



Regione Toscana
Comune di Orbetello (GR)



**PIANO REGOLATORE PORTUALE
 DI TALAMONE**
 Art.86 L.R. 65/2014

Committente

Comune di Orbetello

Dirigente:

Arch. Massimo Sabatino

Responsabile del procedimento:

Arch. Francesca Olivi



Progettazione

**ACQUA
 TECNO**

Acquatecno S.r.l.

Arch. Vittoria Biego



Titolo elaborato

STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA INTERNA

Elaborato

A.2185 | PRP | R

SS3

Scala

Data
 Luglio 2017

Elaborato
 Arch. Vittoria Biego
 Dott.ssa Sara Scrimieri

Controllato
 Ing. Renato Marconi

Approvato
 Arch. Vittoria Biego

Revisione	Data
01	Marzo 2018
02	Novembre 2018

1. PREMESSA	2
2. CONDIZIONI ONDOSE DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO	3
3. MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO	4
3.1. BW (Boussinesq Waves).....	4
3.2. Definizione della griglia di calcolo	4
3.3. Moto ondoso in ingresso	5
3.4. Parametri di riflessione.....	12
3.5. Periodo di simulazione e passo di integrazione.....	15
3.6. Risultati delle simulazioni	15
4. CONCLUSIONI	32
INDICE DELLE FIGURE	34
INDICE DELLE TABELLE.....	35

1. PREMESSA

Nell'ambito della redazione del Piano Regolatore Portuale di Talamone è stato effettuato lo studio di agitazione ondosa all'interno del porto, sia per lo stato attuale che per il nuovo progetto, configurazione 1 e configurazione 2-2a. Nella Figura 1 è riportata l'area di studio.

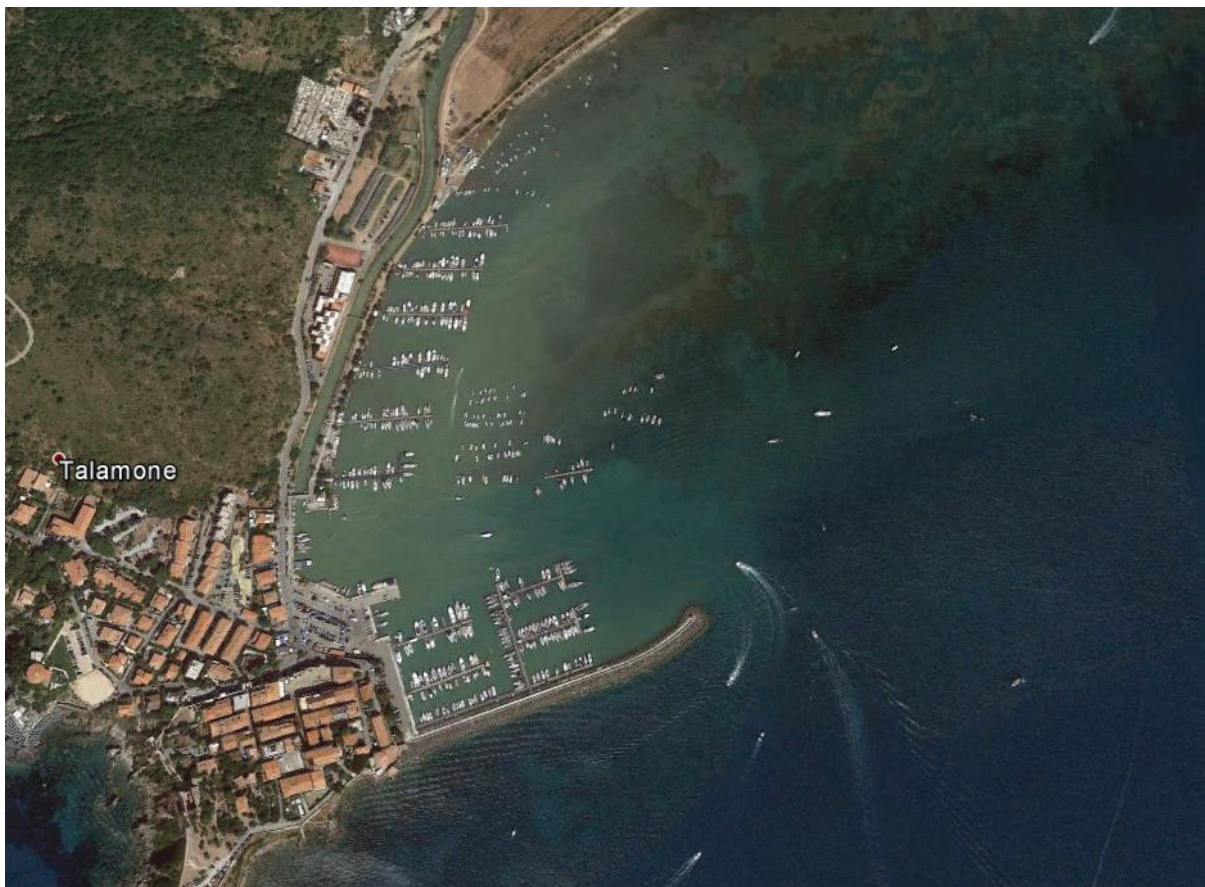


Figura 1. Vista aerea del porto di Talamone.

Per la simulazione numerica bidimensionale è stato utilizzato il modello matematico MIKE 21, sviluppato dal Danish Hydraulic Institute. Esso è basato sulla risoluzione alle differenze finite su griglia strutturata o flessibile, ed è costituito da differenti moduli che implementano le numerose equazioni che governano gran parte dei fenomeni idraulici riscontrabili in un determinato sistema marino.

Nel caso in esame è stato utilizzato il modello BW (Boussinesq wave), che consente di simulare l'agitazione ondosa all'interno di aree portuali tenendo conto di vari fenomeni quali, shoaling, diffrazione, rifrazione, attrito con il fondo, riflessione parziale e trasmissione degli spettri d'onda.

2. CONDIZIONI ONDOSE DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO

Per la definizione di moto ondoso (altezza, periodo, direzione di provenienza) in ingresso al porto di Talamone sono stati utilizzati i dati di moto ondoso ricavati dal precedente studio di propagazione del moto ondoso in prossimità del porto per poter poi propagare tali valori all'interno del bacino portuale, stato attuale e nuovo progetto, configurazione 1 e configurazione 2-2a.

Nella Tabella 1 sono riportate le caratteristiche del moto ondoso utilizzato.

Tabella 1. Condizioni ondose utilizzate per le simulazioni.

Scala Beaufort	Tr[anni]	Hs[m]	Tp[s]	Dir[°N]
	5	2.30	7.70	216
	50	3.80	9.40	217
8 (20m/s)		1.20	3.80	181
11 (30m/s)		1.95	4.50	181

La propagazione all'interno del dominio di calcolo delle condizioni ondose, individuate precedentemente, viene eseguita dal modello considerando l'intero spettro in termini di direzione e frequenza, utilizzando in particolare onde direzionali irregolari con spettro JONSWAP medio. Nel caso in esame è stato simulato anche la presenza di un innalzamento del livello medio mare di +0.65m dovuto al fenomeno delle maree.

3. MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO

3.1. BW (Boussinesq Waves)

Il modello Boussinesq wave (BW) è basato sulla risoluzione numerica nel dominio del tempo delle equazioni di Boussinesq in due dimensioni (Madsen et al., 1997) attraverso uno schema implicito alle differenze finite. Le equazioni includono i termini non lineari e la dispersione in frequenza che è introdotta nelle equazioni del moto considerando gli effetti delle accelerazioni verticali sulla distribuzione di pressione. Le equazioni di Boussinesq sono risolte in riferimento ad una formulazione basata sul flusso di quantità di moto con un miglioramento nella descrizione della dispersione lineare. Queste equazioni di Boussinesq estese rendono il modello adatto alla simulazione di onde direzionali che viaggiano da acque profonde ad acque basse. La profondità massima rappresentabile con le equazioni di Boussinesq estese è pari a circa mezza lunghezza d'onda, mentre con la formulazione classica si scende a circa lo 0.22.

Tale modello è in grado di riprodurre l'effetto combinato della maggior parte dei fenomeni che intervengono nella propagazione del moto ondoso in aree costiere e nei porti. Questi includono:

- Shoaling
- Rifrazione
- Diffrazione
- Attrito con il fondo
- Frangimento
- Riflessione parziale
- Trasmissione di spettri d'onda (direzione e frequenza) che si propagano in batimetrie complesse

Mike 21 BW include la possibilità di considerare la porosità delle strutture per la simulazione della riflessione parziale e la trasmissione attraverso pali o frangiflutti. Inoltre è possibile applicare dei contorni assorbenti laddove sia necessario simulare l'assorbimento dell'energia ondosa.

L'immissione delle onde all'interno del dominio di calcolo è stata eseguita mediante una linea di generazione del moto ondoso. L'output principale del BW è il campo di agitazione residua all'interno del bacino di studio.

3.2. Definizione della griglia di calcolo

Le griglie di calcolo all'interno dell'area di studio sono state costruite mediante delle mesh di calcolo utilizzando un passo di discretizzazione dx e dy di 4m in quanto tale modello necessita di almeno 7 punti di calcolo per ogni lunghezza d'onda. In tutte le simulazioni si hanno 450 punti in direzione x e

550 punti in direzione y, l'origine degli assi della griglia costruita per la simulazione del moto ondoso ha coordinate Gauss-Boaga 2535155 E, 4713270 N ed una rotazione di 40° in modo tale da poter avere i fronti d'onda in ingresso ortogonali al contorno della mesh, mentre la griglia utilizzata per la simulazione delle onde generate del vento ha coordinate Gauss-Boaga 1675218E, 4712514N, in questo caso la griglia non è stata ruotata in quanto i fronti d'onda provengono da 180°N.

3.3. Moto ondoso in ingresso

Il moto ondoso in ingresso per il calcolo dell'agitazione ondosa all'interno del porto di Talamone, è quello precedentemente individuato (paragrafo 2), riferito ad un tempo di ritorno di 5 e 50 anni.

Le onde sono state introdotte nel dominio attraverso una linea di generazione interna ad esso per la quale sono stati elaborati i vettori tempovarianti di densità e di flusso, e pendenza della superficie libera. Si è costruito uno strato assorbente lungo i contorni del dominio in modo da poter assorbire l'energia ondosa lungo i punti in cui l'onda non può propagarsi, evitando così la generazione di fenomeni di riflessione ondosa inesistenti, lo spessore di questo strato è stato scelto pari a due lunghezze d'onda. La linea di generazione è riportata nella Figura 2 e nella Figura 4 rispettivamente per lo stato attuale e per la configurazione di progetto, la Figura 3 e la Figura 4 riportano la batimetria di dettaglio delle due configurazioni. Gli strati assorbenti inseriti nei due domini di calcolo sono illustrati in Figura 6 e in Figura 6.

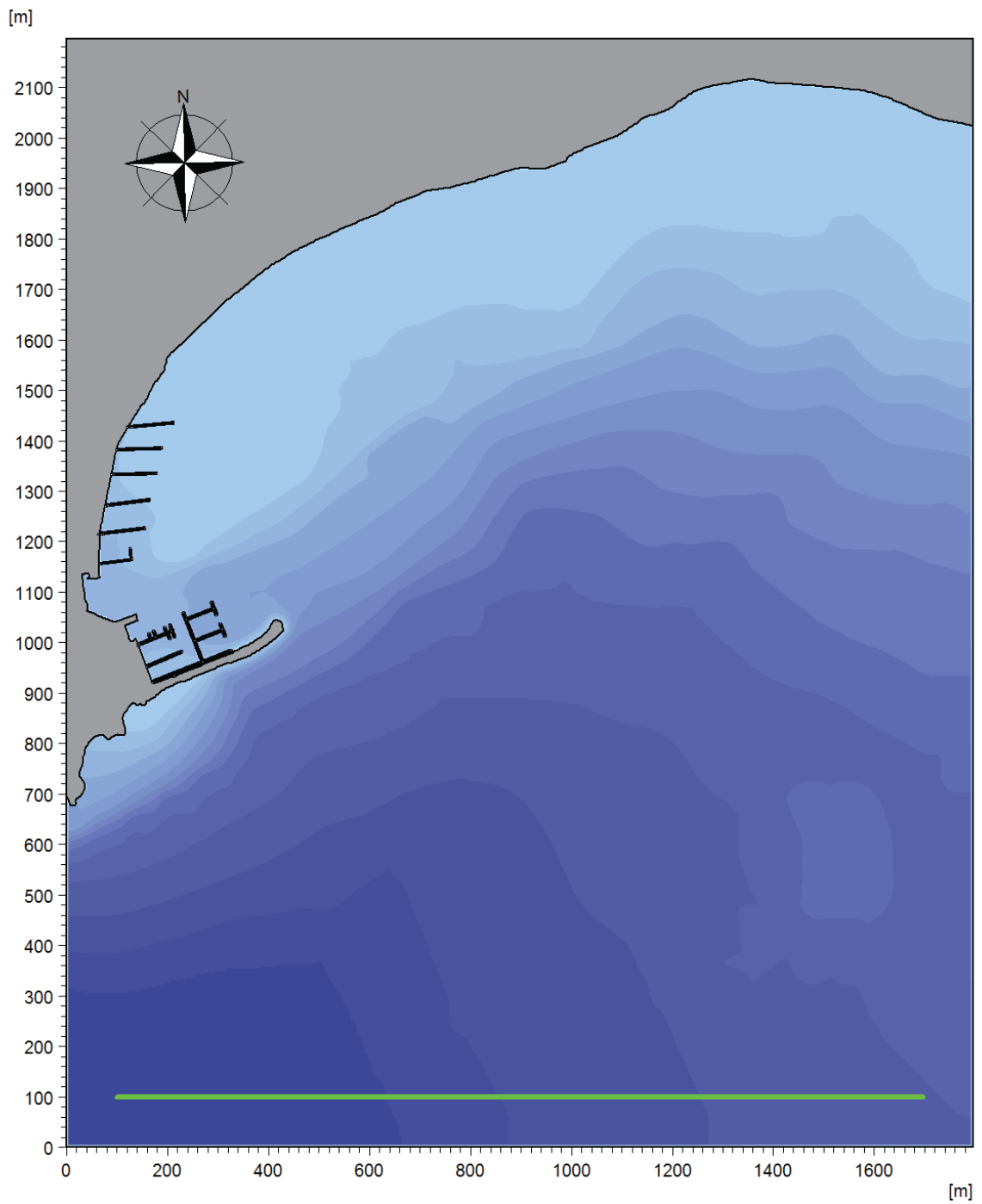


Figura 2. Linea di generazione del moto ondoso – stato attuale.

