

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI
SEZIONE III Adunanza del
04 19 GIU. 2013
Consorzio per l'Area di Sviluppo
Industriale del Vastese
IL SEGRETARIO
Via Ciccarone n.98/E
66054 VASTO (CH)
tel. 0873.367519 / 0873.364049

PORTO DI VASTO - PUNTA PENNA

LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO
DELLE INFRASTRUTTURE PORTUALI

CIPE - 138/2000

PIANO REGOLATORE PORTUALE *2007*

ALLEGATO 4

STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI ALL'INTERNO DEL PORTO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MODIMAR s.r.l.	capogruppo mandataria
Med.I.F. s.r.l.	componente mandante
Tecnoconsud s.r.l.	componente mandante

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ING. NICOLA BERNABEO

CAPO PROGETTO:

PROF. ING. ALBERTO NOLI

LUGLIO 2007

INDICE

1	PREMESSE	3
2	IPOTESI DI CALCOLO E CONDIZIONI DI INPUT	4
3	STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSI	14
4	ANALISI DEI RISULTATI	78
	APPENDICE: DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO VEGA	107

1 Premesse

La presente relazione illustra i risultati dello studio di penetrazione del moto ondoso, necessarie per una corretta definizione dello schema portuale definitivo, per le diverse configurazioni portuali ipotizzate in fase di redazione del nuovo Piano Regolatore Portuale di Vasto.

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 diverse configurazioni portuali ipotizzate, fornendo ai progettisti un utile parametro di valutazione tra le diverse soluzioni, e nel contempo la definizione delle condizioni di moto ondoso estreme cui fare riferimento per la successiva valutazione del grado di sicurezza e delle condizioni di navigabilità. Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando tre direzioni di provenienza del moto ondoso e tre periodi significativi per 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

Le configurazioni portuali prese in considerazione per lo studio della penetrazione del moto ondoso, assumendo una profondità media costante del bacino pari a 10m, con l'indicazione dei coefficienti di riflessione utilizzati, vengono di seguito riportate.

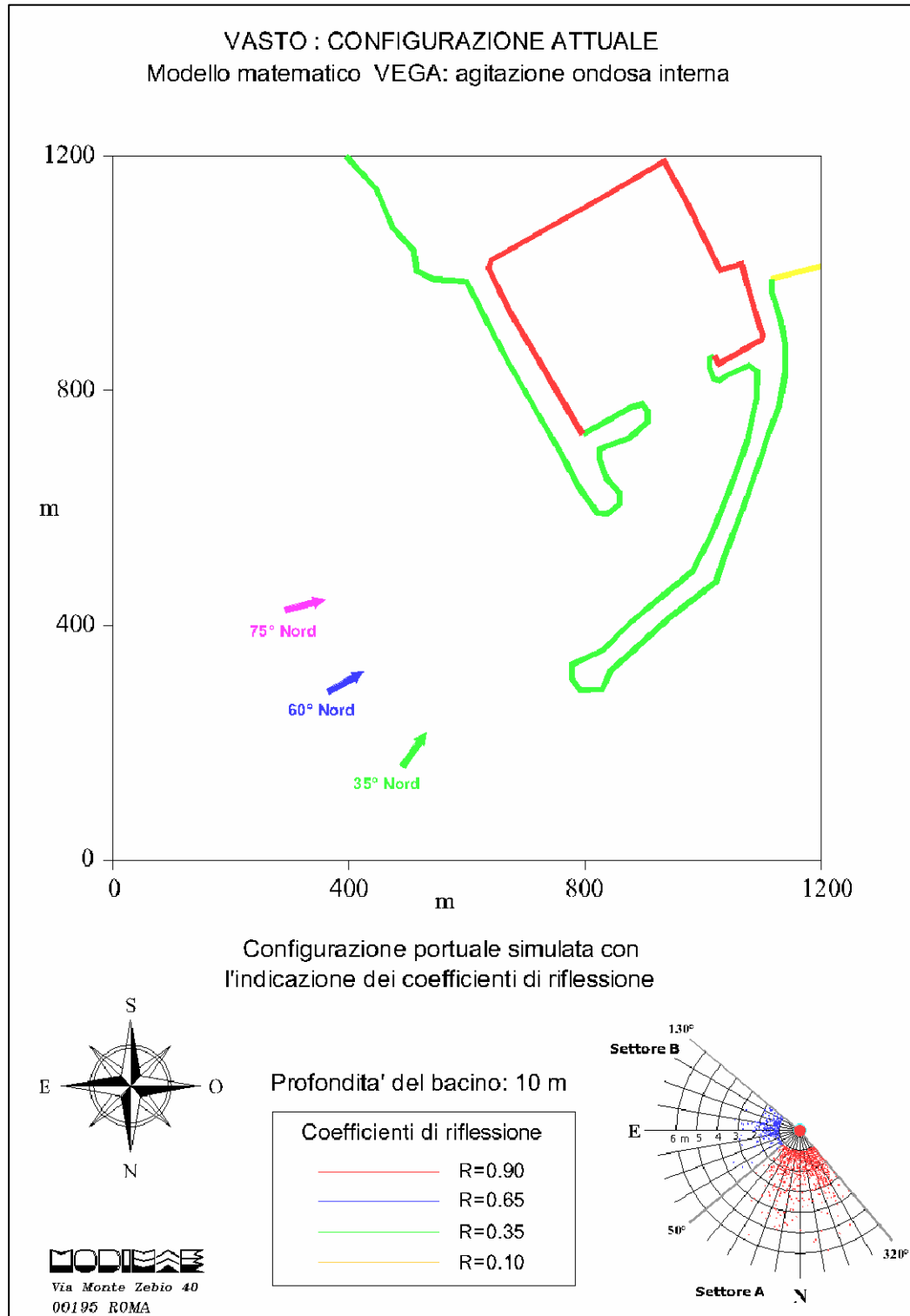


Figura 2.1: conf. portuale attuale simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m)

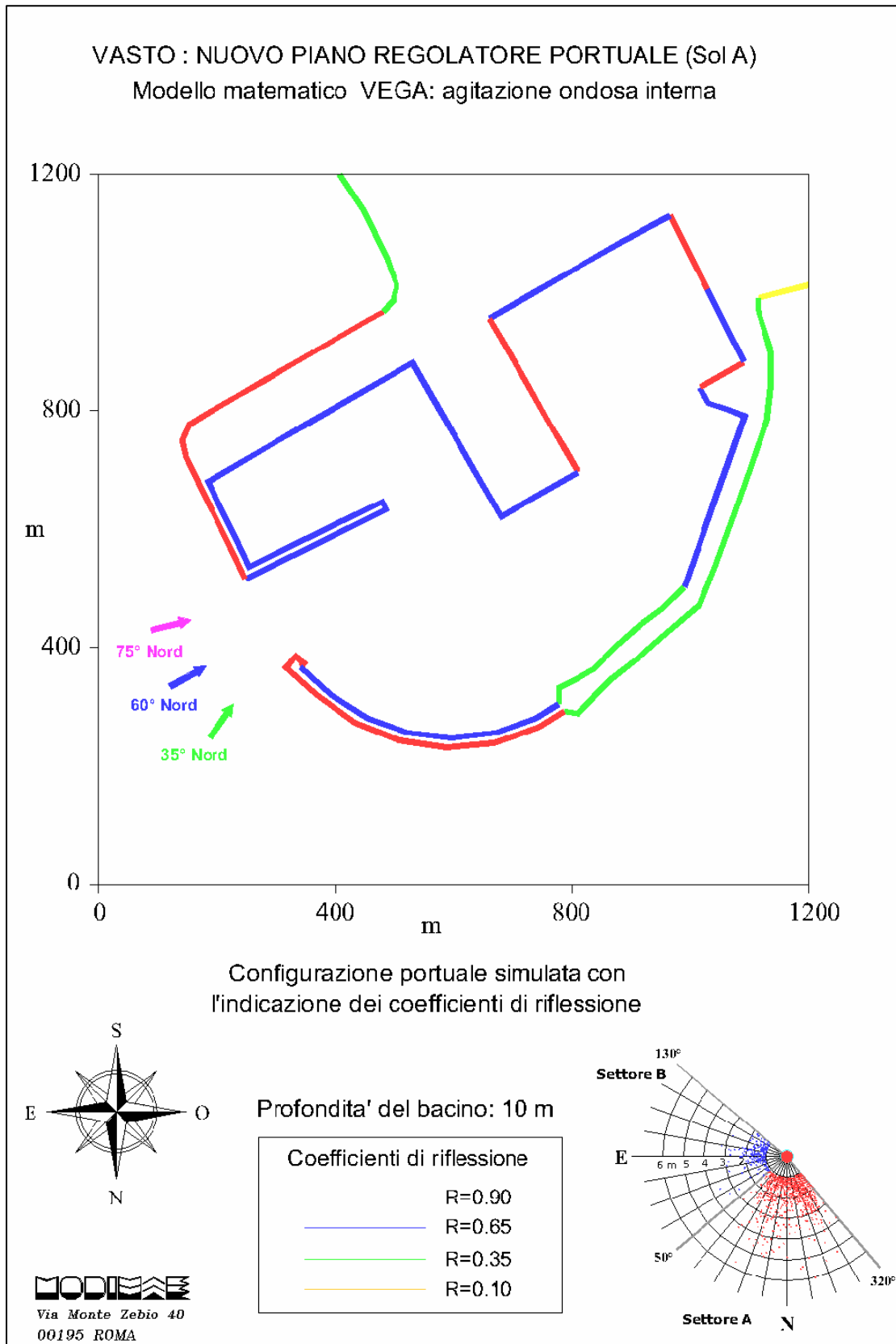


Figura 2.2: soluzione portuale A simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m)

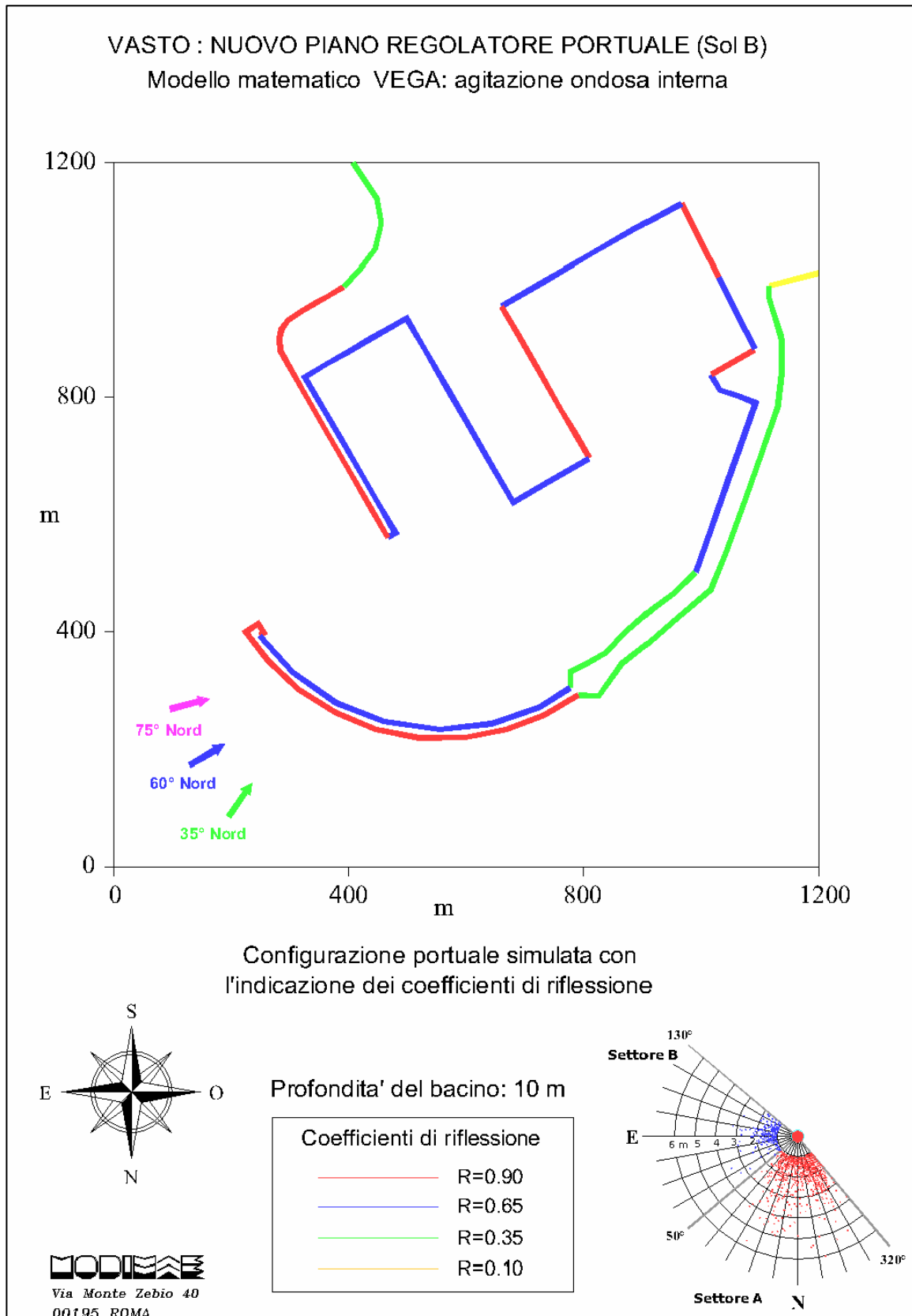


Figura 2.3: soluzione portuale B simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m)

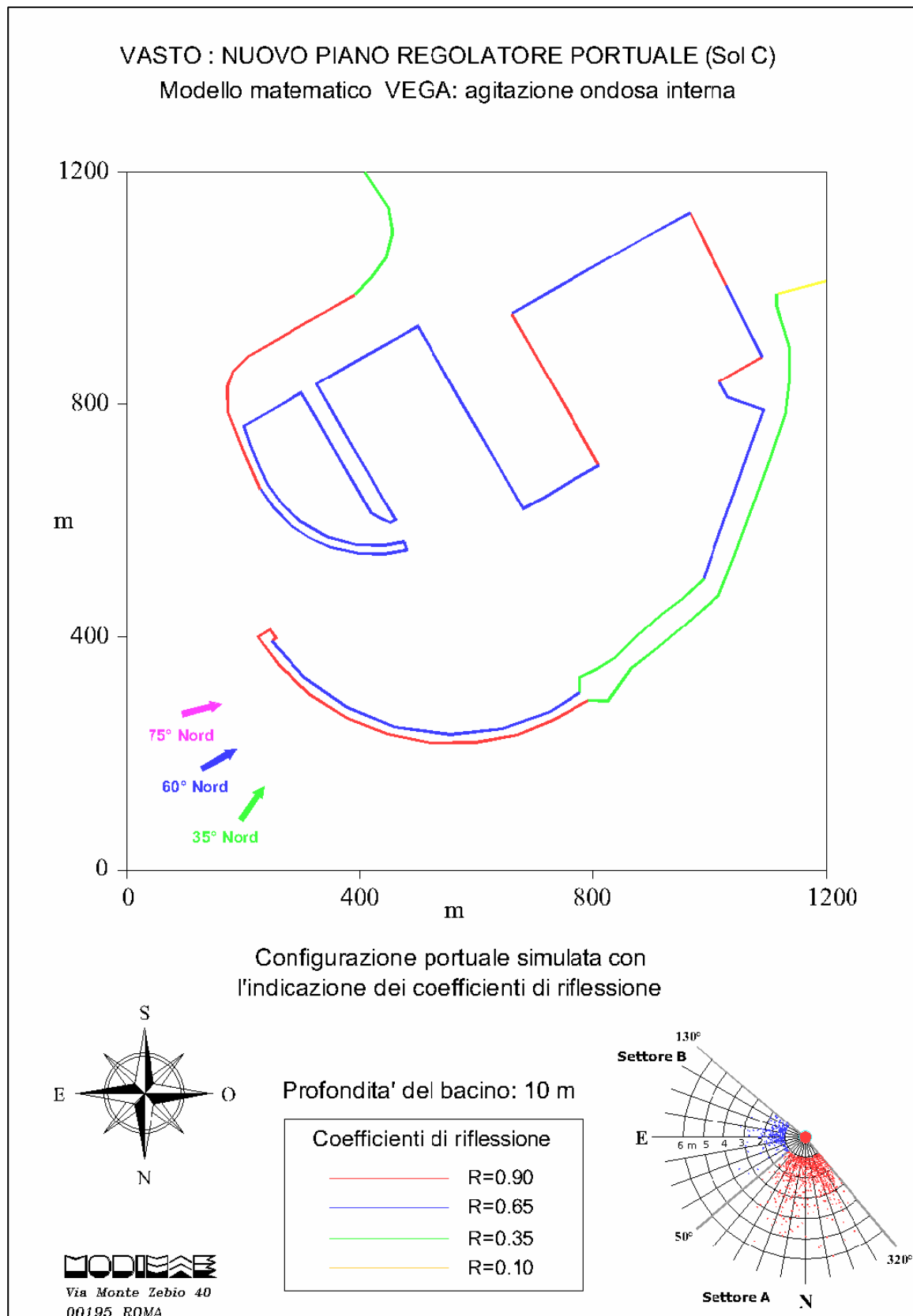


Figura 2.4: soluzione portuale C simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m)

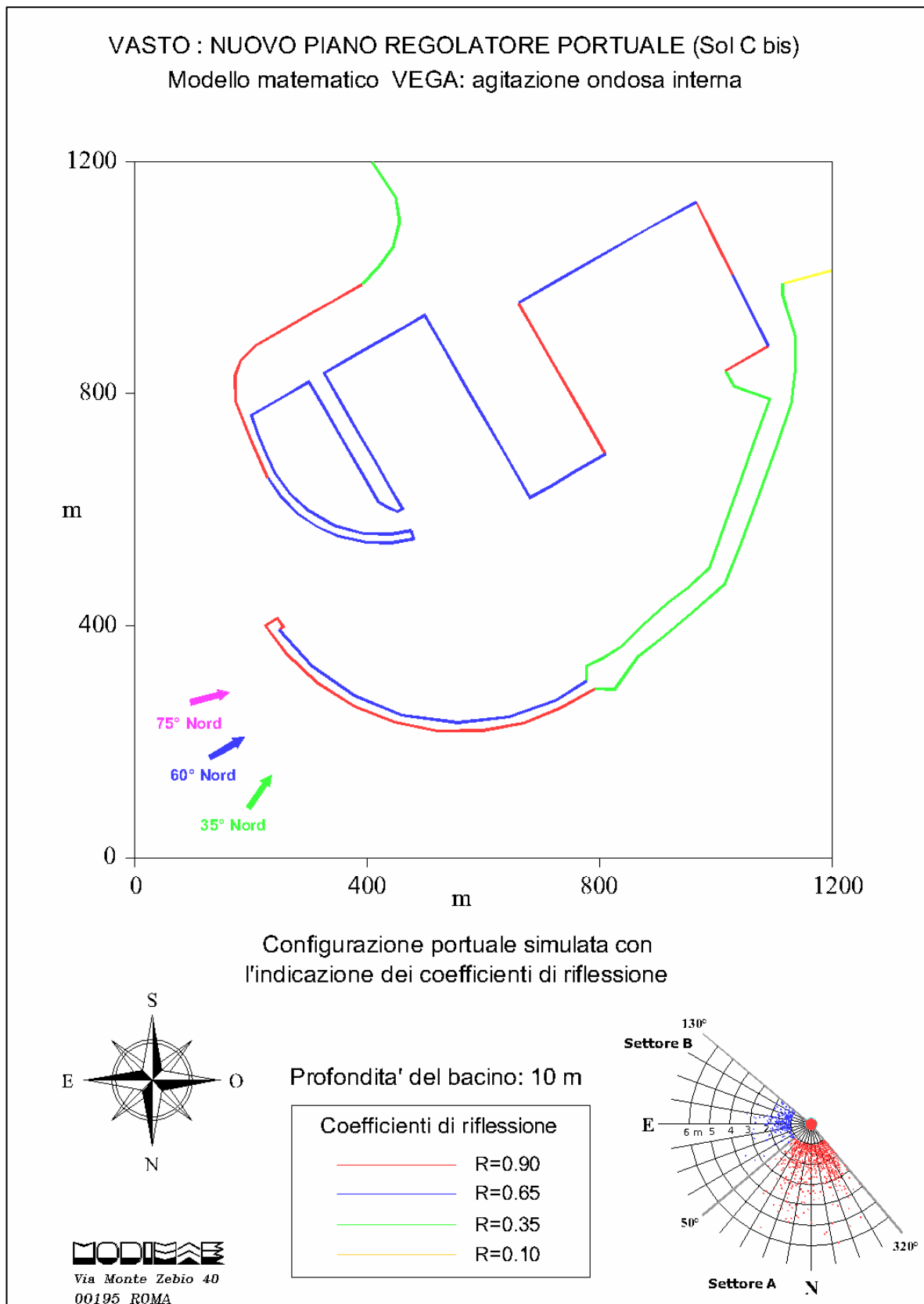


Figura 2.5: soluzione portuale C bis simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m)

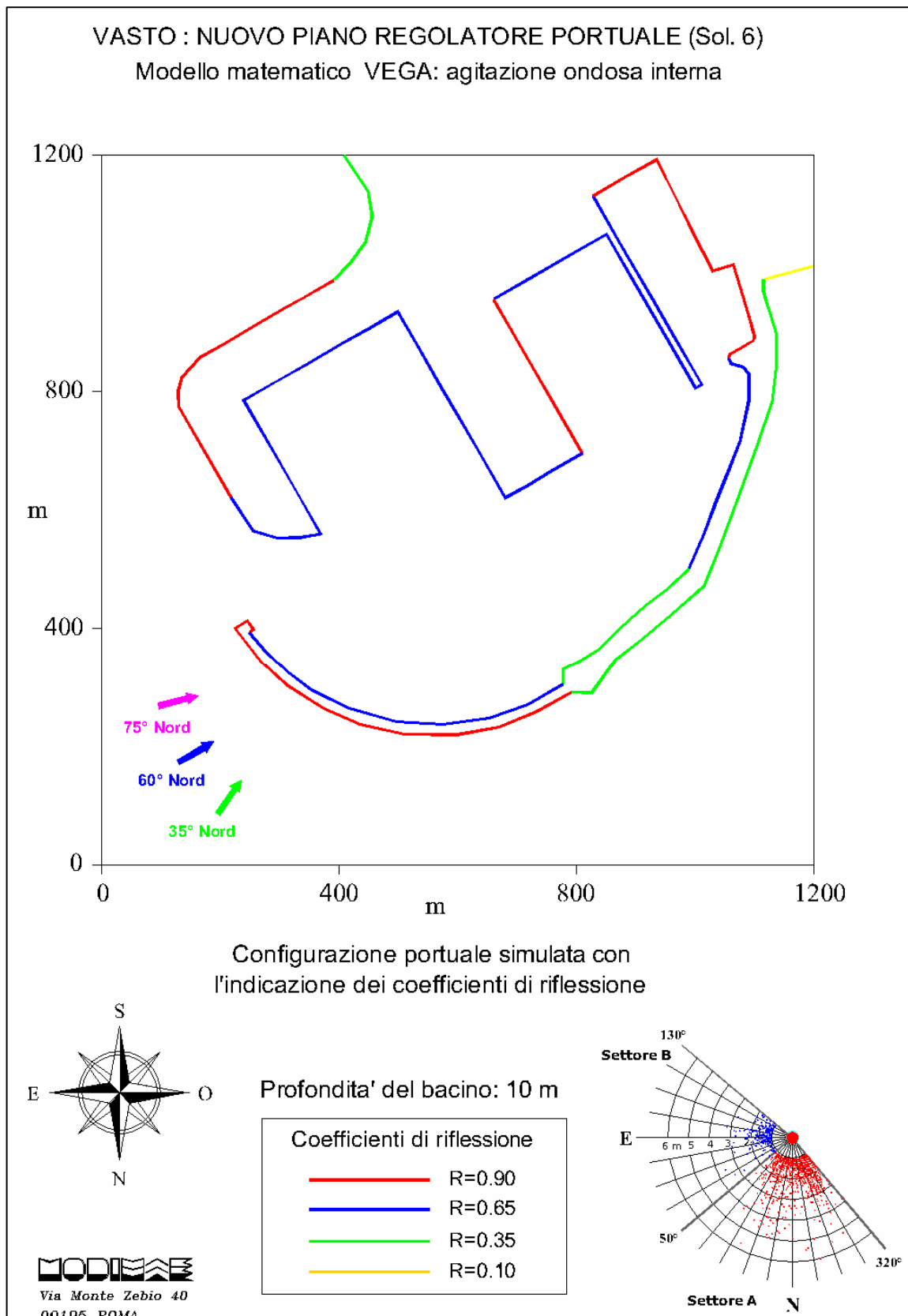


Figura 2.6: soluzione portuale 6 simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m)

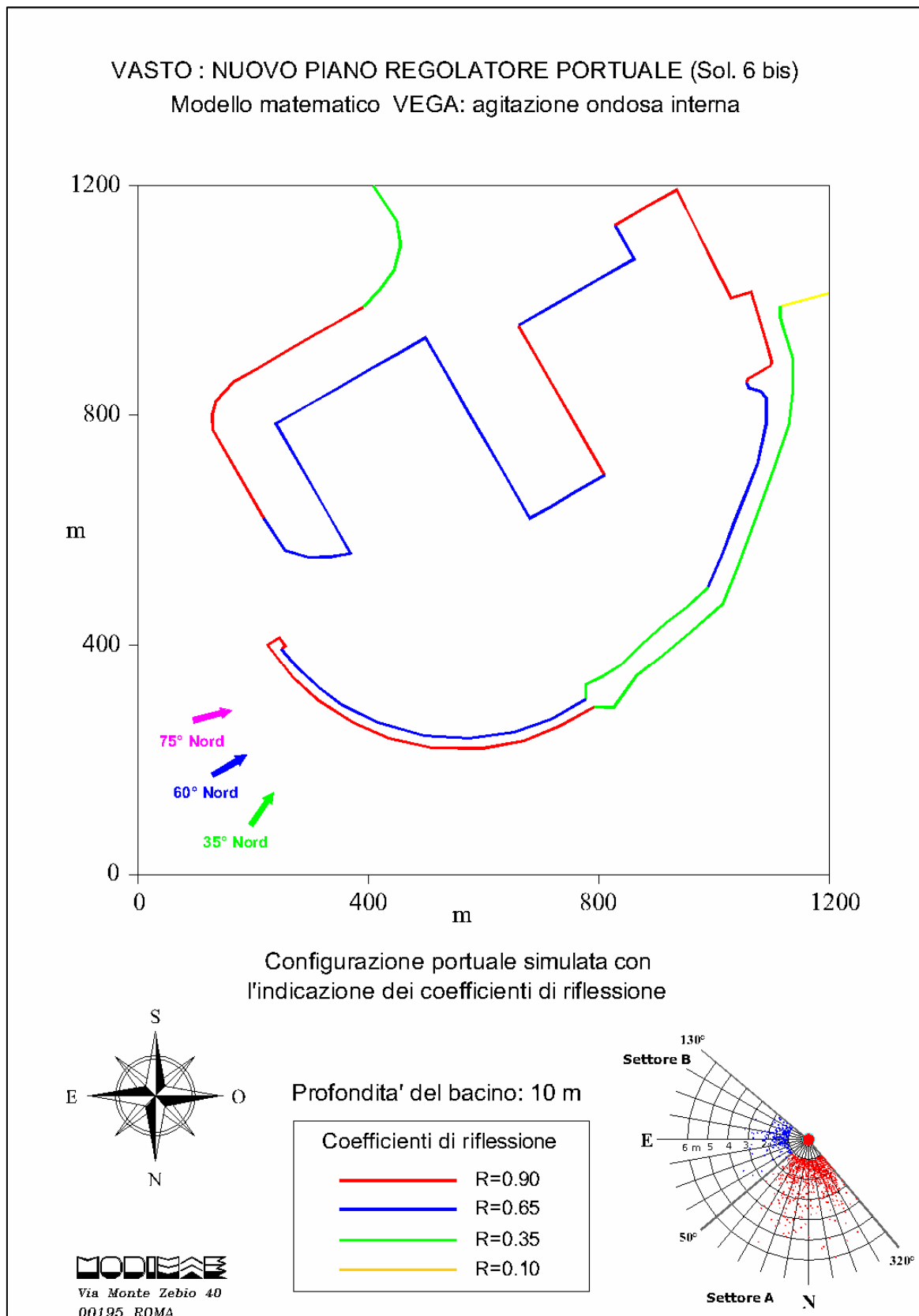


Figura 2.7: soluzione portuale 6 bis simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m)

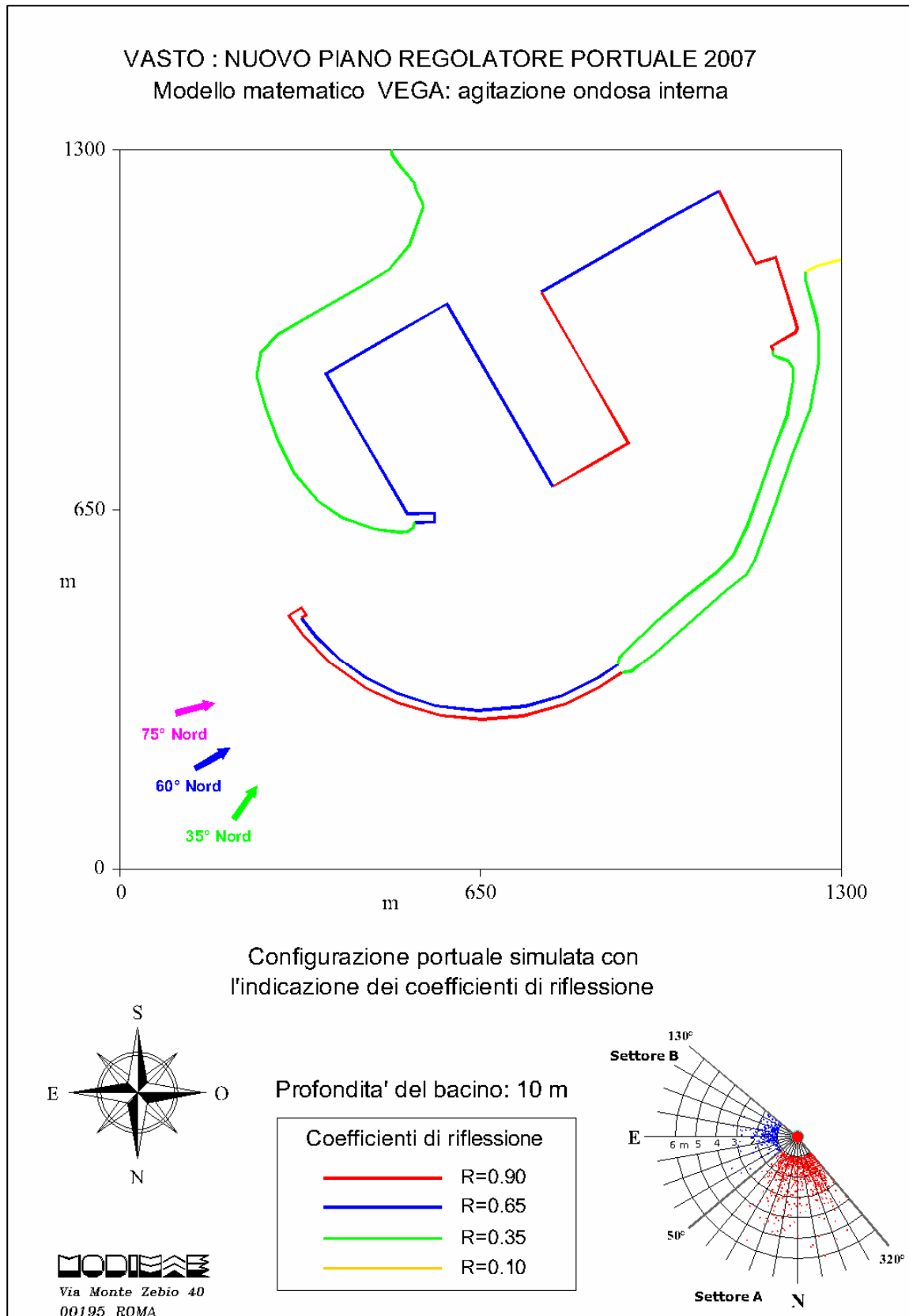


Figura 2.8: conf. portuale PRP 2007 simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m)

Si precisa che la configurazione portuale 6 bis è stata introdotta nelle simulazioni per verificare il grado di agitazione ondoso nel nuovo bacino turistico nell'eventualità che il molo di separazione dello stesso con il bacino industriale venga realizzato su pali e quindi completamente trasparente al moto ondoso residuo.

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:

- opere a pareti verticali riflettenti R = 0.90;
- banchine a parete verticale con pareti antiriflettenti R = 0.65;
- 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.

Tutte le simulazioni sono state effettuate assumendo una profondità media (costante) pari a 10 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: $R = 0.125 \xi_p^{0.73}$

dove

$$\xi_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{gT p_m^2}}}$$

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

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

Traversia principale	Dir = 35°N	T = 6s, 8s, 10s
Traversia secondaria	Dir = 60°N; Dir = 75°N	T = 6s, 8s, 10s

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 ($T=6.5-8-12$ 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 in corrispondenza di tre segmenti opportunamente scelti:

- $A_1A_2=\{(-1150, 10); (550, -1200)\}$ → per l'onda proveniente dalla direzione 35° N;

- $B_1B_2=\{(-1200, 850); (-80, -1150)\}$ → per l'onda proveniente dalla direzione 60° N;

- $C_1C_2=\{(-950, 1150); (-450, -750)\}$ → per l'onda proveniente dalla direzione 75° 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 ondoso

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 2.8). 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 14400 nodi della griglia 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.

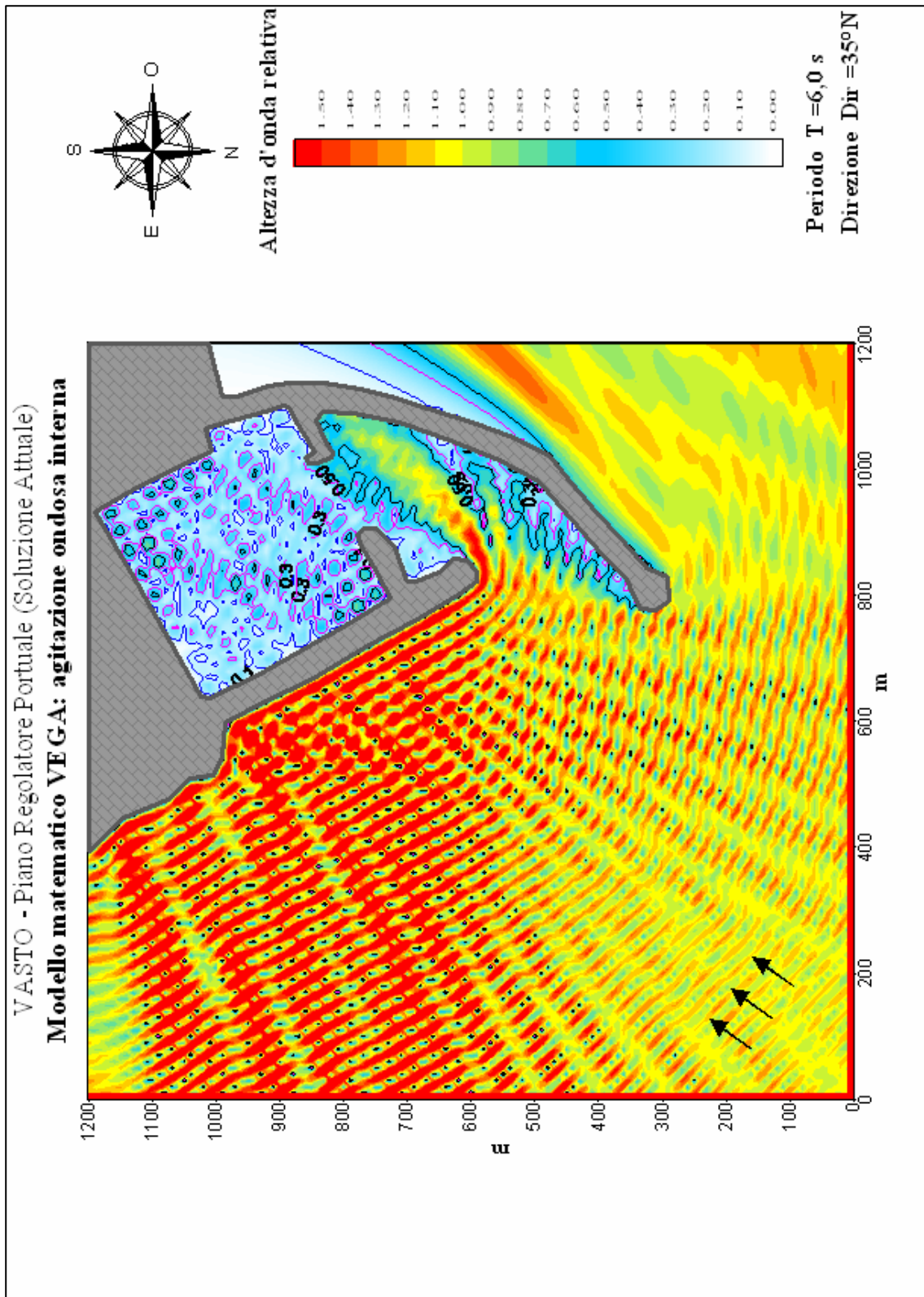


Figura 3.1 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

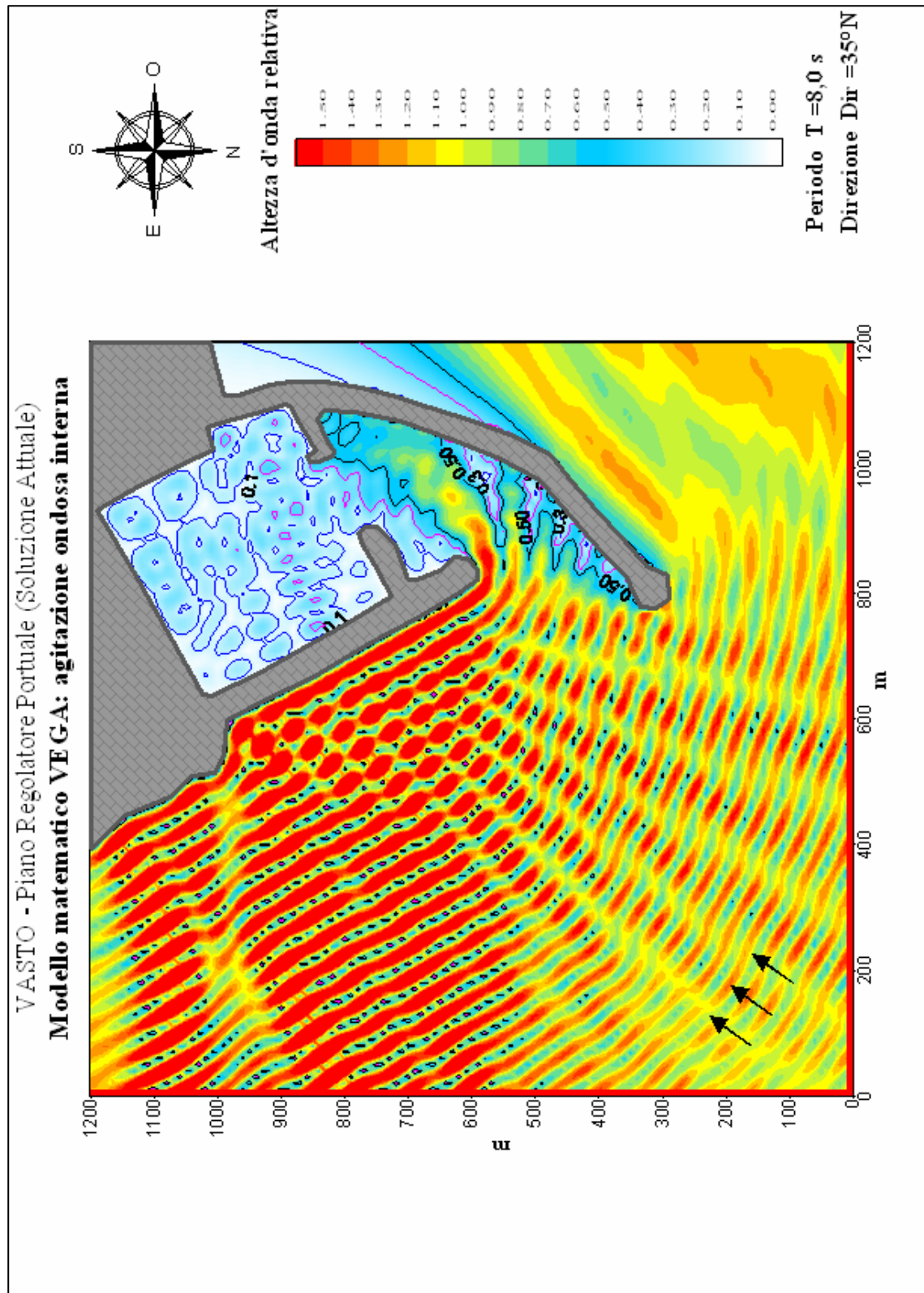


Figura 3.2 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 8 s.

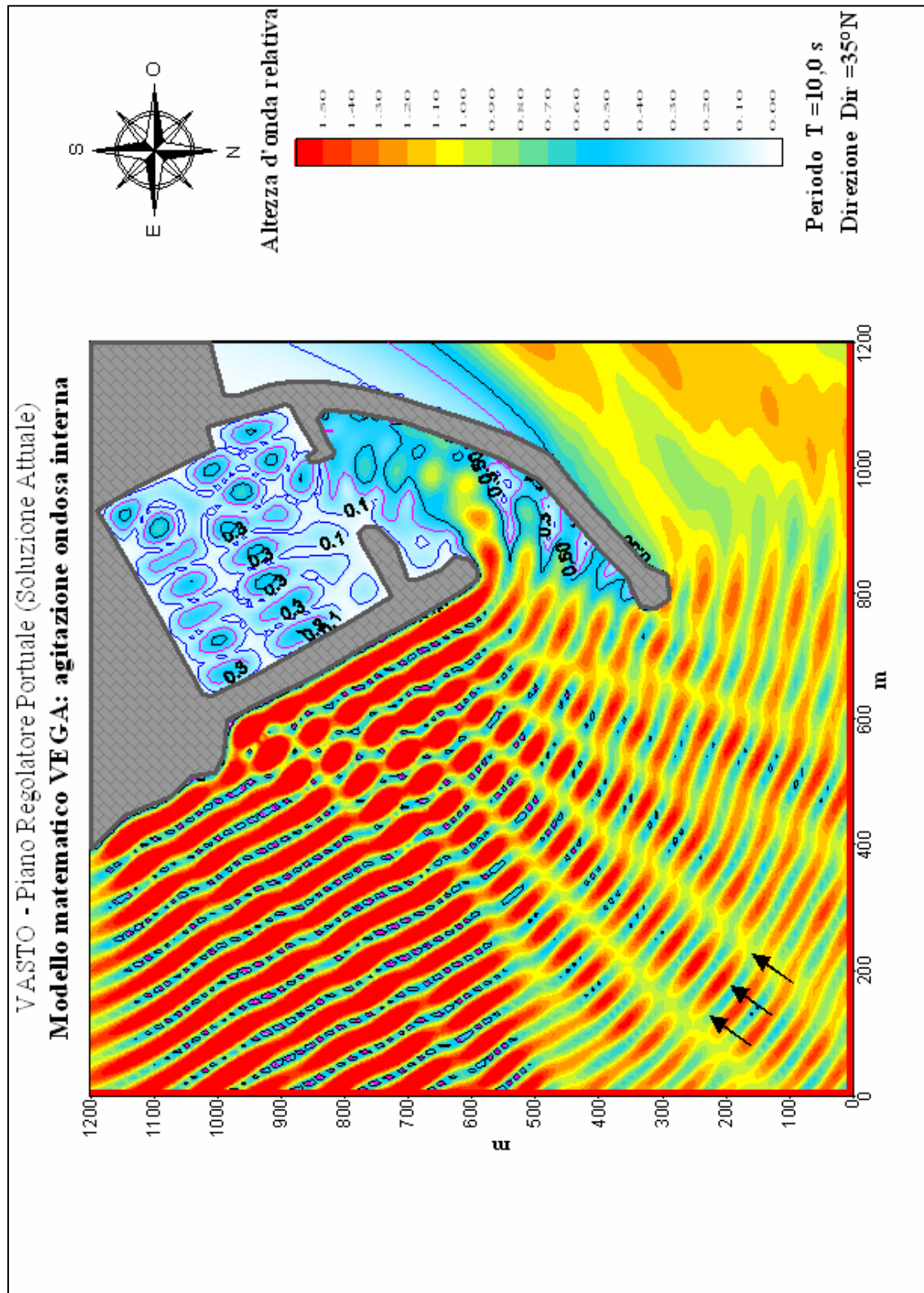


Figura 3.3 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 10 s.

