



COMUNE DI MONTE ARGENTARIO

SP_o3

VERIFICA DELL'AGITAZIONE
INTERNA

Regione
Toscana



PIANO REGOLATORE PORTUALE



COMUNE DI MONTE ARGENTARIO
PORTO S.STEFANO
PORTO DEL VALLE

P
R
P
2
0
0
3



PIANO REGOLATORE PORTUALE 2003
(CON VARIANTE 2005)

Progettista e coordinatore: prof. ing. Leopoldo Franco

Opere marittime e studi idraulico-marittimi: Modimar S.r.l.

Aspetti urbanistici ed architettonici: Studio 3c+t Capolei Cavalli Architetti Associati

Aspetti pianificatori ed ambientali: VDP srl, Progettazione Integrata Ambiente

TITOLO DOCUMENTO :	DATA :	NUMERO DOCUMENTO :
VERIFICA DELL'AGITAZIONE INTERNA	LUGLIO 2003	4
	Rev. 1 - Novembre 2005	

PORTO S.STEFANO - PORTO DEL VALLE

PIANO REGOLATORE PORTUALE 2003

(con variante 2005)

Verifica dell'agitazione interna

1. Premesse

La presente relazione riassume i risultati degli studi di penetrazione del moto ondoso eseguiti relativamente alla configurazione prescelta per il nuovo Piano Regolatore Portuale 2003 del porto del Valle a Porto S.Stefano (Comune di Monte Argentario) aggiornato con piccole varianti nel novembre 2005. Le simulazioni con modello matematico per la verifica dell'agitazione interna integrano le numerose prove già eseguite nel precedente Piano di ristrutturazione 2001, redatto sempre dal prof.L. Franco per il Comune di Monteargentario, sulle configurazioni attuali e di parziale ampliamento del molo Garibaldi e sono state condotte in completa analogia con quelle (stesse condizioni ondose e stesso modello) ai fini di un utile comparazione.

E' stato impiegato un modello numerico del tipo "agli elementi di contorno" che simula i fenomeni di diffrazione e riflessione ondosa che governano la penetrazione del moto ondoso nel bacino portuale. Per la descrizione del modello matematico VEGA si rimanda all'Appendice allegata a questa relazione. 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 dallo studio meteomarino.

2 Studio della penetrazione del moto ondoso con il modello VEGA

Lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno dello specchio d'acqua portuale, caratterizzato da una profondità media pari a – 10.0 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 del Porto del Valle è stato schematizzato per mezzo di una serie di tratti di “costa” ciascuno contraddistinto da una coppia di numeri rappresentanti i vertici della costa stessa. Ciascun tratto è stato a sua volta suddiviso in elementi di lunghezza compresi tra $1/6$ ed $1/7$ della lunghezza d'onda, assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni fossero introdotte almeno 7 sorgenti per ogni tratto di costa considerato. I nodi del reticolo di calcolo sono pari a 5600.

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 schematizzato.

Nella situazione presa in esame le resistenze offerte dal fondo sono del tutto trascurabili a causa della limitata area di propagazione presa in esame. Simile considerazione può essere fatta per le dissipazioni viscosse 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.

2.3 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 porzione di mare discretizzata con il modello è contraddistinta da fondali esterni pari a -15 m l.m.m. ed è pertanto esclusa la possibilità di frangimento per le onde relativamente piccole che caratterizzano il paraggio.

Sono state considerate le seguenti 4 condizioni caratteristiche (rappresentative di condizioni medie ed estreme di traversia) di incidenza del moto ondoso (direzione di provenienza e periodo significativo):

1. 345°N , $T= 7$ s; (maestrale medio)
2. 345°N , $T= 9$ s; (maestrale estremo)
3. 360°N , $T= 5$ s (tramontana)
4. 030°N , $T= 4$ s (grecale)

Essendo il modello lineare, l'altezza d'onda è 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.

3. Definizione della configurazione geometrica e dei coefficienti di riflessione

Le prove su modello furono inizialmente condotte sulla configurazione planimetrica esistente nel 2001 (con il solo 1° braccio del molo Garibaldi) e su quella in corso di realizzazione nel 2004-5 (con prolungamento del 2° braccio di 150 m dello stesso molo). Di tali simulazioni (estesamente descritte nel citato piano del 2001) si ripropongono solo (figg.1-2) quelle relative alla condizione ondosa prevalente (maestrale) per un utile confronto. I risultati grafici, riportati anche nella tavola 5, evidenziano l'eccessiva agitazione residua nel bacino con la vecchia configurazione (fig.1) ed il notevole miglioramento di tranquillità dello specchio acqueo protetto introdotto dal 2° braccio e dal futuro moletto interno di ponente (fig.2).

Nello sviluppo del PRP 2003 si è definita una nuova geometria più articolata con il prolungamento del 3° braccio del molo Garibaldi e la realizzazione di un nuovo “doppio” molo sottoflutto a levante per la protezione e delimitazione della nuova darsena traghetti affacciata all'avamporto. Sono state pertanto condotte le opportune simulazioni, dapprima sullo schema planimetrico descritto in fig.3 (PRP 2003) e quindi sullo schema di variante formulato nel 2005 (fig.8): in questa seconda configurazione finale il prolungamento del terzo braccio del molo Garibaldi (130 m di lunghezza invece di 100 m) è esteso di circa 40 m rispetto al filo esterno del nuovo molo di sottoflutto (anch'esso allungato di circa 25 m fino a 110 m) e presenta una più lunga testata, per assicurare una maggior protezione dell'avamporto e della darsena traghetti. Nella variante definitiva sono inoltre modificati i coefficienti di riflessione di alcuni contorni portuali (ad es. diviene antiriflettente anche la banchina interna del molo di levante, si considera a scogliera il 2° braccio del molo Garibaldi già realizzato secondo tale tipologia, è trasparente il nuovo pontile centrale radicato al molo del Valle) .

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:

- spiaggia assorbente $R= 0,10$;
- opere a scogliera $R = 0,35$;

- costa rocciosa subverticale $R = 0,50$;
- cassoncini e banchine verticali antiriflettenti $R=0,65$
- pareti di banchina verticali $R=0,90$

Si vuole sottolineare che tali coefficienti di riflessione sono stati desunti in modo prudentiale dalla letteratura in base ad esperienze su modelli fisici e variano in realtà in funzione del periodo d'onda incidente. Inoltre per le pareti inclinate R si riduce al diminuire della pendenza.

4. Risultati delle simulazioni numeriche

I risultati delle 8 elaborazioni numeriche ottenuti per le 2 configurazioni di progetto e le 4 condizioni ondose incidenti, allegati in forma grafica nelle figure 4-5-6-7 e 9-10-11-12, 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, anche se la gradazione cromatica fornisce una chiara e dettagliata illustrazione dello stato di agitazione in tutta l'area portuale.

