Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Regione Liguria

# Comune di S.Margherita Ligure (GE)



## OPERE MARITTIME - RIPRISTINO E RINFORZO MOLO DI SOPRAFLUTTO A DIFESA DELL'ABITATO DI SANTA MARGHERITA LIGURE

CIG 77501856FB

## PROGETTO DEFINITIVO


Responsabile del procedimento

Dott. Ing. Pietro Feriani

Progettazione

ACQUA TECNO

Dott. Ing. Paolo Turbole

Dott. Ing. PAOLO TURBOLENTE ORDINE INGEGNERI ROMA


Titolo elaborato

## STUDIO DELLA PENETRAZIONE DEL MOTO ONDOSO ALL'INTERNO DEL PORTO

Elaborato

A.2255 | PD | | EG

**PD.SP**

Scala

Data

Febbraio 2019

| Revisione | Data | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



# SOMMARIO

1. INTRODUZIONE ..... 4

2. STUDIO DELLA AGITAZIONE INTERNA ..... 5

2.1. Definizione delle condizioni d'onda incidenti ..... 5

2.2. Definizione della griglia di calcolo ..... 5

2.3. Generazione del moto ondoso ..... 6

2.4. Definizione dei parametri di riflessione ..... 9

2.5. Periodo di simulazione e passo di integrazione ..... 11

2.6. Analisi dei risultati ..... 12

3. CONCLUSIONI ..... 17

4. BIBLIOGRAFIA ..... 19

APPENDICE: MIKE 21 BOUSSINESQ WAVE MODULE ..... 20

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



## INDICE DELLE FIGURE

**Figura 1.** Vista planimetrica del Porto di santa Margherita Ligure nella configurazione di stato attuale – immagine presa da Google Earth..... 4
**Figura 2.** Batimetria e linea di generazione per la simualzione dell'onda con Tr = 5 anni – configurazione di stato attuale e di progetto. ..... 7
**Figura 3.** Strati assorbenti. ..... 8
**Figura 4.** Mappa dei coefficienti di riflessione per le due configurazioni portuali. ..... 10
**Figura 5.** Leggi empiriche per la determinazione dei coefficienti di riflessione relativi ad opere dotate di berma. ..... 11
**Figura 6.** Onda simulata: Tr = 5 anni; Hs = 2.52 m; Tp = 8.60 s; Dir = 160°N - Altezze d'onda significative all'interno del porto – configurazione di stato attuale. ..... 13
**Figura 7.** Onda simulata: Tr = 5 anni; Hs = 2.52 m; Tp = 8.60 s; Dir = 160°N - Altezze d'onda significative all'interno del porto – configurazione di progetto. ..... 14
**Figura 8.** Onda simulata: Tr = 50 anni; Hs = 3.50 m; Tp = 10.35 s; Dir = 172°N - Altezze d'onda significative all'interno del porto – configurazione di stato attuale. ..... 15
**Figura 9.** Onda simulata: Tr = 50 anni; Hs = 3.50 m; Tp = 10.35 s; Dir = 172°N - Altezze d'onda significative all'interno del porto – configurazione di progetto. ..... 16

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



## INDICE DELLE TABELLE

**Tabella 1.** Condizioni ondose simulate. ..... 5
**Tabella 2.** Coefficienti di riflessione adottati per ogni classe di opera. ..... 9
**Tabella 3.** Tabella riassuntiva delle condizioni ondose simulate. ..... 17

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



## 1. INTRODUZIONE

A seguito degli ultimi eventi di mareggiata risalenti allo scorso 29 ottobre 2018, l'Acquatecno S.r.l. è stata incaricata dal Comune di Santa Margherita Ligure (GE) di riprogettare la diga di sopraflutto di stato attuale (Figura 1), tenendo conto anche dell'onda che ne ha provocato il collasso e d in seguito studiare nuove soluzioni dell'imboccatura portuale, al fine di garantire una minore agitazione residua interna.

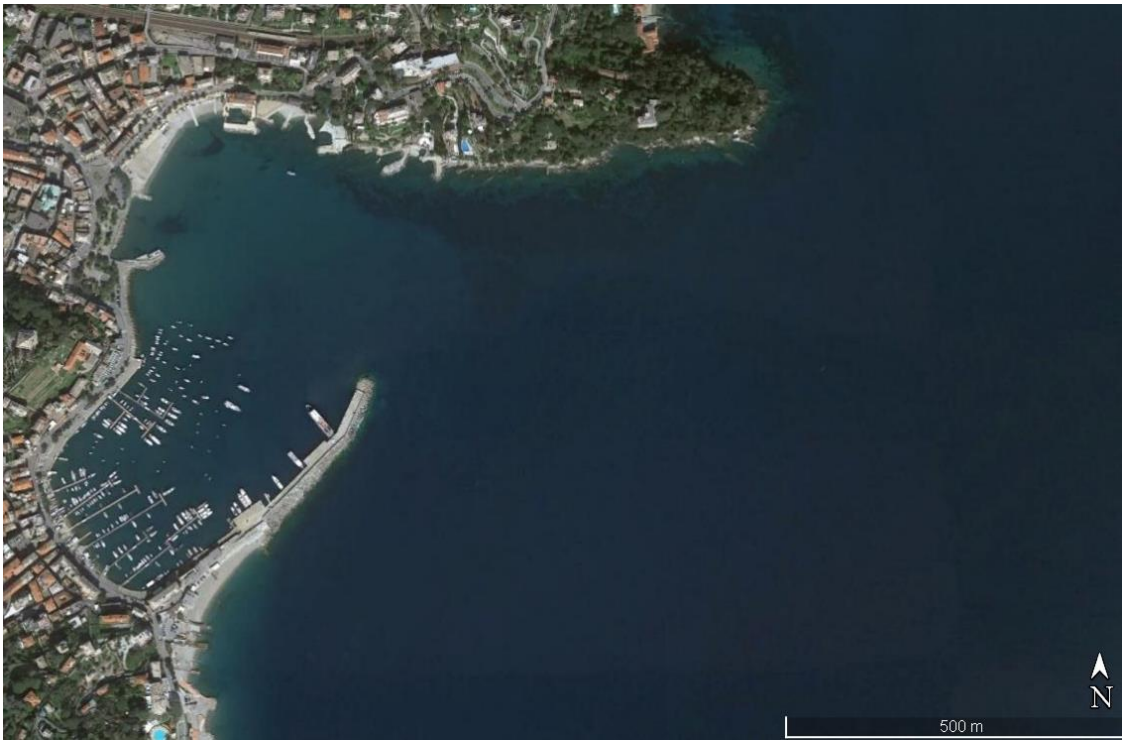



**Figura 1.** Vista planimetrica del Porto di santa Margherita Ligure nella configurazione di stato attuale – immagine presa da Google Earth.

A tal proposito, nel presente studio di penetrazione ondosa all'interno del porto, sono stati investigati due layout portuali:

- La configurazione di stato attuale, alla luce dei dati ottenuti dallo studio meteomarino;
- La configurazione di progetto, con prolungamento della diga di sopraflutto ruotato di 60° verso l'interno del porto, rispetto all'asse della diga esistente.

Questo documento costituisce la relazione illustrativa della metodologia attuata, delle tecniche di elaborazione dei dati e descrive quindi i risultati finali delle analisi svolte.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



# 2. STUDIO DELLA AGITAZIONE INTERNA

Le condizioni di agitazione residua all'interno del bacino portuale sono state ottenute utilizzando il modello numerico Mike 21 BW (Boussinesq Waves), costituito da un codice di calcolo basato sulla risoluzione numerica, nel dominio del tempo, delle Equazioni di Boussinesq attraverso la tecnica delle differenze finite. Questo codice rende possibile la modellazione di diversi fenomeni fisici tra cui quelli dipendenti dalla variazione dei fondali all'esterno del porto, come la rifrazione e quelli dovuti alla presenza di opere emergenti, ovvero riflessione e diffrazione.

