

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

SEZIONE III

Adunanza del

104

19 GIU. 2013



Consorzio per l'Area di Sviluppo  
Industriale del Vastese

Via Ciccarone n.98/E  
66054 VASTO (CH)  
tel. 0873.367519 / 0873.364049

## PORTO DI VASTO - PUNTA PENNA

LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO  
DELLE INFRASTRUTTURE PORTUALI

CIPE - 138/2000

### *PIANO REGOLATORE PORTUALE* *2007*

ALLEGATO 3

## STUDIO METEOMARINO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MODIMAR s.r.l.	capogruppo mandataria
Med.I.F. s.r.l.	componente mandante
Tecnoconsud s.r.l.	componente mandante

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ING. NICOLA BERNABEO

CAPO PROGETTO:

PROF. ING. ALBERTO NOLI

LUGLIO 2007

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO .....	4
2.1	I FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI .....	4
3	DEFINIZIONE DEL CLIMA DI MOTO ONDOSO .....	9
3.1	ONDAMETRO DI ORTONA - DESCRIZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA R.O.N. ....	10
3.1.1	<i>Clima di moto ondoso al largo di Ortona</i> .....	12
3.2	ANALISI DELLA SERIE DI MISURE ONDAMETRICHE TRASPOSTE.....	16
3.2.1	<i>Clima di moto ondoso al largo di P.ta della Penna</i> .....	16
3.2.2	<i>Correlazione tra l'altezza ed il periodo d'onda</i> .....	21
3.3	PROPAGAZIONE SOTTO COSTA DELLA SERIE DI MISURE ONDAMETRICHE.....	22
4	ANALISI STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO .....	37
5	ANALISI DEI LIVELLI DI MAREA .....	43
6	ANALISI DEI DATI MAREOGRAFICI.....	46
6.1	MAREOGRAFO DI ORTONA.....	46
7	LIVELLI DI MAREA .....	50
7.1	ANALISI ARMONICA DEI LIVELLI MISURATI .....	50
7.2	COMPONENTE DETERMINISTICA DEI LIVELLI MISURATI: MAREA ASTRONOMICA ....	53
7.3	COMPONENTE STOCASTICA DEI LIVELLI MISURATI: MAREA METEOROLOGICA.....	53
8	ANALISI STATISTICA DEGLI ESTREMI DI MAREA METEOROLOGICA .....	55
8.1	SELEZIONE DEI CAMPIONI PER ORTONA .....	55
8.2	LEGGI DI DISTRIBUZIONE DEI VALORI ESTREMI.....	55
8.3	ANALISI DEI RISULTATI.....	58
8.4	CONCLUSIONI SULL'ANALISI DEI LIVELLI DI MAREA .....	60

## **1 Premessa**

La presente relazione riguarda lo studio idraulico-marittimo finalizzato alla definizione dei parametri meteomarini cui fare riferimento per la revisione e l'aggiornamento del nuovo Piano Regolatore Portuale di Vasto.

Questo insediamento portuale si colloca presso il promontorio di Punta della Penna, pochi chilometri a nord del centro abitato di Vasto.

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. Tali misure sono state utilizzate per eseguire una trasposizione geografica delle suddette misure di moto ondoso in un punto al largo di Punta della Penna.

Successivamente, per determinare le caratteristiche del moto ondoso in prossimità dell'imboccatura portuale di Vasto, è stata eseguita la propagazione largo-riva della serie storica trasposta al largo del sito in esame.

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

Per la corretta analisi dei parametri di progetto di un'opera marittima è necessario definire preliminarmente le condizioni di "esposizione geografica" del sito di intervento rispetto ai possibili fattori meteomarini come vento, moto ondoso, correnti e maree.

### 2.1 I fetch geografici ed efficaci

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 gli stati di mare. Per il calcolo della traversia geografica, ponendosi al largo del sito in esame e "materializzando" il cosiddetto "punto di interesse", vengono delimitati con un sistema di coordinate polari i distinti settori che dal punto di interesse "traguardano" i margini delle coste opposte al punto di interesse (che rappresentano gli estremi della superficie marina).

Si è soliti distinguere la traversia (fetch) geografica in un settore principale (caratterizzato dalle massime estensioni geografiche cui risultano solitamente associate le mareggiate più intense) ed un settore secondario (caratterizzato da estensioni geografiche più contenute solitamente contraddistinti da stati di mare minori).

Per *fetch efficace* si intende la "traversia" o lunghezza della porzione di mare sulla quale si esplica "effettivamente" l'azione del vento responsabile della generazione del moto ondoso. In bacini semichiusi di estensione limitata come il Mar Adriatico, l'individuazione dei *fetch* efficaci può essere eseguita facendo ricorso alla traversia (fetch) geografica.

Il valore del *fetch* efficace relativo ad una determinata direzione è funzione anche 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 superficie marina individuata nella direzione media  $\phi_w$  lungo la quale spira 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. Il calcolo dei *fetch* efficaci può essere eseguito in base alla seguente relazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)} \quad (2.1.1)$$

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 $\phi_w$ ;
$\theta$	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 $n = 2$ ).

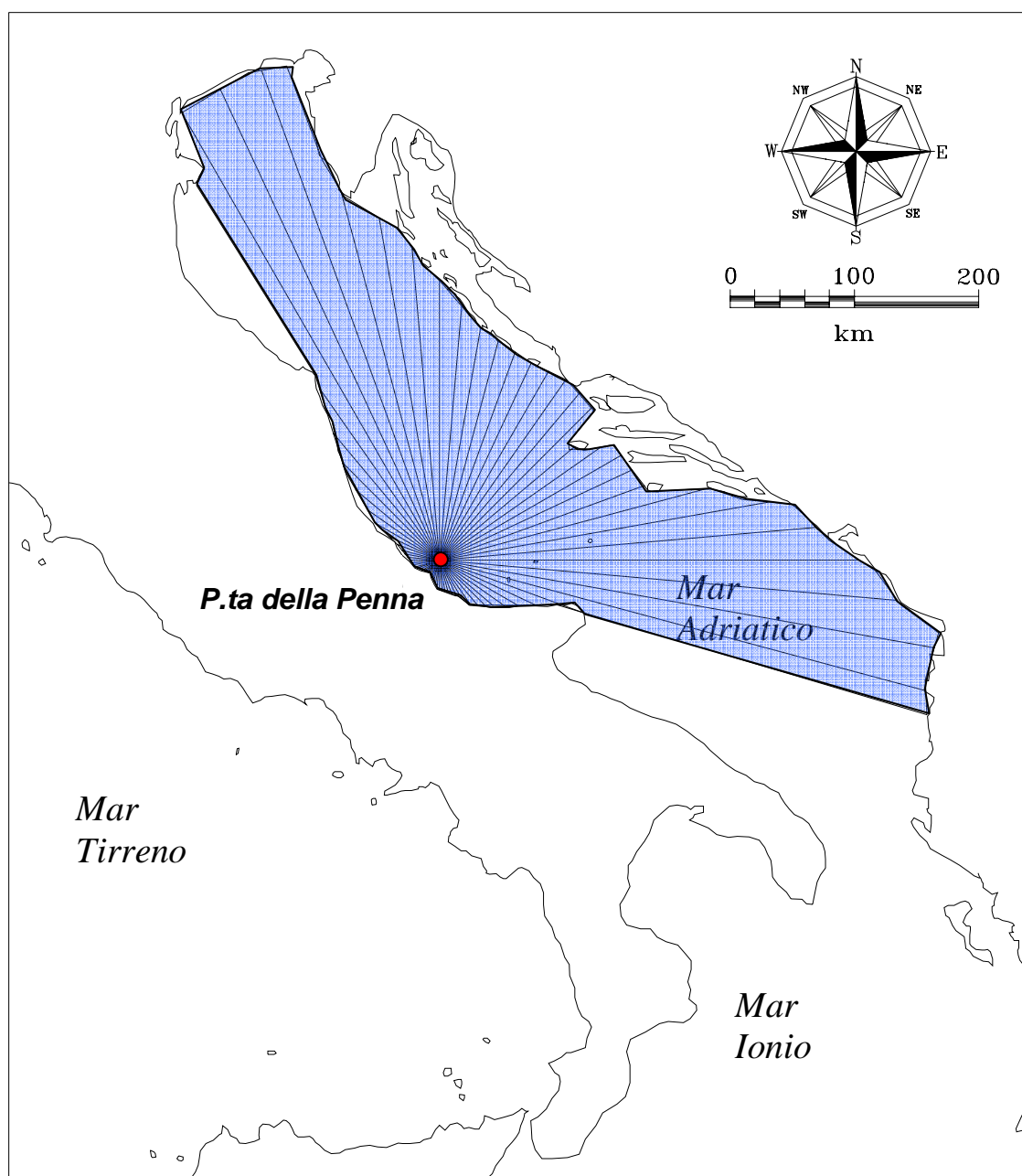
L'equazione (2.1.1) deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretshneider, 1947) e dai suoi successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, Smith 1991).

Il settore di traversia geografico al largo di Punta della Penna, nel punto ove si è effettuata la trasposizione geografica, è delimitato dal Gargano a sud-est e dal Conero a nord-ovest. Il paraggio è esposto al mare aperto per un settore di traversia compreso tra i  $330^\circ$  e i  $110^\circ$  N. I valori più elevati della lunghezza del fetch geografico si hanno secondo le direzioni che traggono la costa veneta (circa  $340^\circ$ N) e la costa albanese (circa  $110^\circ$ N), mentre il settore che si affaccia sulle coste croate ( $10-80^\circ$ N) è il più limitato.

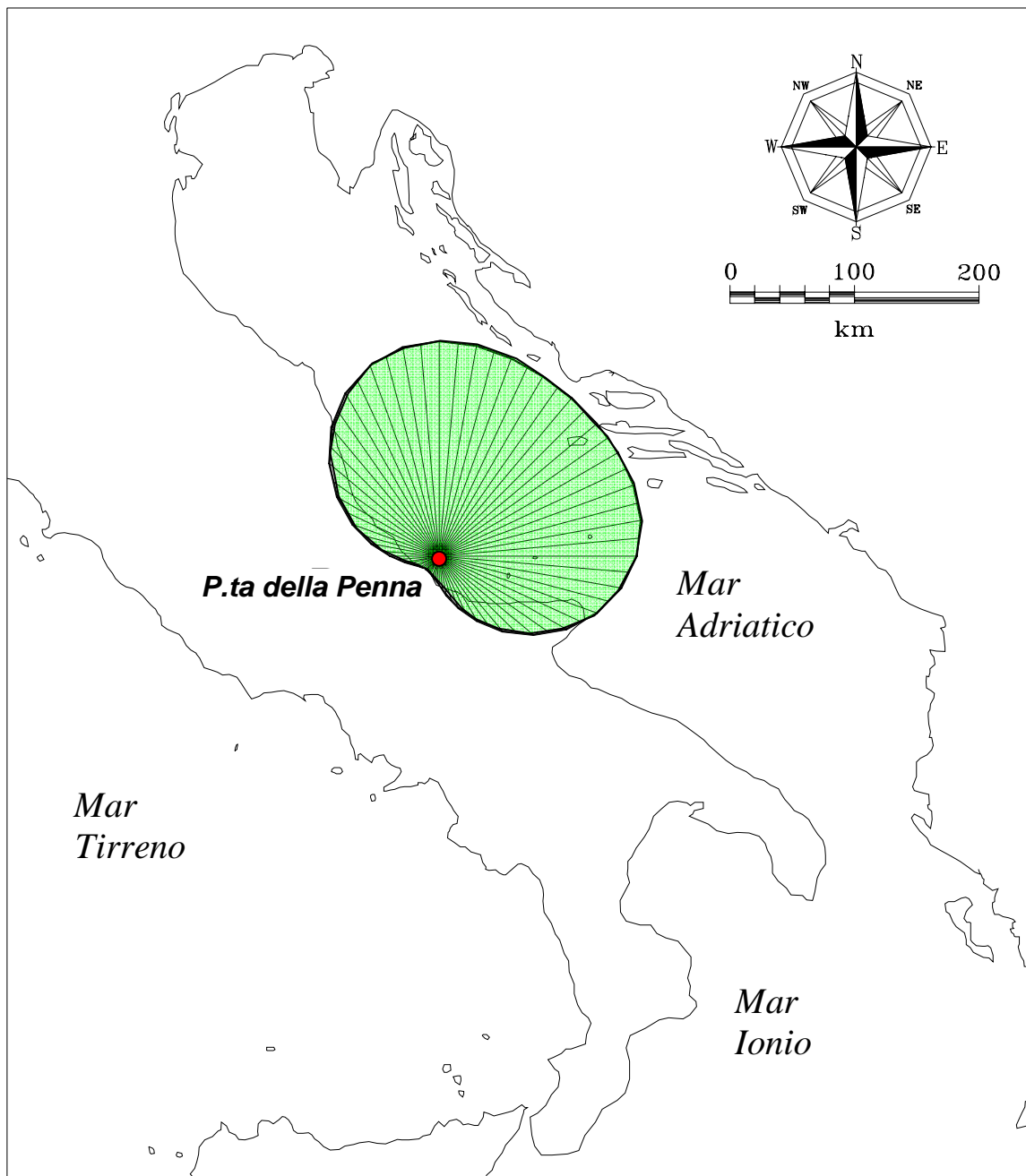
Nel diagramma polare di fig. 2.1.2 sono indicati graficamente i valori dei fetch geografici relativi al punto di analisi. La tabella 2.1.1 riporta gli stessi valori in forma numerica.

Considerato che nel Mar Adriatico le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500 km, i fetch geografici sono stati limitati a tale dimensione.

I fetch efficaci ottenuti utilizzando il modello ENIF per il calcolo automatico dell'equazione 2.2.1 sono riportati graficamente nel diagramma polare di fig. 2.1.3 e numericamente nella tabella 2.1.1 e nel grafico di fig. 2.1.5. Il fetch efficace massimo ottenuto risulta pari a circa 170 km ed è riferito al settore di tramontana. 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 (fig. 2.1.4).



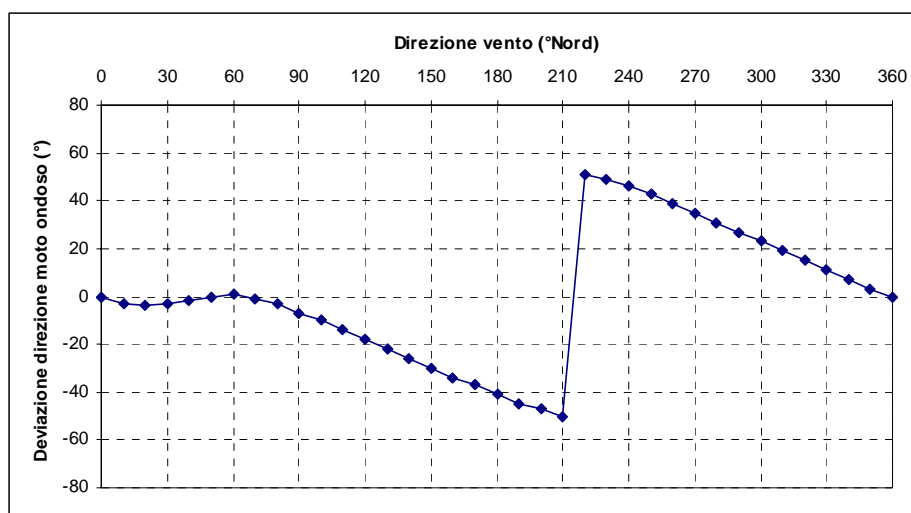
**Figura 2.1.2 – Fetch geografici al largo di Punta della Penna.**



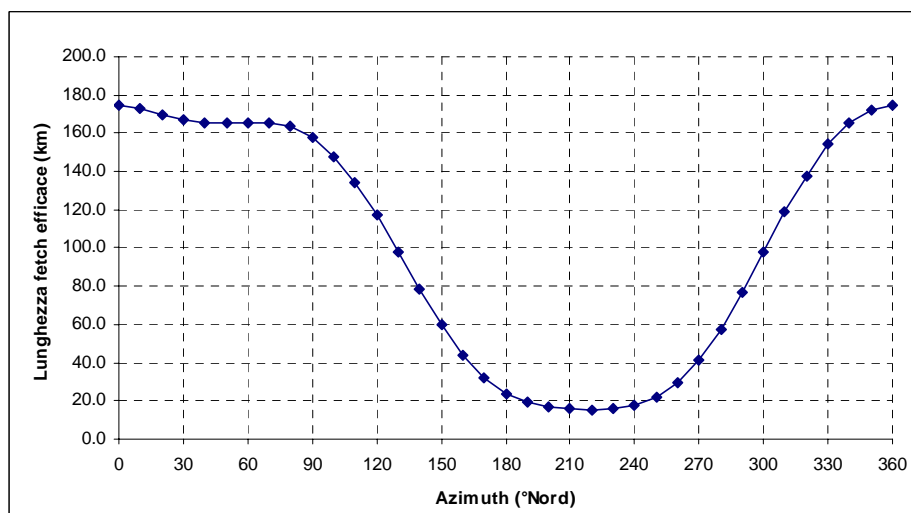
**Figura 2.1.3 – Fetch efficaci al largo di Punta della Penna.**

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	223.55	174.43	0.0	180	24.10	23.73	-41.0
10	188.88	172.91	-3.0	190	19.91	19.13	-45.0
20	177.53	169.86	-4.0	200	16.44	16.88	-47.0
30	174.95	167.19	-3.0	210	14.37	15.70	-50.0
40	174.15	165.57	-2.0	220	13.38	15.37	51.0
50	137.71	165.12	0.0	230	14.49	16.02	49.0
60	168.00	165.55	1.0	240	16.34	17.92	46.0
70	174.93	165.67	-1.0	250	19.41	21.97	43.0
80	267.90	163.55	-3.0	260	22.27	29.59	39.0
90	337.07	157.79	-7.0	270	25.86	41.54	35.0
100	404.06	147.84	-10.0	280	31.95	57.60	31.0
110	102.94	133.94	-14.0	290	37.80	76.80	27.0
120	73.09	116.89	-18.0	300	63.95	97.71	23.0
130	56.47	97.90	-22.0	310	93.82	118.65	19.0
140	47.16	78.41	-26.0	320	130.93	137.93	15.0
150	36.34	60.00	-30.0	330	411.80	154.02	11.0
160	29.22	44.13	-34.0	340	417.67	165.72	7.0
170	26.01	31.90	-37.0	350	303.78	172.44	3.0

**Tabella 2.1.1 - Fetch geografici ed efficaci al largo di P.ta della Penna.**



**Figura 2.1.4 – Legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato.**



**Figura 2.1.5 – Valori dei fetch efficaci in funzione della direzione.**



### 3 Definizione del clima di moto ondoso

La principale “forzante” cui fare riferimento nella progettazione di un’opera marittima è rappresentata dal moto ondoso incidente l’opera stessa. A tal scopo è indispensabile analizzare il regime del moto ondoso ed estrapolare da questo le caratteristiche principali delle mareggiate estreme.