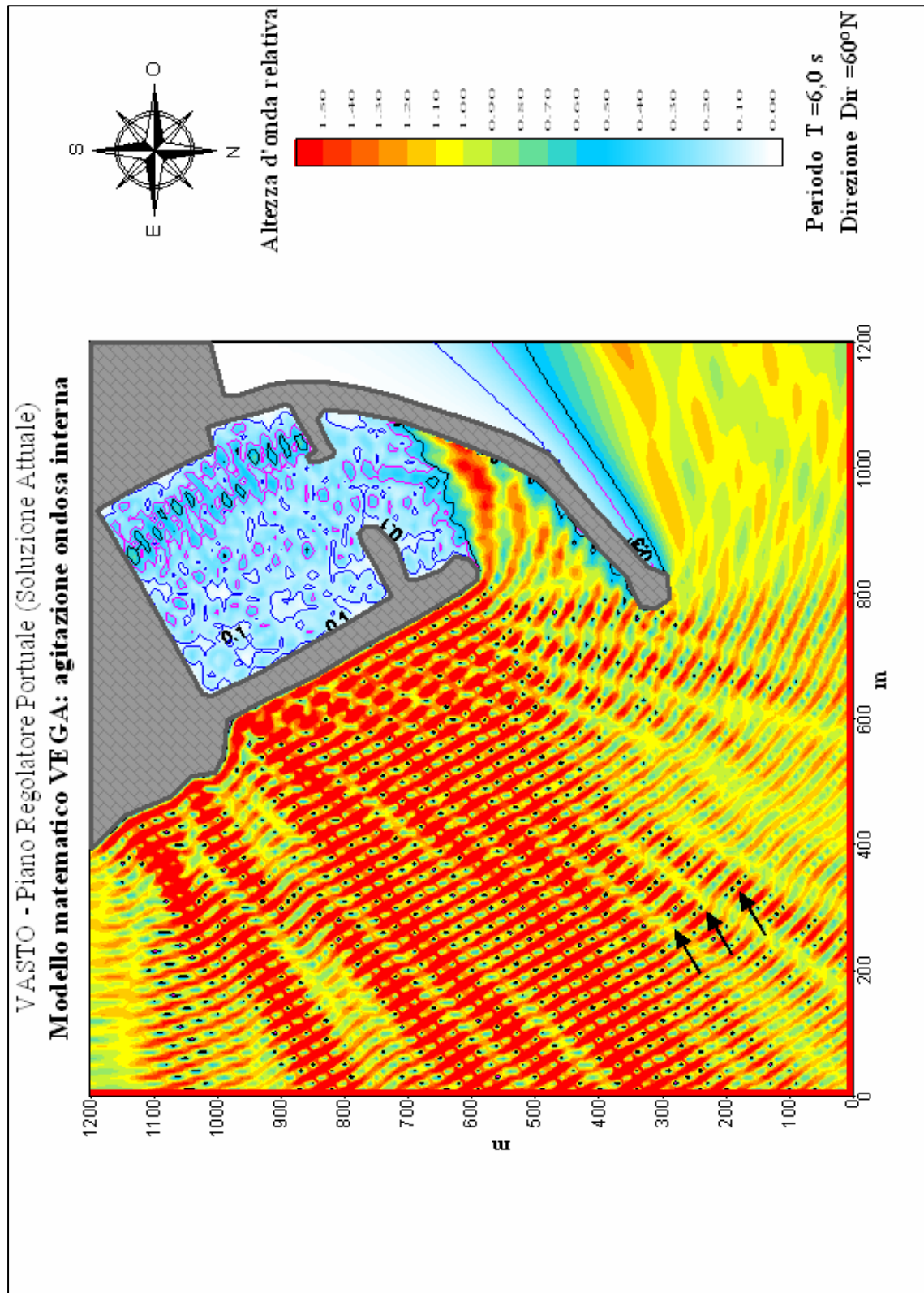


Figura 3.4 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

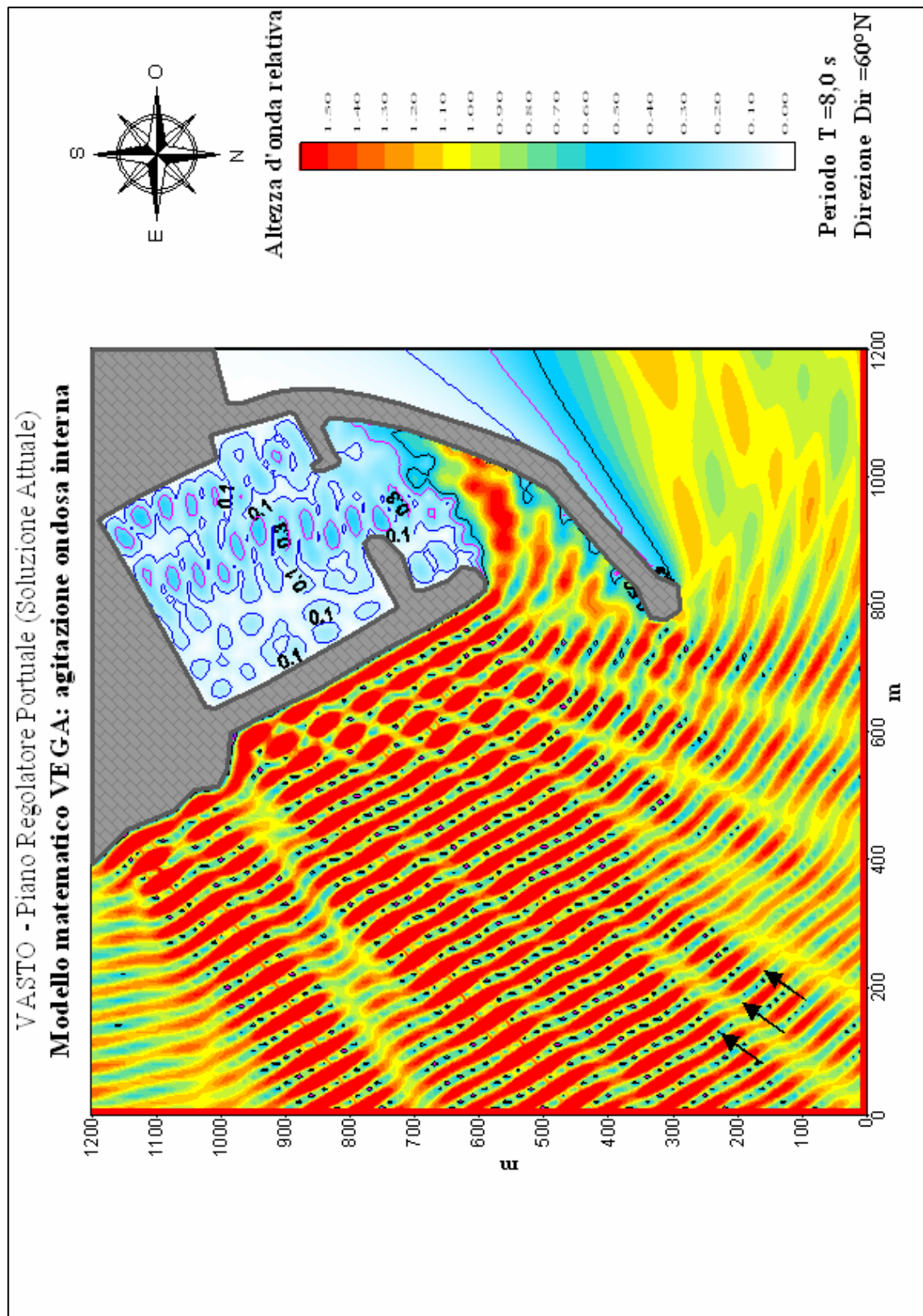


Figura 3.5 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

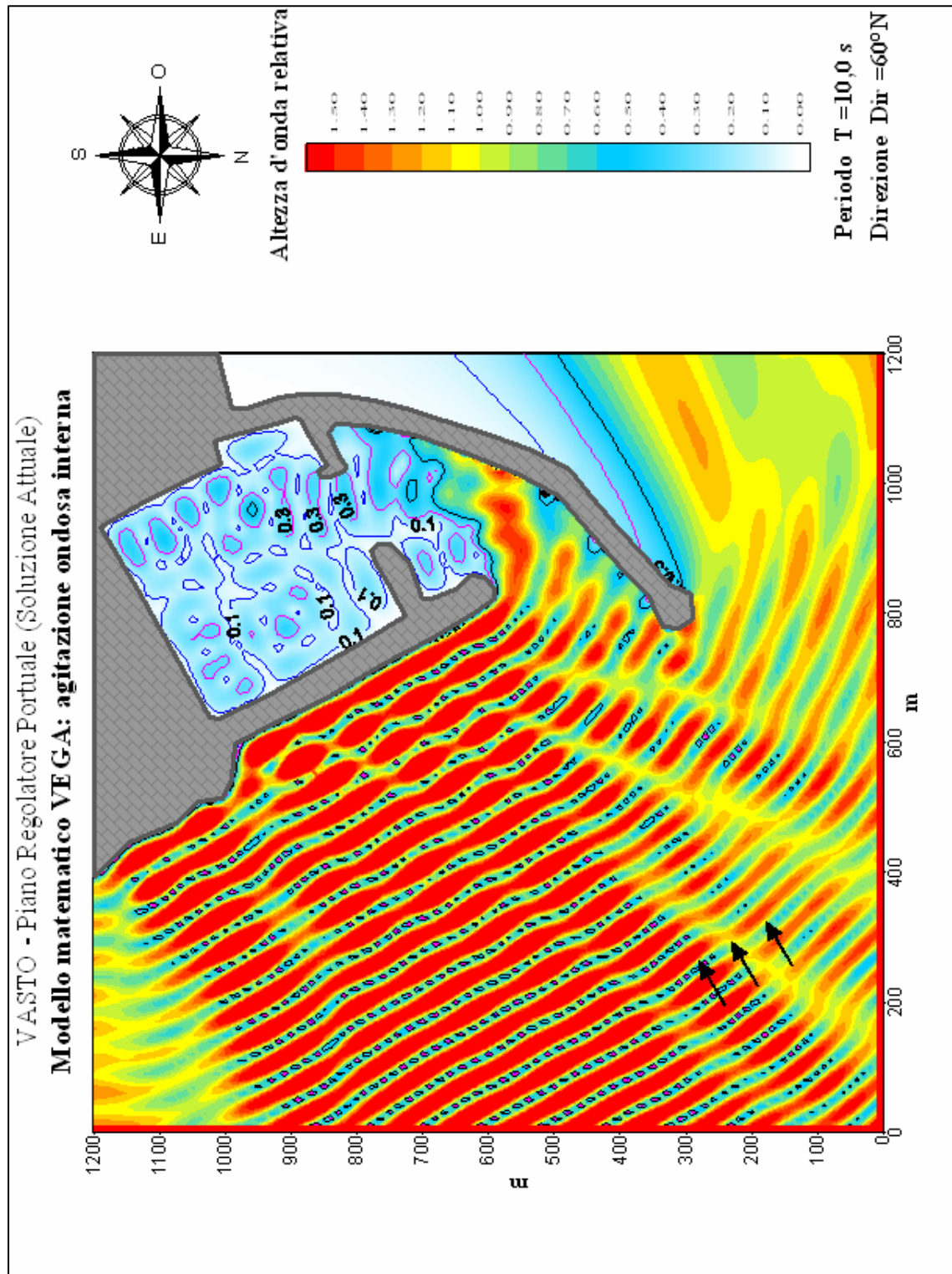


Figura 3.6 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60°N e periodo d'onda pari a 10 s.

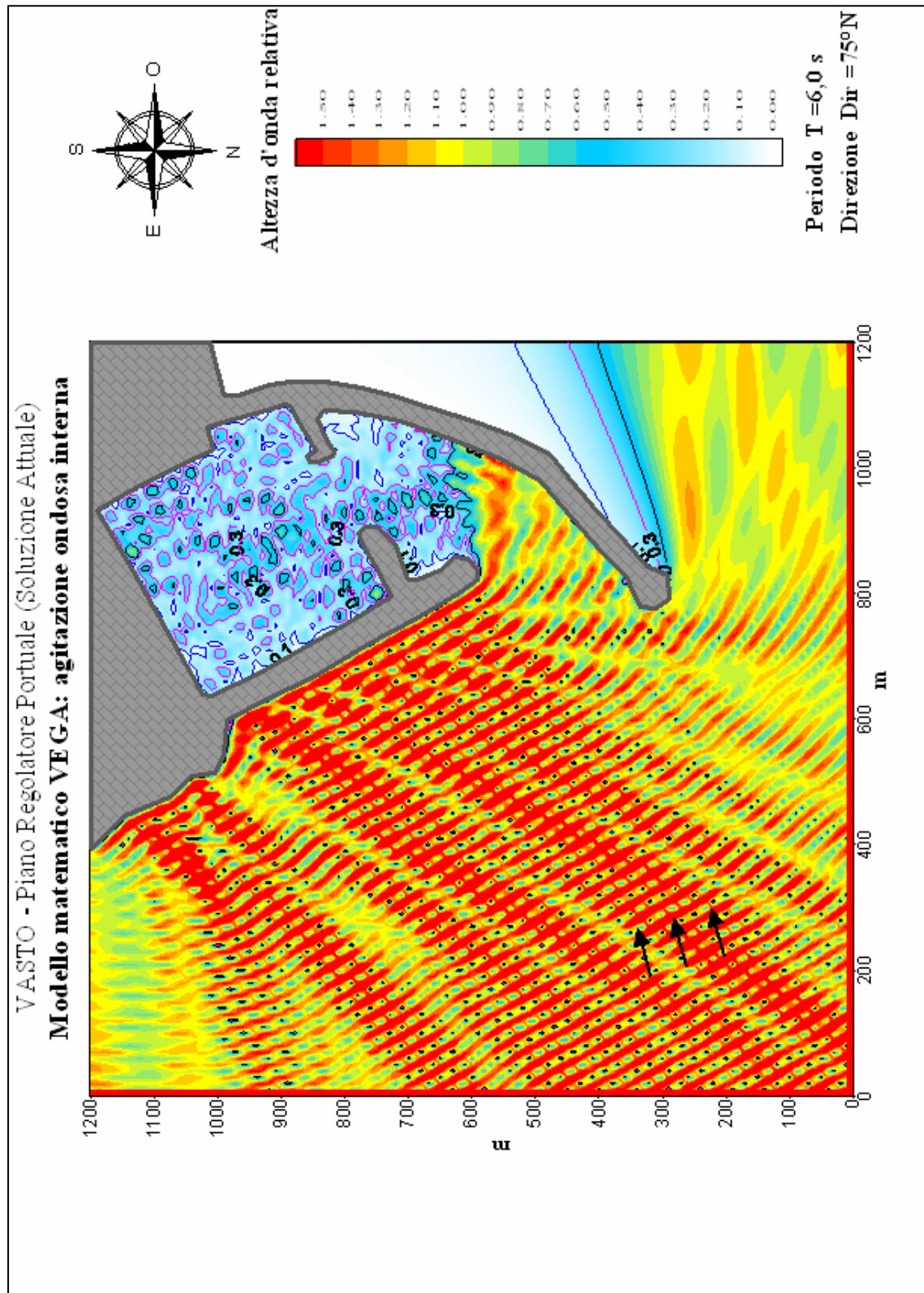


Figura 3.7 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75°N e periodo d'onda pari a 6 s.

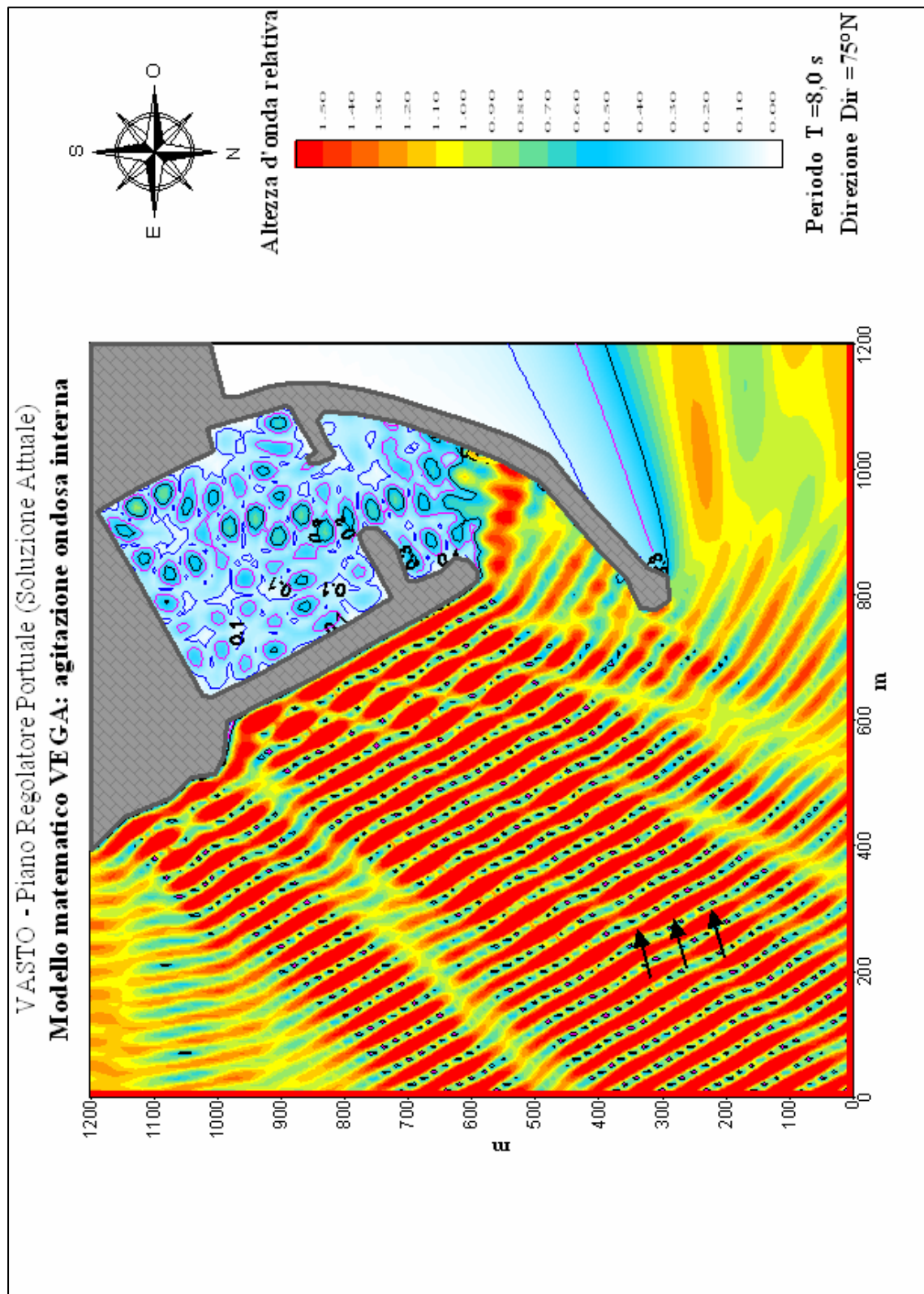


Figura 3.8 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75°N e periodo d'onda pari a 8 s.

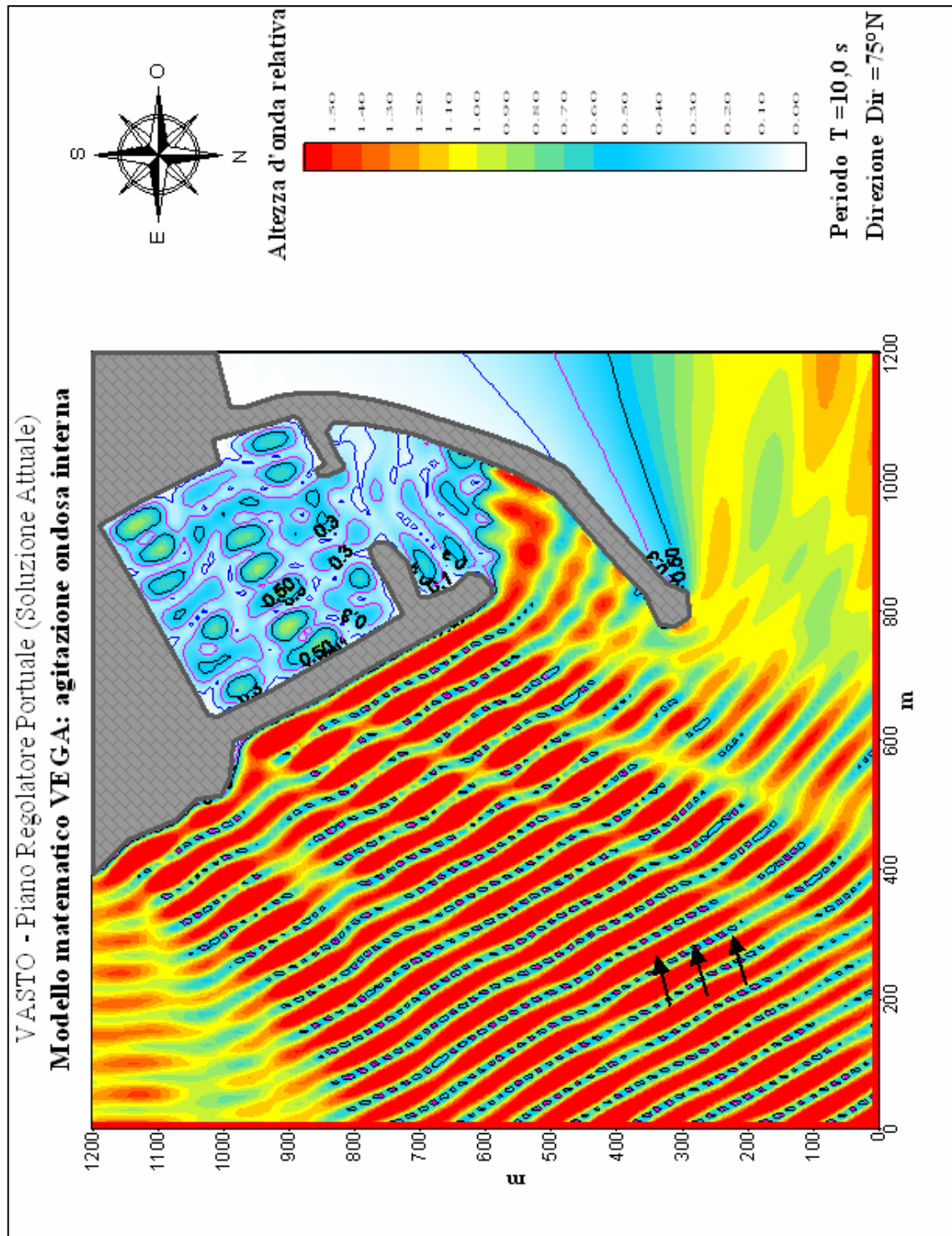


Figura 3.9 – Configurazione attuale: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75°N e periodo d'onda pari a 10 s.

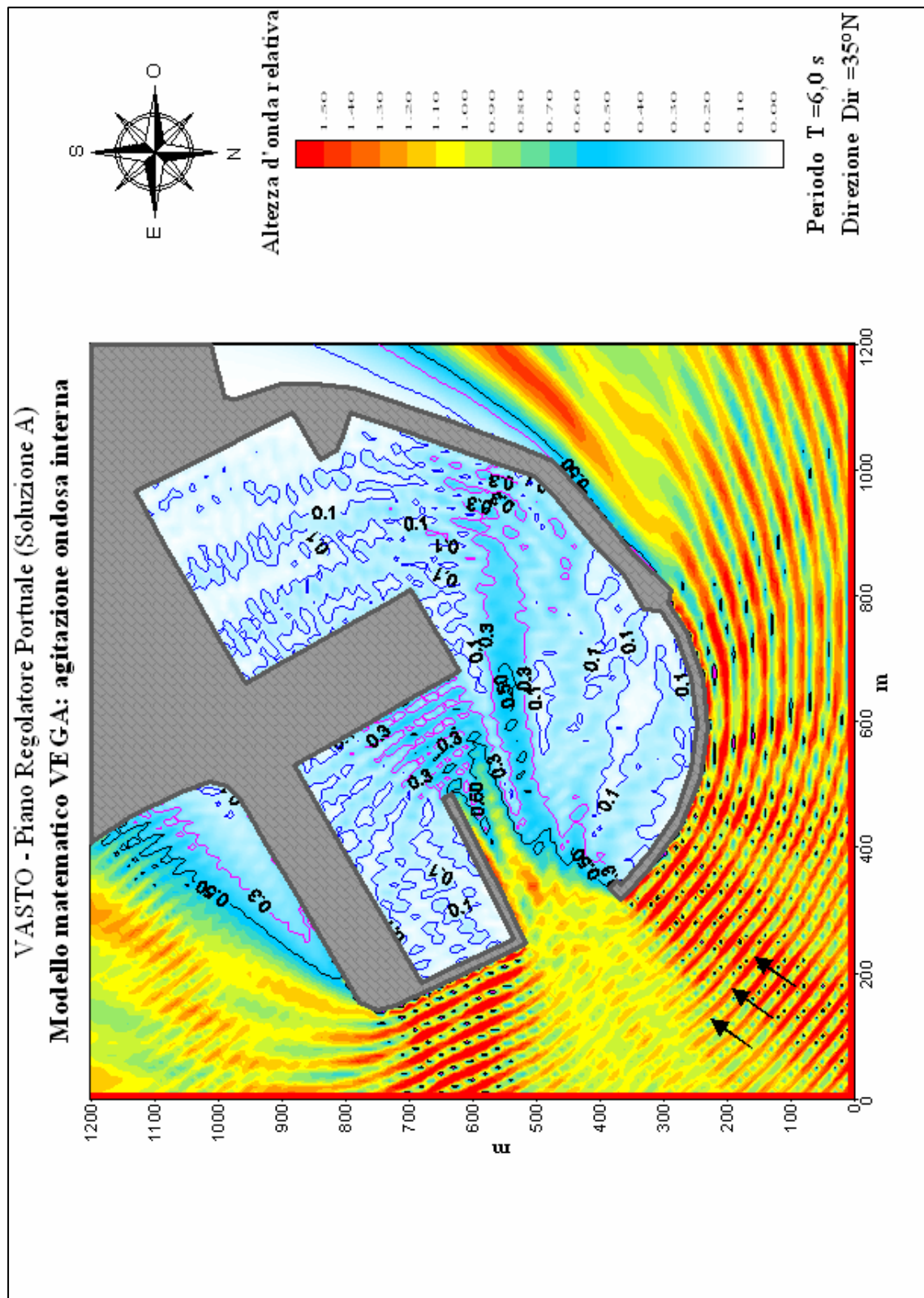


Figura 3.10 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

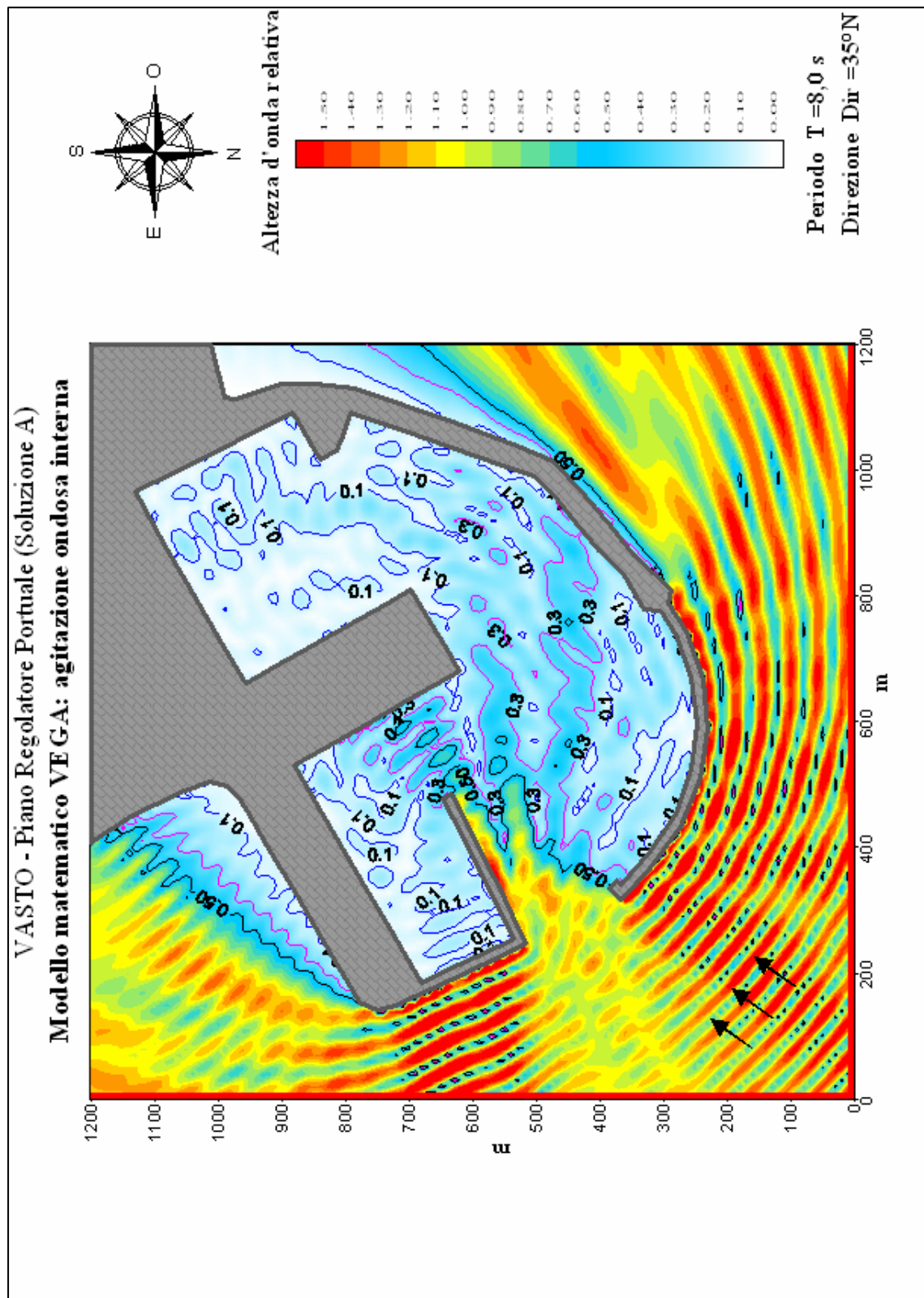


Figura 3.11 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

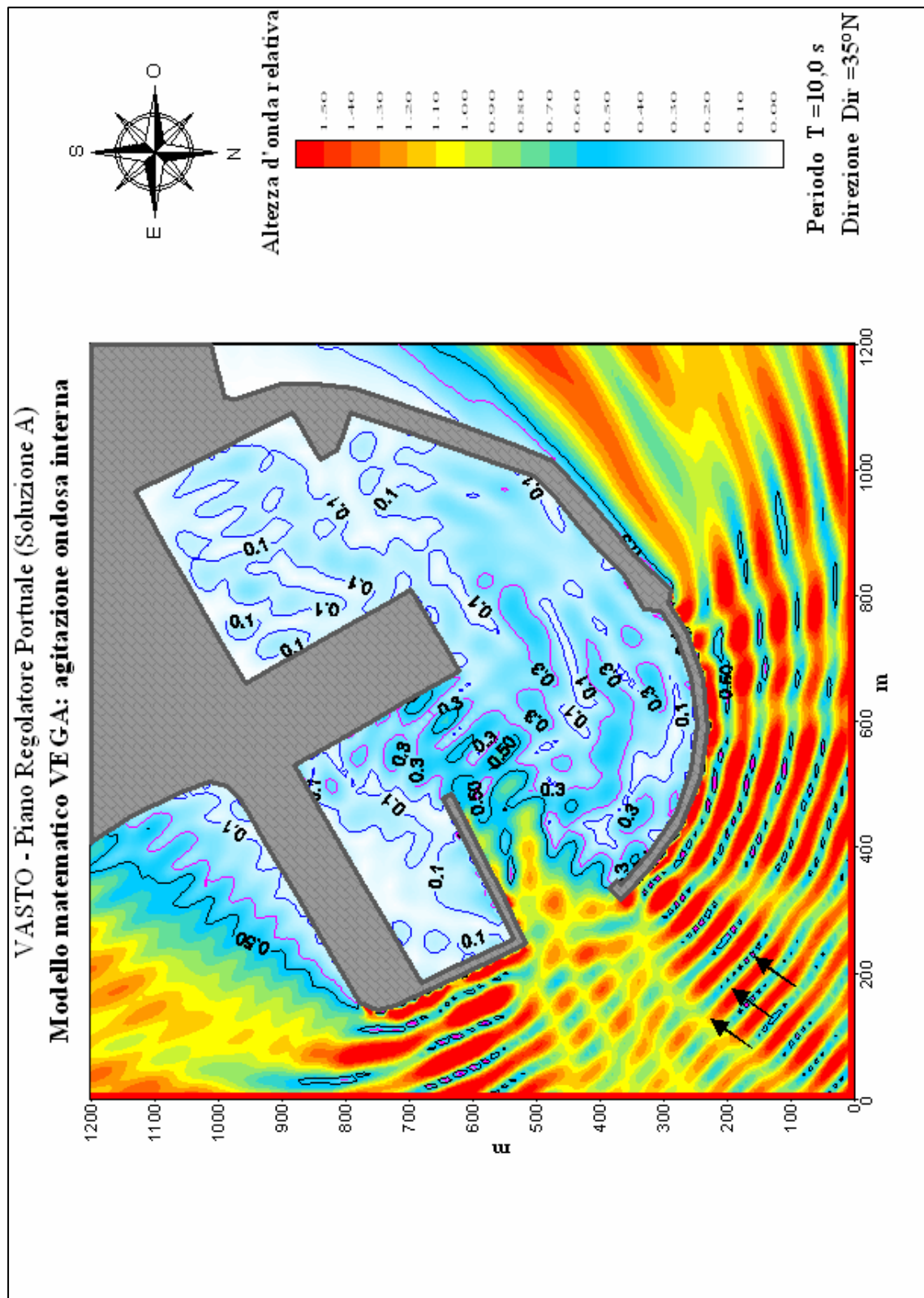


Figura 3.12 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 10 s.

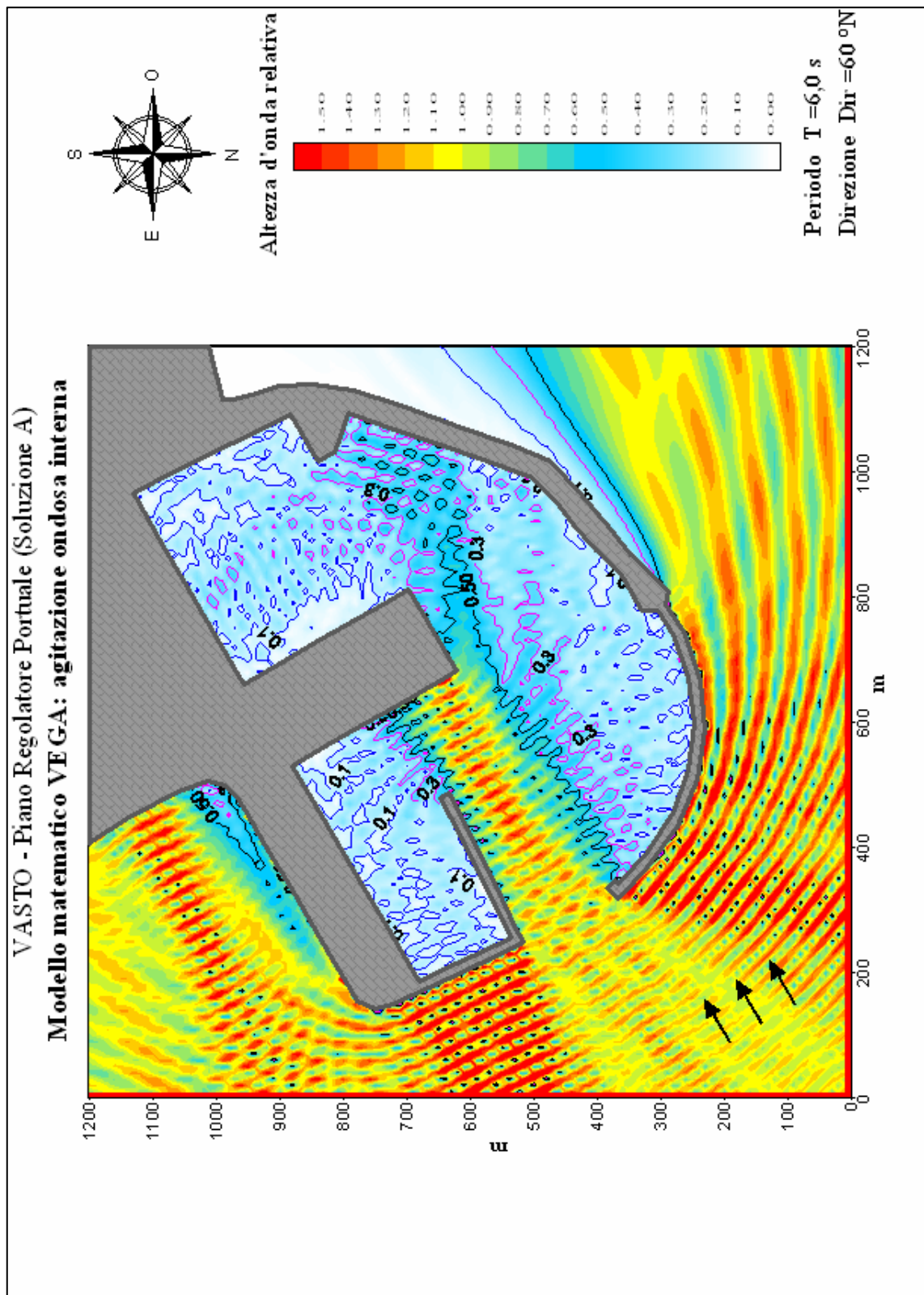


Figura 3.13 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

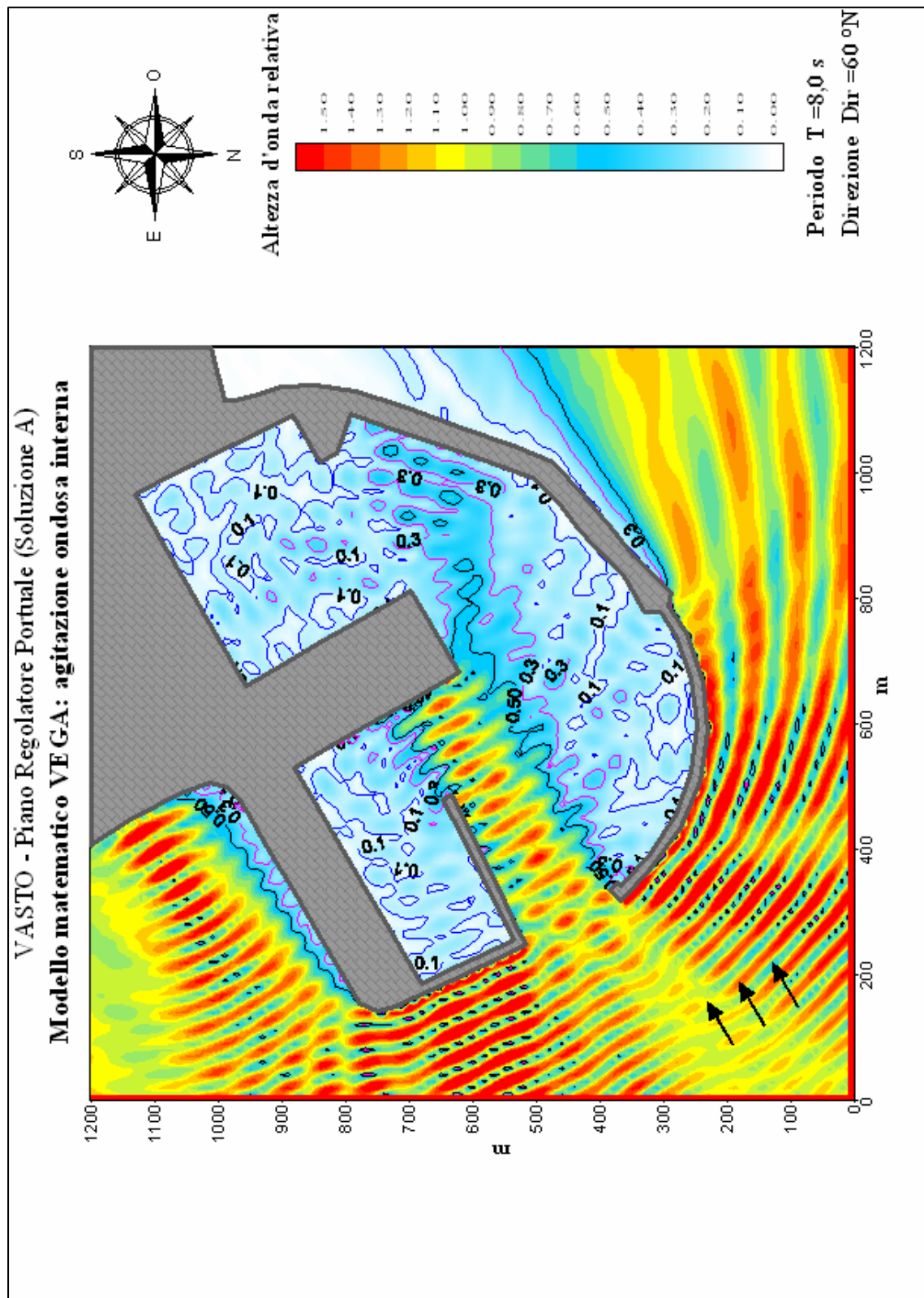


Figura 3.14 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

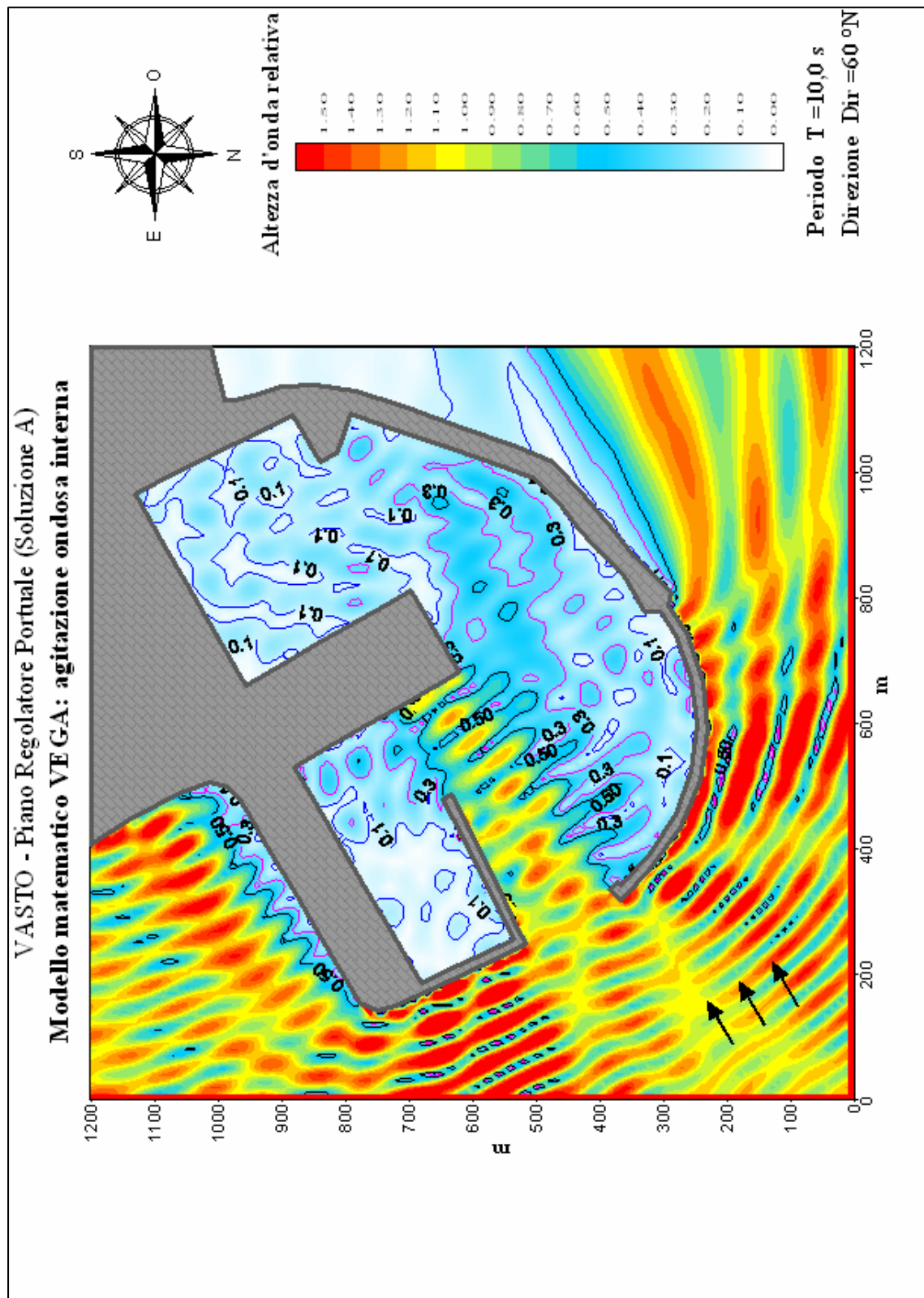


Figura 3.15 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 10 s.

