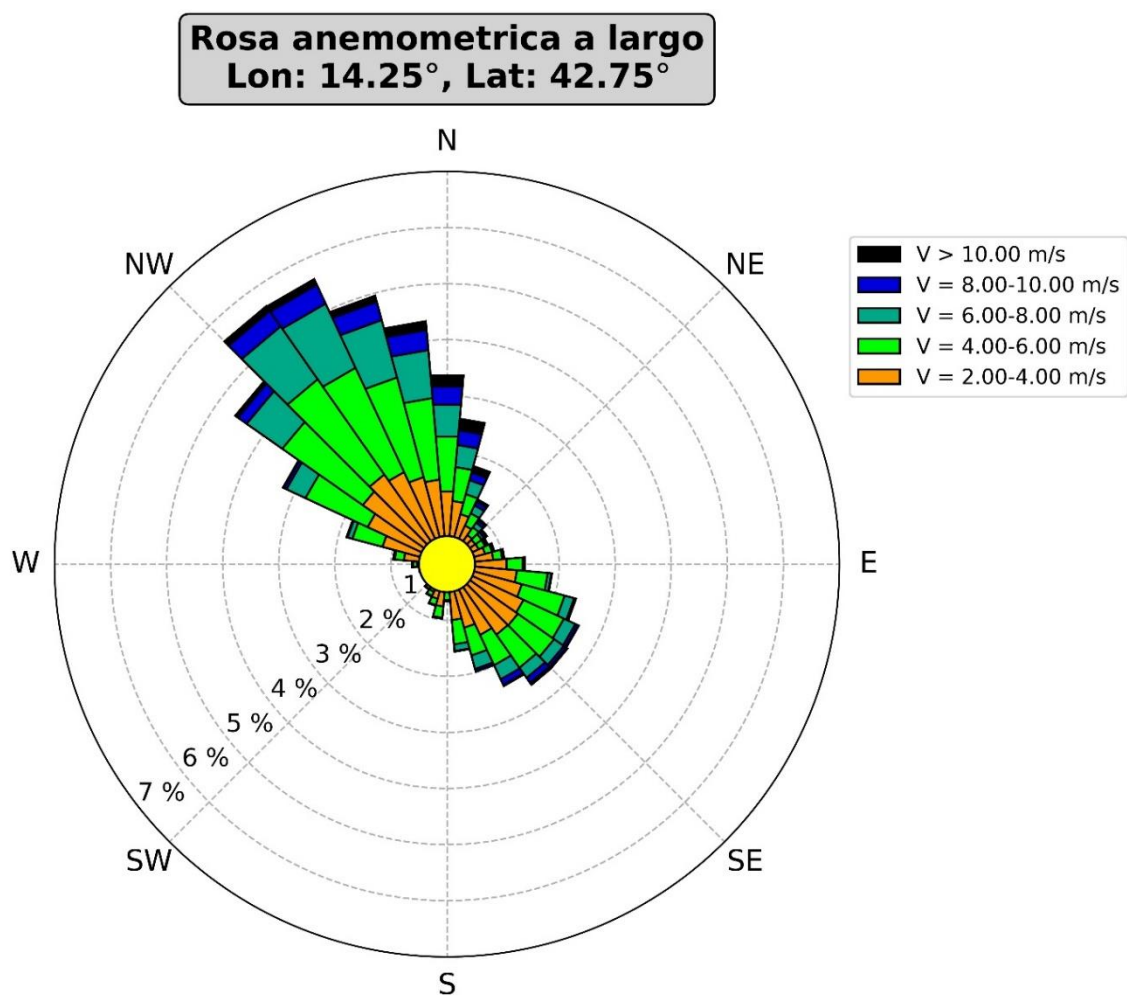
Gli eventi anemometrici più frequenti e caratterizzati intensità di vento più elevate provengono dal settore di traversia compreso nel settore 300°N-60°N (settore di Maestrale/Tramontana/Grecale). Inoltre, si evidenzia un ulteriore settore di traversia che si estende nell'intervallo angolare 60°N-165°N (settore di Levante/Scirocco), nel quale ricadono le direzioni di provenienza degli eventi anemometrici meno intensi.

