

REGIONE CAMPANIA  
PROVINCIA di SALERNO



UNIONE DEI COMUNI VELINI  
COMUNE DI CASAL VELINO

MESSA IN SICUREZZA ED ADEGUAMENTO  
INFRASTRUTTURALE  
DEL PORTO DI MARINA DI CASAL VELINO  
I° LOTTO - STRALCIO FUNZIONALE  
CIG : 7400806A4E - CUP : B79F17000080009

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

STUDIO DELL'AGITAZIONE RESIDUA PORTUALE

1 8 0 0 2 P D R 0 6 - 1 M A R

Committente:  
Comune di Casal Velino

Area Tecnica  
Ufficio Urbanistica, Lavori  
Pubblici, Pianificazione

Responsabile del Procedimento  
Arch. Angelo GREGORIO

Progettazione:  
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO

Capogruppo:

  
Via Monte Zebio 40 00195 ROMA

Mandanti:

Dott. Ing. Luigi RISPOLI  
Dott. Ing. Eugenio LOMBARDI  
Dott. Ing. Davide VASSALLO  
Dott. Geol. Michele CAMMAROTA  
POIESIS S.r.l. - Servizi per i Beni Culturali

Gruppo di lavoro:

Dott. Ing. Paolo CONTINI  
Dott. Ing. Davide SALTARI  
Dott. Ing. Marco DEL BIANCO  
Geom. Renzo PAREGGIANI

Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:
Dicembre 2019	1	Adeguamento a seguito parere SABAP SA-AV ed Ente PARCO	SALTARI	SALTARI	CONTINI
Dicembre 2018	0	EMISSIONE	SALTARI	SALTARI	CONTINI

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

# COMUNE DI CASAL VELINO

## INTERVENTI DI “MESSA IN SICUREZZA E ADEGUAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL PORTO DI MARINA DI CASAL VELINO” 1° LOTTO STRALCIO FUNZIONALE

### PROGETTO DEFINITIVO

#### STUDIO DELL'AGITAZIONE RESIDUA PORTUALE

**Committente:**

Comune di Casal Velino  
P. zza XXIII Luglio n° 6  
84040 – Casal Velino (SA)

**Progettisti:**

MODIMAR S.r.l.  
Ing. Luigi Rispoli  
Ing. Eugenio Lombardi  
Ing. Davide Vassallo  
Dott. Geol. Michele Cammarota  
Soc. POIESIS

## INDICE

1.	<b>PREMESSE</b> .....	3
2.	<b>STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI CON IL MODELLO VEGA</b> .....	5
3.	<b>DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI D'ONDA DI INPUT</b> .....	6
4.	<b>DEFINIZIONE DELLA CONFIGURAZIONE GEOMETRICA DI PROGETTO E DEI COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE ASSEGNATI</b> .....	7
5.	<b>DEFINIZIONE DI POSSIBILI SOLUZIONI ALTERNATIVE A QUELLA DI PROGETTO</b> .....	8
6.	<b>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE</b> .....	10
7.	<b>ANALISI DEI RISULTATI</b> .....	10
8.	<b>CONCLUSIONI</b> .....	12

**APPENDICE I:** MODELLO MATEMATICO DI AGITAZIONE ONDOSI ALL'INTERNO DEI PORTI - DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO **VEGA**

**APPENDICE II:** RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI VERIFICA DELL'OSCILLAZIONE RESIDUA ALL'INTERNO DEL PORTO (FIGURE 1- 27)

## 1. Premesse

Nel presente studio vengono presentati i risultati delle simulazioni effettuate per verificare l'agibilità degli specchi acquei portuali interni del porto di Marina di Casal Velino sia nella proposta nella configurazione di progetto sia nella situazione attuale. Le simulazioni eseguite hanno la finalità di individuare i livelli di oscillazione residua dello specchio acqueo portuale nella situazione attuale (assimilabile alla tipologia di "porto a bacino") nonché nella configurazione di progetto del porto (che trasformerà l'infrastruttura portuale in una tipologia di porto "a moli convergenti").

Il presente studio rientra nelle attività specialistiche relative alla verifica dell'*agibilità portuale* che riguarda due specifici aspetti legati alla funzionalità nautica dell'infrastruttura, ovvero al grado di sicurezza offerto dal porto sia nei riguardi delle manovre delle imbarcazioni in navigazione di ingresso / uscita dal bacino portuale (oggetto della specifica relazione inerente la navigabilità e operatività portuali) sia della stabilità nello stazionamento all'ormeggio, in presenza dei differenti stati di mare che possono verificarsi all'esterno nel paraggio costiero considerato.

Per la verifica della *navigabilità* si rimanda alla specifica relazione in cui è stato effettuato il dimensionamento e verifica dei canali di accesso e delle aree di evoluzione in funzione della tipologia di imbarcazioni che frequentano il porto (ovvero dell'imbarcazione di massima lunghezza ospitata nel porto), individuando le possibili rotte di entrata ed uscita e le connesse problematiche relative alle locali condizioni meteo marine.

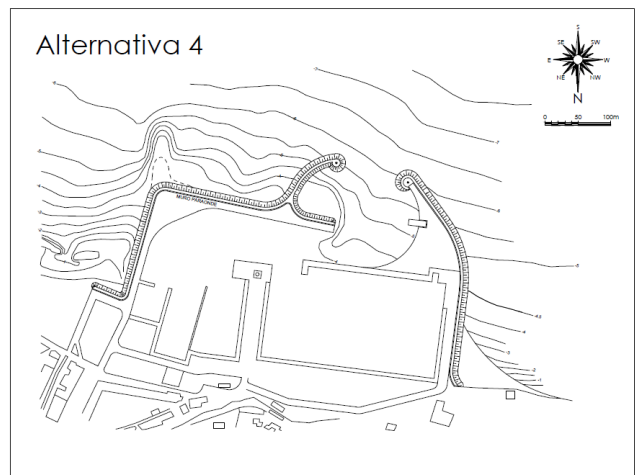
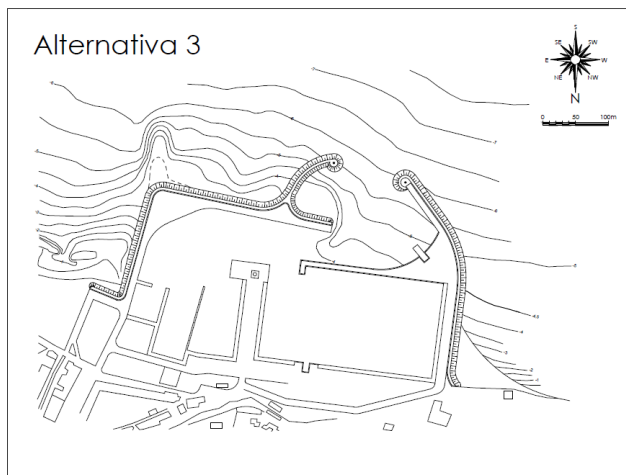
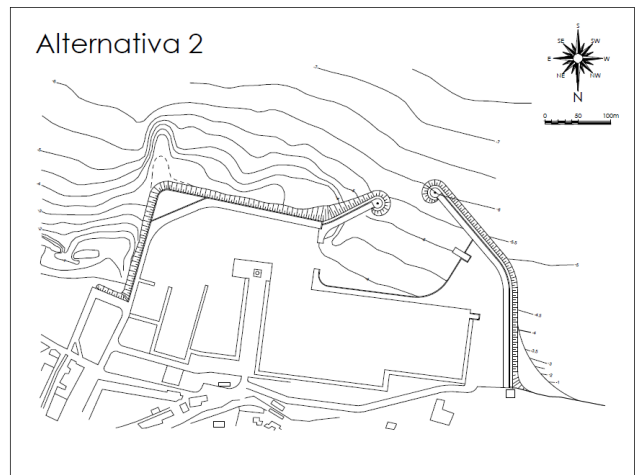
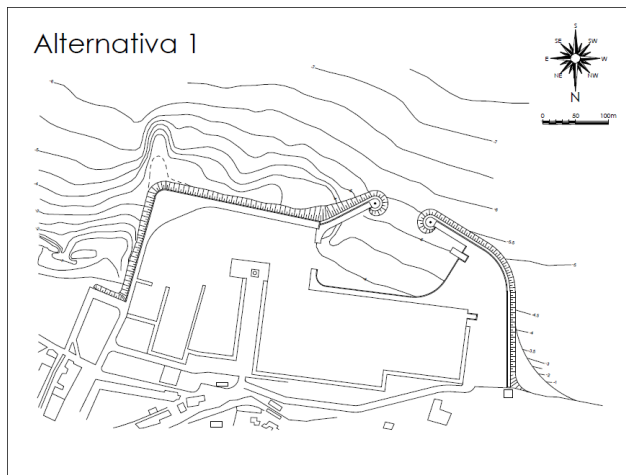
Nella presente relazione vengono invece studiati i livelli di *oscillazione residua* dei due layout portuali, con particolare riferimento alle modifiche introdotte alla configurazione di progetto che ha implicato la creazione di una nuova darsena e di un ampio avamposto, calcolando con opportuno modello matematico il grado di agitazione ondosa nelle aree interne della nuova infrastruttura portuale. Per la determinazione delle condizioni di agitazione residua all'interno del bacino portuale è stato impiegato un modello numerico del tipo "agli elementi di contorno" che simula la penetrazione del moto ondoso nello specchio acqueo portuale. Per la descrizione del modello matematico VEGA si rimanda all'Appendice allegata a presente relazione.

E' stata studiata l'agitazione ondosa per la nuova configurazione portuale proposta nel progetto definitivo, confrontandola con quella esistente, utilizzando il suddetto modello VEGA 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, con assunzione di fondali costanti all'interno delle darsene portuali simulate.

Con il modello VEGA sono state simulate una serie di direzioni d'onda e periodi ritenuti significativi per le condizioni di esposizione meteo-marina del paraggio in esame, desunte dall'aggiornamento dello studio meteo-marino eseguito nella presente fase di progettazione definitiva.

In seguito alla consegna del Progetto Definitivo (Rev. 0 – Prima Emissione del Dicembre 2018), l'Amministrazione comunale ha deciso di interpellare, per l'espressione di un preliminare parere sulla proposta progettuale, l'Ente Parco del Cilento, Vallo di Diano e Alburni e la Sovrintendenza Archeologica Belle Arti e Paesaggio delle province di Salerno e Avellino. I suddetti Enti, sono stati consultati per ciò che attiene agli aspetti paesaggistici

e ambientali e richiesta l'emissione di un preliminare parere di congruità con i piani ed i vincoli insistenti sull'area oggetto di intervento. In seguito alla trasmissione degli elaborati del Progetto Definitivo (Rev. 0) e all'esame degli stessi hanno emesso i relativi pareri inserendo, alcune richieste di chiarimenti ed integrazioni, tra cui la necessità di individuare delle soluzioni plano-altimetriche alternative delle opere di difesa dal moto ondoso adottate. A tal riguardo si deve evidenziare che, già nella redazione dello Studio di Fattibilità 2007 per l'ampliamento del porto, elaborato da alcuni dei componenti del presente RTP, erano state effettuate alcune ipotesi alternative per poter definire il layout che rispondesse meglio a tutte le esigenze richieste e manifestate dall'Amministrazione comunale committente di Casal Velino. Si riporta di seguito uno stralcio delle alternative studiate in cui si può osservare che la scelta della soluzione di progetto era stata già ampiamente e approfonditamente valutata:



Poiché nel parere espresso dalla Soprintendenza (nota prot. 12069 del 23.05.2019) è stato richiesto di analizzare e valutare alcune ipotesi di variante alla configurazione di progetto individuata nella prima stesura del presente Progetto Definitivo (emesso in Rev. 0), l'RTP ha provveduto ad individuare altre tre possibili configurazioni alternative tali da rispecchiare i suggerimenti espressi nel parere che richiedevano di valutare lo spostamento del punto di radicamento a terra della nuova diga di ponente.

Le ipotesi alternative, meglio descritte nei paragrafi finali della presente relazione, sono state denominate Soluzione A, B e C e successivamente studiate utilizzando la stessa modellistica matematica applicata per la situazione attuale e la configurazione di progetto scelta nella prima stesura. I risultati di tutte le simulazioni condotte sono illustrate in un

successivo e specifico paragrafo, mentre nelle conclusioni vengono individuati pregi e difetti dei layout investigati a seguito delle ulteriori verifiche di approfondimento eseguite per l'emissione del presente progetto in Rev. 1.

## **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 di Marina di Casal Velino, caratterizzato da una profondità media di circa  $h = -4,0$  m è stato effettuato con l'ausilio del modello VEGA.

L'assunzione di una profondità pari a  $-4,0$  m scaturisce dal fatto che essendo l'intero bacino portuale contraddistinto da fondali variabili fino a circa  $-6,0$  m s.l.m. (in corrispondenza della futura area avamportuale) ed essendo la maggioranza del contorno bagnato interno caratterizzato da banchine di accosto aventi profondità di imbascamento variabili tra  $-2,50 \div -3,50$  m, con alcuni limitati tratti aventi profondità praticamente nulla (spiagge e costa rocciosa), si è deciso di assumere come profondità media quella media più rappresentativa dei fondali che caratterizzano gli specchi acquei. Tale assunzione non influenza sensibilmente il calcolo dei valori dell'altezza d'onda relativa in quanto la determinazione del coefficiente di agitazione viene eseguito in funzione del valore unitario dell'onda incidente.

Il modello VEGA 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 dei tre porti è stato schematizzato per mezzo di una serie di "segmenti" ciascuno contraddistinto da una coppia di numeri rappresentanti i vertici della contorno stesso. Ciascun segmento è caratterizzato da una spezzata con tratti di lunghezza compresi tra  $1/6$  ed  $1/7$  della lunghezza d'onda rispettivamente per i periodi simulati assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni fossero introdotte almeno 5 sorgenti per ogni elemento considerato. Il nodi del reticolo di calcolo è di circa 17.000, essendo le dimensioni del dominio di calcolo di  $700$  m x  $600$  m ed avendo discretizzato il reticolo con un intervallo spaziale  $\Delta x = \Delta y = 5,0$  m.

In corrispondenza della retta  $Y = 0$  m dei domini 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.

Nelle simulazioni eseguite le resistenze offerte dal fondo sono trascurabili a causa della limitata area di propagazione presa in esame. Simile considerazione può essere fatta per le dissipazioni viscosive interne al fluido che generalmente risultano trascurabili rispetto agli altri fenomeni in gioco; è comunque importante sottolineare che trascurando tali 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 stato necessario ricorrere ai risultati dello studio del regime ondoso al largo e del "trasferimento" in prossimità dell'imboccatura per le aree discretizzate con il modello. Per la determinazione dei parametri sopra citati si rimanda all'aggiornamento dello studio meteo-marino in cui sono state definite le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza dell'imboccatura portuale mediante l'utilizzo del modello MEROPE, determinando la correlazione tra gli eventi di moto ondoso a largo e quelli corrispondenti nelle aree antistanti le nuove opere di progetto.

La fascia costiera presa in esame è contraddistinta da fondali sabbiosi e la porzione di mare discretizzata con il modello è contraddistinta da fondali esterni collocati poco al di fuori dell'imboccatura compresi tra i - 6,0 ed i -10,0 m s.l.m.

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso, si è fatto riferimento ai risultati ottenuti dal trasferimento a riva del moto ondoso (punto C<sub>3</sub>) e riportati nel citato studio meteo-marino.

Più in dettaglio le forzanti utilizzate nelle simulazioni possono riassumersi come segue:

- le onde caratterizzate da altezze d'onda più contenute che si propagano dal largo verso il porto di Marina di Casal Velino, ove sono ubicate le strutture portuali oggetto di intervento, appartengono al settore di traversia secondaria (scirocco – libeccio), ovvero all'interno del settore di traversia compreso tra 150 e 210 °N. In particolare sono state investigate due direzioni (160, e 180 °N) e due periodi d'onda ritenuti più rappresentativi (T = 6 e 9 s) per l'infrastruttura esaminata;
- gli stati di mare più gravosi utilizzati per le simulazioni appartengono al settore di traversia principale, ovvero al settore di libeccio - maestrale individuato fra le direzioni 210 e 300°N. All'interno di tale settore sono state investigate due direzioni (220 e 250 °N) e tre periodi d'onda ritenuti più rappresentativi (T = 6, 9 e 12 s) per il settore in esame.

Da quanto sopra riportato è facile desumere che gli stati di mare assunti per lo studio della penetrazione del moto ondoso rappresentano condizioni di operatività ordinaria e perciò raggiungibili frequentemente (T = 6 s) associate a tempi di ritorno annuali, sia condizioni meno frequenti e maggiormente gravose (T = 9 e 12 s) associate a tempi di ritorno più elevati (T<sub>r</sub> = 20 ÷ 50 anni). Per ulteriori approfondimenti si rimanda all'aggiornamento dello studio meteo-marino allegato al progetto definitivo.

La scelta di utilizzare anche un periodo più elevato 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. Essendo il modello lineare, l'altezza d'onda viene assunta unitaria ed i risultati, espressi come coefficienti moltiplicatori dell'altezza, possono essere poi associati agli effettivi valori dell'altezza significativa che si presentano all'imboccatura con gli assegnati tempi di ritorno.

Pertanto, le condizioni di moto ondoso incidente prese in esame e definite nell'ambito dello studio di propagazione del moto ondoso dello studio meteo-marino si possono riassumere come segue:

<b>PORTO DI MARINA DI CASAL VELINO</b>
--

Direzione (°N)	Periodo T (s)
160 e 180 °N	6
	9
220 e 250 °N	6
	9
	12

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

Le prove su modello matematico sono state condotte sia per la geometria portuale attuale sia sullo schema planimetrico proposto nel presente progetto definitivo caratterizzato dalla creazione di una nuova darsena (mediante la diga foranea di ponente), di un pennello interno radicato a circa metà percorso della diga di ponente e di un avamposto delimitato da una seconda diga foranea detta di levante (radicata sull'esistente molo di sopraflutto). Le configurazioni simulate sono riportate rispettivamente nelle figure 1 e 2. Si riporta di seguito una sintesi delle configurazioni adottate:

- **SITUAZIONE ATTUALE** (figura 1): la geometria utilizzata corrisponde alla disposizione delle banchine e delle scogliere e dei tratti di costa naturali che delimitano all'interno ed all'esterno l'esistente bacino portuale;
- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO** (figura 2): la futura geometria portuale presenta una modifica delle opere di difesa foranee di sopraflutto e la creazione di un nuovo molo foraneo con sviluppo inizialmente rettilinea e poi curvo, convergente verso l'altra e sopra citata diga foranea di levante. Le modifiche introdotte permetteranno di spostare l'imboccatura su fondali più elevati (portandola dagli attuali -2,0 m ai futuri -6,0 m sul l.m.m.) e di poter usufruire di un ampio avamposto nell'area immediatamente retrostante l'imboccatura portuale in cui poter svolgere agevoli manovre di evoluzione e correzione della rotta di accesso. Gli interventi della soluzione di progetto prevedono anche la realizzazione di un pennello interno, radicato a circa metà della diga di ponente, avente la funzione di delimitazione dell'avamposto dalla retrostante darsena di ponente. La realizzazione delle opere appena indicate è finalizzata al miglioramento funzionale del porto nei confronti dell'insabbiamento ed inalgamento (da parte di posidonia morta) con la creazione di due specchi acquei di cui uno, quello esistente, particolarmente ben ridossato.

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:

- pareti verticali riflettenti  $R=0,90$ ;
- opere a scogliera (naturale e artificiale)  $R = 0,35$ ;
- spiagge  $R = 0,10$ .



Si vuole sottolineare che tali coefficienti di riflessione sono stati mantenuti costanti approssimandoli prudenzialmente in eccesso (ad es. per le scogliere è stato assunto un valore costante pari a 0,35 pur considerando che le scogliere in massi naturali assumono porosità di circa  $35 \div 37\%$ ). Essi sono stati desunti dalla letteratura in base ad esperienze su modelli fisici e variano in realtà in funzione del periodo d'onda incidente.

A tal proposito si ricorda che per le pareti inclinate a scogliera il coefficiente di riflessione è funzione del numero di Iribarren I, ossia della pendenza della scarpata e della ripidità dell'onda  $I = \text{tg}(\alpha)/(H/L)^{0.5}$ :

$$C_r = \text{tgh}(a \times I^b)$$

dove  $a = 0,12$  e  $b = 0,87$

### **5. Definizione e descrizione delle possibili soluzioni alternative a quella di progetto definitiva adottata**

Le prove su modello matematico sono state integrate, a seguito di specifica richiesta di integrazione da parte degli Enti interpellati, inizialmente con lo studio di due alternative (denominate **Soluzione A e B**) in cui si è provato a variare l'assetto planimetrico della nuova diga foranea di ponente prevista dal progetto definitivo.

