

AUTORITA' PORTUALE DI
CIVITAVECCHIA, FIUMICINO E GAETA

PORTO DI CIVITAVECCHIA
PIANO REGOLATORE PORTUALE 2004

A.T.I.

Modimar S.r.l. (Capogruppo)
Acquatecno S.r.l.
DAM S.p.A.
Prof. Ing. Alberto NOLI
Studio Capolei - Cavalli Architetti Associati
Studio Mattiucci S.r.l.
Tecnica S.r.l.

REV.	DATA	DESCRIZIONE

TITOLO DOCUMENTO :	N. DOCUMENTO :
ALLEGATO ALLA RELAZIONE GENERALE: STUDIO METEOMARINO	A1
	DATA :
	APRILE 2004

INDICE

1	PREMESSE	1
2	UBICAZIONE ED ESPOSIZIONE DEL PARAGGIO AL MOTO ONDOSI	4
3	REGIME DEI VENTI.....	8
4	CORRENTI.....	16
5	VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO	18
6	REGIME DEL MOTO ONDOSI	21
6.1	<i>Caratteristiche del moto ondoso a ridosso dell'opere portuali.....</i>	<i>23</i>
6.2	<i>Analisi statistiche degli eventi estremi.....</i>	<i>31</i>
6.3	<i>Correlazione tra l'altezza ed il periodo d'onda degli eventi estremi.....</i>	<i>39</i>
7	APPENDICE. TRASPOSIZIONE DELLE MISURE ONDAMETRICHE ESEGUITE NEL CORSO DELLA MAREGGIATA DEL DICEMBRE 1999 DALL'ONDAMETRO DI PONZA AL LARGO DI CIVITAVECCHIA.....	40
7.1	<i>Il metodo di trasposizione geografica delle misure di moto ondoso.....</i>	<i>42</i>

1 Premesse

Il presente studio meteomarino è stato eseguito a corredo delle attività connesse alla redazione del Piano Regolatore Portuale del porto di Civitavecchia per conto dell’Autorità Portuale.

Lo studio meteomarino ha avuto per oggetto le indagini conoscitive volte al reperimento dei dati disponibili e le analisi finalizzate alla definizione delle caratteristiche meteomarine.

I temi d’indagine principali sono stati così articolati:

- caratteristiche geografiche del paraggio;
- esposizione ai venti (stazioni meteorologiche di Civitavecchia, Giglio e Fiumicino);
- esposizione al moto ondoso (stazioni ondometriche di Ponza – RON, di Torre Valdaliga – ENEL, di Montalto di Castro –ENEL);
- variazioni dei livelli marini;
- correnti.

In primo luogo si è proceduto raccogliendo i dati storici disponibili al fine di definire i regimi del vento e del moto ondoso relativi alla zona di indagine.

Per quanto concerne i dati di vento, si è fatto riferimento alle stazioni anemometriche presenti nel paraggio, utilizzando quelli che, per esposizione ai venti dominanti, risultano più simili a quelli della zona portuale.

La caratterizzazione del moto ondoso si è fatto riferimento sia alla boa ondometrica direzionale di Torre Valdaliga, posta al largo del sito in esame (¹), sia ad altre due boe localizzate precisamente al largo dell’Isola di Ponza (²) ed al largo di Montalto di Castro (³).

¹ ondametro direzionale di Torre Valdaliga posto a circa 1 Km al largo della costa alla isobata -35 m - posizione 42°07'30"N, 11°44'30"E (periodo di funzionamento: da febbraio 1994 a febbraio 2002) – ENEL-SRI-PIS; sino al 30/01/1997 l’ondametro era ubicato su un fonadale di circa -50 m (posizione 42°07'00"N, 11°43'48"E).

² L’ondametro direzionale di Ponza fa parte della Rete Ondometrica Nazionale gestita dal SIMN dal 1/7/1989

Per la definizione del clima di moto ondoso e per l'analisi statistica degli eventi estremi si sono ritenute esaustive le misure ondametriche eseguite al largo di Torre Valdaliga.

Nella figura 1 è illustrata la localizzazione geografica delle stazioni di misura considerate per il paragòio in esame.

Il presente studio meteomarinò è stato svolto dall'ing. Fabio Mondini con il coordinamento del prof. ing. Alberto Noli.

³ Questa stazione ondametrica, non direzionale, gestita dall'ENEL ha funzionato dal 1976 al 1985

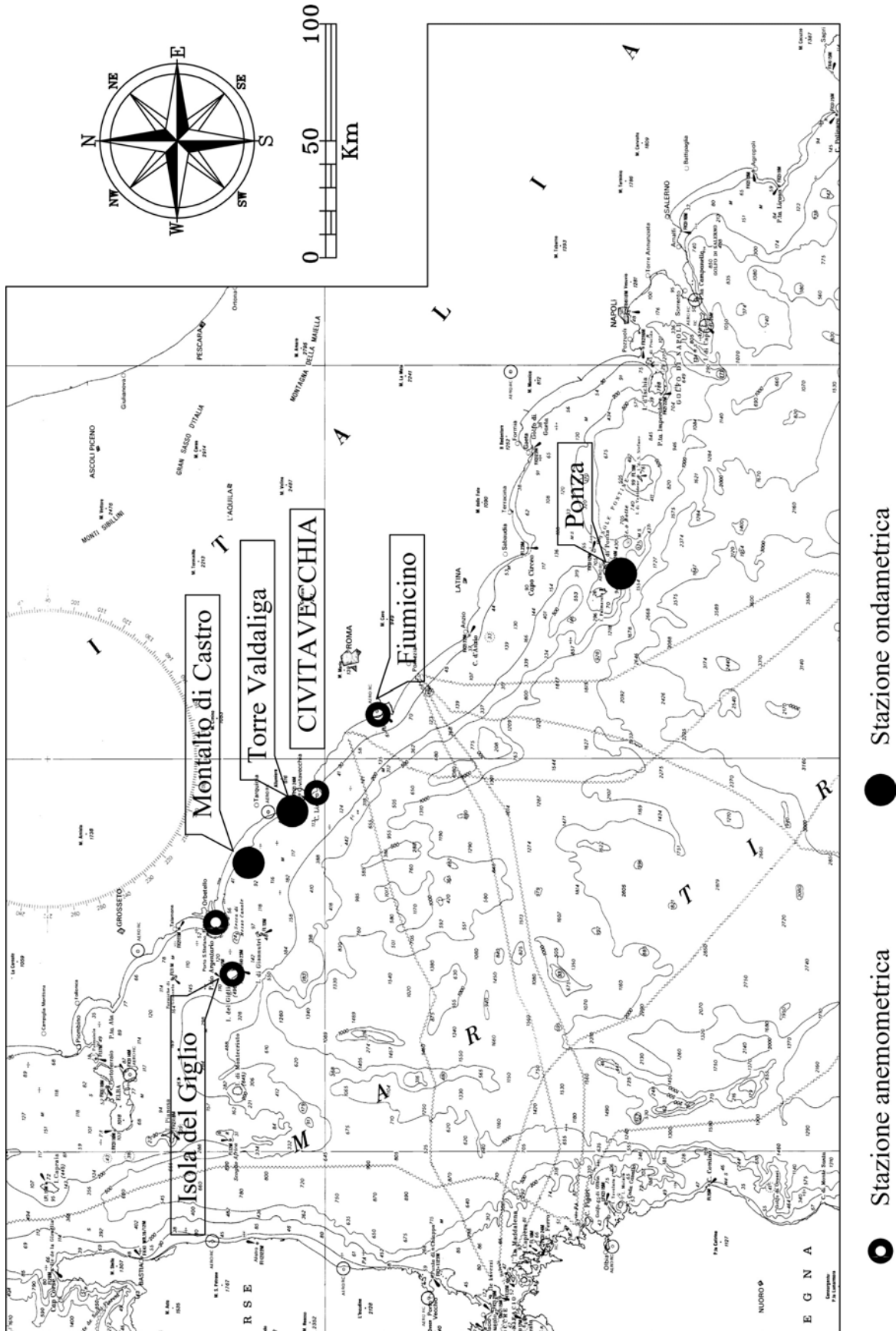


Figura 1 - Ubicazione stazioni di misura

2 Ubicazione ed esposizione del paraggio al moto ondoso

Ponendosi al largo del porto di Civitavecchia su fondali di circa -100 m, ad una distanza di circa 12 Km dal porto, il paraggio è esposto al mare aperto per un ampio settore di traversia così delimitato: a Nord dal promontorio dell'Argentario e dall'Isola del Giglio (300 °N); a Sud da Capo Linaro (140°N). La traversia geografica (fig.2) è limitata a sud dalla costa siciliana (distante circa 490 Km) e dalla costa nord africana (distante circa 600 Km); a ovest dalla costa della Sardegna (distante circa 220 Km) e della Corsica (distante circa 180 Km).

Per un'analisi del settore di traversia, più propriamente mirata alla valutazione delle possibili condizioni di esposizione agli stati di mare è ormai prassi consolidata fare riferimento, in luogo dei settori di traversia geografica, al "fetch efficace" (⁴).

A tal proposito, considerati i limiti geografici relativi alle diverse direzioni contenute entro il settore di traversia del paraggio in esame, si è determinato il settore "efficace" (figg. 2 e 3 e tab.1) secondo il criterio di Seymour. I fetch geografici sono limitati ad una estensione geografica massima di 500 km per tenere conto del fatto che nel Mar Mediterraneo le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500 km.

Il fetch efficace massimo che ne deriva è pari a circa 300 km ed è riferibile al settore sud-sud-ovest (180°-210°N mezzogiorno-libeccio).

Il programma di calcolo utilizzato fornisce anche la legge di deviazione direzionale tra la direzione media del vento e la direzione del moto ondoso generato (tab.1). Riferendosi ai settori di traversia geografica superiori a 100 Km le massime deviazioni della direzione di moto ondoso generata dal vento si hanno dai settori di ponente e maestrale ($\Delta\theta = 20^\circ - 30^\circ$).

⁴ Si definisce come "fetch efficace" la porzione di mare che costituisce, sotto l'azione diretta dei venti, l'area di generazione dell'evento di moto ondoso.

