

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale

Porti di Bari, Brindisi, Manfredonia, Barletta, Monopoli

Ufficio di Brindisi



**COMPLETAMENTO DELLA INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE
MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE
COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST**

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. F. DI LEVERANO

Progettisti incaricati:

**ACQUA
TECNO**

Dott. Ing. RENATO DEL PRETE
ACQUATECNO S.r.l.
Via Ajaccio, 14 - ROMA
(Ing. Renato Del Prete)

MODIMAR

MODIMAR S.r.l.
Via Monte Zebio, 40 - ROMA
(Ing. Marco Tartaglino)



TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE MATEOMARINA

ELABORATO N° :

B.07 08

CODICE ELABORATO:

09-017-DR-008-1-MAR

		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO			
SIGLA							
REVISIONE	N.	DATA	DESCRIZIONE	RED.	VER.	APP.	
	1	Luglio 2017	NOTA CONSIGLIO SUPERIORE LL.PP.				
	2						

DATA:

Luglio 2017

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale

Porti di Bari, Brindisi, Manfredonia, Barletta, Monopoli

Ufficio di Brindisi

**LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURA
PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA
RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E
COSTA MORENA EST**

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE METEOMARINA

PROGETTAZIONE:



MODIMAR S.r.l.

VIA MONTE ZEBIO, 40 ROMA



ACQUA TECNO S.r.l.

VIA Ajaccio, 14 ROMA

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

Indice

Capitolo 1	Premessa	2
Capitolo 2	Inquadramento geografico ed esposizione del sito in esame	3
	2.1 Fetch efficaci.....	5
Capitolo 3	Regime dei venti	9
	3.1 Dati di vento desunti da Medatlas.....	9
	3.2 Dati di vento desunti dalla stazione anemometrica A.M. di Brindisi	12
Capitolo 4	Dati ondametrici di riferimento	14
	4.1 Ondametro di Monopoli – descrizione della stazione di misura.....	14
	4.2 Clima di moto ondoso	16
	4.3 Correlazione altezza d'onda-periodo	19
Capitolo 5	Clima di moto ondoso al largo di Brindisi	20
	5.1 Serie trasposta al largo di Brindisi	20
	5.2 Clima di moto ondoso al largo di Brindisi	22
	5.3 Correlazione altezza d'onda-periodo	25
Capitolo 6	Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso al largo.....	27
Capitolo 7	Moto ondoso sottocosta	38
	7.1 Griglia di calcolo	38
	7.2 Caratteristiche del moto ondoso sottocosta	40
	7.3 Regime di moto ondoso sottocosta	43
	7.4 Eventi estremi sottocosta	46
Capitolo 8	Moto ondoso generato all'interno del Porto di Brindisi	48
Capitolo 9	Variazioni del livello marino (maree e sovralti).....	52
	9.1 Marea astronomica.....	52
	9.2 Marea meteorologica	54
	9.3 Conclusioni	54
Capitolo 10	Nebbie.....	55

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 1 Premessa

Nella presente relazione, redatta ai sensi dell'art.26 comma 1.b del PR 207/2010, vengono determinati i principali parametri meteomarini necessari per la corretta progettazione delle opere.

In particolare vengono definite:

- **le principali caratteristiche anemometriche in termini di direzione e intensità;**
- **le caratteristiche del moto ondoso, al largo e in prossimità del sito di progetto, sia in termini di condizioni medie di esposizione che di distribuzione dei valori estremi in modo da poter definire l'evento di progetto;**
- **le variazioni del livello del mare**

Per lo svolgimento dello studio sono stati utilizzati diversi dati meteomarini (Figura 1-1) distinti sia per tipologia (vento, onde o livelli marini), sia per modalità di acquisizione (misure dirette, misure indirette, modellazioni numeriche).

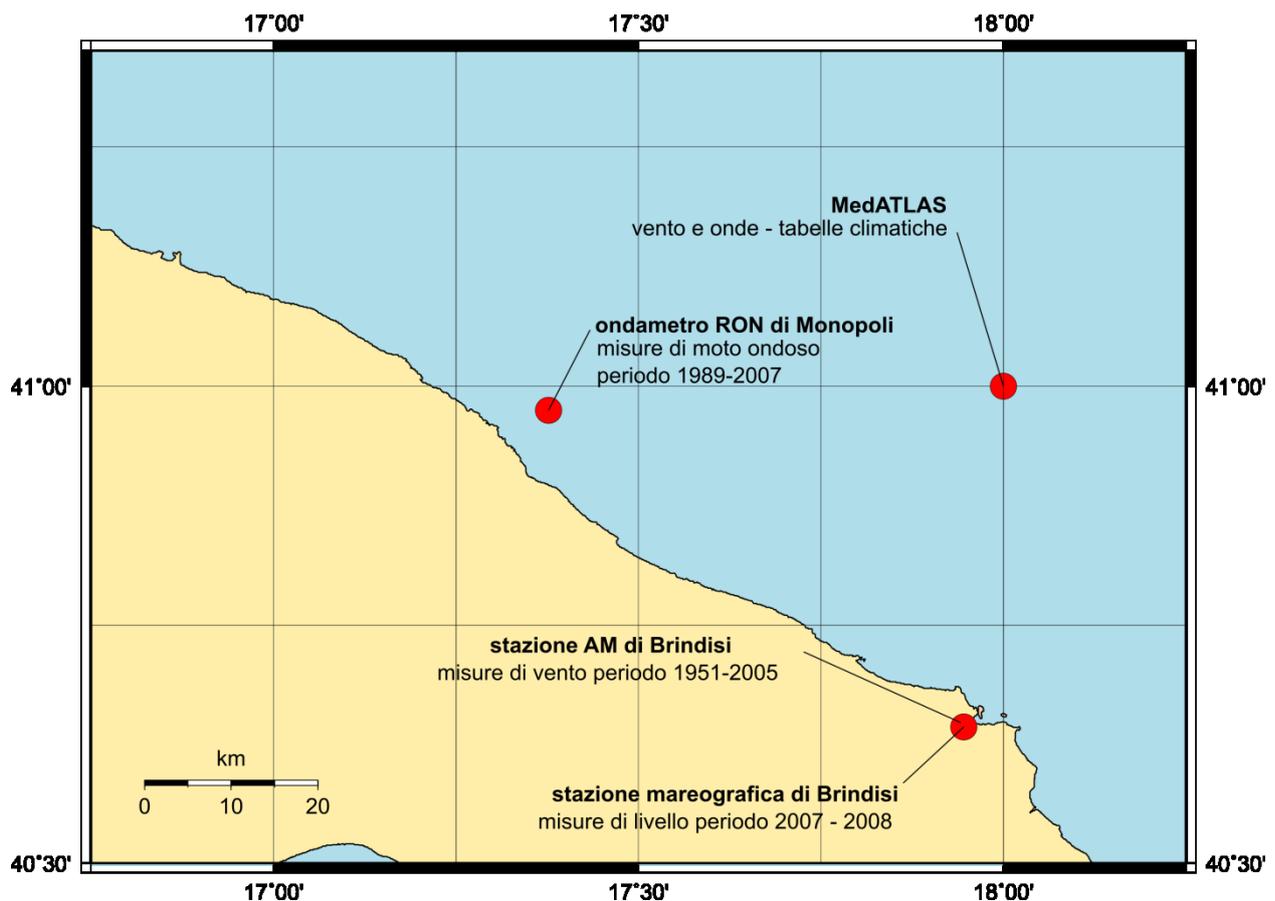


Figura 1-1. Individuazione delle diverse fonti di dati utilizzati nel presente studio.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 2 Inquadramento geografico ed esposizione del sito in esame

Il Porto di Brindisi si trova sulla costa orientale della Puglia e si affaccia sul Mar Adriatico. In prossimità del sito in esame è presente la boa ondometrica di Monopoli, appartenente alla rete nazionale di misurazione del moto ondoso (RON) gestita dall'ISPRA (ex APAT). La boa ondometrica è localizzata a circa 6 km a NE del porto di Monopoli su fondali di circa -80 m sul l.m.m..

Una prima valutazione delle condizioni di esposizione del paraggio può essere effettuata sulla base dei settori di traversia geografica, i quali rappresentano l'estensione della superficie marina che può contribuire alla generazione del moto ondoso ("fetch"). Al fine di valutare le condizioni di esposizione in prossimità del porto di Brindisi è stato definito un "punto di trasposizione" individuato dalle coordinate 40.75 °N - 18.0°E, localizzato su di una profondità di circa -100 m sul l.m.m..

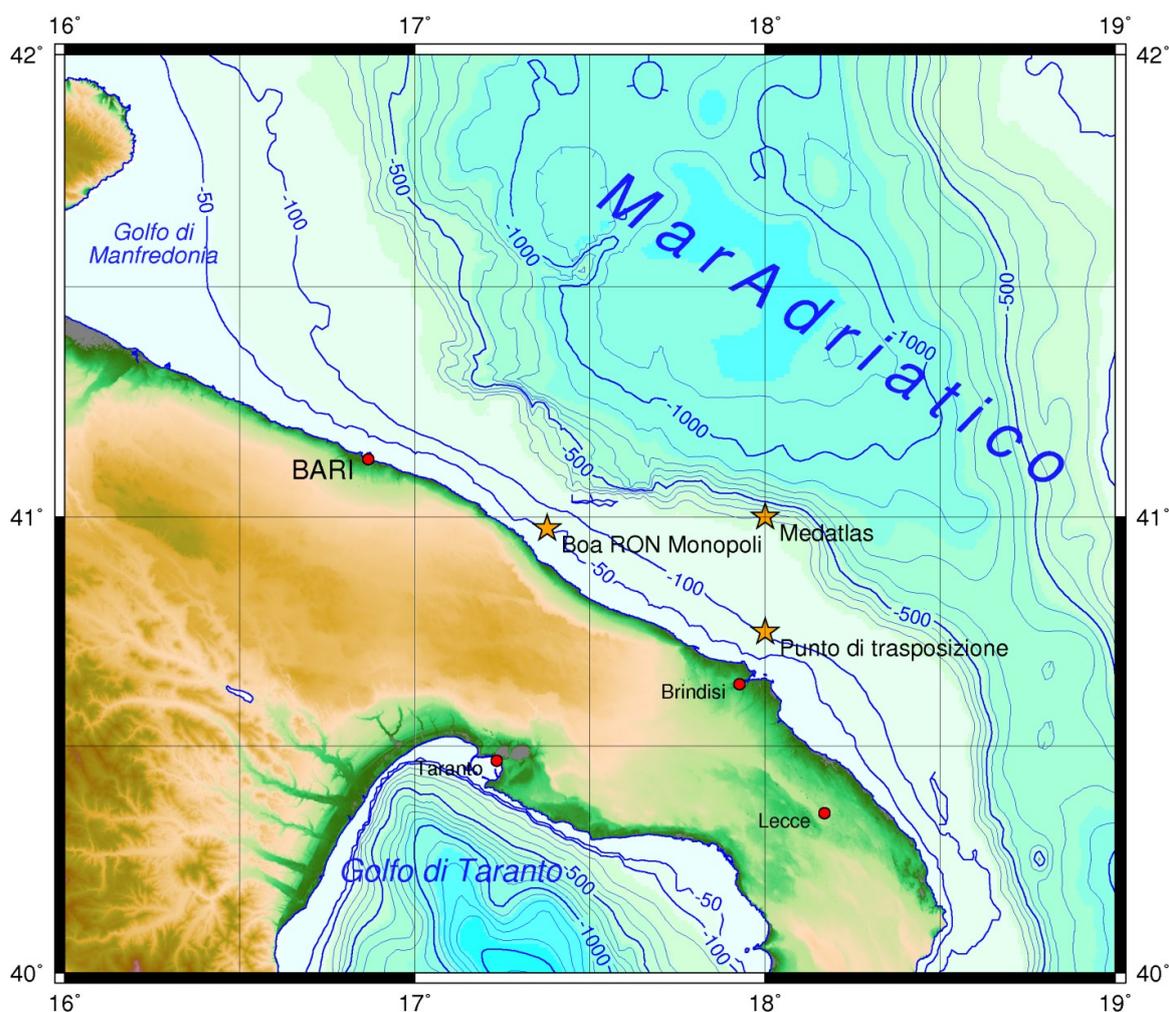


Figura 2-1. Inquadramento geografico con indicazione della posizione delle fonti di dati utilizzate e del punto di trasposizione al largo del Porto di Brindisi.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

La tracciatura dei fetch geografici è stata effettuata considerando un limite superiore per l'estensione dei singoli fetch pari a 500 km, pari alla massima estensione delle perturbazioni che interessano il bacino del Mediterraneo.

In Figura 2-2 sono rappresentati i fetches geografici ottenuti per l'ondametro di Monopoli e per il punto di trasposizione al largo del porto di Brindisi.

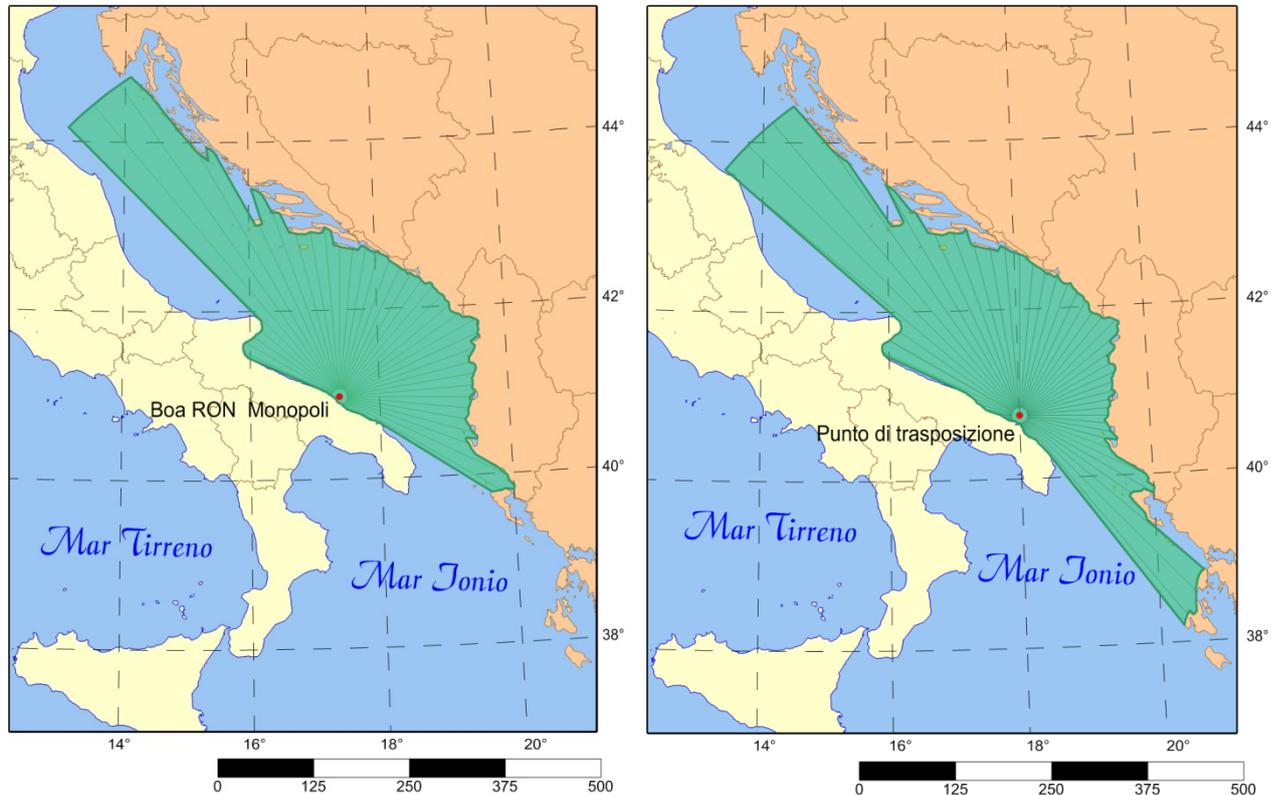


Figura 2-2. Fetch geografici per l'ondametro di Monopoli ed al largo di Brindisi.

Come si può osservare dalla figura 3, la boa ondometrica di Monopoli risulta esposta agli stati di mare provenienti dai settori di maestrale, tramontana, grecale, ponente e scirocco (settore di traversia compreso tra 292 °N e 122° N). Il settore di maestrale è caratterizzato da fetch più esteso.

Il porto di Brindisi risulta esposto in modo simile rispetto all'ondametro di Monopoli ad eccezione di una maggiore esposizione agli stati di mare provenienti da scirocco. Il punto di trasposizione risulta esposto al mare aperto per il settore di traversia compreso tra 295° N e 140 °N.

Date le caratteristiche di esposizione al moto ondoso del sito in esame è possibile applicare la il metodi di **trasposizione geografica** dei dati di moto ondoso registrati dall'ondametro di Monopoli al largo del porto di Brindisi. Tale metodo si basa sul confronto tra i fetch efficaci nel sito di registrazione e quello di trasposizione, pertanto il passo successivo è stato quello di determinare l'estensione dei fetches efficaci

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

2.1 Fetch efficaci

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. 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 ϕ_w lungo la quale spirava 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:

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

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

$F_{e,w}$	lunghezza del <i>fetch efficace</i> relativa alla direzione ϕ_w ;
F_i	lunghezza del <i>fetch geografico</i> relativa alla direzione i -esima ϕ_i ;
ϕ_w	direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la 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 ϕ_w ;
θ	ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45^\circ$ mentre quello di Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90^\circ$);
n	termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume $n = 4$).

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

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

I fetch efficaci per l'ondametro di Monopoli e per il punto di trasposizione sono stati ottenuti utilizzando il modello ENIF, per il calcolo automatico della precedente equazione. I risultati dell'elaborazione sono riportati graficamente in Figura 2-3 e numericamente nella e nel grafico di Il fetch efficace massimo ottenuto risulta pari a circa 400 km ed è riferito al settore di ponente (260° Nord). L'applicazione del modello numerico suddetto consente inoltre di definire la legge di deviazione tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso generato.

Le Tabella 2-1 e Tabella 2-2 e le Figura 2-4 e Figura 2-5 mostrano i risultati del calcolo dei fetch efficaci per l'ondametro di Monopoli e per il punto di trasposizione al largo del porto di Brindisi; riportano per ogni settore di traversia i valori dei fetch geografici ed efficaci e la deviazione tra la direzione del vento con quello del moto ondoso generato.

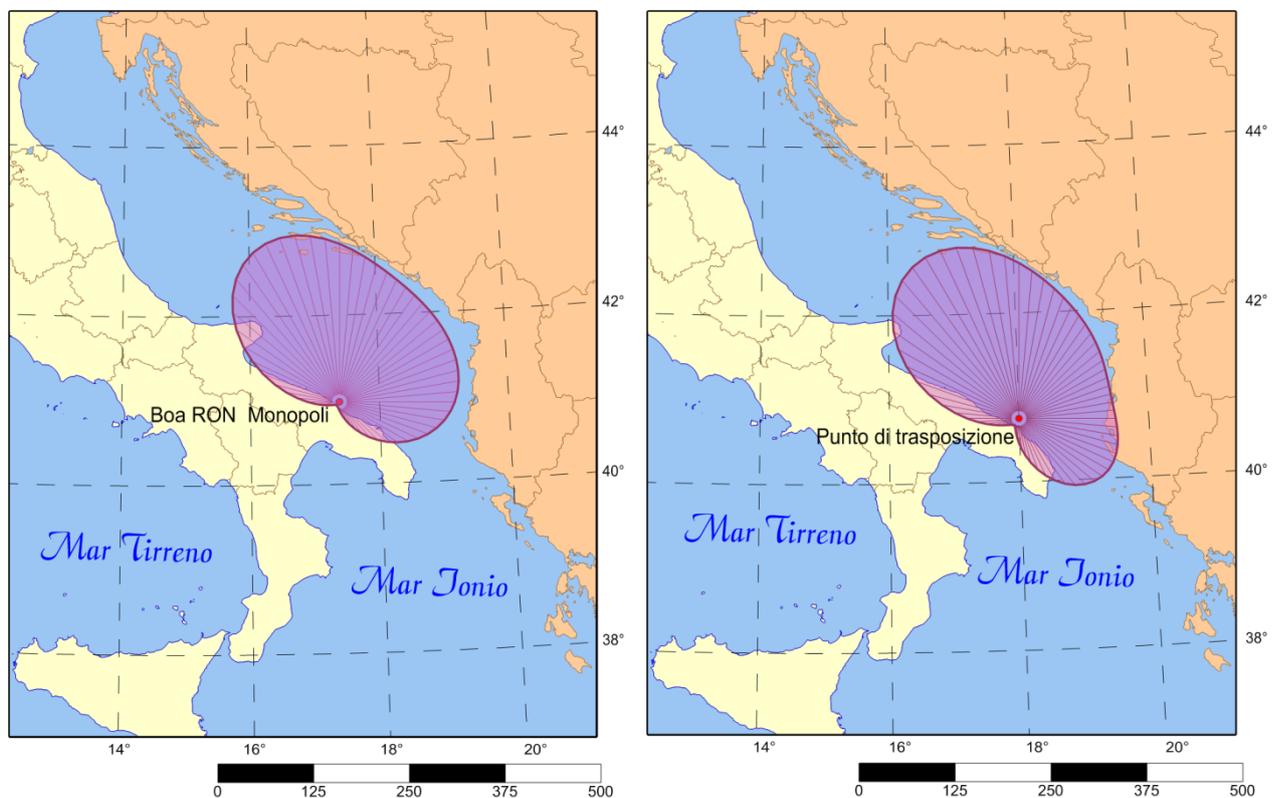


Figura 2-3 - Fetch efficaci in corrispondenza della boa ondometrica di Monopoli e del punto di trasposizione geografica al largo di Brindisi

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Tabella 2-1. Fetch geografici, efficaci e deviazione direzione vento/mare per la boa di Monopoli.

