

REGIONE PUGLIA



CITTA' di GALLIPOLI  
PROVINCIA DI LECCE

# PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE CON AMPLIAMENTO DI PORTO GAIO

MARINA DI GALLIPOLI

## PROGETTO DEFINITIVO

ISTANZA CONCESSIONE DEMANIALE MARITTIMA  
(D.P.R. 509/97 E L.R. N.17/2015)

COMMITTENTE

Porto Gaio S.r.l.



TAVOLA

# SM01

TITOLO

STUDIO METEO-MARINO

studio meteo-marino e studio della agitazione interna portuale

PROGETTISTI

OPERE PORTUALI, RETROPORTUALI E MARITTIME E STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

ing. Mirarco Walter

ing. Cariddi Pierpaolo

d\_progetti DONATI D'ELIA Associati

STUDIO IDRO-GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

geol. Gianfreda Francesco

STUDIO ARCHEOLOGICO

dot. Cossa Angelo

COLLABORATORE

ing. Filieri Andrea

**INDICE**

<b>1.0</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2.0</b>	<b>IL CLIMA ONDOSO AL LARGO</b> .....	<b>3</b>
	2.1 <i>FONTE DEI DATI</i> .....	4
	2.2 <i>ANALISI STATISTICA DEL CLIMA ONDOSO MEDIO</i> .....	7
	2.3 <i>PERIODI D'ONDA</i> .....	8
	2.4 <i>PROBABILITA' DEGLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO</i> .....	13
<b>3.0</b>	<b>PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO VERSO LA COSTA</b> .....	<b>16</b>
	3.1 <i>BATIMETRIA ADOTTATA</i> .....	16
	3.2 <i>DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO PER LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE</i> .....	17
	3.3 <i>FORMULAZIONE GENERALE</i> .....	18
<b>4.0</b>	<b>AGITAZIONE ALL'IMBOCCATURA E NEL PORTO</b> .....	<b>23</b>
	4.1 <i>CONSIDERAZIONI PRELIMINARI</i> .....	23
	4.2 <i>GEOMETRIA DELL'IMBOCCATURA</i> .....	24
	4.3 <i>L'AVAMPORTO, I PASSI MARITTIMI INTERNI</i> .....	25
	4.4 <i>DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO</i> .....	26
	4.5 <i>CONDIZIONI AL CONTORNO E BATIMETRIA ADOTTATA</i> .....	28
	4.6 <i>DESCRIZIONE DELLE SIMULAZIONI DI MOTO ONDOSO CONDOTTE</i> .....	30
<b>5.0</b>	<b>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI</b> .....	<b>32</b>

## 1.0 PREMESSA

La società Porto Gaio s.r.l., intende realizzare una struttura portuale di tipo turistico in località porto Gaio a Gallipoli, ampliando l'approdo già esistente. A tal fine è stato redatto il progetto definitivo delle opere che viene corredato dal presente studio specialistico.

Si rammenta, in particolare, che gli elaborati a corredo del progetto definitivo delle opere marittime sono quelli riportati nel Decreto Interministeriale 14 aprile 1998 (GU 29.4.1998). Tale D.M. prevede che il progetto definitivo previsto dall'art. 6 del decreto del Presidente della Repubblica in data 2 dicembre 1997, n. 509, siano redatti con l'osservanza dei requisiti dettagliatamente descritti negli allegati I e II al decreto.

In merito al presente studio specialistico, esso, in accordo con quanto recitato dal D.M., ha preso in considerazione i seguenti temi:

*“clima del moto ondoso al largo; statistica degli eventi estremi al largo; considerazioni sulla rifrazione del moto ondoso, con l'ausilio di apposita modellistica matematica; considerazioni sulle variazioni del livello medio mare; individuazione delle altezze d'onda di progetto in corrispondenza delle opere foranee e dell'imboccatura portuale; considerazioni sul regime della dinamica litoranea locale (trasversale e longitudinale) in assenza e in presenza della progettata opera, con l'ausilio di apposita modellistica matematica per la predizione dell'evoluzione temporale della costa interessata dall'opera, a meno di particolari accertate condizioni morfologiche, sedimentologiche, meteomarine e strutturali per le quali la proposta opera non esercita rilevanti effetti sull'equilibrio dinamico dei seguenti costieri latitanti. Considerazioni sugli eventuali fenomeni di insabbiamento della imboccatura portuale. Individuazione degli eventuali provvedimenti mitigatori; considerazioni sulla agitazione interna portuale; considerazioni sulla agibilità dell'imboccatura portuale e degli specchi acquei interni ai fini della navigazione; considerazioni sulla qualità delle acque interne portuali, con individuazione degli eventuali provvedimenti mitigatori.”*

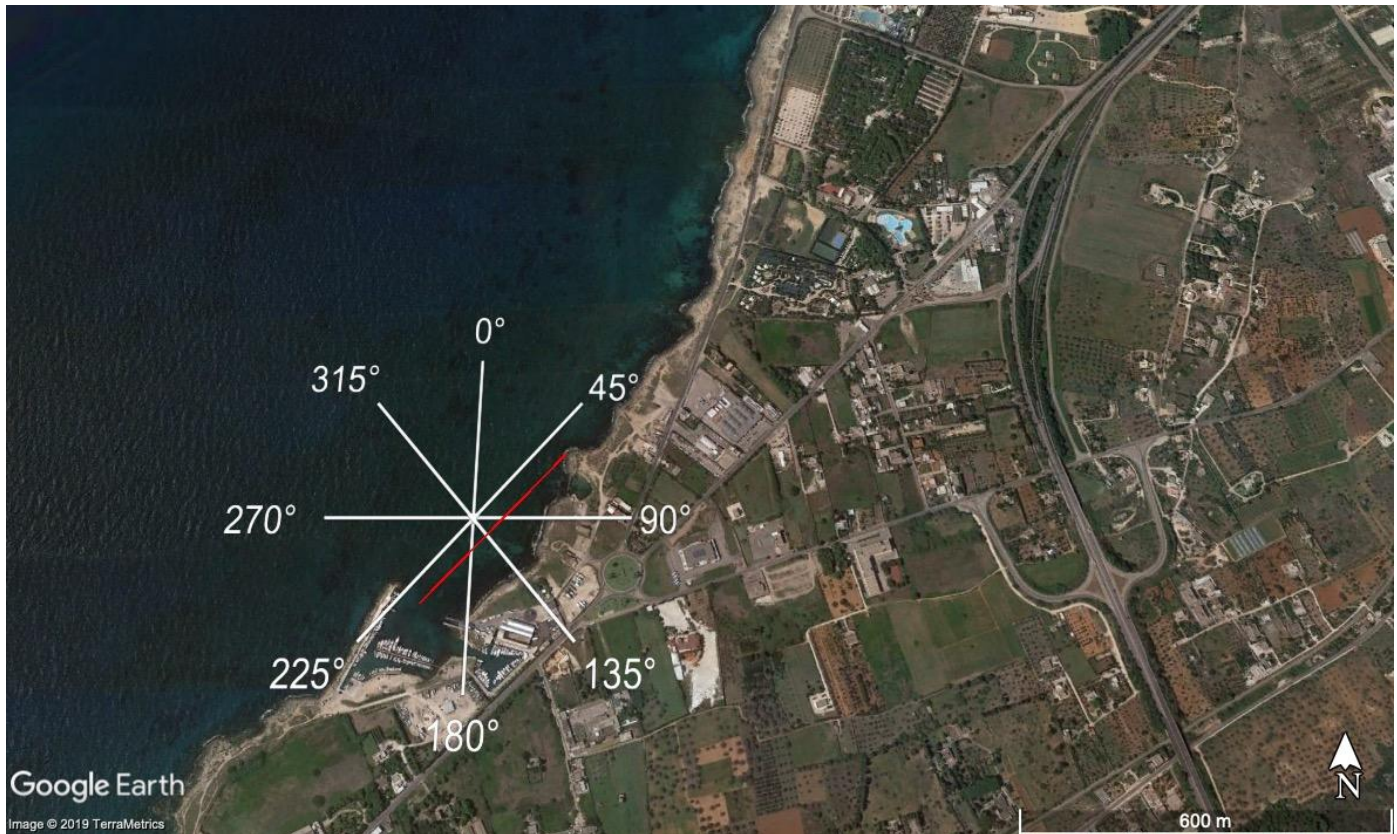
## 2.0 IL CLIMA ONDOSO AL LARGO

Il presente paragrafo riporta in risultati dello studio avente come obiettivo la determinazione del clima ondoso al largo e in prossimità delle infrastrutture portuali nella zona di Porto Gaio nel comune di Gallipoli (Figura 1).



Figura 1: ubicazione geografica della zona di studio

La Figura 2 mostra la conformazione dell'area oggetto di studio, incluso l'angolo tra andamento medio della costa intorno a porto Gaio e il Nord, che risulta essere pari a  $45^\circ$ .



*Figura 2: dettaglio dell'area oggetto di studio.  
La linea media di costa (in rosso) risulta inclinata di  $45^\circ$  rispetto al Nord ( $0^\circ$ )*

## 2.1 Fonte dei dati

La determinazione delle caratteristiche del moto ondoso in un assegnato paraggio è importante per valutare le condizioni medie di agitazione ondosa e quindi prevedere le condizioni di agibilità del porto e per valutare la probabilità di occorrenza di moti ondosi estremi prevedibili durante la vita di progetto di un'opera marittima da porre alla base dei calcoli di dimensionamento delle strutture.

Nel paraggio di Gallipoli non risultano disponibili osservazioni storiche dirette di moto ondoso. Per tale motivo, è stato necessario ricorrere ai risultati di procedure numeriche indirette di previsione, o meglio di ricostruzione (hindcasting), degli eventi ondosi verificatisi mediante modelli numerici di tipo globale; tali dati, sono distribuiti, tra gli altri, dal NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration), l'Agenzia federale Americana di meteorologia e oceanografia.

Il modello numerico sviluppato e utilizzato dal NOAA è chiamato WAVEWATCH III (abbreviato WW3, versione 3.14) (Tolman 1997, 1999a, 2009); esso è un modello d'onda di terza generazione sviluppato dalla divisione NCEP (National Centers for Environmental Prediction) del NOAA come evoluzione del modello WAM (WAMDIG 1988, Komen et al. 1994). WW3 risolve l'equazione del bilancio per lo spettro del numero d'onda-direzione. L'implicita assunzione di questa equazione è che le proprietà del mezzo (profondità dell'acqua, correnti) come lo stesso campo d'onda, variano nelle scale spaziali e temporali con un'intensità maggiore della variazione della singola onda. Con la versione 3.14 del modello sono state incluse le parametrizzazioni per alcune condizioni come quelle relative alla zona del frangimento; tuttavia, questo non consente al modello di essere impiegato in acque basse.

Le relative previsioni vengono realizzate attraverso numerosi sistemi di acquisizione dei dati di osservazione: stazioni meteorologiche in superficie, palloni sonda, satelliti meteorologici, radar ed ulteriori strumentazioni. Tali dati alimentano i modelli numerici meteorologici idrici e climatici, i cui output vengono poi analizzati e verificati.

Il NOAA mette a disposizione un archivio di hindcast di WW3, comprendente dati relativi ai parametri caratteristici di uno stato di mare (altezza d'onda significativa,  $H_s$ , e periodo medio,  $T_m$ ) per tutto il pianeta.

Tali dati sono di pubblico dominio, disponibili al sito web del NOAA (<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/>) e organizzati in file estensione GRIB2 (gridded binary), contenenti una serie di informazioni circa le condizioni meteomarine dell'area d'interesse. I file Grib2 provvedono informazioni relative ai parametri sintetici di moto ondoso con frequenza temporale pari a tre ore, suddivisi mensilmente, e coprono tutto l'arco temporale che va dal 1979 al 2009 (inclusi), quindi costituiscono una serie temporale pari a 31 anni.

La griglia geografica utilizzata per la computazione e per definire i nodi di output del modello copre l'intero globo è basata sulla batimetria ETOPO-1 (Amante and Eakins, 2009), in combinazione con il database delle linee di riva GSHHS (Global Self-Consistent Hierarchical High Resolution Shoreline, versione 1.10 e, pertanto, risulta avere una risoluzione geografica in latitudine/longitudine di 30 arco-minuti, corrispondenti a circa 55 km.

La batimetria adottata dal NOAA è riprodotta in Figura 3.

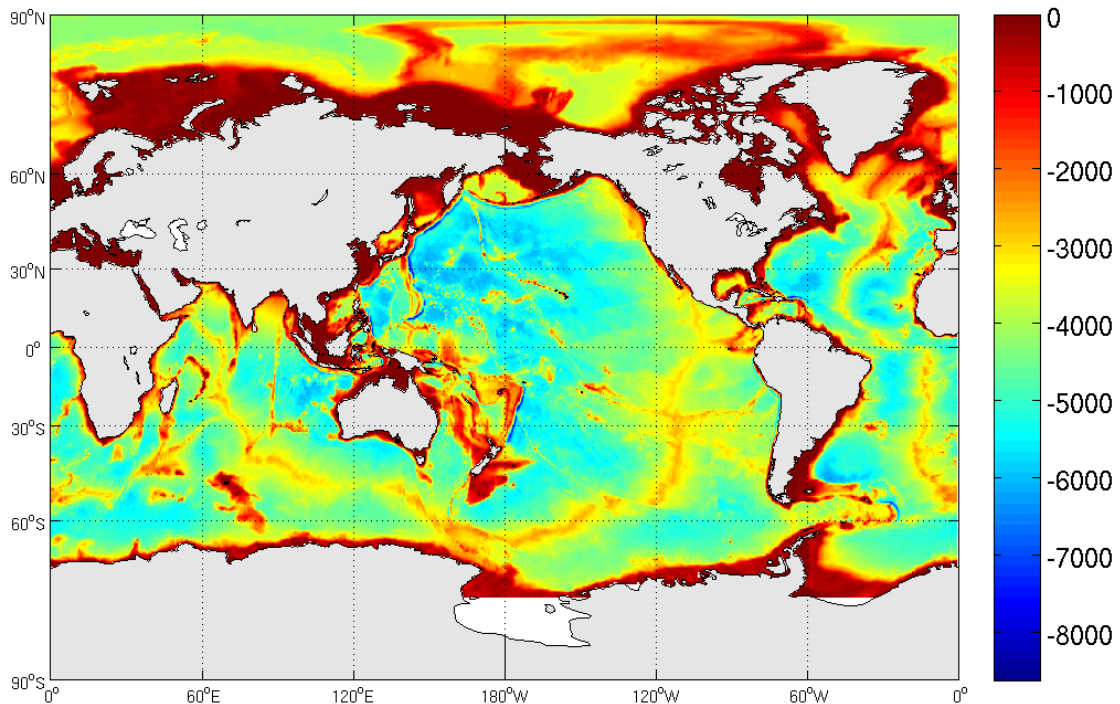


Figura 3: batimetria utilizzata dal modello numerico di analisi/previsione del modo ondoso WW3

La Figura 4 mostra la griglia computazionale di WW3 nel Mar Ionio (triangoli gialli). In blu è indicato il nodo computazionale selezionato per l'estrazione delle informazioni NOAA di moto ondoso al largo del paraggio di Gallipoli (indicato in rosso).

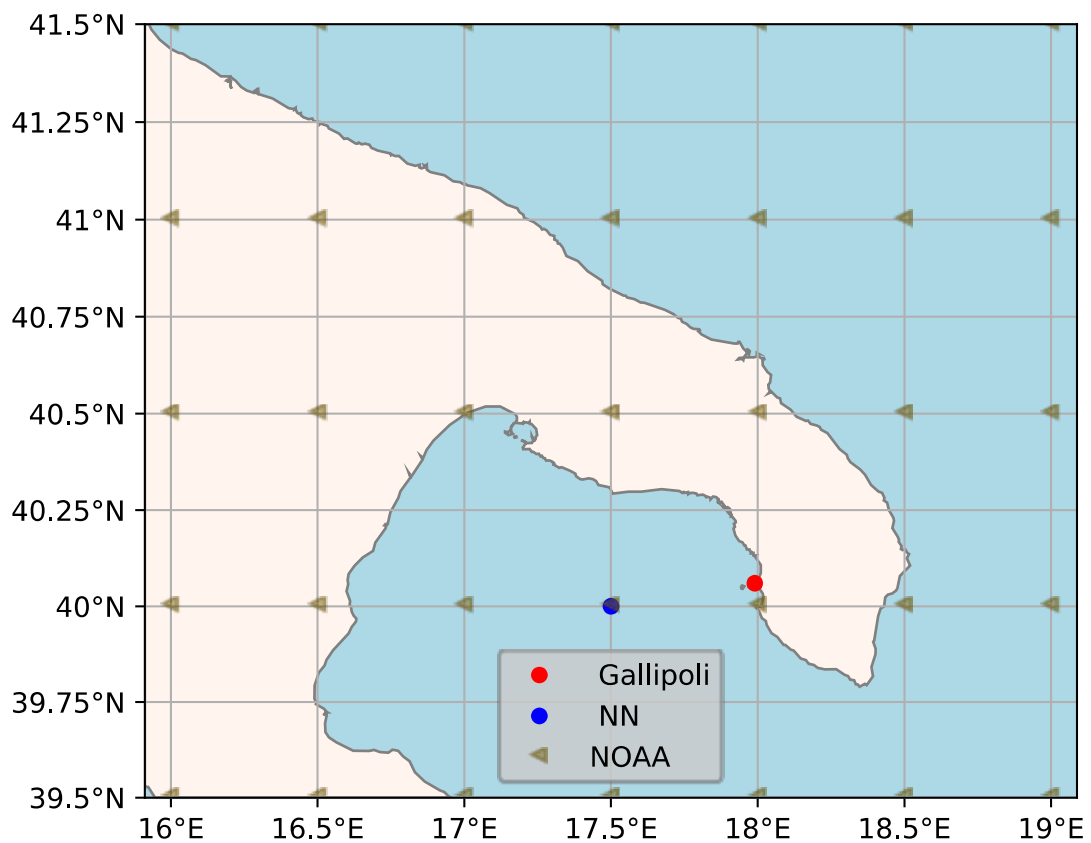


Figura 4: griglia geografica di output del modello WW3

L'output del modello è costituito dalle informazioni di Hs (altezza d'onda significativa delle onde di vento e swell combinate, in m), Tm (periodo medio dell'onda primaria, in s) e Dp (direzione media dell'onda primaria, in °, con convenzione nautica, ovvero la direzione 0° corrisponde ad onde provenienti da Nord, mentre la direzione 90° corrisponde ad onde provenienti da Est).

