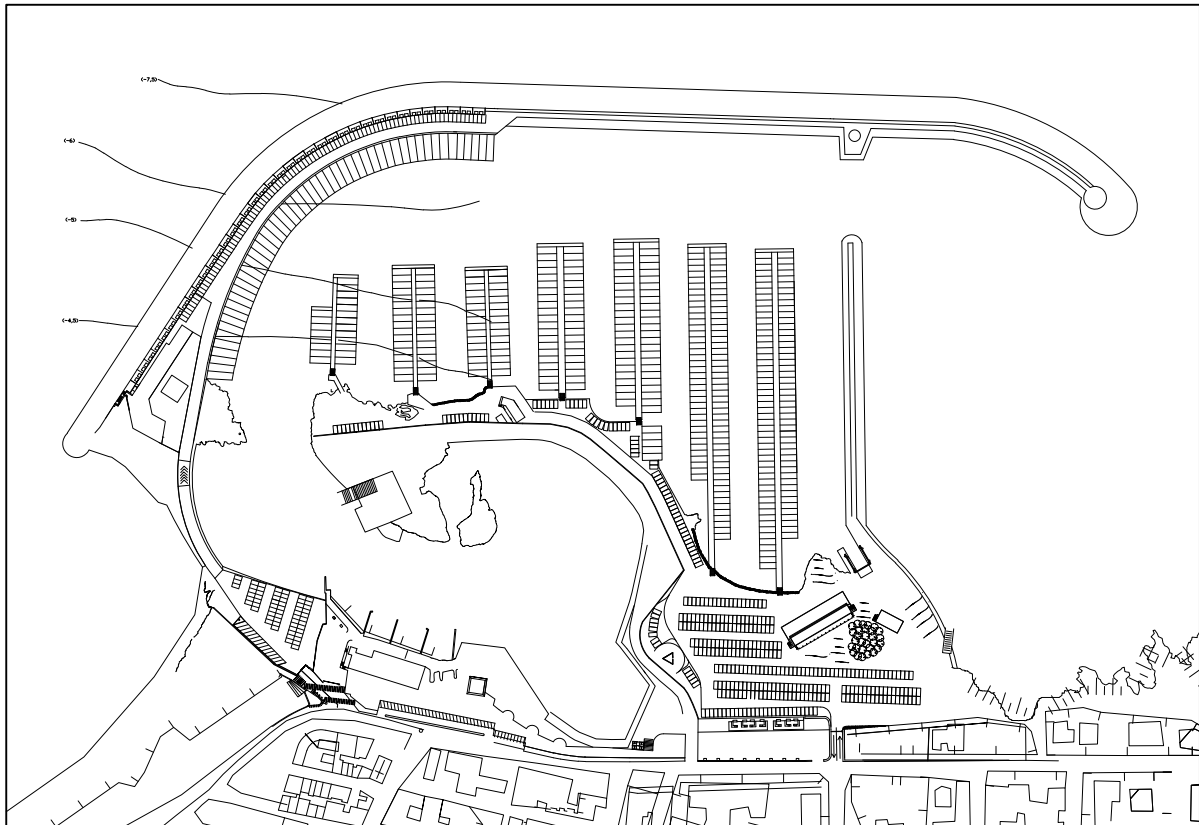


# REGIONE PUGLIA

PORTO DI SAN FOCA S.P.A.  
Porto Turistico-Stazionamento

PROGETTO DEFINITIVO PER L'AMPLIAMENTO E COMPLETAMENTO  
DEL PORTO DI SAN FOCA ADEGUATO ALLE RISULTANZE DELLE  
PROVE SUL MODELLO FISICO REALIZZATO DAL POLITECNICO DI BARI



## RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA E STUDI SU MODELLO

### PROGETTISTI

Ing. Antonio Candido

Ing. Donato Candido

Ing. Luigi Del Grosso

Ing. Franco Gallo



SETTEMBRE 2018

TAV. G9

Rev.

# REGIONE PUGLIA

## COMUNE DI MELENDUGNO

### PORTO TURISTICO DI SAN FOCA

Titolo elaborato:

*RELAZIONE TECNICA :*  
VERIFICA DEL GRADO DI AGITAZIONE INTERNA RESIDUA

- R T    0 7    0 1 0    R    0 0 1    0

Committente:

IGECO COSTRUZIONI S.p.A.

Redattori dello studio:



MODIMAR Srl - Via Monte Zebio 40 - 00195 Roma

Prof. Ing. Alberto NOLI  
Dott. Ing. Paolo CONTINI  
Dott. Ing. Davide SALTARI

	11/05/07	0	Emissione	SALTARI	NOLI	CONTINI
	Data	Rev	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo elaborato 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:

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>3</b>
<b>1. PREMESSE</b> .....	<b>3</b>
<b>2. STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI CON IL MODELLO VEGA</b> .....	<b>4</b>
<b>3. DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI D'ONDA DI INPUT</b> .....	<b>4</b>
<b>4. DEFINIZIONE DELLA CONFIGURAZIONE GEOMETRICA E DEI COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE</b> ....	<b>5</b>
<b>5. PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI. TEST EFFETTUATI</b> .....	<b>7</b>
<b>6. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE</b> .....	<b>8</b>
<b>7. ANALISI DEI RISULTATI</b> .....	<b>9</b>
<b>9. CONCLUSIONI</b> .....	<b>10</b>

**ALLEGATO:**

Descrizione sintetica del modello matematico VEGA di agitazione ondosa all'interno dei porti



## ***Introduzione***

Nel presente studio si intende verificare l'agitazione ondosa in corrispondenza dell'imboccatura e all'interno del bacino portuale del porto turistico di S. Foca (Comune di Melendugno) nelle due configurazioni di progetto proposte dai progettisti dell'intervento.

Il modello numerico VEGA utilizzato per la individuazione delle oscillazioni residue, che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz, consente di verificare le condizioni di agitazione ondosa delle configurazioni portuali proposte e di fornire utili informazioni per la valutazione della validità delle scelte effettuate nell'individuazione dei lay-out in relazione ai parametri di moto ondoso (altezza, periodo e direzione) derivati dallo studio meteo-marino redatto in occasione del progetto definitivo.

La presente relazione descrive il lavoro svolto dagli ingg. Paolo Contini e Davide Saltari con il coordinamento del prof. Ing. Alberto Noli.

### ***1. Premesse***

Nei successivi paragrafi vengono illustrati i risultati degli studi di penetrazione del moto ondoso eseguiti per le due configurazioni di progetto del porto di San Foca ed in una configurazione di variante, presa in esame successivamente all'analisi dei risultati ottenuti per le soluzioni studiate, che adotta per la banchina a parete verticale del molo di sopraflutto caratteristiche antiriflettenti al fine di limitare i livelli di oscillazione residua, soprattutto nella zona immediatamente retrostante l'imboccatura portuale.

Il modello numerico utilizzato è del tipo “*agli elementi di contorno*” e permette di simulare la penetrazione del moto ondoso all'interno dei bacini portuali. Per la descrizione del modello matematico VEGA si rimanda all'Appendice allegata a questa relazione.

Come già accennato l'agitazione ondosa in corrispondenza dell'imboccatura e dello specchio portuale interno (costituito in parte da un'ansa naturale della costa) è stata studiata utilizzando un modello che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz. Tale equazione, come è noto, consente di ricavare i valori dell'agitazione in un bacino portuale tenendo conto dei fenomeni di diffrazione e riflessione, che nel caso specifico sono dominanti per la quasi costanza dei fondali presenti in corrispondenza dell'imboccatura.

Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando tre direzioni d'onda e due periodi ritenuti significativi per le condizioni meteo-marine raggiungibili nel paraggio in esame desunte dallo studio meteo-marino, cui si rimanda per ogni eventuale approfondimento.



## ***2. Studio della penetrazione del moto ondoso con il modello VEGA***

La verifica del moto ondoso all'interno dello specchio d'acqua portuale, caratterizzato da una profondità media pari a  $-5.0$  m, è stato effettuato con l'ausilio del modello VEGA. Tale modello è in grado di simulare la propagazione di onde armoniche lineari ( $H/L \ll 1$  dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda) in presenza dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione che risultano dominanti nel caso in esame. Questi fenomeni sono regolati dall'equazione di Helmholtz che viene risolta dal modello numerico VEGA con la tecnica degli elementi di contorno (boundary elements). Tale tecnica richiede che venga discretizzato il contorno del dominio di calcolo. Per l'applicazione del modello di propagazione del moto ondoso VEGA il perimetro portuale è stato schematizzato per mezzo di una serie di "segmenti" ciascuno contraddistinto da una coppia di coordinate rappresentanti i vertici degli stessi. Ciascun segmento è stato a sua volta suddiviso in elementi di lunghezza compresi tra  $1/6$  ed  $1/7$  della lunghezza d'onda rispettivamente sia per il periodo minore simulato di  $7,0$  s che per quello maggiore di  $9,0$  s, assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni fossero introdotte almeno 5 sorgenti per ogni segmento considerato. I nodi del reticolo di calcolo sono circa 8200.

In corrispondenza della retta  $Y = 0$  m del dominio di calcolo sono state imposte le caratteristiche del moto ondoso incidente (altezza, direzione e periodo). Tale retta praticamente rappresenta un generatore di moto ondoso e viene trattata dal modello come un contorno di radiazione, cioè la perturbazione riflessa dalle strutture portuali è libera di transitare per tale contorno irradiandosi al largo nel campo, supposto infinito, posto all'esterno del dominio discretizzato.

Nelle situazioni esaminate le resistenze offerte dal fondo sono del tutto trascurabili a causa della limitata area di propagazione considerata. Simile osservazione può essere fatta per le dissipazioni viscosive interne al fluido che generalmente risultano trascurabili rispetto agli altri fenomeni in gioco; è comunque da sottolineare che trascurando i fenomeni dissipativi si opera in favore di sicurezza.

## ***3. Definizione delle condizioni d'onda di input***

Il modello d'agitazione interna richiede la definizione dei principali parametri ondosi (altezza, periodo, direzione) presenti all'esterno dell'imboccatura portuale.

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso si è fatto riferimento ai piani d'onda inversi ottenuti nello studio meteo-marino redatto in occasione del progetto definitivo, redatto nel

dicembre 2000, relativi al punto di rifrazione inversa spettrale P2 (situato ad una profondità di circa 10 m s.l.m.).

La traversia locale principale è stata identificata nel settore  $340\div 40^\circ\text{N}$ , mentre la secondaria è relativa al settore  $80\div 90^\circ\text{N}$ . Per tale motivo si è deciso di assumere come direzioni degli stati di mare più rappresentativi tre valori che appartengono ai due settori di traversia sopra citati e possono risultare più pericolose per la penetrazione del moto ondoso nel bacino portuale e come periodi di due valori che rappresentano condizioni sia frequenti ( $T = 7$  s) che più gravose ( $T = 9$  s).

Essendo il modello lineare, l'altezza d'onda è stata assunta unitaria ed i risultati, espressi come coefficienti moltiplicatori dell'altezza, sono stati poi associati agli effettivi valori dell'altezza significativa che si presentano con gli assegnati tempi di ritorno.

Pertanto, le condizioni di moto ondoso incidente prese in esame definite nell'ambito dello studio di propagazione del moto ondoso sono le seguenti:

Periodo (s) : 7,0; 9,0

Direzione ( $^\circ\text{N}$ ) : 40; 90; 110

Le condizioni di moto ondoso considerate nell'analisi dei risultati rappresentano sia le condizioni di operatività ordinaria e perciò raggiungibili frequentemente nel corso dell'anno ( $T=7$ s), che condizioni più rare e difficili associate ad un tempo di ritorno cinquantennale ( $T = 9$  s). Questa scelta è stata effettuata (operando a favore della sicurezza) per verificare la risposta della configurazione portuale ad onde contraddistinte da una maggiore capacità di penetrazione rispetto a quelle medie annuali.

E' opportuno mettere in evidenza che nelle configurazioni esaminate gli effettivi valori dell'altezza d'onda nelle immediate vicinanze dell'imboccatura possono subire riduzioni abbastanza sensibili per effetto dei fenomeni di frangimento (parziale) e di attrito sul fondo, di cui il modello non tiene conto. Infatti, come è noto il valore dell'altezza d'onda è limitato dalla profondità. Considerando nell'area antistante l'imboccatura portuale una profondità media di 8,0 m (tenendo conto in via cautelativa di un sovrizzo di + 0.5 m concomitante con l'evento di moto) la massima altezza d'onda significativa che può propagarsi all'interno del bacino di ingresso può essere assunta in prima approssimazione pari a 5.5 m.

#### ***4. Definizione della configurazione geometrica e dei coefficienti di riflessione***

Le prove su modello matematico sono state condotte sui due schemi planimetrici rappresentanti le configurazioni di progetto proposte, indicate come Soluzione 1 e Soluzione 2

riportate nelle figg. 1 e 2. La configurazione proposta nella soluzione 1 prevede un primo tratto di prolungamento rettilineo del molo foraneo di protezione e prosegue secondo un percorso curvilineo fino alla testata per uno sviluppo complessivo di circa 170 m a partire dal dente che delimita l'imboccatura portuale, mentre nella geometria proposta nella Soluzione 2 è stato eliminato il tratto di prolungamento rettilineo e assunta una maggiore curvatura del tratto di scogliera fino alla testata con lo scopo di proteggere più efficacemente il bacino portuale.

Oltre alle citate configurazioni si è deciso di verificare il grado di agitazione residua prendendo in esame una variante della Soluzione 1, che differisce da quest'ultima per l'adozione di caratteristiche antiriflettenti per la banchina retrostante il molo di sopraflutto (vedi figura 3 – Soluzione 1 bis). Tale decisione scaturisce dal fatto che la Soluzione 1 è più sensibile della Soluzione 2 alle onde incidenti più ruotate rispetto all'ortogonale all'imboccatura portuale (ovvero per le direzioni di levante-scirocco), ma presenta una conformazione del prolungamento del molo di sopraflutto più agevole per l'ingresso/uscita delle imbarcazioni dal porto. Pertanto è sembrato opportuno ricercare una tipologia di opere che consentisse di mantenere livelli di oscillazione all'interno del bacino portuale confrontabili con quelli della Soluzione 2.

I coefficienti di riflessione R delle opere perimetrali sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse, variabili a seconda della tipologia adottata, come riportato nel seguito ed indicato nelle suddette figure:

- opere a parete verticale riflettenti  $R = 0,90$ ;
- opere a parete verticale antiriflettenti  $R = 0,65$ ;
- pareti rocciose naturali  $R = 0,40$ ;
- opere a scogliera  $R = 0,35$ ;
- spiaggia assorbente  $R = 0,10$ ;
- pontili su pali  $R = 0,00$ .

Si vuole sottolineare che tali coefficienti di riflessione sono stati mantenuti costanti approssimandoli prudenzialmente in eccesso. Essi sono desunti dalla letteratura in base ad esperienze su modelli fisici e variano nella realtà in funzione del periodo d'onda incidente. Inoltre per le pareti inclinate il coefficiente R si riduce al diminuire della pendenza. Per le scogliere scabre e porose si può far riferimento ad una formula di Allsop e Channel in funzione del parametro di surf relativo al periodo di picco  $\xi_p$

$$R = 0.125 \xi_p^{0.73}$$

dove 
$$\xi_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{gT_{pm}^2}}}$$

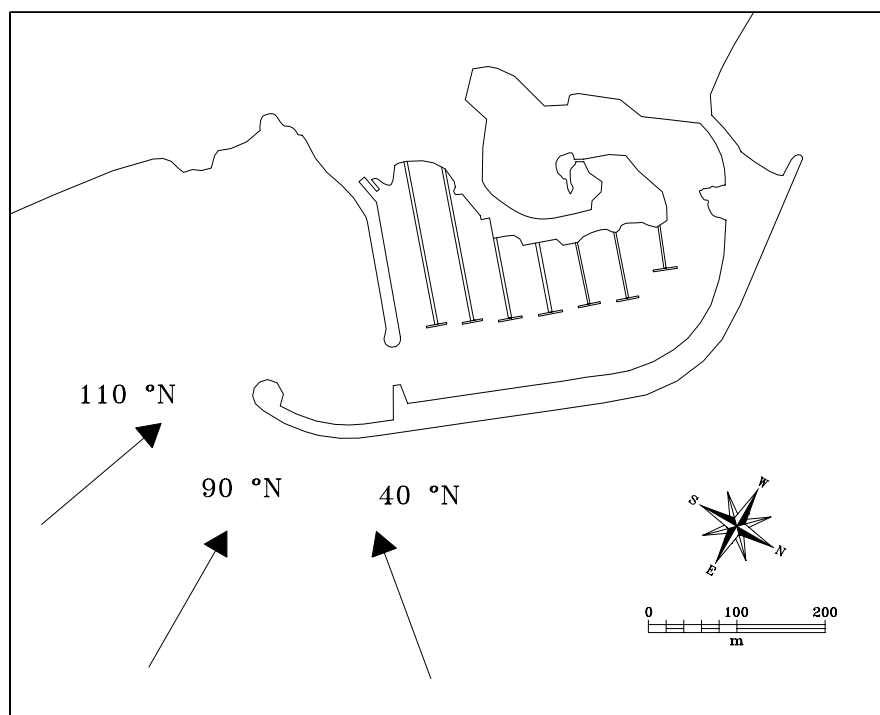
Assumendo che la ripidità di picco dell'onda (al denominatore) varia tipicamente tra 0.02 e 0.05 e che le scarpate hanno pendenze tra 2:3 e 1:3, il coefficiente risulta variabile tra 0.10 e 0.35.

### 5. Penetrazione del moto ondoso. Test effettuati

Per lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno degli specchi portuali sono state considerate le configurazioni di progetto denominate Soluzione 1, Soluzione 2 e quella migliorativa di variante chiamata Soluzione 1 bis. Le simulazioni sono state condotte assumendo una profondità media (costante) pari a - 5,0.

Per quanto riguarda le direzioni di provenienza delle onde in corrispondenza dell'imboccatura portuale da utilizzare nelle simulazioni, si è preventivamente individuato il settore di attacco degli stati di mare più gravosi. Tale settore (vedi relazione meteo-marina) è risultato compreso tra le direzioni 40 °N e 110 °N.

Considerando l'esposizione a scirocco dell'imboccatura portuale, la direzione di attacco ondoso ha un prevedibile effetto di contenimento ottimale rispetto alla penetrazione degli stati di mare più gravosi provenienti da nord-est (grecale-levante).



Fissate le direzioni (vedi paragrafo 3), per lo studio di penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nelle tre situazioni planimetriche considerate, sono state scelte le caratteristiche del moto ondoso di attacco (altezza significativa e periodo di picco) assumendo i seguenti stati di mare:

T = 7,0 s      Dir = 40°N    (condizione annuale)

T = 9,0 s      Dir = 40°N    (condizione estrema)

T = 7,0 s      Dir = 90°N    (condizione annuale)

T = 9,0 s      Dir = 90°N    (condizione estrema)

T = 7,0 s      Dir = 110°N   (condizione annuale)

T = 9,0 s      Dir = 110°N   (condizione estrema)

## 6. Risultati delle simulazioni numeriche

Per le tre configurazioni geometriche considerate sono state eseguite diciotto simulazioni. I risultati delle elaborazioni, allegati in forma grafica, indicano la distribuzione planimetrica dei coefficienti di agitazione (moltiplicatori dell'altezza d'onda incidente) con una scala di intensità avente una risoluzione di 0,1. Per chiarezza sono evidenziate solo le curve di iso-altezza d'onda di 0.1; 0.3; 0.5.

Essendo il modello lineare, i risultati sono stati rappresentati utilizzando il coefficiente di diffrazione (altezza d'onda relativa) che esprime il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata nel punto e l'altezza d'onda incidente. Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente moltiplicare il coefficiente di diffrazione per l'altezza dell'onda incidente all'imboccatura.

I valori di output sono stati elaborati per tutte le simulazioni effettuate con il programma di interpolazione "SURFER" che restituisce i dati come curve di uguale intensità dell'agitazione ondosa e/o scale cromatiche differenziate.

Di seguito si è elencata la corrispondenza fra i test effettuati e il nominativo dato ai corrispondenti grafici :

- Configurazione di progetto (SOLUZIONE 1):

Test 1	→	File SF1_D40_T7.SRF
Test 2	→	File SF1_D40_T9.SRF
Test 3	→	File SF1_D90_T7.SRF
Test 4	→	File SF1_D90_T9.SRF
Test 5	→	File SF1_D110_T7.SRF
Test 6	→	File SF1_D110_T9.SRF

## \* Configurazione di progetto (SOLUZIONE 2):

Test 7	→	File SF2_D40_T7.SRF
Test 8	→	File SF2_D40_T9.SRF
Test 9	→	File SF2_D90_T7.SRF
Test 10	→	File SF2_D90_T9.SRF
Test 11	→	File SF2_D110_T7.SRF
Test 12	→	File SF2_D110_T9.SRF

## \* Configurazione di variante (SOLUZIONE 1 BIS):

Test 13	→	File SF1b_D40_T7.SRF
Test 14	→	File SF1b_D40_T9.SRF
Test 15	→	File SF1b_D90_T7.SRF
Test 16	→	File SF1b_D90_T9.SRF
Test 17	→	File SF1b_D110_T7.SRF
Test 18	→	File SF1b_D110_T9.SRF

## 7. *Analisi dei risultati*

L'attenuazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale avviene prevalentemente per gli effetti di diffrazione causata dalle opere a gettata poste a difesa della imboccatura portuale.

La direzione di attacco ondoso ha un prevedibile effetto sulla penetrazione del moto ondoso, nel senso che le onde con direzione di provenienza più ruotata verso nord-est (grecale-levante) producono livelli di agitazione minori in tutta l'area ridossata e viceversa le onde di levante-scirocco, che comunque hanno una frequenza di accadimento bassa, danno origine ad una maggiore perturbazione soprattutto nell'area antistante l'imboccatura portuale ed in quella corrispondente allo specchio acqueo situata davanti il molo di sottoflutto.

L'analisi delle figure 4÷21 mostra <sup>(1)</sup> che le onde caratterizzate dal periodo ( $T = 9$  s) presentano una penetrazione del moto ondoso all'interno dello specchio d'acqua portuale sostanzialmente confrontabili per le due soluzioni progettuali esaminate, con valori leggermente più

---

<sup>1</sup> Nelle rappresentazioni grafiche i risultati delle simulazioni sono riferiti ad un'altezza d'onda unitaria in modo tale da poter interpretare i risultati numerici come coefficienti di "attenuazione/amplificazione" dell'altezza d'onda ipotizzata al contorno (generatore) del modello.

elevati nel caso della Soluzione 1, soprattutto nel caso di onde incidenti provenienti da levante-scirocco. In particolare:

- per la soluzione 1, considerando sia gli stati di mare provenienti da grecale che quelli da levante-scirocco, il coefficiente di diffrazione raggiunge al massimo il 10% del valore dell'altezza d'onda incidente all'interno del bacino portuale nell'area, con oscillazioni residue più evidenti nello specchio di mare in corrispondenza dell'imboccatura per stati di mare appartenenti alle direzioni 110 °N (vedi fig. 8÷9);
- per la soluzione 2, si osservano dei livelli di agitazione residua leggermente inferiori a quelli della configurazione precedente. Tale fatto è dovuto alla conformazione curvilinea più chiusa della diga foranea in prossimità della testata, che però ha come svantaggio quello di una maggiore difficoltà da parte dei natanti per l'ingresso/uscita dal porto, soprattutto in condizioni di moto ondoso più gravose. Comunque anche per questa soluzione il coefficiente di diffrazione, corrispondente agli stati di mare considerati, non supera in tutto lo specchio acqueo portuale il 10% del valore dell'altezza d'onda incidente (fig. 10÷15);
- per la soluzione 1 bis, identica alla soluzione 1 tranne che per l'adozione di caratteristiche antiriflettenti per la banchina retrostante il molo di sopraflutto, le oscillazioni residue all'interno del bacino portuale si attenuano leggermente rispetto alla soluzione 1, avvicinandosi ai risultati ottenuti per la Soluzione 2, limitando al 10% del valore dell'altezza d'onda incidente nell'area retrostante l'imboccatura ed antistante la citata banchina (fig. 20÷21).

## 9. Conclusioni

Le configurazioni progettuali proposte nelle Soluzioni 1 e 2 comportano, con tutti gli stati di mare simulati, condizioni di agitazione residua all'interno dello specchio acqueo portuale accettabili per tutti gli stati di mare considerati.

L'adozione di caratteristiche antiriflettenti per un tratto della banchina del molo di sopraflutto la Soluzione 1, ha dimostrato che le condizioni dell'agitazione migliorano sensibilmente rispetto alla configurazione di partenza in quanto nella maggior parte della nuova area portuale i valori del coefficiente di diffrazione risultano al massimo pari al 10% del valore dell'altezza d'onda incidente. Ciò significa, come affermato nel precedente studio, che essendo la massima altezza d'onda prevedibile all'imboccatura (pari a circa 5,0 m per la presenza di fondali limitati), si osserva che ad un coefficiente di diffrazione di 0,1 corrisponde un'altezza d'onda di 0,50 m, valore

abbastanza elevato per le imbarcazioni ospitate, ma che può considerarsi accettabile per la bassa frequenza di accadimento di tali eventi.

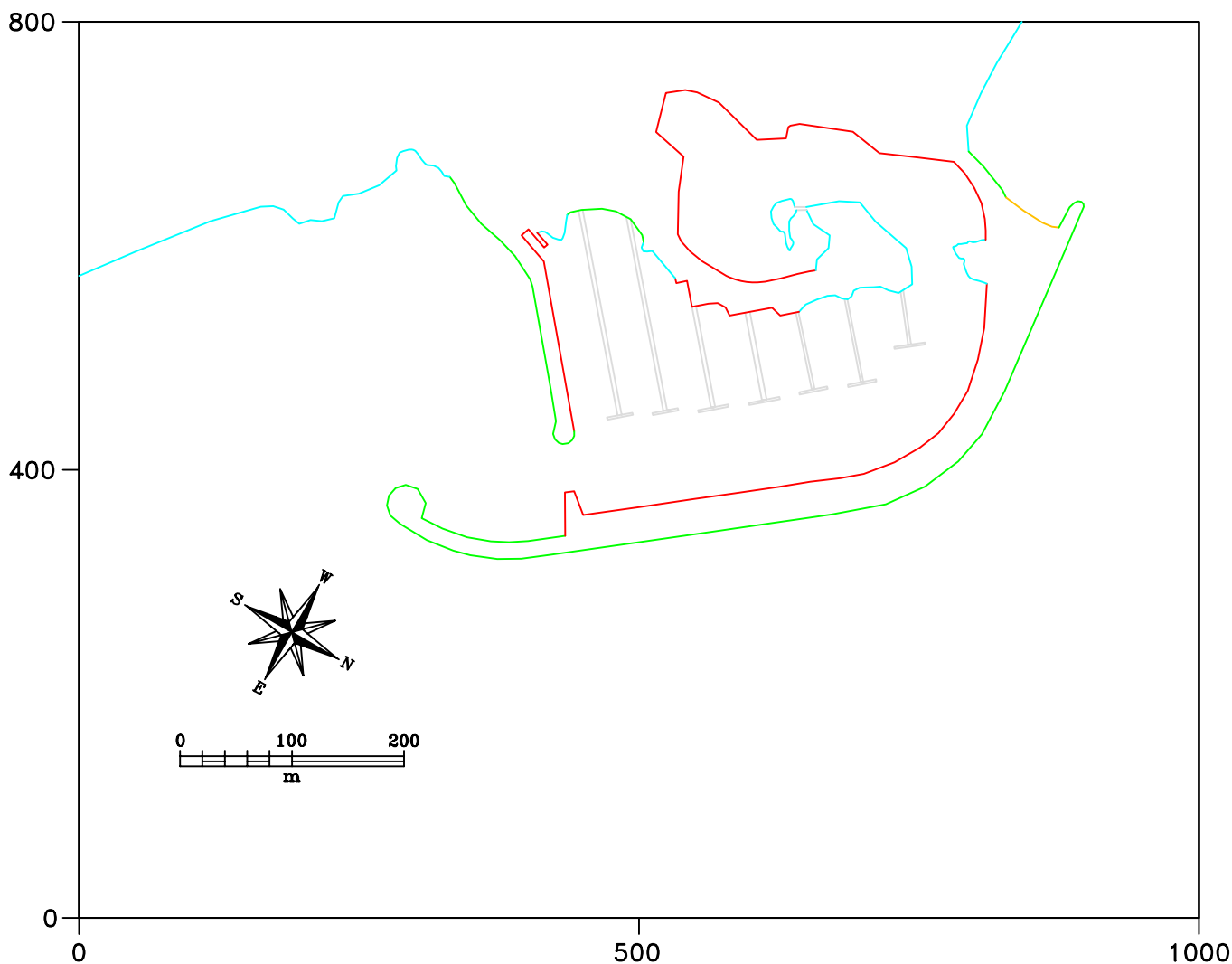
Inoltre la minore curvatura dell'opera di difesa di sopraflutto consente manovre di ingresso/uscita dal porto più agevoli rispetto a quelle che si dovrebbero intraprendere nel caso si adottasse la conformazione del molo proposta nella Soluzione 2, con valori di oscillazioni residue del tutto simili.

Infine gli stati di mare caratterizzati dalla direzione di provenienza 110 °N hanno dimostrato una maggiore capacità di penetrazione all'interno del bacino portuale, come era prevedibile attendersi, a causa della loro maggiore ortogonalità di incidenza rispetto all'imboccatura portuale, ma non destano particolari preoccupazione in quanto si tratta di stati di mare caratterizzati (vedi studio meteo-marino) da eventi poco intensi associati ad una bassa frequenza di accadimento.

Si deduce quindi che, la Soluzione 1 bis, garantisce alle imbarcazioni ormeggiate un buon rifugio con ogni condizione di moto ondoso, anche nelle aree immediatamente retrostanti l'imboccatura portuale ed agevoli manovre da parte delle imbarcazioni da diporto per entrare ed uscire dal porto.









Comune di MELENDUGNO (LE): PORTO DI SAN FOCA – Soluzione 1  
Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con  
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

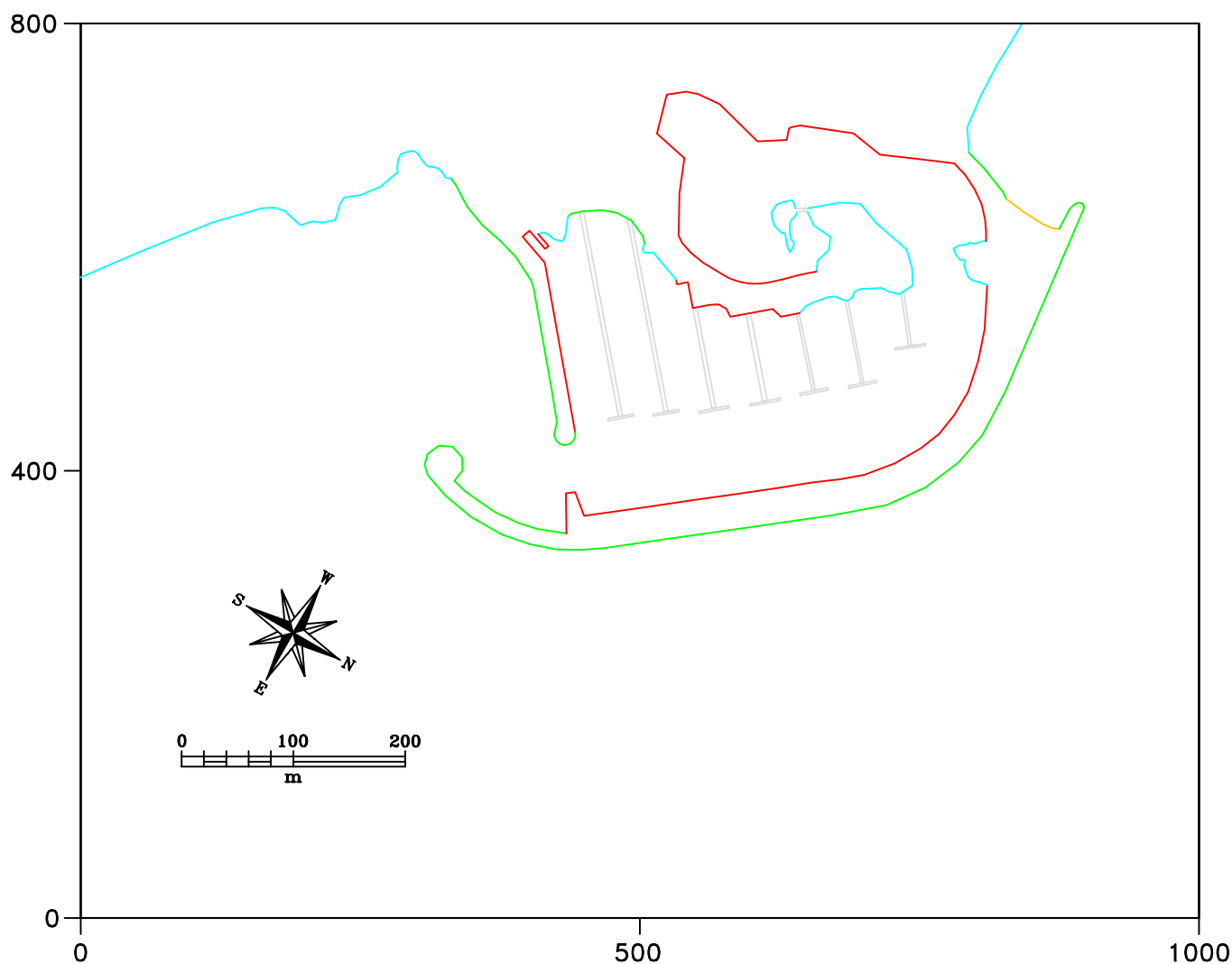
Profondita' del bacino: 5 m

Coefficienti di riflessione	
	R=0.90
	R=0.65
	R=0.40
	R=0.35
	R=0.10
	R=0.00

**MODIMAR**  
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA







Figura 1

Comune di MELENDUGNO (LE): PORTO DI SAN FOCA – Soluzione 2  
Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



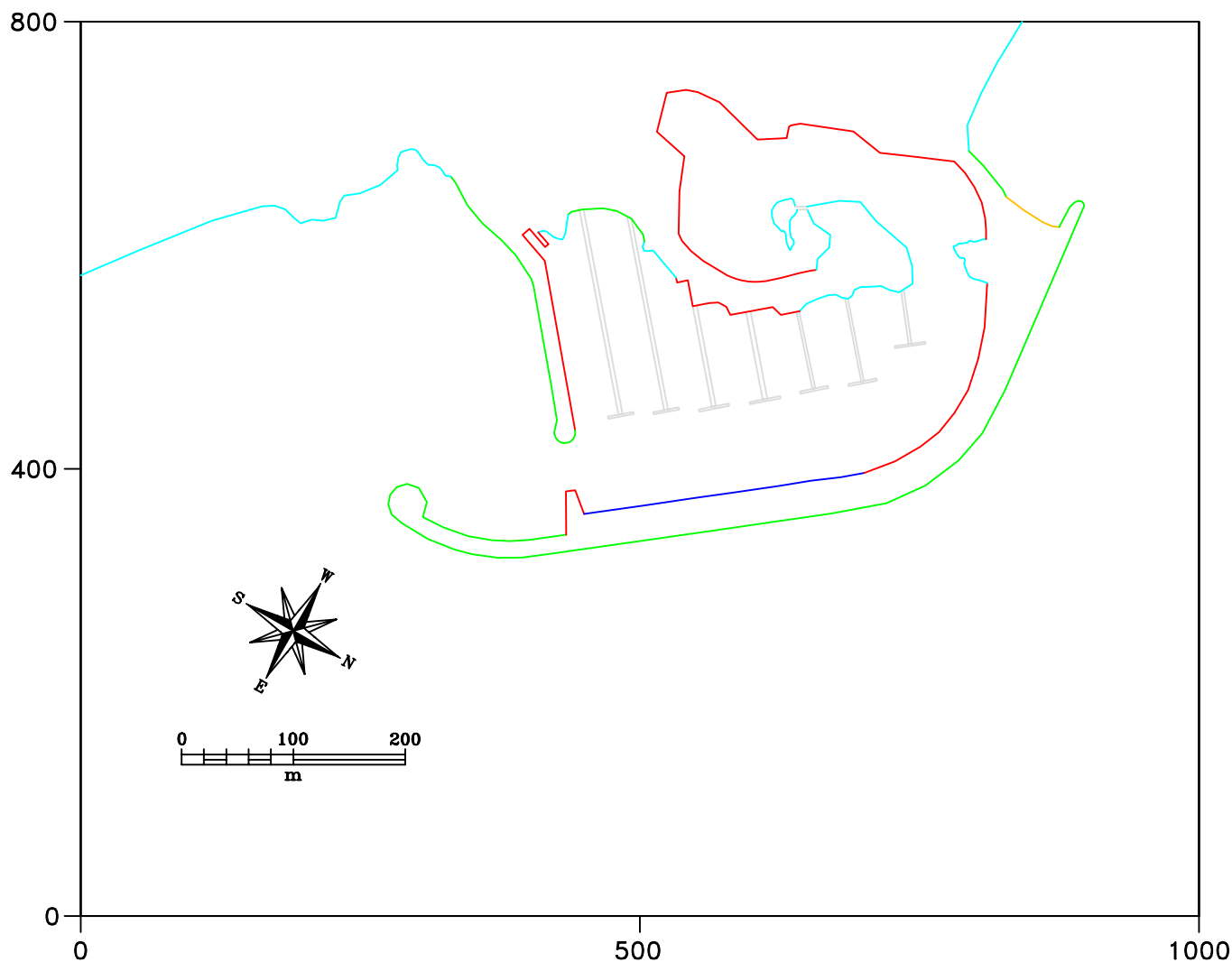
Configurazione portuale simulata con  
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 5 m

Coefficienti di riflessione	
	R=0.90
	R=0.65
	R=0.40
	R=0.35
	R=0.10
	R=0.00







**MODIMAR**  
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 2



Configurazione portuale simulata con  
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 5 m

Coefficienti di riflessione	
	R=0.90
	R=0.65
	R=0.40
	R=0.35
	R=0.10
	R=0.00

**MODIMAR**  
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 3

## **ALLEGATO**

MODELLO MATEMATICO DI AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEI PORTI  
DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA



## MODELLO MATEMATICO DI AGITAZIONE DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA

In modello numerico **VEGA** utilizzato è classificabile come modello irrotazionale lineare bidimensionale per onde armoniche. Il modello è basato sull'equazione di Helmholtz valida sotto le seguenti ipotesi:

- irrotazionalità del moto;
- rapporto  $H/L \ll 1$  dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda;
- assenza di dissipazioni;
- assenza di forze legate alla rotazione terrestre (forze di Coriolis);
- profondità del fondale costante;
- fondo impermeabile;
- variazione verticale del potenziale delle velocità coincidente con la soluzione per onde progressive lineari su fondale costante;
- onde armoniche nel tempo (monocromatiche).

L'equazione ellittica di Helmholtz risulta:

$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0$$

dove:

$k$  = numero d'onda calcolato tramite la relazione di dispersione della teoria lineare ( $\omega^2 = gk \tanh(kd)$ )

$(x,y)$  = potenziale complessivo bidimensionale delle velocità orbitali delle particelle

$\nabla^2$  = operatore di Laplace definito nel piano  $x,y$  coincidente con il livello medio marino

Con le ipotesi poste tale equazione è in grado di simulare correttamente il fenomeno combinato di diffrazione-riflessione di onde armoniche lineari. Per risolvere l'equazione di Helmholtz, di tipo ellittico, è necessario imporre condizioni al contorno note su tutta la frontiera del dominio di integrazione. Nel caso di bacini portuali si impone lungo l'imboccatura portuale (o comunque lungo i contorni di continuità con il semispazio infinito escluso dal dominio di integrazione) che venga soddisfatta una opportuna condizione di radiazione. Contemporaneamente lungo il resto della frontiera vengono imposte condizioni sulla derivata direzionale del potenziale delle velocità (totale o parziale riflessione).

Il modello numerico **VEGA** risolve l'equazione di Helmholtz tramite la tecnica numerica degli elementi di contorno. In breve la tecnica consiste nel ridurre l'equazione ellittica di Helmholtz definita sul campo bidimensionale di calcolo ad un'equazione integrale definita sulla sola frontiera

del campo. La discretizzazione della frontiera permette quindi di ridurre l'equazione integrale ad un sistema di equazioni lineari definite nel campo complesso dove le incognite sono costituite da un sistema di sorgenti distribuite sulla frontiera discretizzata. La risoluzione del sistema di equazioni, che costituisce la parte più onerosa dal punto di vista computazionale del modello numerico, è ottenuta utilizzando il metodo delle eliminazioni successive di Gauss. La dimensione del sistema di equazioni dipende dal numero di sorgenti incognite introdotte sulla frontiera che risulta essere a sua volta funzione della lunghezza d'onda (sono necessarie almeno 5 sorgenti per lunghezza d'onda) e della dimensione dell'elemento (banchina, canale) più corto presente nell'area da simulare (sono necessarie almeno 6 sorgenti per ogni elemento). Risolto il sistema di equazioni è quindi possibile calcolare in ogni punto del campo di potenziale delle velocità orbitali delle particelle idriche in superficie, l'altezza d'onda e la sua fase.

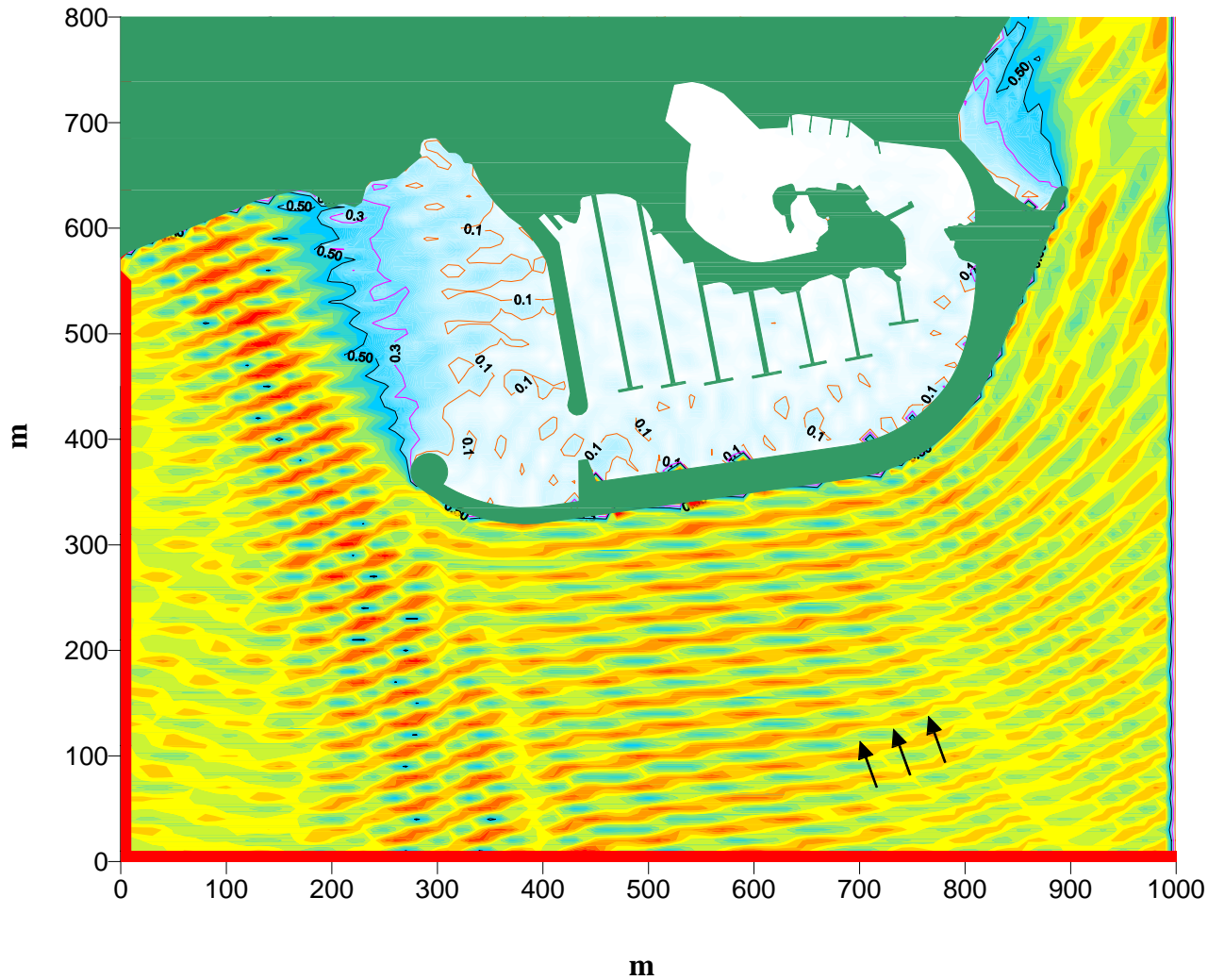
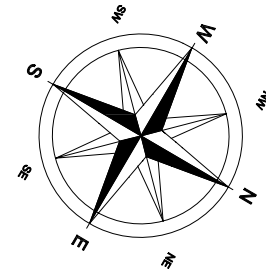
Il modello numerico richiede i seguenti dati in ingresso:

- coordinate dei vertici del contorno dell'area portuale;
- posizione dell'imboccatura/e portuale;
- direzione e periodo del moto ondoso sull'imboccatura portuale;
- profondità del fondale all'interno del porto;
- profondità del fondale all'esterno dell'imboccatura portuale;
- passo di discretizzazione del contorno;
- coefficienti di riflessione delle banchine;
- coordinate dei punti dove devono essere calcolati i risultati.

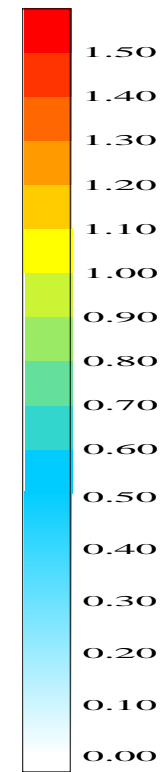
Il modello fornisce come risultati l'altezza d'onda, il potenziale delle velocità e la fase nei punti richiesti. I risultati ottenuti possono essere restituiti sia sotto forma numerica che grafica.

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



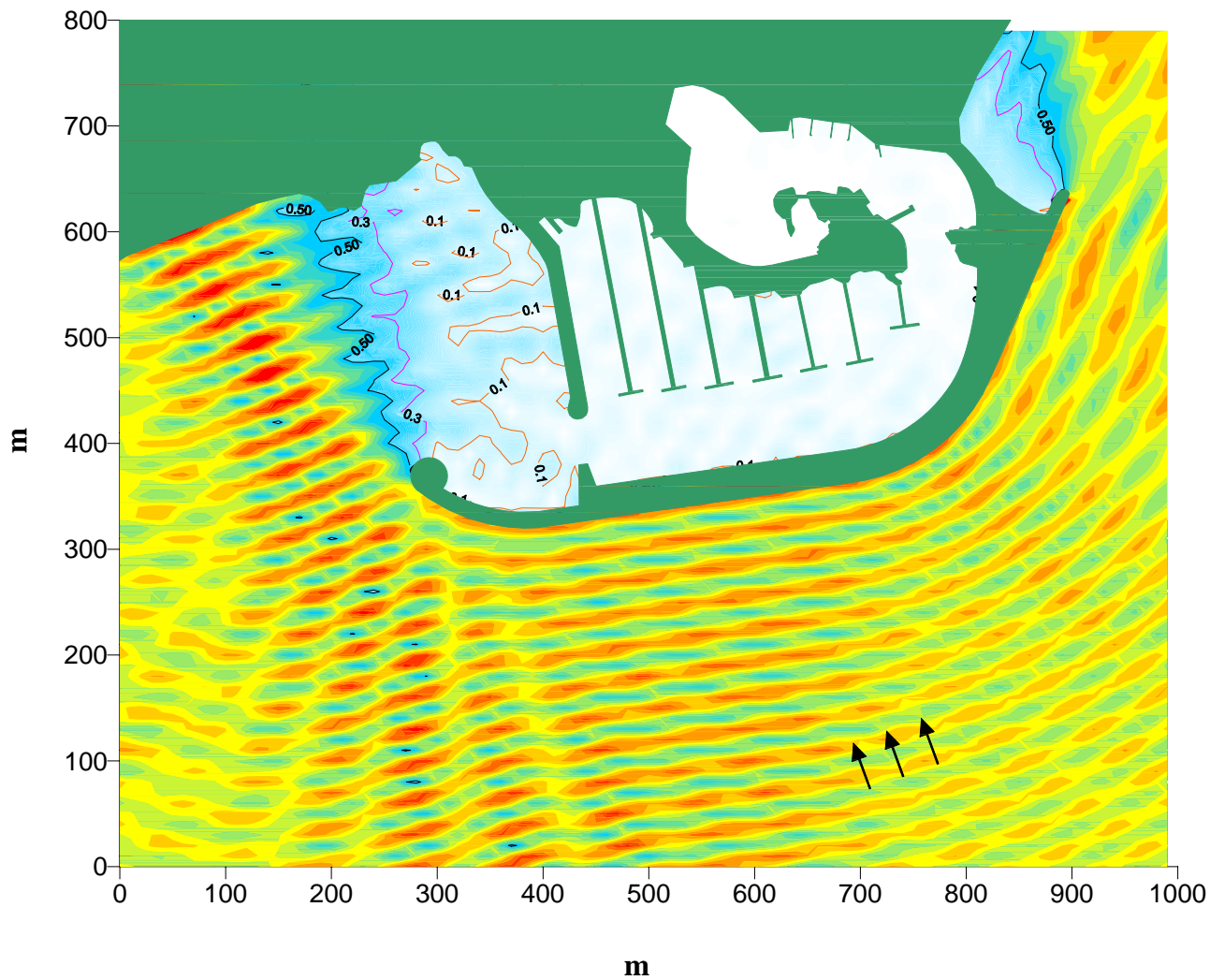
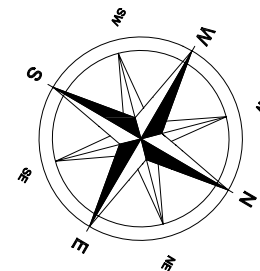
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 4

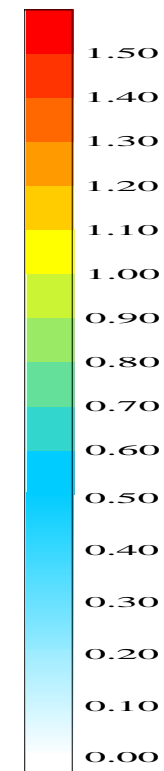
Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione Dir =  $40^\circ$  N  
File = SF1\_D40\_T7.SRF

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

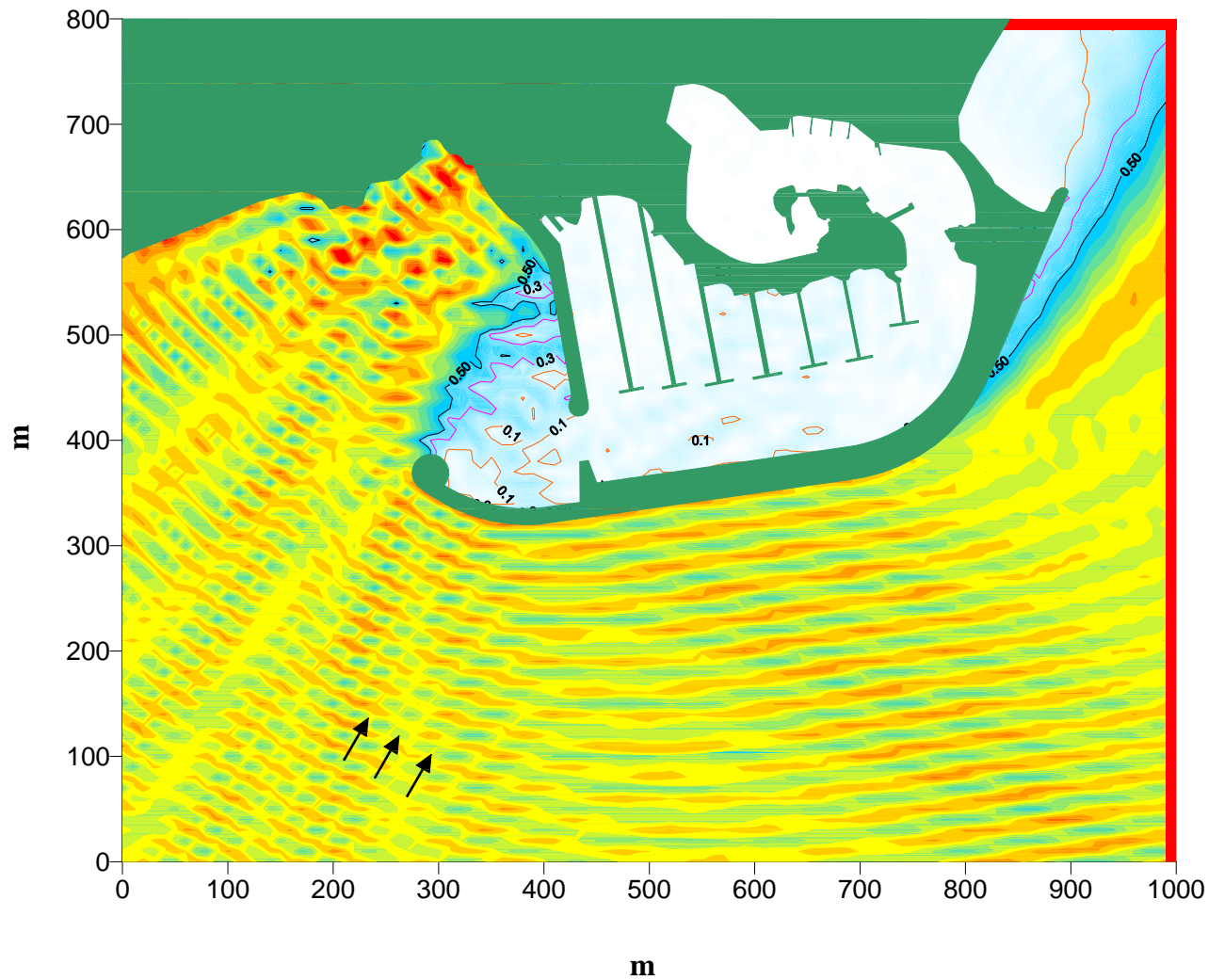
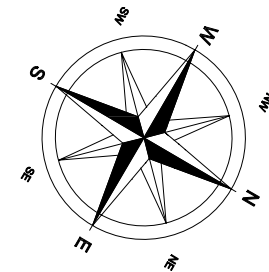
Figura 5

Periodo  $T = 9,0$  s  
Direzione Dir =  $40^\circ$  N  
File = SF1\_D40\_T9.SRF

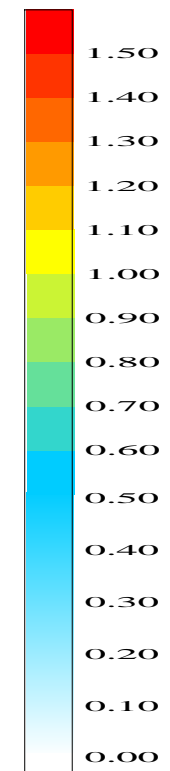


# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



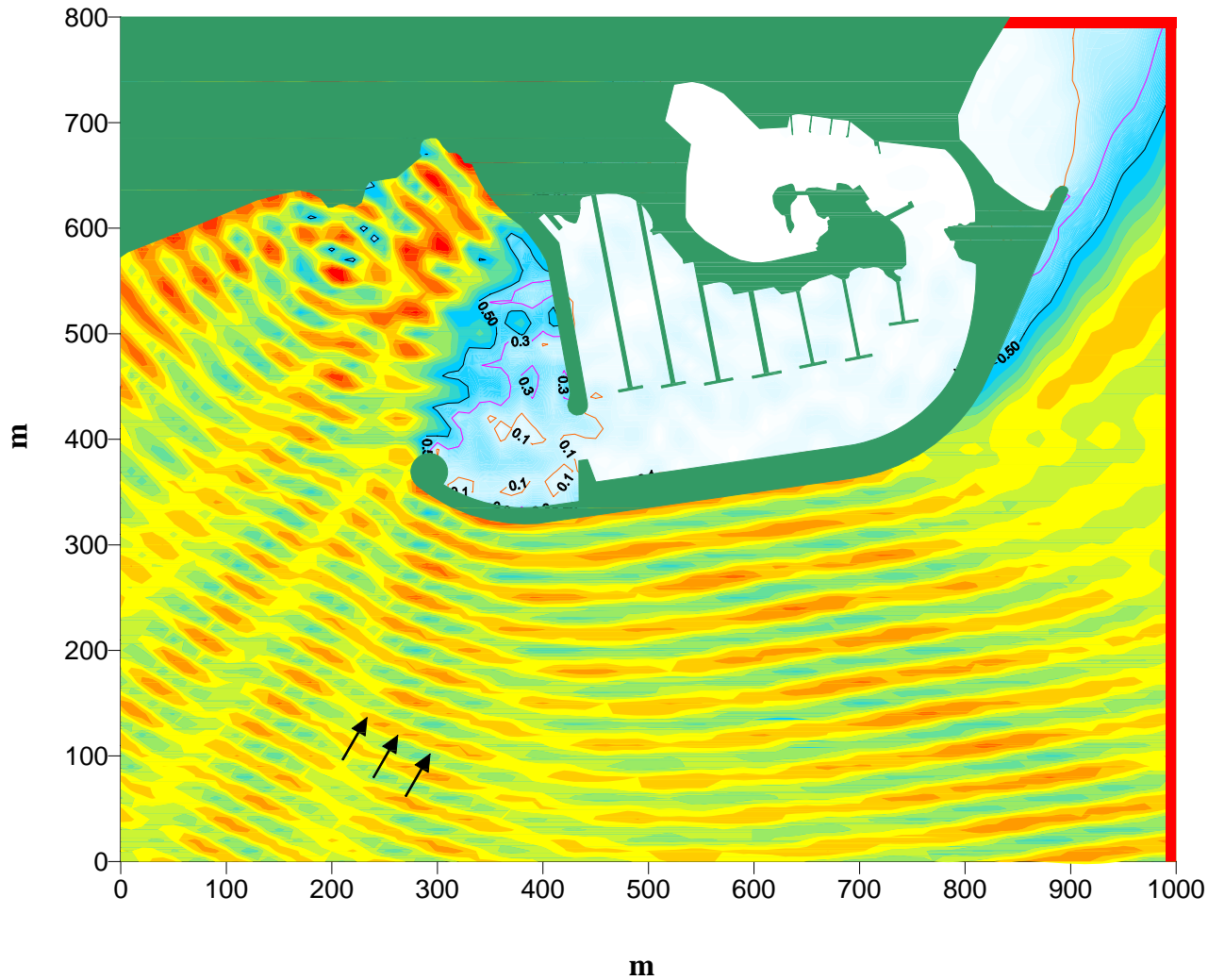
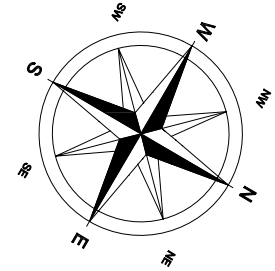
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 6

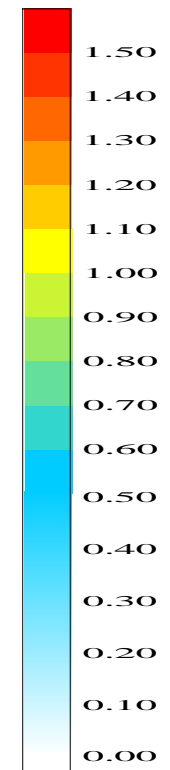
Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione Dir =  $90^\circ$  N  
File = SF1\_D90\_T7.SRF

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione Dir =  $90^\circ$  N

File = SF1\_D90\_T9.SRF

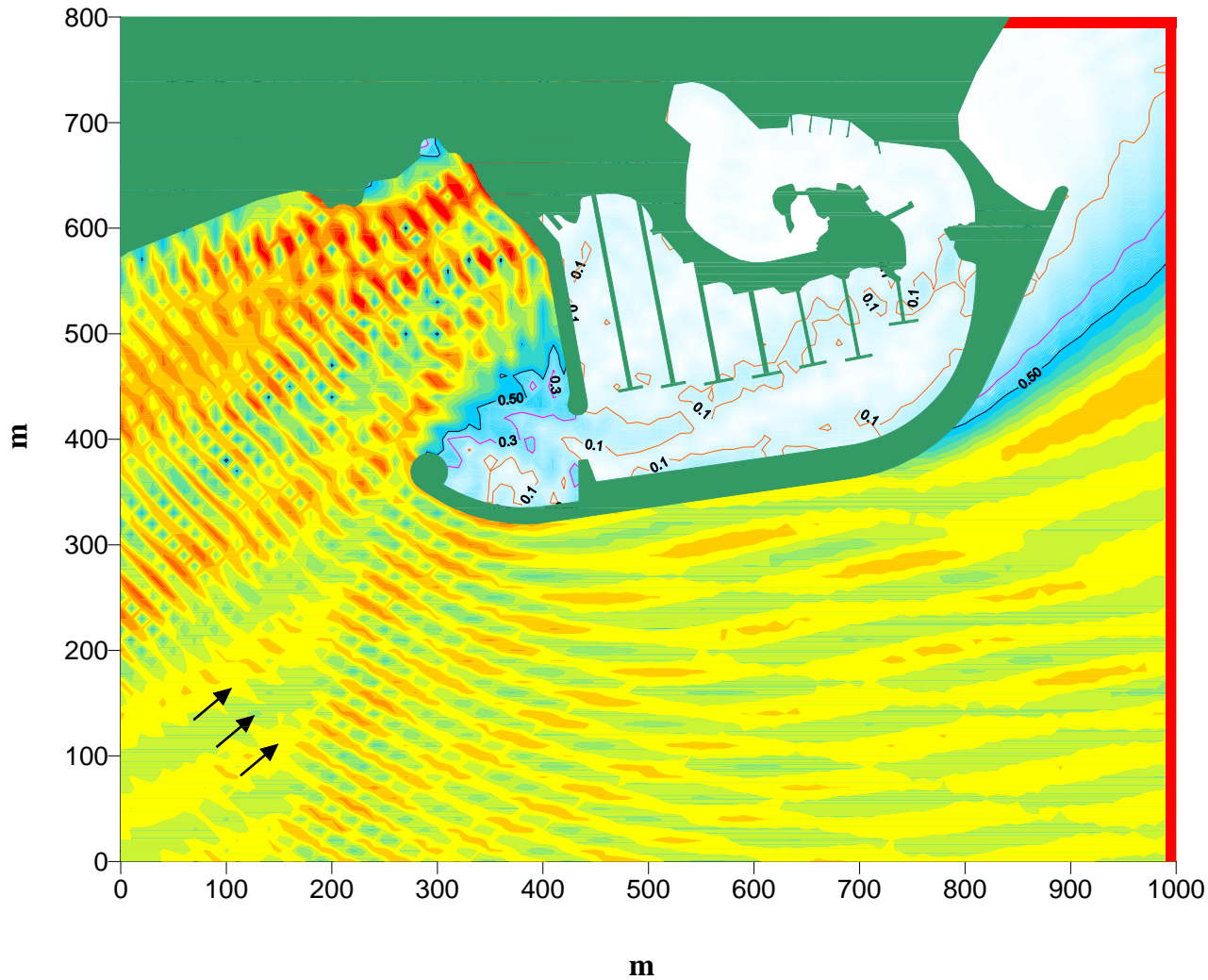
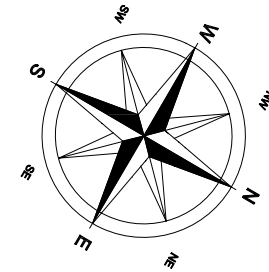


Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

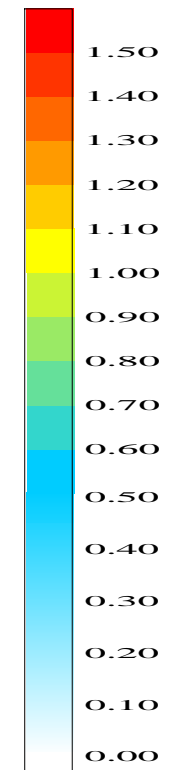
Figura 7

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



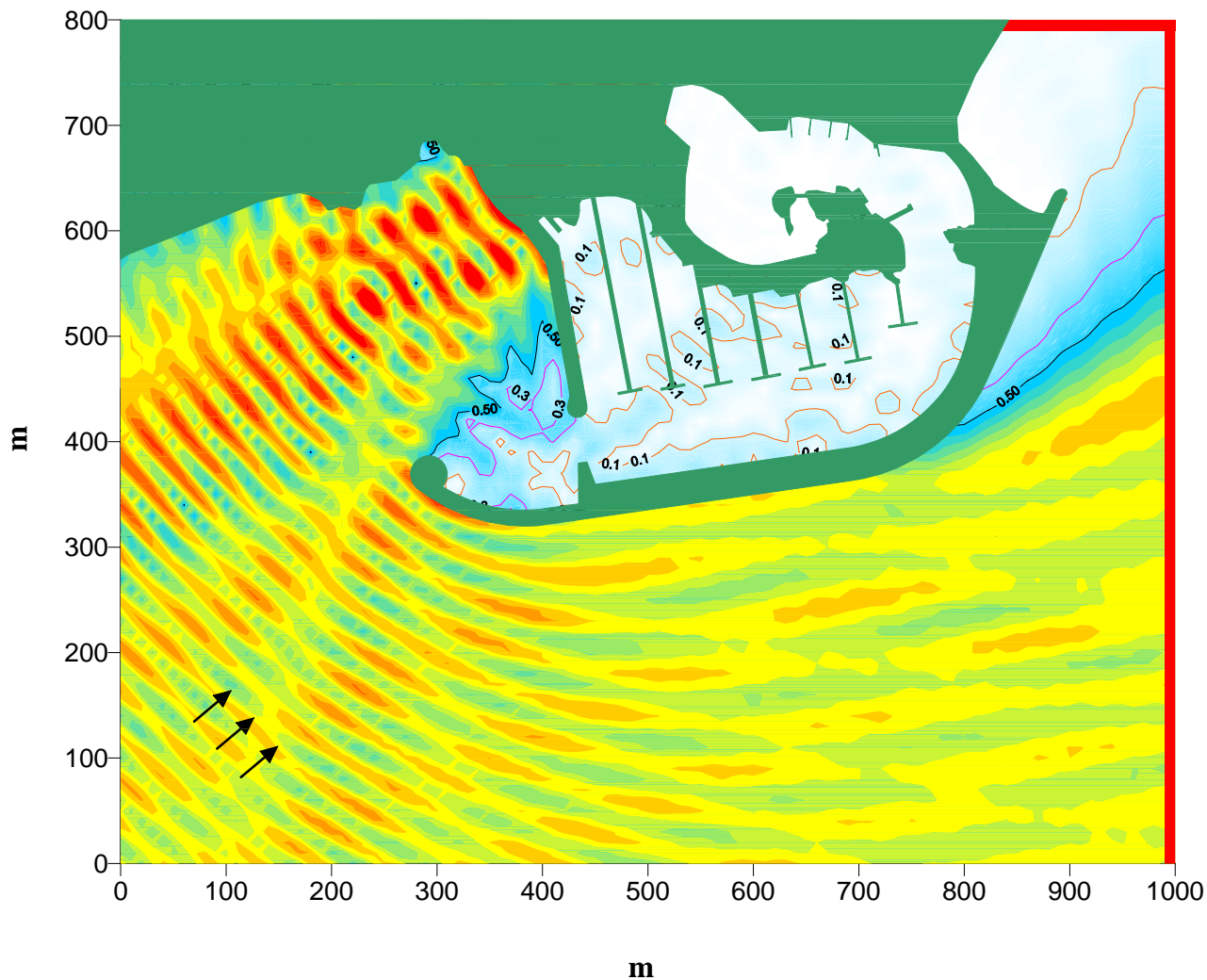
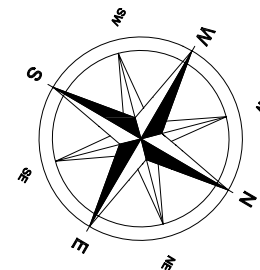
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 8

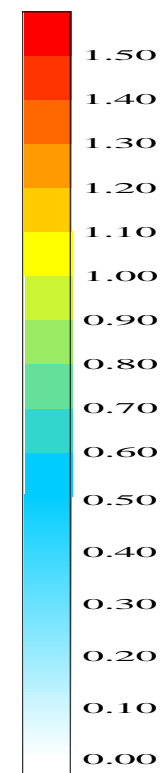
Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione Dir =  $110^\circ$  N  
File = SF1\_D110\_T7.SRF

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione Dir =  $110^\circ$  N

File = SF1\_D110\_T9.SRF



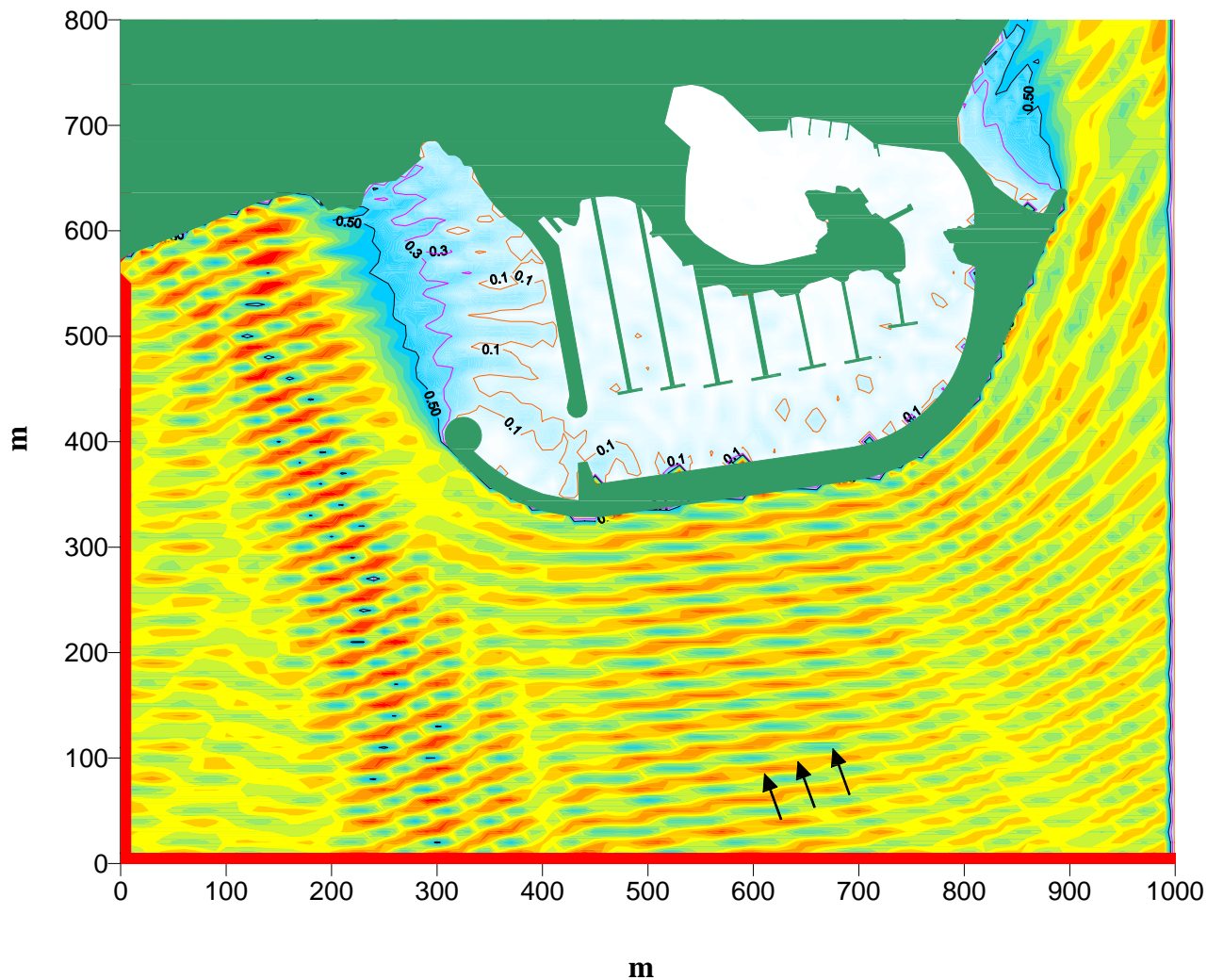
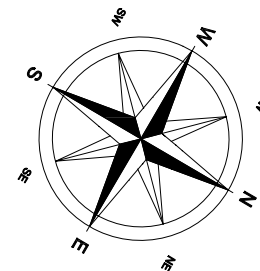
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 9

