

**STUDIO TECNICO**  
via A. Giovanola n. 21 28822 - CANNOBIO (VB)  
tel. 0323/71854 - e-mail p.mengo@geo2cannobio.it

Partita I.V.A. : 01105510034



REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DEL VERBANO CUSIO OSSOLA  
**COMUNE DI VERBANIA**



## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI "PROGETTO DEFINITIVO"

Allegato a procedimento di verifica di assoggettabilità a VIA ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs.152/2006.



**PAOLO  
MENGO**  
geometra

n.c.f.: MNG PLA 59H08 D872B

COLLABORAZIONI

**Progettazione esecutiva Strutture edifici**

Dott. Ing. Franco Colombo  
via Gottardi n.7 - 28921 Verbania (VB)

**Analisi economiche e Finanziarie**

**EXANTE CONSULTING** - via Gottardi n.7 - 28921 Verbania  
Dott. Comm. Carlo Dell'Orto  
Dott.sa Comm. Cristina Trotta

**Progettazione strutturale esecutiva Opere Portuali**

**ACQUATECNO s.r.l.** - via Aiaccio n.14 - 00198 Roma  
Dott. Ing. Renato Marconi  
Dott.sa Arch. Vittoria Biego

**Indagini Geologiche e Geotecniche**

Dott. Geol. Giovanni Capulli  
corso Lorenzo Cobiانchi n. 33 - 20198 Verbania

**Analisi Ambientale e Forestale**

Dott. Amb. For. Igor Cavagliotti  
largo Vittorio Cobiانchi n.3 - 28887 Omegna (VCO)

**Analisi Agronomica e Forestale**

Dott. Agr. For. Alessandro Carelli  
via Montegrappa n. 7/b - 28887 Omegna (VCO)

**COMMITTENTI:**

**NAUTICA BEGO s.r.l**

via Carlo Alberto Dalla Chiesa n. 6 - Verbania (VB) 28900

Partita IVA 02254320035

\_\_\_\_\_ firma

IL TECNICO  
\_\_\_\_\_ timbro e firma

**OGGETTO:**

**STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL  
MOTO ONDOSO E AGITAZIONE  
INTERNA**

ELABORATO  
A.2227|-|-|R

Verbania li 10.02.2017

Revisione AA 14.05.2018

Scala

**SMO**

**PROGETTISTA:**  
Geom. Paolo Mengo



**COMMITTENTE:**  
NAUTICA BEGO s.r.l.

*Paolo Mengo*  
firma

**COLLABORAZIONI:**

Dott. Amb. For. Igor Cavagliotti



Dott. Geol. Giovanni Capulli



Dott. Ing. Renato Marconi



Dott.sa Arch. Vittoria Biego



Dott. Agr. For. Alessandro Carelli



## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

## PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSO E AGITAZIONE INTERNA

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>1</b>
1.1. Descrizione del progetto delle opere in acqua.....	2
<b>2. CONDIZIONI ONDOSE DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
<b>3. MODELLI DI CALCOLO UTILIZZATI</b> .....	<b>7</b>
3.1. SW (Spectral Wave) .....	7
3.1.1. Definizione della griglia di calcolo (SW).....	8
3.1.2. Periodo di simulazione e passo di integrazione.....	11
3.1.3. Risultati delle simulazioni .....	11
3.2. BW (Boussinesq wave) .....	18
3.2.1. Definizione delle griglie di calcolo (BW) .....	19
3.2.2. Moto ondoso in ingresso .....	19
3.2.3. Parametri di riflessione.....	22
3.2.4. Periodo di simulazione e passo di integrazione.....	24
3.2.5. Risultati delle simulazioni .....	24
<b>4. CONCLUSIONI</b> .....	<b>27</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE</b> .....	<b>29</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE</b> .....	<b>30</b>

## 1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione dell'approdo turistico di Verbania è stato effettuato lo studio della propagazione ondosa in prossimità dell'area di intervento per poter stimare le onde di progetto utili al dimensionamento dei pontili galleggianti frangi onde di difesa dello specchio acqueo in concessione. La conoscenza di tali onde ha permesso di effettuare lo studio di agitazione ondosa all'interno del porto, per valutare l'operabilità di esso.

Nella figura 1 è riportata l'area di studio.



**Figura 1.** Vista aerea del porto turistico di Verbania, stato attuale

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 acquatico.

Nel caso in esame sono stati utilizzati il modello SW (Spectral Wave), che consente di simulare la penetrazione ondosa all'interno del bacino portuale tenendo conto di vari fenomeni quali, shoaling, diffrazione, rifrazione, riflessione semplice e l'amplificazione ondosa indotta dal vento che spirava all'interno di esso, ed il modello BW (Boussinesq Wave) che consente di simulare l'agitazione ondosa all'interno di bacini portuali.

### **1.1. Descrizione del progetto delle opere in acqua**

Il progetto dell'approdo turistico di Verbania prevede la realizzazione di 258 nuovi posti barca. In particolare è prevista la realizzazione di 10 posti barca da 17,00 m, 12 posti barca da 14,00 m, 30 posti barca da 12,00 m, 84 posti barca da 10,00 m, 28 posti barca da 8,00 m, 70 posti barca da 7,00 m, 24 posti barca da 5,00 m di cui 10 posti barca da destinare a transito temporaneo, e 4 posti barca da asservire alle attività di pubblica sicurezza e protezione civile. Gli ormeggi verranno realizzati utilizzando due tipologie di pontili galleggianti con monoblocco di calcestruzzo di dimensione 12,00 m e 8,00 m. I moduli impiegati per le strutture esterne saranno del tipo frangi onde per impedire la penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino protetto. Altresì saranno installati dei pali guida necessari per l'ormeggio dei pontili in prossimità della costa mentre, per quanto riguarda i moduli galleggianti più distanti dalla riva, verrà utilizzato un sistema di ancoraggio composto da fasce di sollevamento in poliestere fissata al fondo mediante micropali, dei serbatoi in HDPE dotati di struttura reticolare in acciaio inox sui quali saranno installate delle bielle in acciaio collegate ai pontili. Tale sistema di ancoraggio permetterà ai pontili di spostarsi durante le fasi di magra e di piena impedendo i movimenti dovuti al moto ondoso. I suddetti pontili saranno collegati a terra mediante il posizionamento di passerelle in alluminio di dimensione pari a 14 m. Per creare una disconnessione strutturale tra i pontili, verranno installate delle passerelle, come riportato negli elaborati grafici di progetto. Si riporta nel seguito la tabella riepilogativa dei posti barca:

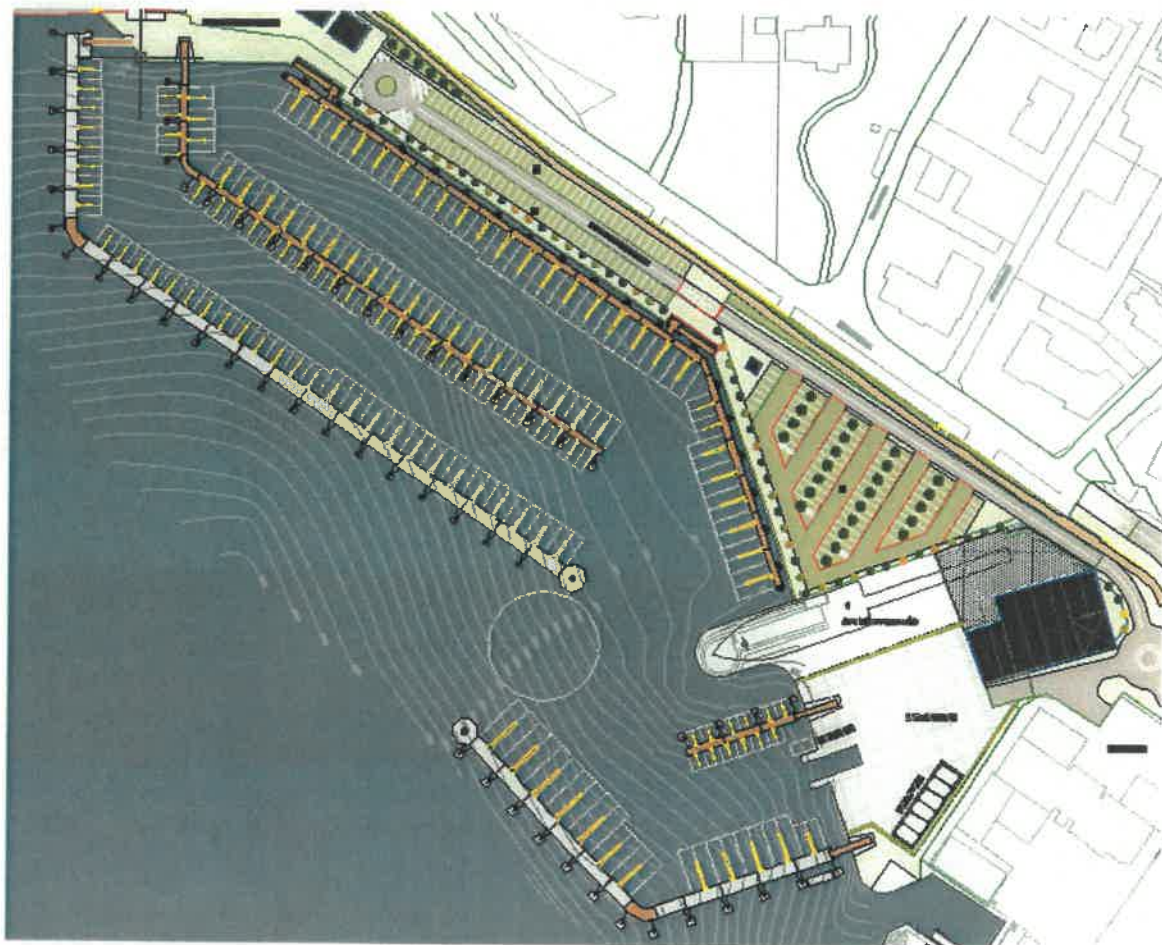
## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSI E AGITAZIONE INTERNA

