



**COMUNE DI PESCARA**

**CAPITANERIA DI  
PORTO DI PESCARA**

# MASTERPLAN ABRUZZO

- INTERVENTO PSRA 07 -

## "DEVIAZIONE DEL PORTO CANALE DI PESCARA"

(Completamento opere di protezione - pennello di  
foce e scogliera di radicamento)

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Titolo tavola

# STUDIO METEOMARINO

Supporto alla progettazione:



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Dott. Ing. Paolo CONTINI

Dott. Ing. Giancarlo MILANA

Studio specialistico Idraulico-Marittimo:

Prof. Ing. Paolo DE GIROLAMO



Percorso di salvataggio

\\192.168.150.210\ds-07\MP01.Porto canale Pescara\03\_Progetto di Fattibilità\_rev3 aprile  
2019\MP.I-100\_Elenco Elaborati

Soggetto attuatore



**Azienda Regionale  
Attività Produttive**

**UFFICIO TECNICO**

Via Silvio e Francesco Ciccarone, 97/A - 66054 Vasto (CH)

C.F. 91127340684 - P.I. 02083310686

Telefono 0873/367519

arapabruzzo@pec.it - info@arapabruzzo.it

**RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO**  
*Ingegnere Massimiliano Gramenzi*

**II PROGETTISTA**

*Ingegnere Tommaso Impicciatore*

**II PROGETTISTA**

*Ingegnere Giuseppe Nicola Bernabeo*

**Il Gruppo di lavoro**

Geometra Aurelio DI RENZO

Geologo Mattia IPPOLITO

Architetto Lorenzo DI GIROLAMO

Tavola

# MP.I-204

Progressivo documento

\*

Scala

\*

Revisione

3

Data emissione

aprile 2019

Nome file

00\_Testatine\_Preliminare Porto Pescara.dwg



## **INTERVENTO MASTERPLAN ABRUZZO**

**“DEVIAZIONE DEL PORTO CANALE DI PESCARA” (PSRA/07)**

# **STUDIO METEOMARINO**

**Roma, giugno 2017  
Rev 1, dicembre 2017**

**Prof. Ing. Paolo De Girolamo**



## Indice

<b>Capitolo 1</b>	<b>Premesse, obiettivi, dati di base, metodologia .....</b>	<b>3</b>
1.1	Premesse.....	3
1.2	Obiettivi.....	3
1.3	Dati di base e metodologia.....	4
<b>Capitolo 2</b>	<b>Inquadramento geografico .....</b>	<b>7</b>
2.1	Fetch geografico ed efficace.....	7
<b>Capitolo 3</b>	<b>Regime dei venti .....</b>	<b>12</b>
3.1	Regime dei venti al largo di Pescara sulla base dei dati MeteOcean DICCA.....	12
<b>Capitolo 4</b>	<b>Definizione del clima di moto ondoso al largo di Pescara .....</b>	<b>16</b>
4.1	Dati di moto ondoso in analisi forniti da MeteOcen DICCA.....	16
4.2	Distribuzione degli eventi di moto ondoso per classi di altezza d'onda e direzione di provenienza.....	17
4.3	Curva di durata.....	23
4.4	Distribuzione degli eventi in relazione al periodo .....	23
4.5	Dati di moto ondoso provenienti dall'ondametro di Ortona .....	26
<b>Capitolo 5</b>	<b>Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso al largo .....</b>	<b>31</b>
5.1	Preparazione del campione .....	32
5.2	Individuazione del modello probabilistico per i dati selezionati .....	34
5.3	Statistica dei valori estremi .....	35
<b>Capitolo 6</b>	<b>Clima di moto ondoso sottocosta .....</b>	<b>42</b>
6.1	Griglia di calcolo .....	43
6.2	Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo .....	43
6.3	Propagazione nel punto sottocosta P1 .....	44
6.4	Distribuzione degli eventi di moto ondoso propagati per classi di altezza d'onda e direzione di provenienza.....	46
<b>Capitolo 7</b>	<b>Analisi delle variazioni del livello del mare.....</b>	<b>48</b>
7.1	Premessa e metodologia seguita .....	48
7.2	Serie storica dei livelli misurata dalla stazione RMN di Ortona .....	48
7.3	Analisi armonica.....	49
7.4	Analisi del residuo (componente meteorologica) .....	50
7.5	Analisi del sovrizzo associato al moto ondoso frangente.....	51
7.6	Variazioni del livello del mare connesse a fenomeni di eustatismo .....	52
7.7	Confronto con le misure del mareografo di Pescara.....	53
<b>Capitolo 8</b>	<b>Propagazione sottocosta degli stati di mare estremi .....</b>	<b>54</b>
8.1	Introduzione .....	54
8.2	Definizione dei domini di calcolo .....	54
8.3	Stati di mare estremi.....	55
8.4	Condizioni al contorno.....	57
8.5	Condizioni di calcolo.....	58
8.6	Uscite del modello .....	60
8.7	Risultati.....	60

# Capitolo 1

## Premesse, obiettivi, dati di base, metodologia

### 1.1 Premesse

Con riferimento all'Intervento Masterplan Abruzzo "Deviazione del porto canale di Pescara" l'Azienda Regionale Attività Produttive (ARAP) della Regione Abruzzo, con lettera di trasmissione prot. n. 1030 del 3/4/2017, ha dato incarico al Prof. Ing. Paolo De Girolamo di redigere una serie di analisi e studi - definiti in dettaglio nell'offerta del professionista del 27/03/2017 protocollata dall'ARAP al n. 932 - a supporto delle attività di progettazione inerenti le opere necessarie per la deviazione del tratto terminale del fiume Pescara, secondo quanto previsto dal nuovo Piano Regolatore del Porto di Pescara (PRP 2008) approvato dalla Giunta Regionale in data 25/10/2016. La presente relazione costituisce lo "Studio Meteomarino" redatto a supporto delle attività di progettazione.

Si evidenzia che lo studio meteomarino eseguito in questa sede deve essere considerato un aggiornamento rispetto a quello redatto circa dieci anni fa sempre dallo scrivente a supporto del PRP 2008. L'aggiornamento ha riguardato sia i dati all'ora esaminati estendendone e aggiornandone le serie storiche, sia nel prendere in esame delle nuove fonti di dati meteomarini non disponibili all'epoca della redazione del PRP.

### 1.2 Obiettivi

Coerentemente alle specifiche di incarico e alle necessità delle attività di progettazione, gli obiettivi del presente studio sono i seguenti: (i) definire le caratteristiche del moto ondoso a largo sulla base delle quali (ii) definire le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza delle opere tenendo conto dei fenomeni fisici dominanti che intervengono nella propagazione delle onde da largo a riva. Le caratteristiche del moto ondoso in prossimità delle opere sono state definite tenendo conto delle variazioni del livello del mare indotte sia dalla marea astronomica che da quella meteorologica. Inoltre per propagare le onde da largo a riva si è tenuto conto anche della rigenerazione del moto ondoso a causa del vento e pertanto è stata preliminarmente eseguita una analisi anemologica del paraggio.

In particolare lo studio è stato articolato nelle seguenti attività:

- inquadramento geografico del paraggio e definizione del settore di traversia che lo contraddistingue. Determinazione dell'area di generazione efficace per il moto ondoso.
- analisi dei venti e le loro principali caratteristiche in termini di direzione e intensità;
- definizione delle caratteristiche del moto ondoso, al largo e in prossimità del sito in esame per mezzo di idonea modellistica numerica, in modo da valutare il regime di moto ondoso che contraddistingue il paraggio;
- valutazione, su base statistica, della legge di distribuzione dei valori estremi di moto ondoso in modo da poter definire gli eventi di progetto associati a determinati tempi di ritorno;
- valutazione delle variazioni del livello marino;

- propagazione degli stati di mare di progetto da largo fino alle opere tenendo conto dei principali fenomeni fisici di interesse nella propagazione: rifrazione, shoaling, dispersione in frequenza e in direzione dell'energia, frangimento e rigenerazione del moto ondoso ad opera del vento.

La propagazione del moto ondoso nelle aree ridossate dalle opere marittime e all'interno del porto canale è stata eseguita utilizzando una modellistica numerica specifica che si è basata sui risultati del presente studio e che viene riportata nel documento dal titolo "Propagazione del moto ondoso nella zona di interesse".

### 1.3 Dati di base e metodologia

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

- la serie storica di dati di moto ondoso tri-orari registrati dalla boa ondametria direzionale della RON (Rete Ondametria Nazionale) di Ortona gestita dall'ISPRA che presenta una durata di circa 16 anni (dal 1989 al 2007).
- la serie storica oraria ricostruita in ri-analisi in un punto posto al largo di Pescara in prossimità della boa RON dal servizio MeteOcean del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'università di Genova che presenta una durata di circa 36 anni. I dati in ri-analisi sono stati ricostruiti con il modello di generazione e propagazione del moto ondoso WaveWatcht III utilizzando come forzante il vento ricostruito con un modello di circolazione atmosferica.

Ciascuna delle due serie storiche è stata analizzata separatamente. I risultati delle analisi sono stati messi a confronto al fine di definire quale delle due serie risultasse più affidabile per la progettazione delle opere in questione. Il confronto ha riguardato:

- il clima ondametria del paraggio valutato per ciascuna serie storica sull'intera popolazione dei dati;
- i valori sincroni (triorari) di altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) forniti dalle due serie storiche nel periodo di misura/ricostruzione comune;
- i valori asincroni di altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) e di direzione di provenienza delle onde al culmine delle mareggiate nel periodo di misura/ricostruzione comune.

I risultati del confronto hanno mostrato che complessivamente i dati ricostruiti in ri-analisi dal DICCA risultano maggiormente cautelativi rispetto a quelli della RON sia in relazione ai valori medi che a quelli estremi di  $H_s$ . Tenendo inoltre conto della maggiore significatività statistica dei dati del DICCA rispetto a quelli della RON dovuta: (i) alla maggiore estensione temporale dei dati del DICCA rispetto a quelli della RON (36 anni di osservazione rispetto ai 16 anni della RON); (ii) al maggiore rendimento dei dati del DICCA rispetto a quelli della RON (99,7% del DICCA rispetto a circa il 79% della RON); (iii) alla migliore risoluzione temporale dei dati del DICCA rispetto a quelli della RON (risoluzione oraria dei dati del DICCA rispetto alla risoluzione tri-oraria dei dati della RON), si è deciso di utilizzare esclusivamente i dati del DICCA per l'esecuzione del presente studio e quindi per la progettazione delle opere.

A seguito del confronto sopra citato si è quindi proceduto alla valutazione della legge di distribuzione dei valori estremi di moto ondoso sulla base dell'analisi statistica delle altezze d'onda al colmo delle mareggiate estratte dalle serie storica MeteOcean DICCA, in funzione dei settori di traversia che caratterizzano il paraggio, applicando la metodologia proposta da Goda (1988).

Per la definizione delle caratteristiche dei venti al largo di Pescara sono stati analizzati i dati di vento in ri-analisi appartenenti alla serie storica (1979-2015) ricostruita da MeteOcean DICCA al largo di Pescara con cadenza oraria.

Le variazioni del livello del mare che contraddistinguono il paraggio di Pescara sono state determinate facendo riferimento alle misure mareografiche eseguite tra gennaio 1999 e gennaio 2017 dalla stazione della RMN (Rete Mareografica Nazionale) di Ortona gestita dall'ISPRA. L'analisi dei dati ha permesso di separare la componente di marea astronomica (deterministica) da quella meteorologica (stocastica) e di valutare pertanto le ampiezze massime e minime delle oscillazioni di marea (valori caratteristici di marea) e di determinare la correlazione statistica tra i livelli estremi e i relativi tempi di ritorno dovuti al sovrizzo meteorologico.

Per la propagazione del moto ondoso da largo a riva sono stati applicati due modelli distinti. Il primo (modello di inversa spettrale MEROPE) è stato applicato per propagare l'intera serie storica di moto ondoso definita a largo e costituita da più di 300.000 stati di mare in punto localizzato di fronte alla diga foranea del Porto di Pescara. Questa applicazione ha consentito di ricostruire in prossimità del porto l'intero clima ondamentico. Il secondo modello (modello spettrale diretto SWAN) è stato applicato per definire le caratteristiche del moto ondoso estremo (onde di progetto) per le opere foranee direttamente esposte al moto ondoso. SWAN consente di simulare i processi fisici che governano sia la generazione che la propagazione delle onde sottocosta.

L'applicazione del modello SWAN ha consentito di definire per un punto posto poco a largo delle opere in esame su un fondale di circa 10,0 m le caratteristiche del moto ondoso in relazione a 6 direzioni del moto ondoso incidente che coprono l'intero settore di traversia a largo e relative ai tempi di ritorno pari a 2, 10, 50 e 100 anni. Per ciascuna condizione di moto ondoso di progetto è stato inoltre definito il corrispondente livello del mare da prendere in esame per il progetto delle opere marittime.

Per quanto riguarda le batimetrie nell'area esterna al porto, queste sono state dedotte dalle Carte Nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina Italiana (IIM) CN 34, CN35 e CN 211. Tali batimetrie sono state integrate nell'area prossima alle opere foranee con quelle rilevate dall'ARAP nel mese di maggio 2017.

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	DICCA MeteOcean Re-Analysis 1979-2015 Point_001563	Dati di vento ricostruiti al largo di Pescara con il modello atmosferico WRF-ARW	14.6007 42.4200	1979 2015
2	DICCA MeteOcean Re-Analysis 1979-2015 Point_001563	Dati di moto ondoso ricostruiti al largo di Pescara con il modello di generazione e propagazione WAVEWATCH III	14.6007 42.4200	1979 2015
3	Boa RON di Ortona	Misure di moto ondoso al largo di Pescara eseguite con ondometro direzionale	14.53611 42.40694	1989 2007
4	Mareografo RMN di Ortona	Misure di livello idrometrico	42° 21' 21.24"N 14° 24'53.50"E	1999 2017



## Capitolo 2

### Inquadramento geografico

Il Porto di Pescara è localizzato in corrispondenza della sbocca a mare del Fiume Pescara che sfocia nel Mar Adriatico (Figura 2-1). L'ambito costiero in esame ricade all'interno dell'estesa unità fisiografica che si estende per circa 210 km da Punta della Penna, in prossimità dell'abitato di Vasto, fino al promontorio del Conero a Sud di Ancona (vedi Progetto Coste del Portale Cartografico Italiano).



**Figura 2-1. Inquadramento geografico del sito in esame [Fonte: De Agostini].**

## 2.1 Fetch geografico ed efficace

Una prima valutazione delle condizioni 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”).

Ponendosi al largo della costa in corrispondenza del punto di coordinate 42.40 °N 14.53 °E, ovvero in corrispondenza della localizzazione della boa ondamentrica della RON gestita dall'ISPRA, posto circa 25 km a Sud Est del Porto di Pescara su fondali di circa 80 m, è stato individuato il settore di traversia geografica utilizzando un riferimento polare e tracciando i limiti della superficie marina per ogni settore di discretizzazione.



In corrispondenza del punto indicato, tra il 1989 e il 2006, sono state effettuate misure di moto ondoso registrate dall'ondametro RON di Ortona. Sempre in prossimità del punto indicato sono stati acquisiti i dati di vento e moto ondoso ricostruiti con il modello di generazione e propagazione del moto ondoso prodotti del gruppo MeteOcean del Dipartimento di Ingegneria Civile Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova.

In Figura 2-2 è rappresentato il fetch geografico che è stato tracciato per il punto in esame. Il paraggio risulta esposto al mare aperto per il settore di traversia compreso tra le direzioni 310°N e 120°N. Le lunghezze massime del fetch geografico si hanno per le direzioni che riguardano la costa veneta (310-340°N) e la costa albanese (100-110°N) con estensione di circa 400 km. Il settore che si affaccia sulle coste croate (10-80°N) è il più limitato, con lunghezze del fetch geografico nell'ordine di circa 200 km.

Il *fetch efficace* è la porzione di mare sulla quale si esplica “effettivamente” l'azione del vento ai fini della generazione del moto ondoso. Esso è funzione dei valori dei *fetch* geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i *fetch efficaci* tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso oltre alla lunghezza della superficie marina individuata nella direzione media  $\phi_w$  lungo la quale spira mediamente il vento, contribuiscono anche le porzioni di mare dalle direzioni comprese in un settore di  $\pm\theta$  rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei *fetch efficaci* risulta essere diversa da quella dei *fetch geografici* in quanto tengono conto, mediante una media pesata, anche delle lunghezze dei fetch geografici adiacenti alla direzione presa in esame. Il calcolo dei *fetch efficaci* può essere eseguito in base alla seguente relazione:

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

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

$F_{e,w}$ : lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione  $\phi_w$ ;

$F_i$ : lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima  $\phi_i$ ;

$\phi_w$ : direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;

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

$\theta$  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  $n = 4$ ).

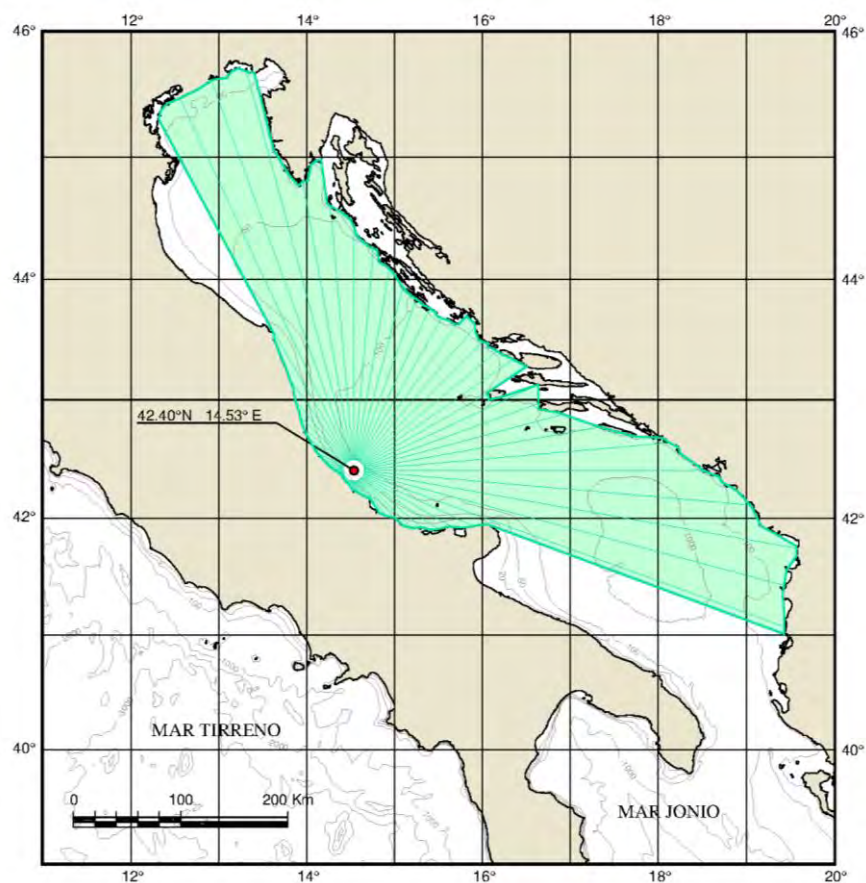


Figura 2-2. Fetch geografici al largo di Pescara nel punto di coordinate 42.24.4°N – 9.25°E.

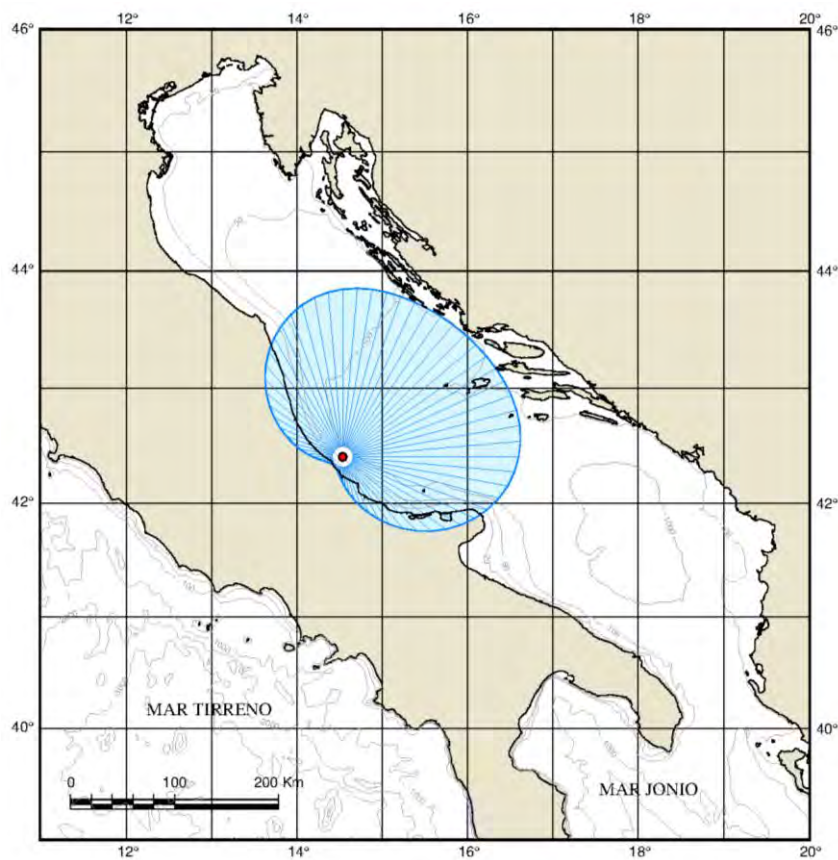


Figura 2-3. Fetch efficace al largo di Pescara nel punto di coordinate 42.24.4°N – 9.25°E.

L'equazione sopra riportata per il calcolo dei fetch efficaci 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 l'applicazione ENIF<sup>1</sup>, che risolve la precedente equazione.

I risultati dell'elaborazione sono riportati graficamente nel diagramma polare di Figura 2-3 e numericamente nella Tabella 2-1 e nel grafico di Figura 2-4.

Il fetch efficace tra 320°N e 130°N presenta un'estensione compresa tra 110 e 160 km con un massimo di circa 170 km in direzione Est.

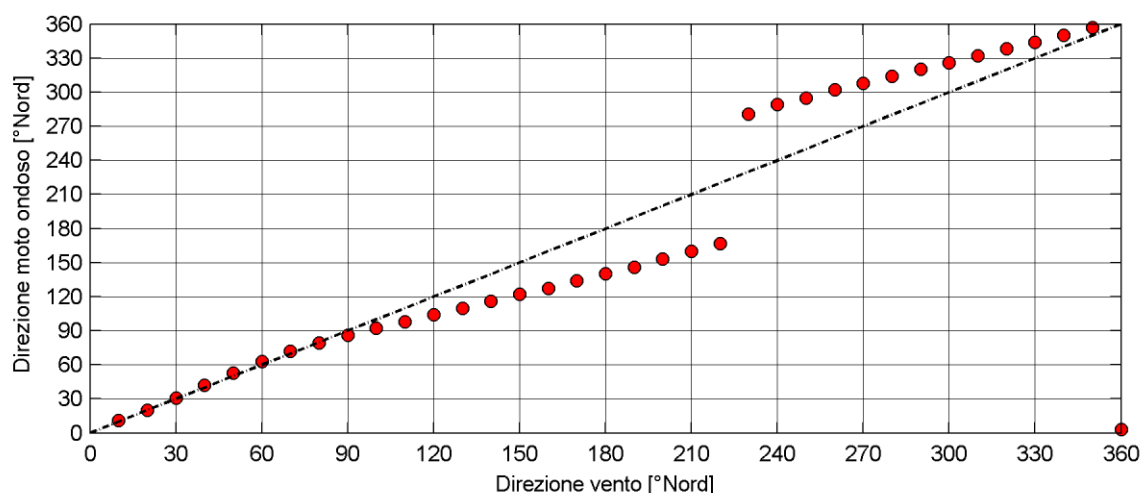
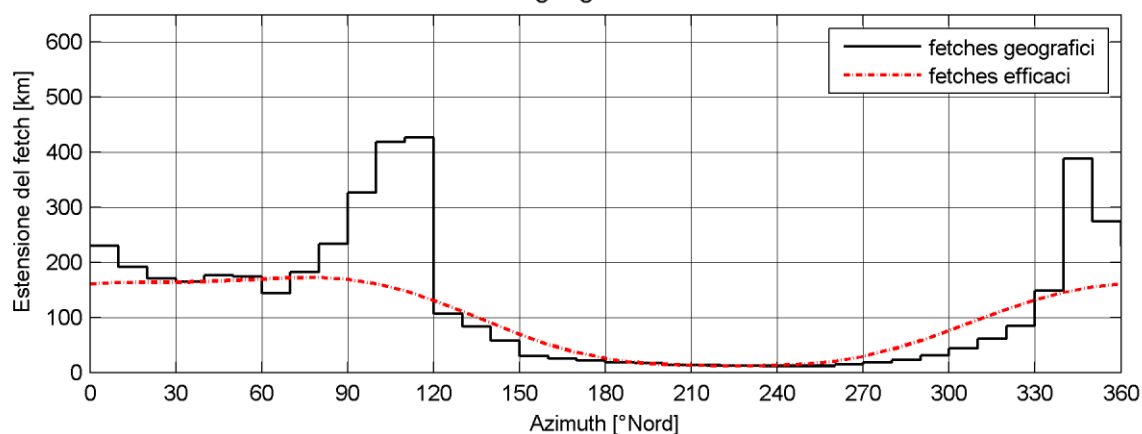
L'applicazione del modello numerico suddetto consente inoltre di definire la legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato (Figura 2-4). La figura evidenzia che le massime deviazioni tra la direzione lungo la quale spira il vento e la direzione lungo la quale si propagano le onde si verifica per venti che agiscono lungo direzioni parallele alla costa.

---

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

**Tabella 2-1. Fetch geografici, efficaci e deviazione direzione vento/mare  
nel punto al largo di Pescara di coordinate 42.24.4°N – 9.25°E.**

Direzione di provenienza	Fetch geografico	Fetch efficace	Deviazione vento/mare	Direzione di provenienza	Fetch geografico	Fetch efficace	Deviazione vento/mare
[°Nord]	[km]	[km]	[gradi]	[°Nord]	[km]	[km]	[gradi]
0	229.8	161.0	3.0	180	18.4	25.1	-40.0
10	191.4	163.3	1.0	190	16.4	18.4	-44.0
20	170.6	163.7	0.0	200	13.7	14.8	-47.0
30	164.5	164.1	1.0	210	13.0	12.9	-50.0
40	176.4	165.2	2.0	220	12.7	12.0	-53.0
50	173.8	167.3	3.0	230	11.9	12.1	51.0
60	143.6	169.9	3.0	240	11.9	13.1	49.0
70	182.8	172.4	2.0	250	11.9	15.4	45.0
80	233.2	172.7	-1.0	260	14.1	20.3	42.0
90	326.2	169.2	-4.0	270	17.6	29.0	38.0
100	418.7	161.0	-8.0	280	23.1	41.7	34.0
110	427.1	148.1	-12.0	290	31.0	57.8	30.0
120	106.2	131.1	-16.0	300	43.3	76.4	26.0
130	83.1	111.3	-20.0	310	60.6	95.9	22.0
140	57.2	90.2	-24.0	320	84.8	114.9	18.0
150	29.4	69.6	-28.0	330	148.0	131.8	14.0
160	24.6	51.0	-33.0	340	388.3	145.6	10.0
170	21.1	36.0	-36.0	350	274.3	155.4	7.0

**Fetches geografici ed efficaci****Figura 2-4. Estensione dei fetches e legge di deviazione angolare vento/mare  
al largo di Pescara nel punto di coordinate 42.24.4°N – 9.25°E.**

## Capitolo 3

### Regime dei venti

Per la definizione del regime del vento che caratterizza il sito in esame è stata utilizzata la serie oraria dei dati di vento ricostruiti al largo di Pescara da MeteOcean DICCA che si estende dal 1979 al 2015.