## 2.2 Analisi statistica del clima ondoso medio

Il clima medio ondoso al largo di Gallipoli è stato determinato analizzando la serie temporale dei dati di WW3 (anni 1979-2009) estratti in corrispondenza del nodo indicato in blu in Figura 4.

La distribuzione settoriale del moto ondoso, per settori di ampiezza 22.5°, è rappresentata graficamente nella corrispondente rosa del moto ondoso (Figura 5) ottenuta a partire dall'insieme dei dati.

Da questa analisi si osserva una predominanza nel moto ondoso proveniente dai settori S e SSE, con altezze d'onda medie che si aggirano attorno ad 1 m, anche se sono state osservate onde comprese anche nell'intervallo 2.5-5 m.

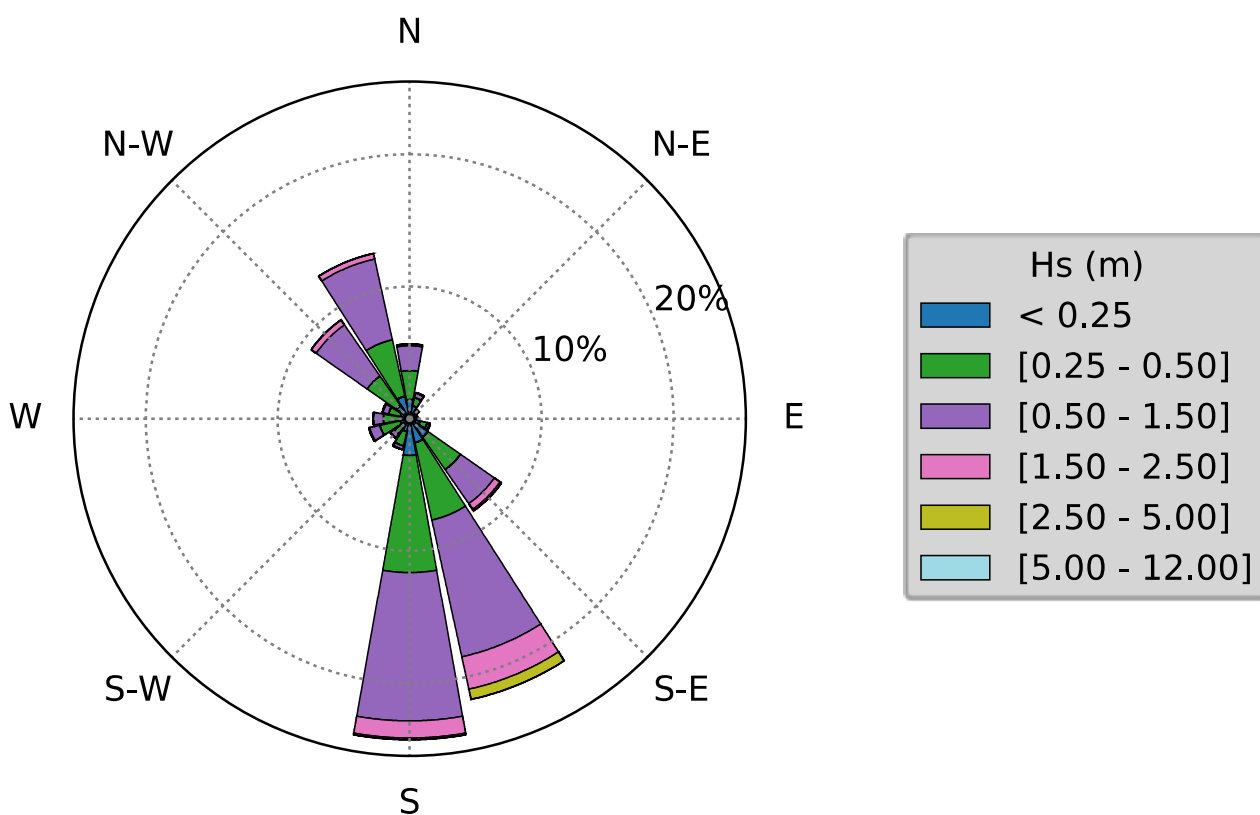


Figura 5: rosa del moto ondoso al largo di Gallipoli



La Tabella 1 riporta la frequenza di apparizione dei dati di moto ondoso per ciascuno dei settori, in percentuale; il numero di osservazioni nella serie storica è 90585.

*Tabella 1: numero di osservazioni classificate per settori di incidenza del moto ondoso e per classi di altezza d'onda significativa Hs. Dati NOAA (1979-2009)*

Dir\Hs(m)	[0 - 0.25]	[0.25 - 0.50]	[0.50 - 1.50]	[1.50 - 2.50]	[2.50 - 5.0]	[5.0 - 12.0]	%
<b>N</b>	1.46	2.18	1.88	0.12	0.00	0.00	<b>5.65</b>
<b>N-N-E</b>	0.99	0.63	0.37	0.02	0.00	0.00	<b>2.01</b>
<b>N-E</b>	0.56	0.22	0.06	0.01	0.00	0.00	<b>0.85</b>
<b>E-N-E</b>	0.45	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	<b>0.60</b>
<b>E</b>	0.47	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	<b>0.66</b>
<b>E-S-E</b>	0.81	0.55	0.21	0.02	0.00	0.00	<b>1.60</b>
<b>S-E</b>	1.68	3.01	3.13	0.53	0.14	0.00	<b>8.49</b>
<b>S-S-E</b>	1.86	5.99	10.58	2.51	0.78	0.02	<b>21.73</b>
<b>S</b>	2.77	8.86	11.21	1.29	0.13	0.00	<b>24.26</b>
<b>S-S-W</b>	1.00	1.11	0.29	0.00	0.00	0.00	<b>2.39</b>
<b>S-W</b>	0.52	0.86	0.40	0.01	0.00	0.00	<b>1.79</b>
<b>W-S-W</b>	0.72	1.58	0.80	0.04	0.01	0.00	<b>3.15</b>
<b>W</b>	0.74	1.26	0.74	0.04	0.00	0.00	<b>2.79</b>
<b>W-N-W</b>	0.72	0.92	0.46	0.03	0.00	0.00	<b>2.13</b>
<b>N-W</b>	1.23	2.70	4.71	0.44	0.01	0.00	<b>9.10</b>
<b>N-N-W</b>	1.74	4.38	6.25	0.42	0.01	0.00	<b>12.80</b>
<b>%</b>	<b>17.72</b>	<b>34.53</b>	<b>41.15</b>	<b>5.50</b>	<b>1.08</b>	<b>0.02</b>	<b>100.0</b>

### 2.3 Periodi d'onda

La Figura 5 rappresenta il grafico di dispersione totale relativo alla corrispondenza tra i valori dell'altezza d'onda Hs e del periodo di picco Tp per l'insieme di dati considerato.

È stata stabilita, inoltre, la relazione delle variabili Hs e Tp per l'insieme dei fronti d'onda provenienti dai settori di incidenza considerati, cioè quelli appartenenti ai settori SSW, S e SSE.

Di seguito, dalla Figura 7 alla Figura 9:9, sono rappresentati i grafici di dispersione delle variabili altezza d'onda significativa Hs e periodo di picco Tp per ciascuno dei suddetti settori. Naturalmente, questo tipo di correlazione presenta una notevole dispersione all'interno dell'insieme dei dati rappresentati, per cui non è possibile determinare una relazione analitica rappresentativa affidabile.

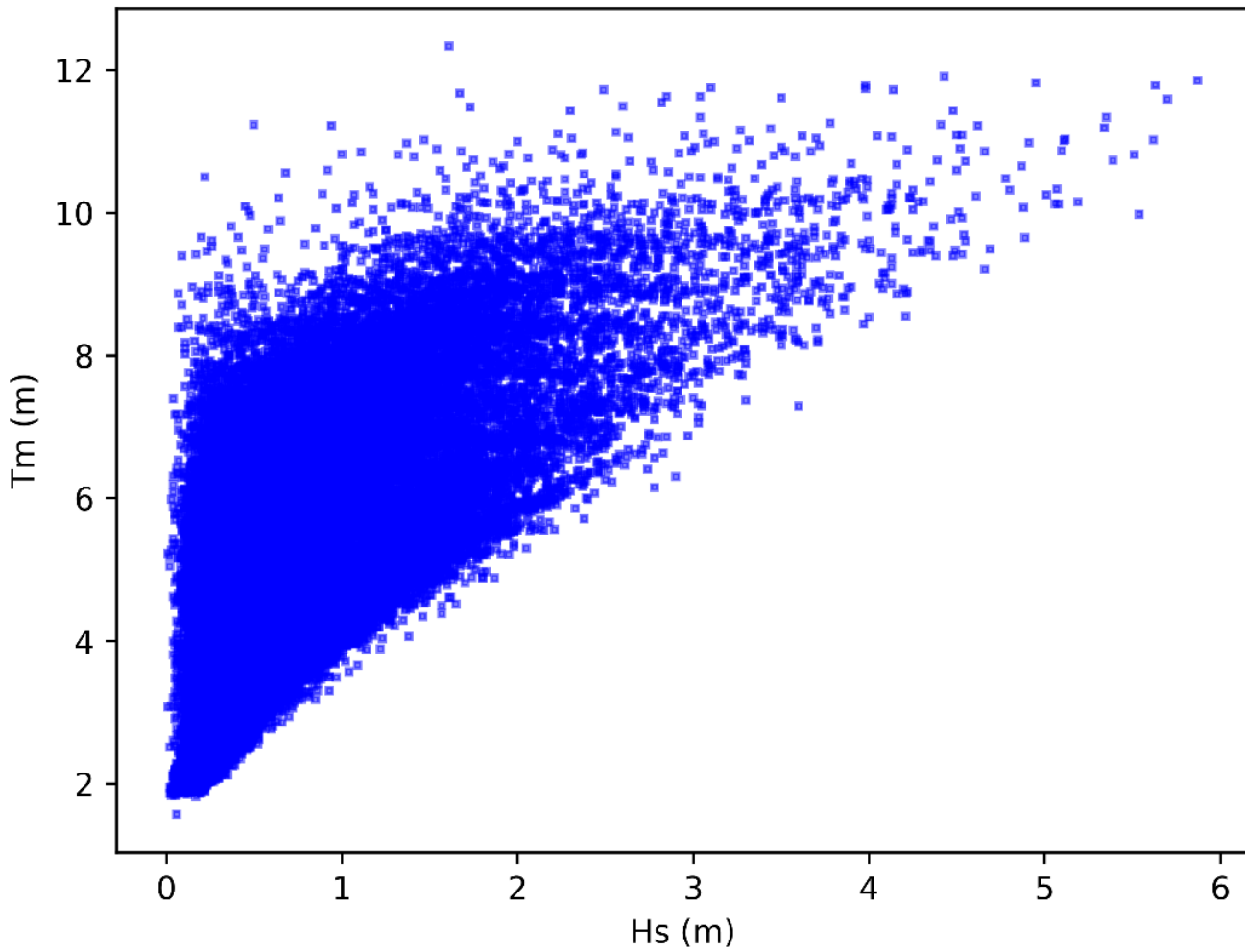


Figura 6: grafico di dispersione totale delle variabili altezza d'onda significativa  $H_s$  e periodo d'onda medio ( $T_m$ ) al largo di Gallipoli. Dati Hindcast al largo (Modello WW3)

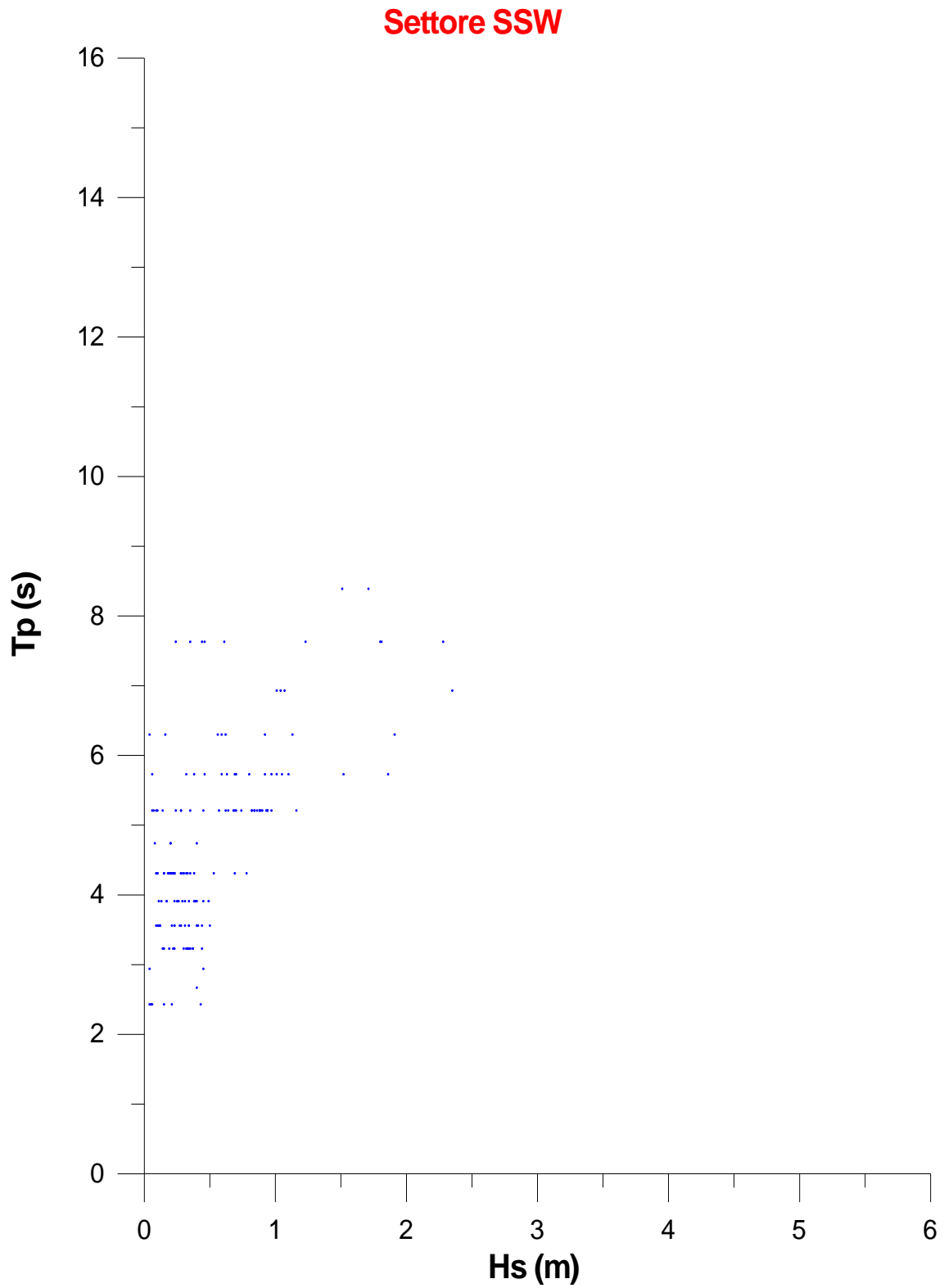


Figura 7: Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda  $H_s$  e periodo di picco  $T_p$  per il settore SSW. Dati Hindcast al largo (Modello WW3)