Tali configurazioni prevedono un diverso tracciamento della suddetta diga foranea con spostamento del radicamento a terra in corrispondenza:

- della radice dell'attuale molo di sottoflutto (Soluzione A);
- del punto mediano dell'esistente molo di sottoflutto (Soluzione B).

Completa la modifica delle opere di progetto definitivo l'accorciamento dell'esistente tratto di testata del molo di sopraflutto, al fine di ottenere un bacino di evoluzione di ampiezza simile alla precedente configurazione di progetto e di mantenere elevati standard di sicurezza della navigazione. La Soluzione A ha subito evidenziato delle problematiche conseguenti alla posizione del punto di collegamento a terra della nuova diga di ponente ubicata in prossimità dell'esistente radicamento del molo di sottoflutto. Ciò implicava l'occupazione di una porzione di spiaggia (quasi la metà) che la Sovrintendenza nell'espressione del parere ha indicato come luogo di particolare pregio ed ha richiesto di valutare una sua esclusione dalle opere di progetto. Sulla base dei risultati di una prima serie di simulazioni la Soluzione alternativa A è stata esclusa come soluzione di progetto e per non appesantire ulteriormente la trattazione non sono stati elaborati in forma grafica i risultati ottenuti. Si è passati quindi alle verifiche sulla compatibilità idraulico-marittima, in termini di agitazione ondosa residua, dell'Alternativa B che è caratterizzata da una maggiore curvatura della nuova diga di levante (adottata per mantenere intatta la spiaggia) e spostamento del punto di radicamento a circa metà dell'esistente molo di sottoflutto. La configurazione della Soluzione B, con l'indicazione dei coefficienti di riflessione adottati, è riportata nella fig. 23. Questa nuova configurazione alternativa comporta, similmente alla precedente, una sostanziale diminuzione dello specchio d'acqua interno creato con la nuova diga foranea di ponente. Ciò ha comportato l'instaurarsi di elevati livelli di oscillazione residua anche nella darsena portuale interna esistente con benefici minimi rispetto alle attuali condizioni di oscillazione residua, confermando peraltro gli indesiderati fenomeni di risonanza che attualmente condizionano lo stazionamento all'ormeggio delle

imbarcazioni nell'unica darsena portuale di Casal Velino in occasione delle mareggiate più intense.

In sintesi l'applicazione del modello numerico VEGA alla Soluzione alternativa B ha provato che la notevole riduzione dello specchio acqueo interno, unito alla maggiore curvatura della nuova diga di levante (adottata per mantenere intatta la spiaggia), determina l'instaurarsi di livelli di oscillazione all'interno dei due specchi acquei decisamente maggiori rispetto a quelli relativi alla configurazione prevista dal Progetto Definitivo (Rev. 0 – Prima Emissione).

Poiché i livelli di oscillazione ottenuti per i principali stati di mare (vedi tabella riassuntiva nel precedente paragrafo 3) sono risultati decisamente elevati, si è deciso di valutare se l'apporto di alcune modifiche all'assetto planimetrico previsto dall'originaria Soluzione alternativa B poteva generare effetti migliorativi. Di conseguenza è stata condotta una successiva serie di simulazioni prendendo in esame come possibili soluzioni di variante le seguenti configurazioni:

- Soluzione B2: configurazione in cui si è lasciato immutato il molo di sopraflutto attuale, senza la proposta dell'accorciamento della testata previsto nella Soluzione B;
- Soluzione B3: layout in cui è stata ipotizzata una nuova forma “a martello” per la testata del molo di sottoflutto esistente, oltre a lasciare immutato il molo di sopraflutto attuale;
- Soluzione B4: geometria in cui è stato confermato l'accorciamento del molo di sopraflutto attuale, introducendo il pennello interno (radicato alla diga di ponente) già previsto dalla configurazione di progetto ed inserita anche una spiaggia assorbente alla radice della nuova diga foranea di ponente;
- Soluzione B5: configurazione in cui sono confermate le nuove opere previste dalla Soluzione B4 con inserimento dell'ulteriore elemento protettivo alla testata del molo di sottoflutto con forma “a martello” ipotizzata nella Soluzione B3.

Le simulazioni eseguite su tutte le precedenti varianti hanno evidenziato valori molto elevati dell'agitazione ondosa interna residua, imputabili all'effetto combinato della conformazione geometrica della nuova diga foranea di ponente e delle ridotte dimensioni degli specchi acquei interni. Si deve infatti precisare come le maggiori dimensioni degli specchi acquei interni della configurazione del Progetto Definitivo (emesso in Rev. 0) hanno mostrato di poter “assorbire” l'energia residua associata alle onde incidenti presenti all'esterno potendola redistribuire su superfici “interne” decisamente maggiori rispetto a quelle che caratterizzano sia la Soluzione alternativa B che tutte le sue varianti.

Di conseguenza si è deciso di “modificare” ulteriormente la geometria della nuova diga foranea di ponente, tracciando una conformazione planimetrica che, pur rispettando l'esigenza porre il “radicamento a terra” nella zona mediana dell'attuale molo di sottoflutto, assicurasse la delimitazione di un avamposto sufficientemente ampio con caratteristiche simili a quella prevista dal Progetto Preliminare del 2008 e confermata nel 2018 dallo Studio di Fattibilità posto a base di gara e approfondite con il Progetto Definitivo emesso in prima stesura (Rev. 0).

Tale nuova configurazione, denominata **Soluzione C** (vedi Figura 24) è stata studiata mediante una serie di simulazioni a cui è seguita, per completezza di indagine, una

ulteriore serie di simulazioni che ha voluto esaminare anche due possibili ottimizzazioni della medesima soluzione C:

- Soluzione C1: layout in cui la diga di ponente è in parte emersa (radice + testata) ed in parte costituita da una scogliera sommersa (zona centrale);
- Soluzione C2: configurazione in cui si è ipotizzata l'eliminazione, rispetto alla Soluzione C1, della scogliera sommersa nella parte centrale della diga foranea.

L'analisi dei risultati dettagliata su tutte le serie di simulazioni eseguite sulle Soluzioni B e C, nonché sulle loro varianti, viene riportata nel successivo paragrafo 7. Tali risultati sono stati poi messi a confronto con i risultati più significativi delle analoghe simulazioni condotte in precedenza, al fine di poter capire se le soluzioni alternative proposte possano essere adottate in sostituzione all'assetto planimetrico scelto nella prima emissione del Progetto Definitivo del Porto di Casal Velino.

### **6. Rappresentazione dei risultati delle simulazioni numeriche**

Per le configurazioni portuali prese in esame sono state eseguite in totale 20 simulazioni. I risultati delle elaborazioni, allegati in forma grafica, indicano la distribuzione planimetrica dei coefficienti di agitazione o di diffrazione (moltiplicatori dell'altezza d'onda incidente) con una scala di intensità avente una risoluzione di 0,1. Per maggiore chiarezza di interpretazione sono evidenziate solo le curve di iso - altezza d'onda 0,1 ÷ 0,3 ÷ 0,5.

Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto del bacino portuale è sufficiente moltiplicare il coefficiente di agitazione per l'altezza dell'onda incidente in corrispondenza dell'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.

### **7. Analisi dei risultati**

L'attenuazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nelle due soluzioni esaminate avviene prevalentemente per effetto della diffrazione causata dalle opere poste a difesa dell'imboccatura e per la diminuzione provocata dalle banchine perimetrali aventi differenti tipologie riflettenti e assorbenti (spiagge / scogliere).

I risultati delle simulazioni (figg. 3 ÷ 22 e 25 ÷ 27) mostrano l'irradiazione al largo del campo d'onda riflesso e l'attenuazione di energia nella propagazione all'interno dello specchio acqueo portuale. Come prevedibile la direzione di attacco ondoso ha un effetto non trascurabile sulla penetrazione del moto ondoso, nel senso che quelle aventi direzione più ortogonale all'imboccatura producono nei bacini portuali livelli di agitazione residua più elevati rispetto a quelle più oblique.

Analizzando i risultati ottenuti per le configurazioni progettuali prese in esame può affermarsi quanto segue:

#### **Situazione attuale:**

- ✓ per la simulazione relativa alla direzione 160 °N, associata ai periodi  $T = 6$  e  $9$  s, il valore del coefficiente di diffrazione, assume valori al massimo pari a 0,1 nell'esistente

darsena di levante. Analogamente le simulazioni relative alla direzione 180 °N con periodi  $T = 6$  e  $9$  s, i risultati hanno evidenziato che l'altezza d'onda relativa assume valori localizzati pari al 10% dell'altezza d'onda incidente;

- ✓ per le simulazioni relative alle direzioni 220 °N, associate agli stati di mare caratterizzati dal periodo  $T = 6, 9$  e  $12$  s, il valore del coefficiente di diffrazione si presenta leggermente superiore rispetto ai risultati ottenuti con le direzioni 160 - 180 °N, assumendo valori massimi nella darsena di levante gradualmente variabili da 0,1 (per  $T = 6$  s) fino a raggiungere il 30% dell'altezza d'onda incidente (per  $T = 12$  s) nell'area immediatamente retrostante l'imboccatura portuale. Analogamente si verifica per la direzione 250 °N ed i periodi  $T = 6, 9$  e  $12$  s, per i quali il valore del coefficiente di diffrazione, come era logico attendersi essendo la direzione praticamente ortogonale all'imboccatura, si presenta più elevato con valori che aumentano dal 10% al 50% dell'altezza d'onda incidente.

### **Configurazione di progetto:**

- ✓ per le simulazioni relative alla direzione 160 °N, associate ai periodi  $T = 6$  e  $12$  s, il valore del coefficiente di diffrazione in tutto il bacino interno (darsene di levante e ponente), è inferiore a 0,1, mentre per il valore  $T = 9$  s si hanno valori pari che raggiungono il 10% dell'altezza d'onda incidente;
- ✓ analoghi risultati si ottengono per la direzione 180 °N, per cui si osserva che il periodo  $T = 9$  s a cui sono associati elevati valori di agitazione residua potrebbe rappresentare un particolare valore (del periodo e quindi della lunghezza d'onda) per il quale la geometria portuale risponde con una amplificazione dei valori di oscillazione, ovvero con il fenomeno della risonanza portuale;
- ✓ per le simulazioni relative alle direzioni 220 e 250 °N, associate agli stati di mare caratterizzati dal periodo  $T = 6, 9$  e  $12$  s, il valore del coefficiente di diffrazione assume valori massimi pari a 0,1 in tutte le aree ridossate dalle nuove strutture di difesa, mostrando anche l'efficacia dell'ampio avamposto. Si osserva come nell'area immediatamente retrostante l'imboccatura portuale il valore del coefficiente di diffrazione, si presenta abbastanza elevato, ma con valori pari al massimo al 50% dell'altezza d'onda incidente, diminuendo sensibilmente nelle zone più interne;
- ✓ per le simulazioni relative alle direzioni più ortogonali rispetto all'imboccatura portuale (180 e 220 °N), si può osservare che nella darsena di levante i livelli di oscillazione residua risultano inferiori a quelli ottenuti nella situazione attuale, mentre nella nuova darsena di ponente tali valori rimangono abbastanza elevati (al massimo pari al 50% dell'altezza d'onda incidente) a causa della limitata lunghezza del pennello interno. Tale situazione potrà essere risolta successivamente al presente intervento di adeguamento e messa in sicurezza, quando si deciderà di eseguire il banchinamento interno della suddetta darsena a cui sarà associato il prolungamento del pennello interno, rendendo così disponibile per l'ormeggio e maggiormente sicuro lo specchio acqueo interno di ponente.

### **Configurazioni alternative a quella di progetto (Soluzioni B e C):**

- ✓ per le simulazioni relative alla Soluzione B per le direzioni 160, 180 e 220 °N, associate agli stati di mare caratterizzati dal periodo  $T = 6, 9$  e  $12$  s, i livelli di

oscillazione all'interno dei due specchi acquei sono risultati decisamente maggiori di quelli relativi alla configurazione dal Progetto Definitivo (in cui il radicamento della diga di ponente è posizionato a circa 300 m dalla radice del molo di sottoflutto esistente). I suddetti risultati hanno confermato che la notevole riduzione dello specchio acqueo interno, unito alla particolare forma e maggiore curvatura della nuova diga di ponente (adottata per non includere la spiaggia adiacente il molo di sottoflutto), ha determinato l'instaurarsi di un peggioramento della risposta degli specchi acquei portuali interni nei confronti delle oscillazioni residue. Infatti i livelli di oscillazione ottenuti per le principali direzioni di provenienza del moto ondoso (160, 180 e 220 °N) con i diversi periodi ( $T = 6, 9, 12$  s) sono risultati decisamente elevati, raggiungendo e superando in varie zone interne il 30-50% dell'altezza d'onda presente all'esterno, per cui si è deciso di valutare se era possibile ottenere dei benefici, in termini di attenuazione dei livelli di oscillazione residua, apportando alcune modifiche all'assetto planimetrico previsto dall'originaria Soluzione B. Così è stato possibile accertare che i valori dell'altezza d'onda relativa delle Soluzioni di variante B2, B3, B4 e B5 non conseguivano miglioramenti sostanziali, in quanto i livelli di oscillazione residua si mantenevano sempre compresi tra il 30-50% dell'onda incidente, fino a raggiungere (puntualmente o in zone limitate) livelli di agitazione confrontabili con quelli dell'altezza d'onda presente all'esterno. Questi valori eccessivi dell'agitazione ondosa residua evidenziano, per alcuni dei periodi presi in esame, il presentarsi di fenomeni di "risonanza portuale", già riscontrati nelle simulazioni dello stato attuale, dovuti all'effetto combinato della forma geometrica pseudo-rettangolare e delle ridotte dimensioni della stessa darsena, avente dimensioni confrontabili con multipli e/o sottomultipli della lunghezza d'onda degli stati di mare simulati.

- ✓ per le simulazioni relative alla Soluzione C, poiché la conformazione delle opere è simile al layout di progetto (da circa metà diga foranea fino alla testata) e racchiude una maggiore superficie dello specchio acqueo interno (della darsena di ponente) è facile dedurre che i livelli di agitazione residua risultino accettabili analogamente al caso precedente. Infatti la geometria della diga foranea di ponente è tale da non generare quei fastidiosi effetti di riflessione che invece contraddistinguono la Soluzione B alternativa e tutte le molteplici varianti investigate. Per quanto riguarda le possibili alternative (C1 e C2) di ottimizzazione della Soluzione C, l'ipotesi di eliminare (parzialmente o totalmente) la scogliera nella parte centrale della diga di ponente non fornisce sensibili miglioramenti nelle condizioni di agitazione residua all'interno degli specchi acquei portuali, per cui si ritiene che la Soluzione alternativa C possa essere ritenuta meritevole di adozione, previa valutazione degli aspetti legati all'evoluzione morfologica e morfo-dinamica.

## **8. Conclusioni**

L'esame delle simulazioni effettuate per le configurazioni esistente e di progetto (proposta nella prima emissione del Progetto Definitivo – Rev. 0) si evince che le condizioni di agitazione ondosa nella zona portuale più ridossata del porto (darsena di levante) migliorano nella soluzione di progetto, mantenendo valori di oscillazioni residue sempre accettabili per tutte le direzioni e le altezze d'onda associate ai periodi maggiori ( $T = 6, 9$  e

12 s). Da quanto appena affermato è facile dedurre come la soluzione introdotta con il progetto definitivo (realizzazione del molo di ponente con forma curvilinea a partire dalla parte centrale fino alla testata, creazione di una diga foranea curvilinea semi circolare di levante radicata all'esistente molo di sopraflutto ed esecuzione di un pennello interno di separazione dell'avamposto dalla nuova darsena di ponente) possa considerarsi migliorativa, almeno per i più frequenti ed intensi stati di mare appartenenti al settore di traversia principale, sia per quanto riguarda la parte di specchio acqueo immediatamente retrostante l'avamposto (darsena di ponente), sia per l'attenuazione del moto ondoso incidente nella esistente e più interna darsena di levante. Infatti dalle figure 13÷19 si evince che per le direzioni di provenienza più ortogonali all'imboccatura (Direzioni 160, 180 e 220 °N) i livelli di oscillazione residua sono abbastanza elevati come era logico attendersi, mentre per gli stati di mare più ruotati del settore di traversia principale (Direzioni 250 °N), cui sono associate le onde più intense e frequenti, si rilevano altezze d'onda residue decisamente più contenute di quelle individuate nell'esistente darsena in mancanza delle nuove opere di adeguamento e messa in sicurezza. Si deve peraltro aggiungere che il settore di scirocco-mezzogiorno, cui appartengono le direzioni 160, 180 °N, è contraddistinto da stati di mare ordinari caratterizzati da altezze d'onda incidenti solitamente pari ad  $H = 1,0 \div 2,0$  m, per cui ad un coefficiente di diffrazione di 0,1, risultano associati valori dell'altezza d'onda residua nella zona più interna del porto di circa 10÷20 cm, che rappresenta un valore ancora accettabile anche per le imbarcazioni più piccole (vedi figure 3÷6 e 13÷16).

Invece, nella situazione attuale, nel caso di stati di mare associati alle direzioni 220 e 250 °N appartenenti al settore di traversia principale, è stata confermata la pericolosità dell'ormeggio lungo tutta la banchina retrostante il molo di sopraflutto della darsena esistente (futura darsena di levante) per i cospicui valori dei coefficienti di diffrazione ottenuti che variano tra il 30% ed il 50% dell'altezza d'onda incidente (vedi figure 7 ÷ 12).

Per le direzioni 220÷250 °N, nella configurazione di progetto le condizioni di agitazione residua nell'esistente darsena sono invece ottimali e quindi migliorative rispetto all'attuale situazione con possibilità di rimanere in stazionamento in ogni condizione di moto ondoso incidente.

Inoltre dal confronto delle figg. 6 e 16 (Direzioni 160 °N e periodo  $T = 9$  s), è possibile osservare che il valore del coefficiente di diffrazione assume nella darsena di levante valori confrontabili del livello di agitazione interna, seppure lo specchio acqueo risulta ridossato rispetto alla direzione dell'onda incidente. La constatazione appena effettuata, considerando anche gli analoghi livelli di agitazione residua associata alle altre direzioni con stesso periodo, fa presupporre che le caratteristiche lunghezze d'onda associate al suddetto periodo portino al verificarsi del fenomeno della risonanza portuale, in virtù delle dimensioni caratteristiche della darsena di levante (avente forma pseudo rettangolare) per la presenza di tali livelli di oscillazione residua associati a differenti direzioni di provenienza delle onde.

Per quanto riguarda i confronti dei risultati ottenuti tra la configurazione di progetto e le Soluzioni alternative B e C (comprese le relative varianti di ottimizzazione), è possibile affermare che, per i soli aspetti idraulico-marittimi relativi alle condizioni di agitazione ondosa residua interna, la configurazione alternativa denominata Soluzione C potrebbe essere quella cui fare riferimento per l'aggiornamento del Progetto Definitivo in

ottemperanza a quanto indicato nelle richieste di integrazione e approfondimento formulate dalla Soprintendenza (vedi Figure 25 -27).

Tale configurazione alternativa (Soluzione C) come si potrà desumere da quanto argomentato nella Relazione Tecnica di sintesi, redatta in funzione dei risultati ottenuti in quelle specialistiche (Relazione geomorfologica e morfo-dinamica) non ha ottenuto riscontri favorevoli, tali da farla preferire alla configurazione di progetto originaria, per le problematiche individuate che influiscono negativamente sia sull'impatto ambientale che su quello paesaggistico. Si rimanda a tali elaborati per tutti gli approfondimenti ed alle successive considerazioni che hanno comunque condotto ad una ottimizzazione delle opere previste nella prima emissione (Rev. 0) che consiste nella riduzione delle quote sommitali delle berme della diga foranea di ponente per circa un terzo del suo sviluppo ed una sua minore superficie di appoggio sui fondali sabbiosi.

## APPENDICE I

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

Il 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.