Nei paragrafi seguenti si descrivono le impostazioni utilizzate sia in relazione alle condizioni ondose incidenti sia alle impostazioni del modello in termini di definizione del dominio di simulazione che di settaggio dei parametri idraulici di riferimento.

## 2.1. Definizione delle condizioni d'onda incidenti

I livelli di agitazione ondosa all'interno del porto sono statti studiati simulando le condizioni ondose più critiche ottenute dallo studio di propagazione del moto ondoso (PD_SR_Studio di propagazione del moto ondoso), riassunte in Tabella 1. Sono state pertanto prese in considerazione l'onda cinquantennale e l'onda quinquennale caratterizzate dall'altezza significativa maggiore.

In particolare, l'onda avente periodo di ritorno pari a 50 anni è stata ottenuta propagando l'onda di largo proveniente dalla traversia principale, ovvero dal settore 195°N – 225°N (Ostro – Libeccio), mentre l'onda con periodo di ritorno pari a 5 anni è il risultato della propagazione dell'onda di largo proveniente dalla traversia secondaria coincidente con il settore 135°N – 195°N (Scirocco – Ostro).

**Tabella 1.** Condizioni ondose simulate.

| Tr [anni] | Hs [m] | Tp [s] | Dir [°N] |
|---|---|---|---|
| 50 | 3.50 | 10.35 | 172 |
| 5 | 2.52 | 8.60 | 160 |

## 2.2. Definizione della griglia di calcolo

Al fine di rappresentare in maniera ottimale entrambe le condizioni ondose, sono state definite due diverse griglie di calcolo, rettangolari, a maglie quadrate, con discretizzazione pari a 4 m in entrambe le direzioni, al fine di garantire un minimo di 7 nodi della griglia per ogni lunghezza d'onda:

- Per la simulazione dell'onda avente Tr = 5 anni è stata adottata un'area di calcolo composta da 400 nodi in direzione x e 325 nodi in direzione y. Alla griglia è stata associata una rotazione -

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



20° rispetto al Nord, in modo da avere una rotazione della direzione di propagazione rispetto all'asse y di massimo 30° N;

- Per simulare l'onda caratterizzata da Tr = 50 anni, il dominio è stato ampliato ottenendo una griglia composta da 523 nodi in direzione x e 375 in direzione y, a cui è stata associata una rotazione nulla rispetto al Nord.

### 2.3. Generazione del moto ondoso

Le condizioni di moto ondoso simulate sono quelle descritte precedentemente nel paragrafo 2.1. Le onde sono state introdotte nel modello tramite una linea di generazione interna alla griglia di calcolo, posta parallelamente all'asse x, ad una distanza adeguata rispetto alle opere portuali.

Lungo l'intera frontiera del dominio di calcolo è stata introdotta una "corona di terra" per far sì che non vi fosse alcuna propagazione attraverso i bordi dell'area di calcolo. Al fine di evitare fenomeni di riflessione ondosa inesistenti lungo il perimetro della griglia, è stato realizzato un contorno assorbente di spessore almeno pari alla lunghezza d'onda massima simulata.

La Figura 2 rappresenta la batimetria e la linea di generazione le configurazioni portuali modellate, la Figura 3 riporta il posizionamento degli strati assorbenti.