Tabella posti barca

Categoria	Pontile	Dimensioni (m)	Numero
<b>I</b>	F	5.00 x 2.50	24
<b>II</b>	B, C, D, E, I	7.00 x 3.00	70
<b>III</b>	C, D, E	8.00 x 3.30	28
<b>IV</b>	A, B, C	10.0 x 3.90	84
<b>V</b>	A, I	12.00 x 4.20	30
<b>VI</b>	G, H	14.00 x 4.50	12
<b>VII</b>	H	17.00 x 5.00	10
<b>Totale:</b>			<b>258</b>
<b>Superficie specchio acqueo ormeggiabile</b>			<b>8.903,20 m<sup>2</sup></b>

Tabella 1. Posti barca



**Figura 2.** Planimetria di progetto

## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

## PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSO E AGITAZIONE INTERNA

**2. CONDIZIONI ONDOSE DI RIFERIMENTO**

Il livello medio annuale del Lago Maggiore è pari a 193,85 m s.l.m., con valore minimo pari a 192,54 m s.l.m. ed un valore massimo pari a 197,94 m s.l.m. (dati ISE-CNR). I due dati eccezionali del XIX secolo sono associati ad una conformazione dell'incile di Sesto Calende che è stata radicalmente modificata dall'evento del 1868, e pertanto non sono considerati dello stato attuale. Il livello 197,94 m s.l.m., raggiunto nel 2000, è il massimo registrato negli ultimi 146 anni.

Per poter valutare il regime ondosso all'interno del Lago Maggiore si è identificato prima il fetches geografico e successivamente il fetches efficace.

La traversia geografica è definita come la porzione di Lago dalla quale può potenzialmente giungere il moto ondosso. La traversia è spesso divisa in due settori (principale e secondario) in funzione delle lunghezze delle aree potenzialmente soggette all'azione diretta del vento. Tali lunghezze sono definite tralungando la costa limitrofa lungo la direzione media di provenienza del vento. Considerando un punto situato di fronte alla zona di studio è possibile misurare l'estensione di Lago in ogni direzione, fino a trovare la costa o il limite massimo di perturbazione.

Con il termine " Fetch efficace " è rappresentata la lunghezza virtuale della porzione di Lago nel punto di analisi su cui l'azione del vento, responsabile della generazione delle onde, è in grado di trasferire efficacemente il suo contributo alla formazione del moto ondosso che arriva a quel punto.

Nel caso in esame il massimo fetch efficace è pari a 6,8 km lungo la direzione di 55°N.

Il regime dei venti ordinari è caratterizzato dalle brezze di monte la mattina e di valle nel pomeriggio, dette rispettivamente Tramontana ed Inverna. La Tramontana lambisce la sponda del Lago a Nord di Intra ed a Verbania proviene da NE, la Inverna proviene da 160-170°N.

I venti di maggiore intensità sono quelli provenienti da N-NE.

Per la definizione del moto ondosso estremo (altezza, periodo, direzione di provenienza) in ingresso al porto di Verbania sono stati utilizzati i dati di vento presenti all'interno dello studio di fattibilità, a loro volta presi dalla relazione "Analisi della infrastruttura portuale di Verbania-Villa Taranto e delle cause che ne hanno determinato il collasso" redatta nel precedente progetto definitivo dell'infrastruttura portuale realizzata nel 2003 per l'analisi meteo-climatica.



## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

## PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSO E AGITAZIONE INTERNA

Nella tabella 1 sono riportate le caratteristiche del vento utilizzato

<b>Tr [anni]</b>	<b>U[N]</b>	<b>Dir[°N]</b>	<b>Durata[h]</b>
1	40	55	1
10	50	55	1
100	60	55	1

**Tabella 2.** Condizioni di vento utilizzate per le simulazioni

---

### 3. MODELLI DI CALCOLO UTILIZZATI

#### 3.1. SW (Spectral Wave)

Il modello Spectral wave (SW) del codice MIKE 21 viene utilizzato per valutare le trasformazioni del moto ondoso in aree costiere ed off-shore sia per hind-cast che per forecast. Il modello è in grado di simulare:

1. la crescita dell'onda per effetto del vento;
2. l'interazione non lineare tra le onde;
3. la dissipazione dovuta al *white capping*;
4. la dissipazione dovuta all'attrito con il fondo;
5. il frangimento dell'onda su profondità limitate;
6. la rifrazione e lo shoaling dovuti alla morfologia batimetrica;
7. la diffrazione;
8. la riflessione semplice.

Il modello MIKE 21 SW è basato sulla risoluzione numerica nel dominio e nel tempo dell'equazione di bilancio dell'azione delle onde:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla_x \cdot (c_g A) + \nabla_\theta \cdot (c_\theta A) + \nabla_\sigma \cdot (c_\sigma A) = S$$

Il modello utilizza una formulazione parametrica direzionalmente disaccoppiata ed una formulazione completamente spettrale. La formulazione parametrica direzionalmente disaccoppiata si basa su una parametrizzazione dell'equazione di conservazione dell'azione ondosa. La parametrizzazione viene effettuata nel dominio delle frequenze introducendo lo zeroth, ed il primo momento dello spettro delle onde come variabili dipendenti. La formulazione completamente spettrale si basa sull'equazione di conservazione dell'onda come descritto da Komen et al. (1994) e Young (1999), in cui lo spettro di frequenza direzionale dell'azione dell'onda è la variabile dipendente. Il modulo SW comprende anche due formulazioni per il tempo. Una formulazione quasi stazionaria ed una non stazionaria, in quella quasi stazionaria la variabile tempo viene rimossa come variabile indipendente e viene associata una soluzione stazionaria ad ogni passo temporale. Quando viene utilizzata la soluzione stazionaria non è possibile inserire il vento come forzante. L'immissione delle onde all'interno del dominio di calcolo può essere effettuata utilizzando dei contorni aperti dove poter inserire il moto ondoso di

interesse, oppure inserendo dei contorni chiusi ed immettere la forzante del vento. L'output principale di MIKE 21 SW è il campo d'onda residua all'interno della zona di studio.

### **3.1.1. Definizione della griglia di calcolo (SW)**

Per poter avere le giuste condizioni d'onda in prossimità dell'area di studio, è stata eseguita una trasposizione ondosa da largo delle onde generate dal vento di riferimento e sono stati estratti i valori ondosi in prossimità dell'imboccatura portuale da poter utilizzare, sia come condizioni al contorno per il modello di agitazione ondosa interna, sia come parametri di progetto dei pontili galleggianti frangi onde. Per la propagazione da largo delle onde si è utilizzata una griglia di calcolo flessibile con passo di discretizzazione  $dx$  e  $dy$  pari a 100 metri al largo e 10 metri in prossimità dell'area portuale.

Le figure 3 e 4 mostrano rispettivamente, la batimetria e la griglia di calcolo utilizzata al largo di Verbania.