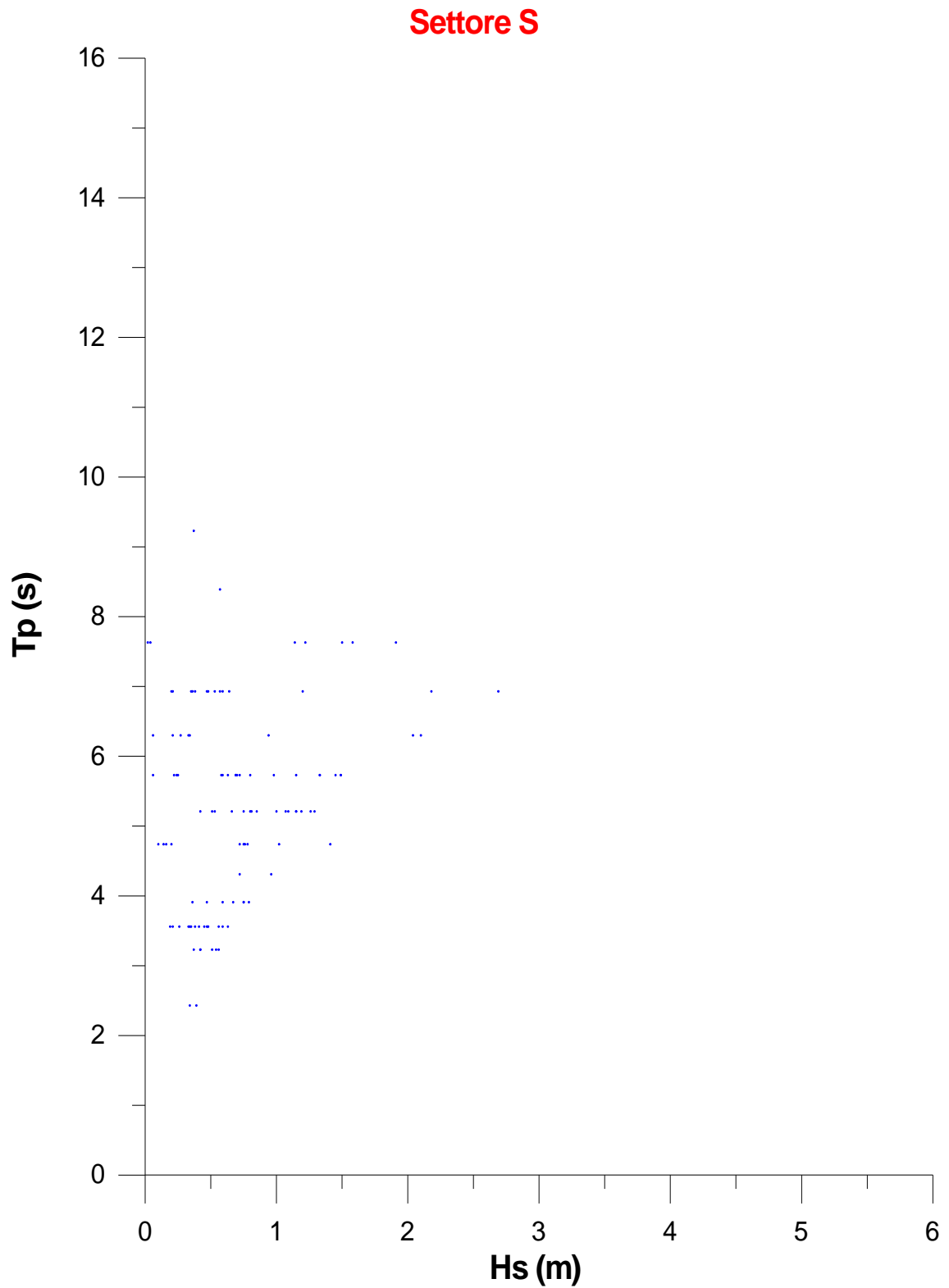


Figura 8: Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda  $H_s$  e periodo di picco  $T_p$  per il settore S.  
 Dati Hindcast al largo (Modello WW3)

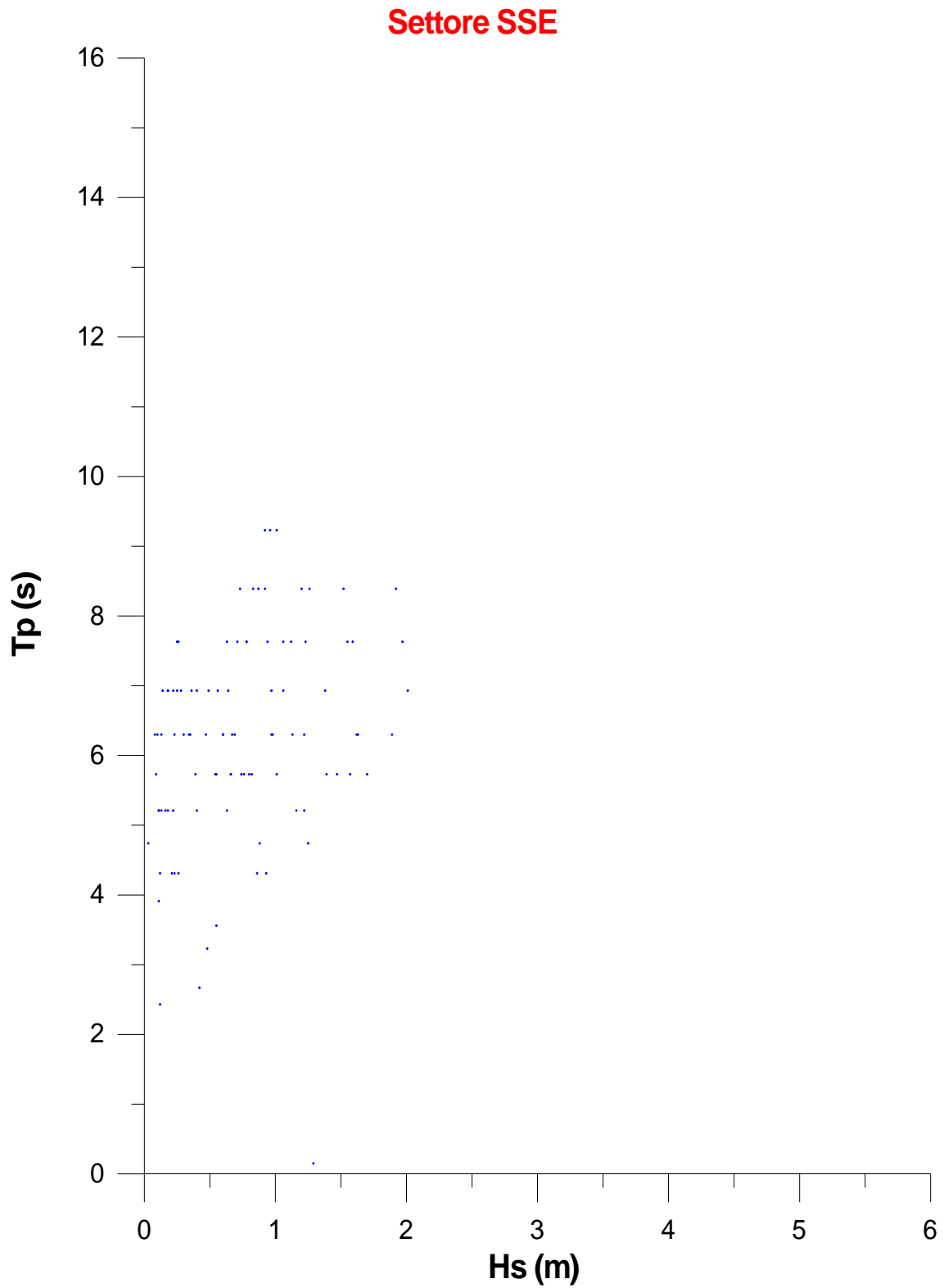


Figura 9: Grafico di dispersione delle variabili altezza significativa d'onda  $H_s$  e periodo di picco  $T_p$  per il settore SSE. Dati Hindcast al largo (Modello WW3)

## 2.4 Probabilità degli eventi estremi di moto ondoso

Si definisce regime estremo la funzione di distribuzione dei valori estremi di una determinata variabile. Tale funzione esprime la probabilità che un dato valore non sia superato in un periodo predeterminato.

Il metodo di analisi degli eventi estremi utilizzato nel presente studio è quello della soglia o POT (“Peak Over Threshold”).

Per la sua applicazione, è necessario individuare eventi di mareggiata indipendenti nella serie temporale NOAA di stati di mare al largo.

A tal scopo è stato applicato il criterio di Boccotti (1987), per cui una mareggiata è definita come una successione di stati di mare aventi altezza significativa d’onda maggiore di una prima soglia (in questo caso scelta pari a 1.5 m) per una durata temporale superiore a 9 ore. Due mareggiate sono considerate indipendenti se i rispettivi picchi di altezza significativa d’onda sono separati temporalmente da almeno 24 ore.

Gli eventi così selezionati sono stati ulteriormente selezionati stabilendo una seconda soglia per l’altezza significativa d’onda, questa volta pari a 2 m per individuare gli “eventi estremi”. Questa selezione ha permesso di individuare 225 mareggiate estreme nell’arco temporale dei dati NOAA, ovvero dal 1979 al 2009 (inclusi), per un totale quindi di 31 anni. Il parametro  $\lambda$ , pari al numero di mareggiate per anno risulta essere uguale a 7.25.

Se definiamo  $F(H_s)$  la probabilità che il valore della variabile altezza d’onda significativa  $H_s$  non sia superata nel tempo  $1/\lambda$ , il periodo di ritorno<sup>1</sup>  $T_r$  associato al valore  $H_s$  si determina a partire dalla seguente relazione:

$$T_r = 1/\lambda [1 - F(H_s)]$$

L’adattamento (Goda, 2000) alle funzioni di Weibull ( $k = 0.75, 1.0, 1.4, 2.0$ ) e Gumbel con il metodo dei Minimi Quadrati della variabile altezza significativa d’onda è riportato in Figura 10.

---

<sup>1</sup> il **periodo di ritorno** di un evento, definito anche come **tempo di ritorno**, è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

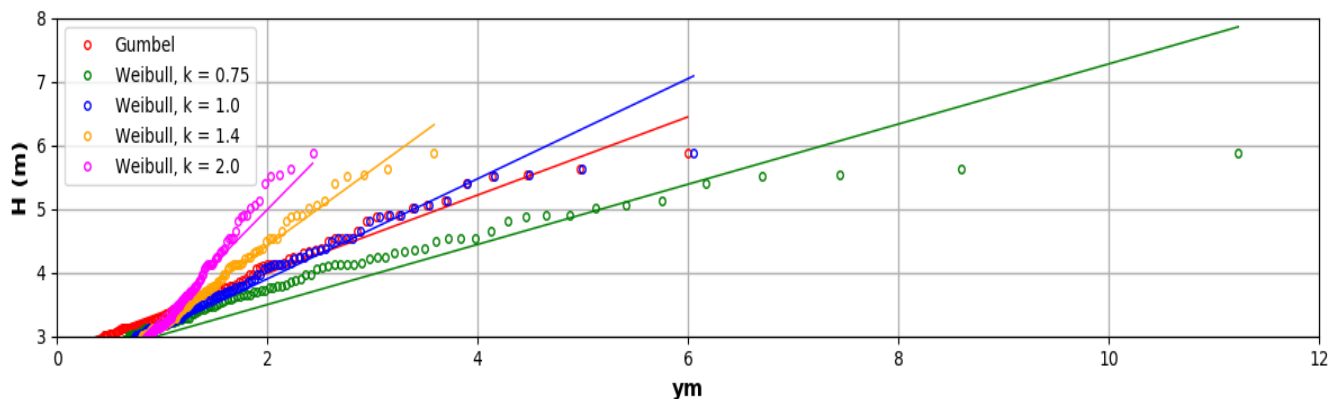


Figura 10: adattamento delle funzioni di distribuzione di probabilita' di Gumbel e Weibull all'atezza significativa d'onda simulata tramite WW3 al largo di Gallipoli.

La Tabella 2 riporta per ognuna delle distribuzioni di probabilita' i coefficienti di adattamento (fit) lineare e la somma dei residui al quadrato (RMSE). La distribuzione per cui tale somma risulta minore è la funzione che risulta meglio approssimare i dati. Dallo studio effettuato, risulta che la distribuzione di probabilita' che approssima meglio i dati è la distribuzione di Weibull con  $k=1.4$ .

Tabella 2. Valori dei coefficienti del fit lineare e RMSE per ognuna delle distribuzioni di probabilita'. In la distribuzione ottimale (Weibull,  $k=1.40$ ).

Distribuzione	Coefficienti fit lineare	RMSE
<b>Gumbel</b>	0.614, 2.761	2.5528
<b>Weibull, <math>k=0.75</math></b>	0.472, 2.552	13.8233
<b>Weibull, <math>k=1.00</math></b>	0.786, 2.329	3.5861
<b>Weibull, <math>k=1.40</math></b>	<b>1.198, 2.022</b>	<b>0.8624</b>
<b>Weibull, <math>k=2.00</math></b>	1.682, 1.624	4.3347

La Figura 11 riporta i valori dell'altezza d'onda significativa estrema in funzione del tempo di ritorno per il paraggio di Gallipoli (valori riportati in Tabella 3)

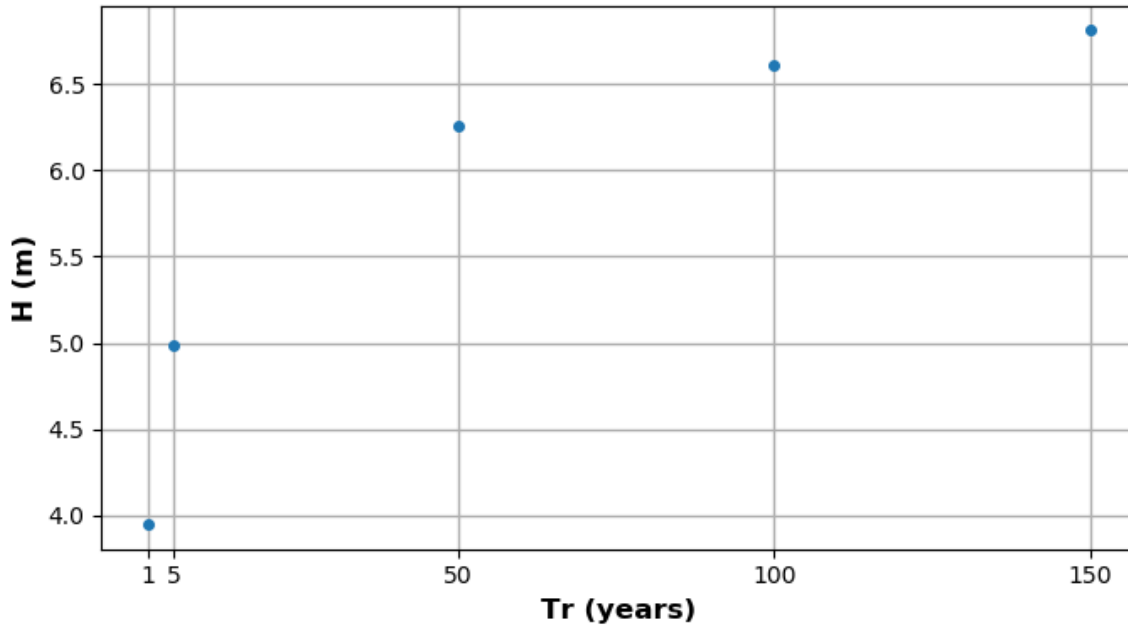


Figura 11: altezza d'onda significativa estrema in funzione del periodo di ritorno per il paraggio di Gallipoli

Tabella 3. Valori di altezza d'onda significativa estrema in funzione del periodo di ritorno per il paraggio di Gallipoli

Tr (anni)	H (m)
1	3.95
5	4.99
50	6.25
100	6.61
150	6.81



### 3.0 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO VERSO LA COSTA

#### 3.1 Batimetria adottata

La batimetria adottata per la simulazione della propagazione del moto ondoso da largo verso riva è stata sviluppata dal servizio europeo EMODNET (<http://www.emodnet-bathymetry.eu/data-products>), nell'ambito di una collaborazione europea tra Università e Enti pubblici e privati operanti nel settore dell'Oceanografia, Scienze Marine, Risorse Naturali (Oil&Gas). La collaborazione ha portato alla creazione di un dataset risultante da una complessa operazione di armonizzazione di dati batimetrici provenienti da diverse fonti di dati quali dati sonar raccolti da navi oceanografiche, informazioni satellitari, campagne oceanografiche apposite, inclusi i dati del consorzio "GEBCO" (General Bathymetric Chart of the Ocean). Essa consiste in un modello dell'elevazione per la terra e gli oceani su griglia ad alta risoluzione (pari a 1/16 di arco-minuto, equivalente a circa a 115 m). Il dataset è disponibile e scaricabile liberamente.

