

REGIONE CAMPANIA
PROVINCIA di SALERNO



UNIONE DEI COMUNI VELINI
COMUNE DI CASAL VELINO

MESSA IN SICUREZZA ED ADEGUAMENTO
INFRASTRUTTURALE
DEL PORTO DI MARINA DI CASAL VELINO
I° LOTTO - STRALCIO FUNZIONALE
CIG : 7400806A4E - CUP : B79F17000080009

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

STUDIO METEOMARINO

1 8 0 0 2 P D R 0 3 - 1 M A R

Committente:
Comune di Casal Velino

Area Tecnica
Ufficio Urbanistica, Lavori
Pubblici, Pianificazione

Responsabile del Procedimento
Arch. Angelo GREGORIO

Progettazione:
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO

Capogruppo:

MODIMAR
Via Monte Zebio 40 00195 ROMA

Mandanti:

Dott. Ing. Luigi RISPOLI
Dott. Ing. Eugenio LOMBARDI
Dott. Ing. Davide VASSALLO
Dott. Geol. Michele CAMMAROTA
POIESIS S.r.l. - Servizi per i Beni Culturali

Gruppo di lavoro:

Dott. Ing. Paolo CONTINI
Dott. Ing. Davide SALTARI
Dott. Ing. Marco DEL BIANCO
Geom. Renzo PAREGGIANI

Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:
Dicembre 2019	1	Adeguamento a seguito parere SABAP SA-AV ed Ente PARCO	SALTARI	SALTARI	CONTINI
Dicembre 2018	0	EMISSIONE	DEL BIANCO	SALTARI	CONTINI

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo documento con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:

COMUNE DI CASAL VELINO

INTERVENTI DI “MESSA IN SICUREZZA E ADEGUAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL PORTO DI MARINA DI CASAL VELINO” 1° LOTTO STRALCIO FUNZIONALE

PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO METEOMARINO

Committente:

Comune di Casal Velino
P. zza XXIII Luglio n° 6
84040 – Casal Velino (SA)

Progettisti:

MODIMAR S.r.l.
Ing. Luigi Rispoli
Ing. Eugenio Lombardi
Ing. Davide Vassallo
Dott. Geol. Michele Cammarota
Soc. POIESIS

INDICE

1. PREMESSE.....	4
1.1 Premesse.....	4
1.2 Obiettivi.....	4
1.3 Metodologia e dati di base.....	5
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3. ANALISI E VALIDAZIONE DEI DATI DI MOTO ONDOSI	12
3.1 Caratteristiche delle serie di dati ondometrici disponibili.....	12
3.2 Calibrazione dei dati di moto ondoso NOAA-WWIII con i dati RON-Ponza	14
3.3 Analisi e calibrazione degli eventi estremi ricostruiti dal NOAA-WWIII	15
4. CLIMA DI MOTO ONDOSI AL LARGO.....	19
4.1 Distribuzione degli eventi di moto ondoso per classi di altezza d'onda e direzione di provenienza	19
4.2 Curva di durata	23
4.3 Distribuzione degli eventi in relazione al periodo di picco del moto ondoso ...	23
5. ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSI AL LARGO.....	28
5.1 Preparazione del campione	28
5.2 Individuazione del modello probabilistico per i dati selezionati	31
5.3 Statistica dei valori estremi di H_s	32
6. CLIMA SOTTO COSTA.....	38
6.1 Griglia di calcolo	38
6.2 Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo	40
6.3 Clima d'onda sotto costa: punto C_1	40
6.4 Clima d'onda sotto costa: punto C_2	46
6.5 Clima d'onda sotto costa: punto C_3	53
6.6 Clima d'onda sotto costa: punto C_4	59
6.7 Clima d'onda sotto costa: punto C_5	65
7. ANALISI DEL FLUSSO DI ENERGIA ASSOCIATO AL CLIMA D'ONDA SOTTO COSTA.....	71

8. PROFONDITA' DI CHIUSURA.....	80
9. VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO (MAREE, SOVRALZI).....	81
9.1 Marea astronomica	81
9.2 Marea meteorologica	81
9.3 Variazioni stagionali e a lungo termine	82
9.4 Valori estremi.....	83
10. CORRENTI.....	83
11. REGIME DEI VENTI.....	84

1. PREMESSE

1.1 Premesse

La presente relazione espone i risultati dello studio meteomarinario condotto nell'ambito del progetto definitivo di messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto di Marina di Casal Velino. Il presente studio specialistico aggiorna ed integra l'analogo studio meteomarinario redatto nel 2008 ed allegato all'ambito del Progetto Preliminare degli inte

1.2 Obiettivi

L'obiettivo del presente studio è quello di definire le forzanti meteomarine (in termini di vento, moto ondoso e livello del mare) essenziali non solo per effettuare le verifiche idraulico-strutturali delle opere in progetto ma anche gli studi specialistici di morfodinamica e di idrodinamica.

Lo studio in particolare ha riguardato i seguenti aspetti:

- inquadramento geografico del paraggio costiero, determinazione dei fetches geografici ed efficaci;
- definizione dei settori di traversia principale e secondario;
- definizione del clima medio (annuale e stagionale) del moto ondoso al largo;
- valutazione, su base statistica, della legge di distribuzione dei valori estremi di moto ondoso al largo in modo da poter definire l'evento di progetto associato ad un determinato tempo di ritorno;
- propagazione degli stati di mare di progetto sotto costa, in cinque punti posti in prossimità del sito in esame, tenendo conto dei principali fenomeni fisici di interesse nella propagazione: rifrazione, shoaling, dispersione in frequenza e in direzione dell'energia;
- determinazione della profondità di chiusura della fascia attiva, in cui avviene il trasporto solido litoraneo dovuto al moto ondoso;
- analisi dei venti e le loro principali caratteristiche in termini di direzione e intensità;
- valutazione delle variazioni del livello marino.

1.3 Metodologia e dati di base

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso al largo di Casal Velino sono state prese in esame le fonti di dati maggiormente attendibili e attualmente disponibili per il sito in esame:

- dati di moto ondoso ricostruiti tra il 1979 e il 2009 per l'intero bacino del mediterraneo dal National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, Istituto Climatologico degli USA) attraverso il modello di generazione e propagazione del moto ondoso WaveWatch III (WWIII), con risoluzione spaziale (lat-lon) pari a 1/6 di grado e con cadenza temporale trioraria.
- registrazioni ondametriche direzionali (da luglio 1989 a giugno 2005) effettuate dalla boa posta al largo di Ponza con cadenza trioraria appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale (ISPRA ex APAT).

A seguito del confronto dei dati di moto ondoso appartenenti alle due serie storiche, si è proceduto ad un'operazione di calibrazione dei dati in ricostruzione.

Si è passati poi alla valutazione del regime di moto ondoso al largo di Casal Velino ed alla stima della legge di distribuzione dei valori estremi di moto ondoso sulla base dell'analisi statistica delle altezze d'onda al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica NOAA-WWIII, opportunamente calibrate sulla base del confronto con i valori registrati dalla boa di Ponza.

Il moto ondoso ricostruito al largo è stato propagato in alcuni punti sotto costa opportunamente scelti applicando il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE.

Per quanto riguarda l'analisi dei venti si è fatto riferimento sia alla tavola tematica pubblicata dal TCI-CNR, dove vengono riportate le rose dei venti delle stazioni gestite dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (C.N.M.C.A), che ai dati della stazione Meteo di Palinuro gestita dall'Aeronautica Militare (I.T.A.V - C.N.M.C.A: Ispettorato Trasmissioni e Assistenza al Volo – Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica).

Le massime variazioni del livello marino che contraddistinguono il paraggio sono state calcolate combinando le diverse cause da cui dipendono (principalmente marea astronomica e "meteorologica").

In Tabella 1.1 sono elencate le diverse fonti utilizzate per lo svolgimento dello studio, per ognuna delle quali sono riportati il punto di acquisizione della serie di dati ed il periodo temporale di acquisizione.

Tabella 1.1. Fonti utilizzate per lo studio meteomarinario

Rif.	Fonte dati	Descrizione	Posizione	Periodo
1	NOAA WWIII 30-Year Wave Hindcast	Dati di vento e di moto ondoso ricostruiti con il modello di generazione e propagazione WWIII	15.0 °E 40.0 °N	1979 2009
2	Rete Ondametrica Nazionale (RON) Boa di Ponza	Dati di moto ondoso misurati dalla boa ondametrica di Ponza (RON 1.0-2.0)	12.95 °E 40.86 °N	1989 2005

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Marina di Casal Velino è una frazione a vocazione turistico-balneare dell'omonimo Comune che ricade nella zona mediana della costa cilentana, tra i comuni di Pollica e Ascea.

Si colloca quindi in provincia di Salerno, sulla costa meridionale della regione Campania, nel cuore del Parco Nazionale del Cilento (Figura 2.1).

Il tratto di litorale di pertinenza del Comune di Casal Velino ha un'estensione totale di circa 7 km ed è caratterizzato da una costa più alta e rocciosa verso nord, sino a Pioppi, mentre verso sud è presente una costa più bassa e sabbiosa, sino alla foce del fiume Alento.

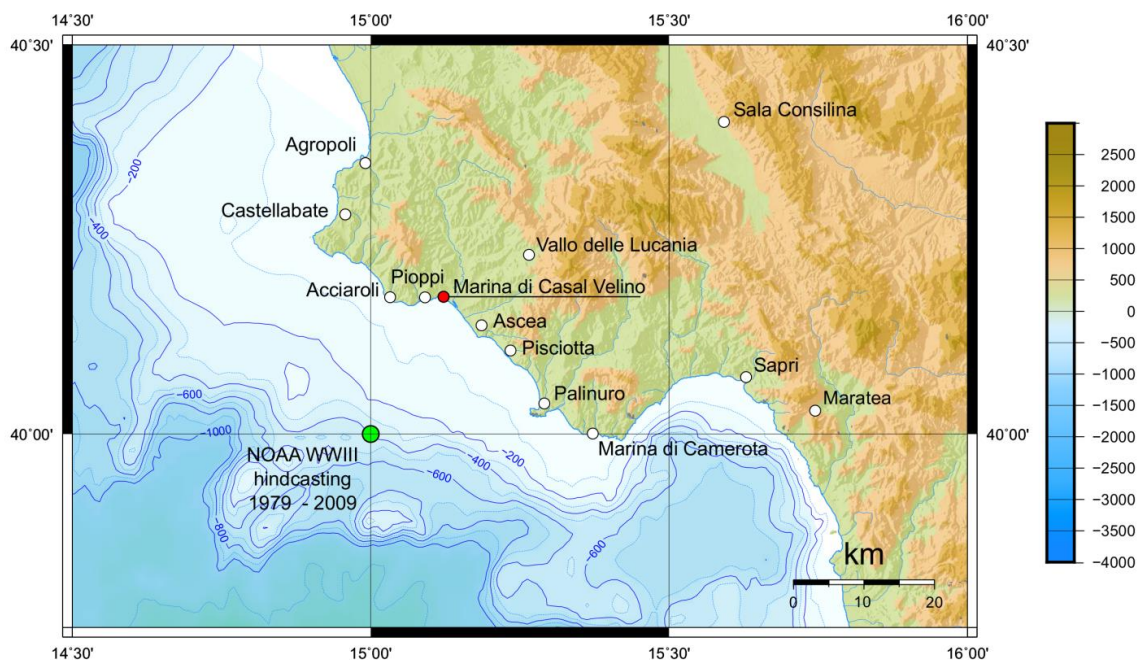


Figura 2.1. Inquadramento geografico e ubicazione del sito di Casal Velino e del punto di ricostruzione del moto ondoso selezionato dal database NOAA - WWIII - hindcasting

Una prima valutazione delle condizioni “potenziali” di esposizione al moto ondoso del sito in esame può essere effettuata sulla base dei settori di traversia geografica, rappresentativi dell'estensione della superficie marina che può contribuire alla generazione del moto ondoso (“fetch”).

La traversia geografica del litorale di Casal Velino è delimitata a nord-ovest dal promontorio di P.ta Licosa, ad est dal promontorio di Capo Palinuro. Il paraggio risulta pertanto esposto al mare aperto per il settore complessivo compreso tra 100° e 335° N.

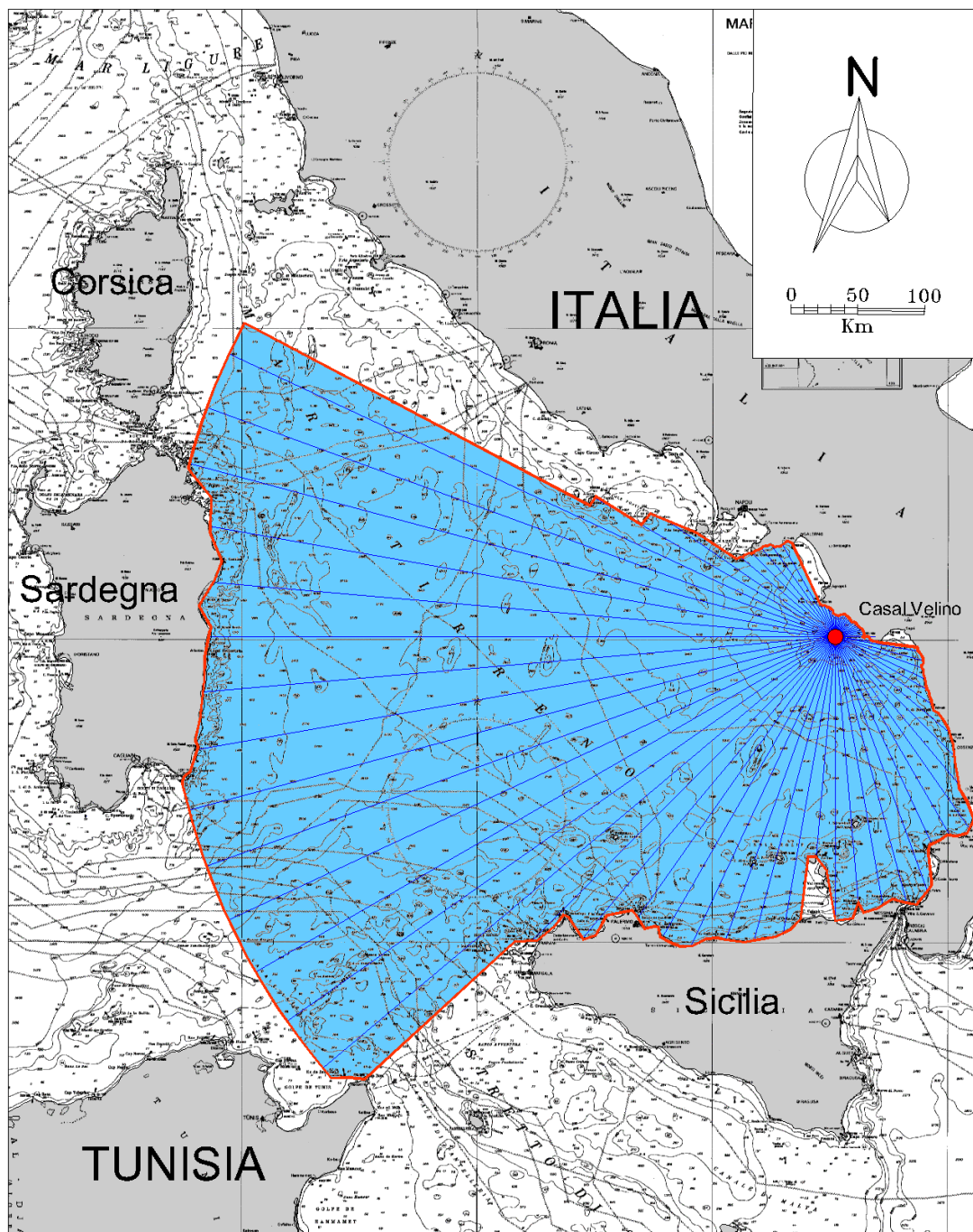


Figura 2.2. Fetches geografici al largo di Casal Velino

Ponendosi al largo del sito in esame nel punto di coordinate 15.0° E- 40.0° N sono stati tracciati i distinti settori di traversia utilizzando un sistema di coordinate polari che

“raguarda” i margini delle coste opposte delineando così il “*fetch geografico*” rappresentato nella Figura 2.2 mentre i valori numerici sono riportati nella Tabella 2.1.

Considerato che nel Mar Tirreno le perturbazioni cicloniche, responsabili della generazione del moto ondoso, hanno estensioni massime dell’ordine dei 500 km, si è assunta questa distanza come estensione massima del *fetch geografico*.

Il *fetch efficace* è la porzione di mare sulla quale si esplica “efficacemente” l’azione del vento responsabile della generazione del moto ondoso proveniente da una determinata direzione ed è funzione dei valori dei *fetches geografici* associati alle direzioni contigue a quella considerata. Al riguardo si tiene conto del fatto che nella generazione del moto ondoso, oltre alla superficie marina individuata nella direzione media ϕ_w lungo la quale spira il vento, contribuiscono anche le porzioni di mare relative alle direzioni comprese in un settore di $\pm\theta$ rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei *fetches efficaci* risulta essere diversa da quella dei *fetches geografici*. Il calcolo dei *fetches efficaci* può essere eseguito in base alla seguente relazione:

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

ove:

$F_{e,w}$: 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 possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversa;

$\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$: direzione i -esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di $2 \cdot \theta$ considerato nell’intorno della direzione ϕ_w ;

θ ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45^\circ$ mentre quello di Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90^\circ$);

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 $n = 4$).

L’equazione deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretshneider, 1947) e dai suoi successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, Smith 1991). Il calcolo del *fetch efficace* è stato eseguito utilizzando il software di calcolo ENIF¹, che risolve la precedente

¹ Il software per ambiente windows ENIF per il calcolo automatico dei *fetch efficaci* è stato sviluppato e commercializzato dalla società MODIMAR s.r.l..

equazione in funzione dell'estensione dei fetches geografici misurati con una discretizzazione polare a passo angolare di 1° ponendosi al largo del sito in esame.

Come si evince dalla Figura 2.3 e numericamente dalla Tabella 2.1, i massimi fetches efficaci si hanno tra 240°N e 300°N, con un'estensione media di 350-400 km ed un massimo di circa 400 km in direzione ponente (260°N).

L'applicazione del modello numerico ENIF ha consentito inoltre di definire la legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato (

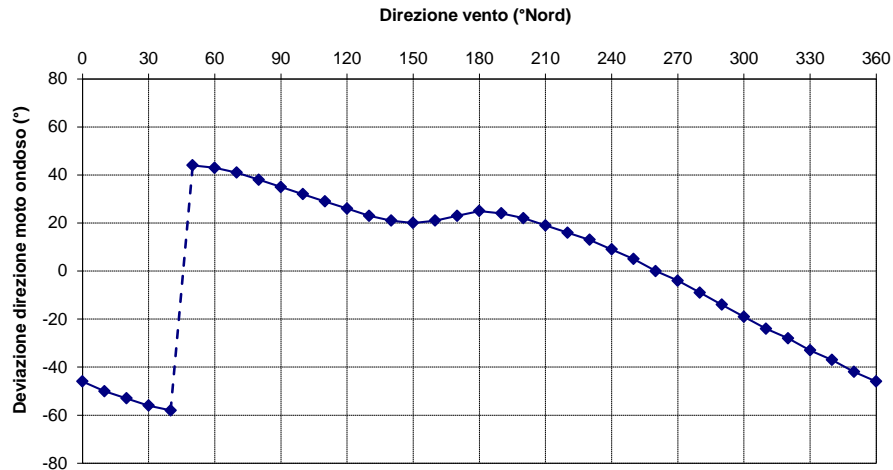


Figura 2.4 – Correlazione tra la direzione del vento e la direzione del moto ondoso generato

).

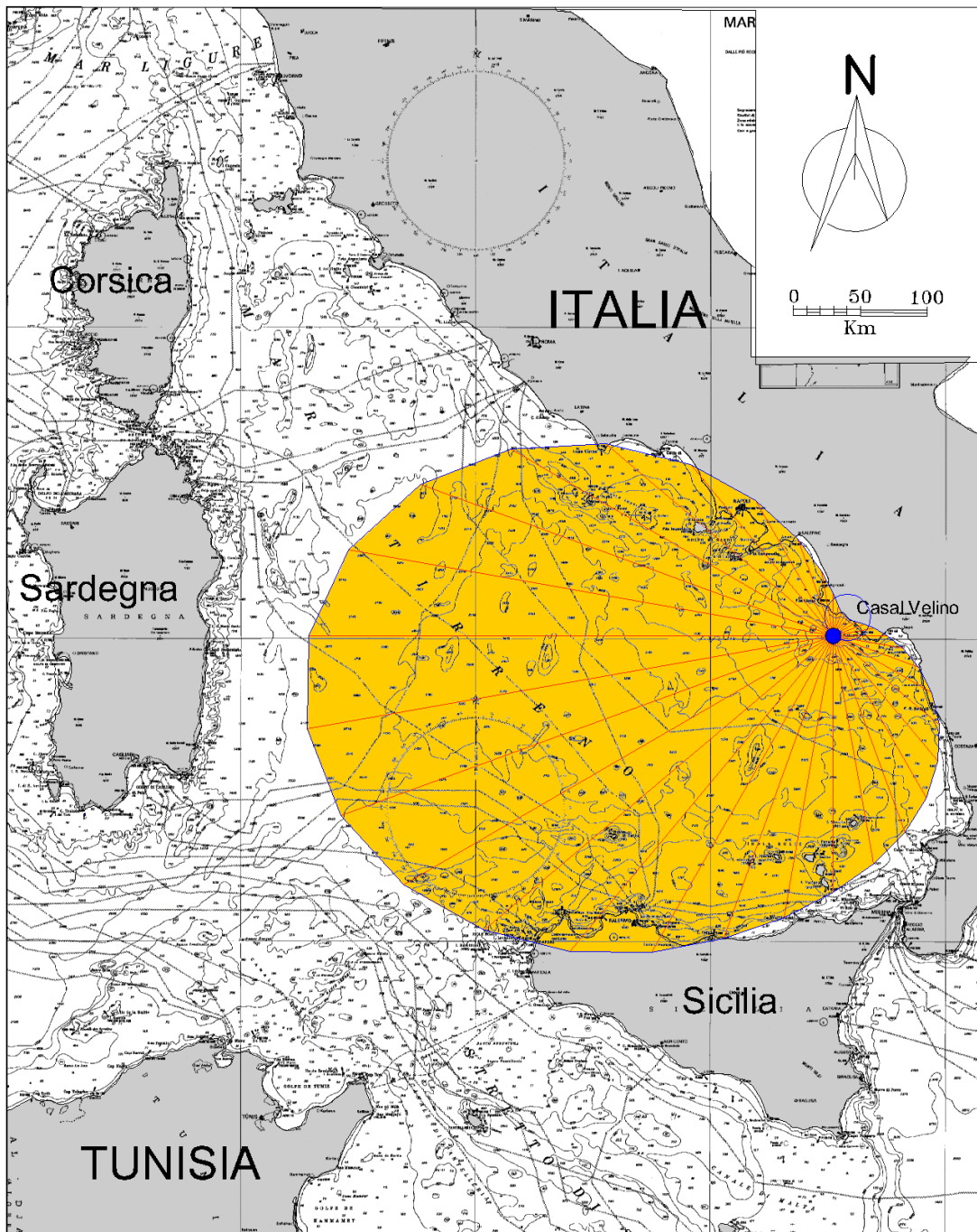


Figura 2.3: Fetches efficaci al largo di Casal Velino

Tabella 2.1 - Fetch geografici ed efficaci al largo di Casal Velino

Casal Velino Largo - Fetch geografici ed efficaci							
Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	16.85	31.83	-46.0	180	211.45	191.26	25.0
10	16.28	22.64	-50.0	190	224.31	213.28	24.0
20	18.26	18.42	-53.0	200	239.79	240.41	22.0
30	17.96	16.85	-56.0	210	258.76	272.40	19.0
40	17.20	16.79	-58.0	220	293.71	307.26	16.0
50	17.61	17.96	44.0	230	499.92	341.61	13.0
60	18.73	20.50	43.0	240	499.85	371.36	9.0
70	20.12	24.82	41.0	250	499.85	392.18	5.0
80	21.43	31.43	38.0	260	483.08	400.14	0.0
90	24.90	40.78	35.0	270	468.72	392.49	-4.0
100	62.83	53.05	32.0	280	474.16	368.33	-9.0
110	69.96	68.09	29.0	290	499.85	329.12	-14.0
120	80.21	85.28	26.0	300	207.34	278.60	-19.0
130	111.48	103.63	23.0	310	92.65	222.27	-24.0

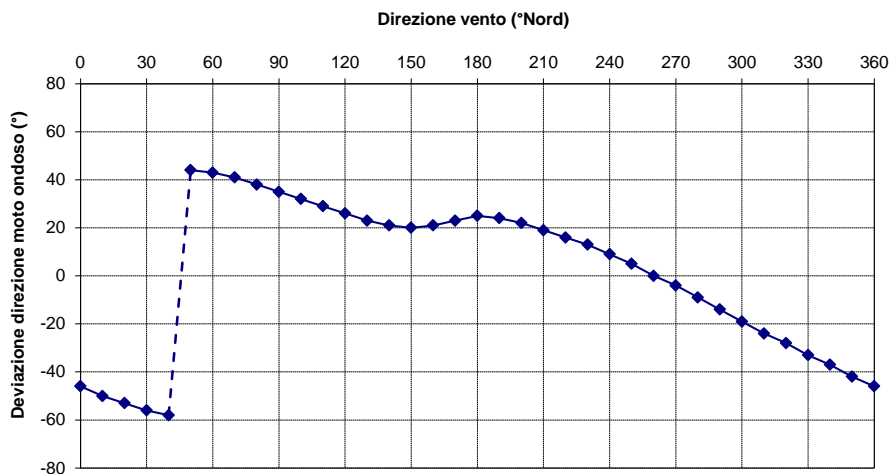


Figura 2.4 – Correlazione tra la direzione del vento e la direzione del moto ondoso generato

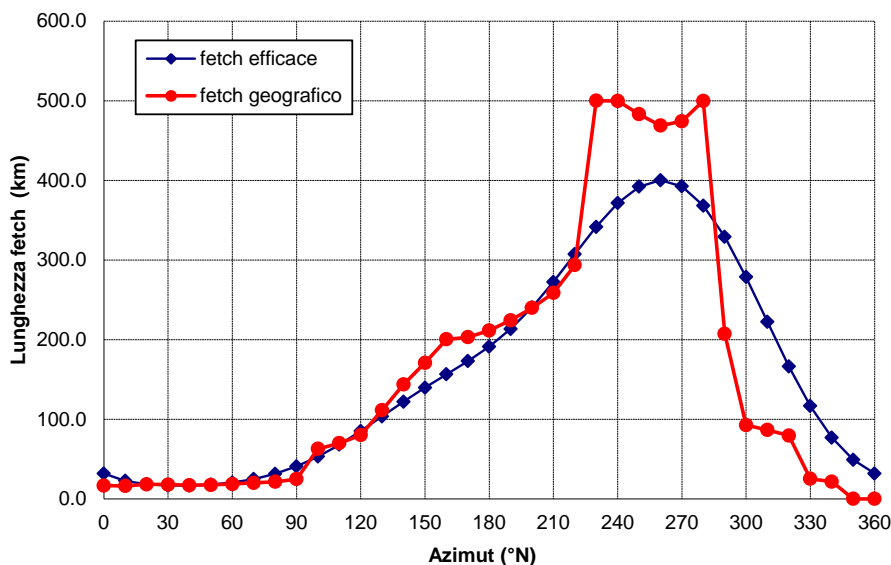


Figura 2.5 – Valori dei fetches geografici ed efficaci in funzione della direzione

3. ANALISI E VALIDAZIONE DEI DATI DI MOTO ONDOSI

L'aggiornamento dello studio meteomarinario redatto nel 2008 è stato condotto in ragione della disponibilità di nuove serie storiche di dati ondometrici che coprono un maggiore arco temporale.

3.1 Caratteristiche delle serie di dati ondometrici disponibili

Per la definizione delle caratteristiche del moto ondoso al largo del paraggio in esame, si è fatto riferimento alle seguenti fonti di dati:

- dati di moto ondoso ricostruiti tra il 1979 ed il 2009 per l'intero bacino del mediterraneo dal NOAA con il modello di generazione e propagazione del moto ondoso WaveWatch III (WWIII) con una risoluzione spaziale (lat-lon) pari a 1/6 di grado con una cadenza temporale trioraria;
- registrazioni ondometriche direzionali (da luglio 1989 a giugno 2005) effettuate dalla boa posta al largo di Ponza con cadenza trioraria appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale (ISPRA ex APAT).

Nella seguente Figura 3.1 è riportata la localizzazione della stazione ondometrica di Ponza e del punto di ricostruzione NOAA-WWIII posto al largo della costa cilentana.



Figura 3.1. Localizzazione della stazione ondometrica RON di Ponza e del punto di ricostruzione NOAA-WWIII utilizzato per l'analisi del moto ondoso al largo di Casalvelino

Per le finalità del presente studio meteomarinario, che aggiorna ed integra quello del Progetto Preliminare redatto nel 2008, si è ritenuto più rappresentativo il clima di moto ondoso ricostruito dal modello NOAA-WWIII al largo della costa cilentana, nel punto di coordinate 15.0°E – 40.0°N, perché consente di disporre di una serie di dati di moto ondoso che copre un arco temporale di 30 anni con un rendimento costante.

I dati della boa direzionale di Ponza sono stati utilizzati per verificare e validare i dati ricostruiti dal NOAA con il modello WaveWatchIII (di seguito per brevità NOAA-WWIII).

3.1.1 Registrazioni ondametriche della boa di Ponza

La stazione ondametrica di Ponza appartenente alla RON (Rete Ondametrica Nazionale gestita dall'ISPRA ex APAT) ha iniziato ad operare a Luglio 1989.

Tra il 1989 ed il 2002 (RON 1.0) ha operato una boa a disco del tipo WAVEC della società olandese Datawell posizionata in corrispondenza delle coordinate 12.95°E, 40.86°N a Sud dell'Isola di Ponza su fondali di circa 100 m. Dal 2002, a seguito di un importante rinnovamento della rete di misura (RON 2.0), è stata adottata una boa ondametrica del tipo TRIAXYS, prodotta dalla società canadese AXYS, che ha operato fino a luglio del 2007.

Nel periodo indicato il rendimento complessivo dell'ondametro è risultato pari al 82.6%, ma come si evince dal rendimento annuale riportato in Figura 3.2, nel periodo 2005 – 2007 l'ondametro ha avuto diversi periodi di inattività con rendimenti molto bassi.

A fine 2009 la rete ondametrica è stata rinnovata (RON 3.0) con l'adozione di boe meteo-ondametriche del tipo WatchKeeper, prodotte dalla società canadese AXYS. La boa di Ponza ha ripreso ad operare da fine dicembre 2009 fino ad agosto 2014 ma con un rendimento scarso e con ripetuti malfunzionamenti. Ai fini del presente studio questi dati risultano poco significativi perché non sono simultanei con i dati in ricostruzione del NOAA che coprono il trentennio 1979-2009 e pertanto non sono stati utilizzati.

In conclusione per le finalità del presente studio sono state prese in considerazione le misure di moto ondoso (H_s , T_p , T_m , Dir) registrate con cadenza trioraria dalla boa di Ponza tra il luglio 1989 e giugno 2005.