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	196.95	207.38	-11.0	180	8.59	11.47	-47.0
10	198.60	192.98	-14.0	190	8.27	8.52	-51.0
20	190.43	181.26	-15.0	200	7.51	7.14	-54.0
30	187.02	173.52	-11.0	210	6.51	6.46	62.0
40	189.46	169.14	-5.0	220	6.02	6.19	59.0
50	187.03	166.67	-3.0	230	5.83	6.57	55.0
60	204.48	164.75	-2.0	240	6.06	8.37	51.0
70	187.57	162.29	-3.0	250	6.36	13.24	47.0
80	178.11	158.06	-6.0	260	7.07	23.74	42.0
90	171.01	150.73	-8.0	270	8.70	42.40	37.0
100	166.74	139.22	-12.0	280	11.82	70.33	31.0
110	180.09	123.23	-16.0	290	24.32	106.02	26.0
120	244.62	103.51	-20.0	300	141.84	145.19	20.0
130	34.90	81.80	-25.0	310	134.03	181.84	14.0
140	25.22	60.44	-29.0	320	499.85	210.03	9.0
150	18.98	41.71	-34.0	330	368.22	225.86	3.0
160	12.25	27.15	-39.0	340	256.06	228.63	-2.0
170	9.40	17.27	-43.0	350	219.38	220.91	-7.0

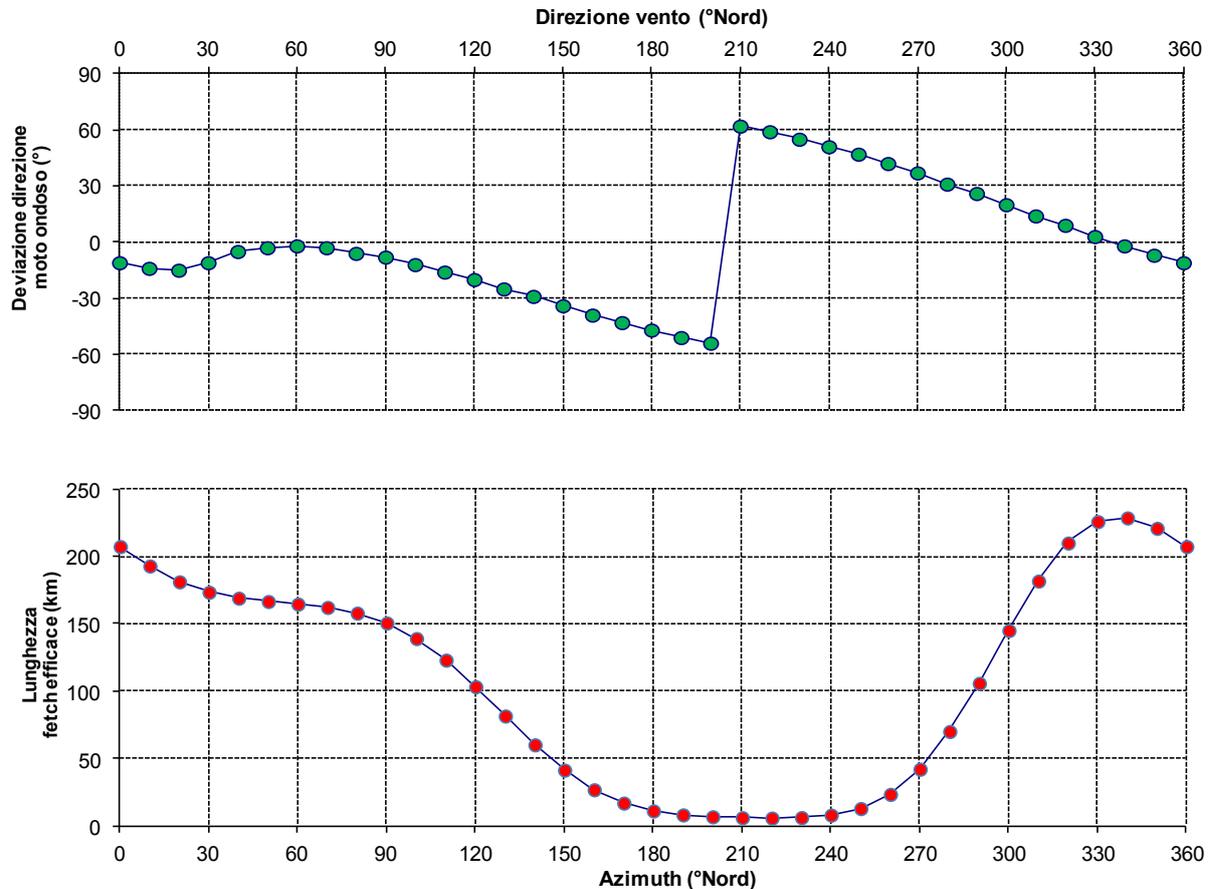


Figura 2-4. Fetch e legge di deviazione vento/mare per l'ondametro di Monopoli.

Tabella 2-2. Fetch geografici, efficaci e deviazione direzione vento/mare per il punto di trasposizione.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

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	210.84	204.64	-14.0	180	11.28	32.40	-36.0
10	190.58	185.68	-18.0	190	12.04	20.52	-41.0
20	183.44	169.56	-20.0	200	10.38	14.08	-46.0
30	172.54	156.72	-19.0	210	9.70	11.67	-50.0
40	166.88	146.26	-16.0	220	10.36	11.75	55.0
50	165.20	137.28	-14.0	230	11.95	13.58	52.0
60	135.45	129.84	-13.0	240	14.21	17.88	48.0
70	128.48	124.96	-10.0	250	16.63	26.72	43.0
80	117.53	123.73	5.0	260	19.34	42.77	38.0
90	115.18	126.24	8.0	270	24.65	67.96	33.0
100	120.27	130.99	6.0	280	45.68	102.03	28.0
110	125.52	135.09	2.0	290	63.84	141.82	22.0
120	201.80	135.13	-3.0	300	195.66	181.72	16.0
130	216.04	128.49	-8.0	310	500.00	215.24	11.0
140	340.05	114.44	-13.0	320	500.00	237.03	5.0
150	35.13	94.43	-19.0	330	348.17	244.59	0.0
160	27.34	71.67	-25.0	340	254.03	238.91	-6.0
170	15.27	49.96	-30.0	350	221.01	223.89	-10.0

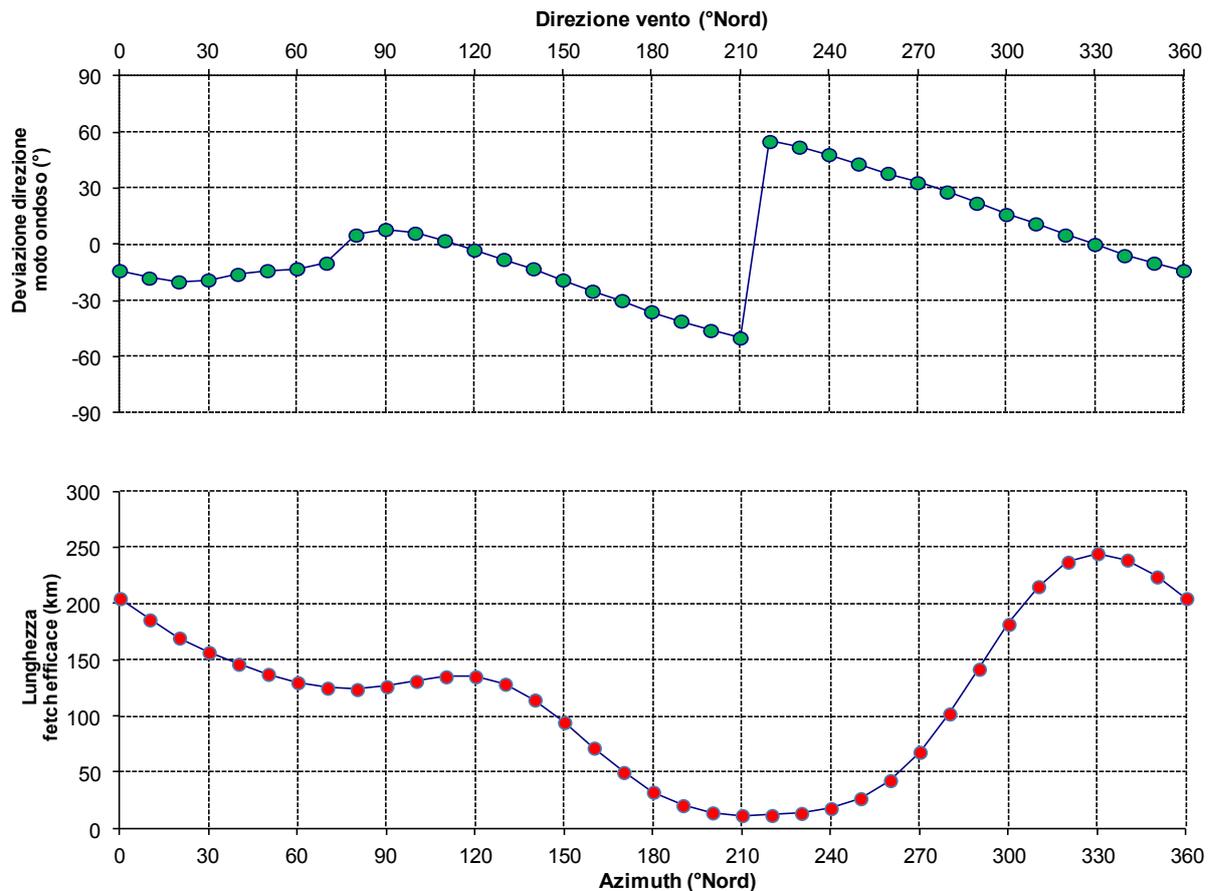


Figura 2-5. Fetches e legge di deviazione vento/mare per il punto di trasposizione.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST										Relazione meteomarina					
	09	017	DR	008	1	MAR										

Capitolo 3 Regime dei venti

Per la definizione del regime del vento del sito in esame si è fatto riferimento sia ai dati forniti dal "Wind and Waves of the Mediterranean Sea – Medatlas" realizzato dal CNR-ISMAR in collaborazione con altri enti della Francia e della Grecia sia ai dati meteorologici riportati nel Piano Regionale Delle Coste - Clima Meteomarina Sul Litorale Pugliese relativi alla stazione meteo dell'Aeronautica Militare di Brindisi.

3.1 Dati di vento desunti da Medatlas

L'atlante dei venti e delle onde del Mar Mediterraneo - Medatlas fornisce in diversi punti, individuati all'interno del bacino del Mediterraneo un'analisi dei venti ricostruiti con modelli numerici di circolazione dell'atmosfera. I risultati di tali analisi sono riportati in tabelle di frequenza di accadimento per classi di velocità e direzione di provenienza. Il punto di analisi Medatlas più prossimo al sito in esame ha coordinate 41°00' N - 18°00' E e si trova a circa 35 km dalla costa. In Tabella 3-1 è riportata la tabella climatica annuale, mentre nelle figure di pagina 10 e 11 sono riportate le rose di distribuzione su base annuale e stagionale.

Tabella 3-1. Tabella di distribuzione percentuale dei venti indicati dal Medatlas.

Medatlas - Punto di analisi 41.0° N - 18.0° E
Distribuzione ANNUALE del vento per classi di velocità U_{10} e direzione di provenienza.

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITÀ U_{10} (m/s)																Totale	%
	0.00 1.00	1.00 2.00	2.00 3.00	3.00 4.00	4.00 5.00	5.00 6.00	6.00 7.00	7.00 8.00	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	14.00 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00			
0	1	2	3	6	4	4	3	2	2	1	1					29	3%	
15	2	5	9	8	8	5	5	3	3	1	2	1				52	5%	
30	2	4	5	6	6	4	4	2	3	2	1	1				40	4%	
45	2	5	5	4	4	4	3	3	4	1	3	1				39	4%	
60	1	3	4	3	3	3	2	2	1	1	1					24	2%	
75	1	3	5	3	2	1	1	1			1					18	2%	
90	2	4	4	3	2	1	1				1					18	2%	
105	2	4	5	4	3	2	1	1								22	2%	
120	1	4	5	6	4	4	2	1	2	1	1					31	3%	
135	1	4	5	7	6	5	4	3	2	2	3	1				43	4%	
150	1	4	7	10	10	10	8	7	6	4	5	3	1			76	8%	
165	1	3	6	9	10	12	12	12	7	9	8	5	2			96	10%	
180	2	4	6	7	7	6	8	7	7	5	5	3	1			68	7%	
195	2	3	4	4	4	5	4	3	3	2	2	1	1			38	4%	
210	2	3	3	3	4	3	3	3	2	1	1					28	3%	
225	1	2	3	3	2	1	3	1	1	1	1					19	2%	
240	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1					15	2%	
255	1	2	3	2	1	1	1	1								12	1%	
270	2	2	3	2	1	1										11	1%	
285	1	3	4	3	3	2	2	1								19	2%	
300	1	4	4	6	5	4	3	3	2	1	1	1				35	4%	
315	1	3	7	9	9	10	9	8	5	4	3					68	7%	
330	1	5	8	11	16	17	15	11	6	5	3	1				99	10%	
345	2	5	8	16	14	14	10	6	4	2	3	1				85	9%	
Totale	34	83	118	137	129	121	105	82	61	44	47	19	5	0	0	985		
Tot. cumul.	117	235	372	501	622	727	809	870	914	961	980	985	985	985	985			

Numero totale di osservazioni:

14608

Il regime dei venti ottenuto dal Medatlas per il punto al largo di Brindisi presenta un forte bimodalità. Si osserva infatti una prevalenza di eventi provenienti da Nord-Ovest e da Sud-Est.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

Gli eventi provenienti dal settore N-NO [307.5° N – 352.5° N] rappresentano il 26% della totalità e presentano prevalentemente intensità di vento appartenenti alla classi di velocità 2-4 m/s, 4-6 m/s e 6-8 m/s che rappresentano rispettivamente il 6%, l'8% e il 6% del totale degli eventi.

Gli eventi provenienti dal settore S-SE [142.5°N-187.5°N] raggiungono il 24% del totale con eventi compresi principalmente nelle classi di vento 2-4 m/s, 4-6 m/s e 6-8 m/s, rispettivamente il 5%, 6% e 5% del totale. Tale settore presenta anche i massimi valori registrati, appartenenti alla classe di velocità 14-16 m/s.

Il clima dei venti ottenuto dall'analisi effettuata dal Medatlas ha come venti prevalenti quelli provenienti da N-NE e S-SE, quest'ultimi rappresentano inoltre i venti dominanti al largo della costa di Monopoli.

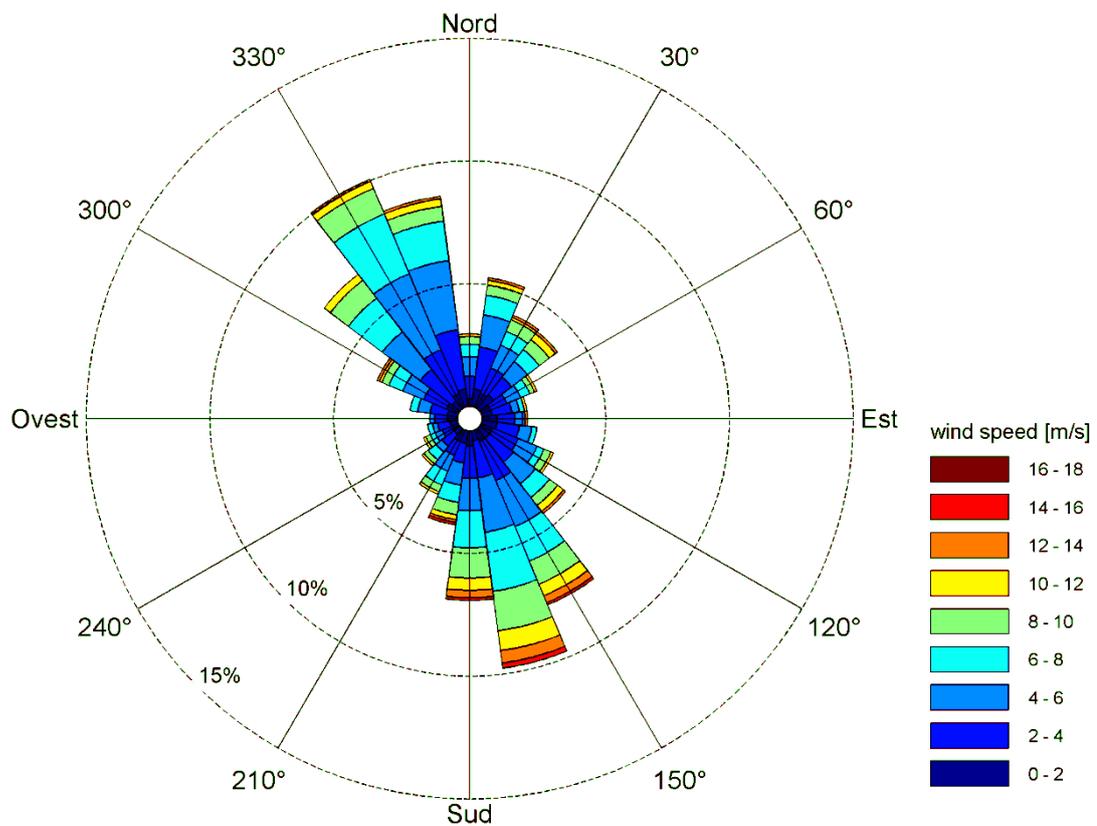


Figura 3-1. Rosa di distribuzione dei venti per il punto Medatlas al largo di Brindisi.

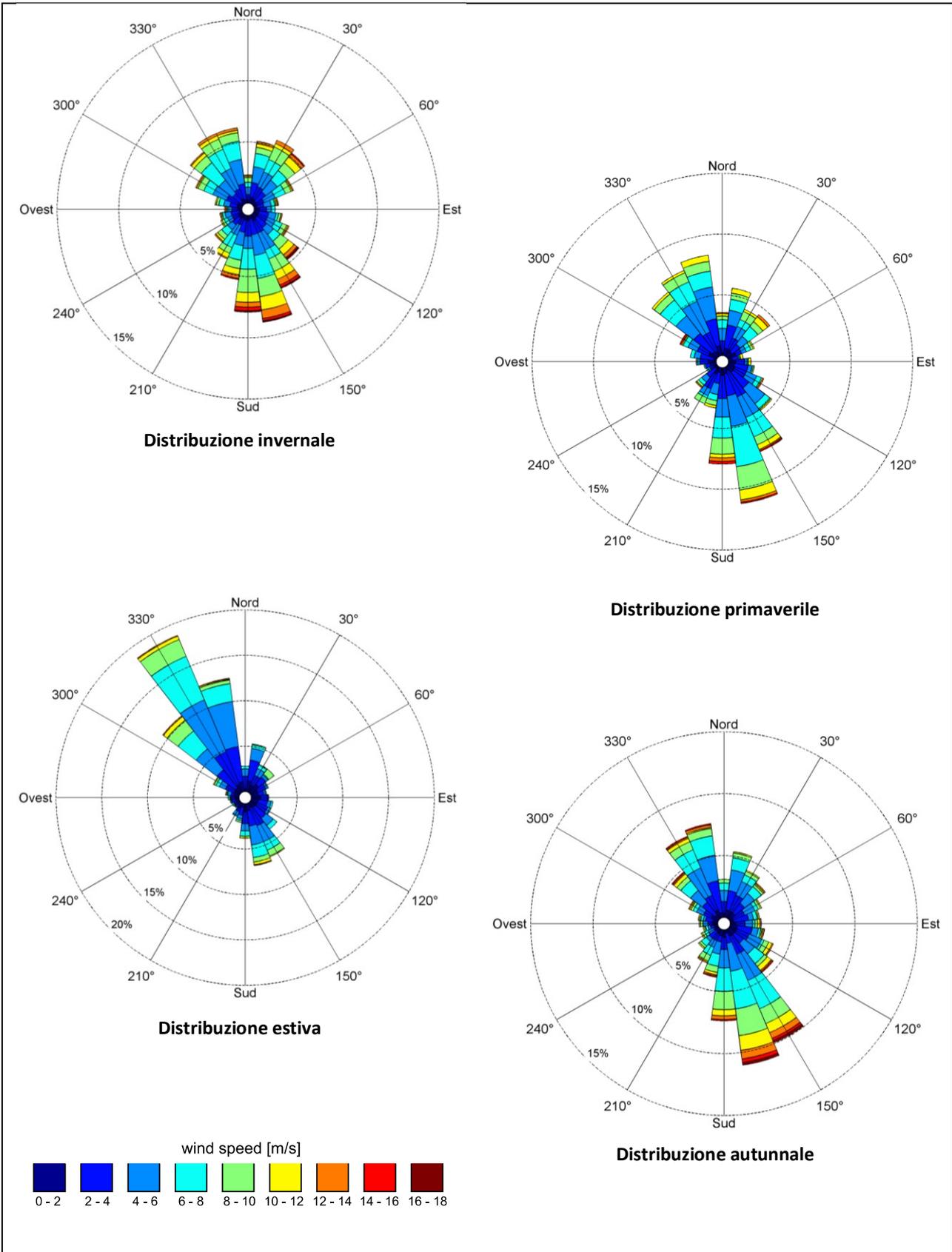


Figura 3-2. Medatlas, distribuzione stagionale dei venti per il punto al largo di Brindisi.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

3.2 Dati di vento desunti dalla stazione anemometrica A.M. di Brindisi

Le seguenti elaborazioni sono basate sui dati riportati nel *Piano Regionale Delle Coste - Clima Meteomarina Sul Litorale Pugliese* relativi alla stazione meteo dell'Aeronautica Militare di Brindisi.

La stazione anemometrica AM di Brindisi (identificata con il numero 320) è localizzata in corrispondenza delle coordinate 40°38' - 17°56'.

I dati analizzati sono riferiti alle registrazioni triorarie acquisite nel periodo 1951- 2005, durante il quale la percentuale di rilevazioni effettive sul totale delle misurazioni teoriche risulta di poco inferiore al 100% (rendimento effettivo 99.83%).

Il valore di ciascuna registrazione è ottenuto come media dei valori rilevati alla quota di +10 m sul l.m.m. nei 10 minuti antecedenti l'ora sinottica.

In Tabella 3-2 sono riportate le frequenze di accadimento dei venti registrati dalla stazione AM di Brindisi suddivisi per classi di direzione e velocità del vento (espressa in nodi).

Il diagramma polare di Figura 3-3 mostra la distribuzione direzionale degli stati di vento osservati.

Le calme risultano piuttosto frequenti, esse costituiscono, infatti, il 17.9% dell'intera popolazione. Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO, la cui frequenza di accadimento è del 16.2%. Seguono i venti da ONO e da Sud con una frequenza rispettivamente del 11% e del 10.2%.

I venti da Nord fanno registrare una percentuale pari al 7.5%, mentre a SSE compete un frequenza pari al 7%. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua; il vento da NNE si attesta intorno al 6.2%, mentre i venti da ENE, E ed ESE fanno registrare il minor numero di casi con il percentuali intorno al 3%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 50.5% dei dati osservati. I venti di III e IV classe (7-17 nodi) costituiscono da soli il 39.8% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 9.7% del totale. I venti con velocità superiore a 17 nodi si presentano in prevalenza da NNO.

Tabella 3-2. Frequenza di accadimento dei venti alla stazione anemometrica A.M. di Brindisi periodo 1951-2005. Elaborazione dei dati riportati dal Piano Regionale Delle Coste - Clima Meteomarina Litorale Pugliese.

Direzione ° Nord	FREQUENZA ANNUALE DEI VENTI							Freq. %
	Velocità del vento [nodi]							
	calme	1-4	4-7	7-11	11-17	17-22	>22	
0		0.74	1.61	1.88	1.96	0.87	0.49	7.6
30		1.01	1.84	1.42	1.15	0.55	0.27	6.2
60		0.64	1.19	0.74	0.43	0.15	0.07	3.2
90		0.45	1.05	0.77	0.31	0.09	0.04	2.7
120		0.42	1.01	1.01	0.66	0.24	0.08	3.4
150		0.79	1.92	1.76	1.62	0.65	0.27	7.0
180		1.16	2.68	2.67	2.46	0.95	0.31	10.2
210		0.98	1.99	1.62	1.15	0.30	0.09	6.1
240		1.00	1.46	0.79	0.38	0.11	0.04	3.8
270		1.02	1.66	1.01	0.63	0.20	0.08	4.6
300		1.10	2.62	3.20	3.02	0.83	0.22	11.0
330		1.25	3.02	4.31	4.84	2.07	0.71	16.2
Freq. %	17.9	10.56	22.05	21.18	18.61	7.01	2.67	82.1
Freq. cumulata		28.5	50.5	71.7	90.3	97.3	100.0	

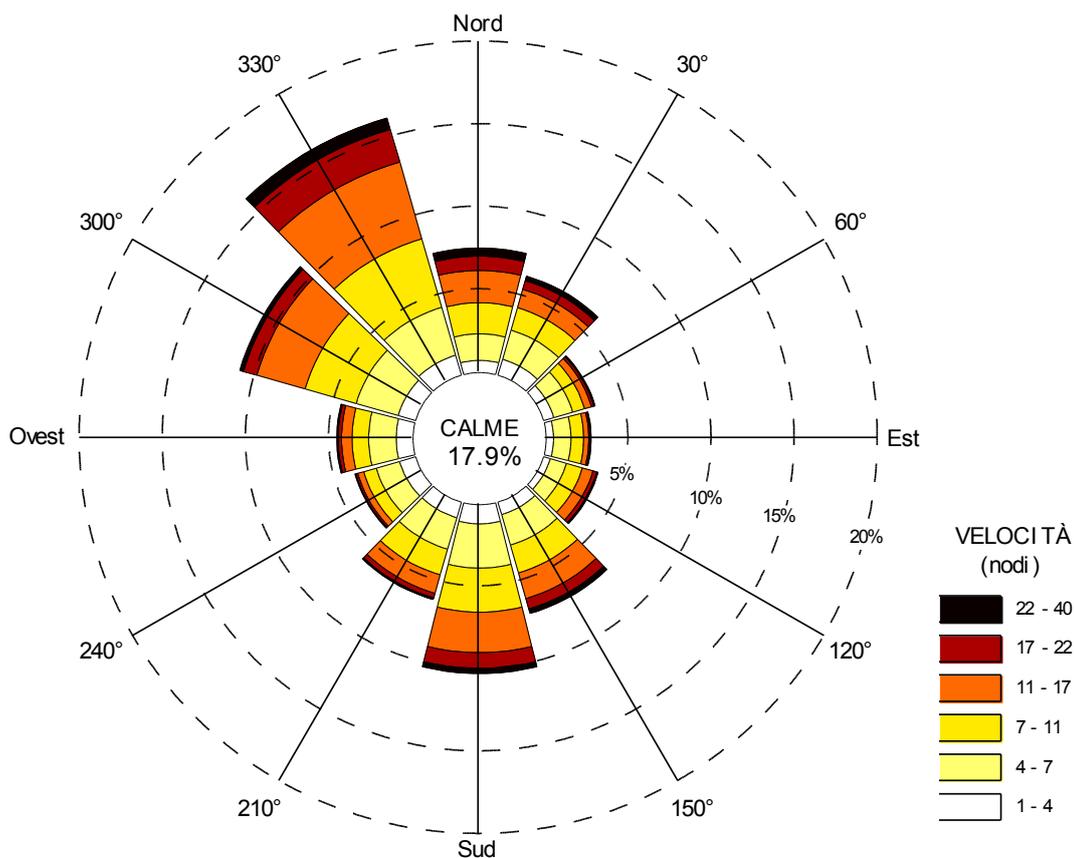


Figura 3-3. Distribuzione direzionale dei venti registrati dalla stazione A.M. di Brindisi - periodo 1951-2005. Elaborazione dei dati riportati dal Piano Regionale Delle Coste - Clima Meteomarina Litorale Pugliese.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 4 Dati ondametrici di riferimento

4.1 Ondametro di Monopoli – descrizione della stazione di misura

La stazione di Monopoli (Figura 4-1) della Rete Ondametrica Nazionale è costituita da una boa ondametrica direzionale (dapprima del tipo Datawell Wavec MKI e poi del tipo TRIAXYS) ed è posizionata su fondali di circa -80 m s.l.m. al largo del porto di Monopoli ad una distanza dalla costa di circa 6 km.

