



Regione
Liguria

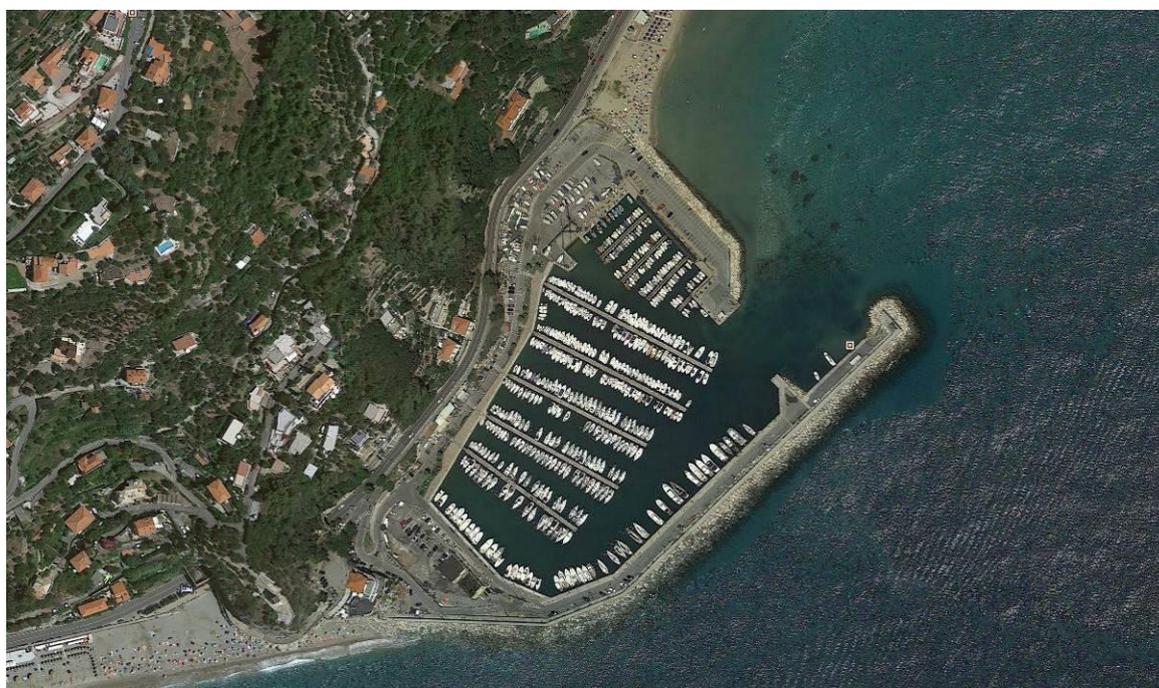
Comune di
Andora



Committente:

COMUNE DI ANDORA

STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA



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: HSM822-19

REV: 00

Data: Dicembre 2019

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

INDICE

<u>1</u>	<u>PREMESSA</u>	<u>6</u>
<u>2</u>	<u>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</u>	<u>7</u>
2.1	FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI	7
<u>3</u>	<u>REGIME DELLE MAREE</u>	<u>10</u>
<u>4</u>	<u>MOTO ONDOSO AL LARGO</u>	<u>12</u>
4.1	DATI ACQUISITI DAL DICCA	12
4.1.1	Correlazione tra altezza-e periodo per gli eventi di moto ondoso	16
4.1.2	Analisi degli eventi estremi al largo	17
4.1.2.1	<i>Correlazione tra altezza-e periodo per gli eventi estremi</i>	20
4.2	DATI REGISTRATI DALLA BOA ROL DI CAPO MELE	22
<u>5</u>	<u>PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA DEGLI EVENTI ONDOSI</u>	<u>26</u>
5.1	DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO STWAVE	26
5.2	EVENTI ESTREMI	30
5.3	EVENTI CARATTERIZZATI DA FREQUENZA PARI A 5 GIORNO ALL'ANNO	31
5.4	CARATTERISTICHE DELLE MAREGGIATE PROPAGATE	31
5.5	SETTAGGIO DEL MODELLO	32
5.6	PROPAGAZIONI LOCALI DELLE MAREGGIATE	33
<u>6</u>	<u>STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE ATTUALE</u>	<u>39</u>
6.1	DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO CGWAVE	39
6.1.1	Caratteristiche generali di CGWAVE	39
6.1.2	Cenni sulle formulazioni di CGWAVE	40
6.1.3	Condizioni al contorno	41
6.2	SETTAGGIO DEL MODELLO	43
6.2.1	Caratteristiche delle mareggiate analizzate	44
6.2.2	Definizione del contorno inshore	46

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 1 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.2.2.1	Coefficienti di riflessione	47
6.3	RISULTATI DELLO STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE ATTUALE	48
6.3.1	Verifica della condizione "limite" ($T_R = 50$ anni)	48
6.3.1.1	Agitazione ondosa per la mareggiata estreme di Levante TEST8	49
6.3.1.2	Agitazione ondosa per la mareggiata estreme di Levante-Scirocco TEST9	51
6.3.1.3	Agitazione ondosa per la mareggiata estreme di Mezzogiorno-Libeccio TEST10	53
6.3.2	Verifica della condizione "di sicurezza" ($T_R = 5$ anni)	55
6.3.2.1	Agitazione ondosa per la mareggiata estreme di Levante TEST5	56
6.3.2.2	Agitazione ondosa per la mareggiata estreme di Levante-Scirocco TEST6	58
6.3.2.3	Agitazione ondosa per la mareggiata estreme di Mezzogiorno-Libeccio TEST7	60
6.3.3	Verifica delle condizioni "di comfort" (frequenza 5 giorni/anno)	62
6.3.3.1	Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Levante ($90^\circ N$) TEST1	63
6.3.3.2	Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Levante ($100^\circ N$) TEST2	65
6.3.3.3	Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Levante ($110^\circ N$) TEST3	67
6.3.3.4	Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Mezzogiorno ($180^\circ N$) TEST4	69
7	<u>DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI</u>	71
7.1	INTERVENTO SUL LATO EST DEL VECCHIO MOLO DI SOTTOFLUTTO	72
7.2	INTERVENTO SULLE BANCHINE DEL VECCHIO BACINO PORTUALE	73
8	<u>STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO</u>	75
8.1	SETTAGGIO DEL MODELLO	75
8.1.1	Caratteristiche delle mareggiate analizzate	75
8.1.2	Caratteristiche delle opere in progetto	76
8.2	AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO	78
8.2.1	Verifica della condizione "limite" ($T_R = 50$ anni)	78
8.2.1.1	Agitazione ondosa per la mareggiata estreme di Levante TEST8	78
8.2.2	Verifica della condizione "di sicurezza" ($T_R = 5$ anni)	80
8.2.2.1	Agitazione ondosa per la mareggiata estreme di Mezzogiorno-Libeccio TEST5	80
8.2.3	Verifica delle condizioni "di comfort" (frequenza 5 giorni/anno)	82
8.2.3.1	Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Levante ($90^\circ N$) TEST1	82
9	<u>CONCLUSIONI</u>	84

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 2 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 – Inquadramento geografico del paraggio	7
Fig. 2.2 – Fetch geografici per il paraggio oggetto di studio	8
Fig. 2.3 – Fetch efficaci per il paraggio oggetto di studio	9
Fig. 3.1 – Stazione R.M.N. di Imperia	10
Fig. 3.2 – Andamento del livello del mare relativo al periodo gennaio 2010 - novembre 2019 (stazione ISPRA R.M.N. di Imperia).....	11
Fig. 4.1 – Dominio del modello di generazione tipo Wave Watch III per l'area del Mediterraneo.....	12
Fig. 4.2– Posizione del punto (UNIGE, 8°14'2.40"E, 43°51'36"N) cui si riferiscono i dati di moto ondoso dell'Università di Genova e della Boa ROL	13
Fig. 4.3 – Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) Punto UNIGE	15
Fig. 4.4 – Curva di durata Punto UNIGE.....	16
Fig. 4.6 – Correlazione HS-TP per gli eventi estremi nel settore 90-180°N.....	16
Fig. 4.7 – Correlazione H _S -T _P per gli eventi estremi nel settore 180-270°N	17
Fig. 4.8 – Distribuzione degli eventi estremi considerati nell'analisi di Gumbel	19
Fig. 4.9 – Statistica degli estremi	20
Fig. 4.10 – Correlazione H _S -T _P per gli eventi estremi nel settore 90-180°N.....	21
Fig. 4.11 – Correlazione H _S -T _P per gli eventi estremi nel settore 180-270°N.....	21
Fig. 4.11 – Posizione della Boa ROL di Capo Mele	22
Fig. 4.13 – Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) Boa di Capo Mele	24
Fig. 4.14 – Comparazione tra dati registrati dalla Boa di Capo Mele e dati da hindcast elaborati dall'Università di Genova.....	25
Fig. 2.1 – Spettro monodimensionale	27
Fig. 2.2 – Convenzioni griglia STWAVE.....	28
Fig. 2.3 – Input e Output STWAVE	28
Fig. 5.1 – Eventi massimi annuali e individuazione delle direzioni di provenienza delle mareggiate estreme propagate	30
Fig. 5.2 – Curva di durata locale per i due settori di traversia.....	31
Fig. 5.3 – Griglie e dominio di calcolo impiegati per lo studio della propagazione del clima ondoso.....	33
Fig. 5.4 – TEST 1 (Frequenza = 5 giorni/anno) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 1.39 m, TP = 6.4 s, Dir = 90°N	34
Fig. 5.5 – TEST 2 (Frequenza = 5 giorni/anno) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 1.39 m, TP = 6.4 s, Dir = 100°N	34
Fig. 5.6 – TEST 3 (Frequenza = 5 giorni/anno) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 1.39 m, TP = 6.4 s, Dir = 110°N	35
Fig. 5.7 – TEST 4 (Frequenza = 5 giorni/anno) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 2.54 m, TP = 8.4 s, Dir = 180°N	35
Fig. 5.8 – TEST 5 (Tempo di ritorno = 5 anni) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 3.56 m, TP = 8.3 s, Dir = 90°N	36
Fig. 5.9 – TEST 6 (Tempo di ritorno = 5 anni) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 3.56 m, TP = 8.3 s, Dir = 120°N	36
Fig. 5.10 – TEST 7 (Tempo di ritorno = 5 anni) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 5.18 m, TP = 9.6 s, Dir = 200°N	37
Fig. 5.11 – TEST 8 (Tempo di ritorno = 50 anni) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 4.54 m, TP = 8.9 s, Dir = 90°N	37
Fig. 5.12 – TEST 9 (Tempo di ritorno = 50 anni) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 4.54 m, TP = 8.9 s, Dir = 120°N	38
Fig. 5.13 – TEST 10 (Tempo di ritorno = 50 anni) - Caratteristiche mareggiata: H _S = 6.69 m, TP = 9.8 s, Dir = 200°N.....	38
Fig. 3.1 – Condizioni al contorno del modello	42

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 3 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Fig. 6.1 – Dominio di calcolo impiegato nello studio della penetrazione del moto ondoso	43
Fig. 6.2 – Particolare della mesh di calcolo nell'area di interesse	44
Fig. 6.3 – Griglia STWAVE e bordo offshore del dominio CGWAVE	45
Fig. 6.4 – Banchina Ovest lungo il nuovo sottoflutto	46
Fig. 6.5 – Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa	47
Fig. 6.6 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, andamento delle creste	49
Fig. 6.7 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, altezza d'onda significativa	49
Fig. 6.8 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio porto	50
Fig. 6.9 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, verifica delle condizioni "limite"	50
Fig. 6.10 – TEST 9: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante-Scirocco, andamento delle creste	51
Fig. 6.11 – TEST 9: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante-Scirocco, altezza d'onda significativa	51
Fig. 6.12 – TEST 9: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante-Scirocco, altezza d'onda significativa – dettaglio	52
Fig. 6.13 – TEST 9: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante-Scirocco, verifica delle condizioni "limite"	52
Fig. 6.14 – TEST 10: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, andamento delle creste	53
Fig. 6.15 – TEST 10: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, altezza d'onda significativa	53
Fig. 6.16 – TEST 10: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Mezz.-Libeccio, altezza d'onda significativa – dettaglio	54
Fig. 6.17 – TEST 10: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, verifica delle condizioni "limite"	54
Fig. 6.18 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, andamento delle creste	56
Fig. 6.19 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, altezza d'onda significativa	56
Fig. 6.20 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio	57
Fig. 6.21 – TEST 5: mareggiata estrema di Levante, verifica delle condizioni "di sicurezza"	57
Fig. 6.22 – TEST 6: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante-Scirocco, andamento delle creste	58
Fig. 6.23 – TEST 6: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante-Scirocco, altezza d'onda significativa	58
Fig. 6.24 – TEST 6: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante-Scirocco, altezza d'onda significativa – dettaglio	59
Fig. 6.25 – TEST 6: mareggiata estrema di Levante-Scirocco, verifica delle condizioni "di sicurezza"	59
Fig. 6.26 – TEST 7: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, andamento delle creste	60
Fig. 6.27 – TEST 7: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, altezza d'onda significativa	60
Fig. 6.28 – TEST 7: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Mezz.-Libeccio, altezza d'onda significativa – dettaglio	61
Fig. 6.29 – TEST 7: mareggiata estrema di Mezzogiorno-Libeccio, verifica delle condizioni "di sicurezza"	61
Fig. 6.30 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante (90°), andamento delle creste	63
Fig. 6.31 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante (90°), altezza d'onda significativa	63
Fig. 6.32 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante (90°), altezza d'onda significativa – dettaglio porto	64
Fig. 6.33 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante (90°), verifica delle condizioni "di comfort"	64
Fig. 6.34 – TEST 2: mareggiata intensa di Levante (100°), andamento delle creste	65
Fig. 6.35 – TEST 2: mareggiata intensa di Levante (100°), altezza d'onda significativa	65
Fig. 6.36 – TEST 2: mareggiata intensa di Levante (100°), altezza d'onda significativa – dettaglio porto	66
Fig. 6.37 – TEST 2: mareggiata intensa di Levante (100°), verifica delle condizioni "di comfort"	66
Fig. 6.38 – TEST 3: mareggiata intensa di Levante (110°), andamento delle creste	67
Fig. 6.39 – TEST 3: mareggiata intensa di Levante (110°), altezza d'onda significativa	67
Fig. 6.40 – TEST 3: mareggiata intensa di Levante (110°), altezza d'onda significativa – dettaglio porto	68
Fig. 6.41 – TEST 3: mareggiata intensa di Levante (110°), verifica delle condizioni "di comfort"	68
Fig. 6.42 – TEST 4: mareggiata intensa di Mezzogiorno, andamento delle creste	69
Fig. 6.43 – TEST 4: mareggiata intensa di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa	69
Fig. 6.44 – TEST 4: mareggiata intensa di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa – dettaglio porto	70
Fig. 6.45 – TEST 4: mareggiata intensa di Mezzogiorno, verifica delle condizioni "di comfort"	70
Fig. 7.1 – Schema degli interventi previsti all'interno del bacino portuale dei Andora: le parti in rosso	

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 4 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

individuano i tratti di intervento interessati dalla realizzazione delle celle antiriflettenti	71
Fig. 7.2 – Celle antiriflettenti previste nel tratto terminale del vecchio sottoflutto (a sinistra) e nel restante tratto del molo (a destra)	72
Fig. 7.3 – Schema degli interventi previsti sul lato Est del vecchio sottoflutto	73
Fig. 7.4 – Celle antiriflettenti previste negli angoli della banchina del vecchio bacino portuale	74
Fig. 7.5 – Schema degli interventi sulle banchine del vecchio bacino portuale	74
Fig. 8.3 – Particolare della mesh di calcolo in prossimità e all'interno del porto – Configurazione di progetto	75
Fig. 8.5 – Coefficienti di riflessione impiegati per lo studio dell'agitazione ondosa nella configurazione di progetto	77
Fig. 8.3 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, altezza d'onda significativa	78
Fig. 8.4 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio porto	79
Fig. 8.5 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, verifica delle condizioni "limite"	79
Fig. 8.6 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, altezza d'onda significativa	80
Fig. 8.7 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio porto	81
Fig. 8.8 – TEST 5: mareggiata estrema di Levante, verifica delle condizioni "di sicurezza"	81
Fig. 8.9 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante, altezza d'onda significativa	82
Fig. 8.10 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio porto	83
Fig. 8.11 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante, verifica delle condizioni "di comfort"	83
Fig. 9.1 – TEST 8 – Verifica della condizione limite ($T_R = 50$ anni)	85
Fig. 9.2 – TEST 5 – Verifica della condizione di sicurezza ($T_R = 50$ anni)	86
Fig. 9.3 – TEST 1 – Verifica della condizione di comfort (Frequenza = 5 giorni/anno)	87

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 3.1 – Valori massimi annuali della marea meteorologica	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tab. 3.2 – Risultati dell'analisi statistica dei livelli estremi	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tab. 4.1 – Tabella del clima ondoso (annuale). Composizione boa scalare Cote d'Azur e nodo modello CEP.	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tab. 4.2 – Tabella H_S-T_P . Composizione boa scalare della Cote d'Azur e nodo modello CEP.	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tab. 6.1 – Tabella del clima ondoso (annuale).	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tab. 6.2 – Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio dell'agitazione interna	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tab. 6.3 – Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno	76
Tab. 7.1 – Coefficienti di diffrazione massimi e medi all'interno del porto per le diverse configurazioni	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tab. 7.2 – Variazione del coefficiente di diffrazione rispetto allo stato attuale per le diverse configurazioni	Errore. Il segnalibro non è definito.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 5 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

1 PREMESSA

La società HS marine S.r.l. ha ricevuto dal Comune di Andora l'incarico di approfondire la conoscenza dell'agitazione ondosa all'interno del porto turistico di Andora.

Lo studio è stato condotto al fine di analizzare le criticità esistenti e di valutare gli effetti degli interventi previsti. Nel dettaglio si prevede di realizzare il banchinamento, con celle antiriflettenti, del lato Est del vecchio sottoflutto e di rendere antiriflettenti gli spigoli della banchina Ovest del vecchio bacino portuale.

La presente relazione descrive dapprima le indagini e le analisi condotte sui dati meteomarini disponibili e successivamente lo studio su modello dell'agitazione ondosa all'interno del marina, condotto con riferimento alla configurazione attuale e alla configurazione di progetto.

La completezza e la qualità dei dati di base costituiscono il presupposto fondamentale per la corretta impostazione dello studio.

I dati di marea sono stati ricavati sulla base dei dati registrati dalla stazione mareografica della Rete Mareografica Nazionale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) di Imperia.

Per la definizione del clima ondoso al largo del paraggio di interesse sono stati presi in considerazione i dati di moto ondoso registrati dalla boa di Capo Mele (Rete Ondametrica Ligure). Tali registrazioni coprono il periodo febbraio 2013 – ottobre 2019, con diverse lacune nella serie temporale. Al fine di disporre di un database più completo e prolungato sono stati acquisiti i dati risultanti da un'attività di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova. I dati (<http://www.dicca.unige.it>) sono ottenuti da un processo di wave hindcasting basato su dati meteorologici, esteso da gennaio 1999 a dicembre 2018.

I dati sono stati elaborati al fine di determinare le mareggiate individuate nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" (PIANC, 2002) per la valutazione dell'agitazione ondosa interna. Nel dettaglio i dati sono stati elaborati per definire il clima ondoso, da cui ricavare gli eventi caratterizzati da una durata non superiore a 5 giorni all'anno, e gli eventi estremi aventi tempi di ritorno pari a 5 e 50 anni; le mareggiate così individuate sono state dapprima propagate per ricavare le caratteristiche in prossimità del bordo della griglia di calcolo del modello di agitazione ondosa. Successivamente, si è proceduto alla verifica delle diverse condizioni definite dal PIANC per la configurazione attuale e per la configurazione di progetto.

