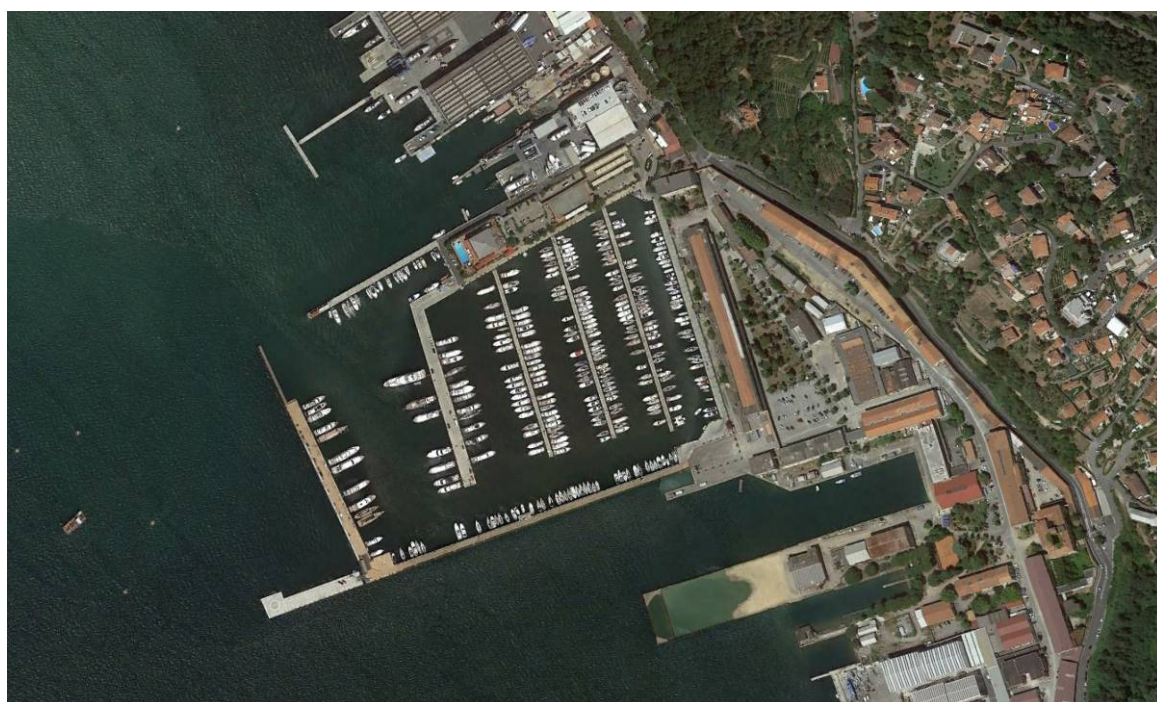


Regione
Liguria

Comune di
La Spezia

Committente:
SOCIETÀ LOTTI S.p.A.

**STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA
NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI**



Elaborato
UNICO

RELAZIONE TECNICA

Professionisti:



Ing. MASSIMO TONDELLO
Ordine ingegneri della provincia
di Padova n. 2771


Ing. NICOLA SGUOTTI
Ordine ingegneri della provincia
di Padova n. 4389



Commessa: HSM790-18

REV: 01


Data: Maggio 2019

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

INDICE


<u>1</u>	<u>PREMESSA</u>	<u>5</u>
<u>2</u>	<u>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</u>	<u>6</u>
2.1	FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI	8
<u>3</u>	<u>LIVELLI DI MAREA</u>	<u>10</u>
<u>4</u>	<u>REGIME ANEMOLOGICO</u>	<u>12</u>
4.1	ANALISI STATISTICA DEI DATI DI VENTO	14
4.1.1	Statistica direzionale degli eventi estremi	15
4.1.2	Curve di durata	18
<u>5</u>	<u>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</u>	<u>19</u>
5.1	FASE 1	19
5.2	FASE 2	21
<u>6</u>	<u>MOTO ONDOSO IN PROSSIMITÀ DEL PARAGGIO</u>	<u>23</u>
<u>7</u>	<u>STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA</u>	<u>26</u>
7.1	MODELLO MATEMATICO CGWAVE	26
7.1.1	Caratteristiche generali di CGWAVE	26
7.1.2	Cenni sulle formulazioni di CGWAVE	26
7.1.3	Condizioni al contorno	28
7.2	SETTAGGIO DEL MODELLO	30
7.2.1.1	<i>Caratteristiche delle mareggiate analizzate</i>	32
7.2.2	Caratteristiche delle opere presenti e di quelle previste in progetto	33
7.2.2.1	<i>Coefficienti di riflessione</i>	34
7.2.2.2	<i>Coefficienti di trasmissione</i>	36
7.3	AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE PROGETTUALE FASE 1	38
7.3.1	Mareggiata estrema di Mezzogiorno ($T_R = 50$ anni)	38
7.3.2	Mareggiata estrema di Libeccio ($T_R = 50$ anni)	40
7.3.3	Mareggiata intensa di Mezzogiorno (frequenza 5 giorni/anno)	42

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 1 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.4	AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE PROGETTUALE FASE 2	44
7.4.1	Mareggiata estrema di Mezzogiorno ($T_R = 50$ anni)	44
7.4.2	Mareggiata estrema di Libeccio ($T_R = 50$ anni)	46
7.4.3	Mareggiata intensa di Mezzogiorno (frequenza 5 giorni/anno)	48
8	<u>CONCLUSIONI</u>	50
8.1	FASE 1	50
8.2	FASE 2	53


REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 2 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

INDICE DELLE FIGURE


Fig. 2.1– Inquadramento geografico del paraggio (in rosso è cerchiata la zona oggetto di studio)	6
Fig. 2.2 – Settore di traversia del paraggio.....	7
Fig. 2.3 – Specchio acqueo interessato dall'intervento	7
Fig. 2.4 – Fetch geografici per il paraggio oggetto di studio	8
Fig. 2.5 – Fetch efficaci per il paraggio oggetto di studio	9
Fig. 3.1 – Stazione R.M.N. di La Spezia	10
Fig. 3.2 – Andamento del livello del mare relativo al periodo gennaio 2009 - gennaio 2015 (stazione ISPRA R.M.N. di La Spezia)	11
Fig. 4.1 – Dati di vento registrati dalla stazione R.M.N. della Spezia.....	12
Fig. 4.2 – Rosa delle registrazioni (stazione ISPRA R.M.N. di La Spezia)	13
Fig. 4.3 – Rosa delle velocità massime (stazione ISPRA R.M.N. di La Spezia)	13
Fig. 4.4 – Settori di traversia individuati per l'elaborazione dei dati di vento registrati	14
Fig. 4.6 – Velocità massime per i due settori considerati (valori sopra soglia)	15
Fig. 4.7 – Elaborazione statistica degli estremi con il metodo di Weibull per il settore 150° - 210° N.....	17
Fig. 4.8 – Elaborazione statistica degli estremi con il metodo di Weibull per il settore 210° - 270° N.....	17
Fig. 4.9 – Curva di durata delle velocità del vento per i settori di Scirocco-Mezzogiorno e Libeccio- Ponente	18
Fig. 5.1 – Layout della prevista espansione di Porto Lotti nella fase 1.....	19
Fig. 5.2 – Planimetria di dettaglio intervento – fase 1	20
Fig. 5.3 – Esempio di frangiflutti galleggiante in calcestruzzo	20
Fig. 5.4 – Layout della prevista espansione di Porto Lotti nella fase 2.....	21
Fig. 5.5 – Planimetria di dettaglio intervento	22
Fig. 6.1 – Massimi fetches per i settori di Mezzogiorno e Libeccio	23
Fig. 6.2 – Abaco per il calcolo delle onde generate da vento in acque profonde (SMB)	24
Fig. 7.1 – Condizioni al contorno del modello.....	29
Fig. 7.2 – Dominio di calcolo impiegato nello studio della penetrazione del moto ondoso (fase 1).....	30
Fig. 7.3 – Particolare della mesh di calcolo nell'area di interesse (fase 1)	31
Fig. 7.4 – Particolare della mesh di calcolo nell'area di interesse (fase 2)	31
Fig. 7.5 – Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa (fase 1).....	34
Fig. 7.6 – Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa (fase 2).....	35
Fig. 7.7 – Variazione del coefficiente di trasmissione (K_t) in funzione del periodo di picco (T_p) e dell'altezza d'onda incidente ($H_{s,i}$).....	36
Fig. 7.8 – Variazione del coefficiente di trasmissione (K_t) del periodo di picco (T_p)	37
Fig. 7.9 – Variazione del coefficiente di trasmissione (K_t) in funzione dell'obliquità di incidenza (Θ) rispetto alla normale al frangiflutti	37
Fig. 7.10 – TEST 1 fase 1: mareggiata estrema di Mezzogiorno, andamento delle creste	38
Fig. 7.11– TEST 1 fase 1: mareggiata estrema di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa	39
Fig. 7.12 – TEST 1 fase 1: mareggiata estrema di Mezzogiorno, agitazione ondosa nell'area di interesse	39
Fig. 7.13 – TEST 2 fase 1: mareggiata estrema di Libeccio, andamento delle creste	40
Fig. 7.14 – TEST 2 fase 1: mareggiata estrema di Libeccio, altezza d'onda significativa	41
Fig. 7.15 – TEST 2 fase 1: mareggiata estrema di Libeccio, agitazione ondosa nell'area di interesse	41
Fig. 7.16 – TEST 3 fase 1: mareggiata intensa di Mezzogiorno, andamento delle creste.....	42
Fig. 7.17 – TEST 3 fase 1: mareggiata intensa di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa.....	43
Fig. 7.18 – TEST 3 fase 1: mareggiata intensa di Mezzogiorno, agitazione ondosa nell'area di interesse	43
Fig. 7.19 – TEST 1 fase 2: mareggiata estrema di Mezzogiorno, andamento delle creste	44
Fig. 7.20 – TEST 1 fase 2: mareggiata estrema di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa	45
Fig. 7.21 – TEST 2 fase 2: mareggiata estrema di Libeccio, andamento delle creste	46
Fig. 7.22 – TEST 2 fase 2: mareggiata estrema di Libeccio, agitazione ondosa nell'area di interesse	47
Fig. 7.23 – TEST 3 fase 2: mareggiata intensa di Mezzogiorno, andamento delle creste.....	48
Fig. 7.24 – TEST 3 fase 2: mareggiata intensa di Mezzogiorno, agitazione ondosa nell'area di interesse	49
Fig. 8.1 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata estrema ($T_R=50$ anni) di Mezzogiorno –	

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 3 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Fase 1.....	51
Fig. 8.2 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata estrema ($T_R=50$ anni) di Libeccio – Fase 1	51
Fig. 8.3 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata intensa (frequenza=5 giorni/anno) di Mezzogiorno – Fase 1	52
Fig. 8.4 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata estrema ($T_R=50$ anni) di Mezzogiorno – Fase 2.....	54
Fig. 8.5 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata estrema ($T_R=50$ anni) di Libeccio – Fase 2	54
Fig. 8.6 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata intensa (frequenza=5 giorni/anno) di Mezzogiorno – Fase 2	55

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 4 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

1 PREMESSA

La società HS marine S.r.l. ha ricevuto dalla società Porto Lotti S.p.A. l'incarico di analizzare le condizioni di agitazione ondosa nella nuova zona di espansione del Porto Lotti; la realizzazione di quest'ultima è prevista in adiacenza all'esistente molo galleggiante esterno, sul quale è collocata la piattaforma eliporto. L'espansione del porto è prevista in 2 fasi: nella fase 1 si procederà alla realizzazione dello specchio acqueo protetto più a Sud, posto in adiacenza all'esistente pontile galleggiante a grande dislocamento, mediante il posizionamento di frangiflutti galleggianti; nella fase 2 si procederà alla creazione di uno specchio acqueo protetto aggiuntivo, posto a Nord di quello realizzato nella fase 1, mediante la posa di cassoni e il posizionamento di ulteriori frangiflutti galleggianti.

Non risultando disponibili dati specifici sulla penetrazione del moto ondoso all'interno del Golfo (anche il P.R.P. ne è privo, n.d.r.), né studi pregressi che possano fornire informazioni riguardanti il moto ondoso in prossimità dell'area oggetto di studio, si è proceduto alla determinazione delle prevedibili condizioni di moto ondoso di fronte alle opere in progetto attraverso lo studio della generazione da vento.

La presente relazione descrive dapprima l'analisi condotta sui dati di vento disponibili; successivamente lo studio del moto ondoso generato dal vento e infine quello dell'agitazione ondosa nella nuova area di ormeggio. Gli studi sono stati condotti, in accordo con il Committente, per gli eventi meteomarini ritenuti più significativi ai fini della sicurezza e della fruibilità degli ormeggi.


I dati di vento impiegati nello studio sono quelli registrati dalla stazione mareografica di La Spezia appartenente alla Rete Mareografica Nazionale.

Le condizioni di moto ondoso tipiche degli eventi analizzati sono state ricavate dai dati statistici del vento; in particolare, sono stati presi in considerazione tempi di ritorno e frequenze di apparizione in accordo con le indicazioni contenute nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" (PIANC, 2002). Le velocità del vento associate a tali frequenze e tempi di ritorno sono state successivamente impiegate per la determinazione dei parametri caratteristici delle mareggiate generate dal vento nel Golfo. Questi ultimi sono stati quindi utilizzati per lo studio della penetrazione del moto ondoso e per la valutazione dell'agitazione ondosa nello specchio acqueo destinato agli ormeggi e della sua compatibilità con i valori raccomandati dal PIANC, nelle due fasi di espansione del porto.

Più in dettaglio, la redazione dello studio meteomarino è stata articolata sviluppando i seguenti temi:

- inquadramento geografico del paraggio;
- regime anemologico;
- analisi statistica dei dati di vento;
- studio della generazione del moto ondoso da vento nel Golfo;
- studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del costruendo bacino nella fase 1;
- studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del costruendo bacino nella fase 2.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 5 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è ubicata nel settore centrale del versante orientale del Golfo della Spezia, e ricade nel territorio del comune di La Spezia.

Lo specchio acqueo in questione, trovandosi all'interno del Golfo della Spezia, risulta ben protetto dall'azione diretta del moto ondoso proveniente dal mare aperto. Infatti, la presenza dell'isola della Palmaria e del promontorio di Portovenere, unitamente a quella della diga foranea, fa sì che le onde provenienti dal mare aperto entrino all'interno del Golfo notevolmente attenuate per effetto della rifrazione e della diffrazione. Essendo quindi il paraggio oggetto di intervento relativamente protetto dal moto ondoso proveniente dal largo, le maggiori criticità sono provocate dall'onda di mare vivo che si genera all'interno del Golfo per effetto del vento.

Il settore di traversia è costituito prevalentemente dai venti provenienti dal III quadrante (Fig. 2.2). Più precisamente, il settore risulta limitato a Ovest dalla configurazione geografica della costa e a Sud dalla diga foranea, e risulta compreso tra 180°N e 250°N.

La specchio acqueo interessato dall'espansione portuale è rappresentato in Fig. 2.3 (area cerchiata in rosso); è esterno all'esistente struttura portuale e si sviluppa in adiacenza all'esistente molo galleggiante, dove trova collocazione anche la piattaforma eliporto.



Fig. 2.1– Inquadramento geografico del paraggio (in rosso è cerchiata la zona oggetto di studio)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 6 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	


	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	




Fig. 2.2 – Settore di traversia del paraggio



Fig. 2.3 – Specchio acque interessato dall'intervento

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 7 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

2.1 Fetch geografici ed efficaci

I fetch geografici (ossia le cosiddette “lunghezze di mare libero”) lungo i quali può svilupparsi il moto ondoso all'interno del Golfo, determinati in funzione della direzione di traversia, sono graficamente rappresentati nella successiva Fig. 2.4.

Per la determinazione dei fetch efficaci, è stata utilizzata la procedura proposta nello “Shore Protection Manual” (US Army CERC, 1984). La metodologia proposta consiste nel costruire, a partire dal paraggio di interesse, nove raggi con spaziatura 3° estesi fino ad incontrare la costa più prossima. Il fetch efficace, per ciascuna direzione, risulta dalla media aritmetica delle 9 lunghezze dei raggi così tracciati.

I risultati ottenuti da tale calcolo sono rappresentati graficamente nella successiva Fig. 2.5. Si può notare che i massimi fetch corrispondono alla direzione SSO (Mezzogiorno-Libeccio) e sono dell'ordine dei 3 km (circa 1.6 NM).



Fig. 2.4 – Fetch geografici per il paraggio oggetto di studio

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 8 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

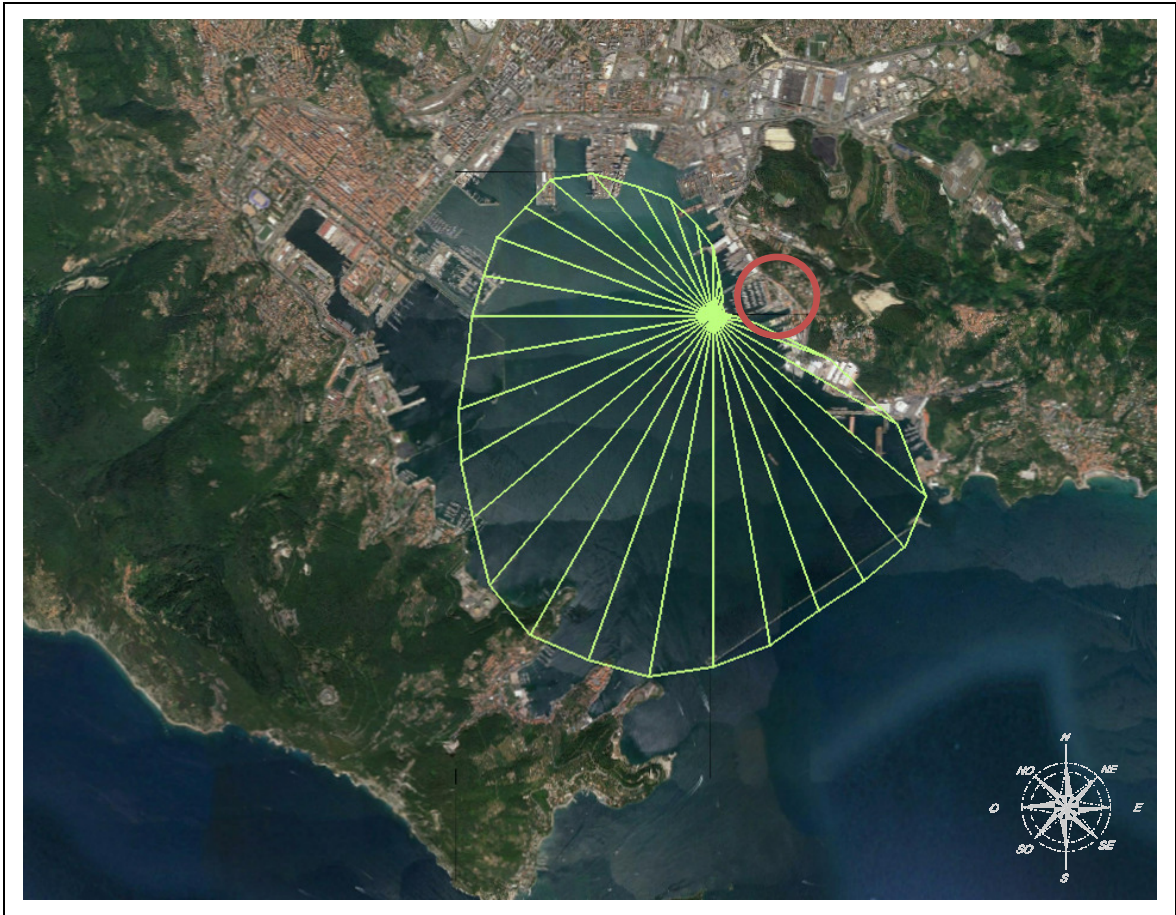



Fig. 2.5 – Fetch efficaci per il paraggio oggetto di studio

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 9 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

3 LIVELLI DI MAREA

I dati di marea sono stati scaricati dal sito dell'I.S.P.R.A. (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) www.mareografico.it e si riferiscono alla stazione R.M.N. di La Spezia.

La stazione è ubicata all'interno del Golfo della Spezia, proprio in corrispondenza del molo di Porto Lotti, nel punto di coordinate Long. 09° 51' 27.52", Lat. 44° 05' 47.79" (Fig. 3.1). I livelli di marea registrati sono riferiti allo zero dell'I.G.M..

La stazione mareografica è dotata di caposaldi altimetrici; ogni caposaldo è riferito al livello medio del mare misurato a Genova dall'antico mareografo Thompson. I caposaldi sono contrassegni metallici che determinano la quota altimetrica mediante livellazione di alta precisione condotta a partire dalle linee principali stabilite dall'I.G.M..

Dalla data del 30/06/2010 il valore che compare con la denominazione "livello idrometrico" viene misurato con un nuovo sensore radar denominato SIAP+MICROS TLR con precisione millimetrica. I.S.P.R.A. garantisce l'uniformità della misura con la serie di dati precedenti a tale data prodotti con il sensore SIAP+MICROS ID0710 basato su un trasduttore ad ultrasuoni, avendone verificato il preciso allineamento.

Il periodo per il quale sono disponibili le registrazioni del livello del mare va dal 1 gennaio 2010 fino al 23 gennaio 2015. La serie storica dei dati registrati dal mareografo, a partire da gennaio 2010, è riportata in Fig. 3.2.

Il livello di marea oscilla mediamente tra +0.5 m e -0.3 m, con valori estremi di +0.83 m s.m.m. e -0.54 m s.m.m.; anche se le principali componenti mareali hanno valori trascurabili, va quindi evidenziato che l'escursione massima rilevata sfiora i 140 cm.