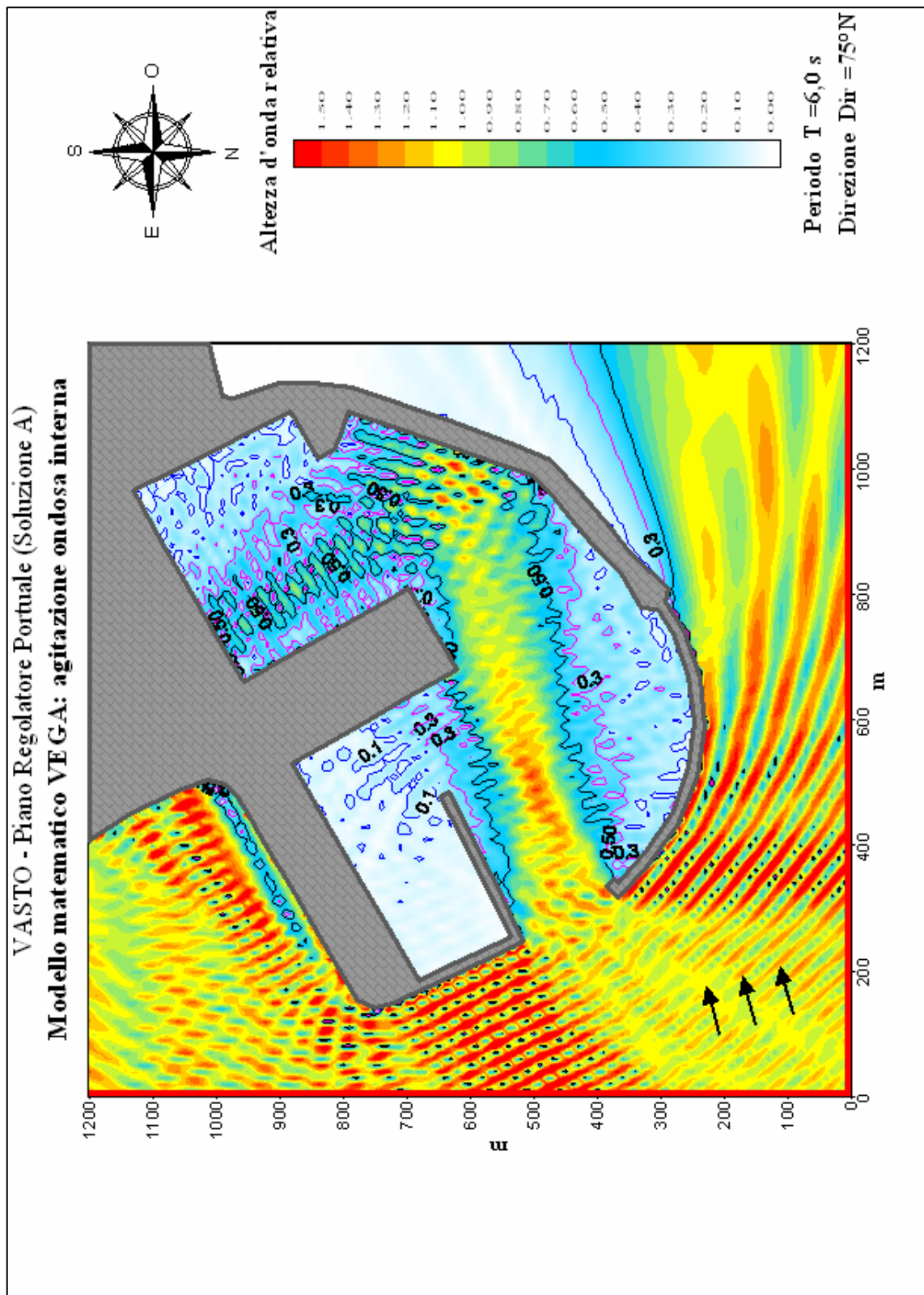


Figura 3.16 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^{\circ}N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

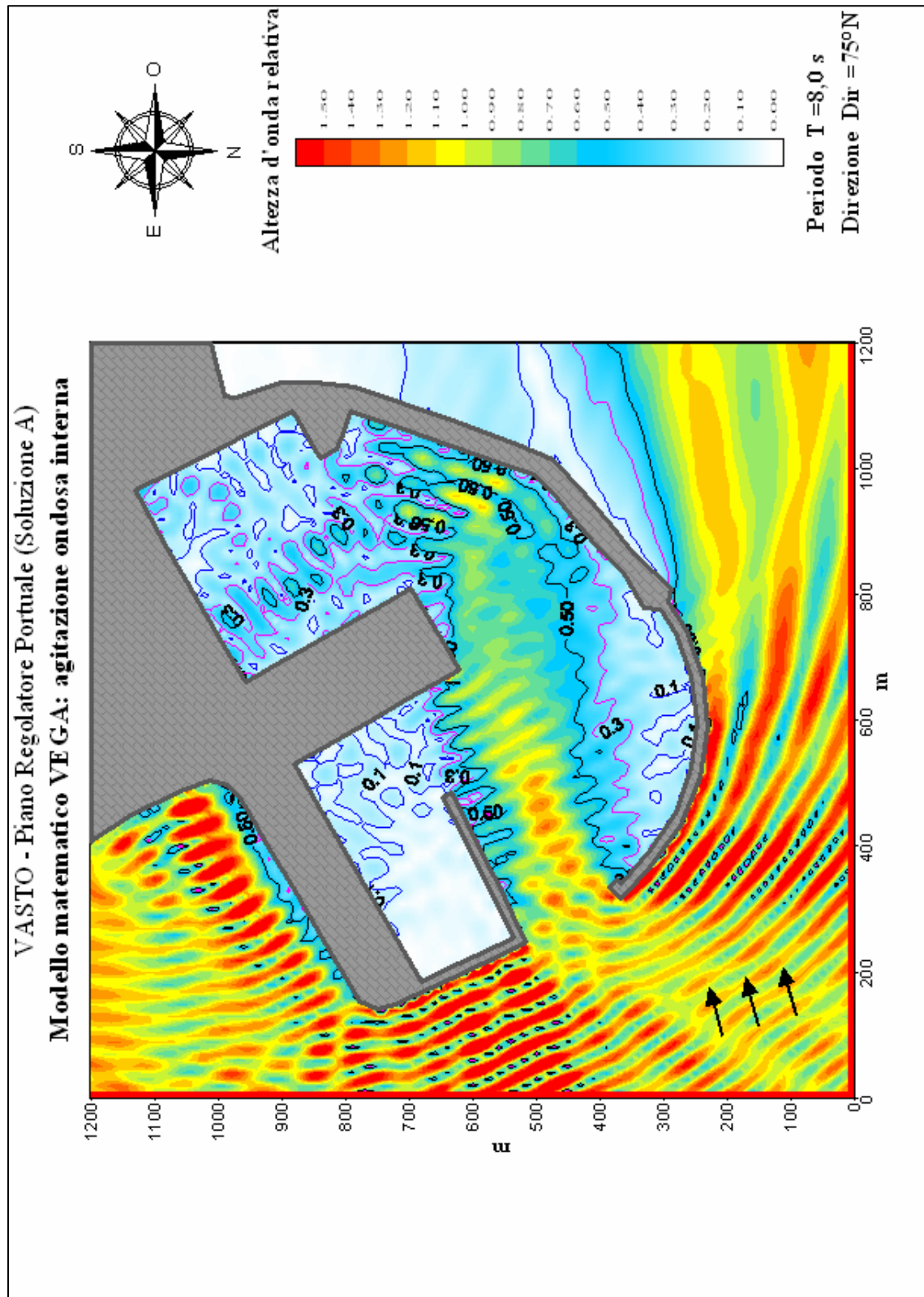


Figura 3.17 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

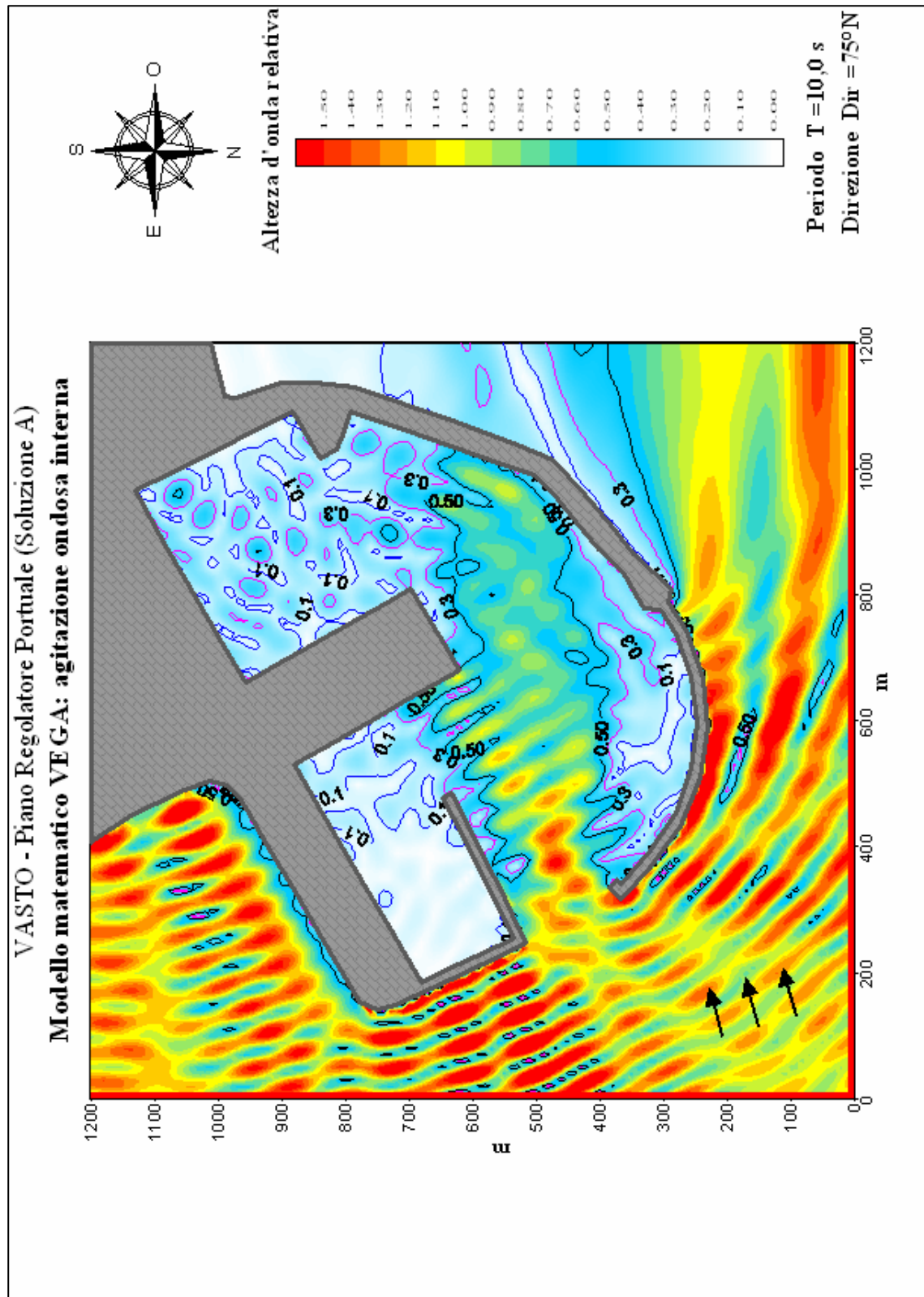


Figura 3.18 – Soluzione A: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75°N e periodo d'onda pari a 10 s.

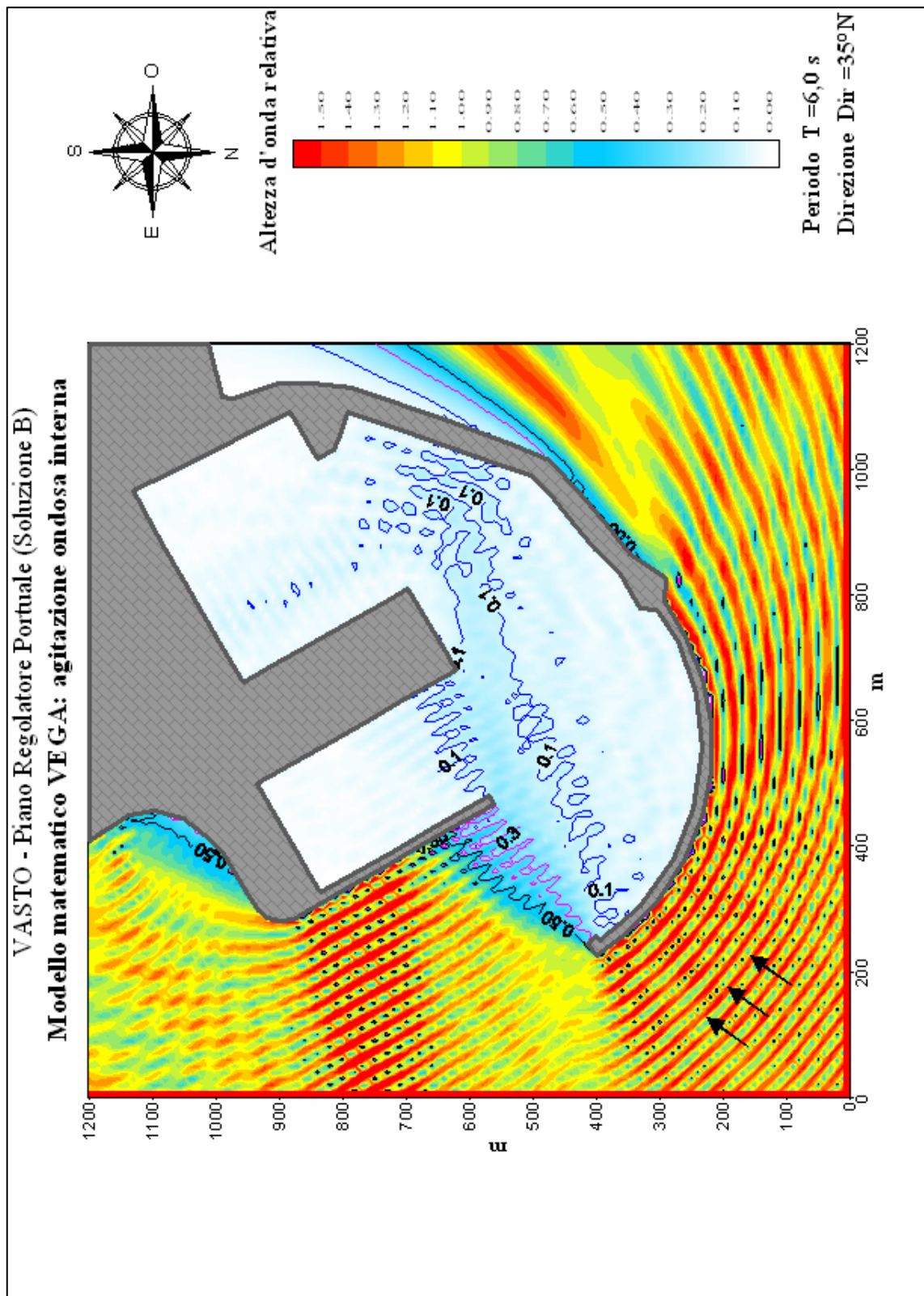


Figura 3.19 – Soluzione B: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

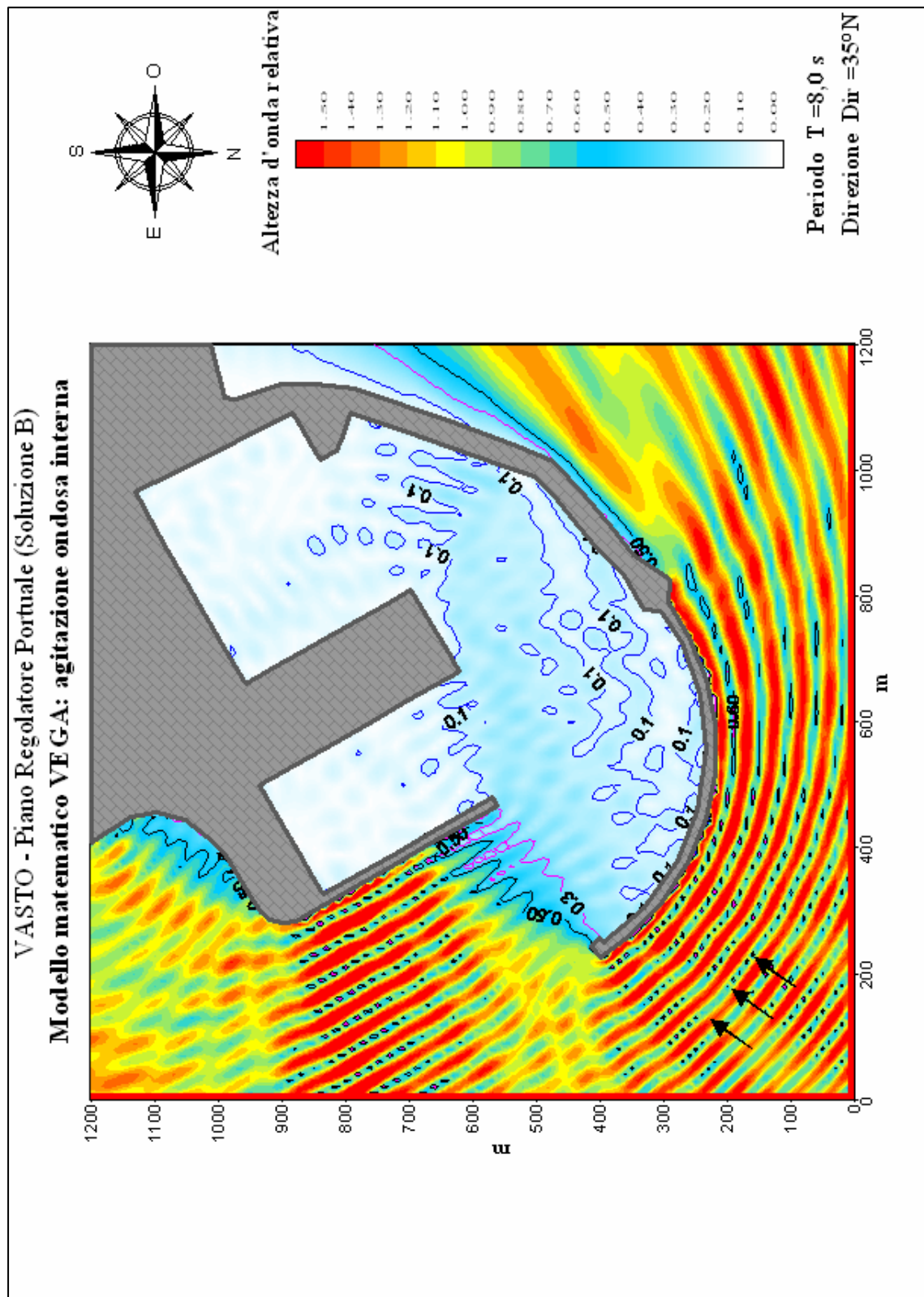


Figura 3.20 – Soluzione B: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 8 s.

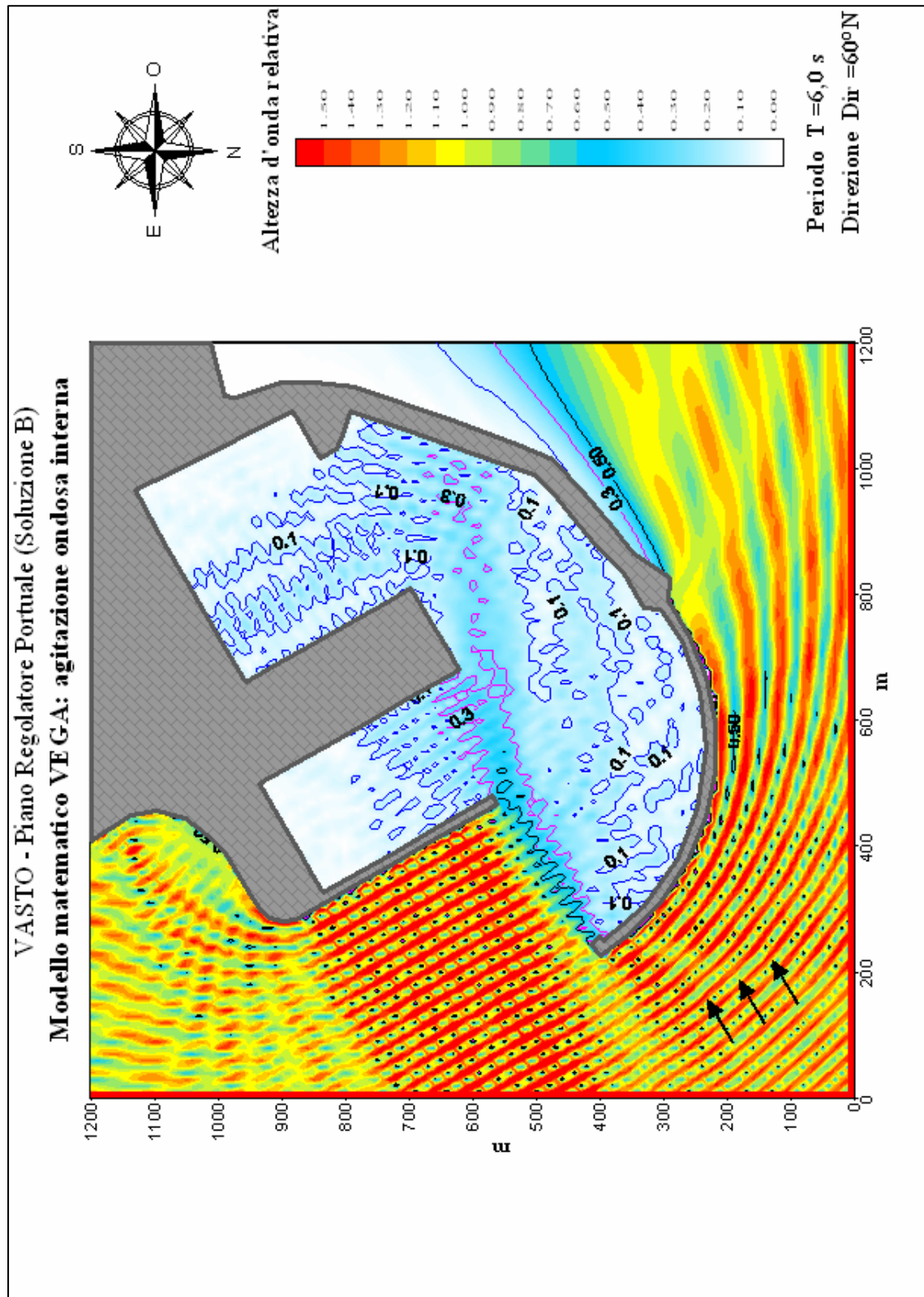


Figura 3.22 – Soluzione B: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

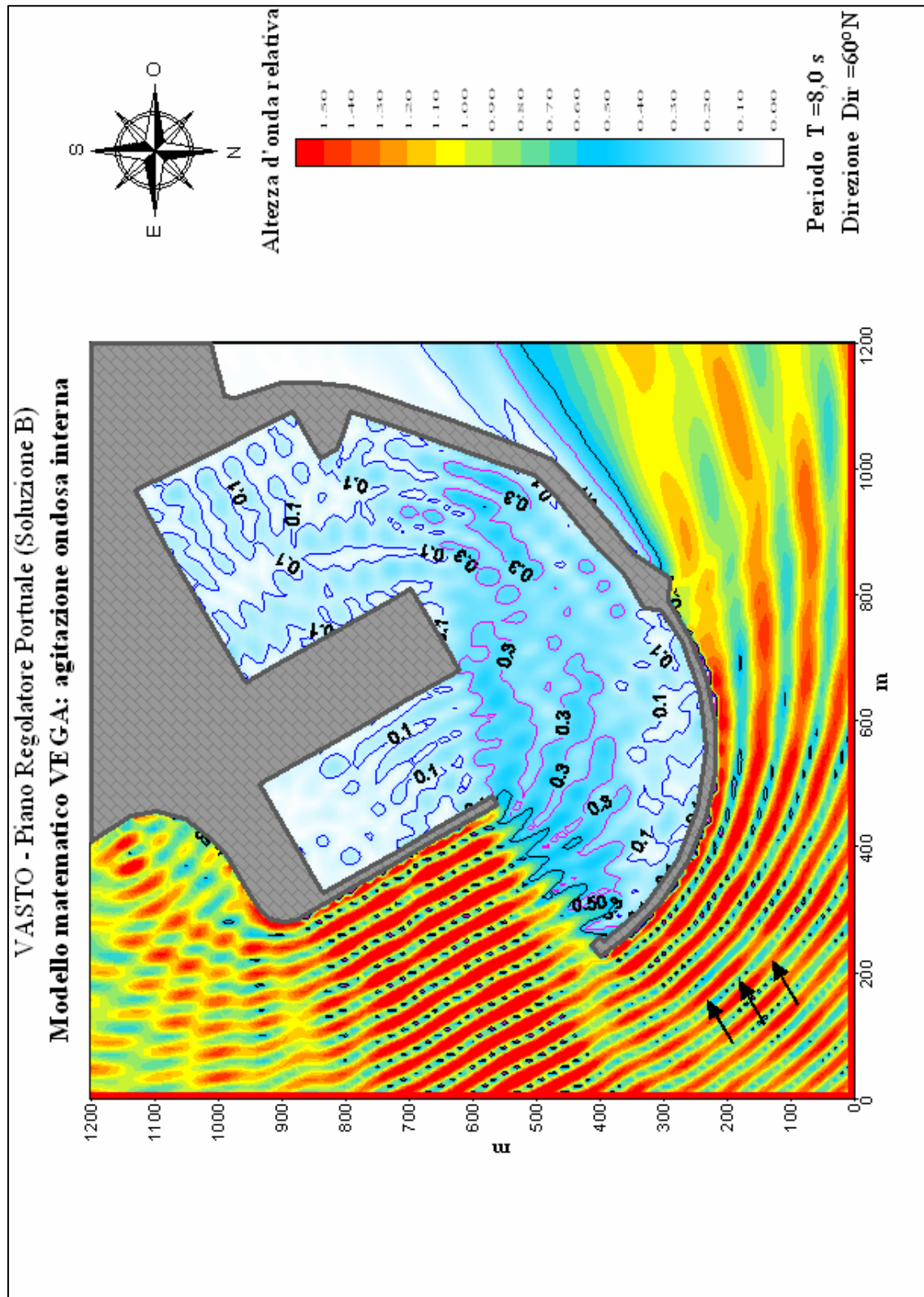


Figura 3.23 – Soluzione B: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 8 s.

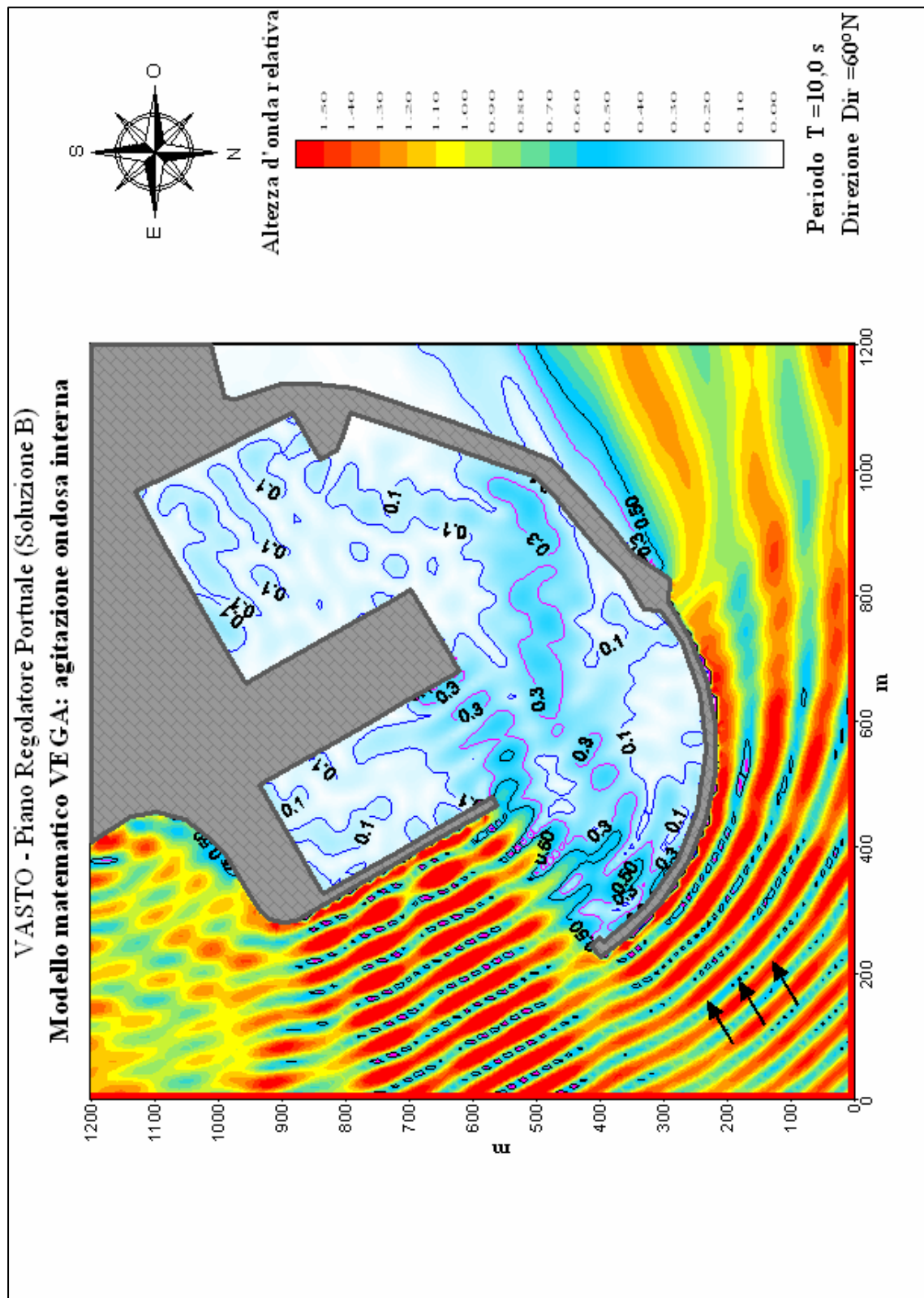


Figura 3.24 – Soluzione B: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60°N e periodo d'onda pari a 10 s.

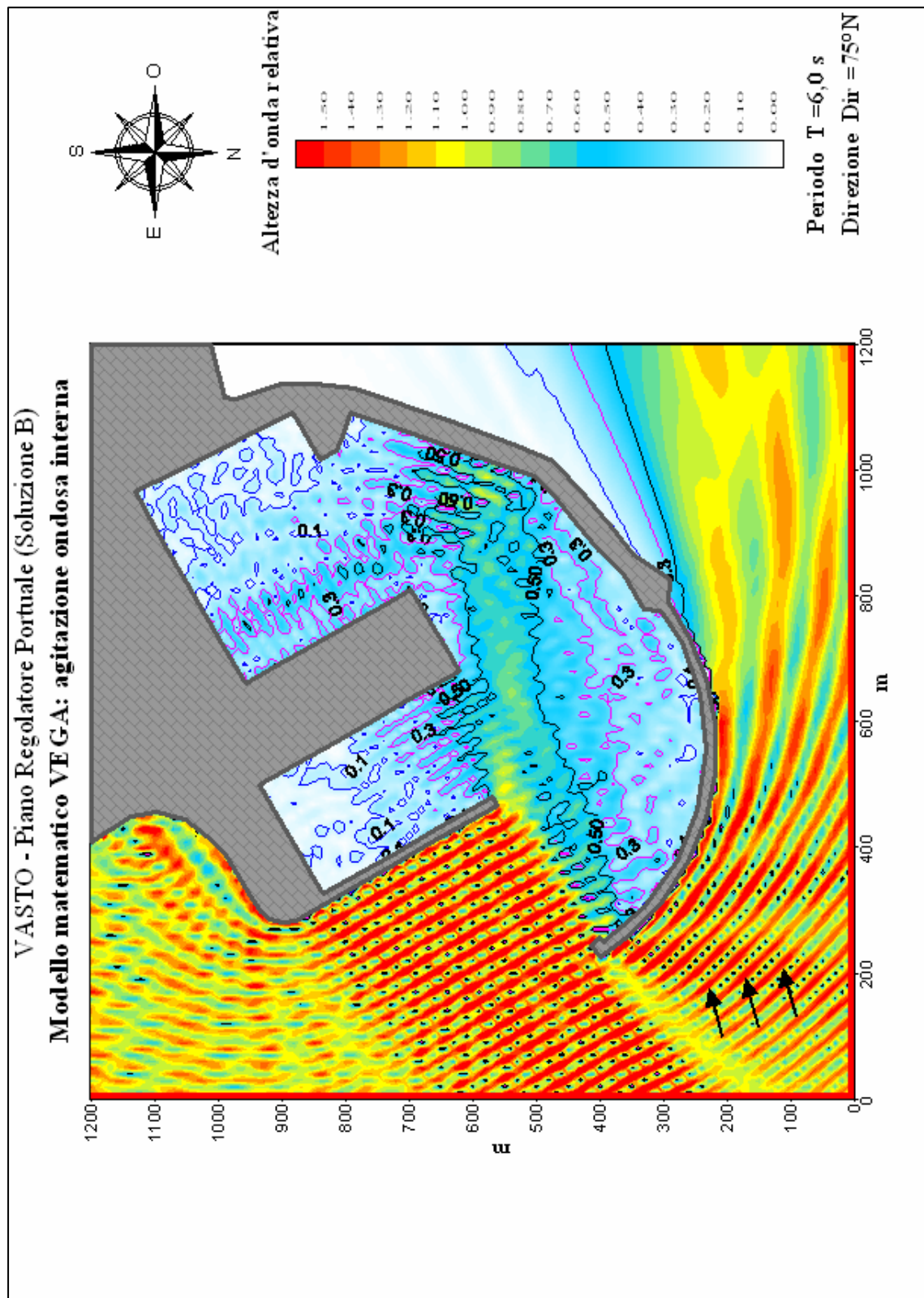


Figura 3.25 – Soluzione B: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75° N e periodo d'onda pari a 6 s.

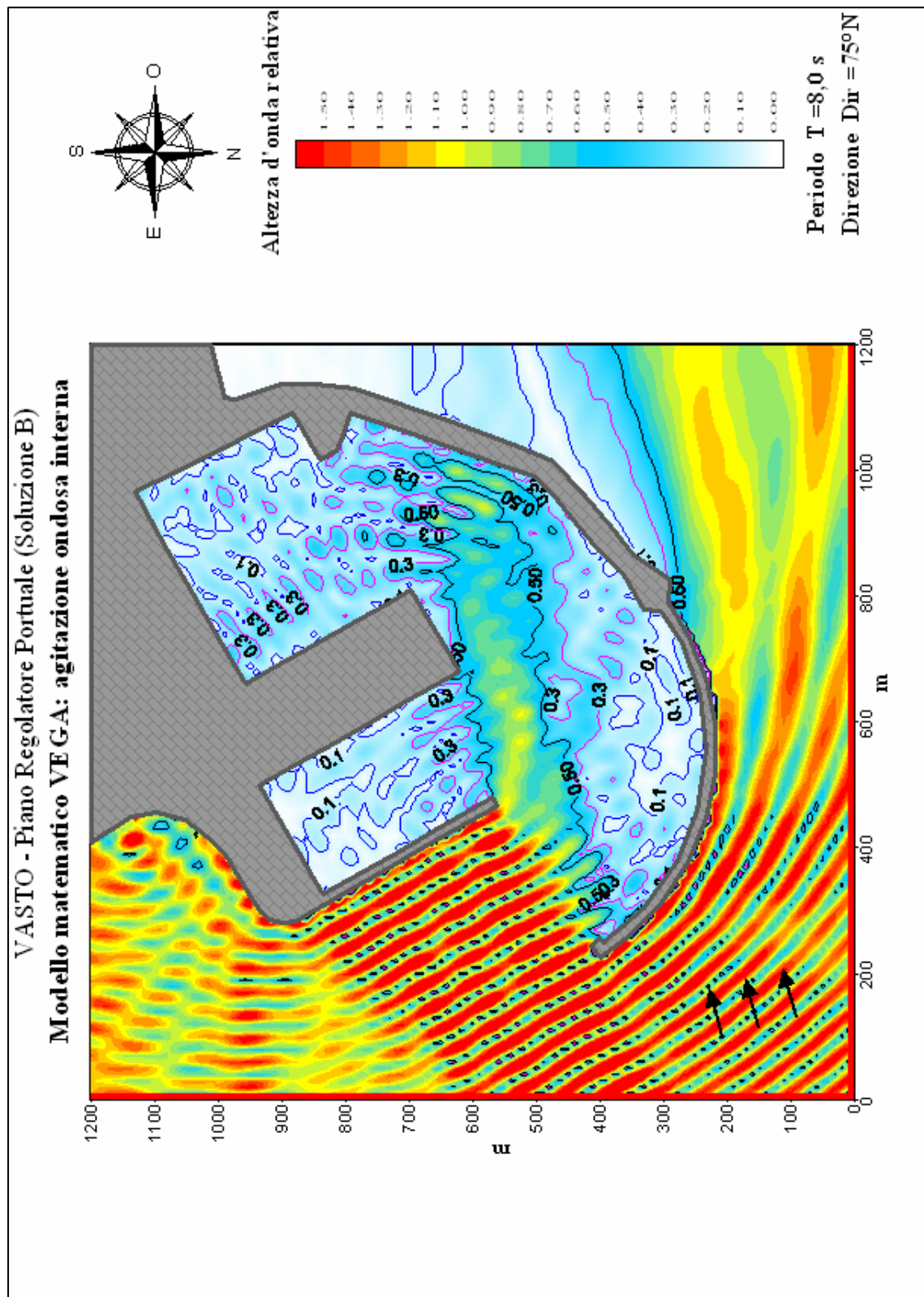


Figura 3.26 – Soluzione B: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

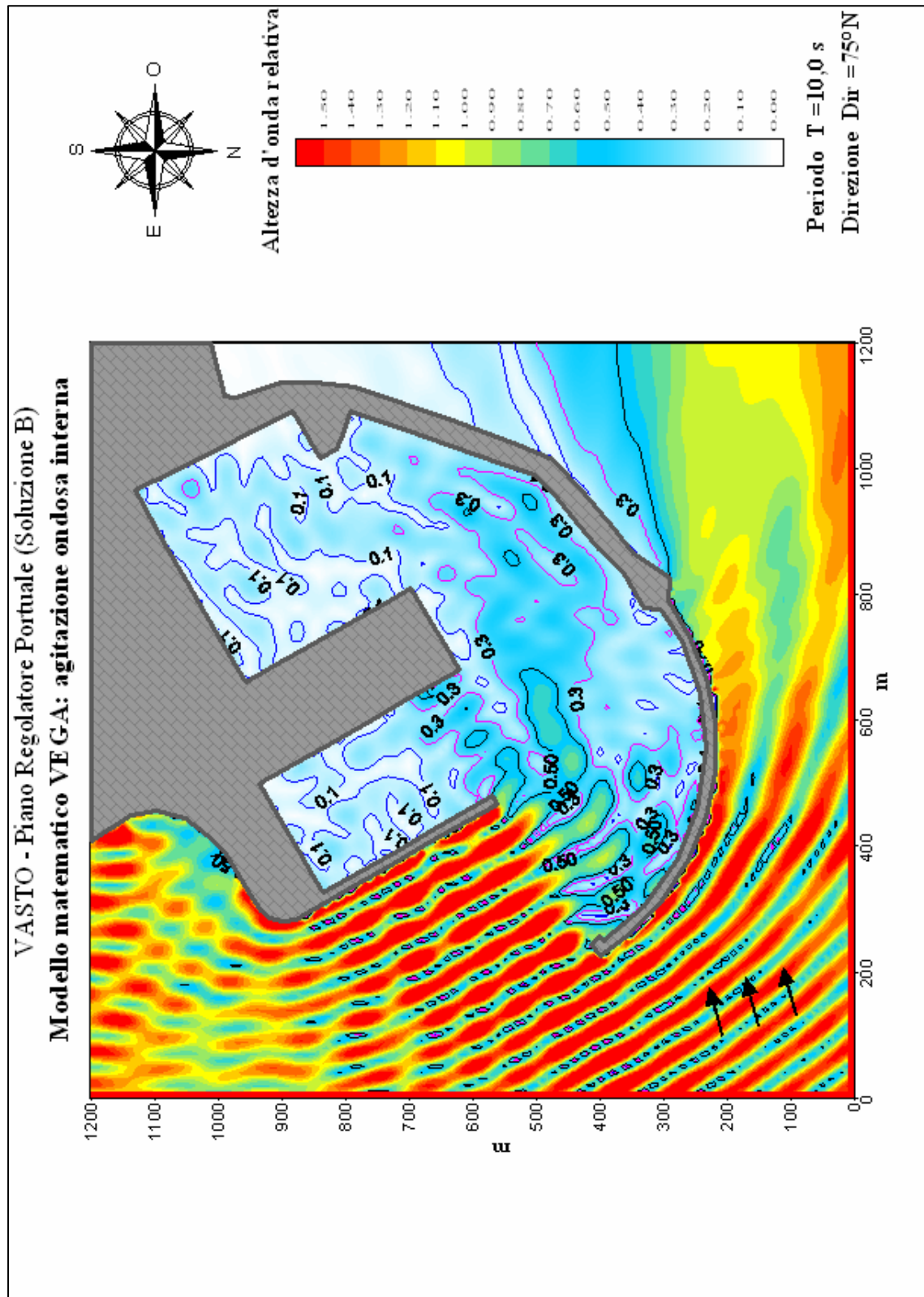


Figura 3.27 – Soluzione B: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

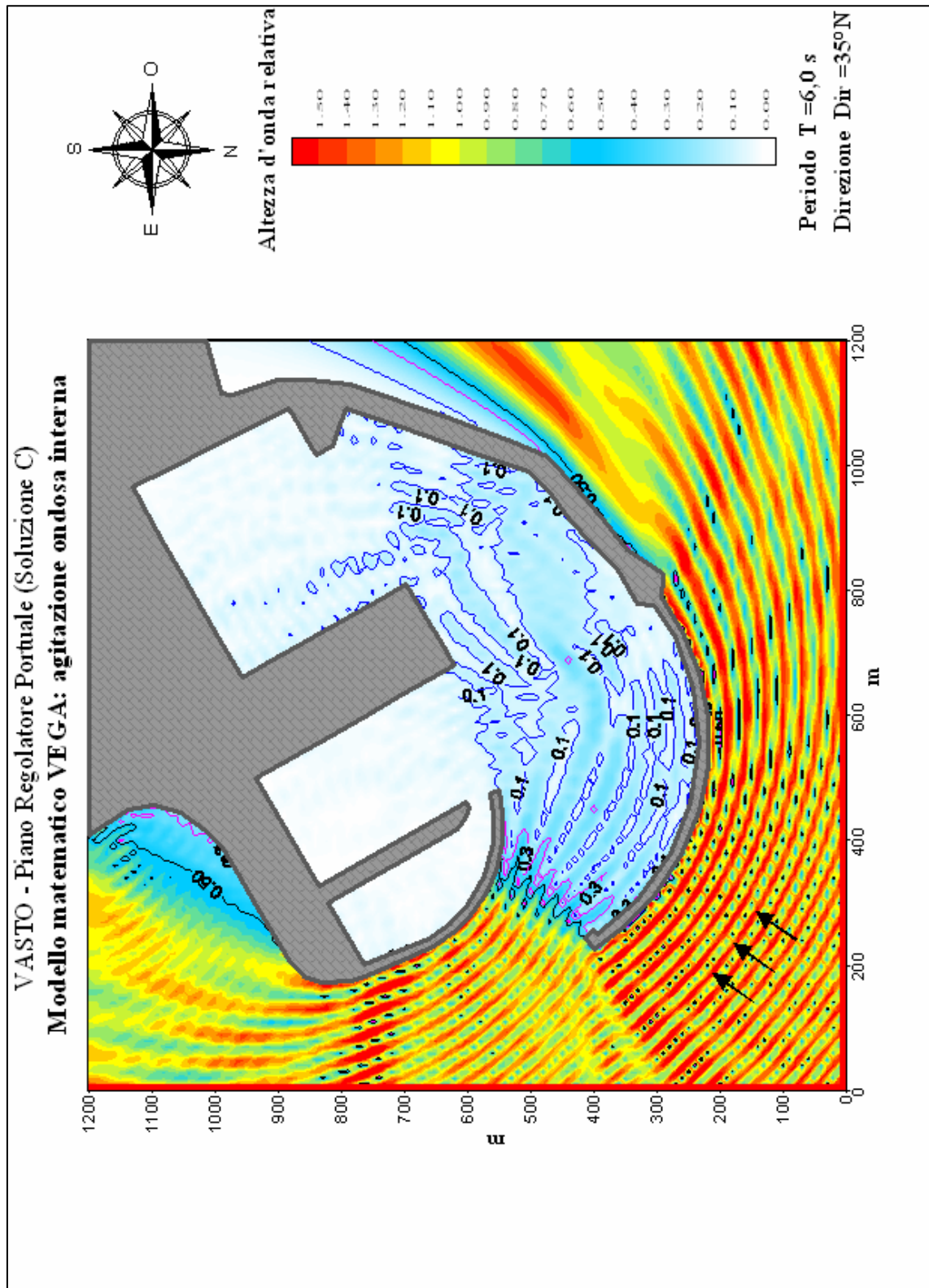


Figura 3.28 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 6 s.

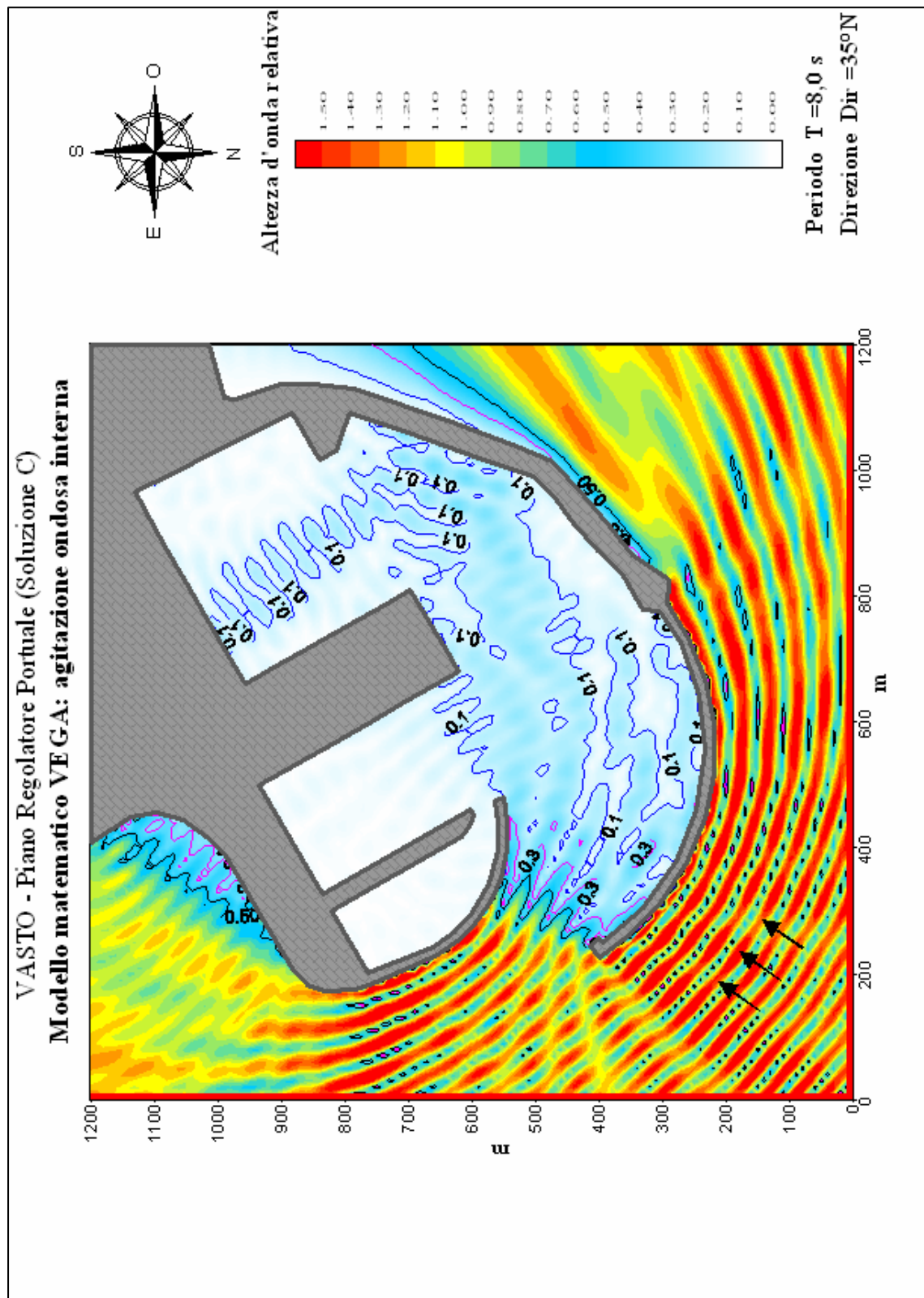


Figura 3.29 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

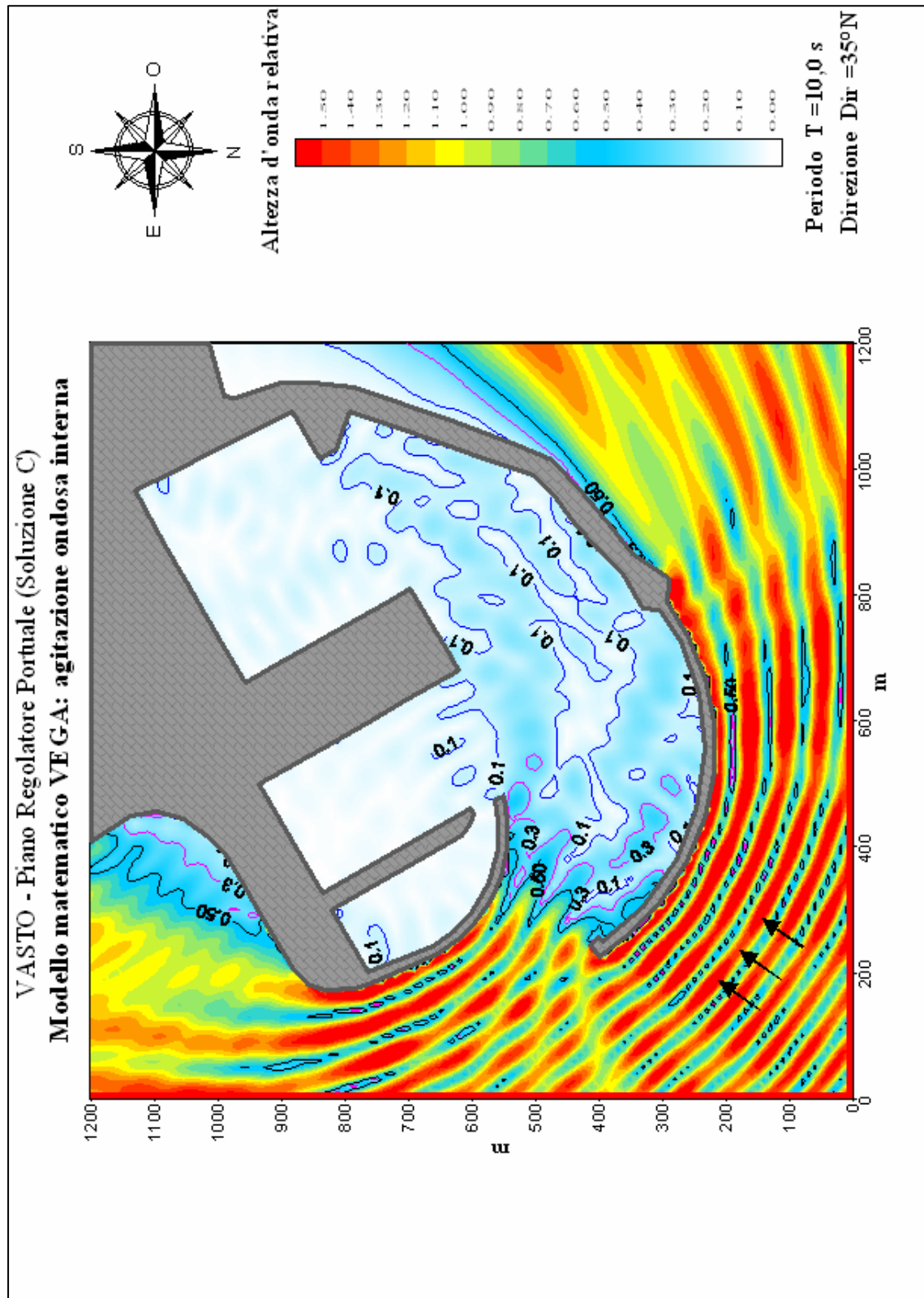


Figura 3.30 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35°N e periodo d'onda pari a 10 s.