I dati di vento forniti da MeteOcean DICCA sono ricostruiti con il modello di circolazione atmosferica WRF utilizzando come condizioni al contorno i dati in reanalisi forniti dal centro meteorologico americano NOAA-CFSR. Il modello restituisce i valori delle componenti vettoriali del vento  $u_{10}$  e  $v_{10}$  alla quota convenzionale +10 m sul l.m.m..

#### 3.1 Regime dei venti al largo di Pescara sulla base dei dati MeteOcean DICCA

I dati di vento appartenenti alla serie storica MeteOcean DICCA sono stati suddivisi per classi di direzione e velocità (Tabella 3-1) al fine di determinare la frequenza di accadimento delle diverse classi (vedi Tabella 4-2 e diagramma polare di Figura 3-1).

Le calme (stati di vento con velocità inferiore a 2 m/s) di scarso interesse ai fini della generazione del moto ondoso, si verificano con una frequenza pari al 17.3%.

I venti regnanti (più frequenti) provengono dal settore 255-330 °N (Ponente-Maestrale) con una frequenza complessiva pari al 41.4%. Il settore di traversia compreso tra 75° e 150° N (Levante-Scirocco) è caratterizzato invece da una frequenza di accadimento pari a 16.9%.

I venti dominanti (più intensi), con velocità del vento superiori a 20 m/s, provengono prevalentemente dal settore 345-15 °N (tramontana) e in misura minore dal settore di maestrale (300-330 °N) e grecale (30-60 °N).

In Figura 3-2 è riportata la curva di durata degli stati di vento che fornisce le ore/anno corrispondenti ad una soglia di velocità del vento.

La distribuzione oraria degli stati di vento appartenenti alla serie storica (vedi diagrammi polari di Figura 3-3) evidenzia che i venti prevalenti provenienti da Ponente risultano più frequenti nelle ore notturne (0:00 e 6:00) mentre i venti di Maestrale e Scirocco sono più frequenti nelle ore diurne (12:00 e 18:00).

Tabella 3-1. Suddivisione dei dati di vento ricostruiti al largo di Pescara da MeteOcean DICCA (periodo 1979-2015)

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	485	1766	3940	2222	1658	1284	906	530	213	80	23	20	13127
15	490	1643	2998	1306	995	1026	846	500	216	61	25	6	10112
30	543	1534	2443	863	621	554	410	224	104	50	19	2	7367
45	535	1539	2257	674	414	282	180	89	49	19	3	0	6041
60	516	1559	2537	717	287	191	150	66	30	13	0	0	6066
75	514	1660	3230	1032	309	145	111	61	18	4	1	0	7085
90	482	1649	4174	2037	715	255	79	45	14	10	2	0	9462
105	526	1956	5290	3488	1559	538	154	50	26	11	1	1	13600
120	588	1857	5226	3409	1612	809	268	58	7	3	1	0	13838
135	569	1859	4746	2613	1591	1221	591	192	76	14	0	0	13472
150	586	1760	3887	1912	1609	1137	449	115	24	6	0	0	11485
165	576	1690	3002	1427	1163	634	247	76	8	0	0	0	8823
180	526	1609	2571	1180	687	417	150	38	9	1	0	0	7188
195	540	1642	2553	902	386	193	98	33	10	3	0	0	6360
210	531	1785	2675	858	234	76	30	21	3	2	0	0	6215
225	531	1818	3194	1263	202	47	22	12	9	1	0	0	7099
240	571	2004	4444	2358	475	89	33	13	9	5	1	1	10003
255	582	2155	5887	4442	1613	462	124	45	17	14	5	1	15347
270	678	2106	7282	8109	5935	1450	347	109	31	11	2	0	26060
285	522	1961	7429	9478	9648	3082	440	95	42	9	0	0	32706
300	523	1959	6714	7000	6009	3115	1076	317	118	48	6	3	26888
315	507	1875	6036	5997	5162	3221	1242	410	171	73	11	4	24709
330	527	1858	5551	6005	5323	3021	1088	288	101	28	12	7	23809
345	520	1774	5086	3928	2946	1683	868	378	190	63	27	6	17469
N° di eventi	12968	43018	103152	73220	51153	24932	9909	3765	1495	529	139	51	324331

Tabella 3-2. Frequenza di accadimento dei venti ricostruiti al largo di Pescara da MeteOcean DICCA (periodo 1979-2015)

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	0.15	0.54	1.21	0.69	0.51	0.40	0.28	0.16	0.07	0.02	0.01	0.01	4.0	3.4
15	0.15	0.51	0.92	0.40	0.31	0.32	0.26	0.15	0.07	0.02	0.01	0.00	3.1	2.5
30	0.17	0.47	0.75	0.27	0.19	0.17	0.13	0.07	0.03	0.02	0.01	0.00	2.3	1.6
45	0.16	0.47	0.70	0.21	0.13	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01	0.00		1.9	1.2
60	0.16	0.48	0.78	0.22	0.09	0.06	0.05	0.02	0.01	0.00			1.9	1.2
75	0.16	0.51	1.00	0.32	0.10	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00		2.2	1.5
90	0.15	0.51	1.29	0.63	0.22	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00		2.9	2.3
105	0.16	0.60	1.63	1.08	0.48	0.17	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	4.2	3.4
120	0.18	0.57	1.61	1.05	0.50	0.25	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00		4.3	3.5
135	0.18	0.57	1.46	0.81	0.49	0.38	0.18	0.06	0.02	0.00			4.2	3.4
150	0.18	0.54	1.20	0.59	0.50	0.35	0.14	0.04	0.01	0.00			3.5	2.8
165	0.18	0.52	0.93	0.44	0.36	0.20	0.08	0.02	0.00				2.7	2.0
180	0.16	0.50	0.79	0.36	0.21	0.13	0.05	0.01	0.00	0.00			2.2	1.6
195	0.17	0.51	0.79	0.28	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00			2.0	1.3
210	0.16	0.55	0.82	0.26	0.07	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00			1.9	1.2
225	0.16	0.56	0.98	0.39	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00			2.2	1.5
240	0.18	0.62	1.37	0.73	0.15	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.1	2.3
255	0.18	0.66	1.82	1.37	0.50	0.14	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	4.7	3.9
270	0.21	0.65	2.25	2.50	1.83	0.45	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00		8.0	7.2
285	0.16	0.60	2.29	2.92	2.97	0.95	0.14	0.03	0.01	0.00			10.1	9.3
300	0.16	0.60	2.07	2.16	1.85	0.96	0.33	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	8.3	7.5
315	0.16	0.58	1.86	1.85	1.59	0.99	0.38	0.13	0.05	0.02	0.00	0.00	7.6	6.9
330	0.16	0.57	1.71	1.85	1.64	0.93	0.34	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	7.3	6.6
345	0.16	0.55	1.57	1.21	0.91	0.52	0.27	0.12	0.06	0.02	0.01	0.00	5.4	4.7
Freq. %	4.0	13.26	31.80	22.58	15.77	7.69	3.06	1.16	0.46	0.16	0.04	0.02	100.0	82.7
Freq. Cumulate		17.3	49.1	71.6	87.4	95.1	98.2	99.3	99.8	99.9	100.0	100.0		



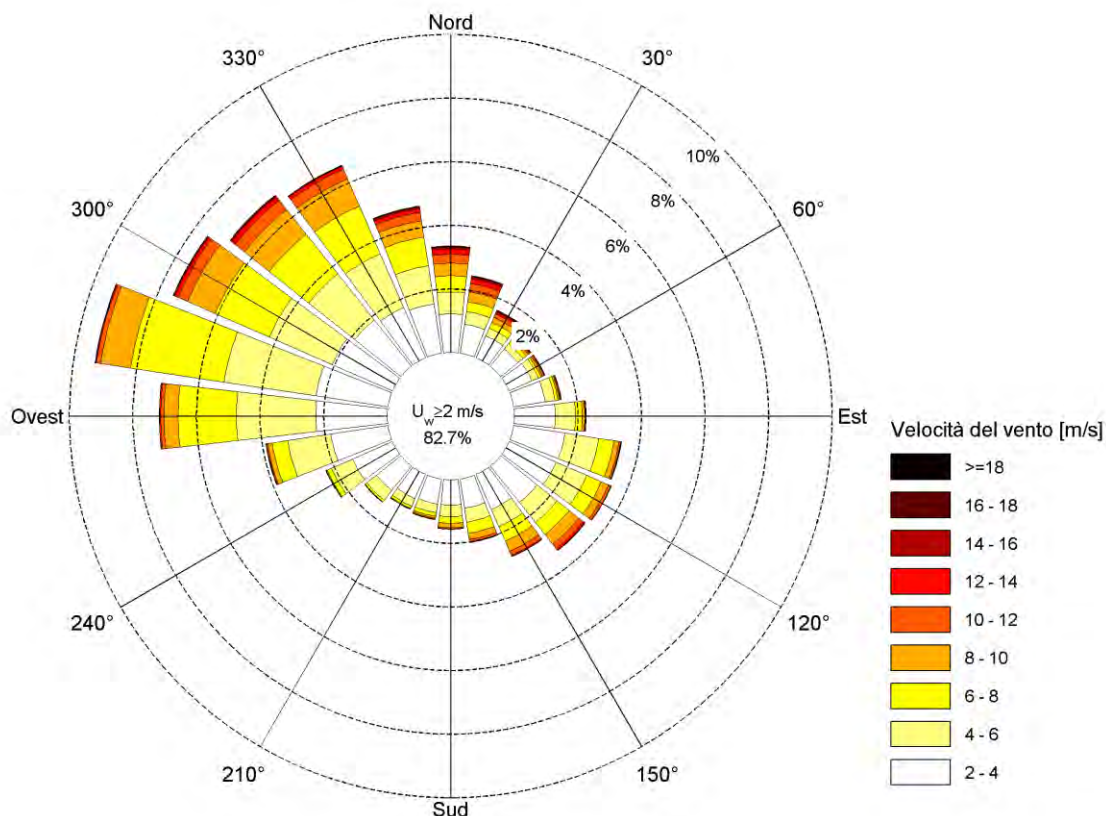


Figura 3-1. Distribuzione direzionale dei venti ricostruiti al largo di Pescara da MeteOcean DICCA (periodo 1979 - 2015).

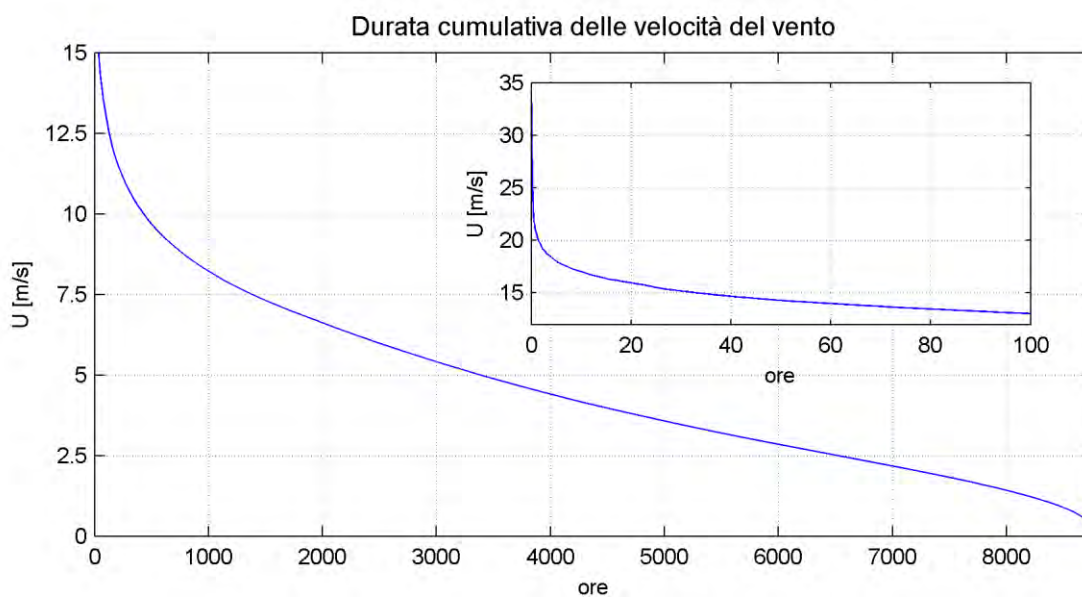


Figura 3-2. Curva di durata delle velocità del vento al largo di Pescara.

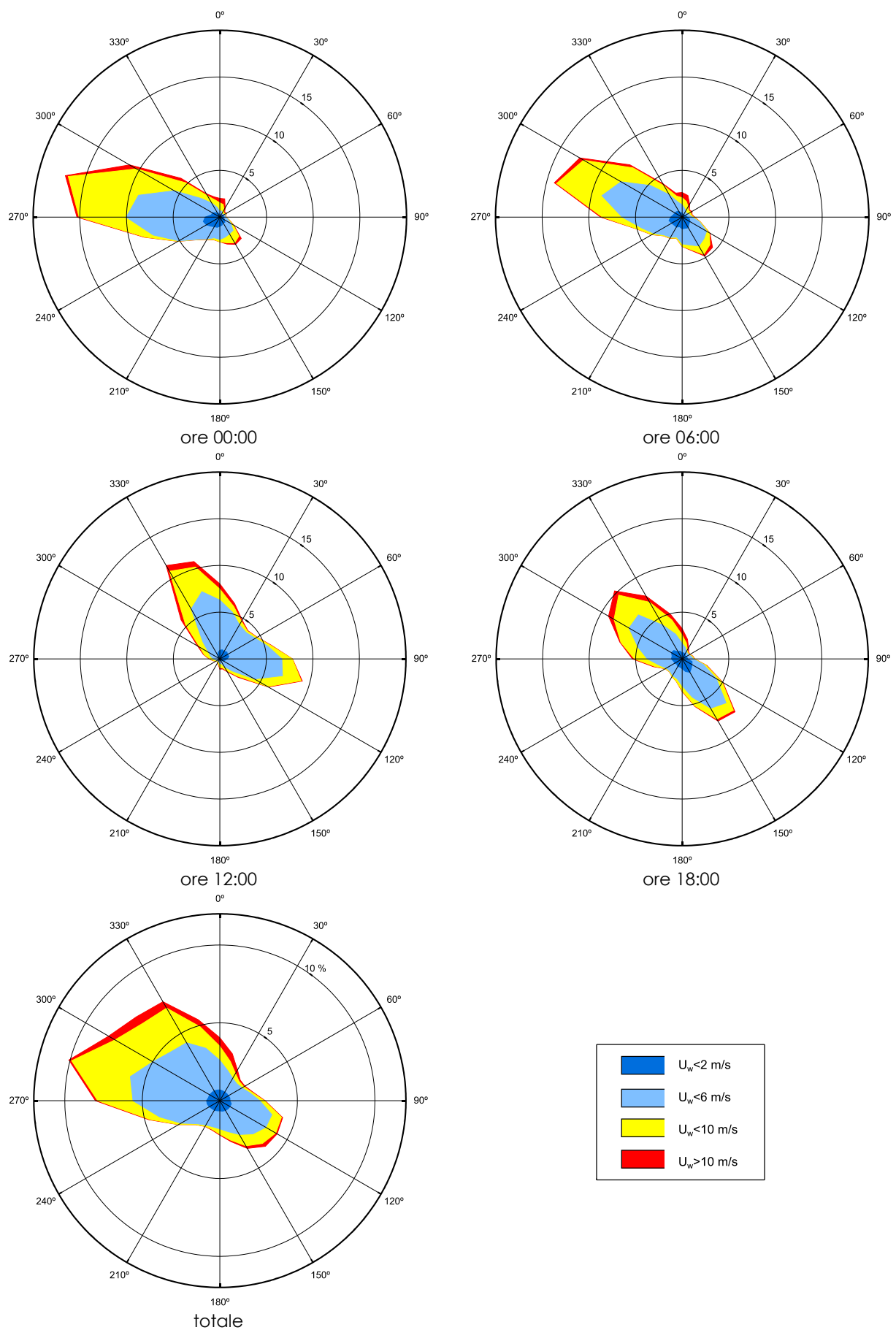


Figura 3-3. Distribuzione direzionale su base oraria dei venti ricostruiti da MeteOcean DICCA al largo di Pescara.

## Capitolo 4

### Definizione del clima di moto ondoso al largo di Pescara

Come accennato nel Capitolo 1, per la definizione delle caratteristiche ondamiche a largo di Pescara da assumere per la progettazione delle opere marittime si è fatto riferimento alle due fonti di dati di maggiore affidabilità oggi disponibili per il sito in esame, ovvero (i) alla serie storica ricostruita in reanalisi dal DICCA dell'Università di Genova e (ii) alla serie storica misurata mediante la boa accelerometrica della RON (Rete Ondametrica Nazionale) di Ortona, istituita alla fine degli anni '80 del secolo scorso dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri poi passata in gestione dall'inizio del nuovo secolo (anni 2000) all'ISPRA. Le posizioni in corrispondenza delle quali sono disponibili le due serie storiche sono riportate in Figura 4-1. Nei prossimi paragrafi vengono descritte e confrontate queste due serie storiche al fine di individuare quella da assumere per la progettazione delle opere marittime di Pescara.

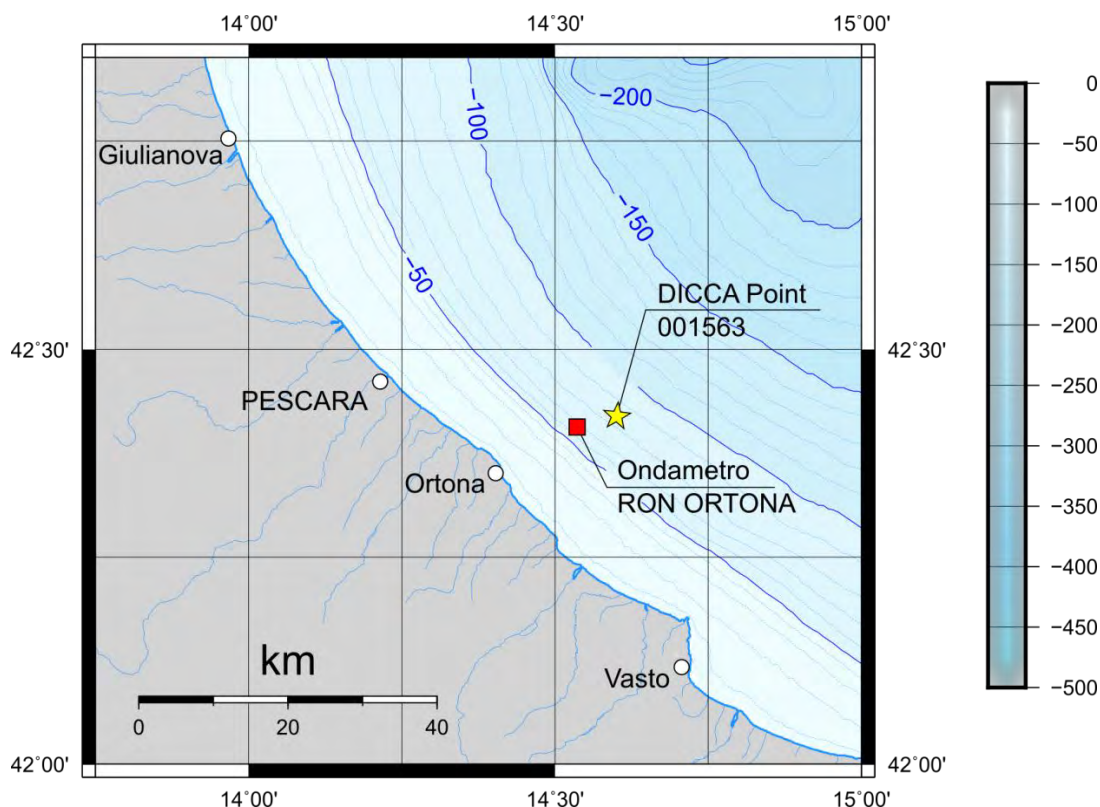


Figura 4-1. Posizione del punto di ricostruzione DICCA 001569 e della stazione ondametrica RON di Ortona.

#### 4.1 Dati di moto ondoso in analisi forniti da MeteOcen DICCA

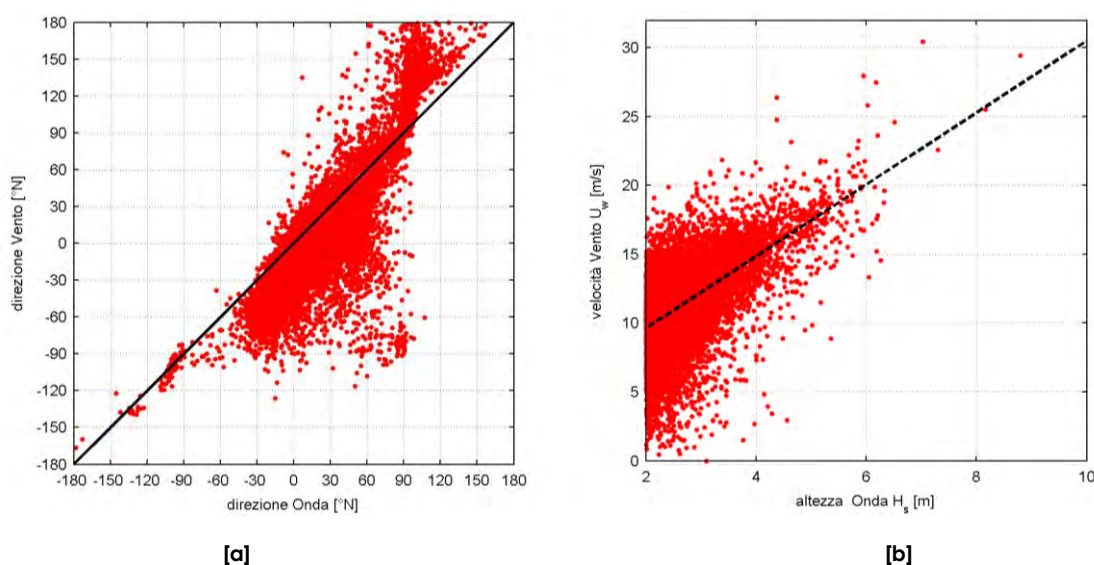
Per lo studio del clima di moto ondoso al largo di Pescara e la definizione della statistica degli eventi estremi di moto ondoso è stata acquisita dal servizio MeteOcean del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova (DICCA), la serie storica dei dati di vento e moto ondoso, che si estende dal 1979 al 2015, ottenuti utilizzando una procedura di ricostruzione del moto ondoso (hindcasting) nel punto di coordinate 14.60 °E 42.42 °N posto a circa 30 km a SE di Pescara su un fondale di circa 80 m (DICCA Point 001563).

Il punto in analisi risulta poco distante dal punto dove ha operato tra il 1989 e il 2006 l'ondametro RON di Ortona.

MeteOcean utilizza il modello di generazione del moto ondoso di terza generazione WAVEWATCH III utilizzando una griglia di calcolo con passo di 10 km. La forzante è rappresentata dal campo di vento ricostruito con il modello di circolazione atmosferica WRF utilizzando come condizioni al contorno i dati in reanalisi forniti dal centro meteorologico americano NOAA-CFSR.

La serie storica esaminata conta complessivamente di 324331 eventi, e fornisce, con cadenza oraria, i parametri spettrali di moto ondoso ( $H_s$ ,  $T_p$ ,  $T_{m-1,0}$ , Dir) e le componenti vettoriali  $u_w$  e  $v_w$  della velocità del vento alla quota convenzionale di 10 m sul l.m.m..

La serie storica sintetica risulta molto robusta, dispone infatti di un elevatissimo numero di dati (dal 1979 al 2015) con un'efficienza del 99.7%. Pertanto si ritiene rappresentativa del clima di moto ondoso che si verifica al largo di Pescara.



**Figura 4-2. Stati di moto ondoso con  $H_s > 2.0$  m ricostruiti da MeteOcean al largo di Pescara (1979-2015).**

**[a] Diagramma di correlazione tra la direzione del vento e la direzione del moto ondoso.**

**[b] Correlazione tra l'altezza d'onda  $H_s$  e la velocità del vento  $U_w$ .**

Il diagramma riportato in Figura 4-2 mostra la correlazione tra la direzione del vento e la direzione del moto ondoso generato nel nodo in esame e la correlazione tra l'altezza d'onda significativa  $H_s$  generata e la velocità del vento locale  $U_{w10}$ .

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

In Figura 4-3 è riportata la frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso della serie storica suddivisi per classi di altezza d'onda significativa.

Gli stati di calma, contraddistinti da altezze d'onda significative comprese tra  $0 < H_s < 0.5$  m rappresentano più del 50% dei dati. Gli stati di mare con  $0.5 \text{ m} < H_s < 2.0$  m sono i più frequenti al largo di Pescara; mediamente si verificano 165 giorni l'anno, con una frequenza di accadimento poco superiore al 45%. Complessivamente gli stati di moto ondoso con altezza d'onda superiore a 2.0 m

sono poco frequenti, in media si presentano per il 3.5% del tempo (circa 13 giorni l'anno).



**Figura 4-3. Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso suddivisi per classi di altezza d'onda significativa.**

Per studiare la distribuzione direzionale del moto ondoso gli eventi presenti nella serie storica sono stati suddivisi per classi di altezza d'onda e direzione.

In Tabella 4-1 e in Tabella 4-2 sono riportati il numero di eventi di moto ondoso e la frequenza di accadimento percentuale, degli eventi di moto ondoso, ricostruiti al largo di Pescara suddivisi secondo classi di direzione e di altezza significativa suddivisi per settori di provenienza di  $10^\circ$  e per classi di altezza d'onda significativa  $H_s$ .

Il clima di moto ondoso al largo di Pescara è sintetizzato dal diagramma polare (rosa ondometrica) di Figura 4-4 che riporta la distribuzione direzionale della frequenza di accadimento degli stati di mare aventi altezza d'onda superiore a 0.5 m per classi di altezza d'onda significativa  $H_s$ .

In Figura 4-5 è rappresentato lo "scatter plot" direzionale di tutti gli eventi registrati con altezza d'onda significativa superiore a 2.0 m.

**Tabella 4-1. Numero di eventi di moto ondoso, suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione, ricostruiti al largo di Pescara**

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	8026	11298	11600	4695	1805	737	401	269	136	93	27	4	39091
15	5386	6936	7533	4220	2336	1147	623	299	119	112	33	3	28747
30	4270	5075	5800	3718	1896	881	440	210	178	94	17	0	22579
45	4284	4479	4947	2602	1124	522	307	132	83	35	19	3	18537
60	4896	5275	4967	1723	750	379	232	129	32	23	13	3	18422
75	7594	8187	6196	1582	454	215	125	56	36	8	1	0	24454
90	13387	15896	12832	3937	1104	405	151	64	22	18	8	0	47824
105	7933	8981	7966	2885	950	322	110	45	19	13	0	0	29224
120	1845	2298	3228	1309	352	67	15	1	0	0	0	0	9115
135	399	876	1528	608	128	30	0	1	0	0	0	0	3570
150	133	466	889	287	75	14	1	1	0	0	0	0	1866
165	102	241	512	170	55	12	1	2	0	0	0	0	1095
180	62	172	247	111	38	2	0	0	0	0	0	0	632
195	51	127	141	43	15	0	0	0	0	0	0	0	377
210	66	127	123	24	14	1	0	0	0	0	0	0	355
225	74	126	144	32	17	11	0	0	0	0	0	0	404
240	153	219	245	40	17	3	0	0	0	0	0	0	677
255	385	694	802	246	50	30	8	2	0	0	0	0	2217
270	813	1708	1926	387	97	22	6	1	0	0	0	0	4960
285	943	1646	1295	130	30	6	1	3	0	0	0	0	4054
300	1115	1837	943	142	30	12	2	1	0	0	0	0	4082
315	1297	2193	1660	304	93	34	17	4	2	1	0	0	5605
330	2790	3229	4957	2059	837	338	160	62	20	12	2	1	14467
345	9381	8986	14398	6140	1878	631	292	135	77	30	3	4	41955
<b>Tot</b>	75385	91072	94879	37394	14145	5821	2892	1417	724	439	123	18	324309



Tabella 4-2. Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso ricostruiti al largo di Pescara.