Nel caso in esame, per pervenire a tale conoscenza, si è proceduto nel modo seguente:

- acquisizione ed analisi delle registrazioni effettuate alla boa ondometrica ubicata al largo di Ortona;
- ricostruzione del clima d’onda, a partire dai dati ondametrici di Ortona, al largo del promontorio di P.ta della Penna con il metodo della trasposizione geografica (v. figura 3.1);
- propagazione sotto costa della serie ondometrica trasposta, in un punto posto in prossimità dell’imboccatura portuale di Vasto ad una profondità di circa 15 m, attraverso il metodo di rifrazione inversa spettrale.



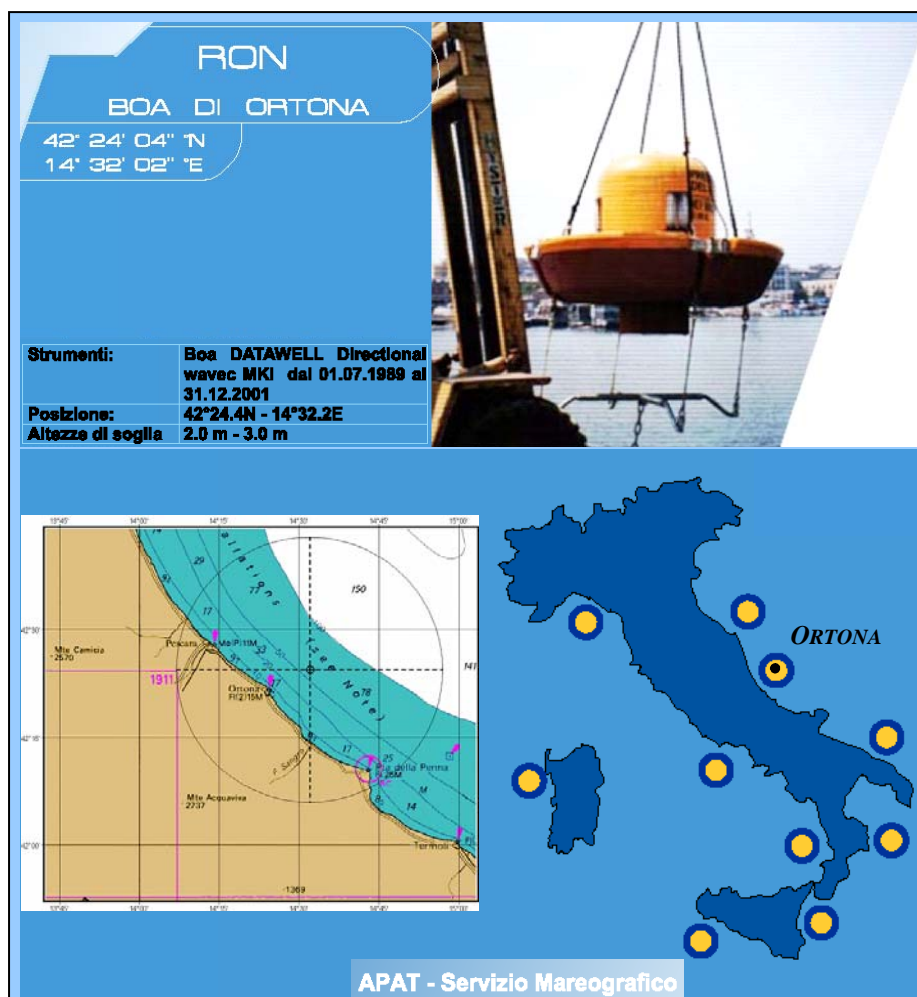
Figura 3.1 – Ubicazione del punto scelto per la trasposizione delle misure ondametriche da Ortona a Vasto

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

La stazione ondometrica di Ortona (figura 3.1.1), che fa parte della Rete Ondometrica Nazionale, è costituita da una boa ondometrica direzionale (tipo Datawell Wavec MKI), posizionata su fondali di circa 80 m, caratterizzata dalle seguenti coordinate geografiche:

**$42^{\circ} 24,4' N$ ;  $14^{\circ} 32,2' E$**

Si evidenzia che la serie storica analizzata in questo documento si estende dal 01/07/1989 al 30/06/2004. Il rendimento complessivo dell'ondametro (percentuale degli eventi misurati rispetto a quelli teorici) è pari al 87.95%. Nella tabella 3.1.1 sono riportati i rendimenti mensili ed il numero di stati di mare, registrati con cadenza trioraria, relativi all'ondametro di Ortona.



**Figura 3.1.1 – Caratteristiche della stazione ondometrica di Ortona**

Anno	Mese	Numero Eventi	Rend. (%)	Anno	Mese	Numero Eventi	Rend. (%)	Anno	Mese	Numero Eventi	Rend. (%)
1989	7	218	87.903	1995	1	247	99.597		7	234	94.355
	8	246	99.194		2	223	99.554		8	207	83.468
	9	240	100		3	248	100		9	207	86.25
	10	248	100		4	163	67.917		10	227	91.532
	11	240	100		5	247	99.597		11	177	73.75
	12	248	100		6	240	100		12	102	41.129
1990	1	248	100		7	242	97.581	2001	1	175	70.565
	2	224	100		8	248	100		2	155	69.196
	3	247	99.597		9	219	91.25		3	172	69.355
	4	237	98.75		10	237	95.565		4	218	90.833
	5	234	94.355		11	238	99.167		5	204	82.258
	6	208	86.667		12	200	80.645		6	198	82.5
	7	217	87.5	1996	1	246	99.194		7	168	67.742
	8	248	100		2	232	100		8	222	89.516
	9	196	81.667		3	248	100		9	203	84.583
	10	165	66.532		4	240	100		10	185	74.597
	11	234	97.5		5	240	96.774		11	169	70.417
	12	228	91.935		6	238	99.167		12	190	76.613
1991	1	210	84.677		7	245	98.79	2002	1	202	81.452
	2	216	96.429		8	243	97.984		2	221	98.661
	3	247	99.597		9	240	100		3	244	98.387
	4	216	90		10	247	99.597		4	195	81.25
	5	248	100		11	239	99.583		5	203	81.855
	6	240	100		12	242	97.581		6	168	70
	7	248	100	1997	1	247	99.597		7	158	63.71
	8	244	98.387		2	224	100		8	42	16.935
	9	215	89.583		3	248	100		9	24	10
	10	246	99.194		4	240	100		10	152	61.29
	11	234	97.5		5	247	99.597		11	194	80.833
	12	207	83.468		6	240	100		12	233	93.952
1992	1	248	100		7	245	98.79	2003	1	146	58.871
	2	231	99.569		8	233	93.952		2	180	80.357
	3	248	100		9	240	100		3	211	85.081
	4	204	85		10	241	97.177		4	181	75.417
	5	203	81.855		11	229	95.417		5	178	71.774
	6	238	99.167		12	230	92.742		6	191	79.583
	7	217	87.5	1998	1	248	100		7	237	95.565
	8	234	94.355		2	223	99.554		8	233	93.952
	9	186	77.5		3	237	95.565		9	214	89.167
	10	247	99.597		4	240	100		10	219	88.306
	11	186	77.5		5	248	100		11	173	72.083
	12	243	97.984		6	240	100		12	68	27.419
1993	1	234	94.355		7	246	99.194	2004	1	198	79.839
	2	218	97.321		8	213	85.887		2	200	86.207
	3	243	97.984		9	240	100		3	154	62.097
	4	235	97.917		10	248	100		4	204	85
	5	241	97.177		11	135	56.25		5	110	44.355
	6	230	95.833		12	239	96.371		6	0	0
	7	193	77.823	1999	1	241	97.177		7	9	3.629
	8	232	93.548		2	217	96.875		8	231	93.145
	9	228	95		3	248	100		9	160	66.667
	10	243	97.984		4	240	100		10	99	39.919
	11	203	84.583		5	246	99.194		11	106	44.167
	12	239	96.371		6	240	100		12	97	39.113
1994	1	228	91.935		7	191	77.016	2005	1	169	68.145
	2	209	93.304		8	199	80.242		2	2	0.893
	3	215	86.694		9	227	94.583		3	215	86.694
	4	233	97.083		10	248	100		4	226	94.167
	5	198	79.839		11	228	95		5	215	86.694
	6	227	94.583		12	188	75.806		6	188	78.333
	7	199	80.242	2000	1	201	81.048		7	183	73.790
	8	239	96.371		2	192	82.759		8	248	100.000
	9	188	78.333		3	106	42.742		9	240	100.000
	10	169	68.145		4	147	61.25		10	248	100.000
	11	240	100		5	217	87.5				
	12	248	100		6	240	100				
<b>Numero totale eventi registrati:</b>										<b>42324</b>	
<b>Rendimento complessivo ondametro:</b>										<b>88.66%</b>	

Tabella 3.1.1 – Rendimento dell'ondametro di Ortona.

### 3.1.1 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 3.1.2 e nelle figure 3.1.3 e 3.1.4 sono riportate rispettivamente la rosa annuale e quelle stagionali del clima di moto ondoso relative alla boa di Ortona. La tabella 3.1.2 riporta per il clima annuale gli stessi risultati in forma numerica.

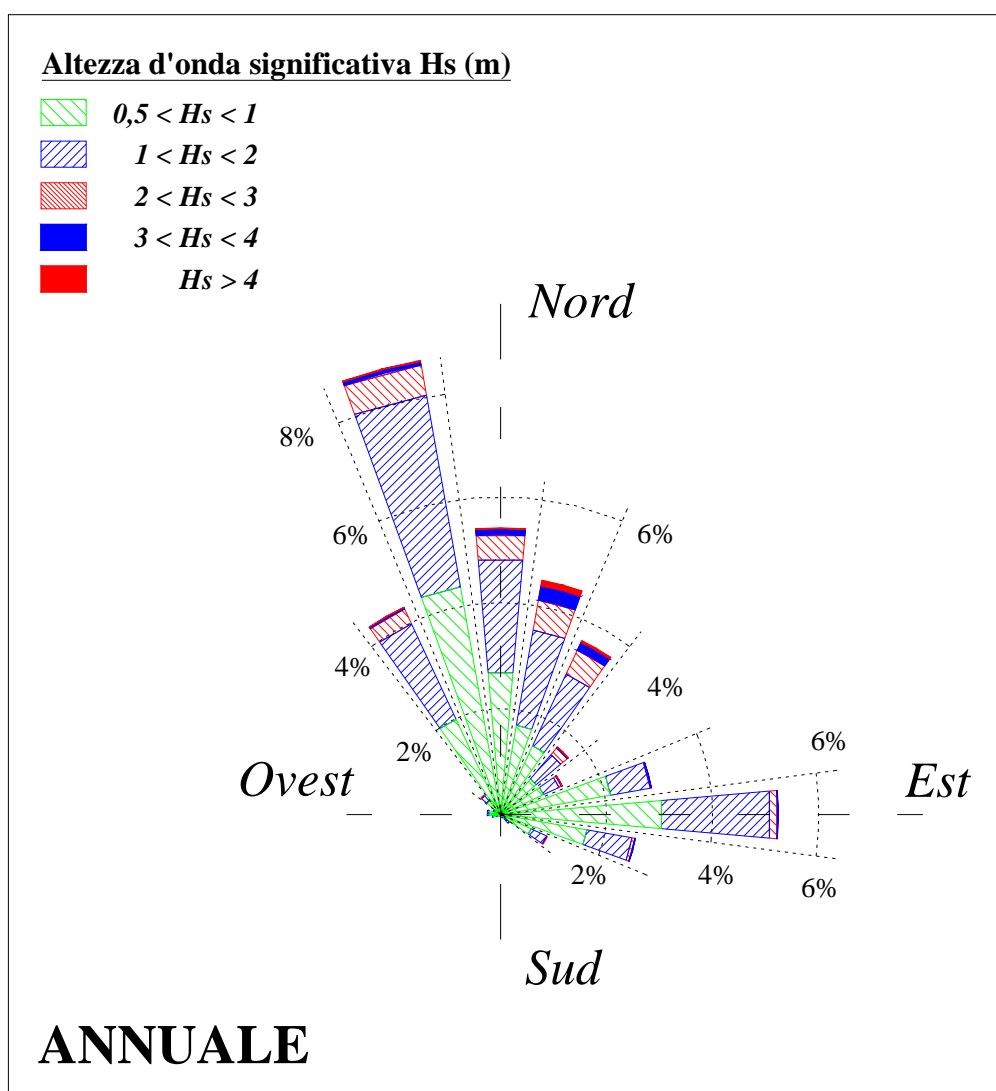
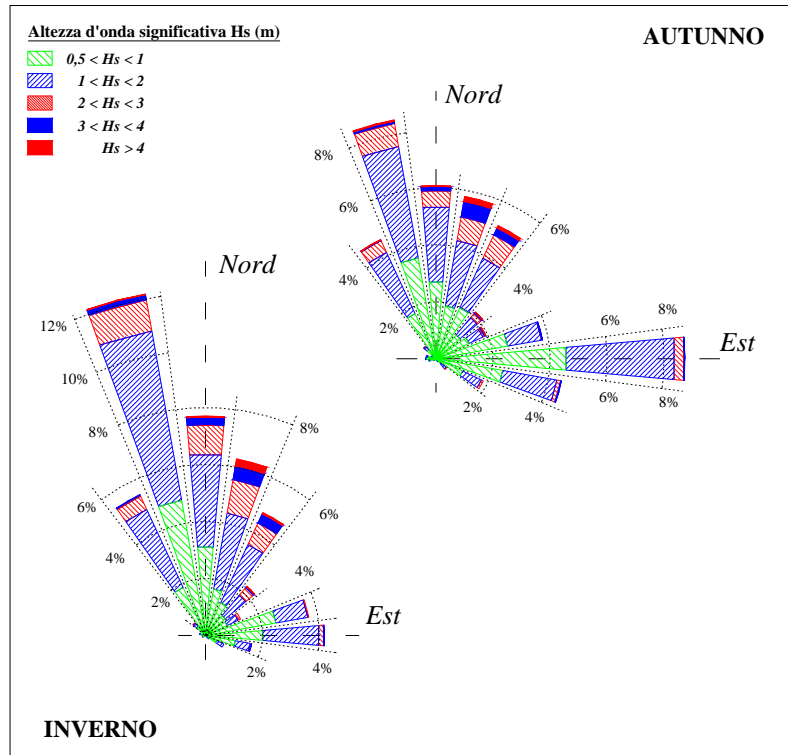
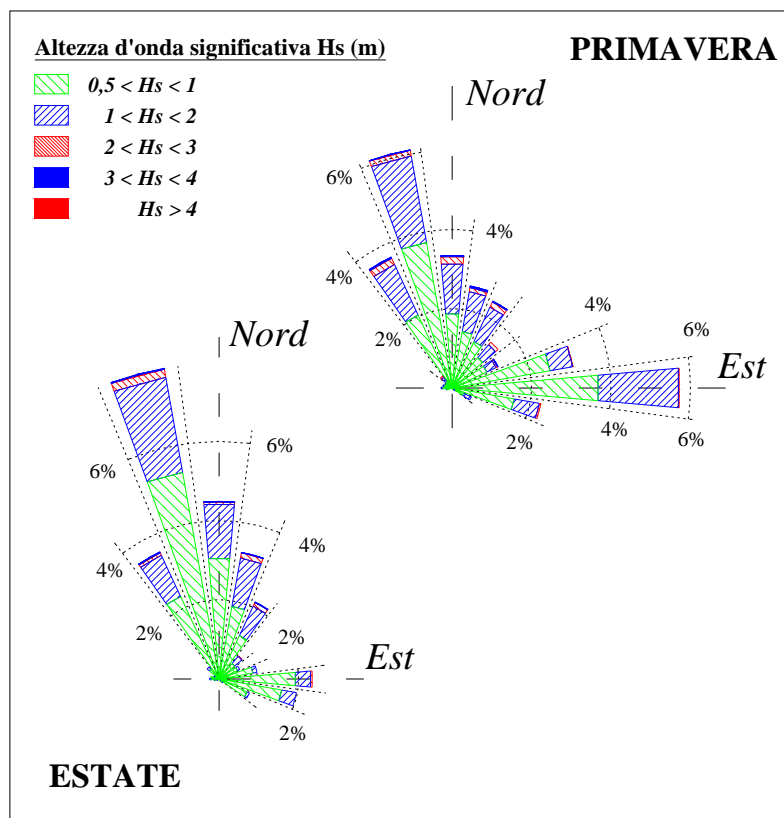


Figura 3.1.2 – Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali al largo di Ortona.