Le Figure 12 e 13 rappresentano la batimetria dell'area a mare antistante la zona di interesse.

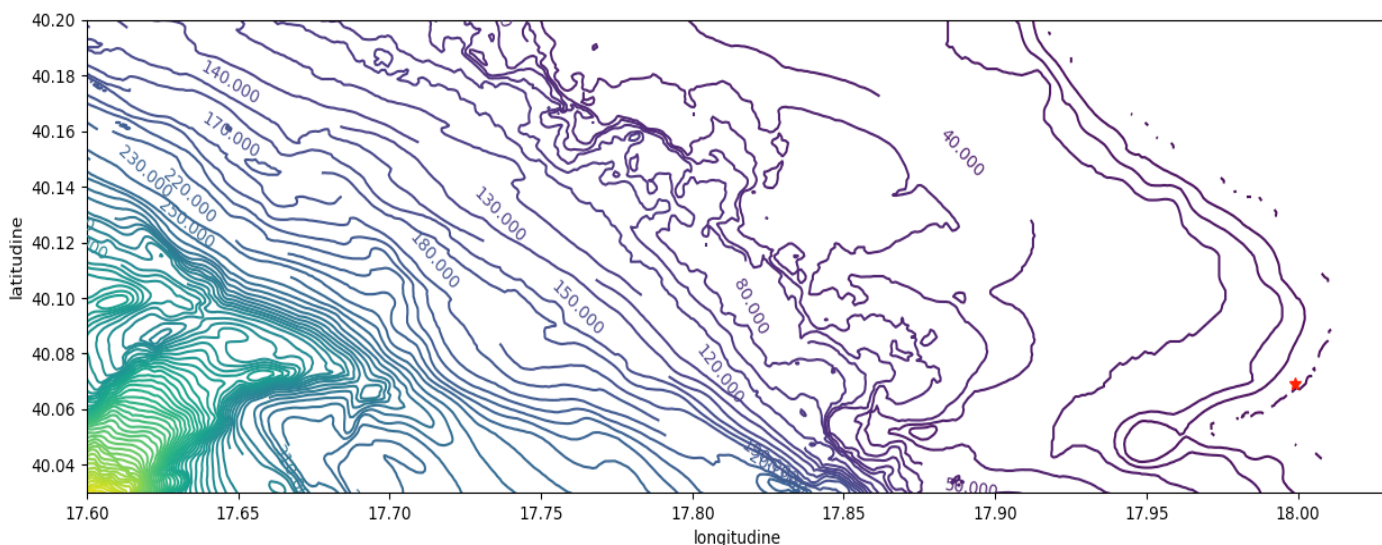


Figura 12. Batimetria dell'area oggetto di studio; l'asterisco rosso indica la posizione di Porto Gaio



Figura 13. Batimetria dell'area analizzata

### 3.2 Descrizione del modello numerico per la propagazione delle onde

La simulazione della propagazione delle onde dal largo verso la costa è stata effettuata tramite il modello SWAN (Booj et al., 1996, 1999), sviluppato dalla Technical University of Delft (Paesi Bassi).

SWAN (Simulating Waves Nearshore) è un modello numerico “free” che produce stime realistiche dei parametri delle onde in aree costiere, a partire da condizioni definite al largo, tenuto conto delle condizioni del vento, delle correnti e della batimetria.

SWAN è un modello spettrale di terza generazione, che tiene conto dei seguenti processi:

- rifrazione dovuta a variazioni spaziali di profondità e corrente;
- “shoaling” dovuto a variazioni spaziali di profondità e corrente;
- attrito e rifrazione indotti da correnti contrarie;
- trasmissione o dissipazione dovuti alla presenza di ostacoli (ad esempio barriere frangiflutti).

In SWAN sono formulati i seguenti processi di generazione e dissipazione:

- vento;
- “white-capping”;
- frangimento;
- attrito al fondo;
- interazioni non-lineari onda-onda.

SWAN differisce dagli altri modelli analoghi e dai suoi predecessori per i seguenti aspetti principali:

- è un modello spettrale (è, quindi, possibile selezionare il profilo spettrale da definire per le condizioni al contorno così come la funzione di “spreading” direzionale);
- considera la generazione di onde da vento anche in acque basse;
- considera l’interazione onda-corrente anche in acque basse.

Grazie ai tre punti suddetti, SWAN definisce con maggiore completezza la dissipazione dell’energia rispetto ad altri modelli che tengono conto solo dell’attrito al fondo.

### 3.3 Formulazione generale

SWAN descrive le onde mediante lo spettro bidimensionale di densità di azione d’onda, anche in condizioni in cui prevalgono fenomeni non lineari (ad esempio nella “surf-zone”). Anche in condizioni fortemente non lineari, infatti, è possibile stimare con ragionevole accuratezza la distribuzione spettrale al secondo ordine.

SWAN utilizza lo spettro di densità di azione  $N(k, \theta)$  anziché lo spettro di densità di energia  $E(k, \theta)$  perché, in presenza di correnti, la densità di azione si conserva mentre la densità di energia non si conserva.

La densità di azione è uguale al rapporto tra la densità di energia e la frequenza relativa  $\sigma$ :

$$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma. \quad (1)$$

Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa  $\sigma$  (misurata rispetto ad un sistema di riferimento che si muove con la velocità di propagazione dell’azione d’onda) e la direzione dell’onda  $\theta$  (direzione perpendicolare alla cresta di ciascuna componente spettrale).

L’evoluzione dello spettro viene descritta mediante l’equazione di bilancio dell’azione spettrale, di seguito riportata, rispetto ad un sistema di coordinate cartesiane (Hasselmann et al, 1973):

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (2)$$

dove il primo termine a sinistra rappresenta il gradiente locale di densità di azione, il secondo ed il terzo termine rappresentano la propagazione di densità di azione nello spazio geografico. Il quarto termine rappresenta lo spostamento della frequenza relativa dovuto alle variazioni di profondità e corrente, mentre il quinto termine rappresenta la rifrazione indotta dalla corrente e dalle variazioni di profondità.

Le velocità di propagazione ( $c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta$ ) all’interno del modello sono definite mediante la teoria lineare.

Il secondo termine  $S (=S(\theta,\sigma))$  dell'espressione (2) è il termine sorgente espresso come densità di energia, ed è costituito dagli effetti di generazione, dissipazione, e interazioni non-lineari onda-onda.

L'area di studio viene discretizzata mediante un reticolo di maglie quadrate o rettangolari e ad ogni maglia viene assegnata la corrispondente profondità del fondale.

Il modello non ha particolari problemi nella risoluzione spaziale: possono così essere effettuate simulazioni della propagazione dell'onda a costa considerando reticoli di estremo dettaglio o reticoli a vasta scala.

E' inoltre possibile effettuare, ove necessario, l'innesto ("nesting") di uno o più reticoli dettagliati su uno a vasta scala, garantendo in questo modo condizioni ai contorni oggettive dei modelli di dettaglio.

Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del modello (SWAN User Manual).

La Figura 14 rappresenta la griglia computazionale adottata (in blu). Il nodo NOAA al largo è rappresentato dal marcatore giallo. In rosso è segnata la posizione di Gallipoli; viene anche mostrato l'andamento delle batimetriche.

La griglia computazionale di SWAN adottata è composta da 576 nodi in longitudine da  $17.5^\circ$  a  $18.1^\circ$  e 385 nodi in latitudine da  $40^\circ$  a  $40.4^\circ$ .

SWAN è stato utilizzato in modalità stazionaria.

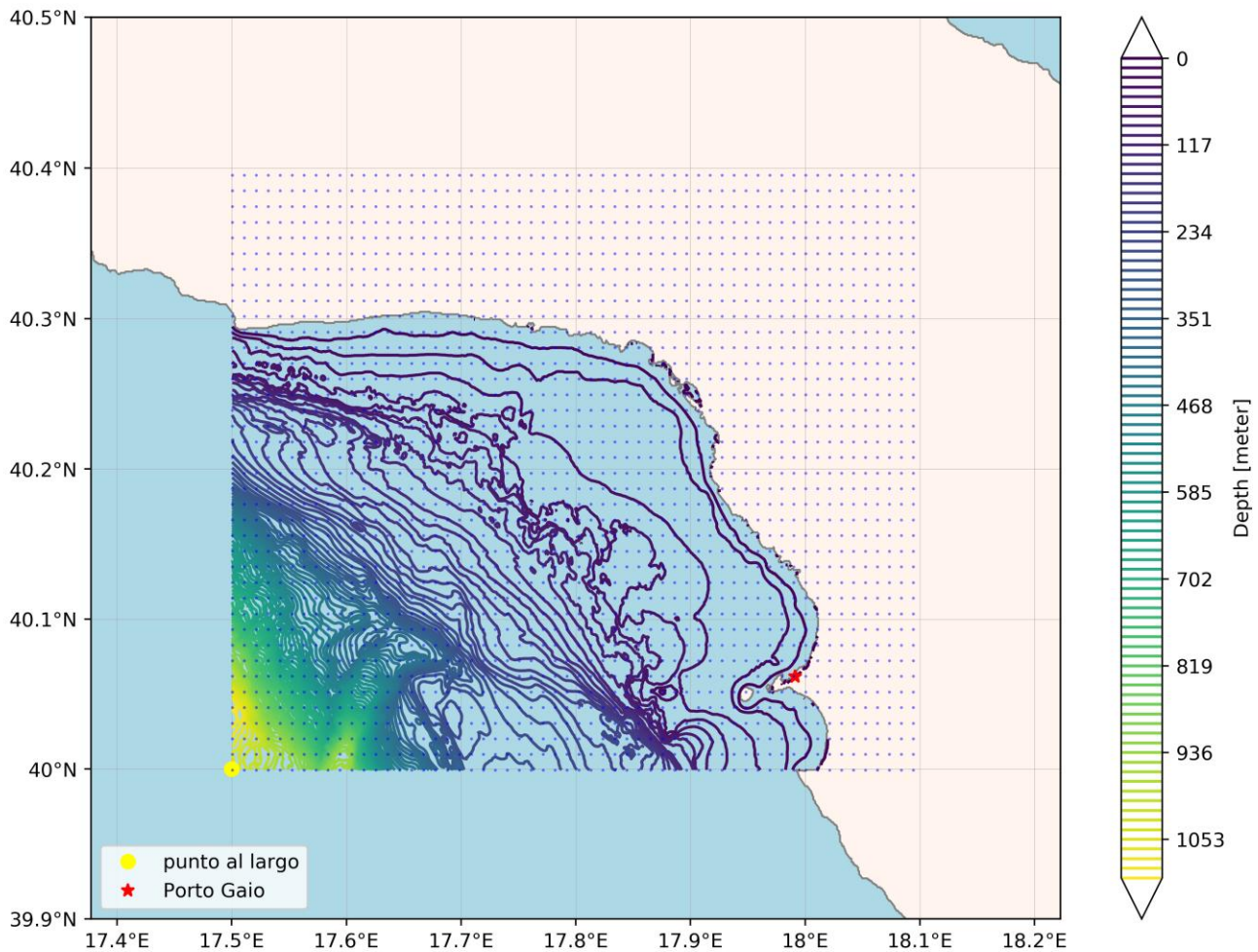


Figura 14. Dominio di calcolo

Per determinare le condizioni del moto ondoso in prossimità dell'area oggetto del presente studio, sono stati scelti due punti rappresentativi (Figura 15) le cui coordinate e la relativa profondità delle acque sono riportate in Tabella 4.

I due punti sono stati scelti in modo da rappresentare quanto si verifica dinanzi all'imboccatura portuale (punto A) e le condizioni che si hanno dinanzi al molo di nuova costruzione (punto B).



Figura 15. Punti selezionati per lo studio del moto ondoso nell'area di interesse

Tabella 4. Coordinate geografiche e profondita' relativa delle acque dei punti A e B selezionati dinanzi a porto Gaio

Punto	Longitudine	Latitudine	Profondità
A	17°59'49"E	40°4'4"N	8.6 m
B	17°59'56"E	40°4'8'	7.3 m

Per determinare le condizioni del moto ondoso nell'area di studio sono stati scelti opportuni stati di mare rappresentativi del moto ondoso al largo del paraggio di Gallipoli; per essi è stata simulata la propagazione in corrispondenza dei punti A e B con il modello numerico SWAN per la batimetria già detta.

E' stata simulata anche la propagazione delle condizioni di moto ondoso estreme (Tabella 3) con periodo di ritorno pari a 1, 5 e 50 anni da largo sino in corrispondenza dei punti A e B.

I risultati della simulazione della propagazione sono riportati in Tabella 5.

Per quanto riguarda la direzione di propagazione delle onde estreme, è stato considerato il valore 337.5° Nord che, considerando l'esposizione del paraggio di Porto Gaio, rappresenta la direzione di propagazione delle mareggiate di maggiore intensità che vanno prese in considerazione per la progettazione delle opere di difesa del porto.

Tabella 5: risultati della propagazione del moto ondoso da largo verso riva in prossimità di Porto Gaio

Punto al largo			A			B		
Hs (m)	Tp (s)	Dir (N)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (N)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (N)
<b>Condizioni medie</b>								
0.37	3.2	315	0.36	3.2	325	0.28	2.8	330
1	5.3	315	0.40	3.3	330	0.40	3.3	350
2	7.5	315	0.90	5.0	3	0.60	4.1	8
3.75	10.2	315	1.87	7.2	10	1.87	7.2	13
0.37	3.2	337.5	0.37	3.2	340	0.34	3.1	8
1	5.3	337.5	0.72	4.5	355	0.65	4.2	360
2	7.5	337.5	1.34	6.1	8	1.30	6.0	13
3.75	10.2	337.5	2.43	8.2	15	2.51	8.4	18
<b>Condizioni estreme Tr = 1 anno</b>								
3.9	10.5	337.5	2.57	8.4	15	2.58	8.4	18
<b>Condizioni estreme Tr = 5 anni</b>								
4.9	11.8	337.5	3.49	8.9	20	3.49	9.9	22
<b>Condizioni estreme Tr = 50 anni</b>								
6.2	13.2	337.5	4.38	11.0	22	4.70	11.4	25
<b>Condizioni estreme Tr = 100 anni</b>								
6.6	13.6	337.5	4.63	11.4	22	4.96	11.0	25

## 4.0 AGITAZIONE ALL'IMBOCCATURA E NEL PORTO

### 4.1 Considerazioni preliminari

I due moli delimitanti il bacino portuale costituiscono essenzialmente un sistema di protezione dalle onde ed un canale navigabile per l'ingresso nel bacino portuale. Il loro scopo è quello di permettere, alle barche in entrata, una sicura navigazione e, a quelle ormeggiate nel bacino portuale, di non essere disturbate dall'azione delle onde agenti esternamente.

Molti dei fattori influenzanti la progettazione di un porto turistico e/o peschereccio, come il disegno dell'imboccatura per la protezione dalle onde, sono comuni ai progetti degli altri tipi di porto. Pur tuttavia, operativamente, le necessità di protezione dalle onde di un porto minore sono maggiori, poiché le altezze d'onda di progetto in un bacino d'ormeggio per barche di piccola e media dimensione debbono essere molto più limitate che non nel caso dei porti commerciali destinati a ricevere navi più grandi. Le onde hanno infatti la capacità di:

- a) compromettere la sicurezza della navigazione all'ingresso dei porti;
- b) danneggiare i pontili e le barche;
- c) creare un ambiente di ormeggio "scomodo";
- d) introdurre sedimenti nel canale d'entrata.

La pericolosità delle onde è notoriamente funzione della loro altezza, direzione, ripidità ( $\delta = H/L$ ) e frequenza  $f = 1/T^2$ . Il frangimento dell'onda, che si ha al raggiungimento del suo limite di ripidità, non deve agire sulla barca in navigazione o all'ormeggio.

Esistono alcune raccomandazioni circa la limitazione delle onde nei porti turistici:

- a) secondo lo Speciale Rapporto #2 dell'U.S. Army Corps of Engineers, l'altezza d'onda all'interno del bacino deve essere limitata a 30 - 45 cm.
- b) secondo Mercer et alii (Canada) la limitazione dell'altezza delle onde è funzione: dell'angolo di allineamento delle barche rispetto alla cresta dell'onda, del periodo dell'onda (o della lunghezza), del periodo di ritorno<sup>3</sup> e del desiderato livello di benessere/comfort.

Questo metodo, dato in forma matriciale, è stato introdotto sia nelle norme Australiane che in quelle US-ASCE e, sin dal 1996, pressoché inalterate, nelle raccomandazioni tecniche emanate dall'allora III Sezione del Consiglio Superiore dei LL.PP.<sup>(4)</sup> Le dimensioni del canale

---

<sup>2</sup> Dove L lunghezza d'onda, T periodo dell'onda

<sup>3</sup> il **periodo di ritorno** di un evento, definito anche come **tempo di ritorno**, è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

<sup>4</sup> "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici", in PIANC - Sezione italiana - febbraio 2002.



di ingresso vanno determinate in base alle dimensioni della nave, alla sua velocità, alla direzione e intensità dei venti e delle onde, al tipo di traffico ecc.; la larghezza dei canali va riferita alla porzione di canale con profondità pienamente navigabile. In altre parole, la distanza dei moli deve essere maggiore.

