



COMUNE DI PESCARA

REGIONE ABRUZZO

PORTO DI PESCARA

PIANO REGOLATORE PORTUALE 2008

Titolo elaborato :

STUDIO DELL'AGITAZIONE INTERNA PORTUALE

--	--	--

0	8
---	---

--	--	--

R

-	-	-
---	---	---

0

Coordinamento generale:

Dott. Ing. Chiara BARILE

Responsabile Unico del Procedimento:

Dott. Ing. Luciano DE BIASE

Coordinatore gruppo di progettazione:

Prof. Ing. Alberto NOLI

Aspetti marittimi e modellistica idraulica:

Prof. Ing. Paolo DE GIROLAMO

Aspetti urbanistici e architettonici:

Prof. Arch. Rosario PAVIA

Prof. Arch. Giuseppe BARBIERI

Dott. Arch. Raffaella MASSACESI

Aspetti trasportistici - Connessioni terrestri:

T.P.S. - Dott. Ing. Guido Francesco MARINO

Aspetti ambientali:

MED Ingegneria s.r.l. - Dott. Ing. Paolo ATZENI

Aspetti geologici:

Dott. Geol. Francesco IEZZI

Aspetti geotecnici:

Prof. Ing. Giuseppe SCARPELLI

Aspetti socio - economici:

ECOSFERA - Dott. Ing. Domenico NEVOSO

	Nov. 2008			P. De Girolamo		
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

INDICE

1	PREMESSE, METODOLOGIA E RISULTATI	2
2	CONFIGURAZIONI PORTUALI ED IPOTESI DI CALCOLO	5
3	STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI.....	8
4	ANALISI DEI RISULTATI.....	16
	ALLEGATO 1: DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA.....	18

1 PREMESSE, METODOLOGIA E RISULTATI

Con riferimento alla redazione del Piano Regolatore del Porto (PRP) di Pescara, il Comune di Pescara, il Comune di Pescara ha incaricato lo scrivente Prof. Ing. Paolo De Girolamo (Prot. N. 502/AT – generale n. 21394) dei servizi tecnici relativi agli aspetti marittimi. Nell'ambito di tale incarico è stato redatto lo studio dell'agitazione interna portuale, di cui il presente documento costituisce il rapporto finale.

Per la redazione del presente studio, il Prof. De Girolamo si è avvalso della collaborazione dell'Ing. Andrea Sanzone.

Il presente rapporto (redatto ai sensi del D.M. 14/4/1998) riguarda lo studio di agitazione interna portuale.

Lo studio è stato condotto mediante l'applicazione del modello numerico Vega che risolve l'equazione ellittica di Helmholtz con il metodo degli "elementi di contorno". Il modello consente di simulare i fenomeni combinati di diffrazione e riflessione che risultano essere i fenomeni dominanti nel processo di penetrazione delle onde all'interno dei bacini portuali. Il lavoro ha riguardato la nuova configurazione di Piano Regolatore Portuale per il porto di Pescara.

In particolare per la configurazione di PRP sono state simulate 13 condizioni di moto ondoso incidente relative ad onde caratterizzate dalle seguenti direzioni di provenienza e periodi:

- 320° N – periodo 6 s,
- 340° N – periodi 6 ed 8 s,
- 350° N – periodi 6 ed 8 s,
- 30° N – periodi 6, 8 e 10 s,
- 60° N – periodi 6 ed 8 s,
- 80° N – periodo 6 s ed 8s,
- 100° N – periodo 6s.

Le onde simulate coprono l'intero settore di traversia dal quale possono provenire le onde e sono relative sia a condizioni frequenti (di interesse per l'operatività dei bacini e della

navigabilità delle imboccature) sia a condizioni estreme (di interesse per la sicurezza delle imbarcazioni ormeggiate).

Si osserva che, data la differente ubicazione delle imboccature portuali che caratterizzano i due bacini in progetto e l'imboccatura del porto canale, ovvero della differente esposizione delle stesse imboccature agli eventi di moto ondoso incidenti, sono state considerate, sulla base dei risultati ottenuti dallo studio meteo marino cui si rimanda per ulteriori dettagli, le condizioni più gravose ai fini dell'agitazione interna portuale.

In particolare mentre per il bacino pescherecci risultano più gravose le direzioni provenienti dal settore di maestrale-tramontana (320° N, 340° N e 350° N), per il bacino commerciale risultano più gravose le direzioni provenienti dal settore di grecale-levante (80° N e 100° N). Inoltre al fine di poter valutare i livelli di agitazione ondosa generati dagli eventi prevalenti (più intensi e più frequenti), in prossimità della nuova imboccatura prevista per la foce del fiume Pescara, sono stati simulati gli eventi provenienti dalla direzione 30° N.

Per quanto riguarda il bacino pescherecci, i risultati ottenuti mostrano:

- livelli massimi di agitazione compatibili con le destinazioni d'uso delle banchine e rispettano i valori massimi suggeriti dall'AIPCN;
- livelli interni in termini di coefficienti di diffrazione, quasi ovunque, sempre inferiore al 10% rispetto all'altezza d'onda incidente;
- valori massimi del coefficiente di penetrazione del moto ondoso (circa 0.3) con onde provenienti da 320° N (maestrale).

Per quanto riguarda il bacino commerciale, i risultati ottenuti mostrano:

- agitazione ondosa praticamente nulla per l'intero bacino portuale e comunque inferiore al 10% dell'altezza delle onde incidenti per le onde provenienti da 320° , 340° , 350° , 30° e 60° N;
- per onde provenienti da 80° N si verifica:
 - per la Banchina Nord il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.2;
 - per la Banchina Ovest il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.4;
 - per la Banchina Sud il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.4;
 - per la Banchina Est il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.3;

- per onde provenienti da 100° N si verifica:
 - per la Banchina Nord il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.5;
 - per la Banchina Ovest il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.7;
 - per la Banchina Sud il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.3;
 - per la Banchina Est il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.6;

Per quanto riguarda il porto canale posto sulla foce del fiume Pescara le nuove opere previste dal presente PRP garantiscono, per tutte le simulazioni effettuate, una buona attenuazione del moto ondoso incidente con livelli di agitazione ondosa accettabili già dalla zona posta subito all'interno dell'imboccatura della foce stessa.

In conclusione, sulla base delle simulazioni effettuate si può affermare che la configurazione di P.R.P. prevista per il porto di Pescara garantisce nei due nuovi bacini e nel porto canale, oltre ad un sostanziale incremento dello specchio acqueo portuale, un adeguato livello di sicurezza alle imbarcazioni in fase di stazionamento nei pressi delle nuove banchine, sia in condizioni meteomarine ordinarie che estreme.

I risultati ottenuti da questo studio sono stati utilizzati (vedi documento: "Studio della navigabilità, dell'operatività delle imboccature portuali e del down time delle banchine") per valutare il livello di operatività delle banchine relative ai nuovi bacini.

2 CONFIGURAZIONI PORTUALI ED IPOTESI DI CALCOLO

Per lo studio della penetrazione del moto ondoso, all'interno degli specchi acquei protetti dalle vecchie e dalle nuove opere previste per il porto di Pescara, si è fatto riferimento alla configurazione portuale prevista dal presente Piano Regolatore Portuale e di seguito riportata (Figura 2.1).