RETE ONDAMETRICA NAZIONALE - STAZIONE DI MONOPOLI

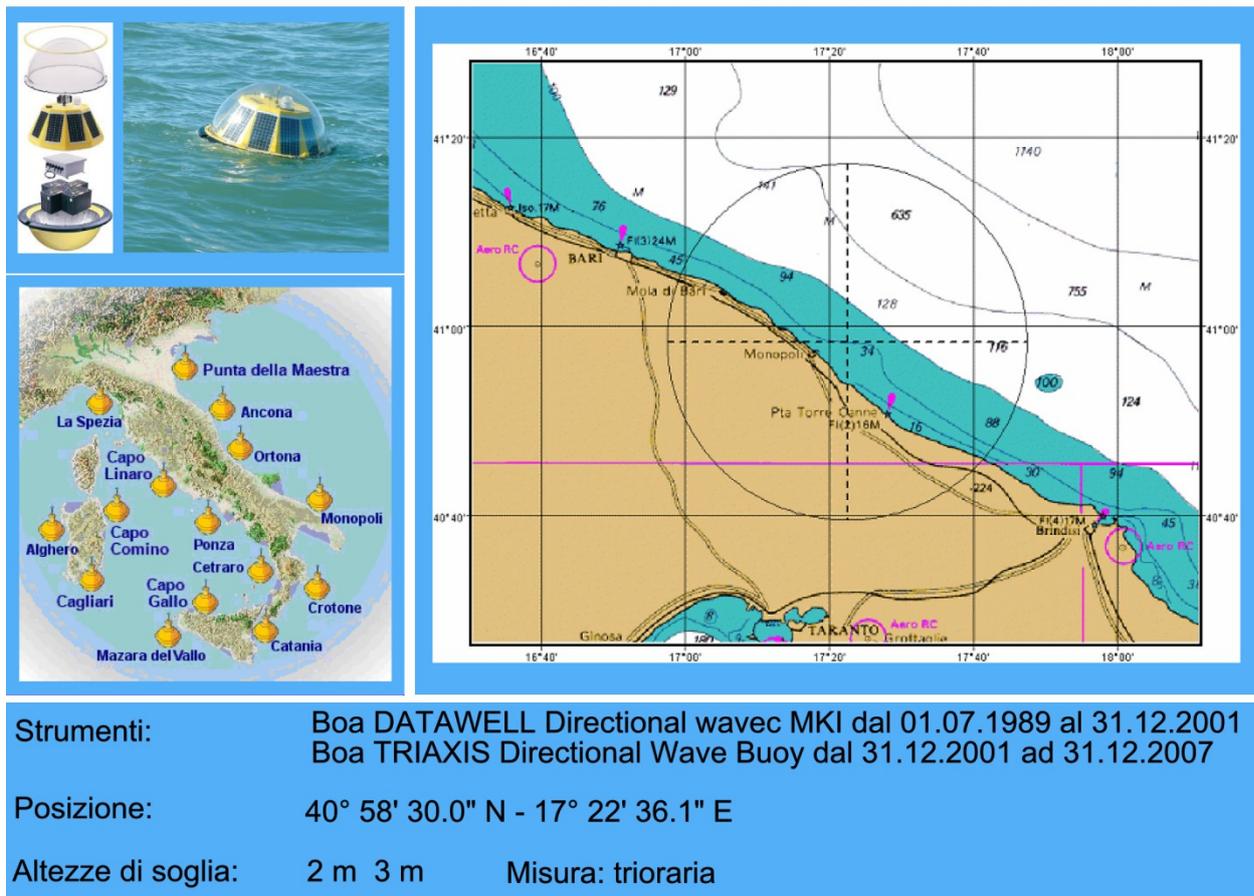


Figura 4-1. Descrizione della boa ondametrica di Monopoli.

Come è possibile osservare dall'analisi del rendimento dell'ondametro, riportata in Figura 4-2, nel periodo compreso tra il 1989 e il 2001, in cui ha operato la boa DATAWELL, il rendimento medio annuale dell'ondametro è stato sempre superiore al 80÷90%; dal 2001, cui corrisponde la messa in servizio della boa TRIAXIS, il rendimento dell'ondametro è calato decisamente, sia per problemi tecnici dello strumento che di manutenzione e gestione della rete ondametrica nazionale.

Ai fini dell'analisi del clima di moto ondoso, dato anche lo scarso rendimento dell'ondametro nell'anno 2007, sono stati presi in considerazione gli eventi registrati con cadenza trioraria nel periodo compreso tra il 01.07.1989 e il 30.06.2007.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

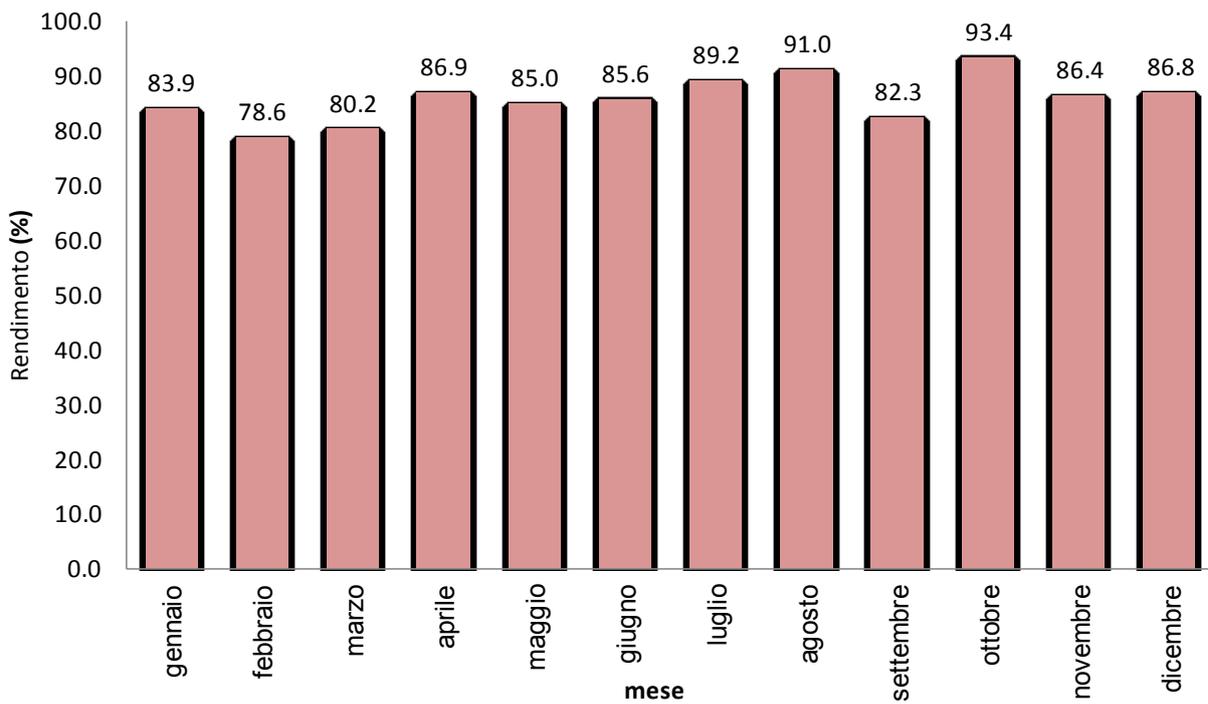
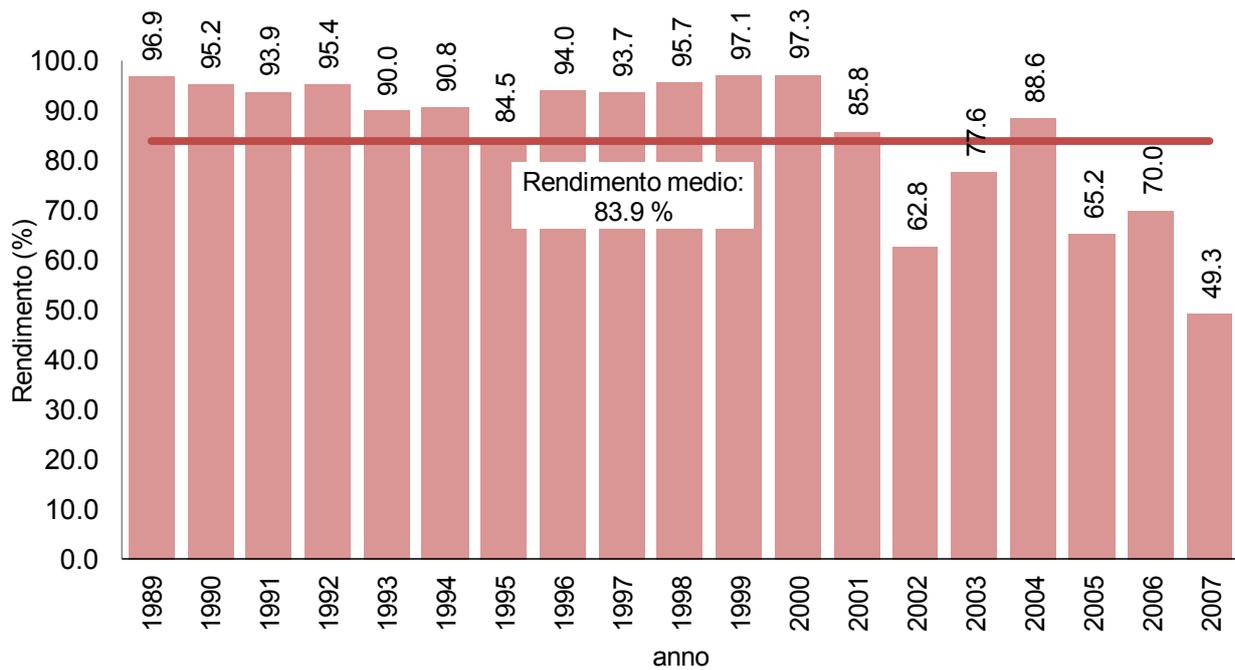


Figura 4-2. Rendimento dell'ondametro di Monopoli.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

4.2 Clima di moto ondoso

Per definire il clima di moto ondoso registrato dall'ondametro, gli eventi della serie storica di Monopoli sono stati suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e di direzione media di provenienza sia su base annuale che stagionale.

La tabella climatica (Tabella 4-1) riporta su base annuale (e per settori di provenienza⁽¹⁾ di 10° le frequenze di accadimento, suddivise per classi di altezza d'onda significativa (periodo di registrazione: luglio 1989 e giugno 2007).

I diagrammi polari della frequenza di accadimento, definiti anche "rose", rappresentano la distribuzione percentuale e direzionale degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore a 0.5 m. Nelle Figura 4-3 e Figura 4-4 sono rappresentate le rose di distribuzione degli eventi rispettivamente su base annua e su base stagionale.

Dall'analisi dei risultati si evince che:

- Il 50% degli eventi (pari a circa 182 gg/anno) ha altezza significativa superiore a 0.5 m di cui il 26% (112 gg/anno) provengono dal settore di maestrale - tramontana (300°-20° N) ed il 21% (69 gg/anno) da quello di Bora-levante (30° - 120°N).
- gli eventi estremi con altezza d'onda superiore a 3.0 m hanno frequenza di accadimento pari al 0.5% del totale (complessivamente 2 gg/anno), principalmente dal settore di tramontana e bora e si verificano durante le stagioni invernali (0.35%) ed autunnali (0.14%)
- In primavera si riscontra un forte bimodalità con eventi provenienti da NO e da SE che appartengono principalmente alle classi di altezza d'onda $H_s > 0.5m$
- L'estate è caratterizzata dalla prevalenza di eventi provenienti da NO appartenenti principalmente alle classi di altezza d'onda inferiori a 3 m.

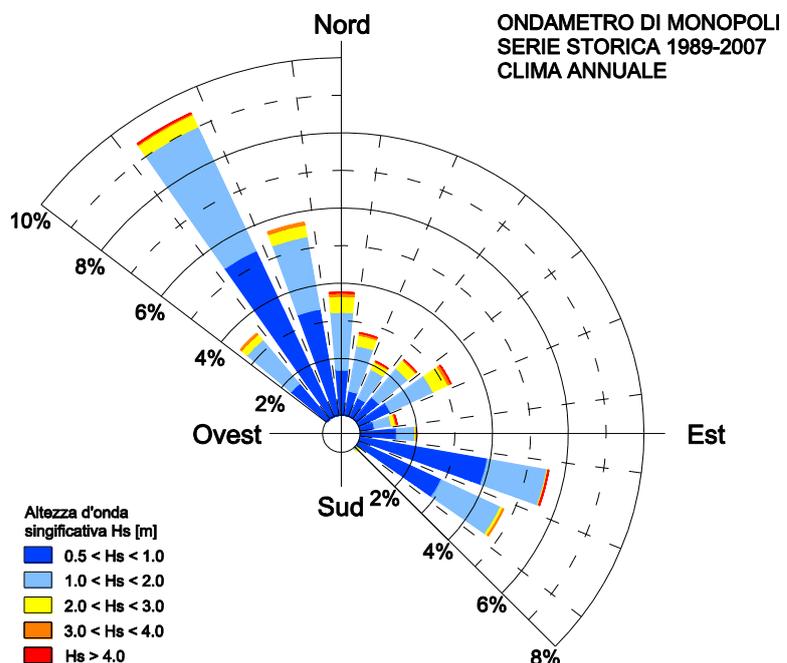


Figura 4-3 Diagramma polare della distribuzione percentuale degli eventi ondometro di Monopoli nel periodo lug. 1989 – giu. 2007

1 Nella tabella climatica il settore di direzione indicato rappresenta il valore mediano dell'intervallo (ad esempio il settore 30° contiene gli eventi compresi tra 25° ÷ 35° N).

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST										Relazione meteomarina				
	09	017	DR	008	1	MAR									

Tabella 4-1. Ondametro di Monopoli:
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di H_s e direzione di provenienza.
CLIMA ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA H _s (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	1.03	1.29	0.89	0.60	0.36	0.19	0.08	0.03	0.01	0.00						4.49
20	0.98	1.14	0.72	0.40	0.27	0.11	0.03	0.03	0.00	0.00						3.70
30	0.90	1.02	0.69	0.38	0.16	0.10	0.05	0.01	0.01	0.00						3.32
40	0.86	1.00	0.77	0.41	0.17	0.10	0.05	0.01	0.00	0.00						3.37
50	0.93	1.08	0.92	0.54	0.25	0.16	0.07	0.03	0.01	0.00						3.99
60	0.96	1.09	0.95	0.55	0.34	0.20	0.10	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00				4.28
70	1.11	1.05	0.66	0.25	0.12	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00						3.34
80	1.27	1.30	0.63	0.23	0.07	0.04	0.01	0.02								3.56
90	1.27	1.83	0.93	0.24	0.06	0.01	0.00	0.00								4.35
100	1.22	2.72	1.69	0.47	0.09	0.02	0.00	0.01		0.00						6.22
110	0.66	3.26	3.31	1.37	0.23	0.03	0.01									8.87
120	0.25	1.37	2.06	1.03	0.15	0.05	0.00		0.00							4.92
130	0.12	0.41	0.36	0.23	0.05	0.01	0.00									1.19
140	0.05	0.22	0.16	0.09	0.02	0.01	0.00									0.56
150	0.06	0.18	0.14	0.04	0.01	0.00	0.00									0.44
160	0.05	0.16	0.09	0.03	0.01	0.01										0.34
170	0.04	0.14	0.08	0.04	0.00		0.00	0.00								0.31
180	0.04	0.11	0.06	0.04	0.01											0.26
190	0.04	0.14	0.08	0.02												0.29
200	0.04	0.13	0.08	0.03	0.01											0.30
210	0.04	0.13	0.09	0.05	0.00											0.32
220	0.03	0.13	0.08	0.04	0.02											0.31
230	0.04	0.11	0.07	0.04	0.01											0.27
240	0.03	0.14	0.06	0.05	0.01											0.28
250	0.05	0.10	0.07	0.04	0.01	0.00										0.27
260	0.04	0.11	0.08	0.03	0.01	0.00		0.00								0.27
270	0.04	0.12	0.09	0.04	0.01	0.01										0.30
280	0.05	0.14	0.07	0.03	0.02	0.02	0.00		0.00							0.35
290	0.05	0.12	0.08	0.06	0.02	0.02	0.00									0.35
300	0.07	0.19	0.17	0.05	0.01	0.01	0.00									0.50
310	0.15	0.51	0.50	0.29	0.09	0.06	0.01	0.01								1.61
320	0.32	1.38	1.93	1.16	0.47	0.13	0.06	0.02	0.00							5.48
330	0.60	3.00	3.72	1.94	0.60	0.20	0.05	0.02	0.00	0.00						10.14
340	1.00	3.47	3.09	1.35	0.37	0.17	0.05	0.02	0.00		0.00					9.53
350	1.14	2.70	1.64	0.78	0.29	0.11	0.08	0.03	0.03							6.81
360	1.00	1.60	1.11	0.64	0.42	0.20	0.08	0.05	0.01	0.01						5.12
TOT.	16.56	33.58	28.14	13.58	4.75	2.06	0.80	0.37	0.10	0.04	0.01	0.00				100.00
Tot. cumul.		50.14	78.29	91.87	96.61	98.68	99.48	99.85	99.95	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

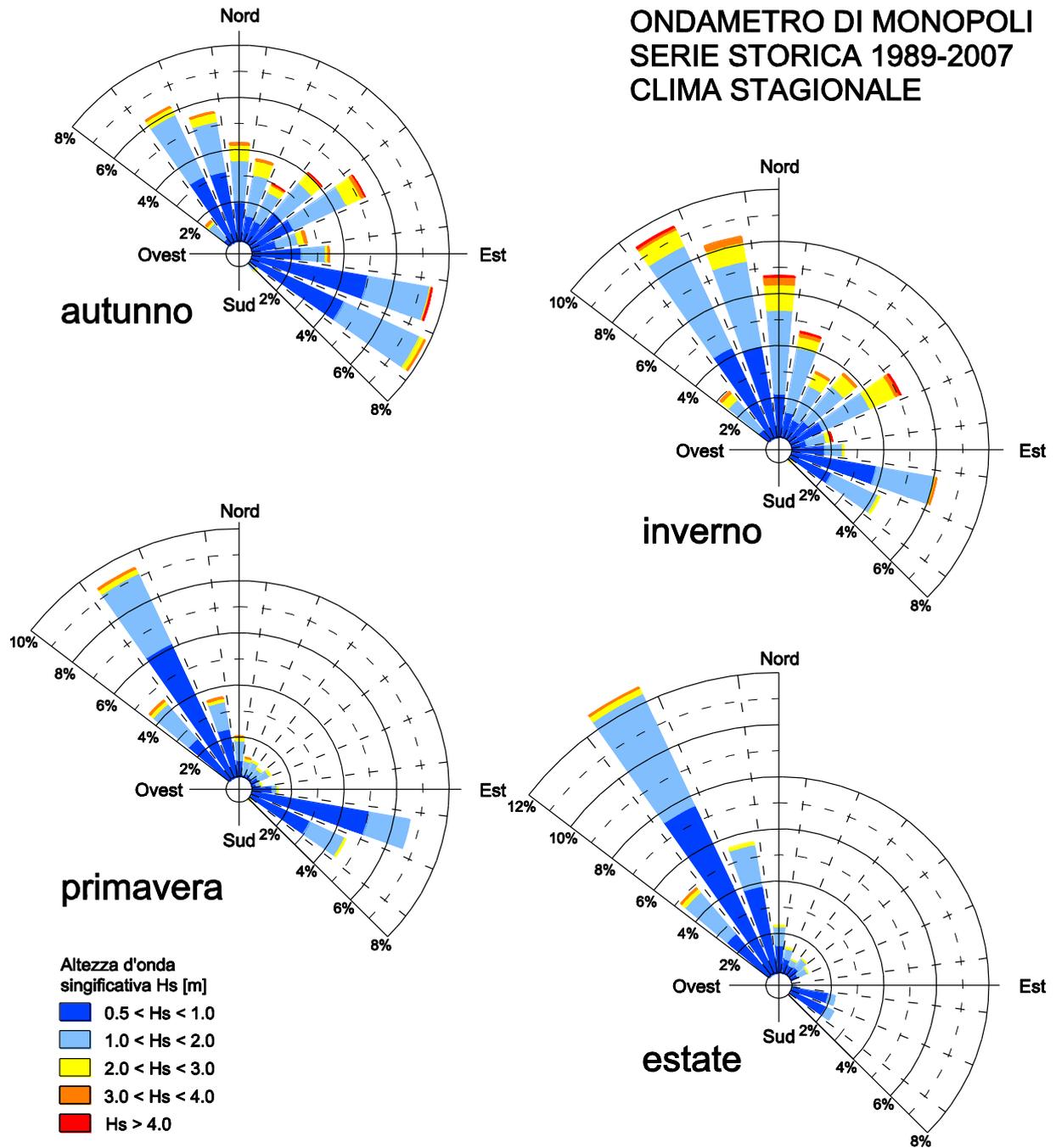


Figura 4-4. Rose di distribuzione stagionali degli eventi registrati dall'ondametro di Monopoli periodo: luglio-1989÷giugno-2007.

4.3 Correlazione altezza d'onda-periodo

I dati della serie storica di Monopoli sono stati suddivisi per classi di altezza e periodo dell'onda al fine di individuare la frequenza di accadimento delle distinte classi. Nella

Tabella 4-2 è riportata la frequenza di accadimento degli evento in base all'altezza d'onda significativa H_s e al periodo di picco T_p .

Tabella 4-2. Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco.