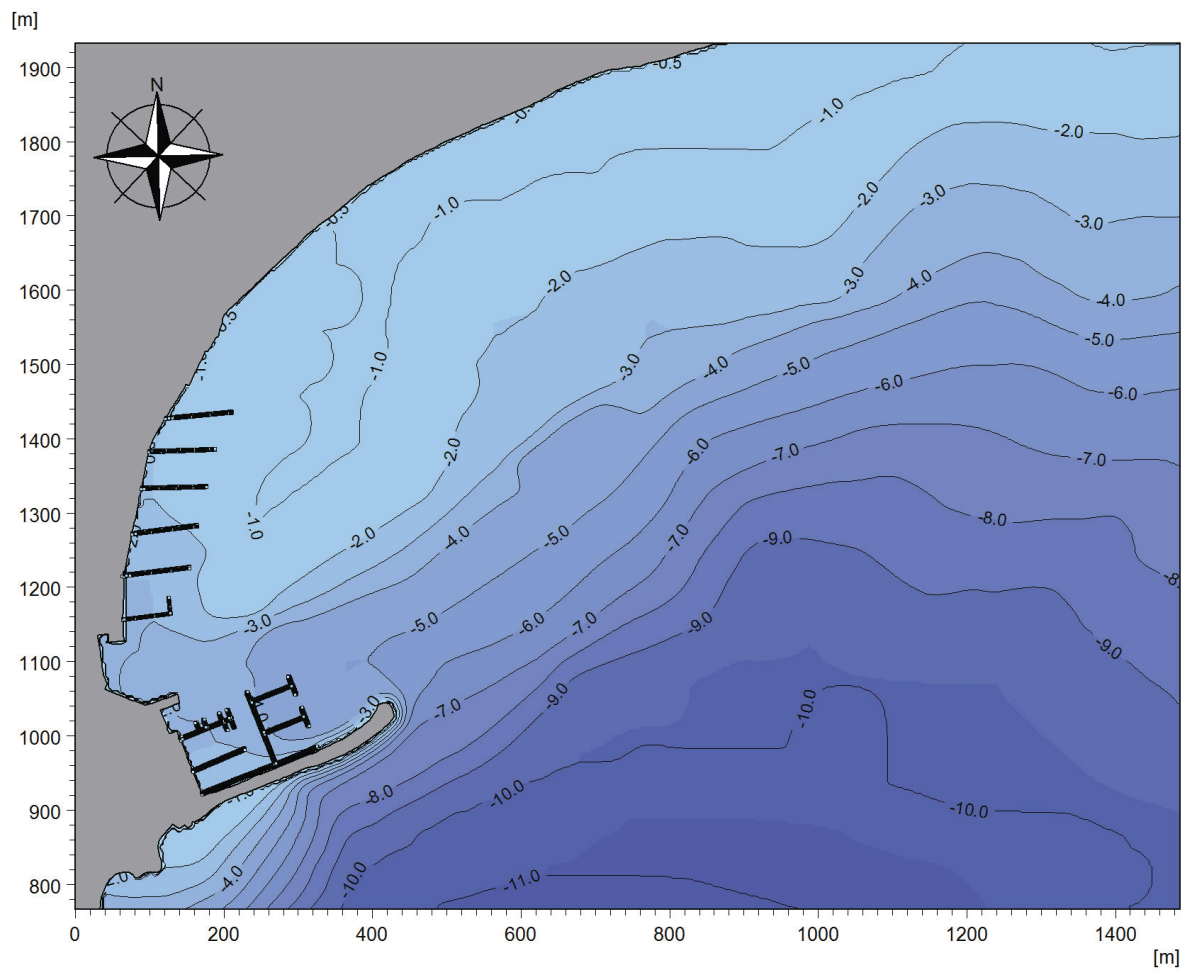


Figura 3. Rappresenzazione di dettaglio della batimetria – stato attuale.

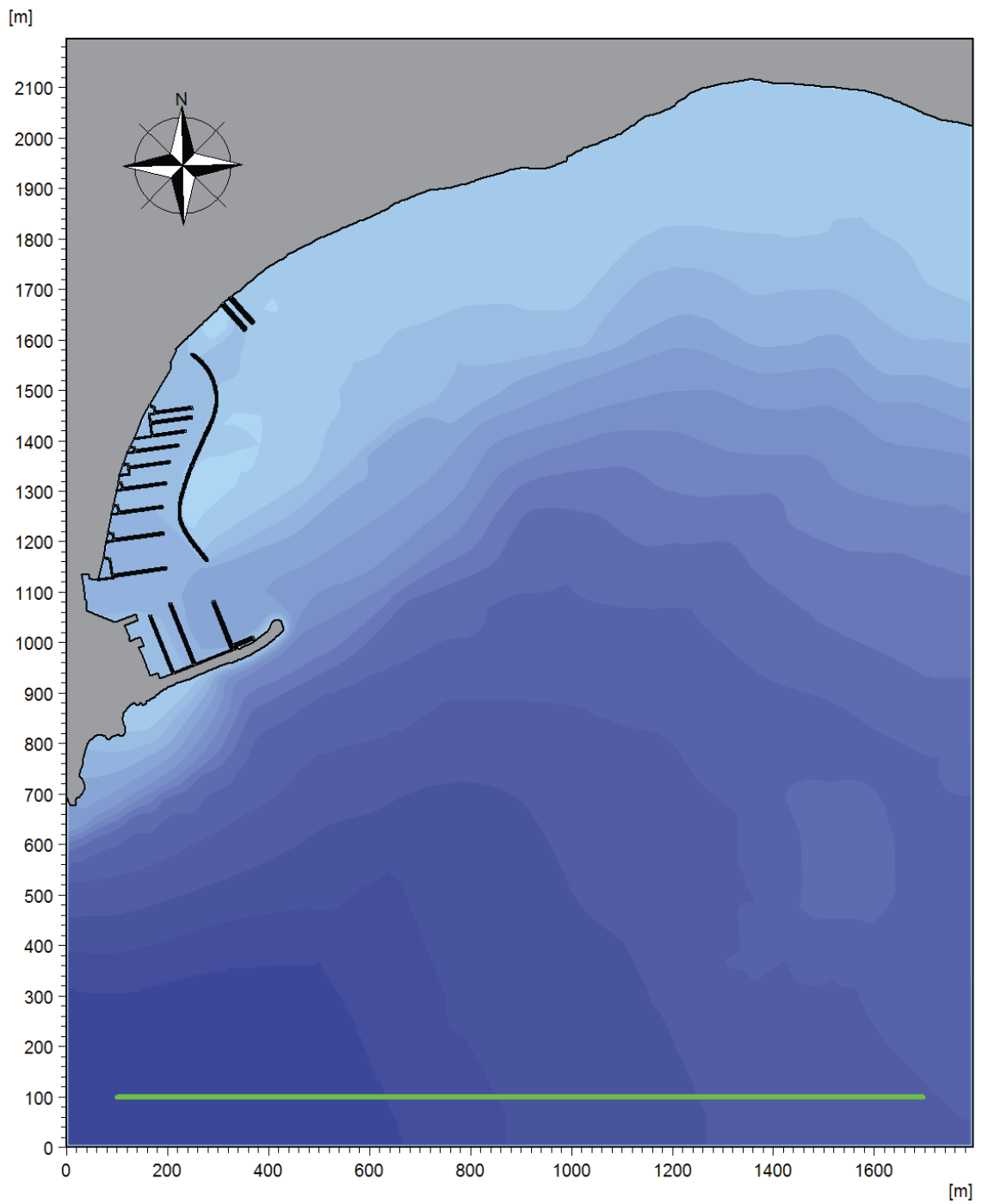


Figura 4. Linea di generazione del moto ondoso – configurazione di progetto.

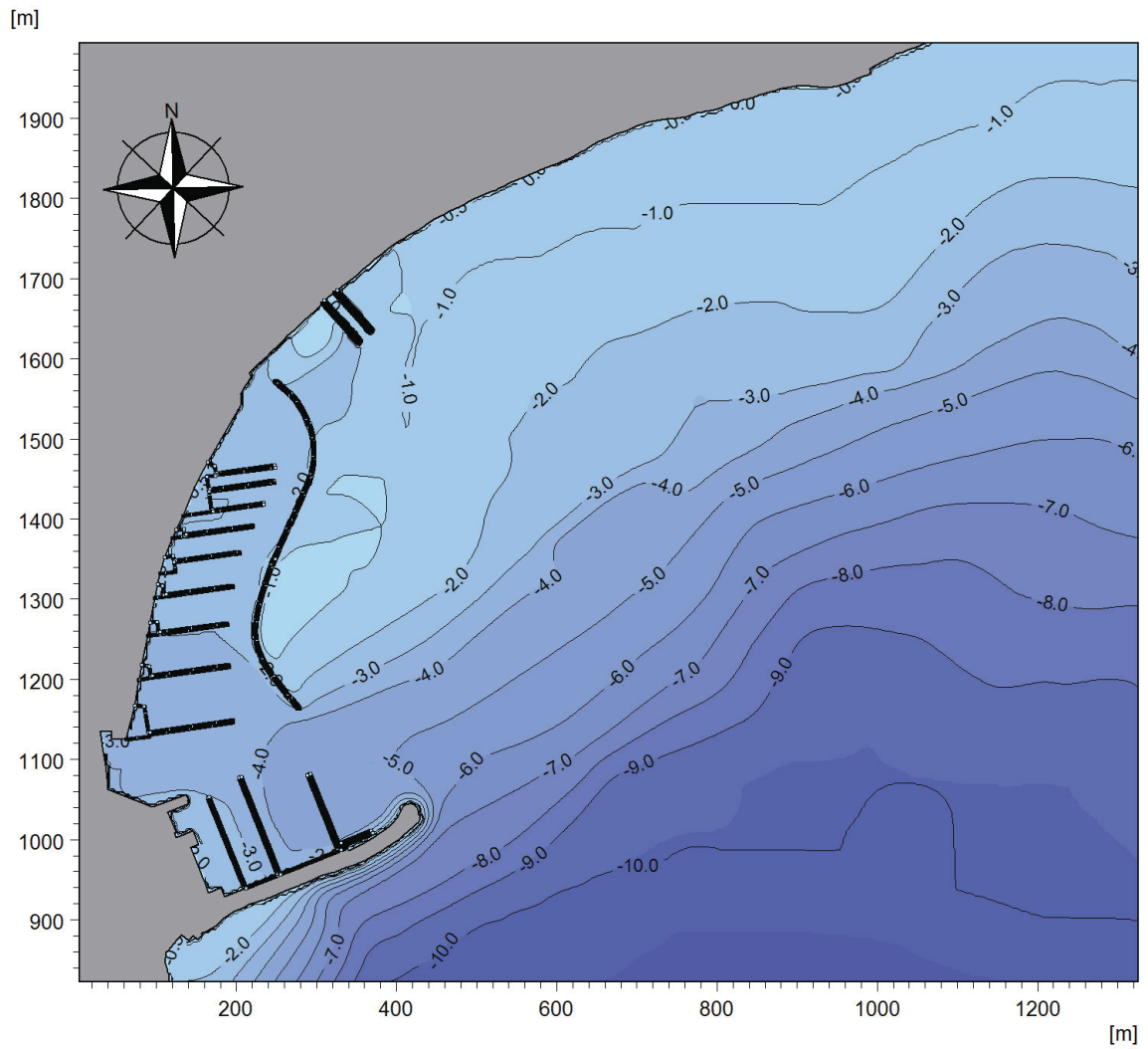


Figura 5. Rappresentazione di dettaglio della batimetria – configurazione di progetto.