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

- inquadramento geografico del paraggio;
- regime delle maree;
- caratteristiche del clima ondoso;
- elaborazione degli eventi estremi;
- propagazione degli eventi definiti dal PIANC;
- studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 6 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è ubicata nel settore centrale del versante occidentale della costa ligure e ricade nel territorio del comune di Andora.

Il Marina in questione è ubicato a Est di Andora, tra Capo Mimosa-Rollo (a Sud-Ovest) e Capo Mele a Nord-Est (Fig. 2.1).

Il settore di traversia è costituito prevalentemente dagli eventi provenienti dal II e dal III quadrante. Più precisamente, il settore risulta localmente limitato a Sud-Ovest da Capo Mimosa-Rollo e a Nord-Est da Capo Mele, e risulta compreso indicativamente tra 90°N e 230°N.



Fig. 2.1 – Inquadramento geografico del paraggio

2.1 Fetch geografici ed efficaci

I fetch geografici (ossia le cosiddette “lunghezze di mare libero”), determinati in funzione dell'esposizione del paraggio, sono graficamente rappresentati nella seguente Fig. 2.2.

Per quanto concerne invece la determinazione dei fetch efficaci, in questo contesto è stata utilizzata la procedura proposta da Seymour (1977). Seymour, per tenere in considerazione i fenomeni che avvengono all'interno del settore di traversia del paraggio, fa riferimento al fetch efficace definito dalla seguente relazione:

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 7 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

$$F_{eff\varphi} = \frac{\sum_{\varphi_i=\varphi-90^\circ}^{\varphi+90^\circ} X_i \cos^3(\varphi_i - \varphi)}{\sum_{\varphi_i=\varphi-90^\circ}^{\varphi+90^\circ} \cos^2(\varphi_i - \varphi)},$$

dove $F_{eff\varphi}$ rappresenta il fetch efficace nella direzione φ , X_i il fetch geografico nella i -esima direzione e φ_i l'angolo della i -esima direzione.

Poiché nel Mar Mediterraneo (e quindi nell'area di interesse) i fronti di vento presentano un'ampiezza massima di 400 km e una dimensione su cui spira il vento pari a circa 500 km, i fetch geografici (X_i) da inserire nel calcolo del fetch efficace sono stati limitati con riferimento all'estensione massima delle aree battute dal vento. I risultati ottenuti sono rappresentati graficamente nella successiva Fig. 2.3

Dai risultati ottenuti si può notare che i massimi fetch corrispondono alle direzioni di Mezzogiorno e sono dell'ordine dei 300 km (circa 1.6 NM), mentre per le direzioni di Levante-Scirocco i fetch sono dell'ordine dei 200 km (1.1 NM)

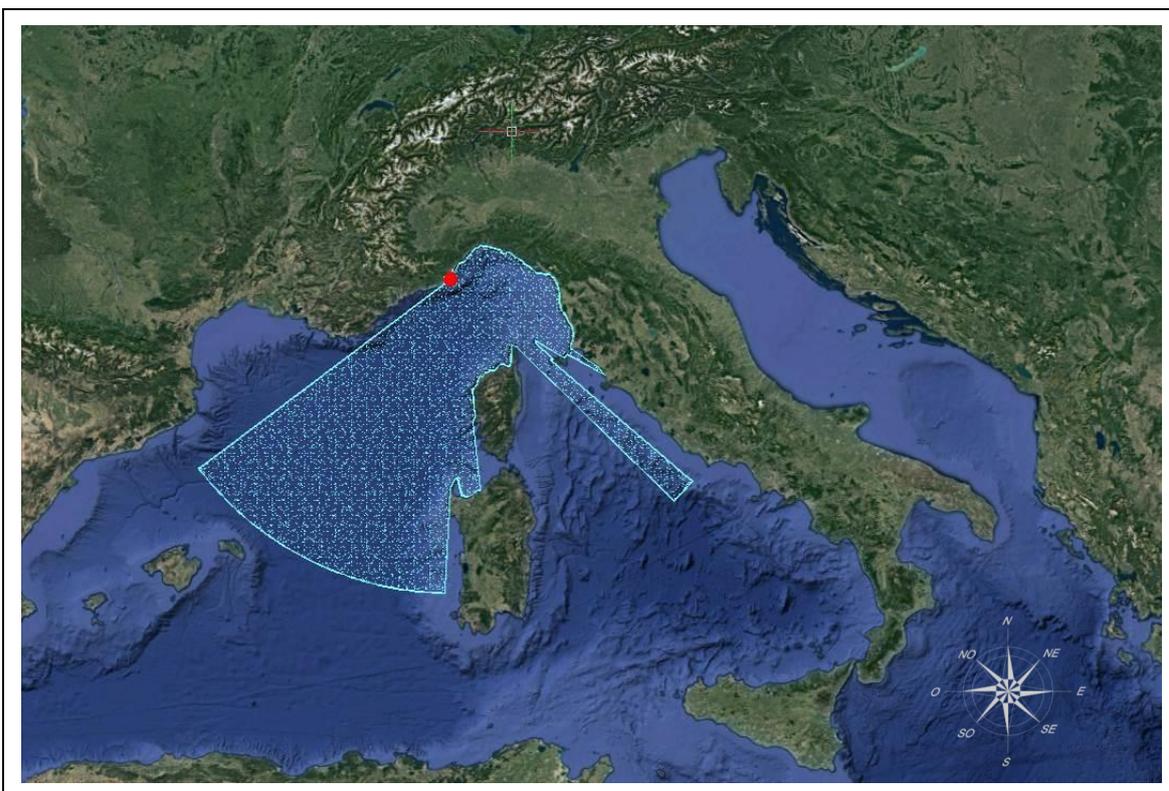


Fig. 2.2 – Fetch geografici per il paraggio oggetto di studio

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 8 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

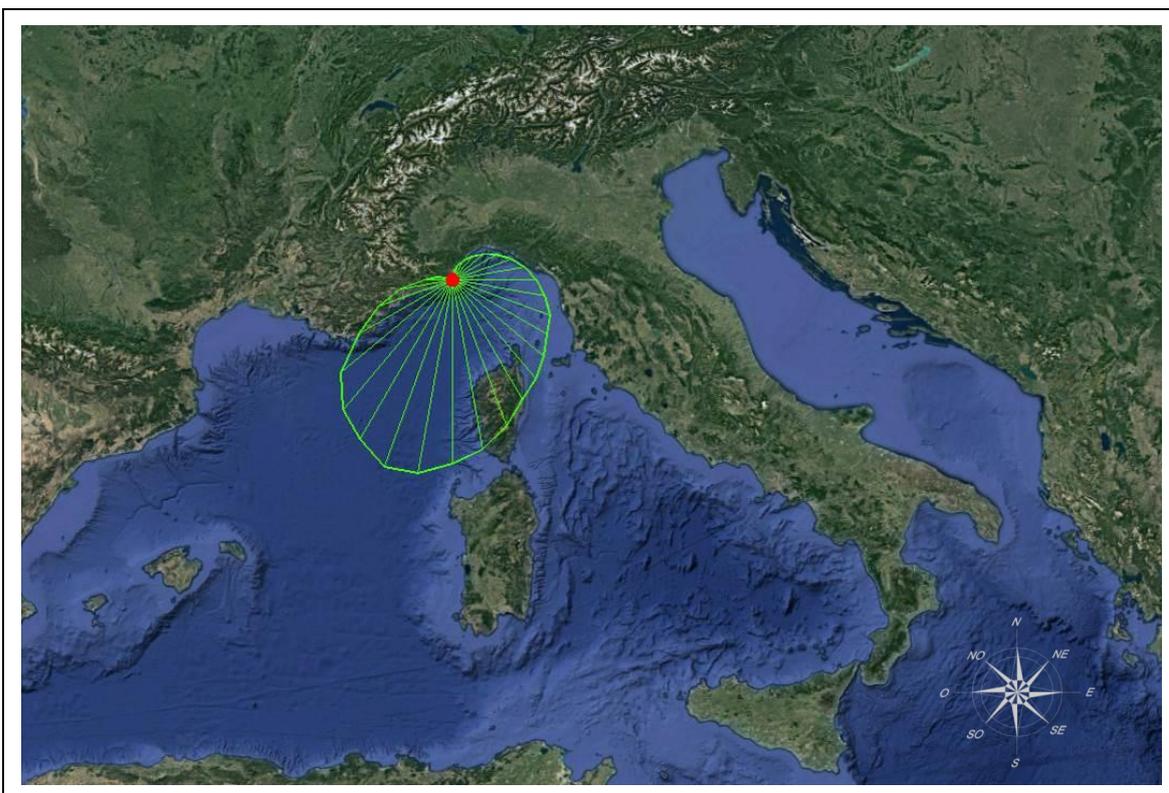


Fig. 2.3 – Fetch efficaci per il paraggio oggetto di studio

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 9 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

3 REGIME DELLE MAREE

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 Imperia. La stazione è ubicata a Porto Maurizio presso la Capitaneria di Porto.

Il palo meteorologico è ubicato presso il Molo Corto (Lat. 43° 52' 42.02" Long 08° 01' 07.91"). I livelli di marea registrati sono riferiti allo zero dell'I.G.M.(.).

La stazione mareografica è dotata di caposalda altimetrici; ogni caposaldo è riferito al livello medio del mare misurato a Genova dall'antico mareografo Thompson. I caposalda 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 31 novembre 2019. 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 valore estremo di +0.62 m s.m.m. (registrato in occasione dell'evento climatico eccezionale occorso a fine ottobre 2018) e -0.38 m s.m.m.; si sottolinea che è stato scartato il valore massimo registrato ad ottobre 2011 in quanto da una verifica approfondita è risultato essere un errore di misurazione.



Fig. 3.1 – Stazione R.M.N. di Imperia

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 10 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

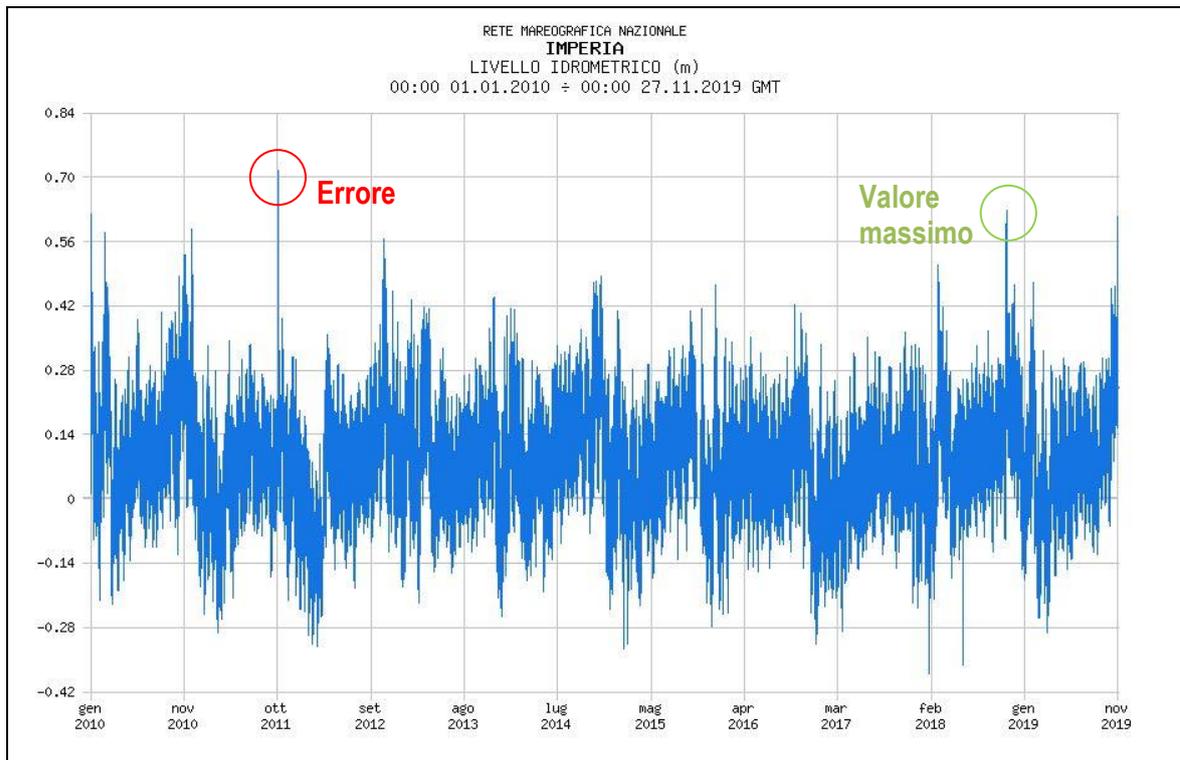


Fig. 3.2 – Andamento del livello del mare relativo al periodo gennaio 2010 - novembre 2019 (stazione ISPRA R.M.N. di Imperia)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 11 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

4 MOTO ONDOSO AL LARGO

4.1 Dati acquisiti dal DICCA

I dati utilizzati nel presente studio sono stati forniti dal DICCA dell'Università di Genova e sono ricavati con la procedura del "wave hindcasting" (ricostruzione dello stato del mare sulla base di dati meteorologici, mediante l'utilizzo di modelli numerici).

I dati derivano da una reanalisi condotta impiegando i dati meteorologici NOAA (<http://cfs.ncep.noaa.gov>), rielaborati attraverso il modello WRF-ARW versione 3.3.1 (Skamarock et al., 2008) per ottenere i campi di vento a 10 m di quota con risoluzione di circa 10 km. Le condizioni di moto ondoso sono state ricavate attraverso l'impiego di un modello di generazione tipo Wave Watch III, versione 3.14 (Komen et al., 1994; Tolman, 2009), anch'esso con risoluzione spaziale di 10 km e temporale di 1 ora (Fig. 4.1).

Per la generazione del moto ondoso attraverso il WWIII è stata impiegata la forzante atmosferica (vento) ricavata in forma di campi di vento a 10 m dal suolo, attraverso l'impiego del modello non idrostatico, sviluppato allo stato dell'arte, WRF-ARW versione 3.3.1 (Skamarock et al., 2008). Per il modello WRF è stato definito uno specifico dominio di calcolo costituito da 328x265 punti che copre il Mediterraneo occidentale e centrale con risoluzione orizzontale di 10 km. Le condizioni iniziali e al contorno per le simulazioni atmosferiche con il modello WRF sono stati ricavati dal database del CFSR che fornisce i dati con una risoluzione orizzontale di 0.5 ° x0.5 °, su 37 livelli di pressione.

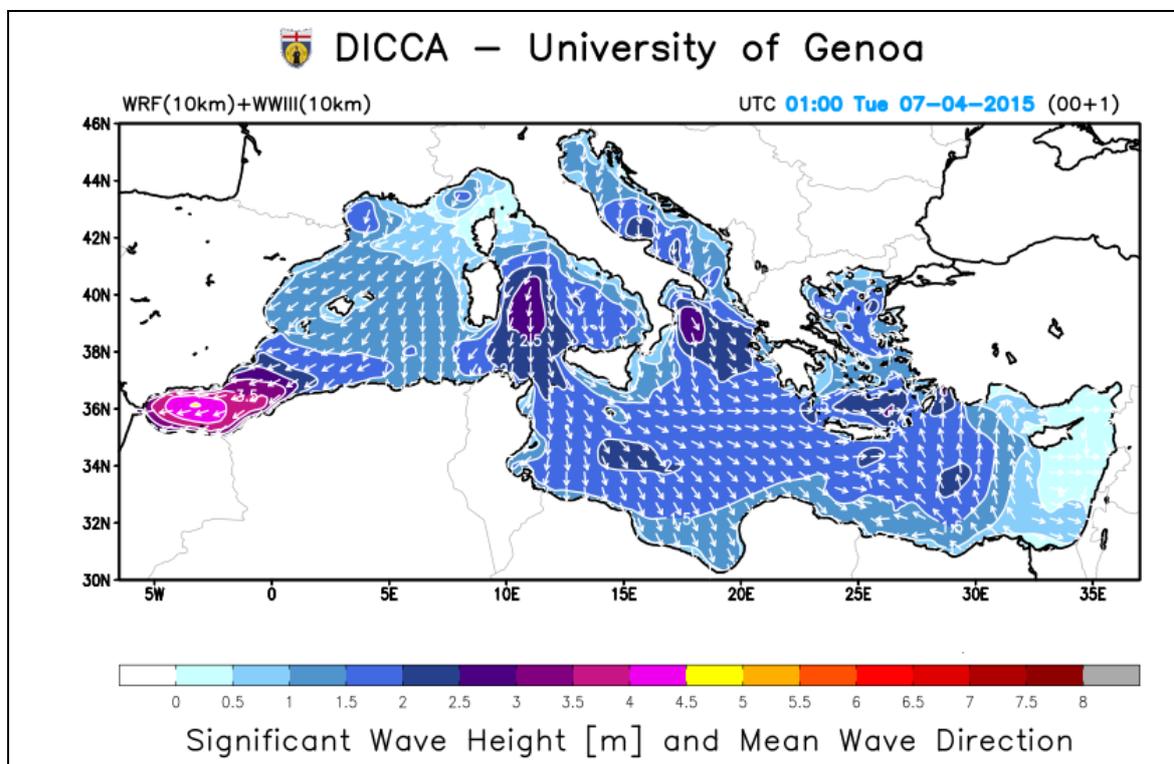


Fig. 4.1 – Dominio del modello di generazione tipo Wave Watch III per l'area del Mediterraneo

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 12 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

I dati di moto ondoso forniti dall'Università di Genova si riferiscono al punto ("UNIGE") di coordinate 8°14'2.40"E, 43°51'36"N (cfr. Fig. 4.2), posizionato più al largo rispetto la Boa della Rete Ondametrica Ligure di Capo Mele.

Nella successiva tabella (Tab. 4.1) sono riportate le caratteristiche delle onde "al largo"; i dati del clima ondoso al largo sono stati ordinati per classi di altezza significativa e direzione media di provenienza. Il numero di registrazioni si riferisce al totale della "registrazioni" (175'320) nel periodo di analisi (da gennaio 1999 a dicembre 2018).

In Fig. 4.3 vengono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze significative massime al largo.

Si può notare che gli eventi con percentuale di apparizione più elevata appartengono ai settori di Libeccio e Grecale. Anche gli eventi caratterizzati da maggiore energia sono quelli compresi nei medesimi settori e presentano il picco di energia in corrispondenza della direzione di provenienza 220°N. Le mareggiate caratterizzate dai valori massimi di altezza significativa sono quelle provenienti da Libeccio (220°N), per le quali si raggiungono valori di H_s prossimi ai 6 m. Per il settore di Levante e Scirocco si osservano valori massimi di altezza significativa inferiori ai 4 m.

A partire dai dati disponibili è stata inoltre ricostruita la curva di durata suddivisa per il II quadrante (90-180°N) e per il III quadrante (180-270°N); tale curva consente di mettere in relazione le caratteristiche di un evento con la sua durata media annuale (Fig. 4.4). Si può osservare come l'altezza significativa di 2.0 m, venga superata per circa 11 giorni all'anno per il settore di SO (180-270°N) e solo 1 giorno all'anno per il settore di SE (90-180°N).

