



REGIONE CAMPANIA



PROVINCIA DI SALERNO

COMUNE DI SAPRI

LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO.
REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE
IN LOCALITA' BRIZZI.
IV LOTTO FUNZIONALE

PROGETTO ESECUTIVO

Titolo elaborato :

STUDIO AGITAZIONE ONDOSA PORTUALE

Scale:

1 9 0 1 0 E R 0 1 4 - 0 S P 3

Committente

COMUNE DI SAPRI
Via Villa Comunale, n. 1
84073 - Sapri (SA)

R.U.P.
Ing. Alberto CIORCIARO

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

Capogruppo (Mandatario)

MODIMAR S.r.l.
SERVIZI DI INGEGNERIA

Dott. Ing. Paolo CONTINI
Dott. Ing. Andrea SANZONE
(Direttore Tecnico)



Via Monte Zebio 40 - 00195 ROMA
06.3269461 - www.modimar.it

Mandanti

SPARTA INGEGNERIA S.r.l.

Dott. Ing. Giustiniano CAGGIANO
Dott. Arch. Franco MONTESANO

AGOSTO 2019

0

Data

Rev.

DESCRIZIONE

Redatto:

Verificato:

Approvato:

Dimensioni foglio: A1

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

Visto del Committente:

LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE
PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO. REALIZZAZIONE
DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE
IN LOCALITA' BRIZZI.
IV LOTTO FUNZIONALE

PROGETTO ESECUTIVO

STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO-MARITTIMA

Si riporta in allegato lo studio specialistico condotto a supporto della presente progettazione ed affidato alla scivente ATI Modimar srl – Sparta Ingegneria srl, dal responsabile del settore Tecnico – Urbanistica con determinazione n. generale 280/n. sett. 63 del 7 maggio 2019.



REGIONE CAMPANIA



PROVINCIA DI SALERNO

COMUNE DI SAPRI

LAVORI DI COMPLETAMENTO E RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE
AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO.
REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE
IN LOCALITA' BRIZZI
IV LOTTO FUNZIONALE

STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO - MARITTIMA

Titolo elaborato : STUDI DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSO (I FASE)
- STUDIO SULL'AGITAZIONE ONDOSA RESIDUA
ALL'INTERNO DEL PORTO DI SAPRI

Scale:

1 9 0 0 9 D R 0 0 4 - 0 M A R

Committente

COMUNE DI SAPRI
Via Villa Comunale, n. 1
84073 - Sapri (SA)

R.U.P.

Ing. Alberto CIORCIARO

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

Capogruppo (Mandataria)

MODIMAR S.r.l.
SERVIZI DI INGEGNERIA

Dott. Ing.
Paolo CONTINI
(Direttore Tecnico)

Dott. Ing.
Andrea SANZONE



Via Monte Zebio 40 - 00195 ROMA
06.3269461 - www.modimar.it

Mandanti

SPARTA INGEGNERIA S.r.l.

Dott. Ing.
Giustiniano CAGGIANO

Dott. Arch.
Franco MONTESANO

MODIMAR S.r.l.

Amministratore Unico
Dott. Ing. Marco Tartaglino

24/07/2019	0		SANZONE	CONTINI	TARTAGLINI
Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

Dimensioni foglio: A4

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

Visto del Committente:

INDICE

1	PREMESSE	2
2	IPOTESI DI CALCOLO E CONDIZIONI DI INPUT	3
3	STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSO	12
4	ANALISI DEI RISULTATI.....	43
5	CONCLUSIONI	44
	ALLEGATO 1: DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA	47

1 PREMESSE

Il Comune di Sapri (SA), rappresentato dal Responsabile del Settore tecnico-urbanistica ing. Alberto CIORCIARO, a seguito della Determinazione generale 280/n. sett. 63 del 07/05/2019, in data 05/06/2019 ha affidato l'incarico al Raggruppamento Temporaneo MODIMAR S.R.L. (mandataria) e SPARTA INGEGNERIA SRL (mandante) per l'esecuzione degli "STUDI SPECIALISTICI METEOMARINI E DI INGEGNERIA IDRAULICO-MARITTIMA" propedeutici alla progettazione definitiva ed esecutiva dei "LAVORI DI COMPLETAMENTO RIQUALIFICAZIONE TURISTICA DELLE AREE PORTUALI E COLLEGAMENTO DEL PORTO AL CENTRO URBANO" e "REALIZZAZIONE DI UN TERMINAL TURISTICO INTERMODALE IN LOCALITÀ BRIZZI", identificati nell'intervento ID14_1 di cui all'allegato 3 del DDR n.115 del 18/12/2018.

La presente relazione illustra i risultati dello studio della penetrazione del moto ondoso di fondamentale importanza per la corretta definizione dello schema portuale definitivo. Tale studio è stato effettuato utilizzando un modello numerico che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz. Questa, come è noto, consente di ricavare i valori dell'agitazione nei bacini portuali tenendo conto dei fenomeni combinati di diffrazione e riflessione, che nel caso specifico risultano dominanti dal punto di vista della penetrazione delle onde.

L'applicazione del modello numerico ha consentito, infatti, la verifica oggettiva delle condizioni di agitazione ondosa per le varie configurazioni portuali ipotizzate rispetto alla situazione attuale, fornendo ai progettisti un utile parametro di valutazione oggettiva sullo schema portuale da prediligere e da ottimizzare.

Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando le condizioni di moto ondoso più gravose ai fini dell'agitazione ondosa residua, compatibilmente con le condizioni meteo-marine raggiungibili nel paraggio in esame. Per i valori assunti si rimanda ai risultati ottenuti nello studio meteo-marino allegato al presente progetto.

2 IPOTESI DI CALCOLO E CONDIZIONI DI INPUT

Il porto di Sapri sorge all'interno di un'insenatura naturale ubicata nella parte Nord della costa che caratterizza il golfo di Policastro e risulta esposto al mare aperto per un settore di circa 91° delimitato a Nord-Ovest dalla Punta Iscoletti (propaggine meridionale del Cilento, direzione circa 245°N) e a Sud-Est da Capo Scalea (margine settentrionale della catena costiera dell'appennino calabro, direzione circa 154°N).

Attualmente il porto esistente (Figura 2.1) è costituito da un'area di mare protetta da:

- un molo sopraflutto, lungo complessivamente circa 290 m, avente un orientamento secondo la direttrice SudEst-NordOvest che garantisce un ridosso sicuro nella maggior parte dello specchio acqueo interno;
- un molo sottoflutto, lungo complessivamente circa 350 m, avente un orientamento del tratto di radicamento pressoché parallelo alla direzione del molo sopraflutto, ed un secondo tratto più esteso disposto secondo la direttrice NordEst-SudOvest.

Al fine di ridurre il grado di agitazione ondosa all'interno del bacino portuale è stato deciso di valutare gli effetti conseguenti all'introduzione delle seguenti nuove opere:

- **SOLUZIONE 1**

Realizzazione di un nuovo pontile di ormeggio con cassoncini prefabbricati antiriflettenti, lungo complessivamente circa 100 m e largo circa 5 m, da radicare nel punto centrale della banchina di riva (Figura 2.2).

- **SOLUZIONE 2**

Realizzazione di un nuovo pontile di ormeggio con cassoncini prefabbricati antiriflettenti, lungo complessivamente circa 100 m e largo circa 5 m, da radicare in prossimità della testata del molo di sottoflutto (Figura 2.3).

- **SOLUZIONE 3**

Rifiorimento della testata del molo sopraflutto con massi naturali. Prolungamento e ricostruzione della testata del molo sottoflutto con massi naturali. Riqualficazione del tratto di banchina posto in prossimità del molo di sopraflutto, da destinare al bunkeraggio, con massi sovrapposti di calcestruzzo (Figura 2.4).

- **SOLUZIONE 4**

Realizzazione delle opere previste dalla soluzione 3 con l'aggiunta del nuovo pontile di ormeggio ipotizzato nella soluzione 1 (Figura 2.5).

- **SOLUZIONE 5**

Realizzazione delle opere previste dalla soluzione 3 con l'aggiunta del nuovo pontile di ormeggio ipotizzato nella soluzione 2 (Figura 2.6).

Tutte le suddette configurazioni portuali prese in considerazione per lo studio della penetrazione del moto ondoso con l'indicazione dei coefficienti di riflessione utilizzati, assumendo una profondità media costante del bacino pari a 4.0 m, vengono di seguito riportate.

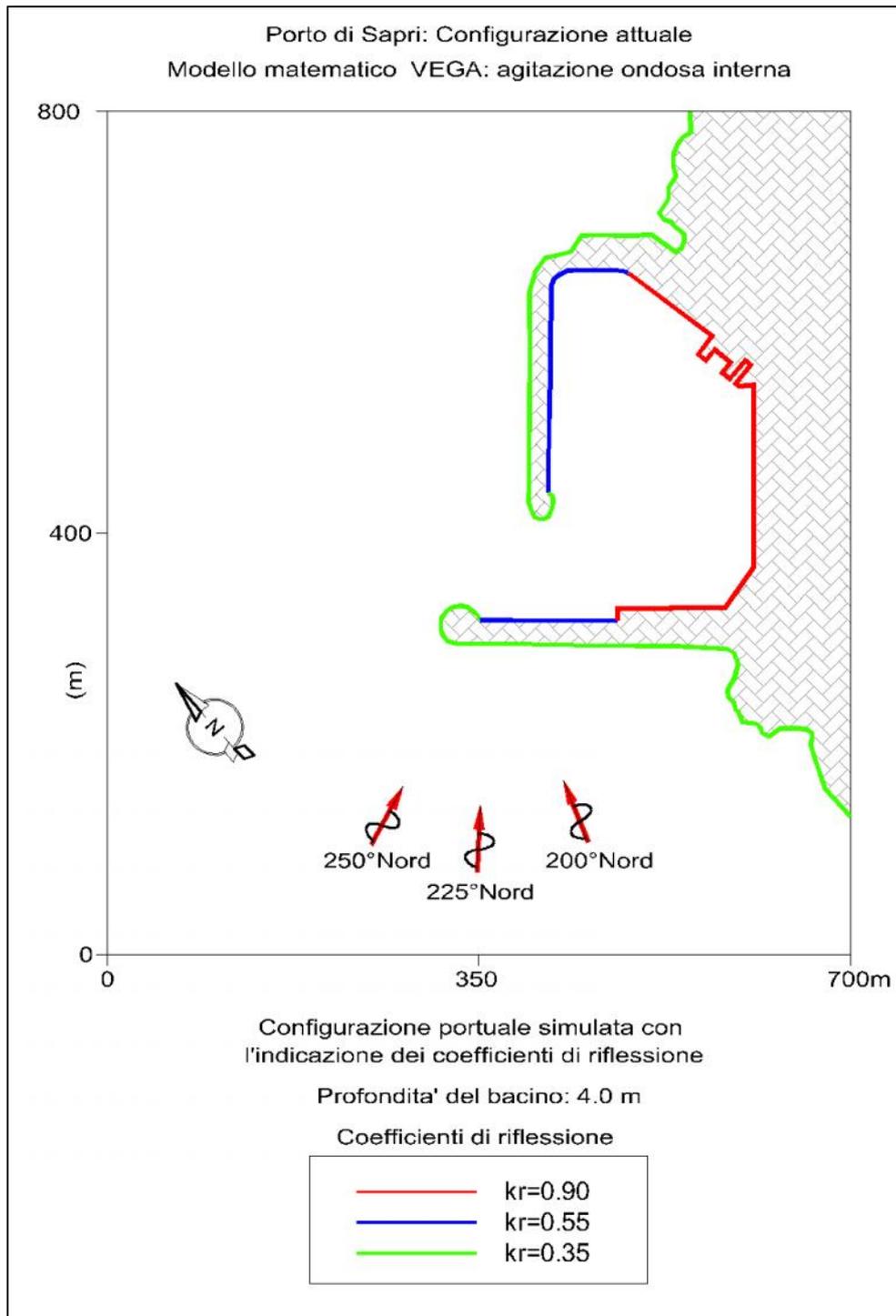


Figura 2.1: Situazione attuale simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 4.0m)

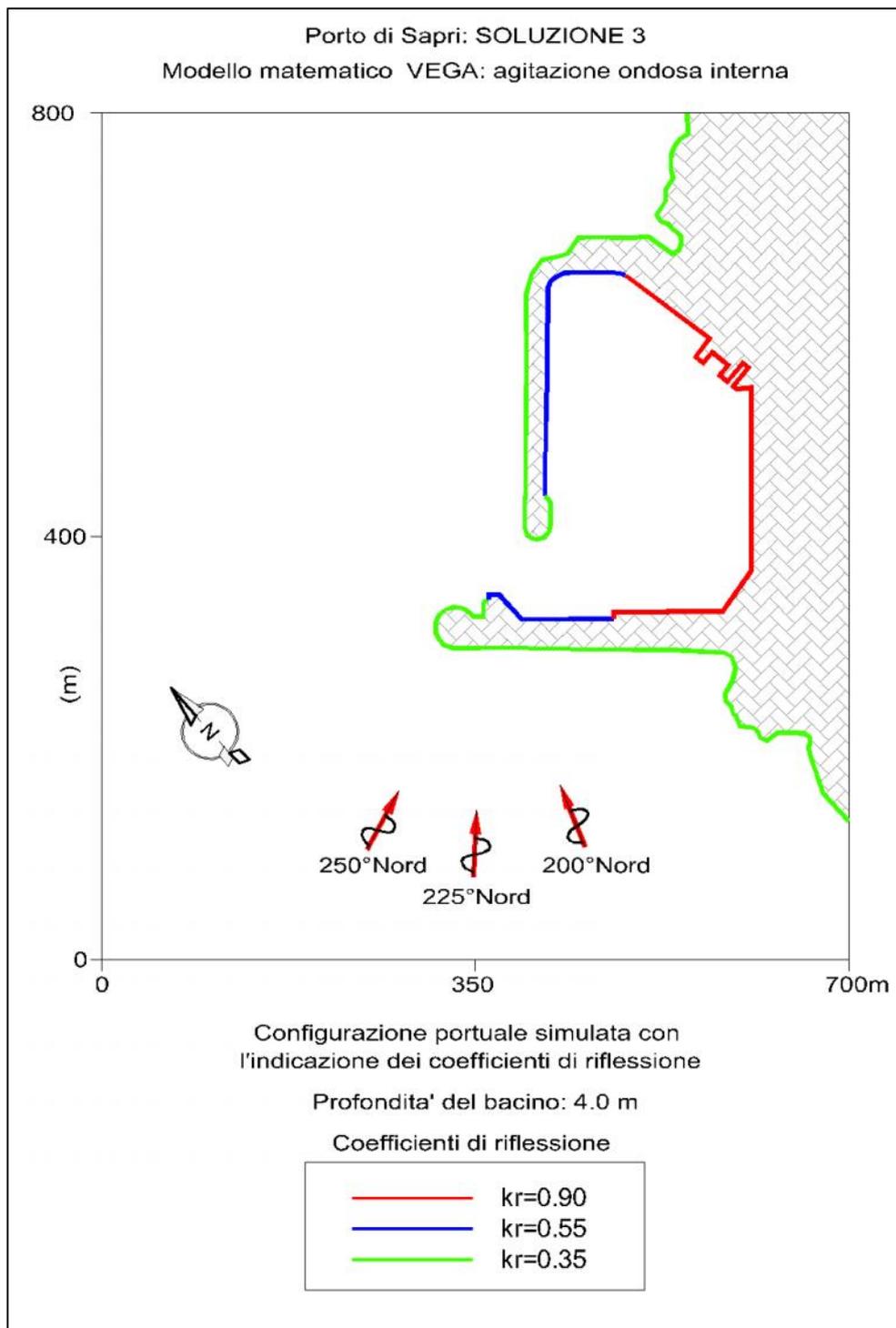


Figura 2.4: Soluzione 3 di progetto simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 4.0m)

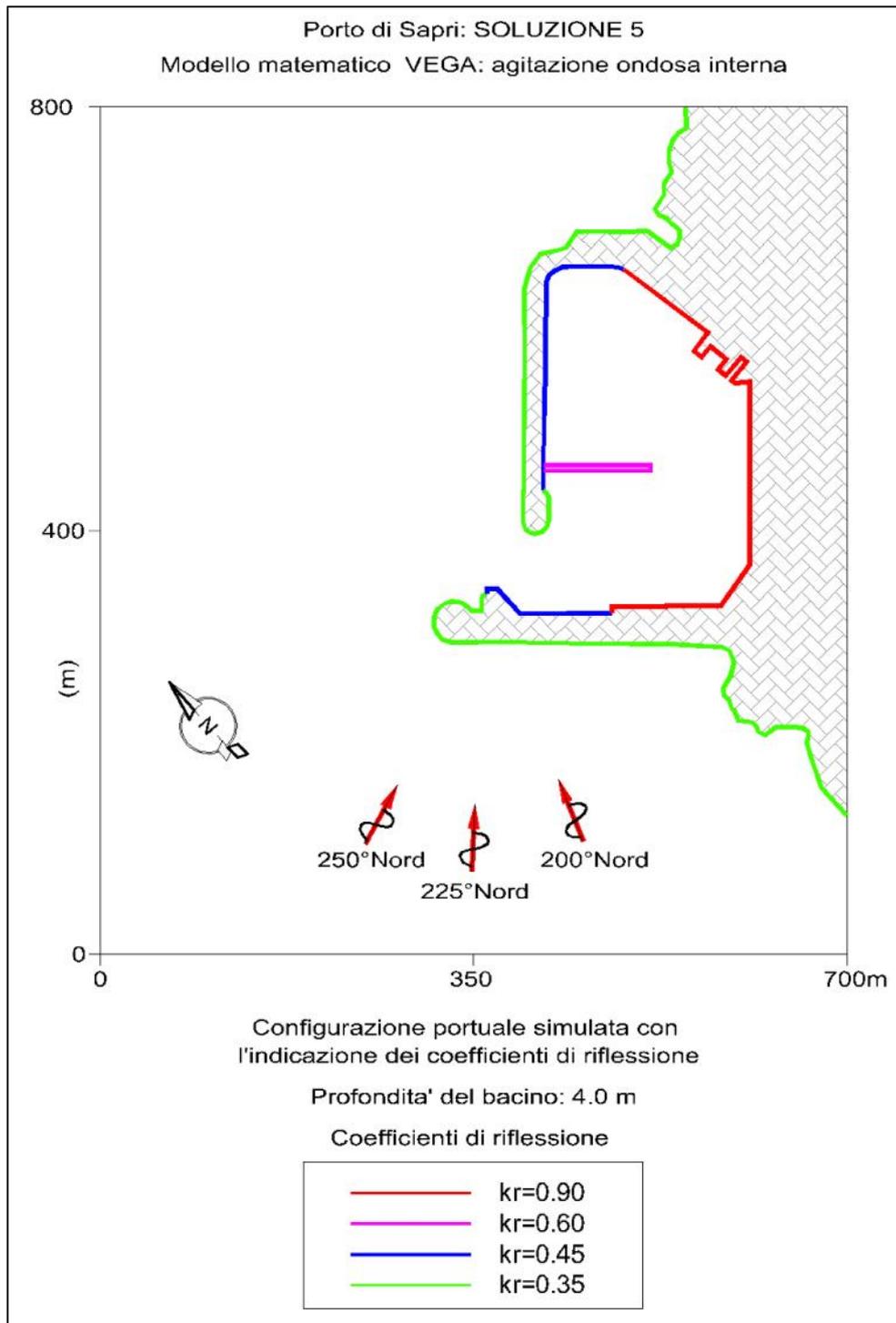


Figura 2.6: Soluzione 5 di progetto simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 4.0m)

I coefficienti di riflessione R delle opere delimitanti le aree portuali interne ed esterne, riportati nelle figure sopra elencate, sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse e vengono qui di seguito nuovamente elencati:

- banchine a pareti verticali riflettenti R = 0.90;
- pontile con cassoncini antiriflettenti R = 0.60;

- | | |
|---|-----------|
| - banchine a parete verticale su bassi fondali rocciosi | R = 0.40; |
| - tratti rocciosi naturali ed opere a scogliera | R = 0.35; |
| - pontili su pali o galleggianti (completamente permeabili) | R = 0.00. |

Si vuole sottolineare che tali coefficienti di riflessione sono stati mantenuti costanti, lungo tutto il perimetro di una stessa opera, effettuando, a favore della sicurezza, un'approssimazione per eccesso. Essi sono desunti dalla letteratura in base ad esperienze su modelli fisici e variano in realtà anche in funzione del periodo d'onda incidente.