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	2.5	3.5	3.6	1.4	0.6	0.2	0.1	0.08	0.04	0.03	0.008	0.001	12.05	6.10
15	1.7	2.1	2.3	1.3	0.7	0.4	0.2	0.09	0.04	0.03	0.01	0.001	8.86	5.06
30	1.3	1.6	1.8	1.1	0.6	0.3	0.1	0.06	0.05	0.03	0.005		6.96	4.08
45	1.3	1.4	1.5	0.8	0.3	0.2	0.09	0.04	0.03	0.01	0.006	0.001	5.72	3.01
60	1.5	1.6	1.5	0.5	0.2	0.1	0.07	0.04	0.010	0.007	0.004	0.001	5.68	2.54
75	2.3	2.5	1.9	0.5	0.1	0.07	0.04	0.02	0.01	0.002	0.000		7.54	2.67
90	4.1	4.9	4.0	1.2	0.3	0.1	0.05	0.02	0.007	0.006	0.002		14.75	5.72
105	2.4	2.8	2.5	0.9	0.3	0.10	0.03	0.01	0.006	0.004			9.01	3.80
120	0.6	0.7	1.0	0.4	0.1	0.02	0.005	0.000					2.81	1.53
135	0.1	0.3	0.5	0.2	0.04	0.009		0.000					1.10	0.71
150	0.04	0.1	0.3	0.09	0.02	0.004	0.000	0.000					0.58	0.39
165	0.03	0.07	0.2	0.05	0.02	0.004	0.000	0.001					0.34	0.23
180	0.02	0.05	0.08	0.03	0.01	0.001							0.19	0.12
195	0.02	0.04	0.04	0.01	0.005								0.12	0.06
210	0.02	0.04	0.04	0.007	0.004	0.000							0.11	0.05
225	0.02	0.04	0.04	0.010	0.005	0.003							0.12	0.06
240	0.05	0.07	0.08	0.01	0.005	0.001							0.21	0.09
255	0.1	0.2	0.2	0.08	0.02	0.009	0.002	0.001					0.68	0.35
270	0.3	0.5	0.6	0.1	0.03	0.007	0.002	0.000					1.53	0.75
285	0.3	0.5	0.4	0.04	0.009	0.002	0.000	0.001					1.25	0.45
300	0.3	0.6	0.3	0.04	0.009	0.004	0.001	0.000					1.26	0.35
315	0.4	0.7	0.5	0.09	0.03	0.01	0.005	0.001	0.001	0.000			1.73	0.65
330	0.9	1.0	1.5	0.6	0.3	0.1	0.05	0.02	0.006	0.004	0.001	0.000	4.46	2.60
345	2.9	2.8	4.4	1.9	0.6	0.2	0.09	0.04	0.02	0.009	0.001	0.001	12.94	7.27
Tot	23.24	28.08	29.26	11.53	4.36	1.79	0.89	0.44	0.22	0.14	0.04	0.006	100	50.42
Tot. Cumulate		51.33	80.58	92.11	96.47	98.27	99.16	99.60	99.82	99.96	99.99	100.00		

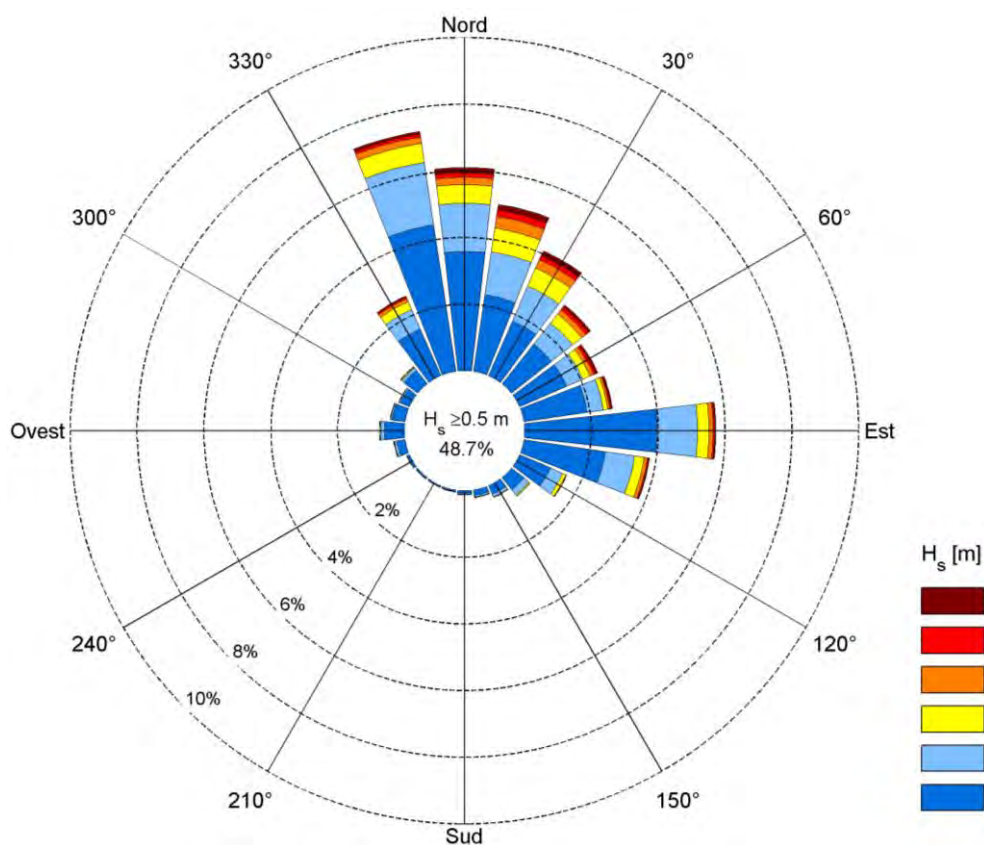


Figura 4-4. Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel punto di ricostruzione al largo di Pescara.

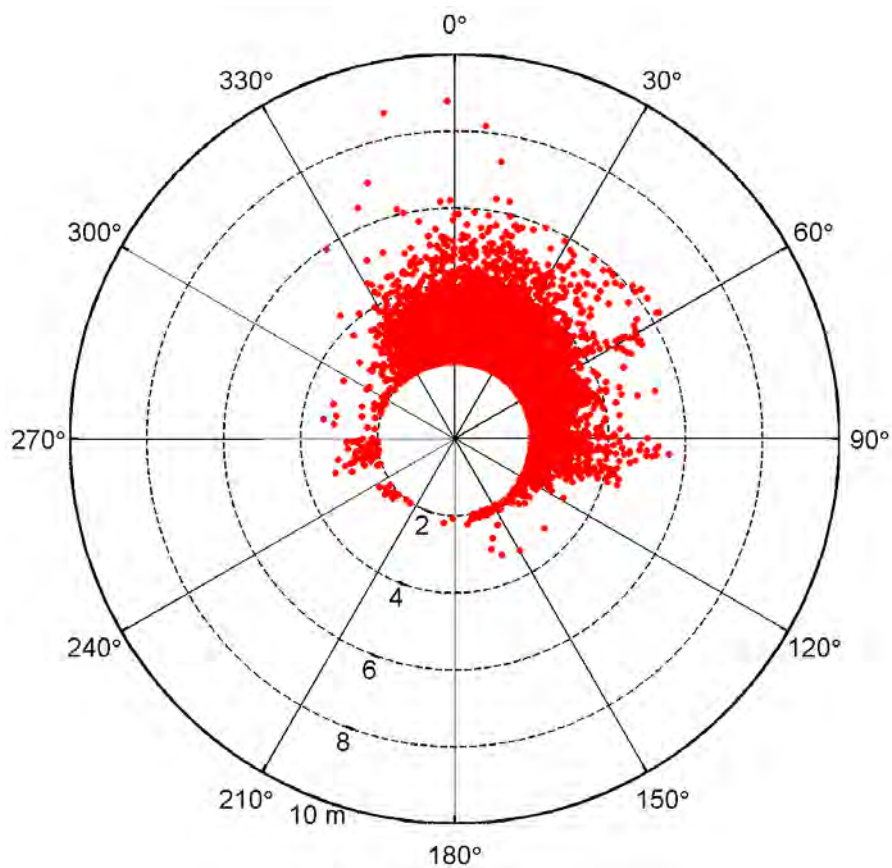


Figura 4-5. Scatter plot polare degli eventi di moto ondoso di altezza d'onda significativa superiore a 2.0 m nel punto di ricostruzione del moto ondoso al largo di Pescara.

I risultati dell'analisi della distribuzione direzionale e della frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso ricostruiti al largo di Pescara permettono di stabilire che:

- gli stati di mare più rilevanti, aventi altezza d'onda significativa  $H_s$  superiore a 0.5 m, si verificano mediamente, con una frequenza di accadimento del 48.7% pari a circa 178 giorni l'anno. Il 45% degli stati di mare appartenenti alla serie storica ricadono nella classe di altezza d'onda compresa tra  $0.5 \text{ m} < H_s < 2.0 \text{ m}$ ;
- le calme, contraddistinte da altezze d'onda inferiori a 0.5 m, si presentano per il 51.3% del tempo (pari a circa 187 gg/anno);
- gli stati di mare rilevanti più frequenti si presentano dai settori di tramontana  $[345 \div 15^\circ \text{N}]$  (frequenza di accadimento 18.4%) e grecale  $[30 \div 60^\circ \text{N}]$  (frequenza di accadimento 9.6%), e dal settore di levante  $[75 \div 105^\circ \text{N}]$  (frequenza di accadimento 12.2%) che di fatto rappresentano i settori di traversia principale e secondario per il paraggio in esame;
- gli eventi di moto ondoso più intensi, caratterizzati da altezza d'onda superiore a 2.0 m, si verificano in media 13 giorni l'anno e provengono in misura maggiore da tramontana e grecale con una frequenza di accadimento complessiva pari a 2.7%, e, in misura minore, da levante (0.5%).
- Le mareggiate più intense, con altezze d'onda superiori a 4.0 m si verificano in media circa 15 ore l'anno (frequenza di accadimento 0.2%) e provengono prevalentemente da tramontana e grecale, più raramente da levante.

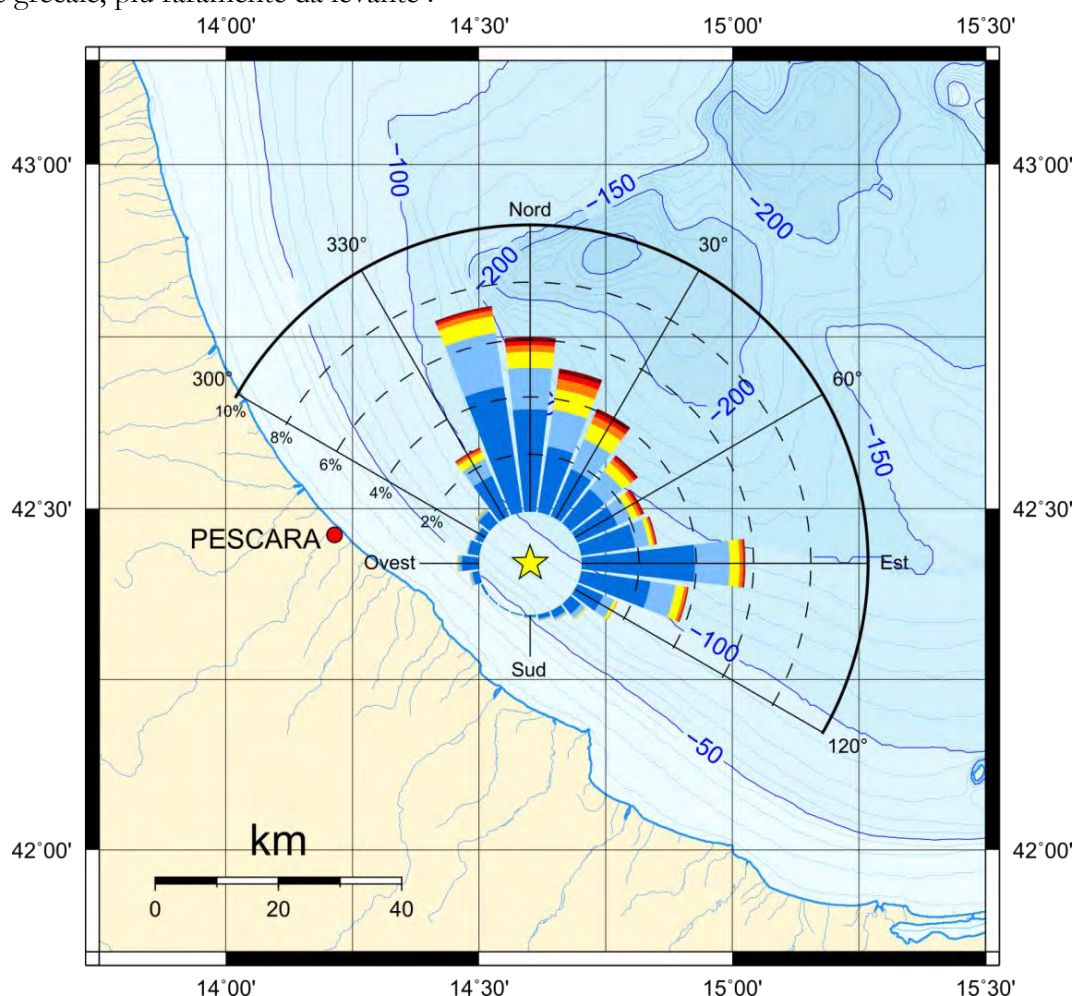


Figura 4-6. Clima di moto ondoso ottenuto dall'analisi dei dati di moto ondoso ricostruiti da MeteOcean - DICCA nel punto di coordinate 14.60 °E 42.42 °N al largo di Pescara.

### 4.3 Curva di durata

In merito alla persistenza degli eventi di moto ondoso al largo di Pescara si può far riferimento alla curva di durata rappresentata in Figura 4-7. Dall'analisi della serie storica è stato possibile determinare la durata media annuale associata a diverse soglie di altezza d'onda significativa.

durata media degli eventi con  $H_s \geq 1.0$  m    1700 ore/anno

durata media degli eventi con  $H_s \geq 2.0$  m    312 ore/anno

durata media degli eventi con  $H_s \geq 3.0$  m    84 ore/anno

durata media degli eventi con  $H_s \geq 4.0$  m    18 ore/anno

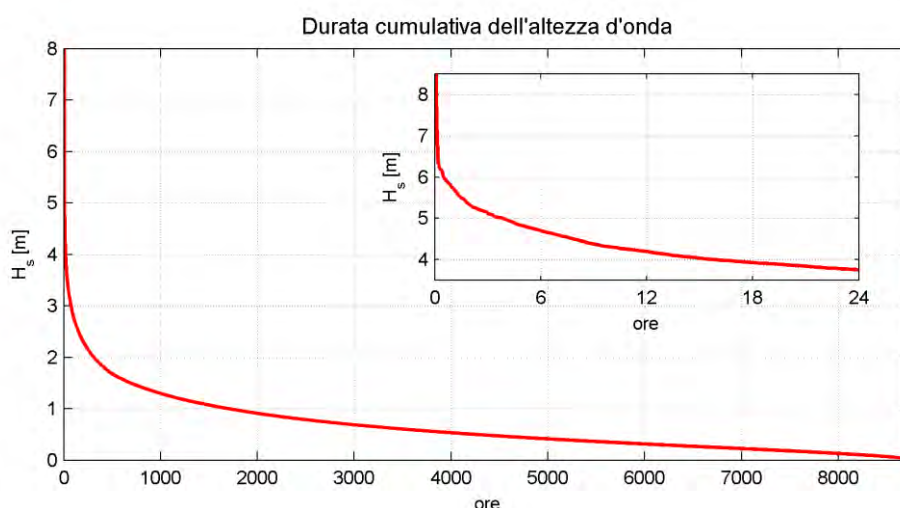


Figura 4-7. Curva di durata degli eventi di moto ondoso al largo di Pescara.

### 4.4 Distribuzione degli eventi in relazione al periodo

L'istogramma di Figura 4-8 riporta la frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso appartenenti alla serie storica MeteOcean DICCA suddivisi in base a classi di periodo di picco spettrale  $T_p$  di ampiezza di un secondo tra 0 e 16 secondi.

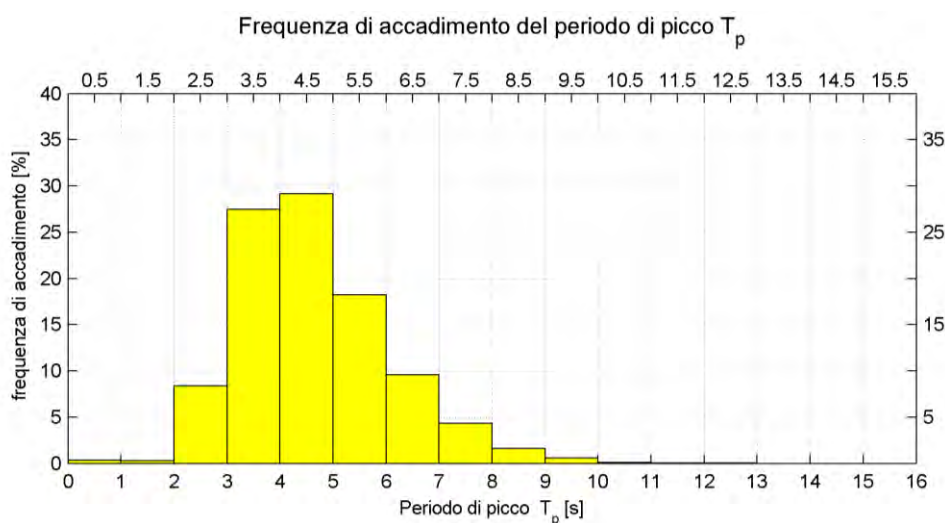


Figura 4-8. Frequenza di accadimento del periodo di picco.

Si può osservare che la maggior parte degli stati di moto ondoso che si verificano al largo di Pescara hanno periodo di picco  $T_p$  compreso tra 3 e 6 secondi, con una prevalenza di stati di mare aventi periodo tra 4 e 5 secondi.

In Tabella 4-3 è riportato il valore medio del periodo di picco  $T_p$  ottenuto suddividendo 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.

**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 MeteOcean-DICCA**

		VALORE MEDIO DEL PERIODO DI PICCO $T_p$ PER CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA $H_s$ E DIREZIONE												
Dir ° Nord	Hs [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	3.3 (0.5)	3.9 (0.5)	4.7 (0.6)	5.6 (0.6)	6.4 (0.6)	7.1 (0.5)	7.6 (0.5)	7.9 (0.4)	8.5 (0.3)	9 (0.4)	9.8 (0.2)	10.5 (1.1)	7.0	
15	3.3 (0.6)	4 (0.5)	4.8 (0.6)	5.7 (0.6)	6.5 (0.5)	7.1 (0.5)	7.6 (0.5)	8 (0.4)	8.5 (0.4)	9.1 (0.4)	9.7 (0.3)	10.8 (0.5)	7.1	
30	3.4 (0.6)	4 (0.6)	4.9 (0.7)	5.8 (0.6)	6.5 (0.5)	7.1 (0.4)	7.6 (0.4)	8.2 (0.4)	8.6 (0.4)	9.2 (0.4)	9.9 (0.2)		6.8	
45	3.5 (0.7)	4.2 (0.7)	5.1 (0.8)	6 (0.7)	6.7 (0.6)	7.4 (0.6)	8 (0.4)	8.4 (0.5)	8.9 (0.3)	9.5 (0.4)	10.1 (0.3)	10.8 (0.2)	7.4	
60	3.6 (0.7)	4.4 (0.8)	5.4 (0.9)	6.4 (0.8)	7 (0.7)	7.7 (0.7)	8.1 (0.6)	8.5 (0.5)	8.9 (0.6)	9.7 (0.3)	10.2 (0.2)	11 (0.1)	7.6	
75	3.7 (0.8)	4.5 (0.8)	5.5 (1)	6.5 (0.9)	7.2 (0.8)	7.8 (0.7)	8.2 (0.7)	8.6 (0.6)	8.7 (0.5)	10 (1)	10.9 (0)		7.4	
90	3.7 (0.8)	4.4 (0.9)	5.4 (1.1)	6.5 (0.9)	7.3 (0.9)	8 (0.9)	8.3 (0.9)	8.7 (0.8)	8.8 (0.8)	9.3 (0.7)	10.4 (0.6)		7.4	
105	3.4 (1)	4.2 (1.2)	5.4 (1.5)	6.7 (1.5)	7.6 (1.2)	8.1 (1.1)	8.3 (0.9)	8.6 (0.7)	9.3 (0.6)	9.8 (0.3)			7.1	
120	2.8 (1)	4.1 (1.2)	5 (1.3)	5.7 (1.3)	6.4 (1.3)	7 (1.3)	7.3 (1.1)	10.2 (0)					6.1	
135	2.6 (1.3)	4 (1.2)	4.7 (1.2)	5.3 (1.1)	6.1 (1.2)	6.2 (0.2)		10.2 (0)					5.6	
150	3 (1.2)	3.8 (0.9)	4.3 (1)	5 (0.9)	5.8 (1.1)	6 (1.3)	5.9 (0)	6.4 (0)					5	
165	2.6 (1.3)	3.7 (0.9)	4.4 (1)	4.9 (0.8)	5.5 (0.7)	5.7 (0.3)	6.1 (0)	6.5 (0.1)					4.9	
180	2.6 (1.3)	3.7 (0.9)	4.3 (0.9)	4.8 (0.5)	5.4 (0.8)	5.8 (0)							4.4	
195	3 (1)	3.7 (1)	4.4 (1.3)	5 (1.1)	5.4 (1.1)								4.3	
210	2.6 (1.1)	3.5 (0.9)	4.5 (1.4)	5 (0.8)	5.7 (1.3)	5.3 (0)							4.4	
225	2.3 (1.4)	3.4 (0.9)	4.2 (1.2)	5.2 (1.5)	5.9 (1.7)	5.8 (0.2)							4.5	
240	2.1 (1.2)	3.3 (1)	4 (1)	4.8 (1.3)	5.6 (1.3)	5.7 (0.4)							4.3	
255	2 (1.1)	3.2 (0.7)	4 (0.7)	4.7 (0.5)	5.4 (0.3)	5.8 (0.3)	6.3 (0.1)	6.7 (0.1)					4.8	
270	2.1 (0.9)	3.1 (0.6)	3.8 (0.5)	4.6 (0.4)	5.3 (0.3)	5.9 (0.2)	6.3 (0.1)	6.8 (0)					4.7	
285	2.3 (0.7)	3 (0.7)	3.6 (0.6)	4.5 (0.7)	5.1 (0.4)	5.7 (0.3)	6.4 (0)	6.9 (0.1)					4.7	
300	2.5 (0.9)	3.1 (0.8)	3.9 (1.1)	5.1 (1.1)	5.8 (1.2)	5.9 (0.7)	7.1 (0.3)	7.3 (0)					5.1	
315	2.9 (0.9)	3.4 (1)	4.2 (1)	5.1 (0.9)	5.9 (1)	6.1 (0.6)	6.8 (0.5)	7.4 (0.3)	8.4 (1.3)	7.5 (0)			5.8	
330	3.2 (0.8)	3.7 (0.8)	4.4 (0.8)	5.3 (0.7)	6 (0.7)	6.7 (0.7)	7.2 (0.6)	7.9 (0.6)	8.4 (0.3)	8.7 (0.6)	9.4 (0.5)	10.1 (0)	6.8	
345	3.3 (0.6)	4 (0.6)	4.6 (0.6)	5.5 (0.7)	6.3 (0.7)	7.1 (0.7)	7.7 (0.7)	8.1 (0.6)	8.6 (0.5)	9.1 (0.5)	9.9 (0.6)	10.3 (0.8)	7.1	
valore medio	2.9	3.8	4.6	5.4	6.1	6.6	7.3	8	8.7	9.2	10	10.6		
	Note: 1. Periodo di picco $T_p$ espresso in secondi 2. Tra parentesi valore della deviazione standard													



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 ricostruiti in analisi.

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. In Figura 4-9 è riportata la funzione di correlazione tra  $T_p$  e  $H_s$  trovata con il metodo dei minimi quadrati per i dati della serie storica ricostruita al largo di Pescara.

I valori dei parametri della funzione di correlazione ottenuti sono  $a=5.44$ ,  $b=0.34$ .

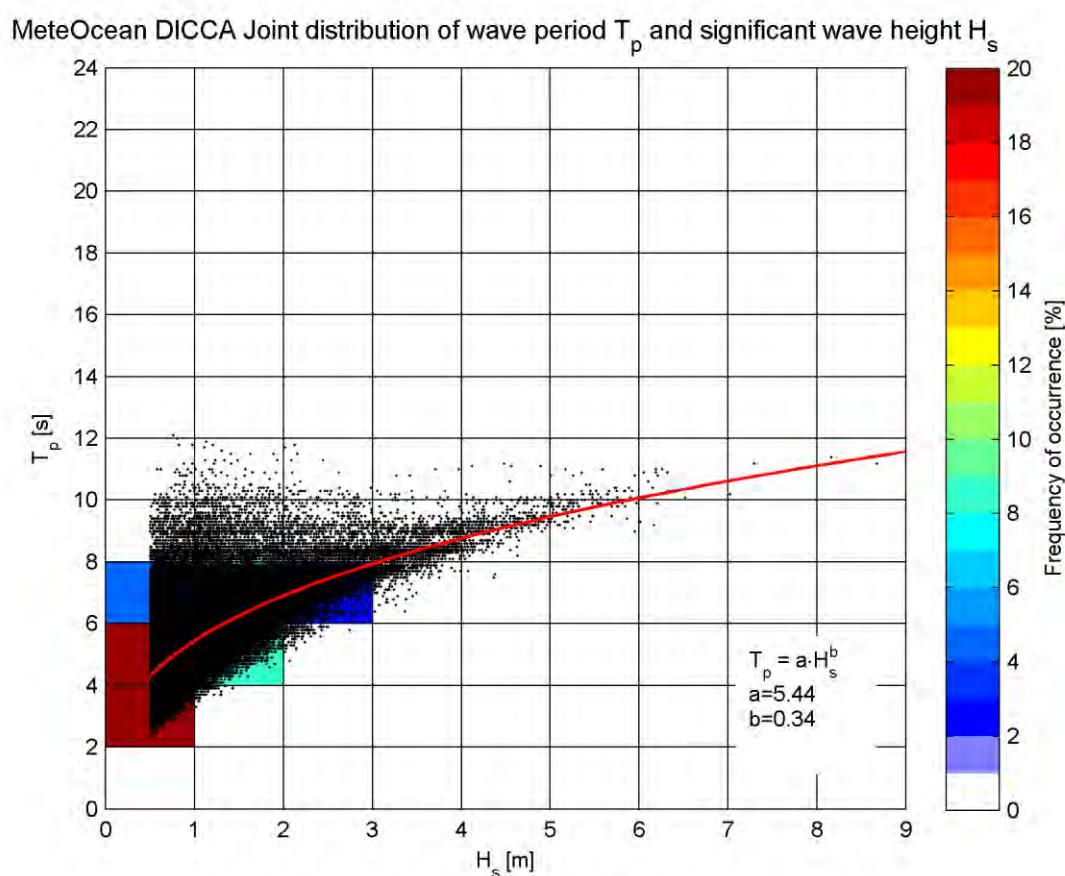


Figura 4-9. Correlazione altezza – periodo per i dati della serie storica MeteOcean-DICCA al largo di Pescara.



#### 4.5 Dati di moto ondoso provenienti dall'ondametro di Ortona

La stazione ondometrica di Ortona, appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale (RON) ha operato con continuità tra 1989 ed il 2007 utilizzando una boa ondometrica direzionale (Datawell fino al 2002, Triaxis dal 2002 al 2007). La stazione di misura risulta posizionata in corrispondenza del punto di coordinate 42.40 °N, 14.53°E su fondali di circa 80 m.

Successivamente a seguito del rinnovamento della rete, la stazione ha ripreso ad operare con una boa tipo Watchkeeper a partire da Agosto 2009 fino a Maggio 2011 ma con uno scarsissimo rendimento che di fatto non consente di utilizzare questi dati più recenti.