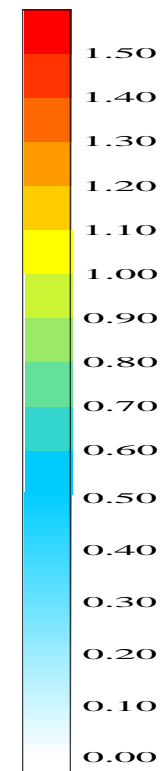


# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 2

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



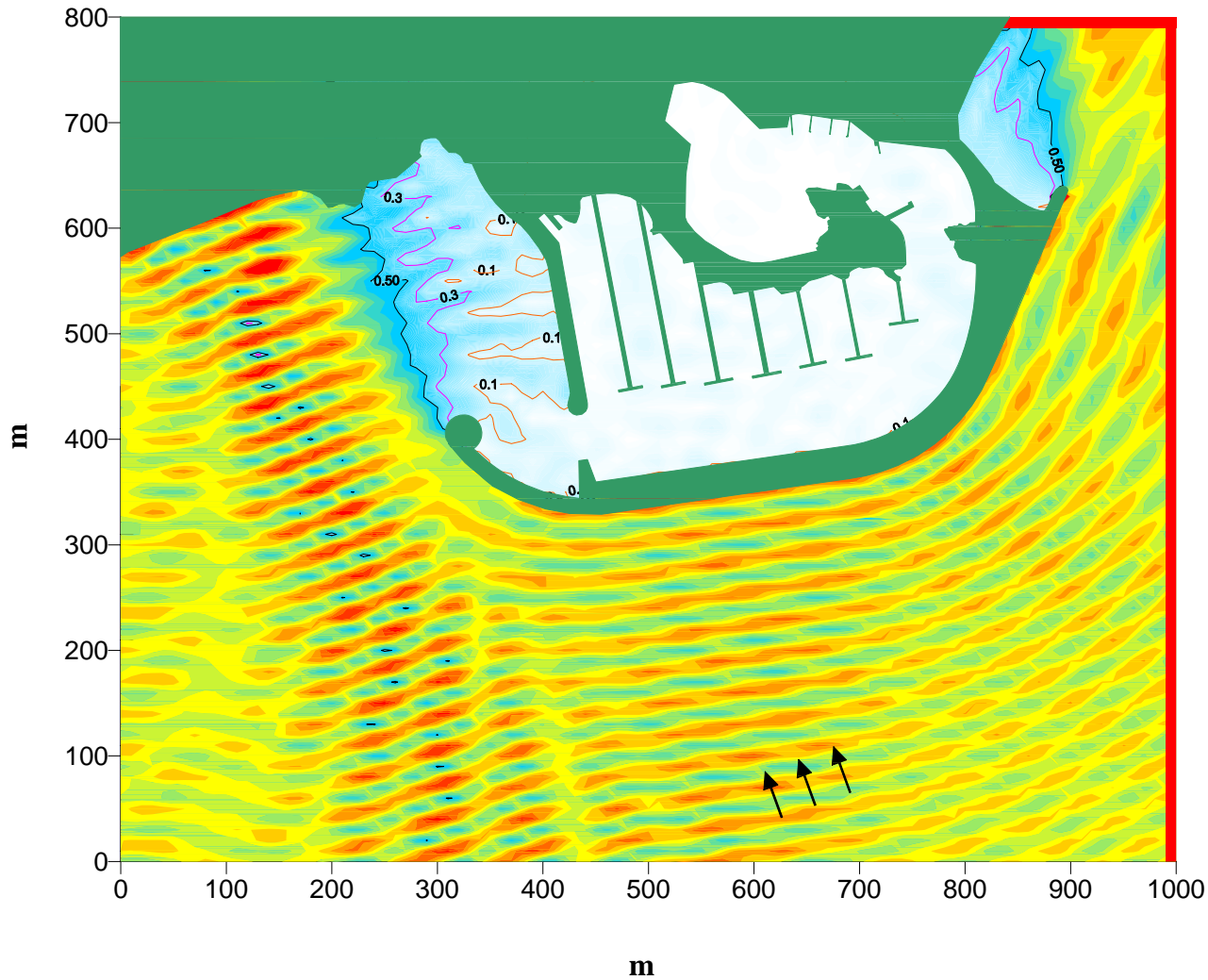
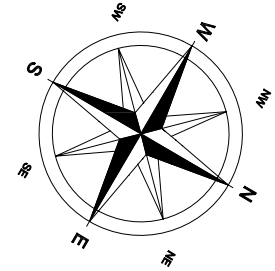
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 10

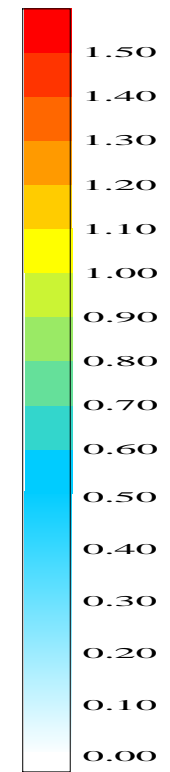
Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione Dir =  $40^\circ$  N  
File = SF2\_D40\_T7.SRF

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 2

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



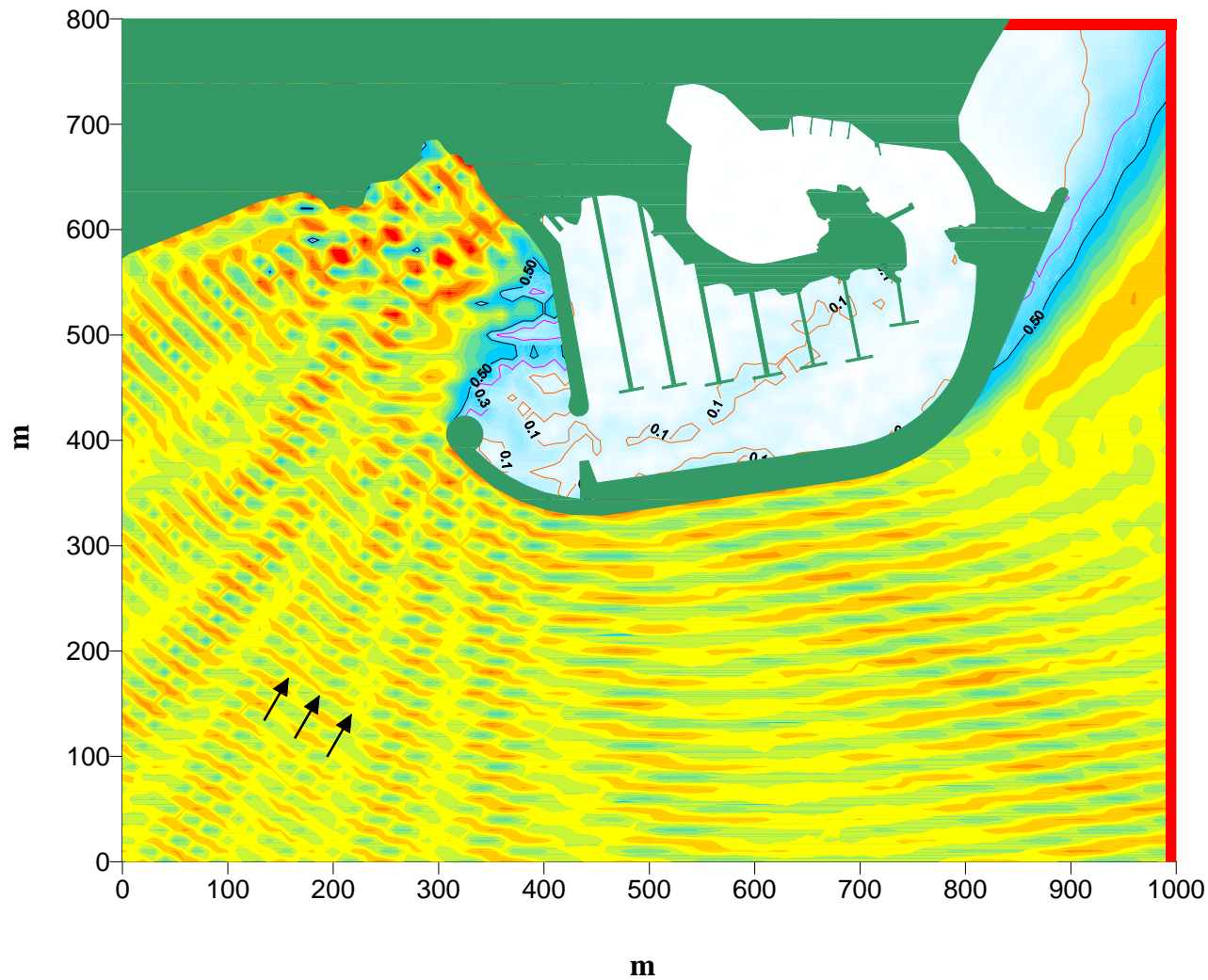
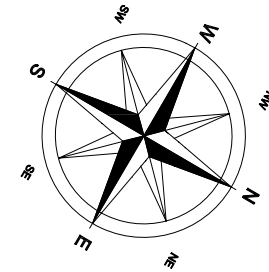
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 11

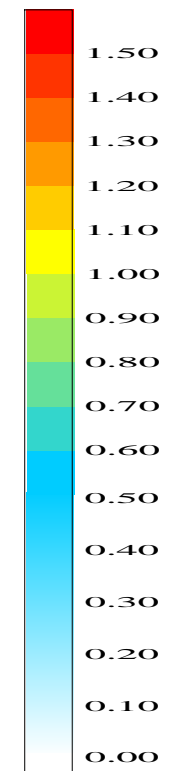
Periodo  $T = 9,0$  s  
Direzione Dir =  $40^\circ$  N  
File = SF2\_D40\_T9.SRF

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 2

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



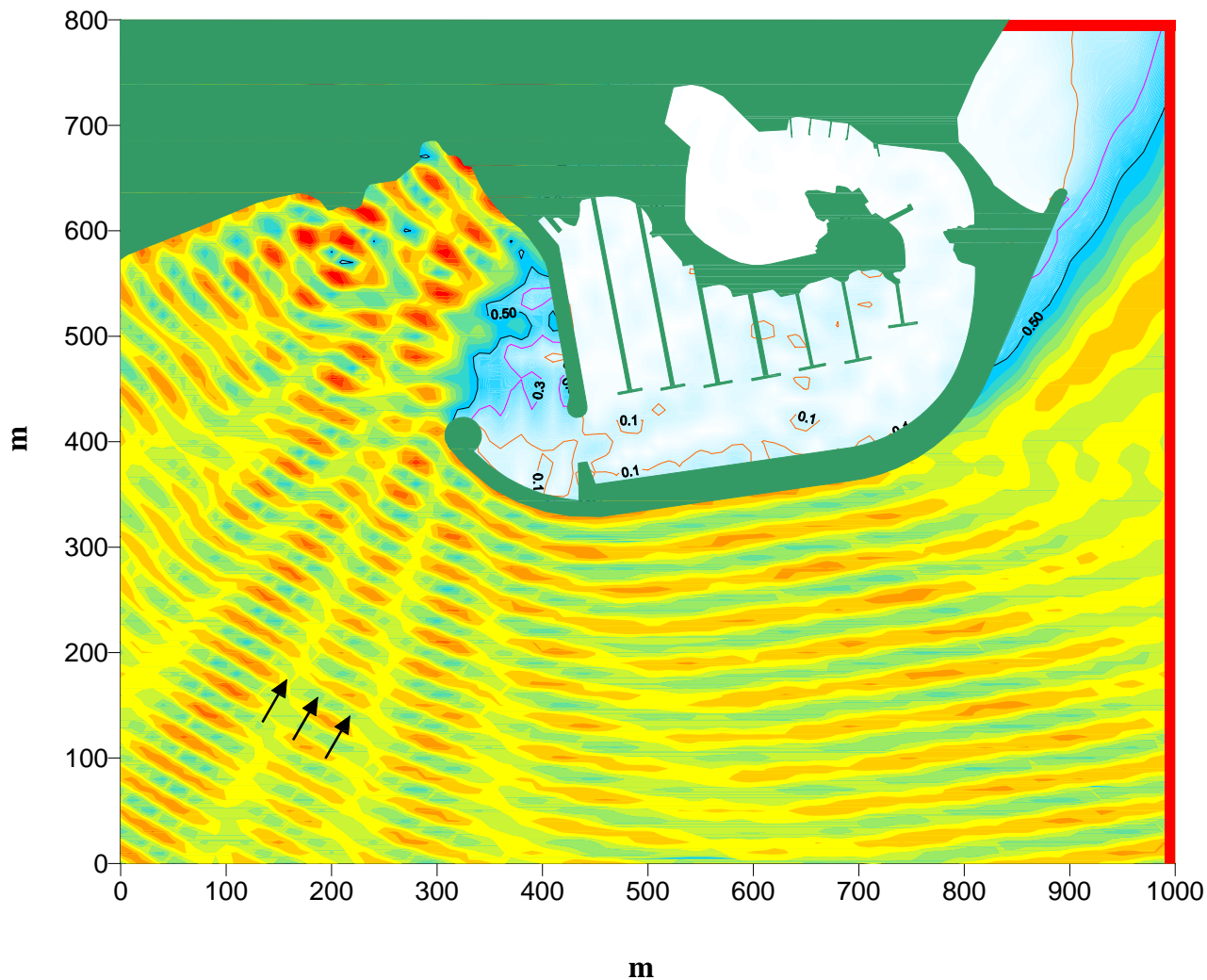
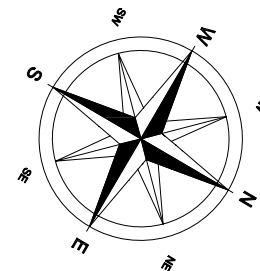
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 12

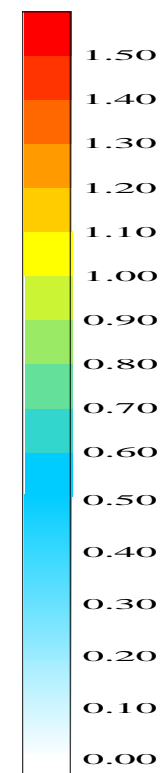
Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione  $Dir = 90^\circ N$   
File = SF2\_D90\_T7.SRF

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 2

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

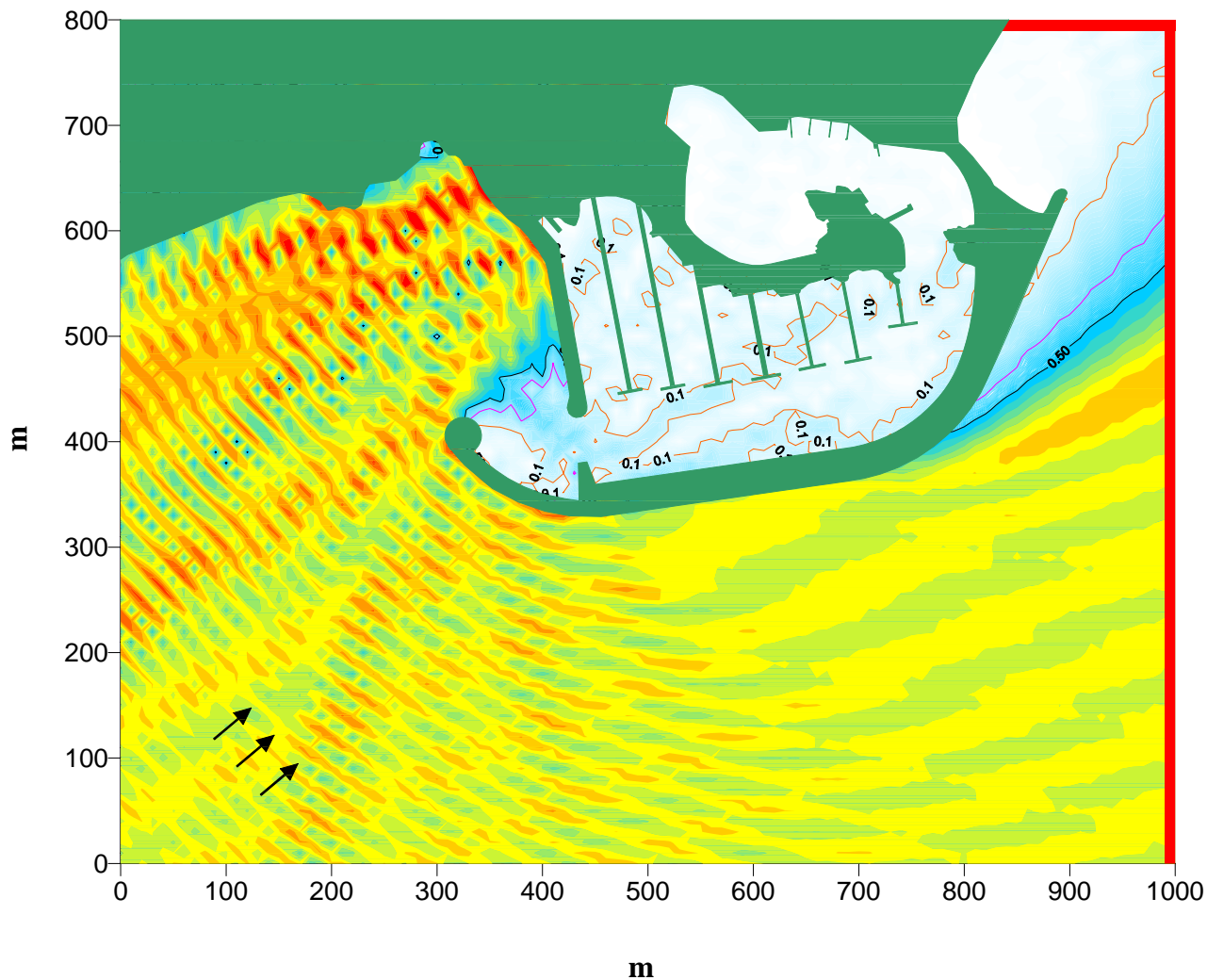
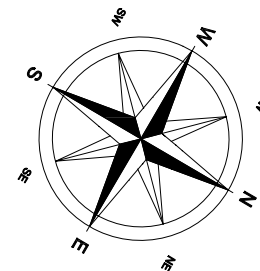
Figura 13

Periodo  $T = 9,0$  s  
Direzione Dir =  $90^\circ$  N  
File = SF2\_D90\_T9.SRF

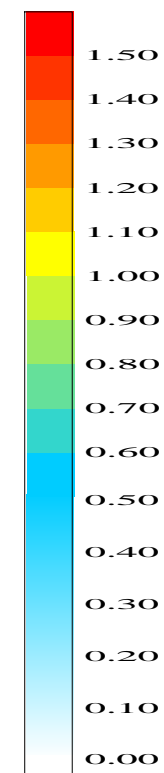


# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 2

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Periodo  $T = 7,0$  s

Direzione Dir =  $110^\circ$  N

File = SF2\_D110\_T7.SRF

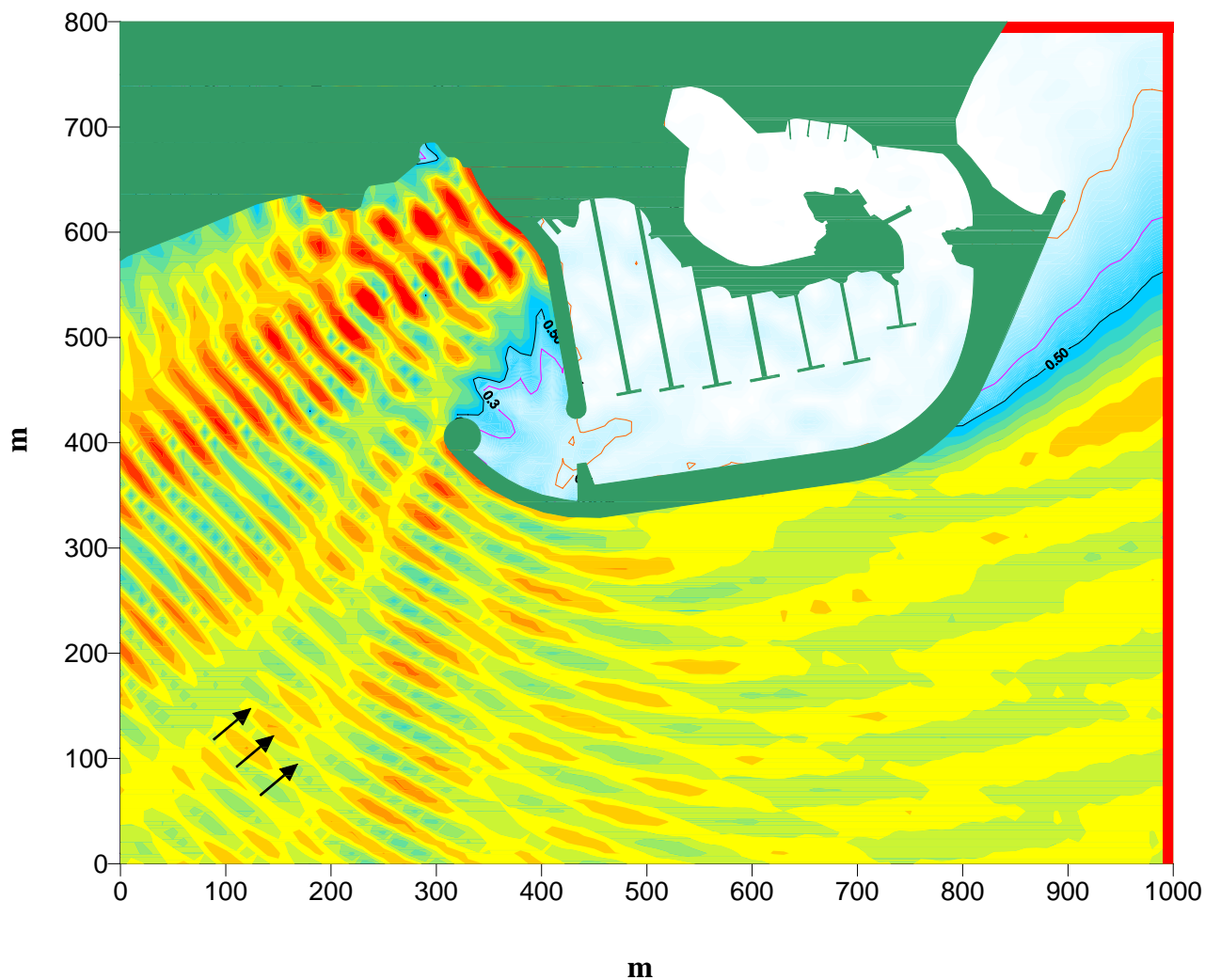
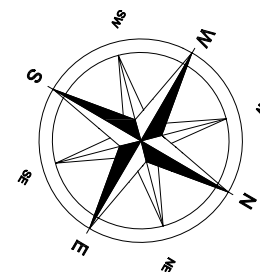


Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

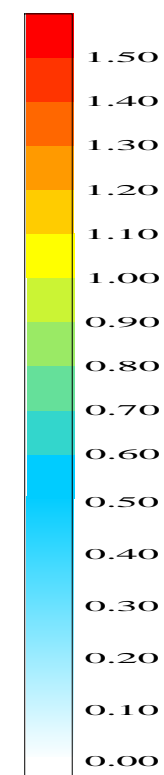
Figura 14

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 2

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



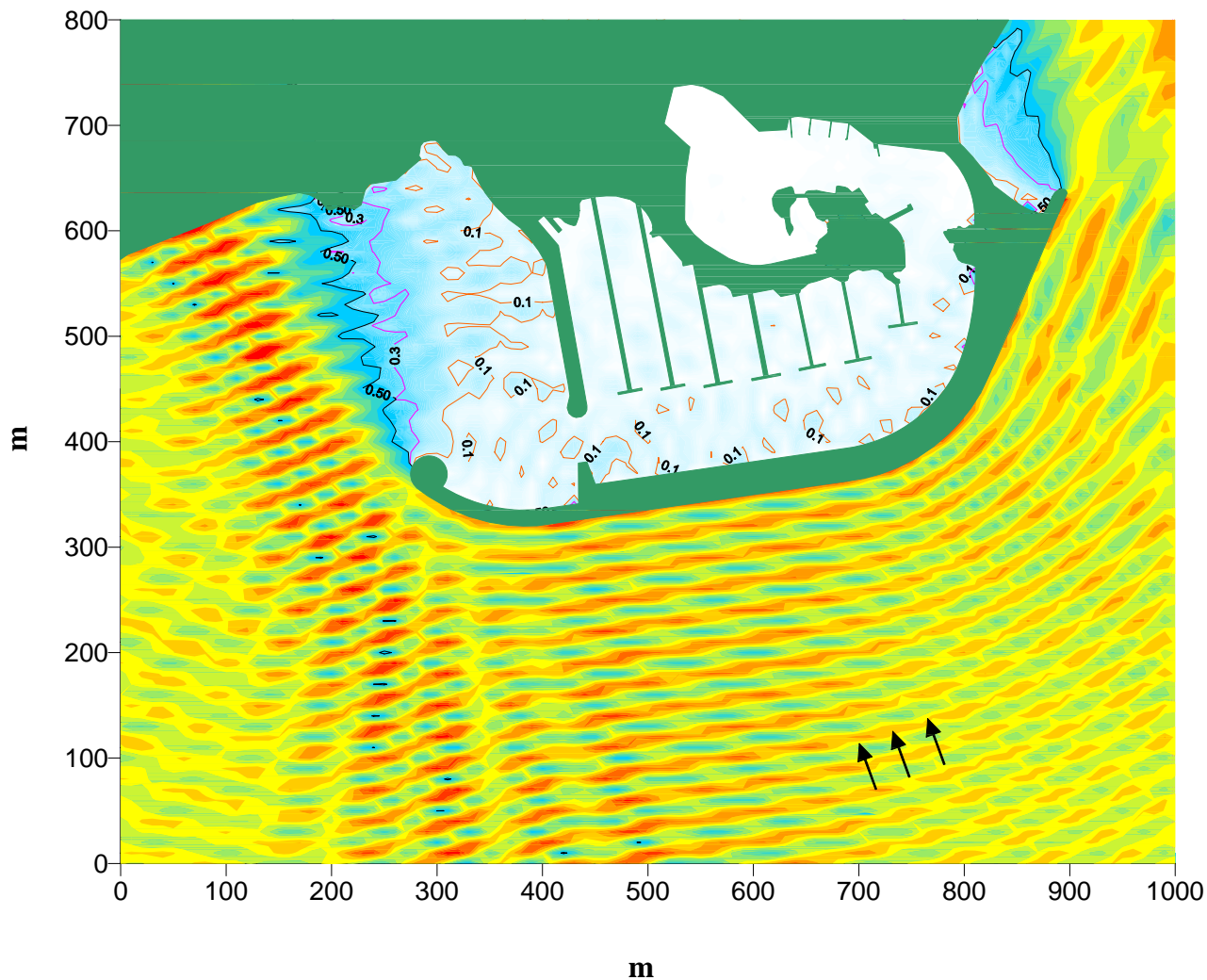
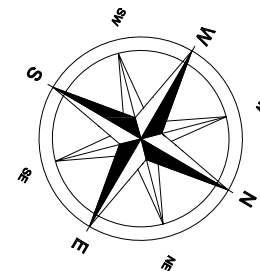
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 15

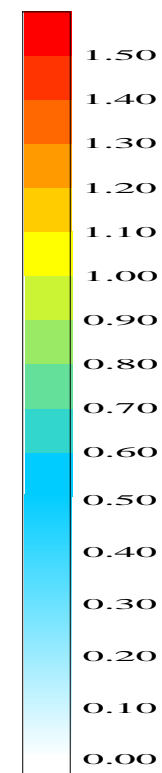
Periodo  $T = 9,0$  s  
Direzione Dir =  $110^\circ$  N  
File = SF2\_D110\_T9.SRF

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1 bis

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



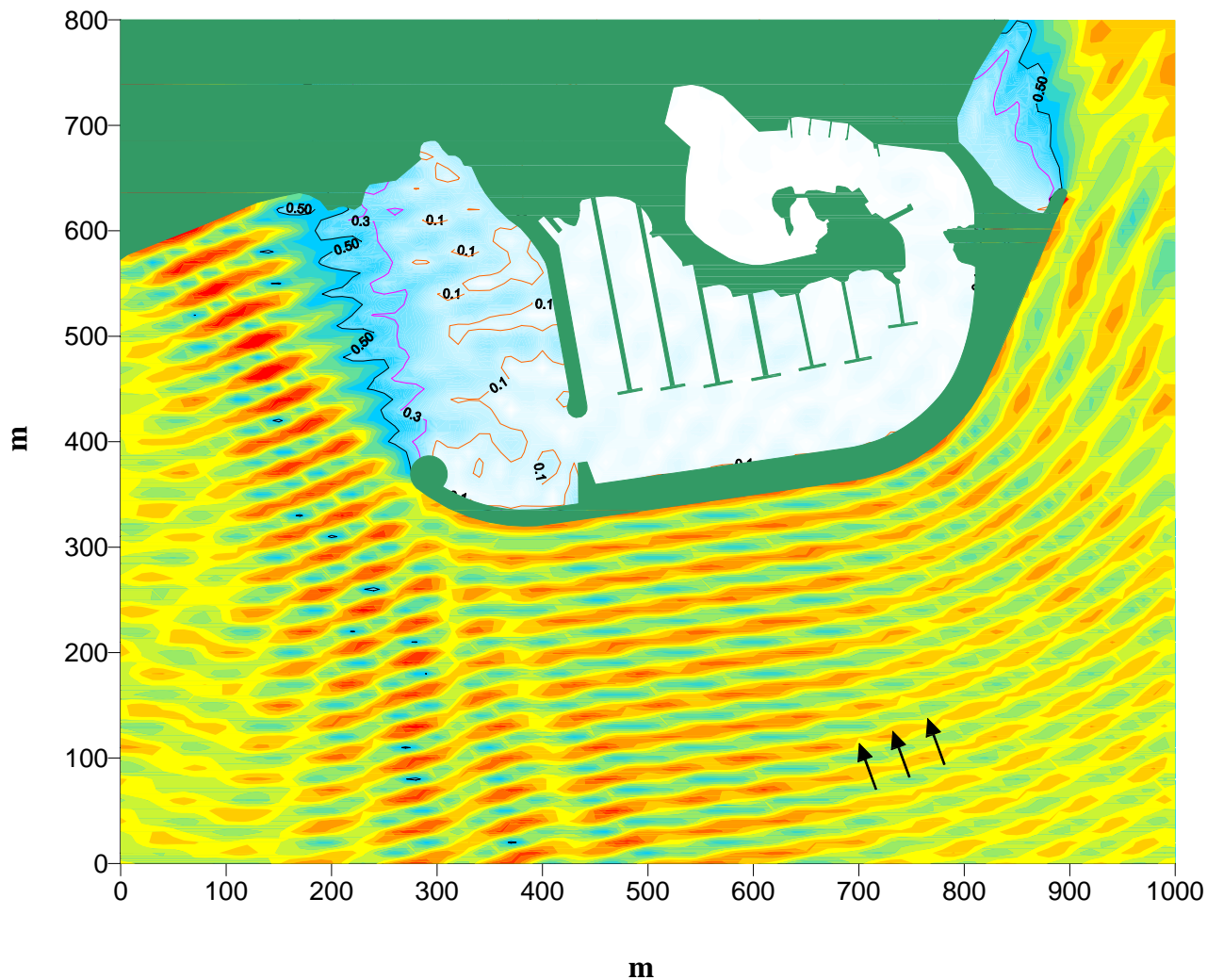
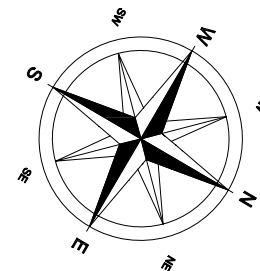
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 16

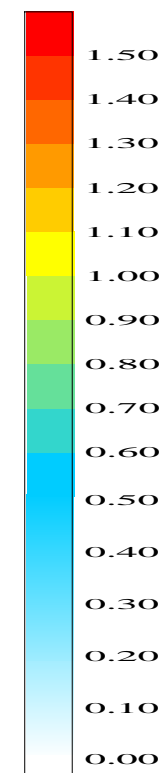
Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione Dir =  $40^\circ$  N  
File = SF1b\_D40\_T7.SRF

Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1 bis

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

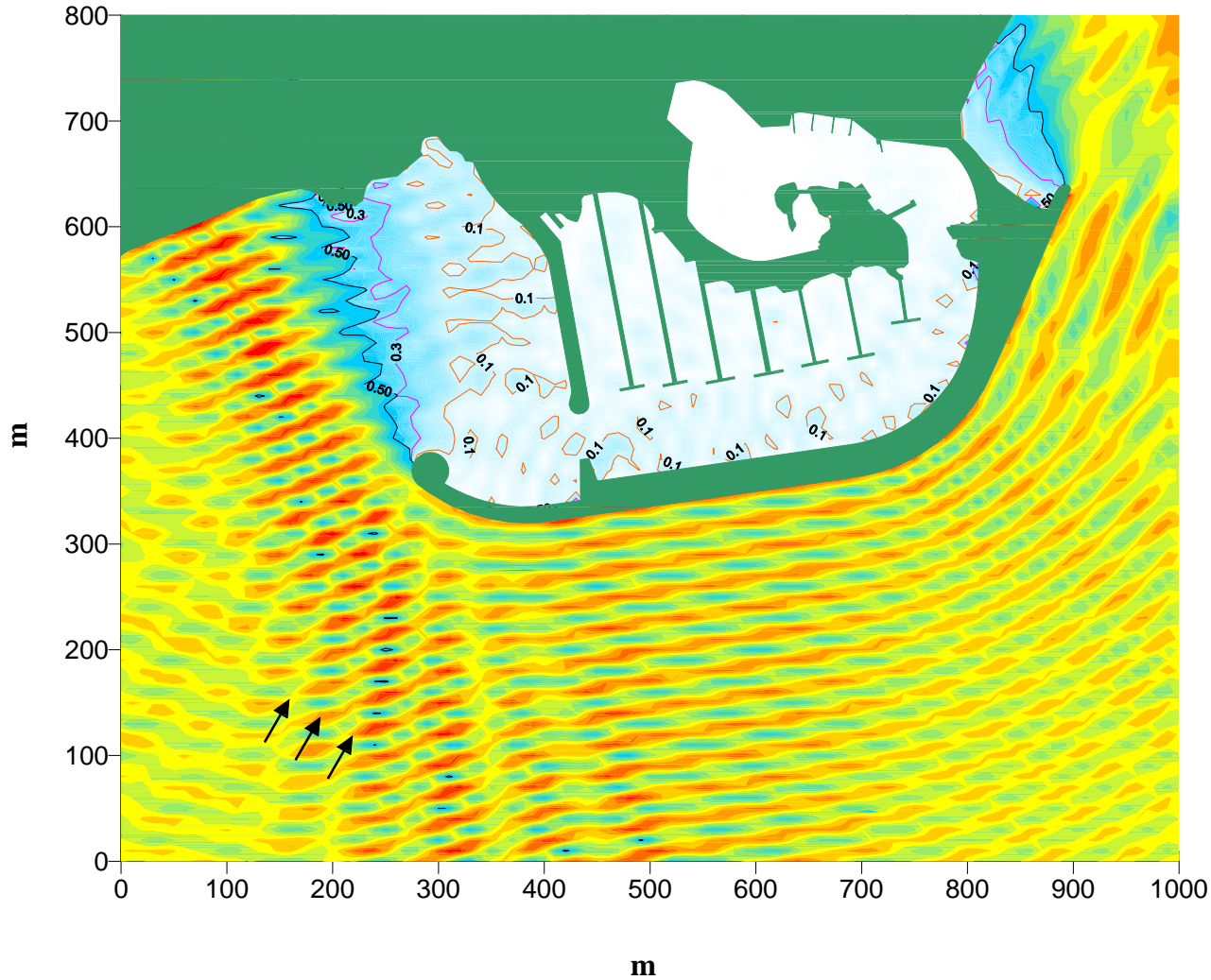
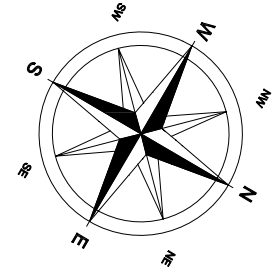
Figura 17

Periodo  $T = 9,0$  s  
Direzione Dir =  $40^\circ$  N  
File = SF1b\_D40\_T9.SRF

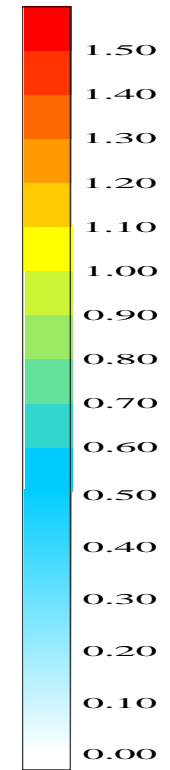


# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1 bis

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

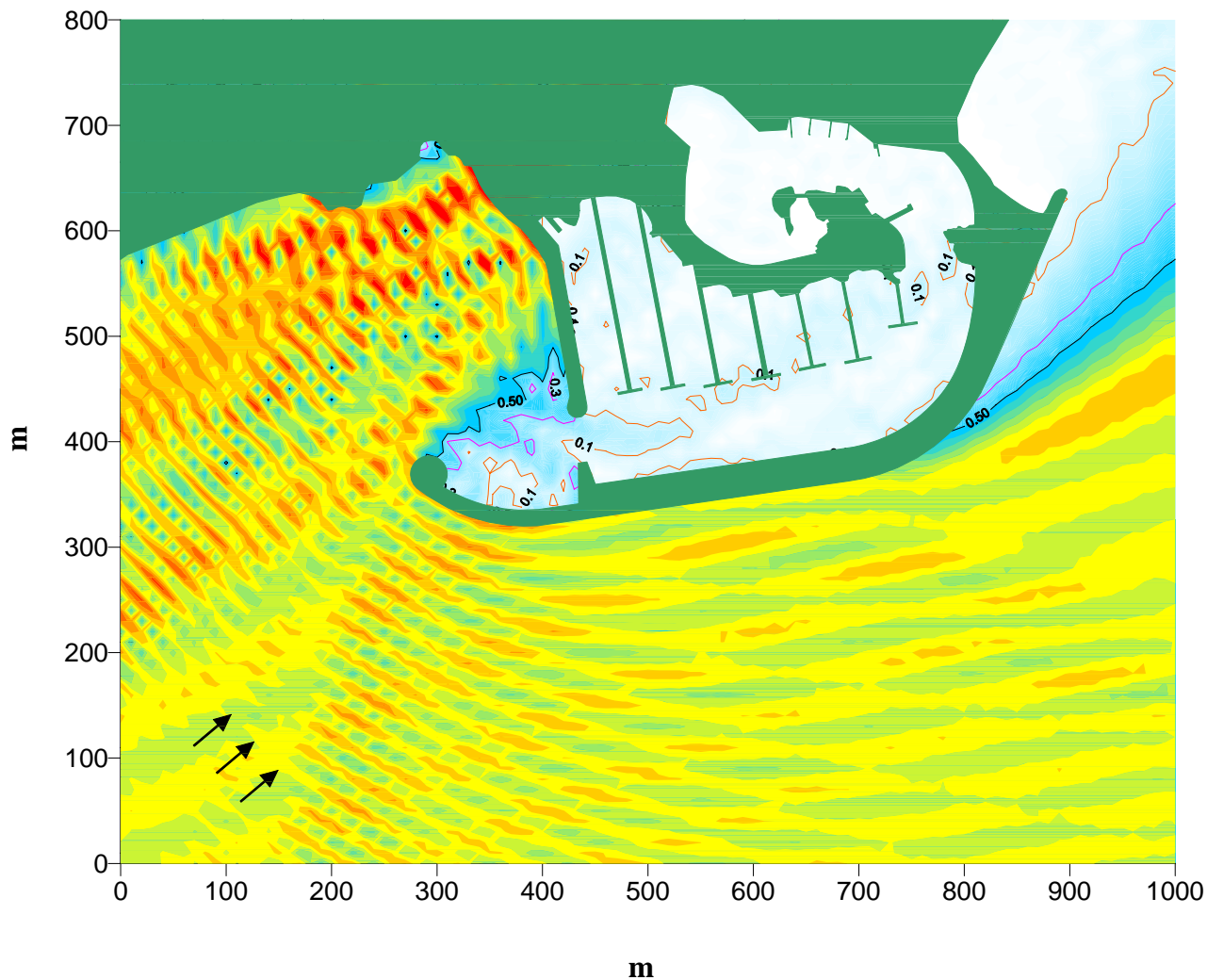
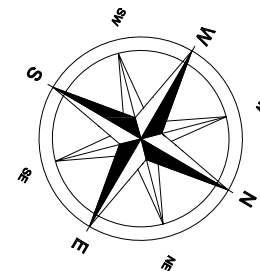
Figura 18

Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione Dir =  $90^\circ$  N  
File = SF1b\_D90\_T7.SRF

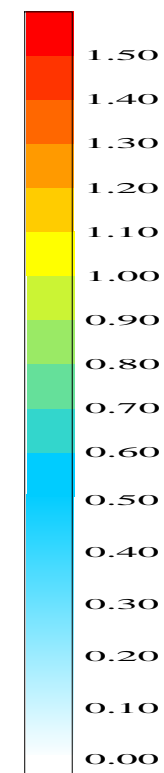


Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1 bis

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Periodo  $T = 7,0$  s

Direzione Dir =  $110^\circ$  N

File = SF1b\_D110\_T7.SRF

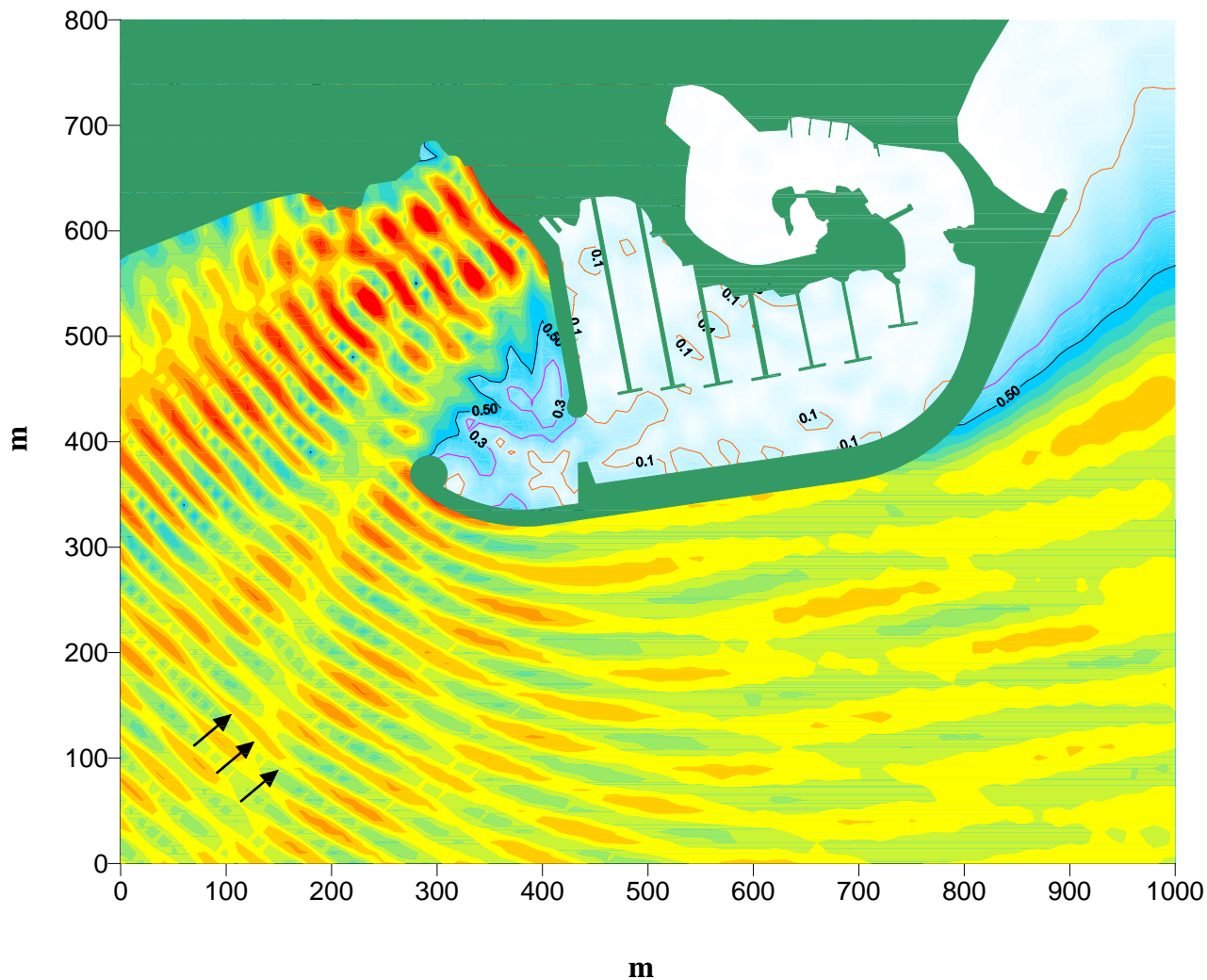
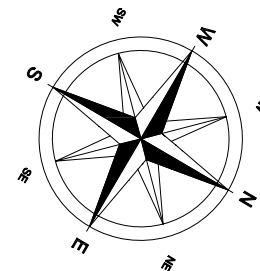


Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

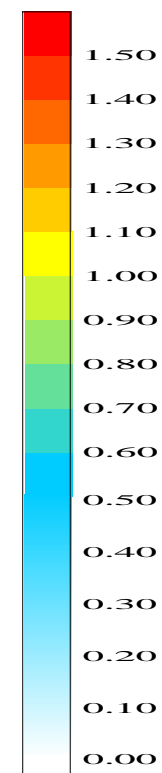
Figura 20

# Comune di MELENDUGNO : Porto di SAN FOCA - Configurazione 1 bis

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione Dir =  $110^\circ$  N

File = SF1b\_D110\_T9.SRF



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 21



# REGIONE PUGLIA

## COMUNE DI MELENDUGNO

### *SAN FOCA: PORTO TURISTICO - STAZIONAMENTO*

PROGETTO DEFINITIVO

#### **Studio meteomarino**



Modimar S.r.l.

Prof. Ing. Alberto NOLI

Dott. Ing. Paolo CONTINI

Dott. Ing. Giancarlo MILANA

Dott. Ing. Davide SALTARI

*Roma, Dicembre 2000*

INDICE

<b>1</b>	<b>Premesse.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Ubicazione ed esposizione del paraggio al moto ondoso.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Variazioni del livello marino.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Regime del moto ondoso.....</b>	<b>6</b>
4.1	<i>Caratteristiche del moto ondoso al largo.....</i>	7
4.2	<i>Propagazione sotto costa della serie di misure ondometriche.....</i>	11
4.3	<i>Analisi del clima di moto ondoso sottocosta: onda morfologica.....</i>	15
4.4	<i>Analisi statistiche degli eventi estremi.....</i>	18
4.5	<i>Determinazione dell'onda di progetto.....</i>	20
	<b>Appendice.....</b>	<b>23</b>
	<i>Calcolo dei “fetch efficaci” e della relazione tra direzione del vento e quella del moto ondoso – modello ENIF.....</i>	23
	<i>Descrizione del modello di propagazione inversa spettrale MEROPE.....</i>	25



# 1 Premesse

In generale per una corretta progettazione di un porto e per una attenta analisi della dinamica dei litorali adiacenti, sono propedeutiche una serie di indagini conoscitive, volte al reperimento ed all'analisi dei dati esistenti relativi alle caratteristiche meteomarine. In particolare per il dimensionamento e le verifiche di stabilità nonché per le valutazioni delle caratteristiche idrodinamiche delle aree portuali è necessario definire preliminarmente il regime del moto ondoso nonché le oscillazioni del livello marino.

I temi d'indagine principali sono stati così articolati: caratteristiche geo-orografiche del paraggio; esposizione al moto ondoso; variazioni dei livelli marini; correnti.

Si è proceduto raccogliendo i dati storici disponibili e con successive analisi ed elaborazioni numeriche sono state derivate le condizioni al contorno di base per i successivi studi di dettaglio necessari per l'analisi delle condizioni idrodinamiche all'imboccatura ed all'interno dello specchio portuale del previsto porto turistico di San Foca e per l'applicazione del modello morfodinamico di spiaggia.

Nelle fasi preliminari della presente relazione è stata effettuata una ricerca delle fonti di dati disponibili e “significative” al fine di definire l'esposizione ai fattori meteomarini.



## 2 Ubicazione ed esposizione del paraggio al moto ondoso

Ponendosi al largo del porto di san Foca su fondali di circa  $-70$  m, ad una distanza di circa 6 Km dal porto, il paraggio è esposto al mare aperto per un ampio settore di traversia, delimitato a Nord-Ovest dal promontorio del Gargano ( $300^{\circ}\text{N}$ ) e a Sud dal Capo d'Otranto ( $150^{\circ}\text{N}$ ). Si affaccia sul canale d'Otranto ed è limitato a sud dalla costa nord africana (distante circa 850 Km), ad ovest dalla costa della penisola balcanica greca (distanza variabile da 100 a 400 Km) e infine a nord dalla costa veneta (distante circa 800 Km) – fig.2.1.

Per un'analisi del settore di traversia, più propriamente mirata alla valutazione delle condizioni di possibile esposizione agli stati di mare è ormai prassi consolidata fare riferimento, in luogo dei settori di traversia geografica, al cosiddetto fetch efficace (porzione di mare che costituisce, sotto l'azione diretta dei venti, l'area di generazione dell'evento di moto ondoso).

A tal proposito si è proceduto, valutando le porzioni di mare (fetch efficaci) effettivamente coinvolte dal fenomeno di generazione del moto ondoso sulla base dei limiti geografici del settore di traversia. Introdotti i valori dei fetches geografici, relativi alle diverse direzioni contenute entro il settore di traversia del paraggio in esame, si determina il settore "efficace" (figg. 2.1 e 2.2 e tab.2.1) secondo il metodo descritto in appendice (modello ENIF). Considerato che nel Mar Mediterraneo le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500 km, i fetches geografici sono stati limitati a tale dimensione.

Nel contempo si definisce la legge di deviazione direzionale tra la direzione media del vento e la direzione del moto ondoso generato (tab.2.1).

Nel caso in esame il fetch efficace massimo che ne deriva è pari a circa 240 km ed è riferibile al settore nord ( $340^{\circ}$ - $10^{\circ}\text{N}$  tramontana).





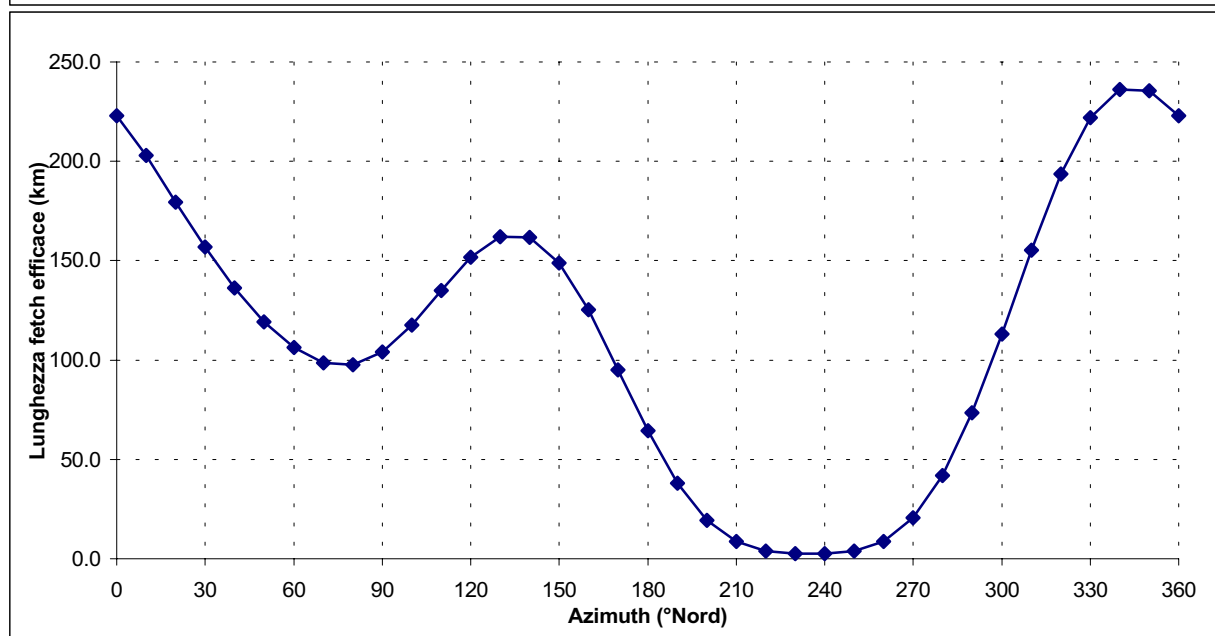
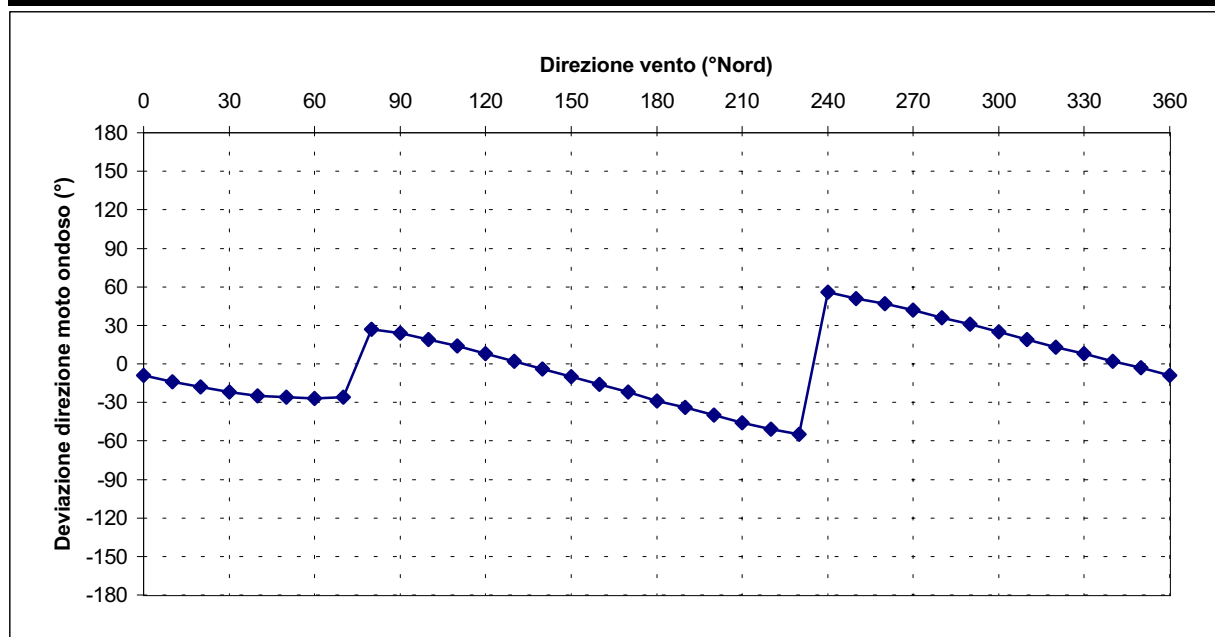
Fig 2.1 - Fetch geografico di S.Foca



Fig 2.2 - Fetch efficace di S.Foca

Tab. 2.1 Fetch geografici ed efficaci al largo di S.Foca

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	244.40	223.01	-9.0	180	4.20	64.32	-29.0
10	222.71	202.82	-14.0	190	3.44	38.09	-34.0
20	197.66	179.57	-18.0	200	2.95	19.43	-40.0
30	195.86	156.76	-22.0	210	2.68	8.65	-46.0
40	142.22	136.34	-25.0	220	2.51	3.94	-51.0
50	118.62	119.24	-26.0	230	2.44	2.58	-55.0
60	91.41	106.29	-27.0	240	2.44	2.57	56.0
70	85.52	98.65	-26.0	250	2.51	3.90	51.0
80	91.29	97.60	27.0	260	2.69	8.80	47.0
90	79.86	104.08	24.0	270	2.96	20.50	42.0
100	100.46	117.47	19.0	280	3.42	41.80	36.0
110	152.93	134.92	14.0	290	4.01	73.41	31.0
120	120.31	151.61	8.0	300	5.15	112.98	25.0
130	254.65	162.01	2.0	310	31.17	155.31	19.0
140	287.23	161.70	-4.0	320	496.47	193.69	13.0
150	503.10	148.90	-10.0	330	452.19	221.89	8.0
160	9.04	125.21	-16.0	340	320.86	236.02	2.0
170	5.67	95.09	-22.0	350	285.25	235.55	-3.0



### 3 Variazioni del livello marino

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: la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere ed ai fondali di progetto; l'analisi del grado di ricircolo naturale dello specchio liquido portuale. In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica).

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

Per la definizione della marea meteorologica si distinguono:

- sovrалzo ed abbassamento barico (legati al passaggio dei cicloni ed anticicloni): considerata una condizione di minimo barico pari a 978 mb rispetto ad una condizione media di 1013 mb ne consegue un effetto di sovrалzo marino massimo pari a 0.35 m; considerando che il massimo barico pluriennale osservato è di 1040 mb, si ha un abbassamento locale del livello marino di circa 27 cm.
- sovrалzo di vento: l'effetto di innalzamento dei livelli sottocosta indotto dall'azione di venti foranei spiranti verso la costa pugliese è definito in funzione dell'estensione della piattaforma continentale (l'isobata -200 si trova a circa 19 km dalla imboccatura portuale, essendo il sito in esame prospiciente la fossa Adriatica). Il calcolo del sovrалzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:



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

Questa fornisce un valore di 0.04 m alla profondità di 5 m (d), essendo D=200 m profondità limite assunta per la piattaforma continentale;  $L_p=19000$  m estensione della piattaforma continentale;  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ;  $K_p = 3 \times 10^{-6}$ ;  $U = 20 \text{ m/s}$  velocità del vento persistente. Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva (d=0) pari a  $S=0.09 \text{ m}$ .

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

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrizzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 75% per il sovrizzo massimo di carattere meteorologico ed astronomico; in definitiva, a fronte di un sovrizzo massimo assoluto pari a circa 0.64 m (0.20 + 0.35 + 0.09); il massimo livello marino da assumere per la progettazione delle opere può essere posto pari a + 0.50 m sopra il medio mare.

Il minimo abbassamento del livello marino è pari alla somma dell'oscillazione di marea (20 cm) e dell'abbassamento barico (27 cm), ed è uguale a circa 47 cm; anche in questo caso si può ammettere un abbattimento del 25% dell'oscillazione massima, pertanto il minimo livello da assumere per la progettazione delle opere è pari a 0.36 m sotto il medio mare ( $0.47 \times 0.75 = 0.36 \text{ m}$ ),





## 4 Regime del moto ondoso

Elemento indispensabile per una corretta valutazione degli eventi estremi (fondamentale per la progettazione delle opere foranee del porto) e per la definizione dell'onda morfologica finalizzata allo studio del litorale, è il regime del moto ondoso che contraddistingue il sito in esame.

La conoscenza "climatica" del moto ondoso, ovvero la definizione in termini di frequenze annuali delle grandezze che ne definiscono il regime, quali l'altezza d'onda significativa  $H_s$ , il periodo d'onda  $T$  e la direzione media di provenienza  $\theta$ , è stata effettuata utilizzando la seguente metodologia:

- 1) acquisizione di misure ondametriche condotte in aree prossime al sito in esame (ondametro di Monopoli – RON);
- 2) ricostruzione del moto ondoso al largo con un metodo originale di trasposizione geografica ;
- 3) trasferimento sottocosta attraverso un modello di inversa spettrale degli stati di mare al largo del porto di San Foca, per due punti caratteristici: uno prospiciente l'imboccatura portuale, l'altro in asse mediano alla falcata della spiaggia "Aranci".

Come già sottolineato, la corretta determinazione della distribuzione in frequenza delle onde risponde ai seguenti obiettivi progettuali esaminati in dettaglio nei capitoli seguenti:

- 1) definizione delle probabilità di occorrenza degli *eventi ondosi estremi* per il dimensionamento delle opere di difesa;
- 2) definizione del *clima d'onda* per la valutazione delle condizioni di agibilità/agitazione portuale e per l'analisi delle condizioni di evoluzione dei fenomeni di dinamica costiera.



#### 4.1 Caratteristiche del moto ondoso al largo

Per la determinazione del moto ondoso al largo del porto di San Foca si è reso necessario reperire serie di misure ondametriche che offrissero un quadro abbastanza esaustivo dell'esposizione del sito in esame all'azione del moto ondoso. A tal scopo si è potuto fare riferimento alle misure effettuate da:

- stazione ondametrica di Monopoli - (modello “Wavec” della Datawell; coordinate: 40°58',5 N; 17°22',6 E), in esercizio dal 1 luglio 1989 ed ancorata su fondali di circa 90 m; è gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (ricade all'interno dell'area climatica di generazione degli stati di mare che interessano il sito in esame) – Rendimento medio = 91 % (tabella 4.1.1) – durata di registrazione effettiva =  $10 \times 0.91 = 9.1$  anni;
- stazione ondametrica di Brindisi, (modello “Directional Waverider” della Datawell) installato il 16 novembre 1994 ed ancorata su fondale di circa 53m, in posizione 40°36'24''N e 18°09'24''E. Le registrazioni triorarie coprono il periodo da marzo 1992 a giugno 1996 con un rendimento medio del 65% (la durata effettiva di registrazione è quindi di  $4.25 \times 0.65 = 2.8$  anni). Il basso rendimento e la bassa durata di registrazione portano ad escludere tale boa per le successive analisi (climatiche ed estreme).

Nelle tabelle da 4.1.2 a 4.1.6 e nella figura 4.1.1 sono rappresentate le distribuzioni annuali del numero di eventi di moto ondoso (in forma percentuale) suddivisi per classi di altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) e direzione di provenienza ( $^\circ N$ ), registrate dalla boa di Monopoli; nelle tabelle 4.1.7a e 4.1.7b gli eventi sono suddivisi per classi di  $H_s$  e di periodo di picco ( $T_p$ ).

Dall'analisi di queste si nota che per eventi con  $H_s > 0.5$  m (escluse le calme):

- la maggiore frequenza di accadimento si ha per il settore di maestrale (320°N – 350°N) con quasi il 20% degli eventi e per quello di levante-scirocco (90°N – 120°N) con il 12%;
- gli eventi con  $H_s$  superiore ai 3 m provengono dai settori di maestrale e tramontana-grecale;
- in inverno ed in autunno si ha una prevalenza degli stati di mare provenienti da maestrale, grecale e scirocco, mentre in primavera ed in estate predominano quelli da maestrale



Tab.4.1.1: Rendimento Ondametro

Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

Anno	Mese	Numero eventi	Rendimento (%)
1989	Luglio	248	100.00
1989	Agosto	242	97.58
1989	Settembre	239	99.58
1989	Ottobre	247	99.60
1989	Novembre	240	100.00
1989	Dicembre	220	88.71
1990	Gennaio	248	100.00
1990	Febbraio	152	67.86
1990	Marzo	247	99.60
1990	Aprile	238	99.17
1990	Maggio	247	99.60
1990	Giugno	236	98.33
1990	Luglio	246	99.19
1990	Agosto	243	97.98
1990	Settembre	239	99.58
1990	Ottobre	243	97.98
1990	Novembre	239	99.58
1990	Dicembre	227	91.53
1991	Gennaio	241	97.18
1991	Febbraio	223	99.55
1991	Marzo	229	92.34
1991	Aprile	220	91.67
1991	Maggio	240	96.77
1991	Giugno	239	99.58
1991	Luglio	248	100.00
1991	Agosto	248	100.00
1991	Settembre	239	99.58

Anno	Mese	Numero eventi	Rendimento (%)
1991	Ottobre	248	100.00
1991	Novembre	205	85.42
1991	Dicembre	180	72.58
1992	Gennaio	246	99.19
1992	Febbraio	221	95.26
1992	Marzo	243	97.98
1992	Aprile	240	100.00
1992	Maggio	244	98.39
1992	Giugno	235	97.92
1992	Luglio	240	96.77
1992	Agosto	248	100.00
1992	Settembre	234	97.50
1992	Ottobre	234	94.36
1992	Novembre	220	91.67
1992	Dicembre	204	82.26
1993	Gennaio	219	88.31
1993	Febbraio	165	73.66
1993	Marzo	231	93.15
1993	Aprile	231	96.25
1993	Maggio	192	77.42
1993	Giugno	193	80.42
1993	Luglio	243	97.98
1993	Agosto	237	95.57
1993	Settembre	217	90.42
1993	Ottobre	241	97.18
1993	Novembre	231	96.25
1993	Dicembre	243	97.98

Tab.4.1.1: Rendimento Ondametro

Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

Anno	Mese	Numero eventi	Rendimento (%)
1994	Gennaio	218	87.90
1994	Febbraio	166	74.11
1994	Marzo	247	99.60
1994	Aprile	236	98.33
1994	Maggio	209	84.27
1994	Giugno	239	99.58
1994	Luglio	227	91.53
1994	Agosto	248	100.00
1994	Settembre	240	100.00
1994	Ottobre	247	99.60
1994	Novembre	171	71.25
1994	Dicembre	226	91.13
1995	Gennaio	150	60.48
1995	Febbraio	224	100.00
1995	Marzo	247	99.60
1995	Aprile	240	100.00
1995	Maggio	247	99.60
1995	Giugno	186	77.50
1995	Luglio	235	94.76
1995	Agosto	212	85.48
1995	Settembre	191	79.58
1995	Ottobre	208	83.87
1995	Novembre	99	41.25
1995	Dicembre	247	99.60
1996	Gennaio	247	99.60
1996	Febbraio	178	76.72
1996	Marzo	240	96.77
1996	Aprile	232	96.67
1996	Maggio	248	100.00
1996	Giugno	239	99.58
1996	Luglio	237	95.57
1996	Agosto	235	94.76
1996	Settembre	222	92.50
1996	Ottobre	232	93.55
1996	Novembre	224	93.33
1996	Dicembre	246	99.19

Anno	Mese	Numero eventi	Rendimento (%)
1997	Gennaio	224	90.32
1997	Febbraio	224	100.00
1997	Marzo	226	91.13
1997	Aprile	239	99.58
1997	Maggio	197	79.44
1997	Giugno	172	71.67
1997	Luglio	247	99.60
1997	Agosto	244	98.39
1997	Settembre	240	100.00
1997	Ottobre	248	100.00
1997	Novembre	240	100.00
1997	Dicembre	247	99.60
1998	Gennaio	240	96.77
1998	Febbraio	224	100.00
1998	Marzo	245	98.79
1998	Aprile	240	100.00
1998	Maggio	248	100.00
1998	Giugno	240	100.00
1998	Luglio	248	100.00
1998	Agosto	248	100.00
1998	Settembre	197	82.08
1998	Ottobre	248	100.00
1998	Novembre	240	100.00
1998	Dicembre	210	84.68
1999	Gennaio	241	97.18
1999	Febbraio	224	100.00
1999	Marzo	248	100.00
1999	Aprile	240	100.00
1999	Maggio	235	94.76
1999	Giugno	240	100.00

Numero totale di eventi validi registrati:	27397
Rendimento complessivo ondametro (%):	94

Tab.4.1.2 : Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	1.09	1.30	0.75	0.57	0.35	0.19	0.06	0.04	0.01	0.00						4.35
20	1.04	1.14	0.66	0.39	0.29	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00						3.67
30	0.97	1.02	0.62	0.35	0.17	0.07	0.03	0.01								3.26
40	0.84	0.96	0.70	0.42	0.17	0.09	0.05	0.01	0.00							3.25
50	0.96	1.04	0.91	0.59	0.31	0.16	0.08	0.03	0.01	0.00						4.10
60	1.02	1.16	0.95	0.58	0.41	0.24	0.09	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00				4.52
70	1.17	1.04	0.61	0.27	0.14	0.10	0.03	0.01								3.37
80	1.26	1.20	0.58	0.23	0.09	0.03	0.01	0.01								3.41
90	1.39	1.84	0.85	0.27	0.05	0.01										4.42
100	1.43	2.80	1.54	0.44	0.09	0.01		0.01								6.33
110	0.81	3.62	3.32	1.48	0.26	0.03	0.00									9.51
120	0.29	1.64	2.30	1.22	0.20	0.05	0.01									5.71
130	0.10	0.40	0.33	0.24	0.07	0.01										1.15
140	0.03	0.18	0.10	0.06	0.02	0.00	0.00									0.39
150	0.02	0.11	0.07	0.01	0.00											0.22
160	0.01	0.07	0.05													0.14
170	0.01	0.06	0.02													0.09
180	0.01	0.04	0.01		0.00											0.07
190		0.04	0.01													0.05
200	0.01	0.05	0.01	0.00												0.07
210	0.01	0.02														0.03
220	0.01	0.01	0.02													0.04
230	0.02	0.01														0.03
240	0.01	0.02	0.01													0.05
250	0.04	0.02	0.01													0.07
260	0.04	0.05	0.01	0.00												0.10
270	0.02	0.03	0.01	0.01												0.07
280	0.01	0.02	0.01													0.04
290	0.01	0.03	0.01													0.05
300	0.04	0.08	0.06	0.01												0.20
310	0.16	0.39	0.38	0.27	0.08	0.05	0.01	0.02	0.00							1.37
320	0.34	1.46	1.91	1.30	0.54	0.18	0.07	0.03	0.01							5.83
330	0.66	3.48	4.03	2.22	0.69	0.20	0.05	0.03	0.01	0.00						11.39
340	1.11	3.91	3.25	1.35	0.39	0.19	0.06	0.03	0.01							10.30
350	1.30	2.87	1.51	0.72	0.29	0.11	0.07	0.04	0.04							6.94
360	1.12	1.78	1.06	0.65	0.42	0.23	0.07	0.06	0.01	0.01						5.41
TOT.	17.37	33.89	26.69	13.67	5.04	2.05	0.73	0.39	0.11	0.04	0.00	0.00				100.00
Tot. cumul.		51.27	77.95	91.63	96.67	98.72	99.45	99.84	99.96	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi validi: 27397

Tab.4.1.3 : Distribuzione invernale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	0.66	1.24	0.85	0.94	0.60	0.36	0.12	0.12	0.01	0.01						4.93
20	0.76	1.05	0.69	0.66	0.46	0.09	0.04	0.01	0.01	0.01						3.80
30	0.60	0.94	0.70	0.61	0.34	0.19	0.06	0.03								3.49
40	0.63	1.00	0.75	0.60	0.45	0.24	0.15	0.01	0.01							3.85
50	0.70	1.08	1.09	0.81	0.70	0.49	0.13	0.06	0.01	0.01						5.11
60	0.84	1.03	1.15	0.96	0.79	0.58	0.25	0.13	0.01	0.03	0.01	0.01				5.83
70	0.69	0.99	0.97	0.57	0.21	0.21	0.06	0.01								3.71
80	0.84	1.38	0.67	0.36	0.15	0.01		0.04								3.46
90	1.05	2.29	0.87	0.30	0.09	0.01										4.61
100	1.11	2.95	1.71	0.51	0.16			0.01								6.45
110	0.48	2.26	3.04	2.01	0.45	0.03	0.01									8.28
120	0.13	0.90	1.81	1.45	0.07	0.01										4.39
130	0.09	0.42	0.18	0.25	0.15	0.03										1.12
140	0.01	0.18	0.12	0.06	0.04	0.01	0.01									0.45
150		0.07	0.07													0.15
160	0.03	0.06	0.03													0.12
170		0.04														0.04
180		0.04	0.01		0.01											0.07
190		0.01														0.01
200	0.03															0.03
210	0.01	0.04														0.06
220		0.01														0.01
230	0.03	0.01														0.04
240	0.01	0.01														0.03
250	0.09															0.09
260	0.10															0.10
270	0.03															0.03
280																
290	0.01	0.04														0.06
300	0.06	0.04	0.06													0.16
310	0.06	0.27	0.22	0.25	0.15	0.12	0.01	0.01								1.11
320	0.12	1.09	1.24	1.20	0.64	0.27	0.16	0.10	0.01							4.85
330	0.33	2.50	3.10	2.59	0.88	0.36	0.10	0.04	0.03	0.01						9.96
340	0.70	2.88	3.13	1.78	0.57	0.46	0.13	0.07	0.03							9.76
350	0.76	2.41	1.81	1.06	0.55	0.24	0.16	0.13	0.13							7.28
360	0.78	1.75	1.20	1.00	0.88	0.46	0.16	0.19	0.03	0.06						6.53
TOT.	11.77	29.04	25.50	17.98	8.39	4.21	1.60	1.02	0.31	0.15	0.01	0.01				100.00
Tot. cumul.		40.81	66.31	84.29	92.68	96.89	98.49	99.51	99.82	99.97	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi invernali validi: 6678

Tab. 4.1.4: Distribuzione primaverile in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	1.37	1.15	0.41	0.38	0.23	0.07	0.03		0.01							3.65
20	1.13	1.02	0.46	0.25	0.10	0.09	0.04									3.10
30	1.18	0.86	0.35	0.32	0.04											2.75
40	0.96	0.84	0.36	0.23	0.13											2.53
50	1.22	1.02	0.33	0.22	0.12	0.03										2.94
60	1.09	1.09	0.49	0.09	0.15	0.03	0.01									2.95
70	1.50	1.03	0.23	0.06		0.03										2.85
80	1.71	1.08	0.38	0.06	0.04											3.27
90	1.86	1.87	0.90	0.10												4.74
100	2.18	3.73	1.53	0.31	0.06	0.01										7.82
110	1.19	5.71	4.21	1.42	0.20	0.01										12.76
120	0.36	1.89	2.17	0.99	0.15	0.01										5.57
130	0.12	0.46	0.32	0.23	0.04											1.18
140	0.01	0.17	0.10	0.06	0.03											0.38
150	0.03	0.10	0.07	0.01	0.01											0.23
160	0.01	0.06	0.06													0.13
170		0.07														0.07
180		0.07	0.01													0.09
190		0.01														0.01
200		0.04	0.03													0.07
210		0.01														0.01
220	0.01	0.01														0.03
230	0.03	0.01														0.04
240		0.01														0.01
250	0.01	0.06														0.07
260		0.01														0.01
270	0.01	0.01														0.03
280	0.03	0.04	0.01													0.09
290	0.01	0.04														0.06
300	0.04	0.07	0.09	0.04												0.25
310	0.13	0.42	0.52	0.41	0.07		0.01	0.04	0.01							1.63
320	0.38	1.87	2.70	1.89	0.32	0.13	0.03		0.01							7.34
330	0.74	4.53	5.38	2.06	0.55	0.12	0.07	0.04								13.50
340	1.42	4.17	2.66	0.86	0.28	0.09	0.04	0.03								9.55
350	1.38	2.82	0.99	0.31	0.16	0.06	0.07	0.01	0.01							5.81
360	1.42	1.55	0.80	0.39	0.20	0.10	0.01	0.01								4.50
TOT.	21.56	37.97	25.57	10.68	2.89	0.78	0.33	0.15	0.06							100.00
Tot. cumul.		59.53	85.11	95.79	98.68	99.46	99.80	99.94	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi primaverili validi: 6882