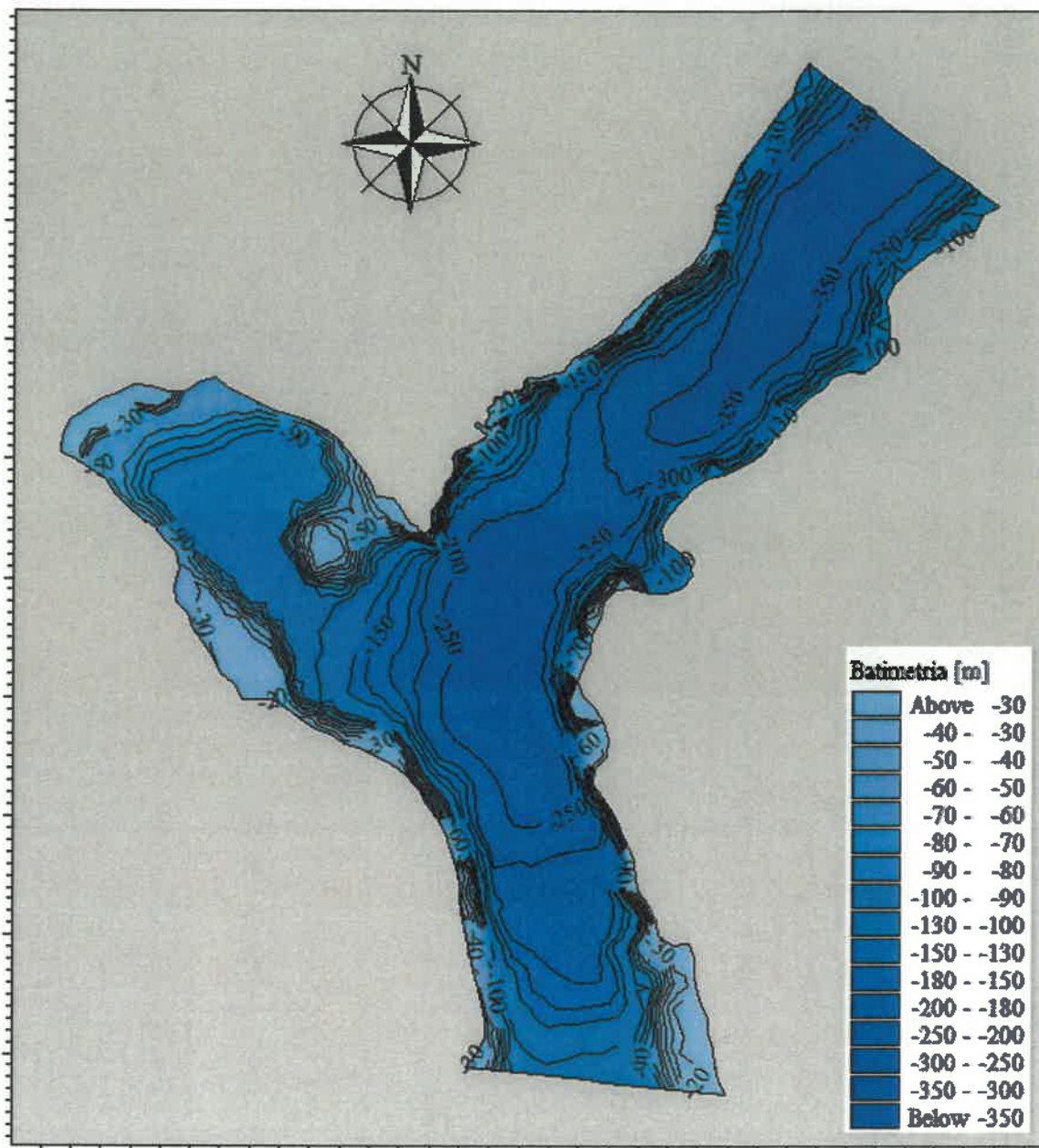
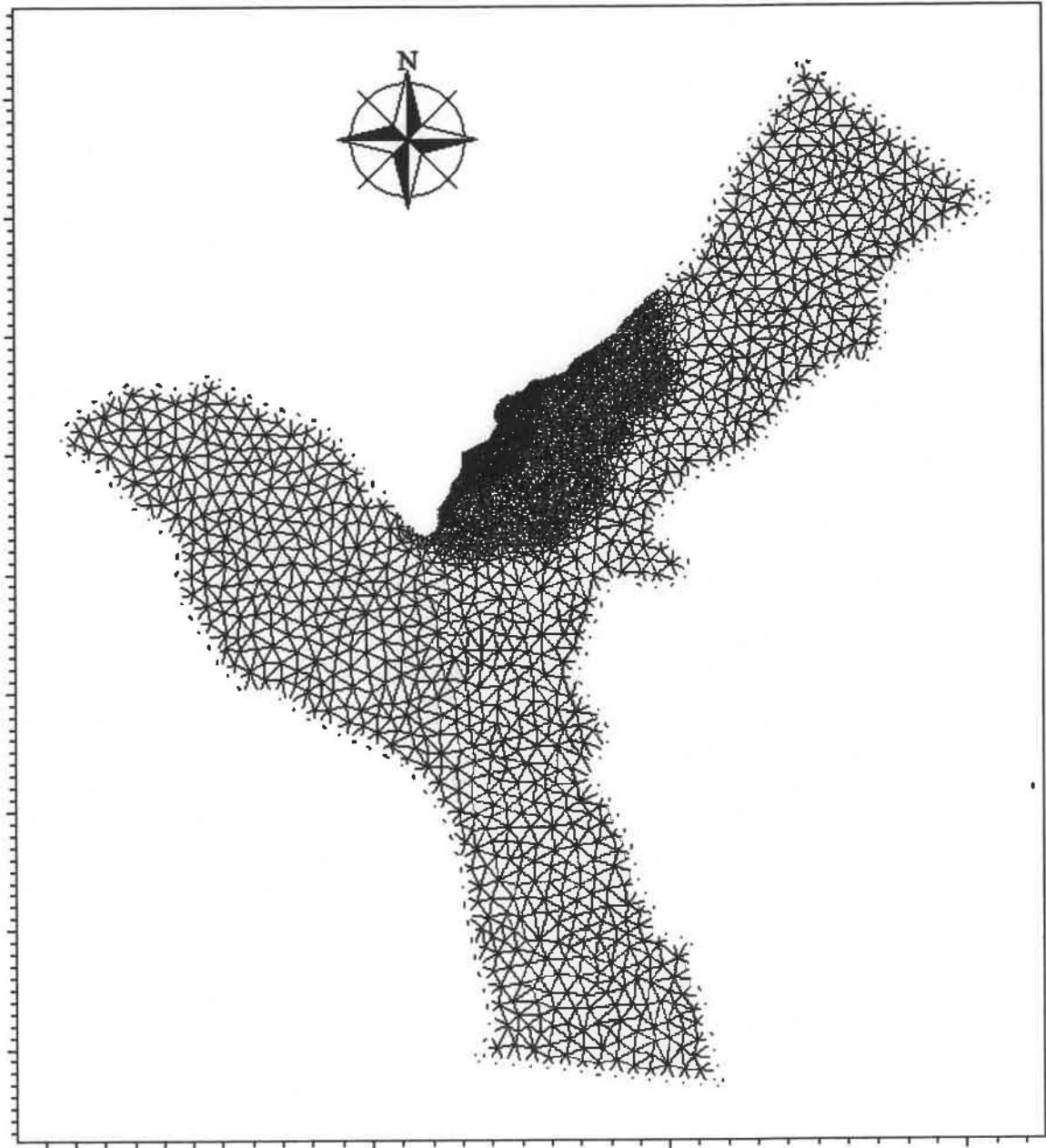


Figura 3. Batimetria



**Figura 4.** Griglia di calcolo

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

Il periodo di simulazione è stato scelto in modo da poter garantire l'intero sviluppo del moto ondoso all'interno dell'area di studio. Questo periodo è strettamente legato alle dimensioni del dominio di calcolo. Nel caso in esame si è scelto un intervallo di tempo pari ad un'ora per la generazione del moto ondoso, intervallo che risulta sufficiente per lo sviluppo del moto ondoso in tutto il dominio di calcolo. Il passo successivo è stato impostare un time step sufficiente a garantire la stabilità del modello, nel caso in esame si è scelto pari ad un secondo.

### 3.1.3.Risultati delle simulazioni

I risultati del modello SW, mostrati nelle figure dalla 5 alla 10, presentano i valori di altezza significativa dell'onda generata dal vento. Questi valori sono quelli relativi all'ultimo time-step della simulazione, ossia sono quelli che presentano la situazione di campo di moto ondoso completamente sviluppato che, quindi, non risente delle condizioni iniziali di simulazione.