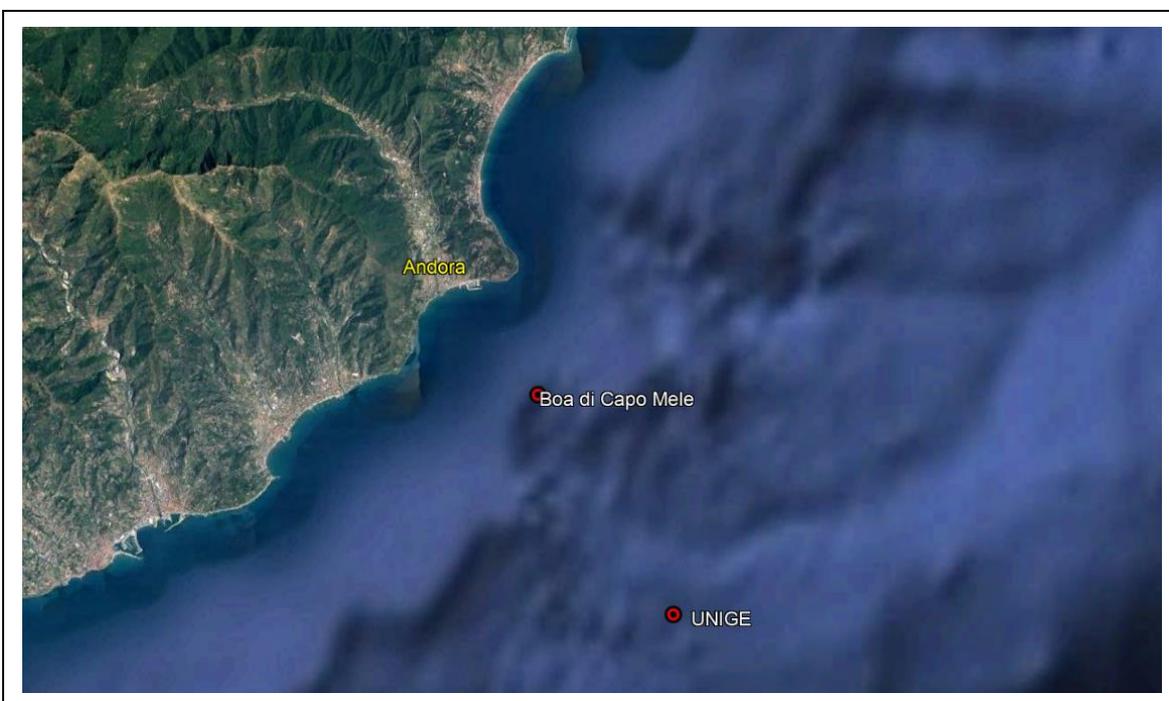


Fig. 4.2– Posizione del punto (UNIGE, 8°14'2.40"E, 43°51'36"N) cui si riferiscono i dati di moto ondoso dell'Università di Genova e della Boa ROL

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 13 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

		Hs (m)											
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	10	134	192	214	125	38	16	4	0	0	0	0	0
10	20	226	514	886	729	335	99	34	2	0	0	0	0
20	30	394	1488	2767	2211	1349	516	210	48	1	0	0	0
30	40	753	3109	3437	2230	948	428	180	37	6	0	0	0
40	50	1457	3795	2295	755	226	129	41	29	8	4	0	0
50	60	2376	3251	1209	339	70	35	14	6	0	0	0	0
60	70	2416	2253	737	204	63	11	3	4	0	0	0	0
70	80	1983	1816	561	165	50	11	5	0	1	0	0	0
80	90	2021	1583	458	142	50	5	3	1	1	0	0	0
90	100	2325	1510	508	116	28	5	5	2	0	0	0	0
100	110	2649	1476	437	147	23	3	8	2	0	0	0	0
110	120	2609	1374	455	122	25	17	5	3	0	0	0	0
120	130	2400	1068	340	143	42	12	8	5	0	0	0	0
130	140	1871	909	306	86	57	27	22	7	0	0	0	0
140	150	1610	870	298	88	28	26	28	4	0	0	0	0
150	160	1628	945	320	96	30	10	11	1	0	0	0	0
160	170	1866	1156	338	92	30	9	1	0	0	0	0	0
170	180	2462	1774	619	175	55	17	6	4	1	0	0	0
180	190	4003	2960	923	265	135	45	20	2	0	0	0	0
190	200	5678	4906	1614	546	244	66	31	18	5	9	0	0
200	210	7427	6935	2863	951	257	105	49	30	9	2	0	0
210	220	7210	6365	5378	3217	1165	426	118	30	14	11	1	3
220	230	4018	3376	2475	1715	1148	772	371	155	80	32	10	7
230	240	1594	1199	414	127	88	45	24	10	2	0	0	0
240	250	647	482	142	33	16	4	0	0	0	0	0	0
250	260	259	157	81	20	9	0	0	0	0	0	0	0
260	270	69	85	54	26	3	0	0	0	0	0	0	0
270	280	52	49	59	13	4	0	0	0	0	0	0	0
280	290	37	46	51	19	6	1	0	0	0	0	0	0
290	300	23	33	41	17	6	0	0	0	0	0	0	0
300	310	11	32	35	15	7	1	0	0	0	0	0	0
310	320	16	32	35	15	4	4	0	0	0	0	0	0
320	330	31	34	46	28	8	0	0	0	0	0	0	0
330	340	32	39	35	29	18	1	0	0	0	0	0	0
340	350	63	49	78	26	15	4	2	0	0	0	0	0
350	360	78	85	94	49	24	1	0	1	0	0	0	0

Tab. 4.1- RegISTRAZIONI ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 175'320) - Punto UNIGE (8°14'2.40"E, 43°51'36"N)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 14 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

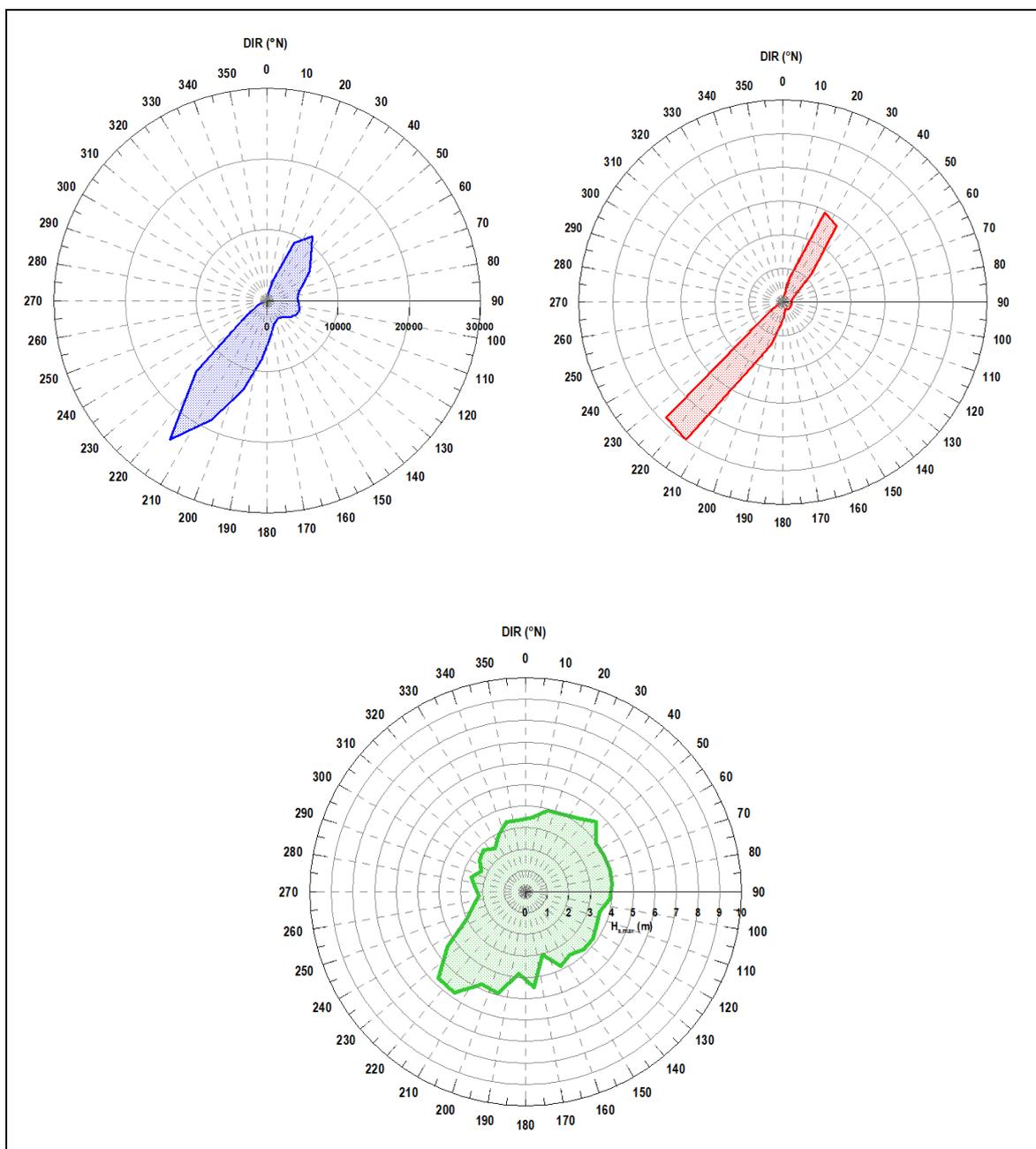


Fig. 4.3 – Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde)
Punto UNIGE

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 15 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

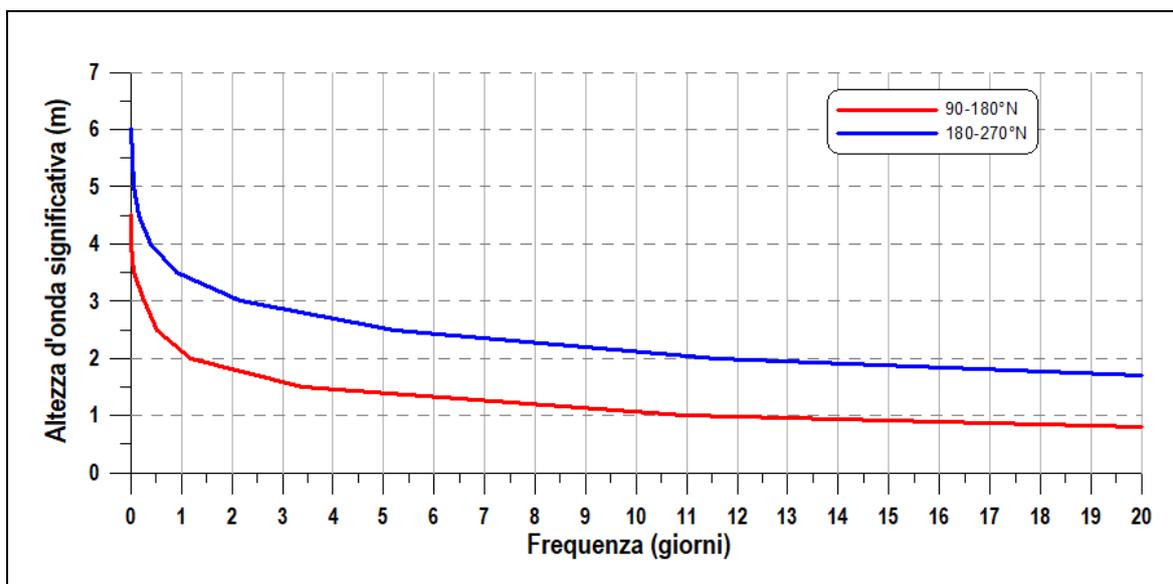


Fig. 4.4 – Curva di durata Punto UNIGE

4.1.1 Correlazione tra altezza-e periodo per gli eventi di moto ondoso

Al fine di individuare una correlazione tra gli eventi al largo (caratterizzati da una determinata altezza d'onda significativa) e il corrispondente periodo di picco, è stata eseguita un'analisi della correlazione tra periodo e altezza significativa per tutti gli eventi della serie storica (gennaio 1999 – dicembre 2018). Nel dettaglio, è stata ricavata per ciascuno dei due settori una curva di interpolazione dei dati di altezza d'onda significativa in funzione del periodo ($H_S - T_P$), del tipo $T_P = A+B \cdot H_S^{0.5}$; le curve ottenute da tale analisi sono riportate nelle successive Fig. 4.5 e Fig. 4.6.

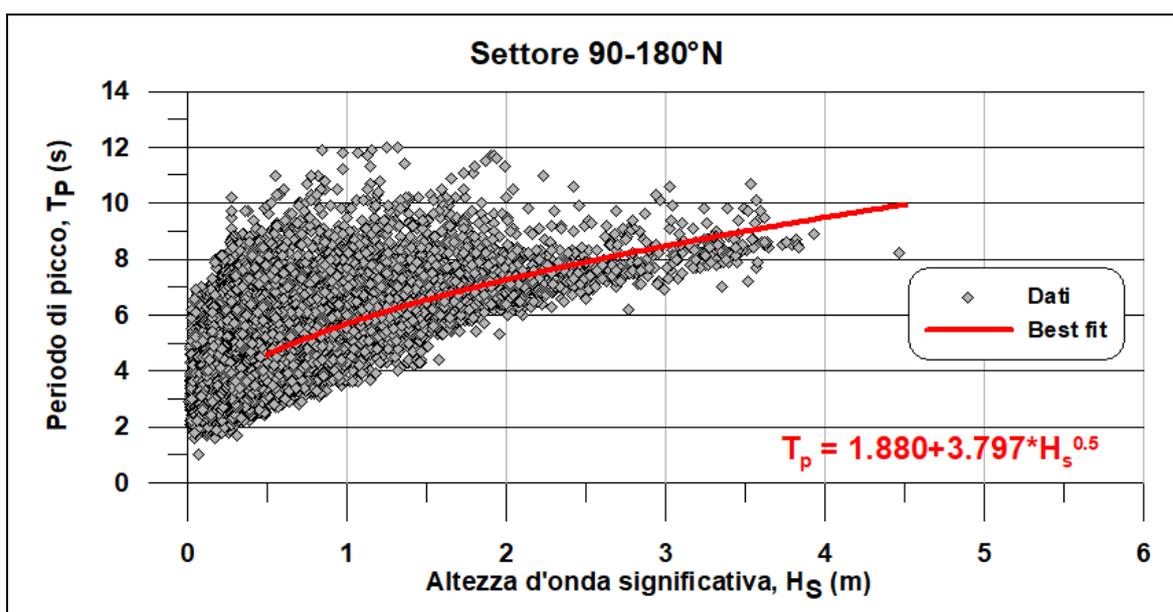


Fig. 4.5 – Correlazione H_S-T_P per gli eventi nel settore 90-180°N

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

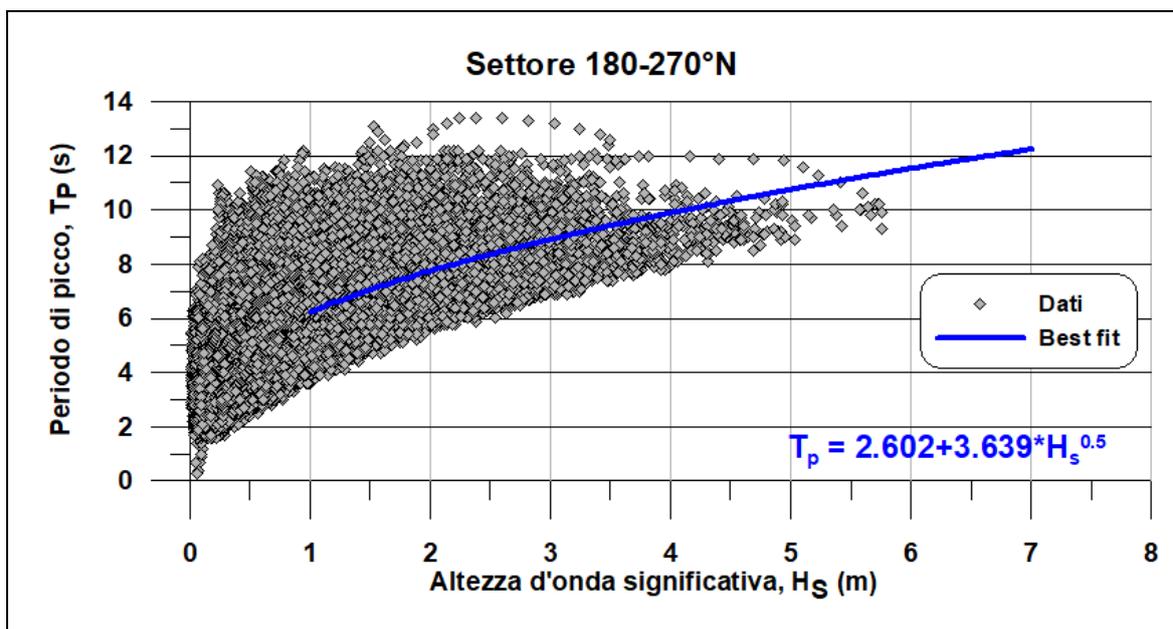


Fig. 4.6 – Correlazione H_s - T_p per gli eventi nel settore 180-270°N

4.1.2 Analisi degli eventi estremi al largo

A partire dalla serie storica del punto UNIGE si è proceduto all'individuazione degli eventi massimi annui.

Considerate le caratteristiche del clima ondoso al largo e la conformazione geografica del paraggio di interesse, per il quale è possibile individuare due settori di traversia (cfr. paragrafi precedenti), l'elaborazione degli eventi estremi è stata condotta con riferimento a due settori: 90°÷180°N e 180°÷270°N.

Di seguito in Tab. 4.2 e Tab. 4.3 vengono riportati gli eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica disponibile, rispettivamente per il settore 90°÷180°N e 180°÷270°N.

Nella successiva Fig. 4.7 si riporta infine graficamente la distribuzione degli eventi massimi annuali individuati per i due settori, in funzione della direzione di provenienza. Si può osservare che per il settore 90°÷180°N le altezze massime provengono da diverse direzioni (90, 120 e 170 °N).