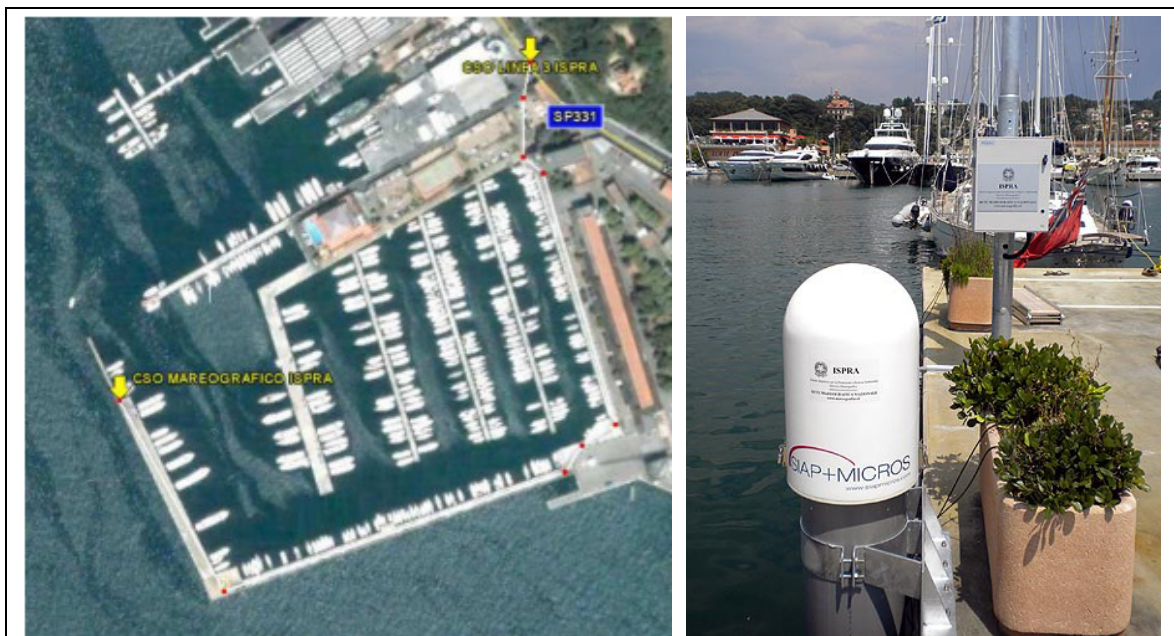

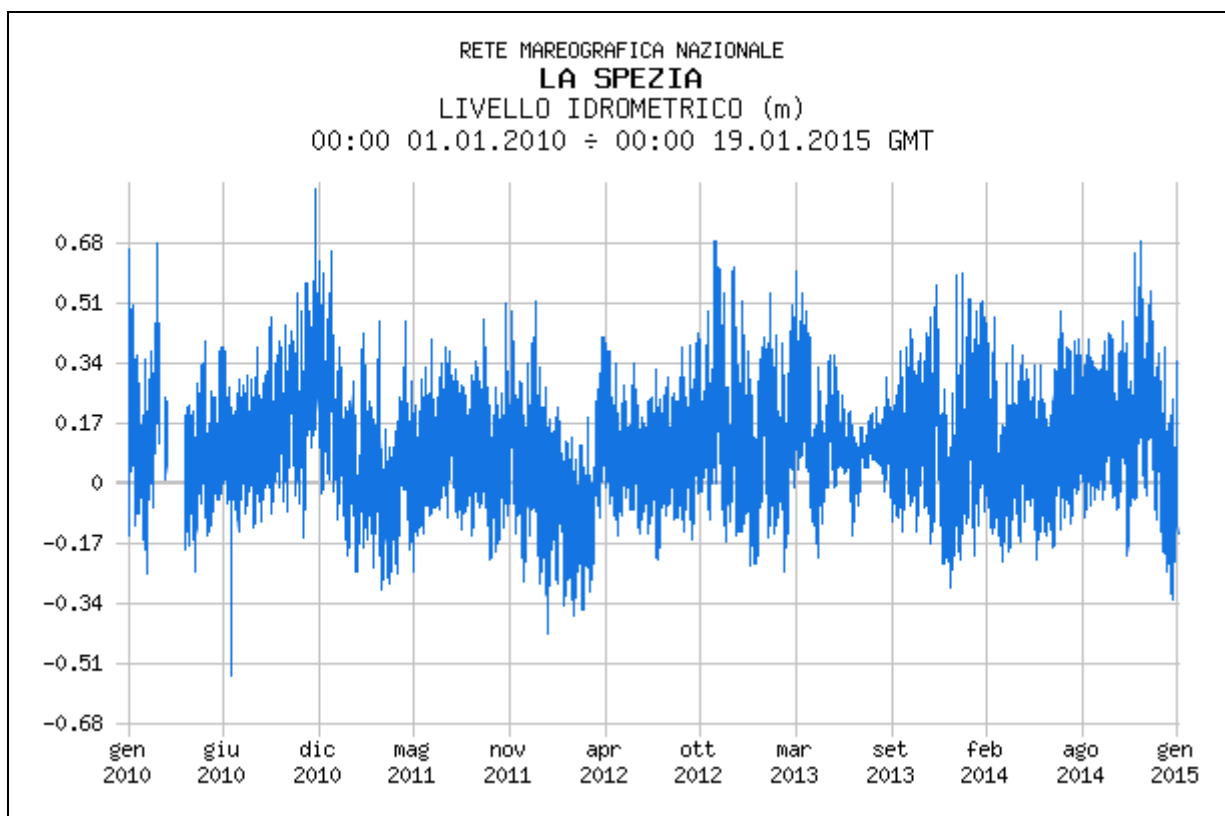


Fig. 3.1 – Stazione R.M.N. di La Spezia


REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 10 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	



**Fig. 3.2 – Andamento del livello del mare relativo al periodo gennaio 2009 - gennaio 2015
(stazione ISPRA R.M.N. di La Spezia)**

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 11 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

4 REGIME ANEMOLOGICO

I dati di vento impiegati nel presente studio sono stati scaricati dal sito dell'I.S.P.R.A. (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) www.mareografico.it e si riferiscono alla stazione R.M.N. di La Spezia descritta nel paragrafo precedente.

La stazione è dotata di trasduttore di direzione e di trasduttore di velocità in grado di registrare i dati ogni 10 minuti. Il periodo per il quale sono disponibili le registrazioni di vento va dal 1 gennaio 2010 fino al 23 gennaio 2015. La serie dei dati registrati dalla stazione, a partire da gennaio 2010, è riportata in Fig. 4.1. Sulla base dei dati scaricati sono state ricavate le rose delle registrazioni e delle velocità massime, riportate rispettivamente in Fig. 4.2 e Fig. 4.3.

Le rose evidenziano come i venti regnanti provengano da Tramontana-Grecale (NNE); i venti dominanti provengono invece dal settore di Scirocco-Mezzogiorno (SSE, direzione primaria) e dal settore di Libeccio (che può essere assunto come direzione secondaria dei venti dominanti).

In termini di velocità massime, si può osservare che nel settore di Libeccio si raggiungono velocità prossime ai 15 m/s mentre nel settore di Scirocco-Mezzogiorno i 15 m/s vengono superati abbondantemente, con valori massimi prossimi ai 20 m/s per la direzione SSE.

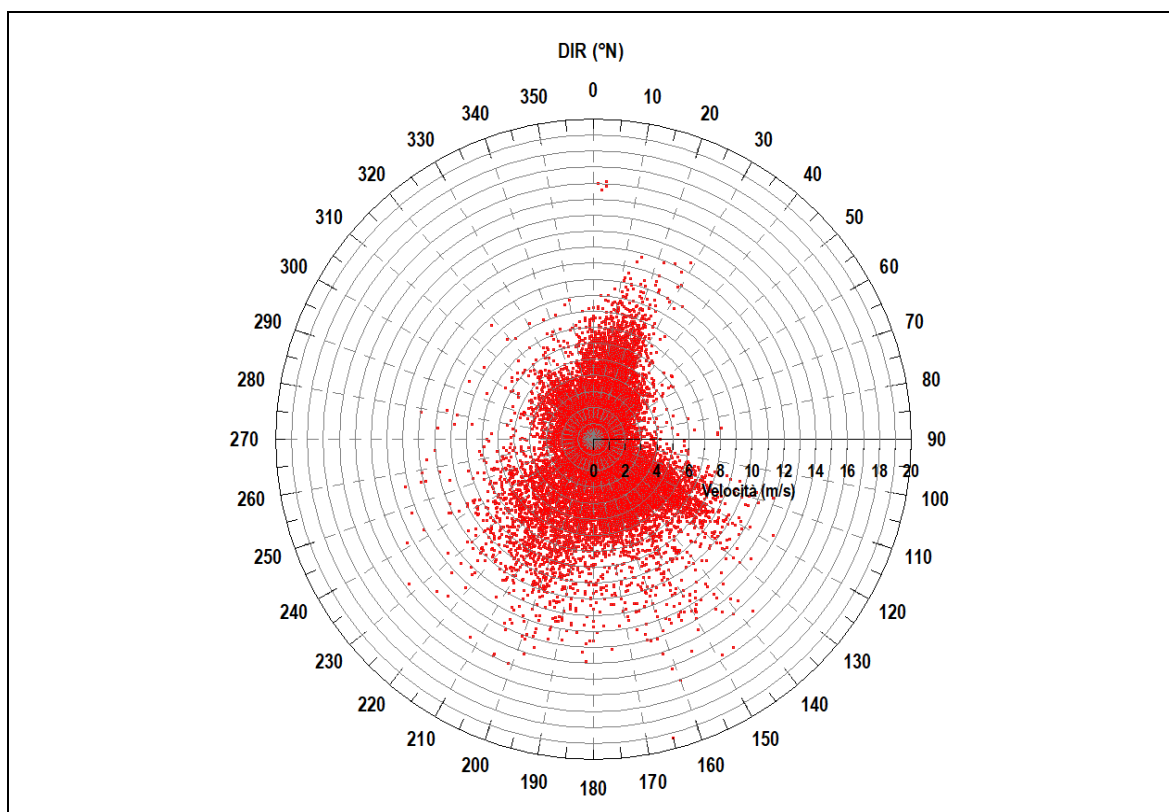


Fig. 4.1 – Dati di vento registrati dalla stazione R.M.N. della Spezia

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 12 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

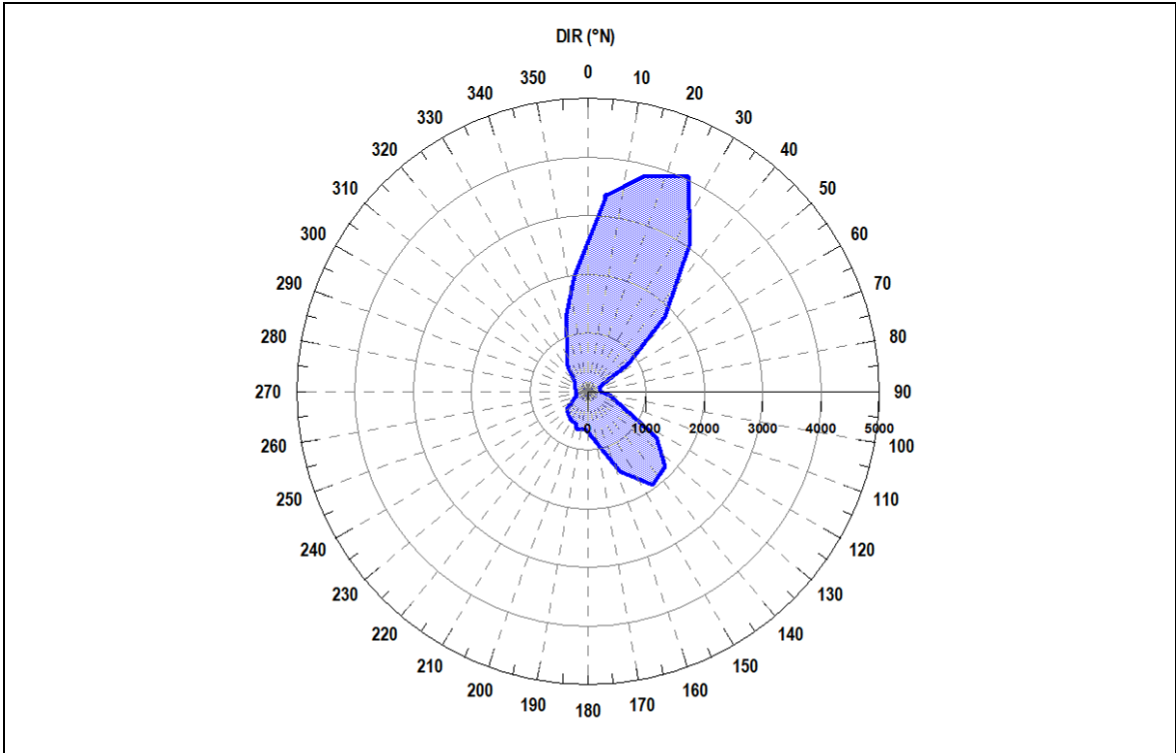


Fig. 4.2 – Rosa delle registrazioni (stazione ISPRA R.M.N. di La Spezia)

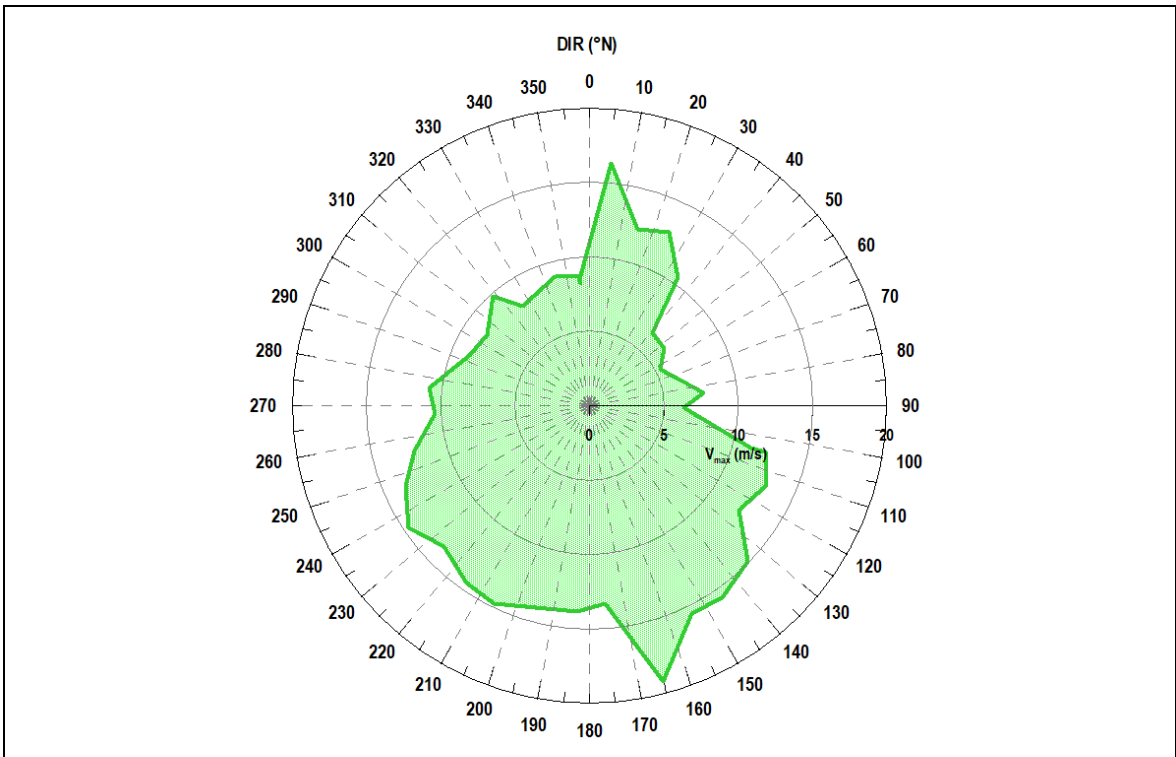



Fig. 4.3 – Rosa delle velocità massime (stazione ISPRA R.M.N. di La Spezia)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 13 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

4.1 Analisi statistica dei dati di vento

Per la definizione delle condizioni di vento da impiegare nella determinazione dei parametri caratteristici delle diverse mareggiate considerate nello studio, si è proceduto, sulla base dei dati disponibili, all'elaborazione di una statistica degli eventi estremi anemologici e alla costruzione delle curve di durata di tali eventi.

Le elaborazioni sono state eseguite con riferimento a due distinti settori di traversia: il settore compreso tra 150 e 210°N, rappresentativo dei venti provenienti da Scirocco-Mezzogiorno, e il settore 210-270°N rappresentativo dei venti da Libeccio-Ponente (Fig. 4.4).

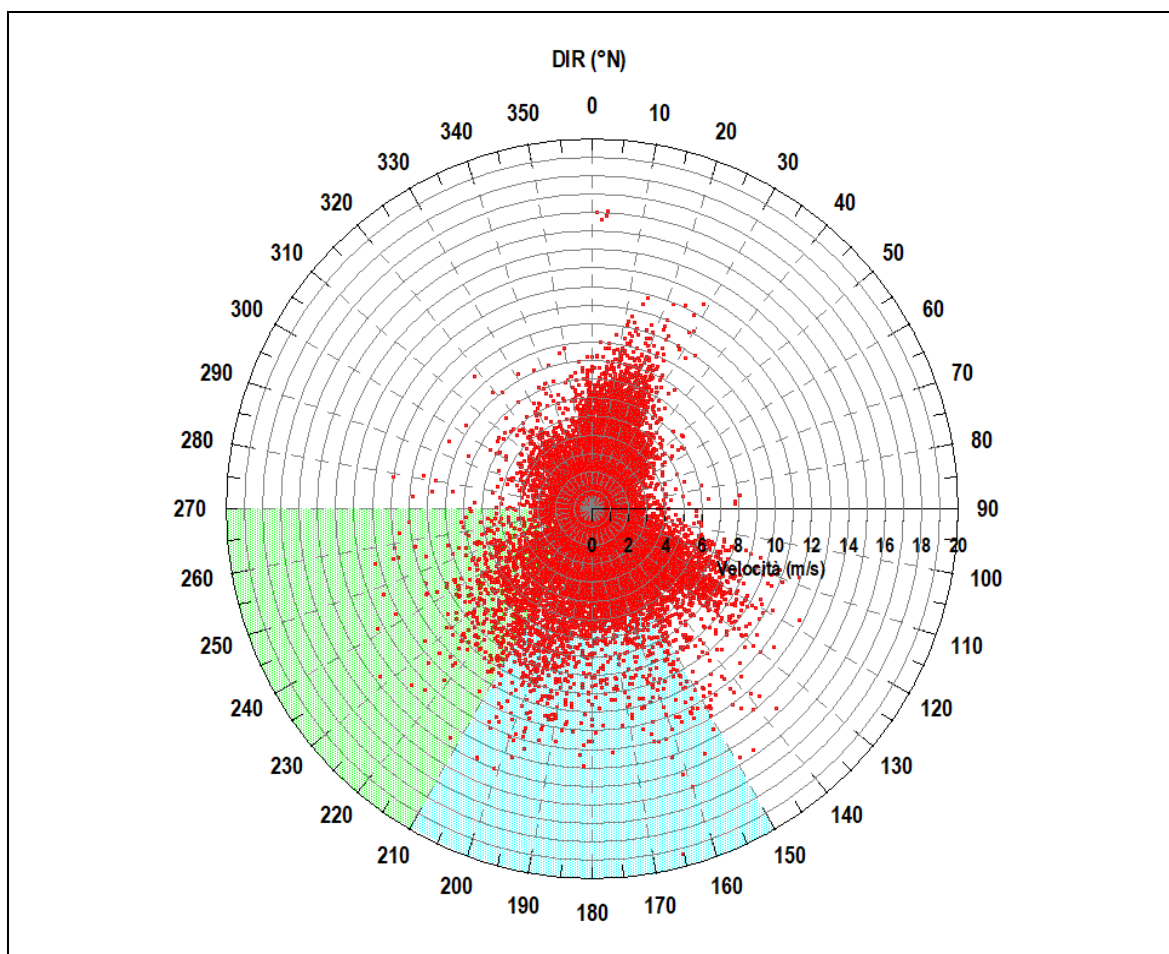


Fig. 4.4 – Settori di traversia individuati per l'elaborazione dei dati di vento registrati

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 14 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

4.1.1 Statistica direzionale degli eventi estremi

Dalla serie dei dati originari é stata individuata la serie degli eventi estremi del vento, selezionando gli eventi (disgiunti) al di sopra di fissate soglie di velocità (cfr. Tab. 4.1), per i due settori di provenienza individuati. Le soglie sono state fissate ad un valore pari a 2.5 volte il valore medio delle velocità relativo al settore di competenza; tale criterio ha permesso di ottenere un numero significativo di eventi da impiegare per l'elaborazione statistica.

Le velocità massime ottenute, per i due settori considerati, impiegando i valori di soglia così fissati, sono riportate nella successiva Fig. 4.5.

Settore [°N]	Velocità del vento di soglia [m/s]
150-210	10.3
210-270	9.0

Tab. 4.1 – Valori di soglia utilizzati per la determinazione delle velocità massime

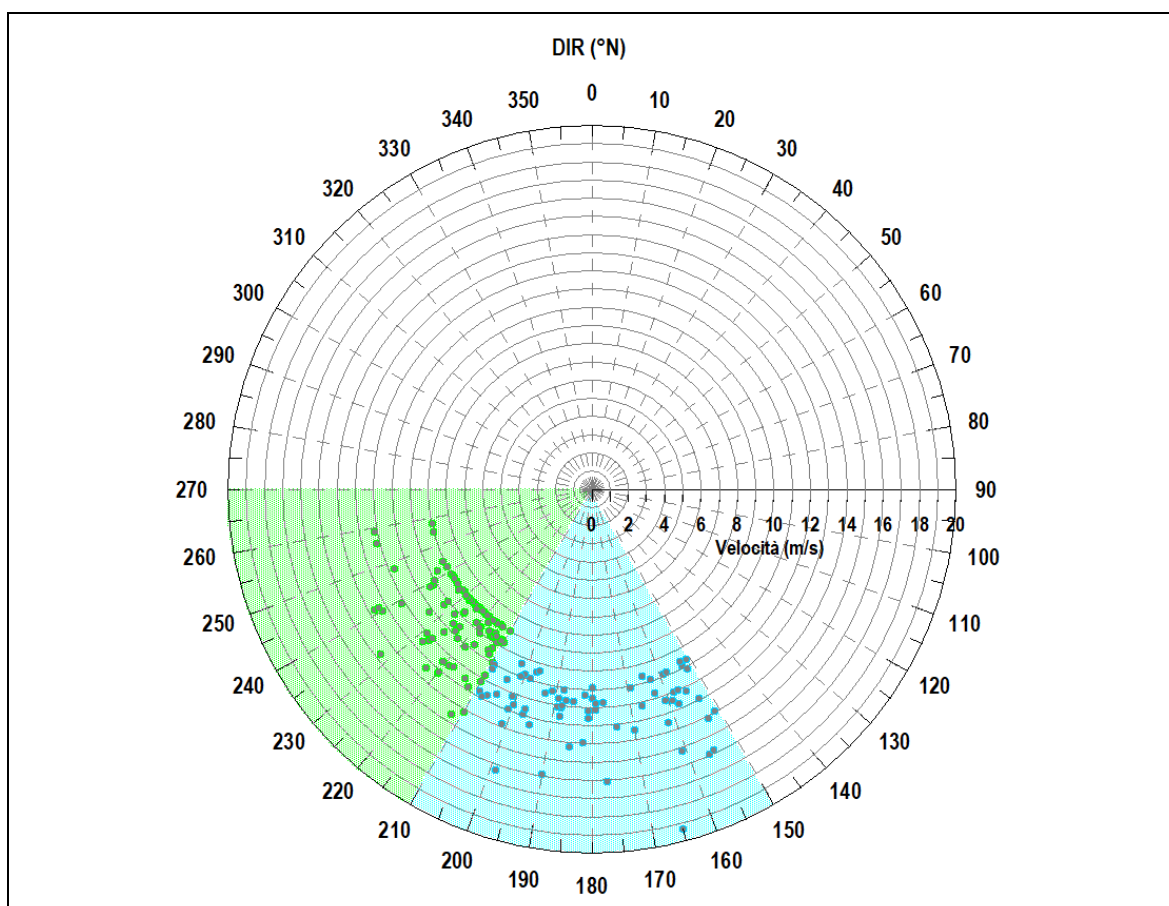



Fig. 4.5 – Velocità massime per i due settori considerati (valori sopra soglia)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 15 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

A partire dagli eventi sopra soglia così ricavati, si è proceduto all'elaborazione della statistica degli estremi utilizzando l'approccio proposto da Weibull, secondo il quale la distribuzione di probabilità per l'altezza d'onda è dato da:

$$P(H) = e^{-\left(\frac{H-B}{A}\right)^k}$$

Sulla base di tale approccio, considerando una serie di N eventi distribuiti in n anni, l'altezza d'onda per un determinato tempo di ritorno T_R viene determinata come segue:

$$H(T) = B + A \cdot F[P(H)]$$

dove $F[P(H)] = \left\{ \ln\left(\frac{N}{n} \cdot T_R\right) \right\}^{\frac{1}{k}}$

In Tab. 4.2 sono riportati i dati di input e i parametri ottenuti dall'applicazione del metodo di Weibull. I risultati delle elaborazioni statistiche, ottenuti utilizzando il metodo di Weibull, per i 2 settori considerati (150°-210° N e 210°-270°N), sono riportati nelle figure Fig. 4.6 e Fig. 4.7. Le figure riportano i valori estremi impiegati nel calcolo, la linea di interpolazione e le fasce di confidenza al 90%. Infine, in Tab. 4.3, sono riportati, in funzione del tempo di ritorno e del settore di provenienza, i valori di velocità del vento ricavati dall'analisi statistica degli eventi estremi e i valori massimi compresi nella fascia di confidenza al 90%.


DATI E PARAMETRI	150°-210°N	210°-270°N
N	71	64
n	4.500	4.500
A	1.709	3.269
B	10.685	8.181
k	1.000	2.000

Tab. 4.2 – Dati impiegati e parametri ottenuti con il metodo di Weibull

T_R (anni)	Velocità del vento (m/s)			
	150°-210°N		210°-270°N	
	Medio	90° percentile	Medio	90° percentile
1	15.4	16.6	13.5	14.1
5	18.2	20.1	14.9	15.7
10	19.3	21.6	15.5	16.3
25	20.9	23.6	16.1	17.1
50	22.1	25.1	16.6	17.6

Tab. 4.3 – Risultati statistica degli estremi con il metodo di Weibull

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 16 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Dai risultati ottenuti si osserva che, per il settore di Scirocco-Mezzogiorno (150-210°N), i valori di velocità del vento sono dell'ordine dei 22 m/s (valore medio), e salgono a 25 m/s considerando il 90° percentile della statistica; per il settore di Libeccio-Ponente (210-270°N) i valori di velocità sono dell'ordine di 16.6 m/s (valore medio) e raggiungono i 17.6 m/s considerando il 90° percentile della statistica.