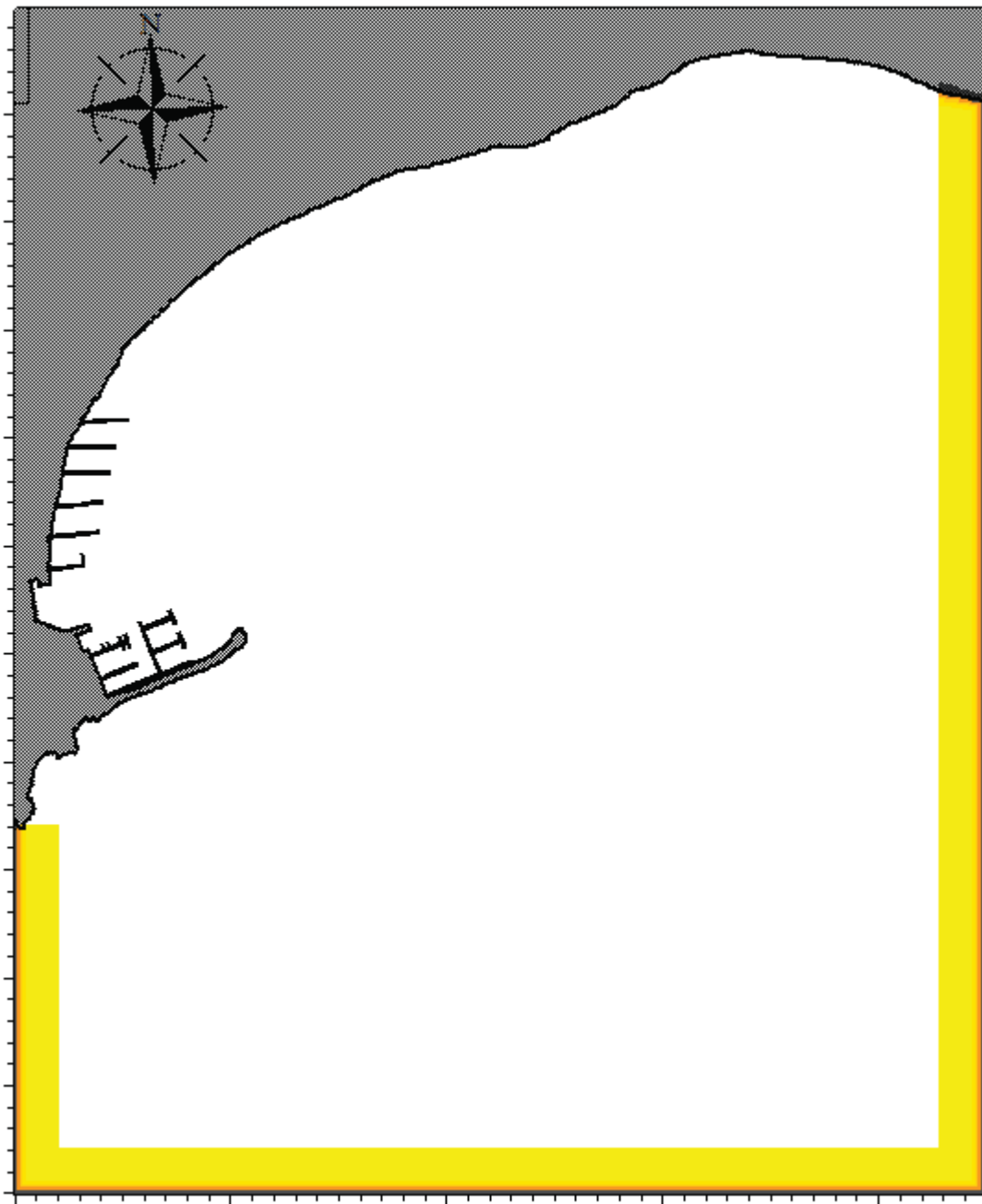


Figura 6. Strato assorbente stato attuale.

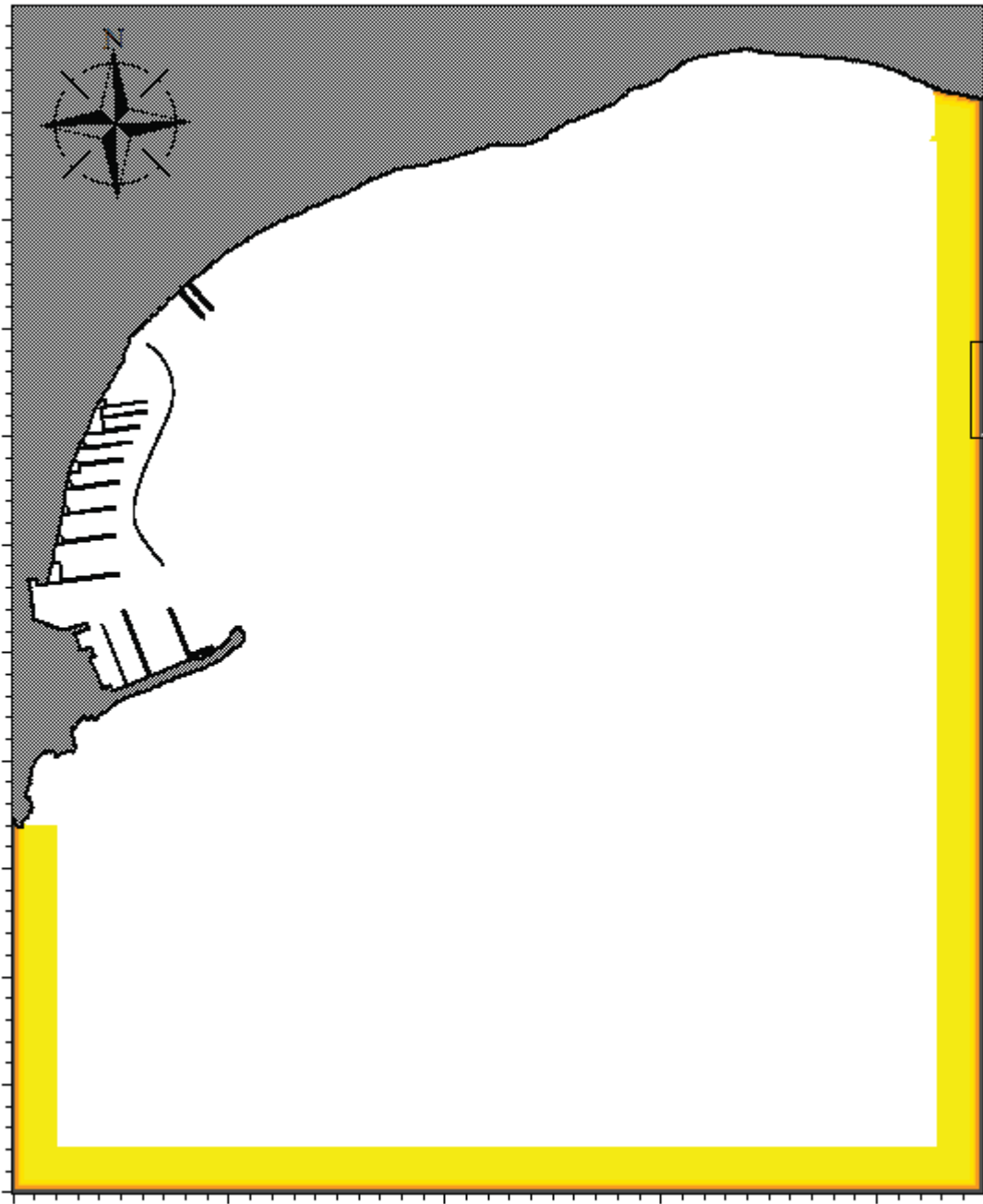


Figura 7. Strato assorbente configurazione di progetto.

3.4. Parametri di riflessione

In corrispondenza di tutti gli elementi rigidi del dominio, sono stati definiti dei coefficienti di porosità del materiale che regolano i fenomeni di riflessione dovuto alla presenza delle strutture. Questi coefficienti sono definiti per ogni tratto in funzione delle caratteristiche medie dell'onda incidente e della profondità d'acqua antistante la struttura.

Sulla base delle tipologie di opere presenti nel dominio di simulazione, sono stati adottati i parametri di riflessione riportati in Tabella 2, in funzione di questi si sono stimati i coefficienti di porosità richiesti dal modello numerico.

Tabella 2. Coefficienti di riflessione.

Tipologia opera	Coefficienti di riflessione
Parete verticale	1
Scogliera	0.35
Spiaggia	0.25

Nelle figure Figura 8 e 0 in verde si evidenziano le opere a scogliera, in rosso le opere verticali ed in blu la spiaggia.



Figura 8. Coefficienti di riflessione stato attuale.

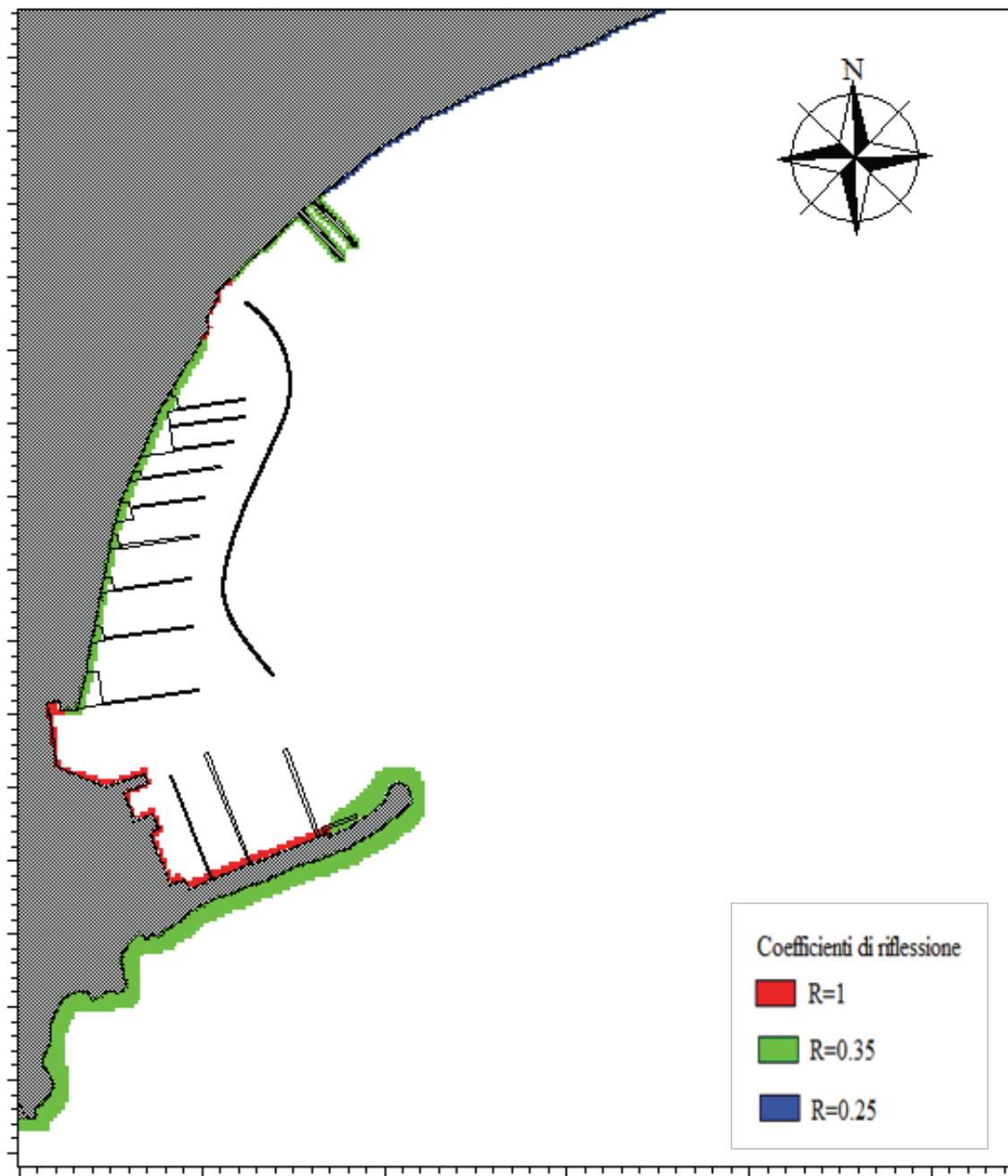


Figura 9. Coefficienti di riflessione configurazione di progetto.

3.5. Periodo di simulazione e passo di integrazione

In aggiunta ai parametri descritti precedentemente, il modello numerico BW ha bisogno di un periodo di simulazione e di un passo temporale di integrazione. Il periodo di simulazione deve essere tale da consentire il completo sviluppo del moto ondoso all'interno di tutto il dominio di calcolo, nel caso in esame, dopo un'accurata analisi, si è utilizzato come tempo di simulazione un'ora in quanto questa è sufficiente per avere uno sviluppo completo del moto ondoso.

Il passo temporale di integrazione è fondamentale per la stabilità del modello stesso ed è sia funzione della risoluzione spaziale che del numero di Courant, e sia del periodo delle onde utilizzate. Nel caso in esame è stato utilizzato un passo temporale di integrazione pari a 0.1 secondi.

3.6. Risultati delle simulazioni

I risultati dello studio sono mostrati nelle figure dalla Figura 10 alla Figura 25, rappresentano il campo di valori di altezza significativa (H_s) e altezza relativa (rapporto tra altezza d'onda nel generico punto e altezza d'onda incidente) per le onde in ingresso, sia dello stato attuale che del nuovo progetto, configurazione 2. I valori rappresentati corrispondono all'ultimo step del periodo di simulazione che rappresenta la condizione di mare completamente sviluppato. Nelle figure sono riportati anche i coefficienti di disturbo, tale coefficiente è dato dalla seguente relazione:

$$C_d = \frac{H_i}{H_s}$$

Dove con H_i si intende l'altezza d'onda incidente e con H_s si intende l'onda di progetto. Quando il C_d è circa uno si ha che l'onda frangete all'opera è prossima a quella a largo, viceversa quando C_d è vicino a zero l'onda frangente all'opera è ridotta notevolmente rispetto a quella a largo.

Si richiamano all'attenzione, in particolare, le figure Figura 10 e Figura 18, che rappresentano i campi di altezza d'onda relativi all'onda quinquennale rispettivamente per lo stato attuale e la configurazione di progetto, in cui è contornata in rosso l'area interessata da altezza d'onda significativa superiore a 30 cm. Ancora, nelle figure Figura 12 e Figura 20, rappresentanti le altezze d'onda prodotte all'onda cinquantennale rispettivamente per lo stato attuale e la configurazione di progetto, è circondata in nero la zona in cui l'altezza d'onda risulta superiore a 50 cm. Queste zone risultano esterne al bacino portuale, fuorché nel caso dell'onda con $Tr = 5$ anni nella configurazione di progetto; l'area interessata da $H_s \geq 0.3$ m interna al bacino, risulta comunque ridotta e circoscritta nella zona esterna alla diga soffolta, non andando quindi ad interessare gli ormeggi.

