

NUOVO TERMINALE MARITTIMO

UBICATO ALL'ESTERNO DEL PORTO DI MONOPOLI PER
BIOLIQUIDI E BIOCARBURANTI CON ANNESSA PIPELINE
DI COLLEGAMENTO CON I SERBATOI DI STOCCAGGIO

PROGETTO DI FATTIBILITÀ

PROPONENTE:

MAGAZZINI GENERALI ITALIANI

via Baione 200
70043 MONOPOLI



Magazzini Generali Italiani s.r.l.

PROGETTAZIONE:

OPERE MARITTIME:



Via Monte Zebio, 40
00195 ROMA

ing. Paolo CONTINI
ing. Marco DEL BIANCO
ing. Giuseppe VELLA

OPERE CIVILI A TERRA ED IMPIANTI:

ing. Gaetano DI MARZO
Via Camillo Rosalba, 49
70124 BARI

CONSULENZA AMBIENTALE:

ATProgetti s.r.l.

arch. Marta Giulia SCAPELLATI
Via Ludovico di Savoia, 18
00185 Roma

Elaborato:

MR02

Titolo:

OPERE MARITTIME

STUDIO METEOMARINO

Rev.	Data	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	10.10.2022	Emissione	Vella	Del Bianco	Contini
		Nome file: 22 014 MR 002 0			



Magazzini Generali Italiani S.r.l.

Nuovo Terminale Marittimo ubicato all'esterno del porto di Monopoli per bioliquidi e biocarburanti con annessa pipeline di collegamento con i serbatoi di stoccaggio

PROGETTO DI FATTIBILITÀ

STUDIO METEOMARINO

MODIMAR s.r.l.
Via Monte Zebio 40
00195 - Roma

telefono	06-3269361
fax	06-32694630
email	info@modimar.it
web	www.modimar.it



Sommario

Capitolo 1	Premessa	3
Capitolo 2	Inquadramento geografico	4
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 dall' anemometro di Monopoli	12
Capitolo 4	Definizione del clima di moto ondoso	21
4.1	Ondametro di Monopoli – descrizione della stazione di misura	21
4.2	Clima di moto ondoso	23
4.3	Distribuzione degli eventi in base al periodo e correlazione altezza-periodo	30
Capitolo 5	Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso al largo	33
Capitolo 6	Clima di moto ondoso sottocosta	42
6.1	Applicazione del modello di inversa spettrale MEROPE	42
6.1.1	Griglia di calcolo	42
6.1.2	Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo	43
6.1.3	Risultati del modello di inversa spettrale nel punto sottocosta P1	44
6.2	Analisi del clima di moto ondoso sottocosta	46
6.3	Eventi estremi sottocosta nel punto P1	56
6.4	Frangimento	58
Capitolo 7	Studio idrodinamico	60
7.1	Griglie di calcolo	60
7.2	Condizioni di al contorno	62
7.3	Risultati della propagazione degli eventi di moto ondoso	62
Capitolo 8	Variazioni del livello marino (maree e sovralti)	66
8.1	Marea astronomica	66
8.2	Marea meteorologica	69
8.3	Variazioni stagionali ed a lungo termine	69
8.4	Conclusioni	70
Capitolo 9	Temperatura e pressione dell'aria	71
Capitolo 10	Nebbie	72
APPENDICE A:	Risultati della propagazione degli eventi di moto ondoso con il modello SWAN	73
APPENDICE B:	Propagazione degli eventi di moto ondoso lungo la PL1	81
APPENDICE C:	Propagazione degli eventi di moto ondoso lungo la PL2	85
APPENDICE D:	Propagazione degli eventi di moto ondoso lungo la PL3	89

Capitolo 1 Premessa

La presente relazione riporta i risultati dello studio meteomarino condotto per il Progetto di fattibilità del Nuovo Terminale Marittimo ubicato all'esterno del porto di Monopoli a servizio dello stabilimento di "Magazzini Generali Italiani".

Uno degli aspetti principali che possono influenzare la progettazione di un terminale marittimo, sia dal punto di vista della struttura che dal punto di vista dell'operatività del terminale, è l'esposizione meteomarina del sito in esame. È di fondamentale importanza quindi conoscere le caratteristiche del moto ondoso, del vento, delle correnti e dei livelli marini che sono causa delle principali azioni sulle strutture e sulle navi all'ormeggio. Lo studio ha avuto le seguenti finalità:

- analisi dei venti e delle loro caratteristiche in termini di direzione e intensità e frequenza;
- definizione delle caratteristiche del moto ondoso, al largo e in prossimità del sito di progetto, in modo da valutare le condizioni medie di esposizione che possono influenzare la progettazione del terminale sia in termini di operatività che di resistenza delle strutture. Per questo oltre ad analizzare il clima medio di moto ondoso è stata valutata, su base statistica, la legge di distribuzione dei valori estremi in modo da poter definire l'evento di progetto;
- valutazione delle variazioni del livello del mare;
- analisi delle variazioni di annuali della temperatura dell'aria e della pressione atmosferica;
- analisi dei dati di nebbia per il paraggio in esame.

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

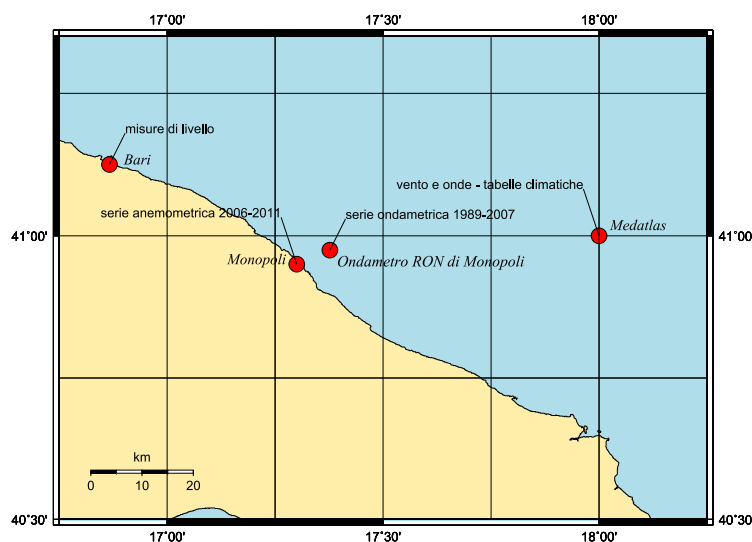


Figura 1-1. Individuazione delle diverse fonti di dati utilizzati nel presente studio.

Capitolo 2

Inquadramento geografico

Il comune di Monopoli si trova in Puglia, in provincia di Bari, lungo la costa che si estende tra Bari e Brindisi che si affaccia sul Mare Adriatico. Il porto di Monopoli rappresenta il confine dell'unità fisiografica Bari-Monopoli caratterizzata da una tipologia di costa alta formata da depositi di tipo calcareo.

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. Data la vicinanza dell'ondametro al sito di interesse, si ritiene che il clima d'onda definito dall'ondametro sia rappresentativo del clima d'onda al largo del paraggio in esame.



Figura 2-1. Inquadramento geografico e ubicazione del sito di Monopoli.

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"). Ponendosi al largo del sito in esame in corrispondenza della boa ondometrica di Monopoli è possibile individuare la traversia geografica, utilizzando un riferimento polare, tracciando i limiti della superficie marina per ogni settore di discretizzazione.

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.. Il settore di traversia risulta limitato a terra da Punta Penne a Sud-Est e dalla costa di Bari a Nord-Ovest. La boa ondometrica è pertanto esposta al mare aperto per il settore compreso tra 290° N e 130° N. In Figura 2-2 è rappresentato il fetch geografico per l'ondametro di Monopoli. In Tabella 2-1 sono riportati i valori in forma numerica degli stessi fetch. Considerato che nel Mar Tirreno le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500 km, il fetch geografico è stato limitato a tale dimensione.

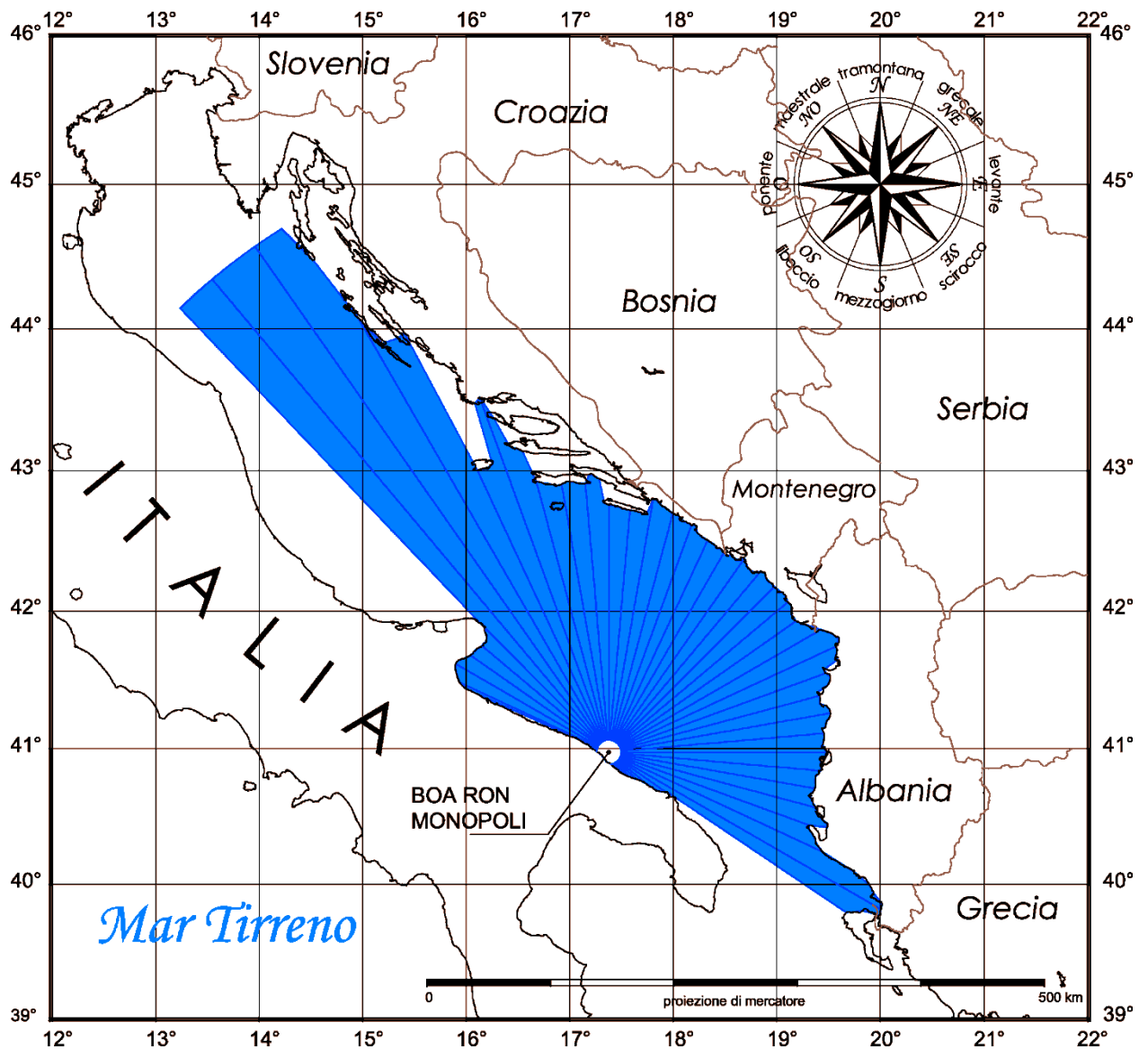


Figura 2-2. Fetch geografici per la boa ondometrica di Monopoli.

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 spira il vento contribuiscono anche le porzioni di mare dalle direzioni comprese in un settore di $\pm\theta$ rispetto alla direzione media di azione del vento. Di conseguenza la lunghezza dei *fetch efficaci* risulta essere diversa da quella dei *fetch geografici*. Il calcolo dei *fetch efficaci* può essere eseguito in base alla seguente relazione:

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

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

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

F_i : lunghezza del fetch geografico 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).

Il fetch efficace è stato ottenuto utilizzando il modello ENIF, per il calcolo automatico della precedente equazione.

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

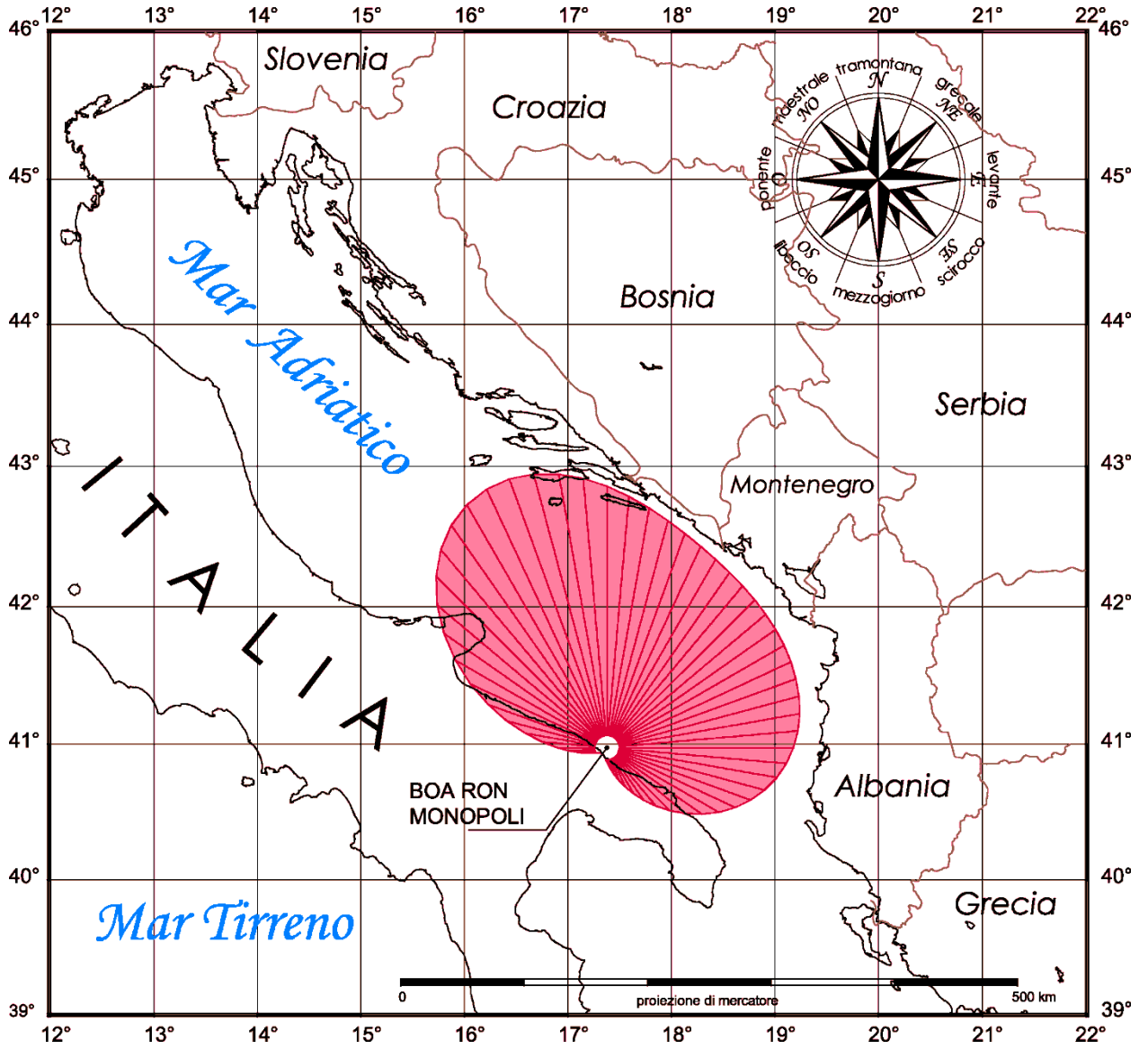


Figura 2-3. Fetch efficace per la boa ondometrica di Monopoli.

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

Azimut	Geographical Fetch	Effective Fetch	Wind/wave offset	Azimut	Geographical Fetch	Effective Fetch	Wind/wave offset
[°North]	[km]	[km]	[Degrees]	[°North]	[km]	[km]	[Degrees]
0	200.2	211.7	-10.0	180	8.7	11.9	-46.0
10	208.3	197.0	-13.0	190	8.7	8.7	-50.0
20	195.8	184.6	-15.0	200	8.7	7.2	-54.0
30	186.7	176.0	-13.0	210	8.7	6.5	-57.0
40	191.3	171.0	-7.0	220	8.7	6.2	60.0
50	189.2	168.0	-3.0	230	6.1	6.5	56.0
60	198.5	165.7	-3.0	240	6.3	8.2	52.0
70	187.2	162.9	-4.0	250	6.0	12.6	48.0
80	182.3	158.5	-6.0	260	7.3	22.4	43.0
90	176.3	151.1	-8.0	270	9.2	40.2	38.0
100	169.5	139.7	-12.0	280	12.2	67.3	32.0
110	172.9	123.9	-16.0	290	20.8	102.6	27.0
120	254.6	104.5	-20.0	300	143.2	141.9	21.0
130	39.5	83.0	-24.0	310	133.9	179.6	16.0
140	25.8	61.8	-29.0	320	500.0	209.4	10.0
150	19.2	43.0	-33.0	330	406.3	227.1	5.0
160	13.3	28.2	-38.0	340	305.7	231.5	-1.0
170	9.9	18.0	-42.0	350	220.4	224.9	-6.0

Fetches geografici ed efficaci

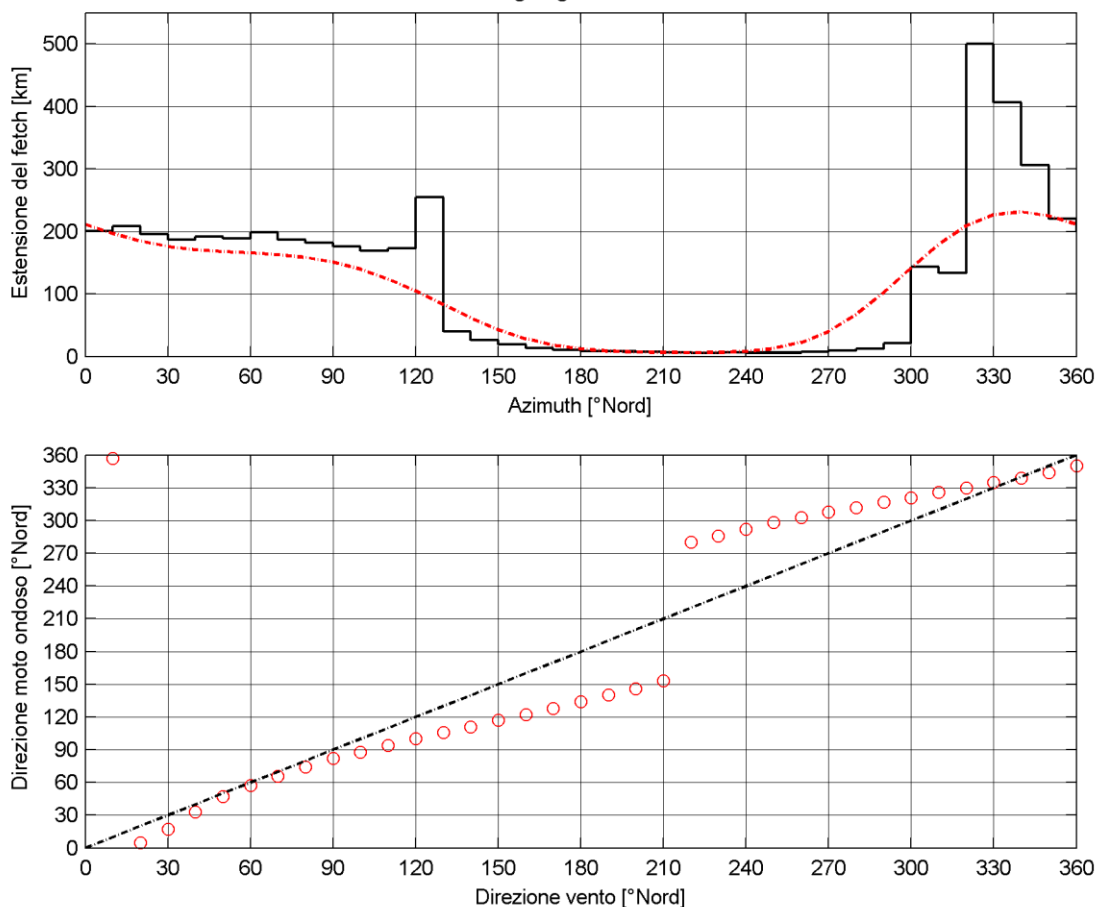


Figura 2-4. Estensione dei fetches e legge di deviazione vento/mare per l'ondametro di Monopoli.

Capitolo 3

Regime dei venti

Per la definizione del regime del vento del sito in esame si è fatto riferimento 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. I dati, rappresentativi di un punto al largo della costa compresa tra Monopoli e Brindisi sono stati confrontati ed integrati con i dati provenienti dall'anemometro del porto di Monopoli di cui è stata acquisita la serie storica dal 2006 al 2011.

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.

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

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 alle 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 velocità 2-4 m/s, 4-6 m/s e 6-8 m/s, con frequenza di accadimento rispettivamente pari al 5%, 6% e 5%.

I venti con velocità superiore a 10 m/s (20 nodi) hanno una frequenza di accadimento del 7.0% e si presentano in maggior misura da S-SE. Venti con velocità superiore a 10 m/s si presentano anche da maestrale e da grecale ma con frequenze di accadimento molto minori.

In inverno e primavera si verificano le condizioni di vento dominanti con direzione prevalente S-SE e direzione secondaria N-NW.

In estate si osserva una prevalenza di venti provenienti da maestrale [307.5° N – 352.5° N] ma con velocità del vento generalmente non superiori a 10 m/s.

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			

Numero totale di osservazioni: 14608

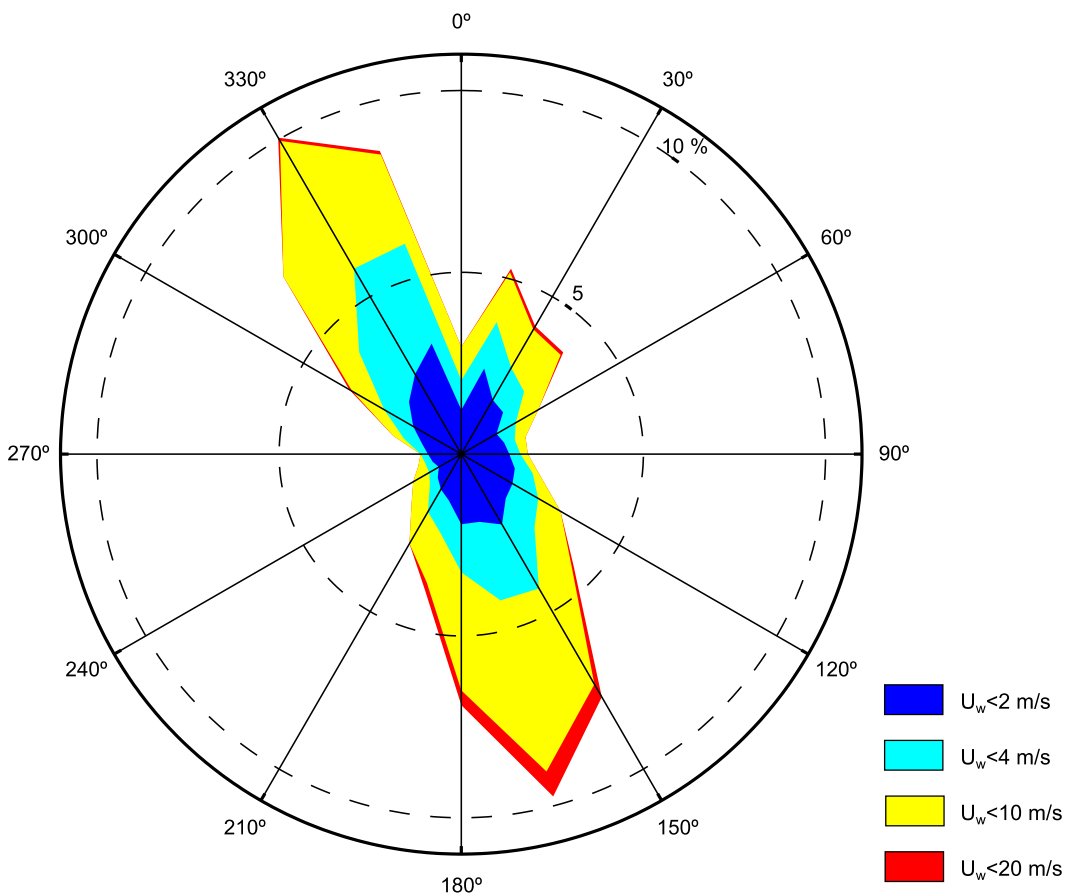


Figura 3-1. Rosa di distribuzione dei venti per il punto Medatlas al largo di Monopoli.

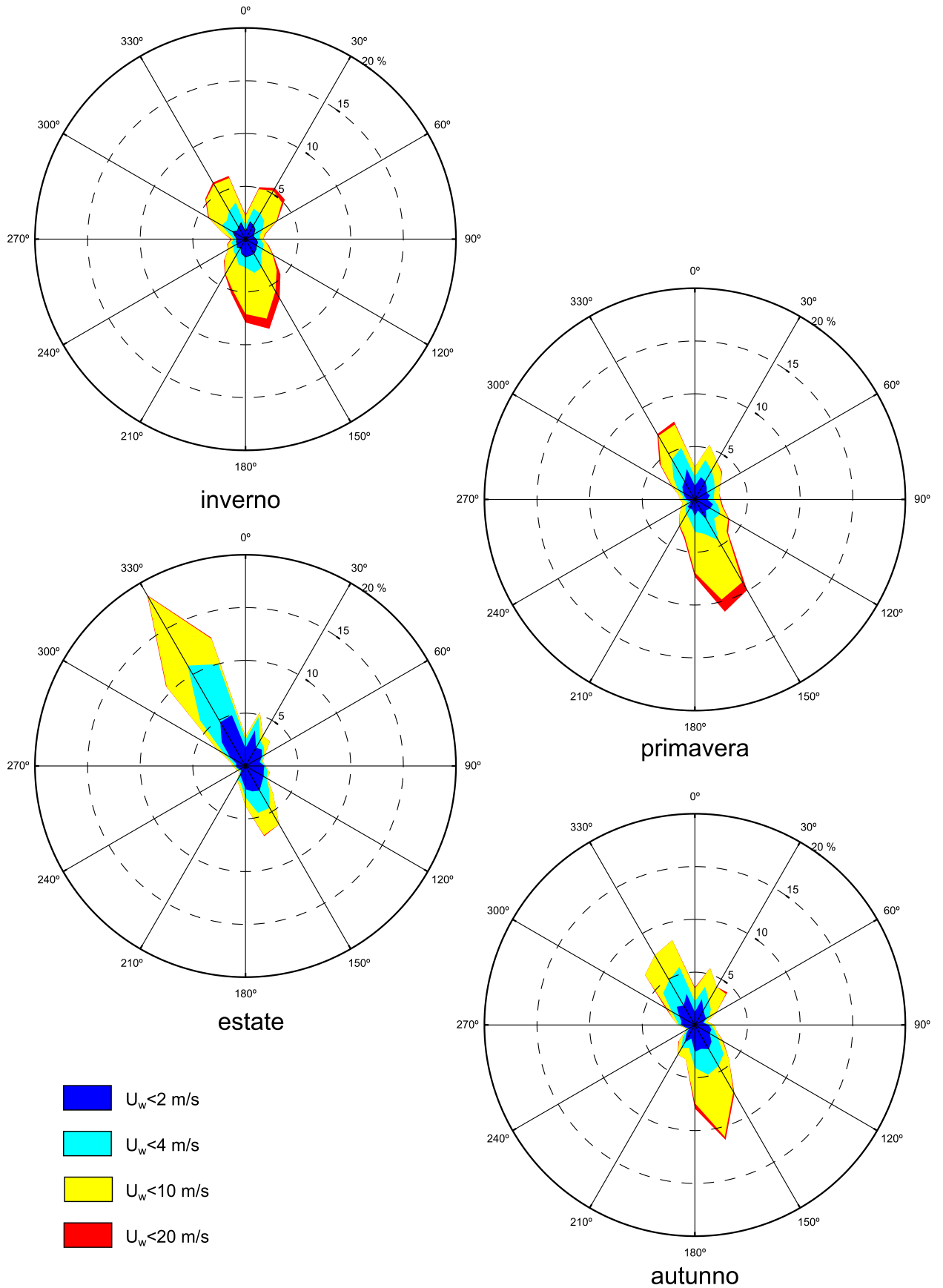


Figura 3-2. Medatlas, distribuzione stagionale dei venti per il punto al largo di Monopoli.

3.2 Dati di vento desunti dall'anemometro di Monopoli

La Regione Puglia, nell'ambito del programma "monitoraggio degli interventi di difesa delle coste e dell'evoluzione del litorale – POR 2000-2006", ha predisposto una rete di monitoraggio dei parametri meteo – oceanografici. Tra le diverse stazioni di monitoraggio è presente la stazione anemometrica di Monopoli situata all'interno del bacino portuale e attiva dal settembre del 2006. La serie storica trionaria dei dati della stazione, relativi al periodo settembre 2006 – giugno 2011, è stata acquisita sul web (www.puglia-coste.it).

Anemometro di Monopoli serie storica Settembre 2006 - Giugno 2011

anno	mese	eventi registrati	rendimento	anno	mese	eventi registrati	rendimento	anno	mese	eventi registrati	rendimento	
2006	9	14	5.8	2008	1	243	98.0	2010	1	246	99.2	
	10	243	98.0		2	1	0.4		2	217	96.9	
	11	233	97.1		3	243	98.0		3	245	98.8	
	12	236	95.2		4	240	100.0		4	229	95.4	
	2007	1	234		94.4	5	236		95.2	5	243	98.0
		2	220		98.2	6	237		98.8	6	239	99.6
		3	226		91.1	7	175		70.6	7	227	91.5
		4	240		100.0	8	-		-	8	237	95.6
		5	248		100.0	9	-		-	9	178	74.2
		6	239		99.6	10	4		1.6	10	222	89.5
		7	248		100.0	11	211		87.9	11	202	84.2
		8	244		98.4	12	248		100.0	12	231	93.1
9		239	99.6	2009	1	246	99.2	2011	1	242	97.6	
10		245	98.8		2	171	76.3		2	219	97.8	
11		240	100.0		3	239	96.4		3	232	93.5	
12		243	98.0		4	223	92.9		4	191	79.6	
					5	244	98.4		5	241	97.2	
					6	239	99.6		6	240	100.0	
					7	247	99.6	Numero totale eventi registrati				
					8	224	90.3	12241				
					9	225	93.8	Rendimento complessivo ondametro				
					10	191	77.0	86.74				
					11	239	99.6					
					12	242	97.6					

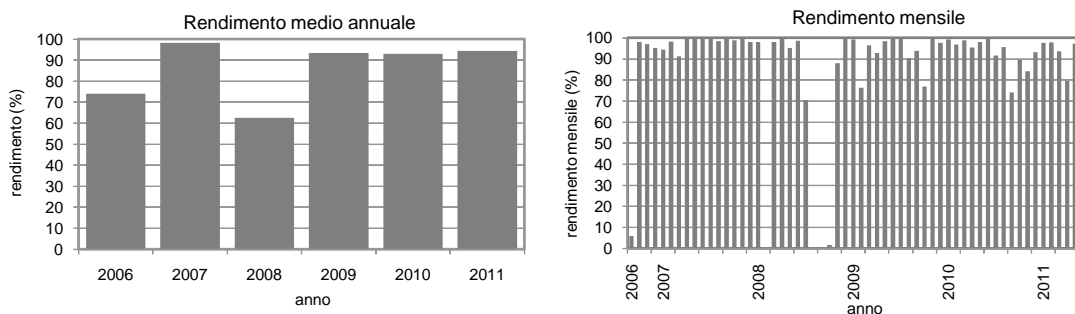


Figura 3-3. Rendimento dell'anemometro di Monopoli nel periodo settembre 2006 - giugno 2011.

Il rendimento complessivo dell'anemometro nel periodo indicato, come riportato in Figura 3-3, risulta pari al 86.74%, nel periodo analizzato vi sono infatti delle mancate misure dovute alla manutenzione dello strumento. Il rendimento mensile dello strumento presenta valori molto elevati con valori mediamente superiori al 90%.

Complessivamente sono stati riconosciuti come validi (intensità e direzione) 12241 eventi. In Tabella 3-2 è riportata la suddivisione degli eventi registrati dall'anemometro nel periodo settembre 2006 – giugno 2011 per classi di velocità del vento (m/s) e per direzione di provenienza. La Tabella 3-3 mostra la distribuzione percentuale dei suddetti venti suddivisi per classi di velocità e direzione di provenienza per settori di 15°.



Tabella 3-2. Serie anemometrica di Monopoli. Suddivisione per classi di intensità e direzione degli eventi registrati nel periodo sett. 2006 – giu. 2011.

Dir. ° Nord	Numero di eventi registrati dall'anemometro suddivisi per classi di velocità e direzione															Tot
	Velocità del vento [m/s]															
	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	94	83	98	124	91	68	46	41	41	27	31	15	2	0	0	761
15	26	49	57	57	52	37	33	39	37	16	17	6	2	0	0	428
30	20	33	31	30	18	12	5	13	10	4	5	5	0	0	0	186
45	27	54	38	44	24	15	11	5	6	5	5	0	1	0	0	235
60	25	42	40	27	11	12	3	1	2	2	5	0	0	0	0	170
75	38	38	65	55	74	38	12	14	7	5	5	0	0	0	0	351
90	42	43	69	43	32	22	22	14	10	7	3	0	0	0	0	307
105	42	50	55	62	56	22	19	20	11	13	5	2	0	0	0	357
120	32	48	54	60	32	34	20	19	10	11	15	4	0	0	0	339
135	51	51	72	70	56	44	39	26	15	12	7	1	1	0	0	445
150	67	68	84	57	45	39	29	11	19	7	9	1	0	0	0	436
165	51	84	91	81	67	51	51	34	21	9	14	3	1	0	0	558
180	68	118	93	85	68	42	47	32	17	12	10	6	1	0	0	599
195	49	70	76	67	56	49	46	21	22	15	16	4	1	0	0	492
210	35	50	62	32	24	24	10	12	3	2	8	2	0	0	0	264
225	36	55	52	65	50	38	23	9	7	6	9	3	0	0	0	353
240	29	58	51	30	32	12	4	4	3	0	2	0	0	0	0	225
255	52	89	82	62	48	14	8	11	3	0	1	0	0	0	0	370
270	63	115	72	46	24	16	9	2	0	1	0	0	0	0	0	348
285	67	224	270	322	302	185	79	31	19	6	0	2	0	0	0	1507
300	53	87	130	115	87	64	29	11	3	4	4	0	1	0	0	588
315	59	138	164	176	129	77	55	49	31	11	11	5	1	0	0	906
330	37	100	162	173	142	95	55	21	14	6	7	6	0	0	0	818
345	33	67	167	269	219	196	101	64	34	27	15	5	1	0	0	1198
Tot	1096	1814	2135	2152	1739	1206	756	504	345	208	204	70	12	0	0	12241

Tabella 3-3. Serie anemometrica di Monopoli. Distribuzione percentuale degli eventi registrati.

Dir. ° Nord	Frequenza complessiva di accadimento delle velocità registrate dall'anemometro															Tot	>2 m/s
	Velocità del vento U_w [m/s]																
	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	0.77	0.68	0.80	1.01	0.74	0.56	0.38	0.33	0.33	0.22	0.25	0.12	0.02	0.00	0.00	6.2	4.8
15	0.21	0.40	0.47	0.47	0.42	0.30	0.27	0.32	0.30	0.13	0.14	0.05	0.02	0.00	0.00	3.5	2.9
30	0.16	0.27	0.25	0.25	0.15	0.10	0.04	0.11	0.08	0.03	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	1.5	1.1
45	0.22	0.44	0.31	0.36	0.20	0.12	0.09	0.04	0.05	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	1.9	1.3
60	0.20	0.34	0.33	0.22	0.09	0.10	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	1.4	0.8
75	0.31	0.31	0.53	0.45	0.60	0.31	0.10	0.11	0.06	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	2.9	2.2
90	0.34	0.35	0.56	0.35	0.26	0.18	0.18	0.11	0.08	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	2.5	1.8
105	0.34	0.41	0.45	0.51	0.46	0.18	0.16	0.16	0.09	0.11	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	2.9	2.2
120	0.26	0.39	0.44	0.49	0.26	0.28	0.16	0.16	0.08	0.09	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	2.8	2.1
135	0.42	0.42	0.59	0.57	0.46	0.36	0.32	0.21	0.12	0.10	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	3.6	2.8
150	0.55	0.56	0.69	0.47	0.37	0.32	0.24	0.09	0.16	0.06	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	3.6	2.5
165	0.42	0.69	0.74	0.66	0.55	0.42	0.42	0.28	0.17	0.07	0.11	0.02	0.01	0.00	0.00	4.6	3.5
180	0.56	0.96	0.76	0.69	0.56	0.34	0.38	0.26	0.14	0.10	0.08	0.05	0.01	0.00	0.00	4.9	3.4
195	0.40	0.57	0.62	0.55	0.46	0.40	0.38	0.17	0.18	0.12	0.13	0.03	0.01	0.00	0.00	4.0	3.0
210	0.29	0.41	0.51	0.26	0.20	0.20	0.08	0.10	0.02	0.02	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	2.2	1.5
225	0.29	0.45	0.42	0.53	0.41	0.31	0.19	0.07	0.06	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	2.9	2.1
240	0.24	0.47	0.42	0.25	0.26	0.10	0.03	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	1.8	1.1
255	0.42	0.73	0.67	0.51	0.39	0.11	0.07	0.09	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.0	1.9
270	0.51	0.94	0.59	0.38	0.20	0.13	0.07	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.8	1.4
285	0.55	1.83	2.21	2.63	2.47	1.51	0.65	0.25	0.16	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	12.3	9.9
300	0.43	0.71	1.06	0.94	0.71	0.52	0.24	0.09	0.02	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	4.8	3.7
315	0.48	1.13	1.34	1.44	1.05	0.63	0.45	0.40	0.25	0.09	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	7.4	5.8
330	0.30	0.82	1.32	1.41	1.16	0.78	0.45	0.17	0.11	0.05	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	6.7	5.6
345	0.27	0.55	1.36	2.20	1.79	1.60	0.83	0.52	0.28	0.22	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	9.8	9.0
Tot	8.95	14.82	17.44	17.58	14.21	9.85	6.18	4.12	2.82	1.70	1.67	0.57	0.10	0.00	0.00	100	76.2
Freq. Cum.		23.77	41.21	58.79	73.00	82.85	89.03	93.15	95.96	97.66	99.33	99.90	100	100	100		

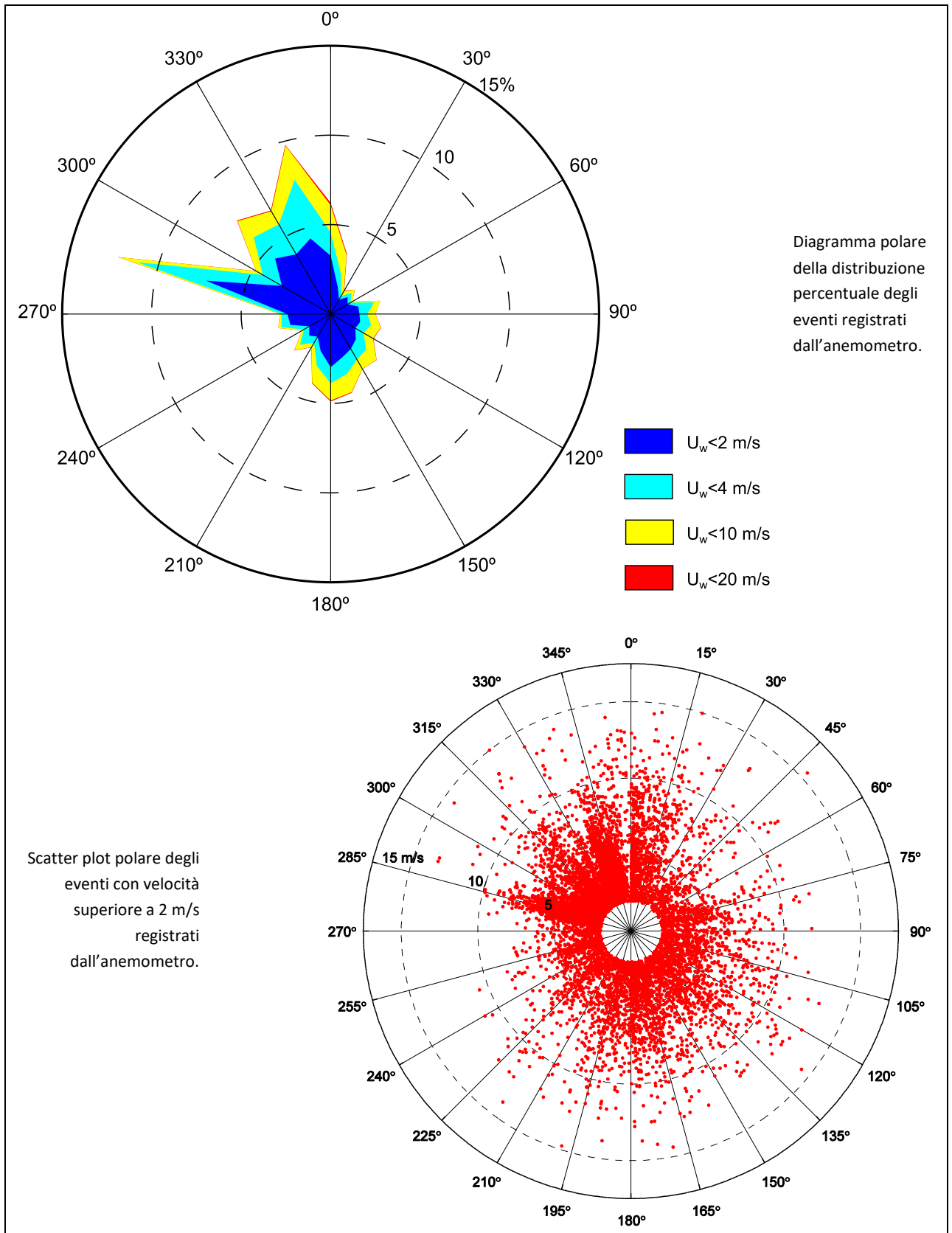


Figura 3-4. Diagrammi polari di distribuzione degli eventi registrati dall'anemometro di Monopoli nel periodo settembre 2006 – giugno 2011.