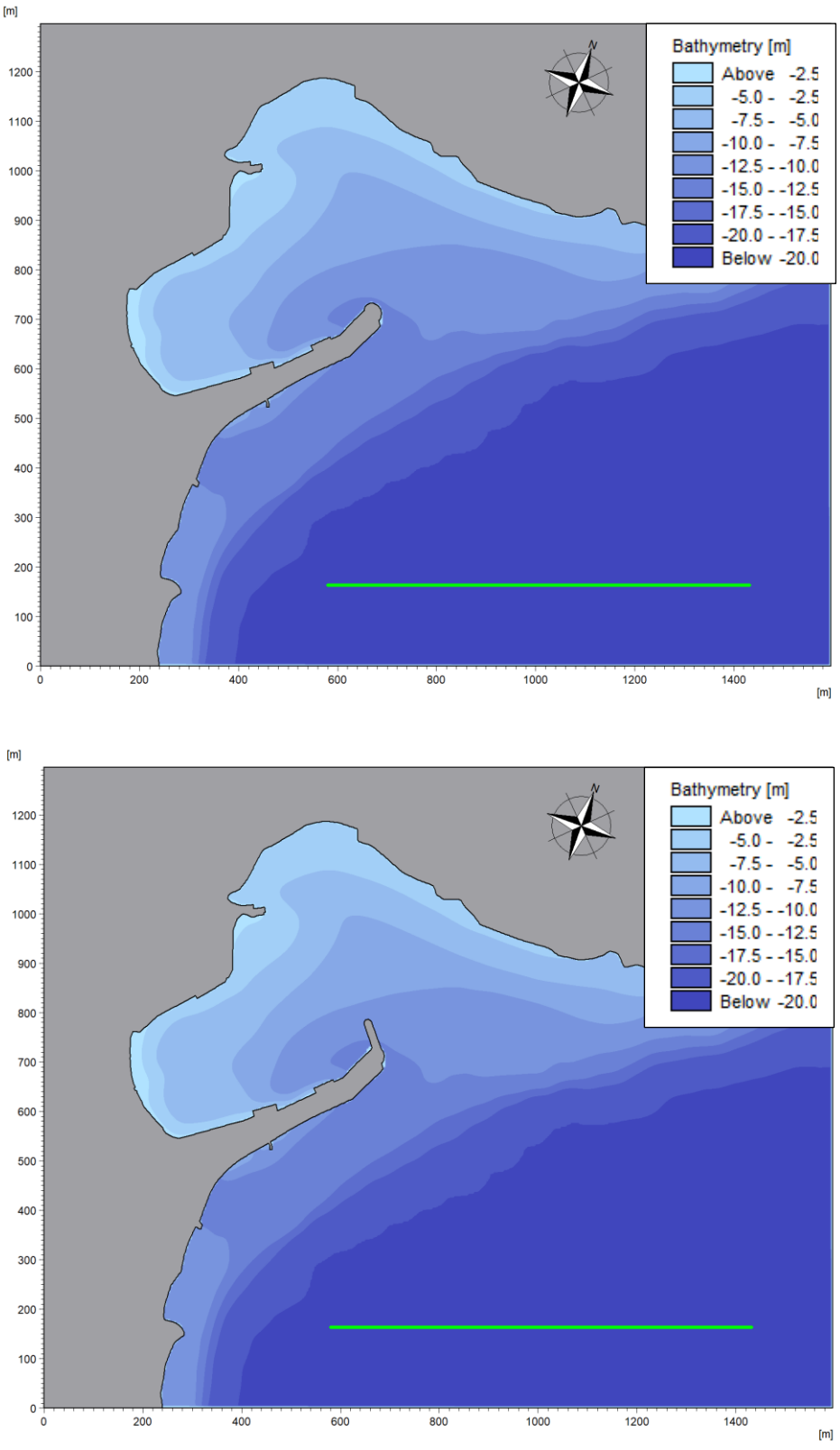



**Figura 2.** Batimetria e linea di generazione– configurazione di stato attuale e di progetto.

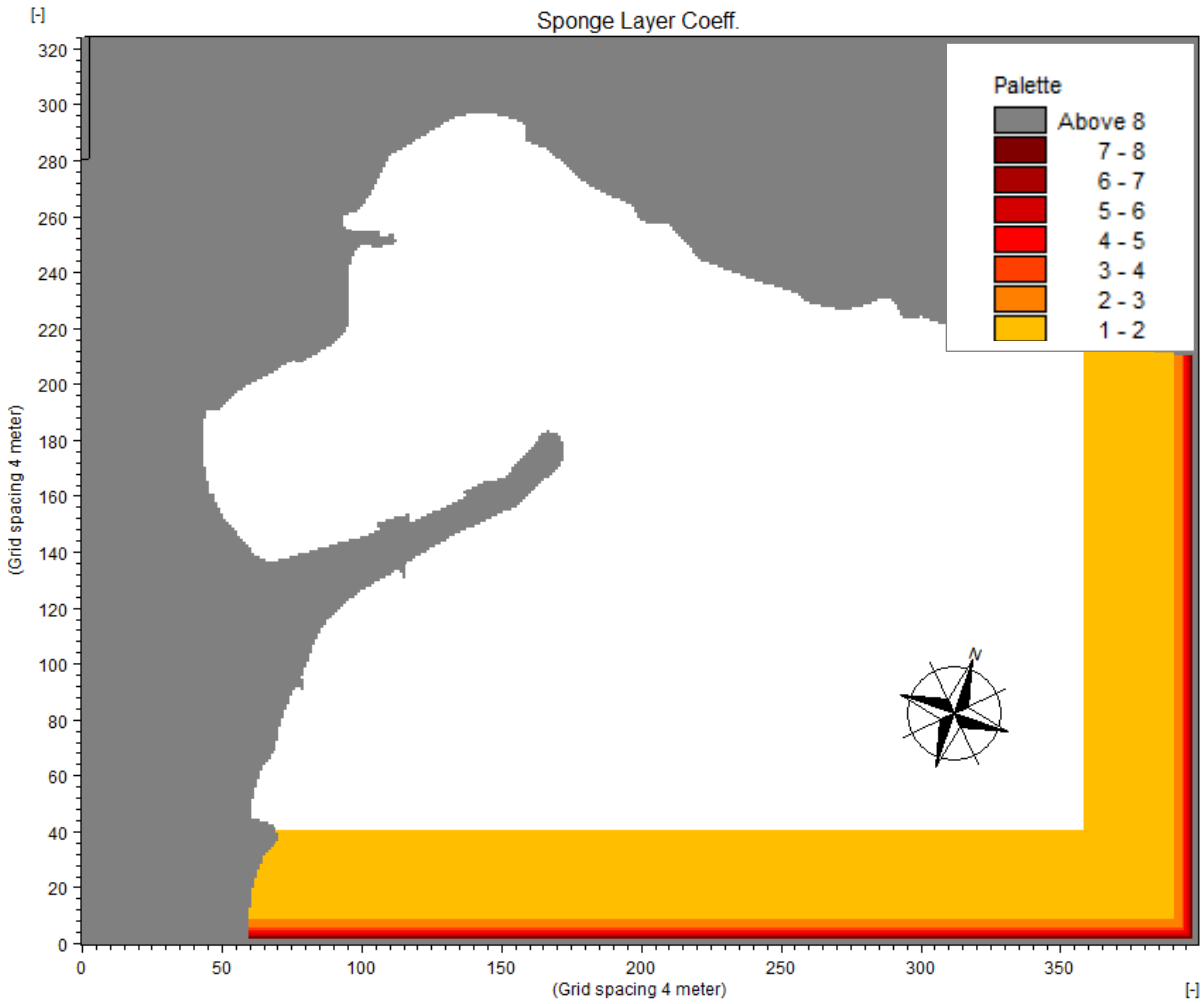



**Figura 3.** Strati assorbenti.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



### 2.4. Definizione dei parametri di riflessione

Per ottenere una maggiore accuratezza dei risultati delle simulazioni numeriche, si è deciso di associare ai diversi tipi di opera presenti nel Porto di Santa Margherita Ligure differenti valori dei coefficienti di riflessione. Sono state pertanto individuate quattro classi di opere (Figura 4):

- Totalmente riflettenti, ovvero tutte quelle opere caratterizzate da pareti verticali;
- Miste, riferito ai tratti di costa ricadenti nel dominio che presentano scogliere, pareti verticali e piccole opere in massi naturali;
- Opere di difesa in massi naturali, rappresentanti sostanzialmente la diga di sopraflutto e dal pennello;
- Spiagge, che tra tutte le categorie rappresentano sicuramente quella più assorbente.

Per le opere a parete verticale, è consuetudine associare cautelativamente un coefficiente di riflessione pari all'unità, ovvero l'onda incidente viene completamente riflessa dalla struttura. Per le opere di difesa in massi naturali si è fatto riferimento ai valori suggeriti dal CEM03, di cui alla Figura VI-5-19, relativa alle opere dotate di berma per l'attenuazione della pendenza (Figura 5). Nel caso in esame, date le dimensioni di progetto della berma e i fondali su cui le opere sono imbasate, possiamo considerare una condizione intermedia tra le prime due curve (Bb/hs = 0.526 e Bb/hs = 1.06) ed un coefficiente di riflessione pari a circa 0.35. Per le parti di costa costituite da spiaggia si scelto un coefficiente di riflessione molto basso, pari a 0.25. Per la categoria delle opere miste, considerando che il litorale è costituito in parte da spiagge, in parte da roccia e massi naturali ed infine da pareti verticali, è stato scelto un valore medio del coefficiente di riflessione pari a 0.5. Nella Tabella 2 sono riassunti i valori del coefficiente di riflessione per categoria di opere.

**Tabella 2.** Coefficienti di riflessione adottati per ogni classe di opera.

| TIPOLOGIA DI OPERE | R |
|---|---|
| Opere a parete verticale | 1.00 |
| Opere miste | 0.50 |
| Opere in massi naturali | 0.35 |
| Spiaggia | 0.25 |

