

# REGIONE ABRUZZO



## COMUNE DI ROCCA S. GIOVANNI

INTERVENTO FINALIZZATO ALLA  
PROTEZIONE DEL LITORALE APPARTENENTE  
AL COMUNE DI ROCCA SAN GIOVANNI NELLE  
LOCALITA' "IL CAVALLUCCIO" E "VALLE  
DELLE GROTTI" - Fondi PAR-FAS 2007-2013

### PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Titolo elaborato :

#### STUDIO METEOMARINO

E R I 1 4 0 0 0 R 0 0 2

Committente:  
COMUNE DI ROCCA SAN GIOVANNI

Responsabile Unico del Procedimento:  
Geom. Egidio IEZZI

Progettazione:  
Prof. Ing. Paolo De Girolamo

Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:
	Aprile 2014	0	EMISSIONE	DE GIROLAMO		DE GIROLAMO

Dimensioni foglio:

A4

Visto del Committente:

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSE.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO .....</b>	<b>3</b>
2.1	FETCH EFFICACI .....	5
<b>3</b>	<b>DEFINIZIONE DEL CLIMA DI MOTO ONDOSO.....</b>	<b>8</b>
3.1	ONDAMETRO DI ORTONA - DESCRIZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA R.O.N. ....	8
3.2	CLIMA DI MOTO ONDOSO AL LARGO DI ORTONA .....	11
3.3	CORRELAZIONE TRA L'ALTEZZA ED IL PERIODO D'ONDA.....	13
3.4	CLIMA D'ONDA SOTTO COSTA .....	15
3.4.1	<i>Griglia di calcolo</i> .....	16
3.5	CONDIZIONI AL CONTORNO ED IPOTESI DI CALCOLO .....	18
3.5.1	<i>Clima d'onda sottocosta: punta P1 (Valle delle Grotte)</i> .....	18
3.5.2	<i>Analisi dei risultati</i> .....	23
3.5.3	<i>Clima d'onda sottocosta: punto P<sub>2</sub> (Il Cavalluccio)</i> .....	24
3.5.4	<i>Analisi dei risultati</i> .....	27
<b>4</b>	<b>ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO.....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI DEI LIVELLI DI MAREA .....</b>	<b>36</b>
5.1	ANALISI DEI DATI MAREOGRAFICI .....	38
<b>6</b>	<b>LIVELLI DI MAREA.....</b>	<b>42</b>
6.1	ANALISI ARMONICA DEI LIVELLI MISURATI.....	42
6.2	COMPONENTE DETERMINISTICA DEI LIVELLI MISURATI: MAREA ASTRONOMICA .....	45
6.3	COMPONENTE STOCASTICA DEI LIVELLI MISURATI: MAREA METEOROLOGICA.....	45
<b>7</b>	<b>ANALISI STATISTICA DEGLI ESTREMI DI MAREA METEOROLOGICA .....</b>	<b>47</b>
7.1	SELEZIONE DEI CAMPIONI PER ORTONA .....	47
7.2	LEGGI DI DISTRIBUZIONE DEI VALORI ESTREMI .....	47
7.3	ANALISI DEI RISULTATI .....	49
7.4	CONCLUSIONI SULL'ANALISI DEI LIVELLI DI MAREA.....	51

## **1 Premesse**

Con determinazione n. 153 del 23/11/2012, ai sensi del T.U.E.L. 18 agosto 2000, n. 267, il Comune di Rocca San Giovanni (CH) ha affidato al Prof. Ing. Paolo De Girolamo l'incarico di progettazione, direzione lavori e sicurezza di un "Intervento finalizzato alla protezione del litorale appartenente al Comune di Rocca S. Giovanni nelle località Il Cavalluccio e Valle delle Grotte". L'intervento è finanziato nell'ambito del PAR-FAS 2007-2013.

La presente relazione riguarda lo studio idraulico-marittimo finalizzato alla definizione dei parametri meteomarini cui fare riferimento nella progettazione definitiva ed esecutiva degli interventi di riqualificazione e difesa del tratto di litorale appartenente al comune di Rocca San Giovanni in provincia di Chieti.

Il tratto di costa oggetto di studio si colloca presso il promontorio roccioso di Punta Cavalluccio.

Per la caratterizzazione del clima di moto ondoso si è fatto riferimento alle misure eseguite dalla boa ondometrica direzionale, ubicata al largo di Ortona, che fa parte della Rete Ondometrica Nazionale gestita dall'APAT.

L'analisi delle caratteristiche del moto ondoso al largo del sito in esame consente di definire alcuni dei principali parametri progettuali quali ad esempio le condizioni di moto ondoso di progetto, cui fare riferimento per il dimensionamento delle opere a mare.

Successivamente, al fine di caratterizzare il clima d'onda sotto costa e più in particolare nel tratto di litorale in questione, è stato utilizzato il modello matematico di rifrazione inversa spettrale MEROPE (sviluppato dalla MODIMAR S.r.l.). Si tratta di un modello di rifrazione inversa spettrale di tipo lagrangiano, basato sui metodo introdotto da Abernety e Gilbert (1978) che permette la propagazione da largo a riva della serie storica registrata dalla boa. Gli studi si concludono prendendo in esame le caratteristiche dei livelli di marea sulla base delle misure mareografiche eseguite nel porto di Ortona dalla Rete Mareografica Nazionale.

## 2 Inquadramento geografico del paraggio

Il comune di Rocca San Giovanni, in provincia di Chieti, si colloca nella parte centrale del litorale abruzzese tra Punta Ferruccio (Ortona) e Punta Penna (Vasto).

Gli interventi previsti dal progetto preliminare (Figura 2.1) interessano i tratti di costa posti in località Valle delle Grotte, subito a Nord di Punta Cavalluccio, ed in località Il Cavalluccio, subito a Sud dell'omonima punta.



Figura 2.1: Inquadramento geografico ed ubicazione dei siti interessati dagli interventi di difesa costiera.

Una prima caratterizzazione delle potenziali condizioni di esposizione al moto ondoso, viene condotta in funzione della "traversia geografica" che rappresenta la massima estensione della superficie marina da cui possono arrivare le onde. Per il calcolo della traversia geografica, ponendosi al largo del sito in esame (Figura 2.2), vengono delimitati con un sistema di coordinate polari i distinti

settori che dal punto scelto "traguardano" i margini delle coste opposte (che rappresentano gli estremi dell'area di generazione delle onde - fetch).

Nel caso in esame, per la definizione delle caratteristiche ondametriche al largo, si è fatto riferimento ai dati della boa ondometrica direzionale di Ortona gestita dall'APAT.

La boa è posizionata a circa 20 Km dalla costa al largo del Porto di Ortona su fondali di circa -100 m s.l.m.

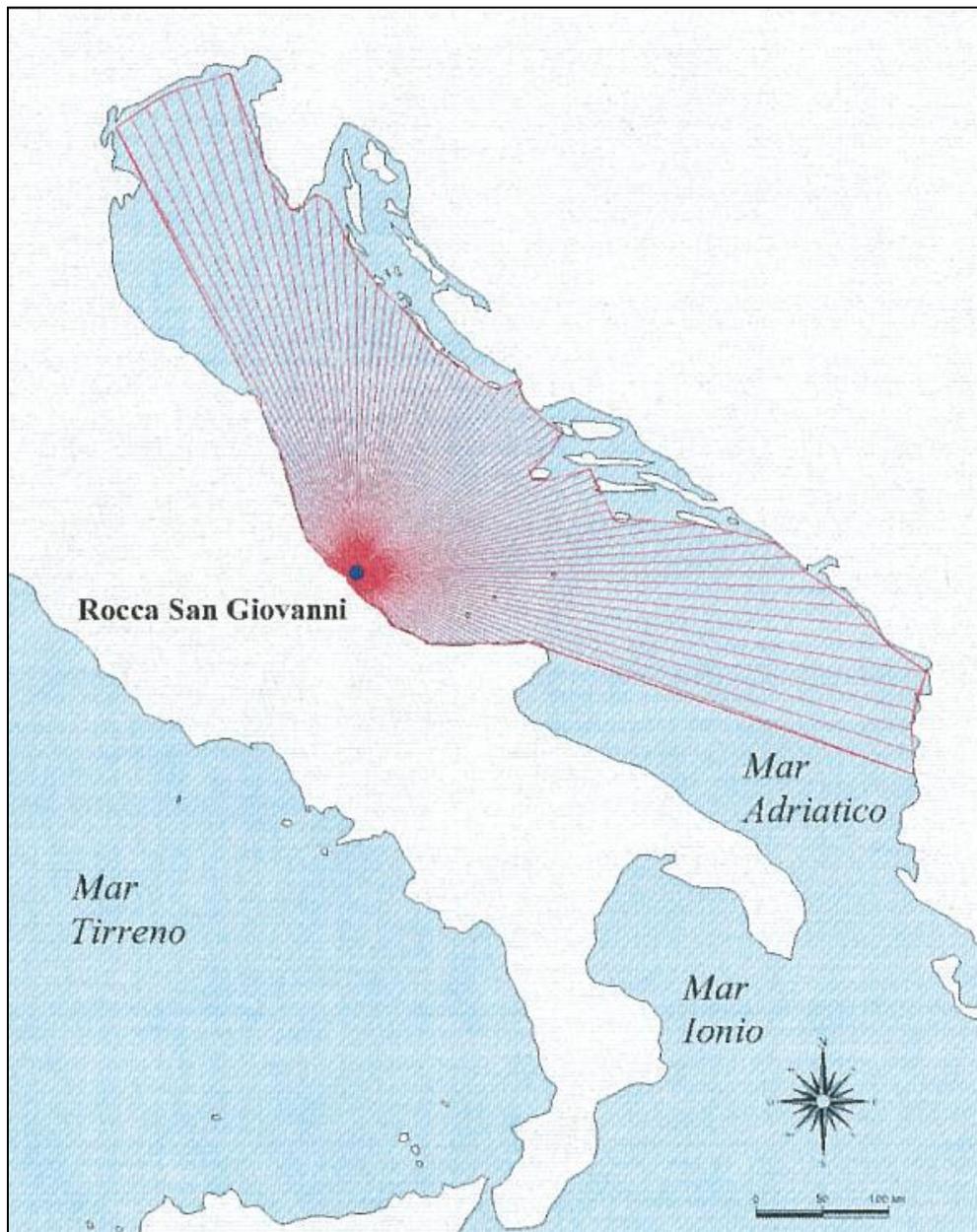


Figura 2.2 - Fetch geografici al largo di Rocca San Giovanni.

## 2.1 Fetch efficaci

Per *fetch efficace* si intende la "traversia" o lunghezza della porzione di mare sulla quale si esplica "effettivamente" la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento. In bacini semichiusi di estensione limitata come il Mar Adriatico, l'individuazione dei *fetch* efficaci può essere eseguita facendo ricorso alla traversia (fetch) geografica che indica la distanza tra il punto di interesse e la terra pili vicina in relazione ad una prefissata direzione.

Il valore del *fetch* efficace relativo ad una determinata direzione è funzione dei valori dei fetch geografici associati alle direzioni contigue a quella considerata; in questo modo i fetch efficaci consentono di tener conto del fatto che il moto ondoso viene generato non solo nella direzione lungo la quale spirava il vento ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di  $\pm 90^\circ$  rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei *fetch* efficaci risulta essere diversa da quella dei *fetch* geografici. Il calcolo dei *fetch* efficaci può essere eseguito in base alla seguente relazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

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

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

L'equazione (Eq. 2.1) 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).

I fetch efficaci ottenuti utilizzando il modello **ENIF** per il calcolo automatico dell'equazione 2.1 sono riportati graficamente nel diagramma polare di Figura 2.3 e numericamente nella Tabella 2.1 e nel grafico di Figura 2.4.

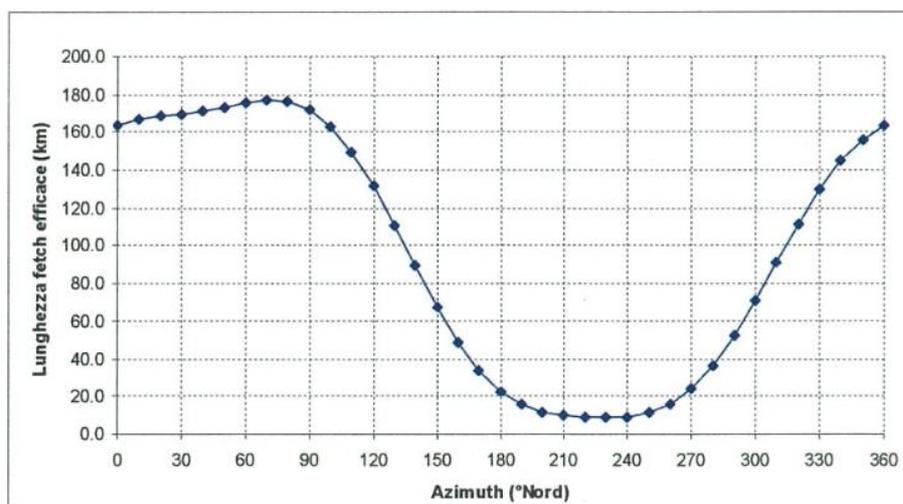
Il fetch efficace massimo ottenuto risulta pari a circa 177 km ed è riferito al settore di levante ( $70^\circ$  Nord). L'applicazione del modello numerico suddetto consente inoltre di definire la legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato (Figura 2.5).



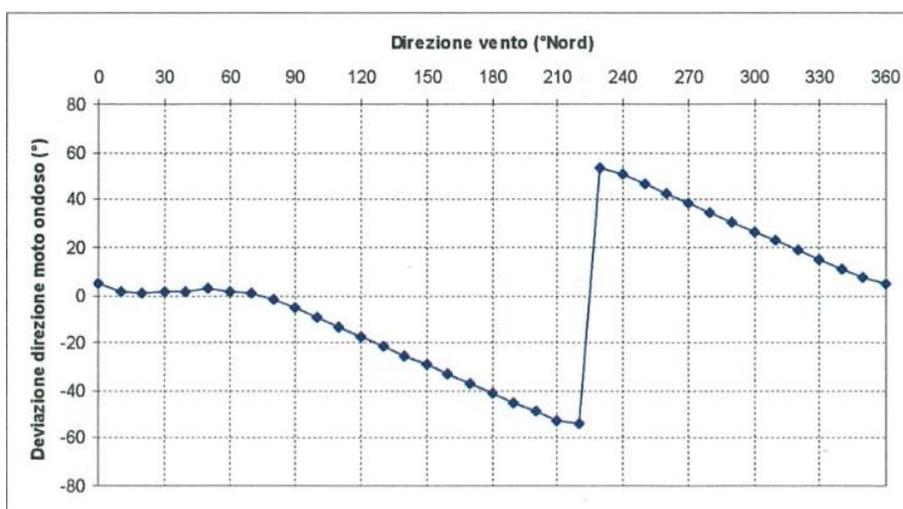
Figura 2.3 - Fetch efficaci al largo di Rocca San Giovanni.

**Tabella 2.1 - Fetch geografici ed efficaci allargò di Rocca San Giovanni (punto di ubicazione della boa di Ortona).**

Tab. Fetch geografici ed efficaci							
Direzione media settore di traversia ("Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (")	Direzione media settore di traversia ("Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (")
0	242.10	163.66	5.0	180	14.51	22.40	-41.0
10	203.91	167.20	2.0	190	12.07	15.64	-45.0
20	180.38	168.63	1.0	200	10.59	12.01	-48.0
30	174.94	169.71	2.0	210	9.69	9.99	-52.0
40	190.76	171.16	2.0	220	8.95	8.99	-54.0
50	183.74	173.06	3.0	230	8.34	8.88	54.0
60	152.61	175.23	2.0	240	8.03	9.62	51.0
70	<b>194.69</b>	<b>176.98</b>	1.0	250	7.98	11.53	47.0
80	227.16	176.56	-2.0	260	9.20	15.95	43.0
90	340.22	172.26	-5.0	270	11.64	24.10	39.0
100	437.92	163.21	-9.0	280	16.56	36.36	35.0
110	448.42	149.41	-13.0	290	23.95	52.36	31.0
120	106.89	131.57	-17.0	300	34.27	71.14	27.0
130	83.15	110.96	-21.0	310	52.05	91.30	23.0
140	56.62	89.17	-25.0	320	71.82	111.30	19.0
150	29.17	67.92	-29.0	330	128.38	129.65	15.0
160	23.47	48.87	-33.0	340	391.36	145.02	11.0
170	17.70	33.43	-37.0	350	280.09	156.47	8.0



**Figura 2.4 - Valori dei fetch efficaci in funzione della direzione.**



**Figura 2.5 - Legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato.**

### **3 Definizione del clima di moto ondoso**

Per la progettazione degli interventi di difesa costiera risulta indispensabile analizzare le caratteristiche degli stati di mare che contraddistinguono il paraggio in esame con particolare riferimento al clima di moto ondoso incidente sotto costa.