**Figura 3.1.3 – Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso autunnali e invernali al largo di Ortona**



**Figura 3.1.4 – Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso primaverili ed estivi al largo di Ortona**

Serie ondometrica al largo di Ortona: periodo (luglio 1989 - giugno 2004)

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	1.56	1.70	1.27	0.84	0.35	0.26	0.12	0.08	0.06	0.05	0.02					6.31
20	1.24	1.32	1.07	0.87	0.38	0.27	0.15	0.13	0.07	0.06	0.01					5.57
30	1.05	1.13	0.99	0.58	0.43	0.22	0.12	0.07	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00			4.67
40	1.04	1.00	0.65	0.39	0.22	0.13	0.04	0.02	0.01	0.01						3.50
50	1.03	1.04	0.56	0.22	0.06	0.04	0.03	0.00	0.01							2.99
60	1.06	1.21	0.55	0.16	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00						3.06
70	1.39	1.91	0.96	0.20	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00							4.53
80	1.66	2.95	1.84	0.65	0.13	0.01	0.00	0.01								7.25
90	1.71	3.20	2.11	1.14	0.35	0.08	0.02	0.00								8.62
100	1.57	2.80	1.44	0.63	0.23	0.06	0.02	0.01								6.76
110	1.27	2.10	0.82	0.36	0.08	0.01	0.01	0.00								4.65
120	0.88	1.04	0.46	0.16	0.03	0.01	0.01									2.59
130	0.55	0.38	0.12	0.08	0.04	0.01										1.18
140	0.37	0.11	0.04	0.03	0.01											0.57
150	0.18	0.08	0.03	0.01												0.30
160	0.16	0.04	0.02	0.02												0.24
170	0.09	0.03	0.01	0.00												0.13
180	0.09	0.03	0.00													0.12
190	0.05	0.02	0.01	0.00												0.09
200	0.05	0.02	0.01	0.00												0.08
210	0.05	0.02	0.02	0.01												0.10
220	0.06	0.03	0.01	0.00												0.10
230	0.04	0.04	0.04	0.01	0.00											0.13
240	0.04	0.05	0.04	0.01												0.12
250	0.09	0.07	0.04	0.02												0.22
260	0.09	0.11	0.13	0.01												0.34
270	0.13	0.16	0.15	0.02	0.01											0.45
280	0.17	0.14	0.18	0.03	0.01											0.52
290	0.17	0.21	0.11	0.02												0.51
300	0.24	0.31	0.08	0.02												0.65
310	0.33	0.53	0.11	0.02	0.01											1.00
320	0.40	0.80	0.36	0.16	0.04	0.02	0.01									1.78
330	0.66	1.45	1.23	0.85	0.36	0.15	0.04	0.01								4.74
340	0.89	2.40	2.68	1.92	0.68	0.32	0.09	0.03	0.01	0.00	0.01					9.02
350	1.31	2.97	2.74	1.54	0.56	0.24	0.10	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00			9.53
360	1.51	2.44	1.87	1.02	0.42	0.16	0.10	0.05	0.02	0.00	0.00	0.01				7.57
TOT.	23.17	33.85	22.73	11.99	4.48	2.03	0.87	0.45	0.25	0.13	0.04	0.01	0.01			100.00
Tot. cumul.	57.02	79.75	91.74	96.22	98.24	99.11	99.56	99.81	99.95	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00		

Numero di eventi validi : 38548

**Tabella 3.1.2 - Clima annuale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione.**

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 nord-ovest-nord (320-50°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 67% dal settore di traversia principale e per il rimanente 33% 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 l'87.9% 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%;
- gli eventi estremi con  $H_s > 2.0$  m sono caratterizzati da una frequenza di accadimento contenuta (circa il 6%);
- 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;
- la distribuzione degli stati di mare "significativi" (altezza d'onda maggiore di 0,5 m) non presenta sensibili variazioni stagionali, in particolare gli eventi provenienti dal settore di traversia principale sono il 75% circa del totale in inverno ed in estate, ed il 60% circa in primavera ed in autunno.

Queste caratteristiche climatiche risultano sostanzialmente confermate anche analizzando i dati ondometrici 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.

### 3.2 Analisi della serie di misure ondametriche trasposte

La boa ondametrica ubicata al largo di Ortona fornisce dati ondametrici rappresentativi delle condizioni climatiche delle coste italiane del medio Adriatico.

Pur risultando modesta la distanza geografica tra il sito di P.ta della Penna ed Ortona, (P.ta della Penna è posta circa 30 km a sud-est di Ortona), si è ritenuto opportuno applicare il modello di trasposizione geografica SAGITTA (Contini, De Girolamo – 1997) per una più esaustiva caratterizzazione del clima d'onda al largo del porto di Vasto.

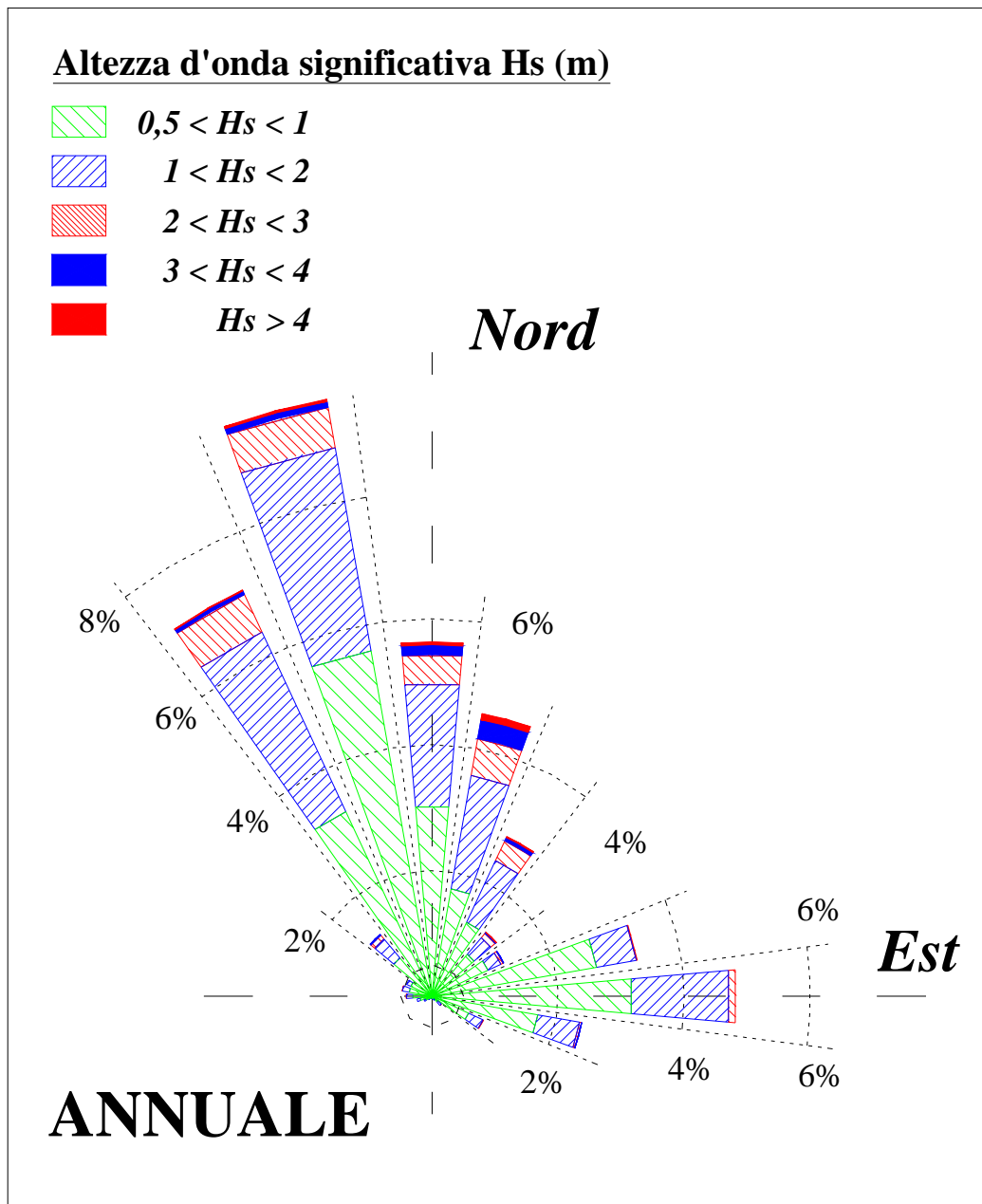
E' stato possibile, quindi, applicando tale metodo di trasposizione, già ampiamente illustrato e testato nella regione Abruzzo in diversi progetti (RICAMA, SICORA, CIPE n. 36/2002 e n. 17/2003) cui si rimanda per ulteriori dettagli, calcolare le condizioni di moto ondoso al largo di P.ta della Penna.

#### 3.2.1 Clima di moto ondoso al largo di P.ta della Penna

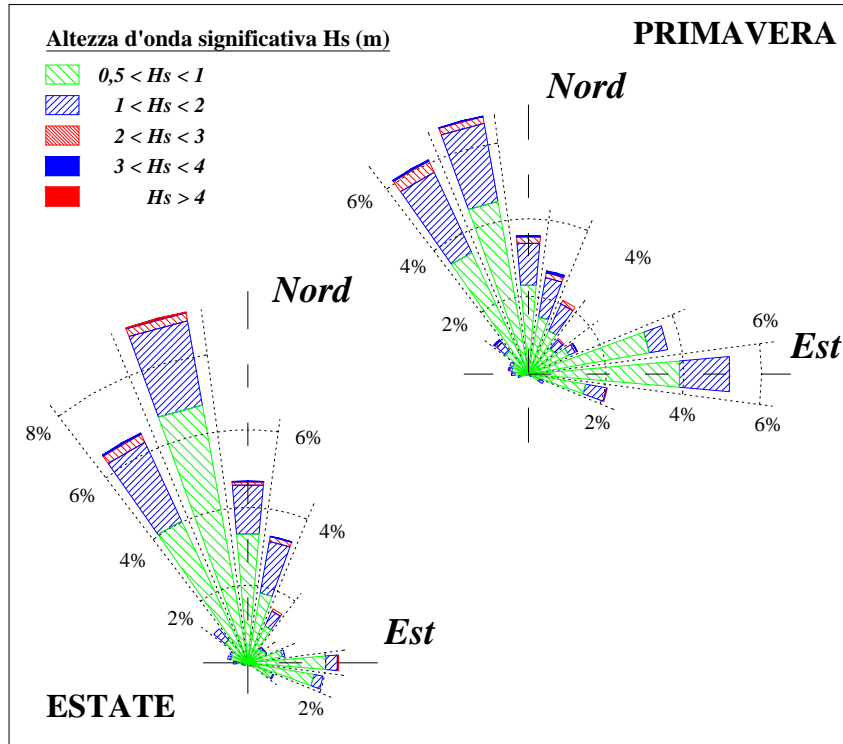
La serie di dati ondametrici calcolati al largo del porto di Vasto è stata analizzata con le stesse modalità utilizzate per la serie ondametrici di Ortona e descritte nei paragrafi precedenti.

Nella figura 3.2.1 e nelle figure 3.2.2 e 3.2.3 sono riportate rispettivamente la rosa annuale e quelle stagionali del clima di moto ondoso al largo di P.ta della Penna. La tabella 3.2.1 riporta per il clima annuale gli stessi risultati in forma numerica.

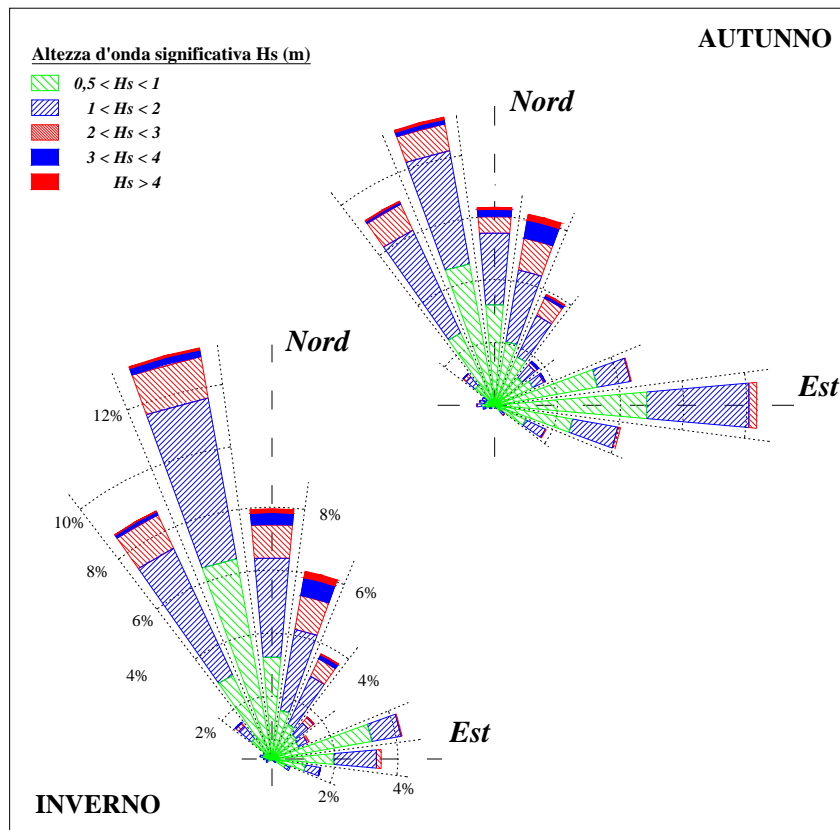




**Figura 3.2.1- Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali al largo di P.ta della Penna.**



**Figura 3.2.2 – Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso primaverili ed estivi al largo di P.ta della Penna.**



**Figura 3.2.3- Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso autunnali e invernali al largo di P.ta della Penna.**

Serie ondometrica al largo di P.ta della Penna. Periodo (luglio 1989 - Giugno 2004)

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	1.33	1.20	1.43	0.88	0.35	0.21	0.14	0.10	0.09	0.05	0.02					5.80
20	1.18	1.21	0.99	0.74	0.44	0.29	0.12	0.11	0.06	0.03	0.01					5.19
30	0.99	1.02	0.96	0.51	0.26	0.16	0.08	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00			4.03
40	0.93	0.88	0.60	0.22	0.10	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00						2.84
50	0.92	1.05	0.54	0.15	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01							2.73
60	1.05	1.13	0.57	0.10	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00							2.93
70	1.48	2.17	1.21	0.16	0.04	0.01	0.01									5.07
80	1.63	3.03	2.20	0.56	0.13	0.01	0.01									7.57
90	1.57	2.90	2.15	0.81	0.26	0.06	0.02									7.78
100	1.55	2.74	1.52	0.50	0.15	0.03	0.02	0.00								6.51
110	1.24	1.96	0.87	0.27	0.05	0.00	0.01									4.41
120	0.87	0.98	0.44	0.14	0.03	0.01										2.46
130	0.47	0.30	0.12	0.06	0.03	0.01										0.98
140	0.37	0.09	0.06	0.03	0.01											0.57
150	0.16	0.08	0.03	0.01	0.00											0.27
160	0.18	0.03	0.03	0.02	0.01											0.26
170	0.09	0.02	0.02	0.00												0.13
180	0.09	0.02	0.01													0.12
190	0.04	0.02	0.02	0.01												0.09
200	0.02	0.04	0.01	0.00												0.08
210	0.03	0.03	0.02	0.01												0.10
220	0.03	0.04	0.03	0.01												0.10
230	0.02	0.04	0.05	0.02	0.01											0.13
240	0.02	0.03	0.06	0.02												0.12
250	0.03	0.07	0.09	0.02	0.01											0.22
260	0.04	0.07	0.18	0.04	0.00											0.34
270	0.03	0.13	0.21	0.07	0.00	0.01										0.45
280	0.09	0.28	0.28	0.10	0.01	0.01										0.76
290	0.07	0.23	0.18	0.02	0.01											0.51
300	0.10	0.39	0.23	0.04	0.01											0.77
310	0.23	0.50	0.38	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00								1.20
320	0.49	0.73	0.77	0.41	0.13	0.06	0.04	0.02	0.00							2.64
330	0.68	1.30	1.98	1.47	0.61	0.34	0.10	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00				6.54
340	1.07	1.90	3.61	1.77	0.88	0.31	0.18	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01				9.81
350	1.62	2.26	3.51	1.26	0.51	0.26	0.11	0.05	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00			9.63
360	1.58	1.50	1.98	0.93	0.37	0.23	0.11	0.09	0.01	0.02	0.01					6.82
TOT.	22.28	30.42	27.34	11.42	4.51	2.12	0.98	0.47	0.26	0.15	0.04	0.02	0.01			100.00
Tot. cumul.	52.70	80.03	91.45	95.96	98.08	99.06	99.53	99.79	99.94	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00		

Numero di eventi validi : 38544

**Tabella 3.2.1 - Clima annuale al largo di P.ta della Penna: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione - distribuzione percentuale.**

Dall'analisi dei risultati si evincono le seguenti considerazioni, che risultano sostanzialmente simili a quelle evidenziate per la boa ondometrica di Ortona:

- al largo di P.ta della Penna gli stati di mare più frequenti e caratterizzati da altezze d'onda più elevate provengono dal settore di traversia nord-ovest-nord ( $310-60^{\circ}N$ ) 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 53%;
- gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per il 70.6% circa dal settore di traversia principale e per il rimanente 29.3% circa 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 62.5% altezza d'onda inferiore a 2,0 m;
- il moto ondoso più intenso ( $H_s > 3.0$  m) proviene in prevalenza dal settore di traversia  $310^{\circ}-60^{\circ} N$  con una frequenza di accadimento pari a circa lo 0.9%;
- gli eventi estremi con  $H_s > 2.0$  m sono caratterizzati da una frequenza di accadimento contenuta (inferiore al 5%);
- 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 3.5 metri;
- tra gli stati di mare “significativi” (altezza d'onda maggiore di 0,5 m) quelli più frequenti, circa il 91%, sono caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 2m;
- il clima di moto ondoso non presenta sensibili variazioni stagionali per quanto riguarda le direzioni prevalenti del moto ondoso;

Si evidenzia, in particolare, che le caratteristiche climatiche annuali appena riportate si possono riscontrare anche analizzando gli eventi su base stagionale.