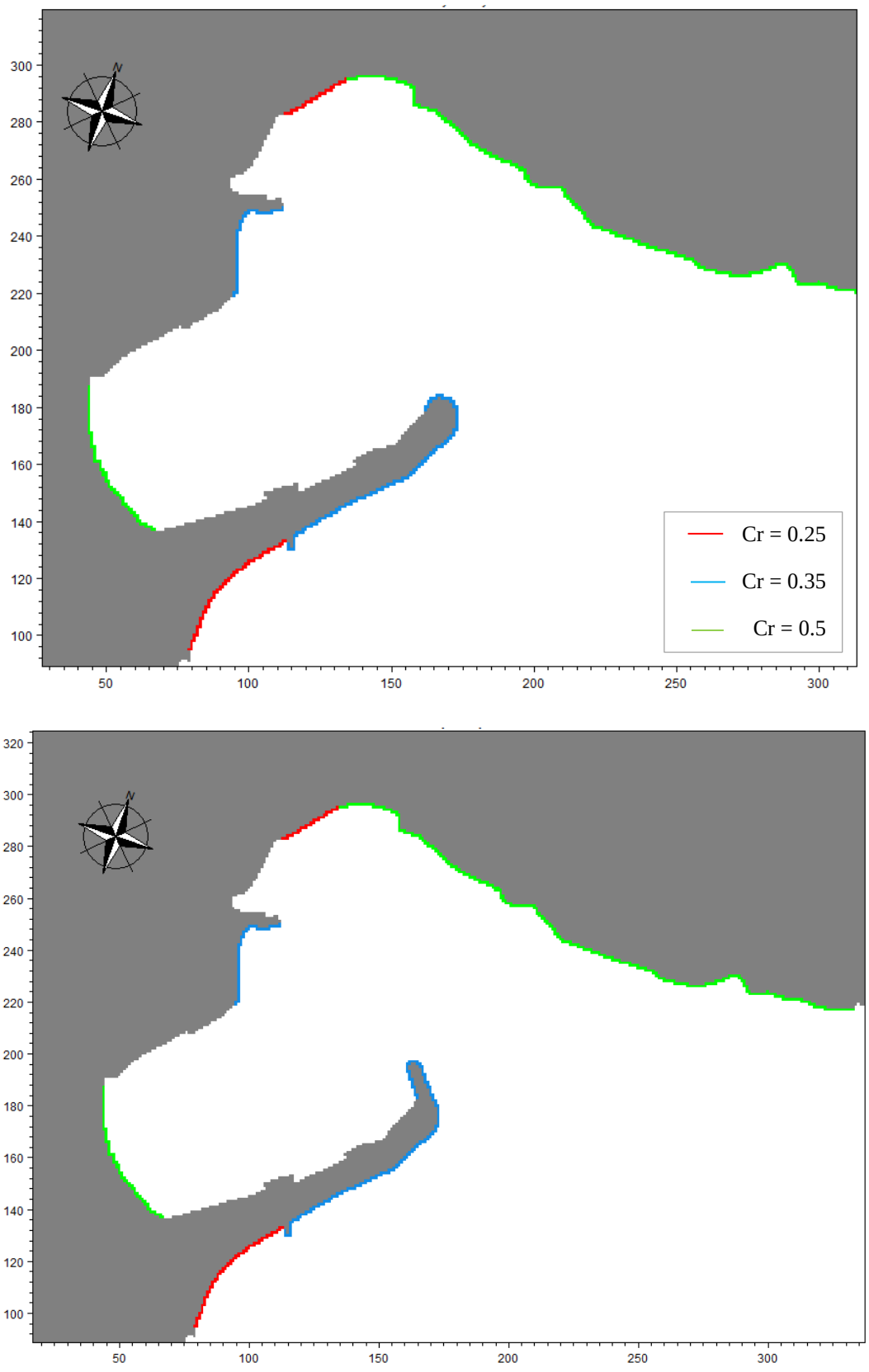



**Figura 4.** Mappa dei coefficienti di riflessione per le due configurazioni portuali.

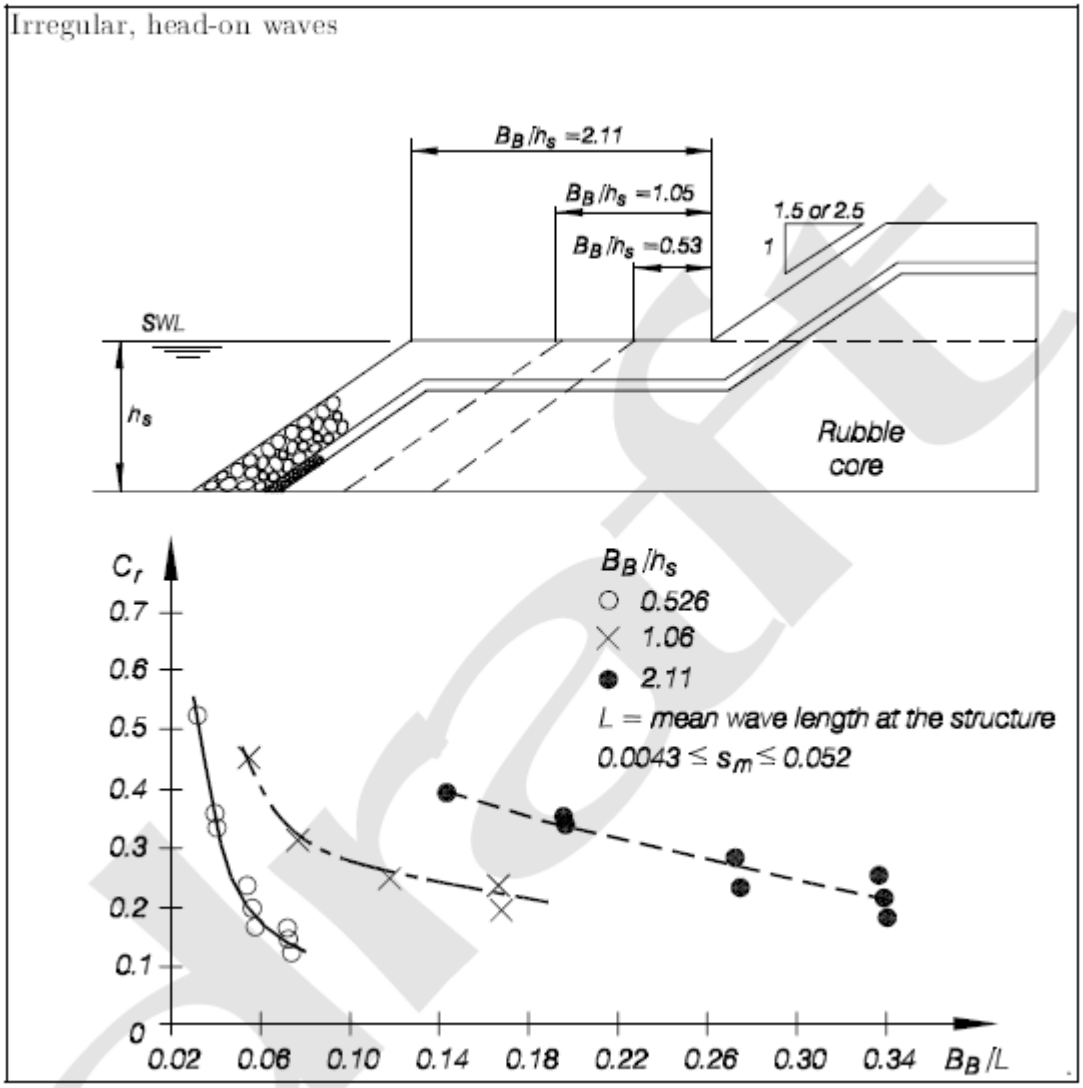



**Figure VI-5-19. Wave reflection coefficients for rock armored slope with berm at SWL (Allsop 1990)**

**Figura 5.** Leggi empiriche per la determinazione dei coefficienti di riflessione relativi ad opere dotate di berma.

### 2.5. Periodo di simulazione e passo di integrazione

Il codice di calcolo Mike 21 BW richiede l'impostazione di un periodo rappresentativo della durata dell'evento da simulare ed un passo di integrazione. Il periodo deve essere tale da consentire il completo sviluppo del moto ondoso all'interno del porto, pertanto per l'area in esame è stato scelto un periodo di simulazione paria ad un'ora. Il passo di integrazione deve essere scelto in modo che il numero di Courant, parametro che determina la stabilità del modello, si mantenga inferiore all'unità.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



Nel caso in esame è stato scelto uno step temporale pari a 0.2 s per l'onda quinquennale, e a 0.1 s per quella cinquantennale.

### 2.6. Analisi dei risultati

Si riporta di seguito un'analisi dei risultati ottenuti a valle delle simulazioni svolte. Nelle figure Figura 6 e Figura 7 sono rappresentati gli output in termini di altezza d'onda significativa, rispettivamente per la configurazione di stato attuale e per il layout di progetto, relativi all'onda avente le seguenti caratteristiche: periodo di ritorno Tr = 5 anni, altezza d'onda significativa Hs = 2.52 m, periodo d'onda di picco Tp = 8.6 s e direzione media di provenienza Dir = 160°N.