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. Tale valore assoluto va poi confrontato con i valori ammissibili di confort e sicurezza dell'ormeggio forniti dai manuali tecnici, che indicano un'altezza d'onda significativa limite di 0.30-0.35 m per le imbarcazioni da diporto se investite longitudinalmente dal moto ondoso con tempo di ritorno annuale e di 0.60-0.65 m per l'evento estremo cinquantennale. Tali valori ammissibili risultano quasi raddoppiati nel caso delle navi traghetto e pressochè dimezzate per incidenza trasversale dell'onda.

Si ricorda che lo studio meteomarino ha fornito per l'onda estrema 50ennale di maestrale il valore di 3.4 m con periodo 9 s, mentre l'onda annuale raggiunge i 2 m con periodo di 7 s. Per la tramontana ($360^\circ N$) l'altezza d'onda estrema all'esterno del porto si riduce a 1.5 m, mentre da $30^\circ N$ l'onda corta ($T=4$ s) non supera il valore di 1.2 m. L'onda significativa annuale è pari al 60% circa del valore estremo.

L'attenuazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale avviene prevalentemente per effetto dello schermo diretto del nuovo molo foraneo e dall'assorbimento parziale delle pareti perimetrali. L'agitazione residua è causata principalmente dalla diffrazione intorno alla nuova testata del molo

Garibaldi.

L'esame dei grafici evidenzia, al confronto con i corrispondenti relativi alla situazione attuale ed alla configurazione con il solo prolungamento del 2° braccio del molo Garibaldi (fig.1-2), una notevole attenuazione del moto ondoso nel bacino interno, dovuta principalmente al prolungamento ulteriore del molo foraneo. Inoltre il confronto tra le omologhe simulazioni condotte per i due nuovi schemi progettuali evidenzia che la configurazione finale (fig.8) produce un'ideale attenuazione anche nella zona avamportuale e presso le banchine di ormeggio dei traghetti, soprattutto lungo il nuovo molo di levante in condizioni di grecale.

In particolare con le onde prevalenti di maestrale (cautelativamente dirette da 345°N) si ottiene un coefficiente di agitazione residua inferiore a 0.1 nelle darsene interne destinate al diporto ed alla pesca, mentre con le più brevi onde di tramontana e di grecale si raggiunge in alcuni punti dell'avamposto e lungo la banchina polifunzionale del molo Garibaldi il valore di 0.2-0.3 . Nella darsena traghetti il coefficiente risulta inferiore a 0.2 per le più alte onde di maestrale-tramontana e solo per le piccole onde di greco raggiunge localmente il valore di 0.4.

Con riferimento ai valori assoluti d'altezza d'onda già citati (es. 1.2 m per le onde di grecale) si rileva la totale accettabilità del moto ondoso residuo.

Si osserva infine che l'ampiezza delle darsene e l'irregolarità del perimetro interno bagnato sembrano scongiurare fenomeni di risonanza di onde di lungo periodo (sia diffratte dal molo foraneo, sia riflesse dalla vicina spiaggia della Giannella) fastidiosi per la stabilità delle imbarcazioni all'ormeggio.

4. Conclusioni

La configurazione portuale di piano regolatore presenta adeguate caratteristiche di sicurezza in relazione alla stabilità delle imbarcazioni all'ormeggio. La verifica dell'agitazione ondosa interna con modello matematico, in condizioni conservative, ha dimostrato che la risacca interna, attualmente eccessiva rispetto agli standard, si riduce parzialmente con il solo prolungamento di circa 100 m del 2° braccio del molo Garibaldi, mentre si mantiene ampiamente entro i limiti ammissibili nello schema finale di piano proposto in tutte le zone destinate agli ormeggi, sia per diporto che per navi passeggeri. E' stata ottimizzata l'estensione del prolungamento della diga foranea (terzo braccio da 130 m) in modo da assicurare idonee condizioni di agitazione residua nell'avamporto e nella darsena traghetti. La configurazione finale di PRP prevede un aggetto della nuova testata del molo Garibaldi di circa 40 m rispetto all'ideale prolungamento del filo esterno del nuovo molo sottoflutto, assicurando così una sufficiente attenuazione del moto ondoso anche nella nuova darsena per i traghetti e lungo la banchina all'interno dei nuovi tronchi del molo Garibaldi.

Nelle darsene interne destinate al naviglio minore lo specchio acqueo presenta condizioni di tranquillità quasi assoluta, anche per ondate dirette da NNE, sia per la protezione addizionale dei nuovi moli interni di ponente e levante, sia per l'adozione delle nuove banchine antiriflettenti.

Riconoscimenti

Le simulazioni della penetrazione ondosa nel porto sono state eseguite dall'ing. Davide Saltari (MODIMAR, Roma) con la supervisione del prof. Leopoldo Franco.

ALLEGATO

MODELLO MATEMATICO DI AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEI PORTI 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

∇^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 e 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:

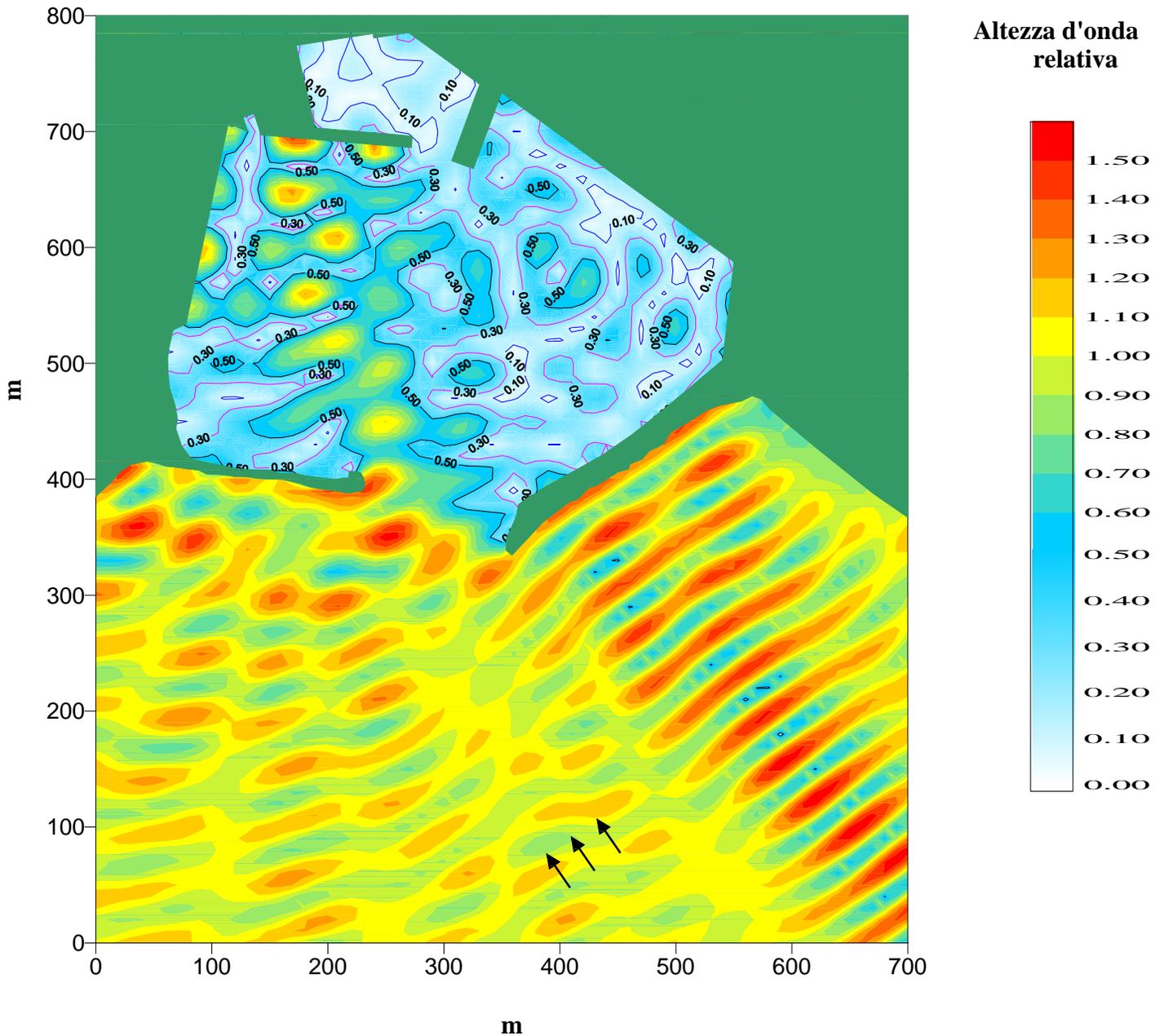
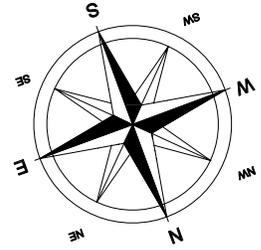
altezza d'onda, potenziale delle velocità e fase nei punti richiesti.

I risultati ottenuti possono essere restituiti sia sotto forma numerica che grafica.

Monte Argentario: Porto S. Stefano

Porto del Valle - Situazione attuale (ante 2003)

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Figura 1

Periodo $T = 9,0$ s

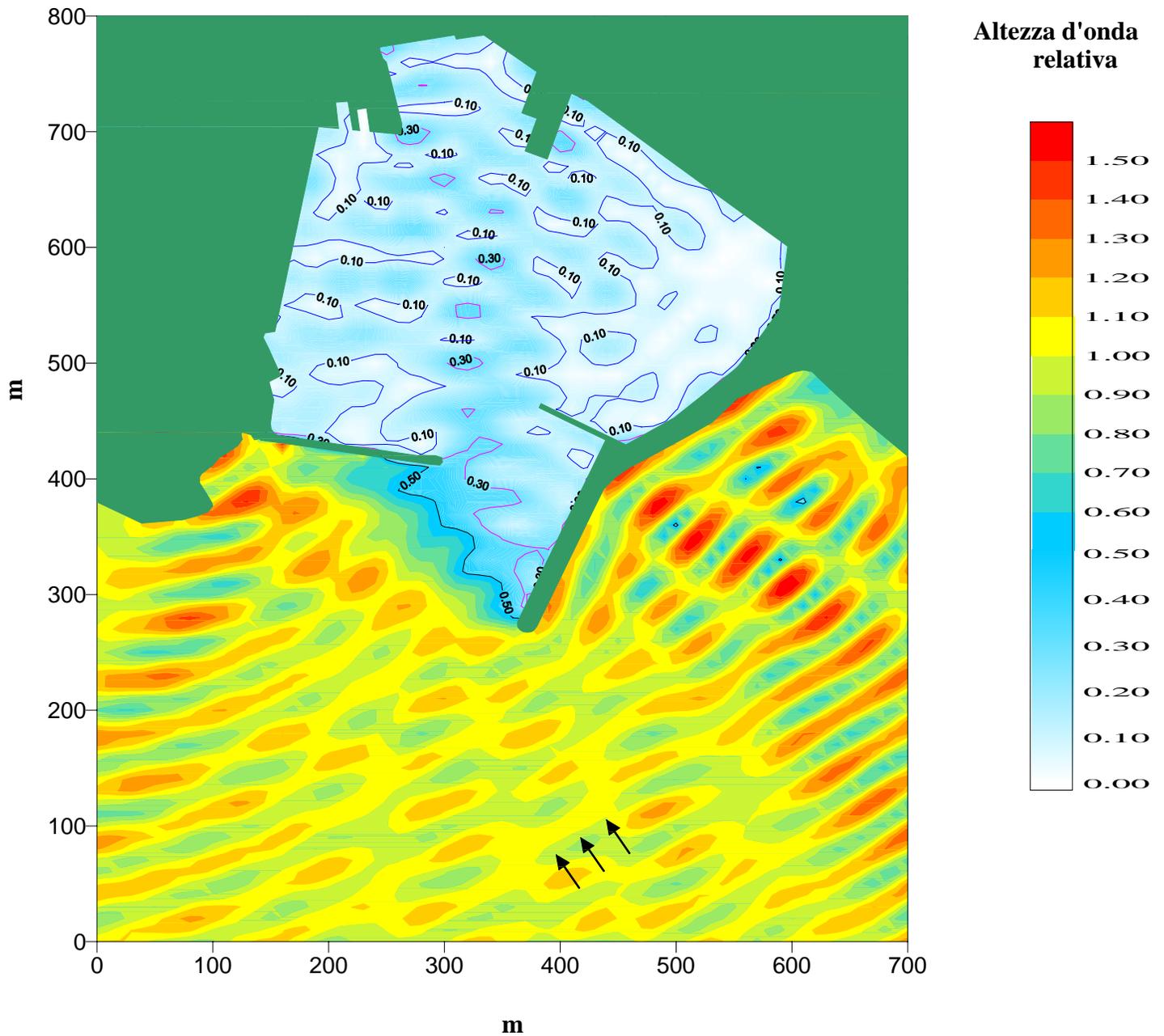
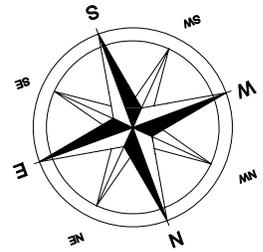
Direzione Dir = 345° N

File = At_D2_T3.SRF

Monte Argentario: Porto S. Stefano

Porto del Valle - Soluzione A (intermedia)