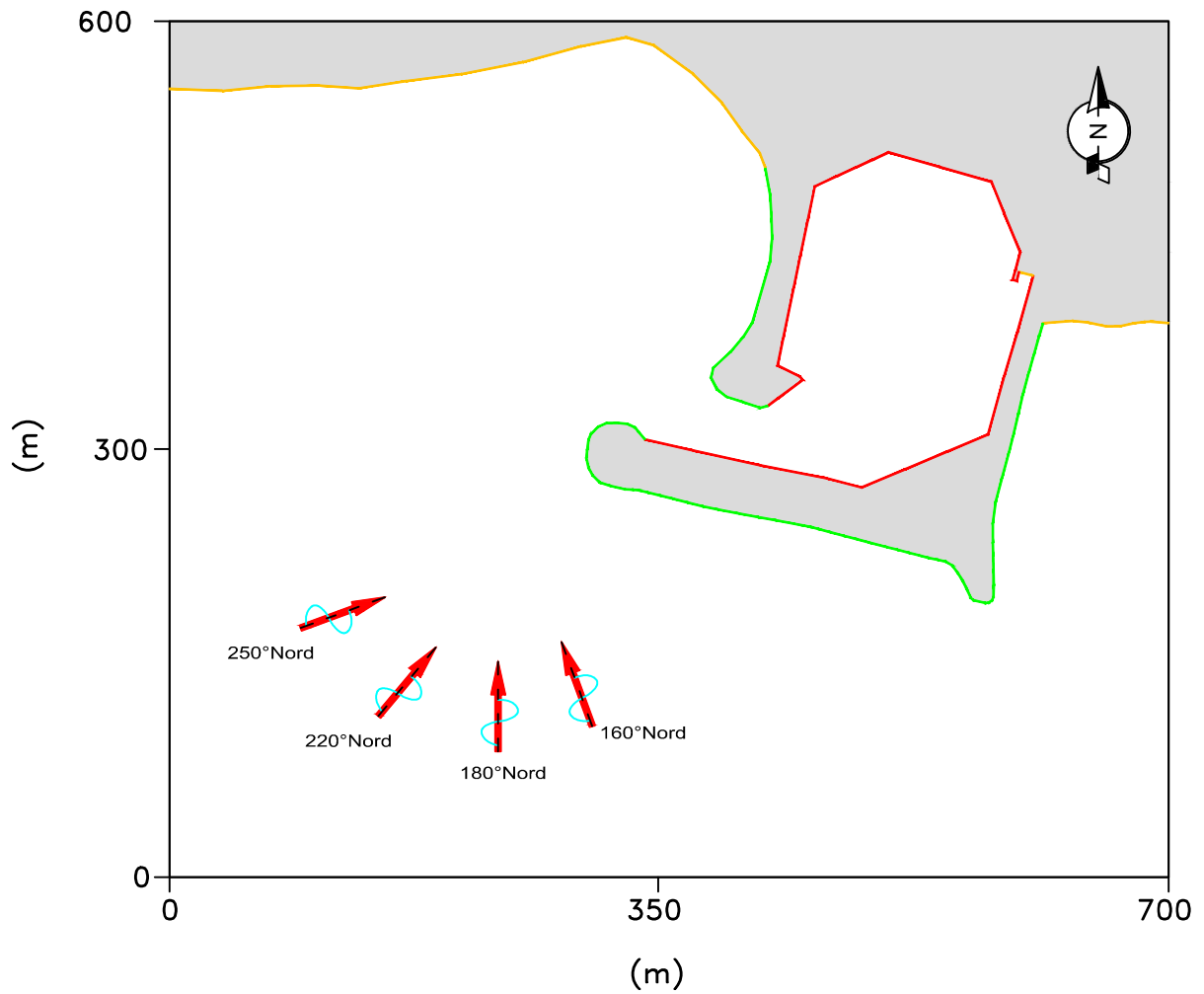
Il modello fornisce come risultati altezza d'onda, potenziale delle velocità e fase nei punti richiesti.

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

## **APPENDICE II**

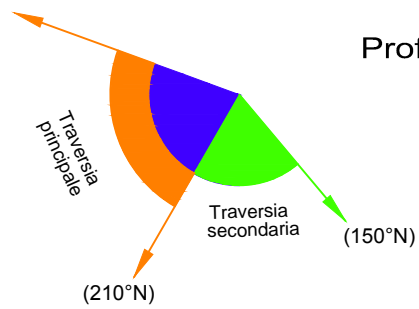
**RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI VERIFICA  
DELL'OSCILLAZIONE RESIDUA ALL'INTERNO DEL PORTO (FIGURE 1- 27)**

Marina di Casal Velino: Situazione attuale  
Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con  
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 4.0 m

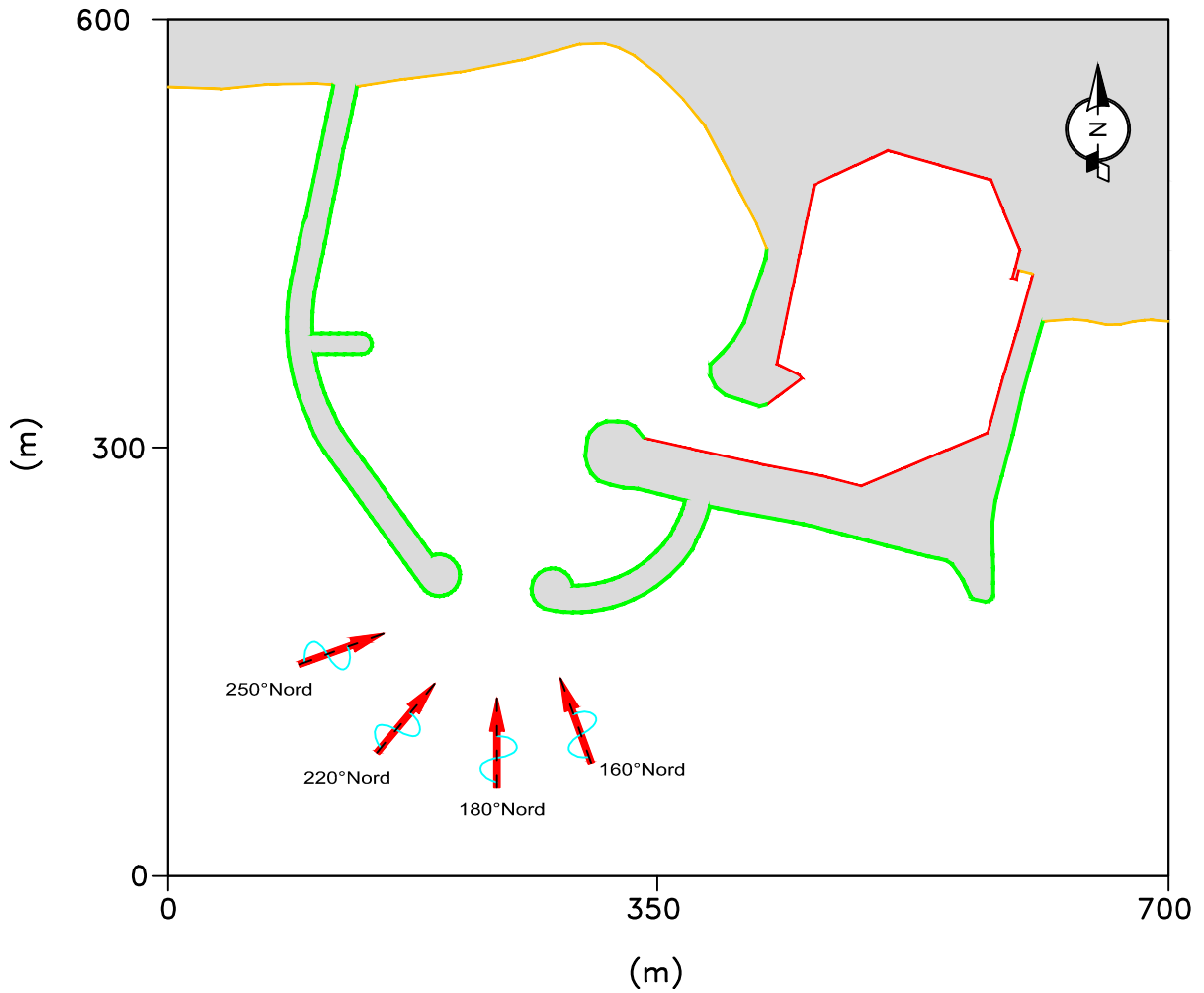


Coefficienti di riflessione

— (red line)	$kr=0.90$
— (green line)	$kr=0.35$
— (yellow line)	$kr=0.10$

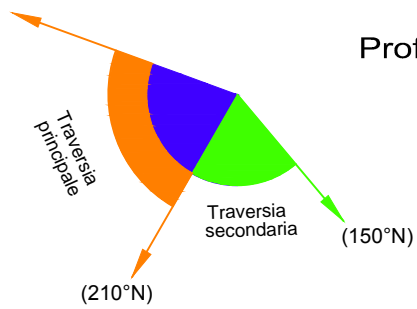
Figura 1

Marina di Casal Velino: Configurazione di progetto  
Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con  
l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 4.0 m



Coefficienti di riflessione

	$kr=0.90$
	$kr=0.35$
	$kr=0.10$

Figura 2

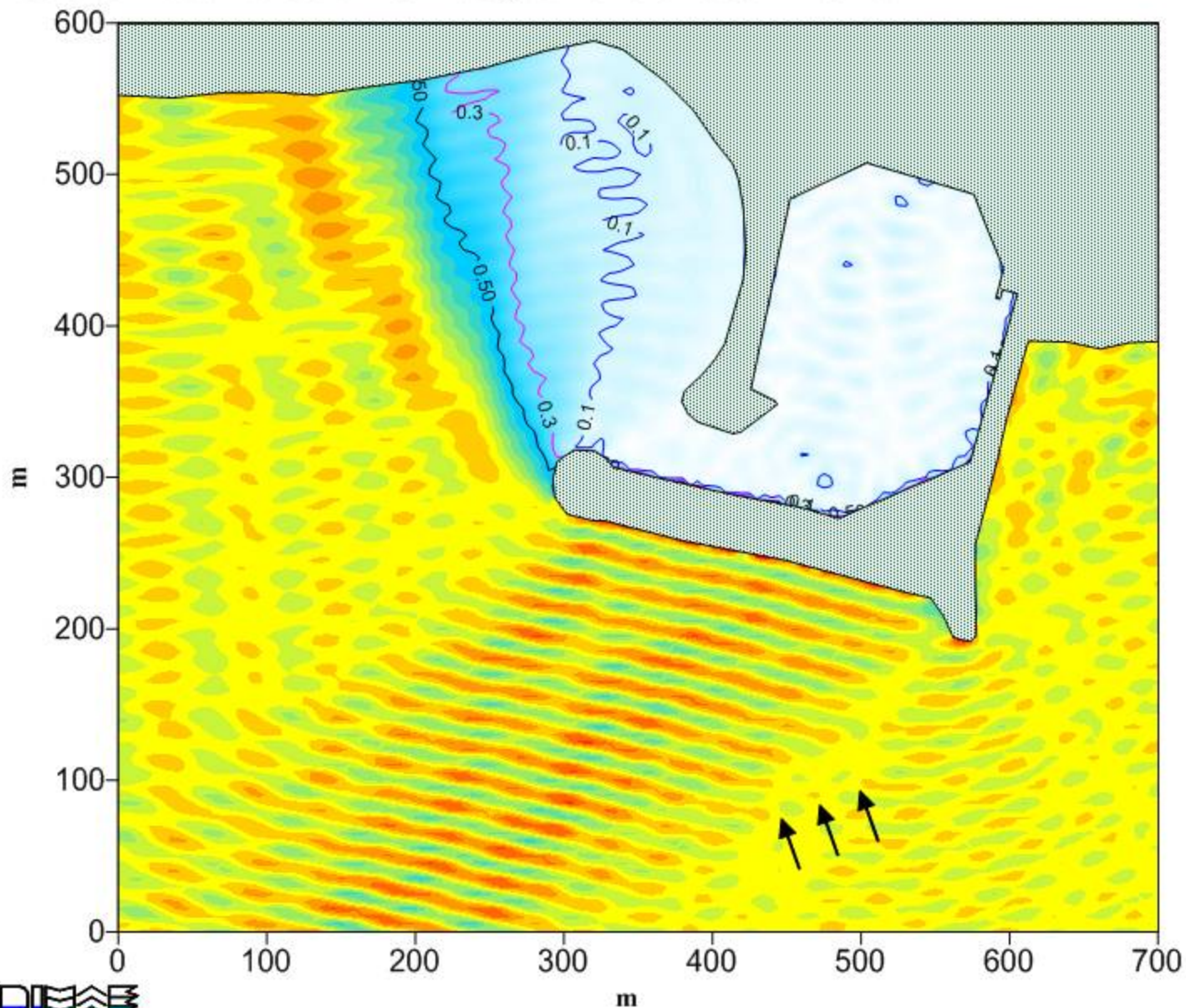
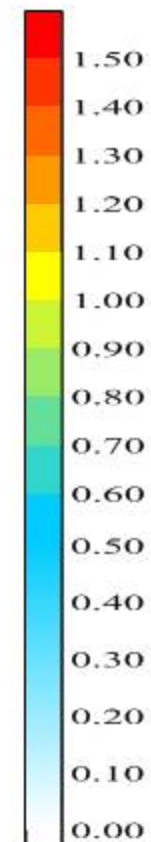
Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



**Forzanti moto ondoso:**

**Hi = 1,0 m**

**Periodo T = 6,0 s**

**Direzione Dir = 160 °N**

**File = CV Att D160 T6.SRF**

Figura 3



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA



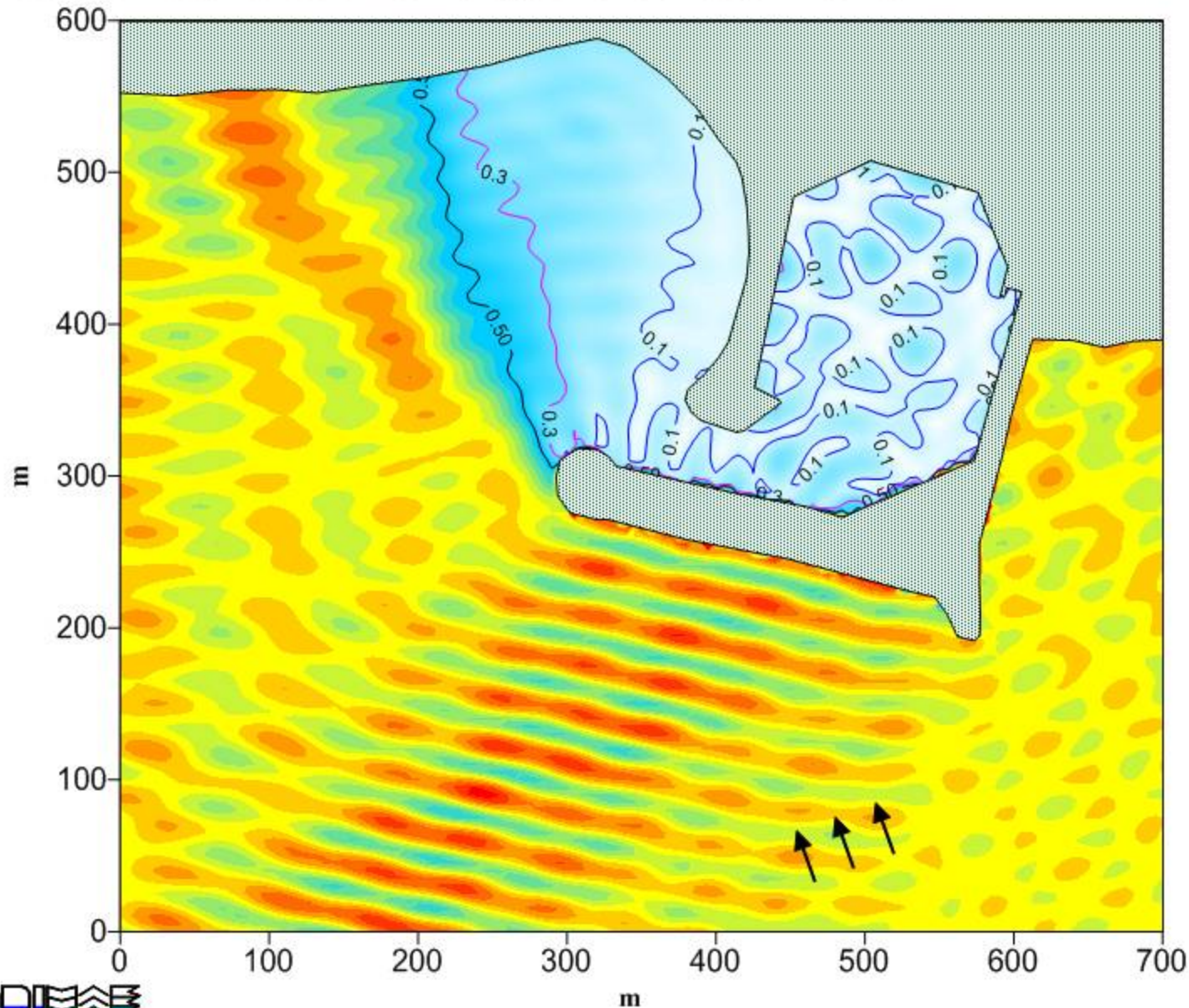
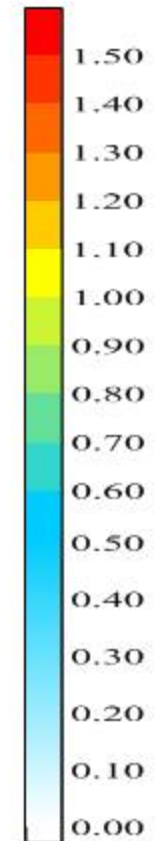
Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



**Forzanti moto ondoso:**

**Hi = 1,0 m**

**Periodo T = 9,0 s**

**Direzione Dir = 160 °N**

**File = CV Att D160 T9.SRF**

Figura 4



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

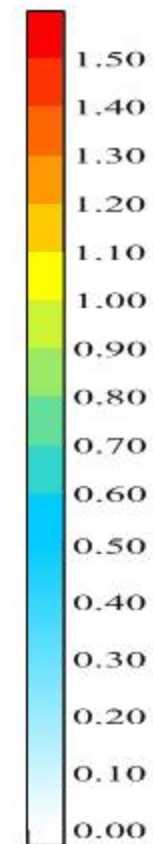
Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 6,0$  s

Direzione  $Dir = 180^\circ N$

File = CV Att D180 T6.SRF

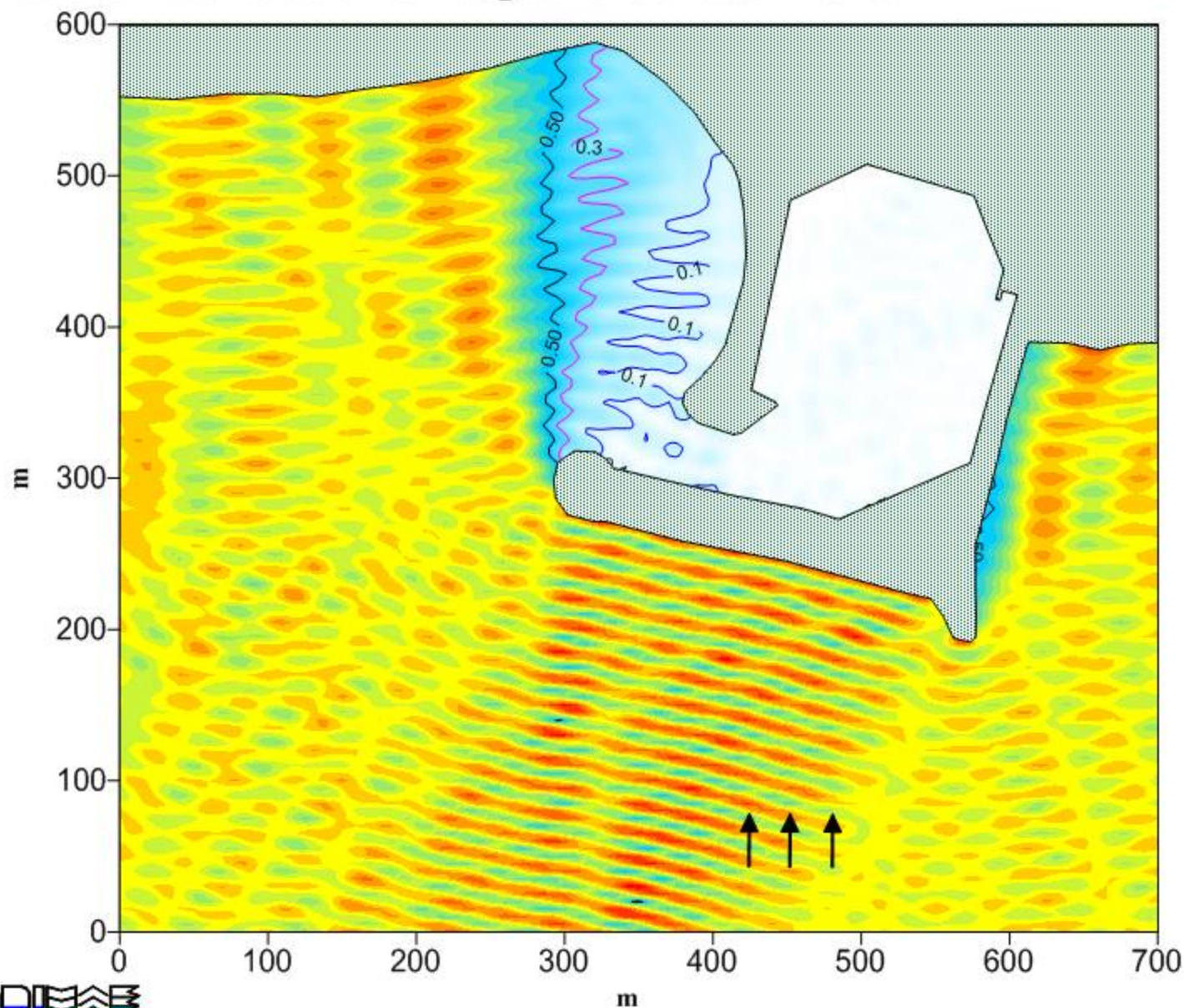


Figura 5



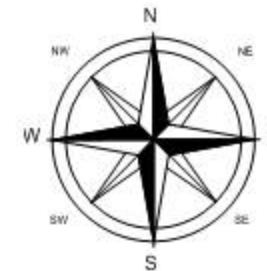
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA



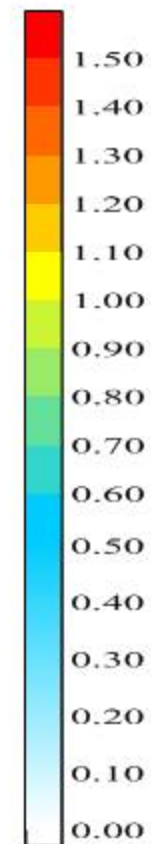
Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione  $Dir = 180^\circ N$

File = CV Att D180 T9.SRF

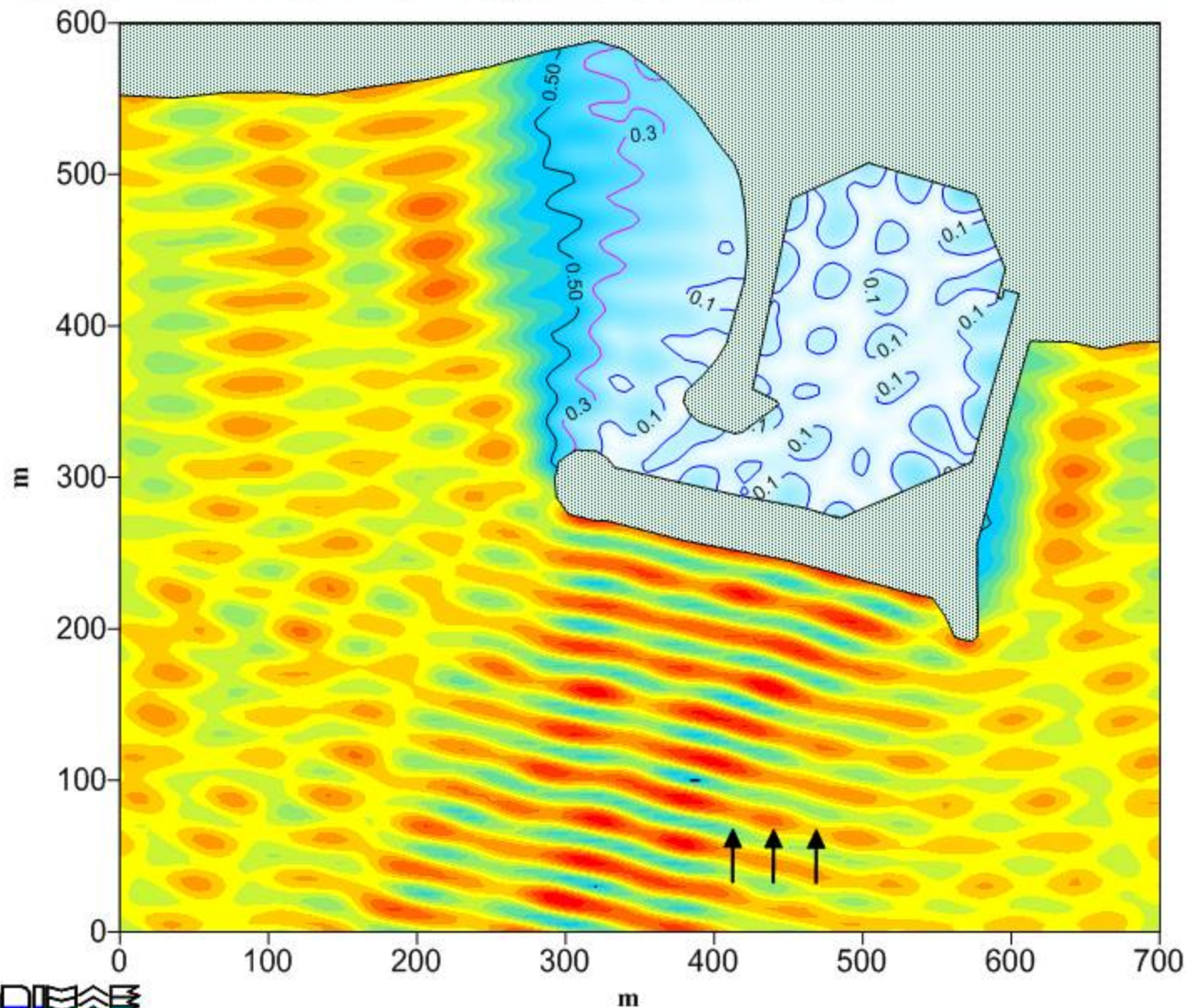


Figura 6



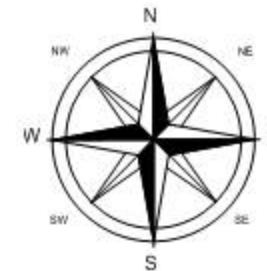
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA



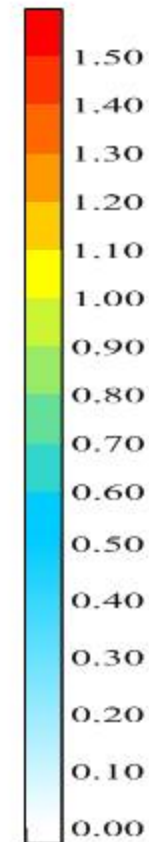
# Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 6,0$  s

Direzione  $Dir = 220$  °N

File = CV Att D220 T6.SRF

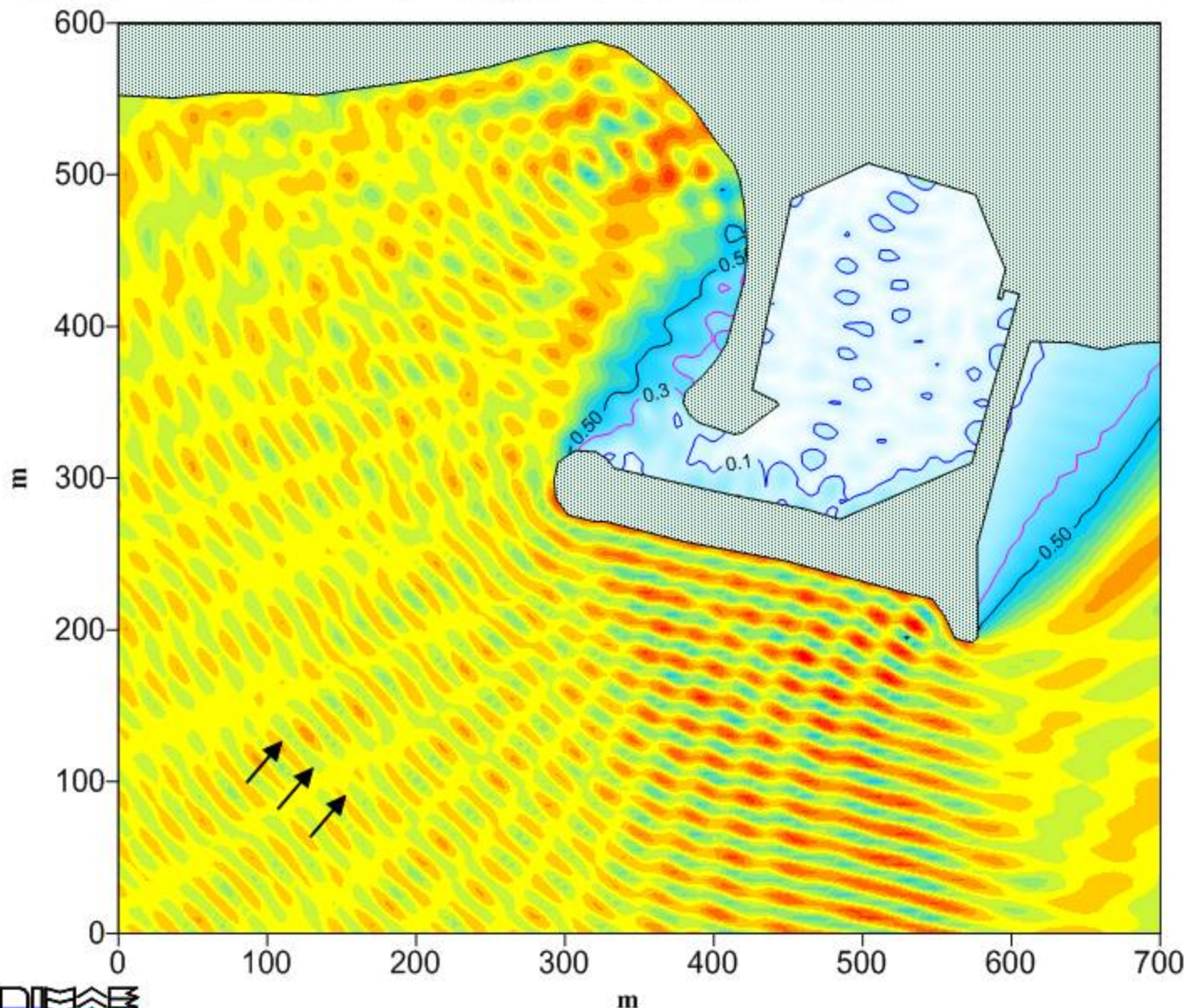


Figura 7



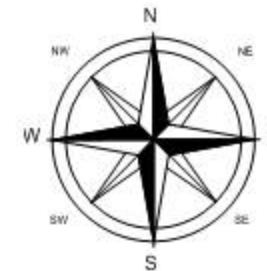
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA



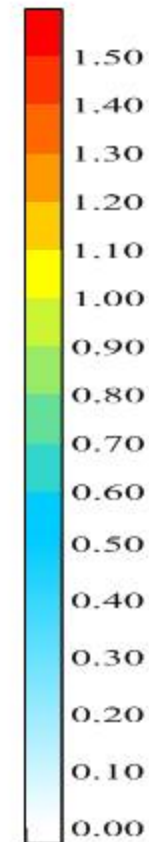
# Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione  $Dir = 220$  °N

File = CV Att D220 T9.SRF

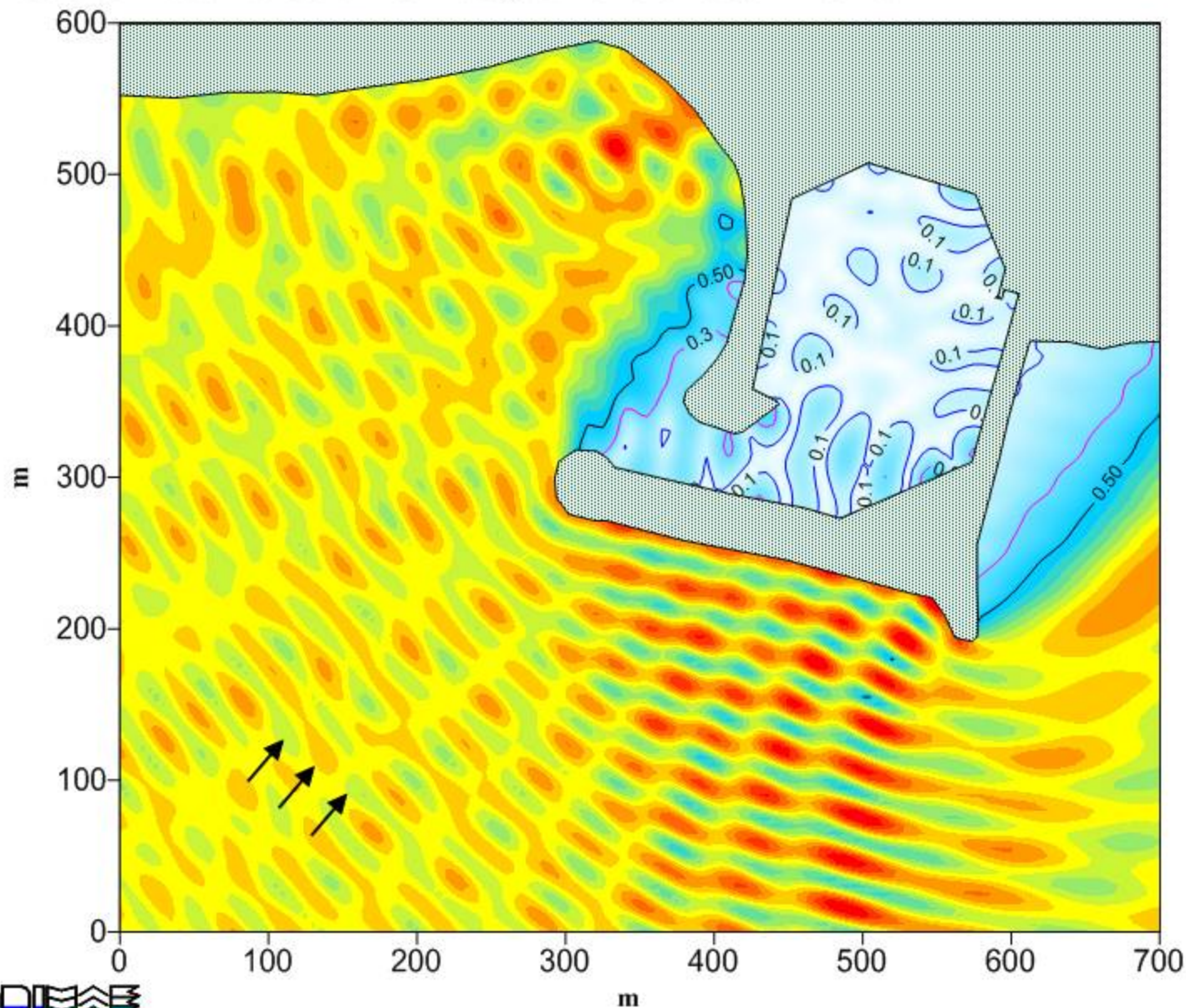


Figura 8



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

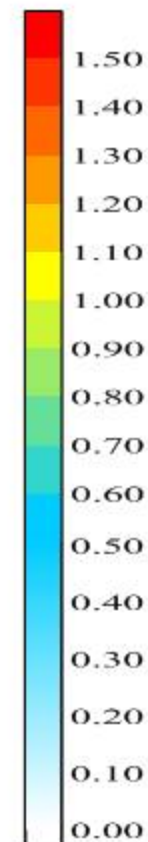
Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

**Hi = 1,0 m**

**Periodo T = 12,0 s**

**Direzione Dir = 220 °N**

**File = CV Att D220 T12.SRF**

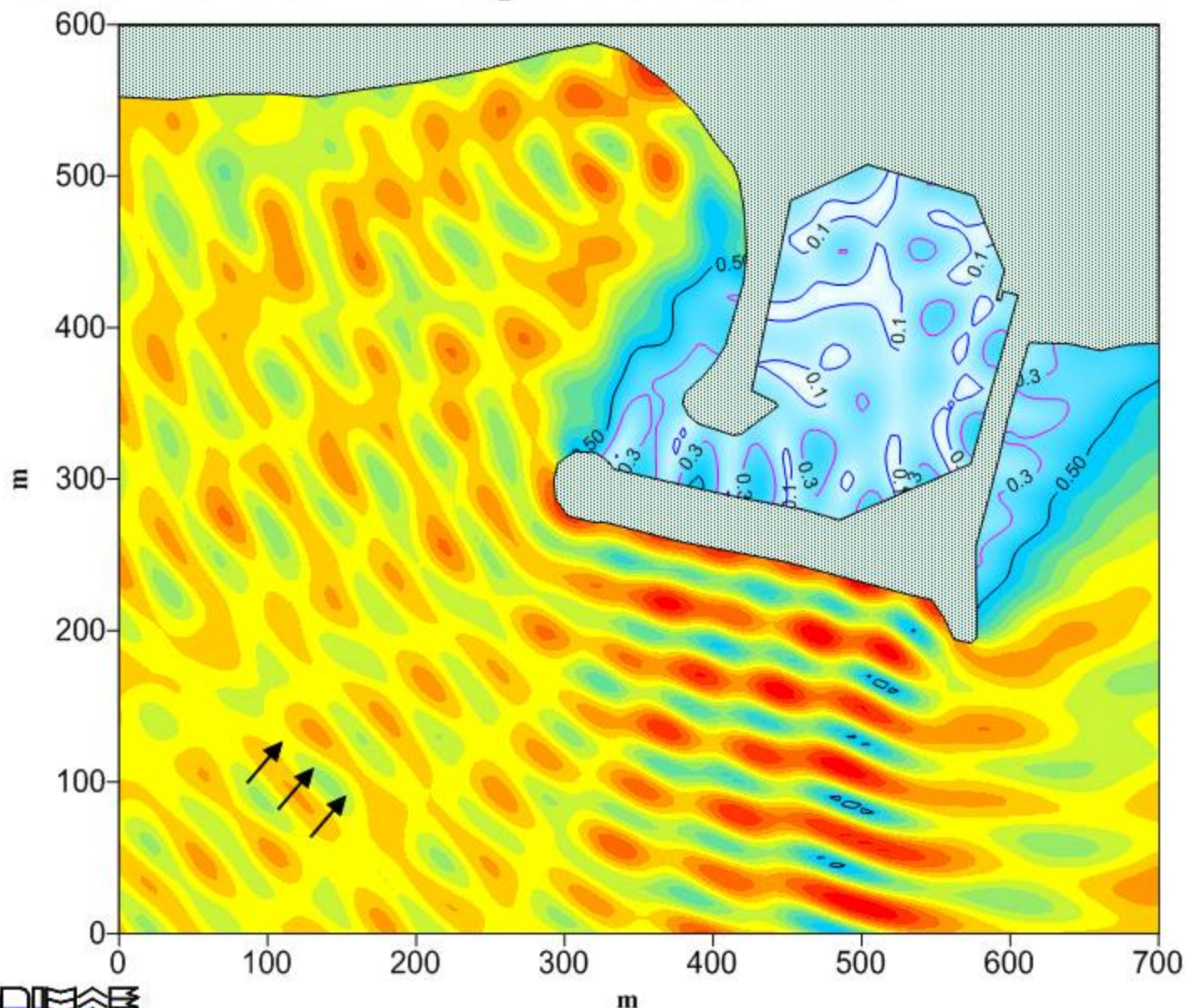


Figura 9



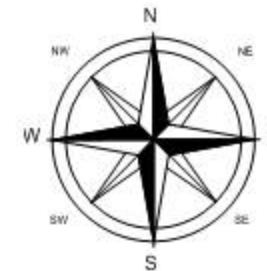
Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA



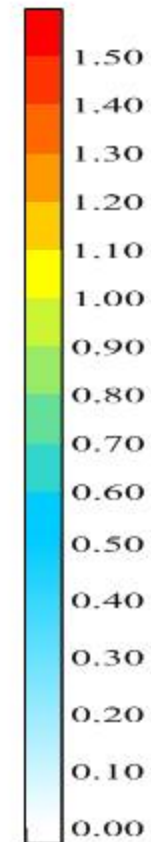
# Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

## Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 6,0$  s

Direzione  $Dir = 250$  °N

File = CV Att D250 T6.SRF

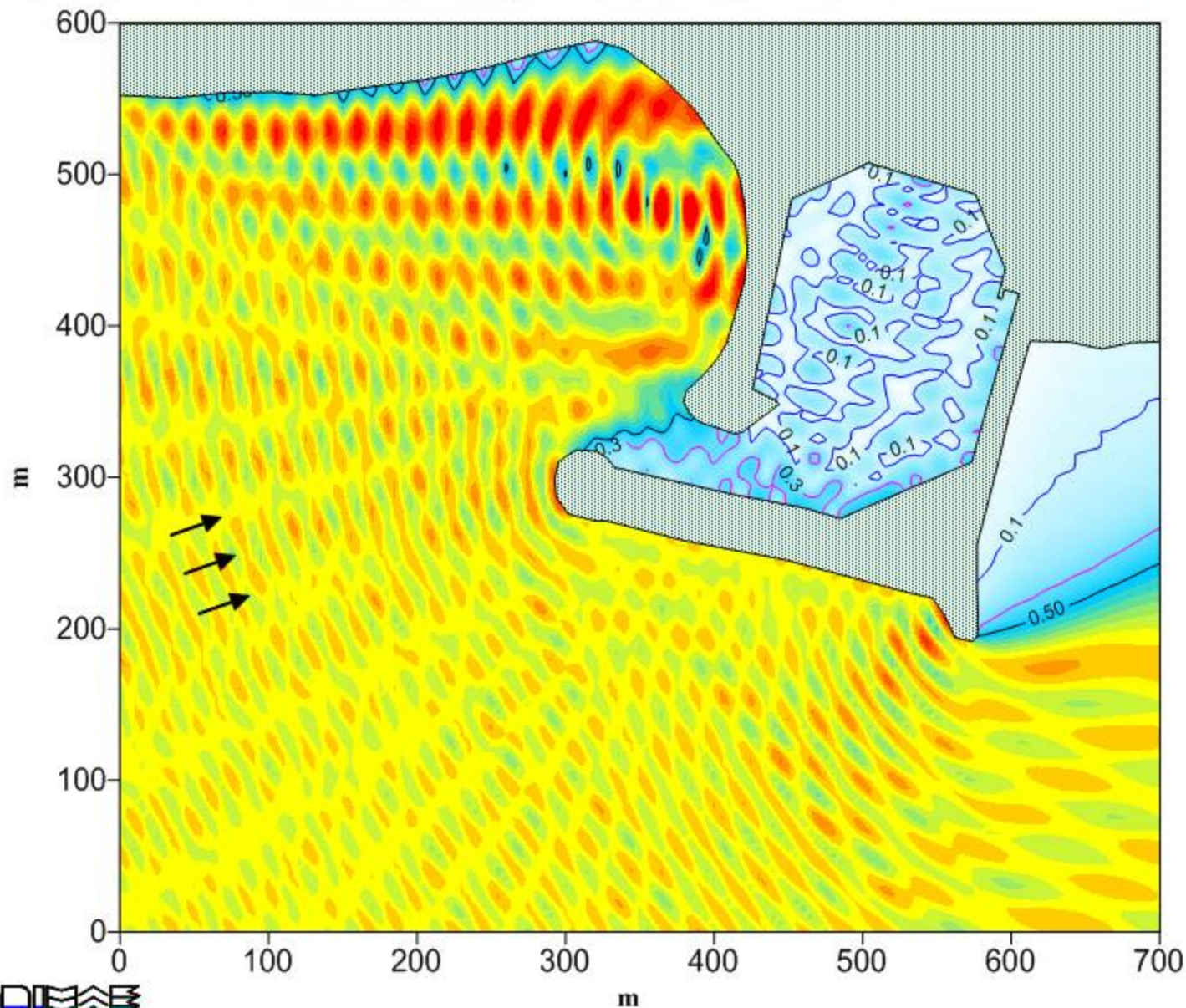


Figura 10



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA



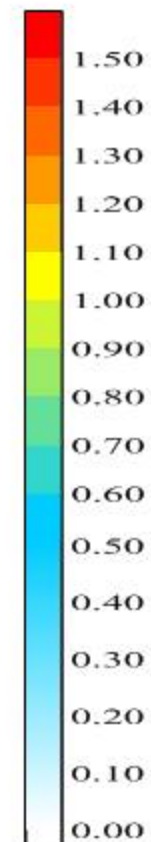
Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione  $Dir = 250$  °N

File = CV Att D250 T9.SRF

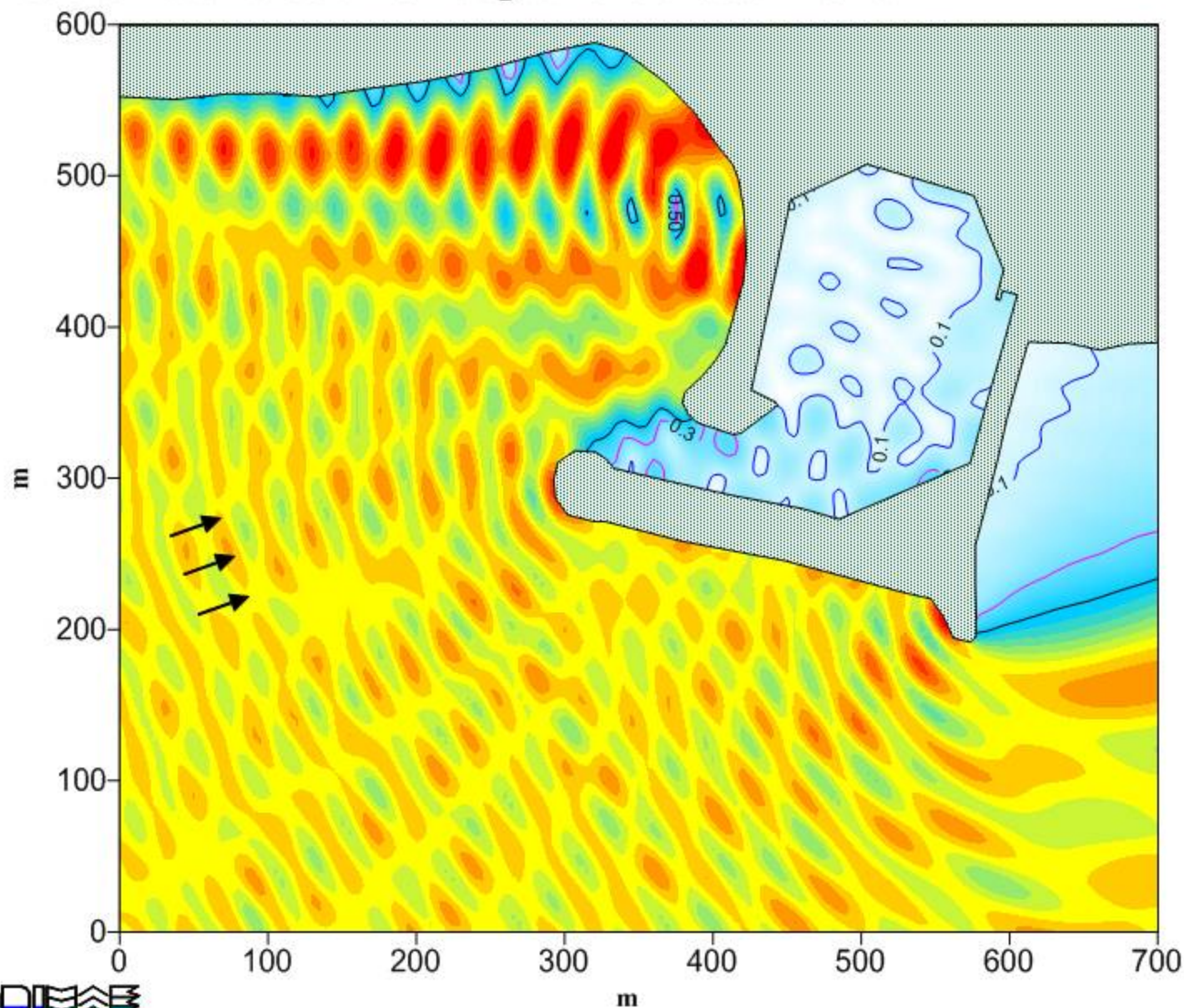


Figura 11



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

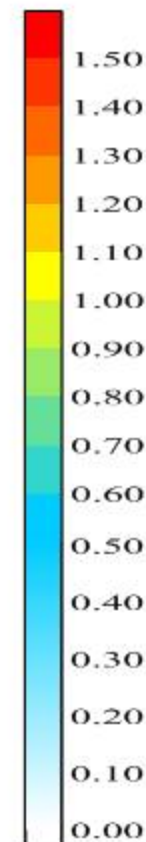
Porto di Marina di CASAL VELINO - Situazione attuale

Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

### Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



Altezza d'onda relativa



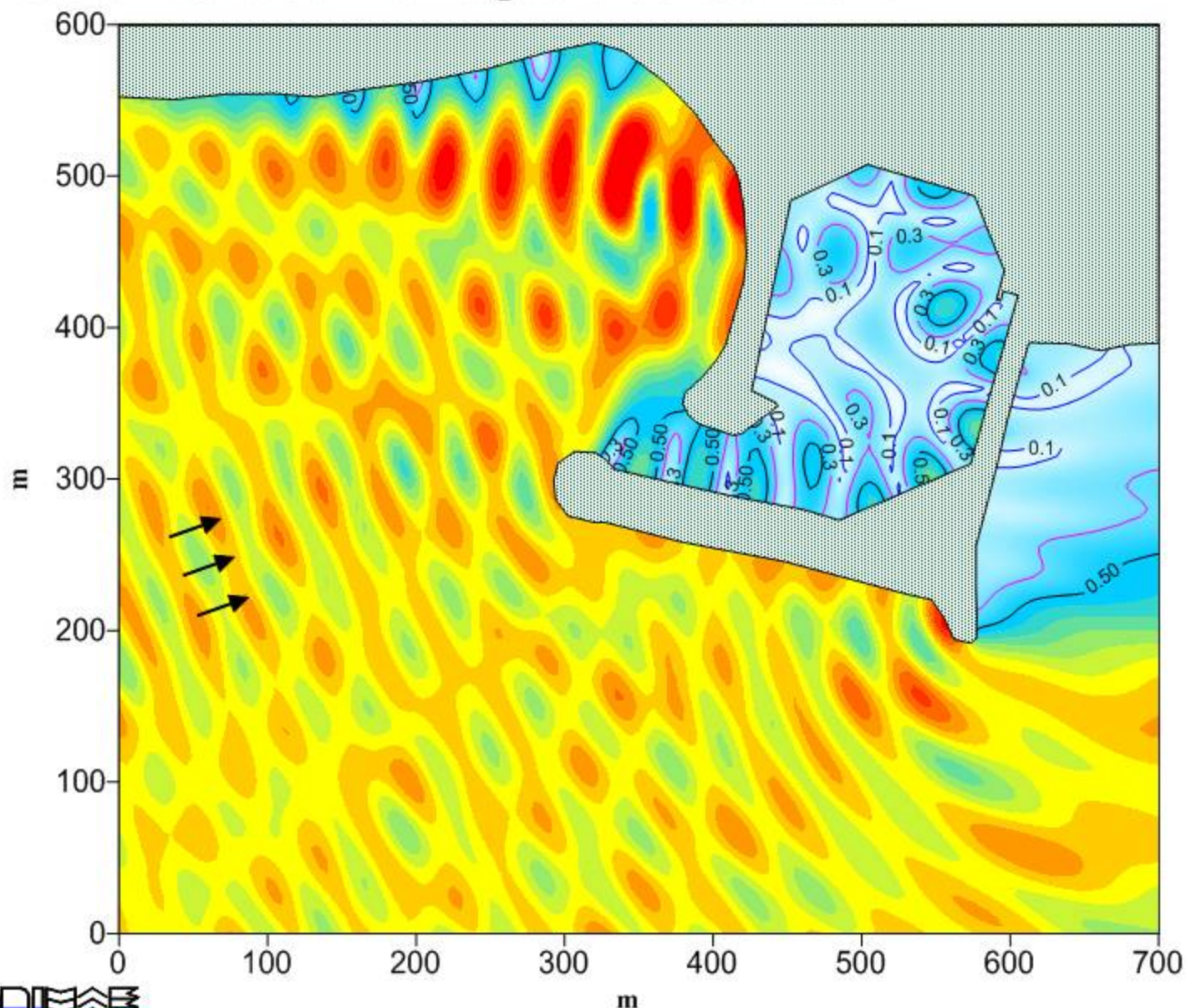
Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 12,0$  s

Direzione  $Dir = 250^\circ N$

File = CV Att D250 T12.SRF

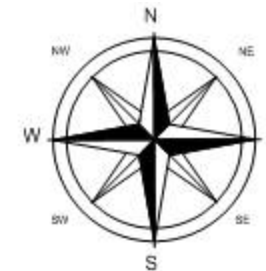


Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

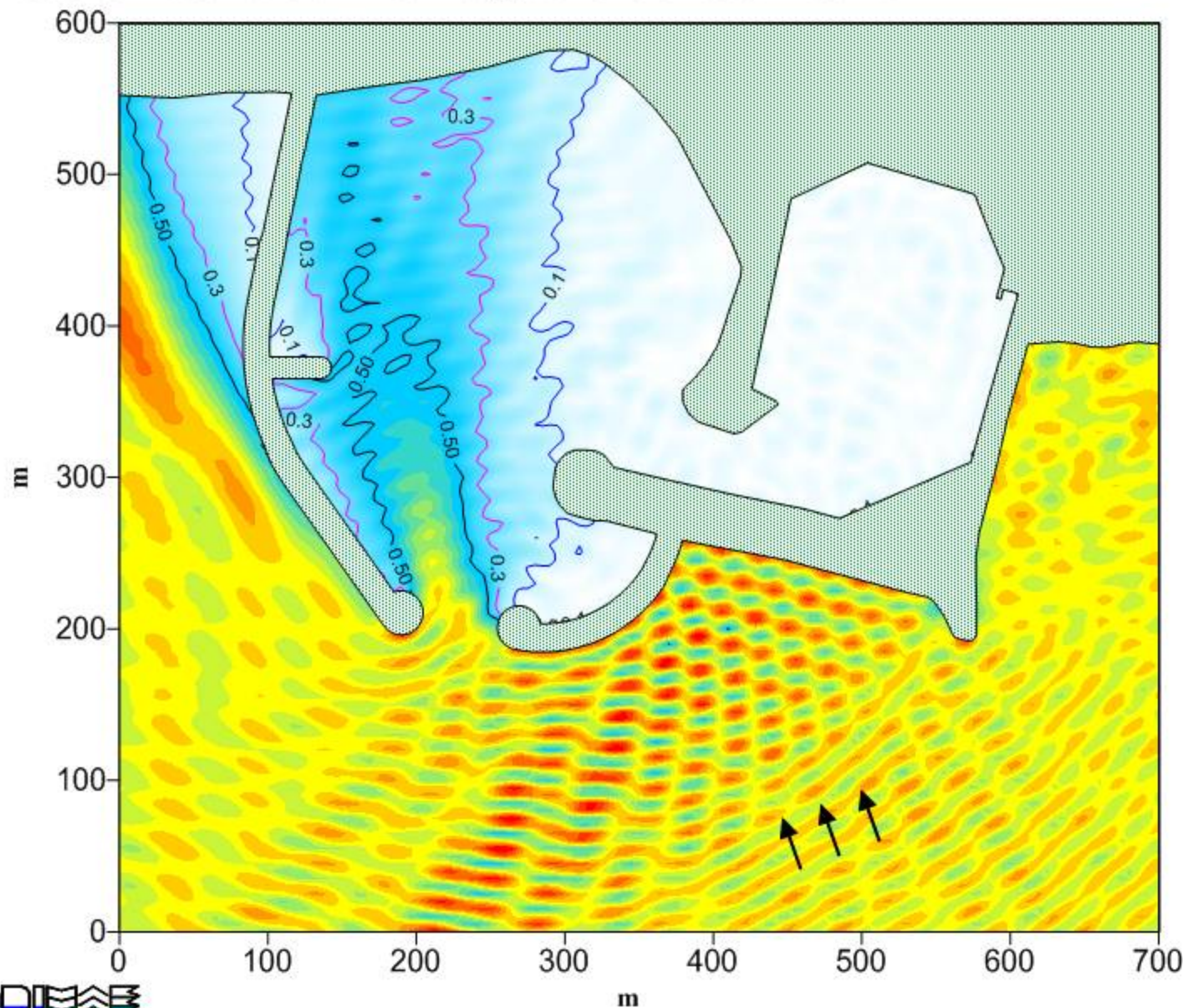
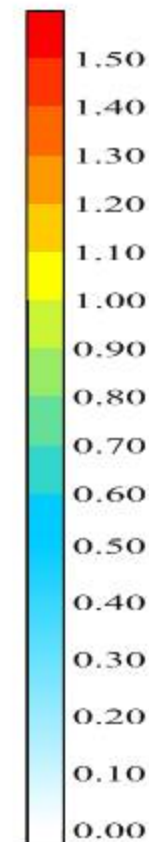
Figura 12



Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



**Forzanti moto ondoso:**  
**Hi = 1,0 m**  
**Periodo T = 6,0 s**  
**Direzione Dir = 160 °N**

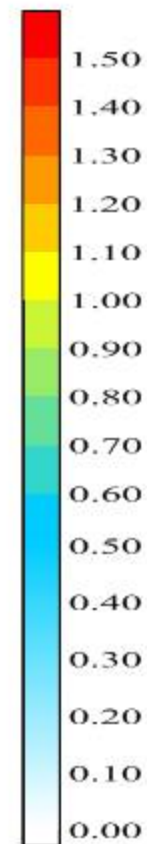
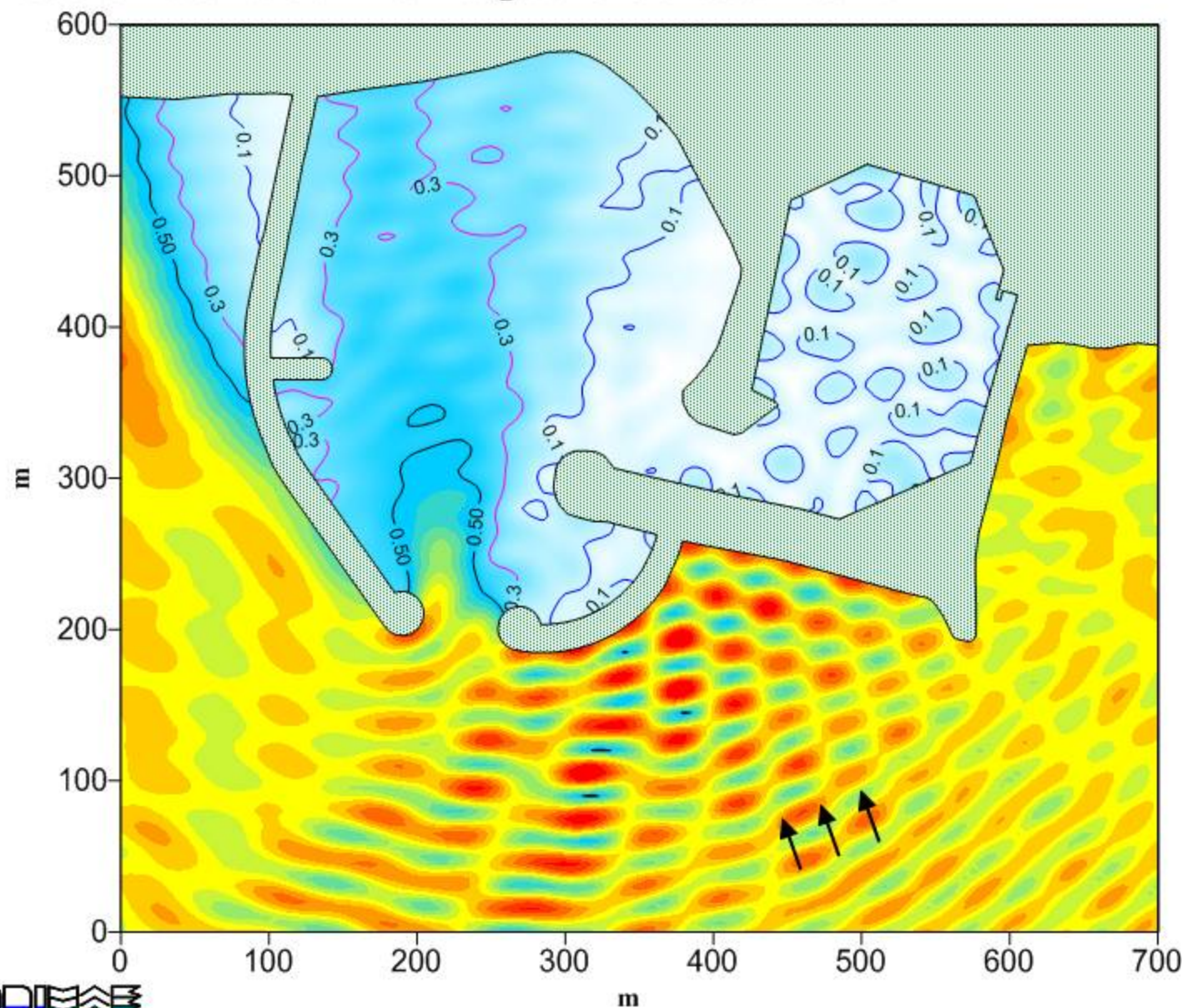
File = CV Pro D160 T6.SRF