Utilizzando le altezze significative massime relative a ciascun anno di osservazione, è stata condotta una statistica degli eventi estremi "al largo", per i due settori individuati, per il periodo che va da gennaio 1999 a dicembre 2018. L'analisi statistica è stata condotta utilizzando il metodo sviluppato da Gumbel.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 17 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

Settore 90°÷180°N						
ANNO	Mese	Giorno	Ora	Hs (m)	Tp (s)	DIR (°N)
1999	10	21	11	2.36	7.9	120.4
2000	4	9	20	2.75	7.7	118.4
2001	2	28	3	3.45	8.2	121.7
2002	2	6	6	2.30	6.8	179.1
2003	12	2	12	2.80	7.5	137.3
2004	4	29	21	2.54	7.4	132.7
2005	4	16	7	2.36	6.5	165.5
2006	12	8	22	2.11	6.9	175.2
2007	12	15	9	2.64	7.4	113.1
2008	12	26	6	3.93	8.9	91.6
2009	12	22	2	2.76	9.0	170.9
2010	10	31	22	2.71	7.7	173.8
2011	11	5	22	3.83	8.5	128.1
2012	11	28	23	2.76	8.8	156.6
2013	3	6	11	3.64	8.6	127.5
2014	2	10	13	2.65	8.3	180.0
2015	3	15	16	3.32	8.0	104.6
2016	11	24	6	3.45	7.9	141.7
2017	3	4	13	3.15	7.8	179.6
2018	10	29	19	4.47	8.2	171.0

Tab. 4.2 - Eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica – Settore 90-180°N

Settore 180°÷270°N						
ANNO	Mese	Giorno	Ora	Hs (m)	Tp (s)	DIR (°N)
1999	12	28	5	5.73	10.2	225.9
2000	11	6	13	4.53	9.8	198.5
2001	11	8	20	4.24	8.6	227.6
2002	2	20	21	4.92	9.2	226.5
2003	2	3	22	4.95	9.0	226.7
2004	2	23	11	3.83	8.3	220.8
2005	4	16	14	4.64	9.0	222.6
2006	3	5	5	3.67	9.3	207.0
2007	5	28	13	4.00	8.9	225.6
2008	3	21	18	5.73	10.2	224.5
2009	1	24	23	3.50	12.6	218.7
2010	11	8	14	3.89	8.2	228.7
2011	12	16	16	5.17	9.7	221.8
2012	1	5	18	4.26	9.7	227.6
2013	3	18	22	4.38	8.5	226.9
2014	11	5	1	3.94	9.4	194.7
2015	11	20	21	4.69	9.0	224.8
2016	1	11	22	4.71	9.7	224.7
2017	12	11	15	4.93	10.2	199.8
2018	10	29	22	5.76	9.9	217.8

Tab. 4.3 - Eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica – Settore 180-270°N

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 18 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Nella Fig. 4.8 sono riportati i risultati delle elaborazioni statistiche, ottenuti utilizzando il metodo di Gumbel, per i due settori considerati; nella successiva tabella si riportano infine i valori di altezza significativa ricavati dall'analisi statistica degli eventi estremi in funzione del tempo di ritorno.

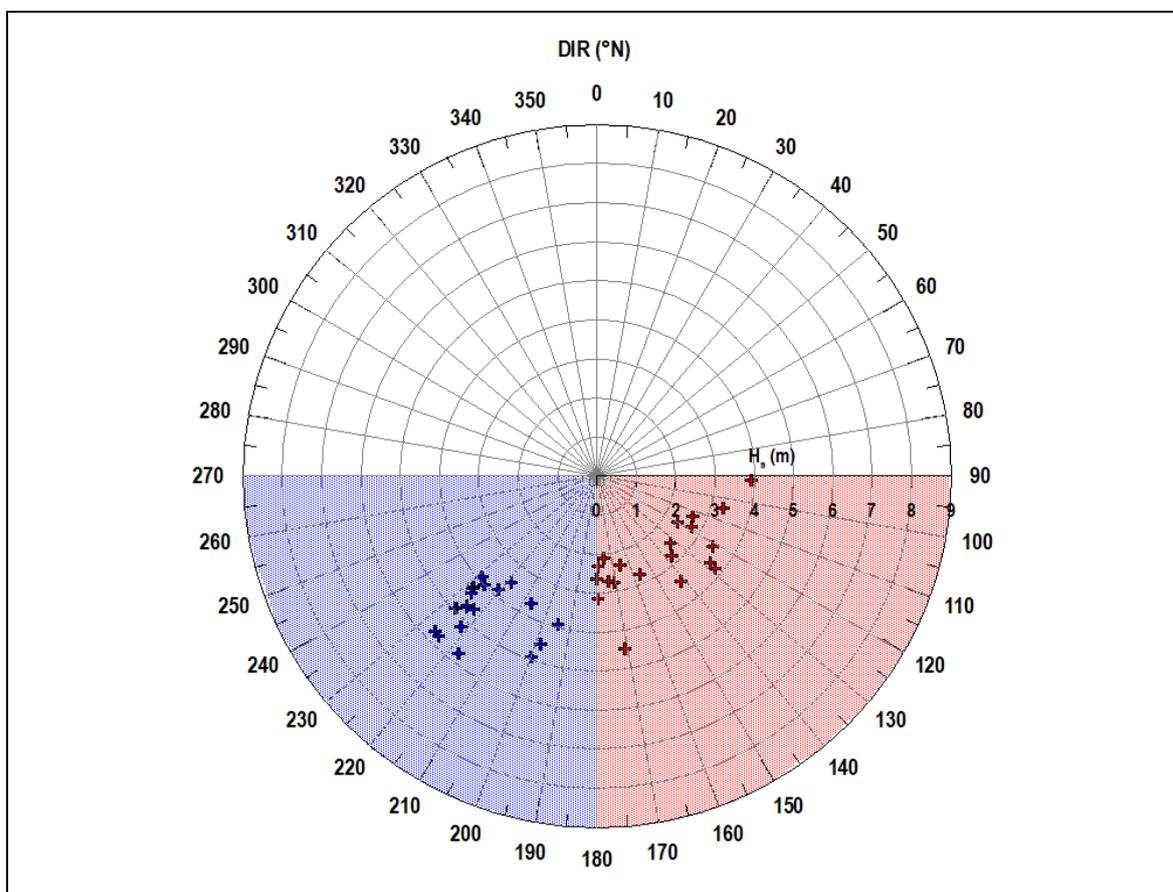


Fig. 4.7 – Distribuzione degli eventi estremi considerati nell'analisi di Gumbel

T _R (anni)	Settore 90°÷180°N	Settore 180°÷270°N
	H _s (m)	H _s (m)
1	1.58	3.04
5	3.56	5.18
25	4.00	6.25
50	4.54	6.69

Tab. 4.4 – Risultati statistica degli estremi

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 19 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

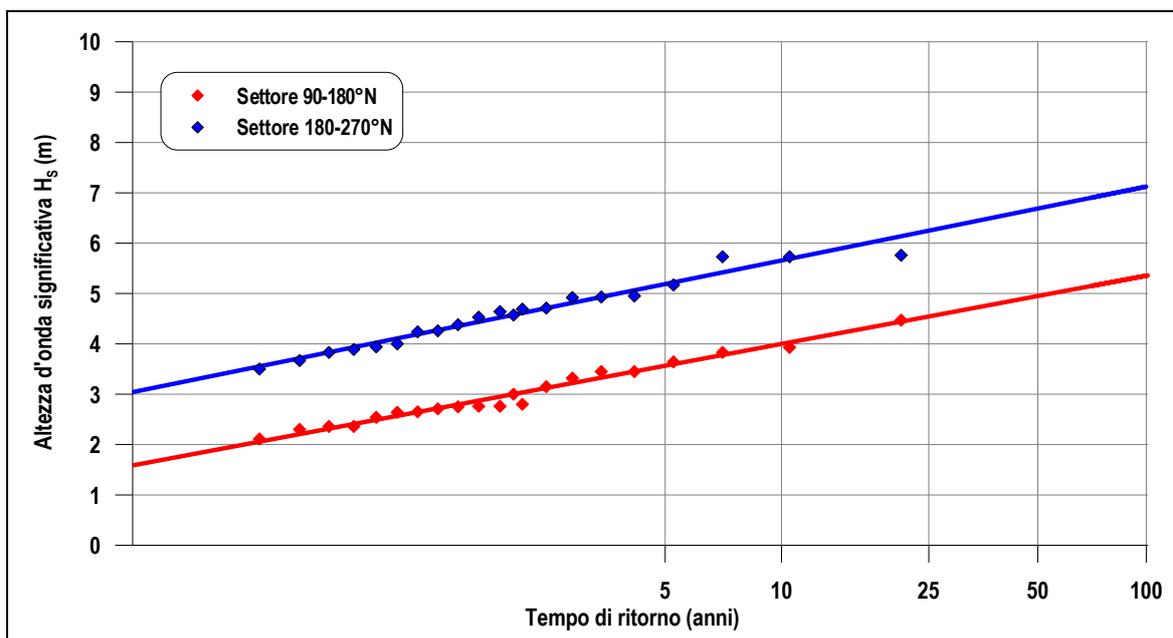


Fig. 4.8 – Statistica degli estremi

4.1.2.1 Correlazione tra altezza-e periodo per gli eventi estremi

Al fine di associare a ciascun evento estremo al largo (caratterizzato da una determinata altezza d'onda significativa) il corrispondente periodo di picco, è stata eseguita un'analisi della correlazione tra periodo e altezza significativa per gli eventi massimi annuali considerati nell'analisi statistica degli estremi (gennaio 1999 - dicembre 2018).

Nel dettaglio, è stata ricavata per ciascuno dei due settori una curva di interpolazione dei dati di altezza d'onda significativa in funzione del periodo ($H_s - T_p$), del tipo $T_p = A+B \cdot H_s^{0.5}$; le curve ottenute da tale analisi sono riportate nelle successive Fig. 4.9 e Fig. 4.10.

Utilizzando le correlazioni ricavate dall'interpolazione dei dati di base, è stato possibile associare a ciascun evento estremo il corrispondente periodo di picco T_p (Tab. 4.5).

T_R (anni)	Settore 150°÷220°N		Settore 220°÷330°N	
	H_s (m)	T_p (m)	H_s (m)	T_p (m)
1	1.58	6.8	3.04	9.2
5	3.56	8.3	5.18	9.6
25	4.00	8.6	6.25	9.7
50	4.54	8.9	6.69	9.8

Tab. 4.5 - Eventi estremi al largo

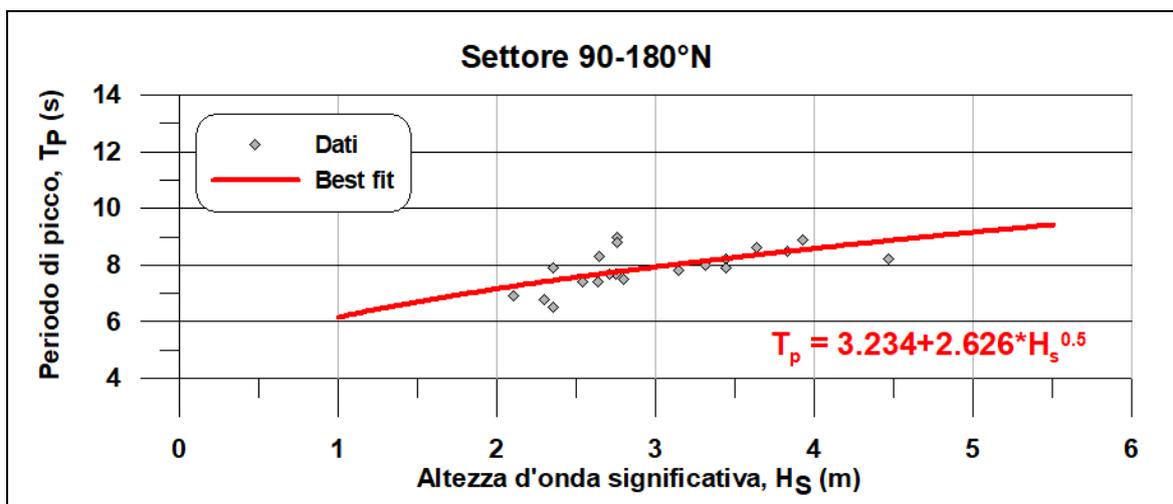


Fig. 4.9 – Correlazione H_s - T_p per gli eventi estremi nel settore 90-180°N

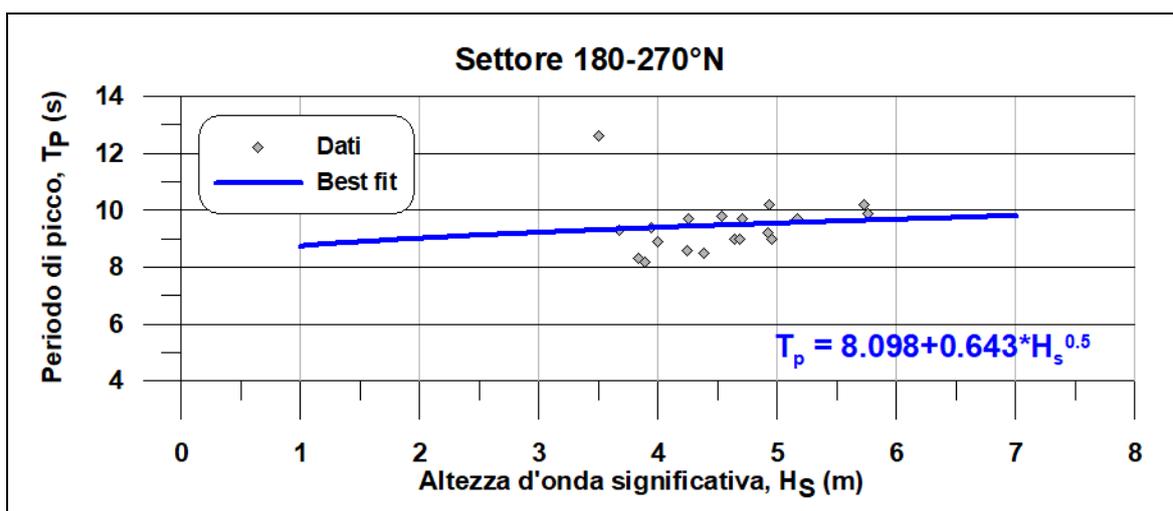


Fig. 4.10 – Correlazione H_s - T_p per gli eventi estremi nel settore 180-270°N

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

4.2 Dati registrati dalla Boa ROL di Capo Mele

I dati sono stati scaricati dal sito ufficiale dell'ARPAL (<http://servizi-meteoliguria.arpal.gov.it/boacapomele.html>) e si riferiscono alla boa ondometrica di Capo Mele. La boa è ubicata al largo della costa ligure, in corrispondenza del punto di coordinate geografiche 8°10'50" E, 43°55'18" N, su un fondale di circa 100 m (Fig. 4.11).

La boa è stata installata con la collaborazione di Regione Liguria e Arpal, Aeronautica Militare, Capitaneria di Porto e Marina Militare; la boa registra ed invia con cadenza oraria dati su moto ondoso, temperatura della colonna d'acqua, correnti marine, velocità e direzione del vento, temperatura e umidità dell'aria.

I dati registrati dalla boa si riferiscono al periodo 1 Febbraio 2013 – 31 Ottobre 2019; i dati, scaricati ed analizzati, hanno mostrato una copertura discontinua nel periodo di registrazione. Sono inoltre stati riscontrati diversi valori di altezza d'onda evidentemente errati o nulli.

I dati sono stati comunque elaborati per ricavare le caratteristiche del clima ondoso in corrispondenza della Boa, a scopo di confronto con il clima ondoso del punto DICCA.

Nella successiva tabella (Tab. 4.6) sono riportate le caratteristiche delle onde "al largo"; i dati del clima ondoso al largo sono stati ordinati per classi di altezza significativa e direzione media di provenienza.



Fig. 4.11 – Posizione della Boa ROL di Capo Mele

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 22 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Il numero di registrazioni si riferisce al totale della "registrazioni" (78'698) nel periodo di analisi (da febbraio 2013 a ottobre 2019).

DIR (°N)		Hs (m)												
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5
0	10	182	277	133	25	2	0	2	0	0	0	0	0	0
10	20	197	285	108	22	10	2	0	1	0	0	0	0	0
20	30	217	363	109	13	10	2	0	0	0	0	0	0	0
30	40	291	496	184	33	4	4	2	0	0	0	0	0	0
40	50	407	719	297	30	4	4	1	0	0	0	0	0	0
50	60	621	1101	339	43	4	2	0	0	0	0	0	0	0
60	70	717	1021	274	39	0	1	1	1	0	0	0	0	0
70	80	740	829	239	32	5	2	0	0	0	0	0	0	0
80	90	977	843	230	29	8	6	2	0	0	0	0	0	0
90	100	952	844	296	55	15	11	5	0	0	0	0	0	0
100	110	1139	1216	356	71	28	15	1	0	0	0	0	0	0
110	120	1415	1337	398	89	29	14	7	1	1	0	0	0	0
120	130	1578	1026	325	95	25	11	6	4	1	0	0	0	0
130	140	1400	946	254	78	17	6	5	1	1	0	0	0	0
140	150	1382	835	238	49	24	5	1	4	0	0	0	0	0
150	160	1484	810	234	48	22	1	1	0	0	0	0	0	0
160	170	1569	927	230	45	20	8	2	3	1	1	0	0	0
170	180	2365	1622	400	85	20	19	4	1	4	0	0	0	0
180	190	2755	2167	634	121	41	15	21	5	7	6	2	0	0
190	200	3199	2944	1064	251	98	32	31	23	14	4	0	0	0
200	210	3097	3207	1658	646	226	81	22	9	0	0	0	0	0
210	220	2174	2482	1463	713	400	170	51	24	7	0	0	0	0
220	230	765	950	443	219	153	76	25	7	0	0	0	0	0
230	240	155	181	96	39	14	11	1	2	0	0	0	0	0
240	250	143	68	54	18	11	5	2	0	0	0	0	0	1
250	260	145	95	38	22	15	4	1	1	0	0	0	1	0
260	270	192	158	65	20	8	5	5	2	0	1	0	2	1
270	280	184	161	73	11	8	4	3	3	2	1	0	3	1
280	290	194	167	68	20	7	6	4	1	1	0	0	0	0
290	300	177	218	98	26	13	4	2	1	0	1	0	0	0
300	310	139	228	121	12	14	2	3	1	0	0	0	0	0
310	320	157	284	98	20	14	5	0	2	0	0	0	0	0
320	330	162	330	172	34	11	4	0	0	0	0	0	0	0
330	340	181	401	143	17	5	0	0	1	1	0	0	0	0
340	350	154	395	142	15	3	1	0	0	1	0	0	0	0
350	360	234	407	124	28	6	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 4.6- Registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 78'698) – Boa di Capo Mele (8°10'50"E, 43°55'18"N)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 23 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

In Fig. 4.12 vengono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze significative massime al largo. Poiché la Boa di Capo Mele si trova più ridossata alla costa risulta maggiore l'effetto di copertura dei capi a Sud-Ovest e a Nord-Est; si osserva infatti che la Boa è completamente coperta dagli eventi di Grecale e che il picco di energia è ruotato di 10° rispetto il punto DICCA. In linea generale si osserva comunque che le altezze massime sono comparabili con quelle ricavate nel punto del DICCA, in particolare per il II quadrante.