Per quanto riguarda il layout portuale di stato attuale, l'altezza d'onda significativa all'interno del porto è compresa nel range 0.30 – 0.40 m nella zona subito a tergo della giga di sopraflutto, ricade nell'intervallo 0.40 – 0.50 m nella parte centrale del porto, e raggiunge valori anche di 0.50 m sul lato opposto. L'imboccatura portuale è caratterizzata da 0.50 m < Hs < 0.60 m (Figura 6).

Introducendo un prolungamento avente lunghezza pari a circa 60 m e ruotato di circa 60° rispetto all'asse della diga esistente, i livelli di agitazione residua si riducono. L'altezza d'onda significativa infatti è compresa tra 0.30 m e 0.40 m in gran parte del porto, e tra 0.20 m e 0.30 nella zona retrostante la diga di sopraflutto (Figura 7). Si ha quindi una diminuzione de livelli di agitazione residua dell'ordine di 10 cm che comprende anche la zona dell'imboccatura, ed in generale l'area interessata dai pontili galleggianti e quindi dall'ormeggio delle imbarcazioni risulta maggiormente protetta.

Le figure Figura 8 e Figura 9 rappresentano gli output in termini di altezza d'onda significativa relativi all'onda caratterizzata dai seguenti parametri: Tr = 50 anni, altezza d'onda significativa Hs = 3.50 m, periodo d'onda di picco Tp = 10.35 s e direzione media d provenienza Dir = 172°N.

Nel caso della configurazione di stato attuale (Figura 8), l'altezza d'onda significativa è compresa nell'intervallo 0.50 m – 0.60 m pressoché nell'intero specchio acqueo del porto, ricade in vece nel range 0.60 m – 0.70 m nella zona opposta alla diga di sopraflutto. Per quanto riguarda l'imboccatura portuale, l'altezza d'onda significativa è compresa tra 0.60 m e 0.80 m.

Come per l'onda precedente, mediante l'inserimento del prolungamento previsto nel layout di progetto, di lunghezza pari a 60 m e ruotato di 60° verso l'interno del porto rispetto all'asse della diga esistente, si riscontra un miglioramento dei livelli di agitazione ondosa. In tal caso infatti, la zona situata subito alle spalle del sopraflutto risulta caratterizzata da un'altezza significativa compresa tra

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



0.40 m e 0.50 m. Per il resto, lo specchio acqueo rimane caratterizzato da 0.50 m < Hs < 0.60 m, e 0.60 m < Hs < 0.70 m nell'area opposta alla diga di sopraflutto.

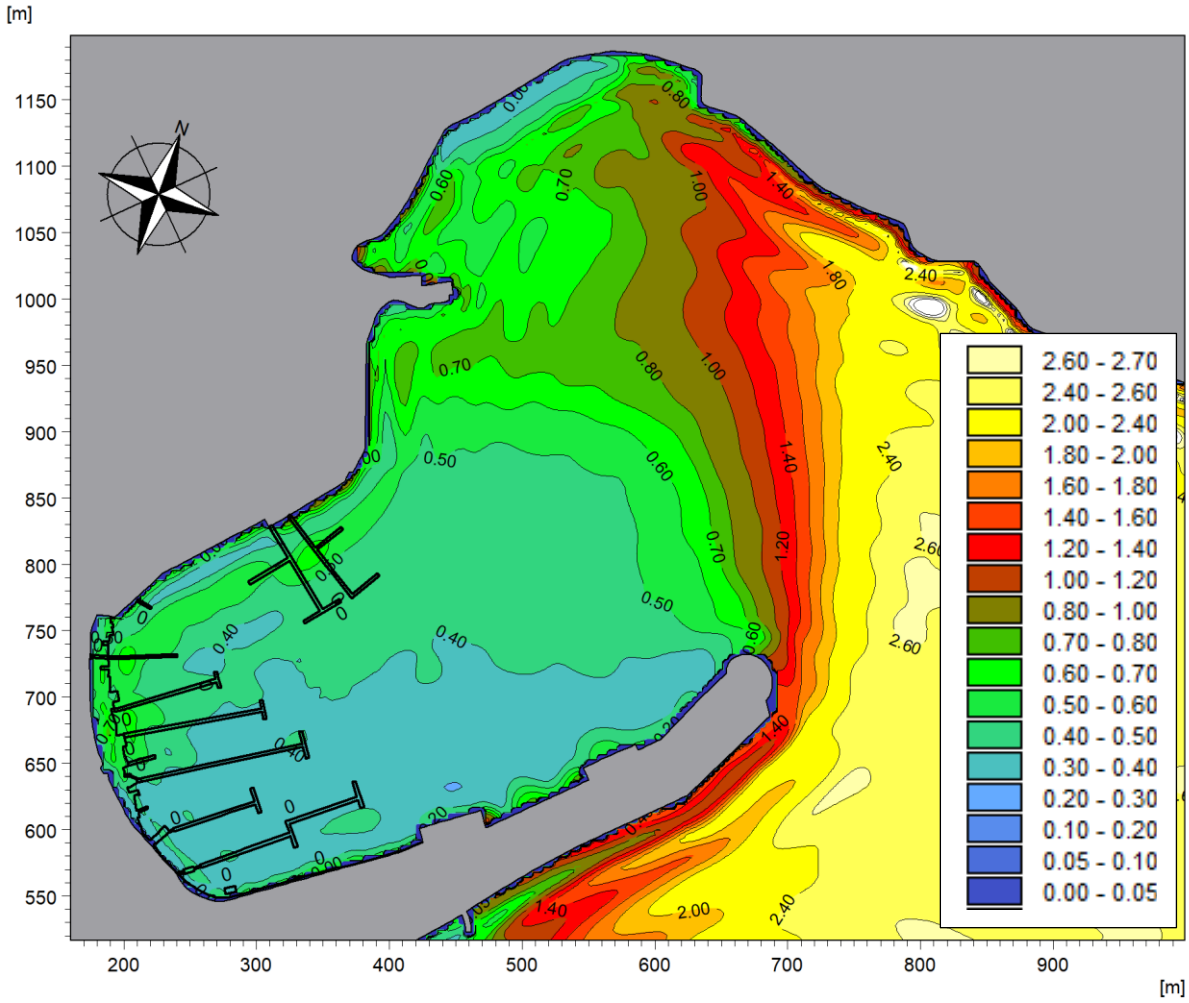



**Figura 6.** Onda simulata: Tr = 5 anni; Hs = 2.52 m; Tp = 8.60 s; Dir = 160°N - Altezze d'onda significative all'interno del porto – configurazione di stato attuale.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