In particolare sono state effettuate dapprima una serie di indagini e studi finalizzati alla conoscenza del regime del moto ondoso al "largo" del sito in esame, ovvero in condizioni di "acqua profonda" ove le onde non risentano, nella propagazione, degli effetti indotti dal fondale (rifrazione, shoaling ed attrito sui fondo).

Si è proceduto pertanto al reperimento ed all'analisi dei dati di moto ondoso disponibili nella zona d'interesse con particolare preferenza verso le registrazioni di moto ondoso effettuate attraverso boe ondometriche direzionali e che ricoprono un intervallo di tempo sufficientemente lungo.

Come accennato in precedenza, per i dati ondometrici al largo si è fatto riferimento alle registrazioni effettuate alla boa ondometrica RON di Ortona (vedi Figura 3.1). Le registrazioni dirette così ottenute, attraverso opportuna validazione ed analisi, hanno permesso la definizione del clima d'onda al largo di Rocca S. Giovanni.

Successivamente, al fine di poter definire le caratteristiche del moto ondoso in prossimità della costa, la serie storica registrata alla boa ondometrica di Ortona è stata propagata, per mezzo del modello di rifrazione inversa spettrale MEROPE, in due punti posti su fondali di circa -10 m s.l.m, in prossimità dei due siti di intervento (Il Cavalluccio e Valle delle Grotte).

#### **3.1 Ondametro di Ortona - descrizione della stazione di misura R.O.N.**

La stazione ondometrica di Ortona (Figura 3.1), che fa parte della Rete Ondometrica Nazionale, è costituita da una boa ondometrica direzionale (dapprima del tipo Datawell Wavec MKI e poi del tipo TRIAXYS), posizionata su fondali di circa -70 m, caratterizzata dalle seguenti coordinate geografiche (Lat 42° 24,4'; Lon 14° 32,2').

Si evidenzia che la serie storica analizzata in questo documento si estende, per un intervallo di tempo di circa 16 anni, dal 01/07/1989 al 31/10/2005. Il rendimento complessivo dell'ondametro (percentuale degli eventi triorari misurati rispetto a quelli teorici) è pari al 88.66%. Nella Tabella 3.1 sono riportati i rendimenti mensili ed il numero di stati di mare, registrati con cadenza trioraria, relativi all'ondametro di Ortona.



Figura 3.1 - Dati della stazione ondametria di Ortona.

**Tabella 3.1 - Rendimento mensile dell'ondametro di Ortona dal 1989 al 2005.**

Anno	Mese	Numero Eventi	Rendimento (%)	Anno	Mese	Numero Eventi	Rendimento (%)	Anno	Mese	Numero Eventi	Rendimento (%)
1990	7	218	87.903	1990	2	223	99.554	2001	9	207	86.250
	8	246	99.194		3	248	100.000		10	227	91.532
	9	240	100.000		4	163	67.917		11	177	73.750
	10	248	100.000		5	247	99.597		12	102	41.129
	11	240	100.000		6	240	100.000		1	175	70.565
	12	248	100.000		7	242	97.581		2	155	69.196
	1	248	100.000		8	248	100.000		3	172	69.355
	2	224	100.000		9	219	91.250		4	218	90.833
	3	247	99.597		10	237	95.565		5	204	82.258
	4	237	98.750		11	238	99.167		6	198	82.500
	5	234	94.355		12	200	80.645		7	168	67.742
	6	208	86.667	1996	1	246	99.194		8	222	89.516
	7	217	87.500		2	232	100.000		9	203	84.583
	8	248	100.000		3	248	100.000		10	185	74.597
	9	196	81.667		4	240	100.000		11	169	70.417
	10	165	66.532		5	240	96.774		12	190	76.613
	11	234	97.500		6	238	99.167	2002	1	202	81.452
	12	228	91.935		7	245	98.790		2	221	98.661
1991	1	210	84.677		8	243	97.984		3	244	98.387
	2	216	96.429		9	240	100.000		4	195	81.250
	3	247	99.597		10	247	99.597		5	203	81.855
	4	216	90.000		11	239	99.583		6	168	70.000
	5	248	100.000		12	242	97.581		7	158	63.710
	6	240	100.000	1997	1	247	99.597		8	42	16.935
	7	248	100.000		2	224	100.000		9	24	10.000
	8	244	98.387		3	248	100.000		10	152	61.290
	9	215	89.583		4	240	100.000		11	194	80.833
	10	246	99.194		5	247	99.597		12	233	93.952
	11	234	97.500		6	240	100.000	2003	1	146	58.871
	12	207	83.468		7	245	98.790		2	180	80.357
1992	1	248	100.000		8	233	93.952		3	211	85.081
	2	231	99.569		9	240	100.000		4	180	75.000
	3	248	100.000		10	241	97.177		5	178	71.774
	4	204	85.000		11	229	95.417		6	191	79.583
	5	203	81.855		12	230	92.742		7	474	191.129
	6	238	99.167	1998	1	248	100.000		8	466	187.903
	7	217	87.500		2	223	99.554		9	427	177.917
	8	234	94.355		3	237	95.565		10	438	176.613
	9	186	77.500		4	240	100.000		11	346	144.167
	10	247	99.597		5	248	100.000		12	136	54.839
	11	186	77.500		6	240	100.000	2004	1	198	79.839
	12	243	97.984		7	246	99.194		2	199	85.776
1993	1	234	94.355		8	213	85.887		3	153	61.694
	2	218	97.321		9	240	100.000		4	204	85.000
	3	243	97.984		10	248	100.000		5	109	43.952
	4	235	97.917		11	135	56.250		6	0	0.000
	5	241	97.177		12	239	96.371		7	9	3.629
	6	230	95.833	1999	1	241	97.177		8	231	93.145
	7	193	77.823		2	217	96.875		9	160	66.667
	8	232	93.548		3	248	100.000		10	99	39.919
	9	228	95.000		4	240	100.000		11	106	44.167
	10	243	97.984		5	246	99.194		12	97	39.113
	11	203	84.583		6	240	100.000	2005	1	169	68.145
	12	239	96.371		7	191	77.016		2	2	0.893
1994	1	228	91.935		8	199	80.242		3	215	86.694
	2	209	93.304		9	227	94.583		4	226	94.167
	3	215	86.694		10	248	100.000		5	215	86.694
	4	233	97.083		11	228	95.000		6	188	78.333
	5	198	79.839		12	188	75.806		7	183	73.790
	6	227	94.583	2000	1	201	81.048		8	248	100.000
	7	199	80.242		2	192	82.759		9	240	100.000
	8	239	96.371		3	106	42.742		10	248	100.000
	9	188	78.333		4	147	61.250				
	10	169	68.145		5	217	87.500				
	11	240	100.000		6	240	100.000				
	12	248	100.000		7	234	94.355				
1995	1	247	99.597		8	207	83.468				

Numero totale eventi registrati: 42324  
Rendimento complessivo ondametro: 88.663

### 3.2 Clima di moto ondoso al largo di Ortona

Al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi, gli stati di mare registrati dalla boa ondometrica sono stati suddivisi in base al valore dell'altezza d'onda significativa ed alla direzione di provenienza. Tale suddivisione è stata eseguita sia per tutti gli eventi della serie, sia considerando separatamente gli eventi stagionali.

Nella Figura 3.2 viene riportata la rosa annuale relativa alla boa ondometrica di Ortona (in settori di ampiezza di 15°) e nella Tabella 3.2 vengono riportati gli stessi risultati in forma numerica.

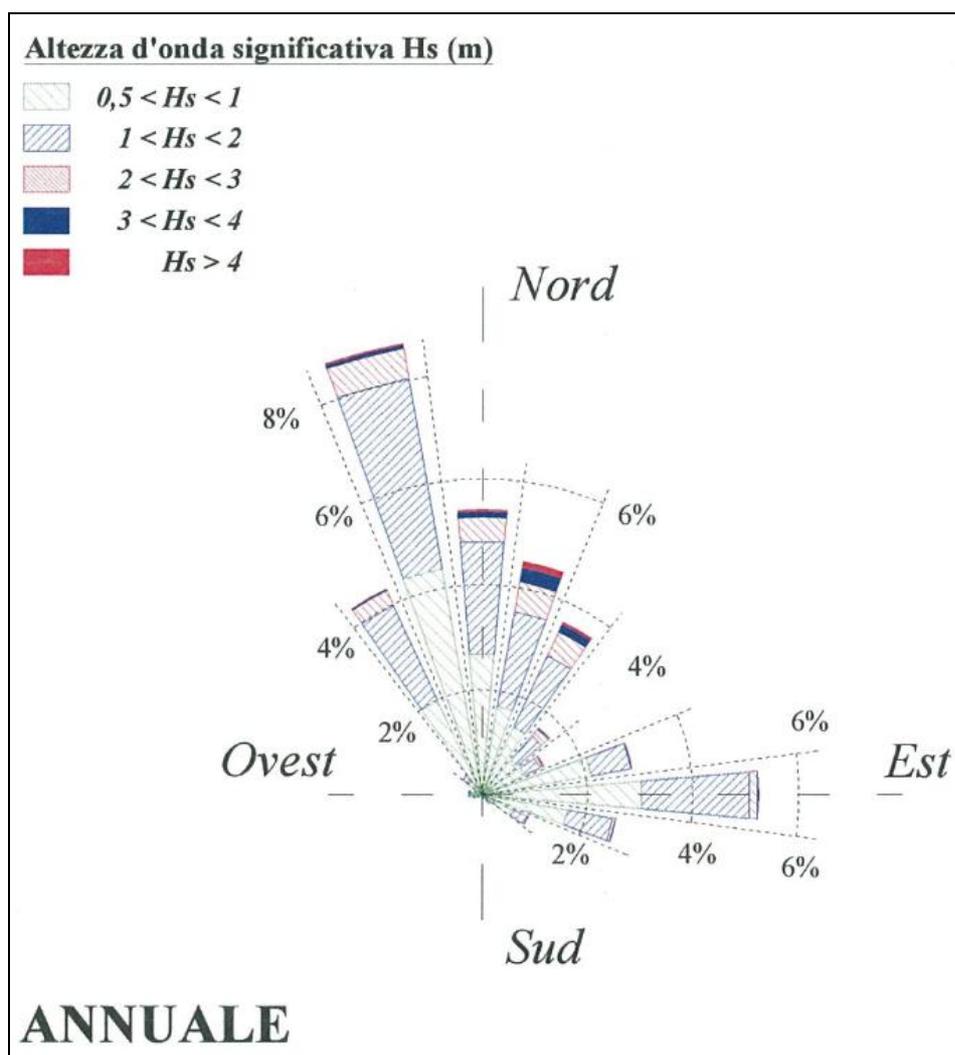


Figura 3.2 - Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali al largo di Ortona.

**Tabella 3.2 - Clima annuale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione.**

Serie ondametria al largo di Ortona. Periodo (luglio 1989 - Ottobre 2005)																
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE																
DIR (*N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	1.55	1.70	1.34	0.84	0.35	0.25	0.12	0.07	0.05	0.04	0.02					6.34
20	1.28	1.30	1.10	0.87	0.36	0.27	0.14	0.13	0.06	0.05	0.01					5.58
30	1.09	1.15	1.07	0.57	0.43	0.21	0.11	0.06	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00			4.76
40	1.09	1.00	0.68	0.41	0.21	0.12	0.04	0.02	0.01	0.01						3.58
50	1.05	1.06	0.62	0.24	0.06	0.03	0.02	0.00	0.01							3.10
60	1.10	1.26	0.58	0.16	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00						3.17
70	1.47	1.96	1.02	0.22	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00							4.75
80	1.65	2.97	1.93	0.65	0.13	0.02	0.00	0.00								7.36
90	1.72	3.14	2.16	1.14	0.33	0.08	0.02	0.00								8.60
100	1.54	2.75	1.47	0.63	0.21	0.05	0.02	0.01								6.66
110	1.24	2.08	0.87	0.35	0.07	0.01	0.00	0.00								4.63
120	0.84	1.01	0.46	0.16	0.03	0.01	0.00									2.51
130	0.53	0.36	0.12	0.07	0.04	0.01										1.13
140	0.35	0.11	0.04	0.03	0.01											0.53
150	0.19	0.09	0.03	0.01												0.31
160	0.15	0.05	0.02	0.02												0.23
170	0.10	0.03	0.01	0.00												0.14
180	0.09	0.03	0.00													0.12
190	0.06	0.03	0.01	0.00												0.10
200	0.05	0.02	0.01	0.00												0.08
210	0.05	0.03	0.03	0.01												0.11
220	0.06	0.03	0.01	0.00												0.10
230	0.04	0.05	0.04	0.01	0.00											0.14
240	0.04	0.05	0.03	0.00												0.13
250	0.08	0.07	0.04	0.02												0.22
260	0.09	0.10	0.13	0.01												0.33
270	0.12	0.15	0.16	0.01	0.00											0.44
280	0.16	0.15	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00									0.52
290	0.17	0.22	0.11	0.01												0.51
300	0.24	0.30	0.08	0.01												0.62
310	0.32	0.55	0.11	0.02	0.01											1.01
320	0.38	0.78	0.37	0.16	0.04	0.02	0.01									1.76
330	0.64	1.42	1.26	0.82	0.37	0.14	0.03	0.01								4.69
340	0.85	2.35	2.71	1.87	0.66	0.31	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00					8.87
350	1.28	2.86	2.73	1.48	0.54	0.23	0.09	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00			9.28
360	1.47	2.54	1.85	1.00	0.39	0.15	0.10	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00				7.57
TOT.	23.13	33.76	23.36	11.84	4.34	1.94	0.81	0.41	0.23	0.12	0.04	0.00	0.00			100.00
Tot. cumul.	56.89	80.25	92.10	96.44	98.37	99.19	99.60	99.83	99.95	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00		

Numero di eventi validi : 43190

Dall'analisi dei risultati si evince che:

- al largo di Ortona gli stati di mare più frequenti e caratterizzati da altezze d'onda più elevate provengono dal settore di traversia compreso tra le direzioni 320° e 50°N che quindi può essere assunto quale settore di traversia principale;
- la percentuale degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,5 m è pari a circa il 57%;
- gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per il 66% dal settore di traversia principale e per il rimanente 34% dalle altre direzioni;
- gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m e provenienti dal settore di traversia principale hanno per il 94% altezza d'onda comunque inferiore a 2,0 m;
- il moto ondoso più intenso ( $H_s > 3.5$  m) proviene in prevalenza dal settore di traversia 340°-50° N con una frequenza di accadimento pari a circa 0.4%;
- nel settore di traversia principale si sono verificate altezze d'onda superiori a 5.5 m, mentre negli altri settori l'altezza d'onda massima non ha superato i 4.5 metri;
- il clima di moto ondoso non presenta sensibili variazioni stagionali per quanto riguarda le direzioni prevalenti del moto ondoso.

Le caratteristiche climatiche annuali sopra sintetizzate risultano sostanzialmente confermate anche dall'analisi dei dati ondametrici su base stagionale, riscontrando quindi una certa omogeneità dell'esposizione climatica del moto ondoso.

Ovviamente si riscontra una minore frequenza di accadimento delle mareggiate estreme in primavera ed estate.