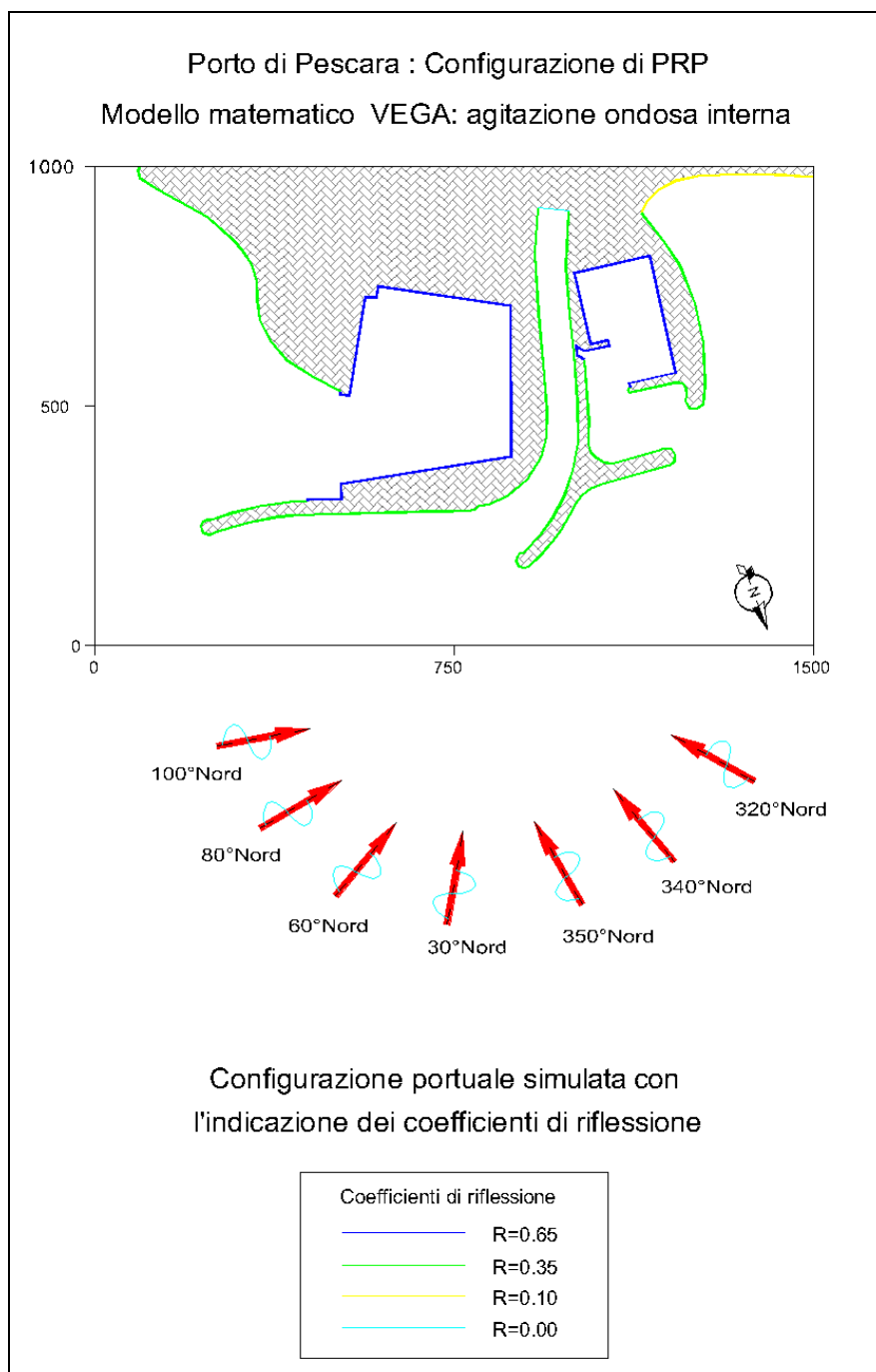


Figura 2.1– configurazione portuale simulata e coeff. di riflessioni adottati

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

- | | |
|---|-----------|
| - banchine a parete verticale con pareti antiriflettenti | R = 0.60; |
| - tratti rocciosi naturali ed opere a scogliera | R = 0.35; |
| - spiagge assorbenti | R = 0.10; |
| - 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.

Le simulazioni sono state effettuate assumendo una profondità media (costante) all'interno della griglia di calcolo. In particolare, per tenere conto delle diverse profondità che caratterizzano i due nuovi bacini portuali e la nuova foce del fiume Pescara, le simulazioni sono state condotte considerando: per le direzioni provenienti dal settore di maestrale-tramontana (320° N, 340° N e 350° N), significative per il nuovo bacino pescherecci, una profondità media costante pari a -5 m s.l.m.; per le direzioni provenienti dal settore di grecale-levante (60° N, 80° N e 100° N), significative per il nuovo bacino industriale, una profondità media costante pari a -8 m s.l.m.; per la direzione 30° N, significativa per la nuova foce del fiume Pescara, una profondità media costante pari a -7 m s.l.m.

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: $R = 0.125 \cdot \xi_p^{0.73}$, dove $\xi_p = \tan \alpha / (2\pi H_s / g T_{pm}^2)^{0.5}$.

Per quanto riguarda le direzioni di provenienza delle onde, in corrispondenza delle imboccature portuali delle configurazioni simulate, si sono preventivamente individuati, con riferimento allo studio meteomarinario, i settori di attacco degli stati di mare più gravosi ai fini dell'agitazione ondosa all'interno dei due nuovi bacini in progetto per il porto di Pescara.

In particolare, sono state scelte per le simulazioni le condizioni di moto ondoso riportate nella tabella seguente:

Scenario 1	320° N	T = 6s
Scenario 2	340° N	T = 6s, 8s
Scenario 3	350° N	T = 6s, 8s
Scenario 4	30° N	T = 6s, 8s, 10s
Scenario 5	60° N	T = 6s, 8s
Scenario 6	80° N	T = 6s, 8s
Scenario 7	100° N	T = 6s

che rappresentano sia le condizioni di operatività ordinaria e perciò raggiungibili qualche volta nel corso dell'anno (circa $T = 6$ s), sia condizioni più rare e gravose associate a tempeste con tempo di ritorno decennale e cinquantennale (periodi compresi tra $T = 8$ e 10 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 quattro segmenti opportunamente scelti:

- $A_1A_2 = \{(370, -1110); (2620, 500)\} \rightarrow$ per le onde provenienti dalle direzioni 320°, 340° e 350° N;
- $B_1B_2 = \{(-500, -500); (2000, -500)\} \rightarrow$ per l'onda proveniente dalla direzione 30° N;
- $C_1C_2 = \{(-1210, 690); (1260, -1310)\} \rightarrow$ per le onde provenienti dalle direzioni 60° e 80° N;
- $D_1D_2 = \{(-530, 1170); (-150, -760)\} \rightarrow$ per l'onda proveniente dalla direzione 100° N;

che rappresentano quattro 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 acqueo 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). 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 15000 nodi della griglia (1500m x 1000m; $\Delta x = \Delta y = 10\text{m}$) computazionale posti all'interno del dominio che rappresenta l'area in esame.