#### 4.2 Geometria dell'imboccatura

Laddove l'imboccatura del porto è costituita dal varco fra le dighe frangiflutti, le larghezze sono usualmente minori (nei più piccoli porti del Mediterraneo, di norma non si scende sotto i 45 m).

Una semplice regola (USN DM 26-1) suggerisce, per i porti minori ad una sola via di transito, che ogni apertura sia almeno larga quanto la più lunga nave che usa quella via di navigazione.

La profondità operativa dell'imboccatura deve essere maggiore, come minimo, del pescaggio delle barche. Questa profondità minima, infatti, deve essere aumentata se si considerano la misura del cavo dell'onda così come quella del potenziale affondamento della nave e si mette in conto un ragionevole franco al di sotto della chiglia.

Se l'imboccatura portuale è situata su una costa particolarmente esposta, la presenza di onde frangenti nel canale d'entrata crea condizioni pericolosissime all'ingresso nel porto. Si ricordi che le onde tendono a frangere allorché, entrando, incontrano profondità che sono dell'ordine da 1 a 1,3 volte la loro altezza. Ad esempio un'onda alta 2,1 m frangerà su profondità tra i 2,1 m ed i 3 m.

Mentre nei porti commerciali con maggiori profondità all'entrata i frangimenti d'onda sono rari, questa possibilità va presa in seria considerazione per i porti per piccole imbarcazioni, dove le profondità all'imboccatura sono spesso minori. L'approccio al problema consiste nell'uso di lunghe registrazioni o ricostruzioni delle onde come informazione statistica del clima ondoso al largo e nel trasferimento di tali dati al sito costiero dove è prevista la localizzazione del porto.

Tabella 6 - Criteri per "buone" condizioni ondose nei porti per piccole imbarcazioni

Periodo dell'onda ed orientamento dello scafo	Altezza d'onda significativa, $H_s$	
	Onda massima con periodo di ritorno di 50 anni	Onda massima con periodo di ritorno annuale
meno di 2 s con onda di prua	*	altezza d'onda minore di 0.3 m
più di 2 s con onda di prua	altezza d'onda minore di 0.6 m	altezza d'onda minore di 0.3 m
meno di 2 s con onda al traverso		altezza d'onda minore di 0.3 m
più di 2 s con onda al traverso	altezza d'onda minore di 0.25 m	altezza d'onda minore di 0.15 m

nota: Se si desiderano condizioni "ottimali" del clima ondoso, moltiplicare le altezze per 0.75; per condizioni "moderate" moltiplicare le altezze per 1.25

La disposizione dell'imboccatura e le dimensioni dell'avamposto vengono di regola definite mediante modello idraulico, numerico o fisico in scala ridotta.

Evidentemente, il tirante d'acqua nei passi navigabili deve essere pari al pescaggio della più grande barca con l'aggiunta del franco di sicurezza.

Nella Tabella 7 vengono date alcune indicazioni per il minimo tirante d'acqua da assegnare ad un porto turistico in relazione al tipo di barca da ospitare.

*Tabella 7: Minimo tirante d'acqua da assegnare ad un porto turistico in relazione al tipo di barca da ospitare*

<b>Lunghezza barca</b>	<b>Tirante d'acqua minimo (m)</b>	
	<b>metri</b>	<b>a motore</b>
-	1,2	1,2
9,0	2,1	2,7
10,6	2,4	3,0
12,0	2,4	3,3
13,7	2,4	3,6
15,0	2,6	4,0
16,7	2,6	4,3
18,2	2,6	4,4
20,0	2,7	4,7

#### **4.3 L'avamposto, i passi marittimi interni**

L'avamposto deve permettere alla nave di frenare o, come si dice meglio, ridurre l'abbrivio. La larghezza di quest'area varierà, evidentemente, in funzione delle dimensioni previste per la flotta di barche a vela da servire. Per la dimensione di bacino, un buon suggerimento è quello di garantire uno spazio aperto, parallelo al vento delle dimensioni da 5 a 10 lunghezze di barche e in allineamento al vento dominante, per ammainare le vele.

#### 4.4 Descrizione del modello numerico

Tutti i fronti d'onda adottati per la conduzione delle simulazioni con il modello di agitazione corrispondono a fronti d'onda propagati secondo quanto riportato nella Tabella 5.

La forma spettrale degli stessi è stata generata in base allo spettro Jonswap in frequenza (con un coefficiente di picco pari a 3.3) e di Mitsuyasu in direzione. Le direzioni medie di incidenza di tali spettri corrispondono alle direzioni di incidenza ottenute con la propagazione del moto ondoso.

A seguito della simulazione numerica, si ottengono i valori dei coefficienti adimensionali d'agitazione ondosa in ciascun nodo del dominio di calcolo.

Il modello numerico utilizzato per lo studio di agitazione è il modello MAP (Moreno, 1996; Moreno e Rivero, 1998). Questo modello si basa sull'equazione mild-slope (Berkhoff, 1972) che simula la propagazione delle onde lineari di gravità su fondo variabile, modificata da Chandrasekera and Cheung (1997) per ridurre la limitazione relativa all'utilizzo per sole pendenze dolci (mild-slope). Il modello MAP è stato ampiamente convalidato a partire da soluzioni analitiche (per casi ideali) e da dati sperimentali di laboratorio (Moreno, 1996).

Dato il carattere lineare di questa equazione, il modello consente di simulare la propagazione di un moto ondoso irregolare (in frequenza e direzione) mediante la sovrapposizione lineare delle soluzioni ottenute per un insieme finito di componenti in cui si divide lo spettro di energia del moto ondoso.

Il modello permette di riprodurre in forma combinata i fenomeni di accrescimento (shoaling), rifrazione, diffrazione, riflessione, dissipazione del moto ondoso per fondo e per frangimento, la riflessione parziale (complessa) su scogliere o su pareti e la radiazione dei fronti d'onda all'imboccatura. Allo stesso tempo, esso permette di realizzare un'analisi di risonanza in darsene e baie sotto l'effetto di onde lunghe.

La soluzione numerica del problema si ottiene mediante l'uso del metodo agli elementi finiti su una maglia con elementi triangolari lineari. Il modello presenta una formulazione di condizioni al contorno per contorni parzialmente o totalmente assorbenti.

Il dominio di calcolo è stato discretizzato in elementi finiti triangolari di 3 m di lato. La profondità in ciascun nodo della maglia agli elementi finiti è stata ottenuta mediante l'interpolazione (metodo kriging) dei dati ottenuti durante la campagna batimetrica realizzata all'interno del porto e nelle sue vicinanze. La batimetria adottata è quella ottenuta mediante il rilievo in campo eseguito a maggio 2019.

Per tutte le simulazioni è stato assunto un livello di marea di 0.0 m ed una profondità minima nel porto pari a 2.0 m.

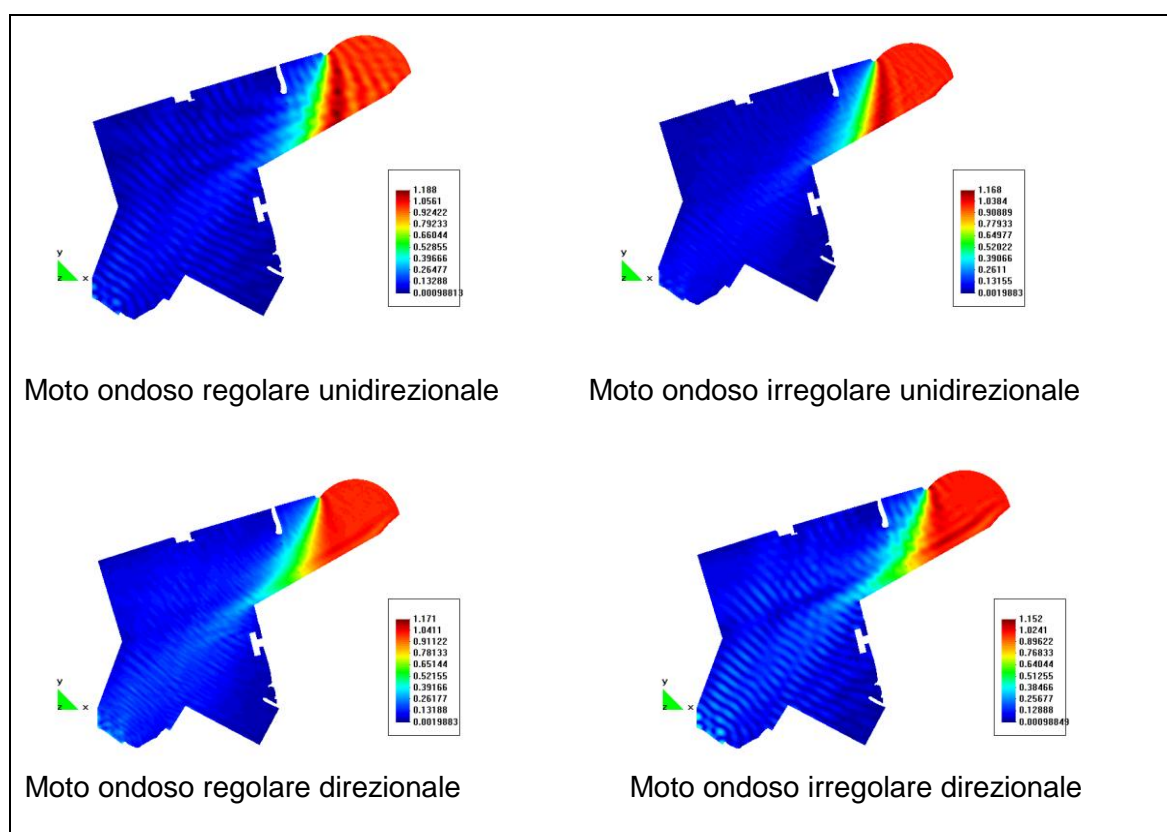
Prima di condurre le simulazioni, è stata valutata la opportunità di simulare il moto ondoso irregolare relativamente alla dispersione direzionale ed alla frequenza, in quattro modi distinti:

- Moto ondoso regolare (monocromatico ed unidirezionale)
- Moto ondoso regolare direzionale
- Moto ondoso irregolare unidirezionale
- Moto ondoso irregolare e direzionale

La

Figura 16: Distribuzione del coefficiente di agitazione  $K_p$  per quattro condizioni di moto ondoso

nel porto di Barcellona. Settore ESE.  $T_p = 10$  s. Questa figura proviene da uno studio eseguito per il porto di Barcellona e in essa vi si confronta la distribuzione del coefficiente di agitazione, definito come rapporto tra l'altezza d'onda in un punto e l'altezza d'onda incidente all'imboccatura,  $K_p = H/H_{\text{imboccatura}}$ , per le quattro suddette condizioni di moto ondoso, con valori uguali del periodo di picco e di angolo medio.



*Figura 16: Distribuzione del coefficiente di agitazione  $K_p$  per quattro condizioni di moto ondoso nel porto di Barcellona. Settore ESE.  $T_p = 10$  s*

I risultati ottenuti mostrano la minore influenza della irregolarità del moto ondoso. Pertanto, al fine di ridurre i tempi di calcolo, certi di non perdere in qualità del risultato, le simulazioni sono state condotte per moto ondoso regolare unidirezionale.

#### **4.5 Condizioni al contorno e batimetria adottata**

Le condizioni al contorno adottate sono le seguenti:

- moto ondoso incidente lungo la corona di entrata (informazione ottenuta a seguito dello studio di trasformazione del moto ondoso largo/riva). Questa condizione al contorno consente anche la radiazione del moto ondoso riflesso all'interno del dominio computazionale.
- riflessione parziale in corrispondenza di moli, dighe, banchine etc. del porto in base ad un coefficiente di riflessione che dipende dalle caratteristiche e tipologia delle scogliere ( $K_r = 0.40$ ), pareti verticali ( $K_r = 0.85$ ).
- assorbimento praticamente totale in corrispondenza di spiagge o scali di alaggio ( $K_r = 0.2$ ).

La Figura 17 mostra i valori dei coefficienti di riflessione adottati.

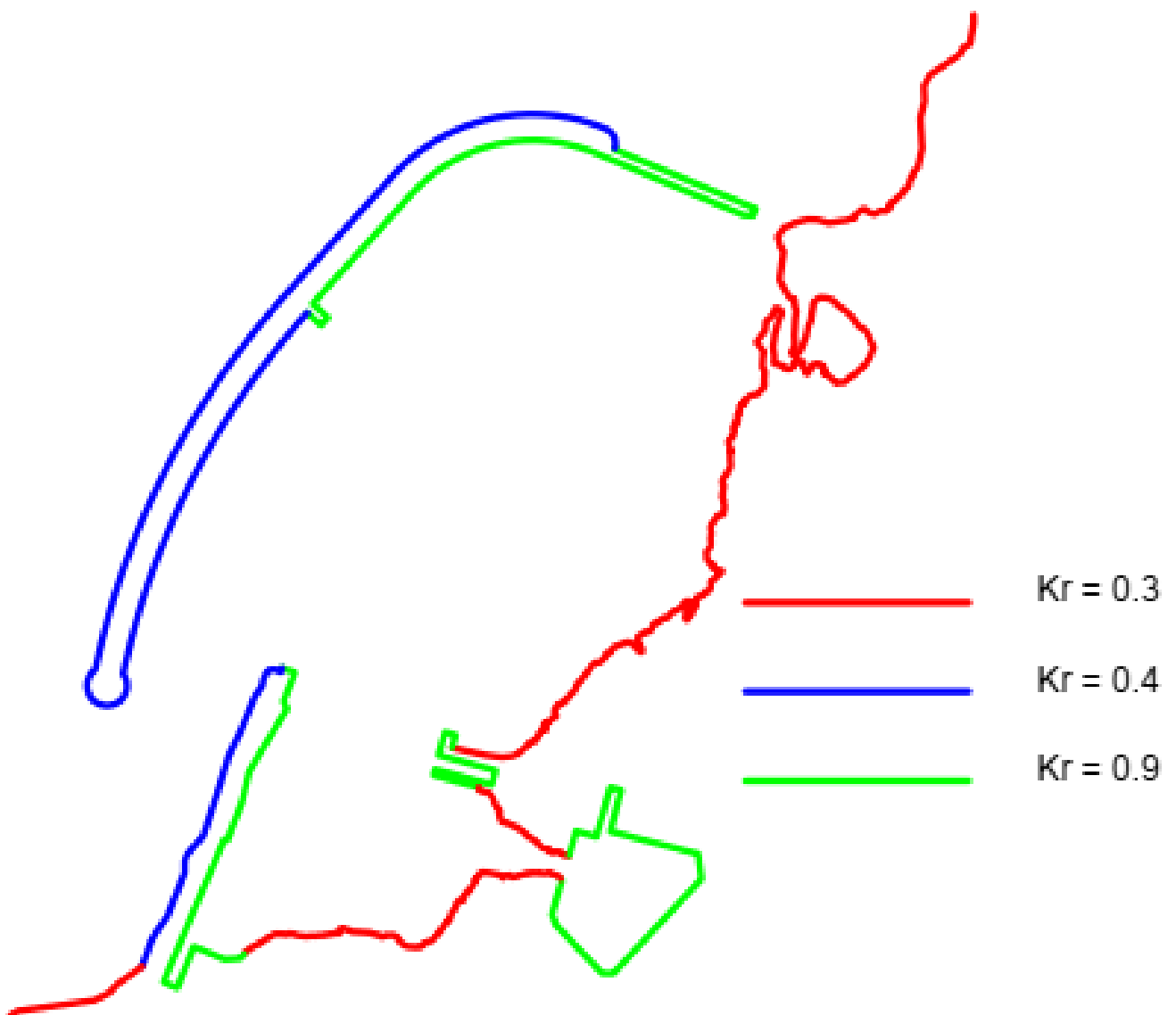


Figura 17: Valori adottati del coefficiente di riflessione lungo il perimetro del dominio di calcolo

La batimetria adottata è stata osservata nel corso di una recente campagna di indagine (maggio 2019). La batimetria è riportata in Figura 18 in scala cromatica.

L'intervento in progetto non prevede l'approfondimento dei fondali.