Inoltre, è importante osservare come il valore del coefficiente R è direttamente proporzionale alla pendenza delle opere interessate dall'agitazione del moto ondoso. Per le scogliere scabre e porose, ad esempio, si può far riferimento ad una formula di Allsop e Channel in funzione del parametro di surf ξ_p relativo al periodo di picco:

$$R = 0.125 \xi_p^{0.73} \quad \text{dove} \quad p = \frac{\tan \Gamma}{\sqrt{\frac{2f H_s}{gT p_m^2}}}$$

Per quanto riguarda le direzioni di provenienza delle onde, in corrispondenza dell'imboccatura portuale e per le configurazioni portuali simulate, si sono preventivamente individuati, compatibilmente con l'esposizione del paraggio in esame definito con lo studio meteomarinario, i settori di attacco degli stati di mare più gravosi ai fini dell'agitazione ondosa all'interno dell'area portuale di Sapri.

In particolare, per le simulazioni sono state scelte le condizioni di moto ondoso seguenti:

- Dir = 200°N; T = 6s, 9s, 12s;
- Dir = 225°N; T = 6s, 9s, 12s;
- Dir = 250°N; T = 6s, 9s, 12s;

che rappresentano sia le condizioni di operatività ordinaria, e perciò raggiungibili qualche volta nel corso dell'anno (T = 5.0 - 6.0 s), sia condizioni più rare e gravose associate a tempeste con tempo di ritorno decennale e cinquantennale (T = 9 - 12 s).

Essendo il modello lineare, le simulazioni sono state condotte in forma parametrica imponendo un valore unitario dell'altezza d'onda incidente.

Tali forzanti di moto ondoso sono state imposte, con riferimento all'origine della griglia di calcolo scelta per il modello Vega, in corrispondenza di tre segmenti opportunamente scelti:

- $A_1A_2 = \{(-180, -450); (1200, 70)\}$ per l'onda proveniente dalla direzione 200° N;
- $B_1B_2 = \{(-150, -150); (830, -205)\}$ per l'onda proveniente dalla direzione 225° N;
- $C_1C_2 = \{(-500, 150); (650, -450)\}$ per l'onda proveniente dalla direzione 250° N;

che rappresentano tre generatori di moto ondoso interpretati dal modello come contorni di radiazione (la perturbazione riflessa dalle strutture portuali è libera di transitare per tali contorni irradiandosi nel campo, supposto infinito, posto all'esterno del dominio di calcolo schematizzato).

3 STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSONO

Lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno dello specchio portuale è stato condotto con il modello di diffrazione - riflessione VEGA la cui descrizione sintetica viene allegata al presente documento.

Il modello è in grado di simulare la propagazione di onde armoniche lineari 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.

Le opere a gettata delle imboccature portuali e le banchine all'interno degli specchi d'acqua portuali sono stati quindi schematizzati per mezzo di una serie di segmenti (vedi Figura 2.1÷Figura 2.6). Ciascun segmento è stato a sua volta suddiviso in elementi di lunghezza compresa tra $1/6$ ed $1/7$ della lunghezza d'onda, assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni fossero introdotti almeno 5 elementi (sorgenti) per ogni segmento considerato. L'altezza d'onda relativa è stata calcolata in corrispondenza di circa 5600 nodi della griglia (700m x 800m; $x=y=10$ m) computazionale posti all'interno del dominio che rappresenta l'area in esame.

I risultati delle simulazioni effettuate sono rappresentati a colori e con curve di eguale agitazione ondosa nelle Figura 3.1÷Figura 3.54. Essendo il modello lineare, i risultati sono stati rappresentati utilizzando il coefficiente di diffrazione 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.

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 entità dell'agitazione ondosa e/o scale cromatiche differenziate. Per chiarezza sono evidenziate solo le curve di iso-altezza d'onda di 0.1-0.3-0.5.

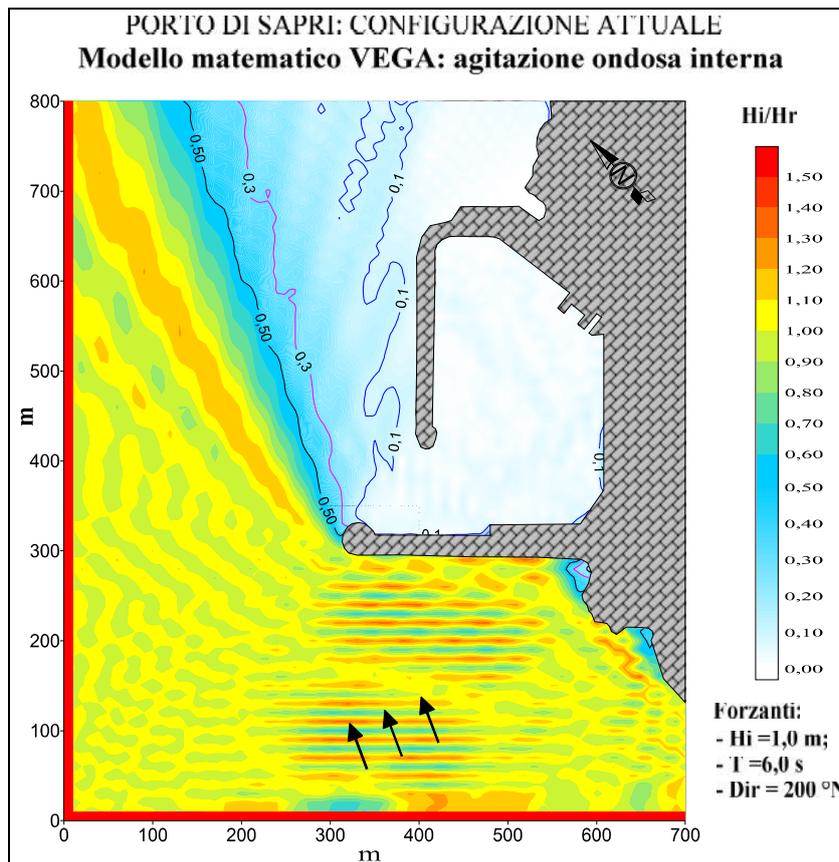


Figura 3.1 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 6 s.

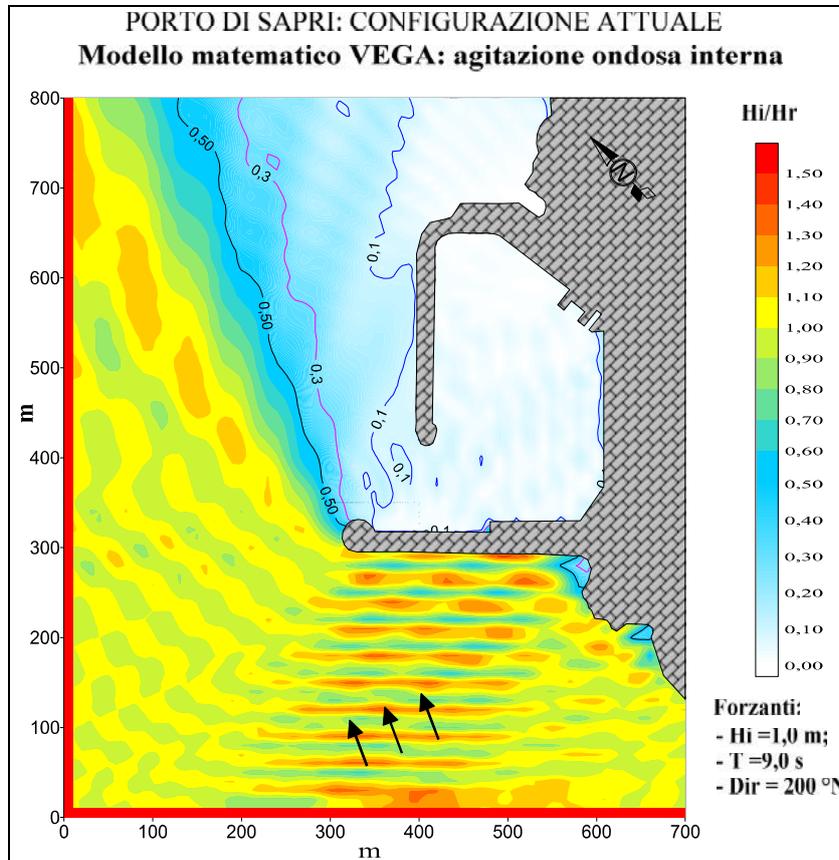


Figura 3.2 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 9 s.

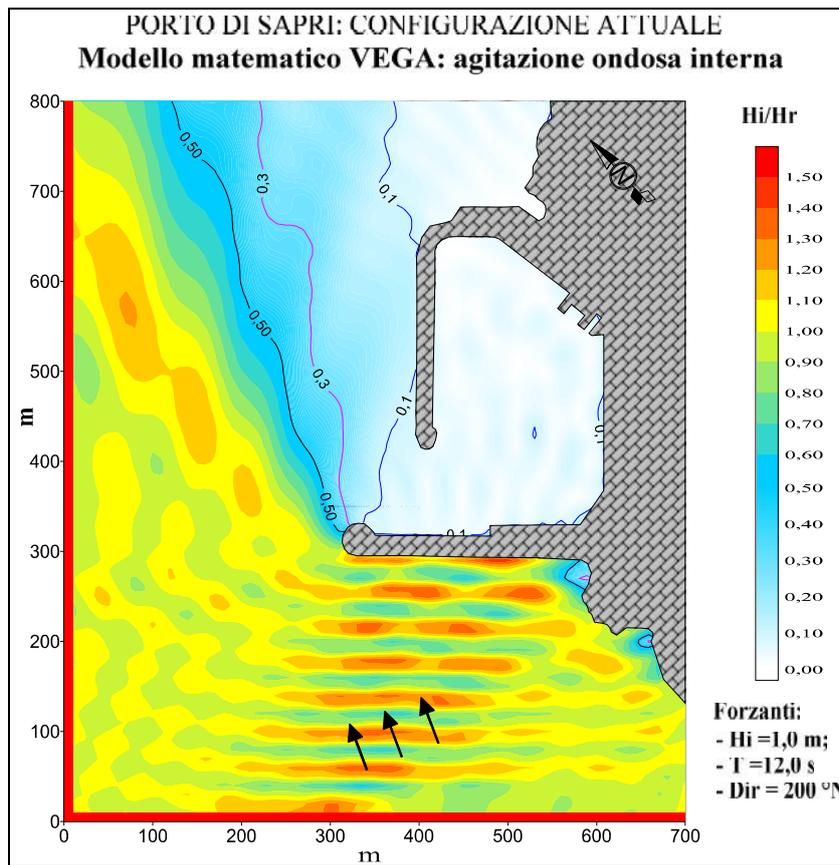


Figura 3.3 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $200^\circ N$ e periodo d'onda pari a 12 s.

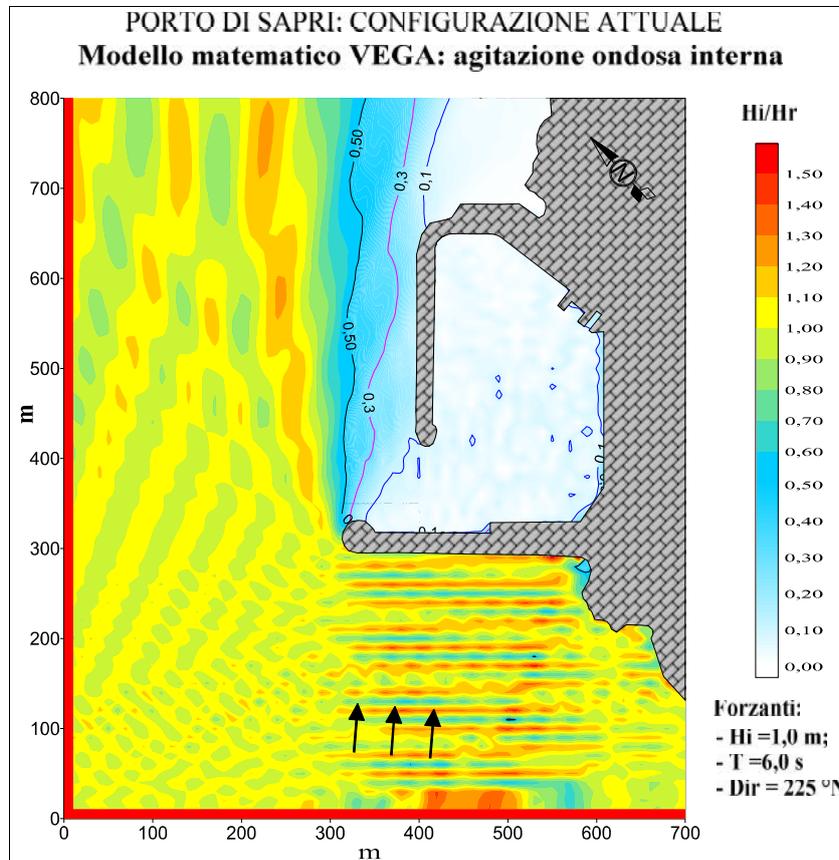


Figura 3.4 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $225^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

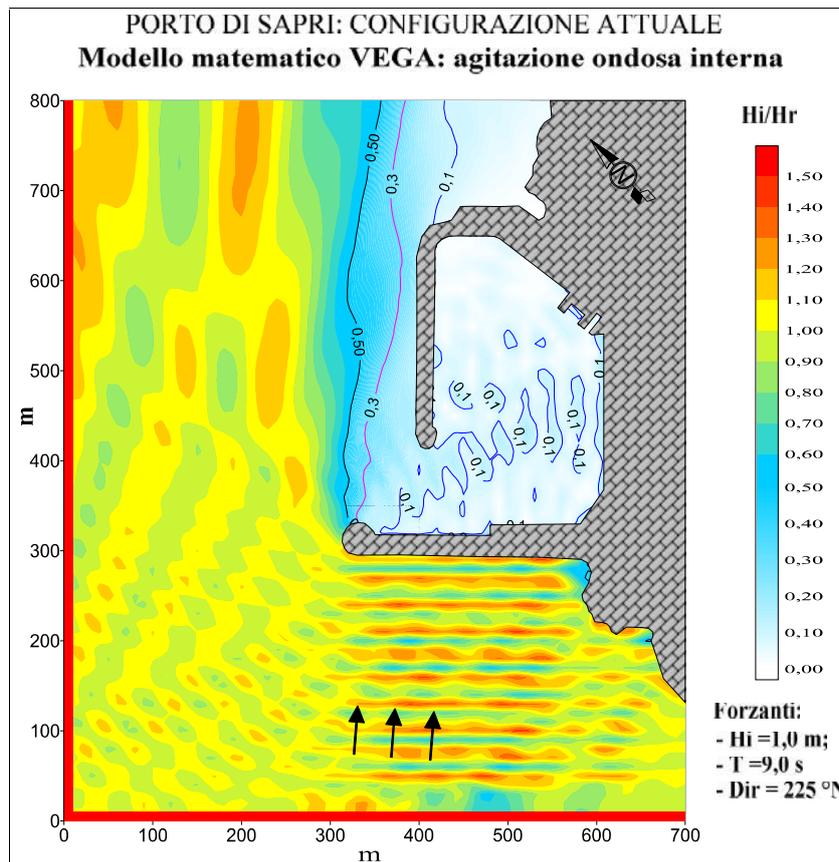


Figura 3.5 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 9 s.

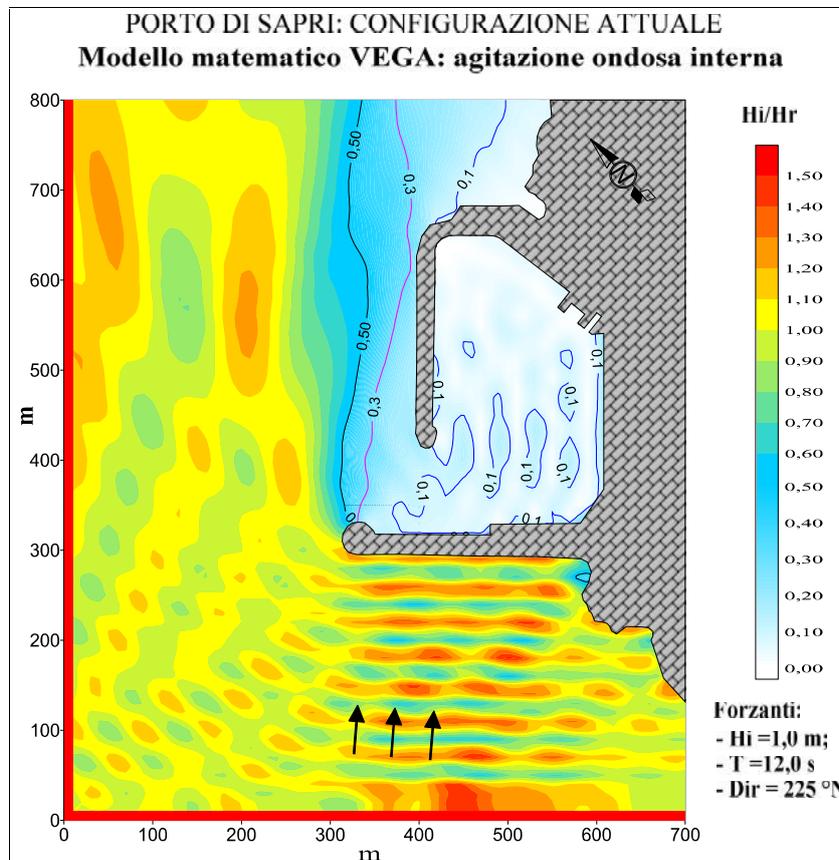


Figura 3.6 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 12 s.

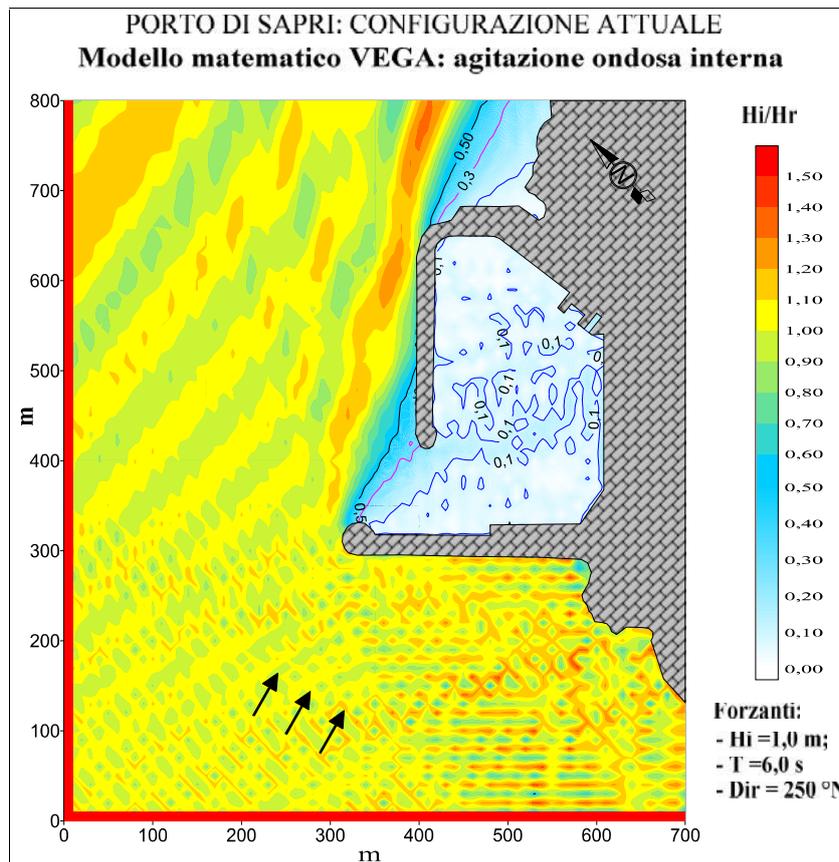


Figura 3.7 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 6 s.