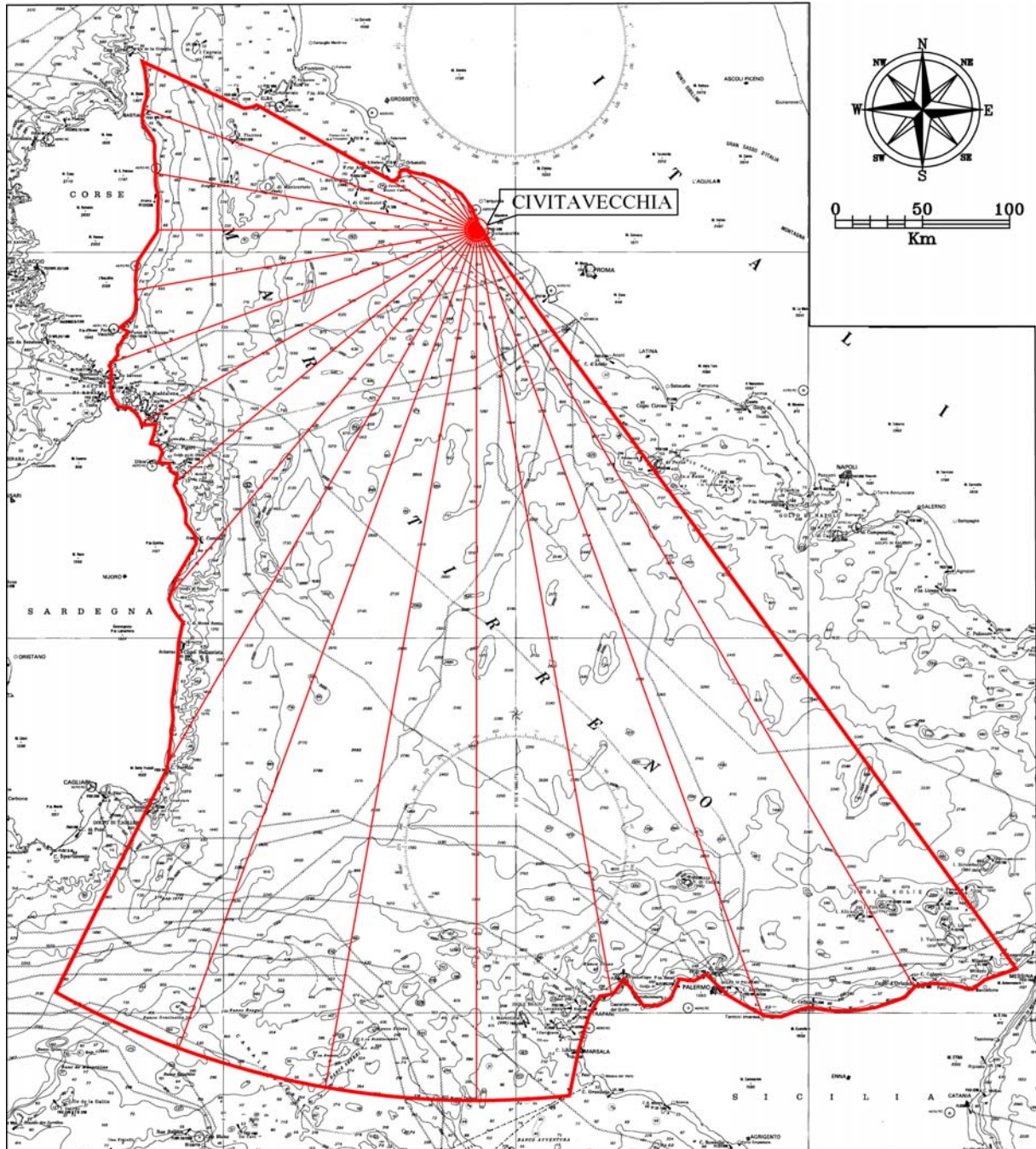


Figura 2 - Fetch geografici

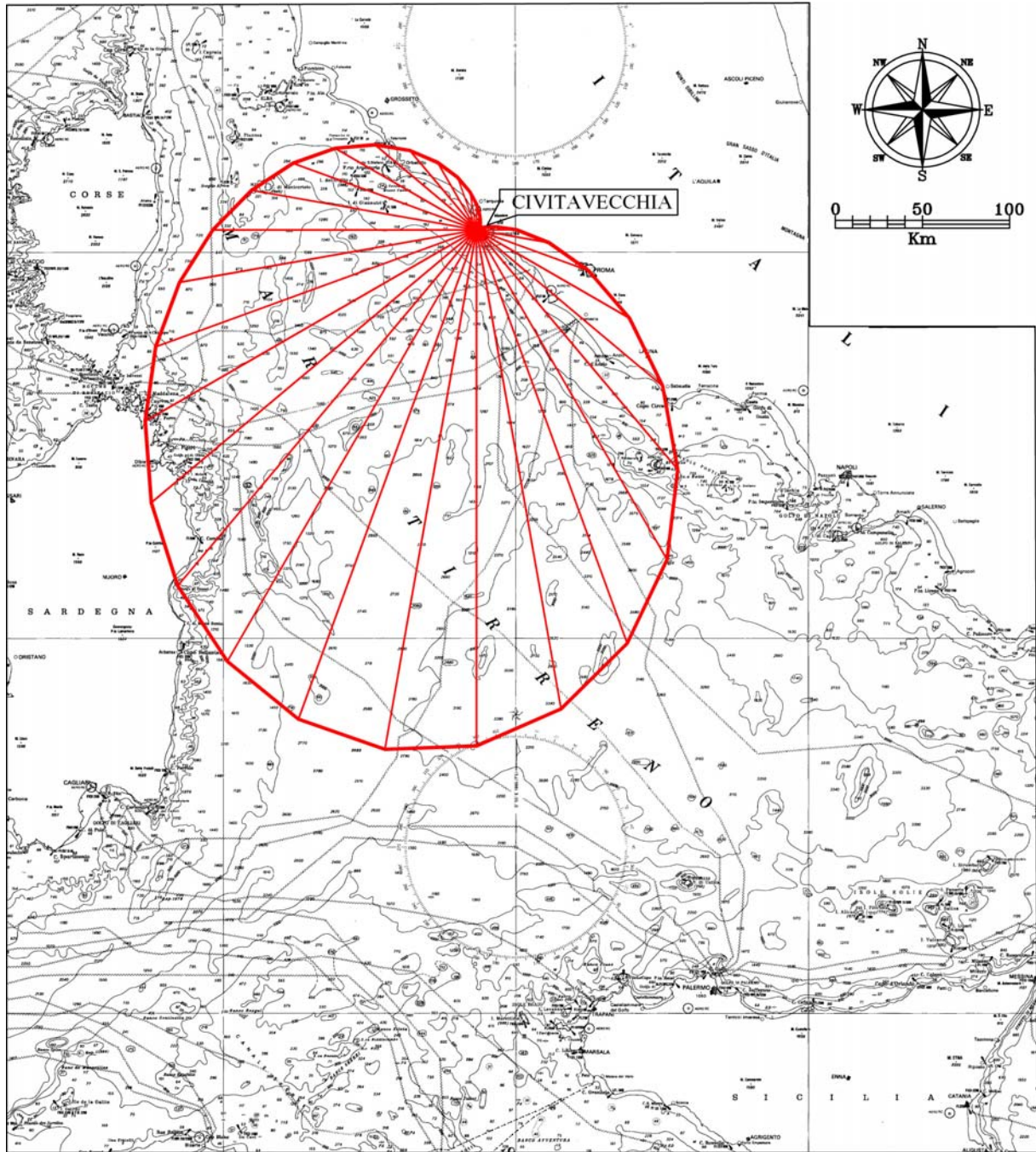
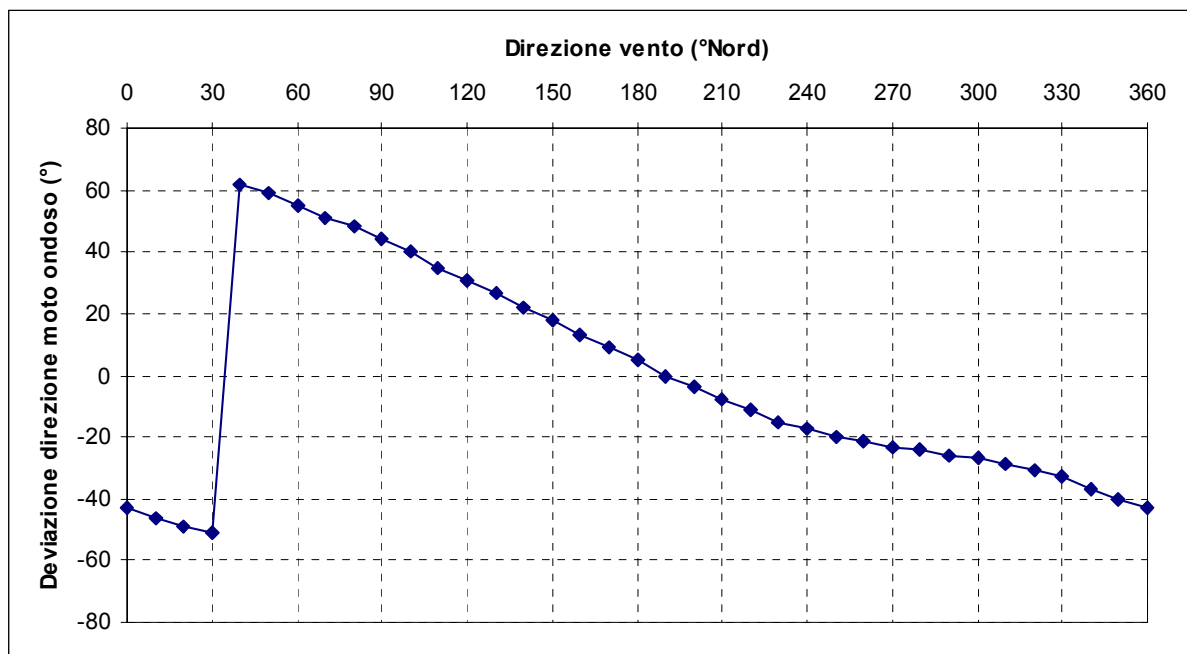


Figura 3 - Fetch efficaci

Tabella 1 - Fetch geografici ed efficaci al largo di Civitavecchia

Direzione (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione vento-mare (°)	Direzione (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione vento-mare (°)
0	6.75	14.71	-43.0	180	500.00	296.23	5.0
10	3.87	9.46	-46.0	190	500.00	302.72	0.0
20	2.85	6.23	-49.0	200	500.00	298.81	-4.0
30	2.50	4.41	-51.0	210	356.85	286.00	-8.0
40	2.33	3.31	62.0	220	275.97	266.69	-11.0
50	2.28	2.72	59.0	230	227.26	243.59	-15.0
60	2.36	2.67	55.0	240	222.49	219.53	-17.0
70	2.54	4.68	51.0	250	224.59	195.88	-20.0
80	2.71	10.96	48.0	260	198.93	173.04	-21.0
90	2.93	23.11	44.0	270	183.22	151.41	-23.0
100	3.62	42.17	40.0	280	186.89	131.12	-24.0
110	4.29	68.42	35.0	290	203.24	111.99	-26.0
120	5.99	101.32	31.0	300	144.99	93.74	-27.0
130	8.84	139.35	27.0	310	53.43	76.10	-29.0
140	18.95	179.62	22.0	320	39.99	59.52	-31.0
150	502.00	218.55	18.0	330	27.95	44.72	-33.0
160	480.74	252.61	13.0	340	18.71	32.30	-37.0
170	445.74	279.17	9.0	350	9.80	22.29	-40.0



3 Regime dei venti

La conoscenza del "clima anemologico" locale, cioè della distribuzione di frequenza della velocità e direzione del vento, è di grande importanza in quanto influenza in maniera determinante la scelta della ubicazione e configurazione planimetrica del porto, con particolare riguardo all'orientamento delle dighe frangiflutti, dell'imboccatura e l'ubicazione delle banchine di ormeggio.

E' noto infatti che le imbarcazioni rispondono molto meglio alle azioni di venti longitudinali (paralleli all'asse longitudinale della barca) piuttosto che trasversali, in particolar modo durante le delicate manovre negli spazi ristretti del bacino portuale ed in fase di stazionamento.

Inoltre la conoscenza della forza del vento è necessaria per il dimensionamento dei cassoni di accosto ed altre strutture emergenti e per il calcolo degli effetti sulle variazioni del livello marino sottocosta.

Per una attenta analisi del regime dei venti sono stati analizzati i dati delle stazioni anemometriche di Civitavecchia (Marina Militare – M.M.: periodo dal 1946 al 1962 – quota +19 m s.l.m. e Aeronautica Militare - A.M. 214: periodo da gennaio 1951 a dicembre 1977 – quota + 3m s.l.m.), Giglio (M.M.: periodo dal 1930 al 1952 – quota +411 m s.l.m.), Fiumicino (A.M.242: periodo da dicembre 1958 a dicembre 1980 – quota +2 m s.l.m.) e Monte Argentario (A.M.168: periodo da gennaio 1961 a dicembre 1977 – quota +631 m s.l.m.).

La distribuzione delle frequenze annuali, per settori di provenienza (8 con ampiezza di 45° o 16 da 22.5°) e 5 classi di intensità del vento (più le calme), è stata sintetizzata nelle tab.2, 3 e 4 e rappresentate graficamente nelle rose di figg. 4, 5 e 6. Si nota una certa variabilità dei regimi di vento nelle diverse stazioni (in termini sia di direzione che di intensità) a causa delle diverse esposizioni anemometriche. Appare chiaro che i venti locali regnanti (più frequenti) sono diretti lungo l'asse sud-est (scirocco) - nord-ovest (maestrale), mentre i venti dominanti (più forti) sono diretti lungo l'asse sud-ovest (libeccio) – nord-est (grecale). Si

nota inoltre che i venti piú intensi (con la velocità del vento maggiore di 25 nodi) hanno una frequenza di circa 2% (circa 6 giorni l'anno).

Si ricorda inoltre che le velocità aumentano in modo logaritmico con l'altitudine; di conseguenza, i dati di Monte Argentario e dell'Isola del Giglio devono essere ridotti di circa il 30% per riportarli al livello del mare.

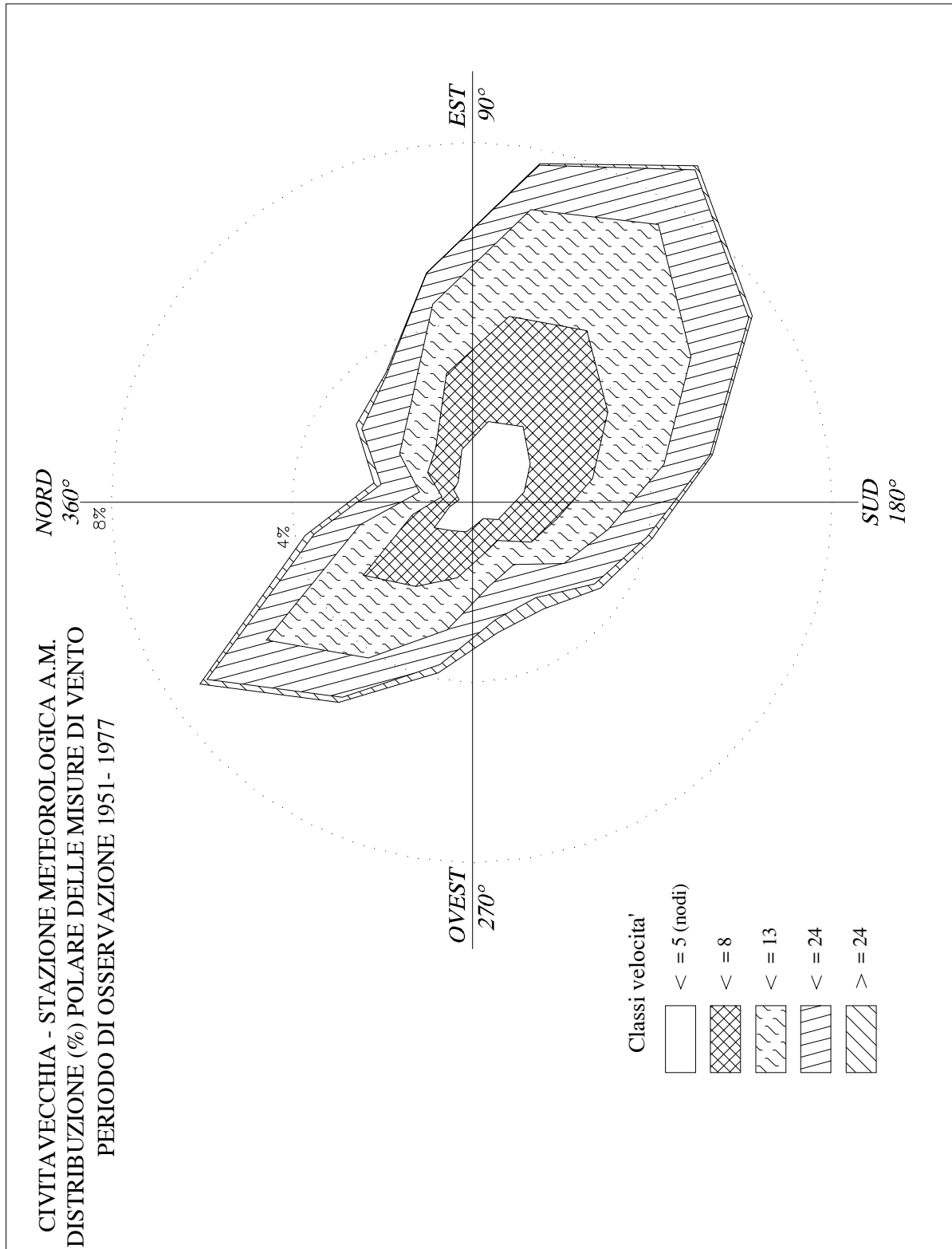


Figura 4 - Distribuzione direzionale degli stati di vento osservati alla stazione meteorologica di Civitavecchia