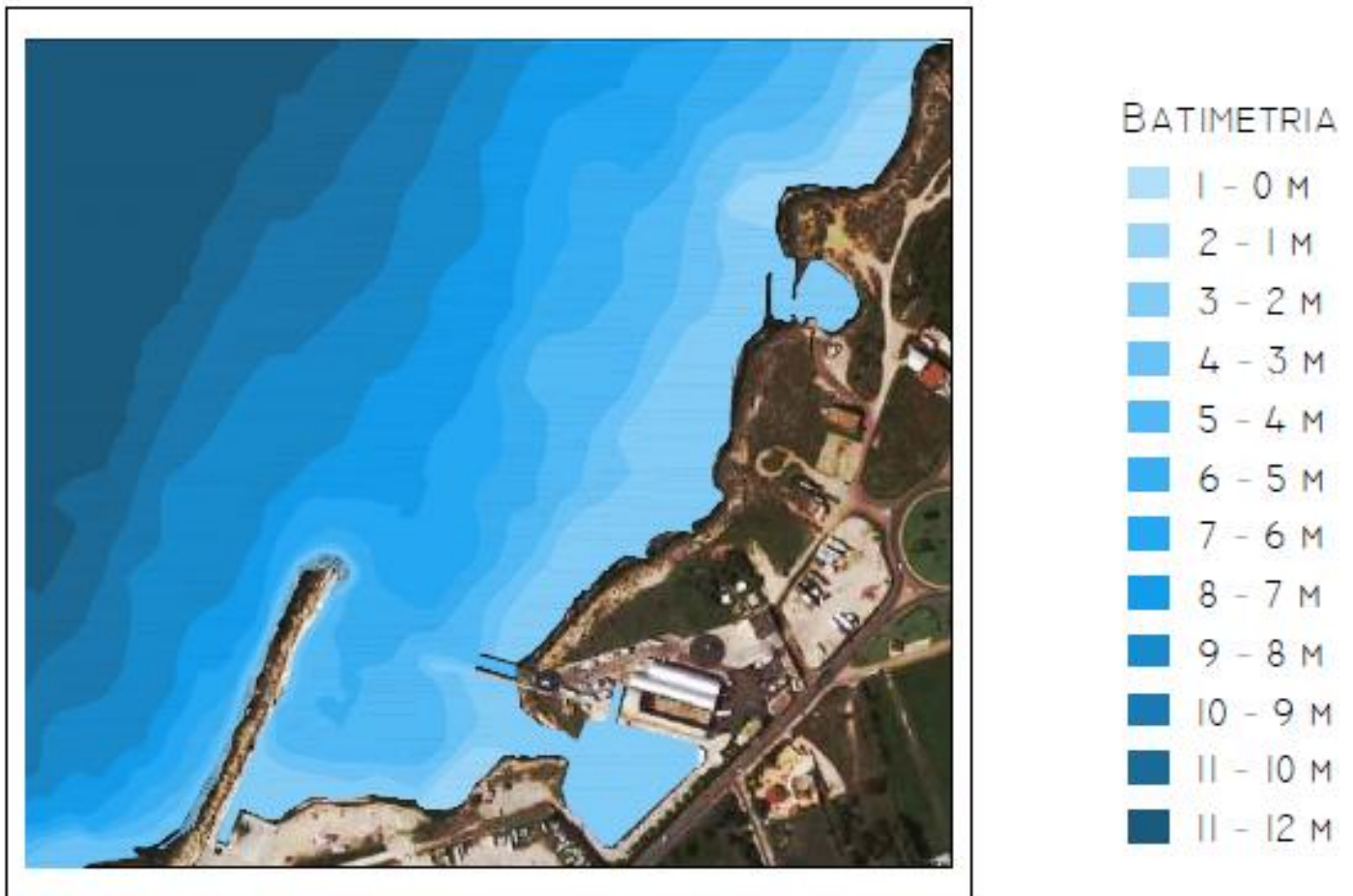


Figura 18: Batimetria adottata in scala cromatica

#### 4.6 Descrizione delle simulazioni di moto ondoso condotte

Il presente paragrafo descrive i risultati delle simulazioni numeriche condotte per la determinazione delle condizioni di agitazione in corrispondenza dell'imboccatura del porto e nelle sue aree interne.

Come detto, il fine dello studio è quello di verificare se la configurazione del porto è in grado di garantire condizioni di (Tabella 6):

- sicurezza di navigabilità all'entrata;
- sicurezza dei natanti all'ormeggio e il confort dell'equipaggio.

La simulazione dei fenomeni di diffrazione, riflessione e frangimento del moto ondoso entrante nel bacino permette d'accertare le condizioni di sicurezza della barca all'entrata, in evoluzione e all'ormeggio.

Nell'ambito dello Studio di propagazione largo/riva del moto ondoso si è già analizzata la trasformazione che subisce il moto ondoso durante la sua propagazione da acque profonde fino in prossimità di porto Gaio; tale informazione viene utilizzata come dato di ingresso per il presente studio di agitazione.

Il presente studio individua i livelli di agitazione che si verificano in diverse zone del porto. In particolare, nel presente rapporto di studio viene trattato il tema della determinazione dei coefficienti di agitazione (rapporto tra altezza d'onda significativa al punto di interesse,  $H_s$ , e altezza d'onda significativa dinanzi all'imboccatura del porto,  $H_{si}$ ) in diverse zone del porto, per un insieme di condizioni del moto ondoso (di altezza d'onda significativa per diversi valori del periodo di ritorno) mediante l'uso di un modello matematico di propagazione del moto ondoso (MAP).

La conoscenza della distribuzione del valore del coefficiente di agitazione all'imboccatura e nel bacino del porto consente la valutazione delle condizioni di sicurezza e di confort o, in altri termini, della capacità di attenuazione del moto ondoso.

La direzioni di propagazione del moto ondoso esaminate sono la NNW e la E; infatti, queste rappresentano, per via dell'orientamento a ESE della imboccatura portuale, le direzioni più insidiose per la tranquillità delle acque portuali e per la manovra di ingresso/uscita dei natanti.

Lo studio di agitazione ha preso in considerazione i seguenti valori di altezza d'onda significativa massimi alla batimetrica 8.5 m (punto A), in prossimità della imboccatura portuale:

- periodo di ritorno 1 anno,  $H_s = 2.57$  m
- periodo di ritorno 50 anni,  $H_s = 4,38$  m

Le simulazioni sono state condotte per direzioni di provenienza del moto ondoso e periodi dell'onda in Tabella 9.



Direzione di provenienza (°N)	Periodo d'onda (s)
0 (Tramontana)	6, 8
45 (NE - Greco)	6, 8
247 (OSO – Libeccio Ponente)	6, 8
270 (O - Ponente)	8, 10
315 (NO - Maestro)	8, 10

Tabella 9: Direzioni di provenienza e periodo delle onde assunte

## 5.0 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati delle simulazioni sono rappresentati in forma di distribuzione planimetrica dei valori assunti dal coefficiente di agitazione (rapporto tra l'altezza d'onda nel punto di interesse e quello in prossimità dell'imboccatura). In particolare, le Figure che seguono indicano in scala cromatica la distribuzione planimetrica dei valori del coefficiente di agitazione.

Nella lettura dei risultati si tenga conto che le simulazioni sono condotte in assenza dei pontili e delle barche che procurano un abbattimento ulteriore dell'energia dell'onda.

Nel prosieguo, i risultati vengono esposti e commentati per ciascuna direzione di provenienza.

### 0°N (Tramontana)

L'imboccatura presenta una condizione di ridosso sufficiente. Lo specchio acqueo appare ben protetto e con una agitazione compatibile con i livelli di comfort e sicurezza in Tabella 6. Nel caso del periodo d'onda minore, si ha una penetrazione di energia d'onda attraverso il varco in radice del molo di Tramontana; tale fenomeno può essere ridotto riducendo la sommergenza della scogliera sommersa in progetto e aumentandone la larghezza della berma.

Nel bacino portuale e all'imboccatura, per condizioni di altezza d'onda con periodo di ritorno 1 anno e 50 anni, l'assetto di progetto produce condizioni di sicurezza e comfort.

### 45°N (Greco)

L'imboccatura presenta una condizione di ridosso sufficiente. Lo specchio acqueo appare ben protetto e con una agitazione compatibile con i livelli di comfort e sicurezza in Tabella 6. Tuttavia, nel caso del periodo d'onda maggiore si osserva una maggiore agitazione all'imboccatura e nel bacino portuale. L'agitazione in corrispondenza dell'imboccatura può

essere ridotta incrementando il raggio della scarpata della testata del molo di sottoflutto (di circa 8 m) qualora si potrà intervenire in futuro su questa parte di opera, oggi esclusa dal progetto in quanto di altra concessione.

Nel bacino portuale e all'imboccatura, per condizioni di altezza d'onda con periodo di ritorno 1 anno e 50 anni, l'assetto di progetto produce condizioni di sicurezza e comfort.

### **247°N (Libeccio Ponente)**

L'imboccatura presenta una condizione di ridosso sufficiente nelle condizioni con periodo di ritorno 1 anno; nelle condizioni con periodo di ritorno 50 anni, il diportista meno esperto potrà ricoverare nel vicino porto commerciale. Lo specchio acqueo appare ben protetto e con una agitazione compatibile con i livelli di comfort e sicurezza in Tabella 6.

### **270°N (Ponente)**

All'imboccatura si verifica una agitazione che potrebbe determinare condizioni non favorevoli al diportista meno esperto. L'agitazione in corrispondenza dell'imboccatura può essere ridotta incrementando il raggio della scarpata della testata del molo di sottoflutto (di circa 8 m) qualora si potrà intervenire in futuro su questa parte di opera, oggi esclusa dal progetto in quanto di altra concessione. Per periodo di ritorno 50 anni il diportista potrà ridossarsi nel vicino porto commerciale.

Per periodo di ritorno 1 anno, nel bacino portuale, in corrispondenza delle aree di ormeggio, non si riscontrano condizioni tali da determinara insicurezza e disturbo; per periodo di ritorno 50 anni, le condizioni di agitazione possono essere migliorate sempre con l'intervento alla testata del molo di sottoflutto.

Si osserva una certa riflessione in corrispondenza della scogliera alla radice del molo di sopraflutto.

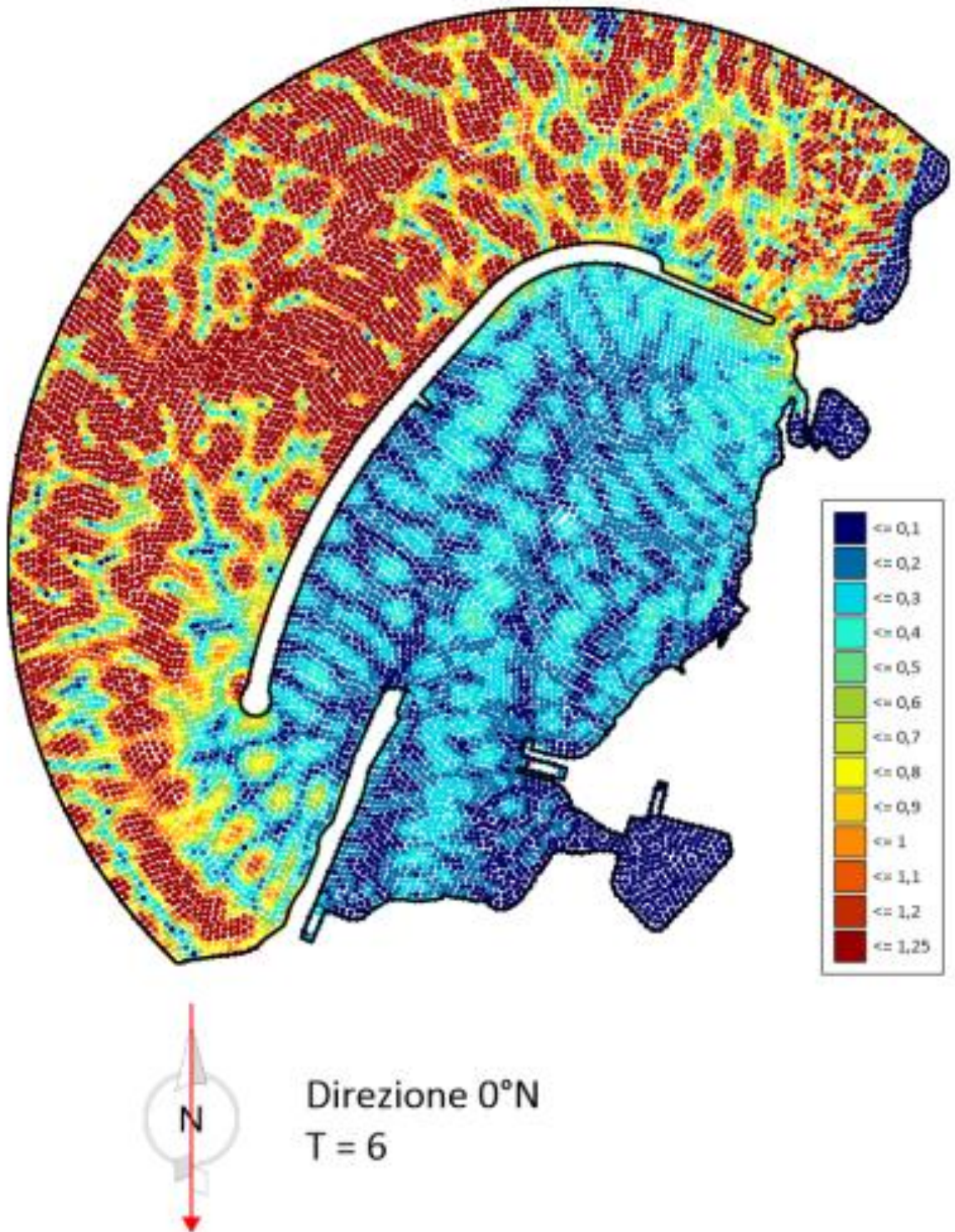
### **315°N (Maestro)**

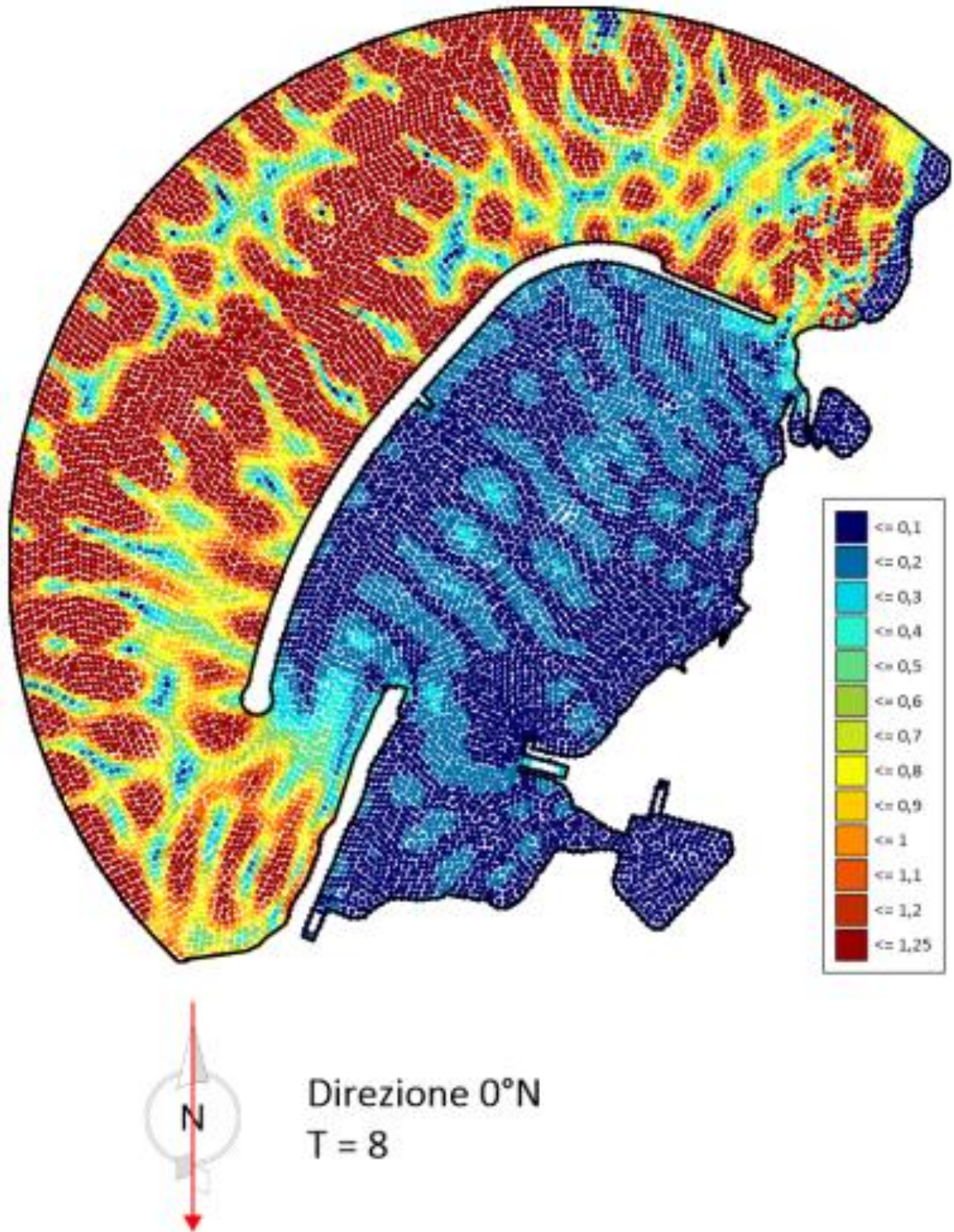
L'imboccatura presenta una condizione di ridosso sufficiente. Lo specchio acqueo appare ben protetto e con una agitazione compatibile con i livelli di comfort e sicurezza in Tabella 6. Nel caso del periodo d'onda minore, si ha una penetrazione di energia d'onda attraverso il varco in radice del molo di Tramontana; tale fenomeno può essere ridotto riducendo la sommersa della scogliera sommersa in progetto e aumentandone la larghezza della berma.

