

NUOVO ATTRACCO PER TRAGHETTI E MESSA IN SICUREZZA DELL'APPRODO TURISTICO

PROGETTO ESECUTIVO

Titolo elaborato :

STUDIO METEOMARINO

Scala:

E
R
S
0
3
0
0
4
R
0
0
3
0

Committente:

**AUTORITA' PORTUALE
 DI LIVORNO**

Progettisti:

MODIMAR S.r.l.
 Prof. Ing. Alberto NOLI
 Prof. Ing. Alessandro TOGNA
 Dott. Ing. Maurizio VERZONI
 Dott. Ing. Marco TARTAGLINI
 Dott. Ing. Mauro MARINI
 Dott. Ing. Paolo CONTINI
 Dott. Ing. Giancarlo MILANA

Dott. Ing. Davide SALTARI
 Dott. Ing. Pietro CHIAVACCINI

R.U.P.

Dott. Ing. Umberto CAMPANA

	marzo 2006	0	EMISSIONE	R. PAREGGIANI	M. TARTAGLINI	A. TOGNA
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Disegnato:	Verificato:	Approvato:

Dimensioni foglio:

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
 This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:

PORTO DI CAPRAIA

NUOVO ATTRACCO PER I TRAGHETTI E MESSA IN SICUREZZA DELL'APPRODO TURISTICO

PROGETTO ESECUTIVO

STUDIO METEOMARINO

INDICE

1.	PREMESSE	2
2.	DATI UTILIZZATI.....	3
3.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO.....	4
3.1	FETCHES GEOGRAFICI ED EFFICACI DELLA RADA DELL'ISOLA DI CAPRAIA.....	4
4.	ANALISI DEL CLIMA ANEMOLOGICO DEL PARAGGIO.....	8
5.	DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO ONDOSI IN ACQUA PROFONDA.....	11
5.1	ANALISI DEI CLIMI DI MOTO ONDOSI OTTENUTI AL LARGO DI CAPRAIA.....	12
5.2	ANALISI DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSI AL LARGO DI CAPRAIA.....	15
6.	CONDIZIONI DI MOTO ONDOSI PRESSO L'IMBOCCATURA PORTUALE E A RIDOSSO DELLE OPERE FORANEE.....	19
7.	STUDIO IDRAULICO DELLA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI NELL'AREA PROSPICIENTE LA BANCHINA TRAGHETTI.....	28
8.	STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI ALL'INTERNO DEL PORTO	46

1. PREMESSE

A supporto del progetto esecutivo del nuovo attracco per traghetti dell'isola di Capraia e per la messa in sicurezza del porto esistente è stato redatto il presente studio meteomarino.

Lo studio riguarda la determinazione dei parametri meteomarini necessari per il dimensionamento delle opere e per la verifica degli effetti indotti dalla loro realizzazione (ad esempio riduzione dell'agitazione interna portuale, condizioni di riparo offerte al nuovo attracco dei traghetti ecc.).

A tal fine sono state sviluppate le seguenti attività:

- individuazione dei dati disponibili;
- inquadramento geografico del paraggio;
- analisi del clima anemologico del paraggio;
- analisi delle variazioni del livello medio marino;
- definizione delle condizioni di moto ondoso in acqua profonda;
- studio della propagazione del moto ondoso da largo a riva;
- individuazione delle onde di progetto in corrispondenza delle opere foranee;
- studio della penetrazione del moto ondoso all'interno dello specchio d'acqua portuale;

2. DATI UTILIZZATI

I dati che sono stati utilizzati per la redazione del presente lavoro sono di seguito elencati:

- Cartografia e batimetria
 - carta IGM tavola 317 tavoletta 4 scala 1:25.000;
 - carta nautica n°116 “Isole di Gorgona e di Capraia scala 1:25.000 aggiornata al 1980 e pianta del porto riportata sul Portolano;
 - rilievi batimetrici di dettaglio, relativi alla zona prospiciente l’attracco dei traghetti, eseguiti nel corso del 2002 e fornito dall’Autorità Portuale di Livorno.

- Dati anemologici
 - dati ITAV (Aeronautica Militare) relativi a Pianosa (serie storica 1951-1978).

- Ulteriori dati disponibili
 - Dati dell’Istituto Idrografico della Marina relativi a Pianosa.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

L'isola di Capraia, situata a sud-ovest di Livorno da cui dista circa 35 miglia ed a nord-ovest dell'Isola d'Elba dalla quale dista circa 18 miglia, ha una superficie di circa 19 km².

Lungo la costa orientale dell'isola, all'interno della baia compresa tra la Punta del Fanale e la Punta di Porto Vecchio, ricade il porticciolo destinato ad accogliere la flottiglia delle imbarcazioni locali e le imbarcazioni turistiche di passaggio. All'esterno del porto è ubicato un dente di attracco per il traghetto di collegamento con il porto di Livorno; il dente è costituito da una scogliera con retrostante terrapieno delimitato lato mare da un cassone orientato in modo tale da consentire l'attracco secondo la direzione ruotata di circa 16° in senso orario rispetto alla direzione est-ovest.

La rada risulta quindi esposta ai soli moti ondosi provenienti dal settore compreso tra 345° e 120° nord.

Per caratterizzare da un punto di vista quantitativo l'esposizione della rada dove è localizzato il porto e l'attracco per i traghetti, ne sono stati preliminarmente studiati i fetches geografici ed efficaci.

3.1 *FETCHES GEOGRAFICI ED EFFICACI DELLA RADA DELL'ISOLA DI CAPRAIA*

L'individuazione dell'esposizione geografica della rada dell'isola di Capraia è stata eseguita prendendo in esame un punto localizzato poco all'esterno della stessa rada su una profondità di circa 100 m. Come verrà descritto con maggior dettaglio nel seguito, la posizione di tale punto è stata scelta sia al fine di individuare l'esposizione geografica della rada sia per definire in corrispondenza di esso le caratteristiche del moto ondoso in acqua profonda.

Si ricorda che per "fetch" si intende la lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento. In bacini semichiusi di estensione limitata, quale risulta essere il Tirreno, si accetta che l'individuazione dei fetch possa essere eseguita facendo ricorso al concetto di "fetch geografico" che indica la distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione. Tale assunzione risulta plausibile a causa delle dimensioni caratteristiche delle perturbazioni che normalmente interessano il Tirreno che sono dello stesso ordine di grandezza dei valori massimi che caratterizzano i fetches geografici (circa 400÷500 km).

Nel diagramma polare di fig. 1a sono indicati graficamente i valori dei fetches geografici relativi al punto di analisi. La tabella 1 riporta gli stessi valori in forma numerica. I valori massimi dei fetches geografici si verificano per il settore direzionale compreso tra 160°N e 185°N (mezzogiorno).

Per completare l'inquadramento geografico preliminare del paraggio, sulla base dei valori dei fetches geografici individuati, sono stati calcolati i corrispondenti valori dei fetches efficaci. Si rammenta che il concetto di fetch efficace è emerso a conclusione della campagna sperimentale Jonswap che ha portato a definire la forma parametrica dell'omonimo spettro energetico. In sintesi i fetches efficaci sono stati calcolati applicando il metodo di Seymour (1977) ai valori dei fetches geografici individuati. Il citato metodo mette in conto che il moto ondoso viene generato non solo nella direzione lungo la quale spira il vento ma anche in tutte le direzioni comprese in un settore di $\pm 90^{\circ}$ rispetto alla direzione media di azione del vento. Tenendo conto di tale fenomeno, l'effetto che normalmente si ottiene è che i fetches efficaci subiscono una riduzione rispetto ai corrispondenti valori dei fetches geografici. I fetches efficaci ottenuti sono riportati nel diagramma polare di fig. 1b e nella terza e settima colonna della tab.1. Il fetch efficace massimo ottenuto per la rada dell'isola di Capraia per la quale è stato eseguito lo studio risulta pari a 222 km ed è riferito al settore di mezzogiorno.

Il calcolo dei fetches geografici ed efficaci è stato eseguito con il programma ENIF sviluppato dalla MODIMAR per ambiente Windows.

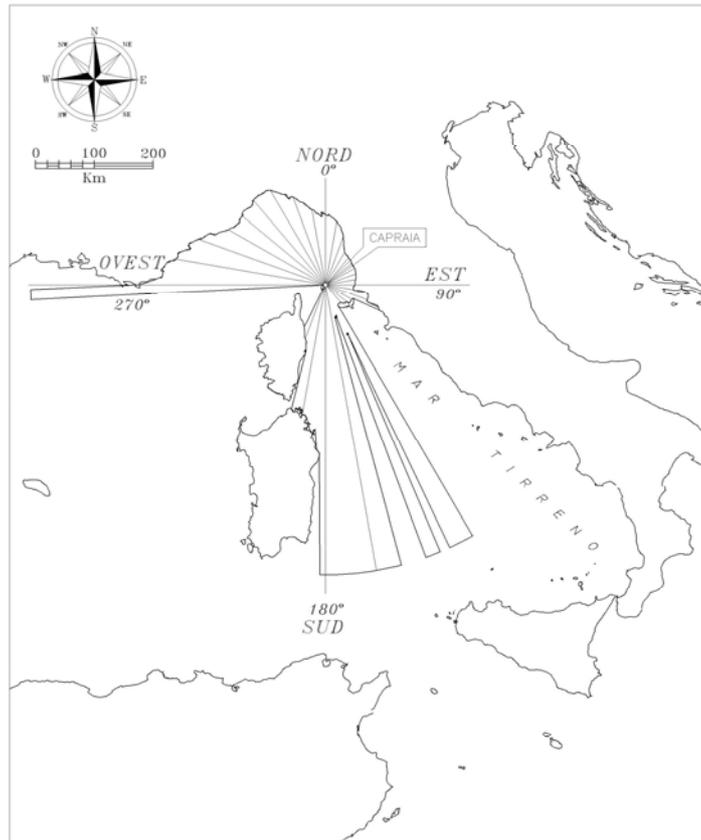


Fig. 1a – Fetch geografici al largo dell'isola di Capraia

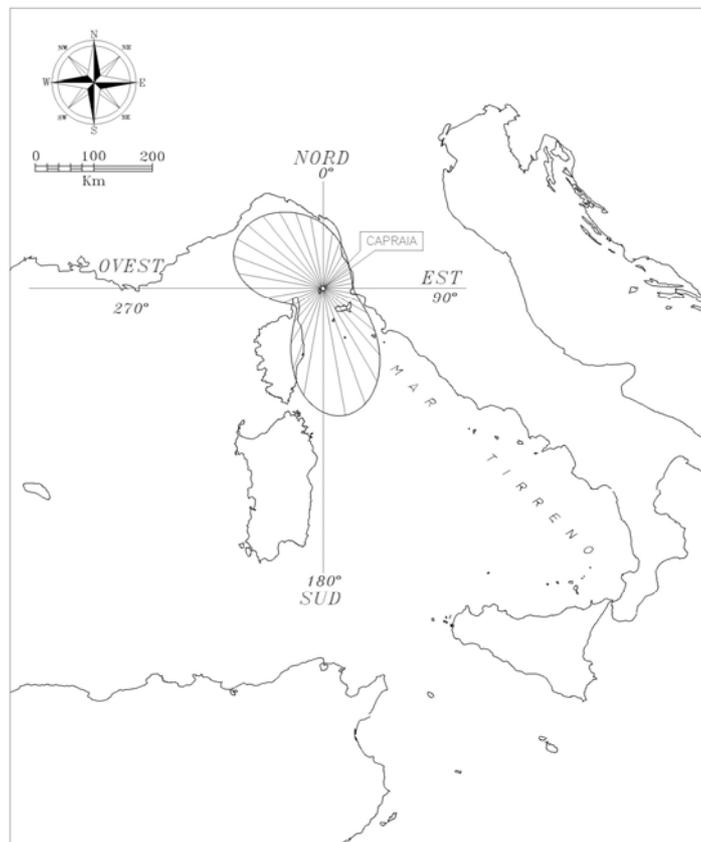
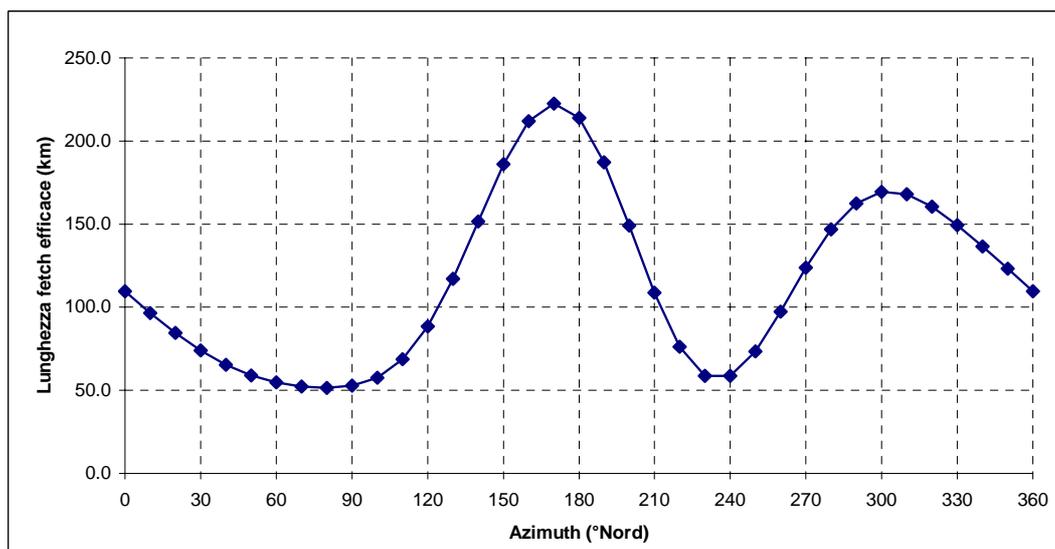
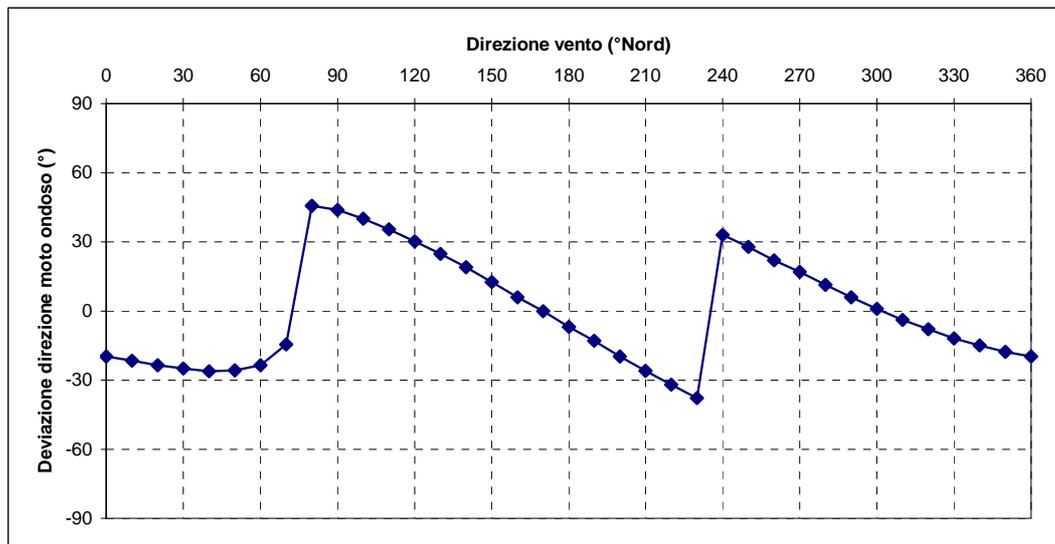


Fig. 1b – Fetch efficaci al largo dell'isola di Capraia

Tab.1 Fetch geografici ed efficaci al largo di Capraia

Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	120.37	109.67	-19.8	180	500.00	213.81	-7.0
10	111.55	96.62	-21.5	190	226.83	187.25	-13.0
20	92.91	84.52	-23.5	200	101.27	149.01	-19.8
30	67.13	73.99	-25.0	210	6.37	108.67	-26.0
40	62.07	65.42	-26.3	220	5.18	76.18	-32.0
50	58.70	59.01	-25.8	230	3.52	58.71	-37.8
60	57.48	54.72	-23.5	240	3.47	58.60	33.0
70	55.62	52.29	-14.5	250	3.64	73.37	27.8
80	52.91	51.47	45.8	260	4.27	97.35	22.0
90	50.58	52.73	43.8	270	500.00	123.77	17.0
100	48.59	57.61	40.0	280	264.31	146.75	11.3
110	76.32	68.69	35.5	290	233.83	162.41	6.0
120	52.22	88.35	30.3	300	192.57	169.24	1.0
130	48.90	116.97	24.8	310	183.79	167.90	-4.0
140	41.74	151.61	19.0	320	187.15	160.42	-8.0
150	43.16	185.97	12.5	330	188.61	149.27	-12.0
160	500.00	211.98	6.0	340	161.52	136.45	-15.0
170	500.00	222.48	0.0	350	132.32	123.09	-17.8



4. ANALISI DEL CLIMA ANEMOLOGICO DEL PARAGGIO

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

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

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

Nel caso in esame si è fatto riferimento ai dati registrati a Pianosa dall'Aeronautica Militare (dati ITAV - serie storica 1951-1978).

La distribuzione delle frequenze annuali, per classi di provenienza (36 direzioni di 10°) e classi di intensità del vento (nodi), è stata sintetizzata nella tab.2 e rappresentata graficamente nella fig.2.

Tenendo conto dell'effetto di schermo esercitato dell'entroterra dell'isola di Capraia nei confronti dei venti spiranti dal II, III e IV quadrante, gli eventi di maggiore intensità, che possono interessare il paraggio in esame, sono quelli provenienti da Nord, Nord-Est ed Est.

L'analisi dei soli venti più forti (intensità superiore a 24 nodi oltre il 6° grado della scala Beaufort) limitata al primo quadrante, mostra un percentuale pari a 1,13% pari a circa 4 giorni l'anno.

Tab.2 : Distribuzione annuale della percentuali degli eventi suddivisi per classi di Vv e direzione di provenienza.

Anemometro dell'Isola di Pianosa

Dati rilevati dal 1 gennaio 1951 al 30 dicembre 1978

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (nodi)											TOT.	
	1÷4	4÷7	7÷11	11÷17	17÷22	22÷28	28÷34	34÷41	41÷48	48÷56	56÷63		>63
10	0.28	0.54	0.76	0.56	0.20	0.11	0.06	0.04	0.01	0.00	0.00		2.57
20	0.34	0.55	0.66	0.44	0.24	0.12	0.07	0.06	0.03	0.02	0.00		2.54
30	0.28	0.43	0.49	0.51	0.31	0.24	0.16	0.08	0.01	0.01	0.00		2.51
40	0.26	0.37	0.59	0.72	0.32	0.16	0.07	0.04	0.01				2.52
50	0.46	1.15	1.67	1.87	0.97	0.56	0.25	0.07	0.01	0.01	0.00		7.04
60	0.30	0.40	0.36	0.18	0.08	0.02	0.01	0.01					1.37
70	0.40	0.49	0.33	0.13	0.04	0.01	0.01	0.00					1.41
80	0.35	0.45	0.33	0.15	0.04	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00			1.37
90	0.53	1.29	1.84	1.06	0.28	0.14	0.05	0.01	0.01	0.00			5.22
100	0.33	0.59	0.60	0.29	0.08	0.06	0.01	0.02		0.01			1.99
110	0.45	0.90	0.75	0.36	0.11	0.06	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00		2.66
120	0.50	0.76	0.74	0.36	0.11	0.08	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00		2.62
130	0.63	1.72	2.40	1.31	0.50	0.32	0.12	0.05	0.00	0.02	0.00		7.08
140	0.49	0.78	0.99	0.55	0.21	0.14	0.08	0.05	0.02	0.01	0.00		3.33
150	0.57	0.79	0.77	0.60	0.28	0.18	0.12	0.05	0.01	0.01			3.38
160	0.63	1.15	1.20	0.78	0.40	0.21	0.11	0.04	0.01	0.01			4.54
170	0.62	1.04	1.11	0.79	0.43	0.22	0.11	0.05	0.03	0.01	0.00		4.40
180	0.83	1.86	2.40	1.86	0.77	0.47	0.19	0.09	0.04	0.02			8.53
190	0.16	0.29	0.35	0.27	0.13	0.08	0.03	0.02	0.01	0.01			1.34
200	0.45	0.59	0.47	0.22	0.07	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00		1.89
210	0.32	0.45	0.29	0.21	0.07	0.05	0.02	0.01		0.00			1.42
220	0.28	0.37	0.24	0.17	0.07	0.02	0.01	0.01					1.16
230	0.24	0.49	0.49	0.26	0.11	0.02	0.01	0.00	0.00				1.62
240	0.14	0.18	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00		0.00	0.01			0.51
250	0.12	0.13	0.09	0.03	0.01	0.01							0.39
260	0.09	0.08	0.04	0.02	0.00	0.00		0.00					0.24
270	0.12	0.31	0.36	0.34	0.22	0.15	0.21	0.11	0.01	0.01			1.83
280	0.12	0.10	0.06	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00		0.40
290	0.10	0.15	0.09	0.07	0.07	0.04	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00		0.58
300	0.18	0.20	0.13	0.12	0.12	0.11	0.05	0.06	0.03	0.03	0.00		1.03
310	0.17	0.31	0.23	0.27	0.16	0.10	0.08	0.04	0.01	0.01			1.37
320	0.25	0.91	1.44	1.26	0.46	0.24	0.14	0.07	0.03	0.02	0.00		4.83
330	0.21	0.44	0.46	0.37	0.18	0.12	0.07	0.05	0.02	0.02			1.94
340	0.41	0.96	1.07	1.03	0.42	0.19	0.09	0.07	0.02	0.01			4.27
350	0.38	0.76	1.06	0.99	0.38	0.22	0.10	0.05	0.02				3.95
360	0.26	0.80	1.69	2.04	0.76	0.36	0.18	0.05	0.01	0.01	0.00		6.15
TOT.	12.25	22.75	26.65	20.27	8.67	4.93	2.52	1.28	0.38	0.26	0.04		100.00
Tot. cumul.		35.00	61.65	81.93	90.60	95.52	98.04	99.32	99.70	99.96	100.00	100.00	

Numero eventi validi :

59535

Vv (Nodi)

- 0 < Vv < 7
- 7 ≤ Vv < 17
- 17 < Vv < 28
- Vv ≥ 28

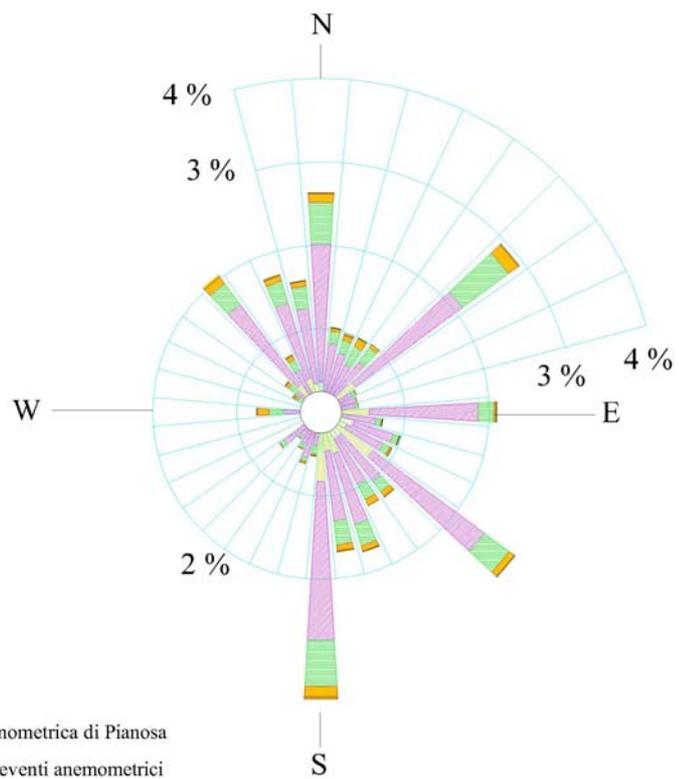


Fig. 2 - Dati rilevati alla stazione anemometrica di Pianosa
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi anemometrici
(periodo Gennaio 1951 - Dicembre 1978)

5. DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO ONDOSI IN ACQUA PROFONDA

Poiché non sono mai state effettuate misure dirette di moto ondoso al largo dell'isola di Capraia la definizione delle condizioni di moto ondoso in acqua profonda può essere eseguita utilizzando due approcci distinti.