Tr [anni]	U[N]	Dir[°N]	Hs[m]	tp[s]	Dir[°N]
1	40	55	1.28	4.13	71
10	50	55	1.75	4.58	72
100	60	55	2.20	5.02	73

**Tabella 3.** Onde al largo

Hs generata da un vento di 40 nodi

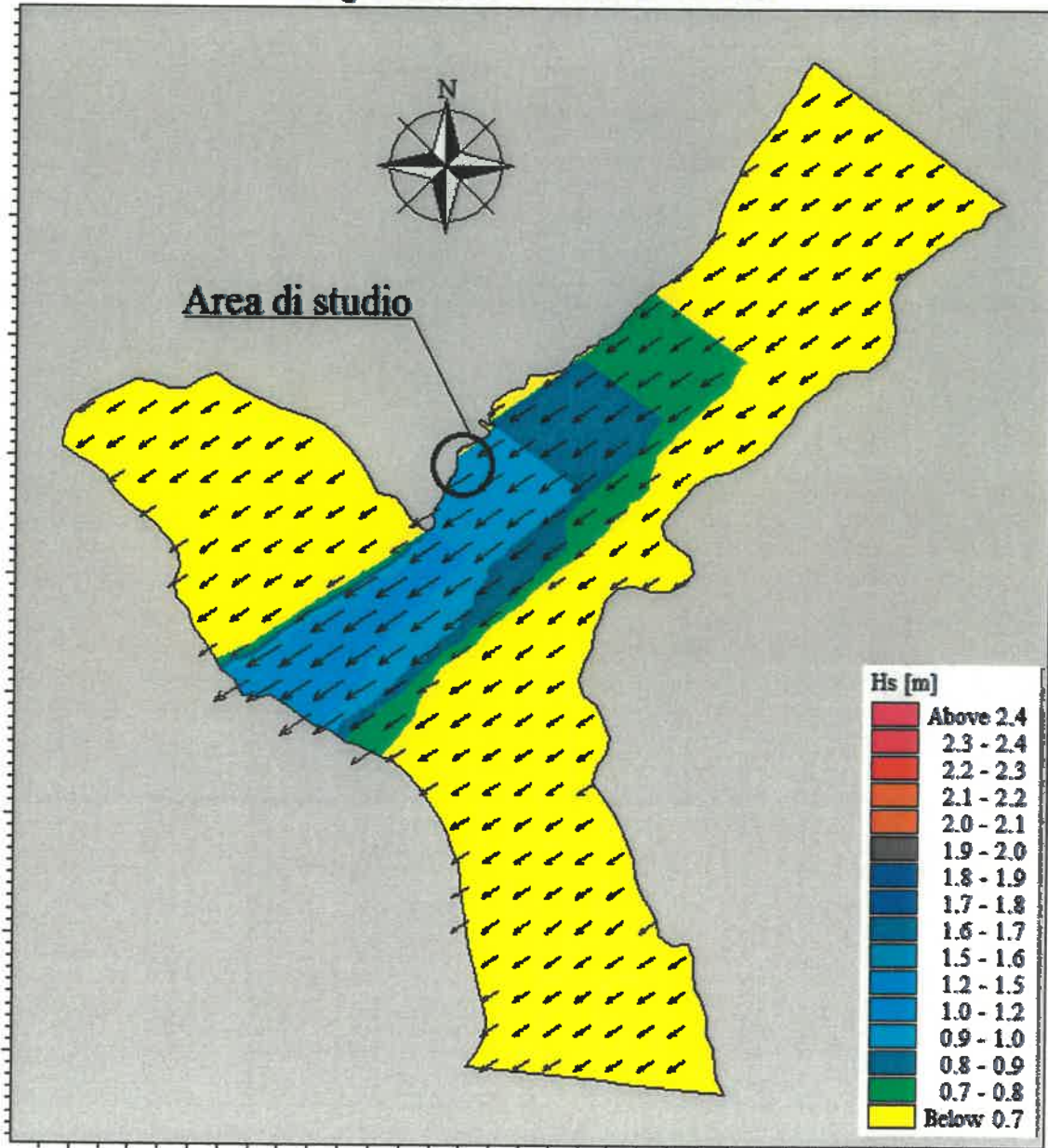
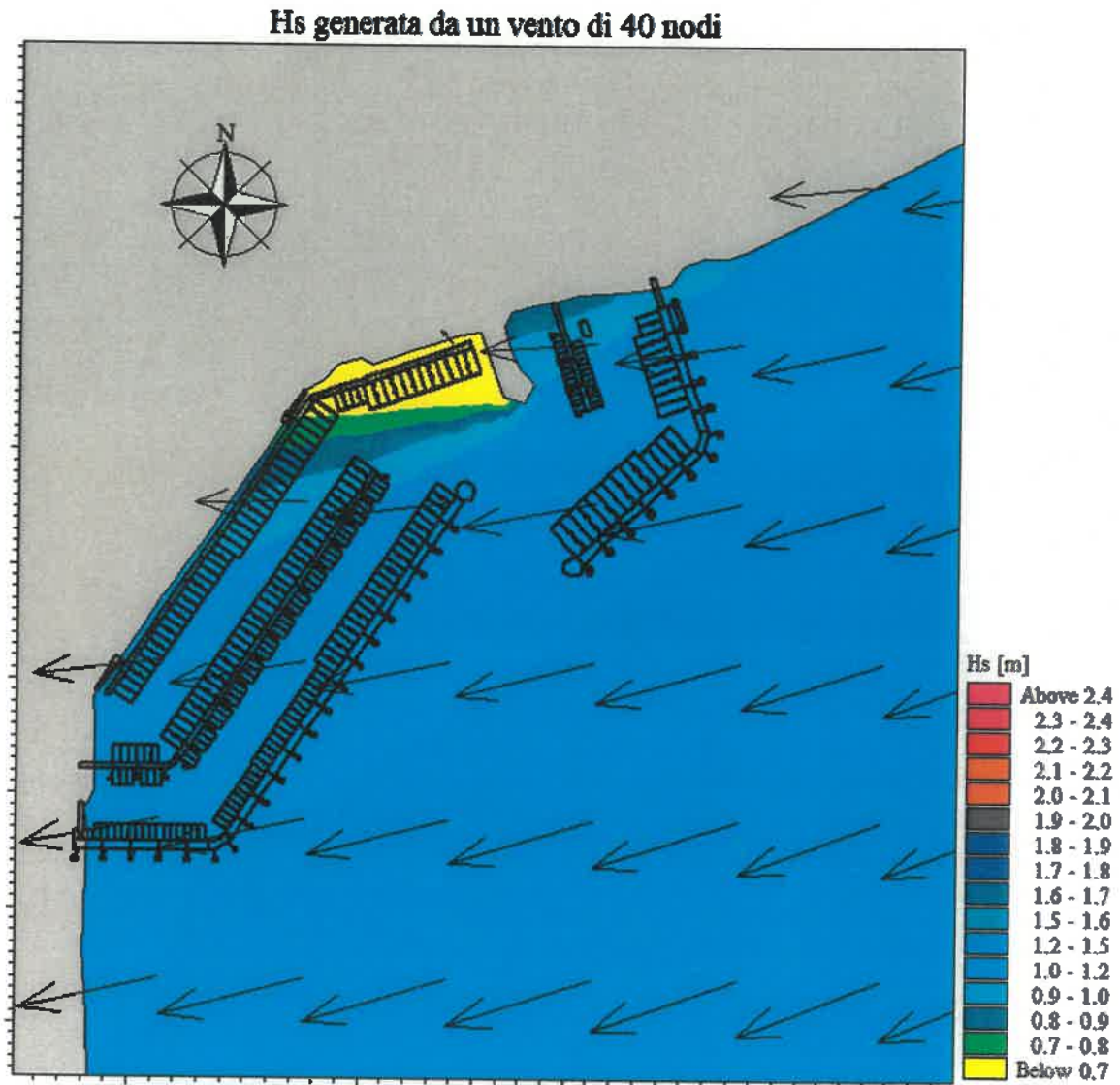