### **3.3 Correlazione tra l'altezza ed il periodo d'onda**

Gli eventi di moto ondoso sono stati suddivisi in base al valore dell'altezza d'onda significativa e del periodo al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. Nella Tabella 3.3 è riportata la

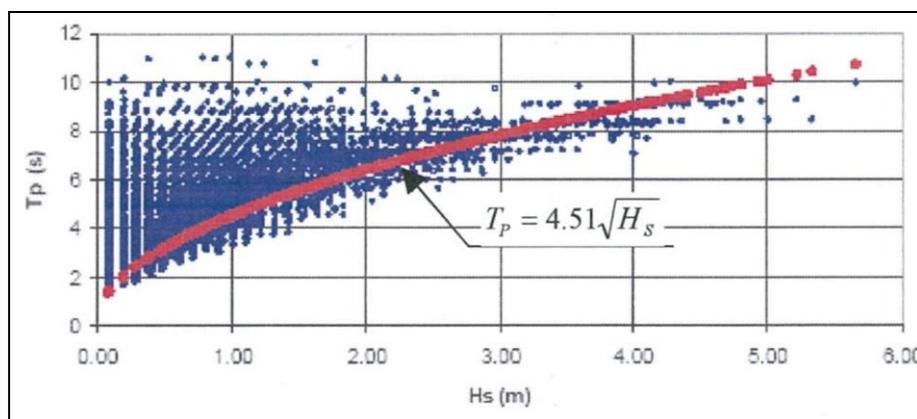
distribuzione percentuale degli eventi in base al periodo di picco ed all'altezza d'onda.

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):  $T_p = a \cdot (H_s)^b$ , ove ai parametri  $a$  e  $b$ , utilizzando una regressione lineare basata sui metodo dei minimi quadrati, sono stati assegnati rispettivamente i valori  $a=4.51$  e  $b=0.5$ .

Nella Figura 3.3 sono riportati tutti gli eventi della serie storica, diagrammati in funzione del periodo  $T_p$  e dell'altezza d'onda  $H_s$ , e la legge di dipendenza ottenuta.

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO $T_p$ (s)							Tot	Tot. cumul.
	$T_p < 4$	$4 \leq T_p < 6$	$6 \leq T_p < 8$	$8 \leq T_p < 10$	$10 \leq T_p < 12$	$12 \leq T_p < 14$	$T_p > 14$		
0.25 <	15.00	4.67	2.18	0.30	0.01		0.11	22.28	22.28
0.25 + 0.75	16.48	24.90	3.40	0.37	0.01		0.60	45.77	68.05
0.75 + 1.25	0.82	13.54	4.14	0.52	0.02		0.06	19.10	87.14
1.25 + 1.75	0.01	2.91	3.89	0.30	0.02		0.00	7.12	94.26
1.75 + 2.25		0.35	2.49	0.14	0.01			2.98	97.24
2.25 + 2.75		0.01	1.28	0.14	0.00		0.00	1.44	98.68
2.75 + 3.25			0.47	0.17				0.64	99.32
3.25 + 3.75			0.13	0.24				0.37	99.70
3.75 + 4.25			0.03	0.16				0.20	99.89
4.25 + 4.75				0.07				0.07	99.96
4.75 + 5.25				0.01	0.01			0.02	99.98
>5.25				0.02				0.00	99.98
Tot.	32.31	46.38	18.02	2.44	0.08		0.77	99.984	

**Tabella 3.3 - Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo.**



**Figura 3.3 - Distribuzione del periodo di picco in funzione dell'altezza d'onda significativa.**

Con riferimento alla Figura 3.3 si osserva che la legge di dipendenza utilizzata tra  $T_p$  e  $H_s$  fornisce una buona correlazione soprattutto per i valori maggiori di  $H_s$  registrati (onde di mare vivo). Infatti, tale correlazione tende a diminuire al

diminuire di  $H_s$  in quanto si ricade in condizioni in cui nel paraggio possono essere presenti sia onde di mare vivo sia onde di mare morto.

### **3.4 Clima d'onda sotto costa**

Per definire le condizioni di moto ondoso che caratterizzano il tratto di litorale appartenente al comune di Rocca San Giovanni, è stato eseguito uno studio di propagazione del moto ondoso da largo a riva. A tal fine è stato necessario in primo luogo scegliere il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di una attenta analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la loro propagazione verso la costa.

Nel caso in esame, i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde sui fondali via via decrescenti che "collegano" il mare aperto alla zona di intervento, la regolarità dell'andamento delle linee batimetriche, permette di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo "shoaling" e che possano essere ritenuti trascurabili i processi diffrattivi dovuti al fondale.

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

Pertanto, la serie ondometrica registrata dalla boa RON di Ortona è stata riportata sotto costa utilizzando il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE.

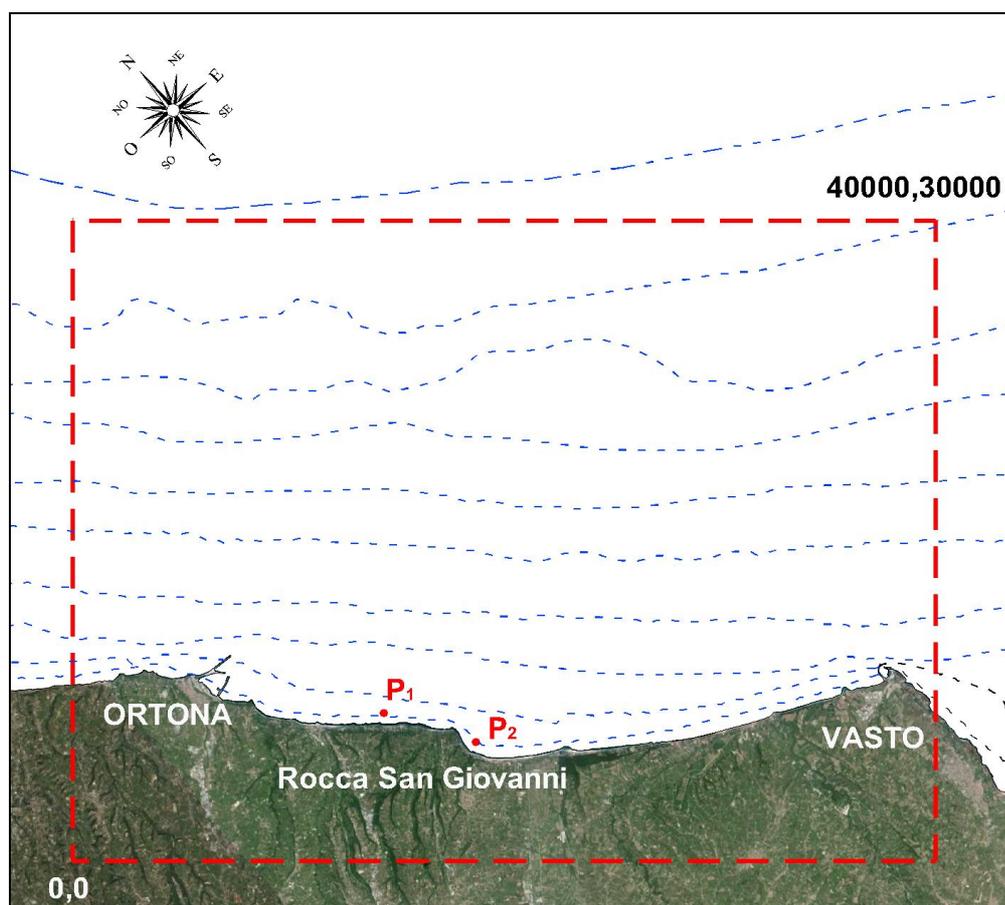
Si precisa che tale studio, vista l'ubicazione degli interventi di difesa nella zona dei frangenti su fondali di circa - 3m s.l.m., è finalizzato alla conoscenza delle variazioni delle direzioni degli stati di mare durante la loro propagazione verso costa, più che alla determinazione delle altezze d'onda viste le loro limitazioni a causa del frangimento su bassi fondali.

Infatti, vista la particolare conformazione geografica del tratto di litorale oggetto di studio, l'ubicazione del punto sotto costa in località Il Cavalluccio su cui applicare il modello di inversa spettrale Merope, è stato scelto in maniera tale da poter considerare gli effetti dovuti al ridosso del tratto di litorale stesso dagli eventi di tramontana.

### 3.4.1 Griglia di calcolo

Nella figura 3.2.1 è riportata la corografia dell'area interessata dalle simulazioni numeriche, i confini della griglia di calcolo utilizzata per l'applicazione del modello Merope ed i punti di inversa spettrale ( $P_1$  e  $P_2$ ), rappresentativi dell'intero tratto di costa appartenente al comune di Rocca San Giovanni, scelti per la propagazione da largo a riva.

La griglia di calcolo è stata ottenuta partendo dalla digitalizzazione, sottoforma di polilinee in Autocad, delle batimetriche di base fornite dal "raster" della carta nautica N33 (scala 1:100000), dal Lago di Lesina ad Ortona ed isole Tremiti, edita dall' Istituto Idrografico della Marina Militare.



**Figura 3.4 - Corografia ed ubicazione della griglia di calcolo per il modello Merope con indicazione delle batimetriche e dei punti di inversa spettrale prescelti  $P_1$  e  $P_2$ .**

Tali batimetrie sono state opportunamente digitalizzate allo scopo di ottenere un insieme opportuno di punti "sparsi", cioè non disposti su un grigliato regolare, sull'area di interesse. Ciascun punto è caratterizzato dalle coordinate

$x, y, z$ , dove  $x$  ed  $Y$  rappresentano la posizione planimetrica del punto e la  $z$  il valore della profondità locale riferita al livello medio marino. Tali punti, contenuti in un file, sono stati quindi utilizzati come dati di ingresso per il programma SURFER 8 mediante il quale è stata costruita una griglia di calcolo a maglia regolare, necessaria per il modello Merope.

Utilizzando tali dati è stato possibile effettuare un'adeguata modellazione digitale del fondale all'interno di una vasta area che comprende la zona interessata dagli studi.

La griglia utilizzata come input per il modello Merope è costituita da maglie quadrate di lato  $Dx=Dy=10m$  che copre un'area di forma rettangolare con lati di 40000 km e 30000 km.

In Figura 3.5 è riportata la griglia di calcolo, le curve batimetriche digitalizzate attraverso la carta nautica e la posizione dei punti d'inversa in corrispondenza dei quali è stata effettuata l'applicazione del codice di calcolo.

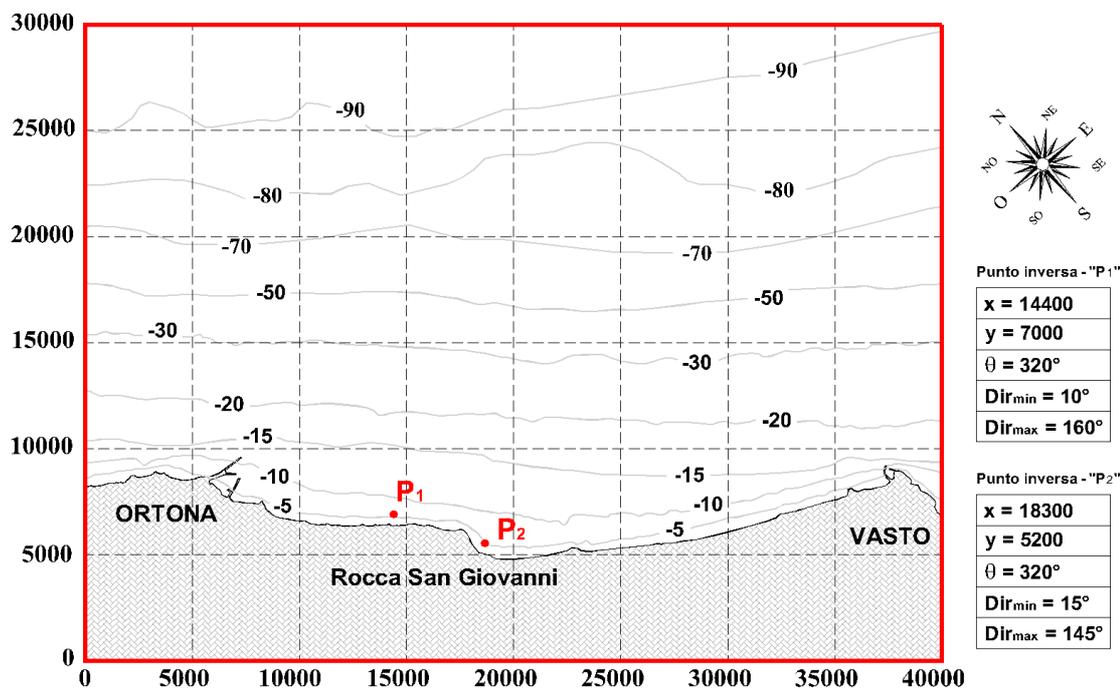


Figura 3.5 - Modello Merope: griglia di calcolo ed ubicazione dei punti d'inversa spettrale.

### 3.5 Condizioni al contorno ed ipotesi di calcolo

Per ognuno dei punti scelti sono stati calcolati 20 piani d'onda d'inversa per altrettanti periodi compresi tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spaziate di  $0.5^\circ$  l'uno dall'altro, sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia.

I 4000 piani d'onda inversi (20x200) hanno consentito di costruire un data-base mediante il quale è stata propagata, nei punti d'inversa prescelti, l'intera serie storica registrata alla boa ondometrica di Ortona.

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

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

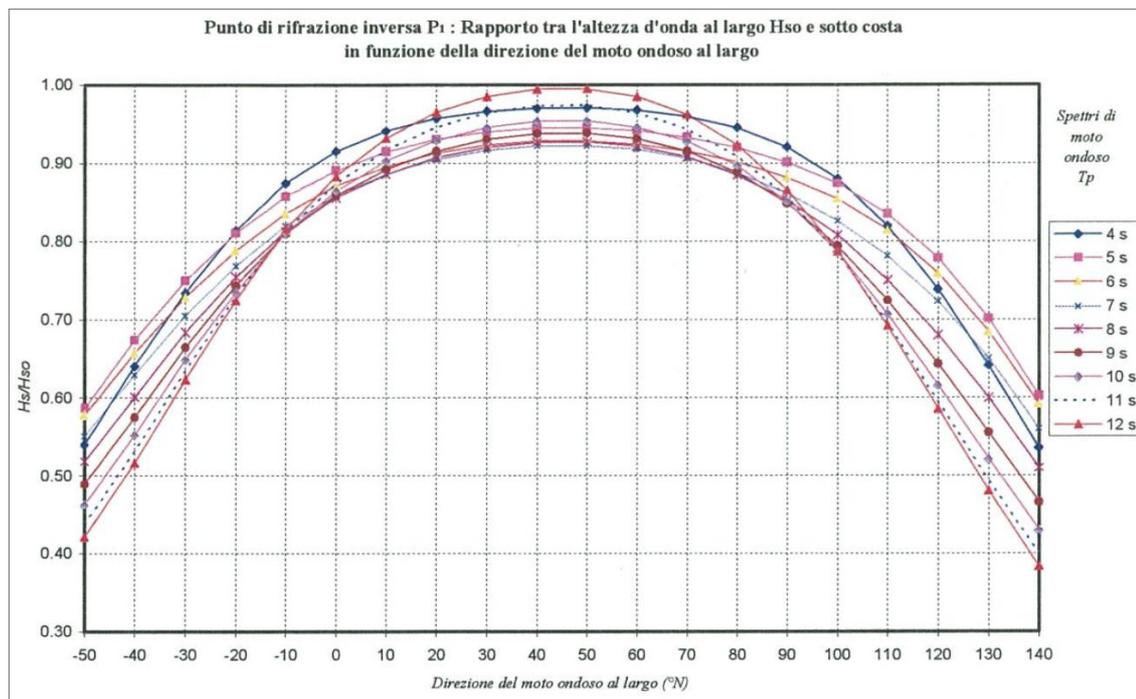
dove lo spettro con frequenza  $S(f)$  è stato espresso con uno JONSWAP caratterizzato da  $\gamma=3.3$  e di altezza significativa e frequenza di picco assegnata.

La funzione di dispersione direzionale  $G(f, \theta)$  è stata esplicitata nel modello MEROPE sulla base dell'equazione fornita da Goda (Random Seas and Design of Maritime Structures, World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering, vol 15) ponendo:  $s_{max}=18$  (*onde di mare vivo*).