In Figura 3-4 viene riportato il diagramma polari della distribuzione percentuale, su base annuale, degli eventi di intensità superiore a 2 m/s e lo scatter plot polare degli eventi registrati dall'anemometro.

Complessivamente gli stati di calma, contraddistinti da velocità inferiore a 2.0 m/s, rappresentano il 23.7% del totale degli eventi. Di conseguenza gli stati di calma si verificano mediamente 86/87 giorni l'anno.

Il 76.2% degli eventi registrati dall'anemometro di Monopoli risulta avere velocità superiore a 2.0 m/s per un totale di circa 278 giorni/anno.

Analizzando tali stati di vento è possibile fare le seguenti osservazioni:

- I venti con una maggiore frequenza di accadimento provengono dai settori di tramontana, maestrale e ponente e, in misura ridotta, dai settori di mezzogiorno e scirocco;
- Il regime dei venti è contraddistinto in prevalenza da brezze, da leggere a vivaci, appartenenti alla classe di velocità compresa tra 2.0 m/s e 8.0 m/s con una frequenza di accadimento del 69.4% pari a circa 253 giorni anno. Le brezze tese e il vento fresco, aventi velocità comprese tra 8.0 m/s e 14.0 m/s si verificano in media 24/25 giorni l'anno con una frequenza di accadimento del 6.8%. I venti forti, aventi velocità compresa tra 14.0 m/s e 17 m/s si verificano in media con una frequenza pari a 0.1% (circa 8.6 ore anno).
- I venti prevalenti (venti aventi maggiore frequenza e intensità) provengono dal settore di tramontana con una frequenza di accadimento del 16.6% pari a circa 60 giorni l'anno. Dal settore di tramontana si verificano venti con velocità superiore a 8 m/s con una frequenza pari a 2.3% (circa 200 ore anno).
- I venti provenienti da maestrale hanno una frequenza di accadimento del 15.0% (circa 55 giorni/anno). Sono venti aventi velocità comprese in larga misura tra 2.0 e 8.0 m/s.
- I venti provenienti da ponente hanno frequenza di accadimento del 13.2% (circa 48 giorni/anno). Anche i venti provenienti da ponente risultano in prevalenza avere velocità inferiore a 8 m/s.
- I venti provenienti da mezzogiorno e da scirocco sono meno frequenti ma presentano velocità rilevanti. Complessivamente i venti provenienti da questi due settori rappresentano il 17.3% del totale. La frequenza di accadimento è pari a circa 62 giorni/anno. Mediamente i venti con velocità superiore a 8.0 m/s si verificano da questo settore con una frequenza di circa 8 giorni/anno (2.2%).

Analizzando i dati di vento registrati dall'anemometro è possibile determinare il regime stagionale del vento in corrispondenza della stazione anemometrica di Monopoli. Gli eventi registrati sono stati suddivisi all'interno delle stagioni per classi di direzione di provenienza e

velocità. I risultati presentati nei diagrammi polari di Figura 3-5 forniscono la frequenza di accadimento percentuale all'interno della specifica stagione analizzata.

Primavera

In primavera i venti sono distribuiti in direzione in maniera piuttosto uniforme con una leggera prevalenza di venti provenienti da Nord e (14.2%) e Nord Est (12.3%). In primavera risultano i venti dominanti (venti più intensi) provengono da mezzogiorno, scirocco e levante con una frequenza di accadimento complessiva di 1.3% (circa 4.8 giorni per stagione).

Estate

In estate i venti prevalenti sono quelli di tramontana e maestrale che complessivamente si verificano con una frequenza di accadimento di 46%, circa 43 giorni/stagione. Il regime estivo è prevalentemente caratterizzato da brezze con velocità comprese tra 2.0 m/s e 8.0 m/s che rappresentano il 71% degli eventi registrati. Stati di vento aventi velocità superiore a 8.0 m/s si verificano con una frequenza di 5.1% con direzione prevalente di tramontana (2.8%) e maestrale (1.6%).

Autunno

In autunno il regime dei venti diviene più intenso, i venti di velocità superiore a 8.0 m/s si verificano con una frequenza maggiore, pari al 9.0%, circa 8 giorni a stagione. I venti regnanti provengono da maestrale e ponente e in maniera minore da tramontana e mezzogiorno. Gli eventi più intensi provengono da tramontana (3.4%) da scirocco e mezzogiorno (1.8% e 1.3%) e da grecale (0.8%).

Inverno

L'inverno è la stagione con il regime dei venti più rigido. Le calme sono poco frequenti (21.3%), le brezze si verificano per il 69% del tempo mentre i venti più intensi si presentano con una frequenza di pari a circa il 10%. I venti più intensi si presentano prevalentemente dal settore di tramontana (2.7%) e mezzogiorno (2.3%) mentre gli eventi estremi provengono da maestrale.

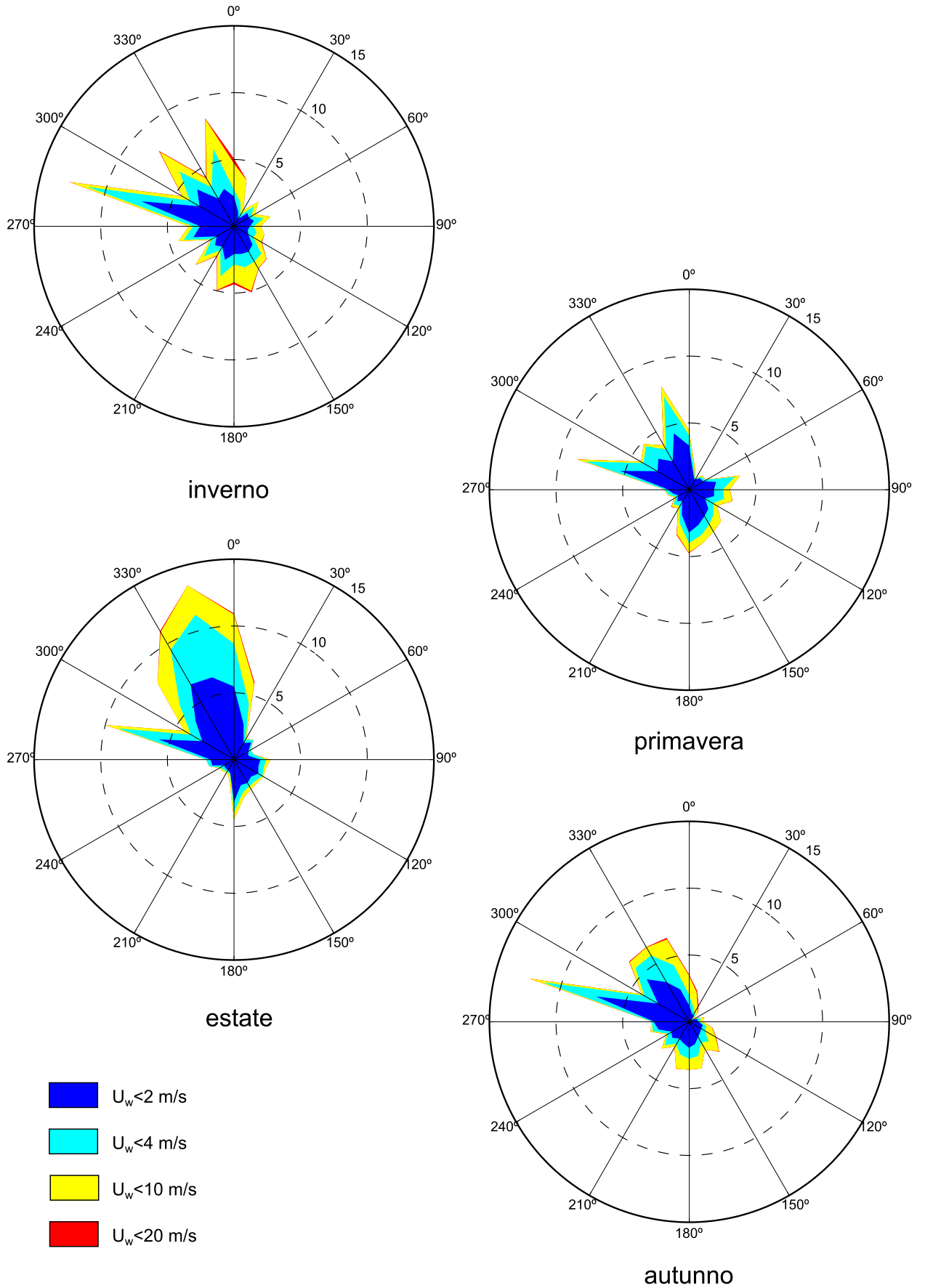


Figura 3-5. Diagramma polare della distribuzione percentuale degli eventi registrati dall'anemometro suddivisi per stagione.

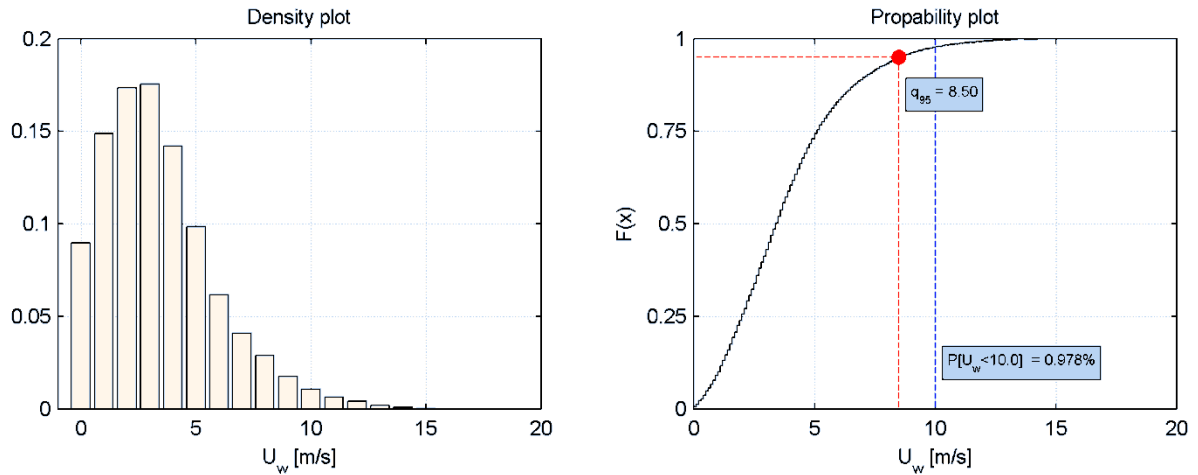


Figura 3-6. Densità di distribuzione e frequenza di non superamento per le velocità registrate dall'anemometro di Monopoli nel periodo settembre 2006 - giugno 2011.

Gli stati di vento con intensità superiore a 10 m/s, come mostrato in Figura 3-7, rappresentano il 2.3% del totale degli eventi (meno di 9 giorni l'anno) e si verificano prevalentemente da Nord.

I venti estremi, aventi velocità superiore a 14 m/s si verificano in media 8.6 ore /anno con una frequenza di 0.1% ed hanno provenienza da tramontana (0.041%), ma anche da scirocco (0.025%) e maestrale (0.016%).

I settori di maestrale e tramontana rappresentano complessivamente una frequenza di accadimento più elevata di eventi più intensi. Circa il 45% di tutti gli eventi sopra la soglia di 10 m/s proviene da questo settore di traversia, mentre dai settori di mezzogiorno, scirocco si verificano il 19.6% e il 13.3% di tutti gli eventi sopra i 10 m/s.

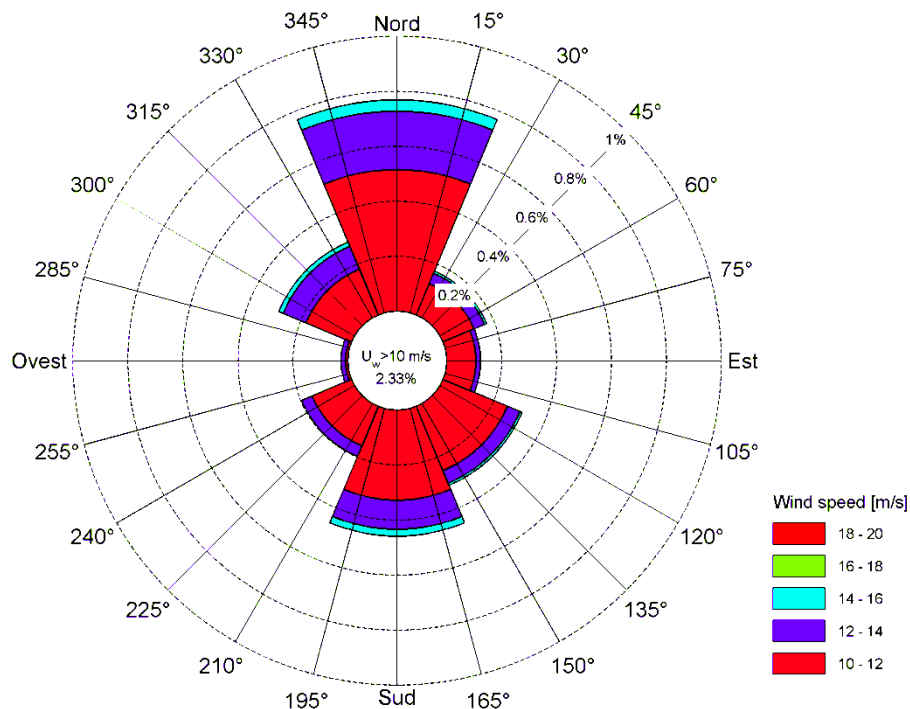


Figura 3-7. Distribuzione degli stati di vento con intensità superiore a 10 m/s registrati dall'anemometro di Monopoli nel periodo settembre 2006 - giugno 2011.

Al fine di analizzare la frequenza di accadimento degli eventi più intensi sono stati selezionati tutti gli eventi registrati con velocità del vento superiore a 10 m/s aventi durata uguale o superiore a 3 h. In Tabella 3-5 sono riportati gli stati di vento estremi registrati dal settembre 2006 al giugno 2011 con indicazione della data di inizio e fine e della durata dell'evento. Complessivamente sono stati registrati 54 eventi sopra soglia con durata superiore a 3 h. Complessivamente si ottiene una durata media per gli eventi più intensi di 8.4 ore con una frequenza di accadimento di 11.37 eventi/anno pari a poco meno di un evento al mese.

In Tabella 3-4 sono riportati gli stati di vento con velocità superiore a 10 m/s e durata pari o superiore a 3 ore suddivisi per anno e per mese.

Come è possibile osservare in inverno, agli esordi della primavera e a fine autunno si ha una frequenza di accadimento maggiore per gli eventi estremi rispetto alla primavera inoltrata e a tutta l'estate.

Dall'analisi dei dati registrati dall'anemometro il mese più intenso dal punto di vista dei venti risulta essere marzo che presenta una percentuale pari al 22% del totale degli eventi sopra soglia con durata superiore a tre ore.

Tabella 3-4. Numero di eventi registrati dall'anemometro di Monopoli aventi velocità superiore a 10 m/s e durata uguale o superiore a 3 ore.

mese	numero di eventi						Totale	%
	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
GEN	-	2	2	0	3	0	7	13.0
FEB	-	3	0	1	1	1	6	11.1
MAR	-	0	0	6	1	5	12	22.2
APR	-	0	0	3	1	1	5	9.3
MAG	-	1	0	0	1	0	2	3.7
GIU	-	0	0	0	0	2	2	3.7
LUG	-	0	0	0	0	-	0	0.0
AGO	-	0	0	0	1	-	1	1.9
SETT	0	2	0	1	0	-	3	5.6
OTT	1	0	0	1	0	-	2	3.7
NOV	1	1	2	1	0	-	5	9.3
DIC	1	2	3	1	2	-	9	16.7
Totale	3	11	7	14	10	9	54	



Tabella 3-5. Stati di vento con durata superiore a 6 ore e di intensità superiore a 10 m/s.

anni di riferimento:		4.75		Numero di eventi registrati sopra soglia:		134			
soglia di riferimento:		10 m/s		Numero di eventi di durata maggiore a 3 ore:		55			
Data	ora	U _w	U _w	Dir	data	inizio	data	fine	durata
GG/MM/AA	OO:OO	(m/s)	(nodi)	(°N)	GG/MM/AA	OO:OO	GG/MM/AA	OO:OO	hh
30/10/06	18.00	12.66	24.63	353	30/10/06	15.00	30/10/06	18.00	3
02/11/06	21.00	12.13	23.6	358	02/11/06	15.00	03/11/06	06.00	15
22/12/06	00.00	10.59	20.61	66	22/12/06	00.00	22/12/06	03.00	3
03/01/07	00.00	13.41	26.09	291	03/01/07	00.00	03/01/07	03.00	3
03/01/07	06.00	13.15	25.58	356	03/01/07	06.00	03/01/07	12.00	6
04/01/07	00.00	10.27	19.99	358	04/01/07	00.00	04/01/07	03.00	3
04/02/07	06.00	13.10	25.49	357	04/02/07	03.00	04/02/07	12.00	9
13/02/07	18.00	12.62	24.55	318	13/02/07	15.00	13/02/07	21.00	6
27/02/07	09.00	10.19	19.83	320	27/02/07	09.00	27/02/07	12.00	3
04/05/07	12.00	11.41	22.2	143	04/05/07	12.00	04/05/07	15.00	3
05/09/07	18.00	11.08	21.56	320	05/09/07	18.00	05/09/07	21.00	3
26/09/07	03.00	11.84	23.04	103	26/09/07	03.00	26/09/07	06.00	3
10/11/07	09.00	14.14	27.51	339	10/11/07	03.00	10/11/07	12.00	9
05/12/07	06.00	12.31	23.95	349	05/12/07	00.00	05/12/07	12.00	12
17/12/07	12.00	15.46	30.07	48	17/12/07	09.00	17/12/07	12.00	3
23/01/08	06.00	13.29	25.86	7	23/01/08	03.00	23/01/08	06.00	3
23/01/08	12.00	12.36	24.05	353	23/01/08	12.00	23/01/08	18.00	6
22/11/08	06.00	13.68	26.61	337	22/11/08	06.00	22/11/08	09.00	3
28/11/08	18.00	11.69	22.75	129	28/11/08	12.00	28/11/08	18.00	6
11/12/08	12.00	14.28	27.78	129	11/12/08	09.00	12/12/08	06.00	21
21/12/08	21.00	12.92	25.14	354	21/12/08	21.00	22/12/08	12.00	15
26/12/08	06.00	11.96	23.27	53	26/12/08	03.00	26/12/08	12.00	9
02/02/09	21.00	14.33	27.88	169	02/02/09	15.00	03/02/09	03.00	12
04/03/09	21.00	11.70	22.77	198	04/03/09	15.00	04/03/09	21.00	6
06/03/09	12.00	12.40	24.13	156	06/03/09	06.00	06/03/09	12.00	6
18/03/09	18.00	10.53	20.49	18	18/03/09	15.00	18/03/09	18.00	3
20/03/09	21.00	11.13	21.66	80	20/03/09	15.00	20/03/09	21.00	6
25/03/09	12.00	10.54	20.51	9	25/03/09	09.00	25/03/09	12.00	3
29/03/09	00.00	13.99	27.22	173	29/03/09	00.00	29/03/09	18.00	18
13/04/09	09.00	10.69	20.79	145	13/04/09	09.00	13/04/09	12.00	3
13/04/09	21.00	13.12	25.53	111	13/04/09	18.00	13/04/09	21.00	3
27/04/09	12.00	14.71	28.61	198	27/04/09	09.00	27/04/09	21.00	12
07/09/09	18.00	10.29	20.01	12	07/09/09	15.00	07/09/09	18.00	3
13/10/09	06.00	14.45	28.11	8	13/10/09	00.00	13/10/09	21.00	21
30/11/09	18.00	10.72	20.86	204	30/11/09	12.00	30/11/09	21.00	9
09/12/09	15.00	14.99	29.16	18	09/12/09	15.00	10/12/09	12.00	21
08/01/10	12.00	13.94	27.12	217	08/01/10	06.00	08/01/10	12.00	6
08/01/10	21.00	10.59	20.61	222	08/01/10	18.00	08/01/10	21.00	3
27/01/10	09.00	10.48	20.38	185	27/01/10	06.00	27/01/10	09.00	3
19/02/10	09.00	11.70	22.77	188	19/02/10	09.00	19/02/10	15.00	6
10/03/10	00.00	12.20	23.74	183	09/03/10	21.00	10/03/10	03.00	6
06/04/10	03.00	10.49	20.4	3	06/04/10	00.00	06/04/10	03.00	3
05/05/10	12.00	11.19	21.78	201	05/05/10	09.00	05/05/10	12.00	3
31/08/10	21.00	12.33	23.99	11	31/08/10	15.00	31/08/10	21.00	6
10/12/10	21.00	13.14	25.56	36	10/12/10	03.00	11/12/10	09.00	30
23/12/10	21.00	12.37	24.07	190	23/12/10	06.00	24/12/10	00.00	18
24/02/11	06.00	12.24	23.82	127	24/02/11	00.00	24/02/11	15.00	15
01/03/11	18.00	14.28	27.78	306	01/03/11	06.00	01/03/11	18.00	12
07/03/11	21.00	12.73	24.77	179	07/03/11	06.00	08/03/11	00.00	18
13/03/11	09.00	13.92	27.08	330	13/03/11	06.00	13/03/11	09.00	3
15/03/11	09.00	10.33	20.09	320	15/03/11	09.00	15/03/11	12.00	3
16/03/11	15.00	15.03	29.24	322	16/03/11	00.00	17/03/11	00.00	24
14/04/11	00.00	11.68	22.73	141	13/04/11	21.00	14/04/11	00.00	3
07/06/11	12.00	12.49	24.3	174	07/06/11	12.00	07/06/11	15.00	3
26/06/11	03.00	14.29	27.8	6	25/06/11	12.00	26/06/11	09.00	21
frequenza annuale di accadimento:		11.58		durata media (ore):		8.35			
frequenza mensile di accadimento:		0.96							

Capitolo 4

Definizione del clima di moto ondoso

4.1 Ondametro di Monopoli – descrizione della stazione di misura

La stazione ondametria di Monopoli (Figura 4-1), che fa parte della Rete Ondametria Nazionale (RON), è costituita da una boa ondametria direzionale 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.

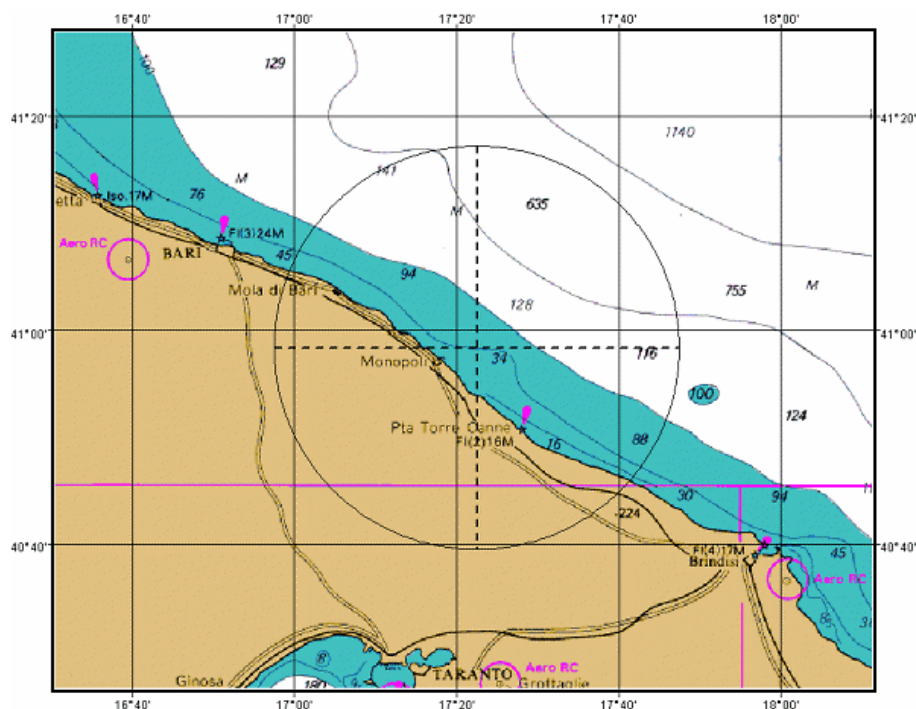


Figura 4-1. Collocazione della boa ondametria di Monopoli.

La serie storica dell'ondametro di Monopoli¹ ha avuto inizio il 1.07.1989. Inizialmente, nel periodo compreso tra il 1989 e il 2001, ha operato una boa DATAWELL, successivamente, a partire dal 2002, è stata messa in servizio una boa TRIAXIS che ha operato fino al 31.12.2007.

Come è possibile osservare dall'analisi del rendimento dell'ondametro, riportata in Figura 4-2, il rendimento medio annuale dell'ondametro è stato sempre superiore al 80÷90%; dal 2002, cui corrisponde la messa in funzione dell'ondametro TRIAXIS il rendimento dell'ondametro è calato decisamente, sia per problemi tecnici dello strumento che di manutenzione e gestione della rete ondametria 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.

¹ La serie storica è stata acquisita sul sito www.idromare.it gestito dall'ISPRA (ex APAT).

A seguito della ristrutturazione della RON a fine dicembre 2009 la stazione di misura ha ripreso misurare con una nuova boa ondometrica del tipo Watchkeeper-Triaxys.

La nuova boa ondometrica, posizionata nello stesso punto di ormeggio delle precedenti stazioni di misura, ha iniziato a misurare il 28 Dicembre 2009. In Figura 4-3 è riportato il rendimento medio mensile dell'ondametro nel periodo compreso tra il 1° gennaio 2010 e il 31 Agosto 2014.

Complessivamente lo strumento di misura ha acquisito 10845 stati di moto ondoso con cadenza trioraria con un rendimento effettivo del 92.8%.

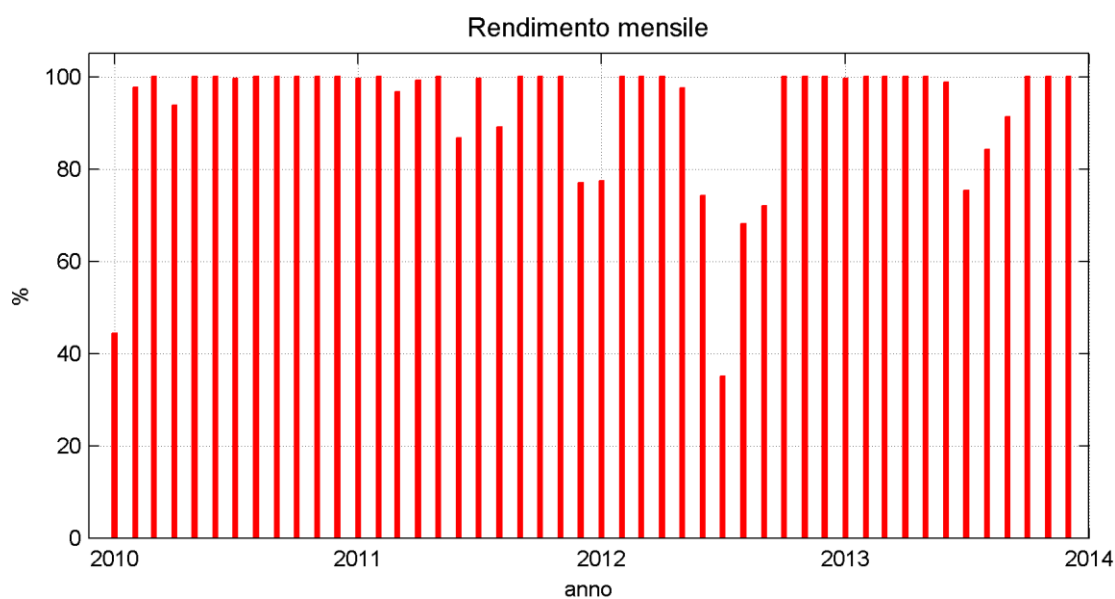


Figura 4-3. Rendimento dell'ondametro di Monopoli dal 2010 al 2014.

4.2 Clima di moto ondoso

Purtroppo, a causa del lungo periodo di non funzionamento dell'ondametro di Monopoli avvenuto tra il 2008 e il 2010, le due serie storiche precedentemente descritte non sono analizzabili in modo unitario.

Al fine di definire il clima di moto ondoso al largo di Monopoli si è ritenuto che la serie storica di dati di moto ondoso acquisiti tra il 1989 e il 2007 dai precedenti strumenti di misura sia sufficientemente estesa per poter determinare le caratteristiche medie di esposizione del paraggio in esame.

Si è quindi proceduto a suddividere gli eventi della serie storica di Monopoli 89-07 per classi di altezza d'onda e direzione al fine di valutarne la differente frequenza di accadimento. Tale suddivisione è stata effettuata sia su base annuale che stagionale al fine di identificare le caratteristiche stagionali del clima di moto ondoso.



Le tabelle climatiche riportano, per settori di provenienza² di 10°, gli eventi di moto ondoso, e le frequenze di accadimento, suddivisi per classi di altezza d'onda significativa H_s .

I diagrammi polari della frequenza di accadimento, definiti anche "rose", rappresentano la distribuzione percentuale e direzionale degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0.5 m.

In Tabella 4-1 è riportata la totalità degli eventi di moto ondoso, registrati dall'ondametro nel periodo compreso tra luglio 1989 e giugno 2007, suddivisi secondo classi di direzione e di altezza significativa.

In Tabella 4-2 è riportata la frequenza di accadimento su base annuale degli eventi di moto ondoso registrati dall'ondametro.

In Figura 4-4 sono rappresentate la rosa di distribuzione degli eventi su base annuale e lo "scatter plot" di tutti gli eventi registrati con altezza d'onda significativa superiore a 1 m.

In Figura 4-5 sono riportate le rose di distribuzione della frequenza di accadimento su base stagionale di tutti gli eventi con altezza d'onda superiore a 0.5 m.

² Nella tabella climatica il settore di direzione indicato rappresenta il valore mediano dell'intervallo. Così ad esempio il settore 30° è contiene gli eventi compresi tra 25° ÷ 35° N.

Tabella 4-1. Ondametro di Monopoli: eventi registrati

Numero di eventi di moto ondoso suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione

Boa RON di Monopoli - 1989 - 2007

Dir. ° Nord	Classe 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	³ 6.5	
10	474	597	412	277	166	86	37	15	4	2						2070
20	453	526	334	186	124	52	15	12	1	2						1705
30	415	469	319	174	76	47	21	6	3	1						1531
40	395	459	355	189	78	47	24	5	2	2						1556
50	431	499	424	250	115	72	31	14	4	2						1842
60	442	505	438	255	159	93	47	21	6	3	2	1				1972
70	512	483	305	116	54	43	19	8	1	1						1542
80	585	599	289	104	32	17	4	10								1640
90	587	846	428	113	26	6	1	1								2008
100	565	1253	780	217	40	8	2	4		1						2870
110	305	1502	1529	632	107	12	3									4090
120	117	631	950	474	71	22	2		1							2268
130	57	189	167	104	25	6	1									549
140	22	102	73	43	11	3	2									256
150	29	83	64	18	5	2	1									202
160	25	73	42	12	3	3										158
170	19	63	38	17	1		2	1								141
180	19	50	29	19	3											120
190	19	66	38	10												133
200	19	61	39	14	5											138
210	17	62	42	23	2											146
220	13	62	39	18	10											142
230	19	50	33	20	3											125
240	15	64	27	22	3											131
250	24	44	32	20	3	2										125
260	18	49	36	14	4	2		1								124
270	19	54	41	18	5	3										140
280	25	65	32	16	10	10	2		1							161
290	22	57	36	26	9	8	2									160
300	34	86	79	21	5	6	1									232
310	71	234	230	132	41	26	3	5								742
320	146	636	892	536	218	60	27	10	2							2527
330	277	1384	1718	893	277	90	25	10	2	2						4678
340	463	1600	1426	624	169	79	25	8	2		1					4397
350	528	1245	755	360	135	53	37	15	13							3141
360	459	740	510	296	194	94	37	23	5	4						2362
Tot	7640	15488	12981	6263	2189	952	371	169	47	20	3	1	0	0	0	46124

Tabella 4-2. Ondametro di Monopoli: tabella climatica annuale – frequenza di accadimento

Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso. ANNUALE

Boa RON di Monopoli - 1989 - 2007

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	1.0	1.3	0.9	0.6	0.4	0.2	0.08	0.03	0.01	0.00						4.5	2.2
20	1.0	1.1	0.7	0.4	0.3	0.1	0.03	0.03	0.00	0.00						3.7	1.6
30	0.9	1.0	0.7	0.4	0.2	0.1	0.05	0.01	0.01	0.00						3.3	1.4
40	0.9	1.0	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.01	0.00	0.00						3.4	1.5
50	0.9	1.1	0.9	0.5	0.2	0.2	0.07	0.03	0.01	0.00						4.0	2.0
60	1.0	1.1	0.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00				4.3	2.2
70	1.1	1.0	0.7	0.3	0.1	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00						3.3	1.2
80	1.3	1.3	0.6	0.2	0.07	0.04	0.01	0.02								3.6	1.0
90	1.3	1.8	0.9	0.2	0.06	0.01	0.00	0.00								4.4	1.2
100	1.2	2.7	1.7	0.5	0.09	0.02	0.00	0.01		0.00						6.2	2.3
110	0.7	3.3	3.3	1.4	0.2	0.03	0.01									8.9	4.9
120	0.3	1.4	2.1	1.0	0.2	0.05	0.00		0.00							4.9	3.3
130	0.1	0.4	0.4	0.2	0.05	0.01	0.00									1.2	0.7
140	0.05	0.2	0.2	0.09	0.02	0.01	0.00									0.6	0.3
150	0.06	0.2	0.1	0.04	0.01	0.00	0.00									0.4	0.2
160	0.05	0.2	0.09	0.03	0.01	0.01										0.3	0.1
170	0.04	0.1	0.08	0.04	0.00		0.00	0.00								0.3	0.1
180	0.04	0.1	0.06	0.04	0.01											0.3	0.1
190	0.04	0.1	0.08	0.02												0.3	0.1
200	0.04	0.1	0.08	0.03	0.01											0.3	0.1
210	0.04	0.1	0.09	0.05	0.00											0.3	0.1
220	0.03	0.1	0.08	0.04	0.02											0.3	0.1
230	0.04	0.1	0.07	0.04	0.01											0.3	0.1
240	0.03	0.1	0.06	0.05	0.01											0.3	0.1
250	0.05	0.10	0.07	0.04	0.01	0.00										0.3	0.1
260	0.04	0.1	0.08	0.03	0.01	0.00		0.00								0.3	0.1
270	0.04	0.1	0.09	0.04	0.01	0.01										0.3	0.1
280	0.05	0.1	0.07	0.03	0.02	0.02	0.00		0.00							0.3	0.2
290	0.05	0.1	0.08	0.06	0.02	0.02	0.00									0.3	0.2
300	0.07	0.2	0.2	0.05	0.01	0.01	0.00									0.5	0.2
310	0.2	0.5	0.5	0.3	0.09	0.06	0.01	0.01								1.6	0.9
320	0.3	1.4	1.9	1.2	0.5	0.1	0.06	0.02	0.00							5.5	3.8
330	0.6	3.0	3.7	1.9	0.6	0.2	0.05	0.02	0.00	0.00						10.1	6.5
340	1.0	3.5	3.1	1.4	0.4	0.2	0.05	0.02	0.00		0.00					9.5	5.1
350	1.1	2.7	1.6	0.8	0.3	0.1	0.08	0.03	0.03							6.8	3.0
360	1.0	1.6	1.1	0.6	0.4	0.2	0.08	0.05	0.01	0.01						5.1	2.5
Tot	16.6	33.6	28.1	13.6	4.7	2.1	0.8	0.4	0.1	0.04	0.01	0.00				100.0	49.9
Tot. cumul.		50.1	78.3	91.9	96.6	98.7	99.5	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

Numero di eventi: 46124

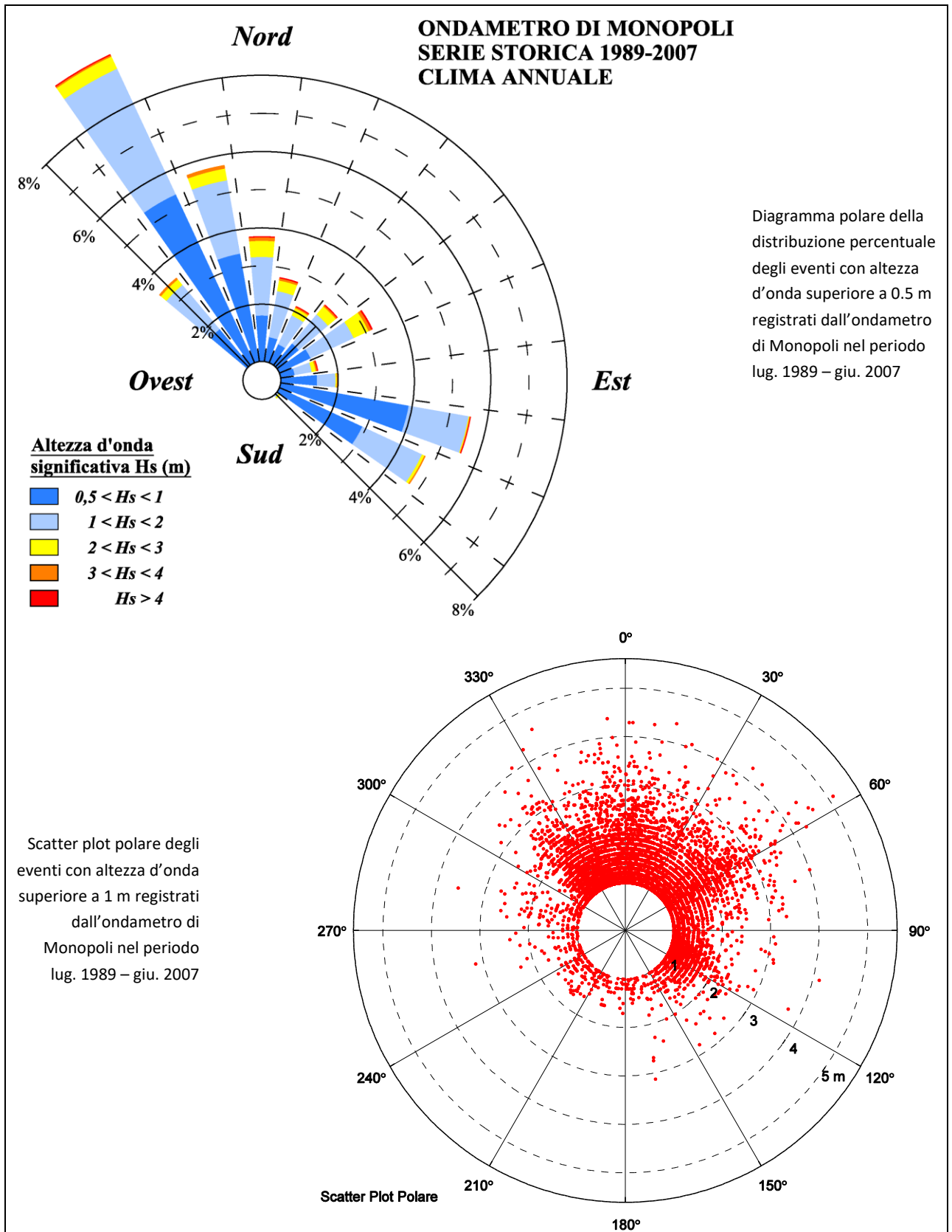


Figura 4-4. Rosa di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso al largo di Monopoli

ONDAMETRO DI MONOPOLI SERIE STORICA 1989-2007 CLIMA STAGIONALE

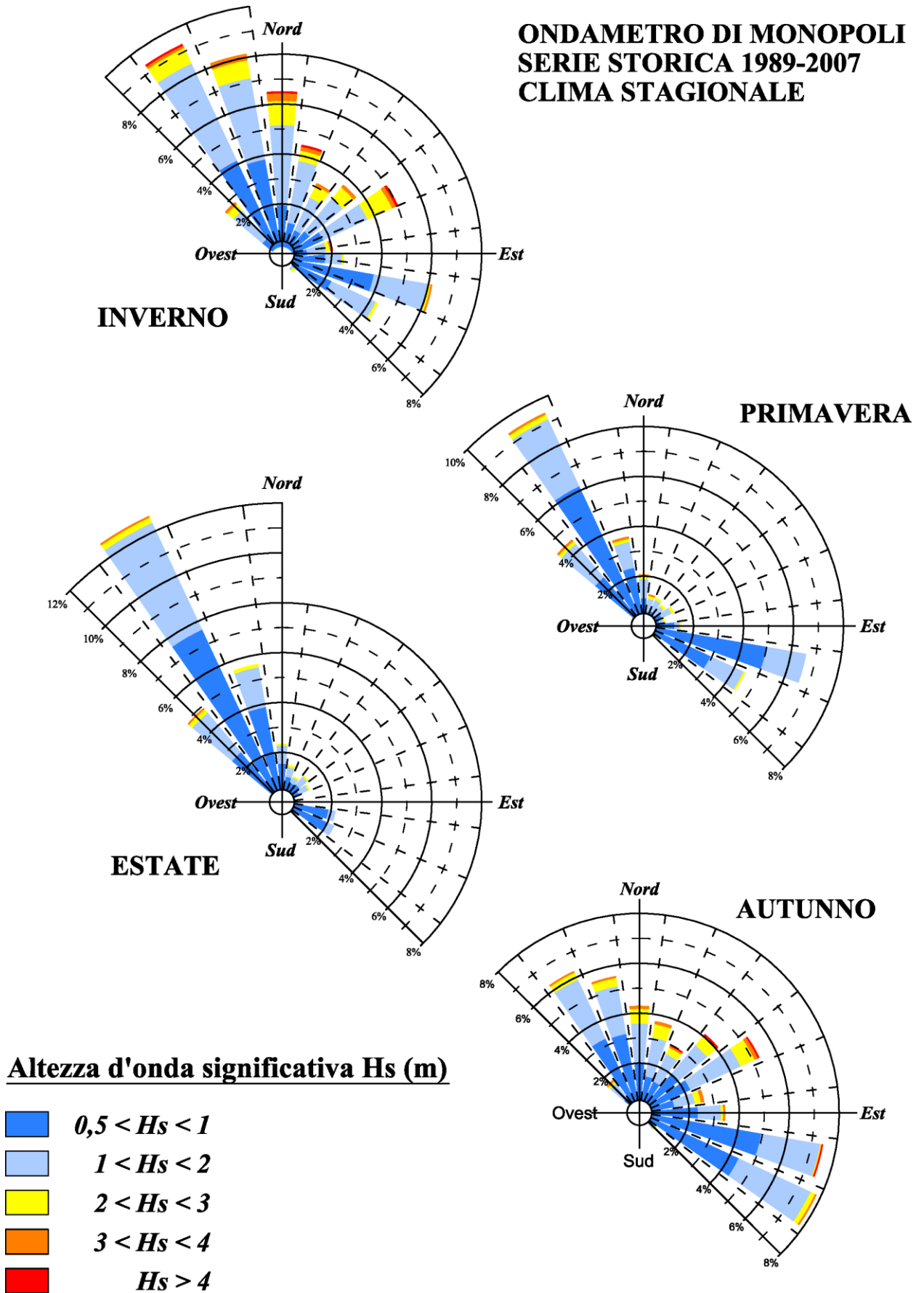


Figura 4-5. Rose di distribuzione stagionali degli eventi registrati dall'ondametro di Monopoli nel periodo luglio-1989:giugno-2007.