Tab.4.1.5 : Distribuzione estiva in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	1.77	1.24	0.78	0.32	0.08	0.06	0.01									4.26
20	1.75	1.38	0.62	0.10	0.03											3.88
30	1.50	1.10	0.51	0.10	0.03											3.23
40	1.37	1.04	0.55	0.17	0.01	0.01										3.16
50	1.34	0.96	0.61	0.35	0.06											3.32
60	1.48	0.79	0.25	0.18	0.04	0.01										2.77
70	1.58	0.65	0.07	0.06												2.36
80	1.65	0.86	0.16	0.01												2.68
90	1.71	1.43	0.11	0.04	0.01											3.30
100	1.44	2.13	0.56	0.06	0.01											4.21
110	1.00	3.56	1.93	0.10	0.03											6.62
120	0.41	1.95	1.64	0.11												4.11
130	0.07	0.17	0.21	0.03												0.48
140	0.03	0.06	0.06	0.01												0.16
150	0.01	0.04	0.01													0.07
160		0.06	0.03													0.08
170	0.03	0.01	0.01													0.06
180	0.01	0.01	0.01													0.04
190		0.03	0.01													0.04
200		0.06														0.06
210	0.01	0.01														0.03
220		0.01	0.01													0.03
230	0.01	0.01														0.03
240																
250		0.01														0.01
260																
270	0.03	0.03														0.06
280	0.01	0.03														0.04
290	0.03		0.01													0.04
300	0.07	0.13	0.04													0.24
310	0.34	0.55	0.56	0.34	0.03	0.03										1.85
320	0.71	2.22	2.75	1.57	0.79	0.17	0.08									8.29
330	1.38	5.18	5.37	2.81	0.80	0.17		0.01								15.73
340	1.93	6.28	4.15	1.52	0.28	0.07	0.01									14.26
350	2.50	4.17	1.40	0.61	0.21	0.01										8.90
360	1.79	2.27	0.95	0.38	0.17	0.03										5.59
TOT.	25.98	38.45	23.40	8.88	2.60	0.56	0.11	0.01								100.00
Tot. cumul.		64.43	87.83	96.71	99.31	99.87	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi estivi validi: 7082



Tab.4.1.6 : Distribuzione autunnale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	0.52	1.55	0.96	0.65	0.49	0.28	0.09	0.04								4.59
20	0.49	1.10	0.86	0.56	0.58	0.22	0.04	0.04								3.89
30	0.59	1.18	0.95	0.40	0.28	0.10	0.07									3.58
40	0.37	0.96	1.15	0.70	0.10	0.13	0.04	0.01								3.48
50	0.56	1.10	1.63	1.01	0.40	0.13	0.18	0.06	0.04							5.11
60	0.65	1.73	1.92	1.13	0.67	0.36	0.10	0.09	0.03							6.68
70	0.87	1.50	1.21	0.41	0.36	0.18	0.07	0.01								4.62
80	0.78	1.50	1.15	0.52	0.19	0.09	0.03	0.01								4.28
90	0.93	1.78	1.57	0.64	0.12	0.03										5.06
100	0.96	2.40	2.43	0.92	0.15	0.04		0.03								6.93
110	0.53	2.89	4.13	2.47	0.37	0.06										10.45
120	0.24	1.79	3.63	2.40	0.58	0.16	0.03									8.82
130	0.12	0.56	0.62	0.47	0.09											1.87
140	0.07	0.30	0.13	0.10												0.61
150	0.04	0.24	0.12	0.01												0.41
160		0.12	0.10													0.22
170	0.03	0.12	0.06													0.21
180	0.03	0.04	0.01													0.09
190		0.10	0.01													0.12
200	0.01	0.10		0.01												0.13
210		0.01														0.01
220	0.01	0.01	0.06													0.09
230		0.01														0.01
240	0.04	0.04	0.06													0.15
250	0.06	0.01	0.03													0.10
260	0.04	0.19	0.03	0.01												0.28
270	0.01	0.07	0.03	0.03												0.15
280	0.01		0.01													0.03
290		0.03	0.03													0.06
300		0.07	0.06	0.01												0.15
310	0.09	0.33	0.21	0.09	0.09	0.04		0.01								0.86
320	0.12	0.59	0.89	0.52	0.38	0.13	0.01	0.01								2.66
330	0.16	1.58	2.19	1.41	0.53	0.18	0.04	0.01								6.11
340	0.33	2.19	3.02	1.26	0.43	0.15	0.06									7.43
350	0.47	2.01	1.85	0.92	0.25	0.12	0.04	0.03	0.01							5.71
360	0.44	1.54	1.30	0.83	0.43	0.36	0.10	0.03								5.03
TOT.	9.62	29.77	32.44	17.48	6.48	2.77	0.93	0.41	0.09							100.00
Tot. cumul.		39.39	71.83	89.31	95.80	98.56	99.50	99.91	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi autunnali validi: 6755

Tab.4.1.7a : Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco  
Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T <sub>p</sub> (s)							Tot
	T <sub>p</sub> < 4	4 ≤ T <sub>p</sub> < 6	6 ≤ T <sub>p</sub> < 8	8 ≤ T <sub>p</sub> < 10	10 ≤ T <sub>p</sub> < 12	12 ≤ T <sub>p</sub> < 14	T <sub>p</sub> > 14	
0.25 <	2606	1612	454	62	3		23	4760
0.25 ÷ 0.75	4237	8083	1148	226	37			13731
0.75 ÷ 1.25	96	3978	1294	145	51	1		5565
1.25 ÷ 1.75	2	912	1068	38	4			2024
1.75 ÷ 2.25		91	680	26	1			798
2.25 ÷ 2.75		3	266	40				309
2.75 ÷ 3.25			93	44	1			138
3.25 ÷ 3.75			23	25	1			49
3.75 ÷ 4.25			3	11	1			15
4.25 ÷ 4.75				7				7
4.75 ÷ 5.25					1			1
> 5.25								
Tot.	6941	14679	5029	624	100	1	23	27397

Tab.4.1.7b : Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco  
Località: Monopoli - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T <sub>p</sub> (s)							Tot	Tot. cumul.
	T <sub>p</sub> < 4	4 ≤ T <sub>p</sub> < 6	6 ≤ T <sub>p</sub> < 8	8 ≤ T <sub>p</sub> < 10	10 ≤ T <sub>p</sub> < 12	12 ≤ T <sub>p</sub> < 14	T <sub>p</sub> > 14		
0.25 <	9.51	5.88	1.66	0.23	0.01		0.08	17.37	17.37
0.25 ÷ 0.75	15.47	29.50	4.19	0.82	0.14			50.12	67.49
0.75 ÷ 1.25	0.35	14.52	4.72	0.53	0.19	0.00		20.31	87.81
1.25 ÷ 1.75	0.01	3.33	3.90	0.14	0.01			7.39	95.19
1.75 ÷ 2.25		0.33	2.48	0.09	0.00			2.91	98.11
2.25 ÷ 2.75		0.01	0.97	0.15				1.13	99.23
2.75 ÷ 3.25			0.34	0.16	0.00			0.50	99.74
3.25 ÷ 3.75			0.08	0.09	0.00			0.18	99.92
3.75 ÷ 4.25			0.01	0.04	0.00			0.05	99.97
4.25 ÷ 4.75				0.03				0.03	100.00
4.75 ÷ 5.25					0.00			0.00	100.00
>5.25									100.00
Tot.	25.33	53.58	18.36	2.28	0.37	0.00	0.08	100	
Tot. cumul.	25.33	78.91	97.27	99.55	99.91	99.92	100.00		

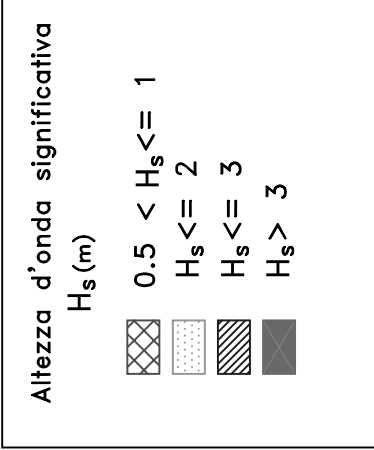
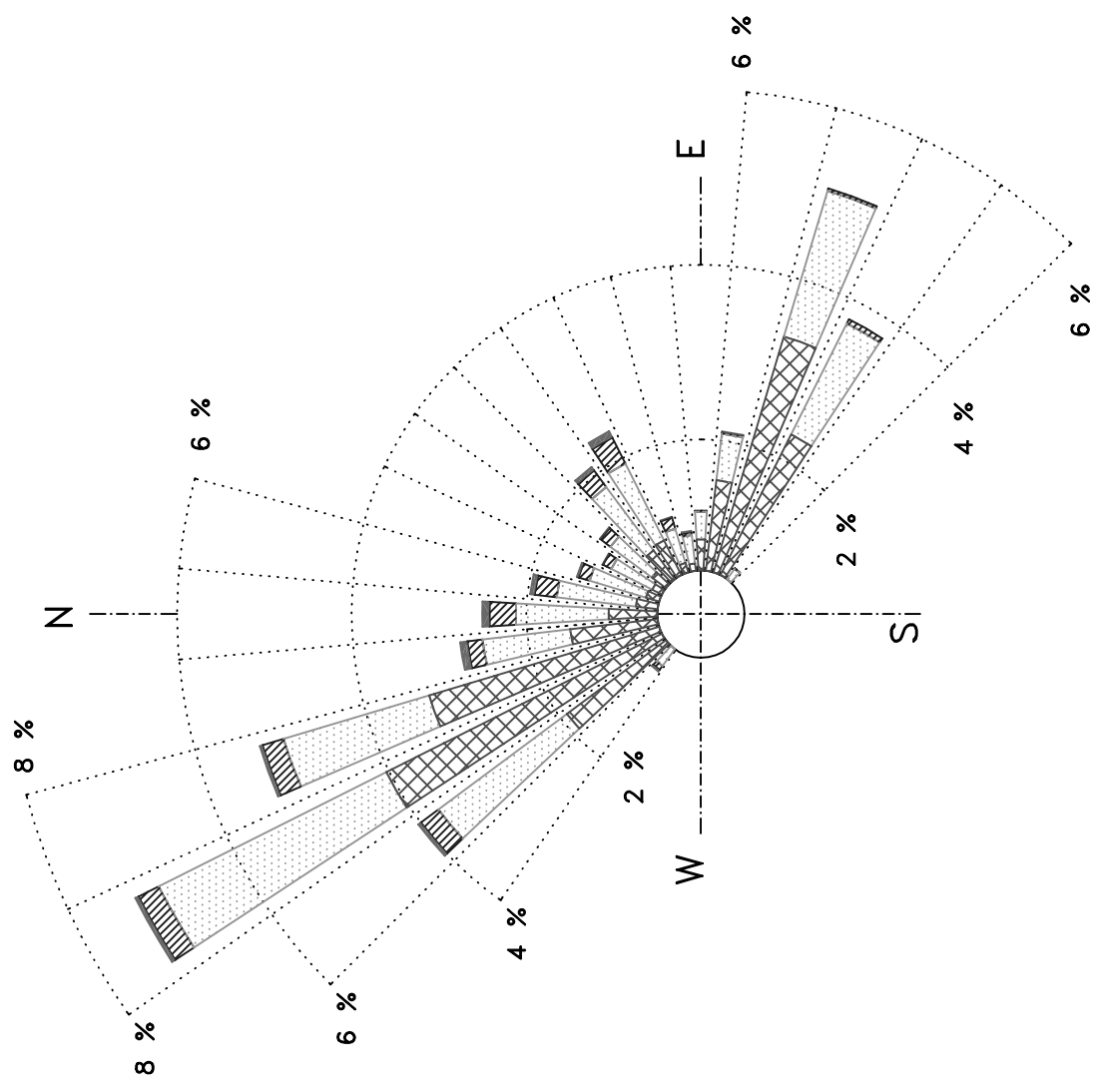


Fig. 4.1.1 – Boa ondametria di Monopoli (RON)  
Clima annuale  
(periodo dal 1 luglio 1989 al 30 giugno 1999)

#### 4.1.1 Trasposizione geografica della serie di misure ondametriche (Monopoli)

Il porto di San Foca è ubicato a circa 130 Km dalla stazione ondametrica di Monopoli; le registrazioni ondametriche in esame, pur essendo rappresentative dell'esposizione climatica del basso Adriatico, non tengono conto della distinta posizione geografica del sito di San Foca.

E' necessario quindi applicare una metodologia di «trasposizione geografica» del clima d'onda da Monopoli al largo del porto di San Foca.

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

Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale  $H_{m0}$  e il periodo di picco spettrale  $T_m$  in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti (Vincent, 1984, Shore Protection Manual, 1984):

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

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

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

Indicando con gli apici  $O$  e  $P$  rispettivamente le grandezze relative al punto di misura e al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il del vento)



alla quale risultano associati i fetch efficaci  $F^P$  e  $F^O$ , le precedenti relazioni permettono di stabilire la ricercata corrispondenza tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto O e al punto P:

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

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

Per ottenere le precedenti relazioni si è ovviamente supposto che il fattore di velocità del vento sia lo stesso nei due punti in esame. Tale assunzione deriva dall'aver ipotizzato che le aree di generazione dei due punti siano interessate dalla stessa perturbazione climatica e quindi dalla stessa velocità del vento.

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., 1992 (vedi anche ACES, 1992) che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato.

L'applicazione del metodo impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti (punto al largo del porto di San Foca e Ondametro di Monopoli);

Nella figure 4.1.2a, 4.1.2b e nella tabella 4.1.8 sono rappresentati i fetch geografici ed efficaci (<sup>1</sup>) di Monopoli, necessari per la trasposizione geografica delle misure ondametriche da Monopoli al largo del sito in esame.

Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento si determina la direzione dell'onda nel punto di interesse. Nel contempo si definiscono i coefficienti correttivi  $H^P/H^O$  e  $T^P/T^O$  per il calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda risultante nel punto di trasposizione geografica.

Nella figura 4.1.3 e nelle tabelle da 4.1.9 a 4.1.14 sono sintetizzati, nella usuale forma tabellare, gli stati di mare ricostruiti. Da queste si evidenzia che:

- il 52% degli eventi (corrispondente ad una durata di 6.5 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale)
- gli eventi, con maggiore frequenza di accadimento, sono relativi al settore di maestrale (il 21% degli eventi provengono dal settore 320° - 350°N) e di scirocco (il 18% degli eventi provengono dal settore 120° - 150°N);



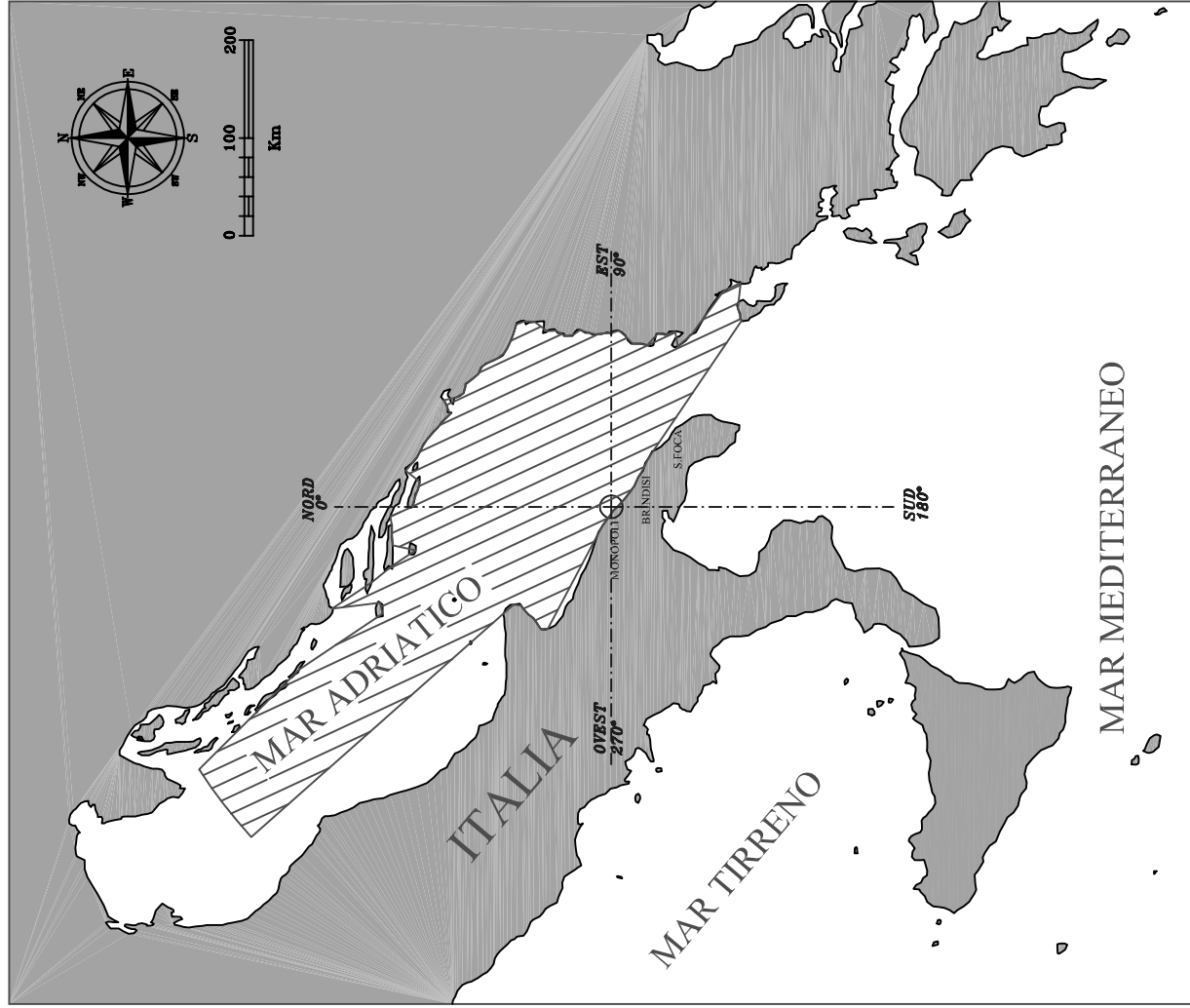


Fig 4.1.2a - Fetch geografico di Monopoli

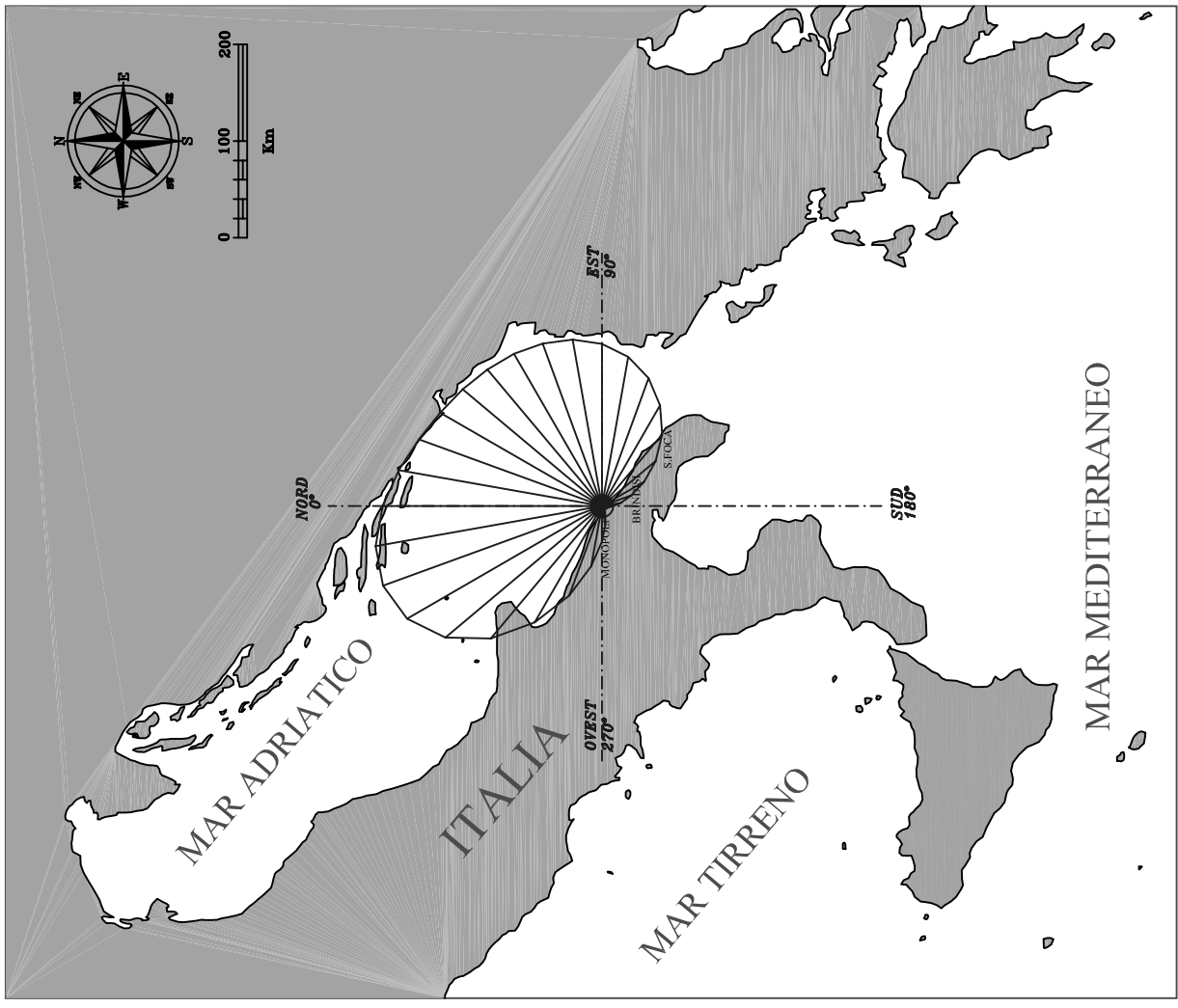
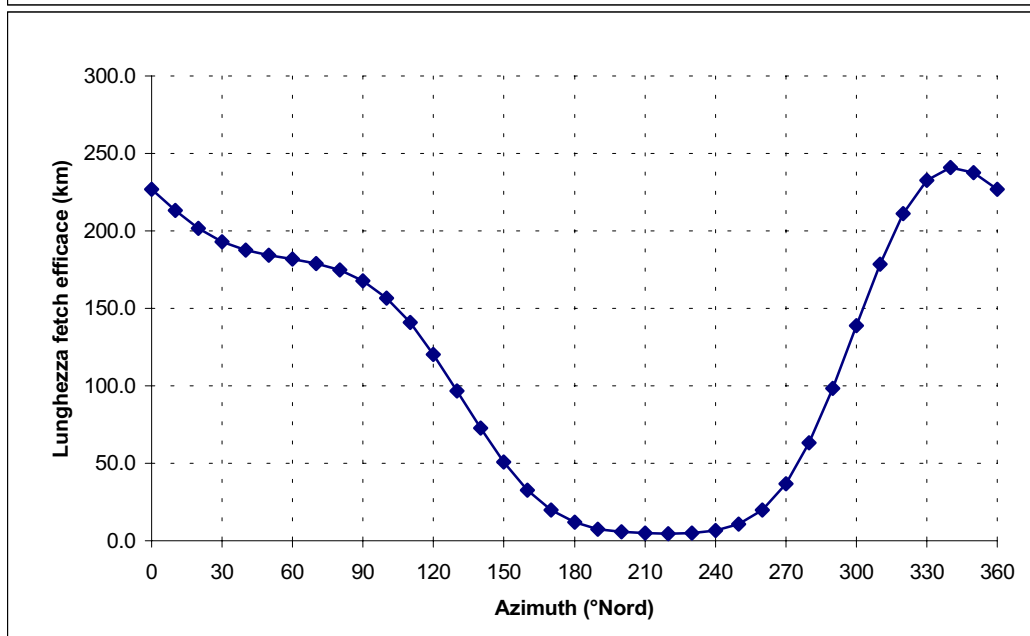
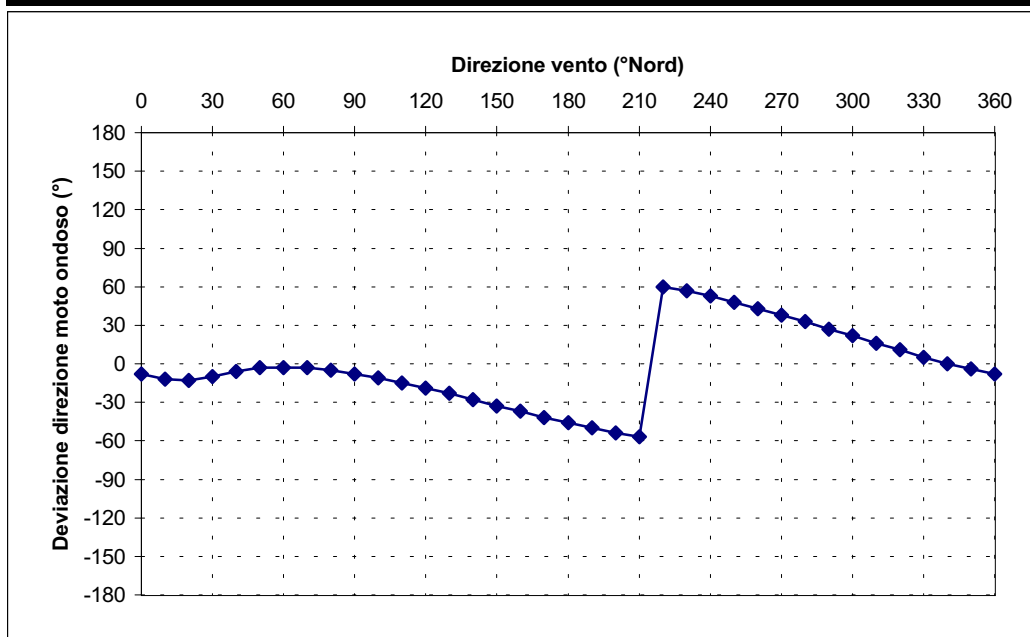


Fig 4.1.2b - Fetch efficace di Monopoli

**Tab. 4.1.8 - Fetch geografici ed efficaci al largo di Monopoli**

Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	226.79	226.66	-8.0	180	6.57	11.83	-46.0
10	218.80	213.37	-12.0	190	5.59	7.61	-50.0
20	214.86	201.54	-13.0	200	5.02	5.69	-54.0
30	208.98	193.02	-10.0	210	4.68	4.92	-57.0
40	208.16	187.68	-6.0	220	4.52	4.69	60.0
50	206.78	184.35	-3.0	230	4.50	5.01	57.0
60	215.35	181.77	-3.0	240	4.68	6.48	53.0
70	209.67	178.95	-3.0	250	5.18	10.55	48.0
80	193.99	174.76	-5.0	260	6.01	19.69	43.0
90	189.70	167.78	-8.0	270	7.49	36.68	38.0
100	186.97	156.68	-11.0	280	10.25	63.18	33.0
110	201.81	140.74	-15.0	290	18.90	98.42	27.0
120	227.57	120.28	-19.0	300	110.38	138.77	22.0
130	97.07	96.83	-23.0	310	161.56	178.49	16.0
140	30.20	72.76	-28.0	320	419.48	211.36	11.0
150	17.12	50.69	-33.0	330	436.79	232.71	5.0
160	11.00	32.70	-37.0	340	285.50	240.86	0.0
170	8.22	19.82	-42.0	350	242.67	237.46	-4.0



Tab.4.1.9 : Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca largo - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	2.00	2.11	1.44	0.70	0.32	0.12	0.04	0.00	0.00							6.74
20	2.07	1.40	1.35	0.53	0.22	0.08	0.01	0.00								5.66
30	1.34	0.97	1.11	0.62	0.26	0.09	0.04	0.01	0.01							4.44
40	1.44	0.88	0.88	0.38	0.21	0.07	0.01	0.00								3.88
50	0.15	0.08	0.07	0.02												0.31
60	0.15	0.08	0.06	0.01	0.01	0.01										0.33
70	0.15	0.07	0.05	0.02		0.00										0.30
80	0.31	0.21	0.10	0.03	0.02	0.00										0.67
90	0.14	0.08	0.05	0.02	0.01	0.00										0.30
100	0.18	0.05	0.04	0.01		0.00										0.28
110	1.54	0.83	0.49	0.16	0.03	0.01	0.00									3.07
120	2.07	2.27	1.23	0.24	0.03	0.01	0.00									5.86
130	1.36	2.74	3.98	1.26	0.32	0.08		0.01	0.00							9.76
140	0.14	1.12	3.55	3.08	1.66	0.76	0.26	0.06	0.04	0.01	0.01					10.69
150	0.02	0.10	0.32	0.38	0.15	0.16	0.09	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00				1.35
160	0.01	0.03	0.18	0.08	0.03	0.01	0.02		0.01	0.00				0.00		0.38
170	0.20	0.32	0.35	0.03		0.00										0.89
180	0.01	0.00														0.01
190																
200	0.00		0.00													0.01
210																
220	0.00															0.00
230																
240	0.00															0.00
250																
260			0.00													0.00
270																
280		0.00	0.00													0.01
290																
300	0.07	0.03	0.03													0.14
310	0.18	0.27	0.20	0.08	0.01	0.01	0.01									0.77
320	0.42	0.98	1.65	0.63	0.23	0.09	0.02	0.00								4.04
330	0.64	3.26	4.76	1.95	0.56	0.17	0.06	0.01	0.01							11.41
340	1.16	4.39	4.30	1.38	0.37	0.17	0.05	0.01	0.01							11.84
350	1.65	3.69	2.22	0.86	0.35	0.15	0.09	0.05	0.04	0.00						9.10
360	1.73	2.39	1.71	0.88	0.61	0.27	0.11	0.05	0.00	0.01						7.76
TOT.	19.15	28.40	30.11	13.35	5.40	2.28	0.81	0.31	0.15	0.03	0.01	0.00		0.00		100.00
Tot. cumul.		47.54	77.65	91.00	96.40	98.68	99.49	99.80	99.96	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi validi: 27396



Tab.4.1.10 : Distribuzione invernale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca largo - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5		>=6.5
10	1.33	2.11	1.60	1.29	0.66	0.15	0.06	0.01	0.01							7.23
20	1.60	1.62	1.54	1.11	0.60	0.22	0.03	0.01								6.74
30	0.93	1.12	1.36	1.20	0.75	0.21	0.06	0.03	0.03							5.69
40	1.11	0.93	1.29	0.72	0.48	0.18	0.01	0.01								4.73
50	0.15	0.15	0.13	0.01												0.45
60	0.09	0.07	0.12		0.01											0.30
70	0.04	0.07	0.04	0.06												0.22
80	0.22	0.24	0.15	0.06	0.04											0.72
90	0.03	0.10	0.04	0.03	0.01	0.01										0.24
100	0.19	0.07	0.07	0.01		0.01										0.37
110	1.18	1.02	0.55	0.28	0.01	0.03	0.01									3.10
120	1.51	3.00	1.26	0.28	0.04	0.01										6.11
130	1.06	2.37	3.80	1.44	0.52	0.12		0.01	0.01							9.35
140	0.03	0.57	2.22	2.70	1.74	1.06	0.30	0.01	0.01							8.64
150	0.01	0.07	0.37	0.27	0.07	0.09	0.10	0.16	0.09	0.01	0.01	0.01				1.30
160	0.01	0.03	0.16	0.06	0.03	0.01	0.01		0.01	0.01				0.01		0.37
170	0.34	0.12	0.21	0.01		0.01										0.70
180	0.03															0.03
190																
200	0.01															0.01
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300	0.06	0.01	0.03													0.10
310	0.07	0.12	0.13	0.15	0.04											0.52
320	0.25	0.79	1.06	0.76	0.39	0.19	0.06	0.01								3.53
330	0.36	2.20	3.61	2.17	0.81	0.31	0.15	0.01	0.03							9.66
340	0.70	3.26	4.24	1.83	0.61	0.34	0.10	0.04	0.03							11.17
350	1.06	3.03	2.58	1.30	0.78	0.31	0.28	0.16	0.12	0.01						9.65
360	1.09	2.29	2.08	1.45	1.15	0.46	0.31	0.13	0.01	0.04						9.05
TOT.	13.52	25.39	28.68	17.21	8.78	3.77	1.51	0.64	0.37	0.09	0.01	0.01		0.01		100.00
Tot. cumul.		38.91	67.59	84.80	93.57	97.35	98.86	99.51	99.88	99.97	99.99	100.00	100.00	100.01	100.01	

Numero eventi invernali validi: 6677

Tab. 4.1.11: Distribuzione primaverile in forma percentuale degli eventi ondososi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca largo - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	2.28	1.82	0.99	0.45	0.04	0.10	0.03									5.71
20	2.44	0.94	0.61	0.35	0.03											4.37
30	1.80	0.70	0.49	0.13	0.03											3.15
40	1.54	0.68	0.22	0.07	0.04											2.56
50	0.12	0.09	0.01	0.01												0.23
60	0.15	0.06														0.20
70	0.28	0.09	0.03													0.39
80	0.35	0.19														0.54
90	0.23	0.06		0.01												0.31
100	0.19	0.01	0.03													0.23
110	1.92	0.74	0.25	0.04												2.95
120	2.75	2.25	1.15	0.12		0.01										6.28
130	1.99	4.04	5.32	1.18	0.33	0.07										12.93
140	0.25	1.55	4.80	3.02	1.63	0.51	0.19	0.01	0.01		0.01					11.99
150	0.03	0.10	0.33	0.46	0.12	0.15	0.09	0.07	0.03							1.38
160	0.03		0.17	0.10	0.01	0.01	0.03		0.01							0.38
170	0.12	0.33	0.29													0.74
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240	0.01															0.01
250																
260																
270																
280																
290																
300	0.06	0.04	0.06													0.16
310	0.12	0.36	0.25	0.09		0.03	0.03									0.87
320	0.49	1.28	2.63	0.70	0.10	0.06	0.01									5.27
330	0.68	4.29	6.51	1.77	0.35	0.13	0.06	0.01								13.80
340	1.45	4.94	3.60	0.84	0.22	0.16	0.04	0.01								11.28
350	1.83	3.43	1.45	0.48	0.17	0.12	0.06	0.01	0.01							7.57
360	2.25	2.27	1.16	0.49	0.32	0.15	0.03	0.01								6.68
TOT.	23.35	30.27	30.35	10.33	3.40	1.50	0.57	0.15	0.07		0.01					100.00
Tot. cumul.		53.62	83.97	94.30	97.70	99.20	99.77	99.91	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi primaverili validi: 6882

Tab.4.1.12 : Distribuzione estiva in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca largo - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	3.30	2.43	1.17	0.10	0.01	0.01										7.03
20	2.84	1.28	0.99	0.11	0.01											5.24
30	1.77	0.58	0.59	0.16	0.01											3.11
40	1.86	0.44	0.16	0.01	0.01											2.49
50	0.18		0.03													0.21
60	0.23	0.01	0.03													0.27
70	0.14	0.04	0.01													0.20
80	0.35	0.06														0.41
90	0.21	0.06	0.01													0.28
100	0.24	0.01														0.25
110	1.84	0.41	0.10													2.34
120	2.44	1.58	0.21	0.03												4.26
130	1.50	2.46	2.74	0.28		0.03										7.00
140	0.21	1.37	3.56	1.92	0.21	0.04										7.31
150	0.03	0.06	0.13	0.23	0.08	0.04										0.56
160	0.01		0.06	0.01	0.01											0.10
170	0.08	0.24	0.20													0.52
180	0.01															0.01
190																
200																
210																
220	0.01															0.01
230																
240																
250																
260																
270																
280			0.01													0.01
290																
300	0.11	0.06														0.17
310	0.41	0.40	0.27	0.04	0.01											1.13
320	0.69	1.45	2.19	0.73	0.21	0.10										5.38
330	1.31	4.94	6.51	2.64	0.69	0.07	0.01									16.18
340	2.09	6.95	5.58	1.44	0.27	0.08	0.01									16.42
350	3.08	5.39	2.29	0.64	0.13	0.01										11.54
360	2.75	2.64	1.47	0.44	0.18	0.06										7.54
TOT.	27.72	32.86	28.30	8.78	1.86	0.45	0.03									100.00
Tot. cumul.	60.58	88.87	97.66	99.52	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi estivi validi:

7082

Tab.4.1.13 : Distribuzione autunnale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca largo - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	1.01	2.09	2.01	1.02	0.59	0.22	0.06									7.00
20	1.35	1.76	2.28	0.58	0.25	0.10	0.03									6.35
30	0.81	1.50	2.03	1.02	0.27	0.16	0.09	0.03								5.91
40	1.23	1.51	1.91	0.75	0.31	0.09	0.03									5.83
50	0.13	0.09	0.09	0.06												0.37
60	0.13	0.19	0.10	0.04	0.04	0.03										0.55
70	0.15	0.09	0.10	0.01		0.01										0.37
80	0.30	0.36	0.25	0.07	0.03	0.01										1.02
90	0.09	0.10	0.13	0.03	0.03											0.38
100	0.07	0.12	0.06	0.01												0.27
110	1.20	1.18	1.07	0.34	0.10	0.03										3.92
120	1.55	2.31	2.35	0.56	0.07		0.01									6.87
130	0.87	2.10	4.10	2.18	0.44	0.12		0.01								9.83
140	0.04	0.98	3.60	4.72	3.15	1.47	0.55	0.22	0.15	0.03	0.01					14.92
150		0.18	0.44	0.56	0.33	0.37	0.18	0.12	0.01							2.19
160		0.09	0.31	0.15	0.06	0.01	0.04									0.67
170	0.27	0.58	0.70	0.09												1.63
180		0.01														0.01
190																
200			0.01													0.01
210																
220																
230																
240																
250																
260			0.01													0.01
270																
280		0.01														0.01
290																
300	0.06	0.01	0.03													0.10
310	0.10	0.21	0.15	0.04			0.01									0.52
320	0.24	0.37	0.68	0.33	0.24	0.03										1.88
330	0.15	1.51	2.28	1.18	0.38	0.16	0.01	0.01								5.70
340	0.34	2.26	3.73	1.42	0.38	0.09	0.03									8.26
350	0.56	2.83	2.58	1.04	0.33	0.18	0.03	0.03	0.01							7.58
360	0.77	2.35	2.16	1.15	0.80	0.41	0.12	0.04								7.82
TOT.	11.43	24.80	33.18	17.38	7.82	3.51	1.20	0.47	0.18	0.03	0.01					100.00
Tot. cumul.		36.23	69.40	86.78	94.60	98.11	99.30	99.78	99.96	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi autunnali validi: 6755

Tab.4.1.14a : Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco  
Località: S.Foca largo - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T <sub>p</sub> (s)							Tot
	T <sub>p</sub> < 4	4 ≤ T <sub>p</sub> < 6	6 ≤ T <sub>p</sub> < 8	8 ≤ T <sub>p</sub> < 10	10 ≤ T <sub>p</sub> < 12	12 ≤ T <sub>p</sub> < 14	T <sub>p</sub> > 14	
0.25 <	3203	1549	429	40	1	1	22	5245
0.25 ÷ 0.75	4379	6821	1122	188	15			12525
0.75 ÷ 1.25	139	3986	1271	256	39	6	2	5699
1.25 ÷ 1.75		919	1013	354	44	2	4	2336
1.75 ÷ 2.25		102	630	195	53	7	1	988
2.25 ÷ 2.75			236	70	45	9	1	361
2.75 ÷ 3.25			76	54	13	3	2	148
3.25 ÷ 3.75			21	35	7	2		65
3.75 ÷ 4.25			4	12	3	1		20
4.25 ÷ 4.75				3	3			6
4.75 ÷ 5.25				1	1			2
> 5.25					1			1
Tot.	7721	13377	4802	1208	225	31	32	27396

Tab.4.1.14b : Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo di picco  
Località: S.Foca largo - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO T <sub>p</sub> (s)							Tot	Tot. cumul.
	T <sub>p</sub> < 4	4 ≤ T <sub>p</sub> < 6	6 ≤ T <sub>p</sub> < 8	8 ≤ T <sub>p</sub> < 10	10 ≤ T <sub>p</sub> < 12	12 ≤ T <sub>p</sub> < 14	T <sub>p</sub> > 14		
0.25 <	11.69	5.65	1.57	0.15	0.00	0.00	0.08	19.15	19.15
0.25 ÷ 0.75	15.98	24.90	4.10	0.69	0.05			45.72	64.86
0.75 ÷ 1.25	0.51	14.55	4.64	0.93	0.14	0.02	0.01	20.80	85.67
1.25 ÷ 1.75		3.35	3.70	1.29	0.16	0.01	0.01	8.53	94.19
1.75 ÷ 2.25		0.37	2.30	0.71	0.19	0.03	0.00	3.61	97.80
2.25 ÷ 2.75			0.86	0.26	0.16	0.03	0.00	1.32	99.12
2.75 ÷ 3.25			0.28	0.20	0.05	0.01	0.01	0.54	99.66
3.25 ÷ 3.75			0.08	0.13	0.03	0.01		0.24	99.89
3.75 ÷ 4.25			0.01	0.04	0.01	0.00		0.07	99.97
4.25 ÷ 4.75				0.01	0.01			0.02	99.99
4.75 ÷ 5.25				0.00	0.00			0.01	100.00
>5.25					0.00			0.00	100.00
Tot.	28.18	48.83	17.53	4.41	0.82	0.11	0.12	100	
Tot. cumul.	28.18	77.01	94.54	98.95	99.77	99.88	100.00		

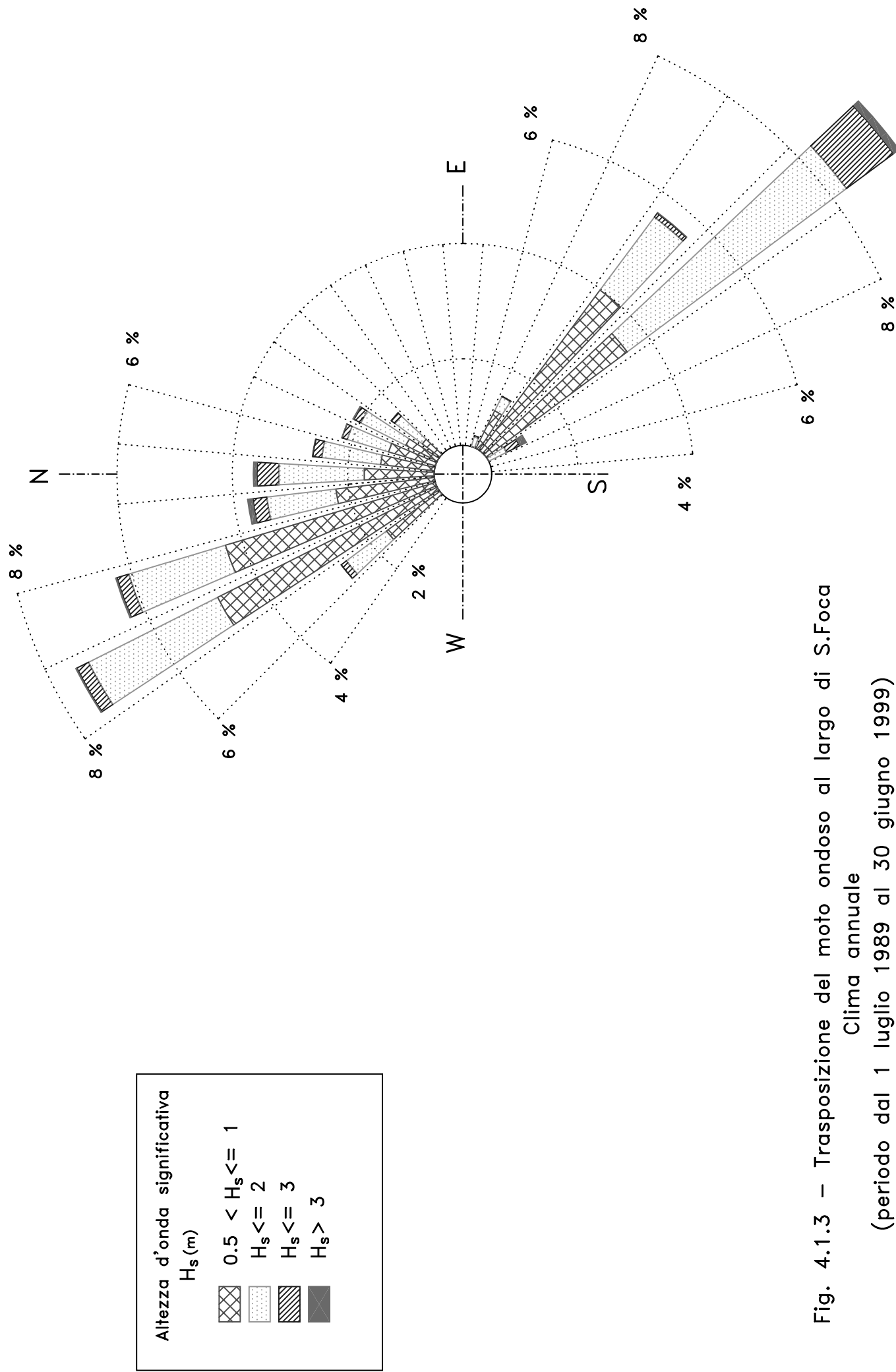


Fig. 4.1.3 – Trasposizione del moto ondoso al largo di S.Foca  
 Clima annuale  
 (periodo dal 1 luglio 1989 al 30 giugno 1999)

- gli eventi con maggiore intensità ( $H_s > 2\text{m}$ ) provengono prevalentemente da scirocco (1.7% - 6 giorni/anno) e da maestrale (1.3% - 5 giorni/anno).

---

<sup>1</sup> Le metodologie di calcolo sono riportate in appendice



## **4.2 Propagazione sotto costa della serie di misure ondametriche**

Per definire le condizioni di moto ondoso in prossimità dell'imboccatura portuale e delle opere foranee e per la definizione dell'onda di modellazione 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 fundamentalmente su una attenta lettura della conformazione batimetrica dei fondali e delle relative condizioni al contorno che per il porto di San Foca 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 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 serie di dati ondametrici inizialmente trasposta da Monopoli al largo del porto in esame è stata riportata sotto costa utilizzando il modello numerico di propagazione spettrale MEROPE.

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 100m). Nel presente caso i valori di profondità sono stati ricavati dalla carta nautica n° 29 « Da Torre dell'Ovo a Torre dell'Orso» (scala 1:100.000), edita





dall'Istituto Idrografico della Marina, integrata nella zona prospiciente il porto di San Foca con rilievi topo-batimetrici eseguiti nel 2000 (Fig.4.2.1 e fig. 4.2.2).

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 due punti di rifrazione posti rispettivamente di fronte all'imboccatura portuale su fondali di 10 m (punto P2) e davanti alla spiaggia "Aranci" (punto P1); per quest'ultimo punto è stata simulata sia la situazione attuale che quella con il nuovo porto turistico al fine di verificare l'effetto "schermo" eventualmente indotto dalle nuove opere foranee.

Per ciascun 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), spazati di  $0.5^\circ$ , sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia. Si riportano a titolo d'esempio 3 piani d'onda inversi relativi al periodo di 9 s per i due punti (figure 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5).

I risultati della rifrazione inversa-spettrale sono sintetizzati in forma tabellare e grafica (tabelle 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 e figure 4.2.6, 4.2.7 e 4.2.8) 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 12 spettri più rappresentativi del clima d'onda, sono utilizzati i seguenti simboli:

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

Azmo= direzione di provenienza al largo;

$T_{so}$  = periodo d'onda al largo;

K= coefficiente di rifrazione;

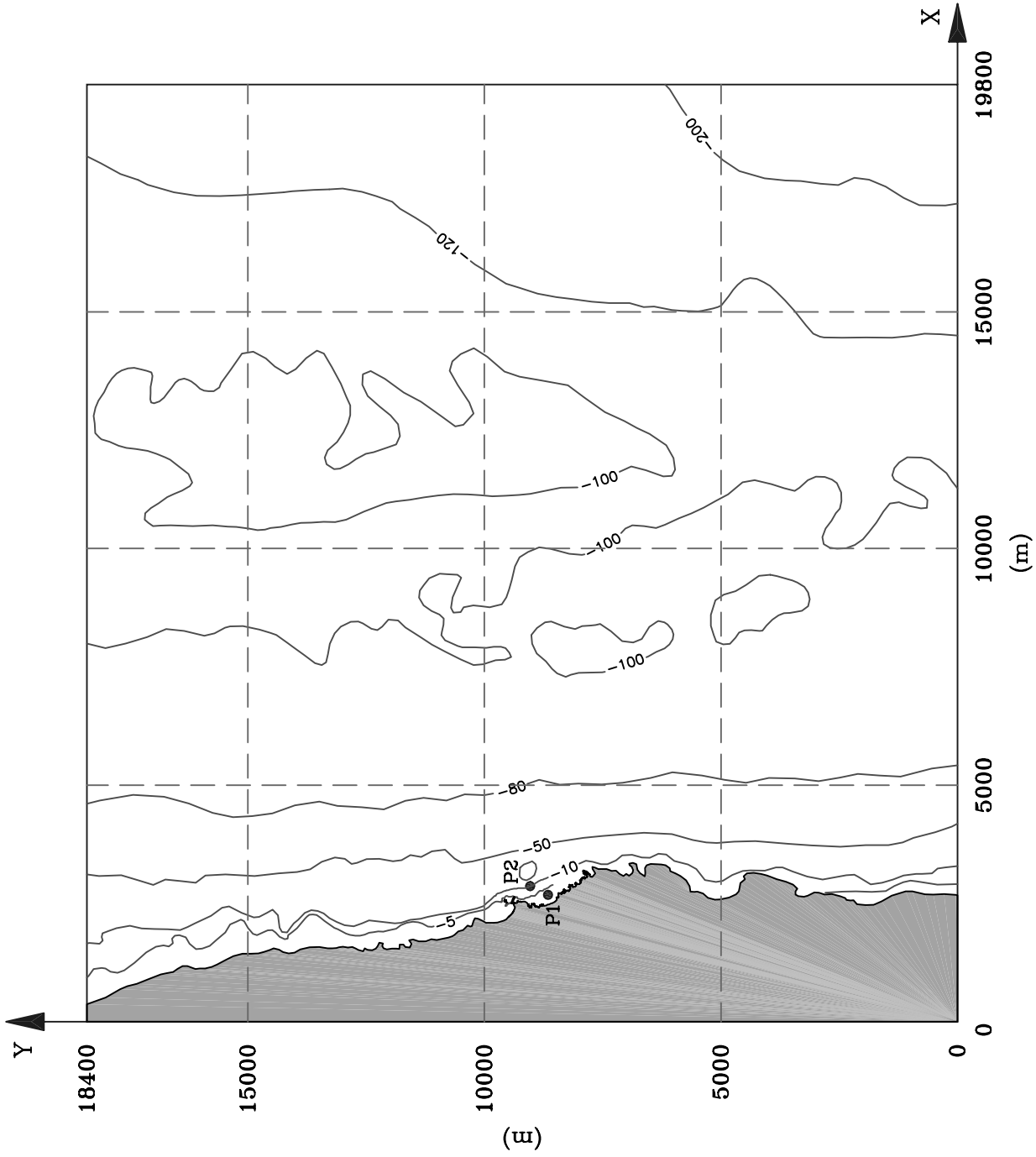
Azmr= direzione di provenienza a riva;

$H_{sr}$  = altezza d'onda significativa a riva;

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

Nelle figure 4.2.6a, 4.2.7a, 4.2.8a 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 gli 12 spettri riportati nelle tabelle 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3. Le figure 4.2.6b, 4.2.7b, 4.2.8b riportano, sempre limitatamente agli 12 spettri presi ad esempio, la corrispondenza dell'altezza d'onda significativa sotto costa rispetto alla direzione di incidenza al largo.



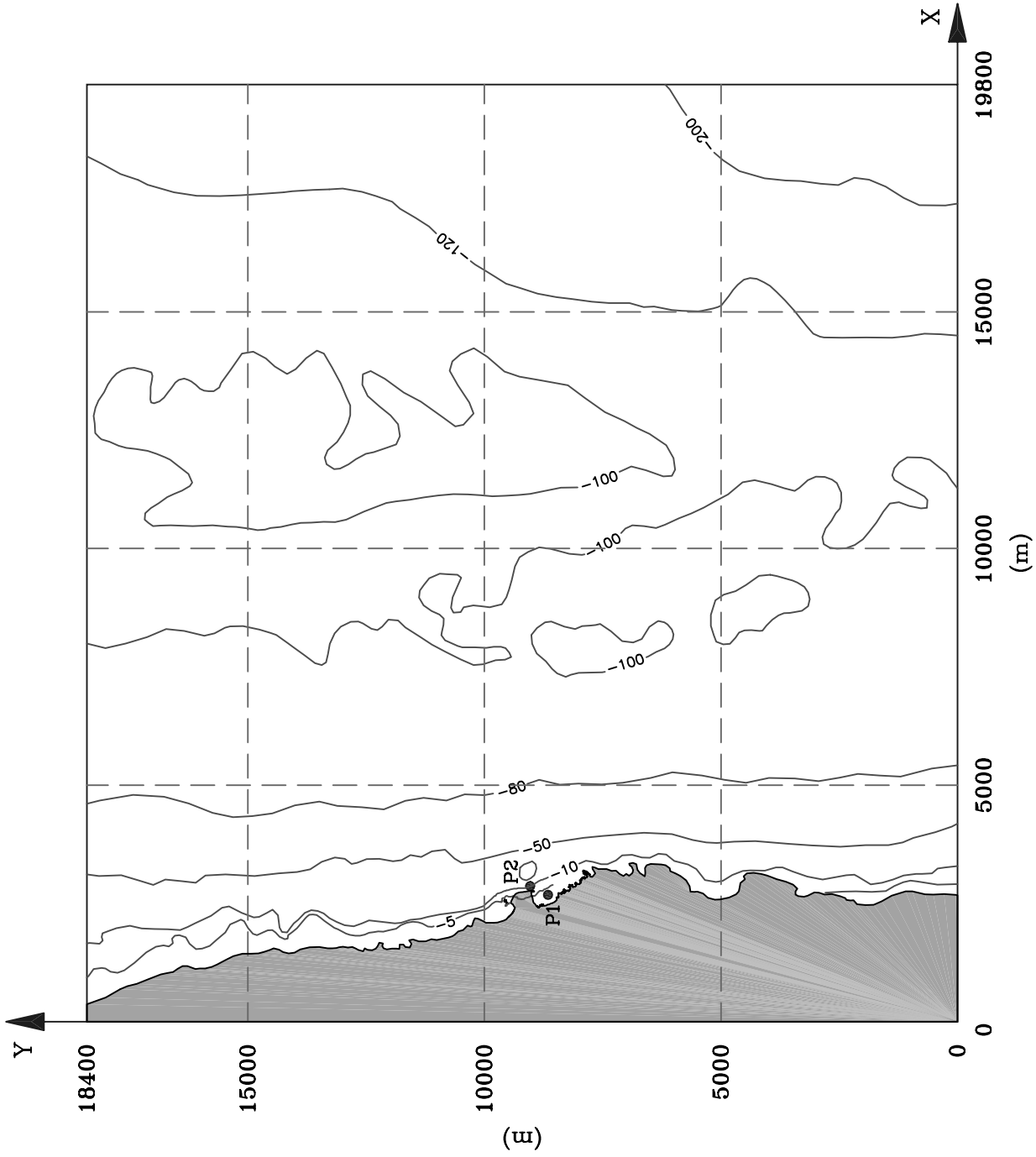


Punto P1:  
 X = 2680.1723  
 Y = 8652.7606

Punto P2:  
 X = 2865.8110  
 Y = 9032.3428

Teta = 29.322

Fig 4.2.1 – Griglia di calcolo per il modello Merope – Configurazione attuale

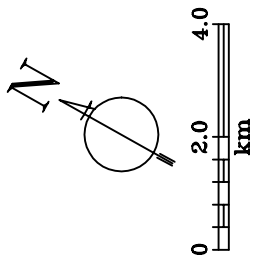
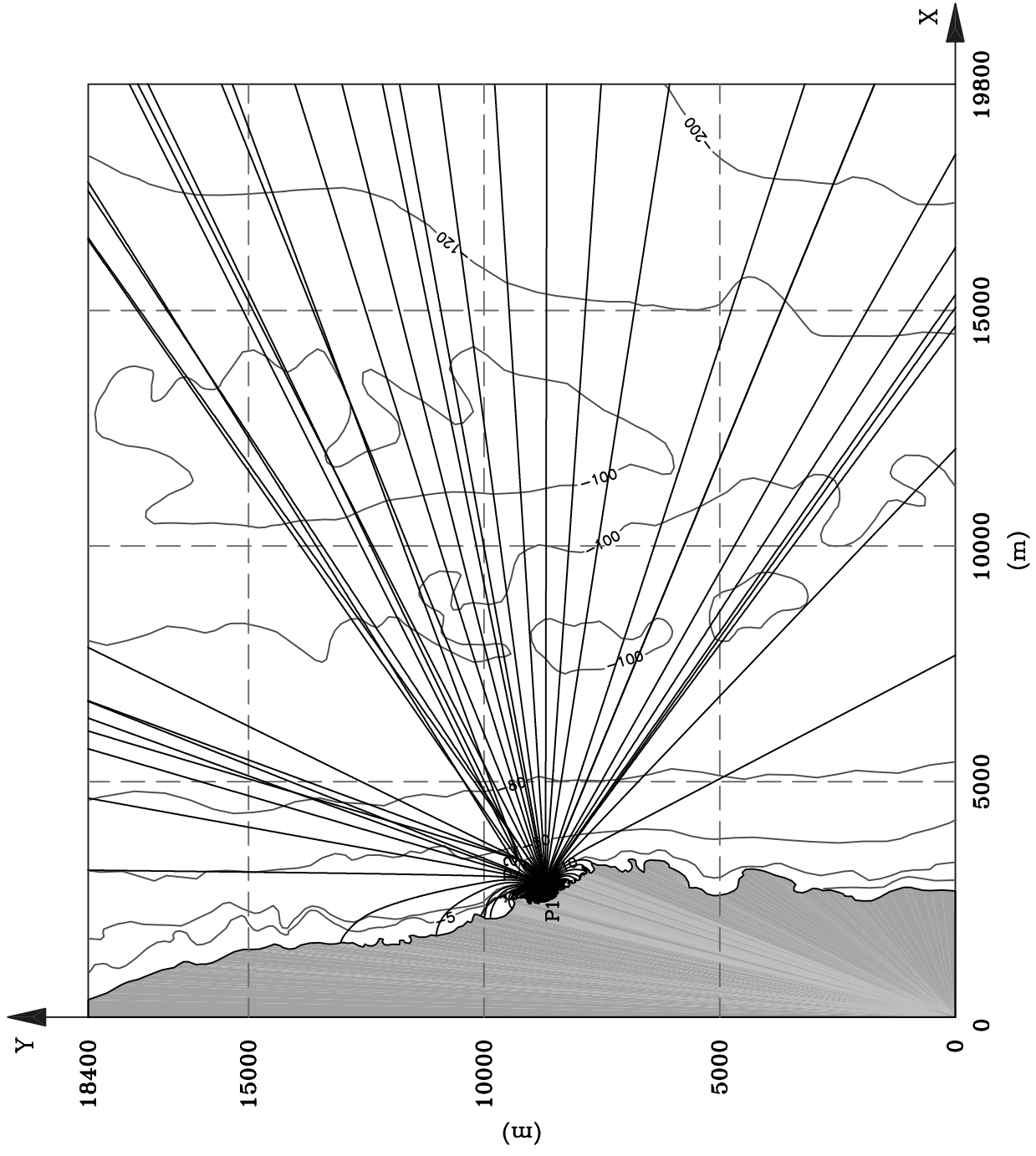


Punto P1:  
 X = 2680.1723  
 Y = 8652.7606

Punto P2:  
 X = 2865.8110  
 Y = 9032.3428

Teta = 29.322

Fig 4.2.2 – Griglia di calcolo per il modello Merope – Configurazione con il nuovo porto



Punto P1:  
 X = 2680.1723  
 Y = 8652.7606  
  
 Punto P2:  
 X = 2865.8110  
 Y = 9032.3428  
  
 Teta = 29.322

Fig 4.2.3 – Modello matematico MEROPE – Punto P1– Situazione attuale – Piano d'onda con T = 6 s

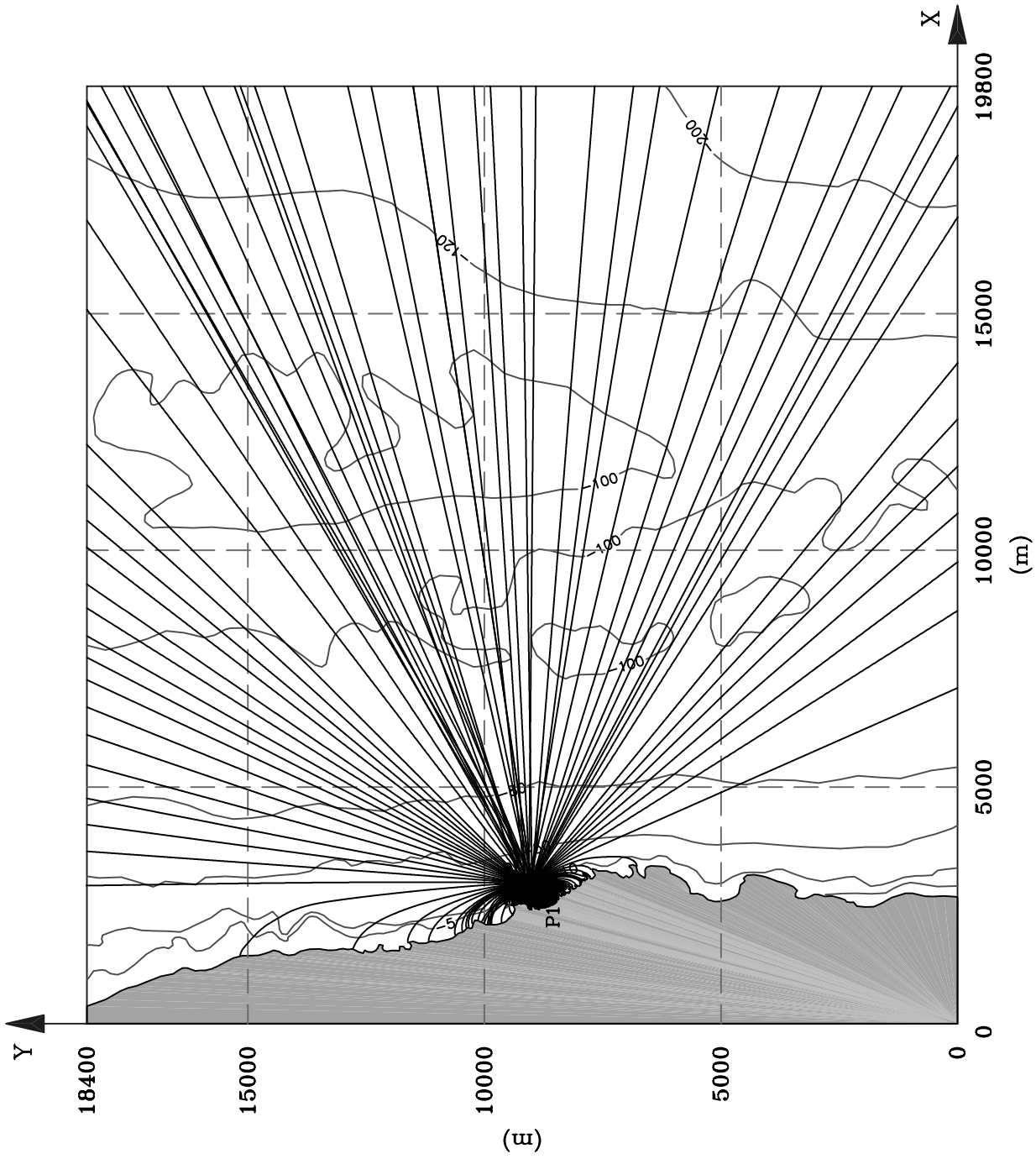
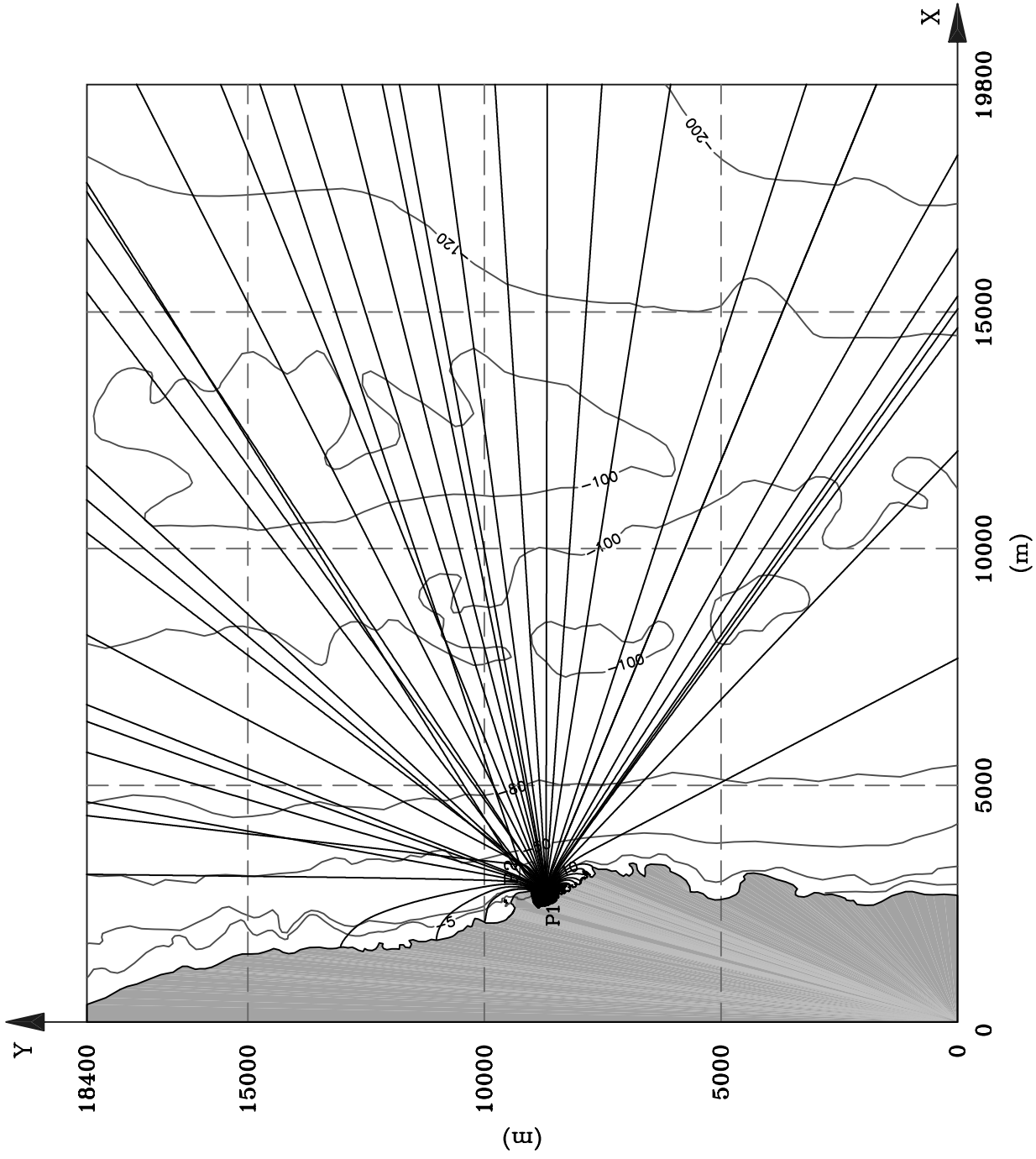


Fig 4.2.4 – Modello matematico MEROPE – Punto P2– Situazione attuale – Piano d'onda con  $T = 6$  s



Punto P1:  
 X = 2680.1723  
 Y = 8652.7606

Punto P2:  
 X = 2865.8110  
 Y = 9032.3428

Teta = 29.322

Fig 4.2.5 – Modello matematico Merope – Punto P1 – Configurazione con il nuovo porto

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 1	1.00	4.51	-80	0.23	2.66	350	0.228	0.59
	1.00	4.51	-70	0.30	2.93	354	0.304	0.65
	1.00	4.51	-60	0.40	3.18	356	0.395	0.70
	1.00	4.51	-50	0.50	3.37	359	0.499	0.75
	1.00	4.51	-40	0.61	3.52	2	0.606	0.78
	1.00	4.51	-30	0.71	3.63	5	0.709	0.80
	1.00	4.51	-20	0.80	3.70	8	0.799	0.82
	1.00	4.51	-10	0.87	3.75	12	0.874	0.83
	1.00	4.51	0	0.93	3.77	16	0.928	0.84
	1.00	4.51	10	0.96	3.77	21	0.959	0.84
	1.00	4.51	20	0.97	3.74	26	0.968	0.83
	1.00	4.51	30	0.96	3.70	32	0.961	0.82
	1.00	4.51	40	0.95	3.66	39	0.949	0.81
	1.00	4.51	50	0.93	3.64	46	0.935	0.81
	1.00	4.51	60	0.92	3.62	53	0.920	0.80
	1.00	4.51	70	0.90	3.61	59	0.902	0.80
	1.00	4.51	80	0.88	3.59	65	0.880	0.80
	1.00	4.51	90	0.85	3.57	70	0.850	0.79
1.00	4.51	100	0.81	3.53	74	0.808	0.78	
1.00	4.51	110	0.75	3.48	77	0.752	0.77	
Spettro 2	1.50	5.52	-80	0.32	3.18	355	0.215	0.58
	1.50	5.52	-70	0.43	3.51	359	0.287	0.64
	1.50	5.52	-60	0.56	3.82	2	0.375	0.69
	1.50	5.52	-50	0.72	4.08	5	0.479	0.74
	1.50	5.52	-40	0.89	4.28	7	0.592	0.78
	1.50	5.52	-30	1.06	4.44	10	0.708	0.80
	1.50	5.52	-20	1.22	4.54	13	0.814	0.82
	1.50	5.52	-10	1.35	4.59	16	0.899	0.83
	1.50	5.52	0	1.43	4.61	20	0.956	0.84
	1.50	5.52	10	1.48	4.60	24	0.984	0.83
	1.50	5.52	20	1.48	4.58	28	0.989	0.83
	1.50	5.52	30	1.47	4.55	34	0.982	0.82
	1.50	5.52	40	1.46	4.53	39	0.970	0.82
	1.50	5.52	50	1.43	4.51	45	0.956	0.82
	1.50	5.52	60	1.41	4.49	50	0.937	0.81
	1.50	5.52	70	1.37	4.47	56	0.912	0.81
	1.50	5.52	80	1.32	4.44	60	0.878	0.80
	1.50	5.52	90	1.25	4.38	64	0.831	0.79
1.50	5.52	100	1.16	4.30	68	0.771	0.78	
1.50	5.52	110	1.04	4.19	71	0.695	0.76	
Spettro 3	2.00	6.38	-80	0.40	3.54	358	0.202	0.55
	2.00	6.38	-70	0.54	3.94	2	0.271	0.62
	2.00	6.38	-60	0.72	4.31	6	0.358	0.68
	2.00	6.38	-50	0.93	4.63	9	0.464	0.73
	2.00	6.38	-40	1.16	4.88	11	0.580	0.76
	2.00	6.38	-30	1.39	5.05	14	0.697	0.79
	2.00	6.38	-20	1.61	5.16	16	0.803	0.81
	2.00	6.38	-10	1.78	5.23	19	0.889	0.82
	2.00	6.38	0	1.90	5.27	22	0.948	0.83
	2.00	6.38	10	1.96	5.28	25	0.982	0.83
	2.00	6.38	20	2.00	5.29	30	0.998	0.83
	2.00	6.38	30	2.00	5.28	34	1.001	0.83
	2.00	6.38	40	1.99	5.28	39	0.996	0.83
	2.00	6.38	50	1.97	5.28	44	0.985	0.83
	2.00	6.38	60	1.93	5.27	49	0.965	0.83
	2.00	6.38	70	1.87	5.24	53	0.934	0.82
	2.00	6.38	80	1.78	5.20	57	0.889	0.81
	2.00	6.38	90	1.66	5.12	61	0.829	0.80
2.00	6.38	100	1.50	5.00	64	0.752	0.78	
2.00	6.38	110	1.33	4.83	67	0.663	0.76	

Tab. 4.2.1 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P1- configurazione attuale