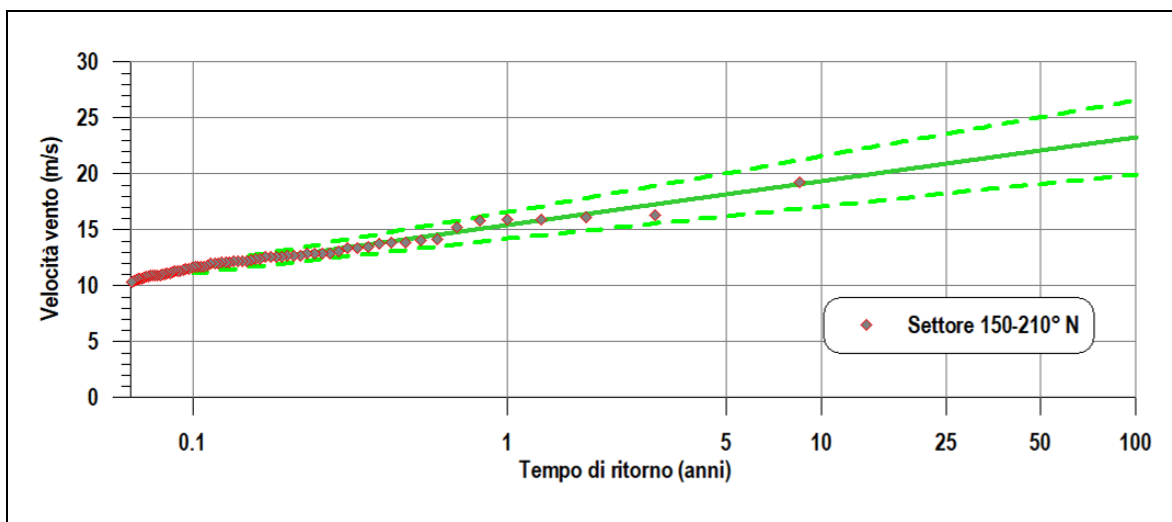


Fig. 4.6 – Elaborazione statistica degli estremi con il metodo di Weibull per il settore 150° - 210 ° N

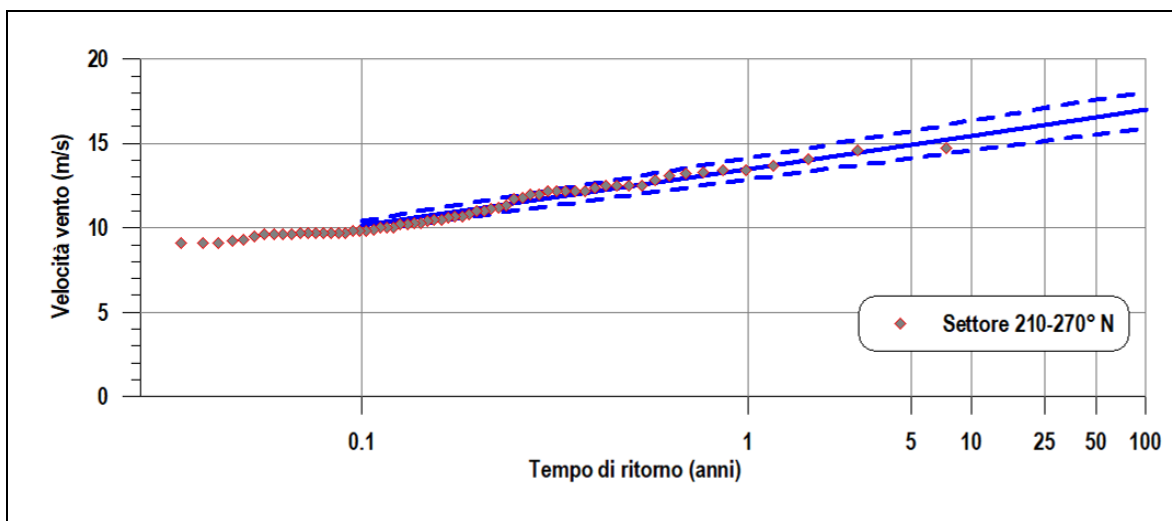


Fig. 4.7 – Elaborazione statistica degli estremi con il metodo di Weibull per il settore 210° - 270° N

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 17 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

4.1.2 Curve di durata

A partire dalle registrazioni di vento disponibili è stata inoltre ricavata la curva di durata che mette in relazione la frequenza di apparizione e intensità degli eventi anemologici. L'elaborazione è stata eseguita per i due settori individuati in precedenza (Scirocco-Mezzogiorno e Libeccio-Ponente) e i risultati ottenuti sono riportati nella seguente Fig. 4.8.

Dalle curve ottenute si può osservare che velocità del vento superiori a 10 m/s si presentano con frequenze inferiori a 36 ore/anno per il settore di Scirocco-Mezzogiorno e inferiori a 12 ore per il settore di Libeccio-Ponente.

Si può inoltre osservare che gli eventi caratterizzati da frequenza di apparizione pari a 5 giorni all'anno presentano velocità del vento dell'ordine dei 7.5 m/s per il settore di Scirocco-Mezzogiorno e dei 5.5 m/s per il settore di Libeccio-Ponente.

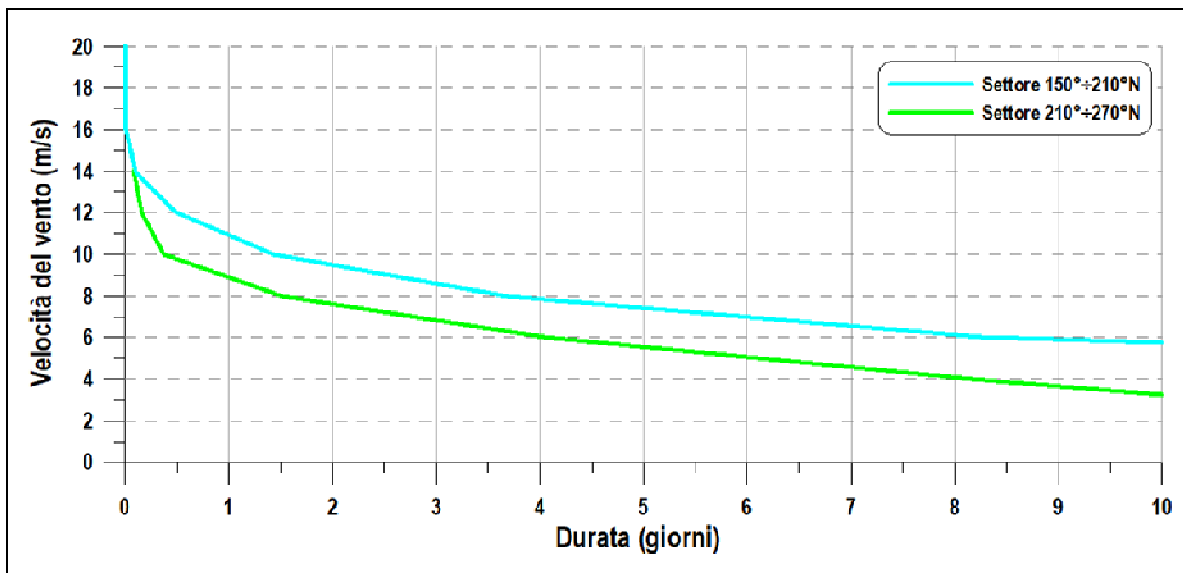



Fig. 4.8 – Curva di durata delle velocità del vento per i settori di Scirocco-Mezzogiorno e Libeccio-Ponente

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 18 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

5 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

5.1 Fase 1

Nella fase 1 l'intervento oggetto di studio prevede l'espansione dell'esistente Porto Lotti, includendo una porzione dello specchio acqueo antistante l'esistente molo di sopraflutto; lo specchio acqueo verrà protetto mediante il posizionamento di un nuovo frangiflutti galleggiante.

La nuova area di ormeggio sarà delimitata a Est dal molo esistente, realizzato con palancoato, a Sud dal pontile galleggiante a grande dislocamento esistente e ad Ovest dai nuovi frangiflutti galleggianti. Questi ultimi saranno posizionati a partire dallo spigolo Nord-Ovest della piattaforma eliporto, allineati al lato Ovest della piattaforma stessa, lungo la direzione 335 °N, per una lunghezza complessiva pari a circa 60 m (Fig. 5.1).

I frangiflutti che verranno impiegati saranno del tipo in calcestruzzo a grande dislocamento, di dimensioni in pianta pari a 20 x 4 m; verranno quindi posizionati complessivamente 3 frangiflutti galleggianti (Fig. 5.2).

Un esempio di frangiflutti galleggiante disponibile sul mercato, che potrà essere impiegato per l'intervento in oggetto, è riportato in Fig. 5.3.

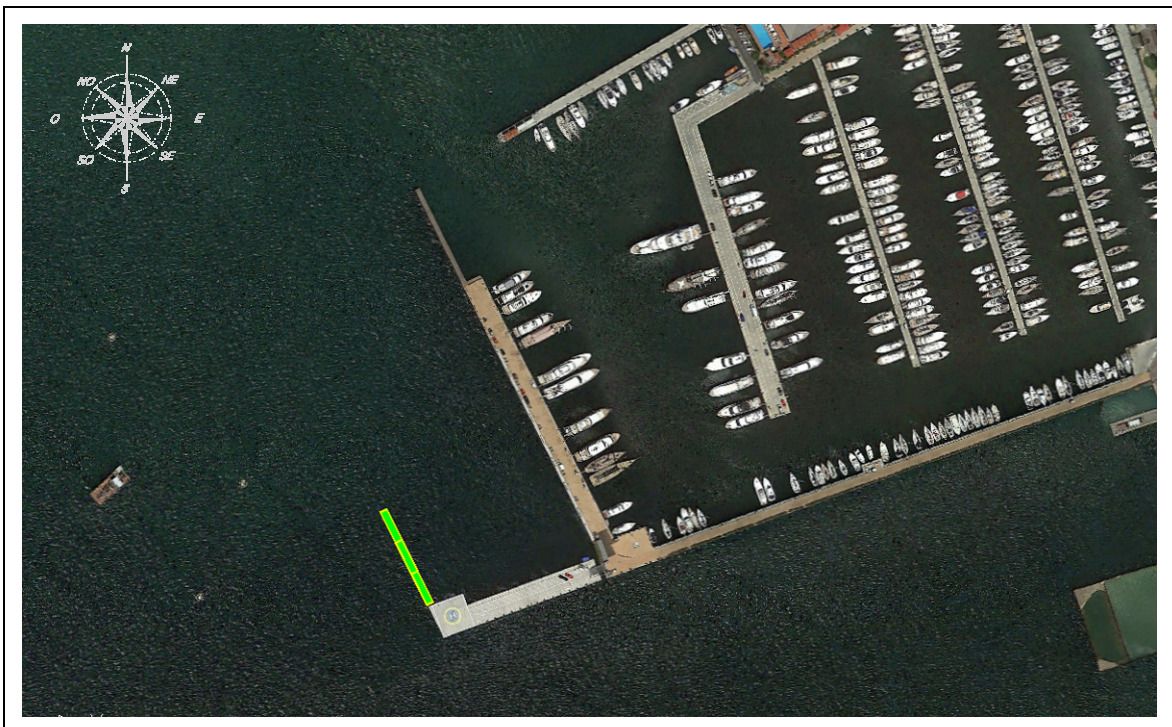


Fig. 5.1 – Layout della prevista espansione di Porto Lotti nella fase 1

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 19 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

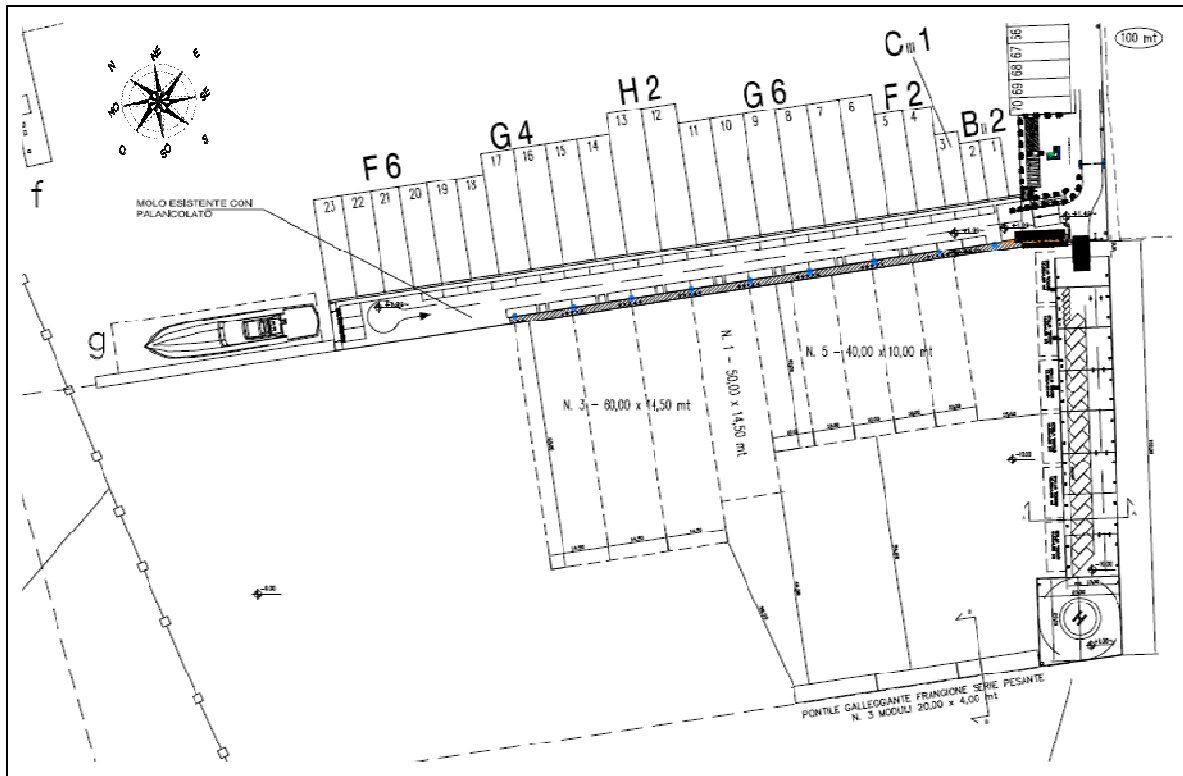


Fig. 5.2 – Planimetria di dettaglio intervento – fase 1

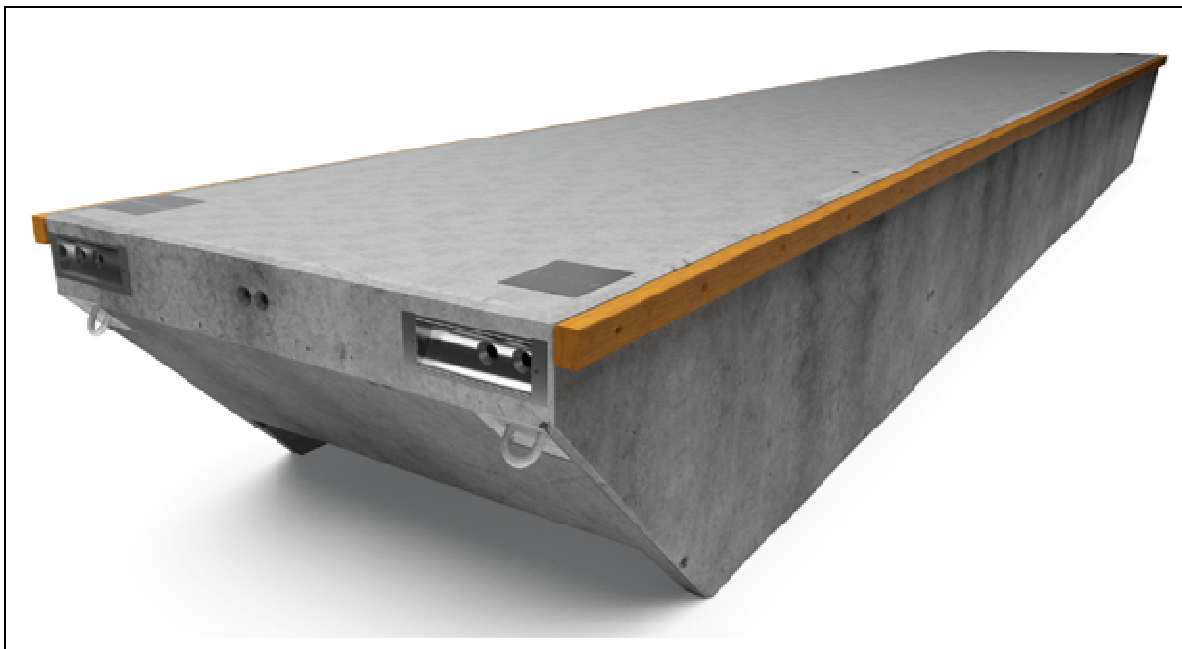



Fig. 5.3 – Esempio di frangiflutti galleggiante in calcestruzzo

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 20 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

5.2 Fase 2

Nella fase 2 l'intervento prevede una ulteriore espansione, includendo la porzione più settentrionale dello specchio acqueo antistante l'esistente molo di sopraflutto (di seguito denominato bacino Nord); lo specchio acqueo verrà protetto mediante il posizionamento di nuovi cassoni di nuovi frangiflutti galleggianti. Inoltre la porzione di specchio acqueo protetto già realizzato nella fase 1 (di seguito denominato bacino Sud) verrà ampliata posizionando un ulteriore frangiflutti in continuità ai 3 precedentemente installati.

La nuova area di ormeggio sarà delimitata a Est dal molo esistente, a Sud da 4 cassoni in acciaio posati sul fondale e ad Ovest da nuovi frangiflutti galleggianti. Questi ultimi saranno posizionati a partire dallo spigolo Nord-Ovest dell'ultimo cassone verso mare, mantenendo l'allineamento dei frangiflutti precedentemente posati nella fase 1, lungo la direzione 335 °N, per una lunghezza complessiva pari a circa 60 m (Fig. 5.1).

I frangiflutti che verranno impiegati saranno sempre del tipo in calcestruzzo a grande dislocamento, di dimensioni in pianta pari a 20 x 4 m; verranno quindi posizionati complessivamente 4 nuovi frangiflutti galleggianti (Fig. 5.2).

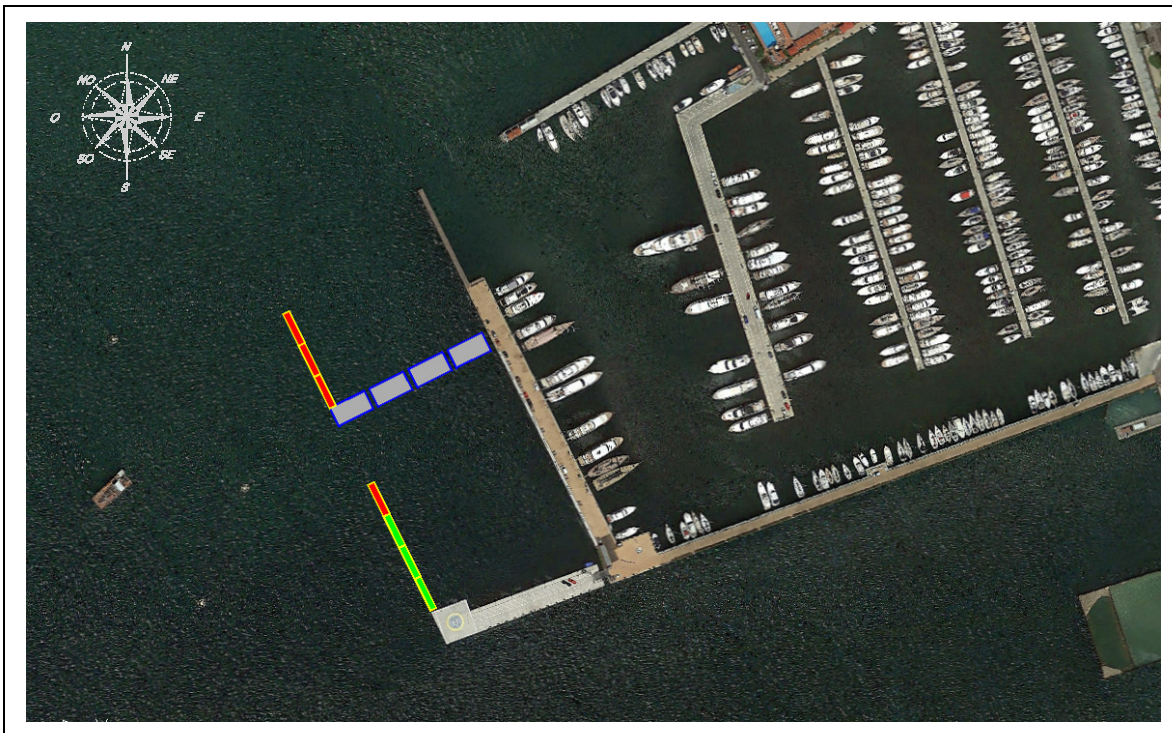


Fig. 5.4 – Layout della prevista espansione di Porto Lotti nella fase 2

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 21 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

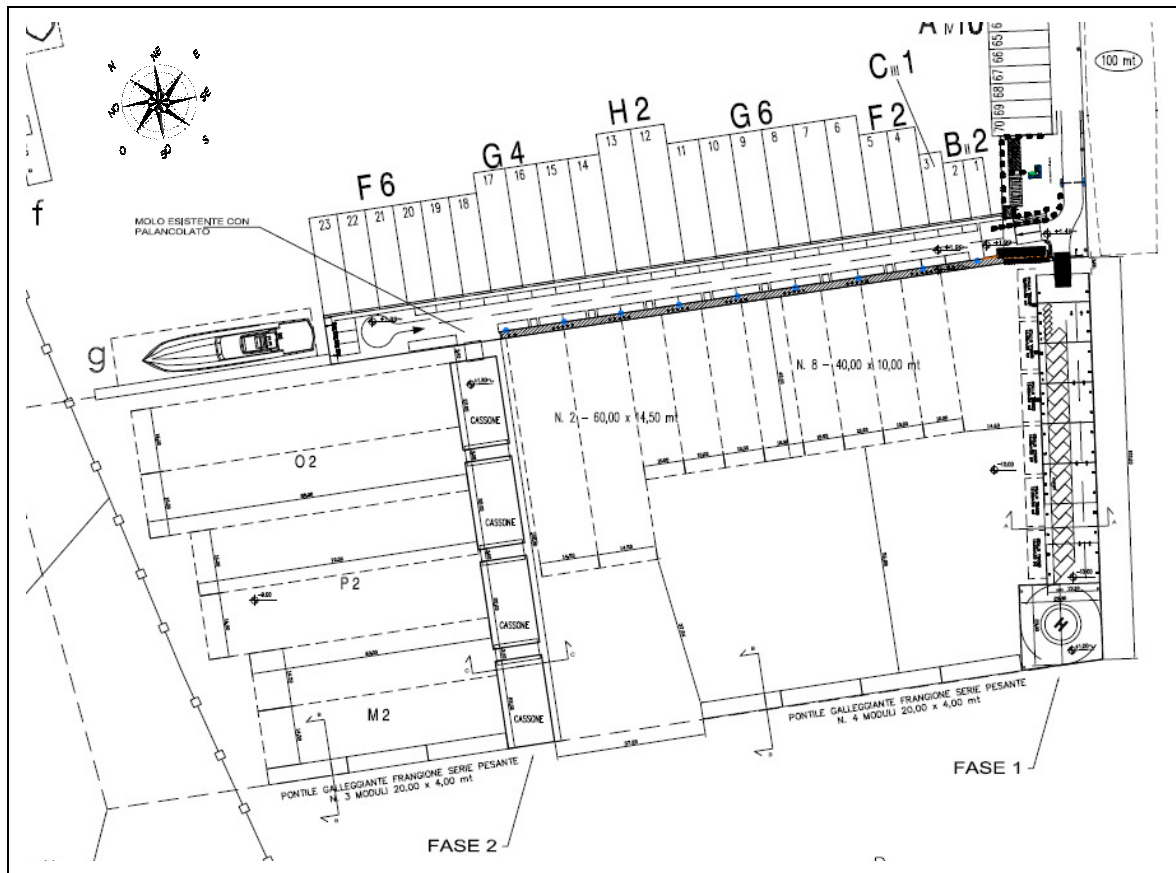



Fig. 5.5 – Planimetria di dettaglio intervento

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 22 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6 MOTO ONDOSO IN PROSSIMITÀ DEL PARAGGIO

Come anticipato in precedenza, essendo l'area di intervento protetta dal moto ondoso proveniente dal largo, le maggiori criticità sono legate all'onda di mare vivo che si genera all'interno del Golfo per effetto del vento. Per la determinazione delle caratteristiche del moto ondoso in prossimità del paraggio si è quindi proceduto alla ricostruzione del moto ondoso di fronte alle opere in progetto attraverso lo studio della generazione da vento.