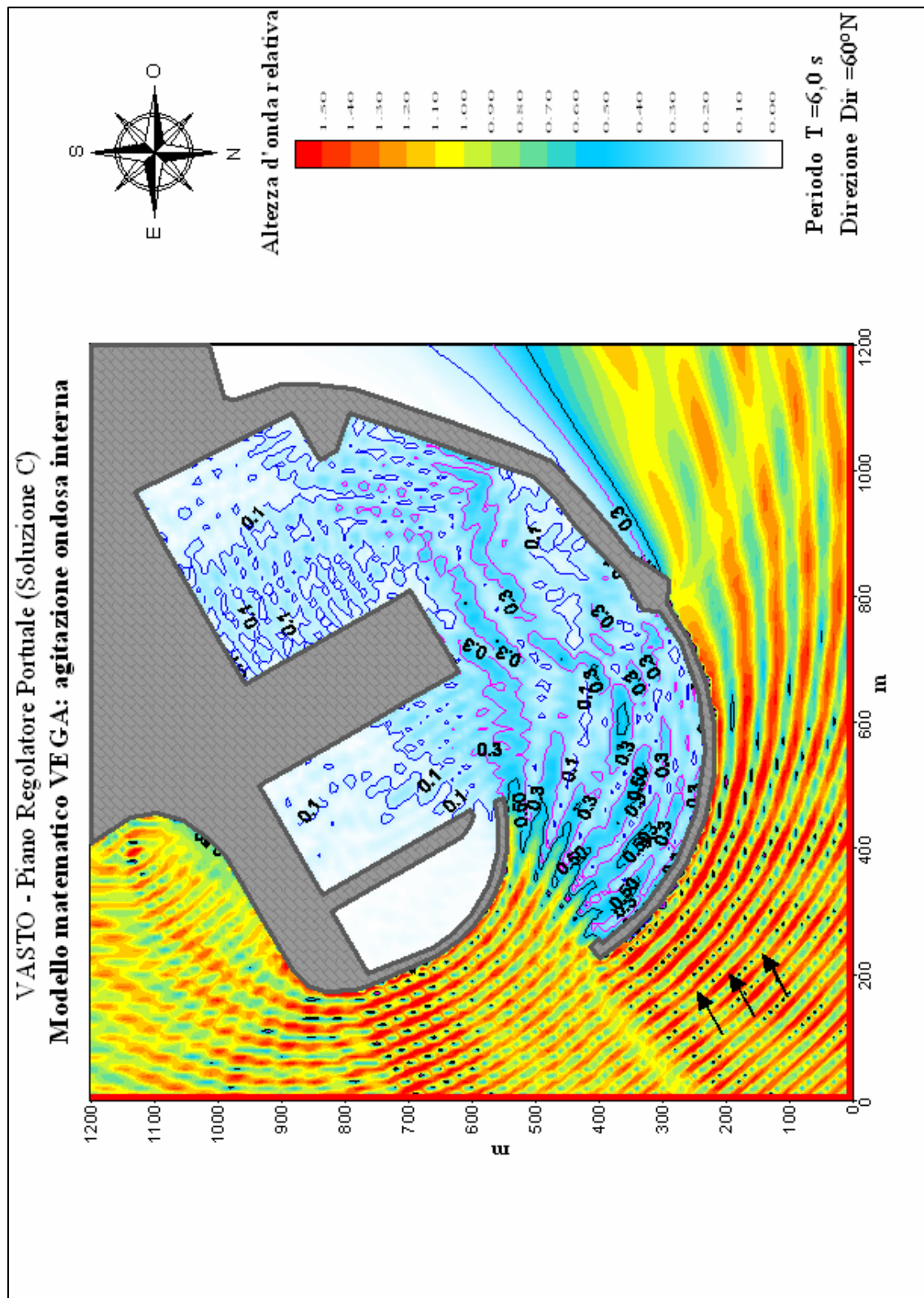


Figura 3.31 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

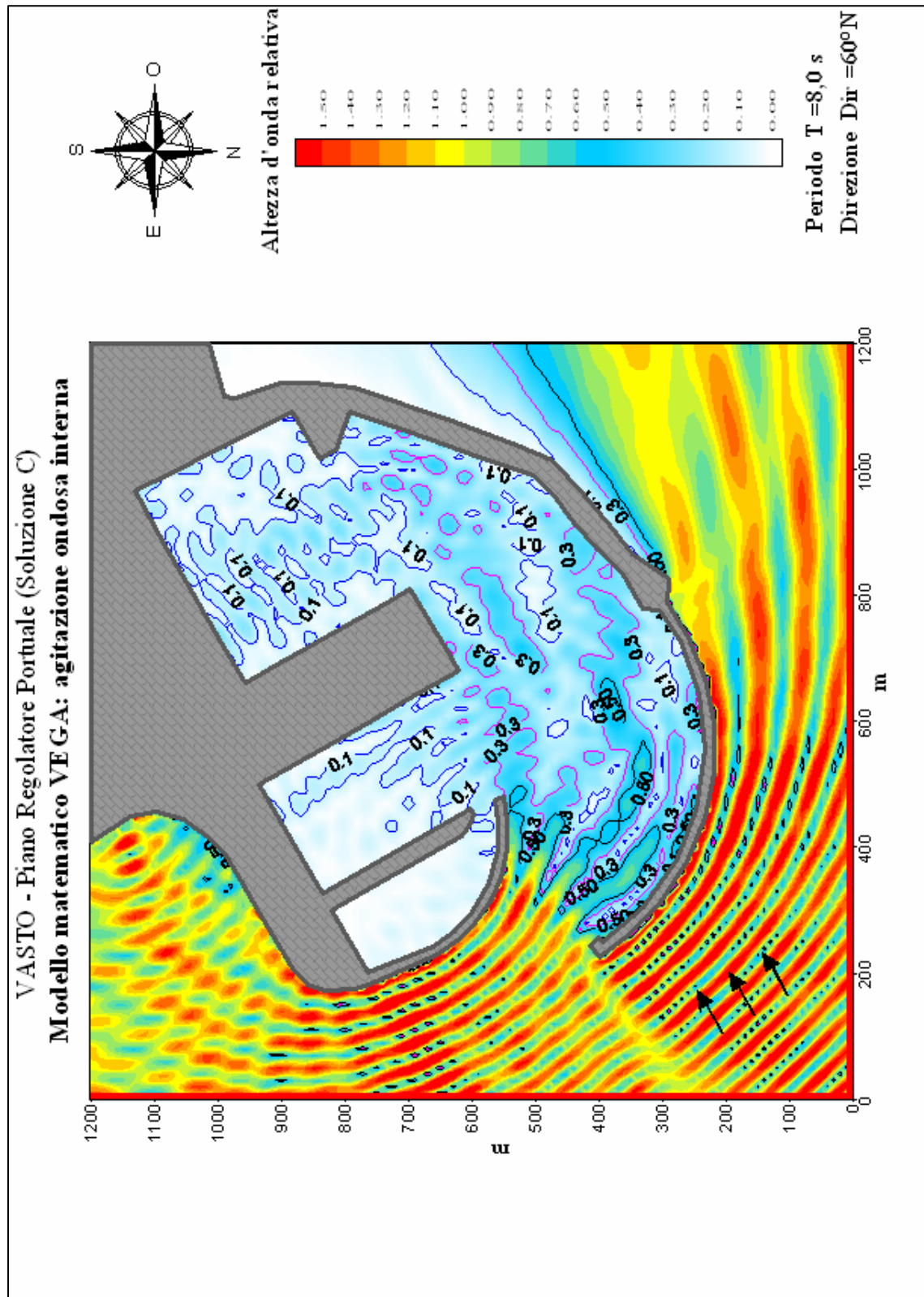


Figura 3.32 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

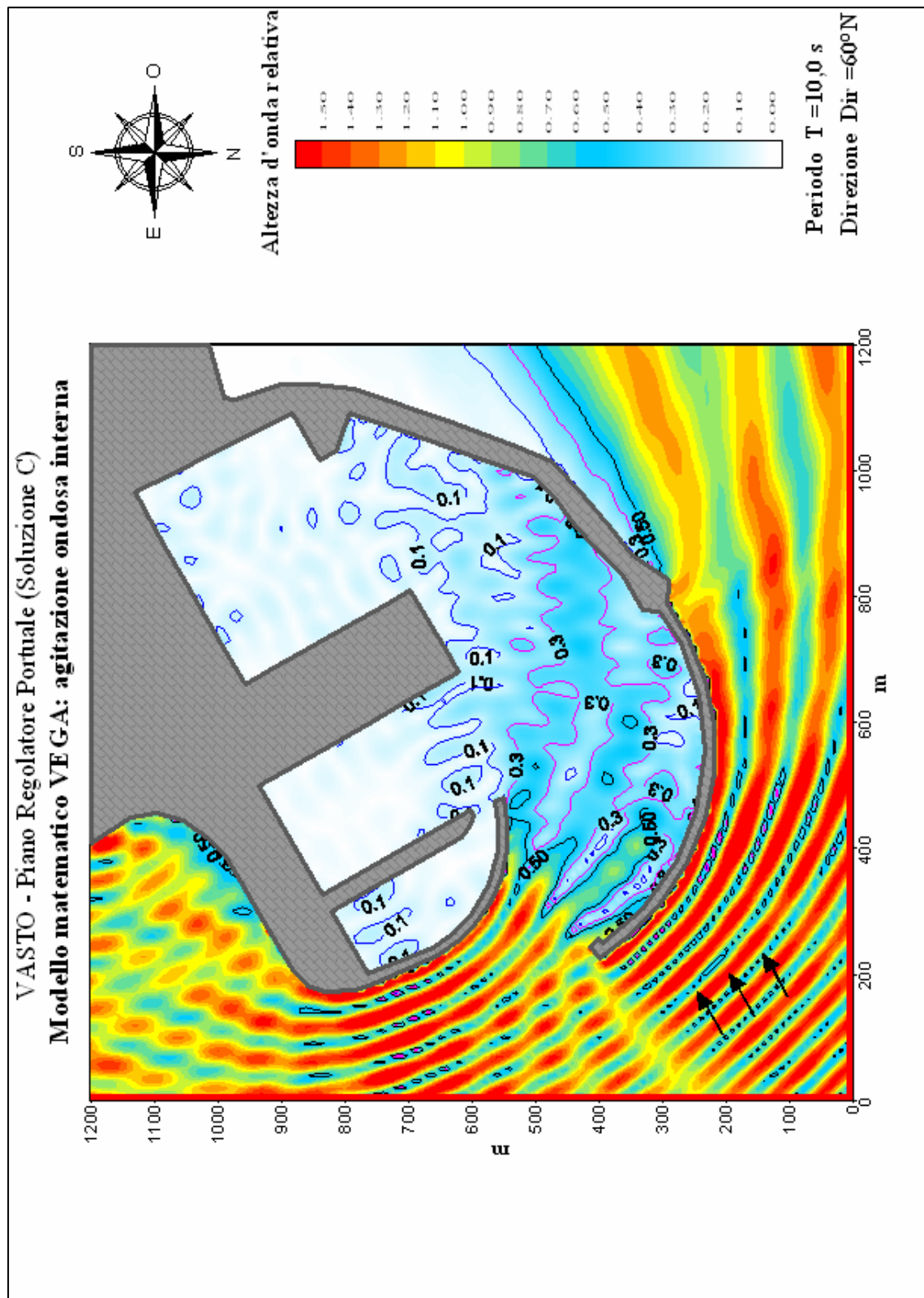


Figura 3.33 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 10 s.

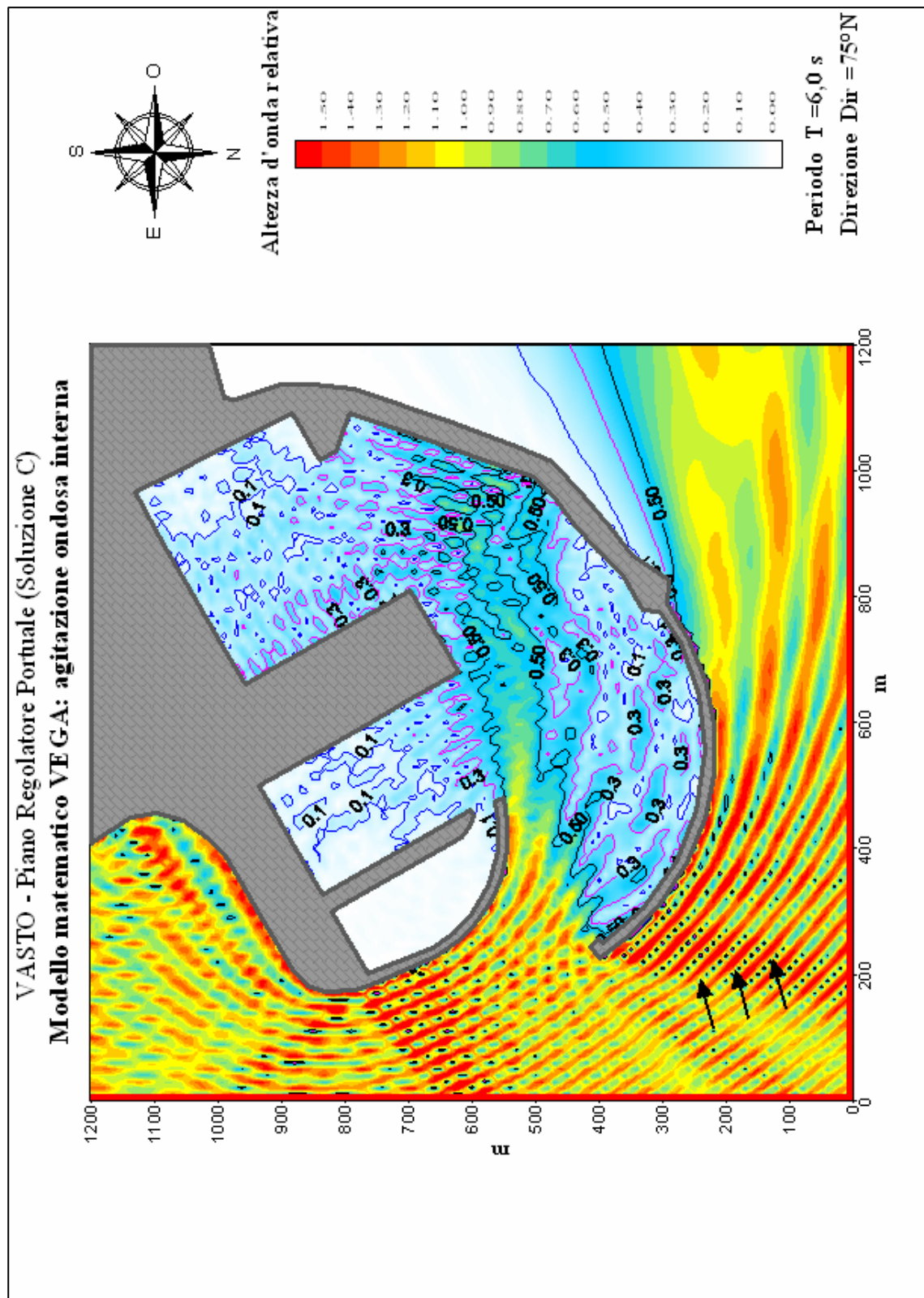


Figura 3.34 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75° N e periodo d'onda pari a 6 s.

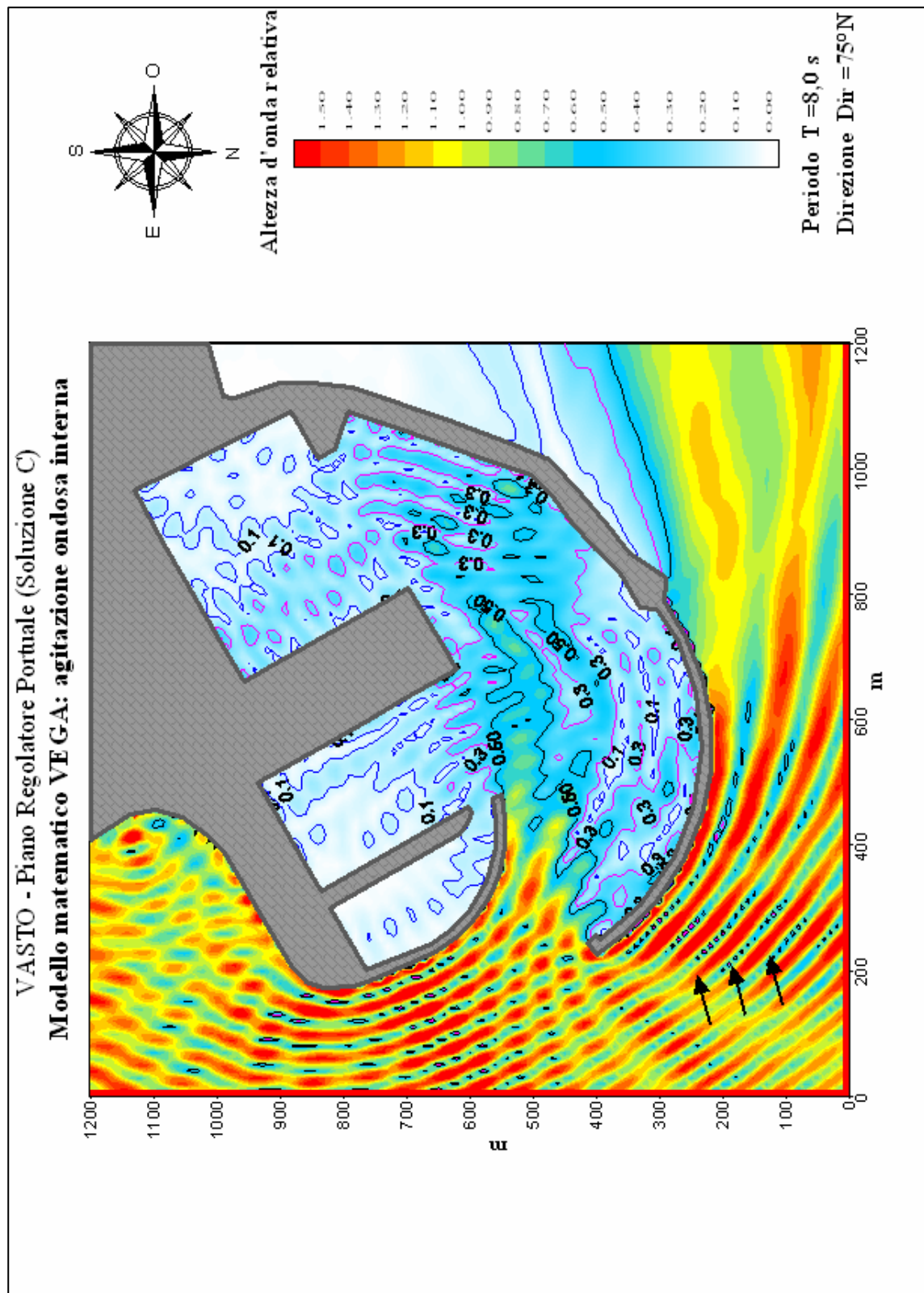


Figura 3.35 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

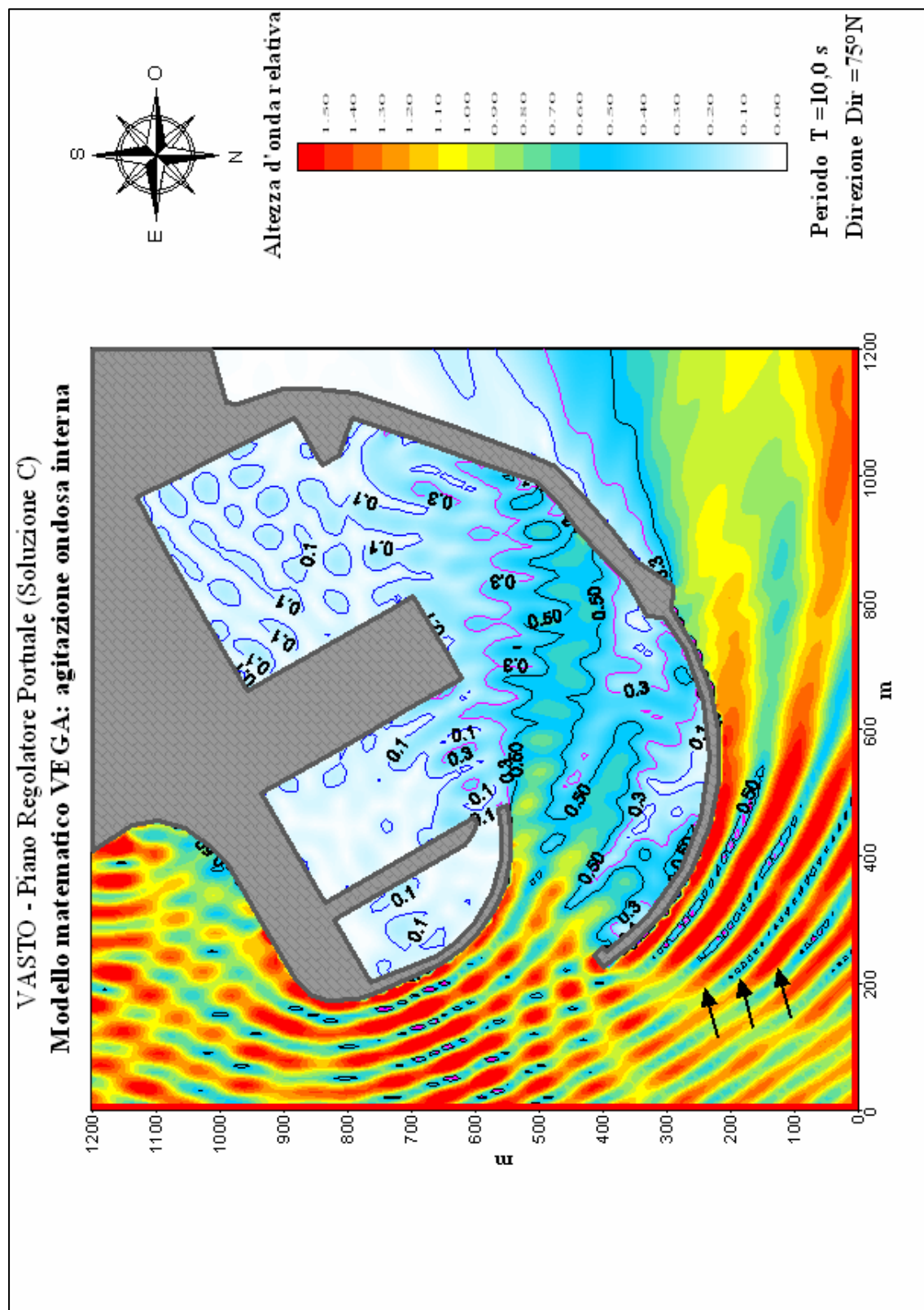


Figura 3.36 – Soluzione C: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75°N e periodo d'onda pari a 10 s.

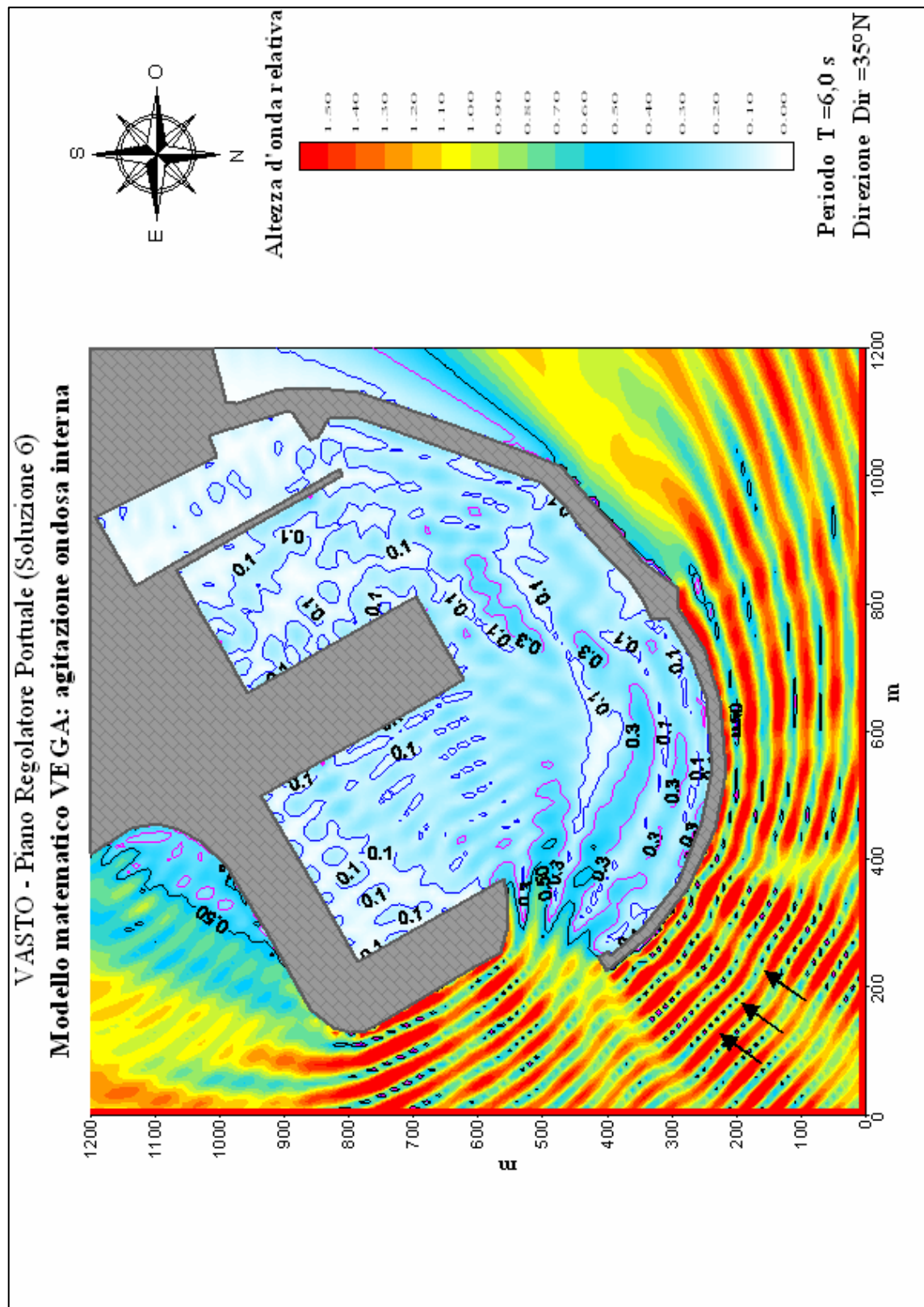


Figura 3.37 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 6 s.

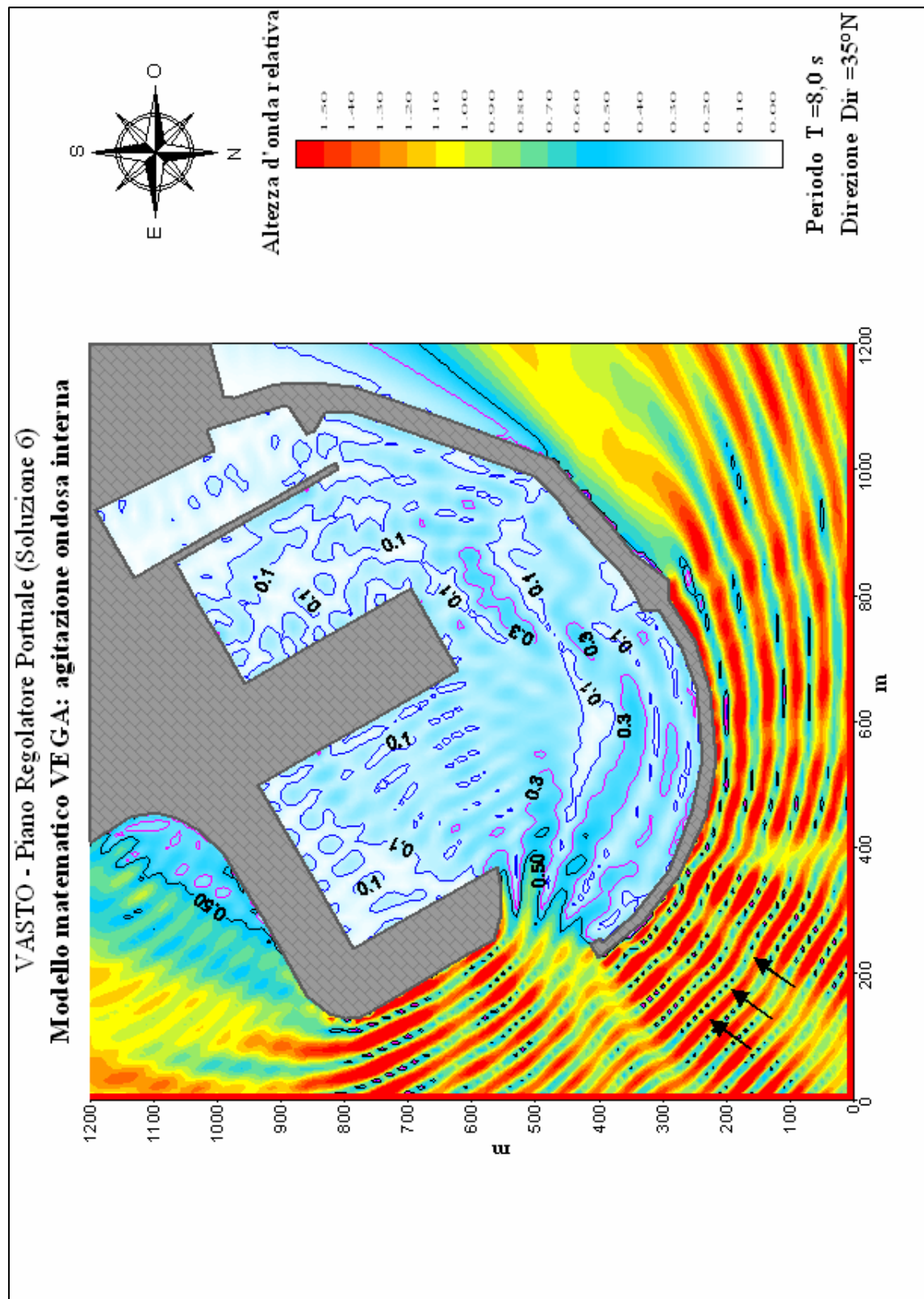


Figura 3.38 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

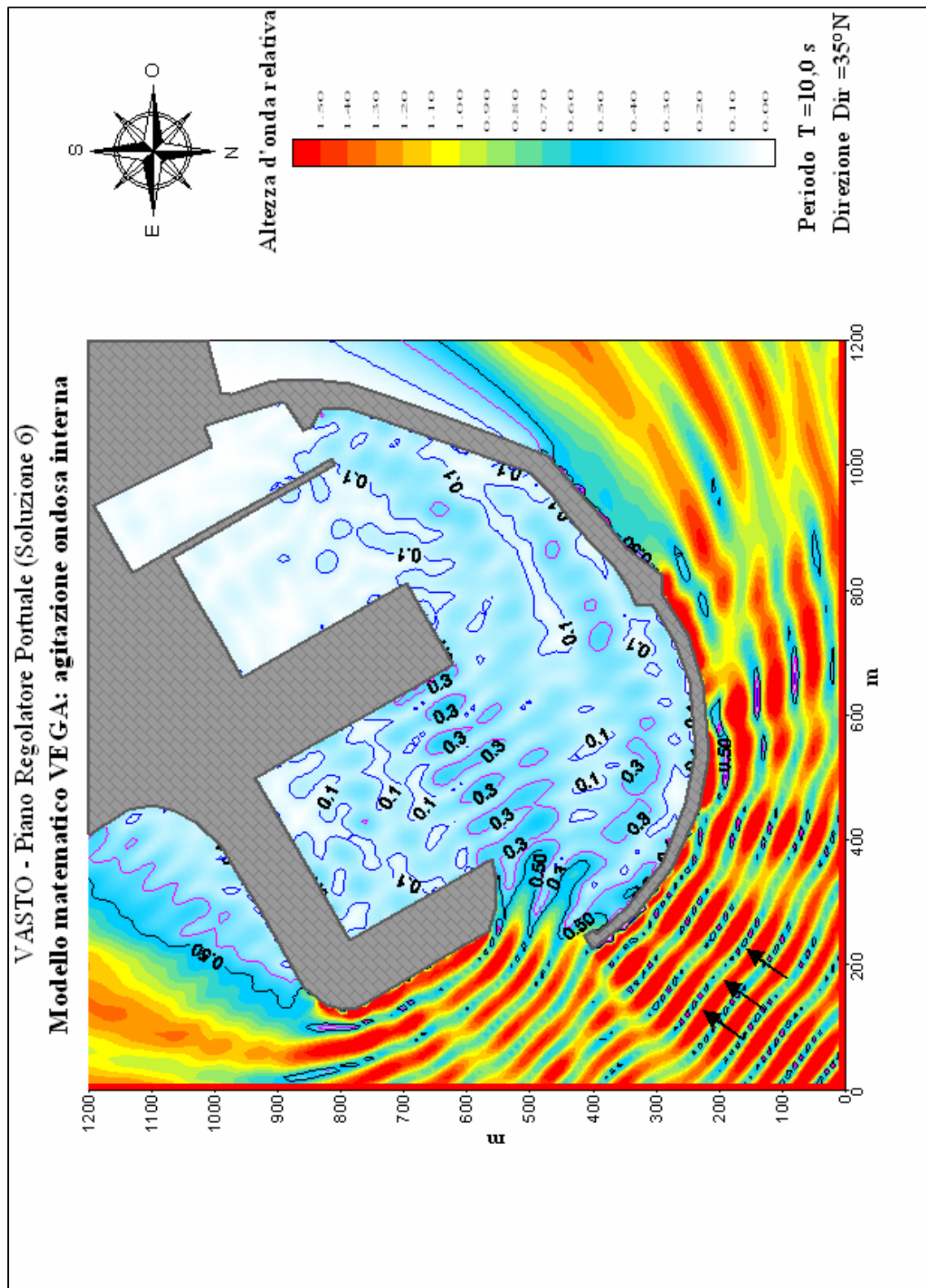


Figura 3.39 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 10 s.

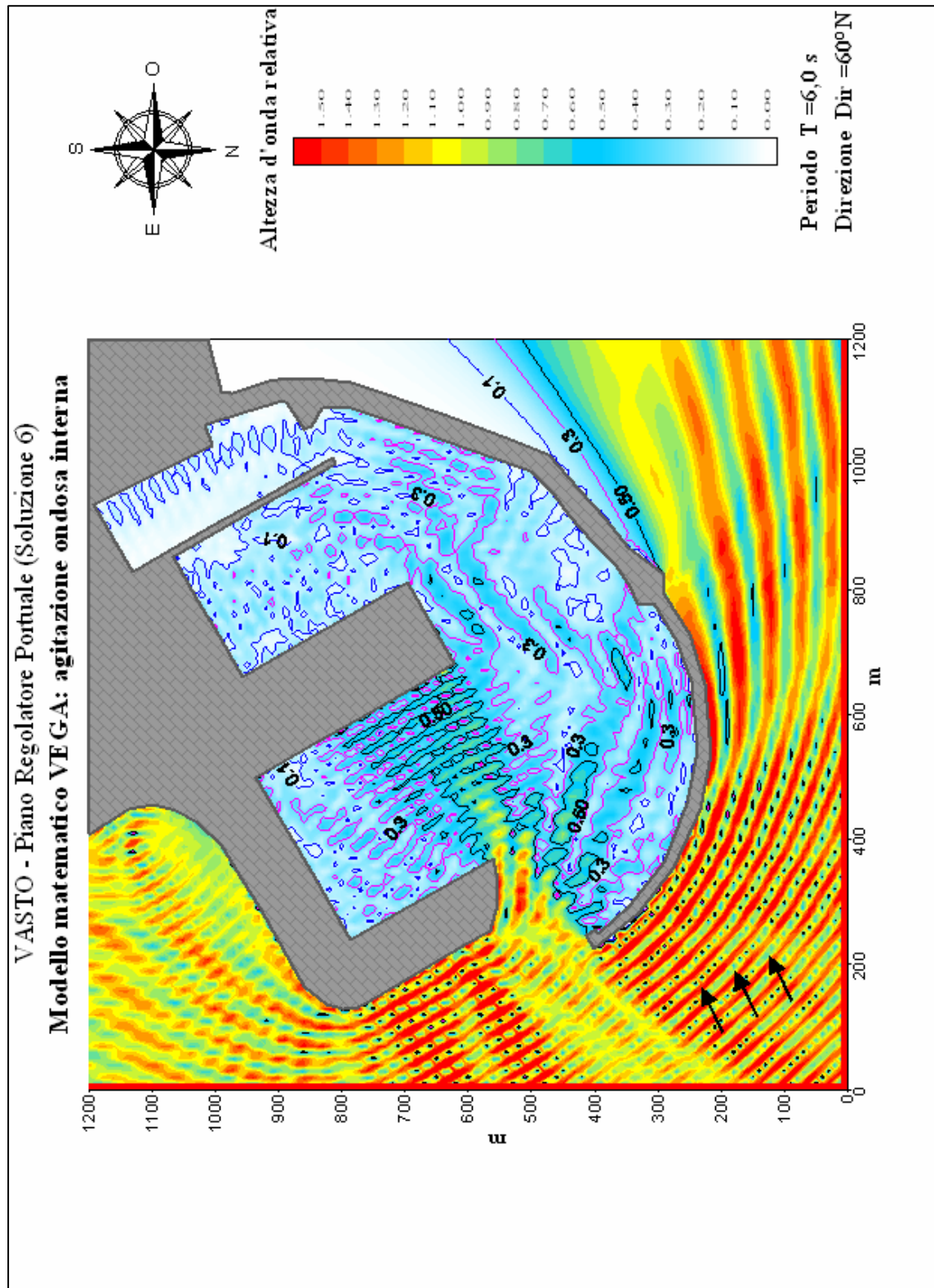


Figura 3.40 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

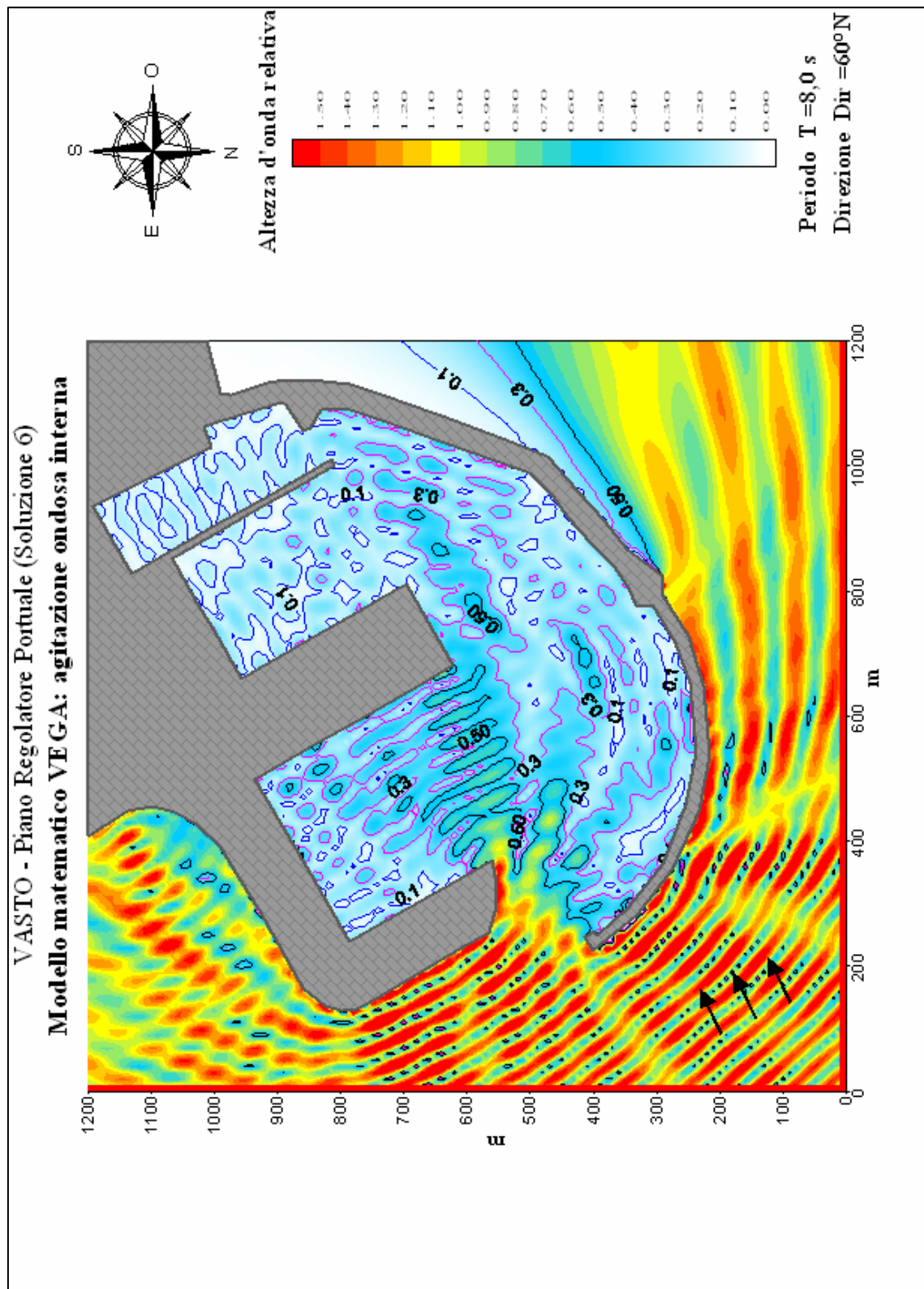


Figura 3.41 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 8 s.