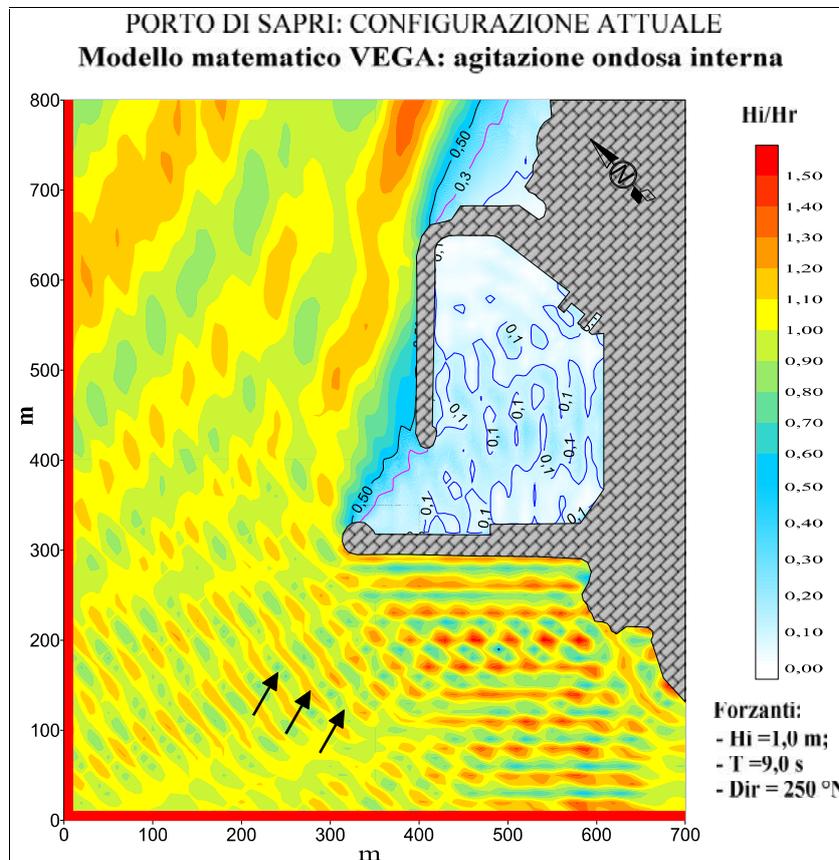


Figura 3.8 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 9 s.

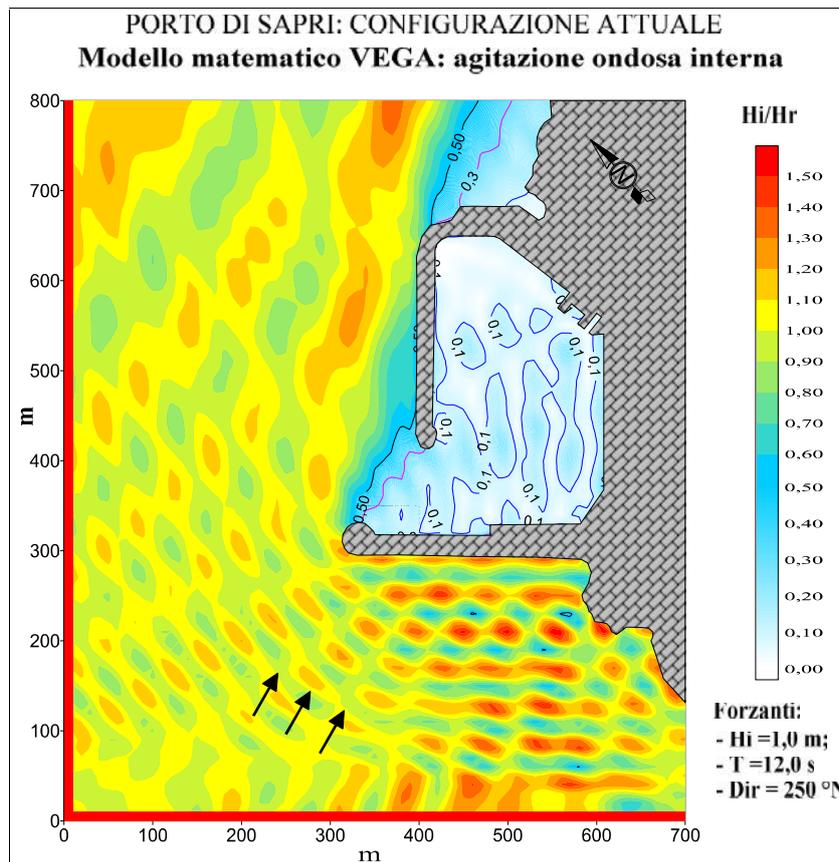


Figura 3.9 – Situazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 12 s.

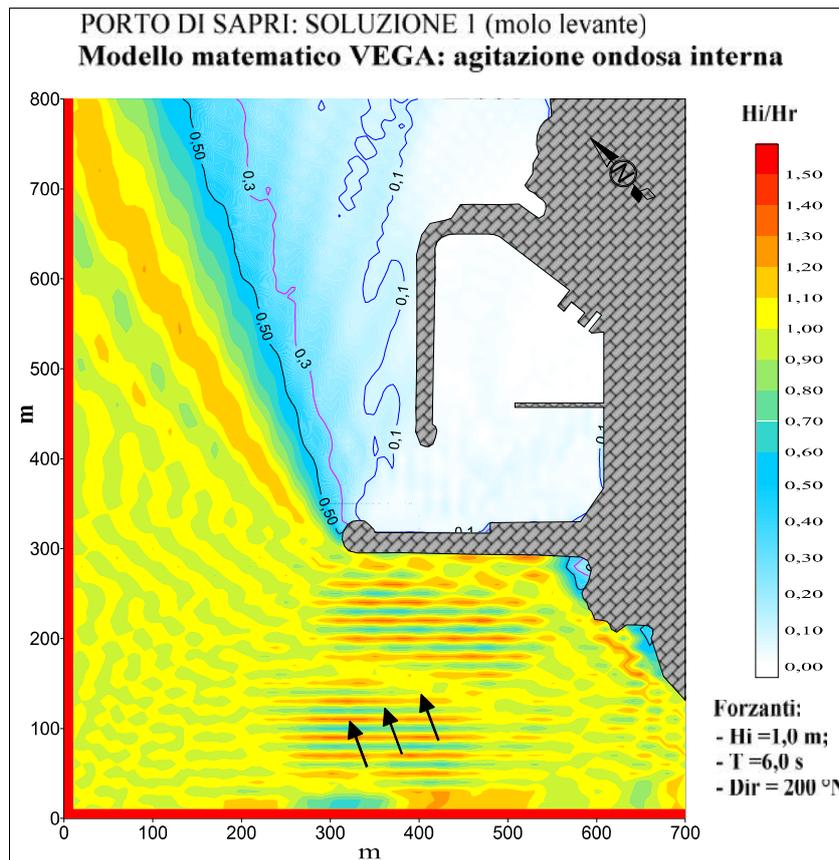


Figura 3.10 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $200^\circ N$ e periodo d’onda pari a 6 s.

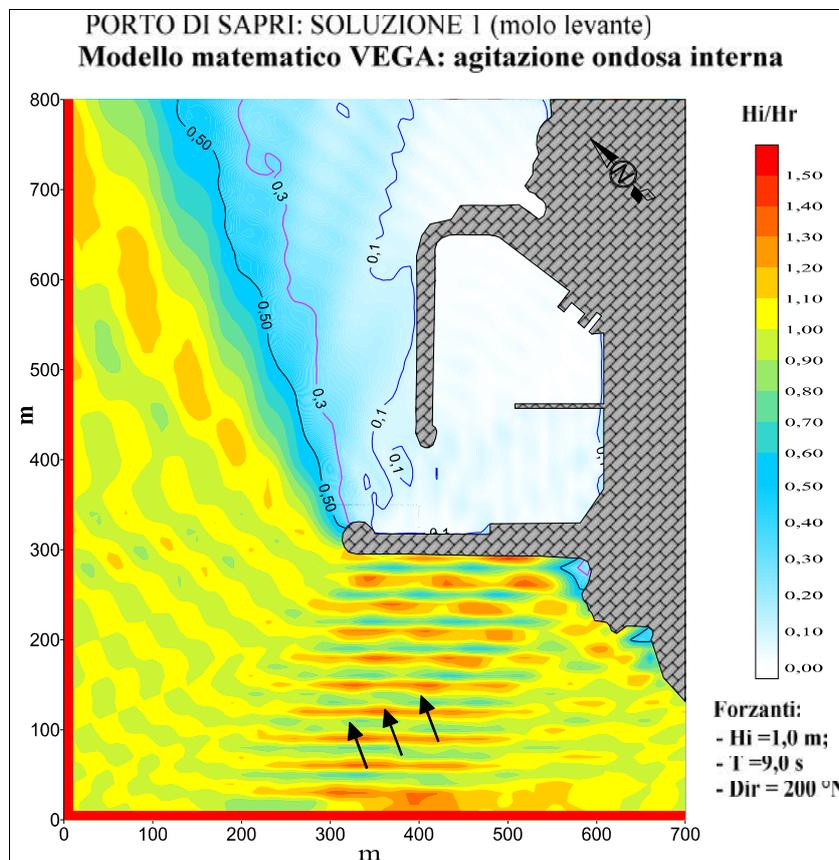


Figura 3.11 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $200^\circ N$ e periodo d’onda pari a 9 s.

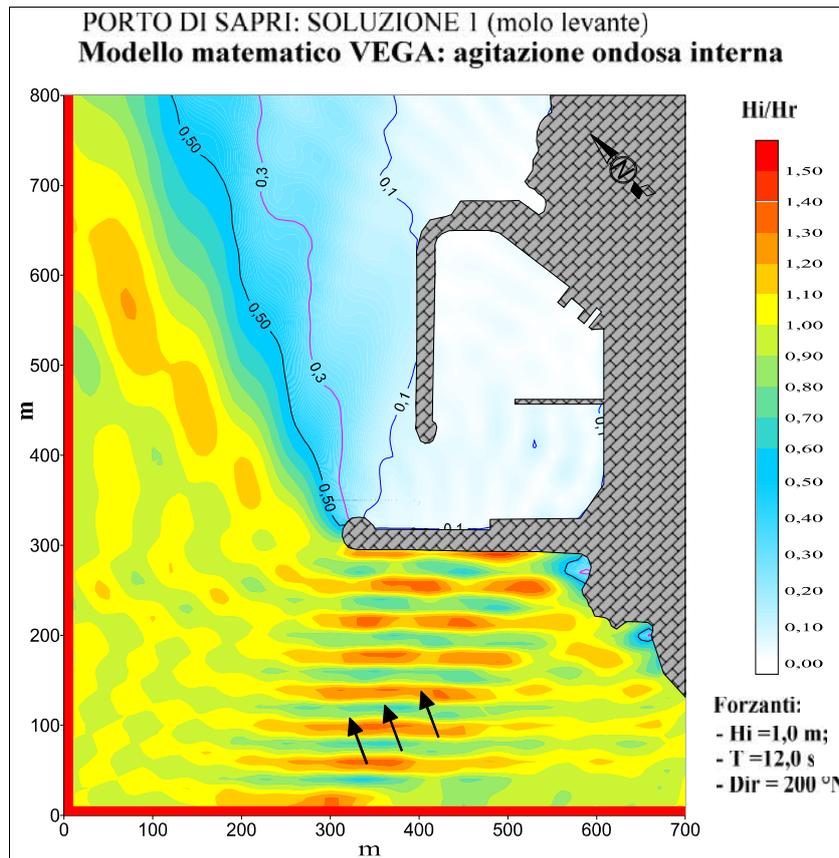


Figura 3.12 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 12 s.

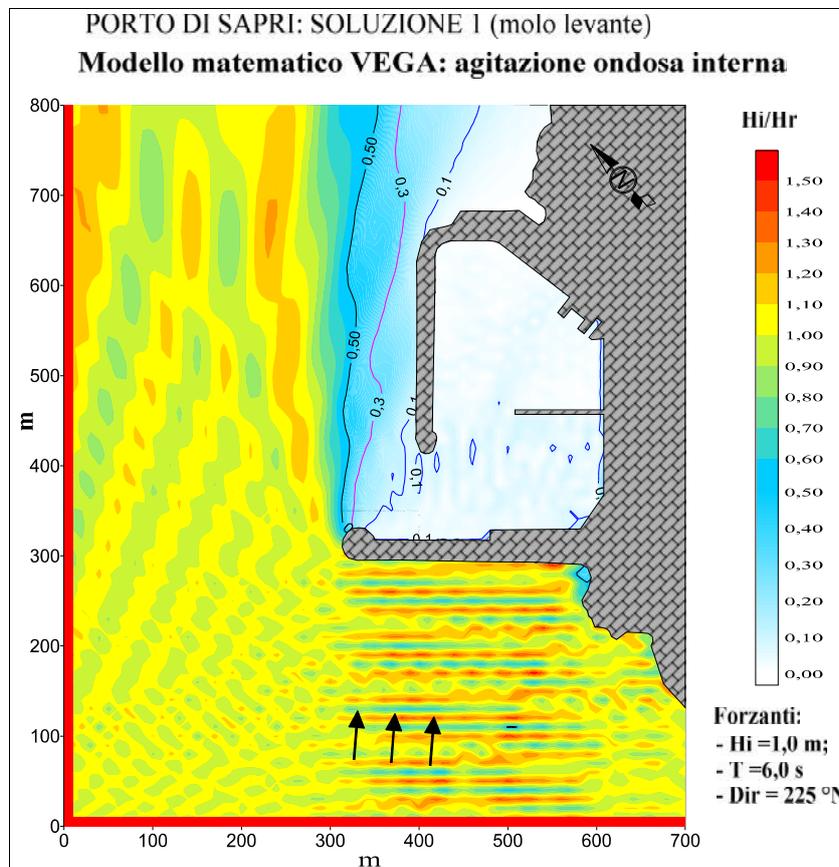


Figura 3.13 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 6 s.

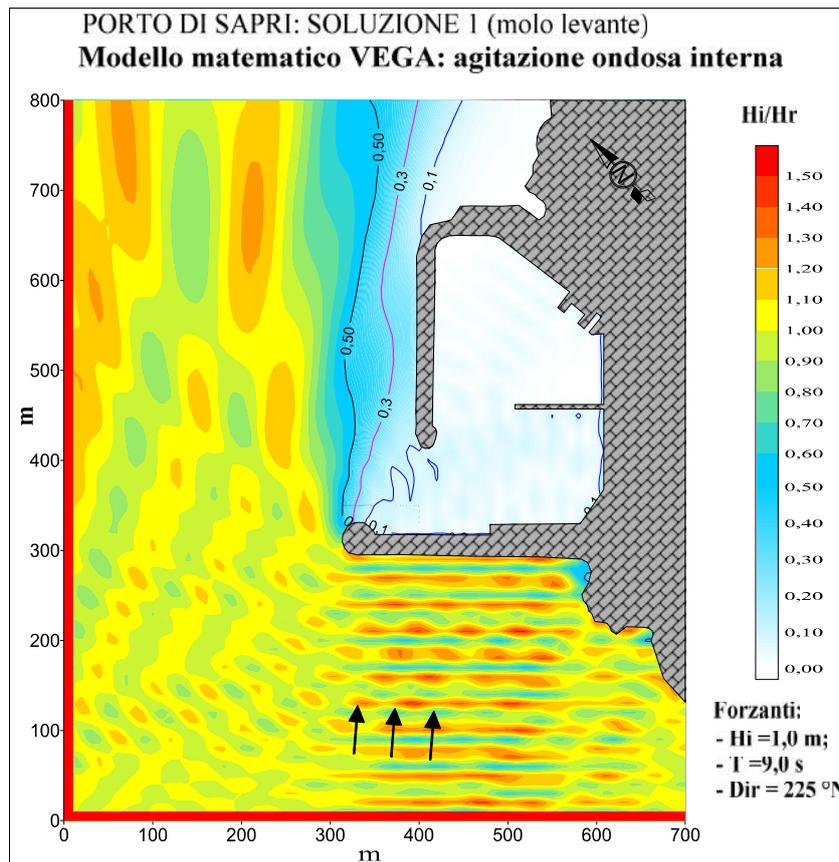


Figura 3.14 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 9 s.

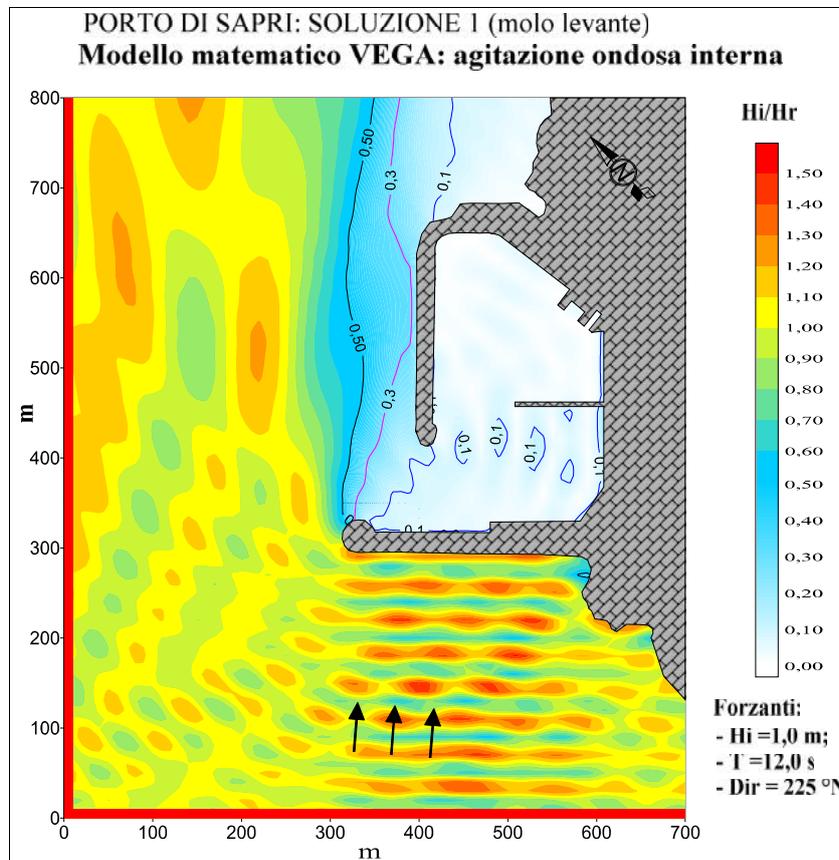


Figura 3.15 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 12 s.

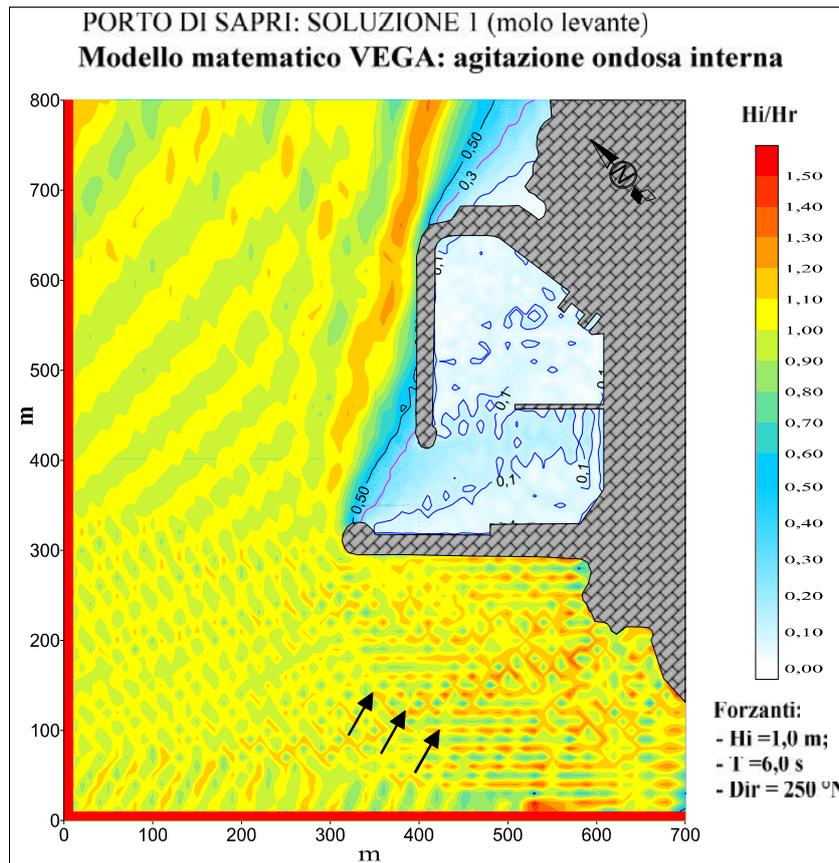


Figura 3.16 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $250^\circ N$ e periodo d’onda pari a 6 s.