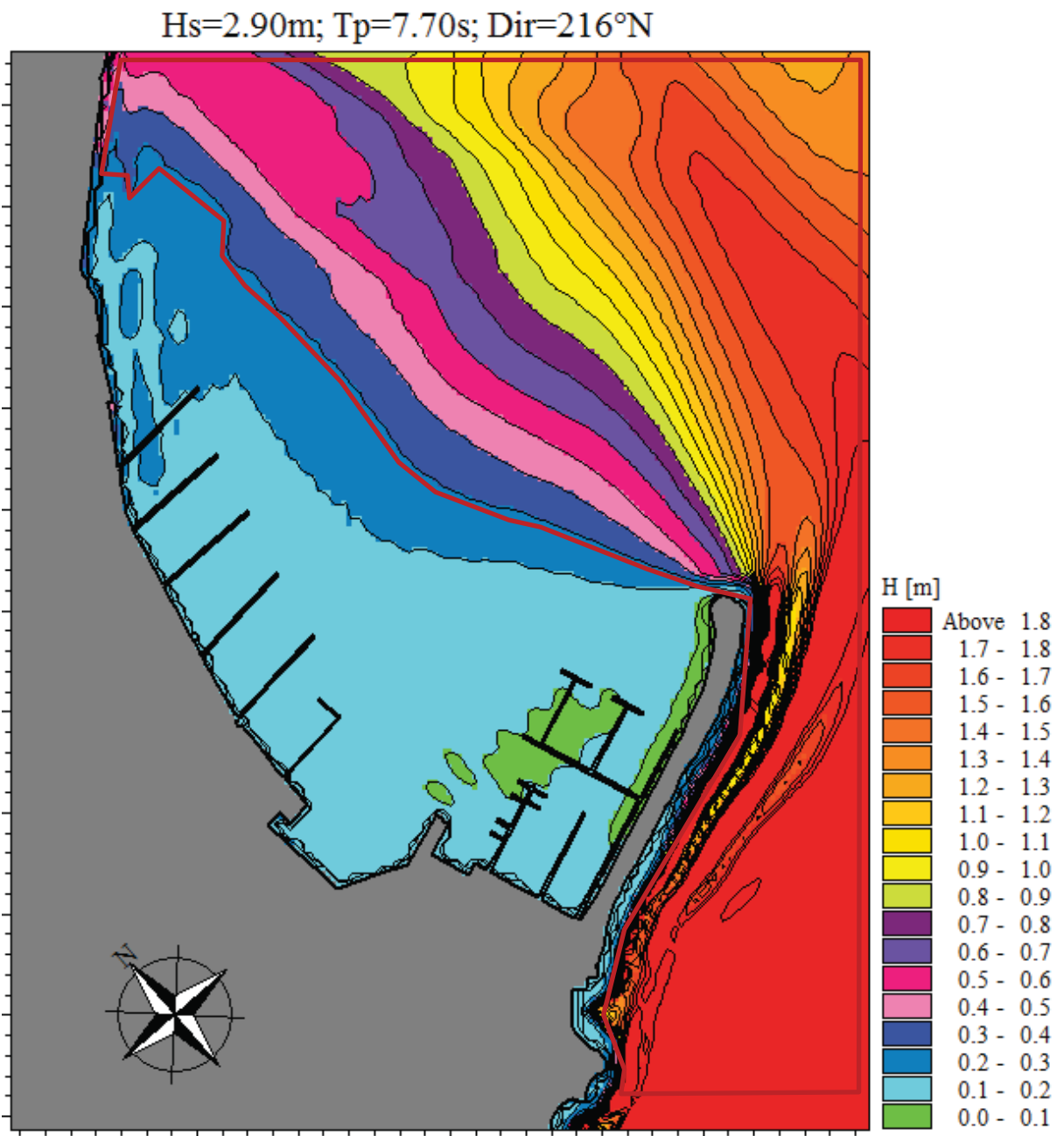


Figura 10. Agitazione ondosa $T_r = 5$ anni stato attuale.

Coefficienti di disturbo

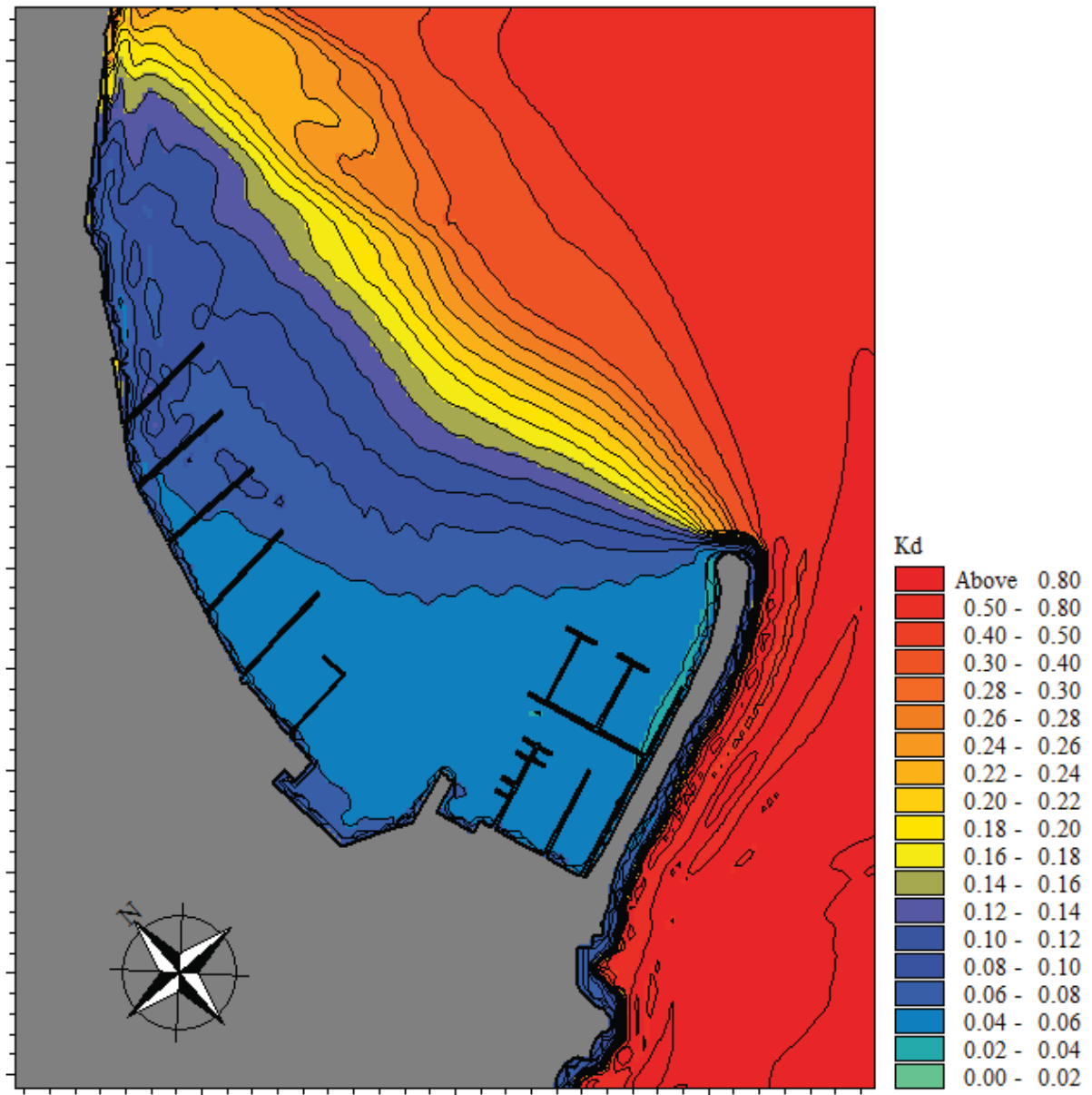


Figura 11. Coefficienti di disturbo $Tr = 5$ anni stato attuale.

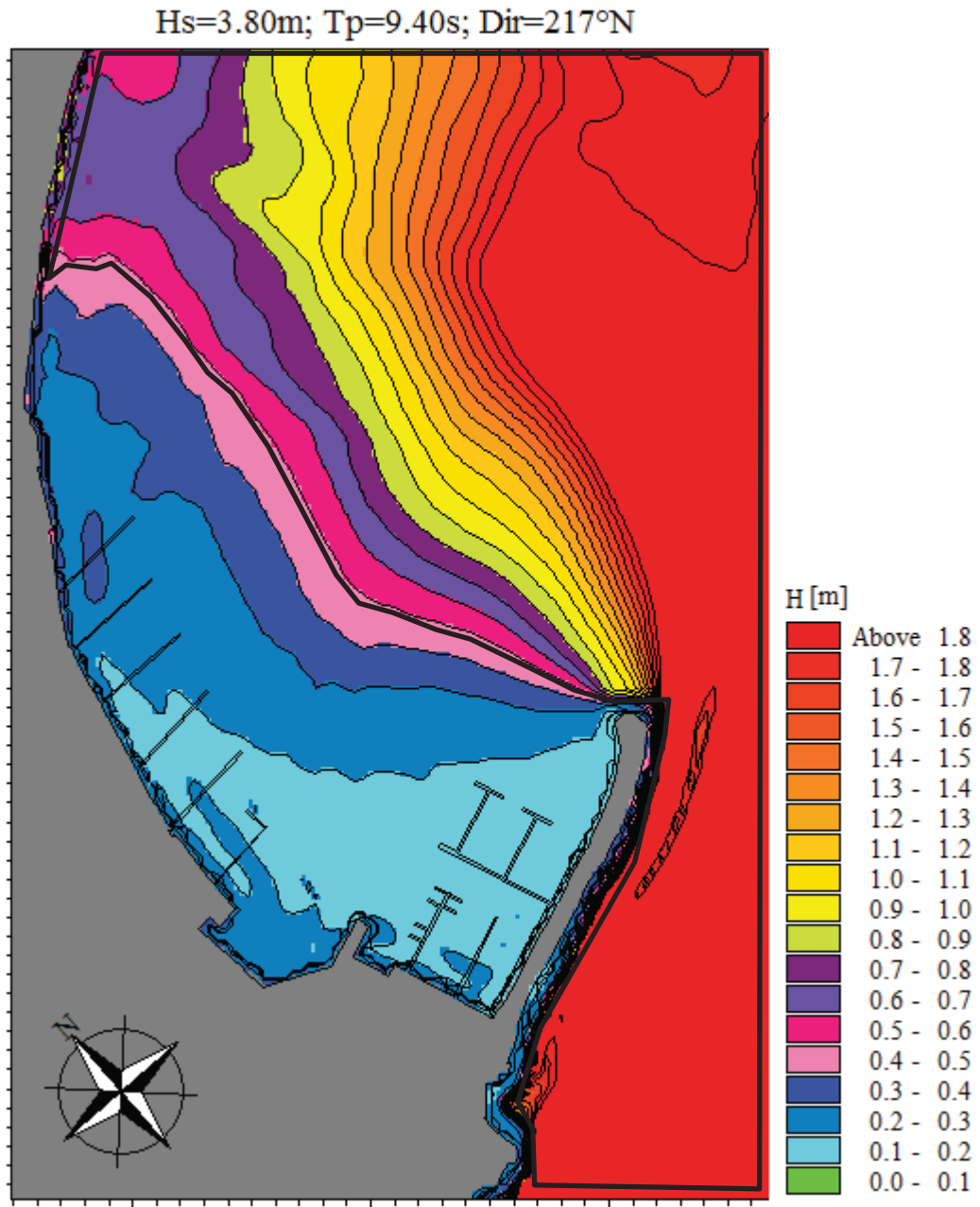


Figura 12. Agitazione ondosa $Tr = 50$ anni stato attuale.