Per quanto riguarda la caratterizzazione statistica della velocità del vento, l'analisi statistica estrema è del tutto simile a quanto descritto nel precedente paragrafo 4.3. Anche in questo caso, gli eventi estremi anemometrici sono estratti dalla serie storica con il metodo POT, per ognuno dei settori di provenienza identificati, e utilizzati per la stima dei parametri di una funzione di ripartizione di probabilità GEV, data dall'equazione (4-1). Ne consegue che la stima del livello di ritorno (in questo caso in termini di velocità del vento), può essere ottenuta tramite l'utilizzo della relazione (4-3).

La Figura 6-2 e la Figura 6-3 mostrano il risultato dell'adattamento statistico effettuato per entrambi i settori di provenienza del vento. La Figura 6-4 e la Figura 6-5 mostrano i valori dell'intensità del vento in funzione del tempo di ritorno riportati in forma numerica in Tabella 6.1.

Settore Angolare: 300°N-60°N		Settore Angolare: 60°N-165°N	
<i>Tr</i> (anni)	<i>V</i> (m/s)	<i>Tr</i> (anni)	<i>V</i> (m/s)
<b>2</b>	15.20	<b>2</b>	12.25
<b>5</b>	16.50	<b>5</b>	13.35
<b>10</b>	17.60	<b>10</b>	14.15
<b>25</b>	19.40	<b>25</b>	15.45
<b>50</b>	21.04	<b>50</b>	16.50
<b>100</b>	23.00	<b>100</b>	17.70

**Tabella 6.1:** Stima degli eventi estremi in relazione alle onde provenienti dal settore direzionale 300N-60N (tabella a sinistra) e 60N-165N (tabella a destra).



**Figura 6-1:** Rosa anemometrica a largo dell'area di interesse.



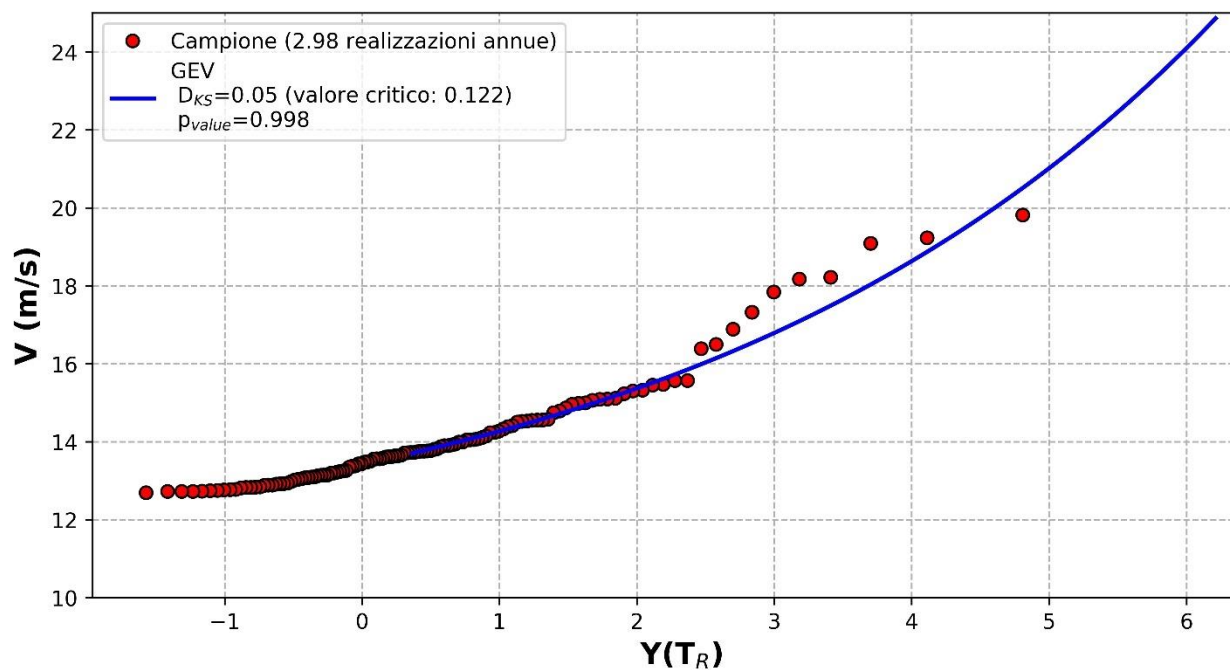


Figura 6-2: Adattamento statistico dell'intensità del vento relativa agli eventi provenienti dal settore 300°N-60°N.