I risultati delle simulazioni effettuate vengono riportati a colori e con curve di eguale agitazione ondosa dalla Figura 3.1 alla Figura 3.13. 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.

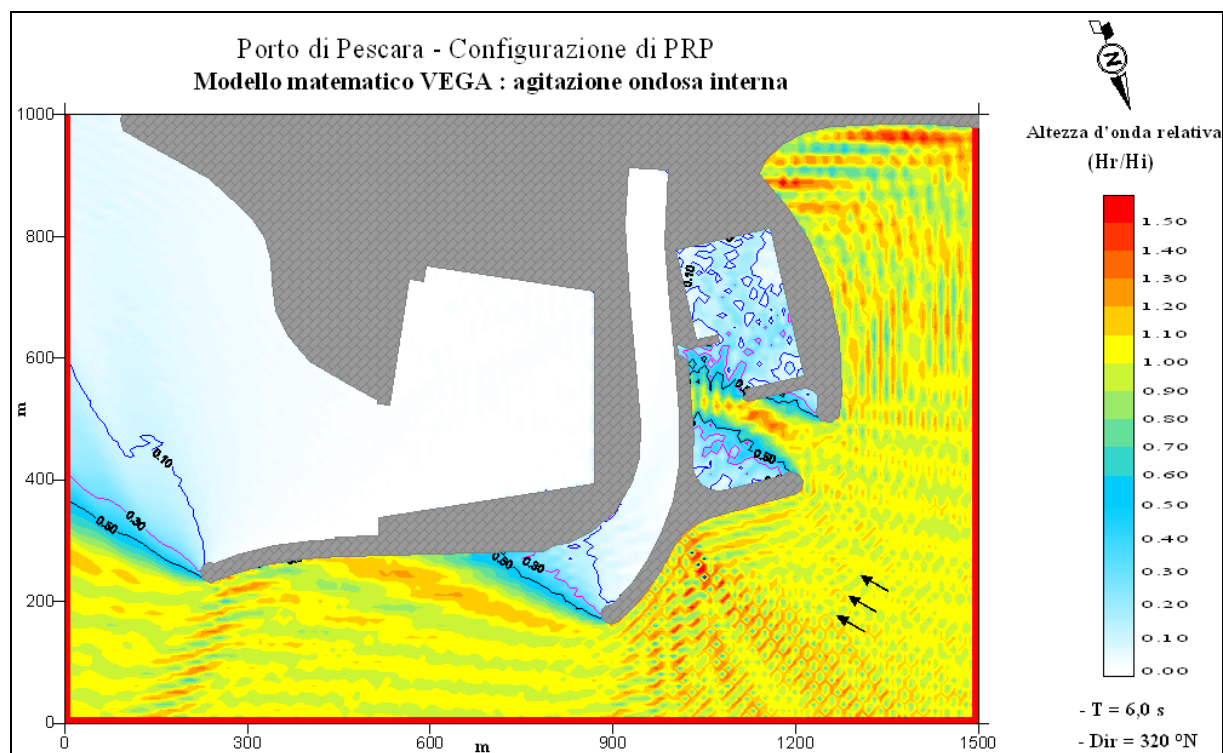


Figura 3.1 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 320° N e periodo d'onda pari a 6 s.

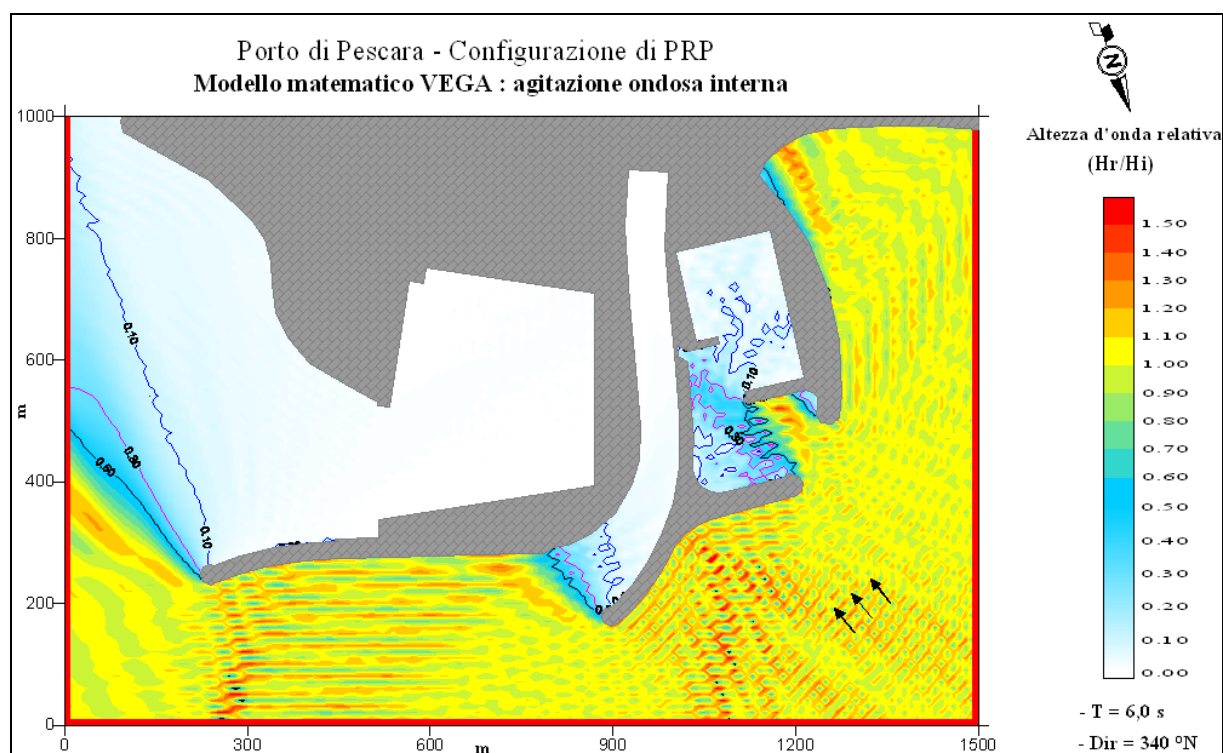


Figura 3.2 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 340° N e periodo d'onda pari a 6 s.