### 3.2.2 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 3.2.2 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):

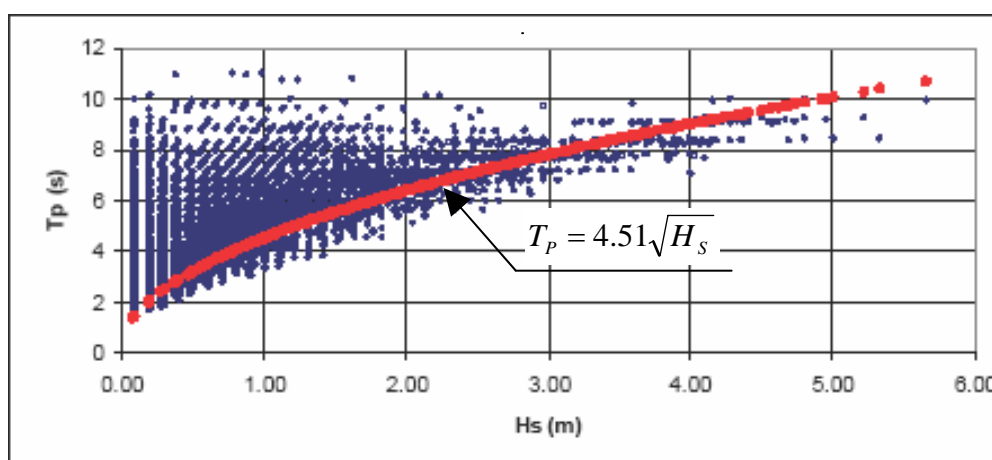
$$T_P = a \cdot (H_s)^b \quad (3.2.1),$$

ove ai parametri  $a$  e  $b$  sono stati assegnati rispettivamente i valori  $a=4.51$  e  $b=0.5$ .

Nella figura 3.2.4 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 utilizzata.

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 3.2.2 – Eventi di moto ondoso classificati per altezza d'onda e periodo  
Distribuzione percentuale.**



**Figura 3.2.4- Distribuzione del periodo di picco in funzione dell'altezza d'onda significativa.**

### 3.3 Propagazione sotto costa della serie di misure ondometriche

Per definire le condizioni di moto ondoso in prossimità dell'imboccatura portuale e delle opere foranee di Vasto 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 un'analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la propagazione. Tale analisi si basa fondamentalmente su un'attenta lettura della conformazione batimetrica dei fondali e delle relative condizioni al contorno che per il porto di Vasto risultano funzione anche delle direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

In particolare, per quanto riguarda gli stati di mare generati in mare aperto è possibile definire delle condizioni al contorno (contorno di largo) espresse in termini di altezza, direzione e periodo caratteristici del moto ondoso incidente. Peraltro per tali settori si può ragionevolmente ritenere che l'influenza in termini percentuali dei meccanismi generativi del moto ondoso ad opera del vento che intervengono nella propagazione largo-riva possano essere, nel caso in esame, trascurati poiché la zona di evoluzione del moto ondoso su bassi fondali risulta di estensione notevolmente inferiore rispetto a quella, posta in mare aperto, dove le onde vengono generate. Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde sui fondali via via decrescenti che "collegano" il mare aperto alla zona di intervento, la regolarità dell'andamento delle linee batimetriche, che caratterizzano il litorale in esame, permette di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo shoaling e che possano essere ritenuti trascurabili i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna).

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

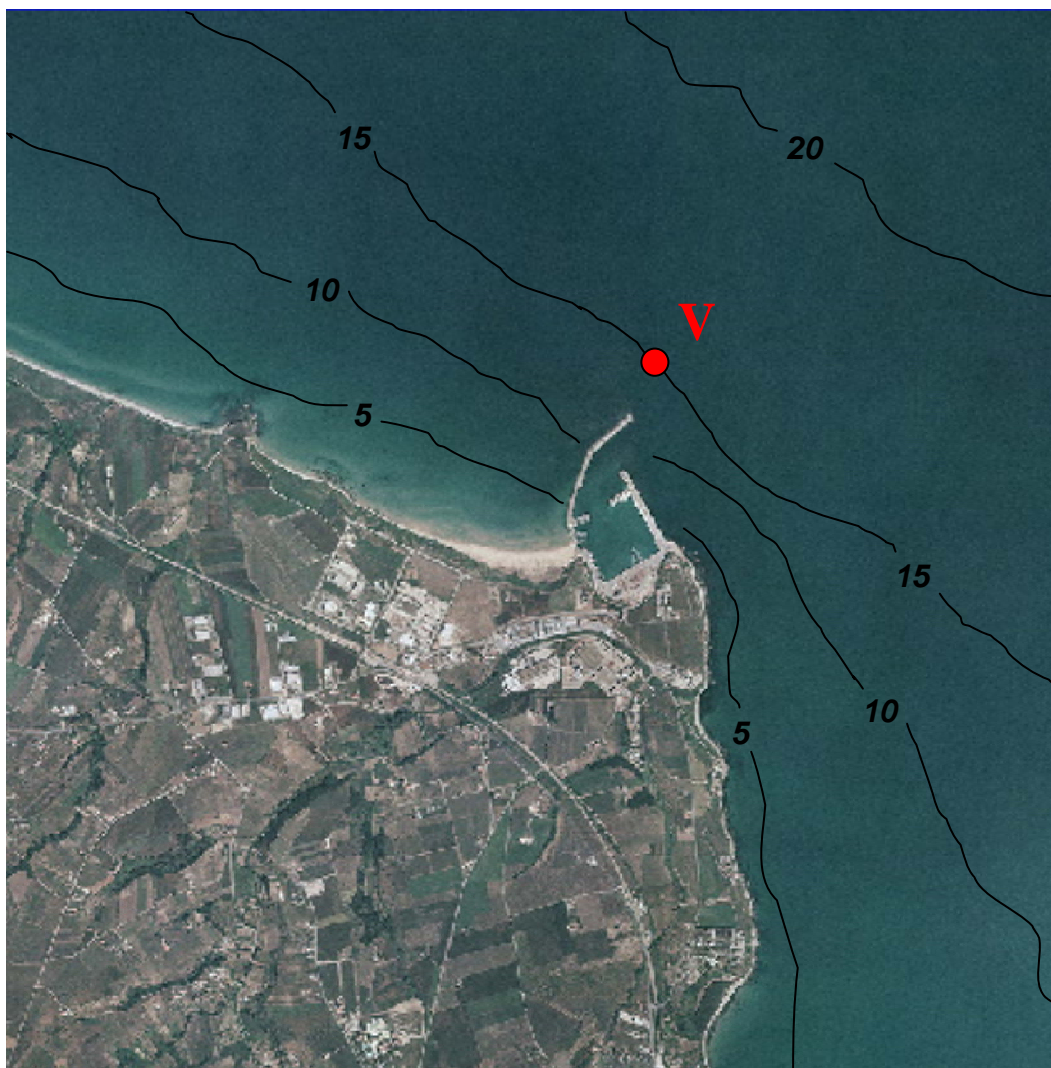
La serie ondometrica trasposta dalla boa RON di Ortona al largo di P.ta della Penna è stata riportata sotto costa utilizzando il modello numerico di propagazione spettrale MEROPE.

La prima fase dello studio della rifrazione, che tiene conto della topografia sottomarina sui "bassi" fondali (profondità inferiori alla semi-lunghezza d'onda, cioè

dell'ordine dei 100 m), richiede la digitalizzazione dei valori di profondità ricavati da carte nautiche con la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico.

Nel caso in esame i valori di profondità sono stati ricavati dalla carta nautica n° 33 edita dall'Istituto Idrografico della Marina.

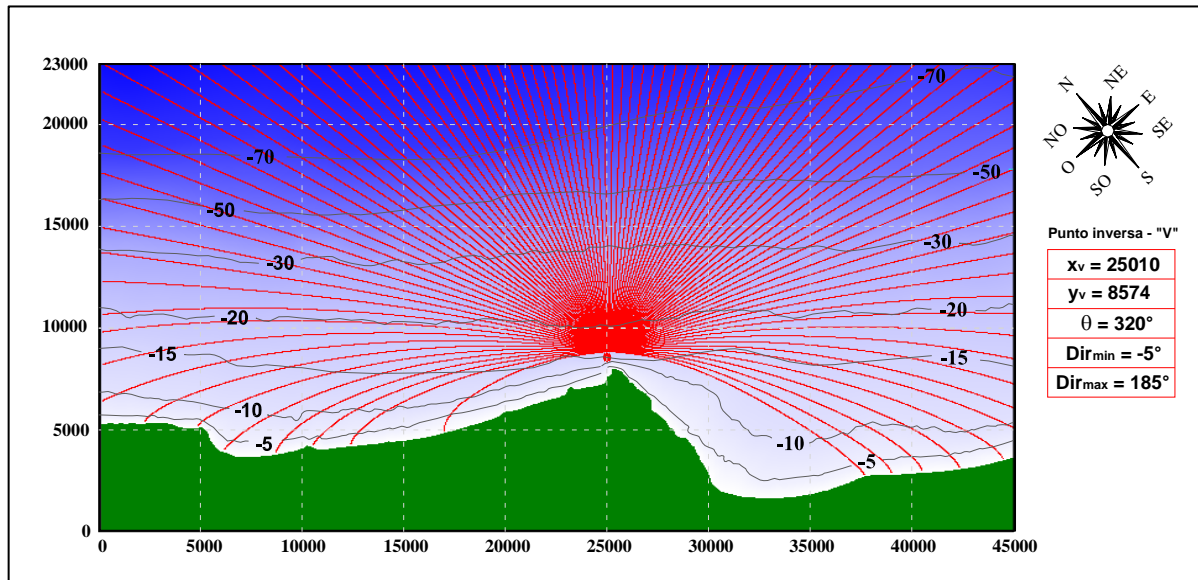
Al fine di ottenere un quadro completo del regime di moto ondoso sotto costa, che caratterizza la falcata costiera di nostro interesse, è stata condotta l'applicazione del modello per un punto V (fig. 3.3.1) di rifrazione posto di fronte all'imboccatura portuale attuale su fondali di 15 m circa.



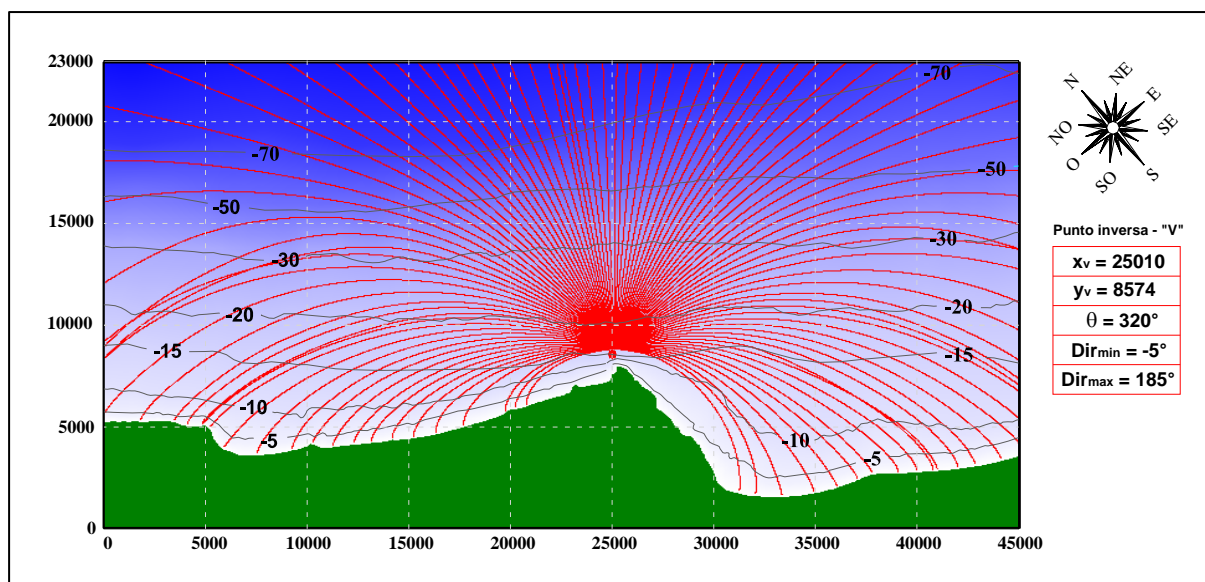
**Figura 3.3.1 – Ubicazione del punto di inversa V (linee isobate di riferimento derivate dalla carta nautica n.33) al largo del porto di Vasto (aerofoto del 1998 derivata dall'Atlante del Ministero dell'Ambiente).**

Per il punto scelto 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  $0.5^\circ$ , sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia.

Nelle figure 3.3.2÷3.3.7 sono riportati a titolo di esempio la griglia di calcolo ed i piani d'onda per  $T= 6, 12$  s calcolati sia con il metodo della propagazione inversa (propagazione dal punto V) che con il metodo della propagazione diretta (propagazione da largo).

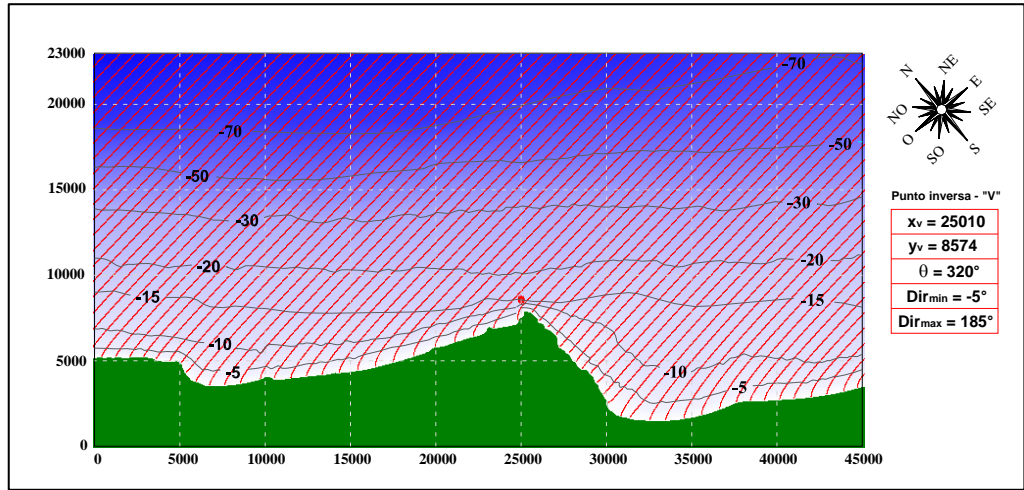


**Figura 3.3.2 – Programma di calcolo MEROPE.**  
Griglia di calcolo e tracciamento inverso del piano d'onda dal punto V per  $T=6$  s.