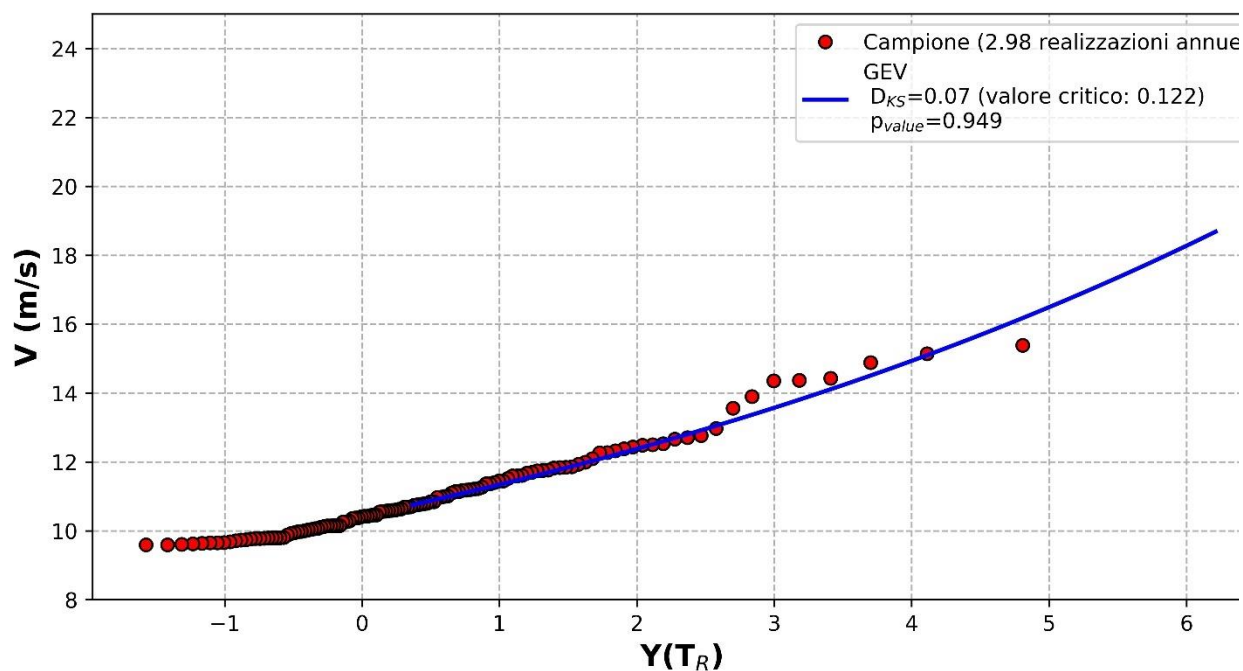
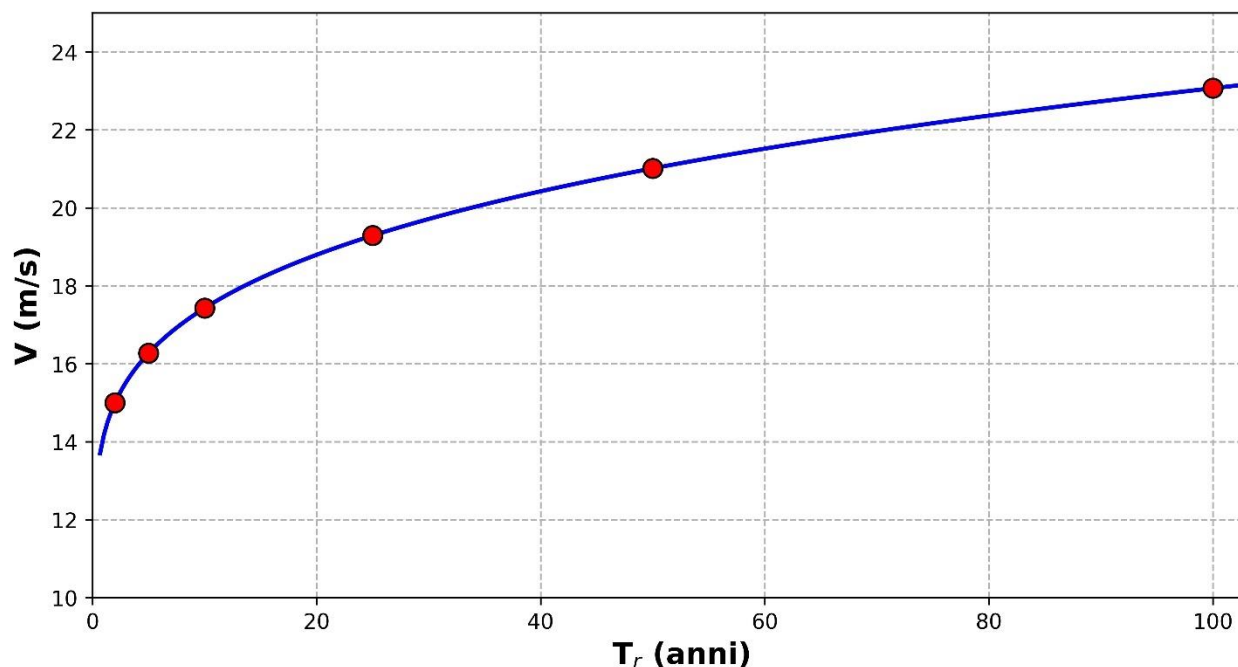