Il grafico di Figura 4-10 riporta il rendimento dell'ondametro tra il 1989 ed il 2007 da cui si può verificare che lo strumento ha operato con un ottimo rendimento almeno fino al 2003, per poi calare. Complessivamente il rendimento effettivo risulta pari a 78.7%.

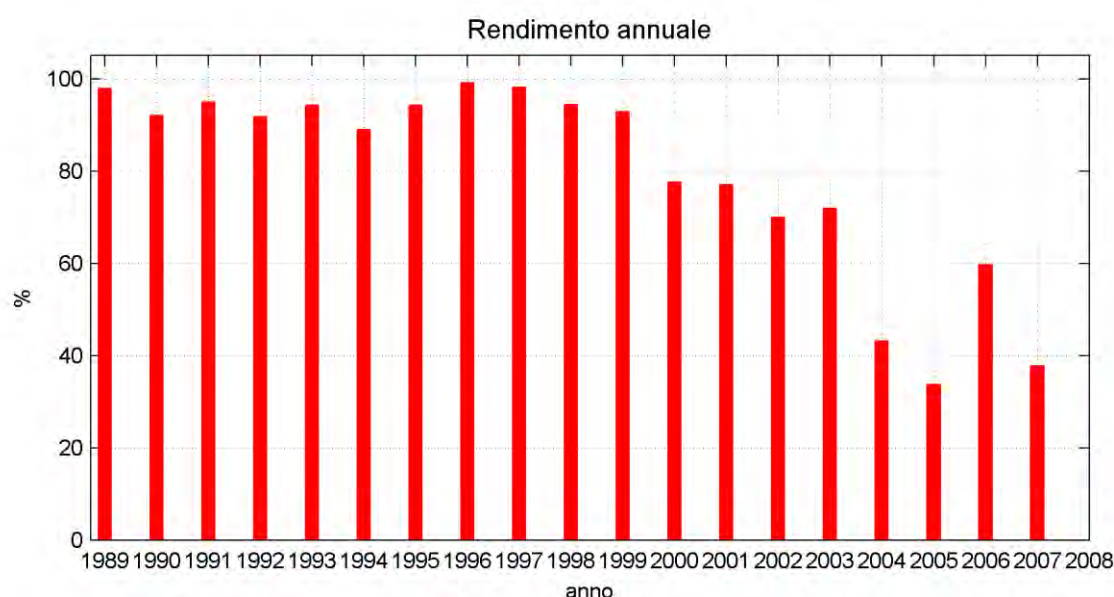


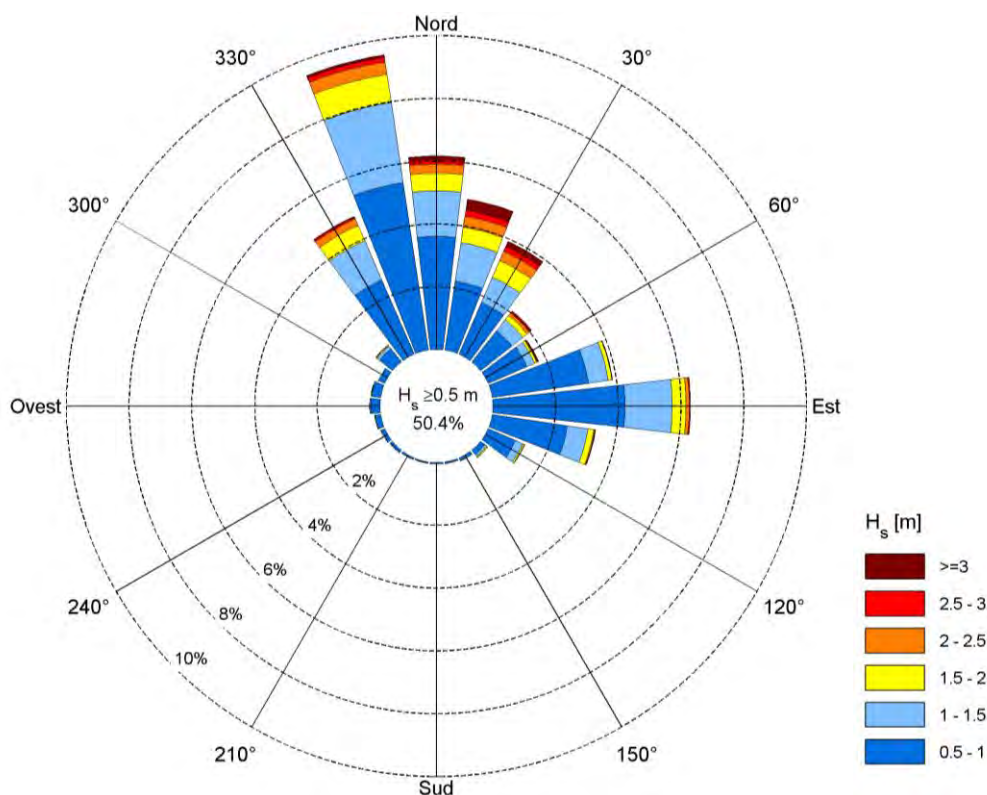
Figura 4-10. Rendimento dell'ondametro di Ortona tra il 1989 e il 2007.

In Tabella 4-4 è riportata la suddivisione degli eventi di moto ondoso registrati dall'ondametro di Ortona suddivisi per classi di altezza d'onda significativa. In Tabella 4-5 è riportata la frequenza di accadimento degli stati di mare osservati dall'ondametro di Ortona suddivisi per classi di  $H_s$  e direzione.

Osservando la distribuzione degli eventi, si può rilevare una frequenza di stati di calma ( $H_s < 0.5$  m) pari al 49.2% del totale degli eventi registrati. Gli stati di mare vivo sono in prevalenza rappresentati da altezze significative comprese tra  $0.5 \text{ m} < H_s < 2.0 \text{ m}$ , con un frequenza di occorrenza pari a 46.9%. Altezze d'onda superiori a 2,0 m si presentano in media con una frequenza del 3.6%.

Dal punto di vista direzionale (vedi grafico di Figura 4-11) si può rilevare, al pari di quanto già trovato analizzando i dati ricostruiti al largo di Pescara da MeteOcean, che il clima di moto ondoso risulta bimodale. Gli stati di mare con  $H_s \geq 0.5$  si presentano in prevalenza dal settore 330-30 °N con una frequenza del 24.45% e dal settore 75-105 °N con una frequenza di 13.5%.

Rispetto ai dati in hindcasting ricostruiti da MeteOcean DICCA l'ondametro ha osservato una maggior frequenza di stati di mare provenienti da Maestrale [330-345 °N] e presenta una differente distribuzione degli stati di mare provenienti da grecale che risultano lievemente ruotati ad Est: si ha una frequenza minore di onde provenienti da 45-60 °N ed una frequenza maggiore di onde provenienti da 75-90°N.



**Figura 4-11. Distribuzione direzionale degli stati di mare con altezza d'onda significativa  $H_s \geq 0.5$  registrati dall'ondametro di Ortona tra il 1989 e il 2007.**

I grafici riportati in Figura 4-12 riportano il confronto tra i valori sincroni di altezza d'onda significativa  $H_s$  misurati dall'ondametro RON di Ortona e quelli ricostruiti con il modello WWIII da MeteOcean-DICCA nel periodo di misura/ricostruzione comune 1989-2007.

Il pannello in alto a sinistra riporta la correlazione tra i valori misurati dall'ondametro (HM) e quelli ricostruiti da MeteOcean (HP).

Il pannello in alto a destra riporta la densità di distribuzione della differenza osservata tra le misure sincrone  $\Delta H = HM - HP$ , mentre il pannello in basso a sinistra riporta la frequenza cumulata di non superamento di  $\Delta H$ .

Infine nel pannello in basso a destra è riportata la frequenza cumulata di non superamento del rapporto tra le misure  $HR = HM/HP$ .

L'analisi mostra che mediamente le altezze d'onda  $H_s$  appartenenti alla serie storica fornita da MeteOcean DICCA risultano maggiori del 5% rispetto a quelle osservate dall'ondametro e che la differenza i valori di altezza d'onda è mediamente contenuta tra  $\pm 0.5$  m.

**Tabella 4-4. Numero di eventi registrati dall'ondametro di Ortona suddivisi per classi di altezza d'onda e direzione.  
(periodo di riferimento 1989 - 2007)**

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	969	1139	1544	619	240	124	63	32	11	4	2	0	4747
15	849	739	947	527	214	149	83	69	40	41	0	0	3658
30	727	539	766	373	247	138	68	37	25	13	1	0	2934
45	707	513	542	189	73	46	21	5	3	3	0	0	2102
60	738	686	575	112	33	12	8	1	4	1	0	0	2170
75	990	1251	1321	271	52	8	1	1	0	0	0	0	3895
90	1068	1551	1795	641	190	44	12	4	0	0	0	0	5305
105	888	1228	1031	285	79	15	6	3	0	0	0	0	3535
120	543	517	403	110	22	5	2	0	0	0	0	0	1602
135	281	121	72	32	16	3	0	0	0	0	0	0	525
150	142	55	34	12	2	0	0	0	0	0	0	0	245
165	85	32	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	142
180	65	29	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115
195	43	23	14	4	1	0	0	0	0	0	0	0	85
210	41	31	21	5	0	0	0	0	0	0	0	0	98
225	42	29	35	7	2	0	0	0	0	0	0	0	115
240	37	29	47	11	0	0	0	0	0	1	0	0	125
255	62	50	75	8	2	0	0	0	0	0	0	0	197
270	96	62	127	14	2	0	0	0	0	0	0	0	301
285	110	99	124	11	3	0	0	0	0	0	0	0	347
300	169	188	84	10	0	0	0	0	0	0	0	0	451
315	245	357	225	43	14	4	3	0	0	0	0	0	891
330	377	668	1099	580	228	96	22	10	2	1	0	0	3083
345	726	1219	2302	1098	386	172	61	17	12	5	1	0	5999
<b>Tot</b>	10000	11155	13221	4970	1806	816	350	179	97	69	4	0	42667

**Tabella 4-5. Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso registrati dall'ondametro di Ortona suddivisi per classi di altezza d'onda e direzione (periodo di riferimento 1989 - 2007).**

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	2.3	2.7	3.6	1.5	0.6	0.3	0.1	0.07	0.03	0.009	0.005		11.13	6.19
15	2.0	1.7	2.2	1.2	0.5	0.3	0.2	0.2	0.09	0.10			8.57	4.85
30	1.7	1.3	1.8	0.9	0.6	0.3	0.2	0.09	0.06	0.03	0.002		6.88	3.91
45	1.7	1.2	1.3	0.4	0.2	0.1	0.05	0.01	0.007	0.007			4.93	2.07
60	1.7	1.6	1.3	0.3	0.08	0.03	0.02	0.002	0.009	0.002			5.09	1.75
75	2.3	2.9	3.1	0.6	0.1	0.02	0.002	0.002					9.13	3.88
90	2.5	3.6	4.2	1.5	0.4	0.1	0.03	0.009					12.43	6.30
105	2.1	2.9	2.4	0.7	0.2	0.04	0.01	0.007					8.29	3.33
120	1.3	1.2	0.9	0.3	0.05	0.01	0.005						3.75	1.27
135	0.7	0.3	0.2	0.07	0.04	0.007							1.23	0.29
150	0.3	0.1	0.08	0.03	0.005								0.57	0.11
165	0.2	0.07	0.04	0.02									0.33	0.06
180	0.2	0.07	0.05										0.27	0.05
195	0.1	0.05	0.03	0.009	0.002								0.20	0.04
210	0.10	0.07	0.05	0.01									0.23	0.06
225	0.10	0.07	0.08	0.02	0.005								0.27	0.10
240	0.09	0.07	0.1	0.03						0.002			0.29	0.14
255	0.1	0.1	0.2	0.02	0.005								0.46	0.20
270	0.2	0.1	0.3	0.03	0.005								0.71	0.34
285	0.3	0.2	0.3	0.03	0.007								0.81	0.32
300	0.4	0.4	0.2	0.02									1.06	0.22
315	0.6	0.8	0.5	0.1	0.03	0.009	0.007						2.09	0.68
330	0.9	1.6	2.6	1.4	0.5	0.2	0.05	0.02	0.005	0.002			7.23	4.78
345	1.7	2.9	5.4	2.6	0.9	0.4	0.1	0.04	0.03	0.01	0.002		14.06	9.50
<b>Tot</b>	23.44	26.14	30.99	11.65	4.23	1.91	0.82	0.42	0.23	0.16	0.01	0.000	100	50.42
<b>Tot. Cumulate</b>		49.58	80.57	92.22	96.45	98.36	99.18	99.60	99.83	99.99	100.00	100.00		

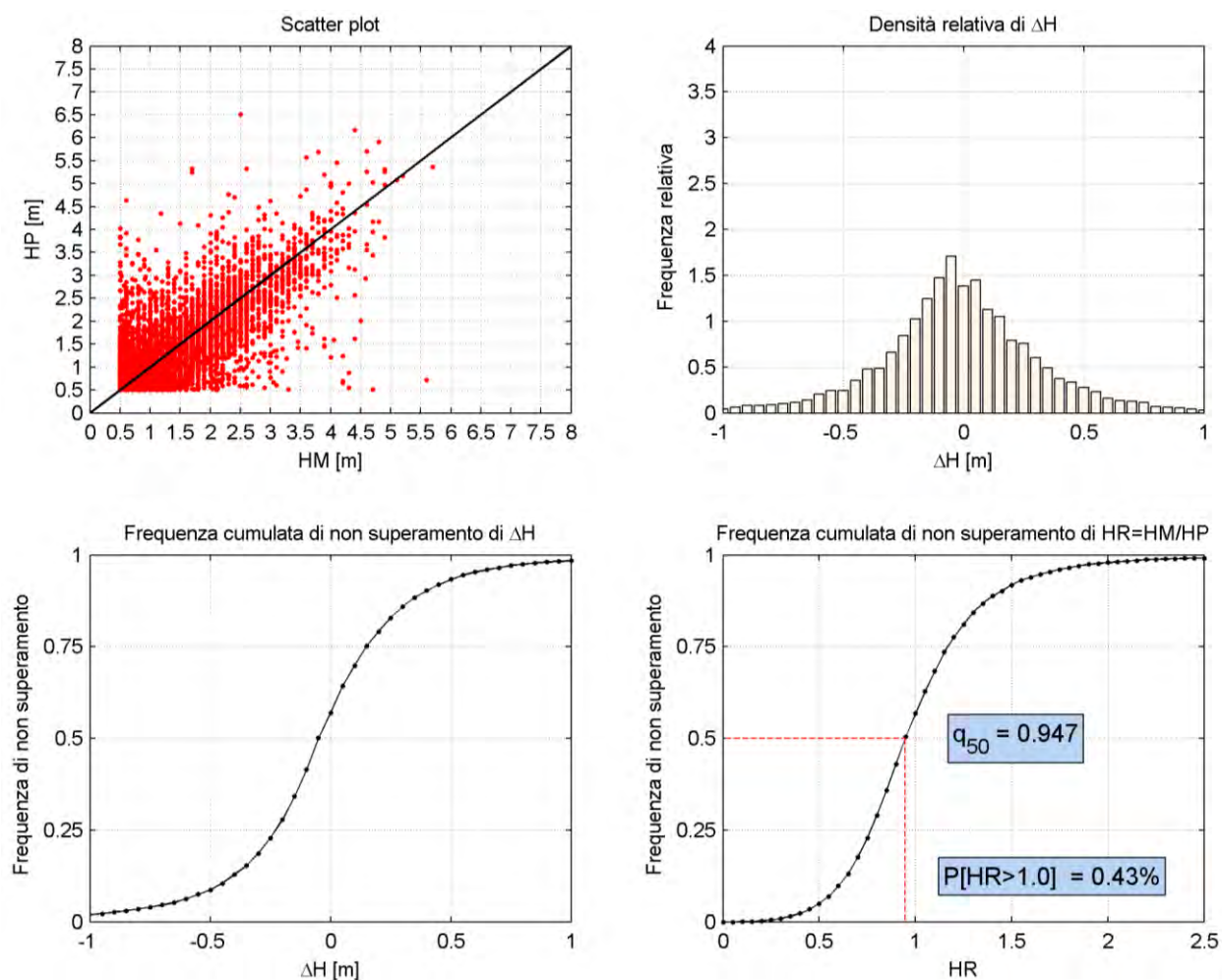


Figura 4-12. Confronto tra i dati sincroni triorari registrati dalla boa RON di Ortona ed i dati ricostruiti da DICCA (periodo di riferimento 1989 - 2007)

## Capitolo 5

### Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso al largo

Prima di eseguire l'analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso a largo è risultato necessario completare il confronto tra le due serie storiche disponibili. Il confronto è stato completato analizzando gli eventi estremi di moto ondoso che di fatto costituiscono il parametro più importante per il dimensionamento strutturale delle opere marittime in progetto.

Nei grafici di Figura 5-1 sono riportati i valori di  $H_s$  e direzione di provenienza al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica MeteOcean DICCA e dalla serie registrata dall'ondametro RON di Ortona nel periodo di misura/ricostruzione comune 1989-2007 (14.5 anni). I dati fanno riferimento alle stesse mareggiate ma non risultano sincroni.

Dal punto di vista direzionale i dati risultano ben correlati con uno scarto quadratico medio di  $\pm 12^\circ$ . I valori di  $H_s$  al colmo risultano più dispersi, e mediamente si osserva che i dati MeteOcean DICCA risultano maggiori di quelli registrati dalla boa di Ortona (differenza media  $+0.1$  m, scarto quadratico medio  $0.54$  m).

In conclusione tenendo conto anche dei confronti effettuati nei paragrafi precedenti, si può affermare che complessivamente i dati ricostruiti in ri-analisi dal DICCA risultano maggiormente cautelativi rispetto a quelli della RON sia in relazione ai valori medi che a quelli estremi di  $H_s$ . Tenendo inoltre conto della maggiore significatività statistica dei dati del DICCA rispetto a quelli della RON dovuta: (i) alla maggiore estensione temporale dei dati del DICCA rispetto a quelli della RON (36 anni di osservazione rispetto ai 16 anni della RON); (ii) al maggiore rendimento dei dati del DICCA rispetto a quelli della RON (99,7% del DICCA rispetto a circa il 79% della RON); (iii) alla migliore risoluzione temporale dei dati del DICCA rispetto a quelli della RON (risoluzione oraria dei dati del DICCA rispetto alla risoluzione tri-oraria dei dati della RON), si è deciso di utilizzare esclusivamente i dati del DICCA per il completamento del presente studio e quindi per la progettazione delle opere.

Pertanto per determinare l'onda di progetto al largo è stata eseguita un'analisi statistica dei valori estremi utilizzando come campione di dati la serie dei colmi delle mareggiate appartenenti alla serie storica di dati di moto ondoso ricostruiti in rianalisi da MeteOcean DICCA al largo di Pescara nel punto di coordinate  $42.42^\circ\text{N}$   $14.60^\circ\text{E}$ . La serie oraria ricostruita tra il 1979 e il 2015 consente di operare con campione di dati molto numeroso ed un elevato numero di anni ( $K=36.87$ ). Ciò come già osservato rende molto più affidabile l'analisi statistica dei valori estremi basata sui dati del DICCA rispetto a quella della RON.



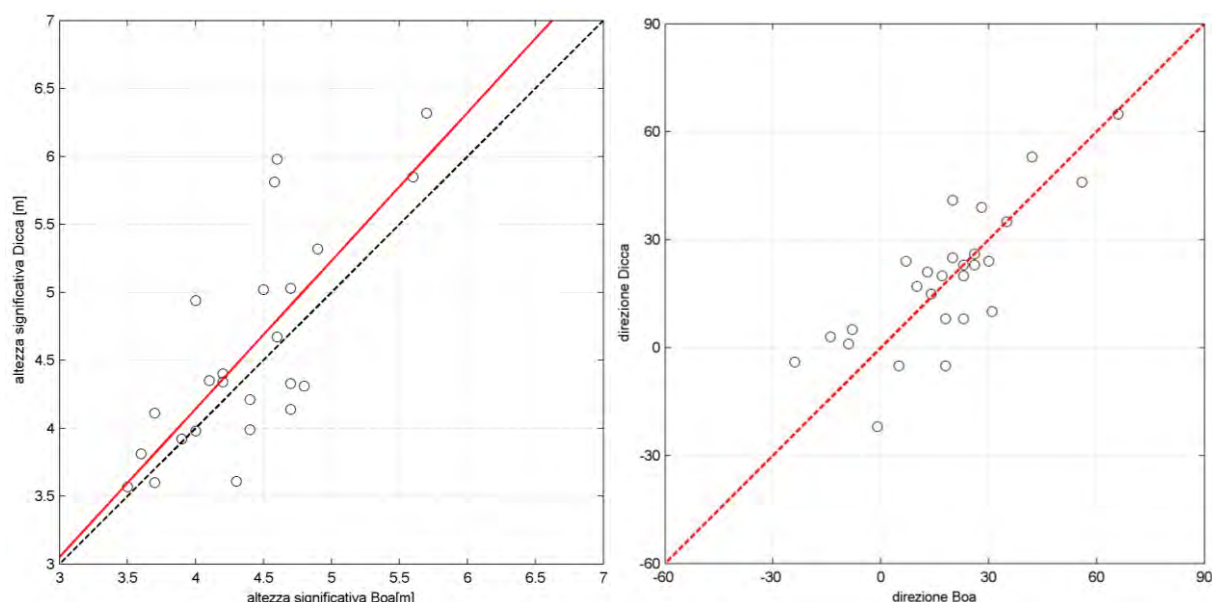


Figura 5-1. Confronto asincrono tra i valori al colmo di mareggiata (Hs e Direzione) registrati dalla boa ondometrica RON di Ortona tra il 1989 ed il 2007 con cadenza trioraria e quelli ricostruiti al largo di Pescara da MeteOcean DICCA.

## 5.1 Preparazione del campione

L'analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso richiede necessariamente di definire dei criteri al fine di selezionare un campione di dati rappresentativo delle mareggiate più significative per eseguire un'analisi di inferenza statistica.

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, ovvero al culmine, dell'intensità raggiunta durante il singolo evento estremo.

Per l'individuazione delle mareggiate (evento estremo) all'interno della serie temporale, costituita da K anni di registrazione, si considerano le successioni di stati di mare caratterizzate da una persistenza dell'altezza significativa sopra la soglia di  $H_s > 1.0$  m maggiore a 12 ore consecutive e valore di altezza d'onda al colmo  $H_s \geq 2.0$  m.

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.

Complessivamente sono stati individuati  $N_T=682$  eventi di mareggiata così suddivisi per classi di altezza d'onda significativa al colmo:

$2.0 \leq H_s < 2.5$  (m): 261

$2.5 \leq H_s < 3.0$  (m): 171

$3.0 \leq H_s < 3.5$  (m): 114

$3.5 \leq H_s < 4.0$  (m): 60

$$4.0 \leq H_s < 4.5 \text{ (m): } 36$$
$$4.5 \leq H_s < 5.0 \text{ (m): } 15$$
$$H_s \geq 5.0 \text{ (m): } 25$$

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.

Nel diagramma polare riportato in Figura 5-2 sono rappresentati i colmi delle mareggiate (superiori a 2.0 m di altezza significativa) appartenenti alla serie storica MeteOcean DICCA Point 001563 (1979-2015). 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 compreso tra 330 °N e 30 °N,
- il settore di traversia secondaria compreso tra 30°N e 120 °N.

Individuati i settori principali di provenienza del moto ondoso, si è quindi proceduto applicando il metodo POT (Peak Over Threshold) per selezionare tra le mareggiate individuate 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.

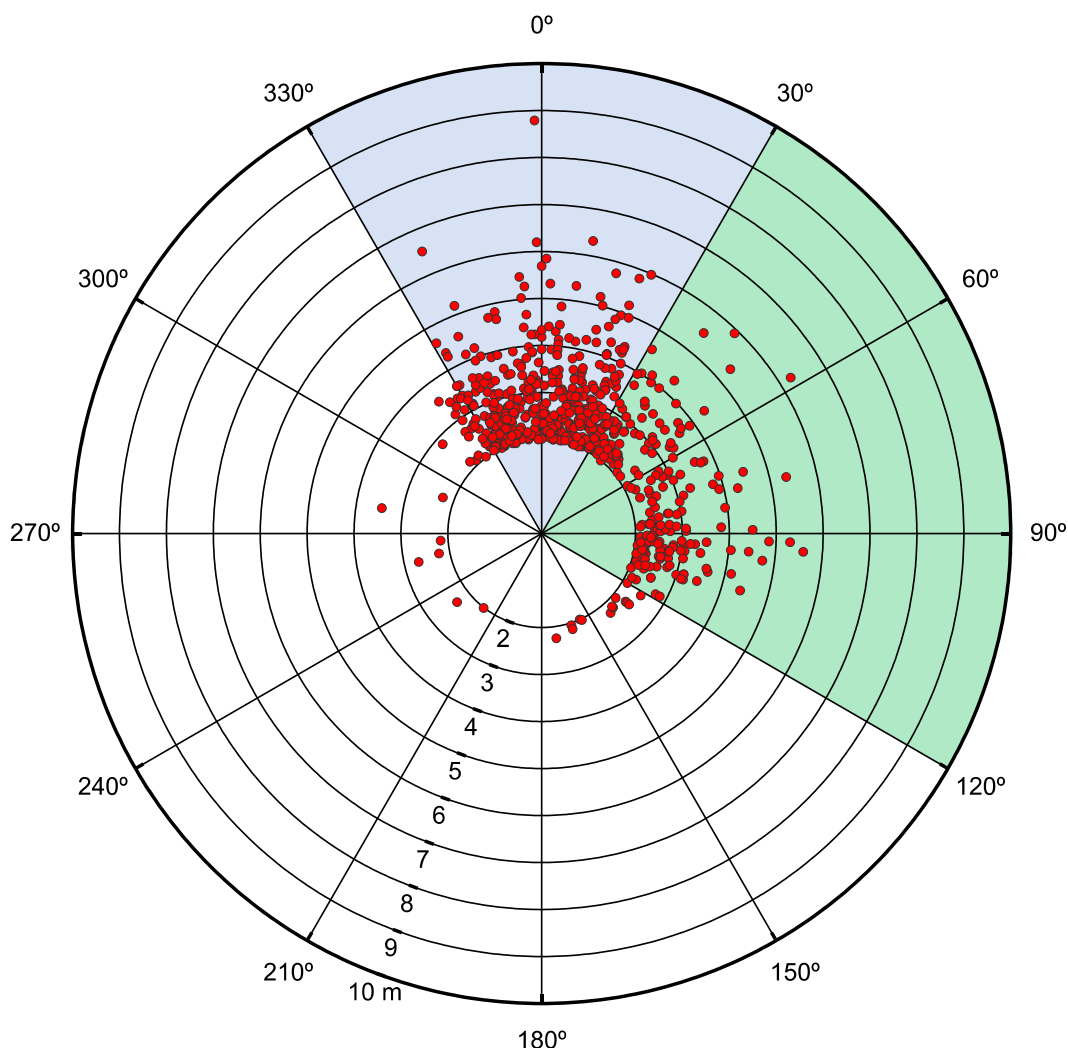


Figura 5-2. Valori al colmo delle mareggiate ricostruite da MeteOcean DICCA nel periodo 1979-2015.

## 5.2 Individuazione del modello probabilistico per i dati selezionati

Tra le distribuzioni statistiche per l'analisi dei valori estremi è stata selezionata la distribuzione di probabilità 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  $k$  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<sup>2</sup>:

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

<sup>2</sup> I valori dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  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

La serie oraria di eventi di moto ondoso ricostruita al largo di Pescara tra il 1979 e il 2015 consente di operare con un elevato numero anni ( $K=36.87$ ) ed un rendimento prossimo al 100%.

A seguire sono riportati i risultati delle analisi statistiche svolte sui campioni rappresentativi dei due settori di traversia, il settore di traversia A, compreso tra 330 e 30 °N, ed il settore di traversia B, compreso tra 30 e 120 °N.