Figura 5. Hs Tr = 1 anno





Hs generata da un vento di 50 nodi

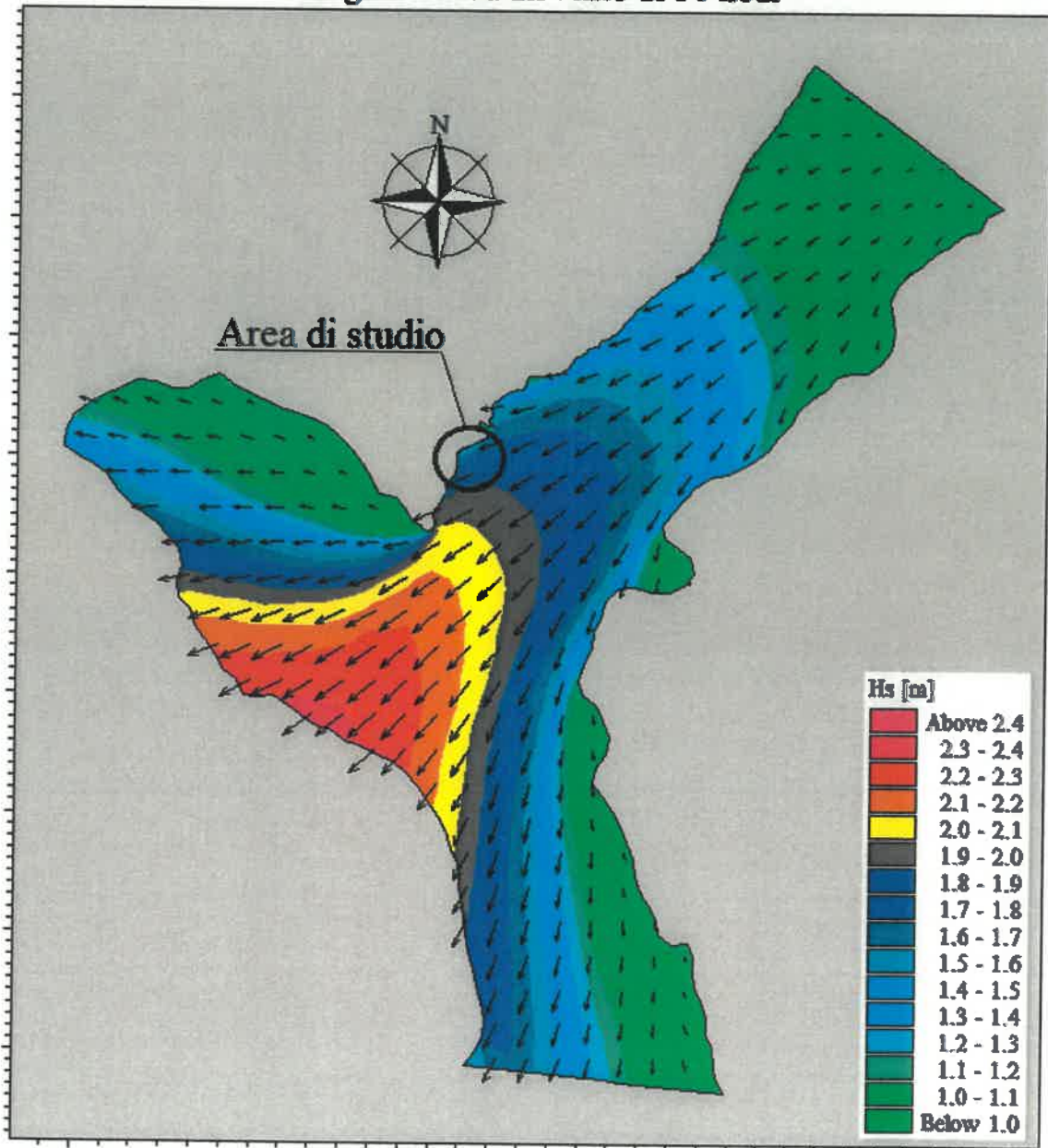
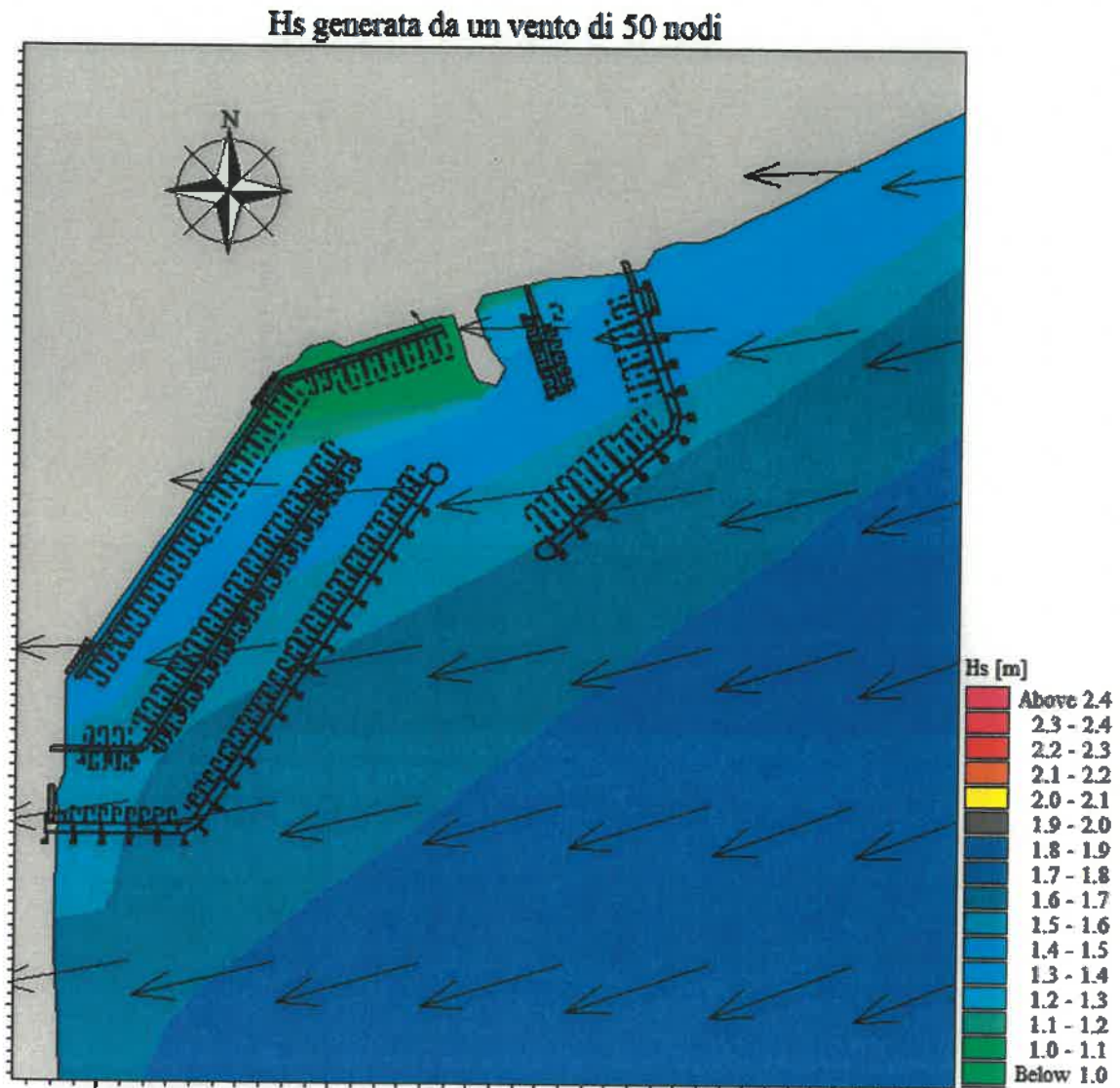