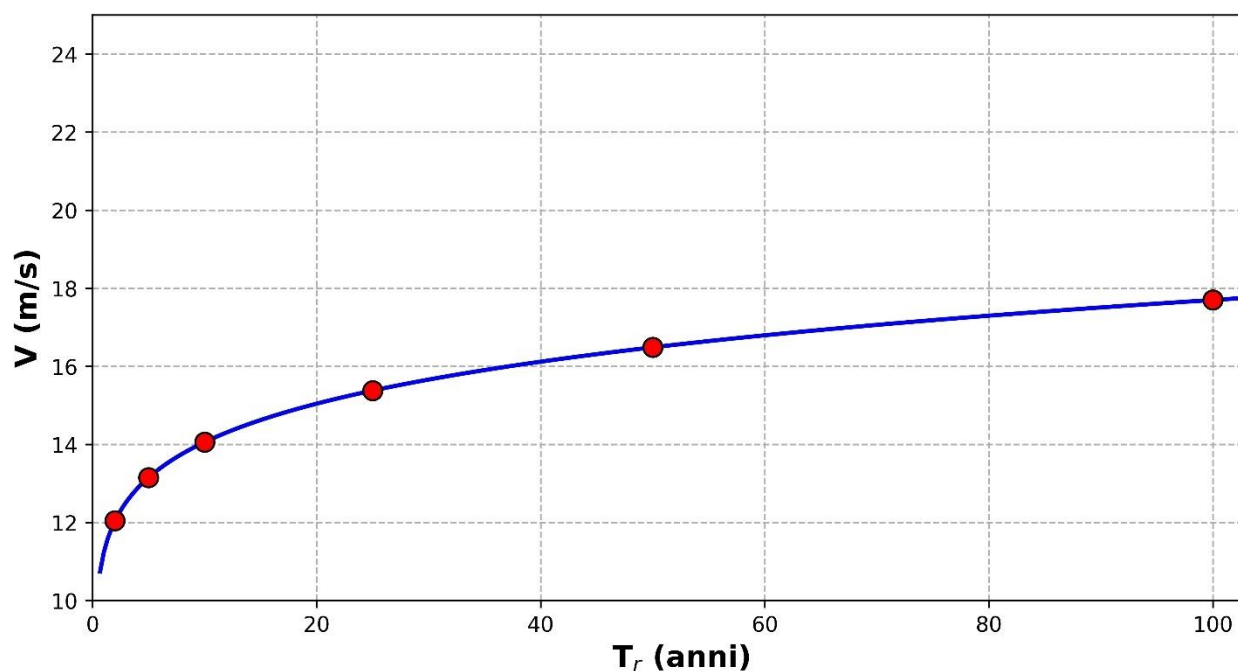