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



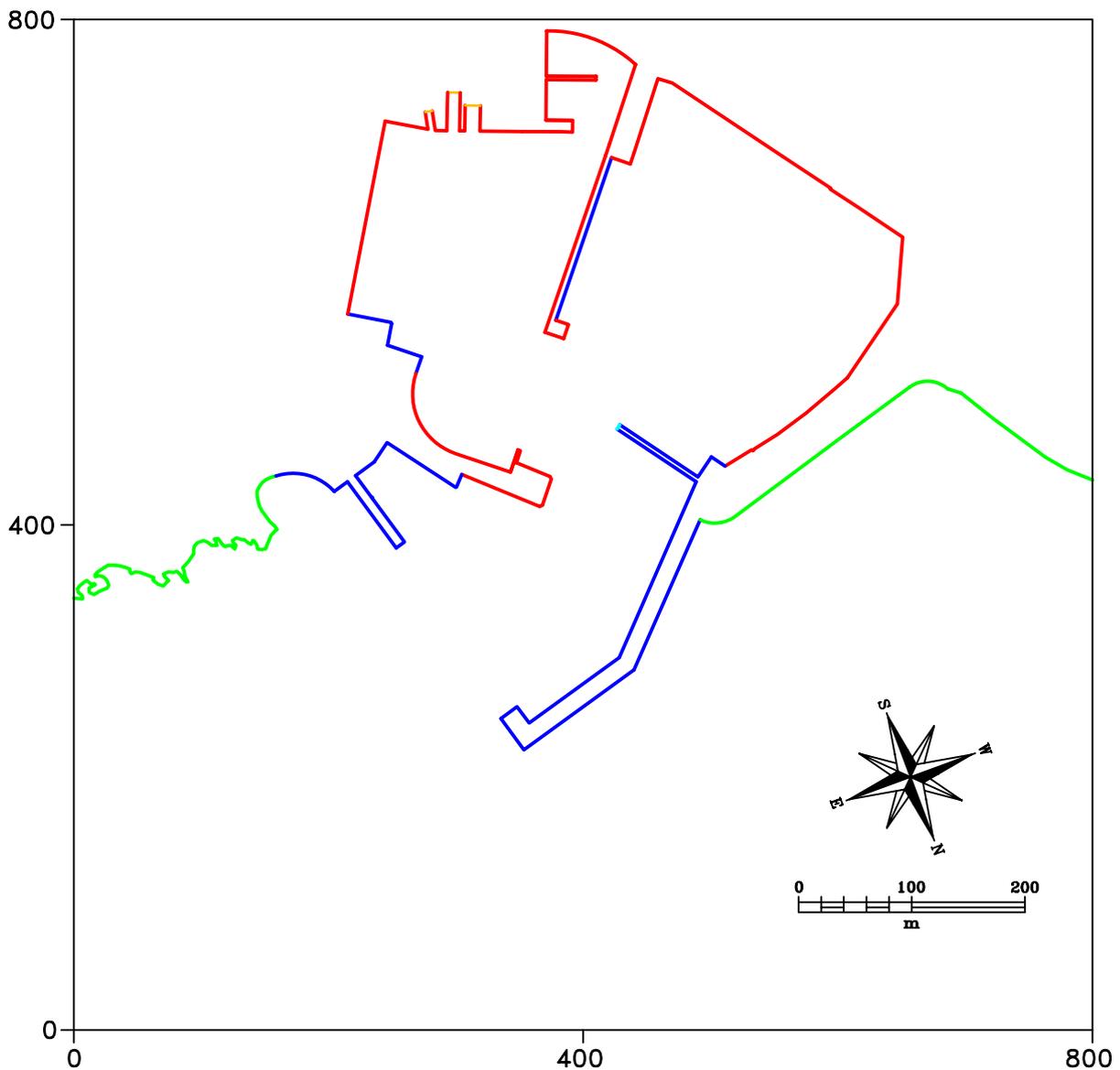
Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Figura 2

Periodo $T = 9,0$ s

Direzione Dir = 345° N

File = SsAD2_T3.SRF



Configurazione portuale simulata con
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 10 m