Lo studio della generazione del moto ondoso, in accordo con il Committente, è stato svolto per gli eventi ritenuti maggiormente significativi, sulla base sia dell'analisi della conformazione geografica del paraggio (paragrafo 2) che delle elaborazioni statistiche dei dati di vento (paragrafo 4).

In base alle indicazioni contenute nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" (PIANC, 2002), le condizioni di agitazione ondosa nella nuova zona di ormeggio vanno valutate sia con riferimento ad eventi estremi (condizione "limite") che ad eventi meno intensi, ma frequenti (condizione di "comfort"). Tali eventi sono caratterizzati rispettivamente da un tempo di ritorno di 50 anni e una frequenza annua pari a 5 giorni all'anno. Le Raccomandazioni prevedono ulteriori analisi, che però si rimandano ad eventuali studi successivi.

Sulla base delle analisi svolte nei paragrafi precedenti sono stati individuati i fetches di maggiore lunghezza, dalle cui direzioni si attendono le condizioni di moto ondoso più gravose in relazione alla conformazione del paraggio e all'esposizione dei frangiflutti galleggianti. A ciascuno dei due settori di traversa considerati è stato quindi associato il fetch più lungo: si è ottenuto così un fetch di lunghezza pari a circa 3100 m, lungo la direzione 200°N, per il settore di Mezzogiorno e uno di circa 2500 m, lungo la direzione 240°N, per il settore di Libeccio.



Fig. 6.1 – Massimi fetches per i settori di Mezzogiorno e Libeccio

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 23 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

Per la valutazione delle onde generate da vento sono disponibili in letteratura numerose formulazioni; nel caso specifico (generazione da vento in acque profonde), si è scelto di adottare il collaudato approccio proposto da Svedrup-Munk- Bretschneider (abaco SMB), attraverso il quale, in base a fetch, durata e velocità del vento è possibile determinare i parametri caratteristici della mareggiata generata (altezza significativa e periodo).

Implementando Il metodo SMB si ottengono, anche graficamente utilizzando gli abachi dello Shore Protection Manual (Fig. 6.2), l'altezza e il periodo significativi di onde generate da vento in acque profonde; le espressioni analitiche che legano le grandezze citate sono le seguenti.

$$\frac{gH_{m0}}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \quad e \quad \frac{gT_m}{U_A} = 2.857 \cdot 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

dove:

- g è l'accelerazione di gravità (pari a 9.806 m/s^2);
- H_{m0} è l'altezza d'onda significativa generata dal vento (m);
- T_m è il periodo medio dell'onda generata (s);
- U_A è la velocità caratteristica del vento riferita alla direzione di generazione prescelta (m/s);
- F è il fetch relativo alla direzione di generazione prescelta (m).

La velocità caratteristica del vento U_A , in corrispondenza della superficie dello specchio liquido, viene ottenuta a partire dalla velocità del vento (U , misurata alla quota di +10 m sul livello del mare) secondo la relazione: $U_A = 0.71 U^{1.23}$.

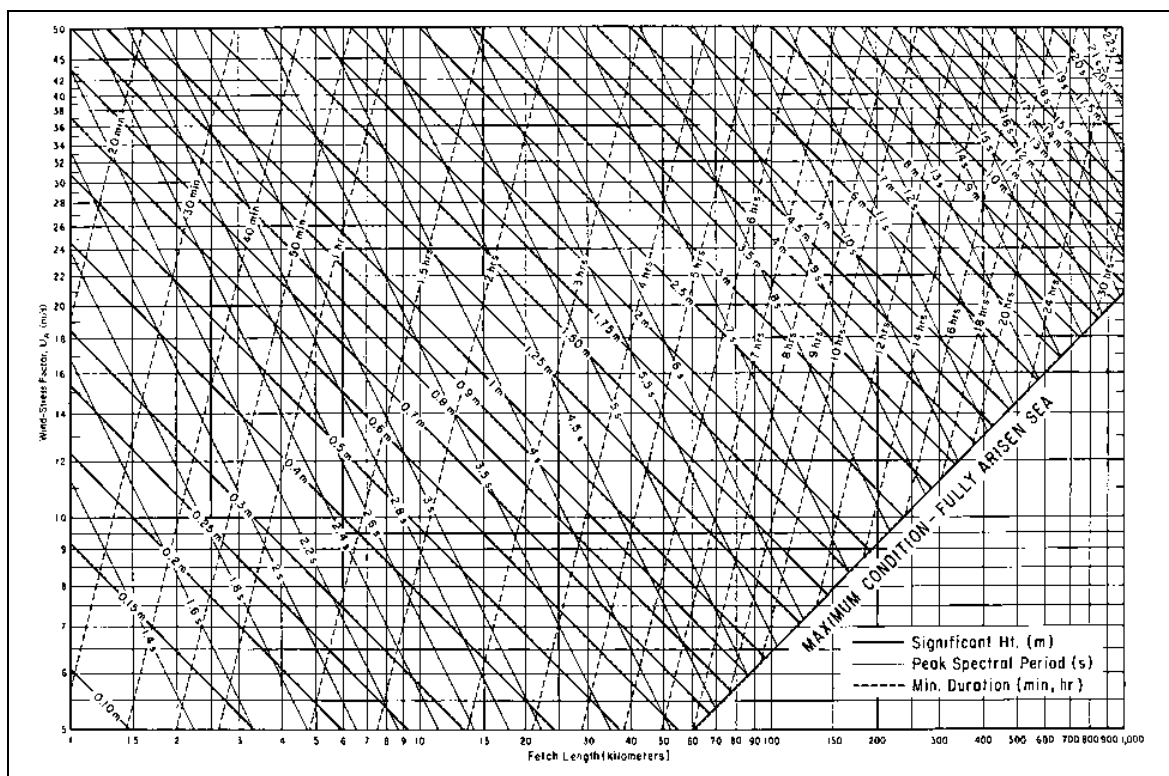



Fig. 6.2 – Abaco per il calcolo delle onde generate da vento in acque profonde (SMB)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 24 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Sulla base dei fetches e delle velocità del vento, per gli eventi anemologici individuati, sono state quindi ottenute le caratteristiche delle mareggiate in prossimità del paraggio. I risultati di tale elaborazione sono riportati nella successiva Tab. 6.1.

Dai risultati ottenuti si può osservare che, in occasione degli eventi estremi, le mareggiate di Mezzogiorno possono raggiungere valori di altezza significativa fino a 1 m, mentre quelle di Libeccio, per effetto del fetch inferiore e delle minori velocità del vento, superano di poco i 60 cm.

Le mareggiate generate dal vento nel Golfo sono comunque caratterizzate da periodi e lunghezze d'onda piuttosto ridotti (fino a 3 s e poco più di 10 m).

Si presume i valori di altezza d'onda ottenuti possano essere considerati cautelativi, in ragione del fatto che si tratta di velocità massime e che le stesse dovrebbero invece perdurare per arrivare alla condizione di "mare pienamente sviluppato" cui corrispondono i valori di altezza e periodo calcolati.

Vale comunque la pena di osservare che l'altezza massima della mareggiata, in acque profonde, potrebbe arrivare a circa il doppio dell'altezza significativa.

Evento	Caratteristiche vento		Caratteristiche onda	
	Direzione (°N)	Velocità (m/s)	H _s (m)	T _p (s)
Mezzogiorno con T _R =50 anni	200	25.00	1.00	3.00
Libeccio con T _R =50 anni	240	17.60	0.62	2.50
Mezzogiorno con frequenza =5 giorni/anno	200	7.50	0.25	1.90
Libeccio con frequenza = 5 giorni/anno	240	5.50	0.15	1.50

Tab. 6.1 – Determinazione dell'onda generata da vento attraverso l'abaco SMB

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 25 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

7 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA

Lo studio è stato condotto tramite il codice di calcolo "CGWAVE", sviluppato per lo U.S. Army Corps of Engineers e descritto in dettaglio nel successivo paragrafo 7.1.

Lo studio è stato svolto valutando l'agitazione interna nella nuova zona di ormeggio che verrà realizzata in adiacenza all'esistente Porto Lotti; la valutazione è relativa a due delle tre condizioni individuate nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" (PIANC, 2002):

- condizione di "comfort": $H_S = 0.15$ m per eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiore a 5 giorni/anno;
- condizione "limite": $H_S = 0.50$ m per eventi con tempo di ritorno indicativamente non inferiori a 50 anni.

Lo studio ha permesso di valutare le prestazioni dei frangiflutti galleggianti e di analizzare l'efficacia della soluzione progettuale ipotizzata.

7.1 Modello matematico CGWAVE

Il modello matematico CGWAVE (Conjugate Gradient WAVE model) è un modello generale di propagazione del moto ondoso, aggiornato allo stato dell'arte. Il modello è applicabile per la stima dei parametri d'onda all'interno di porti, insenature e paraggi con morfologia complessa, in presenza di strutture fisse o mobili.

Il modello, sviluppato su commissione dello U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, è basato sull'approssimazione ellittica della mild slope equation bidimensionale (cfr. 7.1.2) e, in particolare, è in grado di tenere conto di fenomeni dissipativi (dovuti a attrito al fondo, frangimento e dispersione non lineare) e riflessione.

7.1.1 Caratteristiche generali di CGWAVE

Il modello è in grado di simulare i fenomeni di rifrazione, diffrazione, riflessione (dovuta alle linee di riva, alle strutture rigide o mobili e alla batimetria), ed inoltre può tener conto della dispersione non lineare, dei processi di dissipazione dovuta all'attrito e al frangimento.

L'impiego della tecnica agli elementi finiti rende possibile, in CGWAVE, la modellazione di regioni aventi forme complesse. Con questo approccio il dominio di calcolo viene discretizzato con una maglia di elementi triangolari con dimensioni variabili in funzione delle caratteristiche locali del fondale e della lunghezza d'onda (ad esempio, in zone in cui la variazione delle caratteristiche dell'onda è rapida sarà necessario impiegare una risoluzione più elevata). Le condizioni al contorno vengono applicate impiegando un nuovo schema basato sulla approssimazione parabolica (Xu, Pachang e Demirbilek, 1996).

Il sistema di equazioni risultanti dalla discretizzazione viene risolto attraverso l'uso di una procedura iterativa (metodo del gradiente coniugato) introdotta da Pachang (Pachang et al., 1991) e successivamente modificato da Ly (1994).

7.1.2 Cenni sulle formulazioni di CGWAVE

La mild slope equation dapprima sviluppata da Eckart (1952) e successivamente riveduta da

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 26 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

Berkhoff (1972,1976) è ad oggi una formulazione generalmente accettata per la stima delle condizioni d'onda in area costiera. La soluzione dell'equazione nella forma bidimensionale, basata sull'approssimazione ellittica, fornisce una buona base per la modellizzazione della superficie del mare nelle aree costiere (Chen & Houston, 1987; Chen, 1990; Xu & Pachang). L'equazione può essere scritta come:

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \hat{\eta}) + \frac{C_g}{C} \sigma^2 \hat{\eta} = 0$$

dove:

$\hat{\eta}(x, y)$ funzione complessa della quota della superficie, da cui viene stimata l'altezza d'onda

σ frequenza dell'onda (in radianti/s)

$C(x, y)$ velocità di fase (= σ / k)

$C_g(x, y)$ velocità di gruppo (= $\partial \sigma / \partial k = nC$) con $n = 1/2 / (1 + 2kd / \sinh 2kd)$

$k(x, y)$ numero d'onda (= $2\pi/L$) collegato alla profondità locale secondo la relazione di dispersione lineare: $\sigma^2 = gk \tanh(kd)$

Termini dissipativi

L'equazione precedente tiene conto dei processi di rifrazione, diffrazione e riflessione in domini di forma arbitraria, ma può essere modificata per includere gli effetti dissipativi dovuti al frangimento (Dally et al, 1985; De Girolamo et al, 1985) e all'attrito al fondo (Dalrymple et al, 1984; Chen, 1986; Liu e Tsay, 1985) secondo la seguente forma:

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \hat{\eta}) + \left(\frac{C_g}{C} \sigma^2 + i\sigma w + iC_g \sigma \gamma \right) \hat{\eta} = 0$$

dove w è un fattore d'attrito e γ è un parametro di frangimento.

In accordo con quanto ricavato da Dalrymple et al. (1984) il modello implementa il fattore di smorzamento dovuto all'attrito nella seguente forma:

$$w = \left(\frac{2n\sigma}{k} \right) \left[\frac{2f_r}{3\pi} \frac{ak^2}{(2kd + \sinh 2kd) \sinh kd} \right]$$

dove a (= $H/2$) è l'ampiezza d'onda e f_r è un coefficiente di attrito che deve essere impostato dall'utente. Questo coefficiente dipende dal numero di Reynolds e dalla scabrezza del fondo e può essere ottenuto dalle formulazioni ricavate da Madsen (1976) e Dalrymple et al. (1984).

Il frangimento viene implementato nel modello secondo la formulazione ricavata da Dally et al. (1985), Demirbilek (1994), Demirbilek et al. (1996b), in cui il parametro di frangimento può essere così espresso:

$$\gamma = \frac{\chi}{d} \left(1 - \frac{\Gamma^2 d^2}{4a^2} \right)$$

dove χ è un parametro che deve essere impostato dall'utente e Γ è una costante empirica (in CGWAVE è impiegato il valore 0.4 in accordo con Dally et al, 1985).

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 27 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

Dissipazione non lineare

In aggiunta ai precedenti meccanismi, nella mild slope equation può essere simulata la dissipazione non lineare. Questo si ottiene includendo una dispersione funzione dell'ampiezza dell'onda, che si è dimostrata particolarmente influente in certe situazioni (Kirby e Dalrymple, 1986).

La relazione di dispersione lineare precedente: $\sigma^2 = gk \tanh(kd)$

viene così modificata: $\sigma^2 = gk \left[1 + (ka)^2 F_1 \tanh^5 kd \right] \tanh\{kd + kaF_2\}$

dove:

$$\begin{cases} F_1 = \frac{\cosh(4kd) - 2 \tanh^2(kd)}{8 \sinh^4(kd)} \\ F_2 = \left(\frac{kd}{\sinh(kd)} \right)^4 \end{cases}$$

7.1.3 Condizioni al contorno

Gli elementi che delimitano il dominio di calcolo possono essere suddivisi in due categorie (Fig. 7.1):

- *contorno offshore* lungo il quale viene assegnata l'energia entrante mediante l'assegnazione dello spettro;
- *contorno inshore* che comprende linea di costa e/o strutture permeabili o impermeabili.

Ai diversi elementi che costituiscono il contorno inshore è possibile assegnare differenti coefficienti di riflessione; la condizione al contorno lungo il generico elemento può essere così descritta:

$$\frac{\partial \hat{\eta}}{\partial n} = \alpha \hat{\eta}$$

dove $\alpha = \alpha_1 + i\alpha_2$ è un coefficiente complesso che può essere riscritto come $\alpha = ik(1 - K_r/1 + K_r)$, dove K_r è il coefficiente di riflessione (Tsay e Liu, 1983; Chen e Houston, 1987) variabile tra 0 (nessuna riflessione) e 1 (riflessione totale).

Le condizioni al contorno offshore vengono applicate secondo lo schema sviluppato da Xu, Pachang e Demirbilek (1996), basato sulla seguente approssimazione parabolica lungo il contorno offshore:

$$\frac{\partial \hat{\eta}_s}{\partial r} + p \hat{\eta}_s + q \frac{\partial \hat{\eta}_s^2}{\partial v^2} = 0$$

dove

$$p = \frac{k^2 r^2 + k_0^2 r^2 + ik_0 r + 1/4}{2ik_0 r^2} \quad \text{e} \quad q = \frac{1}{2ik_0 r^2}$$

dove k_0 è il numero d'onda che corrisponde alla profondità media lungo il contorno.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 28 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

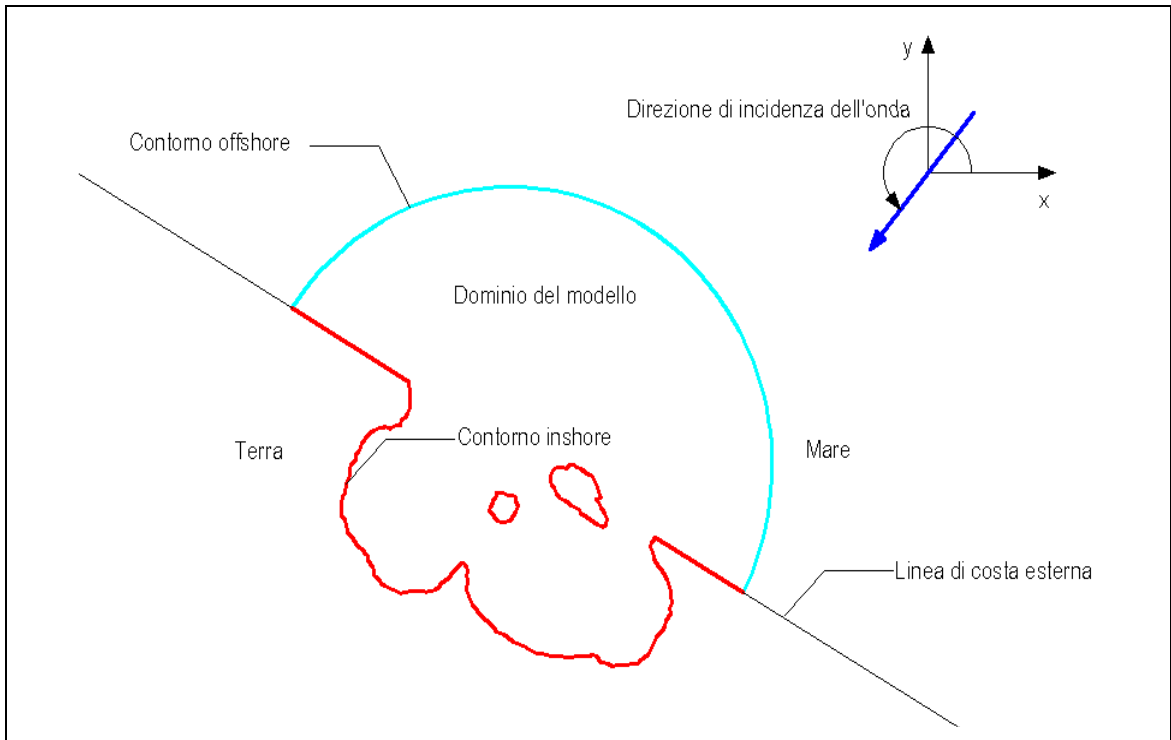



Fig. 7.1 – Condizioni al contorno del modello

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 29 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.2 Settaggio del modello

Per lo studio è stato definito un dominio di calcolo che impiega un contorno offshore di tipo semicircolare; il dominio si estende verso il largo fino a profondità dell'ordine dei -11 m s.m.m.. Il contorno inshore del dominio di calcolo è stato definito in modo da riprodurre la configurazione della linea di costa, delle opere presenti e della nuova opera di protezione realizzata con frangiflutti galleggianti. In Fig. 7.2 si riporta a titolo di esempio il dominio il calcolo impiegato per lo studio della penetrazione nella fase 1.

Il dominio così definito è stato ricoperto con una mesh a maglie triangolari formata da elementi di dimensioni variabili da 1 m, sul contorno offshore, a 0.5 m, sul contorno inshore e in corrispondenza delle nuove opere previste. Tali dimensioni consentono di ottenere la stabilità del modello per tutte le mareggiate simulate, nonché una accurata rappresentazione di tutte le opere presenti all'interno del dominio. La batimetria impiegata nel modello è stata ricavata sulla base delle più recenti carte nautiche. Nelle successive Fig. 7.3 e Fig. 7.4 si riporta un dettaglio della mesh di calcolo in prossimità della zona interessata dagli interventi per lo studio, rispettivamente per la fase 1 e fase 2.



Fig. 7.2 – Dominio di calcolo impiegato nello studio della penetrazione del moto ondoso (fase 1)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 30 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

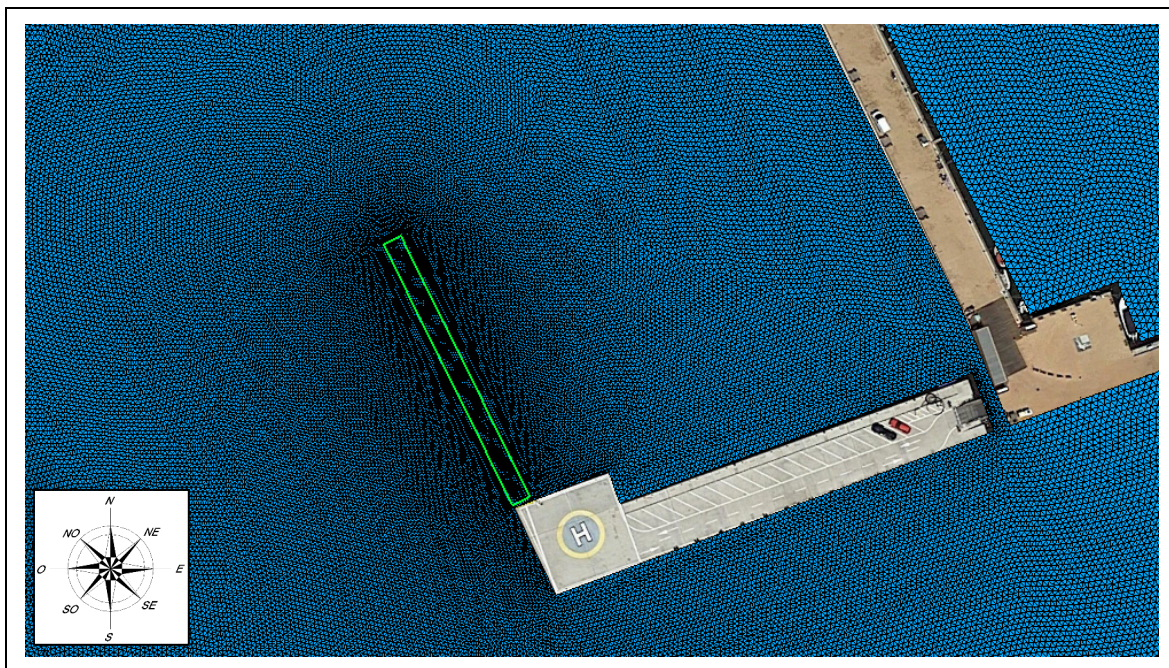


Fig. 7.3 – Particolare della mesh di calcolo nell'area di interesse (fase 1)

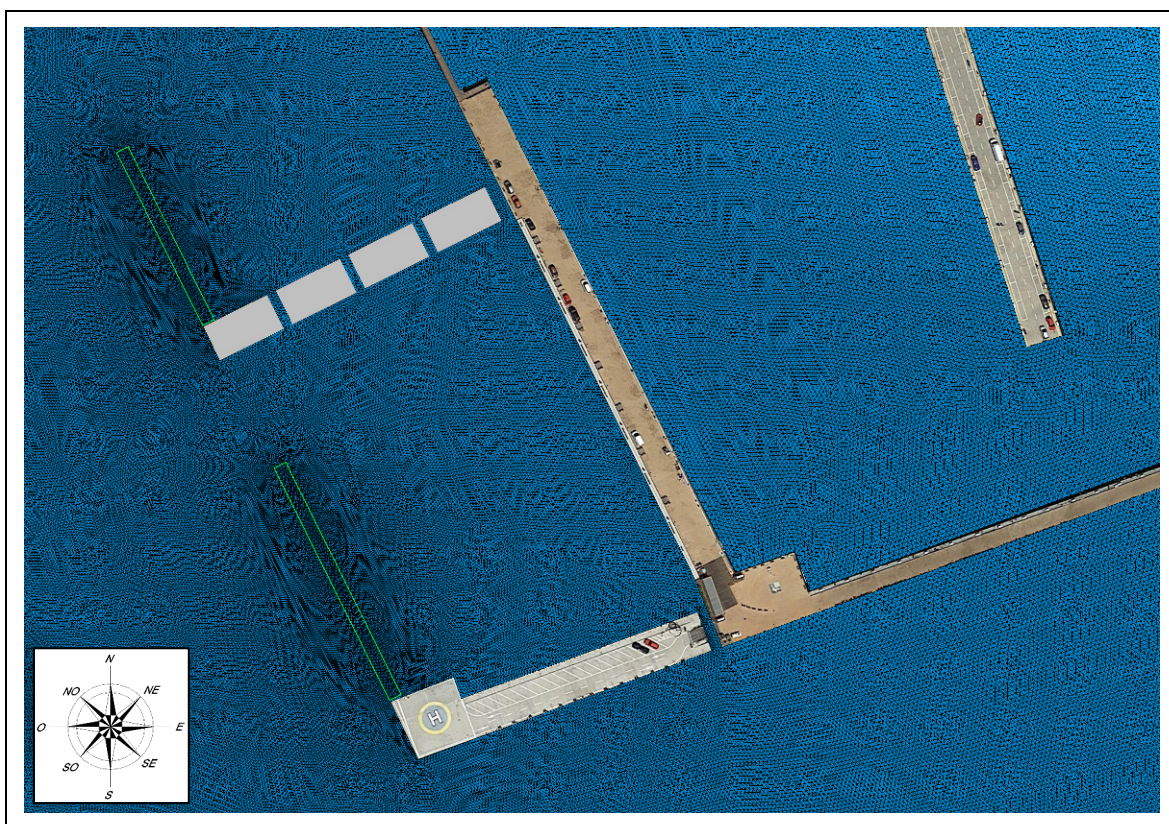



Fig. 7.4 – Particolare della mesh di calcolo nell'area di interesse (fase 2)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 31 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.2.1.1 Caratteristiche delle mareggiate analizzate


Le mareggiate impiegate nello studio sono state ricavate a partire dalle indicazioni contenute nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici", sulla base delle risultanze delle analisi svolte nei precedenti paragrafi 4.1 e 6.