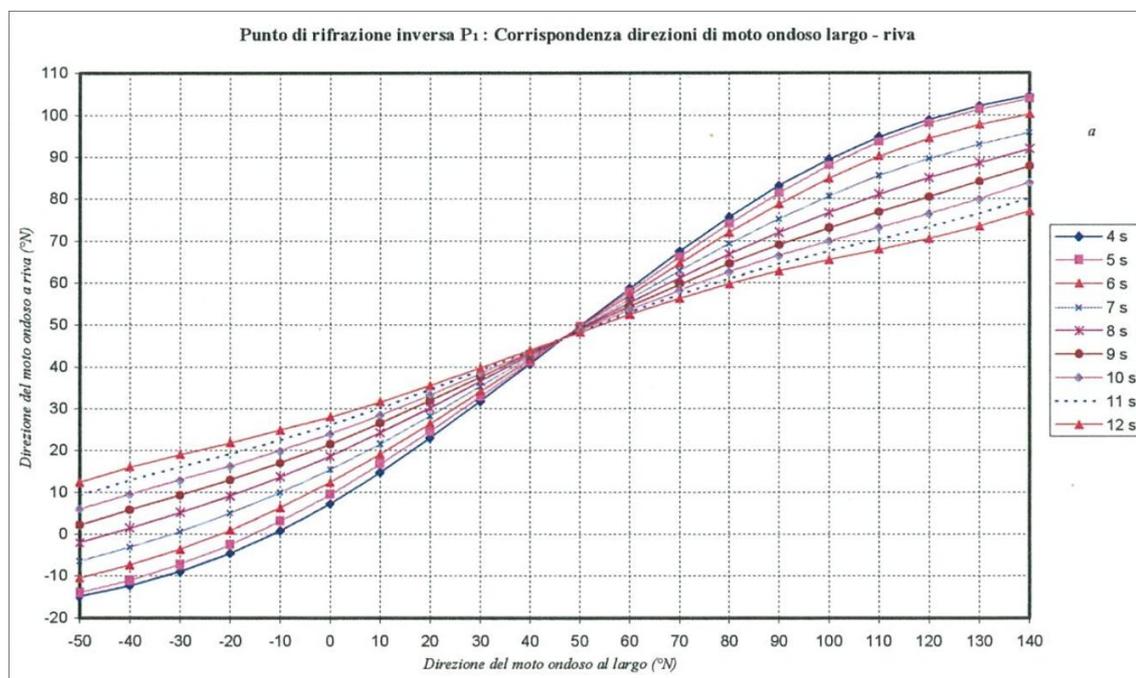
Si ricorda che le "onde di mare vivo" (sea), tipiche dell'area di generazione (fetch), hanno una elevata dispersione direzionale dell'energia e per tale ragione vengono anche chiamate "onde a cresta corta".

#### 3.5.1 Clima d'onda sottocosta: punta P<sub>1</sub> (Valle delle Grotte)

Per il punta d'inversa spettrale P<sub>1</sub>, la Figura 3.6 e la Figura 3.7 riportano in forma grafica l'andamento del coefficiente K ( $K = K_r \cdot K_s$  con  $K_r$  coefficiente di rifrazione e  $K_s$  coefficiente di shoaling) rispetto alla direzione di incidenza al largo e la corrispondenza tra le direzioni del moto ondoso al largo e i corrispondenti valori di direzione calcolati a riva.



**Figura 3.6 - Valle delle Grotte (Punto P<sub>1</sub>): andamento del coefficiente di rifrazione e di shoaling in funzione della direzione del moto ondoso al largo.**



**Figura 3.7 - Valle delle Grotte (Punto P<sub>1</sub>): corrispondenza tra le direzioni del moto ondoso al largo e quelle a riva.**

Dall'esame delle figure sopra riportate si evidenzia, nella propagazione largo-riva, un'attenuazione più marcata per le altezze d'onda provenienti dai settori di maestrale-tramontana e scirocco-levante rispetto a quelle provenienti dal

settore di grecale. I valori maggiori del coefficiente  $k$  (compresi tra 0.92 e 1.00) si hanno infatti per onde provenienti dal settore di grecale ( $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$ N).

Nella Figura 3.8 viene riportata la rosa annuale del clima di moto ondoso a riva (punto  $P_1$ ) e nella Tabella 3.4 gli stessi risultati vengono riportati in forma numerica. Nella Tabella 3.5 e nella Tabella 3.6 gli eventi sono suddivisi, in termini di numero e di frequenze percentuali, per classi di  $H_s$  e di periodo di picco  $T_p$ .

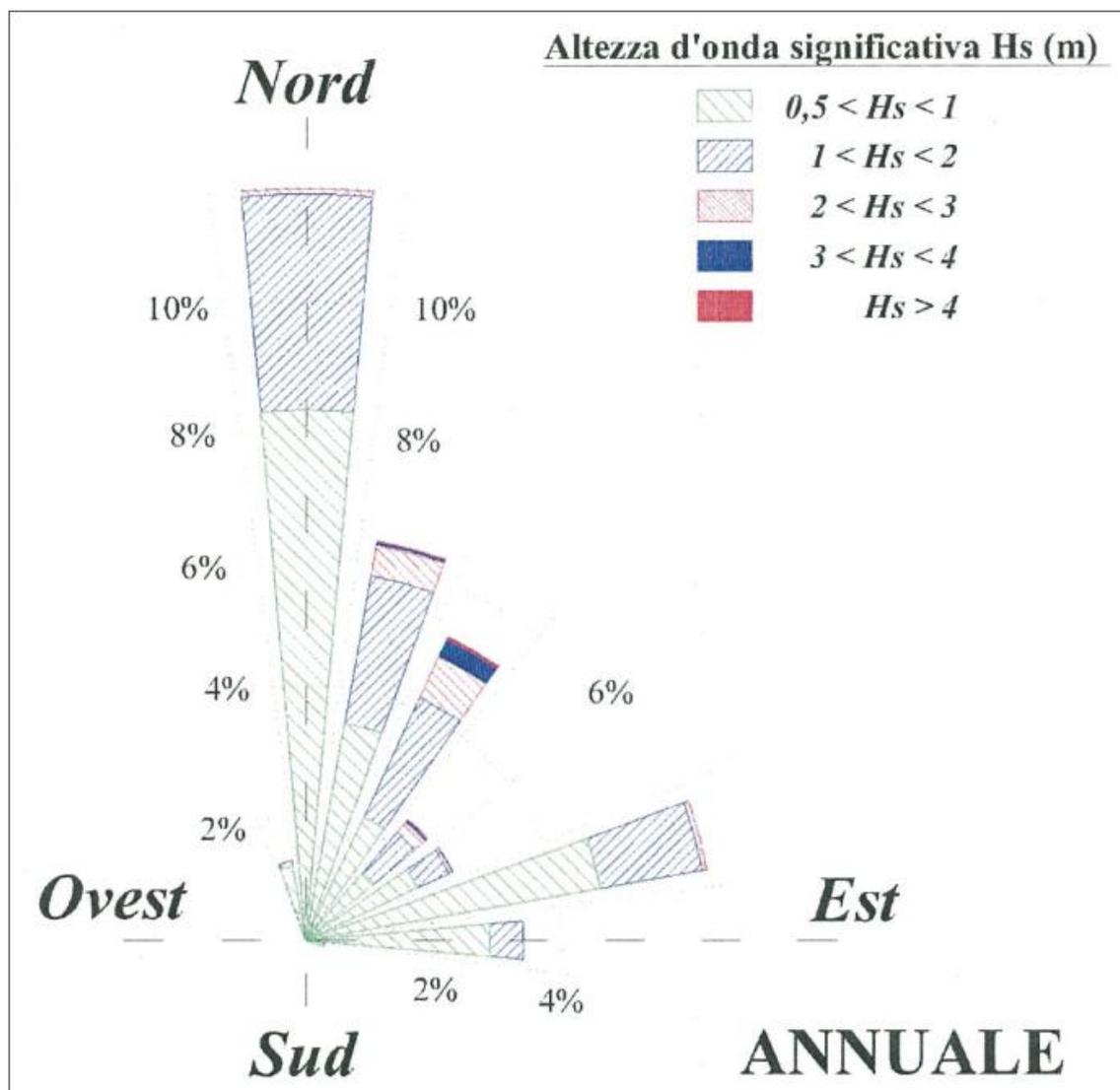


Figura 3.8 - Rosa annuale della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva - Valle delle Grotte (Punto  $P_1$ )

**Tabella 3.4 - Valle delle Grotte (Punto P<sub>1</sub>): distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso annuali classificati per altezza e direzione**

Serie ondometrica sotto costa - Valle delle Grotte: punto P <sub>1</sub> . Periodo (luglio 1989 - Giugno 2005)																
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE																
DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	2.18	2.88	3.05	1.31	0.52	0.16	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00					10.18
20	1.77	1.72	1.90	1.02	0.40	0.27	0.13	0.03	0.03	0.01						7.27
30	1.52	1.26	1.47	0.94	0.51	0.33	0.17	0.16	0.08	0.03	0.00					6.49
40	1.30	1.27	1.04	0.64	0.29	0.19	0.08	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00				4.88
50	1.38	1.35	0.86	0.27	0.05	0.04	0.02	0.01	0.00							3.99
60	1.71	1.76	1.16	0.25	0.08	0.02	0.01	0.00								4.97
70	1.96	3.24	2.96	0.81	0.22	0.04	0.01									9.24
80	2.41	4.05	2.84	0.76	0.10	0.01	0.00									10.17
90	2.88	4.03	2.07	0.33	0.02											9.33
100	3.26	1.31	0.62	0.07												5.26
110	0.74	0.04	0.00													0.78
120	0.05															0.05
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	0.18															0.18
340	2.23	0.11	0.01													2.35
350	3.60	2.81	2.12	0.25	0.01											8.79
360	2.51	4.76	6.21	2.01	0.53	0.05	0.00									16.08
TOT.	29.68	30.60	26.32	8.64	2.73	1.11	0.46	0.26	0.14	0.05	0.00	0.00				100.00
Tot. cumul.	60.28	86.60	95.24	97.97	99.09	99.55	99.81	99.95	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Numero di eventi validi :		42232														

**Tabella 3.5 - Valle delle Grotte (Punto P<sub>1</sub>): numero degli eventi di moto ondoso annuali classificati per altezza d'onda e periodo.**

Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco								
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA								
Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T <sub>p</sub> (s)							Tot
	T <sub>p</sub> < 4	4 ≤ T <sub>p</sub> < 6	6 ≤ T <sub>p</sub> < 8	8 ≤ T <sub>p</sub> < 10	10 ≤ T <sub>p</sub> < 12	12 ≤ T <sub>p</sub> < 14	T <sub>p</sub> > 14	
0.25 <	6220	4613	1137	275	5	8	276	12534
0.25 + 0.75	3027	14538	1896	328	13	0	141	19943
0.75 + 1.25	25	3973	2016	411	16	0	6	6447
1.25 + 1.75	0	480	1339	209	3	0	0	2031
1.75 + 2.25	0	22	487	183	2	0	0	694
2.25 + 2.75	0	0	113	190	1	0	1	305
2.75 + 3.25	0	0	8	148	0	0	0	156
3.25 + 3.75	0	0	2	75	1	0	0	78
3.75 + 4.25	0	0	0	31	2	0	0	33
4.25 + 4.75	0	0	0	7	3	0	0	10
4.75 + 5.25	0	0	0	0	0	0	0	
> 5.25	0	0	0	0	1	0	0	1
Tot.	9272	23626	6998	1857	47	8	424	42232

**Tabella 3.6 - Valle delle Grotte (Punto P<sub>1</sub>). Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso annuali classificati per altezza d'onda e periodo.**

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco									
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA									
Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T <sub>p</sub> (s)							Tot	Tot. cumul.
	T <sub>p</sub> < 4	4 ≤ T <sub>p</sub> < 6	6 ≤ T <sub>p</sub> < 8	8 ≤ T <sub>p</sub> < 10	10 ≤ T <sub>p</sub> < 12	12 ≤ T <sub>p</sub> < 14	T <sub>p</sub> > 14		
0.25 <	14.73	10.92	2.69	0.65	0.01	0.02	0.65	29.68	29.68
0.25 + 0.75	7.17	34.42	4.49	0.78	0.03		0.33	47.22	76.90
0.75 + 1.25	0.06	9.41	4.77	0.97	0.04		0.01	15.27	92.17
1.25 + 1.75		1.14	3.17	0.49	0.01			4.81	96.98
1.75 + 2.25		0.05	1.15	0.43	0.00			1.64	98.62
2.25 + 2.75			0.27	0.45	0.00		0.00	0.72	99.34
2.75 + 3.25			0.02	0.35				0.37	99.71
3.25 + 3.75			0.00	0.18	0.00			0.18	99.90
3.75 + 4.25				0.07	0.00			0.08	99.97
4.25 + 4.75				0.02	0.01			0.02	100.00
4.75 + 5.25									100.00
>5.25					0.00			0.00	100.00
Tot.	21.95	55.94	16.57	4.40	0.11	0.02	1.00	99.998	
Tot. cumul.	21.95	77.90	94.47	98.87	98.98	99.00	100.00		

### 3.5.2 Analisi dei risultati

Dall'analisi dei risultati ottenuti è evidente che nella propagazione da largo a riva, nel tratto di costa posto a nord del comune di Rocca San Giovanni, su fondali di circa -10m s.l.m., il clima di moto ondoso subisce una sostanziale variazione significativa, presentando una rotazione ed una sostanziale restrizione della traversia che risulta limitata al settore compreso tra 330°N e 120°N.

In dettaglio si osserva che:

gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 40% (corrispondente ad una durata media annua di circa 4.8 mesi) e risultano tutti concentrati all'interno di un settore compreso tra 340° e 110° N (tramontana-grecale-levante);

- gli eventi con  $H_s > 3.0\text{m}$  (eventi estremi) provengono tutti all'interno di un settore compreso tra 360° e 60°N con una frequenza pari a circa lo 0.45% (corrispondente ad una durata media di circa 1,6 giorni l'anno);
- le altezza d'onda massime che si sono verificate risultano inferiori a 5.5 m;
- l'analisi della distribuzione stagionale degli eventi conferma una netta prevalenza degli stati di mare estremi in inverno ed in autunno mantenendosi comunque il settore di tramontana-grecale come unico settore all'interno del quale provengono gli stati di mare più intensi;
- le onde provenienti dal settore di grecale non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa con un'attenuazione media in termini di  $H_s$  inferiore al 10%.

In conclusione, il moto ondoso proveniente dai settori di tramontana e scirocco, a causa della rifrazione e dello shoaling, propagandosi verso costa subisce una considerevole rotazione (verso grecale per gli eventi da tramontana e verso levante per gli eventi da scirocco) ed una sostanziale attenuazione dell'altezza d'onda significativa.

Al contrario, gli stati di mare provenienti dal settore di grecale, nella propagazione verso costa, mantengono pressoché invariate le proprie caratteristiche di moto ondoso.

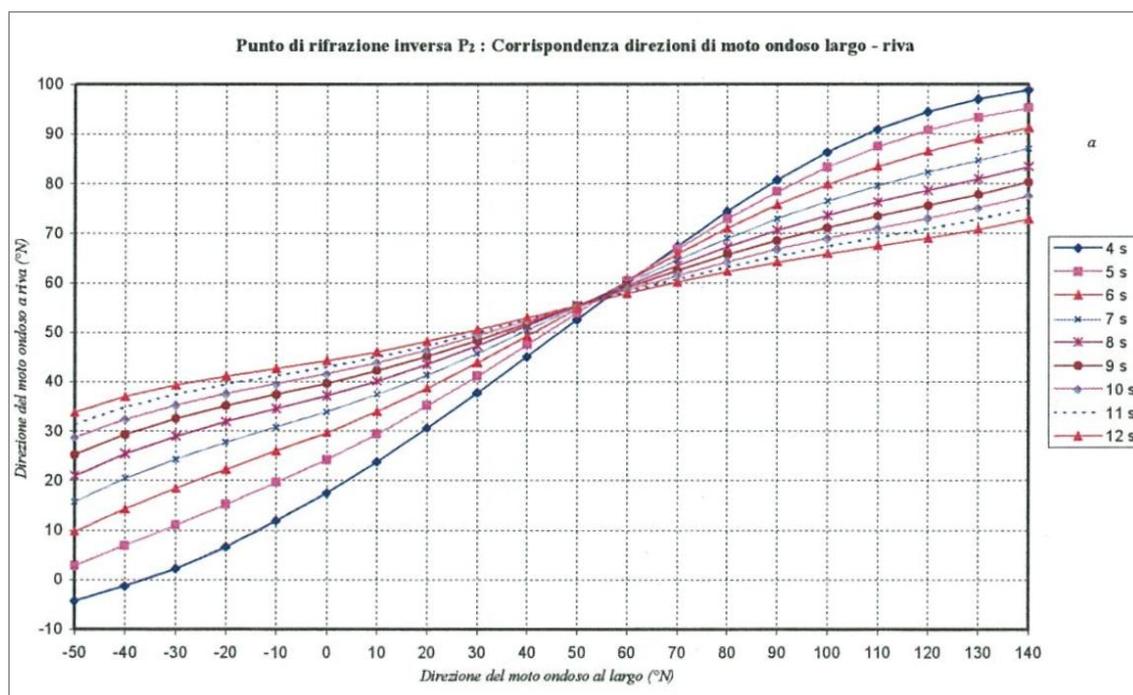
### 3.5.3 Clima d'onda sottocosta: punto P<sub>2</sub> (Il Cavalluccio)

Il punto d'inversa spettrale P<sub>2</sub>, a differenza di P<sub>1</sub>, è stato posizionato su fondali di circa - 6 m s.l.m. per poter considerare, nella propagazione largo-riva, gli effetti dovuti al ridosso dagli eventi di tramontana ad opera del promontorio roccioso posto subito a Nord del punto stesso.