Un primo approccio consiste nel “trasferire” da La Spezia le misure di moto ondoso registrate dalla boa ondometrica del SIMN. A tal riguardo si evidenzia che recentemente è stato messo a punto da Contini e De Girolamo (1998) un metodo che permette di trasportare geograficamente serie storiche di moto ondoso.

Un secondo approccio consiste nel ricostruire le condizioni di moto ondoso a partire da dati anemometrici (velocità e direzione del vento) applicando metodi di calcolo indiretti (hindcasting) che si basano sulle equazioni che regolano il trasferimento di energia dal vento al moto ondoso.

Sulla base dell'esperienza acquisita dalla MODIMAR nell'applicare ambedue i metodi sopra citati, si può affermare che entrambi gli approcci sono da ritenere validi in generale per il Mediterraneo. Purtroppo per la situazione in esame si ritiene che le misure dell'ondametro di La Spezia non siano rappresentative delle condizioni di moto ondoso al largo del versante orientale dell'isola di Capraia. Infatti l'ondametro di La Spezia, pur essendo “vicino” all'Isola di Capraia, risulta esposto solo ai moti ondosi provenienti dal 3° e 4° quadrante mentre la rada dove è localizzato il porto e l'attracco per i traghetti dell'isola di Capraia, come evidenziato nei paragrafi precedenti, risulta esposta esclusivamente ai moti ondosi provenienti dal 1° e 3° quadrante che quindi non vengono “misurati” dal suddetto ondametro.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte il calcolo delle condizioni di moto ondoso al largo della rada di Capraia è stato eseguito utilizzando il metodo di ricostruzione del moto ondoso comunemente indicato con la sigla SMB.

Per l'applicazione del metodo SMB si è fatto riferimento alla serie storica di dati anemometrici (direzione e velocità) registrati a Pianosa dall'Aeronautica Militare (dati ITAV - serie storica 1951-1978). Infatti si è a priori esclusa la possibilità di utilizzare i dati della Marina Militare che presentano una classificazione degli eventi piuttosto grossolana sia per il settore di provenienza (intervalli di 45°) che per le classi d'intensità (l'ultima classe comprende tutte le velocità maggiori di 27 nodi). A tal proposito si deve rilevare che una approssimazione del 10% sul valore della velocità del vento può condurre ad un errore dell'altezza d'onda pari a circa il 21%.

Il modello numerico che è stato applicato, sviluppato dalla Modimar e denominato ALTAIR, è basato sul classico metodo SMB. E' da precisare che le velocità del vento rilevate sono state opportunamente corrette per tenere conto dell'altitudine e della posizione della stazione

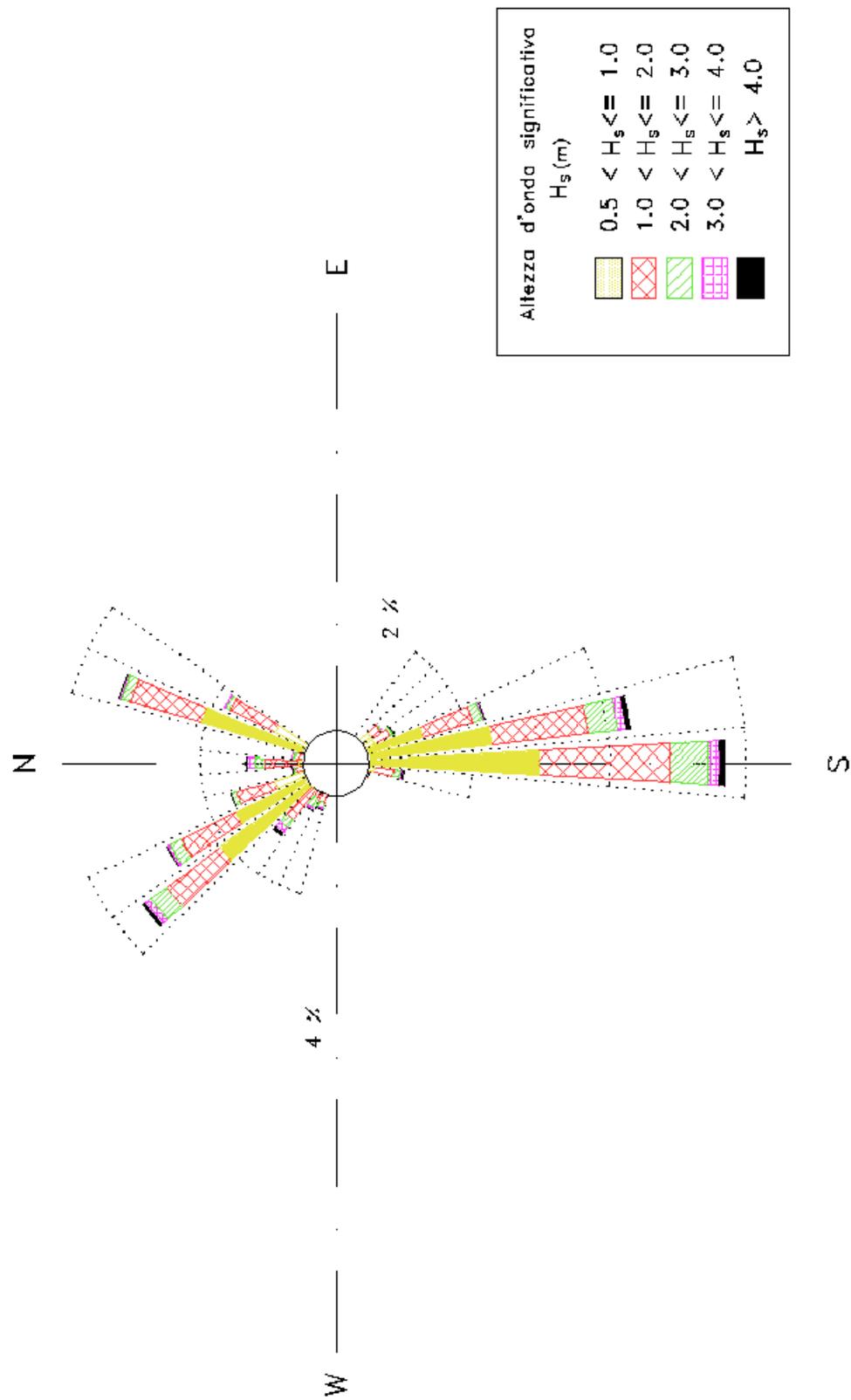
meteorologica. I fetches efficaci che sono stati utilizzati per il calcolo sono quelli indicati nel precedente paragrafo e riportati nella fig.1b. L'applicazione del modello numerico ha quindi consentito di ricostruire la serie storica di altezze d'onda significative, periodi significativi e direzioni di provenienza del moto ondoso nel periodo 1951-1978.

5.1 ANALISI DEI CLIMI DI MOTO ONDOSI OTTENUTI AL LARGO DI CAPRAIA

Le serie storiche ottenute al largo del versante orientale dell'isola di Capraia con il metodi sopra descritti, hanno permesso di ricostruire le "rose" climatiche di moto ondoso per il paraggio in esame.

Nella figura 3 è riportata la rosa annuale ottenuta con il metodo di ricostruzione del moto ondoso. La tabella 3 riporta gli stessi risultati in forma numerica. Dall'analisi dei risultati si evince che gli stati di mare più intensi, caratterizzati da altezze d'onda più elevate, al largo del versante orientale di Capraia provengono da Est Nord-Est (vedi tabella 3).

Fig. 3 – Ricostruzione del moto ondoso al largo di Capraia
 Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso
 (periodo di riferimento: 1 gennaio 1951 – 30 dicembre 1978)



Tab.3 : Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.

ANNUALE

Isola di Capraia (SMB) - Periodo di riferimento 1 gennaio 1951 - 30 dicembre 1978

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	0.57	0.27	0.29	0.17	0.10	0.06	0.02	0.01								1.49
20	2.28	1.82	2.07	0.78	0.32	0.11	0.03	0.01	0.00		0.00					7.42
30	0.89	0.87	1.02	0.50	0.23	0.05	0.02	0.01	0.01							3.59
40	0.37	0.46	0.28	0.10	0.04	0.02	0.00									1.27
50	0.78	0.37	0.28	0.07	0.02	0.01	0.01									1.53
60	0.70	0.38	0.22	0.06	0.01	0.01	0.00									1.37
70	0.10	0.09	0.06	0.03				0.00								0.27
80	0.05	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00										0.14
90	0.15	0.17	0.17	0.06	0.02	0.01	0.00									0.57
100	0.07	0.03	0.02	0.01			0.00									0.14
110	0.11	0.06	0.04	0.02	0.01											0.24
120	0.11	0.11	0.10	0.05	0.02		0.00	0.00								0.40
130	0.06	0.06	0.07	0.01	0.01	0.01	0.00									0.21
140	2.67	1.23	0.63	0.14	0.03	0.02	0.01	0.01								4.74
150	2.34	1.31	0.65	0.18	0.07	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00						4.59
160	4.37	2.30	1.32	0.51	0.26	0.10	0.05	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00				8.94
170	4.81	2.70	2.30	0.87	0.55	0.29	0.12	0.07	0.06	0.03	0.02	0.01		0.00	0.00	11.84
180	5.58	3.48	2.96	1.30	0.64	0.36	0.18	0.11	0.05	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	14.75
190	2.02	0.73	0.57	0.19	0.09	0.06	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00		0.00	0.00	3.74
200	1.80	0.48	0.37	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00		0.00					2.80
210	0.21	0.06	0.03	0.01	0.00											0.31
220	0.01	0.01	0.01	0.00												0.03
230	0.06	0.05	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00							0.23
240	0.04	0.04	0.05	0.02	0.00	0.00		0.00								0.15
250	0.01	0.01	0.01	0.00												0.02
260	0.05	0.03	0.10	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00								0.23
270	0.02	0.01	0.00	0.00												0.03
280	0.28	0.07	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00		0.00						0.45
290	0.84	0.36	0.37	0.12	0.12	0.03	0.05	0.02	0.01	0.00						1.93
300	0.48	0.19	0.28	0.16	0.14	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00				0.00		1.45
310	0.96	0.36	0.50	0.35	0.20	0.09	0.05	0.06	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01			2.68
320	2.43	2.10	2.10	0.66	0.32	0.17	0.13	0.05	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01		8.07
330	1.59	1.49	1.65	0.66	0.24	0.10	0.07	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00			0.00	5.85
340	1.11	1.00	0.95	0.39	0.17	0.06	0.02		0.00	0.00						3.71
350	0.81	0.51	0.41	0.12	0.07	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00						1.97
360	0.91	0.63	0.56	0.31	0.19	0.10	0.06	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01				2.85
TOT.	39.62	23.89	20.58	8.04	3.96	1.83	0.93	0.47	0.29	0.18	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01	100.00
Tot. cumul.	63.52	84.09	92.13	96.09	97.92	98.85	99.32	99.61	99.79	99.88	99.94	99.97	99.99	100.00		

Numero eventi validi : 57641

5.2 ANALISI DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO AL LARGO DI CAPRAIA

L'analisi statistica degli eventi estremi di moto ondoso risulta di fondamentale importanza nel progetto di una opera marittima al fine di definire le azioni esercitate dalle onde sulle strutture, l'agitazione residua all'interno dello specchio d'acqua portuale, ecc. A tal fine è stata presa in esame la serie storica degli eventi di moto ondoso ricostruiti al largo di Capraia.

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 al valore di soglia.

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. A tal fine nella figura 4 sono stati rappresentati in un diagramma polare tutti gli eventi di altezza d'onda superiore od uguale ad un metro estratti dalla serie storica ricostruita al largo di Capraia. La distribuzione dei valori massimi di altezze d'onda rappresentata nella fig.4 porta ad individuare il settore principale di provenienza del moto ondoso quello compreso tra le direzioni 10°N e 150°N.

Individuato il settore principale di provenienza del moto ondoso, si è quindi proceduto a determinare il valore di soglia dell'altezza d'onda significativa da utilizzare per “isolare” ciascun evento e quindi i corrispondenti valori di picco. Il valore di soglia è stato individuato seguendo il metodo proposto da Goda (1988)¹. Nella tab.4 sono riportati, per il settore suddetto, i valori di altezza d'onda di soglia, il numero di eventi sopra soglia, e l'altezza massima verificatasi nella serie storica.

Gli stati di mare caratterizzati da una altezza d'onda significativa (H_s) superiore alla soglia individuata sono stati quindi oggetto di una elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante una

¹ “On methodology of selecting design wave height”, ASCE, Int. Conf. On Coastal Eng., pp.901-913, 1988).

regolarizzazione degli eventi estremi secondo note funzioni probabilistiche, le caratteristiche del moto ondoso da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di occorrenza).

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

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

e la legge di Gumbel

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

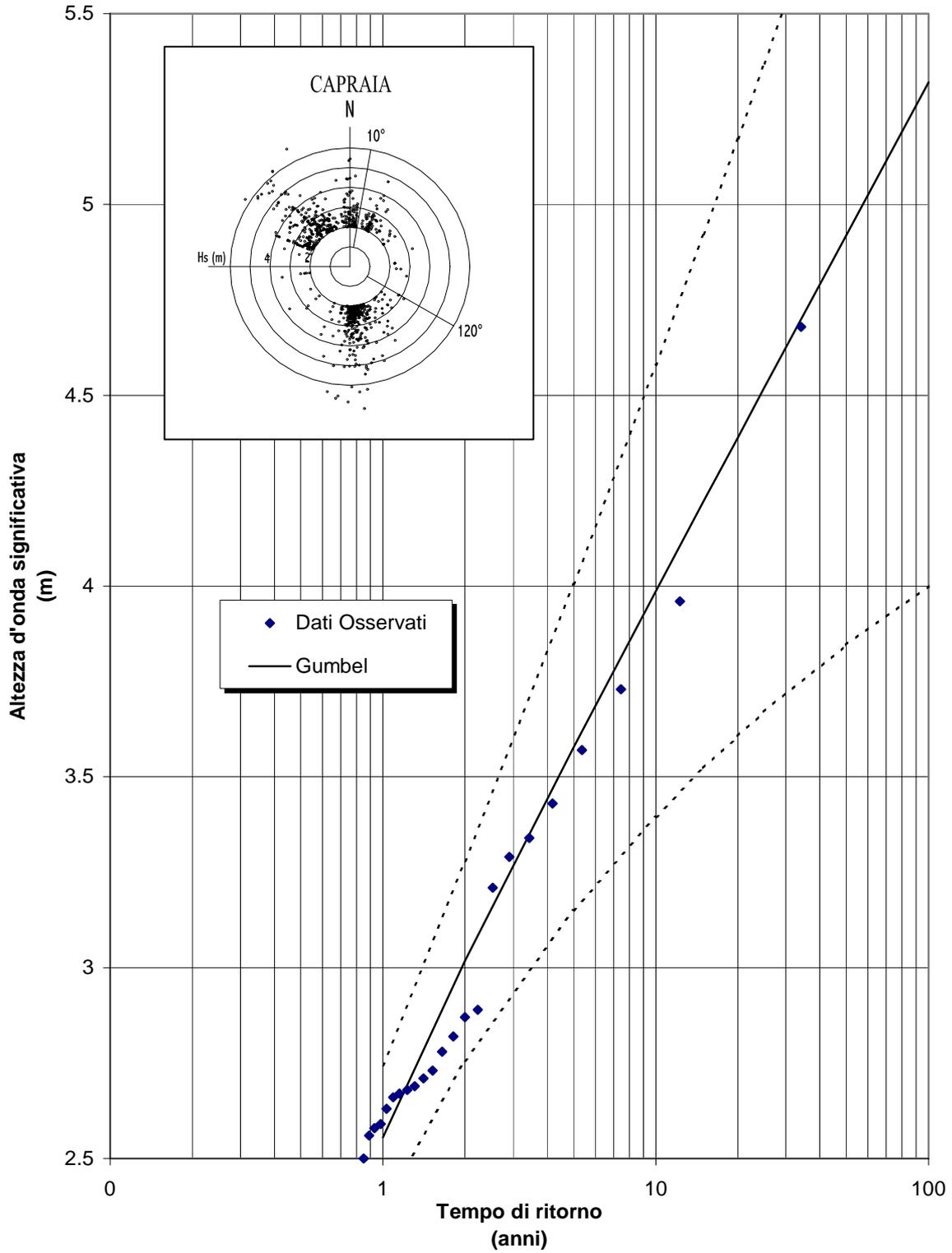
dove X è la variabile aleatoria, x il valore di non superamento e α , A B, a, b sono i parametri delle distribuzioni. La stima dei parametri delle distribuzioni è stata eseguita sui valori dell'altezza d'onda significativa riportati nella tab.4.

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 sono stimate le altezze d'onda significative relative a diversi tempi di ritorno (vedi tabella 4 e figura 4).

Fig.4 - Altezze d'onda estreme
Ricostruzione al largo di Capraia (SMB)
Legge FT-I (Gumbel) Settore 10°- 120 ° Nord
Nt = 55 N = 23 Hsoglia = 2.5 m



Tab.4 - Analisi degli eventi estremi Ricostruiti al largo di Capraia
Settore di traversia: 10° - 120° Nord

Numero anni: 19.02
 Numero delle mareggiate: 55
 Soglia di riferimento (POT) m >2.50

Media (m): 3.025
 Deviazione Standard (m): 0.549
 Numero di eventi sopra POT 23

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
4.68	34.14	2.69	1.31
3.96	12.26	2.68	1.23
3.73	7.47	2.67	1.15
3.57	5.37	2.66	1.09
3.43	4.19	2.63	1.03
3.34	3.44	2.59	0.98
3.29	2.91	2.58	0.93
3.21	2.53	2.56	0.89
2.89	2.23	2.50	0.85
2.87	2.00		
2.82	1.81		
2.78	1.65		
2.73	1.52		
2.71	1.41		

Tr	GUMBEL		WEI(.75)		
	Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5		3.6	0.3	3.4	0.2
10		4.0	0.4	3.8	0.3
25		4.5	0.5	4.3	0.4
50		4.9	0.7	4.7	0.5
100		5.3	0.8	5.1	0.7
A		0.543		0.316	
B		2.087		2.261	
r		0.99		0.991	

Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)		
	anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5		3.5	0.2	3.6	0.3	3.7	0.3
10		3.9	0.3	4.0	0.4	4.1	0.4
25		4.4	0.5	4.5	0.5	4.7	0.6
50		4.8	0.6	4.9	0.6	5.1	0.7
100		5.3	0.7	5.3	0.8	5.5	0.9
A		0.578		1.028		1.726	
B		1.951		1.465		0.743	
r		0.992		0.987		0.979	

6. CONDIZIONI DI MOTO ONDOSI PRESSO L'IMBOCCATURA PORTUALE E A RIDOSSO DELLE OPERE FORANEE

Per definire le condizioni di moto ondoso in prossimità dell'imboccatura della rada dove è collocato il porto e l'attracco dei traghetti portuale è stato eseguito uno studio di propagazione del moto ondoso da largo a riva.

A tal fine è stato necessario in primo luogo scegliere il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di una analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la propagazione. Tale analisi si basa fondamentalmente su una attenta lettura della conformazione batimetrica dei fondali e delle relative condizioni al contorno che risultano funzione anche delle direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

In particolare, per quanto riguarda gli stati di mare generati in mare aperto (proveniente dal settore individuato nel capitolo precedente) è possibile definire delle condizioni al contorno (contorno di largo) espresse in termini di altezza, direzione e periodo caratteristici del moto ondoso incidente. Peraltro per tali settori si può ragionevolmente ritenere che l'influenza in termini percentuali dei meccanismi generativi del moto ondoso ad opera del vento che intervengono nella propagazione largo-riva, possano essere, nel caso in esame, trascurati, poiché la zona di evoluzione del moto ondoso su bassi fondali risulta di estensione notevolmente inferiore rispetto a quella, posta in mare aperto, dove le onde vengono generate. Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde sui fondali via 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 sia i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna) che dissipativi (attrito sul fondo e frangimento).

La prima fase dello studio della rifrazione richiede la digitalizzazione dei valori di profondità ricavati da carte nautiche con la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenga conto della topografia sottomarina sui "bassi" fondali (profondità inferiori alla semi-lunghezza d'onda, cioè dell'ordine dei 100 m). Nel presente caso i valori di profondità sono stati ricavati dalla carta nautica n° 116 "Isole di Gorgona e di Capraia scala 1:25.000 aggiornata al 1980, integrata nella rada prospiciente il porto con rilievi topo-batimetrici di dettaglio fig.5

Al fine di ottenere un quadro completo del regime di moto ondoso sottocosta, che caratterizza la falcata costiera di nostro interesse, è stata condotta l'applicazione del modello per un punto di rifrazione posto al centro della rada in prossimità dell'attracco dei traghetti.