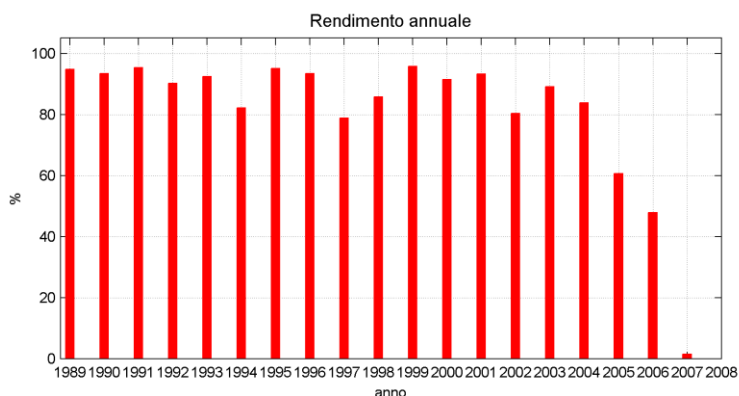


Figura 3.2. Rendimento boa RON Ponza - luglio 1989 - luglio 2007

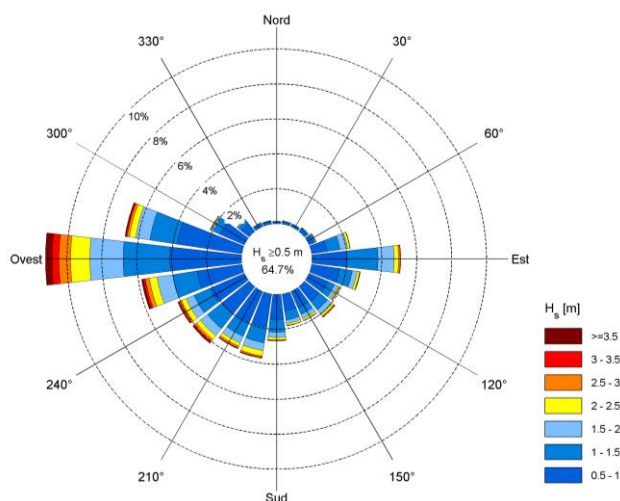


Figura 3.3. Frequenza di accadimento direzionale degli stati di moto ondoso con $H_s > 0.5$ m registrati dalla boa ondometrica RON posta al largo di Ponza

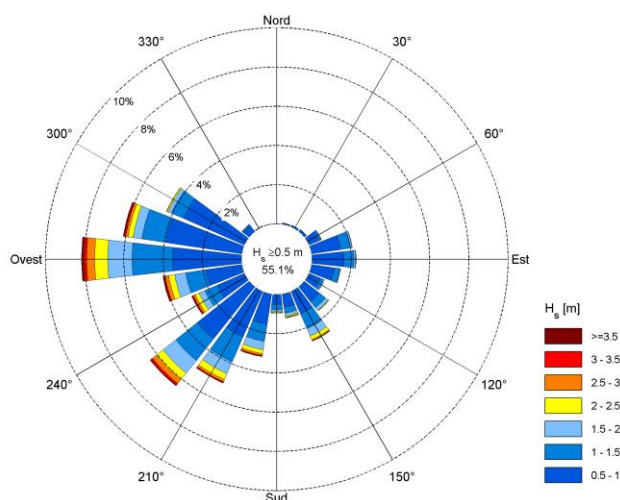


Figura 3.4. Frequenza di accadimento direzionale degli stati di moto ondoso con $H_s > 0.5$ m ricostruiti dal NOAA nel punto di coordinate 15.0°E, 40.0°N al largo del Cilento

3.2 Calibrazione dei dati di moto ondoso NOAA-WWIII con i dati RON-Ponza

I dati ricostruiti dal NOAA con il modello di WWIII per il nodo della griglia di calcolo di coordinate 13.0°E, 40.83°N (distante solo poche miglia dall'ondametro di Ponza) sono stati posti a confronto con i dati sincroni selezionati dalla serie storica della boa ondometrica direzionale di Ponza (1989-2005).

L'analisi è stata condotta sulla base dei seguenti elementi:

- frequenza relativa dell'errore $\Delta H = H_M - H_P$, definito come la differenza tra l'altezza d'onda significativa misurata dalla boa ondometrica direzionale di Ponza (H_M) e il concomitante dato ricostruito in analisi dal modello NOAA-WWIII (H_P);
- frequenza del rapporto $H_R = H_M / H_P$ tra i suddetti valori di altezza d'onda misurata (H_M) e ricostruita (H_P).

In Figura 3.5 sono rappresentati i risultati della procedura di calibrazione che ha fornito una frequenza relativa dell'errore ($P[\Delta H > 0]$) pari al 65.0% ed ha permesso di definire un **coefficiente di calibrazione statico pari ad 1.11** (corrispondente al quantile $q_{50\%}$ della frequenza relativa cumulata di HR) da applicare a tutte le altezze d'onda della serie NOAA-WWIII.

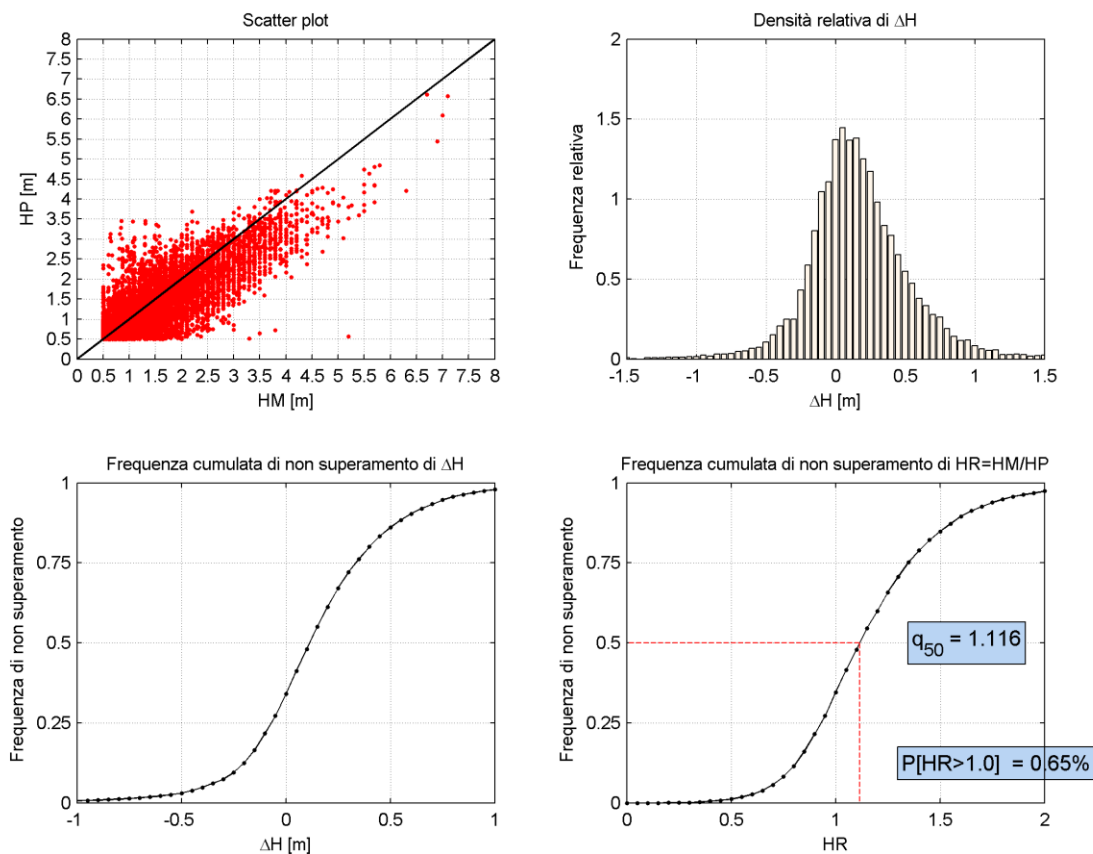


Figura 3.5. Calibrazione dei dati di moto ondoso ricostruiti dal NOAA (HP) utilizzando i dati registrati dalla boa ondometrica RON di Ponza (HM) nel periodo 1989-2005

3.3 Analisi e calibrazione degli eventi estremi ricostruiti dal NOAA-WWIII

Nei grafici di Figura 3.6 sono riportati i valori di H_s e direzione di provenienza al colmo delle mareggiate estratte dalla serie registrata dall'ondametro di Ponza e dalla serie ricostruita dal NOAA nel punto di coordinate 13.0°E 40.83°N con il modello WWIII. I dati fanno riferimento alle stesse mareggiate ma non sono sincroni.

Le mareggiate sono state individuate e selezionate sulla base dei seguenti requisiti:

- altezza d'onda H_s sopra la soglia di $H_s \geq 1.0$ m per più di 12 ore;
- altezza d'onda H_s al colmo superiore alla soglia $H_s \geq 2.0$ m;
- distanza tra due mareggiate pari ad almeno 48 ore.

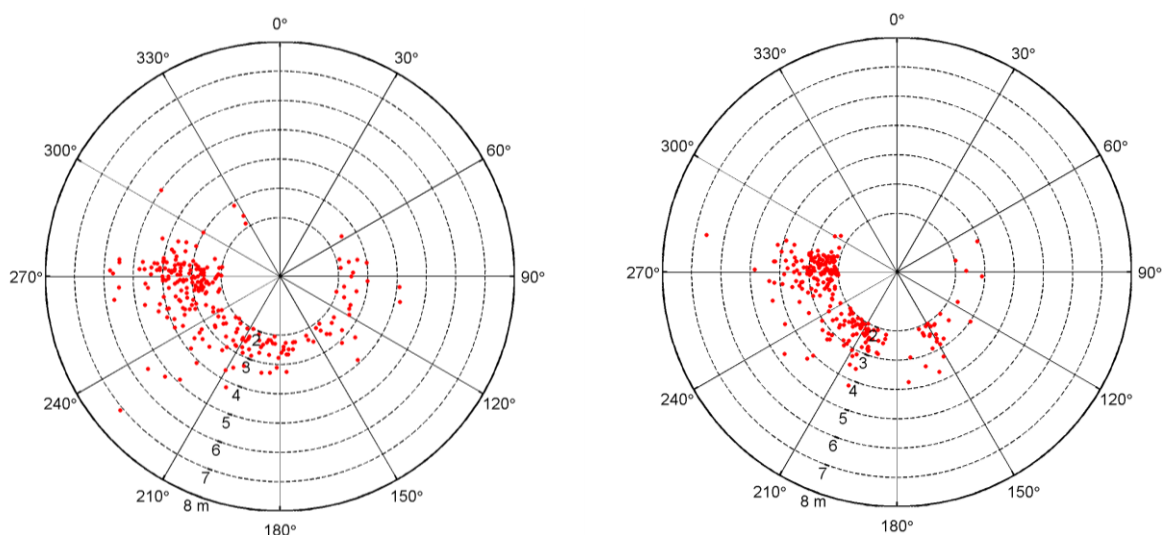


Figura 3.6. Distribuzione dei valori di altezza d'onda H_s al colmo delle mareggiate registrate dalla boa RON di Ponza (sx) e ricostruite dal NOAA (dx) nel periodo 1989 – 2005

Complessivamente nel periodo 1989 - 2005 l'ondametro RON-Ponza ha misurato 426 mareggiate. Di queste solo 43 hanno avuto valori al colmo con $H_s \geq 4.0$ m. La massima altezza d'onda significativa è stata misurata nel dicembre 1999 in occasione dell'evento noto come "la mareggiata del secolo" dove si è registrato $H_s = 7.11$ m².

Analizzando la serie degli stati di mare ricostruiti con il modello WWIII (dati NOAA), per lo stesso intervallo di tempo si individuano 313 mareggiate di cui solo 15 con $H_s \geq 4.0$ m.

Sulla base della sequenza dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalle due serie è stato possibile verificare che la maggior parte delle mareggiate misurate dalla boa RON di Ponza con $H_s \geq 3.0$ m sono presenti anche nel database NOAA-WWIII ma generalmente con valori inferiori di H_s al colmo.

Il confronto tra le mareggiate registrate dalla boa RON di Ponza e quelle ricostruite dal NOAA-WWIII ha portato alla selezione di **259 mareggiate registrate e concomitanti con quelle ricostruite**, seppure con valori al colmo diversi, così distinte:

- 41 eventi con $H_s \geq 4.0$ m di questi 2 sono sottostimati dal modello di ricostruzione NOAA-WWIII e non classificabili come mareggiate;
- 83 eventi con $3.0 \leq H_s < 4.0$ m dei quali 9, per il modello NOAA-WWIII, non sono classificabili come mareggiate;
- 77 eventi con $2.5 \leq H_s < 3.0$ m dei quali 37, per il modello NOAA-WWIII, non sono classificabili come mareggiate;
- 58 eventi con $2.0 \leq H_s < 2.5$ m dei quali 119, per il modello NOAA-WWIII, non sono classificabili come mareggiate.

La serie degli stati di mare ricostruiti con il modello NOAA-WWIII indica che nei periodi di mancato funzionamento della boa ondometrica direzionale posta al largo di Ponza si sono verificate mareggiate, così distinte: 1 evento con $H_s \geq 4.0$ m ; 12 eventi con

² tale valore è stato estratto dalla serie trioraria registrata dalla boa, l'analisi dei dati semiorari fornisce valori di altezza d'onda significativa superiori

$3.0 \leq H_s < 4.0$ m ; 15 eventi con $2.5 \leq H_s < 3.0$ m ; 26 eventi con $2.0 \leq H_s < 2.5$ m.

In qualsiasi caso il numero di dati concomitanti a disposizione evidenzia che il confronto è ben rappresentativo per le mareggiate più intense ($H_s > 4.0$ m), mentre intorno alla soglia inferiore ($H_s = 2.0$ m) aumenta il numero di eventi non presenti nella serie di dati ricostruiti dal modello NOAA che non superano il valore $H_s > 2.0$ m.

Dal punto di vista direzionale è possibile distinguere i seguenti settori di provenienza:

- ponente (240 – 300 °N) con 145 mareggiate nel periodo analizzato (1989-2005)
- libeccio-mezzogiorno-scirocco (240 – 120 °N) con 105 mareggiate.

Le analisi condotte, rappresentate in forma grafica nella Figura 3.7, indicano una buona correlazione tra le direzioni del moto ondoso (grafico a) mentre per l'altezza significativa H_s al colmo (grafico b) i dati NOAA-WWIII sono inferiori a quelli registrati dalla boa di Ponza (differenza media -0.4 m e deviazione standard 0.55 m).

La retta di interpolazione $HP = A+B \cdot HM$ (in rosso) è stata determinata con il metodo dei minimi quadrati imponendo il passaggio per l'origine ($A=0$) ed ottenendo $B = 0.8693$.

A seguito di tale analisi è stato quindi individuato un **coefficiente di calibrazione statico pari a 1.15** ($HC = HP \cdot B^{-1}$) da applicare ai valori di altezza d'onda significativa H_s al colmo delle mareggiate estratte dalla serie NOAA in prossimità del sito in esame.

Tabella 3.1. Parametri statistici relativi all'errore tra i valori estremi di H_s registrati dalla boa di Ponza (HM), quelle ricostruiti dal NOAA (HP) e quelli ottenuti con la procedura di calibrazione (HC)

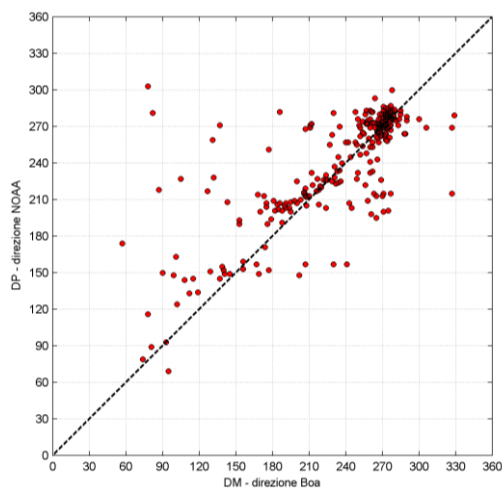
Fonte dato	ID	Numero Mareggiate	Media H_s [m]	dev.std H_s [m]	BIAS [m]	MSE [m]	RMS [m]
RON Ponza	HM	259	3.14	0.85			
NOAA-WWIII Ponza	HP	259	2.73	0.63	0.41	0.47	0.69
NOAA Ponza Calibrata	HC	259	3.14	0.55	0.00	0.31	0.55

Questo incremento dei valori di H_s ricostruiti (Tabella 3.1) presenta BIAS nullo, errore quadratico medio MSE 0.31 m e scarto quadratico medio RMS 0.55 m.

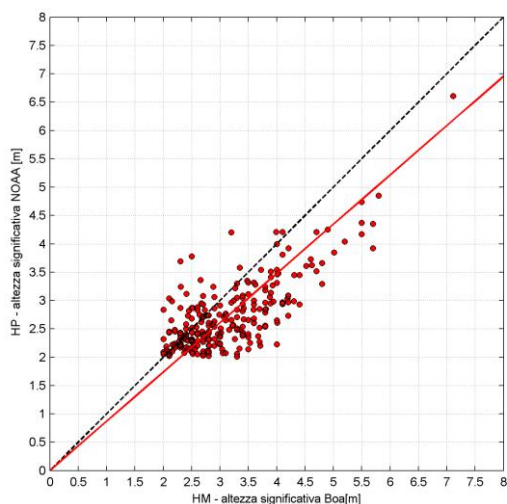
Lo stesso procedimento è stato applicato **per il periodo di picco T_p** . (Figura 3.7, grafico c). La retta di interpolazione $TP = A+B \cdot TM$ è stata determinata con il metodo dei minimi quadrati imponendo il passaggio per l'origine ($A=0$) ottenendo $B = 0.844$. Il **coefficiente di calibrazione** risulta essere **1.18** ($TC = TP \cdot B^{-1}$). In Tabella 3.2 sono riportati i parametri statistici ottenuti.

Tabella 3.2. Parametri statistici relativi all'errore tra i valori T_p registrati dalla boa di Ponza (TM), quelle ricostruiti dal NOAA (TP) e quelli ottenuti con la procedura di calibrazione (TC).

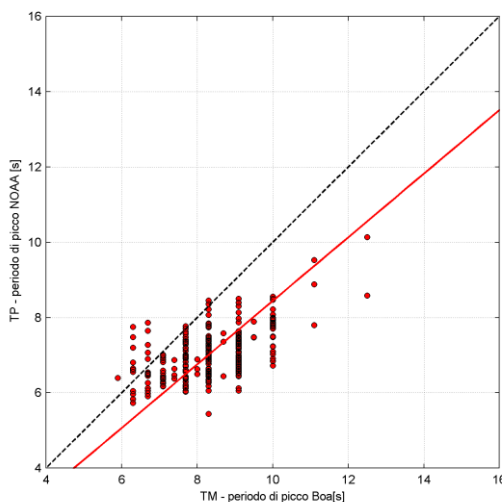
	ID	Numero Mareggiate	Media T_p [s]	dev.std T_p [s]	BIAS [s]	MSE [s]	RMS [s]
RON Ponza	TM	254	8.39	1.11			
NOAA-WWIII Ponza	TP	254	7.08	0.67	1.31	2.51	1.58
NOAA Ponza Calibrata	TC	254	8.39	0.80	0.00	0.82	0.91



(a)



(b)



(c)

Figura 3.7. Confronto asincrono tra i valori al colmo delle mareggiate (con $H_s > 2.0$ m) registrati dalla boa ondometrica RON di Ponza tra il 1989 ed il 2005 con cadenza trioraria e quelli ricostruiti dal NOAA in prossimità della boa.

- (a) correlazione direzione mareggiata registrata boa/direzione ricostruita dal NOAA**
- (b) correlazione altezza d'onda significativa H_s registrata/ricostruita dal NOAA**
- (c) correlazione periodo di picco T_p registrato/ricostruito dal NOAA**

4. CLIMA DI MOTO ONDOSO AL LARGO

Nel presente capitolo sono riportate le analisi dei dati di moto (1979-2009) al largo di Casal Velino nel punto di coordinate 40.0°N 15.0°E **ricostruiti** dal NOAA con il modello di generazione e propagazione WWIII e **calibrati** sulla base del confronto con le misure sincrone effettuate dalla boa RON di Ponza (Paragrafo 3.2).

4.1 Distribuzione degli eventi di moto ondoso per classi di altezza d'onda e direzione di provenienza

In Figura 4.1 è riportato l'istogramma della frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso della serie storica suddivisi per classi di altezza d'onda significativa.

Nella Tabella 4.1 e in Tabella 4.2 sono riportati rispettivamente il numero di eventi di moto ondoso e la frequenza di accadimento percentuale, degli eventi di moto ondoso, ricostruiti al largo di Casal Velino con il modello NOAA_WWIII, suddivisi secondo classi di direzione (settori di provenienza di 15°) e classi di altezza significativa H_s (con passo di discretizzazione variabile).

Da queste tabelle, riferendosi alla scala Douglas per la classificazione degli stati di mare ricostruiti al largo del sito in esame dal 1979 al 2009, si evince che:

- per il 46,20 % si sono registrate condizioni di mare “calmo” ($H_s \leq 0,25$ m) o “poco mosso” ($0,25 < H_s \leq 0,50$ m), trascurabili per le finalità di progettazione;
- per il 50,43 % si è avuto mare “mosso” e “molto mosso” ($0,50 < H_s \leq 2,50$ m);
- il mare “agitato” ($2,50 < H_s \leq 4,00$ m) rappresenta il 2,87% della serie di dati;
- il mare “molto agitato” ($4,00 < H_s \leq 6,00$ m) costituisce lo 0,49 % della serie di dati;
- il mare “grosso” ($H_s > 6,00$ m) costituisce lo 0,11 % della serie di dati.

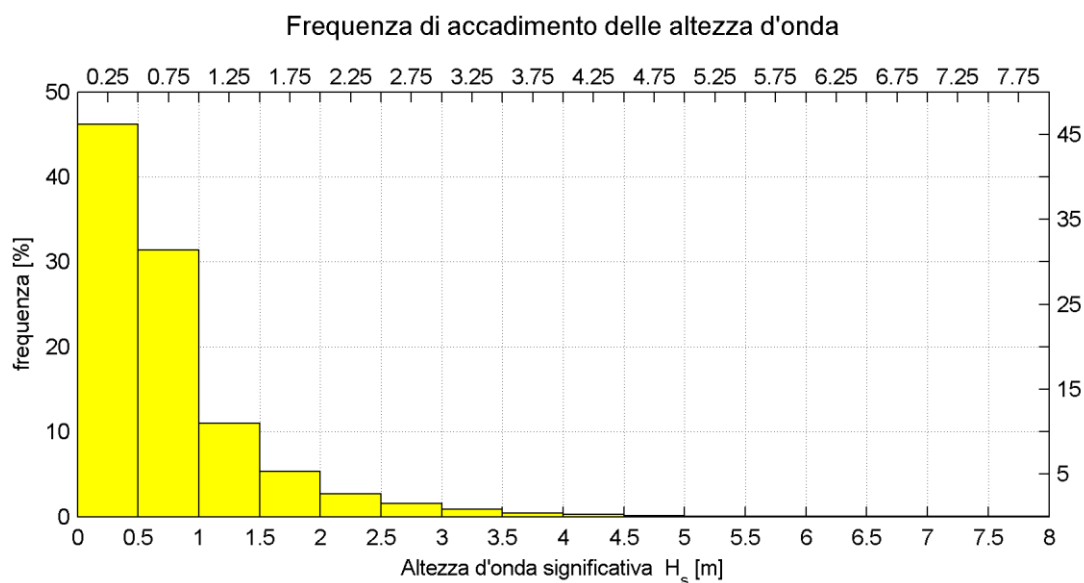


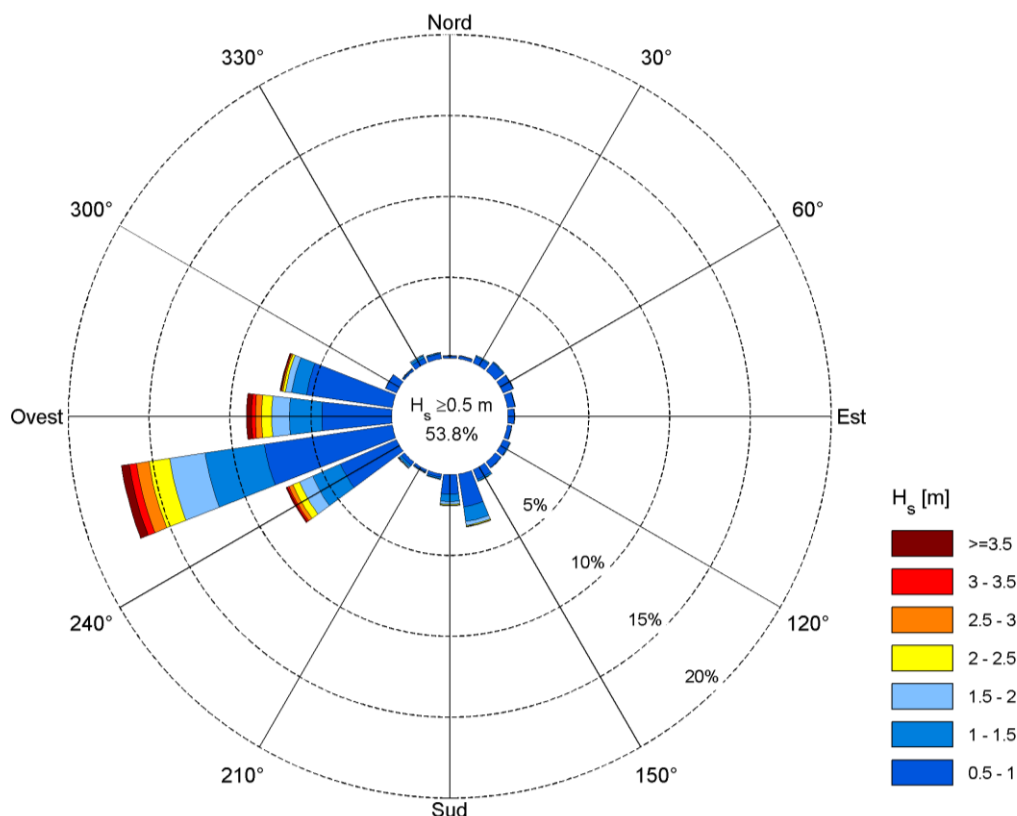
Figura 4.1. Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso suddivisi per classi di altezza d'onda significativa

Tabella 4.1. Numero di eventi di moto ondoso al largo di Casal Velino suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione. Dati ricostruiti dal NOAA e calibrati. Periodo di riferimento 1979-2009

Dir ° Nord	Altezza d'onda significativa [m]												Tot
	0.00 0.25	0.25 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 5.00	5.00 6.00	>6	
0	69	153	118	18	11	2	0	0	0	0	0	0	371
15	58	225	158	17	5	1	0	0	0	0	0	0	464
30	77	395	383	68	5	0	3	0	0	0	0	0	931
45	133	564	576	70	6	0	1	0	0	0	0	0	1350
60	138	633	593	40	5	0	0	0	0	0	0	0	1409
75	166	536	409	35	0	0	0	0	0	0	0	0	1146
90	122	369	342	27	5	0	0	0	0	0	0	0	865
105	136	269	238	19	3	0	0	0	0	0	0	0	665
120	205	388	395	47	1	0	0	0	0	0	0	0	1036
135	252	489	392	36	3	0	0	0	0	0	0	0	1172
150	279	599	596	108	8	2	0	0	0	0	0	0	1592
165	565	1094	1856	839	212	50	28	5	0	0	0	0	4649
180	332	665	1093	417	145	65	15	3	2	1	0	0	2738
195	171	179	186	91	21	6	2	1	1	0	0	0	658
210	145	143	114	43	28	11	2	1	0	0	0	0	487
225	402	233	230	128	56	20	10	3	2	2	2	0	1088
240	979	1996	3418	1707	805	407	232	97	30	43	3	3	9720
255	2570	6253	7252	3355	2017	1167	716	400	212	188	43	7	24180
270	1061	3023	3917	1813	994	573	344	214	138	113	22	7	12219
285	2374	6987	4854	847	358	144	72	42	21	13	7	2	15721
300	2694	2700	662	17	4	0	0	0	0	0	0	0	6077
315	202	232	95	33	28	3	0	0	0	0	0	0	593
330	89	222	293	144	55	3	0	0	0	0	0	0	806
345	78	190	279	61	15	1	0	0	0	0	0	0	624
Tot	13297	28537	28449	9980	4790	2455	1425	766	406	360	77	19	90561

Tabella 4.2. Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso al largo di Casal Velino nel punto di coordinate 40.0°N 15.0°E ricostruiti dal NOAA e calibrati. Periodo di riferimento 1979-2009

Dir ° Nord	Altezza d'onda significativa [m]												Tot	Hs>0.5	
	0.00 0.25	0.25 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 5.00	5.00 6.00	>6			
0	0.08	0.2	0.1	0.02	0.01	0.002								0.41	0.16
15	0.06	0.2	0.2	0.02	0.006	0.001								0.51	0.20
30	0.09	0.4	0.4	0.08	0.006		0.003							1.03	0.51
45	0.1	0.6	0.6	0.08	0.007		0.001							1.49	0.72
60	0.2	0.7	0.7	0.04	0.006									1.56	0.70
75	0.2	0.6	0.5	0.04										1.27	0.49
90	0.1	0.4	0.4	0.03	0.006									0.96	0.41
105	0.2	0.3	0.3	0.02	0.003									0.73	0.29
120	0.2	0.4	0.4	0.05	0.001									1.14	0.49
135	0.3	0.5	0.4	0.04	0.003									1.29	0.48
150	0.3	0.7	0.7	0.1	0.009	0.002								1.76	0.79
165	0.6	1.2	2.0	0.9	0.2	0.06	0.03	0.006						5.13	3.30
180	0.4	0.7	1.2	0.5	0.2	0.07	0.02	0.003	0.002	0.001				3.02	1.92
195	0.2	0.2	0.2	0.1	0.02	0.007	0.002	0.001	0.001					0.73	0.34
210	0.2	0.2	0.1	0.05	0.03	0.01	0.002	0.001						0.54	0.22
225	0.4	0.3	0.3	0.1	0.06	0.02	0.01	0.003	0.002	0.002	0.002			1.20	0.50
240	1.1	2.2	3.8	1.9	0.9	0.4	0.3	0.1	0.03	0.05	0.003	0.003		10.73	7.45
255	2.8	6.9	8.0	3.7	2.2	1.3	0.8	0.4	0.2	0.2	0.05	0.008		26.70	16.96
270	1.2	3.3	4.3	2.0	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.02	0.008		13.49	8.98
285	2.6	7.7	5.4	0.9	0.4	0.2	0.08	0.05	0.02	0.01	0.008	0.002		17.36	7.02
300	3.0	3.0	0.7	0.02	0.004									6.71	0.75
315	0.2	0.3	0.1	0.04	0.03	0.003								0.65	0.18
330	0.10	0.2	0.3	0.2	0.06	0.003								0.89	0.55
345	0.09	0.2	0.3	0.07	0.02	0.001								0.69	0.39
Tot	14.68	31.51	31.41	11.02	5.29	2.71	1.57	0.85	0.45	0.40	0.09	0.021		100	53.81
Tot. Cumulate > 0.5 m			31.41	42.43	47.72	50.43	52.00	52.85	53.30	53.70	53.78	53.80			



**Figura 4.2. Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso con $H_s > 0.5$.
Periodo di riferimento 1979-2009**

L'analisi dei risultati evidenzia che:

- complessivamente gli eventi con altezza d'onda significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 54% del totale degli eventi di moto ondoso al largo (corrispondente ad una durata media annua di circa 6.5 mesi) e provengono in maggior misura (46%) dal settore di traversia compreso tra 165 e 285 °N;
- gli stati di mare “regnanti” si presentano dal settore 240-285°N (ponente-libeccio) con una frequenza complessiva di accadimento degli stati di mare con $H_s > 0.5$ pari al 41.%;
- Il settore di traversia secondaria di mezzogiorno [165-195 °N] risulta meno frequente con un totale di eventi con $H_s > 0.5$ m pari al 5.6% del totale;
- gli stati di mare “dominanti”, aventi $H_s > 3.0$ m, sono concentrati su un settore compreso tra 165° e 285° N con una frequenza pari a circa il 1.8% (circa 7 giorni l'anno);
- gli eventi con $H_s > 5.0$ m (eventi estremi) provengono tutti dal settore di ponente (compreso tra 225° e 285° N) con una frequenza pari a circa lo 0.1% (corrispondente ad una durata di circa 9 ore l'anno).

4.2 Curva di durata

In merito alla persistenza degli eventi di moto ondoso si può far riferimento alla curva di durata rappresentata in Figura 4.3. Dall'analisi della serie storica è stato possibile determinare la durata media annuale associata a diverse soglie di altezza d'onda significativa.