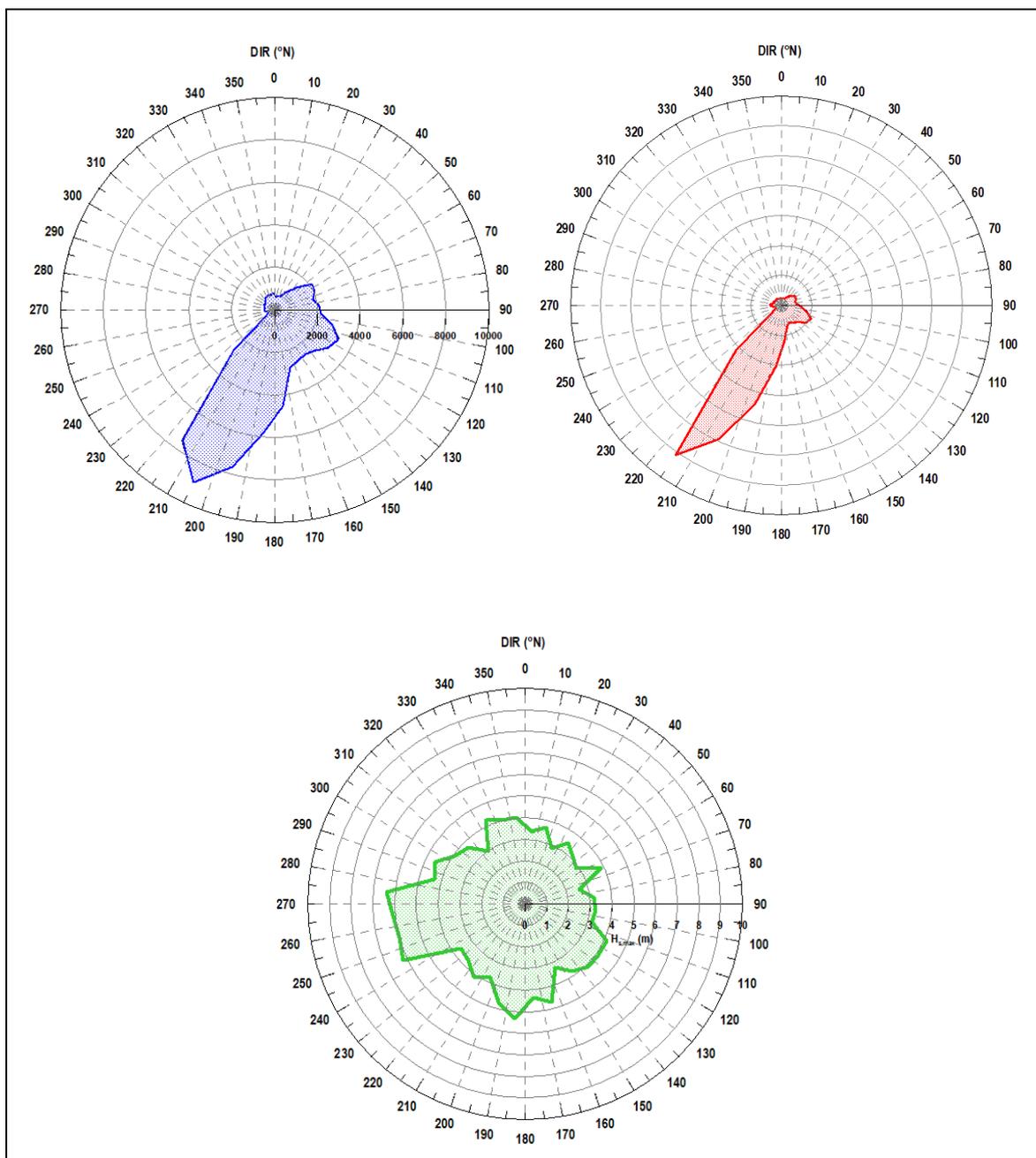


Fig. 4.12 – Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) Boa di Capo Mele

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 24 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Al fine di validare i dati forniti dal DICCA è stata eseguita una verifica su una mareggiata significativa mettendo a confronto i dati registrati dalla Boa di Capo Mele con i dati ricavati dal DICCA. Nel dettaglio è stato analizzato l'evento di Ottobre 2018 caratterizzato da eventi anemologici estremi. Il confronto è riportato nella successiva Fig. 4.13; la figura mostra la serie storica elaborata dal DICCA riproduce correttamente l'evento, caratterizzato da altezze d'onda significativa massime prossime ai 6 m.

Nel complesso si osserva quindi una discreta corrispondenza tra i dati forniti dal DICCA e i dati registrati dalla Boa di Capo Mele.

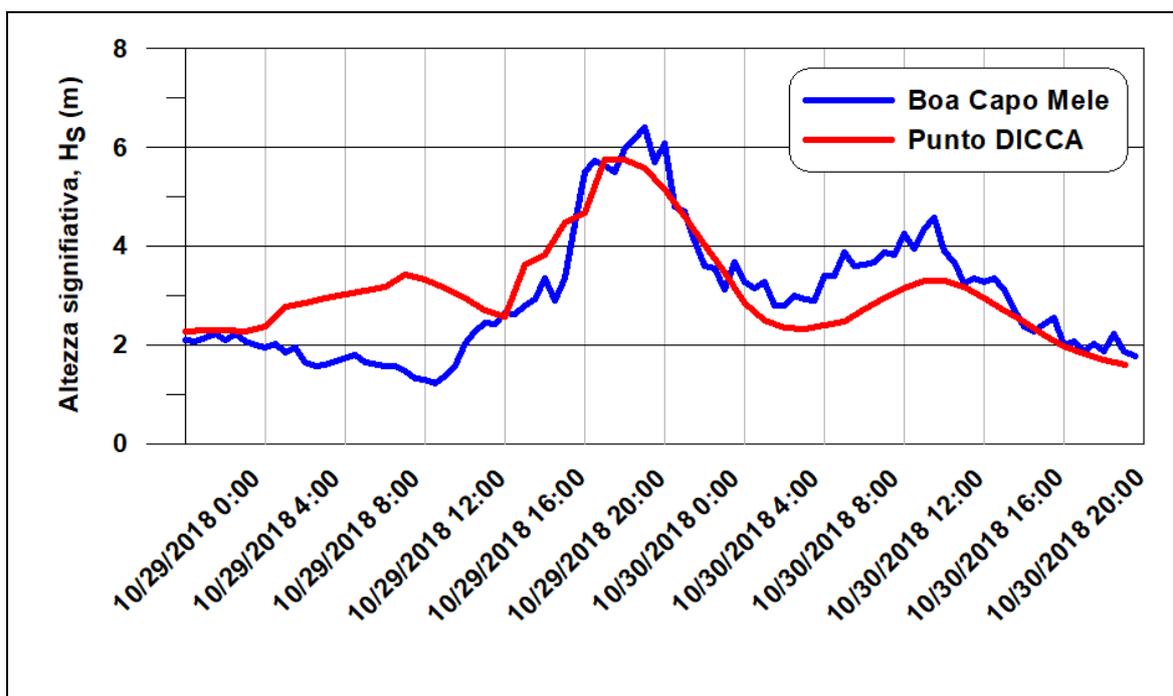


Fig. 4.13 – Comparazione tra dati registrati dalla Boa di Capo Mele e dati da hindcast elaborati dall'Università di Genova

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 25 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

5 PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA DEGLI EVENTI ONDOSI

Lo studio della propagazione locale delle mareggiate è finalizzato alla definizione delle caratteristiche delle stesse in prossimità del bordo del dominio di calcolo del modello di agitazione ondosa. Nel presente paragrafo sono riportate le caratteristiche delle mareggiate simulate e riassunti i risultati dello studio della propagazione delle stesse.

Le mareggiate propagate sono quelle successivamente impiegate per lo studio dell'agitazione ondosa all'interno del Marina (cfr. successivi paragrafi 6 e 8). Nel dettaglio per l'individuazione delle mareggiate si è fatto riferimento alle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" (PIANC, 2002), le quali individuano i valori raccomandati dell'altezza d'onda significativa ammissibile all'interno del porto per eventi caratterizzati da frequenze di apparizione non superiori a 5 giorni/anno e da periodi di ritorno non inferiori a 5 e 50 anni.

La propagazione delle mareggiate è stata condotta mediante il modello numerico STWAVE, descritto in dettaglio nel successivo paragrafo 5.1.

5.1 Descrizione del codice di calcolo STWAVE

Il modello matematico STWAVE (Steady-state spectral WAVE model) (Resio 1987, 1988; Davis 1992; Smith, Resio, Zundel 1999) è un modello stazionario spettrale alle differenze finite basato sull'equazione di conservazione dell'azione.

Il modello descrive il cambiamento dei parametri caratteristici della mareggiata (altezza significativa, periodo, direzione media di propagazione, forma dello spettro di frequenza e spreading direzionale) dalle acque profonde, dove il campo d'onda è relativamente omogeneo su scala chilometrica e le zone sottocosta (le onde in tali zone sono fortemente influenzate dalle variazioni della batimetria, dal livello del mare, dalle correnti locali), dove i parametri caratteristici variano significativamente su scala dell'ordine della decina di metri.

Il modello STWAVE simula la rifrazione e lo shoaling indotti dalla profondità e dalle correnti, il frangimento, la diffrazione, l'interazione tra onde e il fenomeno di whitecapping.

Uno spettro d'onda è una rappresentazione statistica di stato del mare. Essenzialmente, uno spettro è rappresentato da una sovrapposizione lineare di onde monocromatiche e descrive la distribuzione dell'energia del moto ondoso come una funzione della frequenza (spettro monodimensionale di frequenza) o della frequenza e direzione (spettro bidimensionale). Un esempio di spettro monodimensionale è rappresentato in Fig. 5.1.

Il periodo di picco dello spettro è dato dal reciproco della frequenza corrispondente al picco dello spettro. L'altezza d'onda significativa è pari 4 volte la radice quadrata dell'area sottostante lo spettro (momento di ordine 0 dello spettro).

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 26 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

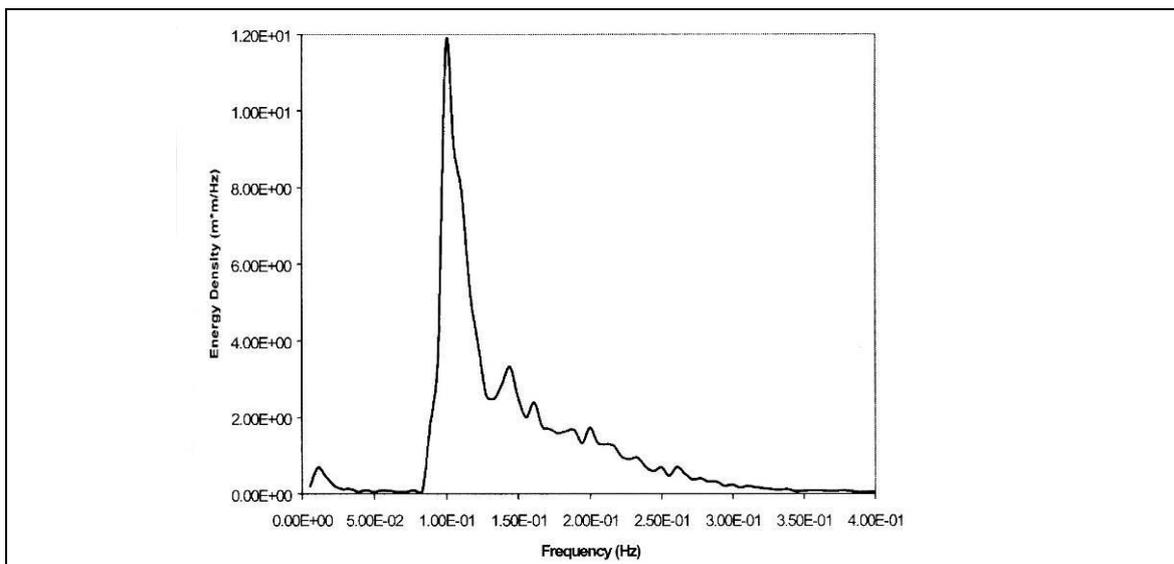


Fig. 5.1 – Spettro monodimensionale

STWAVE è basato sulle seguenti assunzioni:

- è un modello semi-piano, ovvero l'energia del moto ondoso può propagarsi soltanto dal largo verso riva ($\pm 87.5^\circ$ rispetto all'asse X della griglia di calcolo, che è tipicamente la direzione approssimata della normale al litorale). Le onde riflesse dalla spiaggia e dal fondale si muovono in direzioni al di fuori di questo semipiano e sono, pertanto, trascurate;
- la variazione dello spettro d'onda lungo il bordo più "al largo" del dominio di calcolo è generalmente poco rilevante (lo è senz'altro nel caso in oggetto, dato che tale bordo è lungo circa 3 km e disposto lungo batimetriche regolari). Pertanto lo spettro di input in STWAVE è costante lungo tale limite;
- è un modello stazionario: ciò riduce il tempo di calcolo ed è appropriato per condizioni ondose che variano più lentamente del tempo impiegato dalle onde per "attraversare" la griglia di calcolo;
- tiene conto soltanto di rifrazione e shoaling lineare e non rappresenta l'asimmetria dell'onda;
- l'interazione onda-corrente è basata su una corrente con velocità costante attraverso la colonna d'acqua: se si verificano forti gradienti verticali nella corrente, la loro variazione per rifrazione e shoaling non è rappresentata nel modello;
- l'attrito sul fondo viene trascurato;
- il radiation stress è calcolato sulla base della teoria d'onda lineare.

STWAVE è un modello numerico alle differenze finite, basato su una griglia cartesiana ortogonale.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 27 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Le celle della griglia sono assunte quadrate ($\Delta x = \Delta y$). Si possono ottenere griglie a diversa risoluzione andando a costruire griglie annidate. Ciò può essere ottenuto facendo “girare” il modello a una risoluzione più grossolana, salvando uno spettro per un punto più a riva. Questo spettro può quindi essere utilizzato come una condizione al contorno per una griglia di risoluzione maggiore. Una griglia schematica è rappresentata nella Fig. 5.2.

STWAVE opera in un sistema di coordinate locali, con l'asse X orientato in direzione perpendicolare alla spiaggia (con origine al largo) e asse Y orientato parallelamente alla costa, formando un sistema di coordinate che rispettano la regola della mano destra. L'orientazione dell'asse X ($\pm 87.5^\circ$) definisce il semipiano che è rappresentato nel modello. L'asse Y è generalmente allineato con le batimetriche al largo. Gli angoli di provenienza delle onde sono computati in senso antiorario dall'asse X. I confini laterali nel modello possono essere specificati come terra o mare indicando la profondità delle celle come positiva (mare) o negativa (terra). Si riassume alla seguente Fig. 5.3 gli input e gli output forniti dal modello.

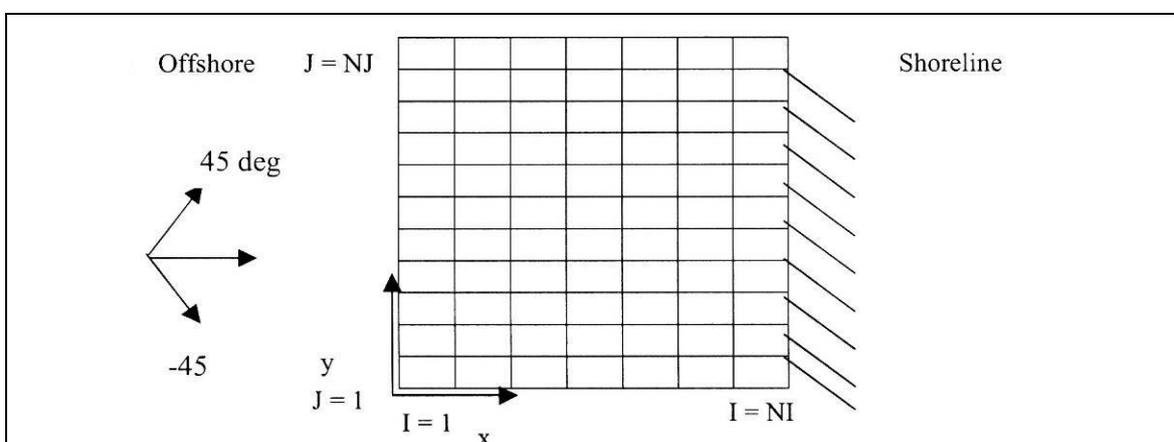


Fig. 5.2 – Convenzioni griglia STWAVE

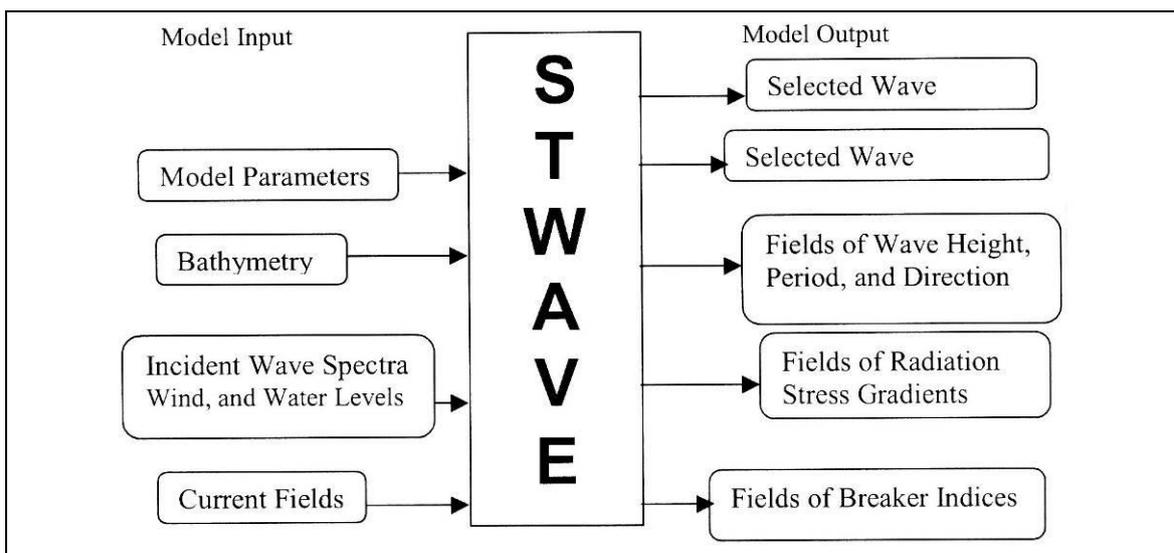


Fig. 5.3 – Input e Output STWAVE

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 28 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Per generare uno spettro occorre specificare i seguenti parametri:

- periodo di picco (T_p);
- altezza d'onda;
- profondità;
- parametro di appuntimento dello spettro (γ).

Il parametro di appuntimento controlla la larghezza dello spettro in frequenza (numeri bassi forniscono picchi "larghi", ovvero condizioni di mare vivo, numeri elevati picchi "ristretti", ovvero condizioni di mare di swell). La distribuzione direzionale dello spettro è invece specificata mediante una direzione media e un coefficiente di spreading direzionale (nn).

L'energia nello spettro di frequenza è proporzionale a $\cos^{nn}(\alpha - \alpha_m)$, dove α è la direzione della componente spettrale e α_m è la direzione media di propagazione dell'onda. Una guida per la scelta di γ e nn è fornita nella Tab. 5.1. Gli spettri con periodi di picco elevati sono generalmente ristretti sia in frequenza che in direzione. Per piccoli periodi di picco gli spettri sono tipicamente allargati sia in frequenza che in direzione.

T_p (sec)	γ	nn
≤ 10	3.3	4 (JONSWAP)
11	4	8
12	4	10
13	5	12
14	5	16
15	6	18
16	6	20
17	7	22
18	7	26
19	8	28
20	8	30

Tab. 5.1 – Correlazione tra parametri spettrali (Thompson et al., 1996)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 29 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

5.2 Eventi estremi

A partire dalle elaborazioni svolte sulla serie storica fornita dal DICCA delle onde al largo e dalle indicazioni fornite nei precedenti paragrafi, sono stati individuati gli eventi estremi da propagare. Nello specifico, considerando la conformazione del paraggio e le analisi svolte sul clima ondoso (cfr. precedente paragrafo 4), sono state individuate una serie di mareggiate ritenute significative; le direzioni di provenienza delle mareggiate sono state individuate sulla base della distribuzione delle altezze d'onda massime e in funzione della capacità di penetrare all'interno dell'imboccatura portuale, valutata sulla base della direzione di provenienza e di una serie di simulazioni numeriche preliminari. Si è quindi scelto (cfr. Fig. 5.4) di propagare una mareggiata proveniente dal settore di Libeccio (200°N) e due mareggiate provenienti dal settore di Levante-Scirocco (90°N e 120°N).

L'altezza d'onda significativa è stata individuata sulla base dell'analisi statistica degli eventi estremi, condotta per i settori di SE (90°÷180°N) e SO (180°÷270°N); per ciascun settore sono state individuate le mareggiate aventi tempo di ritorno pari a 5 e 50 anni.