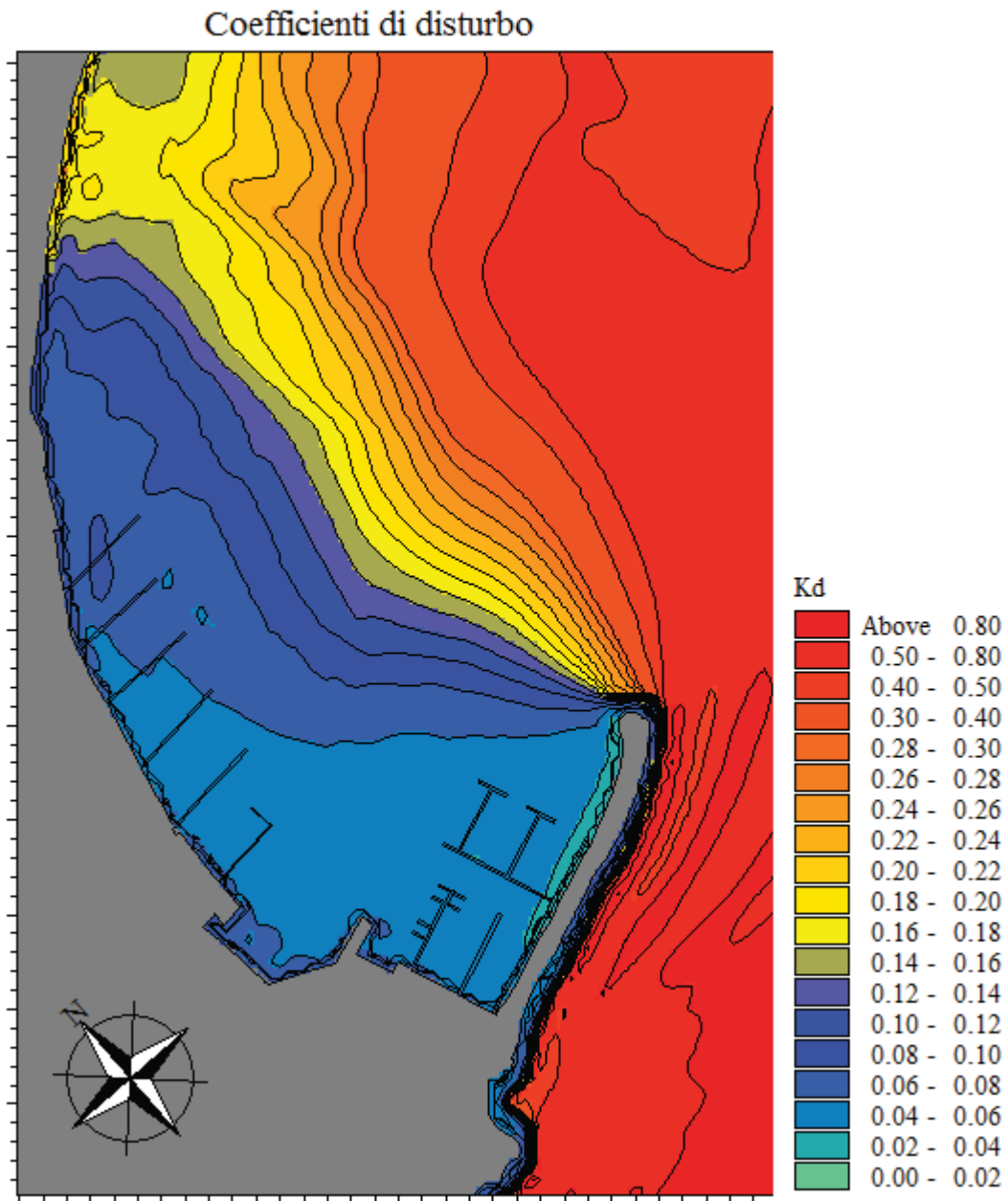


Figura 13. *Coefficienti di disturbo $Tr = 50$ anni stato attuale.*

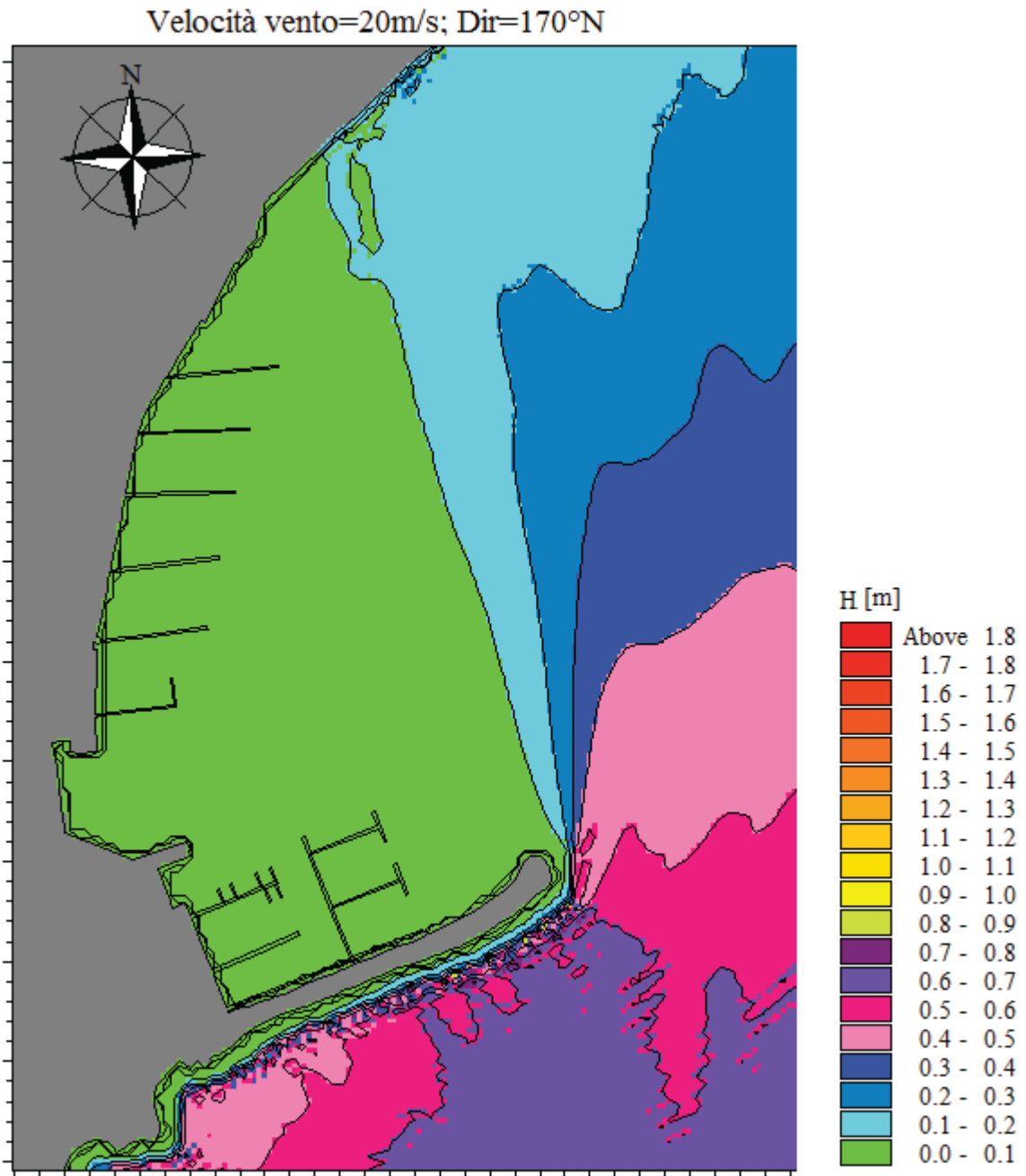


Figura 14. Agitazione ondosa vento 20m/s stato attuale.

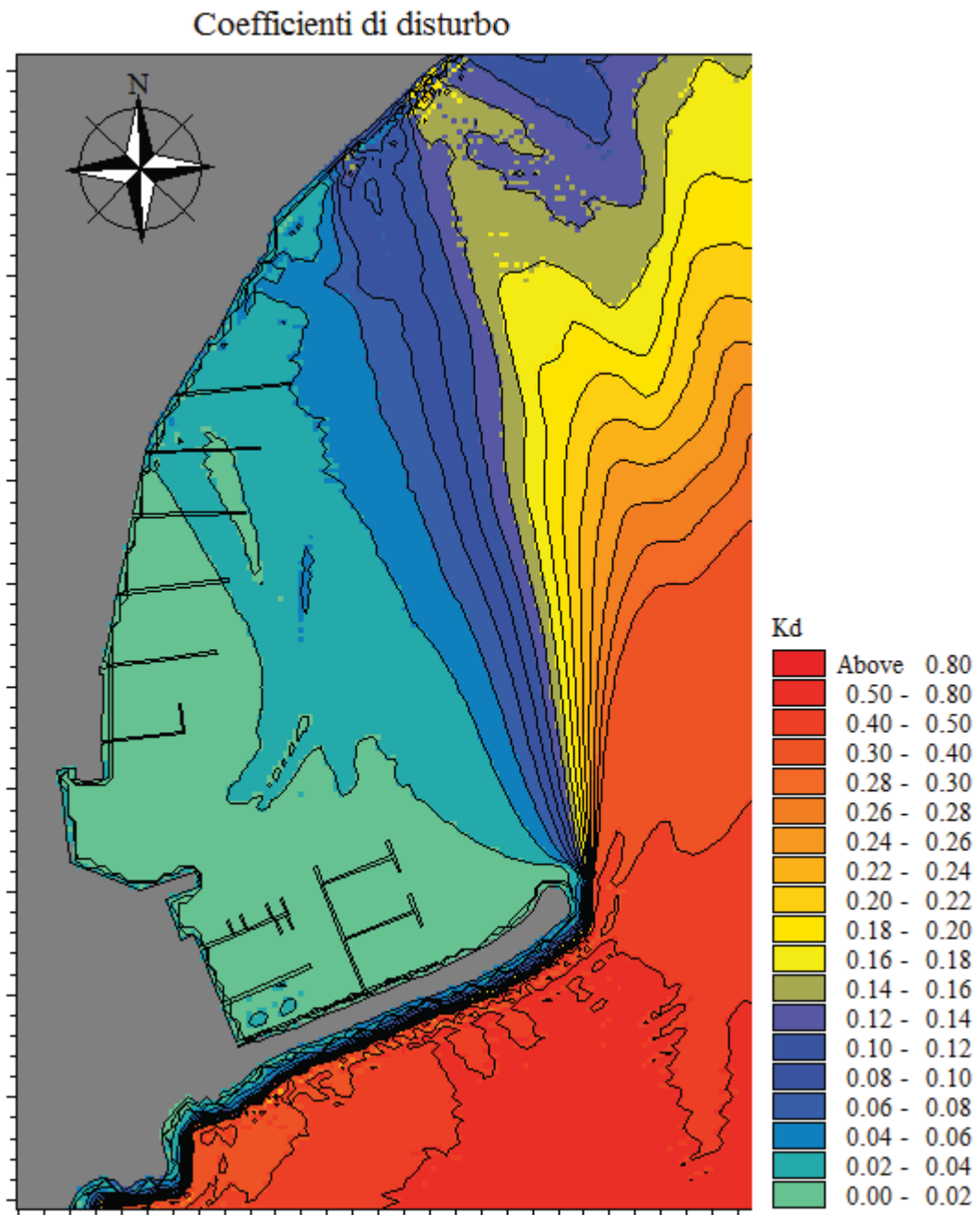


Figura 15. Coefficienti di disturbo vento 20m/s stato attuale.

Velocità vento 30m/s; Dir=170°N

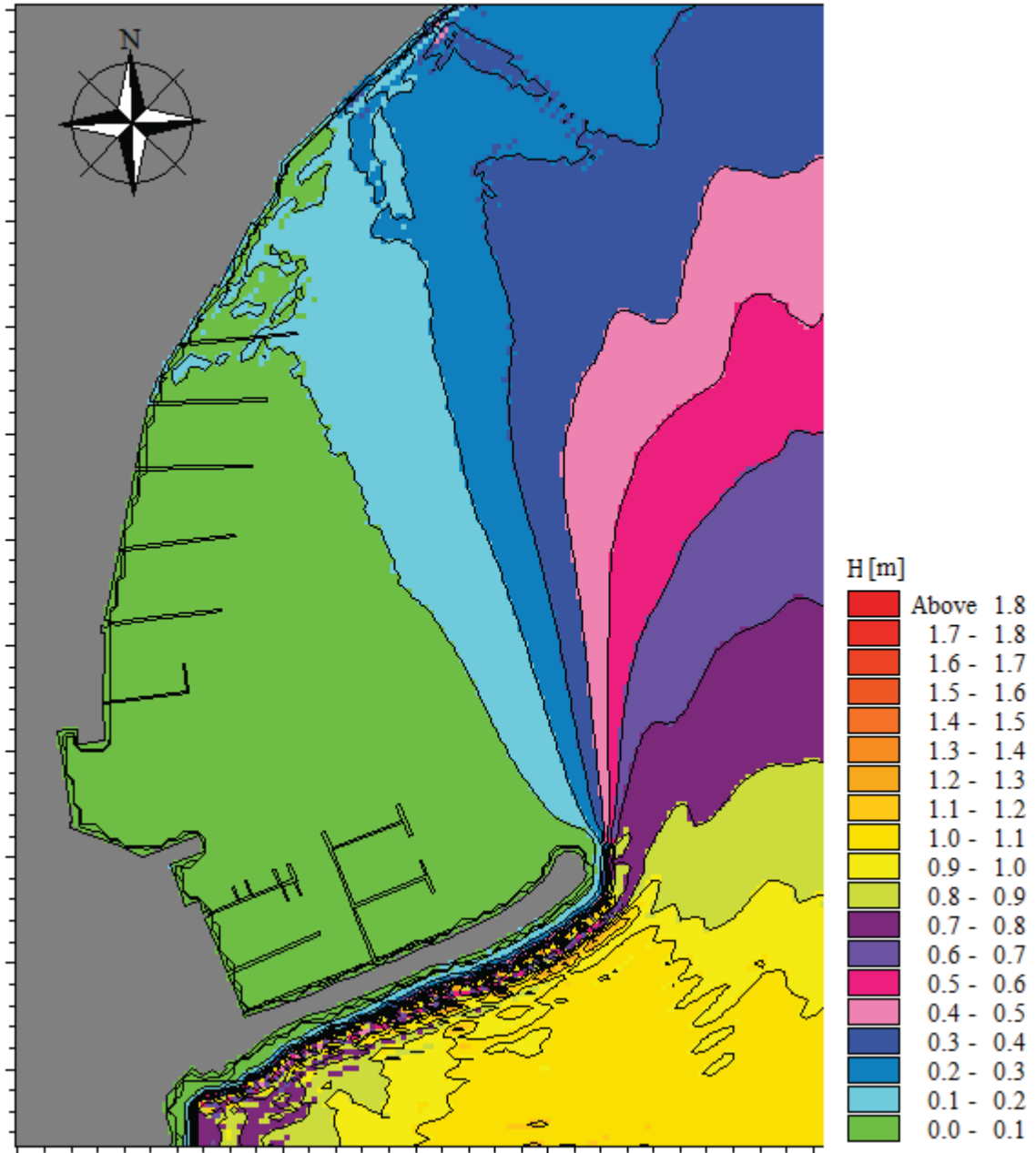


Figura 16. Agitazione ondosa vento 30m/s stato attuale.