In accordo con tali indicazioni, le condizioni di agitazione ondosa sono state valutate con riferimento agli eventi estremi (condizione "limite", $T_R=50$ anni) ed agli eventi intensi frequenti (condizione di "comfort", frequenza annua pari a 5 giorni all'anno). Sono state quindi individuate due mareggiate estreme ed una mareggiata intensa ritenute significative in ragione dell'esposizione dei frangiflutti galleggianti che verranno impiegati. Nella successiva Tab. 7.1 si riportano le caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio dell'agitazione ondosa.

TEST	Caratteristiche	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)
TEST 1	Mezzogiorno con $T_R=50$ anni	1.00	3.00	200
TEST 2	Libeccio con $T_R=50$ anni	0.62	2.50	240
TEST 3	Mezzogiorno con frequenza =5 giorni/anno	0.25	1.90	200

Tab. 7.1 – Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio dell'agitazione interna

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 32 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.2.2 Caratteristiche delle opere presenti e di quelle previste in progetto

Per la definizione del layout e delle caratteristiche delle opere esistenti (moli, banchine, molo galleggiante esterno, ecc.), nonché delle caratteristiche della costa nel tratto oggetto di studio, si è fatto riferimento alla cartografia disponibile e alle informazioni fornite dal Committente. Sulla base delle informazioni disponibili, è stato possibile definire la planimetria delle opere che costituiscono l'esistente Porto Lotti e del tratto di costa in adiacenza, prevalentemente banchinato.


Le caratteristiche delle opere sono state messe in relazione alla capacità di riflettere/dissipare il moto ondoso, al fine di definire per ciascuna di esse uno specifico coefficiente di riflessione. Le strutture a parete verticale, quali i moli e le banchine esistenti con palancolato, sono state considerate completamente riflettenti, mentre le strutture a gettata sono state considerate parzialmente riflettenti. I coefficienti di riflessione da associare a ciascun elemento del dominio sono stati ricavati, a partire dalle considerazioni sopra esposte, sulla base della bibliografia tecnica disponibile (cfr. successivo paragrafo 7.2.2.1).

Gli elementi frangiflutti galleggianti che si prevede di utilizzare per la realizzazione della nuova zona di ormeggio sono stati schematizzati nel modello matematico attraverso l'impiego di elementi porosi in grado di trasmettere all'interno parte dell'energia incidente. Per definire le caratteristiche di trasmissione di questi elementi si è fatto riferimento alle tipiche prestazioni di queste opere, impiegando i grafici disponibili per i più comuni prodotti in commercio (cfr. paragrafo 7.2.2.2).

Il molo galleggiante esterno esistente è caratterizzato da una larghezza pari a 13 m e da un pescaggio di 80 cm. Per tale struttura non sono disponibili informazioni riguardo alle effettive prestazioni in termini di capacità di attenuazione del moto ondoso, ma, considerata l'elevata larghezza della struttura in rapporto alla lunghezza d'onda, si è considerato che tali elementi siano in grado di attenuare completamente l'onda incidente. L'efficacia di questa struttura, in termini di pressoché totale abbattimento dell'onda incidente, è stata confermata dalla Committenza, che ha osservato come in occasioni di attacchi ondosi da Sud anche di una certa rilevanza (dell'ordine dei 60-70 cm) la struttura fosse in grado di proteggere molto efficacemente la porzione di specchio acqueo nel cono d'ombra della struttura.

Nei successivi paragrafi 7.2.2.1 e 7.2.2.2 si riportano nel dettaglio i coefficienti di riflessione e di trasmissione adottati.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 33 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.2.2.1 Coefficienti di riflessione

Il contorno inshore è stato suddiviso in diversi tratti, ciascuno dei quali corrispondente ad una diversa tipologia e ad un diverso comportamento nei confronti dell'onda incidente cui è stato associato il relativo coefficiente di riflessione. Nelle successive Fig. 7.5 e Fig. 7.6 è stato riportato il dominio di calcolo in cui vengono indicati i valori dei coefficienti di riflessione associati alle opere rispettivamente per la fase 1 e la fase 2. I valori del coefficiente di riflessione, per ciascuna tipologia di elemento considerata, sono sintetizzati nella seguente Tab. 7.2.

Descrizione tratto	Coeff. di riflessione
Moli esistenti in palancoato	0.90
Banchine a parete verticale	0.90
Nuovi cassoni in acciaio	0.90
Pontile galleggiante esistente	0.90
Opere a gettata e protezioni in massi	0.40

Tab. 7.2 – Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore

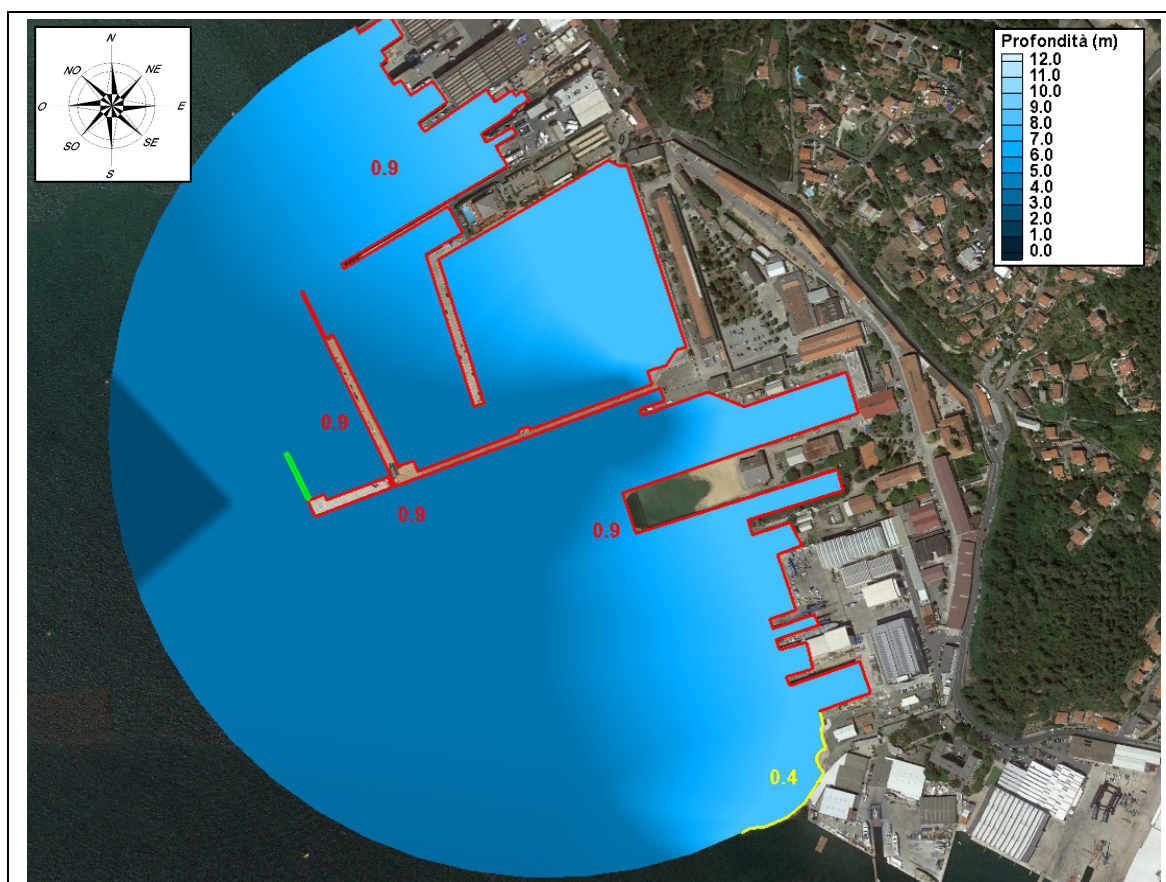



Fig. 7.5 – Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa (fase 1)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 34 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

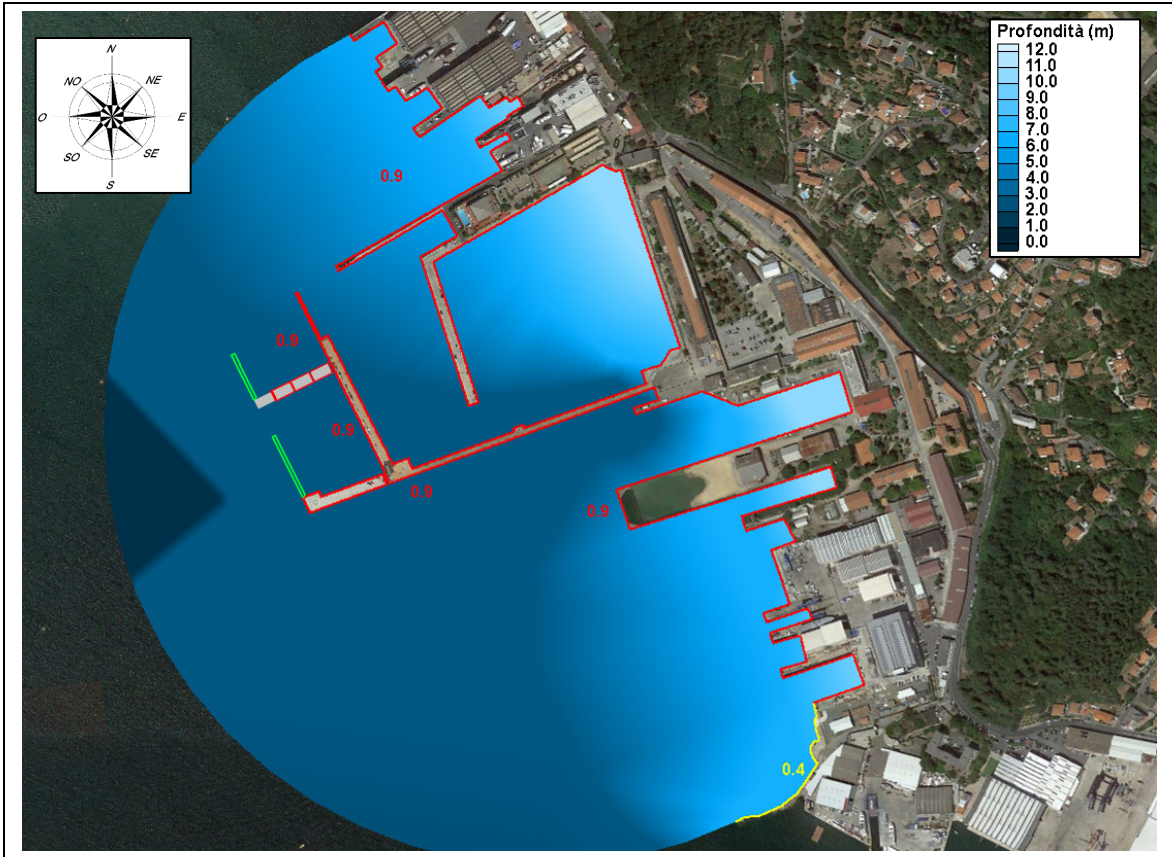



Fig. 7.6 – Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa (fase 2)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 35 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.2.2.2 Coefficienti di trasmissione

Per definire le caratteristiche di trasmissione dei frangiflutti galleggianti che si prevede di impiegare, si è fatto riferimento alle tipiche prestazioni di queste opere.

In particolare, per i principali prodotti disponibili in commercio, vengono forniti i grafici che mettono in relazione l'altezza d'onda incidente con quella trasmessa. Tali grafici, che definiscono le effettive prestazioni della struttura, derivano da studi su modello fisico in scala e mostrano come l'efficacia dei frangiflutti galleggianti diminuisca con l'aumentare del periodo della mareggiata.

In Fig. 7.7 e Fig. 7.8 si riportano i grafici caratteristici di trasmissione dell'onda per frangiflutti di dimensioni 20 x 4 m; i grafici mostrano la variazione del coefficiente di trasmissione (K_t) in funzione del periodo di picco e dell'altezza d'onda (Fig. 7.7) e in funzione del solo periodo di picco (Fig. 7.8).

Alcuni studi eseguiti su modello fisico tridimensionale dall'Università di Padova, i cui risultati sono stati pubblicati ("*Effect of layout on floating breakwater performance: results of wave basin experiments*", Martinelli, Zanuttigh, Ruol, 2007), hanno dimostrato che la trasmissione dell'energia oltre la barriera diminuisce sensibilmente all'aumentare dell'obliquità della direzione di incidenza dell'onda. Nel dettaglio, gli studi hanno evidenziato che il coefficiente di trasmissione varia, seguendo una legge simile a quella del coseno dell'angolo di incidenza, da un valore massimo, per incidenza ortogonale, fino ad un valore nullo, per la condizione di massima obliquità (incidenza parallela alla barriera).

In Fig. 7.9 viene riportato un esempio di come varia il coefficiente di trasmissione (pari a 0.5 per incidenza normale) in funzione dell'obliquità della direzione di incidenza (l'angolo di incidenza è calcolato rispetto alla normale al frangiflutti).

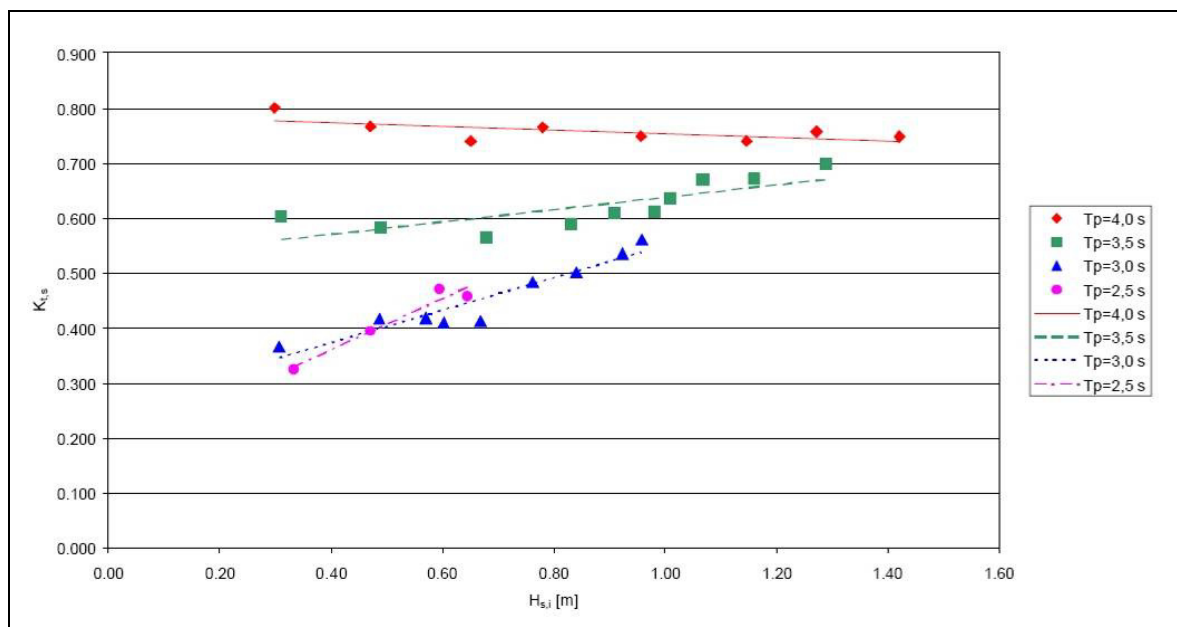


Fig. 7.7 – Variazione del coefficiente di trasmissione (K_t) in funzione del periodo di picco (T_p) e dell'altezza d'onda incidente ($H_{s,i}$)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 36 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

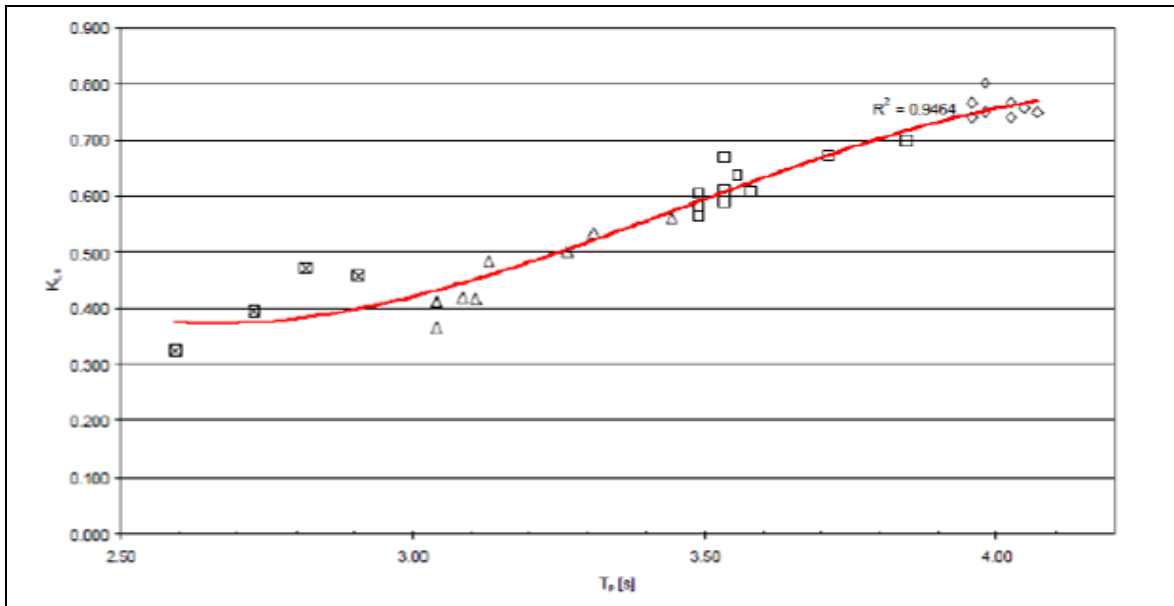


Fig. 7.8 – Variazione del coefficiente di trasmissione (K_t) del periodo di picco (T_p)

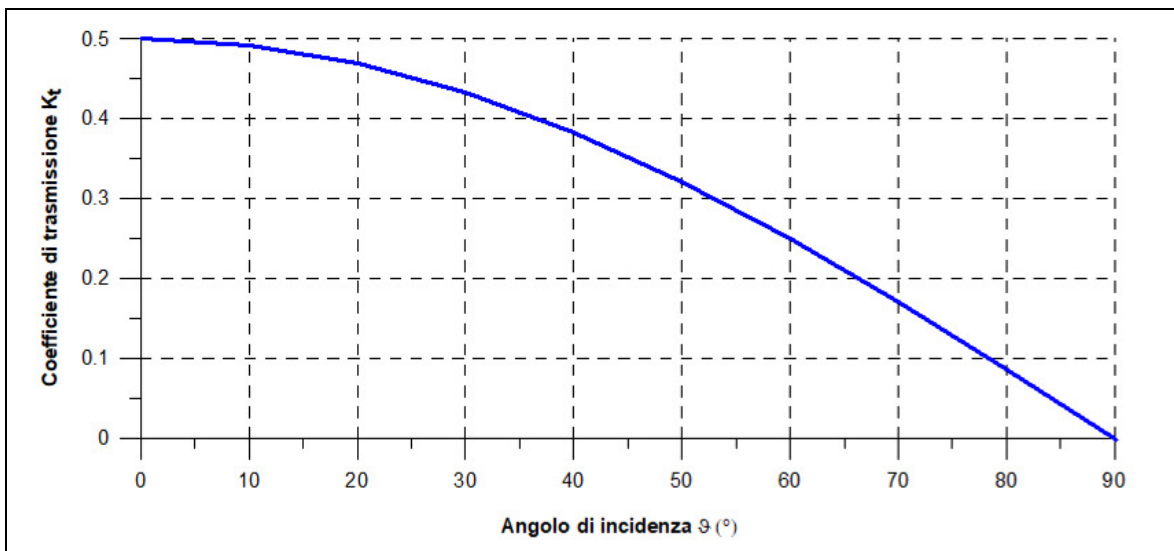



Fig. 7.9 – Variazione del coefficiente di trasmissione (K_t)
in funzione dell'obliquità di incidenza (θ) rispetto alla normale al frangiflutti

Dai grafici riportati si può osservare che l'efficacia delle barriere diminuisce per periodi ed altezze d'onda elevate, ma migliora notevolmente per incidenze oblique del moto ondoso. Tale risultato appare di particolare interesse per l'applicazione della Spezia, dove le mareggiate di Mezzogiorno, caratterizzate dai periodi più elevati, raggiungono le strutture con incidenze molto elevate. Sulla base di tali grafici sono stati ricavati i coefficienti di trasmissione da impiegare nello studio dell'agitazione interna; tali coefficienti, essendo variabili in funzione del periodo, dell'altezza d'onda e dell'angolo di inclinazione, sono stati ricavati per ciascuna delle mareggiate analizzate.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 37 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.3 Agitazione ondosa in configurazione progettuale fase 1

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa su modello matematico CGWAVE sono riportati nei successivi paragrafi.

7.3.1 Mareggiata estrema di Mezzogiorno ($T_R = 50$ anni)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno della zona di espansione di Porto Lotti sono riportati nelle successive figure. In Fig. 7.10 è riportato l'andamento delle creste; in Fig. 7.11 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa nella zona di interesse e nel suo intorno. Le stesse sono riportate in maggiore dettaglio nella Fig. 7.12, dove la scala cromatica è limitata al valore massimo di 0.5 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si osserva che la mareggiata di Mezzogiorno arriva con direzione molto inclinata rispetto ai nuovi frangiflutti galleggianti e viene trasmessa debolmente nella zona di ormeggio. Si può infatti notare che in buona parte del bacino protetto le altezze d'onda sono inferiori ai 40 cm; solo nel tratto più settentrionale si osserva che, per effetto delle riflessioni multiple interne si possono raggiungere, sul molo esistente in palancoato, valori puntuali di poco superiori ai 50 cm.