Figura 7. Hs Tr = 10 anni



**Figura 8.** Tr = 10 anni

Hs generata da un vento di 60 nodi

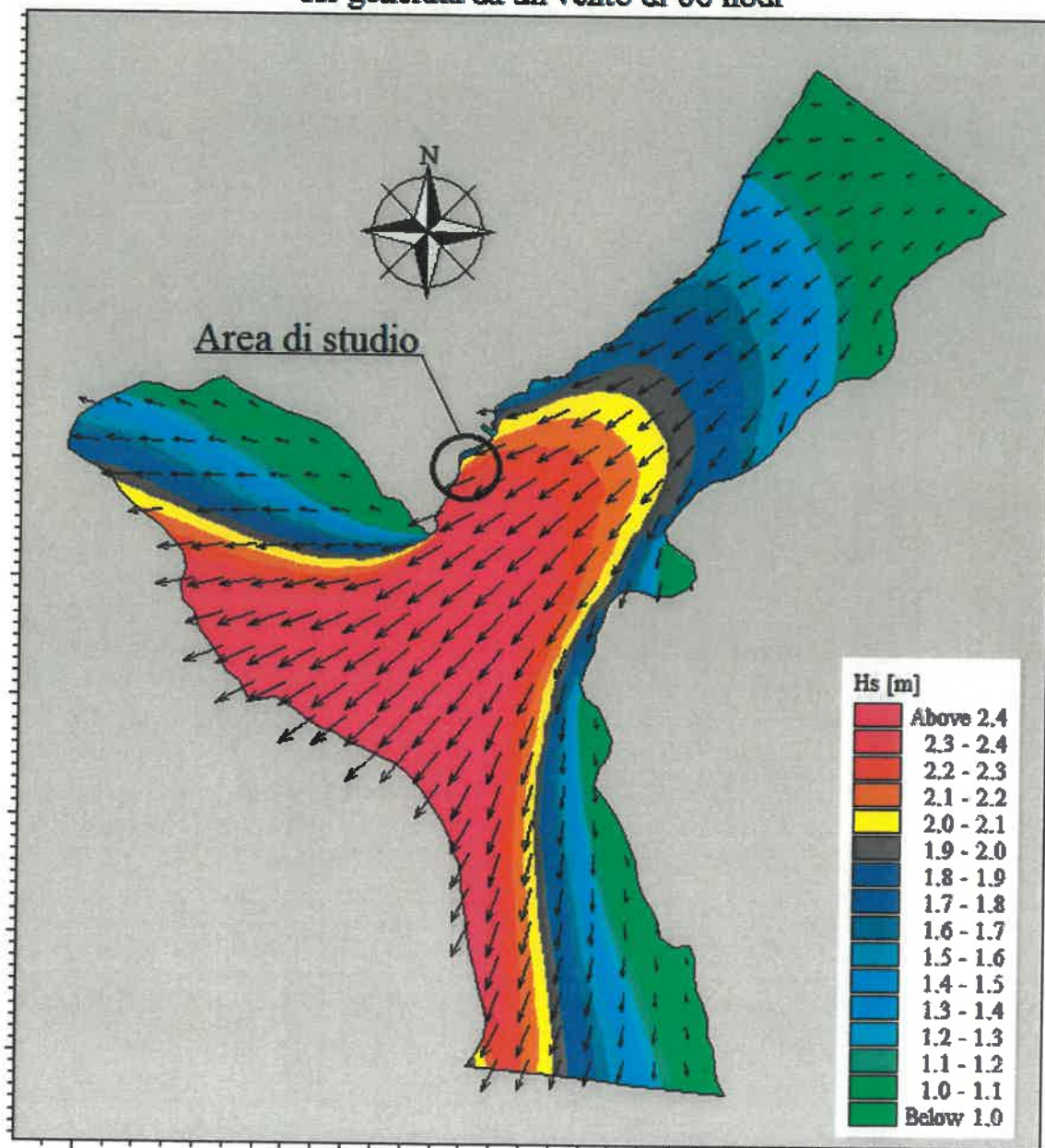


Figura 9. Hs Tr = 100 anni

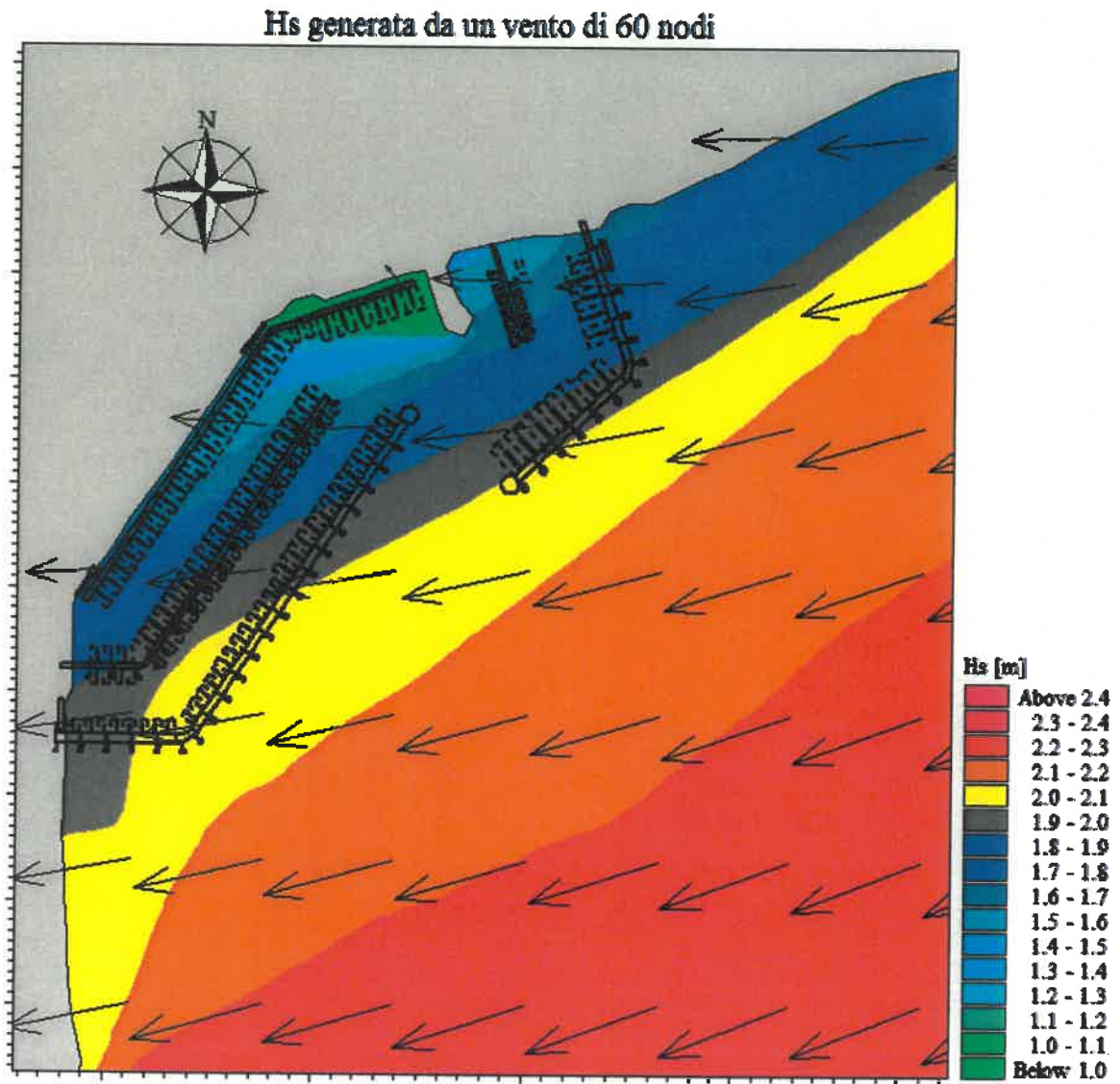


Figura 10.  $T_r = 100$  anni

### 3.2. BW (Boussinesq wave)

Il passo successivo per individuare l'agitazione ondosa all'interno dell'approdo turistico di Verbania e l'interazione tra onde e strutture è stato applicare il modello BW. Questo modello 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, quali:

- 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.

## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

## PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSO E AGITAZIONE INTERNA

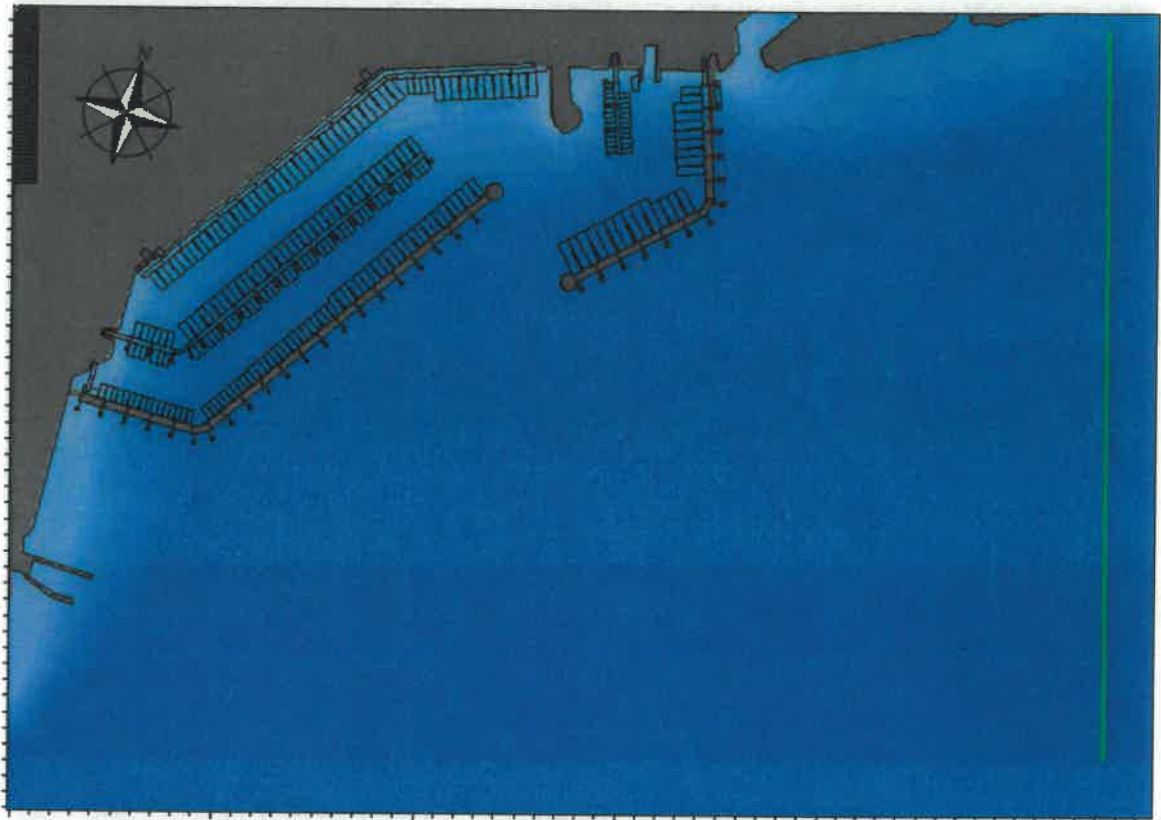
**3.2.1. Definizione delle griglie di calcolo (BW)**

Per le simulazioni all'interno dell'area portuale è stata costruita una griglia di calcolo utilizzando un passo di discretizzazione  $dx$  e  $dy$  di 2 m in quanto tale modello necessita di almeno 7 punti di calcolo per ogni lunghezza d'onda. Per le simulazioni delle onde provenienti da N-E ( $72^\circ\text{N}$ ) si hanno 285 punti in direzione  $x$  e 208 punti in direzione  $y$ . L'origine degli assi ha coordinate UTM-50 466401 E, 5085771 N, la griglia è stata ruotata di  $16^\circ$  in modo tale da poter avere i fronti d'onda in ingresso ortogonali al contorno della griglia di calcolo.