H_s (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 <	8.03	4.99	2.62	0.95	0.02		0.08	16.68	16.68
0.25 ÷ 0.75	14.86	27.67	5.48	1.54	0.13	0.01	0.36	50.05	66.74
0.75 ÷ 1.25	0.44	14.41	5.48	0.67	0.17	0.00	0.11	21.28	88.02
1.25 ÷ 1.75	0.01	3.12	3.83	0.21	0.02	0.00	0.07	7.25	95.26
1.75 ÷ 2.25		0.32	2.26	0.15	0.00		0.03	2.76	98.02
2.25 ÷ 2.75		0.01	1.02	0.21	0.00		0.00	1.24	99.27
2.75 ÷ 3.25			0.31	0.18	0.00			0.49	99.75
3.25 ÷ 3.75			0.06	0.10	0.00			0.17	99.92
3.75 ÷ 4.25			0.01	0.04	0.00			0.05	99.97
4.25 ÷ 4.75				0.02	0.00			0.02	100.00
4.75 ÷ 5.25					0.00			0.00	100.00
>5.25								0.00	100.00
Tot.	23.34	50.52	21.06	4.06	0.34	0.02	0.66	100	
Tot. cumul.	23.34	73.86	94.91	98.98	99.32	99.34	100.00		

Al fine di individuare la legge di dipendenza tra il periodo di picco delle onde T_p e l'altezza d'onda significativa H_s si è fatto riferimento alla seguente relazione (Mathiesen et al., 1994) utilizzata anche nell'Atlante delle Onde Italiane:

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

ove i parametri a e b sono ricavati con il metodo dei minimi quadrati dall'analisi di correlazione statistica dei dati registrati dalla boa ondometrica di Monopoli (altezza d'onda significativa $H_s \geq 1.0$ m e periodo d'onda < 20 s). In Figura 4-5 oltre a riportare il grafico degli eventi è indicata la funzione di correlazione tra T_p e H_s trovata. I valori dei parametri della funzione di correlazione ottenuti sono $a = 5.63$, $b = 0.28$.

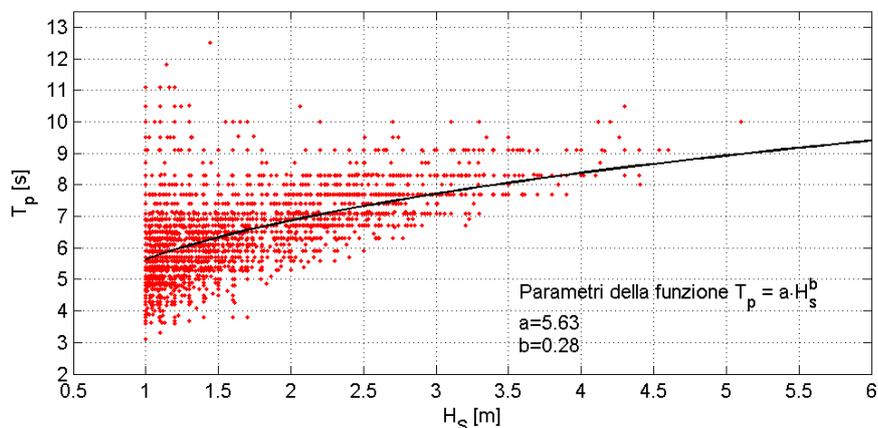


Figura 4-5. Correlazione altezza (H_s) – periodo (T_p) ondometro di Monopoli.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 5 Clima di moto ondoso al largo di Brindisi

5.1 Serie trasposta al largo di Brindisi

Per la definizione del clima di moto ondoso al largo del porto di Brindisi è applicato il metodo della trasposizione geografica. La localizzazione del punto di trasposizione e la determinazione dei fetch geografici ed efficaci che lo contraddistinguono sono state trattate in precedenza.

Il metodo di trasposizione consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relative al punto di misura e quelle nel punto di interesse. L'ipotesi di base della metodologia (P.Contini e P. De Girolamo, 1998) consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione), che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro di Monopoli, abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse. Inoltre si ipotizza che le aree di generazione del moto ondoso possano essere determinate per ciascun punto utilizzando il concetto di "fetch efficace" (Seymour, 1977).

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_{mo} in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti (Vincent, 1984, Shore Protection Manual, 1984):

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

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

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 la lunghezza del fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica.

Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura e al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il del 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 significative ed i periodi medi delle onde relative al punto O e al punto P:

$$\frac{H_{mo}^P}{H_{mo}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{2}} = (K_F)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\frac{T_{mo}^P}{T_{mo}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{3}} = (K_F)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

Per ottenere le precedenti relazioni si è ovviamente supposto che il fattore di velocità del vento sia lo stesso nei due punti in esame. Tale assunzione deriva dall'aver ipotizzato che le aree di

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

generazione dei due punti siano interessate dalla stessa perturbazione climatica e quindi dalla stessa velocità del vento.

Il termine K_F è il parametro di trasposizione geografica; valori inferiori ad 1 implicano un'attenuazione delle caratteristiche del moto ondoso nel punto di trasposizione rispetto a quello di misura.

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., 1992 (vedi anche ACES, 1992) che stabilisce il legame tra la direzione media del vento α_w e la direzione media del moto ondoso Θ da esso generato. La direzione del moto ondoso nel punto di trasposizione Θ_p viene calcolata in funzione della suddetta legge di corrispondenza con la direzione media del vento (esplicitata rispetto ad α_w per il punto di misura e rispetto a Θ_p per il punto di trasposizione):

$$\alpha_w = f(\Theta_o) \quad (5)$$

$$\Theta_p = f(\alpha_w) = f(\Theta_o) \quad (6)$$

L'applicazione del metodo impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti (ondametro di Monopoli e punto al largo di Brindisi); a tal scopo è stato utilizzato il modello di calcolo **ENIF** per la definizione dei fetch efficaci abbinato al modello di calcolo **SAGITTA** ⁽²⁾ che elabora in automatico tutta la serie ondometrica del punto di misura e la traspone in funzione delle equazioni sopra descritte.

2) I modelli ENIF e SAGITTA sono sviluppati e commercializzati dalla MODIMAR s.r.l.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

5.2 Clima di moto ondoso al largo di Brindisi

La serie trasposta al largo di Brindisi è stata analizzata al fine di determinare le caratteristiche medie di esposizione al moto ondoso, il clima, secondo la metodologia già descritta nei paragrafi precedenti.

In Tabella 5-1 è riportata la frequenza di accadimento su base annuale degli eventi di moto ondoso registrati dall'ondametro dall'ondametro nel periodo compreso tra luglio 1989 e giugno 2007, suddivisi secondo classi di direzione e di altezza significativa.

In Figura 5-1 e in Figura 5-2 sono rappresentate rispettivamente la rosa di distribuzione degli eventi con altezza d'onda significativa superiore a 0.5 m su base annuale e quelle su base stagionale

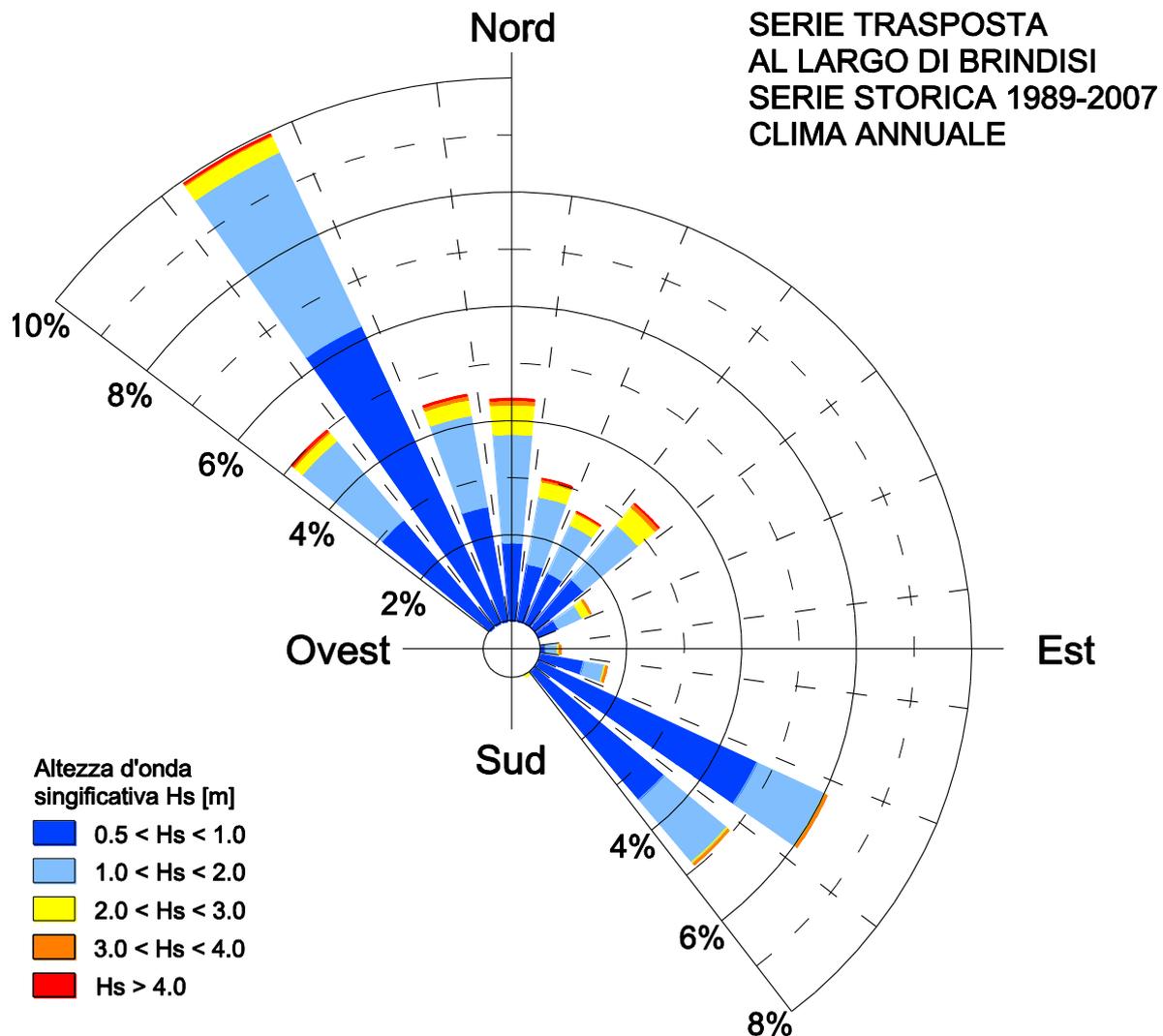
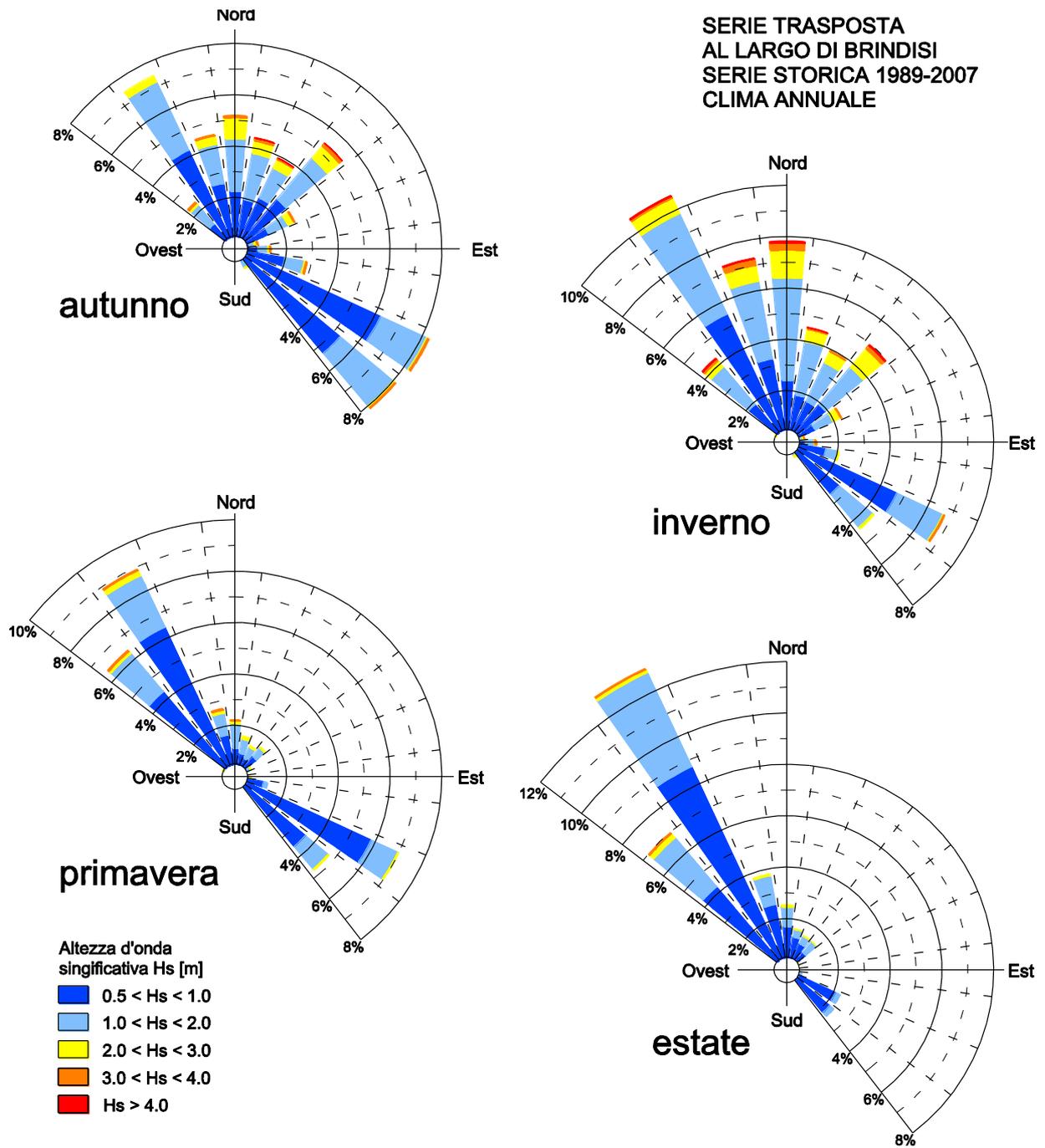


Figura 5-1. Distribuzione annuale degli eventi trasposti al largo di Brindisi - periodo: luglio-1989 ÷ giugno-2007.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST										Relazione meteomarina				
	09	017	DR	008	1	MAR									

Tabella 5-1. Serie trasposta al largo di Brindisi
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza
CLIMA 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	1.31	1.44	0.94	0.60	0.40	0.16	0.06	0.03	0.00	0.00						4.94
20	1.11	1.02	1.02	0.47	0.20	0.11	0.06	0.02	0.00	0.00						4.02
30	0.84	0.79	0.99	0.41	0.17	0.10	0.05	0.00	0.01	0.00						3.36
40	0.94	0.87	1.14	0.58	0.29	0.17	0.08	0.03	0.01	0.00						4.12
50	0.79	0.66	0.99	0.46	0.28	0.15	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00				3.47
60	0.60	0.51	0.58	0.19	0.09	0.09	0.02	0.01	0.00							2.10
70	0.34	0.25	0.26	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01								0.99
80	0.34	0.27	0.21	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00							0.92
90	0.48	0.40	0.34	0.11	0.02	0.01	0.00	0.01								1.38
100	1.07	1.01	0.69	0.18	0.05	0.03	0.01	0.01								3.03
110	1.24	1.85	1.05	0.23	0.05	0.02		0.00								4.44
120	1.20	3.35	2.44	0.54	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00							7.64
130	0.65	3.29	4.58	1.46	0.18	0.03	0.00	0.00								10.20
140	0.17	0.75	0.92	0.38	0.05	0.02										2.28
150	0.06	0.21	0.17	0.08	0.01	0.01	0.00									0.55
160	0.06	0.21	0.17	0.06	0.01	0.00	0.00									0.51
170	0.07	0.17	0.10	0.03	0.01	0.00										0.37
180	0.04	0.12	0.09	0.03		0.00	0.00									0.30
190	0.04	0.10	0.07	0.03	0.00											0.25
200	0.05	0.12	0.09	0.02	0.00											0.28
210	0.04	0.14	0.10	0.02	0.00											0.31
220	0.04	0.12	0.11	0.04	0.01											0.32
230	0.04	0.12	0.07	0.04	0.02											0.29
240	0.04	0.11	0.08	0.04	0.00											0.28
250	0.04	0.10	0.09	0.03	0.00	0.00										0.27
260	0.04	0.10	0.07	0.03	0.00	0.00										0.25
270	0.04	0.12	0.10	0.03	0.00	0.01										0.31
280	0.05	0.10	0.08	0.04	0.03	0.01	0.00									0.31
290	0.06	0.13	0.08	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00								0.35
300	0.08	0.19	0.20	0.04	0.01	0.02										0.53
310	0.19	0.62	0.73	0.36	0.12	0.06	0.01	0.01								2.09
320	0.41	1.84	3.10	1.32	0.56	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00						7.45
330	0.85	3.69	4.52	1.93	0.43	0.15	0.04	0.01	0.01	0.00						11.63
340	1.14	3.34	2.51	1.06	0.36	0.14	0.06	0.01	0.01							8.63
350	1.10	2.27	1.34	0.69	0.36	0.15	0.08	0.05	0.02	0.00						6.08
360	1.21	1.68	1.24	0.75	0.45	0.25	0.10	0.05	0.01	0.01						5.73
TOT.	16.78	32.05	31.27	12.46	4.33	1.86	0.77	0.34	0.10	0.04	0.00	0.00				100.00
Tot. cumul.	48.83	80.10	92.55	96.89	98.75	99.51	99.85	99.95	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		



**Figura 5-2. Rose di distribuzione stagionali degli eventi trasposti al largo di Brindisi
periodo: luglio-1989÷giugno-2007.**

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

Dall'analisi dei risultati dell'analisi della frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso trasposti al largo di Brindisi si evince che:

- Il 52% degli eventi (pari a circa 186 gg/anno) ha altezza significativa superiore a 0.5 m di cui il 27% (98 gg/anno) provengono dal settore di maestrale - tramontana (300°-20° N) ed il 20% (73 gg/anno) da quello di Bora-levante (30° - 130°N).
- gli eventi estremi con altezza d'onda superiore a 3.0 m hanno frequenza di accadimento pari al 0.5% del totale (complessivamente 2 gg/anno), principalmente dal settore di tramontana e bora e si verificano durante le stagioni invernali (0.30%) ed autunnali (0.16%)
- In primavera si riscontra un forte bimodalità con eventi provenienti da NO e da SE che appartengono principalmente alle classi di altezza d'onda $H_s > 0.5m$
- L'estate è caratterizzata dalla prevalenza di eventi provenienti da NO appartenenti principalmente alle classi di altezza d'onda inferiori a 3 m.

5.3 Correlazione altezza d'onda-periodo

I diagrammi rappresentati in Figura 5-3 riportano, per i tre settori di traversia individuati al largo di Brindisi, le coppie altezza d'onda-periodo (H_s - T_p) appartenenti alla serie storica.

I diagrammi riportano inoltre i risultati dell'analisi di regressione effettuata sui dati di moto ondoso con altezza d'onda superiore ad $H_s = 2.0$ m con la legge esponenziale:

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

Per il settore di traversia 300-30°N i valori dei parametri ottenuti sono $a = 5.31$, $b = 0.33$.

Per il settore di traversia 30-80°N i valori dei parametri ottenuti sono $a = 6.00$, $b = 0.29$.

Per il settore di traversia 80-160°N i valori dei parametri ottenuti sono $a = 5.03$, $b = 0.43$.

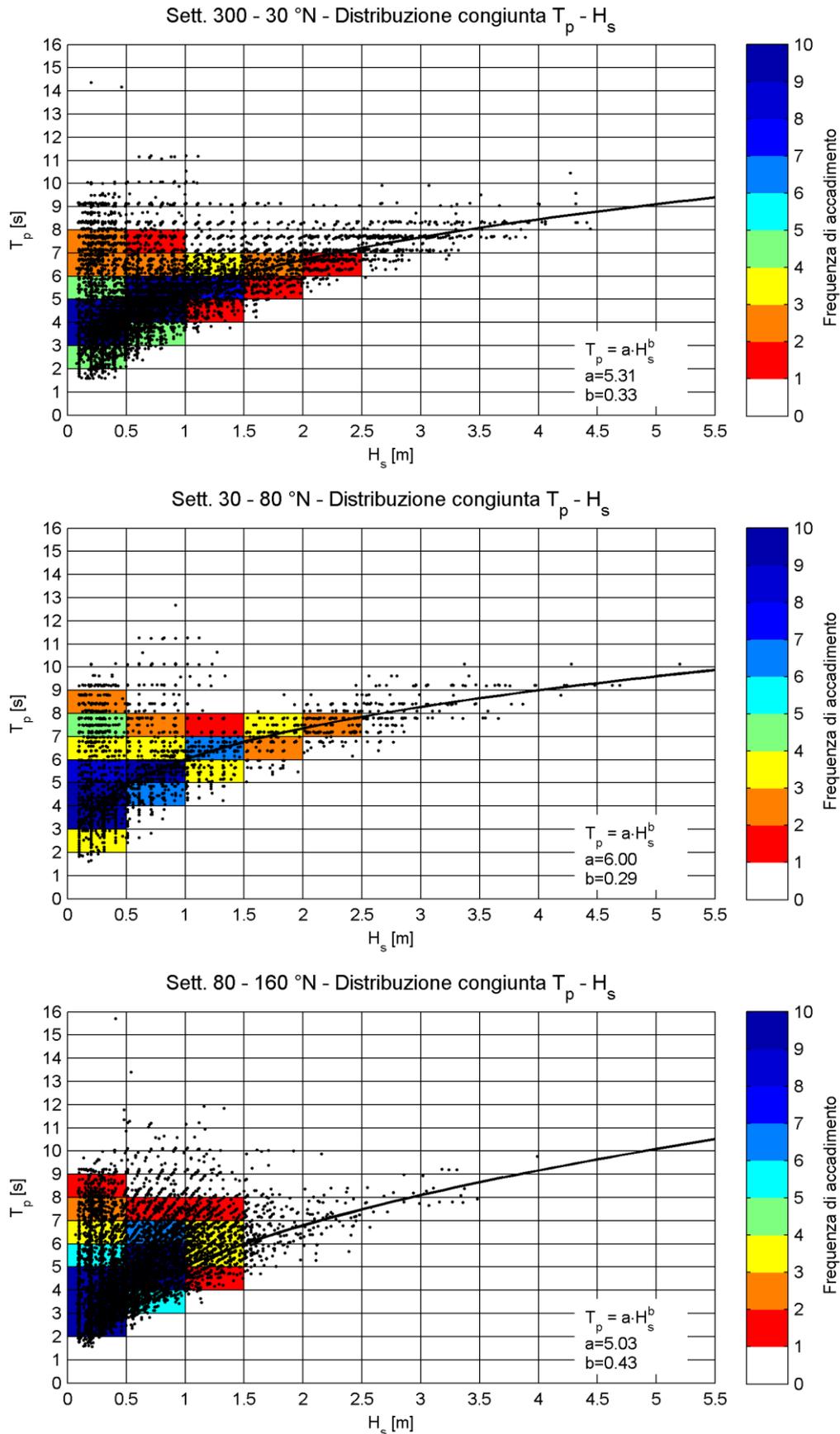


Figura 5-3. Distribuzione congiunta T_p-H_s e legge di adattamento $T_p = a \cdot H_s^b$ per i tre settori di traversia individuati al largo di Brindisi.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 6 Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso al largo

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

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

L'indipendenza statistica è assicurata utilizzando sia il metodo dei "massimi annuali" che il metodo POT (Peaks Over Threshold) detto anche "della serie di durata parziale sopra soglia". Nel primo caso il campione di riferimento è costituito dalla massima altezza d'onda significativa relativa ad ogni anno, nel secondo caso occorre prendere in esame l'evento massimo in termini di altezza significativa (valore di picco) che si verifica nell'ambito di ogni singola mareggiata. Ciascuna mareggiata viene individuata nella serie storica 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. Mathiesen raccomanda che il tempo minimo trascorso tra i due colmi di eventi consecutivi sia superiore a $48 \div 96$ ore, al fine di garantirne l'indipendenza statistica.