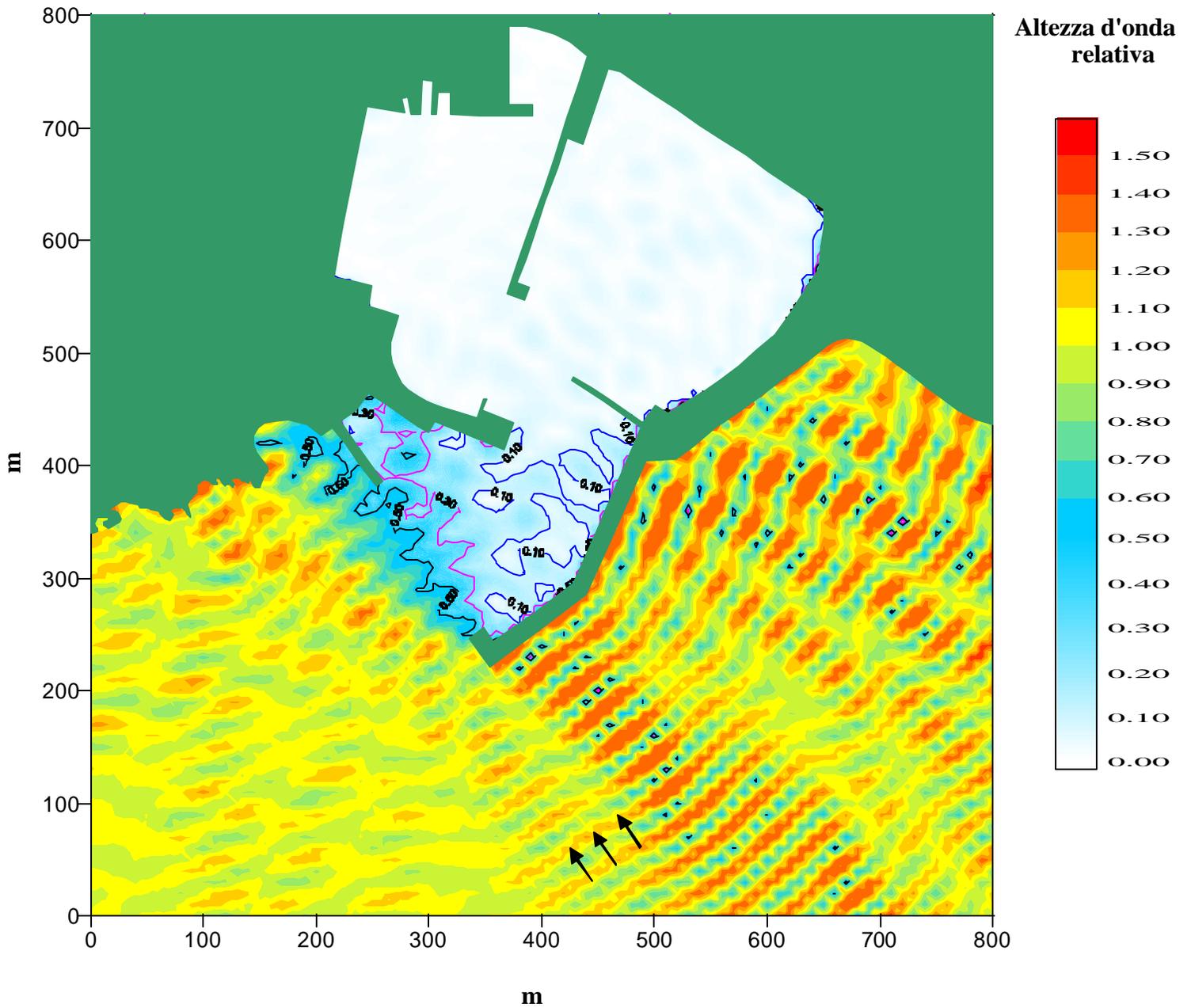
Coefficienti di riflessione

	R=0.90
	R=0.65
	R=0.35
	R=0.10

Comune di Monte Argentario: Porto S. Stefano

Porto del Valle - Piano Regolatore Portuale 2003

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Via Monte Zedio 40
00185 ROMA

Figura 4

Periodo $T = 7,0$ s

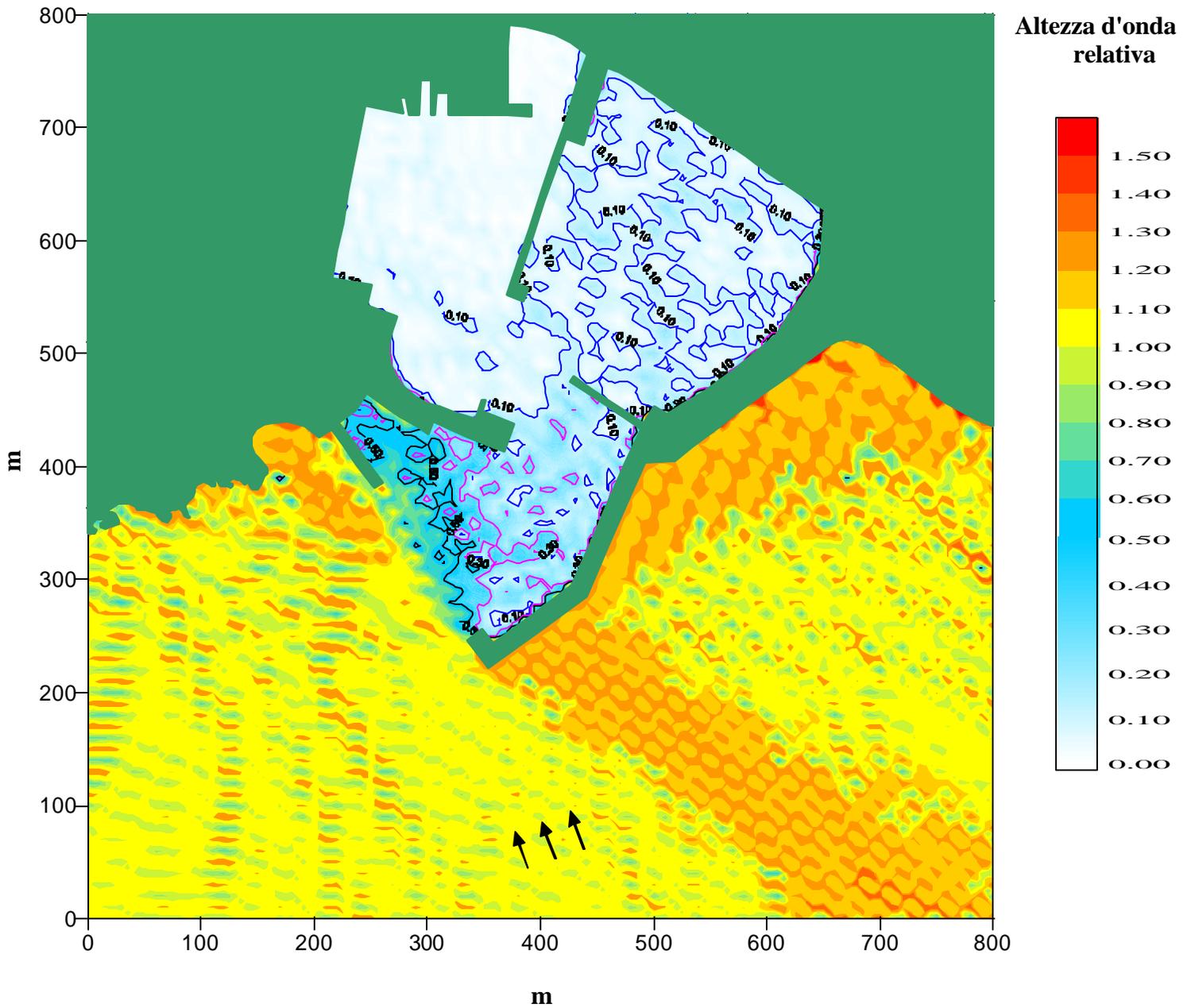
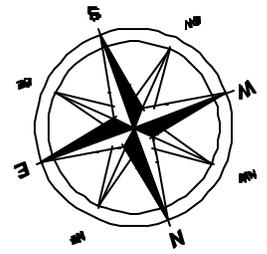
Direzione Dir = 345° N

File = PRP_D345_T7.SRF

Comune di Monte Argentario: Porto S. Stefano

Porto del Valle - Piano Regolatore Portuale 2003

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Via Monte Zedio 40
00185 ROMA