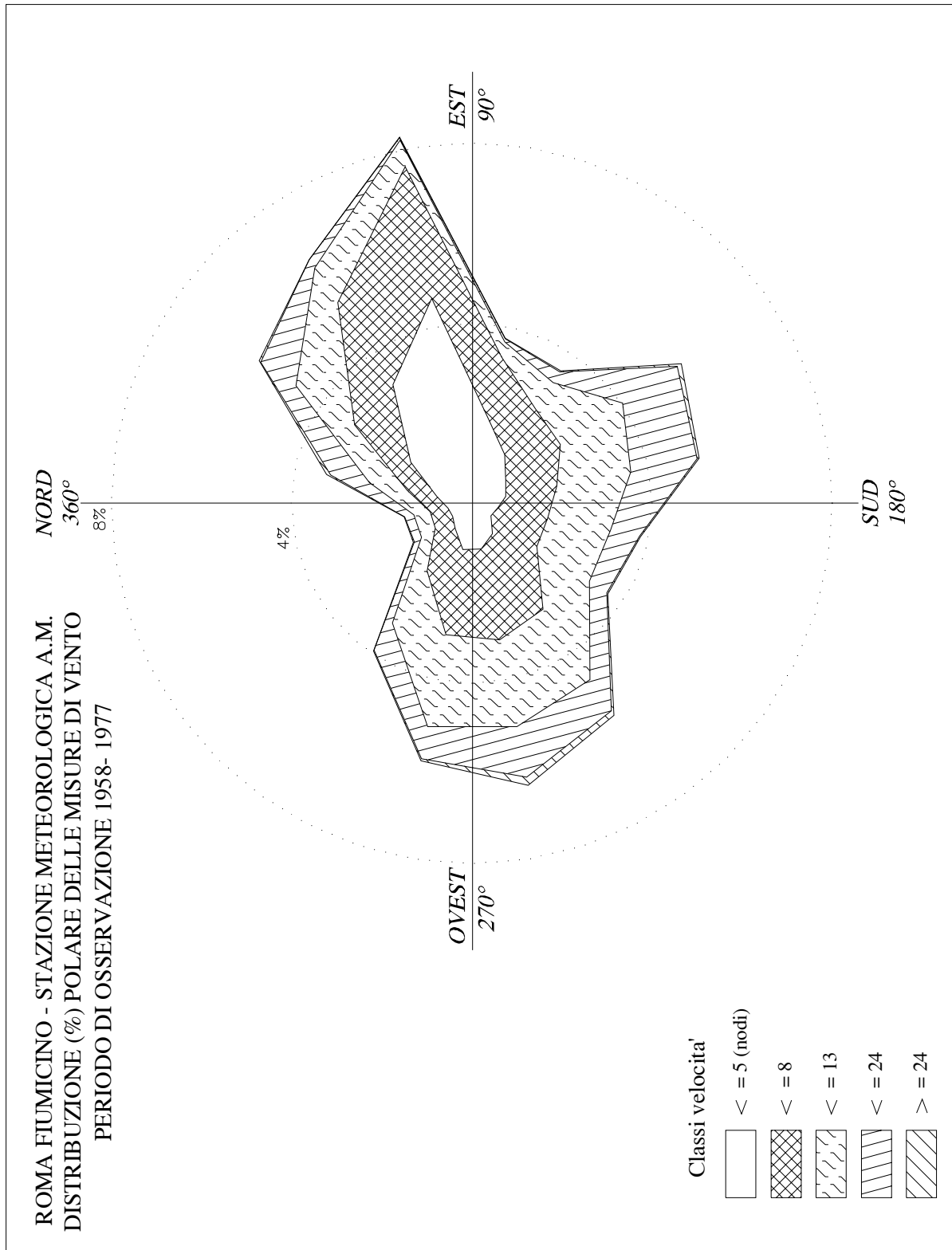


Figura 5 - Distribuzione direzionale degli stati di vento osservati alla stazione meteorologica di Fiumicino

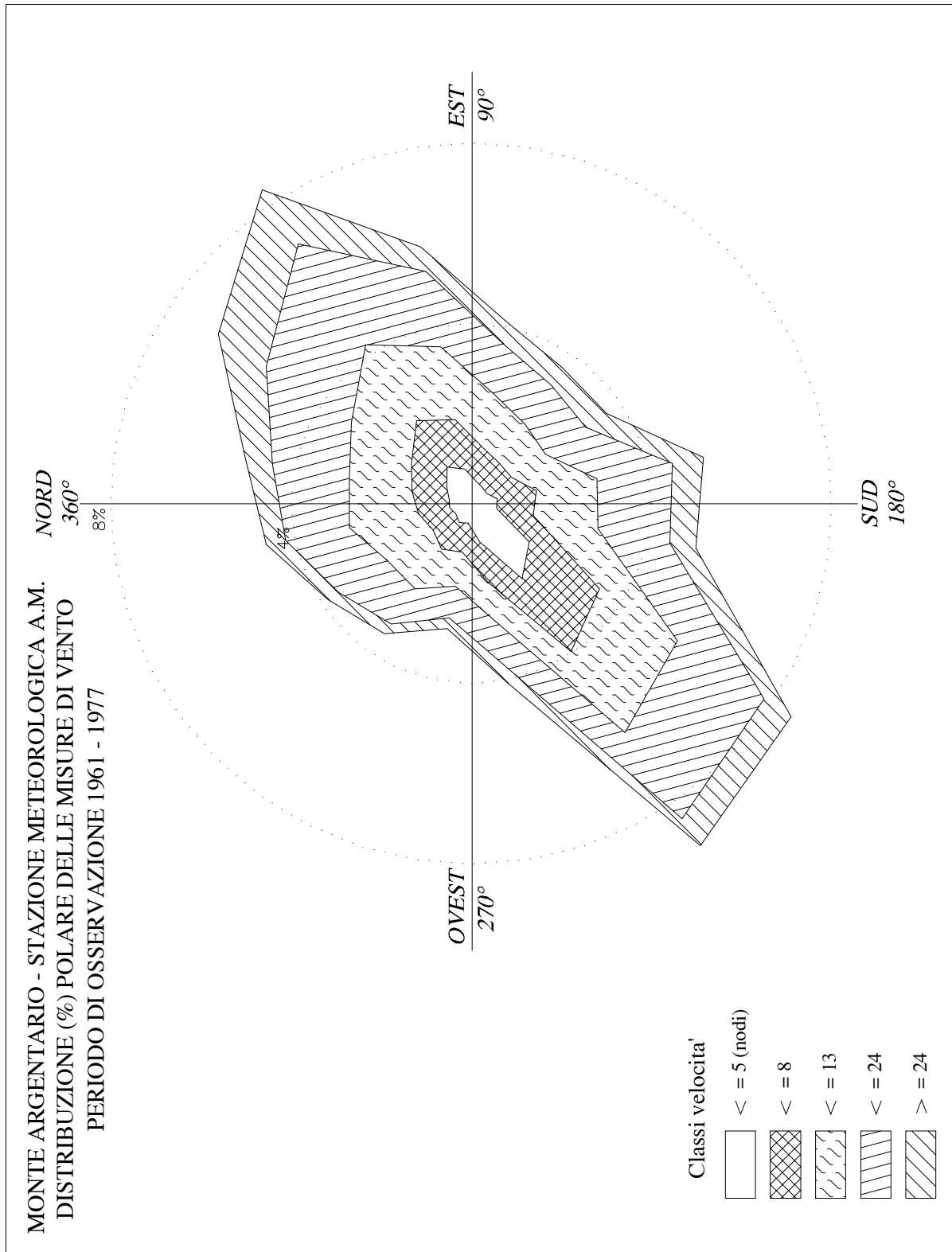


Figura 6 - Distribuzione direzionale degli stati di vento osservati alla stazione meteorologica di Monte Argentario

Tabella 2 - Stazione A.M. di Civitavecchia

Direzione e velocità del vento							
Distribuzione delle frequenze annuali (*) (media sul periodo 1951 ÷ 1977)							
DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		2.93	3.96	5.02	8.71	1.63	22.25
22.5 ÷ 45.0		4.99	6.91	7.50	10.14	1.49	31.03
45.0 ÷ 67.5		5.52	9.15	10.26	9.29	0.36	34.58
67.5 ÷ 90.0		11.98	17.16	15.77	7.01	0.10	52.02
90.0 ÷ 112.5		18.35	23.82	24.19	9.96	0.33	76.65
112.5 ÷ 135.0		20.31	25.54	28.44	14.59	1.12	90.00
135.0 ÷ 157.5		15.49	20.70	22.10	15.43	0.96	74.68
157.5 ÷ 180.0		11.67	15.46	16.27	10.34	0.62	54.36
180.0 ÷ 202.5		7.99	11.08	11.65	8.77	1.23	40.72
202.5 ÷ 225.0		6.91	8.88	8.60	8.17	1.71	34.27
225.0 ÷ 247.5		4.31	5.82	6.50	8.83	2.96	28.42
247.5 ÷ 270.0		4.97	6.84	7.25	7.46	2.90	29.42
270.0 ÷ 292.5		6.68	10.35	11.84	7.88	1.83	38.58
292.5 ÷ 315.0		7.64	14.84	19.00	10.50	1.36	53.34
315.0 ÷ 337.5		10.20	18.93	25.87	15.79	1.86	72.65
337.5 ÷ 360.0		5.09	8.37	11.89	10.38	2.04	37.77
VARIABILI		0.24	0.52	0.24	0.20	0.00	1.20
0 ÷ .5 m/s	228.06						228.06
Totali	228.06	145.27	208.33	232.39	163.45	22.5	1000.00

Quota strumento (m s.l.m.)

3

Numero totale eventi:

59546

(*) Valori per migliaia di unità

Tabella 3 - Stazione A.M. di Fiumicino

Direzione e velocità del vento							
Distribuzione delle frequenze annuali(*) (media su periodo 1958 ÷ 77)							
DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		7.99	6.75	8.52	8.79	0.87	32.92
22.5 ÷ 45.0		16.37	14.99	15.73	9.35	0.47	56.91
45.0 ÷ 67.5		31.63	22.03	9.28	2.13	0.02	65.09
67.5 ÷ 90.0		46.39	29.74	6.02	0.66	0.02	82.83
90.0 ÷ 112.5		18.82	14.31	3.44	0.72	0.04	37.33
112.5 ÷ 135.0		13.03	12.21	7.03	2.78	0.28	35.33
135.0 ÷ 157.5		8.98	14.46	16.63	14.63	1.08	55.78
157.5 ÷ 180.0		7.52	11.58	16.73	15.02	0.52	51.37
180.0 ÷ 202.5		5.75	11.29	14.14	6.59	0.32	38.09
202.5 ÷ 225.0		5.03	12.20	13.96	4.68	0.34	36.21
225.0 ÷ 247.5		8.14	20.10	18.79	8.43	1.15	56.61
247.5 ÷ 270.0		10.35	20.54	19.63	11.43	1.85	63.80
270.0 ÷ 292.5		10.52	19.20	20.87	7.22	0.49	58.30
292.5 ÷ 315.0		6.76	11.25	13.93	7.24	0.23	39.41
315.0 ÷ 337.5		5.28	4.56	3.74	1.91	0.21	15.70
337.5 ÷ 360.0		5.46	4.09	3.70	2.01	0.15	15.41
VARIABILI		0.11	0.13	0.34	0.34	0.15	1.07
0 ÷ .5 m/s	257.84						167.16
Totali	257.84	208.13	229.43	192.48	103.93	8.19	1000.00

Quota strumento (m s.l.m.)

2

Numero totale eventi:

52935 (*) Valori per migliaia di unità

Tabella 4 - Stazione A.M. di Monte Argentario

Direzione e velocità del vento							
Distribuzione delle frequenze annuali(*) (media su periodo 1958 ÷ 77)							
DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		5.11	8.40	14.24	17.36	6.17	51.28
22.5 ÷ 45.0		6.73	9.35	16.14	22.67	12.80	67.69
45.0 ÷ 67.5		9.77	12.37	20.26	26.85	14.45	83.70
67.5 ÷ 90.0		7.77	11.20	16.48	17.12	5.50	58.07
90.0 ÷ 112.5		4.96	7.69	12.14	11.28	4.84	40.91
112.5 ÷ 135.0		4.25	6.59	10.37	10.41	4.55	36.17
135.0 ÷ 157.5		3.99	6.49	9.11	10.87	5.48	35.94
157.5 ÷ 180.0		5.77	8.83	13.76	17.00	7.08	52.44
180.0 ÷ 202.5		5.62	8.29	14.68	16.16	5.98	50.73
202.5 ÷ 225.0		15.37	18.67	20.86	23.16	7.12	85.18
225.0 ÷ 247.5		20.01	19.49	21.62	22.94	7.25	91.31
247.5 ÷ 270.0		8.73	8.97	8.90	9.85	4.10	40.55
270.0 ÷ 292.5		4.46	6.51	7.78	7.09	2.43	28.27
292.5 ÷ 315.0		5.08	7.04	10.66	9.44	2.58	34.80
315.0 ÷ 337.5		4.28	6.15	12.17	12.96	2.81	38.37
337.5 ÷ 360.0		5.03	6.97	15.68	14.46	4.36	46.50
VARIABILI		1.40	0.54	0.87	1.90	0.85	5.56
0 ÷ .5 m/s	257.84						167.16
Totali	257.84	118.33	153.55	225.72	251.52	98.35	1000.00

Quota strumento (m s.l.m.)