Complessivamente in termini di durata media degli eventi per prefissate soglie di valori dell'altezza significativa si ricava

per	$H_s \geq 1.0$ m	circa 1960 ore/anno
	$H_s \geq 2.0$ m	circa 532 ore/anno
	$H_s \geq 3.0$ m	circa 175 ore/anno
	$H_s \geq 4.0$ m	circa 44 ore/anno

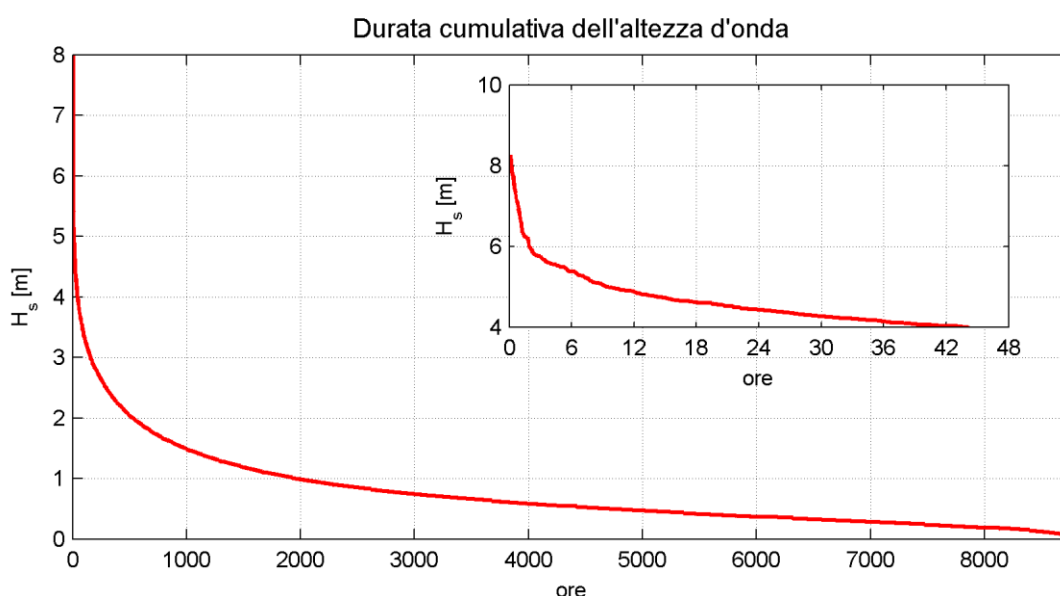


Figura 4.3. Curva di durata degli eventi di moto ondoso al largo

Dal grafico di dettaglio, relativo agli stati di mare estremi ($H_s \geq 4.0$ m), si ricava che i valori di altezza significativa superiori a 6 metri hanno una frequenza di superamento inferiore a 3 ore; anche considerando come soglia di altezza significativa i 5 metri la frequenza di superamento è comunque inferiore alle 12 ore.

4.3 Distribuzione degli eventi in relazione al periodo di picco del moto ondoso

L'istogramma riportato nella Figura 4.4 rappresenta la frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso appartenenti alla serie storica NOAA al largo di Casal Velino suddivisi in base a classi di periodo di picco T_p di ampiezza di un secondo tra 0 e 16 secondi.

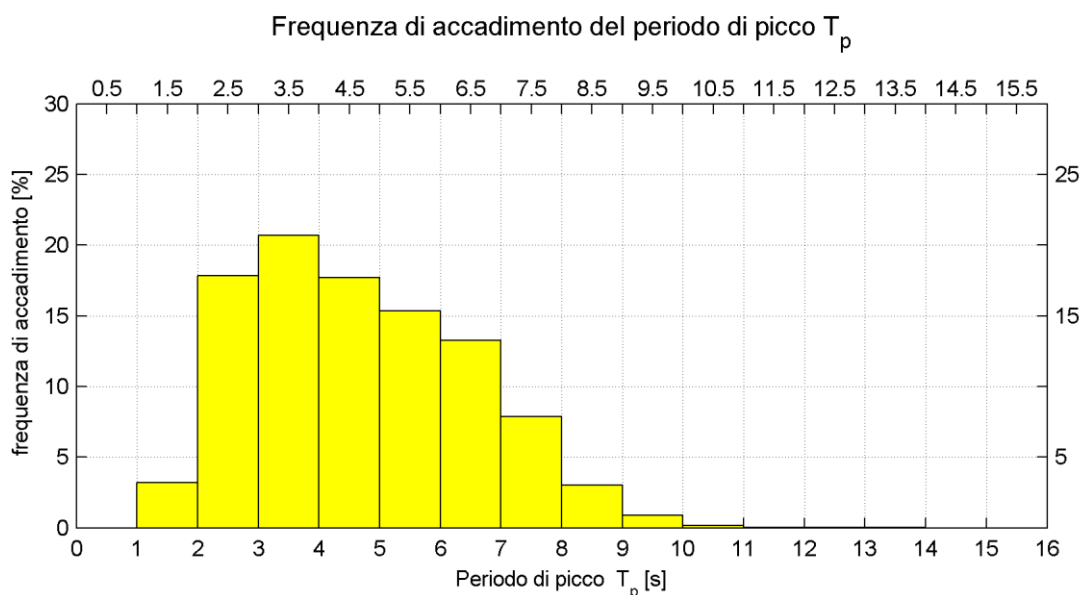


Figura 4.4. Frequenza di accadimento del periodo di picco T_p .

In Tabella 4.3 è riportato il valore medio del periodo di picco T_p ottenuto classificando gli eventi della serie storica per classi di H_s e direzione di provenienza. I valori riportati tra parentesi indicano il valore della deviazione standard rispetto alla media calcolata.

Gli stati di mare provenienti dal settore di traversia principale [225 - 285 °N] compresi tra $0.5 < H_s < 2.0$ m hanno in media un periodo di picco T_p di 6.0 s. Stati di mare più intensi appartenenti alla classi di altezza d'onda $2.0 < H_s < 4.0$ m presentano generalmente un periodo di picco T_p di 7.8 s. Gli eventi estremi con $H_s > 5.0$ m sono caratterizzati da valori di $T_p \geq 9.0$ s.

Il settore di traversia secondario [165 - 195 °N] è caratterizzato da stati di mare che presentano valori del periodo di picco T_p inferiori. Gli eventi compresi tra $0.5 < H_s < 2.0$ m hanno in genere periodo di picco compreso tra 4 e 5.5 secondi. Gli stati di mare superiori a 2.0 m di altezza d'onda presentano valori di T_p compresi tra 6 e 8 secondi.

Al fine di individuare la 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 seguente relazione (Mathiesen et al., 1994) utilizzata anche nell'Atlante delle Onde Italiane edito da ISPRA:

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

ove i parametri a e b sono stati ricavati dall'analisi di correlazione statistica dei dati registrati dalla boa ondometrica.

Per trovare la legge di dipendenza si è fatto riferimento agli eventi di moto ondoso con altezza d'onda significativa $H_s \geq 0.5$ m appartenenti ai due settori di traversia:

- settore di libeccio-ponente 225 - 285 °N
- settore di scirocco-mezzogiorno 165 - 195 °N

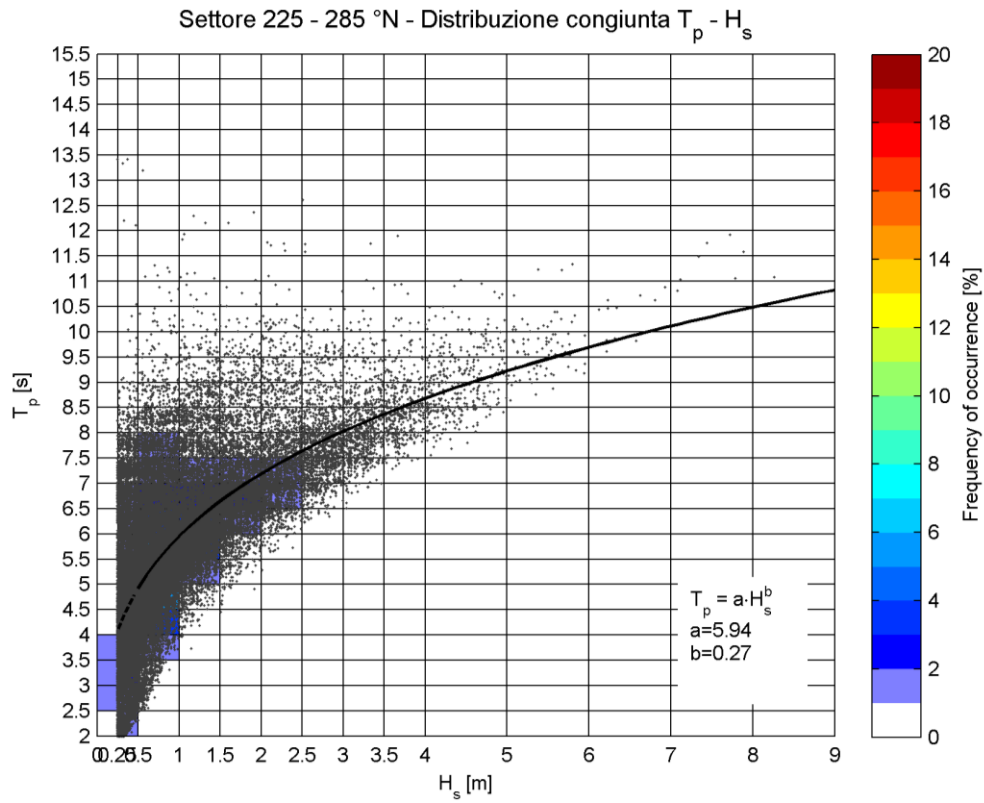
In Figura 4.5 ed in Figura 4.6 sono riportate le funzioni di correlazione tra T_p e H_s trovate con il metodo dei minimi quadrati per i dati della serie storica al largo di Casal Velino per i due settori di traversia individuati.

L'analisi condotta ha permesso di determinare i seguenti parametri della legge di adattamento:

$T_p = a \cdot (H_s)^b$	a	b
settore 225-285 °N	5.94	0.27
settore 285-360 °N	4.50	0.33

Tabella 4.3. Valore medio del periodo di picco T_p associato a classi di direzione e altezza d'onda significativa H_s per gli eventi della serie storica NOAA al largo di Casal Velino.

VALORE MEDIO DEL PERIODO DI PICCO PER CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA E DIREZIONE													
Dir ° Nord	ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA H_s [m]												valore medio
	0.00 0.25	0.25 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 5.00	5.00 6.00	>6.00	
0	2 (0.4)	2.5 (0.3)	3.1 (0.3)	3.9 (0.3)	4.7 (0.2)	5.3 (0)							3.6
15	1.9 (0.4)	2.4 (0.2)	2.9 (0.3)	3.8 (0.2)	4.4 (0.2)	5 (0)							3.4
30	1.8 (0.3)	2.3 (0.2)	2.9 (0.2)	3.7 (0.3)	4.3 (0.1)		5.3 (0)						3.4
45	1.9 (0.3)	2.3 (0.2)	2.9 (0.3)	3.6 (0.2)	4.2 (0.3)		5.3 (0)						3.4
60	1.9 (0.3)	2.3 (0.2)	2.9 (0.3)	3.6 (0.2)	4.3 (0.2)								3
75	2 (0.3)	2.3 (0.3)	3 (0.3)	3.8 (0.2)									2.8
90	2 (0.4)	2.4 (0.3)	3.1 (0.3)	3.9 (0.2)	4.5 (0.2)								3.2
105	2.2 (0.4)	2.5 (0.4)	3.3 (0.3)	4.1 (0.3)	4.7 (0)								3.4
120	2.4 (0.5)	2.8 (0.5)	3.6 (0.4)	4.4 (0.2)	4.8 (0)								3.6
135	2.4 (0.5)	3 (0.5)	3.7 (0.4)	4.5 (0.3)	5.1 (0.1)								3.7
150	2.3 (0.5)	3 (0.5)	3.9 (0.5)	4.7 (0.4)	5.4 (0.2)	6 (0.2)							4.2
165	2.6 (0.4)	3.2 (0.5)	4 (0.5)	4.8 (0.4)	5.4 (0.4)	5.9 (0.4)	6.3 (0.4)	6.8 (0.2)					4.9
180	2.5 (0.4)	3.2 (0.5)	4.1 (0.5)	4.8 (0.4)	5.4 (0.4)	5.9 (0.4)	6.6 (0.3)	7.2 (0.3)	7.1 (0.6)	7.9 (0)			5.5
195	2.2 (0.5)	2.9 (0.6)	3.9 (0.5)	4.8 (0.4)	5.2 (0.3)	5.6 (0.2)	6.5 (0.2)	6.1 (0)	7.1 (0)				4.9
210	2.2 (0.4)	2.8 (0.6)	4 (0.6)	5 (0.5)	5.7 (0.5)	6 (0.4)	6.4 (0.1)	7 (0)					4.9
225	3.7 (1.7)	3.4 (1.2)	4.4 (0.6)	5.3 (0.6)	5.9 (0.6)	6.2 (0.3)	7 (0.5)	7.7 (0.2)	7.7 (0.1)	7.9 (0)	8.9 (0.4)		6.2
240	4 (1.4)	4.7 (1.2)	5.7 (1)	6.3 (0.9)	6.8 (0.8)	7.2 (0.8)	7.8 (0.8)	8.1 (0.8)	8.9 (1.1)	9.3 (0.8)	9.4 (0.2)	11.4 (0.6)	7.5
255	4.7 (1.6)	5.3 (1.4)	6 (1.2)	6.6 (1.1)	7.1 (1)	7.5 (1)	7.8 (0.8)	8.2 (0.7)	8.6 (0.6)	9 (0.6)	9.8 (0.6)	10.6 (0.9)	7.6
270	2.9 (0.9)	3.7 (1)	5 (0.8)	6.1 (0.7)	6.7 (0.6)	7.2 (0.6)	7.6 (0.6)	8 (0.5)	8.3 (0.5)	8.8 (0.5)	9.5 (0.4)	10.6 (0.4)	7
285	3 (0.8)	3.6 (0.9)	4.6 (1.1)	6.2 (1)	7 (0.8)	7.4 (0.7)	7.8 (0.6)	8.1 (0.6)	8.4 (0.4)	8.8 (0.7)	9.9 (0.4)	10.5 (0)	7.1
300	2.8 (0.8)	3.4 (1)	4 (1.4)	5.9 (2.4)	5.6 (0.3)								4.3
315	2 (0.4)	2.4 (0.4)	3.3 (0.5)	4.5 (0.3)	5.2 (0.2)	5.8 (0.2)							3.9
330	1.9 (0.3)	2.6 (0.5)	3.6 (0.4)	4.5 (0.3)	5.1 (0.2)	5.4 (0.4)							3.8
345	1.9 (0.3)	2.6 (0.3)	3.4 (0.4)	4.2 (0.3)	5 (0.3)	5.4 (0)							3.7
valore medio	2.5	3	3.8	4.7	5.3	6.1	6.8	7.5	8	8.6	9.5	10.8	
Note: 1. Periodo di picco T_p espresso in secondi 2. Tra parentesi valore della deviazione standard													



**Figura 4.5. Correlazione altezza – periodo per i dati della serie storica NOAA al largo di Casal Velino.
Settore 225-285°N**

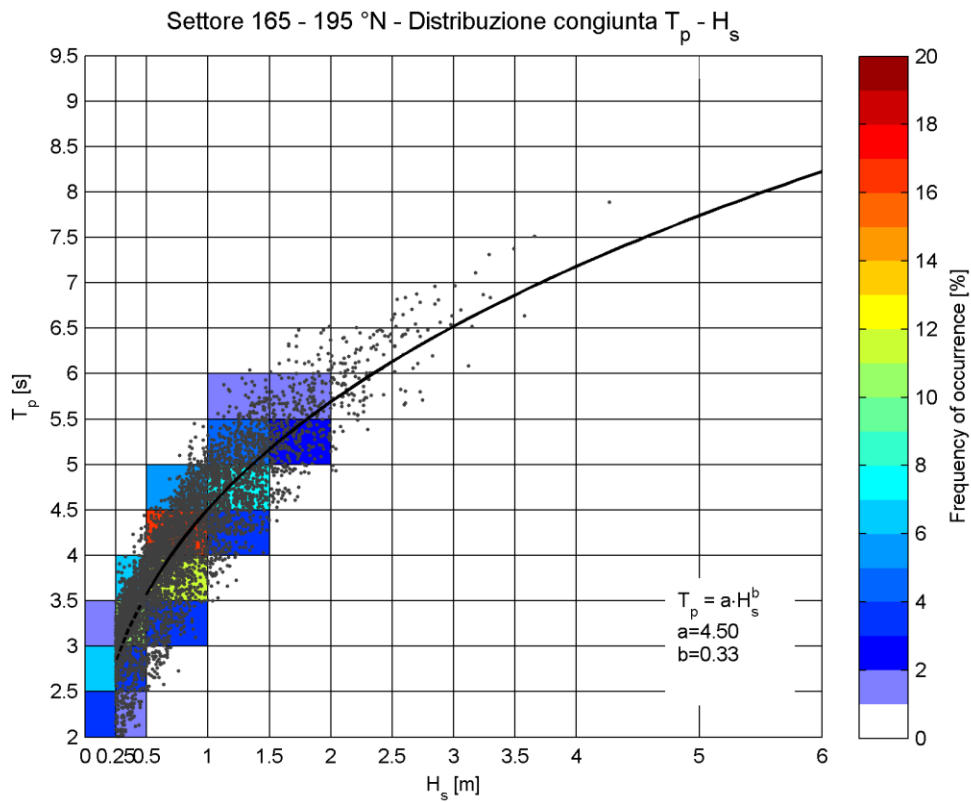


Figura 4.6. Correlazione altezza – periodo per i dati della serie storica NOAA al largo di Casal Velino - Settore 165-195°N

5. ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSI AL LARGO

Per determinare l'onda di progetto al largo è stata eseguita un'analisi statistica dei valori estremi estratti dalla serie storica di dati di moto ondoso ricostruiti dal NOAA al largo di Casal Velino nel punto di coordinate 15.0°E 40.0°N opportunamente **calibrati sulla base del confronto asincrono tra i valori al colmo delle mareggiate registrati dalla boa di Ponza e i valori ricostruiti dal NOAA in prossimità della boa.**

5.1 Preparazione del campione

L'analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso richiede la preliminare selezione di un campione di dati rappresentativo delle mareggiate più significative per eseguire un'analisi di inferenza statistica.

La serie storica ricostruita tra il 1979 e il 2009 consente di operare con campione di dati molto numeroso ed un elevato numero di anni ($K=31$).

Per eseguire l'analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso risulta necessario selezionare preliminarmente dei dati che rispondano al doppio requisito di risultare tra loro statisticamente **omogenei ed indipendenti**.

È regola caratterizzare una mareggiata assegnandole i valori di altezza significativa, periodo e direzione corrispondenti al massimo dell'intensità raggiunta nella successione di stati di mare.

Per l'individuazione delle mareggiate all'interno della serie temporale sono stati selezionati gli stati di mare caratterizzati da una persistenza dell'altezza significativa sopra la soglia di $H_s > 1.0$ m per una durata maggiore a 12 ore consecutive e valore di altezza d'onda al colmo $H_s \geq 2.0$ m.

L'**omogeneità** dei dati all'interno del campione di solito viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori di altezza d'onda significativa, al colmo delle mareggiate, in distinti settori di traversia del paraggio.

L'**indipendenza** tra le singole mareggiate viene assicurata imponendo un valore di soglia per l'intervallo che intercorre tra due mareggiate successive. Generalmente tale intervallo, come raccomandato da Mathiesen, è pari a 48 ore.

Una volta individuate le singole mareggiate sono stati applicati i coefficienti di calibrazione ottenuti in precedenza sulla base del confronto con le misure della boa RON di Ponza (vedi Paragrafo 3.3), pari a 1.15 per i valori di H_s e 1.18 per i valori di T_p .

Complessivamente sono stati individuati $N_T=476$ eventi di mareggiata, che possono essere suddivisi per classi di altezza d'onda significativa al colmo:

$2 \leq H_s < 2.5$ (m): 68

$2.5 \leq H_s < 3$ (m): 130

$3 \leq H_s < 3.5$ (m): 105

$3.5 \leq H_s < 4$ (m): 63

$4 \leq H_s < 4.5$ (m): 44

$4.5 \leq H_s < 5$ (m): 25

$H_s \geq 5$ (m): 41

L'omogeneità dei dati all'interno del campione di solito viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Generalmente ciò si traduce nel separare i valori di altezza d'onda significativa al colmo delle mareggiate in distinti settori di traversia del paraggio.

Sulla base della distribuzione direzionale dei colmi di mareggiata sono stati individuati due settori di traversia che caratterizzano il paraggio in esame:

- il settore di traversia principale compreso tra 210°N e 300°N ,
- il settore di traversia secondario compreso tra 150°N e 210°N .

Poiché il numero dei colmi di mareggiata appartenenti al settore di traversia secondario risulta esiguo per effettuare un'analisi statistica significativa, la durata del singolo stato di mare viene ridotta a 9 ore consecutive e il valore di altezza d'onda al colmo $H_s \geq 1.0$ m (soglia scelta anche per il settore di traversia principale).

Il numero totale degli eventi individuati sale perciò a $N_T=982$. I colmi di mareggiata vengono suddivisi in classi di altezza d'onda significativa per i due settori di interesse (Tabella 1.1).

Tabella 5.1. Suddivisione in classi di altezza d'onda significativa al colmo per il settore di traversia Principale (210° - 300°) e Secondario (150° - 210°)

Classi di altezza (m)	Settori di traversia	
	Principale	Secondario
$1.0 \leq H_s < 1.5$	84	19
$1.5 \leq H_s < 2.0$	229	37
$2.0 \leq H_s < 2.5$	175	12
$2.5 \leq H_s < 3.0$	126	4
$3.0 \leq H_s < 3.5$	102	3
$3.5 \leq H_s < 4.0$	62	1
$4.0 \leq H_s < 4.5$	43	1
$4.5 \leq H_s < 5.0$	25	
$5.0 \leq H_s < 5.5$	17	
$5.5 \leq H_s < 6.0$	16	

$H_s \geq 6.0$	8	
Ntot	887	77

Nel diagramma polare riportato in Figura 5.1 sono rappresentati i colmi delle mareggiate (con $H_s \geq 1.0$ m) appartenenti alla serie storica NOAA-WWIII (1979-2009) nel punto di ricostruzione 40.0°N-15.0°E opportunamente calibrati come precedentemente illustrato.

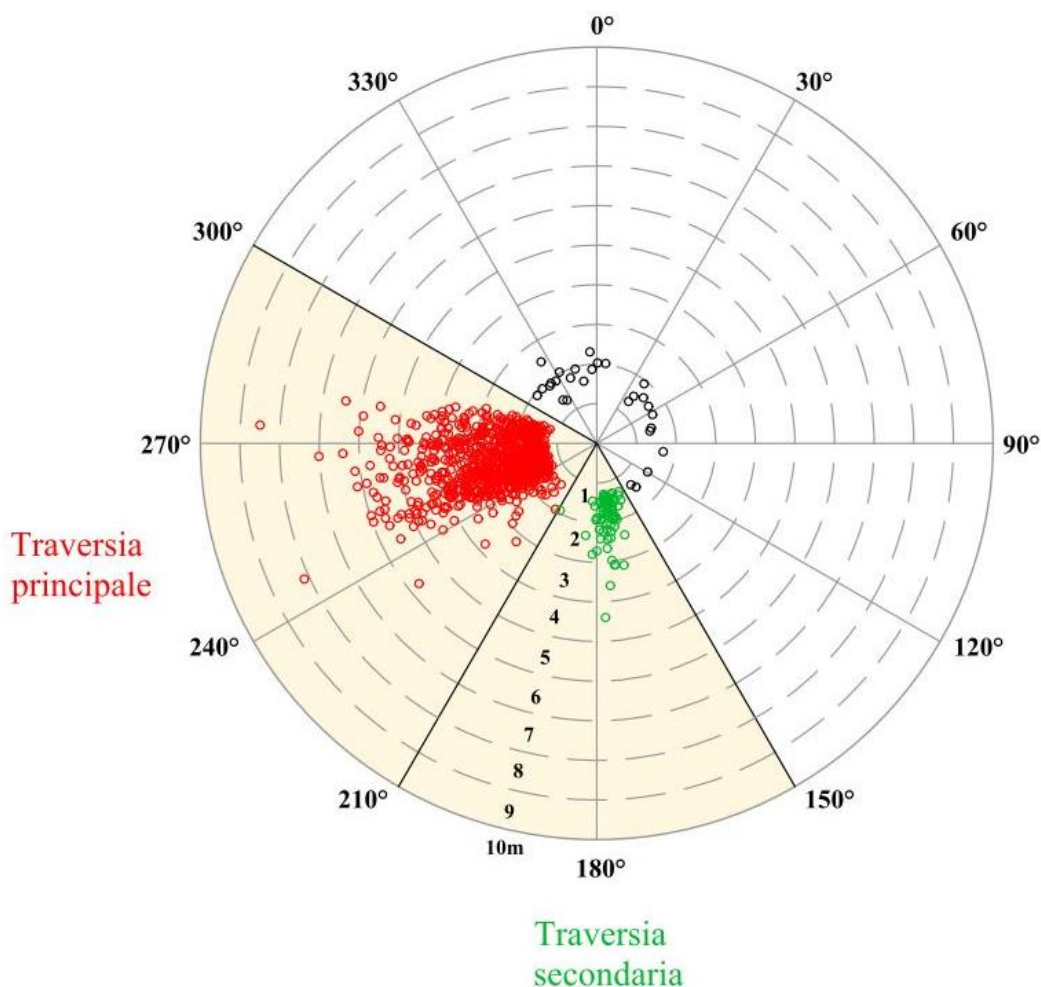


Figura 5.1. Valori al colmo delle mareggiate al largo di Casal Velino nel periodo 1979-2009 ricostruite dal NOAA e calibrate sulla base del confronto asincrono in corrispondenza della stazione ondometrica di Ponza

Individuati i settori principali di provenienza del moto ondoso, è possibile applicare il metodo POT (Peak Over Threshold) per selezionare tra le mareggiate gli N valori al colmo superiori ad una prefissata soglia di riferimento.

Il metodo POT, a differenza del metodo dei massimi annuali, consente di selezionare un numero maggiore di dati garantendo intervalli di confidenza minori per la stima dei valori estremi.

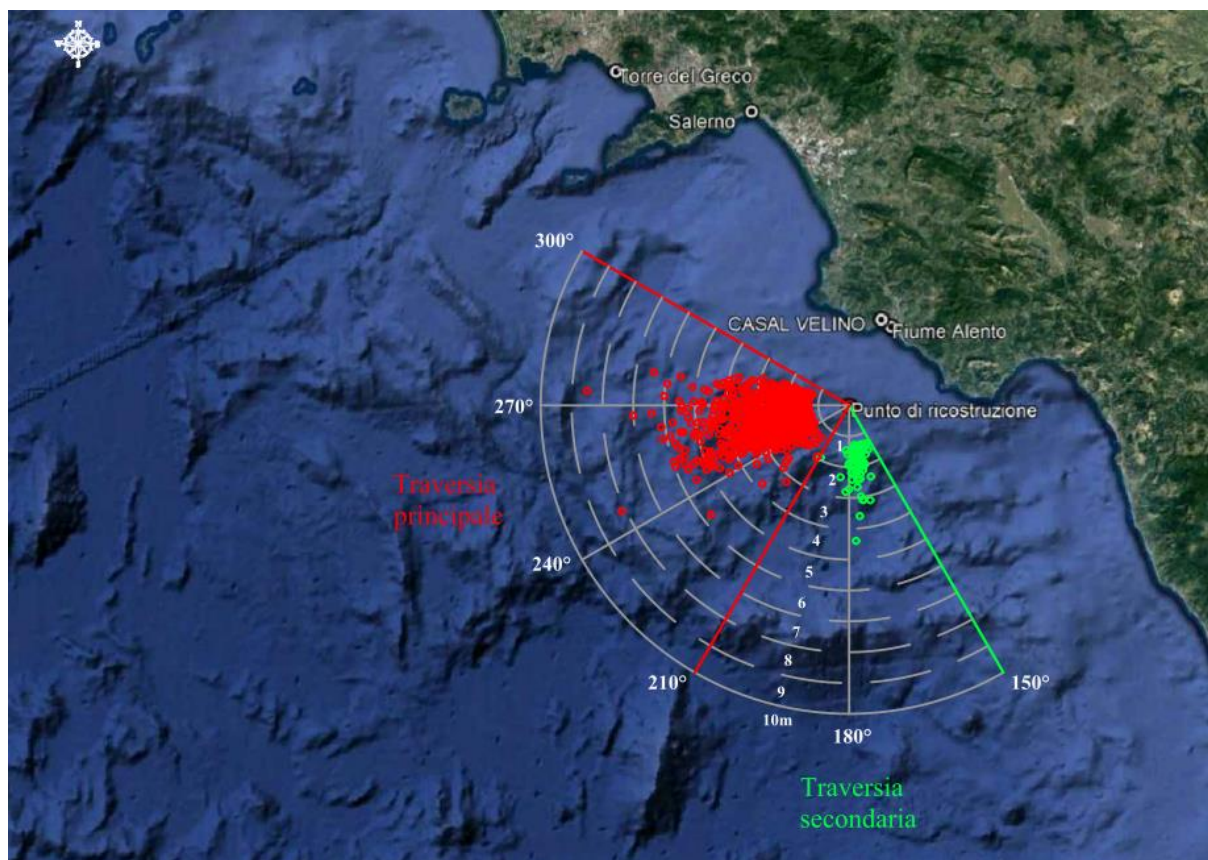


Figura 5.2. Valori al colmo delle mareggiate al largo di Casal Velino nel periodo 1979-2009

5.2 Individuazione del modello probabilistico per i dati selezionati

Gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa (H_s) superiore alla soglia fissata sono quindi oggetto di un'elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante una regolarizzazione degli eventi estremi secondo note funzioni probabilistiche, le caratteristiche del moto ondoso da associare ad assegnati tempi di ritorno T_R (o probabilità di occorrenza).

Tra le distribuzioni statistiche per l'analisi dei valori estremi è stata adottata la distribuzione di probabilità cumulata di non superamento (funzione di ripartizione) di Weibull (limitata inferiormente):

$$P_{X_{\min}}(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right]$$

in cui X è la variabile aleatoria, x il valore di non superamento mentre A , B sono i parametri della distribuzione e κ è il parametro di forma della distribuzione.

La valutazione dei parametri della distribuzione richiede la preliminare stima della frequenza campionaria dei dati.

Per fare questo il campione dei dati viene ordinato in senso decrescente e per ogni m-esimo evento viene calcolata la frequenza campionaria di non superamento utilizzando la formula di Gringorten:

$$\hat{F}_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, m = 1, 2, \dots, N$$

I valori dei parametri α e β sono forniti da Goda (1988), per la distribuzione Weibull sono $\alpha = 0.20 + 0.27/\sqrt{k}$, $\beta = 0.20 + 0.23/\sqrt{k}$

In seguito introducendo la variabile ridotta:

$$y_{(m)} = \left[-\ln(1 - \hat{F}_m) \right]^{1/k}$$

viene applicato il metodo dei minimi quadrati per determinare i parametri A e B della retta:

$$x_{(m)} = B + A \cdot y_{(m)}$$

Ottenuta la funzione di probabilità di non superamento è possibile valutare il corrispondente valore al colmo della mareggiata corrispondente ad un tempo di ritorno assegnato.

Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

$$Tr(X \leq x) = \frac{1}{(1 - P(X \leq x))}$$

si possono stimare le altezze d'onda significative al colmo associate a diversi tempi di ritorno.

5.3 Statistica dei valori estremi di H_s

I risultati delle analisi statistiche svolte sui campioni di valori di H_s al colmo delle mareggiate, rappresentativi dei due settori di traversia individuati, sono riportati nei grafici e nelle tabelle a seguire.

Applicando il metodo POT con soglia di 4.0 m per il settore di traversia principale sono stati individuati 109 eventi di mareggiata con un valore medio di 4.92 m ed una deviazione standard di 0.81 m.

Per il settore di traversia secondario, fissata la soglia di 1.0 m, sono stati individuati 39 eventi di mareggiata con un valore medio di 1.94 m ed una deviazione standard di 0.70

m.

In Tabella 5.2 sono riportati, per ciascun settore di traversia, i campioni ordinati dei colmi delle mareggiate utilizzati per l'analisi statistica. La tabella riporta i primi 20 valori e gli ultimi 10 del campione.

Per ogni evento sono riportati la data di registrazione, il valore di altezza significativa al colmo H_s , il corrispondente valore del periodo di picco T_p e la direzione di provenienza. Viene inoltre riportato il corrispondente tempo di ritorno associato all'evento.