Figura 6

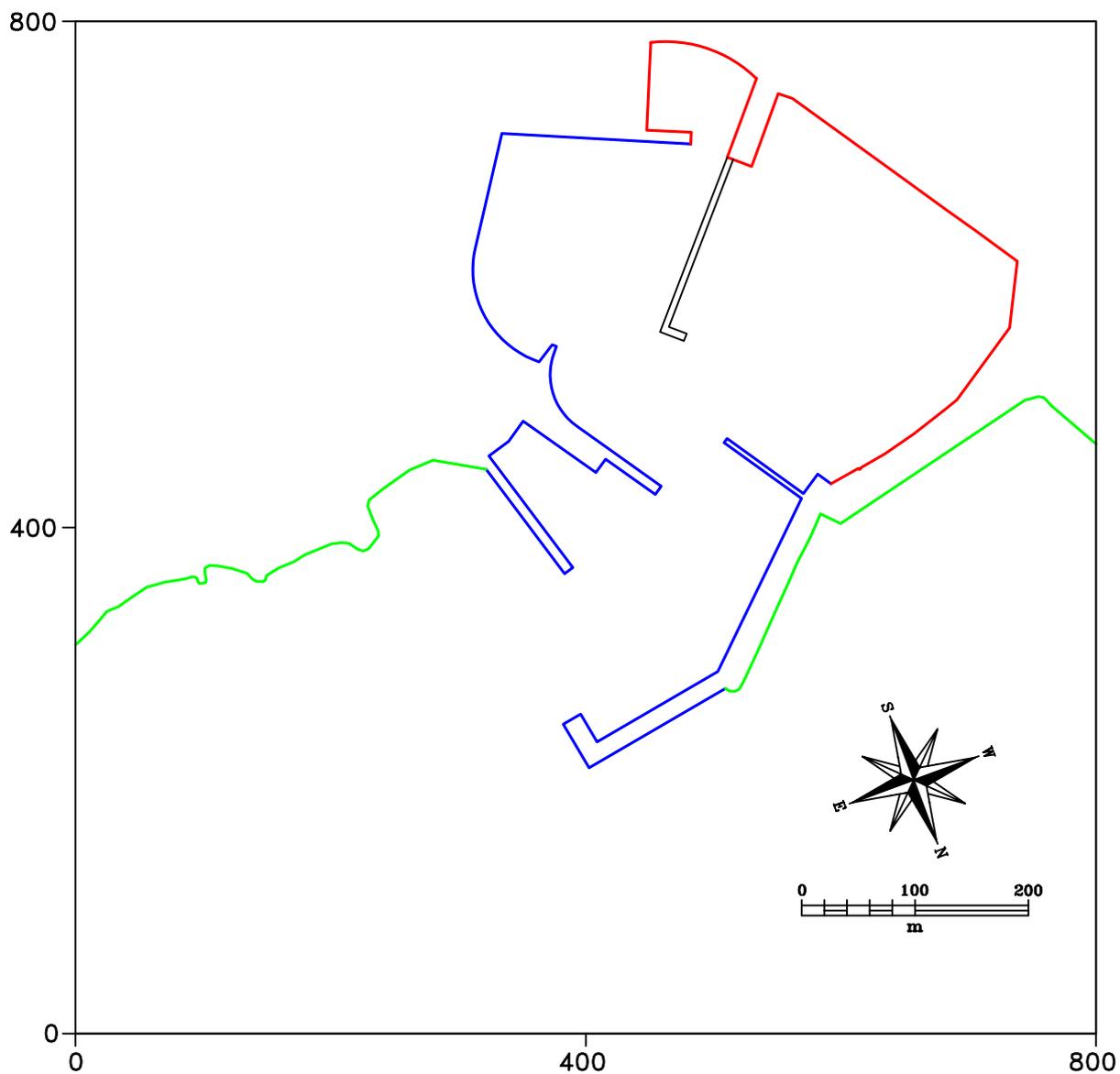
Periodo $T = 5,0$ s

Direzione Dir = 360° N

File = PRP_D360_T5.SRF

Comune di Monteargentario : P.R.P. del Porto del Valle

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 10 m

Coefficienti di riflessione

	R=0.90
	R=0.65
	R=0.35
	R=0.00

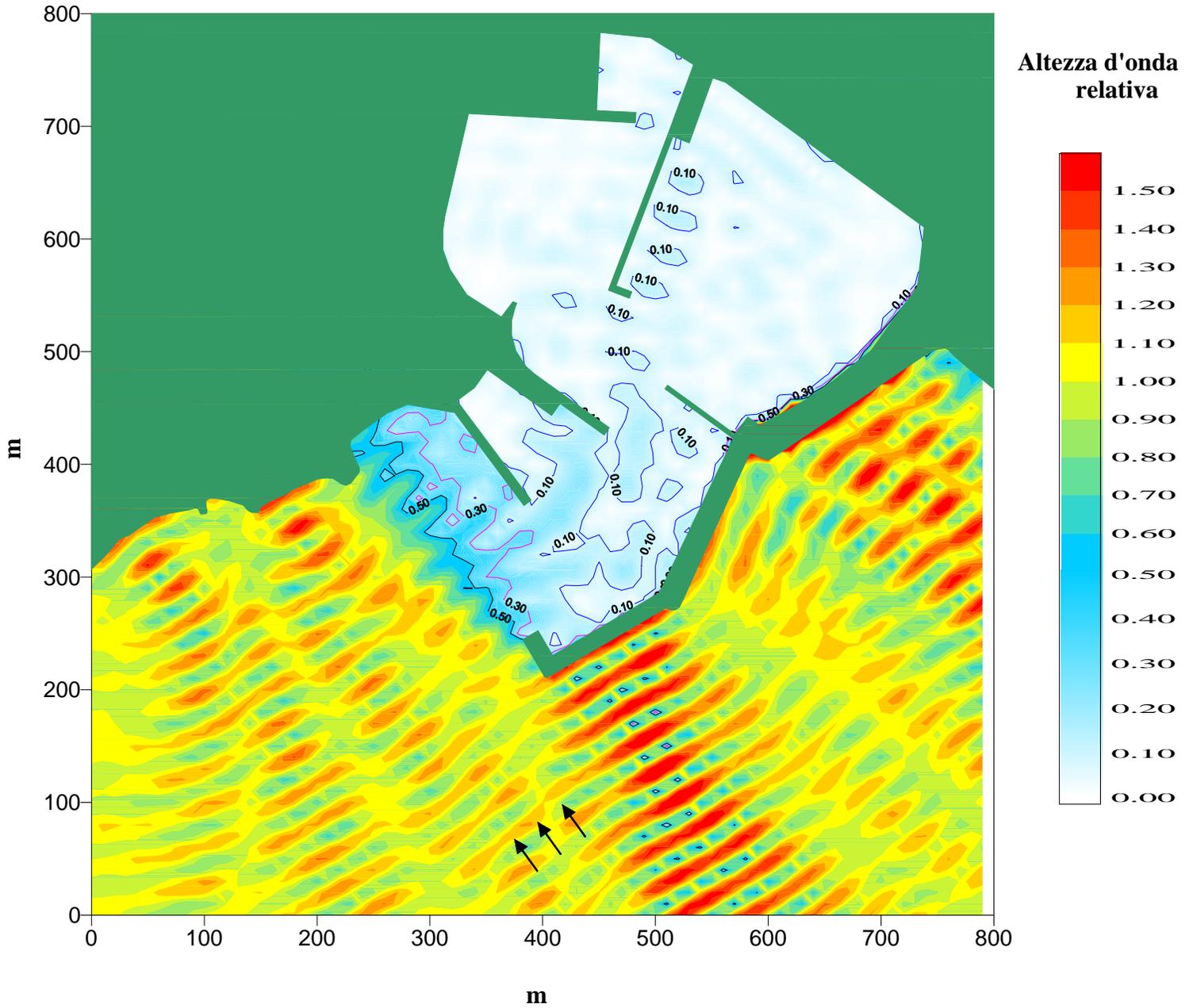
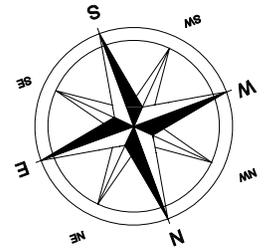
MODIM
Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Figura 8 - VARIANTE ULTIMA (2005)