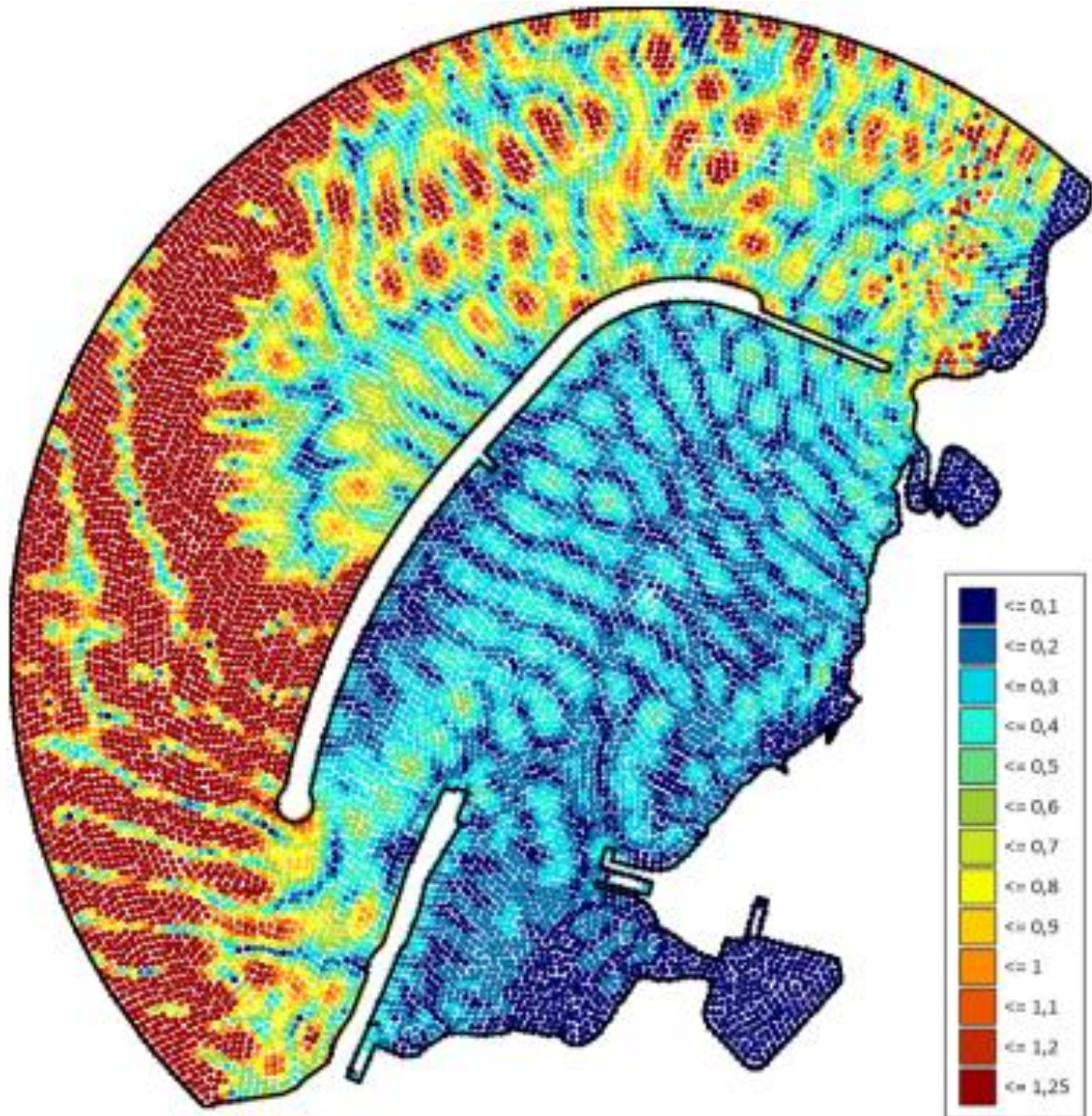
Nel bacino portuale e all'imboccatura, per condizioni di altezza d'onda con periodo di ritorno 1 anno e 50 anni, l'assetto di progetto produce condizioni di sicurezza e comfort.

**In sintesi**, i risultati dello studio di agitazione condotto portano a dire che:

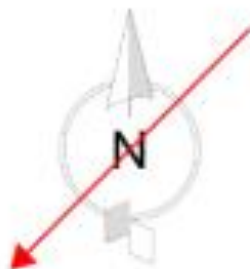
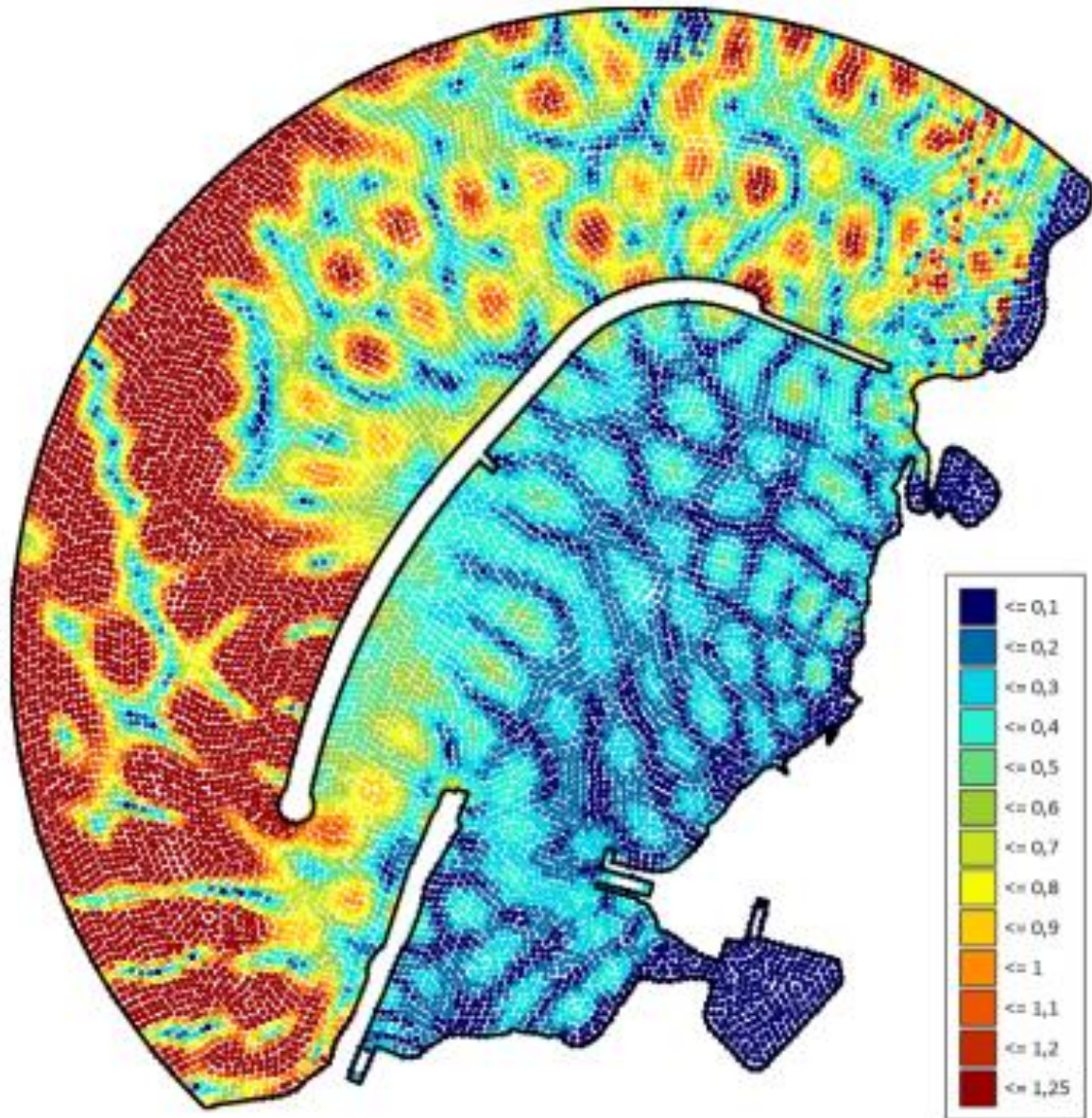
- L'assetto planimetrico di progetto del porto è, per quasi tutte le direzioni di provenienza del moto ondoso considerate, in grado di produrre condizioni di sicurezza e comfort per eventi di moto ondoso con periodo di ritorno 1 e 50 anni;
- si suggerisce di aumentare il raggio della testata del molo di sottofluto (quello esistente) di almeno 8 m fornendogli una pendenza almeno pari a 1:3;



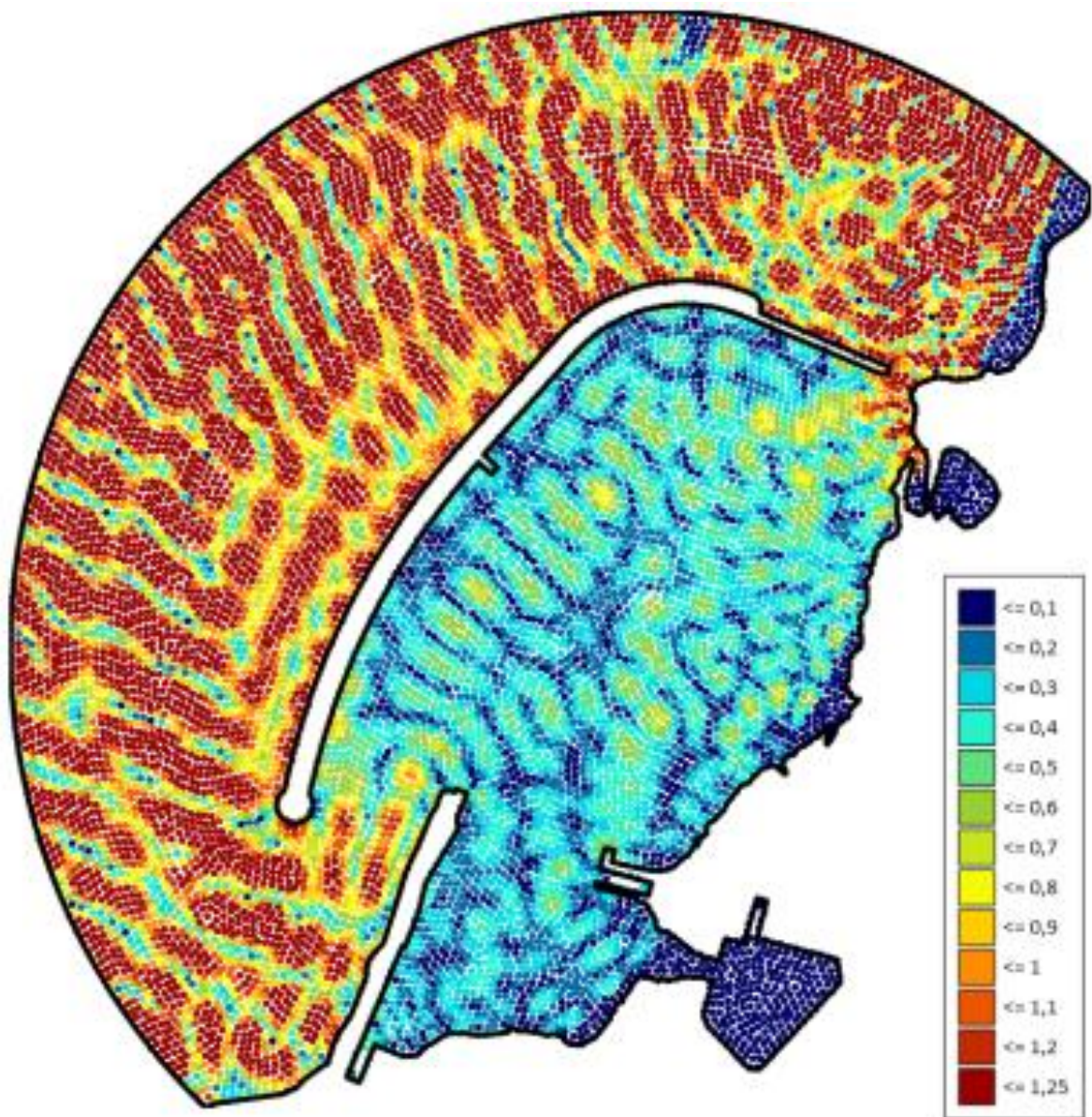




Direzione 45°N  
T = 6

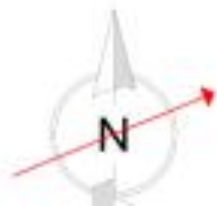
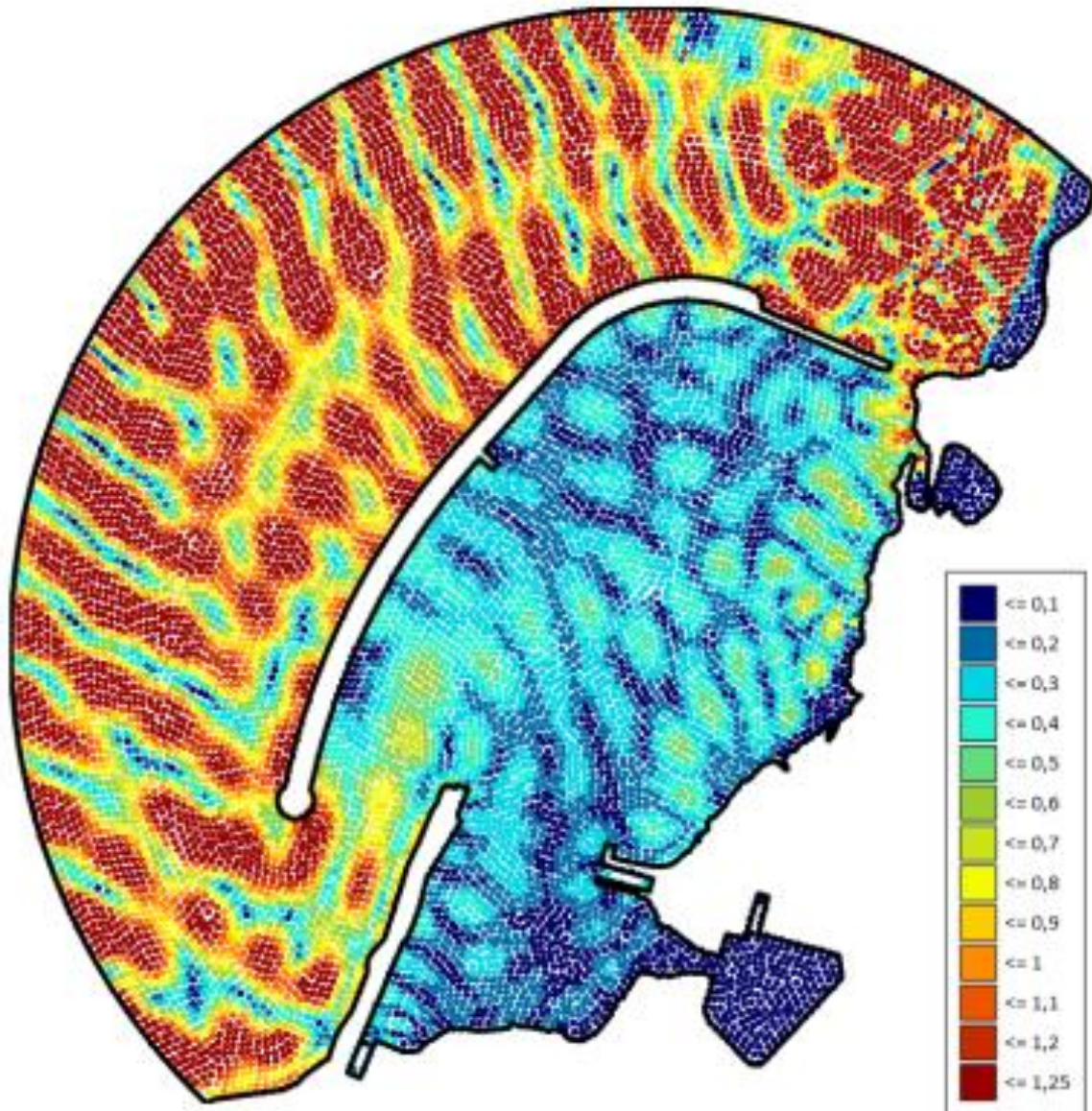