Tabella 5.2. Campione degli eventi estremi triorari osservati tra il 1979 e il 2007 e tempo di ritorno associato, calcolato dopo aver determinato la funzione di probabilità di non superamento

Settore di traversia principale (210-300°N) N=109 Soglia POT Hs=4.0 m Weibull 1.0						Settore di traversia secondario (150-210°N) N=77 Soglia POT Hs=1.0 m Weibull 1.0					
m	Data	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	TR	m	Data	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	TR
1	28/12/1999	8.51	13.07	273	58.55	1	26/03/1992	4.40	9.31	177	64.25
2	11/01/1987	8.13	13.68	245	20.28	2	22/12/1979	3.60	8.71	175	21.08
3	31/12/1979	7.02	12.54	267	12.26	3	31/01/1986	3.15	7.91	167	12.61
4	02/01/1979	6.42	12.35	280	8.79	4	15/01/1980	3.11	8.22	172	8.99
5	03/12/1997	6.41	11.60	268	6.85	5	26/02/1984	3.08	7.84	171	6.99
6	05/02/2003	6.13	11.72	260	5.61	6	01/03/1986	2.67	7.59	174	5.72
7	22/11/2008	6.13	11.06	263	4.75	7	31/03/1981	2.40	7.86	163	4.83
8	13/02/2007	6.01	10.90	273	4.12	8	05/03/1988	2.40	6.80	178	4.19
9	15/01/1987	5.98	13.38	252	3.64	9	08/03/1991	2.17	6.95	178	3.70
10	24/01/2007	5.97	12.04	251	3.26	10	15/05/1984	2.14	7.09	168	3.31
11	25/01/1984	5.92	11.75	277	2.95	11	16/01/1985	2.08	7.03	170	2.99
12	25/01/1986	5.89	11.33	260	2.69	12	11/05/1982	1.93	6.95	180	2.73
13	10/02/1986	5.76	11.27	258	2.48	13	16/03/1983	1.93	6.29	168	2.51
14	16/01/1981	5.74	10.80	264	2.29	14	29/03/1983	1.93	6.74	181	2.33
15	26/02/1989	5.73	11.74	253	2.14	15	05/05/1988	1.93	7.86	209	2.17
16	06/12/1992	5.70	12.05	256	2.00	16	13/11/1984	1.92	6.87	166	2.03
17	27/12/2004	5.70	10.82	232	1.88	17	05/04/1992	1.87	7.23	180	1.90
18	28/02/2004	5.65	11.58	251	1.77	18	08/05/1982	1.76	6.42	172	1.79
19	28/11/1980	5.61	11.95	248	1.67	19	04/04/1988	1.71	7.47	175	1.70
20	13/12/1981	5.60	11.41	253	1.59	20	28/09/1983	1.67	6.54	161	1.61
...
100	05/01/1979	4.09	9.52	242	0.31	68	15/09/1988	1.47	5.53	184	1.06
101	13/12/1982	4.09	10.14	247	0.31	69	24/05/1990	1.45	5.89	167	1.03
102	17/02/1987	4.09	10.05	264	0.31	70	08/11/1982	1.44	5.97	173	1.00
103	20/04/2004	4.09	10.49	258	0.30	71	25/03/1991	1.44	6.69	173	0.97
104	27/12/1980	4.08	10.09	269	0.30	72	23/01/1979	1.41	5.92	170	0.94
105	27/12/2001	4.07	9.84	273	0.30	73	15/01/1991	1.41	5.83	157	0.91
106	19/04/1991	4.05	10.45	252	0.29	74	09/05/1984	1.38	6.53	172	0.88
107	20/01/1998	4.04	9.44	269	0.29	75	13/02/1987	1.33	5.77	156	0.86
108	06/12/2008	4.04	10.09	255	0.29	76	30/09/1991	1.33	5.91	172	0.84
109	30/03/1984	4.00	9.46	270	0.29	77	06/10/1987	1.29	5.71	173	0.82

Nelle seguenti Figura 5.3, Figura 5.4 e Tabella 5.3, Tabella 5.4 sono riportati i risultati delle analisi statistiche dei valori estremi di H_s associati a prefissati tempi di ritorno, cui fare riferimento nel dimensionamento delle opere, condotte per il settore di traversia principale (210-300 °N) e secondario (150-210°N).

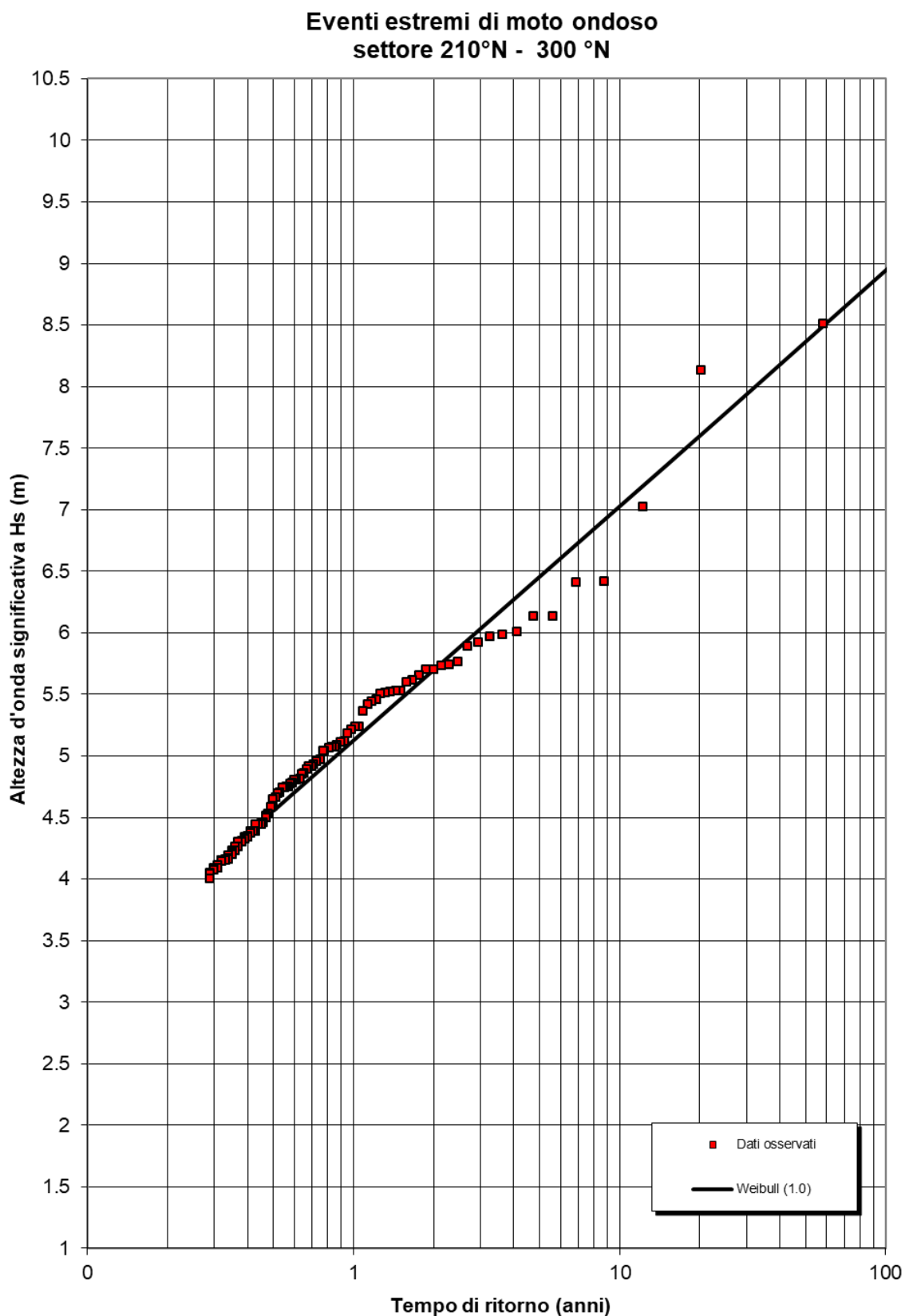


Figura 5.3. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull 1.0 dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica NOAA WWIII tra il 1979 e il 2007. Settore di traversia principale

Tabella 5.3. Statistica degli eventi estremi per il settore di traversia principale (210-300°N)

NOAA WWIII - (40°N - 15°E) - Analisi delle onde estreme

Settore di traversia: 210° - 300° Nord

Numero di anni	31.00	Media (m):	4.92
Numero di eventi	460	Deviazione standard (m):	0.806
Altezza di soglia (m):	>4.00	Peak over threshold:	109
Direzione iniziale:	210°N	Direzione finale:	300°N

H _s (m)	Tempo di ritorno (anni)	H _s (m)	Tempo di ritorno (anni)	H _s (m)	Tempo di ritorno (anni)	H _s (m)	Tempo di ritorno (anni)
(m)	(anni)	5.70	1.88	5.11	0.90	4.78	0.59
8.51	58.55	5.65	1.77	5.09	0.87	4.77	0.58
8.13	20.28	5.61	1.67	5.07	0.85	4.75	0.57
7.02	12.26	5.60	1.59	5.07	0.83	4.75	0.56
6.42	8.79	5.53	1.51	5.06	0.81	4.74	0.55
6.41	6.85	5.53	1.44	5.04	0.78	4.74	0.54
6.13	5.61	5.52	1.38	5.04	0.77	4.70	0.53
6.13	4.75	5.51	1.32	4.97	0.75	4.69	0.52
6.01	4.12	5.50	1.26	4.95	0.73	4.66	0.51
5.98	3.64	5.46	1.22	4.93	0.71	4.65	0.50
5.97	3.26	5.44	1.17	4.91	0.70	4.59	0.50
5.92	2.95	5.42	1.13	4.91	0.68	4.58	0.49
5.89	2.69	5.36	1.09	4.89	0.67	4.53	0.48
5.76	2.48	5.24	1.05	4.86	0.65	4.51	0.47
5.74	2.29	5.24	1.02	4.85	0.64	4.50	0.47
5.73	2.14	5.21	0.98	4.81	0.63	4.46	0.46
5.70	2.00	5.18	0.95	4.80	0.61	4.45	0.45
		5.12	0.93	4.80	0.60	4.44	0.45

T _R (anni)	GUMBEL		WEI(.75)	
	H _s (m)	c.i.(m)	H _s (m)	c.i.(m)
2	6.4	0.6	6.3	0.5
5	7.0	0.7	6.9	0.7
10	7.3	0.8	7.2	0.8
25	7.7	1.0	7.6	1.0
50	8.2	1.2	8.2	1.2
100	8.8	1.4	8.8	1.5
A	0.788		0.408	
B	3.051		3.538	
r	0.989		0.982	

T _R (anni)	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
	H _s (m)	c.i.(m)	H _s (m)	c.i.(m)	H _s (m)	c.i.(m)
2	6.5	0.6	6.5		6.6	
5	7.0	0.8	7.1		7.1	
10	7.4	0.9	7.4		7.4	
25	7.8	1.1	7.8		7.7	
50	8.4	1.3	8.3		8.2	
100	8.9	1.6	8.8		8.7	
A	0.811		1.565		2.808	
B	2.943		2.006		0.613	
r	0.988		0.988		0.986	

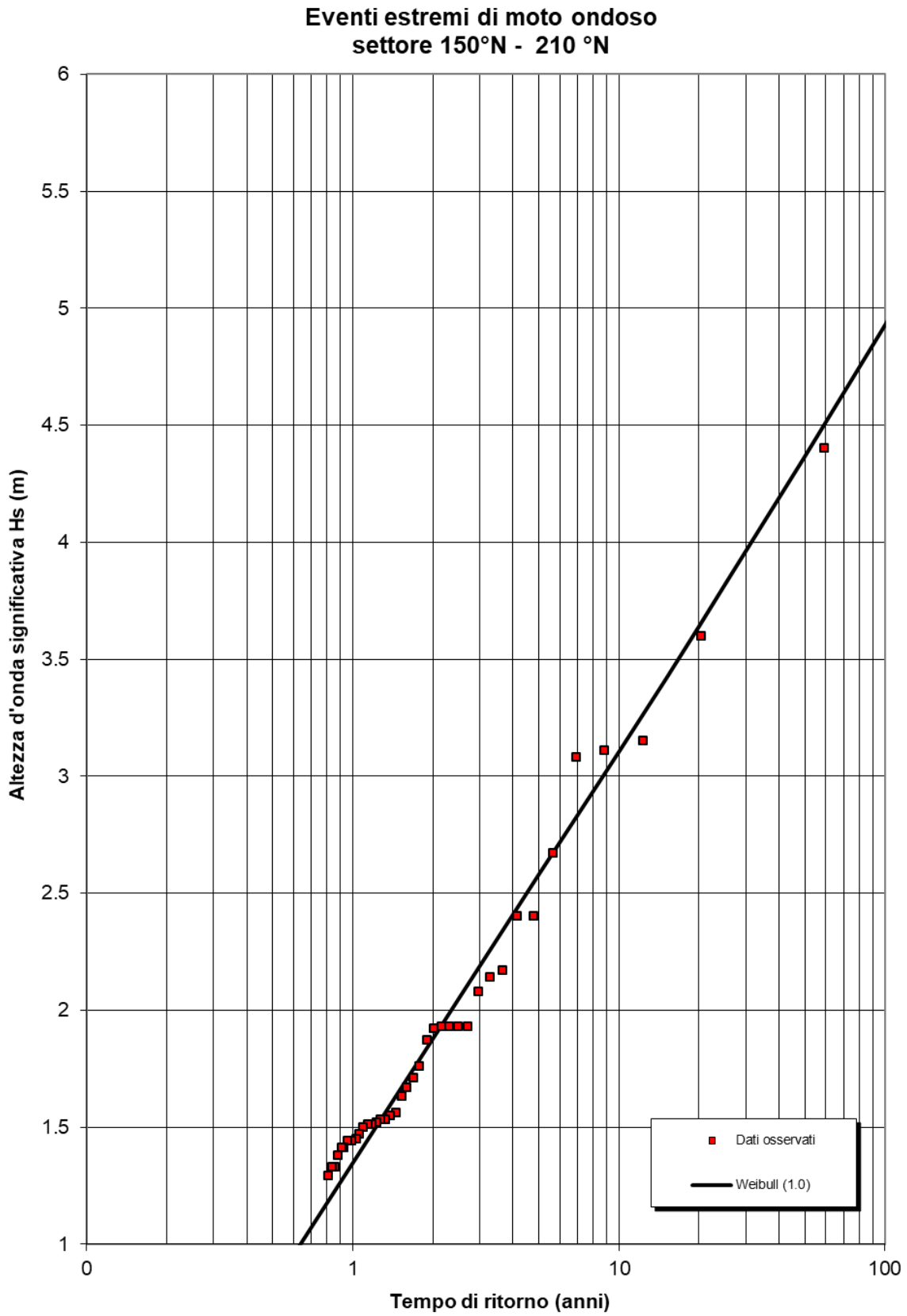


Figura 5.4. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull 1.0 dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica NOAA WWIII tra il 1979 e il 2007. Settore di traversia secondario

Tabella 5.4. Statistica degli eventi estremi per il settore di traversia secondario (150-210°N)

NOAA WWIII - (40°N - 15°E) - Analisi delle onde estreme
settore di traversia: 150° - 210° Nord

Numero di anni	31.00	Media (m):	1.94
Numero di eventi	39	Deviazione standard (m):	0.7
Altezza di soglia (m):	>1.00	Peak over threshold:	39
Direzione iniziale:	150°N	Direzione finale:	210°N

H _s (m)	Tempo di ritorno (anni)	H _s (m)	Tempo di ritorno (anni)	H _s (m)	Tempo di ritorno (anni)
4.40	59.14	1.92	2.02	1.45	1.03
3.60	20.48	1.87	1.90	1.44	0.99
3.15	12.39	1.76	1.79	1.44	0.96
3.11	8.88	1.71	1.69	1.41	0.93
3.08	6.92	1.67	1.60	1.41	0.91
2.67	5.67	1.63	1.53	1.38	0.88
2.40	4.80	1.56	1.46	1.33	0.86
2.40	4.16	1.55	1.39	1.33	0.84
2.17	3.67	1.53	1.33	1.29	0.81
2.14	3.29	1.53	1.28		
2.08	2.98	1.52	1.23		
1.93	2.72	1.51	1.18		
1.93	2.50	1.51	1.14		
1.93	2.32	1.50	1.10		
1.93	2.16	1.47	1.06		

T _R (anni)	GUMBEL		WEI(.75)	
	H _s (m)	c.i.(m)	H _s (m)	c.i.(m)
2	2.0	0.3	1.8	0.3
5	2.5	0.4	2.4	0.6
10	2.9	0.5	2.9	0.8
25	3.4	0.7	3.6	1.2
50	3.7	0.8	4.2	1.5
100	4.1	1.0	4.8	1.8
A	0.46		0.397	
B	2.639		2.423	
r	0.969		0.985	

T _R (anni)	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
	H _s (m)	c.i.(m)	H _s (m)	c.i.(m)	H _s (m)	c.i.(m)
2	1.9	0.3	2.0		2.1	
5	2.6	0.6	2.7		2.7	
10	3.1	0.8	3.1		3.1	
25	3.8	1.3	3.7		3.6	
50	4.4	1.6	4.1		3.9	
100	4.9	2.1	4.6		4.2	
A	0.613		0.895		1.23	
B	2.28		2.077		1.802	
r	0.989		0.977		0.953	

6. CLIMA SOTTO COSTA

Per definire le condizioni di moto ondoso che caratterizzano l'intera falcata costiera appartenente al comune di Casal Velino, è stato necessario eseguire uno studio di propagazione del moto ondoso ricostruito al largo in diversi punti sotto costa opportunamente scelti.

A tal fine è stato necessario in primo luogo scegliere il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata sulla base di un'attenta analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la loro propagazione.

Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde sui fondali via via decrescenti, che “collegano” il mare aperto alla zona di intervento, la regolarità dell'andamento delle linee batimetriche, che caratterizzano il litorale in esame, permette di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo shoaling e che possano essere ritenuti trascurabili i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna).

Per quanto riguarda i processi dissipativi (attrito sul fondo e frangimento), nel caso in esame, si può affermare che la loro importanza diventa rilevante solo su fondali aventi profondità inferiori a 10÷15 m.

Sulla base delle considerazioni appena effettuate si è scelto, per la propagazione sotto costa della serie ricostruita a largo di Casal Velino, il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE.

Le condizioni al contorno (contorno di largo) sono espresse in termini di altezza, direzione e periodo caratteristici del moto ondoso incidente.

6.1 Griglia di calcolo

Nella Figura 6.1 è riportata la corografia dell'area interessata dalle simulazioni numeriche, i confini della griglia di calcolo utilizzata per l'applicazione del modello Merope ed i punti di rifrazione inversa spettrale scelti per la propagazione sotto costa e rappresentativi per le condizioni climatiche che contraddistinguono il tratto di litorale del comune di Casal Velino.

La griglia di calcolo è stata ottenuta partendo dalla digitalizzazione, sotto forma di polilinee in Autocad, delle batimetriche di base fornite dal “raster” della carta nautica N 11 (da P.ta Licosa a Diamante-scala 1:100000), edita dall'Istituto Idrografico della Marina Militare.

Tali batimetrie sono state opportunamente digitalizzate allo scopo di ottenere un insieme opportuno di punti “sparsi”, cioè non disposti su un grigliato regolare, sull'area

di interesse. Ciascun punto è caratterizzato dalle coordinate x,y,z , dove x ed y rappresentano la posizione planimetrica del punto rispetto all'origine della griglia scelta e la z il valore della profondità locale riferita al livello medio marino. Tali punti, contenuti in un file, sono stati quindi utilizzati come dati di ingresso per il programma SURFER 8 mediante il quale è stata costruita una griglia di calcolo a maglia regolare, necessaria per il modello Merope. Utilizzando tali dati è stato possibile effettuare un'adeguata modellazione digitale del fondale all'interno di una vasta area che comprende la zona interessata dagli studi. La griglia utilizzata come input per il modello Merope è costituita da maglie quadrate di lato $Dx=Dy=2000m$ che copre un'area di forma rettangolare con lati di 26000 m e 20000 m.

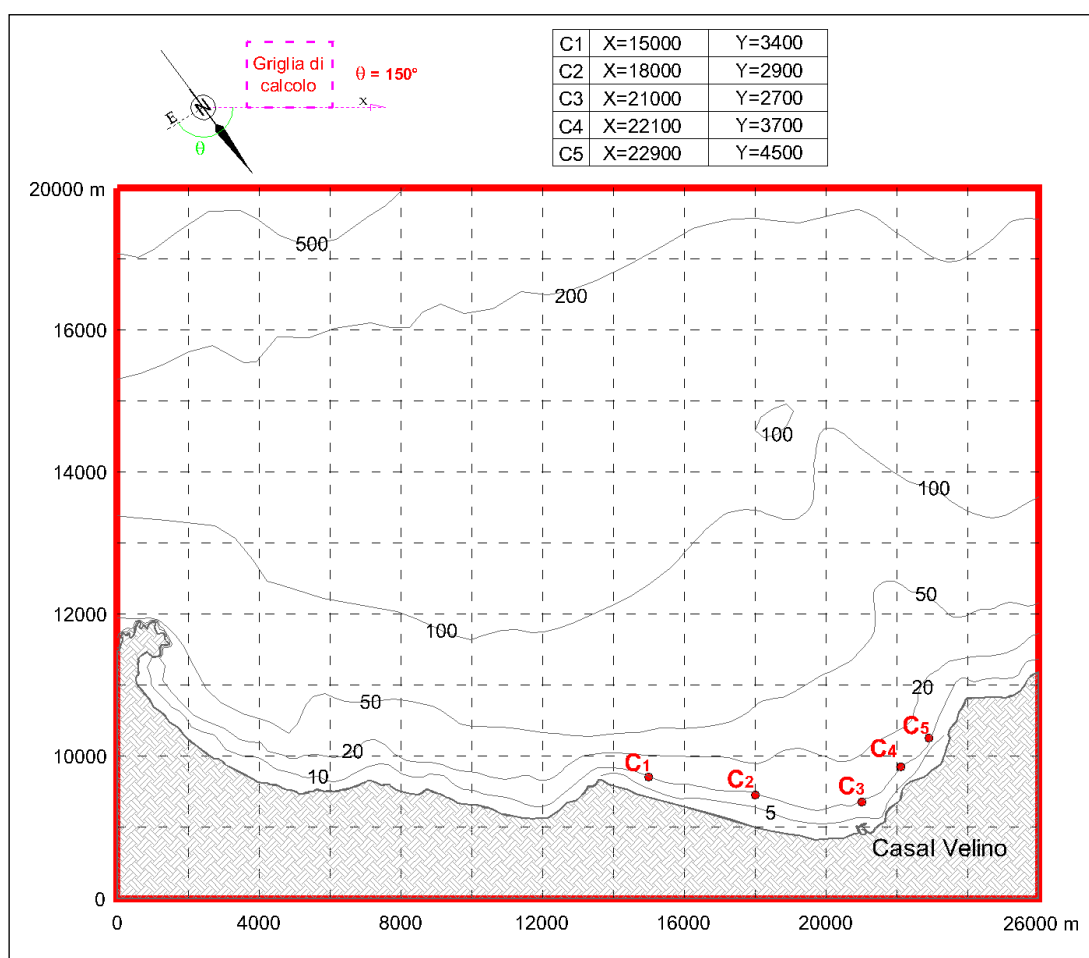


Figura 6.1. Ubicazione della griglia di calcolo per il modello Merope con la localizzazione dei punti di inversa spettrale prescelti

6.2 Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo

Per i punti scelti sono stati calcolati 20 piani d'onda d'inversa per altrettanti periodi compresi tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spaziate di 0.5°, sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia.

L'insieme dei 4000 piani d'onda inversi (20x200) ha consentito di costruire un data-base mediante il quale è stata propagata nei punti prescelti l'intera serie storica NOAA-WWIII (1979-2009), opportunamente calibrata come descritto nel Paragrafo 3.2. Per simulare la dispersione dell'energia in frequenza e direzione si è utilizzata la funzione densità spettrale:

$$S(f, \theta) = S(f)G(f, \theta)$$

dove la funzione $S(f)$ è stata espressa con uno spettro di tipo JONSWAP con $\gamma = 3.3$ e di altezza significativa e frequenza di picco assegnata.

La funzione $G(f, \theta)$ viene esplicitata nel modello MEROPE sulla base dell'equazione fornita da Goda (Random Seas and Design of Maritime Structures, World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering, vol 15) ponendo:

$$s_{\max} = 18 \text{ (onde di mare vivo)}$$

Si ricorda che le “onde di mare vivo” (sea), tipiche dell'area di generazione (fetch), hanno una elevata dispersione direzionale dell'energia e per tale ragione vengono anche chiamate “onde a cresta corta”.

6.3 Clima d'onda sotto costa: punto C₁

Per il punto d'inversa spettrale C₁, la Figura 6.2 e la Figura 6.3 riportano in forma grafica l'andamento del coefficiente K ($K = K_r \cdot K_s$ con K_r coefficiente di rifrazione e K_s coefficiente di shoaling) rispetto alla direzione di incidenza al largo e la corrispondenza tra le direzioni del moto ondoso al largo e a riva.

Dall'esame della Figura 6.2 e della Figura 6.3 si evidenzia un'attenuazione minore per le altezze d'onda provenienti dal settore di ostro-libeccio rispetto a quelle provenienti dai settori di scirocco e ponente. I valori maggiori del coefficiente k (compresi tra 0.93 e 0.98) si hanno per onde provenienti dal settore di libeccio, che denotano una minore attenuazione dell'altezza d'onda nella sua propagazione verso riva. Bassi valori del coefficiente k (inferiori a 0.75) indicano una maggiore attenuazione delle altezze d'onda, in particolare per quelle provenienti da scirocco.

La rotazione dei fronti d'onda risulta è quindi significativa per le onde provenienti dai settori di ostro e ponente, che tendono a ruotare a libeccio, e riguarda principalmente le onde di periodo più grande.

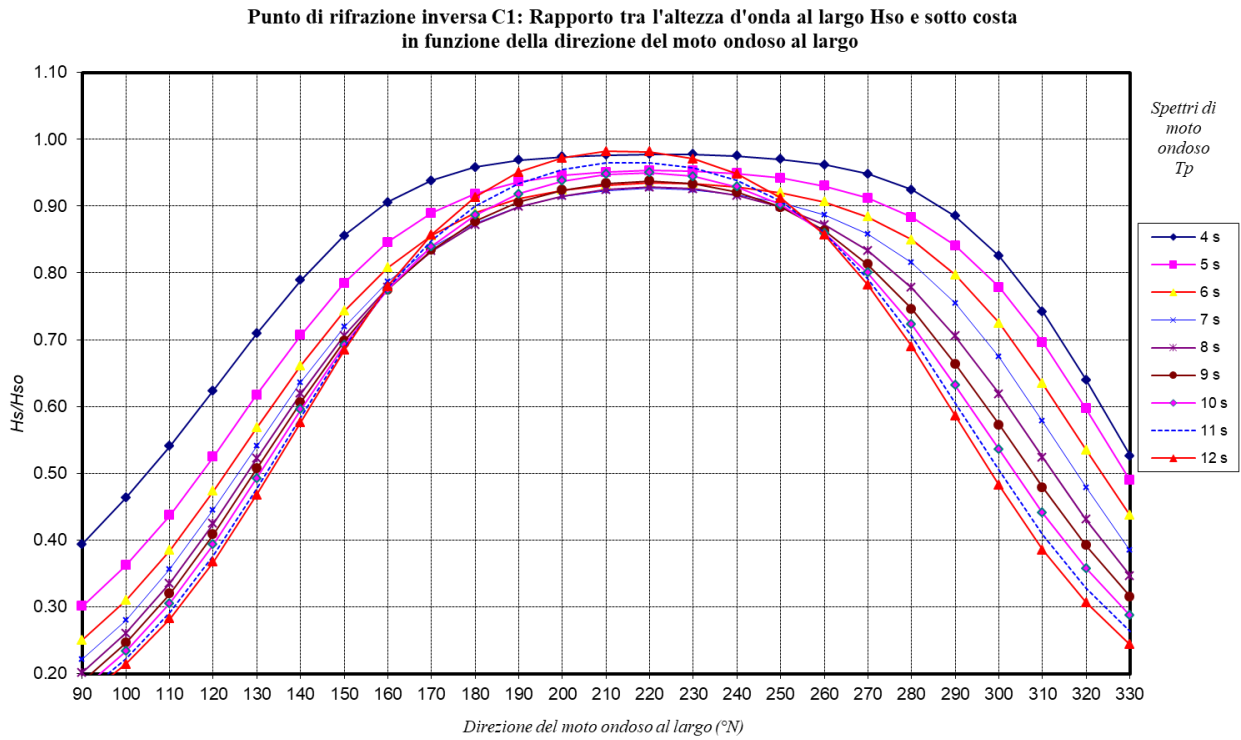


Figura 6.2. Punto di inversa spettrale C₁

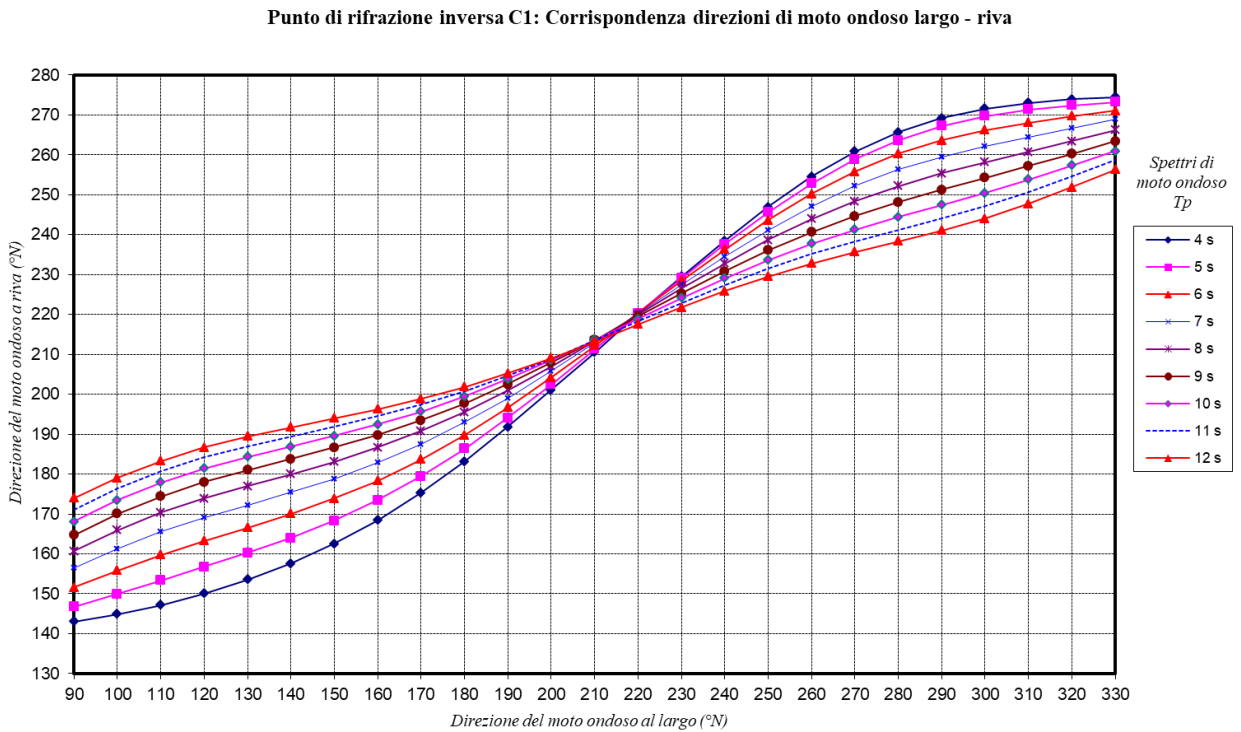


Figura 6.3. Punto di inversa spettrale C₁

Nelle seguenti Figura 6.4 e Figura 6.5 vengono riportate le rose stagionali ed annuale del clima di moto ondoso a riva (punto C₁) e nella Tabella 6.1 gli stessi risultati graficati polarmente per il regime annuale vengono riportati in forma numerica; nella Tabella 6.2 e nella Tabella 6.3 gli eventi sono suddivisi, in termini di numero e di frequenze percentuali, per classi di H_s e di periodo di picco T_p.