Applicando il metodo POT utilizzando la soglia di 3.80 m per il settore A sono stati individuati 71 eventi di mareggiata con un valore medio di 4.64 m ed una deviazione standard di 0.84 m.

Per il settore secondario, fissata la soglia di 3.0 m, sono stati individuati 80 eventi di mareggiata con un valore medio di 3.76 m ed una deviazione standard di 0.75 m.

In Tabella 5-1 sono riportati, per ciascun settore di traversia, i campioni ordinati dei colmi delle mareggiate utilizzati per l'analisi statistica. La tabella riporta i primi 25 valori ordinati e gli ultimi 10 valori 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 5-1. Campione degli eventi estremi orari osservati tra il 1979 e il 2015 e parametri della distribuzione di adattamento ottenuti con la regressione lineare.**

K=36.87 N=71 sett. A 330 - 30 °N soglia POT $H_s = 3.8$ m Weibull 1.0						K=36.87 N=80 sett. B 30 - 120 °N soglia POT $H_s = 3.0$ m Weibull 1.0					
m	Data	$H_s$ [m]	$T_p$ [s]	Dir [°N]	$T_R$	m	Data	$H_s$ [m]	$T_p$ [s]	Dir [°N]	$T_R$
1	31/12/1979	8.79	11.5	359	70.0	1	14/11/2004	6.26	11	58	69.9
2	20/12/1991	6.52	10.1	337	24.2	2	02/12/1983	5.92	10.3	44	24.2
3	28/03/1995	6.32	10.3	10	14.7	3	15/03/1980	5.59	11	94	14.7
4	27/02/1997	6.20	9.9	359	10.5	4	05/03/2015	5.49	10	39	10.5
5	01/12/1996	5.98	10.1	23	8.2	5	03/01/1993	5.35	10.9	77	8.2
6	27/12/2001	5.85	10.0	1	6.7	6	27/11/2015	5.33	9.5	49	6.7
7	23/12/2003	5.81	9.9	21	5.7	7	11/12/2005	5.3	9.9	92	5.7
8	15/02/2005	5.76	9.8	16	4.9	8	10/03/2010	4.85	9.4	92	4.9
9	29/08/1989	5.69	9.8	360	4.4	9	12/12/2008	4.74	9.9	97	4.4
10	14/10/1997	5.48	9.9	355	3.9	10	17/12/1988	4.57	9.1	31	3.9
11	05/12/1999	5.32	9.8	2	3.5	11	01/03/2011	4.5	9	89	3.5
12	16/02/1997	5.32	9.8	8	3.2	12	06/03/2008	4.49	9.4	73	3.2
13	10/02/1984	5.27	9.9	356	3.0	13	25/03/2015	4.43	8.6	95	3.0
14	26/11/2013	5.20	9.3	21	2.7	14	22/12/1979	4.4	10.1	106	2.7
15	02/01/2007	5.19	10.0	339	2.6	15	04/01/1995	4.34	9.3	53	2.6
16	20/12/1999	5.19	9.5	14	2.4	16	27/12/1996	4.31	9.5	41	2.4
17	20/01/1998	5.03	9.7	355	2.2	17	10/02/2012	4.29	9.3	77	2.2
18	02/01/1994	5.02	9.9	15	2.1	18	31/01/1986	4.13	10	102	2.1
19	09/02/2015	4.95	9.1	22	2.0	19	01/02/2003	4.11	9	35	2.0
20	22/12/1998	4.94	9.6	20	1.9	20	01/03/1993	4.05	8.8	95	1.9
21	04/12/1980	4.85	9.6	5	1.8	21	08/01/1981	4.02	8.5	32	1.8
22	09/12/2012	4.82	9.8	19	1.7	22	14/12/1990	3.98	8.6	46	1.7
23	31/01/1983	4.82	9.5	348	1.7	23	20/12/1981	3.98	9	39	1.7
24	06/01/2012	4.73	9.2	346	1.6	24	26/12/2008	3.97	8.5	72	1.6
25	16/11/1993	4.67	9.2	356	1.5	25	27/02/1982	3.97	8.4	36	1.5
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
61	24/03/2002	3.92	8.4	3	0.6	70	15/12/2007	3.07	7.2	36	0.5
62	26/02/2001	3.92	9.0	360	0.6	71	24/11/1987	3.07	8.7	97	0.5
63	19/03/1981	3.92	8.5	351	0.6	72	01/02/2012	3.06	7.7	100	0.5
64	02/03/2000	3.91	8.1	346	0.6	73	30/12/2004	3.06	7.7	36	0.5
65	07/03/1995	3.90	8.9	344	0.6	74	21/10/1994	3.03	9.3	68	0.5
66	16/05/2011	3.87	8.3	357	0.6	75	19/02/1987	3.03	8.6	95	0.5
67	03/11/1995	3.86	8.5	12	0.6	76	22/11/1998	3.02	9.3	77	0.5
68	15/11/1981	3.86	8.5	357	0.6	77	19/12/1980	3.02	9.4	81	0.5
69	25/01/2014	3.81	8.4	5	0.5	78	04/02/1998	3.01	8	64	0.5
70	31/01/1995	3.81	9.0	23	0.5	79	26/12/2004	3.00	9.2	107	0.5
71	02/09/2014	3.80	8.2	19	0.5	80	12/02/2004	3.00	7.6	39	0.5
		$\mu$	4.64	9.13	165			$\mu$	3.76	8.68	68
		$\sigma$	0.84	0.65	168			$\sigma$	0.75	0.81	25
Par.	A	0.85				A	0.76				
	B	2.29				B	2.22				
Corr.	$R^2$	0.99				$R^2$	0.99				

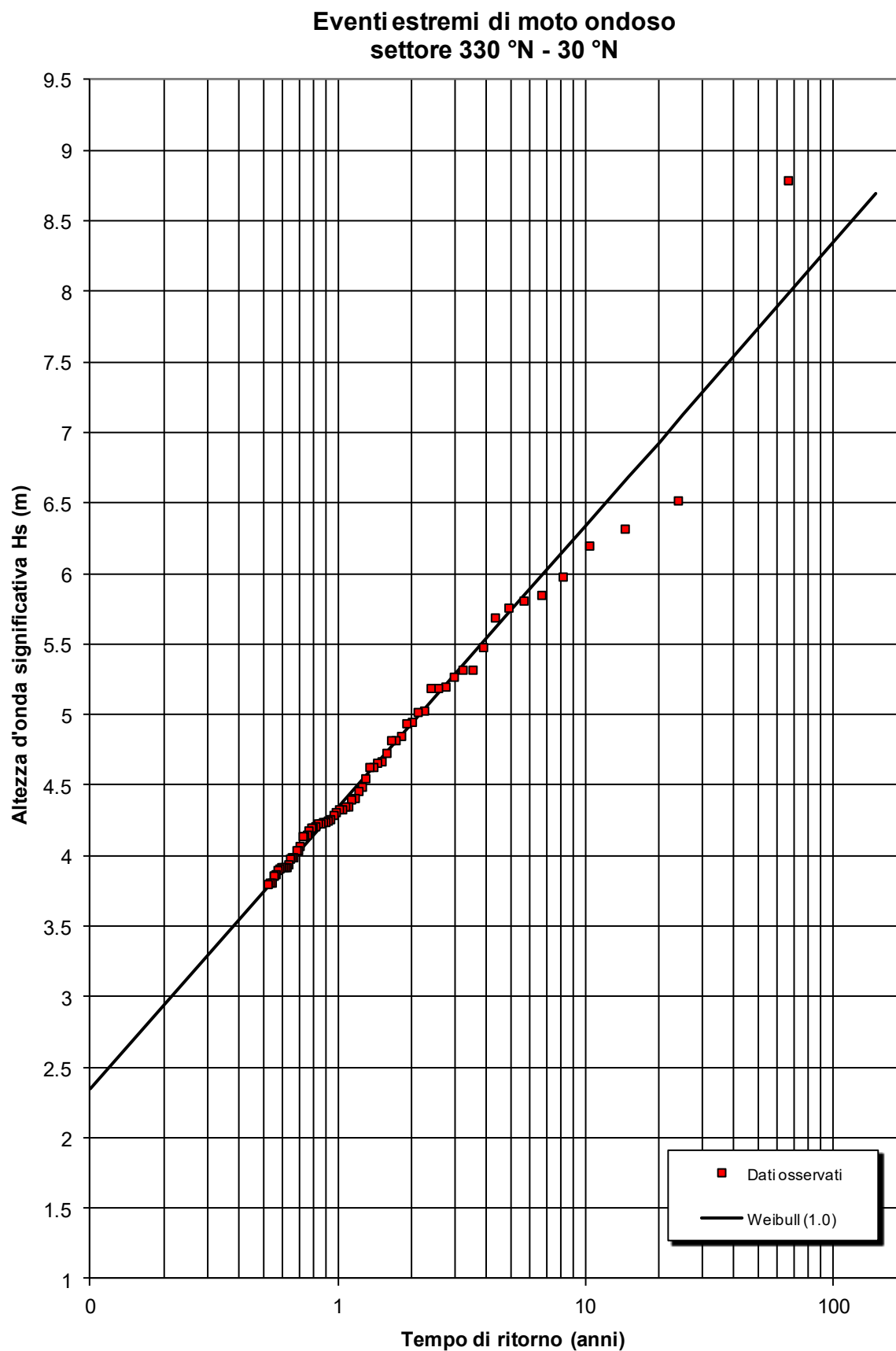


Figura 5-3. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull 1.0 dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica MeteOcean DICCA tra il 1979 ed il 2015. Settore di traversia 330 - 30 °N.



Tabella 5-2. Statistica degli eventi estremi per il settore di traversia A: 330° - 30° N.

## MeteOcean DICCA Point 001563 - Analisi delle onde estreme

settore di traversia: 330° - 30° Nord

Numero di anni	36.87	Media (m):	4.64
Numero di eventi	411	Deviazione standard (m):	0.842
Altezza di soglia (m):	>3.80	Peak over threshold:	71
Direzione iniziale:	330°N	Direzione finale:	30°N

H <sub>s</sub> (m)	Tempo di ritorno (anni)	H <sub>s</sub> (m)	Tempo di ritorno (anni)	H <sub>s</sub> (m)	Tempo di ritorno (anni)	H <sub>s</sub> (m)	Tempo di ritorno (anni)
8.79	69.99	4.95	2.00	4.33	1.02	4.04	0.68
6.52	24.24	4.94	1.90	4.31	0.99	3.99	0.67
6.32	14.66	4.85	1.81	4.29	0.96	3.99	0.66
6.20	10.51	4.82	1.72	4.26	0.94	3.98	0.64
5.98	8.19	4.82	1.65	4.25	0.92	3.94	0.63
5.85	6.71	4.73	1.58	4.24	0.89	3.92	0.62
5.81	5.68	4.67	1.51	4.24	0.87	3.92	0.61
5.76	4.93	4.66	1.45	4.23	0.85	3.92	0.60
5.69	4.35	4.63	1.40	4.23	0.83	3.92	0.59
5.48	3.89	4.63	1.35	4.21	0.81	3.91	0.58
5.32	3.52	4.55	1.30	4.20	0.80	3.90	0.57
5.32	3.22	4.49	1.26	4.20	0.78	3.87	0.57
5.27	2.96	4.46	1.21	4.18	0.76	3.86	0.56
5.20	2.74	4.41	1.18	4.15	0.75	3.86	0.55
5.19	2.55	4.40	1.14	4.14	0.73	3.81	0.54
5.19	2.39	4.35	1.11	4.14	0.72	3.81	0.53
5.03	2.24	4.35	1.07	4.07	0.71	3.80	0.53
5.02	2.12	4.33	1.04	4.04	0.69		

T <sub>R</sub>	GUMBEL		WEI(.75)	
(anni)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)
2	5.0	0.4	4.9	2.6
5	5.7	0.6	5.6	0.4
10	6.3	0.8	6.2	0.6
25	7.1	1.0	7.0	0.9
50	7.7	1.3	7.5	1.2
100	8.2	1.6	8.1	1.4
<b>A</b>	0.836		0.419	
<b>B</b>	2.377		2.977	
<b>r</b>	0.986		0.99	

T <sub>R</sub>	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
(anni)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)
2	4.9	0.3	5.0	0.4	5.1	0.4
5	5.7	0.5	5.8	0.6	5.9	0.5
10	6.3	0.7	6.4	0.8	6.5	0.7
25	7.1	1.0	7.2	1.0	7.2	0.9
50	7.7	1.3	7.8	1.3	7.7	1.1
100	8.3	1.6	8.3	1.5	8.2	1.3
<b>A</b>	0.853		1.686		3.087	
<b>B</b>	2.289		1.204		-0.411	
<b>r</b>	0.987		0.982		0.976	

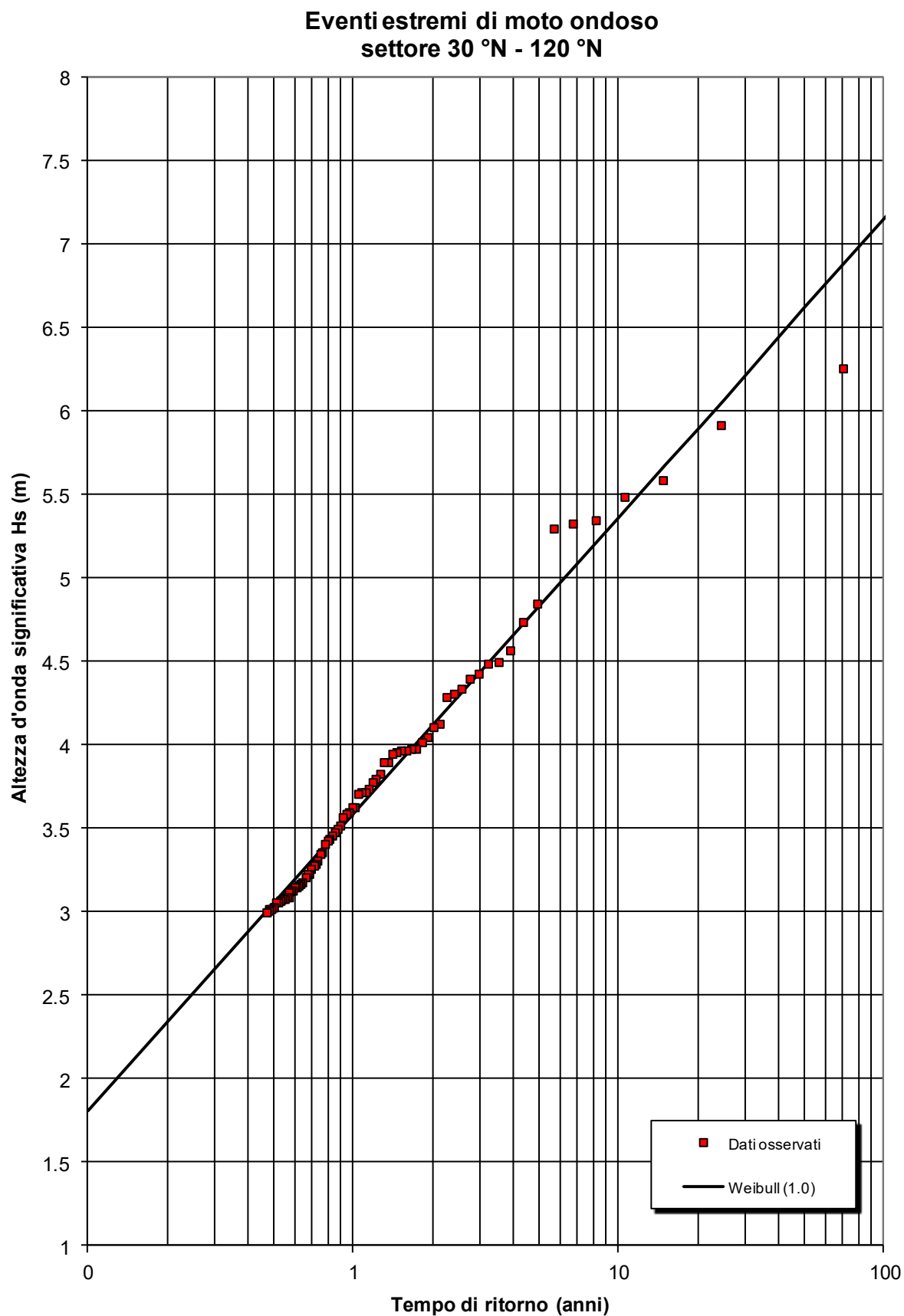


Figura 5-4. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull 1.0 dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica MeteOcean DICCA tra il 1979 ed il 2015. Settore di traversia 30 - 120 °N.

Tabella 5-3. Statistica degli eventi estremi per il settore di traversia B: 30° - 120° N.

## MeteOcean DICCA Point 001563 - Analisi delle onde estreme

settore di traversia: 30° - 120° Nord

Numero di anni	36.87	Media (m):	3.76
Numero di eventi	224	Deviazione standard (m):	0.75
Altezza di soglia (m):	>3.00	Peak over threshold:	80
Direzione iniziale:	30°N	Direzione finale:	120°N

H <sub>s</sub> (m)	Tempo di ritorno (anni)	H <sub>s</sub> (m)	Tempo di ritorno (anni)	H <sub>s</sub> (m)	Tempo di ritorno (anni)	H <sub>s</sub> (m)	Tempo di ritorno (anni)
6.26	69.94	4.11	2.00	3.63	1.01	3.23	0.68
5.92	24.23	4.05	1.90	3.63	0.99	3.23	0.67
5.59	14.65	4.02	1.81	3.60	0.96	3.21	0.66
5.49	10.50	3.98	1.72	3.59	0.94	3.18	0.64
5.35	8.18	3.98	1.65	3.57	0.91	3.17	0.63
5.33	6.70	3.97	1.58	3.52	0.89	3.16	0.62
5.30	5.68	3.97	1.51	3.50	0.87	3.15	0.61
4.85	4.92	3.96	1.45	3.48	0.85	3.15	0.60
4.74	4.35	3.95	1.40	3.46	0.83	3.13	0.59
4.57	3.89	3.90	1.35	3.44	0.81	3.13	0.58
4.50	3.52	3.90	1.30	3.43	0.80	3.12	0.57
4.49	3.21	3.83	1.26	3.41	0.78	3.09	0.57
4.43	2.96	3.80	1.21	3.36	0.76	3.09	0.56
4.40	2.74	3.78	1.18	3.35	0.75	3.08	0.55
4.34	2.55	3.74	1.14	3.31	0.73	3.08	0.54
4.31	2.39	3.72	1.11	3.29	0.72	3.07	0.53
4.29	2.24	3.72	1.07	3.28	0.71	3.07	0.53
4.13	2.11	3.71	1.04	3.26	0.69	3.06	0.52

T <sub>R</sub>	GUMBEL		WEI(.75)	
(anni)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)
2	4.1	0.3	4.0	0.2
5	4.8	0.5	4.7	0.4
10	5.3	0.7	5.2	0.6
25	6.0	0.9	5.9	0.8
50	6.5	1.1	6.4	1.1
100	7.0	1.3	7.0	1.3
A	0.727		0.399	
B	2.367		2.692	
r	0.993		0.978	

T <sub>R</sub>	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
(anni)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)	H <sub>s</sub> (m)	c.i.(m)
2	4.1	0.3	4.2	0.3	4.3	0.3
5	4.8	0.5	4.9	0.5	5.0	0.5
10	5.4	0.7	5.5	0.7	5.5	0.6
25	6.1	0.9	6.1	0.9	6.1	0.9
50	6.6	1.2	6.6	1.1	6.6	1.1
100	7.2	1.4	7.1	1.4	7.0	1.3
A	0.761		1.406		2.43	
B	2.221		1.483		0.391	
r	0.991		0.995		0.994	

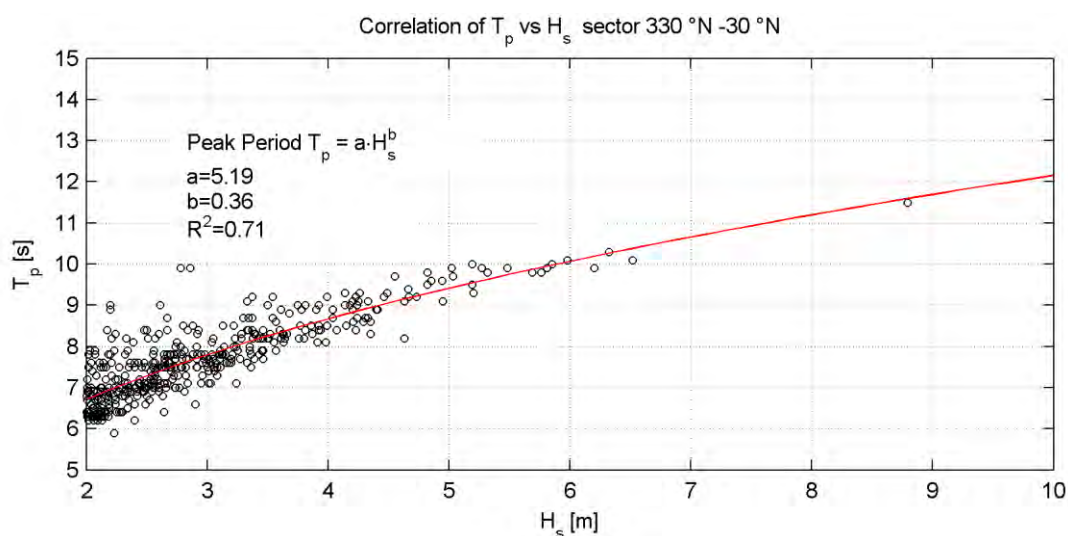


Figura 5-5. Correlazione tra le altezze significative ed il periodo di picco al colmo delle mareggiate estratte dalla serie DICCA (1979-20015) per il settore di traversia 330-30 °N

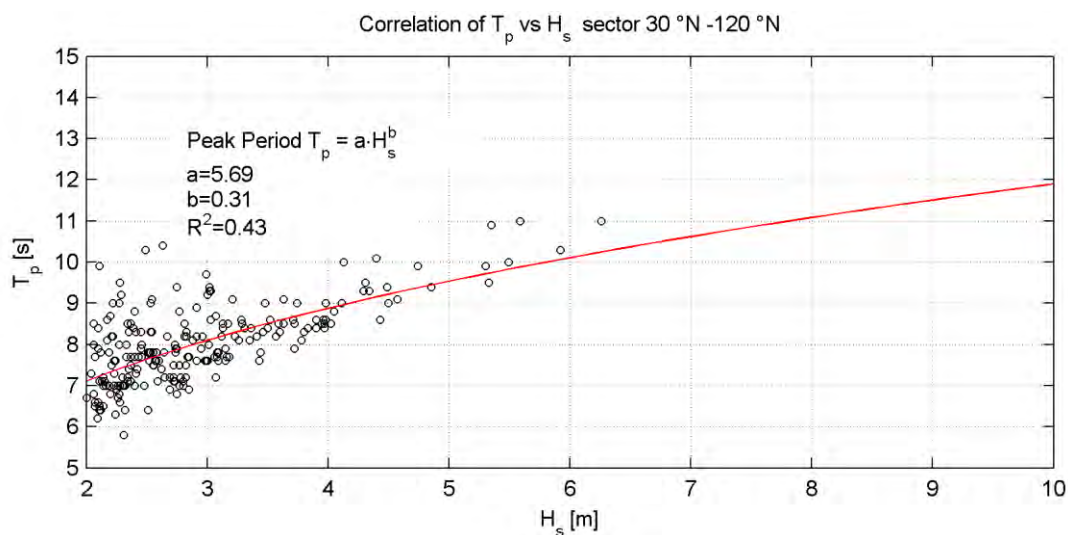


Figura 5-6. Correlazione tra le altezze significative ed il periodo di picco al colmo delle mareggiate estratte dalla serie DICCA (1979-20015) per il settore di traversia 30-120 °N

L'analisi di correlazione tra l'altezza significativa  $H_s$  ed il periodo  $T_p$  associati alle mareggiate estratte dalla serie storica DICCA (1979-2015) riportata nei grafici di Figura 5-5 e Figura 5-6 ha quindi permesso di definire le caratteristiche degli stati di mare estremi al largo di Pescara associati a determinati tempi di ritorno come riportato in Tabella 8-1.

Tabella 5-4. Eventi estremi di moto ondoso al largo

Tempo di ritorno	Settore 330 - 30 °N		Settore 30 - 120 °N	
	$H_s$	$T_p$	$H_s$	$T_p$
[anni]	[m]	[s]	[m]	[m]
2	4.9	9.3	4.1	8.8
10	6.3	10.1	5.4	9.6
50	7.7	10.9	6.6	10.2
100	8.3	11.2	7.2	10.5

## Capitolo 6

### Clima di moto ondoso sottocosta

Nelle progettazione di opere marittime la conoscenza delle condizioni di moto ondoso in costa risulta di interesse per numerose applicazioni di ingegneria come ad esempio (i) per l'analisi degli aspetti navigazionali, (ii) per lo studio del trasporto solido litoraneo, (iii) per lo studio della dispersione e diffusione di inquinanti a mare e (iv) per il dimensionamento strutturale delle opere marittime.

Per le applicazioni (i), (ii) e (iii) sopra richiamate può risultare utile disporre del clima ondometrico in prossimità della costa. In tal caso è opportuno propagare in costa l'intera serie storica di moto ondoso registrata al largo, ovvero risulta necessario propagare centinaia di migliaia di stati di mare.

Invece per la definizione delle condizioni di moto ondoso da utilizzare per il dimensionamento strutturale delle opere marittime è di solito sufficiente propagare poche decine di stati di mare.

Ovviamente date le differenti finalità e il differente onere di calcolo richiesto dalle due tipologie di applicazioni, di solito si utilizzano modelli numerici differenti a seconda che si debba definire in modo completo il clima (o regime) ondometrico in costa o un numero limitato di stati di mare estremi.

Nel primo caso, data la necessità di propagare un numero elevato di stati di mare, si usano modelli numerici meno onerosi dal punto di vista computazionale rispetto al secondo caso. La minore onerosità computazionale dei modelli numerici è ovviamente ottenuta semplificando le problematiche fisiche da simulare.

In conclusione per lo studio in oggetto per propagare le onde in costa sono stati utilizzati due modelli numerici distinti. Il primo, la cui applicazione è descritta nel presente capitolo, è stato applicato per definire il clima ondometrico in costa e quindi per propagare l'intera serie storica ricostruita in rianalisi a largo (più di 300.000 stati di mare). La seconda applicazione, descritta nel Capitolo 8, è stata effettuata per propagare solo le condizioni di moto ondoso di progetto per il dimensionamento strutturale delle opere.

Per quanto riguarda il modello numerico utilizzato per definire il clima di moto ondoso in costa, si è utilizzato il modello di rifrazione inversa spettrale MEROPE sviluppato dalla MODIMAR. Questo modello è in grado di propagare in un solo punto in costa onde provenienti da largo da qualsiasi direzione e aventi caratteristiche spettrali qualsiasi. Il modello simula nella propagazione i fenomeni combinati di rifrazione e shoaling, trascurando gli effetti dissipativi dovuti al frangimento e all'attrito sul fondo. Ovviamente il punto in costa in corrispondenza del quale viene studiata la propagazione delle onde deve essere posizionato su un fondale non inferiore ai  $10,0 \div 15,0$  m ovvero su fondali in corrispondenza dei quali i fenomeni dissipativi risultano, a favore di sicurezza, trascurabili.

Il vantaggio computazionale di MEROPE è insito nella tecnica numerica utilizzata che consiste nell'effettuare il tracciamento inverso dei raggi d'onda partendo dal punto di interesse localizzato in costa e muovendosi verso il largo. Il tracciamento dei raggi viene effettuato per una stella di raggi equispaziati nel punto in costa di frazioni di grado allo scopo di stabilire, per un prefissato periodo di

moto ondoso, la corrispondenza direzionale largo-riva. Il tracciamento dei raggi si ripete per un numero rilevante di periodi di moto ondoso in grado di coprire l'intero campo di periodi delle onde a largo. La conoscenza della corrispondenza direzionale largo-riva al variare del periodo delle onde consente poi di propagare in modo poco oneroso dal punto di vista del calcolo, stati di mare al largo caratterizzati da prefissati spettri in frequenza e direzione.