Dall'analisi dei risultati dell'analisi della frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso registrati dall'ondametro si evince che:

- Il 50% degli eventi (pari a circa 182 gg/anno) ha altezza inferiore a 0.5 m
- circa il 22% degli eventi (80 gg/anno) ha altezza d'onda significativa H_s uguale o superiore ad 1.0 m.
- gli eventi sopra la soglia di 1.0 m più frequenti provengono dal settore di NO (300° - 360° N) e rappresentano circa il 10% del totale degli eventi (corrispondenti a 36 gg/anno);
- gli altri eventi sopra soglia provengono principalmente da SE (100° ÷ 300° N) con una frequenza di accadimento pari al 3.76% (circa 14 gg/anno), da E-NE (50° ÷ 90° N) con frequenza di accadimento pari a 3.54% (circa 13 gg/anno) e da N-NE (0° ÷ 40°) con frequenza di accadimento pari a 3.59% (circa 13 gg/anno);
- gli eventi estremi con altezza d'onda superiore a 3 m hanno frequenza di accadimento pari all'1% del totale (complessivamente 3.8 gg/anno);
- gli eventi estremi con altezza d'onda superiore a 5 m hanno una frequenza media di accadimento pari a 0.002% corrispondente a 0.19 ore/anno.

In inverno si verificano gli eventi più intensi provenienti principalmente da NO e da NE, con una percentuale significativa di eventi inferiori a 2.0 m provenienti da SE.

In primavera si riscontra un forte 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 3.0 m.

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 NE.

In merito alla persistenza degli eventi di moto ondoso che caratterizzano il paraggio in esame si può far riferimento alla curva di durata rappresentata in Figura 4-6. Dall'analisi delle registrazioni dell'ondametro è stato possibile determinare la durata media annuale associata a diverse soglie di altezza d'onda significativa.

Come è possibile ricavare dal grafico:

la durata media degli eventi con $H_s \geq 1.0$ m è di 1902 ore/anno, pari a circa 80 giorni/anno.

la durata media degli eventi con $H_s \geq 2.0$ m è di 296 ore/anno, pari a circa 12 giorni/anno.

durata media degli eventi con $H_s \geq 3.0$ m è di 46 ore/anno

durata media degli eventi con $H_s \geq 4.0$ m è di 4.5 ore/anno

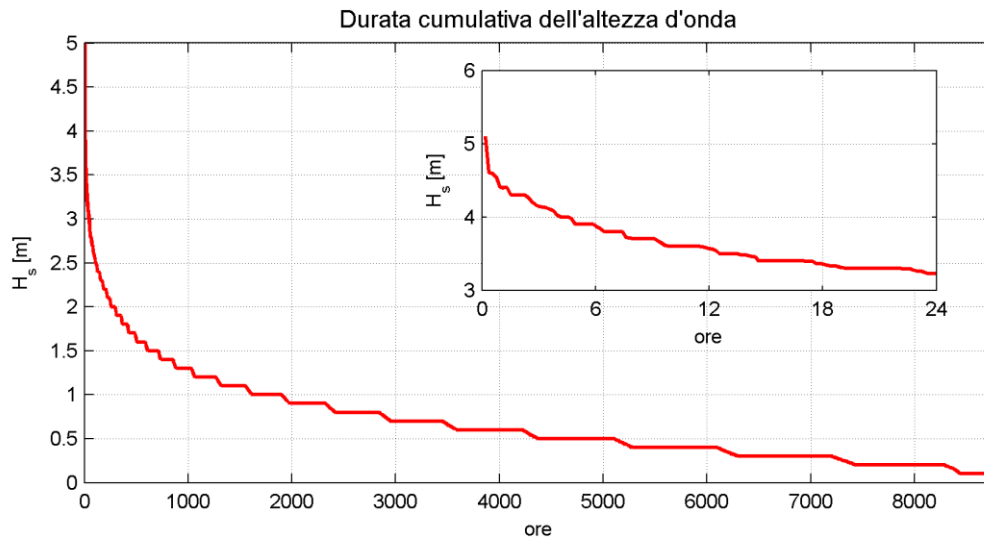


Figura 4-6. Curva di durata media degli eventi di moto ondoso registrati dall'ondametro di Monopoli [1989-2007].

4.3 Distribuzione degli eventi in base al periodo e correlazione altezza-periodo

I dati della serie storica di Monopoli 89-07 sono stati suddivisi per classi di altezza e periodo dell'onda al fine di individuare la frequenza di accadimento delle distinte classi. In Tabella 4-3 è riportata la frequenza di accadimento degli eventi in base all'altezza d'onda significativa H_s e al periodo di picco T_p .

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 stati ricavati dall'analisi di correlazione statistica dei dati registrati dalla boa ondometrica.

Tabella 4-3. Correlazione altezza-periodo d'onda.

Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco
TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA DEGLI EVENTI REGISTRATI

H _s (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T _p (s)							Tot	Tot. cumul.
	T _p < 4	4 ≤ T _p < 6	6 ≤ T _p < 8	8 ≤ T _p < 10	10 ≤ T _p < 12	12 ≤ 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		

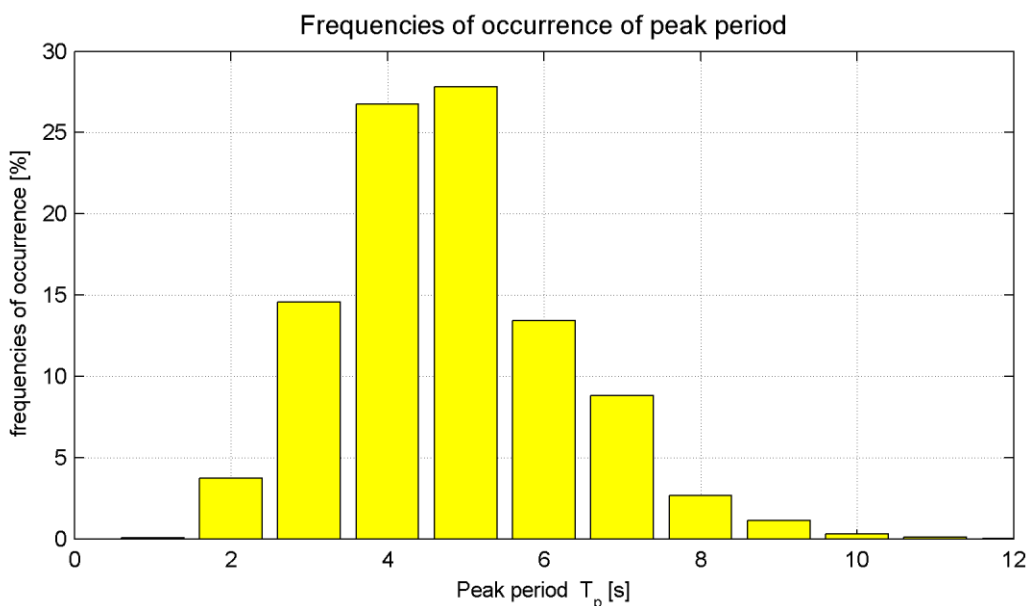


Figura 4-7. Frequenza di accadimento degli eventi suddivisi per classi di periodo di picco.

Per trovare la legge di dipendenza si è fatto riferimento agli eventi di moto ondoso con altezza d'onda significativa $H_s \geq 0.5$ e aventi periodo d'onda inferiore a 22 s. In Figura 4-8 è riportata la funzione di correlazione tra T_p e H_s trovata con il metodo dei minimi quadrati per i dati della serie storica di Monopoli. I valori dei parametri della funzione di correlazione ottenuti sono a=5.62, b=0.29.

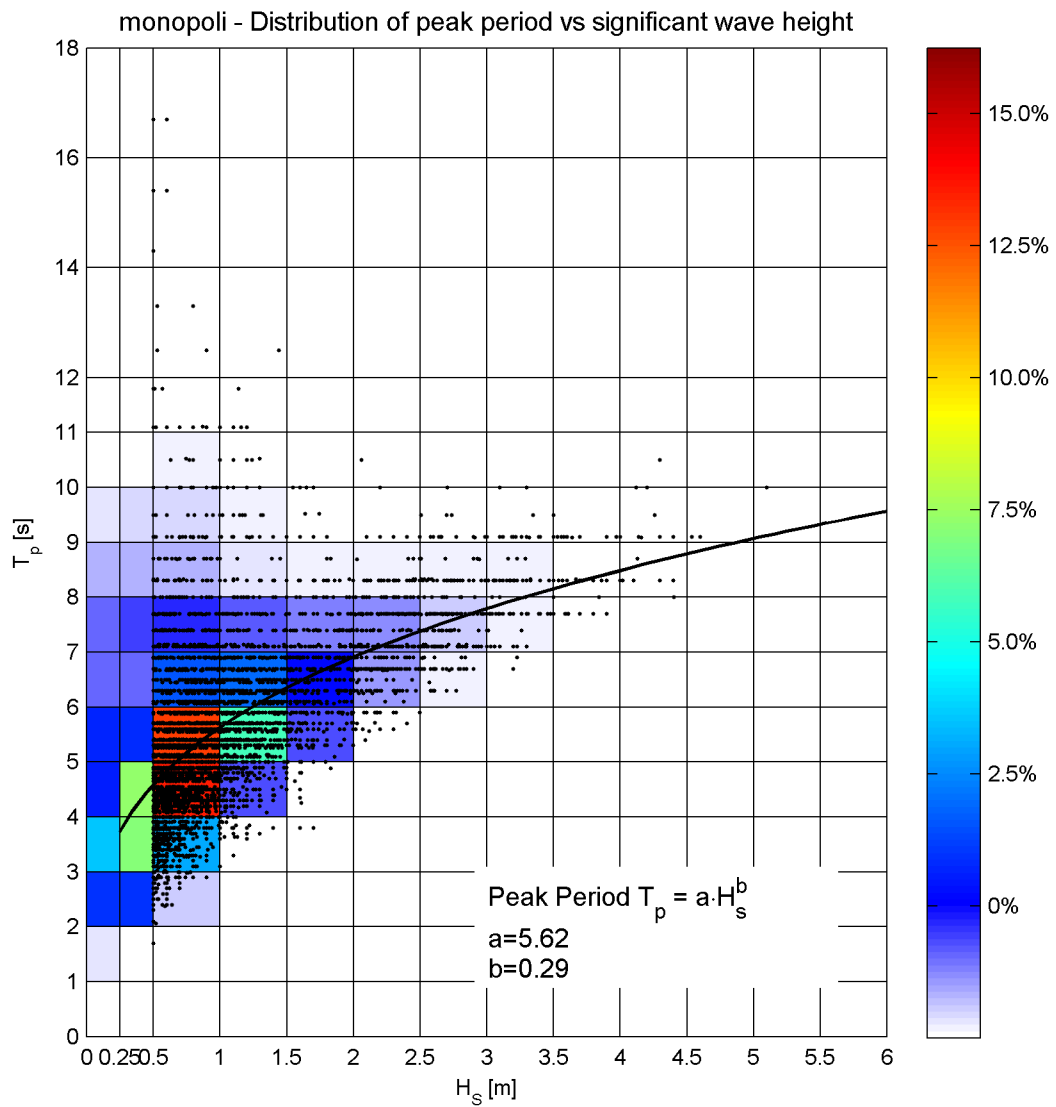


Figura 4-8. Correlazione altezza – periodo per i dati della serie ondometrica di Monopoli [89-07].

Capitolo 5

Analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso al largo

Per il corretto 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 risulta necessario selezionare preliminarmente dei campioni di dati che rispondano al doppio requisito di risultare tra di loro statisticamente indipendenti ed omogenei.

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

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

Selezionati gli "eventi di picco", l'omogeneità dei dati di solito viene assicurata raggruppando gli stessi dati in eventi caratterizzati da una simile genesi meteorologica. Ciò normalmente si traduce nel separare i valori massimi di altezze d'onda registrati in distinti settori di provenienza degli stati di mare.

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

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

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

e la legge di Gumbel

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

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

Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

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

si possono stimare le altezze d'onda significative relative a diversi tempi di ritorno.

Per l'analisi statistica degli eventi estremi della serie storica sono state individuate tutte le mareggiate di durata pari ad almeno 12 ore in cui l'altezza d'onda H_s si tenuta sempre superiore alla soglia di 1 m. In Tabella 5-1 è riportata la distribuzione degli eventi estremi registrati dall'ondametro nel periodo 1989 – 2007.

Tabella 5-1. Eventi estremi di durata superiore a 12 ore e altezza d'onda sopra soglia registrati dall'ondametro di Monopoli nel periodo 1989 - 2007

1	<=	H_s	<	2	(m):	279
2	<=	H_s	<	2.5	(m):	284
2.5	<=	H_s	<	3	(m):	111
3	<=	H_s	<	3.5	(m):	60
3.5	<=	H_s	<	4	(m):	18
4	<=	H_s	<	4.5	(m):	12
4.5	<=	H_s	<	5	(m):	2
		H_s	>=	5	(m):	1

Numero totale registrazioni con $H_s \geq 1.00$ 767

Il diagramma polare dei colmi delle mareggiate registrate dall'ondametro, riportato in Figura 5-1, consente di individuare tre distinti settori di traversia da cui provengono le mareggiate:

- il settore compreso tra 310° e 20° N è quello da cui provengono più frequentemente gli eventi estremi, con un totale di 416 mareggiate nell'arco di circa 15 anni, applicando il metodo POT sono stati individuati 49 colmi di mareggiata con $H_s \geq 3.0$ m;
- il settore di traversia compreso tra 20° e 90° 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 173 mareggiate. Applicando il metodo POT sono stati selezionati 27 colmi di mareggiata con $H_s \geq 3.0$ m;
- il settore di traversia compreso tra 90° e 130° N che complessivamente è stato interessato da 137 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 25 colmi di mareggiata sopra la soglia di $H_s \geq 2.0$ m.

i restanti eventi di mareggiata (41) non sono rappresentativi di una popolazione di eventi e quindi non sono stati analizzati dal punto di vista statistico.

Individuati i settori principali di provenienza del moto ondoso, si è quindi proceduto a determinare per essi i valori di soglia dell'altezza d'onda significativa da utilizzare per "isolare" ciascun evento e quindi i corrispondenti valori di picco. Il valore di soglia è stato individuato seguendo il metodo proposto da Goda (1988).

Applicando il metodo POT è stata selezionata, per ogni settore di traversia, il **campione** estratto dalla **popolazione** dei colmi delle mareggiate più significative. Successivamente applicando i criteri dell'inferenza statistica è stata trovata la funzione di probabilità (ed i suoi parametri caratteristici) che meglio descrive la popolazione dei colmi.

Una volta ottenuta la funzione di probabilità di non superamento è possibile valutare il corrispondente valore al colmo della mareggiata corrispondente ad un tempo di ritorno assegnato.

I risultati della analisi di inferenza statistica e valori al colmo in funzione di prefissati tempi di ritorno sono riportati per ogni settore nelle pagine seguenti.

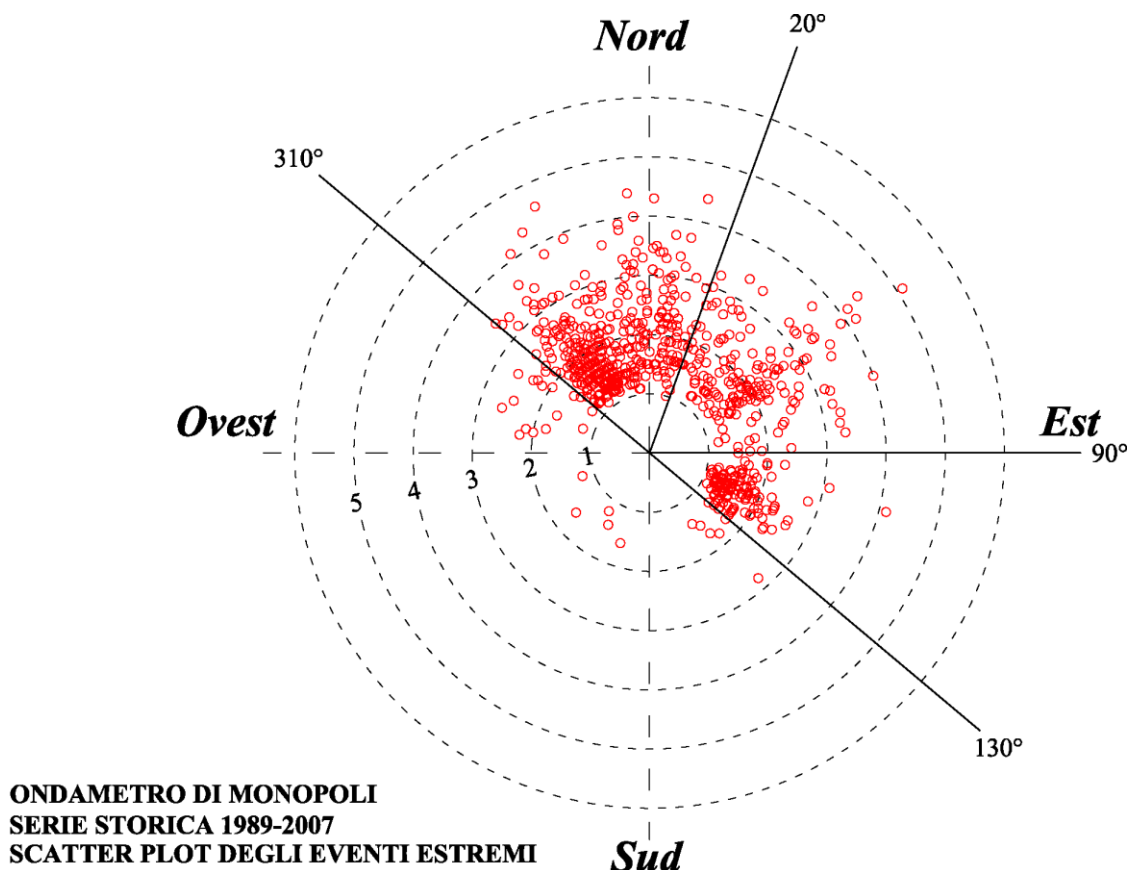


Figura 5-1. Valori al colmo delle mareggiate di durata superiore a 12 h registrate dall'ondametro di Monopoli nel periodo 1989 – 2007.

Altezze d'onda estreme per l'ondametro di Monopoli Legge FT-I (Weibull) Settore 310° - 20° Nord

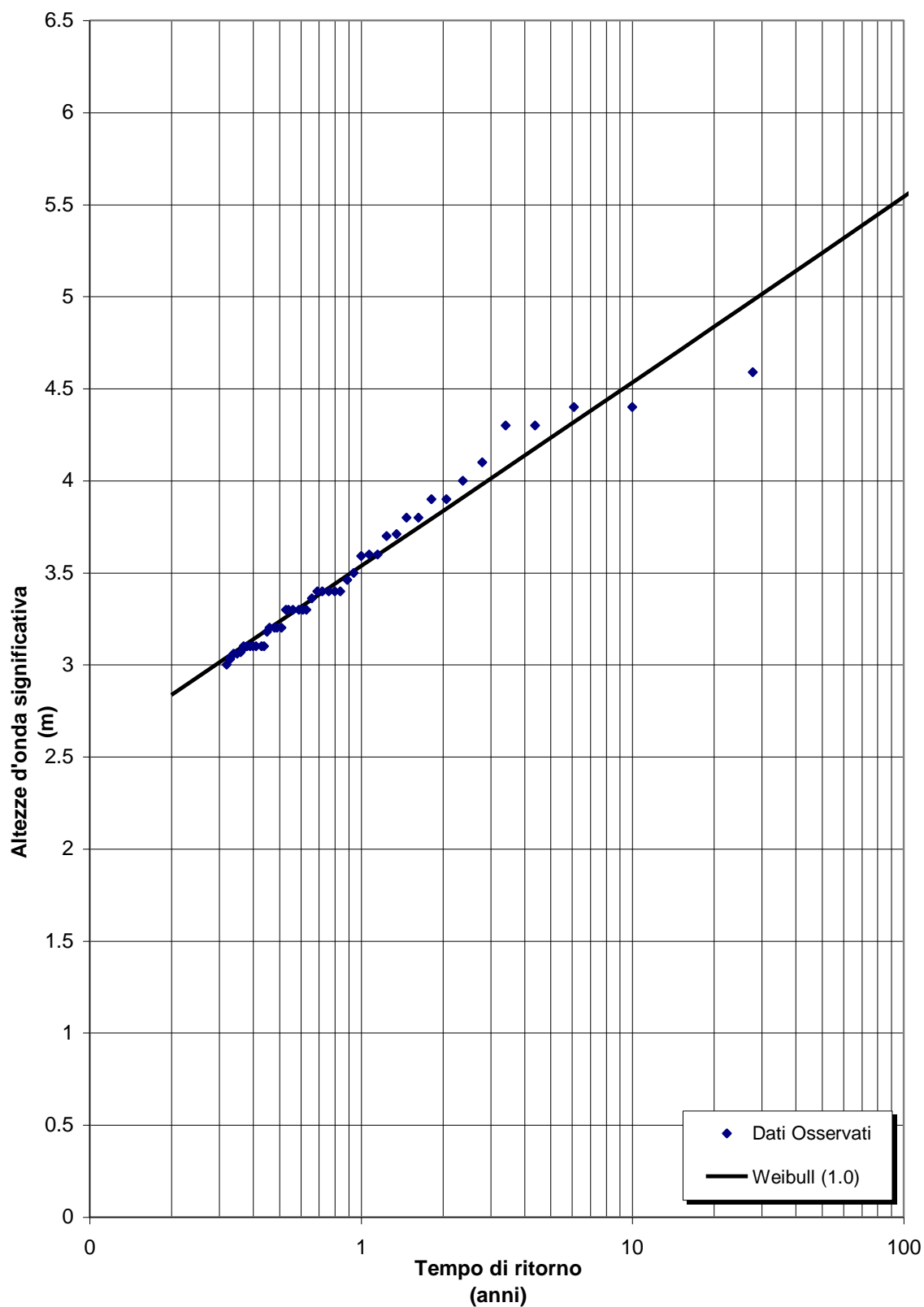


Figura 5-2. Legge di regolarizzazione per gli eventi estremi del settore di traversia 310° - 20° N.

Tabella 5-3. Eventi estremi settore 20° - 90° N.



Analisi degli eventi estremi per l'ondametro di Monopoli Settore di traversia: 20° - 90° Nord

Numero anni: 15.52
Numero delle mareggiate: 173
Soglia di riferimento (POT) m >3.00

Media (m): 3.511
Deviazione Standard (m): 0.485
Numero di eventi sopra POT 27

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
5.10	27.84	3.26	0.94
4.40	9.99	3.23	0.89
4.16	6.09	3.23	0.84
4.14	4.38	3.23	0.80
4.00	3.42	3.20	0.76
3.90	2.80	3.20	0.72
3.70	2.38	3.20	0.69
3.56	2.06	3.15	0.66
3.48	1.82	3.10	0.63
3.40	1.63	3.04	0.61
3.40	1.48	3.00	0.59
3.39	1.35		
3.35	1.24		
3.34	1.15		
3.33	1.07		
3.30	1.00		

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	4.2	0.5	4.1	0.3
10	4.5	0.7	4.4	0.5
25	5.0	1.0	4.8	0.7
50	5.4	1.2	5.1	0.9
100	5.7	1.4	5.5	1.2

A	0.498	0.247
B	2.12	2.49
r	0.988	0.992

Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	4.1	0.4	4.2	0.5	4.3	0.5
10	4.5	0.6	4.6	0.6	4.6	0.6
25	4.9	0.9	5.0	0.9	5.1	0.8
50	5.3	1.1	5.4	1.1	5.4	1.0
100	5.7	1.3	5.7	1.3	5.8	1.2

A	0.505	1.005	1.85
B	2.075	1.417	0.436
r	0.99	0.985	0.979

Altezze d'onda estreme per l'ondametro di Monopoli Legge FT-I (Weibull) Settore 20°- 90° Nord

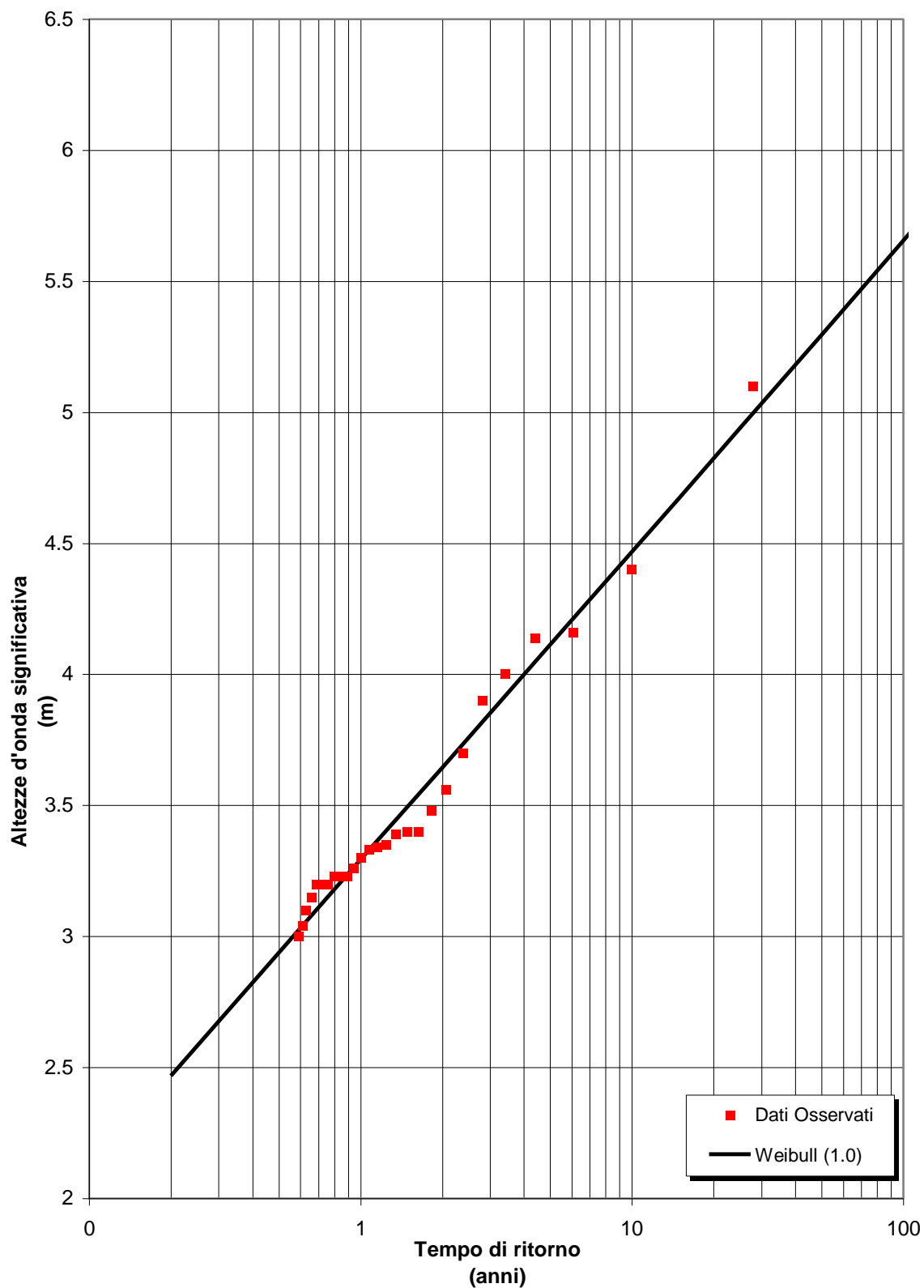


Figura 5-3. Legge di regolarizzazione per gli eventi estremi del settore di traversia 20°- 90° N.

Altezze d'onda estreme per l'ondametro di Monopoli Legge FT-I (Weibull) Settore 90°- 130° Nord

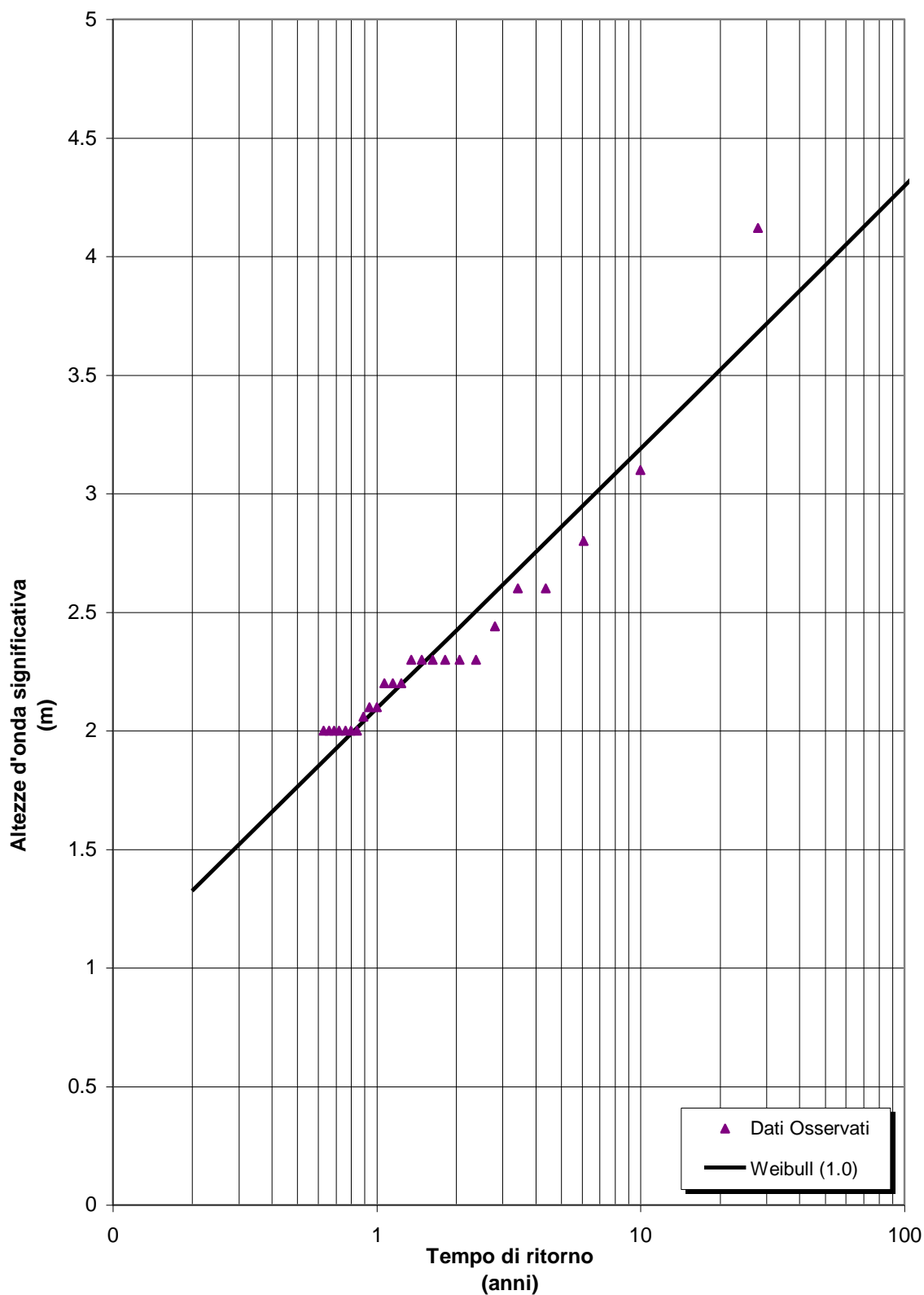


Figura 5-4. Legge di regolarizzazione per gli eventi estremi del settore di traversia 90°- 130° N.

Capitolo 6

Clima di moto ondoso sottocosta

Per definire le condizioni di moto ondoso che si vengono a realizzare in prossimità dell'opera è stato necessario effettuare una propagazione del moto ondoso da largo verso riva utilizzando un modello matematico.

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

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

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 ondometrica di Monopoli, il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE sviluppato dalla MODIMAR srl.

Il modello numerico MEROPE risolve la rifrazione inversa spettrale dei fronti d'onda a partire da un punto utilizzando una griglia di calcolo costruita sulla base dei dati batimetrici del paraggio in esame.

6.1 Applicazione del modello di inversa spettrale MEROPE

6.1.1 Griglia di calcolo

In Figura 5-1 è rappresentata la griglia di calcolo utilizzata per le simulazioni effettuate con il modello MEROPE. La griglia è stata definita sulla base dei dati batimetrici forniti dalla carta nautica del paraggio e dai dati provenienti dal rilievo batimetrico fornito dal committente.

La griglia ha dimensioni 12000×7500 m, con un passo di discretizzazione di 10 m in entrambe le direzioni, per un totale di 751×1201 nodi. L'angolo tra il Nord e l'asse della verticale della griglia, misurato in senso antiorario, è di 315°.

All'interno della griglia è stato selezionato un punto di propagazione, indicato con P1, posto alla profondità di -16.0 m sul l.m.m. in prossimità dell'opera da realizzare.

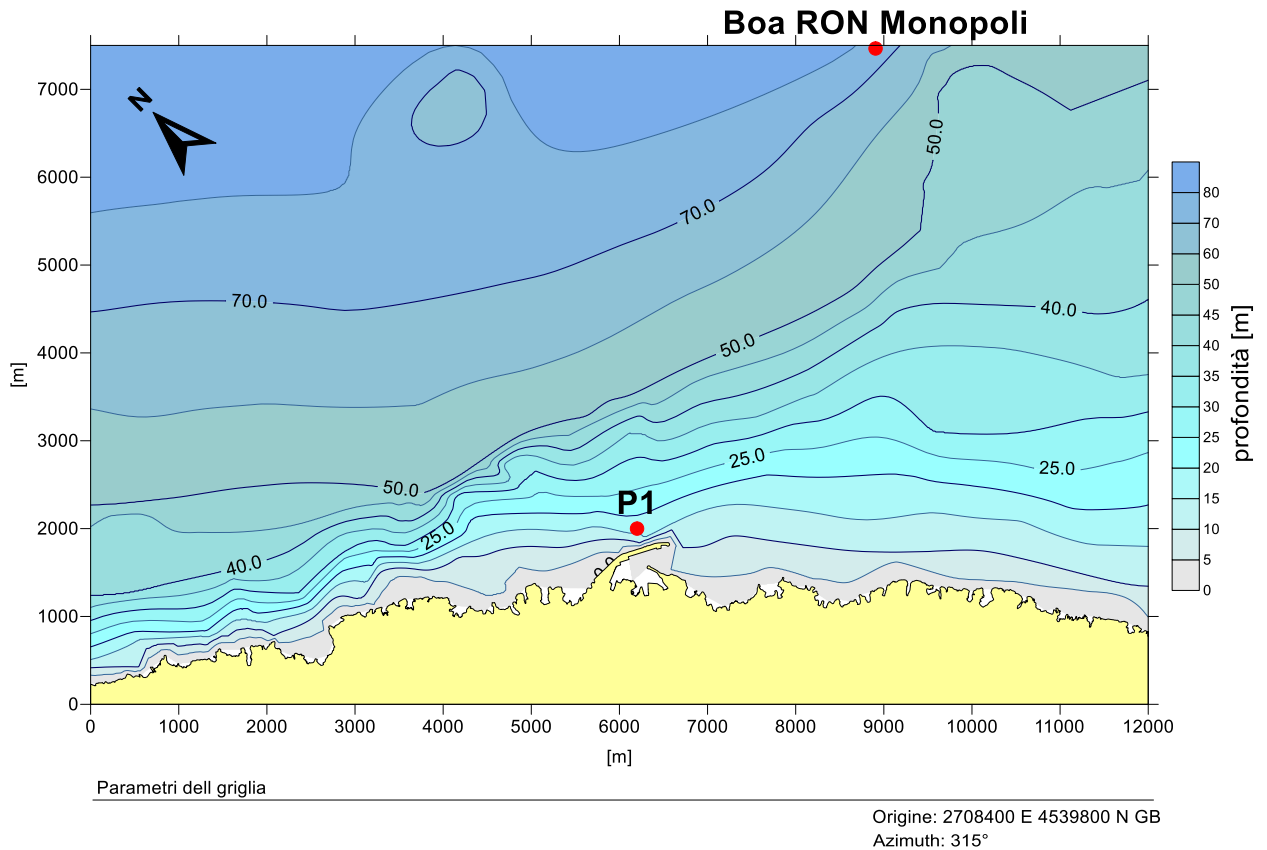


Figura 6-1. Griglia di calcolo utilizzata dal modello di inversa spettrale MEROPE.