Figura 13

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



**Forzanti moto ondoso:**  
**Hi = 1,0 m**  
**Periodo T = 9,0 s**  
**Direzione Dir = 160 °N**

File = CV Pro D160 T9.SRF

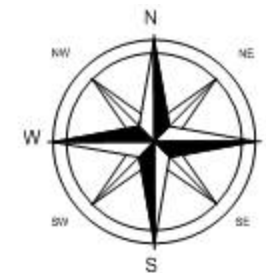


Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

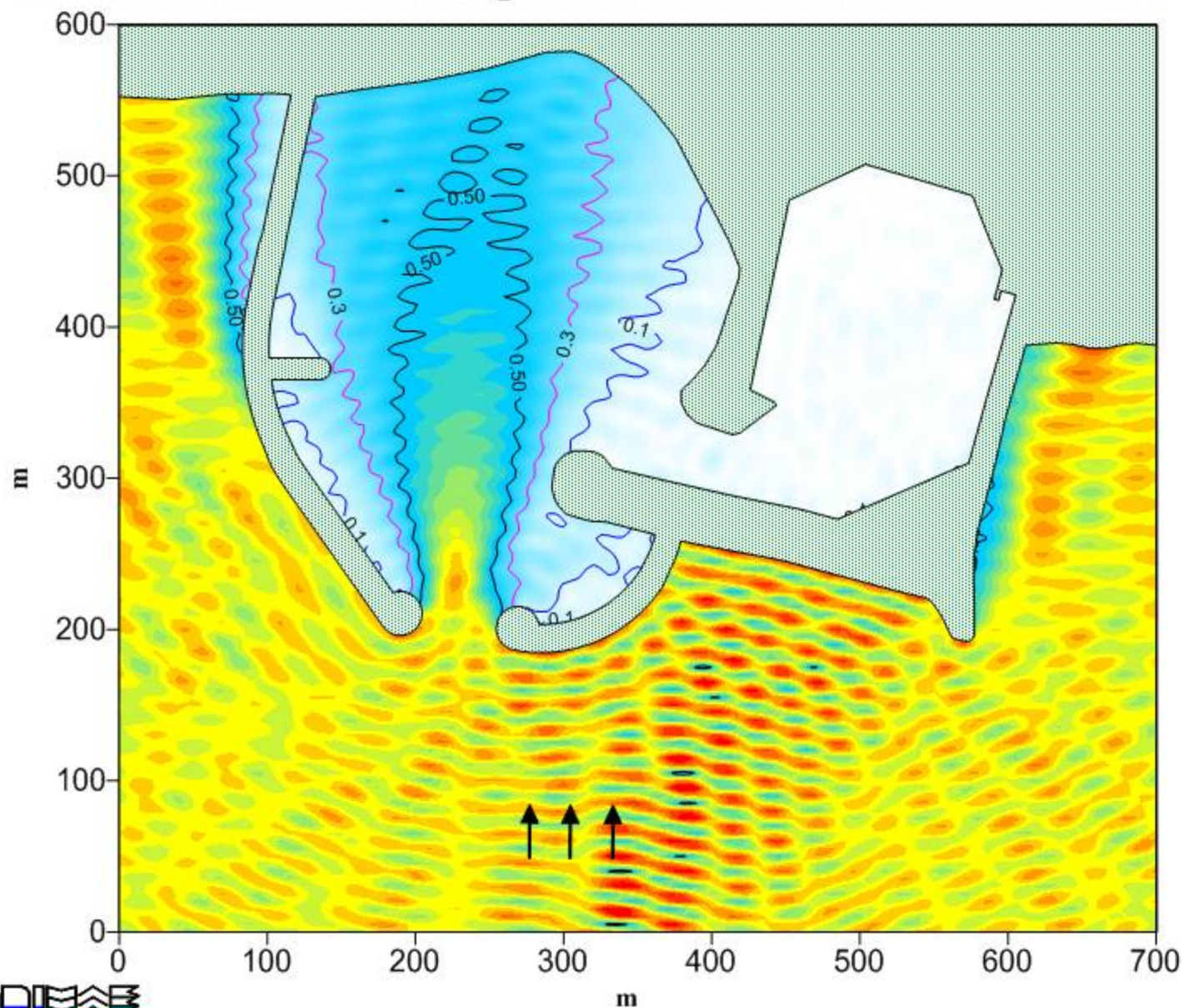
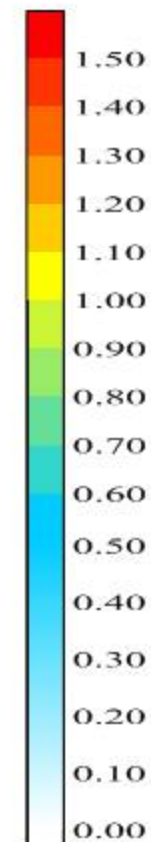
Figura 14



Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

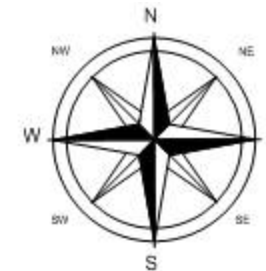
Periodo  $T = 6,0$  s

Direzione  $Dir = 180^\circ N$

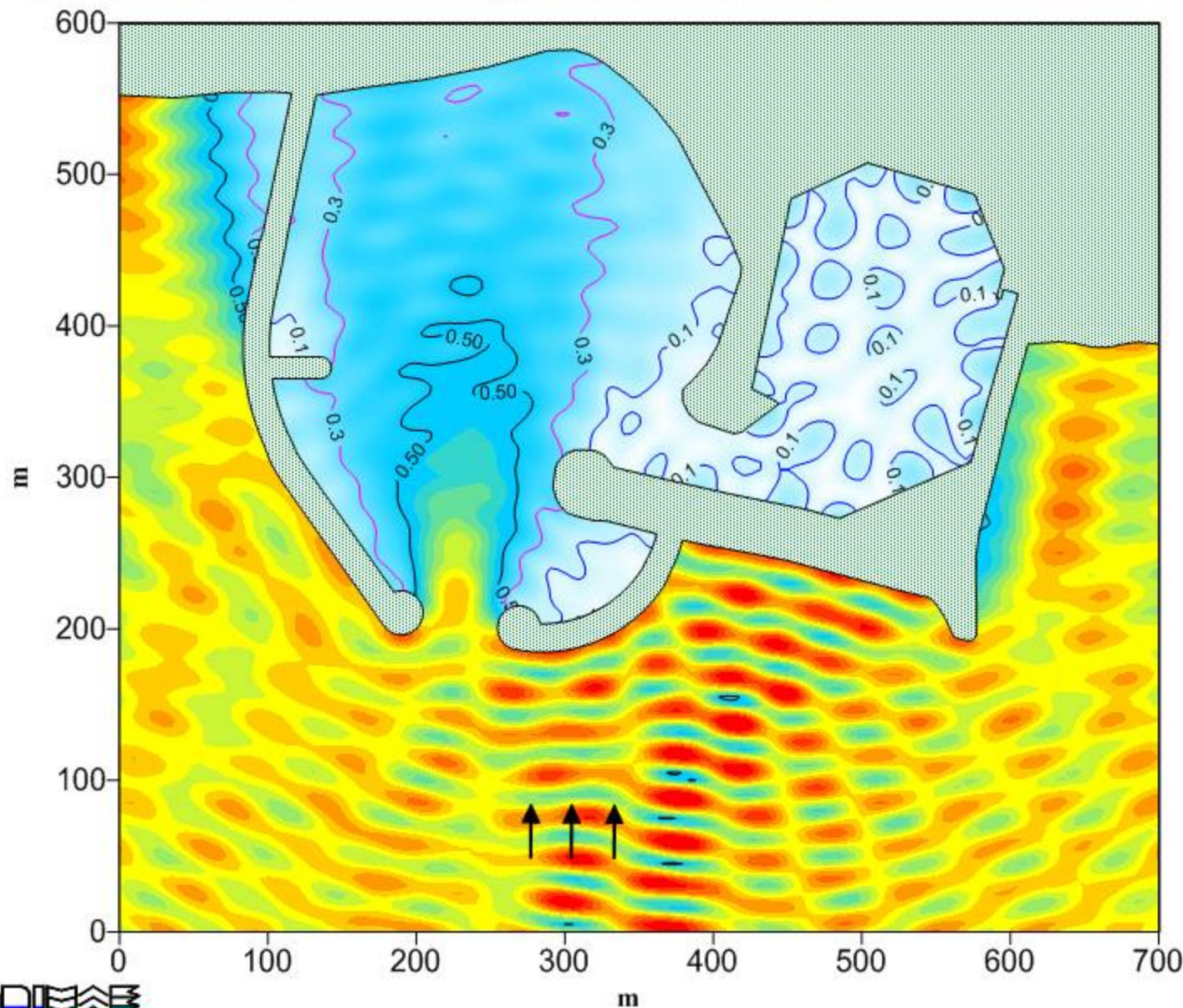
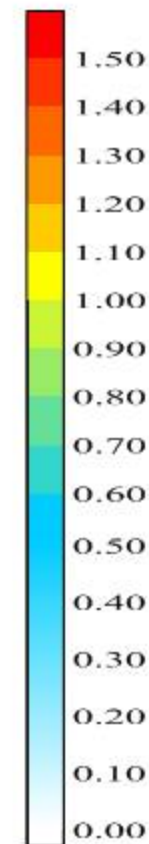
File = CV Pro D180 T6.SRF



Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

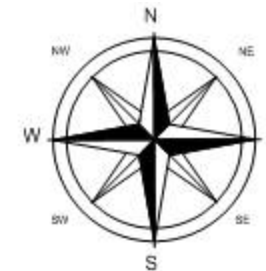
Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione  $Dir = 180^\circ N$

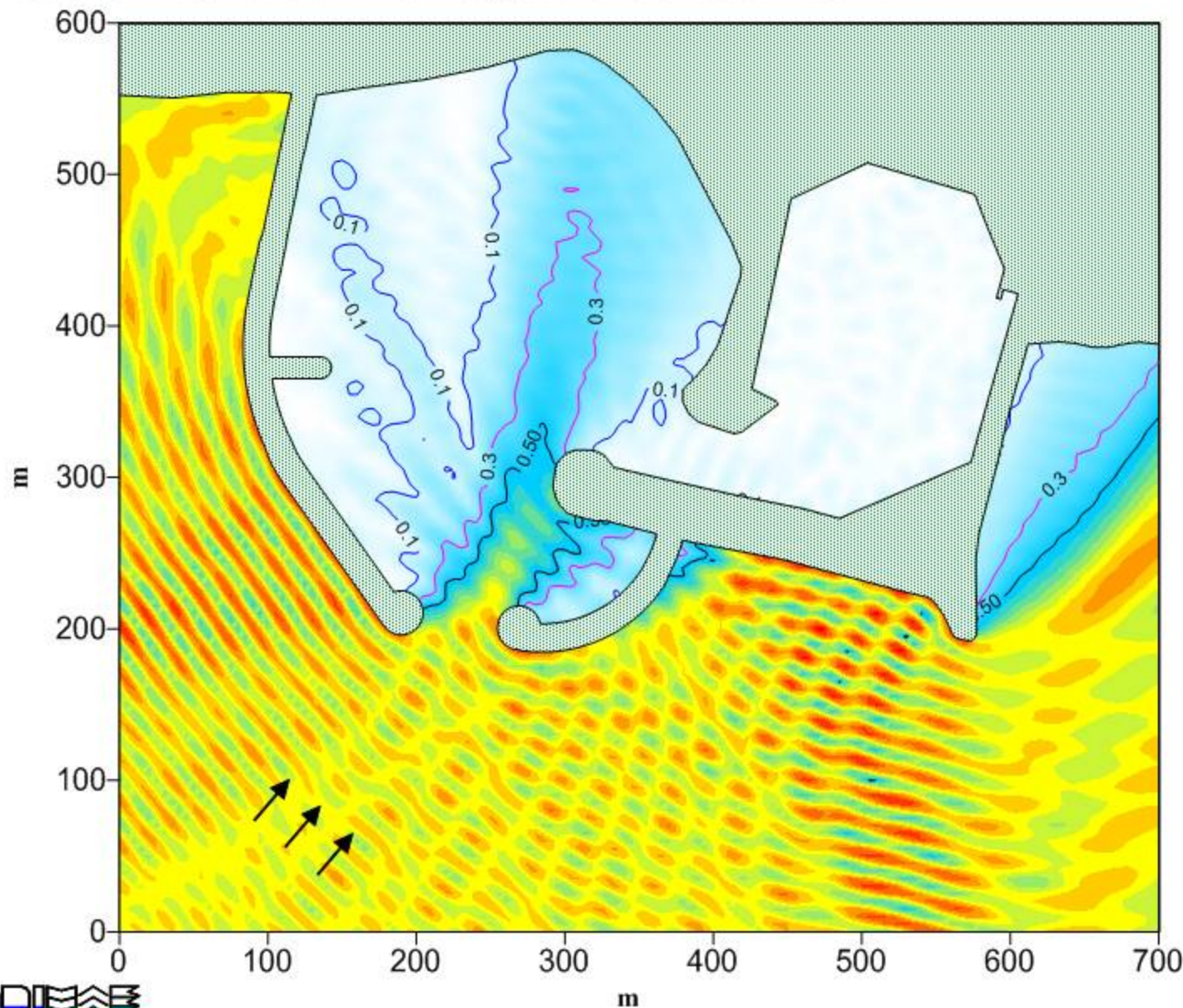
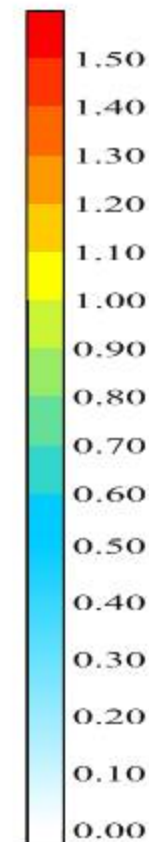
File = CV Pro D180 T9.SRF



Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

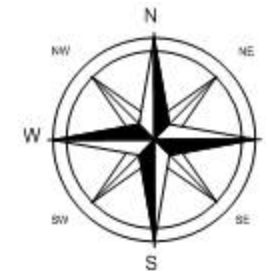
Periodo  $T = 6,0$  s

Direzione  $Dir = 220^\circ N$

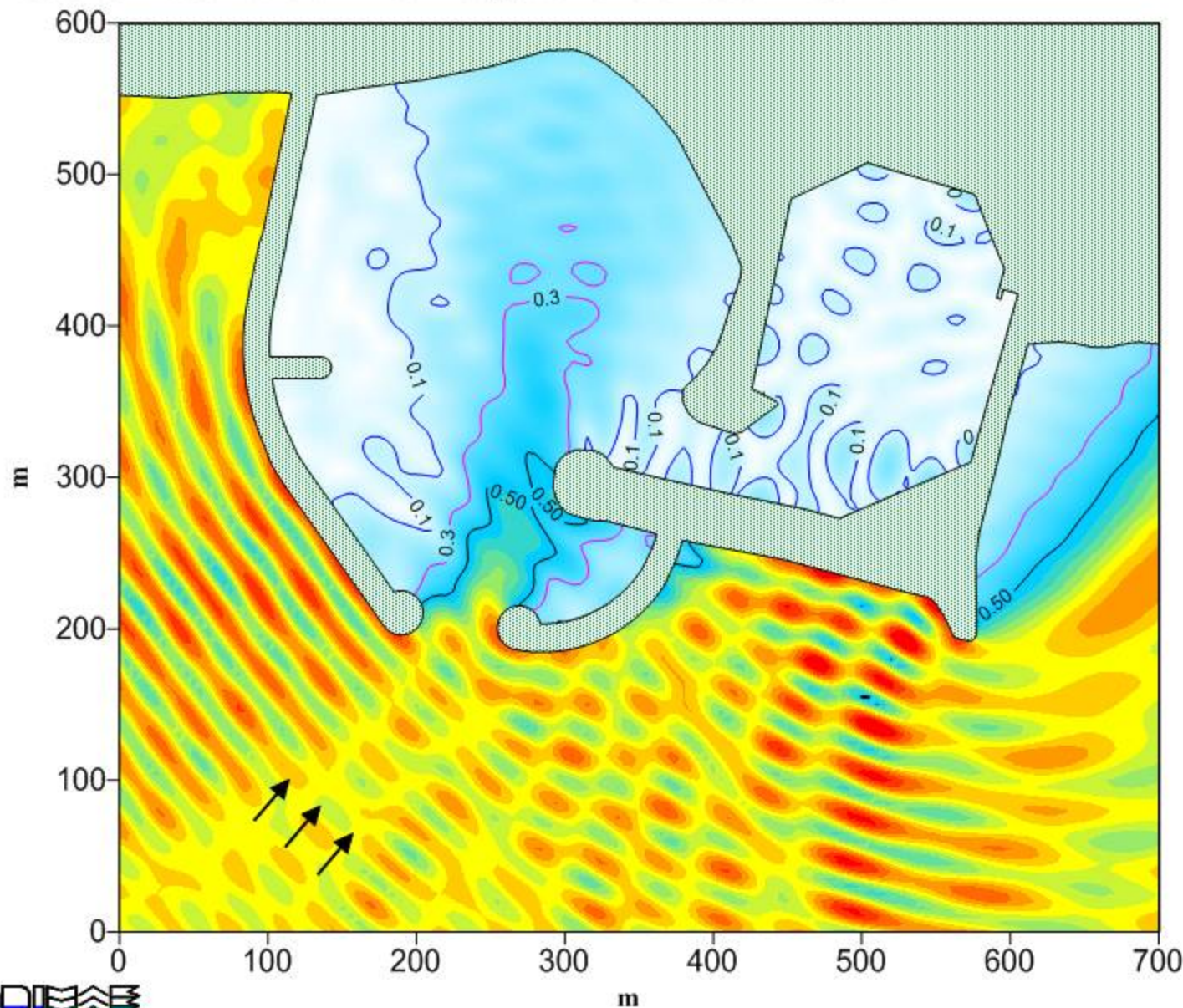
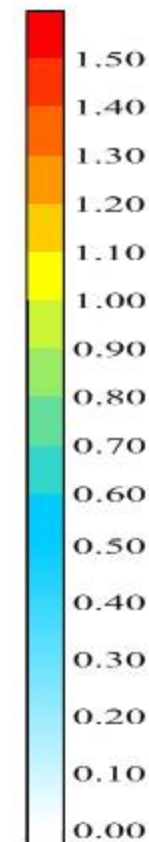
File = CV Pro D220 T6.SRF

Figura 17

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione  $Dir = 220^\circ N$

File = CV Pro D220 T9.SRF



Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

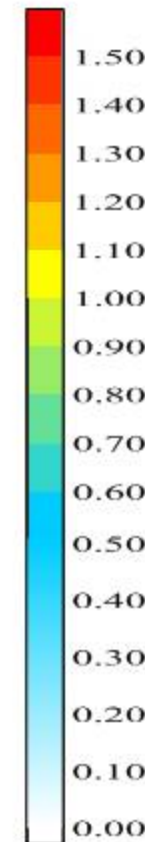
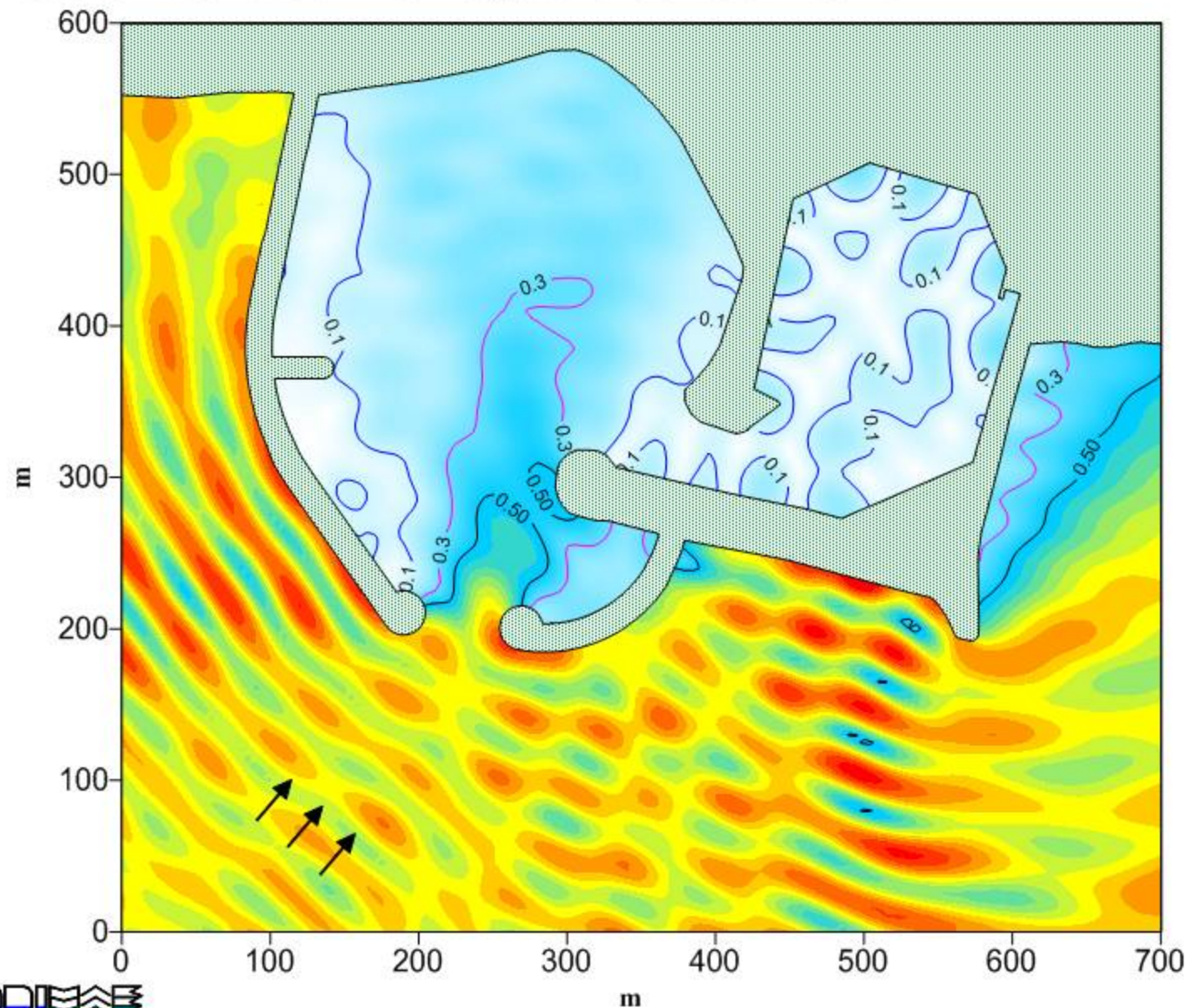
Figura 18



Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa

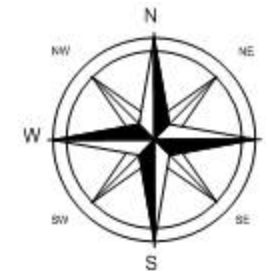


Forzanti moto ondoso:  
Hi = 1,0 m  
Periodo T = 12,0 s  
Direzione Dir = 220 °N

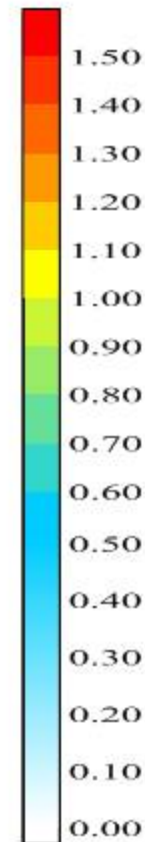
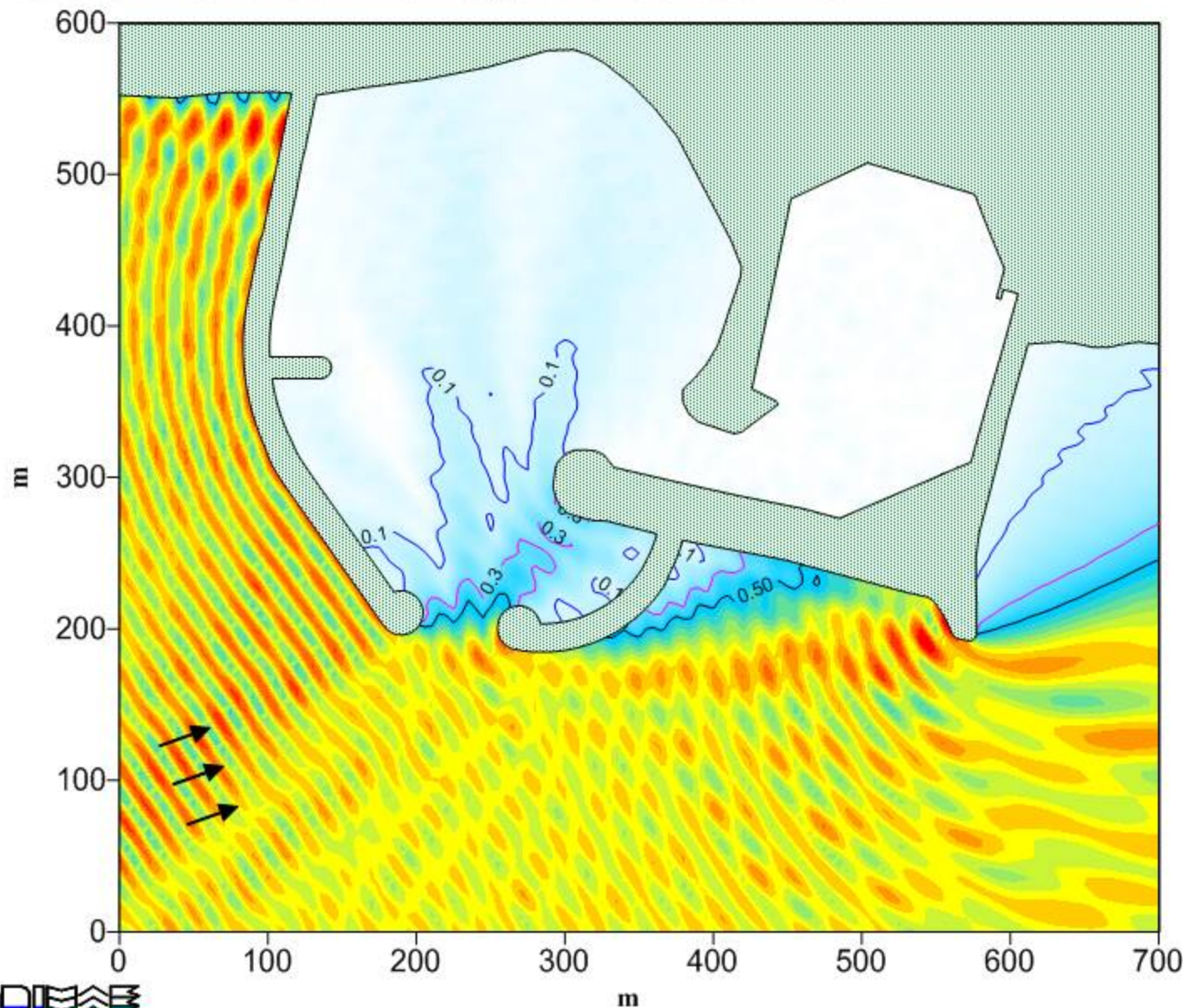
File = CV Pro D220 T12.SRF

Figura 19

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:  
 $H_i = 1,0$  m  
Periodo  $T = 6,0$  s  
Direzione  $Dir = 250^\circ N$

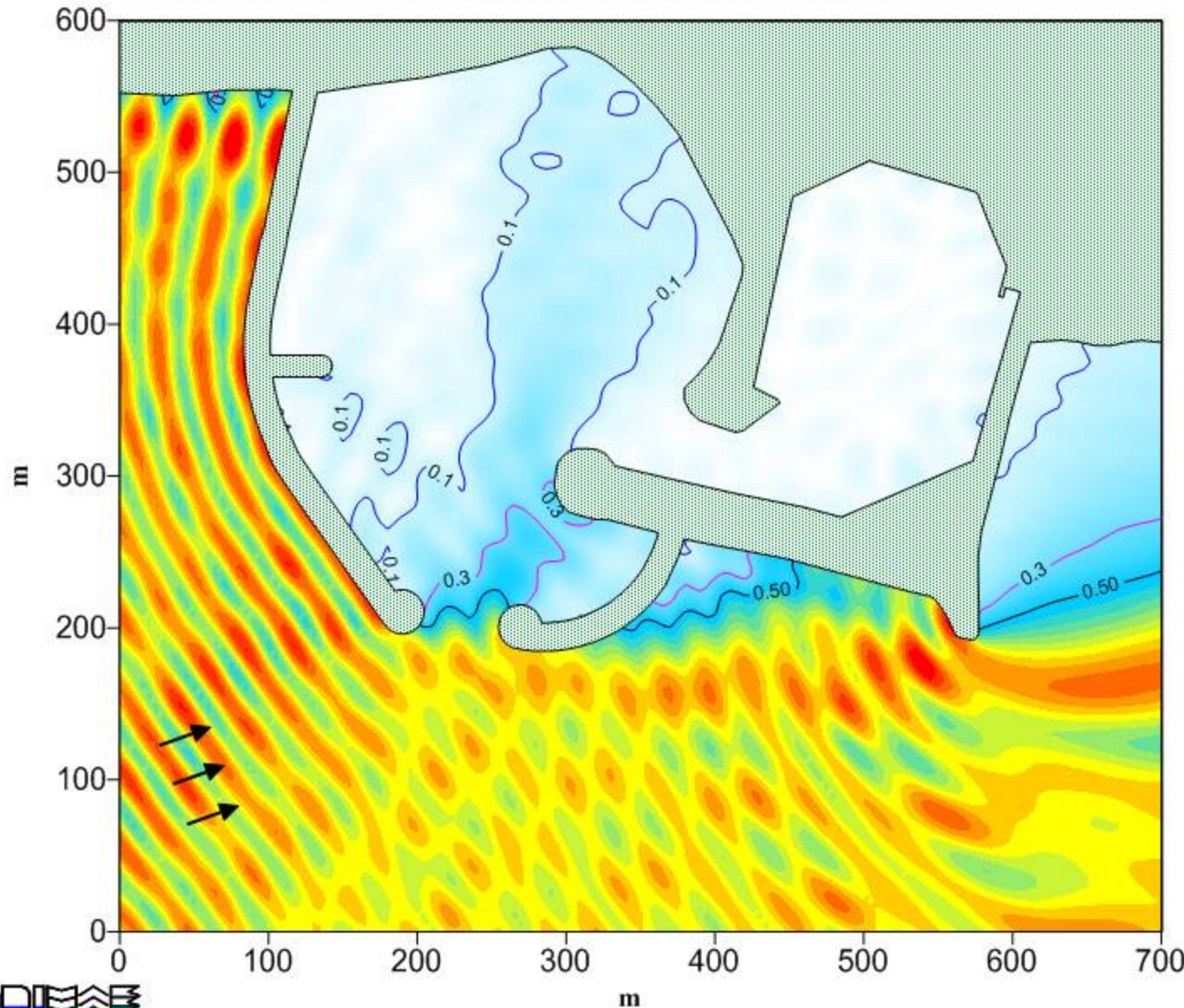
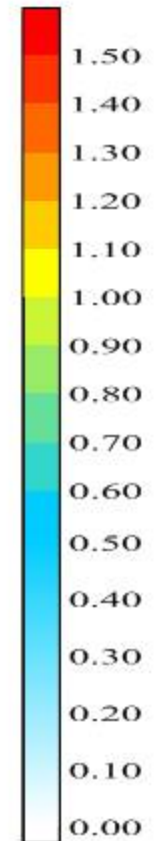
File = CV Pro D250 T6.SRF



Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



Forzanti moto ondoso:

$H_i = 1,0$  m

Periodo  $T = 9,0$  s

Direzione  $Dir = 250^\circ N$

File = CV Pro D250 T9.SRF

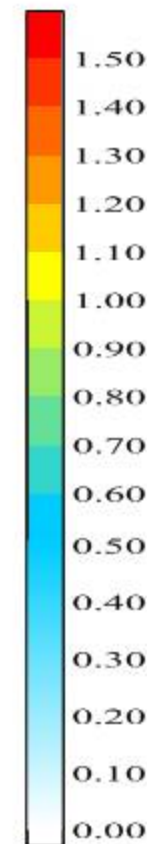
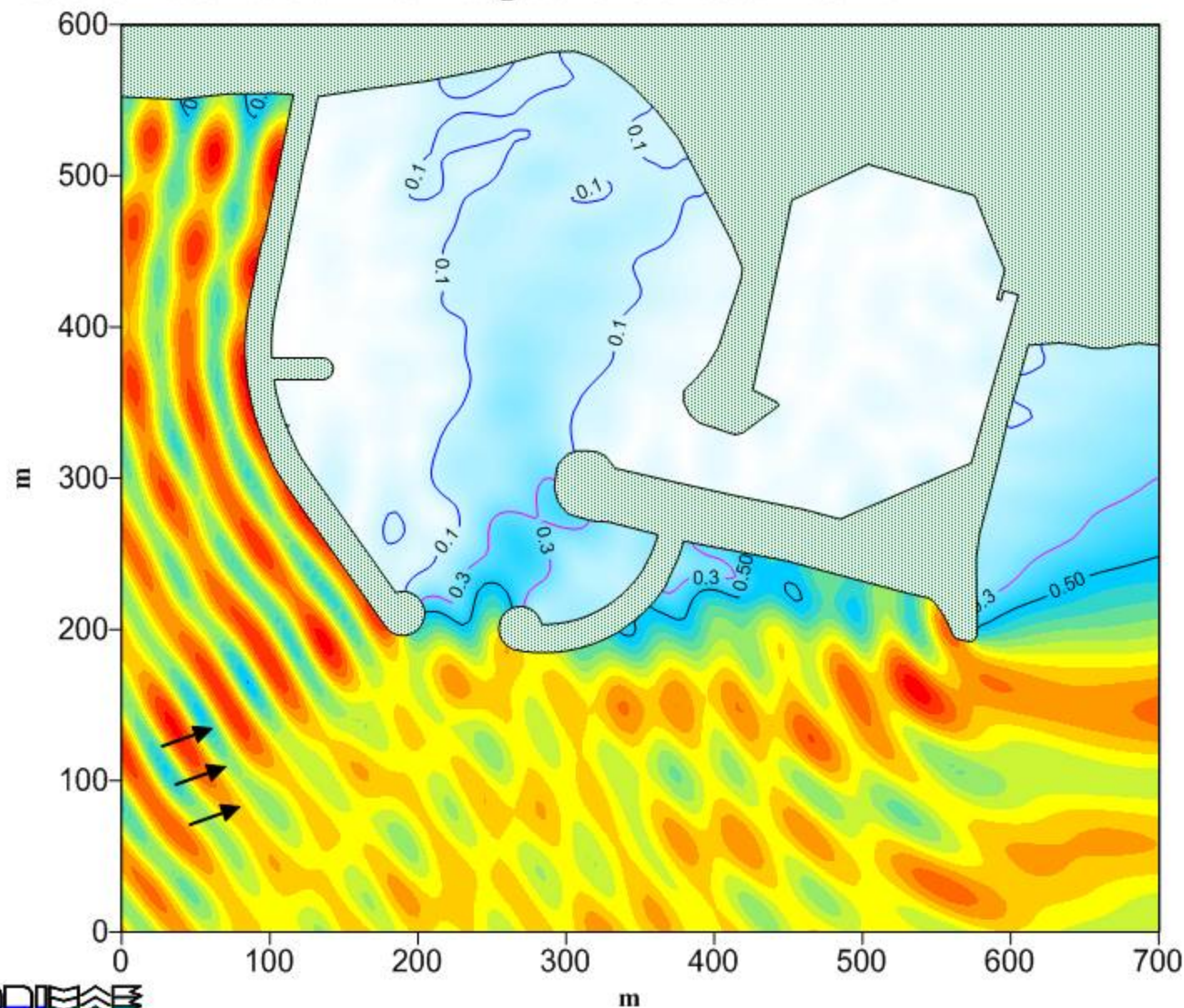
Figura 21

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto

**Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna**



Altezza d'onda relativa



**Forzanti moto ondoso:**

**Hi = 1,0 m**

**Periodo T = 12,0 s**

**Direzione Dir = 250 °N**

**File = CV Pro D250 T12.SRF**

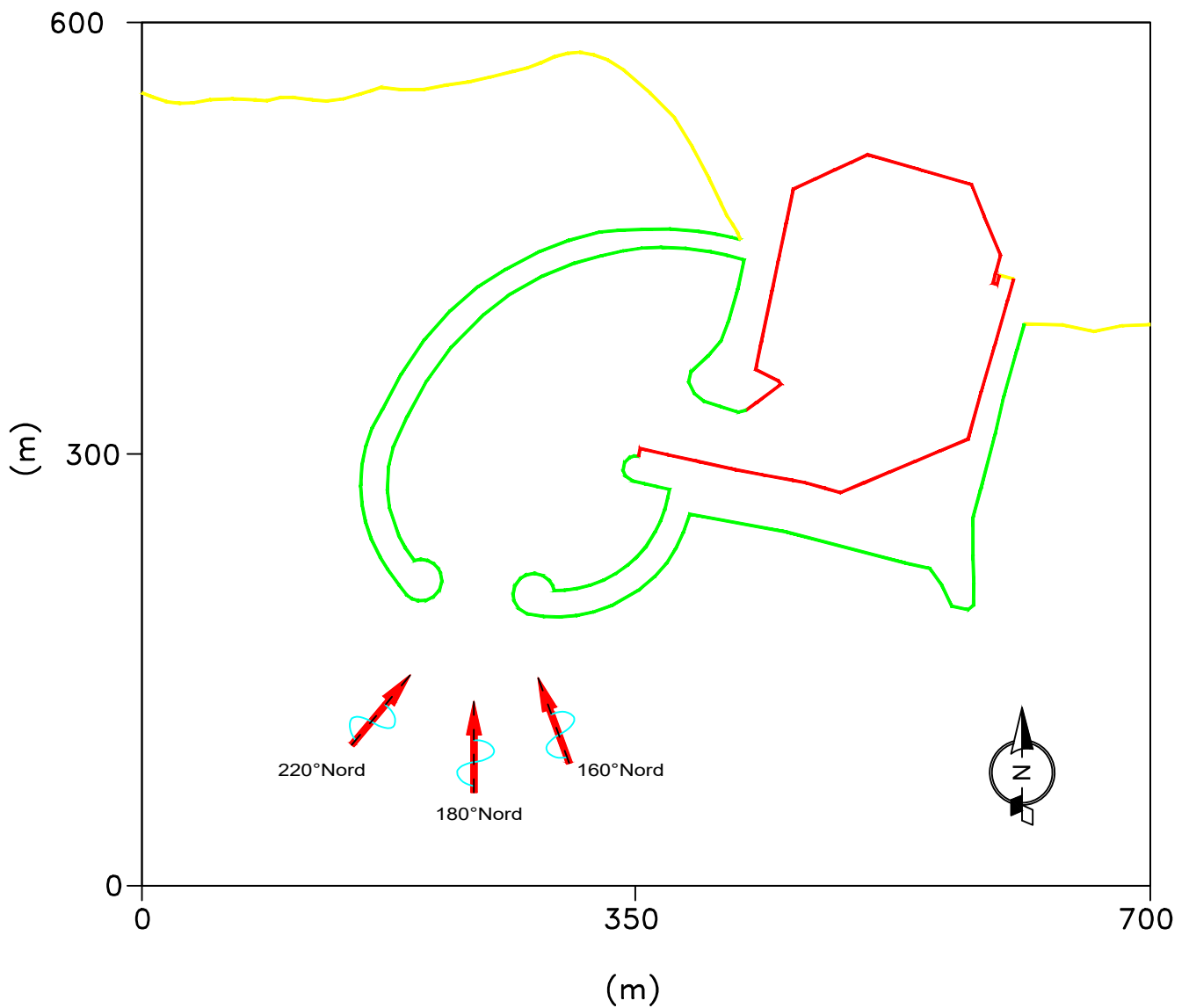


Via Monte Zebio 40  
00195 ROMA

Figura 22



Porto di Casal Velino: Soluzione B (alternativa)  
 Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con  
 l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 4.0 m