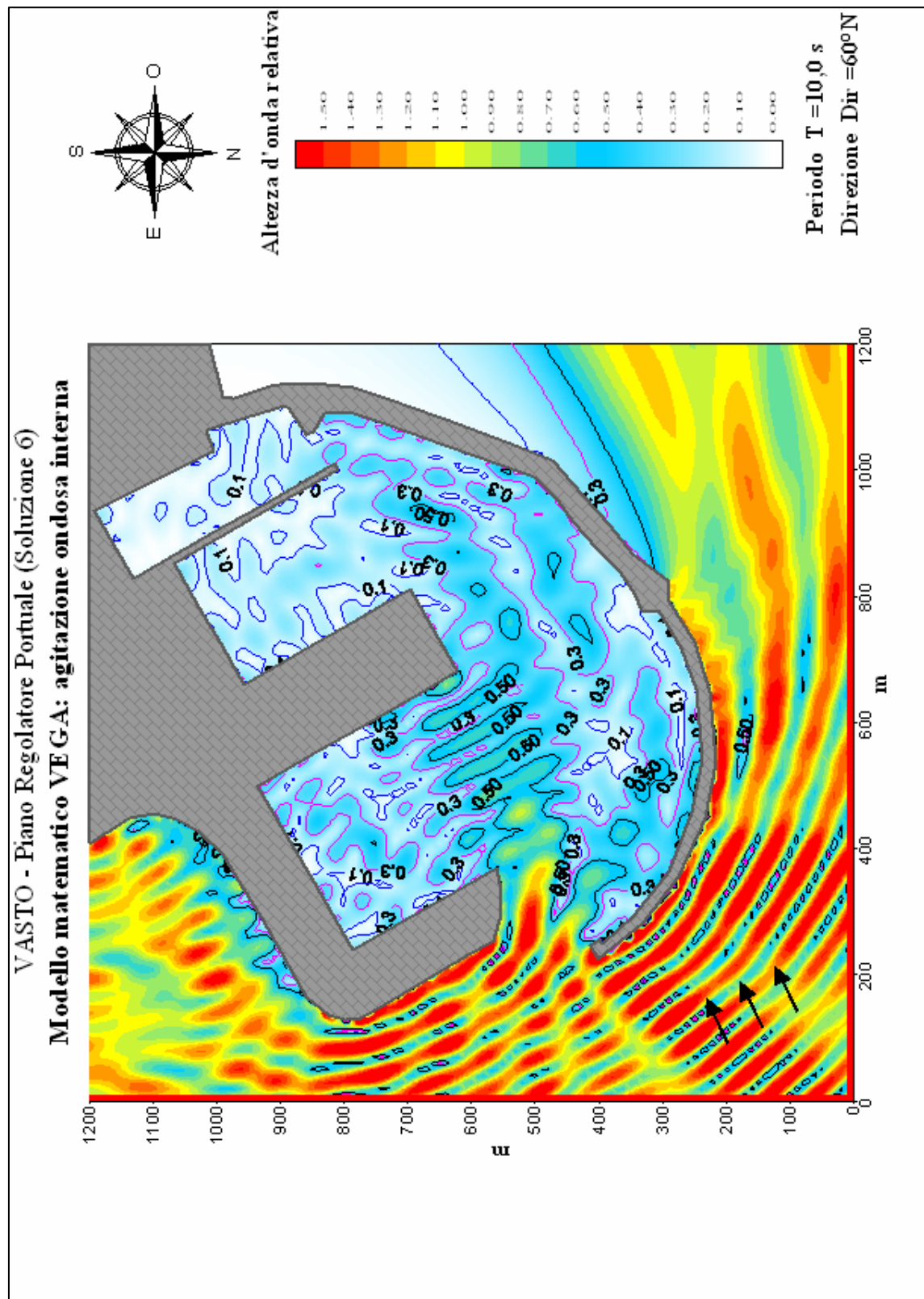


Figura 3.42 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

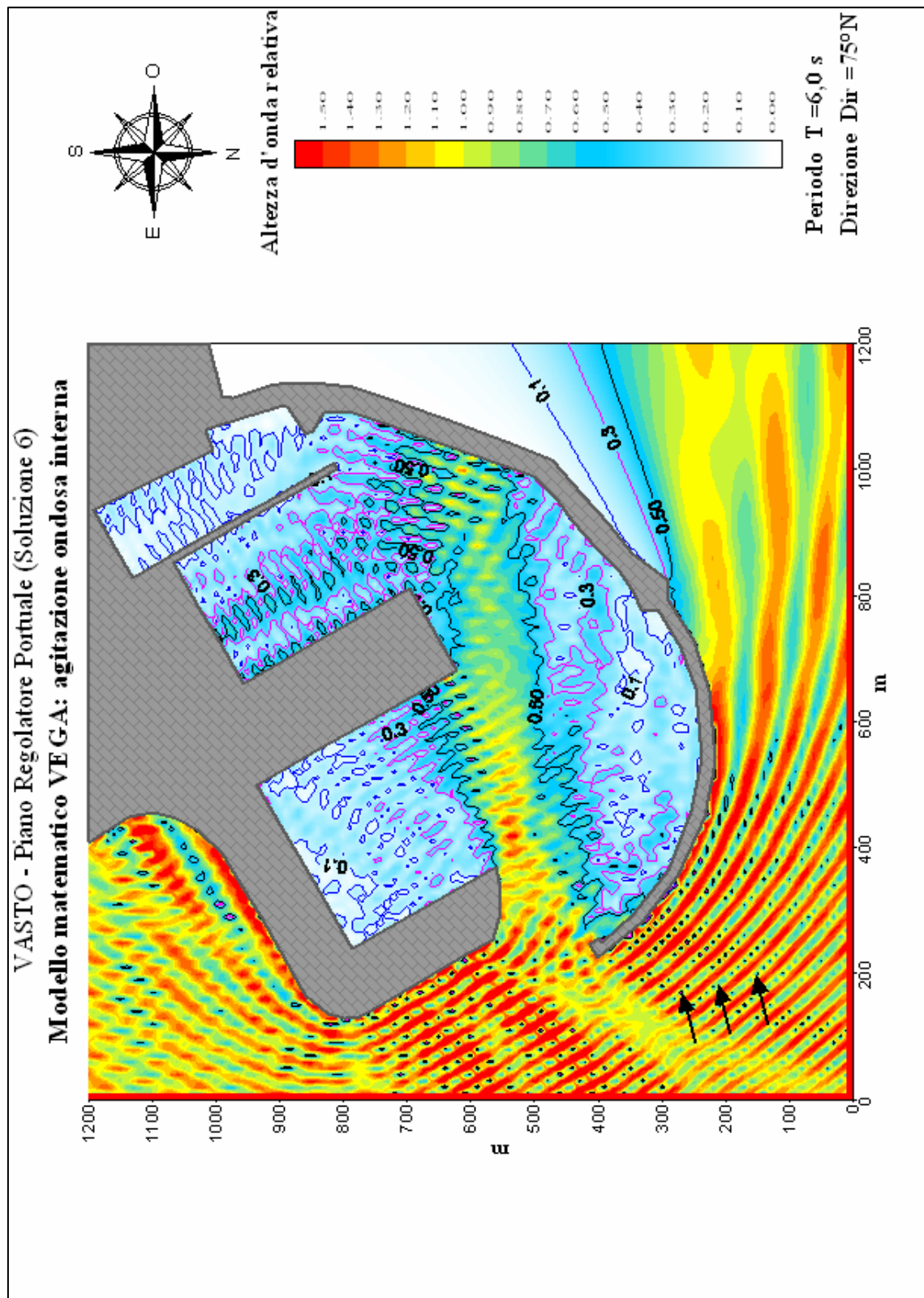


Figura 3.43 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

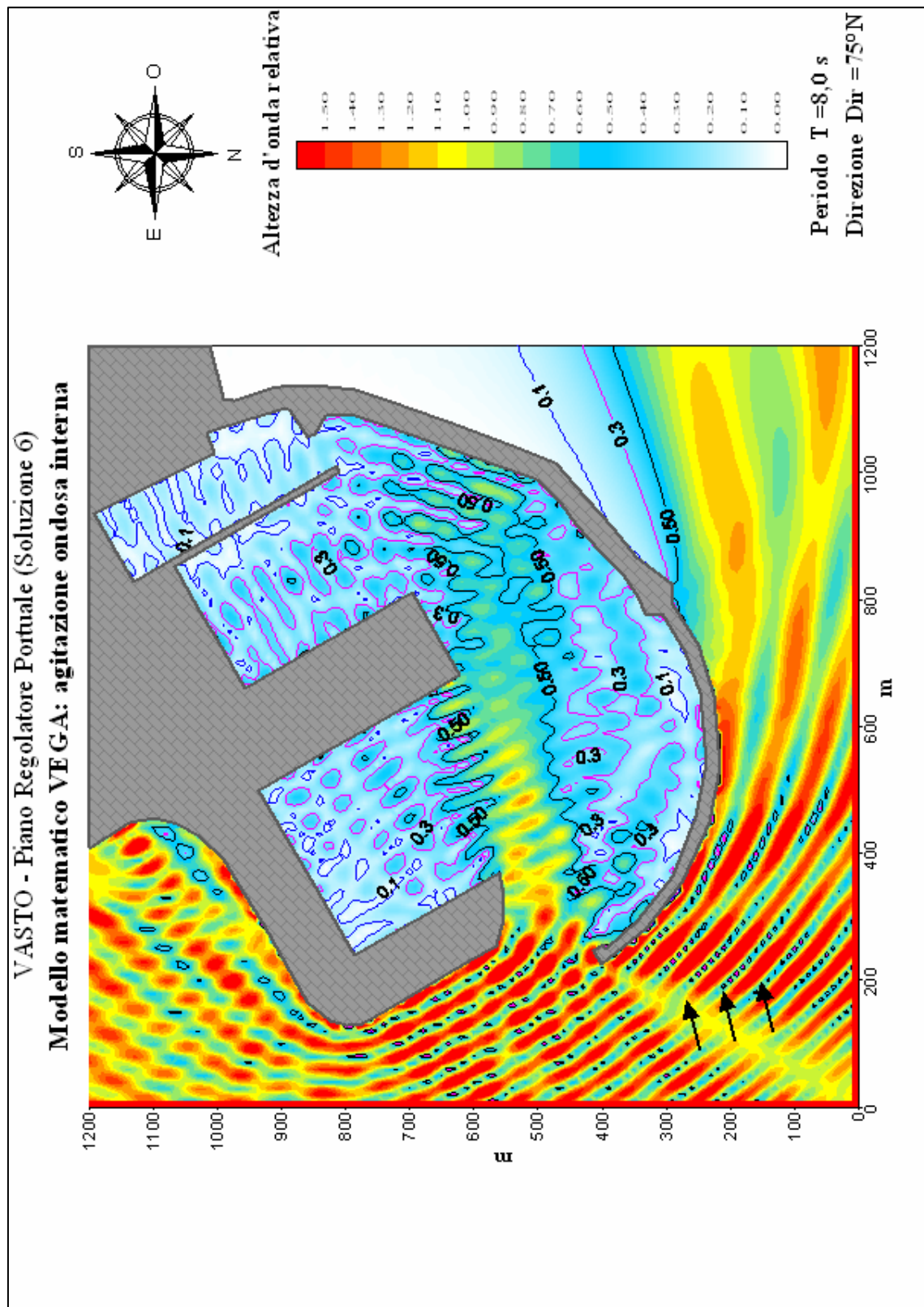


Figura 3.44 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

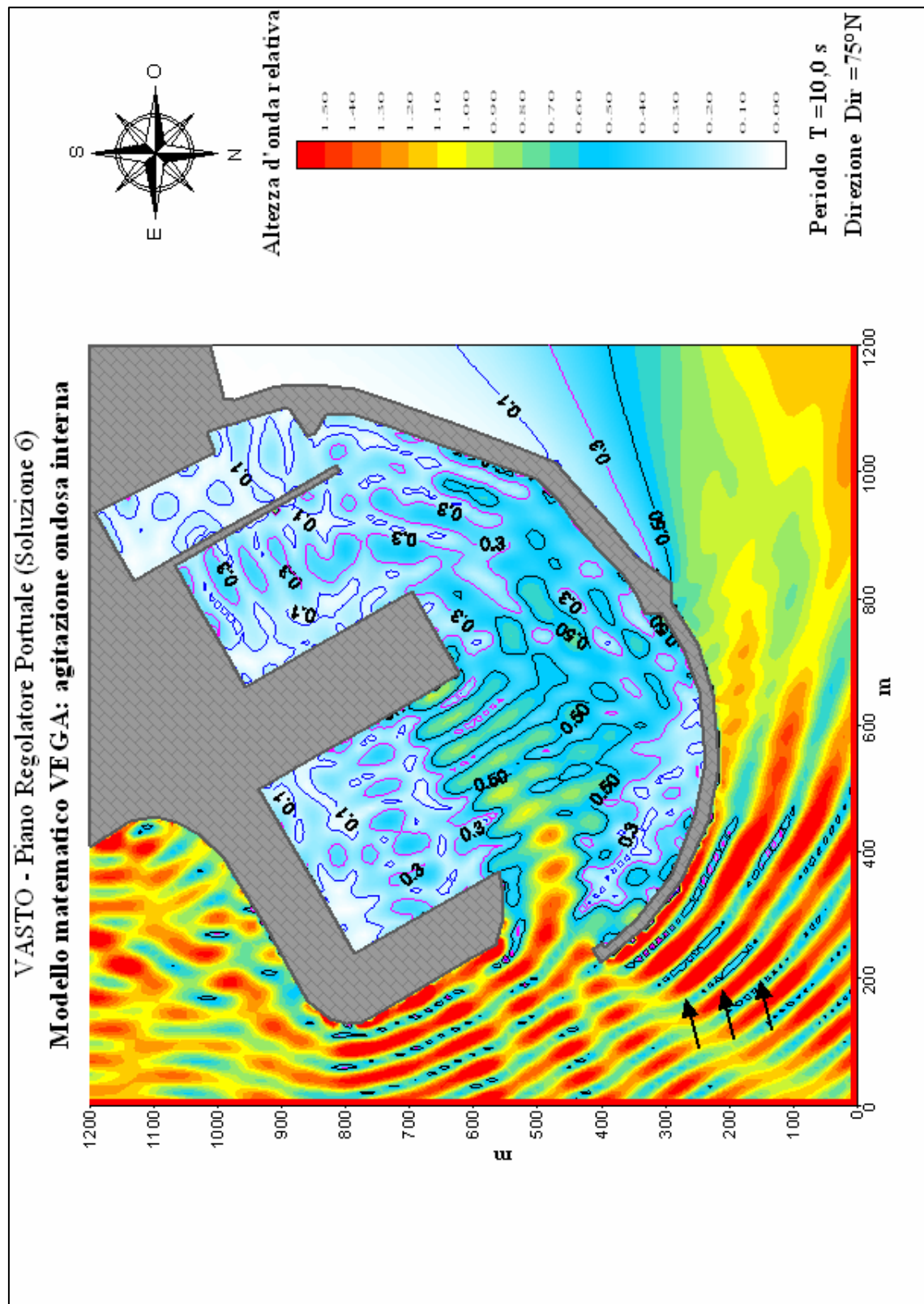


Figura 3.45 – Soluzione 6: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75°N e periodo d'onda pari a 10 s.

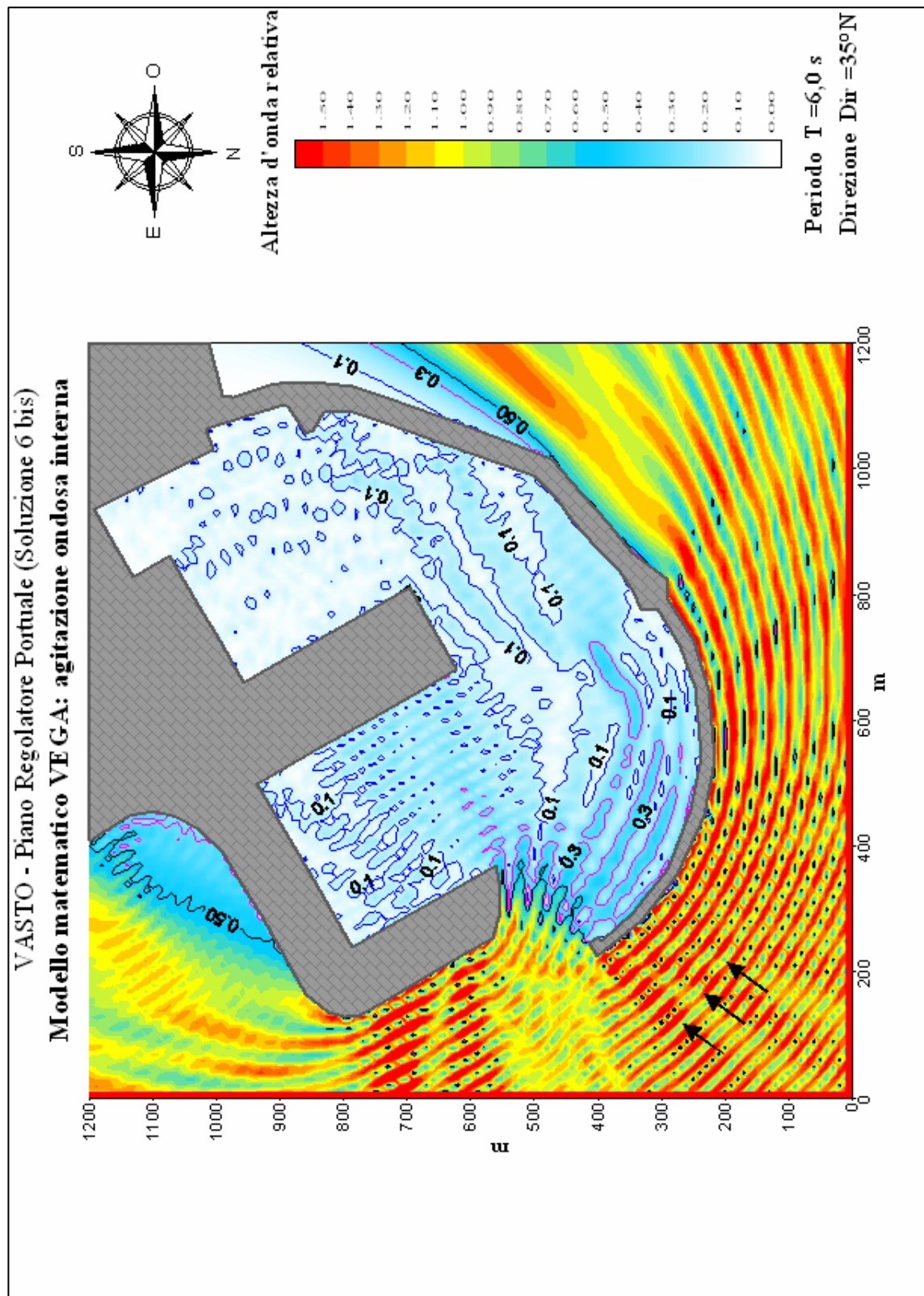


Figura 3.46 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 6 s.

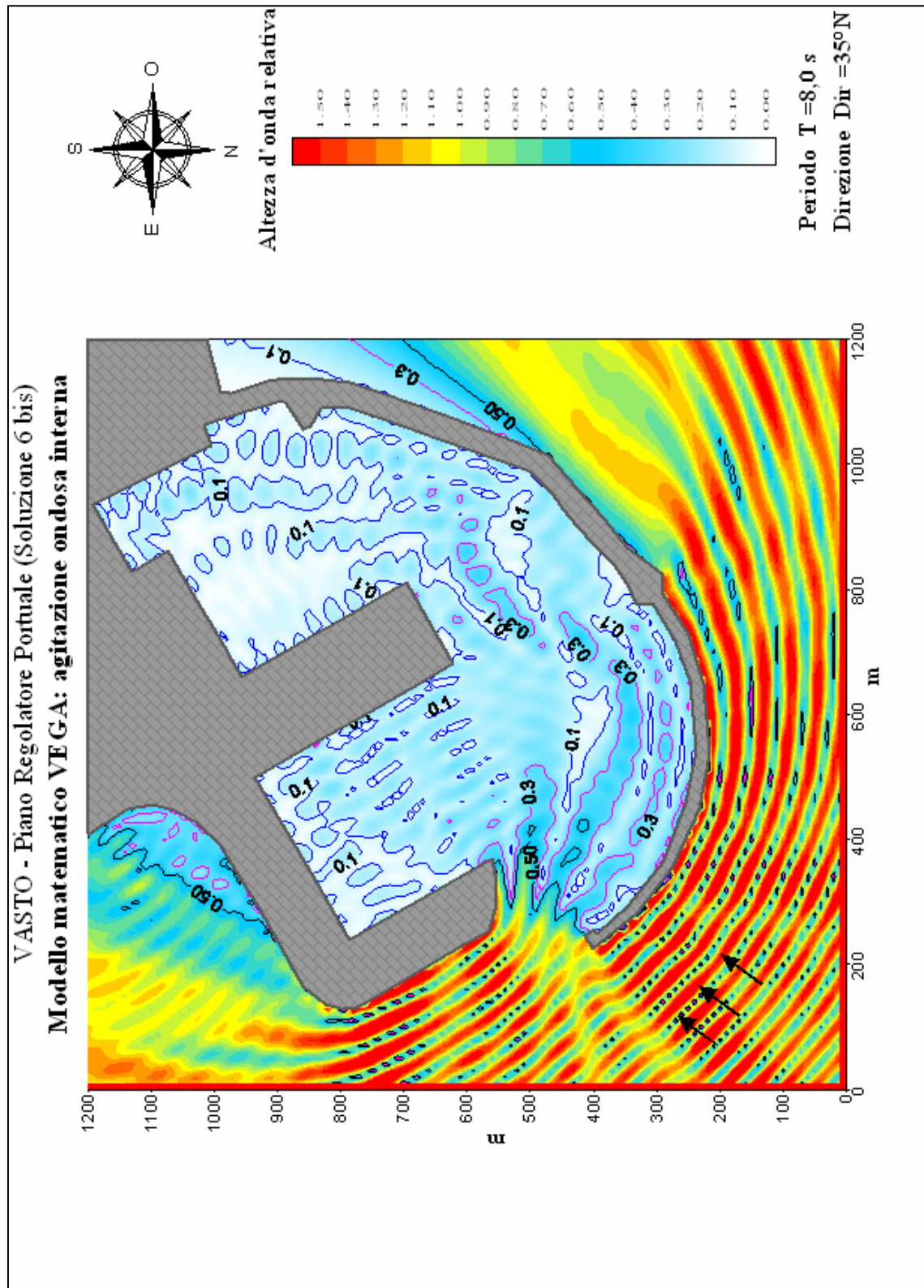


Figura 3.47 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^{\circ} N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

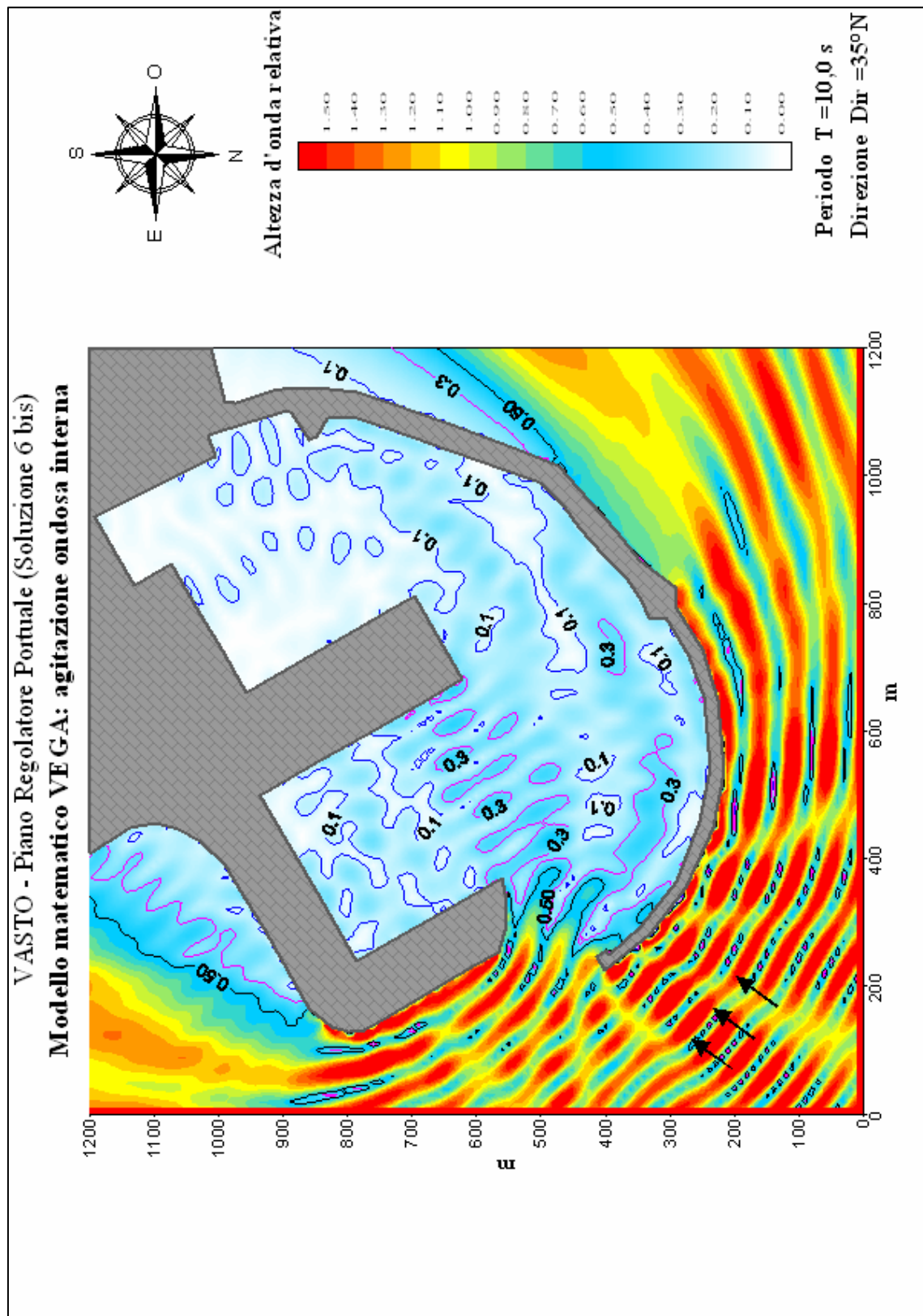


Figura 3.48 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

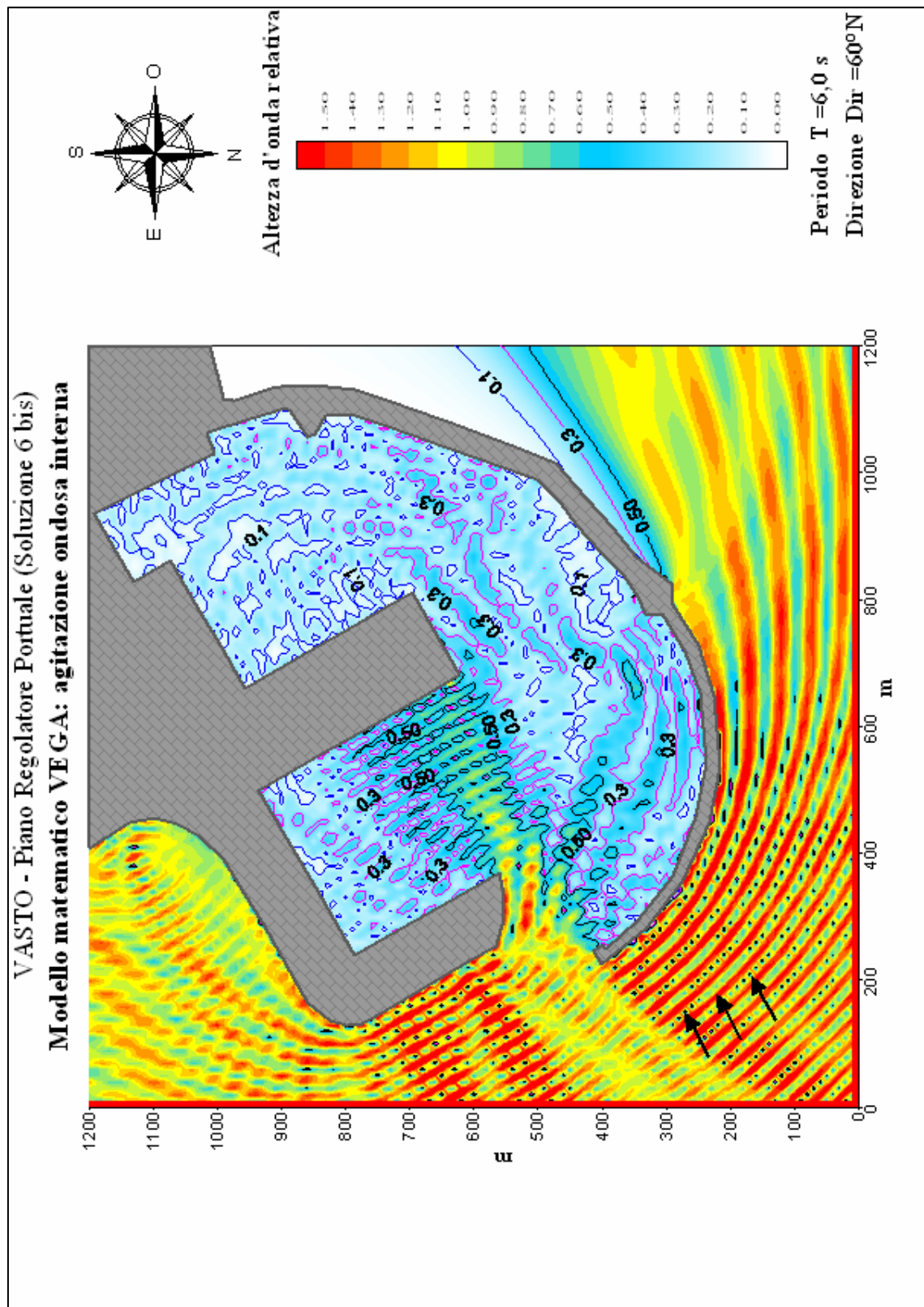


Figura 3.49 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

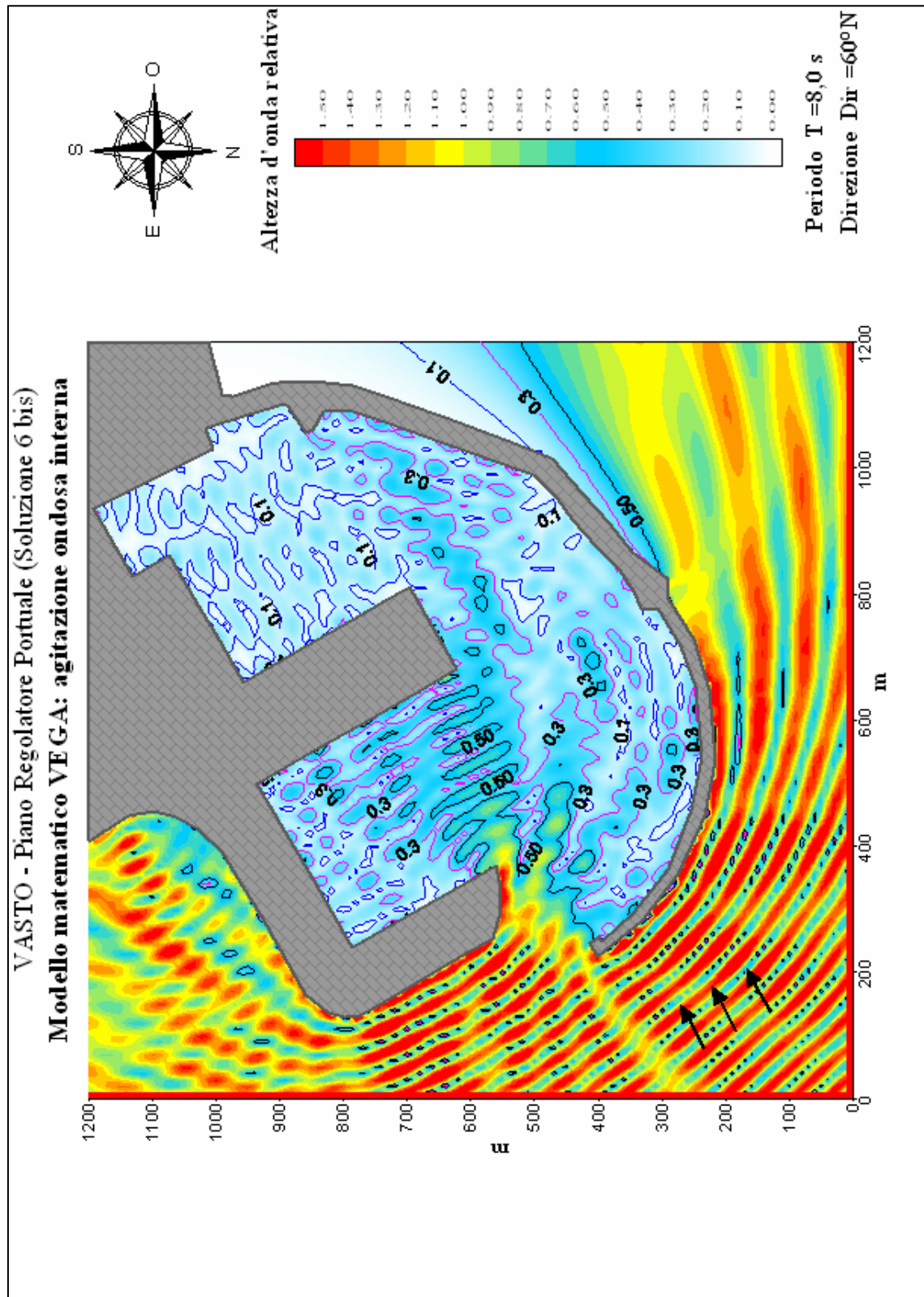


Figura 3.50 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

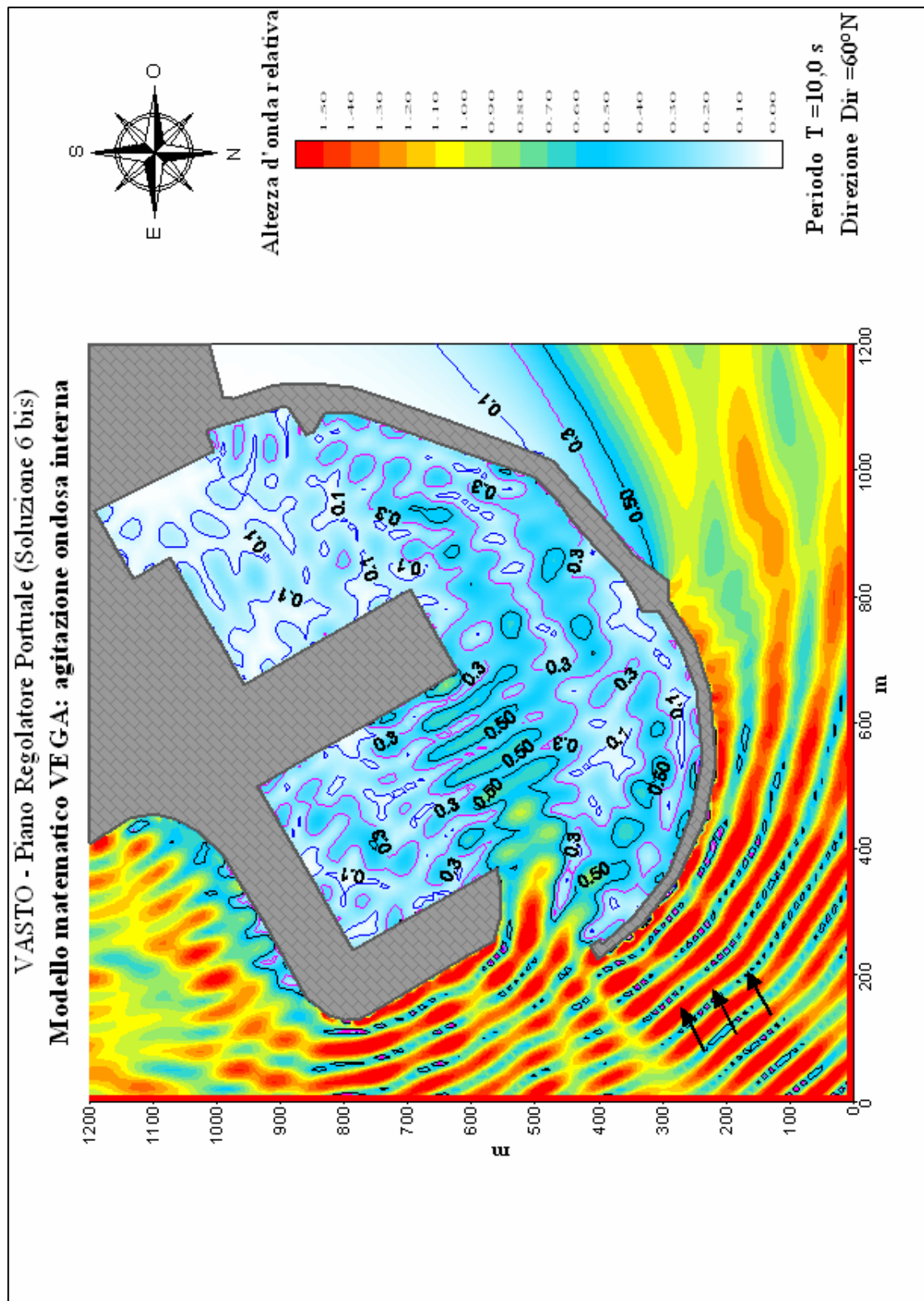


Figura 3.51 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

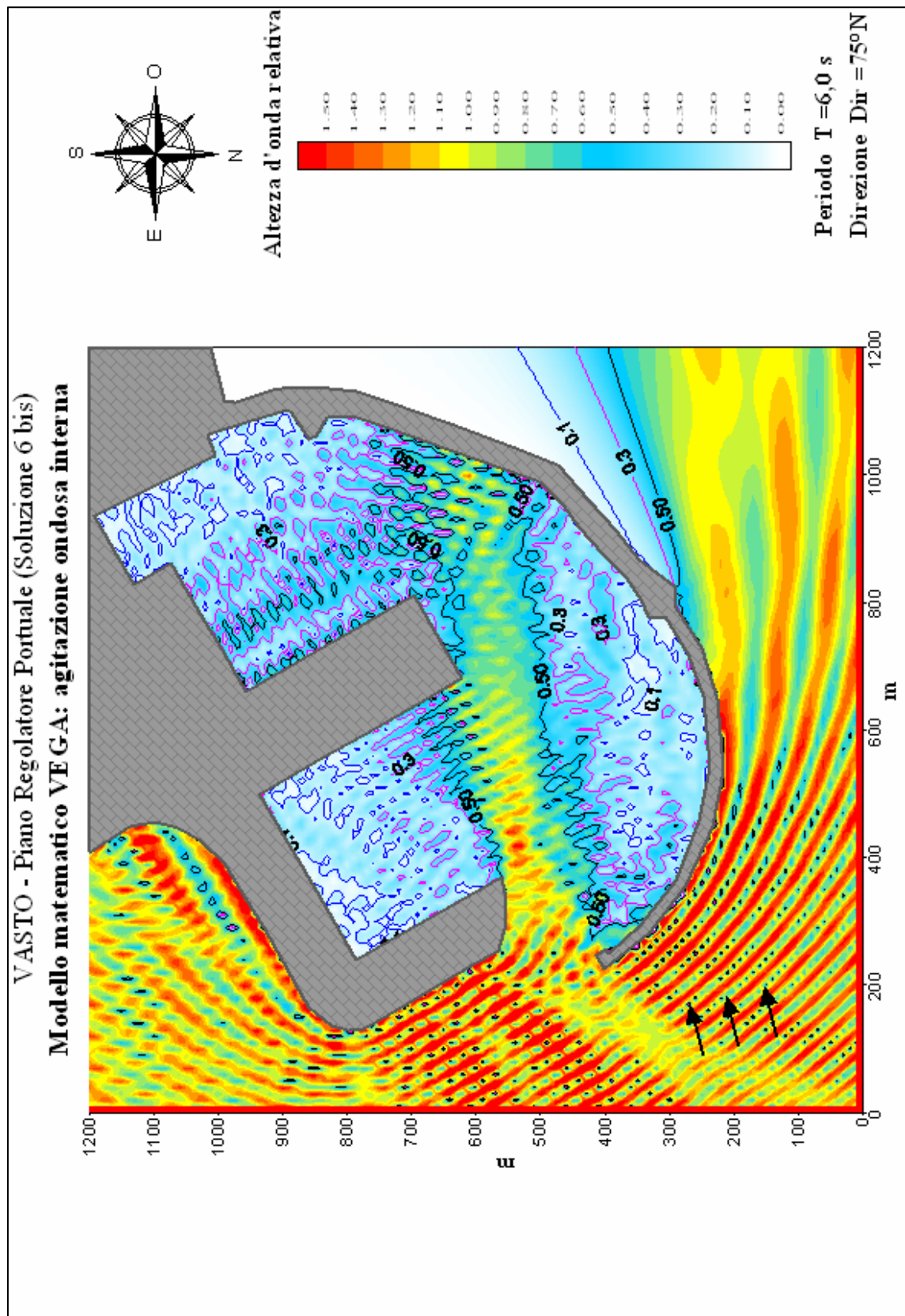


Figura 3.52 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

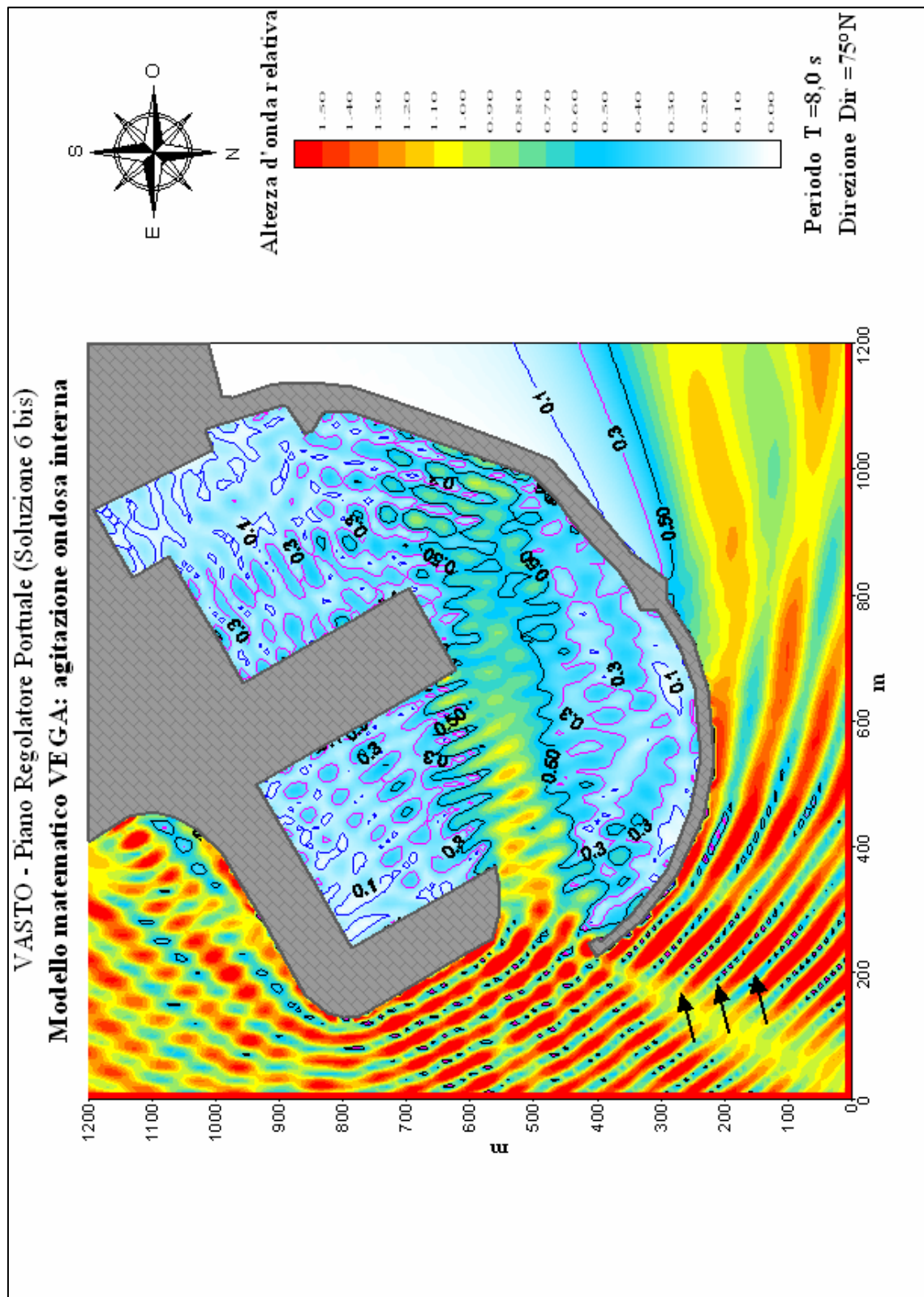


Figura 3.53 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

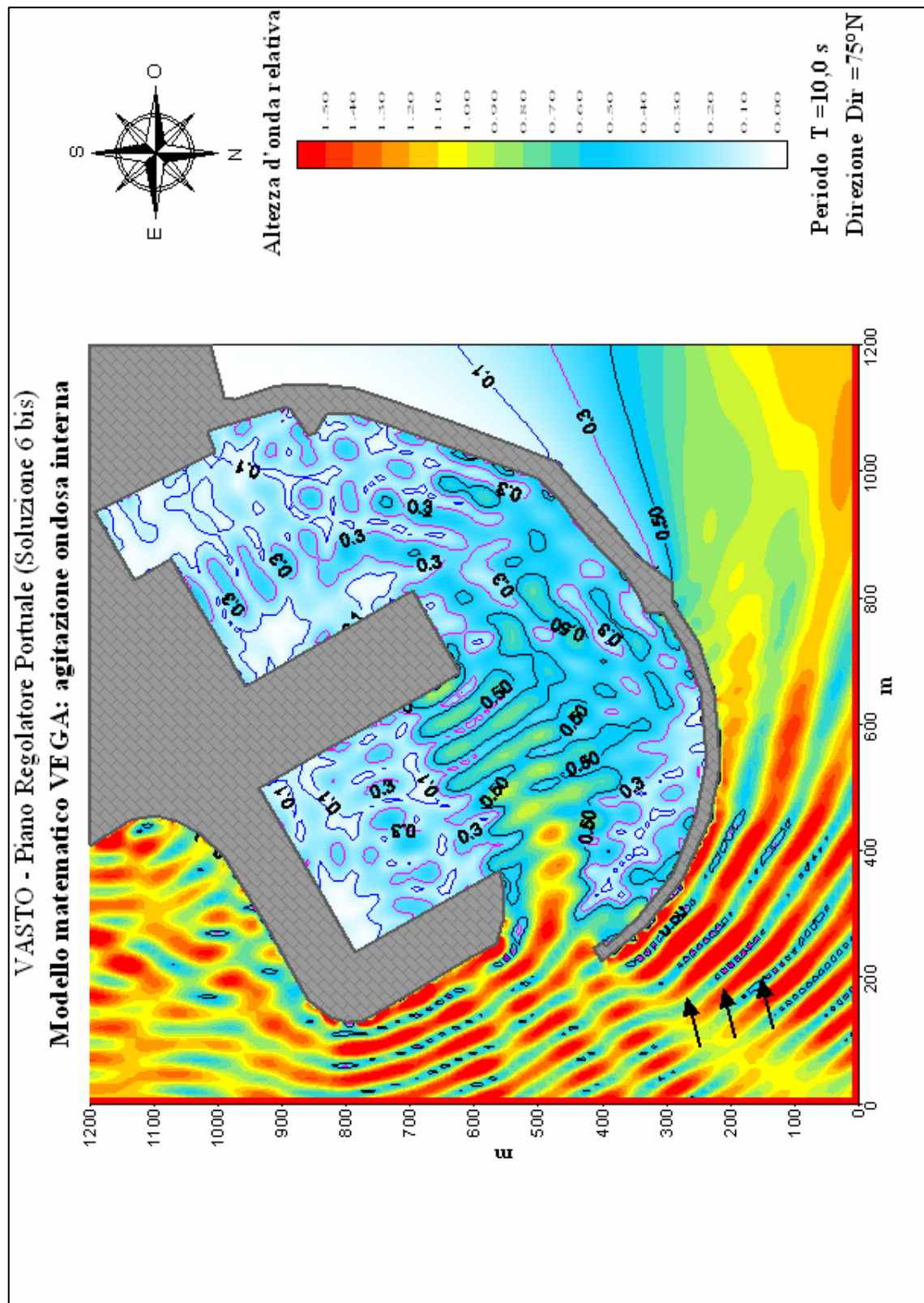


Figura 3.54 – Soluzione 6 bis: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

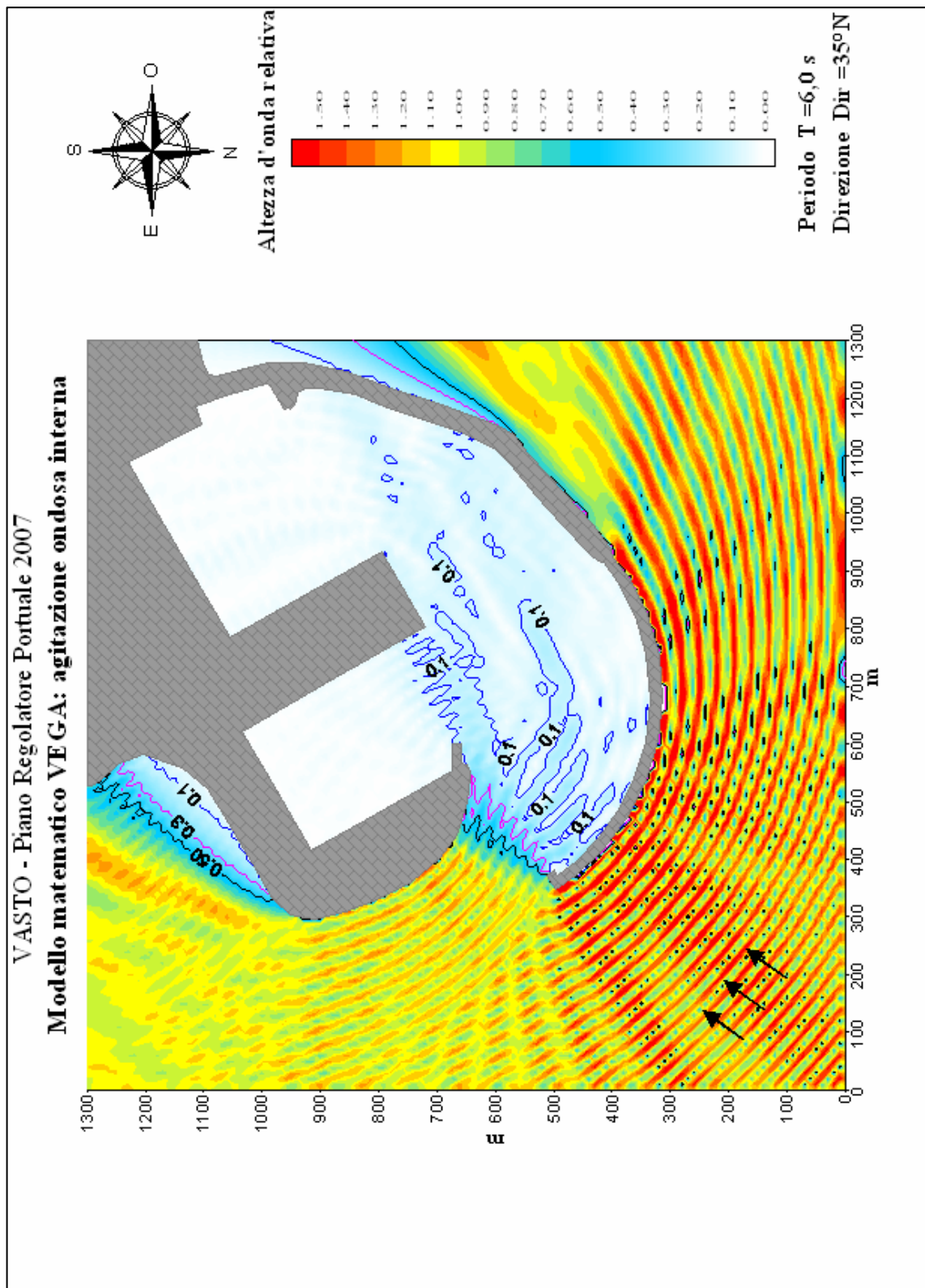


Figura 3.55 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 6 s.