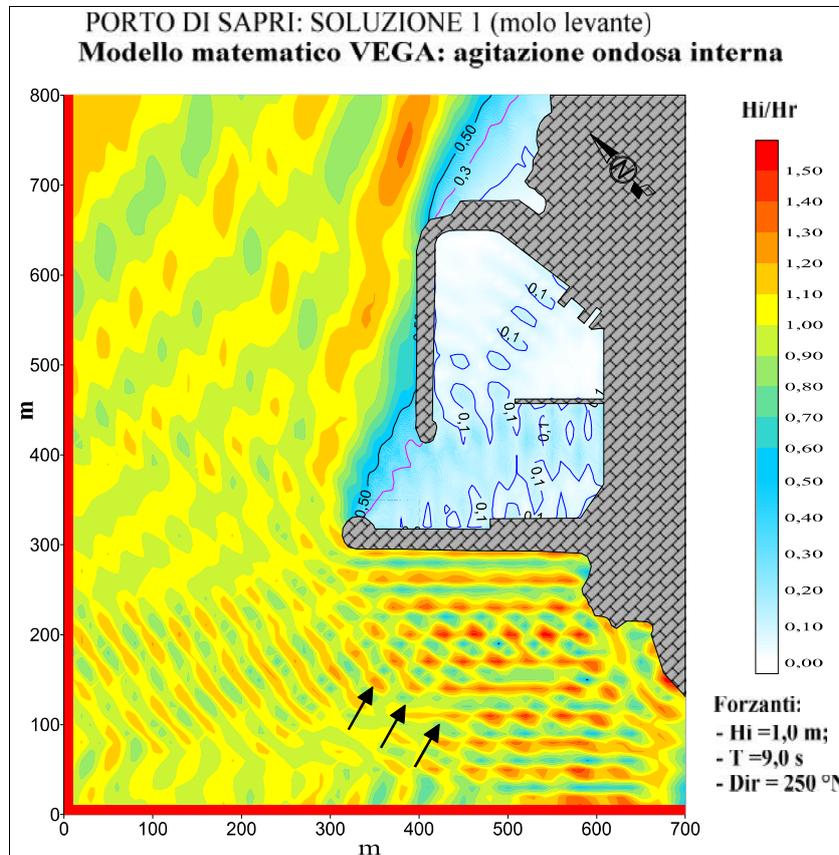


Figura 3.17 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $250^\circ N$ e periodo d’onda pari a 9 s.

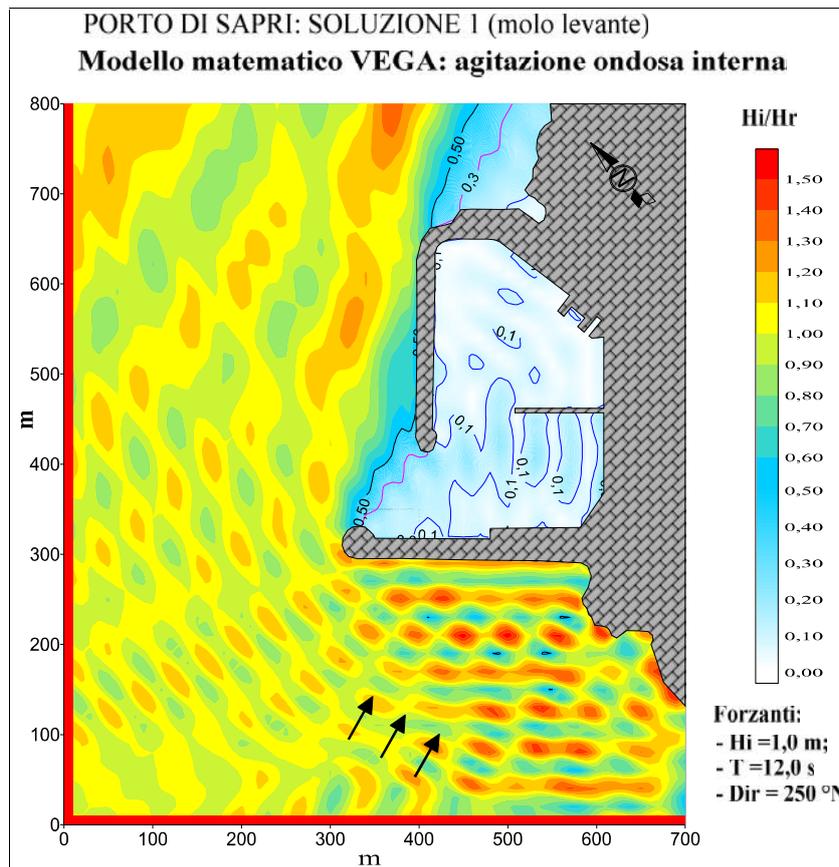


Figura 3.18 – Soluzione 1 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d'onda pari a 12 s.

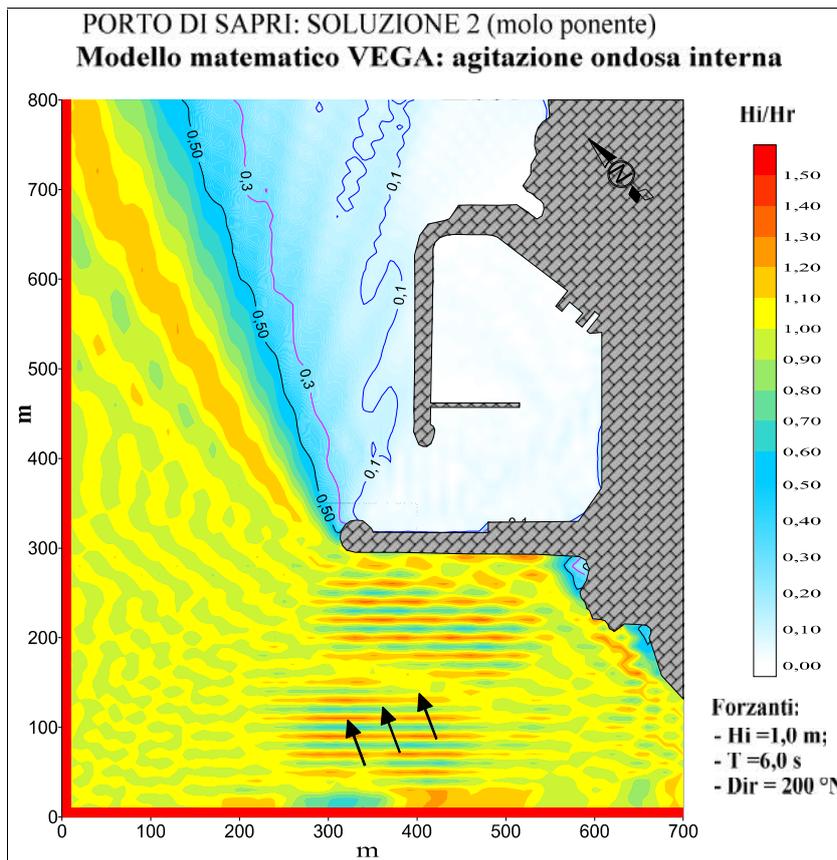


Figura 3.19 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $200^\circ N$ e periodo d’onda pari a 6 s.

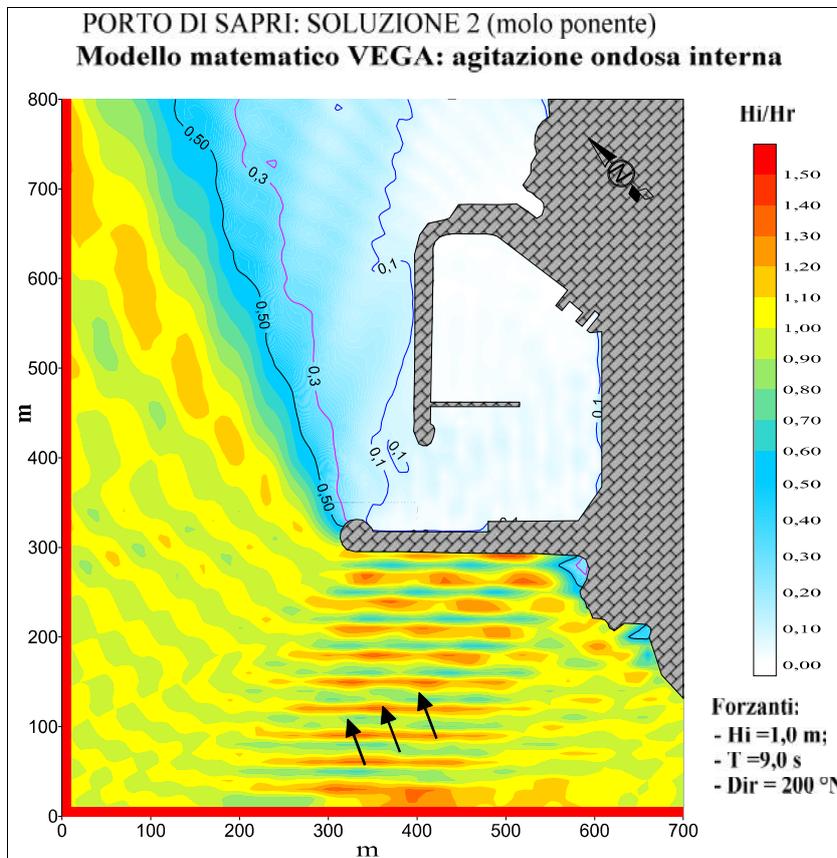


Figura 3.20 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $200^\circ N$ e periodo d’onda pari a 9 s.

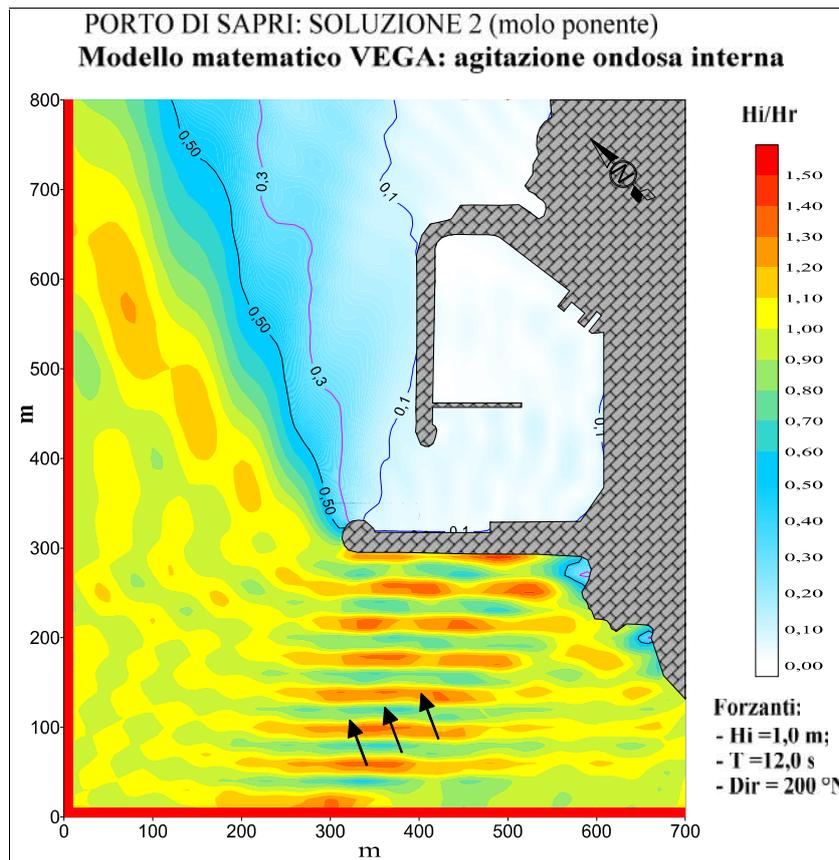


Figura 3.21 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 12 s.

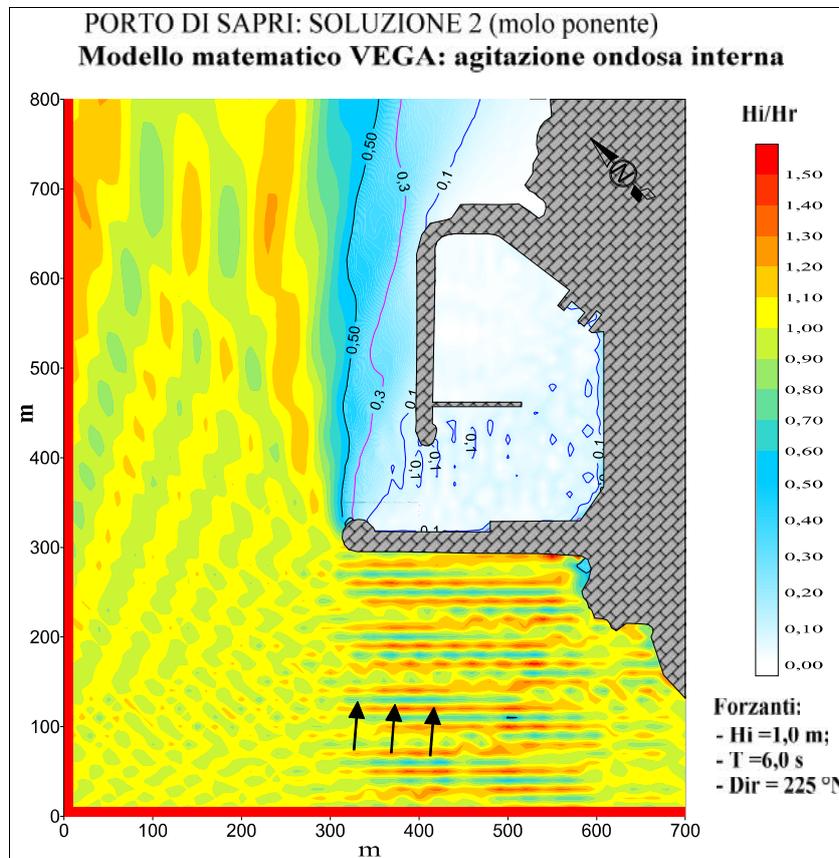


Figura 3.22 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 6 s.

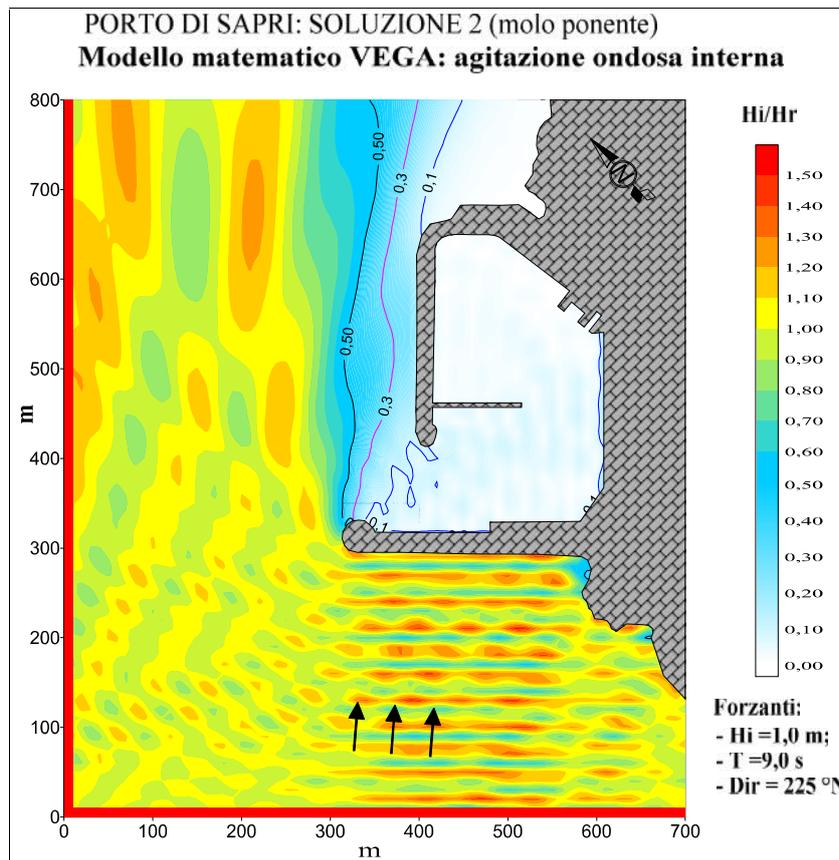


Figura 3.23 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 9 s.

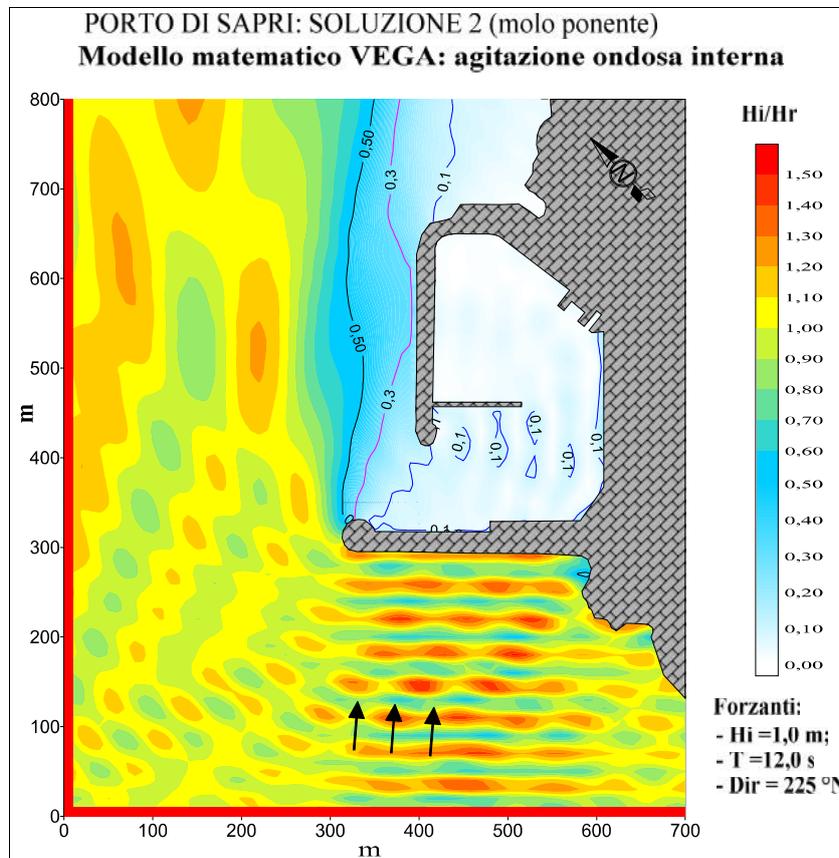


Figura 3.24 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 12 s.

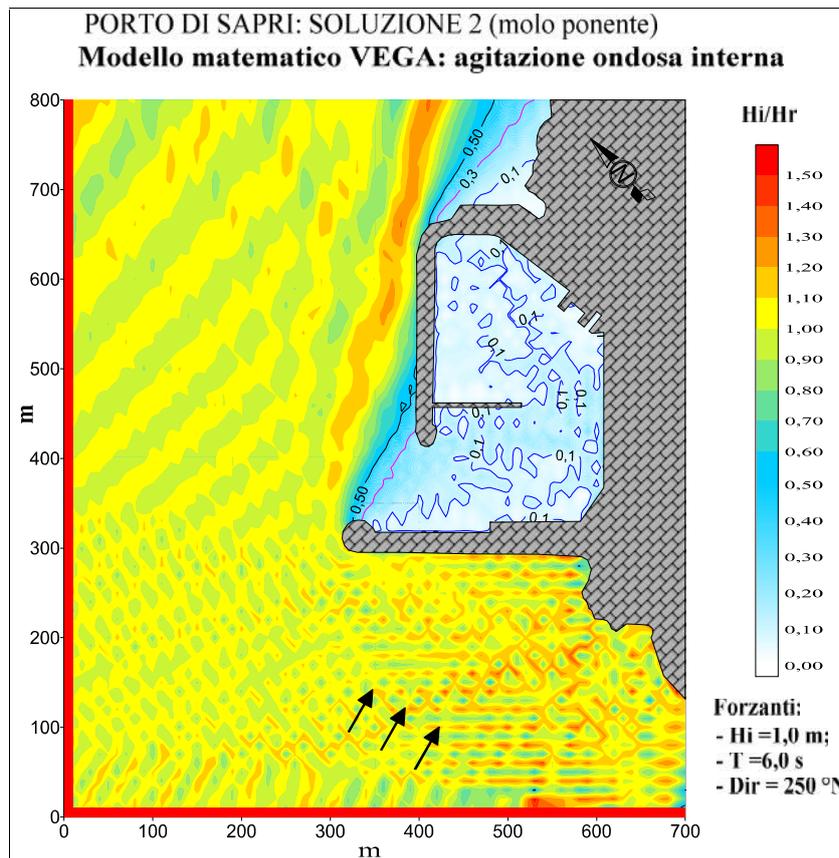


Figura 3.25 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 6 s.