Per la boa di Monopoli, considerata l'esiguità del numero degli anni di misura (circa 18), il metodo dei massimi annuali non risulta affidabile, pertanto nelle elaborazioni seguenti si utilizzerà il metodo POT.

L'omogeneità dei dati di solito viene assicurata:

1. considerando i dati registrati con la medesima cadenza temporale: eventi solo triorari o solo semiorari;
2. raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi delle altezze d'onda registrati in distinti settori di provenienza degli stati di mare.

Gli stati di mare così individuati sono oggetto di una elaborazione statistica al fine di determinare, mediante una regolarizzazione degli eventi estremi secondo note funzioni probabilistiche (Plotting position), le caratteristiche del moto ondoso da associare ad assegnati tempi di ritorno T_R (o probabilità di occorrenza).

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

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

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

e la legge di Gumbel

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

dove X_{max} è la variabile aleatoria, x il valore di non superamento mentre A , B e k sono le costanti delle distribuzioni, note rispettivamente come parametro di scala, di posizione e di forma. Il parametro k (Weibull) è assunto pari a 0.75, 1.0, 1.4 e 2.0

I parametri A e B invece sono stimati per le varie leggi di distribuzione attraverso il metodo dei minimi quadrati.

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.

Per l'analisi statistica degli eventi estremi della serie storica sono state individuate tutte le mareggiate aventi:

- **una durata pari ad almeno 12 ore;**
- **un'altezza d'onda di picco H_s sempre superiore a 2.0 m.**
- **una distanza temporale tra due colmi successivi di almeno 48 ore**

Il diagramma polare dei colmi delle mareggiate rilevate al largo di Brindisi, riportato in Figura 6-1, consente di individuare tre distinti settori di traversia da cui provengono le mareggiate:

- **il settore compreso tra 300° e 30° N è quello da cui provengono più frequentemente gli eventi estremi, con un totale di 175 mareggiate nell'arco di circa 15 anni, applicando il metodo POT sono stati individuati 51 colmi di mareggiata con $H_s \geq 3$ m;**
- **il settore di traversia compreso tra 30° e 80° N presenta i colmi di mareggiata più elevati (fino e oltre i 5 m di altezza d'onda). Complessivamente in questo settore sono state individuate 57 mareggiate. Applicando il metodo POT sono stati selezionati 20 colmi di mareggiata con $H_s \geq 3$ m;**
- **il settore di traversia compreso tra 80° e 160° N che complessivamente è stato interessato da 21 eventi di mareggiata in 15 anni con valori al colmo mediamente inferiori rispetto ai precedenti settori di traversia. Attraverso il metodo POT sono stati individuati 20 colmi di mareggiata sopra la soglia di $H_s \geq 2$ m.**

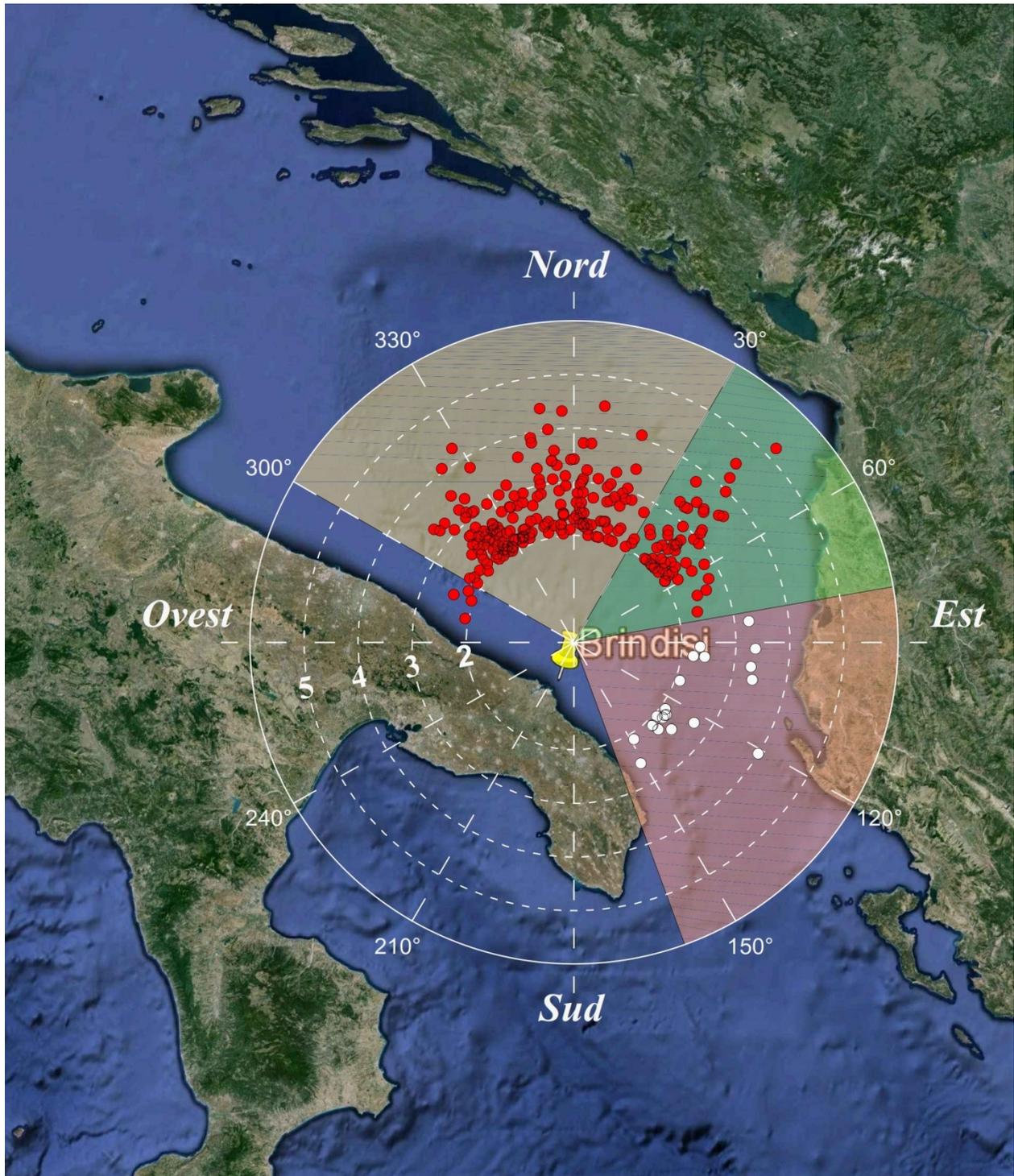


Figura 6-1. Valori al colmo delle mareggiate di durata superiore a 12 h al largo di Brindisi nel periodo 1989-2007.

Tabella 6-1 - Elenco delle 20 mareggiate più intense al largo di Brindisi suddivise per settori di provenienza.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST					Relazione meteorologica					
	09	017	DR	008	1	MAR					

SETTORE: 300° ÷ 30° N						SETTORE: 30° ÷ 80° N					
Data aaaa/mm/gg	ora hh	H _s (m)	T _p (s)	T _m (s)	Dir (°N)	Data aaaa/mm/gg	ora hh	H _s (m)	T _p (s)	T _m (s)	Dir (°N)
2004/01/22	12	4.44	8.0	7.8	7	1995/01/14	9	5.20	10.1	8.9	46
1997/02/28	6	4.41	8.3	7.7	352	2006/01/24	3	3.41	9.6	6.1	45
1992/03/17	9	4.32	9.1	6.7	357	1992/12/28	21	3.98	9.2	6.7	45
2004/01/15	18	4.27	10.5	7.3	328	1999/12/21	21	3.63	9.2	6.2	50
1995/03/30	15	4.06	8.3	7.4	323	1992/02/01	21	4.48	9.2	7.0	42
2001/12/17	15	4.06	8.4	6.5	18	2000/02/10	12	4.22	9.2	6.8	43
1994/01/29	15	4.01	9.1	8.0	353	1996/12/27	3	3.76	9.2	7.9	37
1991/12/19	9	3.91	8.3	7.6	348	2006/02/07	0	3.28	8.8	6.4	37
1998/03/11	0	3.81	7.7	7.2	348	2006/10/17	3	2.62	8.4	7.8	46
1993/03/27	18	3.78	8.3	7.2	329	1991/01/16	3	2.96	8.4	7.2	52
1997/04/05	0	3.73	7.7	7.3	5	1991/02/02	6	2.55	8.4	7.1	59
2001/11/24	6	3.73	8.3	6.2	3	1999/12/06	9	2.82	8.4	5.9	59
1997/04/07	21	3.60	7.7	6.9	343	1992/12/01	3	2.45	8.4	6.0	45
2007/01/03	12	3.60	7.7	6.4	354	1997/03/11	6	3.16	8.4	7.2	49
1996/04/15	18	3.56	7.7	6.9	320	2006/12/22	12	2.93	8.4	6.0	49
1999/01/30	3	3.43	7.8	5.9	20	1989/12/11	0	2.65	8.4	6.8	41
1991/12/25	18	3.42	8.3	7.1	359	1990/12/06	9	3.26	8.4	7.1	39
1994/01/27	12	3.42	7.7	7.0	0	1995/01/04	21	3.26	8.4	7.2	40
1993/02/22	15	3.41	7.7	7.0	353	1997/10/29	15	3.46	8.4	7.5	44
1997/03/30	6	3.41	7.7	6.8	353	1998/03/26	0	3.46	8.4	7.1	41

SETTORE: 80° ÷ 160° N						
Data aaaa/mm/gg	ora hh	H _s (m)	T _p (s)	T _m (s)	Dir (°N)	
2003/12/24	3	3.99	9.8	8.3	121	
2005/12/11	18	3.37	8.4	7.3	102	
1993/01/04	12	3.36	7.8	7.3	92	
2001/12/08	15	3.31	9.2	6.6	98	
1998/11/22	21	3.27	7.8	7.1	83	
1998/02/01	12	2.69	8.1	7.1	124	
1992/03/26	12	2.57	6.7	5.4	151	
2003/04/07	9	2.44	7.2	5.0	96	
1995/12/13	12	2.43	7.9	6.7	132	
1990/11/16	9	2.34	6.8	6.1	92	
2000/11/19	3	2.25	7.3	5.6	136	
1994/12/23	21	2.23	7.2	6.4	97	
2004/03/07	15	2.17	7.1	5.2	128	
1994/12/20	18	2.16	6.4	5.9	129	
1996/01/06	18	2.16	6.4	5.9	131	
1990/12/10	6	2.12	6.0	6.3	137	
2001/01/15	12	2.12	6.0	7.0	148	
1991/05/03	12	2.11	5.6	5.7	137	
1993/11/26	12	2.09	6.7	5.7	110	
1993/12/02	9	2.09	8.0	6.7	126	

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

Il metodo POT prevede che le sole mareggiate avente un'altezza significativa di picco superiore ad una certa soglia, vengano utilizzate per la successiva analisi statistica degli eventi estremi; viene quindi definito il parametro di taglio (*censoring parameter*):

$$v = \frac{N}{N_{tot}}$$

con N - numero degli eventi sopra la soglia; N_{tot} numero totale delle mareggiate.

Una volta effettuate le previste elaborazioni di regolarizzazione statistica (Gumbel e Weibull), con il metodo dei minimi quadrati occorre verificarne la bontà dei risultati ottenuti; a tale scopo Goda definisce due criteri:

1. Deviation of OutLier (DOL) - occorre verificare se l'evento con il maggiore valore di H_s si trovi all'interno di un determinato campo di validità;
2. REsidue of Correlation coefficient (REC) - il coefficiente di correlazione residuo ($\Delta r = 1-r$) deve essere inferiore ad un valore soglia definito come $\Delta r_{95\%}$.

Nel caso in cui uno dei due criteri non sia rispettato la distribuzione statistica proposta deve essere scartata.

Il valore dell'altezza di soglia deve essere scelta in modo tale da assicurare un sufficientemente un numero di eventi: almeno 3 per anno. Tale soglia deve inoltre separare gli eventi effettivamente estremi da quelli ordinari, in quanto appartenenti a popolazione di dati differenti.

Altezze d'onda estreme - Brindisi largo
Legge FT-III (Weibull k = 2.0) Settore 300°-30° Nord

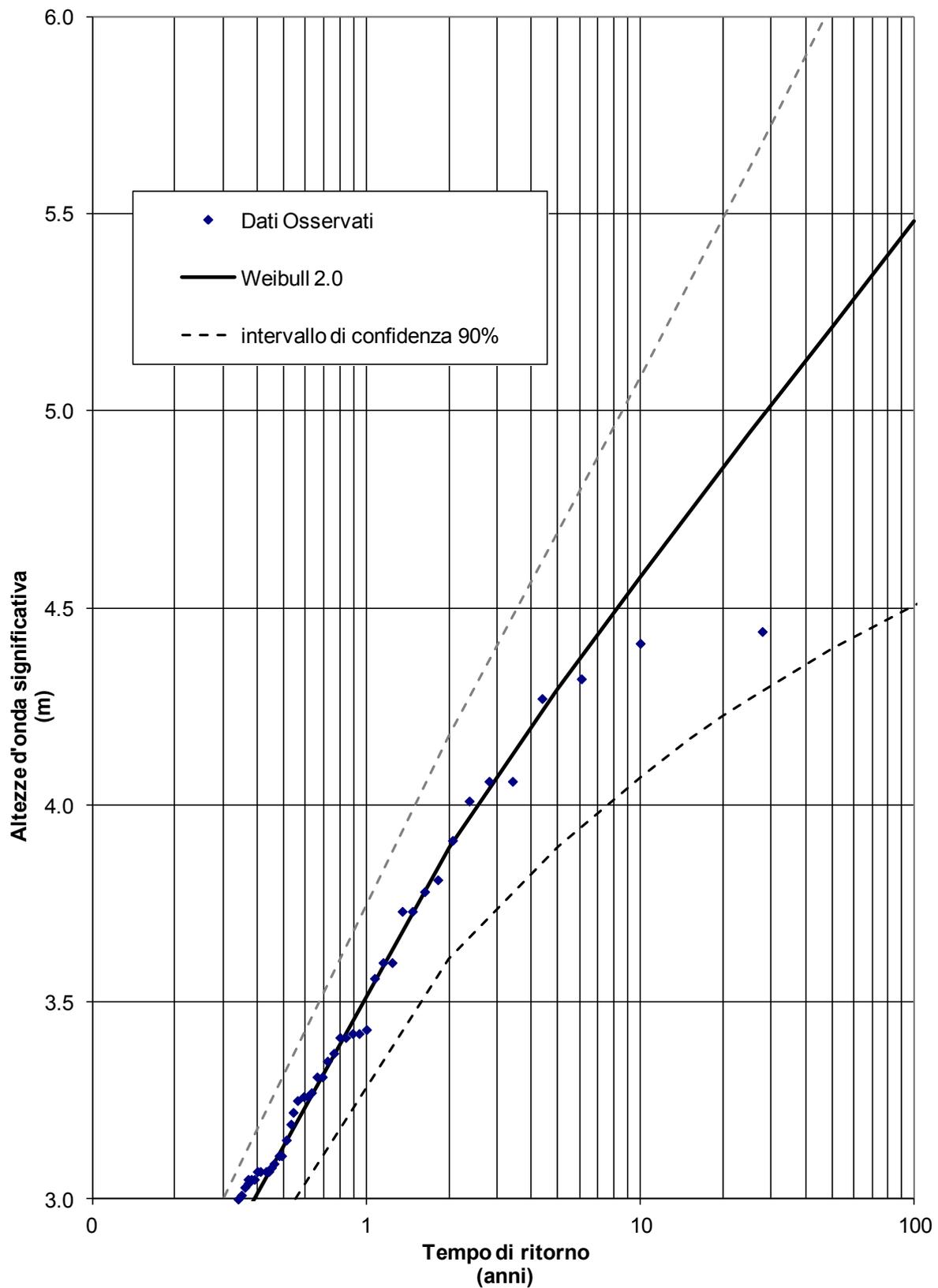


Figura 6-2. Legge di regolarizzazione per gli eventi estremi del settore di traversia 300°- 30° N

Altezze d'onda estreme
Legge FT-III (Weibull k =1.0) Settore 30°-80° Nord

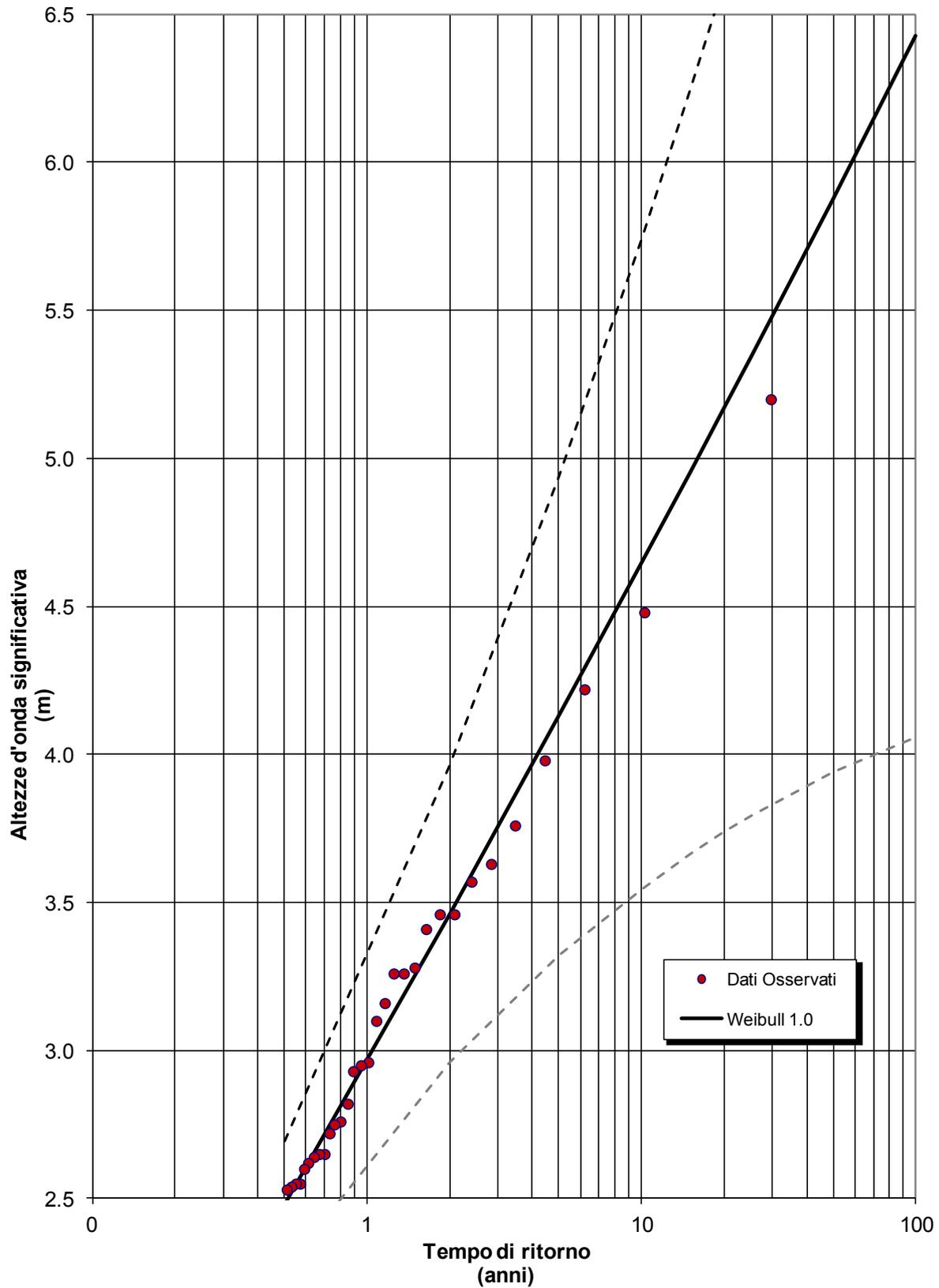


Figura 6-3. Legge di regolarizzazione per gli eventi estremi del settore di traversia 30° - 80° N.

Altezze d'onda estreme
Legge FT-III (Weibull $k = 1.0$) Settore $80^\circ - 160^\circ$ Nord

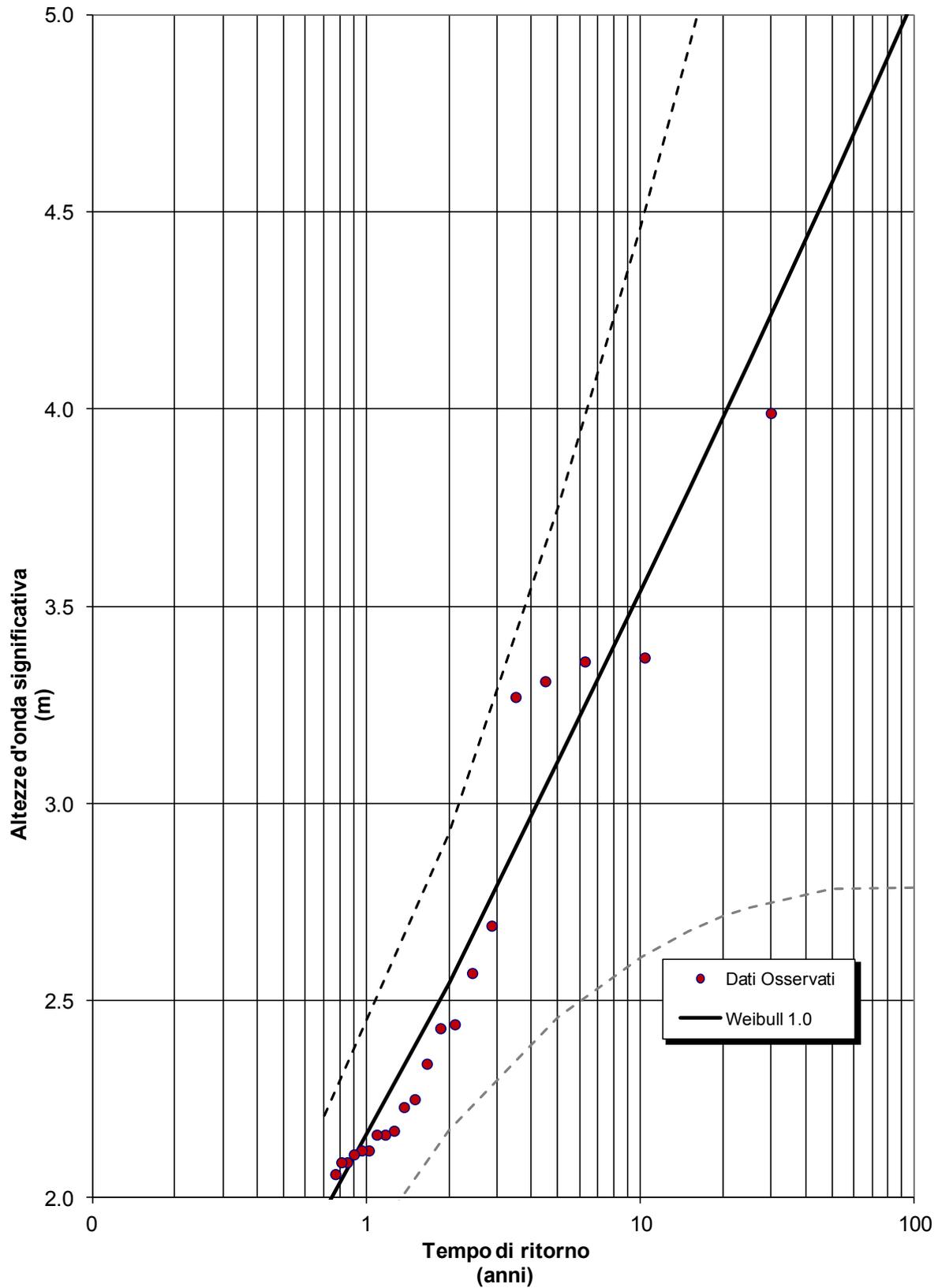


Figura 6-4. Legge di regolarizzazione per gli eventi estremi del settore di traversia $80^\circ - 160^\circ$ N.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 7 Moto ondoso sottocosta

Per definire le condizioni di moto ondoso sottocosta è necessario propagare il moto ondoso da largo verso riva utilizzando un modello matematico.