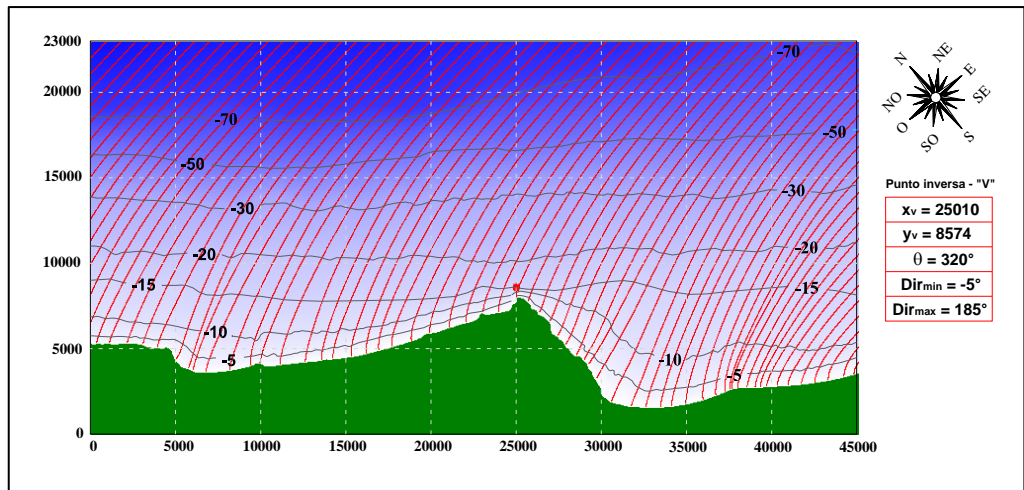


**Figura 3.3.3 – Programma di calcolo MEROPE.**  
Griglia di calcolo e tracciamento inverso del piano d'onda dal punto V per  $T=12$  s.

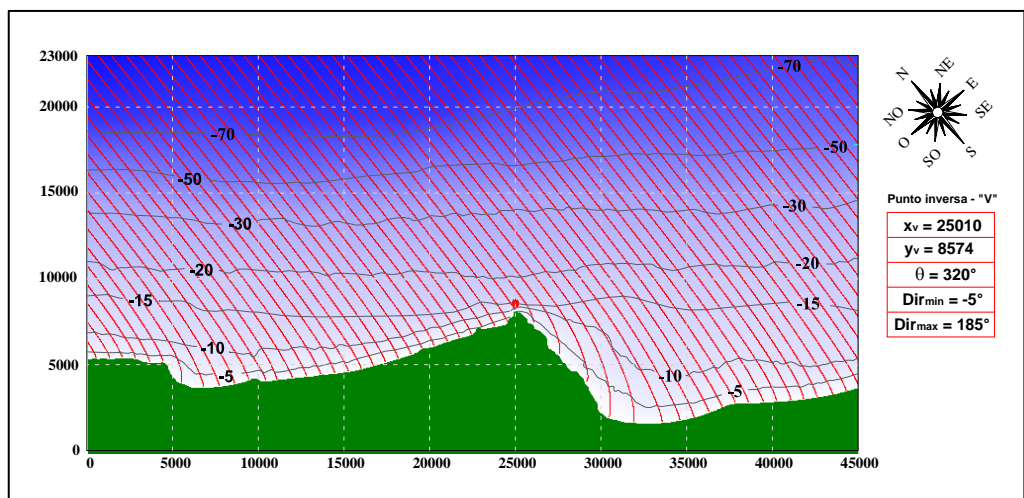




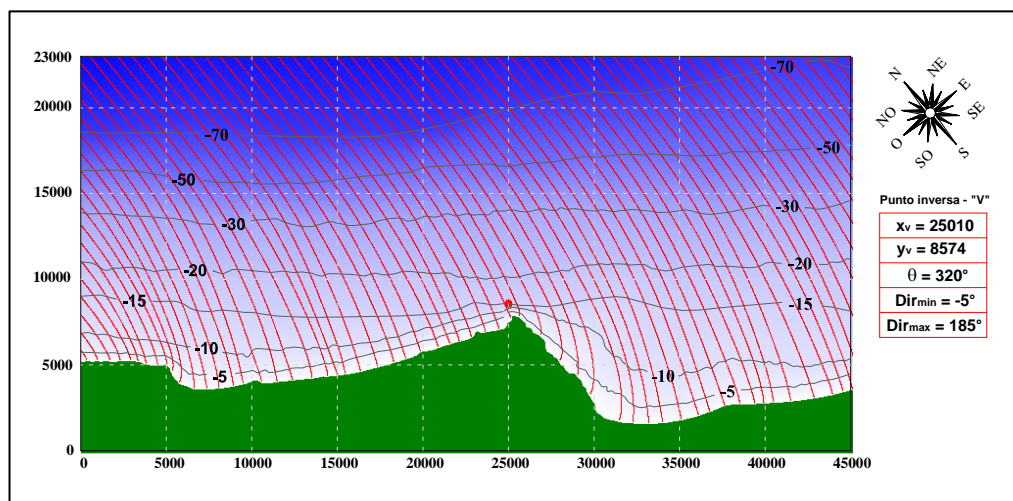
**Figura 3.3.4 – Programma di calcolo MEROPE. Griglia di calcolo e tracciamento diretto del piano d'onda dal largo per  $T=6$  s e direzione di provenienza  $90^\circ$  N.**



**Figura 3.3.5 – Programma di calcolo MEROPE. Griglia di calcolo e tracciamento diretto del piano d'onda dal largo per  $T=12$  s e direzione di provenienza  $90^\circ$  N.**



**Figura 3.3.6 – Programma di calcolo MEROPE. Griglia di calcolo e tracciamento diretto del piano d'onda dal largo per  $T=6$  s e direzione di provenienza  $0^\circ$  N.**



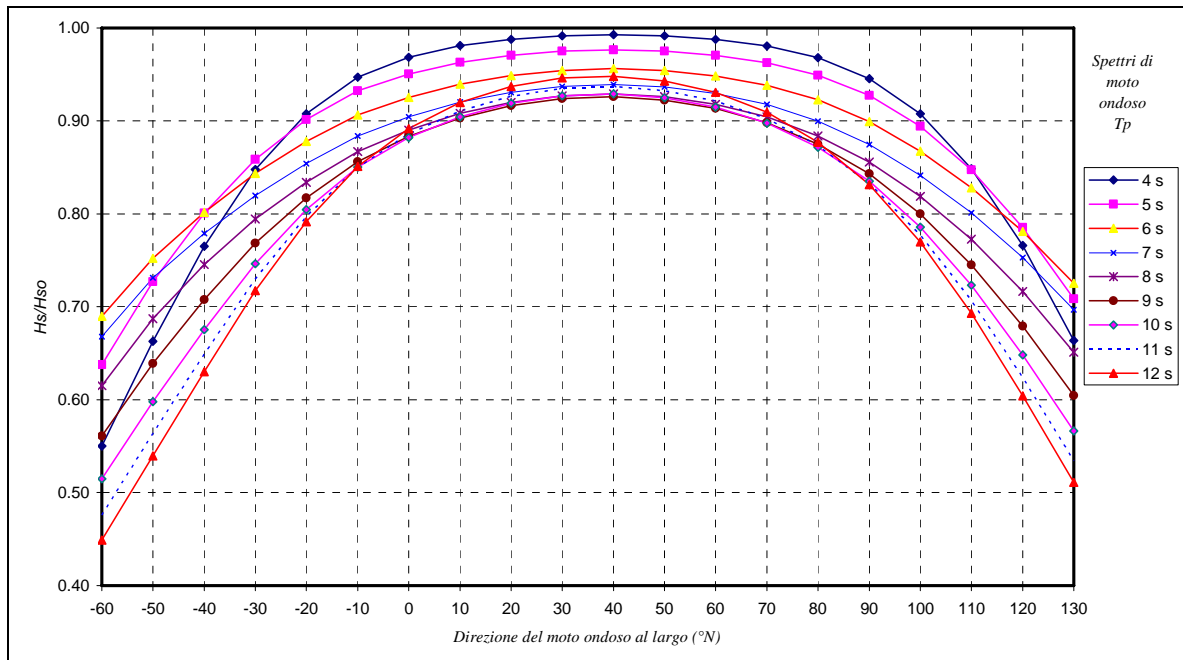
**Figura 3.3.7 – Programma di calcolo MEROPE. Griglia di calcolo e tracciamento diretto del piano d'onda dal largo per  $T=12$  s e direzione di provenienza 0° N.**

I 4000 piani d'onda inversi (20x200) hanno consentito di costruire un data-base mediante il quale è stata propagata nel punto V l'intera serie storica trasposta al largo di Vasto.

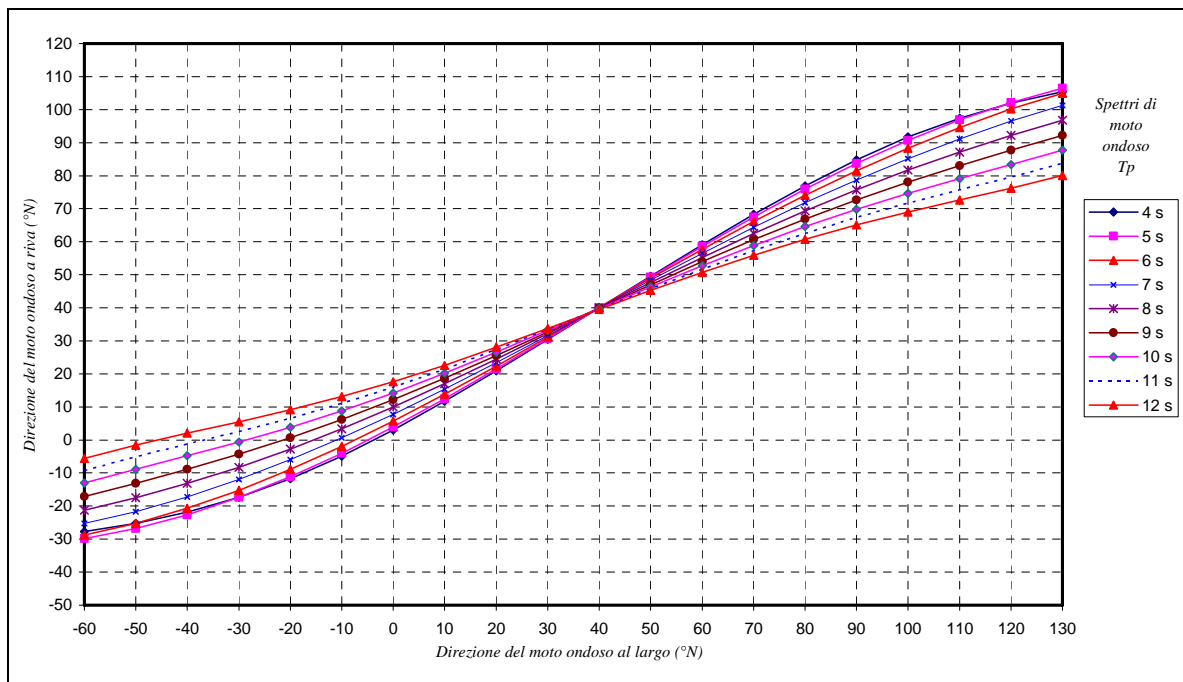
Per il punto di inversa spettrale V la fig. 3.3.8 riporta in forma grafica l'andamento del coefficiente K ( $K = K_r \cdot K_s$  con  $K_r$  coefficiente di rifrazione e  $K_s$  coefficiente di shoaling) rispetto alla direzione di incidenza al largo; nella figura 3.3.9 è rappresentata la corrispondenza tra le direzioni del moto ondoso al largo e i corrispondenti valori di direzione calcolati a riva.

Dall'esame del grafico riportato in fig. 3.3.8 si evidenzia un'attenuazione più marcata per le altezze d'onda provenienti da maestrale e da scirocco rispetto a quelle provenienti dal settore tramontana-grecale-levante. I valori maggiori del coefficiente k (compresi tra 0.92 e 0.99) si hanno per onde provenienti da grecale (30°-50° N).

Nelle figure 3.3.10÷3.3.13 sono riportate rispettivamente le rose annuali e quelle stagionali del clima di moto ondoso a riva (punto V) e l'inquadramento geografico con clima d'onda annuale al largo e sottocosta per il paraggio in esame. Le tabelle 3.3.1÷3.3.5 riportano gli stessi risultati in forma numerica.



**Figura 3.3.8 – Punto di rifrazione inversa V. Rapporto tra l'altezza d'onda al largo  $H_{S0}$  e sotto costa  $H_S$  in funzione della direzione del moto ondoso al largo.**



**Figura 3.3.9 – Punto di rifrazione inversa V. Corrispondenza tra la direzione del moto ondoso a largo e la direzione del moto ondoso a riva.**

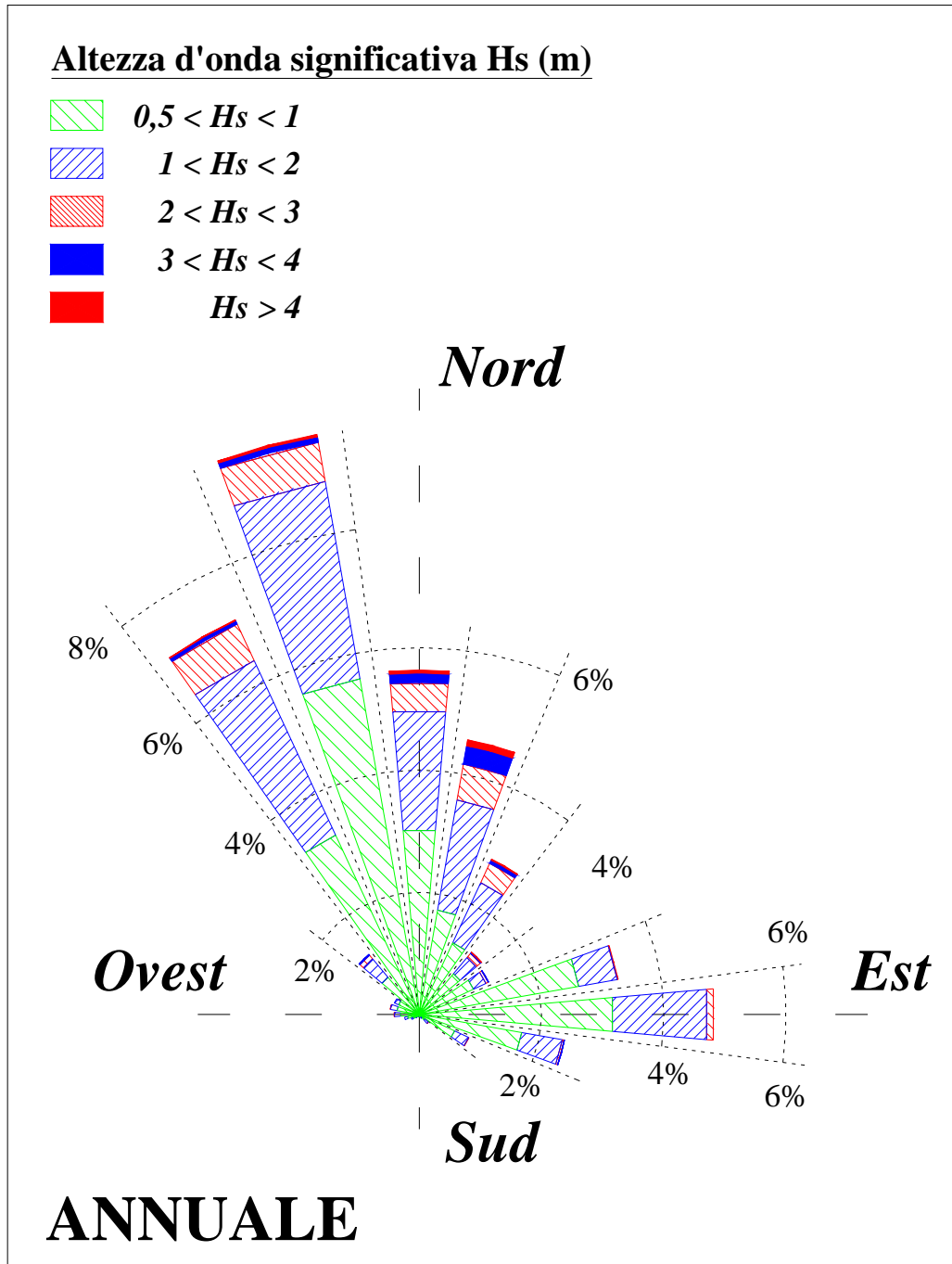


Figura 3.3.10 – Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso a riva – Punto (V).