Da questa assunzione ne consegue che propagando la serie ondometrica nel punto P<sub>2</sub>, attraverso l'applicazione del modello Merope, è possibile tener conto dei soli fenomeni dovuti alla rifrazione e quindi della sola corrispondenza tra la direzione a largo e quella a riva.

Infatti, il modello numerico utilizzato non tiene conto dei fenomeni dissipativi associati al frangimento delle onde che, nel caso particolare, assumono un significato rilevante proprio in conseguenza del fatto che il punto P<sub>2</sub> è situato nella zona dei frangenti.

A tal proposito, nella Figura 3.9, viene riportata solo la corrispondenza tra le direzioni del moto ondoso al largo e i corrispondenti valori di direzione calcolati a riva.



**Figura 3.9 - Il Cavalluccio (Punto P<sub>2</sub>): corrispondenza tra le direzioni del moto ondoso al largo e quelle a riva.**

I risultati, come è possibile verificare dalla figura sopra riportata, evidenziano come gli stati di mare provenienti dal settore di maestrale-tramontana e scirocco-levante tendono a ruotare verso grecale, mentre gli stati di mare provenienti da grecale mantengono pressoché invariata la loro direzione di propagazione del moto ondoso.

Nella Figura 3.8 viene riportata la rosa annuale del clima di moto ondoso a riva (punto P<sub>2</sub>) e nella Tabella 3.7 gli stessi risultati vengono riportati in forma numerica. Nella Tabella 3.8 e nella Tabella 3.9 gli eventi sono suddivisi, in termini di numero e di frequenze percentuali, per classi di H<sub>s</sub> e di periodo di picco T<sub>p</sub>.

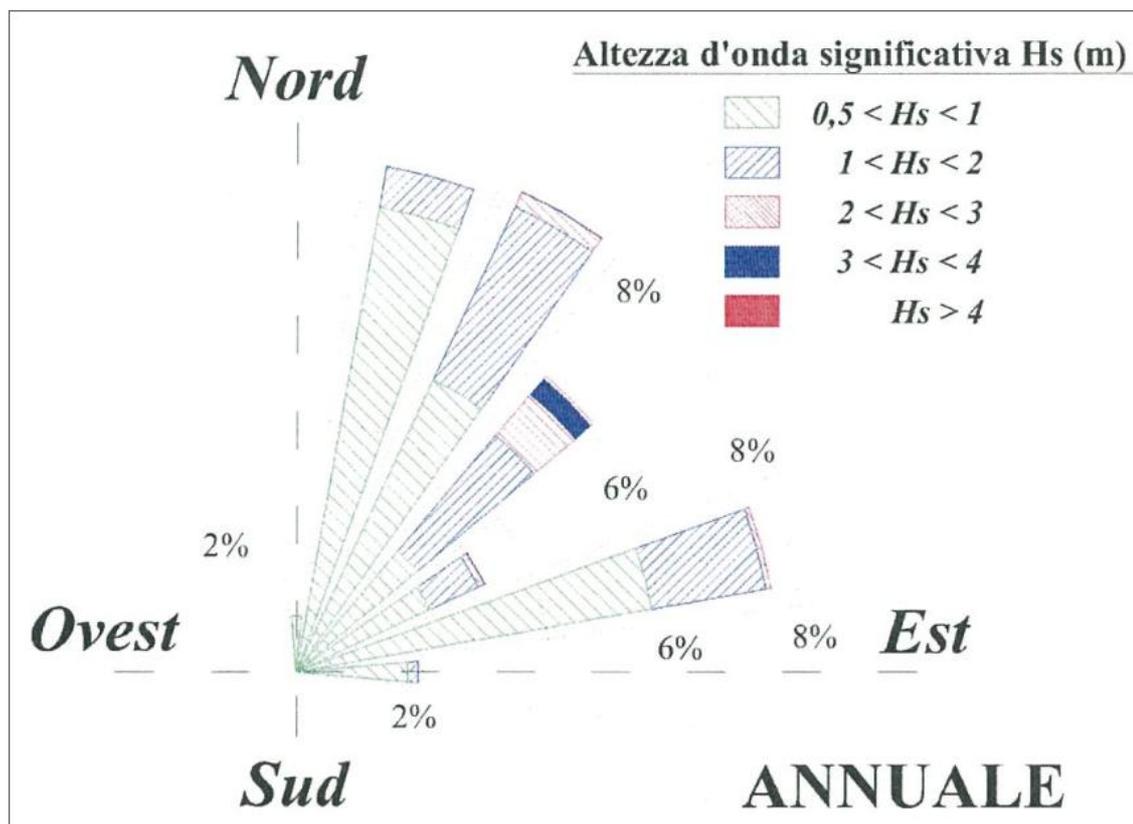


Figura 3.10 - Il Cavalluccio (Punto P<sub>2</sub>): rosa annuale della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva.

**Tabella 3.7 - Il Cavalluccio (Punto P<sub>2</sub>): distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso annuali classificati per altezza e direzione**

Serie ondometrica sotto costa - Il Cavalluccio: punto P<sub>2</sub>. Periodo (luglio 1989 - Giugno 2005)  
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza. ANNUALE

DIR (*N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25+.0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	3.28	4.63	2.99	0.04												10.94
20	2.51	4.14	5.98	0.97	0.02											13.62
30	2.11	2.17	3.28	1.64	0.44	0.10	0.02	0.00								9.76
40	1.62	1.49	2.20	1.29	0.76	0.40	0.23	0.14	0.08							8.22
50	1.81	1.57	1.28	0.66	0.37	0.25	0.10	0.09	0.07							6.20
60	2.05	2.08	1.35	0.33	0.09	0.03	0.02	0.01	0.01							5.98
70	2.48	4.27	3.89	1.21	0.31	0.05	0.02									12.23
80	2.87	4.61	3.05	0.60	0.05	0.01										11.19
90	4.17	3.46	1.28	0.10												9.02
100	2.44	0.34	0.04													2.82
110	0.20															0.20
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340	0.47															0.47
350	3.28	0.37	0.02													3.67
360	3.04	2.20	0.44													5.68
TOT.	32.33	31.34	25.78	6.85	2.05	0.85	0.40	0.24	0.16							100.00
Tot. cumul.	63.67	89.45	96.30	98.35	99.20	99.60	99.84	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 42258

**Tabella 3.8 - Il Cavalluccio (Punto P<sub>2</sub>): numero degli eventi di moto ondoso annuali classificati per altezza d'onda e periodo.**

Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco								
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA								
Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)							Tot
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp < 14	Tp > 14	
0.25 <	8549	3291	1194	354	10	1	262	13661
0.25 ÷ 0.75	5240	11743	2924	374	14	1	147	20443
0.75 ÷ 1.25	60	1969	3119	445	18	0	11	5622
1.25 ÷ 1.75	0	72	1181	244	2	0	0	1499
1.75 ÷ 2.25	0	0	328	213	3	0	0	544
2.25 ÷ 2.75	0	0	58	187	0	0	1	246
2.75 ÷ 3.25	0	0	1	127	1	0	0	129
3.25 ÷ 3.75	0	0	1	73	1	0	0	75
3.75 ÷ 4.25	0	0	0	33	6	0	0	39
4.25 ÷ 4.75	0	0	0	0	0	0	0	
4.75 ÷ 5.25	0	0	0	0	0	0	0	
> 5.25	0	0	0	0	0	0	0	
Tot.	13849	17075	8806	2050	55	2	421	42258

**Tabella 3.9 - Il Cavalluccio (Punto P<sub>2</sub>): distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso annuali classificati per altezza d'onda e periodo.**

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco									
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA									
Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)							Tot	Tot. cumul.
	Tp < 4	4 ≤ Tp < 6	6 ≤ Tp < 8	8 ≤ Tp < 10	10 ≤ Tp < 12	12 ≤ Tp < 14	Tp > 14		
0.25 <	20.23	7.79	2.83	0.84	0.02	0.00	0.62	32.33	32.33
0.25 ÷ 0.75	12.40	27.79	6.92	0.89	0.03	0.00	0.35	48.38	80.70
0.75 ÷ 1.25	0.14	4.66	7.38	1.05	0.04		0.03	13.30	94.01
1.25 ÷ 1.75		0.17	2.79	0.58	0.00			3.55	97.56
1.75 ÷ 2.25			0.78	0.50	0.01			1.29	98.84
2.25 ÷ 2.75			0.14	0.44			0.00	0.58	99.42
2.75 ÷ 3.25			0.00	0.30	0.00			0.31	99.73
3.25 ÷ 3.75			0.00	0.17	0.00			0.18	99.91
3.75 ÷ 4.25				0.08	0.01			0.09	100.00
4.25 ÷ 4.75									100.00
4.75 ÷ 5.25									100.00
>5.25								0.00	100.00
Tot.	32.77	40.41	20.84	4.85	0.13	0.00	1.00	100	
Tot. cumul.	32.77	73.18	94.02	98.87	99.00	99.00	100.00		

### 3.5.4 Analisi dei risultati

Dall'analisi dei risultati ottenuti risulta che nella propagazione da largo a riva, nel tratto di costa posto a Sud del comune di Rocca San Giovanni, su fondali di

circa -6 m s.l.m., il clima di moto ondoso subisce una sostanziale variazione, presentando una rotazione ed una considerevole restrizione della traversia che risulta limitata al settore compreso tra 340°N e 110°N.

In dettaglio si osserva che:

- gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 36% (corrispondente ad una durata media annua di circa 4.3 mesi) e risultano tutti concentrati all'interno di un settore compreso tra 350° e 100° N (tramontana-grecale-levante);
- gli eventi con  $H_s > 3.0$  m (eventi estremi) provengono tutti all'interno di un limitato settore compreso tra 30° e 60°N con una frequenza pari a circa lo 0.40% (corrispondente ad una durata di circa 1,5 giorni l'anno);
- le altezze d'onda massime raggiungibili, viste le limitate profondità dei fondali su cui è stata effettuata la propagazione largo-riva e su cui verranno imbastite le nuove opere di difesa, risultano limitate ad opera del frangimento;
- l'analisi della distribuzione stagionale degli eventi conferma una netta prevalenza degli stati di mare estremi in inverno ed in autunno mantenendosi comunque il settore di tramontana-grecale come unico settore all'interno del quale provengono gli stati di mare più intensi;
- le onde provenienti dal settore di grecale non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa e talvolta è possibile riscontrare valori dell'altezza d'onda che possono raggiungere valori sino al 10% in più di quelli riscontrati al largo.

In conclusione, il moto ondoso che da largo proviene dai settori di tramontana e scirocco, a causa della rifrazione e dello shoaling, propagandosi verso costa subisce una considerevole rotazione (verso grecale per gli eventi da tramontana e verso levante per gli eventi da scirocco) ed una sostanziale attenuazione dell'altezza d'onda significativa.

Gli eventi di moto ondosi più intensi provengono all'interno di un limitato settore di traversia compreso tra 30° e 60°N con valori dell'altezza d'onda limitati dal frangimento generato dai bassi fondali.

Nella Figura 3.11 viene riportato, come sintesi dei risultati, l'inquadramento geografico con il clima d'onda annuale al largo di Rocca San Giovanni ed il clima d'onda annuale per i punti scelti sotto costa e rappresentativi dei tratti di litorale interessati dagli interventi.

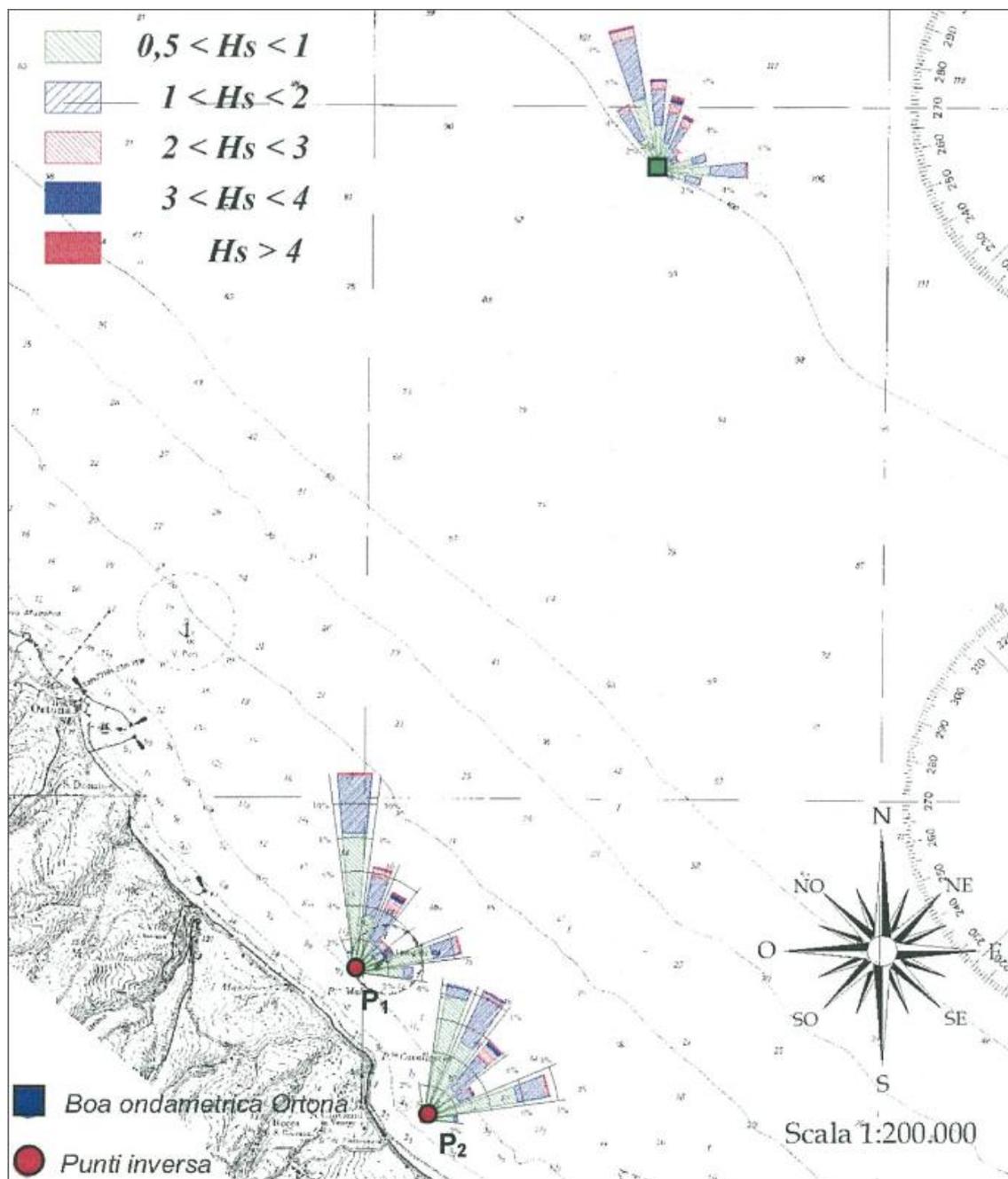


Figura 3.11 - Inquadramento geografico e clima d'onda annuale al largo e sotto costa nei punti scelti  $P_1$  e  $P_2$ .