## 6.1 Griglia di calcolo

In Figura 6-1 è rappresentato il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni effettuate con il modello MEROPE, definito sulla base dei dati batimetrici desunti dalla carta nautica del paraggio (CN 34 e CN 35).

Il suddetto dominio ha dimensioni  $50000 \times 30000$  m, ed è numericamente definito da una griglia regolare con passo di discretizzazione di 200 m, per un totale di  $250 \times 150$  nodi. La griglia è orientata con l'asse verticale allineato a  $40^\circ$  Nord.

All'interno della griglia di calcolo è stato selezionato un punto di propagazione, indicato rispettivamente con P1, posto in corrispondenza della batimetria -10 m sul l.m.m. poco a largo della diga foranea del Porto di Pescara posizionato in corrispondenza delle coordinate  $42^\circ 28.726'N$   $14^\circ 14.130'E$ .

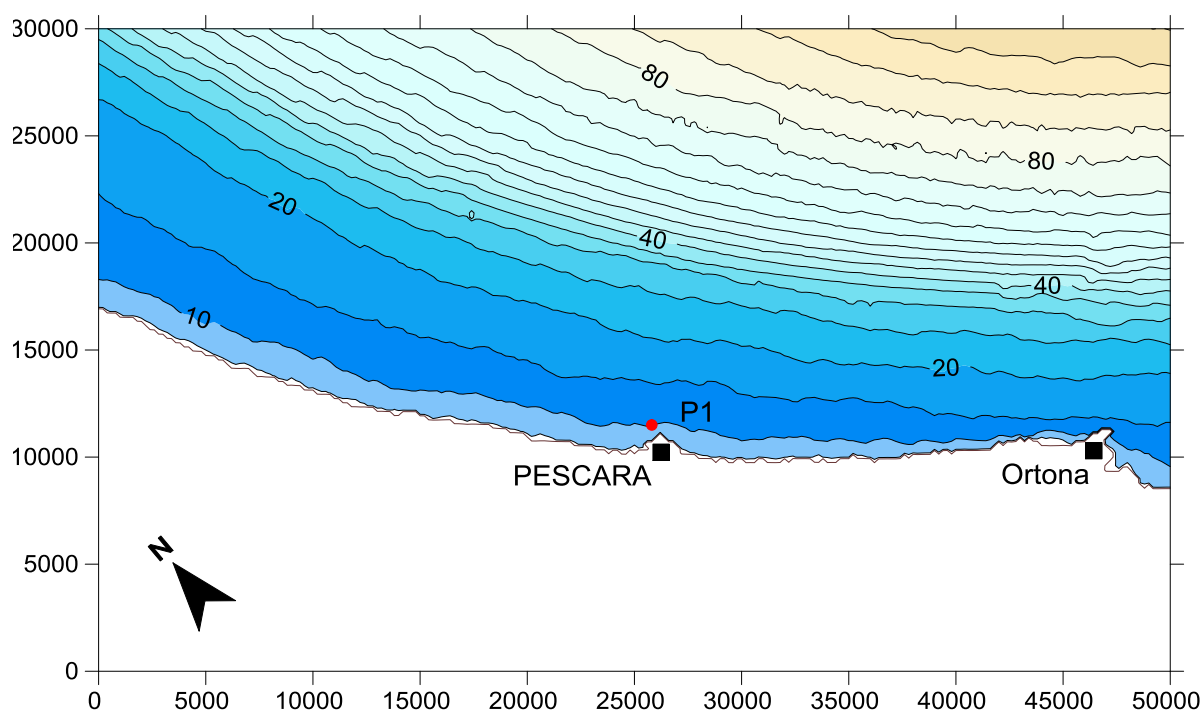


Figura 6-1. Griglia di calcolo utilizzata dal modello di inversa spettrale MEROPE.

## 6.2 Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo

Per il punto P1 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), spaziati di  $0.5^\circ$ , sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia ( $330^\circ N - 140^\circ N$ ).



I 4000 piani d'onda inversi (20x200) così calcolati hanno consentito di costruire un data-base di correlazione largo-riva. Mediante questo data-base l'intera serie storica fornita da MeteOcean DICCA al largo di Pescara è stata propagata sotto costa nel punto prescelto.

Per simulare la dispersione dell'energia in frequenza e direzione si è utilizzata la funzione densità spettrale:

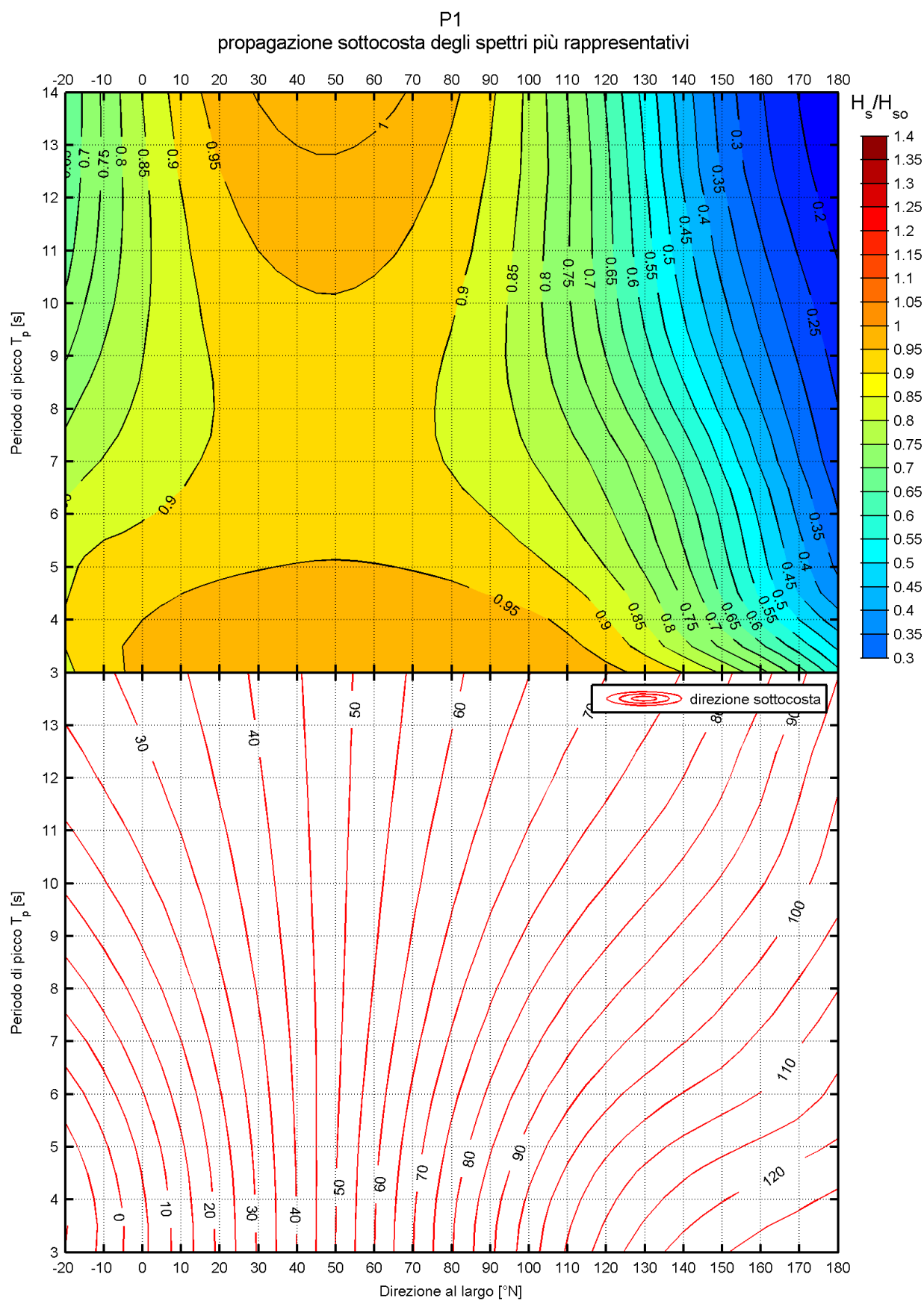
$$S(f,\theta) = S(f) G(f,\theta)$$

dove la funzione  $S(f)$  è stata espressa con uno spettro di tipo JONSWAP con  $\gamma = 3.3$ .

La funzione  $G(f,\theta)$  viene esplicitata nel modello MEROPE sulla base dell'equazione fornita da Goda ponendo  $s_{\max}=18$  (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 Propagazione nel punto sottocosta P1

Il diagramma riportato in Figura 6-2 mostra la correlazione largo/riva per gli spettri di moto ondoso più rappresentativi. Nella parte alta del diagramma è rappresentato il campo di variazione del coefficiente di rifrazione e shoaling,  $K=K_r \cdot K_s$ , rappresentativo del rapporto tra i valori di altezza d'onda nel punto di propagazione ed al largo, in funzione della direzione al largo e del periodo di picco dello spettro dell'onda. Nella parte bassa del diagramma è riportata la variazione di direzione del moto ondoso sottocosta sempre al variare del periodo di picco.



**Figura 6-2. Punto sottocosta P1 – diagramma di correlazione largo/riva per gli spettri più rappresentativi.**

#### **6.4 Distribuzione degli eventi di moto ondoso propagati per classi di altezza d'onda e direzione di provenienza**

Nel diagramma di Figura 6-3 è riportata la distribuzione direzionale degli stati di moto ondoso di altezza superiore a 0.5 m propagati nel punto P1.

La corrispondente tabella climatica di frequenza di accadimento del moto ondoso è riportata in Tabella 6-1.

Confrontando la Figura 6-3 con la Figura 4-11, dove è riportato il clima ondometrico a largo, si osserva che l'effetto di rifrazione tende a restringere sensibilmente il settore di traversia a riva. In particolare gli stati di mare provenienti dal settore settentrionale tendono a ruotare in verso orario, mentre quelli provenienti da Sud-Est tendono a ruotare in verso antiorario.

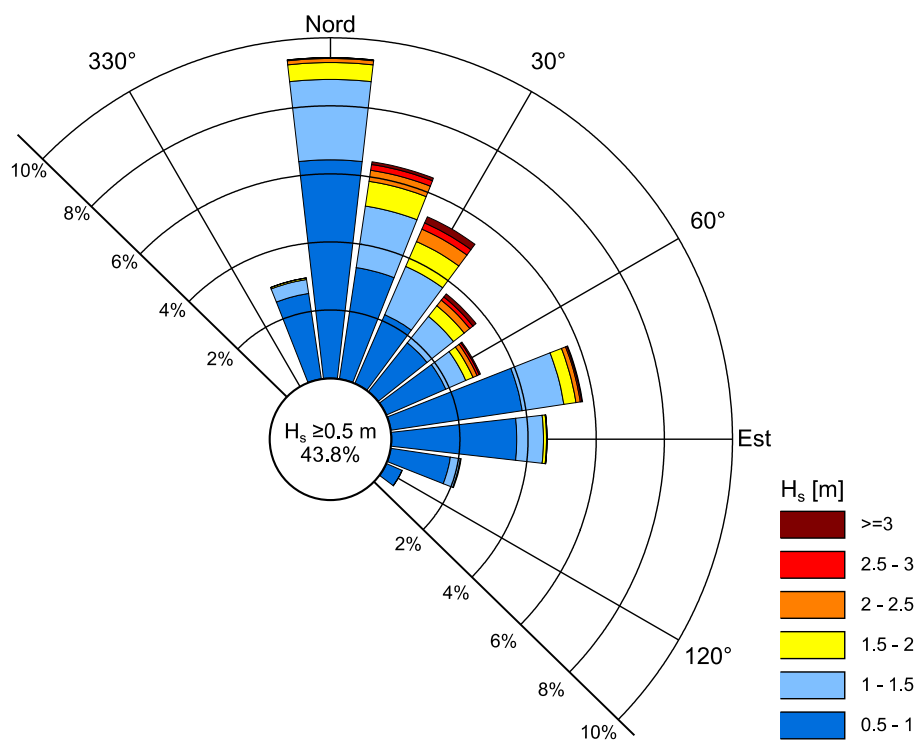


Figura 6-3. Punto sottocosta P1 –Distribuzione degli eventi di moto ondoso con altezza d'onda superiore a 0.5 m.

Tabella 6-1. Punto sottocosta P1. Tabella climatica di frequenza di accadimento del moto ondoso.

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		
330	4.0	0.8	0.1										4.84	0.11
345	3.7	3.0	2.9	0.5	0.05	0.001							10.06	3.44
0	4.6	6.1	7.4	2.7	0.6	0.1	0.03	0.001	0.000				21.54	10.82
15	2.3	3.2	3.8	2.1	0.8	0.4	0.2	0.07	0.02	0.009	0.001		12.90	7.41
30	1.6	2.1	2.5	1.8	0.9	0.5	0.2	0.1	0.06	0.05	0.006	0.001	9.82	6.12
45	1.5	1.8	2.1	1.1	0.5	0.2	0.1	0.07	0.04	0.02	0.009	0.000	7.53	4.21
60	1.8	2.2	2.2	0.7	0.3	0.2	0.08	0.03	0.005	0.006	0.002		7.45	3.45
75	3.0	4.2	4.5	1.4	0.4	0.2	0.05	0.02	0.006	0.004			13.82	6.53
90	5.7	6.5	4.2	0.9	0.1	0.02	0.001						17.42	5.24
105	2.0	2.6	2.0	0.3	0.03								6.97	2.39
120	0.6	1.0	0.6	0.005									2.17	0.57
135	0.3	0.03											0.38	0.00
150													0.00	0.00
<b>Tot</b>	31.19	33.42	32.24	11.62	3.64	1.54	0.71	0.30	0.13	0.08	0.02	0.002	114.899	50.42
<b>Tot. Cumulate</b>	64.61	96.86	108.47	112.12	113.66	114.37	114.67	114.80	114.88	114.90	114.90			

## Capitolo 7

# Analisi delle variazioni del livello del mare

### 7.1 Premessa e metodologia seguita

Le variazioni del livello del mare lungo la costa possono essere dovute a varie cause inquadrabili nei seguenti fenomeni:

- variazioni dovute alla componente astronomica della marea (assimilabili a deterministiche);
- variazioni dovute alla componente meteorologica della marea (di tipo probabilistico) indotte essenzialmente da due fenomeni: (i) effetto barometrico inverso e (ii) azione esercitata dal vento sulle masse d'acqua ("wind set-up"). In presenza di aree cicloniche (perturbazioni atmosferiche), la componente meteorologica della marea dà luogo ad un aumento del livello del mare. Tale aumento è comunemente indicato con il termine sovrizzo di tempesta ("storm surge");
- aumento del livello del mare indotto dal moto ondoso frangente ("wave set-up").

Per la valutazione delle variazioni di livello attese presso il Porto di Pescara si è fatto riferimento alle misure della stazione mareografica di Ortona appartenente alla Rete Mareografica Nazionale. Sulla base delle misure effettuate tra gennaio 1999 e gennaio 2017 è stata analizzata la componente astronomica e la componente residua dovuta in prevalenza agli effetti meteorologici.

I risultati ottenuti sono stati inoltre posti a confronto con i risultati contenuti nello studio meteomarino del PRP del Porto di Pescara 2008 relativi all'analisi dei livelli misurati tra il 1993 e il 2000 dal mareografo installato presso il porto turistico di Pescara.

### 7.2 Serie storica dei livelli misurata dalla stazione RMN di Ortona

La definizione delle componenti astronomiche e meteorologiche della marea può essere condotta analizzando serie storiche di misure del livello del mare, ovvero i dati campionati da una stazione mareografica.

La stazione mareografica più vicina al sito in esame è quella situata nel Porto di Ortona (coordinate geografiche della stazione 42° 21' 21.24"N, 14° 24' 53.50"E) facente parte della rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita dall'ISPRA. Pertanto per la redazione del presente studio si è utilizzata la serie storica di misura del livello del mare fornita da questa stazione.

Per il presente studio sono state acquisite le misure effettuate dal mareografo di Ortona da gennaio del 1999 a gennaio 2017 (per un totale 18 anni). Risulta importante sottolineare che le misure di livello hanno un intervallo temporale di acquisizione pari a 10 minuti dal 1999 al 2009 (compreso). Dal 2010 a oggi l'intervallo temporale di acquisizione è stato portato a 1 ora.

Si osserva che la stazione mareografica in esame è localizzata all'interno del Porto di Ortona il quale attualmente presenta una imboccatura portuale localizzata a circa -6,0 m sul l.m.m. locale e pertanto non si esclude che il residuo meteorologico dei livelli possa essere influenzato in alcune occasioni anche dalla componente dovuta al moto ondoso frangente.

### 7.3 Analisi armonica

In questa sezione viene descritta l'analisi armonica delle misure di livello mareografico volta all'individuazione delle costanti armoniche (marea astronomica) e al calcolo dei livelli caratteristici della marea astronomica. In Figura 7-1 viene mostrata la serie storica delle misure di livello registrate dallo strumento mareografico della stazione di Ortona.

Tali misure sono state processate mediante l'algoritmo Matlab T-TIDE (Pawlowicz et al., 2002), comunemente utilizzato a livello mondiale per l'analisi armonica delle misure di livello. Le costanti armoniche sono quindi state utilizzate per la generazione della serie storica della sola componente astronomica di marea nel periodo di riferimento. Tale segnale, sottratto alle misure di livello registrate dal mareografo, ha reso possibile sia il calcolo dei livelli caratteristici di marea (HAT, MHWS, MHWN, MSL, MLWN, MLWS, LAT) comunemente impiegati per la progettazione di opere marittime che l'identificazione della componente meteorologica (residuo). I valori dei livelli caratteristici di marea attesi sono riportati nella Tabella 7-1 mentre la Figura 7-2 mostra rispettivamente la serie storica delle misure di livello (in nero), la serie storica della componente armonica (in rosso) e la serie storica della componente meteorologica (in blu).

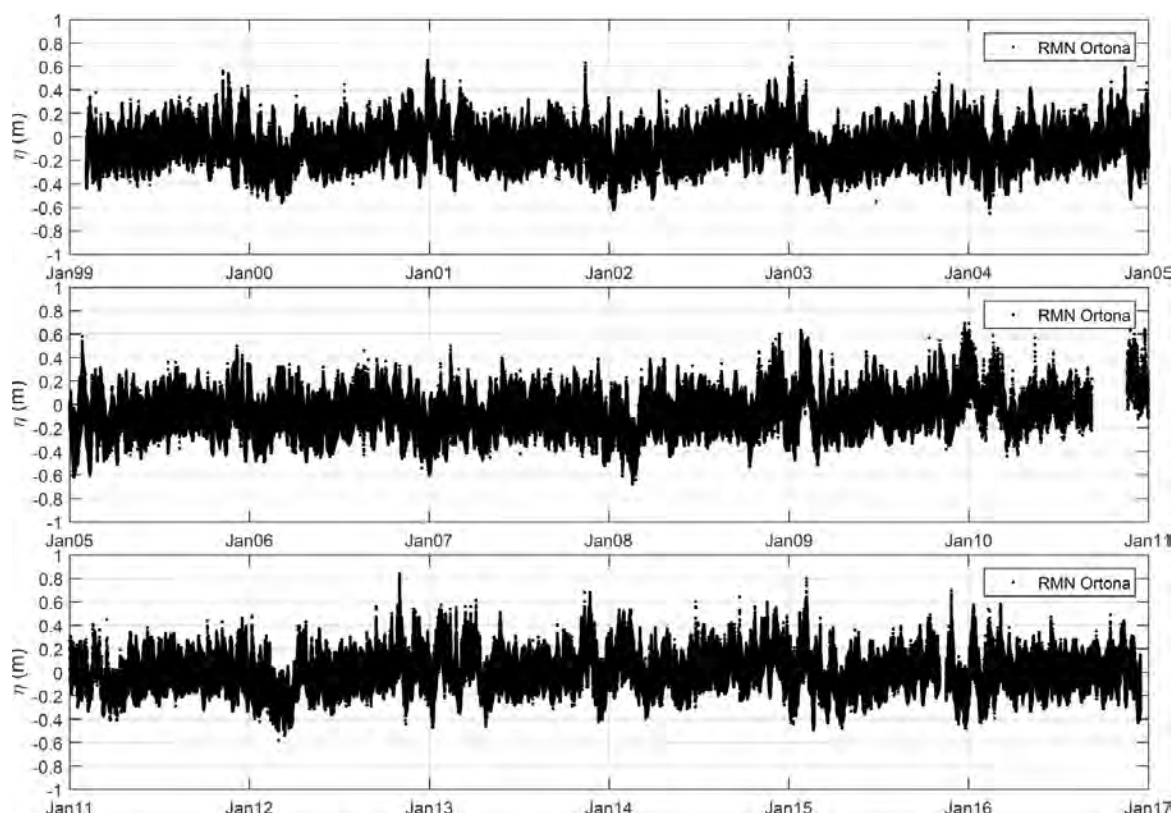
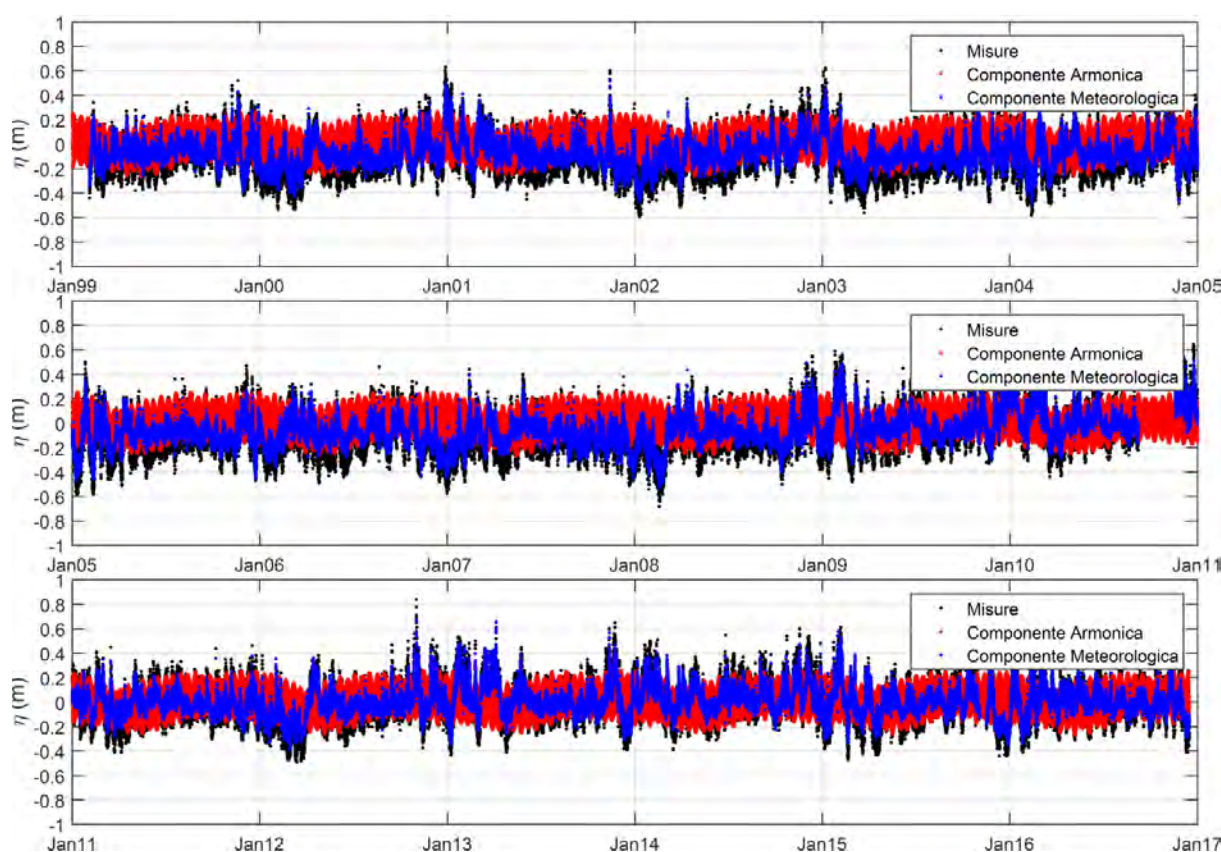


Figura 7-1. Serie storica delle misure di livello misurate presso la stazione RMN di Ortona





**Figura 7-2. Analisi della storica delle misure di livello misurate presso la stazione RMN di Ortona: identificazione delle componenti armonica e meteorologica**

**Tabella 7-1. Livelli di marea attesi presso la stazione mareografica di Ortona**

HAT	0,225	m
MHWS	0,152	m
MHWN	0,068	m
MSL	-0,045	m
MLWN	-0,154	m
MLWS	-0,222	m
LAT	-0,311	m

HAT = Highest Astronomical Tide = massima alta marea astronomica  
 MHWS = Mean Hight Water Spring = media delle alte maree sizigiali  
 MHWN = Mean Hight Water Neap = media delle alte maree di quadratura  
 MSL = Mean Sea Level = l.m.m., livello medio marino  
 MLWN = Mean Low Wter Neap = media delle basse maree di quadratura  
 MLWS = Mean Low Water Spring = media delle basse maree sizigiali  
 LAT = Lowest Astronomical Tide = massima bassa marea astronomica

## 7.4 Analisi del residuo (componente meteorologica)

Una volta identificata la serie storica della sola componente meteorologica (residuo) è stato pertanto possibile effettuare l'analisi dei valori estremi di tale forzante. L'analisi degli eventi estremi è stata effettuata utilizzando il metodo dei picchi sopra soglia (POT) con valore di soglia del sovrizzo meteorologico pari a +0.40 m sul l.m.m.. Anche in questo caso la distribuzione di probabilità che meglio approssima i dati è risultata essere la distribuzione di Weibull ( $k=1$ ).

In Figura 7-3 e in Tabella 7-2 viene riportato l'andamento del sovranzo meteorologico in funzione del tempo di ritorno.

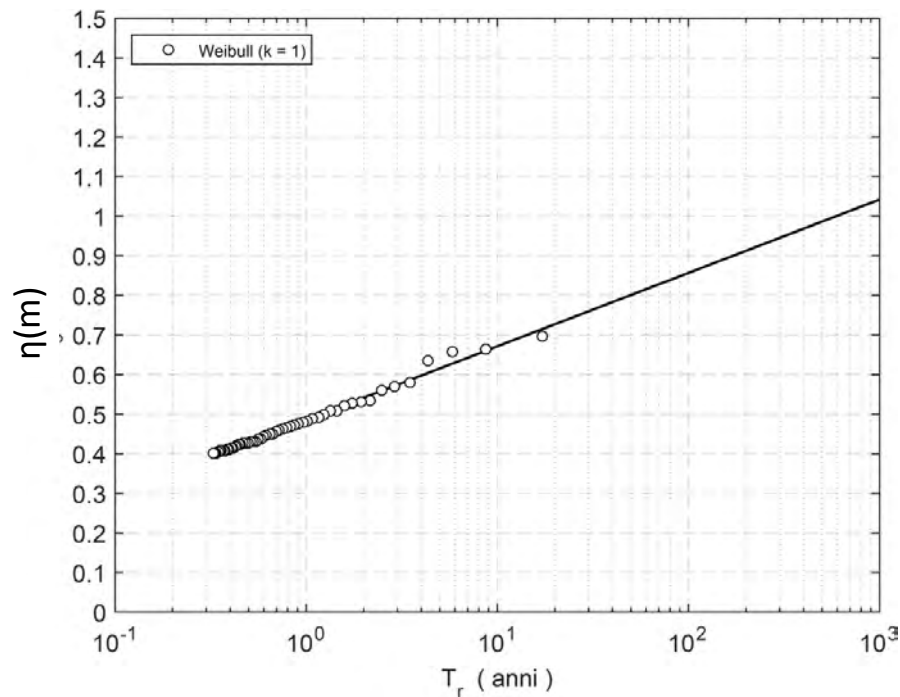


Figura 7-3. Analisi della storica delle misure di livello misurate presso la stazione RMN di Ortona: identificazione delle componenti armonica e meteorologica.