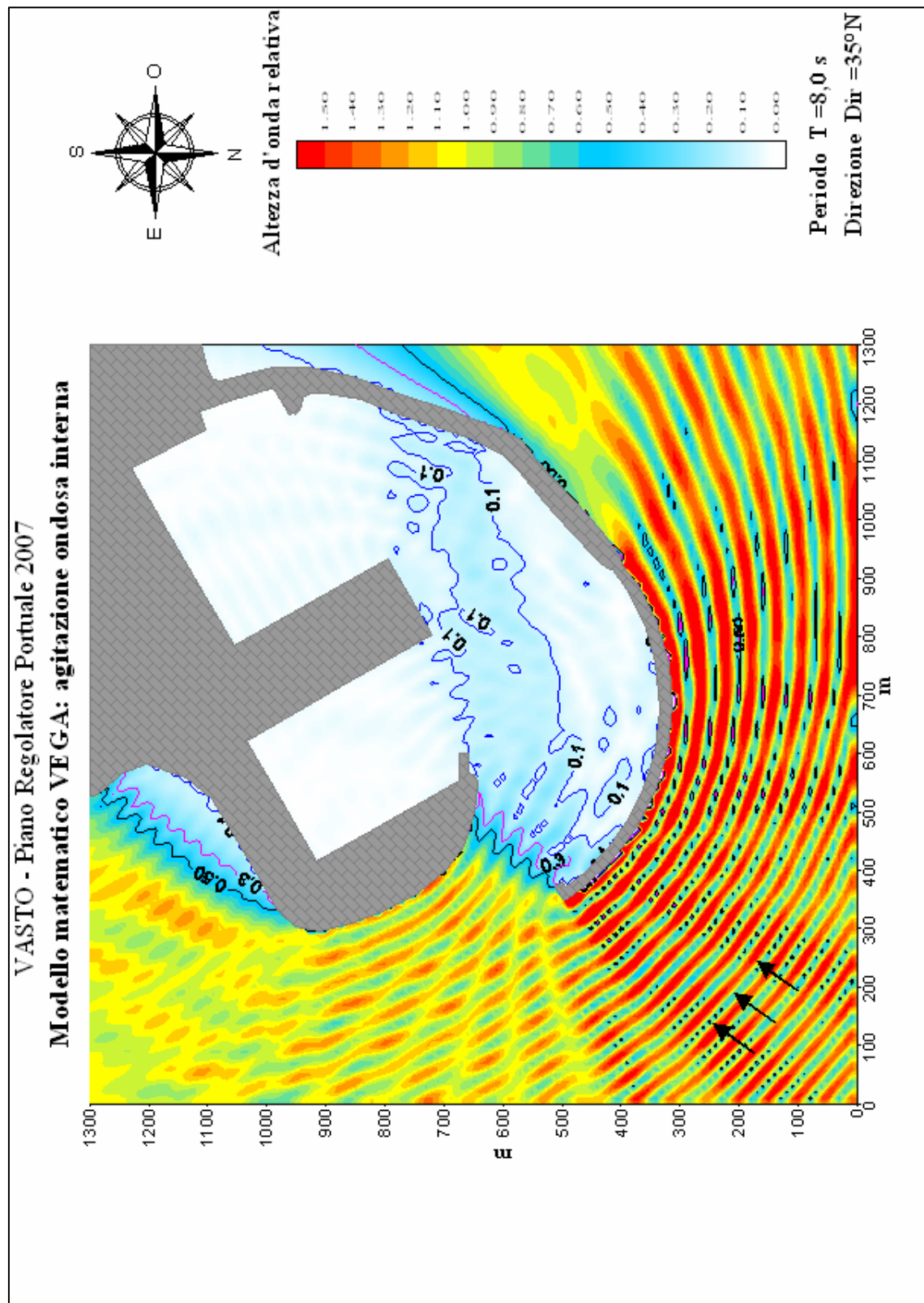


Figura 3.56 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 8 s.

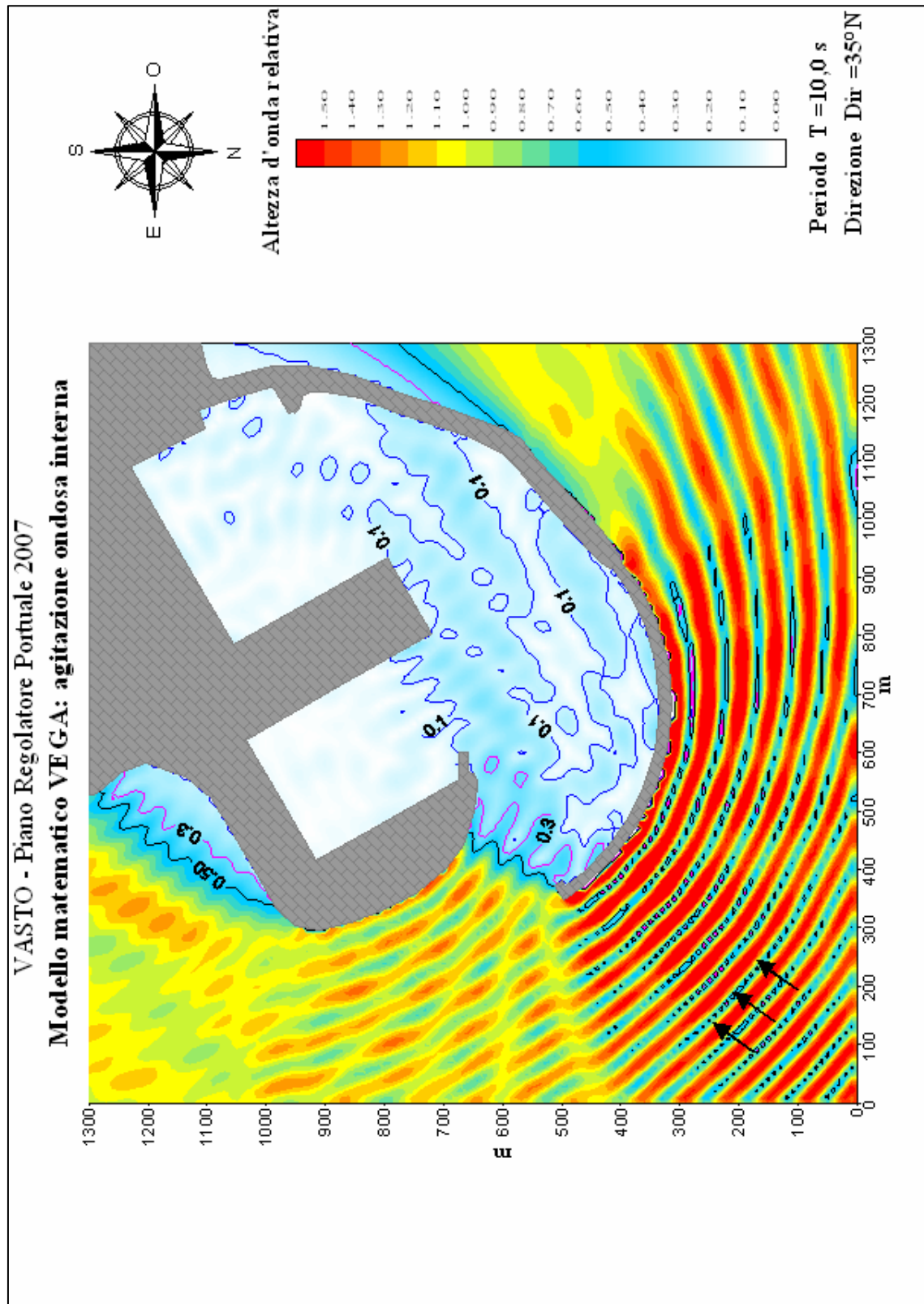


Figura 3.57 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35°N e periodo d'onda pari a 10 s.

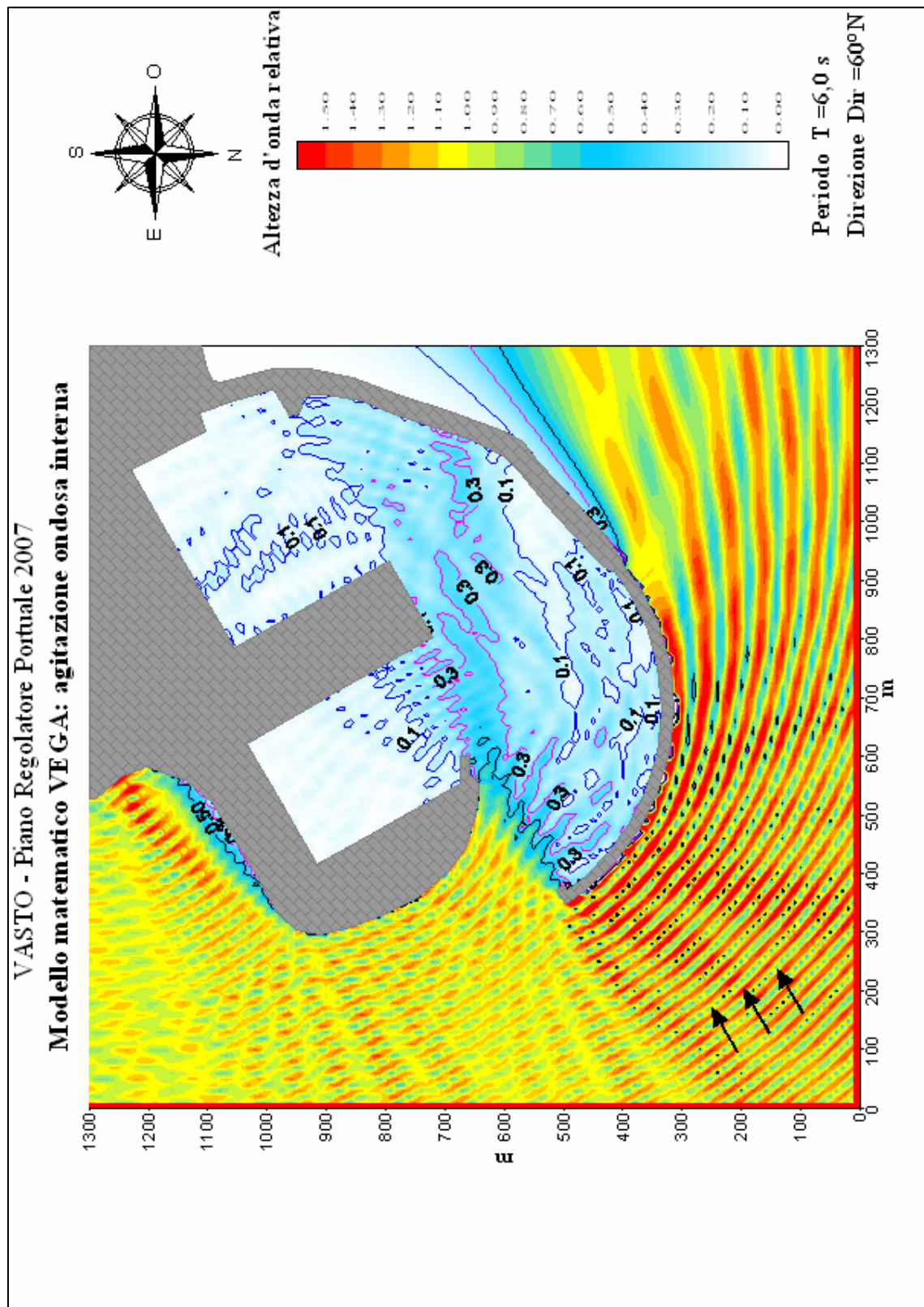


Figura 3.58 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

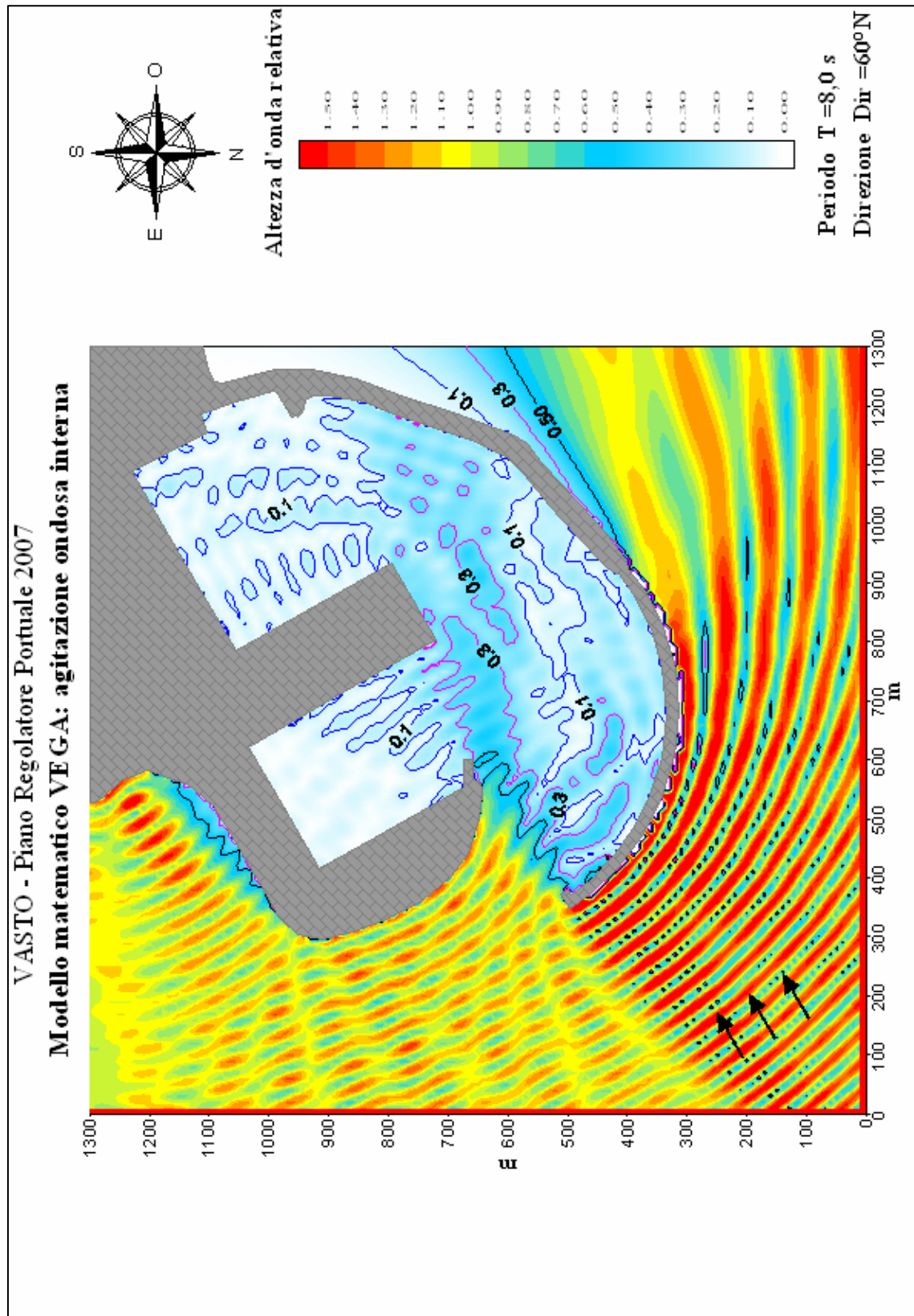


Figura 3.59 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

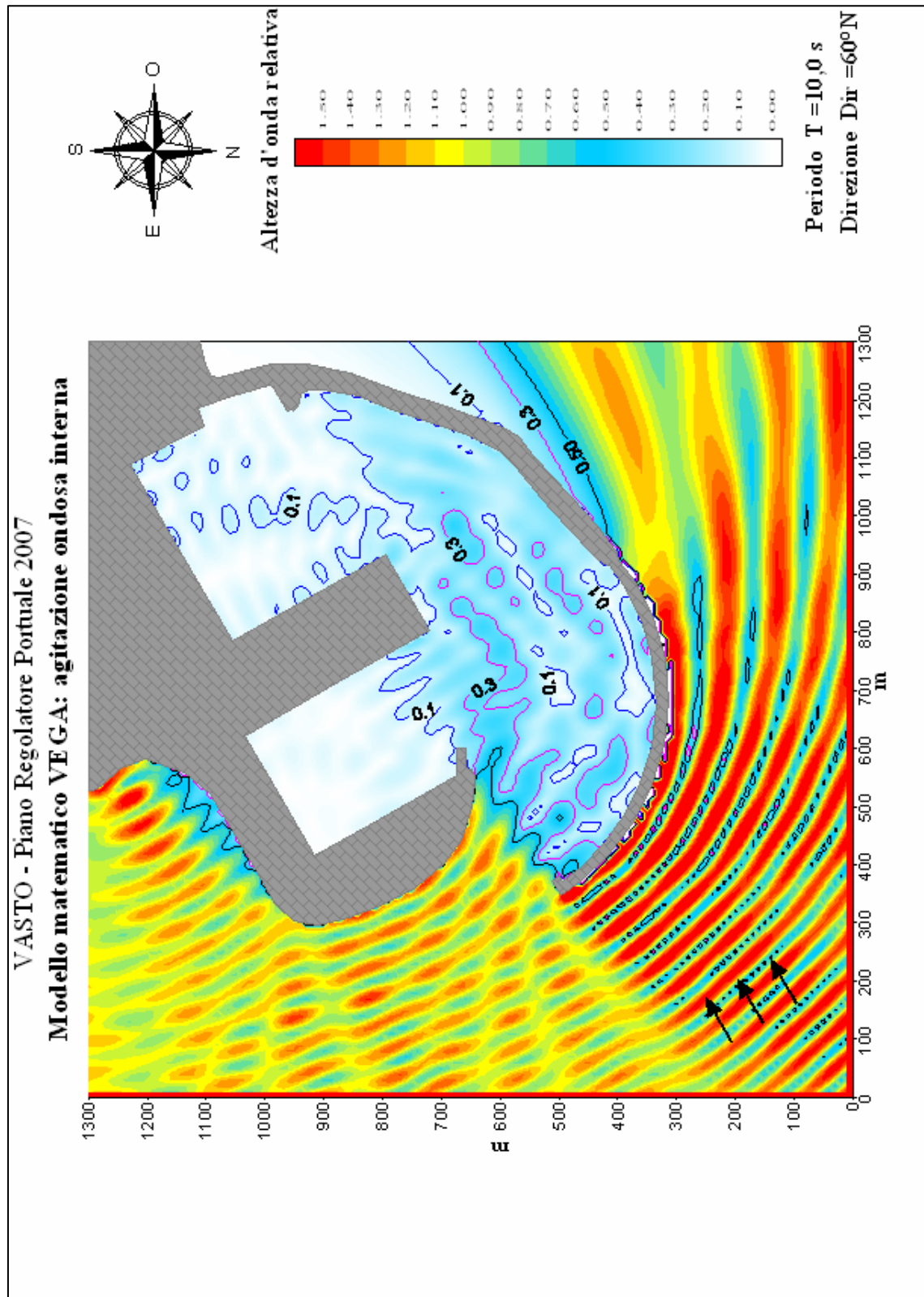


Figura 3.60 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

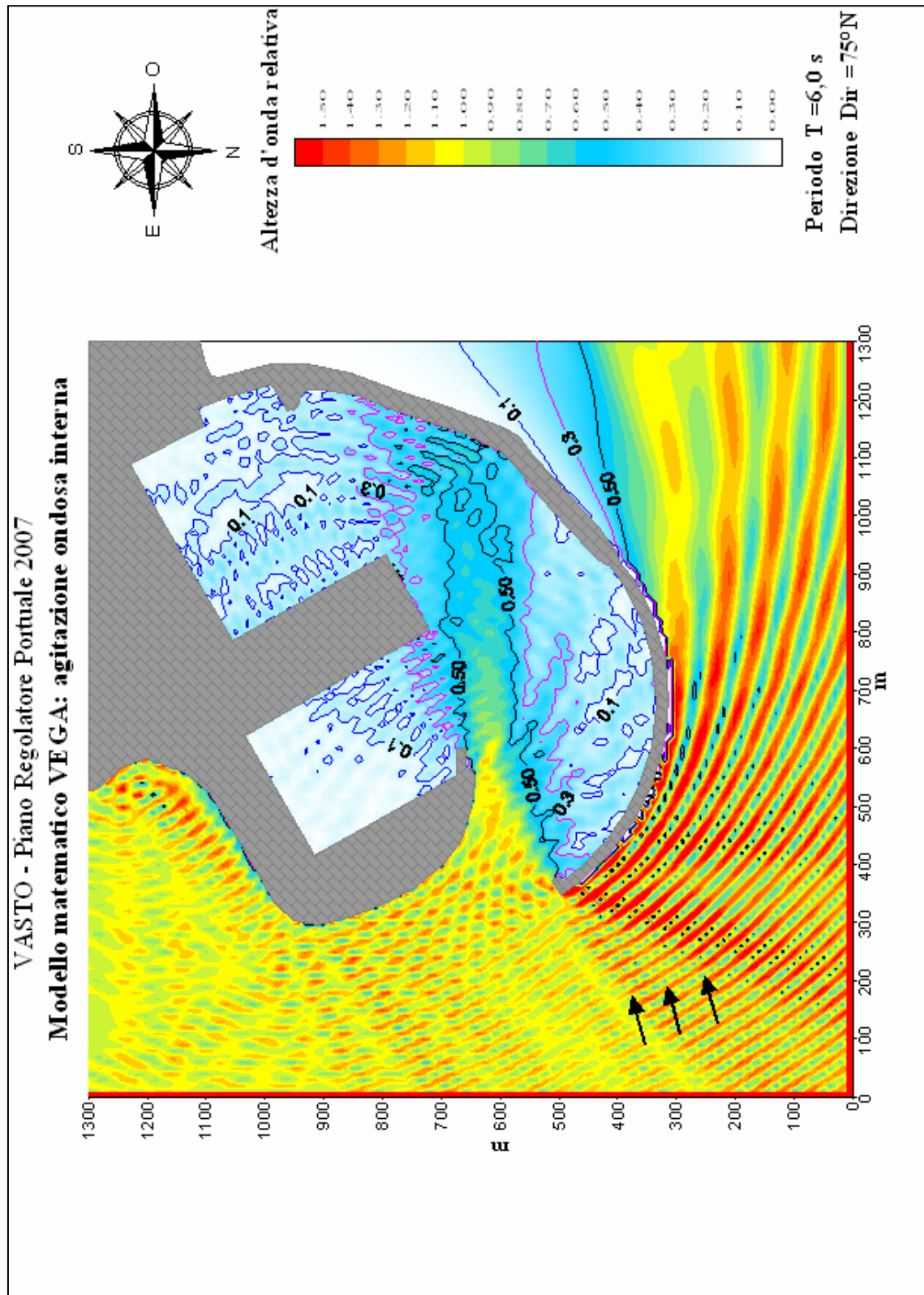


Figura 3.61 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

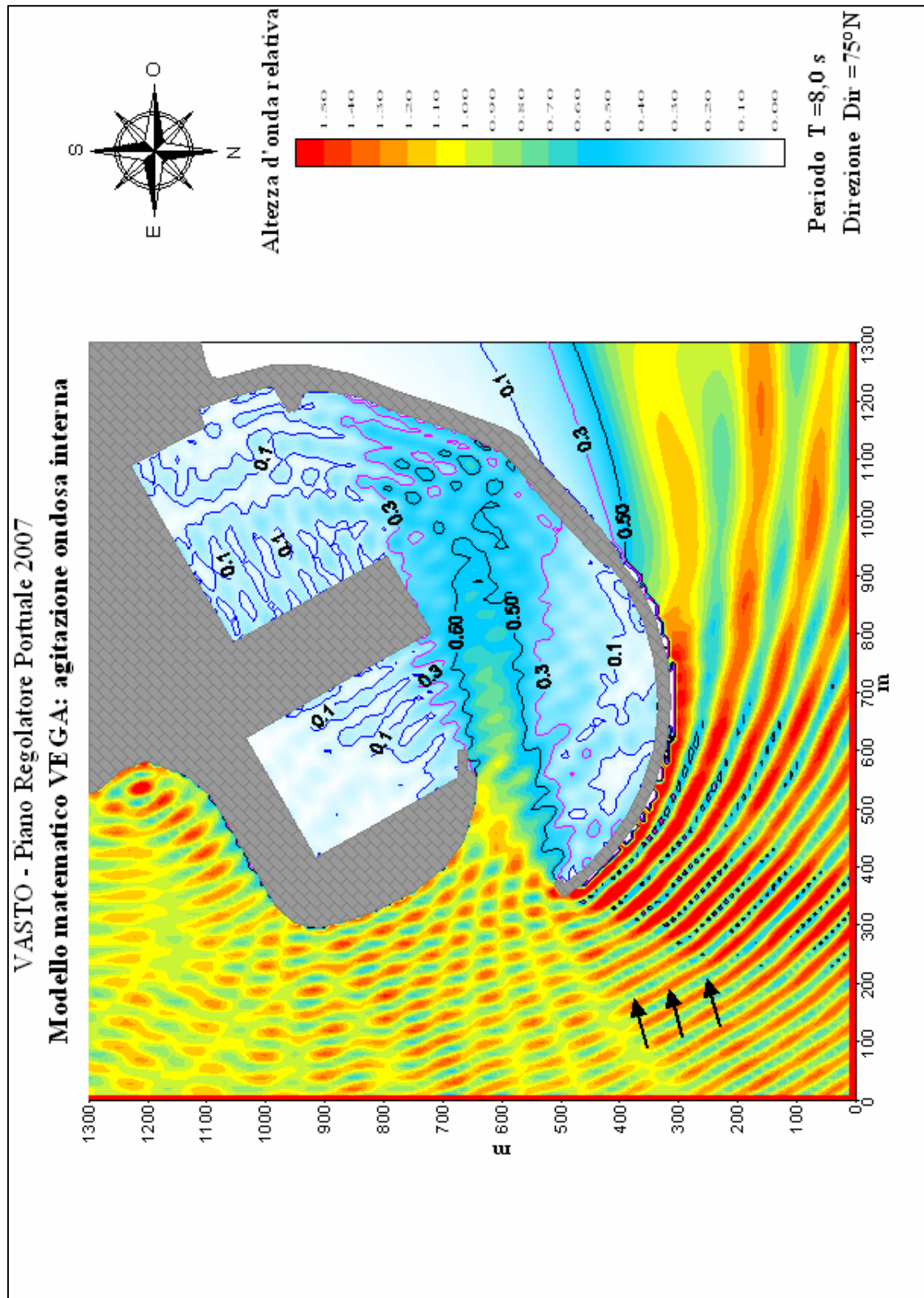


Figura 3.62 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

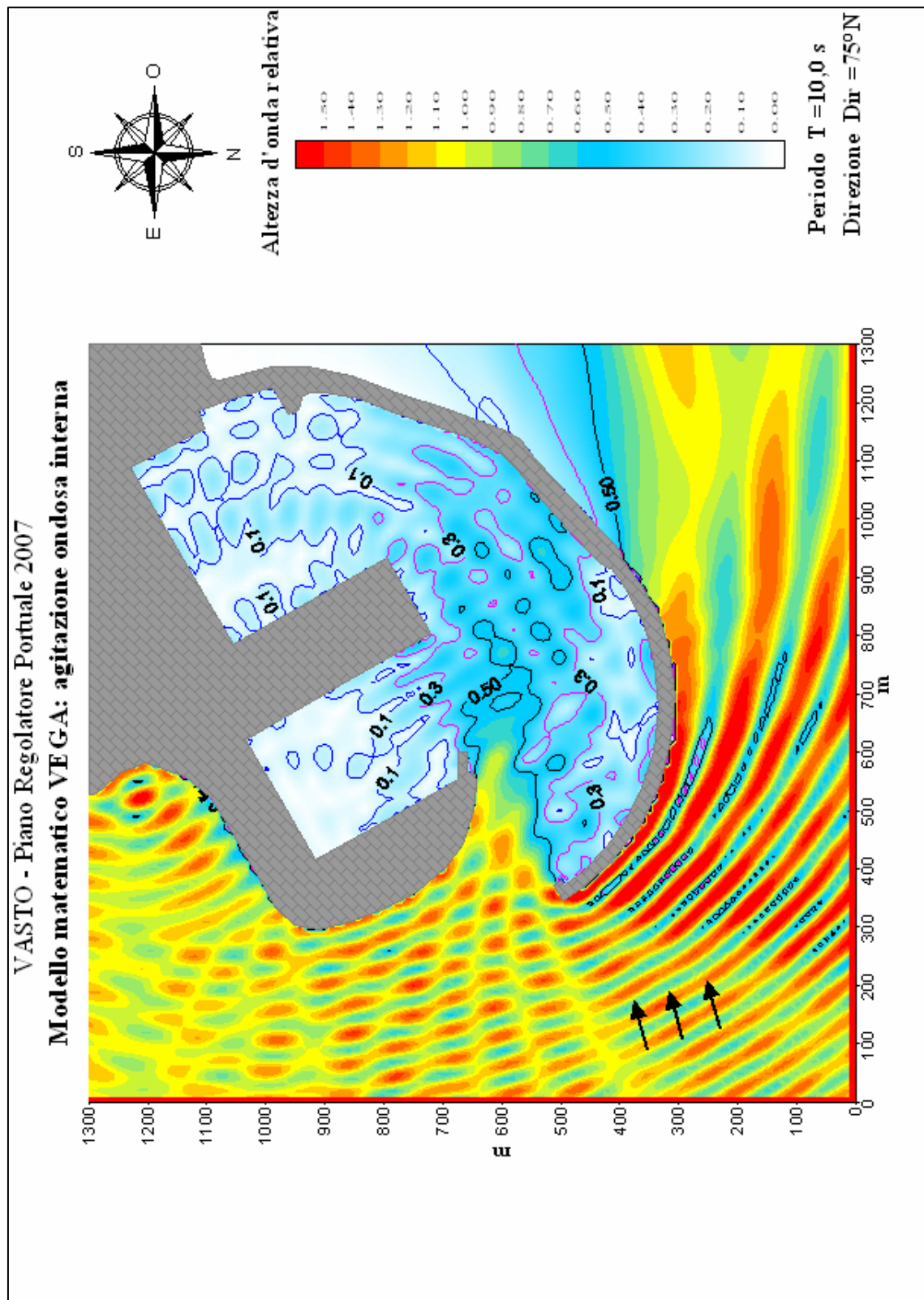


Figura 3.63 – Soluzione PRP 2007: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

4 Analisi dei risultati

Dall'analisi dei risultati, ottenuti dall'applicazione del modello VEGA per le diverse configurazioni di PRP ipotizzate, 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 causate dalle opere che costituiscono il bacino stesso.

Nel modello numerico tutte le opere, che costituiscono il contorno bagnato delle diverse configurazioni portuali simulate, sono state riprodotte utilizzando opportuni coefficienti di riflessione.

Esaminando in dettaglio i risultati ottenuti dalle diverse simulazioni si nota che la configurazione attuale risulta esposta in modo significativo alla totalità degli stati di mare considerati con un elevato grado di agitazione dello specchio portuale interno ed evidenti effetti di risonanza che possono rendere problematico, come peraltro noto, anche lo stazionamento all'ormeggio delle imbarcazioni.

In tutte le nuove configurazioni di progetto, ipotizzate per la redazione del nuovo PRP di Vasto, si riscontra il buon livello di attenuazione del moto ondoso relativo agli stati di mare provenienti da 35°N (bora).

Gli altri stati di mare simulati (60°N; 75°N), rappresentativi degli eventi provenienti dal settore di grecale-ponente, mostrano invece come tutte le configurazioni ipotizzate, fatta eccezione per la configurazione C e per la configurazione di PRP 2007, risultino comunque troppo esposte agli eventi di moto ondoso, con livelli di agitazione all'interno del bacino che talvolta non garantiscono le dovute condizioni di sicurezza, sia in fase di ormeggio sia in fase di manovra. Differentemente, come anticipato e mostrato nelle figure riportate nel capitolo precedente, i risultati delle simulazioni condotte per le configurazioni portuali C e di PRP 2007 hanno permesso di valutare, in modo oggettivo, l'ottimo grado di attenuazione del moto ondoso residuo con particolare riferimento alle destinazioni d'uso delle diverse darsene di ormeggio e aree di manovra.

In conclusione, sulla base delle simulazioni effettuate, dei distinti obiettivi prefissati e sulla scorta dei risultati degli studi di dettaglio condotti, la configurazione portuale selezionata come più "sostenibile" risulta essere quella di PRP 2007.

Per la soluzione scelta, inoltre, al fine di fornire ulteriori ed importanti indicazioni sulle fasi di esecuzione delle nuove opere portuali, sono state simulate le fasi di esecuzione ipotizzate nel presente Piano (per ulteriori dettagli vedi elaborati grafici

allegati al presente progetto) che partendo dall'attuale configurazione planimetrica del porto di Vasto giungono alla realizzazione della nuova configurazione di PRP 2007.

Di seguito (Figura 4.1÷Figura 4.3) vengono riportate le diverse configurazioni planimetriche di input utilizzate per il modello VEGA e rappresentative delle possibili fasi di esecuzione delle nuove opere in progetto.

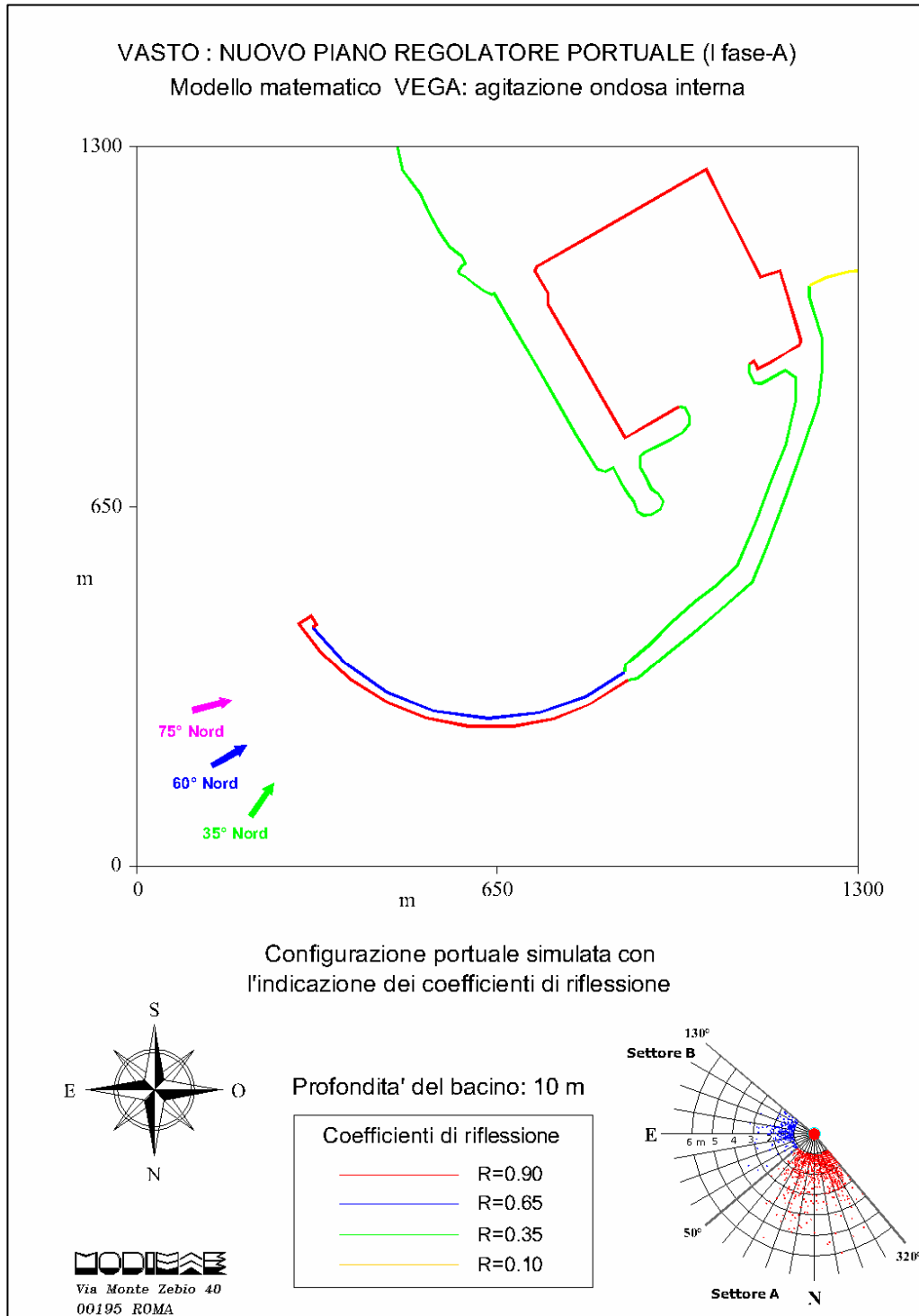


Figura 4.1: conf. di PRP 2007- Fase 1A simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m).

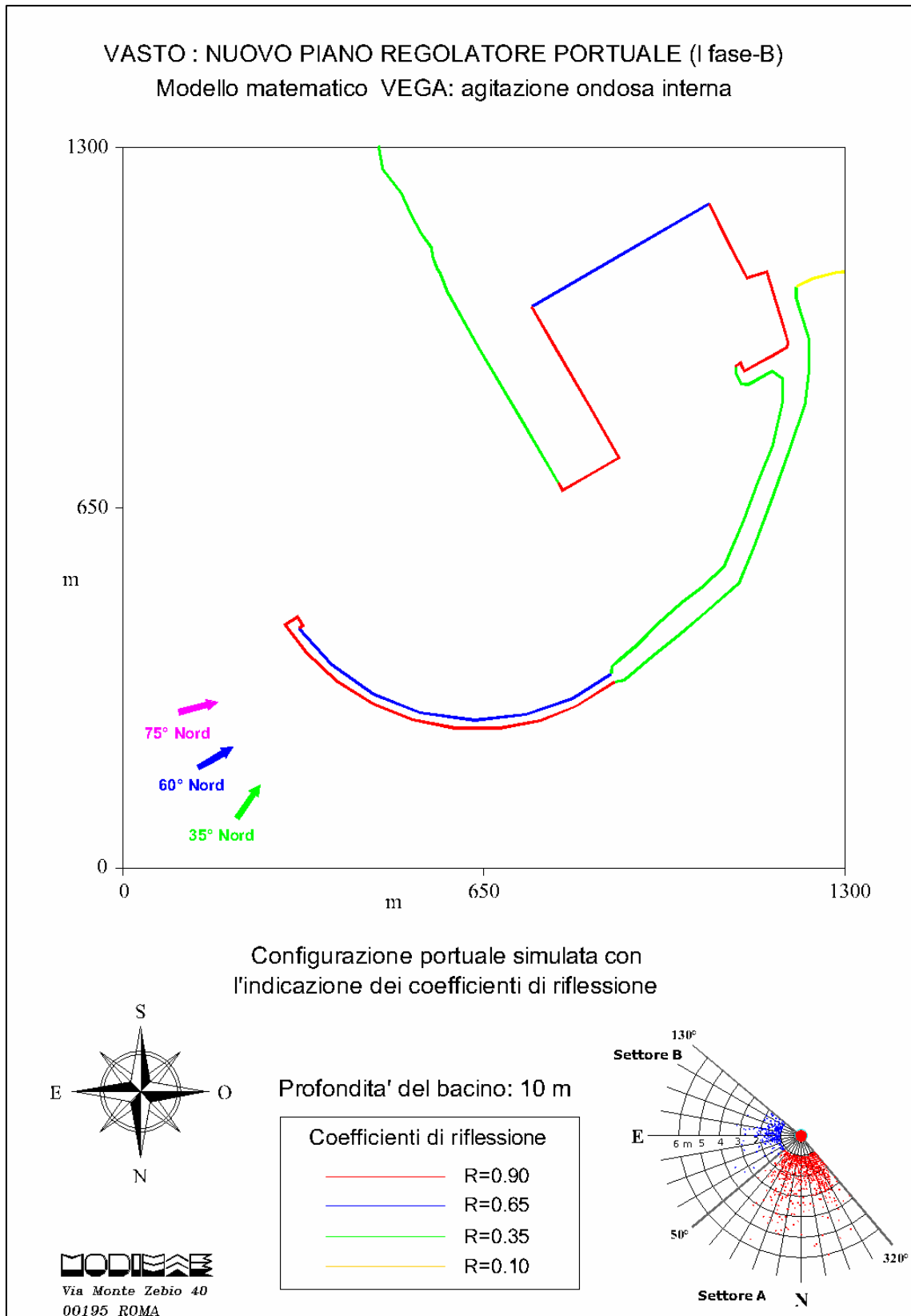


Figura 4.2: conf. di PRP 2007- Fase 1B simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m).

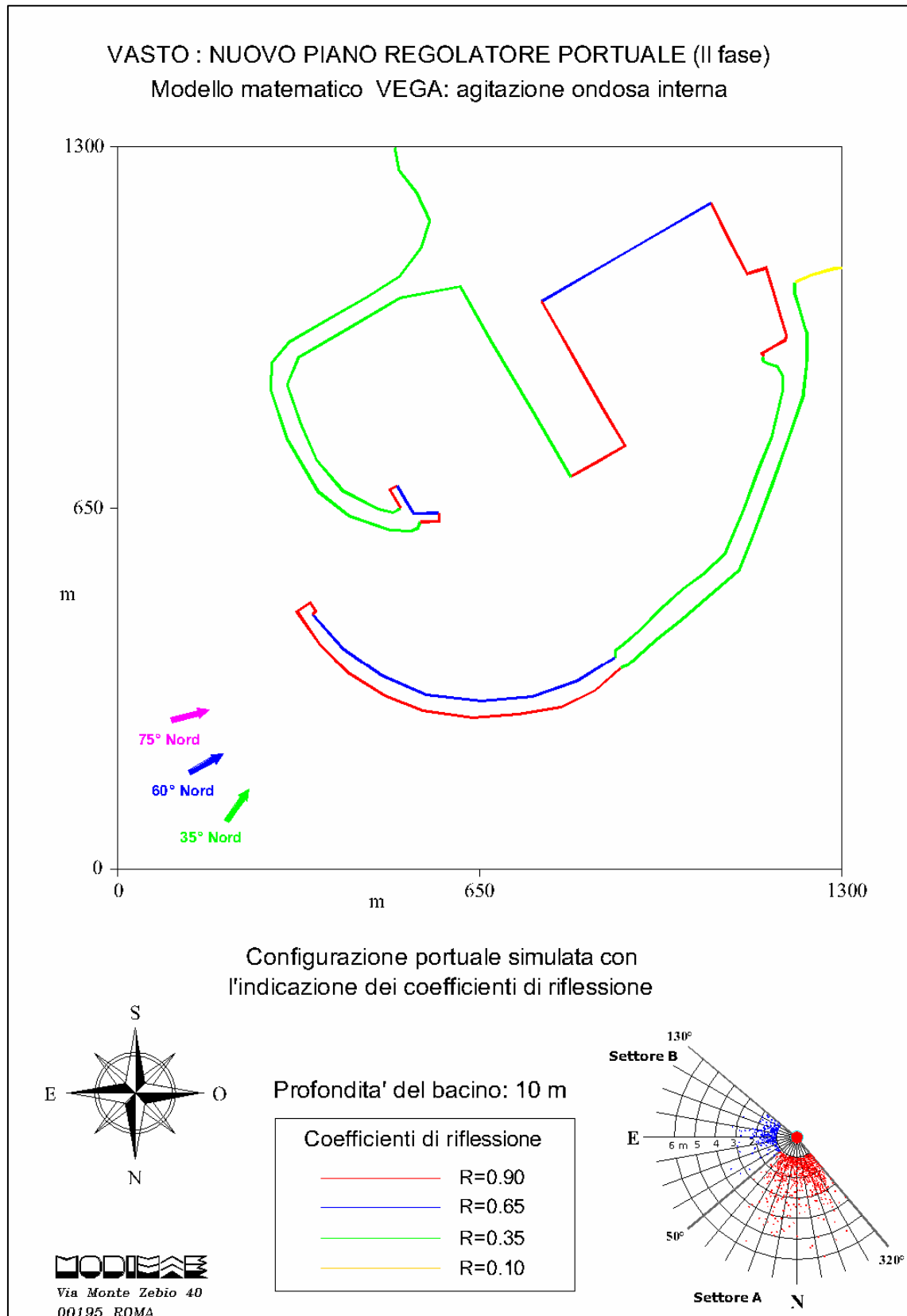


Figura 4.3: conf. di PRP 2007- Fase 2 simulata e coeff. di riflessioni adottati (prof. del bacino 10m).