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 4	2.50	7.13	-80	0.49	3.95	2	0.197	0.55
	2.50	7.13	-70	0.66	4.37	6	0.264	0.61
	2.50	7.13	-60	0.87	4.76	9	0.348	0.67
	2.50	7.13	-50	1.12	5.09	12	0.450	0.71
	2.50	7.13	-40	1.41	5.37	14	0.563	0.75
	2.50	7.13	-30	1.70	5.57	16	0.679	0.78
	2.50	7.13	-20	1.97	5.72	18	0.788	0.80
	2.50	7.13	-10	2.20	5.83	21	0.879	0.82
	2.50	7.13	0	2.37	5.89	23	0.948	0.83
	2.50	7.13	10	2.48	5.94	26	0.992	0.83
	2.50	7.13	20	2.54	5.96	30	1.017	0.84
	2.50	7.13	30	2.57	5.96	34	1.027	0.84
	2.50	7.13	40	2.56	5.97	39	1.025	0.84
	2.50	7.13	50	2.54	5.96	43	1.014	0.84
	2.50	7.13	60	2.48	5.95	47	0.993	0.83
	2.50	7.13	70	2.39	5.93	51	0.958	0.83
	2.50	7.13	80	2.27	5.88	55	0.906	0.82
2.50	7.13	90	2.09	5.79	58	0.835	0.81	
2.50	7.13	100	1.87	5.64	61	0.746	0.79	
2.50	7.13	110	1.61	5.43	63	0.645	0.76	
Spettro 5	3.00	7.81	-80	0.59	4.34	5	0.195	0.56
	3.00	7.81	-70	0.78	4.76	8	0.260	0.61
	3.00	7.81	-60	1.02	5.16	12	0.341	0.66
	3.00	7.81	-50	1.32	5.52	14	0.439	0.71
	3.00	7.81	-40	1.65	5.84	16	0.550	0.75
	3.00	7.81	-30	2.00	6.09	18	0.668	0.78
	3.00	7.81	-20	2.35	6.28	20	0.782	0.80
	3.00	7.81	-10	2.64	6.43	22	0.881	0.82
	3.00	7.81	0	2.88	6.52	24	0.960	0.84
	3.00	7.81	10	3.04	6.58	27	1.013	0.84
	3.00	7.81	20	3.13	6.61	30	1.045	0.85
	3.00	7.81	30	3.17	6.61	34	1.057	0.85
	3.00	7.81	40	3.17	6.60	38	1.056	0.85
	3.00	7.81	50	3.13	6.59	42	1.042	0.84
	3.00	7.81	60	3.05	6.57	46	1.017	0.84
	3.00	7.81	70	2.93	6.54	50	0.977	0.84
	3.00	7.81	80	2.76	6.48	53	0.920	0.83
3.00	7.81	90	2.53	6.39	56	0.843	0.82	
3.00	7.81	100	2.24	6.23	58	0.747	0.80	
3.00	7.81	110	1.91	6.00	61	0.637	0.77	
Spettro 6	3.50	8.44	-80	0.67	4.65	7	0.192	0.55
	3.50	8.44	-70	0.89	5.09	10	0.254	0.60
	3.50	8.44	-60	1.16	5.52	13	0.333	0.65
	3.50	8.44	-50	1.50	5.93	16	0.429	0.70
	3.50	8.44	-40	1.89	6.30	18	0.541	0.75
	3.50	8.44	-30	2.32	6.61	20	0.663	0.78
	3.50	8.44	-20	2.74	6.85	21	0.784	0.81
	3.50	8.44	-10	3.12	7.02	23	0.893	0.83
	3.50	8.44	0	3.43	7.13	25	0.980	0.84
	3.50	8.44	10	3.64	7.19	28	1.040	0.85
	3.50	8.44	20	3.76	7.22	30	1.075	0.85
	3.50	8.44	30	3.81	7.21	34	1.087	0.85
	3.50	8.44	40	3.79	7.19	37	1.083	0.85
	3.50	8.44	50	3.73	7.16	41	1.066	0.85
	3.50	8.44	60	3.63	7.13	45	1.037	0.85
	3.50	8.44	70	3.48	7.10	49	0.994	0.84
	3.50	8.44	80	3.26	7.04	52	0.933	0.83
3.50	8.44	90	2.98	6.95	55	0.851	0.82	
3.50	8.44	100	2.63	6.79	57	0.751	0.80	
3.50	8.44	110	2.23	6.55	59	0.637	0.78	

Tab. 4.2.1 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P1- configurazione attuale



	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	4.00	9.02	-80	0.75	4.87	9	0.187	0.54
	4.00	9.02	-70	0.99	5.34	12	0.247	0.59
	4.00	9.02	-60	1.30	5.83	15	0.324	0.65
	4.00	9.02	-50	1.68	6.30	17	0.419	0.70
	4.00	9.02	-40	2.13	6.73	19	0.533	0.75
	4.00	9.02	-30	2.64	7.09	21	0.659	0.79
	4.00	9.02	-20	3.15	7.37	23	0.788	0.82
	4.00	9.02	-10	3.63	7.56	24	0.907	0.84
	4.00	9.02	0	4.01	7.68	26	1.002	0.85
	4.00	9.02	10	4.27	7.75	28	1.067	0.86
	4.00	9.02	20	4.41	7.76	30	1.102	0.86
	4.00	9.02	30	4.45	7.74	33	1.113	0.86
	4.00	9.02	40	4.42	7.71	37	1.106	0.85
	4.00	9.02	50	4.34	7.68	41	1.086	0.85
	4.00	9.02	60	4.22	7.65	44	1.054	0.85
	4.00	9.02	70	4.03	7.62	48	1.008	0.84
	4.00	9.02	80	3.78	7.57	51	0.945	0.84
4.00	9.02	90	3.45	7.48	54	0.862	0.83	
4.00	9.02	100	3.03	7.32	56	0.758	0.81	
4.00	9.02	110	2.56	7.08	58	0.640	0.78	
Spettro 8	4.50	9.57	-80	0.81	5.04	10	0.181	0.53
	4.50	9.57	-70	1.08	5.55	13	0.239	0.58
	4.50	9.57	-60	1.42	6.10	16	0.315	0.64
	4.50	9.57	-50	1.85	6.65	18	0.411	0.69
	4.50	9.57	-40	2.37	7.14	20	0.528	0.75
	4.50	9.57	-30	2.97	7.55	22	0.659	0.79
	4.50	9.57	-20	3.58	7.86	23	0.794	0.82
	4.50	9.57	-10	4.14	8.06	25	0.919	0.84
	4.50	9.57	0	4.59	8.18	26	1.020	0.85
	4.50	9.57	10	4.90	8.24	28	1.088	0.86
	4.50	9.57	20	5.06	8.25	31	1.124	0.86
	4.50	9.57	30	5.10	8.23	34	1.134	0.86
	4.50	9.57	40	5.07	8.20	37	1.126	0.86
	4.50	9.57	50	4.97	8.17	40	1.104	0.85
	4.50	9.57	60	4.82	8.14	44	1.071	0.85
	4.50	9.57	70	4.61	8.12	48	1.023	0.85
	4.50	9.57	80	4.32	8.07	51	0.959	0.84
4.50	9.57	90	3.93	7.98	53	0.874	0.83	
4.50	9.57	100	3.45	7.83	55	0.767	0.82	
4.50	9.57	110	2.90	7.58	57	0.645	0.79	
Spettro 9	5.00	10.08	-80	0.88	5.23	11	0.177	0.52
	5.00	10.08	-70	1.17	5.76	14	0.233	0.57
	5.00	10.08	-60	1.54	6.37	17	0.308	0.63
	5.00	10.08	-50	2.04	7.00	20	0.407	0.69
	5.00	10.08	-40	2.64	7.56	21	0.528	0.75
	5.00	10.08	-30	3.32	8.00	23	0.664	0.79
	5.00	10.08	-20	4.02	8.31	24	0.803	0.82
	5.00	10.08	-10	4.65	8.50	25	0.929	0.84
	5.00	10.08	0	5.15	8.61	27	1.030	0.85
	5.00	10.08	10	5.49	8.67	29	1.099	0.86
	5.00	10.08	20	5.68	8.68	31	1.137	0.86
	5.00	10.08	30	5.75	8.67	34	1.150	0.86
	5.00	10.08	40	5.72	8.65	37	1.143	0.86
	5.00	10.08	50	5.61	8.62	40	1.122	0.86
	5.00	10.08	60	5.43	8.60	44	1.087	0.85
	5.00	10.08	70	5.19	8.58	47	1.038	0.85
	5.00	10.08	80	4.86	8.53	50	0.972	0.85
5.00	10.08	90	4.42	8.45	52	0.885	0.84	
5.00	10.08	100	3.88	8.30	54	0.776	0.82	
5.00	10.08	110	3.26	8.04	56	0.652	0.80	

Tab. 4.2.1 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P1- configurazione attuale

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 10	5.50	10.58	-80	0.96	5.48	12	0.174	0.52
	5.50	10.58	-70	1.26	6.00	15	0.228	0.57
	5.50	10.58	-60	1.66	6.63	18	0.302	0.63
	5.50	10.58	-50	2.20	7.30	21	0.400	0.69
	5.50	10.58	-40	2.88	7.92	22	0.524	0.75
	5.50	10.58	-30	3.66	8.40	24	0.666	0.79
	5.50	10.58	-20	4.45	8.73	25	0.810	0.82
	5.50	10.58	-10	5.16	8.93	26	0.938	0.84
	5.50	10.58	0	5.72	9.03	27	1.039	0.85
	5.50	10.58	10	6.10	9.08	29	1.109	0.86
	5.50	10.58	20	6.32	9.10	31	1.149	0.86
	5.50	10.58	30	6.41	9.10	34	1.165	0.86
	5.50	10.58	40	6.38	9.09	37	1.160	0.86
	5.50	10.58	50	6.26	9.07	40	1.139	0.86
	5.50	10.58	60	6.07	9.05	43	1.103	0.86
	5.50	10.58	70	5.79	9.03	47	1.053	0.85
	5.50	10.58	80	5.42	8.98	50	0.985	0.85
5.50	10.58	90	4.93	8.90	52	0.896	0.84	
5.50	10.58	100	4.31	8.74	54	0.784	0.83	
5.50	10.58	110	3.60	8.46	55	0.655	0.80	
Spettro 11	6.00	11.05	-80	1.04	5.75	13	0.173	0.52
	6.00	11.05	-70	1.36	6.31	17	0.227	0.57
	6.00	11.05	-60	1.80	6.96	19	0.300	0.63
	6.00	11.05	-50	2.39	7.65	21	0.398	0.69
	6.00	11.05	-40	3.14	8.28	23	0.523	0.75
	6.00	11.05	-30	4.00	8.78	24	0.667	0.79
	6.00	11.05	-20	4.88	9.11	25	0.814	0.82
	6.00	11.05	-10	5.66	9.31	26	0.944	0.84
	6.00	11.05	0	6.28	9.42	28	1.046	0.85
	6.00	11.05	10	6.70	9.47	30	1.117	0.86
	6.00	11.05	20	6.96	9.50	32	1.159	0.86
	6.00	11.05	30	7.07	9.50	34	1.178	0.86
	6.00	11.05	40	7.05	9.50	37	1.175	0.86
	6.00	11.05	50	6.93	9.49	40	1.154	0.86
	6.00	11.05	60	6.71	9.47	43	1.118	0.86
	6.00	11.05	70	6.40	9.44	46	1.066	0.85
	6.00	11.05	80	5.98	9.39	49	0.997	0.85
6.00	11.05	90	5.43	9.30	51	0.905	0.84	
6.00	11.05	100	4.73	9.13	53	0.789	0.83	
6.00	11.05	110	3.94	8.84	55	0.657	0.80	
Spettro 12	6.50	11.50	-80	1.12	6.02	15	0.172	0.52
	6.50	11.5	-70	1.479	6.65	18	0.228	0.58
	6.50	11.5	-60	1.965	7.35	20	0.302	0.64
	6.50	11.5	-50	2.615	8.06	22	0.402	0.70
	6.50	11.5	-40	3.43	8.68	24	0.528	0.75
	6.50	11.5	-30	4.358	9.14	25	0.670	0.80
	6.50	11.5	-20	5.299	9.46	26	0.815	0.82
	6.50	11.5	-10	6.146	9.66	27	0.946	0.84
	6.50	11.5	0	6.824	9.78	28	1.050	0.85
	6.50	11.5	10	7.304	9.85	30	1.124	0.86
	6.50	11.5	20	7.596	9.88	32	1.169	0.86
	6.50	11.5	30	7.729	9.89	34	1.189	0.86
	6.50	11.5	40	7.722	9.89	37	1.188	0.86
	6.50	11.5	50	7.594	9.88	40	1.168	0.86
	6.50	11.5	60	7.356	9.87	43	1.132	0.86
	6.50	11.5	70	7.008	9.84	46	1.078	0.86
	6.50	11.5	80	6.534	9.78	49	1.005	0.85
6.50	11.5	90	5.913	9.67	51	0.910	0.84	
6.50	11.5	100	5.143	9.49	53	0.791	0.83	
6.50	11.5	110	4.28	9.19	54	0.658	0.80	

Tab. 4.2.1 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P1- configurazione attuale

**Fig. 4.2.6a - Rapporto tra l'altezza d'onda al largo Hso e sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo**

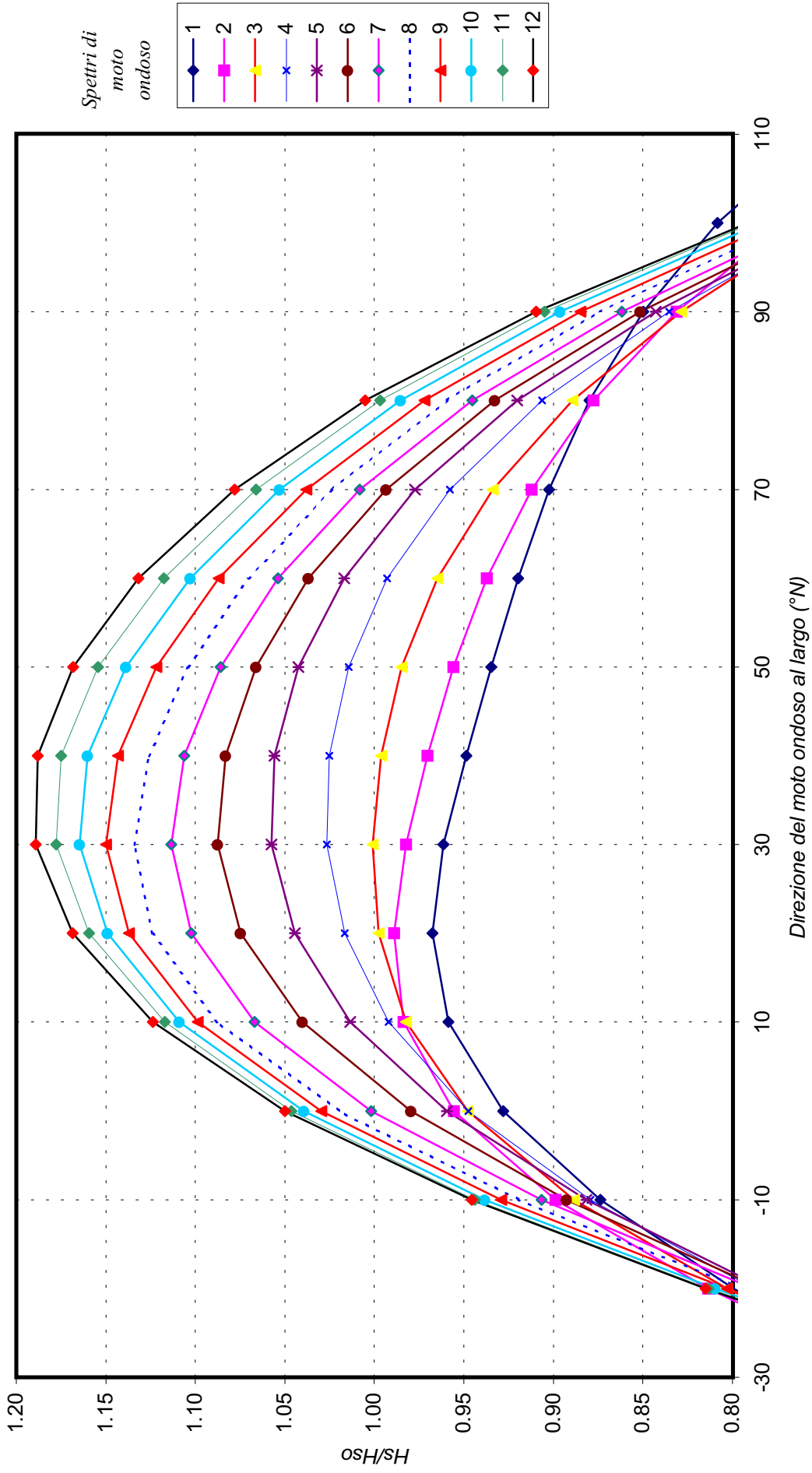
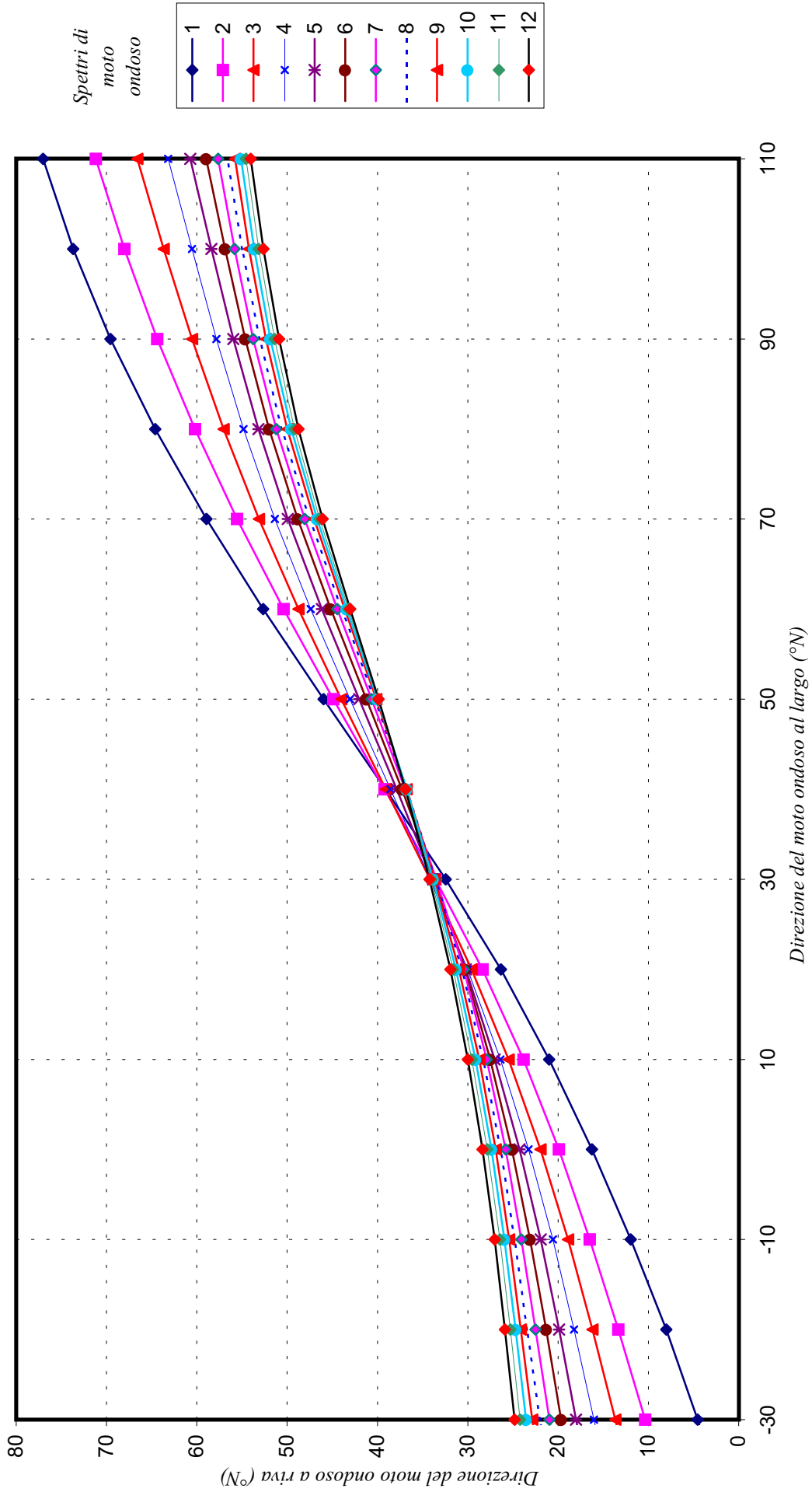


Fig. 4.2.6b - Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva



	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 1	1.00	4.51	-60	0.66	3.42	336	0.660	0.76
	1.00	4.51	-50	0.75	3.49	338	0.748	0.77
	1.00	4.51	-40	0.82	3.54	341	0.820	0.78
	1.00	4.51	-30	0.88	3.57	345	0.875	0.79
	1.00	4.51	-20	0.91	3.59	351	0.913	0.80
	1.00	4.51	-10	0.94	3.59	-3	0.939	0.80
	1.00	4.51	0	0.96	3.60	5	0.957	0.80
	1.00	4.51	10	0.97	3.60	13	0.970	0.80
	1.00	4.51	20	0.98	3.60	22	0.980	0.80
	1.00	4.51	30	0.99	3.60	31	0.986	0.80
	1.00	4.51	40	0.99	3.60	40	0.986	0.80
	1.00	4.51	50	0.98	3.59	50	0.984	0.80
	1.00	4.51	60	0.98	3.59	59	0.978	0.80
	1.00	4.51	70	0.97	3.59	68	0.970	0.80
	1.00	4.51	80	0.96	3.59	77	0.959	0.80
	1.00	4.51	90	0.94	3.59	85	0.945	0.80
	1.00	4.51	100	0.93	3.60	92	0.925	0.80
1.00	4.51	110	0.90	3.60	99	0.897	0.80	
1.00	4.51	120	0.85	3.60	104	0.855	0.80	
1.00	4.51	130	0.79	3.58	108	0.793	0.79	
Spettro 2	1.50	5.52	-60	1.00	4.38	344	0.664	0.79
	1.50	5.52	-50	1.12	4.43	346	0.749	0.80
	1.50	5.52	-40	1.22	4.44	348	0.814	0.80
	1.50	5.52	-30	1.29	4.43	351	0.861	0.80
	1.50	5.52	-20	1.34	4.40	355	0.892	0.80
	1.50	5.52	-10	1.37	4.37	1	0.913	0.79
	1.50	5.52	0	1.40	4.36	8	0.930	0.79
	1.50	5.52	10	1.42	4.36	16	0.946	0.79
	1.50	5.52	20	1.44	4.36	24	0.960	0.79
	1.50	5.52	30	1.46	4.37	32	0.970	0.79
	1.50	5.52	40	1.46	4.38	41	0.975	0.79
	1.50	5.52	50	1.46	4.38	50	0.972	0.79
	1.50	5.52	60	1.45	4.37	58	0.964	0.79
	1.50	5.52	70	1.43	4.37	66	0.951	0.79
	1.50	5.52	80	1.40	4.35	74	0.933	0.79
	1.50	5.52	90	1.37	4.34	81	0.910	0.79
	1.50	5.52	100	1.32	4.32	88	0.882	0.78
1.50	5.52	110	1.27	4.30	94	0.844	0.78	
1.50	5.52	120	1.19	4.26	98	0.795	0.77	
1.50	5.52	130	1.09	4.21	102	0.730	0.76	
Spettro 3	2.00	6.38	-60	1.40	5.21	350	0.699	0.82
	2.00	6.38	-50	1.57	5.26	351	0.786	0.82
	2.00	6.38	-40	1.68	5.24	353	0.841	0.82
	2.00	6.38	-30	1.74	5.18	355	0.868	0.81
	2.00	6.38	-20	1.76	5.09	359	0.880	0.80
	2.00	6.38	-10	1.78	5.03	5	0.889	0.79
	2.00	6.38	0	1.80	5.00	12	0.902	0.78
	2.00	6.38	10	1.84	5.00	19	0.921	0.78
	2.00	6.38	20	1.88	5.01	27	0.940	0.79
	2.00	6.38	30	1.91	5.04	35	0.957	0.79
	2.00	6.38	40	1.93	5.06	43	0.966	0.79
	2.00	6.38	50	1.93	5.07	50	0.967	0.79
	2.00	6.38	60	1.92	5.07	57	0.960	0.79
	2.00	6.38	70	1.89	5.06	65	0.946	0.79
	2.00	6.38	80	1.85	5.05	71	0.925	0.79
	2.00	6.38	90	1.79	5.02	78	0.896	0.79
	2.00	6.38	100	1.72	4.98	84	0.858	0.78
2.00	6.38	110	1.62	4.92	89	0.809	0.77	
2.00	6.38	120	1.49	4.83	93	0.746	0.76	
2.00	6.38	130	1.34	4.72	97	0.671	0.74	

Tab. 4.2.2 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P2

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 4	2.50	7.13	-60	1.76	5.79	353	0.704	0.81
	2.50	7.13	-50	1.98	5.85	354	0.791	0.82
	2.50	7.13	-40	2.11	5.83	356	0.843	0.82
	2.50	7.13	-30	2.16	5.76	358	0.864	0.81
	2.50	7.13	-20	2.17	5.67	2	0.868	0.79
	2.50	7.13	-10	2.18	5.59	8	0.871	0.78
	2.50	7.13	0	2.21	5.57	15	0.883	0.78
	2.50	7.13	10	2.27	5.58	23	0.906	0.78
	2.50	7.13	20	2.33	5.62	31	0.933	0.79
	2.50	7.13	30	2.39	5.66	38	0.956	0.79
	2.50	7.13	40	2.42	5.68	44	0.967	0.80
	2.50	7.13	50	2.42	5.69	50	0.967	0.80
	2.50	7.13	60	2.40	5.69	57	0.959	0.80
	2.50	7.13	70	2.36	5.68	63	0.944	0.80
	2.50	7.13	80	2.31	5.67	69	0.923	0.80
	2.50	7.13	90	2.23	5.64	75	0.891	0.79
	2.50	7.13	100	2.12	5.59	80	0.847	0.78
2.50	7.13	110	1.97	5.51	85	0.788	0.77	
2.50	7.13	120	1.79	5.38	89	0.717	0.76	
2.50	7.13	130	1.59	5.22	92	0.634	0.73	
Spettro 5	3.00	7.81	-60	2.06	6.18	355	0.687	0.79
	3.00	7.81	-50	2.33	6.27	356	0.775	0.80
	3.00	7.81	-40	2.48	6.27	358	0.826	0.80
	3.00	7.81	-30	2.53	6.21	1	0.844	0.79
	3.00	7.81	-20	2.54	6.12	5	0.847	0.78
	3.00	7.81	-10	2.56	6.08	11	0.852	0.78
	3.00	7.81	0	2.61	6.09	19	0.872	0.78
	3.00	7.81	10	2.71	6.15	26	0.903	0.79
	3.00	7.81	20	2.81	6.21	34	0.937	0.80
	3.00	7.81	30	2.88	6.25	40	0.962	0.80
	3.00	7.81	40	2.91	6.27	45	0.971	0.80
	3.00	7.81	50	2.91	6.25	51	0.968	0.80
	3.00	7.81	60	2.87	6.24	56	0.957	0.80
	3.00	7.81	70	2.82	6.22	62	0.939	0.80
	3.00	7.81	80	2.75	6.21	67	0.916	0.79
	3.00	7.81	90	2.65	6.19	72	0.884	0.79
	3.00	7.81	100	2.52	6.14	77	0.839	0.79
3.00	7.81	110	2.33	6.05	81	0.777	0.77	
3.00	7.81	120	2.10	5.91	85	0.699	0.76	
3.00	7.81	130	1.83	5.70	89	0.611	0.73	
Spettro 6	3.50	8.44	-60	2.28	6.43	356	0.652	0.76
	3.50	8.44	-50	2.58	6.55	358	0.738	0.78
	3.50	8.44	-40	2.76	6.57	360	0.790	0.78
	3.50	8.44	-30	2.84	6.55	3	0.813	0.78
	3.50	8.44	-20	2.88	6.52	7	0.823	0.77
	3.50	8.44	-10	2.94	6.54	14	0.839	0.78
	3.50	8.44	0	3.04	6.61	22	0.869	0.78
	3.50	8.44	10	3.18	6.71	29	0.909	0.79
	3.50	8.44	20	3.31	6.78	35	0.946	0.80
	3.50	8.44	30	3.39	6.80	41	0.970	0.81
	3.50	8.44	40	3.41	6.80	46	0.976	0.81
	3.50	8.44	50	3.39	6.77	51	0.968	0.80
	3.50	8.44	60	3.33	6.73	55	0.951	0.80
	3.50	8.44	70	3.26	6.70	61	0.931	0.79
	3.50	8.44	80	3.17	6.68	66	0.907	0.79
	3.50	8.44	90	3.06	6.66	70	0.875	0.79
	3.50	8.44	100	2.90	6.62	75	0.828	0.78
3.50	8.44	110	2.68	6.53	79	0.765	0.77	
3.50	8.44	120	2.39	6.37	83	0.684	0.75	
3.50	8.44	130	2.07	6.14	86	0.592	0.73	

Tab. 4.2.2 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P2

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	4.00	9.02	-60	2.44	6.58	357	0.610	0.73
	4.00	9.02	-50	2.75	6.71	359	0.688	0.74
	4.00	9.02	-40	2.97	6.78	1	0.742	0.75
	4.00	9.02	-30	3.10	6.83	5	0.775	0.76
	4.00	9.02	-20	3.20	6.88	10	0.800	0.76
	4.00	9.02	-10	3.32	6.98	16	0.831	0.77
	4.00	9.02	0	3.49	7.10	24	0.872	0.79
	4.00	9.02	10	3.67	7.22	31	0.918	0.80
	4.00	9.02	20	3.83	7.30	37	0.958	0.81
	4.00	9.02	30	3.92	7.32	41	0.980	0.81
	4.00	9.02	40	3.92	7.30	46	0.981	0.81
	4.00	9.02	50	3.87	7.24	50	0.967	0.80
	4.00	9.02	60	3.78	7.18	55	0.945	0.80
	4.00	9.02	70	3.68	7.13	59	0.921	0.79
	4.00	9.02	80	3.58	7.11	64	0.895	0.79
	4.00	9.02	90	3.45	7.09	69	0.863	0.79
	4.00	9.02	100	3.26	7.04	73	0.816	0.78
	4.00	9.02	110	3.00	6.94	77	0.751	0.77
4.00	9.02	120	2.67	6.77	81	0.668	0.75	
4.00	9.02	130	2.30	6.51	84	0.574	0.72	
Spettro 8	4.50	9.57	-60	2.56	6.69	358	0.568	0.70
	4.50	9.57	-50	2.88	6.84	360	0.640	0.72
	4.50	9.57	-40	3.13	6.97	3	0.696	0.73
	4.50	9.57	-30	3.33	7.08	6	0.740	0.74
	4.50	9.57	-20	3.50	7.22	12	0.779	0.75
	4.50	9.57	-10	3.70	7.38	18	0.822	0.77
	4.50	9.57	0	3.93	7.55	26	0.873	0.79
	4.50	9.57	10	4.17	7.70	32	0.926	0.80
	4.50	9.57	20	4.36	7.79	37	0.969	0.81
	4.50	9.57	30	4.46	7.82	42	0.991	0.82
	4.50	9.57	40	4.45	7.79	45	0.989	0.81
	4.50	9.57	50	4.36	7.71	50	0.970	0.81
	4.50	9.57	60	4.24	7.63	54	0.942	0.80
	4.50	9.57	70	4.11	7.56	58	0.913	0.79
	4.50	9.57	80	3.98	7.52	63	0.884	0.79
	4.50	9.57	90	3.82	7.47	68	0.849	0.78
	4.50	9.57	100	3.60	7.41	72	0.801	0.77
	4.50	9.57	110	3.30	7.30	75	0.734	0.76
4.50	9.57	120	2.93	7.11	79	0.651	0.74	
4.50	9.57	130	2.51	6.83	82	0.557	0.71	
Spettro 9	5.00	10.08	-60	2.65	6.78	359	0.530	0.67
	5.00	10.08	-50	2.99	6.96	1	0.598	0.69
	5.00	10.08	-40	3.28	7.13	4	0.657	0.71
	5.00	10.08	-30	3.54	7.32	8	0.709	0.73
	5.00	10.08	-20	3.80	7.53	14	0.759	0.75
	5.00	10.08	-10	4.07	7.74	20	0.813	0.77
	5.00	10.08	0	4.36	7.95	27	0.872	0.79
	5.00	10.08	10	4.65	8.12	33	0.929	0.81
	5.00	10.08	20	4.88	8.23	38	0.975	0.82
	5.00	10.08	30	5.00	8.27	42	1.000	0.82
	5.00	10.08	40	5.00	8.26	45	0.999	0.82
	5.00	10.08	50	4.90	8.19	49	0.980	0.81
	5.00	10.08	60	4.74	8.10	53	0.948	0.80
	5.00	10.08	70	4.56	8.00	58	0.912	0.79
	5.00	10.08	80	4.38	7.92	62	0.876	0.79
	5.00	10.08	90	4.18	7.84	66	0.835	0.78
	5.00	10.08	100	3.92	7.75	70	0.784	0.77
	5.00	10.08	110	3.58	7.62	74	0.717	0.76
5.00	10.08	120	3.17	7.43	77	0.635	0.74	
5.00	10.08	130	2.71	7.14	81	0.543	0.71	

Tab. 4.2.2 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P2

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 10	5.50	10.58	-60	2.72	6.85	359	0.494	0.65
	5.50	10.58	-50	3.07	7.06	2	0.558	0.67
	5.50	10.58	-40	3.41	7.29	5	0.619	0.69
	5.50	10.58	-30	3.73	7.55	10	0.679	0.71
	5.50	10.58	-20	4.07	7.82	16	0.740	0.74
	5.50	10.58	-10	4.42	8.09	22	0.803	0.76
	5.50	10.58	0	4.78	8.34	28	0.869	0.79
	5.50	10.58	10	5.13	8.53	34	0.932	0.81
	5.50	10.58	20	5.40	8.67	38	0.983	0.82
	5.50	10.58	30	5.56	8.74	42	1.012	0.83
	5.50	10.58	40	5.58	8.75	45	1.014	0.83
	5.50	10.58	50	5.47	8.69	49	0.995	0.82
	5.50	10.58	60	5.28	8.59	52	0.959	0.81
	5.50	10.58	70	5.04	8.47	57	0.916	0.80
	5.50	10.58	80	4.79	8.35	61	0.872	0.79
	5.50	10.58	90	4.54	8.24	65	0.825	0.78
	5.50	10.58	100	4.24	8.12	69	0.771	0.77
5.50	10.58	110	3.86	7.97	72	0.702	0.75	
5.50	10.58	120	3.41	7.76	76	0.620	0.73	
5.50	10.58	130	2.91	7.46	79	0.529	0.71	
Spettro 11	6.00	11.05	-60	2.78	6.92	360	0.463	0.63
	6.00	11.05	-50	3.15	7.15	3	0.525	0.65
	6.00	11.05	-40	3.52	7.43	7	0.587	0.67
	6.00	11.05	-30	3.92	7.76	12	0.653	0.70
	6.00	11.05	-20	4.33	8.09	17	0.722	0.73
	6.00	11.05	-10	4.76	8.41	23	0.793	0.76
	6.00	11.05	0	5.19	8.69	29	0.865	0.79
	6.00	11.05	10	5.60	8.91	34	0.933	0.81
	6.00	11.05	20	5.93	9.08	38	0.988	0.82
	6.00	11.05	30	6.13	9.17	42	1.022	0.83
	6.00	11.05	40	6.18	9.21	45	1.030	0.83
	6.00	11.05	50	6.07	9.17	48	1.012	0.83
	6.00	11.05	60	5.85	9.09	52	0.975	0.82
	6.00	11.05	70	5.56	8.96	56	0.927	0.81
	6.00	11.05	80	5.25	8.80	60	0.875	0.80
	6.00	11.05	90	4.93	8.65	64	0.821	0.78
	6.00	11.05	100	4.57	8.51	68	0.762	0.77
6.00	11.05	110	4.15	8.33	71	0.692	0.75	
6.00	11.05	120	3.66	8.10	74	0.610	0.73	
6.00	11.05	130	3.12	7.80	77	0.520	0.71	
Spettro 12	6.50	11.50	-60	2.84	7.00	1	0.437	0.61
	6.50	11.5	-50	3.2308	7.27	4	0.497	0.63
	6.50	11.5	-40	3.6458	7.60	8	0.561	0.66
	6.50	11.5	-30	4.0976	7.97	13	0.630	0.69
	6.50	11.5	-20	4.5793	8.35	19	0.705	0.73
	6.50	11.5	-10	5.0845	8.71	25	0.782	0.76
	6.50	11.5	0	5.5895	9.03	30	0.860	0.78
	6.50	11.5	10	6.0615	9.28	35	0.933	0.81
	6.50	11.5	20	6.4491	9.46	39	0.992	0.82
	6.50	11.5	30	6.6995	9.58	42	1.031	0.83
	6.50	11.5	40	6.7794	9.65	44	1.043	0.84
	6.50	11.5	50	6.6949	9.64	48	1.030	0.84
	6.50	11.5	60	6.4657	9.58	51	0.995	0.83
	6.50	11.5	70	6.135	9.45	55	0.944	0.82
	6.50	11.5	80	5.751	9.28	59	0.885	0.81
	6.50	11.5	90	5.3457	9.09	63	0.822	0.79
	6.50	11.5	100	4.9181	8.91	66	0.757	0.77
6.50	11.5	110	4.4461	8.71	70	0.684	0.76	
6.50	11.5	120	3.9193	8.48	73	0.603	0.74	
6.50	11.5	130	3.3526	8.18	76	0.516	0.71	

Tab. 4.2.2 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P2



**Fig. 4.2.7a - Rapporto tra l'altezza d'onda al largo Hso e sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo**

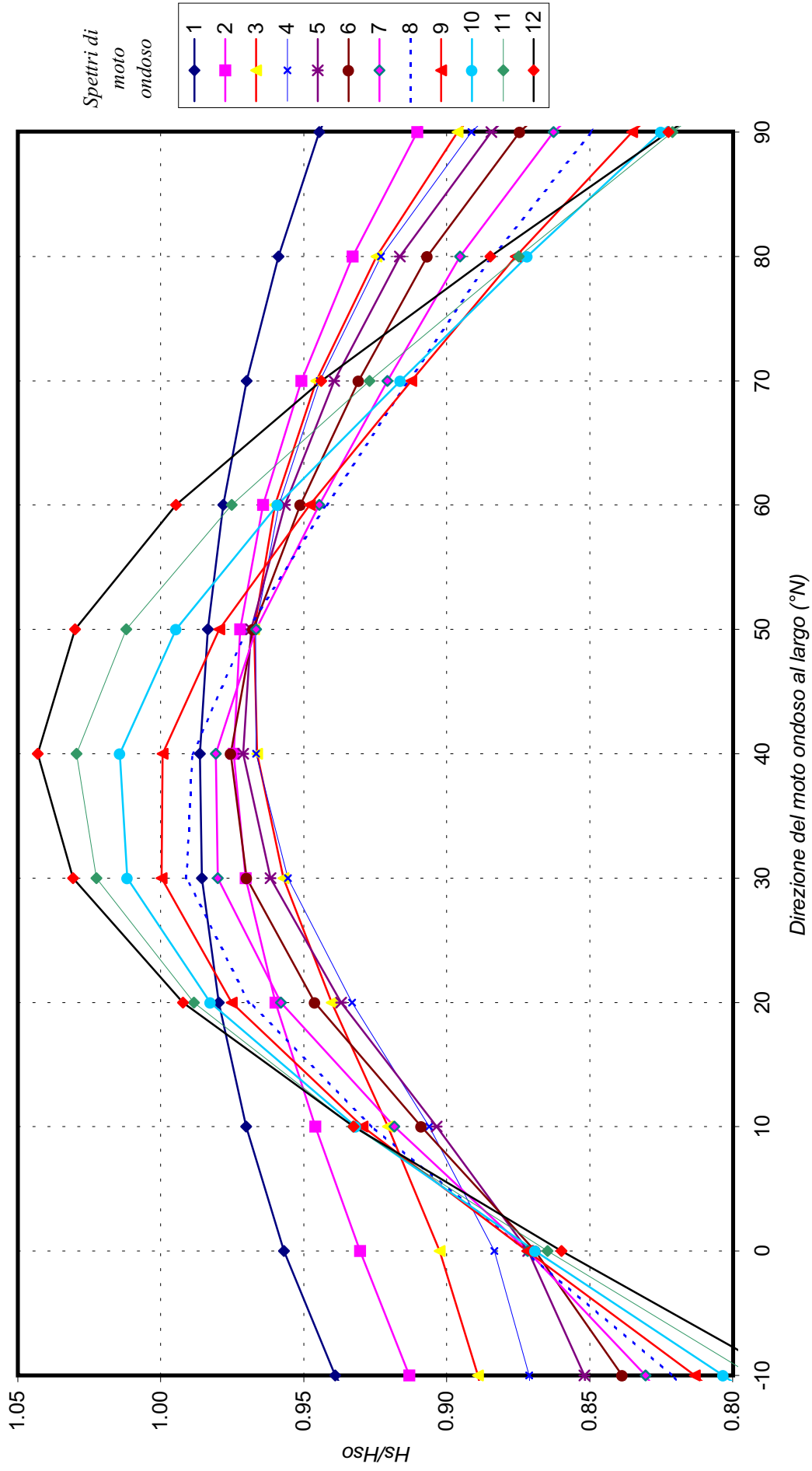
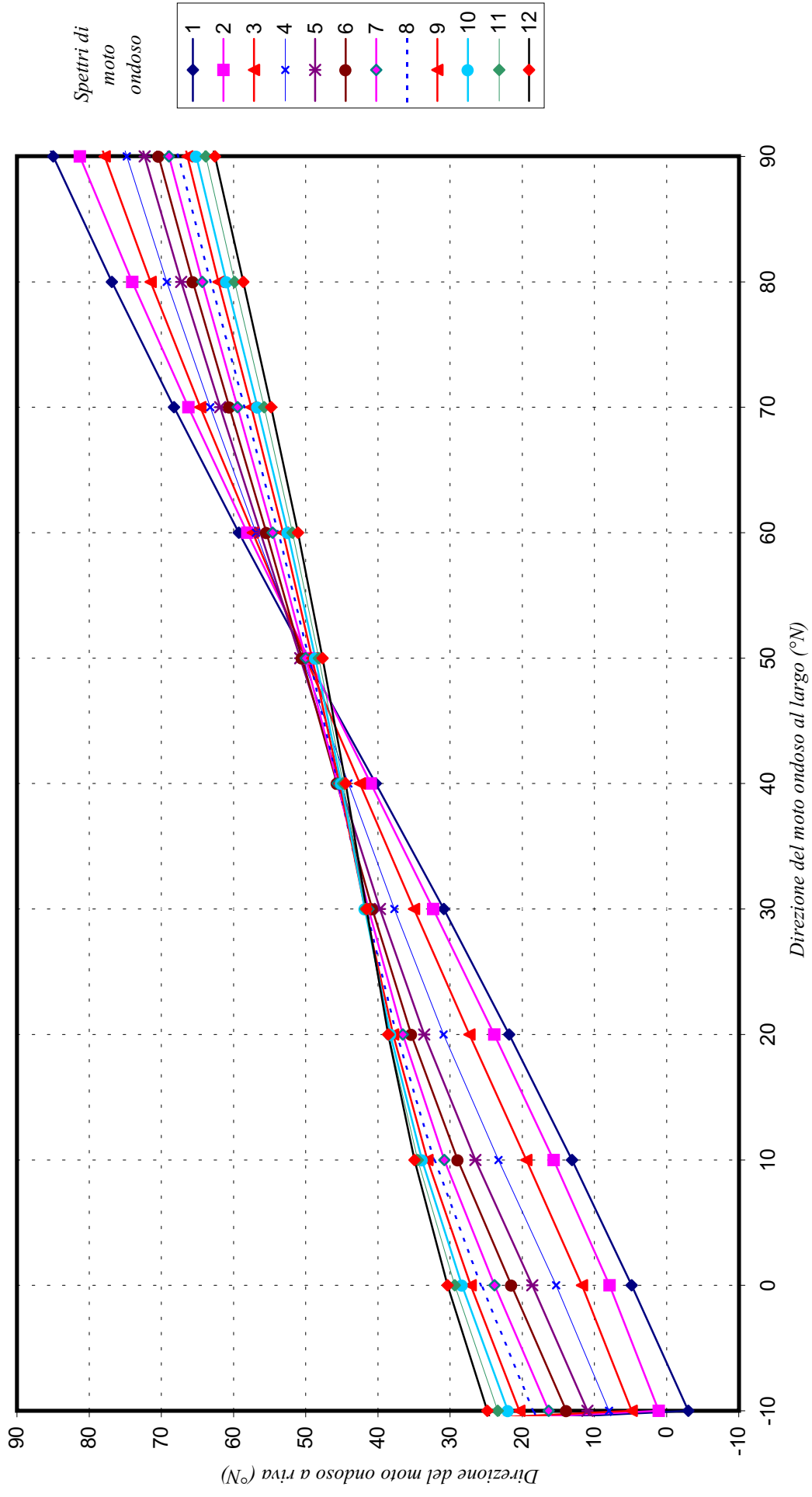


Fig. 4.2.7b - Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva



	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 1	1.00	4.51	-40	0.44	3.48	8	0.444	0.77
	1.00	4.51	-30	0.55	3.60	10	0.550	0.80
	1.00	4.51	-20	0.65	3.67	12	0.649	0.81
	1.00	4.51	-10	0.73	3.70	15	0.734	0.82
	1.00	4.51	0	0.80	3.70	19	0.800	0.82
	1.00	4.51	10	0.85	3.70	24	0.848	0.82
	1.00	4.51	20	0.88	3.68	29	0.881	0.82
	1.00	4.51	30	0.90	3.67	35	0.904	0.81
	1.00	4.51	40	0.92	3.65	41	0.916	0.81
	1.00	4.51	50	0.92	3.64	47	0.919	0.81
	1.00	4.51	60	0.91	3.63	53	0.912	0.80
	1.00	4.51	70	0.90	3.61	59	0.897	0.80
	1.00	4.51	80	0.87	3.60	64	0.873	0.80
	1.00	4.51	90	0.84	3.57	69	0.836	0.79
	1.00	4.51	100	0.79	3.53	73	0.785	0.78
	1.00	4.51	110	0.72	3.46	76	0.719	0.77
	1.00	4.51	120	0.64	3.37	79	0.638	0.75
	1.00	4.51	130	0.55	3.24	81	0.548	0.72
1.00	4.51	140	0.46	3.10	84	0.457	0.69	
1.00	4.51	150	0.37	2.94	86	0.372	0.65	
Spettro 2	1.50	5.52	-40	0.67	4.22	11	0.449	0.76
	1.50	5.52	-30	0.83	4.38	13	0.557	0.79
	1.50	5.52	-20	0.99	4.49	15	0.660	0.81
	1.50	5.52	-10	1.13	4.56	18	0.751	0.83
	1.50	5.52	0	1.24	4.60	21	0.824	0.83
	1.50	5.52	10	1.32	4.62	25	0.879	0.84
	1.50	5.52	20	1.37	4.62	30	0.916	0.84
	1.50	5.52	30	1.41	4.60	35	0.939	0.83
	1.50	5.52	40	1.42	4.58	40	0.949	0.83
	1.50	5.52	50	1.42	4.56	45	0.947	0.83
	1.50	5.52	60	1.40	4.54	50	0.935	0.82
	1.50	5.52	70	1.37	4.50	55	0.911	0.82
	1.50	5.52	80	1.31	4.47	60	0.877	0.81
	1.50	5.52	90	1.24	4.42	64	0.828	0.80
	1.50	5.52	100	1.14	4.35	67	0.763	0.79
	1.50	5.52	110	1.02	4.25	70	0.683	0.77
	1.50	5.52	120	0.89	4.09	73	0.590	0.74
	1.50	5.52	130	0.74	3.88	75	0.493	0.70
1.50	5.52	140	0.60	3.63	78	0.400	0.66	
1.50	5.52	150	0.48	3.35	81	0.318	0.61	
Spettro 3	2.00	6.38	-40	0.91	4.90	15	0.453	0.77
	2.00	6.38	-30	1.12	5.09	16	0.561	0.80
	2.00	6.38	-20	1.34	5.22	18	0.668	0.82
	2.00	6.38	-10	1.53	5.31	20	0.766	0.83
	2.00	6.38	0	1.70	5.37	23	0.848	0.84
	2.00	6.38	10	1.82	5.40	26	0.911	0.85
	2.00	6.38	20	1.91	5.41	30	0.953	0.85
	2.00	6.38	30	1.96	5.40	35	0.978	0.85
	2.00	6.38	40	1.97	5.38	39	0.986	0.84
	2.00	6.38	50	1.96	5.35	44	0.980	0.84
	2.00	6.38	60	1.93	5.32	49	0.963	0.83
	2.00	6.38	70	1.87	5.29	53	0.934	0.83
	2.00	6.38	80	1.78	5.24	57	0.891	0.82
	2.00	6.38	90	1.66	5.17	60	0.831	0.81
	2.00	6.38	100	1.51	5.07	63	0.754	0.79
	2.00	6.38	110	1.32	4.92	66	0.662	0.77
	2.00	6.38	120	1.12	4.71	69	0.561	0.74
	2.00	6.38	130	0.92	4.44	71	0.459	0.70
2.00	6.38	140	0.73	4.10	74	0.366	0.64	
2.00	6.38	150	0.57	3.75	77	0.287	0.59	

Tab. 4.2.3 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P1- configurazione con porto

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 4	2.50	7.13	-40	1.14	5.51	17	0.457	0.77
	2.50	7.13	-30	1.43	5.74	19	0.572	0.81
	2.50	7.13	-20	1.72	5.91	20	0.686	0.83
	2.50	7.13	-10	1.98	6.01	22	0.790	0.84
	2.50	7.13	0	2.19	6.06	25	0.876	0.85
	2.50	7.13	10	2.35	6.09	28	0.940	0.85
	2.50	7.13	20	2.46	6.09	31	0.982	0.85
	2.50	7.13	30	2.52	6.07	35	1.007	0.85
	2.50	7.13	40	2.54	6.05	40	1.016	0.85
	2.50	7.13	50	2.53	6.04	44	1.011	0.85
	2.50	7.13	60	2.48	6.01	48	0.992	0.84
	2.50	7.13	70	2.40	5.98	52	0.960	0.84
	2.50	7.13	80	2.28	5.92	55	0.910	0.83
	2.50	7.13	90	2.10	5.84	58	0.841	0.82
	2.50	7.13	100	1.88	5.71	60	0.752	0.80
	2.50	7.13	110	1.62	5.52	63	0.649	0.77
	2.50	7.13	120	1.35	5.26	65	0.540	0.74
	Spettro 5	3.00	7.81	-40	1.37	6.01	18	0.458
3.00		7.81	-30	1.74	6.30	20	0.580	0.81
3.00		7.81	-20	2.11	6.50	22	0.702	0.83
3.00		7.81	-10	2.43	6.61	24	0.812	0.85
3.00		7.81	0	2.70	6.67	26	0.900	0.85
3.00		7.81	10	2.89	6.69	29	0.964	0.86
3.00		7.81	20	3.02	6.69	32	1.007	0.86
3.00		7.81	30	3.10	6.68	36	1.032	0.86
3.00		7.81	40	3.12	6.67	40	1.042	0.85
3.00		7.81	50	3.11	6.66	44	1.037	0.85
3.00		7.81	60	3.06	6.64	47	1.019	0.85
3.00		7.81	70	2.95	6.61	51	0.984	0.85
3.00		7.81	80	2.79	6.55	54	0.929	0.84
3.00		7.81	90	2.56	6.46	56	0.852	0.83
3.00		7.81	100	2.27	6.31	58	0.756	0.81
3.00		7.81	110	1.94	6.09	61	0.645	0.78
3.00		7.81	120	1.59	5.79	63	0.530	0.74
Spettro 6		3.50	8.44	-40	1.61	6.48	20	0.459
	3.50	8.44	-30	2.05	6.79	22	0.584	0.80
	3.50	8.44	-20	2.49	7.00	23	0.710	0.83
	3.50	8.44	-10	2.88	7.14	25	0.824	0.85
	3.50	8.44	0	3.20	7.21	27	0.916	0.85
	3.50	8.44	10	3.44	7.24	30	0.983	0.86
	3.50	8.44	20	3.60	7.25	33	1.028	0.86
	3.50	8.44	30	3.69	7.24	36	1.055	0.86
	3.50	8.44	40	3.73	7.24	40	1.066	0.86
	3.50	8.44	50	3.72	7.23	44	1.063	0.86
	3.50	8.44	60	3.65	7.22	47	1.044	0.86
	3.50	8.44	70	3.53	7.19	50	1.007	0.85
	3.50	8.44	80	3.32	7.13	53	0.948	0.85
	3.50	8.44	90	3.03	7.04	55	0.866	0.83
	3.50	8.44	100	2.67	6.89	57	0.763	0.82
	3.50	8.44	110	2.26	6.65	59	0.646	0.79
	3.50	8.44	120	1.84	6.32	61	0.527	0.75
	3.50	8.44	130	1.46	5.89	63	0.417	0.70
3.50	8.44	140	1.13	5.40	66	0.323	0.64	
3.50	8.44	150	0.87	4.89	69	0.249	0.58	

Tab. 4.2.3 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P1- configurazione con porto

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	4.00	9.02	-40	1.85	6.94	21	0.463	0.77
	4.00	9.02	-30	2.35	7.24	23	0.587	0.80
	4.00	9.02	-20	2.85	7.46	24	0.714	0.83
	4.00	9.02	-10	3.32	7.61	26	0.830	0.84
	4.00	9.02	0	3.71	7.70	28	0.927	0.85
	4.00	9.02	10	4.00	7.74	31	0.999	0.86
	4.00	9.02	20	4.19	7.76	33	1.048	0.86
	4.00	9.02	30	4.31	7.76	37	1.077	0.86
	4.00	9.02	40	4.36	7.76	40	1.089	0.86
	4.00	9.02	50	4.35	7.77	43	1.087	0.86
	4.00	9.02	60	4.27	7.76	47	1.069	0.86
	4.00	9.02	70	4.12	7.73	50	1.030	0.86
	4.00	9.02	80	3.87	7.68	52	0.968	0.85
	4.00	9.02	90	3.52	7.58	54	0.881	0.84
	4.00	9.02	100	3.09	7.42	56	0.772	0.82
	4.00	9.02	110	2.60	7.17	58	0.650	0.79
	4.00	9.02	120	2.10	6.81	59	0.526	0.76
4.00	9.02	130	1.65	6.35	62	0.413	0.70	
4.00	9.02	140	1.27	5.81	64	0.318	0.64	
4.00	9.02	150	0.97	5.24	68	0.243	0.58	
Spettro 8	4.50	9.57	-40	2.11	7.40	22	0.468	0.77
	4.50	9.57	-30	2.66	7.70	24	0.591	0.80
	4.50	9.57	-20	3.23	7.92	25	0.719	0.83
	4.50	9.57	-10	3.77	8.07	27	0.838	0.84
	4.50	9.57	0	4.22	8.17	29	0.939	0.85
	4.50	9.57	10	4.56	8.22	31	1.014	0.86
	4.50	9.57	20	4.79	8.25	34	1.065	0.86
	4.50	9.57	30	4.93	8.26	37	1.097	0.86
	4.50	9.57	40	5.00	8.26	40	1.111	0.86
	4.50	9.57	50	4.99	8.27	43	1.110	0.86
	4.50	9.57	60	4.91	8.26	47	1.091	0.86
	4.50	9.57	70	4.73	8.24	49	1.052	0.86
	4.50	9.57	80	4.44	8.18	52	0.987	0.86
	4.50	9.57	90	4.03	8.09	54	0.896	0.85
	4.50	9.57	100	3.52	7.92	55	0.782	0.83
	4.50	9.57	110	2.94	7.66	57	0.654	0.80
	4.50	9.57	120	2.37	7.28	58	0.526	0.76
4.50	9.57	130	1.85	6.78	60	0.410	0.71	
4.50	9.57	140	1.41	6.18	63	0.313	0.65	
4.50	9.57	150	1.07	5.53	66	0.237	0.58	
Spettro 9	5.00	10.08	-40	2.38	7.85	23	0.476	0.78
	5.00	10.08	-30	3.00	8.16	24	0.601	0.81
	5.00	10.08	-20	3.64	8.37	26	0.728	0.83
	5.00	10.08	-10	4.24	8.52	28	0.848	0.85
	5.00	10.08	0	4.74	8.61	29	0.949	0.85
	5.00	10.08	10	5.13	8.67	32	1.026	0.86
	5.00	10.08	20	5.40	8.70	34	1.080	0.86
	5.00	10.08	30	5.57	8.71	37	1.114	0.86
	5.00	10.08	40	5.65	8.72	40	1.131	0.87
	5.00	10.08	50	5.65	8.73	43	1.130	0.87
	5.00	10.08	60	5.55	8.73	46	1.111	0.87
	5.00	10.08	70	5.35	8.70	49	1.070	0.86
	5.00	10.08	80	5.01	8.65	51	1.003	0.86
	5.00	10.08	90	4.55	8.55	53	0.909	0.85
	5.00	10.08	100	3.96	8.39	54	0.792	0.83
	5.00	10.08	110	3.31	8.12	56	0.662	0.81
	5.00	10.08	120	2.65	7.72	57	0.530	0.77
5.00	10.08	130	2.05	7.17	59	0.409	0.71	
5.00	10.08	140	1.54	6.50	62	0.309	0.65	
5.00	10.08	150	1.15	5.78	65	0.231	0.57	

Tab. 4.2.3 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P1- configurazione con porto

	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 10	5.50	10.58	-40	2.65	8.27	23	0.481	0.78
	5.50	10.58	-30	3.35	8.59	25	0.608	0.81
	5.50	10.58	-20	4.06	8.82	26	0.738	0.83
	5.50	10.58	-10	4.72	8.97	28	0.859	0.85
	5.50	10.58	0	5.28	9.06	30	0.961	0.86
	5.50	10.58	10	5.72	9.11	32	1.039	0.86
	5.50	10.58	20	6.03	9.15	35	1.096	0.86
	5.50	10.58	30	6.23	9.17	37	1.132	0.87
	5.50	10.58	40	6.33	9.18	40	1.150	0.87
	5.50	10.58	50	6.33	9.19	43	1.150	0.87
	5.50	10.58	60	6.22	9.18	46	1.130	0.87
	5.50	10.58	70	5.98	9.15	49	1.088	0.87
	5.50	10.58	80	5.60	9.10	51	1.019	0.86
	5.50	10.58	90	5.07	9.00	53	0.922	0.85
	5.50	10.58	100	4.41	8.82	54	0.801	0.83
	5.50	10.58	110	3.66	8.53	55	0.665	0.81
	5.50	10.58	120	2.91	8.09	57	0.528	0.77
5.50	10.58	130	2.22	7.50	58	0.404	0.71	
5.50	10.58	140	1.66	6.77	61	0.302	0.64	
5.50	10.58	150	1.24	6.01	64	0.225	0.57	
Spettro 11	6.00	11.05	-40	2.92	8.66	24	0.486	0.78
	6.00	11.05	-30	3.69	9.01	25	0.616	0.82
	6.00	11.05	-20	4.49	9.25	27	0.748	0.84
	6.00	11.05	-10	5.22	9.40	28	0.870	0.85
	6.00	11.05	0	5.84	9.49	30	0.973	0.86
	6.00	11.05	10	6.32	9.54	32	1.053	0.86
	6.00	11.05	20	6.66	9.57	35	1.111	0.87
	6.00	11.05	30	6.89	9.59	38	1.149	0.87
	6.00	11.05	40	7.01	9.60	40	1.169	0.87
	6.00	11.05	50	7.01	9.61	43	1.168	0.87
	6.00	11.05	60	6.89	9.60	46	1.148	0.87
	6.00	11.05	70	6.62	9.57	48	1.103	0.87
	6.00	11.05	80	6.19	9.51	50	1.032	0.86
	6.00	11.05	90	5.59	9.41	52	0.932	0.85
	6.00	11.05	100	4.85	9.22	54	0.808	0.83
	6.00	11.05	110	4.01	8.91	55	0.668	0.81
	6.00	11.05	120	3.17	8.45	56	0.528	0.77
6.00	11.05	130	2.41	7.82	58	0.401	0.71	
6.00	11.05	140	1.79	7.07	60	0.299	0.64	
6.00	11.05	150	1.33	6.27	63	0.222	0.57	
Spettro 12	6.50	11.50	-40	3.20	9.04	24	0.492	0.79
	6.50	11.5	-30	4.0607	9.41	26	0.625	0.82
	6.50	11.5	-20	4.927	9.65	27	0.758	0.84
	6.50	11.5	-10	5.7238	9.80	29	0.881	0.85
	6.50	11.5	0	6.3969	9.89	31	0.984	0.86
	6.50	11.5	10	6.925	9.95	33	1.065	0.86
	6.50	11.5	20	7.3131	9.98	35	1.125	0.87
	6.50	11.5	30	7.5713	10.00	38	1.165	0.87
	6.50	11.5	40	7.7033	10.01	40	1.185	0.87
	6.50	11.5	50	7.7041	10.02	43	1.185	0.87
	6.50	11.5	60	7.5624	10.01	46	1.163	0.87
	6.50	11.5	70	7.26	9.97	48	1.117	0.87
	6.50	11.5	80	6.7764	9.90	50	1.043	0.86
	6.50	11.5	90	6.1073	9.79	52	0.940	0.85
	6.50	11.5	100	5.2815	9.59	53	0.813	0.83
	6.50	11.5	110	4.3651	9.28	54	0.672	0.81
	6.50	11.5	120	3.4492	8.82	55	0.531	0.77
6.50	11.5	130	2.6201	8.19	57	0.403	0.71	
6.50	11.5	140	1.9466	7.41	59	0.299	0.64	
6.50	11.5	150	1.4365	6.59	62	0.221	0.57	

Tab. 4.2.3 - Risultati della rifrazione inversa spettrale nel punto P1- configurazione con porto

**Fig. 4.2.8a - Rapporto tra l'altezza d'onda al largo Hso e sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo**

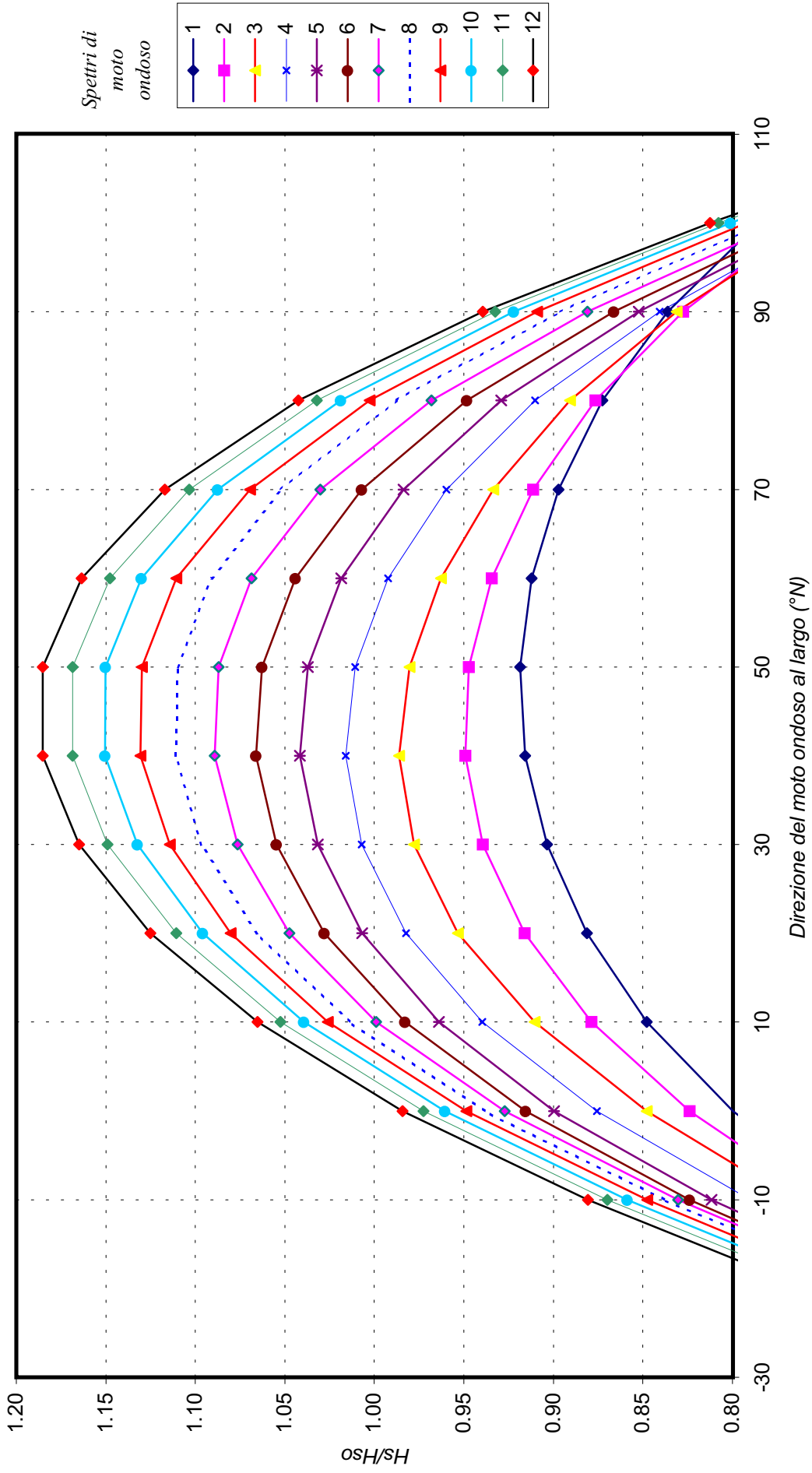
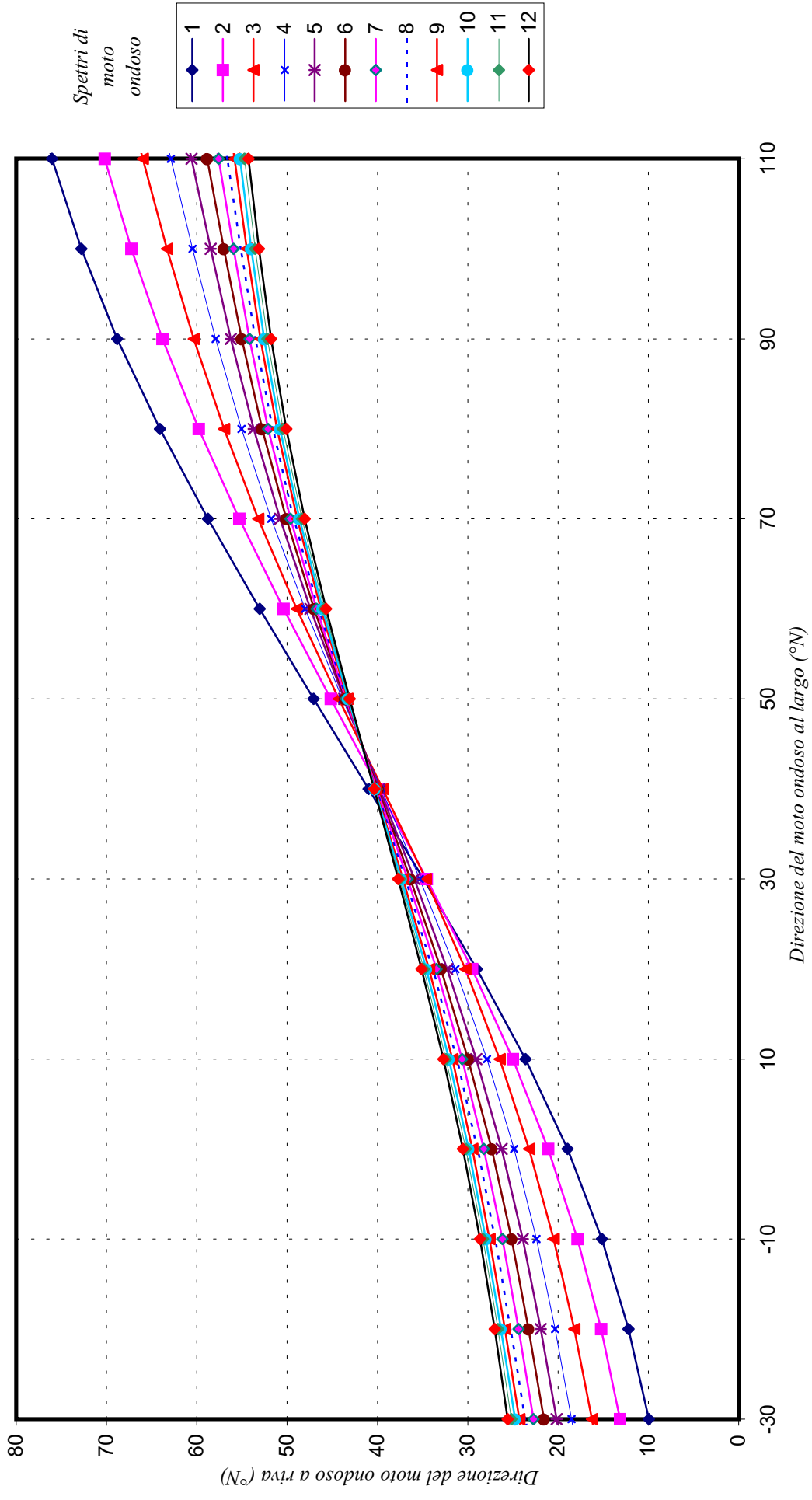


Fig. 4.2.8b - Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva





In generale si evidenzia un'attenuazione delle altezze d'onda associate ad eventi provenienti da Nord-NordOvest e da Est, un incremento per quelli da grecale ed una sostanziale invariabilità per quelli da tramontana (Nord). Più in particolare per i tre punti di inversa si hanno i maggiori valori del coefficiente  $k$  ( $k = k_r \cdot k_s$  con  $k_r$  coefficiente di rifrazione e  $k_s$  coefficiente di shoaling) nei seguenti casi:

1. punto P1 configurazione attuale: eventi da grecale (10 – 70 °N) con  $k_{max} = 1.18$
2. punto P1 configurazione con porto: eventi da grecale (10 – 70 °N) con  $k = 1.18$
3. punto P2: eventi da grecale (25 – 55 °N) con  $k = 1.05$

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

- le onde di tramontana (0 °N) tendono a raggiungere il punto P1 nella situazione attuale, il punto P1 nella situazione con il porto ed il punto P2 rispettivamente con una direzione media di 24°N, 27°N e di 20°N;
- le onde di grecale (225 °N) non subiscono sostanziali rotazioni per i due punti nelle due configurazioni;
- le onde di levante (90 °N) tendono a raggiungere il punto P1 nella situazione attuale, il punto P1 nella situazione con il porto ed il punto P2 rispettivamente con una direzione media di 56°N, 57°N e di 71°N;

Per completare l'analisi del clima sotto costa la serie ondometrica determinata al largo è stata propagata a riva nei due punti precedentemente definiti (punto P1 e P2) facendo riferimento alle due configurazioni portuali (attuali e di progetto).