Figura 6-3: Adattamento statistico dell'intensità del vento relativa agli eventi provenienti dal settore 60°N-165°N.



**Figura 6-4:** Andamento dei valori dell'intensità del vento relativa agli eventi provenienti dal settore 300°N-60°N in funzione del tempo di ritorno  $T_r$ . I simboli tondi evidenziano i valori dell'intensità del vento per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anni.



**Figura 6-5:** Andamento dei valori dell'intensità del vento relativa agli eventi provenienti dal settore 60°N-165°N in funzione del tempo di ritorno  $T_r$ . I simboli tondi evidenziano i valori dell'intensità del vento per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anni.

## **7 Analisi dei livelli**

La serie temporale dei dati disponibili relativi alla stazione mareografica di San Benedetto del Tronto, come descritto nel capitolo 2, è stata oggetto di specifica analisi armonica finalizzata all'estrazione della componente astronomica dei livelli, dalla quale è poi 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 del sovrizzo indotto dalla componente meteorologica (principalmente dovuta al sovrizzo barico inverso). Nel seguito, si descrive sinteticamente l'analisi effettuata sulla componente astronomica e sulla componente meteorologica.

### **7.1 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 Newtoniana indotta dai noti 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 riportati in Tabella 7.1.:

- 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);
- 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.

HAT (m)	MHWS (m)	MHWN (m)	MSL (m)	MLWN (m)	MLWS (m)	LAT (m)
0.226	0.160	-0.154	0.021	-0.117	-0.154	-0.237

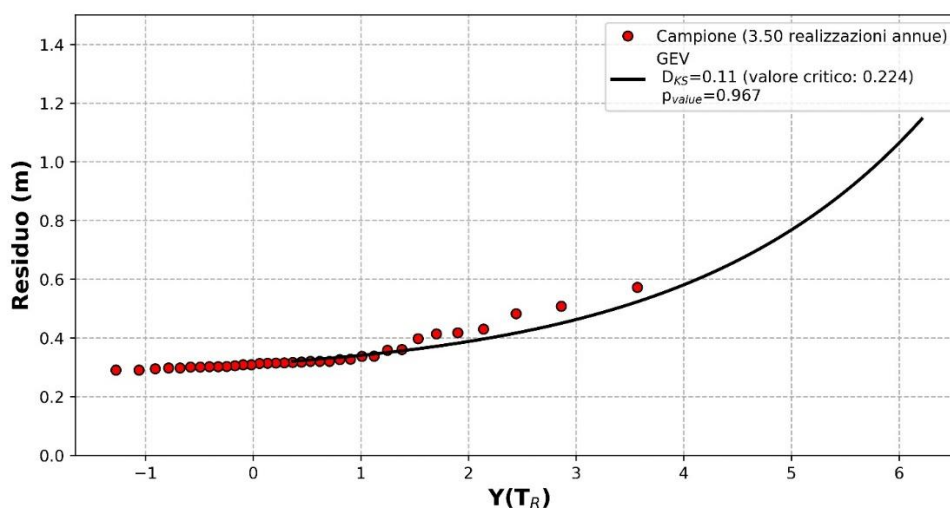
**Tabella 7.1:** Livelli caratteristici dell'oscillazione astronomica ricostruita a San Benedetto del Tronto.