I risultati delle simulazioni effettuate per le tre fasi di esecuzione del nuovo PRP 2007, condotte con le stesse ipotesi di calcolo e condizioni di moto ondoso utilizzate per le simulazioni precedenti ed ampiamente descritte nel capitolo secondo, vengono riportati nelle figure seguenti.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si evince che risulta comunque confermata, ai fini dell'agitazione ondosa portuale, la necessità di realizzare prioritariamente il prolungamento del molo di sopraflutto. Per quanto riguarda la resecazione dell'attuale tratto terminale del molo di sottoflutto e/o del Molo Martello, pur riscontrando un buon grado di attenuazione rispetto alla configurazione portuale attuale, si consiglia di approfondire ulteriormente le indagini sulle problematiche di agitazione ondosa portuale nelle successive fasi di progettazione, al fine di ottimizzare le varie sub-fasi di demolizione e riqualificazione dell'attuale molo di sottoflutto. Con la realizzazione della nuova diga di sottoflutto si raggiungono condizioni di attenuazione del moto ondoso residuo del tutto simili a quelle della configurazione finale del PRP 2007.

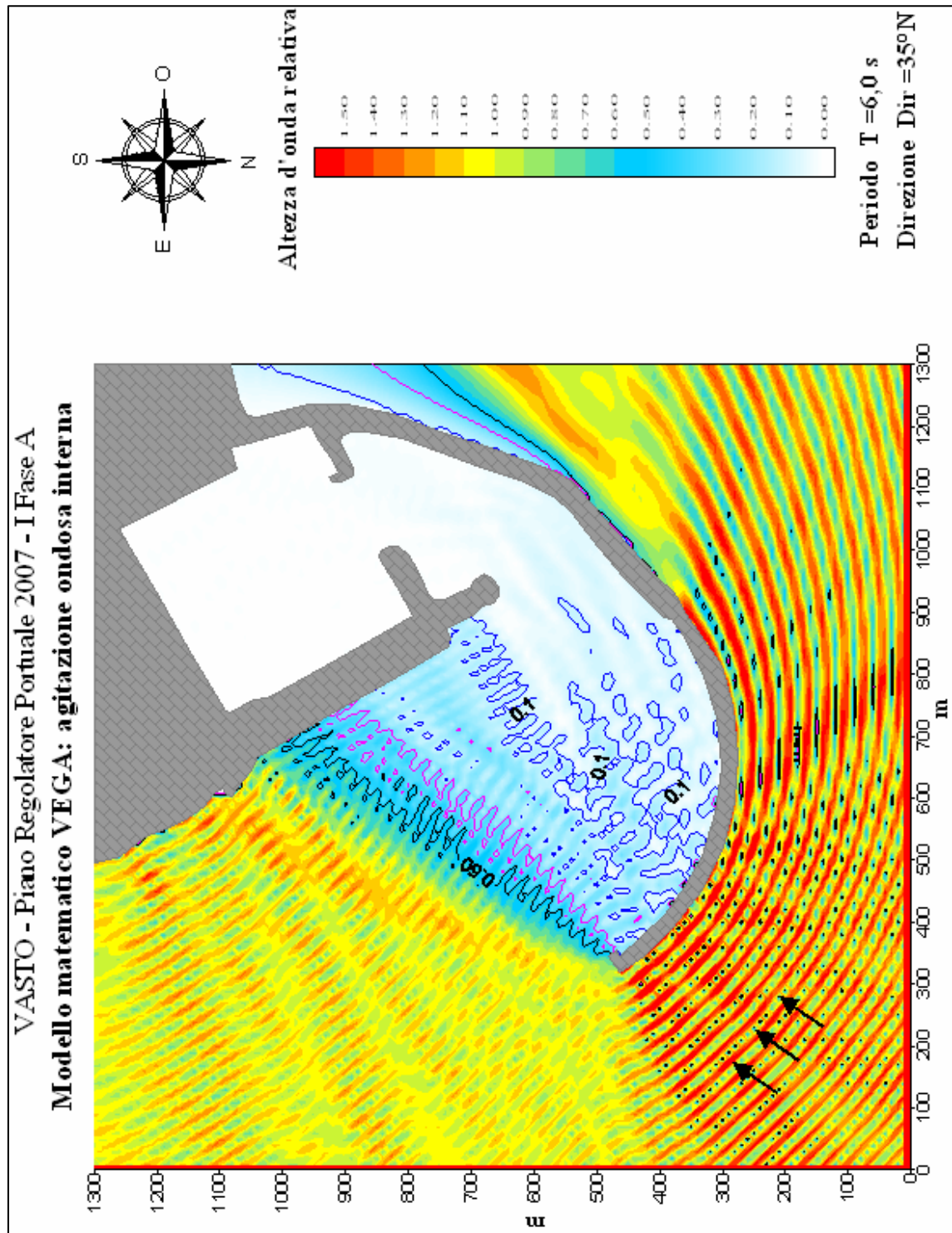


Figura 4.4 – Soluzione PRP 2007-FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

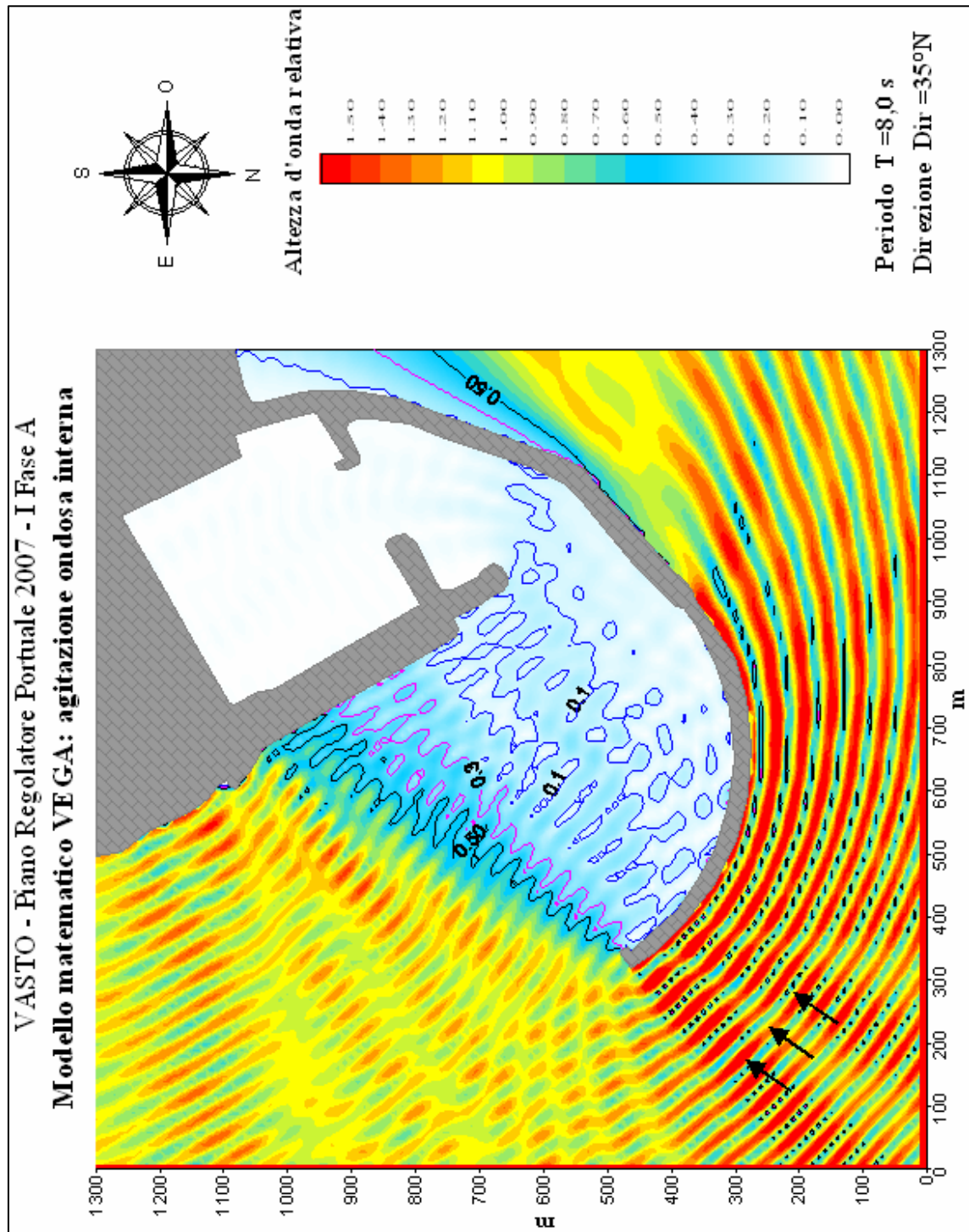


Figura 4.5 – Soluzione PRP 2007 FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

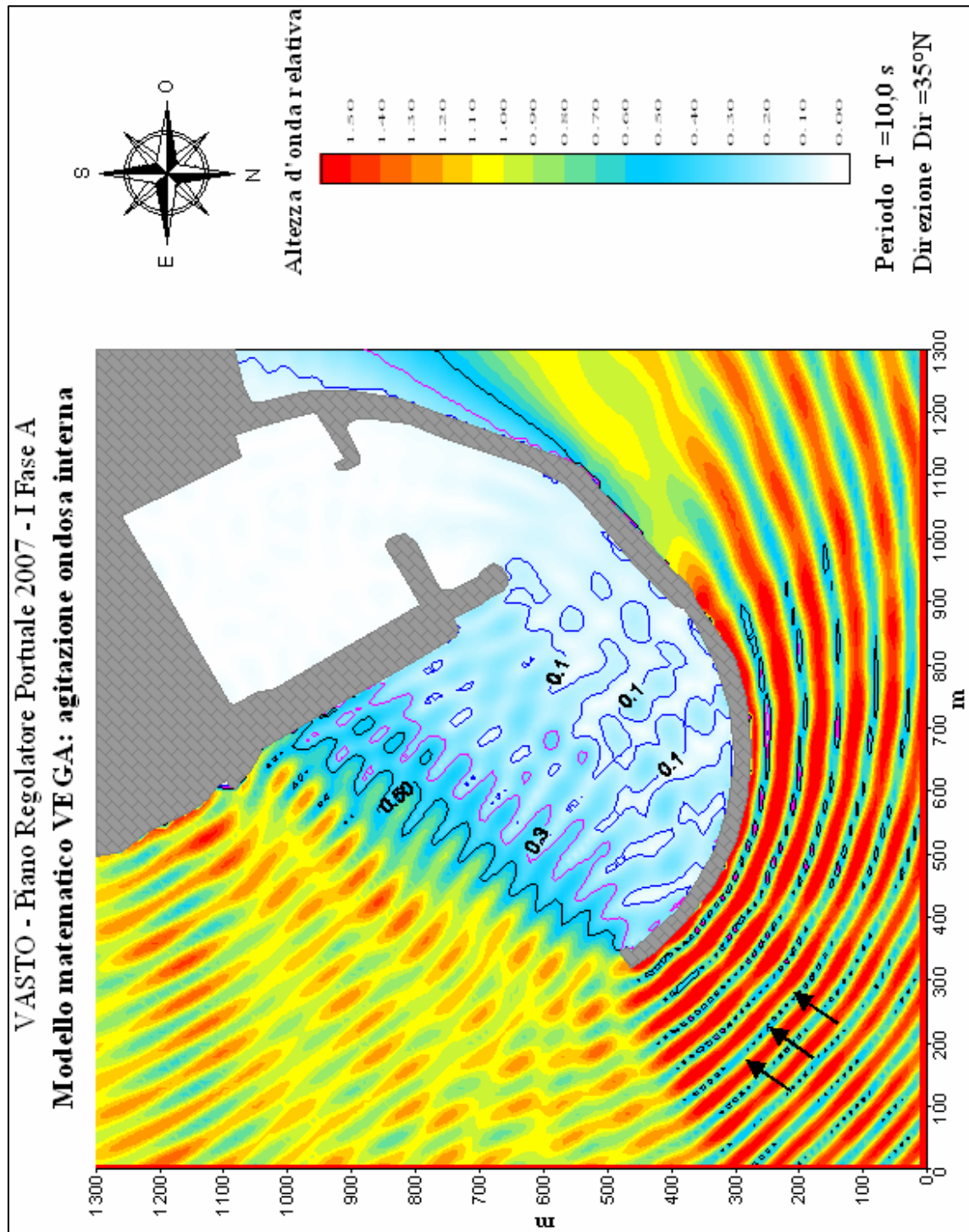


Figura 4.6 – Soluzione PRP 2007 FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 10 s.

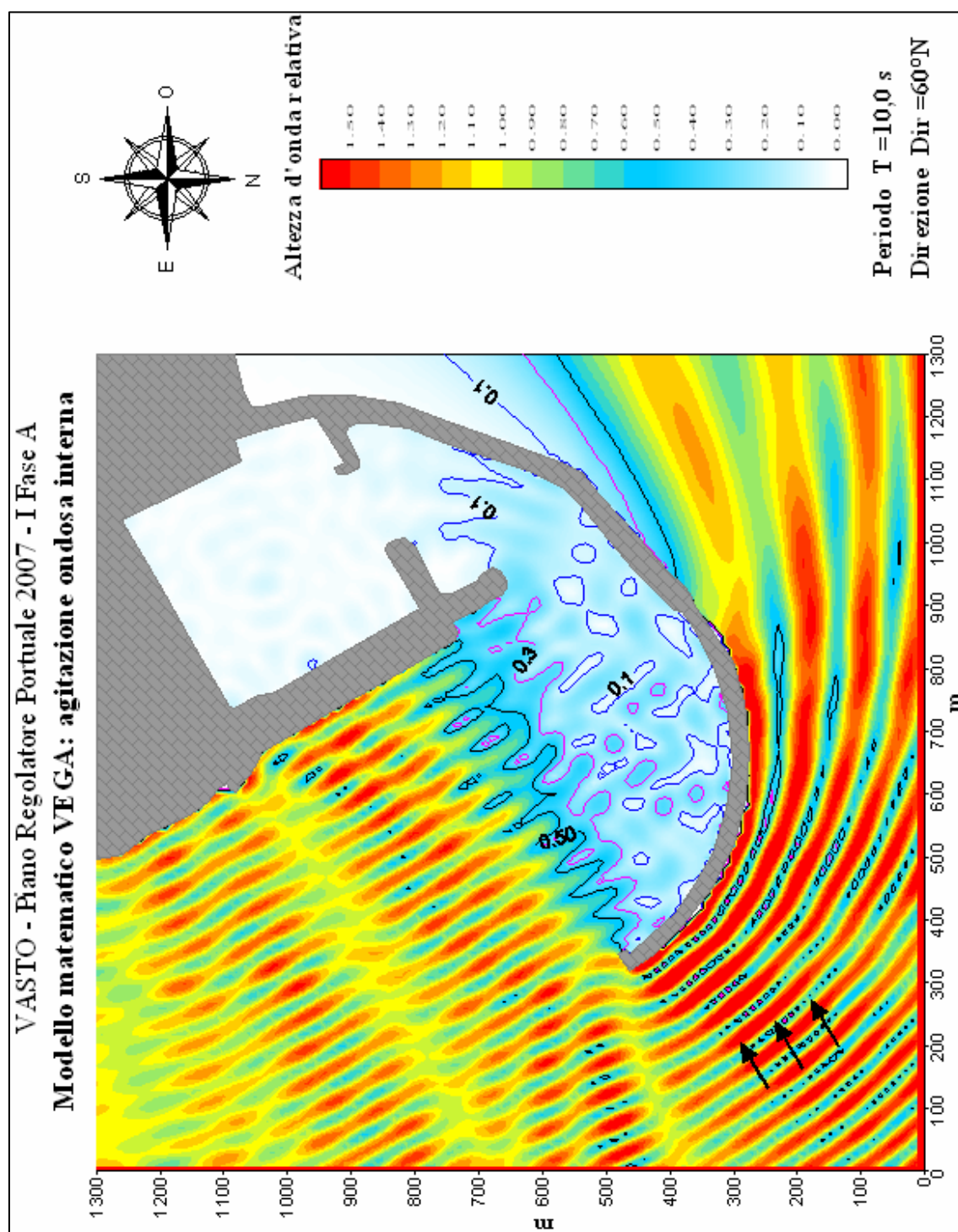


Figura 4.7 – Soluzione PRP 2007-FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

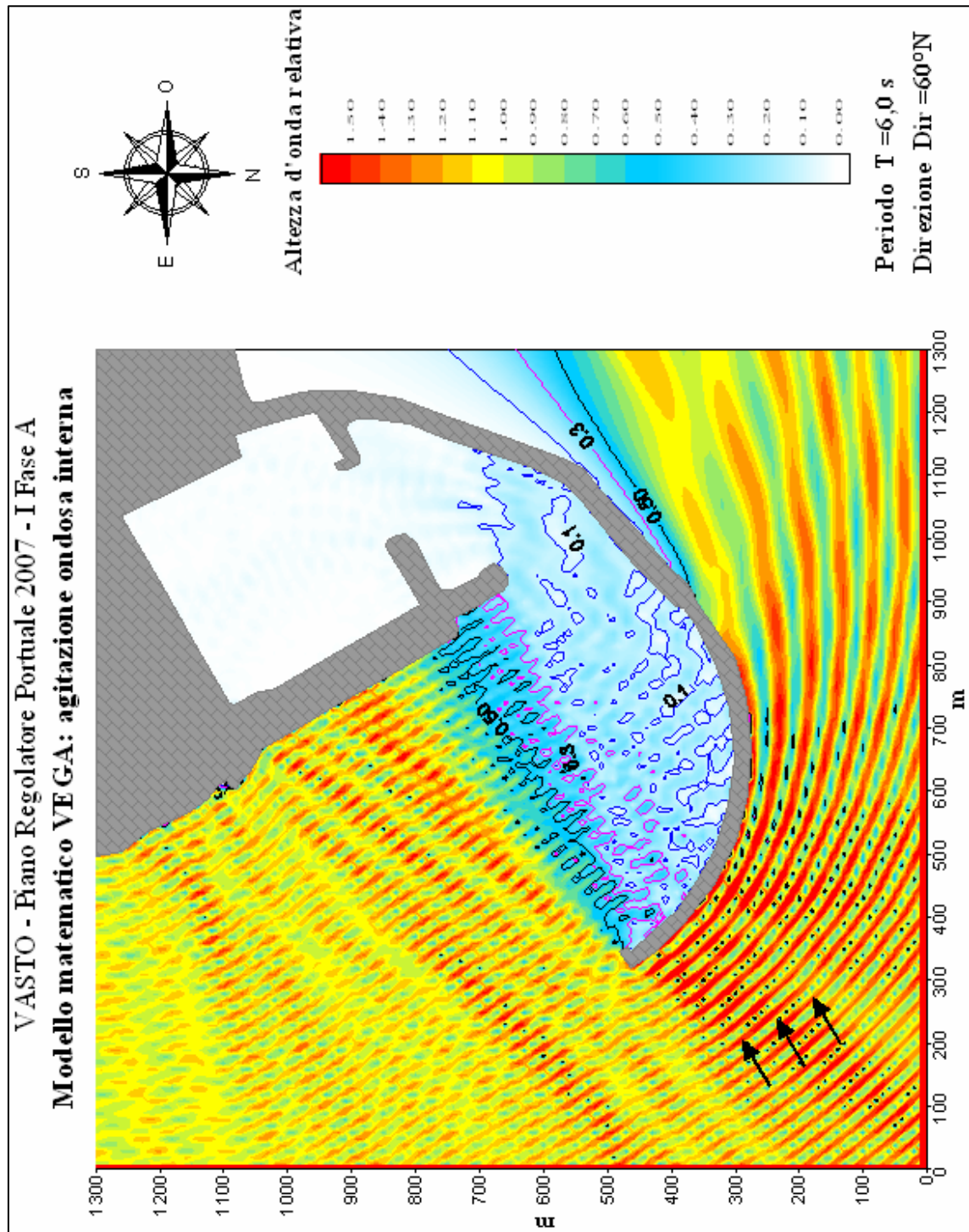


Figura 4.8 – Soluzione PRP 2007 FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

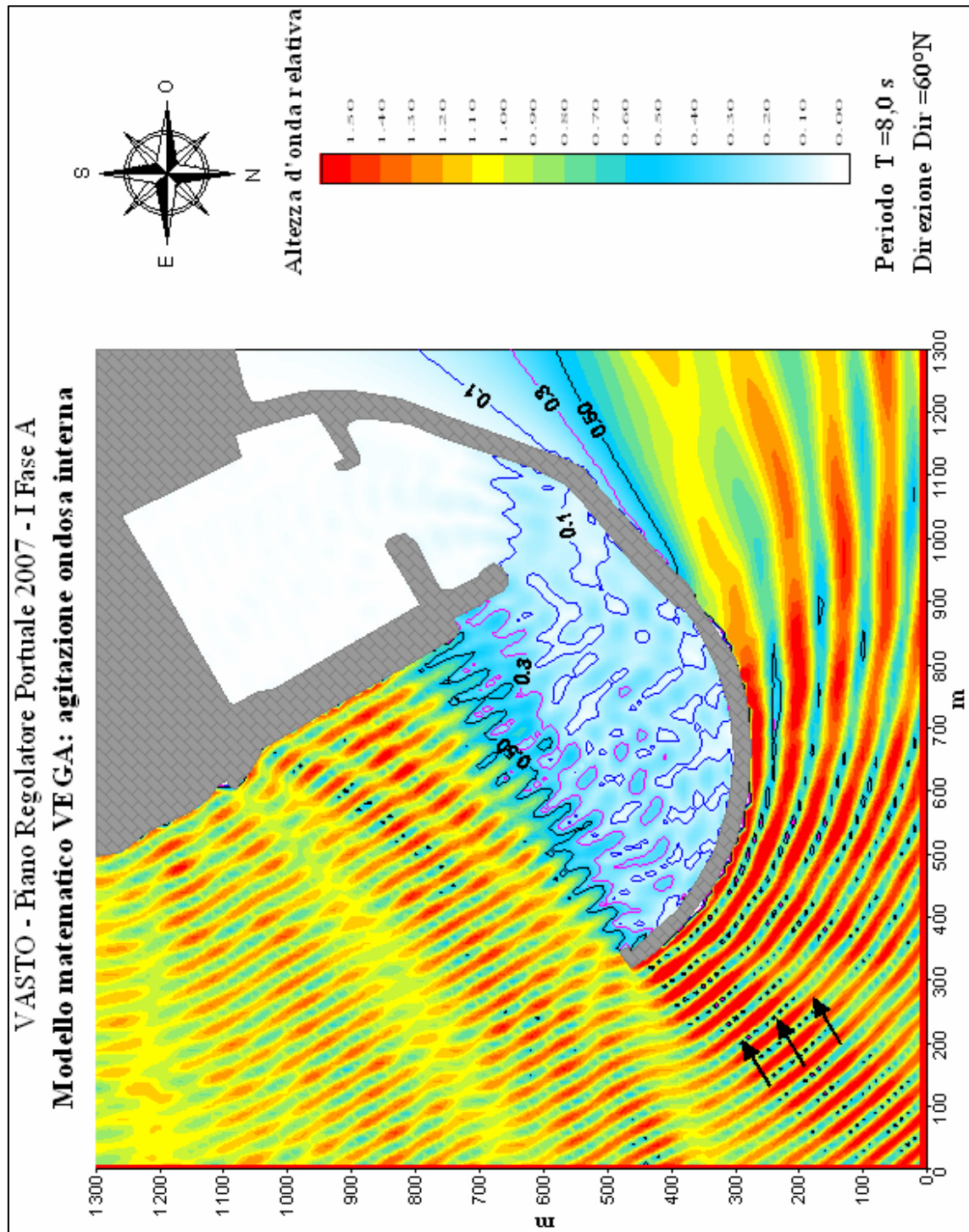


Figura 4.9 – Soluzione PRP 2007 FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

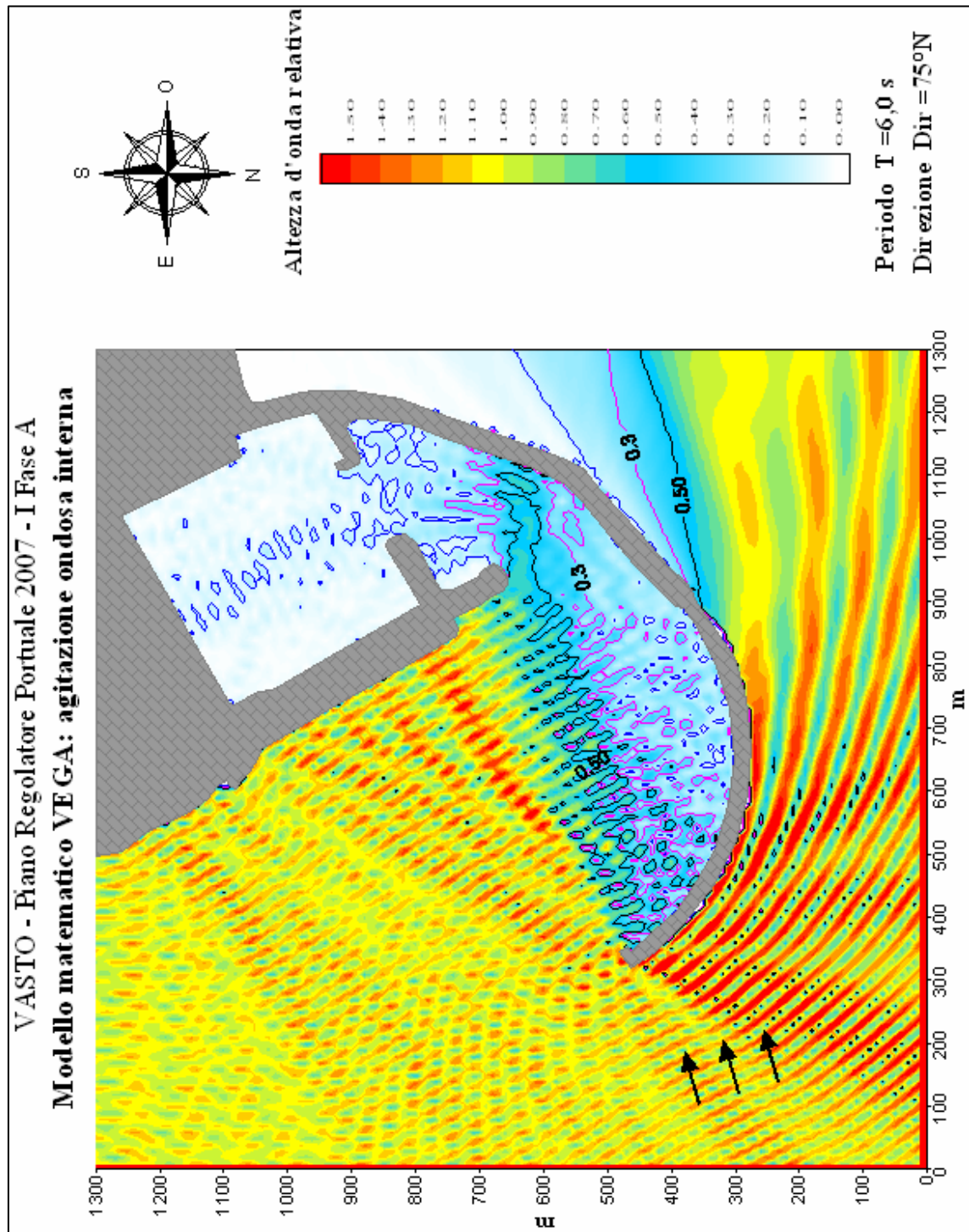


Figura 4.10 – Soluzione PRP 2007-FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

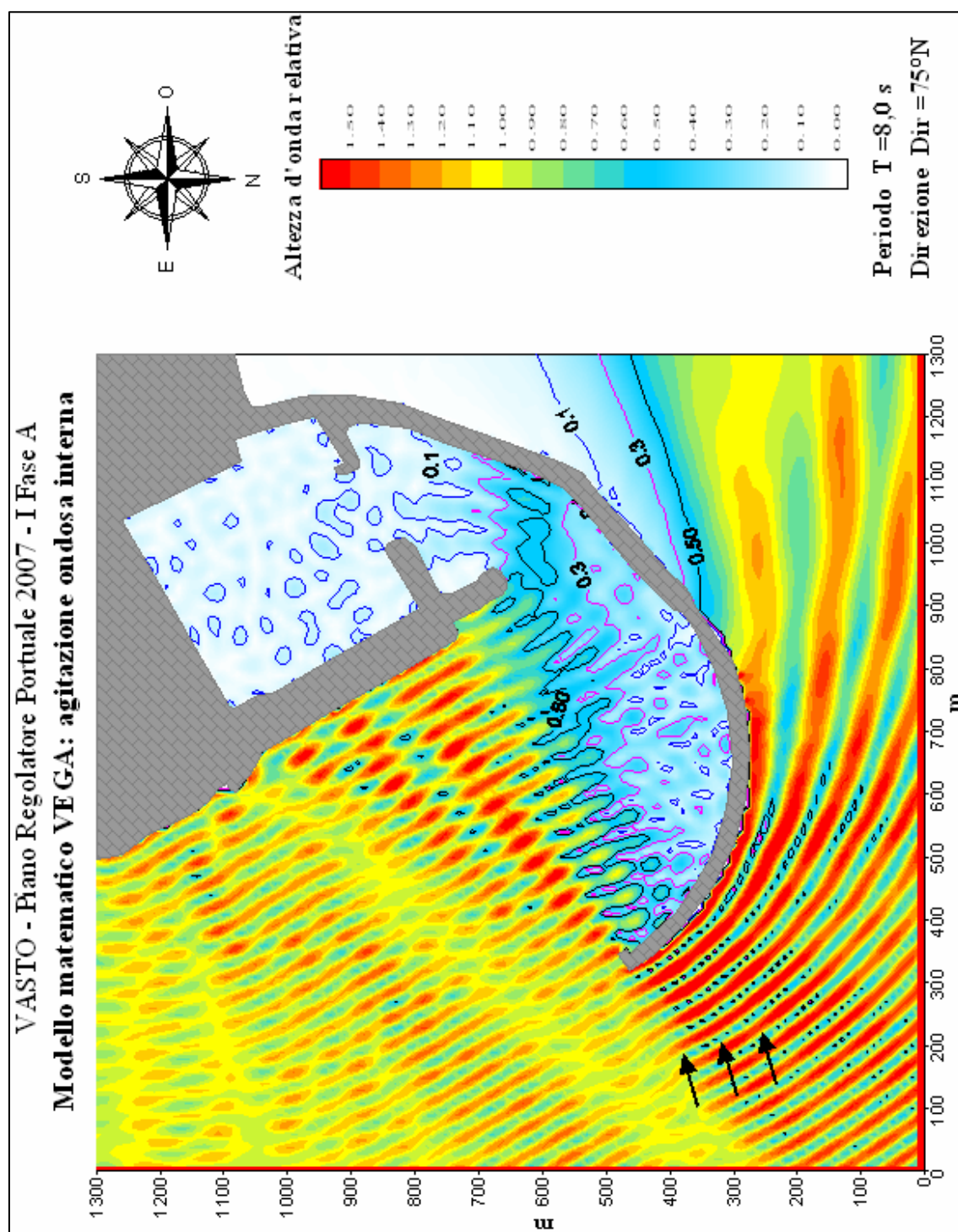


Figura 4.11 – Soluzione PRP 2007 FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

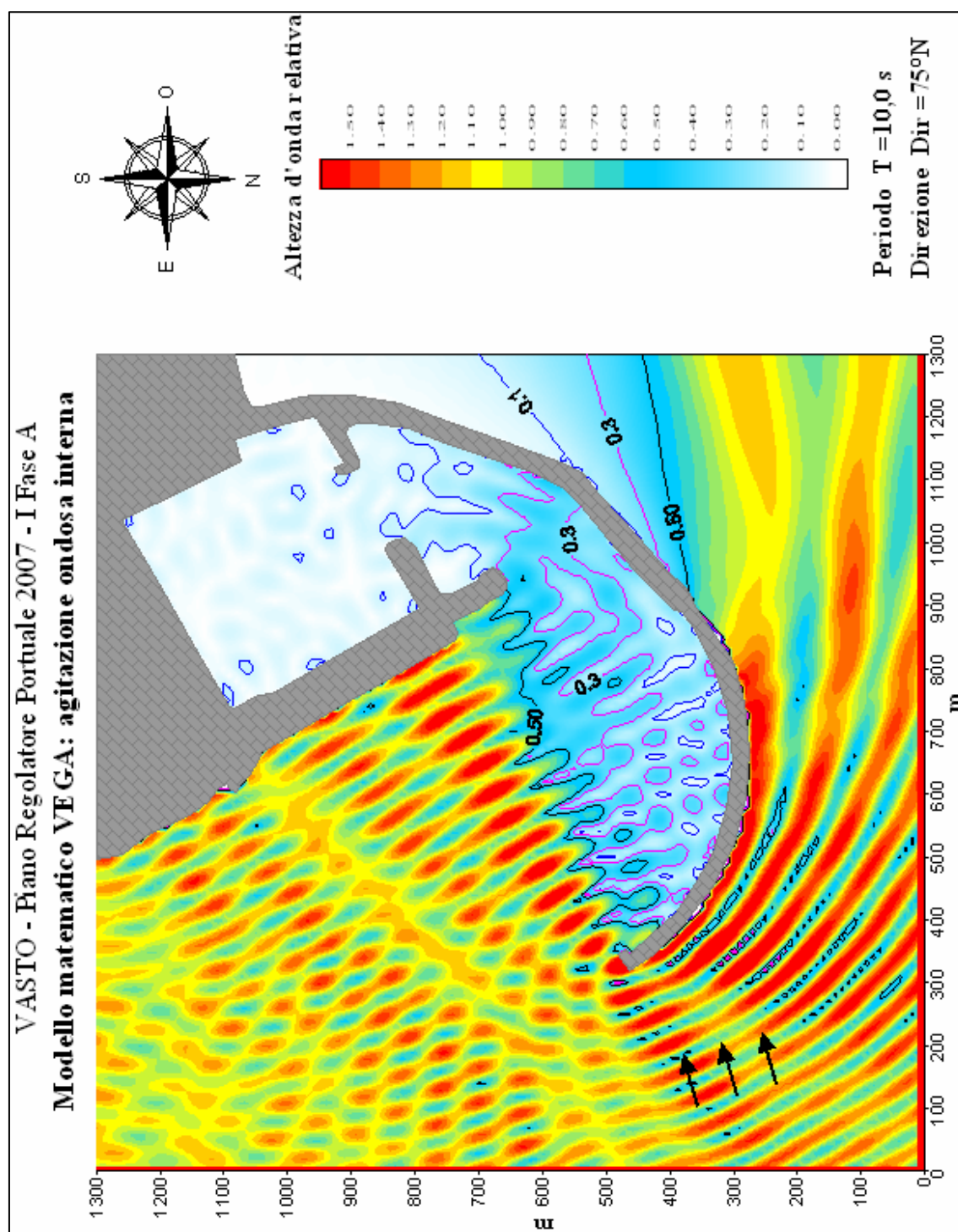


Figura 4.12 – Soluzione PRP 2007 FASE IA: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 75° N e periodo d'onda pari a 10 s.

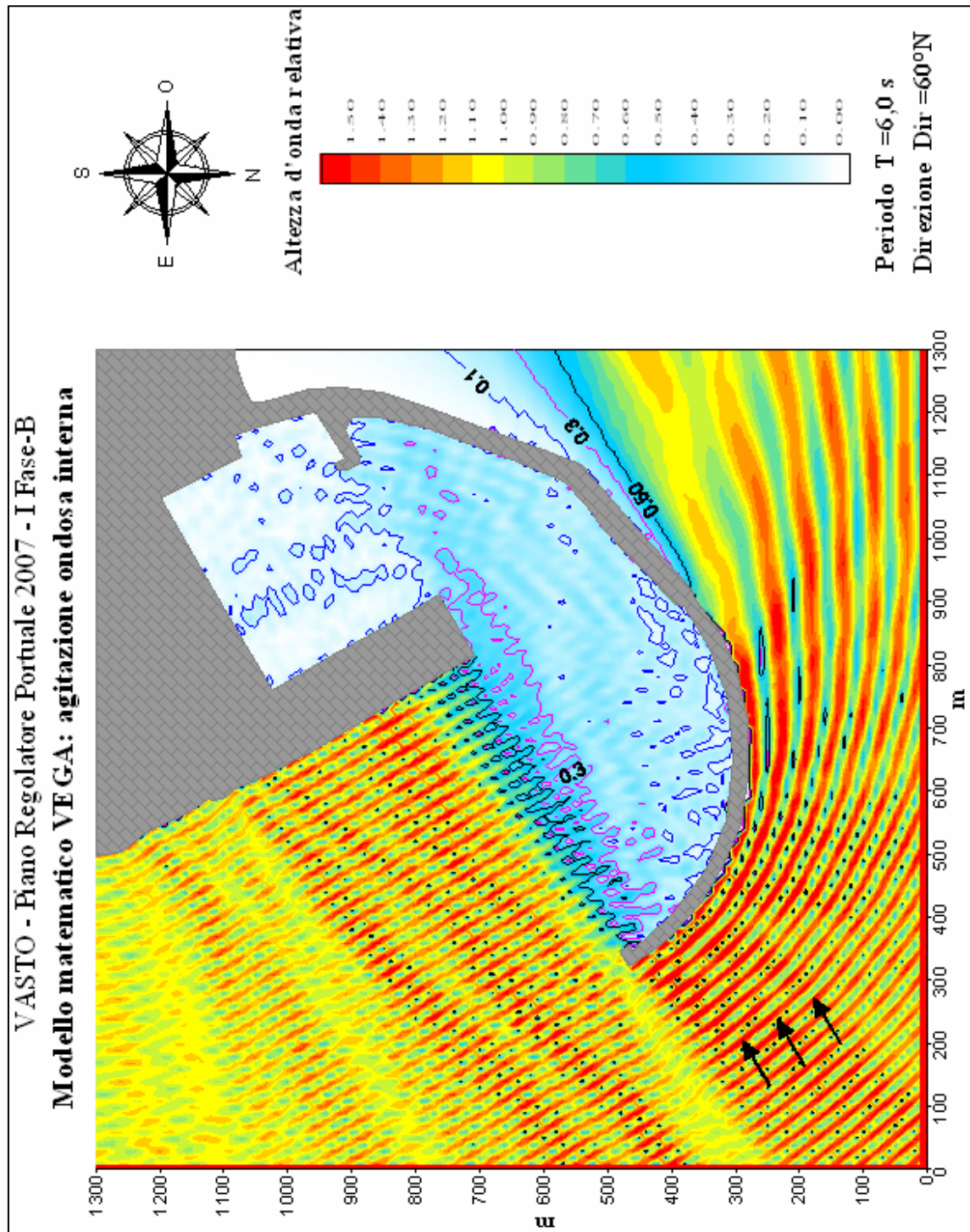


Figura 4.13 – Soluzione PRP 2007-FASE IB: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

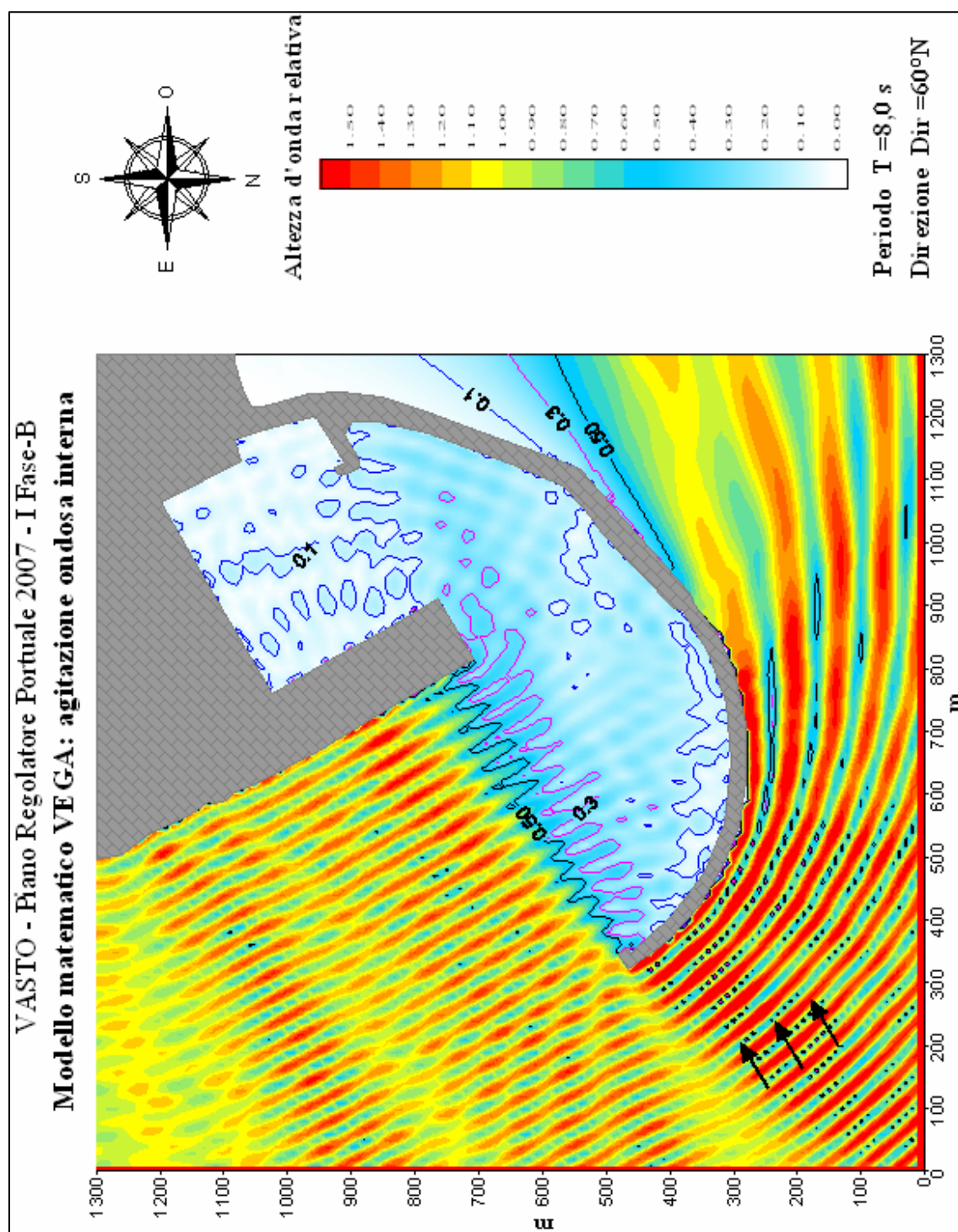


Figura 4.14 – Soluzione PRP 2007 FASE IB: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 8 s.

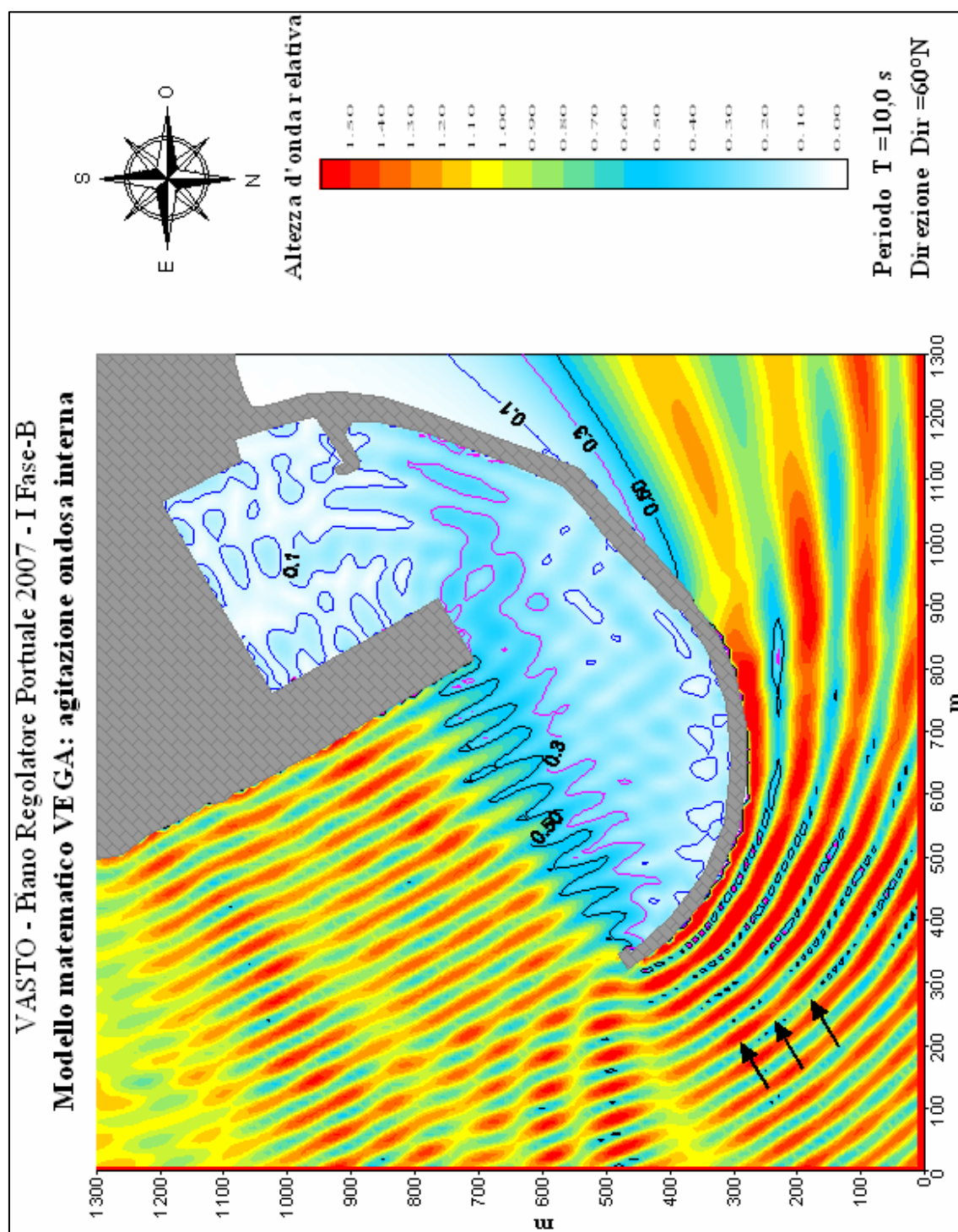


Figura 4.15 – Soluzione PRP 2007 FASE IB: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 10 s.