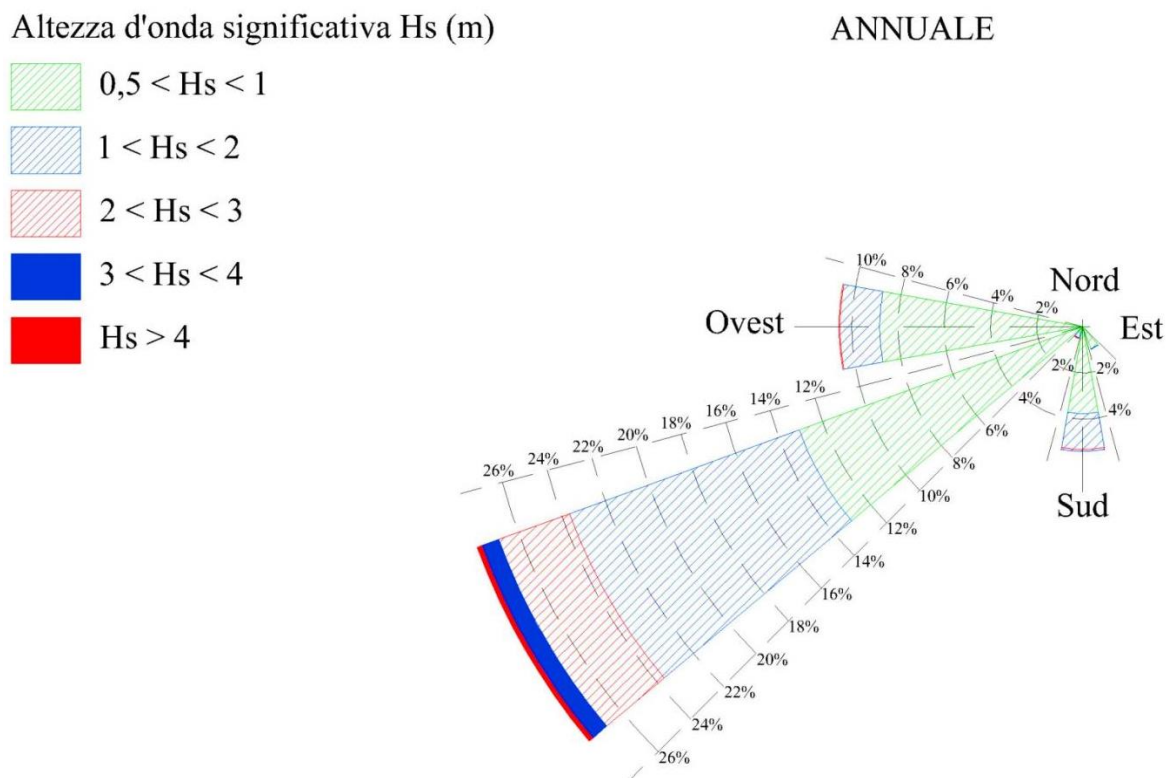


Figura 6.4. Rosa annuale della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C₁

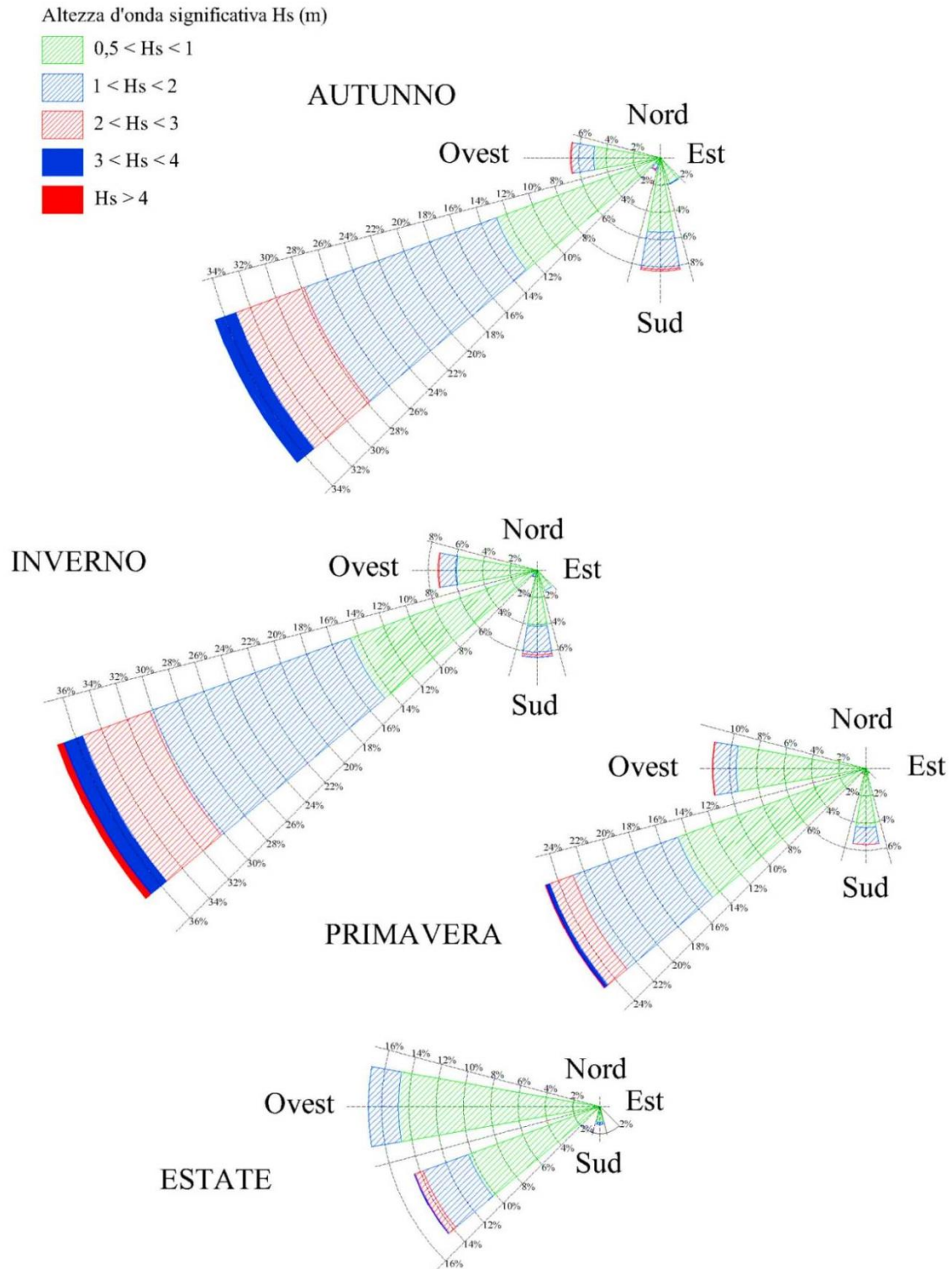


Figura 6.5. Rose stagionali della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C₁

Tabella 6.1. Clima annuale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione – distribuzione percentuale- Punto C₁

Serie ondometrica sotto costa - Punto C1. Periodo (Gennaio 1979 -Dicembre 2009)

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<2.5	2.5÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140	4.93	1.31	0.03													6.27
150	0.96	1.04	0.41													2.41
160	0.50	0.79	0.60	0.01												1.89
170	0.71	1.10	1.55	0.20	0.00											3.57
180	0.40	0.76	1.93	0.89	0.16	0.03										4.17
190	0.22	0.20	0.29	0.18	0.10	0.05	0.01	0.00	0.00							1.06
200	0.20	0.10	0.12	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00								0.50
210	0.15	0.11	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00									0.42
220	0.19	0.12	0.09	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					0.50
230	0.78	0.61	0.88	0.51	0.28	0.18	0.12	0.07	0.04	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	3.54
240	1.17	3.76	7.30	3.47	1.94	1.16	0.67	0.34	0.17	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00		20.11
250	3.04	5.23	4.90	2.79	1.58	0.74	0.37	0.14	0.04	0.00						18.83
260	1.79	4.71	5.60	1.38	0.28	0.03	0.00									13.79
270	8.16	10.29	3.20	0.07												21.72
280	1.00	0.23														1.23
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT	24.20	30.36	26.98	9.67	4.40	2.21	1.18	0.54	0.26	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.01	100.00
Tot. cumul.	54.55	81.53	91.21	95.61	97.82	99.00	99.54	99.80	99.92	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	

Numero di eventi validi : 90315

Tabella 6.2. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Distribuzione per numero di eventi – Punto C₁

Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)						Tot
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp	
< 0.20	12858	2146	836	54	2	0	15896
0.20 ÷ 0.60	11558	19516	5772	3224	60	6	40136
0.60 ÷ 0.80	839	6181	2641	352	12	10025	20050
0.80 ÷ 1.50	87	5826	8021	1192	46	0	15172
>1.50	1162	5835	941	4	7942	0	15884
Tot.	26504	39504	18211	4826	8062	10031	107138

Tabella 6.3. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Distribuzione percentuale – Punto C₁

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)						Tot	Tot. cumul.
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp		
< 0.20	12.00	2.00	0.78	0.05	0.00		14.84	14.84
0.20 ÷ 0.60	10.79	18.22	5.39	3.01	0.06	0.01	37.46	52.30
0.60 ÷ 0.80	0.78	5.77	2.47	0.33	0.01	9.36	18.71	71.01
0.80 ÷ 1.50	0.08	5.44	7.49	1.11	0.04		14.16	85.17
>1.50	1.08	5.45	0.88	0.00	7.41		14.83	100.00
Tot.	24.74	36.87	17.00	4.50	7.52	9.36	100.00	
Tot. cumul.	24.74	61.61	78.61	83.11	90.64	100.00		

Complessivamente il clima di moto ondoso propagato sino al punto C1 presenta una rotazione verso libeccio, rimanendo limitato al settore compreso tra 140°N e 280°N:

- gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 45% (corrispondente ad una durata media annua di circa 5.7 mesi);
- gli eventi con $H_s > 4.0$ (eventi estremi) provengono tutti dal settore di libeccio (220°-250° N) con una frequenza pari a circa lo 0.20% (corrispondente ad una durata di 17 ore l'anno);
- le altezze d'onda raggiungibili risultano talvolta superiori a 6 m (si precisa che il modello non tiene conto dei fenomeni dissipativi dovuti all'azione dell'attrito sul fondo. Inoltre nel caso specifico il fondale di 10 m s.l.m limiterebbe, attraverso il frangimento, il valore massimo dell'altezza d'onda ad un valore di circa 6.0 m – Kamphuis);

- l'analisi della distribuzione stagionale degli eventi conferma una netta prevalenza degli stati di mare estremi in inverno ed in autunno, mantenendosi comunque il settore da 140° a 280°N (scirocco-ostro-libeccio-ponente) come unico settore all'interno del quale provengono tutti gli stati di mare.
- le onde provenienti dal settore di libeccio non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa e l'attenuazione media dell'altezza è inferiore al 10%.

6.4 Clima d'onda sotto costa: punto C₂

Per il punto d'inversa spettrale C₂, la Figura 6.6 e la Figura 6.7 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riportano in forma grafica l'andamento del coefficiente K ($K = K_r \cdot K_s$ con K_r coefficiente di rifrazione e K_s coefficiente di shoaling) rispetto alla direzione di incidenza al largo e la corrispondenza tra le direzioni del moto ondoso al largo e a riva.

L'esame della Figura 6.6 e della Figura 6.7 porta alle stesse considerazioni fatte per il punto di inversa C₁. I valori maggiori del coefficiente k (compresi tra 0.92 e 0.97) si hanno per onde provenienti dal settore libeccio (210°-220° N).

Di seguito (Figura 6.8 e Figura 6.9) vengono riportate le rose stagionali ed annuale del clima di moto ondoso a riva (punto C₂) e nella Tabella 6.4 gli stessi risultati ottenuti per il regime d'onda annuale vengono riportati in forma numerica; nella Tabella 6.5 e nella Tabella 6.6 gli eventi sono suddivisi, in termini di numero e di frequenze percentuali, per classi di H_s e di periodo di picco T_p.

Punto di rifrazione inversa C2: Rapporto tra l'altezza d'onda al largo H_{so} e sotto costa in funzione della direzione del moto ondoso al largo

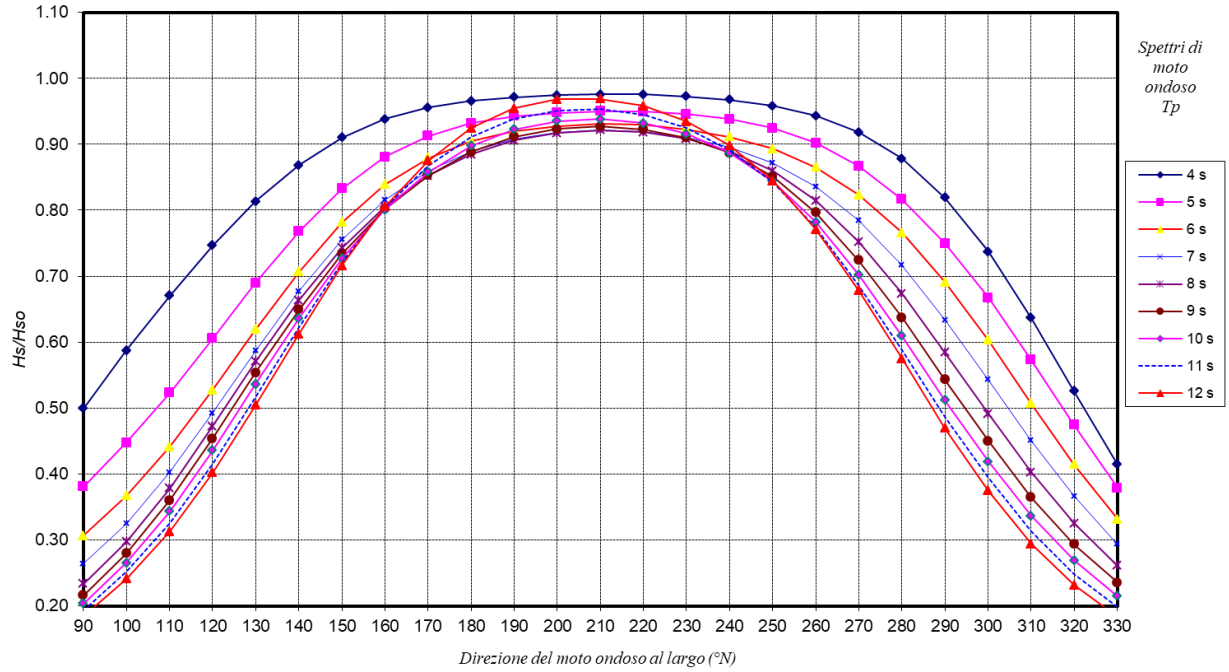


Figura 6.6. Punto di inversa spettrale C₂

Punto di rifrazione inversa C2: Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva

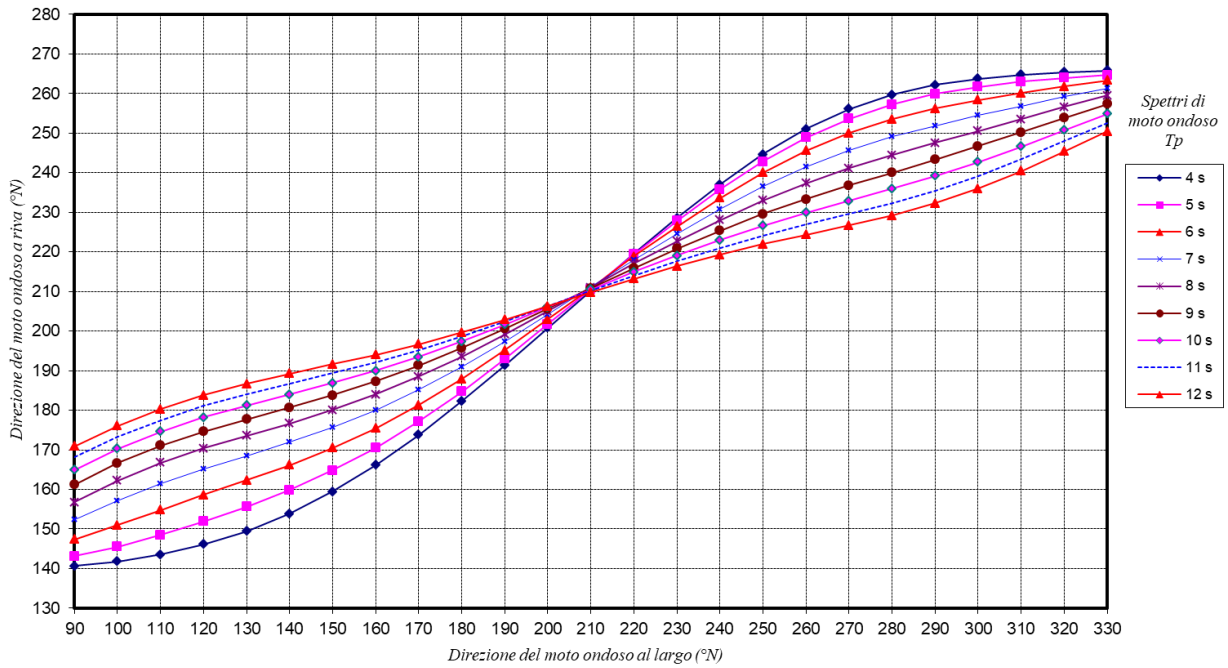


Figura 6.7. Punto di inversa spettrale C₂

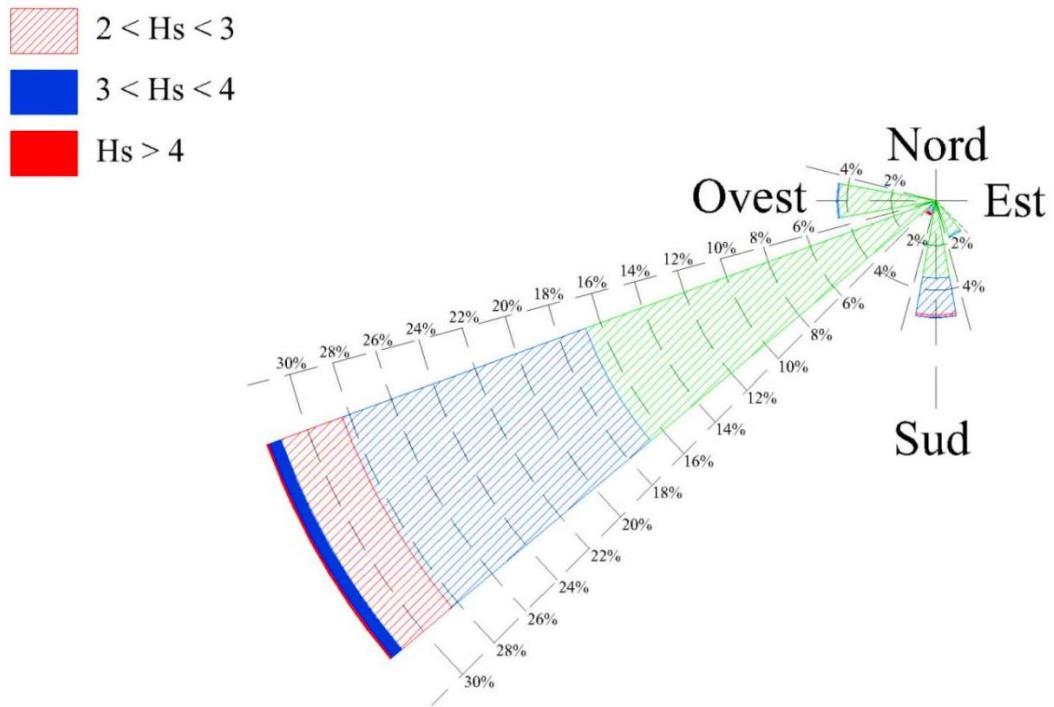


Figura 6.8. Rosa annuale della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C₂

Altezza d'onda significativa H_s (m)

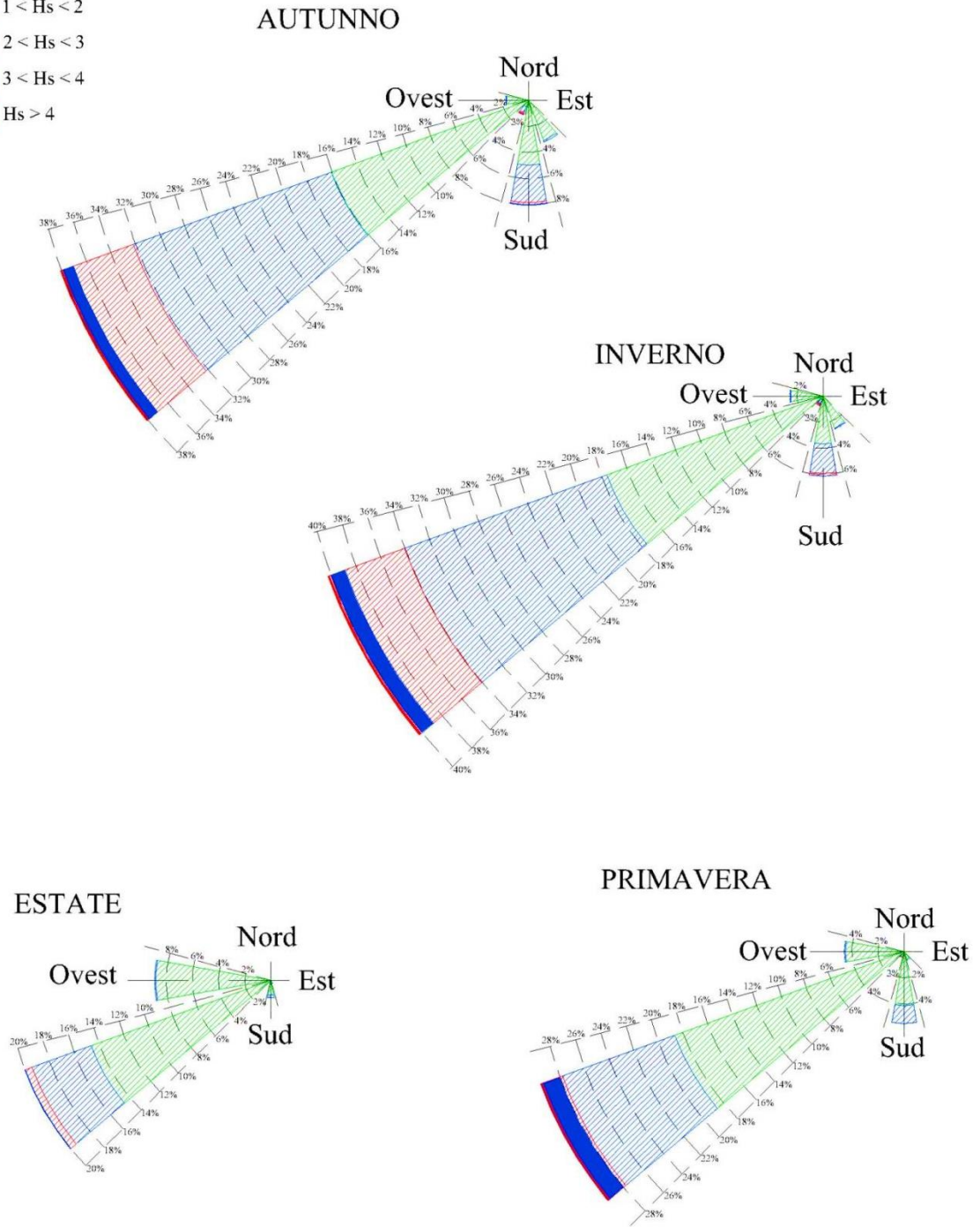
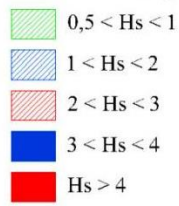


Figura 6.9. Rose stagionali della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C_2

Tabella 6.4. Clima annuale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione – distribuzione percentuale – Punto C₂

Serie ondometrica sotto costa - Punto C2. Periodo (Gennaio 1979 -Dicembre 2009)

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<2.5	2.5-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	>=6.5	
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140	5.38	1.54	0.38													7.31
150	0.72	0.81	0.63													2.16
160	0.46	0.73	0.71	0.03												1.93
170	0.67	1.05	1.73	0.42	0.01											3.88
180	0.33	0.66	1.51	0.80	0.23	0.05	0.01									3.58
190	0.18	0.20	0.24	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00							0.86
200	0.18	0.10	0.11	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00								0.47
210	0.14	0.11	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00									0.41
220	0.20	0.14	0.12	0.09	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67
230	0.95	1.14	2.49	1.83	1.05	0.77	0.45	0.24	0.15	0.06	0.02	0.01	0.00			9.16
240	2.66	6.33	7.89	3.69	2.07	1.13	0.48	0.15	0.03	0.00						24.43
250	2.31	4.44	6.36	2.39	0.58	0.09	0.01									16.18
260	9.60	12.31	4.36	0.07												26.33
270	1.90	0.68	0.05													2.63
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	25.68	30.24	26.66	9.55	4.08	2.11	0.97	0.40	0.20	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	100.00
Tot. cum	55.92	82.58	92.14	96.22	98.32	99.29	99.69	99.89	99.96	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 90315

Tabella 6.5. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Distribuzione del numero di eventi - Punto C₂

Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)						Tot
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp	
< 0.20	13287	2299	1035	71	2	0	16694
0.20 ÷ 0.60	8887	22387	6550	2522	96	6	40448
0.60 ÷ 0.80	1151	5412	2991	442	5	0	10001
0.80 ÷ 1.50	2624	8649	3241	402	6	0	14922
> 1.50	1637	4491	960	15	0	0	7103
Tot.	27586	43238	14777	3452	109	6	89168

Tabella 6.6. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Distribuzione percentuale – Punto C₂

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)						Tot	Tot. cumul.
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp		
< 0.20	14.90	2.58	1.16	0.08	0.00		18.72	18.72
0.20 ÷ 0.60	9.97	25.11	7.35	2.83	0.11	0.01	45.36	64.08
0.60 ÷ 0.80	1.29	6.07	3.35	0.50	0.01		11.22	75.30
0.80 ÷ 1.50	2.94	9.70	3.63	0.45	0.01		16.73	92.03
> 1.50	1.84	5.04	1.08	0.02			7.97	100.00
Tot.	30.94	48.49	16.57	3.87	0.12	0.01	100.00	
Tot. cumul.	30.94	79.43	96.00	99.87	99.99	100.00		

Dall'analisi dei risultati ottenuti è evidente che nella propagazione da largo verso riva, nel punto C₂ su fondali di circa -10 m s.l.m., le onde provenienti dai settori ostro e ponente subiscono una rotazione verso libeccio.

In dettaglio si osserva che:

- gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 44% (corrispondente ad una durata media annua di circa 5.3 mesi);
- gli eventi con H_s > 4.0 (eventi estremi) provengono tutti dal settore di libeccio (220°-240° N) con una frequenza pari a circa lo 0.11% (corrispondente ad una durata di circa 9.5 ore l'anno);
- le altezze d'onda massime raggiungibili risultano talvolta superiori a 5 m e provengono esclusivamente da un ristretto settore compreso tra 220° e 230° N (libeccio);

- l'analisi della distribuzione stagionale degli eventi conferma una netta prevalenza degli stati di mare estremi in inverno ed in autunno, mantenendosi comunque il settore da 140° a 270°N (scirocco-ostro-libeccio-ponente) come unico settore all'interno del quale provengono tutti gli stati di mare.
- le onde provenienti dal settore di libeccio non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa e l'attenuazione media dell'altezza è inferiore al 10%.

6.5 Clima d'onda sotto costa: punto C₃

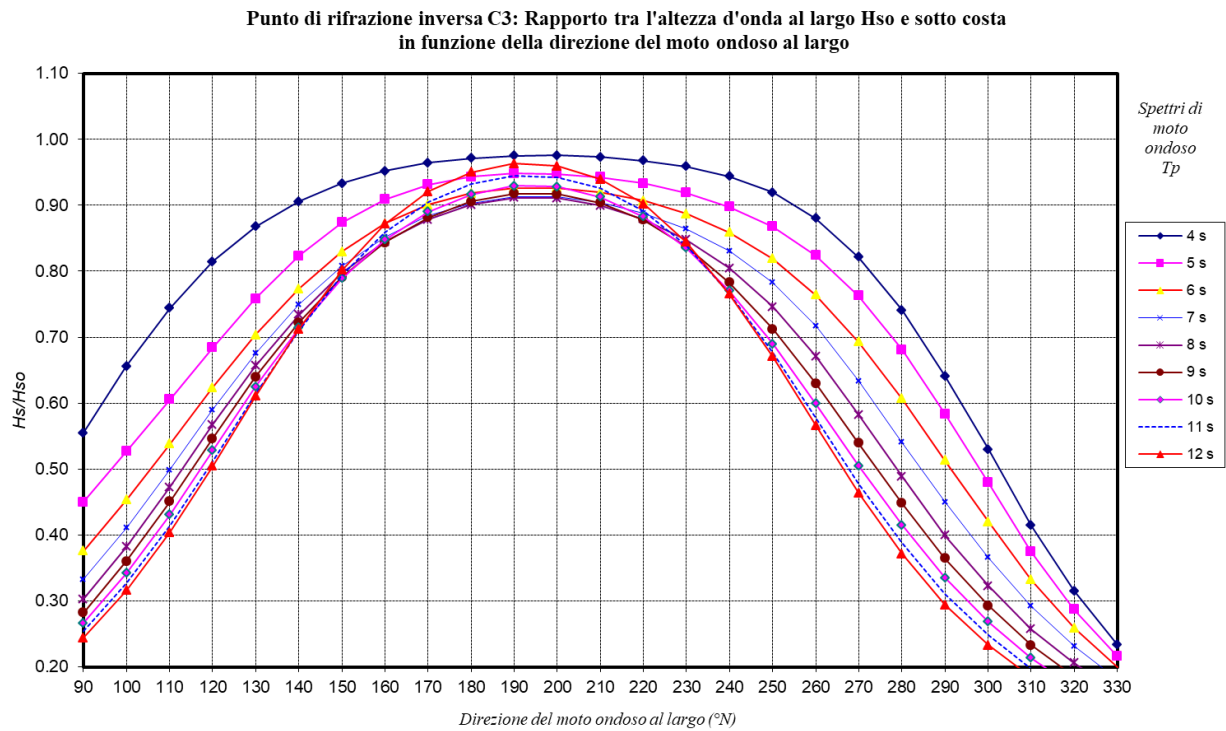


Figura 6.10. Punto di inversa spettrale C₃

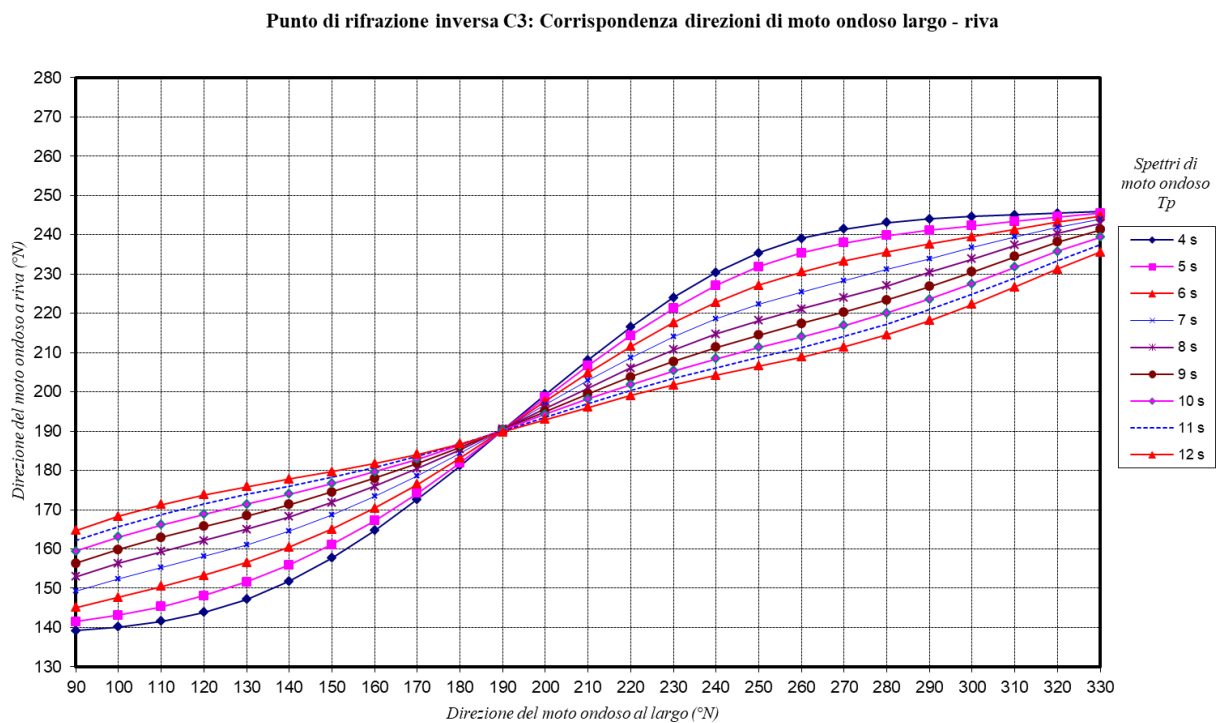


Figura 6.11. Punto di inversa spettrale C₃

La Figura 6.10 e la Figura 6.11 mostrano un'attenuazione minore per le altezze d'onda provenienti dai settori ostro-libeccio rispetto a quelle provenienti dai settori scirocco-ponente.