## 7.2 Componente meteorologica

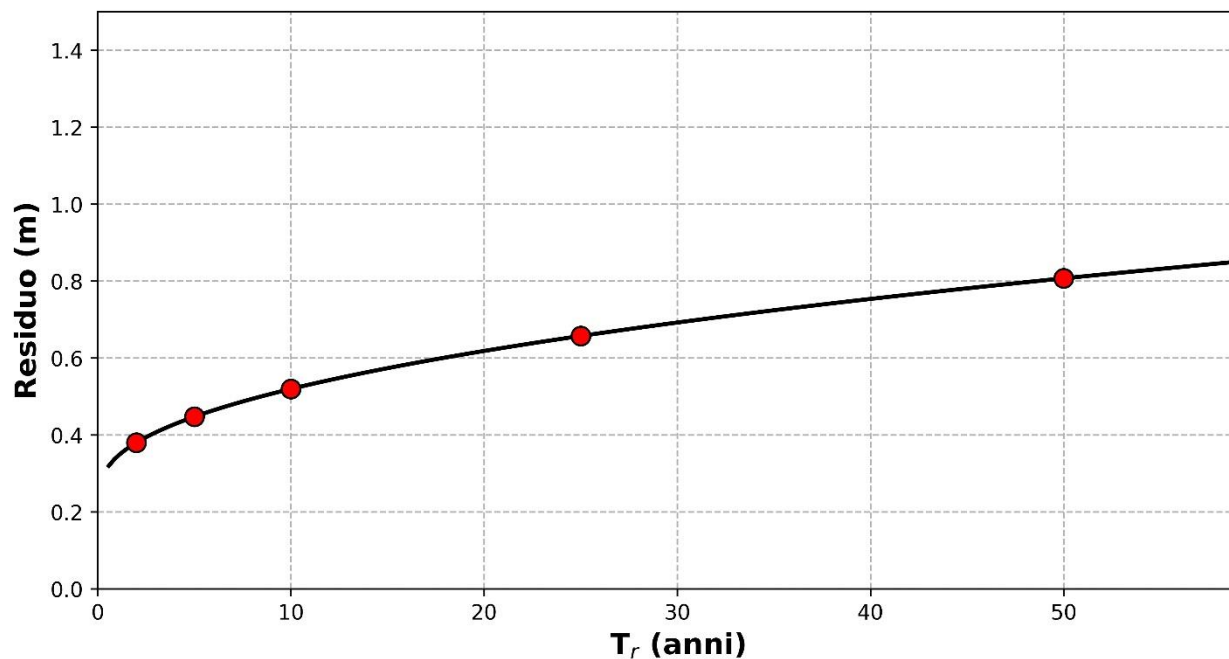
L'oscillazione astronomica può essere disturbata da cause meteorologiche quali le variazioni bariche e l'azione tangenziale del vento, causa della cosiddetta marea meteorologica. In ogni caso, qualunque sia l'entità del disturbo, la regolarità del fenomeno propriamente astronomico torna sempre ad esplicarsi 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 di marea indotta da cause meteorologiche, essenzialmente dovuta a gradienti di pressione e azione tangenziale del vento, 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 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 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. 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", 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). In questo studio, data la scarsa durata della serie di livelli disponibile, è stata utilizzata la tecnica dell'estrazione dei picchi sopra soglia, come fatto per onde e vento (si veda il paragrafo 4.3). Pertanto, il residuo di marea, differenza tra serie misurata e componente astronomica ricostruita come descritto nel paragrafo precedente, è stato oggetto di analisi estrema. La Figura 7-1 mostra il risultato dell'adattamento statistico effettuato. La Figura 7-2 mostra i valori della marea meteorologica in funzione del tempo di ritorno riportati anche in Tabella 7.2. Si osserva che con tempo di ritorno pari a 5 anni, il livello di marea della sola componente meteorologica stimato è di circa 0.45 m mentre con tempo di ritorno pari a 50 anni è pari a circa 0.81 m.



**Figura 7-1:** Adattamento statistico dei livelli di marea meteorologica (residuo) a San Benedetto del Tronto. Sull'asse delle ascisse è riportata la scala distorta di Gumbel (variabile ridotta). 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.



**Figura 7-2:** Andamento dei valori del livello di marea meteorologica (residuo) a San Benedetto del Tronto in funzione del tempo di ritorno  $T_r$ . I simboli tondi evidenziano i valori del residuo per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 25, 50 anni.

$T_r$ (anni)	Livello (m)
2	0.39
5	0.45
10	0.52
25	0.66
50	0.81

**Tabella 7.2:** Stima della marea meteorologica in funzione del tempo di ritorno.

## 8 Stima della profondità di chiusura

La profondità di chiusura  $d_c$  rappresenta il limite di largo della fascia attiva, oltre la quale l'azione del moto ondoso non ha capacità di indurre significative variazioni di profondità. Tale profondità può essere identificata con l'ausilio di informazioni morfologiche o idrodinamiche. In quest'ultimo caso è possibile utilizzare la formula di Hallermeier (1981):

$$d_c = 2.28 H_s - 68.5 \left( \frac{H_s^2}{g T_p^2} \right)$$

nella quale l'altezza d'onda  $H_s$  e correlato periodo di picco  $T_p$  sono relativi alla mareggiata con frequenza di superamento pari a 12 ore/anno (0.137%).

La profondità di chiusura è stata determinata mediante applicazione della suddetta relazione attraverso l'analisi della serie ondometrica a largo. Utilizzando l'altezza d'onda significativa con frequenza di superamento pari a 12 ore annue si ottiene una profondità di chiusura media annuale pari a 6.60 m  $\pm$  0.25 m (deviazione standard pari a 0.79 m).

## 9 Onde morfologicamente equivalenti

La serie ondametrica propagata sottocosta (si veda il Capitolo 5) può essere sintetizzata in un limitato numero di stati di mare di assegnata altezza d'onda, periodo, direzione di provenienza e durata. L'obiettivo è di identificare un numero limitato di stati di mare che abbia la stessa capacità morfodinamica dell'intera serie ondametrica.