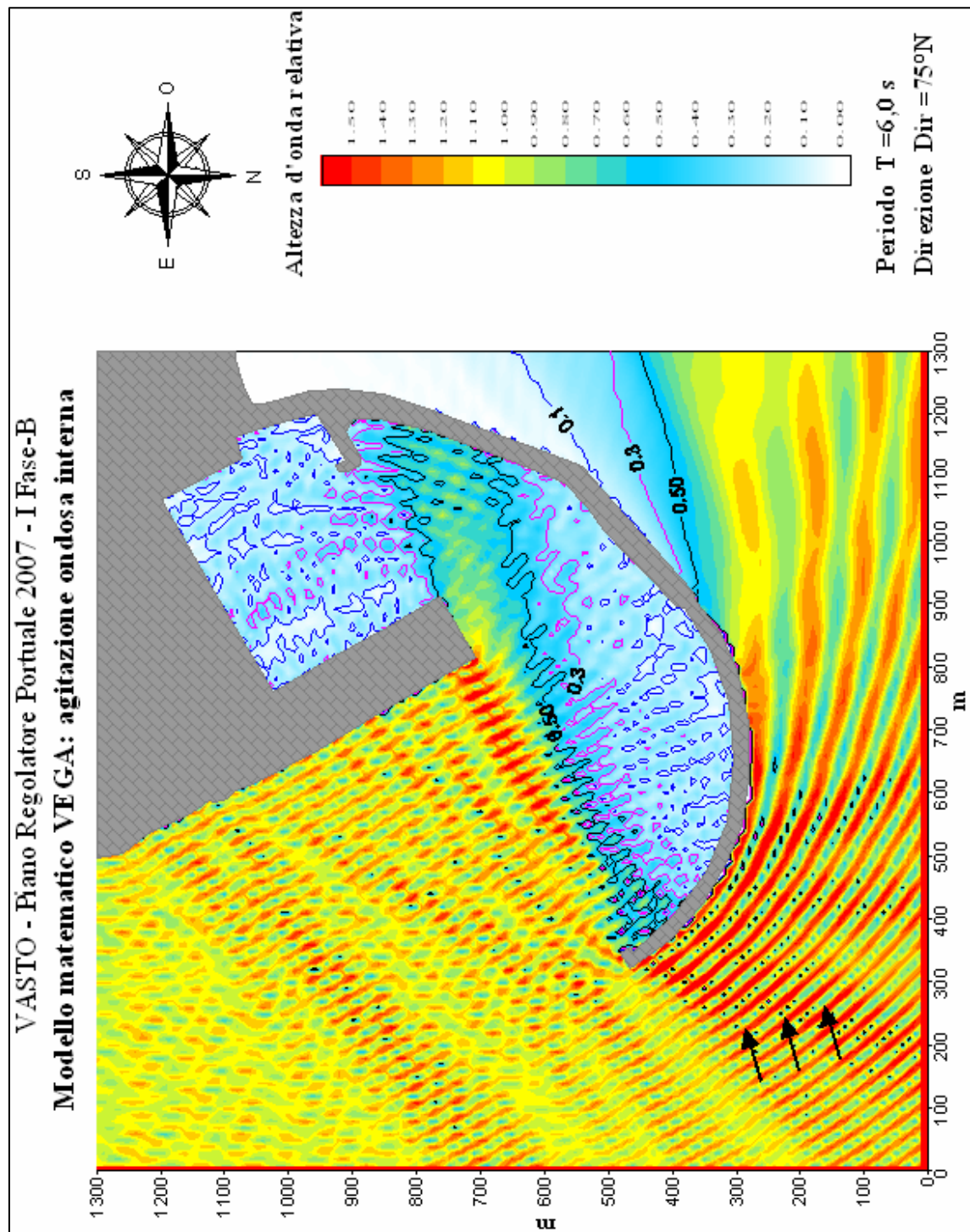


Figura 4.16 – Soluzione PRP 2007-FASE IB: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^{\circ} N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

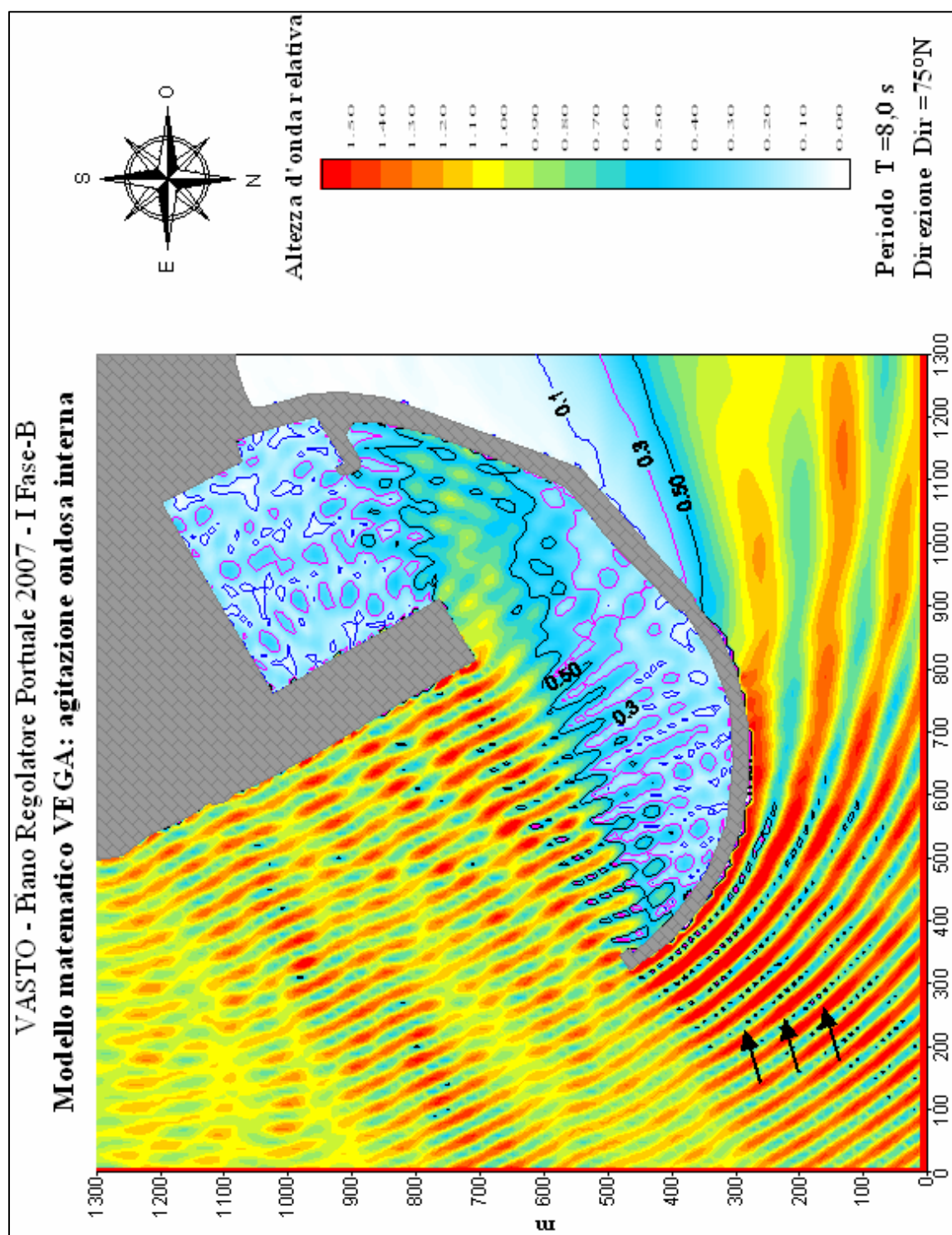


Figura 4.17 – Soluzione PRP 2007 FASE IB: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

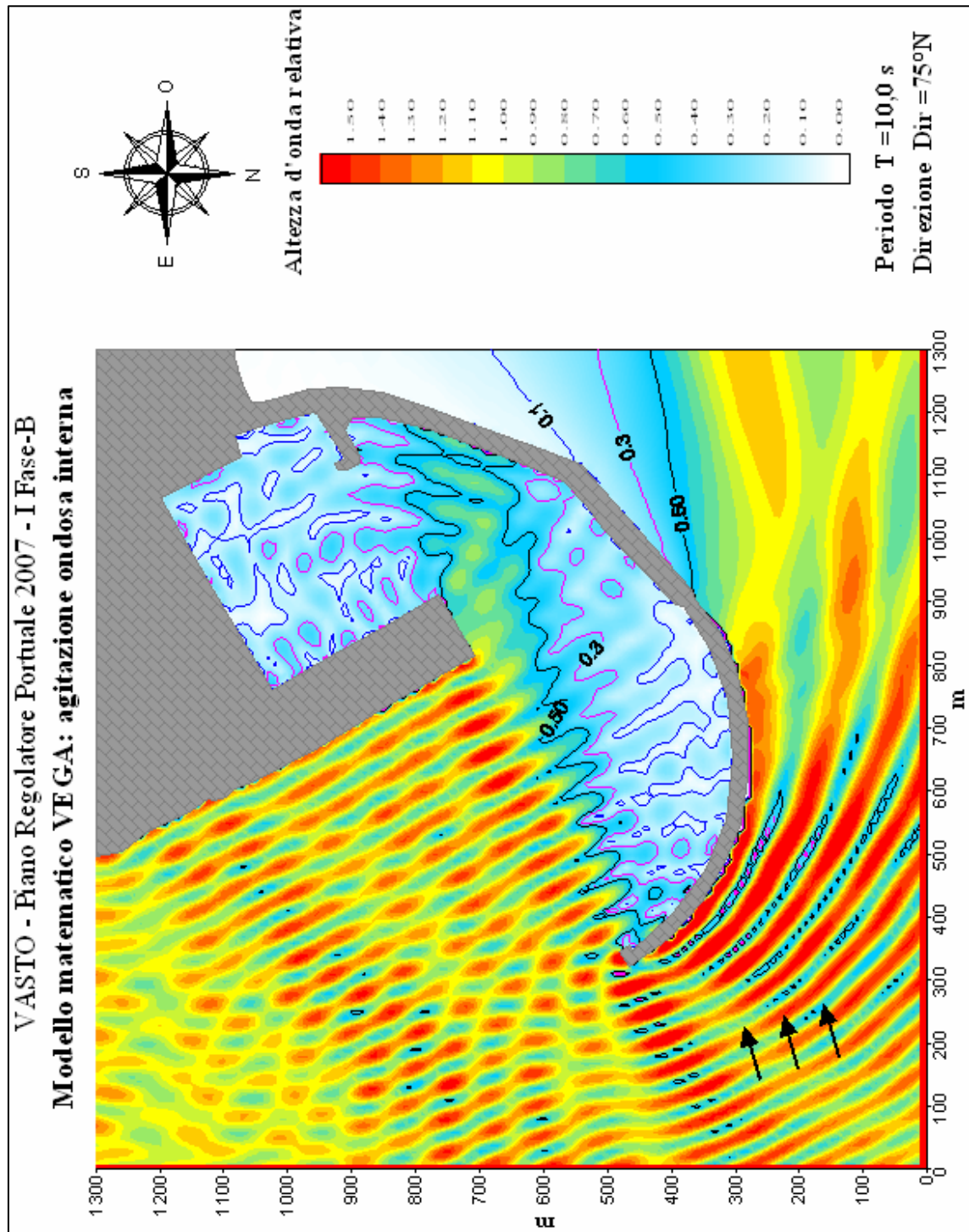


Figura 4.18 – Soluzione PRP 2007 FASE IB: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

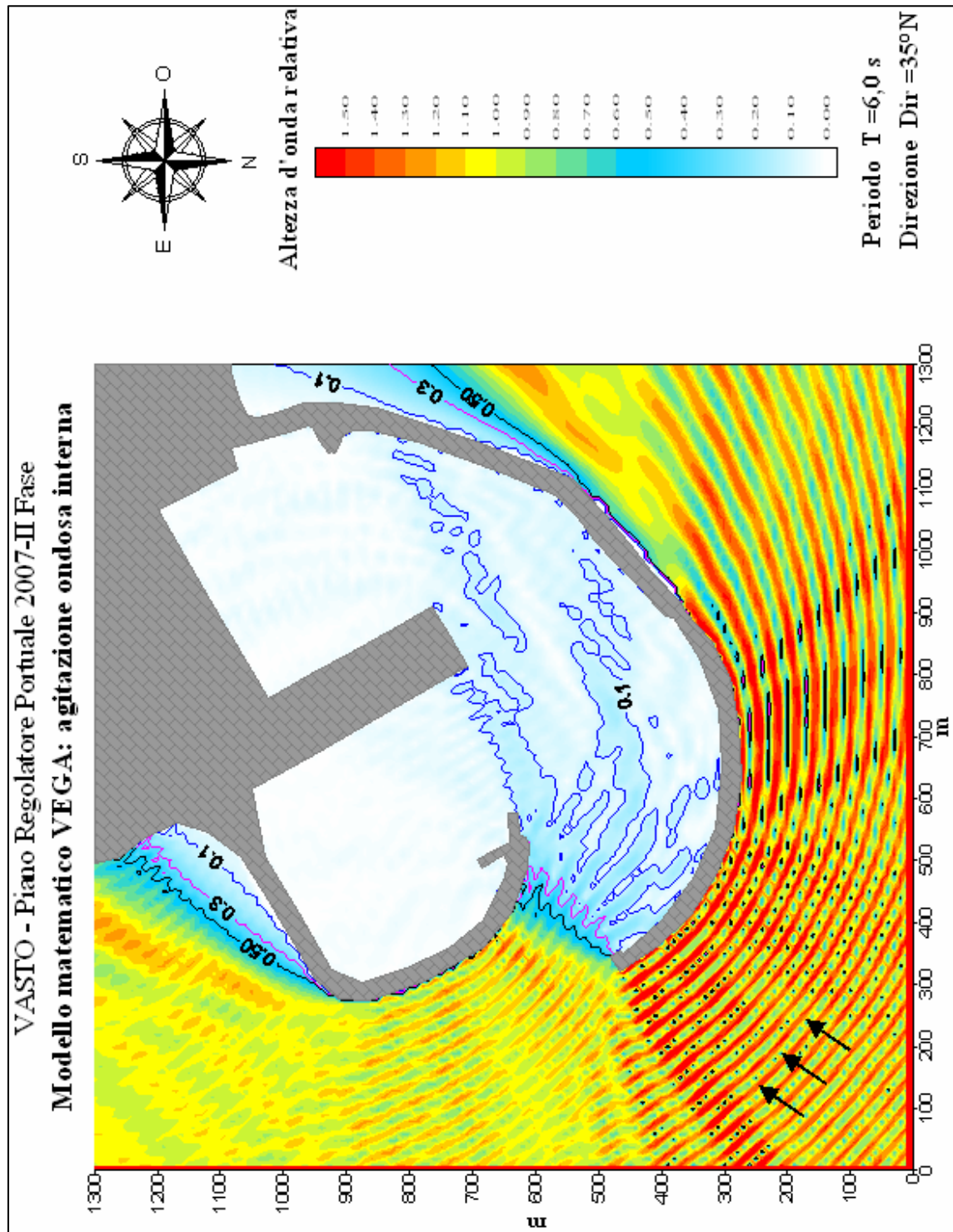


Figura 4.19 – Soluzione PRP 2007-FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 6 s.

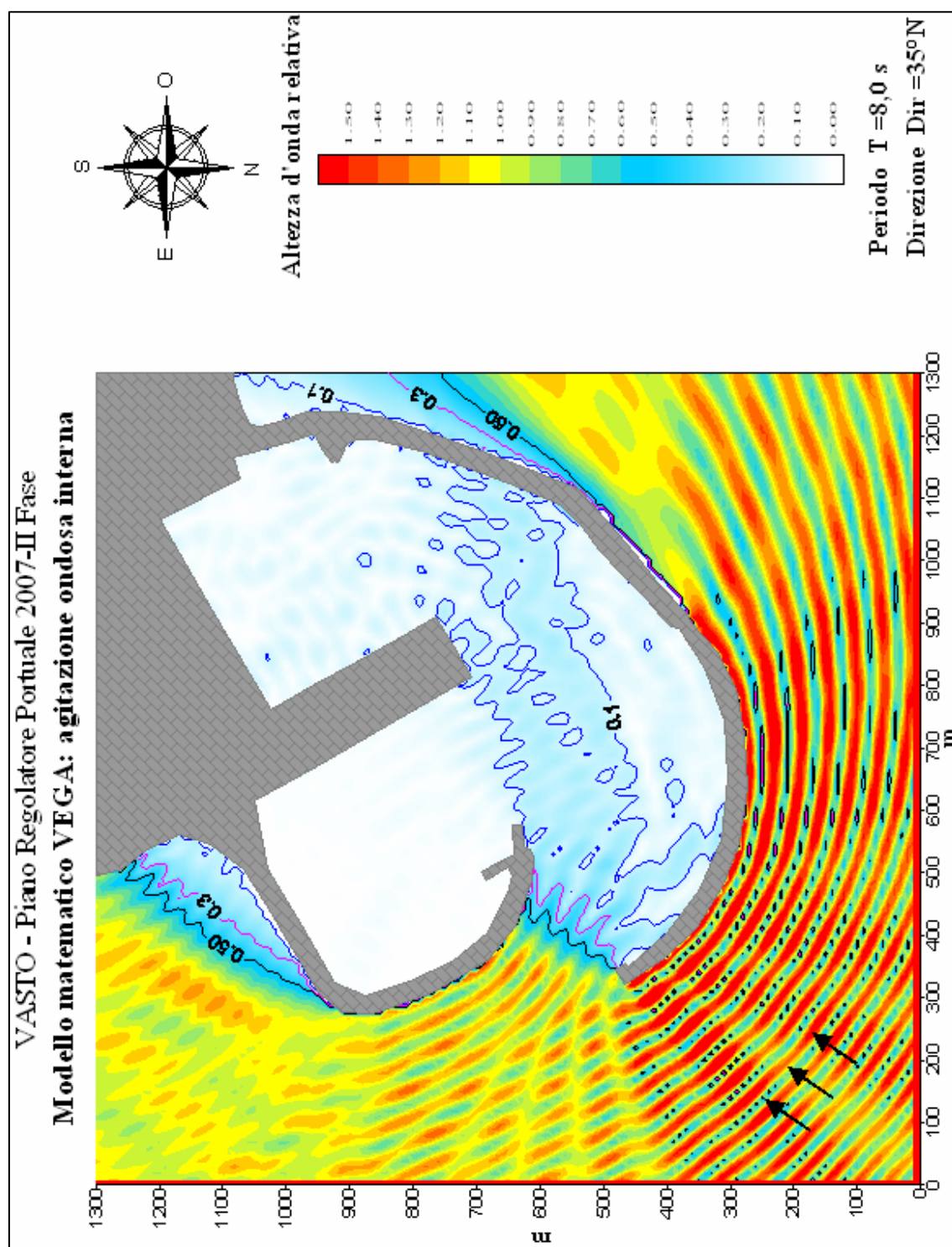


Figura 4.20 – Soluzione PRP 2007 FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $35^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

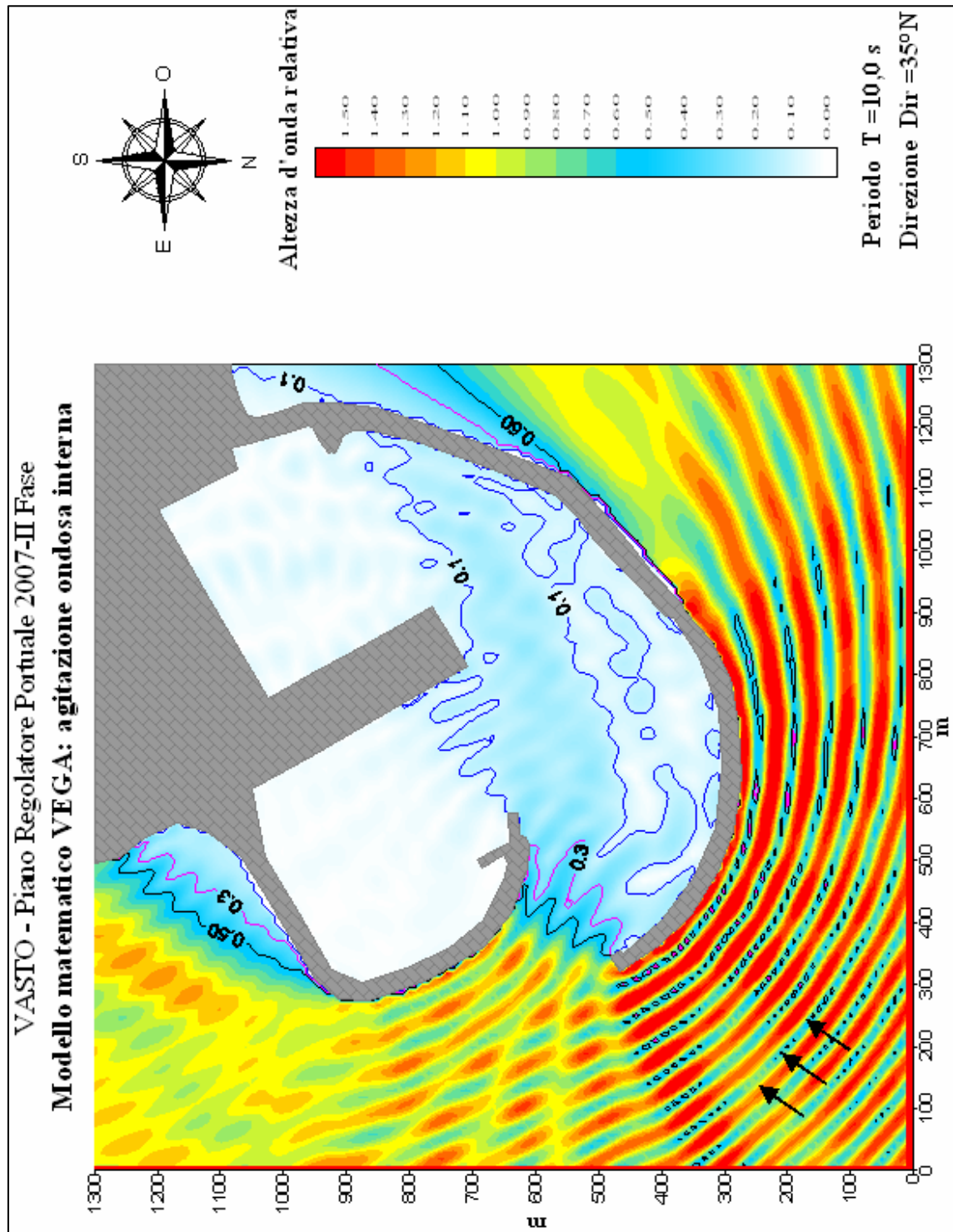


Figura 4.21 – Soluzione PRP 2007 FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 35° N e periodo d'onda pari a 10 s.

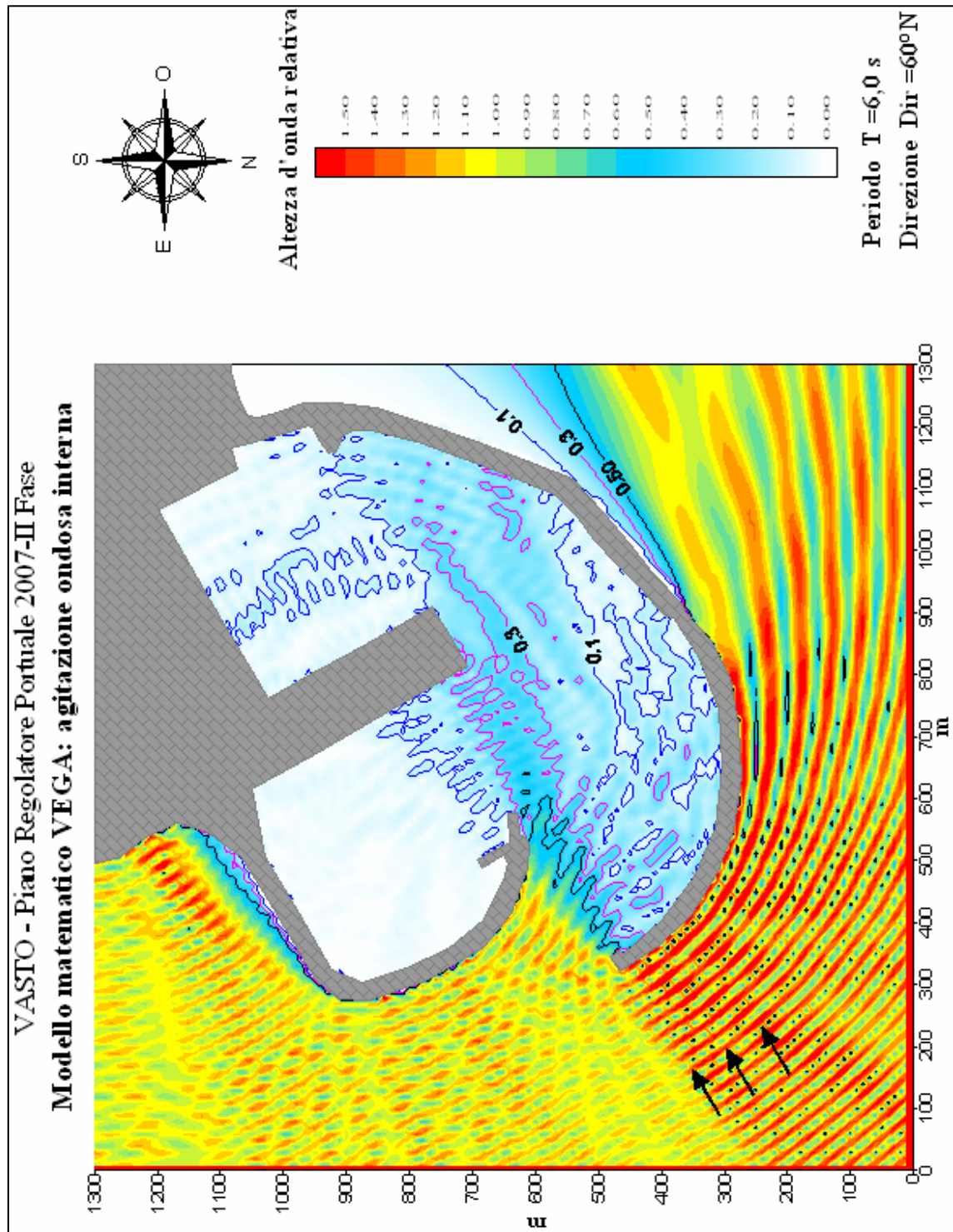


Figura 4.22 – Soluzione PRP 2007-FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da 60° N e periodo d'onda pari a 6 s.

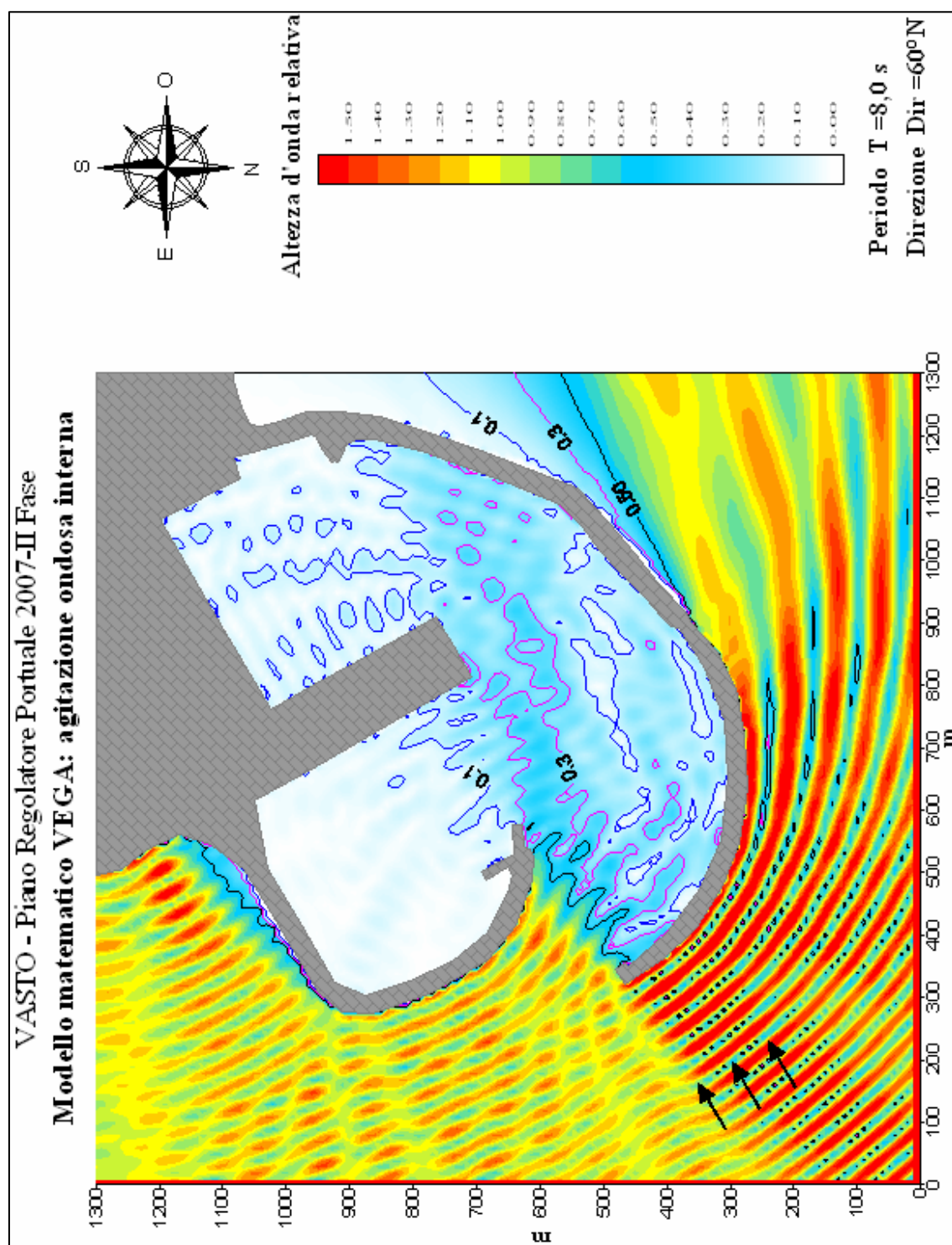


Figura 4.23 – Soluzione PRP 2007 FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

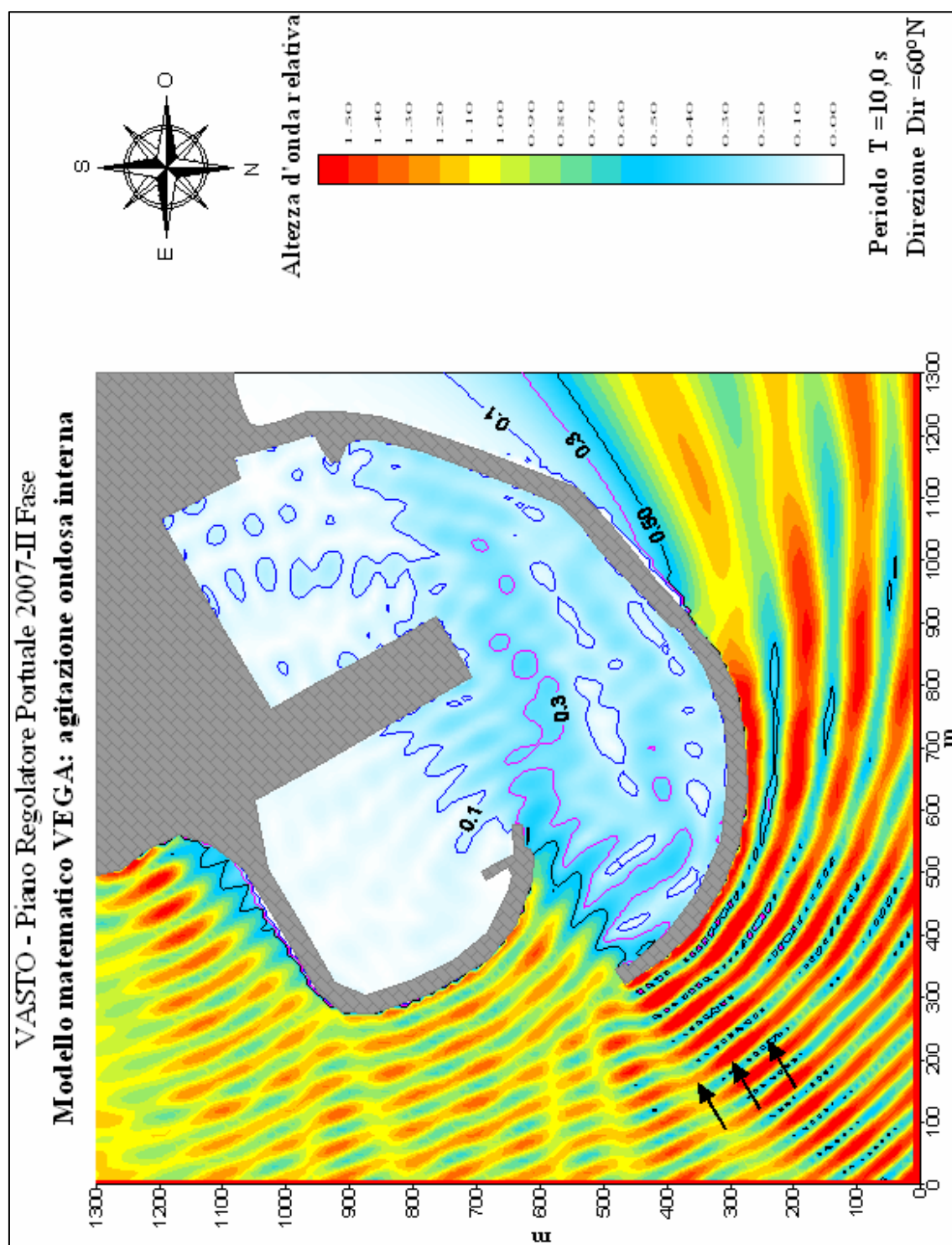


Figura 4.24 – Soluzione PRP 2007 FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $60^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

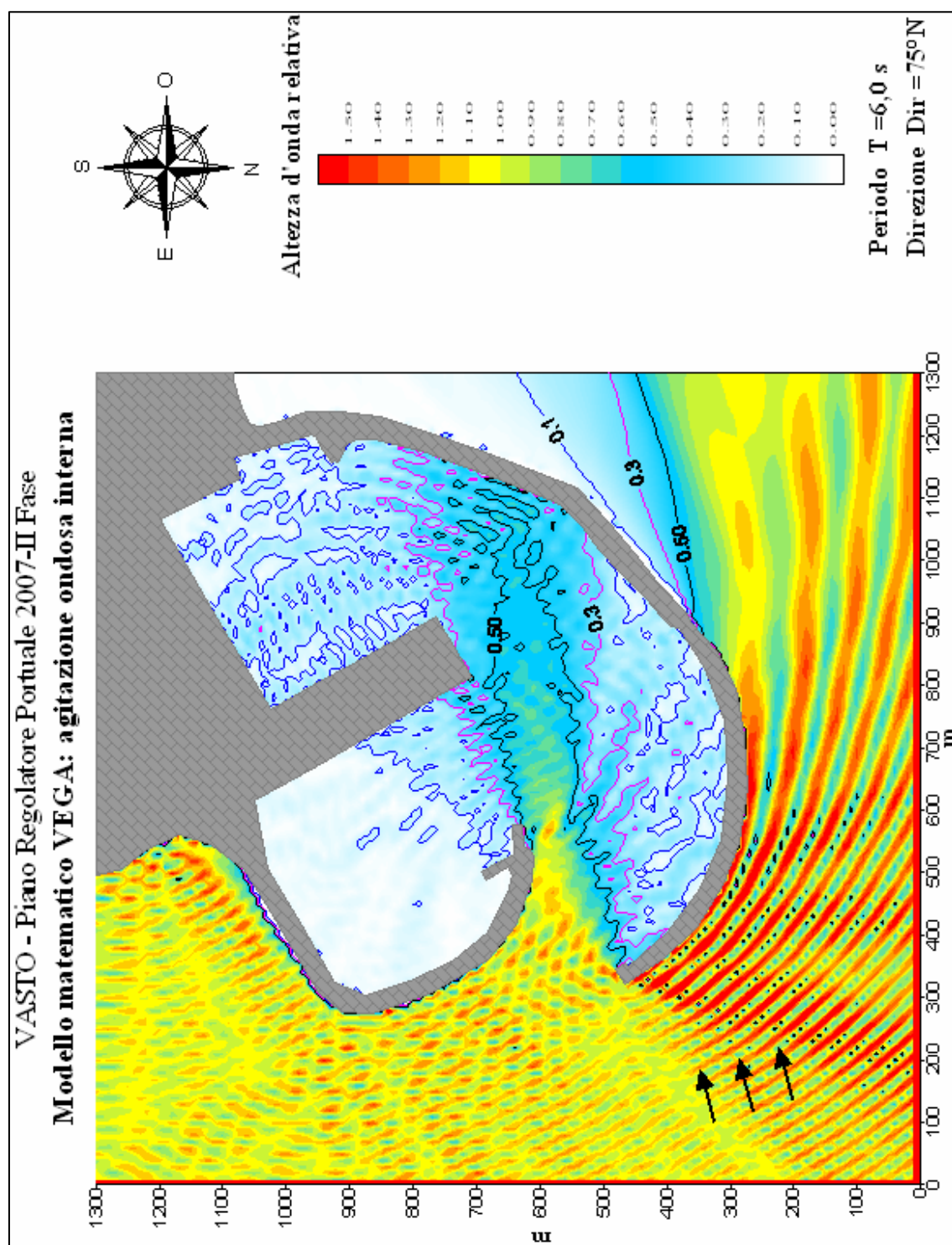


Figura 4.25 – Soluzione PRP 2007-FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 6 s.

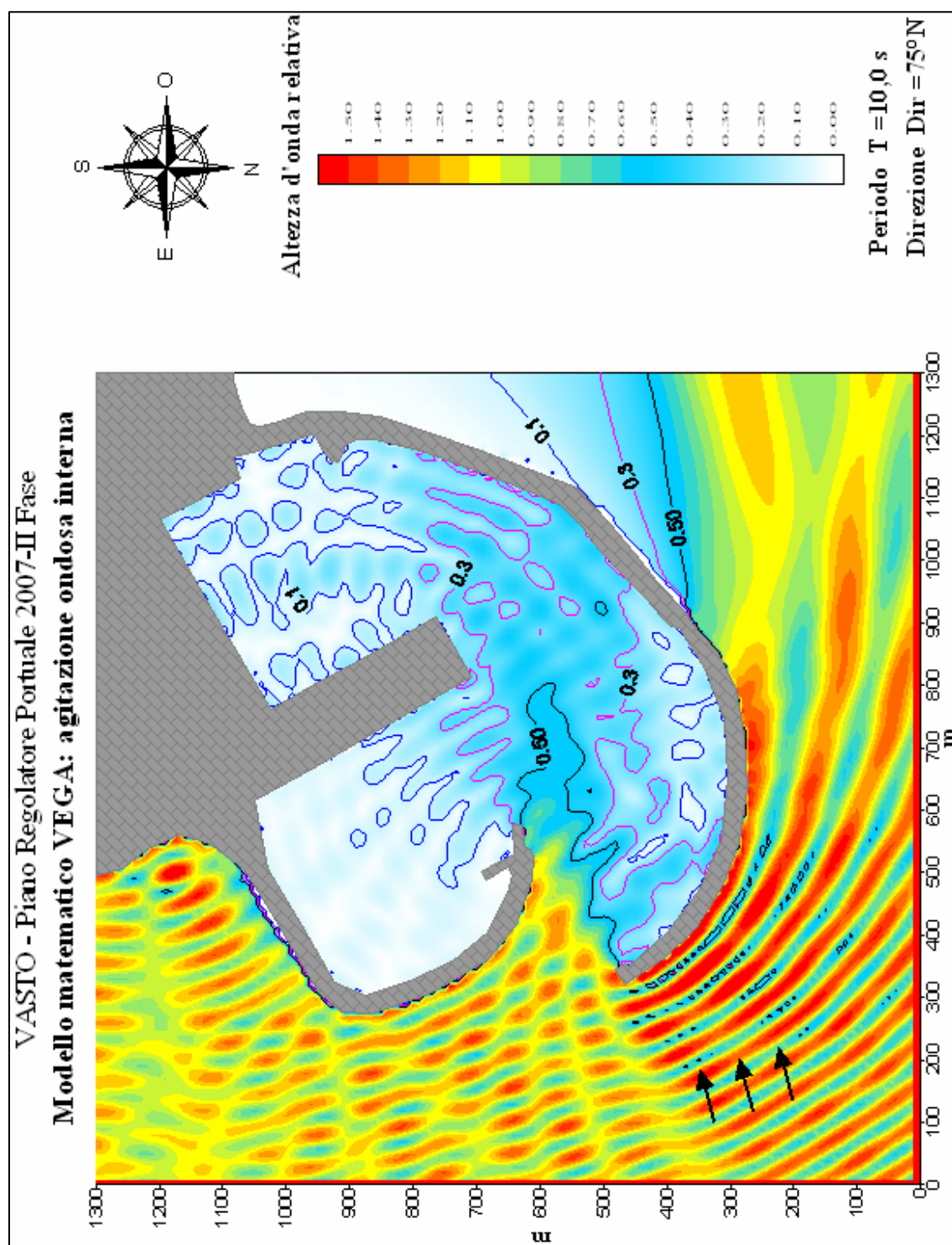


Figura 4.26 – Soluzione PRP 2007 FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 8 s.

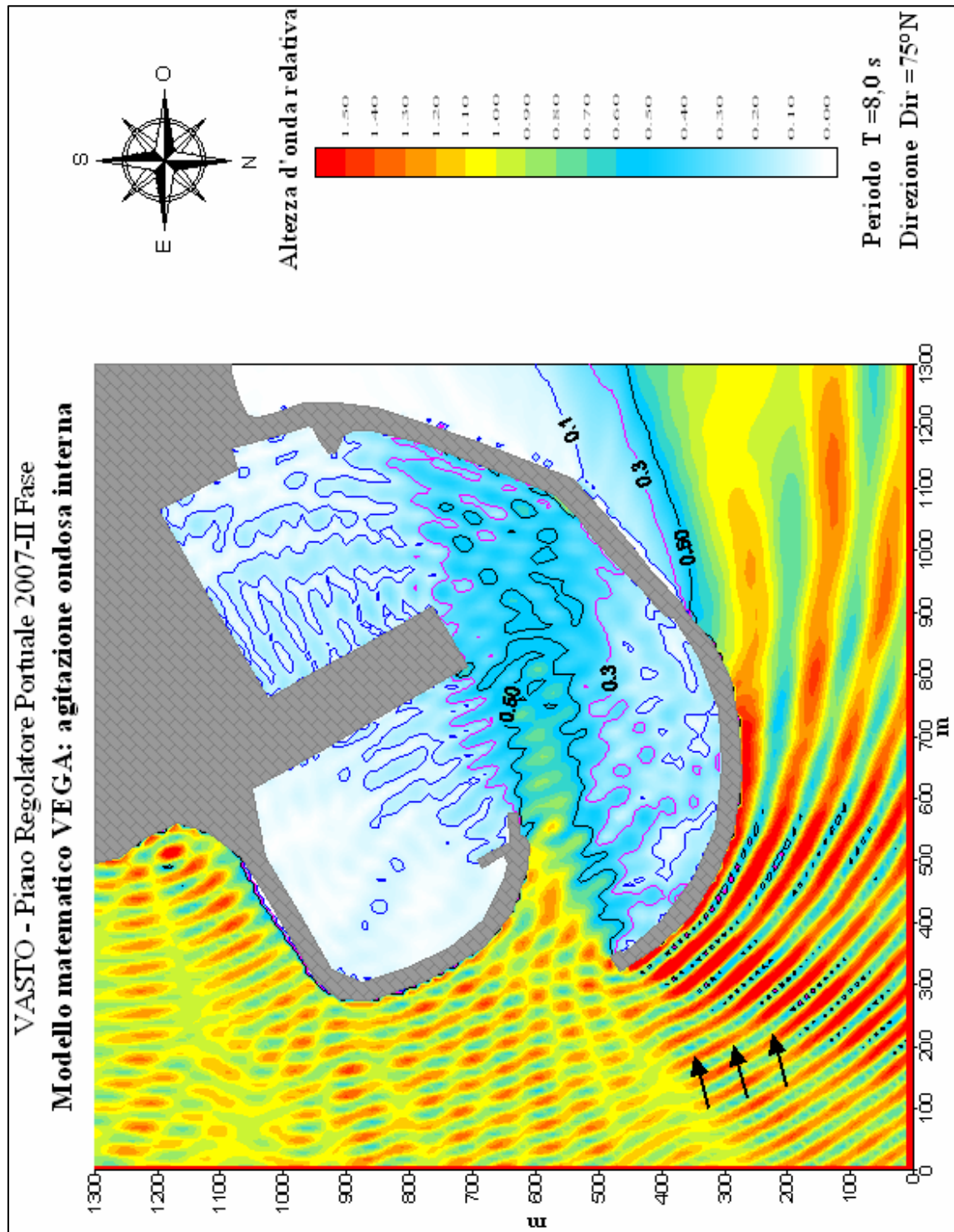


Figura 4.27 – Soluzione PRP 2007 FASE II: agitazione ondosa interna simulata con eventi provenienti da $75^\circ N$ e periodo d'onda pari a 10 s.

APPENDICE: 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 ($w^2 = gk \operatorname{tgh}(kd)$)

$\phi(x,y)$ = potenziale 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.