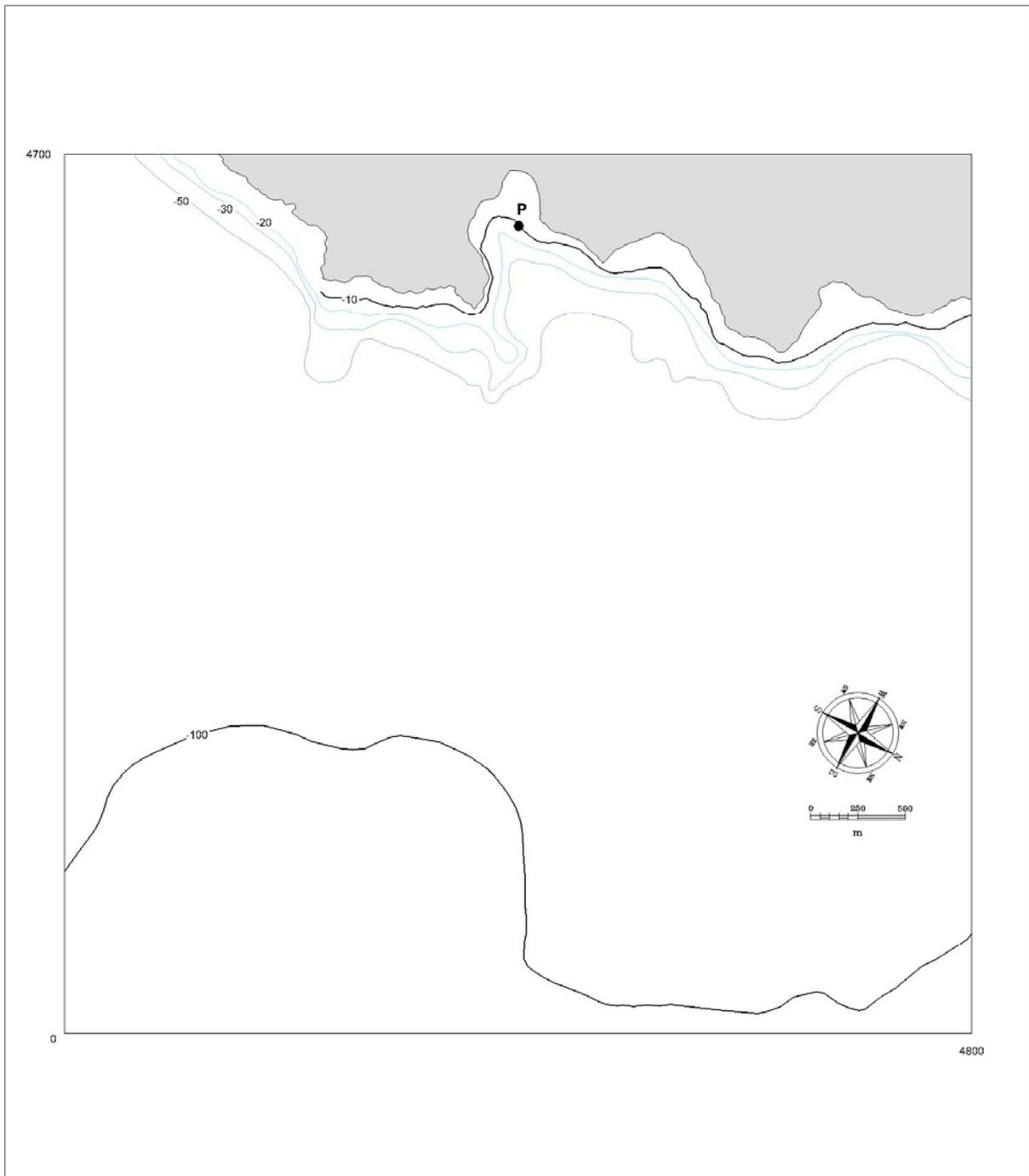


Fig. 5 : Griglia di calcolo per il modello MEROPE con indicazione del punto di rifrazione inversa.

Per tale punto 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), spaziati di 0.5° , sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia. Si riportano a titolo d'esempio un piano d'onda inverso relativo al periodo di 9 s per il punto considerato (fig.6).

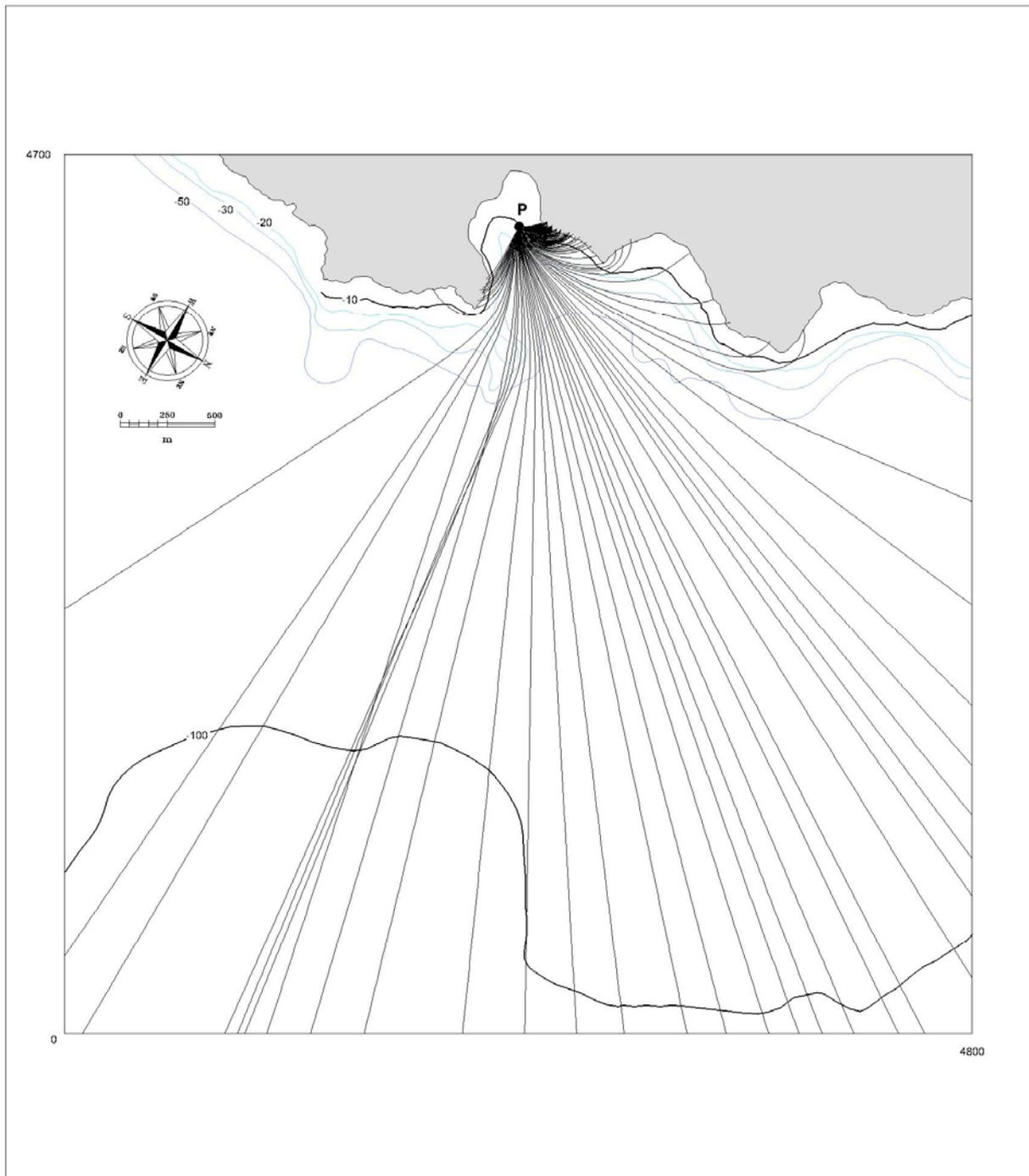


Fig. 6 : Piani d'onda inversi relativi al periodo $T = 9$ s.

I risultati della rifrazione inversa-spettrale sono sintetizzati in forma tabellare e grafica (tabella 5 e figure 7 e 8) per i numerosi spettri ondosi simulati (tipo JONSWAP), avendo distinto quelli di minore intensità (utili per ottenere il regime medio sottocosta) da quelli estremi.

Nelle tabelle, dove sono riportati i 9 spettri più rappresentativi del clima d'onda, sono utilizzati i seguenti simboli:

H_{s0} = altezza d'onda significativa al largo;

Azmo= direzione di provenienza al largo;

Tso = periodo d'onda al largo;

K= coefficiente di rifrazione;

Azmr= direzione di provenienza a riva;

Hsr = altezza d'onda significativa a riva;

T/To= rapporto tra il periodo d'onda al largo e a riva.

Nella figura 7a, sono rappresentate in forma grafica le corrispondenze tra le direzioni del moto ondoso incidente dal largo e i corrispondenti valori di direzione calcolati a riva per i 9 spettri riportati nelle tabella 5. La figura 7b riporta, sempre limitatamente ai 9 spettri presi ad esempio, la corrispondenza dell'altezza d'onda significativa sotto costa rispetto alla direzione di incidenza al largo.

Si evidenzia una generale attenuazione delle altezze d'onda significative dovuta sia alla particolare posizione della rada, aperta ad un piccolo settore di traversia 120-345°N e sia per la presenza dei promontori Punta del Vecchione e Punta del Fanale. Più in particolare per il punto di inversa i i maggiori valori del coefficiente k ($k = k_r \cdot k_s$ con k_r coefficiente di rifrazione e k_s coefficiente di shoaling) si verificano in corrispondenza delle direzioni comprese tra i 50°N e gli 80°N a seconda del periodo dello spettro considerato.

Per quanto riguarda le direzioni medie di propagazione si osserva che:

- gli eventi che subiscono le maggiori rotazioni sono quelli provenienti da Nord-Est variando dai 20° ai 40° in senso orario nell'avvicinamento verso riva (le rotazioni più consistenti corrispondono alle componenti spettrali aventi periodo maggiore);
- gli eventi provenienti da Est Sud-Est si orientano tutti secondo la direzione di circa 70°N (rotazione di circa 25°).

In definitiva il settore di traversia si stringe per gli eventi di moto ondoso estremo a 30°-75°N, ottenendo le seguenti caratteristiche dell'onda di progetto:

Tr (anni)	Altezza significativa al largo Hso (m)	Periodo di picco Tp (m)	Coefficiente di rifrazione k_{max}	Altezza significativa a riva Hs,r (m)	Direzione a riva (°N)
50	4.95	10.0	0.879	4.3	67

Fig. 7a - Punto di rifrazione inversa P : Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva

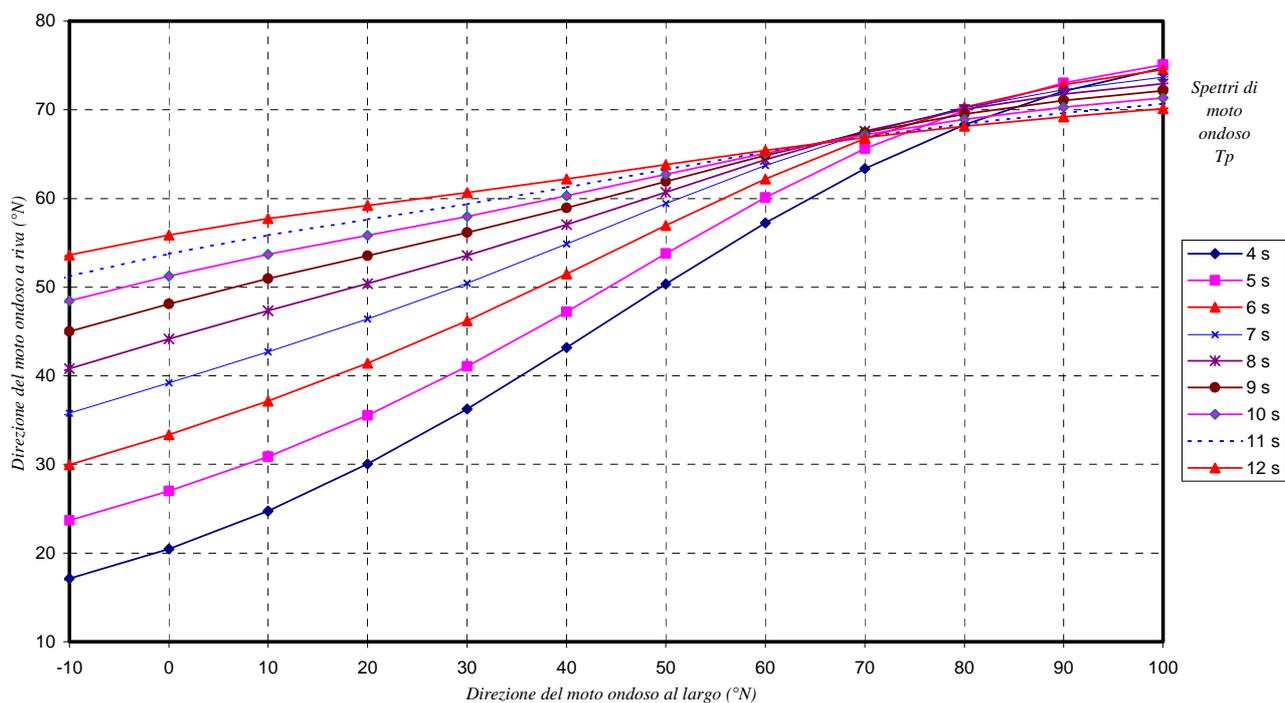
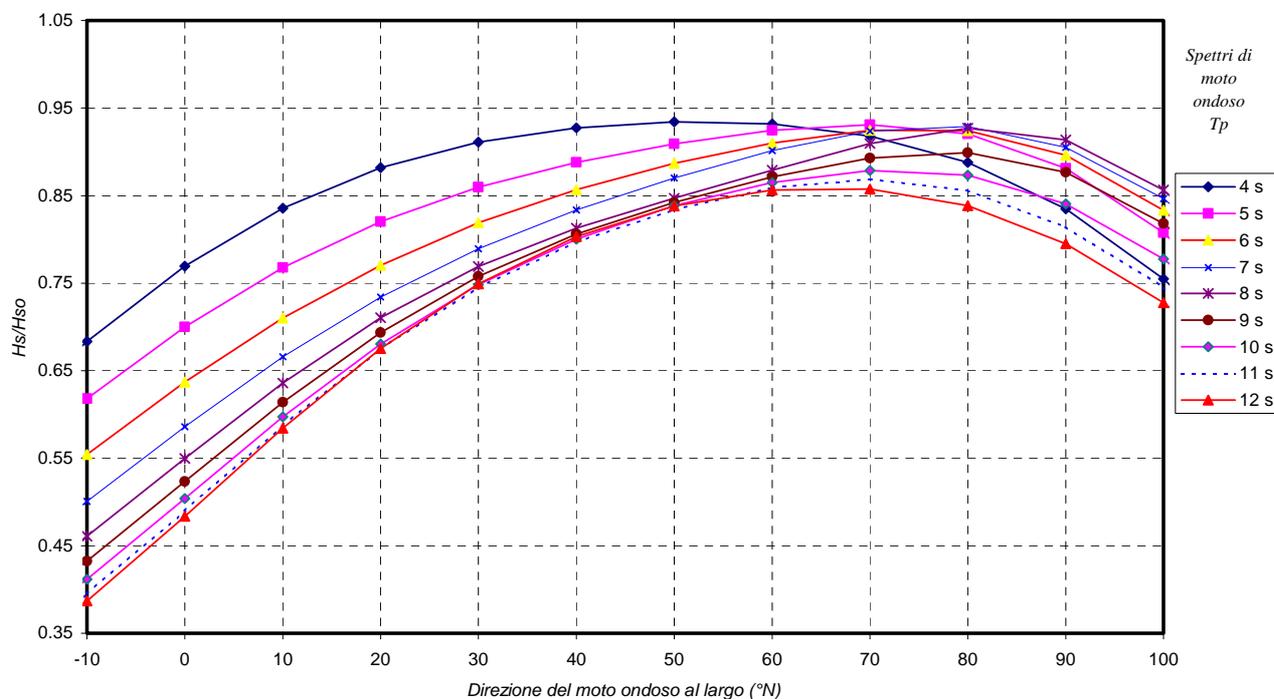


Fig. 7b - Punto di rifrazione inversa P : Rapporto tra l'altezza d'onda al largo H_{so} e sotto costa in funzione della direzione del moto ondoso al largo



Tab. 5 : Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 1	1.00	4.00	-50	0.28	3.48	10	0.275	0.87
	1.00	4.00	-40	0.37	3.48	11	0.368	0.87
	1.00	4.00	-30	0.47	3.48	13	0.473	0.87
	1.00	4.00	-20	0.58	3.48	15	0.582	0.87
	1.00	4.00	-10	0.68	3.48	17	0.683	0.87
	1.00	4.00	0	0.77	4.03	20	0.769	1.01
	1.00	4.00	10	0.84	4.03	25	0.836	1.01
	1.00	4.00	20	0.88	4.03	30	0.882	1.01
	1.00	4.00	30	0.91	4.03	36	0.911	1.01
	1.00	4.00	40	0.93	4.03	43	0.928	1.01
	1.00	4.00	50	0.93	4.03	50	0.934	1.01
	1.00	4.00	60	0.93	4.03	57	0.932	1.01
	1.00	4.00	70	0.92	4.68	63	0.918	1.17
	1.00	4.00	80	0.89	4.68	68	0.888	1.17
	1.00	4.00	90	0.83	4.68	72	0.835	1.17
	1.00	4.00	100	0.75	4.68	75	0.755	1.17
	1.00	4.00	110	0.65	4.68	76	0.651	1.17
1.00	4.00	120	0.53	4.68	78	0.531	1.17	
1.00	4.00	130	0.41	4.68	78	0.410	1.17	
1.00	4.00	140	0.30	4.68	79	0.299	1.17	
Spettro 2	1.00	5.00	-50	0.26	3.48	13	0.261	0.70
	1.00	5.00	-40	0.34	4.03	16	0.340	0.81
	1.00	5.00	-30	0.43	4.03	18	0.431	0.81
	1.00	5.00	-20	0.53	5.43	21	0.526	1.09
	1.00	5.00	-10	0.62	5.43	24	0.618	1.09
	1.00	5.00	0	0.70	5.43	27	0.700	1.09
	1.00	5.00	10	0.77	5.43	31	0.768	1.09
	1.00	5.00	20	0.82	5.43	36	0.820	1.09
	1.00	5.00	30	0.86	5.43	41	0.859	1.09
	1.00	5.00	40	0.89	5.43	47	0.888	1.09
	1.00	5.00	50	0.91	4.68	54	0.909	0.94
	1.00	5.00	60	0.92	4.68	60	0.925	0.94
	1.00	5.00	70	0.93	4.68	66	0.931	0.94
	1.00	5.00	80	0.92	4.68	70	0.921	0.94
	1.00	5.00	90	0.88	4.68	73	0.881	0.94
	1.00	5.00	100	0.81	4.68	75	0.807	0.94
	1.00	5.00	110	0.70	4.68	76	0.702	0.94
1.00	5.00	120	0.58	4.68	77	0.577	0.94	
1.00	5.00	130	0.45	4.68	78	0.450	0.94	
1.00	5.00	140	0.33	6.29	78	0.335	1.26	
Spettro 3	1.00	6.00	-50	0.24	4.03	17	0.236	0.67
	1.00	6.00	-40	0.30	5.43	20	0.302	0.90
	1.00	6.00	-30	0.38	5.43	24	0.381	0.90
	1.00	6.00	-20	0.47	5.43	27	0.467	0.90
	1.00	6.00	-10	0.55	5.43	30	0.554	0.90
	1.00	6.00	0	0.64	5.43	33	0.637	0.90
	1.00	6.00	10	0.71	5.43	37	0.710	0.90
	1.00	6.00	20	0.77	6.29	41	0.770	1.05
	1.00	6.00	30	0.82	6.29	46	0.819	1.05
	1.00	6.00	40	0.86	6.29	52	0.857	1.05
	1.00	6.00	50	0.89	6.29	57	0.887	1.05
	1.00	6.00	60	0.91	6.29	62	0.910	1.05
	1.00	6.00	70	0.92	6.29	67	0.925	1.05
	1.00	6.00	80	0.92	6.29	70	0.924	1.05
	1.00	6.00	90	0.90	6.29	73	0.896	1.05
	1.00	6.00	100	0.83	6.29	75	0.833	1.05
	1.00	6.00	110	0.73	6.29	76	0.735	1.05
1.00	6.00	120	0.61	6.29	76	0.612	1.05	
1.00	6.00	130	0.48	6.29	77	0.483	1.05	
1.00	6.00	140	0.36	7.30	77	0.365	1.22	

Spettro 4	1.00	7.00	-50	0.21	5.43	20	0.213	0.78
	1.00	7.00	-40	0.27	5.43	24	0.269	0.78
	1.00	7.00	-30	0.34	5.43	28	0.338	0.78
	1.00	7.00	-20	0.42	5.43	32	0.416	0.78
	1.00	7.00	-10	0.50	5.43	36	0.501	0.78
	1.00	7.00	0	0.59	6.29	39	0.586	0.90
	1.00	7.00	10	0.67	7.30	43	0.666	1.04
	1.00	7.00	20	0.73	7.30	46	0.734	1.04
	1.00	7.00	30	0.79	7.30	50	0.790	1.04
	1.00	7.00	40	0.83	7.30	55	0.834	1.04
	1.00	7.00	50	0.87	7.30	59	0.870	1.04
	1.00	7.00	60	0.90	7.30	64	0.901	1.04
	1.00	7.00	70	0.92	7.30	67	0.924	1.04
	1.00	7.00	80	0.93	8.47	70	0.929	1.21
	1.00	7.00	90	0.91	8.47	72	0.905	1.21
	1.00	7.00	100	0.85	8.47	74	0.846	1.21
	1.00	7.00	110	0.75	8.47	75	0.755	1.21
1.00	7.00	120	0.64	8.47	75	0.639	1.21	
1.00	7.00	130	0.51	8.47	76	0.513	1.21	
1.00	7.00	140	0.39	8.47	76	0.390	1.21	
Spettro 5	1.00	8.00	-50	0.19	5.43	24	0.192	0.68
	1.00	8.00	-40	0.24	5.43	28	0.241	0.68
	1.00	8.00	-30	0.30	5.43	33	0.303	0.68
	1.00	8.00	-20	0.38	5.43	37	0.377	0.68
	1.00	8.00	-10	0.46	7.30	41	0.461	0.91
	1.00	8.00	0	0.55	8.47	44	0.550	1.06
	1.00	8.00	10	0.64	8.47	47	0.636	1.06
	1.00	8.00	20	0.71	8.47	50	0.711	1.06
	1.00	8.00	30	0.77	8.47	54	0.769	1.06
	1.00	8.00	40	0.81	8.47	57	0.813	1.06
	1.00	8.00	50	0.85	8.47	61	0.847	1.06
	1.00	8.00	60	0.88	8.47	64	0.879	1.06
	1.00	8.00	70	0.91	8.47	68	0.909	1.06
	1.00	8.00	80	0.93	8.47	70	0.927	1.06
	1.00	8.00	90	0.91	8.47	72	0.914	1.06
	1.00	8.00	100	0.86	8.47	73	0.856	1.06
	1.00	8.00	110	0.76	8.47	74	0.756	1.06
1.00	8.00	120	0.63	8.47	74	0.629	1.06	
1.00	8.00	130	0.50	8.47	75	0.496	1.06	
1.00	8.00	140	0.38	6.29	76	0.375	0.79	
Spettro 6	1.00	9.00	-50	0.17	5.43	27	0.174	0.60
	1.00	9.00	-40	0.22	5.43	32	0.219	0.60
	1.00	9.00	-30	0.28	5.43	37	0.278	0.60
	1.00	9.00	-20	0.35	7.30	41	0.349	0.81
	1.00	9.00	-10	0.43	8.47	45	0.433	0.94
	1.00	9.00	0	0.52	8.47	48	0.523	0.94
	1.00	9.00	10	0.61	8.47	51	0.614	0.94
	1.00	9.00	20	0.69	9.83	54	0.694	1.09
	1.00	9.00	30	0.76	9.83	56	0.758	1.09
	1.00	9.00	40	0.81	9.83	59	0.806	1.09
	1.00	9.00	50	0.84	8.47	62	0.842	0.94
	1.00	9.00	60	0.87	8.47	65	0.871	0.94
	1.00	9.00	70	0.89	8.47	67	0.893	0.94
	1.00	9.00	80	0.90	8.47	70	0.899	0.94
	1.00	9.00	90	0.88	8.47	71	0.877	0.94
	1.00	9.00	100	0.82	8.47	72	0.818	0.94
	1.00	9.00	110	0.73	8.47	73	0.725	0.94
1.00	9.00	120	0.61	8.47	74	0.609	0.94	
1.00	9.00	130	0.49	8.47	74	0.487	0.94	
1.00	9.00	140	0.37	8.47	75	0.374	0.94	