631

Numero totale eventi:

45873

(*) Valori per migliaia di unità

4 Correnti

L'analisi d'insieme (riferita alla rappresentazione grafica estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR – figura 7) mostra che, al largo della costa in esame, i flussi delle correnti di gradiente (o di densità) sono condizionati dal fenomeno di riflusso della circolazione d'insieme antioraria del Mar Tirreno e pertanto sono diretti da Sud verso Nord. In generale nel Tirreno centrale la velocità media delle correnti in superficie è piuttosto modesta, circa 0.05 m/s, con punte massime comunque inferiori a 0.5 m/s.

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

Nel 1974 l'Università di Napoli ha condotto una campagna di misura nell'area di Civitavecchia ed ha riscontrato velocità delle correnti prossime ad 0.01 m/s con punte massime di 0.1 m/s e direzione compresa SSW –SW.

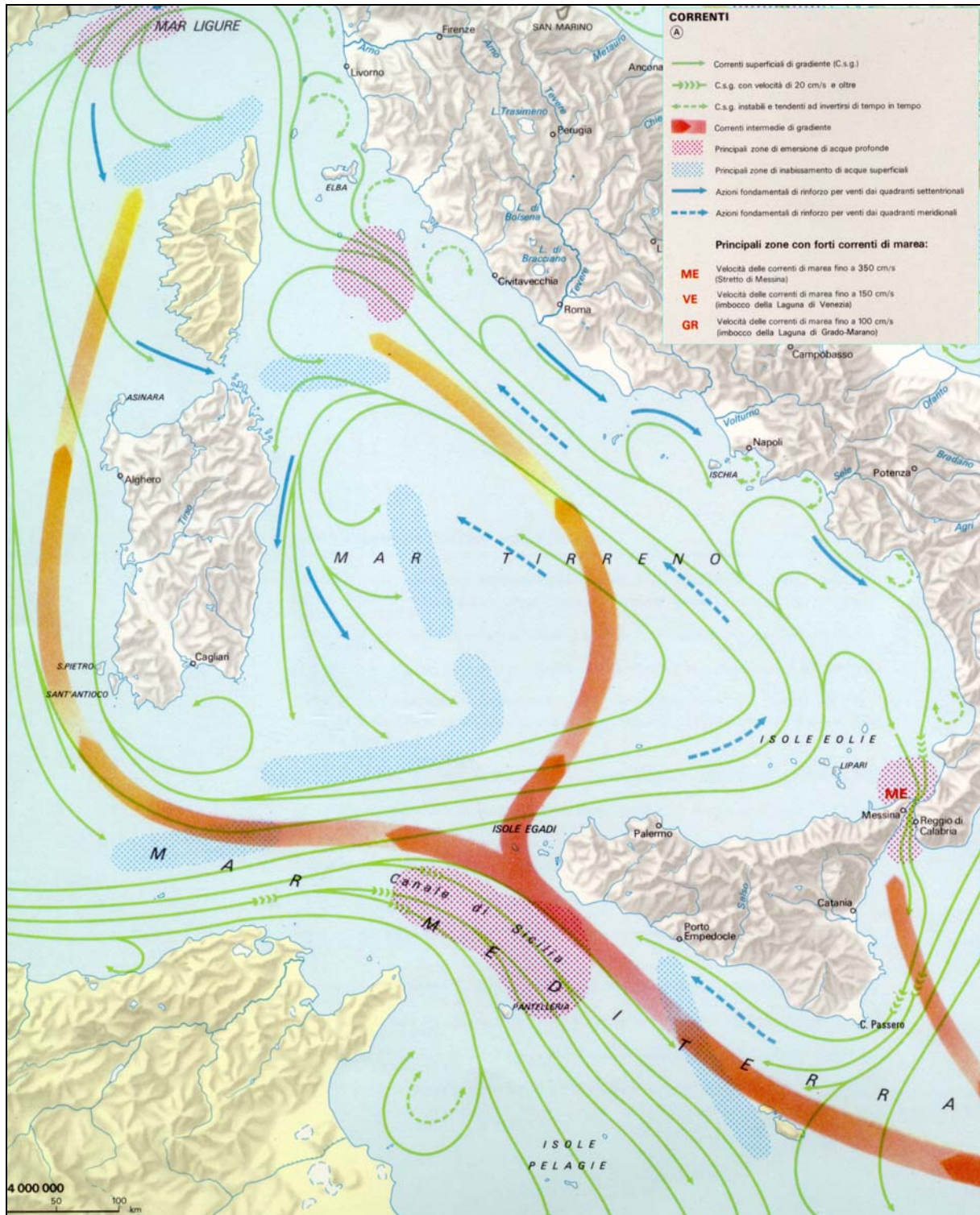


Figura 7 - Analisi d'insieme delle correnti al largo di Civitavecchia (TCI-CNR)

5 Variazioni del livello marino

Le variazioni quasi-statiche del livello marino sono dovute a cause diverse che vengono sintetizzate nel fenomeno di "oscillazione di marea" riconoscendo come componenti principali quella astronomica e "meteorologica".

La conoscenza delle massime escursioni dei livelli di marea è necessaria per molteplici scopi quali ad esempio: la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere marittime; la profondità dei fondali per garantire il giusto pescaggio delle imbarcazioni; l'analisi del grado di ricircolo naturale dei volumi d'acqua invasati nello specchio liquido portuale. In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica).

Nel zona del Mar Tirreno ove ricade il paraggio costiero di Civitavecchia le escursioni del livello del mare sono di fatto modeste; per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili per alcuni porti principali italiani in base alle "Tavole di Marea", pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare; per il caso in esame si possono utilizzare i dati forniti per il porto di Civitavecchia. L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 25 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bisettimanale distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa ± 0.20 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello pari a circa 0,40). Nelle fasi di quadratura l'escursione è limitata al massimo a ± 0.15 m s.l.m..

Per la definizione della marea meteorologica si distinguono:

- sovrizzo ed abbassamento barico (legati al passaggio dei cicloni ed anticicloni): considerata una condizione di minimo barico pari a 978 mb rispetto ad una condizione media di 1013 mb ne consegue un effetto di sovrizzo marino massimo pari a 0.35 m;

considerando che il massimo barico pluriennale osservato è di 1040 mb, si ha un abbassamento locale del livello marino di circa 27 cm.

- sovrizzo di vento: l'effetto di innalzamento dei livelli sottocosta indotto dall'azione di venti foranei spiranti verso la costa è definito in funzione dell'estensione della piattaforma continentale (l'isobata -200 si trova a circa 17 km dalla imboccatura portuale). Il calcolo del sovrizzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

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

Questa fornisce un valore di 0.04 m alla profondità di 5 m (d), essendo D=200 m profondità limite assunta per la piattaforma continentale; $L_p=17000$ m estensione della piattaforma continentale; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; $K_p = 3 \times 10^{-6}$; $U = 20 \text{ m/s}$ velocità del vento persistente. Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva (d=0) pari a S=0.08 m.

Infine si devono considerare le variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo: le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo).

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrizzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 25% per il sovrizzo massimo di carattere meteorologico ed astronomico; in definitiva, a fronte di un sovrizzo massimo assoluto pari a circa 0.63 m (0.20 + 0.35 + 0.08); il massimo livello marino da assumere per la progettazione delle opere può essere posto pari a + 0.50 m sopra il medio mare.

Il minimo abbassamento del livello marino è pari alla somma dell'oscillazione di marea (20 cm) e dell'abbassamento barico (27 cm), ed è uguale a circa 47 cm; anche in questo caso si può ammettere un abbattimento del 25% dell'oscillazione massima, pertanto il minimo

livello da assumere per la progettazione delle opere è pari a 0.40 m sotto il medio mare ($0.47 \times 0.75 = 0.36$ m).

6 Regime del moto ondososo

Elemento fondamentale per la disposizione ed il dimensionamento delle opere portuali e per la valutazione degli effetti indotti sui natanti in navigazione, la manovra e l'ormeggio è il regime del moto ondososo a ridosso delle opere portuali.

Per l'elaborazione del presente documento, sono stati presi in esame nelle fasi conoscitive preliminari i dati relativi alle seguenti boe ondametrichi che ricadono comunque all'interno della medesima area di generazione:

1. Boa ondametrichi direzionale di Torre Valdaliga, ubicata ad una distanza di circa 800 m dalla diga di sopraflutto del porto di Civitavecchia, alla batimetrica -35 ms.l.m.m., in esercizio dal febbraio 1994 al marzo 2003 e gestita dal ENEL-SRI-PIS – Rendimento medio = 85 % ;
2. Boa ondametrichi non direzionale di Montalto di Castro, localizzata al largo della Centrale Elettrica dell'ENEL, alla batimetrica -50 ms.l.m.m. (coordinate: 42°17'30'' N; 11°28'36''E), in esercizio dal 1976 al 1994 e gestita dal ENEL-SRI-PIS (ricade all'interno dell'area climatica di generazione degli stati di mare che interessano il sito in esame) – Rendimento medio = 62 % ;
3. Boa ondametrichi di Ponza, posta a sud-ovest di Punta della Guardia - (coordinate: 40°52' N; 12°57'E), in esercizio dal 1 luglio 1989 e gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (ricade all'interno dell'area climatica di generazione degli stati di mare che interessano il sito in esame) – Rendimento medio = 91 %.

Si osserva che a partire da marzo 2003 l'ondametro di Torre Valdaliga è stato sostituito da un nuovo ondametro della Rete Ondametrichi Nazionale gestita dall'APAT ubicato in prossimità di Capo Linaro su un fondale di circa 90 m.

Per la definizione del regime di moto ondoso si è fatto riferimento alla boa ondometrica di Torre Valdaliga in quanto le misure sono state eseguite in prossimità del sito in esame e gli effetti di rifrazione e shoaling non sono particolarmente significativi.

La definizione del regime di moto ondoso è consistita nel determinare le frequenze degli eventi (classificati in base all'altezza d'onda ed alla direzione media di provenienza) e la probabilità di occorrenza degli eventi ondosi estremi.

6.1 Caratteristiche del moto ondoso a ridosso dell'opere portuali

Come già accennato, per la caratterizzazione climatica del moto ondoso a ridosso delle opere portuali è stata presa in considerazione la boa di Torre Valdaliga che presenta un buon rendimento ed un discreto periodo di funzionamento. Nella tabella 5 è indicato il rendimento complessivo e mensile dell'ondametro.

Nelle tabelle 6-10 e nella figura 8 sono rappresentate le distribuzioni annuali e stagionali del numero di eventi di moto ondoso (in forma percentuale) suddivisi per classi di altezza d'onda significativa (H_s) e direzione di provenienza ($^{\circ}N$).

Tabella 5 - Rendimento dell'ondametro di Torre Valdaliga

Anno	Mese	Rendimento (%)	Anno	Mese	Rendimento (%)	Anno	Mese	Rendimento (%)
			1997	Gen	96.0	2000	Gen	81.5
1994	Feb	74.6	1997	Feb	0.0	2000	Feb	97.8
1994	Mar	87.1	1997	Mar	11.3	2000	Mar	89.5
1994	Apr	93.3	1997	Apr	97.9	2000	Apr	84.2
1994	Mag	83.9	1997	Mag	4.4	2000	Mag	94.0
1994	Giu	92.9	1997	Giu	83.3	2000	Giu	94.6
1994	Lug	96.8	1997	Lug	96.8	2000	Lug	98.0
1994	Ago	93.5	1997	Ago	94.8	2000	Ago	95.6
1994	Set	90.0	1997	Set	97.9	2000	Set	97.5
1994	Ott	94.8	1997	Ott	97.6	2000	Ott	93.5
1994	Nov	97.9	1997	Nov	97.5	2000	Nov	95.4
1994	Dic	97.6	1997	Dic	91.9	2000	Dic	97.6
1995	Gen	87.9	1998	Gen	96.0	2001	Gen	94.0
1995	Feb	0.0	1998	Feb	96.9	2001	Feb	96.0
1995	Mar	0.0	1998	Mar	93.5	2001	Mar	97.6
1995	Apr	58.8	1998	Apr	96.3	2001	Apr	98.3
1995	Mag	100.0	1998	Mag	88.3	2001	Mag	95.6
1995	Giu	48.8	1998	Giu	87.1	2001	Giu	96.3
1995	Lug	59.3	1998	Lug	96.4	2001	Lug	94.8
1995	Ago	33.1	1998	Ago	96.4	2001	Ago	95.6
1995	Set	0.0	1998	Set	96.7	2001	Set	97.9
1995	Ott	76.2	1998	Ott	96.4	2001	Ott	96.0
1995	Nov	94.2	1998	Nov	97.5	2001	Nov	88.8
1995	Dic	59.3	1998	Dic	98.0	2001	Dic	96.0
1996	Gen	88.7	1999	Gen	96.8	2002	Gen	91.9
1996	Feb	0.0	1999	Feb	99.1	2002	Feb	98.2
1996	Mar	0.0	1999	Mar	95.6	2002	Mar	98.0
1996	Apr	43.3	1999	Apr	97.9	2002	Apr	93.3
1996	Mag	99.6	1999	Mag	98.8	2002	Mag	85.5
1996	Giu	100.0	1999	Giu	98.3	2002	Giu	97.1
1996	Lug	100.0	1999	Lug	96.8	2002	Lug	89.9
1996	Ago	100.0	1999	Ago	98.4	2002	Ago	91.9
1996	Set	100.0	1999	Set	98.8	2002	Set	95.4
1996	Ott	98.4	1999	Ott	97.2	2002	Ott	94.4
1996	Nov	99.2	1999	Nov	75.4	2002	Nov	99.2
1996	Dic	96.0	1999	Dic	88.3	2002	Dic	94.4
						2003	Gen	98.0