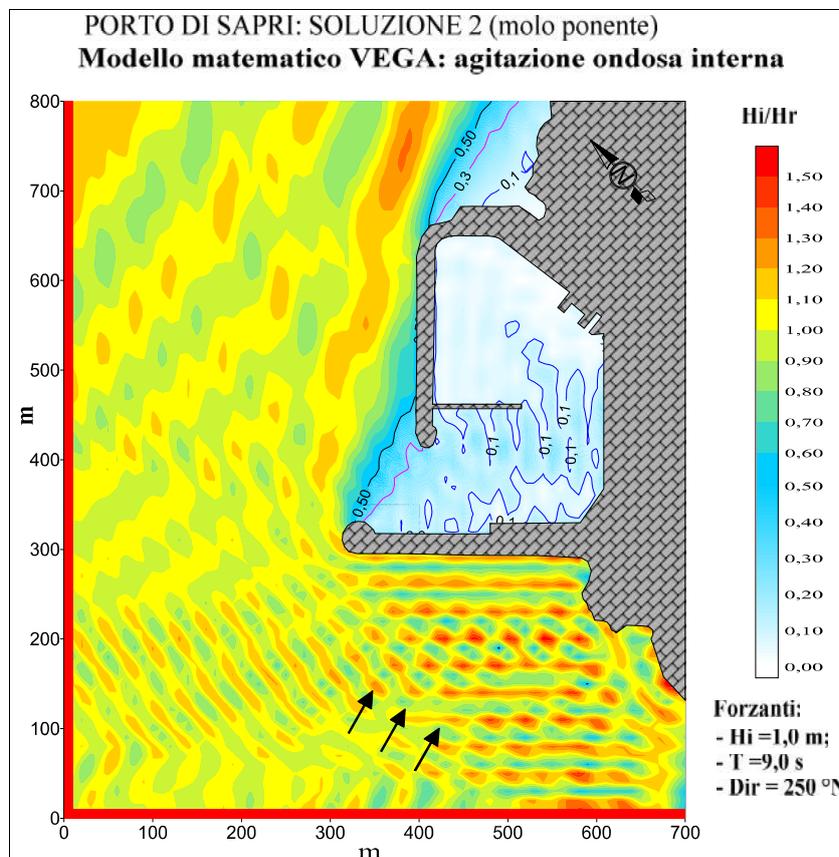


Figura 3.26 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 9 s.

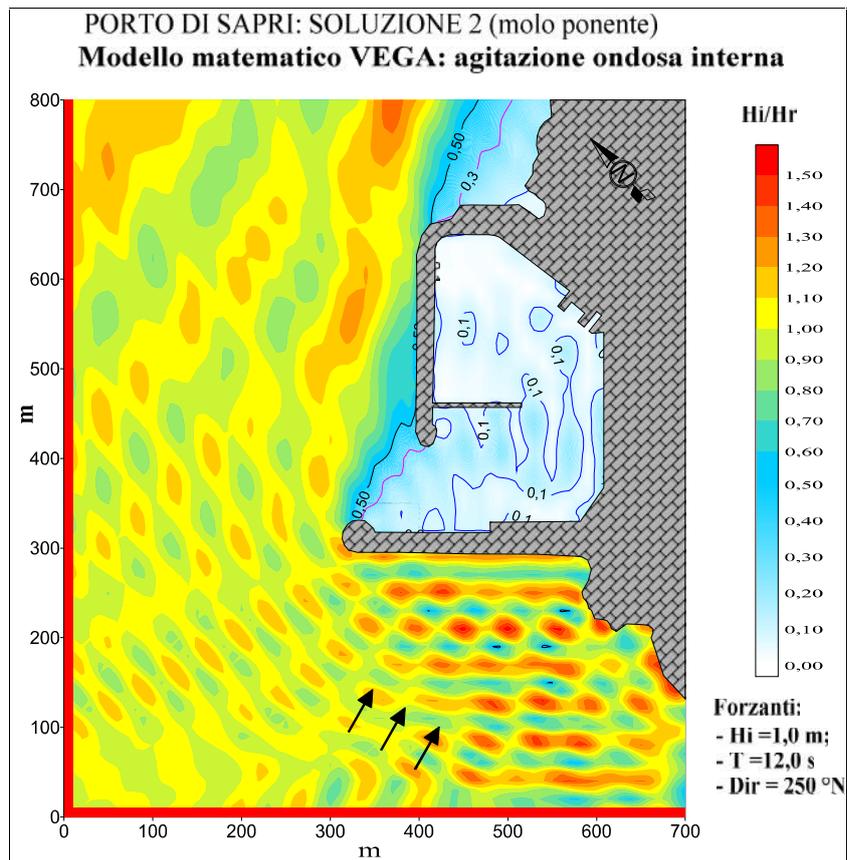


Figura 3.27 – Soluzione 2 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 12 s.

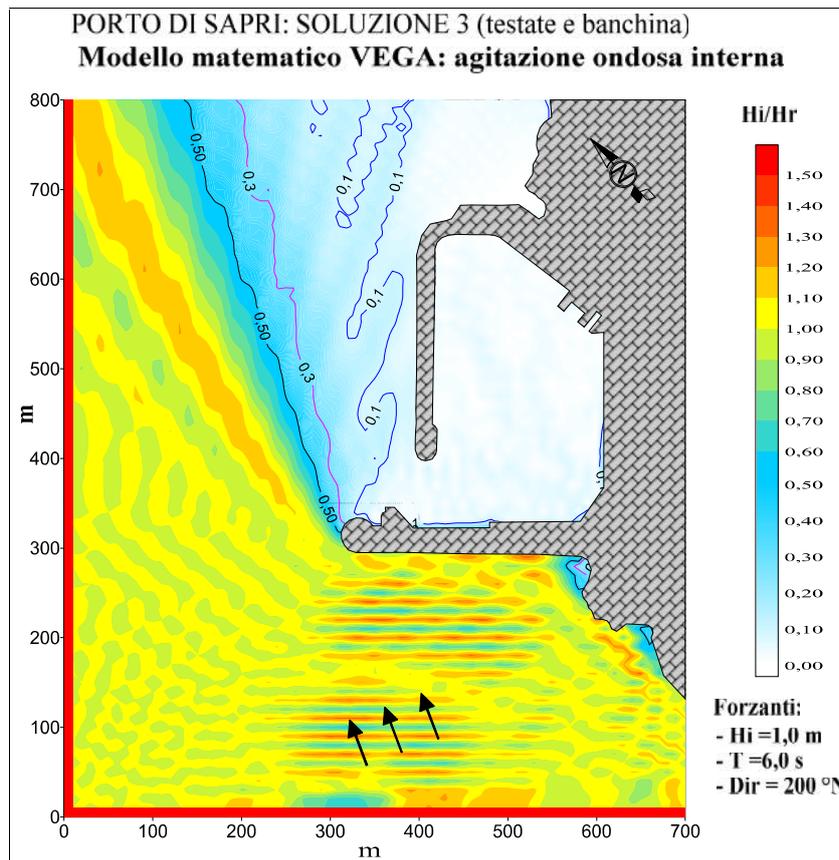


Figura 3.28 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 6 s.

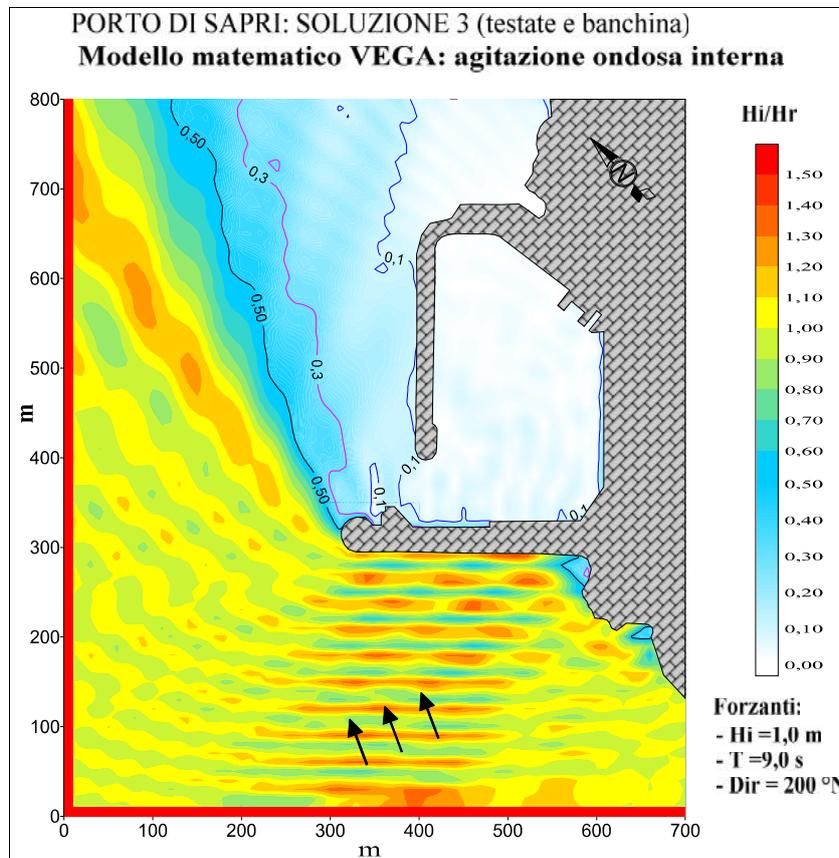


Figura 3.29 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 9 s.

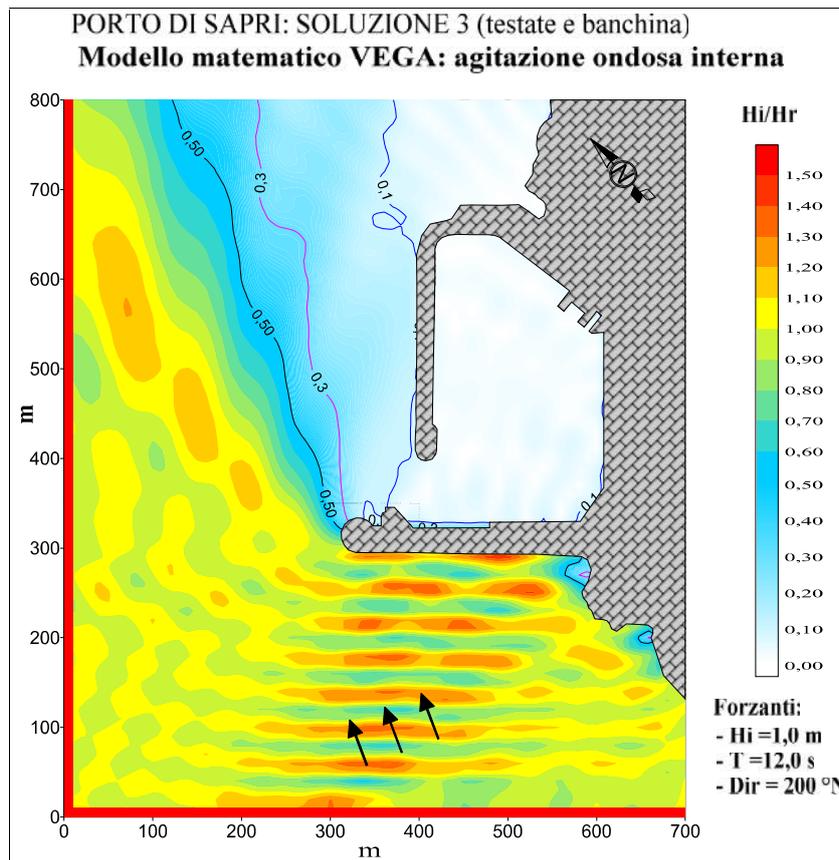


Figura 3.30 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 12 s.

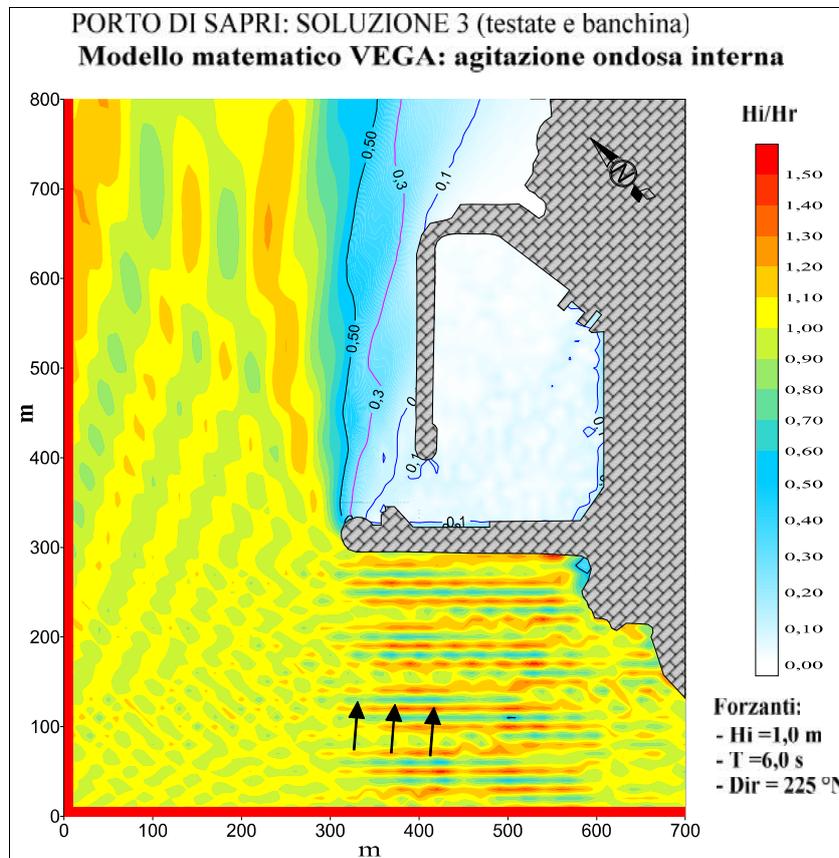


Figura 3.31 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 6 s.

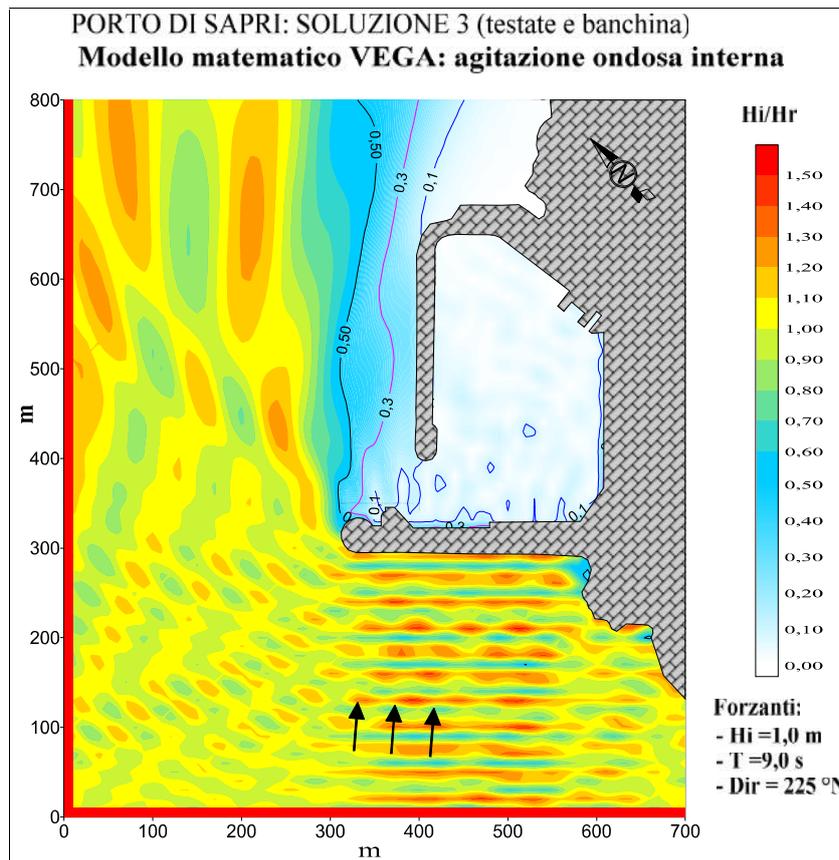


Figura 3.32 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 9 s.

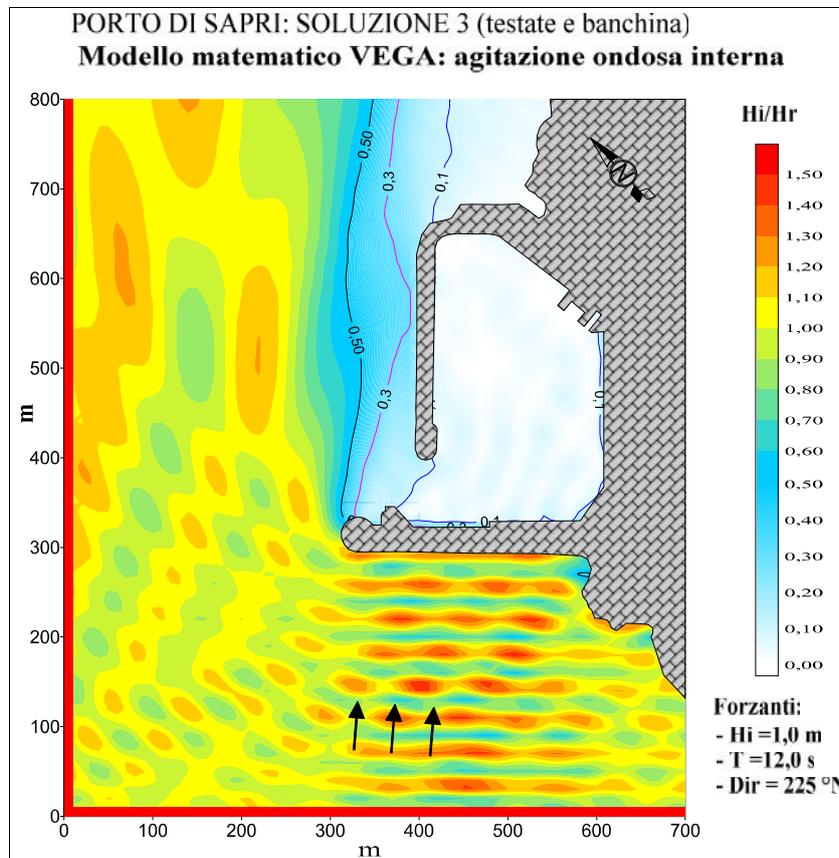


Figura 3.33 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 12 s.

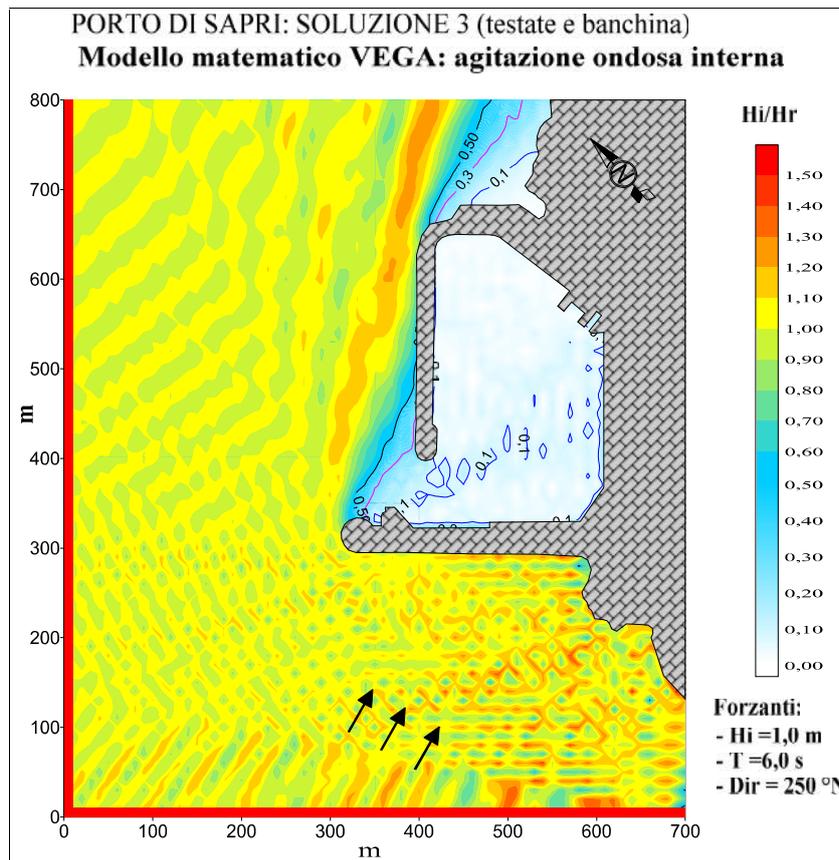


Figura 3.34 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 6 s.