Spettro 7	1.00	10.00	-50	0.16	5.43	30	0.160	0.54
	1.00	10.00	-40	0.20	5.43	36	0.202	0.54
	1.00	10.00	-30	0.26	7.30	41	0.259	0.73
	1.00	10.00	-20	0.33	8.47	45	0.329	0.85
	1.00	10.00	-10	0.41	8.47	48	0.412	0.85
	1.00	10.00	0	0.50	9.83	51	0.504	0.98
	1.00	10.00	10	0.60	9.83	54	0.597	0.98
	1.00	10.00	20	0.68	9.83	56	0.680	0.98
	1.00	10.00	30	0.75	9.83	58	0.748	0.98
	1.00	10.00	40	0.80	11.40	60	0.800	1.14
	1.00	10.00	50	0.84	11.40	63	0.838	1.14
	1.00	10.00	60	0.87	11.40	65	0.865	1.14
	1.00	10.00	70	0.88	11.40	67	0.879	1.14
	1.00	10.00	80	0.87	8.47	69	0.873	0.85
	1.00	10.00	90	0.84	8.47	70	0.841	0.85
	1.00	10.00	100	0.78	8.47	71	0.778	0.85
	1.00	10.00	110	0.69	8.47	72	0.688	0.85
1.00	10.00	120	0.58	8.47	73	0.581	0.85	
1.00	10.00	130	0.47	8.47	74	0.470	0.85	
1.00	10.00	140	0.37	8.47	75	0.367	0.85	
Spettro 8	1.00	11.00	-50	0.15	5.43	33	0.149	0.49
	1.00	11.00	-40	0.19	15.34	39	0.190	1.39
	1.00	11.00	-30	0.24	8.47	44	0.244	0.77
	1.00	11.00	-20	0.31	8.47	48	0.312	0.77
	1.00	11.00	-10	0.40	9.83	51	0.395	0.89
	1.00	11.00	0	0.49	9.83	54	0.490	0.89
	1.00	11.00	10	0.59	11.40	56	0.587	1.04
	1.00	11.00	20	0.67	11.40	58	0.675	1.04
	1.00	11.00	30	0.75	11.40	59	0.745	1.04
	1.00	11.00	40	0.80	11.40	61	0.797	1.04
	1.00	11.00	50	0.83	11.40	63	0.834	1.04
	1.00	11.00	60	0.86	11.40	65	0.859	1.04
	1.00	11.00	70	0.87	11.40	67	0.869	1.04
	1.00	11.00	80	0.86	11.40	68	0.856	1.04
	1.00	11.00	90	0.81	11.40	70	0.814	1.04
	1.00	11.00	100	0.75	11.40	71	0.745	1.04
	1.00	11.00	110	0.66	8.47	72	0.655	0.77
1.00	11.00	120	0.55	8.47	72	0.554	0.77	
1.00	11.00	130	0.45	8.47	73	0.451	0.77	
1.00	11.00	140	0.36	8.47	74	0.356	0.77	
Spettro 9	1.00	12.00	-50	0.14	7.30	36	0.140	0.61
	1.00	12.00	-40	0.18	15.34	42	0.180	1.28
	1.00	12.00	-30	0.23	15.34	47	0.234	1.28
	1.00	12.00	-20	0.30	15.34	51	0.303	1.28
	1.00	12.00	-10	0.39	15.34	54	0.387	1.28
	1.00	12.00	0	0.48	15.34	56	0.484	1.28
	1.00	12.00	10	0.58	13.22	58	0.584	1.10
	1.00	12.00	20	0.68	13.22	59	0.675	1.10
	1.00	12.00	30	0.75	13.22	61	0.749	1.10
	1.00	12.00	40	0.80	11.40	62	0.803	0.95
	1.00	12.00	50	0.84	11.40	64	0.838	0.95
	1.00	12.00	60	0.86	11.40	65	0.856	0.95
	1.00	12.00	70	0.86	11.40	67	0.858	0.95
	1.00	12.00	80	0.84	11.40	68	0.839	0.95
	1.00	12.00	90	0.80	11.40	69	0.795	0.95
	1.00	12.00	100	0.73	11.40	70	0.728	0.95
	1.00	12.00	110	0.64	11.40	71	0.641	0.95
1.00	12.00	120	0.54	8.47	72	0.544	0.71	
1.00	12.00	130	0.45	8.47	72	0.446	0.71	
1.00	12.00	140	0.35	8.47	73	0.354	0.71	

Tab.6 : Distribuzione percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza.
 ANNUALE
 Punto di rifrazione inversa P(-10 m) - Periodo di riferimento 1 gennaio 1951 - 30 dicembre 1978

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10	15.25	5.55	0.46													21.26
20	2.12	2.24	2.97	0.02												7.35
30	2.15	2.71	3.14	0.94	0.02											8.97
40	1.16	1.01	1.31	1.00	0.47	0.04										4.98
50	0.58	0.56	0.48	0.18	0.08	0.08	0.03	0.00								2.00
60	0.52	0.25	0.14	0.06	0.02	0.02	0.00									1.01
70	0.93	0.21	0.18	0.08	0.02	0.01		0.00								1.44
80	49.22	1.74	0.45	0.05	0.01											51.47
90																
100																
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360	1.53															1.53
TOT.	73.47	14.27	9.13	2.34	0.61	0.14	0.04	0.00								100.00
Tot. cumul.		87.74	96.87	99.21	99.82	99.96	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi validi : 52980

7. STUDIO IDRAULICO DELLA PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI NELL'AREA PROSPICIENTE LA BANCHINA TRAGHETTI

Al fine di poter effettuare correttamente l'analisi della trasformazione delle caratteristiche del moto ondoso durante la propagazione dal largo a riva del sito in esame è stato utilizzato il modello matematico bidimensionale di rifrazione diretta spettrale SWAN vers. 40.11 (sviluppato dal Delft University of Technology). Una descrizione sintetica di tale modello è fornita in appendice.

Propagandosi su fondali via via decrescenti, le onde subiscono una serie di trasformazioni geometriche e perdite di energia che ne modificano le caratteristiche (in termini di altezza, lunghezza d'onda e direzione del fronte) indotte essenzialmente dai fenomeni di rifrazione e shoaling. Il primo fenomeno (rifrazione) consiste essenzialmente in una trasformazione tridimensionale del campo d'onda dovuta alle variazioni del fondale; tali variazioni comportano contestualmente la rotazione dei fronti d'onda per rallentamento differenziale e la variazione delle altezze, per effetto della conservazione del flusso di energia fra le "ortogonali" vicine. Il fenomeno dello shoaling è una trasformazione bidimensionale delle onde che ne provoca il progressivo accorciamento ed incremento in altezza durante l'avanzamento su profondità decrescenti, causata dalla variazione della celerità di gruppo indotta dal fondale.

Il modello SWAN è in grado di simulare i principali fenomeni fisici presenti nel processo propagativo, rappresentati da:

- rifrazione e shoaling dovuto alle interazioni del moto ondoso con il fondale
- dissipazioni energetiche indotte dal frangimento;
- dissipazioni energetiche indotte dall'attrito sul fondo;

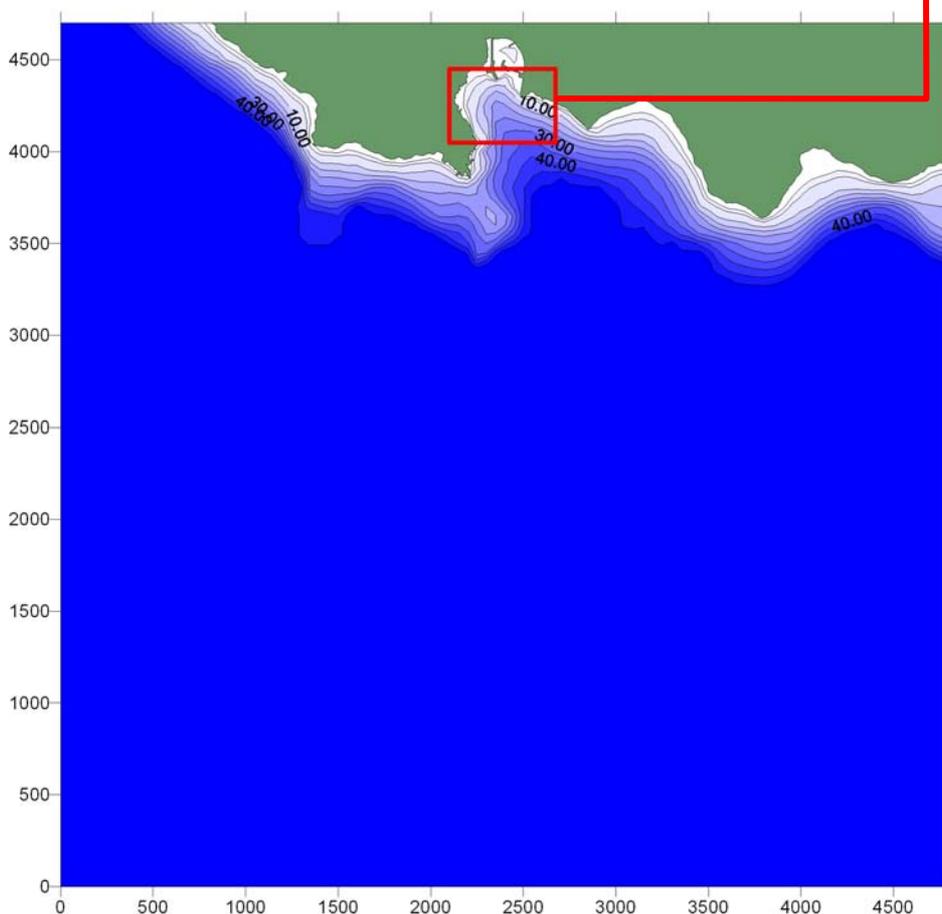
Il modello inoltre è in grado di tener conto della diffrazione indotta dalla presenza di eventuali ostacoli, mediante l'eliminazione delle componenti spettrali che si propagano verso la cosiddetta "zona d'ombra energetica" (area geometricamente protetta dall'ostacolo la cui forma e le cui dimensioni dipendono dall'angolo di incidenza, dalla lunghezza dell'onda esterna, e dal potere riflettente dell'ostacolo). L'applicazione del modello SWAN ha richiesto la preliminare digitalizzazione dei valori di profondità per la costruzione di due adeguati reticoli batimetrici che consentano di tenere conto opportunamente della topografia del terreno. Considerata la particolare morfologia dei fondali ed avendo la necessità di indagare sulle modifiche sulla propagazione del moto ondoso all'interno del golfo indotte dall'esecuzione dei dragaggi, la propagazione degli eventi

di moto ondoso è stata effettuata a partire all'interno di un'area molto ampia (4800 x 4700 m) posta all'esterno del golfo, in seguito trasferita in un dominio più ristretto (575 x 400 m) relativo all'area oggetto di studio (fig. 8).

MODIM
 Via Monte Zebio 40
 00195 ROMA



Porto di Capraia - batimetria di riferimento



Profondità (m)

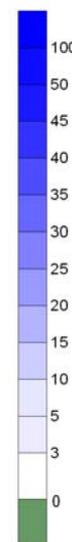


Fig. 8 – Batimetria di riferimento e griglie di calcolo utilizzate

Le caratteristiche del moto ondoso simulate al largo dalla griglia esterna sono state propagate fino alla frontiera dell'area interna ed inserite come condizioni al contorno nelle simulazioni di dettaglio. Le griglie di calcolo sono state ricavate mediante un programma di

interpolazione tridimensionale (SURFER) partendo da una discretizzazione planimetrica di base a maglia quadrata nei nodi della quale sono stati calcolati i valori della profondità del fondale.

Il dominio esterno presenta maglie quadrate di 50 m di lato per un totale di 9024 nodi di calcolo, mentre nella griglia interna (nested grid) sono stati utilizzati 9200 nodi di calcolo con una discretizzazione spaziale regolare di 5 m per lato: tale operazione assicura l'accuratezza necessaria nella ricerca della soluzione numerica delle variabili. Le caratteristiche del moto ondoso introdotte nelle condizioni al contorno del modello sono state selezionate tra quelle delle mareggiate estreme (v. Studio Meteomarina allegato al progetto definitivo) verificatesi al largo di Capraia associate alle direzioni di provenienza prevalenti all'interno del golfo. In particolare sono stati simulati i seguenti stati di mare ritenuti rappresentativi delle condizioni di tempesta estreme nello studio del campo d'onda del paraggio costiero in esame:

Simulazioni senza dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti:

- $H_{so}=4.00$ m, $T_p=9.00$ s, $Dir=30^\circ N$ - figg. 9,10
- $H_{so}=3.00$ m, $T_p=8.00$ s, $Dir=50^\circ N$ - figg. 11,12
- $H_{so}=3.50$ m, $T_p=8.50$ s, $Dir=70^\circ N$ - figg. 13,14

Simulazioni con il dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti:

- $H_{so}=4.00$ m, $T_p=9.00$ s, $Dir=30^\circ N$ - figg. 15,16
- $H_{so}=3.00$ m, $T_p=8.00$ s, $Dir=50^\circ N$ - figg. 17,18
- $H_{so}=3.50$ m, $T_p=8.50$ s, $Dir=70^\circ N$ - figg. 19,20

Dall'esame dei risultati delle simulazioni svolte (vedi figg. 9 ÷ 20 nelle quali le frecce indicano la direzione del moto ondoso e la loro dimensione è proporzionale all'intensità del moto ondoso stesso) è possibile osservare come nelle simulazioni senza dragaggio (figg.9 ÷ 14) in prossimità della banchina traghetti il moto ondoso sia sottoposto in maniera evidente al fenomeno della rifrazione a causa dell'interazione col fondale. Invece nelle simulazioni in cui tale area è sottoposta a dragaggio (figg.15 ÷ 20) le direzioni dei fronti d'onda non subiscono rotazioni sostanziali durante il processo propagativo; in definitiva gli eventi di moto ondoso subiscono solo alcune leggere modifiche nelle immediate vicinanze dell'area dragata che si esauriscono a breve distanza da essa. Al fine di focalizzare l'analisi delle caratteristiche del moto ondoso sull'area prospiciente la banchina traghetti, nei grafici delle figg. 22÷24 è stato riportato l'andamento dei valori dell'altezza d'onda calcolati dal modello lungo la banchina. In particolare tali valori sono stati individuati ogni 5 m (passo spaziale della griglia) lungo l'allineamento riportato in fig. 21

avente estremi nei punti di coordinate (2480;4400) e (2480;4315) nel sistema di riferimento adottato per l'applicazione del modello SWAN. Dall'analisi dei grafici riportati nelle figg. 22÷24 si osserva che l'andamento delle altezze d'onda in presenza ed in assenza di dragaggio differisce in maniera evidente principalmente in corrispondenza dei bassi fondali: in tali circostanze infatti il moto ondoso è sottoposto al fenomeno dello shoaling fino al frangimento durante la propagazione sotto costa. Nelle simulazioni con dragaggio, la profondità del fondale è tale da non modificare in maniera sostanziale le caratteristiche degli eventi di moto ondoso simulati: infatti l'andamento delle altezze d'onda risulta molto più regolare per tutte le condizioni simulate. Le differenze osservate risultano meno evidenti all'aumentare della profondità dei fondali (ovvero all'aumentare della distanza progressiva). In definitiva si può concludere per effetto della esecuzione dei dragaggi le modifiche subite dalle modalità di propagazione del moto ondoso riguardano solo l'area nelle immediate vicinanze delle aree da dragare senza quindi alcuna influenza sulla restante parte del golfo.

Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Simulazione senza dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

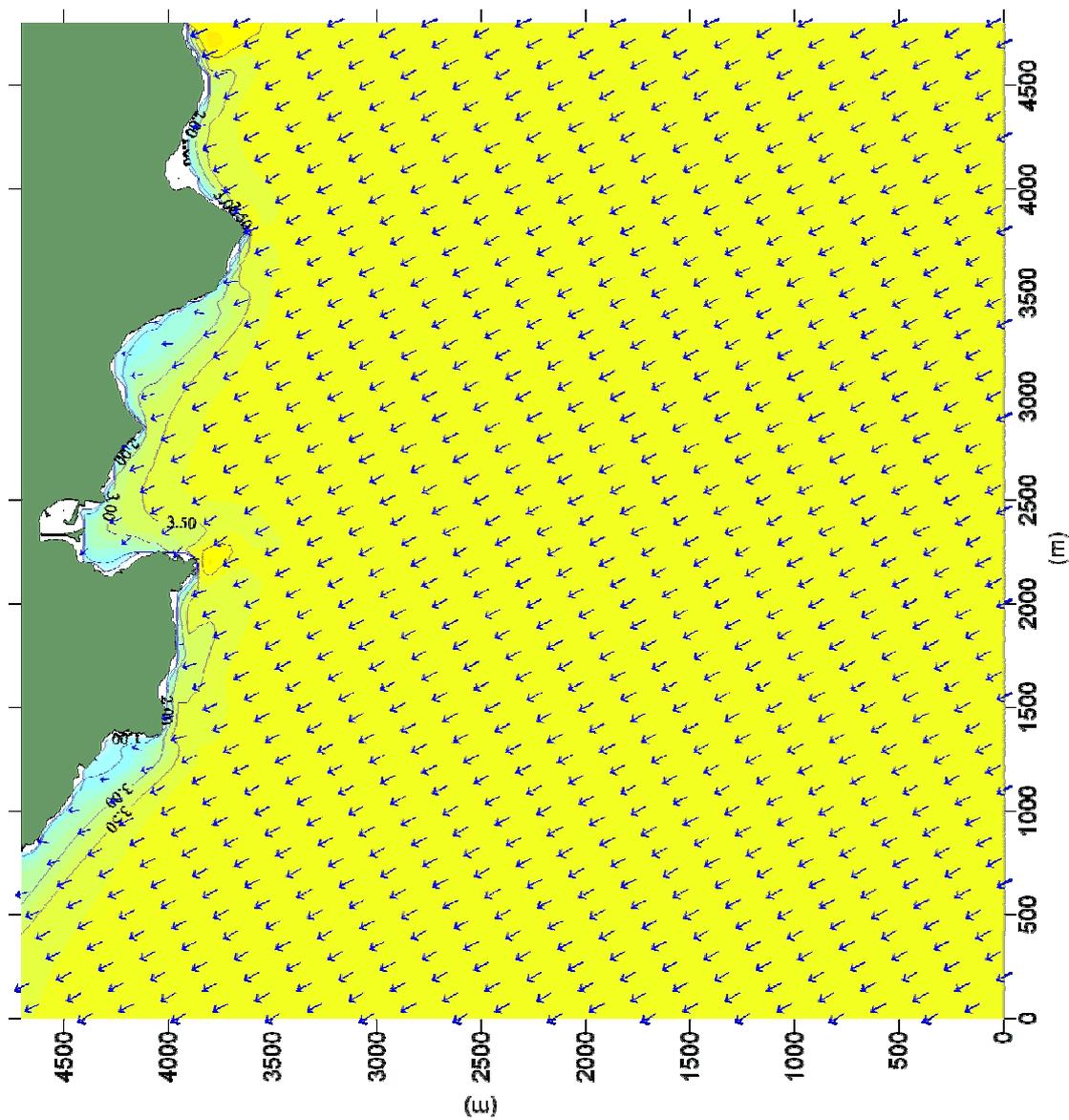
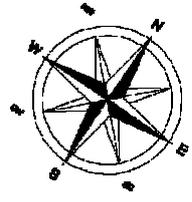
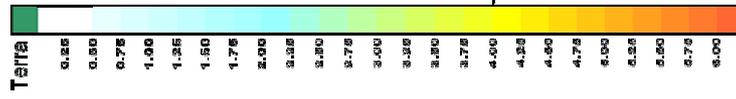


Figura 9



Altezza d'onda (m) (*)