## **4 Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso**

Per il corretto dimensionamento strutturale ed idraulico di un'opera marittima è necessario determinare la cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda in funzione di un'analisi statistica dei valori delle altezze d'onda rappresentative delle condizioni estreme (valori al colmo) di ogni singola mareggiata.

Per eseguire l'analisi statistica delle altezze d'onda risulta necessario selezionare preliminarmente dei campioni di dati che rispondano al doppio requisito di risultare tra di loro statisticamente indipendenti ed omogenei.

Per quanto riguarda l'indipendenza statistica di solito si utilizza il metodo POT (Peaks Over Threshold detto anche "della serie di durata parziale sopra soglia") che consiste nel prendere in esame il solo valore massimo di altezza d'onda (valore di picco) che si verifica nell'ambito di una singola mareggiata. L'individuazione di ciascuna mareggiata nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di altezza d'onda e considerando che il singolo evento (mareggiata) abbia inizio quando l'altezza d'onda significativa superi per la prima volta il valore della soglia prestabilito.

Conseguentemente si ipotizza che l'evento termini quando l'altezza d'onda significativa assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia oppure quando si verifica un forte scarto della direzione del moto ondoso.

Selezionati gli "eventi di picco", l'omogeneità dei dati di solito viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica.

Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi di altezze d'onda registrati in distinti settori di provenienza degli stati di mare.

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

Le leggi adottate di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento (funzione di ripartizione) sono quella di Weibull (limitata inferiormente):

$$P_{X_{\min}}(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - \varepsilon}{\theta}\right)^\beta\right]$$

e la legge di Gumbel

$$P_{X_{\max}}(x) = \exp\left[-e^{-\frac{(x-b)}{\alpha}}\right]$$

dove  $X$  è la variabile aleatoria,  $x$  il valore di non superamento mentre  $\varepsilon$ ,  $\theta = \lambda - \varepsilon$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  e  $b$  sono i parametri delle distribuzioni.

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 relative a diversi tempi di ritorno.

Al fine di separare i dati di moto ondoso registrati nei settori di traversia principale e secondario (denominati settore A e settore B), è stato realizzato il diagramma polare riportato nella Figura 4.1, dove, per ciascuna mareggiata individuata, sono stati riportati i valori di picco, superiori a 1.0 m, registrati al colmo dell'evento. L'analisi del diagramma permette di trarre le seguenti conclusioni:

- le mareggiate selezionate ricadono all'interno del settore di traversia compreso tra le direzioni 320°N e 130°N;
- il settore di traversia principale (settore A) è compreso tra le direzioni 320°N e 50°N. In tale settore rientrano gli stati di mare provenienti da maestrale fino a grecale generati in mare aperto e caratterizzati dalle massime altezze d'onda significative;
- il settore di traversia secondario (denominato settore B) ricade tra le direzioni 50°N e 130°N.

In tale settore rientrano gli stati di mare provenienti da levante e scirocco generati anch'essi in mare aperto e caratterizzati da altezze d'onda significative inferiori rispetto al settore A.

Individuati i settori di traversia principale e secondario di provenienza del moto ondoso, si è quindi proceduto a determinare per ciascuno di essi il valore di

soglia dell'altezza d'onda significativa da utilizzare per "isolare" ciascun evento e quindi i corrispondenti valori di picco. Il valore di soglia è stato individuato seguendo il metodo proposto da Goda (1988).

Gli stati di mare caratterizzati da un' altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) superiore alla soglia individuata sono stati quindi oggetto di una elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante una regolarizzazione degli eventi estremi secondo le funzioni probabilistiche indicate, le caratteristiche del moto ondoso da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di occorrenza). Nella Tabella 4.1 e Tabella 4.2 e nella Figura 4.2 sono riportati i risultati delle analisi statistiche.

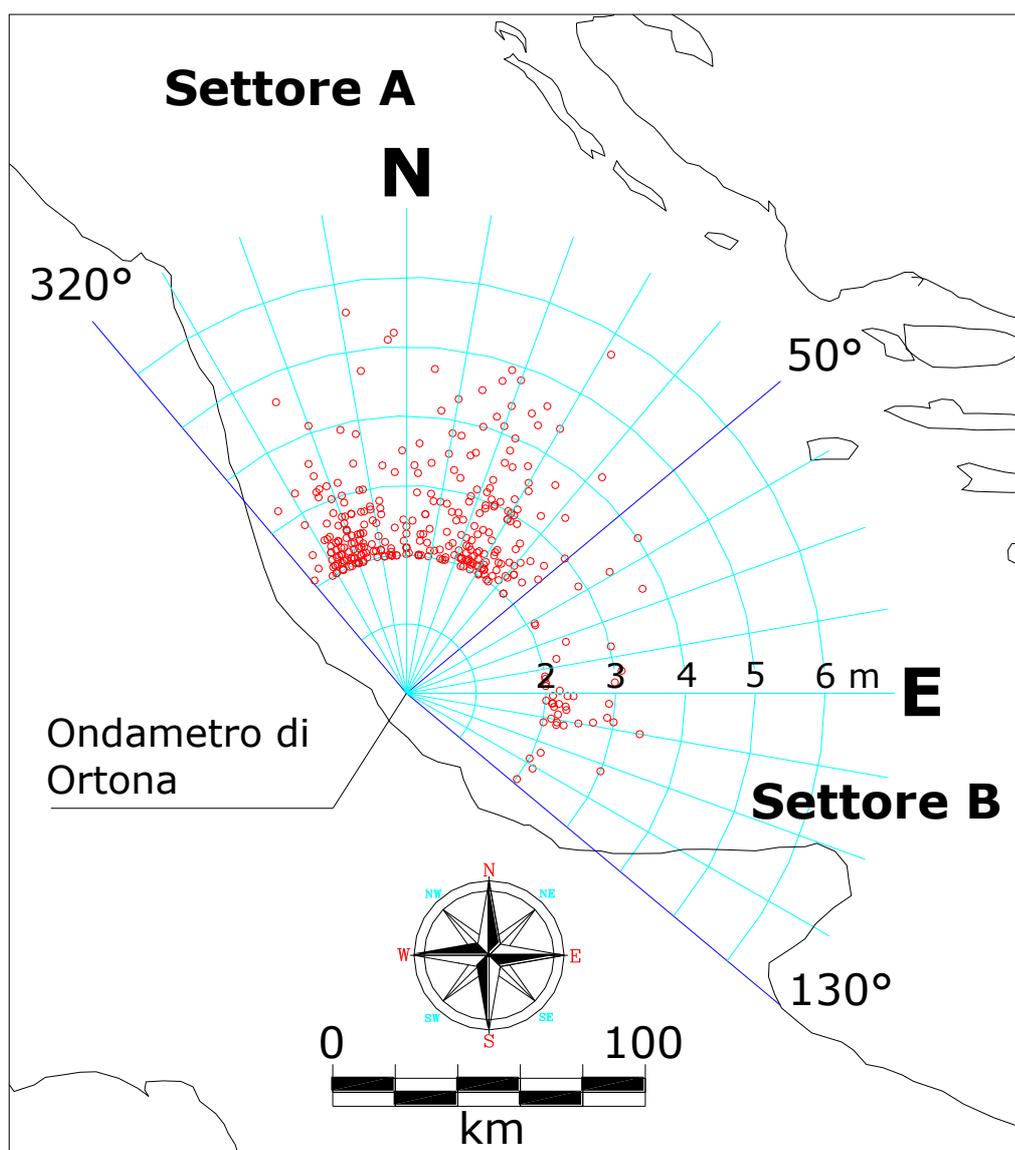


Figura 4.1 - diagramma polare delle mareggiate con altezza d'onda al colmo superiori a 2.0 m nel punto scelto al largo di Ortona.



**Tabella 4.2 - Ortona (Settore B): valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno per diverse leggi di regressione.**

Numero anni: 13.19		Media (m): 2.529							
Numero delle mareggiate: 24		Deviazione Standard (m): 0.46							
Soglia di riferimento (POT) m >2.00		Numero di eventi sopra POT 24							
Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
3.59	23.67	2.17	0.80						
3.31	8.50	2.12	0.75						
3.21	5.18	2.11	0.71						
2.97	3.72	2.09	0.68						
2.89	2.91	2.08	0.64						
2.87	2.38	2.08	0.61						
2.84	2.02	2.08	0.59						
2.82	1.75	2.01	0.56						
2.82	1.55								
2.75	1.39								
2.55	1.26								
2.36	1.15								
2.32	1.06								
2.28	0.98								
2.19	0.91								
2.18	0.85								

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	3.1	0.4	3.0	0.6
10	3.3	0.5	3.3	0.8
25	3.7	0.7	3.7	1.1
50	3.9	0.9	4.1	1.4
100	4.2	1.1	4.5	1.7
A	0.364		0.288	
B	2.325		2.188	
r	0.971		0.922	

Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	3.1	0.6	3.2	0.6	3.2	0.4
10	3.5	0.8	3.5	0.8	3.5	0.6
25	3.9	1.2	3.9	1.1	3.8	0.8
50	4.3	1.5	4.2	1.5	4.1	1.0
100	4.7	1.9	4.5	1.8	4.3	1.2
A	0.468		0.708		0.996	
B	2.062		1.884		1.646	
r	0.961		0.978		0.973	

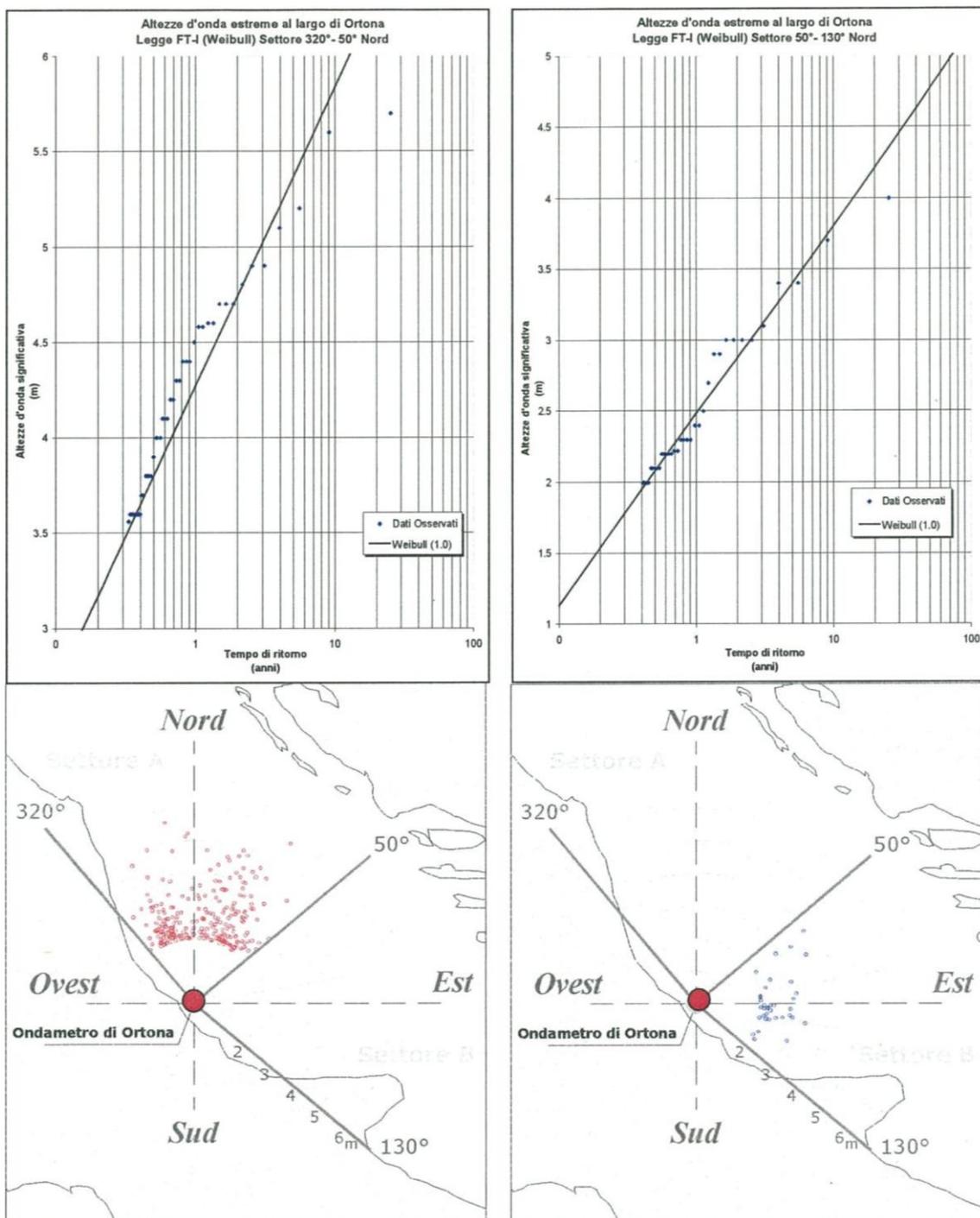


Figura 4.2- Ortona: valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno secondo la legge di Weibull ( $\alpha=1.0$ ) e rose degli estremi suddivise per settori.

## 5 Analisi dei livelli di marea

Nel contesto Abruzzese, non risultando la costa soggetta a fenomeni di subsidenza e potendosi trascurare, visti i lunghissimi periodi coinvolti, eventuali fenomeni di eustatismo, le variazioni di livello della superficie marina sono essenzialmente riconducibili alla propagazione di onde lunghe di marea di origine sia astronomica che meteorologica.

Come noto, la marea si manifesta come ritmico innalzarsi ed abbassarsi del livello marino cui si accompagnano spostamenti orizzontali della massa marina noti come *correnti di marea*. Entrambi gli spostamenti, verticale ed orizzontale, rappresentano aspetti differenti dello stesso fenomeno. Se da una parte la perpetuità e la regolarità del loro manifestarsi testimonia la costante presenza delle forze che causano e governano il fenomeno, dall'altra il fatto che, lungo tutte le coste oceaniche e dei mari adiacenti, tali spostamenti siano della stessa natura, anche se differenti come estensione, testimonia la loro globalità.

Da quanto precede si evince che le cause del fenomeno sono legate alla posizione che la Terra occupa nello spazio, ovvero all'azione che i corpi celesti, in particolare modo il Sole e la Luna, esercitano sulla Terra. L'origine astronomica giustifica la denominazione di *marea astronomica* comunemente data al fenomeno principale.

E' altresì noto come il ritmico innalzamento e abbassamento del livello medio marino indotto da cause astronomiche può essere disturbato da cause meteorologiche quali le variazioni bariche e l'azione tangenziale del vento, causa della cosiddetta *marea meteorologica*. In ogni caso, qualunque sia l'entità del disturbo, la regolarità del fenomeno propriamente astronomico ritorna sempre ad esplicarsi invariato una volta che il disturbo meteorologico abbia cessato la sua azione.