I risultati dei calcoli condotti con il programma MEROPE sono sintetizzati per classi di altezza e direzione (tabelle da 4.2.4 a 4.2.11 e figure 4.2.9 e 4.2.10, 4.2.9, 4.2.11 e 4.2.12) al fine di fornire un'utile visione d'insieme del clima d'onda sotto costa. Da queste si evidenzia che:

- 1) per il punto P1 nella situazione attuale:
  - il 33% degli eventi (corrispondente ad una durata di 4.0 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale)

Tab.4.2.4 : Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	3.27	7.29	8.46	1.45	0.11											20.58
20	4.36	3.49	4.02	2.35	1.30	0.39	0.17	0.07	0.01	0.01						16.15
30	2.42	1.99	2.37	1.06	0.48	0.22	0.09	0.02	0.01	0.00						8.67
40	1.62	1.16	0.98	0.50	0.26	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00						4.64
50	0.23	0.17	0.14	0.04	0.01	0.00										0.59
60	0.80	1.35	1.70	0.13	0.03											4.02
70	2.49	5.20	2.74	0.10	0.01											10.55
80	3.94	6.30	1.36													11.60
90	4.33	2.29	0.08													6.70
100	0.68	0.01														0.69
110	0.02															0.02
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	0.07															0.07
340	0.70	0.09														0.79
350	1.52	1.32	0.04													2.88
360	3.03	6.68	2.36	0.01												12.07
TOT.	29.48	37.35	24.24	5.64	2.20	0.69	0.28	0.09	0.02	0.01						100.00
Tot. cumul.	66.83	91.08	96.71	98.91	99.59	99.87	99.97	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi validi: 27397

Tab.4.2.5 : Distribuzione invernale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	2.29	6.08	8.72	2.01	0.21											19.31
20	3.28	3.55	5.30	4.24	2.67	0.78	0.54	0.21	0.03	0.03						20.62
30	1.77	2.34	2.97	2.26	1.24	0.51	0.16	0.03	0.04	0.01						11.34
40	1.21	1.26	1.48	0.94	0.61	0.21	0.04	0.03	0.01	0.01						5.83
50	0.18	0.22	0.27	0.04	0.01											0.73
60	0.64	1.15	2.05	0.15	0.06											4.06
70	1.44	4.85	3.74	0.12	0.04											10.20
80	3.43	6.02	1.44													10.89
90	3.88	1.74	0.06													5.68
100	0.28															0.28
110	0.03															0.03
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	0.06															0.06
340	0.45	0.07														0.52
350	0.84	0.94	0.04													1.83
360	2.19	4.31	2.14													8.64
TOT.	21.97	32.54	28.22	9.76	4.85	1.50	0.75	0.27	0.09	0.06						100.00
Tot. cumul.		54.52	82.73	92.50	97.35	98.85	99.60	99.87	99.96	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	

Numero eventi invernali validi: 6678

Tab. 4.2.6: Distribuzione primaverile in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	3.97	8.12	7.64	0.93	0.13											20.79
20	4.71	2.94	2.57	1.35	0.67	0.20	0.04	0.03								12.51
30	3.21	1.48	1.10	0.46	0.10	0.04	0.01									6.42
40	1.86	0.84	0.29	0.09	0.06											3.14
50	0.25	0.16	0.01	0.01												0.44
60	0.83	0.93	1.35													3.11
70	3.27	5.48	2.30	0.04												11.09
80	4.80	7.54	1.19													13.53
90	5.84	3.56	0.07													9.47
100	0.87	0.01														0.89
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	0.06															0.06
340	0.64	0.07														0.71
350	1.67	1.38	0.01													3.07
360	3.49	8.31	2.96	0.01												14.78
TOT.	35.45	40.83	19.51	2.91	0.96	0.25	0.06	0.03								100.00
Tot. cumul.		76.29	95.80	98.71	99.67	99.91	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi primaverili validi: 6882

Tab.4.2.7 : Distribuzione estiva in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	5.34	9.53	10.45	1.69	0.01											27.03
20	6.79	3.76	3.05	0.96	0.38	0.07										15.01
30	3.15	1.31	1.33	0.18	0.01											5.99
40	2.03	0.56	0.18	0.03	0.01											2.82
50	0.27	0.01	0.06													0.34
60	0.66	0.20	0.06													0.92
70	2.22	2.10	0.31													4.63
80	3.91	5.03	0.83													9.77
90	4.43	2.53	0.16													7.12
100	0.93															0.93
110	0.04															0.04
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	0.13															0.13
340	1.26	0.10														1.36
350	2.84	2.08	0.04													4.96
360	5.35	10.52	3.06	0.03												18.96
TOT.	39.35	37.73	19.53	2.89	0.42	0.07										100.00
Tot. cumul.		77.08	96.61	99.51	99.93	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi estivi validi:

7082

Tab.4.2.8 : Distribuzione autunnale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	1.38	5.30	6.94	1.18	0.07											14.88
20	2.52	3.73	5.24	2.95	1.54	0.52	0.10	0.03								16.62
30	1.50	2.89	4.16	1.41	0.61	0.34	0.18	0.06								11.13
40	1.36	2.01	2.03	0.96	0.37	0.10	0.04									6.88
50	0.21	0.30	0.21	0.10	0.04	0.01										0.87
60	1.08	3.20	3.45	0.37	0.04											8.14
70	3.03	8.51	4.74	0.24	0.01											16.54
80	3.60	6.66	2.01													12.27
90	3.12	1.27	0.04													4.44
100	0.62	0.01														0.64
110																
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	0.03															0.03
340	0.41	0.12														0.53
350	0.65	0.84	0.04													1.54
360	0.95	3.32	1.21													5.48
TOT.	20.46	38.16	30.08	7.21	2.69	0.98	0.33	0.09								100.00
Tot. cumul.	58.62	88.70	95.91	98.61	99.59	99.91	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

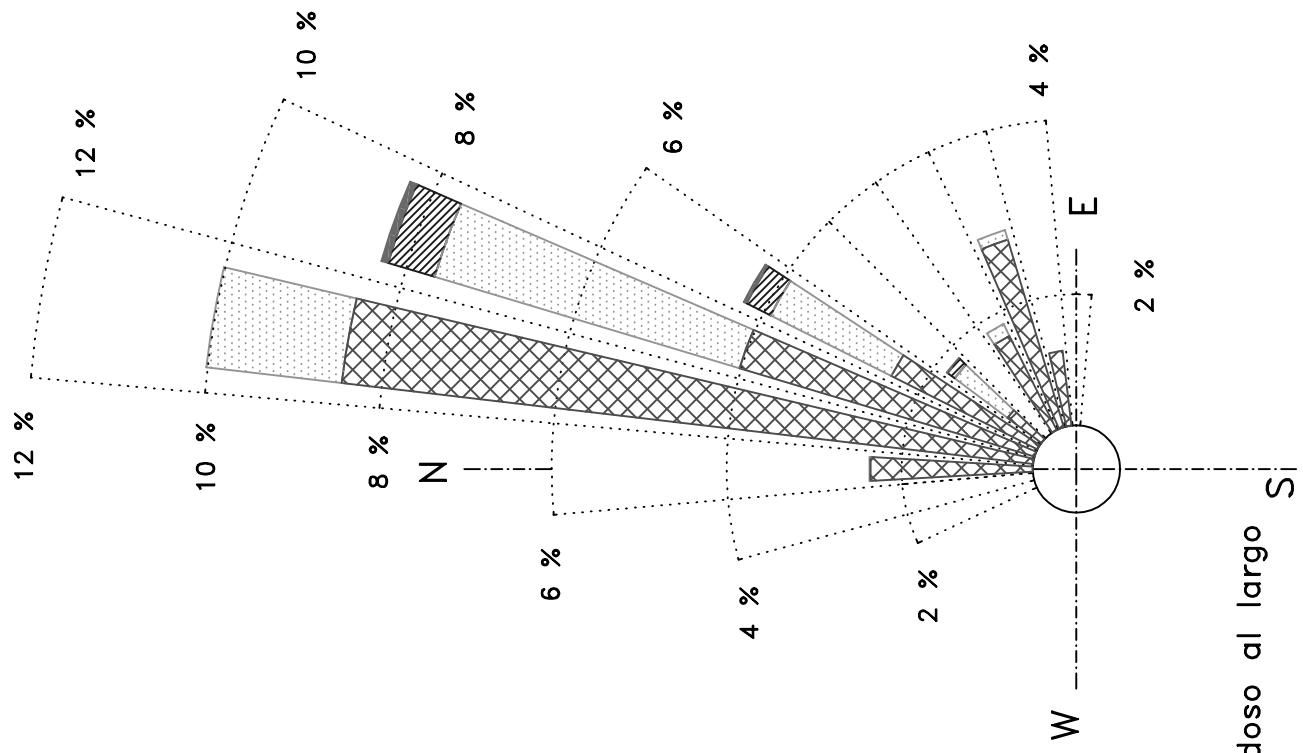
Numero eventi autunnali validi: 6755

Tab.4.2.9a : Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo medio  
Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tm (s)								
Hs (m)	$T_p < 4$	$4 \leq T_p < 6$	$6 \leq T_p < 8$	$8 \leq T_p < 10$	$10 \leq T_p < 12$	$12 \leq T_p < 14$	$T_p > 14$	Tot
0.25 <	6498	1445	106	5	22			8076
0.25 ÷ 0.75	9598	4770	540	28	3			14939
0.75 ÷ 1.25	433	2385	109	6				2933
1.25 ÷ 1.75	4	878	34					916
1.75 ÷ 2.25		318	28					346
2.25 ÷ 2.75		56	67					123
2.75 ÷ 3.25		9	36					45
3.25 ÷ 3.75			13					13
3.75 ÷ 4.25			6					6
4.25 ÷ 4.75								
4.75 ÷ 5.25								
> 5.25								
Tot.	16533	9861	939	39	25			27397

Tab.4.2.9b : Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo medio  
Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tm (s)								Tot	Tot. cumul.
Hs (m)	$T_p < 4$	$4 \leq T_p < 6$	$6 \leq T_p < 8$	$8 \leq T_p < 10$	$10 \leq T_p < 12$	$12 \leq T_p < 14$	$T_p > 14$		
0.25 <	23.72	5.27	0.39	0.02	0.08			29.48	29.48
0.25 ÷ 0.75	35.03	17.41	1.97	0.10	0.01			54.53	84.01
0.75 ÷ 1.25	1.58	8.71	0.40	0.02				10.71	94.71
1.25 ÷ 1.75	0.01	3.20	0.12					3.34	98.06
1.75 ÷ 2.25		1.16	0.10					1.26	99.32
2.25 ÷ 2.75		0.20	0.24					0.45	99.77
2.75 ÷ 3.25		0.03	0.13					0.16	99.93
3.25 ÷ 3.75			0.05					0.05	99.98
3.75 ÷ 4.25			0.02					0.02	100.00
4.25 ÷ 4.75									100.00
4.75 ÷ 5.25									100.00
>5.25									100.00
Tot.	60.35	35.99	3.43	0.14	0.09			100	
Tot. cumul.	60.35	96.34	99.77	99.91	100.00	#VALORE!	100.00		



Altezza d'onda significativa  
H<sub>s</sub> (m)





	0.5 < H <sub>s</sub> <= 1
	H <sub>s</sub> <= 2
	H <sub>s</sub> <= 3
	H <sub>s</sub> > 3

Fig. 4.2.9 – Propagazione nel punto P1 del moto ondoso al largo  
Stato attuale – Clima annuale  
(periodo dal 1 luglio 1989 al 30 giugno 1999)



Tab.4.2.10 : Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	2.29	2.57	2.27	1.17	0.70	0.24	0.11	0.04								9.38
20	2.37	1.90	1.73	0.80	0.43	0.15	0.07	0.03	0.01							7.49
30	1.66	1.13	1.46	0.72	0.28	0.12	0.02	0.00								5.38
40	1.47	0.92	0.99	0.50	0.26	0.11	0.03	0.01	0.00							4.30
50	0.30	0.22	0.11	0.04	0.01	0.01										0.68
60	0.23	0.12	0.10	0.03	0.01	0.00										0.49
70	0.26	0.17	0.11	0.02	0.01											0.57
80	0.33	0.47	0.82	0.26	0.06	0.00										1.94
90	1.05	1.44	3.93	0.97	0.11	0.00										7.50
100	2.58	3.95	4.52	0.55												11.60
110	3.54	5.03	2.20	0.01												10.79
120	0.54	0.34	0.02													0.90
130	0.11	0.00														0.12
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320	0.00															0.00
330	0.66	0.40	0.06													1.12
340	1.08	3.99	2.56	0.08												7.71
350	1.66	6.05	7.71	1.79	0.22	0.03										17.45
360	1.97	3.97	3.93	1.73	0.71	0.22	0.05	0.01								12.58
TOT.	22.09	32.65	32.50	8.68	2.79	0.88	0.28	0.09	0.02							100.00
Tot. cumul.	54.74	87.25	95.93	98.72	99.61	99.89	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi validi: 27397

Tab.4.2.11 : Distribuzione invernale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P2 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	1.51	2.53	2.64	2.10	1.36	0.51	0.40	0.12								11.17
20	1.68	2.02	2.13	1.51	0.87	0.22	0.19	0.10	0.06							8.79
30	1.21	1.32	1.83	1.60	0.81	0.25	0.07	0.01								7.11
40	1.12	0.94	1.56	0.97	0.67	0.28	0.01	0.06	0.01							5.65
50	0.24	0.28	0.19	0.01	0.03	0.03										0.79
60	0.12	0.12	0.18	0.04	0.01											0.48
70	0.28	0.21	0.13	0.03	0.03											0.69
80	0.22	0.42	0.72	0.30	0.10	0.01										1.78
90	0.49	1.15	4.12	1.38	0.10	0.01										7.26
100	1.89	4.34	4.46	0.85												11.55
110	3.10	4.42	1.53													9.05
120	0.37	0.16	0.04													0.58
130	0.09															0.09
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	0.31	0.34	0.07													0.73
340	0.60	2.79	2.13	0.10												5.62
350	1.06	4.28	6.84	2.04	0.40	0.01										14.65
360	1.38	3.62	4.66	2.35	1.38	0.48	0.10	0.04								14.02
TOT.	15.70	28.97	33.23	13.30	5.78	1.83	0.79	0.34	0.07							100.00
Tot. cumul.		44.66	77.89	91.19	96.97	98.80	99.60	99.94	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	

Numero eventi invernali validi: 6678

Tab. 4.2.12: Distribuzione primaverile in forma percentuale degli eventi ondosì, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P2 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	2.67	2.05	1.42	0.76	0.32	0.16	0.01	0.01								7.41
20	2.76	1.58	0.96	0.49	0.12	0.09	0.01	0.01								6.03
30	2.21	0.80	0.54	0.26	0.04											3.85
40	1.67	0.70	0.25	0.09	0.03											2.73
50	0.32	0.17	0.04	0.01												0.55
60	0.32	0.10														0.42
70	0.25	0.16	0.01													0.42
80	0.41	0.33	0.61	0.15												1.50
90	1.51	1.45	3.43	0.80	0.07											7.27
100	2.92	4.40	4.62	0.31												12.25
110	4.78	7.29	3.25	0.01												15.34
120	0.58	0.39														0.97
130	0.15															0.15
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320	0.01															0.01
330	0.62	0.49	0.04													1.16
340	1.22	5.09	3.33	0.03												9.66
350	1.86	7.12	8.63	1.39	0.17	0.04										19.22
360	2.40	4.01	2.80	1.12	0.42	0.23	0.06									11.04
TOT.	26.66	36.15	29.95	5.42	1.18	0.52	0.09	0.03								100.00
Tot. cumul.		62.82	92.76	98.18	99.36	99.88	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi primaverili validi: 6882

Tab.4.2.13: Distribuzione estiva in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P2 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	3.70	2.99	2.01	0.49	0.20	0.03										9.42
20	3.59	1.85	1.16	0.07	0.07	0.01										6.75
30	2.08	0.71	0.78	0.14	0.01											3.71
40	1.85	0.45	0.17	0.03	0.01											2.51
50	0.35	0.06	0.03													0.44
60	0.27	0.01	0.04													0.32
70	0.16	0.08														0.24
80	0.41	0.04	0.06													0.51
90	1.12	0.68	0.80	0.01												2.61
100	3.01	2.22	2.40	0.08												7.71
110	3.76	4.84	2.50	0.01												11.11
120	0.61	0.35	0.01													0.97
130	0.07															0.07
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	1.28	0.47	0.06													1.81
340	2.05	6.21	3.43	0.08												11.78
350	3.19	9.62	10.52	2.46	0.24	0.01										26.04
360	3.30	5.00	3.70	1.48	0.44	0.06	0.01									13.99
TOT.	30.78	35.58	27.66	4.87	0.97	0.11	0.01									100.00
Tot. cumul.		66.37	94.03	98.90	99.87	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi estivi validi: 7082

Tab.4.2.14 : Distribuzione autunnale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P2 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	>=6.5	
10	1.17	2.68	3.03	1.39	0.95	0.30	0.04	0.01								9.58
20	1.38	2.15	2.71	1.18	0.68	0.30	0.09									8.48
30	1.10	1.73	2.74	0.92	0.27	0.22	0.01									6.99
40	1.20	1.61	2.04	0.96	0.34	0.16	0.10									6.42
50	0.28	0.36	0.18	0.15												0.96
60	0.19	0.25	0.18	0.07	0.04	0.01										0.75
70	0.37	0.22	0.30	0.04	0.01											0.95
80	0.27	1.10	1.95	0.61	0.13											4.06
90	1.07	2.50	7.52	1.73	0.27											13.09
100	2.46	4.93	6.69	0.99												15.07
110	2.50	3.51	1.48	0.03												7.52
120	0.61	0.43	0.01													1.05
130	0.15	0.01														0.16
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330	0.38	0.28	0.07													0.74
340	0.38	1.73	1.29	0.10												3.51
350	0.43	2.96	4.68	1.24	0.07	0.03										9.42
360	0.71	3.20	4.59	2.01	0.62	0.10	0.01									11.25
TOT.	14.64	29.65	39.47	11.44	3.39	1.13	0.27	0.01								100.00
Tot. cumul.		44.29	83.76	95.20	98.59	99.72	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi autunnali validi: 6755

Tab.4.2.15a : Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo medio  
Località: S.Foca riva Punto P2 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tm (s)								
Hs (m)	$T_p < 4$	$4 \leq T_p < 6$	$6 \leq T_p < 8$	$8 \leq T_p < 10$	$10 \leq T_p < 12$	$12 \leq T_p < 14$	$T_p > 14$	Tot
0.25 <	4709	1216	103	1	23			6052
0.25 ÷ 0.75	9956	4341	442	25				14764
0.75 ÷ 1.25	1041	3195	389	16				4641
1.25 ÷ 1.75	29	1196	62					1287
1.75 ÷ 2.25		429	32					461
2.25 ÷ 2.75		100	34					134
2.75 ÷ 3.25		25	20					45
3.25 ÷ 3.75		2	11					13
3.75 ÷ 4.25								
4.25 ÷ 4.75								
4.75 ÷ 5.25								
> 5.25								
Tot.	15735	10504	1093	42	23			27397

Tab.4.2.15b : Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo medio  
Località: S.Foca riva Punto P2 - situazione attuale - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tm (s)								Tot	Tot. cumul.
Hs (m)	$T_p < 4$	$4 \leq T_p < 6$	$6 \leq T_p < 8$	$8 \leq T_p < 10$	$10 \leq T_p < 12$	$12 \leq T_p < 14$	$T_p > 14$	Tot	Tot. cumul.
0.25 <	17.19	4.44	0.38	0.00	0.08			22.09	22.09
0.25 ÷ 0.75	36.34	15.85	1.61	0.09				53.89	75.98
0.75 ÷ 1.25	3.80	11.66	1.42	0.06				16.94	92.92
1.25 ÷ 1.75	0.11	4.37	0.23					4.70	97.62
1.75 ÷ 2.25		1.57	0.12					1.68	99.30
2.25 ÷ 2.75		0.37	0.12					0.49	99.79
2.75 ÷ 3.25		0.09	0.07					0.16	99.96
3.25 ÷ 3.75		0.01	0.04					0.05	100.00
3.75 ÷ 4.25									#VALORE!
4.25 ÷ 4.75									100.00
4.75 ÷ 5.25									100.00
>5.25									100.00
Tot.	57.44	38.34	3.99	0.15	0.08			100	
Tot. cumul.	57.44	95.78	99.77	99.92	100.00	#VALORE!	100.00		

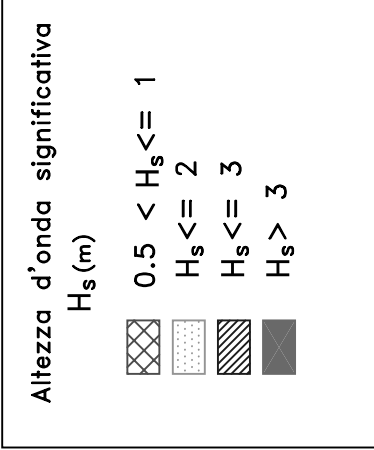
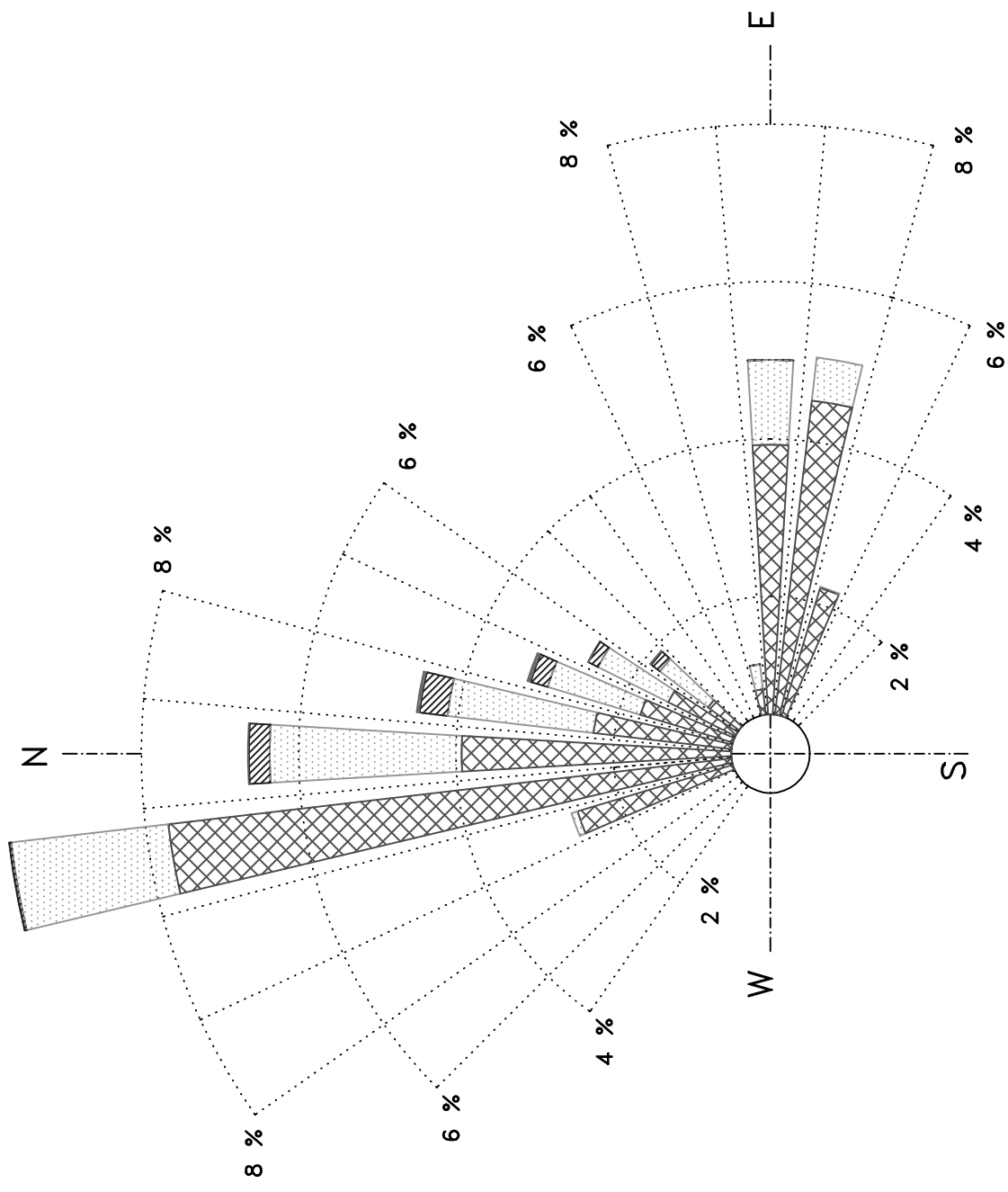


Fig.4.2.10 – Propagazione nel punto P2 del moto ondoso al largo  
Clima annuale  
(periodo dal 1 luglio 1989 al 30 giugno 1999)

Tab.4.2.16 : Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione con porto - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	9.17	11.47	4.62	0.08												25.34
20	6.64	5.22	6.60	2.46	0.81	0.20	0.07	0.01								22.01
30	3.50	2.58	2.77	1.28	0.60	0.26	0.12	0.05	0.01							11.18
40	1.78	1.51	1.16	0.55	0.28	0.10	0.03	0.01	0.01	0.00						5.44
50	0.27	0.19	0.12	0.05	0.02	0.00										0.65
60	0.85	1.41	1.79	0.14	0.02											4.21
70	2.68	5.45	2.72	0.09	0.01											10.95
80	4.14	5.97	1.04													11.14
90	4.29	2.04	0.05													6.38
100	0.84	0.01														0.85
110	0.07															0.07
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350	0.02															0.02
360	1.73	0.03														1.76
TOT.	35.99	35.88	20.86	4.65	1.75	0.57	0.22	0.07	0.02	0.00						100.00
Tot. cumul.		71.87	92.73	97.37	99.12	99.69	99.90	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi validi: 27396



Tab.4.2.17 : Distribuzione invernale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione con porto - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	6.10	8.93	5.21	0.15												20.38
20	4.96	5.09	8.58	4.31	1.66	0.58	0.21	0.06								25.46
30	2.59	2.95	3.46	2.74	1.41	0.51	0.33	0.13	0.06							14.18
40	1.33	1.68	1.81	0.99	0.75	0.28	0.03	0.03	0.03	0.01						6.95
50	0.21	0.27	0.24	0.06	0.03											0.81
60	0.66	1.21	2.17	0.15	0.04											4.24
70	1.60	4.99	3.74	0.12	0.04											10.50
80	3.61	5.81	1.09													10.51
90	3.77	1.60	0.06													5.44
100	0.39															0.39
110	0.07															0.07
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350	0.03															0.03
360	1.03	0.01														1.05
TOT.	26.36	32.54	26.37	8.52	3.94	1.38	0.57	0.22	0.09	0.01						100.00
Tot. cumul.		58.90	85.28	93.80	97.74	99.12	99.69	99.91	100.00	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	100.01	

Numero eventi invernali validi: 6678

Tab. 4.2.18: Distribuzione primaverile in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione con porto - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	11.06	13.67	4.07	0.07												28.87
20	7.41	4.49	4.61	1.48	0.51	0.12	0.03									18.64
30	4.33	1.98	1.39	0.58	0.15	0.06	0.03	0.01								8.53
40	2.12	1.10	0.29	0.12	0.04											3.68
50	0.25	0.19	0.01	0.01												0.46
60	0.92	0.99	1.37	0.03												3.30
70	3.43	5.73	2.19	0.03												11.38
80	5.07	7.27	0.90													13.24
90	5.90	3.07														8.97
100	1.10	0.04														1.15
110	0.07															0.07
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	1.69	0.01														1.70
TOT.	43.34	38.54	14.84	2.32	0.70	0.17	0.06	0.01								100.00
Tot. cumul.		81.88	96.72	99.04	99.74	99.91	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	

Numero eventi primaverili validi: 6881

Tab.4.2.19: Distribuzione estiva in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione con porto - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	15.70	16.29	6.11	0.07												38.18
20	10.32	5.39	5.92	1.37	0.20											23.20
30	4.74	2.01	1.62	0.14	0.04	0.01										8.57
40	2.19	0.64	0.24	0.06	0.01											3.13
50	0.38	0.01	0.04													0.44
60	0.68	0.20	0.07													0.95
70	2.44	2.23	0.32													5.00
80	3.95	4.89	0.59													9.43
90	4.42	2.36	0.10													6.88
100	1.12	0.01														1.13
110	0.06															0.06
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350	0.03															0.03
360	2.97	0.04														3.01
TOT.	49.00	34.07	15.02	1.64	0.25	0.01										100.00
Tot. cumul.		83.07	98.09	99.73	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi estivi validi: 7082

Tab.4.2.20: Distribuzione autunnale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione con porto - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

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	3.45	6.68	3.02	0.01												13.16
20	3.67	5.89	7.37	2.77	0.93	0.13	0.03									20.80
30	2.24	3.43	4.71	1.73	0.86	0.47	0.15	0.04								13.63
40	1.47	2.68	2.38	1.08	0.33	0.12	0.07	0.01								8.14
50	0.25	0.28	0.18	0.13	0.04	0.01										0.90
60	1.15	3.32	3.64	0.37	0.04											8.53
70	3.24	8.99	4.74	0.24	0.01											17.22
80	3.89	5.95	1.58													11.43
90	3.02	1.11	0.03													4.16
100	0.71															0.71
110	0.09															0.09
120																
130																
140																
150																
160																
170																
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350	0.03															0.03
360	1.17	0.03														1.20
TOT.	24.38	38.36	27.65	6.34	2.22	0.74	0.25	0.06								100.00
Tot. cumul.		62.74	90.39	96.73	98.95	99.69	99.94	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Numero eventi autunnali validi: 6755

Tab.4.2.21a : Ripartizione per classi di altezze d'onda significative e periodo medio  
Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione con porto - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tm (s)						Tot	
	T <sub>p</sub> < 4	4 ≤ T <sub>p</sub> < 6	6 ≤ T <sub>p</sub> < 8	8 ≤ T <sub>p</sub> < 10	10 ≤ T <sub>p</sub> < 12	12 ≤ T <sub>p</sub> < 14		T <sub>p</sub> > 14
0.25 <	8037	1660	136	4	23			9860
0.25 ÷ 0.75	7916	5347	602	33	3			13901
0.75 ÷ 1.25	193	2109	137	7				2446
1.25 ÷ 1.75	1	725	43					769
1.75 ÷ 2.25		229	46					275
2.25 ÷ 2.75		35	65					100
2.75 ÷ 3.25		2	30					32
3.25 ÷ 3.75			9					9
3.75 ÷ 4.25			4					4
4.25 ÷ 4.75								
4.75 ÷ 5.25								
> 5.25								
Tot.	16147	10107	1072	44	26			27396

Tab.4.2.21b : Ripartizione percentuale per classi di altezze d'onda significative e periodo medio  
Località: S.Foca riva Punto P1 - situazione con porto - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tm (s)						Tot	Tot. cumul.	
	T <sub>p</sub> < 4	4 ≤ T <sub>p</sub> < 6	6 ≤ T <sub>p</sub> < 8	8 ≤ T <sub>p</sub> < 10	10 ≤ T <sub>p</sub> < 12	12 ≤ T <sub>p</sub> < 14			T <sub>p</sub> > 14
0.25 <	29.34	6.06	0.50	0.01	0.08			35.99	35.99
0.25 ÷ 0.75	28.89	19.52	2.20	0.12	0.01			50.74	86.73
0.75 ÷ 1.25	0.70	7.70	0.50	0.03				8.93	95.66
1.25 ÷ 1.75	0.00	2.65	0.16					2.81	98.47
1.75 ÷ 2.25		0.84	0.17					1.00	99.47
2.25 ÷ 2.75		0.13	0.24					0.37	99.84
2.75 ÷ 3.25		0.01	0.11					0.12	99.95
3.25 ÷ 3.75			0.03					0.03	99.99
3.75 ÷ 4.25			0.01					0.01	100.00
4.25 ÷ 4.75									100.00
4.75 ÷ 5.25									100.00
>5.25									100.00
Tot.	58.94	36.89	3.91	0.16	0.09			100	
Tot. cumul.	58.94	95.83	99.74	99.91		#VALORE!	100.00		

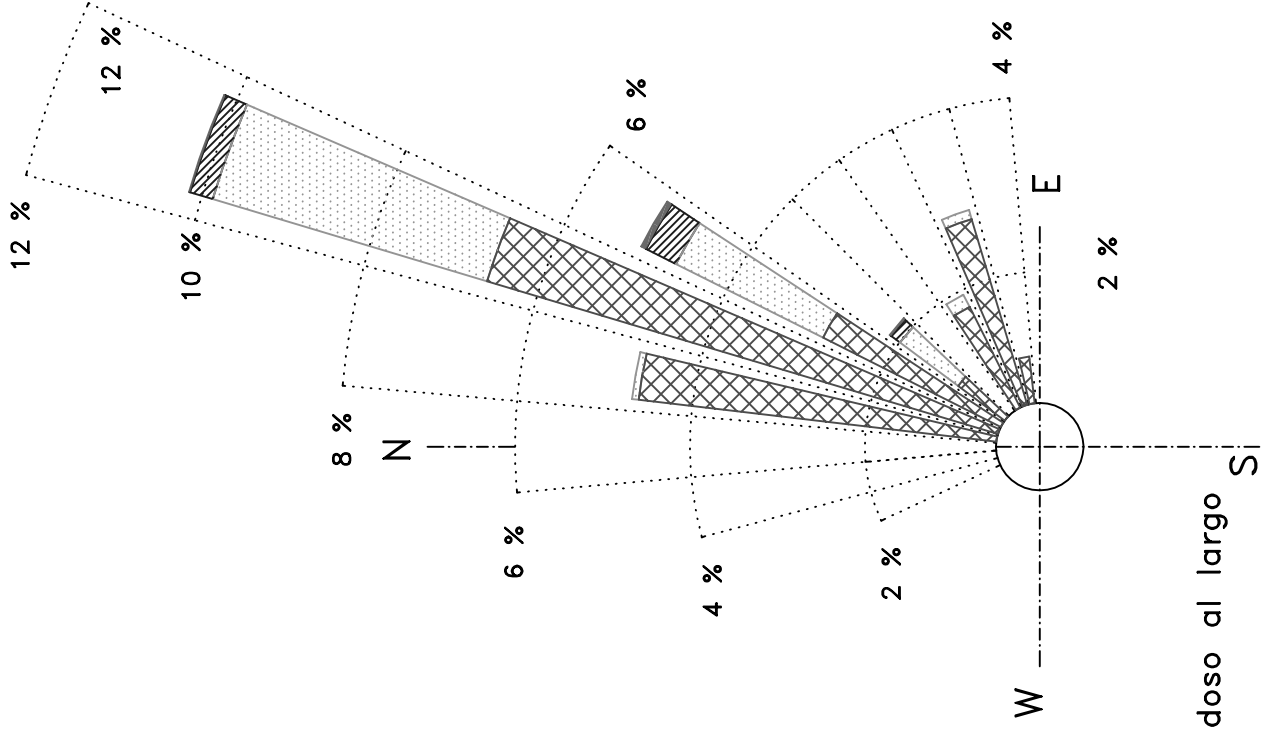
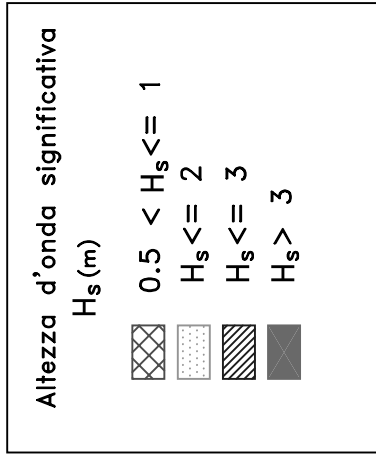


Fig. 4.2.11 – Propagazione nel punto P1 del moto ondoso al largo  
 Stato di progetto – Clima annuale  
 (periodo dal 1 luglio 1989 al 30 giugno 1999)

- gli eventi, con maggiore frequenza di accadimento, sono relativi al settore di tramontana (il 25% degli eventi provengono dal settore 350°-20°N);
  - gli eventi con maggiore intensità ( $H_s > 2m$ ) provengono prevalentemente da grecale (1.1% - 4 giorni/anno).
- 2) per il punto P1 nella situazione di progetto:
- il 28% degli eventi (corrispondente ad una durata di 3.4 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale)
  - gli eventi, con maggiore frequenza di accadimento, sono relativi al settore di tramontana-grecale (il 22% degli eventi provengono dal settore 0°-40°N);
  - gli eventi con maggiore intensità ( $H_s > 2m$ ) provengono prevalentemente da grecale (0.6% - 2 giorni/anno).
- 3) per il punto P2:
- il 45% degli eventi (corrispondente ad una durata di 5.4 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale)
  - gli eventi, con maggiore frequenza di accadimento, sono relativi al settore di grecale (il 22% degli eventi provengono dal settore 350°-20°N) e in misura minore per il settore di levante (il 13% degli eventi provengono dal settore 80°-110°N);
  - gli eventi con maggiore intensità ( $H_s > 2m$ ) provengono prevalentemente da tramontana (1.1% - 4 giorni/anno).

In conclusione il moto ondoso che a largo proviene da maestrale a causa della rifrazione e shoaling ruota a ridosso delle opere foranee a maestrale-tramontana, mentre lungo la spiaggia “Aranci” a grecale. La prevista realizzazione del nuovo porto schermo in parte gli eventi da maestrale e accentua la loro rotazione verso il grecale. Gli eventi di scirocco (a largo) vengono ridotti e ruotati a levante davanti all’imboccatura portuale, mentre sono totalmente schermati per la spiaggia.



### **4.3 Analisi del clima di moto ondoso sottocosta: onda morfologica**

Nella conduzione di uno studio di evoluzione della linea di costa tramite l'impiego di un modello numerico di simulazione del tipo ad una linea, una delle condizioni al contorno principali è costituita dall'esposizione al moto ondoso del paraggio.

Ovviamente è necessario individuare gli stati di mare rappresentativi dell'anno climatico, medio statistico, del sito in esame cui fare riferimento sia nella fase di taratura (simulazione/ricostruzione dell'evoluzione storica) del modello sia nella fase di previsione dell'evoluzione futura. A tal proposito non si richiede l'inserimento di tutte le mareggiate reali, caratterizzanti l'anno statistico medio, e neppure di prendere in considerazione solo alcuni eventi, ad esempio quelli più gravosi, ma è necessario e sufficiente definire stati di mare rappresentativi dell'energia totale che compete al clima di moto ondoso che interessa il settore di traversia del sito in esame.

L'analisi dettagliata delle registrazioni ondometriche ed il trasferimento di queste sottocosta al sito in esame, ha consentito di derivare utili indicazioni qualitative e quantitative sulle caratteristiche del clima di moto ondoso responsabile dei fenomeni evolutivi della fascia costiera del sito in esame.

Utilizzando la totalità delle misure di moto ondoso classificate in funzione della direzione di propagazione in settori di  $10^\circ$  si è calcolata, per ciascuna direzione di provenienza, un'onda avente un'altezza  $H_e$  ed un periodo  $T_e$ , con un contenuto energetico ( $\cong H^2 \cdot T$ ) ed una ripidità ( $\cong H/T^2$ ) rappresentative del contenuto energetico e della ripidità di tutte le onde provenienti dallo stesso settore.

Sotto queste ipotesi si può associare ad una particolare direzione di provenienza (assumendo la direzione media come rappresentativa del singolo settore di  $10^\circ$ ) un singolo evento contraddistinto da un'onda  $H_e$ ,  $T_e$ , definita nella letteratura specializzata come "onda di modellazione" o "onda morfologica", avente caratteristiche tali da indurre effetti sul litorale equivalenti a quelli indotti da tutte le onde provenienti da quella direzione in un anno statistico medio.





Derivando dalla serie di misure ondametriche assunte come rappresentativa del clima ondoso le coppie di valori  $H_i$  e  $T_i$  relative all' $i$ -esimo tra gli  $N$  eventi di moto ondoso provenienti dal settore di traversia l'onda di modellazione che compete al settore è tale che:

$$N (H_e^2 T_e) = \Sigma(H_i^2 T_i)$$

$$N (H_e/T_e^2) = \Sigma(H_i/T_i^2)$$

La soluzione delle equazioni è stata sviluppata per il punto P1, rappresentativo del litorale in esame, sia per la situazione attuale che per quella di progetto; tale soluzione ha fornito per ogni settore di provenienza e su base annuale e stagionale, l'energia associata a ciascuna classe di altezza d'onda (tabb. da 4.3.1 a 4.3.10). Da questa prima elaborazione è evidente come i contributi massimi sono attribuibili al settore Nord- Nordest (-15 - 45 °N) ed in misura minore al settore di grecale -levante (45 - 90 °N).

Dalla rappresentazione grafica di questa serie di elaborazione (da fig. 4.3.1 a fig. 4.3.4) appare evidente che:

- i maggiori contributi energetici si hanno nella stagione invernale ed autunnale con un picco delle direzioni risultanti analogo (circa 20 °N);
- i contributi della stagione estiva e primaverile (20 °N) sono di minore intensità;
- la direzione media della risultante energetica annuale è di circa 25°N nello stato attuale e di 29.4°N in quello di progetto.
- Nello stato di progetto vi è una generale attenuazione del flusso di energia sia in termini annuali che stagionali rispetto allo stato attuale; ne deriva una diminuzione sia dell'altezza d'onda morfologica sia della durata dello stato di mare con  $H_s > 0.5$  m.

Al termine di questa fase di studio si può affermare che il litorale in esame è contraddistinto da un clima d'onda di tipo monodirezionale caratterizzato cioè da stati di mare prevalenti da Nord-Nordest e che la realizzazione del porto determina una attenuazione della risultante del moto ondoso che modella il litorale con una rotazione (circa 4°) in senso orario della direzione.

E' stato anche eseguito il calcolo teorico della cosiddetta profondità di chiusura che delimita lato mare la fascia litoranea interessata dal trasporto solido e da apprezzabili modifiche dei fondali per effetto di fenomeni di deposito o erosione.



Tab.4.3.1 - Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante annuale  
Località: S.Foca - situazione attuale - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	4599.80	2833.46	478.80								7912.06
20	2185.75	4577.68	5861.15	3280.36	2350.98	1396.82	221.96	303.50			20178.20
30	1288.42	2071.70	2179.36	1856.81	1226.60	465.61	332.93	151.75			9573.18
40	534.03	968.22	1172.23	649.88	306.65	155.20	110.98	151.75			4048.94
50	73.45	78.31	66.04	30.95							248.75
60	927.11	249.17	115.57								1291.85
70	1488.93	192.22	66.04								1747.19
80	740.49										740.49
90	45.66										45.66
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	19.85										19.85
360	1282.46	21.36									1303.82
TOT	13186.0	10992.1	9939.2	5818.0	3884.2	2017.6	665.9	607.0			47110.01

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	45353.3	33433.1	22704.9
Reazione del vettore flusso di energia (°N):	25.3	24.4	25.2
Numero eventi sopra soglia:	9088	2446	902
H equivalente (m):	1.08	1.62	2.07
Tp equivalente (s):	4.70	5.74	6.49
Durata (mesi):	3.98	1.07	0.40

Tab.4.3.2 - Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante invernale  
Località: S.Foca - situazione attuale - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	1155.41	953.98	231.14								2340.53
20	702.77	2014.75	2938.83	1609.23	1839.90	1086.42	221.96	303.50			10717.36
30	393.08	1075.01	1370.35	1052.19	562.19	155.20	332.93	151.75			5092.71
40	196.54	448.51	676.92	433.26	153.32	155.20	110.98	151.75			2326.49
50	35.73	21.36	16.51								73.60
60	271.98	71.19	66.04								409.21
70	496.31	56.95	49.53								602.79
80	190.58										190.58
90	7.94										7.94
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	5.96										5.96
360	283.89										283.89
TOT	3740.2	4641.8	5349.3	3094.7	2555.4	1396.8	665.9	607.0			22051.07

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	21462.2	18082.4	13531.9
direzione del vettore flusso di energia (°N):	26	25	25
Numero eventi sopra soglia:	3038	1154	502
H equivalente (m):	1.25	1.71	2.13
Tp equivalente (s):	5.03	5.90	6.58
Durata (mesi):	1.36	0.52	0.23

Tab. 4.3.3- Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante primaverile  
Località: S.Foca - situazione attuale - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	1044.24	455.63	148.59								1648.46
20	351.39	662.09	759.47	433.26	153.32	155.20					2514.73
30	150.88	227.82	115.57	92.84	51.11						638.22
40	39.70	42.72	66.04								148.46
50	1.99	7.12									9.10
60	184.63										184.63
70	313.67	21.36									335.03
80	162.79										162.79
90	9.93										9.93
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	1.99										1.99
360	404.99	7.12									412.11
TOT	2666.2	1423.9	1089.7	526.1	204.4	155.2					6065.44

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	5750.7	3367.3	1965.7
Reazione del vettore flusso di energia (°N):	23	21	21
Numero eventi sopra soglia:	1632	289	89
H equivalente (m):	0.94	1.52	1.97
Tp equivalente (s):	4.38	5.56	6.32
Durata (mesi):	0.71	0.13	0.04

Tab. 4.3.4 - Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante estiva  
Località: S.Foca - situazione attuale - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	1469.08	854.31	16.51								2339.90
20	428.81	484.11	445.78	154.73							1513.43
30	186.61	92.55	16.51								295.67
40	25.81	14.24	16.51								56.56
50	7.94										7.94
60	7.94										7.94
70	43.68										43.68
80	117.13										117.13
90	21.84										21.84
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	5.96										5.96
360	430.80	14.24									445.04
TOT	2745.6	1459.4	495.3	154.7							4855.08

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	4703.9	2095.7	648.6
Reazione del vettore flusso di energia (°N):	16	20	20
Numero eventi sopra soglia:	1623	240	35
H equivalente (m):	0.87	1.36	1.83
Tp equivalente (s):	4.21	5.25	6.11
Durata (mesi):	0.69	0.10	0.01

Tab. 4.3.5 - Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante estiva  
Località: S.Foca - situazione attuale - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	931.08	569.54	82.55								1583.17
20	702.77	1416.73	1717.07	1083.14	357.76	155.20					5432.68
30	557.85	676.33	676.92	711.78	613.30	310.40					3546.58
40	271.98	462.75	412.76	216.63	153.32						1517.44
50	27.79	49.83	49.53	30.95							158.11
60	462.56	177.98	49.53								690.07
70	635.28	113.91	16.51								765.69
80	269.99										269.99
90	5.96										5.96
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	5.96										5.96
360	162.79										162.79
TOT	4034.0	3467.1	3004.9	2042.5	1124.4	465.6					14138.43

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	13535.1	9922.8	6567.3
reazione del vettore flusso di energia (°N):	29	26	26
Numero eventi sopra soglia:	2795	763	276
H equivalente (m):	1.07	1.59	2.03
Tp equivalente (s):	4.67	5.69	6.42
Durata (mesi):	1.24	0.34	0.12

Tab.4.3.6 - Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante annuale  
Località: S.Foca - stato di progetto - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	2511.33	149.50									2660.83
20	3587.33	4798.38	3681.79	1733.02	919.95	310.40					15030.87
30	1508.78	2491.74	2724.20	2197.22	1737.68	1008.81	443.91				12112.35
40	633.29	1075.01	1254.78	835.56	357.76	232.80	221.96	151.75			4762.91
50	63.53	99.67	82.55	30.95							276.70
60	972.77	263.41	99.06								1335.24
70	1477.02	185.10	66.04								1728.16
80	563.81										563.81
90	25.81										25.81
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											
TOT	11343.7	9062.8	7908.4	4796.8	3015.4	1552.0	665.9	151.8			38496.68

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	37223.1	26802.6	17914.1
reazione del vettore flusso di energia (°N):	29.4	28.1	28.4
Numero eventi sopra soglia:	7707	1993	720
H equivalente (m):	1.07	1.61	2.06
Tp equivalente (s):	4.67	5.73	6.48
Durata (mesi):	3.38	0.87	0.32

Tab.4.3.7 - Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante invernale  
Località: S.Foca - stato di progetto - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	690.86	71.19									762.06
20	1137.54	2050.35	1832.64	1206.93	715.52	310.40					7253.38
30	458.59	1302.82	1551.97	1052.19	1124.38	698.41	443.91				6632.28
40	240.21	469.87	825.51	587.99	102.22	155.20	221.96	151.75			2754.72
50	31.76	28.48	33.02								93.26
60	287.86	71.19	49.53								408.58
70	496.31	56.95	49.53								602.79
80	144.92										144.92
90	7.94										7.94
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											
TOT	3496.0	4050.9	4342.2	2847.1	1942.1	1164.0	665.9	151.8			18659.93

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	18207.3	14992.1	11003.7
reazione del vettore flusso di energia (°N):	29	28	29
Numero eventi sopra soglia:	2745	984	415
H equivalente (m):	1.22	1.69	2.12
Tp equivalente (s):	4.97	5.87	6.56
Durata (mesi):	1.23	0.44	0.19



Tab. 4.3.8- Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante primaverile  
Località: S.Foca - stato di progetto - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	555.87	35.60									591.46
20	629.32	726.16	577.86	247.57	102.22						2283.14
30	190.58	284.77	165.10	123.79	102.22	77.60					944.06
40	39.70	56.95	49.53								146.19
50	1.99	7.12									9.10
60	186.61	14.24									200.85
70	299.77	14.24									314.01
80	123.08										123.08
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											
TOT	2026.9	1139.1	792.5	371.4	204.4	77.6					4611.90

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	4397.9	2563.9	1439.1
Reazione del vettore flusso di energia (°N):	28	24	24
Numero eventi sopra soglia:	1246	225	65
H equivalente (m):	0.94	1.51	1.97
Tp equivalente (s):	4.38	5.54	6.33
Durata (mesi):	0.54	0.10	0.03

Tab. 4.3.9 - Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante estiva  
Località: S.Foca - stato di progetto - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	859.61	35.60									895.20
20	831.82	690.57	231.14								1753.53
30	228.30	71.19	49.53	30.95							379.97
40	33.75	28.48	16.51								78.74
50	5.96										5.96
60	9.93										9.93
70	45.66										45.66
80	83.38										83.38
90	13.90										13.90
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											
TOT	2112.3	825.8	297.2	30.9							3266.26

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	3172.6	1149.0	326.5
reazione del vettore flusso di energia (°N):	21	23	23
Numero eventi sopra soglia:	1199	135	19
H equivalente (m):	0.84	1.34	1.78
Tp equivalente (s):	4.14	5.23	6.01
Durata (mesi):	0.51	0.06	0.01

Tab. 4.3.10 - Onnda di modellazione per il sito in esame - Risultante autunnale  
Località: S.Foca - stato di progetto - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	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	
10	404.99	7.12									412.11
20	988.65	1331.30	1040.15	278.52	102.22						3740.84
30	631.31	832.95	957.60	990.30	511.08	232.80					4156.04
40	319.62	519.71	363.23	247.57	255.54	77.60					1783.27
50	23.82	64.07	49.53	30.95							168.37
60	488.37	177.98	49.53								715.88
70	635.28	113.91	16.51								765.69
80	212.42										212.42
90	3.97										3.97
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											
TOT	3708.4	3047.0	2476.5	1547.3	868.8	310.4					11958.60

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	11502.0	8116.0	5151.9
Reazione del vettore flusso di energia (°N):	33	30	30
Numero eventi sopra soglia:	2517	649	221
H equivalente (m):	1.05	1.57	2.01
Tp equivalente (s):	4.61	5.64	6.39
Durata (mesi):	1.12	0.29	0.10

Onda morfologica  
Hs = 1.08 m  
Dir = 25.3°N  
Durata = 3.98 mesi

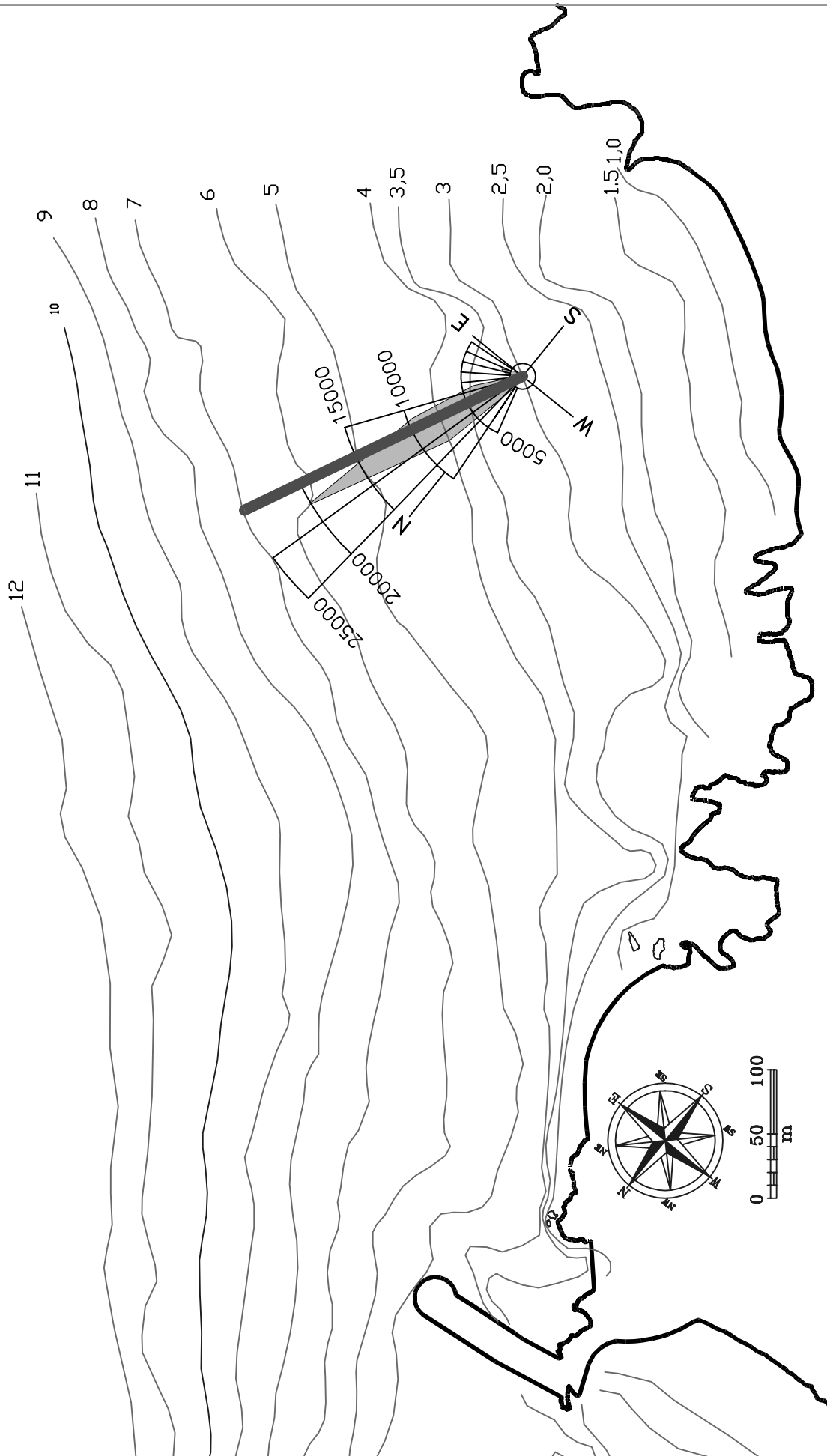
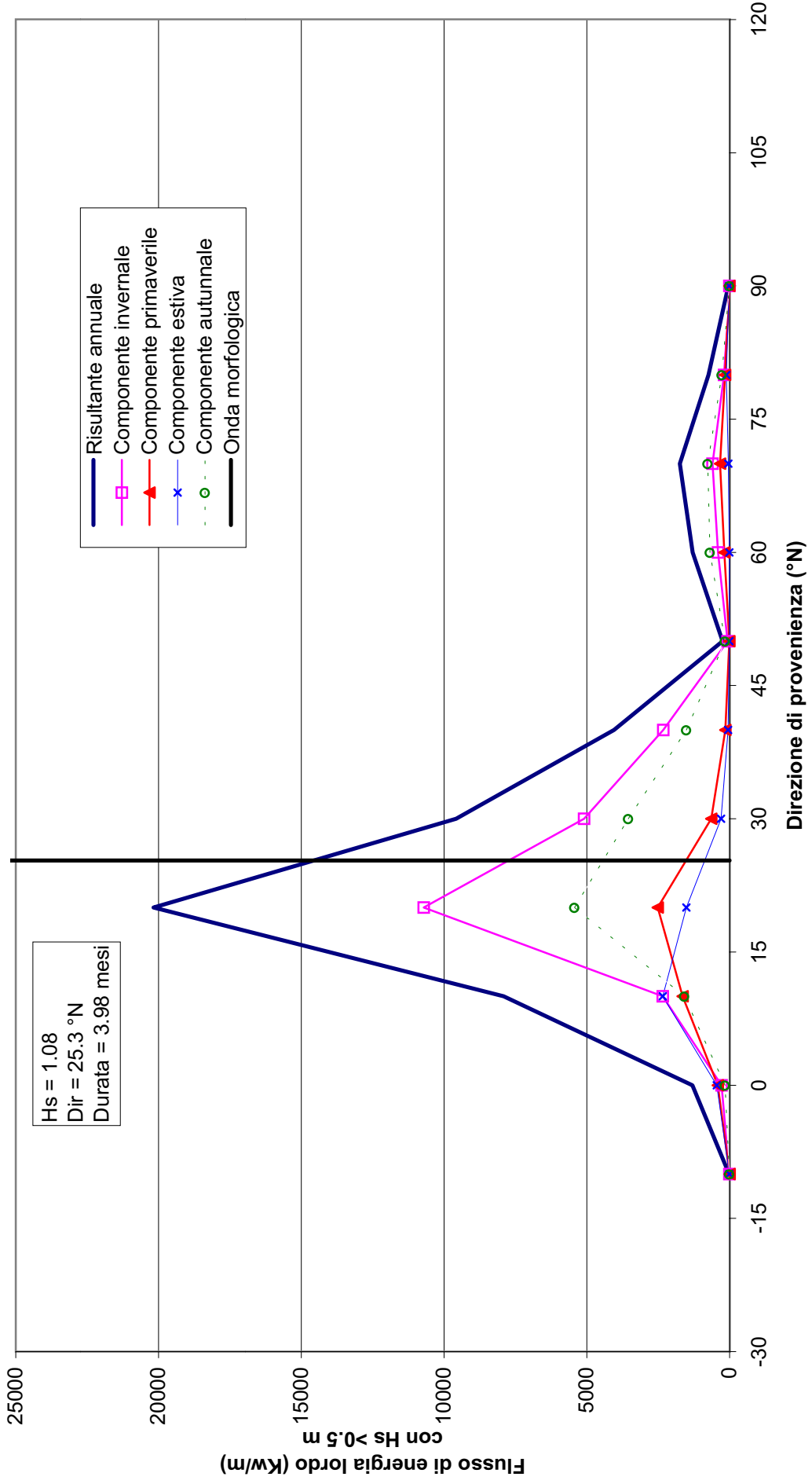


Fig.4.3.1 - STATO ATTUALE - CLIMA ANNUALE - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEL FLUSSO DI ENERGIA  
PERIODO: 1 LUGLIO 1989 - 30 GIUGNO 1999

**Fig.4.3.2 - Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso**  
**Località: S.Foca - situazione attuale - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999**



Onda morfologica  
Hs = 1.07 m  
Dir = 29.4°N  
Durata = 3.38mesi

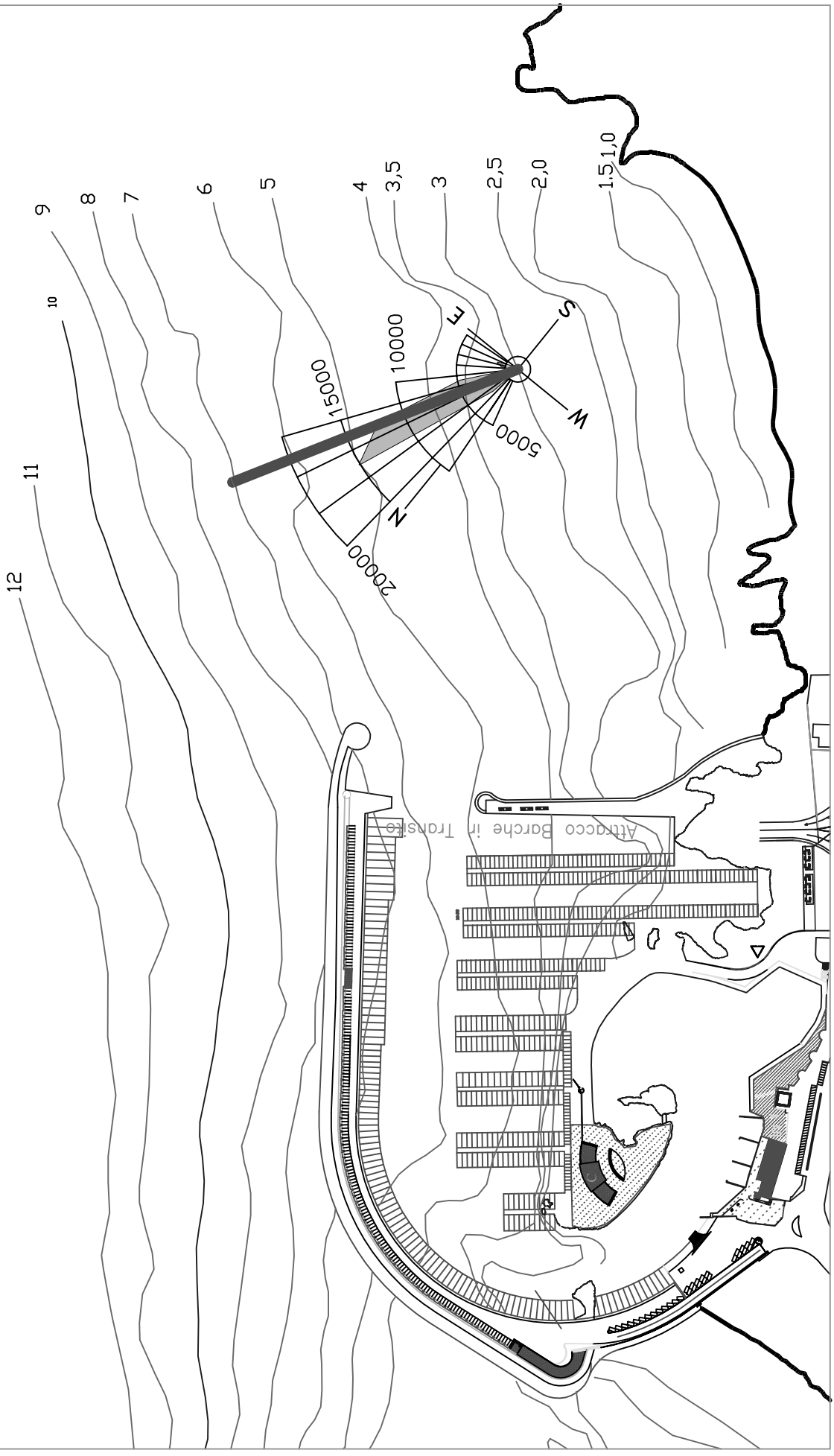
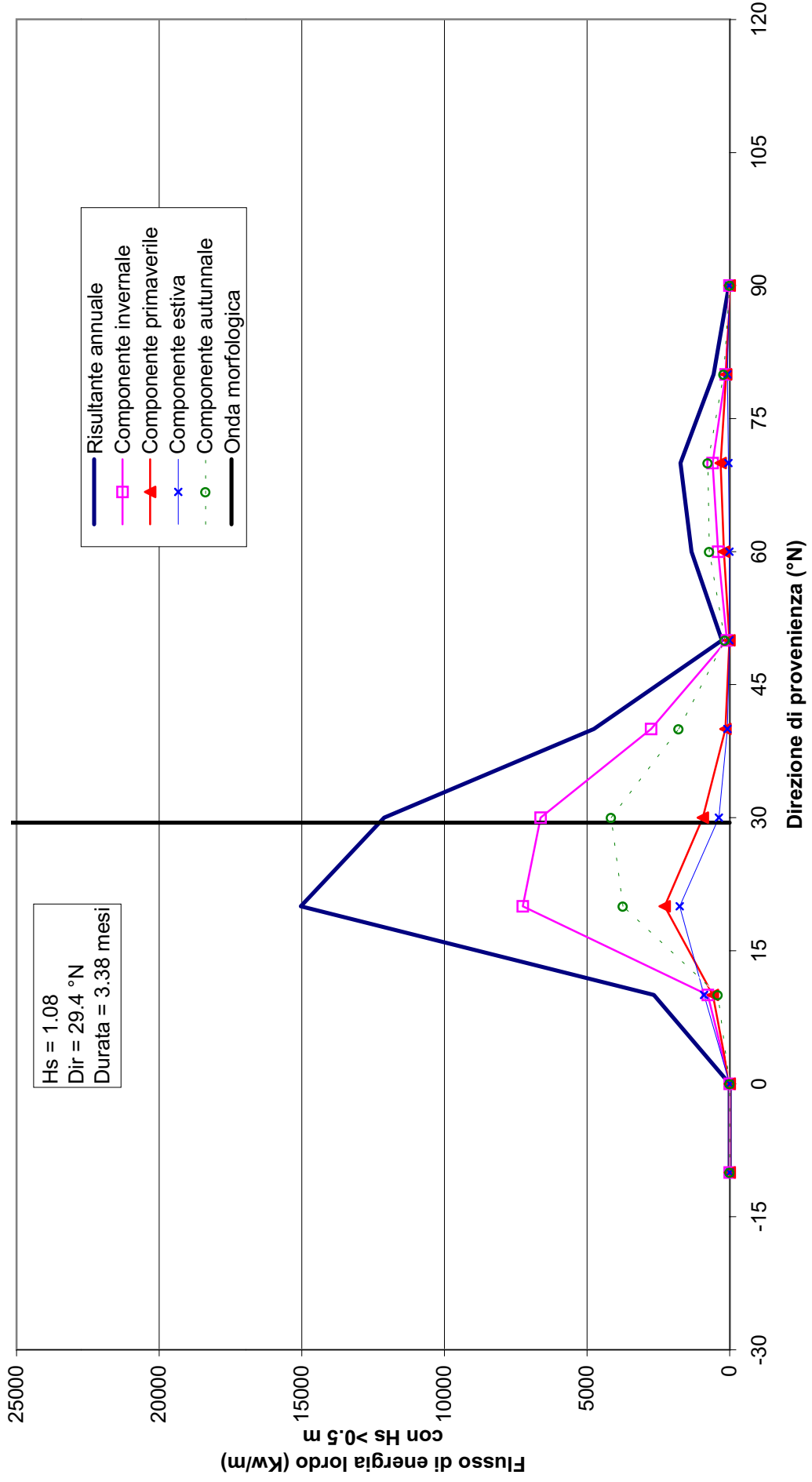


Fig.4.3.3 - STATO DI PROGETTO - CLIMA ANNUALE - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEL FLUSSO DI ENERGIA  
PERIODO: 1 LUGLIO 1989 - 30 GIUGNO 1999

**Fig.4.3.4 - Contributi direzionali del flusso di energia associato al moto ondoso**  
**Località: S.Foca - Stato di progetto - Punto P1 - periodo:1 luglio 1989 - 30 giugno 1999**



A tal fine è stata applicata la nota formula di Hallermaier (1987) che lega questa profondità al doppio della altezza significativa superata 12 ore all'anno:

$$h_c = 2.28 \cdot H_{so} - 68.5 \cdot s_{om}$$

dove:

$H_{so} = 3.67$  m – rappresenta l'altezza d'onda significata al largo superata in media 12 ore/anno (Fig. 4.3.5)

$$s_{om} = \frac{H_{so}}{g \cdot T_m^2} = 0.02 - \text{ripidità dell'onda significata al largo}$$

da cui si ottiene una profondità di chiusura  $h_c$  (o di “moto attivo dei sedimenti”) pari a circa 7,0 m s.m.m.





#### 4.4 *Analisi statistiche degli eventi estremi*

Per la determinazione della cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda, definita la "vita utile" dell'opera e le condizioni di esercizio (cap 4.5), è necessario eseguire un'elaborazione statistica delle altezze d'onda maggiori relative alla serie storica di riferimento desunta dalle registrazioni ondometriche. Mediante regolarizzazione della serie di eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa e periodo) da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di occorrenza).

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

Si è ricavato (tabb. 4.4.1 e 4.4.2): 66 eventi (superiori a 2.18 m – metodo POT) per il settore  $310^{\circ} \div 50^{\circ}$  Nord; 23 eventi (superiori a 3.44 m – metodo POT) per il settore  $105^{\circ} \div 170^{\circ}$  Nord.

Le serie tronche sono state elaborate effettuando dapprima una regolarizzazione di tipo statistico delle serie di valori riferita al periodo di misure (9.4 anni).

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

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

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

e la legge di Gumbel (1988):



**Tab.4.4.1 - Analisi degli eventi estremi a al largo di S.Foca**  
**Settore di traversia: 310 - 50° Nord**

Numero anni: 9.38  
 Numero delle mareggiate: 118  
 Soglia di riferimento (POT) m 2.18

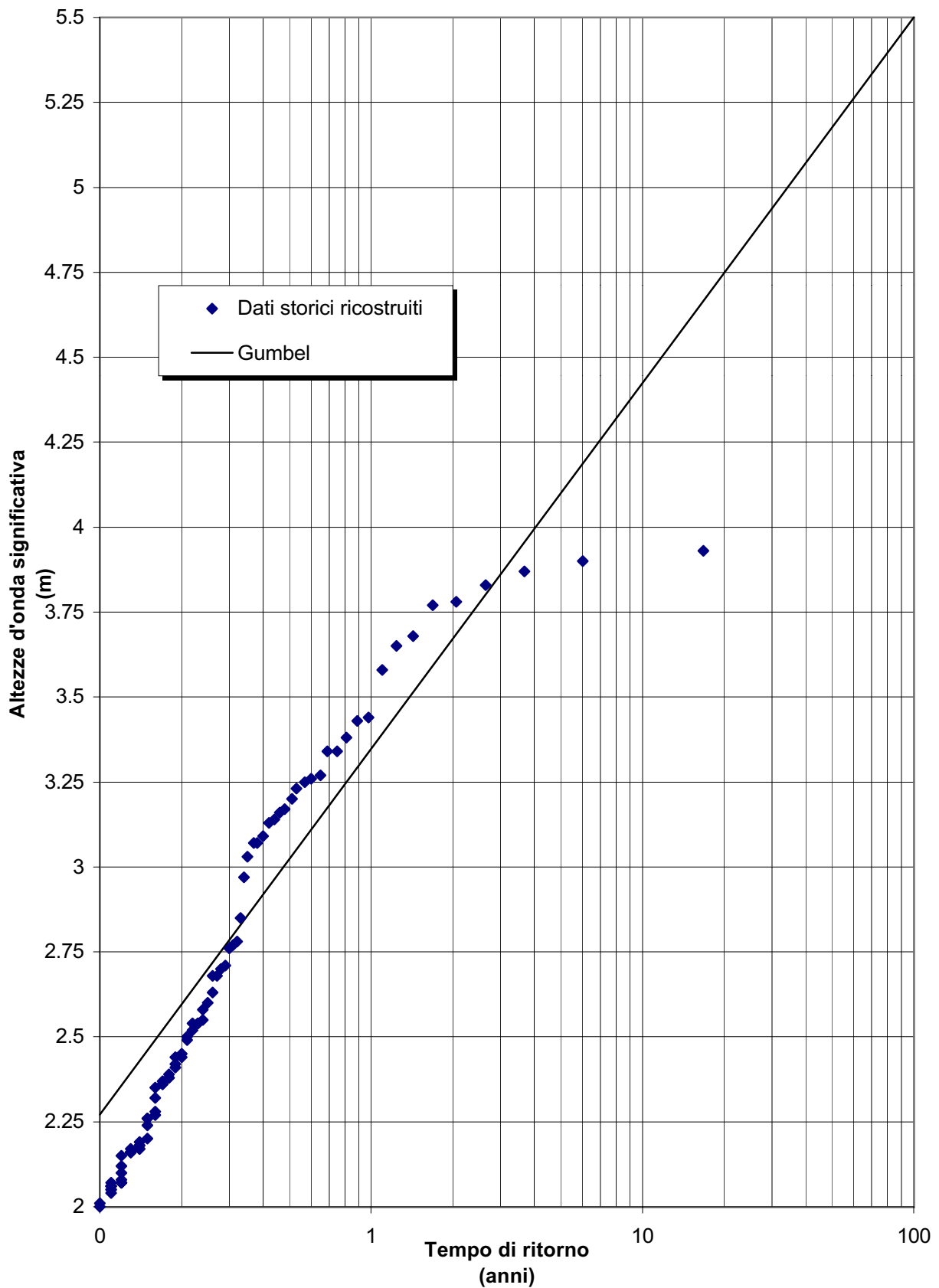
Media (m): 2.66  
 Deviazione Standard (m): 0.55  
 Numero di eventi sopra POT 66

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
3.93	16.77	3.25	0.57	2.71	0.29	2.44	0.19
3.90	6.02	3.23	0.53	2.70	0.28	2.42	0.19
3.87	3.67	3.20	0.51	2.68	0.27	2.41	0.19
3.83	2.64	3.17	0.48	2.68	0.26	2.39	0.18
3.78	2.06	3.16	0.46	2.63	0.26	2.38	0.18
3.77	1.69	3.14	0.44	2.60	0.25	2.38	0.18
3.68	1.43	3.13	0.42	2.58	0.24	2.37	0.17
3.65	1.24	3.09	0.40	2.55	0.24	2.36	0.17
3.58	1.10	3.07	0.38	2.54	0.23	2.36	0.17
3.44	0.98	3.07	0.37	2.54	0.23	2.35	0.16
3.43	0.89	3.03	0.35	2.54	0.22	2.32	0.16
3.38	0.81	2.97	0.34	2.52	0.22	2.28	0.16
3.34	0.75	2.85	0.33	2.50	0.21	2.27	0.16
3.34	0.69	2.78	0.32	2.49	0.21	2.26	0.15
3.27	0.65	2.77	0.31	2.45	0.20	2.26	0.15
3.26	0.60	2.76	0.30	2.44	0.20	2.24	0.15

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
	Anni	Hs(m) c.i.(m)	Hs(m) c.i.(m)	
<b>5</b>	4.1	0.2	4.1	0.4
<b>10</b>	4.4	0.2	4.6	0.5
<b>25</b>	4.9	0.3	5.1	0.6
<b>50</b>	5.2	0.3	5.6	0.7
<b>100</b>	5.5	0.4	6.1	0.9
<b>A</b>	0.477		0.307	
<b>B</b>	2.183		2.189	
<b>r</b>	0.972		0.910	

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)	Hs(m) c.i.(m)	
<b>5</b>	4.3	0.4	4.2	0.3	4.2	0.2
<b>10</b>	4.7	0.6	4.5	0.4	4.4	0.2
<b>25</b>	5.3	0.7	4.9	0.5	4.7	0.3
<b>50</b>	5.7	0.9	5.3	0.6	5.0	0.4
<b>100</b>	6.1	1.0	5.6	0.7	5.2	0.4
<b>A</b>	0.541		0.899		1.402	
<b>B</b>	1.976		1.652		1.185	
<b>r</b>	0.955		0.979		0.986	

**Fig. 4.4.1- Altezze d'onda estreme al largo di S.Foca  
Legge FT-I (Gumbel) Settore 310 - 50° Nord**



**Tab.4.4.2 - Analisi degli eventi estremi a al largo di S.Foca**  
**Settore di traversia: 105 - 170° Nord**

Numero anni: 9.38  
 Numero delle mareggiate: 108  
 Soglia di riferimento (POT) m 3.44

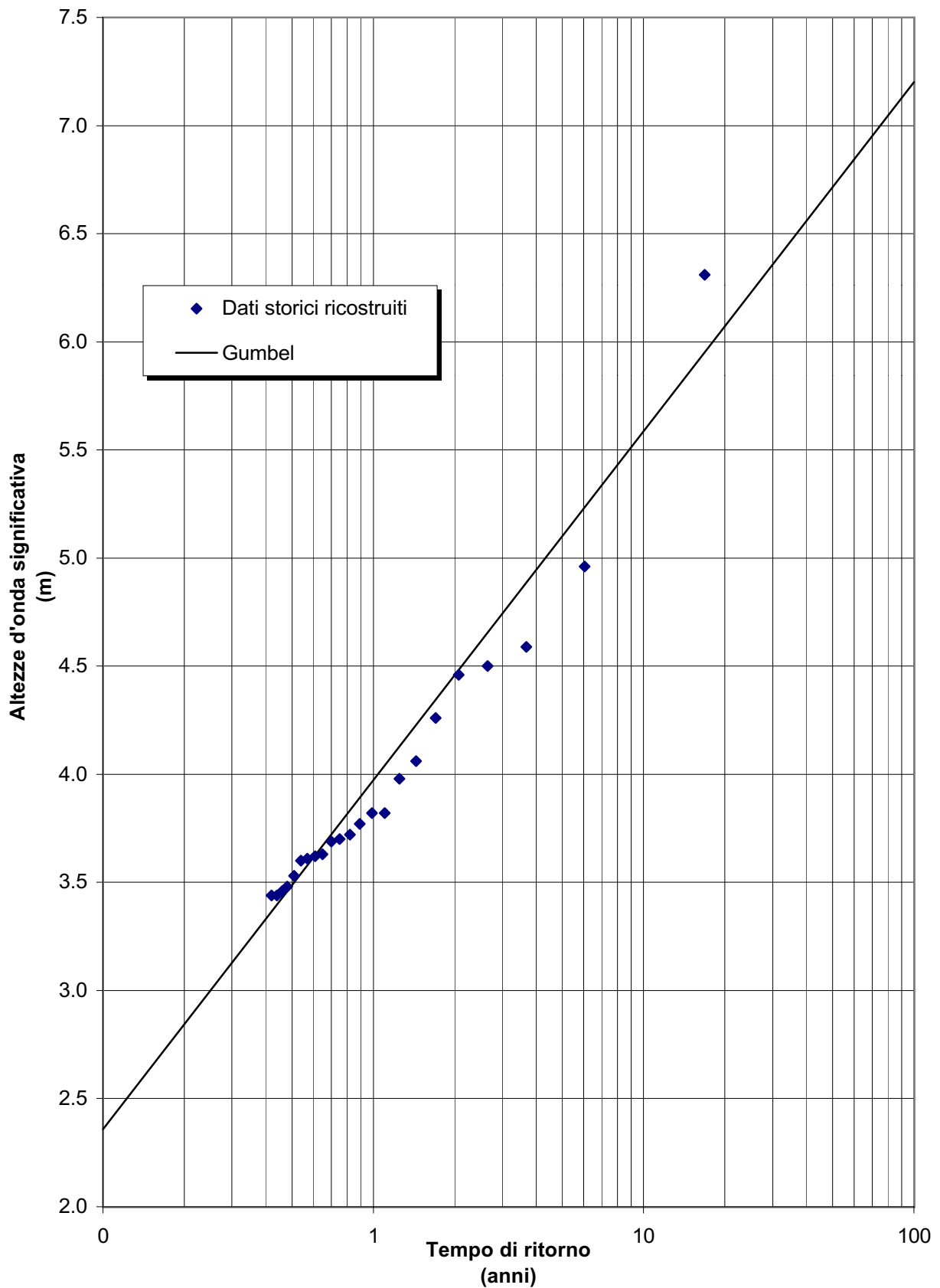
Media (m): 3.98  
 Deviazione Standard (m): 0.66  
 Numero di eventi sopra POT 23

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
6.31	16.84	3.61	0.57
4.96	6.04	3.60	0.54
4.59	3.68	3.53	0.51
4.50	2.65	3.48	0.48
4.46	2.07	3.46	0.46
4.26	1.70	3.44	0.44
4.06	1.44	3.44	0.42
3.98	1.25		
3.82	1.10		
3.82	0.99		
3.77	0.89		
3.72	0.82		
3.70	0.75		
3.69	0.70		
3.63	0.65		
3.62	0.61		

Tr Anni	GUMBEL		WEI(.75)	
	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	5.1	0.4	4.9	0.3
10	5.6	0.6	5.4	0.4
25	6.3	0.8	6.0	0.6
50	6.8	1.0	6.4	0.8
100	7.2	1.2	6.9	1.0
A	0.665		0.348	
B	2.339		2.739	
r	0.975		0.989	

Tr anni	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	5.0	0.4	5.1	0.4	5.3	0.4
10	5.5	0.5	5.6	0.6	5.8	0.6
25	6.1	0.7	6.3	0.7	6.4	0.8
50	6.6	0.9	6.7	0.9	6.9	0.9
100	7.1	1.1	7.2	1.1	7.3	1.1
A	0.682		1.306		2.335	
B	2.251		1.478		0.327	
r	0.979		0.967		0.956	

**Fig. 4.4.2- Altezze d'onda estreme al largo di S.Foca  
Legge FT-I (Gumbel) Settore: 105 - 170° Nord**



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

dove  $X$  è la variabile aleatoria,  $x$  il valore di non superamento e  $\alpha$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $a$ ,  $b$  sono i parametri delle distribuzioni. La stima dei parametri delle distribuzioni è stata eseguita sui valori dell'altezza d'onda significativa riportati nella tabb. 4.4.1 e 4.4.2. e e nelle figg. 4.4.1 e 4.4.2.