Via Montic Zebiv 40
00195 ROMA

(*) scala relativa alle serie di simulazioni condotte

Altezza d'onda al largo: $H_o=4,00$ m

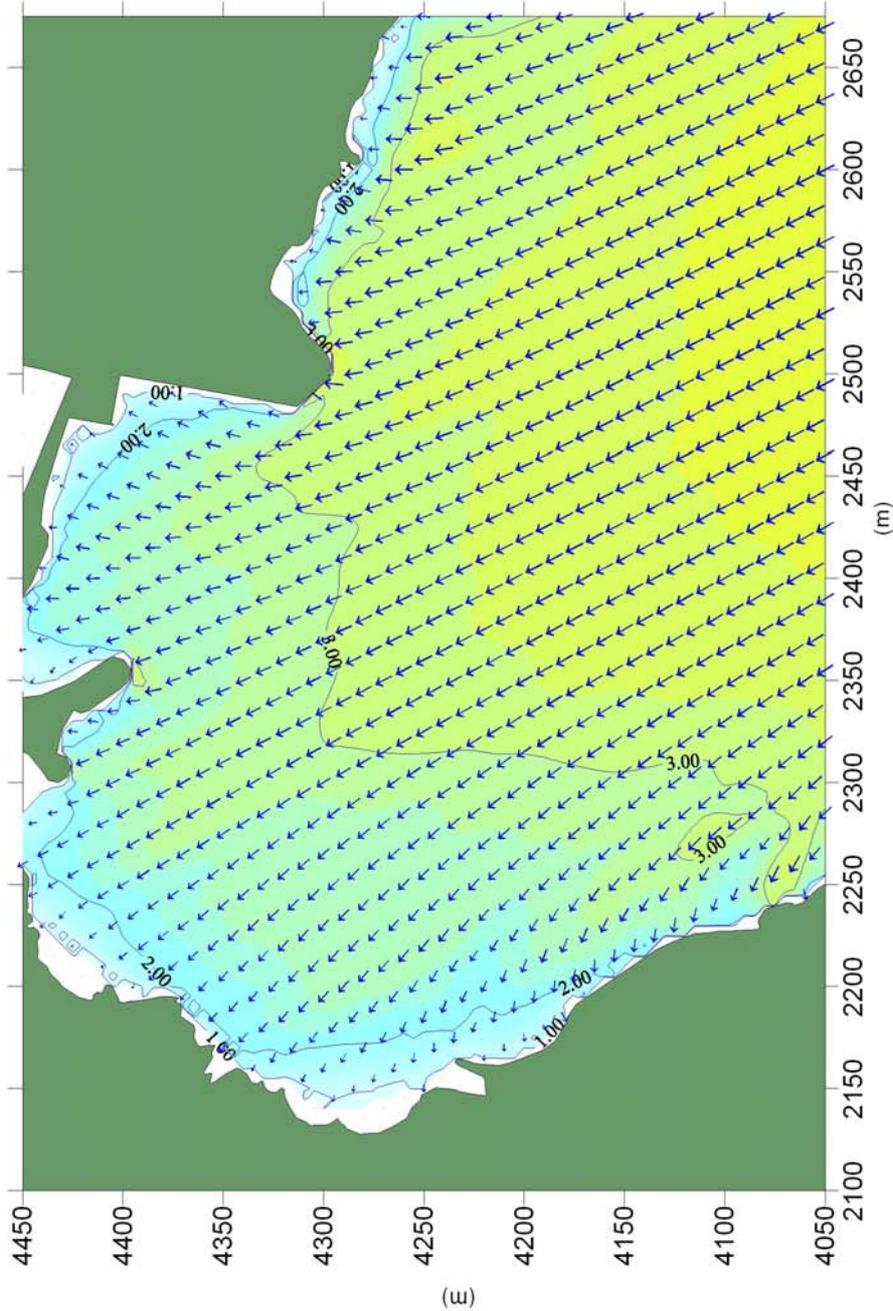
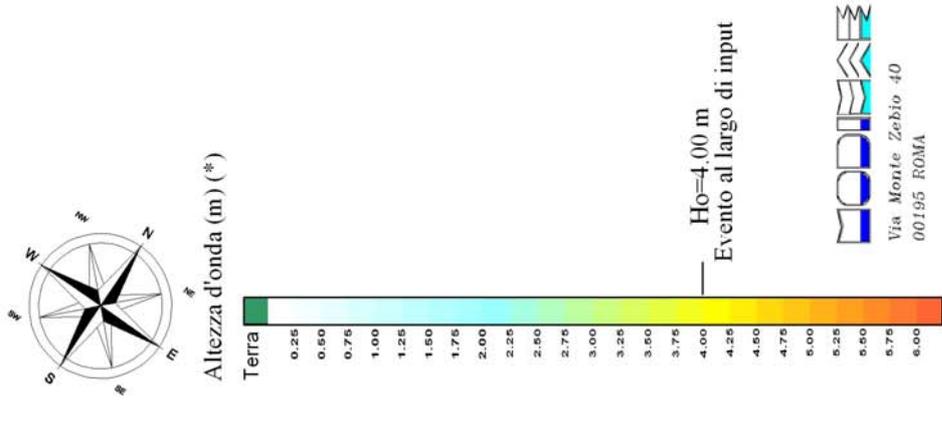
Periodo di picco al largo: $T_p=9,00$ s

Direzione media di propagazione: $Dir=30^\circ N$

Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Metodo della rifrazione diretta spettrale



(*) scala relativa alle serie di simulazioni condotte

Simulazione senza dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

Altezza d'onda al largo: $H_o=4.00$ m

Periodo di picco al largo: $T_p=9.00$ s

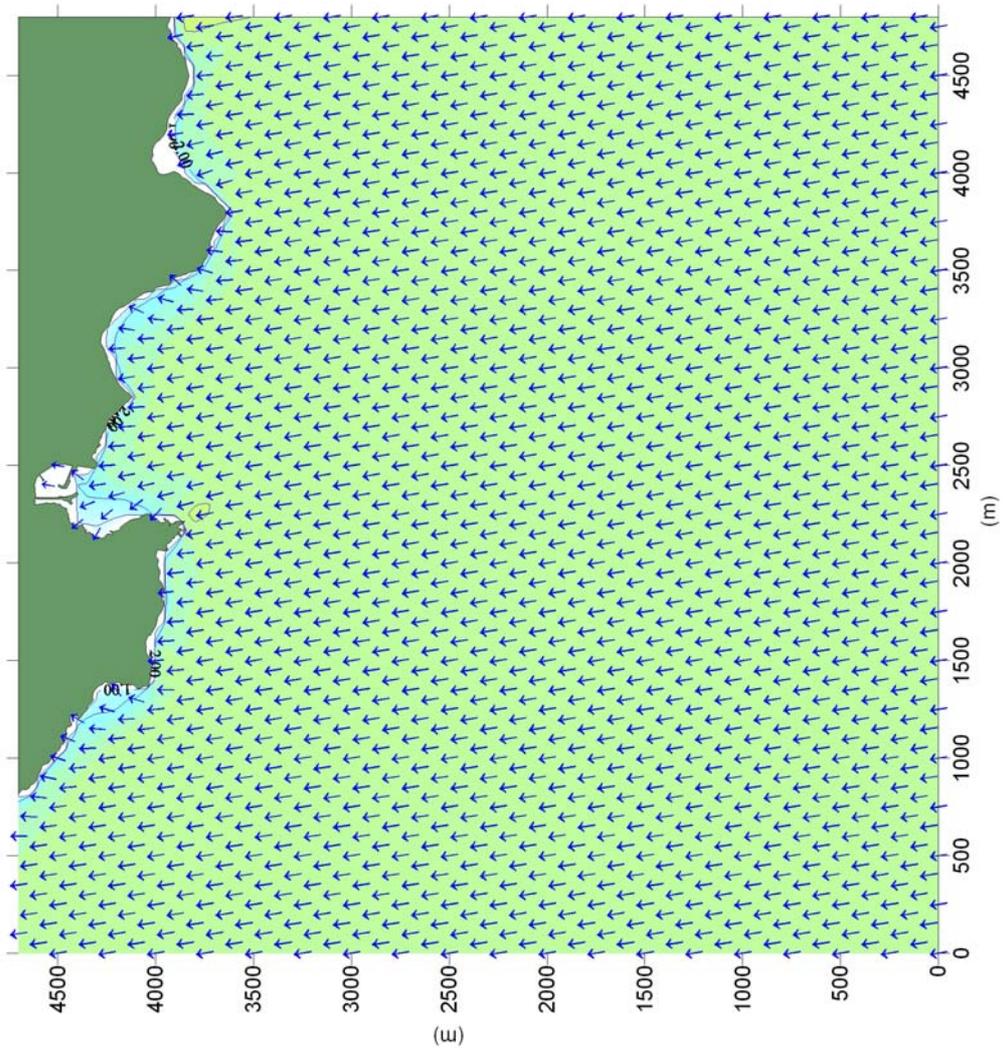
Direzione media di propagazione: $Dir=30^\circ N$

Figura 10

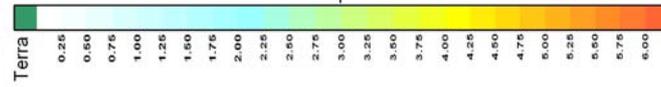
Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Simulazione senza dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti



Altezza d'onda (m) (*)



Evento al largo di input
 $H_o=3.00$ m

MODIME
Via Monte Zebbio 40
00195 ROMA

(*) scala relativa alle serie di simulazioni condotte

Altezza d'onda al largo: $H_o=3.00$ m

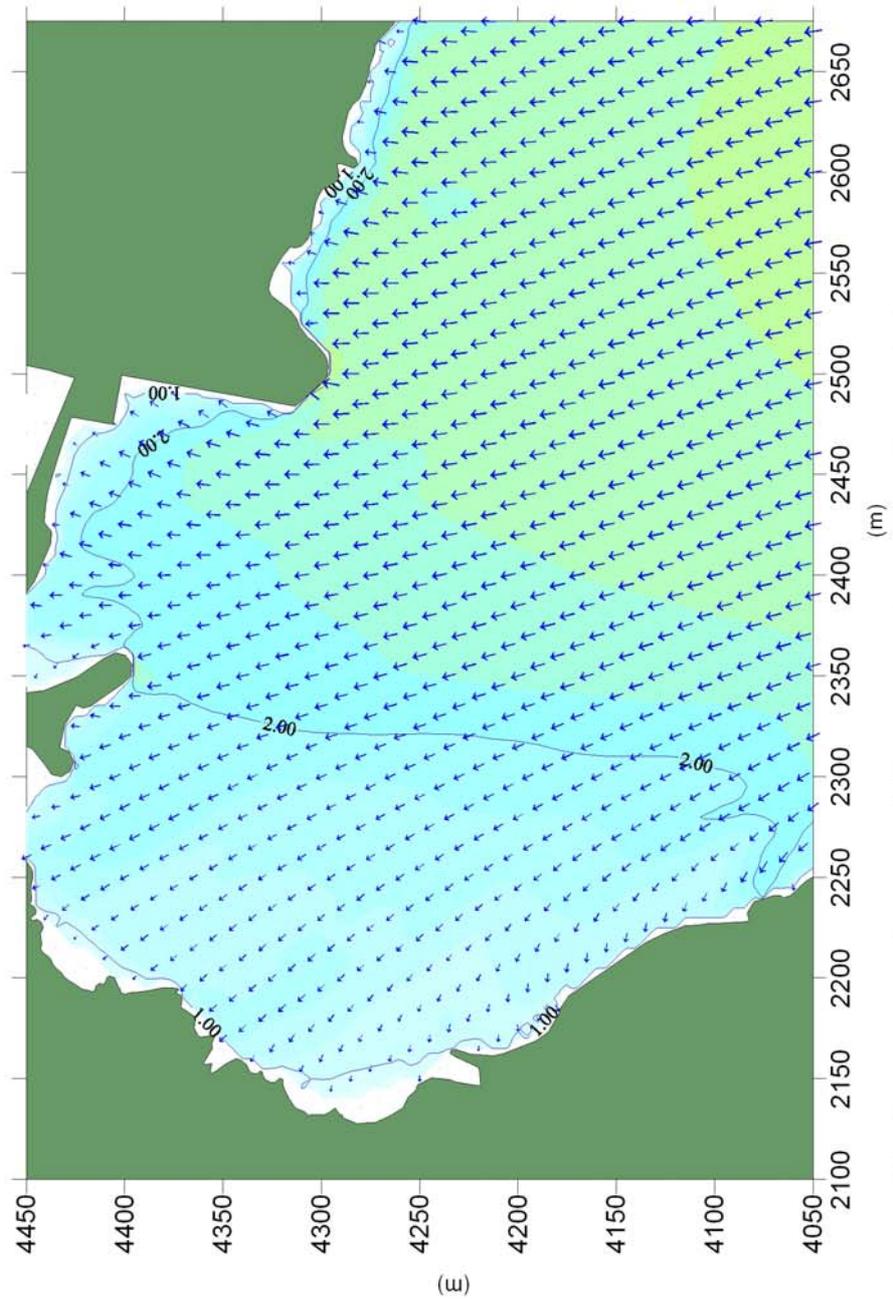
Periodo di picco al largo: $T_p=8.00$ s

Direzione media di propagazione: $Dir=50^\circ N$

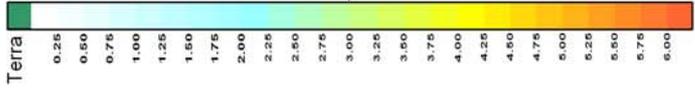
Figura 11

Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa
Metodo della rifrazione diretta spettrale



Altezza d'onda (m) (*)



$H_o=3,00$ m
Evento al largo di input

MODIFEM
Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

(*) scala relativa alle serie di simulazioni condotte

Simulazione senza dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

Altezza d'onda al largo: $H_o=3,00$ m
Periodo di picco al largo: $T_p=8,00$ s
Direzione media di propagazione: $Dir=50^\circ N$

Figura 12

Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Simulazione senza dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

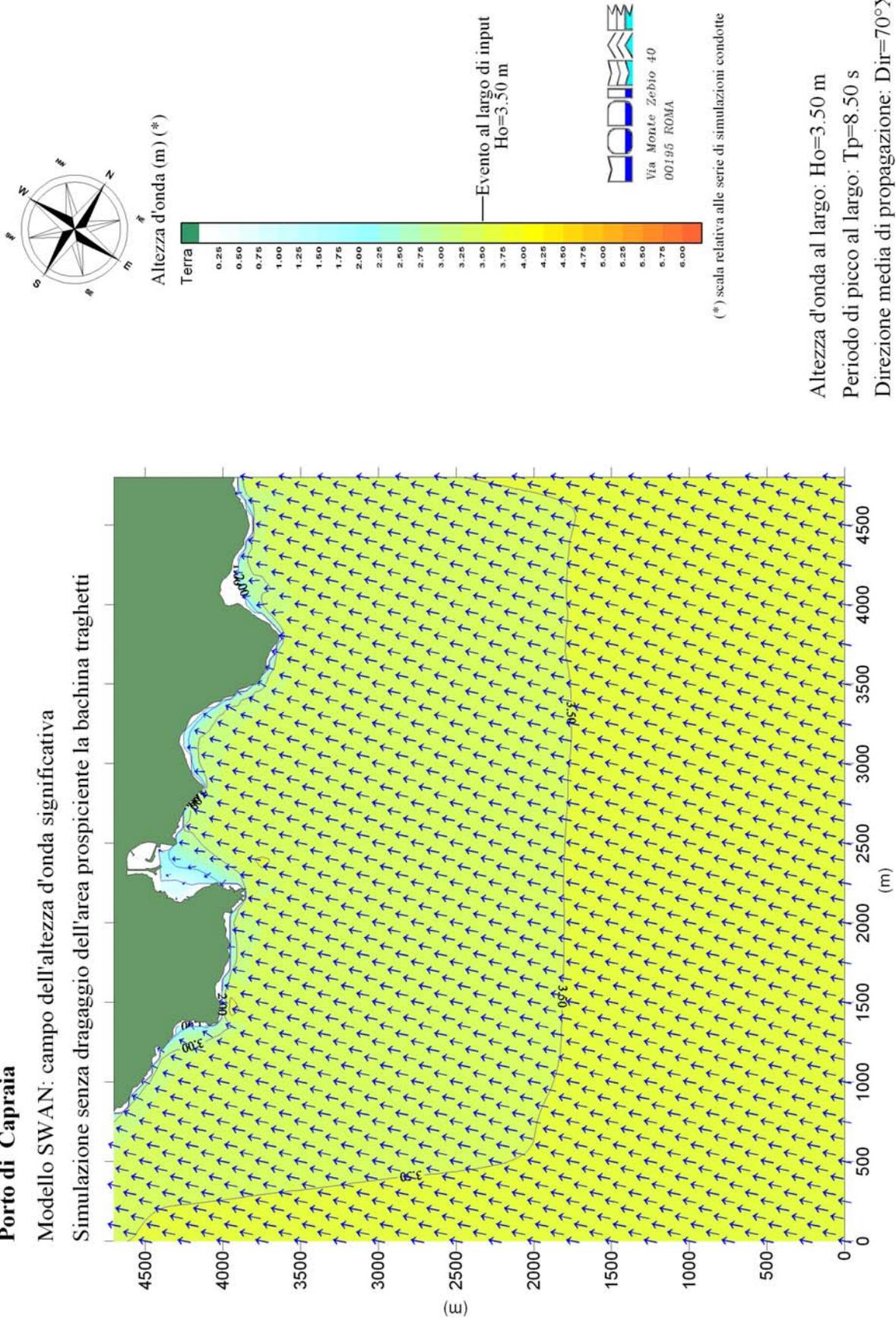
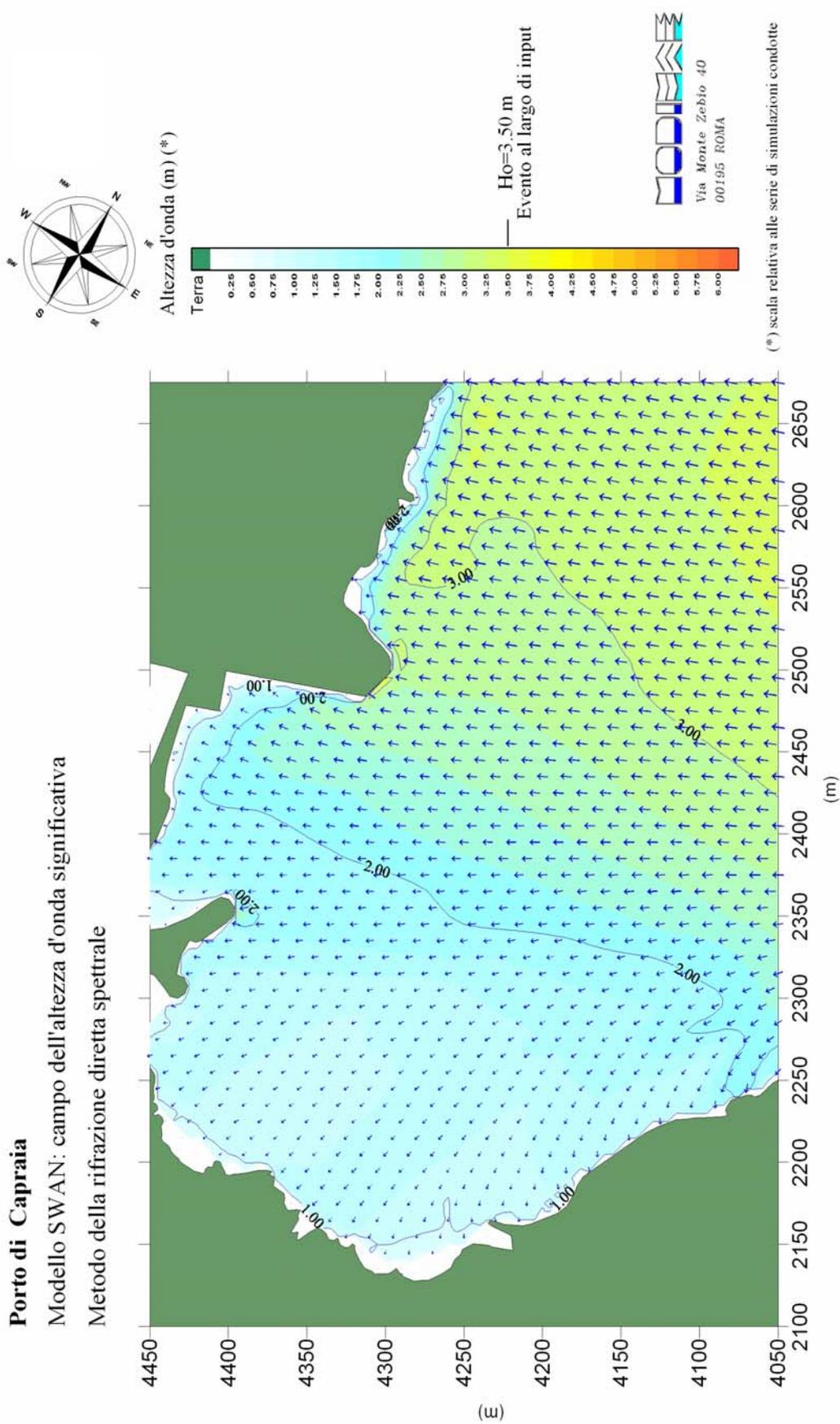


Figura 13

Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Metodo della rifrazione diretta spettrale



Simulazione senza dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

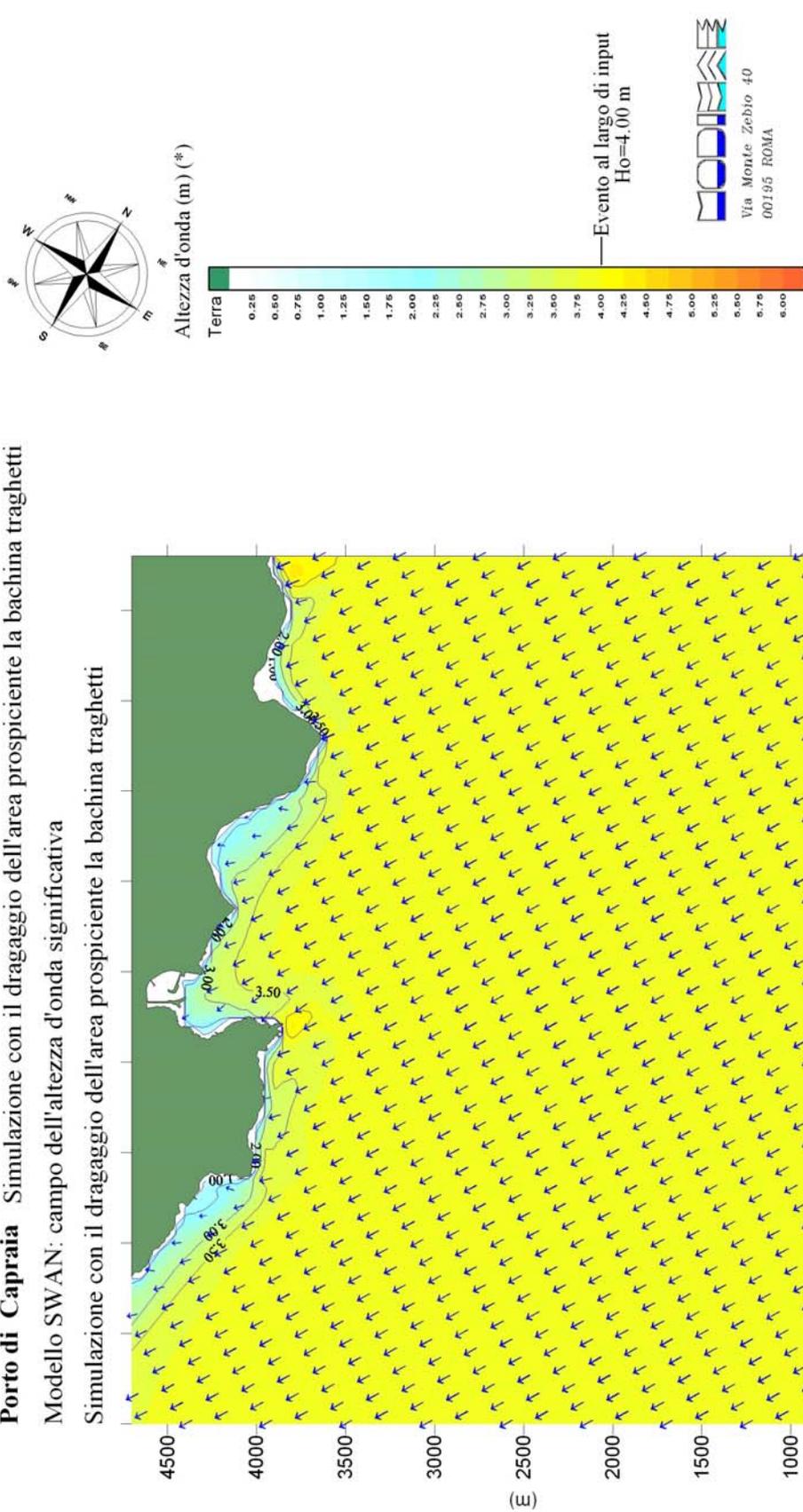
Altezza d'onda al largo: $H_o=3.50$ m
 Periodo di picco al largo: $T_p=8.5$ s
 Direzione media di propagazione: $Dir=70^\circ N$