I periodi da associare alle mareggiate così individuate sono stati ricavati sulla base delle specifiche correlazioni H_S-T_P elaborate per ciascun settore (cfr. precedente paragrafo 4.1.2.1).

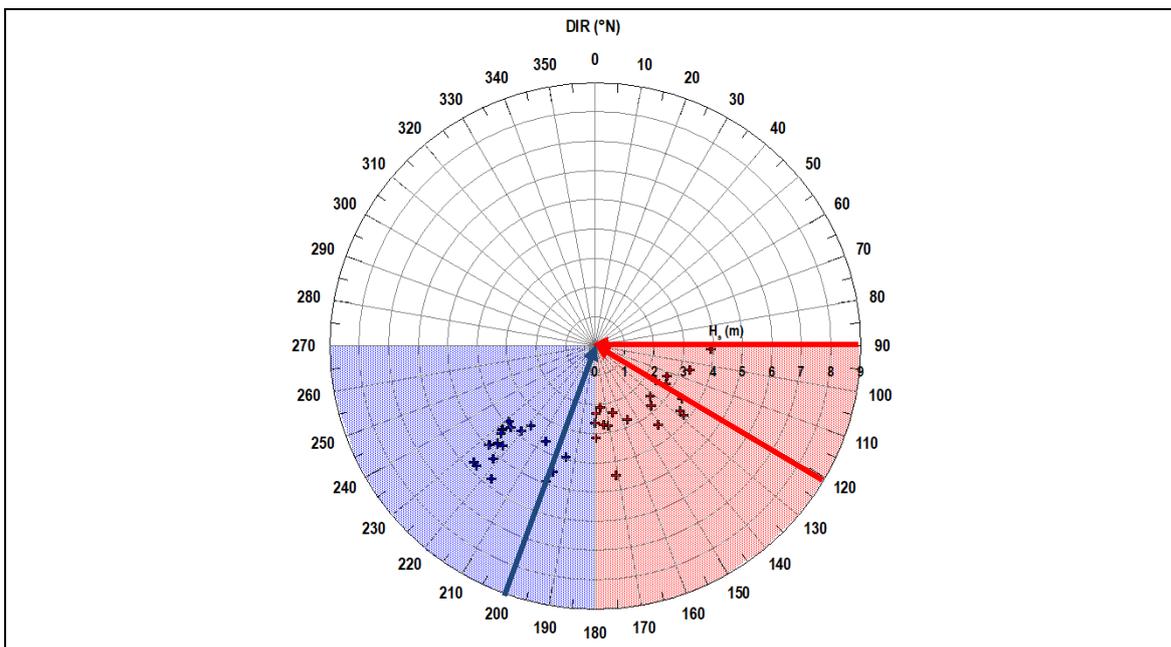


Fig. 5.4 – Eventi massimi annuali e individuazione delle direzioni di provenienza delle mareggiate estreme propagate

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 30 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

5.3 Eventi caratterizzati da frequenza pari a 5 giorno all'anno

L'altezza d'onda delle mareggiate caratterizzate da frequenza pari a 5 gg/anno è stata ricavata dalla curva di durata locale per i due settori (Fig. 5.5). Anche in questo caso le direzioni di provenienza delle mareggiate sono state individuate sulla base della distribuzione delle altezze d'onda massime e in funzione della capacità di penetrare all'interno dell'imboccatura portuale, valutata sulla base della direzione di provenienza e di una serie di simulazioni numeriche preliminari. In particolare si è scelto di propagare una mareggiata proveniente dal settore di Mezzogiorno (180°N) e tre mareggiate provenienti dal settore di Levante-Scirocco (90°N, 100°N e 110°N).

I periodi da associare alle mareggiate così individuate sono stati ricavati sulla base delle correlazioni H_S-T_P elaborate in precedenza (cfr. precedente paragrafo 4.1.1).

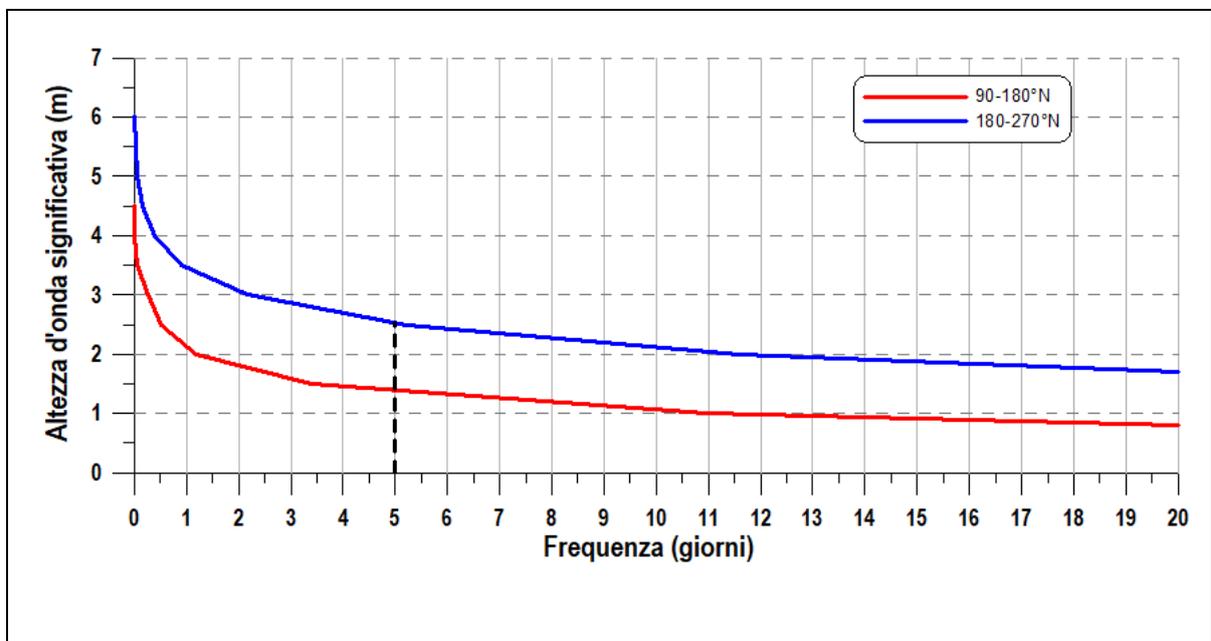


Fig. 5.5 – Curva di durata locale per i due settori di traversia

5.4 Caratteristiche delle mareggiate propagate

Complessivamente, sono state propagate 10 mareggiate; le caratteristiche delle diverse mareggiate sono riportate nella seguente Tab. 5.2.

Le simulazioni sono state condotte considerando, per le sole mareggiate estreme, un sovrizzo del livello medio del mare di +0.62 m s.m.m., derivante dal massimo livello di marea registrato dal mareografo della rete RMN (cfr. precedente paragrafo 3).

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 31 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

TEST	Caratteristiche	H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	Sovralzo (m)
TEST 1	Levante con frequenza = 5 giorni/anno	1.39	6.4	90	+0.00
TEST 2	Levante con frequenza = 5 giorni/anno	1.39	6.4	100	+0.00
TEST 3	Levante con frequenza = 5 giorni/anno	1.39	6.4	110	+0.00
TEST 4	Mezzogiorno con frequenza = 5 giorni/anno	2.54	8.4	180	+0.00
TEST 5	Levante con T _R = 5 anni	3.56	8.3	90	+0.62
TEST 6	Levante-Scirocco con T _R = 5 anni	3.56	8.3	120	+0.62
TEST 7	Mezzogiorno-Libeccio con T _R = 5 anni	5.18	9.6	200	+0.62
TEST 8	Levante con T _R = 50 anni	4.54	8.9	90	+0.62
TEST 9	Levante-Scirocco con T _R = 50 anni	4.54	8.9	120	+0.62
TEST 10	Mezzogiorno-Libeccio con T _R = 50 anni	6.69	9.8	200	+0.62

Tab. 5.2 – Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio della propagazione del moto ondoso

5.5 Settaggio del modello

La propagazione delle mareggiate, condotta mediante il modello numerico STWAVE è stata basata sulla batimetria del paraggio ricavata in base alle carte nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina e al rilievo locale di dettaglio fornito dal Committente.

Il dominio di calcolo è stato discretizzato attraverso due griglie con maglia ortogonale a celle quadrate di passo 10 m. Le due griglie impiegate risultano sovrapposte, ma con orientamento ottimizzato in funzione delle mareggiate da propagare (Fig. 5.6).

La prima griglia è stata orientata in modo tale da propagare al suo interno gli eventi di Levante e Levante-Scirocco (settore 90°÷180°N); ha origine nel punto di coordinate 1436350 m E; 4869030 m N (Gauss Boaga FO, vertice in alto a destra di Fig. 5.6), dimensioni 8'000 x 5'500 m e inclinazione di 180° rispetto all'asse WE. Per le propagazioni eseguite su questa griglia, la mareggiata è stata generata dal bordo laterale (rosso).

La seconda è stata utilizzata per propagare gli eventi provenienti dai settori di Mezzogiorno e Libeccio (settore 180°÷270°N); ha origine nel punto di coordinate 1436350 E; 4863530 m N (vertice in basso a destra di Fig. 5.6) e dimensioni 5'500 x 8'000 m. Per le propagazioni eseguite con questa griglia, la mareggiata è stata generata dal bordo inferiore (giallo).

I parametri significativi del moto ondoso sono stati rappresentati nel modello STWAVE con uno spettro bidimensionale di tipo JONSWAP avente fattore di picco (γ) e "spreading" direzionale (nn) desunti dalla ripidità dell'onda. Lo spettro è stato discretizzato in 35 frequenze e 36 direzioni (equispaziate di 10°). Le condizioni al contorno sono state assunte costanti lungo i bordi della griglia (assegnando le caratteristiche della mareggiata nel punto UNIGE al largo), con l'accortezza di scalare i parametri d'onda in funzione della profondità nella porzione di bordo in basso fondale, dove avvengono fenomeni di frangimento dovuti al fondale.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 32 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

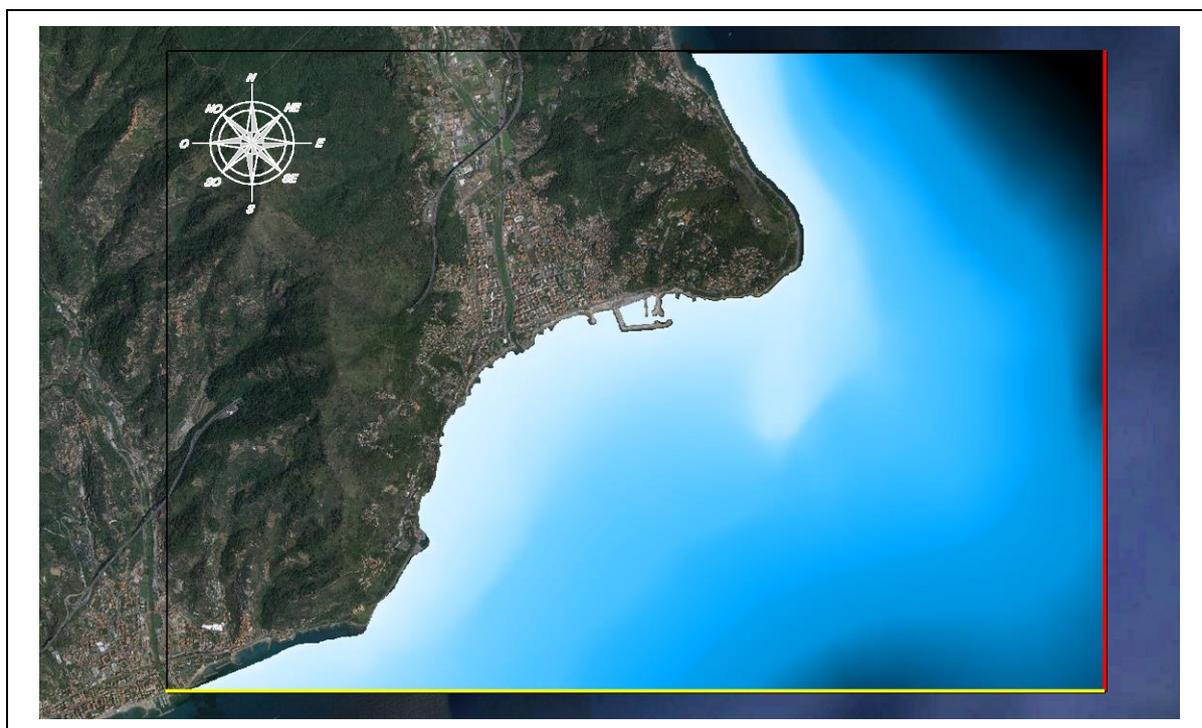


Fig. 5.6 – Griglie e dominio di calcolo impiegati per lo studio della propagazione del clima ondoso

5.6 Propagazioni locali delle mareggiate

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati delle simulazioni della propagazione delle mareggiate, ottenute applicando il codice di calcolo STWAVE.

I risultati delle propagazioni sono riportati in termini di piani d'onda nelle successive figure (da Fig. 5.7 a Fig. 5.16).

Le figure rappresentano, in termini di gradazione cromatica, le altezze d'onda significative, mentre le direzioni locali dell'onda sono indicate mediante vettori il cui modulo è proporzionale all'altezza d'onda significativa.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 33 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

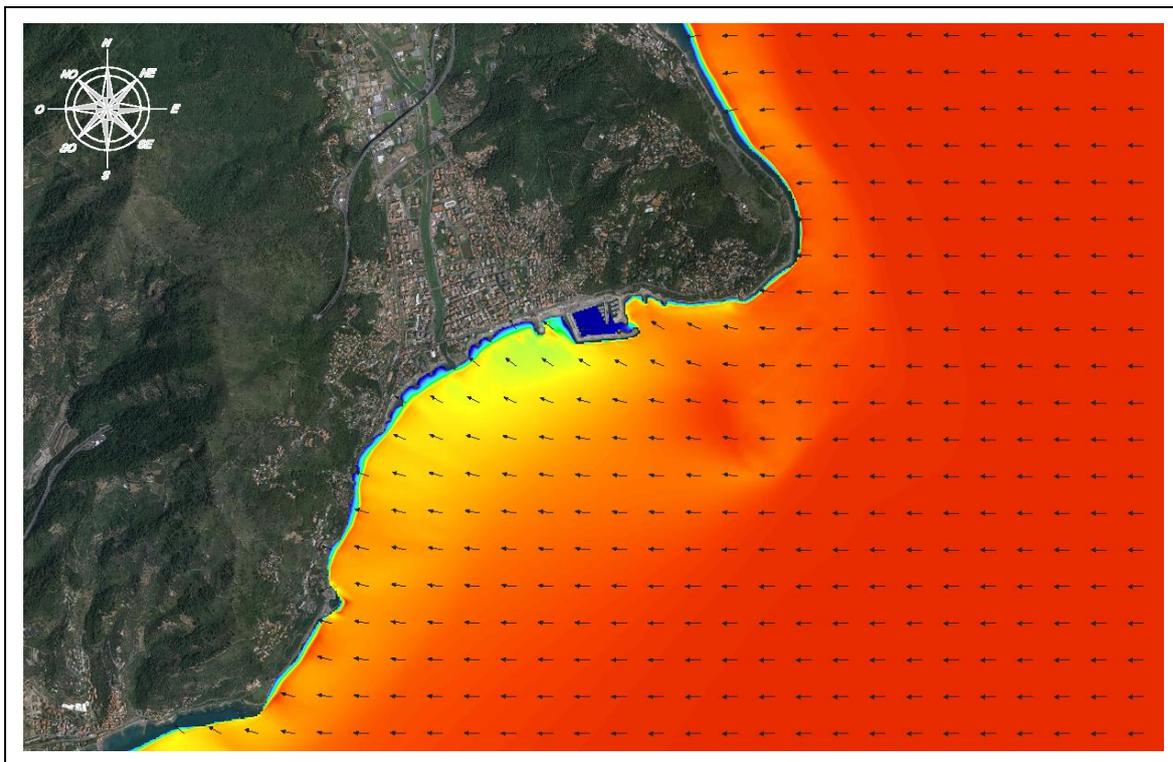


Fig. 5.7 – TEST 1 (Frequenza = 5 giorni/anno) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 1.39$ m, $T_P = 6.4$ s, Dir = 90° N

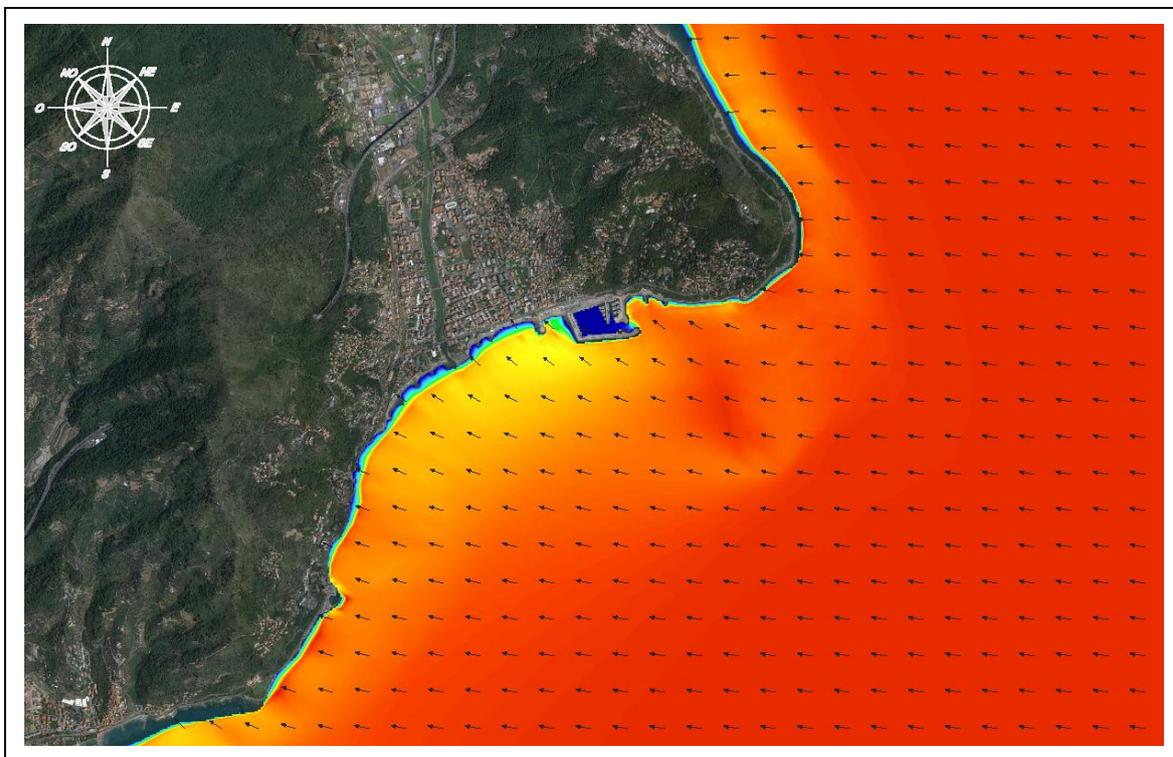


Fig. 5.8 – TEST 2 (Frequenza = 5 giorni/anno) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 1.39$ m, $T_P = 6.4$ s, Dir = 100° N

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 34 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