A tal fine è necessario in primo luogo scegliere il modello numerico più appropriato. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di una attenta analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la loro propagazione.

Per quanto riguarda i processi di propagazione delle onde su fondali via via decrescenti, la regolarità dell'andamento delle linee batimetriche permette di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo shoaling e che possano essere ritenuti trascurabili i processi diffrattivi.

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

Sulla base delle considerazioni appena effettuate si è scelto, per la propagazione sotto costa della serie trasposta al largo di Brindisi, il modello numerico di propagazione inversa spettrale **MEROPE** sviluppato dalla MODIMAR srl.

Il modello numerico MEROPE utilizza la metodologia della rifrazione inversa spettrale dei fronti d'onda a partire dal punto di interesse utilizzando una griglia di calcolo costruita sulla base dei dati batimetrici del paraggio in esame.

7.1 Griglia di calcolo

Nelle Figura 7-1 Figura 7-2 è rappresentata la griglia di calcolo necessaria per le simulazioni effettuate con il modello MEROPE. La griglia è definita sulla base dei dati batimetrici forniti dalla carta nautica del paraggio (CN n.29: "Da torre dell'Orso a Brindisi", edita da "Istituto Idrografico della Marina").

La griglia ha dimensioni 40000×20000 m, con un passo di discretizzazione di 10 m in entrambe le direzioni, per un totale di 4001×2001 nodi. L'angolo tra il Nord e l'asse delle ordinate (Y) della griglia, misurato in senso antiorario a partire dal Nord, è di 325°.

All'interno della griglia è stato scelto il punto di inversa spettrale P1 individuato dalle coordinate [x=17500,y=10000] posto in prossimità dell'imboccatura portuale, su un fondale di -25.0 m sul l.m.m..

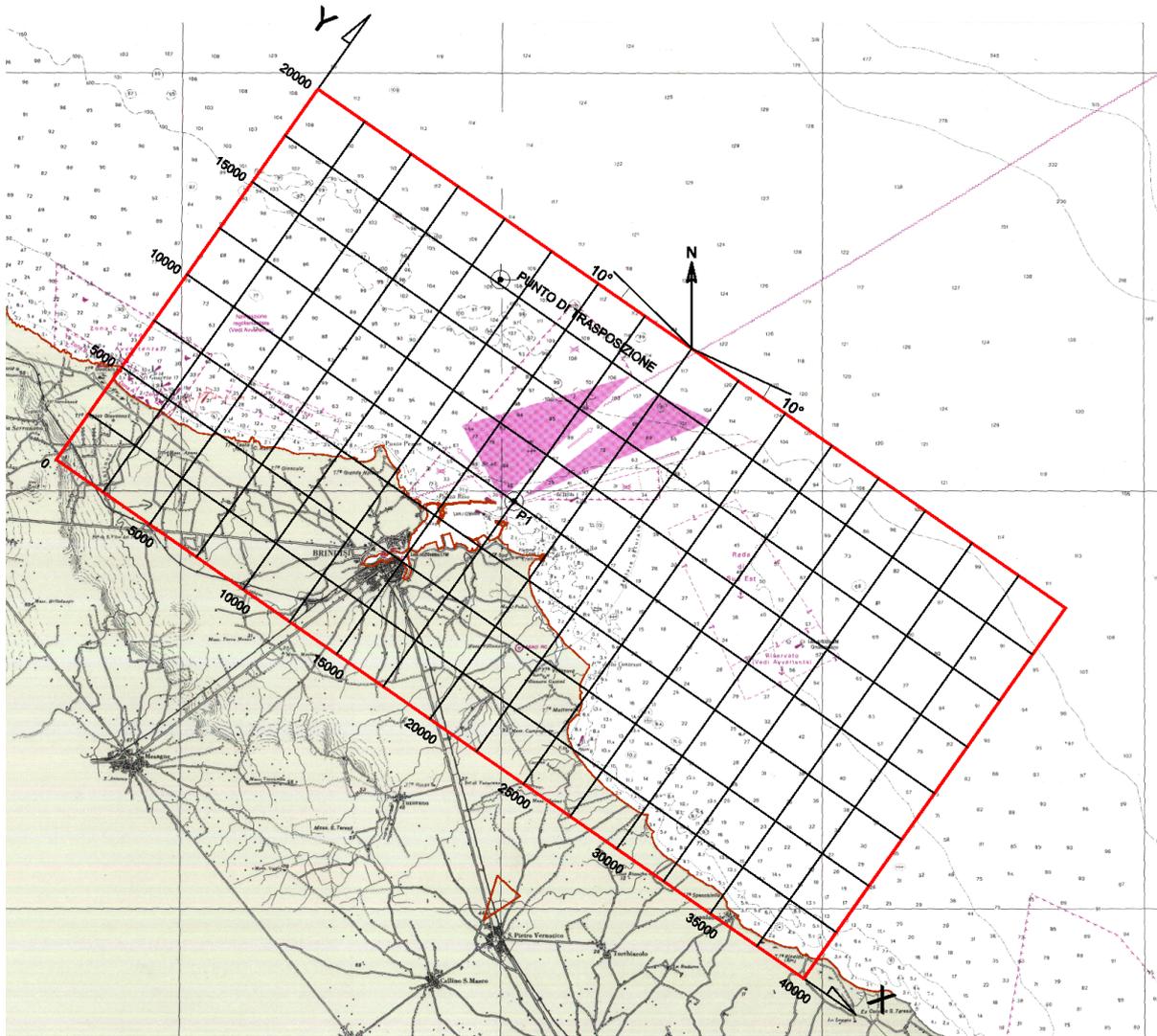


Figura 7-1. Griglia di calcolo utilizzata dal modello di inversa spettrale MEROPE.

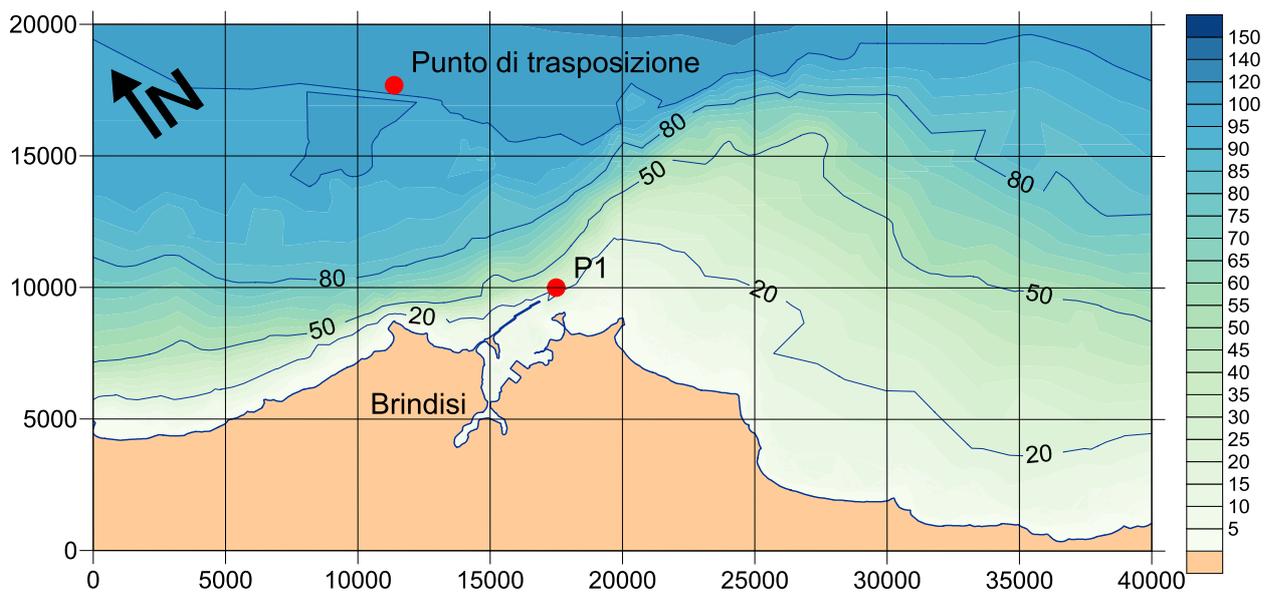


Figura 7-2. Griglia di calcolo adottata nelle simulazioni con il modello MEROPE.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

7.2 Caratteristiche del moto ondoso sottocosta

Per il punto P1 sono stati calcolati 20 piani d'onda d'inversa con periodo compreso tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda) con passo angolare di 0.5°, sino a coprire il settore di traversia principale compreso tra 295 °N e 50 °N. In Figura 7-3 sono rappresentati a titolo d'esempio i piani d'onda ottenuti per periodo di 6 e 12 s.

I risultati della rifrazione inversa-spettrale sono sintetizzati in forma grafica nel diagramma di Figura 7-4 per numerosi spettri d'onda tipo JONSWAP con periodo compreso tra 3 e 14 s.

Il diagramma mostra nella parte superiore il coefficiente di rifrazione-shoaling, $K = K_r \times K_s$, in funzione della direzione al largo e del periodo di picco dell'onda. Nella parte inferiore è riportata la deviazione di direzione del moto ondoso sottocosta al variare del periodo dell'onda.

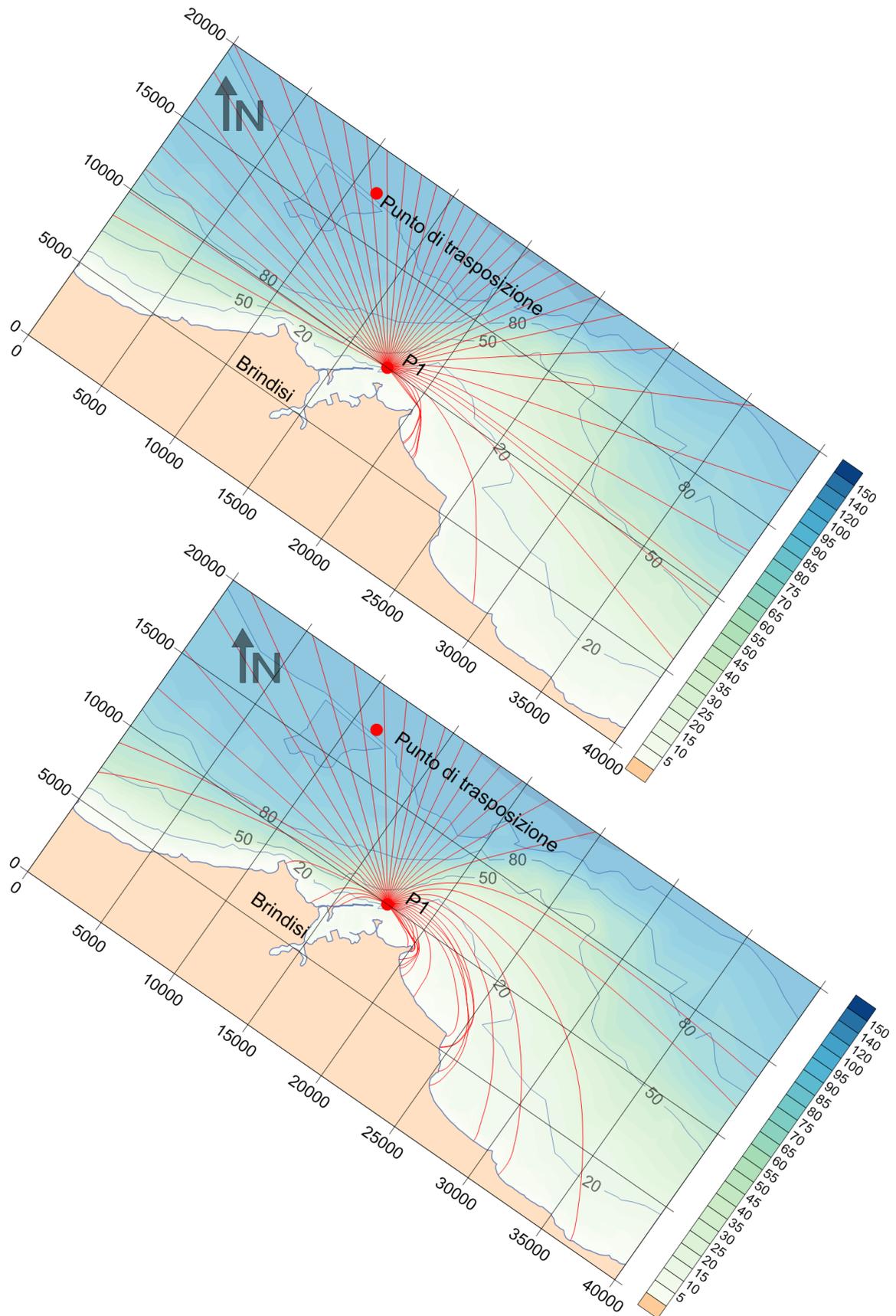
Come si può osservare nel diagramma largo/riva le onde di breve periodo ($T_p < 6$ s), provenienti dal settore di traversia compreso tra 330° (-30°) e 120°N, sono interessate in minima parte dai fenomeni di rifrazione e shoaling dovuti al fondale con valori del coefficiente K compresi tra ± 0.05 .

Si riscontra per gli stati di mare provenienti dal settore 120° - 140 °N con periodo inferiore a 4 secondi una concentrazione di energia con valori del coefficiente di rifrazione e shoaling superiori all'unità.

Al crescere del periodo si riscontra una maggiore influenza dei processi di rifrazione dei fronti d'onda, che tendono a ruotare ed a disporsi paralleli alla costa ed a ridurre l'altezza d'onda sottocosta.

In particolare per le onde con periodo superiore ad 8 s provenienti da levante e da scirocco si riscontra una riduzione significativa dell'altezza d'onda con valori del coefficiente K compresi tra 0.8 e 0.5 e rotazione verso Nord compresa tra 20° e 50°.

Le onde provenienti da Maestrale (-50° ÷ -20°) con periodo superiore a 8 presentano valori del coefficiente K compresi tra 0.9 e 0.75 e rotazione verso Nord compresa tra 10° e 20°.



**Figura 7-3. Rappresentazione dei raggi d'onda di inversa per il punto P1.
immagine superiore: $T_p=6$ s - immagine inferiore: $T_p=12$ s.**

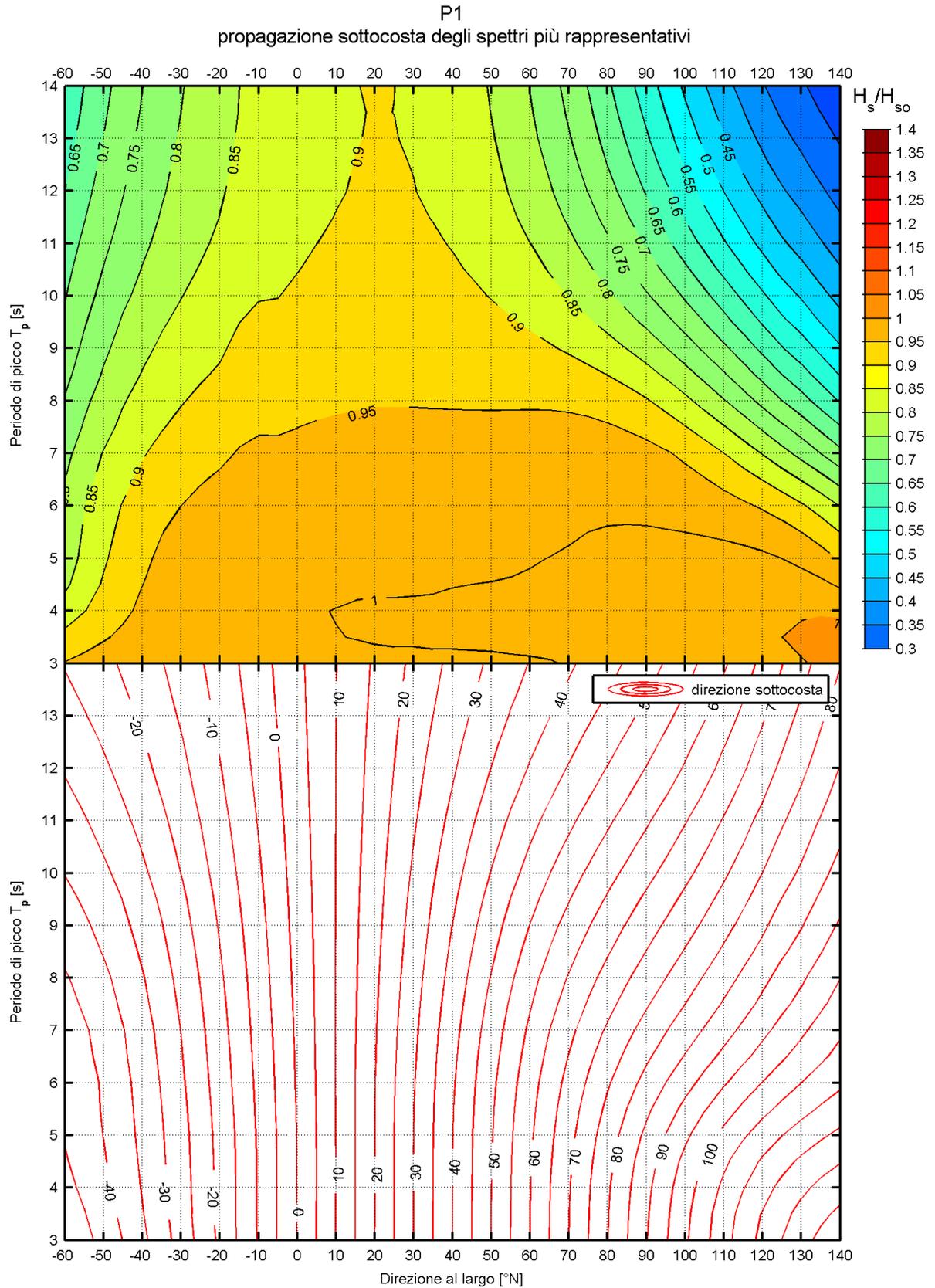


Figura 7-4. Punto P1. Correlazione largo/riva per gli spettri più rappresentativi.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

7.3 Regime di moto ondoso sottocosta

Utilizzando il modello MEROPE l'intera serie ondometrica ricostruita al largo di Brindisi, che ha inizio a Luglio del 1989 e termina a Giugno 2007, è stata propagata sottocosta nel punto di inversa spettrale P1. Complessivamente sono stati propagati 45341 stati mare, con un rendimento effettivo pari al 86.2%.

Nei diagrammi polari di Figura 7-5 e Figura 7-6 ed in Tabella 7-1 sono riportate le distribuzioni direzionali degli stati di mare propagati sottocosta in corrispondenza del punto P1.

Dall'analisi dei risultati dell'analisi della frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso propagati sottocosta si evince che:

- il 49.8% degli eventi (circa 182 gg/anno) ha altezza d'onda significativa superiore ad 0.5 m;
- La frequenza di accadimento degli stati di mare con $H_s > 2.0$ è pari a 2.44% (circa 9 giorni/anno) e si riduce a 0.27% per gli stati mare con $H_s > 3.0$ m (circa 24 ore/anno).
- gli eventi più frequenti sopra la soglia di 0.5 m di altezza d'onda significativa provengono dal settore di Maestrale (295 °N - 345 °N) con una percentuale di accadimento pari al 17.6%;
- gli altri eventi sopra la soglia di 0.5 m provengono principalmente dal settore 65°N - 135° N (Levante-Scirocco) con frequenza di accadimento 14.9%, da Tramontana (345 °N - 25 °N) con frequenza di accadimento pari a 10.4% e da Grecale (25 °N - 65 °N) con frequenza di accadimento 6.9%;

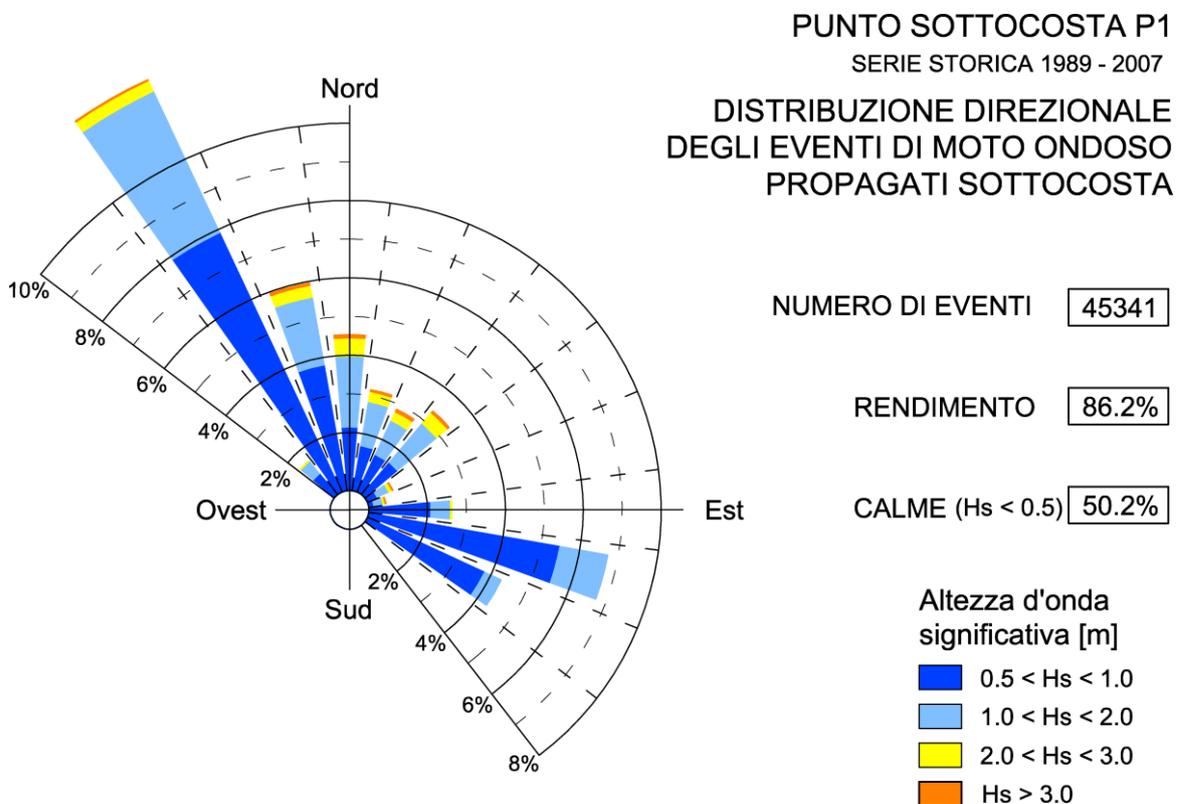


Figura 7-5. Punto P1 - CLIMA ANNUALE distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso con $H_s > 0.5$ m.