Figura 14

Porto di Capraia Simulazione con il dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Simulazione con il dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti



Altezza d'onda al largo: Ho=4,00 m

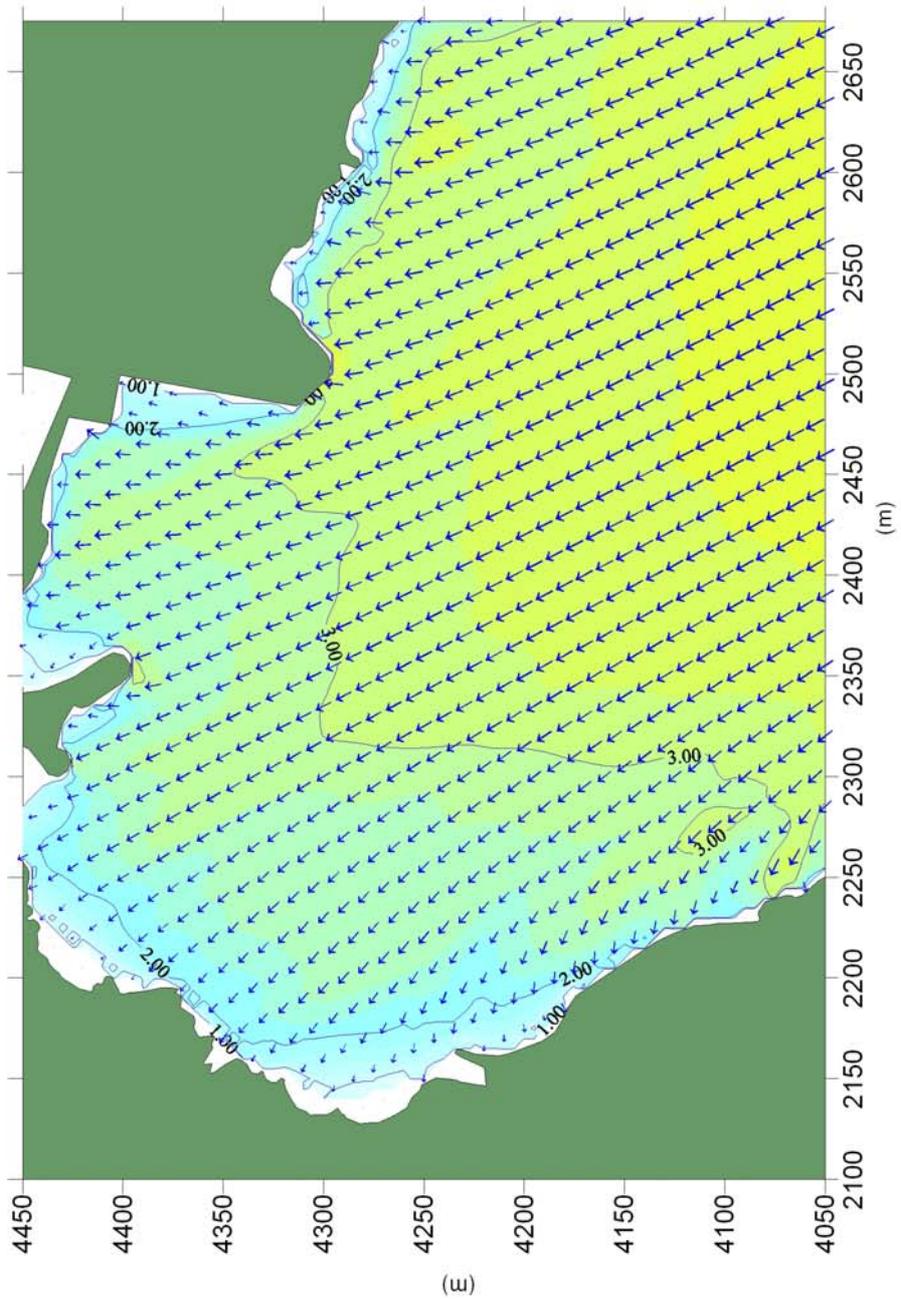
Periodo di picco al largo: Tp=9,00 s

Direzione media di propagazione: Dir=30°N

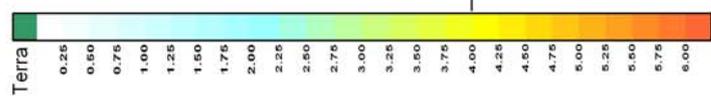
Figura 15

Porto di Capraia

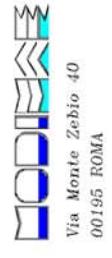
Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa
 Metodo della rifrazione diretta spettrale



Altezza d'onda (m) (*)



Ho=4.00 m
 Evento al largo di input



(*) scala relativa alle serie di simulazioni condotte

Simulazione con il dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

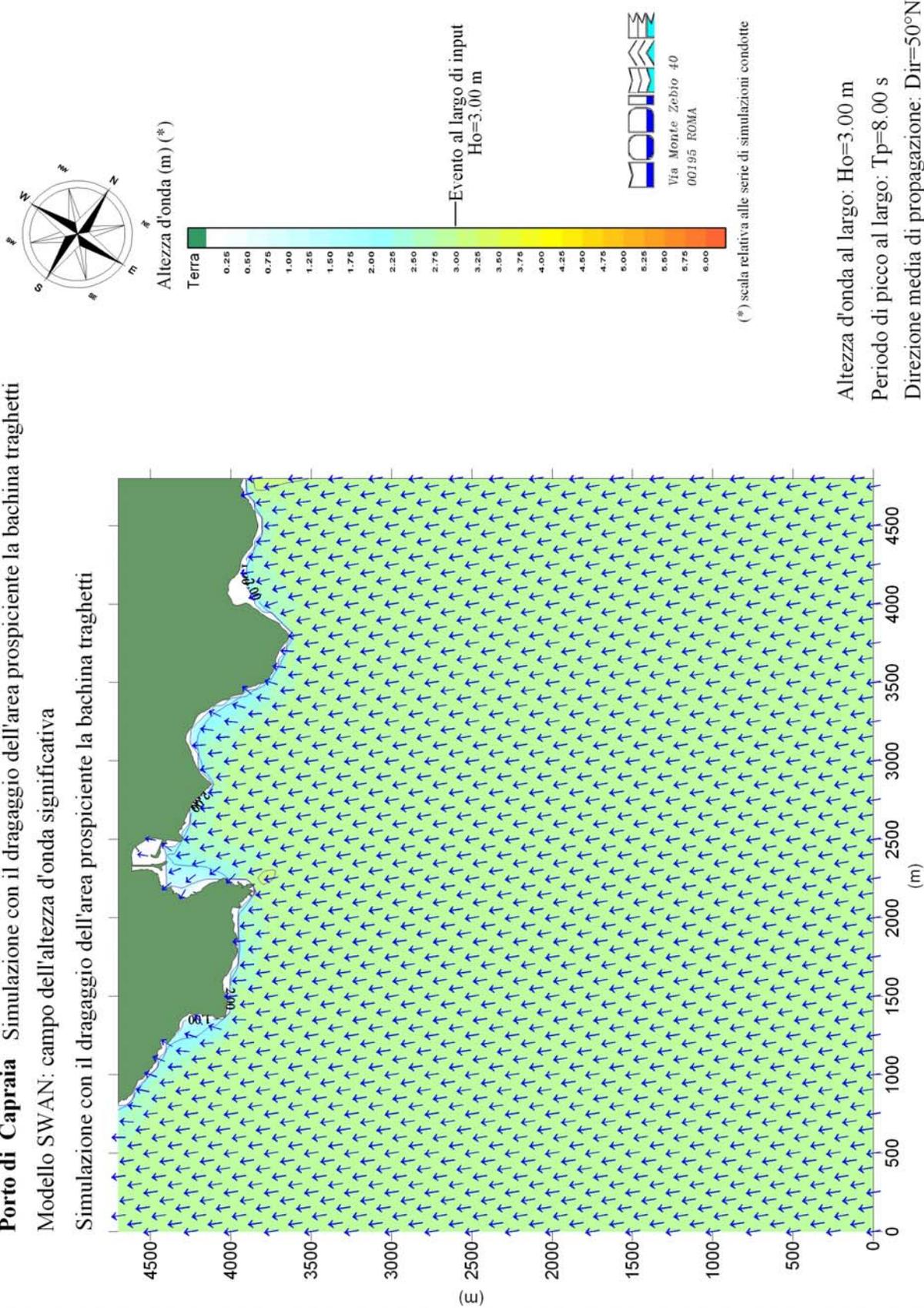
Altezza d'onda al largo: Ho=4.00 m
 Periodo di picco al largo: Tp=9.00 s
 Direzione media di propagazione: Dir=30°N

Figura 16

Porto di Capraia Simulazione con il dragaggio dell'area prospiciente la bachina traghetti

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Simulazione con il dragaggio dell'area prospiciente la bachina traghetti



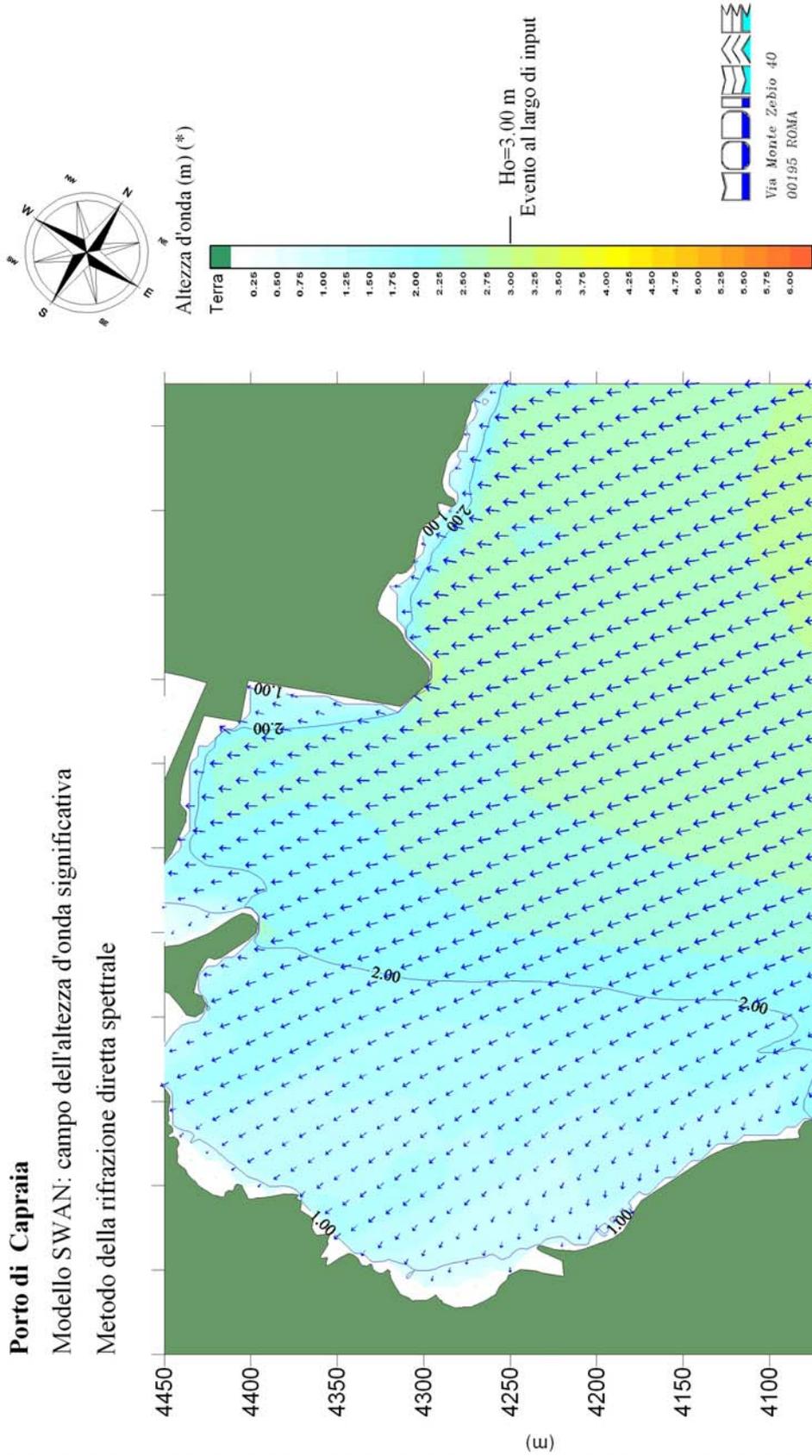
Altezza d'onda al largo: $H_o=3.00$ m
 Periodo di picco al largo: $T_p=8.00$ s
 Direzione media di propagazione: $Dir=50^\circ N$

Figura 17

Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Metodo della rifrazione diretta spettrale



(*) scala relativa alle serie di simulazioni condotte

Simulazione con il dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

Altezza d'onda al largo: $H_o=3.00$ m

Periodo di picco al largo: $T_p=8.00$ s

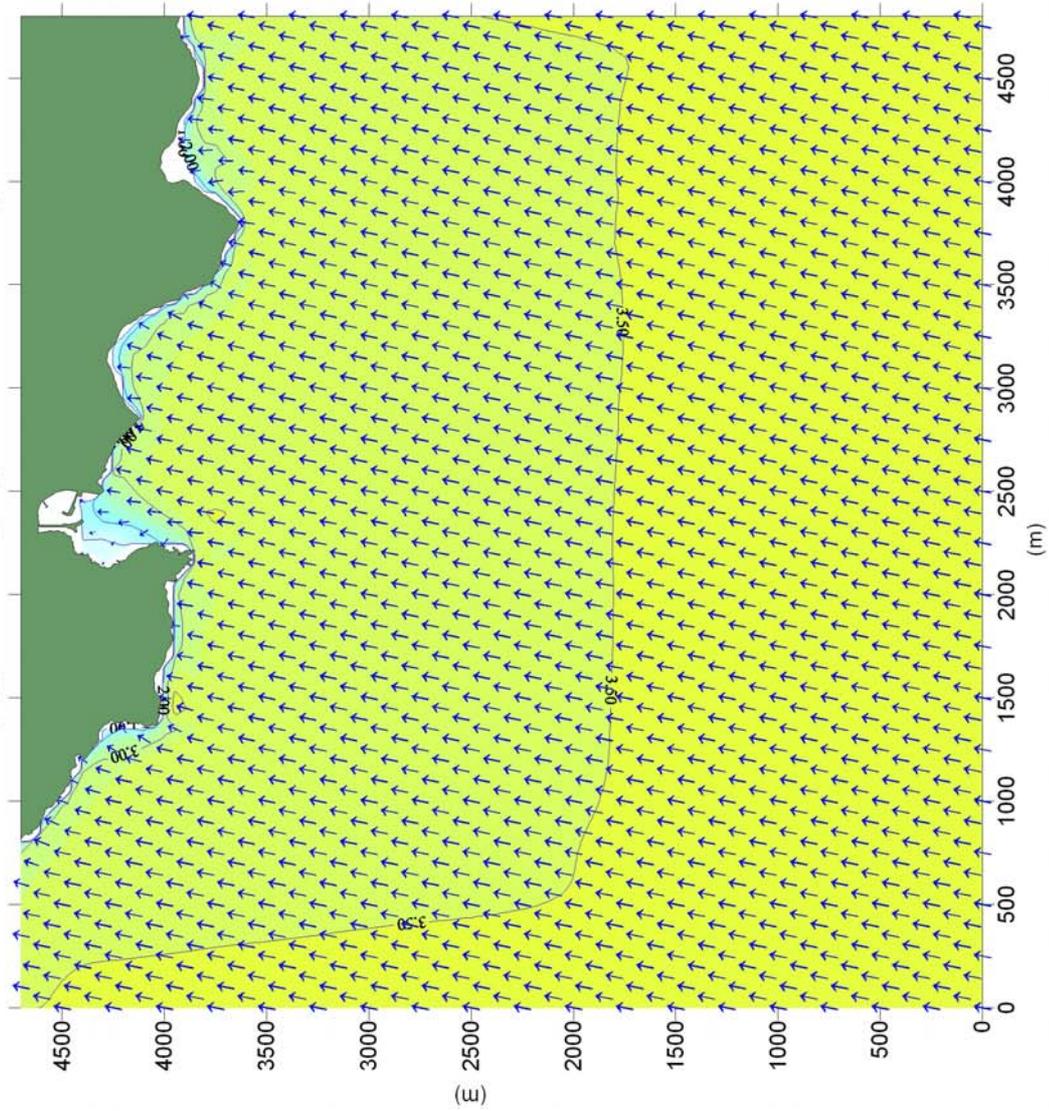
Direzione media di propagazione: $Dir=50^\circ N$

Figura 18

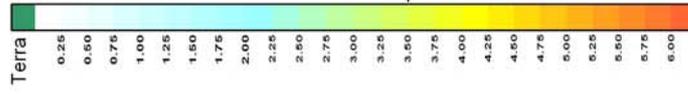
Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Simulazione con il dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti



Altezza d'onda (m) (*)



—Evento al largo di input
Ho=3.50 m



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

(*) scala relativa alle serie di simulazioni condotte

Altezza d'onda al largo: Ho=3.50 m

Periodo di picco al largo: Tp=8.50 s

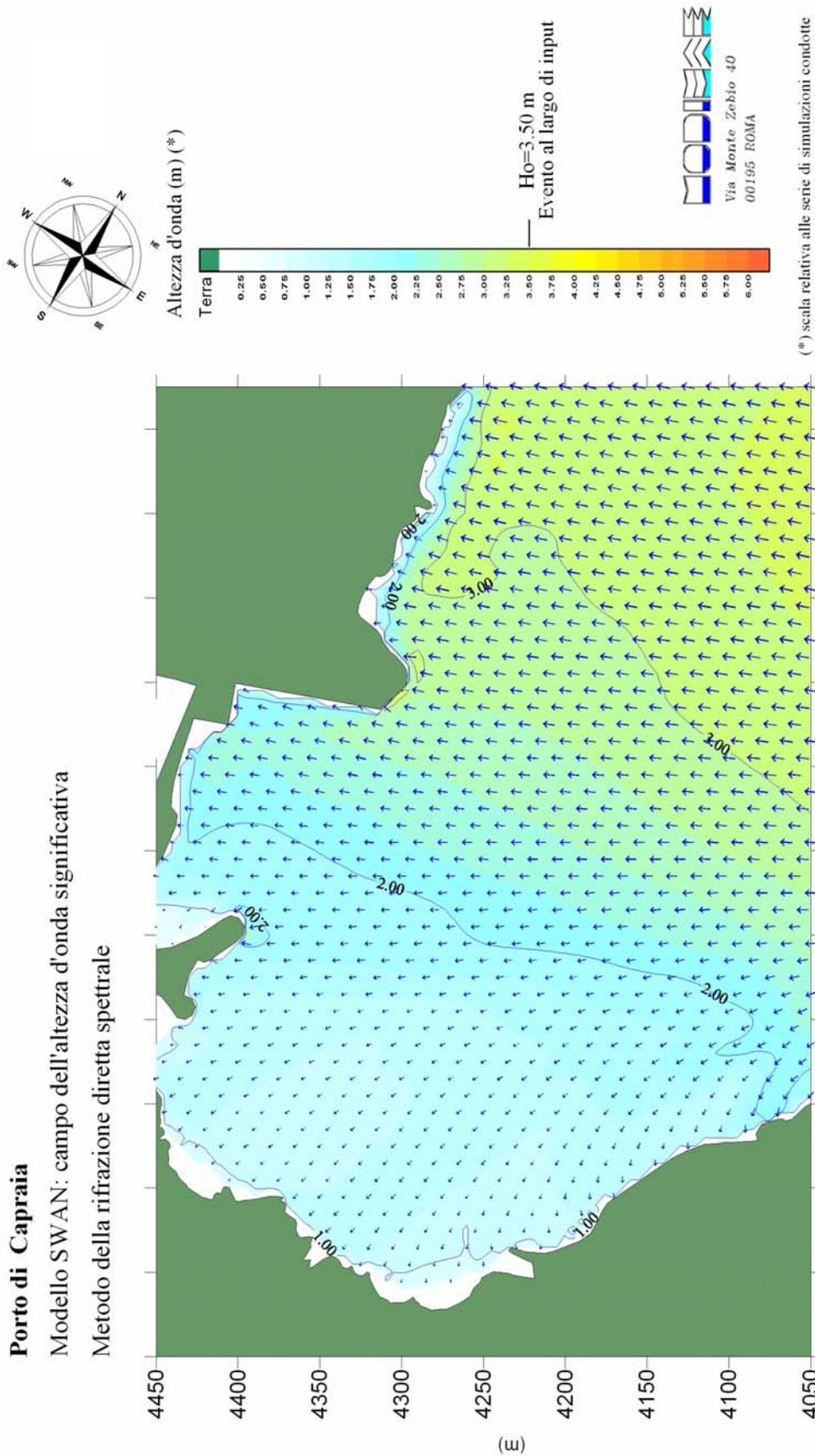
Direzione media di propagazione: Dir=70°N