La marea astronomica, essendo originata dall'azione di attrazione Newtoniana indotta da moti di rivoluzione noti della Terra con i corpi celesti che la circondano (principalmente Luna e Sole), ha un carattere essenzialmente deterministico. La elevatissima precisione con la quale, a cavallo del XIX e XX secolo, sono state definite le caratteristiche dei moti della Luna attorno alla Terra e di questa attorno al Sole (Brown, 1908), ha consentito di scomporre il

potenziale della marea astronomica in centinaia di costituenti armoniche (Darwin, 1886; Doodson, 1921; Cartwright e Tayler, 1961), permettendo di identificare ciclicità con periodi dell'ordine dei 18 anni (nutazione e ciclo di Saros). E' bene notare che, qualora la Terra fosse una idrosfera, ovvero una sfera completamente ricoperta di acqua con tirante idrico costante, e qualora la risposta del fluido potesse ipotizzarsi istantanea (mancanza di reazione inerziale), una tale precisione nella conoscenza del potenziale generatore della marea permetterebbe di derivare teoricamente, con altrettanta elevata precisione, le variazioni temporali del livello marino in ogni punto del globo. La presenza dei continenti, la conformazione frastagliata dei fondali e delle coste, nonché l'inerzia con la quale l'acqua del mare reagisce alla forzante, non permettono tuttavia una tale derivazione teorica. Quindi, mentre i periodi delle varie costituenti della marea sono conosciuti con elevata precisione, l'ampiezza e la fase con le quali si esplicano nei vari punti del globo rimane una incognita. Tali caratteristiche, ovvero ampiezza e fase delle varie costituenti in un punto, possono tuttavia essere calcolate per mezzo dell'analisi armonica delle misure di livello realizzate nel punto considerato (Doodson, 1928), risultando il calcolo tanto più preciso quanto più lunga risulta la serie continua analizzata. Al limite, stanti le ciclicità fino ai 18 anni, per calcolare con precisione l'ampiezza e la fase di tutte le 368 costituenti di marea note occorrerebbero 18 anni di dati continui campionati con una frequenza di un'ora. Per fortuna, per ottenere ricostruzioni o previsioni di marea dotate di buona approssimazione, sono sufficienti l'ampiezza e la fase di un numero di costituenti molto minore. Secondo il luogo di interesse infatti, possono bastare anche solo 7 costituenti per ricostruire o prevedere fino al 96%-98% dell'escursione di livello mareale. Mediamente, sono sufficienti da un minimo di 15 giorni a un massimo di un anno di dati continui per poter calcolare, con precisione crescente, da 7 fino a circa 68 costituenti di marea.

Di tutt'altro genere è l'oscillazione di marea indotta da cause meteorologiche, essenzialmente gradienti di pressione e azione tangenziale del vento. In questo caso, allo stato delle conoscenze, tale oscillazione può essere studiata solo come un fenomeno a carattere stocastico. Per quanto alcuni tipi di oscillazione rientrante in questa categoria possano essere studiati analiticamente (ad esempio le oscillazioni di sessa di una bacino, indotte da una forzante

meteorologica, possono essere studiate calcolando i periodi di modo proprio del bacino stesso), ovvero complessivamente mediante l'applicazione di modelli in acqua bassa forzati dalle uscite di modelli meteorologici a scala globale e locale (GCM e LAM), il metodo locale ancora oggi più usato e più consolidato è quello che prevede di considerare il livello di marea meteorologica pari al livello residuo, dato dalla sottrazione dei livelli ricostruiti di marea astronomica da quelli osservati. Occorre notare che, tale metodo parte dal presupposto che il bacino considerato risponda linearmente alle due forzanti, ipotesi peraltro ampiamente accettata nel caso specifico dell'Adriatico (Franco *et al.*, 1982).

Nella presente relazione vengono esposti i risultati dell'analisi dei dati disponibili osservati al mareografo di Ortona. Tale analisi preliminare ha consentito di effettuare l'analisi armonica delle serie effettive e quindi ricavare le costituenti armoniche necessarie alla ricostruzione della marea astronomica. La determinazione dei livelli residui, identificati come livelli di marea meteorologica, ha poi consentito di effettuare una analisi statistica dei valori estremi finalizzata a correlare tali livelli residui a una precisa probabilità di accadimento. I risultati che emergono sono da ritenersi essenziali sia per le analisi di rischio di inondazione delle coste che come supporto alle decisioni inerenti la realizzazione di opere di difesa.

## **5.1 Analisi dei dati mareografici**

### **Mareografo di Ortona**

#### Caratteristiche

La stazione mareografica di Ortona (Figura 5.1) costituisce la stazione n.18 della Rete Mareografica Nazionale.

La stazione (Lama e Corsini, 2000), impiantata nel 1957 all'interno del Porto di Ortona in corrispondenza delle coordinate geografiche:

***42°21'19" N - 14°24'54" E***

era inizialmente dotata di un mareografo modello 450 Lagunare, sostituito nel 1986 con il Modello SM3810. Nel corso del 1998 la stazione è stata dotata di strumentazione per il funzionamento e la gestione telematica. Tale strumentazione è entrata in funzione nel giugno dello stesso anno. Il





Figura 5.1 - Localizzazione geografica della stazione di Ortona.

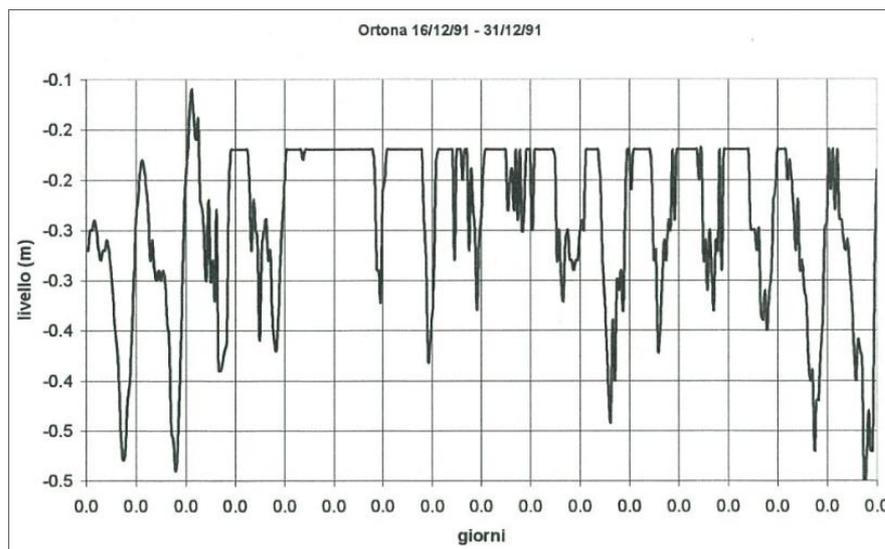
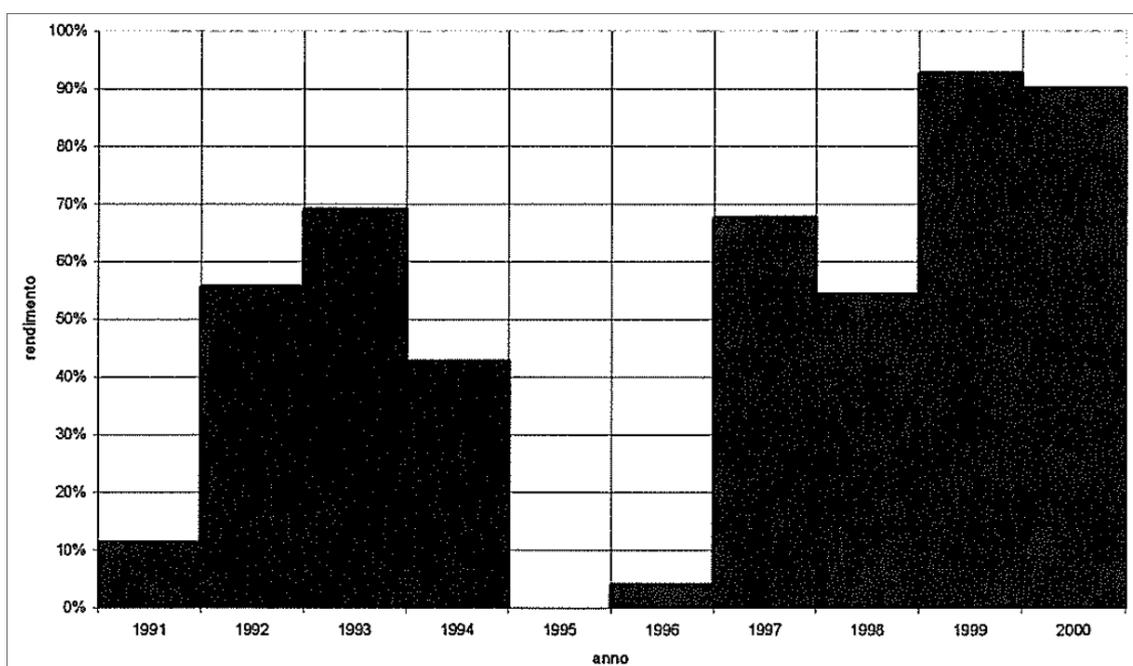


Figura 5.2 - Esempio di malfunzionamento del mareografo.

**Tabella 5.1 - Media e Rendimento effettivo annuale della stazione mareografica di Ortona.**

Anno	Media m	Rendimento
1991	-0.089	11.30%
1992	0.131	55.61%
1993	0.080	69.05%
1994	0.103	42.61%
1995	-	-
1996	0.207	3.95%
1997	-0.020	67.59%
1998	-0.032	54.37%
1999	-0.059	92.69%
2000	-0.110	90.07%



**Figura 5.3 - Rendimento effettivo annuale della stazione mareografica di Ortona.**

## 6 Livelli di marea

### 6.1 Analisi armonica dei livelli misurati

Allo scopo di separare la componente deterministica astronomica dei livelli misurati da quella stocastico meteorologica, le serie storiche effettive (ovvero depurate da 'spikes') dei livelli misurati nella stazione mareografiche di Ortona e stata sottoposta ad analisi armonica. A tal fine, si è utilizzato il codice di calcolo SLPR2 (Caldwell, 1998) elaborato presso il JIMAR ('Joint Institute for Marine and Atmospheric Research') in collaborazione con il 'National Oceanographic Data Center' del NOAA e il 'Sea Level Center' della 'University of Hawaii'. Il codice, mediante la tecnica dei minimi quadrati, analizza serie temporali di dati di livello campionati con frequenza oraria e restituisce l'ampiezza e la fase di un numero di costituenti principali e in acqua bassa dipendente dall'estensione della serie storica considerata. Si rimanda alla bibliografia per approfondimenti in merito al metodo di analisi utilizzato (Foreman, 1996; Godin, 1972).

Lo scarso rendimento è la natura casuale dei periodi di 'buco' o di 'errore' all'interno delle serie storiche disponibili hanno reso necessario individuare, all'interno delle serie stesse, i periodi che si presentano ottimali in relazione alla continuità, omogeneità e regolarità del dato misurato. L'estensione temporale delle serie scelte è indicata nella Tabella 6.1, mentre l'ampiezza e la fase (riferita alle 00:00 del 01/01/1976) delle costituenti individuate sono elencate nella Tabella 6.2e nella Tabella 6.3.

**Tabella 6.1 - Estensione temporale delle serie utilizzate per l'analisi armonica.**

	Inizio		Fine		dati validi
	ora	data	ora	data	
Ortona	00:01	06/06/92	00:00	19/05/93	8135
	00:01	01/01/00	00:00	01/11/00	7319

Tabella 6.2 - Costanti armoniche per la stazione di Ortona valutate nel periodo (1992-93).

Numero	Nome	Frequenza (1/n)	Ampiezza (cm)	Fase (gradi)
1	Z0	0.000000	108.0276	0.00
2	SSA	0.000228	10.4901	106.16
3	MSM	0.001310	1.8083	302.34
4	MM	0.001512	2.6747	257.11
5	MSF	0.002822	0.8009	200.68
6	MF	0.003050	0.6420	220.88
7	ALP1	0.034397	0.1337	105.73
8	2Q1	0.035706	0.1861	56.38
9	SIG1	0.035909	0.0374	100.71
10	Q1	0.037219	0.4806	71.83
11	RHO1	0.037421	0.2828	90.57
12	O1	0.038731	2.9162	68.04
13	TAU1	0.038959	0.2428	172.83
14	BET1	0.040040	0.0162	37.45
15	NO1	0.040269	0.4031	23.33
16	CHI1	0.040471	0.0746	166.78
17	P1	0.041553	2.7912	74.95
18	K1	0.041781	9.1301	82.49
19	PHI1	0.042009	0.4070	64.20
20	THE1	0.043091	0.2712	100.47
21	J1	0.043293	0.6128	101.38
22	SO1	0.044603	0.1524	346.37
23	OO1	0.044831	0.4372	101.58
24	UPS1	0.046343	0.3461	136.64
25	OQ2	0.075975	0.1329	119.18
26	EPS2	0.076177	0.0623	249.16
27	2N2	0.077487	0.0524	68.85
28	MU2	0.077689	0.1039	122.55
29	N2	0.078999	1.0974	92.88
30	NU2	0.079202	0.0993	77.49
31	M2	0.080511	6.8325	91.53
32	MKS2	0.080740	0.1275	217.93
33	LDA2	0.081821	0.1662	72.91
34	L2	0.082024	0.2034	111.98
35	S2	0.083333	4.8376	102.01
36	K2	0.083561	1.3500	96.69
37	MSN2	0.084845	0.1271	128.62
38	ETA2	0.085074	0.0642	115.69
39	MO3	0.119242	0.1216	344.47
40	M3	0.120767	0.3528	34.55
41	SO3	0.122064	0.0761	200.29
42	MK3	0.122292	0.1038	353.56
43	SK3	0.125114	0.1662	343.29
44	MN4	0.159511	0.1021	131.70
45	M4	0.161023	0.1362	12.63
46	SN4	0.162333	0.0130	73.09
47	MS4	0.163845	0.0655	89.95
48	MK4	0.164073	0.1501	281.54
49	S4	0.166667	0.0222	132.78
50	SK4	0.166895	0.0560	357.36
51	2MK5	0.202804	0.0613	274.55
52	2SK5	0.208447	0.0530	292.35
53	2MN6	0.240022	0.0440	334.15
54	M6	0.241534	0.0449	14.60
55	2MS6	0.244356	0.0349	290.39
56	2MK6	0.244584	0.0148	335.49
57	2SM6	0.247178	0.0301	356.92
58	MSK6	0.247406	0.0478	268.99
59	3MK7	0.283315	0.0363	281.18
60	M8	0.322046	0.0356	51.80

Tabella 6.3 - Costanti armoniche per la stazione di Ortona valutate nel periodo (2000).

Numero	Nome	Frequenza (1/h)	Ampiezza (cm)	Fase (gradi)
1	Z0	0.000000	87.7621	360.00
2	SSA	0.000228	4.9581	63.72
3	MSM	0.001310	1.0168	7.28
4	MM	0.001512	0.6741	85.26
5	MSF	0.002822	0.5504	308.93
6	MF	0.003050	1.3232	178.19
7	ALP1	0.034397	0.0177	358.39
8	2Q1	0.035706	0.0785	277.98
9	SIG1	0.035909	0.0852	134.02
10	Q1	0.037219	0.4278	59.15
11	RHO1	0.037421	0.1409	14.96
12	O1	0.038731	2.6851	51.40
13	TAU1	0.038959	0.3263	92.63
14	BET1	0.040040	0.1353	33.54
15	NO1	0.040269	0.1488	72.40
16	CHI1	0.040471	0.1390	138.46
17	PI	0.041553	2.6757	58.37
18	K1	0.041781	8.8223	66.48
19	PH11	0.042009	0.1959	43.12
20	THE1	0.043091	0.3034	153.62
21	J1	0.043293	0.6371	82.70
22	SO1	0.044603	0.5442	236.99
23	OO1	0.044831	1.1050	140.73
24	UPS1	0.046343	0.1797	290.22
25	OQ2	0.075975	0.0553	321.78
26	EPS2	0.076177	0.0429	288.86
27	2N2	0.077487	0.1316	2.97
28	MU2	0.077689	0.1405	74.36
29	N2	0.078999	1.0498	56.18
30	NU2	0.079202	0.3325	63.86
31	M2	0.080511	6.7035	61.12
32	MKS2	0.080740	0.0706	328.04
33	LDA2	0.081821	0.1106	38.31
34	L2	0.082024	0.1006	62.53
35	S2	0.083333	4.7430	70.66
36	K2	0.083561	1.3011	64.87
37	MSN2	0.084845	0.0260	306.38
38	ETA2	0.085074	0.1789	80.88
39	MO3	0.119242	0.2063	7.72
40	M3	0.120767	0.3244	336.70
41	SO3	0.122064	0.0830	137.76
42	MK3	0.122292	0.0760	256.35
43	SK3	0.125114	0.0349	306.38
44	MN4	0.159511	0.1177	278.73
45	M4	0.161023	0.1749	334.61
46	SN4	0.162333	0.0470	40.33
47	MS4	0.163845	0.0496	29.68
48	MK4	0.164073	0.0673	246.81
49	S4	0.166667	0.0488	311.15
50	SK4	0.166895	0.1065	300.82
51	2MK5	0.202804	0.0911	78.98
52	2SK5	0.208447	0.0241	129.56
53	2MN6	0.240022	0.0420	325.01
54	M6	0.241534	0.0243	7.11
55	2MS6	0.244356	0.0487	347.14
56	2MK6	0.244584	0.0993	216.88
57	2SM6	0.247178	0.0423	238.55
58	MSK6	0.247406	0.0474	50.85
59	3MK7	0.283315	0.0553	310.27
60	M8	0.322046	0.0300	150.54

Occorre sottolineare che, data l'estensione relativa delle serie sottoposte ad analisi armonica, le costanti individuate (essenzialmente associate a componenti principali) per quanto in grado di descrivere con sufficiente approssimazione l'andamento locale complessivo dell'onda di marea, non permettono di definire con sufficiente dettaglio le variazioni corrispondenti a distorsioni legate alla propagazione in costa.