Direzione 45°N  
T = 8



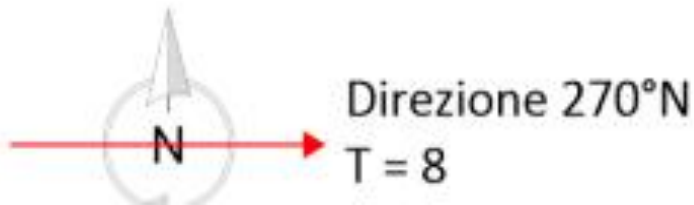
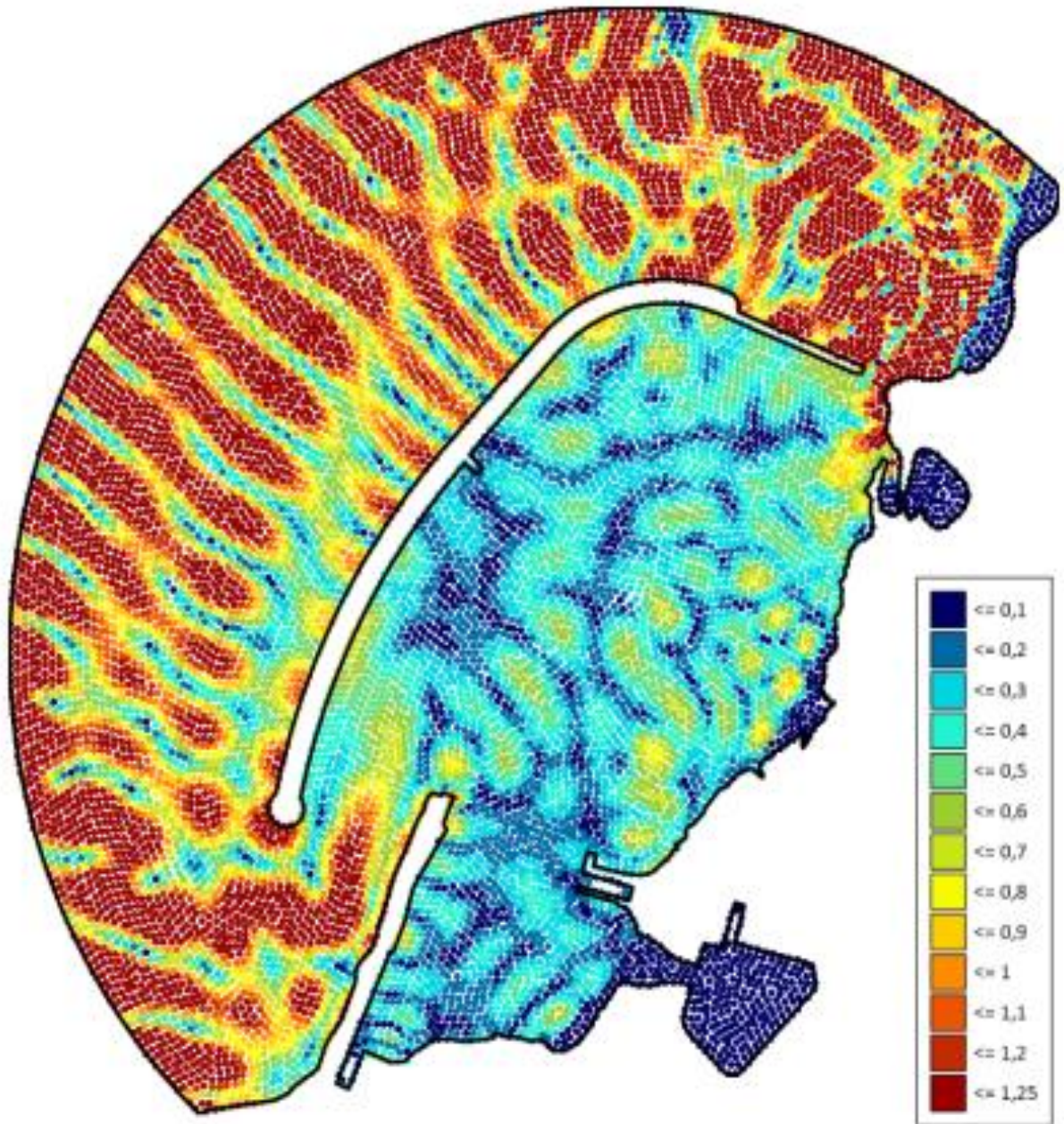
Direzione 247.5°N  
T = 6

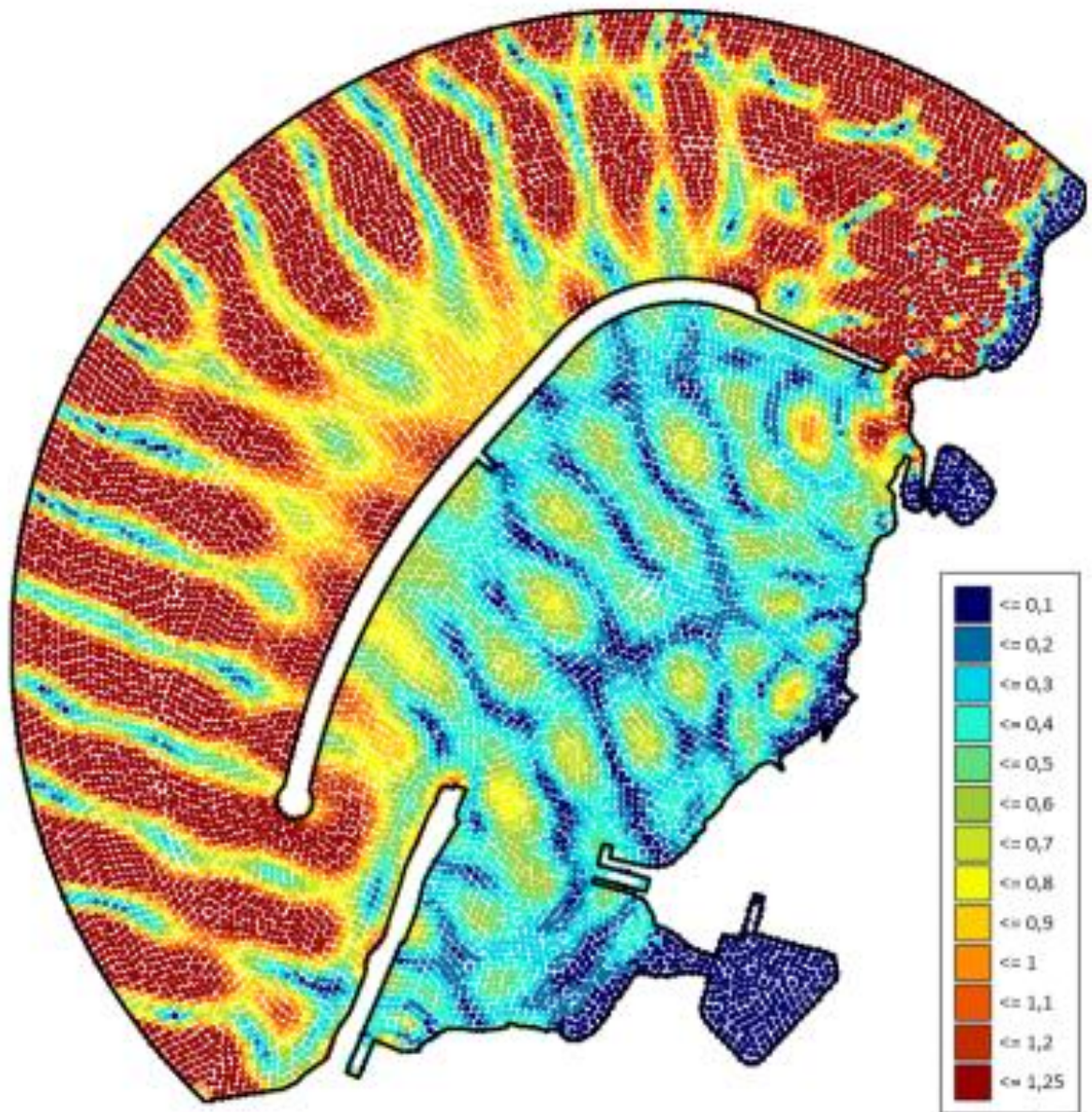




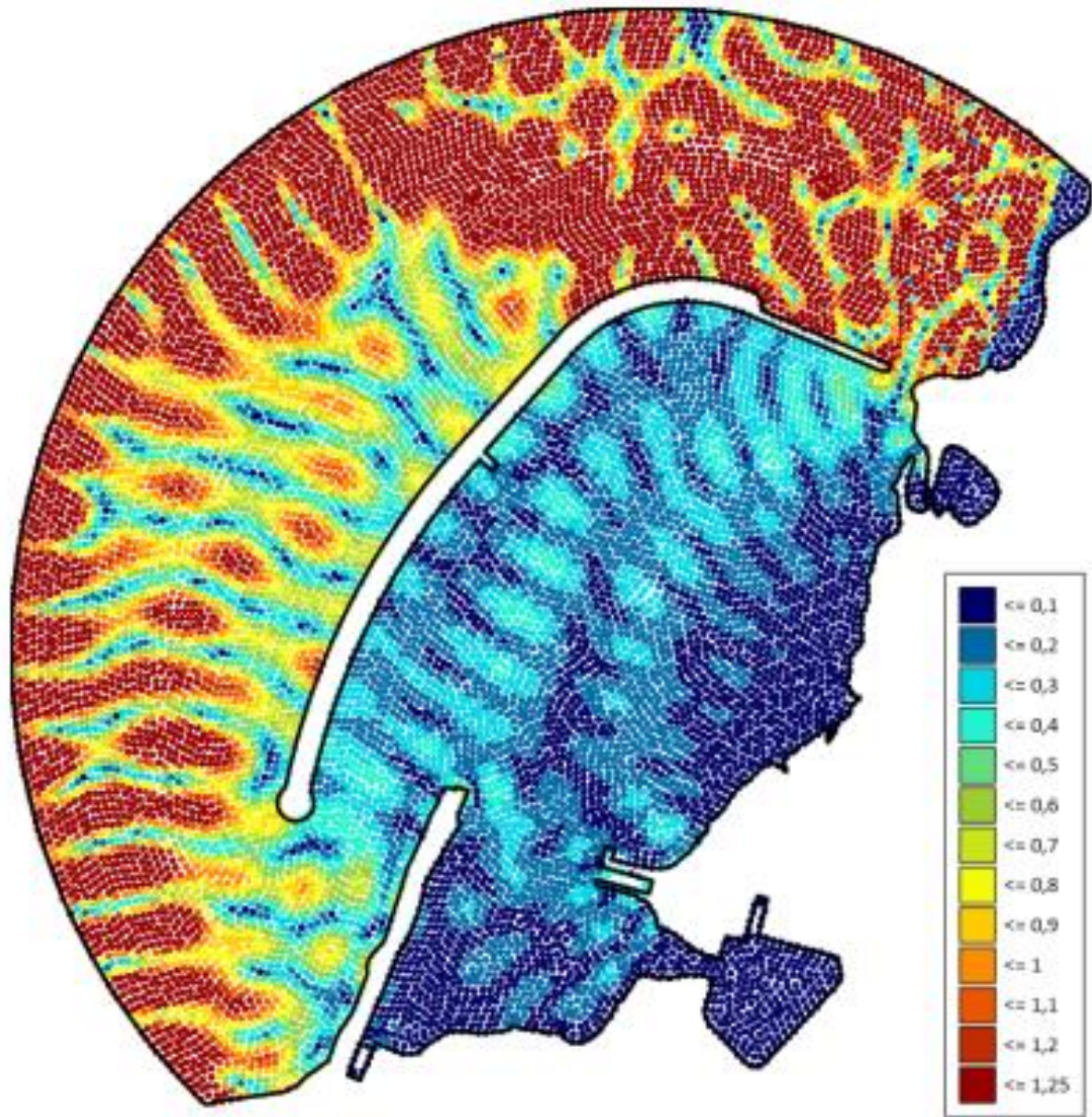
Direzione 247.5°N

T = 8



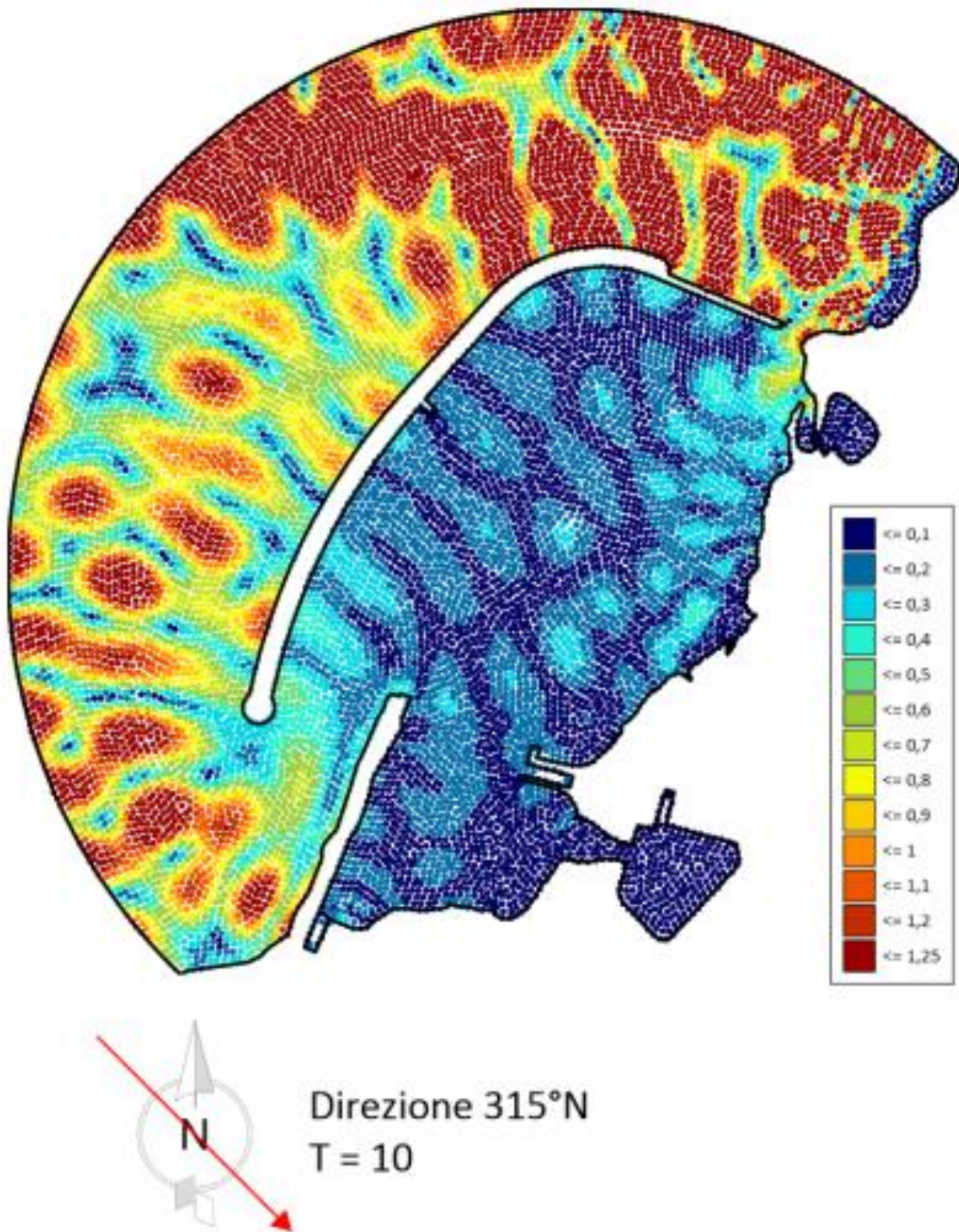


Direzione 270°N  
T = 10



Direzione 315°N

T = 8



## BIBLIOGRAFIA UTILE

Berkhoff, J. C. W. (1972), "Computation of combined refraction–diffraction", [Proceedings 13th International Conference on Coastal Engineering](#), Vancouver, pp. 471–490

Berkhoff, J. C. W. (1976), Mathematical models for simple harmonic linear water wave models; wave refraction and diffraction (PDF) (PhD. Thesis), Delft University of Technology

P. Boccotti (1997). *Idraulica Marittima*. UTET

Booij, N., Holthuijsen, L.H. and R.C. Ris, 1996, The SWAN wave model for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Orlando, USA, Vol. 1, pp. 668-676.

Y. Goda (2000). *Random Seas and Design of Maritime Structures*. Advanced Series on Ocean Engineering. World Scientific

Booij, N., Holthuijsen, L.H. and R.C. Ris, 1996, The *SWAN wave model* for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Orlando, USA, Vol. 1, pp. 668-676

U. Tomasicchio e G.R. Tomasicchio (2011). *Manuale di Ingegneria Portuale e Costiera*. HOEPLI