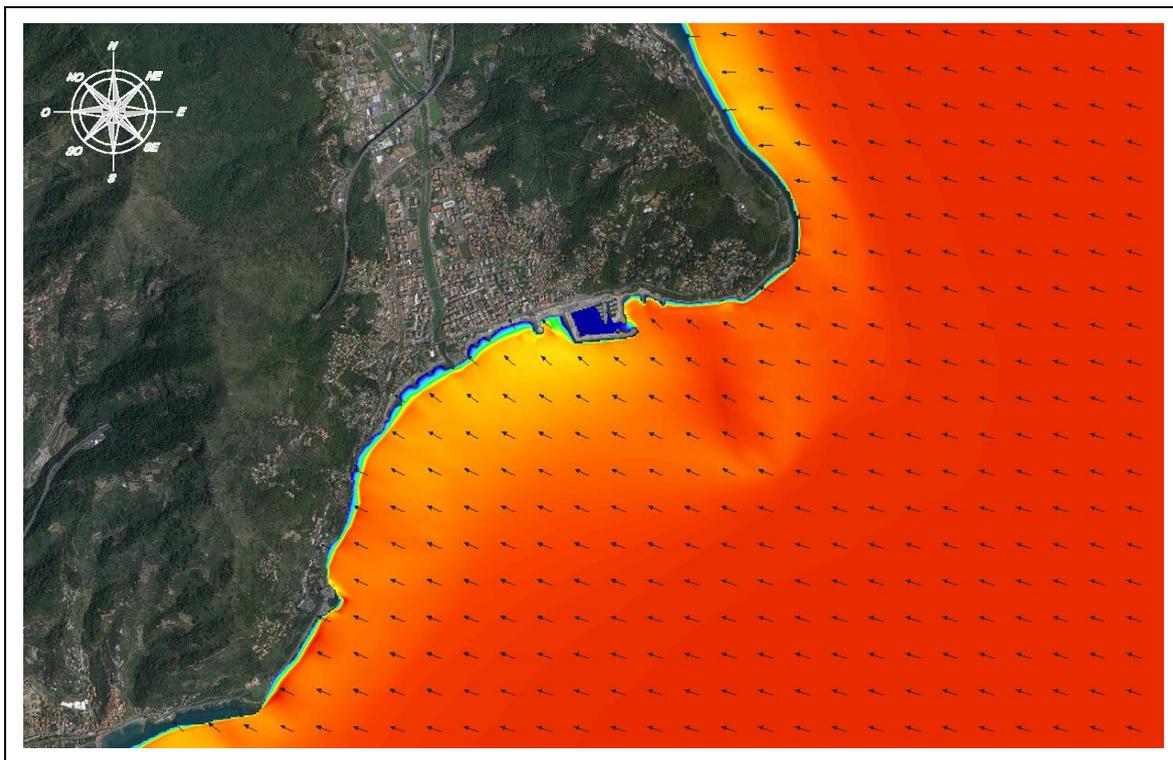


Fig. 5.9 – TEST 3 (Frequenza = 5 giorni/anno) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 1.39$ m, $T_p = 6.4$ s, Dir = 110° N

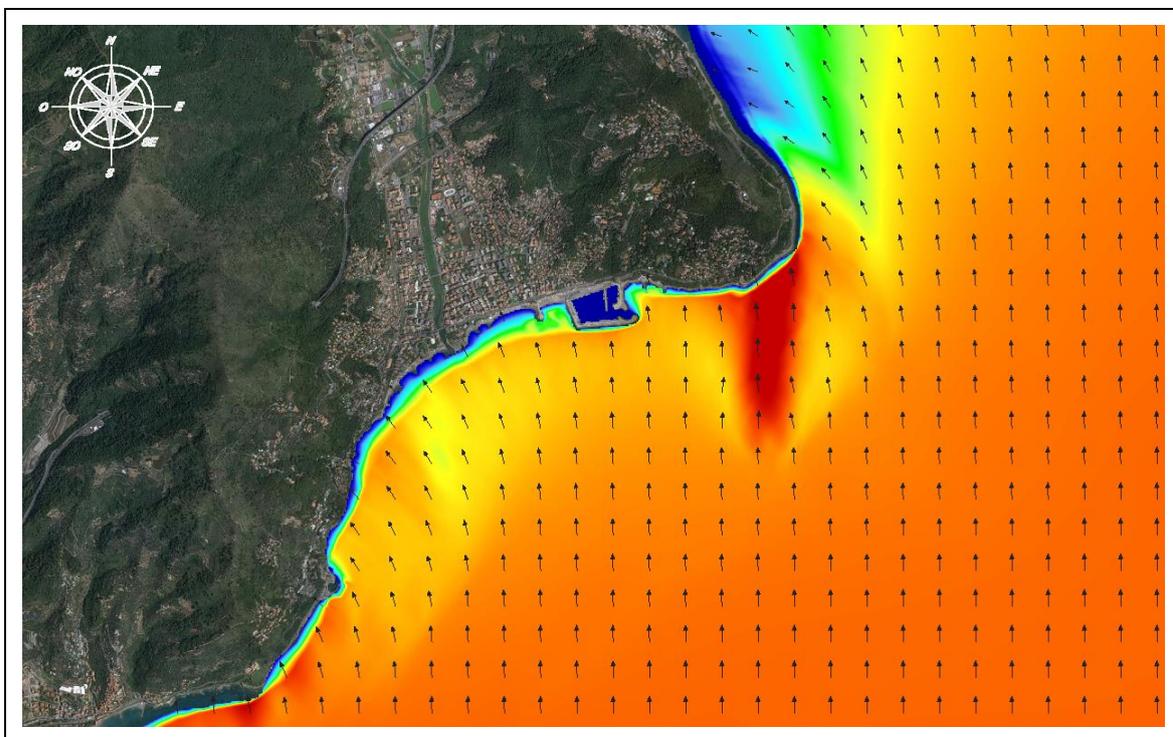


Fig. 5.10 – TEST 4 (Frequenza = 5 giorni/anno) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 2.54$ m, $T_p = 8.4$ s, Dir = 180° N

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 35 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

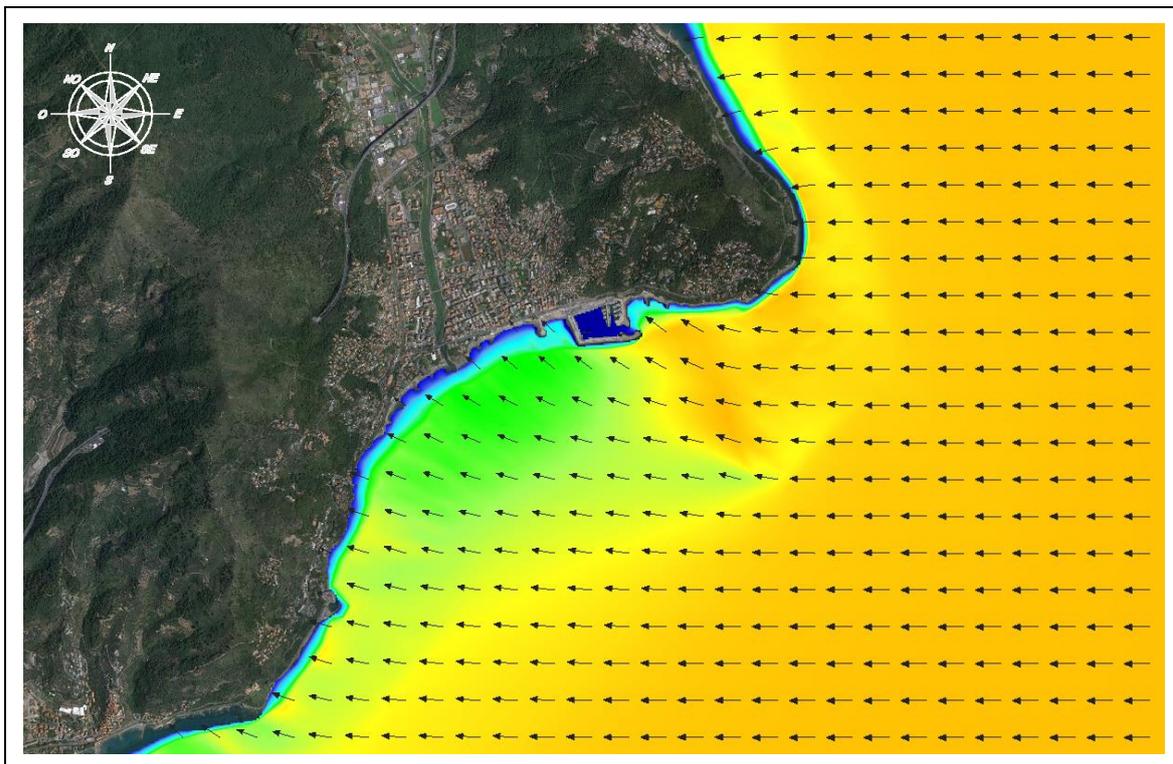


Fig. 5.11 – TEST 5 (Tempo di ritorno = 5 anni) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 3.56$ m, $T_p = 8.3$ s, Dir = 90° N

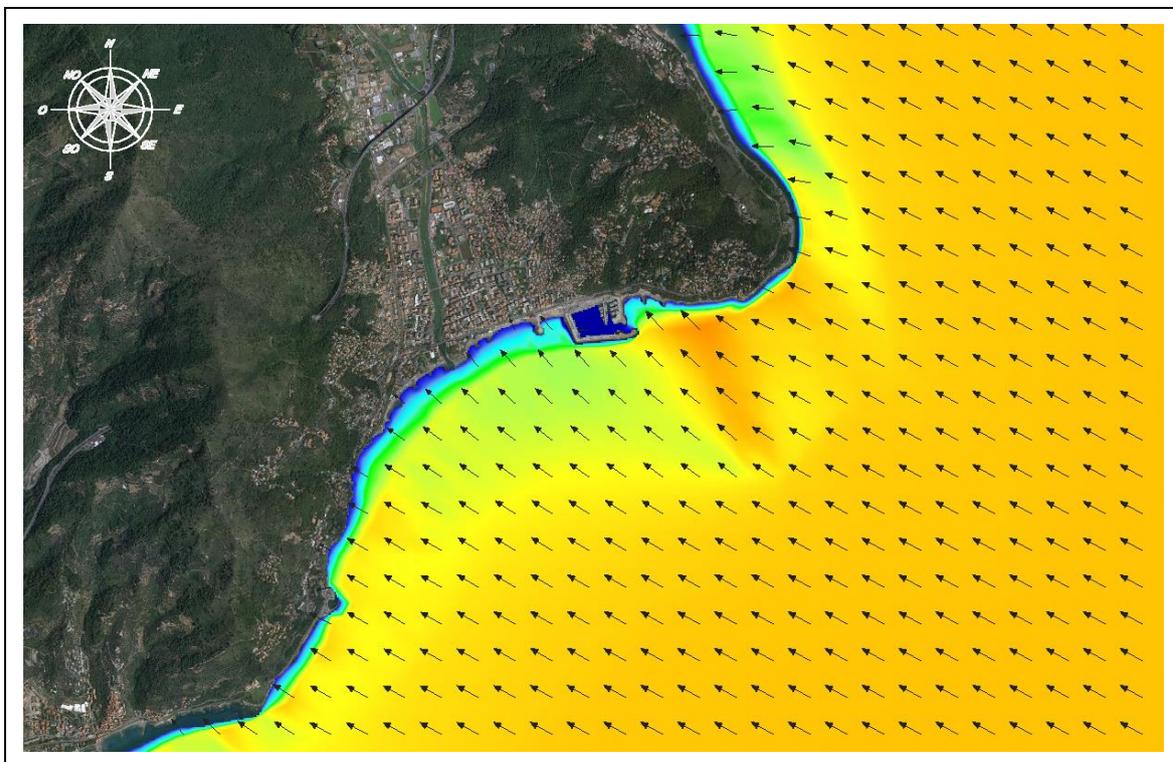


Fig. 5.12 – TEST 6 (Tempo di ritorno = 5 anni) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 3.56$ m, $T_p = 8.3$ s, Dir = 120° N

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 36 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

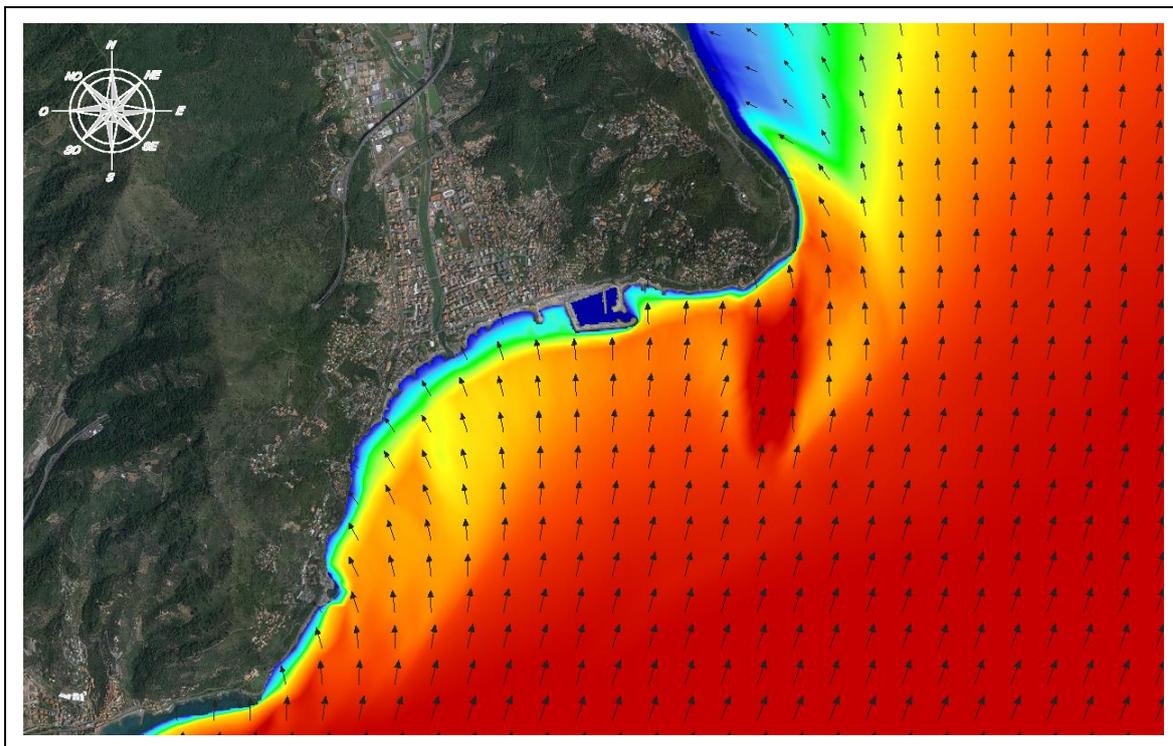


Fig. 5.13 – TEST 7 (Tempo di ritorno = 5 anni) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 5.18$ m, $T_p = 9.6$ s, Dir = 200°N

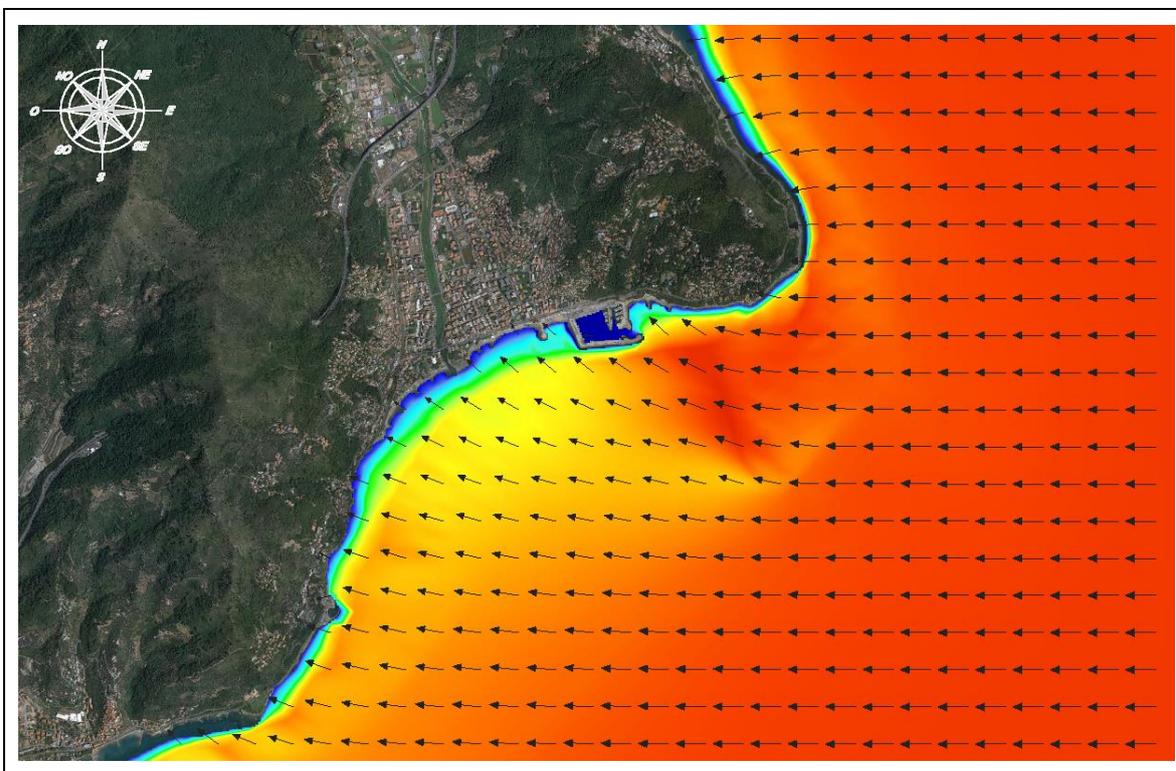


Fig. 5.14 – TEST 8 (Tempo di ritorno = 50 anni) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 4.54$ m, $T_p = 8.9$ s, Dir = 90°N

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 37 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

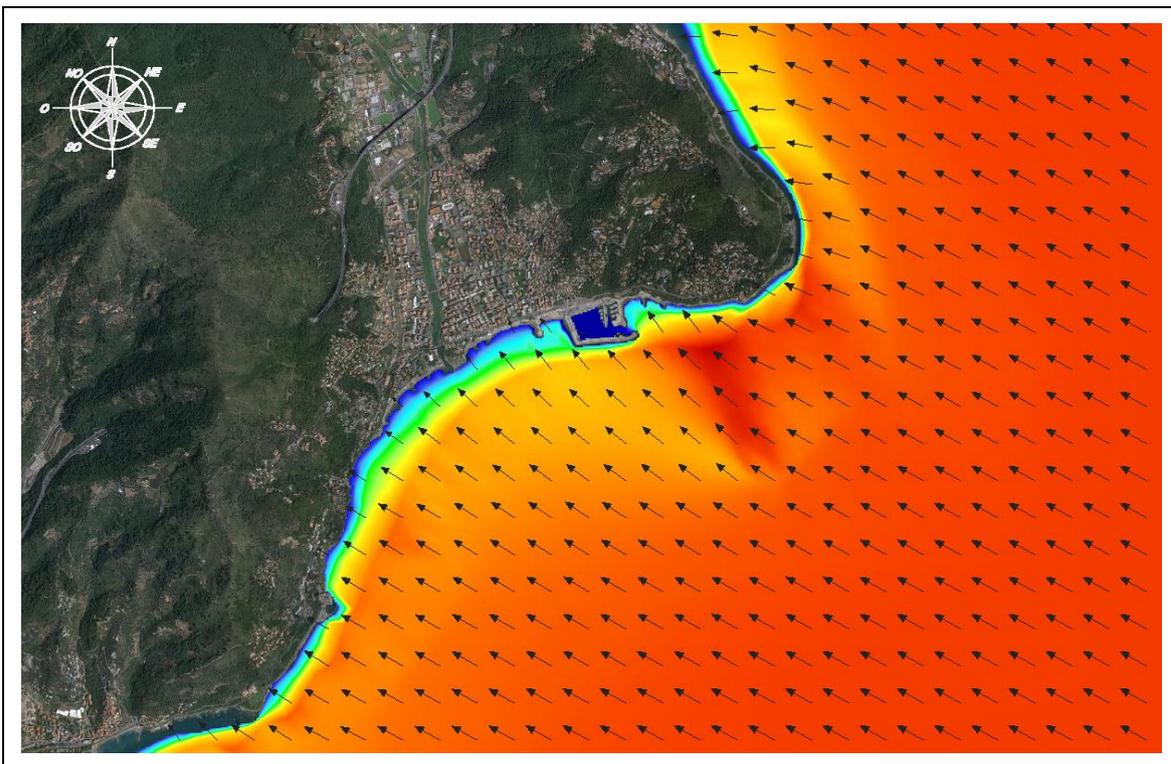


Fig. 5.15 – TEST 9 (Tempo di ritorno = 50 anni) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 4.54$ m, $T_p = 8.9$ s, Dir = 120° N