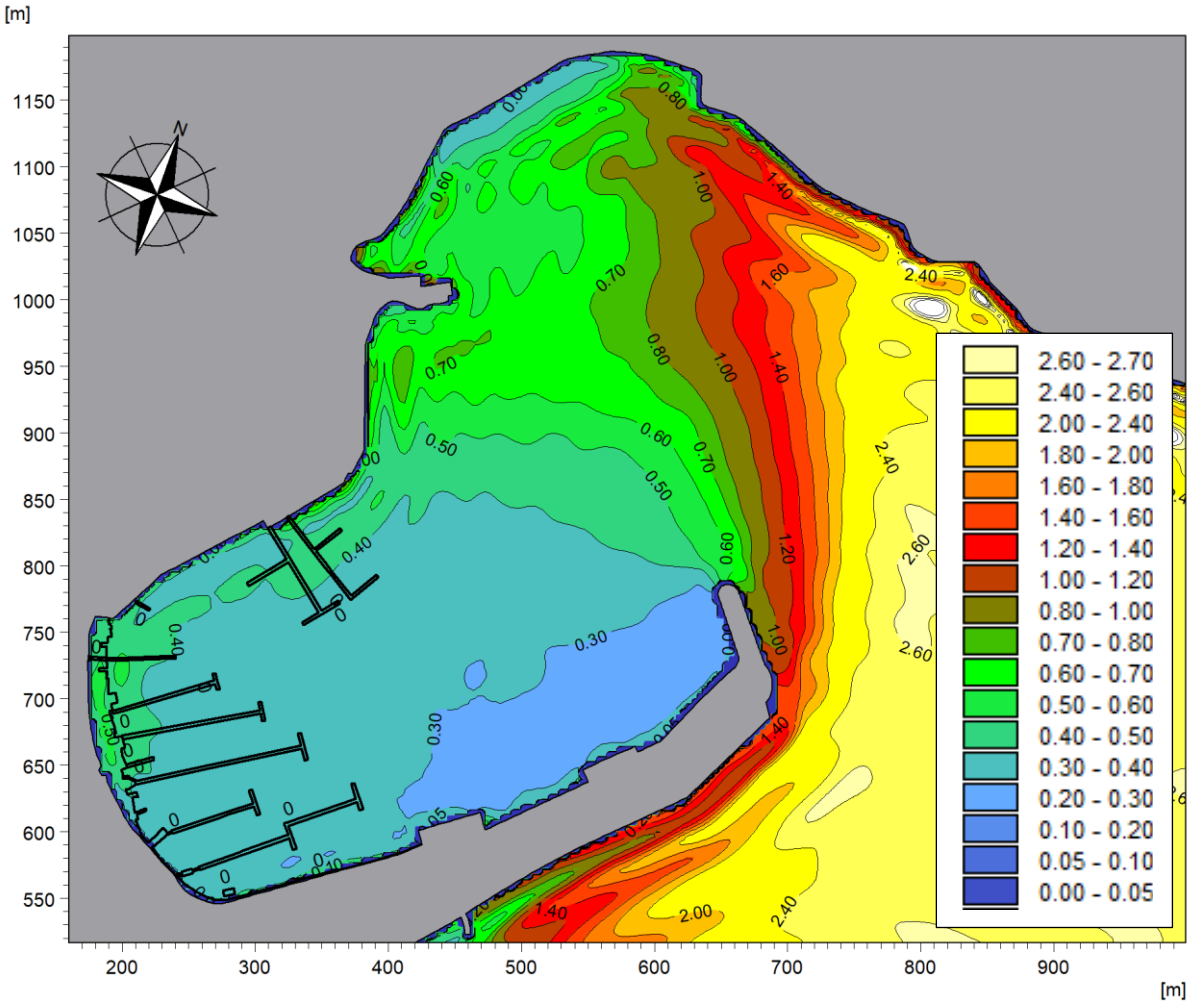



**Figura 7.** Onda simulata: Tr = 5 anni; Hs = 2.52 m; Tp = 8.60 s; Dir = 160°N - Altezze d'onda significative all'interno del porto – configurazione di progetto.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



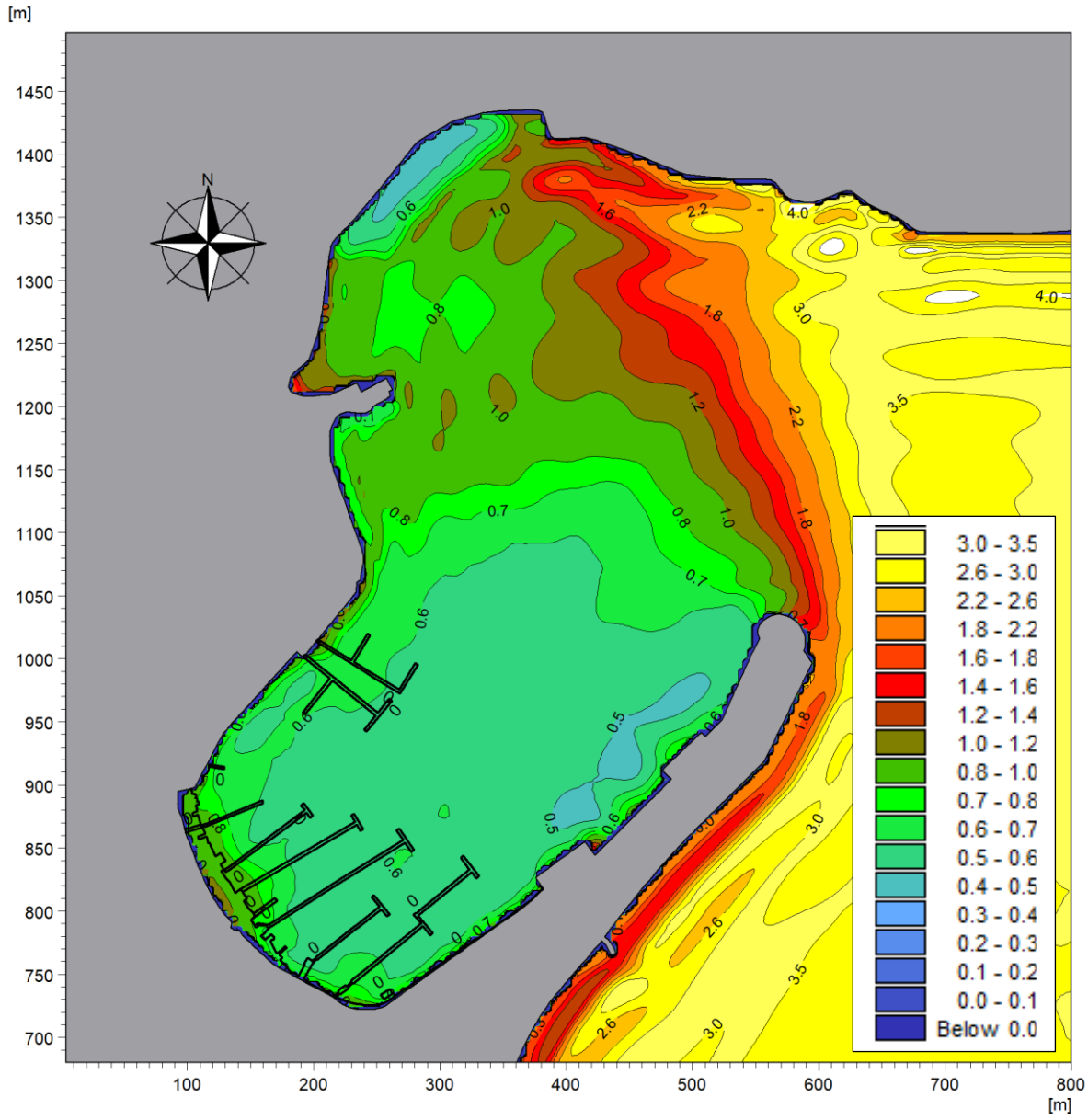



**Figura 8.** Onda simulata: Tr = 50 anni; Hs = 3.50 m; Tp = 10.35 s; Dir = 172°N - Altezze d'onda significative all'interno del porto – configurazione di stato attuale.