Di seguito (Figura 6.12 e Figura 6.13) vengono riportate le rose stagionali ed annuale del clima di moto ondoso a riva nel punto C₃. Nella Tabella 6.7, per il regime d'onda annuale, gli stessi risultati vengono riportati in forma numerica; nella Tabella 6.8 e nella Tabella 6.9 gli eventi sono suddivisi, in termini di numero e di frequenze percentuali, per classi di H_s e di periodo di picco T_p.

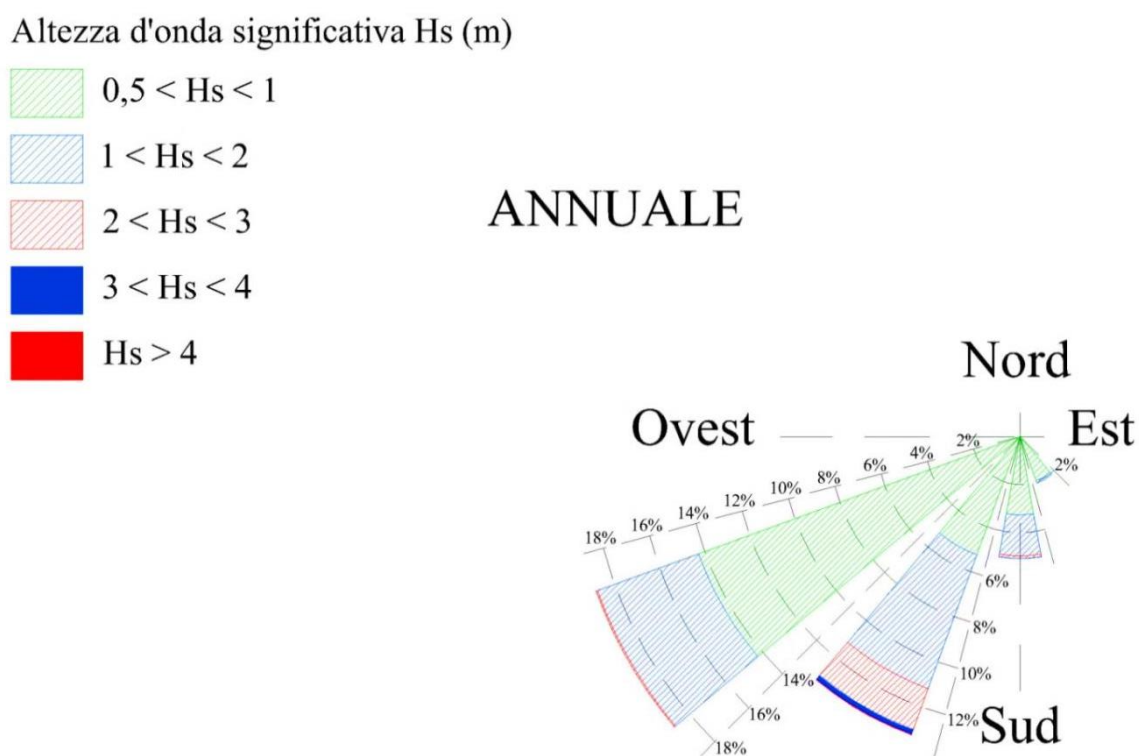


Figura 6.12. Rosa annuale della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C₃

Altezza d'onda significativa H_s (m)

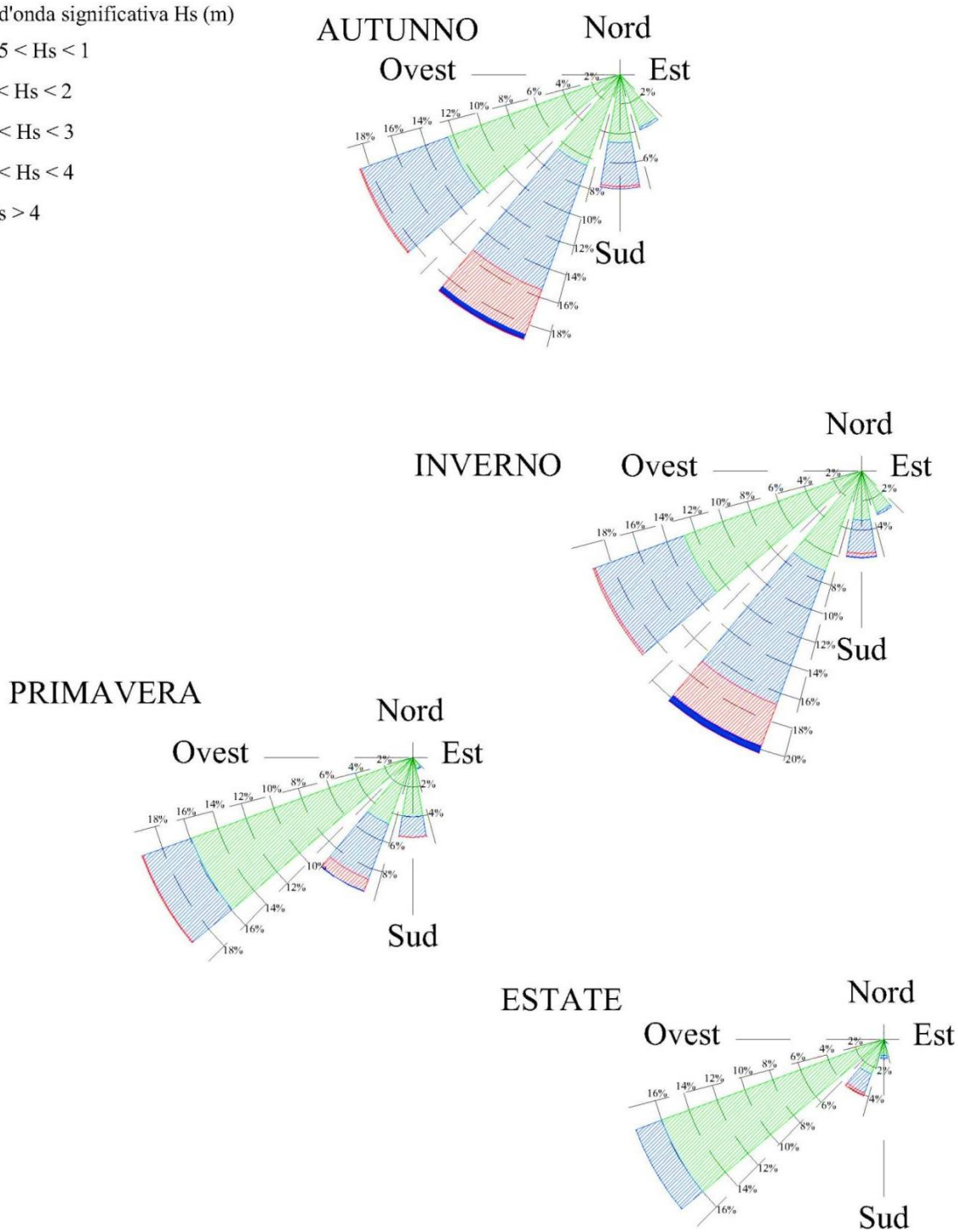
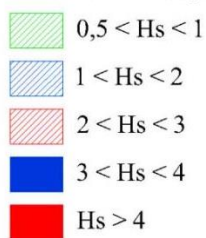


Figura 6.13. Rose stagionali della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva - Punto C_3

Tabella 6.7. Clima annuale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione - distribuzione percentuale - Punto C₃

Serie ondometrica sotto costa - Punto C3. Periodo (Gennaio 1979 -Dicembre 2009)

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	>=6.5						
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130																
140	6.17	1.67	0.58													8.42
150	0.45	0.76	0.60	0.02												1.82
160	0.37	0.71	0.79	0.08	0.00											1.94
170	0.63	1.06	1.93	0.71	0.11	0.02	0.00									4.46
180	0.30	0.59	1.14	0.55	0.19	0.06	0.02	0.00	0.00							2.86
190	0.16	0.18	0.21	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00								0.70
200	0.14	0.11	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00									0.45
210	0.18	0.18	0.32	0.30	0.24	0.16	0.12	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00			1.65
220	1.25	2.65	4.83	3.19	2.15	1.17	0.34	0.07	0.00							15.66
230	3.49	6.71	9.56	3.63	0.75	0.07										24.21
240	9.27	13.56	4.73	0.11												27.67
250	8.81	1.36	0.00													10.17
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	31.24	29.54	24.78	8.74	3.49	1.50	0.48	0.16	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00			100.00
Tot. cum	60.78	85.56	94.30	97.79	99.29	99.77	99.94	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 90315

Tabella 6.8. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo

Distribuzione per numero di eventi – Punto C₃

Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)						Tot
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp	
< 0.20	15695	4436	812	57	3	0	21003
0.20 ÷ 0.60	7620	20920	7802	3559	27	0	39928
0.60 ÷ 0.80	507	6614	1844	324	9289	0	18578
0.80 ÷ 1.50	77	7205	5538	1003	62	0	13885
>1.50	788	4229	130	1	0	0	5148
Tot.	24687	43404	16126	4944	9381		98542

Tabella 6.9. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo

Distribuzione percentuale – Punto C₃

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)						Tot	Tot. cumul.
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp		
< 0.20	15.93	4.50	0.82	0.06	0.00		21.31	21.31
0.20 ÷ 0.60	7.73	21.23	7.92	3.61	0.03		40.52	61.83
0.60 ÷ 0.80	0.51	6.71	1.87	0.33	9.43		18.85	80.69
0.80 ÷ 1.50	0.08	7.31	5.62	1.02	0.06		14.09	94.78
>1.50	0.80	4.29	0.13	0.00			5.22	100.00
Tot.	25.05	44.05	16.36	5.02	9.52		100.00	
Tot. cumul.	25.05	69.10	85.46	90.48	100.00	100.00		

Dall'analisi dei risultati ottenuti è evidente che nella propagazione da largo verso riva, nel punto C₃ su fondali di circa -10 m s.l.m., il clima di moto ondoso subisce una rotazione verso ostro-libeccio ed una forte restrizione della traversia che risulta limitata al settore compreso tra 140°N e 250°N.

In dettaglio si osserva che:

- gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 39% (corrispondente ad una durata media annua di circa 4.7 mesi) e risultano tutti concentrati all'interno dello stesso settore sopra citato;
- gli eventi con $H_s > 4.0$ (eventi estremi) provengono tutti da un' unica direzione (210°-libeccio) con una frequenza pari a circa lo 0.01% (corrispondente ad una durata di circa 1.5 ore l'anno);
- l'analisi della distribuzione stagionale degli eventi conferma una netta prevalenza degli stati di mare estremi in inverno ed in autunno, mantenendosi comunque il settore da 140° a 250°N (scirocco-ostro-libeccio) come unico settore all'interno del quale provengono tutti gli stati di mare.
- le onde provenienti dal settore di ostro non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa e l'attenuazione media dell'altezza è inferiore al 10%.

6.6 Clima d'onda sotto costa: punto C₄

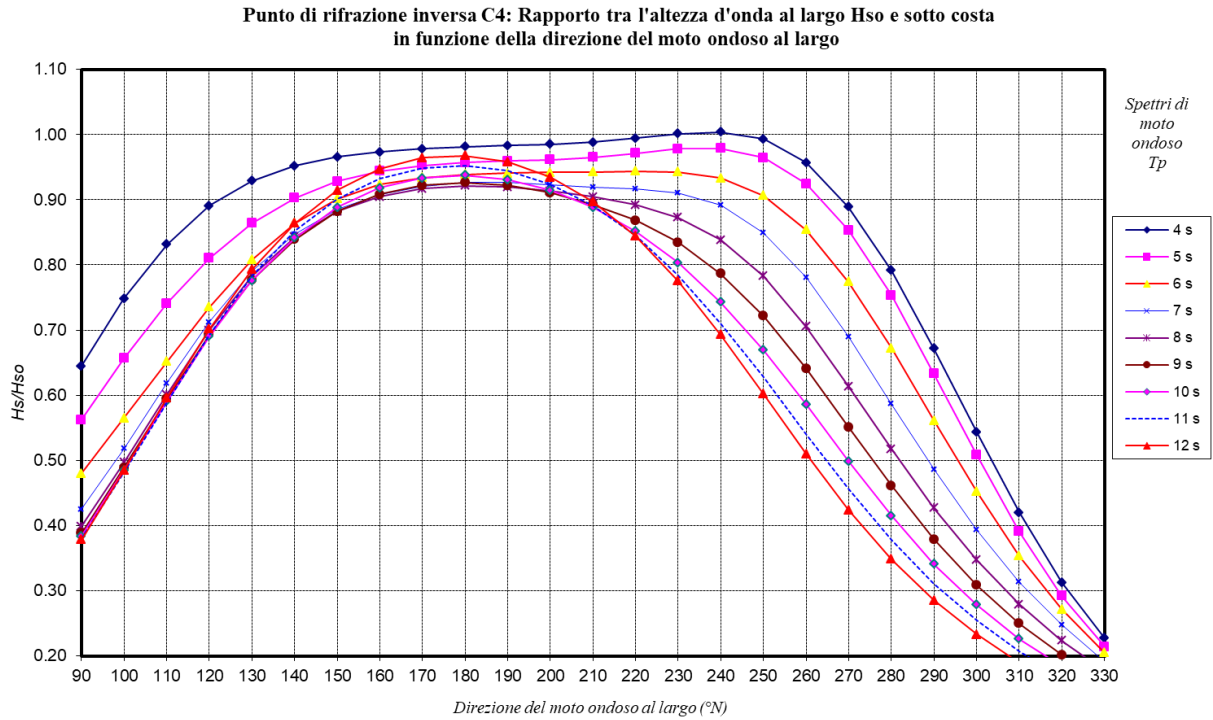


Figura 6.14. Punto di inversa spettrale C₄

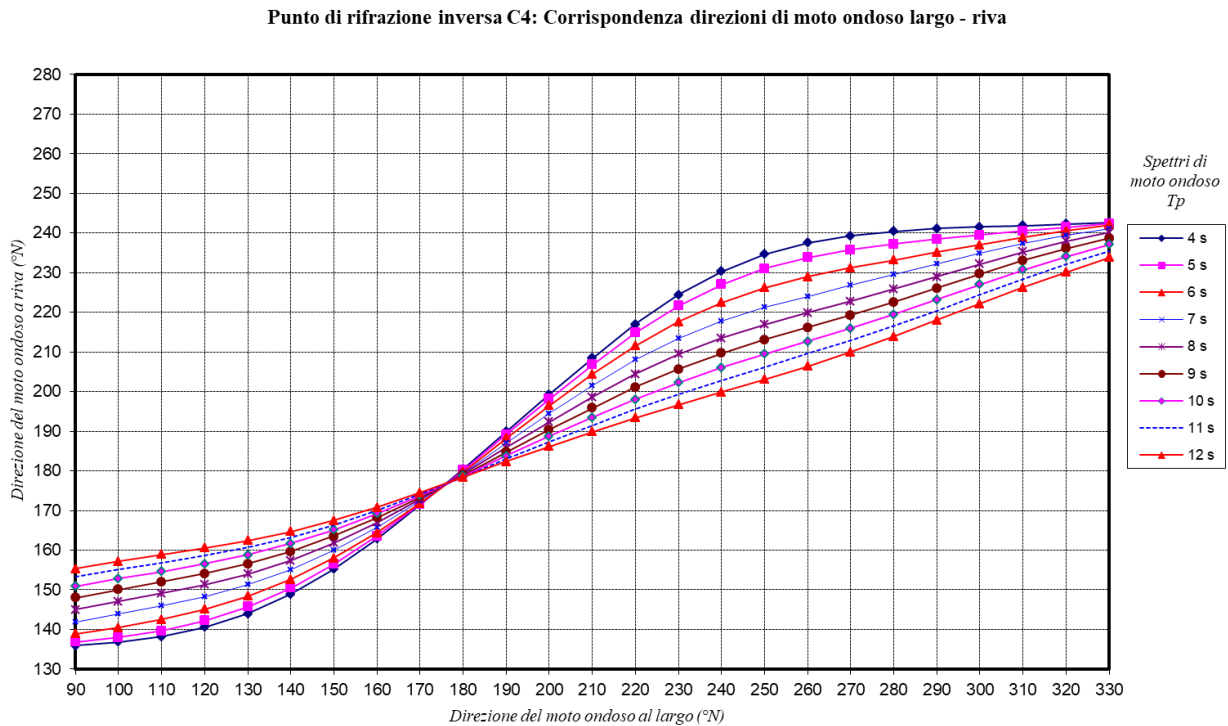
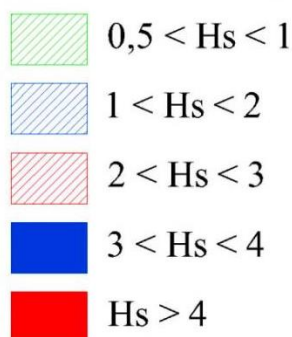


Figura 6.15. Punto di inversa spettrale C₄

La Figura 6.14 e la Figura 6.15 ripropongono lo stesso andamento riscontrato nel punto C₃. I valori maggiori del coefficiente k (compresi tra 0.92 e 1.00) si hanno per onde provenienti dal settore 180°-240° N.

Di seguito (Figura 6.16 e Figura 6.17) vengono riportate le rose stagionali ed annuale del clima di moto ondoso a riva nel punto C₄. Nella Tabella 6.10, per il regime d'onda annuale, gli stessi risultati vengono riportati in forma numerica; nella Tabella 6.11 e nella Tabella 6.12 gli eventi sono suddivisi, in termini di numero e di frequenze percentuali, per classi di H_s e di periodo di picco T_p.

Altezza d'onda significativa H_s (m)



ANNUALE

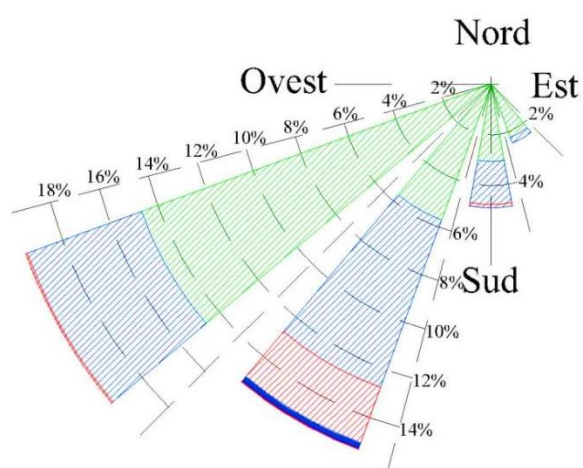


Figura 6.16. Rosa annuale della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C₄

Altezza d'onda significativa H_s (m)

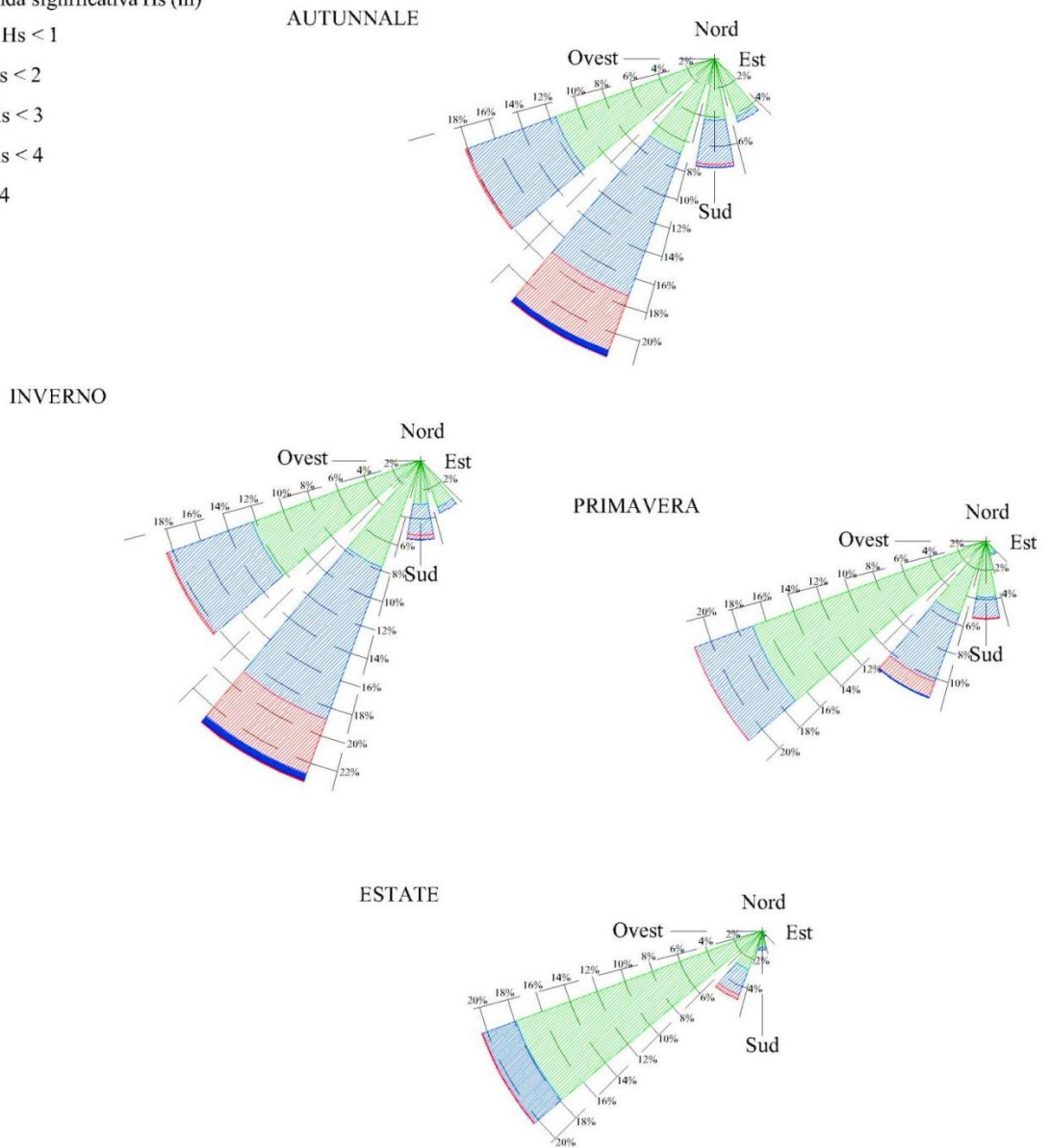
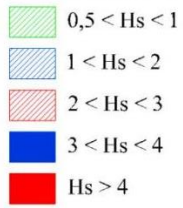


Figura 6.17. Rose stagionali della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C₄

Tabella 6.10. Clima annuale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione - distribuzione percentuale – Punto C₄

Serie ondometrica sotto costa - Punto C4. Periodo (Gennaio 1979 -Dicembre 2009)

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

DIR (N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	25÷0.5	0.5÷10	10÷15	15÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130	4.77	0.41	0.01													5.19
140	1.35	1.55	0.92	0.03												3.84
150	0.38	0.67	0.50	0.04	0.00											1.60
160	0.34	0.66	0.82	0.15	0.01											1.98
170	0.64	1.03	2.02	0.96	0.22	0.06	0.02									4.96
180	0.28	0.52	0.85	0.30	0.11	0.03	0.01	0.01	0.00							2.10
190	0.17	0.17	0.19	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00								0.66
200	0.14	0.11	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				0.47
210	0.17	0.22	0.47	0.45	0.35	0.22	0.19	0.12	0.04	0.01	0.00					2.24
220	1.39	2.81	5.12	3.62	2.55	1.47	0.42	0.08	0.00							17.46
230	3.19	6.68	10.91	3.94	0.79	0.07										25.58
240	17.00	13.08	3.79	0.06	0.00											33.94
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	29.84	27.91	25.72	9.69	4.07	1.87	0.64	0.21	0.05	0.01	0.01	0.00				100.00
Tot. cum	57.75	83.46	93.15	97.22	99.10	99.73	99.94	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 90315

Tabella 6.11. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Distribuzione per numero di eventi – Punto C₄

Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T _p (s)						Tot
	T _p < 4	4 ≤ T _p < 6	6 ≤ T _p < 8	8 ≤ T _p < 10	10 ≤ T _p < 12	12 ≤ T _p	
< 0.20	13830	5972	467	6	0	0	20275
0.20 ÷ 0.60	6818	21469	6155	3479	35	0	37956
0.60 ÷ 0.80	509	7463	1572	26	4	0	9574
0.80 ÷ 1.50	79	10165	4877	114	6	0	15241
>1.50	1078	4863	245	0	0	0	6186
Tot.	22314	49932	13316	3625	45		89232

Tabella 6.12. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Distribuzione percentuale – Punto C₄

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T _p (s)						Tot	Tot. cumul.
	T _p < 4	4 ≤ T _p < 6	6 ≤ T _p < 8	8 ≤ T _p < 10	10 ≤ T _p < 12	12 ≤ T _p		
< 0.20	15.50	6.69	0.52	0.01			22.72	22.72
0.20 ÷ 0.60	7.64	24.06	6.90	3.90	0.04		42.54	65.26
0.60 ÷ 0.80	0.57	8.36	1.76	0.03	0.00		10.73	75.99
0.80 ÷ 1.50	0.09	11.39	5.47	0.13	0.01		17.08	93.07
>1.50	1.21	5.45	0.27				6.93	100.00
Tot.	25.01	55.96	14.92	4.06	0.05		100.00	
Tot. cumul.	25.01	80.96	95.89	99.95	100.00	100.00		

Dall'analisi dei risultati ottenuti è evidente che nella propagazione da largo verso riva, nel punto C₄ su fondali di circa -10 m s.l.m., il clima di moto ondoso subisce una sostanziale variazione, presentando una considerevole rotazione verso ostro-libeccio ed una forte restrizione della traversia che risulta limitata al settore compreso tra 130°N e 240°N.

In dettaglio si osserva che:

- gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 42.2% (corrispondente ad una durata media annua di circa 5 mesi);
- gli eventi con H_s > 4.0 m (eventi estremi) provengono tutti dal settore di ostro-libeccio (200°-210°N) con una frequenza pari a circa l' 0.06% (corrispondente ad una durata di circa 5 ore l'anno);

- le altezze d'onda massime raggiungibili risultano comunque inferiori a 5.5 m;
- l'analisi della distribuzione stagionale degli eventi conferma una netta prevalenza degli stati di mare estremi in inverno ed in autunno, mantenendosi comunque il settore da 130° a 240°N (scirocco-ostro-libeccio) come unico settore all'interno del quale provengono tutti gli stati di mare.
- le onde provenienti dal settore di ostro-libeccio non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa e l'attenuazione media dell'altezza è inferiore al 10%.

6.7 Clima d'onda sotto costa: punto C₅

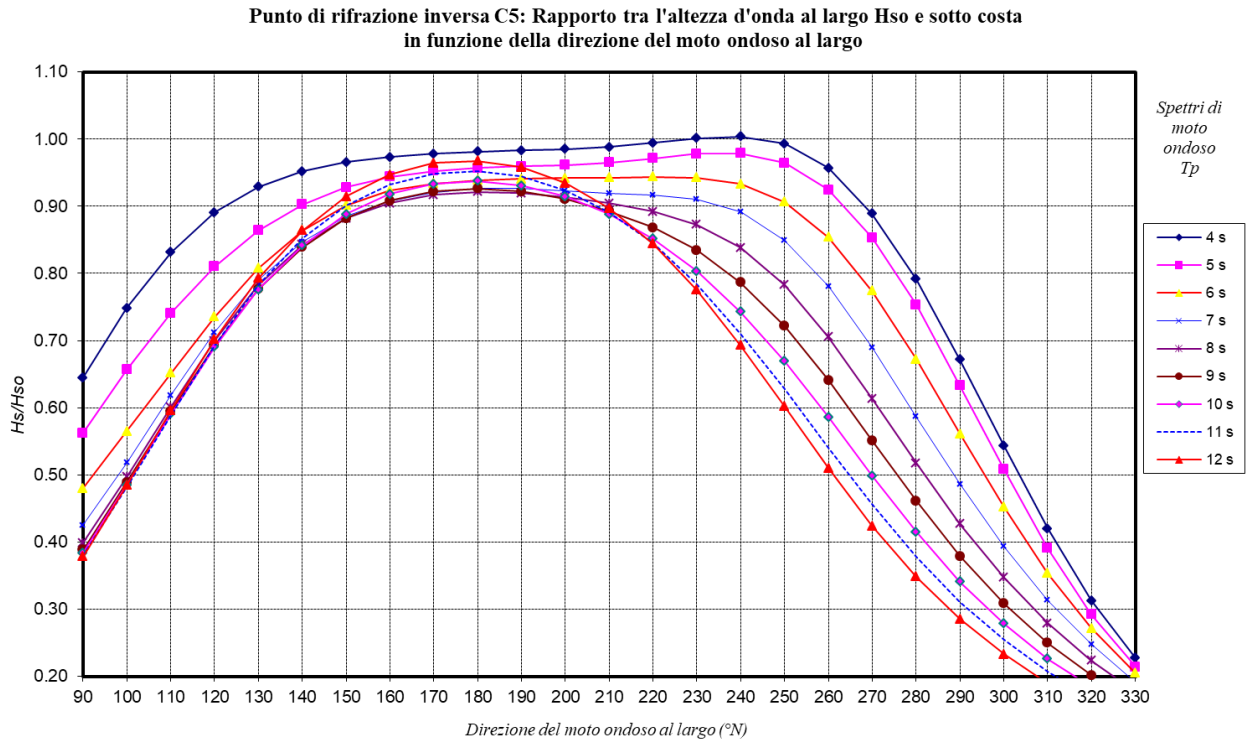


Figura 6.18. Punto di inversa spettrale C₅

Punto di rifrazione inversa C5: Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva

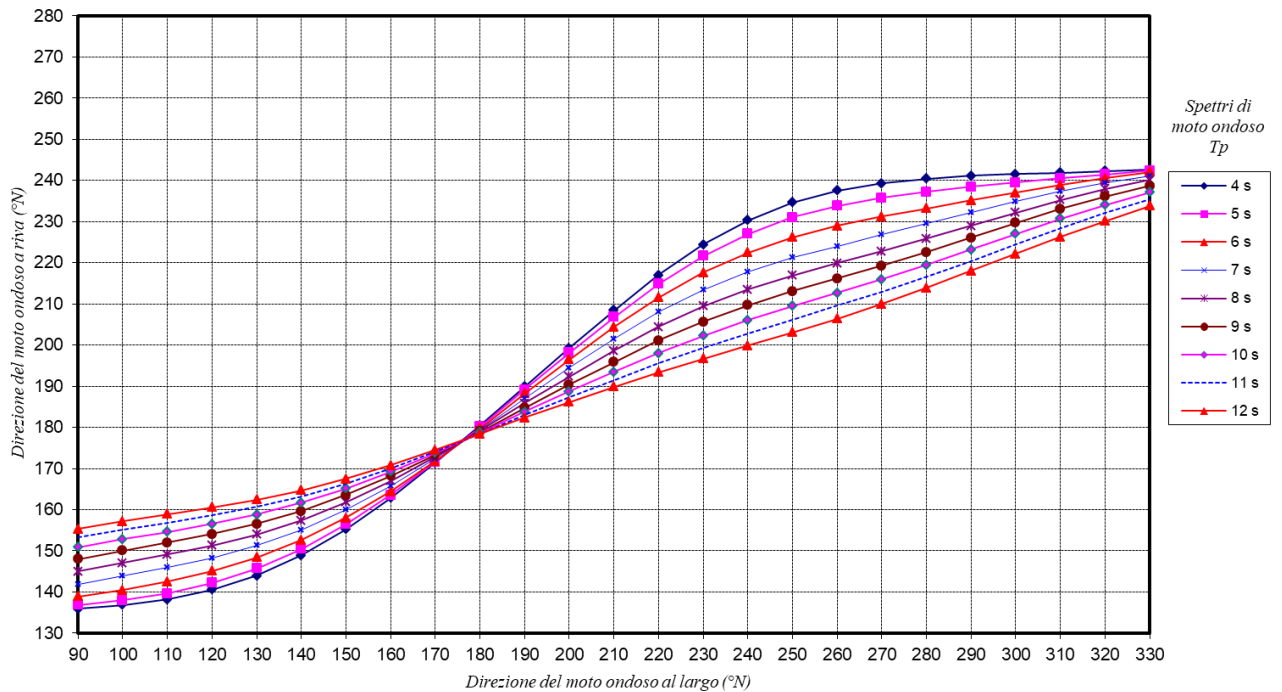


Figura 6.19. Punto di inversa spettrale C₅

Osservando la Figura 6.18 e la Figura 6.19 si ritrova lo stesso andamento riscontrato nei punti C₃ e C₄. I valori maggiori del coefficiente k (compresi tra 0.92 e 1.00) si hanno per onde provenienti dai settori di ostro e libeccio (180°-240° N).