La capacità morfodinamica delle onde è legata al contenuto energetico e alla ripidità. Pertanto, è possibile definire la cosiddetta "onda morfologicamente equivalente" relativa ad un certo settore angolare di provenienza imponendo che abbia lo stesso contenuto energetico e la stessa ripidità della serie ondametrica che rappresenta.

In tal modo, è possibile definire l'altezza dell'onda morfologicamente equivalente ( $H_e$ ), il suo periodo ( $T_e$ ), la sua direzione di provenienza ( $Dir_e$ ) e la sua durata ( $d_e$ ).

Per l'altezza d'onda e il periodo valgono le seguenti relazioni:

$$H_e = \left( |\vec{F}|^2 R \right)^{1/5}$$

$$T_e = \frac{|\vec{F}|}{H_e^2}$$

Nella quale  $\vec{F}$  e  $R$  rappresentano il vettore del flusso energetico medio e la ripidità media delle onde provenienti dal settore angolare considerato:

$$\vec{F} = \frac{1}{N} \sum_i H_i^2 T_i \frac{\vec{k}_i}{|\vec{k}_i|}$$

$$R = \frac{1}{N} \sum_i \frac{H_i}{T_i^2}$$

La direzione di provenienza dell'onda morfologicamente equivalente coincide con la direzione di provenienza del vettore  $\vec{F}$ . La durata è pari a quella degli stati di mare sulla base dei quali sono stimati i parametri dell'onda morfologicamente equivalente.

La Tabella 9.1 mostra i risultati ottenuti.

Sono state valutate le caratteristiche delle onde morfologicamente equivalenti relative ai seguenti settori angolari:

- Intero settore di provenienza;
- Settore di traversia principale sottocosta (340°N-70°N);



- Settore di traversia secondario sottocosta (70°N-160°N);
- Settori angolari di ampiezza pari a 10°N.

I risultati evidenziano la bimodalità dell'esposizione del paraggio con una prevalenza delle onde che favoriscono un trasporto solido diretto verso Sud-Est. A tal proposito, la tabella contiene il valore dell'anomalia  $\Delta d_e$  rispetto alla normale alla giacitura media del litorale: valori positivi indicano onde che si propagano verso Sud-Est, valori negativi indicano onde che si propagano verso Nord-Ovest.

Direzioni	$H_e$	$T_e$	$D_e$	$\Delta d_e$	$d_{ef}$	$d_{deg}$	$d_{em}$
deg N	m	s	deg N	deg	frazione	giorni	mesi
0-360	1.09	5.77	64.2	5.8	0.303	110.6	3.69
340-70	1.16	5.77	38.9	31.1	0.157	57.3	1.91
70-160	1.00	5.77	102.1	-32.1	0.146	53.3	1.78
340-350	0.58	3.18	348.7	81.3	0.000	0.1	0.00
350-360	0.60	3.69	356.6	73.4	0.004	1.5	0.05
0-10	0.64	4.29	6.0	64.0	0.013	4.7	0.16
10-20	0.76	4.87	15.7	54.3	0.024	8.8	0.29
20-30	1.01	5.53	25.9	44.1	0.034	12.5	0.42
30-40	1.30	6.02	35.2	34.8	0.037	13.4	0.45
40-50	1.43	6.22	44.4	25.6	0.024	8.8	0.29
50-60	1.48	6.39	54.2	15.8	0.013	4.6	0.15
60-70	1.27	6.09	64.3	5.7	0.008	2.9	0.10
70-80	1.12	6.00	74.8	-4.8	0.006	2.2	0.08
80-90	1.10	6.17	85.6	-15.6	0.007	2.6	0.09
90-100	1.18	6.80	96.7	-26.7	0.027	9.9	0.33
100-110	0.99	6.21	104.1	-34.1	0.051	18.6	0.62
110-120	0.88	5.33	114.3	-44.3	0.031	11.2	0.37
120-130	0.76	4.41	123.8	-53.8	0.015	5.4	0.18
130-140	0.68	3.78	134.1	-64.1	0.006	2.2	0.07
140-150	0.65	3.41	144.2	-74.2	0.003	1.0	0.03

**Tabella 9.1:** Caratteristiche delle onde morfologicamente equivalenti.