6.1.2 Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo

Per i punti scelti sono stati calcolati 20 piani d'onda d'inversa per altrettanti periodi compresi tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spaziatosi di 0.5°, sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia.

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

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

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

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

La funzione $G(f,\theta)$ viene esplicitata nel modello MEROPE sulla base dell'equazione fornita da Goda (Random Seas and Design of Maritime Structures, World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering, vol 15) ponendo:

$$s_{\max} = 18 \text{ (onde di mare vivo)}$$

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

6.1.3 Risultati del modello di inversa spettrale nel punto sottocosta P1

Il diagramma riportato in Figura 6-2 mostra la correlazione largo/riva per gli spettri più rappresentativi. Nella parte alta del diagramma è rappresentato il campo di variazione del coefficiente di rifrazione e shoaling, $K=K_r \cdot K_s$, in funzione della direzione al largo e del periodo dell’onda. Nella parte bassa del diagramma è riportata la deviazione di direzione del moto ondoso sottocosta al variare del periodo dell’onda.

In generale si può osservare che le onde che si presentano al largo con direzione compresa tra 10 °N e 60 °N si propagano sottocosta senza subire significanti processi di rifrazione e shoaling; per queste onde il coefficiente K assume valori compresi tra $0.9 \leq K < 1.0$ e la rotazione dei fronti d’onda osservata nel punto P1 è compresa tra +/- 10°.

Le onde provenienti da N-NO e da E-SE sono soggette in maggior misura ai fenomeni di rifrazione e presentano in generale una maggior riduzione dell’altezza d’onda ed una rotazione più evidente. Tali effetti sono più evidenti per onde di periodo T_p superiore a 7.0 s.

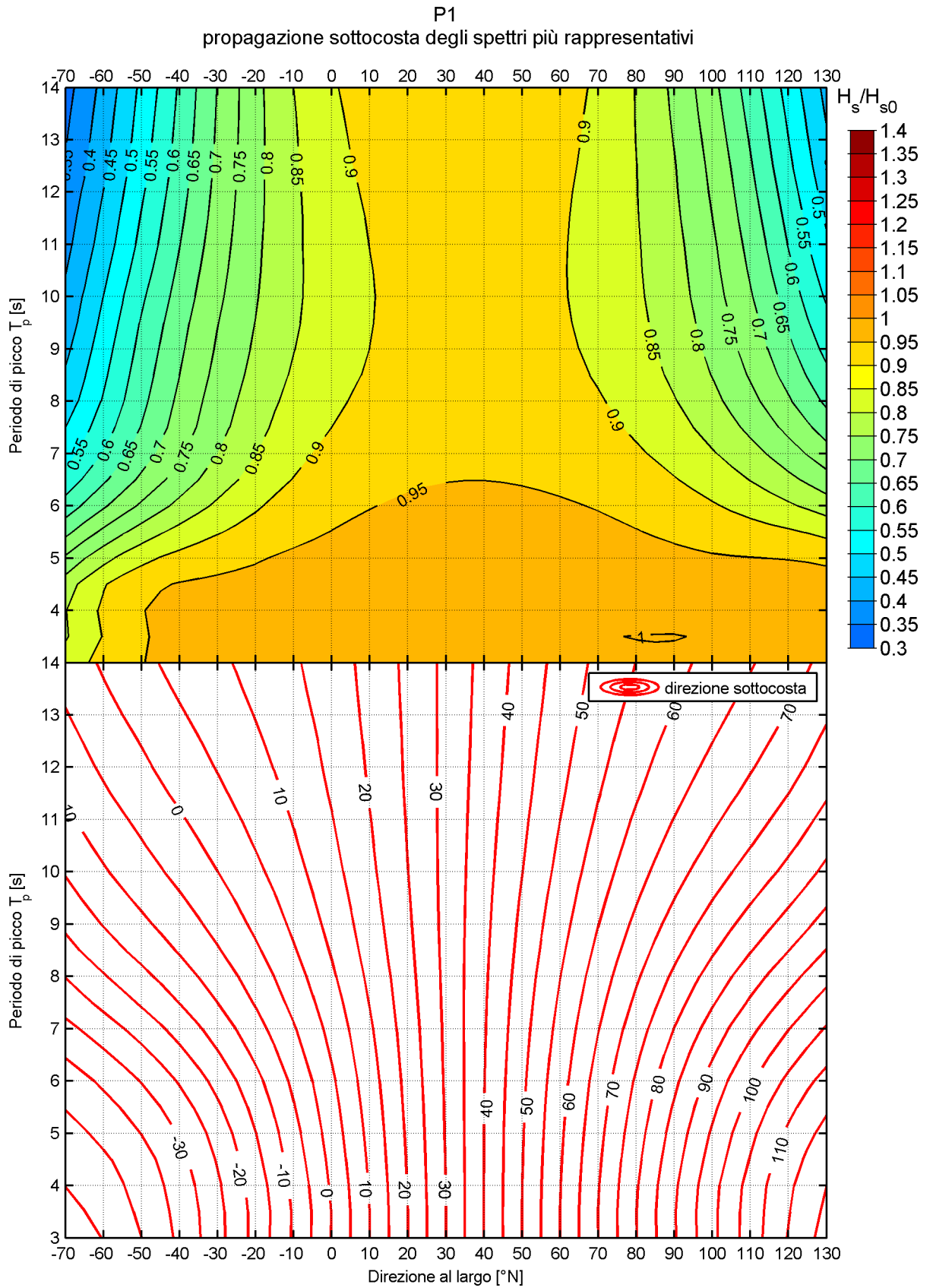


Figura 6-2. Punto sottocosta P1 – diagramma di correlazione largo/riva per gli spettri più rappresentativi.

6.2 Analisi del clima di moto ondoso sottocosta

L'applicazione del modello MEROPE ha consentito di propagare nel punto di inversa spettrale P1 tutti gli stati di mare della serie storica di dati di moto ondoso 1989 - 2007 della boa RON di Monopoli e di valutare pertanto le caratteristiche del clima di moto ondoso sottocosta.

Il processo di propagazione ha permesso di ottenere una serie storica trioraria costituita da 45642 eventi con un rendimento complessivo pari all'86.5%.

Nei grafici riportati in Figura 6-3 e Figura 6-4 è rappresentata la frequenza di accadimento delle diverse classi di altezza d'onda significativa H_s e di periodo di picco T_p .

In Tabella 6-2 sono riportati gli eventi di moto ondoso ricostruiti nel punto P1 suddivisi per classi di H_s e direzione, mentre in Tabella 6-3 è indicata la loro frequenza di accadimento percentuale.



Figura 6-3. Frequenza di accadimento dell'altezza d'onda significativa H_s nel punto sottocosta P1 [1989 – 2007].

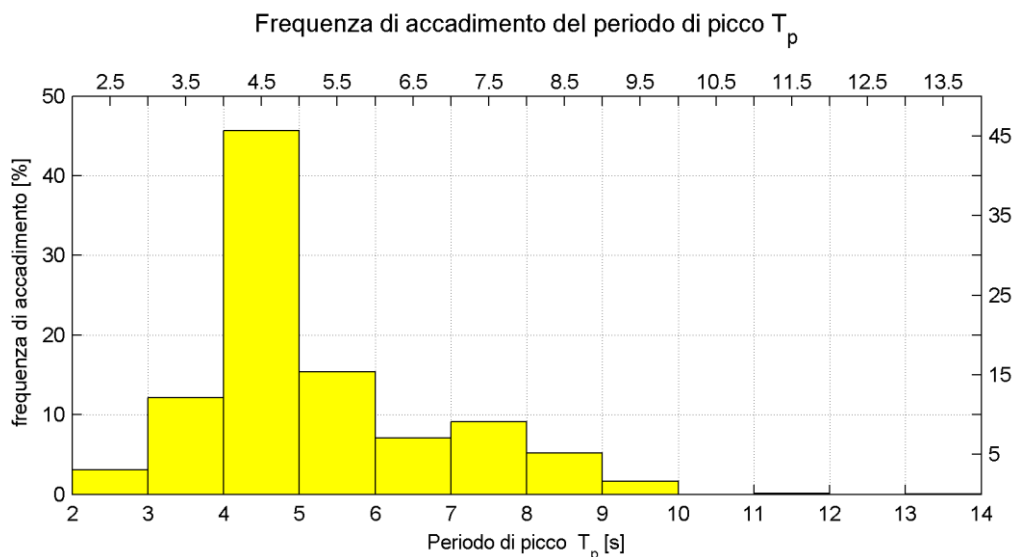


Figura 6-4. Frequenza di accadimento del periodo di picco T_p nel punto sottocosta P1 [1989 – 2007].

Il regime di moto ondoso nel punto sottocosta P1 risulta piuttosto mite. Le calme, con altezze d'onda comprese tra $0.0 \leq H_s < 0.5$ m, si presentano in media il 44% del tempo.

L'altezza d'onda significativa supera la soglia di $H_s \geq 1.0$ m in media per il 18% del tempo (circa 65 giorni l'anno).

Le onde provengono in prevalenza dai settori di maestrale e tramontana con una frequenza di accadimento complessiva del 30.9%. A queste si alternano stati di mare provenienti da levante e in misura minore da grecale.

Altezze d'onda superiori a 3.0 m si presentano solo occasionalmente con una frequenza del 0.2% (circa 19 ore/anno) con provenienza N-NE. Altezze d'onda superiori a 4.0 m sono molto rare e in media si verificano meno di un'ora/anno e provengono generalmente da NE.

Tabella 6-1. Sintesi dei risultati dell'analisi di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso nel punto P1

	calme	$H_s \geq 0.5$ m	$H_s \geq 1.0$ m	$H_s \geq 2.0$ m	$H_s \geq 3.0$ m	$H_s \geq 4.0$ m
frequenza	43.4	56.6	17.8	2.1	0.2	0.0
nr. mesi	5	7	2	0	0	0
nr. giorni	158	207	65	8	1	0
nr. ore	3797	4963	1564	187	19	1
nr. eventi triorari anno	1266	1654	521	62	6	0

SETTORE	TRAVERSIA	$H_s \geq 0.5$ m	$H_s \geq 1.0$ m	$H_s \geq 2.0$ m	$H_s \geq 3.0$ m	$H_s \geq 4.0$ m
tramontana	N	14.4	6.2	1.0	0.1	
grecale	NE	8.9	4.1	0.9	0.1	0.01
levante	E	16.5	3.4	0.2	0.01	
scirocco	SE	1.3	0.2			
mezzogiorno	S					
libeccio	SO					
ponente	O					
maestrale	NO	15.5	3.9	0.03		

In prevalenza si verificano onde di vento generate localmente con periodo di picco compreso tra $3.0 \text{ s} \leq T_p < 6.0 \text{ s}$. In occasione delle mareggiate si possono verificare onde con periodo di picco $10 \text{ s} \leq T_p < 12 \text{ s}$.

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:

$$T_p = a \cdot (H_s)^b \quad [a = 5.62 \quad b = 0.24]$$

ove i parametri a e b sono stati ricavati dall'analisi di correlazione statistica dei dati di moto ondoso propagati nel punto P1.

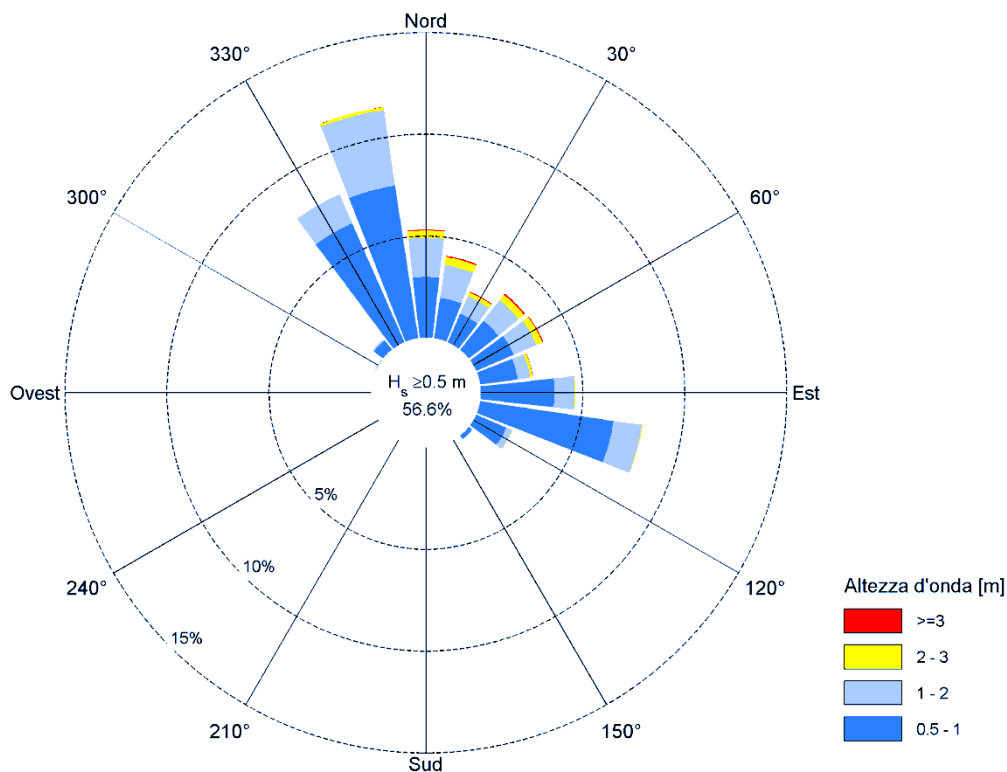


Figura 6-5. Punto sottocosta P1 – rosa di distribuzione degli eventi di moto ondoso appartenenti alla serie storica 89-07 con altezza d'onda significativa superiore a 0.5 m.

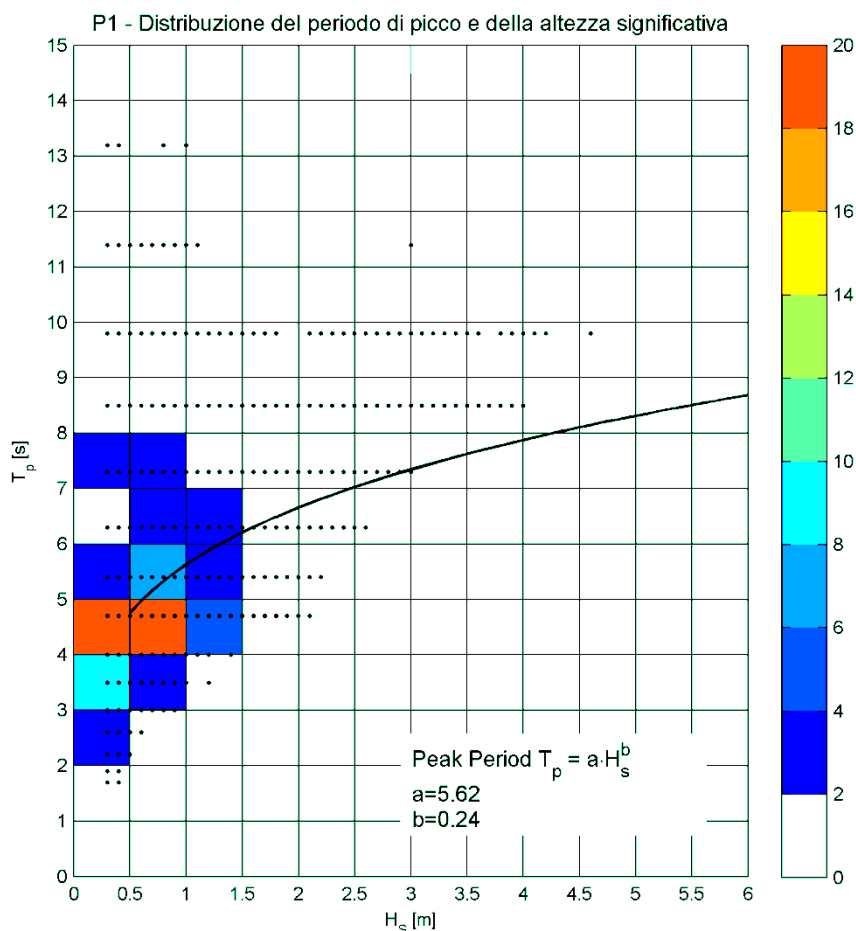


Figura 6-6. Diagramma di correlazione H_s-T_p nel punto sottocosta P1 [1989 – 2007].

Tabella 6-2. Punto di inversa spettrale sottocosta P1. Eventi di moto ondoso propagati sottocosta.

Numero di eventi di moto ondoso suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione

Punto di inversa spettrale P1 - Luglio 1989 - Giugno 2007

Dir. ° Nord	Classe 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	
0	554	673	895	387	189	93	33	12	0	0	0	0	0	0	0	2836
10	568	509	668	344	212	103	37	21	5	0	0	0	0	0	0	2467
20	506	433	550	245	140	58	24	5	3	1	0	0	0	0	0	1965
30	437	368	448	206	77	50	18	6	2	0	0	0	0	0	0	1612
40	436	385	512	240	81	58	17	5	3	0	0	0	0	0	0	1737
50	471	407	607	333	166	93	47	16	7	3	1	0	0	0	0	2151
60	510	437	636	241	118	61	24	5	0	0	0	0	0	0	0	2032
70	672	434	481	133	70	34	21	3	0	0	0	0	0	0	0	1848
80	705	632	665	135	31	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2182
90	618	759	1080	256	31	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2749
100	527	1126	1997	427	45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4123
110	283	886	1723	330	27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3250
120	141	245	382	83	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	858
130	189	195	129	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	519
140	155	79	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240
150	21	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
160	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
170	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
180	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
190	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
200	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
210	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
220	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
230	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
240	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
250	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
260	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
270	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
280	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
290	19	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
300	57	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72
310	208	162	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	422
320	184	295	363	45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	888
330	272	766	1986	431	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3485
340	475	1255	2911	1078	175	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5907
350	613	1022	1617	613	242	63	4	2	0	0	0	0	0	0	0	4176
Tot	8677	11109	17709	5533	1641	644	229	75	20	4	1	0	0	0	0	45642

Tabella 6-3. Punto di inversa spettrale P1 - frequenza di accadimento degli stati di moto ondoso propagati sottocosta.

Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso. ANNUALE

Punto di inversa spettrale P1 - Luglio 1989 - Giugno 2007

Dir. ° Nord	Classe di altezza d'onda significativa Hs [m]															Tot	>0.5
	<0.25	0.25÷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		
0	1.2	1.5	2.0	0.8	0.4	0.2	0.07	0.03								6.2	3.5
10	1.2	1.1	1.5	0.8	0.5	0.2	0.08	0.05	0.01							5.4	3.0
20	1.1	0.9	1.2	0.5	0.3	0.1	0.05	0.01	0.01	0.00						4.3	2.2
30	1.0	0.8	1.0	0.5	0.2	0.1	0.04	0.01	0.00							3.5	1.8
40	1.0	0.8	1.1	0.5	0.2	0.1	0.04	0.01	0.01							3.8	2.0
50	1.0	0.9	1.3	0.7	0.4	0.2	0.1	0.04	0.02	0.01	0.00					4.7	2.8
60	1.1	1.0	1.4	0.5	0.3	0.1	0.05	0.01								4.5	2.4
70	1.5	1.0	1.1	0.3	0.2	0.07	0.05	0.01								4.0	1.6
80	1.5	1.4	1.5	0.3	0.07	0.02	0.01									4.8	1.9
90	1.4	1.7	2.4	0.6	0.07	0.01	0.00									6.0	3.0
100	1.2	2.5	4.4	0.9	0.10	0.00										9.0	5.4
110	0.6	1.9	3.8	0.7	0.06	0.00										7.1	4.6
120	0.3	0.5	0.8	0.2	0.01	0.00										1.9	1.0
130	0.4	0.4	0.3	0.01												1.1	0.3
140	0.3	0.2	0.01													0.5	0.0
150	0.05	0.02														0.1	0.0
160	0.03	0.00														0.0	0.0
170	0.02	0.01														0.0	0.0
180	0.00															0.0	0.0
190	0.00	0.00														0.0	0.0
200	0.00															0.0	0.0
210	0.00	0.00														0.0	0.0
220	0.00	0.00														0.0	0.0
230	0.01															0.0	0.0
240	0.01															0.0	0.0
250	0.01	0.00														0.0	0.0
260	0.00	0.00														0.0	0.0
270	0.02															0.0	0.0
280	0.02	0.00														0.0	0.0
290	0.04	0.01														0.0	0.0
300	0.1	0.03	0.00													0.2	0.0
310	0.5	0.4	0.1													0.9	0.1
320	0.4	0.6	0.8	0.10	0.00											1.9	0.9
330	0.6	1.7	4.4	0.9	0.07											7.6	5.4
340	1.0	2.7	6.4	2.4	0.4	0.03										12.9	9.2
350	1.3	2.2	3.5	1.3	0.5	0.1	0.01	0.00								9.1	5.6
Tot	19.0	24.3	38.8	12.1	3.6	1.4	0.5	0.2	0.04	0.01	0.00					100.0	56.6
Tot. cumul.		43.4	82.2	94.3	97.9	99.3	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

Numero di eventi: 45642

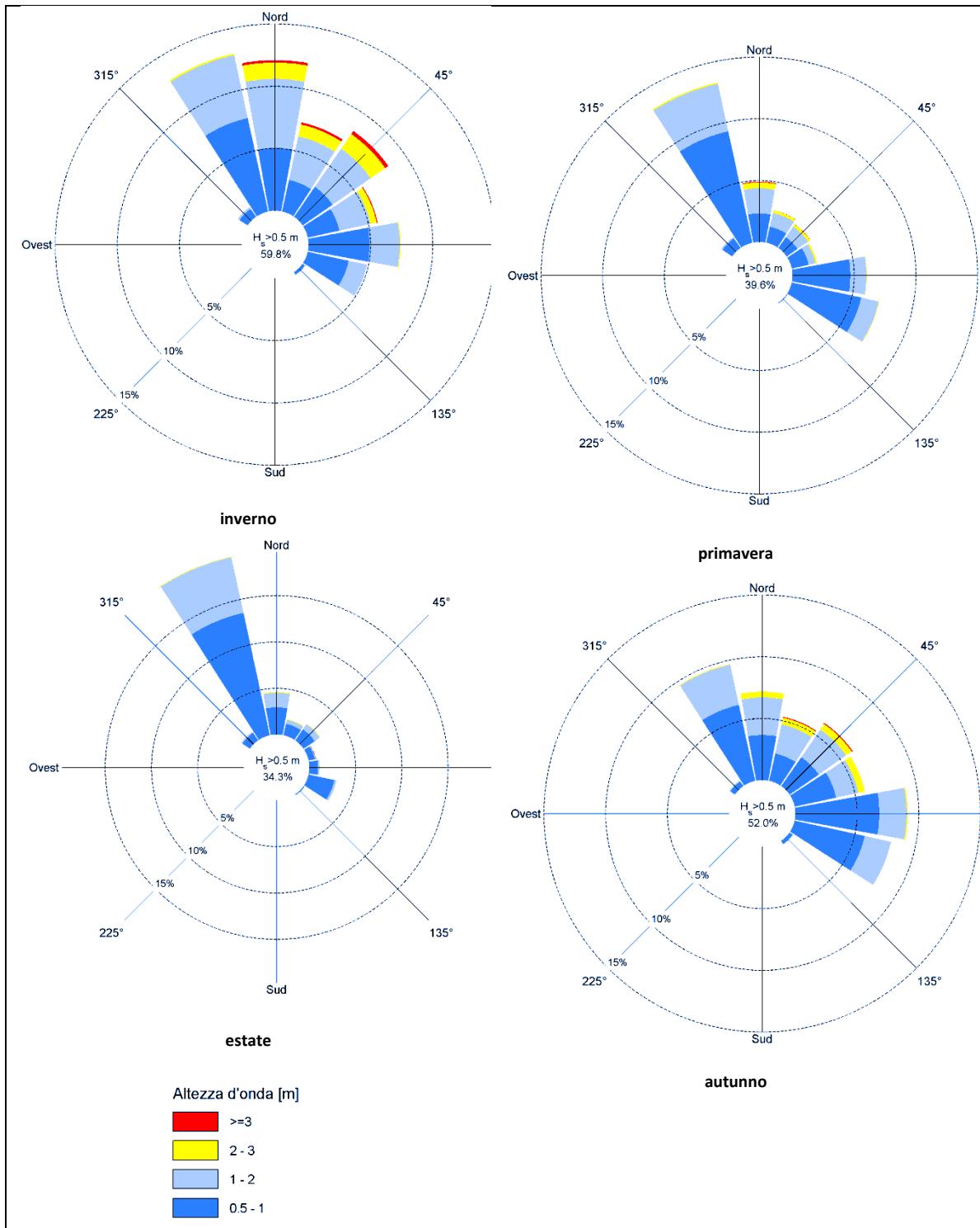


Figura 6-7. Punto sottocosta P1 – rose di distribuzione su base stagionale degli eventi di moto ondoso, con H_s superiore a 0.5 m, appartenenti alla serie storica 89-07.

In inverno e in autunno si registra una maggiore frequenza di eventi di moto ondoso con $H_s \geq 2.0$ m che provengono in prevalenza da N-NE. In primavera e in estate raramente si verificano condizioni di moto ondoso con $H_s \geq 2.0$ m. In estate il moto ondoso presenta una forte prevalenza di stati di mare provenienti da NO.

Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso. INVERNO

Punto di inversa spettrale P1 - Luglio 1989 - Giugno 2007

Dir. ° Nord	Classe di altezza d'onda significativa H _s [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		
0	0.7	1.2	2.8	1.5	0.9	0.4	0.2	0.08								7.7	5.9
10	0.7	0.9	2.1	1.6	0.9	0.6	0.2	0.2	0.05							7.2	5.5
20	0.5	0.7	1.6	1.1	0.6	0.2	0.1	0.03	0.03	0.01						4.9	3.6
30	0.5	0.7	1.3	0.7	0.3	0.3	0.1	0.02								4.0	2.7
40	0.6	0.7	1.5	0.9	0.4	0.3	0.1	0.04	0.03							4.6	3.2
50	0.6	0.7	1.9	1.2	0.8	0.5	0.3	0.1	0.06	0.03	0.01					6.3	4.9
60	0.7	0.8	2.0	1.0	0.6	0.3	0.08	0.05								5.5	4.0
70	0.7	0.8	1.3	0.6	0.3	0.08	0.1	0.02								4.0	2.5
80	0.8	1.1	1.8	0.6	0.1	0.05										4.4	2.5
90	0.9	1.4	3.0	0.8	0.2	0.03										6.3	4.0
100	0.8	1.6	3.9	1.4	0.2											7.8	5.5
110	0.4	0.9	2.5	0.8	0.07											4.7	3.4
120	0.2	0.5	0.7	0.2	0.02											1.6	0.9
130	0.4	0.4	0.4	0.02												1.2	0.4
140	0.3	0.2	0.02													0.6	0.0
150	0.07	0.03														0.1	0.0
160	0.05	0.01														0.1	0.0
170		0.02														0.0	0.0
180	0.01															0.0	0.0
190	0.01															0.0	0.0
200																	0.0
210	0.01	0.01														0.0	0.0
220		0.01														0.0	0.0
230																	0.0
240																	0.0
250	0.01															0.0	0.0
260																	0.0
270	0.03															0.0	0.0
280	0.03															0.0	0.0
290	0.03	0.01														0.0	0.0
300	0.1	0.02														0.2	0.0
310	0.7	0.4	0.1													1.3	0.1
320	0.3	0.6	0.8	0.1	0.01											1.9	1.0
330	0.4	1.1	2.7	0.9	0.07											5.2	3.7
340	0.7	1.7	5.3	2.4	0.5	0.06										10.6	8.3
350	0.8	1.6	4.1	1.8	1.1	0.3	0.01									9.7	7.3
Tot	12.0	18.5	39.7	17.6	7.1	3.1	1.3	0.5	0.2	0.04	0.01					100.0	69.5
Tot. cumul.		30.5	70.2	87.8	94.9	98.0	99.3	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

Number of occurrence: 10639

Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso. PRIMAVERA

Punto di inversa spettrale P1 - Luglio 1989 - Giugno 2007

Dir. ° Nord	Classe di altezza d'onda significativa H _s [m]															Tot	>0.5
	<2.5	.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		
0	1.3	1.5	1.5	0.6	0.3	0.2	0.07	0.03								5.3	2.5
10	1.5	1.1	1.0	0.5	0.3	0.10	0.06	0.03								4.6	1.9
20	1.2	1.0	1.0	0.4	0.10	0.10	0.04	0.01								3.8	1.6
30	1.2	0.8	0.7	0.3	0.1	0.03	0.01									3.2	1.2
40	1.0	0.9	0.6	0.3	0.2	0.07	0.01									3.1	1.2
50	1.2	1.0	0.8	0.3	0.2	0.07	0.03	0.01								3.7	1.4
60	1.3	1.1	1.0	0.2	0.1	0.03	0.01									3.7	1.3
70	1.9	1.0	0.7	0.2	0.06	0.05	0.01									3.9	1.0
80	1.9	1.4	1.3	0.2	0.04	0.01										4.9	1.6
90	1.7	2.0	2.5	0.5	0.02											6.6	3.0
100	1.6	3.7	5.7	1.0	0.08											12.1	6.8
110	0.9	2.8	5.1	0.7	0.06	0.01										9.6	5.9
120	0.3	0.5	0.8	0.3	0.03	0.01										1.9	1.1
130	0.3	0.4	0.2	0.03												1.0	0.2
140	0.2	0.1	0.01													0.4	0.0
150	0.02	0.01														0.0	0.0
160	0.03	0.01														0.0	0.0
170	0.03															0.0	0.0
180																	0.0
190																	0.0
200																	0.0
210																	0.0
220																	0.0
230	0.01															0.0	0.0
240	0.01															0.0	0.0
250																	0.0
260																	0.0
270	0.02															0.0	0.0
280		0.01														0.0	0.0
290	0.06															0.1	0.0
300	0.1	0.03														0.1	0.0
310	0.3	0.3	0.10													0.6	0.1
320	0.3	0.6	0.9	0.09												1.9	1.0
330	0.5	1.9	5.6	0.9	0.08											8.9	6.5
340	1.1	3.1	6.1	2.1	0.3	0.02										12.8	8.6
350	1.4	2.2	2.5	1.0	0.3	0.2	0.02	0.02								7.6	4.0
Tot	21.5	27.5	38.2	9.4	2.3	0.8	0.3	0.09								100.0	51.0
Tot. cumul.		49.0	87.1	96.5	98.8	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

Number of occurrence: 11533

Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso. ESTATE

Punto di inversa spettrale P1 - Luglio 1989 - Giugno 2007

Dir. ° Nord	Classe di altezza d'onda significativa H _s [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	≥ 6.5		
0	2.2	1.9	1.5	0.5	0.1	0.03	0.01									6.3	2.1
10	2.0	1.2	1.2	0.3	0.1	0.03										4.9	1.7
20	1.9	1.2	0.9	0.1	0.06	0.02										4.3	1.1
30	1.5	0.9	0.8	0.1	0.01											3.3	0.9
40	1.4	0.9	0.9	0.2	0.02	0.02										3.5	1.1
50	1.4	0.8	0.8	0.3	0.04	0.01										3.4	1.2
60	1.5	0.7	0.5	0.1	0.02											2.8	0.6
70	2.1	0.7	0.4	0.03		0.01		0.01								3.2	0.4
80	2.2	1.1	0.6	0.03	0.01											4.0	0.6
90	1.6	1.2	0.6	0.06	0.01											3.5	0.7
100	1.3	2.1	1.8	0.1												5.4	1.9
110	0.7	1.9	2.7	0.1												5.4	2.8
120	0.3	0.4	0.6	0.05												1.4	0.6
130	0.4	0.3	0.2													0.8	0.2
140	0.4	0.1	0.01													0.5	0.0
150	0.04	0.01														0.1	0.0
160																	0.0
170	0.02															0.0	0.0
180																	0.0
190																	0.0
200	0.01															0.0	0.0
210	0.01															0.0	0.0
220	0.01															0.0	0.0
230	0.01															0.0	0.0
240																	0.0
250																	0.0
260	0.01	0.01														0.0	0.0
270	0.01															0.0	0.0
280	0.03															0.0	0.0
290	0.03															0.0	0.0
300	0.1	0.03														0.1	0.0
310	0.4	0.3	0.07													0.8	0.1
320	0.6	0.9	0.9	0.1												2.6	1.1
330	1.2	2.7	6.9	1.5	0.07											12.3	8.4
340	2.0	4.6	9.4	3.4	0.4	0.03										19.9	13.3
350	2.5	3.5	3.9	1.2	0.3	0.04										11.4	5.4
Tot	28.1	27.6	34.6	8.3	1.2	0.2	0.01	0.01								100.0	44.3
Tot. cumul.		55.7	90.3	98.6	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

Number of occurrence: 11795

Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso. AUTUNNO

Punto di inversa spettrale P1 - Luglio 1989 - Giugno 2007

Dir. ° Nord	Classe di altezza d'onda significativa H _s [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		
0	0.6	1.3	2.2	1.0	0.4	0.2	0.03									5.7	3.8
10	0.7	1.1	1.6	0.8	0.6	0.2	0.06	0.02								5.1	3.2
20	0.7	0.8	1.4	0.6	0.5	0.2	0.06	0.01								4.3	2.7
30	0.6	0.8	1.2	0.6	0.2	0.1	0.04	0.03	0.02							3.6	2.3
40	0.7	0.8	1.6	0.7	0.2	0.1	0.04	0.01								4.1	2.6
50	0.8	1.0	1.9	1.2	0.4	0.2	0.08	0.03	0.01							5.6	3.9
60	1.0	1.2	2.2	0.9	0.4	0.2	0.1									5.9	3.7
70	1.1	1.3	1.9	0.4	0.2	0.2	0.06									5.1	2.7
80	1.2	1.8	2.2	0.4	0.1	0.04	0.03									5.8	2.8
90	1.2	2.0	3.5	0.9	0.1	0.01	0.01									7.7	4.5
100	0.9	2.3	6.0	1.3	0.1	0.01										10.8	7.5
110	0.5	2.0	4.7	1.2	0.1											8.6	6.0
120	0.4	0.8	1.3	0.3												2.7	1.5
130	0.5	0.6	0.4	0.01												1.5	0.4
140	0.4	0.2	0.02													0.6	0.0
150	0.06	0.04														0.1	0.0
160	0.03															0.0	0.0
170	0.02	0.02														0.0	0.0
180	0.01															0.0	0.0
190		0.01														0.0	0.0
200	0.01															0.0	0.0
210		0.01														0.0	0.0
220		0.01														0.0	0.0
230	0.01															0.0	0.0
240	0.02															0.0	0.0
250	0.03	0.01														0.0	0.0
260	0.01															0.0	0.0
270	0.02															0.0	0.0
280	0.03															0.0	0.0
290	0.04	0.02														0.1	0.0
300	0.1	0.05	0.01													0.2	0.0
310	0.4	0.4	0.2													1.0	0.2
320	0.4	0.5	0.5	0.07												1.4	0.6
330	0.3	0.9	2.1	0.6	0.05											3.9	2.7
340	0.4	1.6	4.5	1.5	0.3	0.02										8.2	6.2
350	0.6	1.6	3.7	1.4	0.4	0.09	0.01									7.8	5.6
Tot	13.7	23.3	42.8	13.8	4.1	1.7	0.5	0.1	0.03							100.0	63.0
Tot. cumul.		37.0	79.8	93.6	97.7	99.3	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

Number of occurrence: 11675

Curva di durata

In merito alla persistenza degli eventi di moto ondoso a ridosso delle opere si può far riferimento alla curva di durata rappresentata in Figura 6-8. Dall'analisi delle registrazioni dell'ondametro è stato possibile determinare la durata media annuale associata a diverse soglie di altezza d'onda significativa.

la durata media degli eventi con $H_s \geq 1.0$ m è di 1563.6 ore/anno, circa 65 giorni/anno

la durata media degli eventi con $H_s \geq 2.0$ m è di 186.7 ore/anno

durata media degli eventi con $H_s \geq 3.0$ m è di 19.2 ore/anno

durata media degli eventi con $H_s \geq 4.0$ m è di 0.95 ore/anno

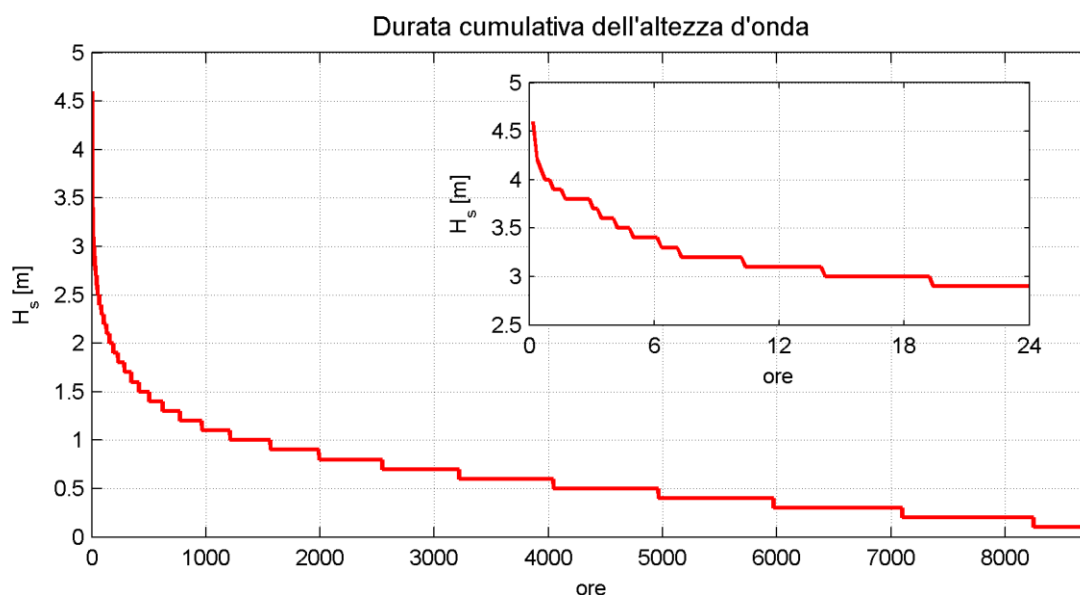


Figura 6-8. Curva di durata media degli eventi di moto ondoso propagati sottocosta [1989-2007].

6.3 Eventi estremi sottocosta nel punto P1

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 Monopoli con l'analisi statistica dei valori estremi (vedi §Capitolo 5).

In Tabella 6-4 sono riportate le condizioni di moto ondoso, al largo di Monopoli e nel punto di propagazione di inversa spettrale P1, per tempi di ritorno $T_R = 10$ anni, $T_R = 0$ anni e $T_R = 100$ anni.

Le condizioni di moto ondoso al largo sono state definite per i due settori di traversia individuati, utilizzando la legge di adattamento del tipo Weibull (1.0) mentre per il periodo di picco è stata utilizzata la legge di correlazione del tipo $T_p = a \cdot H_s^b$, applicando i valori dei parametri a e b ottenuti con l'analisi di regressione lineare delle coppie $T_p - H_s$ degli eventi appartenenti alla serie ondometrica di Monopoli (vedi §4.3).

Tabella 6-4. Eventi estremi sottocosta nel punto di propagazione di inversa spettrale P1.