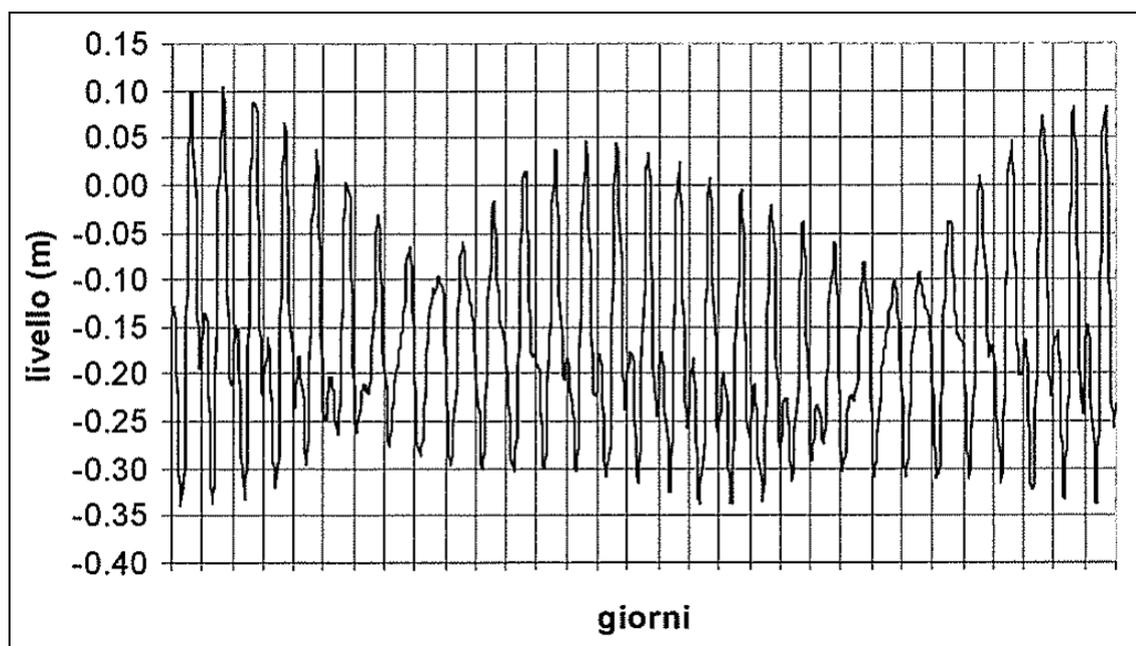
## **6.2 Componente deterministica dei livelli misurati: Marea Astronomica**

Sulla base della conoscenza delle costanti armoniche è stato successivamente possibile ricostruire la variazione temporale della componente deterministico astronomica del livello della superficie marina. Anche in questo caso si è fatto ricorso al sopra citato codice di calcolo SLPR2. In particolare, nel caso di Ortona le costanti armoniche valutate nel periodo 06/06/92-19/05/93 sono state utilizzate per ricostruire la marea tra il 1991 e il 1994 e quelle valutate nel periodo 01/01/00-01/11/00 per ricostruire la marea tra il 1996 e il 2000.

L'onda di marea così ricostruita (si vedano ad esempio le figure 6.1.1, 6.1.2) si presenta, concordemente ad altre località del Mare Adriatico, del tipo misto a dominante semidiurna con una ampiezza di oscillazione variabile tra un massimo pari a circa 44 cm e un minimo pari a circa 20 cm in entrambe le stazioni (semi-ampiezze pari a 22 cm e 10 cm rispettivamente).

## **6.3 Componente stocastica dei livelli misurati: Marea Meteorologica**

In base all'ipotesi - comunemente accettata (Franco *et al.*, 1982) - di comportamento lineare del bacino Adriatico, i contributi alla variazione di livello totale dovuti all'azione astronomica e meteorologica possono essere semplicemente sovrapposti. Da quanto precede si evince che la variazione di livello indotta da fattori meteorologici (vento, pressione) può essere identificata con la variazione di livello residua ottenuta sottraendo l'oscillazione astronomica ricostruita da quella desumibile a partire dai dati osservati di un mareografo.



**Figura 6.1 - Ricostruzione della marea astronomica a Ortona - Luglio 2000**

Operando in tal senso, ovvero calcolando i livelli residui, è stato possibile definire la serie dei livelli dovuti al propagarsi della marea meteorologica nella stazione di Ortona.

Occorre notare che la sopraccitata impossibilità di descrivere con sufficiente dettaglio le variazioni corrispondenti a distorsioni legate alla propagazione in costa determina la permanenza, all'interno della serie dei livelli residui, del segnale a loro imputabile.

## **7 Analisi statistica degli estremi di marea meteorologica**

### **7.1 Selezione dei campioni per Ortona**

Per eseguire l'analisi statistica dei livelli residui rappresentativi delle variazioni legate alla forzante meteorologica, è stato necessario selezionare preliminarmente campioni di dati statisticamente indipendenti e omogenei.

Per quanto riguarda l'indipendenza, è stato utilizzato il metodo POT (Peaks Over Threshold detto anche "della serie di durata parziale sopra soglia") che consiste nel prendere in esame il massimo dei valori di livello residuo che si verifica nell'ambito di un singolo evento meteorologico. L'individuazione di ciascun evento meteorologico nell'ambito della serie storica è stata effettuata introducendo un valore di soglia (5 cm) e ipotizzando che il singolo evento abbia inizio in corrispondenza del valore di livello residuo che superi per la prima volta il valore di soglia prestabilito. Conseguentemente, si ipotizza che l'evento termini quando il livello misurato assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia. Per quanta concerne l'omogeneità dei dati, è stato invece adottato un criterio di tipo empirico, raggruppando insieme i dati sopra soglia estesi su un periodo corrispondente a quello delle usuali perturbazioni che interessano l'Adriatico (5-10 giorni).

Su questa base sono stati selezionati i campioni di livello residuo statisticamente indipendenti e omogenei presentati nella Tabella 7.1

### **7.2 Leggi di distribuzione dei valori estremi**

L'analisi statistica vera e propria è stata realizzata ordinando in senso decrescente i campioni di valori indipendenti e omogenei, calcolando la frequenza cumulata associata ad ogni valore del campione e determinando la distribuzione del valore estremo ('EVD Extreme Value Distribution') che meglio approssima i campioni stessi.

Tabella 7.1 - Campioni dei dati di livello residua relativi ad Ortona.

Ortona		
Data	Ora	Livello
(gg/mm/aa)	(hh/mm)	(cm)
24/11/91	10.00	33.8
19/06/92	16.00	13.0
02/07/92	22.00	15.3
17/07/92	02.00	22.7
10/08/92	17.00	22.8
04/09/92	22.00	38.9
04/10/92	15.00	47.4
20/10/92	13.00	37.1
09/12/92	08.00	51.1
03/01/93	10.00	16.6
27/01/93	11.00	16.4
22/02/93	08.00	37.9
08/03/93	22.00	18.7
27/03/93	16.00	8.5
15/04/93	09.00	23.4
28/08/93	04.00	42.3
01/10/93	21.00	46.4
05/11/93	22.00	39.1
02/12/93	11.00	23.0
26/12/93	14.00	51.0
28/01/94	15.00	24.1
14/02/94	09.00	37.4
02/03/94	01.00	25.0
14/03/94	01.00	8.2
02/04/94	09.00	14.5
08/04/94	15.00	23.8
18/05/94	14.00	17.9
15/09/94	03.00	29.9
01/01/97	13.00	61.1
06/02/97	06.00	15.6
19/02/97	06.00	30.6
22/05/97	17.00	18.1
19/06/97	18.00	33.7
25/07/97	20.00	29.4
29/08/97	15.00	25.6
15/09/97	18.00	20.5
14/10/97	15.00	38.8
08/11/97	06.00	51.1
03/12/97	08.00	61.0
20/12/97	14.00	70.7
15/01/98	06.00	16.8
08/07/98	10.00	31.0
06/08/98	04.00	24.0
29/08/98	07.00	23.9
12/09/98	13.00	33.3
07/10/98	15.00	44.9
01/11/98	16.00	25.3
15/11/98	07.00	45.1
04/12/98	11.00	47.3
31/12/98	18.00	48.9
09/02/99	16.00	34.2
22/02/99	16.00	29.6
05/03/99	04.00	14.9
19/03/99	07.00	17.1
16/04/99	20.00	22.8
04/05/99	20.00	27.1
21/06/99	20.00	28.2
25/07/99	15.00	28.8
21/09/99	01.00	29.2
21/10/99	21.00	33.6
08/11/99	02.00	36.2
19/11/99	09.00	56.1
16/12/99	15.00	45.1
28/12/99	12.00	45.5
23/01/00	11.00	20.9
17/02/00	15.00	21.2
05/04/00	05.00	28.9
17/04/00	17.00	19.7
22/05/00	14.00	6.8
11/06/00	10.00	11.7
11/07/00	14.00	34.7

La frequenza cumulata è stata calcolata utilizzando l'espressione di Hazen (Kottegoda e Rosso, 1997):  $F(i) = \frac{i-0.35}{n}$  (con  $i$  pari al numero d'ordine del dato nel campione ordinato e  $n$  uguale al numero totale di dati nel campione), mentre sono state adottate tutte le distribuzioni note del valore estremo (Mood *et al.*, 1988, Maione e Moisello, 1993, Kottegoda e Rosso, 1997), ovvero:

EV1 - Gumbel 
$$F_x(x) = \exp\left[-e^{-\frac{x-b}{\alpha}}\right]$$

EV2 - Frechét 
$$F_x(x) = \exp\left[-\left(\frac{x_0}{x}\right)^\theta\right]$$

EV3 - Weibul (L) 
$$F_x(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\varepsilon}{\theta}\right)^\beta\right] \quad \theta = \lambda - \varepsilon$$

EV4 - Weibul (U) 
$$F_x(x) = \exp\left[-\left(\frac{\lambda-x}{\theta}\right)^\beta\right] \quad \theta = \lambda - \varepsilon$$

General Extreme Value (GEV) 
$$F_x(x) = \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(x-\varepsilon)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}}\right\}$$

ove  $(\alpha, b)$ ,  $(\theta, x_0)$ ,  $(\beta, \varepsilon, \theta, \lambda)$  e  $(k, \varepsilon, \alpha)$  sono i parametri di forma, scala e posizione delle varie distribuzioni.

Poichè, come noto, la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:  $Tr = \frac{1}{1 - F_x(x)}$  sono stati stimati i

livelli residui estremi in relazione a diversi tempi di ritorno.

### 7.3 Analisi dei risultati

L'analisi statistica ha permesso di calcolare i parametri di forma, scala e posizione che meglio approssimano i campioni (Tabella 7.2) e in seguito, i livelli residui estremi in relazione a diversi tempi di ritorno (Tabella 7.3).

Con l'eccezione della distribuzione di Frechét, tutte le distribuzioni forniscono risultati omogenei, non solo nell'ambito di un confronto all'interno dei singoli campioni di Ortona e Pescara, ma anche nell'ambito di un confronto tra i due campioni (livello variabile tra un minimo di 20 cm e un massimo di 80 cm per tempi di ritorno variabili tra un minimo di 2 anni e un massimo di 100 anni).

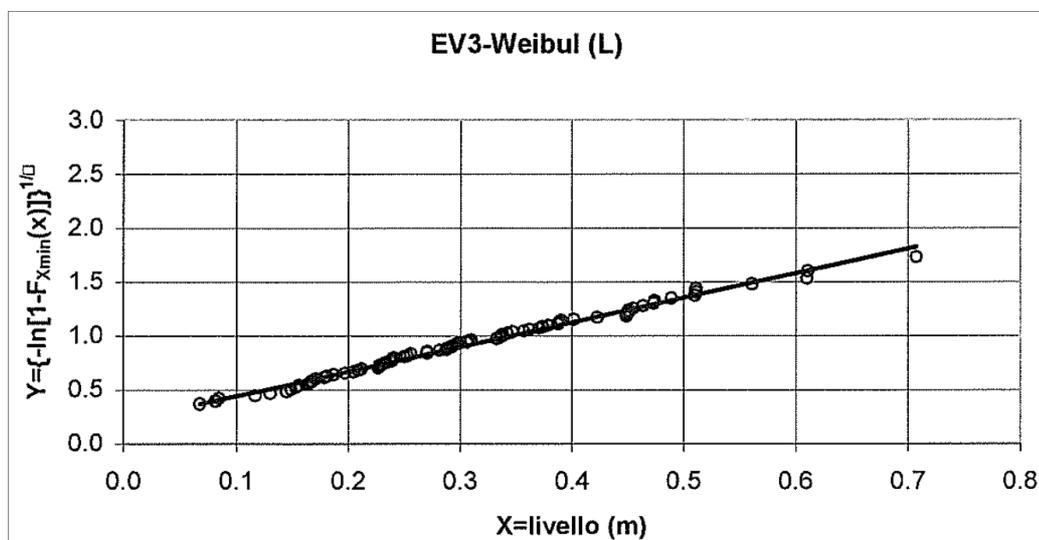
**Tabella 7.2 - Parametri di forma, scala e posizione delle diverse distribuzioni utilizzate.**

	Parametro	Ortona
Gumbel - EV1	$\alpha$	0.114
	$b$	2.062
Frechét - EV2	$\theta$	2.281
	$x_0$	0.209
Weibul (L) - EV3	$\beta$	2.876
	$\theta$	0.437
	$\varepsilon$	-0.093
Weibul (U) - EV3	$\lambda$	0.344
	$\beta$	9.000
	$\theta$	1.157
GEV	$\varepsilon$	0.237
	$\kappa$	0.005
	$\alpha$	0.114
	$\varepsilon$	0.235

**Tabella 7.3 - Livelli residui estremi in relazione a diversi Tr per i due campioni.**

Tr (anni)	Livello (m) - Ortona				
	Gumbel	Frechét	Weibul (L)	Weibul (U)	GEV
2	0.276	0.245	0.292	0.283	0.277
5	0.405	0.403	0.423	0.414	0.406
10	0.491	0.561	0.491	0.493	0.491
20	0.573	0.769	0.547	0.562	0.572
30	0.620	0.922	0.576	0.600	0.619
50	0.679	1.157	0.610	0.644	0.677
100	0.758	1.571	0.650	0.700	0.755

La distribuzione che appare meglio approssimare entrambi i campioni e la distribuzione di Weibul limitata inferiormente (Figura 7.1).



**Figura 7.1 - Distribuzione di Weibul limitata inferiormente sul campione di Ortona (rappresentazione in scala distorta).**

#### **7.4 Conclusioni sull'analisi dei livelli di marea**

L'analisi armonica dei livelli totali misurati alla stazione mareografica di Ortona, pur nei limiti imposti dallo scarso rendimento della stazione, ha permesso non solo di definire la possibile oscillazione deterministica dovuta all'onda di marea astronomica (compresa tra un massimo di *44 cm* e un minimo di *20 cm*) ma, nell'ipotesi di linearità del comportamento del bacino Adriatico (ipotesi comunemente accettata), ha permesso di stimare i livelli residui di oscillazione riconducibili con una qualche approssimazione a cause di natura meteorologica (onda di marea meteorologica). Una successiva analisi statistica degli estremi dei livelli residui ha quindi permesso di fornire la probabilità associata ai livelli residui estremi (tra un minimo di *20 cm* e un massimo di *80 cm* per tempi di ritorno variabili tra un minimo di *2 anni* e un massimo di *100 anni*).