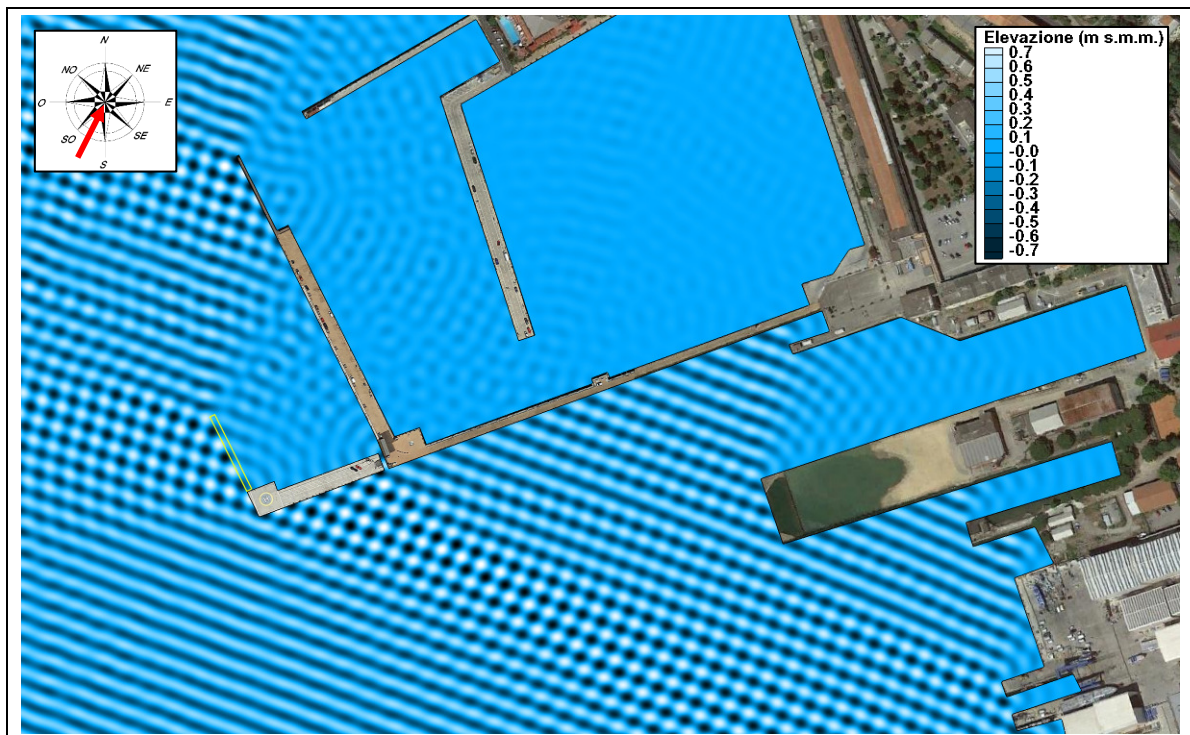


Fig. 7.10 – TEST 1 fase 1: mareggiata estrema di Mezzogiorno, andamento delle creste

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 38 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

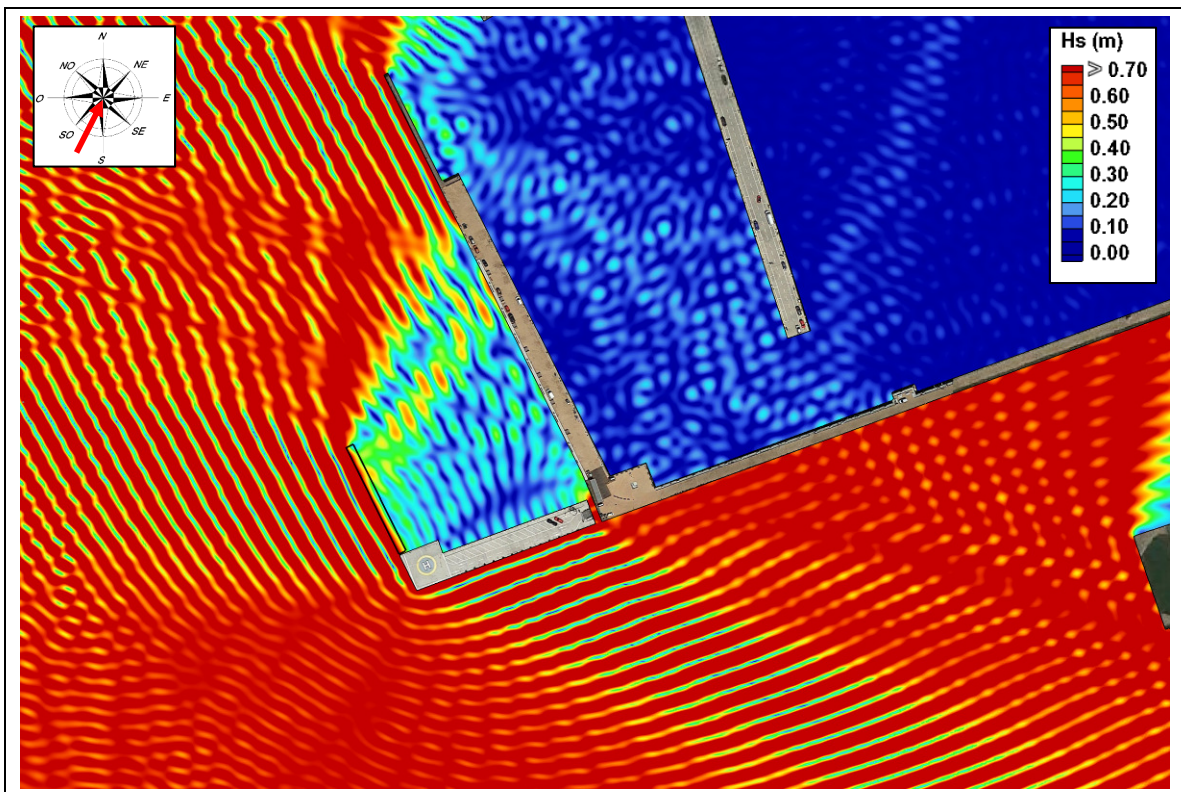


Fig. 7.11– TEST 1 fase 1: mareggiata estrema di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa

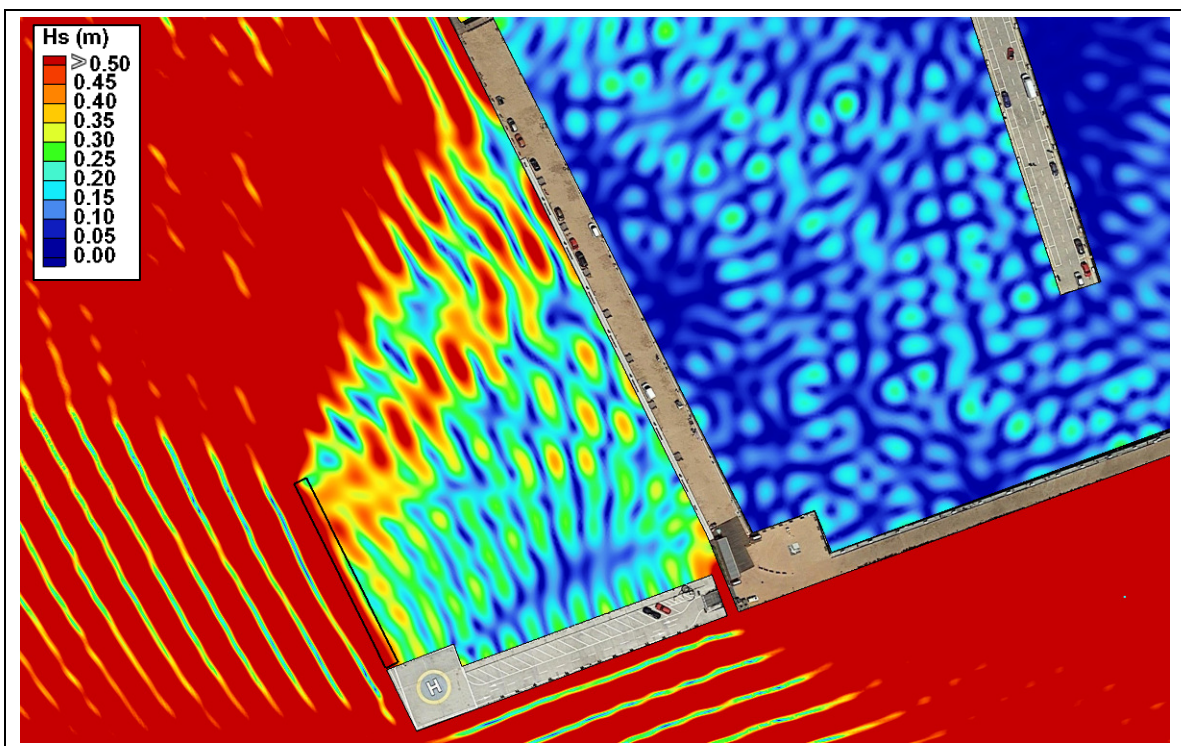



Fig. 7.12 – TEST 1 fase 1: mareggiata estrema di Mezzogiorno, agitazione ondosa nell'area di interesse

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 39 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.3.2 Mareggiata estrema di Libeccio ($T_R = 50$ anni)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno della zona di espansione di Porto Lotti sono riportati nelle successive figure. In Fig. 7.13 viene riportato l'andamento delle creste della mareggiata; in Fig. 7.14 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa all'interno della zona di interesse e nel suo intorno. I medesimi risultati sono riportati, con maggiore dettaglio, in Fig. 7.15, dove la scala cromatica è limitata al valore massimo di a 0.5 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si osserva che, in occasione delle mareggiate di Libeccio, i frangiflutti galleggianti sono in grado di proteggere efficacemente il nuovo bacino, garantendo in ampie zone valori di altezza d'onda inferiori ai 40 cm; tuttavia, per effetto delle riflessioni interne (il molo esistente in palancoolato è completamente riflettente), si raggiungono localmente valori superiori di poco superiori ai 50 cm.

Si rileva anche che, esternamente al bacino protetto (area immediatamente a Nord dove pure si prevede di ormeggiare alcune imbarcazioni), le altezze d'onda risultano piuttosto elevate, con valori che, per effetto della riflessione, possono superare il metro.

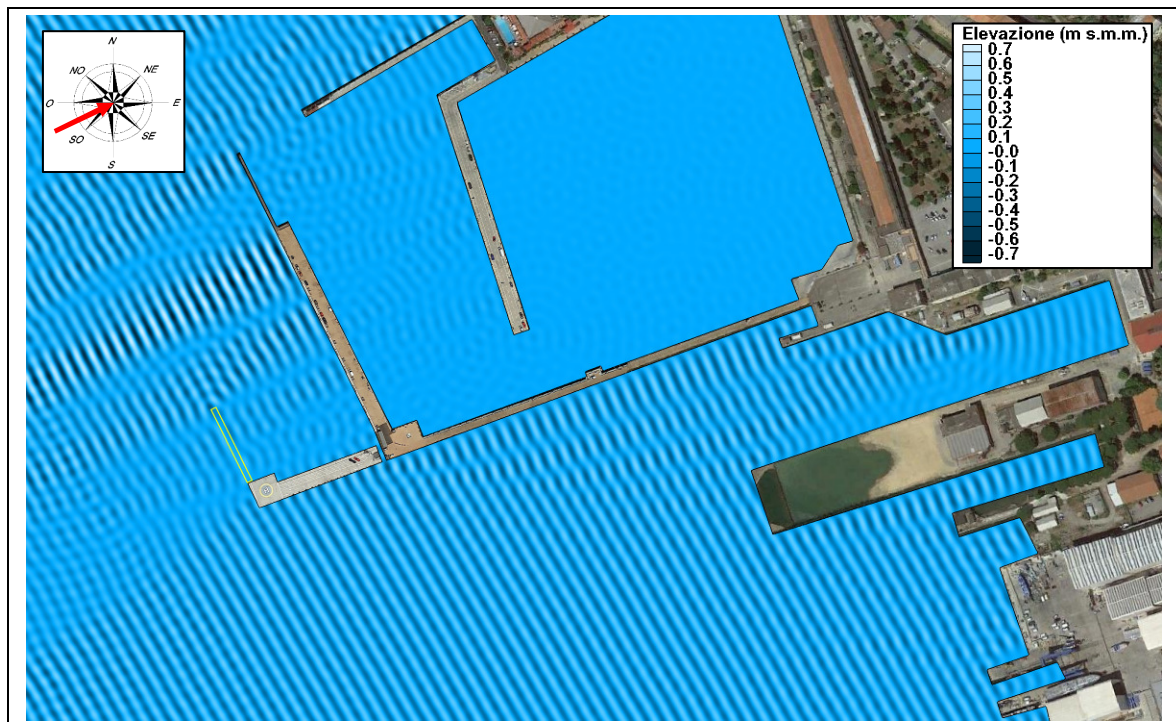



Fig. 7.13 – TEST 2 fase 1: mareggiata estrema di Libeccio, andamento delle creste

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 40 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

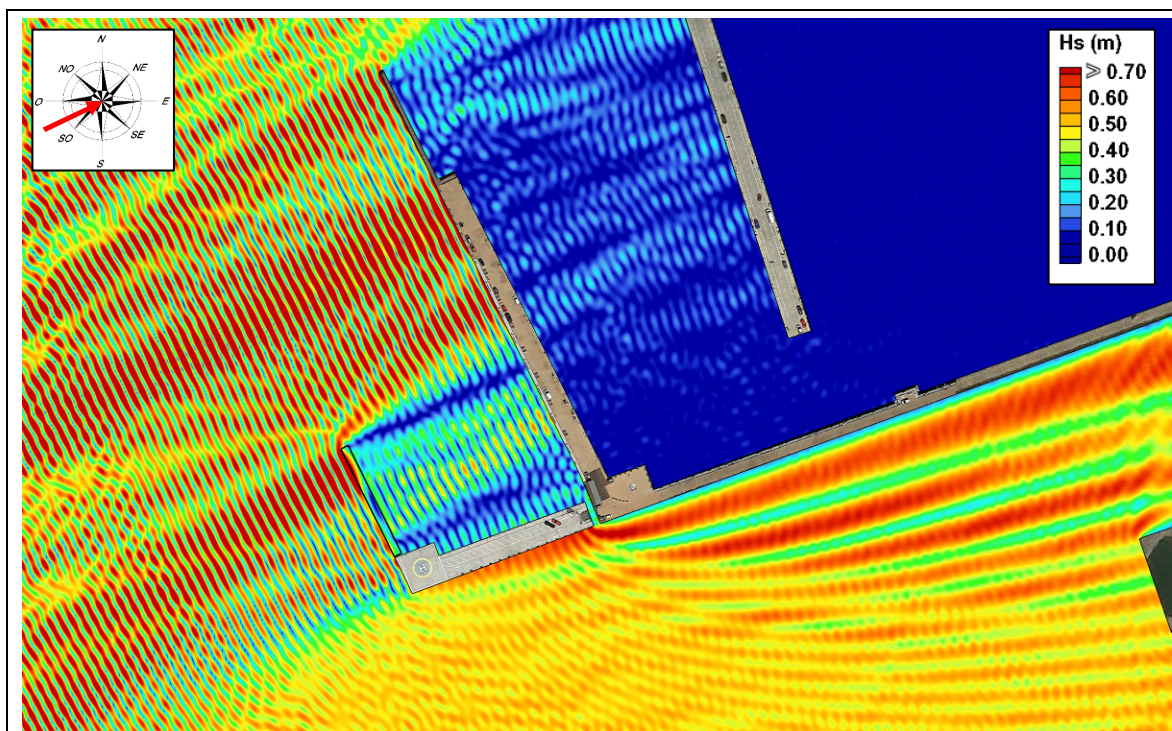


Fig. 7.14 – TEST 2 fase 1: mareggiata estrema di Libeccio, altezza d'onda significativa

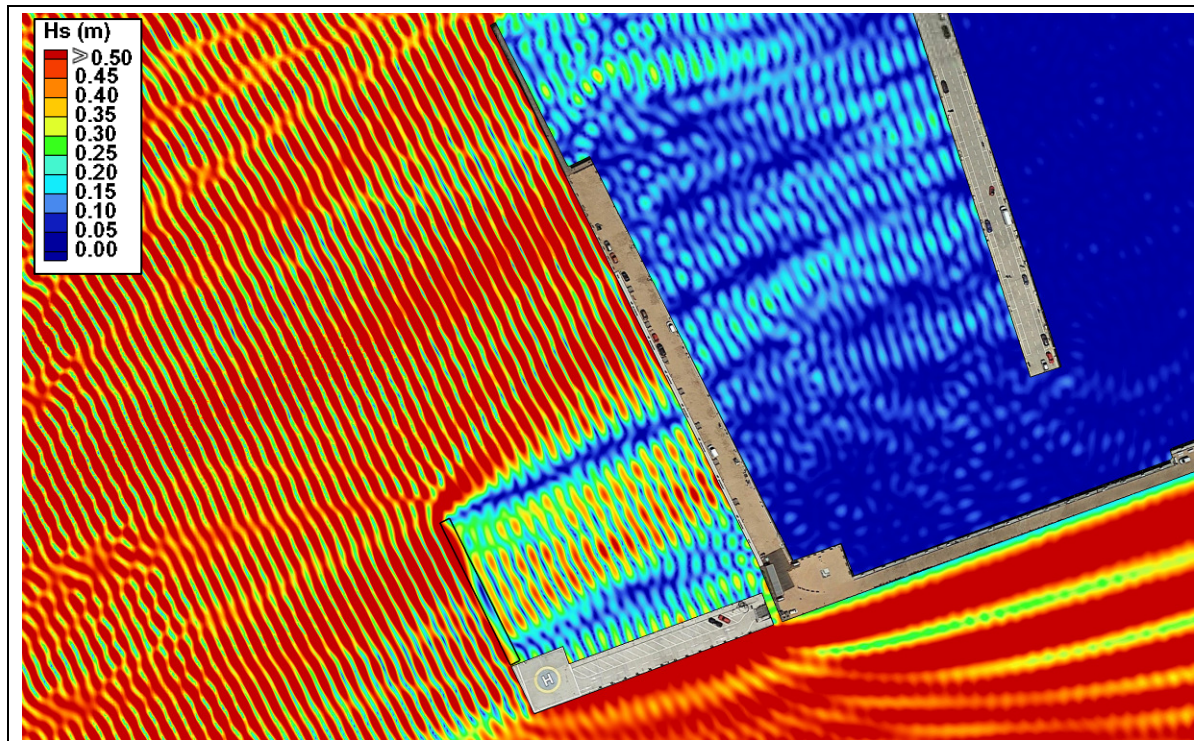



Fig. 7.15 – TEST 2 fase 1: mareggiata estrema di Libeccio, agitazione ondosa nell'area di interesse

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 41 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.3.3 Mareggiata intensa di Mezzogiorno (frequenza 5 giorni/anno)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno della zona di espansione di Porto Lotti sono riportati nelle successive figure. In Fig. 7.16 è riportato l'andamento delle creste della mareggiata; in Fig. 7.17 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa nei pressi e all'interno della zona di interesse. In Fig. 7.18 i medesimi risultati sono riportati con maggiore dettaglio, limitando la scala cromatica al valore massimo pari a 0.15 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si osserva che, in occasione delle mareggiate di Mezzogiorno con frequenza di 5 giorni all'anno, i frangiflutti galleggianti sono in grado di proteggere efficacemente l'area di espansione, garantendo valori di altezza d'onda generalmente inferiori ai 10 cm; in adiacenza ai frangiflutti si raggiungono localmente valori prossimi ai 15 cm.

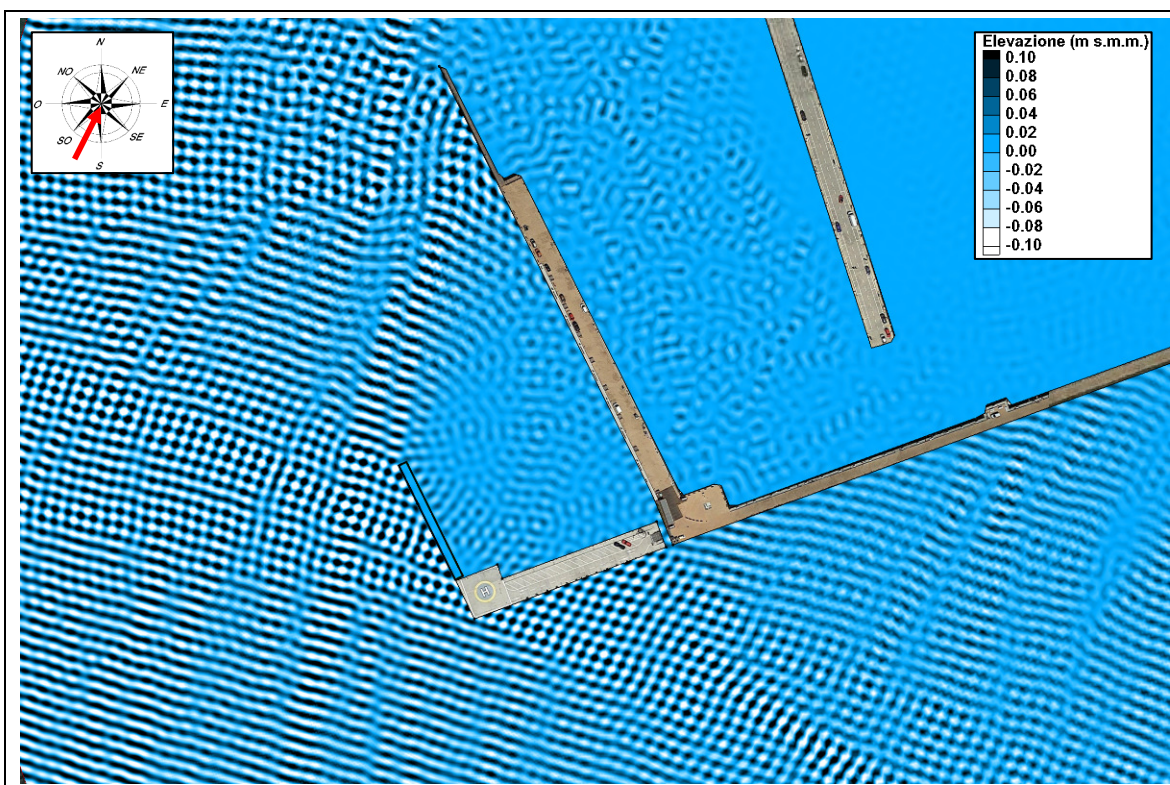



Fig. 7.16 – TEST 3 fase 1: mareggiata intensa di Mezzogiorno, andamento delle creste

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 42 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

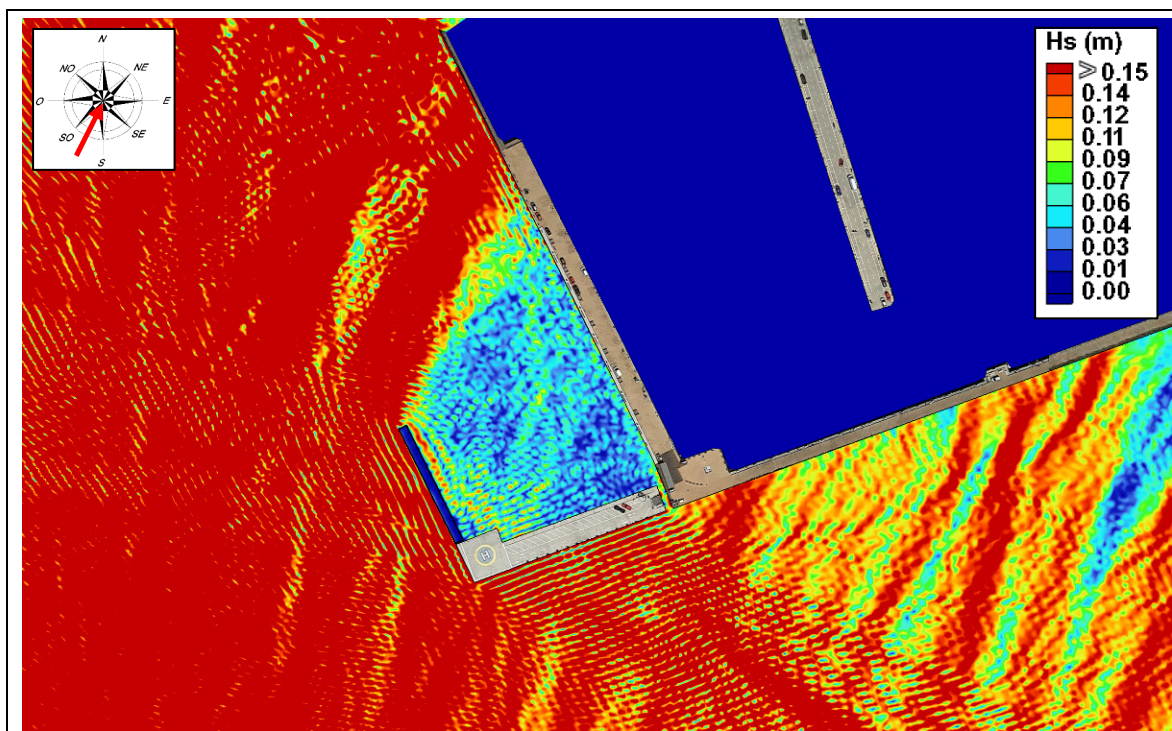


Fig. 7.17 – TEST 3 fase 1: mareggiata intensa di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa

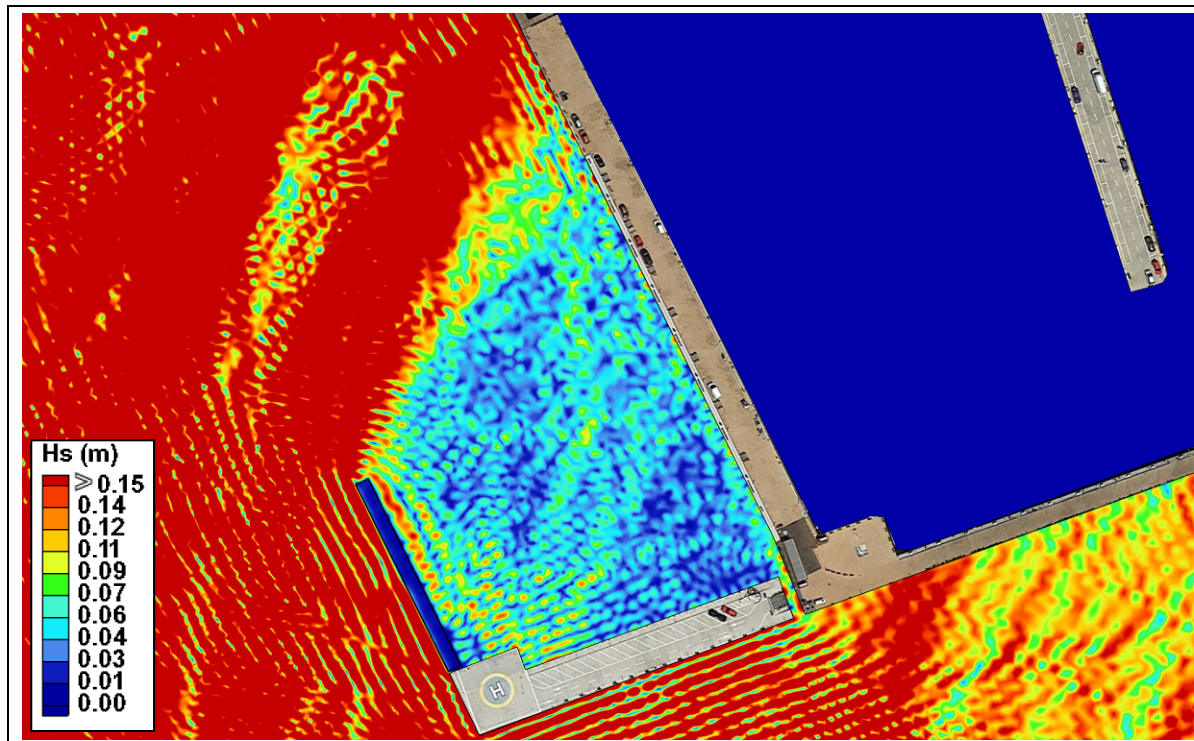



Fig. 7.18 – TEST 3 fase 1: mareggiata intensa di Mezzogiorno, agitazione ondosa nell'area di interesse

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 43 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.4 Agitazione ondosa in configurazione progettuale fase 2

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa su modello matematico CGWAVE sono riportati nei successivi paragrafi.