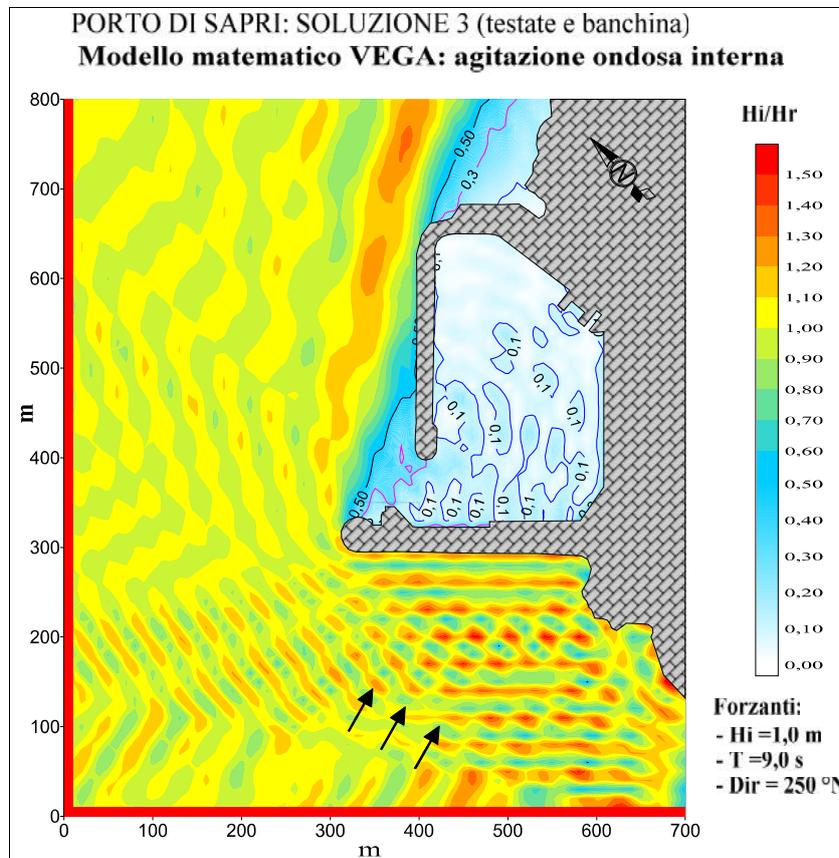


Figura 3.35 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 9 s.

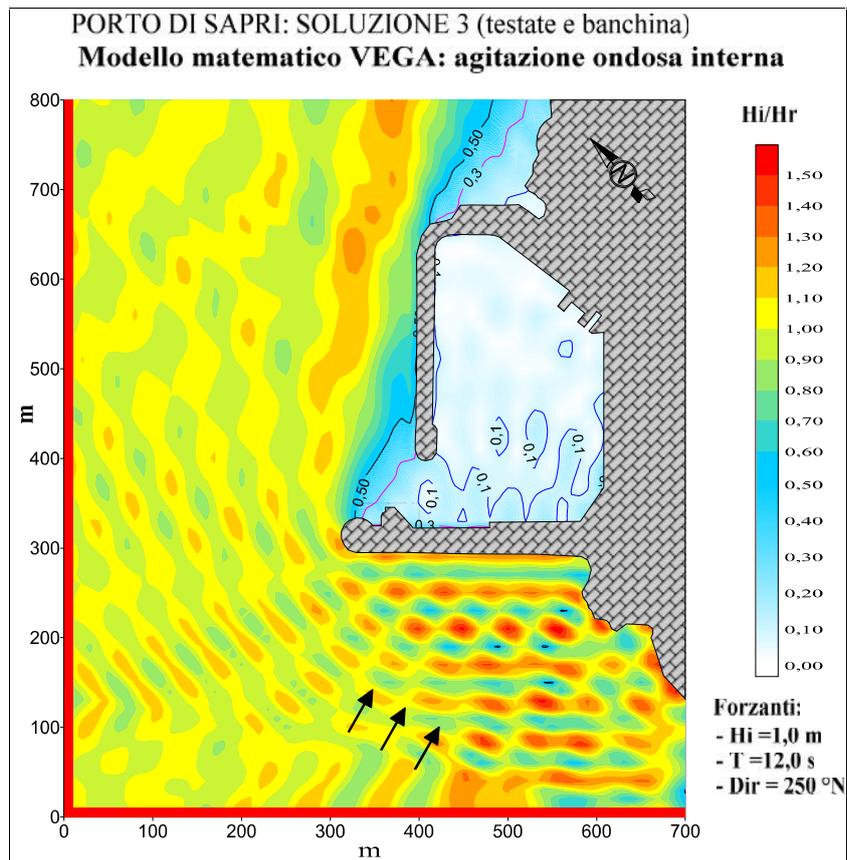


Figura 3.36 – Soluzione 3 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 12 s.

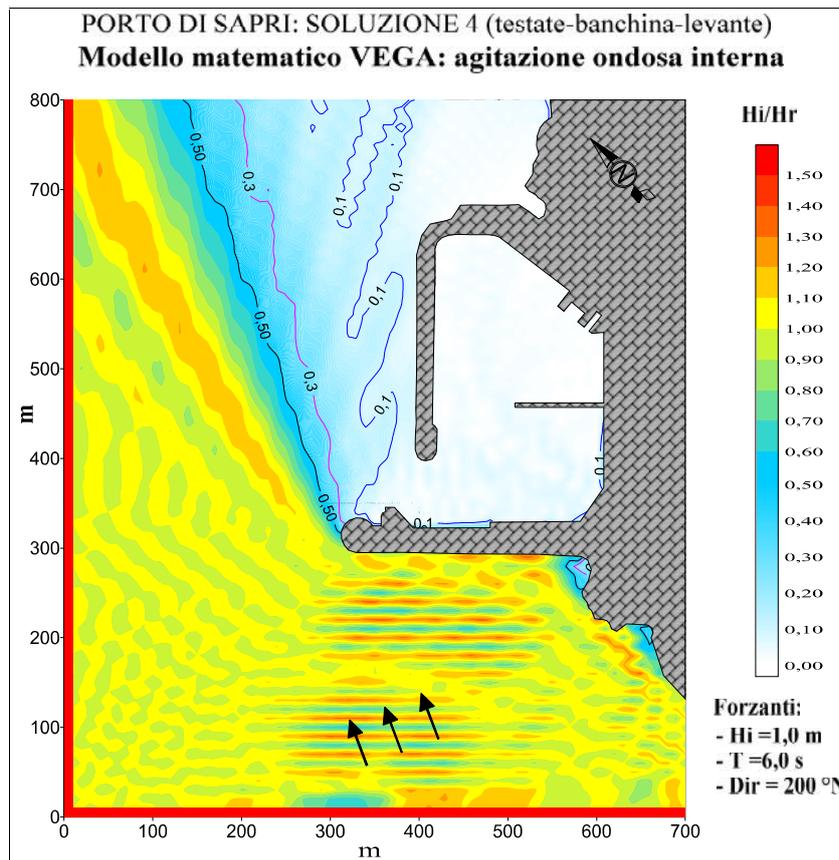


Figura 3.37 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 6 s.

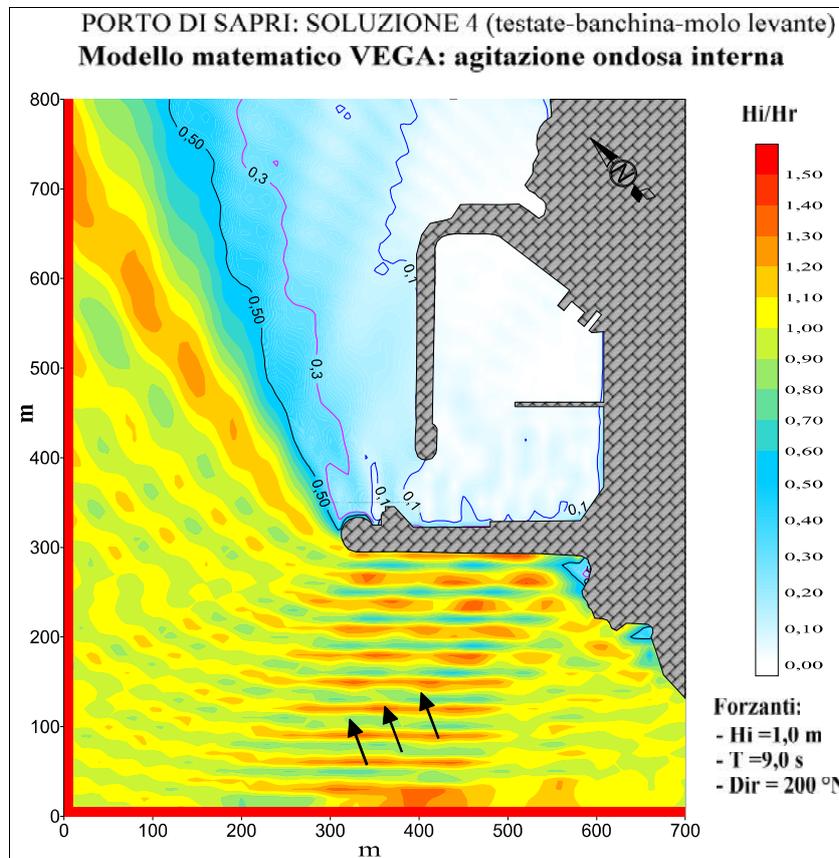


Figura 3.38 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 9 s.

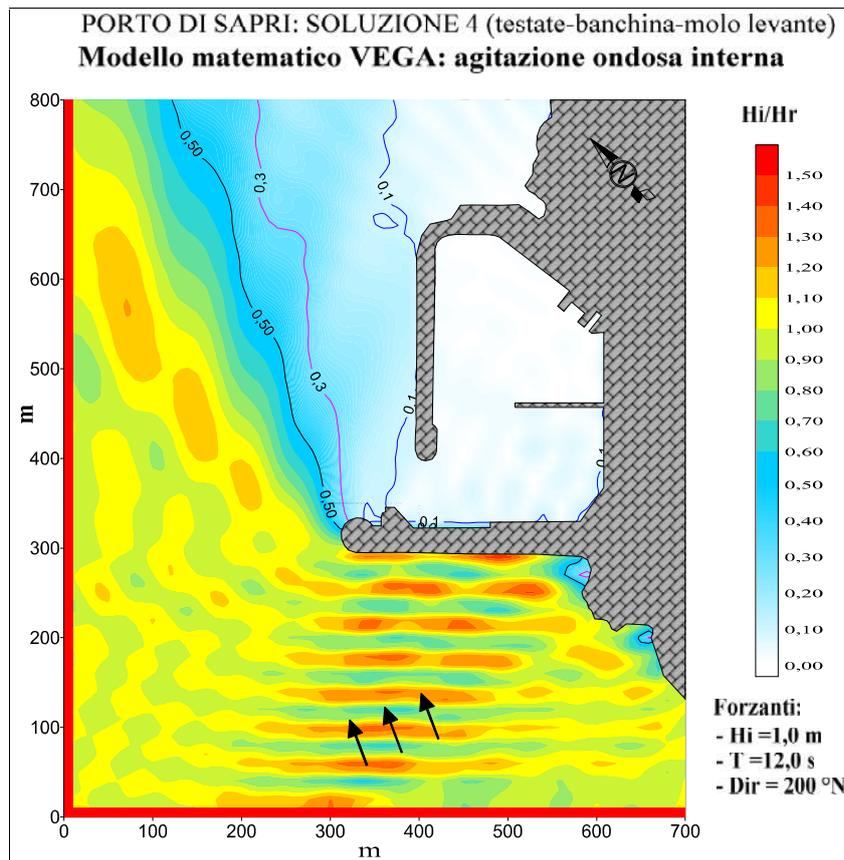


Figura 3.39 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200°N e periodo d’onda pari a 12 s.

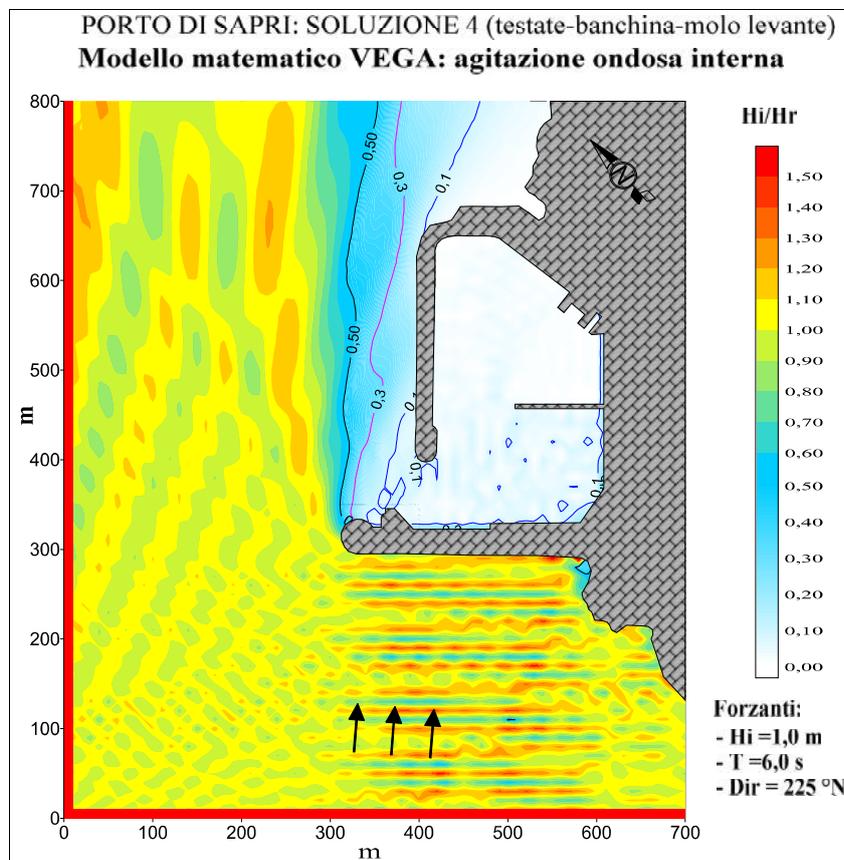


Figura 3.40 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225°N e periodo d’onda pari a 6 s.

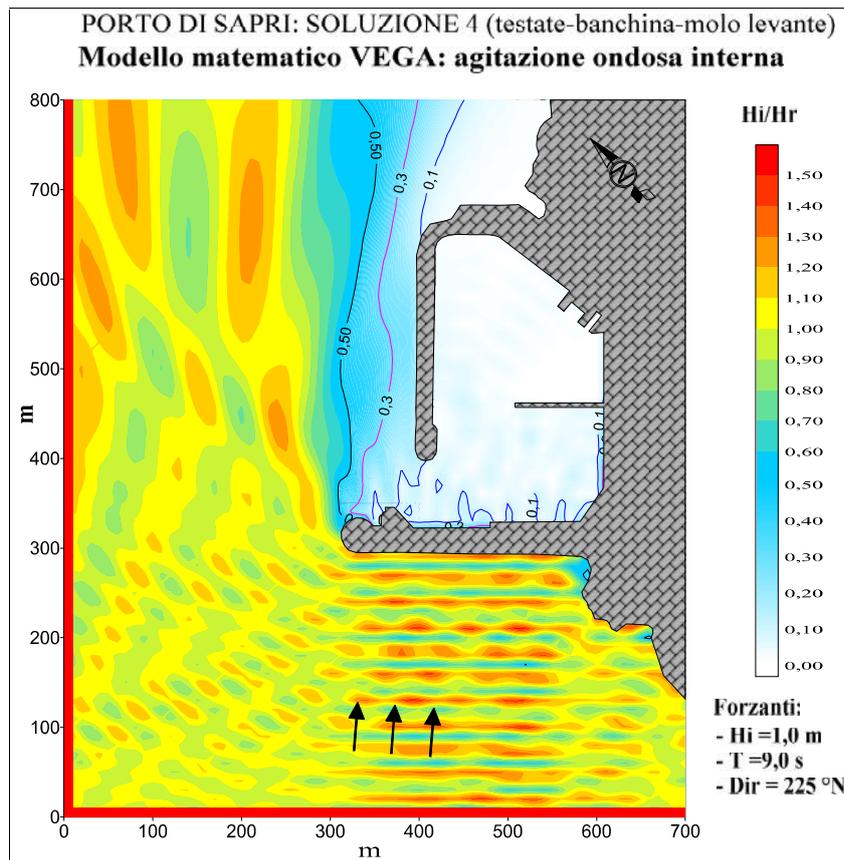


Figura 3.41 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225°N e periodo d’onda pari a 9 s.

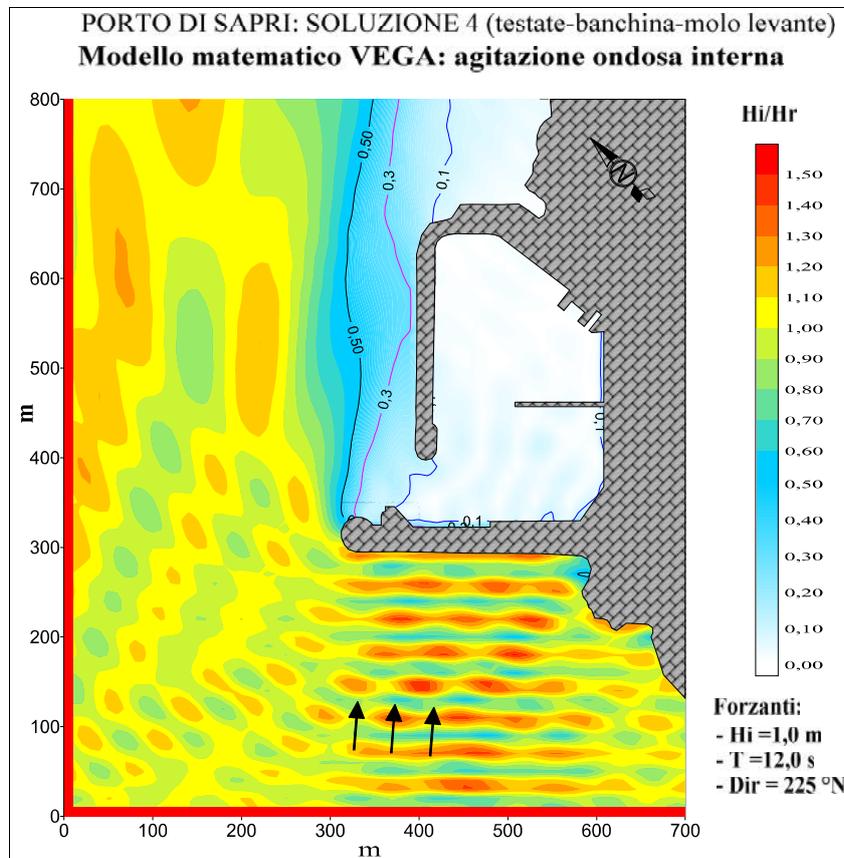


Figura 3.42 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225°N e periodo d’onda pari a 12 s.

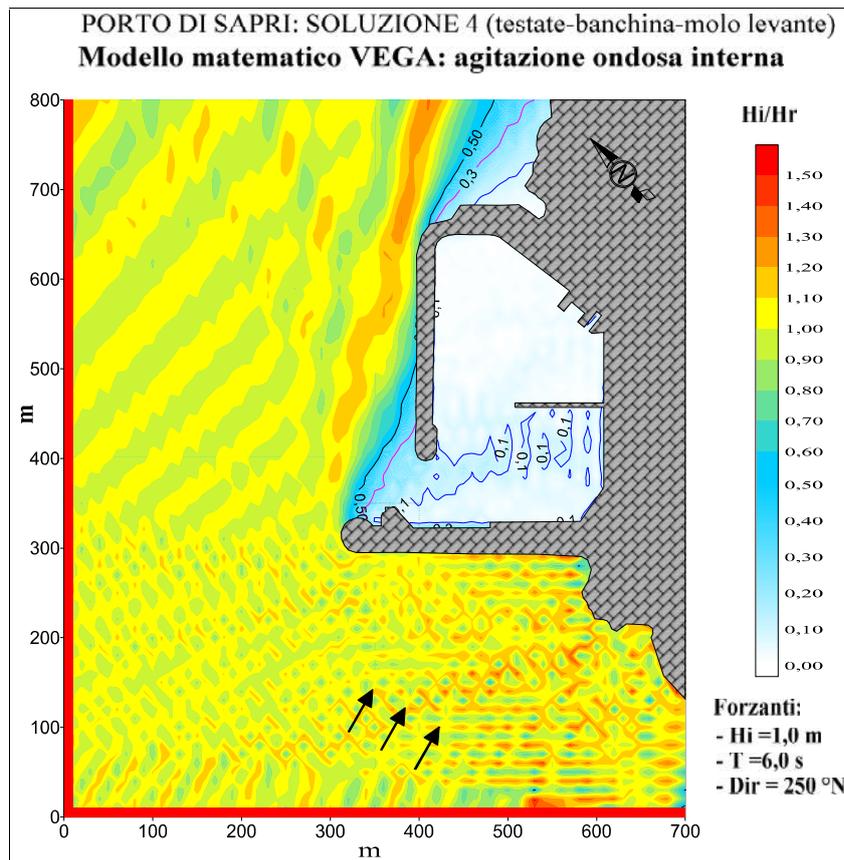


Figura 3.43 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $250^\circ N$ e periodo d’onda pari a 6 s.