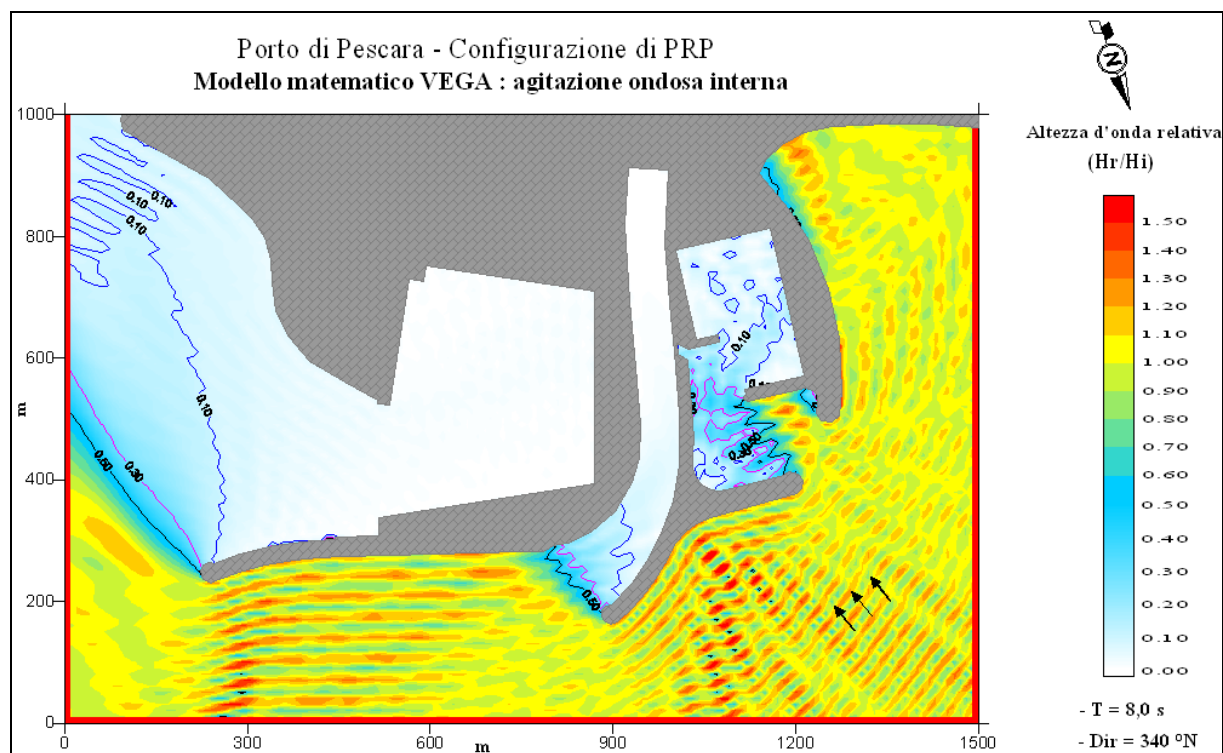


Figura 3.3 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 340° N e periodo d'onda pari a 8 s.

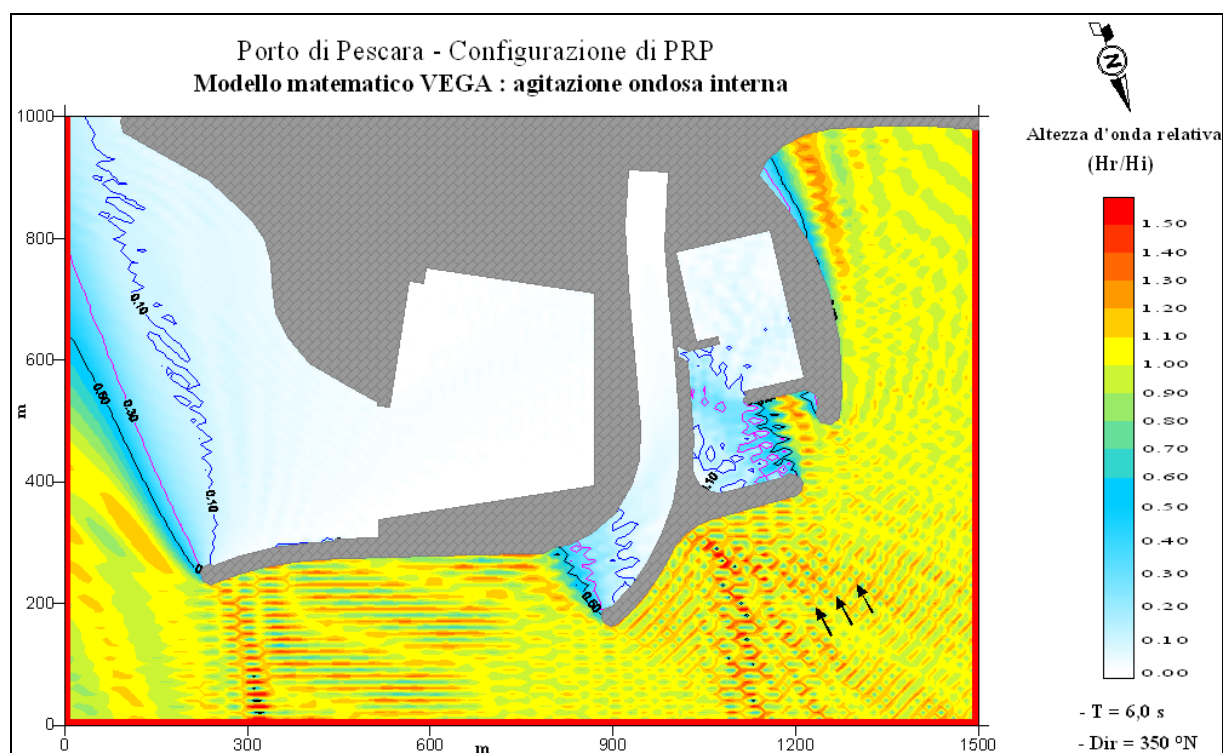


Figura 3.4 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 350° N e periodo d'onda pari a 6 s.

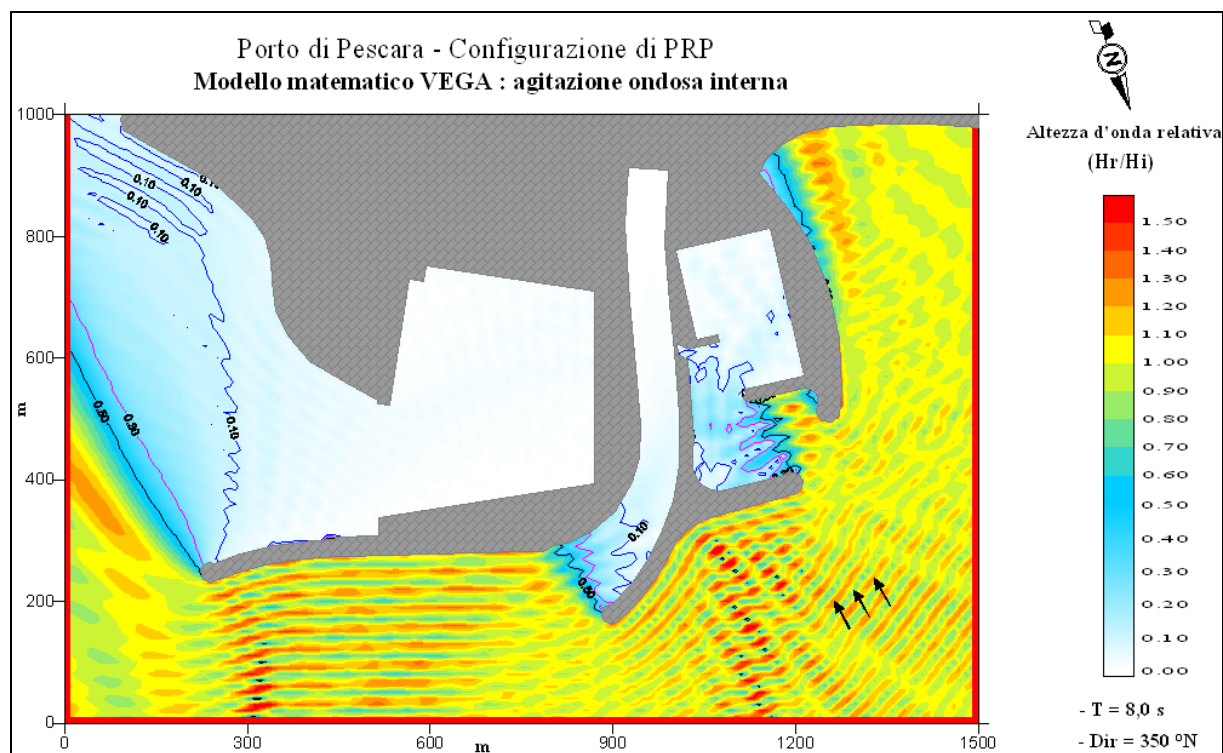


Figura 3.5 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 350° N e periodo d'onda pari a 8 s.