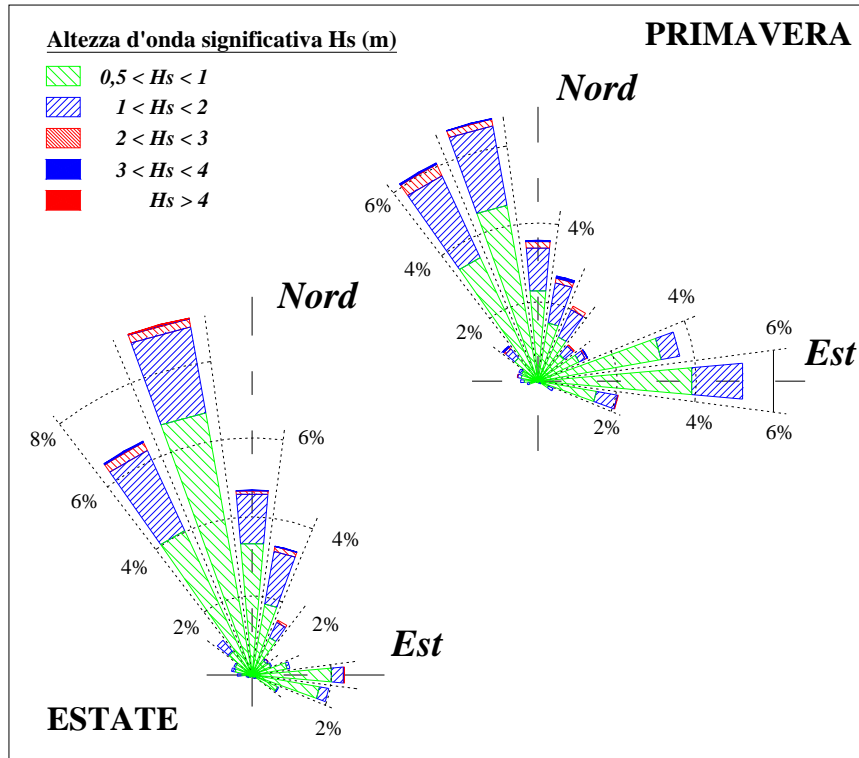


Figura 3.3.11 – Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso autunnali ed invernali a riva– Punto (V).

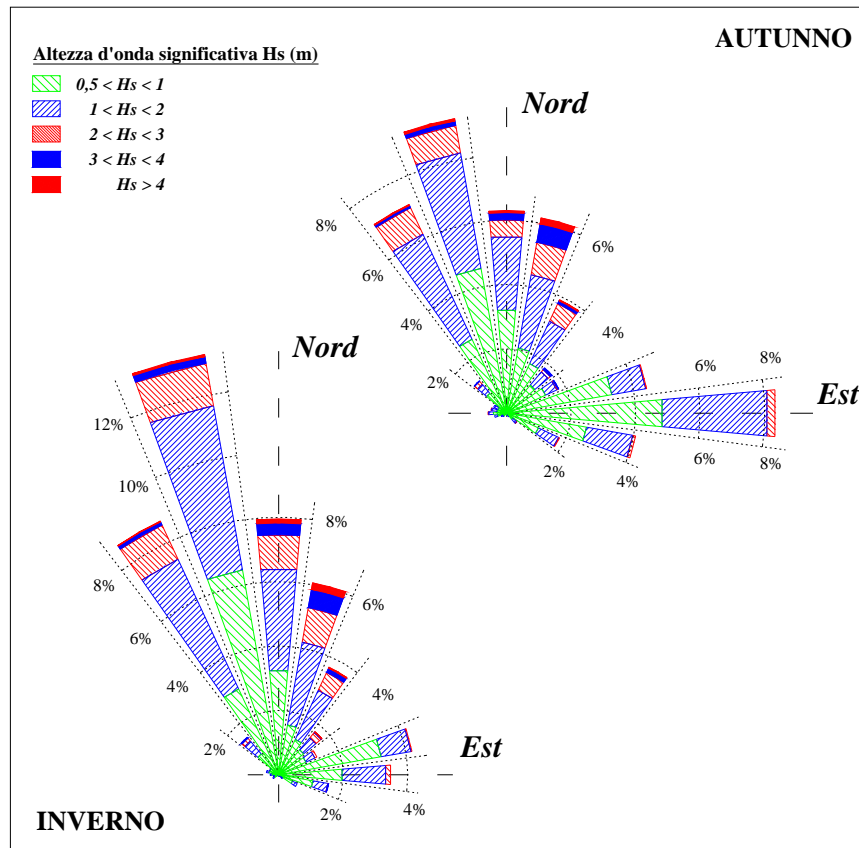


Figura 3.3.12 – Rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso primaverili ed estivi a riva – Punto (V)

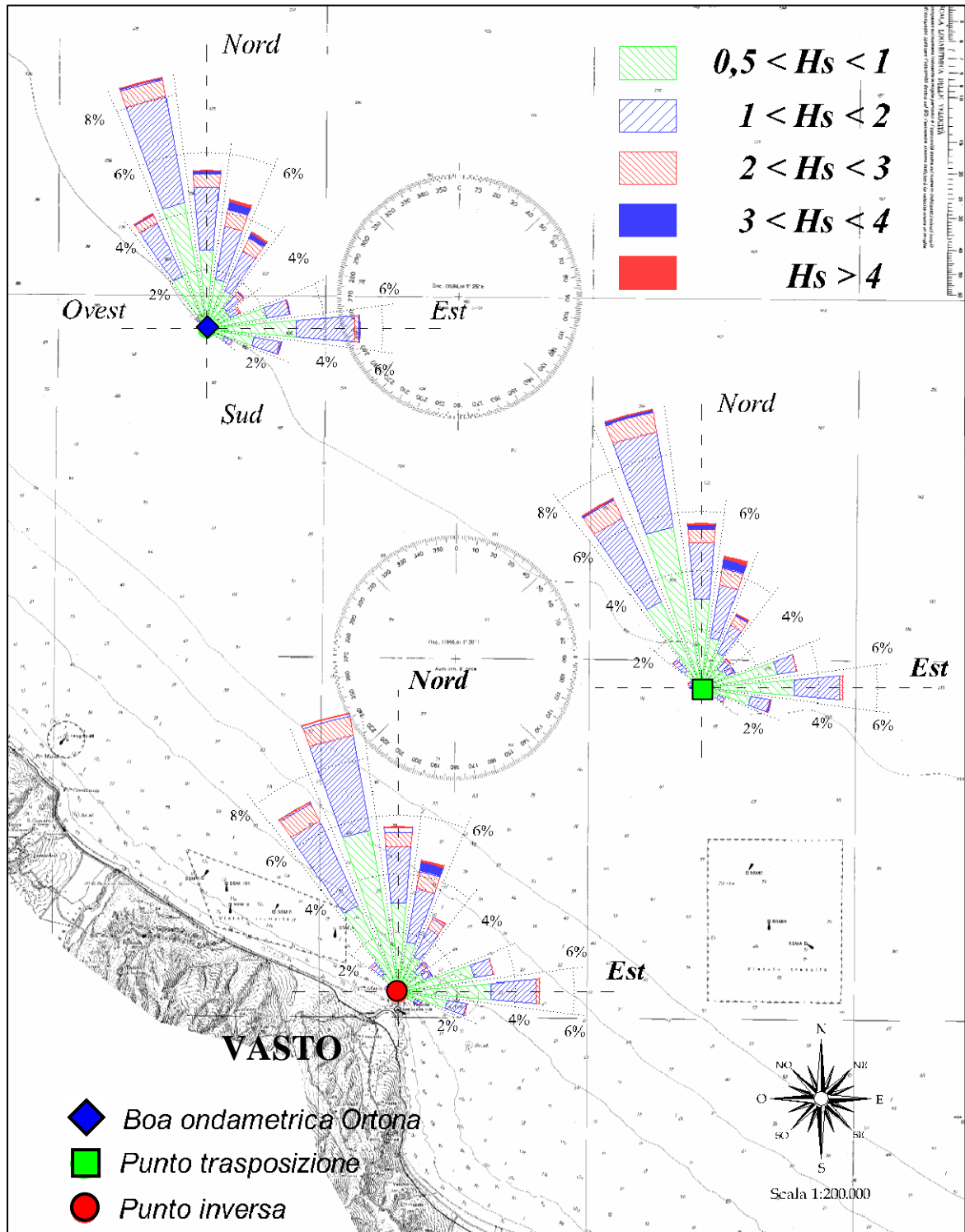


Figura 3.3.13 – Inquadramento geografico e clima d’onda annuale al largo e sotto costa.

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	1.47	1.65	0.83	0.44	0.24	0.13	0.05	0.04	0.01	0.01					6.42
20	1.40	1.28	1.30	0.77	0.50	0.29	0.17	0.15	0.08	0.03	0.01					5.97
30	0.95	0.98	0.93	0.55	0.35	0.20	0.08	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00				4.13
40	1.11	0.98	0.71	0.30	0.11	0.08	0.01	0.01	0.01							3.31
50	1.02	1.08	0.59	0.17	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01							2.93
60	1.31	1.35	0.84	0.12	0.06	0.02	0.01	0.00								3.72
70	1.52	2.39	1.93	0.37	0.07	0.01	0.01									6.29
80	1.87	3.53	2.73	0.81	0.22	0.04	0.01									9.21
90	1.94	3.03	2.06	0.50	0.06	0.01										7.59
100	1.78	2.98	1.35	0.24	0.02											6.36
110	1.61	1.33	0.73	0.15	0.03											3.85
120	0.93	0.24	0.14	0.05												1.36
130	0.49	0.12	0.05	0.01												0.68
140	0.06	0.00														0.06
150	0.02															0.02
160	0.00															0.00
170																
180	0.00															0.00
190	0.01															0.01
200																
210																
220	0.00															0.00
230	0.00															0.00
240																
250	0.00															0.00
260																
270	0.00															0.00
280	0.01	0.00														0.01
290	0.01															0.01
300	0.04															0.04
310	0.54	0.49	0.44	0.03	0.00											1.50
320	0.99	0.73	0.35	0.06	0.01											2.14
330	0.89	1.34	1.41	0.48	0.06	0.01	0.00									4.20
340	1.16	2.08	3.82	1.90	0.66	0.19	0.02									9.83
350	1.67	2.60	4.48	2.17	0.78	0.33	0.09	0.02	0.01	0.00						12.14
360	1.73	1.93	2.57	1.12	0.46	0.23	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00				8.23
TOT.	24.60	29.94	28.09	10.60	3.85	1.66	0.65	0.34	0.19	0.05	0.01	0.01				100.00
Tot. cumul.	54.54	82.63	93.23	97.08	98.74	99.40	99.74	99.93	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 38544

**Tabella 3.3.1 - Clima annuale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione -distribuzione percentuale – Punto (V).**

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	0.82	1.36	1.85	1.00	0.48	0.26	0.19	0.10	0.07	0.01	0.01					6.16
20	0.79	1.24	1.72	0.95	0.65	0.53	0.28	0.28	0.15	0.04						6.63
30	0.56	0.87	1.29	0.78	0.52	0.31	0.21	0.09	0.04	0.03						4.70
40	0.68	1.00	0.84	0.45	0.13	0.09	0.03	0.01	0.01							3.24
50	0.59	1.04	0.80	0.22	0.03	0.01	0.00	0.02	0.02							2.72
60	0.93	1.19	1.28	0.22	0.13	0.03	0.01	0.01								3.80
70	1.12	1.98	2.51	0.71	0.17	0.01	0.02									6.53
80	1.30	3.24	4.11	1.70	0.49	0.14	0.01									10.98
90	1.49	2.86	3.01	1.08	0.14	0.01										8.58
100	1.26	2.83	1.91	0.51	0.06											6.57
110	1.37	1.78	1.30	0.37	0.12											4.93
120	0.82	0.31	0.28	0.12												1.53
130	0.46	0.18	0.03	0.01												0.68
140	0.03	0.01														0.04
150	0.03															0.03
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270	0.01															0.01
280	0.00	0.01														0.01
290	0.01															0.01
300	0.05															0.05
310	0.49	0.56	0.56	0.03												1.63
320	0.76	0.69	0.31	0.13	0.01											1.91
330	0.46	0.89	1.32	0.51	0.08	0.02										3.29
340	0.56	1.15	2.99	2.03	0.84	0.27	0.03									7.87
350	0.67	1.71	3.70	2.41	0.86	0.52	0.17	0.02	0.02	0.01						10.09
360	1.02	1.74	2.78	1.31	0.64	0.27	0.13	0.07	0.01	0.02	0.01	0.01				8.00
TOT.	16.27	26.63	32.57	14.53	5.34	2.49	1.08	0.62	0.32	0.12	0.02	0.01				100.00
Tot. cumul.	42.90	75.47	90.00	95.34	97.83	98.91	99.53	99.85	99.97	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00		

Numero di eventi validi : 9546

**Tabella 3.3.2 - Clima autunnale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione - distribuzione percentuale – Punto (V).**



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	1.39	1.47	1.65	1.25	0.88	0.57	0.34	0.10	0.10	0.02	0.01					7.78
20	1.34	0.99	1.16	1.02	0.97	0.48	0.31	0.31	0.17	0.06	0.02					6.83
30	0.80	0.84	0.89	0.86	0.58	0.37	0.10	0.12	0.06	0.00	0.00	0.01				4.62
40	0.97	1.00	0.78	0.43	0.16	0.17	0.02	0.01	0.03							3.57
50	0.90	1.01	0.64	0.22	0.04	0.06	0.05									2.93
60	1.09	1.56	0.93	0.21	0.06	0.03										3.89
70	1.32	2.67	2.53	0.58	0.07	0.01										7.19
80	1.54	2.87	2.30	0.72	0.26	0.03	0.02									7.74
90	1.49	2.07	1.07	0.21	0.06	0.02										4.93
100	1.25	1.90	0.91	0.22	0.01											4.29
110	0.82	0.53	0.49	0.11	0.01											1.96
120	0.68	0.12	0.09	0.07												0.97
130	0.39	0.12	0.08	0.03												0.62
140	0.05															0.05
150																
160	0.01															0.01
170																
180																
190	0.01															0.01
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300	0.03															0.03
310	0.53	0.35	0.32	0.00	0.01											1.20
320	0.64	0.58	0.38	0.02	0.01											1.63
330	0.80	1.12	1.39	0.66	0.08	0.01	0.01									4.07
340	0.99	1.82	3.54	2.70	1.15	0.36	0.04									10.60
350	1.57	2.40	5.32	3.48	1.51	0.56	0.12	0.03								14.99
360	1.59	2.10	2.89	1.68	0.84	0.52	0.30	0.10	0.05	0.01						10.08
TOT.	20.19	25.53	27.35	14.50	6.71	3.19	1.31	0.67	0.42	0.09	0.03	0.01				100.00
Tot. cumul.		45.71	73.07	87.57	94.27	97.47	98.78	99.45	99.87	99.96	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 9798

**Tabella 3.3.3 - Clima invernale: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione - distribuzione percentuale – Punto (V).**

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	1.56	1.25	1.34	0.49	0.16	0.08	0.01									4.90
20	1.82	1.38	1.17	0.47	0.15	0.09	0.05									5.13
30	1.20	1.03	0.80	0.39	0.21	0.06	0.01									3.70
40	1.40	0.95	0.80	0.19	0.08	0.04										3.46
50	1.48	1.14	0.55	0.20	0.01	0.00	0.02	0.01								3.41
60	1.64	1.69	0.82	0.04	0.04	0.01	0.01									4.25
70	2.20	3.29	2.04	0.15	0.03											7.71
80	2.73	5.25	3.53	0.73	0.09											12.34
90	2.51	4.04	2.45	0.51	0.03											9.55
100	2.32	3.41	1.21	0.13												7.07
110	2.04	1.29	0.39	0.10												3.83
120	0.96	0.21	0.07	0.02												1.26
130	0.56	0.06	0.03													0.66
140	0.11															0.11
150																
160																
170																
180																
190	0.01															0.01
200																
210																
220																
230	0.01															0.01
240																
250																
260																
270																
280	0.02															0.02
290	0.01															0.01
300	0.03															0.03
310	0.57	0.47	0.51	0.03												1.58
320	0.93	0.68	0.29	0.03	0.01											1.94
330	0.64	1.33	1.50	0.35	0.07	0.01										3.91
340	1.20	2.07	3.82	1.43	0.42	0.13										9.06
350	1.96	2.68	3.52	1.37	0.28	0.11	0.02	0.02								9.97
360	1.86	1.40	1.85	0.74	0.14	0.05	0.03	0.02								6.08
TOT.	29.78	33.63	26.71	7.36	1.72	0.59	0.16	0.05								100.00
Tot. cumul.		63.41	90.12	97.48	99.20	99.79	99.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 9593

**Tabella 3.3.4 - Clima primaverile: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione - distribuzione percentuale – Punto (V).**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<2.5	2.5÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10	2.41	1.81	1.75	0.57	0.25	0.03										6.83
20	1.67	1.52	1.17	0.61	0.24	0.04	0.02									5.27
30	1.24	1.19	0.76	0.17	0.06	0.04	0.01									3.47
40	1.38	0.99	0.41	0.11	0.05	0.01										2.96
50	1.13	1.12	0.35	0.03												2.64
60	1.59	0.97	0.33	0.02												2.91
70	1.44	1.60	0.60	0.05	0.01											3.71
80	1.93	2.78	1.01	0.09	0.02											5.83
90	2.27	3.15	1.73	0.19	0.00	0.02										7.36
100	2.29	3.80	1.39	0.09												7.58
110	2.22	1.75	0.77													4.74
120	1.25	0.32	0.11	0.01												1.70
130	0.55	0.12	0.07													0.75
140	0.04															0.04
150	0.05															0.05
160																
170																
180	0.01															0.01
190																
200																
210																
220	0.01															0.01
230																
240																
250	0.01															0.01
260																
270																
280	0.01															0.01
290	0.02															0.02
300	0.03															0.03
310	0.55	0.58	0.40	0.04												1.57
320	1.62	0.99	0.40	0.05	0.01											3.07
330	1.67	2.00	1.44	0.40	0.02											5.52
340	1.90	3.26	4.93	1.41	0.24	0.02										11.76
350	2.46	3.62	5.37	1.38	0.45	0.12	0.03	0.01								13.45
360	2.45	2.47	2.78	0.72	0.23	0.05	0.00	0.00	0.02							8.71
TOT.	32.21	34.05	25.77	5.95	1.58	0.34	0.06	0.01	0.02							100.00
Tot. cumul.	66.25	92.03	97.98	99.56	99.91	99.97	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero di eventi validi : 9607

**Tabella 3.3.5 - Clima estivo: eventi di moto ondoso classificati per altezza e direzione -distribuzione percentuale – Punto (V)**

Dall'analisi dei risultati ottenuti è evidente che in prossimità dell'imboccatura del porto di Vasto, su fondali di circa -15 m s.l.m., il clima di moto ondoso rimane sostanzialmente invariato presentando, anche se in maniera non molto evidente, un carattere bimodale con eventi più intensi provenienti dal settore di tramontana-grecale (350°-50°N).