SETTORE DI TRAVERSIA 310 °N - 20 °N							SETTORE DI TRAVERSIA 20 °N - 90 °N							SETTORE DI TRAVERSIA 90 °N - 130 °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)			
4.5	8.7	310	2.8	9.8	348	4.1	8.5	30	3.8	8.5	31	3.2	7.9	110	2.5	7.3	88			
4.5	8.7	340	3.6	9.8	0	4.1	8.5	60	3.7	8.5	54	3.2	7.9	130	2.1	7.3	99			
4.5	8.7	10	4.1	9.8	17	4.1	8.5	90	3.4	8.5	74									
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	310	3.2	9.8	349	5.3	9.1	30	4.9	9.8	31	4.0	8.4	110	3.0	9.8	85			
5.2	9.1	340	4.2	9.8	1	5.3	9.1	60	4.8	9.8	53	4.0	8.4	130	2.5	7.3	96			
5.2	9.1	10	4.7	9.8	18	5.3	9.1	90	4.4	9.8	71									
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	9.2	310	3.4	9.8	350	5.7	9.3	30	5.2	9.8	31	4.4	8.6	110	3.3	9.8	84			
5.5	9.2	340	4.4	9.8	2	5.7	9.3	60	5.2	9.8	53	4.4	8.6	130	2.7	9.8	94			
5.5	9.2	10	4.9	9.8	18	5.7	9.3	90	4.7	9.8	71									

6.4 Frangimento

Per verificare le condizioni di frangimento sottocosta, in prossimità delle opere del terminale marittimo, si è fatto riferimento al criterio di frangimento definito da Kamphuis (1991).

L'altezza d'onda significativa al frangimento H_{sb} definita da Kamphuis può essere valutata attraverso l'espressione:

$$H_{sb} = 0.095 e^{4.0m} L_{bp} \tanh\left(\frac{2\pi d_b}{L_{bp}}\right)$$

in cui:

d_b : profondità al frangimento (m)

L_{bp} : lunghezza d'onda al frangimento (m), funzione del periodo T_p dell'onda al largo e della profondità di frangimento d_b ottenuta risolvendo la relazione di dispersione

$\tan \vartheta$: pendenza del fondale

Considerando che i fondali antistanti alla diga sopraflutto del porto di Monopoli presentano una pendenza media compresa tra 1:40 e 1:50 è possibile verificare le condizioni di frangimento nell'area in esame utilizzando i diagrammi di Figura 6-9.

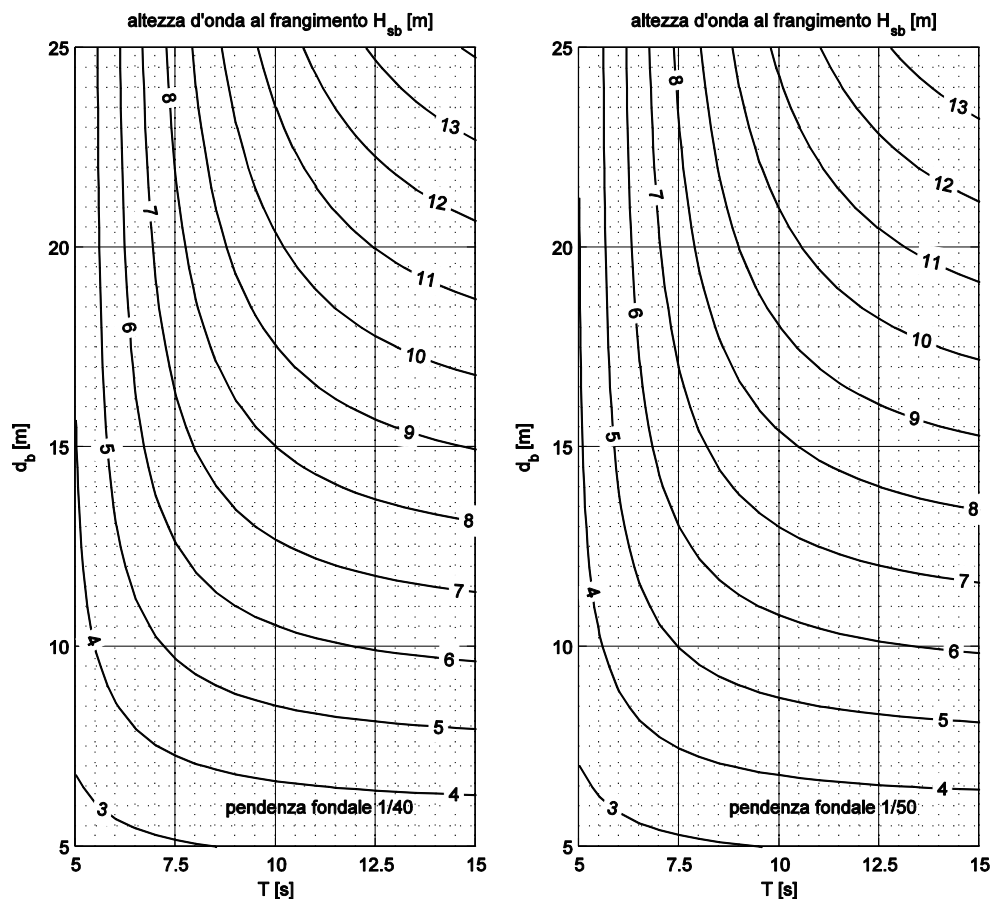


Figura 6-9. Condizioni limite di frangimento per fondali con pendenza 1/40 e 1/50 al variare del periodo d'onda T.



Con pendenza del fondale 1/40, alla profondità di -15.0 m, l'altezza d'onda frangente H_{sb} risulta:

$4.0 \text{ m} < H_{sb} < 6.75 \text{ m}$, per onde con periodo $5.0 \text{ s} < T_p < 7.5 \text{ s}$

$6.75 \text{ m} < H_{sb} < 8.0 \text{ m}$, per onde con periodo $7.5 \text{ s} < T_p < 10.0 \text{ s}$

$H_{sb} > 8.0 \text{ m}$, per onde con periodo $T_p > 10.0 \text{ s}$

Con pendenza del fondale 1/50, alla profondità di -15.0 m, l'altezza d'onda frangente H_{sb} risulta:

$4.0 \text{ m} < H_{sb} < 6.50 \text{ m}$, per onde con periodo $5.0 \text{ s} < T_p < 7.5 \text{ s}$

$6.75 \text{ m} < H_{sb} < 7.80 \text{ m}$, per onde con periodo $7.5 \text{ s} < T_p < 10.0 \text{ s}$

$H_{sb} > 7.80 \text{ m}$, per onde con periodo $T_p > 10.0 \text{ s}$

Confrontando gli stati di moto ondoso nel punto di propagazione inversa spettrale P1, posto alla profondità di -16 m, con le condizioni di frangimento precedentemente definite è possibile verificare che l'altezza d'onda significativa H_s risulta sempre inferiore all'altezza frangente H_{sb} .

Per l'onda a largo, associata al tempo di ritorno di 100 anni, con $H_{50} = 5.7 \text{ m}$ e $T_p = 9.8 \text{ s}$, le condizioni di frangimento si verificano in corrispondenza della profondità di 10 m.

Capitolo 7

Studio idrodinamico

Al fine di analizzare il campo d'onda in prossimità delle opere previste da progetto in occasione degli eventi di moto ondoso estremi è stato applicato un modello matematico di propagazione del moto ondoso da largo verso riva. Lo studio è stato condotto utilizzando il modello numerico SWAN sviluppato dall'istituto olandese Delft University of Technology.

SWAN è modello spettrale bidimensionale in grado di simulare la propagazione di uno stato di moto ondoso, definito da un'altezza d'onda significativa, un periodo di picco e una direzione di provenienza, all'interno di un dominio di calcolo.

Il modello SWAN consente di utilizzare la procedura di *nesting*, per la quale, i risultati di una propagazione effettuata su una griglia ampia (*primary grid*), con passo di discretizzazione elevato in modo da contenere i tempi di calcolo, possono essere utilizzati come condizione iniziale lungo il bordo di una griglia più definita (*nested grid*), in modo da ottenere un'informazione più precisa nell'area investigata. In tal modo sono anche ridotti, nella area di dettaglio, gli effetti di bordo dovuti alla risoluzione dello schema numerico del modello.

La simulazione della propagazione di uno stato di mare effettuata con SWAN fornisce come risultato la distribuzione spaziale, all'interno del dominio di calcolo, dei parametri del moto ondoso (come altezza, periodo direzione dell'onda), ma anche le variazioni di livello indotte dal moto ondoso (wave set-up).

È possibile inoltre ottenere i risultati lungo prefissate polilinee in modo da poter descrivere la variabilità del moto ondoso lungo una fissata direttrice.

7.1 Griglie di calcolo

Le griglie di calcolo sono state generate su ampia scala in funzione dei dati batimetrici forniti dalla carta nautica (foglio CN 30) e nel dettaglio sulla base dei rilievi batimetrici, condotti con tecnica multi beam nell'area di interesse, forniti dal committente. La localizzazione della griglia primaria è equivalente a quella già utilizzata nell'ambito dello studio meteomarinario per effettuare le propagazioni di con il modello Merope.

La griglia primaria ha estensione 12000×7500 m con passo di discretizzazione di 50 m. L'asse delle ascisse della griglia forma un angolo di 135 °N. La griglia di dettaglio, nested grid, ha origine nel punto (5000, 1000) ed ha estensione di 2000×2000 m con un passo di discretizzazione di 5 m.

In Figura 7-1 e in Figura 7-2 sono rappresentate le griglie batimetriche, *primary* e *nested*, utilizzate per le simulazioni effettuate con il modello numerico SWAN.

In figura sono indicate inoltre le tre direttrici, PL1, PL2 e PL3, lungo le quali sono stati estratti i risultati.

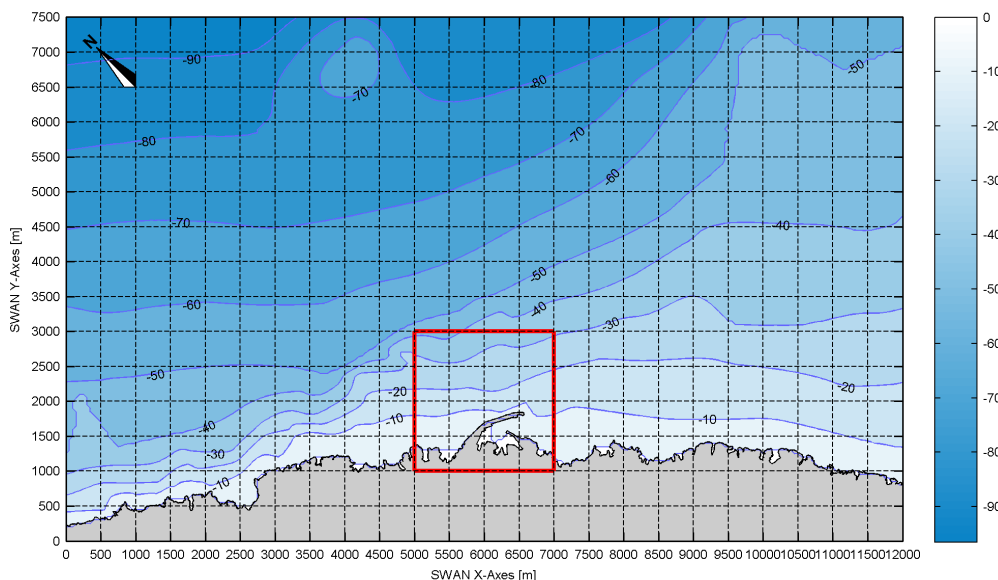


Figura 7-1. Rappresentazione della *primary grid* utilizzata per le simulazioni effettuate con SWAN.

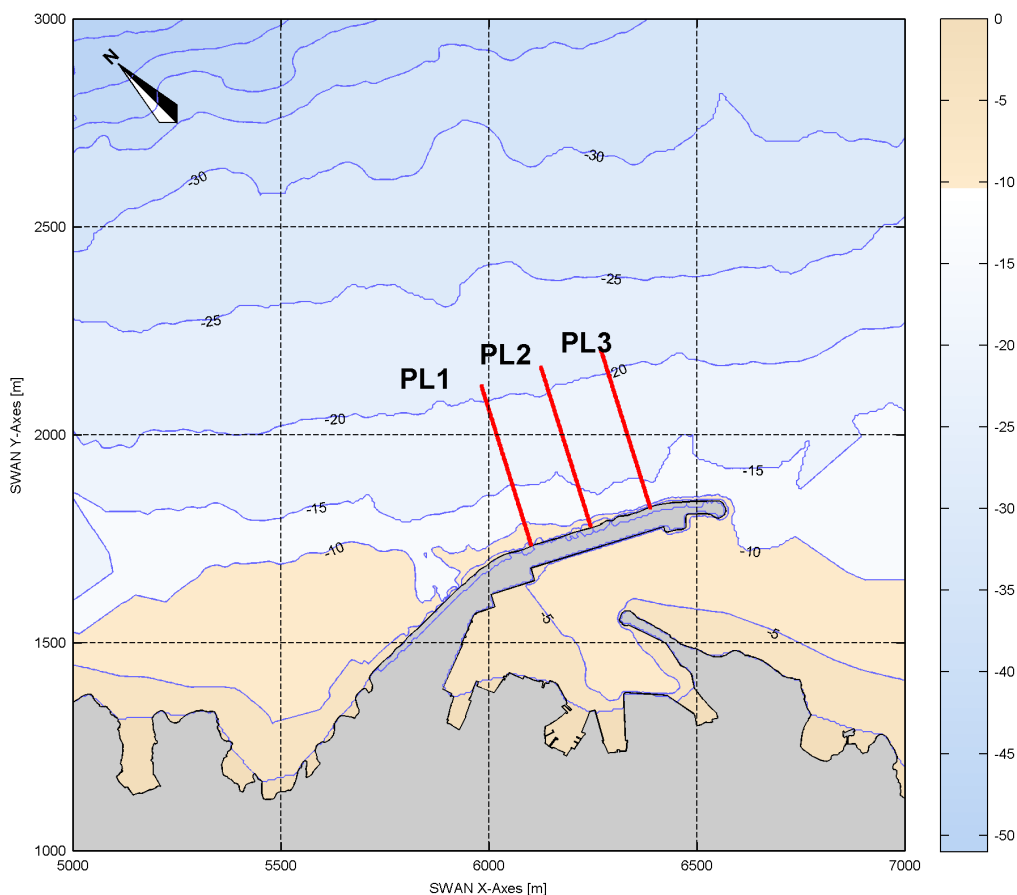


Figura 7-2. Rappresentazione della *nested grid* utilizzata per le simulazioni di dettaglio effettuate con il modello SWAN.

7.2 Condizioni di al contorno

Sono state condotte diverse simulazioni al fine di investigare le condizioni di moto ondoso estreme corrispondenti ai parametri di progetto (associate pertanto al tempo di ritorno di 100 anni), valutate attraverso l'analisi dei valori estremi registrati dall'ondametro di Monopoli nel periodo 1989-2007.

Come condizione al contorno sono stati applicati gli spettri di moto ondoso associati agli stati di mare indicati in Tabella 7-1.

Tabella 7-1. Eventi estremi di moto ondoso propagati con il modello SWAN.

	Settore di traversia	H_s	T_p	Dir	X-Dir
		[m]	[s]	°N	°
Event 1	310 °N - 20 °N	5.50	9.20	310	5
Event 2	310 °N - 20 °N	5.50	9.20	340	335
Event 3	310 °N - 20 °N	5.50	9.20	10	305
Event 4	20 °N - 90 °N	5.70	9.30	30	285
Event 5	20 °N - 90 °N	5.70	9.30	60	255
Event 6	20 °N - 90 °N	5.70	9.30	90	225
Event 7	90 °N - 130 °N	4.40	8.60	110	205
Event 8	90 °N - 130 °N	4.40	8.60	130	185

7.3 Risultati della propagazione degli eventi di moto ondoso

La rifrazione provocata dai fondali antistanti al porto di Monopoli causa una rotazione dei fronti d'onda e una riduzione dell'altezza d'onda significativa. Inoltre il modello di calcolo tiene conto della dissipazione di energia del moto ondoso dovuta all'attrito sul fondo.

I risultati ottenuti per i diversi scenari simulati sono riportati nei diagrammi riportati in appendice. A titolo di esempio in Figura 7-3 sono mostrati i risultati, per la primary grid e la nested grid, ottenuti per lo stato di mare H_s : 5.70 m, T_p : 9.3 s e direzione di provenienza 30 °N.

In generale, a ridosso del molo di tramontana, il moto ondoso risulta più moderato rispetto alle condizioni di mareggiata al largo. In Tabella 7-2 sono riportati in forma sintetica i risultati ottenuti.

Gli stati di mare provenienti da NO e N subiscono una considerevole rotazione ed una contestuale attenuazione di altezza d'onda. In prossimità dell'area di intervento stati di mare che al largo presentano altezza d'onda superiore a 5.0 m provenienti da NO e N si presentano con altezza d'onda compresa tra 2.5 m e 4.5 m con direzione compresa tra 360 e 20 °N

Gli stati di mare provenienti da NE sono meno condizionati dai processi di rifrazione e risultano pertanto meno ruotati e meno attenuati. In prossimità dell'area di intervento per stati di mare con altezza d'onda al largo di 5.7 m provenienti da 30 e 60 °N l'altezza d'onda ottenuta risulta compresa tra 4.5 e 5.0 m con direzione di provenienza comprese tra 30 e 50 °N. Per onde

provenienti da E i risultati ottenuti mostrano una maggiore attenuazione ed una maggiore rotazione del moto ondoso che si presenta ruotato di 30° verso Nord con una riduzione dell'altezza d'onda del 70% - 80%.

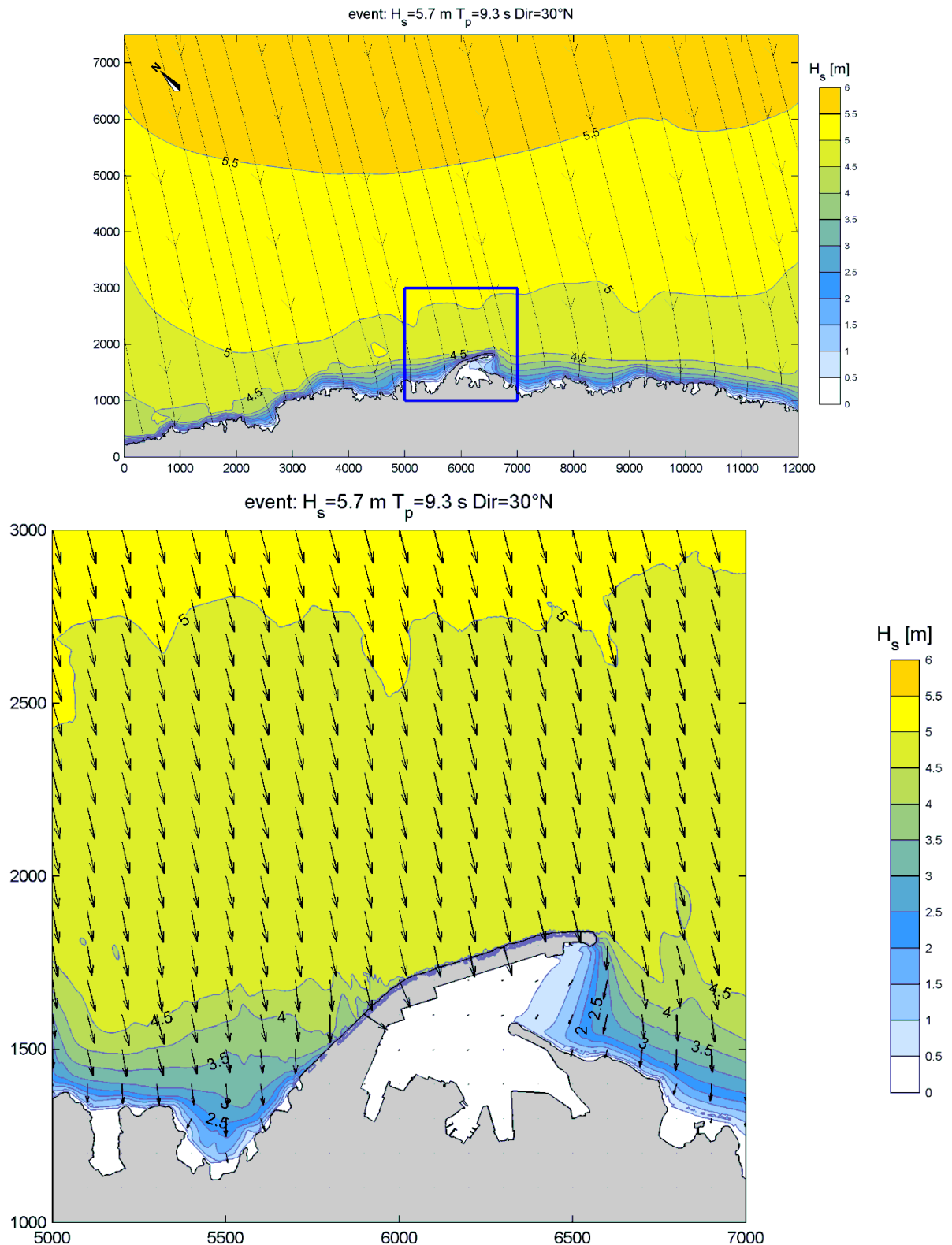


Figura 7-3. Risultati della propagazione dell'evento 4
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 30° N

Gli stati di moto ondoso provenienti da SE sono soggetti ad apprezzabili fenomeni di rifrazione che provocano una rotazione dei fronti d'onda verso Nord ed una riduzione di altezza d'onda compresa tra il 45% ed il 65% dell'altezza d'onda al largo.

Tabella 7-2. Sintesi dei risultati ottenuti con il modello SWAN nell'area di intervento a ridosso del molo di tramontana.

	Condizioni al largo		A ridosso delle opere	
	H _s	Dir	H _s	Direzione media
	[m]	°N	[m]	°N
Event 1	5.50	310	2.5÷3.0	360
Event 2	5.50	340	3.5÷4.0	10
Event 3	5.50	10	4.0÷4.5	20
Event 4	5.70	30	4.5÷5.0	30
Event 5	5.70	60	4.5÷5.0	50
Event 6	5.70	90	4.0÷4.5	60
Event 7	4.40	110	2.5÷3.0	75
Event 8	4.40	130	2.0÷2.5	85

I risultati ottenuti lungo le tre direttrici PL1, PL2 e PL3, riportati in appendice, hanno consentito di studiare la variazione di altezza d'onda, la percentuale di frangimento e l'involuppo delle creste e dei cavi associati ad H_{max} lungo tre sezioni ortogonali all'asse del molo di tramontana.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nella Tabella 7-3.

Tabella 7-3. Sintesi dei risultati ottenuti con il modello SWAN lungo le sezioni ortogonali al molo di tramontana.

	Condizioni al largo		Lungo le sezione			
	H _s	Dir	H _{max}	% Frangimento tra -10 m e -12 m	Cresta	Cavo
	[m]	°N				
Event 1	5.50	310	4.5÷5.0	0.0	+3.7	-1.0
Event 2	5.50	340	6.0÷6.5	0.0	+4.5	-2.0
Event 3	5.50	10	7.8÷8.0	0.005	+5.0	-2.0
Event 4	5.70	30	8.0÷8.5	0.050	+6.0	-2.8
Event 5	5.70	60	8.0÷8.2	0.005	+5.8	-2.8
Event 6	5.70	90	7.0÷7.5	0.001	+5.0	-2.0
Event 7	4.40	110	4.5÷5.0	0.0	+4.8	-1.0
Event 8	4.40	130	3.5÷4.0	0.0	+3.0	-0.75



Lungo le sezioni PL1, PL2 e PL3 si hanno profondità variabili tra circa -16.0 m al largo e -4.0 m a ridosso del molo di tramontana del porto di Monopoli.

L'altezza massima associata agli eventi propagati ($H_{max} = 1.8 \cdot H_s$) risulta maggiore per gli stati di mare provenienti da NE e può raggiungere in occasione delle mareggiate con $T_r = 100$ anni 8.5 m di altezza.

I risultati ottenuti consentono di escludere le condizioni di frangimento in corrispondenza delle opere previste da progetto che sono fondate tra -12.0 m e -10.0 m sul l.m.m.

Il massimo livello rispetto al l.m.m. delle creste associate ad H_{max} risulta di poco superiore a 6.0 m.

Capitolo 8

Variazioni del livello marino (maree e sovralti)

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente marea astronomica e "meteorologica"), è necessaria per molteplici scopi quali, ad esempio, la corretta progettazione delle quote da assegnare alle strutture, oppure la determinazione delle quote di fondale in corrispondenza del punto di ormeggio del terminale. In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica). Nella zona del Mar Adriatico, ove ricade Monopoli, le escursioni del livello del mare sono di fatto modeste.

8.1 Marea astronomica

Per l'analisi della componente astronomica di marea si è fatto riferimento ai dati forniti dalla Rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita dall'ISPRA per la stazione mareografica di Bari (<http://www.mareografico.it>), localizzata a circa 45 km a NordOvest di Monopoli.

Sulla base delle analisi dei livelli misurati l'ISPRA fornisce, per ogni stazione mareografica, la frequenza, l'ampiezza e la fase delle costituenti di marea relative all'anno precedente di misurazione.

Per lo svolgimento del presente studio sono state acquisite le costituenti di marea relative all'anno 2013. In allegato sono riportate le costituenti di marea.

Utilizzando l'applicazione T_TIDE, sviluppata da Pawlowicz, Beardsley e Lentz³ per l'analisi di tipo armonico della marea, è stata ricostruita, a partire dalle costituenti di marea del 2013, la previsione di marea per l'anno 2014.

In Figura 8-1 è riportato il mareogramma di marea ottenuto per l'anno 2014 a Bari.

Come si può osservare la marea presenta un comportamento di tipo misto semidiurno con due alte e due basse maree, con ampiezza diversa in base al prevalere della tendenza semidiurna o diurna.

L'ampiezza di marea, data dal dislivello tra alta e bassa marea, raggiunge il valore massimo nelle fasi di Luna nuova e di Luna piena (sizigie); mentre raggiunge il minimo nelle fasi di primo e ultimo quarto (quadratura). I valori massimi e minimi dell'oscillazione astronomica attesi nel paraggio in esame sono riportati in Tabella 8-1.

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.



Tabella 8-1. Valori massimi di marea per il paraggio in esame.

Massimo livello atteso:	+0.26 m
Minimo livello atteso:	-0.21 m
Ampiezza massima:	0.42 m

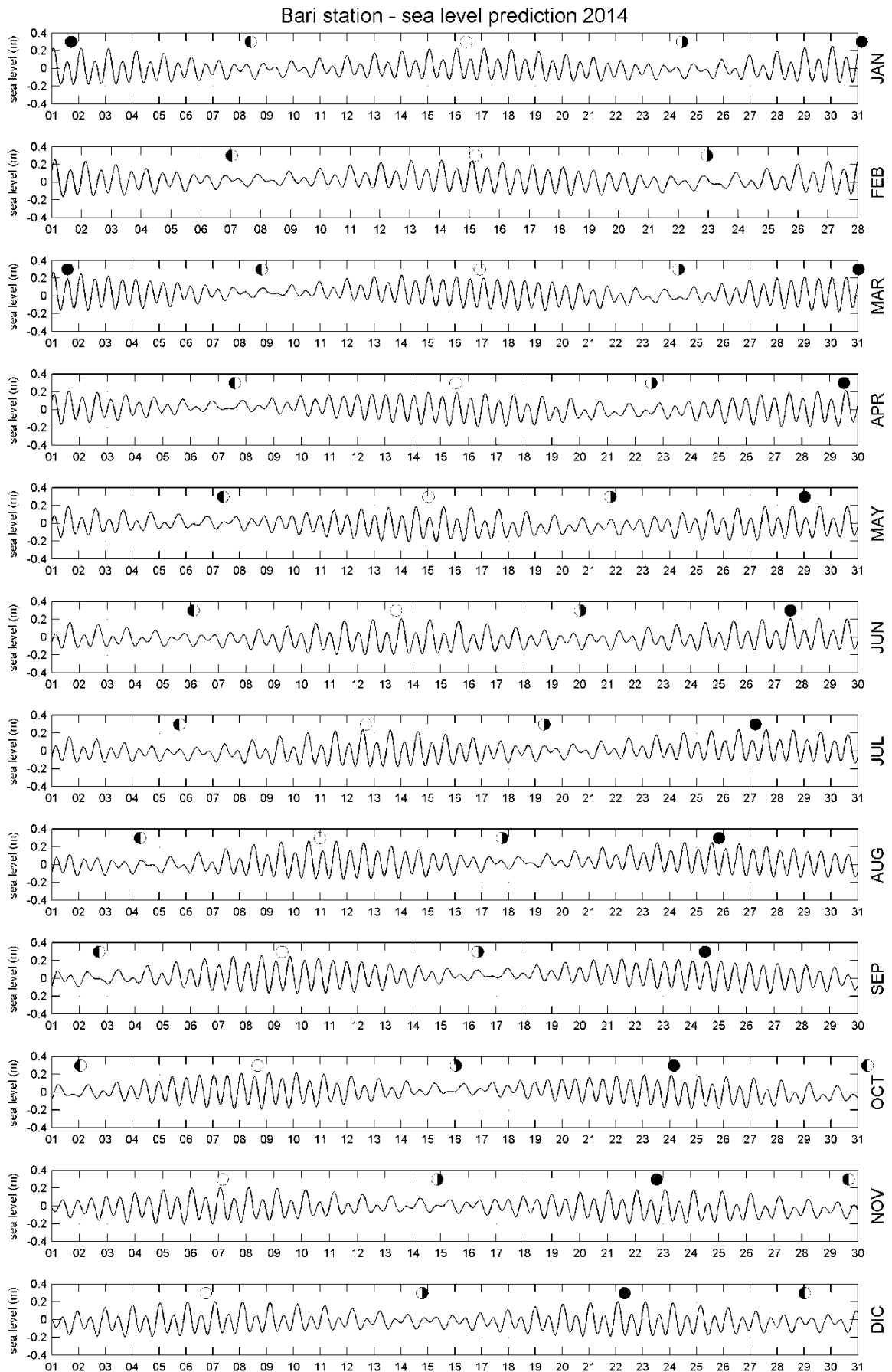


Figura 8-1. Mareogramma di previsione di marea per l'anno 2014 a Bari.

8.2 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 975 mb ed una condizione di massimo barico (legata al passaggio dei centri di alta pressione caratterizzanti gli anticicloni) pari a 1044 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 +0.38 m ed un abbassamento massimo del livello marino pari a -0.31 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 si può considerare un'estensione della piattaforma continentale di circa 20 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 - è la profondità limite assunta per la piattaforma continentale;
- L_p=20000 m - è l'estensione della piattaforma continentale;
- d=10.0 m - è la profondità ove si calcola il sovrizzo;
- g=9.81 m/s² è l'accelerazione di gravità;
- K_p=3 × 10⁻⁶ è un coefficiente costante;
- U=20 m/s la velocità del vento persistente in condizioni estreme.

La relazione implicita fornisce un valore del sovrizzo del livello marino sotto costa (alla profondità di -10 m s.l.m.) dovuto all'azione del vento pressoché trascurabile, pari infatti a circa 0.04 m.

Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva (d=0.5 m) pari a circa 0.07 m.

8.3 Variazioni stagionali ed a lungo termine

Possono inoltre essere considerate altre piccolissime oscillazioni stagionali dovute a differenze di densità (max 5 cm (0.05 m), min -3 cm (0.03 m)) e variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo. Le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo).



8.4 Conclusioni

Sommando i diversi contributi è possibile stimare il massimo ed il minimo livello idrico atteso in prossimità dell'opera. In generale la piena concomitanza per i sovralti di carattere meteorologico ed astronomico è poco frequente, si può pertanto assumere in via cautelativa una riduzione del 25% per il calcolo dei valori estremi attesi.

Il massimo livello marino atteso (valore arrotondato) risulta:

$$S_{\max} = +0.05 \text{ m} + (+0.04 \text{ m} + 0.38 \text{ m} + 0.20 \text{ m}) \times 0.75 = 0.50 \text{ m} + (0.30 \text{ m sea level rise})$$

Il minimo livello marino atteso (valore arrotondato) risulta:

$$S_{\min} = -0.03 \text{ m} + (-0.31 \text{ m} - 0.20 \text{ m}) \times 0.75 = -0.40 \text{ m}$$

Capitolo 9

Temperatura e pressione dell'aria

In Figura 9-1 è riportato il diagramma delle temperature dell'aria registrate presso la stazione mareografica di Bari nell'anno 2013 appartenente alla Rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita dall'ISPRA (<http://www.mareografico.it>). Nei mesi invernali la temperatura media giornaliera si attesta intorno a 10 °C, per poi crescere progressivamente nel periodo primaverile sino a giungere ai massimi valori estivi, con picchi di oltre 30 °C. In autunno si rileva una diminuzione della temperatura che tende ai valori invernali precedentemente indicati.

In Figura 9-2 è riportata la variazione della pressione atmosferica misurata sempre presso la stazione mareografica di Bari nel corso dell'anno 2013.

La pressione atmosferica oscilla intorno al valore medio di 1014 mb (prossimo al valore della pressione standard di 1013 mb). A fine primavera e ad inizio estate la pressione atmosferica risulta piuttosto stabile indice di buon tempo meteorologico. In autunno e nei mesi invernali si osserva una maggiore variabilità che denota l'ingresso di perturbazioni atmosferiche. La massima pressione osservata nell'anno 2013 è di poco superiore a 1030 mb. La minima pressione è leggermente inferiore a 990 mb.

Alla luce di tali osservazioni si ritiene sufficientemente cautelativa la scelta di assumere per il calcolo del sovrizzo barico (§8.2) un minimo di 975 mb ed un massimo di 1044 mb.

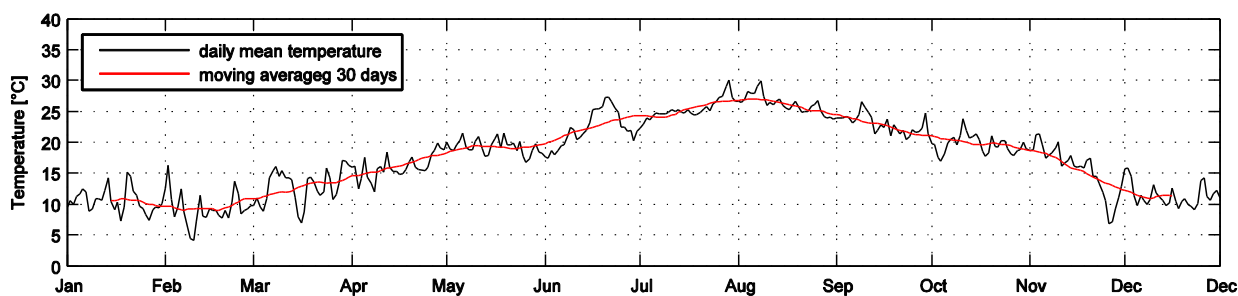


Figura 9-1. Temperatura dell'aria rilevata dal mareografo di Bari nell'anno 2013.

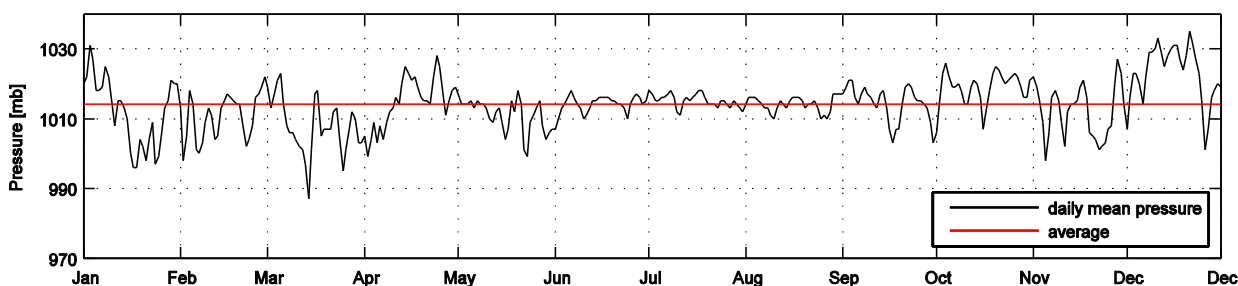


Figura 9-2. Variazione della pressione atmosferica registrata dalla stazione mareografica di Bari nel 2013.

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 vicina 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 sono stati registrati, in 27 anni di osservazione, 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. Si riscontra che casi di nebbia con durata superiore a 12 ore sono stati complessivamente 28 in 27 anni sono mediamente rari mediamente 1 evento l'anno.