Numero totale di eventi validi registrati: 22403

Rendimento complessivo ondametro (%): 85.19

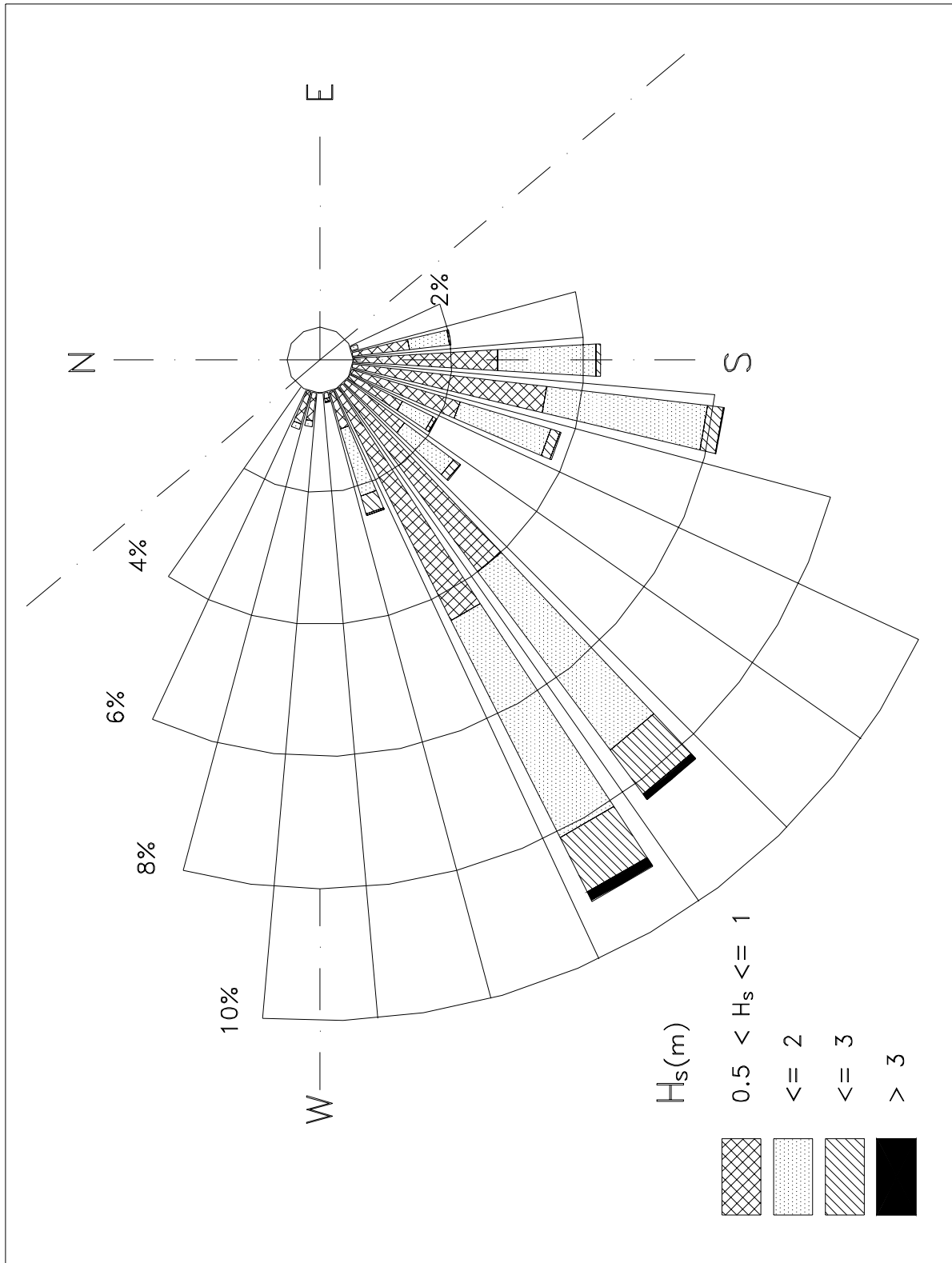


Figura 8 - Distribuzione direzionale annuale degli eventi di moto ondoso rilevati alla boa ondometrica di Torre Valdaliga nel periodo febbraio 1994-gennaio 2003

Tabella 6 - Distribuzione percentuale annuale per classi di Hs e direzione di provenienza degli eventi di moto ondoso rilevati a Torre Valdaliga

DIR (°N)	Hs (m)	<.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	TOT.
10	0.062	0.112	0.031	0.004	0.004								0.214
20	0.054	0.134	0.049										0.237
30	0.045	0.129	0.067	0.018	0.022	0.031							0.312
40	0.013	0.062	0.022	0.004	0.027	0.013	0.013						0.156
50	0.004	0.009		0.004	0.004								0.022
60	0.013		0.009										0.022
70		0.009	0.009										0.018
80	0.013	0.004											0.018
90	0.004	0.004											0.009
100	0.009	0.009	0.018										0.036
110	0.009	0.013	0.022	0.004	0.004								0.054
120	0.031	0.018	0.049	0.040	0.027								0.165
130	0.022	0.018	0.071	0.058	0.067	0.018	0.013						0.268
140	0.062	0.040	0.013	0.013	0.004								0.134
150	0.161	0.232	0.062	0.018									0.473
160	0.571	0.861	0.446	0.116	0.022	0.009	0.004						2.031
170	1.058	1.719	1.567	0.589	0.098	0.018							5.048
180	1.147	2.174	2.718	1.152	0.455	0.085	0.013						7.744
190	1.942	3.433	3.500	1.741	0.714	0.210	0.058	0.004	0.004				11.606
200	2.330	2.799	2.205	1.049	0.357	0.107	0.067	0.018					8.932
210	2.089	1.986	1.379	0.353	0.138	0.031	0.018	0.009					6.004
220	2.326	2.134	1.607	0.629	0.299	0.076	0.036	0.013					7.120
230	3.058	3.160	3.575	1.727	1.027	0.464	0.192	0.054	0.013	0.004	0.004		13.279
240	1.620	2.767	4.821	2.857	1.272	0.670	0.304	0.138	0.040	0.013	0.004		14.507
250	0.732	1.299	1.228	0.817	0.437	0.183	0.121	0.018		0.004			4.839
260	0.781	0.866	0.411	0.183	0.098	0.036	0.022	0.009		0.009			2.415
270	0.728	1.152	0.446	0.022	0.018	0.004		0.004					2.375
280	0.888	1.835	0.879	0.071	0.013								3.687
290	0.652	1.705	0.951	0.067	0.013								3.388
300	0.295	0.745	0.406	0.027									1.473
310	0.121	0.353	0.241										0.714
320	0.125	0.495	0.241	0.004	0.004								0.870
330	0.147	0.487	0.205	0.009	0.004								0.853
340	0.125	0.295	0.125		0.009								0.553
350	0.076	0.129	0.036		0.004	0.004							0.250
360	0.040	0.103	0.004	0.004	0.022								0.174
TOT.	21.4	31.3	27.4	11.6	5.2	2.0	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0		100.000
Tot. cum	21.4	52.6	80.1	91.6	96.8	98.8	99.6	99.9	100.0	100.0	100.0		0.214

Tabella 7 - Distribuzione percentuale invernale per classi di Hs e direzione di provenienza degli eventi di moto ondoso rilevati a Torre Valdaliga

DIR (°N)	Hs (m)	<.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	TOT.
10	0.042	0.316	0.084	0.021	0.021								0.48
20	0.042	0.274	0.147										0.46
30	0.021	0.274	0.169	0.084	0.105	0.147							0.80
40	0.021	0.211	0.084	0.021	0.126	0.063	0.063						0.59
50		0.021		0.021	0.021								0.06
60	0.021		0.042										0.06
70		0.021	0.042										0.06
80		0.021											0.02
90		0.021											0.02
100		0.042	0.084										0.13
110	0.042	0.063	0.105	0.021	0.021								0.25
120	0.042	0.084	0.232	0.190	0.126								0.67
130	0.021	0.084	0.337	0.274	0.316	0.084	0.063						1.18
140	0.042	0.126	0.063	0.063	0.021								0.32
150	0.190	0.190	0.105	0.021									0.51
160	0.485	1.032	0.506	0.063		0.021							2.11
170	0.716	1.896	1.138	0.506	0.063	0.042							4.36
180	1.180	1.791	1.875	1.116	0.337	0.063	0.063						6.43
190	2.275	2.928	2.907	1.748	0.695	0.253	0.063						10.87
200	2.465	3.033	2.338	1.011	0.400	0.105	0.063						9.42
210	2.149	2.528	1.432	0.337	0.126	0.063	0.042						6.68
220	2.275	2.128	1.622	0.906	0.274	0.105	0.021						7.33
230	1.622	2.107	3.118	2.001	1.327	0.590	0.358	0.105	0.042				11.27
240	0.948	1.538	4.171	3.560	1.685	0.801	0.232	0.169	0.084				13.19
250	0.358	1.201	1.011	1.432	0.737	0.358	0.147	0.021					5.27
260	0.485	0.506	0.485	0.295	0.232	0.021	0.021	0.042		0.021			2.11
270	0.548	0.801	0.337	0.042	0.084	0.021							1.83
280	0.463	1.285	0.485	0.126	0.021								2.38
290	0.316	1.201	0.927	0.042									2.49
300	0.295	0.801	0.485	0.126									1.71
310	0.211	0.569	0.400										1.18
320	0.147	1.116	0.506	0.021	0.021								1.81
330	0.126	0.864	0.569	0.042	0.021								1.62
340	0.274	0.674	0.400		0.042								1.39
350	0.147	0.316	0.063		0.021	0.021							0.57
360	0.021	0.211	0.021	0.021	0.105								0.38
TOT.	17.99	30.27	26.29	14.11	6.95	2.76	1.14	0.34	0.13	0.02	0		100
Tot. cum	17.99	48.26	74.55	88.67	95.62	98.38	99.52	99.85	99.98	100	100		

Tabella 8 - Distribuzione percentuale primaverile per classi di Hs e direzione di provenienza degli eventi di moto ondoso rilevati a Torre Valdaliga

DIR (°N)	Hs (m)	<.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	TOT.
10	0.054	0.036	0.018										0.107
20	0.018	0.036	0.018										0.071
30		0.036											0.036
40		0.018											0.018
50	0.018												0.018
60													0.000
70													0.000
80	0.018												0.018
90													0.000
100	0.018												0.018
110													0.000
120	0.036												0.036
130	0.054												0.054
140	0.089	0.036											0.125
150	0.214	0.285	0.089										0.589
160	0.678	0.945	0.482	0.107									2.212
170	1.070	1.552	1.980	0.624	0.089	0.018							5.334
180	0.910	2.747	3.478	0.910	0.232	0.071							8.348
190	1.570	4.192	4.121	1.124	0.428	0.018							11.452
200	2.087	2.925	2.587	0.696	0.054	0.054							8.402
210	2.034	1.605	1.249	0.232	0.089			0.018					5.227
220	2.301	1.891	1.944	0.446	0.268	0.018		0.018					6.885
230	2.658	2.943	3.782	1.552	1.052	0.410	0.071	0.036		0.018			12.522
240	1.588	3.139	5.191	2.390	1.320	0.678	0.303	0.054	0.018	0.036			14.716
250	0.660	1.159	1.605	0.660	0.428	0.143	0.054	0.018					4.727
260	1.035	1.142	0.464	0.196	0.036	0.036	0.054						2.961
270	1.302	1.516	0.838	0.054				0.018					3.728
280	1.231	2.283	1.374	0.089									4.977
290	0.874	2.194	1.374	0.107	0.018								4.567
300	0.285	0.589	0.517										1.391
310	0.071	0.107	0.125										0.303
320	0.125	0.089	0.054										0.268
330	0.071	0.214	0.036										0.321
340	0.089	0.268	0.018										0.375
350	0.018	0.054	0.018										0.089
360	0.071	0.036											0.107
TOT.	21.25	32.04	31.36	9.19	4.01	1.44	0.48	0.16	0.02	0.05	0		100
Tot. cum	21.25	53.28	84.64	93.83	97.84	99.29	99.77	99.93	99.95	100	100		

Tabella 9 - Distribuzione percentuale estiva per classi di Hs e direzione di provenienza degli eventi di moto ondoso rilevati a Torre Valdaliga

DIR (°N)	Hs (m)	<.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	TOT.
10	0.034	0.017											0.051
20	0.017												0.017
30	0.068	0.034											0.102
40	0.017												0.017
50													0.000
60													0.000
70													0.000
80													0.000
90													0.000
100													0.000
110													0.000
120	0.017												0.017
130													0.000
140	0.051	0.017											0.068
150	0.220	0.390	0.017	0.051									0.678
160	0.543	0.780	0.373	0.187	0.034	0.017	0.017						1.950
170	0.729	0.882	1.035	0.305	0.051								3.002
180	1.018	1.662	1.950	0.560	0.136								5.326
190	1.493	3.087	2.799	1.018	0.153	0.017							8.565
200	1.781	2.391	1.628	0.594	0.204	0.034							6.632
210	1.984	1.984	1.272	0.288	0.136	0.017							5.682
220	2.510	3.104	1.679	0.424	0.102	0.034	0.017						7.870
230	5.393	5.020	4.037	1.459	0.577	0.339	0.136	0.034					16.995
240	2.866	4.088	6.106	3.070	0.933	0.509	0.305	0.170					18.046
250	1.102	1.713	1.272	0.492	0.237	0.051	0.034	0.017		0.017			4.936
260	1.255	1.340	0.322	0.051			0.017						2.985
270	0.831	1.900	0.492										3.223
280	1.442	3.223	1.255	0.051	0.017								5.987
290	0.848	2.629	1.323	0.085									4.885
300	0.271	0.967	0.339										1.577
310	0.102	0.220	0.051										0.373
320	0.102	0.237											0.339
330	0.068	0.254	0.034										0.356
340	0.102	0.119											0.220
350	0.051	0.051											0.102
360													0.000
TOT.	24.92	36.11	25.98	8.63	2.58	1.02	0.53	0.22	0.00	0.02	0		100
Tot. cum	24.92	61.02	87.01	95.64	98.22	99.24	99.76	99.98	99.98	100	100		

Tabella 10 - Distribuzione percentuale autunnale per classi di Hs e direzione di provenienza degli eventi di moto ondoso rilevati a Torre Valdaliga