Monte Argentario: Porto S. Stefano

Porto del Valle - Piano Regolatore Portuale (Variante 2005)

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Figura 9

Periodo $T = 7,0$ s

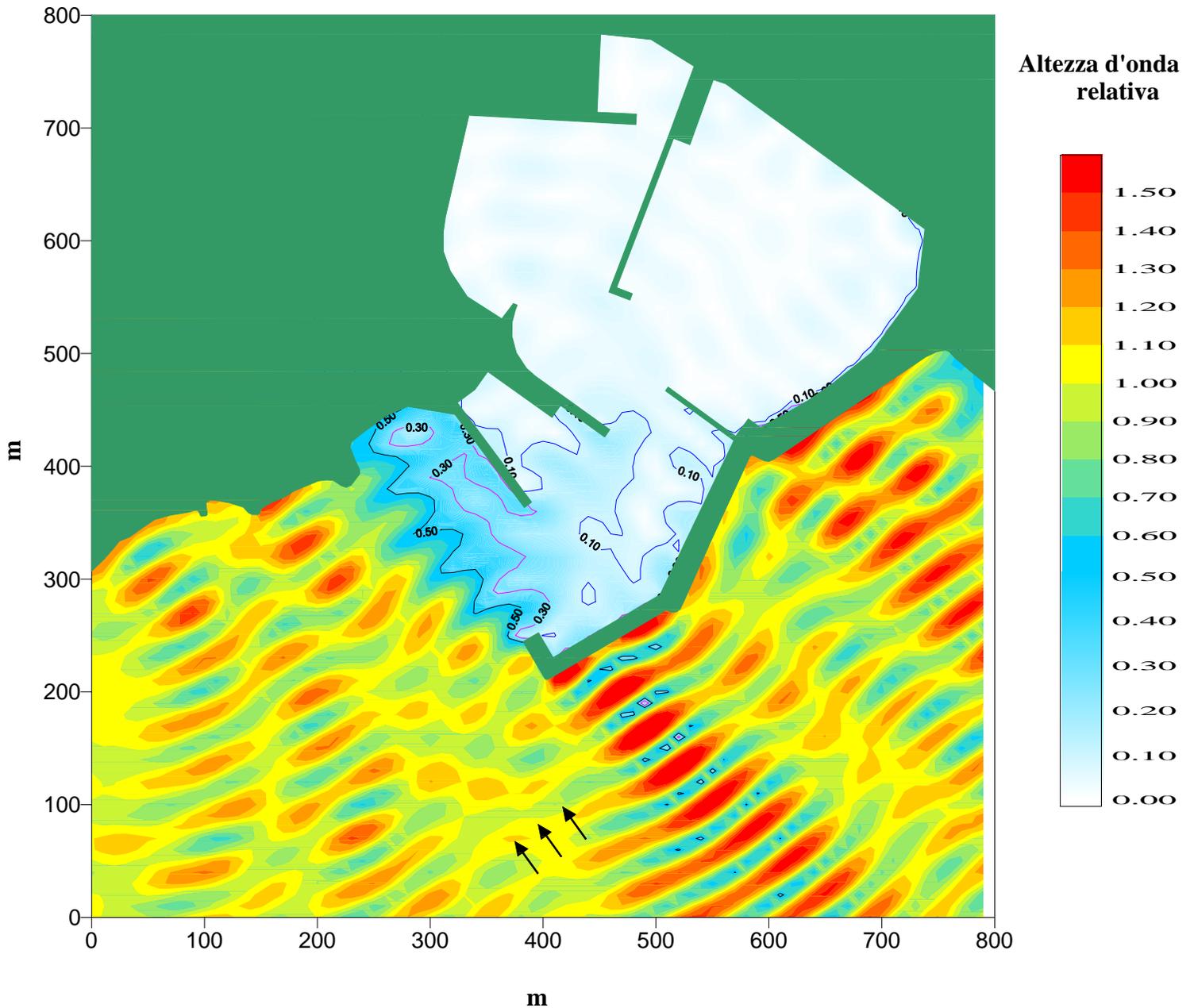
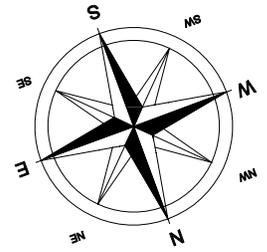
Direzione Dir = 345° N

File = PRP VAR2005_D345_T7.SRF

Monte Argentario: Porto S. Stefano

Porto del Valle - Piano Regolatore Portuale (Variante 2005)

Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Figura 10

Periodo $T = 9,0$ s

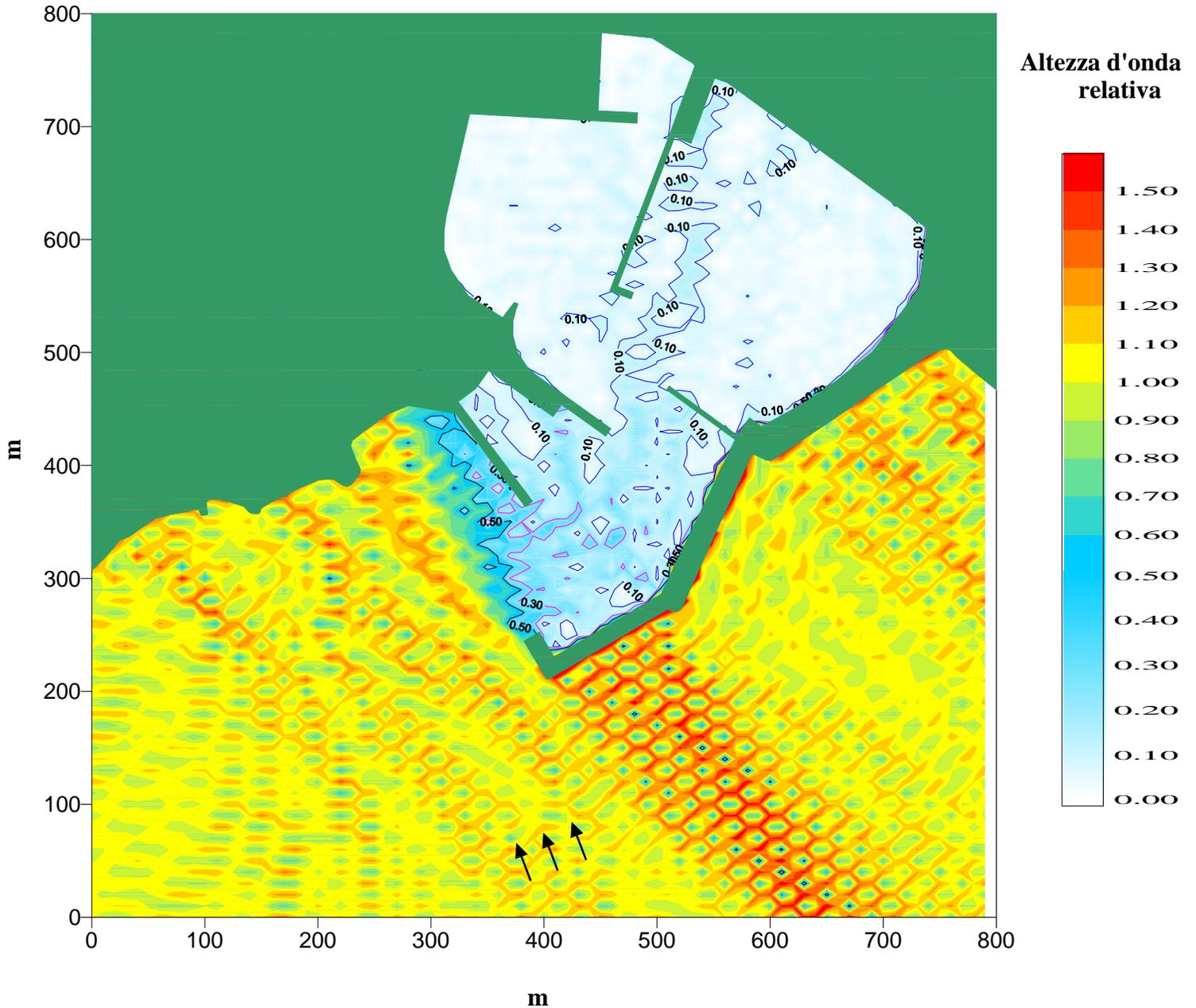
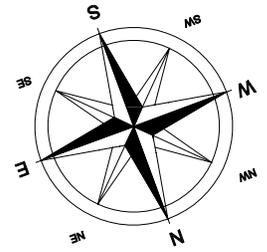
Direzione Dir = 345° N

File = PRP VAR2005_D345_T9.SRF

Monte Argentario: Porto S. Stefano

Porto del Valle - Piano Regolatore Portuale (Variante 2005)

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Figura 11

Periodo $T = 5,0$ s

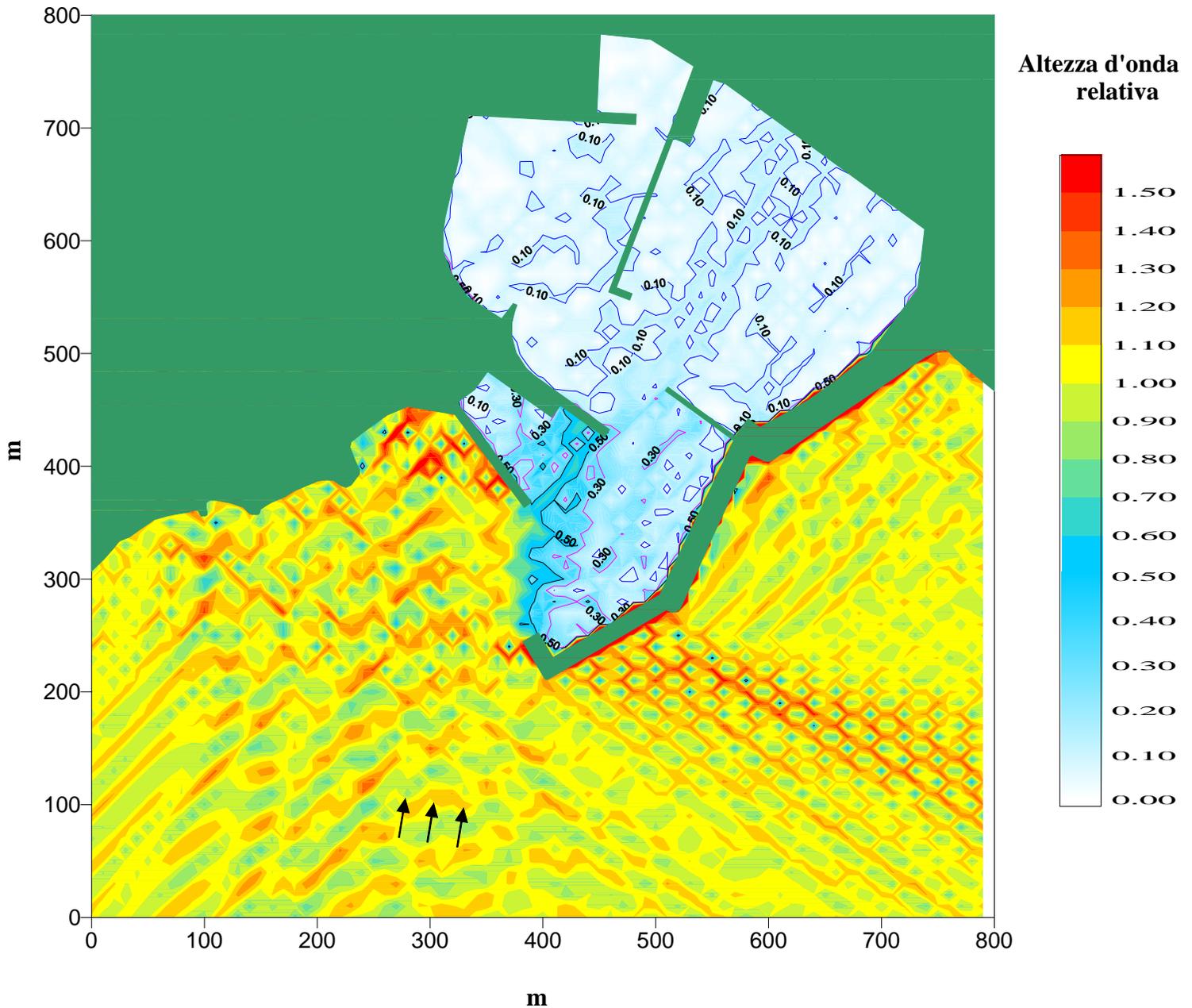
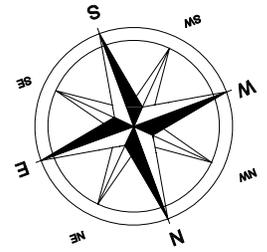
Direzione Dir = 360° N

File = PRP VAR2005_D360_T5.SRF

Monte Argentario: Porto S. Stefano

Porto del Valle - Piano Regolatore Portuale (Variante 2005)

Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Via Monte Zebio 40
00195 ROMA

Figura 12

Periodo $T = 4,0$ s

Direzione Dir = 30° N

File = PRP VAR2005_D30_T4.SRF