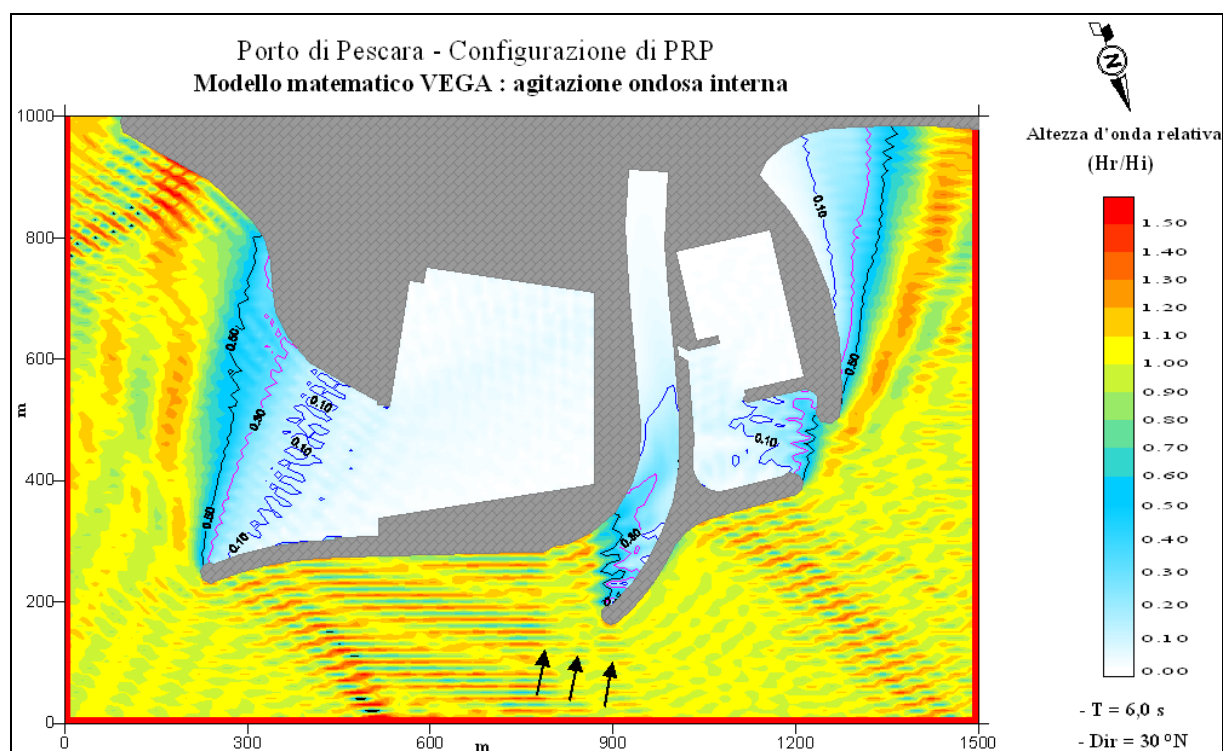


Figura 3.6 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 30° N e periodo d'onda pari a 6 s.

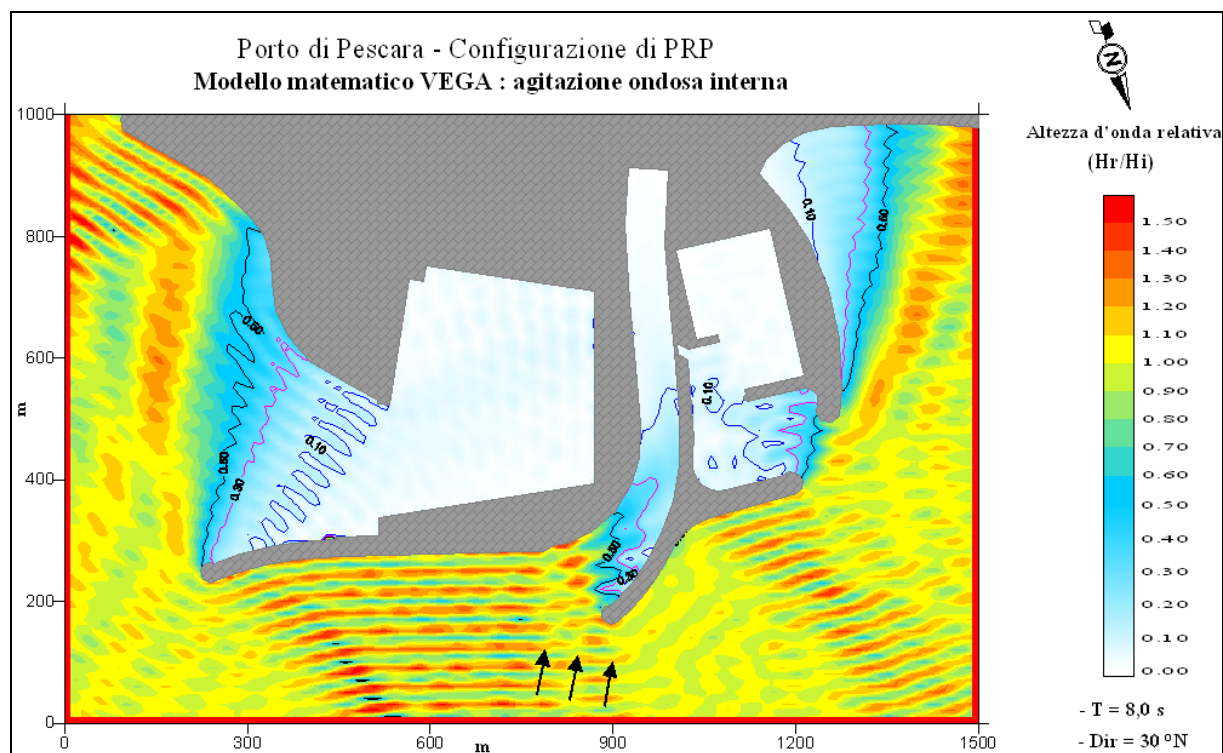


Figura 3.7 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 30° N e periodo d'onda pari a 8 s.