In dettaglio si osserva che:

- la traversia si restringe al settore compreso tra tramontana e levante (310°-130°N);
- gli eventi con maggiore frequenza di accadimento sono relativi al settore di tramontana-grecale (il 53% degli eventi provengono dal settore 340°-50°N) e in misura minore per il settore di levante (il 33% circa degli eventi provengono dal settore 70°-110°N);
- gli eventi con maggiore intensità ( $H_s > 3.0$  m) provengono in prevalenza dal settore di tramontana (350°-30° N) con una frequenza di accadimento pari a circa lo 0.8% ed altezze d'onda non superiori a 5.5 m
- le onde di grecale (30°-50°N) non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa con un'attenuazione inferiore al 10%;
- le onde di tramontana, nella loro propagazione da largo, tendono a raggiungere l'imboccatura portuale ruotando a grecale mediamente di circa 10°;
- le onde di maestrale (310°-330°N) tendono a raggiungere l'imboccatura portuale ruotando a tramontana mediamente di circa 30°;
- le onde di scirocco (110°-130°N) tendono a raggiungere l'imboccatura portuale con una direzione media di 90°N, ruotando di circa 30° a levante;
- le onde di levante (70°-110°N) tendono a subire una leggera rotazione a grecale, giungendo sotto costa con una direzione media di 75° N.

In conclusione, il moto ondoso a largo proveniente da tramontana-grecale, a causa della rifrazione e dello shoaling, propagandosi verso costa tende a ruotare a grecale, giungendo a ridosso delle opere con una deviazione dalla direzione di largo di circa 10°; gli eventi di scirocco (a largo) vengono invece ridotti e ruotati, durante la propagazione verso l'imboccatura portuale, a levante.

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

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 Treshold 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.

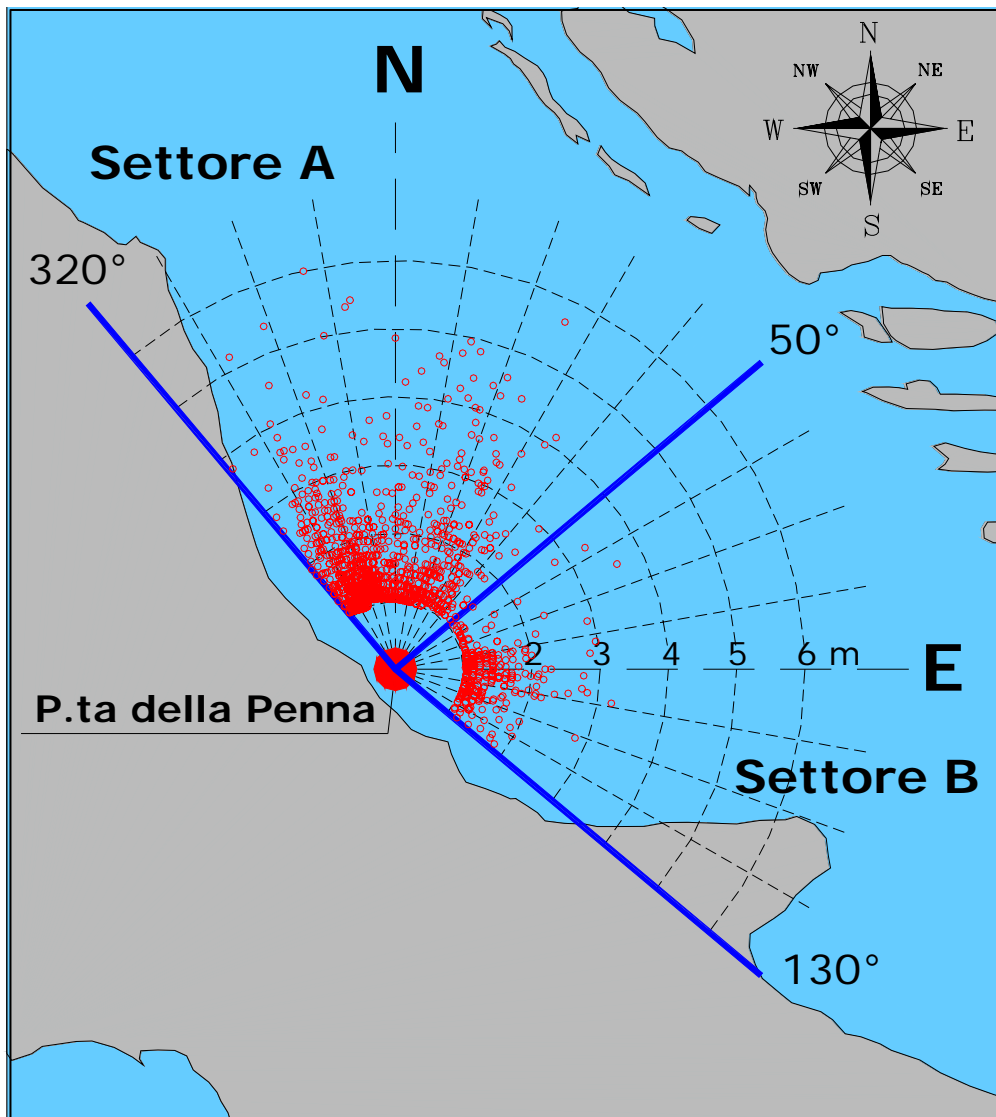
Al fine di separare i dati di moto ondoso registrati nei settori di traversia principali e secondari (settore A e settore B), è stato realizzato il diagramma polare riportato nella figura 4.1, dove per ciascuna mareggiata individuata sono stati riportati i valori di altezza d'onda significativa, superiori a 2.0 m, registrati al colmo dell'evento. L'analisi del diagramma permette di trarre le seguenti conclusioni:

1. le mareggiate selezionate ricadono all'interno del settore di traversia compreso tra le direzioni 320°N e 130°N;
2. il settore di traversia principale (settore A) ricade 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;
3. il settore di traversia secondario (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 principali 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 una 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). Nelle tabelle 4.1 e 4.2 e nelle figure 4.2 e 4.3 sono riportati i risultati delle analisi statistiche.



**Figura 4.1 – Diagramma polare delle mareggiate con altezza d'onda al colmo superiore a 2.0 m nei punti di trasposizione**

Numero anni: 13.19				Media (m): 3.845						
Numero delle mareggiate: 262				Deviazione Standard (m): 0.701						
Soglia di riferimento (POT) m >3.00				Numero di eventi sopra POT 84						
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)	
5.99	23.59	4.40	0.80	3.86	0.41	3.57	0.27	3.25	0.20	
5.66	8.47	4.39	0.75	3.82	0.39	3.56	0.27	3.25	0.20	
5.46	5.16	4.38	0.71	3.81	0.38	3.53	0.26	3.24	0.20	
5.38	3.71	4.29	0.68	3.80	0.37	3.50	0.26	3.24	0.20	
5.37	2.90	4.24	0.64	3.79	0.36	3.49	0.25	3.21	0.19	
5.18	2.38	4.23	0.61	3.73	0.35	3.48	0.25	3.19	0.19	
5.01	2.01	4.21	0.59	3.69	0.34	3.43	0.24	3.19	0.19	
4.94	1.75	4.14	0.56	3.68	0.33	3.38	0.24	3.17	0.18	
4.85	1.54	4.12	0.54	3.67	0.33	3.37	0.23	3.16	0.18	
4.82	1.38	4.09	0.52	3.66	0.32	3.37	0.23	3.13	0.18	
4.74	1.25	4.04	0.50	3.65	0.31	3.36	0.23	3.12	0.18	
4.65	1.14	4.04	0.48	3.64	0.30	3.34	0.22	3.11	0.17	
4.59	1.05	4.01	0.46	3.61	0.30	3.32	0.22	3.10	0.17	
4.56	0.97	4.01	0.45	3.61	0.29	3.31	0.21	3.10	0.17	
4.55	0.91	3.95	0.43	3.60	0.28	3.30	0.21	3.08	0.17	
4.42	0.85	3.88	0.42	3.59	0.28	3.28	0.21	3.02	0.17	
								3.00	0.16	
								3.00	0.16	
								3.00	0.16	
								3.00	0.16	
Tr	GUMBEL		WEI(.75)							
Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)						
5	5.6	0.7	5.4	0.6						
10	6.0	0.9	5.9	0.8						
25	6.7	1.1	6.6	1.1						
50	7.1	1.3	7.1	1.3						
100	7.6	1.6	7.6	1.6						
A	0.679		0.362							
B	2.46		2.808							
r	0.988		0.963							
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	5.6	0.7	5.7	0.7	5.7	0.7				
10	6.1	0.9	6.1	0.9	6.2	0.8				
25	6.8	1.2	6.8	1.2	6.7	1.0				
50	7.3	1.5	7.2	1.4	7.1	1.2				
100	7.8	1.7	7.7	1.6	7.5	1.5				
A	0.705		1.328		2.332					
B	2.341		1.606		0.515					
r	0.984		0.994		0.998					

**Tabella 4.1 – P.ta della Penna Settore A: 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								

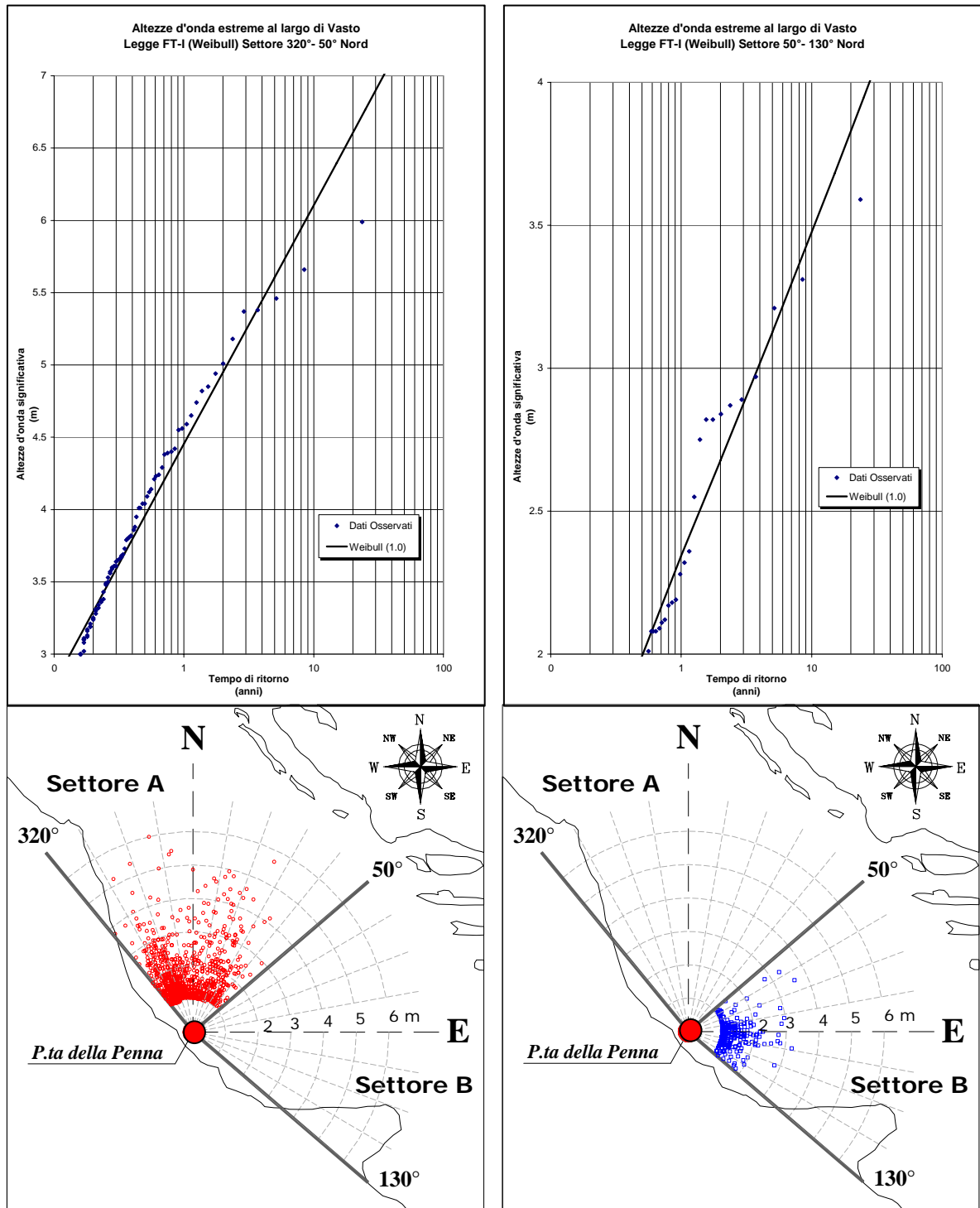
  

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	3.1	0.4	3.0	0.6
10	3.3	0.5	3.3	0.8
25	3.7	0.7	3.7	1.1
50	3.9	0.9	4.1	1.4
100	4.2	1.1	4.5	1.7
A	0.364		0.288	
B	2.325		2.188	
r	0.971		0.922	

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	

**Tabella 4.2 – P.ta della Penna Settore B: valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno per diverse leggi di regressione**



**Figura 4.2 – P.ta della Penna: 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 – dati 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 (essenzialmente 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 altrettanto 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.

## 6 Analisi dei dati mareografici

### 6.1 Mareografo di Ortona

#### *Caratteristiche*

La stazione mareografica di Ortona (Fig. 6.1.1) 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 mareografo e i suoi caposaldi non sono collegati con quelli della linea di livellazione di precisione.

#### *Dati disponibili*

La serie di misure eseguite al mareografo di Ortona, analizzate nel presente documento, si estende dal 1991 al 2000, presentando una totale assenza di dati per quanto riguarda il 1995. La frequenza di campionamento è, in generale, di una misura ogni 10 minuti. Fanno eccezione i dati a partire dal giugno 1998, forniti con una frequenza di campionamento di una misura ogni ora. I formati dei 'files' originali sono i seguenti:

➤ 1991

anno	mese	giorno	ora	minuti	misura
26	19	91	08	02	15
0	0	2	1	5	0
.	2	5			

codice stazione

➤ 1992- Maggio 1998

giorno	mese	anno	ora	minuti	secondi	controllo	misura
02	/	08	/	19	93	02	:
15	:	00				26	1
36							0
.	2	5					1

codice stazione      codice misura

➤ Giugno 1998 - 2000

giorno	mese	anno	ora	minuti	misura
02	/	08	/	19	93
-	0	2	:	15	
					0
.	2	5			

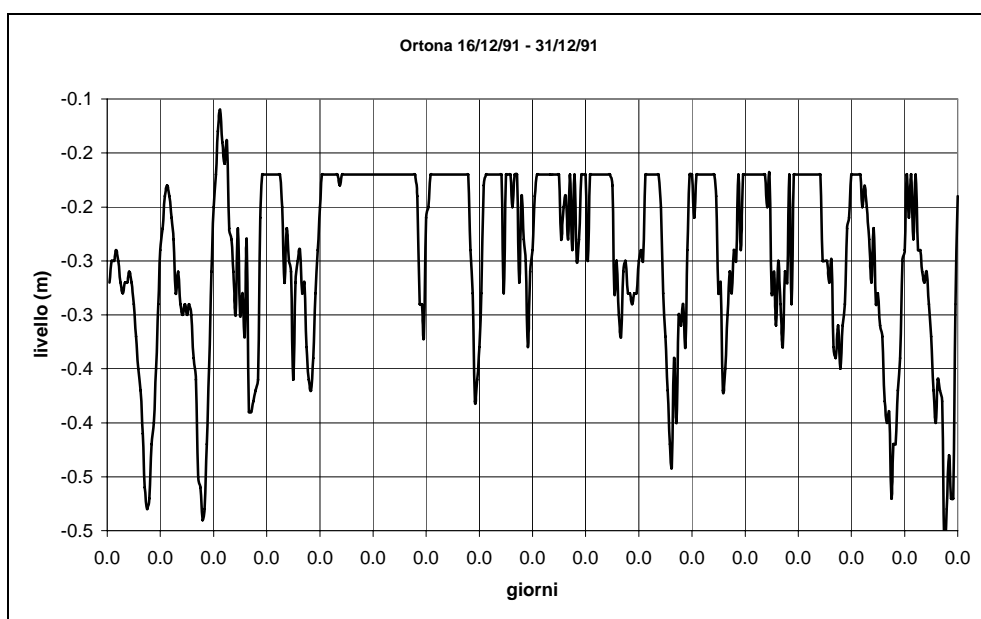
*Analisi dei dati*

In primo luogo, allo scopo di rendere omogenea la serie storica complessiva, si sono ridotte le serie campionate con frequenza 10 minuti a serie con frequenza di 1 ora. In seguito, al fine di determinare il rendimento reale della stazione, si sono individuati i periodi di vero e proprio funzionamento della stessa (presenza di dati misurati) e quelli in cui era evidente il malfunzionamento della stessa, ovvero la presenza di 'spikes' quali ad esempio ripetizioni, su periodi temporali estesi, dello stesso valore della misura (Fig. 6.1.2). L'analisi ora esposta ha permesso di verificare lo scarso rendimento effettivo annuale della stazione (Tab. 6.1.1, Fig. 6.1.3).