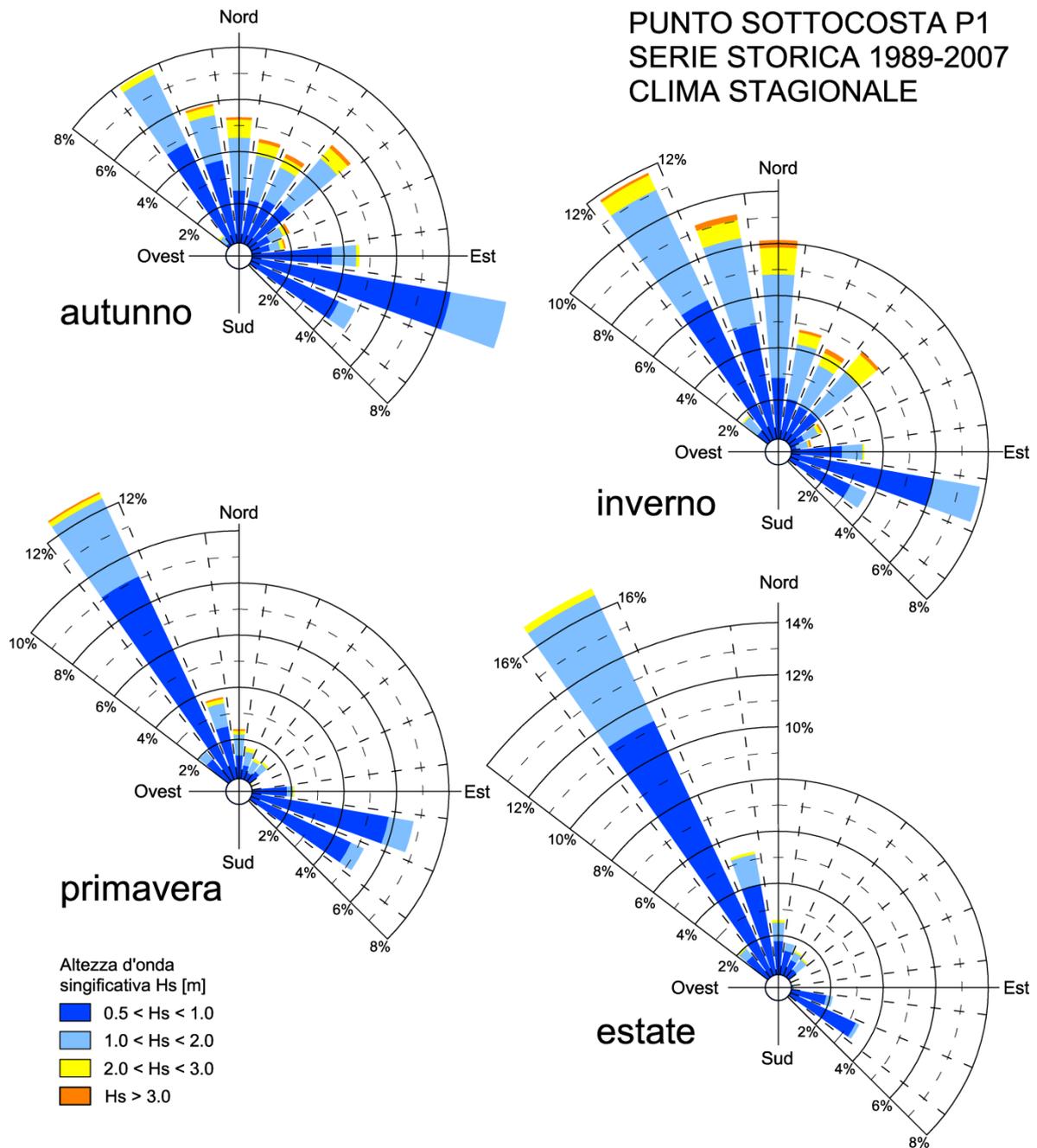


Figura 7-6. Punto P1 – CLIMA STAGIONALE distribuzione degli eventi di moto ondoso.

In autunno si presentano eventi provenienti dai settori di NO, di NE e di SE aventi frequenza di accadimento pressoché uguale, in questa stagione gli eventi più intensi provengono principalmente da N-NE.

In inverno si verificano gli eventi più intensi provenienti principalmente da N e da NE, con una percentuale significativa di eventi inferiori a 2 m provenienti da SE.

In primavera si riscontra una bimodalità con eventi provenienti da NO e da SE che appartengono principalmente alle classi di altezza d'onda $0.5 < H_s < 1.0$ e $1.0 < H_s < 2.0$.

L'estate è caratterizzata dalla prevalenza di eventi provenienti da NO appartenenti principalmente alle classi di altezza d'onda inferiori a 2.0 m.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST								Relazione meteomarina					
	09	017	DR	008	1	MAR								

Tabella 7-1. Punto sottocosta P1.
Distribuzione percentuale degli eventi ondosi per classi di Hs e direzione di provenienza
CLIMA ANNUALE

Dir. ° Nord	Classe di altezza d'onda significativa Hs [m]															Tot	>0.5
	<.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	³ 6.5		
10	1.4	1.5	1.1	0.6	0.4	0.2	0.06	0.02	0.01	0.00						5.2	2.3
20	1.2	1.1	1.2	0.5	0.2	0.1	0.05	0.01	0.01							4.3	2.0
30	0.9	0.9	1.0	0.4	0.2	0.1	0.04	0.01	0.00							3.6	1.8
40	1.0	1.0	1.2	0.7	0.3	0.2	0.1	0.04	0.01	0.01	0.00					4.5	2.6
50	0.8	0.7	0.9	0.4	0.2	0.1	0.04	0.01								3.1	1.6
60	0.6	0.6	0.5	0.1	0.07	0.04	0.02	0.01								2.1	0.8
70	0.5	0.4	0.3	0.08	0.03	0.02	0.02	0.00								1.3	0.5
80	0.8	0.6	0.6	0.1	0.06	0.03	0.00									2.2	0.8
90	1.0	1.0	1.3	0.3	0.05	0.01	0.00									3.7	1.6
100	1.2	1.5	3.1	0.7	0.08	0.01										6.6	3.8
110	1.3	3.0	3.8	0.7	0.06											8.8	4.5
120	1.0	3.6	2.9	0.3	0.00											7.9	3.3
130	0.4	1.0	0.3	0.01												1.7	0.3
140	0.4	0.2	0.03													0.7	0.0
150	0.05	0.05														0.1	0.0
160	0.05	0.01														0.1	0.0
170	0.03	0.00														0.0	0.0
180	0.02	0.00														0.0	0.0
190	0.01	0.01														0.0	0.0
200	0.00	0.00														0.0	0.0
210	0.01															0.0	0.0
220	0.01	0.01														0.0	0.0
230	0.01	0.00														0.0	0.0
240	0.01	0.00														0.0	0.0
250	0.02	0.01														0.0	0.0
260	0.02	0.01														0.0	0.0
270	0.02	0.01														0.0	0.0
280	0.04	0.02	0.00													0.1	0.0
290	0.1	0.03	0.00													0.2	0.0
300	0.4	0.3	0.03													0.7	0.0
310	0.4	0.4	0.3	0.06	0.01											1.2	0.4
320	0.5	1.3	1.6	0.5	0.1	0.02	0.00									4.0	2.3
330	0.8	3.7	5.6	2.3	0.6	0.2	0.06	0.01	0.00							13.3	8.8
340	1.3	4.2	4.1	1.4	0.4	0.1	0.05	0.00	0.00							11.7	6.1
350	1.3	2.5	1.7	0.7	0.3	0.1	0.08	0.04	0.00	0.00						6.8	3.0
360	1.3	1.8	1.5	0.7	0.5	0.2	0.1	0.04	0.01	0.00						6.2	3.1
Tot	18.8	31.4	33.1	10.7	3.6	1.5	0.6	0.2	0.06	0.02	0.00					100.0	49.8
Tot. cumul.		50.2	83.3	93.9	97.6	99.1	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

7.4 Eventi estremi sottocosta

Il database di correlazione largo riva ottenuto mediante l'applicazione del modello di inversa spettrale MEROPE ha consentito di valutare le caratteristiche del moto ondoso associate agli eventi estremi definiti al largo di Brindisi con l'analisi statistica dei valori estremi (vedi §Capitolo 6).

In Tabella 7-2 sono riportate le condizioni di moto ondoso, al largo di Brindisi e nel punto di propagazione di inversa spettrale P1, per tempi di ritorno TR = 10 anni, TR = 50 anni e TR = 100 anni.

Le altezze d'onda significative al largo sono state definite per i tre settori di traversia sulla base dell'analisi statistica degli eventi estremi, mentre per il periodo di picco è stata utilizzata la legge di correlazione del tipo $T_p = a \cdot H_s^b$ utilizzando i parametri a e b ottenuti con l'analisi di regressione lineare delle coppie T_p - H_s per i tre settori di traversia riportati nel paragrafo 5.3.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Tabella 7-2. Eventi estremi in corrispondenza del punto sottocosta P1.

SETTORE DI TRAVERSIA 300 °N - 30 °N							SETTORE DI TRAVERSIA 30 °N - 80 °N							SETTORE DI TRAVERSIA 80 °N - 160 °N						
TR = 10 ANNI							Sottocosta P1							Sottocosta P1						
H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)	
4.6	8.8	300	3.3	8.5	322		4.6	9.3	30	4.3	9.8	27		3.6	8.7	80	3.2	8.5	64	
4.6	8.8	330	4.0	8.5	338		4.6	9.3	45	4.2	9.8	38		3.6	8.7	100	2.9	7.3	74	
4.6	8.8	360	4.3	8.5	2		4.6	9.3	60	4.1	8.5	49		3.6	8.7	120	2.4	7.3	85	
4.6	8.8	30	4.3	8.5	27		4.6	9.3	80	3.9	8.5	61		3.6	8.7	140	1.9	6.3	97	
														3.6	8.7	160	1.5	6.3	107	
TR = 50 ANNI							Sottocosta P1							Sottocosta P1						
H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)	
5.2	9.1	300	3.7	8.5	323		5.6	9.9	30	5.1	9.8	26		4.5	9.6	80	3.7	8.5	60	
5.2	9.1	330	4.5	9.8	338		5.6	9.9	45	5.1	9.8	37		4.5	9.6	100	3.3	8.5	71	
5.2	9.1	360	4.8	9.8	2		5.6	9.9	60	4.9	9.8	47		4.5	9.6	120	2.6	7.3	82	
5.2	9.1	30	4.8	9.8	27		5.6	9.9	80	4.6	8.5	59		4.5	9.6	140	2.1	6.3	93	
														4.5	9.6	160	1.6	6.3	104	
TR = 100 ANNI							Sottocosta P1							Sottocosta P1						
H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)		H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)	
5.5	9.3	300	3.9	8.5	323		6.0	10.1	30	5.5	9.8	26		4.9	10.0	80	4.0	8.5	58	
5.5	9.3	330	4.8	9.8	339		6.0	10.1	45	5.4	9.8	36		4.9	10.0	100	3.4	8.5	69	
5.5	9.3	360	5.0	9.8	2		6.0	10.1	60	5.2	9.8	46		4.9	10.0	120	2.7	7.3	80	
5.5	9.3	30	5.1	9.8	27		6.0	10.1	80	4.8	8.5	58		4.9	10.0	140	2.1	6.3	92	
														4.9	10.0	160	1.63	6.3	103	

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 8 Moto ondoso generato all'interno del Porto di Brindisi

Il presente capitolo è focalizzato alla valutazione delle condizioni di moto ondoso che possono essere generate localmente dal vento all'interno del Porto di Brindisi.

A tal riguardo si è fatto riferimento al metodo di ricostruzione indiretta (hindcasting) noto come SMB (dalle iniziali degli autori Sverdrup-Munk-Bretschneider, 1947) e successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991).

La metodologia prevede la preliminare caratterizzazione della traversia (conformazione e profondità media dell'area di generazione) e la valutazione dei fetch efficaci secondo la metodologia illustrata in precedenza al paragrafo §2.1. Successivamente sulla base della velocità del vento è possibile determinare i valori di altezza d'onda significativa H_{mo} ed il periodo di picco T_p del moto ondoso generato.

L'area di generazione che interessa il tratto di mare compreso tra il pontile petrolchimico e costa morena est risulta confinata al Porto Esterno di Brindisi e presenta un'estensione di circa 1500 m solo per un limitato settore di traversia di compreso tra 300 °N e 10 °N (N-NO) con profondità comprese tra 10 e 15 m.

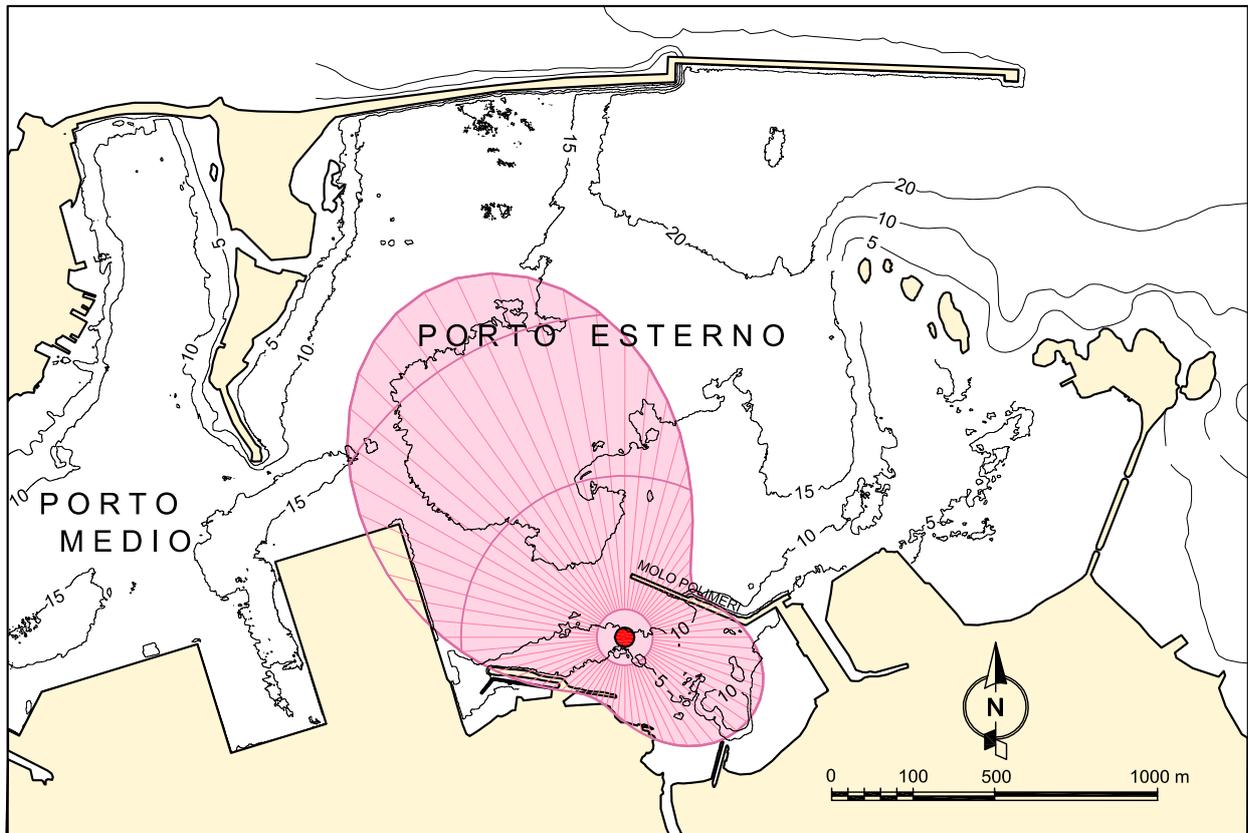
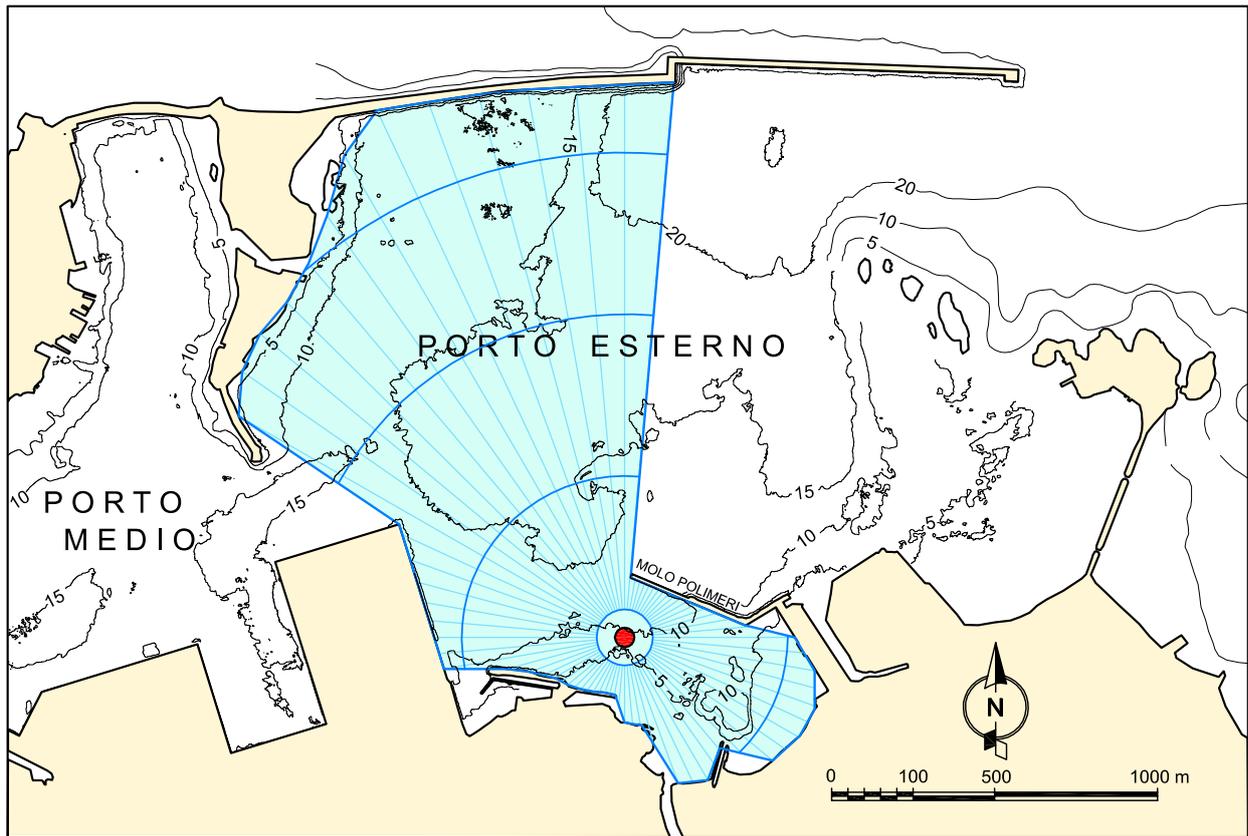
In Figura 8-1 ed in Tabella 8-1 sono presentati il settore di traversia ed il fetch efficace per il punto di interesse posto alla profondità di 10 m, localizzato a ridosso del molo polimeri, in prossimità delle nuove opere.

La massima estensione del fetch efficace è pari a 1200 m. Pertanto il moto ondoso che può essere generato all'interno del porto risulta limitato dall'estensione del fetch (*restricted fetch*) e dalla limitata profondità del fondale (*shallow water*).

Tabella 8-1. Area di generazione per il punto di interesse

Azimut	Fetch geografico	Fetch efficace	Deviazione vento/mare
[°Nord]	[m]	[m]	[gradi]
0	1700	900	-17
30	200	400	-33
60	200	300	-45
90	500	400	13
120	600	500	0
150	500	400	-13
180	300	300	-24
210	300	200	36
240	200	300	36
270	600	600	29
300	1400	1000	16
330	1700	1200	0

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1



**Figura 8-1. Area di generazione del moto ondoso all'interno del Porto di Brindisi.
In alto settore di traversia. In basso fetch efficaci.**

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Definita l'area di generazione è possibile applicare le seguenti equazioni per calcolare i parametri del moto ondoso generato dal vento:

$$H_{m0} = \frac{U_a^2}{g} \cdot 0.283 \cdot \tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.75} \right] \cdot \tanh \left\{ \frac{\frac{A}{0.283} \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.75} \right]} \right\} \quad (8.1)$$

$$T_p = \frac{U_a}{g} \cdot 7.540 \cdot \tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.375} \right] \cdot \tanh \left\{ \frac{\frac{B}{7.54} \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^C}{\tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.375} \right]} \right\} \quad (8.2)$$

$$t_{fetch, \min} = D \cdot \frac{F^{1-C}}{g^C \cdot U_a^{(1-2 \cdot C)}} \quad (8.3)$$

dove:

t_{fetch} è il tempo (s) necessario a raggiungere le condizioni di *fetch limited*

d è la profondità (m) del fondale (assunto costante) relativo all'area di generazione.

U_a velocità del vento (m/s) "regolarizzata" (adjusted) per tenere conto della non linearità del legame esistente tra la velocità del vento e l'azione tangenziale di questo sulla superficie marina.

F estensione (m) della superficie lungo la quale si esplica l'azione del vento (fetch efficace).

g accelerazione di gravità pari a 9.81 (m/s²).

I parametri A, B, C e D sono funzioni delle conformazione dell'area di generazione. Per condizioni di *restricted fetch* valgono rispettivamente: $A=0.0015$, $B=0.3704$, $C=0.28$ e $D=51.09$.

Per la definizione del termine U_a si fa riferimento alla relazione (SPM, 1984):

$$U_a = 0.71 \cdot U_{10}^{1.23} \quad (8.4)$$

ove U_{10} esprime la velocità del vento relativa alla quota standard di misura pari a 10 m sul l.m.m..

L'abaco riportato in Figura 8-2, generato utilizzando l'equazione 8.1 utilizzando una profondità di 15 m, consente di determinare l'altezza d'onda significativa al variare del fetch efficace e dell'intensità del vento U_a .

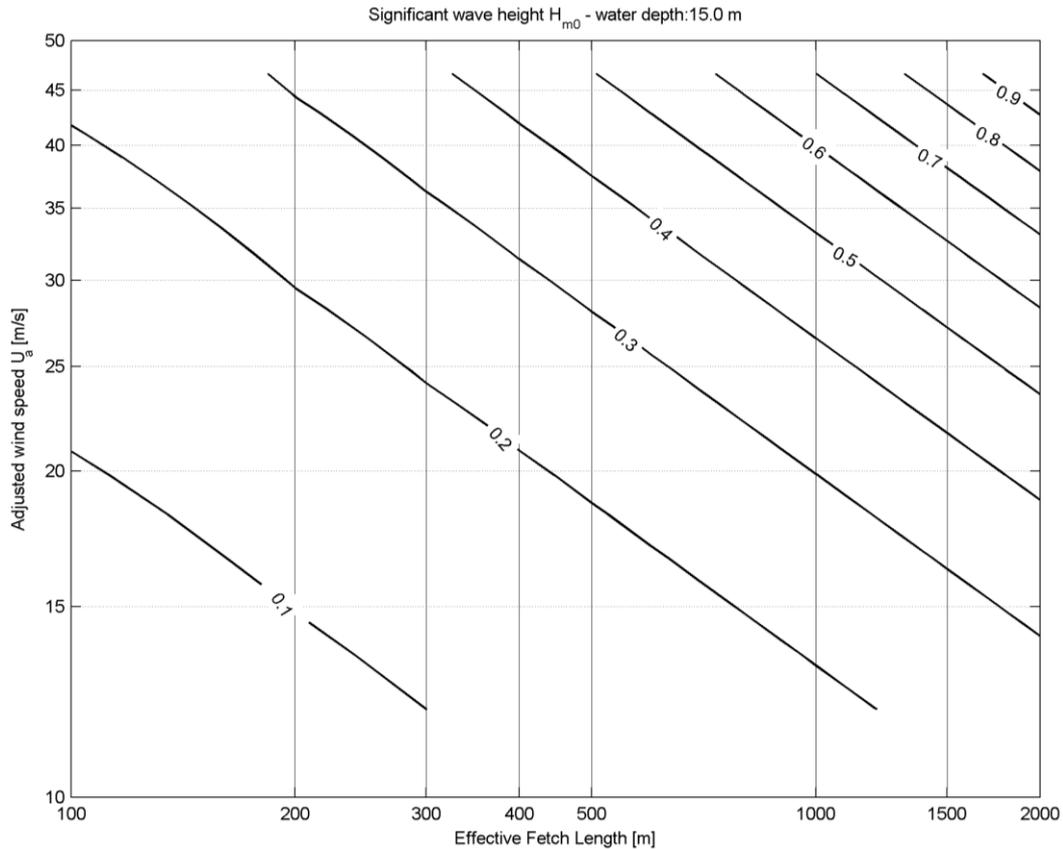


Figura 8-2. Abaco di generazione del moto ondoso in condizioni di fetch limitato e con profondità $d=15$ m.