DIR (°N)	Hs (m)	<.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	TOT.
10	0.114	0.114	0.032										0.260
20	0.130	0.244	0.049										0.422
30	0.081	0.195	0.114										0.390
40	0.016	0.049	0.016										0.081
50		0.016											0.016
60	0.032												0.032
70		0.016											0.016
80	0.032												0.032
90	0.016												0.016
100	0.016												0.016
110													0.000
120	0.032												0.032
130	0.016												0.016
140	0.065												0.065
150	0.032	0.065	0.049										0.146
160	0.569	0.731	0.439	0.097	0.049								1.885
170	1.625	2.535	2.031	0.894	0.179	0.016							7.280
180	1.462	2.437	3.412	1.966	1.056	0.195							10.530
190	2.454	3.461	4.062	2.990	1.527	0.536	0.162	0.016	0.016				15.226
200	2.974	2.892	2.307	1.836	0.747	0.227	0.195	0.065					11.245
210	2.194	1.917	1.560	0.536	0.195	0.049	0.032	0.016					6.500
220	2.210	1.430	1.219	0.780	0.536	0.146	0.097	0.032					6.451
230	2.291	2.389	3.299	1.934	1.202	0.536	0.227	0.049	0.016			0.016	11.960
240	0.975	2.112	3.754	2.535	1.235	0.715	0.357	0.162	0.065	0.016	0.016	0.016	11.943
250	0.731	1.105	1.007	0.796	0.406	0.211	0.244	0.016					4.517
260	0.325	0.439	0.390	0.211	0.146	0.081					0.016		1.609
270	0.244	0.374	0.130										0.747
280	0.374	0.520	0.374	0.032	0.016								1.316
290	0.520	0.764	0.227	0.032	0.032								1.576
300	0.325	0.634	0.309										1.267
310	0.114	0.536	0.406										1.056
320	0.130	0.634	0.439										1.202
330	0.309	0.666	0.244										1.219
340	0.065	0.195	0.130										0.390
350	0.097	0.130	0.065										0.292
360	0.065	0.179											0.244
TOT.	20.64	26.78	26.06	14.64	7.33	2.71	1.32	0.36	0.10	0.03	0.03		100
Tot. cum	20.64	47.42	73.48	88.12	95.45	98.16	99.48	99.84	99.94	99.97		100	

6.2 *Analisi statistiche degli eventi estremi*

Per la determinazione della cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda è necessario eseguire un'elaborazione statistica delle altezze d'onda maggiori relative alla serie storica di riferimento desunta dalle registrazioni ondamiche. Mediante regolarizzazione della serie di eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa e periodo) da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di occorrenza).

Nel caso di serie di dati relativi a misure di altezza d'onda è più affidabile l'analisi statistica di serie tronche, ottenute selezionando per i diversi settori direzionali di caratteristiche omogenee tutte le altezze d'onda significative, registrate al picco di mareggiate indipendenti superiori ad una soglia prefissata. Infatti, il metodo delle serie tronche è da preferire sia al metodo dei massimi annuali (dati in numero limitato e per alcune "annate" ben poco estremi) sia a quello dell'analisi di tutta la serie di eventi di moto ondoso (sicuramente non indipendenti e poco omogenei). La scelta della soglia di troncamento deve essere effettuata al fine di garantire comunque una selezione di un numero di eventi estremi comparabile con il numero di anni di osservazione e deve essere tale da separare le mareggiate ordinarie da quelle estreme.

Nel caso in esame per la determinazione dell'onda di progetto sono stati analizzate le mareggiate più intense registrate dall'ondametro di Torre Valdaliga. La selezione delle mareggiate dalla serie di dati ondamiche è stata effettuata con i seguenti criteri:

1. l'altezza significativa trioraria di colmo deve essere maggiore di 3 m;
2. la durata (intesa come il periodo di tempo in cui H_s è superiore ad 1 m durante la mareggiata) deve essere maggiore di 12 ore

Successivamente distinte le serie "tronche" di dati sono state riferite alle usuali leggi di distribuzione probabilistica, al fine di determinare il valore "di progetto" associato ad un prefissato tempo di ritorno, o la probabilità di non superamento durante la vita delle opere.

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

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-\left[\frac{(x-B)}{A}\right]^\alpha}$$

e la legge di Gumbel (1988):

$$P(X \leq x) = \exp[-\exp[-(x-b)/a]]$$

dove X è la variabile aleatoria, x il valore di non superamento e α , A , B , a , 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:

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

Dalla tabella 11 e dalle figure 10 e 11 risulta che per un tempo di ritorno di 100 anni si ottiene un'onda significativa di circa 5.65 m per il settore A e di circa 4.90 m per il settore B.

Le analisi statistiche sopra riportate sono state eseguite sulla base dei valori al colmo derivati da misure triorarie del moto ondoso. Tali valori in realtà non sempre coincidono con il massimo valore dell'altezza d'onda effettivamente verificatosi. Pertanto è stata eseguita un'ulteriore analisi statistica tenendo conto delle misure orarie o semiorarie di moto ondoso (v. tabella 12 e figura 12). Infatti, gli ondometri sono generalmente predisposti per eseguire le misure di moto ondoso secondo un intervallo temporale di 30 o di 60 minuti quando il valore dell'altezza d'onda significativa, misurata secondo un intervallo temporale di tre ore, supera un determinato valore di soglia (solitamente pari a 2,0 m).

Nel caso in esame sono stati corretti solamente i valori al colmo del periodo 1999-2003 in quanto non si dispone delle misure orarie o semiorarie di moto ondoso relative al periodo precedente. Tuttavia, si osserva che per le mareggiate selezionate il valore al colmo misurato su base trioraria è risultato uguale o di poco inferiore (circa il 5%) rispetto a quello misurato su base oraria o semioraria. Le maggiori differenze sono state rilevate solamente per le mareggiate verificatesi nel febbraio e nel dicembre 1999. In particolare si osserva che il valore al colmo è stato incrementato da 3.57 m a 4,13 m (circa il 16%) per la mareggiata del febbraio 1999 e da 4.76 m a 5,56 m (circa il 17%) per quella del dicembre 1999.

Il confronto tra le analisi statiche descritte è riportato nella figura 13 dalla quale si può notare che per un tempo di ritorno di 100 anni si ottiene un'onda significativa di circa 5.65 m su base trioraria e di circa 6.30 m su base oraria o semioraria.

Si evidenzia che, sulla base delle misure della Rete Ondametrica Nazionale, la mareggiata del dicembre 1999 è risultata la più intensa verificatasi nel Tirreno e per questo definita anche “la mareggiata del secolo”. In particolare il 28 dicembre 1999 fu rilevata un'altezza d'onda significativa al colmo pari a 7.9 m dall'ondametro di Ponza. In appendice sono riportati i risultati di un'analisi finalizzata a trasporre le misure eseguite eseguite nel corso della mareggiata dal largo di Ponza al largo di Civitavecchia. Tale analisi ha evidenziato la congruenza tra le misure eseguite dai due ondametri.

Per completezza nella figura 14 è riportato un confronto con la statistica degli eventi estremi eseguita dall'Enel sulla base delle misure ondametriche non direzionali rilevate al largo di Montalto di Castro⁵. Dal confronto si può notare che per le mareggiate estreme, caratterizzate da un tempo di ritorno maggiore o uguale a 50 anni, i valori dell'altezza d'onda sono poco dissimili. Per le mareggiate ordinarie invece si evidenziano valori inferiori per Montalto di Castro. Ciò è imputabile al fatto che, essendo le misure ondametriche non direzionali, la statistica è stata eseguita senza distinguere il settore di traversia principale da quello secondario. Pertanto, nella regolarizzazione statistica le mareggiate del settore secondario, caratterizzate da altezze d'onda di minore entità, sono tali da attribuire ai valori del tempo di ritorno più bassi (relativi alle mareggiate ordinarie) un valore dell'altezza d'onda inferiore.

⁵ “Verifica su modello della stabilità della mantellata esterna dell'antemurale C. Colombo”, aprile 1997

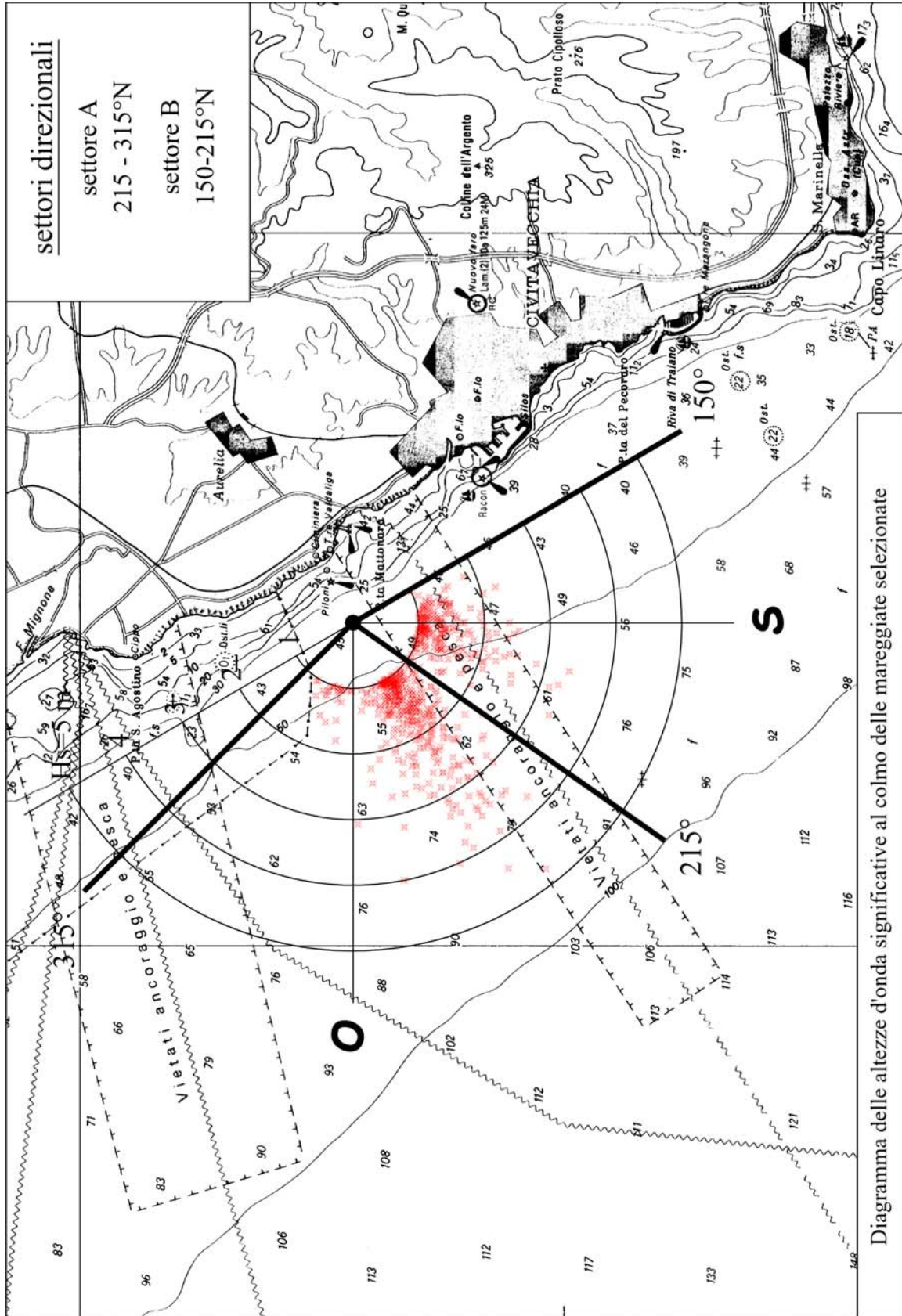


Figura 9 - Diagramma delle altezze d'onda significative al colmo delle mareggiate selezionate

Tabella 11 - A analisi statistica degli eventi estremi

	SETTORE A		SETTORE B	
Hs al colmo massima rilevata (m)	4.76		3.38	
Tempo di ritorno (anni)	Gumbel	Weibull	Gumbel	Weibull
1	3.72	3.70	2.70	2.68
2	4.02	3.99	2.98	2.95
5	4.41	4.37	3.34	3.32
10	4.70	4.66	3.61	3.60
15	4.87	4.83	3.77	3.76
20	4.99	4.95	3.89	3.88
25	5.09	5.05	3.98	3.97
50	5.38	5.34	4.25	4.25
100	5.67	5.64	4.52	4.53
150	5.85	5.81	4.68	4.69
250	6.06	6.03	4.88	4.90
500	6.36	6.33	5.16	5.19