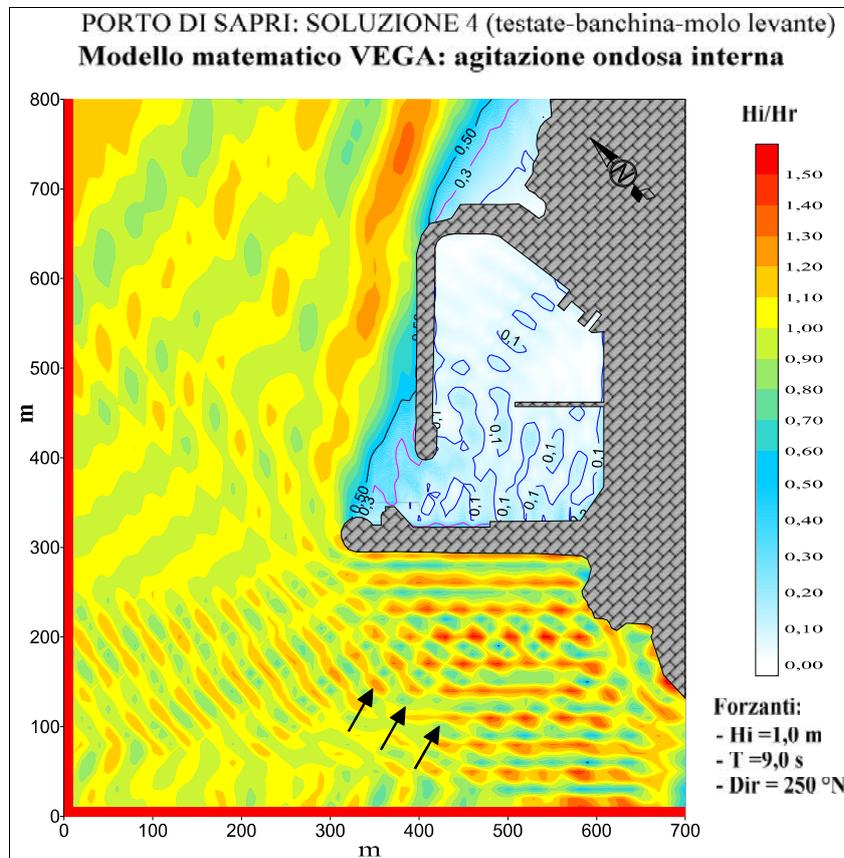


Figura 3.44 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $250^\circ N$ e periodo d’onda pari a 9 s.

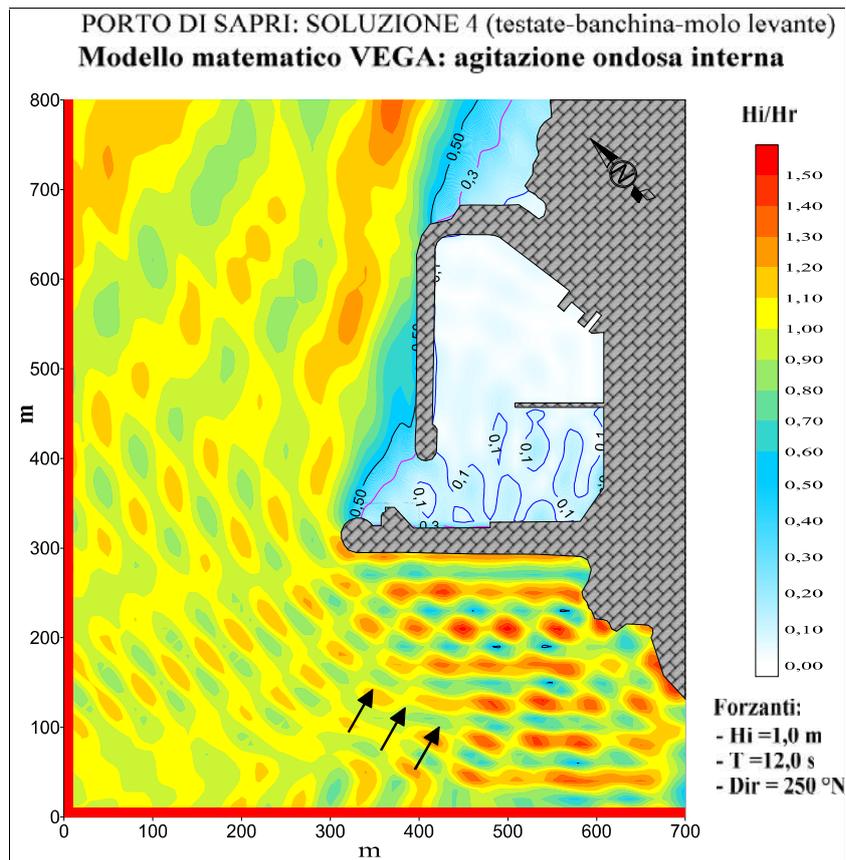


Figura 3.45 – Soluzione 4 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 250° N e periodo d’onda pari a 12 s.

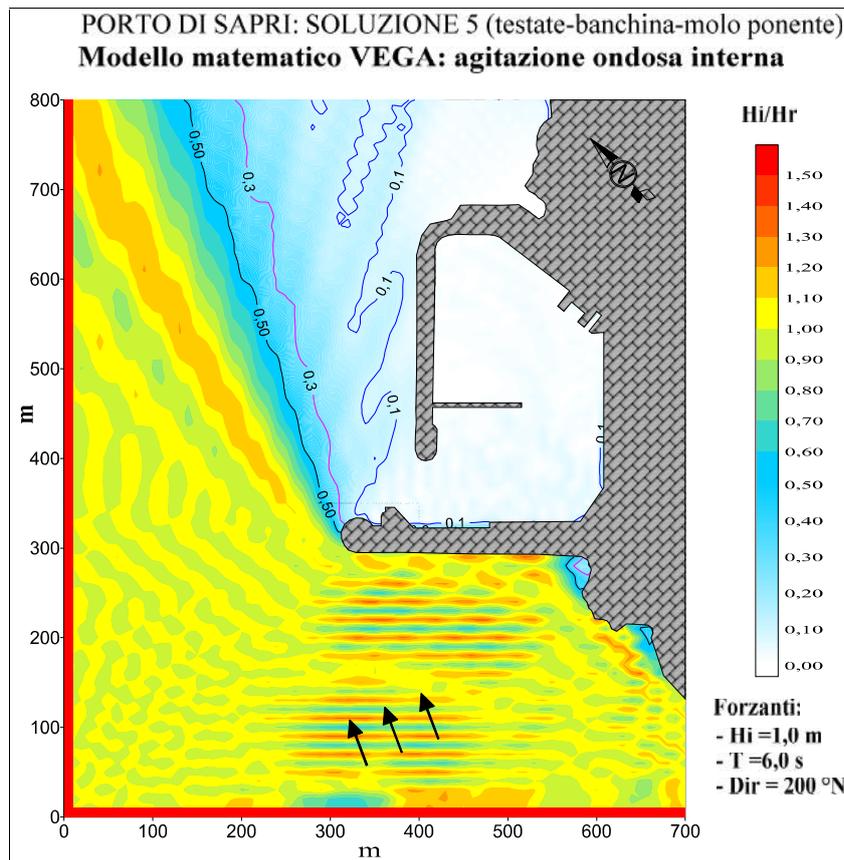


Figura 3.46 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 6 s.

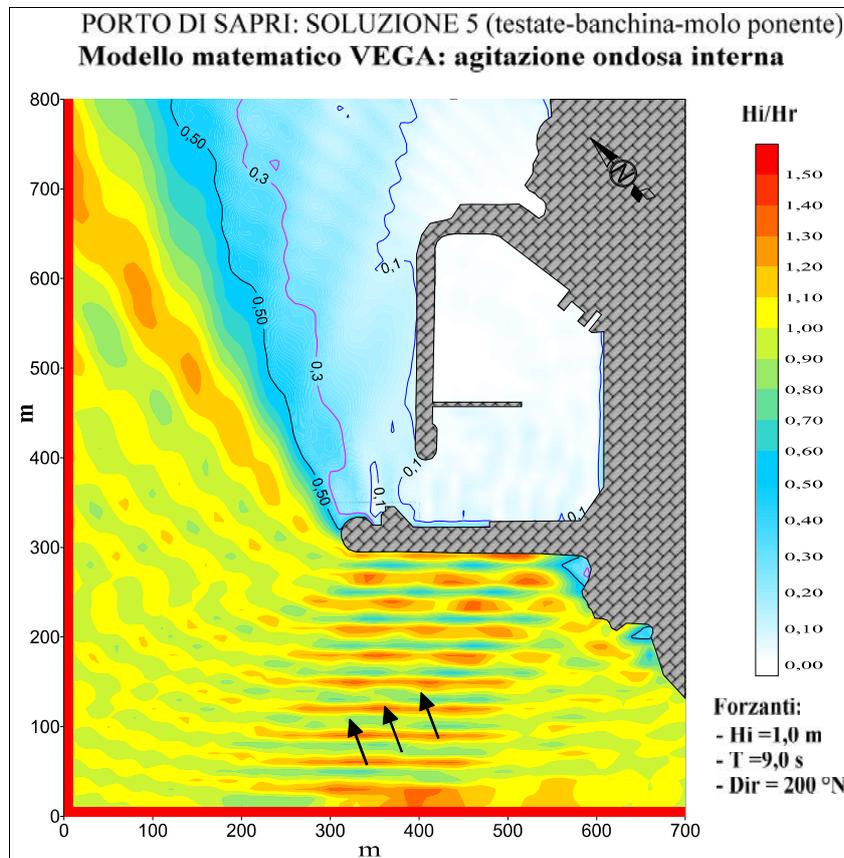


Figura 3.47 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 9 s.

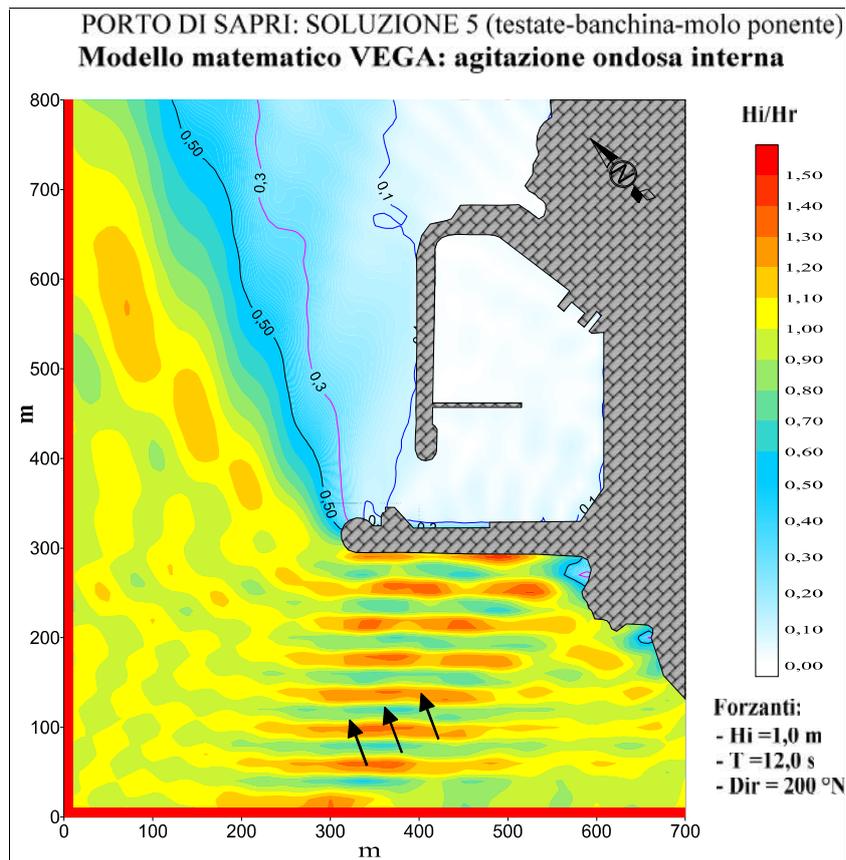


Figura 3.48 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 200° N e periodo d’onda pari a 12 s.

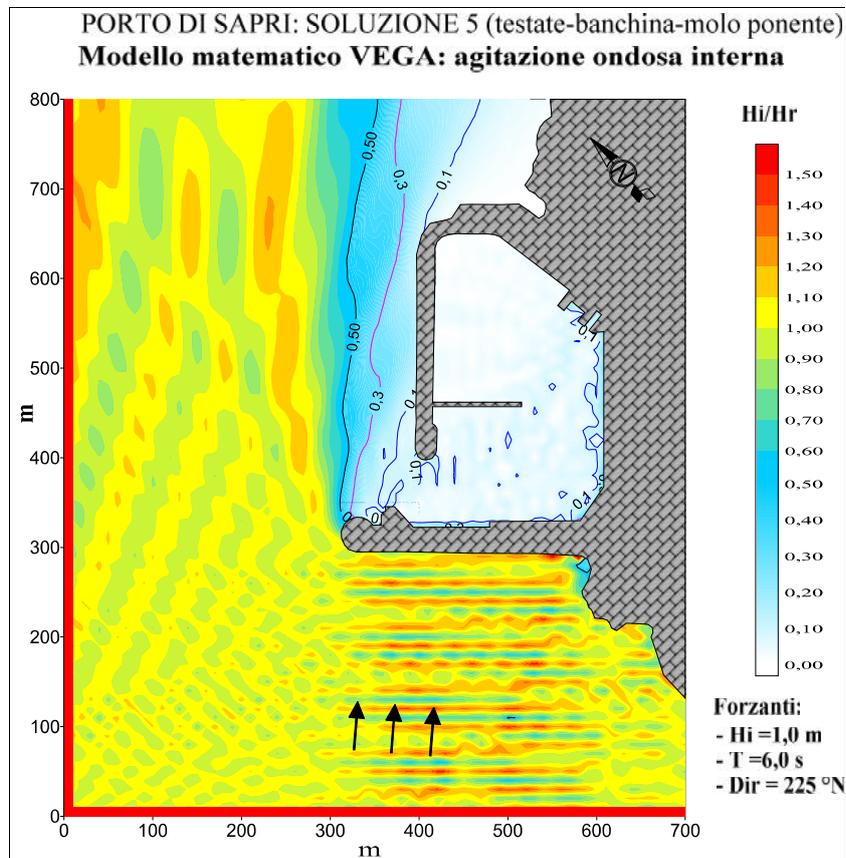


Figura 3.49 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 225° N e periodo d’onda pari a 6 s.

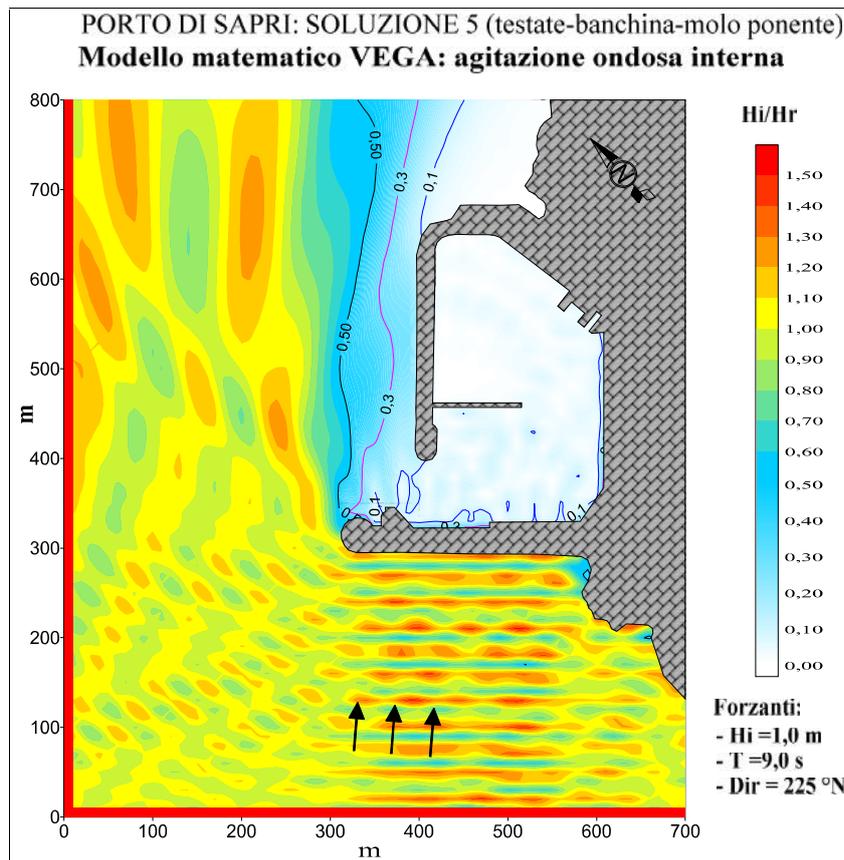


Figura 3.50 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $225^\circ N$ e periodo d’onda pari a 9 s.

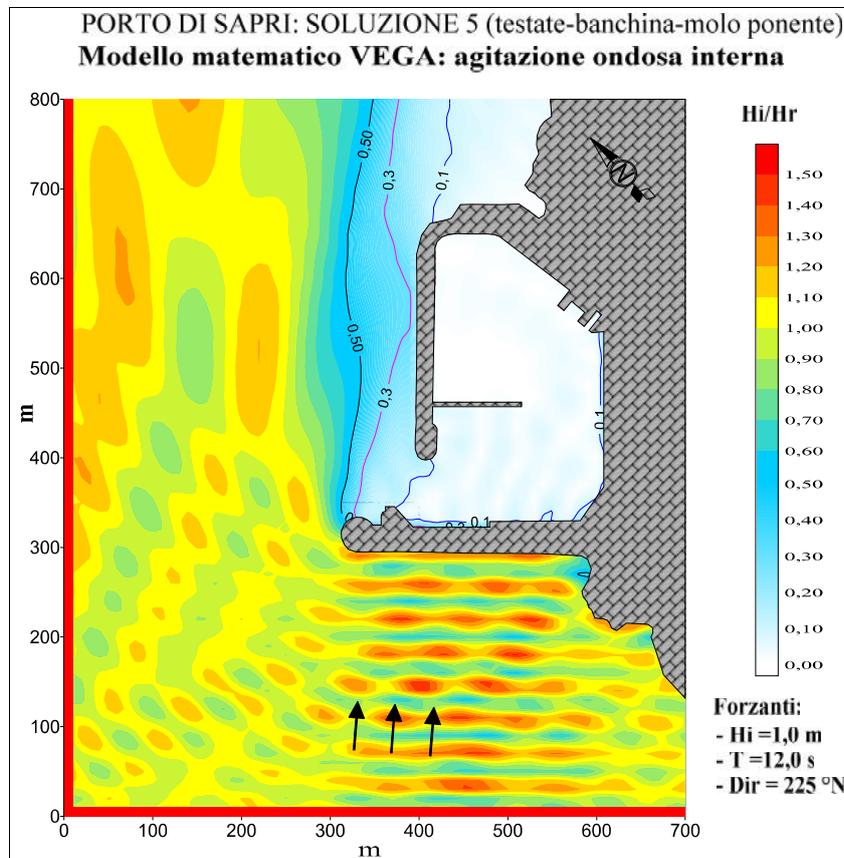


Figura 3.51 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $225^\circ N$ e periodo d’onda pari a 12 s.