**3.2.2. Moto ondoso in ingresso**

Il moto ondoso in ingresso per il calcolo dell'agitazione ondosa all'interno dell'approdo turistico di Verbania è quello precedentemente individuato (paragrafo 3.1.3). E' riferito ad un tempo di ritorno di un anno in quanto le altre onde presentano un periodo superiore ai 4 secondi e, di conseguenza, il modulo frangionde non è in grado di dissipare tale onde.

L'onda è stata introdotta 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. E' stato costruito uno strato assorbente lungo i contorni del dominio in modo da poter annullare 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 11, nella figura 12 è riportato lo strato assorbente inserito nel dominio di calcolo.



**Figura 11.** Linea di generazione del moto ondoso

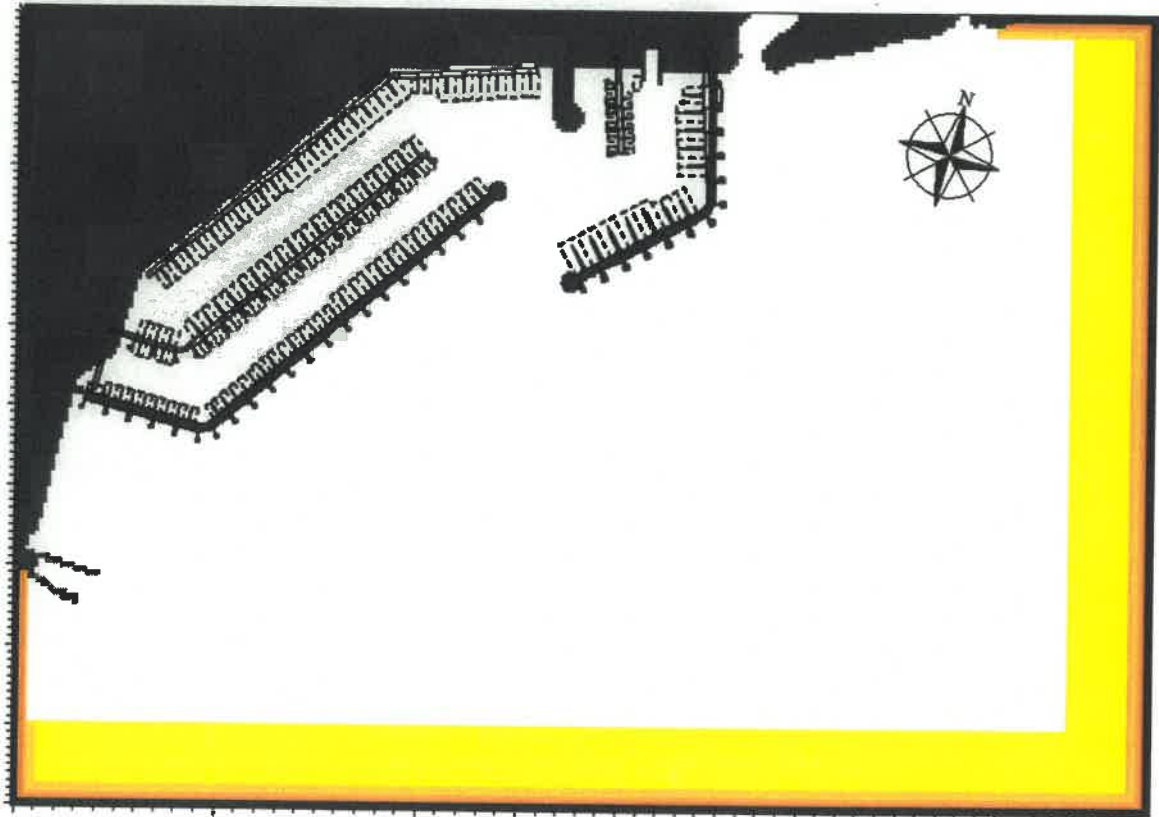


Figura 12. Strato assorbente



## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

## PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSO E AGITAZIONE INTERNA

**3.2.3. 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 dovuti 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 4. In funzione di questi si sono stimati i coefficienti di porosità richiesti dal modello numerico.

<b>Tipologia opera</b>	<b>Coefficienti di riflessione</b>
Parete verticale	1
Scogliera	0.35

**Tabella 4.** Coefficienti di riflessione

Nella figura 13 in verde si evidenziano le opere a scogliera ed in rosso le opere verticali.

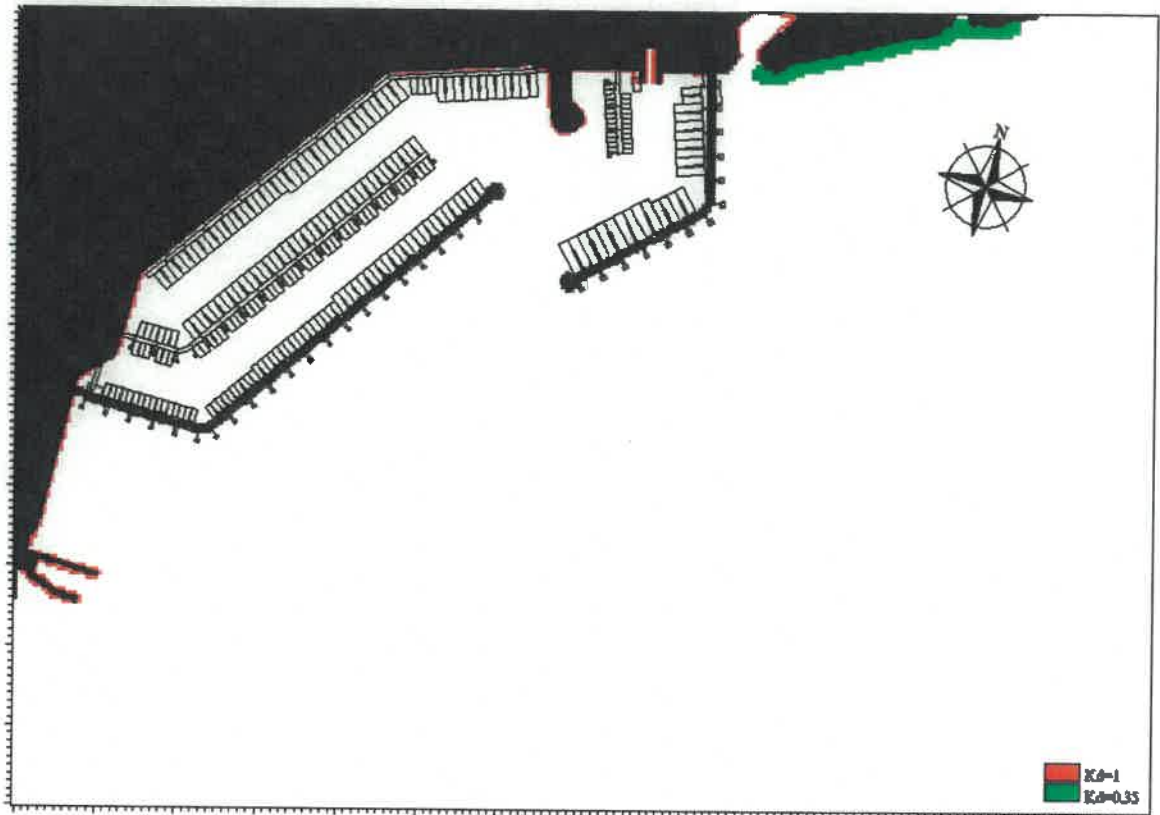


Figura 13. Coefficienti di riflessione

## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

## PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSI E AGITAZIONE INTERNA

**3.2.4. 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.

**3.2.5. Risultati delle simulazioni**

I risultati dello studio sono mostrati nelle figure 14 e 15, rappresentano il campo di valori di altezza significativa ( $H_s$ ) ed i coefficienti di disturbo, tale coefficiente è dato dalla seguente relazione:

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

dove con  $H_t$  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 frangente all'opera è prossima a quella al largo, viceversa quando  $C_d$  è vicino a zero l'onda frangente all'opera è ridotta notevolmente rispetto a quella al largo.