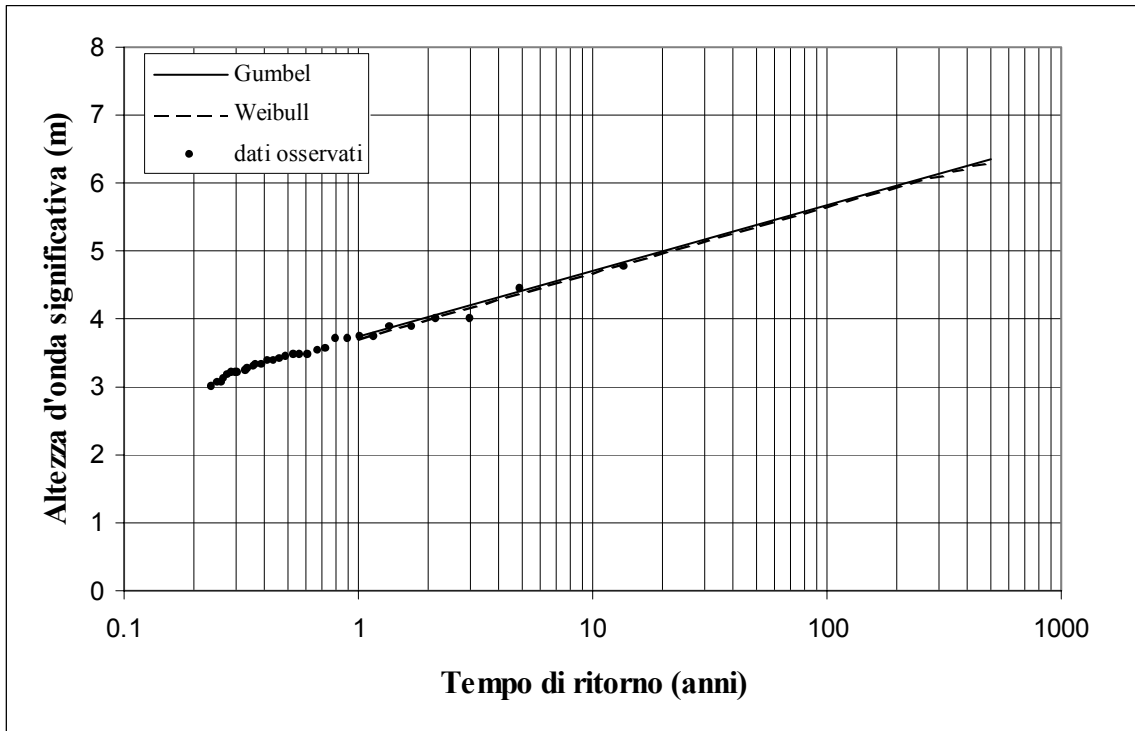


Figura 10 - Settore A: analisi statistica degli eventi estremi

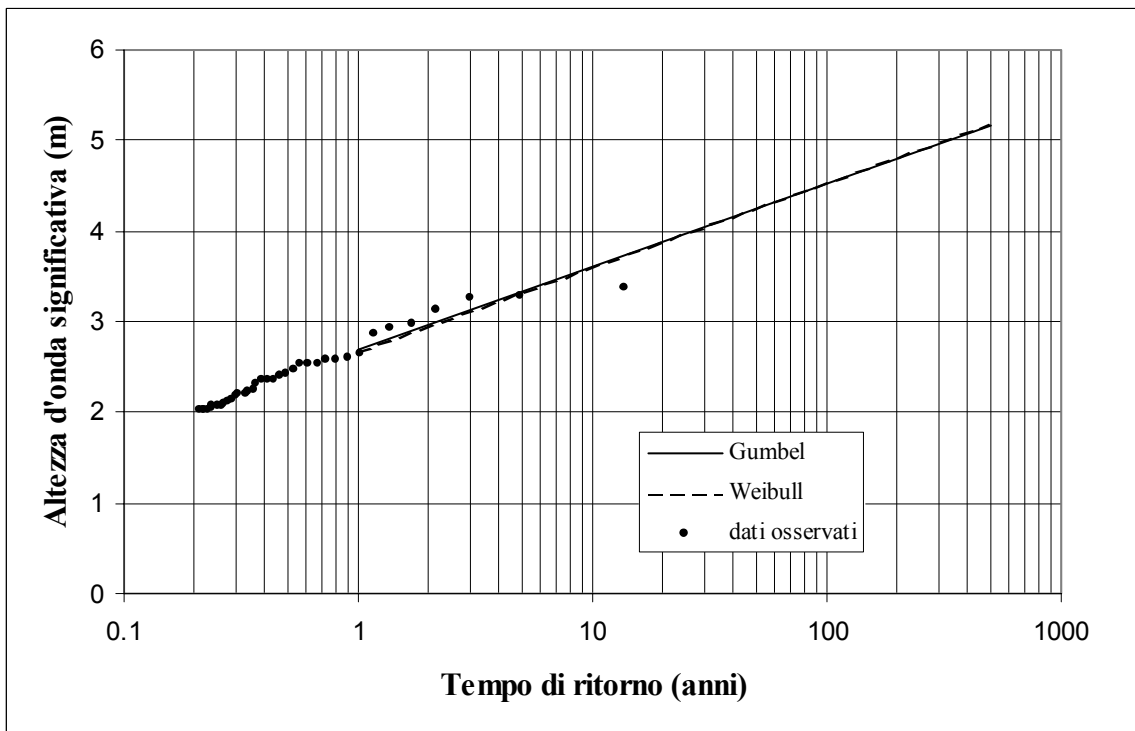


Figura 11 - Settore B: analisi statistica degli eventi estremi

Tabella 12 - Analisi statistica degli eventi estremi selezionati sulla base delle misure orarie del moto ondoso

Hs al colmo massima rilevata (m)	SETTORE A	
	5.56	
Tempo di ritorno (anni)	Gumbel	Weibull
1	3.84	3.81
2	4.21	4.17
5	4.70	4.66
10	5.08	5.03
15	5.29	5.24
20	5.45	5.40
25	5.56	5.52
50	5.94	5.89
100	6.31	6.26
150	6.52	6.48
250	6.79	6.76
500	7.16	7.13

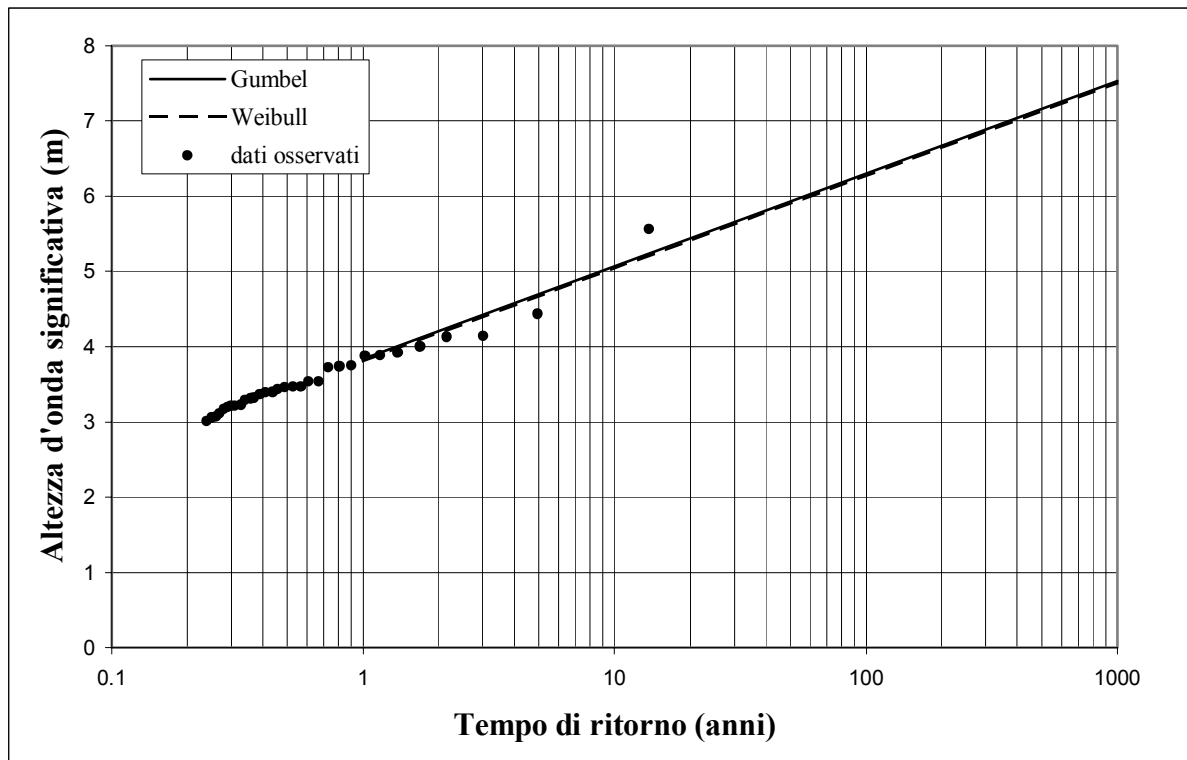


Figura 12 - Analisi statistica degli eventi estremi selezionati sulla base delle misure orarie del moto ondoso relative al settore A

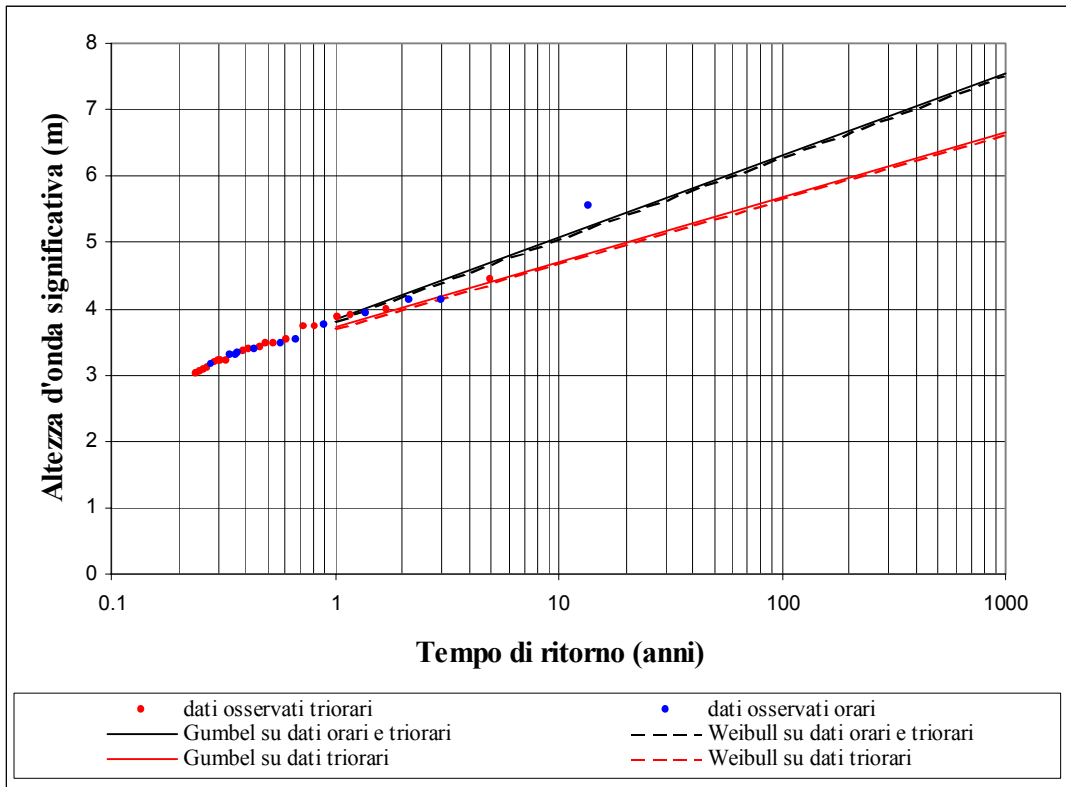


Figura 13 - Confronto tra le analisi statistiche degli eventi estremi selezionati sulla base delle misure orarie e triorarie del moto ondoso relative al settore A

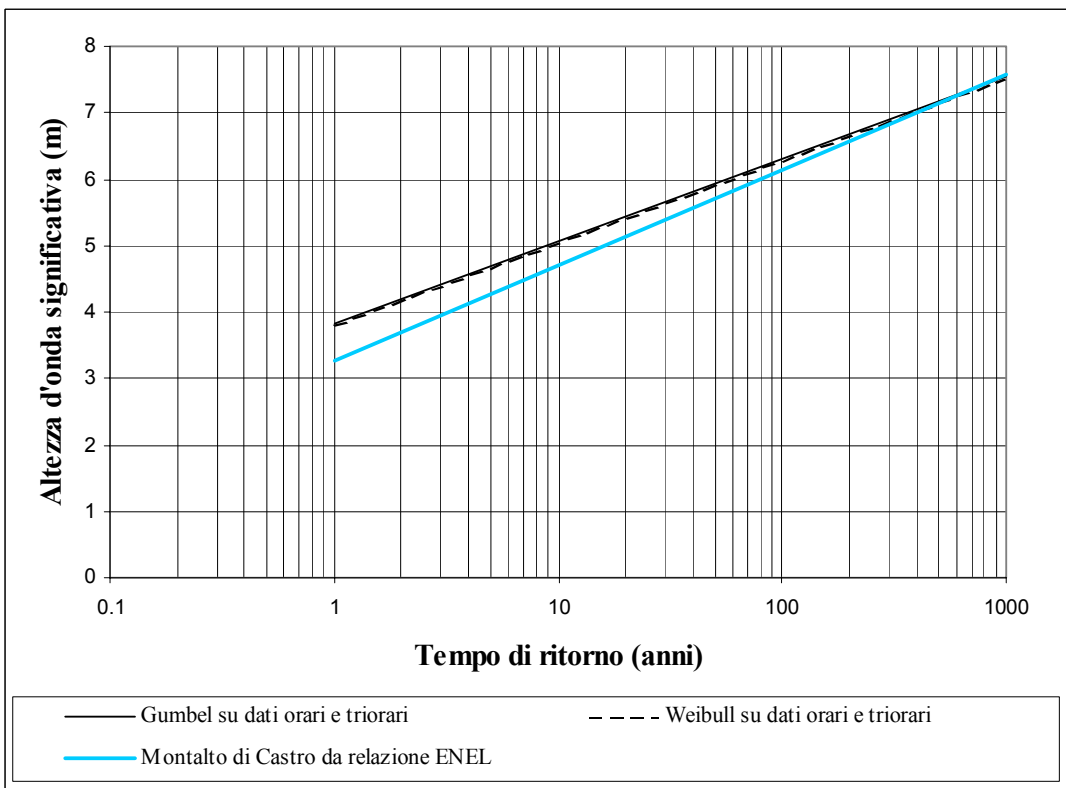


Figura 14 - Confronto tra le analisi statistiche degli eventi estremi selezionati a Torre Valdaliga (settore A) e a Montalto di Castro

6.3 Correlazione tra l'altezza ed il periodo d'onda degli eventi estremi

Per la definizione del periodo d'onda associato ad eventi estremi, è consuetudine fare riferimento a formule che correlano il periodo di picco all'altezza d'onda significativa. Tali formule sono qui di seguito riportate:

$$T_p = a\sqrt{H_s}$$

$$T_p = b H^c$$

A titolo di esempio nella figura 15 è riportata la distribuzione del periodo di picco degli eventi di moto ondoso rilevati dall'ondametro di Torre Valdaliga in funzione dell'altezza d'onda significativa.