Fanno eccezione gli anni 1999 e 2000 per i quali la stazione ha avuto un rendimento rispettivamente del 92.69 % e del 90.07 %.



**Fig. 6.1.1: Localizzazione geografica della stazione di Ortona.**

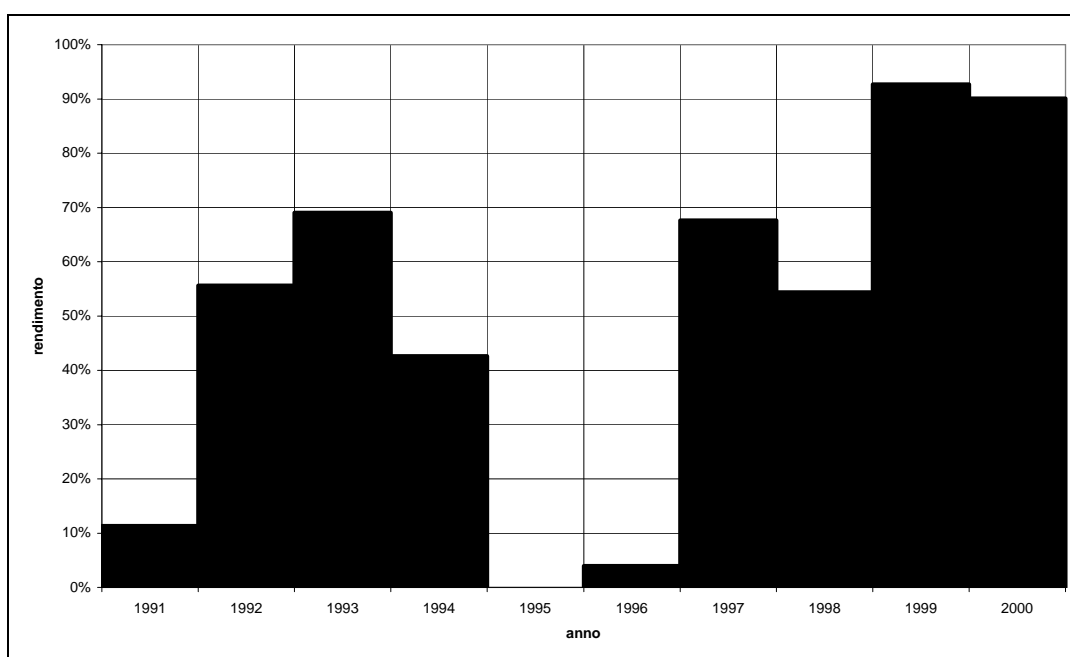


**Fig. 6.1.2: Esempio di malfunzionamento del mareografo**



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%

**Tab. 6.1.1 - Media e Rendimento effettivo annuale della stazione mareografica di Ortona.**



**Fig. 6.1.3 - Rendimento effettivo annuale della stazione mareografica di Ortona.**

## 7 Livelli di marea

### 7.1 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 è 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 e 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 7.1.1, mentre l'ampiezza e la fase (riferita alle 00:00 del 01/01/1976) delle costituenti individuate sono elencate nelle tabelle 7.1.2 e 7.1.3.

	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

*Tab. 7.1.1: Estensione temporale delle serie utilizzate per l'analisi armonica*

Numero	Nome	Frequenza (1/h)	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	NOI	0.040269	0.4031	23.33
16	CHI	0.040471	0.0746	166.78
17	P1	0.041553	2.7912	74.95
18	K1	0.041781	9.1301	82.49
19	PH1	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

**Tab. 7.1.2: Costanti armoniche per la stazione di Ortona valutate nel periodo (1992-1993).**

Numero	Nome	Frequenza (1/h)	Ampiezza (cm)	Fase (gradi)
1	<i>Z0</i>	0.000000	87.7621	360.00
2	<i>SSA</i>	0.000228	4.9581	63.72
3	<i>MSM</i>	0.001310	1.0168	7.28
4	<i>MM</i>	0.001512	0.6741	85.26
5	<i>MSF</i>	0.002822	0.5504	308.93
6	<i>MF</i>	0.003050	1.3232	178.19
7	<i>ALP1</i>	0.034397	0.0177	358.39
8	<i>2Q1</i>	0.035706	0.0785	277.98
9	<i>SIG1</i>	0.035909	0.0852	134.02
10	<i>Q1</i>	0.037219	0.4278	59.15
11	<i>RHO1</i>	0.037421	0.1409	14.96
12	<i>O1</i>	0.038731	2.6851	51.40
13	<i>TAU1</i>	0.038959	0.3263	92.63
14	<i>BET1</i>	0.040040	0.1353	33.54
15	<i>NO1</i>	0.040269	0.1488	72.40
16	<i>CH1</i>	0.040471	0.1390	138.46
17	<i>P1</i>	0.041553	2.6757	58.37
18	<i>K1</i>	0.041781	8.8223	66.48
19	<i>PH1</i>	0.042009	0.1959	43.12
20	<i>THE1</i>	0.043091	0.3034	153.62
21	<i>J1</i>	0.043293	0.6371	82.70
22	<i>SO1</i>	0.044603	0.5442	236.99
23	<i>OO1</i>	0.044831	1.1050	140.73
24	<i>UPS1</i>	0.046343	0.1797	290.22
25	<i>OQ2</i>	0.075975	0.0553	321.78
26	<i>EPS2</i>	0.076177	0.0429	288.86
27	<i>2N2</i>	0.077487	0.1316	2.97
28	<i>MU2</i>	0.077689	0.1405	74.36
29	<i>N2</i>	0.078999	1.0498	56.18
30	<i>NU2</i>	0.079202	0.3325	63.86
31	<i>M2</i>	0.080511	6.7035	61.12
32	<i>MKS2</i>	0.080740	0.0706	328.04
33	<i>LDA2</i>	0.081821	0.1106	38.31
34	<i>L2</i>	0.082024	0.1006	62.53
35	<i>S2</i>	0.083333	4.7430	70.66
36	<i>K2</i>	0.083561	1.3011	64.87
37	<i>MSN2</i>	0.084845	0.0260	306.38
38	<i>ETA2</i>	0.085074	0.1789	80.88
39	<i>MO3</i>	0.119242	0.2063	7.72
40	<i>M3</i>	0.120767	0.3244	336.70
41	<i>SO3</i>	0.122064	0.0830	137.76
42	<i>MK3</i>	0.122292	0.0760	256.35
43	<i>SK3</i>	0.125114	0.0349	306.38
44	<i>MN4</i>	0.159511	0.1177	278.73
45	<i>M4</i>	0.161023	0.1749	334.61
46	<i>SN4</i>	0.162333	0.0470	40.33
47	<i>MS4</i>	0.163845	0.0496	29.68
48	<i>MK4</i>	0.164073	0.0673	246.81
49	<i>S4</i>	0.166667	0.0488	311.15
50	<i>SK4</i>	0.166895	0.1065	300.82
51	<i>2MK5</i>	0.202804	0.0911	78.98
52	<i>2SK5</i>	0.208447	0.0241	129.56
53	<i>2MN6</i>	0.240022	0.0420	325.01
54	<i>M6</i>	0.241534	0.0243	7.11
55	<i>2MS6</i>	0.244356	0.0487	347.14
56	<i>2MK6</i>	0.244584	0.0993	216.88
57	<i>2SM6</i>	0.247178	0.0423	238.55
58	<i>MSK6</i>	0.247406	0.0474	50.85
59	<i>3MK7</i>	0.283315	0.0553	310.27
60	<i>M8</i>	0.322046	0.0300	150.54

**Tab. 7.1.3: Costanti armoniche per la stazione di Ortona valutate nel periodo (2000).**

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.

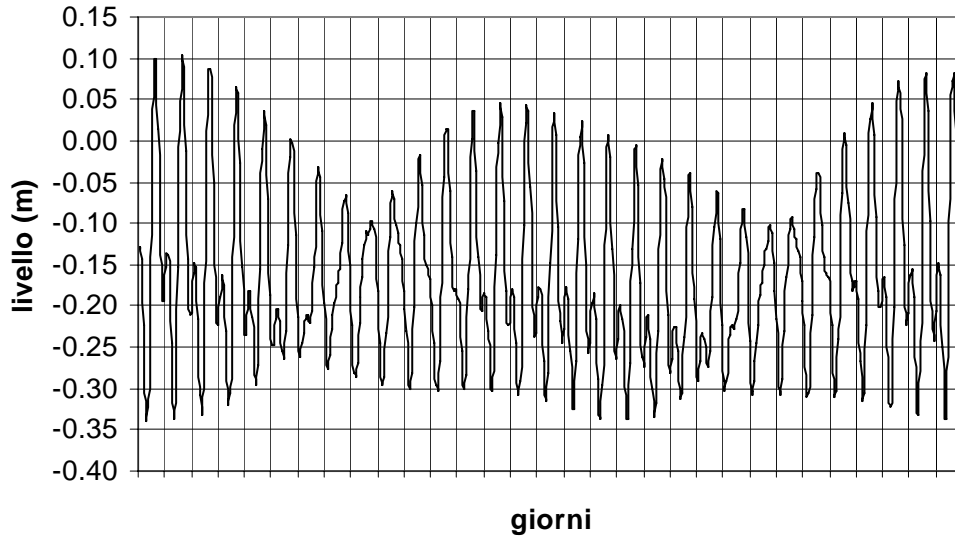
## 7.2 Componente deterministica dei livelli misurati: Marea Astronomica

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 7.1.1, 7.1.2) 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).

## 7.3 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 identificate con la variazione di livello residua ottenuta sottraendo l'oscillazione astronomica ricostruita da quella desumibile a partire dai dati osservati di un mareografo.



**Fig. 7.3.1: 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.

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

### **8.1 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 quanto 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 8.1.1.

### **8.2 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 a ogni valore del campione e determinando la distribuzione del valore estremo ('EVD – Extreme Value Distribution') che meglio approssima i campioni stessi.

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

**Tab. 8.1.1: Campioni dei dati di livello residuo relativi ad Ortona.**



La frequenza cumulata è stata calcolata utilizzando l'espressione di Hazen (Kottegoda e Rosso, 1997):

$$F(i) = \frac{i - 0.35}{n} \quad (8.2.1)$$

(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:

$$\text{EV1 - Gumbel} \quad F_X(x) = \exp\left[-e^{-\frac{x-b}{\alpha}}\right] \quad (8.2.2)$$

$$\text{EV2 - Frechét} \quad F_X(x) = \exp\left[-\left(\frac{x_0}{x}\right)^\theta\right] \quad (8.2.3)$$

$$\text{EV3 - Weibul (L)} \quad F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\varepsilon}{\theta}\right)^\beta\right] \quad \theta = \lambda - \varepsilon \quad (8.2.4)$$

$$\text{EV3 - Weibul (U)} \quad F_X(x) = \exp\left[-\left(\frac{\lambda-x}{\theta}\right)^\beta\right] \quad \theta = \lambda - \varepsilon \quad (8.2.5)$$

$$\text{General Extreme Value (GEV)} \quad F_X(x) = \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(x-\varepsilon)}{\alpha}\right]^{1/k}\right\} \quad (8.2.6)$$

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.

Poiché, come noto, la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

$$Tr = \frac{1}{(1 - F_X(x))} \quad (8.2.7)$$

si sono infine stimati i livelli residui estremi in relazione a diversi tempi di ritorno.

### 8.3 Analisi dei risultati

L'analisi statistica ha permesso di calcolare i parametri di forma, scala e posizione che meglio approssimano i campioni (Tab. 8.3.2) e in seguito, i livelli residui estremi in relazione a diversi tempi di ritorno (Tab. 8.3.3).

	Parametro	Ortona
<b>Gumbel - EV1</b>	$\alpha$	0.114
	<b>b</b>	2.062
<b>Frechét - EV2</b>	$\theta$	2.281
	$x_0$	0.209
<b>Weibul (L) - EV3</b>	$\beta$	2.876
	$\theta$	0.437
	$\varepsilon$	-0.093
	$\lambda$	0.344
<b>Weibul (U) - EV3</b>	$\beta$	9.000
	$\theta$	1.157
	$\varepsilon$	0.237
	$\lambda$	1.394
<b>GEV</b>	$\kappa$	0.005
	$\alpha$	0.114
	$\varepsilon$	0.235

**Tab. 8.3.2: Parametri di forma, scala e posizione delle diverse distribuzioni utilizzate**

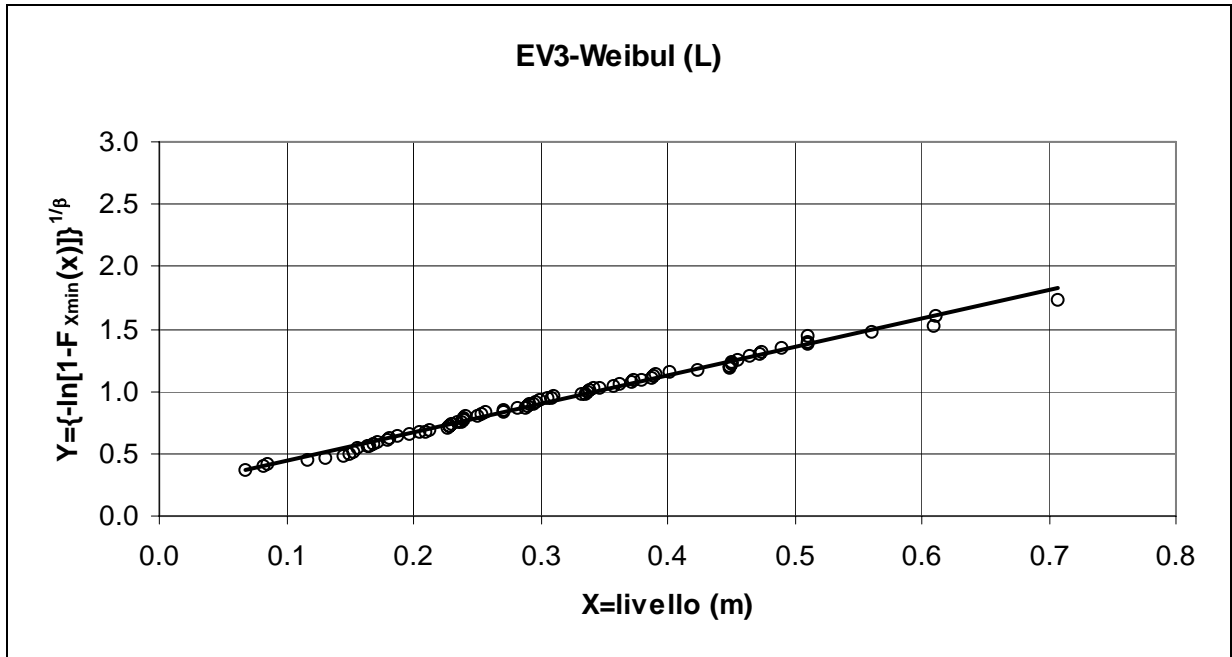
<b>Tr (anni)</b>	<b>Livello (m) - Ortona</b>				
	<i>Gumbel</i>	<i>Frechét</i>	<i>Weibul (L)</i>	<i>Weibul (U)</i>	<i>GEV</i>
2	0.276	0.245	0.292	0.283	0.277
5	0.405	0.403	0.423	0.414	0.406
10	0.491	0.561	0.491	0.493	0.491
20	0.573	0.769	0.547	0.562	0.572
30	0.620	0.922	0.576	0.600	0.619
50	0.679	1.157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

**Tab. 8.3.3: Livelli residui estremi in relazione a diversi tempi di ritorno per i due campioni**

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).

La distribuzione che appare meglio approssimare entrambi i campioni è la distribuzione di Weibull limitata inferiormente (Fig. 8.3.1).



**Fig.8.3.1: Distribuzione di Weibul limitata inferiormente sul campione di Ortona (N.B. rappresentazione in scala distorta).**

#### 8.4 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**).