7.4.1 Mareggiata estrema di Mezzogiorno ($T_R = 50$ anni)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno della zona di espansione di Porto Lotti sono riportati nelle successive figure. In Fig. 7.19 è riportato l'andamento delle creste; in Fig. 7.20 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa nella zona di interesse e nel suo intorno, limitando la scala cromatica al valore massimo di 0.5 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si osserva che la presenza dei 4 cassoni, posti a protezione del bacino Nord, determina nel bacino Sud un sensibile incremento delle altezze d'onda rispetto alla fase 1, per effetto della riflessione. Si possono infatti osservare diverse zone che, per effetto delle riflessioni multiple interne, sono caratterizzate da altezza d'onda superiori ai 50 cm; nel dettaglio la zona più meridionale è caratterizzata da valori di altezza d'onda che solo puntualmente supera i 50 cm, mentre la zona in prossimità dei cassoni è caratterizzata da altezze d'onda che possono raggiungere il metro.

Lo specchio acqueo settentrionale risulta invece efficacemente protetto con altezze d'onda ovunque inferiori ai 50 cm.

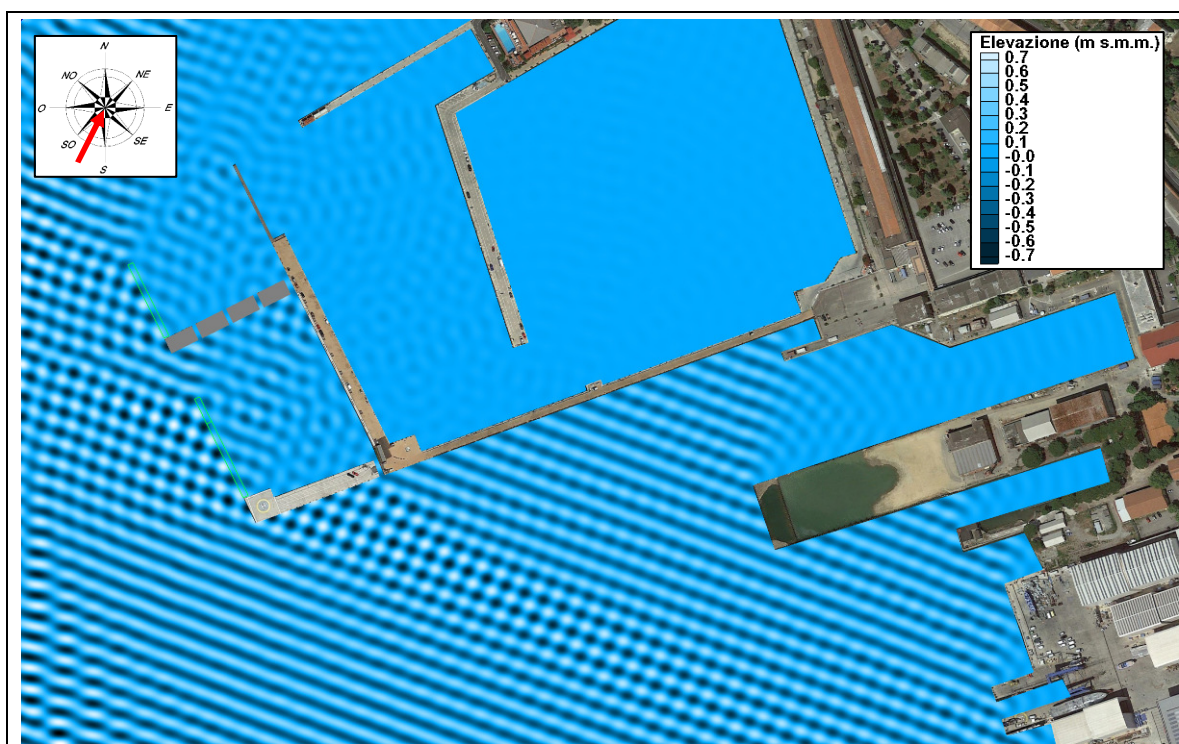


Fig. 7.19 – TEST 1 fase 2: mareggiata estrema di Mezzogiorno, andamento delle creste

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 44 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

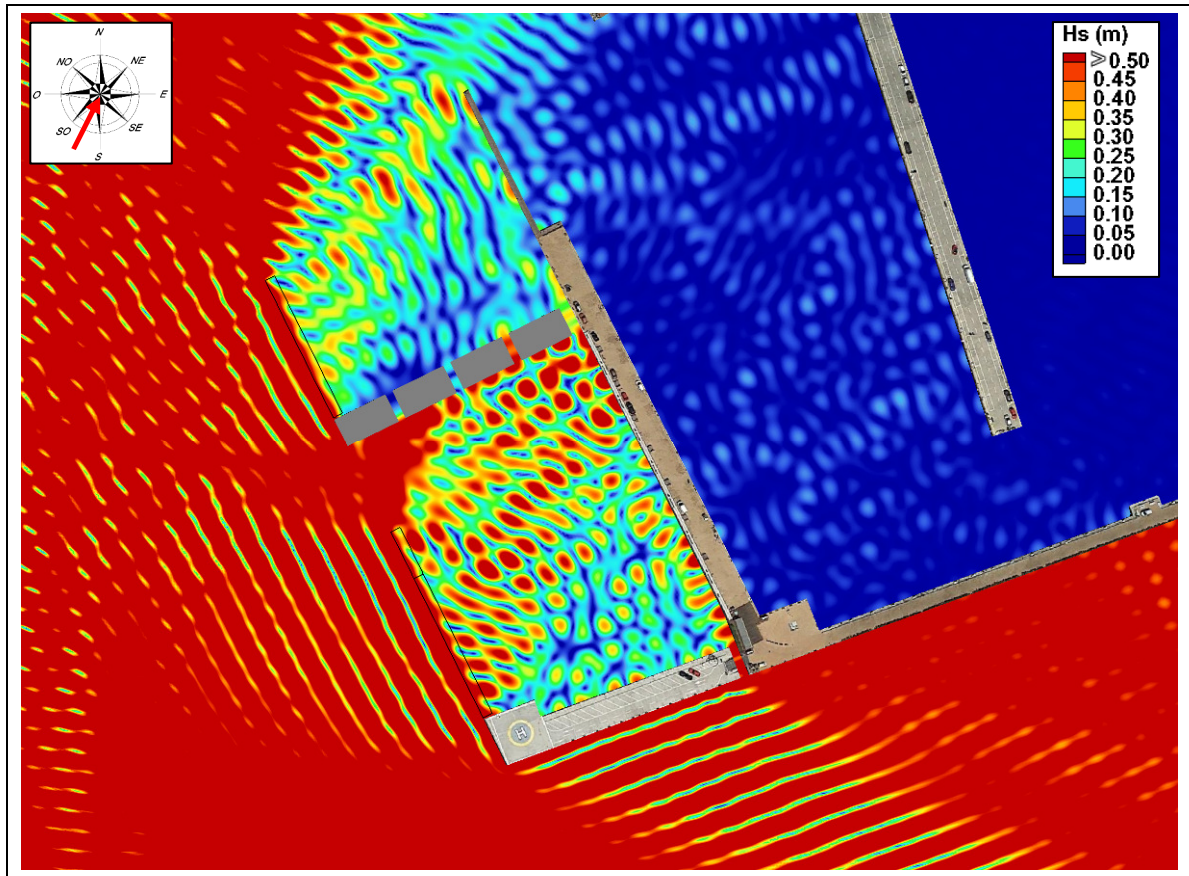



Fig. 7.20 – TEST 1 fase 2: mareggiata estrema di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 45 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.4.2 Mareggiata estrema di Libeccio ($T_R = 50$ anni)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno della zona di espansione di Porto Lotti sono riportati nelle successive figure. In Fig. 7.21 viene riportato l'andamento delle creste della mareggiata; in Fig. 7.22 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa all'interno della zona di interesse e nel suo intorno limitando la scala cromatica al valore massimo di a 0.5 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si osserva che, in occasione delle mareggiate di Libeccio, i frangiflutti galleggianti sono in grado di proteggere efficacemente i due specchi acquei, garantendo in ampie zone valori di altezza d'onda inferiori ai 50 cm; tuttavia, per effetto delle riflessioni interne, nel bacino Sud si raggiungono localmente valori superiori ai 50 cm.

In particolare nell'area più settentrionale del bacino, in adiacenza ai cassoni, le altezze d'onda risultano piuttosto elevate, con valori che, per effetto della riflessione, possono superare il metro.

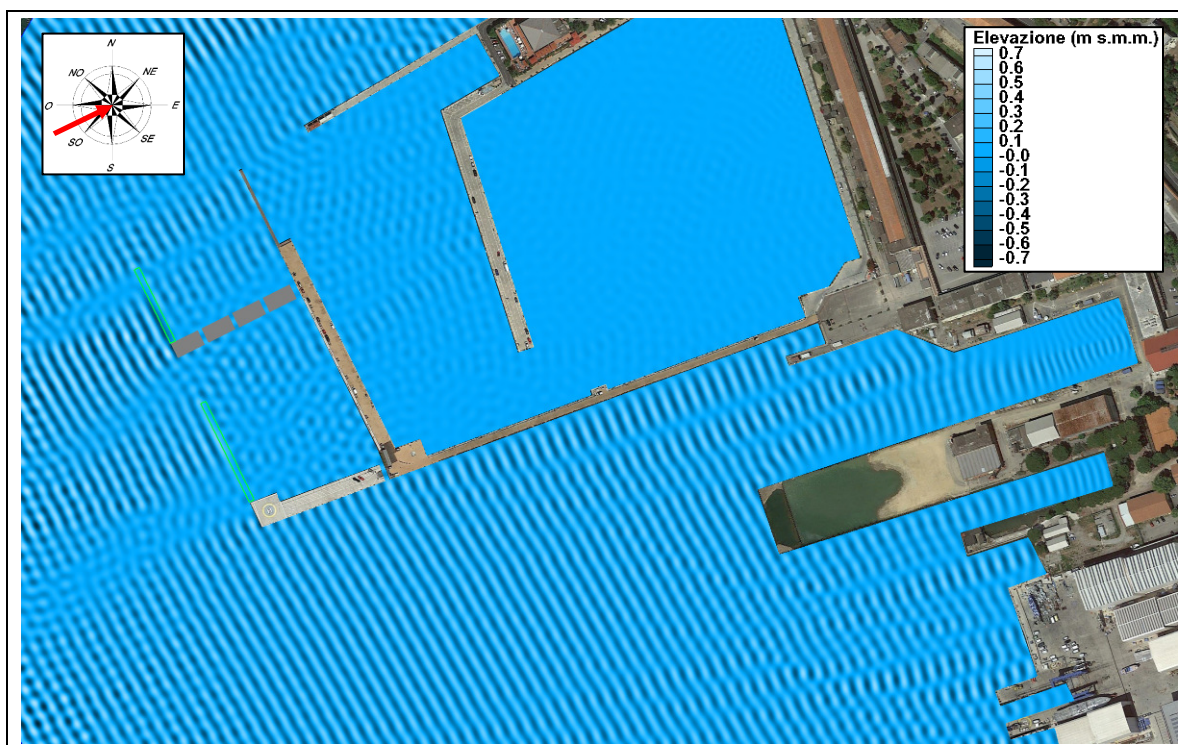



Fig. 7.21 – TEST 2 fase 2: mareggiata estrema di Libeccio, andamento delle creste

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 46 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

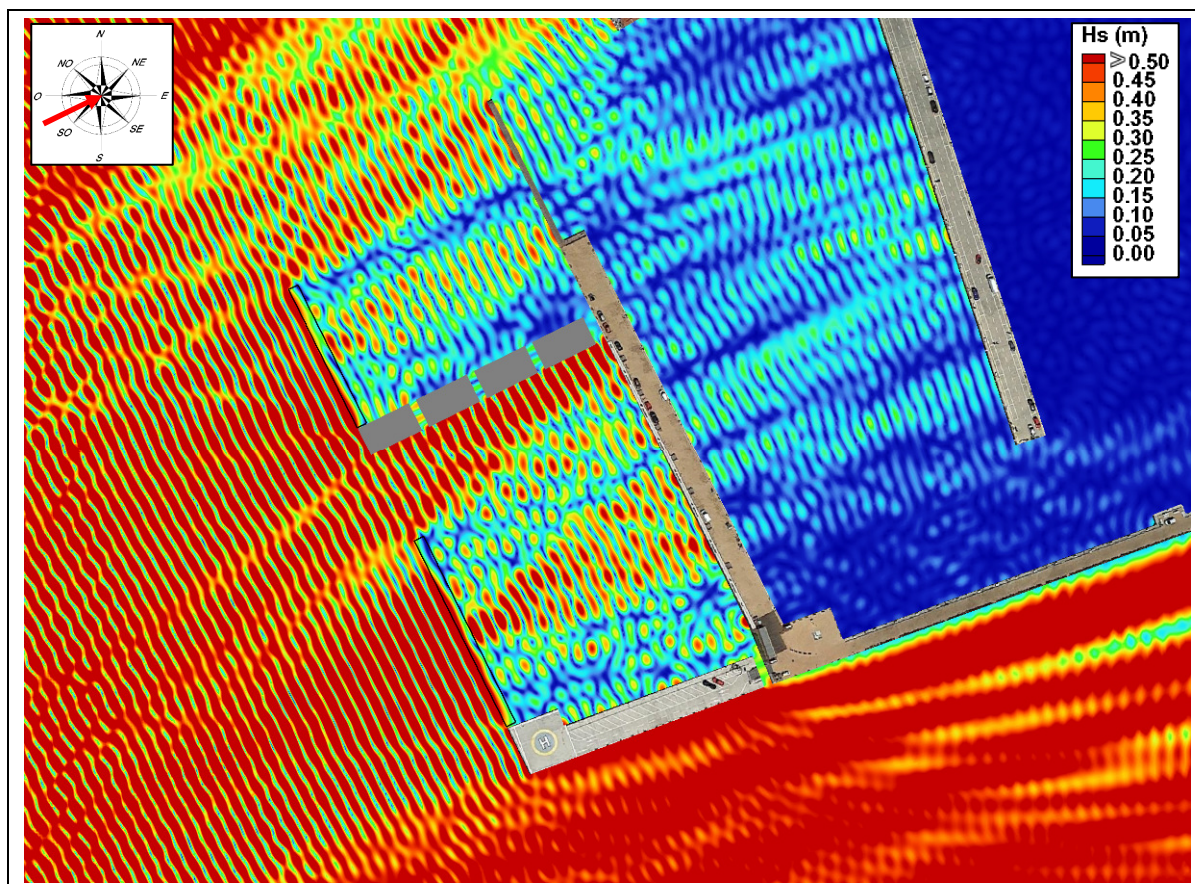


Fig. 7.22 – TEST 2 fase 2: mareggiata estrema di Libeccio, agitazione ondosa nell'area di interesse

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 47 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

7.4.3 Mareggiata intensa di Mezzogiorno (frequenza 5 giorni/anno)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno della zona di espansione di Porto Lotti sono riportati nelle successive figure. In Fig. 7.23 è riportato l'andamento delle creste della mareggiata; in Fig. 7.24 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa nei pressi e all'interno della zona di interesse limitando la scala cromatica al valore massimo pari a 0.15 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si osserva che la presenza dei cassoni determina un generale aumento dell'agitazione ondosa nel bacino Sud anche nel caso della mareggiata intensa di Mezzogiorno. In particolare si osserva che in buona parte del bacino le altezze d'onda sono superiori ai 15 cm e raggiungono puntualmente valori dell'ordine dei 30 cm.

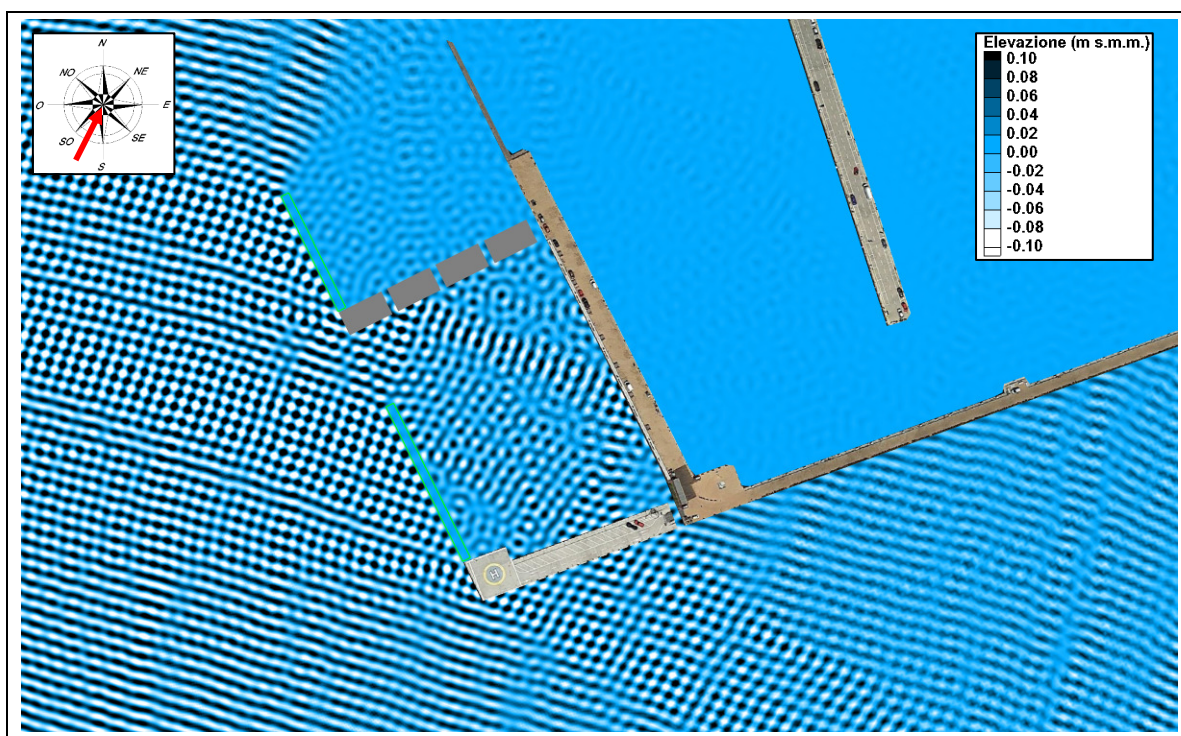


Fig. 7.23 – TEST 3 fase 2: mareggiata intensa di Mezzogiorno, andamento delle creste

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 48 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

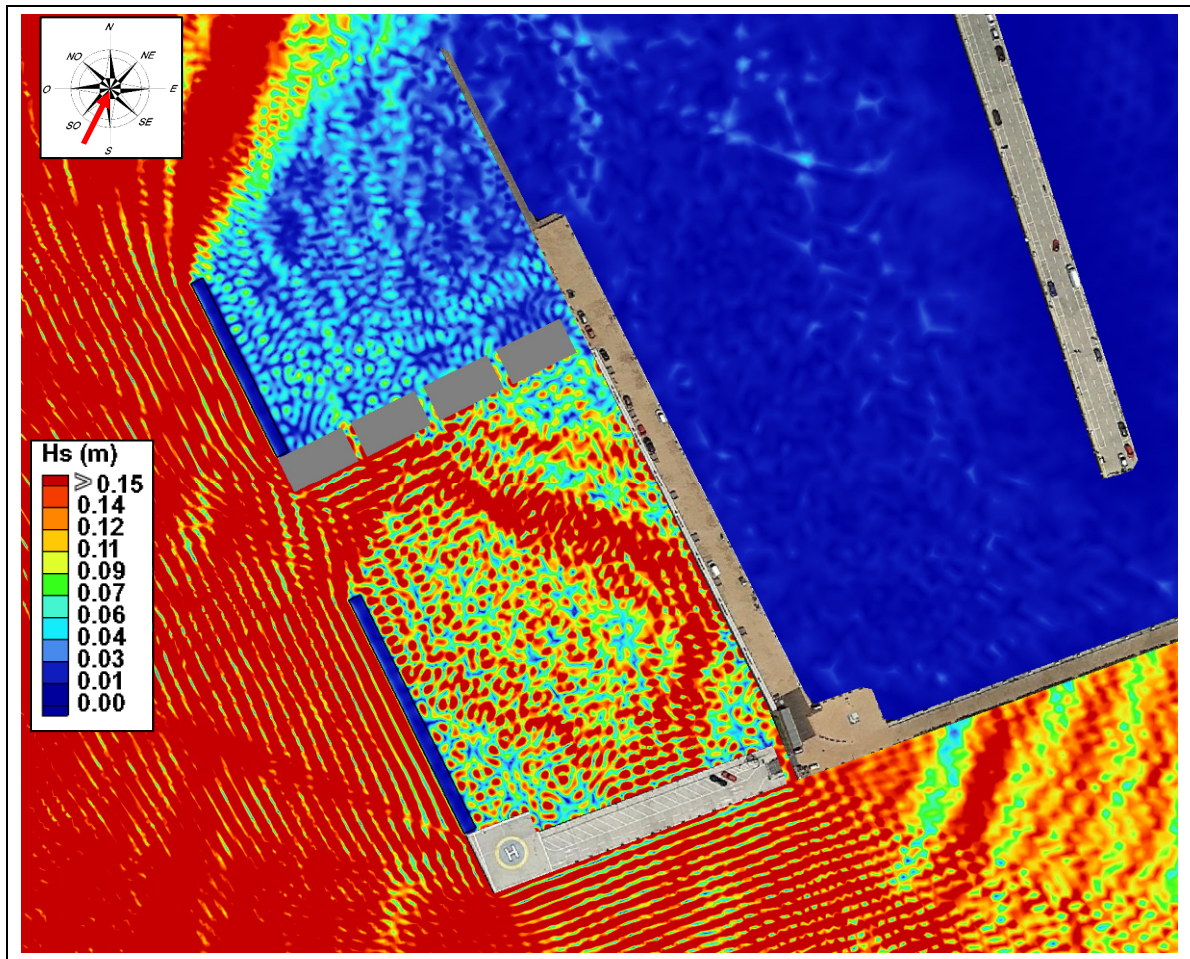



Fig. 7.24 – TEST 3 fase 2: mareggiata intensa di Mezzogiorno, agitazione ondosa nell'area di interesse

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

8 CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dalle simulazioni nella configurazione di progetto sono stati analizzati in relazione ai valori consigliati dal PIANC. Si sottolinea comunque che i limiti del PIANC rappresentano dei valori consigliati e che standard diversi, ritengono accettabili per l'ormeggio di imbarcazioni di grandi dimensioni (superiori a 20 m) anche valori di altezza d'onda superiori.