Di seguito (Figura 6.20 e Figura 6.21) vengono riportate le rose stagionali ed annuale del clima di moto ondoso a riva (punto C₅) e nella Tabella 6.13 gli stessi risultati ottenuti per il regime annuale vengono riportati in forma numerica; nella Tabella 6.14 e nella Tabella 6.15 gli eventi sono suddivisi, in termini di numero e di frequenze percentuali, per classi di H_s e di periodo di picco T_p.

Altezza d'onda significativa H_s (m)

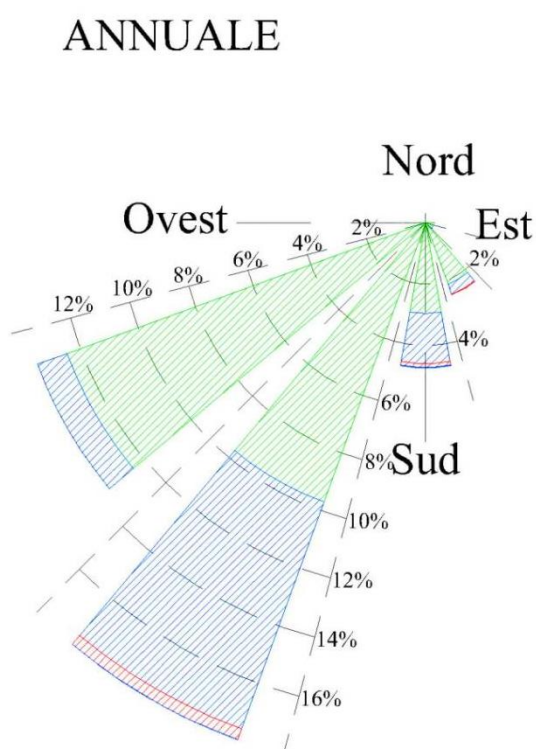
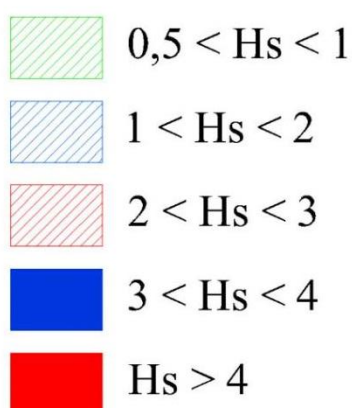


Figura 6.20. Rosa annuale della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C₅

Altezza d'onda significativa H_s (m)

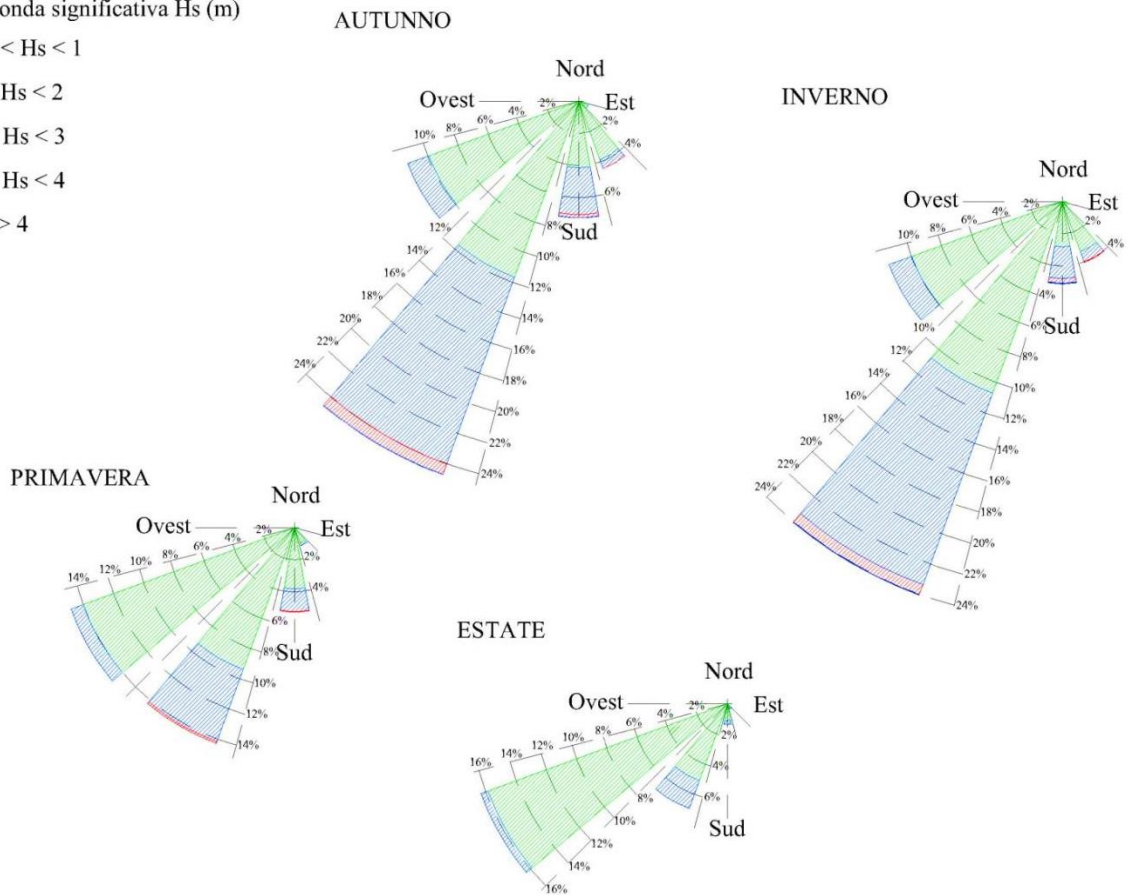
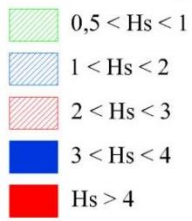


Figura 6.21. Rose stagionali della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto C₅

Tabella 6.13. Clima annuale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione - distribuzione percentuale - Punto C₅

Serie ondometrica sotto costa - Punto C5. Periodo (Gennaio 1979 -Dicembre 2009)

Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	>=6.5						
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120																
130	5.37	1.30	0.27	0.01												6.96
140	0.70	0.85	0.75	0.05												2.35
150	0.34	0.64	0.50	0.05	0.00											1.54
160	0.34	0.65	0.88	0.23	0.03	0.01	0.00									2.14
170	0.62	1.01	2.11	0.99	0.27	0.07	0.02	0.002	0.0011							5.08
180	0.28	0.51	0.66	0.21	0.05	0.02	0.00	0.002								1.73
190	0.18	0.18	0.20	0.09	0.03	0.02	0.00	0.01	0.002							0.70
200	0.18	0.23	0.47	0.35	0.22	0.14	0.03	0.004								1.64
210	0.70	1.46	2.40	1.60	1.10	0.19	0.00									7.46
220	2.73	4.09	6.83	3.90	0.71	0.01										18.28
230	3.72	9.12	10.65	1.00	0.03											24.52
240	15.24	10.55	1.81	0.00												27.60
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	30.41	30.61	27.54	8.48	2.43	0.46	0.05	0.02	0.00							100.00
Tot. cum	61.02	88.56	97.03	99.47	99.93	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 9035

Tabella 6.14. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Distribuzione per numero di eventi – Punto C₅

Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T _p (s)						Tot
	T _p < 4	4 ≤ T _p < 6	6 ≤ T _p < 8	8 ≤ T _p < 10	10 ≤ T _p < 12	12 ≤ T _p	
< 0.20	14853	5144	429	52	5	0	20483
0.20 ÷ 0.60	6551	32014	2357	519	12	0	41453
0.60 ÷ 0.80	603	8593	844	371	0	0	10411
0.80 ÷ 1.50	79	10754	2349	921	1	0	14104
>1.50	1879	783	16	0	0	0	2678
Tot.	23965	57288	5995	1863	18		89129

Tabella 6.15. Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.

Distribuzione percentuale – Punto C₅

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T _p (s)						Tot	Tot. cumul.
	T _p < 4	4 ≤ T _p < 6	6 ≤ T _p < 8	8 ≤ T _p < 10	10 ≤ T _p < 12	12 ≤ T _p		
< 0.20	16.66	5.77	0.48	0.06	0.01		22.98	22.98
0.20 ÷ 0.60	7.35	35.92	2.64	0.58	0.01		46.51	69.49
0.60 ÷ 0.80	0.68	9.64	0.95	0.42			11.68	81.17
0.80 ÷ 1.50	0.09	12.07	2.64	1.03	0.00		15.82	97.00
>1.50	2.11	0.88	0.02				3.00	100.00
Tot.	26.89	64.28	6.73	2.09	0.02		100.00	
Tot. cumul.	26.89	91.16	97.89	99.98	100.00	100.00		

In dettaglio si osserva che:

- gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 39% (corrispondente ad una durata media annua di circa 4.7 mesi);
- gli eventi con H_s > 2.5 m (eventi estremi) provengono tutti dal settore di ostro-libeccio (160°-210°N) con una frequenza pari a circa lo 0.02% (corrispondente ad una durata di circa 2 ore l'anno);
- le altezze d'onda massime raggiungibili risultano comunque inferiori a 4.0 m;
- l'analisi della distribuzione stagionale degli eventi conferma una netta prevalenza degli stati di mare estremi in inverno ed in autunno, mantenendosi comunque il settore da 130° a 240°N (scirocco-ostro-libeccio) come unico settore all'interno del quale provengono tutti gli stati di mare.

- le onde provenienti dal settore di ostro-libeccio non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa e l'attenuazione media dell'altezza è inferiore al 10%.

In conclusione, il moto ondoso a largo proveniente dai settori di scirocco e ponente, a causa della rifrazione e dello shoaling, propagandosi verso costa subisce una considerevole rotazione verso ostro-libeccio ed una sostanziale attenuazione dell'altezza d'onda significativa, limitando la traversia al settore compreso tra 130° e 240° N.

7. ANALISI DEL FLUSSO DI ENERGIA ASSOCIATO AL CLIMA D'ONDA SOTTO COSTA

Per l'analisi della morfodinamica costiera è opportuno individuare gli stati di mare rappresentativi dell'energia totale che compete al clima di moto ondoso per il settore di traversia che caratterizza il sito in esame. L'analisi della serie ondometrica propagata sotto costa nei punti scelti come rappresentativi per il tratto di litorale appartenente al comune di Casal Velino, ha consentito di ricavare le onde di modellazione (equivalenti, in termini di effetti sulla morfodinamica del litorale, alla totalità delle onde provenienti dallo stesso sub-settore) rappresentative dell'intero clima sotto costa.

In particolare si è calcolata, per ciascuna direzione di provenienza (direzione medie rappresentative dei settori discretizzati con ampiezza 10°), un'onda avente un'altezza H_e ed un periodo T_e , con un contenuto energetico ($\cong H^2 \cdot T$) ed una ripidità ($\cong H/T^2$) rappresentative del contenuto energetico e della ripidità di tutte le onde provenienti dallo stesso settore.

Sotto queste ipotesi si può associare ad una particolare direzione di provenienza un singolo evento, contraddistinto dai parametri H_e e T_e , definito nella letteratura specializzata come *onda di modellazione* o *onda morfologica*.

In particolare, un'onda morfologica associata ad una direzione assegnata ha caratteristiche tali da indurre sul litorale effetti equivalenti a quelli indotti, in un anno statistico medio, da tutte le onde provenienti da un settore di 10° avente direzione media pari alla direzione assunta per l'onda di modellazione.

Per il calcolo delle caratteristiche dell'onda morfologica è stato risolto il seguente sistema di equazioni:

$$\begin{aligned} N(H_e^2 T_e) &= \Sigma(H_i^2 T_i) \\ (H_e/T_e^2) &= \Sigma(H_i/T_i^2)/N \end{aligned}$$

La soluzione di questo sistema di equazioni, sviluppato su base annuale avendo preliminarmente verificato l'invariabilità stagionale del clima, ha fornito per ogni settore di provenienza una serie di valori di altezza e periodo d'onda, associati ad una durata su base annuale e rappresentativi del clima medio annuale del moto ondoso.

I risultati ottenuti per i cinque punti scelti sotto costa come rappresentativi per l'intero tratto di litorale appartenente al comune di Casal Velino vengono riportati dalla Tabella 7.1 alla Tabella 7.5.

Tabella 7.1. Onda di modellazione Casal Velino – Punto C₁

Onda di modellazione sotto costa del sito in esame (punto C1) - RISULTANTE ANNUALE

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	> 5.0	
10											
20											
30											
40											
50											
60											
70											
80											
90											
100											
110											
120											
130											
140	462.10										462.10
150	568.10										568.10
160	22.70	879.10									901.80
170	773.30	1100	3261.80								4046.10
180	4196.80	1609.90	478.10	9620.20							15905.00
190	956.60	1222.20	1025.10	370.10	60.20	80.40	4232.70				7947.30
200	296.40	138.90	85.50	35.90	105.90	871.60					1534.20
210	201.90	232.00	134.30	72.70	799.20						1440.10
220	342.50	286.60	227.80	49.30	72.10	84.30	152.20	1398.60			2613.40
230	3449.50	4214.30	5085.10	4924.20	4272.80	4031.80	4853.10	3256.70	1209.80	42592.30	77889.60
240	24193.30	28165.20	29226.80	26328.40	19440.70	13849.30	8232.40	4224.30	1737.10	176806.00	332203.50
250	17905.90	21331.00	17245.90	13225.20	7164.40	2974.50	347.00	92530.20			172724.10
260	8080.00	3412.10	648.30	71.30	24223.50						36435.20
270	269.00	7203.90									7472.90
280											
290											
300											
310											
320											
330											
340											
350											
360											
TOT.	61718.10	68706.20	57418.70	54697.30	56138.80	21891.90	17817.40	101409.80	2946.90	219398.30	662143.40

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	639134.5	582470.8	517354.4
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	240	241	240
Numero eventi sopra soglia:	41046	16678	7942
H equivalente (m):	1.71	2.36	3.03
Durata (mesi):	5.45	2.22	1.06

Tabella 7.2. Onda di modellazione Casal Velino - Punto C₂

Onda di modellazione sotto costa del sito in esame (punto C2) - RISULTANTE ANNUALE

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	> 5.0	
10											
20											
30											
40											
50											
60											
70											
80											
90											
100											
110											
120											
130											
140	281.90	871.60									1153.50
150	579.50	835.00									1414.50
160	789.00	107.10	127.90								2024.00
170	2459.30	1728.20	93.70	4655.70							8936.90
180	2385.40	3845.10	2366.50	949.50	241.80	10015.00					19803.30
190	343.00	723.30	718.10	651.00	223.60	163.00	83.20	2979.00			5884.20
200	164.90	257.00	132.40	90.30	36.40	54.30	769.70				1505.00
210	125.90	202.80	243.80	129.10	72.60	809.90					1584.10
220	263.90	530.30	749.70	554.60	568.00	511.90	1089.40	951.40	859.70	10209.80	16288.70
230	6405.50	13609.80	16319.50	20662.20	18581.10	14748.20	12746.00	6544.80	3138.80	116260.00	229015.90
240	16329.00	24026.80	28100.80	27266.60	18482.40	8189.10	2513.00	113.20	128674.60		253695.50
250	12568.40	13742.30	6926.80	1854.90	214.60	37338.20					72645.20
260	4966.50	280.50	9744.70								14991.70
270	35.80	289.20									325.00
280											
290											
300											
310											
320											
330											
340											
350											
360											
TOT.	47698.00	61049.00	66523.90	56813.90	38420.50	71829.60	17201.30	10588.40	132673.10	126469.80	629267.50

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	603248.1	560552.7	504876.1
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	234	234	234
Numero eventi sopra soglia:	39811	15730	7103
H equivalente (m):	1.69	2.38	3.14
Durata (mesi):	5.29	2.09	0.94

Tabella 7.3. Onda di modellazione Casal Velino - Punto C₃

Onda di modellazione sotto costa del sito in esame (punto C3) - RISULTANTE ANNUALE
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA H _s (m)										TOT.
	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	> 5.0	
10											
20											
30											
40											
50											
60											
70											
80											
90											
100											
110											
120											
130											
140	281.90	871.60									1153.50
150	579.50	835.00									1414.50
160	789.00	107.10	127.90								2024.00
170	2459.30	1728.20	93.70	4655.70							8936.90
180	2385.40	3845.10	2366.50	949.50	241.80	10015.00					19803.30
190	343.00	723.30	718.10	651.00	223.60	163.00	83.20	2979.00			5884.20
200	164.90	257.00	132.40	90.30	36.40	54.30	769.70				1505.00
210	125.90	202.80	243.80	129.10	72.60	809.90					1584.10
220	263.90	530.30	749.70	554.60	568.00	511.90	1089.40	951.40	859.70	10209.80	16288.70
230	6405.50	13609.80	16319.50	20662.20	18581.10	14748.20	12746.00	6544.80	3138.80	116260.00	229015.90
240	16329.00	24026.80	28100.80	27266.60	18482.40	8189.10	2513.00	113.20	128674.60		253695.50
250	12568.40	13742.30	6926.80	1854.90	214.60	37338.20					72645.20
260	4966.50	280.50	9744.70								14991.70
270	35.80	289.20									325.00
280											
290											
300											
310											
320											
330											
340											
350											
360											
TOT.	47698.00	61049.00	66523.90	56813.90	38420.50	71829.60	17201.30	10588.40	132673.10	126469.80	629267.50

	H _s >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	603248.1	560552.7	504876.1
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	234	234	234
Numero eventi sopra soglia:	35424	13041	5148
H equivalente (m):	1.77	2.57	3.57
Durata (mesi):	4.71	1.73	0.68

Tabella 7.4. Onda di modellazione Casal Velino - Punto C₄

Onda di modellazione sotto costa del sito in esame (punto C4) - RISULTANTE ANNUALE
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	> 5.0	
10											
20											
30											
40											
50											
60											
70											
80											
90											
100											
110											
120											
130											
140	281.90	871.60									1153.50
150	579.50	835.00									1414.50
160	789.00	107.10	127.90								2024.00
170	2459.30	1728.20	93.70	4655.70							8936.90
180	2385.40	3845.10	2366.50	949.50	241.80	10015.00					19803.30
190	343.00	723.30	718.10	651.00	223.60	163.00	83.20	2979.00			5884.20
200	164.90	257.00	132.40	90.30	36.40	54.30	769.70				1505.00
210	125.90	202.80	243.80	129.10	72.60	809.90					1584.10
220	263.90	530.30	749.70	554.60	568.00	511.90	1089.40	951.40	859.70	10209.80	16288.70
230	6405.50	13609.80	16319.50	20662.20	18581.10	14748.20	12746.00	6544.80	3138.80	116260.00	229015.90
240	16329.00	24026.80	28100.80	27266.60	18482.40	8189.10	2513.00	113.20	128674.60		253695.50
250	12568.40	13742.30	6926.80	1854.90	214.60	37338.20					72645.20
260	4966.50	280.50	9744.70								14991.70
270	35.80	289.20									325.00
280											
290											
300											
310											
320											
330											
340											
350											
360											
TOT.	47698.00	61049.00	66523.90	56813.90	38420.50	71829.60	17201.30	10588.40	132673.10	126469.80	629267.50

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	603248.1	560552.7	504876.1
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	234	234	234
Numero eventi sopra soglia:	38159	14934	6186
H equivalente (m):	1.72	2.43	3.32
Durata (mesi):	5.07	1.98	0.82

Tabella 7.5. Onda di modellazione Casal Velino – Punto C₅

Onda di modellazione sotto costa del sito in esame (punto C5) - RISULTANTE ANNUALE

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	> 5.0	
10											
20											
30											
40											
50											
60											
70											
80											
90											
100											
110											
120											
130	20.10	795.80									815.90
140	189.80	1335.20									1525.00
150	199.00	10.70	1046.60								1256.30
160	997.50	275.50	239.50	99.90	3076.50						4688.90
170	4615.40	2791.20	1346.90	623.50	114.90	87.30	13144.10				22723.30
180	981.60	487.40	343.10	102.70	3022.30						4937.10
190	483.20	316.80	455.60	69.60	505.50	170.30	2386.40				4387.40
200	2780.50	3605.70	3814.80	1022.70	218.40	12905.90					24348.00
210	10562.00	14211.60	4236.80	105.60	35697.90						64813.90
220	17884.50	6453.70	186.20	38280.10							62804.50
230	3711.80	234.30	21682.10								25628.20
240	3.10	5453.50									5456.60
250											
260											
270											
280											
290											
300											
310											
320											
330											
340											
350											
360											
TOT.	42428.50	35971.40	33351.60	40304.10	42635.50	13163.50	15530.50				223385.10

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	209689.3	169631.8	136917.1
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	208	208	208
Numero eventi sopra soglia:	35206	10334	2678
H equivalente (m):	1.16	1.75	2.75
Durata (mesi):	4.68	1.37	0.36

**Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso
nel punto C1 sottocosta - periodo : Gennaio 1979 - Dicembre 2009**

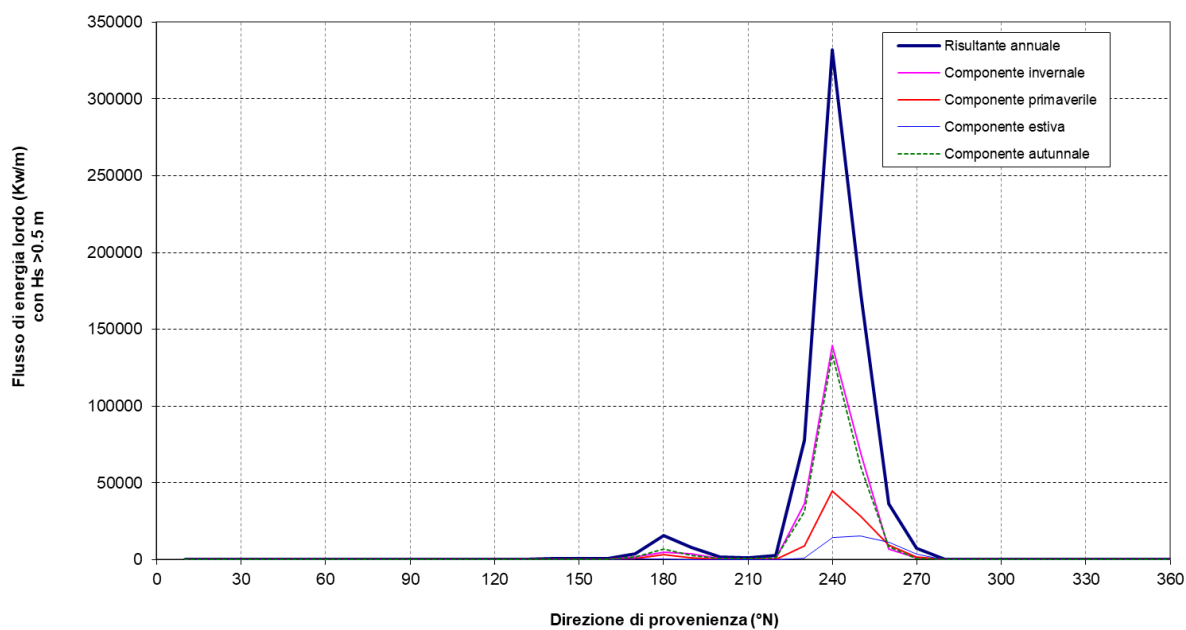


Figura 7.1. Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso. Casal Velino – Punto C₁

**Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso
nel punto C2 sottocosta - periodo : Gennaio 1979 - Dicembre 2009**

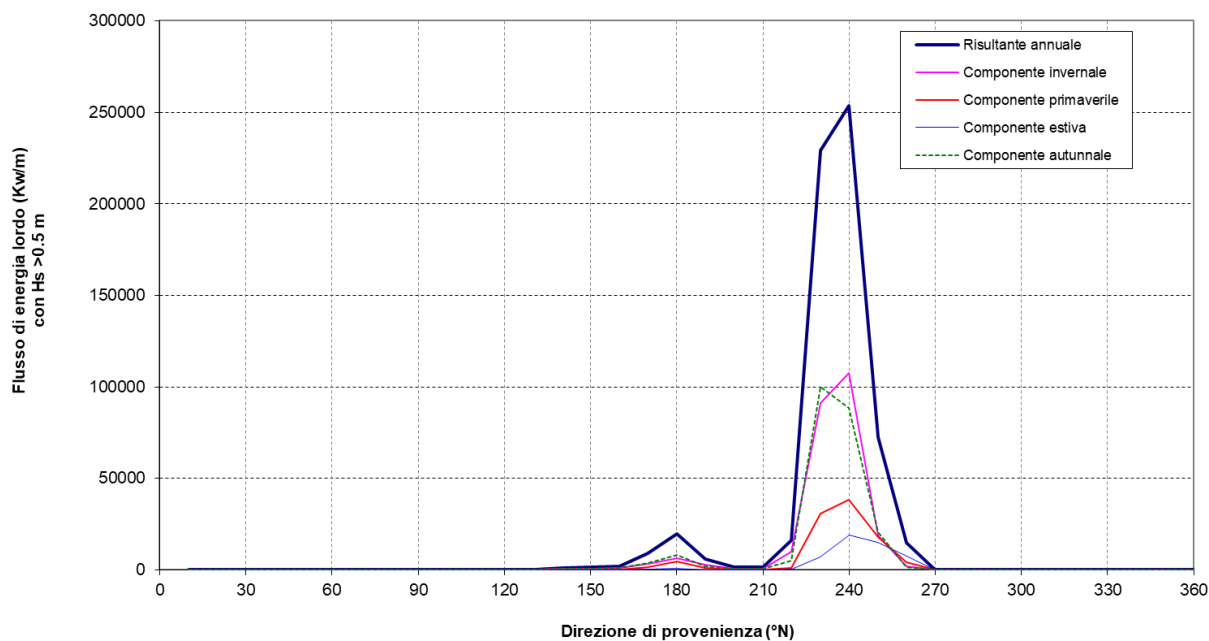


Figura 7.2. Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso. Casal Velino - Punto C₂

Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso
nel punto C3 sottocosta - periodo : Gennaio 1979 - Dicembre 2009

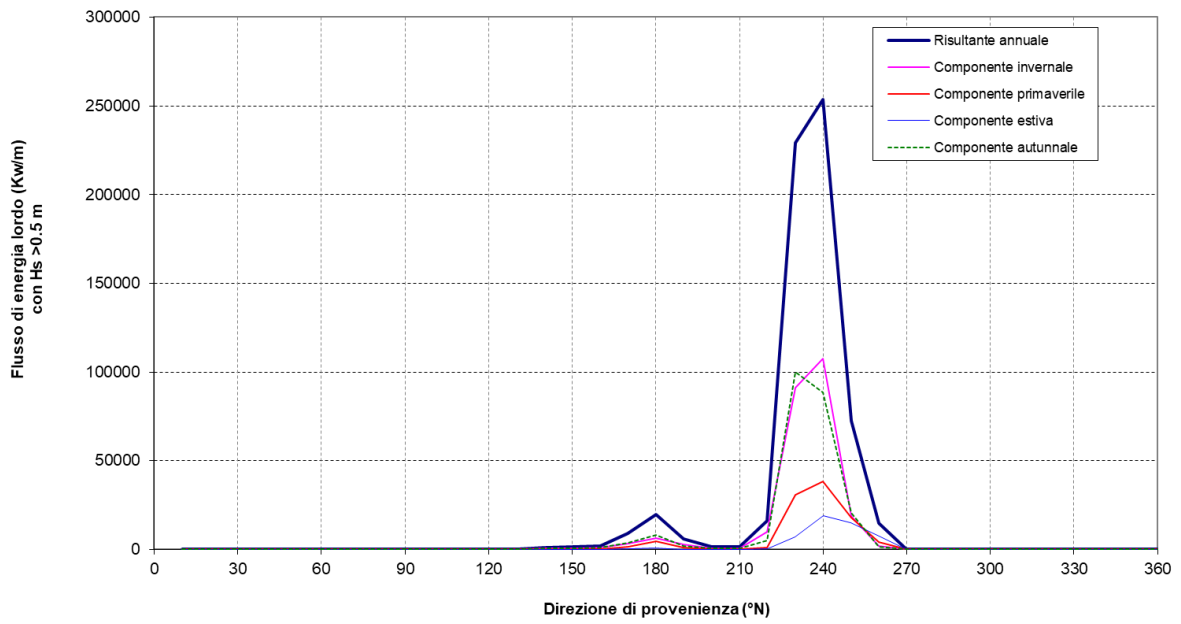


Figura 7.3. Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso. Casal Velino - Punto C₃

Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso
nel punto C4 sottocosta - periodo: Gennaio 1979 - Dicembre 2009

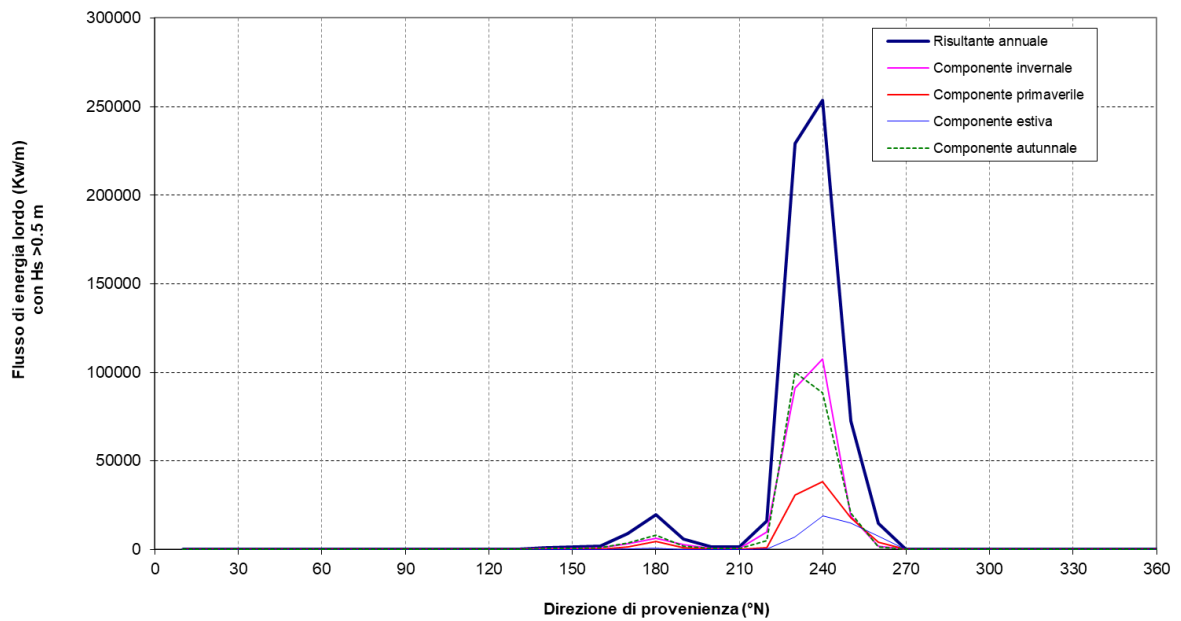


Figura 7.4. Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso. Casal Velino - Punto C₄

Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso nel punto C5 sottocosta - periodo: Gennaio 1979 - Dicembre 2009