Tabella 7-2. Andamento del sovranzo meteorologico in funzione del tempo di ritorno

$T_R$ [anni]	$\eta_R$ [m]
1	0.49
2	0.54
10	0.67
20	0.73
50	0.80
100	0.86
1000	1.04

## 7.5 Analisi del sovranzo associato al moto ondoso frangente

Infine, vengono proposti in questa sezione i risultati dell'analisi relativa al sovranzo associato al moto ondoso frangente (wave set-up) e della risalita del moto ondoso (wave run-up).

Per il calcolo del sovranzo associato al moto ondoso frangente si è fatto uso dell'integrazione numerica delle equazioni lineari delle acque basse mediate sul periodo delle onde corte (LSWE). Tali equazioni hanno la seguente forma funzionale:

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} = -\frac{1}{\rho g h} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} \quad (3)$$

Dove  $\bar{\eta}$  rappresenta la variazione del livello medio,  $x$  la coordinata ortogonale alla linea di costa,  $\rho$  la densità dell'acqua,  $g$  l'accelerazione di gravità,  $h$  il tirante idrico locale ed infine  $S_{xx}$  il cosiddetto "radiation stress" che rappresenta il termine forzante per le variazioni di livello e dipende dall'altezza d'onda.

La (3) è stata risolta numericamente tramite integrazione numerica mediante il metodo delle differenze finite. I valori del sovrizzo associato al moto ondoso frangente ottenuti da tale metodo sono riportati nel pannello di sinistra della Figura 7-4 in funzione dell'altezza d'onda frangente.

Per il calcolo della risalita del moto ondoso lungo la costa si è invece utilizzata la relazione di Holman (Holman, 1986) che permette di calcolare il parametro  $R_{2\%}$ , che rappresenta il livello di risalita delle onde, misurato verticalmente rispetto al l.m.m.m, che risulta essere superato dal 2% delle onde incidenti, in funzione del parametro di Irribarren e dell'altezza d'onda a largo mediante la seguente espressione:

$$R_{2\%} = (0.83\xi_0 + 0.2)H_0 \quad (4)$$

I valori della risalita del moto ondoso  $R_{2\%}$  ottenuti utilizzando la (4), vengono mostrati nel pannello di destra della Figura 7-4 in funzione dell'altezza d'onda a  $H_0$  (alla profondità  $z = -10.0$  sul l.m.m.).

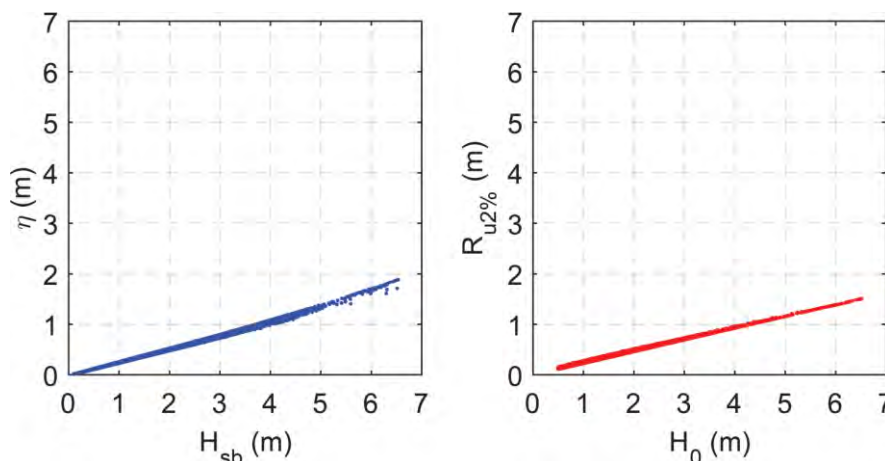


Figura 7-4. Pannello di sinistra: sovrizzo dovuto al moto ondoso frangente (wave-set-up) in funzione dell'altezza d'onda al frangimento. Pannello di destra: altezza di run-up  $R_{u2\%}$  in funzione dell'altezza d'onda  $H_0$  (alla profondità  $z = -10.0$  sul l.m.m.).

## 7.6 Variazioni del livello del mare connesse a fenomeni di eustatismo

Il fenomeno di innalzamento o abbassamento relativo del livello medio del mare rispetto alle terre emerse valutato a lungo termine, ovvero su scale temporali dell'ordine delle decine, centinaia e migliaia di anni, è indicato nella letteratura scientifica con il termine eustatismo.

Le cause di questo fenomeno possono essere diverse e sono tuttora oggetto di ricerca da parte della comunità scientifica. L'unica accertata è connessa alle glaciazioni e ai disgeli che hanno interessato la terra nel passato diverse volte.

Ricerche specifiche indicano che durante l'ultima glaciazione che ha interessato la terra, quella di Würm avvenuta nel Pleistocene, il livello del mare era più basso rispetto a quello attuale di circa 120 m. La glaciazione di Würm è iniziata circa 110.000 anni fa e ha avuto termine circa 18.000 anni fa.

Pertanto da circa 18.000 anni il livello del mare è in fase di risalita a causa del progressivo riscaldamento della terra.

Negli ultimi tempi la comunità internazionale ha riconosciuto che il fenomeno del riscaldamento della terra può avere avuto una accelerazione a causa dell'intervento umano.

Oltre all'eustatismo allo stato attuale non vi sono elementi per ritenere che le coste dell'Abruzzo possano essere interessate da altri fenomeni, come ad esempio dalla subsidenza, che possano accelerare localmente l'innalzamento relativo del livello del mare.

Per quanto riguarda l'eustatismo, l'unica previsione disponibile è quella effettuata dall' "International Panel on Climate Change (IPCC)" riportata in Figura 7-5. Si evidenzia a tal riguardo che le misure mareografiche disponibili sono caratterizzate da serie storiche relativamente troppo brevi per poter essere utilizzate per valutare una eventuale tendenza (trend) di innalzamento del livello del mare (sea level rise).

La Figura 7-5 mostra la previsione di innalzamento del livello del mare per il nostro secolo. Le tre linee colorate presenti nella figura mostrano gli scenari in termini di innalzamento di livello forniti da diversi modelli climatologici. La previsione di variazione del livello per il 2100 anni risulta molto ampia essendo compresa tra un minimo di circa 25 cm in un secolo (1 mm/anno) ad un massimo di circa 98 cm (9.8 mm/anno). Assumendo per il rateo di innalzamento il valore medio pari a 5,0 mm/anno e assumendo un tempo di vita delle opere di difesa in progetto di 50 anni, si ottiene una previsione di innalzamento del livello da assumere per la progettazione di circa 25 cm.

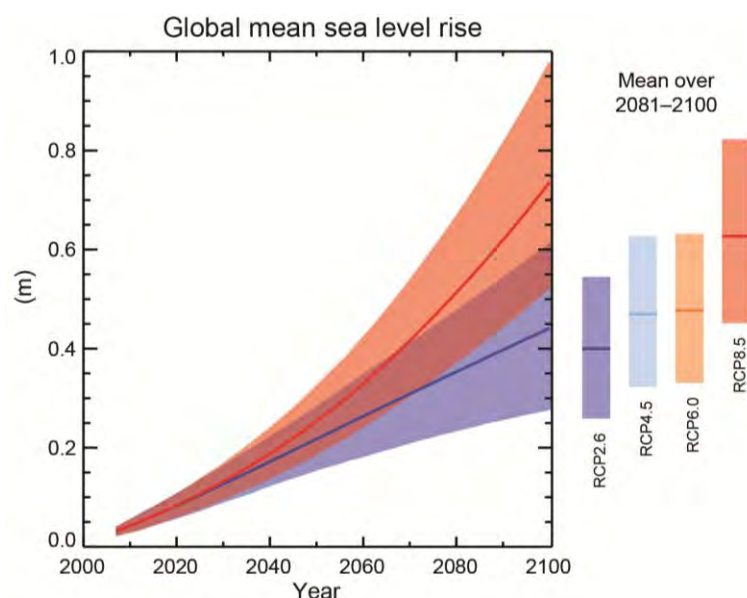


Figura 7-5. Innalzamento globale dei livelli (sea level rise) previsto secolo dall'IPCC-AR5 per il XXI secolo.

## 7.7 Confronto con le misure del mareografo di Pescara

Nello studio meteomarino del PRP 2008 del Porto di Pescara è contenuta l'analisi armonica dei livelli totali misurati dalla stazione mareografica di Pescara installata presso il porto turistico. I risultati presentati nel suddetto studio indicano un'oscillazione di marea astronomica compresa tra un minimo di 0,20 m ed un massimo di 0,44 m. Mentre i livelli residui estremi sono compresi tra un minimo di 20 cm ed un massimo di 80 cm per tempi di ritorno variabili tra un minimo di 2 anni e un massimo di 100 anni. Dal confronto con i valori ottenuti a seguito dell'analisi dei livelli del mareografo di Ortona si evince che le variazioni di livello attese sono pressoché equivalenti ad eccezione del valore residuo associato a bassi tempi di ritorno che nel caso di Pescara risulta lievemente sottostimato.

## Capitolo 8

# Propagazione sottocosta degli stati di mare estremi

### 8.1 Introduzione

Al fine di determinare le condizioni di moto ondoso in prossimità della diga foranea del Porto di Pescara, associate ad eventi estremi associati a tempi di ritorno di 2, 10, 50 e 100 anni, è stato applicato il modello numerico spettrale di propagazione del moto ondoso SWAN.

In particolare SWAN è stato applicato per propagare sottocosta solo gli stati di mare estremi definiti al largo di Pescara (vedi Cap. 5).

Il modello numerico SWAN (Simulating Waves Nearshore), sviluppato dall'Università olandese TU-Delft, consente di simulare la generazione e la propagazione di stati di mare caratterizzati da spettri di energia dispersi in frequenza e direzione. In particolare il modello è in grado di simulare i processi di rifrazione e shoaling, l'interazione non lineare tra le componenti spettrali (Triads e Quadruplets), il frangimento in acque profonde e basse (indotto dal fondale), l'attrito sul fondo ed il sovrizzo indotto dal moto ondoso frangente (wave set-up).

### 8.2 Definizione dei domini di calcolo

Il modello SWAN consente di utilizzare una procedura di *nesting*, per la quale, i risultati di una propagazione effettuata su una griglia principale (*coarse grid*), con passo di discretizzazione elevato in modo da contenere i tempi di calcolo, possano essere utilizzati come condizione iniziale lungo il bordo di una griglia più definita (*nested grid*), con passo di discretizzazione più piccolo, in modo da ottenere un'informazione precisa nella zona di interesse caratterizzata da una maggiore variabilità dei fondali.

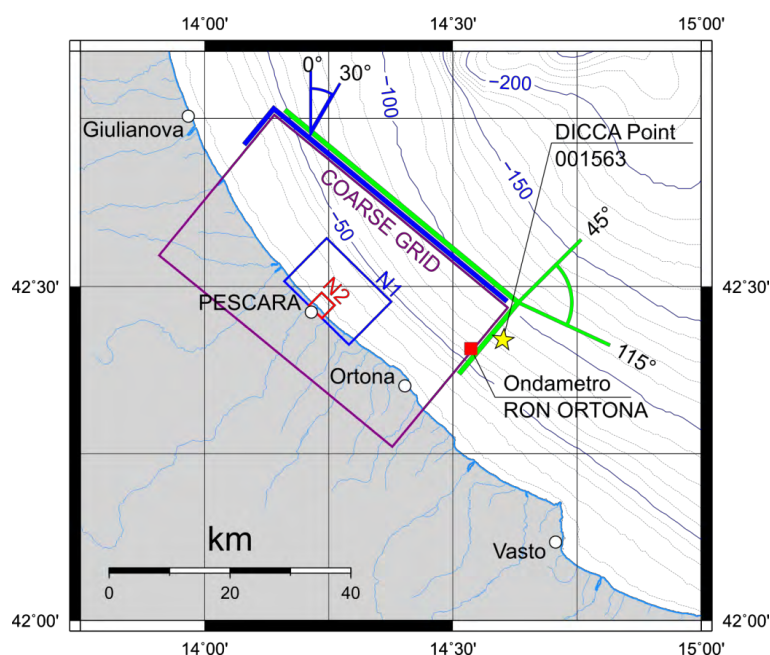


Figura 8-1 – Griglie di calcolo utilizzate per le simulazioni con il modello di propagazione SWAN.



Per la propagazione da largo verso riva è stata effettuata una procedura di "*nesting*" utilizzando tre griglie di calcolo "annidate" rappresentate in Figura 8-1.

Le tre griglie di calcolo hanno le seguenti caratteristiche:

- COARSE GRID: di dimensioni 50 km  $\times$  30 km e passo di discretizzazione di 200 m, con l'asse delle ordinate orientato a 40 °N definita sulla base delle informazioni batimetriche dalle carte nautiche IIMI CN 34 e CN35.
- NESTED GRID 1: di dimensioni 15 km  $\times$  10 km con passo di discretizzazione di 100 m, con l'asse delle ordinate orientato a 45 °N, definita sulla base delle informazioni batimetriche desunte dalle carte nautiche CN 34 e CN35 e IIMI CN 211.
- NESTED GRID 2: di dimensioni 3000 m  $\times$  3000 m con un passo di discretizzazione di 10 m, con l'asse delle ordinate orientato a 45 °N, definita sulla base dei rilievi batimetrici rappresentativi dello stato attuale del Porto di Pescara rilevati dall'ARAP nel mese di maggio 2017.

All'interno della Nested Grid 2 è stato individuato un punto di analisi P0, posto a circa 170 m dalla diga foranea del Porto di Pescara su fondali di circa 10 m (coordinate UTM33 436800E 4702800N), per il quale a seguire sono riportati i valori ottenuti in forma numerica.

### 8.3 Stati di mare estremi

Sulla base dei dati presentati nei capitoli precedenti sono stati definiti gli **stati di mare estremi** riportati in Tabella 8-1 associati ai tempo di ritorno 2, 10, 50 e 100 anni da propagare sottocosta.

Al fine di valutare le condizioni di progetto associate agli eventi estremi di maestrale sono state condotte delle ulteriori simulazioni con uno stato di mare proveniente da 330 °N con tempo di ritorno 100 anni (indicato in tabella con un asterisco).

Ogni stato di mare è definito da una combinazione di livello idrico (still water level SWL), condizioni di moto ondoso al largo ( $H_s$ ,  $T_p$ , Dir), e vento ( $U_w$ , Dir<sub>w</sub>).

La probabilità di accadimento di uno stato di mare estremo dovrebbe essere analizzata valutando la probabilità condizionata di accadimento di un evento estremo di moto ondoso e di un sovrizzo di tempesta. Data la loro natura infatti tali eventi possono risultare parzialmente indipendenti.

Utilizzando un approccio cautelativo, gli stati di mare sono stati definiti considerando la concomitanza di condizioni di moto ondoso e sovrizzi di tempesta associati allo stesso tempo di ritorno  $T_R$ . Di fatto quindi si è assunto cautelativamente che tali eventi risultino tra di loro totalmente dipendenti.

I livelli idrici sono stati quindi definiti combinando un livello di alta marea astronomica sizigiale (MHWS) di +0.15 m rispetto al livello medio mare con i livelli residui riportati in Tabella 7-2 in relazione al  $T_R$ .

Ad ogni stato di mare è stato inoltre associato un vento di velocità e direzione compatibile con le condizioni di moto ondoso ricostruite a largo. L'intensità e la direzione del vento sono state valutate utilizzando le leggi di adattamento dei dati appartenenti alla serie storica MeteOcean DICCA con altezza d'onda superiore a 3.0 m illustrate nei diagrammi di Figura 8-2.



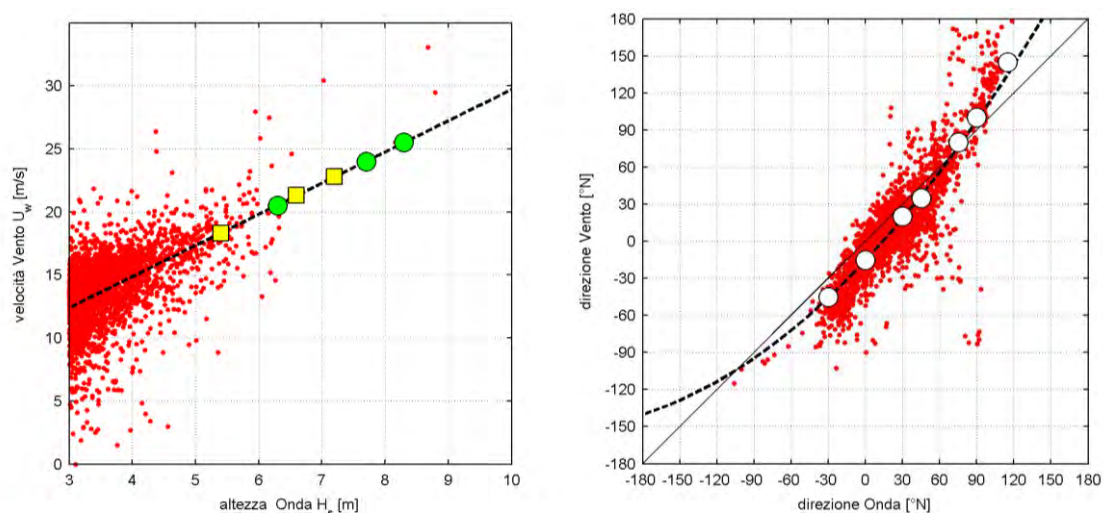


Figura 8-2. Adattamento dei dati di vento e moto ondoso con  $H_s \geq 3.0$  m estratti dalla serie storica MeteOcean DICCA al largo di Pescara. I punti indicati rappresentano le condizioni di moto ondoso e vento adottate per le simulazioni con il modello SWAN.

Tabella 8-1. Stati di mare estremi al largo di Pescara propagati sottocosta con il modello SWAN

TR 2 anni						
Codice evento	SWL [m]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Uw [m/s]	DIRw [°N]
00101	0.65	4.9	9.3	0	17.1	345
00102	0.65	4.9	9.3	30	17.1	20
00201	0.65	4.1	8.8	45	15.1	35
00202	0.65	4.1	8.8	75	15.1	80
00203	0.65	4.1	8.8	90	15.1	100
00204	0.65	4.1	8.8	115	15.1	145
TR 10 anni						
Codice evento	SWL [m]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Uw [m/s]	DIRw [°N]
10101	0.80	6.3	10.1	0	20.5	345
10102	0.80	6.3	10.1	30	20.5	20
10201	0.80	5.4	9.6	45	18.3	35
10202	0.80	5.4	9.6	75	18.3	80
10203	0.80	5.4	9.6	90	18.3	100
10204	0.80	5.4	9.6	115	18.3	145
TR 50 anni						
Codice evento	SWL [m]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Uw [m/s]	DIRw [°N]
20101	0.95	7.7	10.9	0	24	345
20102	0.95	7.7	10.9	30	24	20
20201	0.95	6.6	10.2	45	21.3	35
20202	0.95	6.6	10.2	75	21.3	80
20203	0.95	6.6	10.2	90	21.3	100
20204	0.95	6.6	10.2	115	21.3	145
TR 100 anni						
Codice evento	SWL [m]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Uw [m/s]	DIRw [°N]
30100*	1.00	8.3	11.2	330	25.5	315
30101	1.00	8.3	11.2	0	25.5	345
30102	1.00	8.3	11.2	30	25.5	20
30201	1.00	7.2	10.5	45	22.8	35
30202	1.00	7.2	10.5	75	22.8	80
30203	1.00	7.2	10.5	90	22.8	100
30204	1.00	7.2	10.5	115	22.8	145

## 8.4 Condizioni al contorno

Come condizione al contorno lungo i lati della griglia di calcolo principale (coarse grid) esposti al mare aperto sono stati applicati gli spettri di moto ondoso tipo JONSWAP definiti sulla base dei parametri di moto ondoso ( $H_s$ ,  $T_p$  e  $Dir$ ) associati agli stati di mare estremi precedentemente definiti e riportati in Tabella 8-1, secondo lo schema riportato in Figura 8-1. Ad ogni stato di mare è stato inoltre associato un campo di vento uniforme assumendo le direzioni e le velocità indicate in Tabella 8-1.

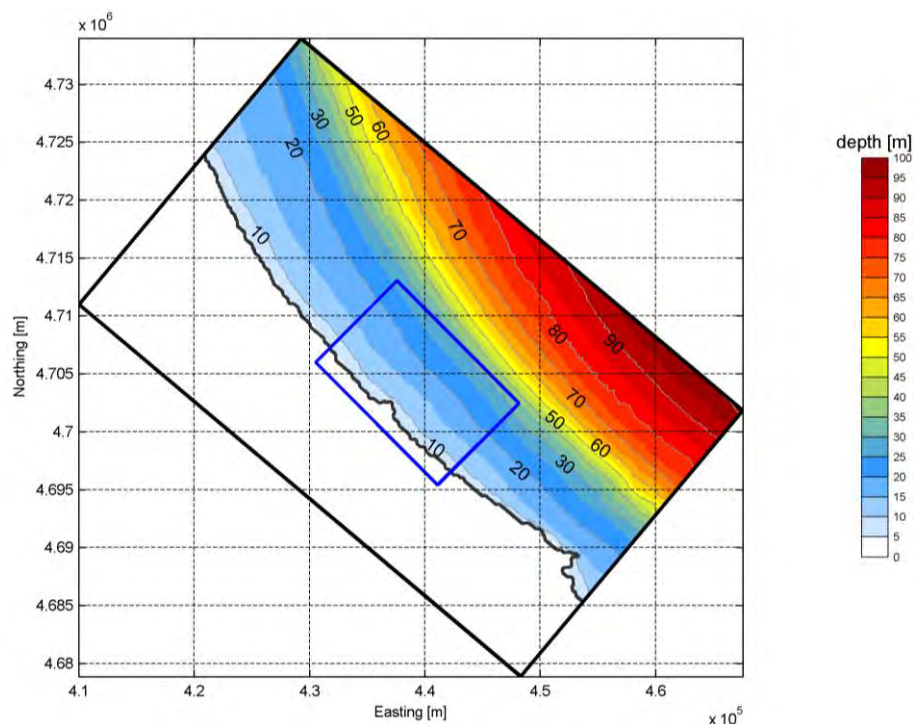


Figura 8-3. COARSE GRID.

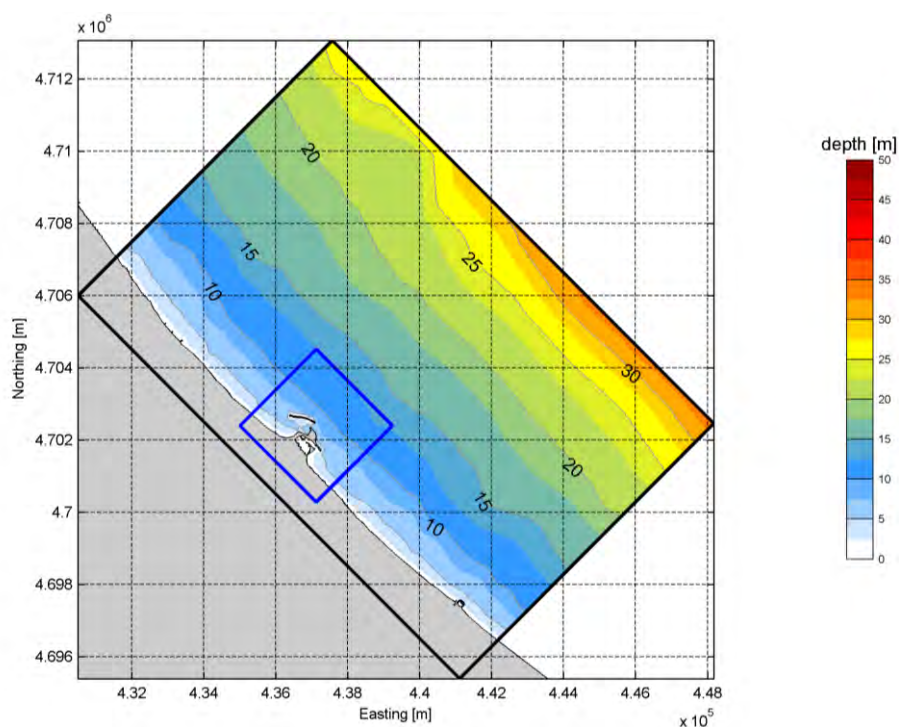


Figura 8-4. NESTED GRID N1

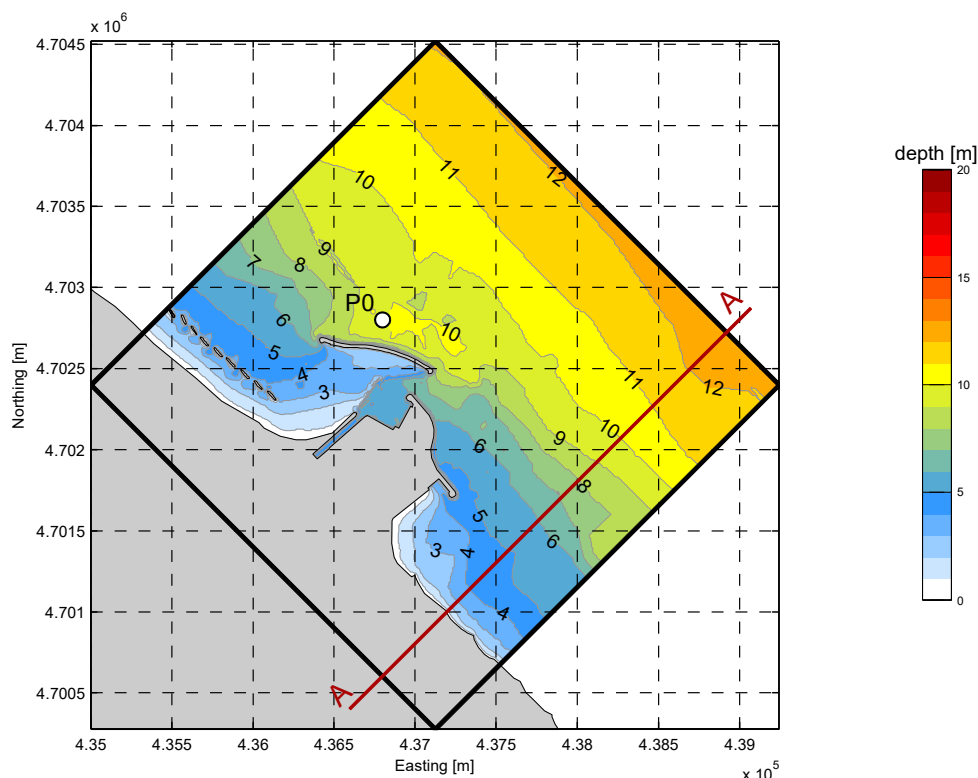


Figura 8-5. NESTED GRID N2 con indicazione del punto di analisi P0.

## 8.5 Condizioni di calcolo

Le simulazioni sono state condotte sfruttando la capacità del modello di propagazione e generazione del moto ondoso e di simulare i processi di rifrazione e shoaling delle onde. Nei calcoli è stata trascurata la dissipazione di energia dovuta all'attrito sul fondo e dovuta al frangimento in acqua profonda (white capping). Tali assunzioni sono certamente cautelative ed operano a favore della sicurezza.

Una panoramica dei processi di generazione, propagazione e dissipazione del moto ondoso utilizzati nelle simulazioni condotte con SWAN per le varie griglie di calcolo è riportata in Tabella 8-2.

Il frangimento dovuto al fondale è stato attivato, assumendo un coefficiente di frangimento  $\gamma_b = H_b/h_b = 0.95$ , in cui  $H_b$  è l'altezza d'onda al frangimento e  $h_b$  è la profondità al frangimento. Il frangimento è stato attivato solo per le simulazioni condotte con le griglie di dettaglio (N1 e N2) operando anche in questo caso a favore di sicurezza.

Recentemente diversi autori a seguito di studi di letteratura e ricerche di laboratorio hanno evidenziato una generale sottostima dell'altezza d'onda fornita dal modello SWAN per onde di vento caratterizzate da elevata ripidità in acqua profonda che si propagano su fondali quasi orizzontali. In tali condizioni si hanno valori del coefficiente di frangimento superiori a 0.85.