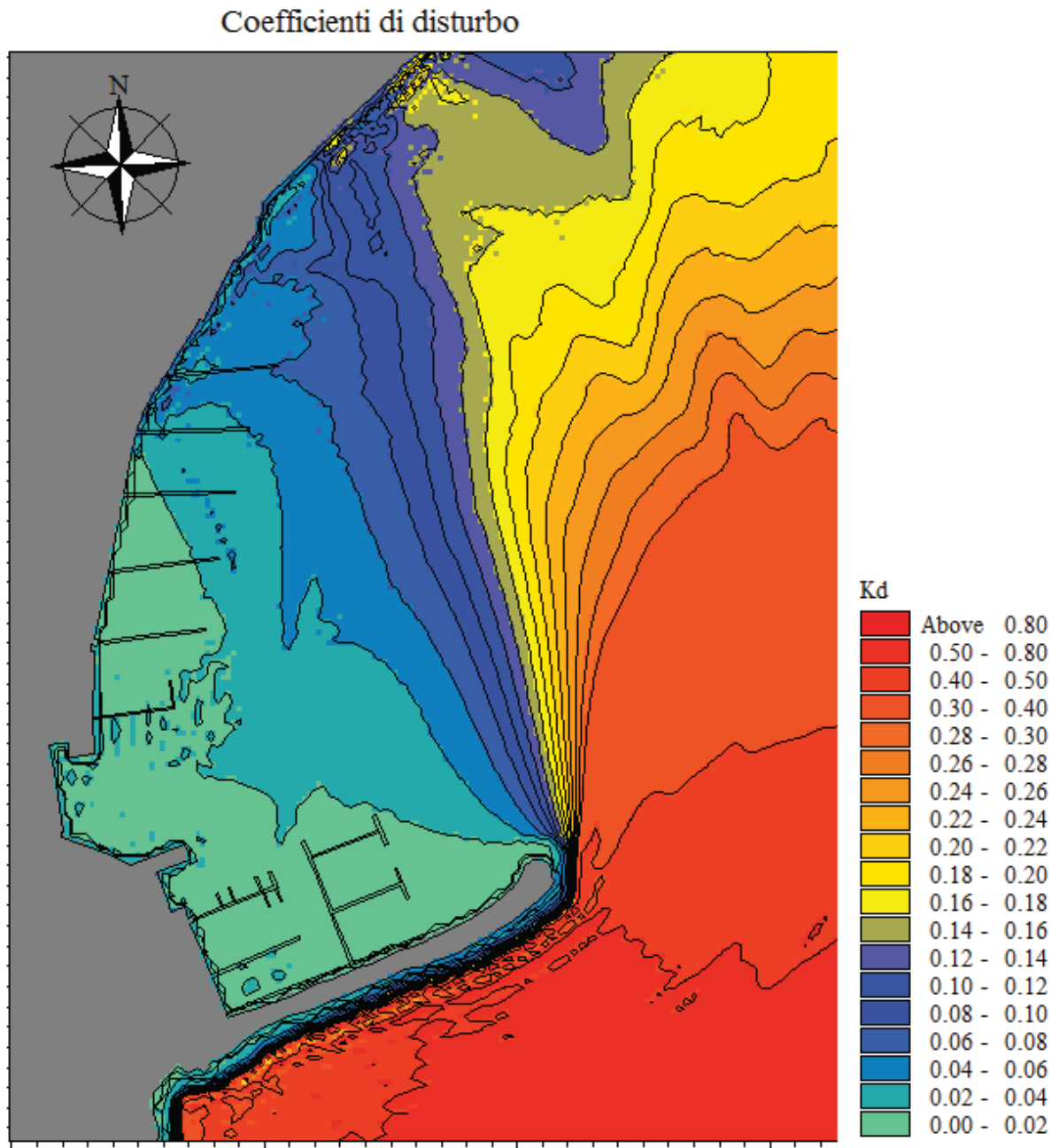


Figura 17. Coefficienti di disturbo vento 30m/s stato attuale.

$H_s=2.92\text{m}$; $T_p=7.70\text{s}$; $\text{Dir}=216^\circ\text{N}$

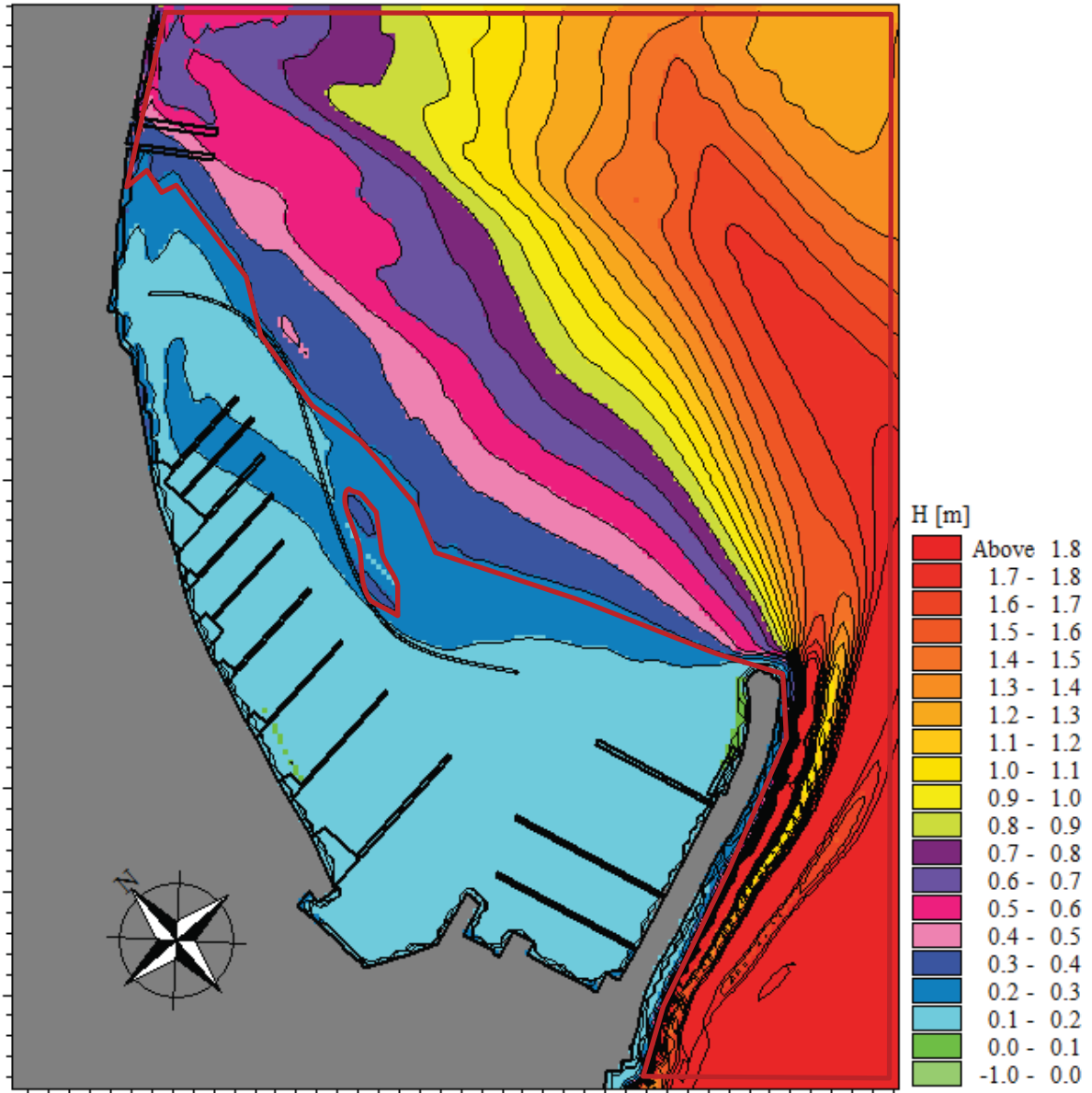


Figura 18. Agitazione ondosa $T_r=5$ anni nuovo progetto configurazione 2.

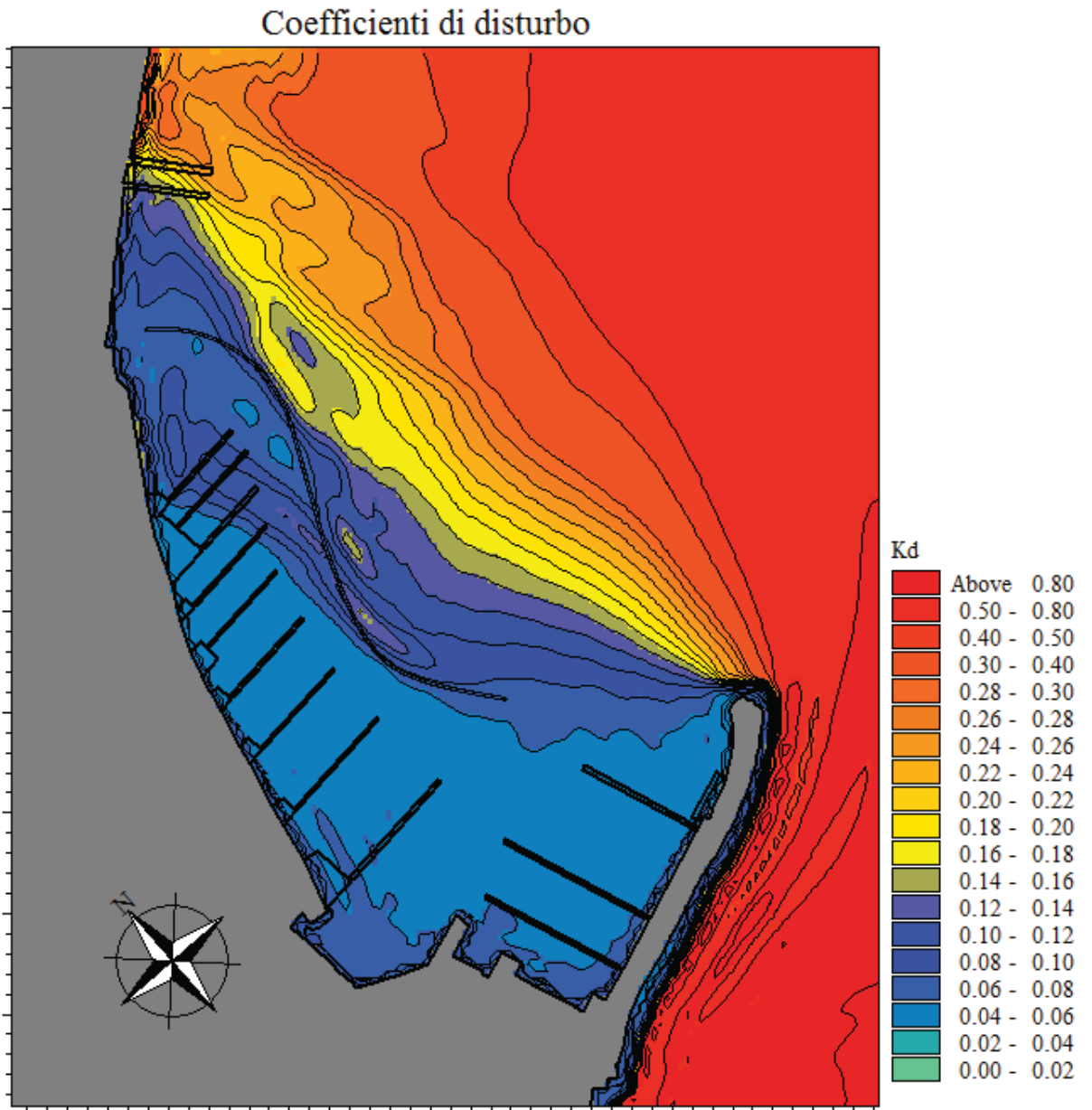


Figura 19. Coefficienti di disturbo $T_r = 5$ anni nuovo progetto configurazione 2.

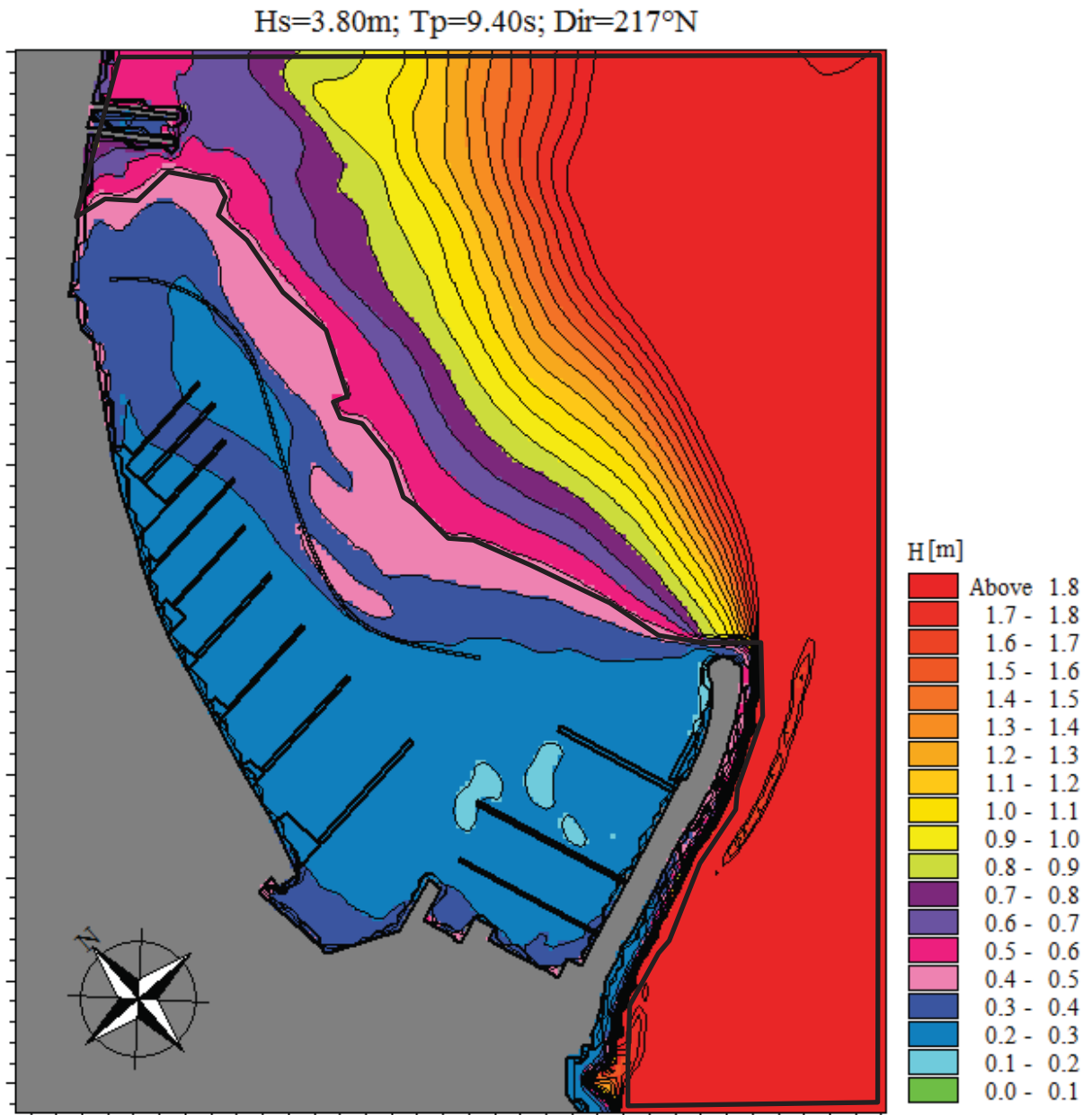


Figura 20. Agitazione ondosa $T_r=50$ anni nuovo progetto configurazione 2.