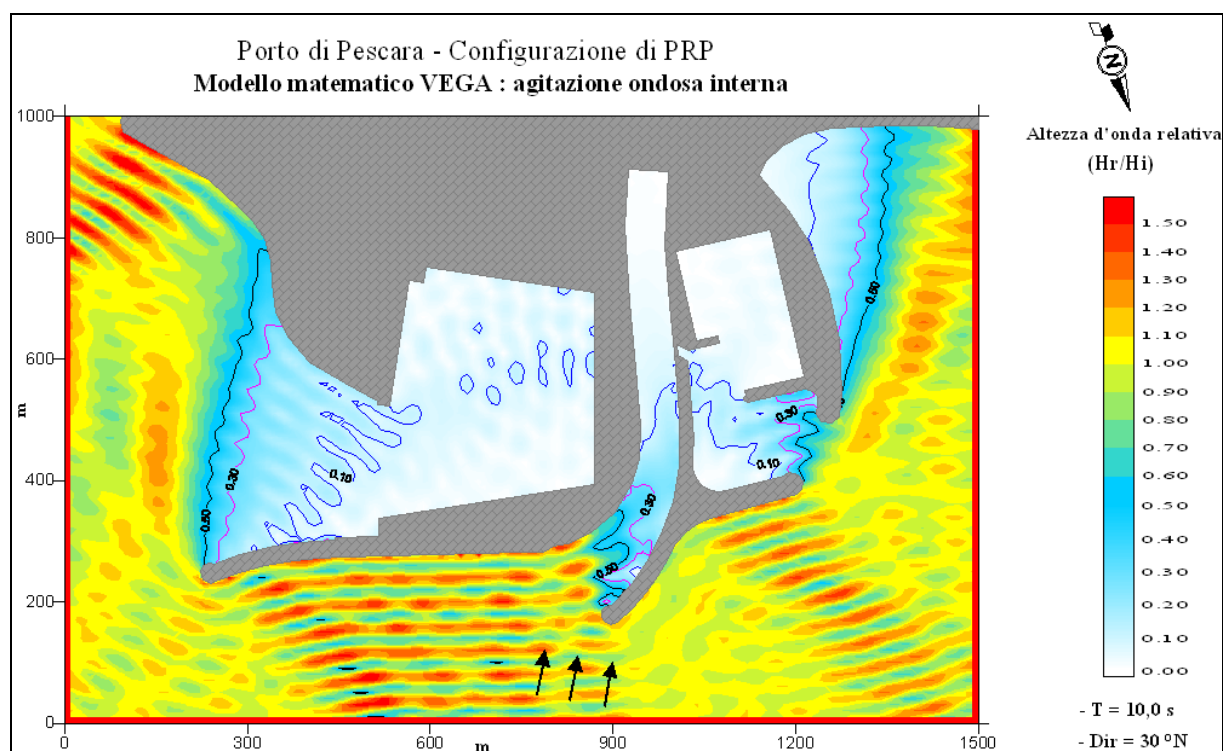


Figura 3.8 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 30° N e periodo d'onda pari a 10 s.