Nel caso in esame è stata utilizzata la seconda formula sopra riportata e sono stati selezionati gli eventi di moto ondoso caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 2 m. Tali eventi sono stati successivamente suddivisi in base al settore di traversia di provenienza.

Facendo ricorso al metodo dei minimi quadrati, sono stati individuati i valori dei parametri b e c che meglio interpolano i valori osservati (v. figura 16):

- settore di traversia principale (215-315°N) $T_p = 4.65 H^{0.47}$
- settore di traversia secondario (150-215°N) $T_p = 6.21 H^{0.31}$

7 Appendice. Trasposizione delle misure ondametriche eseguite nel corso della mareggiata del dicembre 1999 dall'ondametro di Ponza al largo di Civitavecchia

La mareggiata del dicembre 1999 è risultata la più intensa verificatasi nel Tirreno e per questo è stata definita anche “la mareggiata del secolo”. In particolare il 28 dicembre 1999 è stata rilevata un'altezza d'onda significativa al colmo pari a 7.9 m dall'ondametro di Ponza (che appartiene alla Rete Ondametrica Nazionale) e pari a circa 5.6 m al largo di Civitavecchia.

Nelle figure 15 e 16 sono riportati gli andamenti dell'altezza d'onda significativa e della direzione di provenienza del moto ondoso rilevato al largo di Ponza e Civitavecchia tra il 27 ed il 30 dicembre 1999.

Le misure eseguite dall'ondametro di Ponza sono state trasposte al largo di Civitavecchia secondo il metodo descritto nel paragrafo 7.1 e il risultato è riportato nelle figure 15 e 16.

L'analisi eseguita consente di evidenziare la congruenza tra le misure eseguite. Infatti i valori al colmo dell'altezza d'onda rilevati al largo di Civitavecchia sono confrontabili con quelli ottenuti per mezzo della trasposizione delle misure eseguite al largo di Ponza.

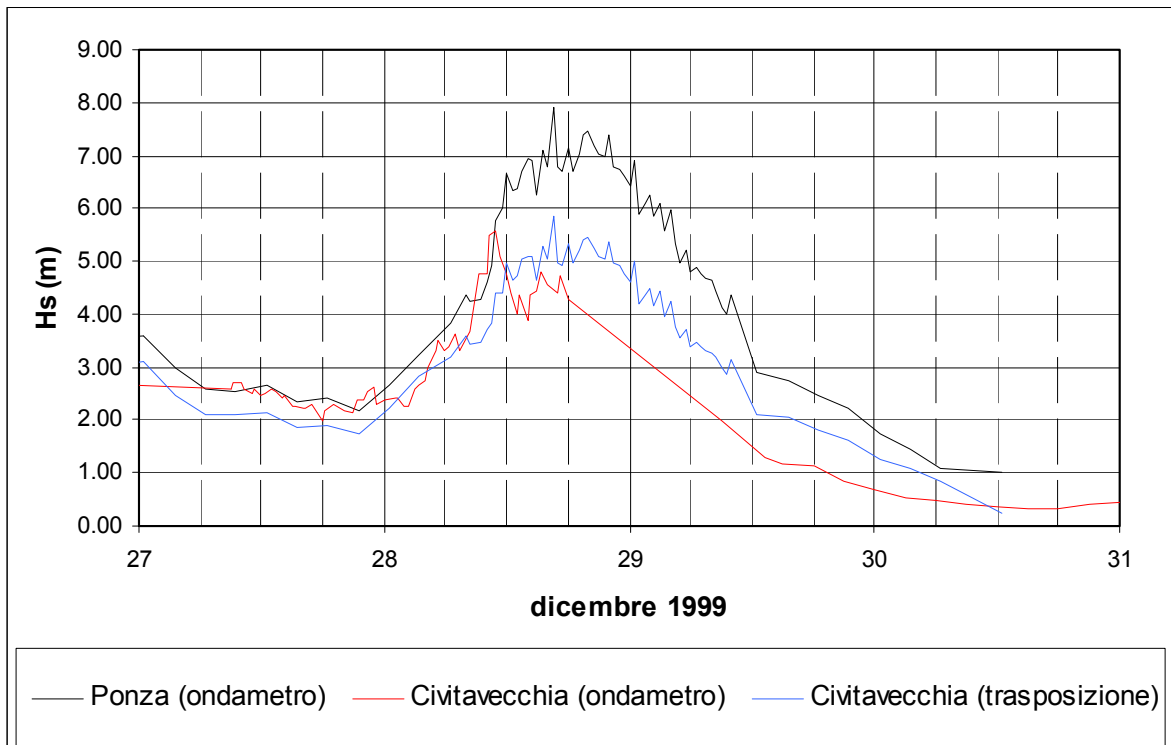


Figura 15 - Andamento dell'altezza d'onda significativa al largo di Ponza e Civitavecchia e tra il 27 ed il 30 dicembre 1999

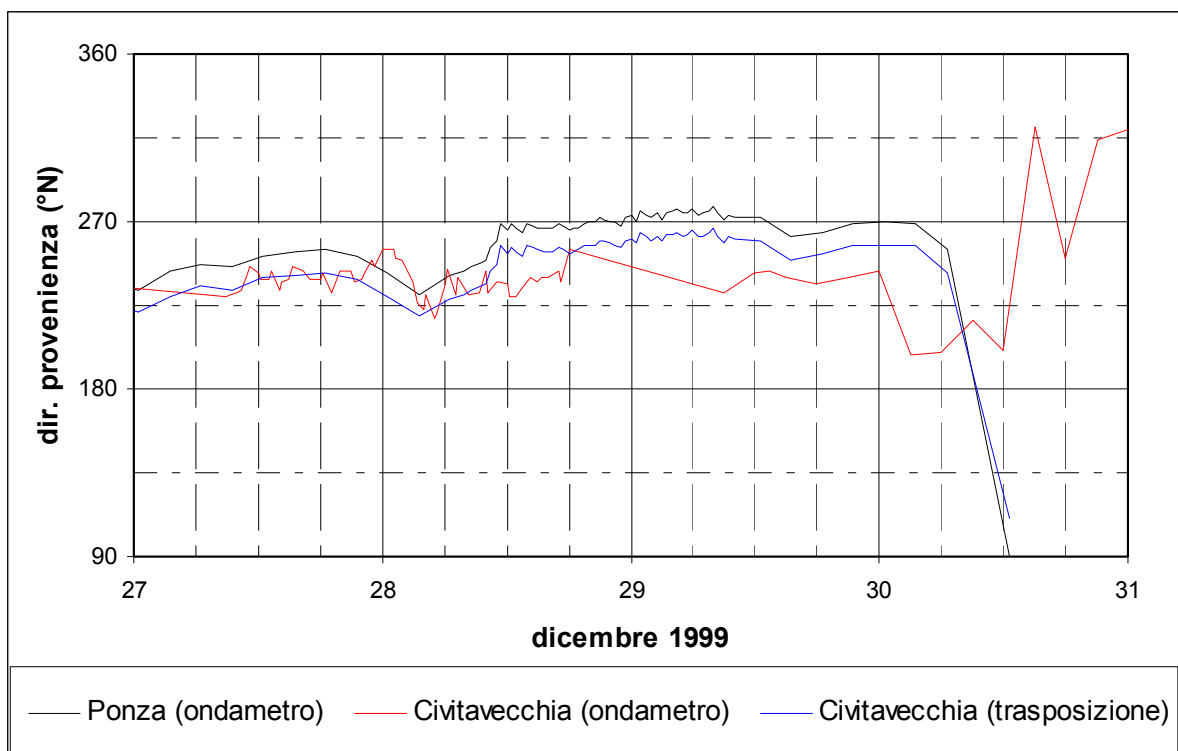


Figura 16 - Andamento della direzione media di provenienza del moto ondoso al largo di Ponza e Civitavecchia e tra il 27 ed il 30 dicembre 1999

7.1 Il metodo di trasposizione geografica delle misure di moto ondoso

Il metodo di trasposizione geografica delle misure di moto ondoso è stato proposto da Contini e De Girolamo (De Girolamo, P., Contini, P., (1998) “Impatto morfologico di opere a mare: casi di studio”, Convegno AIOM, Lerici)

L'ipotesi di base della metodologia seguita consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione), che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro, abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse. Il metodo consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relativi al punto di misura e a quello di interesse.

Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_{mo} e il periodo di picco spettrale T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti (Shore Protection Manual, 1984):

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{gT_m}{U_A^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{3}}$$

dove U_A è il fattore di velocità del vento (“wind stress factor”), dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota +10 m s.l.m., ed F è il fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica.

Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura ed al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il vento) alla quale risultano associati i fetch efficaci F^P e F^O , le precedenti relazioni permettono di stabilire la ricercata corrispondenza tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto O e al punto P:

$$\frac{H_{mo}^P}{H_{mo}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{T_m^P}{T_m^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Per ottenere le precedenti relazioni si è ovviamente supposto che il fattore di velocità del vento sia lo stesso nei due punti in esame.

Il metodo si completa utilizzando la legge che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato.

L'applicazione del metodo è riassunta nella figura 17. Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento (vedi parte superiore del grafico) si determina la direzione dell'onda nel punto di interesse.

A titolo di esempio, si prenda in considerazione il caso in cui lo strumento di misura del moto ondoso abbia registrato un evento caratterizzato da una direzione di provenienza pari a 180°N. In base alla correlazione esistente tra la direzione del vento e quella del moto ondoso rilevato dallo strumento di misura, riportata in forma grafica nella parte superiore della figura 17, è possibile determinare la direzione di provenienza del vento (pari a 170°N) che ha generato l'evento misurato. Alla stessa stregua è possibile ricavare la direzione del moto ondoso al largo del sito di interesse (195°N) in funzione della direzione del vento.

Per quanto riguarda l'altezza ed il periodo delle onde nel punto di trasposizione geografica, in funzione della lunghezza dei fetch associati alla direzione del vento considerata è possibile calcolare il rapporto tra i valori assunti dalle altezze d'onda (H^P/H^O pari a 0,98) e dai periodi (T^P/T^O pari a 0,92) nel punto di misura ed al largo del sito di interesse (vedi parte inferiore del grafico).

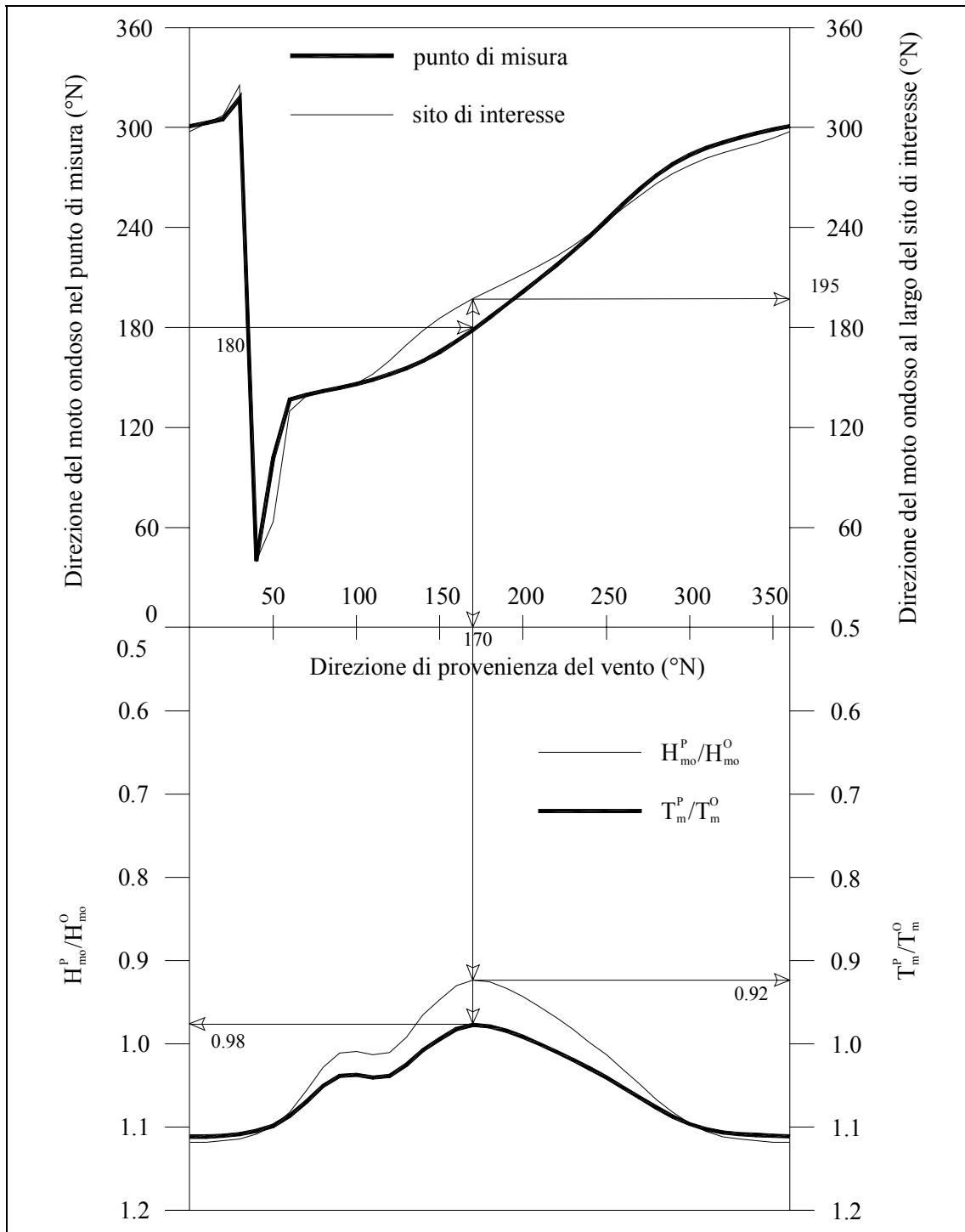


Figura 17 - Diagramma di riferimento per la trasposizione geografica delle misure di moto ondoso