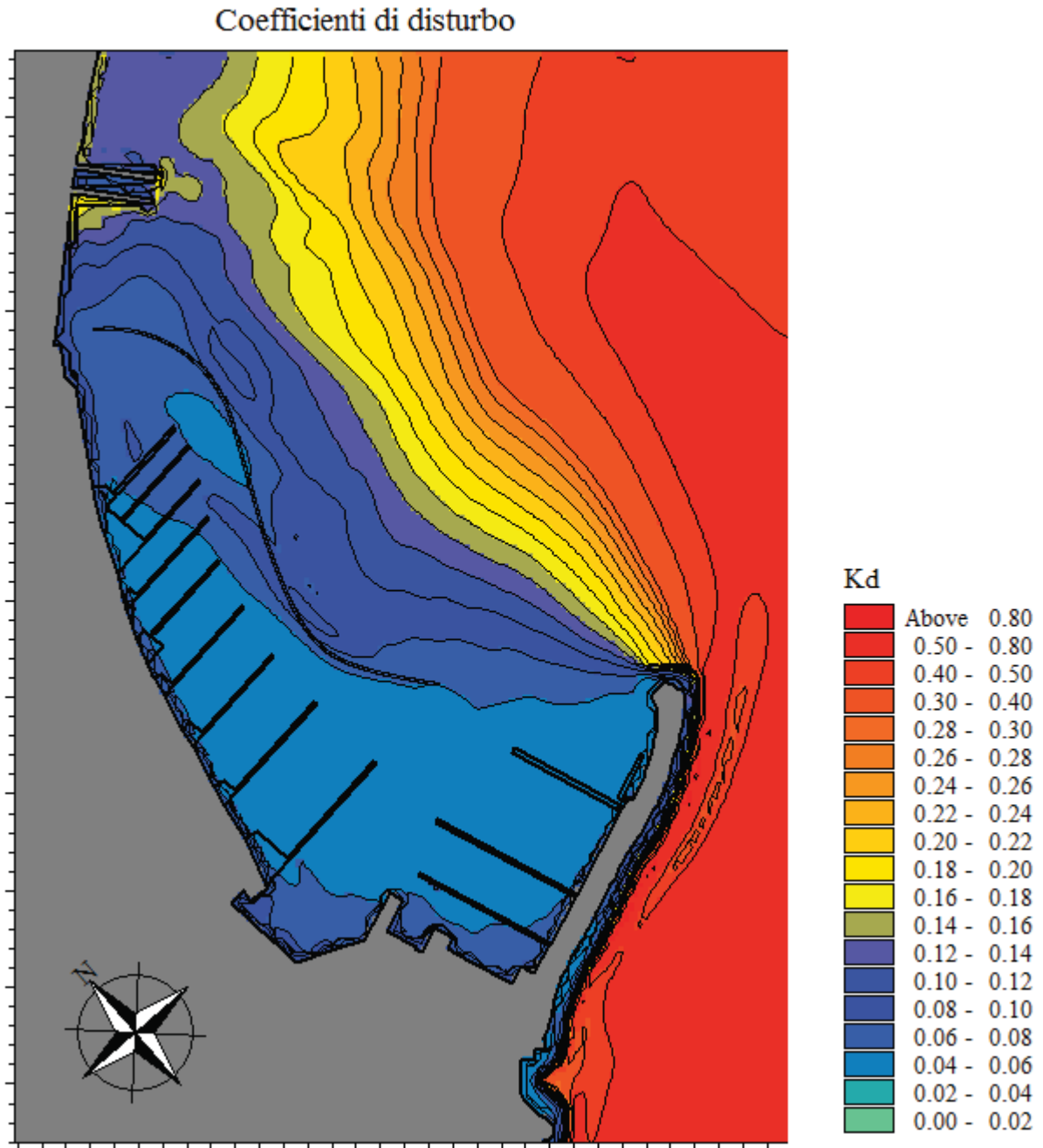


Figura 21. Coefficienti di disturbo $T_r=50$ anni nuovo progetto configurazione 2.

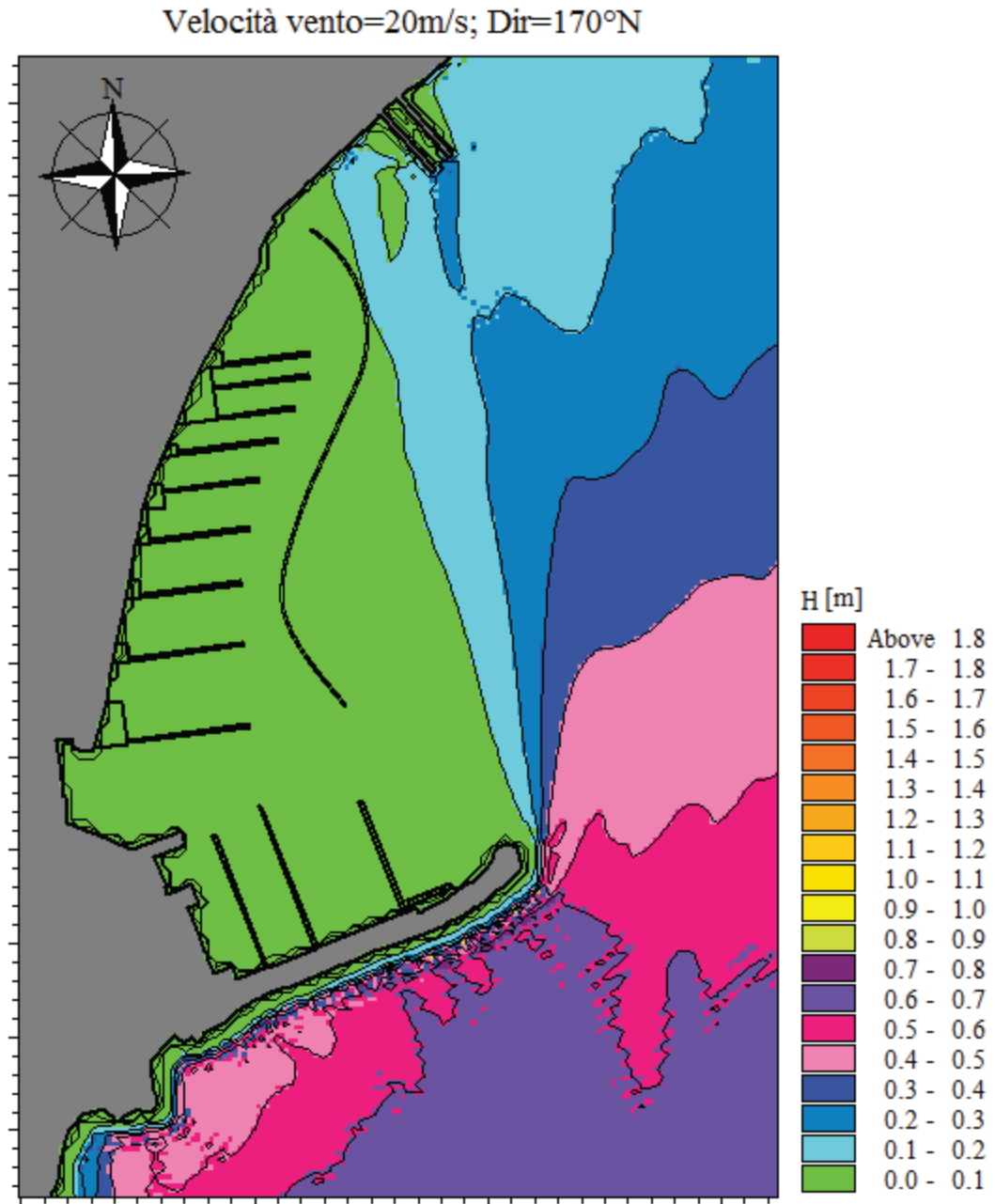


Figura 22. Agitazione ondosa vento 20m/s nuovo progetto configurazione 2.

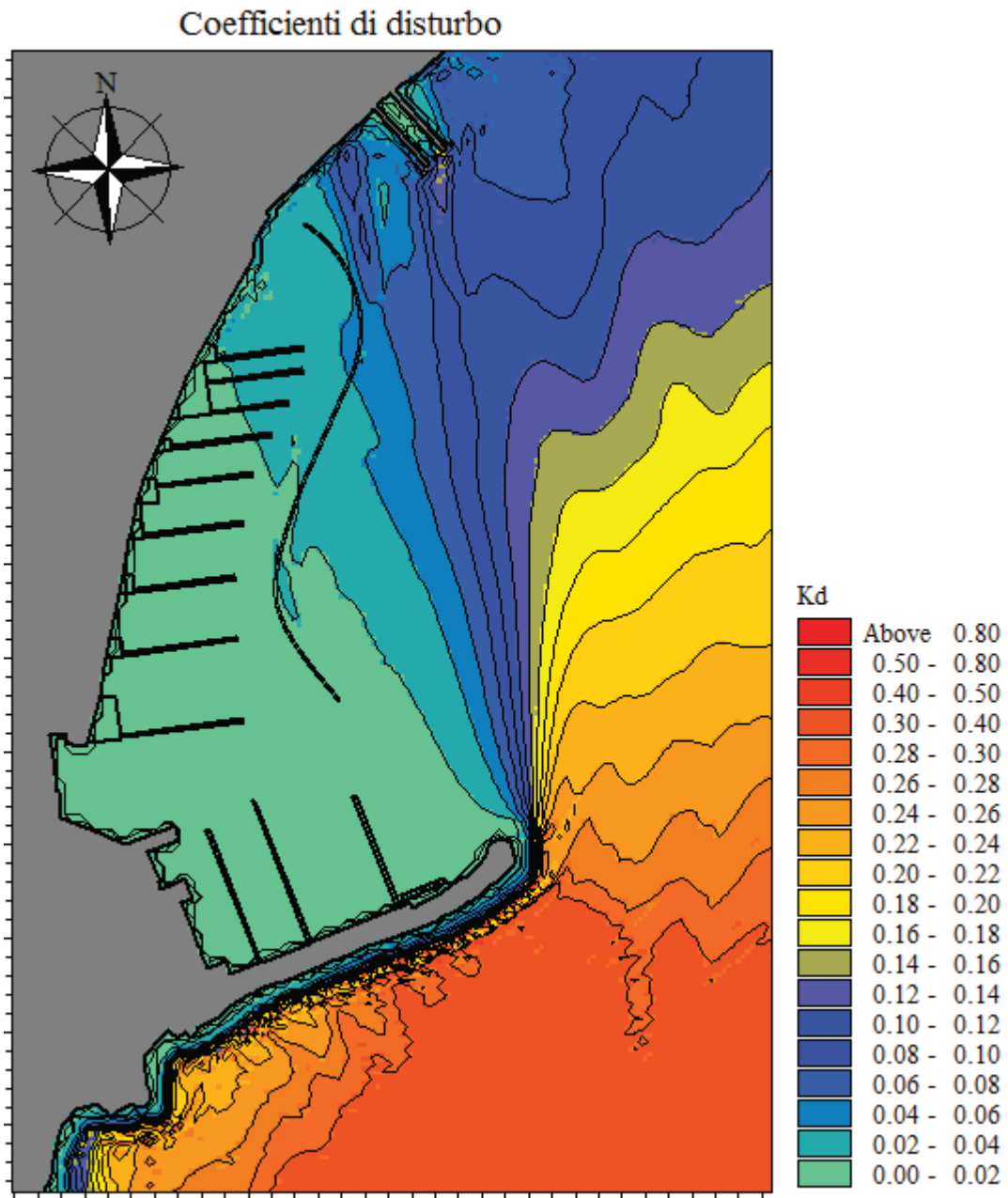


Figura 23. Coefficienti di disturbo vento 20m/s nuovo progetto configurazione 2.