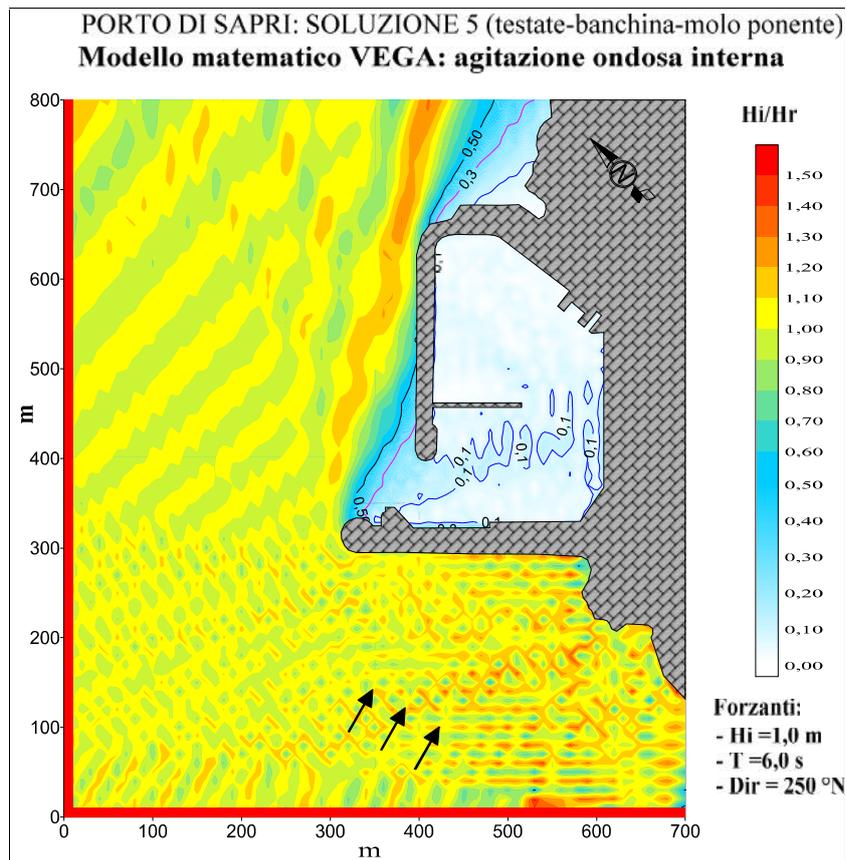


Figura 3.52 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $250^\circ N$ e periodo d’onda pari a 6 s.

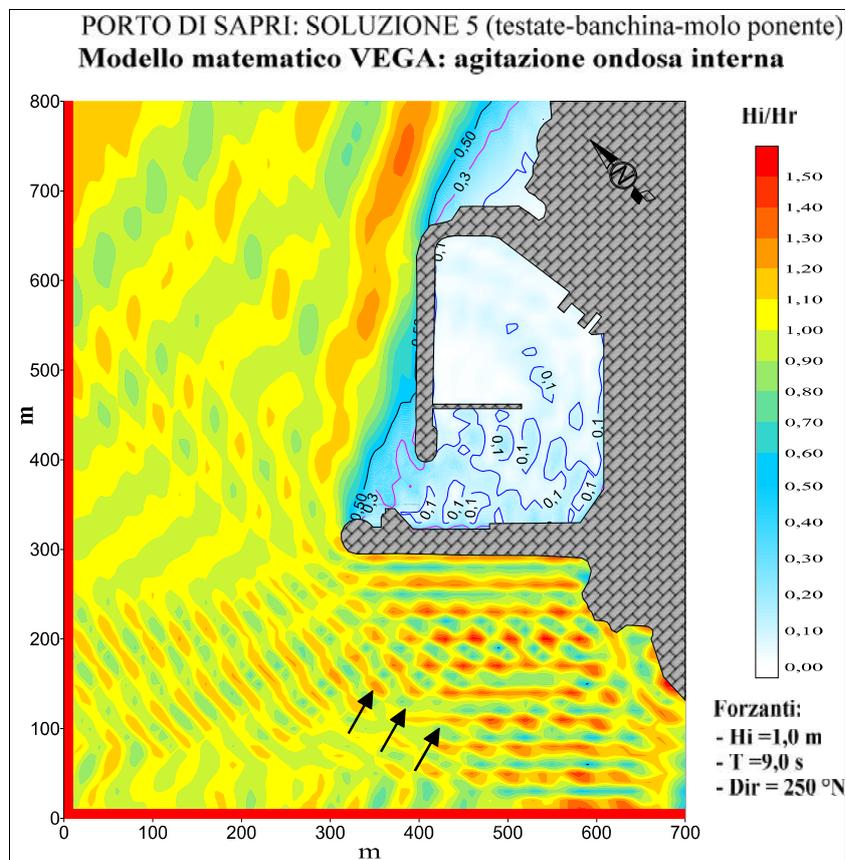


Figura 3.53 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $250^\circ N$ e periodo d’onda pari a 9 s.

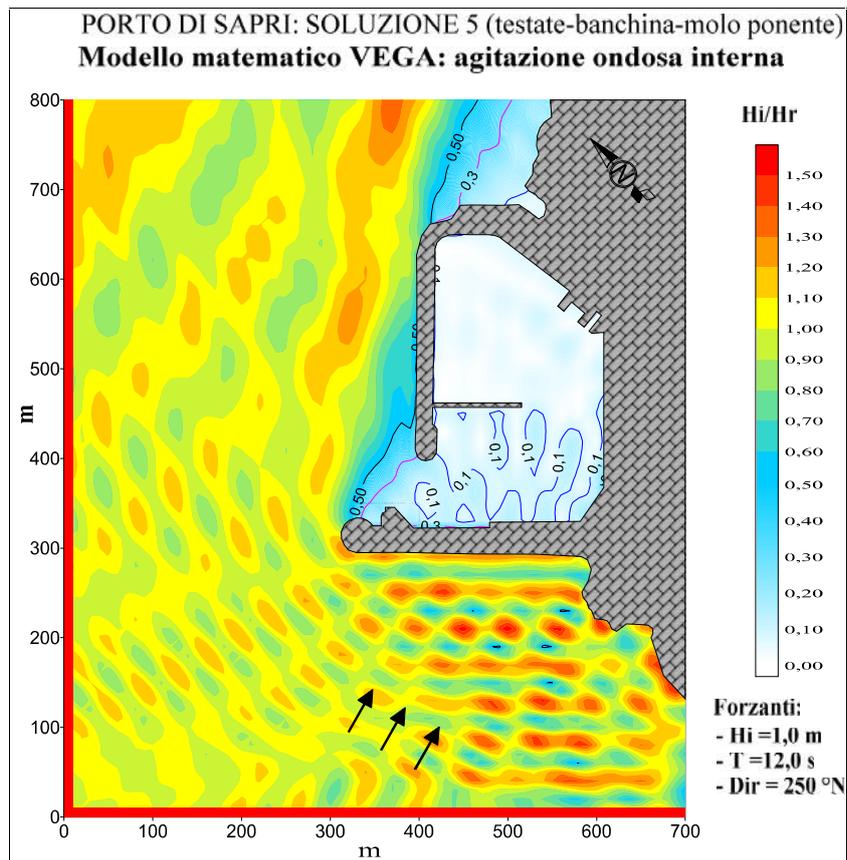


Figura 3.54 – Soluzione 5 di progetto: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $250^\circ N$ e periodo d'onda pari a 12 s.

4 ANALISI DEI RISULTATI

Dall'analisi dei risultati, ottenuti dall'applicazione del modello VEGA per le diverse configurazioni di progetto ipotizzate, risulta evidente l'irradiazione al largo del campo d'onda riflesso e l'attenuazione del moto ondoso nella propagazione all'interno dell'area portuale per effetti di diffrazione e dissipazione di energia causata dalle opere che costituiscono il bacino stesso (Figura 4.1÷Figura 4.3).

Esaminando in dettaglio i risultati ottenuti dalle diverse simulazioni si nota, come peraltro ci si aspettava, che il bacino portuale è ben protetto da onde incidenti provenienti da Mezzogiorno, mentre risulta maggiormente esposto agli stati di mare di Libeccio.

Infatti, sia per la situazione attuale che per le soluzioni progettuali ipotizzate, si può osservare che, mentre per la direzione del moto ondoso scelta come rappresentativa del settore di mezzogiorno (200 °N), l'azione di ridosso esercitata dalle opere di difesa (principalmente dal molo di sopraflutto) si esplica in maniera efficace riducendo i valori dell'altezza d'onda incidente a valori sempre accettabili, ovvero con valori del coefficiente $K=H_r/H_i$ =altezza d'onda relativa/altezza d'onda incidente sempre inferiori a 0,1.

Per le direzioni 225°N e 250°N (Libeccio), invece, l'attenuazione del moto ondoso incidente risulta modesta con livelli di agitazione ondosa talvolta diffusi sull'intero bacino portuale e con valori del coefficiente K di poco inferiori a 0,3.

Per le soluzioni 3, 4 e 5, che prevedono sostanzialmente la riqualificazione delle testate esistenti e la realizzazione di una banchina bunkeraggio e di un pontile per l'ormeggio delle imbarcazioni, come era lecito aspettarsi, il restringimento dell'imboccatura portuale consente di ottenere evidenti benefici in termini di attenuazione del moto ondoso incidente, mentre la realizzazione del nuovo pontile di ormeggio garantisce un'ulteriore ridosso su tutto lo specchio acqueo posto a tergo dello stesso.

5 CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate attraverso l'applicazione del codice di calcolo VEGA mostrano, per tutte le configurazioni portuali prese in considerazione, l'ottima protezione delle opere foranee dagli stati di mare provenienti dal settore di mezzogiorno anche in condizioni estreme associate ad eventi con tempi di ritorno decennali o cinquantennali.

Con la rotazione degli stati di mare verso il settore di ponente, come era lecito aspettarsi, si evidenzia un progressivo aumento della penetrazione del moto ondoso che comporta, conseguentemente, un aumento dell'agitazione ondosa all'interno del bacino protetto e lungo le banchine portuali

Inoltre, è importante osservare come le onde caratterizzate dal periodo più elevato ($T=12$ s) producono una penetrazione del moto ondoso più diffusa ed uniforme rispetto a quelle aventi periodi minori ($T = 6$ s), anche se le differenze in termini di agitazione assoluta si mantengono piuttosto simili tra i due periodi d'onda.

La seguente tabella 1 riporta i valori assoluti di altezza d'onda residua ritenuti accettabili all'interno dei bacini turistici secondo la corrente letteratura.

Tabella 1: Altezze d'onda significativa (in m) accettabili all'interno di una marina per periodo d'onda $T > 2$ s

Direzione di incidenza dell'onda sul natante	Tempo di ritorno		
	50 anni	1 anno	1 settimana
longitudinale (frontale)	0,61	0,30	0,26
trasversale (laterale)	0,23	0,15	0,12

Se nel marina si accettano condizioni "moderate" di ondosità, allora tutti i valori in tabella possono essere aumentati del 25%, mentre il criterio di "eccellenza" del clima d'onda è soddisfatto riducendo gli stessi valori del 25%.

In riferimento ai suddetti valori, i risultati delle simulazioni mostrano come nella situazione attuale, in presenza di eventi di moto ondoso provenienti da libeccio e ponente, i livelli di agitazione ondosa all'interno del bacino protetto risultano diffusi e talvolta raggiungono valori dell'altezza d'onda residua di poco inferiori al 30% del valore dell'altezza d'onda incidente. Ne consegue che già con eventi ordinari, caratterizzati da altezze d'onda incidenti pari a 2 m e che si verificano diverse volte nel corso dell'anno,

l'agitazione residua all'interno del bacino risulta abbastanza elevata ($H_r = 2 \text{ m} \times 0.28 = 0.56 \text{ m}$), con evidenti problemi di stabilità e sicurezza delle imbarcazioni all'ormeggio. La riqualificazione delle attuali testate dei moli foranei, con il modesto prolungamento del sottoflutto (soluzione 3, in attuazione e completamento della configurazione prevista dall'originale progetto generale), che determina una modesta restrizione dell'imboccatura portuale pienamente compatibile con la navigabilità portuale, persegue un'apprezzabile riduzione della penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale con conseguente riduzione dei livelli di altezza d'onda residua (vedi confronto in Figura 5.1), principali responsabili delle condizioni di sicurezza delle navigazioni e degli ormeggi.

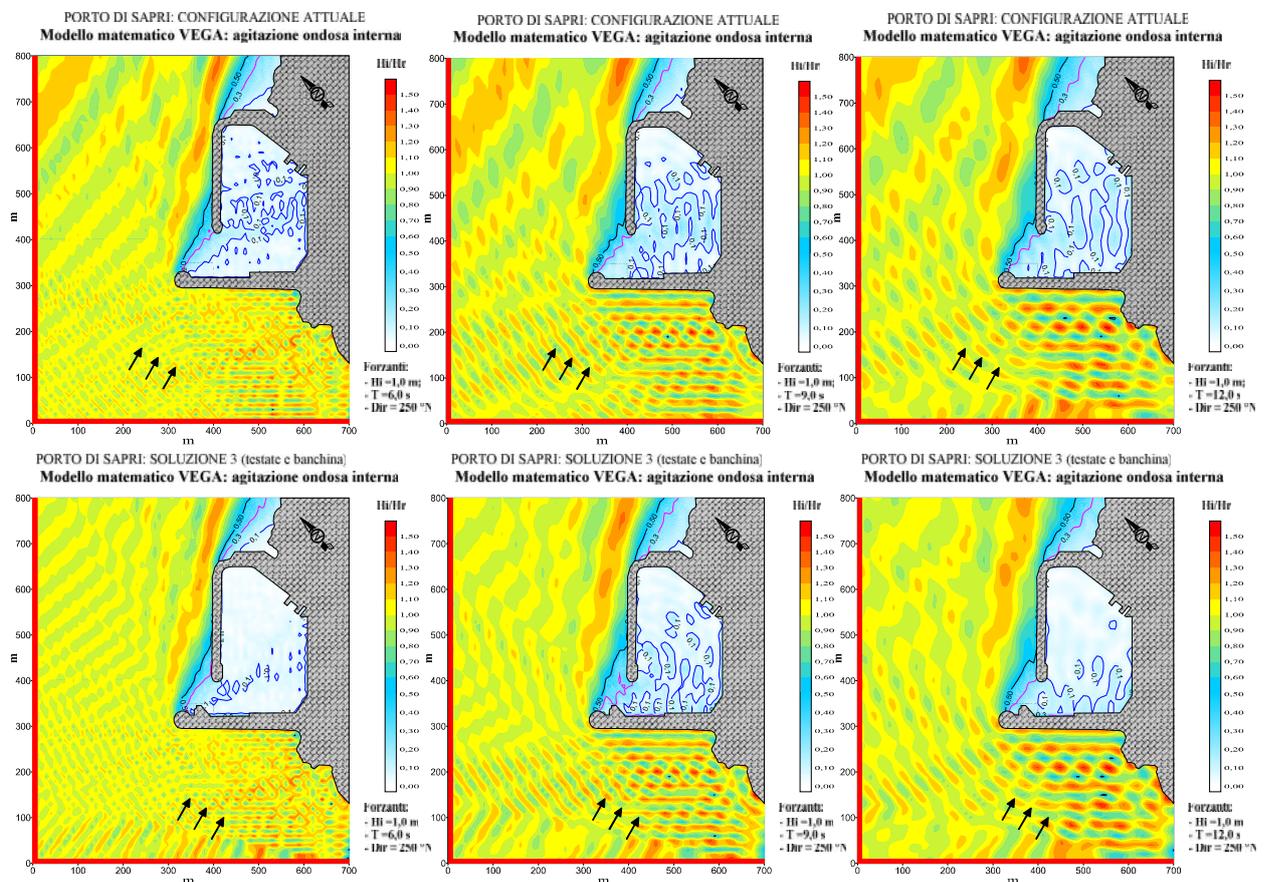


Figura 5.1 – Confronto dei livelli di agitazione ondosa interna ottenuti simulando la Situazione attuale e la Soluzione 3 con eventi provenienti da 250° N e periodo d'onda pari a 6, 9 e 12 s.

L'ulteriore realizzazione di un pontile in cassoncini antiriflettenti, secondo le soluzioni 4 e 5, assicura un notevole ridosso al bacino posto a tergo dello stesso a tutti gli eventi provenienti dal settore di libeccio-ponente con livelli di agitazione ondosa caratterizzati da valori del coefficiente k sempre minori a 0,1.

E' quindi possibile affermare che l'eventuale realizzazione di un nuovo pontile, che potrà essere previsto in una seconda fase progettuale, oltre a costituire un elemento di

delimitazione funzionale per le destinazioni d'uso dello specchio portuale interno, ha effetti benefici nei riguardi dell'agitazione ondosa interna (vedi Figura 5.2).

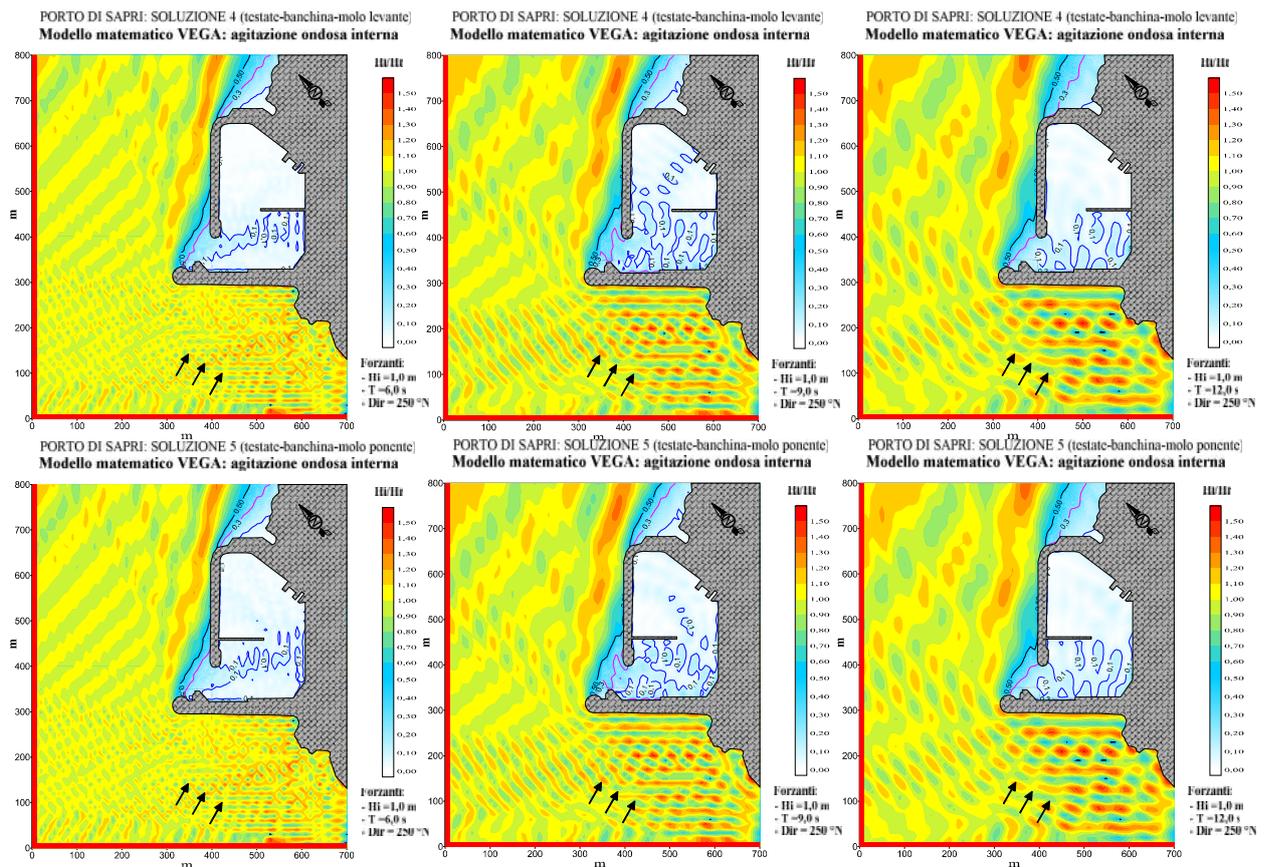


Figura 5.2 – Confronto dei livelli di agitazione ondosa interna ottenuti simulando la Soluzione 4 e la Soluzione 5 con eventi provenienti da 250° N e periodo d'onda pari a 6, 9 e 12 s.

In conclusione, sulla base delle simulazioni effettuate è possibile affermare, in termini di riduzione della penetrazione del moto ondoso, l'efficacia delle opere previste dalla soluzione 3, ovvero della riqualificazione della banchina bunkeraggio, sulla parte terminale del molo sopraflutto, e delle testate esistenti attraverso il rifiorimento delle mantellate ed un modesto prolungamento del molo di sottoflutto.

Tale soluzione, in un secondo stralcio funzionale, potrà essere abbinata alla realizzazione di pontili di ormeggio ottimizzando ulteriormente gli scenari 4 e 5 già simulati. In questo modo si potrà assicurare un'ulteriore riduzione dei livelli di agitazione ondosa portuale con conseguenti miglioramenti sulle condizioni di sicurezza per le imbarcazioni in fase di stazionamento all'interno del bacino protetto, sia in condizioni meteomarine ordinarie che estreme.

ALLEGATO 1: DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA

MODELLO MATEMATICO DI AGITAZIONE

DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA

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

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

L'equazione ellittica di Helmholtz risulta:

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

dove:

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

$w(x,y)$ = potenziale 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-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.