Figura 19

Porto di Capraia

Modello SWAN: campo dell'altezza d'onda significativa

Metodo della rifrazione diretta spettrale



Simulazione con il dragaggio dell'area prospiciente la banchina traghetti

Altezza d'onda al largo: $H_o=3.50$ m

Periodo di picco al largo: $T_p=8.5$ s

Direzione media di propagazione: $Dir=70^\circ N$

Figura 20

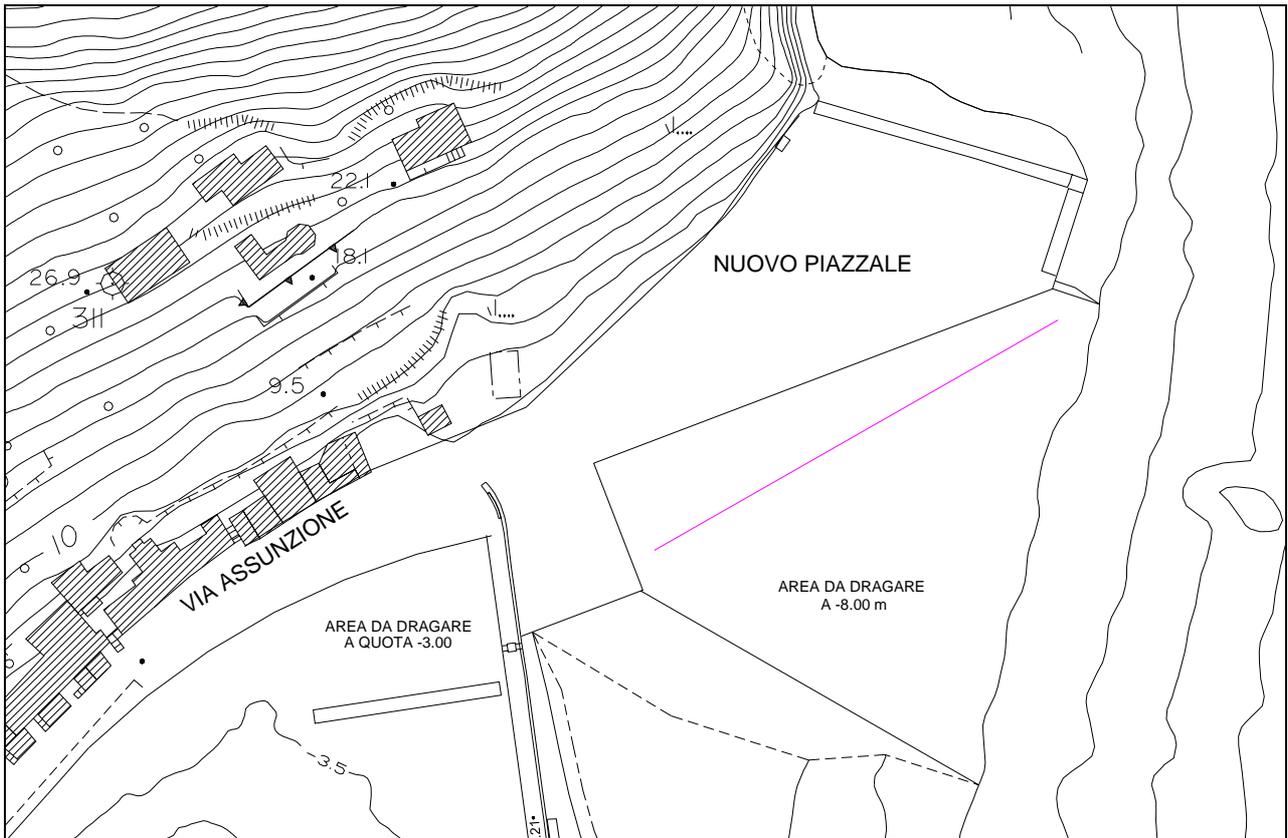


Fig. 21 - Allineamento lungo il quale sono stati graficati i valori dell'altezza d'onda

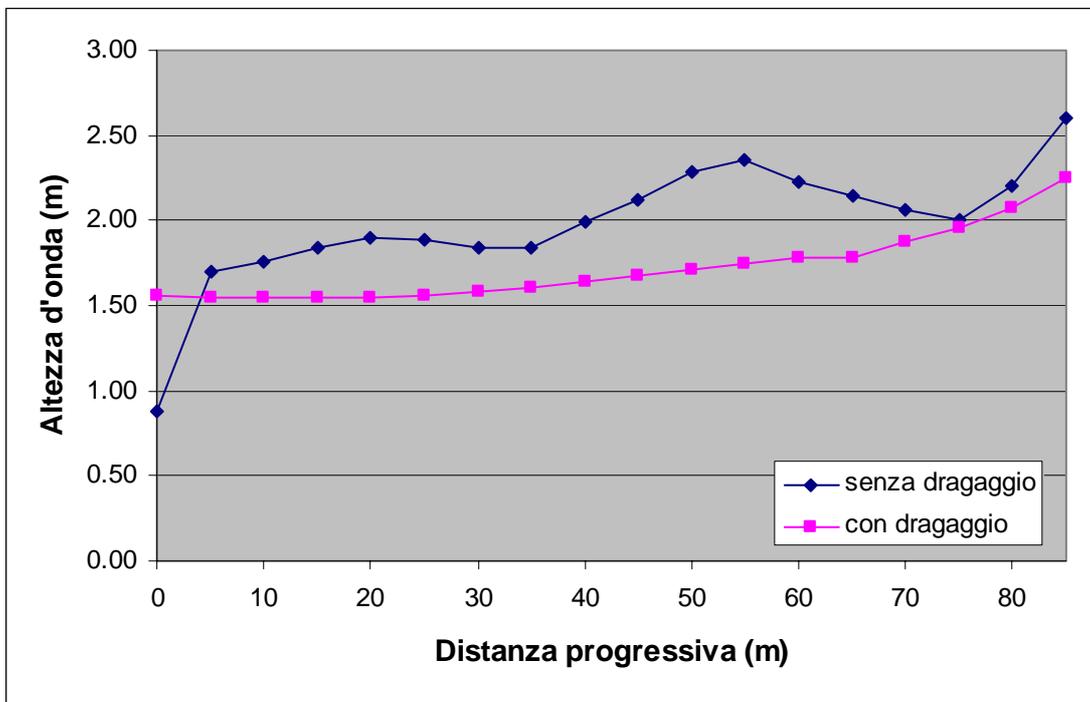


Fig. 22 - Valori dell'altezza d'onda nelle simulazioni in cui $H_{s0}=4.00$ m, $T_p=9.00$ s, $Dir=30^\circ N$

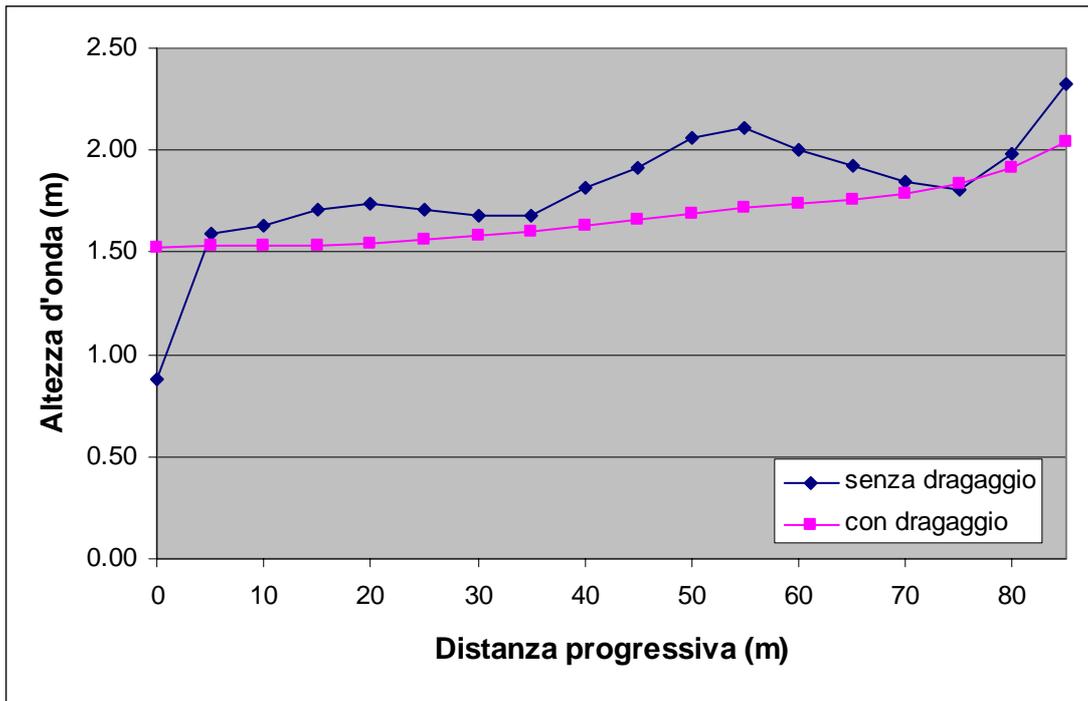


Fig. 23 - Valori dell'altezza d'onda nelle simulazioni in cui $H_{so}=3.00\text{m}$, $T_p=8.00\text{ s}$, $\text{Dir}=50^\circ\text{N}$

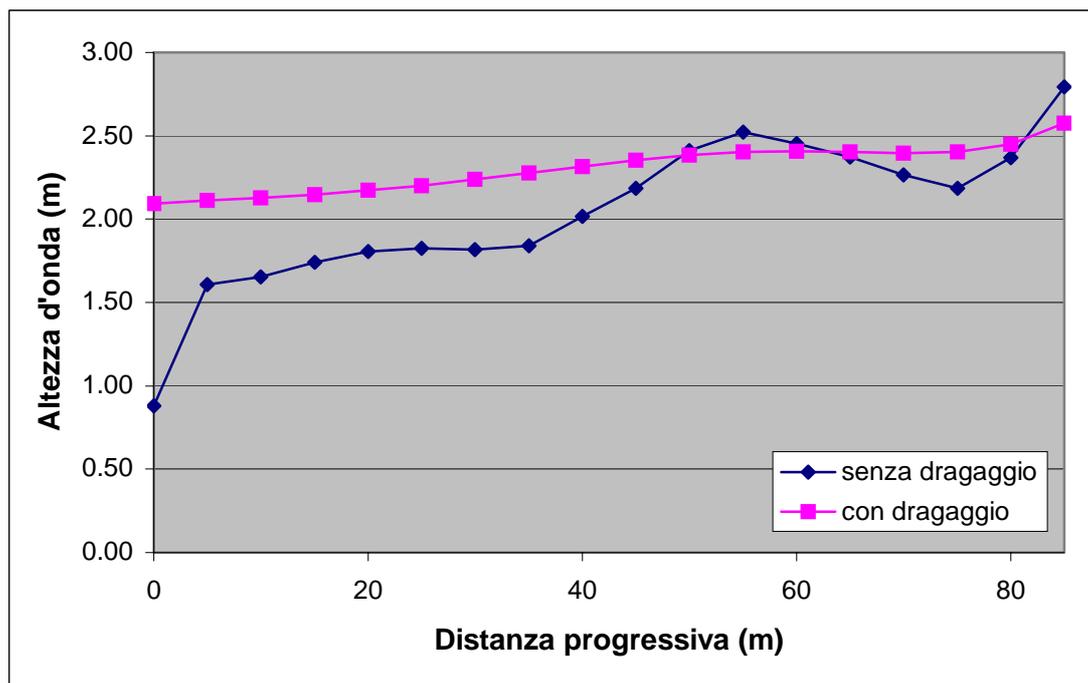


Fig. 24 - Valori dell'altezza d'onda nelle simulazioni in cui $H_{so}=3.50\text{ m}$, $T_p=8.50\text{ s}$, $\text{Dir}=70^\circ\text{N}$

8. STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI ALL'INTERNO DEL PORTO

La penetrazione del moto ondoso all'interno della rada e del bacino portuale è stata studiata utilizzando il modello numerico VEGA.

Lo studio, ai fini di un confronto tra la situazione ante e post operam, è stato eseguito sia relativamente all'attuale configurazione del bacino portuale e dell'attracco dei traghetti che alla configurazione di progetto.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno delle simulazioni eseguite, è stata assunta una profondità media dello specchio d'acqua portuale pari a 4,0 m e, in funzione delle caratteristiche riflettenti delle opere delimitanti le aree portuali interne ed esterne, sono stati scelti i seguenti coefficienti di riflessione (v. figure 25 e 26):

- spiagge, riflessione 10%
- opere a gettata e scogliere naturali, riflessione 35%;
- opere a parete verticale, riflessione 90%;
- opere a parete verticale con dispositivi antiriflettenti (celle assorbenti), riflessione 60%;

Inoltre l'area oggetto di studio è stata discretizzata in una griglia di calcolo caratterizzata da maglie quadrate di passo pari a 5 m.

Per una esaustiva valutazione della penetrazione del moto ondoso all'interno dello specchio d'acqua portuale, si è fatto riferimento alle forzanti di moto ondoso ricavate a conclusione dello studio di generazione e propagazione del moto ondoso svolto (v. Studio Meteomarina allegato al progetto definitivo).

In particolare a conclusione dello studio meteomarina svolto è risultato che il settore di provenienza del moto ondoso è compreso tra 30°N e 75°N.

Considerato che ai fini della definizione dell'operatività dell'attracco dei traghetti e della protezione fornita dalle nuove opere di difesa al bacino interno portuale è più significativo far riferimento ad un moto ondoso avente una frequenza annuale, si è scelto di eseguire le simulazioni utilizzando un moto ondoso caratterizzato da un'altezza significativa di circa 2.00 m ed un periodo di 6 secondi.

Al fine di condurre una approfondita analisi della penetrazione del moto all'interno del porto turistico si è deciso di simulare la propagazione del moto ondoso per più direzioni di provenienza opportunamente distribuite all'interno del settore di traversia.

In particolare sono state scelte le seguenti direzioni: 35°N, 50°N e 75°N alle quali sono associate le seguenti frequenze di accadimento:

- Direzione 35°N: 54 giorni/anno
- Direzione 50°N: 18 giorni/anno
- Direzione 70°N: 99 giorni/anno

Nelle figure allegate, per l'attuale configurazione e per la configurazione di progetto, sono riportati i risultati delle simulazioni eseguite, dove con diversi colori sono indicati i valori del rapporto tra l'altezza d'onda incidente e quella calcolata con il modello nell'area di simulazione.

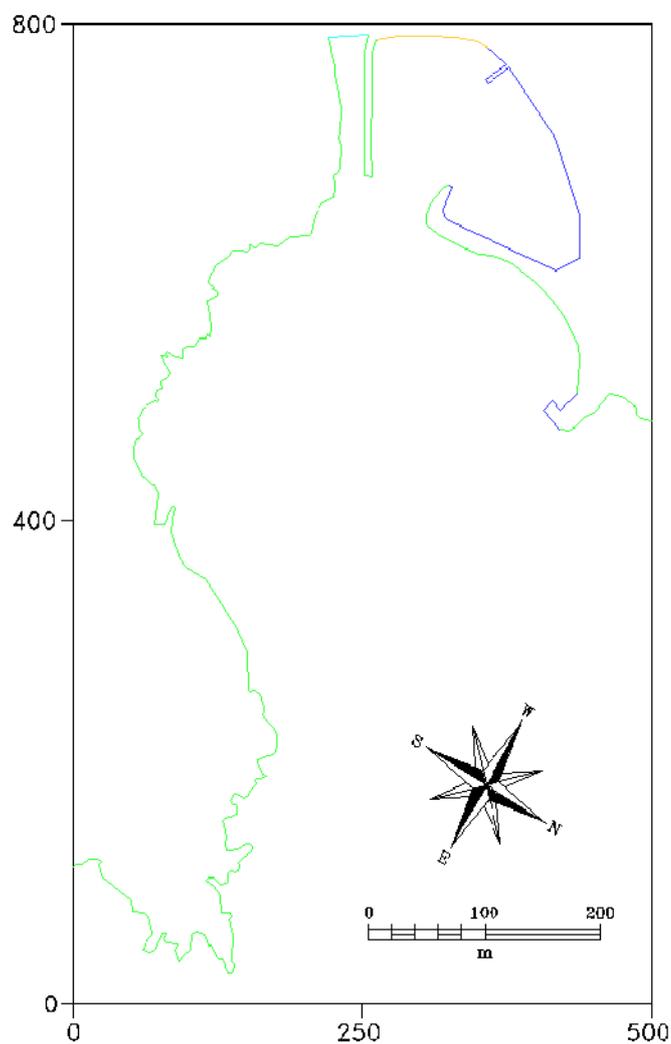
Dall'esame dei risultati delle elaborazioni svolte si ricava che, per tutte le direzioni investigate, la realizzazione delle opere previste in progetto garantisce, rispetto alla situazione attuale, una sensibile riduzione dell'agitazione interna portuale e quindi un miglioramento delle condizioni di sicurezza delle imbarcazioni ormeggiate al suo interno.

I maggiori benefici si ottengono per i moti ondosi provenienti da 70°N e 50°N (a cui corrisponde una frequenza complessiva di accadimento di 117 gg/anno. Per queste direzioni infatti nella configurazione attuale l'altezza d'onda all'interno della porzione più interna del bacino portuale varia tra il 10 ed il 30% dell'altezza d'onda all'esterno del bacino, mentre nella configurazione di progetto si mantiene costantemente al disotto del 10% dell'altezza d'onda all'esterno del bacino.

Anche per i moti ondosi provenienti dal limite del settore di traversia (35°N), al quale corrisponde una frequenza di accadimento di 54 gg/anno, per i quali il bacino portuale risulta ancora "parzialmente aperto", a seguito della realizzazione delle opere previste in progetto si realizza una generale riduzione dell'agitazione interna portuale. Anche in questo caso nella configurazione di progetto l'altezza d'onda residua risulta sempre inferiore al 10% dell'altezza d'onda all'esterno del bacino mentre nella configurazione attuale si verificano ampie zone con valori dell'altezza d'onda residua compresi tra il 10% ed il 30% dell'altezza d'onda all'esterno del porto.

Isola di Capraia: Stato attuale

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

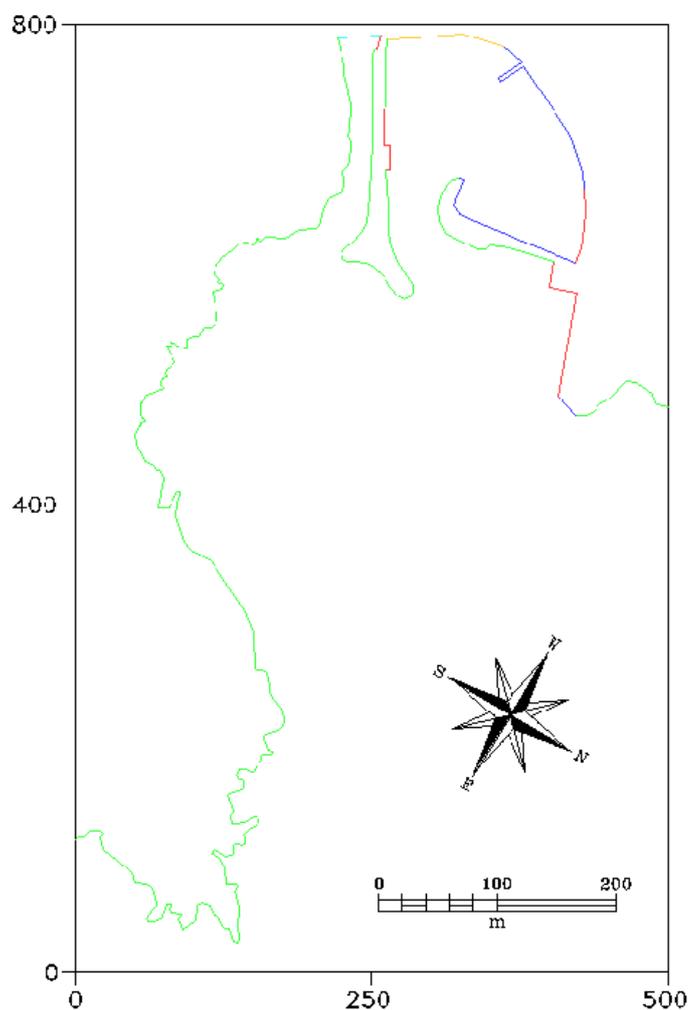
Profondita' del bacino: 4 m

Coefficienti di riflessione	
	R=0.90
	R=0.35
	R=0.10
	R=0.01

MODI
Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Figura 25

Isola di Capraia: Configurazione di Progetto
Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 4 m

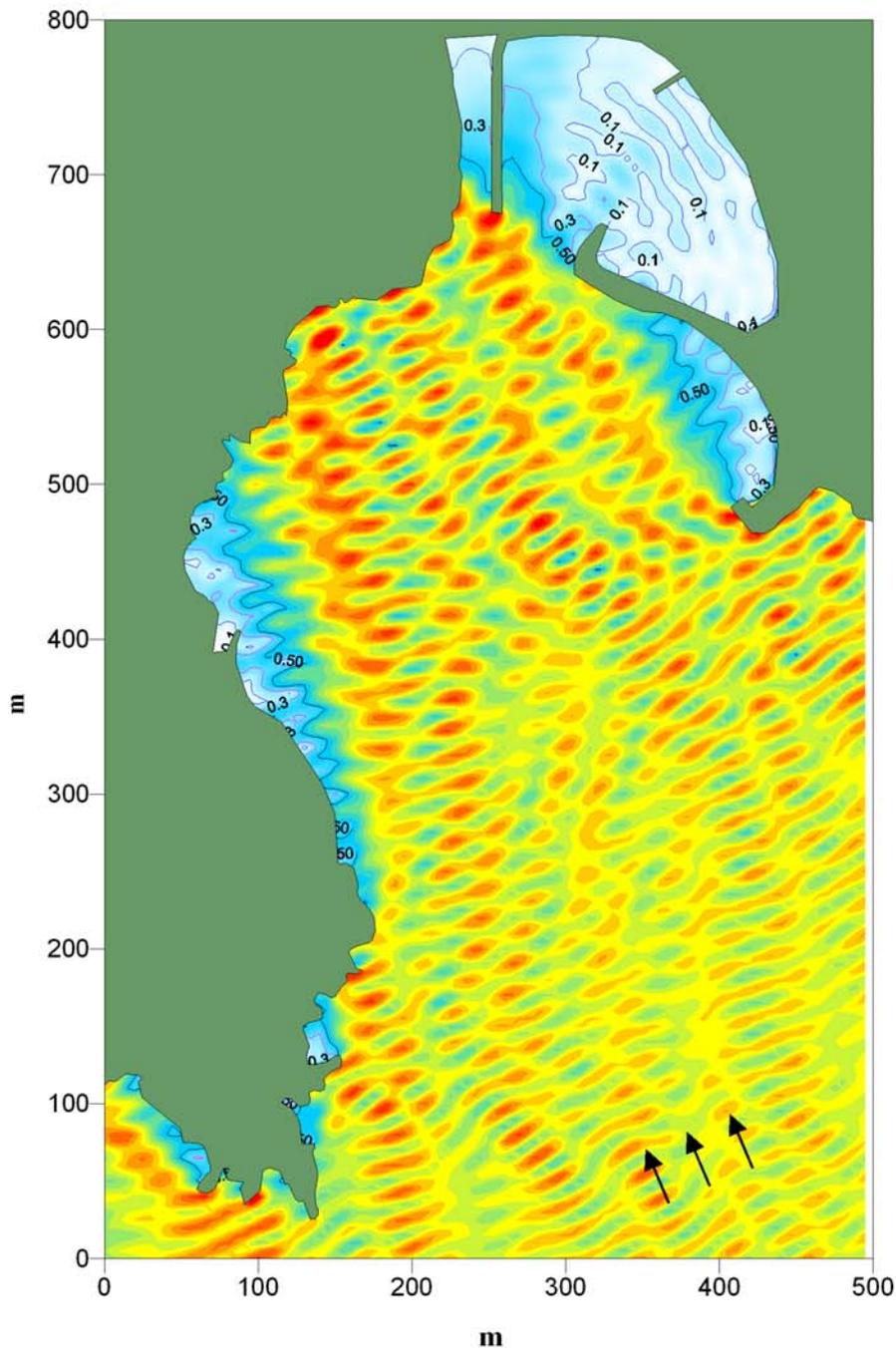
Coefficienti di riflessione	
	R=0.90
	R=0.60
	R=0.35
	R=0.10
	R=0.01