Prendendo in considerazione venti variabili tra 10 e 30 m/s provenienti dalla direzione 330 °N, cui corrisponde il massimo fetch efficace (1200 m), sono stati ottenuti, assumendo una profondità di 15 m, i valori di altezza d'onda e periodo di picco riportati in Tabella 8-2.

Assumendo come **condizione estrema** un vento di 30 m/s (\approx 60 nodi), superiore al valore caratteristico della velocità del vento indicato dalla NTC 2008 (27 m/s), si ottiene un'altezza d'onda significativa $H_{m0} = 0.8$ m con un periodo $T_p = 2.5$ s.

Tabella 8-2. Moto ondoso generato all'interno del Porto di Brindisi in prossimità delle nuove opere in funzione della velocità del vento U_{10} (profondità $d=15$ m).

U_{10} [m/s]	U_a [m/s]	H_{m0} [m]	T_p [s]	t_{fetch} [min]
10	12.1	0.2	1.5	25
15	19.9	0.3	1.9	20
20	28.3	0.5	2.2	17
25	37.2	0.6	2.5	15
27	40.9	0.7	2.6	14
30	46.6	0.8	2.8	14

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 9 Variazioni del livello marino (maree e sovralti)

In generale per quanto riguarda le variazioni del livello marino a breve termine si possono distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica).

Per l'analisi dei livelli marini sono stati acquisiti i dati mareografici relativi alla stazione di Brindisi (regione Puglia - Autorità di Bacino - progetto SIMOP) relativi agli anni 2007 e 2008.

9.1 Marea astronomica

Nel mar Mediterraneo la marea astronomica è di tipo misto, semi-diurno. Le ampiezze della marea sono generalmente modeste, nell'ordine di pochi decimetri, mentre nell'alto Adriatico le ampiezze variano da 0.80 ma 1.10 m, così come a Gibilterra. A Suez possono raggiungere i 2.0 m.

La marea astronomica viene generata dall'attrazione gravitazionale della luna (70%) e del sole (30%). Per la valutazione della componente astronomica della marea si è proceduto a effettuare una analisi armonica delle misure di livello in modo da calcolare le costanti armoniche che caratterizzano l'oscillazione nel paraggio in esame e scomporre le misure in *componente astronomica* e *componente residua*.

È stata utilizzata l'applicazione T_TIDE, sviluppata da Pawlowicz, Beardsley e Lentz³, che consente di effettuare un'analisi di tipo armonico del segnale registrato, che viene modellato come una somma finita di sinusoidi con frequenze legate alle costanti armoniche di marea che governano l'oscillazione del livello marino.

In Figura 9-1 è rappresentato il risultato dell'analisi effettuata sui livelli registrati dal mareografo di Brindisi nei mesi di maggio e giugno 2008. Il grafico permette di osservare l'andamento del livello registrato, della componente astronomica valutata e della componente residua. In allegato sono riportati i risultati e i riferimenti dell'analisi effettuata.

³ Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz, "Classical Tidal "Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE", Computers and Geosciences, 28 (2002), 929-937.

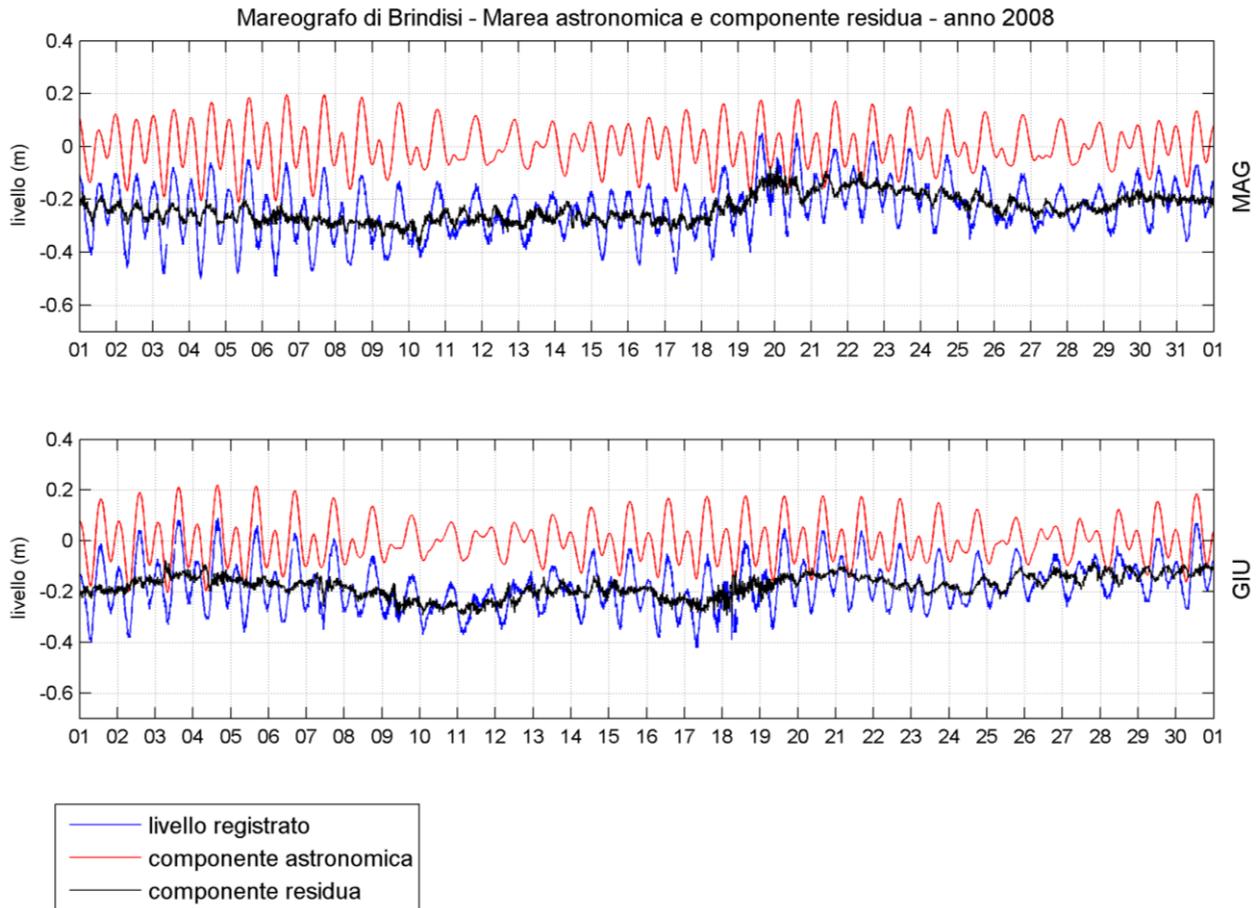


Figura 9-1. Determinazione della componente astronomica e della componente residua per il mareografo di Brindisi. Periodo di analisi maggio-giugno 2008.

L'analisi della componente astronomica della variazione di livello del mare ha permesso di determinare i valori massimi e minimi dell'oscillazione del livello dovuti alla componente astronomica.

I livelli di marea astronomica attesi nel paraggio in esame, riferiti al livello medio mare (MSL) ed al livello di riferimento delle carte nautiche (Chart Datum CD) sono riportati in **Errore. L'origine iferimento non è stata trovata..**

Tabella 9-1. Livelli di marea per il paraggio in esame.

		m (MSL)	m (CD)
Livello della più alta marea astronomica	HAT	0.23	0.38
Livello medio delle alte maree sizigiali	MHWS	0.15	0.30
Livello medio delle più alte alte maree	MHHW	0.12	0.28
Livello medio mare	MSL	0.00	0.15
Livello medio delle più basse basse maree	MLLW	-0.12	0.025
Livello medio delle basse maree sizigiali	MLWS	-0.15	0.00
Livello della più bassa marea astronomica	LAT	-0.23	-0.08

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

9.2 Marea meteorologica

Per la definizione della marea meteorologica si distinguono:

effetto barico: considerata una condizione di minimo barico (legata al passaggio dei centri di bassa pressione caratterizzanti i cicloni) pari a 980 mb ed una condizione di massimo barico (legata al passaggio dei centri di alta pressione caratterizzanti gli anticicloni) pari a 1040 mb, rispetto ad una condizione media di 1013 mb; ne consegue (da un punto di vista prettamente statico) un effetto di sovrizzo marino massimo pari a +0.33 m ed un abbassamento massimo del livello marino pari a -0.27 m;

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; nel caso in esame, per i venti prevalenti di NordOvest si può considerare un'estensione della piattaforma continentale di circa 40 km delimitata all'incirca dall'isobata -200 m s.l.m.

Il calcolo del sovrizzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

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

dove:

D = 200 m - profondità limite assunta per la piattaforma continentale;

L_p = 40000 m - estensione della piattaforma continentale (per venti provenienti da NO);

d = 10.0 m - profondità di calcolo;

g = 9.81 m/s² - accelerazione di gravità;

K_p = 3 × 10⁻⁶ - costante;

U = 20 m/s - velocità del vento persistente in condizioni estreme.

La risoluzione della relazione implicita fornisce un valore del sovrizzo, alla profondità di -10 m s.l.m., pressoché trascurabile, pari infatti a 0.08 m (7.7 cm).

Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo a riva (d=0.5 m) pari a circa 0.14 m (14 cm).

9.3 Conclusioni

Sulla base dei precedenti risultati è possibile stimare le massime variazioni di livello marino atteso per il sito in esame. Considerando la ridotta probabilità congiunta di occorrenza della più alta marea astronomica con il massimo sovrizzo meteorologico, per il calcolo dei livelli estremi si è fatto riferimento ai livelli previsti in fase di sizigia (MHWS e MLWS).

Tabella 9-2. Stima dei livelli attesi per il sito in esame.

INNALZAMENTO		ABBASSAMENTO	
Massimo livello atteso attuale	m (MSL)	Minimo livello atteso attuale	m (MSL)
Alta marea MHHW	0.12	Bassa marea MLLW	-0.12
Sovrizzo (set-up) barico	0.33	Set-down meteorologico (effetto barico)	-0.27
Sovrizzo di vento	0.07		
	0.52		-0.39

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina				
		09	017	DR	008	1

Capitolo 10 Nebbie

Le uniche informazioni statistiche disponibili sono state reperite sulla pubblicazione A.M.-ENEL "Caratteristiche diffusive dei bassi strati dell'atmosfera", relative alla stazione A.M. di Brindisi. I dati registrati con cadenza trioraria sono sintetizzati in Tabella 10-1 dove sono riportati il numero di eventi registrati dal gennaio 1951 al dicembre 1977 e la loro persistenza. Complessivamente nei 27 anni di osservazioni si sono verificati 206 eventi di nebbia. Gli eventi di nebbia si presentano di conseguenza mediamente 7.63 gg/anno.

Le nebbie si presentano prevalentemente nelle stagioni autunnali e invernali mentre sono meno frequenti in primavera e quasi del tutto assenti in estate. La persistenza degli eventi osservata mostra che circa nel 48% dei casi la nebbia ha durata inferiore a 6 ore e nel 21% dei casi si hanno durate superiori a 9 ore. Nebbie con durata superiore a 12 ore si sono verificate 28 volte in 27 anni, mediamente 1 volta l'anno.

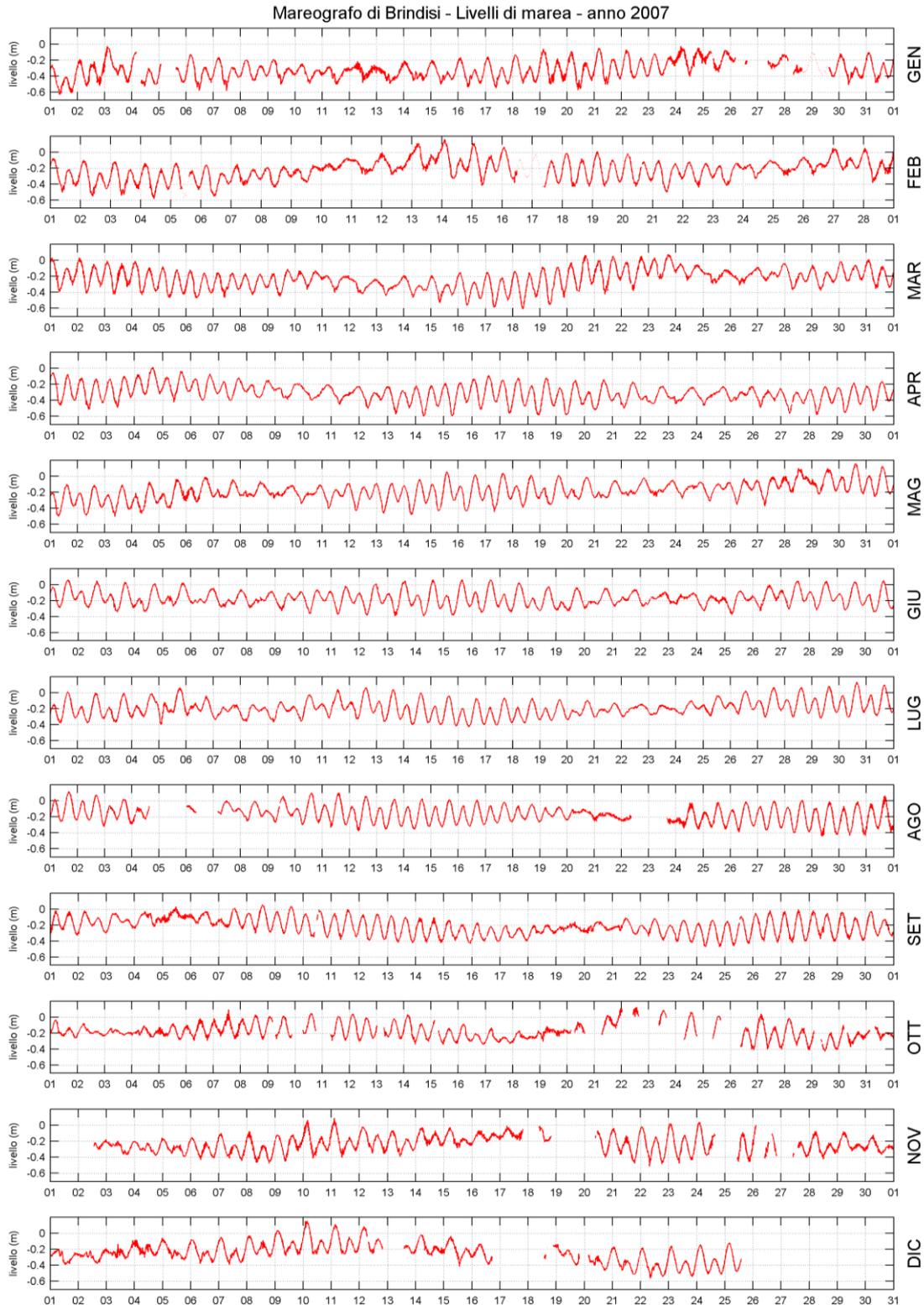
**Tabella 10-1. Persistenza delle nebbie registrate dalla stazione meteorologica di Brindisi A.M. 320.
Periodo di osservazione dal 1/1951 al 12/1977 [fonte A.M.-ENEL]**

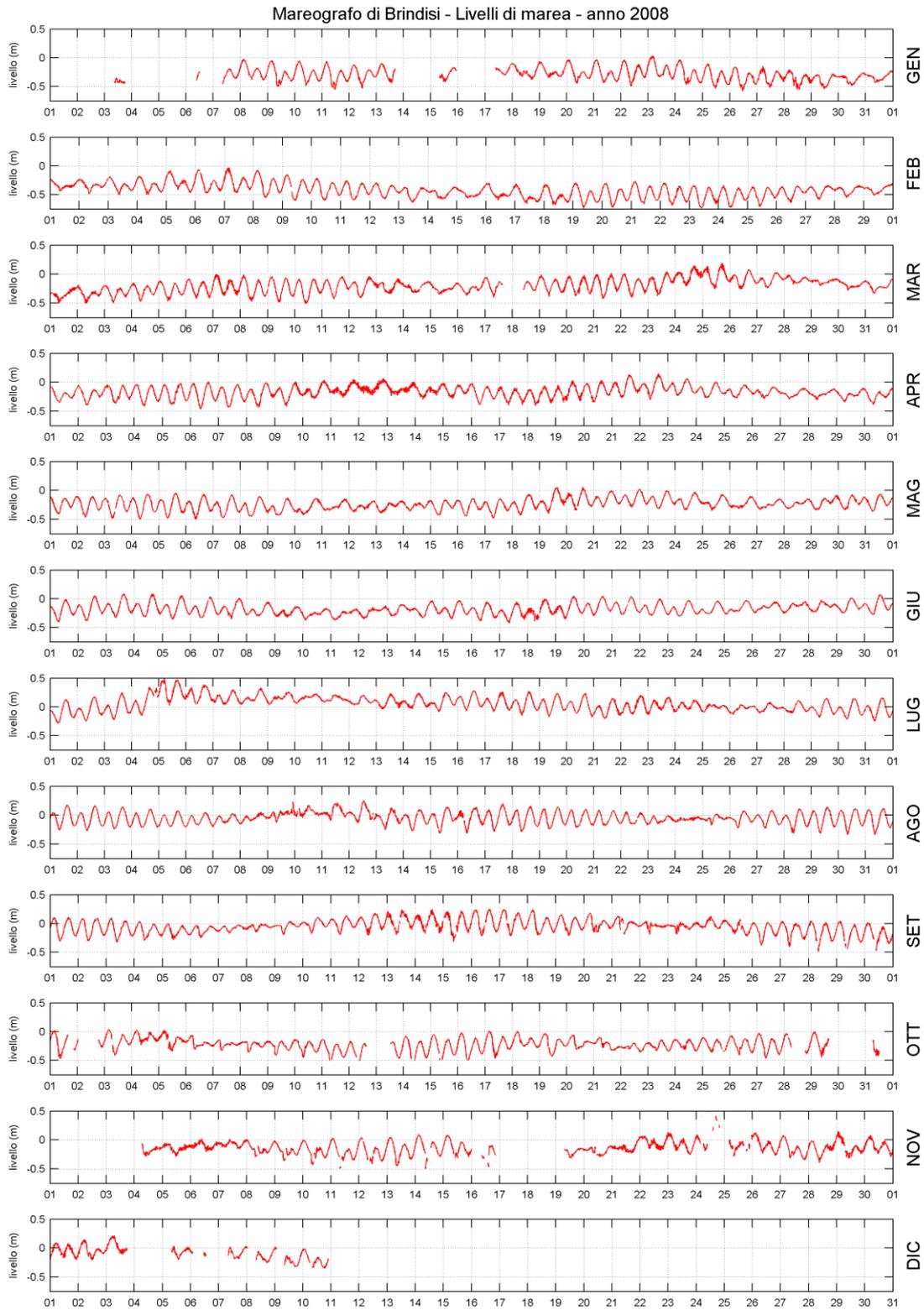
	inverno	primavera	estate	autunno	TOTALE		
n° eventi	42	71	18	75	206		
distribuzione %	20.39%	34.47%	8.74%	36.41%	100.00%		
eventi l'anno	1.56	2.63	0.67	2.78	7.63		
durata (ore)	persistenze delle nebbie registrate - frequenze cumulate stagionali e annuali (‰)					eventi	%
	inverno	primavera	estate	autunno	TOTALE		
3	1000	1000	1000	1000	1000	206	100%
6	452	592	167	467	481	99	48%
9	214	254	167	173	209	43	21%
12	0.00	0.00	0.00	93	34	7	3%
15	0.00	0.00	0.00	93	34	7	3%
18	0.00	0.00	0.00	93	34	7	3%
21	0.00	0.00	0.00	93	34	7	3%
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0%
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0%
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0%
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0%
>33	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0%
massima persistenza osservata (ore)							
	9	9	9	21	21		

Allegato A

Misure di livello del mareografo di Brindisi

Anno 2007 - Anno 2008





Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione meteomarina					
		09	017	DR	008	1	MAR

Allegato B

Analisi armonica del livello di marea registrato dal mareografo di Brindisi, per la determinazione delle costanti armoniche di marea, effettuata con il software `t_tide` sviluppato da Rich Pawlowicz, Bob Beardsley, Steve Lentz.

```
file name: marea_out.txt
date: 04-Aug-2009
nobs = 5857,  ngood = 5836,  record length (days) = 61.01
start time: 01-May-2008
rayleigh criterion = 1.0
Greenwich phase computed with nodal corrections applied to amplitude \n and
phase relative to center time
```

```
x0= -0.209,  x trend= 0
```

```
var(x)= 0.010099  var(xp)= 0.0069846  var(xres)= 0.0030952
percent var predicted/var original= 69.2 %
```

```
tidal amplitude and phase with 95% CI estimates
```

tide	freq	amp	amp_err	pha	pha_err	snr
MM	0.0015122	0.0309	0.039	259.16	74.19	0.64
MSF	0.0028219	0.0128	0.028	16.93	172.75	0.21
ALP1	0.0343966	0.0003	0.003	125.33	220.53	0.0073
2Q1	0.0357064	0.0008	0.002	44.17	206.61	0.095
Q1	0.0372185	0.0034	0.004	45.65	77.66	0.87
*O1	0.0387307	0.0148	0.005	39.51	19.14	9.8
NO1	0.0402686	0.0019	0.005	103.25	165.06	0.17
*K1	0.0417807	0.0617	0.005	64.62	3.81	1.8e+002
*J1	0.0432929	0.0059	0.004	80.28	41.89	2.4
OO1	0.0448308	0.0036	0.004	83.63	61.04	0.87
*UPS1	0.0463430	0.0031	0.003	298.80	57.79	1.3
EPS2	0.0761773	0.0007	0.003	87.09	199.04	0.07
*MU2	0.0776895	0.0036	0.003	90.37	64.80	1.3
*N2	0.0789992	0.0167	0.004	72.04	12.39	16
*M2	0.0805114	0.0834	0.004	77.92	2.84	4.3e+002
*L2	0.0820236	0.0029	0.003	101.61	62.95	1.1
*S2	0.0833333	0.0457	0.003	77.64	5.15	1.7e+002
ETA2	0.0850736	0.0022	0.002	78.90	70.79	0.9
MO3	0.1192421	0.0012	0.001	165.72	67.91	0.87
*M3	0.1207671	0.0019	0.002	202.76	56.23	1
MK3	0.1222921	0.0009	0.001	264.43	105.96	0.52
*SK3	0.1251141	0.0044	0.002	336.09	20.98	7.9
MN4	0.1595106	0.0002	0.001	356.00	205.70	0.038
M4	0.1610228	0.0010	0.001	40.63	70.35	0.67
SN4	0.1623326	0.0004	0.001	22.88	161.34	0.21
*MS4	0.1638447	0.0012	0.001	305.28	57.46	1
*S4	0.1666667	0.0060	0.001	280.66	13.27	31
2MK5	0.2028035	0.0002	0.001	245.16	164.26	0.13
*2SK5	0.2084474	0.0016	0.001	200.81	34.89	2.7
2MN6	0.2400221	0.0002	0.001	210.57	193.39	0.051
M6	0.2415342	0.0002	0.001	233.02	203.23	0.055
2MS6	0.2443561	0.0005	0.001	327.43	135.35	0.37
2SM6	0.2471781	0.0004	0.001	6.37	121.24	0.23
3MK7	0.2833149	0.0003	0.001	243.05	114.40	0.27
M8	0.3220456	0.0004	0.001	284.16	95.11	0.57