Tabella 10-1. Persistenza delle nebbie registrate dalla stazione meteorologica di Brindisi A.M. 320. 13. Periodo di osservazione dal 1/1951 al 12/1977.

	dicembre gennaio febbraio	marzo aprile maggio	giugno luglio agosto	settembre ottobre novembre	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	persistenze delle nebbie registrate - frequenze cumulate stagionali e e annuali (%)					eventi	%
3	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	107	52%
6	452.38	591.55	166.67	466.67	480.58	99	48%
9	214.29	253.52	166.67	173.33	208.74	43	21%
12	0.00	0.00	0.00	93.33	33.98	7	3%
15	0.00	0.00	0.00	93.33	33.98	7	3%
18	0.00	0.00	0.00	93.33	33.98	7	3%
21	0.00	0.00	0.00	93.33	33.98	7	3%
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0%
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0%
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0%
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0%
>33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0%
massima persistenza (ore)	9	9	9	21	21		

APPENDICE A: Risultati della propagazione degli eventi di moto ondoso con il modello SWAN

event: $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 310° N

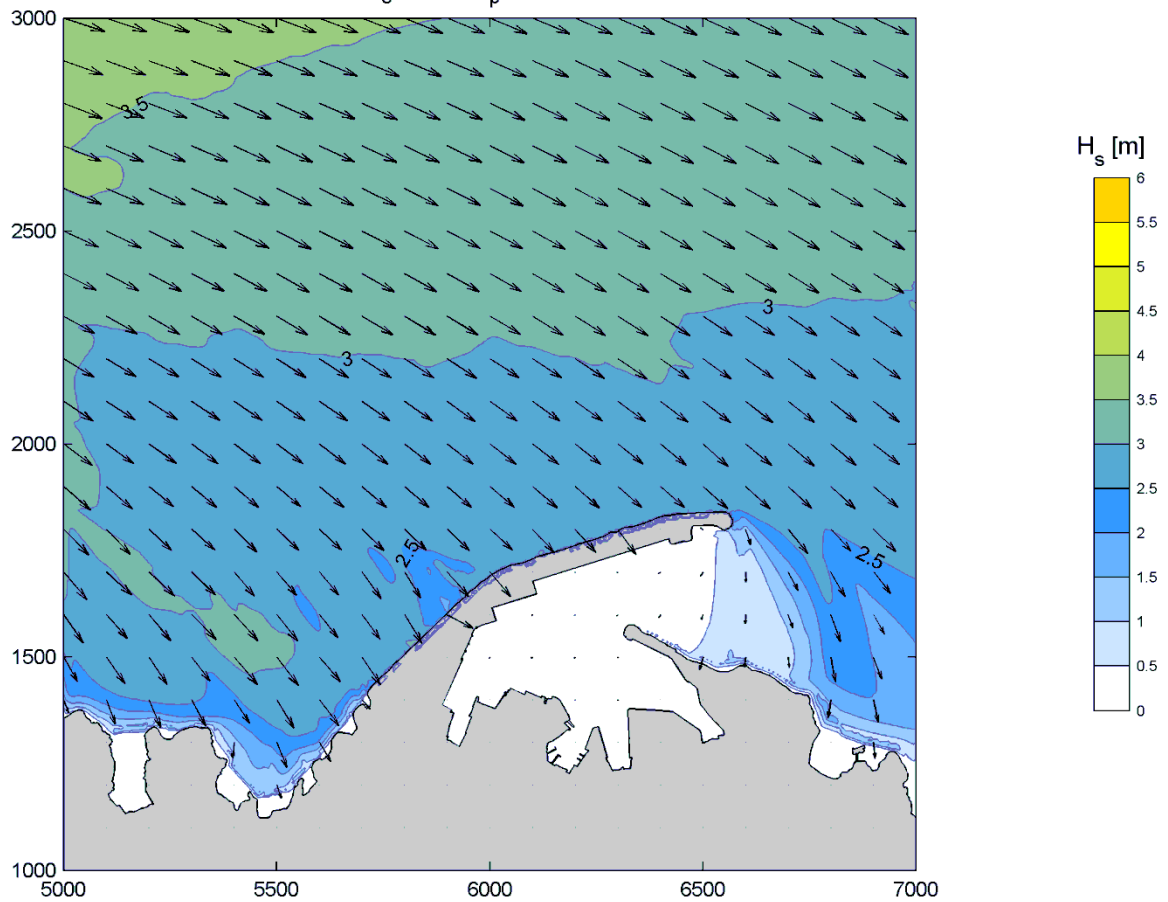
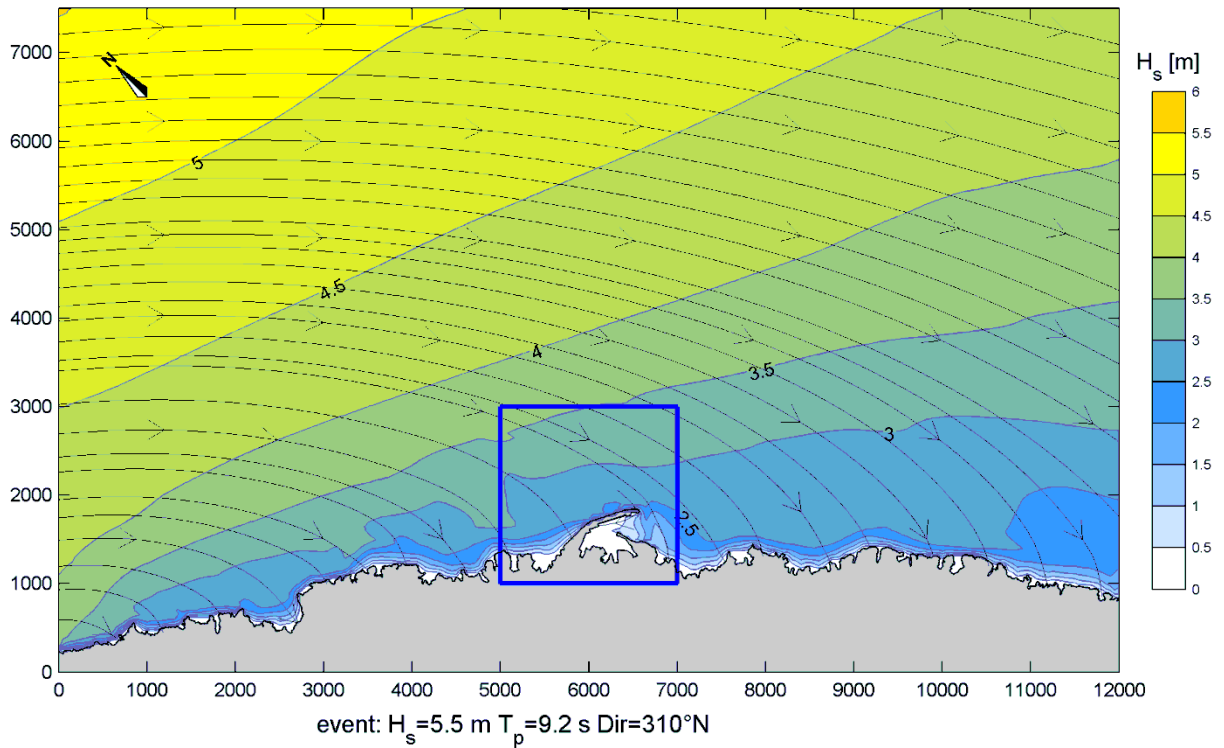
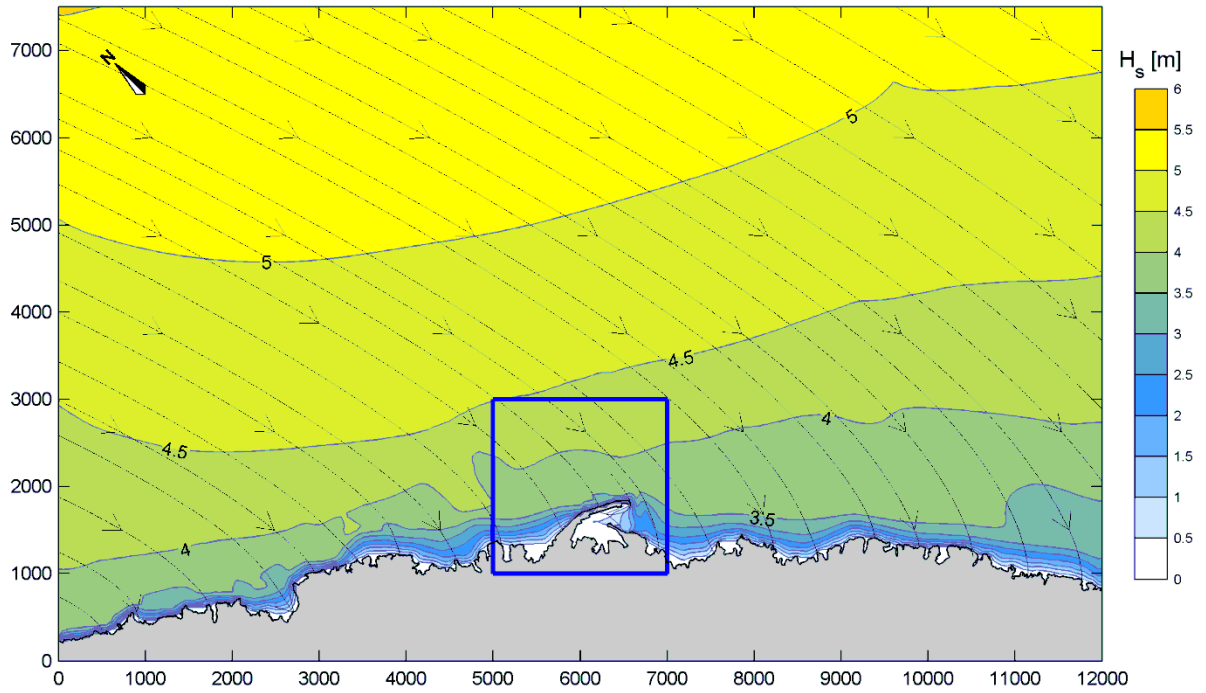


Figura 10-1. Risultati della propagazione dell'evento 1
 $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 310° N

event: $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 340°N



event: $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 340°N

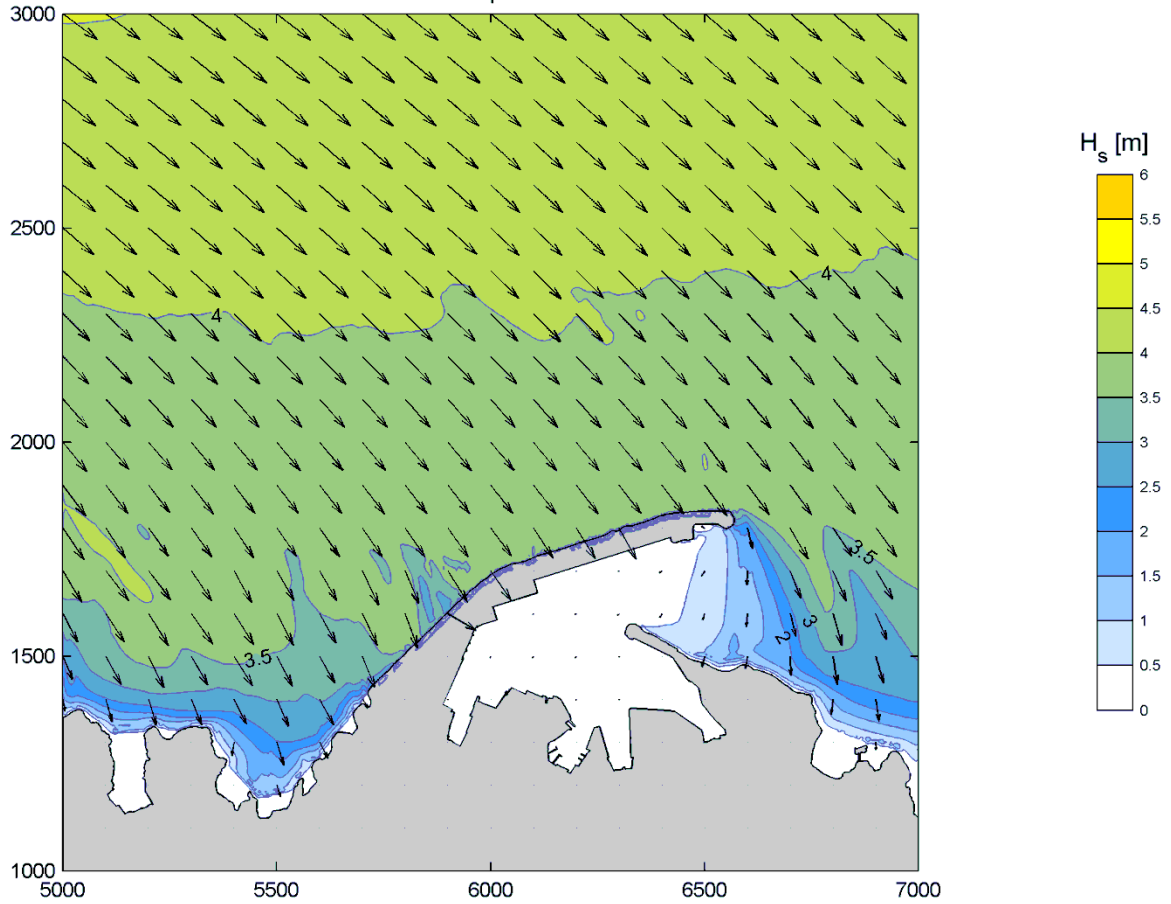


Figura 10-2. Risultati della propagazione dell'evento 2
 $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 340°N

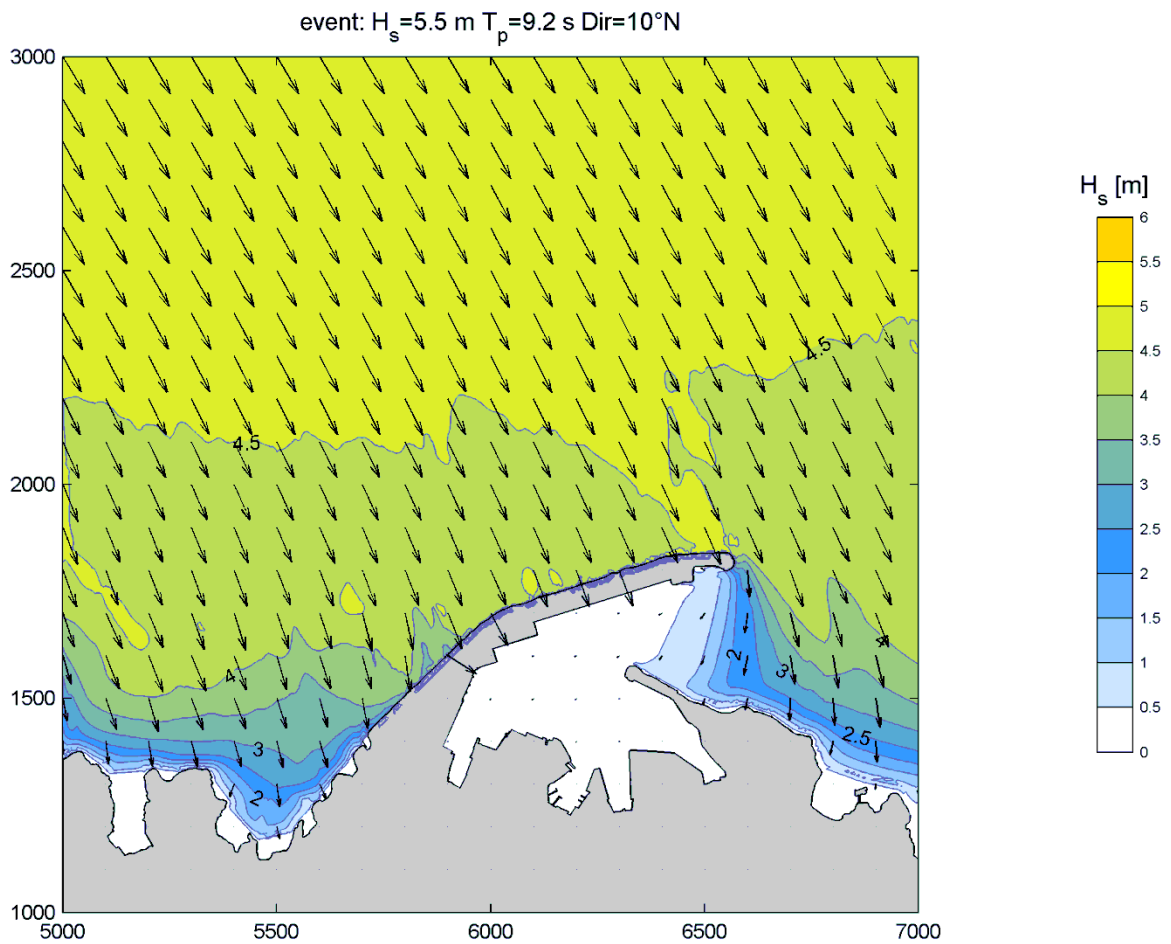
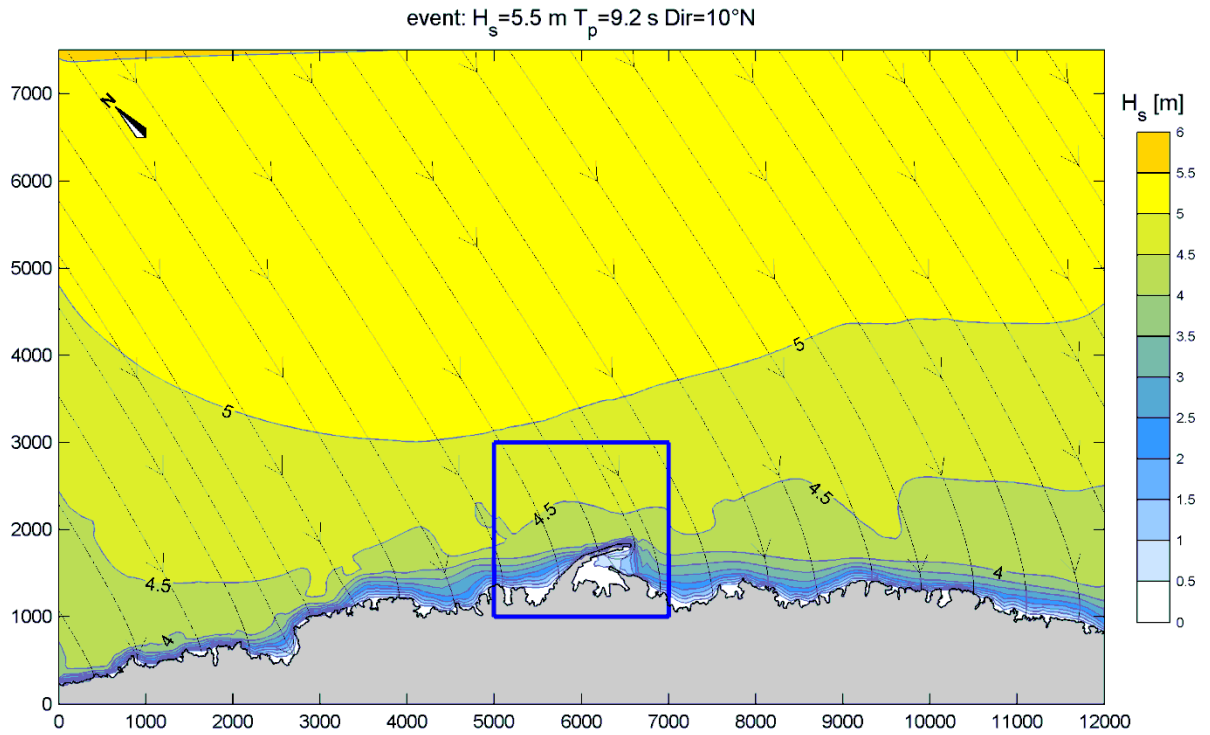


Figura 10-3. Risultati della propagazione dell'evento 3
 $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 10° N

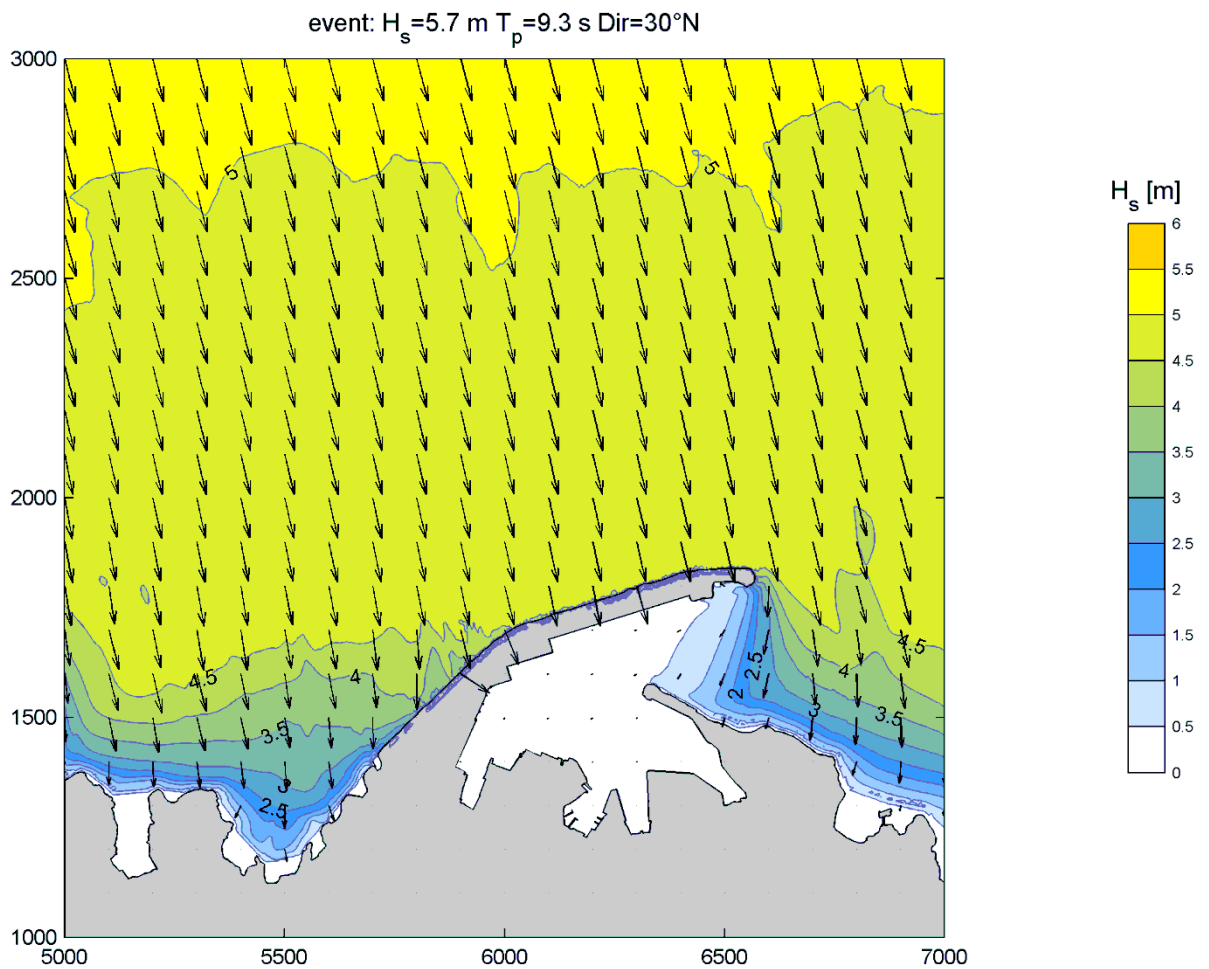
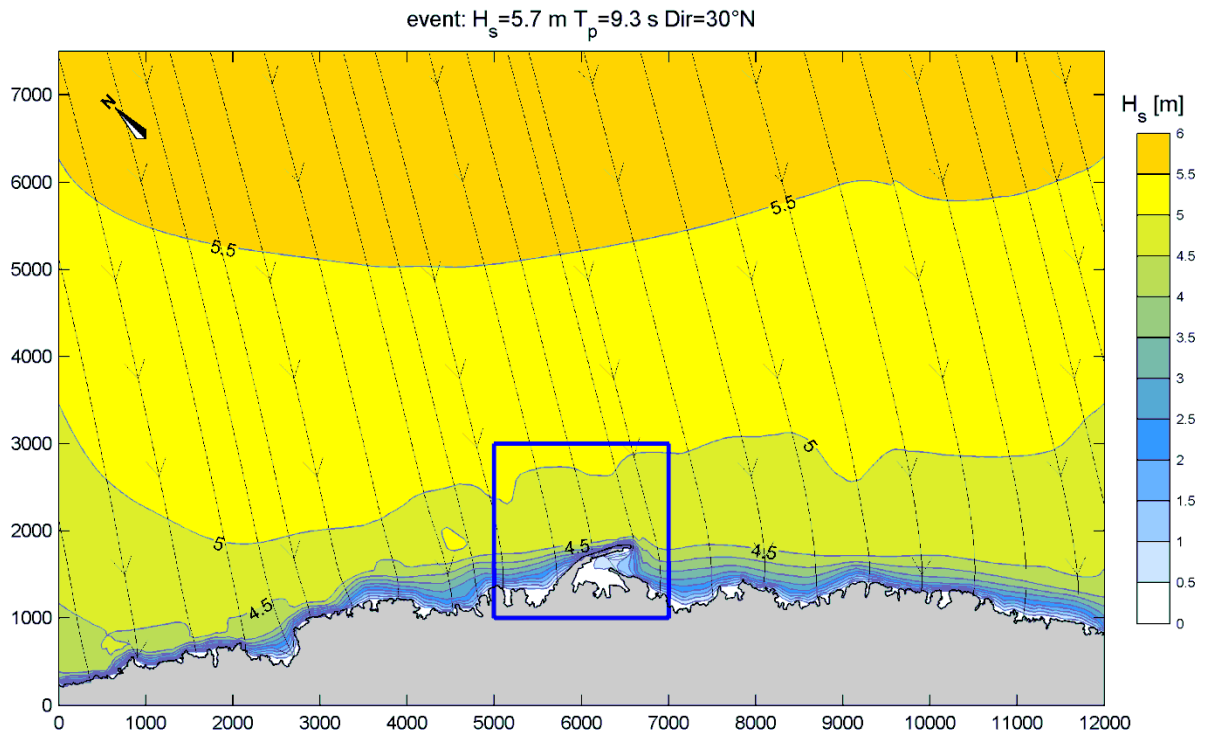


Figura 10-4. Risultati della propagazione dell'evento 4
 $H_s = 5.7 \text{ m}$ $T_p = 9.3 \text{ s}$ $Dir = 30^\circ \text{N}$

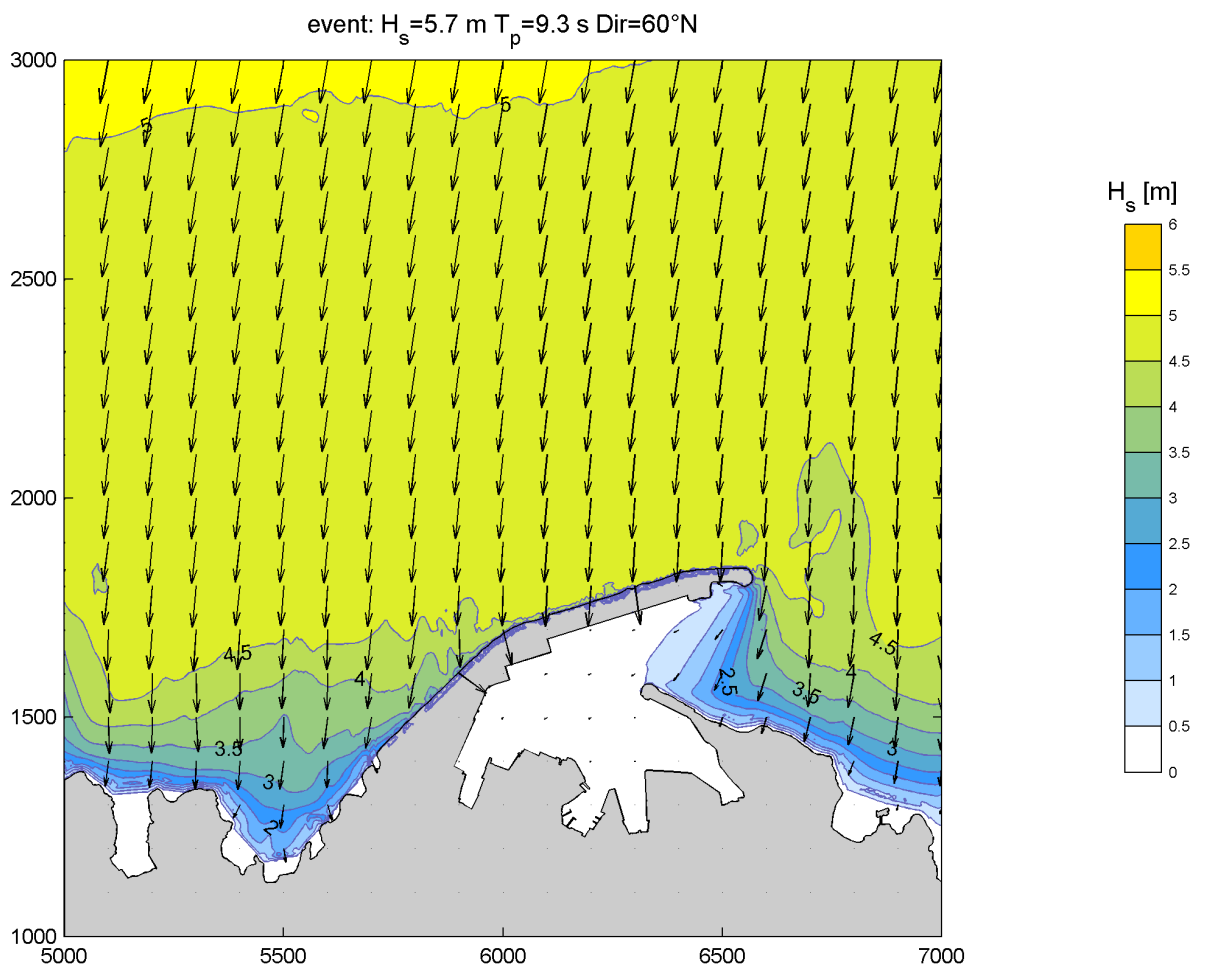
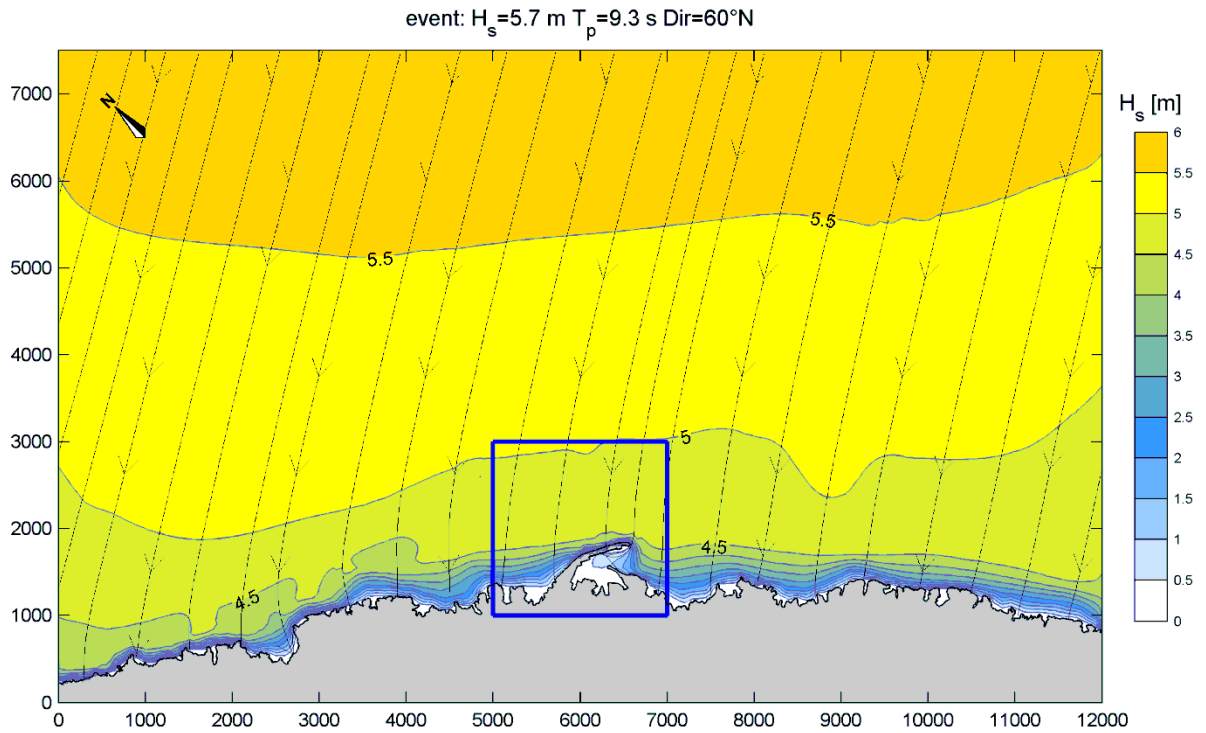


Figura 10-5. Risultati della propagazione dell'evento 5
 $H_s = 5.7 \text{ m}$ $T_p = 9.3 \text{ s}$ Dir = 60 °N

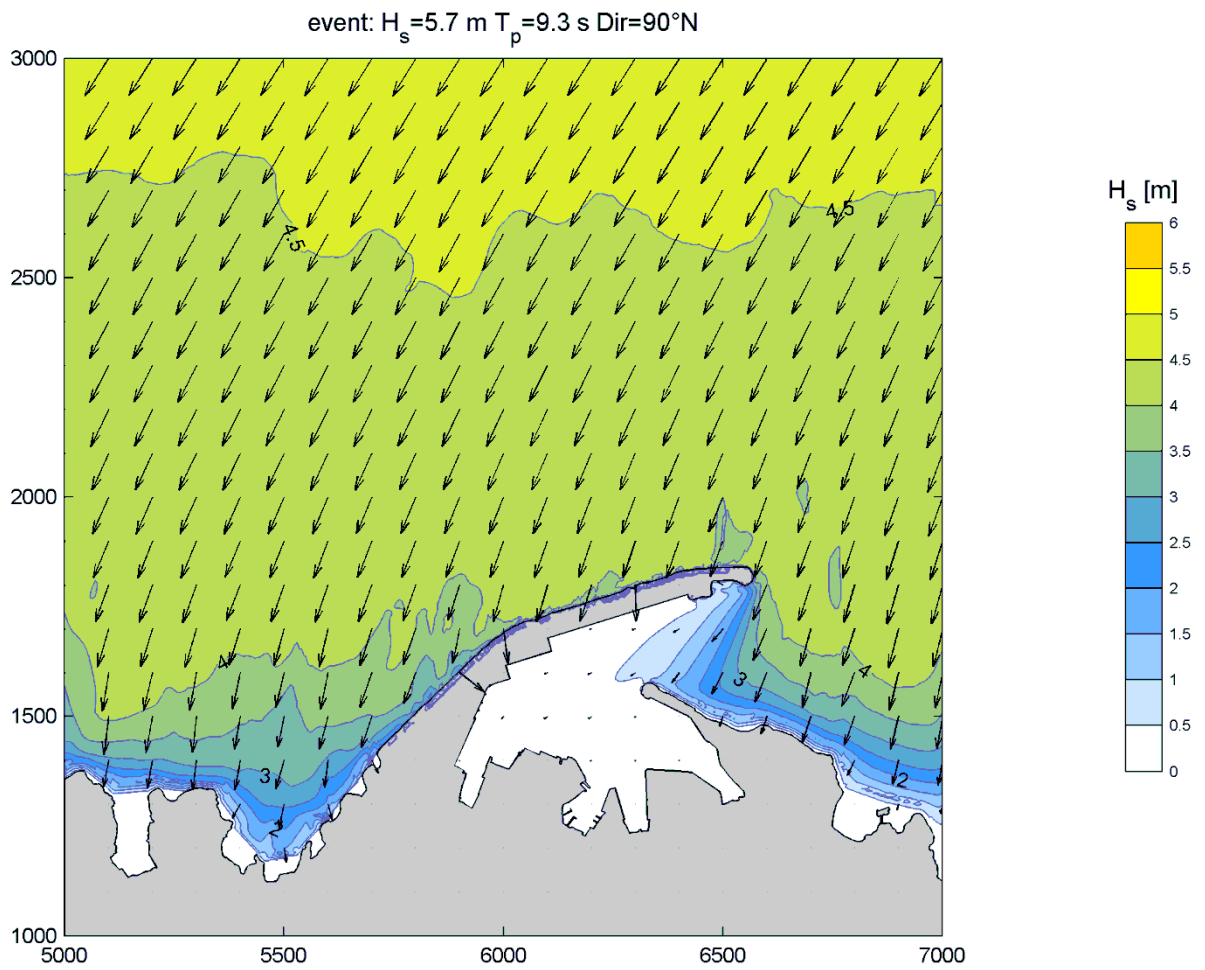
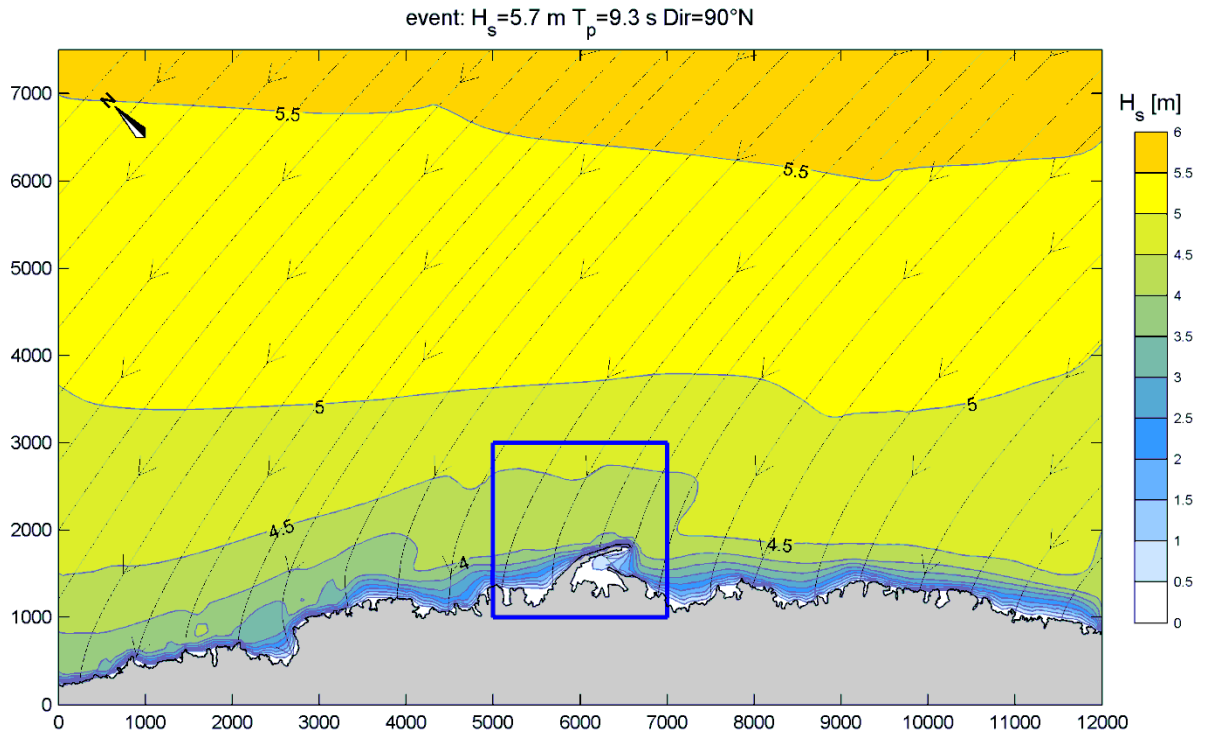
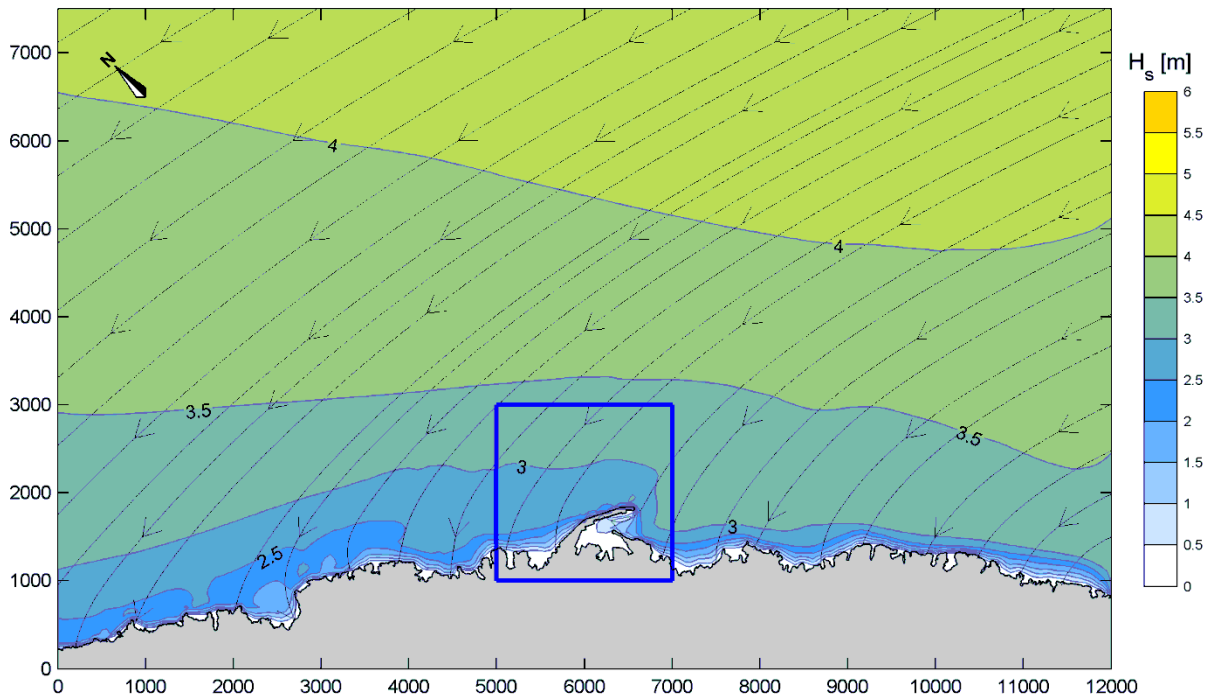


Figura 10-6. Risultati della propagazione dell'evento 6
 $H_s = 5.7 \text{ m}$ $T_p = 9.3 \text{ s}$ Dir = 90 °N

event: $H_s = 4.4 \text{ m}$ $T_p = 8.6 \text{ s}$ Dir = 110°N



event: $H_s = 4.4 \text{ m}$ $T_p = 8.6 \text{ s}$ Dir = 110°N

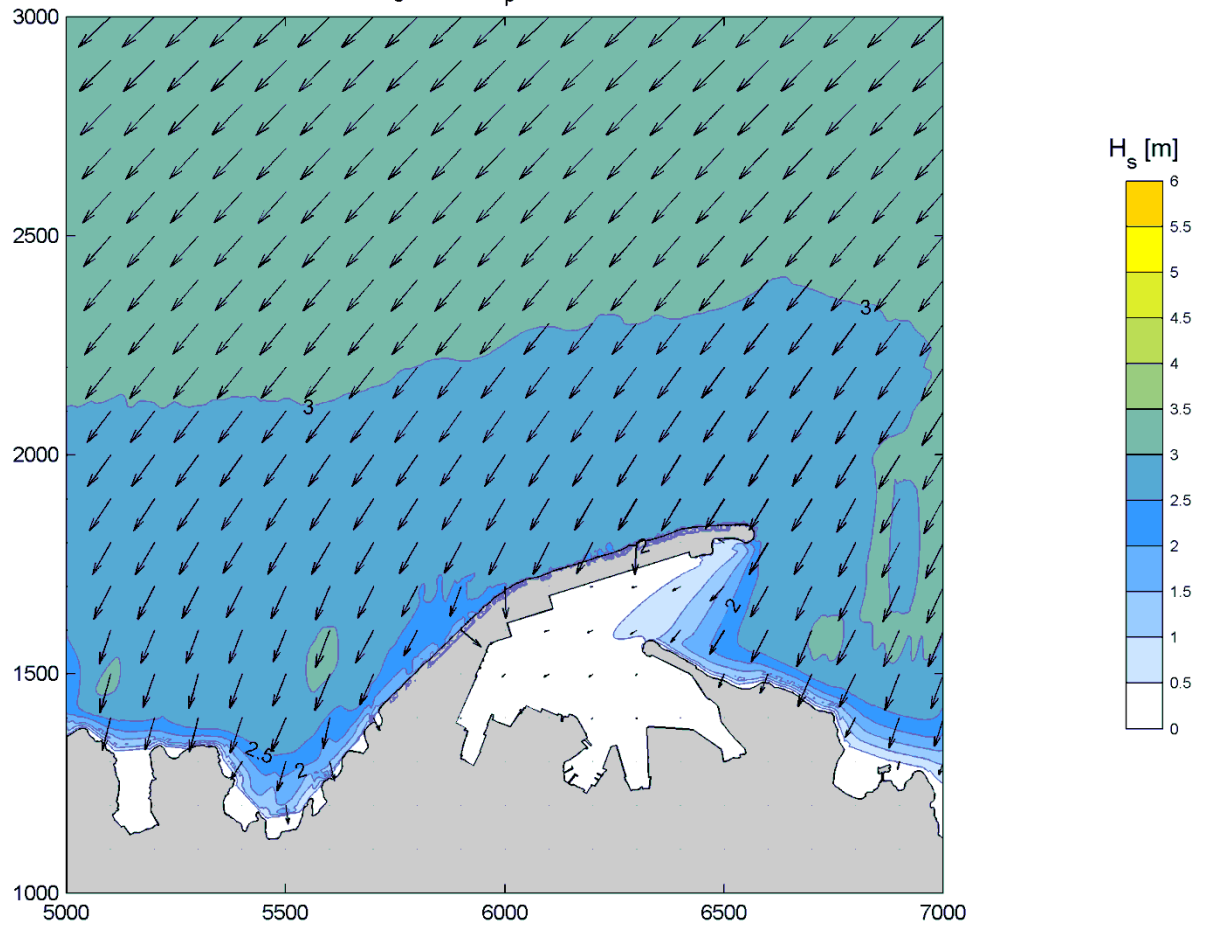


Figura 10-7. Risultati della propagazione dell'evento 7
 $H_s = 4.4 \text{ m}$ $T_p = 8.6 \text{ s}$ Dir = 110°N