MODI
Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

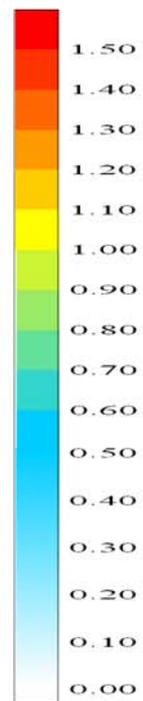
Figura 25

CAPRAIA - CONFIGURAZIONE ATTUALE

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

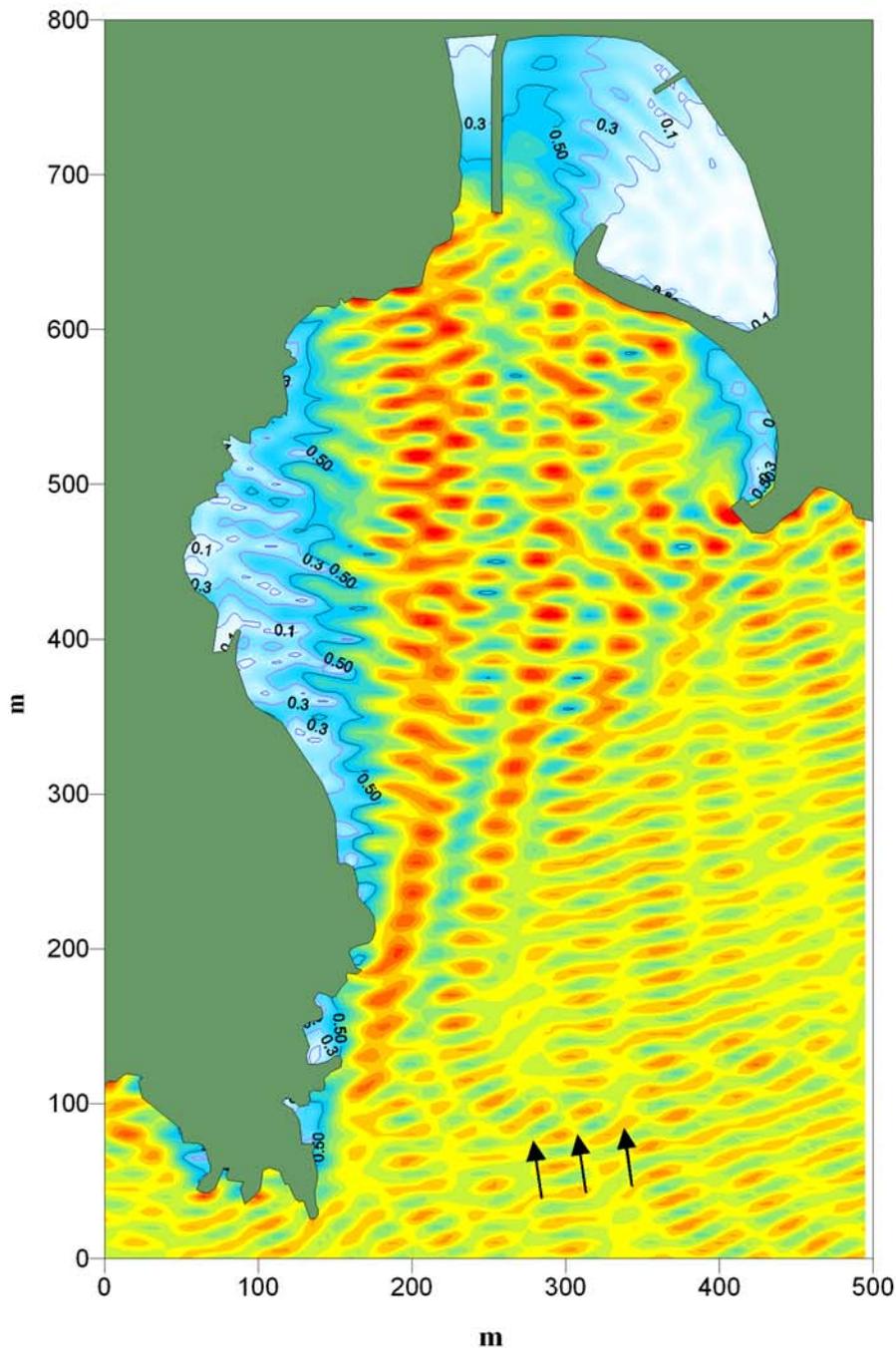
Periodo $T = 6,0$ s

Direzione = 35° N

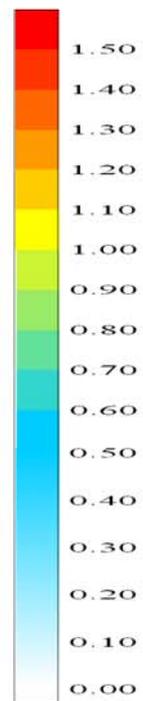
File =Attuale_DIR35°N_T=6S.srf

CAPRAIA - CONFIGURAZIONE ATTUALE

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

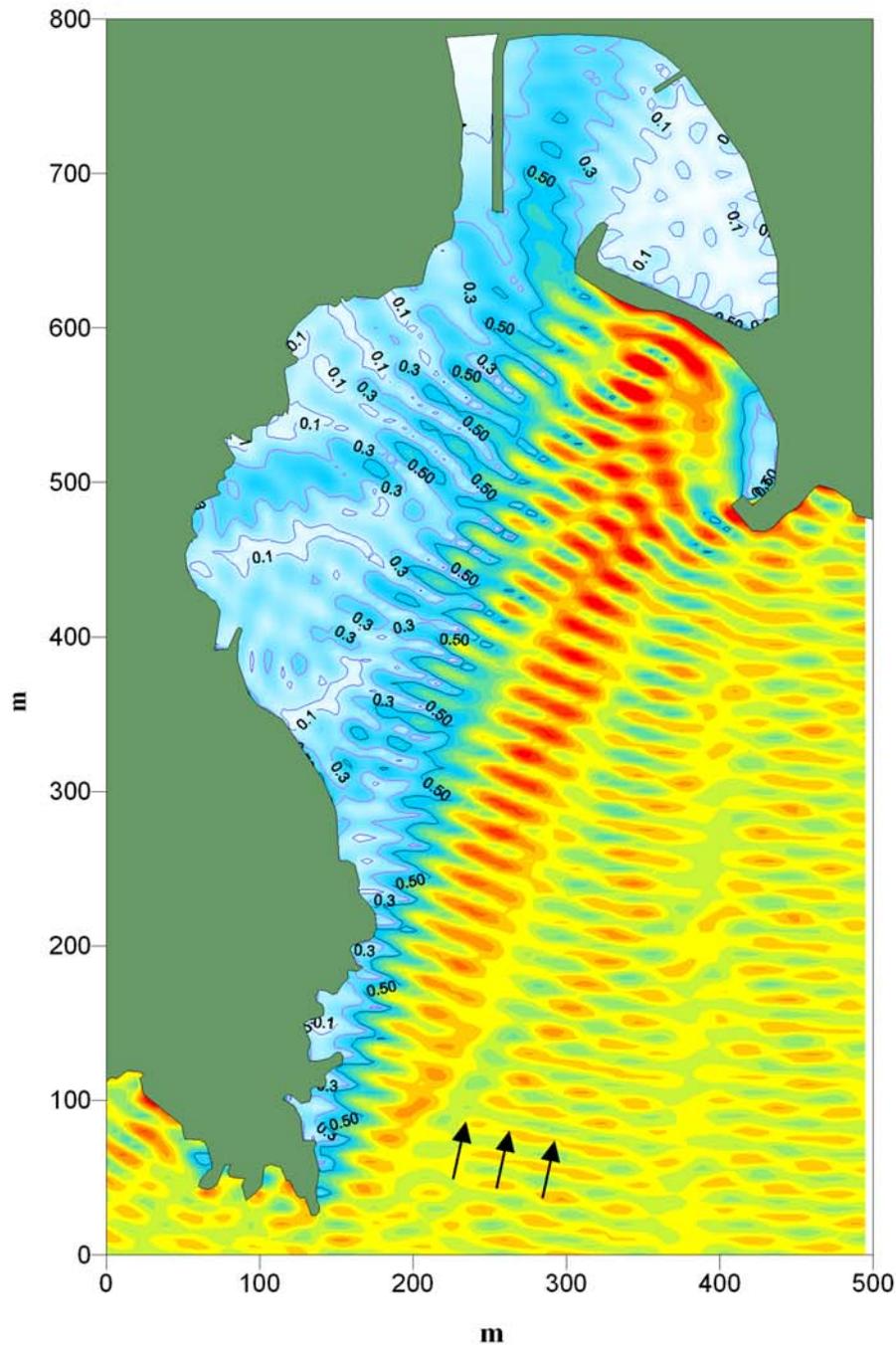
Periodo $T = 6,0$ s

Direzione = 50° N

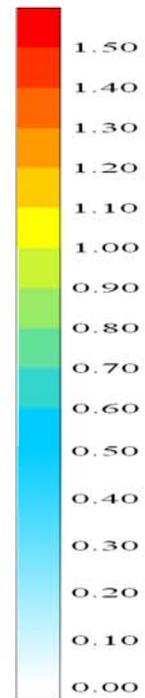
File =Attuale_DIR50°N_T=6S.srf

CAPRAIA - CONFIGURAZIONE ATTUALE

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

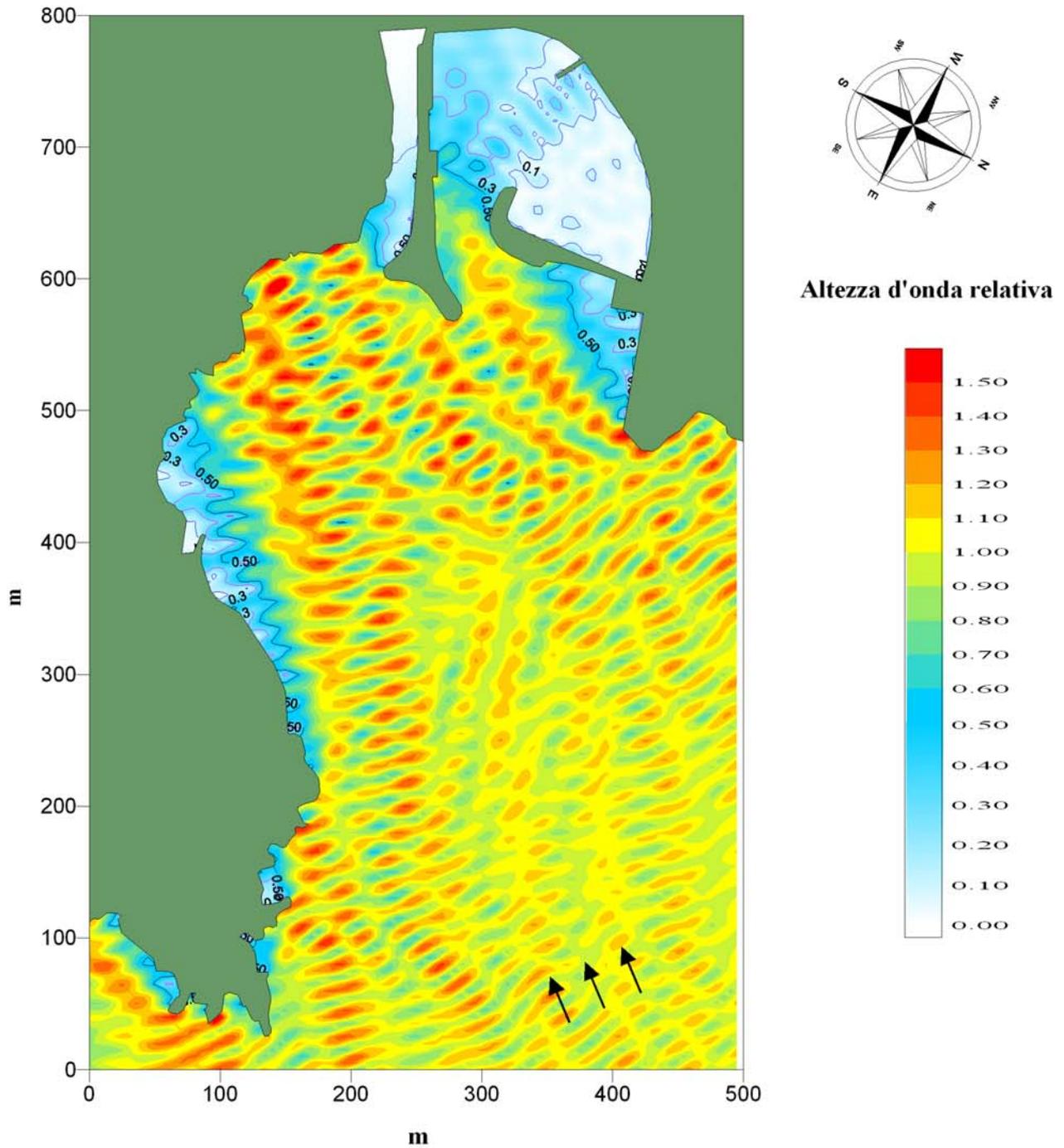
Periodo $T = 6,0$ s

Direzione = 70° N

File = Attuale_DIR70°N_T=6S.srf

CAPRAIA - CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna

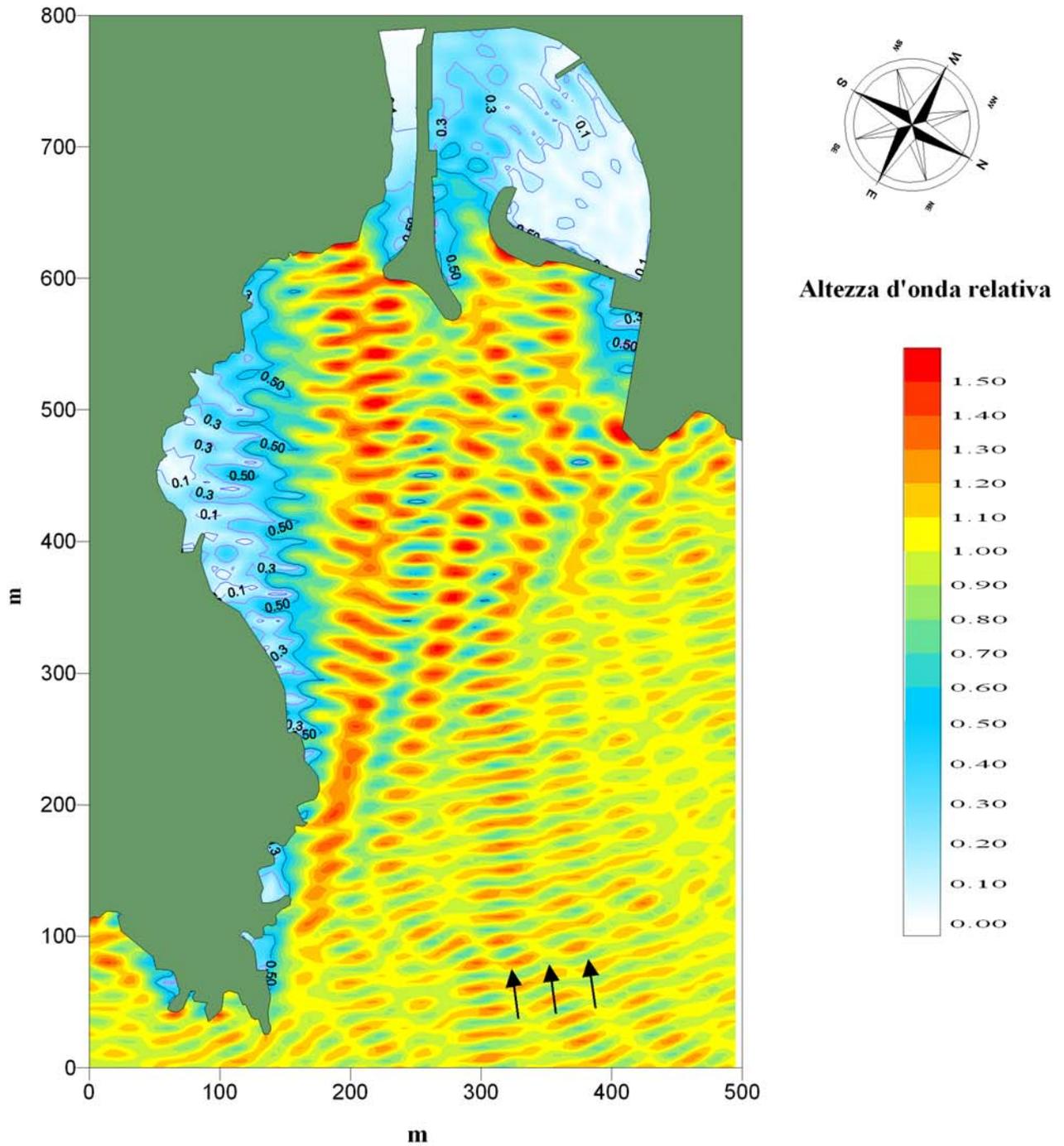


Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Periodo $T = 6,0$ s
Direzione = 35° N
File = DIR35°N_T=6S.srf

CAPRAIA - CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna

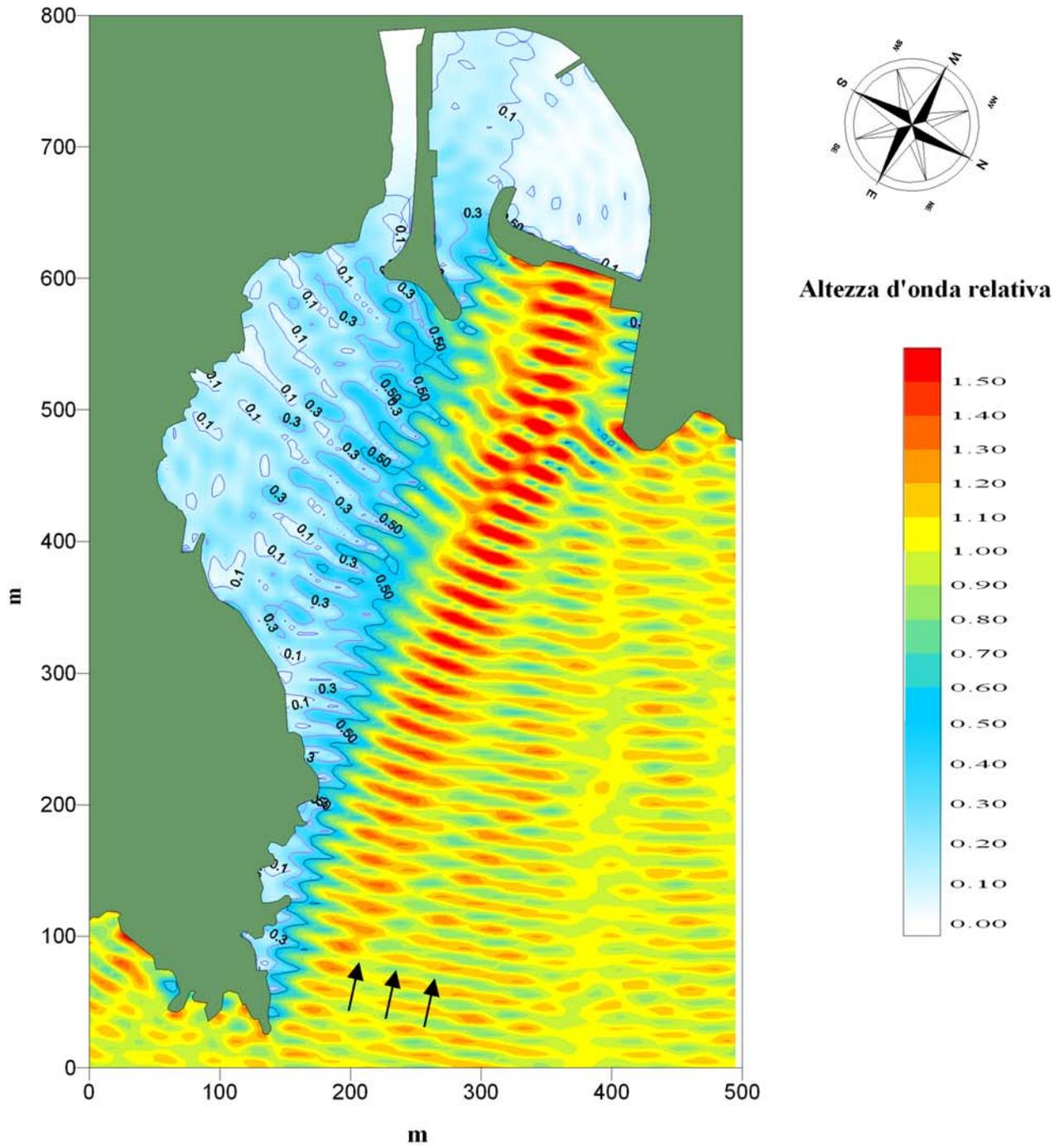


Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Periodo $T = 6,0$ s
Direzione = 50° N
File = DIR50°N_T=6S.srf

CAPRAIA - CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Periodo $T = 6,0$ s
Direzione = 70° N
File = DIR70°N_T=6S.srf