Si fa inoltre presente che, nella realtà, i valori di altezza d'onda risultanti dalle simulazioni possano essere significativamente ridotti sia per effetto della presenza delle stesse imbarcazioni che per l'attenuazione del moto ondoso riflesso per azione del vento, che non è stato possibile modellare.

8.1 Fase 1

Dall'analisi dei risultati per la fase 1 si evince che, per le mareggiate estreme (Fig. 8.1 e Fig. 8.2), i frangiflutti galleggianti sono in grado di garantire in buona parte del nuovo bacino protetto valori di altezza d'onda inferiori ai limiti consigliati.

Si riscontra tuttavia che, localmente, a causa delle riflessioni multiple che occorrono tra i nuovi frangiflutti e il molo esistente in palancolato, l'altezza d'onda può superare i 50 cm, raggiungendo, anche se solo in aree limitate, valori prossimi ai 60 cm. Questi valori di altezza d'onda possono essere comunque compatibili con la sicurezza degli ormeggi nel caso di imbarcazioni di grandi dimensioni come quelle che si prevede di ormeggiare (da 40 a 60 m).


Si rileva infine che, nella porzione più settentrionale del nuovo bacino, dove si prevede di ormeggiare le imbarcazioni più grandi, le condizioni di agitazione ondosa risultano più gravose, in particolare per la mareggiata di Libeccio (Fig. 8.2), per la quale si possono teoricamente raggiungere valori di altezza d'onda prossimi al metro.

Come anticipato, si osserva che standard diversi dal PIANC, per esempio gli Australian Standard (AS 3962), ritengono accettabili per l'ormeggio di imbarcazioni di grandi dimensioni (superiori a 20 m) anche altezze d'onda superiori a 0.75 m, nel caso in cui l'onda arrivi di prua. Ovviamente, in questo caso, andrebbe sviluppato uno studio specifico dell'ormeggio per verificare il dimensionamento dei corpi morti e le sollecitazioni sull'imbarcazione.

Per quanto riguarda le mareggiate intense più frequenti, caratterizzate da frequenza pari a 5 giorni/anno (Fig. 8.3) e provenienti da Mezzogiorno, i frangiflutti galleggianti sono in grado di garantire in tutta l'area protetta valori di altezza d'onda abbondantemente inferiori ai limiti consigliati.

Si può tuttavia ipotizzare che nell'area più settentrionale, dove si prevede di ormeggiare le imbarcazioni maggiori, le condizioni di agitazione ondosa per le mareggiate di Libeccio possano presentare altezze maggiori ai limiti consigliati, ma compatibili con la presenza di imbarcazioni di grandi dimensioni. Considerando che la mareggiata incidente di Libeccio (non simulata) è caratterizzata da un'altezza significativa di 15 cm, si può ipotizzare che, per effetto delle riflessioni, i valori di altezza nello specchio acqueo immediatamente a Nord della protezione dei nuovi frangiflutti, possano raggiungere i 25-30 cm.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 50 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

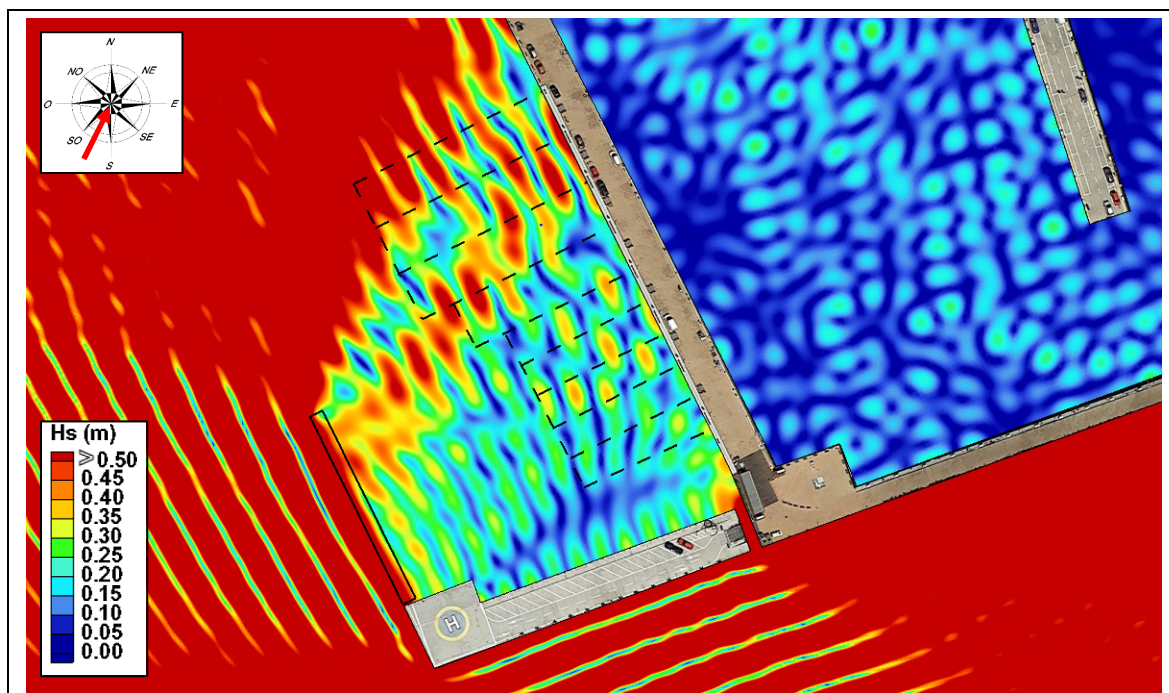


Fig. 8.1 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata estrema ($T_R=50$ anni) di Mezzogiorno – Fase 1

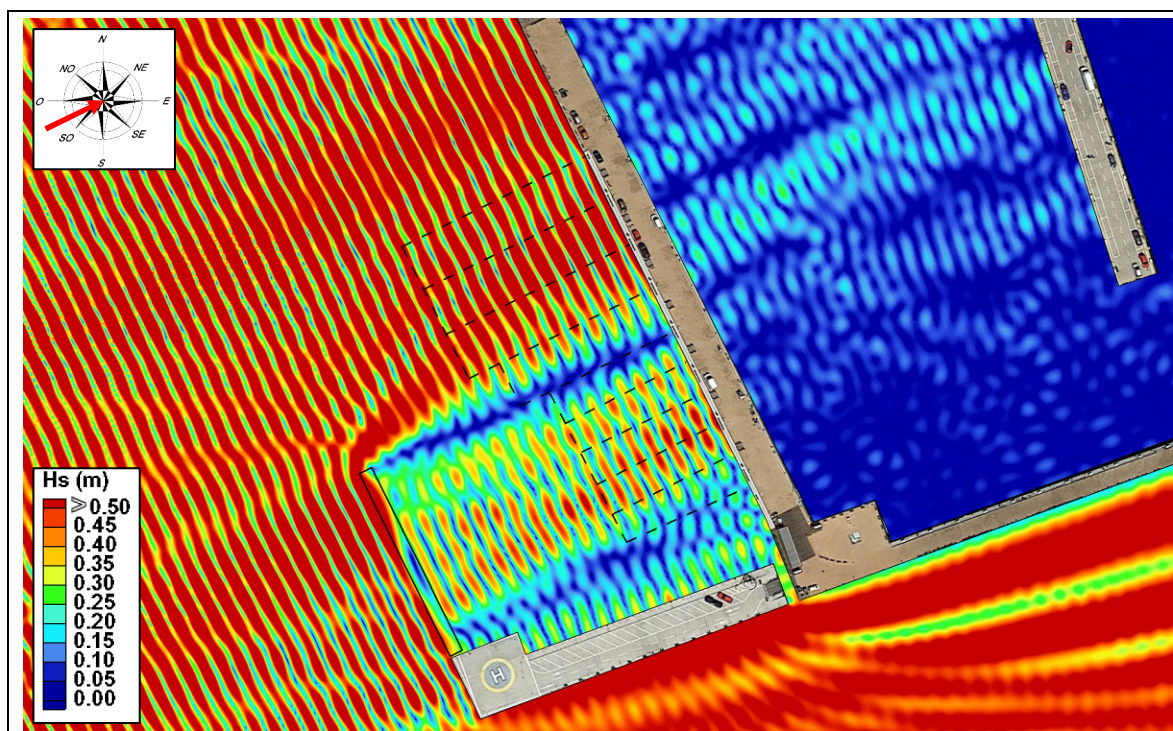



Fig. 8.2 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata estrema ($T_R=50$ anni) di Libeccio – Fase 1

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 51 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

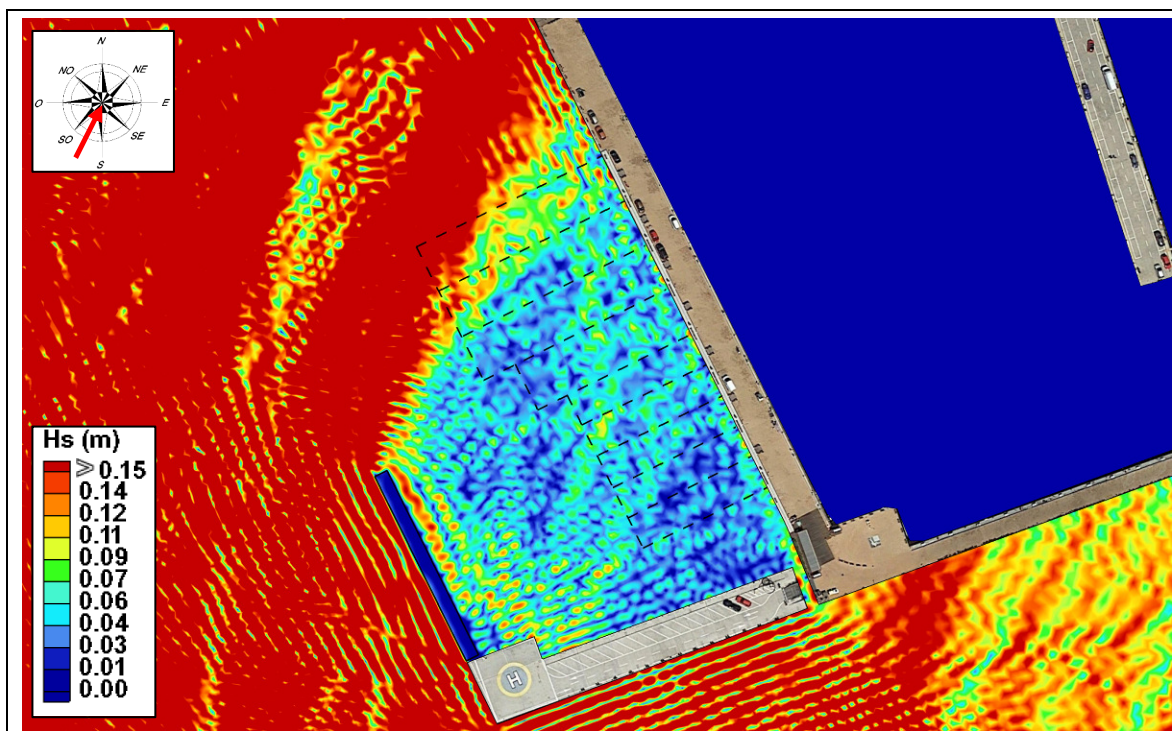



Fig. 8.3 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata intensa (frequenza=5 giorni/anno) di Mezzogiorno
– Fase 1

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 52 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

	TITOLO: STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA ZONA DI ESPANSIONE DI PORTO LOTTI	COMMITTENTE: PORTO LOTTI S.p.A.
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

8.2 Fase 2

Dall'analisi dei risultati per la fase 2, si evince che la presenza dei cassoni posti a protezione del bacino Nord determinano, per effetto della riflessione, un generale aumento dell'agitazione ondosa nel bacino Sud rispetto alla fase 1.

Si osserva invece che il layout finale offre una efficace protezione del bacino Nord per tutte le mareggiate considerate, con valori di altezza d'onda ampiamente inferiori agli standard AIPCN.

Per le mareggiate estreme (Fig. 8.4 e Fig. 8.5), si osservano nel bacino Sud ampie aree caratterizzate da altezze d'onda superiori ai 50 cm; in particolare, nella parte più settentrionale del bacino, dove si prevede di ormeggiare le imbarcazioni più grandi, si raggiungono valori di altezza d'onda prossimi al metro. Come indicato nel paragrafo precedente, questi valori di altezza d'onda potrebbero essere comunque compatibili con la sicurezza degli ormeggi nel caso di imbarcazioni di grandi dimensioni come quelle che si prevede di ormeggiare (da 40 a 60 m). Ovviamente, anche in questo caso, andrebbe sviluppato uno studio specifico dell'ormeggio per verificare il dimensionamento dei corpi morti e le sollecitazioni sull'imbarcazione.

Anche per quanto riguarda le mareggiate intense, caratterizzate da frequenza pari a 5 giorni/anno (Fig. 8.6) e provenienti da Mezzogiorno, si osserva che la presenza dei cassoni favorisce l'instaurarsi nel bacino Sud di condizioni di agitazione ondosa con altezze d'onda superiori a quelle consigliate dall'AIPCN. In particolare, si osserva che in buona parte del bacino Sud l'altezza d'onda supera i 15 cm, raggiungendo in diverse aree valori prossimi o superiori ai 30 cm.

Considerate le dimensioni delle imbarcazioni che verranno ormeggiate (da 40 a 60 m), tali valori di agitazione ondosa non dovrebbero comunque provocare problemi al comfort delle persone all'interno delle imbarcazioni stesse. Si sottolinea inoltre che questi eventi, caratterizzati da raffiche di vento con durate di poche ore, sono in grado di generare rapidamente il moto ondoso all'interno della rada di La Spezia, ma che altrettanto rapidamente tale moto ondoso si esaurisce in quanto le lunghezze dei fetches del paraggio non permettono la generazione di componenti di swell (onde di mare lungo). Conseguentemente tali mareggiate sono caratterizzate da durate piuttosto limitate e generano condizioni di agitazione ondosa che si esauriscono nell'arco di poche ore, non rappresentando di conseguenza una significativa limitazione al comfort delle imbarcazioni ormeggiate.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 53 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

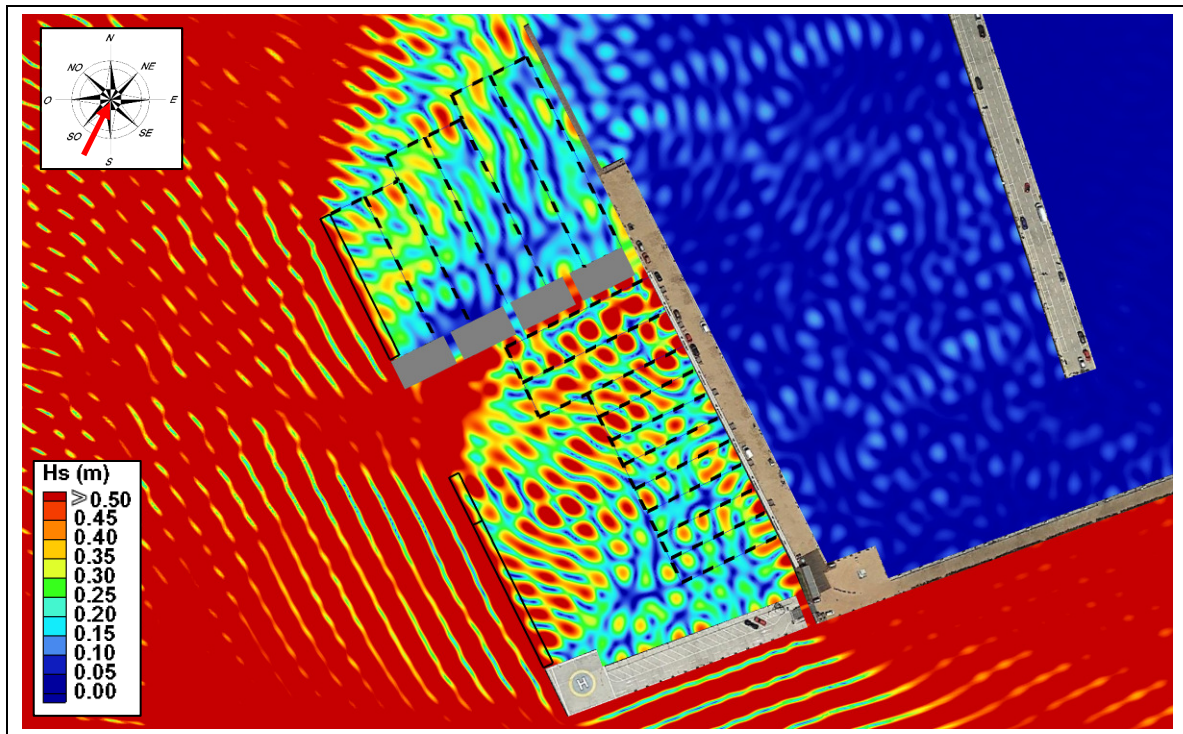


Fig. 8.4 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata estrema ($T_R=50$ anni) di Mezzogiorno – Fase 2

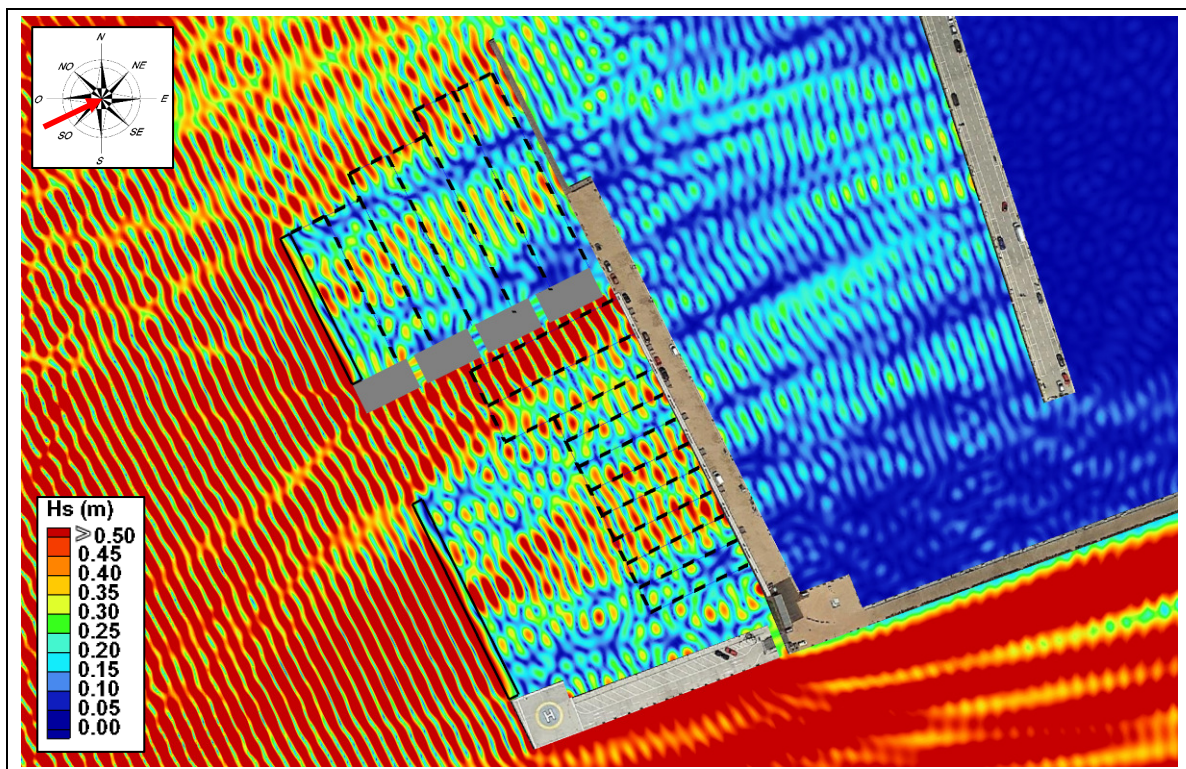


Fig. 8.5 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata estrema ($T_R=50$ anni) di Libeccio – Fase 2

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 54 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	

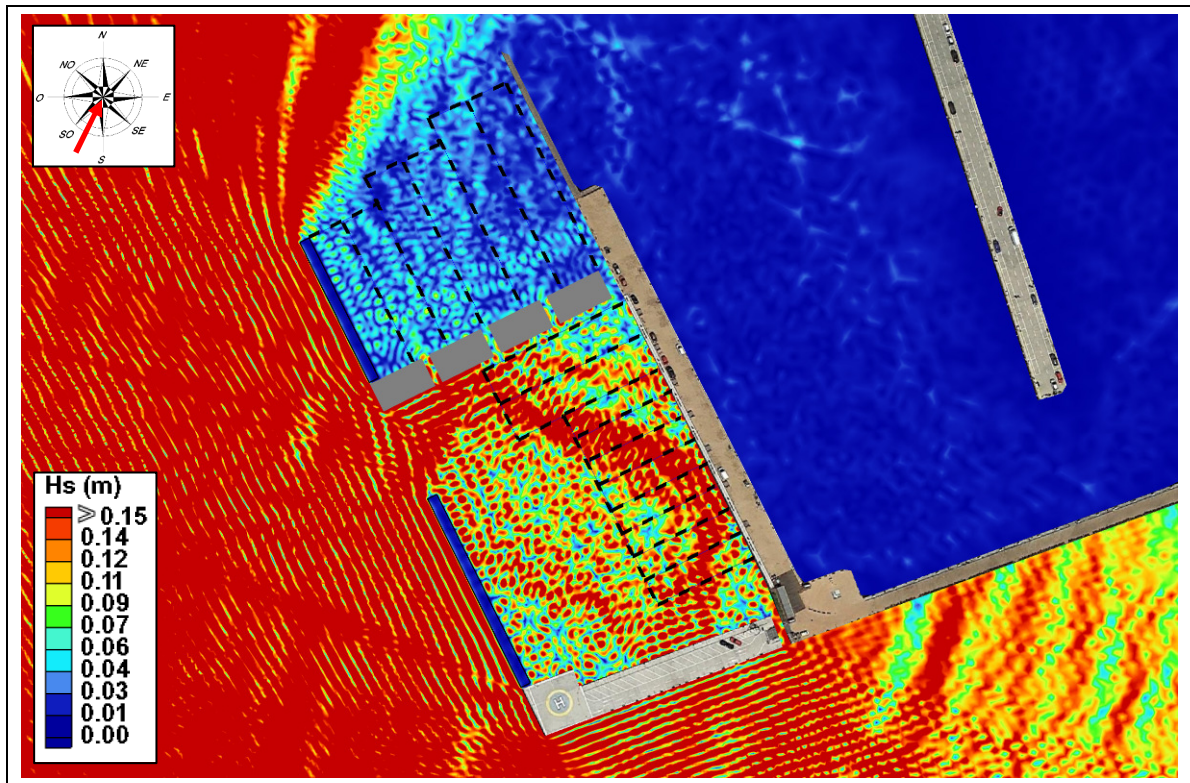


Fig. 8.6 – Condizioni di agitazione ondosa per la mareggiata intensa (frequenza=5 giorni/anno) di Mezzogiorno
– Fase 2

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM790-18	REVISIONE: 00	Pagina 55 di 55
VERIFICATO: MT	FILE: HSM790-18-RELAZIONE-REV01.doc	DATA: Mag. 2019	