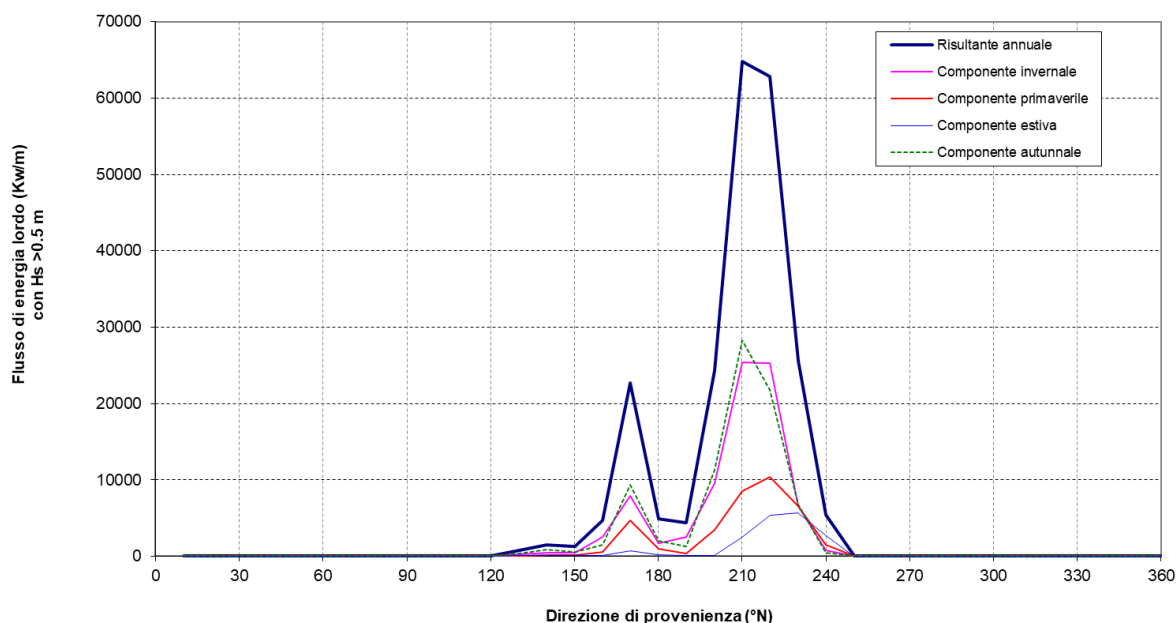


Figura 7.5. Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso. Casal Velino – Punto C₅

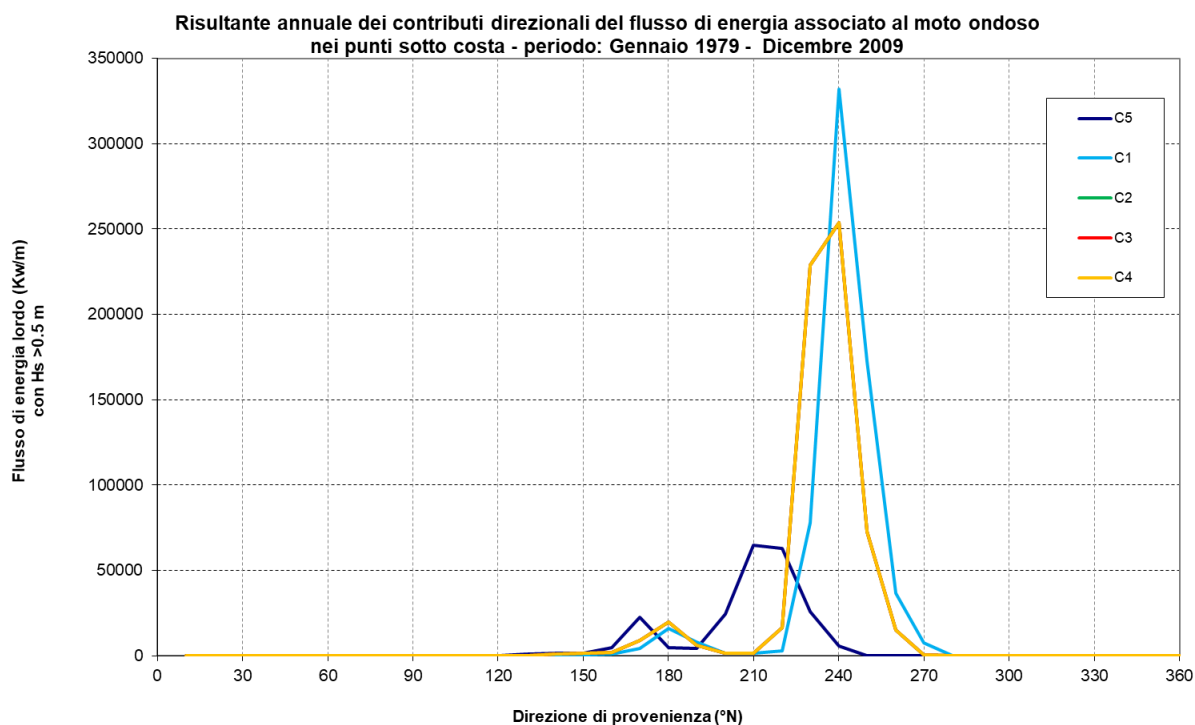


Figura 7.6. Risultante annuale dei contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso nei punti sotto costa

8. PROFONDITA' DI CHIUSURA

Al fine di poter determinare la profondità (*profondità di chiusura*) che delimita lato mare la fascia litoranea interessata dal trasporto solido e da apprezzabili modifiche dei fondali per effetto di fenomeni di deposito o erosione, è stata applicata la nota formula di *Hallermaier* (1987) che lega questa profondità al doppio dell'altezza d'onda significativa superata 12 ore all'anno:

$$h_c = 2.28H_{s0} - 10.9H_0^2/L_0$$

dove:

$H_{s0}=4.87$ m (altezza d'onda significativa al largo superata in media 12 ore/anno, valutata attraverso il calcolo delle frequenze di superamento delle altezze significative NOAA WWIII ricostruite tra il 1979 ed il 2009 e opportunamente calibrate, come mostrato in Figura 8.1)

$$L_0 = gT_0^2/2\pi = 131 \text{ m} \quad (\text{lunghezza dell'onda al largo con periodo } T_0)$$

Applicando la formula si ricava che si può assumere per l'unità fisiografica in esame una profondità di chiusura h_c (o di "moto attivo dei sedimenti") pari a circa 9.13 m.

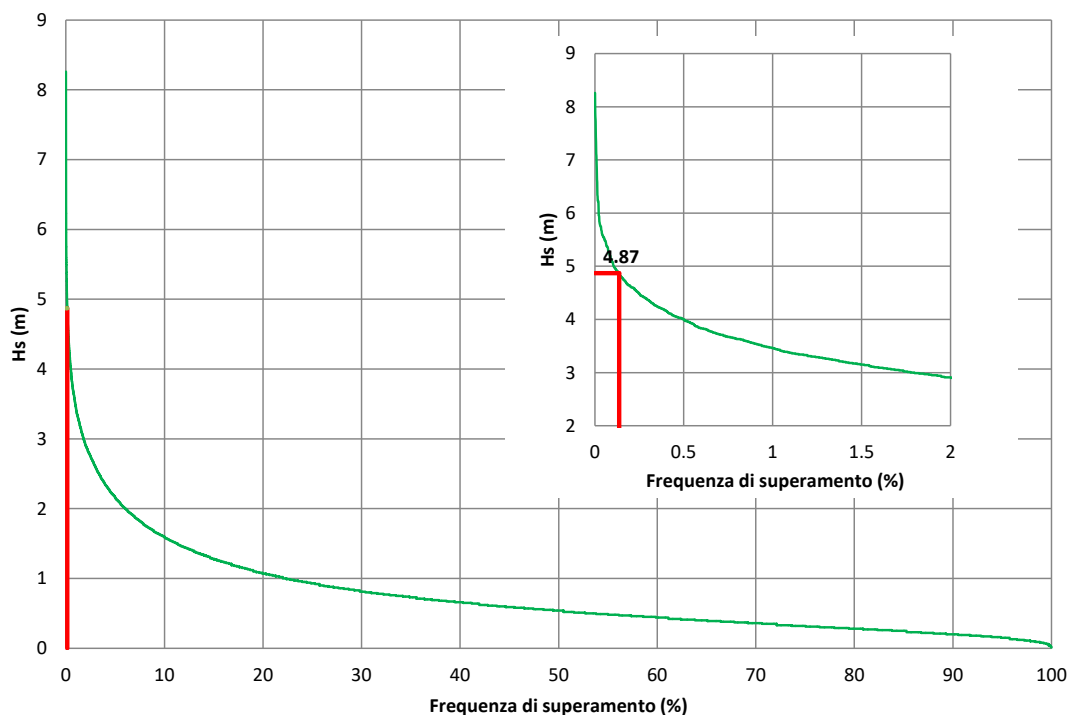


Figura 8.1. Durate di apparizione delle altezze d'onda al largo di Casal Velino

9. VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO (MAREE, SOVRALZI)

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente marea astronomica e "meteorologica"), è necessaria per molteplici scopi quali, ad esempio, la corretta progettazione delle quote da assegnare alle banchine portuali, oppure la determinazione delle quote di dragaggio all'interno degli specchi acquei portuali e dei canali di accesso agli stessi. In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica). Nella zona del Mar Tirreno, ove ricade il paraggio costiero appartenente al comune di Casal Velino, le escursioni del livello del mare sono di fatto modeste.

9.1 Marea astronomica

La componente oscillatoria meglio conosciuta è la marea astronomica, generata dall'attrazione gravitazionale della luna (70%) e del sole (30%).

Per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica, le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili, per alcuni porti principali italiani, in funzione delle "Tavole di Marea" pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare.

Nel caso in esame si è fatto riferimento ai dati del porto di Napoli.

L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 30 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bimensile distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa 0.20 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello assoluto pari a circa 0,40 m). Nelle fasi di quadratura l'escursione è al massimo limitata a ± 0.15 m s.l.m. Mediamente l'oscillazione di marea da assumere (dislivello tra il minimo ed il massimo livello diurno) è di 0.30 m.

9.2 Marea meteorologica

Per la definizione della marea meteorologica si distinguono:

effetto barico: considerata una condizione di minimo barico (legata al passaggio dei centri di bassa pressione caratterizzanti i cicloni) pari a 975 mb ed una condizione di massimo barico (legata al passaggio dei centri di alta pressione caratterizzanti gli anticicloni) pari a 1044 mb, rispetto ad una condizione media di 1013 mb; ne consegue

(da un punto di vista prettamente statico) un effetto di sovrizzo marino massimo pari a +0.38 m ed un abbassamento massimo del livello marino pari a -0.31 m;

sovrizzo di vento: l'effetto di innalzamento dei livelli sotto costa indotto dall'azione di venti foranei spiranti verso la costa è definito in funzione dell'estensione della piattaforma continentale; nel caso in esame si può considerare un'estensione della piattaforma continentale di circa 15 km delimitata all'incirca dall'isobata -200 m s.l.m. Il calcolo del sovrizzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

$$S = \frac{K_p \cdot L_p \cdot U^2}{g(D - d - S)} \ln\left(\frac{D}{d + S}\right)$$

Ponendo:

- D=200 m - la profondità limite assunta per la piattaforma continentale;
- L_p=15000 m - l'estensione della piattaforma continentale;
- d=10.0 m - la profondità ove si calcola il sovrizzo;
- g=9.81 m/s²;
- k_p=3 × 10⁻⁶;
- U=20 m/s la velocità del vento persistente in condizioni estreme

La relazione implicita fornisce un valore, pari a circa 0.03 m, pressoché trascurabile del sovrizzo del livello marino sotto costa (alla profondità di -10 m s.l.m.) dovuto all'azione del vento.

Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva (d=0.5 m) pari a circa 0.06 m.

9.3 Variazioni stagionali e a lungo termine

Possono inoltre essere considerate altre piccolissime oscillazioni stagionali dovute a differenze di densità (max 5 cm, min -3 cm) e variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo. Le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo).

9.4 Valori estremi

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovralzato lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma, considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovralti di carattere meteorologico ed astronomico, si può cautelativamente assumere una riduzione del 35% per il dislivello massimo generato contemporaneamente dal sovralto meteorologico ed astronomico.

E' quindi possibile assumere un innalzamento massimo del livello marino pari a:

$$\text{sovralto}_{max} = +0.05m + (+0.05m + 0.38m + 0.20m) \times 0.65 = 0.45m \text{ (0.75m tra 50 anni).}$$

Per quanto riguarda i massimi abbassamenti risulta invece:

$$\text{abbassamento}_{max} = -0.03m + (-0.20m - 0.31m) \times 0.65 = -0.36m \text{ (-0.06m tra 50 anni).}$$

Nella zona più prossima alla riva si verifica un'ulteriore variazione del livello marino associata alla propagazione e frangimento dell'onda. Lungo la fascia litoranea confinata tra la linea dei frangenti e la linea di riva, indicata dalla letteratura specializzata come *surf-zone*, si registra un abbassamento del livello marino (wave set-down) nella zona di frangimento delle onde ed un successivo innalzamento verso riva (wave set-up). Il calcolo dei due termini di set-down h_b e set-up h_s , rappresentativi del fenomeno, può essere effettuato in prima approssimazione in funzione delle relazioni (Coastal Engineering vol.II, Delft University of Technology, 1993):

$$- \quad h_b = -(1/16)\gamma^2 \cdot H_b = -0.30 \text{ m s.l.m.}$$

$$- \quad h_s = (5/16)\gamma^2 \cdot H_b = +1.50 \text{ m s.l.m.}$$

dove:

H_b è stata assunta pari a 8.0 m (altezza dell'onda significativa al frangimento cui corrisponde un tempo di ritorno pari a $T_R=50$ anni);

γ è l'indice di frangimento esprime il rapporto tra l'altezza dell'onda frangente e la profondità d a cui si realizza il frangimento (si è soliti assumere $\gamma = 0.78$).

10. CORRENTI

L'analisi d'insieme (riferita alla rappresentazione grafica in Figura 10.1 estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR) mostra che il golfo di Velino è interessato dalle sole correnti di gradiente superficiali instabili dovute alla irregolare distribuzione della pressione sulla superficie del mare ed alla differenza di densità di masse d'acqua adiacenti. La situazione cambia in prossimità di costa, se il vento che spira dai quadranti occidentali è di intensità adeguata, si possono ammassare lungo costa notevoli masse d'acqua che, non potendo rifluire verso il largo a causa del vento contrario, danno luogo a forti correnti che scorrono parallelamente alla costa.

La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marea. In definitiva, il regime delle correnti marine, nel tratto di costa in cui ricade il comune di Casal Velino, ha effetti irrilevanti sulla dinamica dei sedimenti costieri che risulta dominata invece dalle correnti litoranee, comprese tra la linea dei frangenti e la linea di riva, indotte dall'azione del moto ondoso frangente.

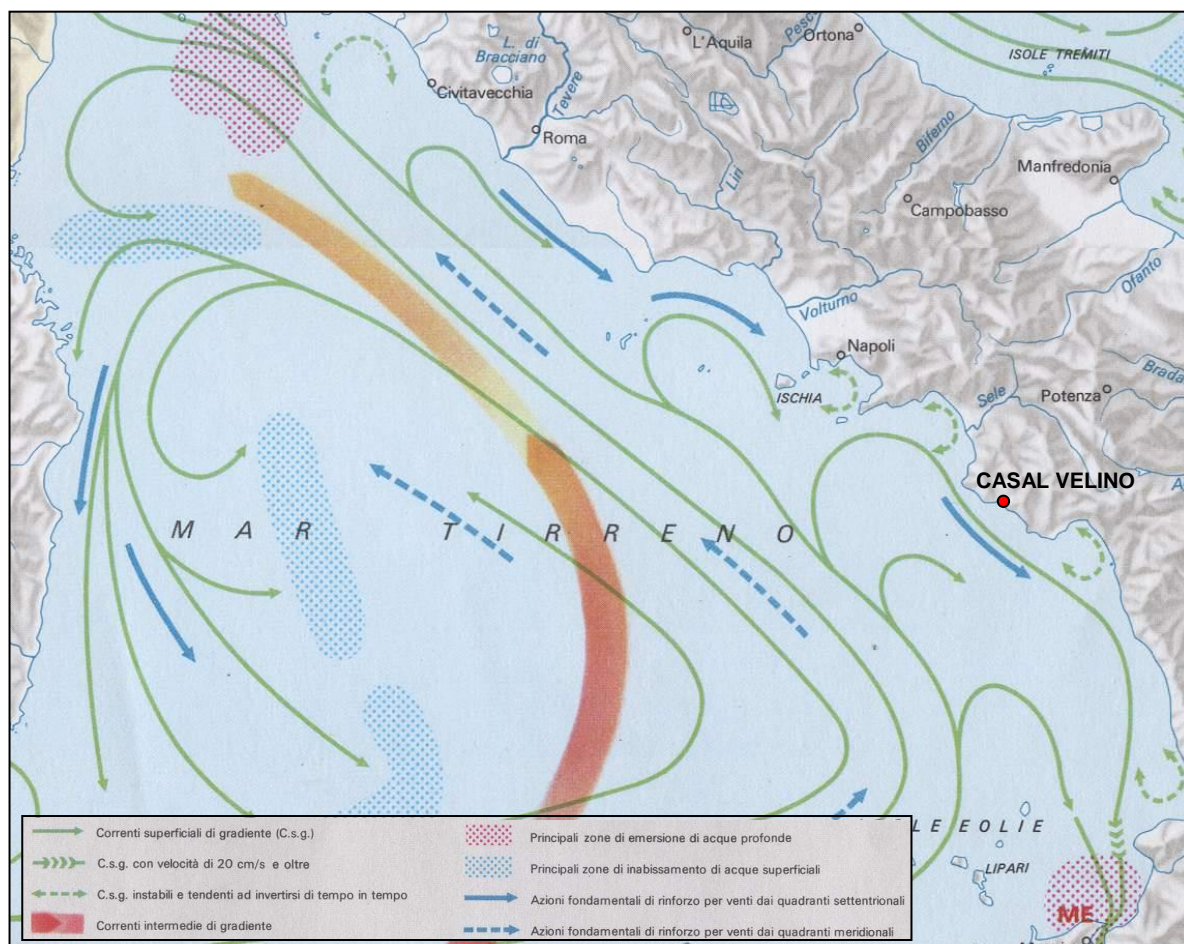


Figura 10.1 - Distribuzione delle correnti d'insieme

11. REGIME DEI VENTI

Per un'analisi esaustiva del regime dei venti si è fatto riferimento sia alla tavola tematica pubblicata dal TCI-CNR (Figura 11.1), ove sono riportate le "rose dei venti" delle stazioni gestite dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (CNMCA), sia i dati della stazione Meteo di Palinuro (Tabella 11.1 e Figura 11.2 - periodo di funzionamento dal 1951 al 1977; quota: +184 m s.l.m.) gestita dall'Aeronautica Militare (I.T.A.V.-C.N.M.C.A: Ispettorato Trasmissioni e Assistenza al Volo – Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica).

La distribuzione delle frequenze annuali, per settori di provenienza (16 settori con ampiezza di 22.5°) e 5 classi di intensità del vento (più le calme), è stata sintetizzata nella Tabella 11.1 e rappresentata graficamente nel grafico polare riportato nella Figura 11.2.

Appare chiaro che i venti locali più frequenti sono diretti verso la direzione Nord-Ovest (340°N, maestrale-tramontana) e verso Sud-Est (140°N, scirocco-mezzogiorno). Da quest'ultima direzione provengono anche i venti più intensi (venti aventi velocità superiore a 24 nodi) i quali hanno una frequenza inferiore al 3% (circa 8 giorni l'anno).



Figura 11.1 - Regime di esposizione ai venti per il mar Tirreno centro-meridionale

Tabella 11.1. stazione meteorologica di Palinuro - distribuzione delle frequenze annuali.

Direzione e velocità del vento Distribuzione delle frequenze annuali(*) (media sul periodo 1951 ÷ 1977)							
DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		26.76	29.93	18.16	7.92	1.21	83.98
22.5 ÷ 45.0		15.40	18.18	11.31	8.14	1.33	54.36
45.0 ÷ 67.5		9.40	9.34	7.41	5.85	0.53	32.53
67.5 ÷ 90.0		4.95	4.41	3.90	1.90	0.20	15.36
90.0 ÷ 112.5		7.02	7.04	5.46	2.34	0.22	22.08
112.5 ÷ 135.0		14.31	17.90	16.56	11.49	2.43	62.68
135.0 ÷ 157.5		15.45	24.10	25.20	17.75	3.95	86.44
157.5 ÷ 180.0		18.50	22.73	17.53	8.77	2.16	69.70
180.0 ÷ 202.5		14.29	13.91	7.19	3.81	1.20	40.40
202.5 ÷ 225.0		8.62	5.24	2.78	1.99	0.56	19.19
225.0 ÷ 247.5		3.22	2.14	2.35	1.70	0.33	9.74
247.5 ÷ 270.0		2.43	2.10	2.61	2.41	0.40	9.95
270.0 ÷ 292.5		3.27	3.40	3.37	2.70	0.50	13.25
292.5 ÷ 315.0		6.24	6.60	5.54	3.73	1.06	23.17
315.0 ÷ 337.5		13.62	20.00	20.76	17.06	3.10	74.54
337.5 ÷ 360.0		27.08	35.09	29.70	17.56	2.75	112.17
VARIABILI		0.66	1.02	1.90	3.45	1.32	8.35
0 ÷ .5 m/s	262.08						262.08
Totali	262.08	191.21	223.12	181.74	118.59	23.25	1000
Quota strumento (m s.l.m.)	310						
Numero totale eventi:	77208						
(*) Valori per migliaia di unità							

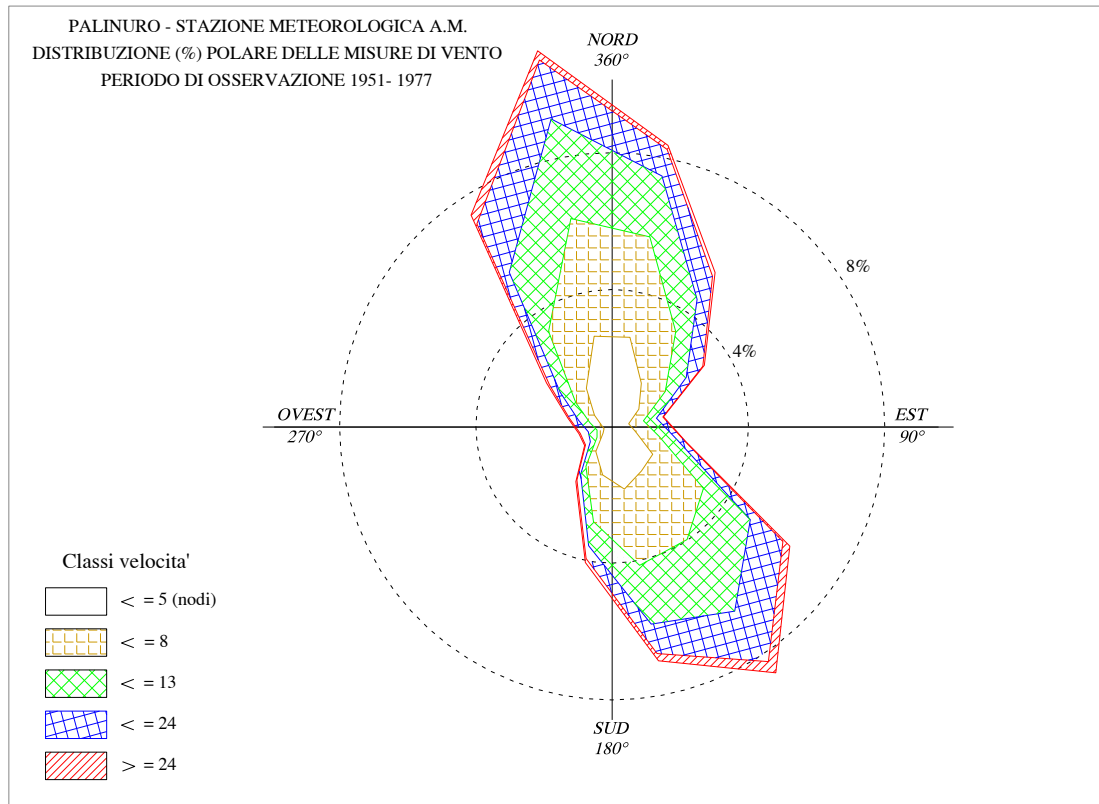


Figura 11.2: Palinuro - distribuzione direzionale degli stati di vento

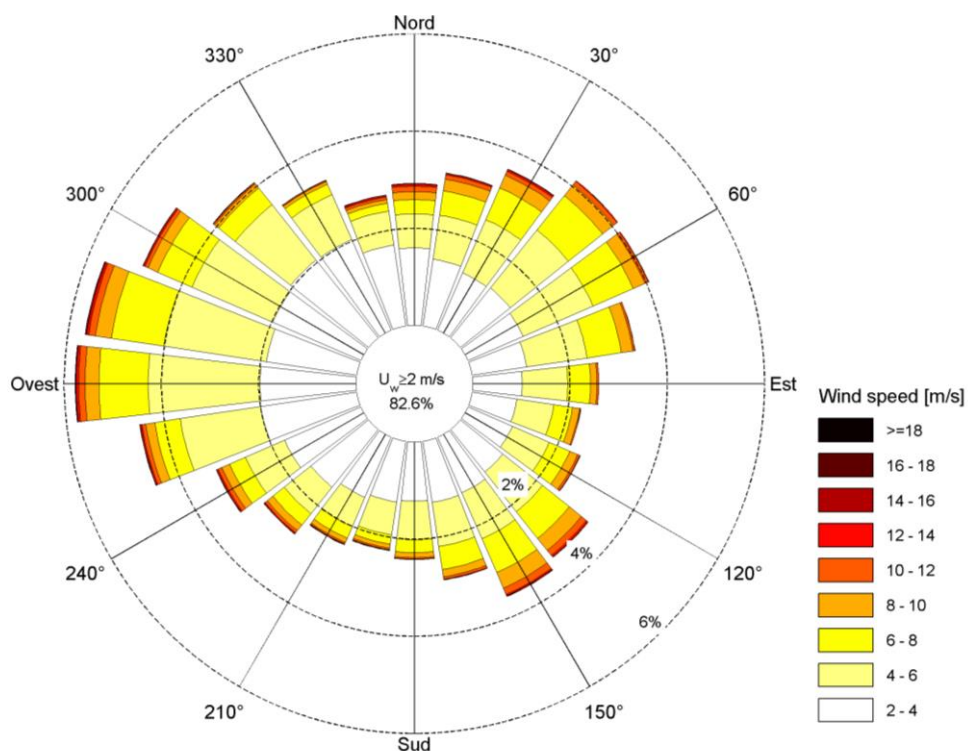


Figura 11.3. Rosa annuale della distribuzione direzionale dei venti al largo di Casal Velino, nel punto di coordinate 15.0°E, 40.0° N

Nel grafico polare in Figura 11.3 viene presentata la distribuzione delle frequenze annuali, suddivisa in settori di provenienza di ampiezza 30° e in 9 classi di intensità, degli stati di vento ricostruiti dal NOAA-WIII nel punto di coordinate 15.0°E, 40.0°N. Gli stessi risultati sono stati riportati numericamente nella Tabella 11.2 e nella Tabella 11.3.

Direzione di provenienza ° N	Classi di velocità del vento [m/s]												Tot
	calm	1.00 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 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00	>20.00	
0	204	577	1444	637	263	149	99	41	13	0	1	0	3428
15	188	527	1260	829	456	222	81	26	8	1	0	0	3598
30	205	474	1164	1082	648	257	77	36	4	4	2	1	3954
45	199	479	1187	1389	814	258	87	16	2	1	0	0	4432
60	181	462	1119	1423	815	239	63	13	0	0	0	1	4316
75	178	395	1024	1140	645	216	36	5	1	0	0	0	3640
90	154	416	917	850	423	121	34	2	0	0	0	0	2917
105	173	392	842	696	351	131	22	4	0	0	0	0	2611
120	171	402	900	753	415	159	41	6	4	0	0	0	2851
135	176	457	1015	945	633	289	124	34	6	4	0	0	3683
150	205	439	1127	939	686	314	130	23	16	3	0	0	3882
165	163	433	1149	832	433	138	45	12	3	0	0	0	3208
180	170	458	1102	721	240	91	32	5	3	0	0	0	2822
195	145	452	1145	618	174	76	32	6	2	2	3	0	2655
210	193	454	1224	595	234	90	28	10	4	3	0	0	2835
225	185	412	1377	632	271	131	55	17	9	2	0	0	3091
240	171	437	1549	793	323	157	80	27	7	5	0	0	3549
255	203	476	1804	1519	478	170	75	26	11	1	1	0	4764
270	187	490	1788	2085	915	258	120	43	13	7	1	0	5907
285	189	511	1699	1931	992	300	125	39	22	5	1	1	5815
300	187	520	1792	1639	696	199	62	30	6	5	1	0	5137
315	205	511	1857	1317	395	98	26	7	4	3	1	0	4424
330	208	586	1842	914	213	54	20	3	5	0	0	0	3845
345	200	549	1526	640	146	71	47	30	10	1	0	0	3220
N° di eventi	4440	11309	31853	24919	11659	4188	1541	461	153	47	11	3	90584

Tabella 11.2. Clima annuale: stati di vento classificati per velocità e direzione

Direzione di provenienza ° N	Classi di velocità del vento [m/s]												Freq. %	≥2.00
	calm	1.00 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 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00	>20.00		
0	0.23	0.64	1.59	0.70	0.29	0.16	0.11	0.05	0.01		0.00		3.8	2.9
15	0.21	0.58	1.39	0.92	0.50	0.25	0.09	0.03	0.01	0.00			4.0	3.2
30	0.23	0.52	1.28	1.19	0.72	0.28	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	4.4	3.6
45	0.22	0.53	1.31	1.53	0.90	0.28	0.10	0.02	0.00	0.00			4.9	4.1
60	0.20	0.51	1.24	1.57	0.90	0.26	0.07	0.01				0.00	4.8	4.1
75	0.20	0.44	1.13	1.26	0.71	0.24	0.04	0.01	0.00				4.0	3.4
90	0.17	0.46	1.01	0.94	0.47	0.13	0.04	0.00					3.2	2.6
105	0.19	0.43	0.93	0.77	0.39	0.14	0.02	0.00					2.9	2.3
120	0.19	0.44	0.99	0.83	0.46	0.18	0.05	0.01	0.00				3.1	2.5
135	0.19	0.50	1.12	1.04	0.70	0.32	0.14	0.04	0.01	0.00			4.1	3.4
150	0.23	0.48	1.24	1.04	0.76	0.35	0.14	0.03	0.02	0.00			4.3	3.6
165	0.18	0.48	1.27	0.92	0.48	0.15	0.05	0.01	0.00				3.5	2.9
180	0.19	0.51	1.22	0.80	0.26	0.10	0.04	0.01	0.00				3.1	2.4
195	0.16	0.50	1.26	0.68	0.19	0.08	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00		2.9	2.3
210	0.21	0.50	1.35	0.66	0.26	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00			3.1	2.4
225	0.20	0.45	1.52	0.70	0.30	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00			3.4	2.8
240	0.19	0.48	1.71	0.88	0.36	0.17	0.09	0.03	0.01	0.01			3.9	3.2
255	0.22	0.53	1.99	1.68	0.53	0.19	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00		5.3	4.5
270	0.21	0.54	1.97	2.30	1.01	0.28	0.13	0.05	0.01	0.01	0.00		6.5	5.8
285	0.21	0.56	1.88	2.13	1.10	0.33	0.14	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	6.4	5.6
300	0.21	0.57	1.98	1.81	0.77	0.22	0.07	0.03	0.01	0.01	0.00		5.7	4.9
315	0.23	0.56	2.05	1.45	0.44	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00		4.9	4.1
330	0.23	0.65	2.03	1.01	0.24	0.06	0.02	0.00	0.01				4.2	3.4
345	0.22	0.61	1.68	0.71	0.16	0.08	0.05	0.03	0.01	0.00			3.6	2.7
Freq. %	4.9	12.48	35.16	27.51	12.87	4.62	1.70	0.51	0.17	0.05	0.01	0.00	100.0	82.6
Freq. Cumulate		17.4	52.6	80.1	92.9	97.6	99.3	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0		

Tabella 11.3. Clima annuale: stati di vento classificati per velocità e direzione – distribuzione in frequenza