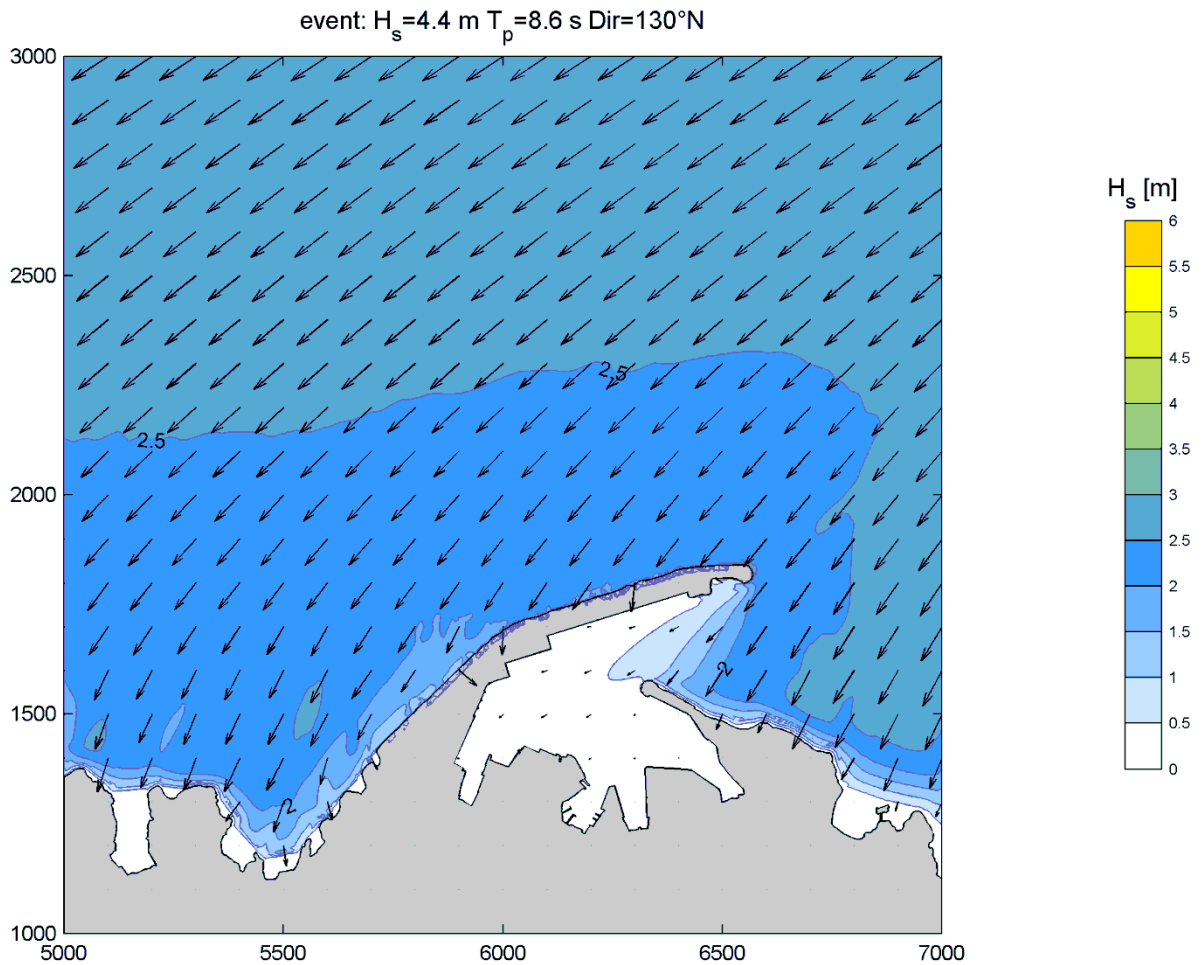
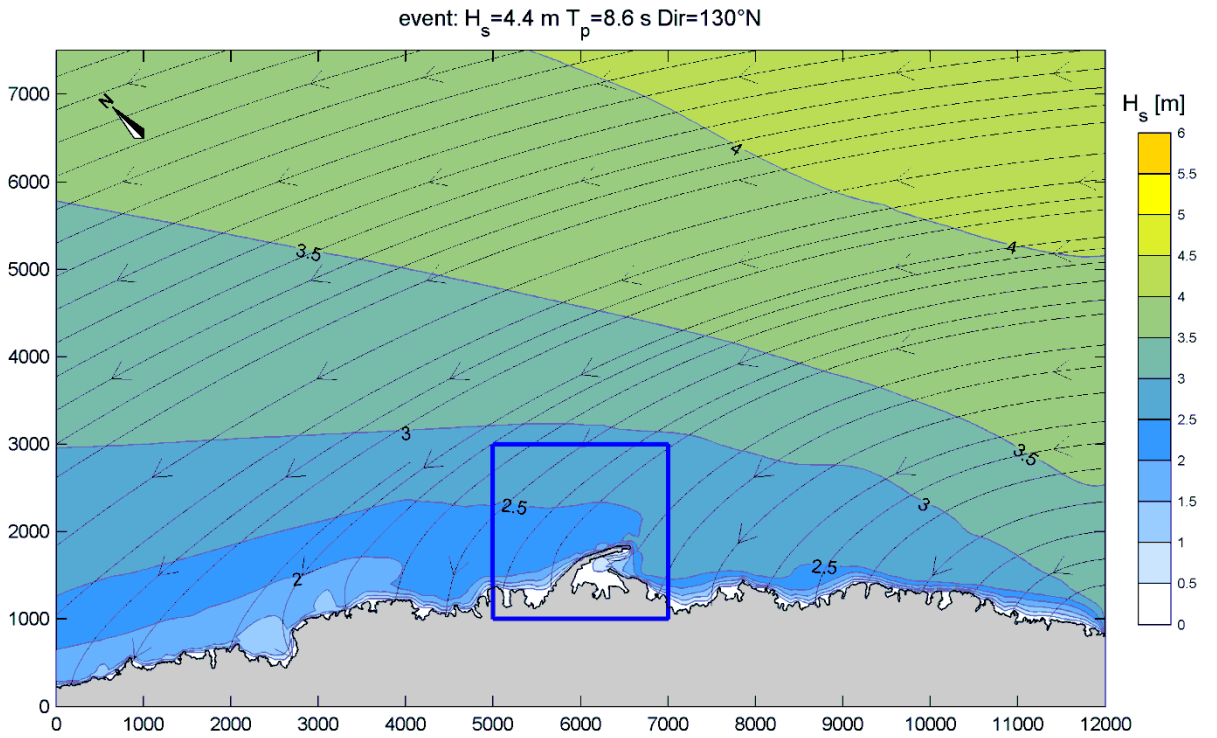


Figura 10-8. Risultati della propagazione dell'evento 8
 $H_s = 4.4$ m $T_p = 8.6$ s Dir = 130° N

APPENDICE B: Propagazione degli eventi di moto ondoso lungo la PL1

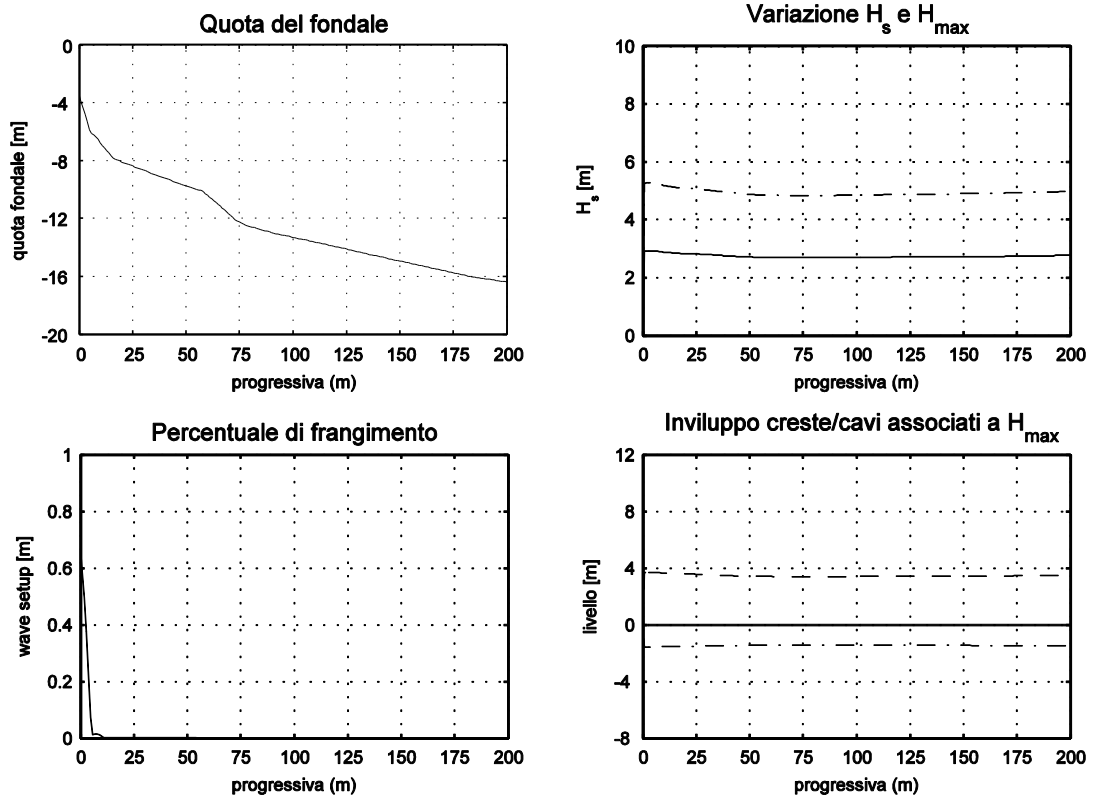


Figura B1. Risultati della propagazione dell'evento 1

$H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 310 °N

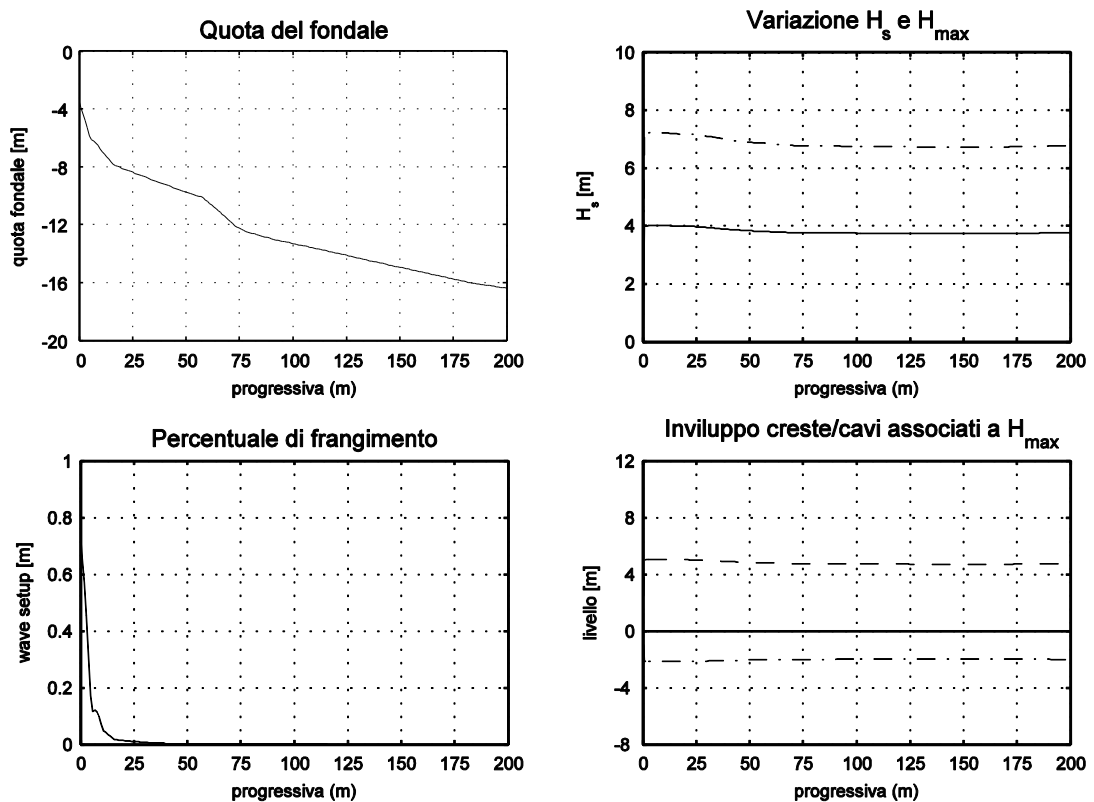


Figura B2. Risultati della propagazione dell'evento 2

$H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 340 °N

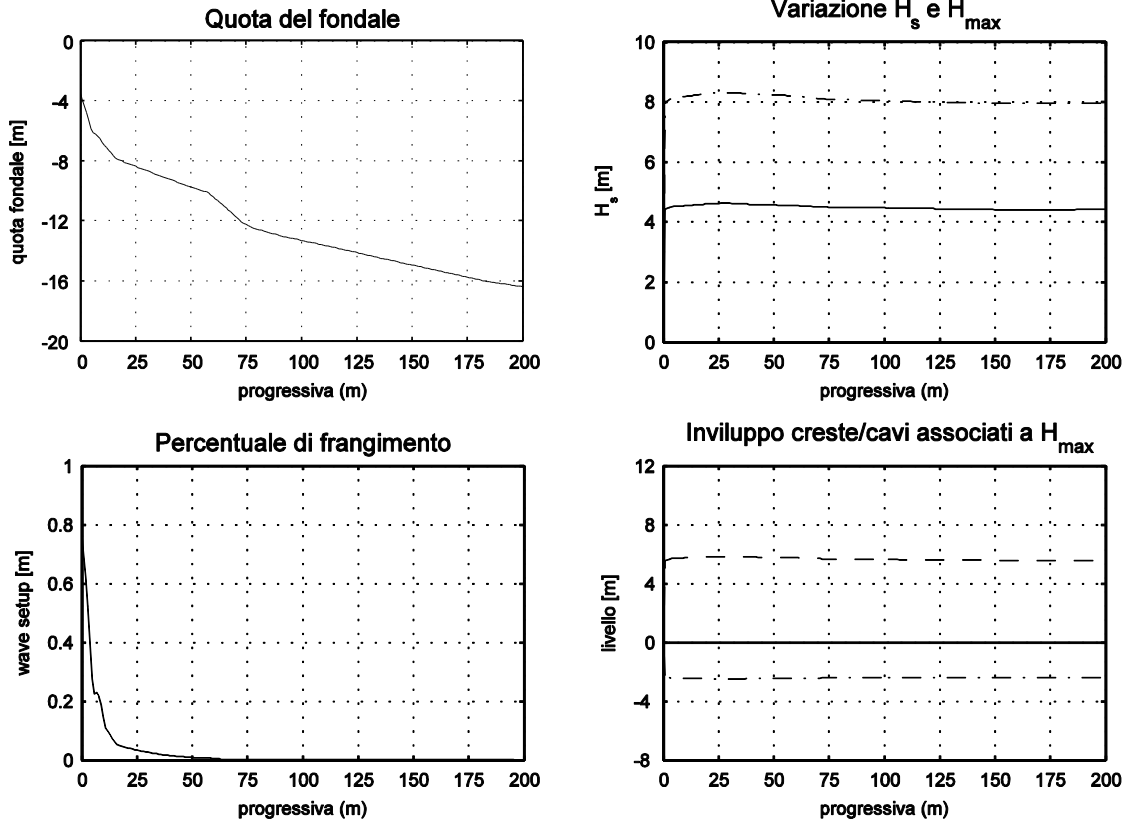


Figura B3. Risultati della propagazione dell'evento 3
 $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s $Dir = 10^\circ$ N

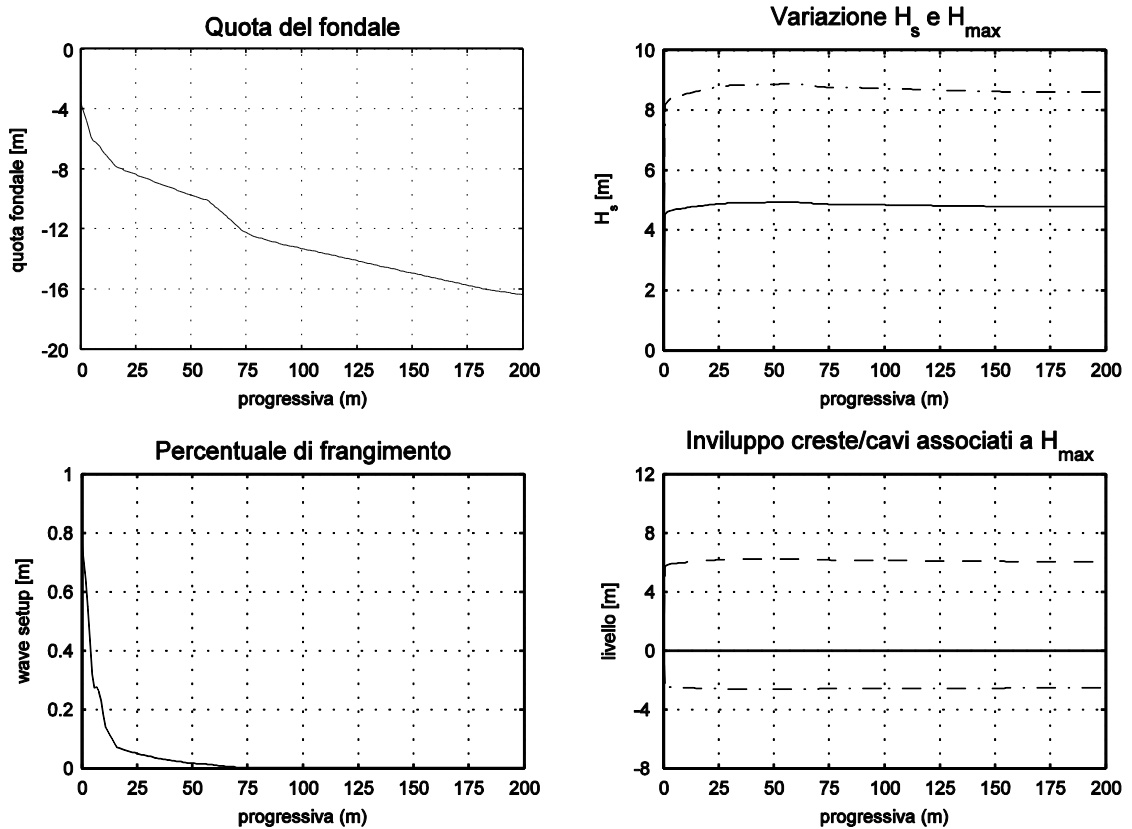


Figura B4. Risultati della propagazione dell'evento 4
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s $Dir = 30^\circ$ N

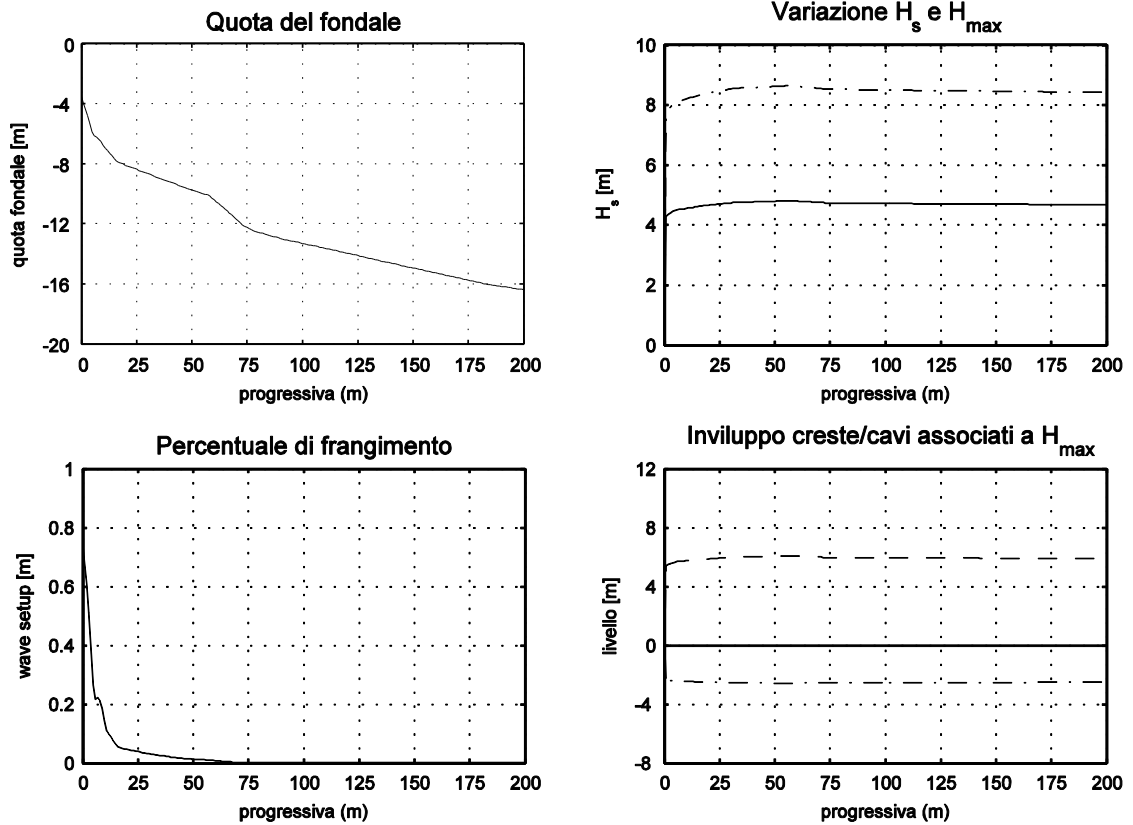


Figura B5. Risultati della propagazione dell'evento 5
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 60 °N

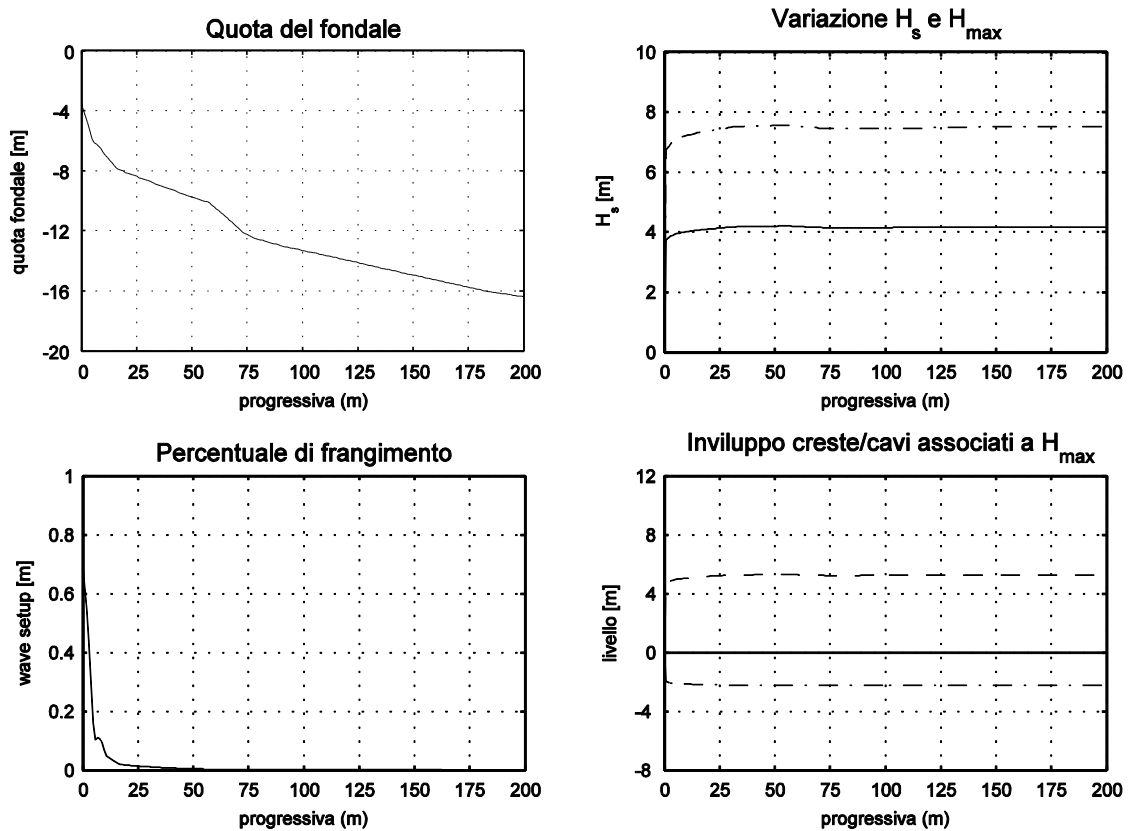


Figura B6. Risultati della propagazione dell'evento 6
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 90 °N

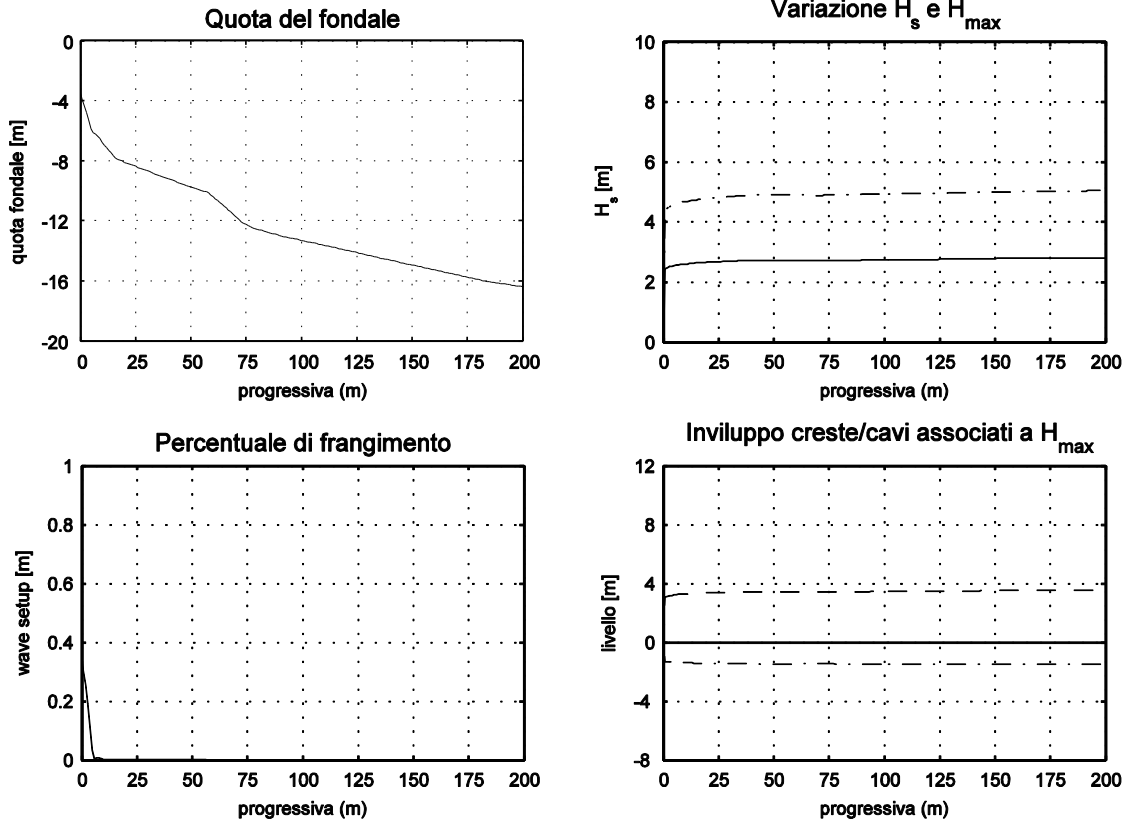


Figura B7. Risultati della propagazione dell'evento 7
 $H_s = 4.4$ m $T_p = 8.6$ s Dir = 110 °N

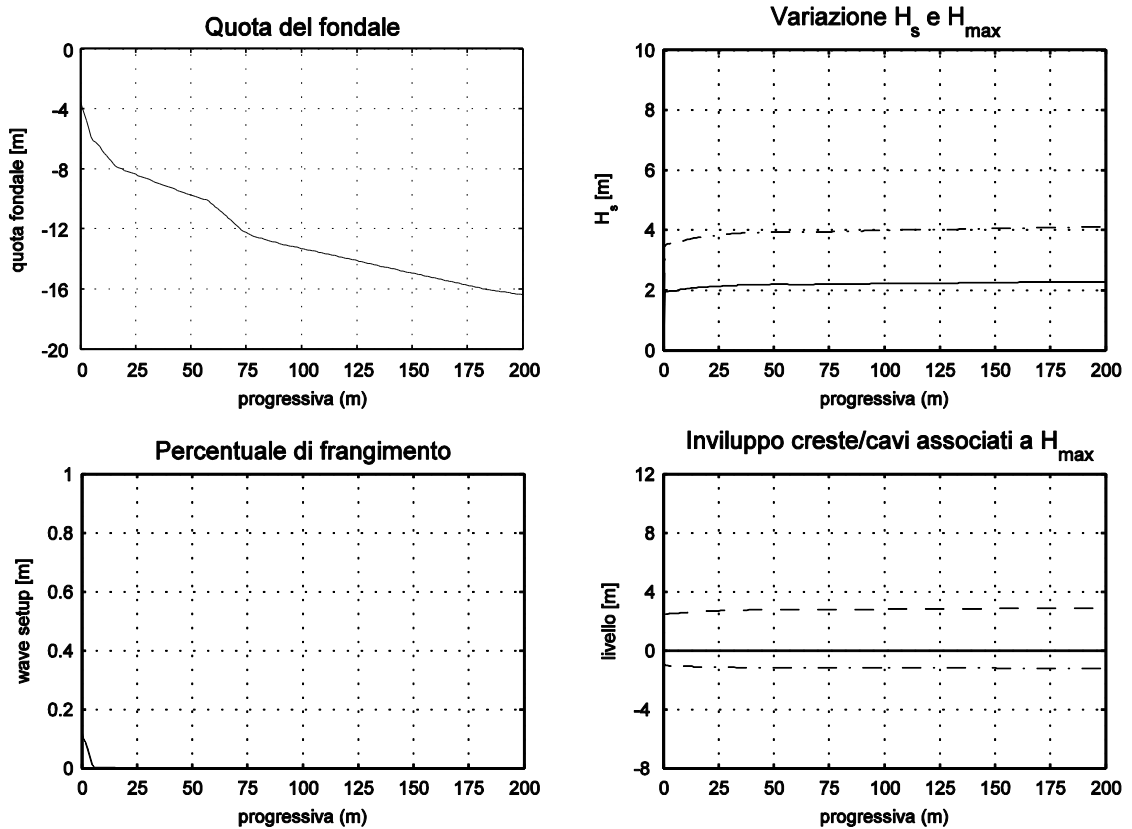


Figura B8. Risultati della propagazione dell'evento 8
 $H_s = 4.4$ m $T_p = 8.6$ s Dir = 130 °N



APPENDICE C: Propagazione degli eventi di moto ondoso lungo la PL2

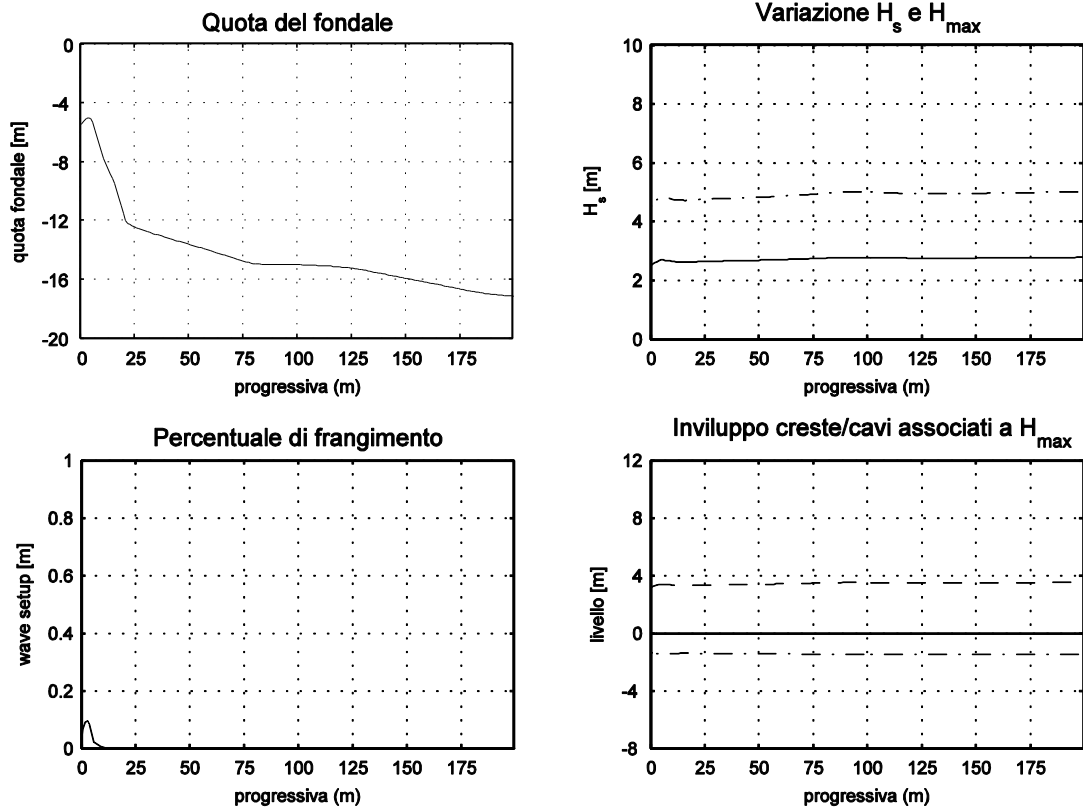


Figura C1. Risultati della propagazione dell'evento 1
 $H_s = 5.5 \text{ m}$ $T_p = 9.2 \text{ s}$ $\text{Dir} = 310^\circ \text{N}$

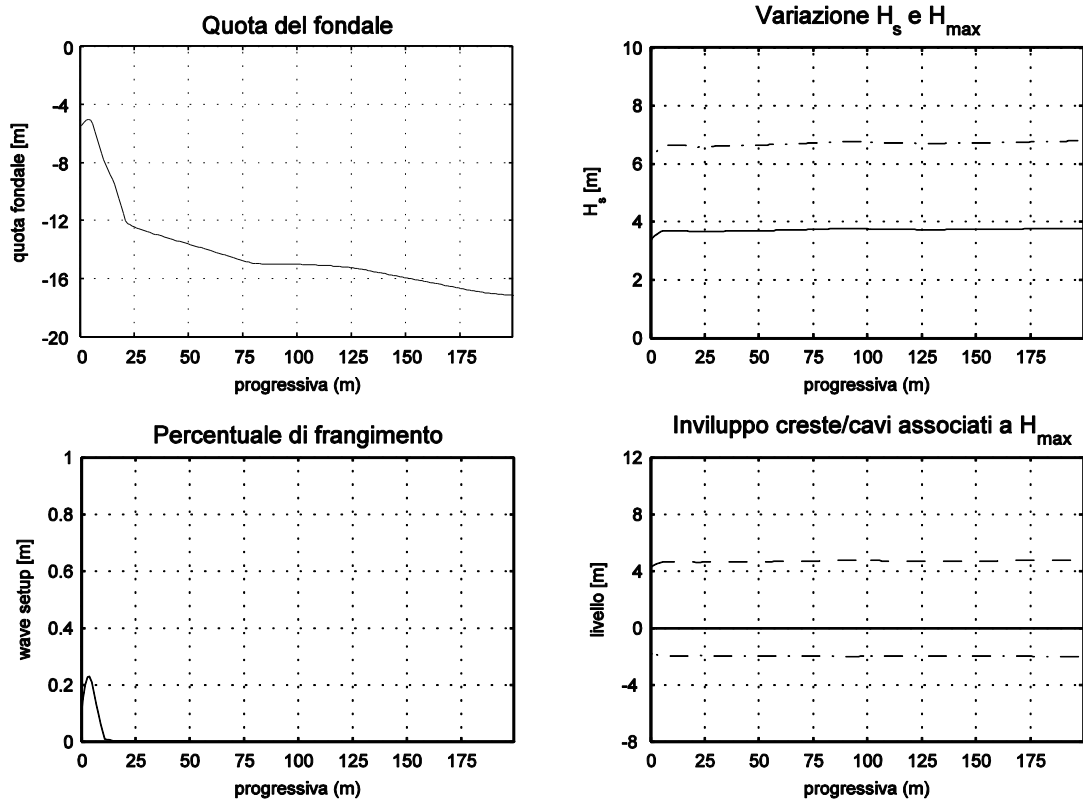


Figura C2. Risultati della propagazione dell'evento 2
 $H_s = 5.5 \text{ m}$ $T_p = 9.2 \text{ s}$ $\text{Dir} = 340^\circ \text{N}$

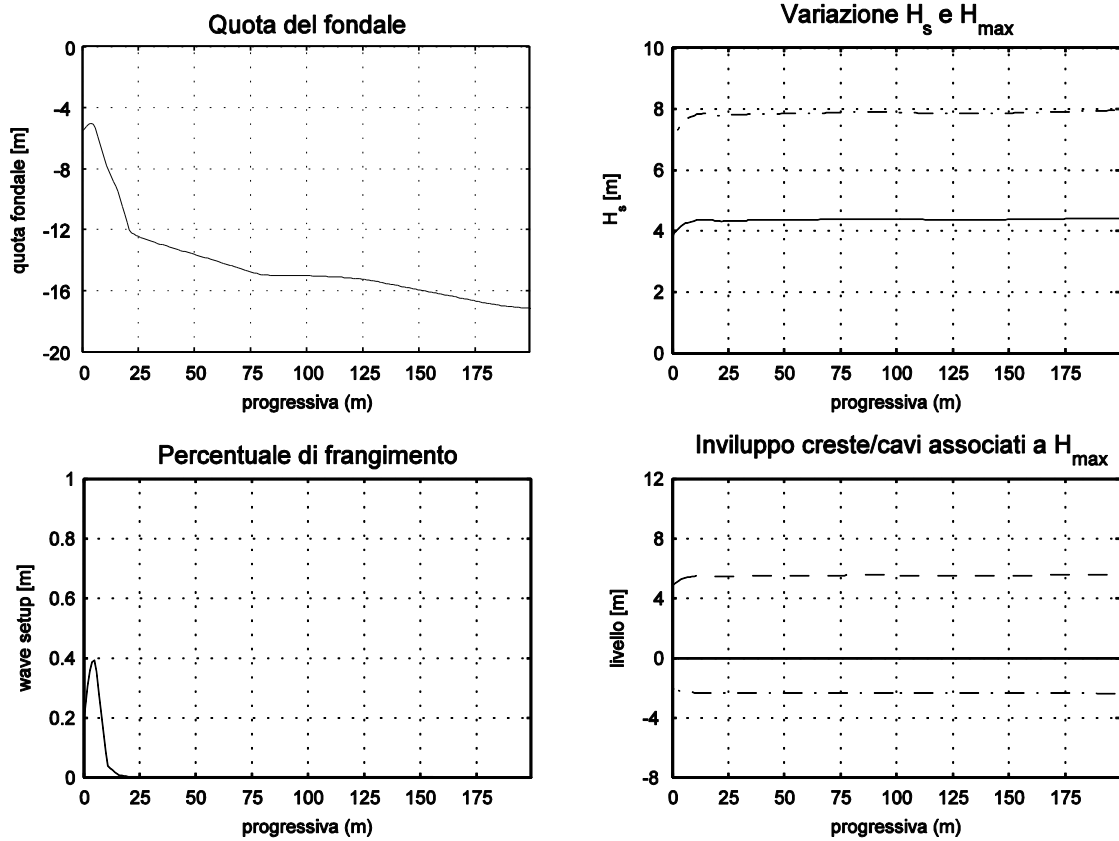


Figura C3. Risultati della propagazione dell'evento 3
 $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 10 °N