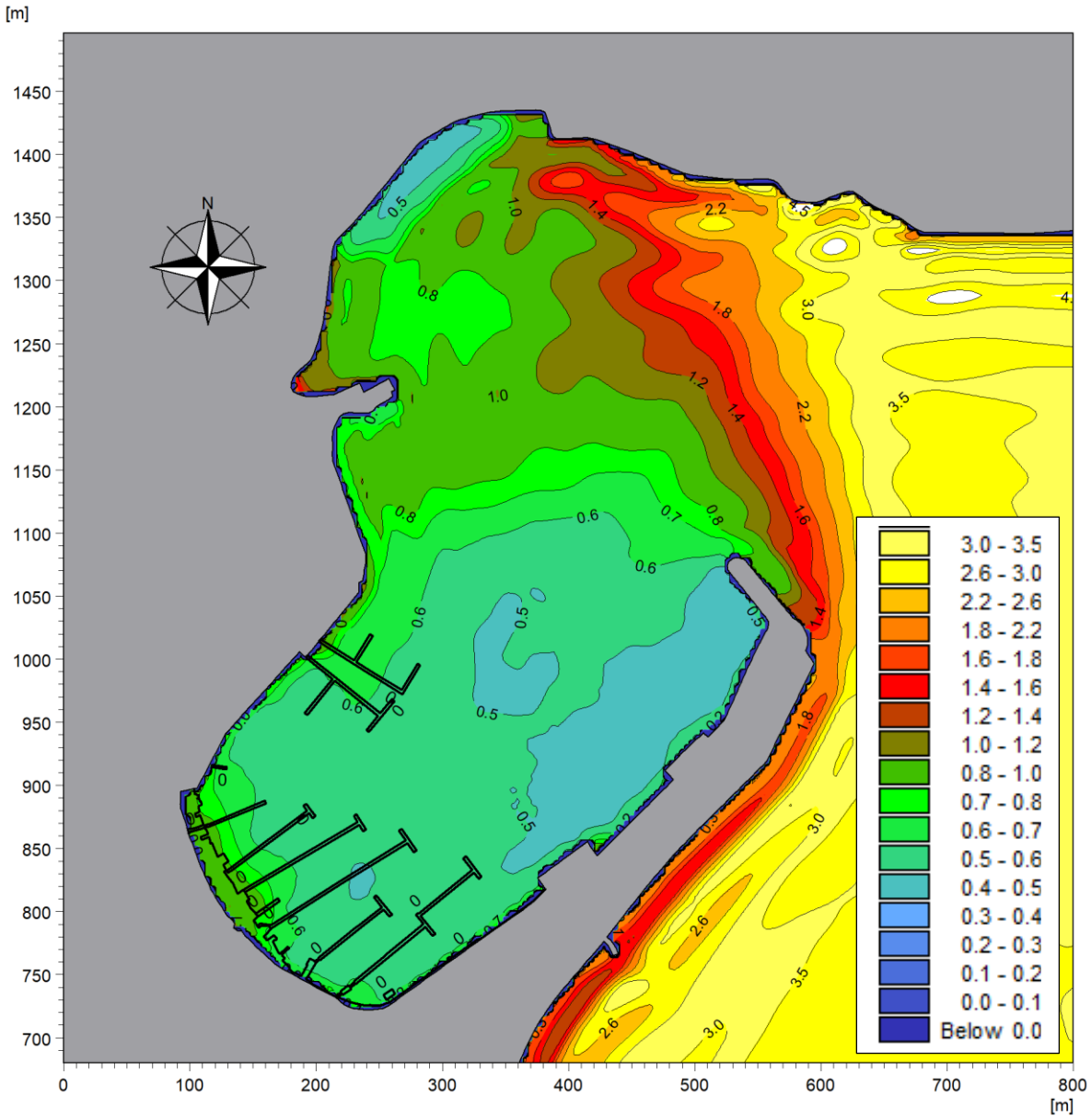



**Figura 9.** Onda simulata: Tr = 50 anni; Hs = 3.50 m; Tp = 10.35 s; Dir = 172°N - Altezze d'onda significative all'interno del porto – configurazione di progetto.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



## 3. CONCLUSIONI

Il presente studio di penetrazione ondosa è stato sviluppato al fine di determinare i livelli di agitazione residua all'interno del porto di Santa margherita Ligure (GE) e sviluppare così una possibile soluzione per ottimizzarli. Sono state pertanto simulate le due condizioni ondose risultate più critiche dall'elaborato PD_SR_Studio di propagazione ondosa, riportate di seguito (Tabella 3). L'Onda 1, avente un periodo di ritorno pari a 5 anni, è rappresentativa del clima ondoso di largo proveniente dalla traversia secondaria del paraggio, ovvero del settore 135°N – 195°N; l'Onda 2, caratterizzata da un periodo di ritorno di 50 anni, proviene dalle condizioni ondose di largo appartenenti al settore di traversia principale, 195°N – 225°N.

**Tabella 3.** Tabella riassuntiva delle condizioni ondose simulate.

| Onde simulate | Tr [anni] | Hs [m] | Tp [s] | Dir [°N] |
|---|---|---|---|---|
| Onda1 | 5 | 2.52 | 8.60 | 160 |
| Onda2 | 50 | 3.50 | 10.35 | 172 |

Entrambe le onde sono state modellate considerando due layout portuali; una configurazione di stato attuale, allo scopo di determinare l'agitazione ondosa dello stato di fatto, una possibile e ragionevole configurazione di progetto, al fine di migliorare i livelli di agitazione suddetti, costituita dal prolungamento dell'esistente diga di sopraflutto di un tratto avente lunghezza pari a 60 m e ruotato di 60° rispetto all'asse dell'opera esistente.

Dall'analisi dei risultati è emerso quanto segue. L'Onda 1 (Tr = 5 anni; Hs = 2.52 m; Tp = 8.60 s; Dir = 160°N) per il layout di stato attuale, induce un'altezza d'onda significativa all'interno del porto compresa nel range 0.30 – 0.40 m nella zona subito a tergo della diga di sopraflutto, nell'intervallo 0.40 – 0.50 m nella parte centrale del porto, e anche pari a 0.50 m sul lato opposto. La stessa onda (Tr = 5 anni; Hs = 2.52 m; Tp = 8.60 s; Dir = 160°N) per la configurazione portuale prevista in progetto, comporta un'altezza d'onda significativa compresa tra 0.30 m e 0.40 m in gran parte del porto, salvo per aree molto localizzate, e tra 0.20 m e 0.30 nella zona retrostante la diga di sopraflutto. Si ha quindi una diminuzione dei livelli di agitazione residua dell'ordine di 10 cm, ed in generale l'area interessata dai pontili galleggianti e quindi dall'ormeggio delle imbarcazioni risulta maggiormente protetta.

L'Onda 2 (Tr = 50 anni; Hs = 3.50 m; Tp = 10.35 s; Dir = 172°N), considerando la configurazione di stato attuale del porto, porta ad un'altezza d'onda significativa compresa nell'intervallo 0.50 m – 0.60 m pressoché nell'intero specchio acqueo del porto, e nel range 0.60 m – 0.70 m nella zona opposta alla

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



diga di sopraflutto. Relativamente al layout portuale di progetto, l'Onda 2 (Tr = 50 anni; Hs = 3.50 m; Tp = 10.35 s; Dir = 172°N) induce un'altezza significativa compresa tra 0.40 m e 0.50 m nella zona alle spalle del sopraflutto, Per il resto, lo specchio acqueo rimane caratterizzato da 0.50 m < Hs < 0.60 m, e 0.60 m < Hs < 0.70 m nell'area opposta alla diga di sopraflutto.