I valori raffigurati corrispondono all'ultimo stadio del periodo di simulazione che rappresenta la condizione di mare completamente sviluppato.

Altezza d'onda generata da un vento di 40 nodi



Figura 14. H vento 40 nodi

Coefficienti di disturbo onda generata da un vento di 40 nodi

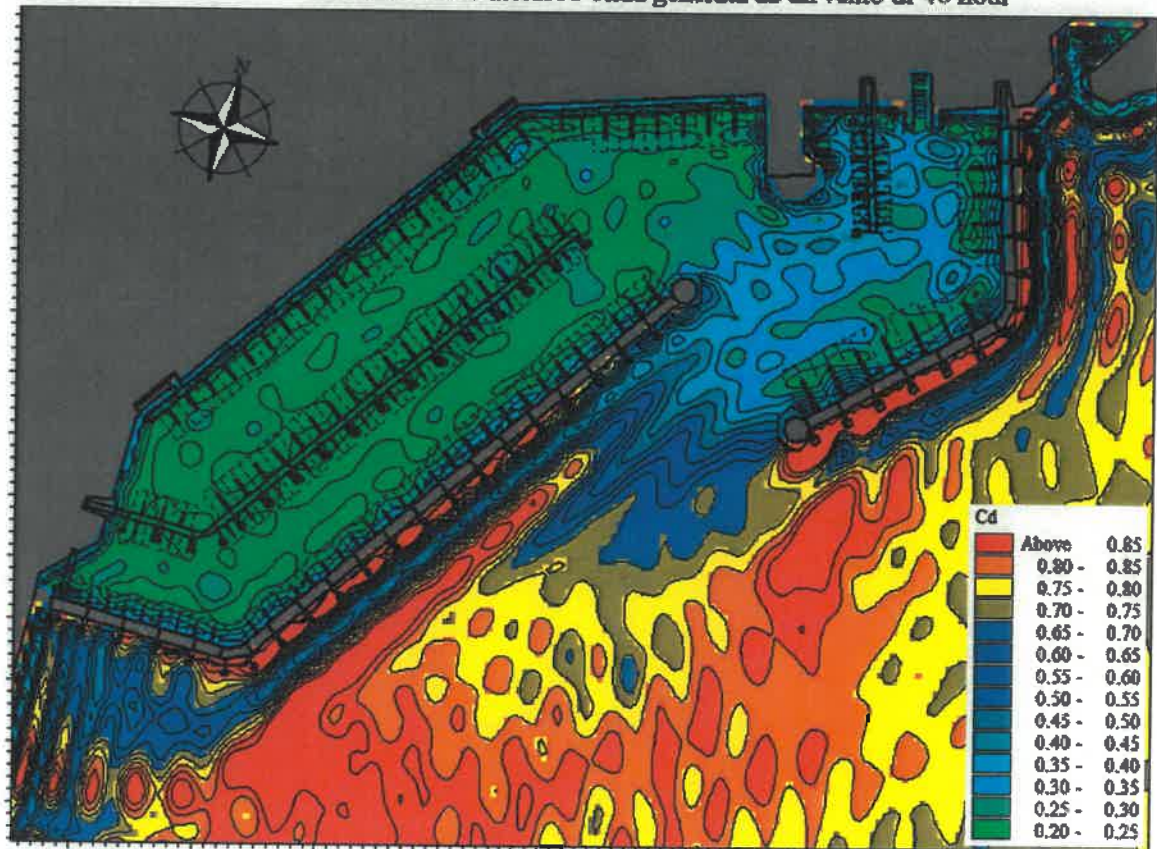


Figura 15. Cd vento 40 nodi

## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

## PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSI E AGITAZIONE INTERNA

**4. CONCLUSIONI**

Il presente studio è stato redatto per poter conoscere l'altezza d'onda in prossimità dell'approdo turistico di Verbania utile al dimensionamento delle opere di difesa e per valutare l'agitazione ondosa interna.

Le condizioni ondose in ingresso sono state individuate utilizzando i dati di vento tratti dalla relazione "Analisi della infrastruttura portuale di Verbania-Villa Taranto e delle cause che ne hanno determinato il collasso" redatta nel precedente progetto definitivo per l'analisi metro-climatica.

Tale studio ha individuato tre velocità del vento rilevanti ai fini della generazione di moto ondoso all'interno del Lago Maggiore e più precisamente a ridosso dell'approdo turistico di Verbania, un vento avente una velocità pari a 60 Nodi assimilabile ad un tempo di ritorno di 100 anni, un vento avente velocità pari a 50 Nodi assimilabile ad un tempo di ritorno pari a 10 anni ed un vento avente velocità pari a 40 Nodi assimilabile ad un tempo di ritorno di un anno, tutti provenienti da Nord-Ovest (55°N).

Lo studio per la definizione dell'altezza d'onda in prossimità dell'approdo Palatucci è stato effettuato utilizzando il modello numerico MIKE-21 SW che è basato sulla risoluzione numerica nel dominio e nel tempo dell'equazione di bilancio dell'azione delle onde per la propagazione dell'onda da largo a riva (in prossimità dell'imboccatura portuale). Tale modello è in grado di simulare la crescita dell'onda per effetto del vento, l'interazione non lineare tra le onde, la dissipazione dovuta al *white capping*, la dissipazione dovuta all'attrito con il fondo, il frangimento dell'onda su profondità limitate, la rifrazione e shoaling dovuti alla batimetria, la diffrazione e la riflessione semplice.

I risultati delle simulazioni hanno fornito le tre altezze d'onda ed i rispettivi periodi di picco e direzioni di propagazione, riportati nella tabella che segue:

Tr [anni]	U[N]	Dir[°N]	Hs[m]	tp[s]	Dir[°N]
1	40	55	1.28	4.13	71
10	50	55	1.75	4.58	72
100	60	55	2.20	5.02	73

## RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO DELL'APPRODO PRESSO LARGO PALATUCCI

## PROGETTO DEFINITIVO – STUDIO PER LA DEFINIZIONE DEL MOTO ONDOSI E AGITAZIONE INTERNA

Per verificare l'agitazione residua all'interno dell'approdo è stato applicato il modello numerico MIKE 21 BW 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. A tal fine è stata costruita una griglia di calcolo utilizzando un passo di discretizzazione  $dx$  e  $dy$  di 2 m 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 dell'onda è stata ruotata di  $16^\circ$  in quanto la direzione di propagazione di tale onda risulta essere di  $72^\circ N$ . 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 dell'approdo si è fatto riferimento alle "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 ottenuti è emerso che per l'onda simulata, la condizione di agitazione all'interno dell'approdo Palatucci è tale da non creare problemi alle imbarcazioni ormeggiate in quanto il range di altezza d'onda varia tra 0,20 m e 0,45 m. Dalle simulazioni effettuate dunque si deduce che i posti barca di cui alla proposta progettuale avanzata sono fruibili tutto l'anno.

## INDICE DELLE FIGURE

<b>Figura 1.</b>	Vista aerea del porto turistico di Verbania, stato attuale.....	1
<b>Figura 2.</b>	Planimetria di progetto.....	4
<b>Figura 3.</b>	Batimetria.....	9
<b>Figura 4.</b>	Griglia di calcolo.....	10
<b>Figura 5.</b>	Hs Tr = 1 anno .....	12
<b>Figura 6.</b>	Tr = 1 anno.....	13
<b>Figura 7.</b>	Hs Tr = 10 anni .....	14
<b>Figura 8.</b>	Tr = 10 anni.....	15
<b>Figura 9.</b>	Hs Tr = 100 anni .....	16
<b>Figura 10.</b>	Tr = 100 anni.....	17
<b>Figura 11.</b>	Linea di generazione del moto ondoso.....	20
<b>Figura 12.</b>	Strato assorbente .....	21
<b>Figura 13.</b>	Coefficienti di riflessione.....	23
<b>Figura 14.</b>	H vento 40 nodi.....	25
<b>Figura 15.</b>	Cd vento 40 nodi .....	26



### INDICE DELLE TABELLE

<b>Tabella 1.</b>	Posti barca .....	3
<b>Tabella 2.</b>	Condizioni di vento utilizzate per le simulazioni.....	6
<b>Tabella 3.</b>	Onde al largo.....	11
<b>Tabella 4.</b>	Coefficienti di riflessione.....	22