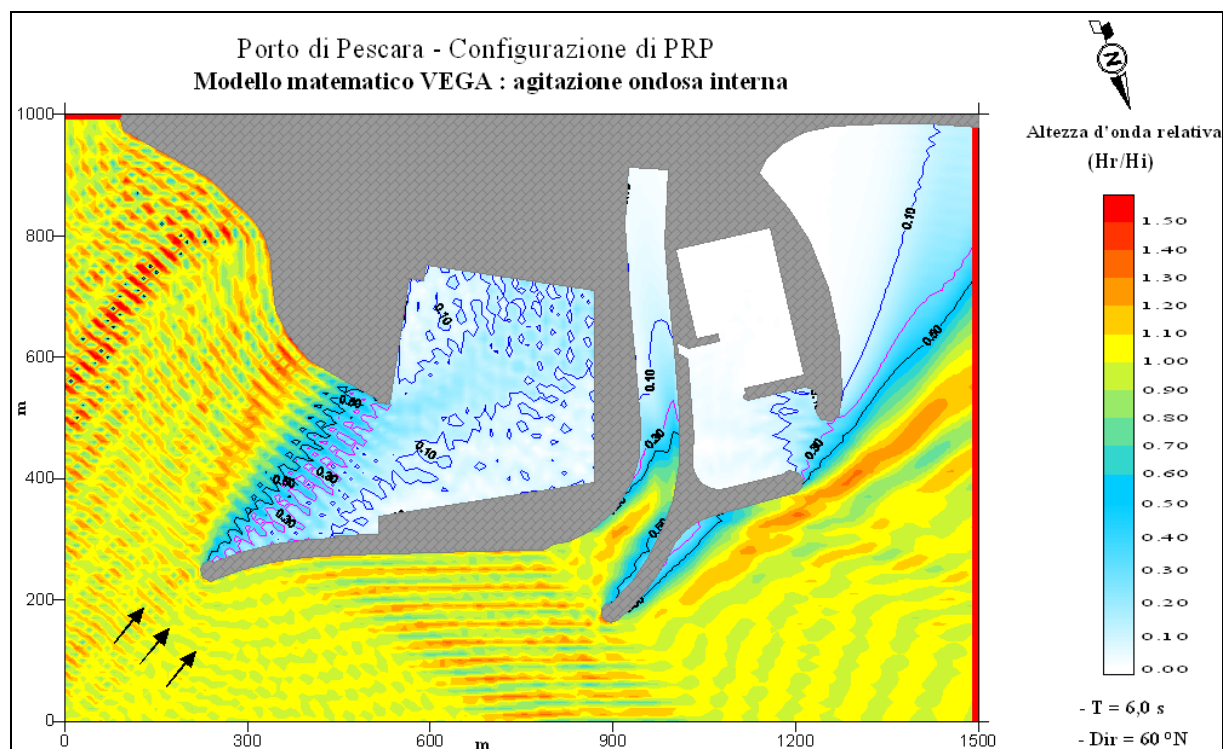


Figura 3.9 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

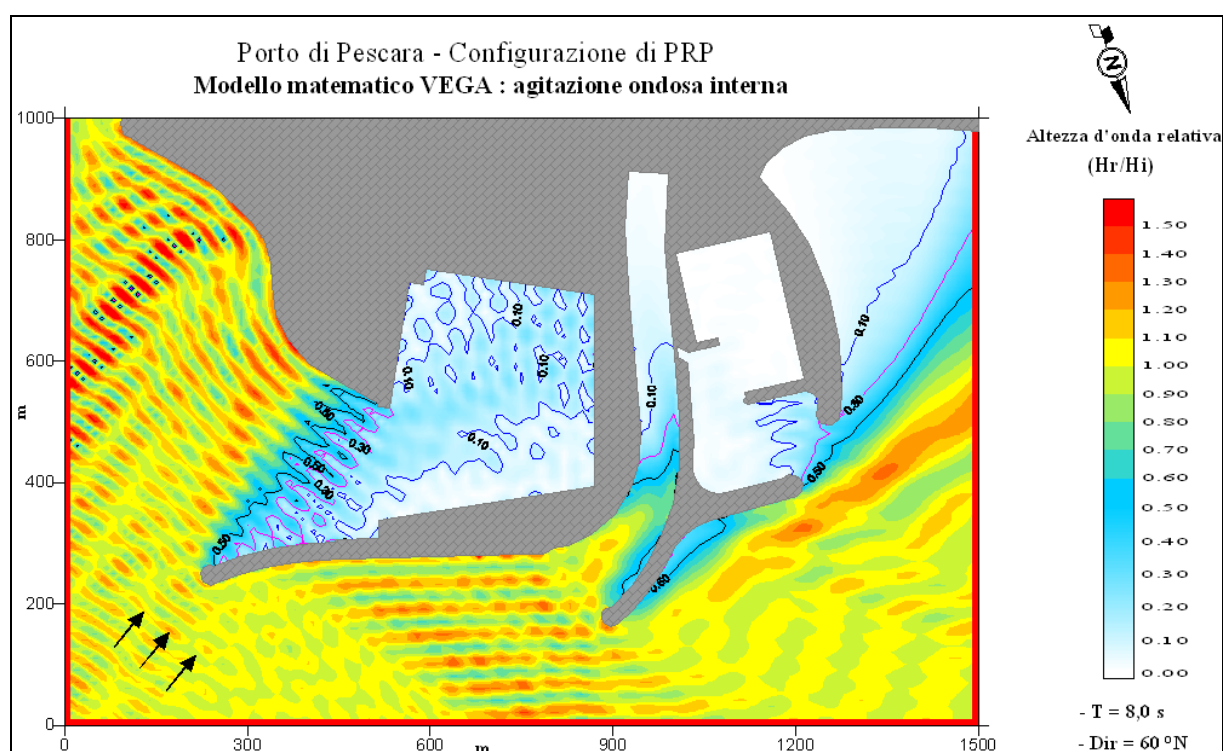


Figura 3.10 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 8 s.

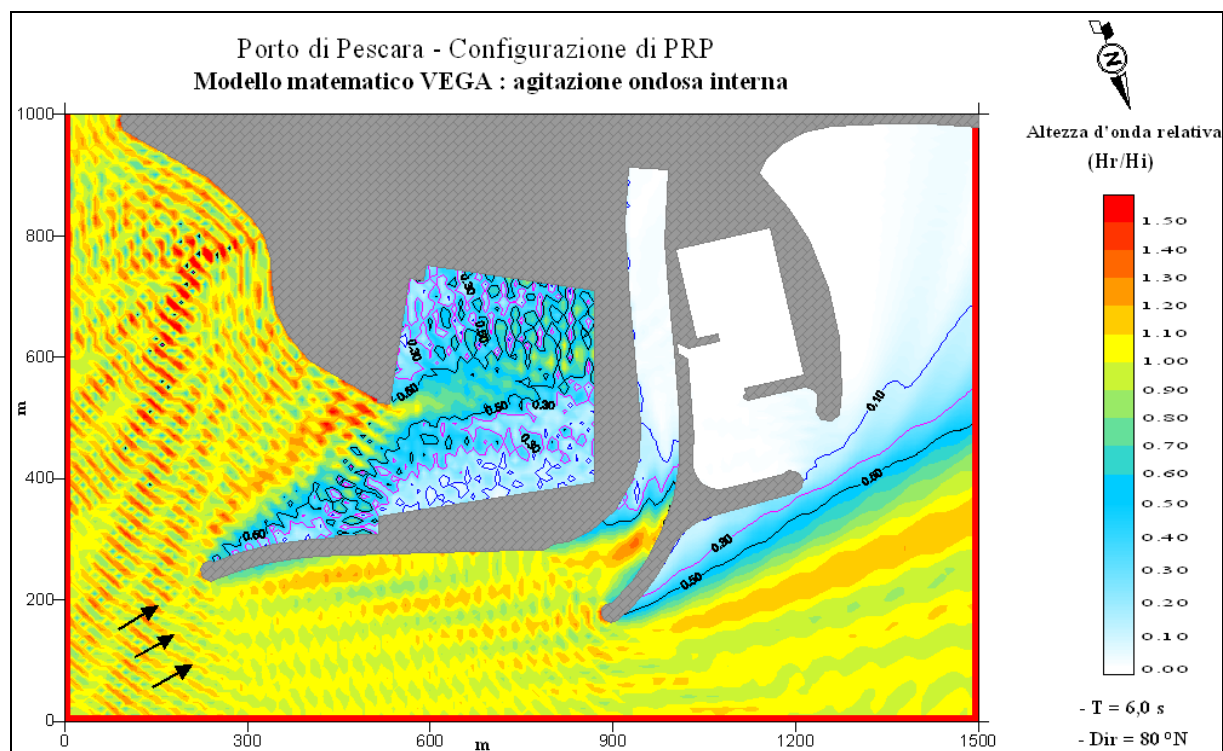


Figura 3.11 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 80° N e periodo d'onda pari a 6 s.

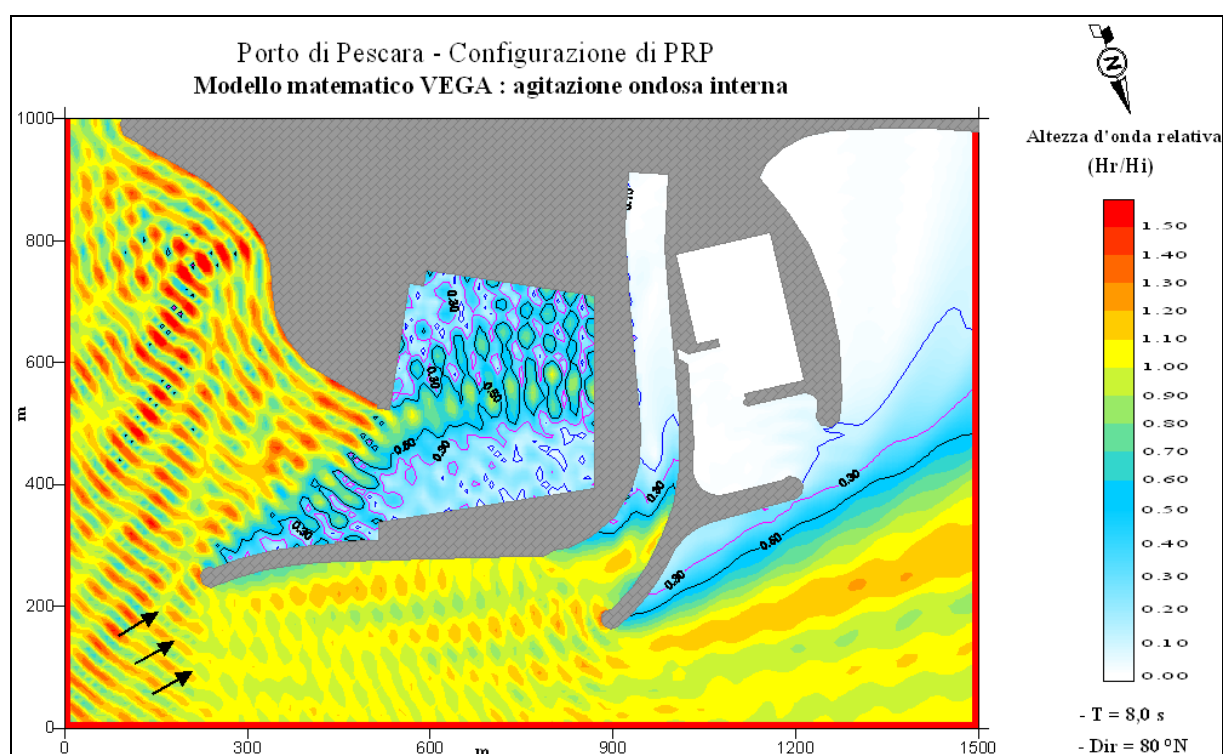


Figura 3.12 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 80° N e periodo d'onda pari a 8 s.