A valle dell'analisi dei risultati ottenuti, questi devono essere confrontati con le prescrizioni dell'AIPCN – PIANC (Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici). Al fine di garantire l'agibilità delle opere portuali e le operazioni di ormeggio e ancoraggio infatti, si deve verificare che il livello di agitazione residua all'interno del porto sia al disotto dei valori ammissibili raccomandati. Le altezze d'onda significativa devono quindi rispettare le seguenti condizioni:

1. Condizione di "sicurezza": Hs non superiore a 0.30 m per onde con periodo di ritorno non inferiore a 5 anni;
2. Condizione "limite": Hs al massimo pari a 0.50 m per onde con periodo non inferiore a 50 anni.

I valori suddetti possono essere incrementati fino al 50 % nel caso la direzione del moto ondoso sia pressoché parallela all'asse longitudinale e/o per ormeggio con finger laterale.

Posto che le condizioni di "sicurezza" e le condizioni "limite" sopramenzionate sono rispettate adottando tale incremento dei valori ammissibili fino al 50%, è opportuno evidenziare che le condizioni più frequenti, ovvero quelle con periodo di ritorno pari a 5 anni, sono quelle per cui si hanno i livelli di agitazione minori, e per le quali si riscontra un significativo miglioramento dell'agitazione ondosa (circa 10 cm) introducendo il prolungamento in progetto.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



## 4. BIBLIOGRAFIA

Coastal Engineering Manual, Part VI, 2002.

Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici. AIPCN – PIANC, 2002.

DHI. Mike 21 BW – Boussinesq Wave Module, Short Description. *Mike 21 wave modelling*, 2007.

DHI. Mike 21 BW – Boussinesq Wave Module, Step-by-step training guide. *Mike 21 wave modelling*, 2007.

Madsen et al.. *Boussinesq type equations with high accuracy in dispersion and non-linearity*, 1997.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



## APPENDICE: MIKE 21 BOUSSINESQ WAVE MODULE

Il codice di calcolo MIKE 21 BW è un potente strumento per la modellazione dell'agitazione ondosa all'interno dei porti; grazie all'implementazione delle dinamiche costiere nella "surf" zone, il suo utilizzo viene esteso all'ingegneria costiera. Il modello comprende i seguenti moduli:

- 2DH Boussinesq wave model;
- 1DH Boussinesq wave model.

In entrambi i casi il modello usa una formulazione avanzata per quanto riguarda la dispersione delle frequenze, rendendo possibile la propagazione di onde direzionali non lineari da acque profonde a costa.

MIKE 21 BW è inoltre in grado di modellare i seguenti fenomeni:

- Rifrazione;
- Diffrazione;
- Shoaling;
- Frangimento;
- Attrito al fondo;
- Riflessione parziale;
- Trasmissione;
- Moving shoreline;
- Interazioni non lineari tra fronti d'onda;
- Spreading direzionale;
- Spreading delle frequenze.

Le applicazioni del 2DH Boussinesq wave model includono:

- Determinazione del disturbo dovuto all'azione di onde di swell e wind sea;
- Studi di risonanza per l'effetto di onde a bassa frequenza;
- Modellazione della surf-zone per il calcolo del run-up e della circolazione indotta;
- Modellazione della propagazione e modellazione di transitori, quali onde generate da imbarcazioni e tsunamis.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



**Equazioni di Boussinesq per il 2DH Boussinesq wave model**

MIKE 21 BW risolve numericamente, nel dominio del tempo, le equazioni avanzate di Boussinesq (enhanced Boussinesq equations) in termini di superficie libera e componenti di velocità di corrente integrate lungo la verticale, mediante la tecnica alle differenze finite su maglia quadrata. La risoluzione è basata sull'ipotesi di Boussinesq, ovvero che le condizioni di corrente non varino lungo la verticale. Di seguito si riportano le equazioni di Boussinesq:

Equazione di continuità

$$n\frac{\partial \xi}{\partial t}+\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial Q}{\partial y}=0$$

Equazione del moto lungo x

$$n\frac{\partial P}{\partial t}+\frac{\partial (P^2/h)}{\partial x}+\frac{\partial (PQ/h)}{\partial y}+\frac{\partial R_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial R_{xy}}{\partial x}+n^2gh\frac{\partial \xi}{\partial x}+n^2P\left[\alpha+\beta\frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{h}\right]+\frac{gP\sqrt{P^2+Q^2}}{h^2C^2}+n\psi_1=0$$

Equazione del moto lungo y

$$n\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial (Q^2/h)}{\partial y}+\frac{\partial (PQ/h)}{\partial x}+\frac{\partial R_{xx}}{\partial y}+\frac{\partial R_{xy}}{\partial y}+n^2gh\frac{\partial \xi}{\partial y}+n^2Q\left[\alpha+\beta\frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{h}\right]+\frac{gQ\sqrt{P^2+Q^2}}{h^2C^2}+n\psi_2=0$$

Dove:

- $P$ è il flusso [$m^3/m/s$] in direzione x;
- $Q$ è il flusso [$m^3/m/s$] in direzione y;
- $t$ è il tempo [s];
- $h$ è la profondità totale [m] (d + $\xi$);
- d è la profondità [m];
- $\xi$ è elevazione della superficie al di sopra del datum [m];
- $g$ è l'accelerazione gravitazionale [$m/s^2$];
- $n$ è la porosità;
- $C$ è il numero di Chezy [$m^{0.6}/s$];
- $\alpha$ è il coefficiente di resistenza per il flusso laminare in mezzi porosi;

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



- $\beta$ è il coefficiente di resistenza per il flusso turbolento in mezzi porosi;
- $\psi_1$ e $\psi_2$ sono i termini di dispersione di Boussinesq;
- $R_{xx}$ e $R_{xy}$ sono i termini che includono il frangimento, modellato con la teoria dei rollers.

**Soluzione numerica per il 2DH Boussinesq wave model**

Le equazioni differenziali sono discretizzate, nel dominio dello spazio, su griglie rettangolari; i termini scalari sono definiti nei nodi della griglia, mentre le componenti dei flussi sono definite a metà tra i nodi adiacenti. Ad eccezione dei termini convettivi la discretizzazione alle differenze finite è di tipo centrato. L'integrazione nel tempo utilizza l'algoritmo ADI (Alternating Direction Implicit) schema implicito centrato.

**Dati di input del modello**

I dati di input necessari possono dividersi in tre gruppi:

- Dati di base :
    1. Bathymetry;
    2. Type of model and equations;
    3. Numerical parameters;
    4. Type of boundaries;
    5. Time step and length of simulation;
- Dati di calibrazione:
    1. Initial condition;
    2. Boundary data;
    3. Internal wave generation data;
    4. Wave breaking;
    5. Bottom friction;
    6. Wave absorbing;
    7. Moving shoreline;
    8. Wave partial reflection/transmission;
- Dati di output:
    1. Determinisitc output;
    2. Phase-averaged output;
    3. Wave disturbance output;
    4. Hot start output;

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



5. Moving shoreline output.

**Dati di output del modello**

Vi sono cinque diversi tipi di output:

- Deterministic parameters;
- Phase – averaged parameters;
- Wave disturbance parameters (solo 2DH);
- Hot start parameters (solo 2DH);
- Moving shoreline parameters (solo 1DH).

Gli output deterministici consistono fondamentalmente in time series di componenti di velocità integrate sulla profondità e livello di superficie libera. I phase–averaged output includono principalmente altezza significativa, valori medi delle componenti dei flussi, valori massimi e minimi dell'altezza d'onda. Al terzo gruppo appartengono altezza d'onda significativa, coefficiente di disturbo, e la possibilità di avere una statistica dei coefficienti di disturbo in zone predefinite dell'area di studio. L'opzione hot start permette di effettuare simulazioni a partire da risultati di simulazioni precedenti (non nella condizione iniziale di mare calmo). L'ultimo gruppo comprende gli output relativi al run – up.