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

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

I risultati delle elaborazioni indicano che gli eventi estremi con altezza d'onda significativa pari a circa 6.6 m sono contraddistinti da un tempo di ritorno di 5 anni.

Per il settore compreso tra  $310^\circ$ - $50^\circ$ N, le altezze d'onda significative, associate al tempo di ritorno ( $Tr$ ) di 10 e 50 anni, sono rispettivamente di 4.5 m e 5.5 m, invece per il settore  $105$ - $170^\circ$ N, le altezze d'onda significative raggiungono i 5.5 m e 6.5 m con  $Tr=10$  e 50 anni.

Per la definizione del periodo associato di picco all'altezza d'onda di progetto è uso corrente determinarlo per mezzo di formule del tipo  $T = c H^{1/m}$  (vedi le espressioni Bretschneider, Grancini ed altri); nel nostro caso si è utilizzato  $T_p = 4.15 \sqrt{H_s}$ .

Detti valori sono riferiti al largo del porto di San Foca; nella tabella 4.4.3 sono sintetizzate le altezze d'onda ottenute con il modello MEROPE (in assenza di frangimento) nel punto P2 (in prossimità dell'imboccatura portuale) e le altezze d'onda frangente a ridosso dell'opera utilizzando le note espressioni di Kamphuis e di Goda, ipotizzando una pendenza del fondale di 1/50 ed un sovrizzo medio marino medio di 50 cm.



Tab. 4.4.3 - Definizione onda di progetto per la scogliera di sopraflutto

Settore: 105 -170°N

Tr anni	Hso m	Onda di Progetto			
		Hsr,max m	Hsr,min m	Hsr,picco m	Hsr,medio m
5	5.1	4.2	1.0	1.5	2.1
10	5.6	4.6	1.0	1.6	2.3
25	6.3	5.2	1.2	1.9	2.6
50	6.8	5.6	1.3	2.0	2.8
100	7.2	6.0	1.3	2.1	3.0

Valori di soglia Hs frangente	
Goda	Kamphuis
4.7	4.96
5.2	
5.4	
5.5	
5.5	

legenda	Dir largo	Dir riva
Hsr,max	105	68
Hsr,min	170	84
Hsr,picco	155	79
Hsr,medio	142	77

Sovralzo	0.5	1.5
Pendenza fondale =	1/50	
Profondità fondale(m) =	8	

Settore: 310 - 50°N

Tr anni	Hso m	Onda di Progetto			
		Hsr,max m	Hsr,min m	Hsr,picco m	Hsr,medio m
5	4.1	4.1	1.5	3.5	3.5
10	4.4	4.4	1.6	3.8	3.8
25	4.9	4.9	1.8	4.2	4.2
50	5.2	5.2	1.9	4.4	4.4
100	5.5	5.5	2.0	4.7	4.7

Valori di soglia Hs frangente	
Goda	Kamphuis
3.8	4.96
4.1	
4.5	
4.8	
5.1	

legenda	Dir largo	Dir riva
Hsr,max	50	43
Hsr,min	310	18
Hsr,picco	358	27
Hsr,medio	358	27

Sovralzo	0.5	1.5
Pendenza fondale =	1/50	
Profondità fondale(m) =	8	

#### 4.5 Determinazione dell'onda di progetto

Come ogni opera marittima si deve valutare la durata di vita presunta, in relazione al progetto in cui è inserita, tenuto conto delle sue caratteristiche funzionali.

Si valuta inoltre, il livello di rischio o probabilità di superamento dell'onda di progetto, tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ripristinare la normale funzionalità con operazioni di manutenzione.

Nelle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996) si consigliano i valori riportati nelle seguenti tabelle 4.5.1 e 4.5.2.

TAB. 4.5.1 - Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo  $T_v$

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).





Il caso del Porto di San Foca va considerato come infrastruttura civile di uso generale con un livello di sicurezza pari a 1. Si può dunque assumere un tempo di vita dell'opera pari a 25 anni.

TAB. 4.5.2 - Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera  $P_f$

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0.20	0.15
Media	0.15	0.10
Alta	0.10	0.05

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito.

Per strutture rigide (dighe a parete verticale), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, si assume la probabilità di distruzione totale.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (ad es. scogliere), si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione.

Per queste opere si deve comunque verificare anche lo scenario di rovina totale, cioè del superamento di un livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale l'opera cessa di svolgere un'apprezzabile funzione protettiva.



Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato.

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed, il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.

La combinazione del tempo di vita dell'opera  $T_v$  e della probabilità di danneggiamento  $P_f$ , determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto  $T_{rp}$ :  $T_{rp} = T_v / [-\ln(1 - P_f)]$

Nel caso in esame si può considerare un rischio limitato di perdita di vita umana ed una ripercussione economica medio-bassa. Assumendo il criterio del danno incipiente si impone  $P_f = 0,4$  e quindi  $T_{rp} = 25 / [-\ln(0,6)] = 50$  anni.

In relazione a questo tempo di ritorno, dalla statistica degli eventi estremi, si può desumere che:

- l'altezza d'onda significativa di progetto è pari a 5.2 m al largo e quindi 4.4 m a riva (in assenza di frangimento);
- il periodo di picco è pari a  $4.51 \times \sqrt{H_s} = 10$  s secondo le consuete relazioni empiriche per fetch limitati;
- La direzione di provenienza del moto ondoso è compresa tra  $-18^\circ$  e  $43^\circ$  N.

L'onda significativa così valutata ha approssimativamente la probabilità  $P_f$  (detta anche probabilità di incontro) di essere superata nell'arco di vita dell'opera.



## Appendice

### **Calcolo dei “fetch efficaci” e della relazione tra direzione del vento e quella del moto ondoso – modello ENIF**

Per il calcolo dei fetch efficaci si fa riferimento ad una relazione, derivata dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretshneider, 1947) e successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991), di seguito riportata nella sua forma più generale:

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

dove:

- $\phi_w$  direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;
- $\phi_i \leq \phi_w \pm \theta$  direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di  $2 \cdot \theta$  considerato nell'intorno della direzione  $\phi_w$ . Il metodo classico di Saville prevede un valore di  $\theta=45^\circ$  mentre la metodologia sviluppata da Seymour fa riferimento ad un valore di  $\theta=90^\circ$ .
- $F_{e,w}$  lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione  $\phi_w$
- $F_i$  lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima  $\phi_i$  (si fa riferimento alla lunghezza calcolata su base cartografica) eventualmente assunta come valore medio relativo ad un settore di  $15^\circ$  nell'intorno della direzione i-esima  $\phi_i$  (metodo proposto dal C.E.R.C. nel software package A.C.E.S.)
- $n$  termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume  $n=2$ )

Per il calcolo della relazione esistente tra la direzione del vento e quella del moto ondoso generato, si fa riferimento al criterio introdotto da Donelan. Nell'ipotesi che:

- la direzione media del moto ondoso corrisponde alla direzione della componente spettrale associata al periodo di picco;
- il moto ondoso generato dal vento è ben definito e rappresentabile tramite le relazioni introdotte dalla campagna oceanografica JONSWAP (JOint North Sea WAve Project, Hasselmann 1976).



Si può affermare che la direzione media  $\beta$  del moto ondoso relativa alla direzione media di provenienza del vento  $\phi_w$  è individuata come il valore che rende massima la funzione:

$$f(\phi_w) = F_{e, \phi_w}^{0.28} \cdot (\cos \phi_w)^{0.44}$$

quindi per  $f'(\beta) = 0$  e  $f''(\beta) < 0$ .

Il programma ENIF sviluppato dalla Modimar effettua il calcolo dei fetch efficaci e della correlazione del vento e quella del moto ondoso generato.



## ***Descrizione del modello di propagazione inversa spettrale MEROPE***

Propagandosi verso "riva" su fondali via via decrescenti, le onde subiscono una serie di trasformazioni geometriche e perdite di energia che alla fine conducono al loro frangimento (ciò avviene quando l'onda, deformata, diviene molto alta rispetto alla sua lunghezza e perciò "instabile" o comunque intercetta fondali bassi «incompatibili» con la sua altezza).

Prescindendo, perchè comunque trascurabili, dalle perdite di energia che (fuori dalla zona dei frangenti) sono dovute all'attrito del fondo e, per fondi permeabili, alla percolazione; nonché dagli effetti indotti dalle correnti, dal vento e dalle riflessioni del fondo, le modifiche delle caratteristiche ondose durante la propagazione verso riva sono indotte essenzialmente dai fenomeni di rifrazione e di shoaling.

Il primo fenomeno (rifrazione) consiste in una trasformazione tridimensionale dovuta a variazioni di fondale lungo i fronti d'onda che comportano variazioni planimetriche di questi e, conseguentemente, a variazioni delle altezze d'onda per effetto della conservazione del flusso di energia fra "ortogonali" vicine.

Il secondo fenomeno (shoaling) è una trasformazione bidimensionale delle onde dovuta al solo effetto del fondale nella direzione di propagazione. L'effetto "fondale" modifica la celerità di gruppo e di conseguenza provoca dapprima una riduzione e poi un sostanziale aumento di altezza delle onde allorché queste avanzano su profondità di fondali decrescenti.

La simulazione di detti fenomeni può essere eseguita in modo efficace con il metodo della "rifrazione inversa spettrale". Tale metodo fornisce risultati quantitativi esattamente nel punto di interesse, al contrario del metodo classico della rifrazione diretta. Il relativo modello matematico è stato sviluppato seguendo le indicazioni di Abernety e Gilbert (1978).

La differenza più appariscente rispetto al metodo tradizionale dei piani d'onda (rifrazione diretta) è rappresentata dalla costruzione dei raggi con un verso contrario a quello della propagazione delle onde. Tale impostazione fu introdotta da Dorrestein nel 1960: si costruisce un ventaglio di raggi relativi ad un dato periodo d'onda, che hanno tutti origine nel luogo della costa (o in prossimità) dove si desidera conoscere i risultati, partendo ognuno con una diversa direzione  $\phi$ . Si



ricava quindi la direzione  $\Theta$  che i raggi possiedono quando raggiungono la regione di acque profonde.

Riportate in diagramma le molteplici coppie di valori  $\Theta-\phi$  trovate, si ricava per ogni  $\Theta$  il

gradiente  $\frac{\delta\phi}{\delta\Theta}$  da introdurre nella formula che conduce poi alle altezze sotto costa:

$$K_r = \sqrt{\frac{C_0}{C} \cdot \frac{\delta\phi}{\delta\Theta}}$$

Rispetto al metodo convenzionale, si ha il vantaggio che i risultati sono ottenuti direttamente per il luogo che interessa, sulla costa, senza il problema di dover interpolare tra raggi calcolati da una parte o dall'altra del punto. Inoltre, un unico diagramma di rifrazione (per ciascun periodo) rappresenta i raggi relativi a tutte le direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

Dal punto di vista pratico, la costruzione inversa dei raggi non presenta problemi e si applica la stessa equazione della traiettoria del raggio del metodo convenzionale, con lievi modifiche di segni. Con la tecnica della proiezione inversa, non sarebbe necessario neppure conoscere il percorso dei singoli raggi poiché basta avere il diagramma di rifrazione  $\phi-\Theta$  definito con incrementi di frequenza e  $\Theta$  sufficientemente piccoli per riassumere tutti gli effetti della topografia sull'altezza e direzione delle onde nella loro propagazione verso un punto della costa. Si nota in genere che le curve  $\phi-\Theta$ , dolci per valori alti delle frequenze, presentano discontinuità notevoli per le frequenze minori con conseguenti singolarità nel valore di  $K_r$ .

Ciò significa che questa tecnica (così come quella convenzionale) ha il difetto che la funzione altezza d'onda diventa indeterminata proprio in un campo di frequenze e direzioni di interesse non trascurabile. In pratica questo comporta che nel percorso dei raggi compaiono singolarità (caustiche) non giustificabili fisicamente, come per i piani d'onda tradizionali. Il fatto che usando spaziature sufficientemente grandi dei raggi questi difetti non siano evidenziati, non esclude l'insufficienza del metodo.

E' stato mostrato che a queste difficoltà si può ovviare abbandonando l'ipotesi che al largo il fronte d'onda si presenti con direzione d'onda e frequenza ben precise ed uniformi (onde monocromatiche), e considerando funzioni spettrali sia per la direzione che per la frequenza. Va mantenuta invece l'ipotesi di uniformità di fase.



L'importanza fondamentale dell'introduzione dello spettro d'energia bidimensionale associata a quello di proiezione inversa dei raggi, è che, a differenza del metodo tradizionale e di quello di Dorrestein, dà luogo a risultati univoci ed ovunque finiti, eliminando le singolarità già evidenziate.



**REGIONE PUGLIA**

**COMUNE DI MELENDUGNO**

***SAN FOCA: PORTO TURISTICO - STAZIONAMENTO***

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Verifica della qualità delle acque portuali**



Modimar S.r.l.

Prof. Ing. Alberto NOLI

Dott. Ing. Paolo CONTINI

Dott. Ing. Giancarlo MILANA

Dott. Ing. Davide SALTARI

***Roma, Dicembre 2000***



INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. VERIFICA DEL CAMPO IDRODINAMICO .....	4
2.1. Applicazione del sistema di modellazione SMS.....	5
2.2. Discretizzazione dello specchio liquido.....	5
2.3. Definizione delle condizioni al contorno .....	6
2.4. Risultati delle simulazioni idrodinamiche .....	7
3. VERIFICA DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE INVASATE.....	9
4. CONCLUSIONI .....	11
APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS.....	12
Introduzione .....	12
Codice RMA-2.....	13
Applicazioni.....	13
Equazioni utilizzate.....	14
RMA-4 .....	15
Equazioni utilizzate.....	15
Processo di Simulazione .....	16

## 1. INTRODUZIONE

Il mantenimento di qualità organolettiche accettabili all'interno di un porto costituisce un delicato problema di gestione del sistema portuale spesso imprescindibile per le esigenze operative e funzionali del porto. Infatti, in periodi di scarse oscillazioni di marea abbinati a condizioni di temperature elevate tipiche dei mesi estivi e quando peraltro è di maggiore utilizzazione del marina, possono verificarsi indesiderati fenomeni di ristagno per ovviare i quali è talvolta necessario intervenire con idonei dispositivi di pompaggio e miscelazione immettendo “nuovi” volumi di acqua nel corpo idrico al fine di incrementare sia la velocità dei processi di ricambio dell'acqua invasata che la quantità di ossigeno disciolto.

Nella progettazione definitiva di un porto turistico è necessario (ai sensi del D.M. 14/4/1998) lo studio sulla qualità delle acque interne portuali utilizzando un opportuno modello matematico di simulazione.

Come illustrato in dettaglio nei capitoli seguenti è stato simulato un unico scenario che contraddistingue l'area utilizzata all'interno del porto turistico. In tale situazione è stata considerata come forzante la sola azione della marea astronomica verificando i livelli di qualità accettabili delle acque interne.

## 2. VERIFICA DEL CAMPO IDRODINAMICO

Dal punto di vista idrodinamico occorre verificare che il valore minimo della velocità sia sufficiente per "evacuare" in un tempo massimo prestabilito la particella posta nella zona della darsena più interna. A tal riguardo gli esperti di ecologia marina consigliano una rigenerazione teorica del 95% dei volumi invasati in un ciclo massimo di 5 giorni al fine di evitare l'insorgere di processi biologici indesiderati all'interno dello specchio liquido.

Considerando che il volume del bacino portuale è pari a  $V = A \times h = 495000 \text{ m}^3$  (con  $A = 99000 \text{ m}^2$  – Area dello specchio liquido e  $h = 5 \text{ m}$  – profondità media del bacino) e che l'escursione di marea è mediamente di  $0.3 \text{ m}$  ( $\Delta H$ ) con due cicli di marea nelle 24 ore, si ha che il tempo necessario per evacuare il 95% del volume è dato da  $t = 0.95 \times V / (2 \times \Delta H \times A) \approx 8 \text{ gg}$ .

Occorre quindi prevedere l'immissione forzata di acqua di mare in modo da aumentare le velocità di uscita; per il dimensionamento preliminare delle portate di immissione, occorre osservare che le pompe dovranno lavorare nel periodo in cui si ha un abbassamento dei livelli idrici per effetto della marea (fase di riflusso) – 12 h/g, ne deriva che la portata da immettere è data da

$$Q = (0.95 \times V - 2 \times \Delta H \times A \times t(\text{gg})) / (3600 \times 12 \times t(\text{gg})) \approx 800 \text{ l/s} - \text{ con } t = 5 \text{ gg}$$

Al fine di verificare le condizioni di ricircolo delle acque invase ed ottimizzare nel contempo l'ubicazione più opportuna delle immissioni di acqua di mare si è utilizzato un opportuno modello numerico (SMS) con cui si è simulato lo scenario con la sola forzante naturale, in modo da evidenziare i punti dove il ricircolo risulta essere modesto.

Nei paragrafi successivi vengono descritte le simulazioni condotte ponendo particolare attenzione alle ipotesi di base nonché alle condizioni al contorno cui si è fatto riferimento.

## **2.1. Applicazione del sistema di modellazione SMS**

I modelli di calcolo impiegati appartengono al sistema di modellazione SMS che consente di simulare i fenomeni idrodinamici che si verificano nel flusso di masse d'acqua superficiali tramite il codice di calcolo agli elementi finiti RMA-2 (v. APPENDICE per una descrizione completa del modello).

Inoltre il programma SMS, operativo in ambiente Windows, è stato utilizzato anche per le procedure di post-processor relative alle analisi ed alle realizzazioni dei grafici bidimensionali riproducenti i risultati delle elaborazioni.

Nella fase preliminare dello studio (procedura di pre-processor), è stato utilizzato il codice GFGEN per la costruzione del reticolo geometrico, agli elementi finiti, con cui è stato discretizzato lo specchio liquido. Successivamente sono state definite le condizioni idrodinamiche al contorno considerando la sola forzante indotta dalle oscillazioni del livello marino per effetto della marea astronomica. Il codice di calcolo RMA-2 ha consentito l'analisi del dominio fluido riferito ad un periodo di 24 ore.

## **2.2. Discretizzazione dello specchio liquido**

Per la corretta applicazione delle routine di calcolo idrodinamico del modello SMS è importante effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione del sistema liquido in esame. A tal proposito si è fatto riferimento all'andamento planimetrico del porto turistico e delle sponde interne contraddistinte da scogliere e banchine a parete verticale.

Per quanto riguarda la profondità del bacino si è fatto riferimento alla batimetria naturale (come da progetto), che prevede fondali di  $-5.0$  m (fig. 1).

Tenendo conto di tutti questi fattori il campo fluido è stato suddiviso in una griglia di calcolo costituita da 583 elementi (di cui 225 triangolari e 358 quadrangolari), per un totale di 1671 nodi di calcolo (fig. 2). Le maglie sono più fitte ove le variazioni geometriche ed i previsti gradienti idraulici sono maggiori.

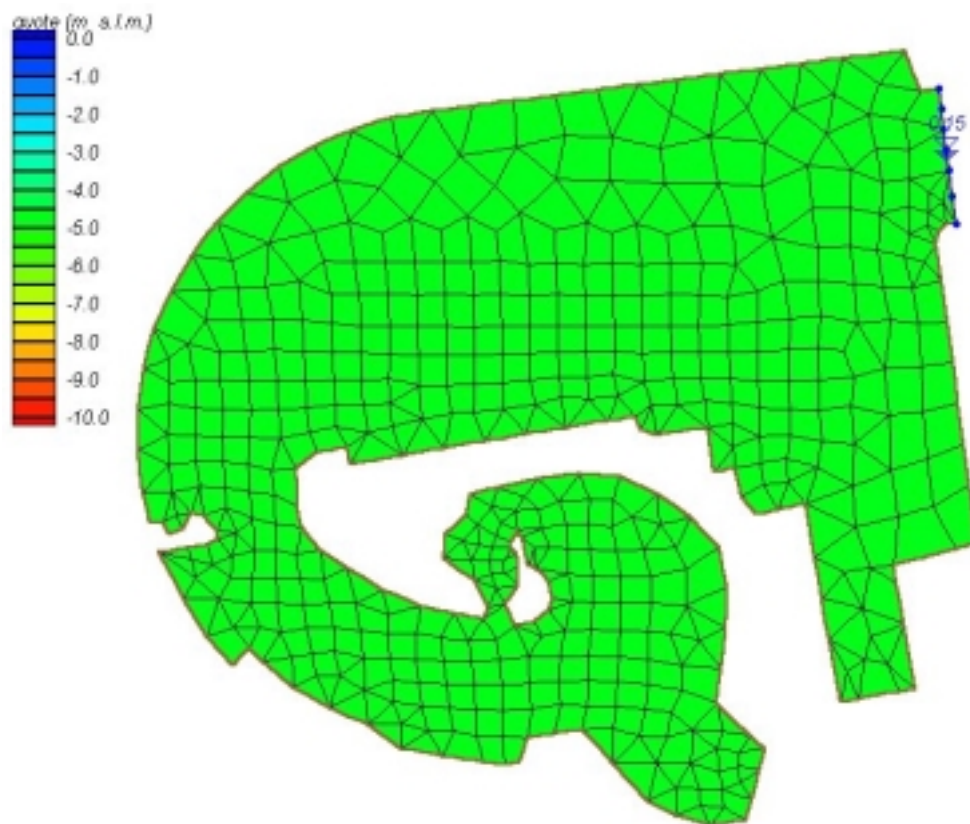


Fig. 1 - Batimetria di riferimento

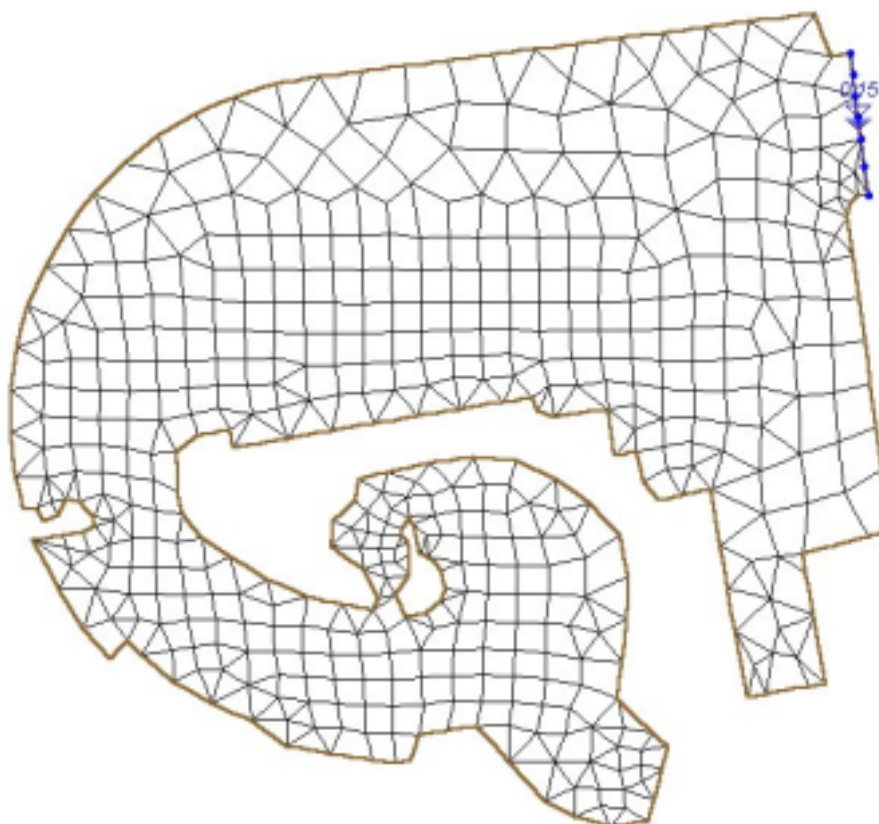


Fig. 2 - Discretizzazione dell'area di studio

### 2.3. Definizione delle condizioni al contorno

Per il sistema liquido così discretizzato sono state definite le condizioni al contorno in termini di livelli idrici lungo l'imboccatura portuale, assunta come confine lato mare del sistema liquido simulato.

Per le condizioni di livello idrico si è fatto riferimento a due cicli di marea (24 ore) assumendo cautelativamente un dislivello di  $\pm 0.15$  m s.l.m.m. rappresentativo delle condizioni medie di oscillazione di massima marea astronomica come ricavato dallo Studio Meteomarina (fig 3).

Per simulare correttamente il campo idrodinamico anche lungo le scogliere perimetrali inclinate tenendo conto delle oscillazioni del livello liquido indotte dalla marea, si è fatto ricorso alla funzione opzionale di wet-dry contemplata dal programma RMA-2, che consente di simulare le condizioni di bagnato-asciutto per quegli elementi interessati da questo fenomeno.

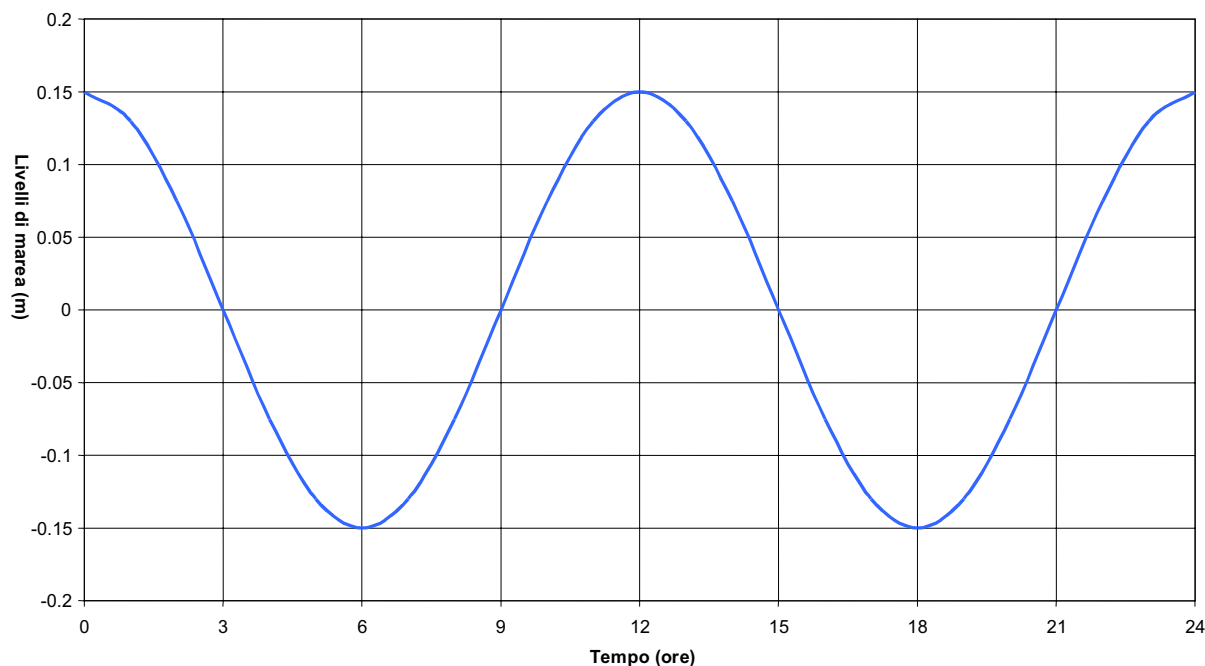


Figura 3 - Ciclo di marea simulata in prossimità dell'imboccatura

## 2.4. Risultati delle simulazioni idrodinamiche

Completata la fase di discretizzazione del sistema liquido e di definizione delle condizioni al contorno è stato applicato il programma GFGEN per la predisposizione dei file di input (in codice binario) utilizzati successivamente dal programma di idrodinamica RMA-2 agli elementi finiti.

Viste le basse velocità di flusso e di riflusso in gioco (dell'ordine dei cm/s), al fine di non falsare l'andamento idrodinamico dello specchio idrico si è operato ammettendo che tra due iterazioni successive la differenza massima di velocità ammessa per il medesimo punto non sia maggiore di 0.000001 m/s.

La simulazione è stata effettuata al fine di verificare il livello di vivificazione naturale associato alle sole correnti di marea. Si è così verificato che le condizioni di flusso (corrente liquida entrante nello specchio portuale nella fase di passaggio da bassa ad alta marea) e di riflusso (corrente liquida uscente nella fase di passaggio da alta a bassa marea) operano una insufficiente miscelazione dei volumi d'acqua invasati.

Nelle figure 4 ÷ 7 è possibile verificare il campo di velocità che si registra nelle varie fasi di marea ogni 3 ore; la scala di rappresentazione delle velocità (m/s) mostra che per la zona più interna del porto (vecchio porto), l'effetto di vivificazione dovuto alla sola marea è molto basso (registrandosi velocità inferiori ad 0,002 m/s). Al termine di queste simulazioni si è quindi constatato che la capacità naturale di ricircolo delle acque invase nel porto interno è alquanto limitata.

Queste condizioni idrodinamiche lasciano supporre livelli di qualità delle acque al limite dell'accettabilità, soprattutto nei periodi estivi, caratterizzati da temperature medie elevate e correnti litoranee basse, quando risultano esasperati i cicli biologici dei micro-organismi algali.

Nello scenario simulato non è stato prudenzialmente tenuto conto sia della presenza di correnti litoranee che dell'effetto del vento, che comunque contribuiscono alla movimentazione delle acque superficiali e quindi forniscono un sensibile aiuto alla vivificazione dello specchio acqueo.

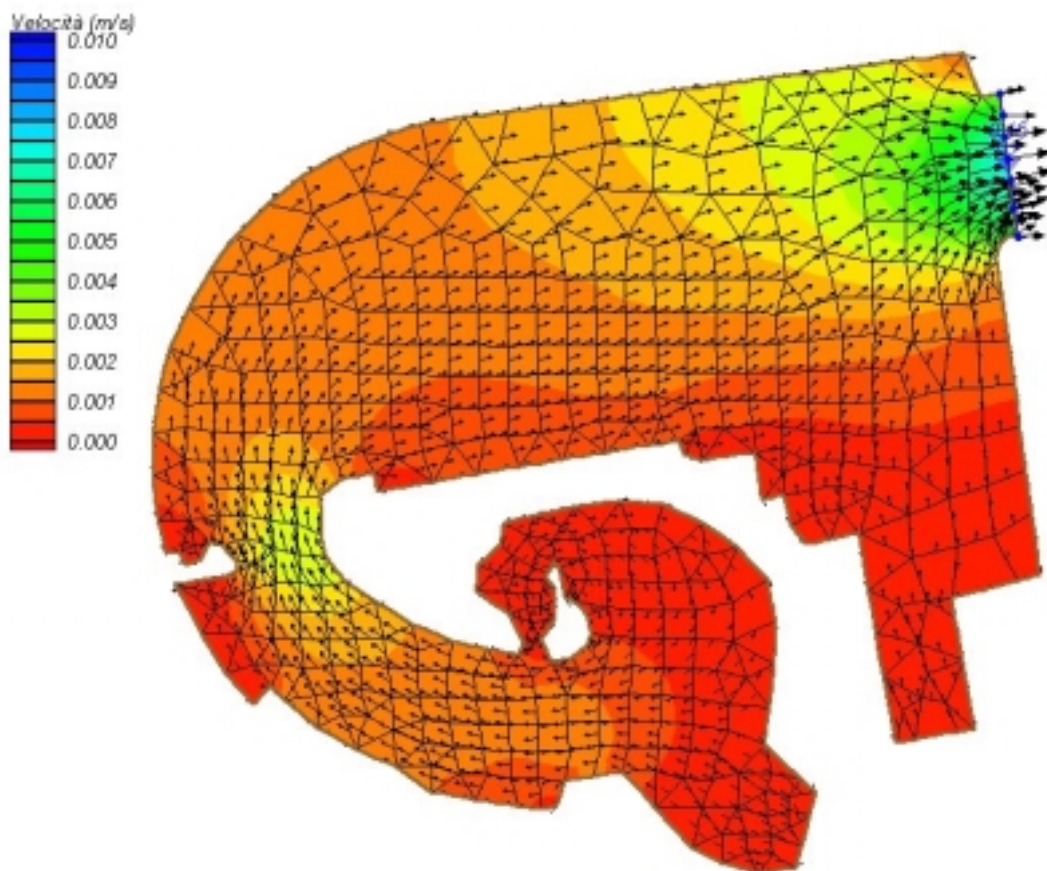


Fig. 4 - Simulazione del campo idrodinamico indotto dall'oscillazione di marea alle ore 3  
Distribuzione delle velocità (m/s)

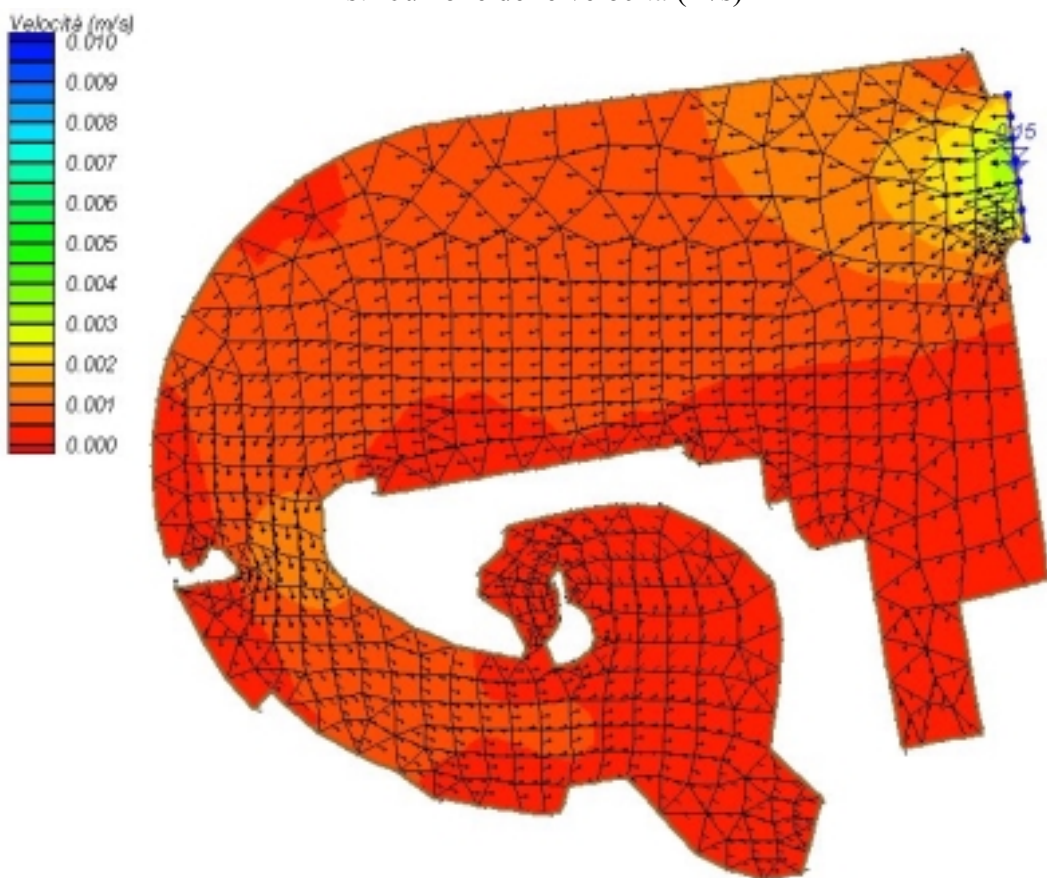


Fig. 5 - Simulazione del campo idrodinamico indotto dall'oscillazione di marea alle ore 6  
Distribuzione delle velocità (m/s)



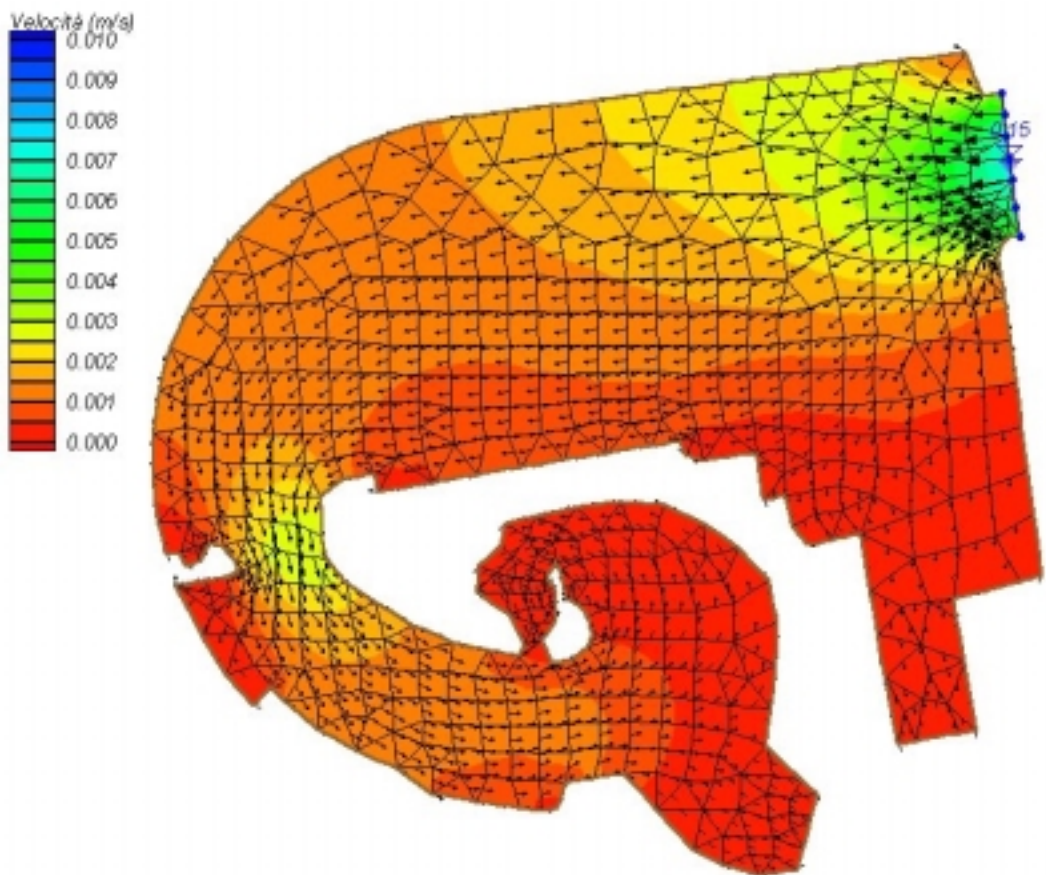


Fig. 6 - Simulazione del campo idrodinamico indotto dall'oscillazione di marea alle ore 9  
Distribuzione delle velocità (m/s)

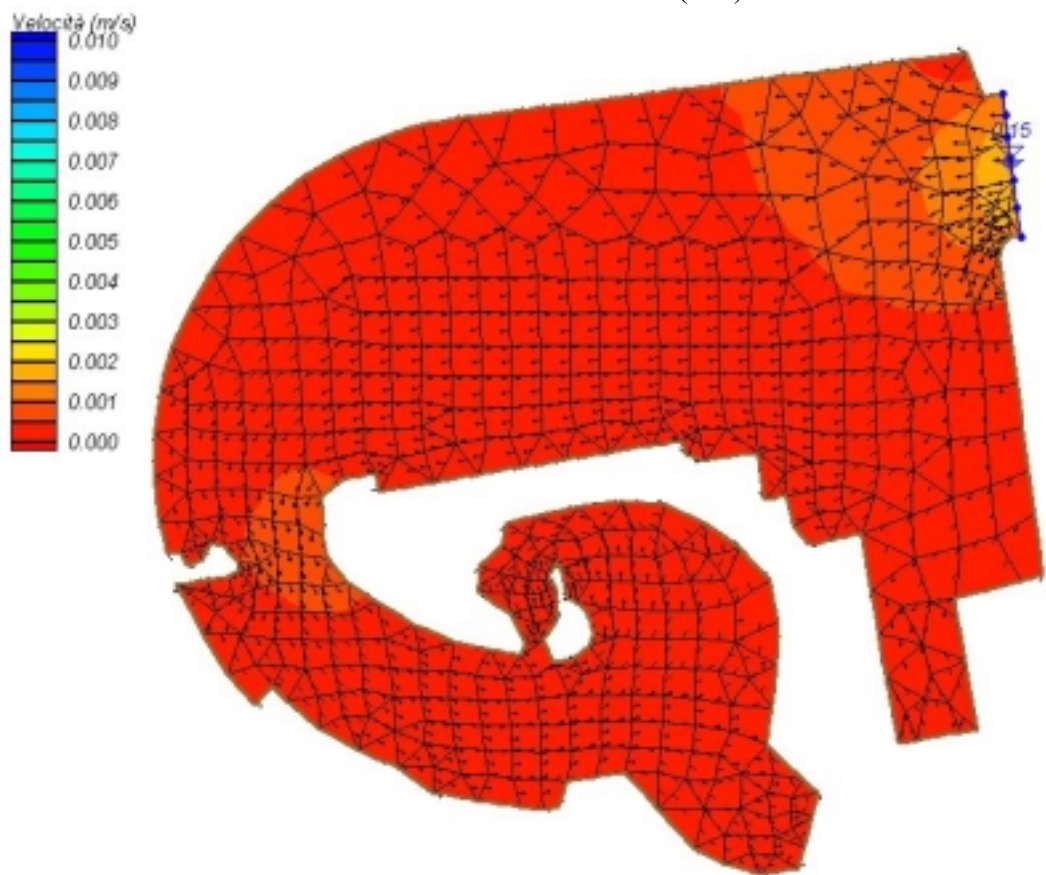


Fig. 7 - Simulazione del campo idrodinamico indotto dall'oscillazione di marea alle ore 12  
Distribuzione delle velocità (m/s)

Per aumentare la circolazione delle acque interne si dovrebbe prevedere l'immissione di una portata di vivificazione (800 l/s) distribuita mediante un opportuno numero di bocchette disposte in modo tale da favorire la circolazione nel bacino interno, al fine di ottenere nel canale di accesso e nella parte più interna condizioni che possano ritenersi soddisfacenti.

### 3. VERIFICA DELLA QUALITA' DELLE ACQUE INVASATE

La qualità delle acque invasate nello specchio portuale di un porto turistico può deteriorarsi per molteplici ragioni. In particolare lo stato di relativa quiete in cui si trova l'acqua all'interno di un bacino portuale favorisce i processi di sedimentazione anche di sostanze organiche con accumuli di fango che, diventando in fasi successive più leggero per effetto delle fermentazioni anaerobiche, è spesso trascinato in superficie con conseguenze sgradevoli. Anche la presenza di sostanze oleose e/o schiume in sospensione, oltre a dare un aspetto antiestetico allo specchio liquido, limita alquanto gli scambi di ossigeno con l'atmosfera. L'insieme di questi fattori può comportare condizioni estreme, alterando il naturale equilibrio biologico e chimico-fisico dell'acqua, e può causare inconvenienti non trascurabili per i fruitori del marina (cattivi odori, posa di schiume, micro alghe ed oli lungo le fasce di galleggiamento dei natanti, aspetto sgradevole dello specchio acqueo).

In modo piuttosto semplicistico, il problema della qualità dell'acqua invasata in un bacino portuale si riconduce ad assumere come riferimento progettuale il parametro ossigeno disciolto (mg/l) che deve presentare valori al di sopra di opportune concentrazioni limite. Questo parametro consente una valida caratterizzazione qualitativa dello "stato di salute" delle acque invasate, anche se non è certo in grado di esprimere i complessi rapporti biologici, chimici e fisici che si instaurano all'interno del corpo d'acqua. per l'analisi dei quali si renderebbe necessario definire altri parametri quali la temperatura, il pH, il BOD, la carica batterica, le sostanze disciolte e quelle in sospensione.

In generale infatti si osserva che il corpo d'acqua permane in uno stato di "salute", fintanto che in esso si mantiene una concentrazione di ossigeno tale da assicurare la vita e lo sviluppo degli organismi più elevati e più sensibili a carenze di ossigeno (Masotti, 1978). La concentrazione di ossigeno disciolto a saturazione varia tra 7,6 e 14,1 mg/l con temperatura variabile tra 0° C e 30° C.

Studi più specifici condotti sulla qualità delle acque in un bacino portuale indicano come non sia sufficiente garantire elevate concentrazioni di ossigeno ma sia comunque necessario contenere la concentrazione di sostanze inquinanti (organiche e/o minerali) entro opportuni valori di sicurezza. Si è verificato che una riduzione della concentrazione di ossigeno sotto valori minimi di 2-3 mg/l provocherebbe la morte ed il decadimento delle specie di macro invertebrati e fitoplankton più sensibili incrementando la massa dei fanghi organici ed innescando ulteriori fenomeni di deterioramento della qualità della massa idrica invasata.

Per verificare la qualità delle acque del porto in esame, in condizioni ordinarie di esercizio, si è simulato il grado di concentrazione dell'ossigeno disciolto a regime in uno scenario di condizioni al contorno (temperature medie del periodo estivo, sola escursione di marea, escursione di marea con aggiunta di portate di vivificazione).

I risultati delle condizioni idrodinamiche definiti con la serie di simulazioni condotte tramite il modello RMA2 sono stati utilizzati per simulare la variazione della concentrazione di ossigeno disciolto con il programma RMA4.

A tal proposito è stata posta una concentrazione iniziale minima pari a 3.0 mg/l considerando anche una legge di decadimento di tipo esponenziale [  $C(t)=C(t_0)e^{-kt}$  ] assumendo come coefficiente di decadimento un valore pari a  $k = 1$ . Inoltre si è imposto che in corrispondenza dell'imboccatura si ha una concentrazione di ossigeno disciolto pari a 5.0 mg/l, e comunque non eccessivamente elevata operando, in tal modo, a vantaggio della sicurezza. Nella realtà lungo l'imboccatura si potranno riscontrare valori della concentrazione di ossigeno disciolto superiori a quelli assunti in ragione della marcata miscelazione operata dalle onde e dalle correnti marine.

Le simulazioni condotte riferendosi alla condizione idrodinamiche determinata dalla escursione di marea conferma che, considerate le dimensioni e la conformazione del bacino portuale interno, la concentrazione dell'ossigeno disciolto non è efficacemente alimentata dai volumi di acqua affluenti con le fasi di marea. Fatta eccezione per la zona dell'avamposto, la concentrazione di ossigeno disciolto scende al di sotto dei 3.0 mg/l (figg. 8÷11). Si sottolinea che la mancanza di ricambio idrico la concentrazione di ossigeno disciolto sarebbe destinata a decadere secondo la legge esponenziale  $C(t)=C_0e^{-kt}$ . La circolazione idrodinamica associata al solo fenomeno di escursione di marea è abbinata a limitati valori della concentrazione di ossigeno disciolto. L'effetto della marea in termini di rigenerazione biochimica delle acque invase si esaurisce a breve distanza dall'imboccatura.

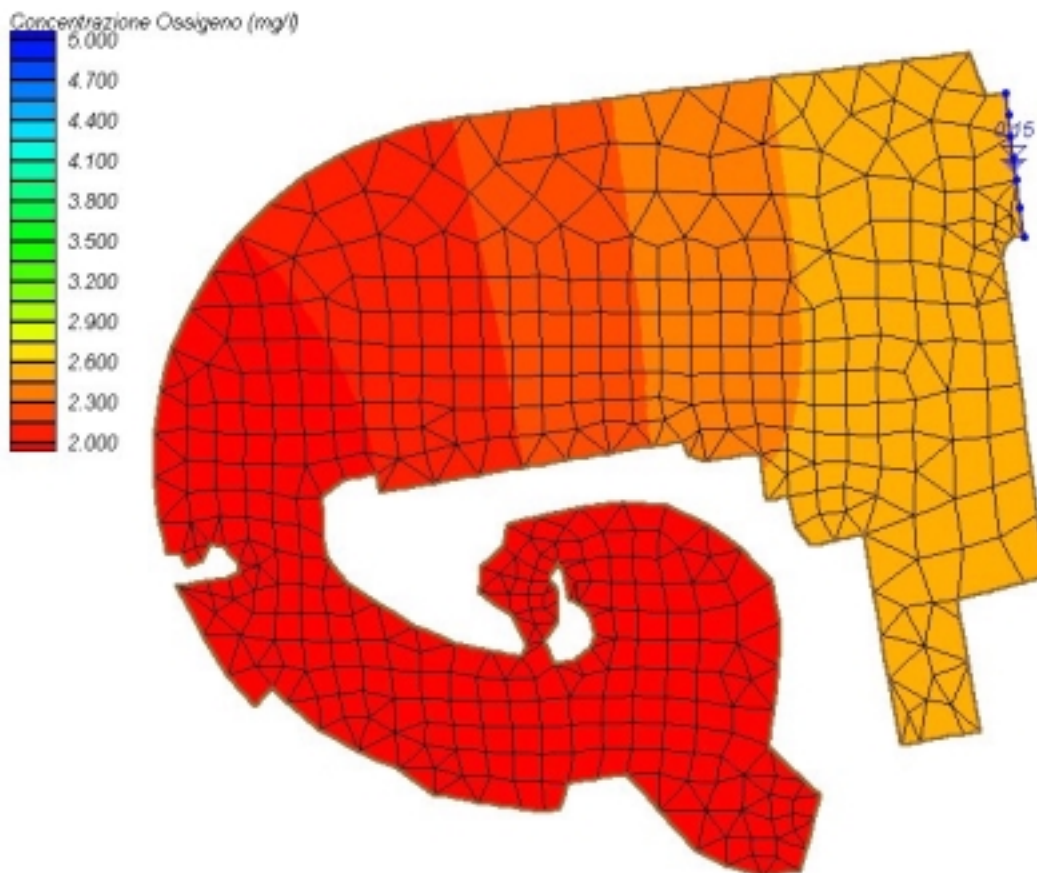


Fig. 8 – Qualità delle acque: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 3 (valori in mg/l)

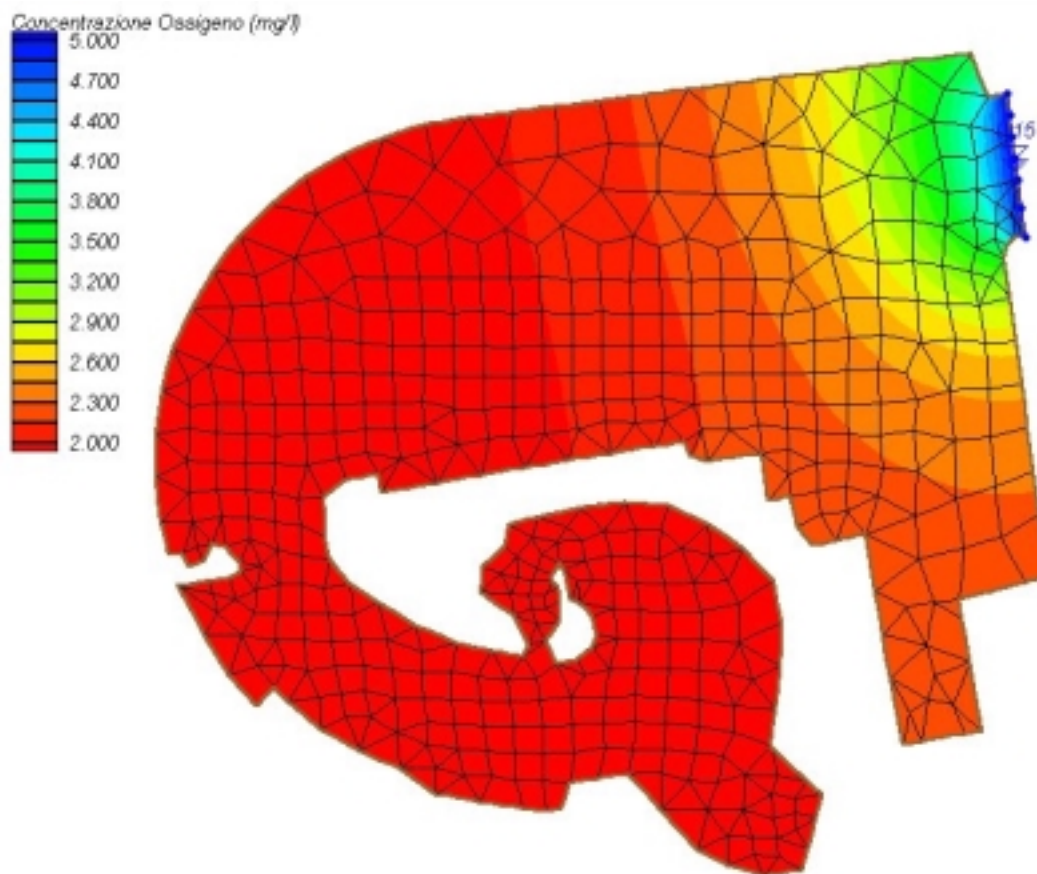


Fig. 9 – Qualità delle acque: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 6 (valori in mg/l)



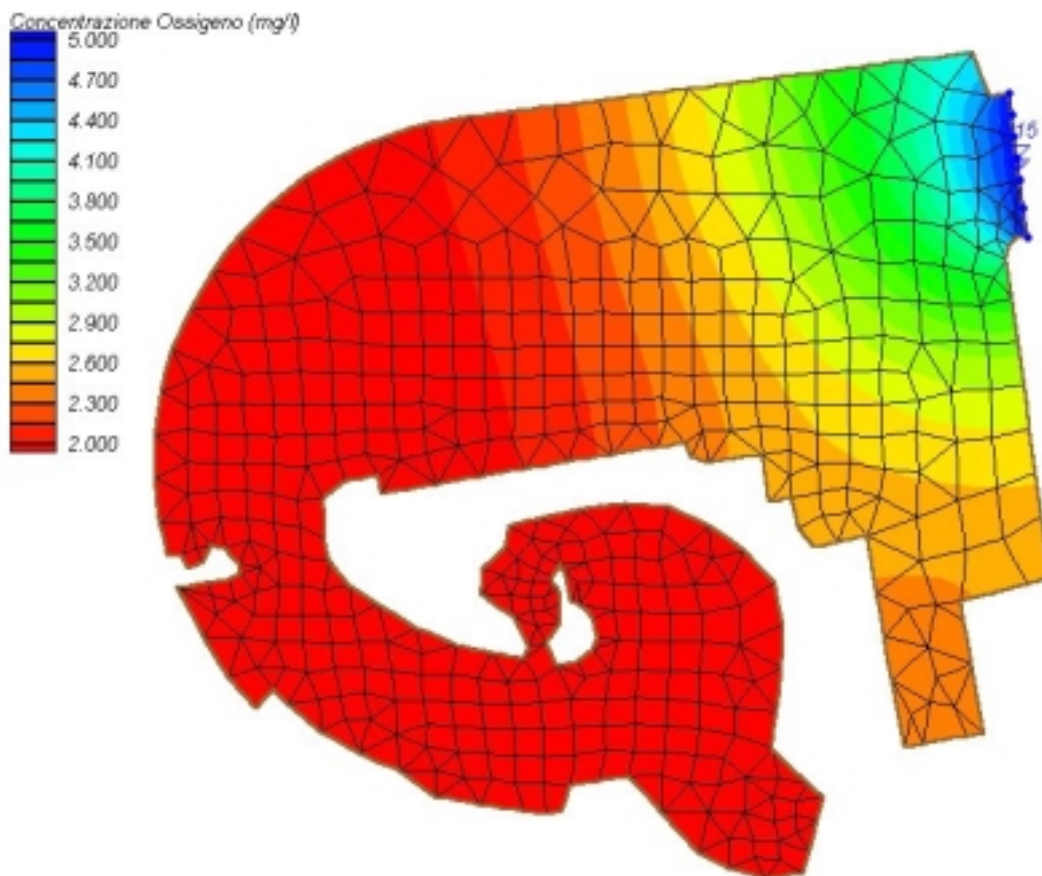


Fig. 10 – Qualità delle acque: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 9 (valori in mg/l)

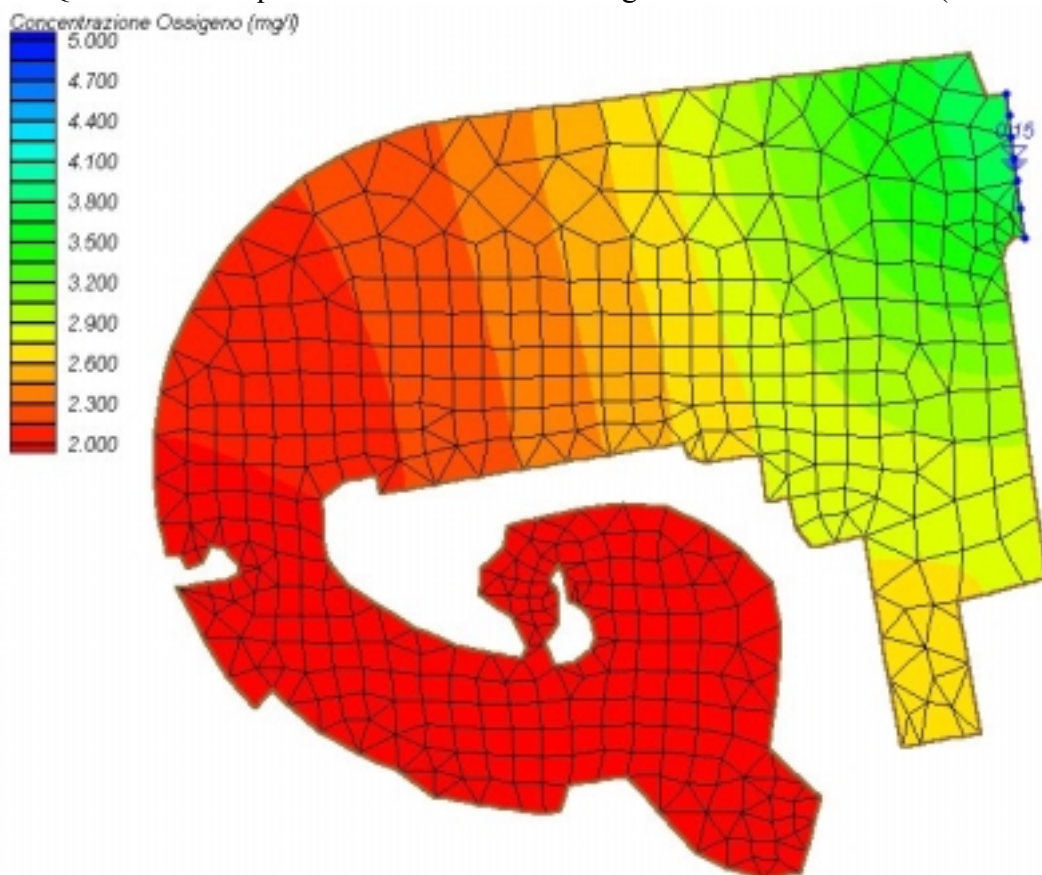


Fig. 11 – Qualità delle acque: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 12 (valori in mg/l)

#### **4. CONCLUSIONI**

L'applicazione di un idoneo modello numerico agli elementi finiti ha permesso di simulare il campo di corrente indotto dalla sola marea astronomica e la relativa distribuzione dell'ossigeno disciolto (quale indicatore della qualità dell'acqua) nell'intero porto esterno. Le modeste oscillazioni mareali naturali non sono in grado di assicurare un adeguato ricircolo e ricambio del grande volume idrico invasato, in particolare nella darsena interna.

Si raccomanda quindi di introdurre un sistema di circolazione forzata da usare nelle fasi di riflusso mareale in condizioni di calma di vento. La portata è stata precedentemente determinata in 800 l/s; l'esatta ubicazione dei punti di immissione lungo il perimetro portuale interno dovrà essere ottimizzata con alcune ulteriori simulazioni.

## APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS

### Introduzione

Il sistema SMS è stato sviluppato dalla United States Army Engineering Waterways Experiment Station per simulare numerosi problemi idrodinamici in acque basse. Il modello SMS è provvisto di pre-post processore grafico per programmi che richiedono griglie 2D agli elementi finiti sviluppato dall'Engineering Computer Graphics Laboratory a Brigham.

I programmi contenuti nel pacchetto SMS possono essere usati per analizzare le variazioni di livello ed il campo di velocità per problemi idrodinamici in acque basse. Il programma SMS fornisce sia soluzioni in moto permanente che in moto vario, in altre parole la soluzione può trovarsi sia per istanti di tempo che per una serie di passi temporali.

I programmi del pacchetto SMS contengono, inoltre, un codice per la simulazione della diffusione di inquinanti, dell'erosione e del trasporto solido. In una tipica applicazione, SMS viene utilizzato per costruire un reticolo agli elementi finiti della regione simulata e per applicare condizioni al contorno. Le informazioni che descrivono le griglie vengono quindi salvate in un file geometrico ed in uno o più file in cui sono contenute le condizioni al contorno.

Il software SMS è quindi utilizzato per eseguire analisi idrodinamiche attraverso simulazioni numeriche. Le soluzioni creano uno o più file contenenti, tra le altre cose, i livelli di superficie idrica e il campo di velocità in ciascun nodo della griglia presa in esame. Questi file soluzione possono essere introdotti nel modello SMS che consente una loro visualizzazione sotto forma di grafici vettoriali a colori, corredati se necessario dell'andamento temporale delle differenti grandezze di interesse.

Il modello SMS può essere utilizzato, anche, come un pre e post processore per altri programmi agli elementi finiti, purché questi programmi siano compatibili con i formati utilizzati. Il modello SMS è idoneo per la costruzione di griglie grandi e complesse (potendo raggiungere anche centinaia di elementi) di forma arbitraria.

L'intero pacchetto software è disponibile a livello commerciale ed è provvisto del manuale per l'utente. I due componenti principali del sistema SMS, il codice RMA-2 per la determinazione del campo idrodinamico ed il codice RMA-4 per l'individuazione della concentrazione dell'ossigeno disciolto, vengono descritte di seguito.



## Codice RMA-2

Il cuore del sistema SMS è rappresentato dal programma RMA-2 per la simulazione di moti a superficie libera. L'RMA-2 è un programma bidimensionale agli elementi finiti per la soluzione di problemi idrodinamici, che fornisce risultati mediati sulla verticale.

Originariamente, l'RMA-2 è stato sviluppato da Norton ed altri (1973) della Resource Management Associates, Inc. di Davis, in California. Diverse modifiche al codice originale sono state fatte da alcuni ricercatori della Waterway Experiment Station (Thomas e McAnally, 1991).

## Applicazioni

L'RMA-2 può essere utilizzato per calcolare i livelli di superficie idrica e il campo di velocità nei punti nodali di una griglia agli elementi finiti che rappresenta un corpo d'acqua come ad esempio un fiume, un porto o un estuario.

L'RMA-2 può fornire soluzioni sia in moto permanente che in moto vario. In altre parole, le condizioni al contorno (portata entrante, livelli di superficie idrica) variano nel tempo e la soluzione si può trovare per un determinato numero di passi temporali. Ciò rende possibile la simulazione di condizioni dinamiche per le correnti causate da portate variabili o cicli mareali. L'RMA-2 non è applicabile a problemi con correnti supercritiche.

L'output dell'RMA-2 viene registrato in un file soluzione binario. Il file può contenere la soluzione di uno o più passi temporali, in funzione del fatto che sia stata eseguita un'analisi stazionaria o transitoria. Il file soluzione può essere introdotto nel processore grafico FastTABS per una rappresentazione grafica dei risultati.

## Equazioni utilizzate

Le equazioni che governano il moto delle acque poco profonde, risolte dall'RMA-2, sono le seguenti:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) - \frac{\varepsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - \frac{\varepsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

dove

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [ $LT^{-1}$ ]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [ $LT^{-1}$ ]

t = tempo [T]

g = accelerazione dovuta alla gravità [ $LT^{-2}$ ]

h = profondità dell'acqua [L]

$a_0$  = quota del fondo [L]

$\rho$  = densità del fluido [ $ML^{-3}$ ]

$\varepsilon_{xx}$  = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione x [ $MT^{-1}L^{-1}$ ]

$\varepsilon_{xy}$  = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione x [ $MT^{-1}L^{-1}$ ]

$\varepsilon_{yx}$  = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione y [ $MT^{-1}L^{-1}$ ]

$\varepsilon_{yy}$  = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione y [ $MT^{-1}L^{-1}$ ]

C = coefficiente di scabrezza di Chezy (derivato dal coefficiente di Manning n) [ $L^{2/3}T^{-1}$ ]

## RMA-4

L'RMA-4 è la parte del sistema SMS utilizzata per la simulazione della diffusione dell'ossigeno disciolto e per il trasporto di inquinanti. Utilizza la soluzione idrodinamica dell'RMA-2 per definire un campo di velocità per una data griglia. Inoltre legge un insieme di condizioni specificati dall'utente come input. Tali condizioni sono specificati come valori di massa o concentrazione e da tassi di decadimento per ciascun componente. L'RMA-4 quindi simula la diffusione e/o dissipazione del costituente per un dato numero di passi temporali.

L'output dell'RMA-4 è registrato in un file soluzione binario. Il file soluzione può essere introdotto nel FastTABS per una rappresentazione grafica dei risultati.

## Equazioni utilizzate

L'equazione che governa la convezione-diffusione risolta dall'RMA-4 è la seguente:

$$h \left( \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc \right) = 0$$

dove

$x$  = distanza nella direzione  $x$  (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

$u$  = velocità orizzontale della corrente nella direzione  $x$  [ $LT^{-1}$ ]

$y$  = distanza nella direzione  $y$  (laterale alla direzione della corrente) [L]

$v$  = velocità orizzontale della corrente nella direzione  $y$  [ $LT^{-1}$ ]

$t$  = tempo [T]

$c$  = concentrazione del costituente [ $ML^{-3}$ ]

$D_x$  = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione  $x$  [ $L^2T^{-1}$ ]

$D_y$  = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione  $y$  [ $L^2T^{-1}$ ]

$\sigma$  = sorgente o uscita locale del costituente [ $MT^{-1}L^{-2}$ ]

$k$  = tasso di decadimento del costituente [ $T^{-1}$ ]

## Processo di Simulazione

In un tipico problema di simulazione con il software SMS, la sequenza di operazioni per effettuare le simulazioni vengono eseguite secondo una specifica sequenza. Ciascuno di questi passi viene brevemente descritto di seguito.

### Costruzione della griglia

Anzitutto deve essere costruita una griglia agli elementi finiti che descriva la batimetria (geometria della superficie del fondo) del corpo d'acqua che deve essere simulato. I dati geometrici nella forma di coordinate xyz vengono inseriti nel SMS ed usati come base per la costruzione di una griglia agli elementi finiti.

Nei casi in cui è disponibile una carta delle isobate, i punti possono essere digitalizzati dalle linee isobate e introdotti nel SMS per la costruzione della griglia. Se non si dispone di una batimetria possono essere utilizzati rilievi o misure di indagini dirette.

Il software SMS è provvisto di numerosi strumenti per la generazione di una griglia e per l'editing interattivo. Questi strumenti sono descritti più dettagliatamente nel tutorial e nel manuale di riferimento. La geometria della griglia viene salvata dal SMS in un file di testo di tipo ASCII.

### Condizioni al contorno

Una volta costruita la griglia l'utente assegna le condizioni al contorno alla griglia. Le condizioni al contorno vengono usualmente introdotte come una portata entrante ad una estremità della griglia e come una prevalenza o un livello di superficie idrica all'estremità opposta della griglia. L'utente deve anche introdurre il coefficiente di Manning  $n$  ed i coefficienti di scambio turbolento per differenti regioni della griglia. Tutti questi parametri possono essere introdotti interattivamente utilizzando il software SMS. Le condizioni al contorno vengono salvate dal SMS in un file di testo ASCII distinto dal file geometrico, ma comprendente le indicazioni in esso contenute.

## GFGEN

Una volta costruita la griglia, viene eseguito il programma GFGEN prima di effettuare le simulazioni con l'RMA-2. Il GFGEN è un pre processore geometrico propedeutico per l'RMA-2. Il GFGEN legge il file di testo ASCII che descrive la geometria e lo valida e quindi lo trasforma in un equivalente file binario.

## RMA-2

Il passo successivo nel processo di simulazione è quello di effettuare le simulazioni con il programma RMA-2. L'RMA-2 legge il file di testo ASCII con l'indicazione delle condizioni al contorno e il file geometrico binario preparato precedentemente dal programma GFGEN. A questo punto il programma RMA-2 calcola la soluzione idrodinamica nei differenti punti della griglia considerata e genera un file soluzione binario da introdurre nel processore grafico del FastTABS.