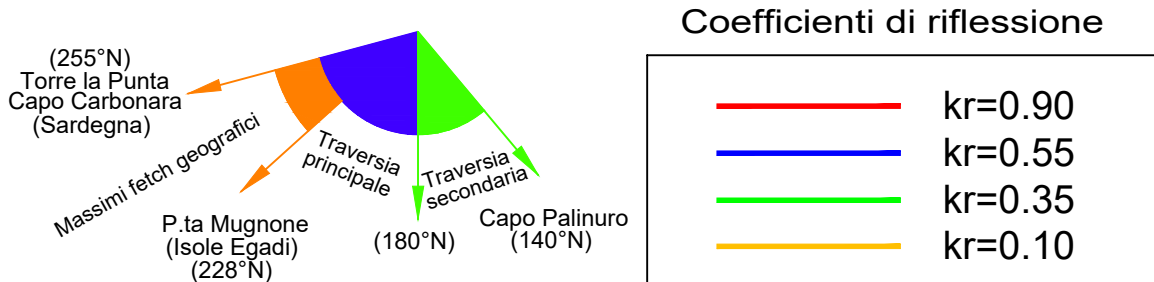
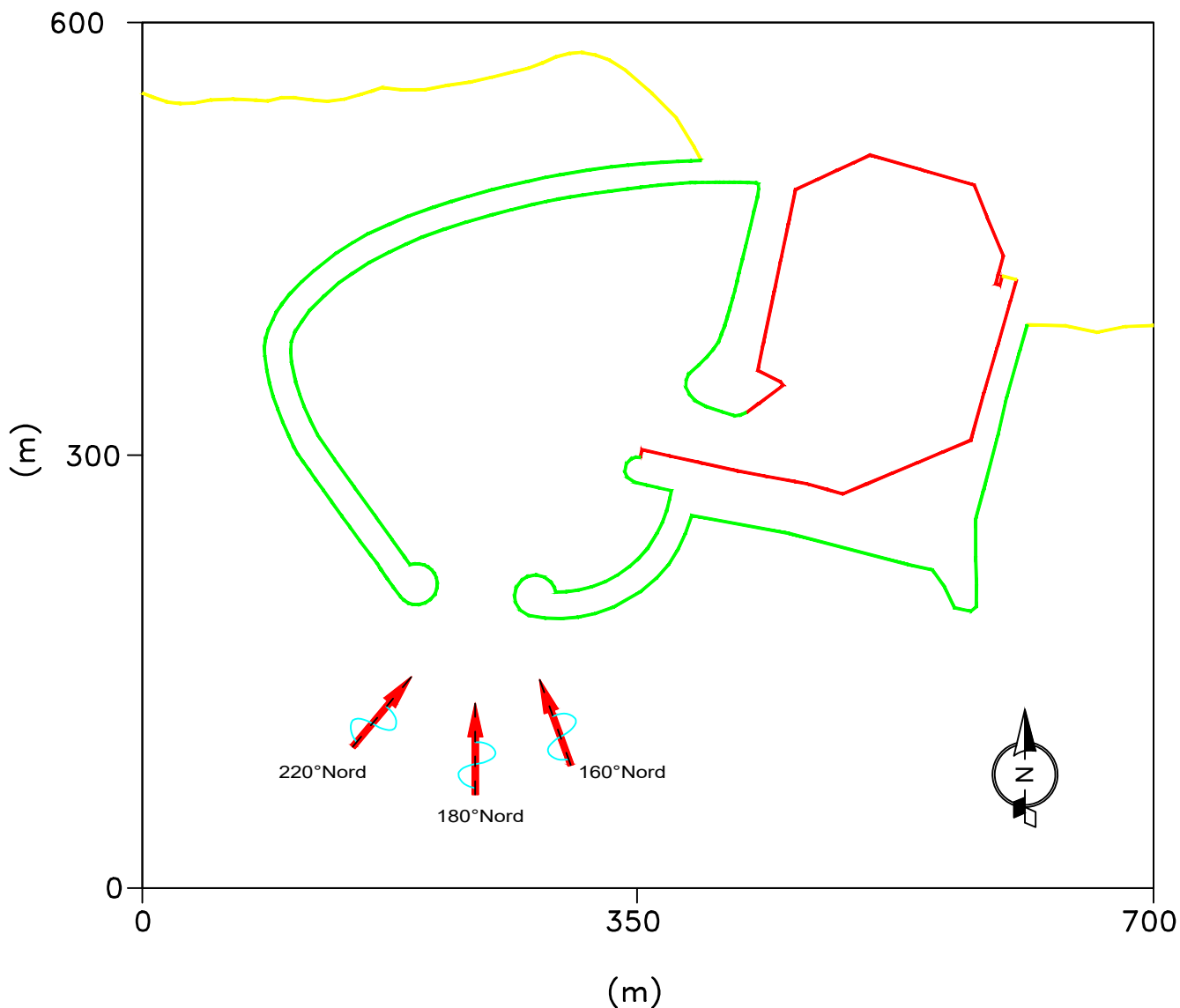


Figura 23

Porto di Casal Velino: Soluzione C (alternativa)  
 Modello matematico VEGA: agitazione ondosa interna



Configurazione portuale simulata con  
 l'indicazione dei coefficienti di riflessione

Profondita' del bacino: 4.0 m

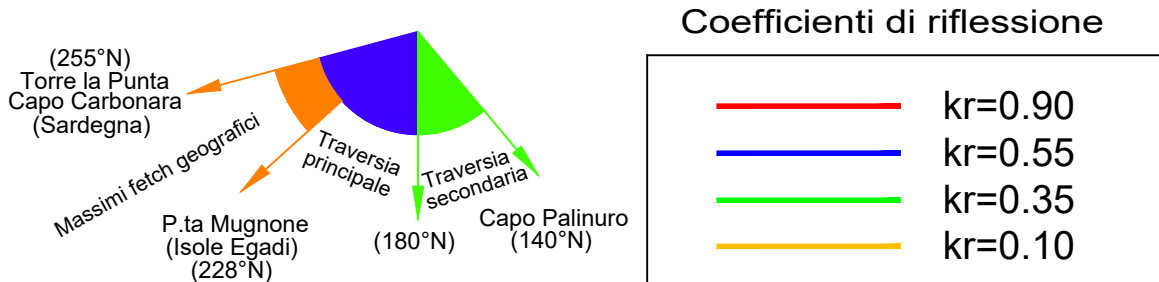


Figura 24

## CONFIGURAZIONE DI PROGETTO DEFINITIVO

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

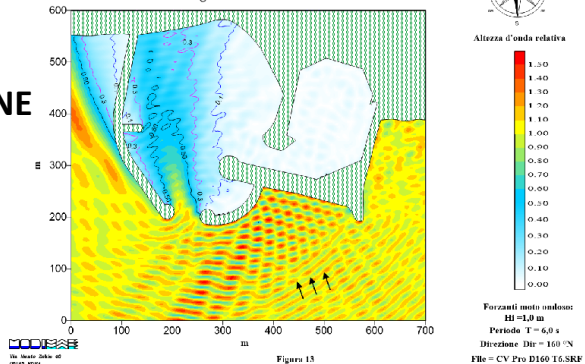
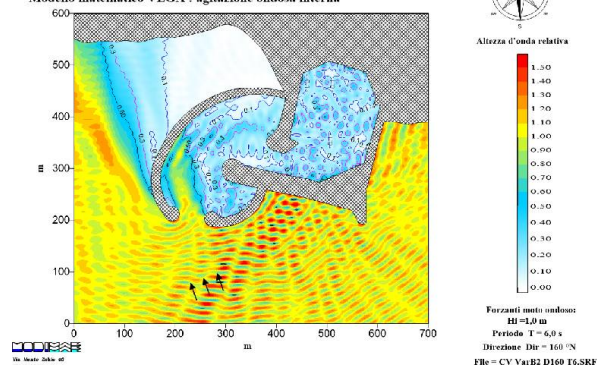


Figura 13

## SOLUZIONI B ALTERNATIVE: VARIANTI B2 ÷ B5

**VARIANTE SOLUZIONE B2:**  
Stesso layout della Soluzione B, ma con molo sopraflutto esistente invariato (come stato attuale)

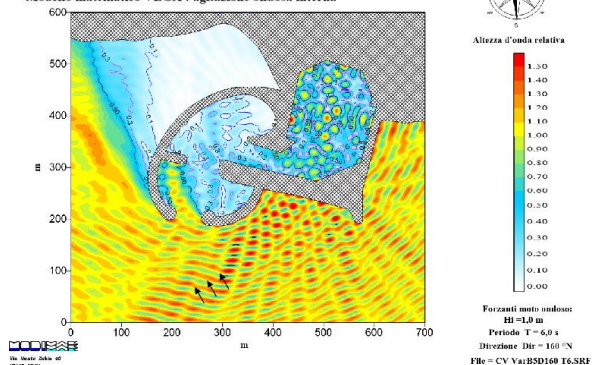
Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione B2)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



File = CV VarB2 D160 T6.SRF

**VARIANTE SOLUZIONE B5:**  
Stesso layout della Soluzione B, ma con molo sopraflutto esistente invariato (come stato attuale) + pennello interno su diga di ponente + spiaggia alla radice della nuova diga di ponente)

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione B5)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



File = CV VarB5D160 T6.SRF

## SOLUZIONE ALTERNATIVA C E SUE VARIANTI C1 ÷ C2

**SOLUZIONE ALTERNATIVA C:**  
Layout individuato come alternativo alla configurazione del progetto definitivo

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione C)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

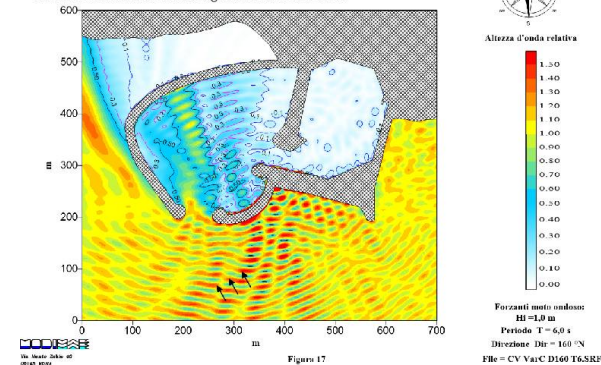
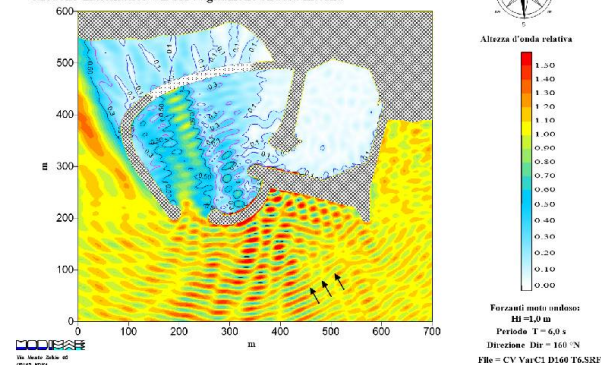


Figura 17

**VARIANTE LAYOUT C: SOLUZIONE C1**  
Configurazione di variante alla Soluzione C: Stessa forma della diga foranea di ponente, ma con la parte centrale della diga foranea di ponente appena sommersa

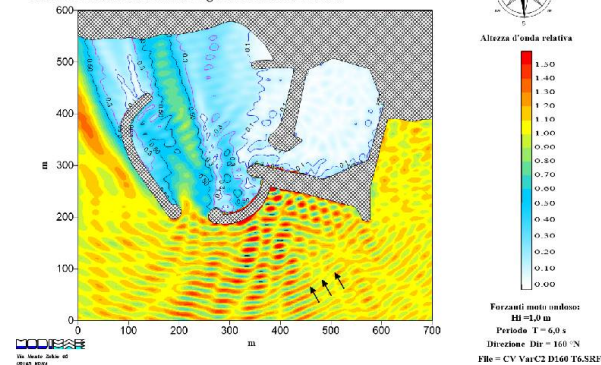
Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione C1)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



File = CV VarC1 D160 T6.SRF

**VARIANTE LAYOUT C: SOLUZIONE C2**  
Configurazione di variante alla Soluzione C: Stessa forma della diga foranea di ponente, ma con adozione di varco centrale nella diga foranea di ponente

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione C2)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

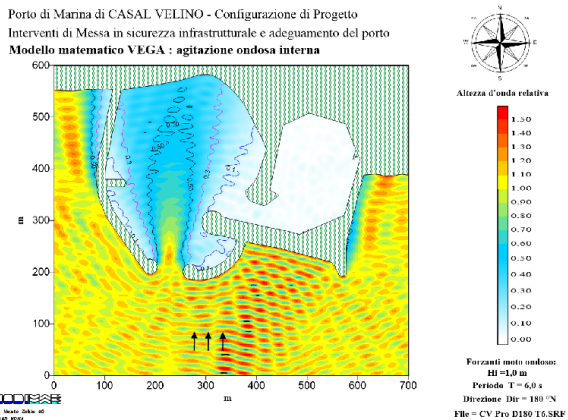


File = CV VarC2 D160 T6.SRF

Figura 25



## CONFIGURAZIONE DI PROGETTO DEFINITIVO



## SOLUZIONE ALTERNATIVA B E SUE VARIANTI

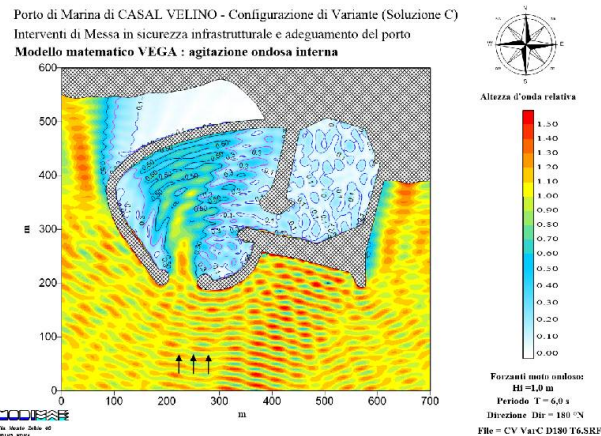
A seguito delle richieste di approfondimento e integrazione sono state eseguite le simulazioni relative alla Soluzione Alternativa B ed alle ulteriori varianti proposte, ma non si è proceduto alla elaborazione dei risultati ottenuti in forma definitiva poiché la presente direzione DIR = 180 °N non rappresenta quella di maggior potere di penetrazione all'interno degli specchi acquei interni (soprattutto darsena di levante esistente).

I livelli di agitazione interna sono risultati peggiori di quelli ottenuti sia per la configurazione di progetto definitivo originaria sia per la ulteriore configurazione di variante C e nelle due geometrie di variante (Soluzioni C1 e C2) prese in esame.

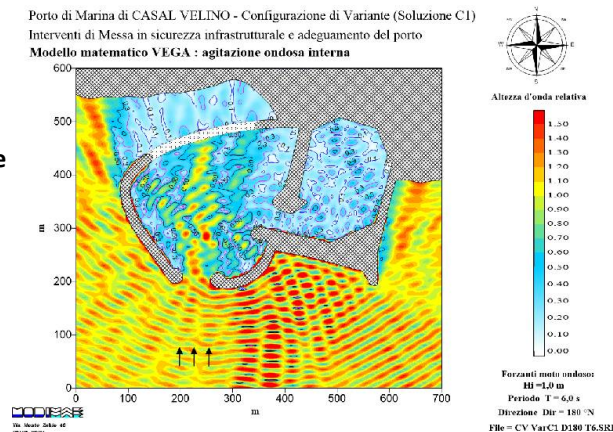
Comunque si evidenzia come i livelli di agitazione interna ottenuti (soprattutto nella darsena esistente) sono confrontabili con quelli ottenuti per la Direzione 220 °N a cui si rimanda per tutti i successivi approfondimenti.

## SOLUZIONE ALTERNATIVA C E SUE VARIANTI C1 ÷ C2

**SOLUZIONE ALTERNATIVA C**  
Layout individuato come alternativo alla configurazione del progetto definitivo



**VARIANTE LAYOUT C: SOLUZIONE C1**  
Configurazione di variante alla Soluzione C: Stessa forma della diga foranea di ponente, ma con la parte centrale della diga foranea di ponente appena sommersa



**VARIANTE LAYOUT C: SOLUZIONE C2**  
Configurazione di variante alla Soluzione C: Stessa forma della diga foranea di ponente, ma con adozione di varco centrale nella diga foranea di ponente

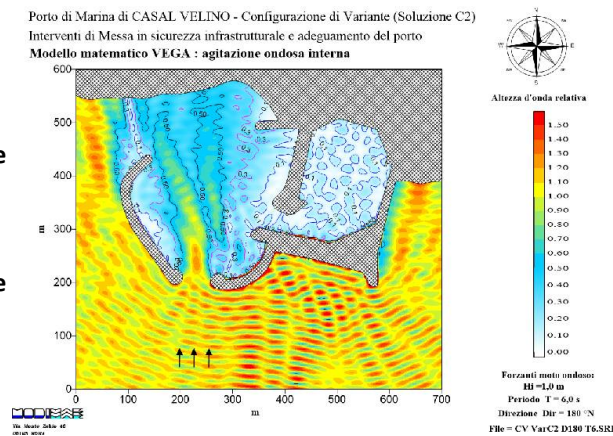
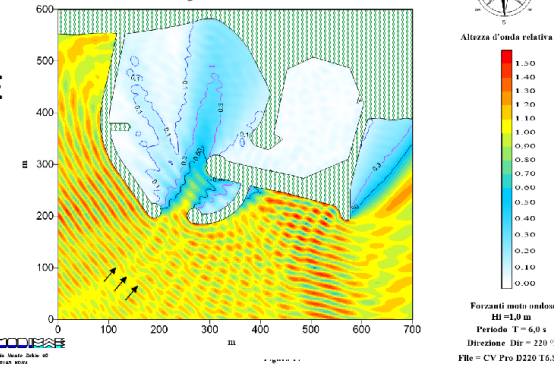


Figura 26

## CONFIGURAZIONE DI PROGETTO DEFINITIVO

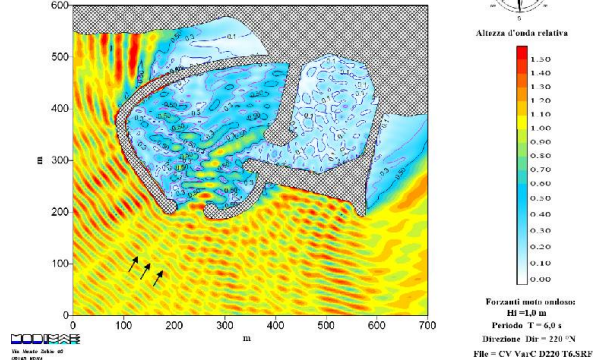
Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Progetto  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



## SOLUZIONE ALTERNATIVA C E SUE VARIANTI C1 ÷ C2

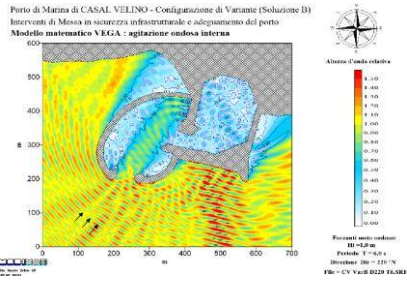
**SOLUZIONE ALTERNATIVA C**  
Layout individuato come alternativo alla configurazione del progetto definitivo

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione C)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

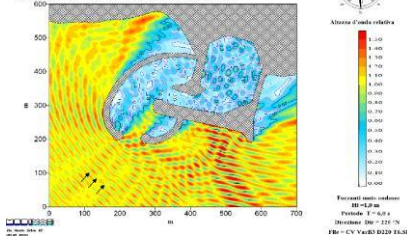


## SOLUZIONI B ALTERNATIVE E VARIANTI B2 ÷ B5

**SOLUZIONE ALTERNATIVA B:**  
Nuova forma della diga di ponente con resecazione ed accorciamento del molo di sopraflutto esistente

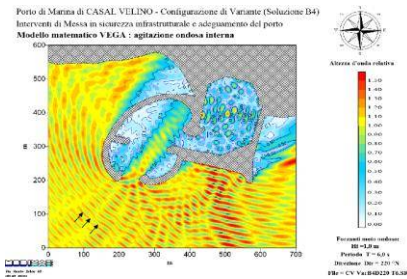


Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione B3)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

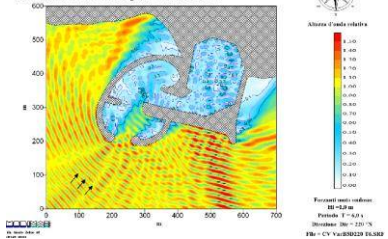


**SOLUZIONE DI VARIANTE B3:**  
Nuova forma della diga di ponente e molo sopraflutto esistente come nello stato attuale

**SOLUZIONE DI VARIANTE B4:**  
Stessa configurazione della Variante B3, con introduzione aggiuntiva del pennello interno su diga di ponente e spiaggia assorbente alla radice diga ponente



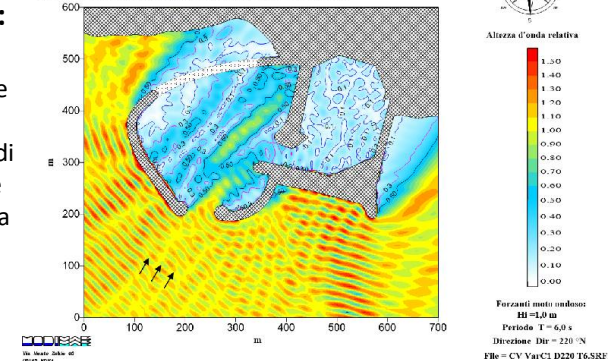
Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione B5)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



**SOLUZIONE DI VARIANTE B5:**  
(Configurazione come Soluzione B4 con ulteriore modifica della testata del molo di sottoflutto con forma a «martello»)

**VARIANTE LAYOUT C: SOLUZIONE C1**  
Configurazione di variante alla Soluzione C: Stessa forma della diga foranea di ponente, ma con la parte centrale della diga foranea di ponente appena sommersa)

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione C1)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna



**VARIANTE LAYOUT C: SOLUZIONE C2**  
Configurazione di variante alla Soluzione C: Stessa forma della diga foranea di ponente, ma con adozione di varco centrale nella diga foranea di ponente

Porto di Marina di CASAL VELINO - Configurazione di Variante (Soluzione C2)  
Interventi di Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto  
Modello matematico VEGA : agitazione ondosa interna

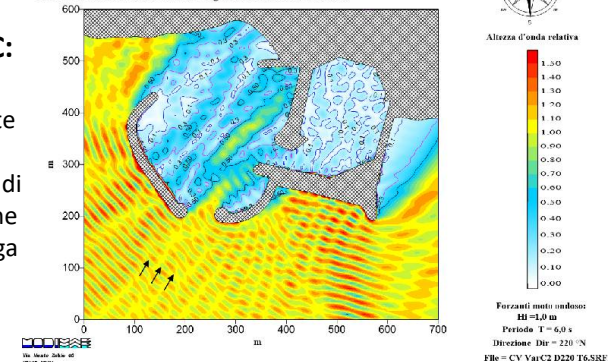


Figura 27