Velocità vento=30m/s; Dir=170°N

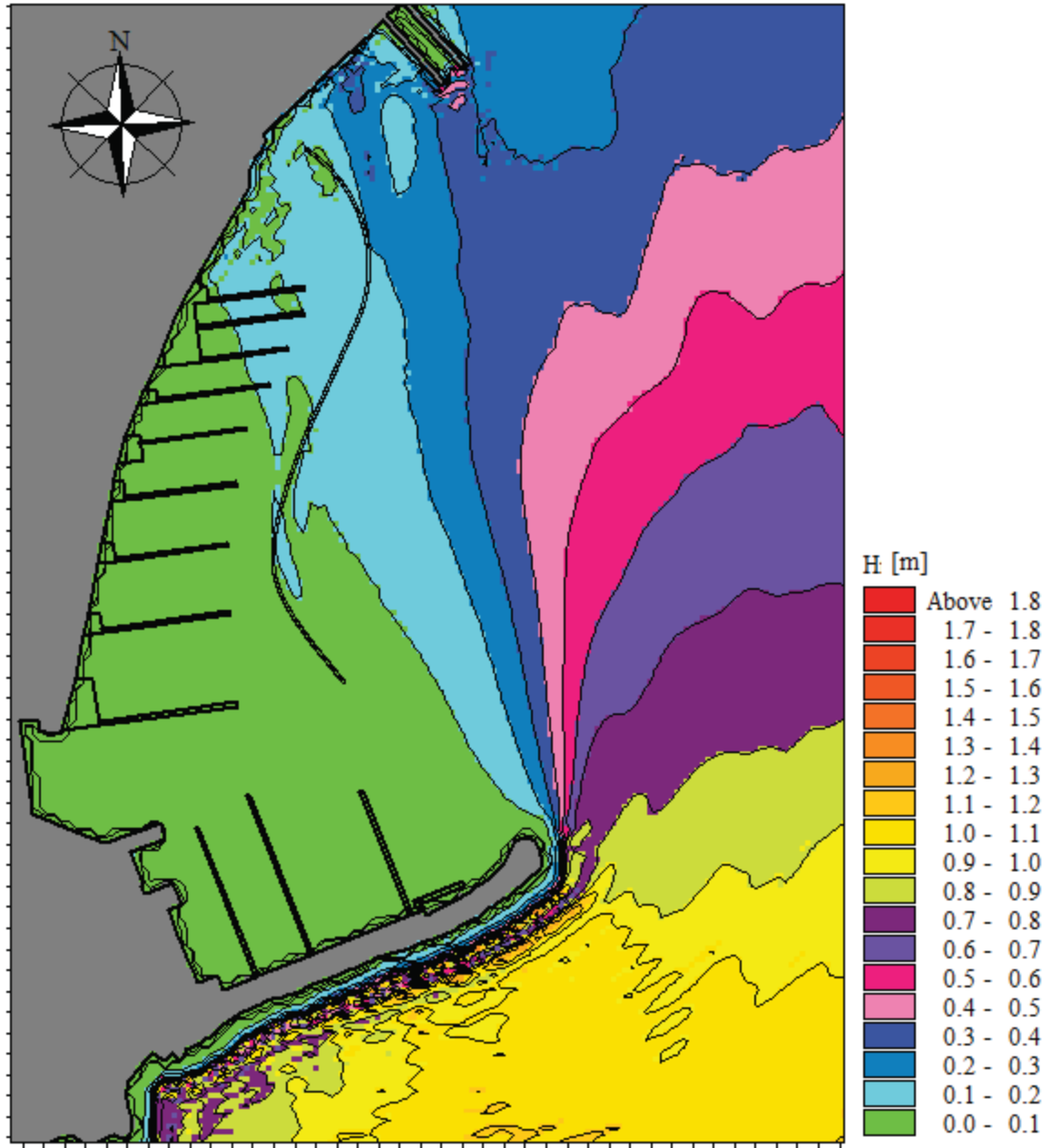


Figura 24. Agitazione ondosa vento 30m/s nuovo progetto configurazione 2.

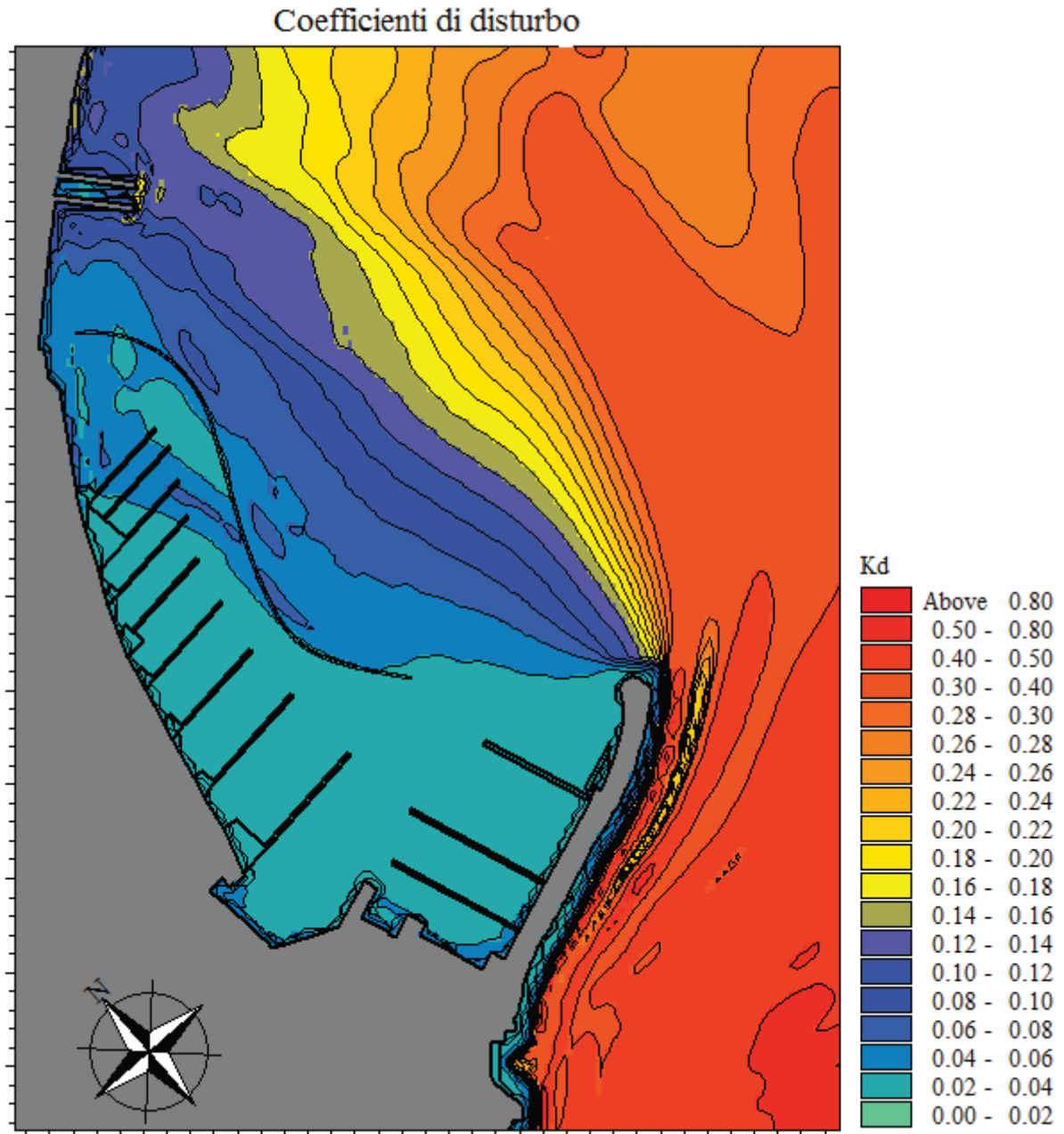


Figura 25. Coefficienti di disturbo vento 30m/s nuovo progetto configurazione 2.

4. CONCLUSIONI

Il presente studio è stato redatto per poter simulare l'agitazione ondosa all'interno del porto di Talamone e valutare così l'efficienza delle opere da realizzare.

Le condizioni ondose in ingresso sono state individuate dal precedente studio di propagazione del moto ondoso in prossimità del porto per poter poi propagare tali valori all'interno del bacino portuale.

Da tale studio sono state individuate due onde provenienti da Sud Ovest (210°N), una con altezza pari a 3.80 m e periodo di picco pari a 9.40s con tempo di ritorno 50 anni, l'altra con altezza di 2.90m e periodo di picco 7.70s associata ad un tempo di ritorno di 5 anni, oltre a questi due input ondosi sono stati simulati due stati di mare generati dal vento, le velocità del vento scelte sono di 20m/s (burrasca, 8 della scala Beaufort) ed una velocità di 30m/s (tempesta violenta, 11 della scala Beaufort).

È stato utilizzato il modello numerico MIKE21 BW, che è basato sulla risoluzione numerica nel dominio del tempo delle equazioni di Boussinesq in due dimensioni (Madsen et al., 1997) attraverso uno schema implicito alle differenze finite. Le equazioni includono i termini non lineari e la dispersione in frequenza che è introdotta nelle equazioni del moto considerando gli effetti delle accelerazioni verticali sulla distribuzione di pressione. Si sono costruite delle mesh di calcolo utilizzando un passo di discretizzazione dx e dy di 4m in quanto tale modello necessita di almeno 7 punti di calcolo per ogni lunghezza d'onda. Per poter permettere l'ingresso dei fronti d'onda ortogonali alla griglia di calcolo, la mesh per la simulazione delle onde con Tempo di ritorno di 5 e 50 anni è stata ruotata di 40° in quanto la direzione di propagazione di tali onde risulta essere di 216°N, la mesh di calcolo delle onde generate dal vento non è stata ruotata in quanto queste onde provengono da 180°N. Le griglie di calcolo hanno 450 punti in direzione x e 550 punti in direzione y. Tutte le simulazioni hanno una durata temporale di un'ora che risulta essere un periodo sufficiente per l'intero sviluppo del moto ondoso all'interno dell'area.

Per le verifiche dell'agitazione residua all'interno del porto si è fatto riferimento a: "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" febbraio 2002., AIPCN (ora Associazione Internazionale di Navigazione), recepite favorevolmente dalla Terza sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

In particolare l'Art. 5 "Agitazione interna" raccomanda i seguenti valori dell'altezza significativa ammissibile all'interno del porto per:

- per le "condizioni limite" un valore pari a 0,50 m
- per le "condizioni di sicurezza" un valore pari a 0,30 m.

Dai risultati dell'agitazione ondosa all'interno del porto di Talamone si evince che, sia per lo stato attuale che per il nuovo progetto (configurazione 1 e configurazione 2-2a), con un'onda avente tempo di ritorno 5 anni ($H_s=2.90\text{m}$; $T_p=7.70\text{s}$; $Dir=210^\circ\text{N}$) si ha un'agitazione media all'interno del bacino dell'ordine di $0.10\text{m} - 0.20\text{m}$ con picchi di 0.30m ; con un'onda avente tempo di ritorno 50 anni ($H_s=4.70\text{m}$; $T_p=9.40\text{s}$; $Dir=210^\circ\text{N}$) si ha un'agitazione media all'interno del bacino dell'ordine di $0.20\text{m} - 0.30\text{m}$ con picchi di 0.40m .

L'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale indotta dal vento con velocità 20m/s risulta pari a $0.10\text{m} - 0.20\text{m}$; l'agitazione ondosa indotta dal vento con velocità 30m/s risulta mediamente di $0.10\text{m} - 0.20\text{m}$ con picchi di 0.30m . Si nota come però, nel nuovo progetto, la banchina prevista lungo la diga frangiflutti determini una riflessione superiore rispetto allo stato attuale in quanto questa risulta essere totalmente riflettente, questo però non determina una problematica in termini di agitazione ondosa all'interno del porto in quanto la variazione indotta da tale banchina, rispetto alla scogliera attuale, è di circa 0.10m .

Non sono stati riportati i risultati della configurazione 1 e della configurazione 2a del nuovo progetto in quanto il layout 1 differisce dal layout 2 solamente per la deviazione del torrente, si è visto che la presenza delle armature della nuova foce non comportano variazioni in termini di agitazione ondosa all'interno del bacino portuale. La configurazione 2a differisce dal layout 2 solamente per la variazione della larghezza della diga soffolta, anche in questo caso non si sono riscontrate variazioni dell'agitazione ondosa interna.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	<i>Vista aerea del porto di Talamone.</i>	2
Figura 2.	<i>Linea di generazione del moto ondoso – stato attuale.</i>	6
Figura 3.	<i>Rappresenzazione di dettaglio della batimetria – stato attuale.</i>	7
Figura 4.	<i>Linea di generazione del moto ondoso – configurazione di progetto.</i>	8
Figura 5.	<i>Rappresentazione di dettaglio della batimetria – configurazione di progetto.</i>	9
Figura 6.	<i>Strato assorbente stato attuale.</i>	10
Figura 7.	<i>Strato assorbente configurazione di progetto.</i>	11
Figura 8.	<i>Coefficienti di riflessione stato attuale.</i>	13
Figura 9.	<i>Coefficienti di riflessione configurazione di progetto.</i>	14
Figura 10.	<i>Agitazione ondosa $Tr = 5$ anni stato attuale.</i>	16
Figura 11.	<i>Coefficienti di disturbo $Tr = 5$ anni stato attuale.</i>	17
Figura 12.	<i>Agitazione ondosa $Tr = 50$ anni stato attuale.</i>	18
Figura 13.	<i>Coefficienti di disturbo $Tr = 50$ anni stato attuale.</i>	19
Figura 14.	<i>Agitazione ondosa vento 20m/s stato attuale.</i>	20
Figura 15.	<i>Coefficienti di disturbo vento 20m/s stato attuale.</i>	21
Figura 16.	<i>Agitazione ondosa vento 30m/s stato attuale.</i>	22
Figura 17.	<i>Coefficienti di disturbo vento 30m/s stato attuale.</i>	23
Figura 18.	<i>Agitazione ondosa $Tr=5$anni nuovo progetto configurazione 2.</i>	24
Figura 19.	<i>Coefficienti di disturbo $Tr = 5$anni.</i>	25
Figura 20.	<i>Agitazione ondosa $Tr=50$anni nuovo progetto configurazione 2.</i>	26
Figura 21.	<i>Coefficienti di disturbo $Tr=50$anni nuovo progetto configurazione 2.</i>	27
Figura 22.	<i>Agitazione ondosa vento 20m/s nuovo progetto configurazione 2.</i>	28
Figura 23.	<i>Coefficienti di disturbo vento 20m/s nuovo progetto configurazione 2.</i>	29
Figura 24.	<i>Agitazione ondosa vento 30m/s nuovo progetto configurazione 2.</i>	30
Figura 25.	<i>Coefficienti di disturbo vento 30m/s nuovo progetto configurazione 2.</i>	31

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.	<i>Condizioni ondose utilizzate per le simulazioni.</i>	3
Tabella 2.	<i>Coefficienti di riflessione.</i>	12