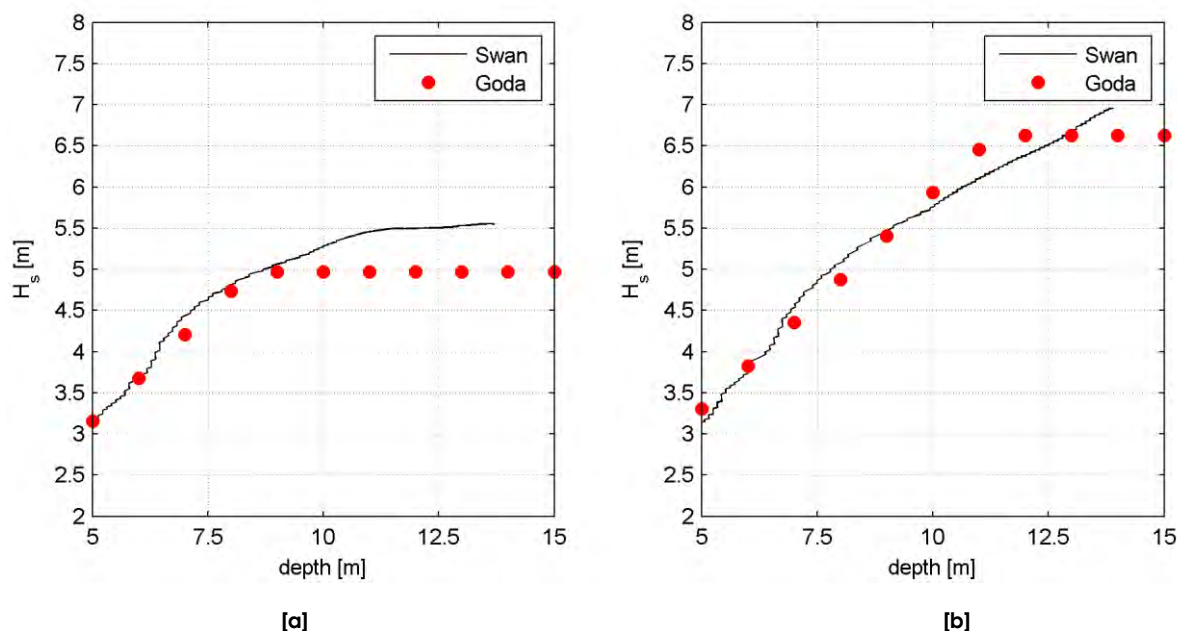
Nel caso in esame la ripidità delle onde simulate varia da un minimo di 0.037 ad un massimo di 0.042, mentre le pendenze dei fondali risultano molto deboli: pari a circa 1/400 tra -30 m e -10 m.

Il valore del coefficiente di frangimento è stato assunto a seguito di una procedura di taratura del modello assumendo come riferimento la formulazione di Goda per la determinazione dell'altezza d'onda nella zona dei frangenti.

**Tabella 8-2. Processi di generazione, propagazione e dissipazione del moto ondoso attivati (A) o disattivati (D) nelle simulazioni condotte con il modello numerico SWAN.**

	COARSE GRID	NESTED GRID N1	NESTED GRID N2
<b>PROCESSI DI PROPAGAZIONE</b>			
Rifrazione dovuta alle variazioni spaziali del fondale marino	A	A	A
"Shoaling" dovuto a variazioni spaziali del fondale marino	A	A	A
Diffrazione	D	D	D
Blocking e riflessione dovuti ad ostacoli ed a correnti	D	D	D
Sovralzo indotto dal moto ondoso	D	D	A
<b>PROCESSI DI GENERAZIONE E DISSIPAZIONE</b>			
Generazione dal vento	A	A	A
Dissipazione dovuto al frangimento in acqua profonda (white-capping)	D	D	D
Interazioni non lineari onda-onda	A	A	A
Dissipazione per attrito fondo	D	D	D
Dissipazione per frangimento indotto dal fondale	D	A	A

Nei grafici di Figura 8-6 è presentato il confronto tra i valori di altezza d'onda ottenuti con il modello SWAN lungo il profilo di spiaggia A-A indicato in Figura 8-5 ed i corrispondenti valori determinati con le formule di Goda per due differenti stati di mare, di altezza d'onda pari a 5.4 m e 7.2 m con una pendenza del fondale di 1/400. Il valore del coefficiente di frangimento scelto porta ad una leggera sovrastima dell'altezza d'onda al di fuori della zona dei frangenti ma fornisce dei valori congruenti con la formulazione di Goda in prossimità del piede delle opere (-10 m sul l.m.m).



**Figura 8-6. Altezza d'onda ottenuta con il modello SWAN lungo il profilo di spiaggia simulato posta a confronto con i valori forniti dalle formule di Goda per la valutazione dell'altezza d'onda all'interno della surf zone assumendo una pendenza costante del fondale di 1/400. [a]  $H_o = 5.4$  m,  $T_p = 9.6$  s, Dir  $75^\circ$ N. [b]  $H_o = 7.2$  m,  $T_p = 10.5$  s, Dir  $75^\circ$ N.**

## 8.6 Uscite del modello

SWAN risolve l'equazione che descrive la propagazione dell'energia associata al moto ondoso e consente di determinare lo spettro di energia, in frequenza ed in direzione della densità di energia,  $E(f, \theta)$ . Sulla base di questa elaborazione il modello è in grado di determinare i parametri associati allo spettro di moto ondoso (altezza d'onda, direzione, periodo):

$$\text{Altezza d'onda significativa spettrale} \quad H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$

$$\text{Periodo medio spettrale} \quad T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0}$$

$$\text{Direzione media} \quad DIR = \arctan \left[ \frac{\int \int \sin \theta E(f, \theta) df d\theta}{\int \int \cos \theta E(f, \theta) df d\theta} \right]$$

dove i termini  $m_0$ ,  $m_{-1}$  ed  $m_1$  rappresentano i momenti di ordine  $n$  dello spettro:

$$m_n = \int \int f^n E(f, \theta) df d\theta$$

## 8.7 Risultati

Nei grafici riportati da Figura 8-7 a Figura 8-9 nelle pagine a seguire sono presentati a titolo di esempio i risultati di alcune delle simulazioni condotte con il modello SWAN.

I grafici riportano il campo di altezza d'onda significativa  $H_s$  (rappresentato con una scala di colori) ed il campo vettoriale di direzione del moto ondoso ottenuti, per le diverse condizioni di moto ondoso esaminate, con i tre livelli di simulazione utilizzando le tre griglie di calcolo.

Gli eventi mostrati sono rappresentativi di condizioni di moto ondoso associate ad un tempo di ritorno di 100 anni con le seguenti caratteristiche di moto ondoso al largo, sovrizzo e vento:

Evento 30102:  $H_s$  8.3 m ,  $T_p$  11.2 s, Dir 30°N, SWL +1.0 m,  $U_w$  25.5 m/s, Dirw 20 °N

Evento 30202:  $H_s$  7.2 m ,  $T_p$  10.5 s, Dir 75°N, SWL +1.0 m,  $U_w$  22.8 m/s, Dirw 80 °N

Evento 30204:  $H_s$  7.2 m ,  $T_p$  10.5 s, Dir 115°N, SWL +1.0 m,  $U_w$  22.8 m/s, Dirw 145 °N

I risultati mostrati mettono ben in evidenza i processi di trasformazione che subisce il moto ondoso nella sua propagazione da largo verso riva. Si osserva infatti una significativa rotazione dei fronti d'onda che tendono a disporsi paralleli alle curve di livello del fondale. Le direzioni del moto ondoso di fronte al Porto di Pescara risultano comprese tra 25 e 75°N.

Ad esclusione della griglia principale (Coarse Grid), per la quale non è stato attivato il frangimento, è possibile osservare per le "nested grids" N1 ed N2 la progressiva riduzione dell'altezza d'onda dovuta al frangimento indotto dal fondale.

Le condizioni di moto ondoso di progetto, associate ad eventi estremi aventi tempi di ritorno di 2, 10, 50 e 100 anni, ottenute con il modello SWAN al piede dell'opera nel punto P0, sono riportate nei grafici di Figura 8-10 e in Tabella 8-3.



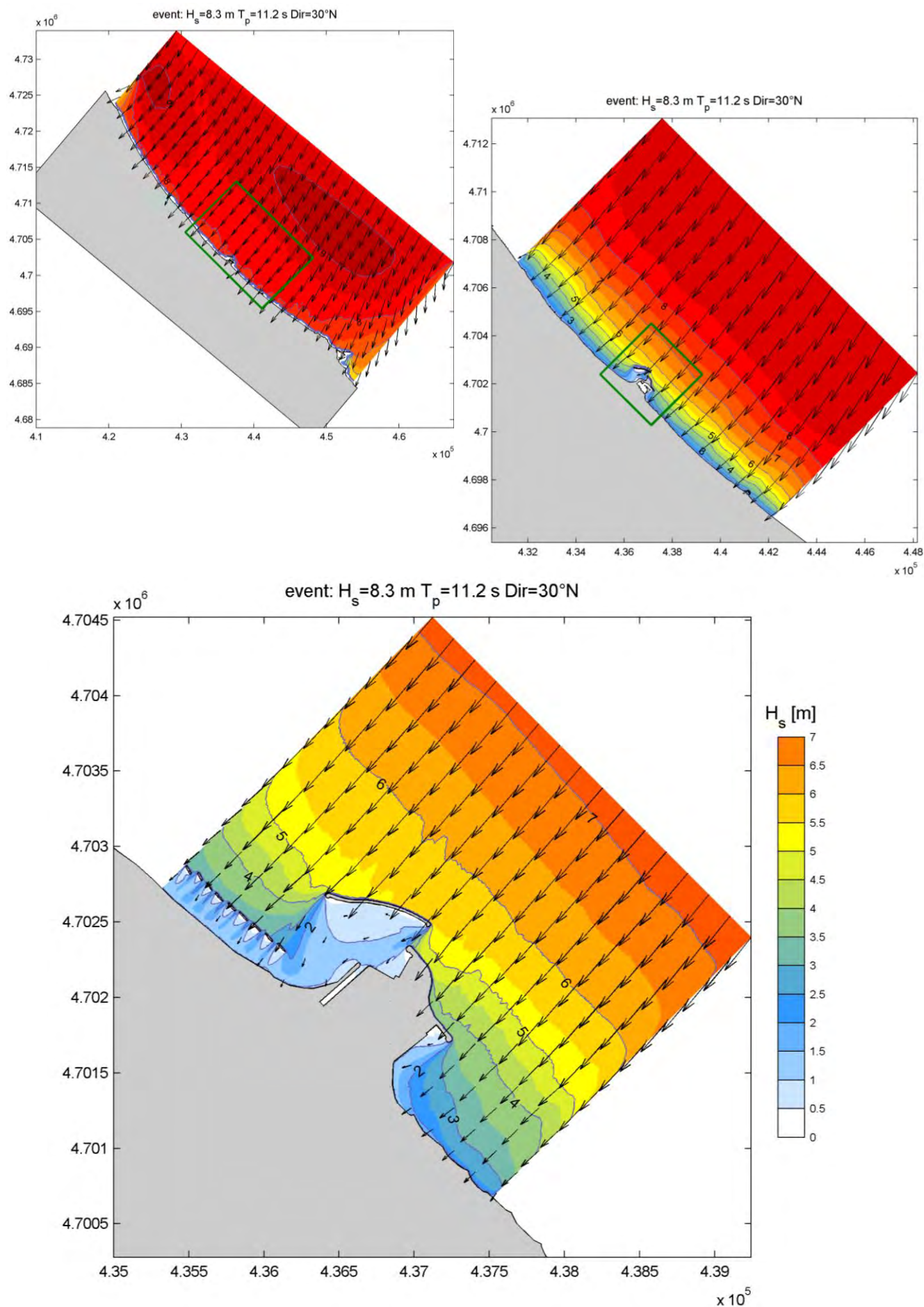
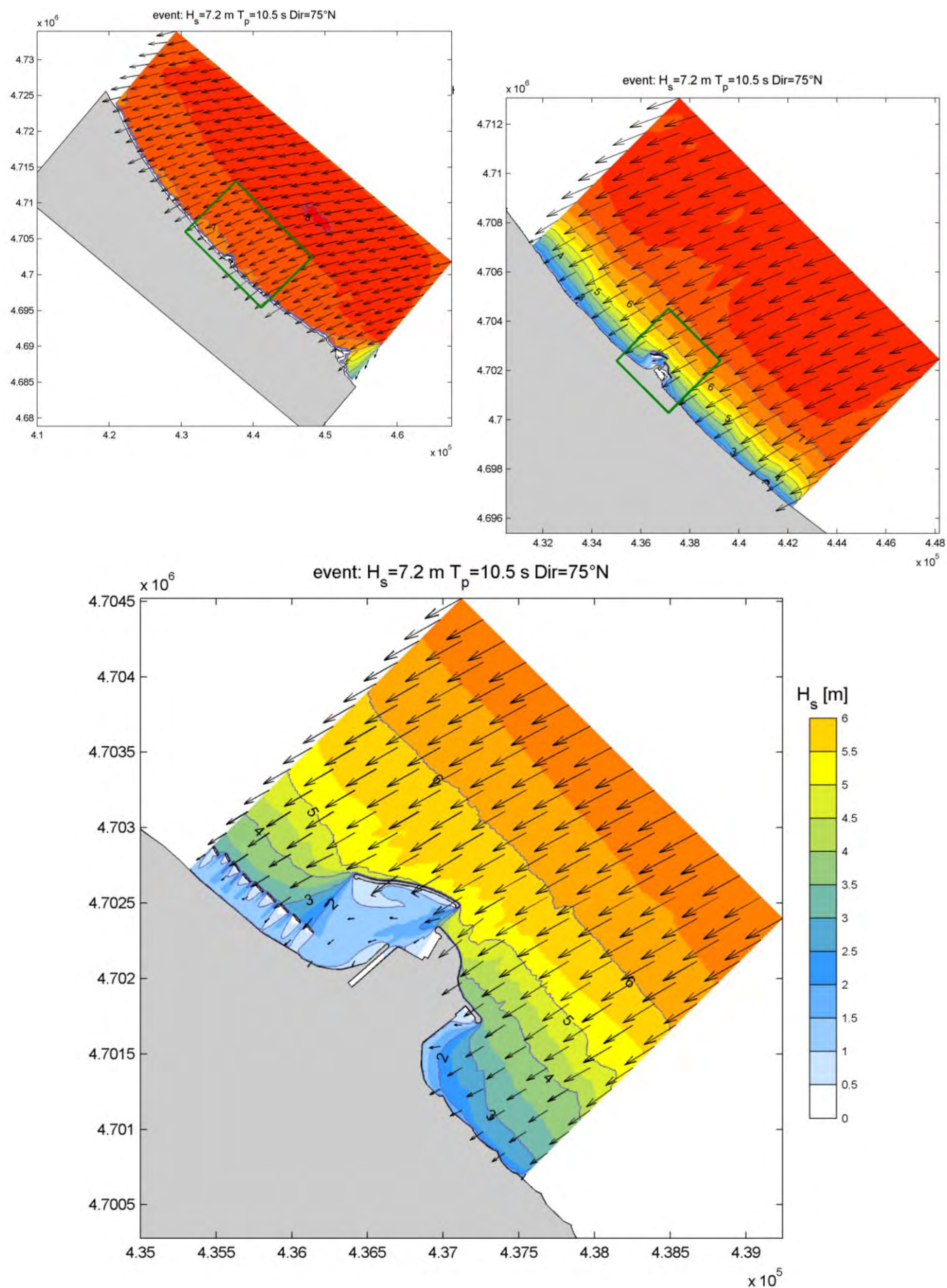


Figura 8-7. Risultato della propagazione dello stato di mare 30102 -  $T_R = 100$  anni.



Figura 8-8. Risultato della propagazione dello stato di mare 30202 -  $T_R = 100$  anni.

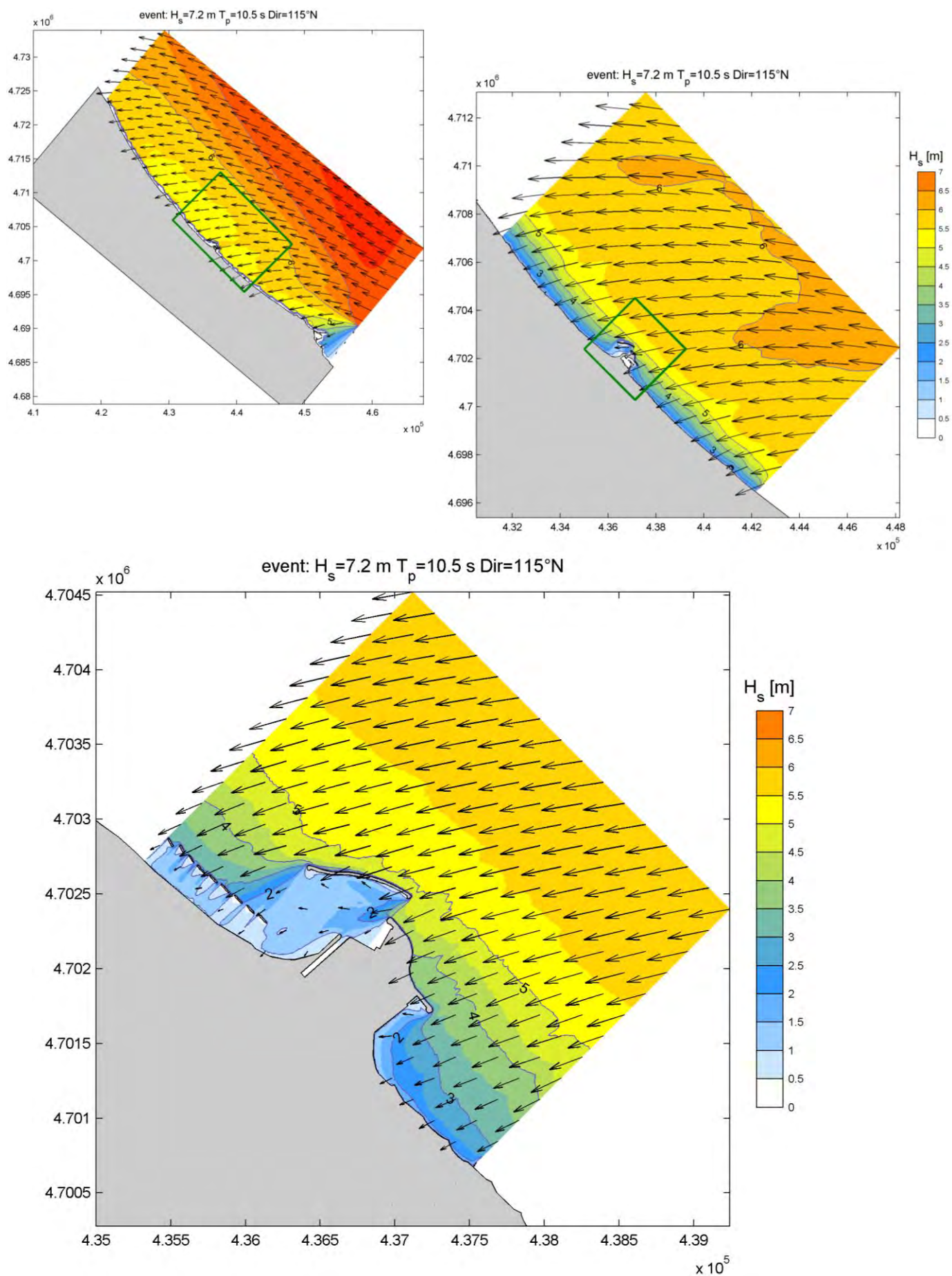


Figura 8-9. Risultato della propagazione dello stato di mare 30204 -  $T_R = 100$  anni.

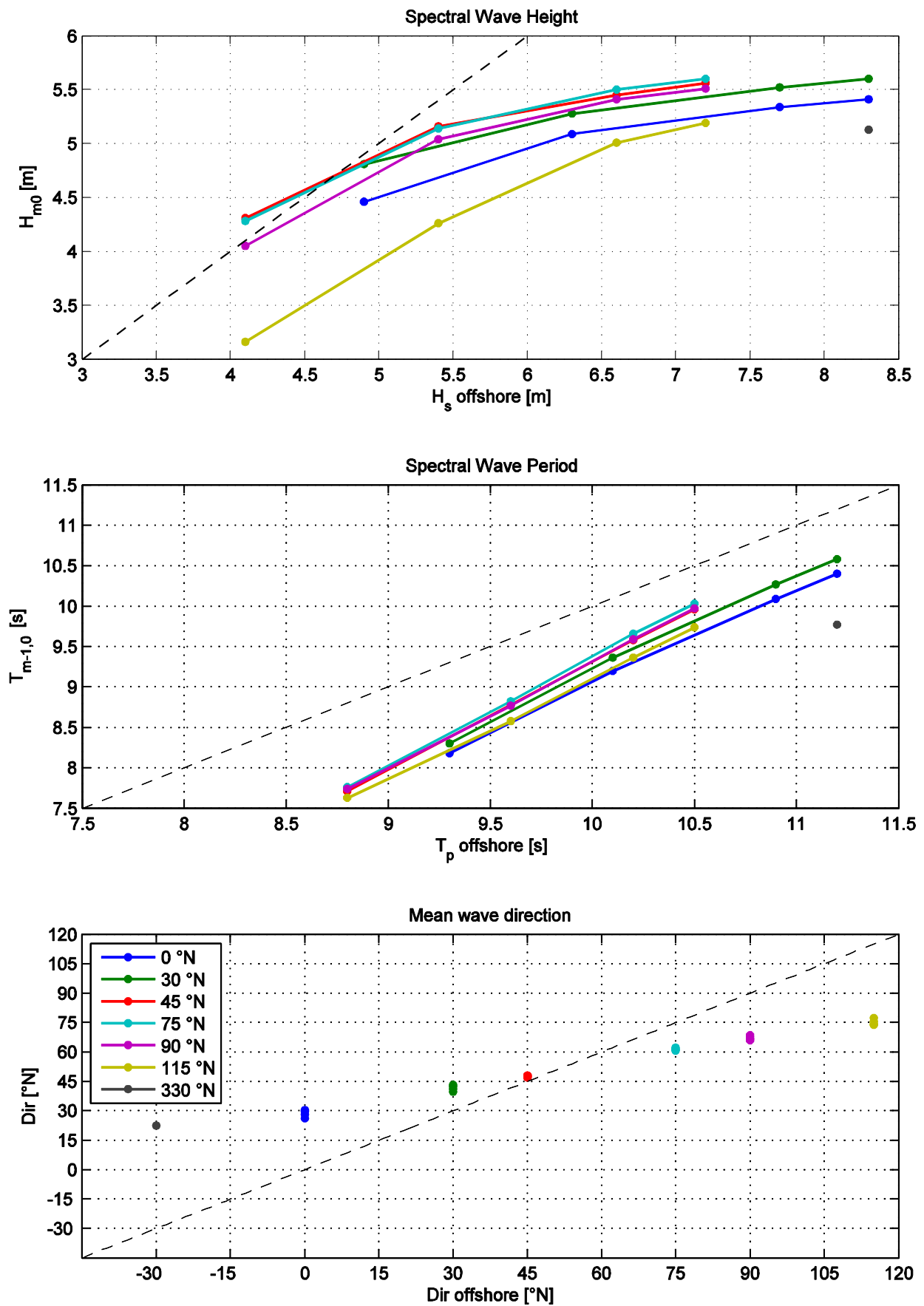


Figura 8-10. Condizioni di moto ondoso nel punto P0 determinate con il modello SWAN.

Tabella 8-3. Condizioni di moto ondoso estreme nel punto sottocosta P0 ottenute con il modello SWAN.

TR 2 anni														
Event	Tr	SWL [m]	Hs0 [m]	Tp0 [s]	Dir0	Uw [m/s]	Dirw	Hmo [m]	RTP [s]	Tm01 [s]	Tm10 [s]	Dir	Depth [m]	Setup [m]
00101	2	0.65	4.9	9.3	0	17.1	345	4.46	8.98	7.21	8.18	26.06	10.13	-0.02
00102	2	0.65	4.9	9.3	30	17.1	20	4.81	8.98	7.38	8.3	39.71	10.14	-0.01
00201	2	0.65	4.1	8.8	45	15.1	35	4.31	8.98	6.83	7.71	46.89	10.13	-0.02
00202	2	0.65	4.1	8.8	75	15.1	80	4.28	8.98	6.89	7.76	62.27	10.14	-0.01
00203	2	0.65	4.1	8.8	90	15.1	100	4.05	8.98	6.84	7.74	68.64	10.14	-0.01
00204	2	0.65	4.1	8.8	115	15.1	145	3.16	8.98	6.52	7.63	77.24	10.15	0
TR 10 anni														
Event	Tr	SWL [m]	Hs0 [m]	Tp0 [s]	Dir0	Uw [m/s]	Dirw	Hmo [m]	RTP [s]	Tm01 [s]	Tm10 [s]	Dir	Depth [m]	Setup [m]
10101	10	0.80	6.3	10.1	0	20.5	345	5.09	9.87	8.11	9.2	28.21	10.3	0
10102	10	0.80	6.3	10.1	30	20.5	20	5.28	9.87	8.32	9.36	41.06	10.33	0.03
10201	10	0.80	5.4	9.6	45	18.3	35	5.16	9.87	7.86	8.78	47.51	10.31	0.01
10202	10	0.80	5.4	9.6	75	18.3	80	5.14	9.87	7.9	8.82	61.48	10.32	0.02
10203	10	0.80	5.4	9.6	90	18.3	100	5.04	9.87	7.8	8.77	67.31	10.32	0.02
10204	10	0.80	5.4	9.6	115	18.3	145	4.26	9.87	7.44	8.58	75.42	10.3	0
TR 50 anni														
Event	Tr	SWL [m]	Hs0 [m]	Tp0 [s]	Dir0	Uw [m/s]	Dirw	Hmo [m]	RTP [s]	Tm01 [s]	Tm10 [s]	Dir	Depth [m]	Setup [m]
20101	50	0.95	7.7	10.9	0	24	345	5.34	10.86	8.82	10.09	29.69	10.49	0.04
20102	50	0.95	7.7	10.9	30	24	20	5.52	10.86	9.11	10.27	42.36	10.52	0.07
20201	50	0.95	6.6	10.2	45	21.3	35	5.45	9.87	8.54	9.58	47.69	10.51	0.06
20202	50	0.95	6.6	10.2	75	21.3	80	5.5	9.87	8.73	9.66	60.88	10.52	0.07
20203	50	0.95	6.6	10.2	90	21.3	100	5.41	10.86	8.58	9.59	66.26	10.52	0.07
20204	50	0.95	6.6	10.2	115	21.3	145	5.01	9.87	8.23	9.36	74.26	10.47	0.02
TR 100 anni														
Event	Tr	SWL [m]	Hs0 [m]	Tp0 [s]	Dir0	Uw [m/s]	Dirw	Hmo [m]	RTP [s]	Tm01 [s]	Tm10 [s]	Dir	Depth [m]	Setup [m]
30100	100	1.00	8.3	11.2	330	25.5	345	5.13	10.86	8.36	9.77	22.5	10.50	0.00
30101	100	1.00	8.3	11.2	0	25.5	345	5.41	10.86	9.03	10.4	30.2	10.54	0.04
30102	100	1.00	8.3	11.2	30	25.5	20	5.6	10.86	9.33	10.58	43.19	10.58	0.08
30201	100	1.00	7.2	10.5	45	22.8	35	5.56	10.86	8.89	9.96	47.99	10.57	0.07
30202	100	1.00	7.2	10.5	75	22.8	80	5.6	10.86	9.07	10.03	60.64	10.59	0.09
30203	100	1.00	7.2	10.5	90	22.8	100	5.51	10.86	8.92	9.97	65.81	10.59	0.09
30204	100	1.00	7.2	10.5	115	22.8	145	5.19	10.86	8.56	9.74	73.85	10.54	0.04