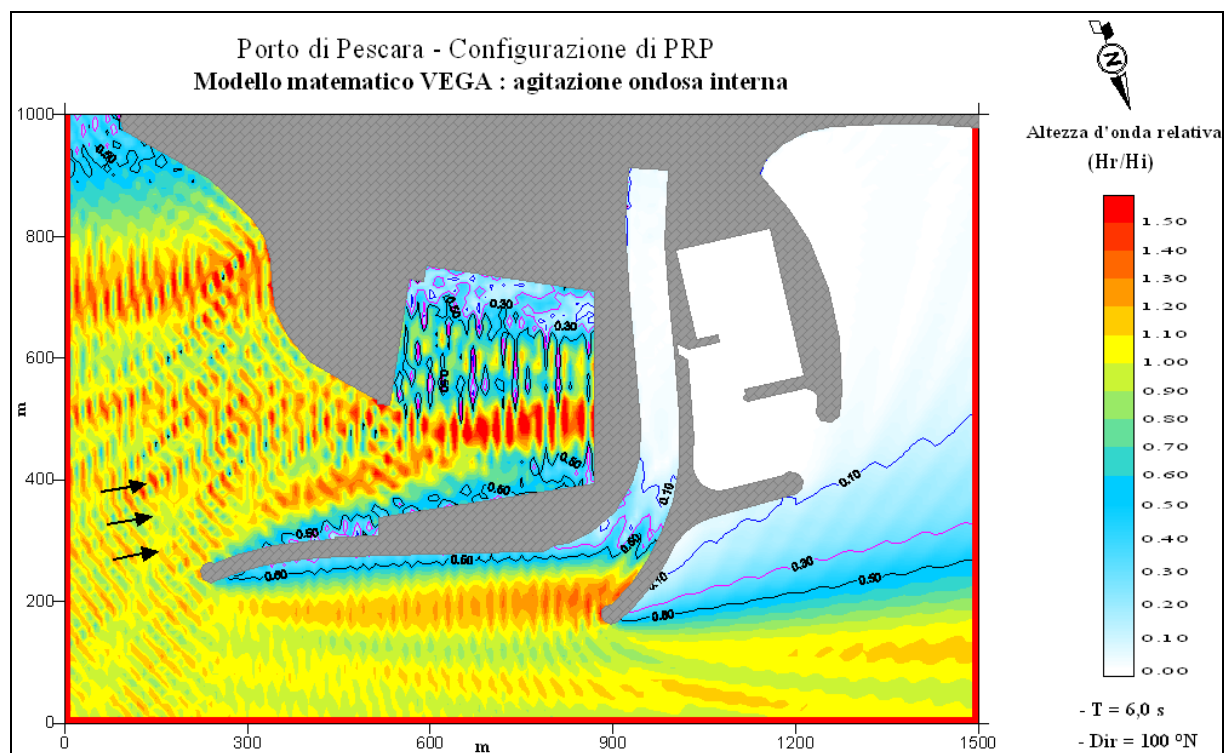


Figura 3.13 – Configurazione di PRP: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 100° N e periodo d'onda pari a 6 s.

4 ANALISI DEI RISULTATI

Dall'analisi dei risultati, ottenuti dall'applicazione del modello VEGA per la configurazione in progetto per il Piano Regolatore Portuale di Pescara, si evidenzia come in generale il moto ondoso incidente propagandosi all'intero dello specchio portuale viene progressivamente attenuato per effetti di diffrazione e dissipazione di energia causata dalle opere che delimitano i bacini stessi.

Nel modello numerico tutte le opere, che costituiscono il contorno bagnato della configurazione portuale simulata, sono state riprodotte utilizzando opportuni coefficienti di riflessione.

Esaminando in dettaglio i risultati ottenuti dalle diverse simulazioni si nota che la configurazione di P.R.P. risulta sufficientemente ridossata agli stati di mare rappresentativi sia delle condizioni ordinarie sia delle condizioni estreme.

Per tutti gli stati di mare simulati, fatta eccezione per quelli provenienti dal settore di levante (100°N e 80°N), si ottengono all'interno dei nuovi bacini previsti dal presente progetto di P.R.P. valori del coefficiente d'agitazione quasi ovunque inferiori al 10% del valore dell'altezza d'onda incidente.

In particolare, per quanto riguarda il bacino pescherecci, i risultati ottenuti mostrano:

- livelli massimi di agitazione compatibili con le destinazioni d'uso delle banchine e rispettano i valori massimi suggeriti dall'AIPCN;
- livelli interni in termini di coefficienti di diffrazione, quasi ovunque, sempre inferiore al 10% rispetto all'altezza d'onda incidente;
- valori massimi del coefficiente di penetrazione del moto ondoso (circa 0.3) con onde provenienti da 320°N (maestrale).

Per quanto riguarda il bacino commerciale, i risultati ottenuti mostrano:

- agitazione ondosa praticamente nulla per l'intero bacino portuale e comunque inferiore al 10% dell'altezza delle onde incidenti per le onde provenienti da 320 , 340 , 350 , 30 e 60°N ;
- per onde provenienti da 80°N si verifica:
 - per la Banchina Nord il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.2;
 - per la Banchina Ovest il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.4;
 - per la Banchina Sud il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.4;
 - per la Banchina Est il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.3;

- per onde provenienti da 100° N si verifica:
 - per la Banchina Nord il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.5;
 - per la Banchina Ovest il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.7;
 - per la Banchina Sud il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.3;
 - per la Banchina Est il valore medio del coefficiente di agitazione pari a circa 0.6;

Per quanto riguarda il porto canale posto sulla foce del fiume Pescara le nuove opere previste dal presente PRP garantiscono, per tutte le simulazioni effettuate, una buona attenuazione del moto ondoso incidente con livelli di agitazione ondosa accettabili già dalla zona posta subito all'interno dell'imboccatura della foce stessa.

In conclusione, sulla base delle simulazioni effettuate si può affermare che la configurazione di P.R.P. prevista per il porto di Pescara garantisce nei due nuovi bacini e nel porto canale, oltre ad un sostanziale incremento dello specchio acqueo portuale, un adeguato livello di sicurezza alle imbarcazioni in fase di stazionamento nei pressi delle nuove banchine, sia in condizioni meteomarine ordinarie che estreme.

I risultati ottenuti da questo studio sono stati utilizzati (vedi documento: "Studio della navigabilità, dell'operatività delle imboccature portuali e del down time delle banchine") per valutare il livello di operatività delle banchine relative ai nuovi bacini.

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:

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

dove:

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

$\phi(x,y)$ = 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.