## Post-processing con il SMS

Dopo aver effettuato le simulazioni con il programma RMA-2, i risultati devono essere osservati con il processore grafico SMS. Il software SMS consente di visualizzare i diagrammi vettoriali della velocità e grafici a colori sia della velocità che del livello idrico superficiale. Per le soluzioni transitorie si può generare l'andamento temporale per i nodi selezionati e le sequenze di animazione. Prima di visualizzare la soluzione idrodinamica, l'utente deve verificare che i risultati siano congruenti con la realtà fisica. Se necessario deve essere ridefinita in dettaglio la griglia oppure devono essere modificati i coefficienti di input e successivamente deve essere effettuata una nuova soluzione.

## Validazione

In molti casi, l'RMA-2 viene utilizzato per simulare l'effetto di una nuova struttura sull'idrodinamica di un corpo d'acqua. In genere in tali casi si segue l'intero processo sopra descritto con una griglia che rappresenta il corpo d'acqua nello stato attuale. Una volta che il modello è stato tarato (confrontandolo con misure o indagini disponibili), il SMS può essere utilizzato per modificare la griglia in modo tale che essa rappresenti le condizioni successive alla

realizzazione della struttura presa in esame. L'RMA-2 viene quindi utilizzato ancora una volta per simulare l'effetto della nuova struttura sull'idrodinamica, in modo da verificare le modifiche indotte sul campo idrodinamico.

## RMA-4

Viene utilizzato quando si esegue uno studio del trasporto di un inquinante o la diffusione dell'ossigeno disciolto con l'RMA-4. E' necessario preliminarmente determinare la soluzione idrodinamica usando l'RMA-2 come sopra descritto. L'insieme delle velocità di corrente che risulta da questa analisi viene utilizzato insieme con quello delle fonti puntuali d'inquinamento per simulare il trasporto di inquinanti con l'RMA-4.

# REGIONE PUGLIA

## COMUNE DI MELENDUGNO

### *SAN FOCA: PORTO TURISTICO - STAZIONAMENTO*

## PROGETTO DEFINITIVO

### Verifica del grado di agitazione ondosa all'interno del porto



Modimar S.r.l.

Via Monte Zebio 40 – ROMA

Prof. Ing. Alberto NOLI

Dott. Ing. Paolo CONTINI

Dott. Ing. Giancarlo MILANA

Dott. Ing. Davide SALTARI

*Roma, Dicembre 2000*

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>3</b>
<b>1. PREMESSE</b> .....	<b>4</b>
<b>2. STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI CON IL MODELLO VEGA</b> .....	<b>4</b>
<b>3. DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI D'ONDA DI INPUT</b> .....	<b>5</b>
<b>4. DEFINIZIONE DELLA CONFIGURAZIONE GEOMETRICA E DEI COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE</b> ....	<b>6</b>
<b>5. PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI. TEST EFFETTUATI</b> .....	<b>7</b>
<b>6. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE</b> .....	<b>8</b>
<b>7. ANALISI DEI RISULTATI</b> .....	<b>9</b>
<b>8. STUDIO DEL FRANGIMENTO NEI PRESSI DELL'IMBOCCATURA PORTUALE</b> .....	<b>11</b>
<b>9. CONCLUSIONI</b> .....	<b>13</b>

**ALLEGATO:**

Descrizione sintetica del modello matematico VEGA di agitazione ondosa all'interno dei porti





## ***Introduzione***

Questa relazione riassume le analisi svolte per verificare l'agibilità del porto di S. Foca (Comune di Melendugno), sia nella configurazione geometrica attuale che nella proposta progettuale presentata.

Con il termine *agibilità* si intende in particolare la funzionalità nautica dell'infrastruttura, ovvero il grado di sicurezza offerto dal porto sia nei riguardi delle manovre delle imbarcazioni in navigazione e sia della loro stabilità nello stazionamento all'ormeggio. Nel caso delle imbarcazioni da diporto la prima verifica (*navigabilità*) viene effettuata semplicemente dimensionando opportunamente le aree, le profondità degli specchi acquei e valutando le possibili rotte di entrata ed uscita in relazione alle locali condizioni meteomarine, mentre per la fruibilità del porto turistico la seconda verifica più restrittiva è condotta calcolando con opportuno modello matematico il grado di agitazione ondosa nelle aree di ormeggio e confrontandolo con i valori d'altezza d'onda ammissibili forniti in letteratura.

Considerato che la nautica da diporto impegna gli appassionati in crociere giornaliere, e che solo raramente possono manifestarsi fenomeni improvvisi e imprevedibili che costringono alla immediata ricerca di un rifugio, non è logico richiedere al porto turistico una officiosità totale con ogni tempo, ma si deve considerare che in condizioni eccezionali il rifugio debba essere ricercato in quelle strutture portuali che sono state realizzate "ad hoc", e che come tali rientrano nella I categoria dei porti. Tutto ciò evidentemente condiziona le scelte progettuali in quanto le opere di difesa e le valutazioni della sicurezza della navigazione dovranno essere adeguate a dette considerazioni. In linea di massima si può ritenere sufficiente una operatività del porto turistico pari al 95% del periodo annuale.

La presente relazione descrive il lavoro svolto dagli ingg. Paolo Contini, Giancarlo Milana e Davide Saltari con il costante coordinamento e revisione finale da parte del Prof. Ing. Alberto Noli.

## ***1. Premesse***

Nei successivi paragrafi vengono illustrati i risultati degli studi di penetrazione del moto ondoso eseguiti relativamente alle due configurazioni (attuale e di progetto) del porto di San Foca.

E' stato impiegato un modello numerico del tipo “agli elementi di contorno” che simula la penetrazione del moto ondoso nel bacino portuale. Per la descrizione del modello matematico VEGA si rimanda all'Appendice allegata a questa relazione.

L'agitazione ondosa in corrispondenza dell'imboccatura e della darsena interna (costituita da un'ansa naturale) è stata studiata utilizzando un modello che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz. Tale equazione, come è noto, consente di ricavare i valori dell'agitazione in un bacino portuale tenendo conto dei fenomeni di diffrazione e riflessione, che nel caso specifico sono dominanti per la quasi costanza dei fondali presenti in corrispondenza dell'imboccatura.

Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando una serie di direzioni d'onda e periodi ritenuti significativi per le condizioni meteomarine raggiungibili nel paraggio in esame e ricavate nello studio meteo-marino.

## ***2. Studio della penetrazione del moto ondoso con il modello VEGA***

Come già accennato, lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno dello specchio d'acqua portuale, caratterizzato da una profondità media pari a – 5.0 m, è stato effettuato con l'ausilio del modello VEGA.

Tale modello è in grado di simulare la propagazione di onde armoniche lineari ( $H/L \ll 1$  dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda) in presenza dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione che risultano dominanti nel caso in esame. Questi fenomeni sono regolati dall'equazione di Helmholtz che viene risolta dal modello numerico VEGA con la tecnica degli elementi di contorno (boundary elements). Tale tecnica richiede che venga discretizzato il contorno del dominio di calcolo. Per l'applicazione del modello di propagazione del moto ondoso VEGA il perimetro portuale è stato schematizzato per mezzo di una serie di “segmenti” ciascuno contraddistinto da una coppia di coordinate rappresentanti i vertici degli stessi. Ciascun segmento è stato a sua volta suddiviso in elementi di lunghezza compresi tra 1/6 ed 1/7 della lunghezza d'onda rispettivamente sia per il periodo minore simulato di 7.0 s che per quello maggiore di 9.0 s, assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni fossero introdotte almeno 7 sorgenti per ogni segmento considerato. I nodi del reticolo di calcolo sono circa 8200.

In corrispondenza della retta  $Y = 0$  m del dominio di calcolo sono state imposte le caratteristiche del moto ondoso incidente (altezza, direzione e periodo). Tale retta praticamente rappresenta un generatore di moto ondoso e viene trattata dal modello come un contorno di radiazione, cioè la perturbazione riflessa dalle strutture portuali è libera di transitare per tale contorno irradiandosi al largo nel campo, supposto infinito, posto all'esterno del dominio discretizzato.

Nella situazione esaminata le resistenze offerte dal fondo sono del tutto trascurabili a causa della limitata area di propagazione considerata. Simile osservazione può essere fatta per le dissipazioni viscosi interne al fluido che generalmente risultano trascurabili rispetto agli altri fenomeni in gioco; è comunque da sottolineare che trascurando i fenomeni dissipativi si opera in favore di sicurezza.

### ***3. Definizione delle condizioni d'onda di input***

Il modello d'agitazione interna richiede la definizione dei principali parametri ondosi (altezza, periodo, direzione) all'esterno dell'imboccatura portuale. A tal fine è necessario ricorrere ai risultati dello studio del regime ondoso al largo ed operarne preliminarmente il “trasferimento” in prossimità della zona di “ingresso” del moto ondoso per l'area discretizzata con il modello. La fascia costiera di cui fa parte l'insenatura del Porto di S. Foca è contraddistinta dal prevalere di coste rocciose basse con delle ampie falcature su cui sono racchiuse spiagge sabbiose. La porzione di mare discretizzata con il modello è contraddistinta da fondali interni pari a - 5 m sul l.m.m.

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso si è fatto riferimento ai piani d'onda inversi ottenuti per il punto P2 a profondità - 10 m nell'ambito dello studio meteomarinario, identificando la traversia locale principale nel settore  $340\div 40^\circ\text{N}$ , mentre la secondaria secondo il settore  $80\div 90^\circ\text{N}$ , all'esterno delle quali non sono state individuate altezze d'onda significative superiori a 1.5 m.

In definitiva è ragionevole assumere come direzioni medie delle mareggiate tre valori che abbracciano i due settori di traversia e possono risultare più pericolose per la penetrazione del moto ondoso nel porto e come periodi due valori che rappresentano condizioni sia frequenti ( $T = 7$  s) che estreme ( $T = 9$  s).

Essendo il modello lineare, l'altezza d'onda viene assunta unitaria ed i risultati, espressi come coefficienti moltiplicatori dell'altezza, vanno poi associati agli effettivi valori dell'altezza significativa che si presentano con gli assegnati tempi di ritorno.

Pertanto, le condizioni di moto ondoso incidente prese in esame definite nell'ambito dello studio di propagazione del moto ondoso sono le seguenti:

Periodo (s) : 7.0; 9.0

Direzione (°N) : 40; 90; 110

Il numero totale di test per le due configurazioni prese in esame è dunque pari a dodici.

Le condizioni di moto ondoso considerate nell'analisi dei risultati rappresentano sia le condizioni di operatività ordinaria e perciò raggiungibili frequentemente nel corso dell'anno ( $T=7s$ ), che condizioni più rare e gravose associate ad un tempo di ritorno cinquantennale ( $T = 9 s$ ).

Questa scelta è stata effettuata (operando a favore della sicurezza) per verificare la risposta della configurazione portuale ad onde contraddistinte da una maggiore capacità di penetrazione rispetto a quelle medie annuali.

E' opportuno mettere in evidenza che nelle configurazioni esaminate gli effettivi valori dell'altezza d'onda nelle immediate vicinanze dell'imboccatura possono subire riduzioni abbastanza sensibili per effetto dei fenomeni di frangimento (parziale) e di attrito sul fondo, di cui il modello non tiene conto. Infatti, come è noto il valore dell'altezza d'onda è limitato dalla profondità. Considerando nell'area antistante l'imboccatura portuale una profondità media di 8,0 m (tenendo conto in via cautelativa di un sovrizzo di + 0.5 m concomitante con l'evento di moto) la massima altezza d'onda significativa che può propagarsi all'interno del bacino di ingresso può essere assunta in prima approssimazione pari a 5.5 m.

#### ***4. Definizione della configurazione geometrica e dei coefficienti di riflessione***

Le prove su modello sono state condotte su entrambe gli schemi planimetrici rappresentanti la situazione attuale e quella di progetto come illustrato nelle figg. 1 e 8.

I coefficienti di riflessione  $R$  delle opere perimetrali sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse, variabili a seconda della tipologia adottata, come riportato nel seguito ed indicato nelle suddette figure:

- opere a parete verticale  $R = 0,90$ ;
- pareti rocciose naturali  $R = 0,40$ ;
- opere a scogliera  $R = 0,35$ ;
- spiaggia assorbente  $R = 0,10$ ;
- pontili su pali  $R = 0,00$ .

Si vuole sottolineare che tali coefficienti di riflessione sono stati mantenuti costanti approssimandoli prudenzialmente in eccesso. Essi sono desunti dalla letteratura in base ad esperienze su modelli fisici e variano nella realtà in funzione del periodo d'onda incidente. Inoltre per le pareti inclinate il coefficiente R si riduce al diminuire della pendenza. Per le scogliere scabre e porose si può far riferimento ad una formula di Allsop e Channel in funzione del parametro di surf relativo al periodo di picco  $\xi_p$

$$R = 0.125 \xi_p^{0.73}$$

dove  $\hat{i}_p = \frac{\tan a}{\sqrt{\frac{2p H_s}{g T_{pm}^2}}}$

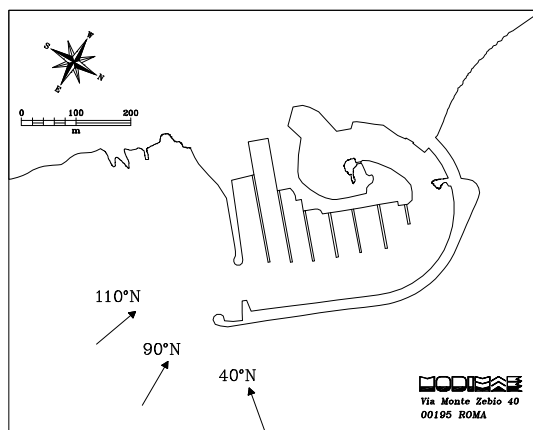
Assumendo che la ripidità di picco dell'onda (al denominatore) varia tipicamente tra 0.02 e 0.05 e che le scarpate hanno pendenze tra 2:3 e 1:3, il coefficiente risulta variabile tra 0.10 e 0.35.

### ***5. Penetrazione del moto ondoso. Test effettuati***

Per lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno degli specchi portuali sono state considerate sia la configurazione attuale del porto che quella di Piano Regolatore Portuale. Le simulazioni sono state condotte assumendo una profondità media (costante) pari a - 5,0 m per la configurazione di progetto, mentre per la situazione attuale è stata considerata  $h = - 2,50$  m.

Per quanto riguarda le direzioni di provenienza delle onde in corrispondenza dell'imboccatura portuale da utilizzare nelle simulazioni, si è preventivamente individuato il settore di attacco degli stati di mare più gravosi. Tale settore (vedi relazione meteomarina) è risultato compreso tra le direzioni 40 °N e 110 °N.

Considerando l'esposizione a libeccio dell'imboccatura portuale, la direzione di attacco ondoso ha un prevedibile effetto di contenimento ottimale rispetto alla penetrazione degli stati di mare più gravosi provenienti da nord-est (grecale).



Fissate le direzioni (vedi paragrafo 3), per lo studio di penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nelle due situazioni planimetriche considerate, sono state scelte le caratteristiche del moto ondoso di attacco (altezza significativa e periodo di picco) assumendo i seguenti stati di mare:

$T = 7,0 \text{ s}$      $\text{Dir} = 40^\circ\text{N}$     (condizione annuale)

$T = 9,0 \text{ s}$      $\text{Dir} = 40^\circ\text{N}$     (condizione estrema)

$T = 7,0 \text{ s}$      $\text{Dir} = 90^\circ\text{N}$     (condizione annuale)

$T = 9,0 \text{ s}$      $\text{Dir} = 90^\circ\text{N}$     (condizione estrema)

$T = 7,0 \text{ s}$      $\text{Dir} = 110^\circ\text{N}$     (condizione annuale)

$T = 9,0 \text{ s}$      $\text{Dir} = 110^\circ\text{N}$     (condizione estrema)

## 6. Risultati delle simulazioni numeriche

Per le configurazioni geometriche considerate sono state eseguite dodici simulazioni. I risultati delle elaborazioni, allegati in forma grafica, indicano la distribuzione planimetrica dei coefficienti di agitazione (moltiplicatori dell'altezza d'onda incidente) con una scala di intensità avente una risoluzione di 0,1. Per chiarezza sono evidenziate solo le curve di iso-altezza d'onda di 0.1; 0.3; 0.5.

Essendo il modello lineare, i risultati sono stati rappresentati utilizzando il coefficiente di diffrazione (altezza d'onda relativa) che esprime il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata nel punto

e l'altezza d'onda incidente. Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente moltiplicare il coefficiente di diffrazione per l'altezza dell'onda incidente all'imboccatura.

I valori di output sono stati elaborati per tutte le simulazioni effettuate con il programma di interpolazione "SURFER" che restituisce i dati come curve di uguale intensità dell'agitazione ondosa e/o scale cromatiche differenziate.

Di seguito si è elencata la corrispondenza fra i test effettuati e il nominativo dato ai corrispondenti grafici :

- configurazione attuale:

Test 1	→	File SFA_D90_T7.SRF
Test 2	→	File SFA_D90_T9.SRF
Test 3	→	File SFA_D110_T7.SRF
Test 4	→	File SFA_D110_T9.SRF
Test 5	→	File SFA_D40_T7.SRF
Test 6	→	File SFA_D40_T9.SRF

- configurazione di progetto:

Test 7	→	File SF_D90_T7.SRF
Test 8	→	File SF_D90_T9.SRF
Test 9	→	File SF_D110_T7.SRF
Test 10	→	File SF_D110_T9.SRF
Test 11	→	File SF_D40_T7.SRF
Test 12	→	File SF_D40_T9.SRF

## 7. *Analisi dei risultati*

L'attenuazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale avviene prevalentemente per gli effetti di diffrazione causata dalle opere a gettata poste a difesa della imboccatura portuale.

La direzione di attacco ondoso ha un prevedibile effetto sulla penetrazione del moto ondoso, nel senso che le onde con direzione di provenienza più ruotata verso nord-est (grecale-levante) producono livelli di agitazione minori in tutta l'area ridossata e viceversa le onde di

levante-scirocco, che comunque hanno una frequenza di accadimento bassa, danno origine ad una maggiore perturbazione soprattutto nell'area retrostante il molo di sottoflutto.

L'analisi delle figure 2÷7 e 9÷14 mostra <sup>(1)</sup> che le onde caratterizzate dal periodo ( $T = 9$  s) presentano una penetrazione del moto ondoso all'interno dello specchio d'acqua portuale sensibilmente più limitata nell'ipotesi di progetto, mentre si registrano dei valori più elevati nel caso della situazione attuale, soprattutto nel caso di onda incidente proveniente da levante-scirocco. In particolare:

- per la situazione attuale, considerando gli stati di mare provenienti da grecale, associati ad una frequenza di accadimento media annuale (con  $H_s > 0.5$  m) del 8.0% (29 gg/anno), il coefficiente di diffrazione si mantiene inferiore al 10% in tutta l'area interna, mentre raggiunge anche il 30% del valore dell'altezza d'onda incidente nell'area immediatamente retrostante la scogliera posta a protezione dell'imboccatura, mentre nella configurazione di progetto tali valori si riducono sensibilmente non superando in lo specchio d'acqua portuale il 10% del valore dell'onda incidente (vedi fig. 6, 7 e 13, 14);
- per onde provenienti da levante, , associate ad una frequenza di accadimento media annuale (con  $H_s > 0.5$  m) del 11.0% (40 gg/anno), i valori del coefficiente di diffrazione nelle due configurazioni prese in esame assumono valori decisamente differenti; mentre nella situazione attuale il coefficiente di diffrazione raggiunge anche il 50% del valore dell'altezza d'onda incidente nelle aree adiacenti l'attuale imboccatura portuale (vedi fig. 9 e 10), per la configurazione di progetto tali valori non superano in tutto lo specchio acqueo portuale il 30% del valore dell'altezza d'onda incidente (fig. 2 e 3);
- per onde provenienti da scirocco , associate ad una frequenza di accadimento media annuale (con  $H_s > 0.5$  m) del 2.2% (8 gg/anno), si può osservare che i maggiori valori di agitazione si verificano nella configurazione di progetto. Infatti, il coefficiente di diffrazione nell'area dove sono ubicati i pontili supera in diversi punti il 50% del valore dell'altezza d'onda incidente (vedi fig. 4 e 5), mentre nella situazione attuale tali valori si mantengono limitati al 30% del valore dell'altezza d'onda incidente nell'area retrostante l'imboccatura (fig. 11 e 12);

<sup>1</sup> Nelle rappresentazioni grafiche i risultati delle simulazioni sono riferiti ad un'altezza d'onda unitaria in modo tale da poter interpretare i risultati numerici come coefficienti di "attenuazione/amplificazione" dell'altezza d'onda ipotizzata al contorno (generatore) del modello.



### 8. Studio del frangimento nei pressi dell'imboccatura portuale

Per la sicurezza della navigazione, occorre garantire alle imbarcazioni in ingresso ed in uscita dal bacino portuale l'eventualità che si verifichi in misura ridotta il frangimento dell'onda in corrispondenza dell'imboccatura. A tal fine è necessario stimare la frequenza di delle condizioni di frangimento dell'onda a diverse profondità, tenendo conto che il fondale prospiciente l'ingresso al porto è variabile tra -8.0 e -5.5 m rispetto al livello medio marino (fig 15).

#### Altezza d'onda al frangimento

L'altezza d'onda al frangimento ( $H_b$ ) può essere valutata attraverso l'espressione consigliata da Goda (1985):

$$H_b = L_o \times 0.12 \times \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{1.5 \cdot \mathbf{p} \cdot d_b}{L_o} \cdot (1 + 15 \cdot \tan^{4/3} \mathbf{J}) \right] \right\}$$

dove:

$$L_o = \frac{g \cdot T_m^2}{2 \cdot \mathbf{p}} \quad \text{– Lunghezza d'onda al largo}$$

$d_b$  – profondità di frangimento (m)

$\vartheta$  - angolo tra il fondale e l'orizzontale ( $\tan \vartheta = 1/40$ )

Nelle tabelle 1a e 1b sono riportate per diversi valori del periodo d'onda medio le altezze d'onda che raggiungono le condizioni di frangimento indotte dalle profondità che si hanno all'imboccatura del porto.

#### Determinazione della probabilità che $H > H_b$

La probabilità che per un dato stato di mare, caratterizzato da una certa altezza significativa, si verifichino onde di altezza tale da raggiungere le condizioni di frangimento, può essere determinata utilizzando la distribuzione di Rayleigh:

$$P(H > H_b) = \int_{H_b/\bar{H}}^{\infty} p(\mathbf{x}) d\mathbf{x} = \exp \left[ - \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot \left( \frac{H_b}{\bar{H}} \right)^2 \right]$$

dove

$p(\xi)$  – densità di probabilità

$\bar{H} = H_s / 1.6$  - altezza d'onda media



Per determinare la frequenza di frangimento, nell'area di mare antistante l'imboccatura, in un anno medio climatico si è calcolato per ogni stato di mare relativo all'intera serie ondometrica riportata a riva nel punto P2 (davanti all'imboccatura portuale) la probabilità  $H > H_b$ . Da tale elaborazioni si desume una frequenza di frangimento di circa 0.2% corrispondente a circa 1 g/anno; detto valore è ampiamente cautelativo anche perché il frangimento in questa area si verifica in situazioni di intense mareggiate, quando cioè la navigazione è già impraticabile per altri motivi.



## 9. Conclusioni

Nella situazione attuale, con tutti gli stati di mare simulati, le condizioni di agitazione residua ottenute all'interno dello specchio acqueo portuale, ma soprattutto in corrispondenza dell'imboccatura portuale, risultano eccessivi per la tipologia dei natanti ospitati.

Nella configurazione di progetto, invece, le condizioni dell'agitazione migliorano sensibilmente avendo ottenuto, nella maggior parte della nuova area portuale, valori del coefficiente di diffrazione inferiori al 10% del valore dell'altezza d'onda incidente. Ciò significa che essendo la massima altezza d'onda prevedibile all'imboccatura (definita dalla presenza di fondali limitati) pari a circa 5.0 m, si osserva che ad un coefficiente 0.1 corrisponde un'altezza d'onda di 0.50 m, valore accettabile per imbarcazioni da diporto investite longitudinalmente. Occorre precisare, inoltre, che lungo la banchina del molo di sopraflutto, riservata ai natanti di maggiore stazza, l'altezza d'onda si mantiene sempre limitata, con valori da ritenersi accettabili sia per le grandi dimensioni delle imbarcazioni sia per la loro disposizione di ormeggio che è prevista "all'inglese", ovvero longitudinalmente rispetto al filo banchina con notevole incremento della sicurezza degli ormeggi.

Infine, per la direzione 110 °N i risultati delle prove su modello hanno evidenziato valori del coefficiente di diffrazione superiori anche al 50% del valore dell'altezza d'onda incidente in una ampia area immediatamente retrostante la nuova imboccatura portuale, con conseguenti livelli di agitazione elevati. E' importante precisare a tal proposito che la citata direzione di moto ondoso è caratterizzata (vedi studio meteomarino) da eventi poco intensi con una bassa frequenza di accadimento che, soprattutto nel periodo estivo, non dovrebbero creare rilevanti problemi per lo stazionamento.

Si deduce quindi che, nella situazione attuale, alle imbarcazioni ormeggiate non viene assicurato un riparo adeguato, mentre con l'ampliamento previsto dal progetto viene garantito un buon rifugio con ogni condizione di moto ondoso, soprattutto nella darsena più interna attualmente esistente.

Tab.1a : Altezze d'onda al frangimento ripartite per periodo medio e profondità del fondale  
 pendenza fondale:  $m = 1/40$

CLASSI DI PERIODO MEDIO $T_m$ (s)						
$d_b$ (m)	$T_m < 4$	$4 \leq T_m < 6$	$6 \leq T_m < 8$	$8 \leq T_m < 10$	$10 \leq T_m < 12$	$12 \leq T_m < 14$
5.0	2.76	3.24	3.76	4.02	4.15	4.23
5.5	2.90	3.46	4.08	4.37	4.54	4.63
6.0	3.04	3.67	4.38	4.72	4.91	5.03
6.5	3.16	3.86	4.67	5.07	5.29	5.42
7.0	3.27	4.04	4.95	5.40	5.66	5.81
7.5	3.36	4.21	5.22	5.73	6.02	6.20
8.0	3.45	4.36	5.48	6.06	6.38	6.58

Tab.1b : Altezze d'onda relative al frangimento ripartite per periodo medio e profondità del fondale  
 pendenza fondale:  $m = 1/40$

CLASSI DI PERIODO MEDIO $T_m$ (s)						
$d_b$ (m)	$T_m < 4$	$4 \leq T_m < 6$	$6 \leq T_m < 8$	$8 \leq T_m < 10$	$10 \leq T_m < 12$	$12 \leq T_m < 14$
5.0	0.55	0.65	0.75	0.80	0.83	0.85
5.5	0.53	0.63	0.74	0.80	0.82	0.84
6.0	0.51	0.61	0.73	0.79	0.82	0.84
6.5	0.49	0.59	0.72	0.78	0.81	0.83
7.0	0.47	0.58	0.71	0.77	0.81	0.83
7.5	0.45	0.56	0.70	0.76	0.80	0.83
8.0	0.43	0.55	0.68	0.76	0.80	0.82

## ALLEGATO

MODELLO MATEMATICO DI AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEI PORTI  
DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA



## MODELLO MATEMATICO DI AGITAZIONE DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA

In modello numerico **VEGA** utilizzato è classificabile come modello irrotazionale lineare bidimensionale per onde armoniche. Il modello è basato sull'equazione di Helmholtz valida sotto le seguenti ipotesi:

- irrotazionalità del moto;
- rapporto  $H/L \ll 1$  dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda;
- assenza di dissipazioni;
- assenza di forze legate alla rotazione terrestre (forze di Coriolis);
- profondità del fondale costante;
- fondo impermeabile;
- variazione verticale del potenziale delle velocità coincidente con la soluzione per onde progressive lineari su fondale costante;
- onde armoniche nel tempo (monocromatiche).

L'equazione ellittica di Helmholtz risulta:

$$\nabla^2 \mathbf{f} + k^2 \mathbf{f} = 0$$

dove:

$k$  = numero d'onda calcolato tramite la relazione di dispersione della teoria lineare ( $\omega^2 = gk \tanh(kd)$ )

$(x,y)$  = potenziale complessivo bidimensionale delle velocità orbitali delle particelle

$\nabla^2$  = operatore di Laplace definito nel piano  $x,y$  coincidente con il livello medio marino

Con le ipotesi poste tale equazione è in grado di simulare correttamente il fenomeno combinato di diffrazione-riflessione di onde armoniche lineari. Per risolvere l'equazione di Helmholtz, di tipo ellittico, è necessario imporre condizioni al contorno note su tutta la frontiera del dominio di integrazione. Nel caso di bacini portuali si impone lungo l'imboccatura portuale (o comunque lungo i contorni di continuità con il semispazio infinito escluso dal dominio di integrazione) che venga soddisfatta una opportuna condizione di radiazione. Contemporaneamente lungo il resto della frontiera vengono imposte condizioni sulla derivata direzionale del potenziale delle velocità (totale o parziale riflessione).

Il modello numerico **VEGA** risolve l'equazione di Helmholtz tramite la tecnica numerica degli elementi di contorno. In breve la tecnica consiste nel ridurre l'equazione ellittica di Helmholtz definita sul campo bidimensionale di calcolo ad un'equazione integrale definita sulla sola frontiera

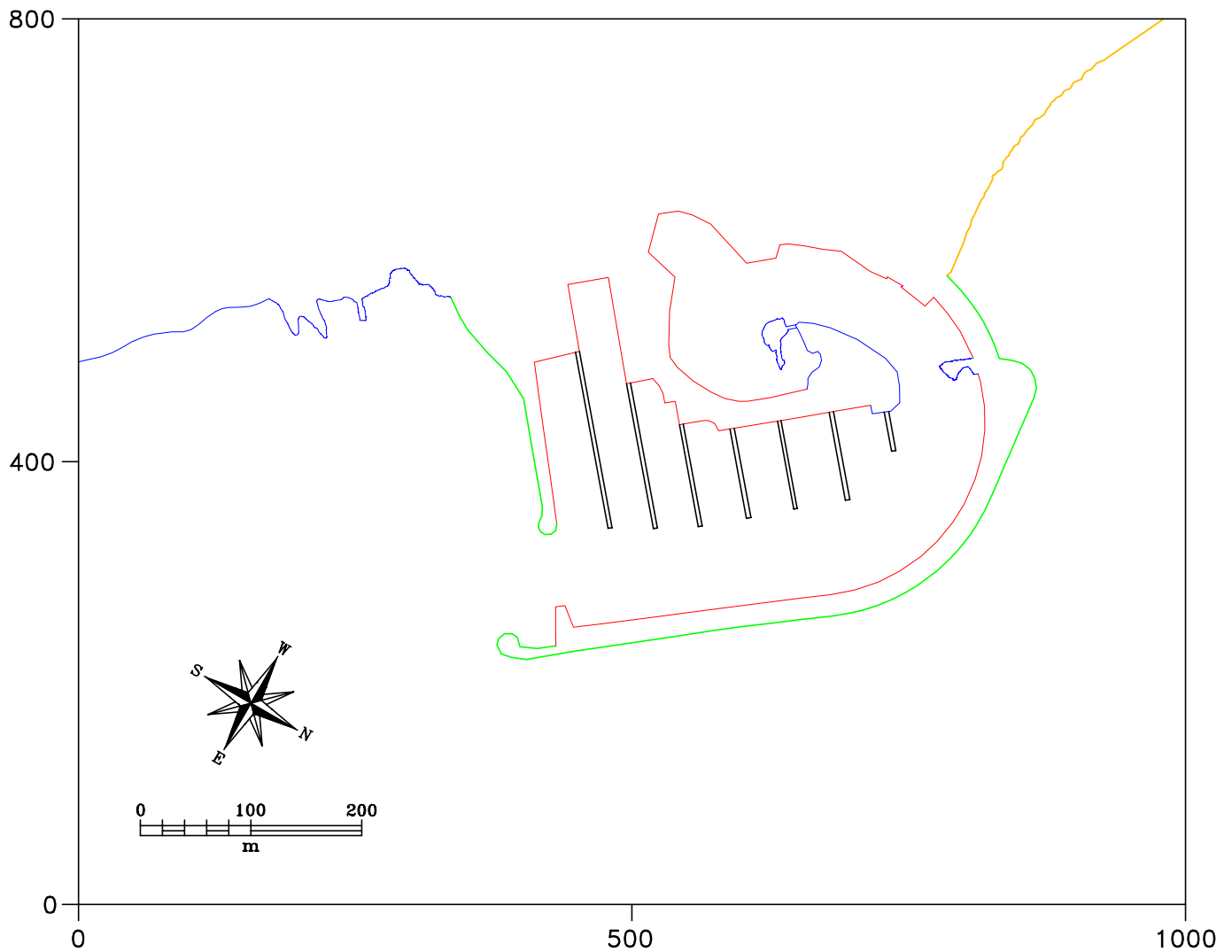
del campo. La discretizzazione della frontiera permette quindi di ridurre l'equazione integrale ad un sistema di equazioni lineari definite nel campo complesso dove le incognite sono costituite da un sistema di sorgenti distribuite sulla frontiera discretizzata. La risoluzione del sistema di equazioni, che costituisce la parte più onerosa dal punto di vista computazionale del modello numerico, è ottenuta utilizzando il metodo delle eliminazioni successive di Gauss. La dimensione del sistema di equazioni dipende dal numero di sorgenti incognite introdotte sulla frontiera che risulta essere a sua volta funzione della lunghezza d'onda (sono necessarie almeno 5 sorgenti per lunghezza d'onda) e della dimensione dell'elemento (banchina, canale) più corto presente nell'area da simulare (sono necessarie almeno 6 sorgenti per ogni elemento). Risolto il sistema di equazioni è quindi possibile calcolare in ogni punto del campo di potenziale delle velocità orbitali delle particelle idriche in superficie, l'altezza d'onda e la sua fase.

Il modello numerico richiede i seguenti dati in ingresso:

- coordinate dei vertici del contorno dell'area portuale;
- posizione dell'imboccatura/e portuale;
- direzione e periodo del moto ondoso sull'imboccatura portuale;
- profondità del fondale all'interno del porto;
- profondità del fondale all'esterno dell'imboccatura portuale;
- passo di discretizzazione del contorno;
- coefficienti di riflessione delle banchine;
- coordinate dei punti dove devono essere calcolati i risultati.






Il modello fornisce come risultati l'altezza d'onda, il potenziale delle velocità e la fase nei punti richiesti. I risultati ottenuti possono essere restituiti sia sotto forma numerica che grafica.

Comune di MELENDUGNO (LE): PORTO DI SAN FOCA  
Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con  
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 5 m

Coefficienti di riflessione	
	R=0.90
	R=0.40
	R=0.35
	R=0.10
	R=0.00

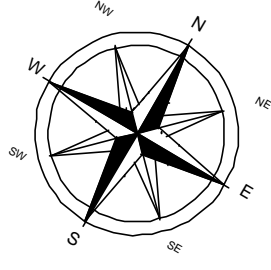
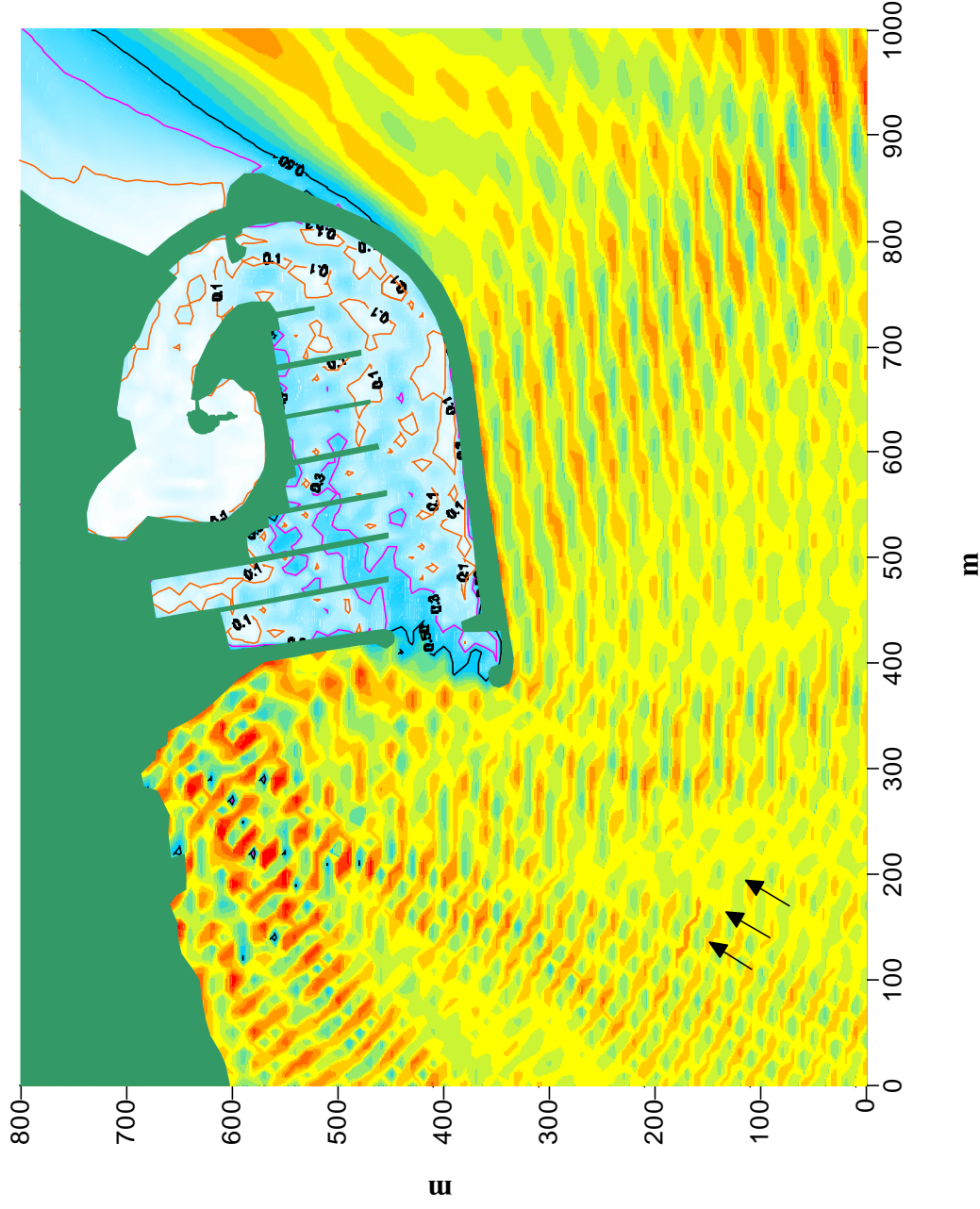
**MODIME**  
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 1



# Comune di MELENDUGNO - Porto di S FOCA

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

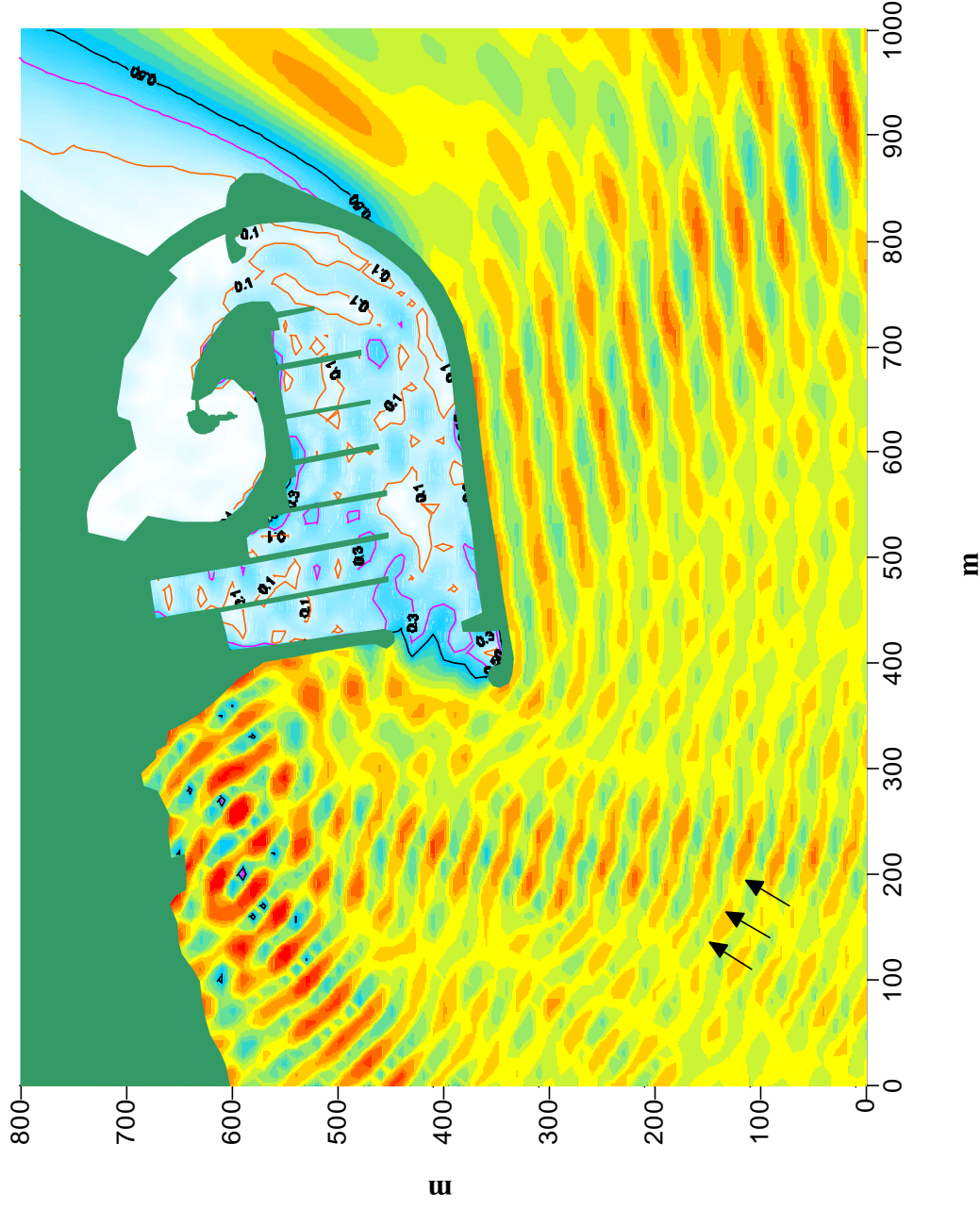


Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione Dir =  $90^\circ$  N  
File = SF\_D90\_T7.SRF

Figura 2

# Comune di MELENDUGNO - Porto di S FOCA

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Periodo  $T = 9,0$  s

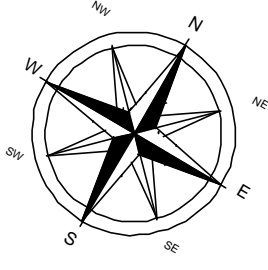
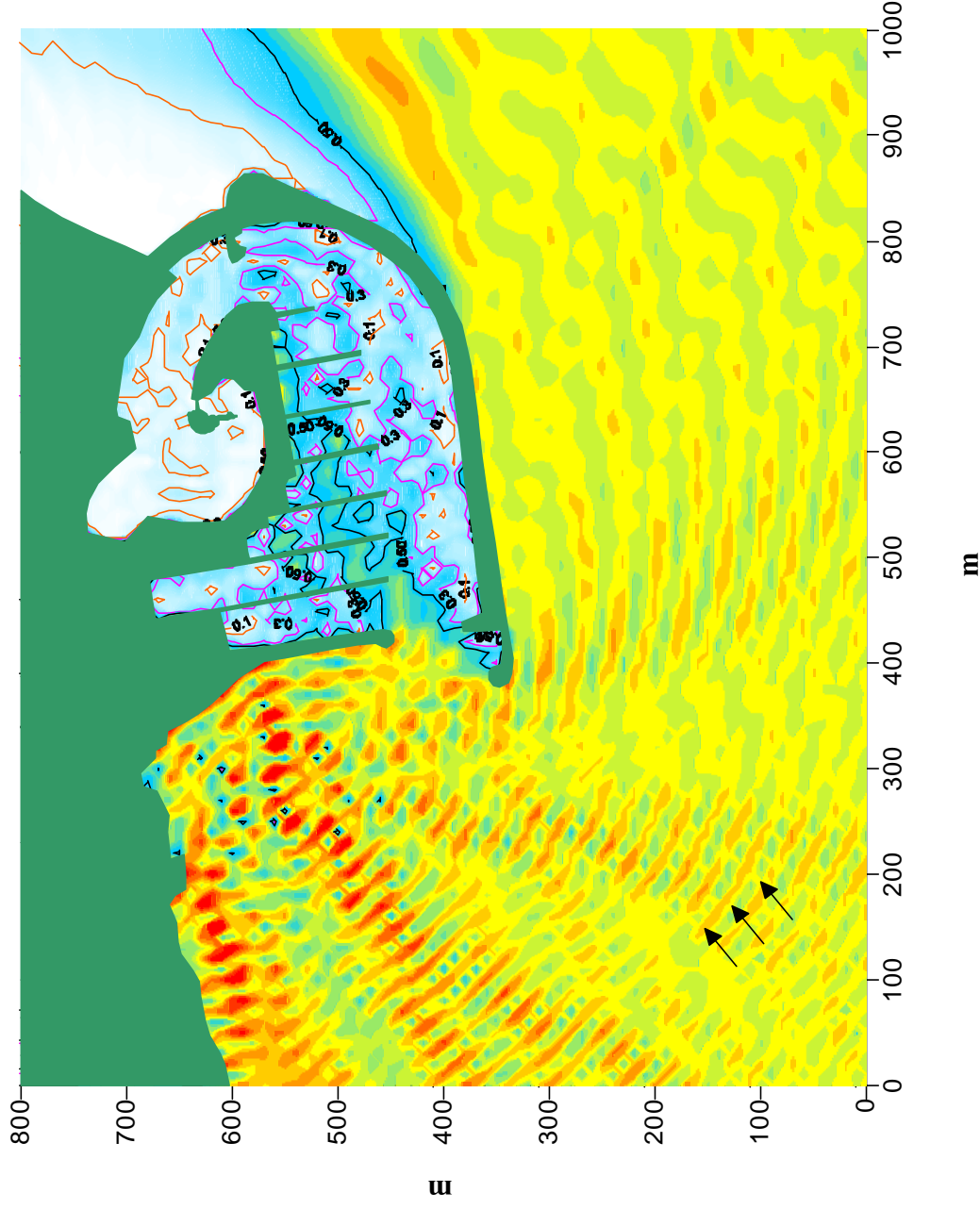
Direzione Dir =  $90^\circ$  N

File = SF\_D90\_T9.SRF

Figura 3

# Comune di MELENDUGNO - Porto di S FOCA

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

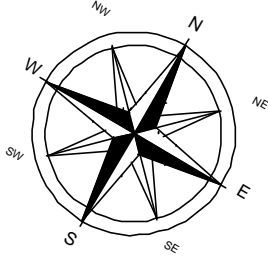
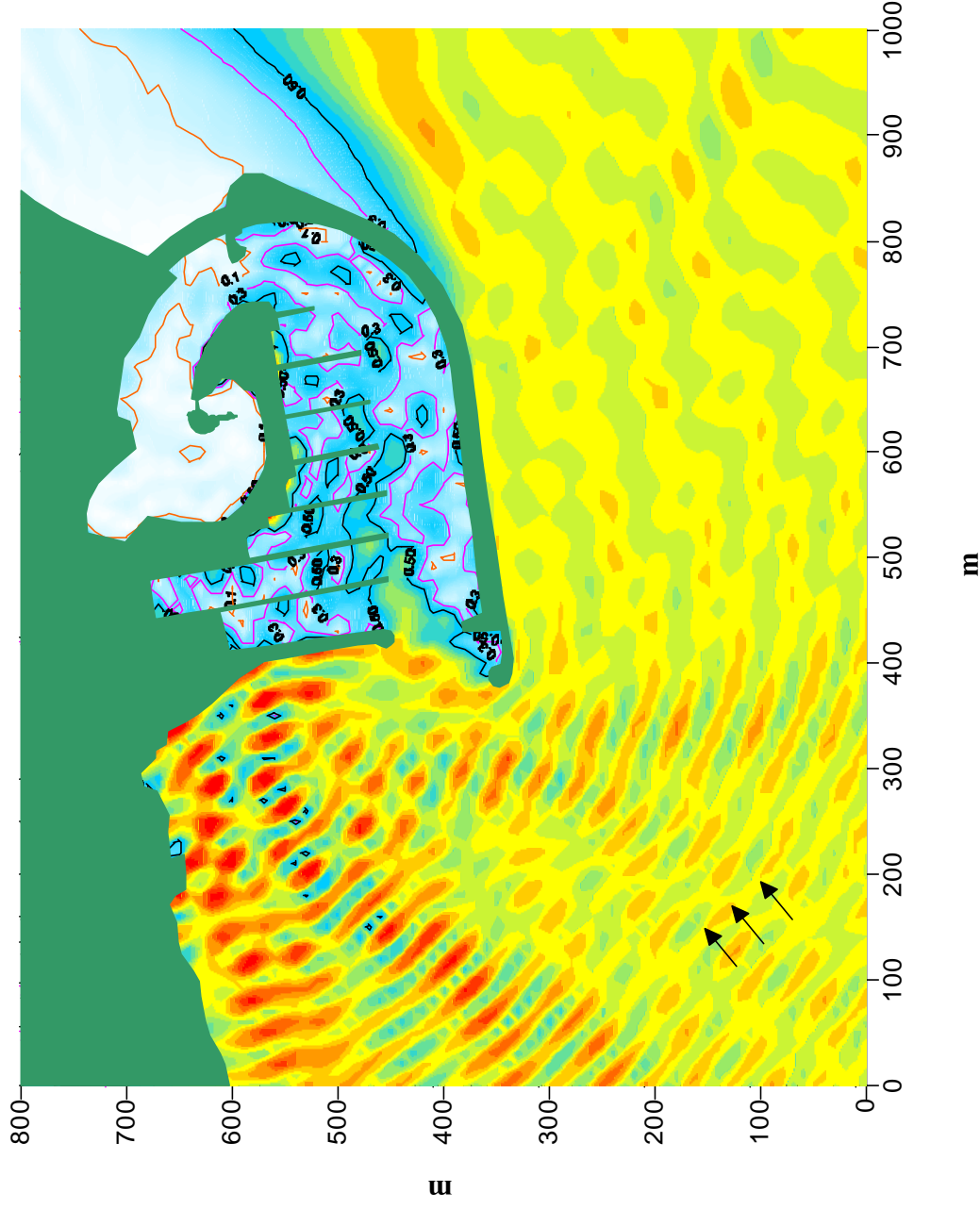


Periodo  $T = 7,0$  s  
Direzione  $Dir = 110$  °N  
File = SF\_D110\_T7.SRF

Figura 4

# Comune di MELENDUGNO - Porto di S FOCA

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

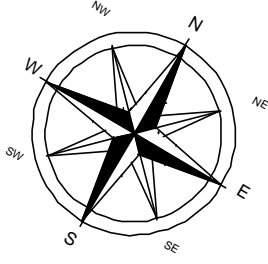
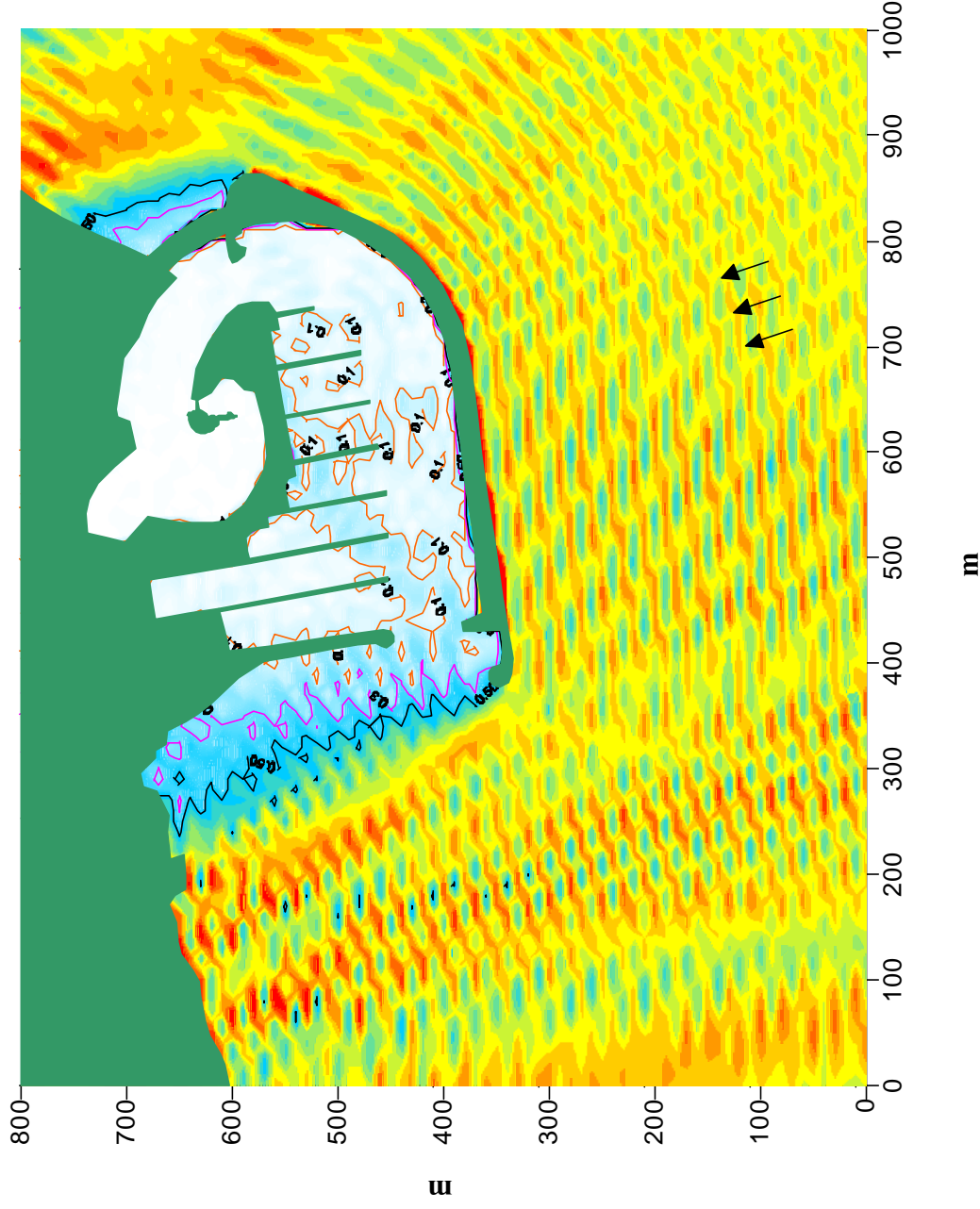


Periodo  $T = 9,0$  s  
Direzione  $Dir = 110$  °N  
File = SF\_D110\_T9.SRF

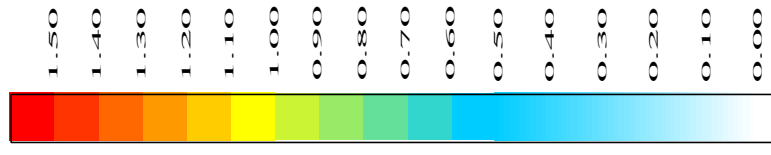
Figura 5

# Comune di MELENDUGNO - Porto di S FOCA

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Periodo  $T = 7,0$  s

Direzione Dir =  $40^\circ$  N

File = SF\_D40\_T7.SRF



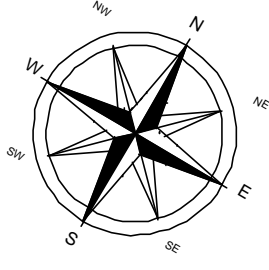
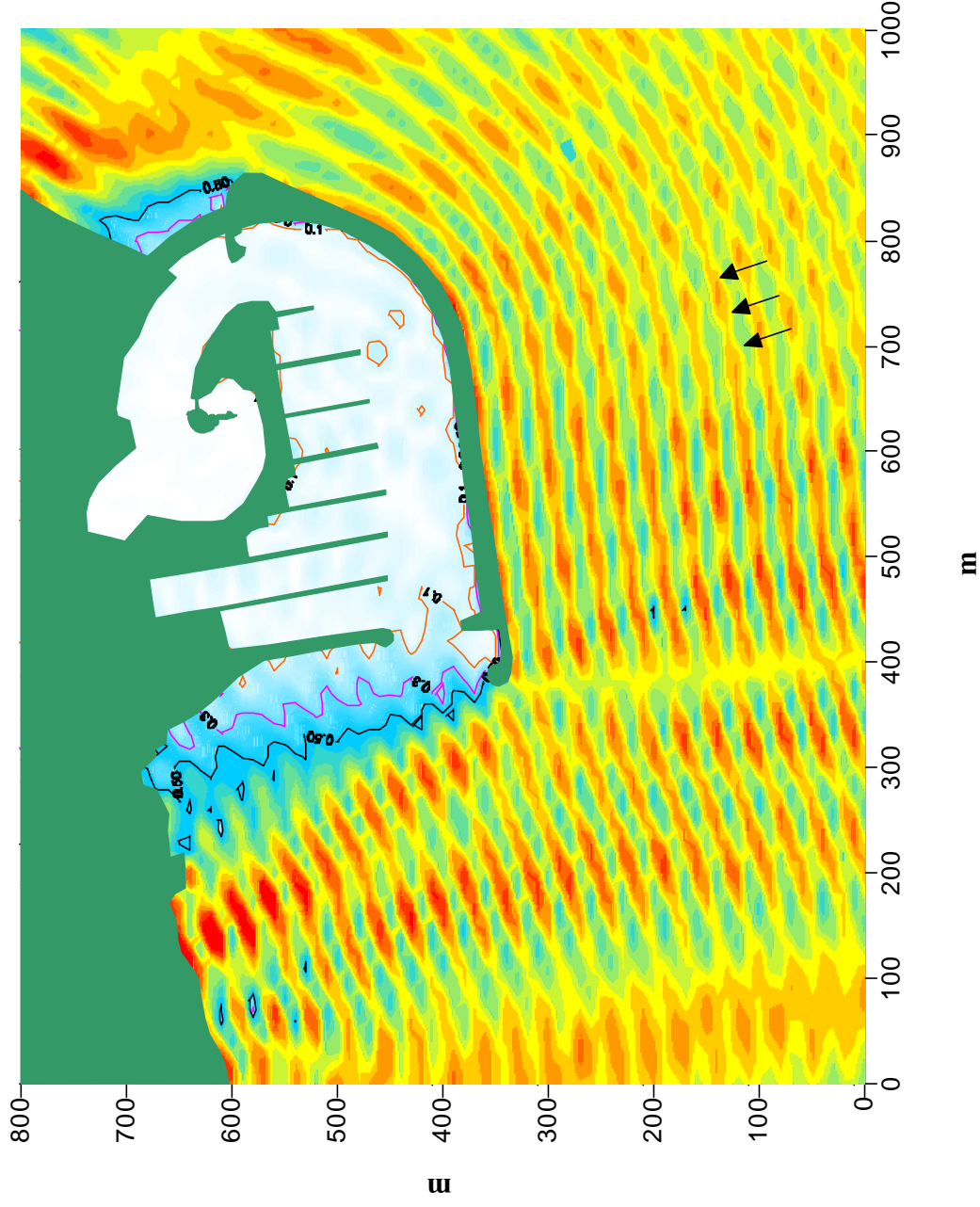
Via Monte Zebio 4D  
00185 ROMA

Figura 6



# Comune di MELENDUGNO - Porto di S FOCA

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Periodo  $T = 9,0$  s  
Direzione Dir =  $40^\circ$  N  
File = SF\_D40\_T9.SRF

Figura 7

# **REGIONE PUGLIA**

## **COMUNE DI MELENDUGNO**

### ***SAN FOCA: PORTO TURISTICO - STAZIONAMENTO***

#### **PROGETTO DEFINITIVO**

#### **Valutazione delle ripercussioni sulle spiagge limitrofe**



Modimar S.r.l.

Prof. Ing. Alberto NOLI

Dott. Ing. Paolo CONTINI

Dott. Ing. Giancarlo MILANA

Dott. Ing. Davide SALTARI

Roma, Dicembre 2000

## ***INDICE***

1. Premessa.....	3
2. Inquadramento morfologico del sito .....	4
3. Cartografia di riferimento.....	9
4. Analisi dei sedimenti.....	10
5. Analisi con metodo empirico dell'influenza delle nuove opere portuali sulla spiaggia limitrofa.....	22
6. Analisi dell'influenza delle nuove opere portuali sulla spiaggia limitrofa con modello numerico ad una linea .....	24
6.1. Definizione delle condizioni al contorno .....	24
6.2. Risultati della fase di taratura e validazione del modello.....	26
6.3. Previsione dell'evoluzione litoranea futura in presenza delle nuove opere portuali.....	28
7. Conclusioni .....	30



## 1. Premessa

In generale, l'analisi dell'influenza di nuove opere portuali sulle spiagge adiacenti costituisce sicuramente il fattore più importante da prendere in considerazione ai fini di una verifica della "fattibilità" delle stesse opere, in quanto da questo può discendere l'inaccettabilità della realizzazione proposta per gli eccessivi impatti sulla dinamica litoranea e conseguenti oneri di mantenimento delle sue condizioni "naturali" di equilibrio. A tal proposito si sottolinea che, ai sensi delle vigenti disposizioni di legge, nel caso della progettazione di un porto turistico è necessario condurre uno specifico studio di dinamica costiera (1).

Nel caso in esame il porto di San Foca ricade, vedi figura 1 (2), nel litorale pugliese prospiciente il Canale d'Otranto contraddistinto da una geomorfologia condizionata da formazioni di falesie rocciose calcarenitiche che si estendono anche per buona parte del fondale prospiciente la costa talvolta con affioramenti di scogli bassi; in generale lungo il litorale salentino si riconoscono spiagge di breve estensione la cui genesi è legata principalmente all'azione di smantellamento e disgregazione dei fronti rocciosi anzidetti ad opera del moto ondoso.

In prossimità del porto di S.Foca vi sono due spiagge, aventi comunque un'estensione limitata, una a ridosso del molo di nord-ovest quindi posta sopraflutto rispetto al porto e l'altra detta "spiaggia aranci" posta circa 300 metri sottoflutto (a sud-est).

Il presente studio di dinamica costiera, inteso a verificare l'eventuale ripercussione delle nuove opere portuali su questi tratti spiaggia, è stato condotto attraverso un primo inquadramento morfologico e l'analisi dei dati esistenti al fine di consentire, tramite l'impiego successivo di sofisticati modelli numerici di simulazione (3), una valutazione oggettiva delle attuali tendenze evolutive e di quelle future legate alla realizzazione delle nuove opere portuali.

---

<sup>1</sup> Ai sensi di quanto disposto dal Decreto InterMinisteriale del 14/04/98 "Approvazione dei requisiti per la redazione dei progetti da allegare ad istanze di concessione demaniale marittima per la realizzazione di strutture dedicate alla nautica da diporto"

<sup>2</sup> Estratta dall'Atlante delle Spiagge Italiane, sottoprogetto "Dinamica dei Litorali" a cura del C.N.R., tavola 214 "Gallipoli" emessa nel 1990.

<sup>3</sup> Si sottolinea che la Società MODIMAR vanta una più che ventennale esperienza nell'uso dei modelli numerici di calcolo per l'ingegneria marittima e costiera e dispone di software sviluppato spesso per conto od in collaborazione con laboratori e centri di ricerca universitari o stranieri. In particolare il modello di spiaggia ARIES è il risultato di oltre 25 anni di studi ed applicazioni iniziati dal Prof. L. Franco con i laboratori del HR-Wallingford; è stato implementato e validato nella versione user-friendly in collaborazione con il laboratorio ENEL-CRIS di Milano; si possono elencare svariate decine di applicazioni pratiche del modello ARIES che hanno trovato pieno riscontro con la realtà dei fenomeni di dinamica costiera. Le recenti applicazioni del modello per l'attività di monitoraggio dei litorali di Cavallino e Pellestrina commissionata dal Consorzio Venezia Nuova sono state riconosciute come pienamente valide ed attinenti dalla commissione di esperti nominata dal Magistrato alle Acque di Venezia che pertanto sta pianificandone l'impiego anche per le future attività di manutenzione dei litorali.

## 2. Inquadramento morfologico del sito

Come evidenziato dalla fig. 1 il litorale ove si inserisce il porto di S. Foca è contraddistinto da una costa a matrice rocciosa calcarenita conformata in falesie talvolta contraddistinte al piede delle stesse da spiagge strette.

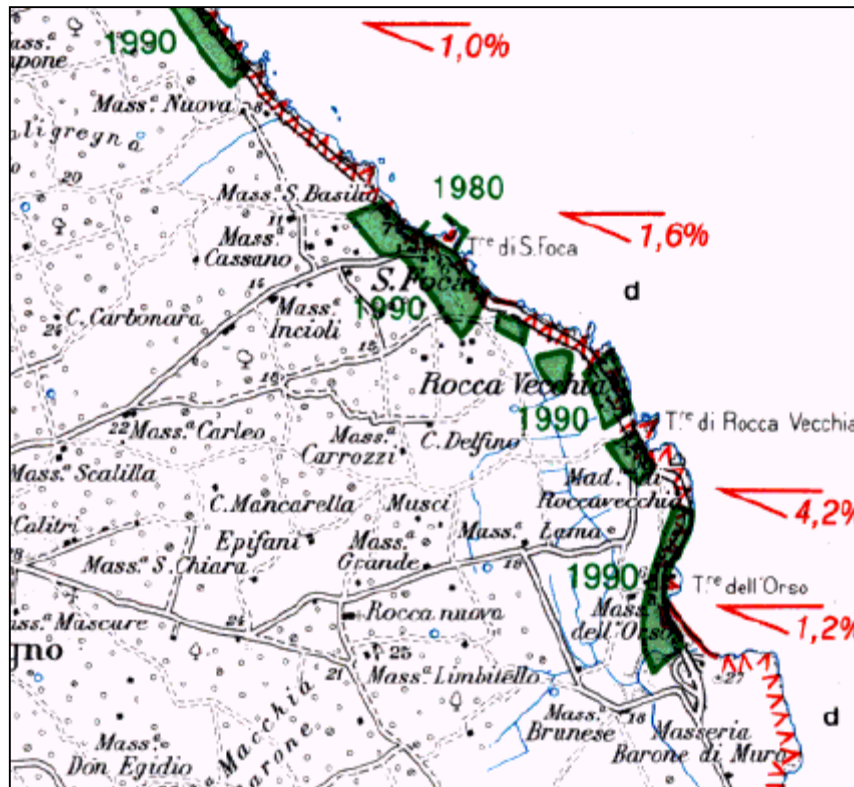


Fig. 1 – caratteristiche geomorfologiche del litorale limitrofo al porto di S. Foca

In prossimità del porto si individua una spiaggia a nord-ovest che sotto l'azione del moto ondoso si addossa al molo di sopraflutto (foto 1); circa 300 m a sud-est del porto si individua (foto 2) la “spiaggia aranci” che costituisce un importante riferimento per il turismo balneare della zona.

Sulla base dei sopralluoghi effettuati e dall'analisi diacronica della cartografia reperita è emerso che:

- la spiaggia a nord-est del porto, delimitata lato terra dalla falesia calcarenitica, è soggetta ad una tendenza evolutiva di avanzamento seppure molto lento e comunque è posta sopraflutto rispetto alle nuove opere portuali; pertanto non si dovrebbero riflettere su di essa particolari ripercussioni e/o alterazioni dell'attuale trend evolutivo;
- anche la spiaggia posta a sud-est del porto è delimitata alle estremità longitudinali alla riva da formazioni rocciose ed è contraddistinta da bassi fondali rocciosi; lato

terra la spiaggia è contraddistinta da un sistema dunale coperto dalla tipica vegetazione della macchia mediterranea; la forte fruizione turistico-balneare di questa spiaggia è denunciata dalla presenza di sentieri che “incidono” la vegetazione dunale favorendone la deflazione eolica e l’erosione per corrivazione delle acque meteoriche. Nel suo insieme questa spiaggia è classificabile come pocket-beach la cui stabilità nel tempo è comunque legata a diversi fattori tra i quali l’eventuale variazione della risultante del moto ondoso incidente; un prolungamento del molo di sopraflutto del porto di S.Foca comporta un’inevitabile redistribuzione sottoflutto alle nuove opere (sud-est) del flusso di energia associato al moto ondoso e quindi potrebbe in qualche misura influenzare l’attuale tendenza evolutiva della spiaggia aranci.

Nelle successive attività di studio, illustrate nel seguito della presente relazione, si è focalizzata l’attenzione sull’analisi della dinamica evolutiva della spiaggia aranci che rappresenta l’unica porzione di litorale sabbioso la cui stabilità potrebbe essere condizionata in qualche misura dalla realizzazione delle nuove opere portuali.



Foto 1 – Spiaggia posta a ridosso della diga di nord ovest del porto di S. Foca



Foto 2.a – “Spiaggia aranci” posta a sud est del porto di S. Foca confinata dal cordone dunale



Foto 2.b – Vista dall'estremità nord-ovest della “spiaggia aranci”.

La “spiaggia aranci” posta sottoflutto al porto di S. Foca, per i caratteri geomorfologici d’insieme è classificabile come una pocket-beach validamente confinata agli estremi dalle formazioni rocciose.

In generale, questo morfotipo costiero, può essere considerato come un’unità fisiografica a se stante, essendo pressocchè nulli i flussi solidi litoranei in corrispondenza dei promontori di estremità; la sua evoluzione è strettamente connessa al bilancio esistente tra gli eventuali elementi di apporto e quelli di perdita dei sedimenti che compongono la stessa fascia litoranea. Tra gli elementi a contributo positivo nel bilancio solido della fascia costiera (fattori di apporto/accrescimento) si devono considerare i contributi solidi provenienti dal retrospiaggia (apporti di eventuali corsi d’acqua e più in generale delle acque pluviali) e/o dall’eventuale progressivo smantellamento dei promontori rocciosi per l’azione combinata del moto ondoso e di altri agenti climatici (vento, pioggia, ecc.); tra gli elementi a contributo negativo (fattori di perdita/depauveramento) del bilancio solido si devono considerare sia le azioni del moto ondoso e delle correnti marine che si esplicano lungo la surf zone (area dei frangenti <sup>4</sup>) sia l’azione del vento che si esplica lungo la backshore zone (zona di retrospiaggia <sup>5</sup>).

Ai fattori suindicati devono essere aggiunti quelli di natura antropica, che possono insistere più o meno direttamente sulla fascia costiera di interesse e che spesso costituiscono la causa di “disturbo” principale sul naturale equilibrio della fascia costiera.

Per una pocket-beach solitamente, la continua azione di modellazione ad opera del moto ondoso, determina lo sviluppo della linea di riva in forma arcuata con asse mediano orientato secondo la direzione risultante del moto ondoso incidente. Se le caratteristiche meteomarine del paraggio in esame sono contraddistinte da una alternanza media climatica di stati di mare, associati a distinte direzioni di provenienza per le distinte stagioni, si ha una conseguente variazione della posizione della linea di riva che tende a disporsi ortogonalmente alla direzione degli stati di mare prevalenti. A questa variazione stagionale dell’andamento planimetrico della linea di riva si abbina una caratteristica variazione stagionale del profilo trasversale, proprio dei litorali sabbiosi (<sup>6</sup>), che in

---

<sup>4</sup> La *surf zone* è la porzione di spiaggia che, lungo un ideale profilo trasversale di un litorale sabbioso, si estende dalla zona di primo frangimento delle onde (breaking zone, a ridosso delle barre sommerse) sino al punto di massima risalita dell’onda (swash zone, solitamente delimitata da una berma di incisione individuabile lungo la spiaggia emersa).

<sup>5</sup> L’evoluzione della *backshore zone* (zona di retrospiaggia), detta anche “spiaggia alta” perchè mediamente non è raggiunta dai fattori puramente marini (moto ondoso e correnti), è regolata essenzialmente dall’azione diretta del vento (deflazione) responsabile della “fuga” dei sedimenti verso l’entroterra. Eventi meteomarini particolarmente intensi possono intaccare questa porzione di litorale; nel corso di una singola mareggiata si possono registrare perdite anche considerevoli dei sedimenti dalla backshore che però possono essere recuperati solo nel lungo termine (anni) ad opera essenzialmente dell’azione eolica.

<sup>6</sup> In generale: nel periodo autunnale-invernale le mareggiate più intense portano alla formazione di una barra sommersa alimentata dall’erosione di parte della spiaggia emersa con l’effetto (benefico) di allontanare la zona

occasione di eventi meteomarini particolarmente intensi possono arrivare a coinvolgere anche l'apparato dunale. I sedimenti che compongono la fascia litoranea vengono movimentati, secondo le due componenti longitudinale e trasversale, lungo la falcata sabbiosa dalla continua azione dei frangenti (per la porzione di spiaggia sommersa) e del vento (per la porzione di spiaggia emersa) e subiscono, nel medio termine un naturale progressivo fenomeno di "gradazione" delle dimensioni (decescente secondo il verso di deflusso dei sedimenti); nel lungo termine si ha un'azione di "abrasione" con graduale riduzione delle dimensioni dei clasti. In mancanza di apporti terrigeni "nuovi" è evidente che in un litorale del tipo a pocket-beach è destinata a ridursi la frazione più grossolana dei sedimenti mentre la frazione più fina subisce la naturale via di migrazione all'esterno della fascia costiera (oltre la profondità di chiusura se catturata dalle correnti marine oppure oltre la fascia dunale se intercettata dalle correnti d'aria).