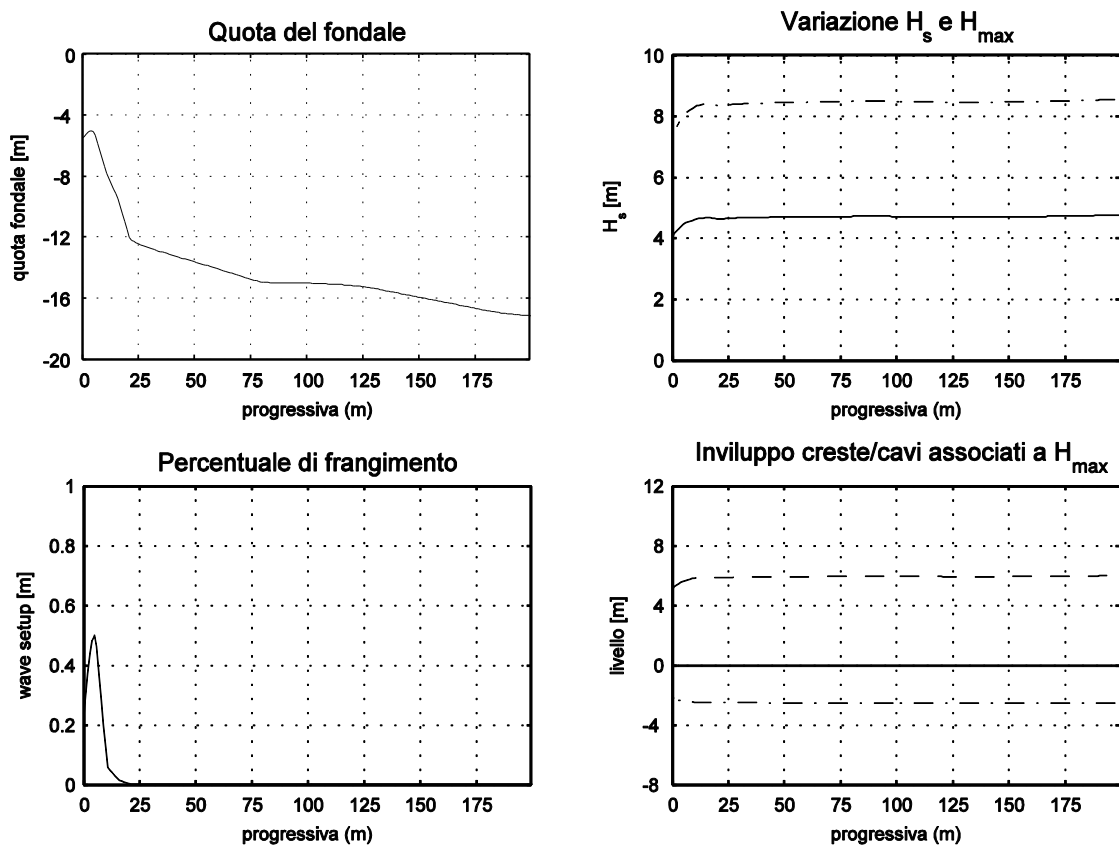


Figura C4. Risultati della propagazione dell'evento 4
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 30 °N

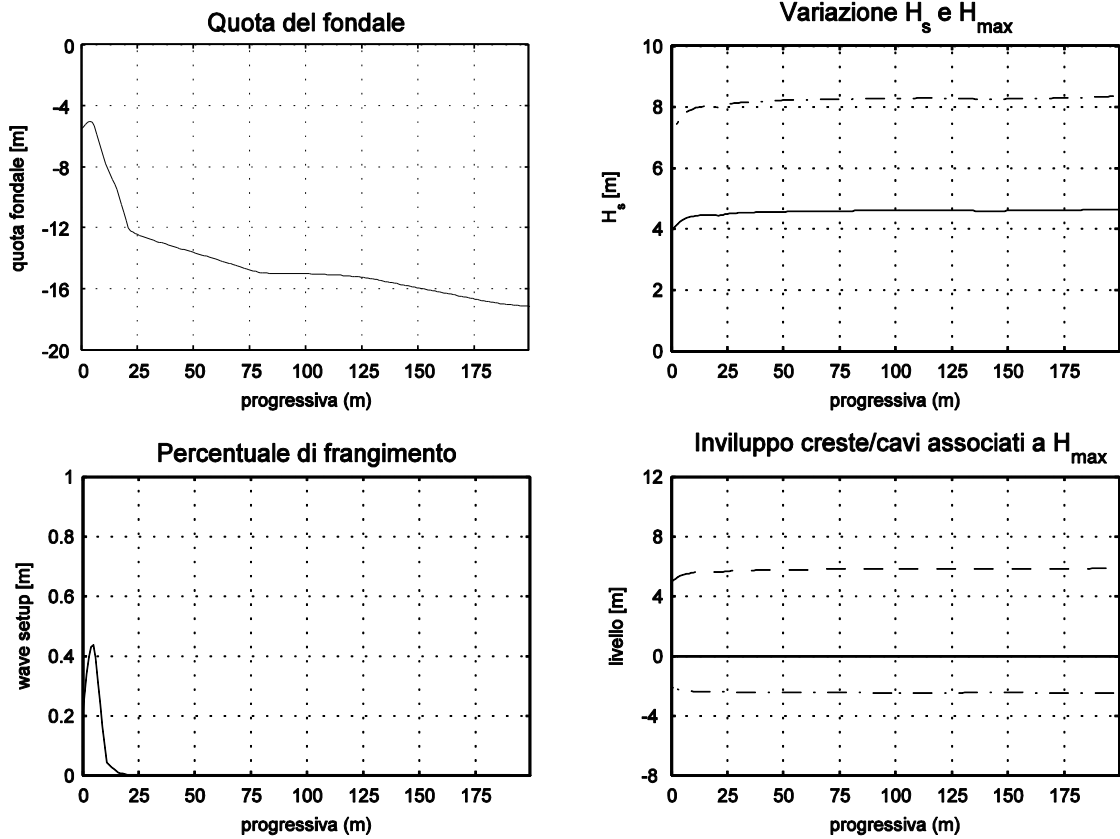


Figura C5. Risultati della propagazione dell'evento 5
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 60 °N

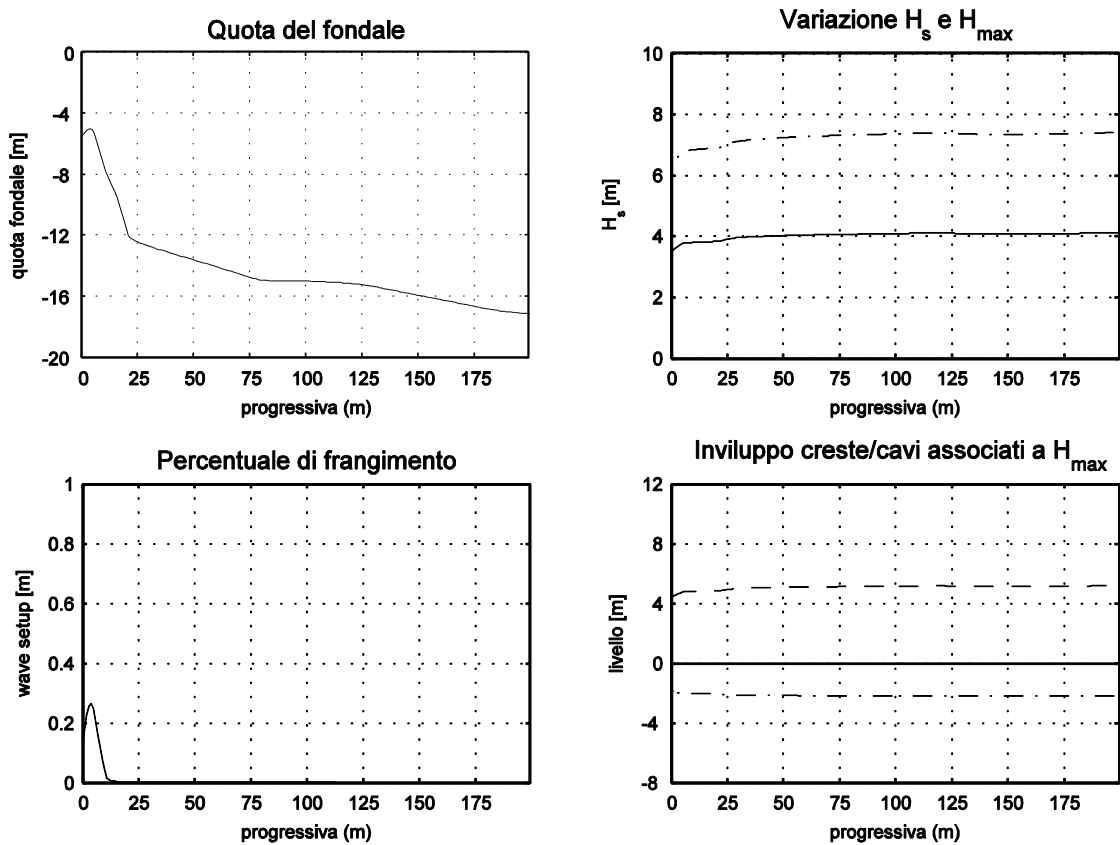


Figura C6. Risultati della propagazione dell'evento 6
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 90 °N

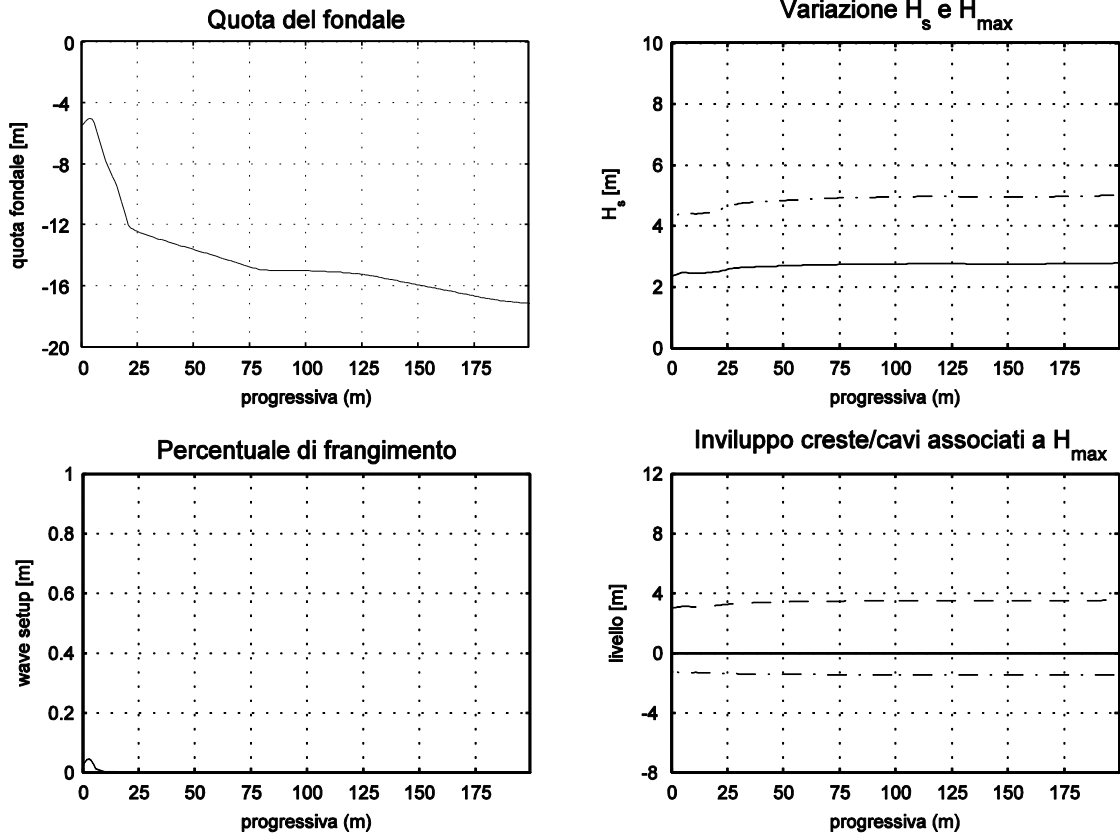


Figura C7. Risultati della propagazione dell'evento 7
 $H_s = 4.4$ m $T_p = 8.6$ s Dir = 110 °N

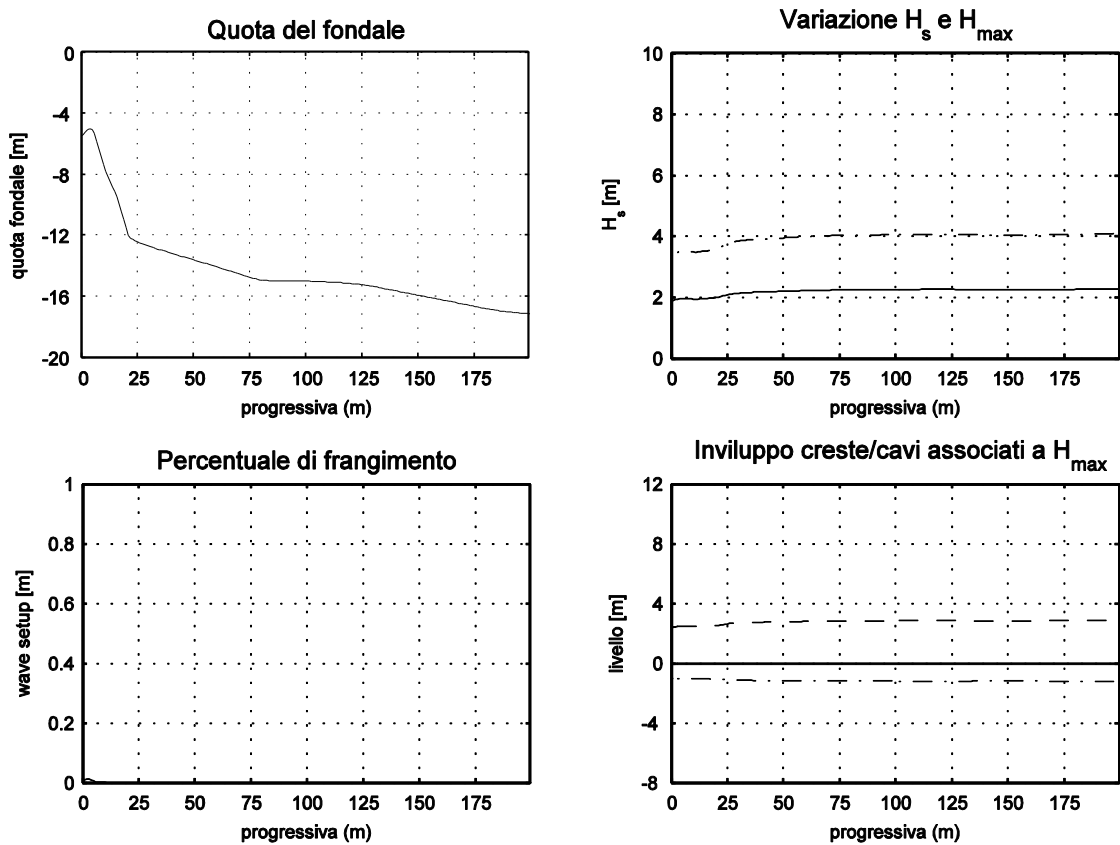


Figura C8. Risultati della propagazione dell'evento 8
 $H_s = 4.4$ m $T_p = 8.6$ s Dir = 130 °N

APPENDICE D: Propagazione degli eventi di moto ondoso lungo la PL3

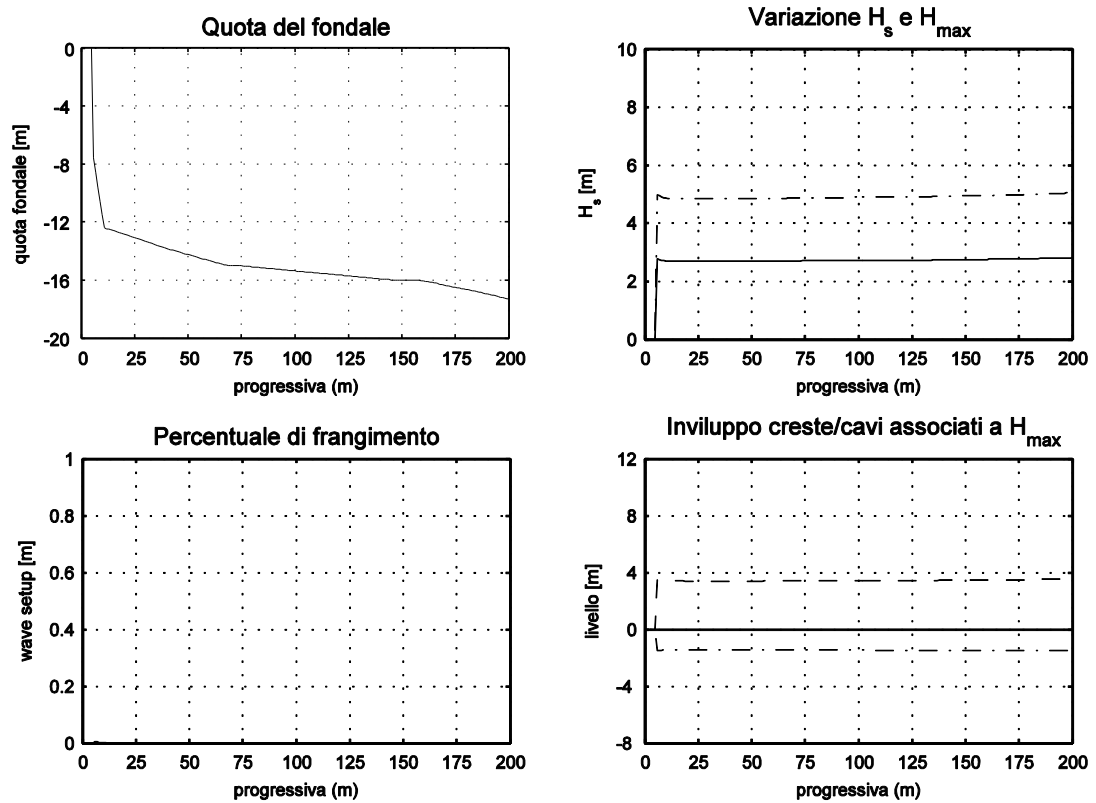


Figura D1. Risultati della propagazione dell'evento 1
 $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 310 °N

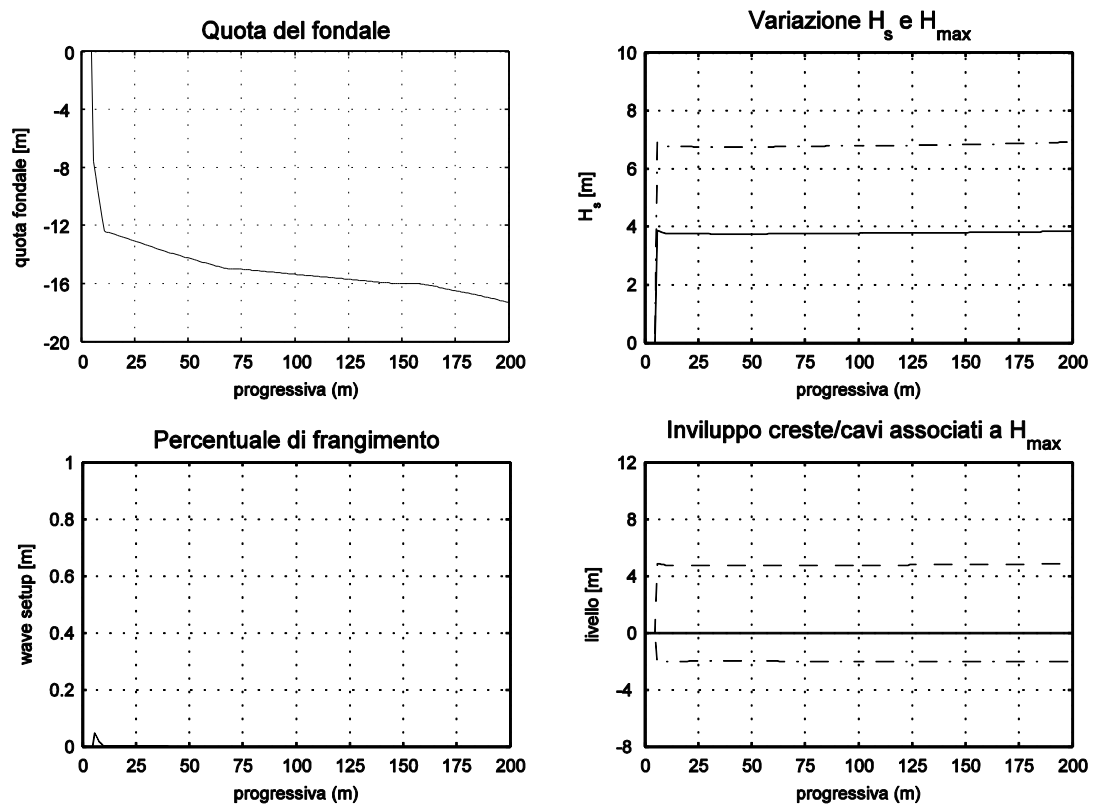


Figura D2. Risultati della propagazione dell'evento 2
 $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 340 °N

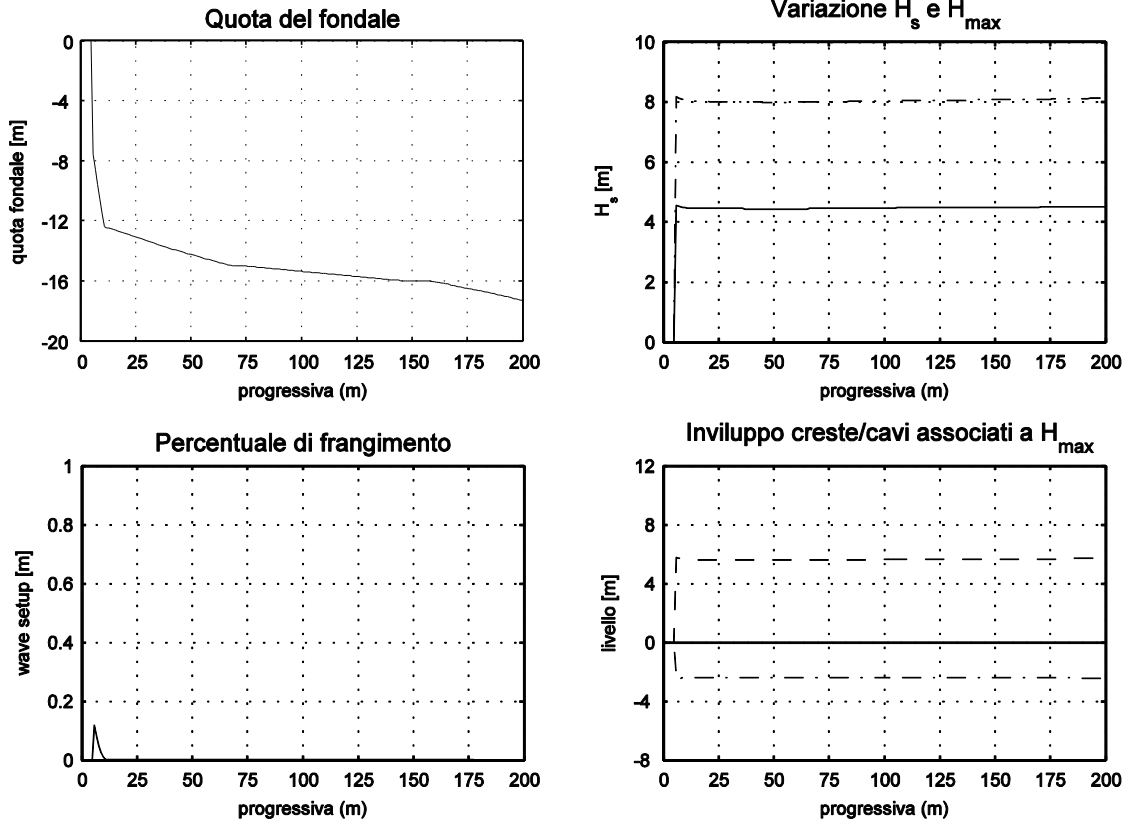


Figura D3. Risultati della propagazione dell'evento 3
 $H_s = 5.5$ m $T_p = 9.2$ s Dir = 10 °N

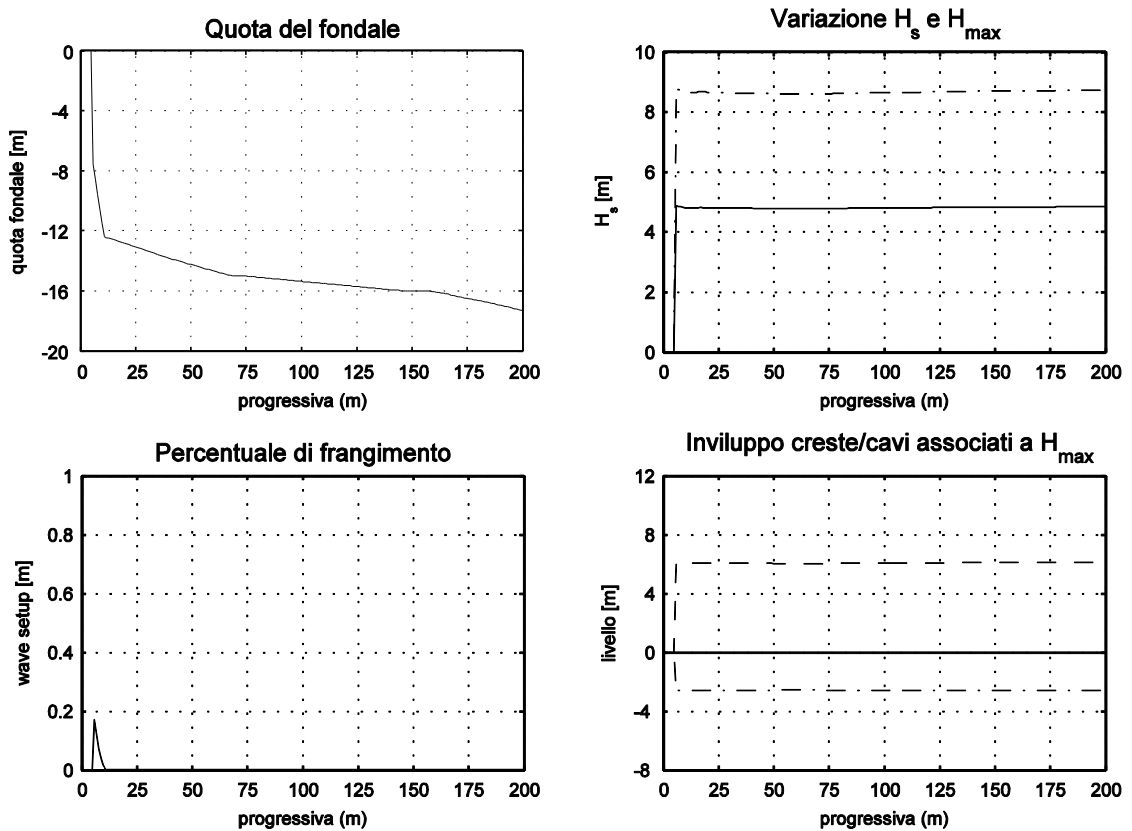


Figura D4. Risultati della propagazione dell'evento 4
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 30 °N

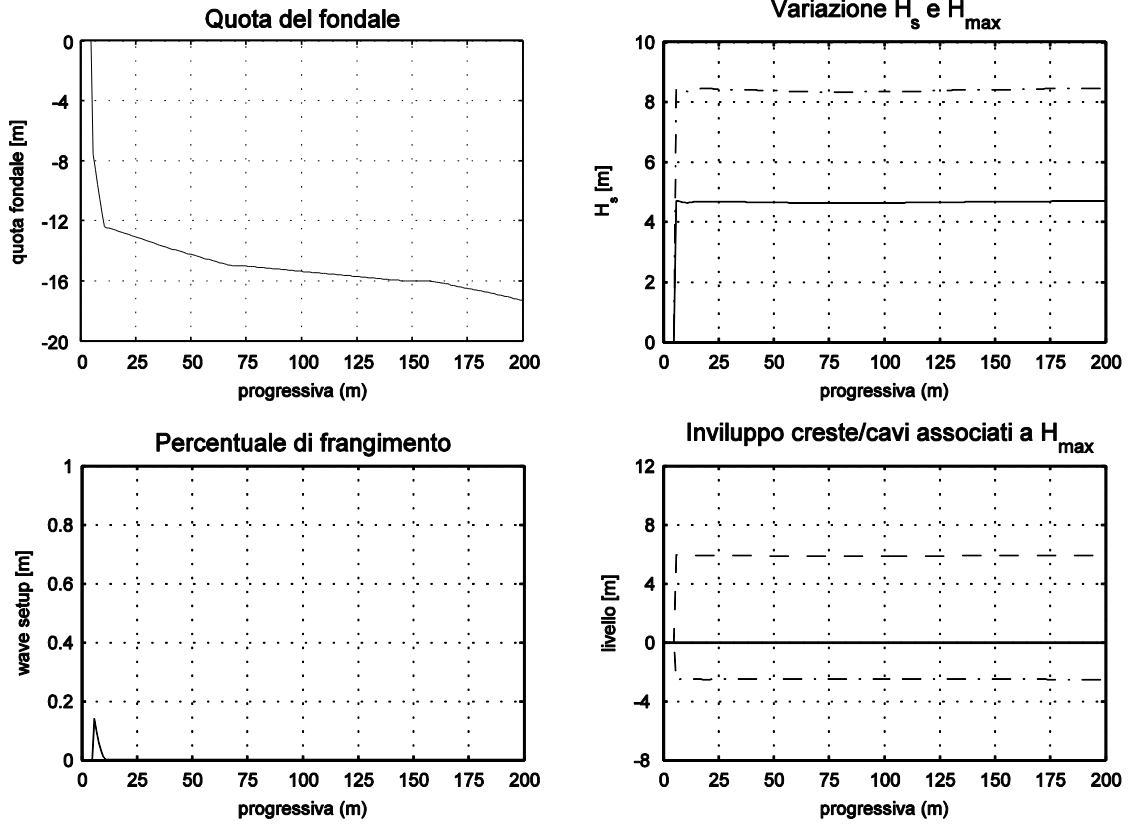


Figura D5. Risultati della propagazione dell'evento 5
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 60 °N

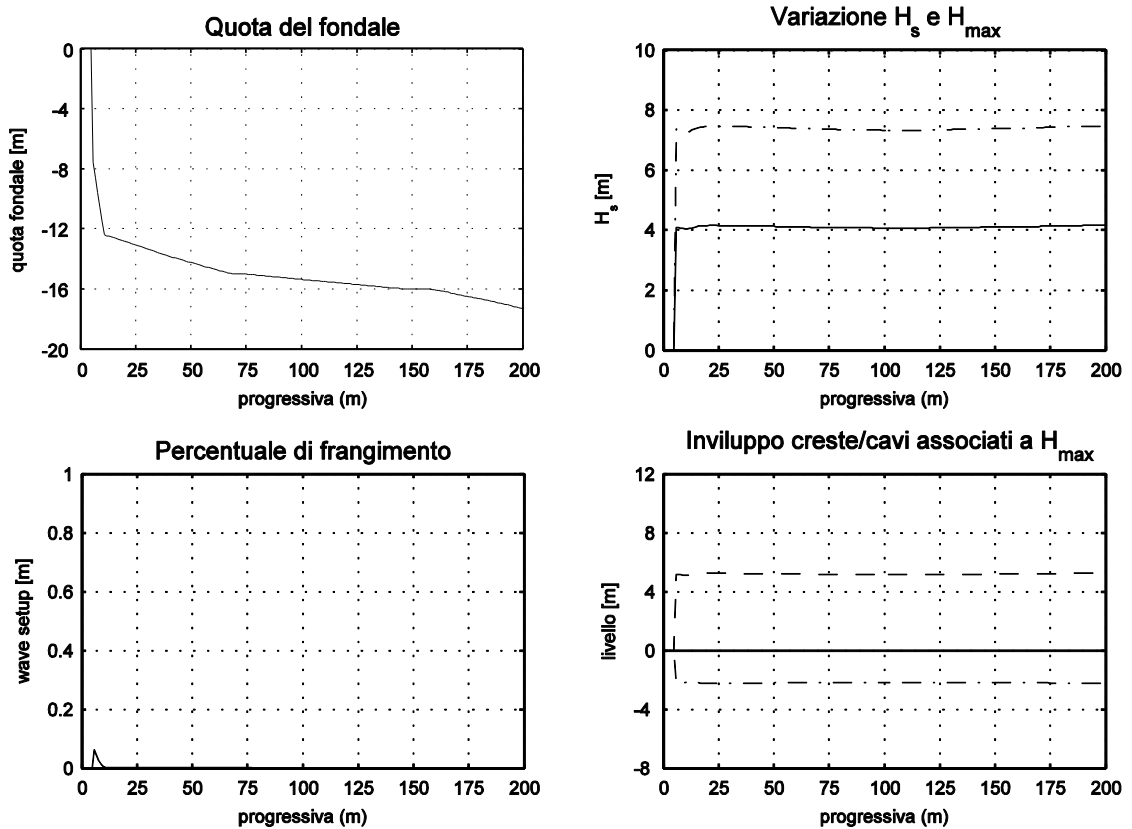


Figura D6. Risultati della propagazione dell'evento 6
 $H_s = 5.7$ m $T_p = 9.3$ s Dir = 90 °N

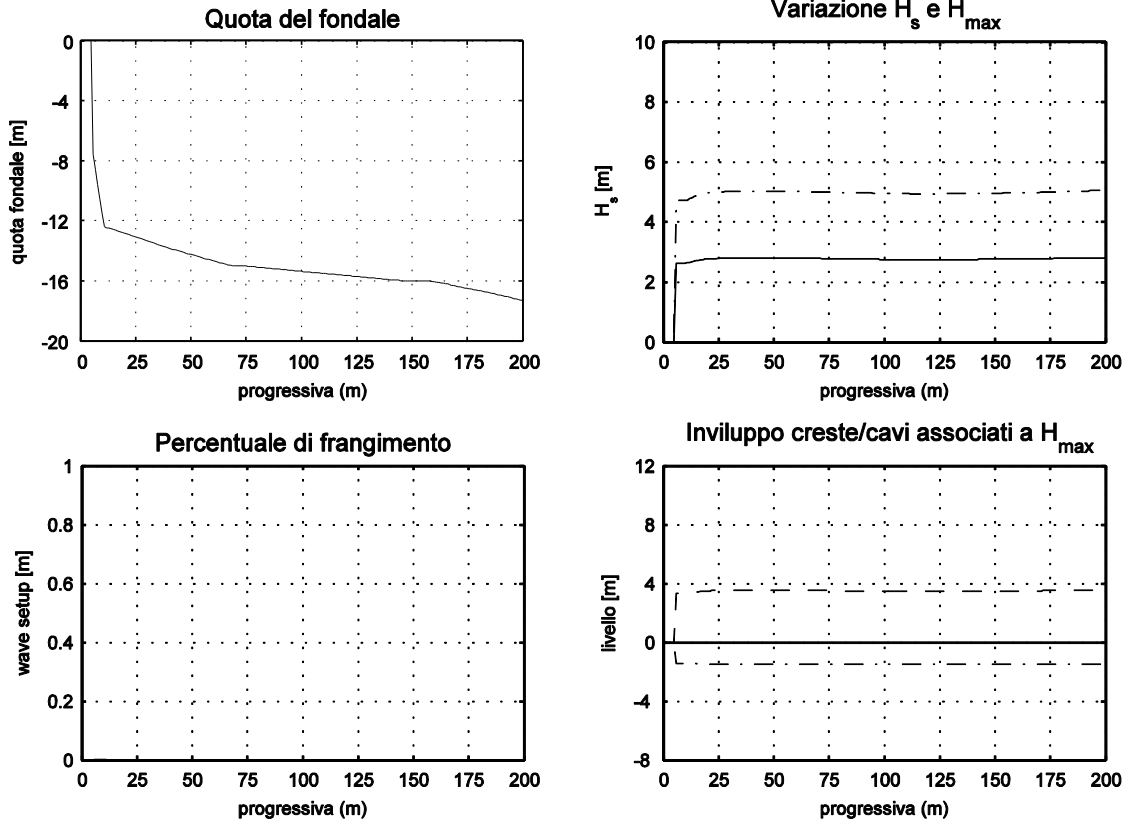


Figura D7. Risultati della propagazione dell'evento 7
 $H_s = 4.4$ m $T_p = 8.6$ s Dir = 110 °N

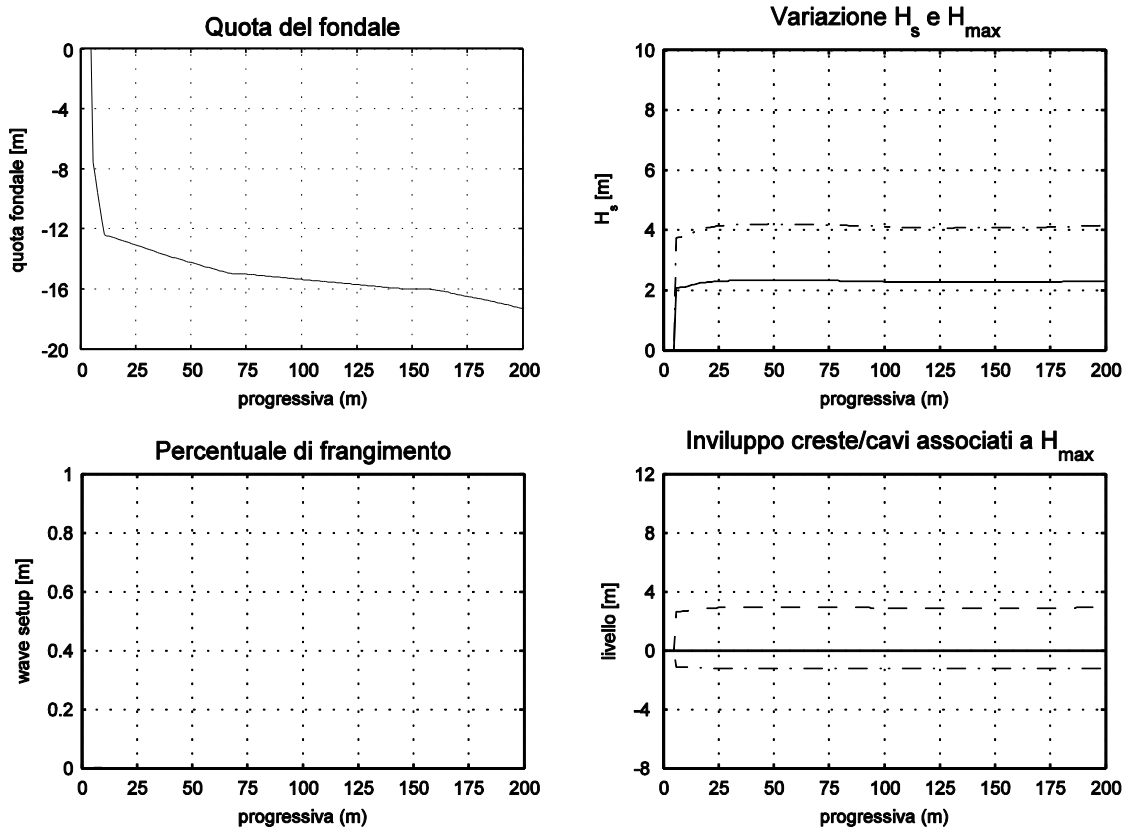


Figura D8. Risultati della propagazione dell'evento 8
 $H_s = 4.4$ m $T_p = 8.6$ s Dir = 130 °N