Come già sottolineato, la presenza di attività antropiche lungo la pocket-beach può esasperare questa naturale tendenza evolutiva. Se sull'apparato dunale e lungo la spiaggia emersa insistono strutture fisse (edifici, recinzioni, strade ecc.) queste introducono un'inevitabile elemento di disturbo limitando i volumi di sabbia disponibili per le naturali "divagazioni" stagionali della morfologia costiera. La ridotta alimentazione degli apparati di difesa naturale (barre sommerse) oppure la fagocitazione di interi tratti di litorale emerso (in particolare lo smantellamento dei cordoni dunali) introducono degli elementi di criticità che possono comportare il "collasso" del delicato bilancio litoraneo anche al manifestarsi di eventi meteomarini ordinari.

La "spiaggia aranci" è contraddistinta da una fascia sabbiosa modellata in forma di arco lungo circa 200 m <sup>(7)</sup> ed è confinata lato terra da un cordone dunale la cui copertura vegetale si presenta ammalorata in più zone con segni di erosione in parte imputabili ad effetti di antropizzazione (realizzazione di strutture al margine nord-ovest della spiaggia e intensa fruizione turistico-balneare). Nel tempo con il progressivo smantellamento dell'apparato dunale gli attuali contributi di sabbia ad esso imputabili tenderanno a ridursi e ciò comporterà una maggiore "aggressione" da parte degli eventi di moto ondoso più intensi con aumento delle correnti di rip a ridosso delle formazioni rocciose che costituiscono elementi di fuga della matrice detritica all'esterno dell'unità fisiografica in esame.

---

dei frangenti; nel periodo primaverile-estivo l'azione di onde più lunghe e meno intense determina la migrazione della barra verso riva sino a ricostruire l'apparato di berma.

<sup>7</sup> La conformazione ad arco della linea di riva per il tratto sabbioso della "spiaggia aranci" è sottesa da una corda di circa 165 m ed una freccia di circa 11 m orientata a grecale (25° nord)



### 3. Cartografia di riferimento

Per un corretto inquadramento morfologico del sito ed un'analisi oggettiva delle tendenze evolutive della spiaggia aranci nonché per l'applicazione del modello ad "una linea" è stata effettuata un'accurata indagine sulla cartografia riguardante l'area di studio nel tentativo di ricostruire storicamente l'andamento della linea di battigia nel corso degli anni. In particolare è stata reperita e fornita dai progettisti la cartografia relativa agli 1983 - 1995 - 2000 rappresentata nella fig.2.

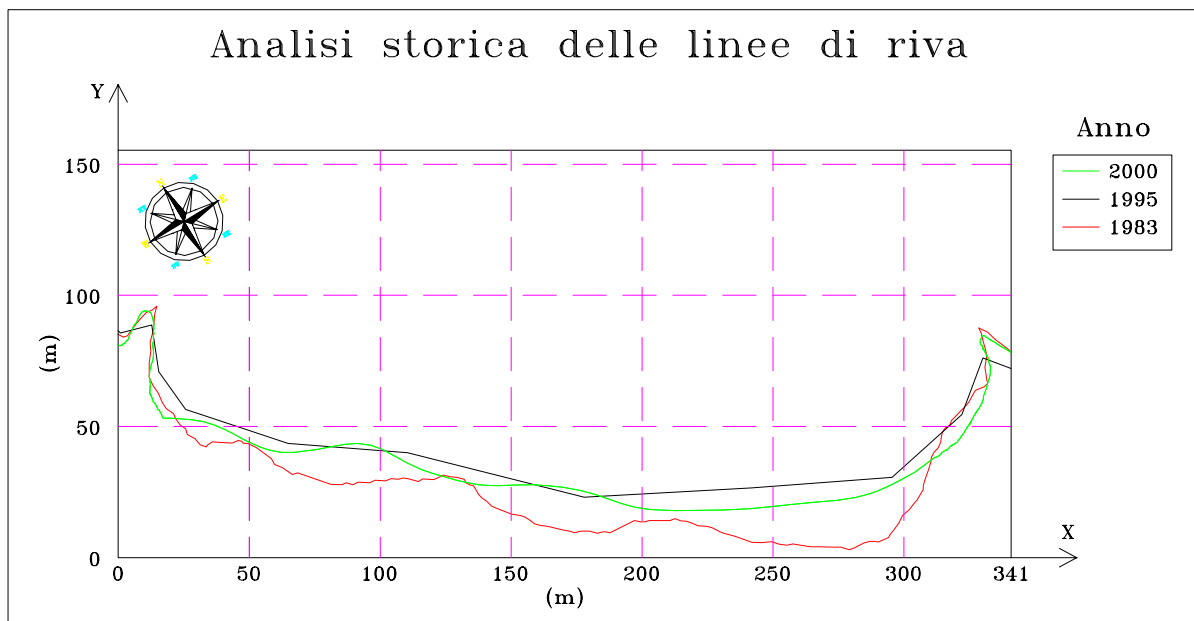


Fig. 3 – Analisi diacronica delle linee di riva relative alla spiaggia aranci

Le linee di riva sono state riportate su un comune supporto informatico per effettuare un confronto diretto delle variazioni diacroniche. Si è evidenziata la sostanziale incongruenza della linea di riva del 1983 la cui conformazione piuttosto frastagliata e la posizione arretrata rispetto alle altre linee di riva lascia supporre che, a meno di imprecisioni di restituzione cartografica, allora fosse stato rilevato il margine della base calcarenitica della costa; in particolare si individuano tre "prominenze" (alle progressive di 50, 130 e 210 m) della linea di riva che ricalcano la posizione della falesia calcarenitica tutt'oggi esistente. La linea di riva relativa al 1995 è rappresentata da una poligonale con pochi vertici (mediamente ad interasse di 50 m su un tratto complessivo di costa di 350 m). La linea di riva relativa al 2000 è contraddistinta da una poligonale la cui conformazione è simile a quella del 1983 ma le tre "prominenze" rocciose risultano traslate verso nord-ovest.

Pur con i margini di approssimazione legati alle diverse tecniche di rilievo e restituzione cartografica adottate per le tre differenti linee di riva, limitando l'analisi alla sola spiaggia aranci si osserva un arretramento della linea di riva dal 1995 al 2000 mediamente pari a 5 m con un arretramento massimo di 8 m.

#### 4. Analisi dei sedimenti

L'analisi delle caratteristiche tessiturali dei sedimenti che costituiscono la spiaggia emersa e sommersa consente di evidenziare alcune peculiarità della dinamica litoranea. Infatti l'azione combinata delle correnti e delle onde nella zona dei frangenti ed in fasce adiacenti è l'agente dinamico più importante nella mobilizzazione ed il trasporto dei sedimenti che compongono gli strati superficiali della fascia emersa e sommersa di una spiaggia. Lungo gli assi di transito dei sedimenti la composizione granulometrica di questi varia in ragione della selezione, naturalmente associata al fenomeno del trasporto stesso, per cui ogni componente granulometrica tende a convergere verso il fondale in cui essa si trova in equilibrio sotto l'azione dell'onda di modellazione presente nel paraggio. In base ai risultati forniti dalle analisi granulometriche dei sedimenti opportunamente prelevati nella zona interessata dalle future opere portuali è quindi possibile formulare delle considerazioni circa la dinamica dei fenomeni evolutivi che interessano il tratto di litorale in oggetto.

In particolare i caratteri sedimentologici di un litorale desunti dalle analisi granulometriche dei sedimenti campionati lungo la fascia costiera, abbinati ai rilievi topografici e batimetrici, consentono un'inquadramento morfologico della fascia costiera necessario per i successivi studi di verifica dell'influenza esercitata dalle nuove opere portuali sulla dinamica litoranea. Le indicazioni sono state desunte da indagini di campo, effettuate nel settembre del 2000, relativamente al litorale della spiaggia "Aranci" posta sottoflutto al porto di S. Foca.

Il campionamento è stato eseguito effettuando dei prelievi superficiali sia sulla battigia che sul fondale (per ogni quota isobata sino alla profondità di -6,00 m), per complessivi 21 punti di prelievo, considerando 3 sezioni pressoché ortogonali alla costa.

Su tutti i campioni sono state eseguite analisi granulometriche previa essiccazione, adottando i setacci della serie ASTM. Successivamente i dati derivati dall'analisi di vagliatura sono stati elaborati opportunamente, tracciando su apposito modello in scala semilogaritmica, la curva granulometrica relativa (vedi tabelle e figure seguenti) e determinando i seguenti percentili di passante:  $P_{10}$ ,  $P_{16}$ ,  $P_{30}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{60}$ ,  $P_{84}$ .

Inoltre per ciascun campione sono stati individuati anche in unità  $\phi = -\log_2 d$ :

- il coefficiente di uniformità  $U = P_{60}/P_{10}$  ;
- il coefficiente di curvatura  $C = P_{30}^2/P_{10}P_{60}$  ;



- la frazione media  $M = (P_{16} + P_{50} + P_{84})/3$ ;

**Campione 6a ; prof. - 6,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.08	0.04	0.04	99.96
0.840	1.53	0.76	0.80	99.20
0.420	15.23	7.59	8.39	91.61
0.177	91.23	45.44	53.83	46.17
0.074	91.70	45.68	99.51	0.49
residuo	0.99	0.49	100.00	0.00
Peso totale	200.76			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.095	3.39
P <sub>16</sub>	0.109	3.20
P <sub>30</sub>	0.141	2.83
P <sub>50</sub>	0.197	2.34
P <sub>60</sub>	0.251	1.99
P <sub>84</sub>	0.379	1.40
U	2.630	0.59
C	0.825	1.186
M	0.229	2.312

**Campione 6b ; prof. - 6,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.23	0.11	0.11	99.89
0.840	2.65	1.32	1.43	98.57
0.420	17.71	8.82	10.25	89.75
0.177	95.09	47.34	57.59	42.41
0.074	84.39	42.01	99.60	0.40
residuo	0.80	0.40	100.00	0.00
Peso totale	200.87			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.098	3.36
P <sub>16</sub>	0.112	3.16
P <sub>30</sub>	0.147	2.77
P <sub>50</sub>	0.216	2.21
P <sub>60</sub>	0.267	1.90
P <sub>84</sub>	0.390	1.36
U	2.740	0.57
C	0.824	1.201
M	0.240	2.241

**Campione 6c ; prof. - 6,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.12	0.06	0.06	99.94
0.840	3.21	1.56	1.62	98.38
0.420	47.00	22.88	24.51	75.49
0.177	114.13	55.57	80.08	19.92
0.074	40.68	19.81	99.88	0.12
residuo	0.24	0.12	100.00	0.00
Peso totale	205.38			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.125	3.00
P <sub>16</sub>	0.157	2.67
P <sub>30</sub>	0.221	2.18
P <sub>50</sub>	0.309	1.70
P <sub>60</sub>	0.352	1.51
P <sub>84</sub>	0.576	0.80
U	2.809	0.50
C	1.106	1.052
M	0.347	1.722

**Campione 5a ; prof. - 5,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.04	0.02	0.02	99.98
0.840	2.12	1.06	1.08	98.92
0.420	15.36	7.67	8.75	91.25
0.177	82.64	41.28	50.03	49.97
0.074	98.94	49.42	99.45	0.55
residuo	1.1	0.55	100.00	0.00
Peso totale	200.2			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.094	3.42
P <sub>16</sub>	0.106	3.24
P <sub>30</sub>	0.135	2.88
P <sub>50</sub>	0.177	2.50
P <sub>60</sub>	0.236	2.08
P <sub>84</sub>	0.377	1.41
U	2.519	0.61
C	0.829	1.170
M	0.220	2.379

**Campione 5b ; prof. - 5,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.09	0.04	0.04	99.96
0.840	0.59	0.28	0.32	99.68
0.420	13.91	6.64	6.96	93.04
0.177	105.52	50.34	57.30	42.70
0.074	87.96	41.96	99.27	0.73
residuo	1.54	0.73	100.00	0.00
Peso totale	209.61			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.097	3.37
P <sub>16</sub>	0.111	3.17
P <sub>30</sub>	0.146	2.78
P <sub>50</sub>	0.212	2.24
P <sub>60</sub>	0.261	1.94
P <sub>84</sub>	0.376	1.41
U	2.693	0.58
C	0.844	1.180
M	0.233	2.270

**Campione 5c ; prof. - 5,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
0.840	2.26	1.11	1.11	98.89
0.420	14.07	6.90	8.01	91.99
0.177	86.74	42.56	50.58	49.42
0.074	99.68	48.91	99.49	0.51
residuo	1.04	0.51	100.00	0.00
Peso totale	203.79			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.094	3.41
P <sub>16</sub>	0.107	3.23
P <sub>30</sub>	0.136	2.88
P <sub>50</sub>	0.180	2.47
P <sub>60</sub>	0.237	2.07
P <sub>84</sub>	0.374	1.42
U	2.526	0.61
C	0.830	1.170
M	0.220	2.373

**Campione 4a ; prof. - 4,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.08	0.04	0.04	99.96
0.840	0.76	0.38	0.42	99.58
0.420	8.67	4.33	4.75	95.25
0.177	99.73	49.83	54.58	45.42
0.074	90.35	45.14	99.72	0.28
residuo	0.56	0.28	100.00	0.00
Peso totale	200.15			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.096	3.38
P <sub>16</sub>	0.110	3.19
P <sub>30</sub>	0.142	2.82
P <sub>50</sub>	0.199	2.33
P <sub>60</sub>	0.248	2.01
P <sub>84</sub>	0.365	1.45
U	2.580	0.60
C	0.843	1.169
M	0.225	2.322

**Campione 4b ; prof. - 4,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.38	0.18	0.18	99.82
2.000	0.92	0.44	0.62	99.38
0.840	1.64	0.79	1.41	98.59
0.420	8.27	3.97	5.39	94.61
0.177	103.05	49.51	54.90	45.10
0.074	93.20	44.78	99.68	0.32
residuo	0.67	0.32	100.00	0.00
Peso totale	208.13			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.096	3.38
P <sub>16</sub>	0.110	3.18
P <sub>30</sub>	0.142	2.81
P <sub>50</sub>	0.201	2.31
P <sub>60</sub>	0.250	2.00
P <sub>84</sub>	0.368	1.44
U	2.598	0.59
C	0.841	1.172
M	0.226	2.314

**Campione 4c ; prof. - 4,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.06	0.03	0.03	99.97
0.840	0.83	0.41	0.44	99.56
0.420	7.53	3.76	4.20	95.80
0.177	88.31	44.08	48.28	51.72
0.074	93.12	46.48	94.76	5.24
residuo	10.49	5.24	100.00	0.00
Peso totale	200.34			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.085	3.56
P <sub>16</sub>	0.098	3.35
P <sub>30</sub>	0.129	2.96
P <sub>50</sub>	0.173	2.53
P <sub>60</sub>	0.223	2.17
P <sub>84</sub>	0.355	1.49
U	2.633	0.61
C	0.882	1.131
M	0.209	2.459

## Campione 3a ; prof. - 3,0 m

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.10	0.05	0.05	99.95
0.840	2.24	1.12	1.17	98.83
0.420	23.21	11.57	12.74	87.26
0.177	119.73	59.71	72.45	27.55
0.074	54.79	27.32	99.78	0.22
residuo	0.45	0.22	100.00	0.00
Peso totale	200.52			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.111	3.17
P <sub>16</sub>	0.133	2.91
P <sub>30</sub>	0.186	2.42
P <sub>50</sub>	0.268	1.90
P <sub>60</sub>	0.309	1.69
P <sub>84</sub>	0.407	1.30
U	2.788	0.53
C	1.012	1.094
M	0.270	2.034

## Campione 3b ; prof. - 3,0 m

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
0.840	2.48	1.24	1.24	98.76
0.420	138.00	68.79	70.03	29.97
0.177	36.80	18.34	88.37	11.63
0.074	23.03	11.48	99.86	0.14
residuo	0.29	0.14	100.00	0.00
Peso totale	200.6			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.162	2.62
P <sub>16</sub>	0.235	2.09
P <sub>30</sub>	0.420	1.25
P <sub>50</sub>	0.542	0.88
P <sub>60</sub>	0.603	0.73
P <sub>84</sub>	0.750	0.42
U	3.715	0.28
C	1.802	0.819
M	0.509	1.129

## Campione 3c ; prof. - 3,0 m

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.07	0.04	0.04	99.97
0.840	1.18	0.59	0.63	99.38
0.420	11.06	5.53	6.16	93.85
0.177	119.72	59.86	66.02	33.99
0.074	67.08	33.54	99.56	0.44
residuo	0.89	0.44	100.00	0.00
Peso totale	200			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.103	3.27
P <sub>16</sub>	0.122	3.04
P <sub>30</sub>	0.161	2.64
P <sub>50</sub>	0.242	2.05
P <sub>60</sub>	0.283	1.82
P <sub>84</sub>	0.380	1.40
U	2.735	0.56
C	0.886	1.164
M	0.248	2.160

**Campione 2a ; prof. - 2,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.19	0.09	0.09	99.91
0.840	3.11	1.55	1.64	98.36
0.420	29.54	14.69	16.33	83.67
0.177	142.48	70.83	87.16	12.84
0.074	25.58	12.72	99.88	0.12
residuo	0.25	0.12	100.00	0.00
Peso totale	201.15			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.154	2.70
P <sub>16</sub>	0.188	2.41
P <sub>30</sub>	0.236	2.08
P <sub>50</sub>	0.304	1.72
P <sub>60</sub>	0.339	1.56
P <sub>84</sub>	0.421	1.25
U	2.200	0.58
C	1.066	1.030
M	0.304	1.792

**Campione 2b ; prof. - 2,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.38	0.19	0.19	99.81
0.840	3.35	1.66	1.85	98.15
0.420	53.15	26.33	28.18	71.82
0.177	125.88	62.37	90.55	9.45
0.074	18.87	9.35	99.90	0.10
residuo	0.21	0.10	100.00	0.00
Peso totale	201.84			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.179	2.48
P <sub>16</sub>	0.203	2.30
P <sub>30</sub>	0.257	1.96
P <sub>50</sub>	0.335	1.58
P <sub>60</sub>	0.374	1.42
P <sub>84</sub>	0.614	0.70
U	2.088	0.57
C	0.986	1.091
M	0.384	1.528

**Campione 2c ; prof. - 2,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.15	0.07	0.07	99.93
0.840	2.21	1.10	1.18	98.82
0.420	29.72	14.84	16.02	83.98
0.177	136.71	68.28	84.31	15.69
0.074	31.00	15.48	99.79	0.21
residuo	0.42	0.21	100.00	0.00
Peso totale	200.21			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.139	2.85
P <sub>16</sub>	0.178	2.49
P <sub>30</sub>	0.228	2.13
P <sub>50</sub>	0.299	1.74
P <sub>60</sub>	0.335	1.58
P <sub>84</sub>	0.421	1.25
U	2.406	0.55
C	1.116	1.013
M	0.299	1.827

**Campione 1a ; prof. - 1,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.11	0.05	0.05	99.95
0.840	2.21	1.06	1.11	98.89
0.420	10.68	5.12	6.23	93.77
0.177	135.54	64.94	71.17	28.83
0.074	59.40	28.46	99.64	0.36
residuo	0.76	0.36	100.00	0.00
Peso totale	208.7			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.109	3.20
P <sub>16</sub>	0.131	2.94
P <sub>30</sub>	0.181	2.46
P <sub>50</sub>	0.256	1.96
P <sub>60</sub>	0.294	1.77
P <sub>84</sub>	0.383	1.38
U	2.697	0.55
C	1.029	1.072
M	0.257	2.095

**Campione 1b ; prof. - 1,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
0.840	1.38	0.69	0.69	99.31
0.420	8.00	4.00	4.69	95.31
0.177	125.67	62.77	67.45	32.55
0.074	64.94	32.44	99.89	0.11
residuo	0.22	0.11	100.00	0.00
Peso totale	200.21			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.105	3.25
P <sub>16</sub>	0.124	3.01
P <sub>30</sub>	0.169	2.57
P <sub>50</sub>	0.245	2.03
P <sub>60</sub>	0.283	1.82
P <sub>84</sub>	0.376	1.41
U	2.688	0.56
C	0.956	1.114
M	0.248	2.149

**Campione 1c ; prof. - 1,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.02	0.01	0.01	99.99
0.840	1.08	0.54	0.55	99.45
0.420	5.73	2.85	3.40	96.60
0.177	121.20	60.36	63.76	36.24
0.074	72.74	36.22	99.98	0.02
residuo	0.04	0.02	100.00	0.00
Peso totale	200.81			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.102	3.29
P <sub>16</sub>	0.119	3.07
P <sub>30</sub>	0.159	2.65
P <sub>50</sub>	0.232	2.11
P <sub>60</sub>	0.273	1.87
P <sub>84</sub>	0.369	1.44
U	2.663	0.57
C	0.909	1.140
M	0.240	2.203

**Campione 1 ; prof. 0,0 m**

Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.04	0.02	0.02	99.98
0.840	0.16	0.08	0.10	99.90
0.420	34.13	17.01	17.11	82.89
0.177	159.87	79.70	96.81	3.19
0.074	6.10	3.04	99.85	0.15
residuo	0.3	0.15	100.00	0.00
Peso totale	200.6			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.198	2.34
P <sub>16</sub>	0.216	2.21
P <sub>30</sub>	0.259	1.95
P <sub>50</sub>	0.320	1.65
P <sub>60</sub>	0.350	1.51
P <sub>84</sub>	0.447	1.16
U	1.771	0.65
C	0.967	1.075
M	0.328	1.672

**Campione 2 ; prof. 0,0 m**

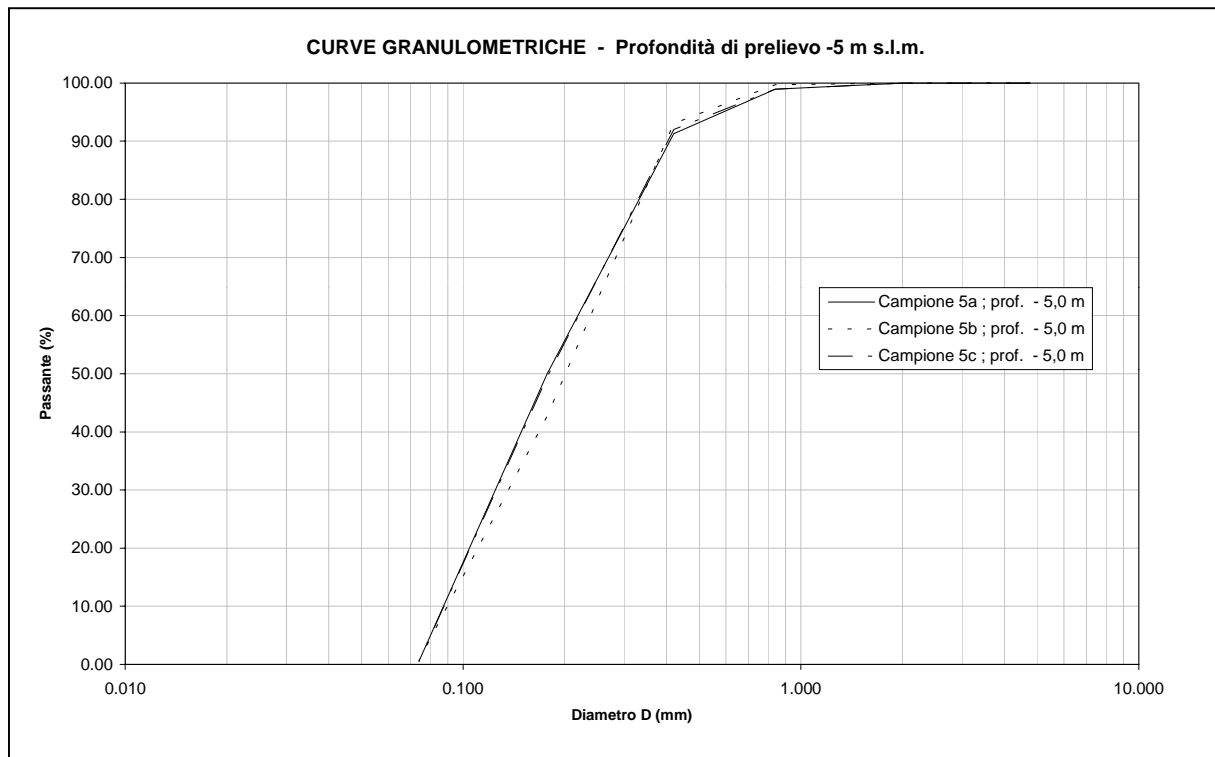
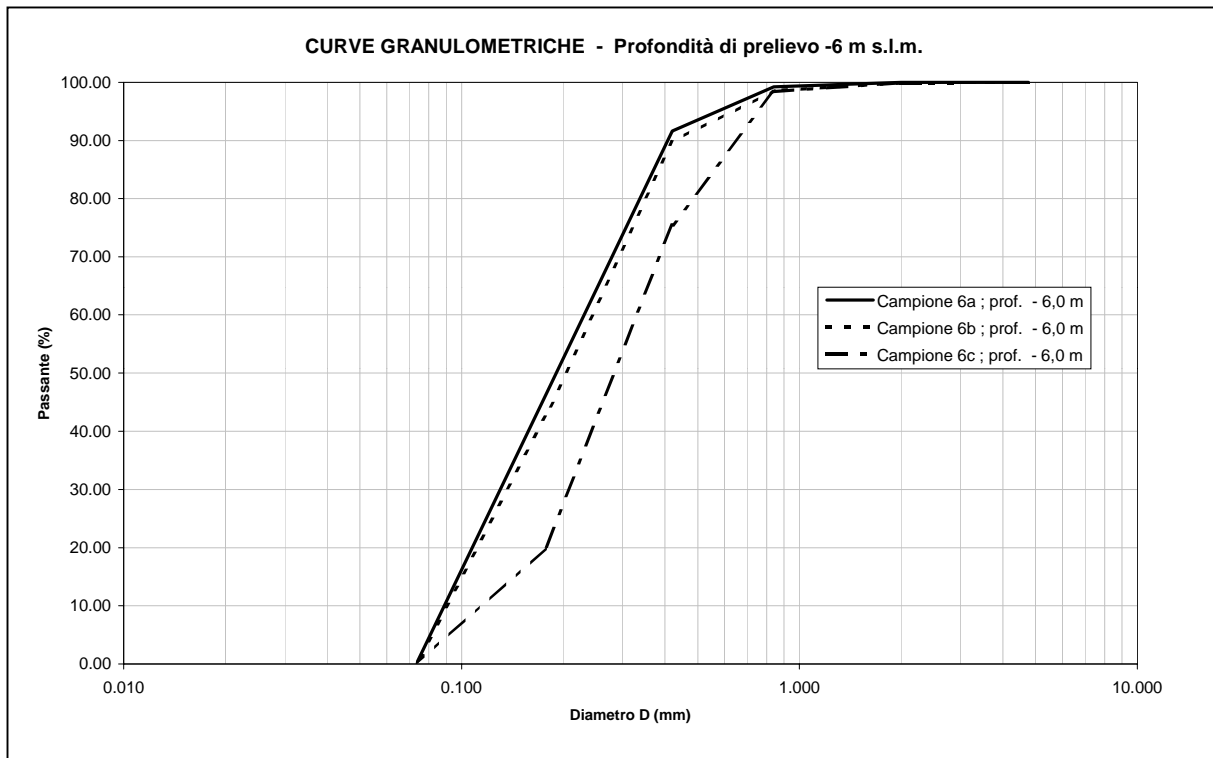
Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.48	0.24	0.24	99.76
0.840	7.39	3.67	3.91	96.09
0.420	178.27	88.51	92.41	7.59
0.177	13.40	6.65	99.07	0.93
0.074	1.68	0.83	99.90	0.10
residuo	0.20	0.10	100.00	0.00
Peso totale	201.42			

	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.431	1.21
P <sub>16</sub>	0.460	1.12
P <sub>30</sub>	0.526	0.93
P <sub>50</sub>	0.621	0.69
P <sub>60</sub>	0.669	0.58
P <sub>84</sub>	0.783	0.35
U	1.550	0.48
C	0.960	1.218
M	0.621	0.720

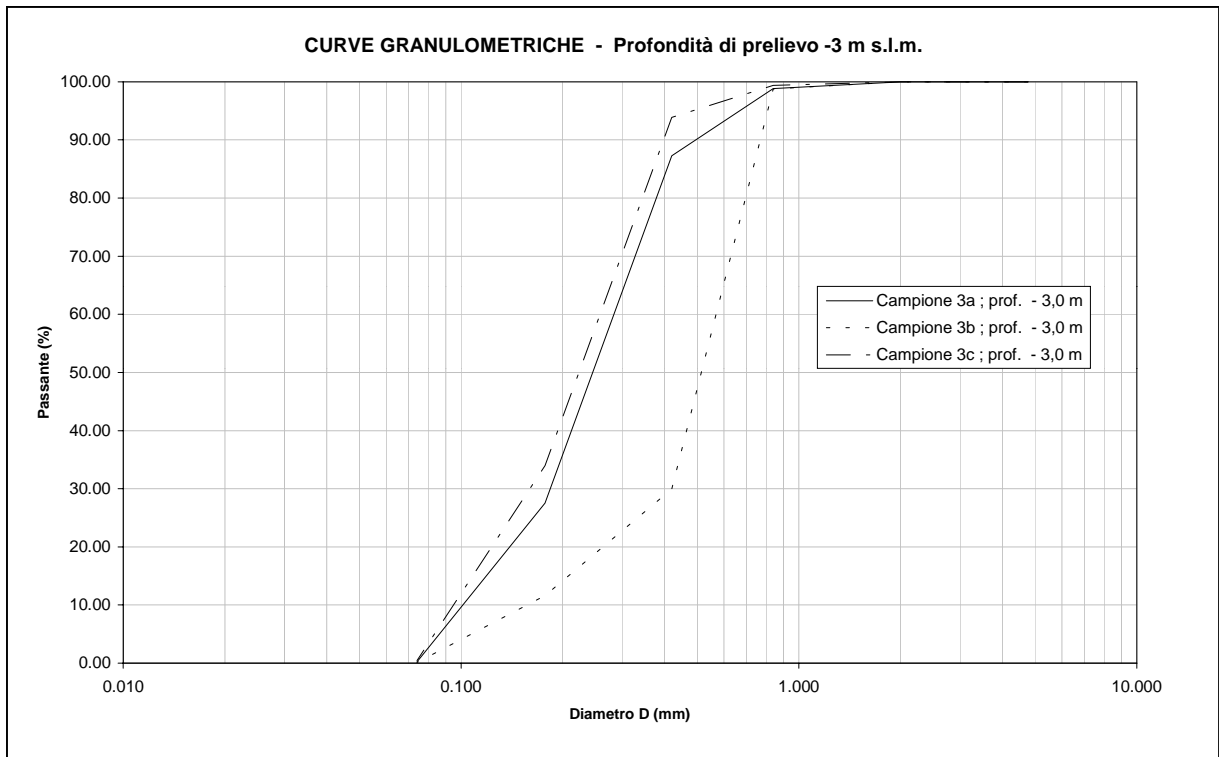
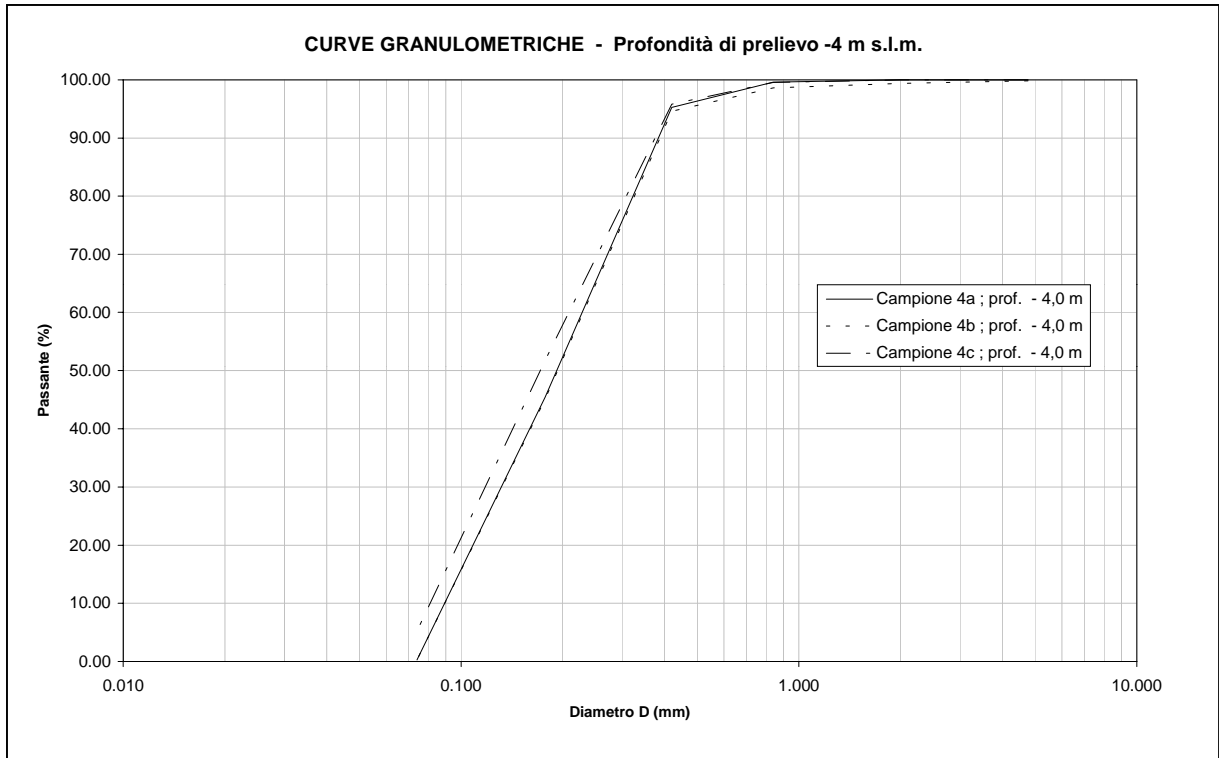
**Campione 3 ; prof. 0,0 m**

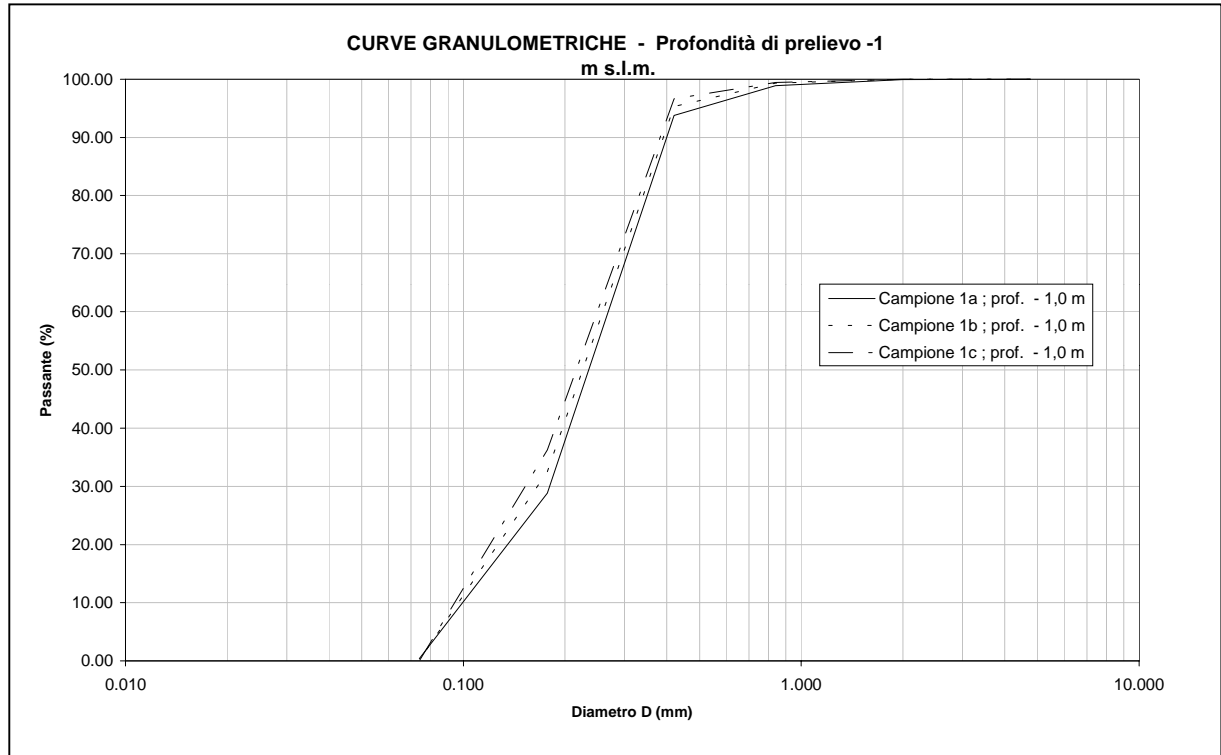
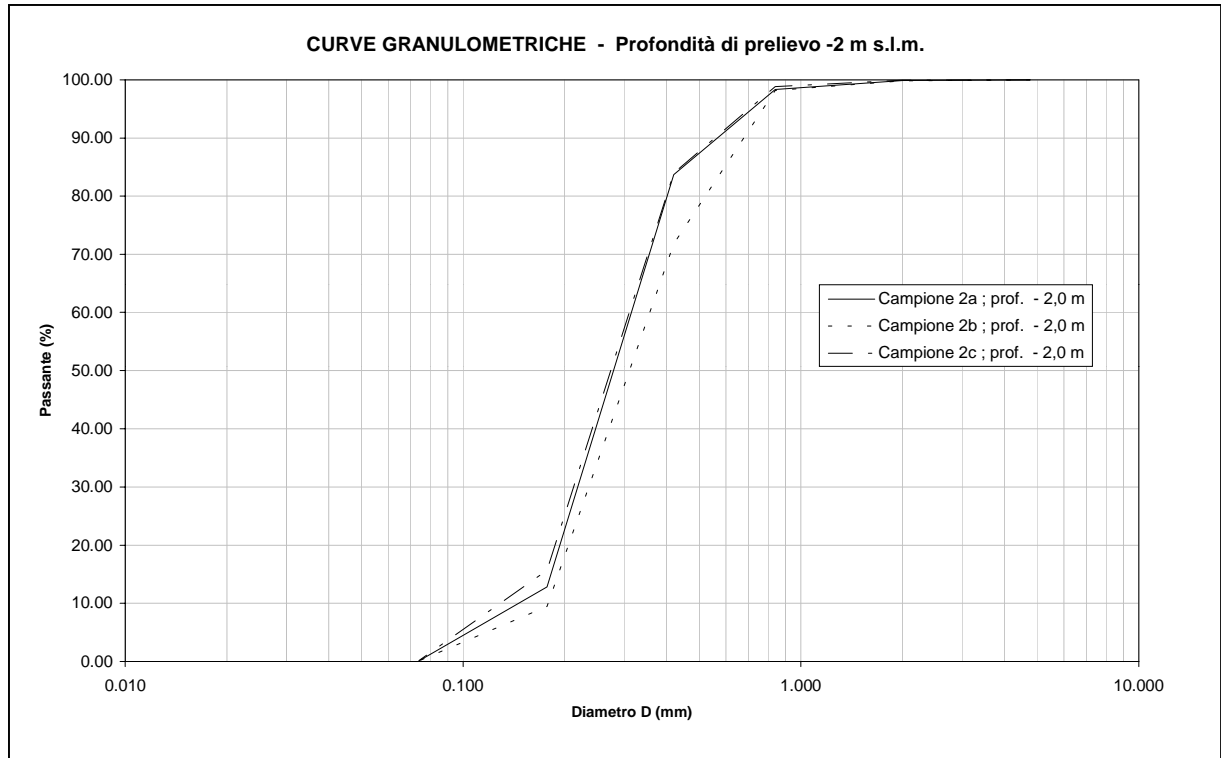
Diametro (mm)	Peso Netto trattenuto	% Parziale trattenuto	% Totale trattenuto	% Totale passante
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	0.15	0.07	0.07	99.93
0.840	13.19	6.57	6.64	93.36
0.420	184.23	91.73	98.37	1.63
0.177	2.89	1.44	99.81	0.19
0.074	0.10	0.05	99.86	0.14
residuo	0.29	0.14	100.00	0.00
Peso totale	200.85			

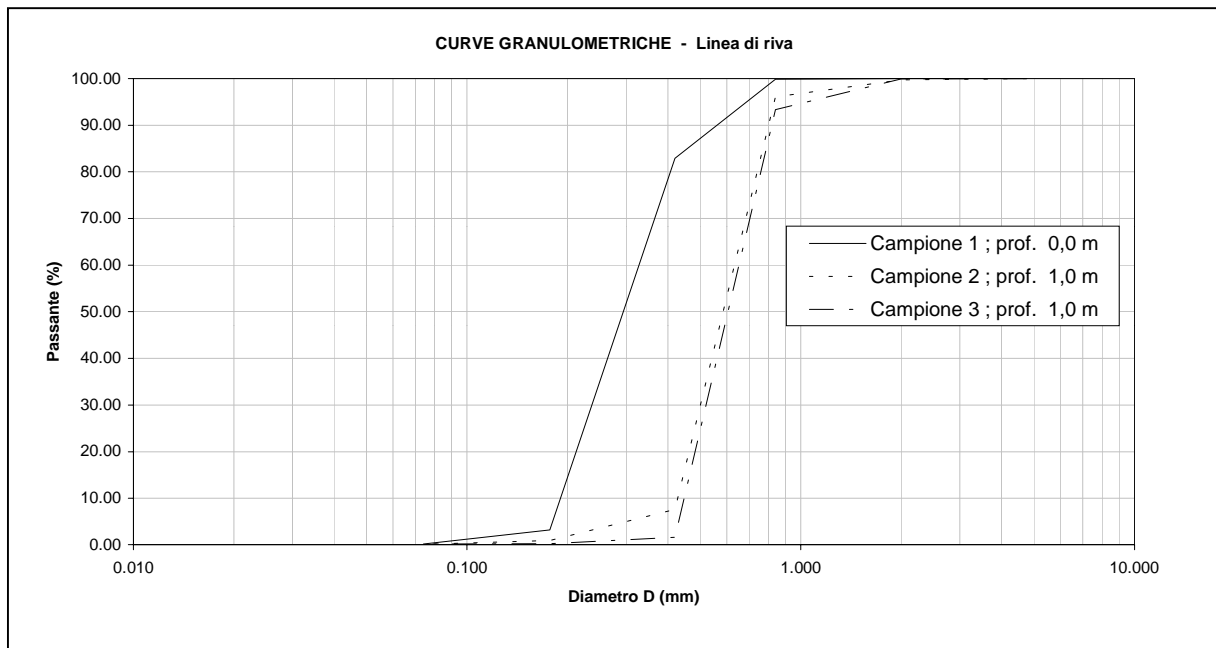
	Diametri (mm)	Unità $\phi$
P <sub>10</sub>	0.458	1.13
P <sub>16</sub>	0.486	1.04
P <sub>30</sub>	0.550	0.86
P <sub>50</sub>	0.641	0.64
P <sub>60</sub>	0.687	0.54
P <sub>84</sub>	0.797	0.33
U	1.500	0.48
C	0.960	1.222
M	0.641	0.670











Prendendo in considerazione le singole curve granulometriche si può notare come le dimensioni dei granuli siano generalmente abbastanza omogenee pertanto la matrice detritica che costituisce la spiaggia in esame rientra tra la sabbia media e le sabbie fini:

- i sedimenti più grossolani ( $D_{50} = 600 \div 650 \mu\text{m}$ ) sono quelli prelevati lungo la spiaggia emersa;
- i più fini, con code di materiale più sottile ( $D_{50} = 180 \div 230 \mu\text{m}$ ), si hanno per la maggiore profondità di prelievo dei campioni.

Per un'analisi più completa dei dati granulometrici si rimanda alla specifica relazione redatta dal laboratorio di analisi ed allegata alla presente relazione.

## **5. Analisi con metodo empirico dell'influenza delle nuove opere portuali sulla spiaggia limitrofa**

L'analisi dettagliata delle registrazioni ondometriche ed il trasferimento di queste sottocosta al sito in esame (vd. studio meteomarinò), ha consentito di derivare utili indicazioni qualitative e quantitative sulle caratteristiche del clima di moto ondoso responsabile dei fenomeni evolutivi della "spiaggia aranci" posta sottoflutto al porto di S. Foca.

Sulla base dei risultati dello studio meteomarinò appare evidente che:

- i maggiori contributi energetici associati al moto ondoso si hanno nella stagione invernale ed autunnale con un picco delle direzioni risultanti analogo (circa 20 °N);
- i contributi della stagione estiva e primaverile (20 °N) sono di minore intensità;
- la direzione media della risultante energetica annuale è di circa 25°N nello stato attuale e di 29.4°N in quello di progetto.
- Nello stato di progetto vi è una generale attenuazione del flusso di energia sia in termini annuali che stagionali rispetto allo stato attuale; ne deriva una diminuzione sia dell'altezza d'onda morfologica sia della durata dello stato di mare con  $H_s > 0.5$  m.

Il clima d'onda è caratterizzato cioè da stati di mare prevalenti da nord-nord-est che possono essere validamente rappresentati in funzione di un'unica onda di modellazione la cui direzione è pressochè ortogonale all'orientamento medio della linea di riva di "spiaggia aranci". La realizzazione del prolungamento della diga di nord-ovest del porto determinerà un'azione di "schermo" rispetto agli stati di mare provenienti da nord con una conseguente attenuazione della risultante del moto ondoso che modella il litorale associata ad una rotazione (al massimo 5°) in senso orario della direzione. Come conseguenza diretta la linea di riva tenderà a modellarsi sotto l'azione del moto ondoso ruotando in senso orario assumendo un orientamento pressochè ortogonale alla direttrice di 30° N. Considerato lo sviluppo longitudinale di circa 200 m della spiaggia in esame a lungo termine la rotazione della linea di riva, nell'ipotesi che si mantenga inalterato il bilancio solido litoraneo, comporterà un'avanzamento massimo di 8 m all'estremità nord-ovest della spiaggia e per contro si registrerà un arretramento massimo di 8 m in corrispondenza dell'altro estremo.

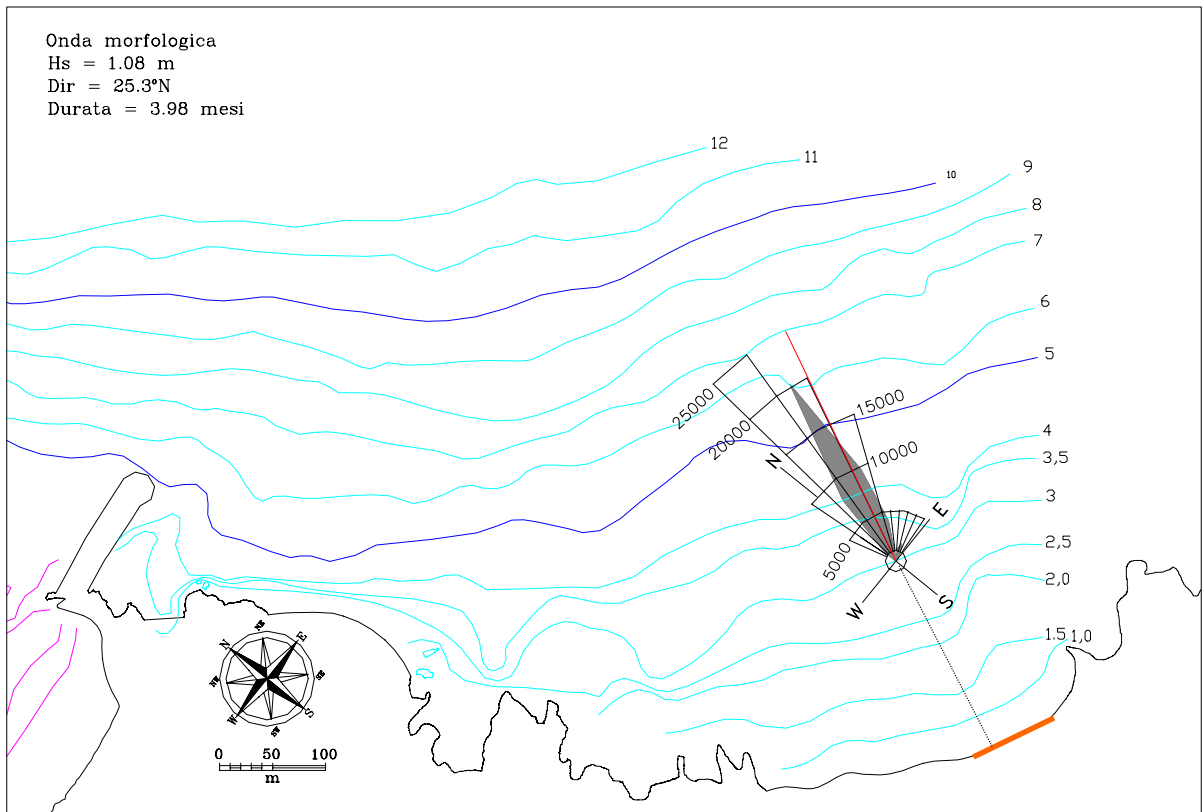


Fig. 4 – Onda morfologica risultante per la “spiaggia arancia” con l’attuale configurazione portuale

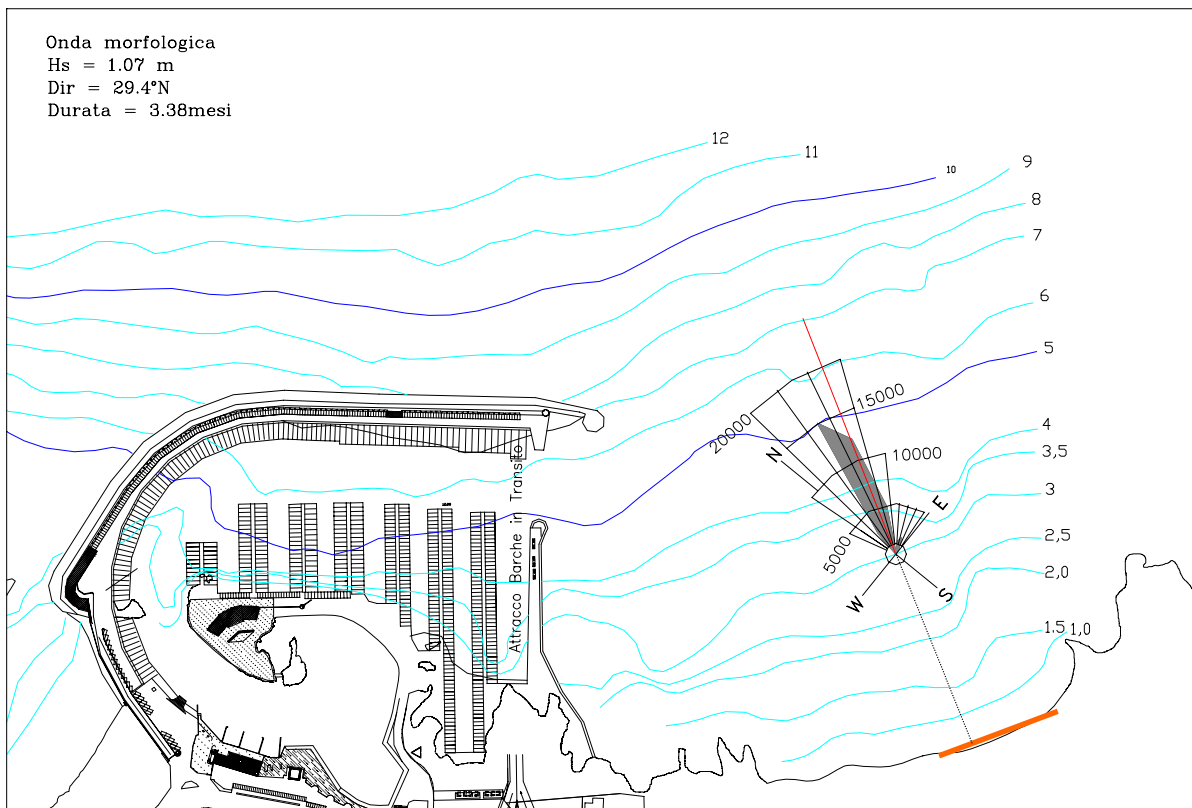


Fig. 5 – Onda morfologica risultante per la “spiaggia arancia” con la nuova configurazione portuale

## 6. Analisi dell'influenza delle nuove opere portuali sulla spiaggia limitrofa con modello numerico ad una linea

A conclusione del presente studio è stato utilizzato un sofisticato modello numerico per la simulazione dell'evoluzione della linea di riva al fine di verificare e quantificare le ripercussioni eventualmente esercitate dalle nuove opere portuali sulla limitrofa "spiaggia aranci". A garanzia di una rispondenza delle simulazioni numeriche alla realtà evolutiva del sito in esame, è stata posta particolare attenzione alle fasi di modellazione condotte per la validazione e taratura del modello.

E' stato impiegato il modello numerico di spiaggia del tipo ONE-LINE («ad una linea») denominato ARIES (sviluppato dalla MODIMAR in collaborazione con i laboratori dell'ENEL-HYDRO); consente di simulare le variazioni della fascia costiera indotte dall'azione del moto ondoso, tramite la modellazione delle modifiche planimetriche, nel tempo, della sola linea di riva.

Il modello trae la sua origine dai principi teorici degli studi di dinamica costiera condotti da Pelnard-Considére <sup>(8)</sup> e può essere applicato ad aree costiere, come quella in esame, ove le fenomenologie di morfodinamica rispecchiano le seguenti ipotesi:

- il litorale presenta un profilo di equilibrio, rispetto al piano trasversale alla linea di riva, che mantiene la sua forma muovendosi parallelamente a se stesso, al manifestarsi sia di fenomeni di erosione sia di accrescimento della fascia costiera;
- il trasporto solido litoraneo è indotto essenzialmente dall'azione delle correnti connesse alle onde di superficie, mentre può ritenersi trascurabile l'effetto delle correnti di marea o di correnti collegate all'azione diretta del vento;
- la componente longitudinale del trasporto solido litoraneo rimane confinata entro una fascia costiera («fascia attiva») ed è predominante a lungo termine rispetto alla componente trasversale;
- la portata  $Q_L$  del flusso solido longitudinale è funzione dell'angolo di incidenza delle onde frangenti lungo il litorale e del contenuto energetico ad esse associato (essenzialmente funzione dell'altezza d'onda al frangimento).

### 6.1. Definizione delle condizioni al contorno

Nelle precedenti fasi dello studio, propedeutiche all'applicazione del modello numerico di spiaggia, l'analisi dell'evoluzione della linea di battigia in tempi storici ha mostrato che

---

<sup>8</sup> «Essai de theorie de l'evolution des formes de rivages en plages de sable et de galets» 4<sup>th</sup> Journées de l'Hydraulique, Les Energies de la Mer, Question III, Rapport No.1, 1956.

l'evoluzione di tutta la falcata in esame è strettamente connessa al morfotipo cosiddetto a pocket beach con una stretta fascia di spiaggia più direttamente sottoposta all'azione del moto ondoso confinata a tergo da un cordone dunale costantemente alimentato e modellato dall'azione eolica.

Nella discretizzazione del tratto di costa in esame, si è fatto riferimento al materiale cartografico fornito dai progettisti considerando una porzione di litorale, lunga circa 350 m, che comprende oltre alla spiaggia aranci anche le formazioni rocciose laterali. Il sistema di riferimento ha origine in corrispondenza della falesia posta a sud-est del porto di s.Foca ed asse delle ascisse orientato secondo la direttrice  $301^{\circ}$ - $121^{\circ}$ N.

Si è assunta quale linea di riva iniziale quella del 1995; questa è stata discretizzata con sezioni ad interasse costante di 5 m per un totale di 70 sezioni. Sulla base delle informazioni derivate dalle caratteristiche morfologiche del sito sono state imposte le condizioni di estremi fissi, abbinata alla conformazione di linea di riva inerodibile, per simulare le caratteristiche delle falesie e verificando al termine delle prime elaborazioni di taratura i valori della portata solida che effettivamente possono oltrepassare il promontorio roccioso.

Per quanto riguarda le caratteristiche dei sedimenti che costituiscono la fascia costiera, in prima approssimazione, con riferimento alle numerose analisi sedimentologiche condotte lungo la fascia costiera nell'ambito del presente studio, per la densità del materiale sommerso si è considerato un valore di  $1.15 \text{ g/cm}^3$  mentre per il diametro medio  $D_{50}$  si è assunto un valore di 0.25 mm rappresentativo della fascia attiva.

L'ulteriore parametro richiesto per la schematizzazione della fascia costiera nel modello numerico è la larghezza della fascia costiera (emersa e sommersa rispetto al l.m.m.) che risulta coinvolta dal flusso solido litoraneo. I limiti di questa sono definiti in funzione della cosiddetta «profondità di chiusura»  $D_c$  al largo (oltre la quale sono trascurabili le modifiche del profilo trasversale imputabili all'azione del moto ondoso ed ai fenomeni di trasporto solido a lungo termine). A tal scopo si è fatto riferimento allo studio meteomarino assumendo  $D_c=7.0$  m. A questa grandezza deve essere aggiunta la cosiddetta altezza di «swash» ovvero di risalita «attiva» dell'onda assunta variabile tra +0.8 e +1.5 m s.l.m.m. sulla scorta di immagini fotografiche della spiaggia e dei calcoli relativi alla variazione del livello marino.

Un altro fattore di importanza fondamentale per un'attendibile applicazione del modello matematico di spiaggia è legato alla determinazione accurata del regime di moto ondoso, cioè della distribuzione media annuale delle caratteristiche del moto ondoso che interessano il litorale in esame. Come già evidenziato nello studio meteomarino, la disponibilità di dati affidabili (misure ondometriche

direzionali) ha suggerito la schematizzazione degli stati di mare che «modellano» il litorale in eventi «equivalenti», in termini di contenuto energetico, assumendo una risultante media annuale del flusso energetico. Sempre nell'ambito dello studio meteomarinario si è verificato che l'onda di modellazione che contraddistingue la "spiaggia aranci" subirà una variazione a seguito del prolungamento della diga di sopraflutto del porto pertanto le caratteristiche delle onde equivalenti utilizzate quali «forzanti» dal modello ARIES sono riassunte nella tabella seguente:

Scenario di riferimento	CARATTERISTICHE DELLE ONDE EQUIVALENTI			
	Direzione (°N)	Altezza (m)	Periodo (s)	Durata (mesi)
Attuale configurazione portuale	25°	1.08	5.60	3.98
Nuova configurazione portuale	29.4°	1.07	5.50	3.38

Il regime del moto ondoso così schematizzato è stato considerato rappresentativo delle condizioni alla profondità di -3 m s.l.m.; il modello ARIES consente di simulare il fenomeno di propagazione del moto ondoso da questa profondità di riferimento «al largo» sino ad individuare le condizioni di frangimento lungo la fascia costiera tenendo conto sia dei fenomeni di rifrazione e shoaling che della diffrazione esercitata da eventuali opere foranee.

## 6.2. Risultati della fase di taratura e validazione del modello

L'insieme delle informazioni raccolte ha portato alla definizione del primo file di input ove sono stati riportati solo i dati relativi alla conformazione della linea di riva riferita al 1995.

Un primo ciclo di simulazioni è stato condotto per validare l'uso del modello al sito verificando la congruenza delle condizioni al contorno definite preliminarmente quali: il regime del moto ondoso sotto costa; la distribuzione litoranea dei sedimenti; l'estensione della fascia litoranea attiva rispetto ai fenomeni di trasporto solido. Le simulazioni sono state condotte nell'ipotesi cautelativa di apporti solidi nulli.

Dopo ripetuti «test» effettuati al fine di ricercare i valori più idonei di alcuni parametri di taratura (sostanzialmente i coefficienti  $K_1$  e  $K_2$  presenti nella formula per il calcolo del trasporto solido associato al moto ondoso frangente) si è riscontrato che comunque la linea di riva simulata al termine del ciclo (1995-2000) tendeva a disporsi in una posizione più avanzata rispetto a quella rilevata nel 2000. Questi primi risultati delle simulazioni associati alle considerazioni di carattere



morfologico desunte nelle precedenti fasi dello studio hanno suggerito la necessità di dover considerare anche un fattore trasversale di “fuga” dei sedimenti dalla pocket beach simulata (legato alla presenza non solo di correnti di “rip” ma ad altri fattori quali la deflazione eolica e la dispersione indotta dal marcato uso antropico della spiaggia. E’ stata condotta quindi una seconda serie di simulazioni tarando la componente trasversale di perdita dei sedimenti pari ad un quantitativo di  $1000 \text{ m}^3/\text{anno}$  piuttosto elevato se rapportato alle limitate dimensioni della spiaggia in esame. Al termine di questa seconda serie di simulazioni i risultati ottenuti sono stati ritenuti pienamente paragonabili con l’evoluzione della linea di riva registrata negli ultimi anni. In questa serie di simulazioni si è verificata anche l’assenza di eventuali problemi di instabilità numerica. Le linee di riva simulate (fig. 6) relative al periodo 1995-2000 sono state confrontate con quelle derivate dalla cartografia reperita nelle precedenti fasi di studio.

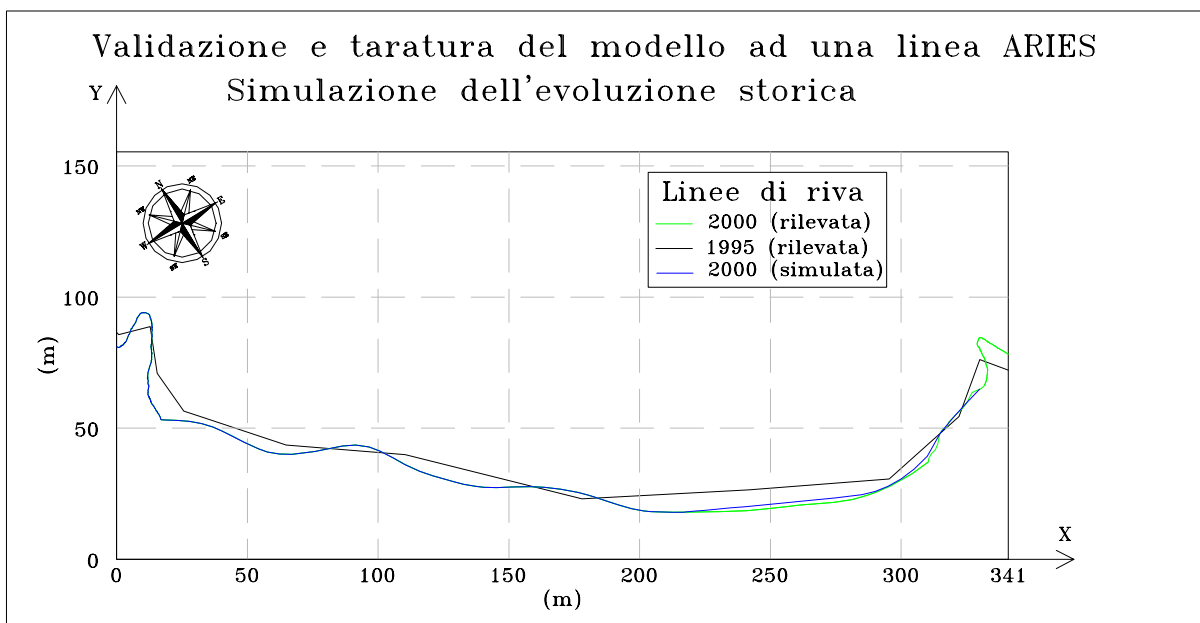


Fig. 6 – Validazione e taratura del modello sulla base dell’evoluzione storica della linea di riva

I risultati ottenuti hanno confermato la piena affidabilità del modello per il sito in esame: mediamente le variazioni tra la linea di riva reale (rilevata nel settembre del 2000) e la corrispondente linea di riva simulata sono pari a  $-0.05 \text{ m}$  con uno scarto quadratico di circa  $0.10 \text{ m}$  e differenze massime, dell’ordine di  $0.15 \text{ m}$ . Si sottolinea che l’evoluzione così investigata è relativa a condizioni medie annuali del moto ondoso incidente il sito in esame; ovviamente, uno scostamento in alcune stagioni degli eventi reali da quello medio cui fa riferimento il modello (soprattutto in termini di direzione) potrebbe condizionare il trend evolutivo. Nel caso in esame, l’ottimo livello di riscontro tra la linea di riva simulata, riferendosi ad un clima medio di moto

ondoso, e quella reale del passato consente di poter ipotizzare una discreta stabilità del clima meteomarinario anche nel corso degli anni futuri.

Ricostruita in maniera soddisfacente l'evoluzione della linea di riva relativa al decennio scorso, si è passati alla successiva fase di simulazione investigando l'evoluzione che si potrebbe verificare nel prossimo decennio in presenza delle nuove opere portuali.

### 6.3. Previsione dell'evoluzione litoranea futura in presenza delle nuove opere portuali

Individuato il trend evolutivo attuale mediante la precedente fase di calibrazione, il modello di spiaggia è stato utilizzato simulando l'evoluzione futura della linea di riva per valutare l'influenza delle nuove opere portuali nei prossimi 10 anni.

E' stata condotta una prima simulazione, relativa all'intervallo 2000-2010, al fine di valutare l'attuale trend evolutivo e nello stesso tempo riprodurre uno scenario futuro di confronto per le successive elaborazioni. In questo caso si osserva (fig. 7) una generale tendenza all'arretramento con valori massimi anche dell'ordine dei 10÷12 m localizzati sull'asse mediano della falcata sabbiosa.

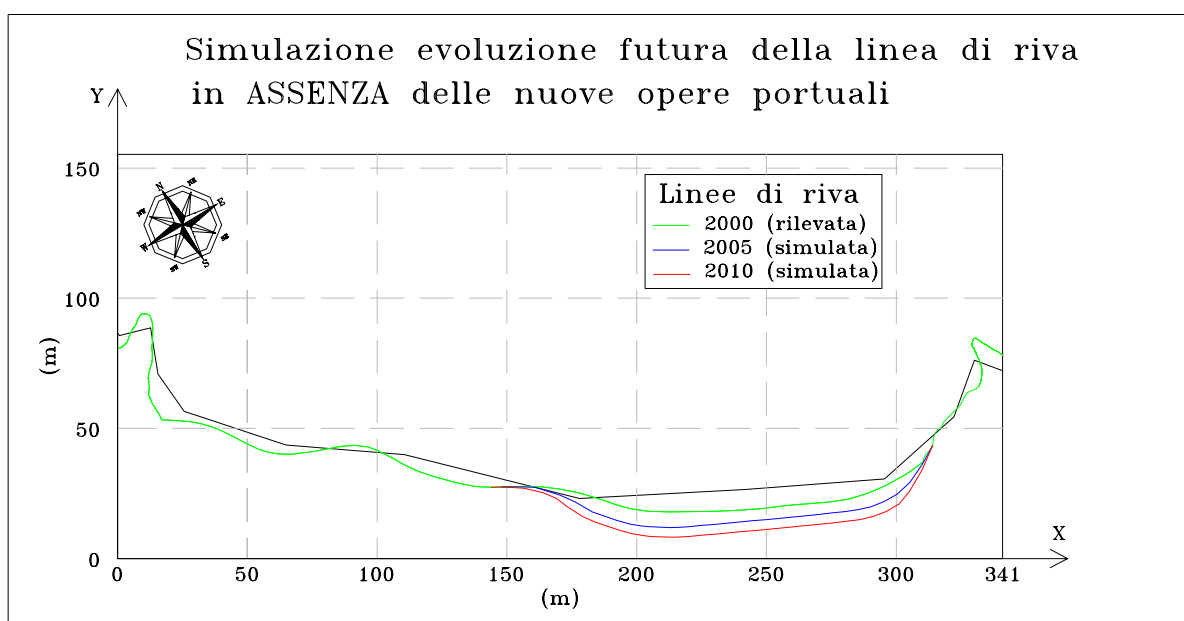


Fig. 7 – Simulazione dell'evoluzione futura in assenza delle nuove opere portuali

È ovvio che tale scenario di regressione della linea di riva deve considerarsi comunque virtuale perché considerata già l'attuale ridotta ampiezza della spiaggia, ulteriori erosioni interesserebbero l'apparato dunale introducendo un fattore di incertezza nella previsione decennale per la cui analisi

esaustiva andrebbero condotte nei prossimi anni campagne di monitoraggio al fine di poter tarare correttamente con il modello ARIES anche questi fenomeni.

L'ultima simulazione è stata condotta considerando che la presenza delle nuove opere portuali determinerà una variazione della risultante del moto ondoso incidente la "spiaggia aranci". I risultati (fig. 8) evidenziano che in presenza delle opere portuali permane la generale tendenza all'arretramento della linea di riva ma la differente inclinazione ed intensità della risultate energetica associata al moto ondoso comportano regressioni massime della linea di riva inferiori a quelle riscontrabili mantenendo inalterato l'attuale stato di fatto.

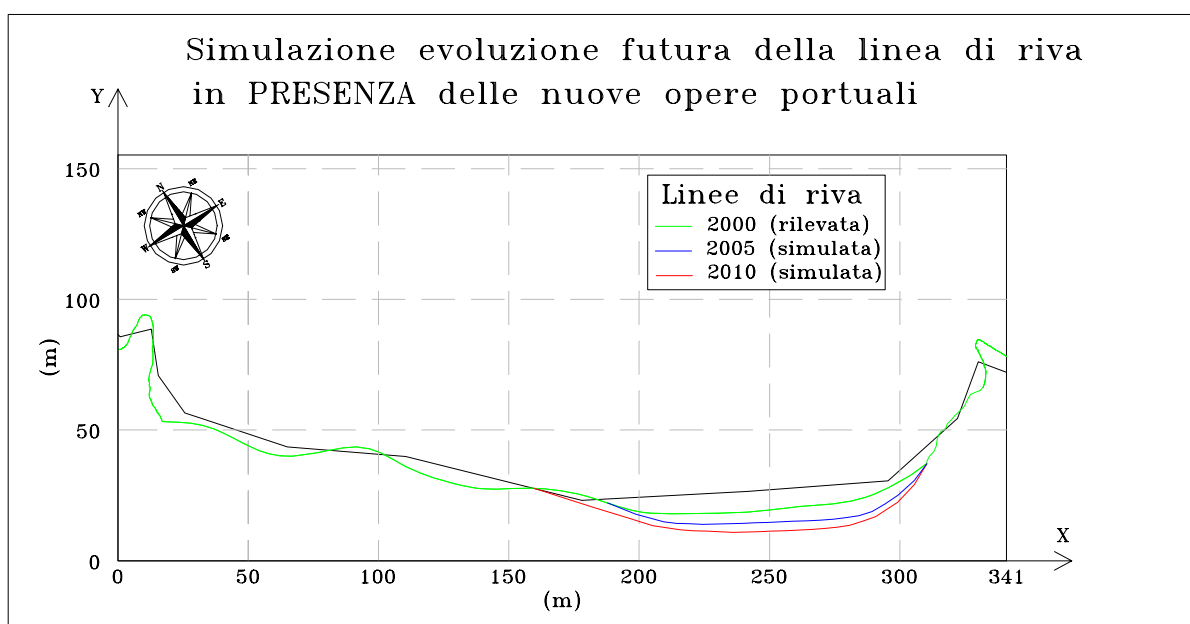


Fig. 8 – Simulazione dell'evoluzione futura in presenza delle nuove opere portuali

Oltre a riscontrare valori di regressione relativa della linea di riva al massimo pari a 8 m si osserva che la variazione della direzione risultante del moto ondoso comporterebbe una conseguente rotazione della linea di riva a beneficio del tratto di spiaggia posto a nord-ovest ove sono presenti strutture fisse che nello scenario simulato in precedenza verrebbero sicuramente coinvolte dai fenomeni di erosione del litorale.

## 7. Conclusioni

Il presente studio di dinamica costiera è stato finalizzato alla verifica delle eventuali ripercussioni sulle spiagge limitrofe al porto di S. Foca a seguito dell'attuazione della nuova conformazione portuale che prevede il prolungamento della diga di nord-ovest. A tal riguardo sono stati condotti una serie di studi di settore al fine di individuare i tratti di litorale sabbioso che effettivamente possono "risentire" dell'esecuzione delle nuove opere portuali. L'insieme degli studi conoscitivi corredati di indagini e rilievi condotti in sito hanno confermato che per le caratteristiche d'insieme del litorale ove si inserisce il porto in esame l'influenza di questo è limitata alla sola pocket beach detta "spiaggia aranci" posta qualche centinaio di metri a sud-est del porto. Per poter valutare in modo oggettivo l'effettiva influenza delle nuove opere portuali sull'attuale dinamica evolutiva di questa spiaggia (contraddistinta dal progressivo arretramento della linea di riva e smantellamento dell'apparato dunale retrostante) oltre ad applicare un metodo empirico basato sulla caratterizzazione della differente esposizione al moto ondoso della spiaggia in presenza delle nuove opere portuali è stato applicato il modello numerico di spiaggia ARIES. La spiaggia in esame attualmente è interessata da fenomeni di erosione che, seppure lenti, tendono a minacciarne nel prossimo decennio la sua stabilità. Le prime simulazioni condotte al fine di tarare e validare il modello al sito in esame hanno confermato che l'attuale tendenza evolutiva è contraddistinta da una progressiva "depauperazione" della matrice sabbiosa imputabile anche al marcato uso turistico-balneare cui è destinata "spiaggia aranci". La simulazione dell'evoluzione futura in assenza di qualsiasi nuova opera portuale ha mostrato che nei prossimi dieci anni si potranno registrare erosioni dell'ordine di 10 m che porterebbero anche allo smantellamento dell'apparato dunale. Le simulazioni condotte evidenziano che la realizzazione delle nuove opere portuali determineranno sostanzialmente un diverso orientamento della linea di riva esercitando anche un certo ridosso nei confronti delle mareggiate più intense provenienti da maestrale e grecale che attualmente contribuiscono alla progressiva erosione della spiaggia.