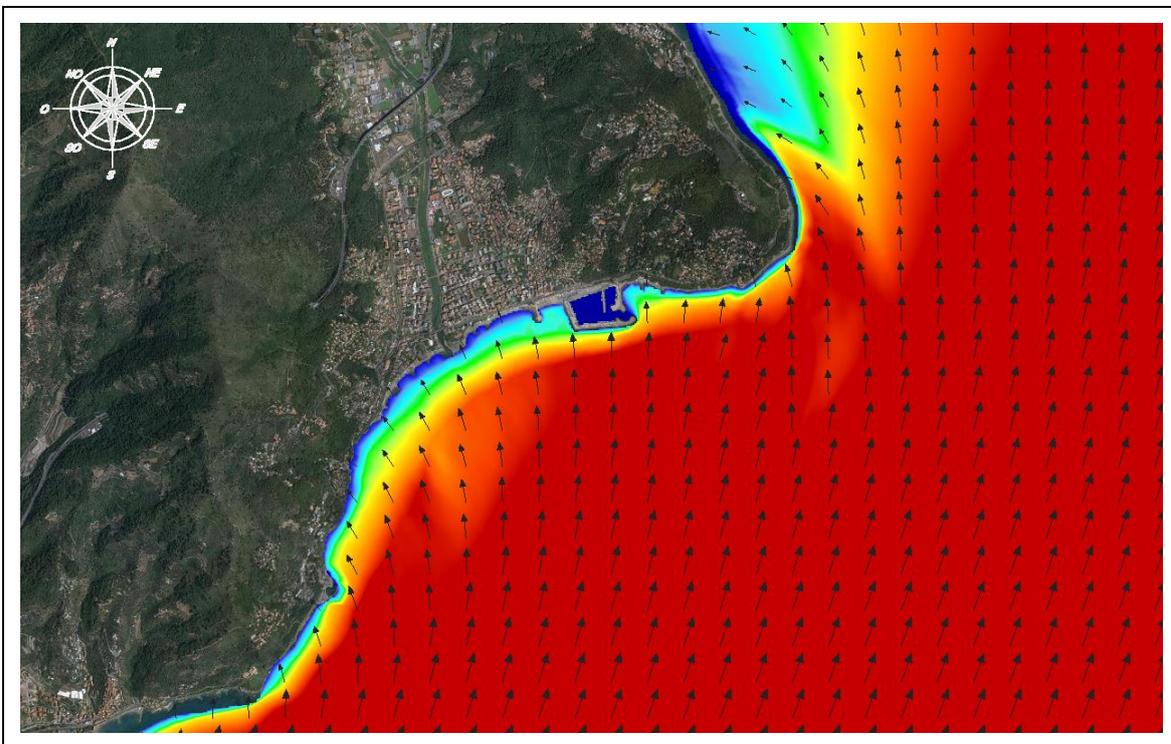


Fig. 5.16 – TEST 10 (Tempo di ritorno = 50 anni) - Caratteristiche mareggiata: $H_s = 6.69$ m, $T_p = 9.8$ s, Dir = 200° N

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 38 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE ATTUALE

Nella prima fase dello studio si è proceduto all'analisi dell'agitazione ondosa con riferimento alla configurazione attuale del Marina di Andora.

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.

La valutazione dell'agitazione ondosa è stata eseguita con riferimento alle 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;
- condizioni di "sicurezza": $H_s = 0.30$ m per eventi con tempo di ritorno indicativamente non inferiori a 5 anni;
- condizione "limite": $H_s = 0.50$ m per eventi con tempo di ritorno indicativamente non inferiori a 50 anni.

6.1 Descrizione del codice di calcolo 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 (es. floating barrier).

Il modello, sviluppato su commissione dell'U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, è basato sull'approssimazione ellittica della mild slope equation bidimensionale (cfr. 6.1.2) e, in particolare, è in grado di tener conto di fenomeni dissipativi (dovuti a attrito al fondo, frangimento e dispersione non lineare) e riflessione.

CGWAVE è un modello spettrale in frequenza e direzione; permette quindi di studiare la propagazione del moto ondoso in domini particolarmente complessi, dove tutti i fenomeni sopra citati concorrono a determinare le condizioni locali di agitazione.

6.1.1 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 fitta risoluzione). Le condizioni al contorno vengono applicate impiegando uno nuovo schema basato sulla approssimazione parabolica (Xu, Pachang e Dermibilek, 1996).

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 39 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

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

6.1.2 Cenni sulle formulazioni di CGWAVE

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

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 40 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

Il frangimento viene implementato nel modello secondo la formulazione ricavata da Dally et al. (1985), Dermibilek (1994), Dermibilek 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).

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:

$$\sigma^2 = gk \left[1 + (ka)^2 F_1 \tanh^5 kd \right] \tanh \{ kd + ka F_2 \}$$

dove:

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

6.1.3 Condizioni al contorno

Gli elementi che delimitano il dominio di calcolo possono essere suddivisi in due categorie:

- *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:

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

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 41 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

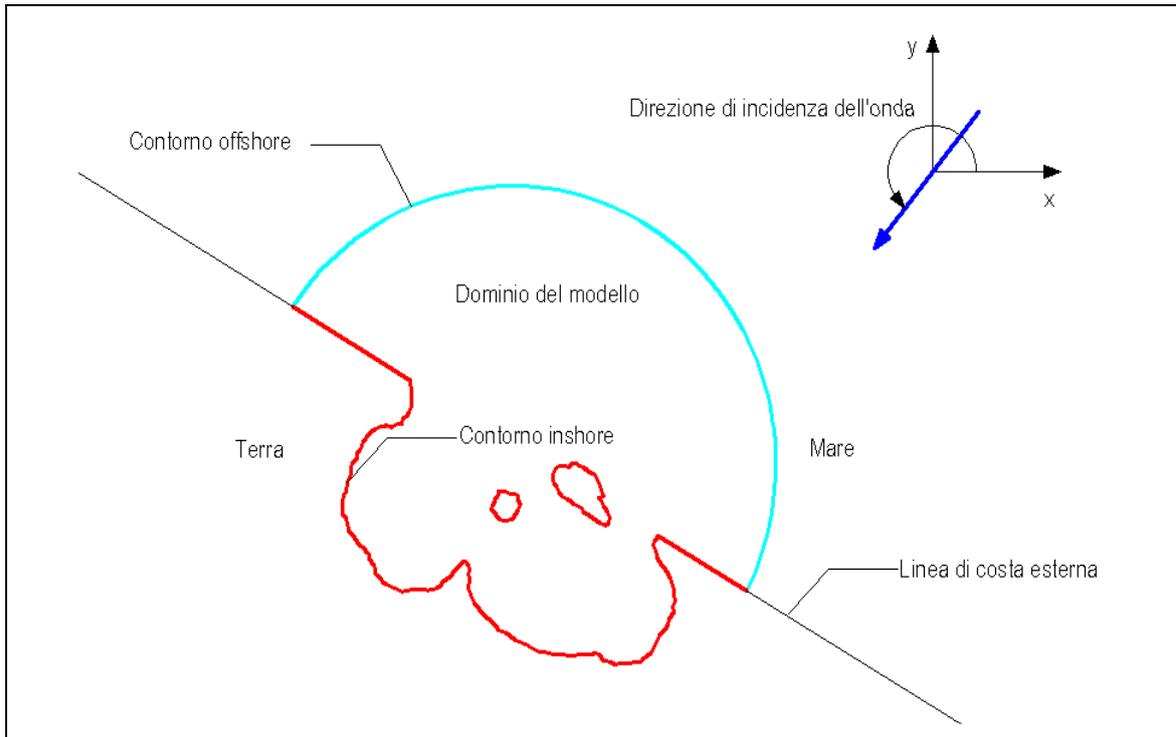


Fig. 6.1 – Condizioni al contorno del modello

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 Dermibilek (1996), basato sulla seguente approssimazione parabolica lungo il contorno offshore:

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

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: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 42 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.2 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 -50 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 scogliere e delle opere presenti. In Fig. 6.2 si riporta il dominio di calcolo impiegato per lo studio della penetrazione ondosa in stato attuale.

Per minimizzare possibili effetti di bordo la parte di mare a Nord di Capo Mele (comunque esterna dall'area di interesse di propagazione del moto ondoso) è stata parzialmente ridotta, sostituendola con un contorno assorbente (vedi contorno giallo in Fig. 6.2).

Il dominio così definito è stato ricoperto con una mesh a maglie triangolari formata da elementi di dimensioni variabili da 6 m, sul contorno offshore, a 2 m, sul contorno inshore e all'interno del bacino portuale. 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 e del rilievo locale, all'interno e in prossimità del marina, fornito dal Committente. Nella successiva Fig. 6.3 è riportato un dettaglio della mesh di calcolo in prossimità e all'interno del bacino portuale.

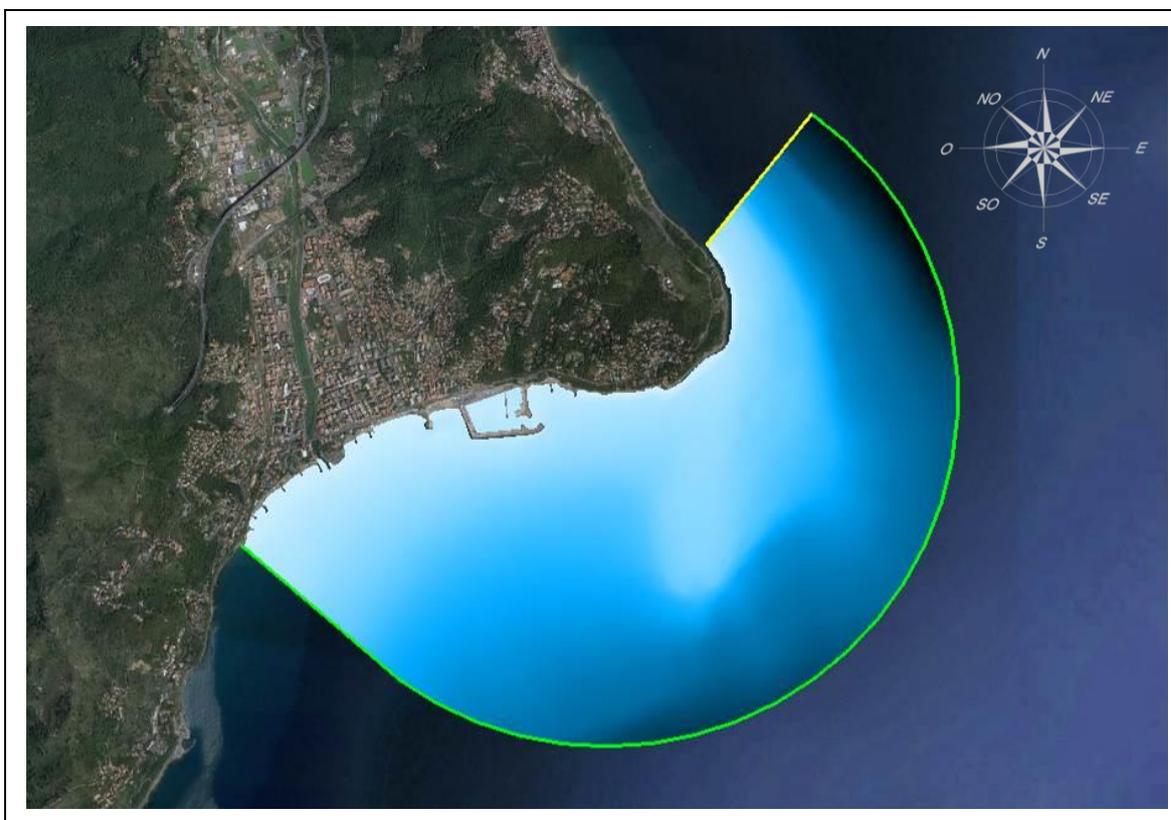


Fig. 6.2 – Dominio di calcolo impiegato nello studio della penetrazione del moto ondoso

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 43 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

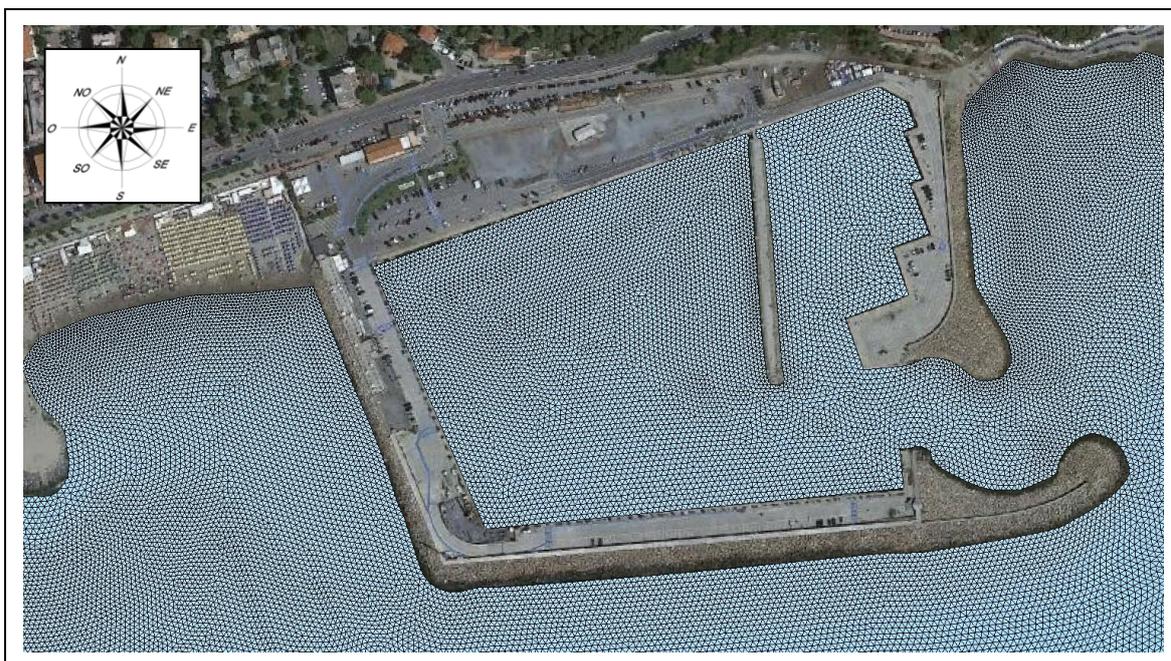


Fig. 6.3 – Particolare della mesh di calcolo nell'area di interesse

6.2.1 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 delle propagazioni locali svolte nel precedente paragrafo 5.6.

Nel dettaglio le condizioni da applicare in input al modello sono state estratte dai risultati delle propagazioni STWAVE, in corrispondenza del bordo offshore del dominio GCWAVE. Nella successiva Fig. 6.4 viene riportata la griglia STWAVE impiegata per le propagazioni e il bordo offshore del dominio CGWAVE.

La lista dei test condotti per lo studio della penetrazione del moto ondoso con le corrispondenti caratteristiche delle mareggiate estratte in corrispondenza del bordo offshore sono riportate nella successiva Tab. 6.1.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 44 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	



Fig. 6.4 – Griglia STWAVE e bordo offshore del dominio CGWAVE

TEST	Caratteristiche	H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	Sovralzo (m)
TEST 1	Levante con frequenza = 5 giorni/anno	1.39	6.4	90	+0.00
TEST 2	Levante con frequenza = 5 giorni/anno	1.39	6.4	100	+0.00
TEST 3	Levante con frequenza = 5 giorni/anno	1.39	6.4	110	+0.00
TEST 4	Mezzogiorno con frequenza = 5 giorni/anno	2.49	8.4	180	+0.00
TEST 5	Levante con T _R = 5 anni	3.52	8.3	90	+0.62
TEST 6	Levante-Scirocco con T _R = 5 anni	3.52	8.3	120	+0.62
TEST 7	Mezzogiorno-Libeccio con T _R = 5 anni	4.98	9.6	200	+0.62
TEST 8	Levante con T _R = 50 anni	4.46	8.9	92	+0.62
TEST 9	Levante-Scirocco con T _R = 50 anni	4.46	8.9	120	+0.62
TEST 10	Mezzogiorno-Libeccio con T _R = 50 anni	6.40	9.8	200	+0.62

Tab. 6.1 – Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio della penetrazione e dell'agitazione ondosa e condizioni di input applicate sul bordo offshore del modello CGWAVE

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 45 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.2.2 Definizione del contorno inshore

Per la definizione del layout e delle caratteristiche delle opere esistenti (moli, banchine, scogliere, 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 la configurazione attuale del Marina e del tratto di costa in adiacenza, prevalentemente costituito da spiagge e opere in scogliera nel tratto ad Ovest del Marina e da scarpata naturale parzialmente franata nel tratto ad Est.

Le caratteristiche degli elementi che costituiscono il contorno inshore così individuate 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 banchine Nord, Ovest e Sud del vecchio bacino portuale, caratterizzate da parete verticale, sono state considerate completamente riflettenti; le banchine Nord ed Est del nuovo bacino portuale realizzato tra il vecchio e il nuovo molo di sottoflutto sono costituite da un impalcato su pali con sottostante scogliera in massi naturali (cfr. successiva Fig. 6.5) e sono state conseguentemente considerate parzialmente riflettenti.

Anche le strutture a gettata in massi naturali e le scarpate naturali parzialmente franate sono state considerate parzialmente riflettenti con un coefficiente di riflessione leggermente inferiore.

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 6.2.2.1).



Fig. 6.5 – Banchina Ovest lungo il nuovo sottoflutto

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 46 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.2.2.1 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. Nella successiva Fig. 6.6 è riportato il dominio di calcolo in cui vengono indicati i valori dei coefficienti di riflessione associati agli elementi che costituiscono il contorno inshore. I valori del coefficiente di riflessione, per ciascuna tipologia di elemento considerata, sono sintetizzati nella seguente Tab. 6.2.

Descrizione tratto	Coeff. di riflessione
Banchine a parete verticale	0.90
Banchine su pali con sottostante scogliera	0.50
Opere a gettata in massi	0.40
Scarpata naturale parzialmente franata	0.40
Spiaggia	0.10

Tab. 6.2 – Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore

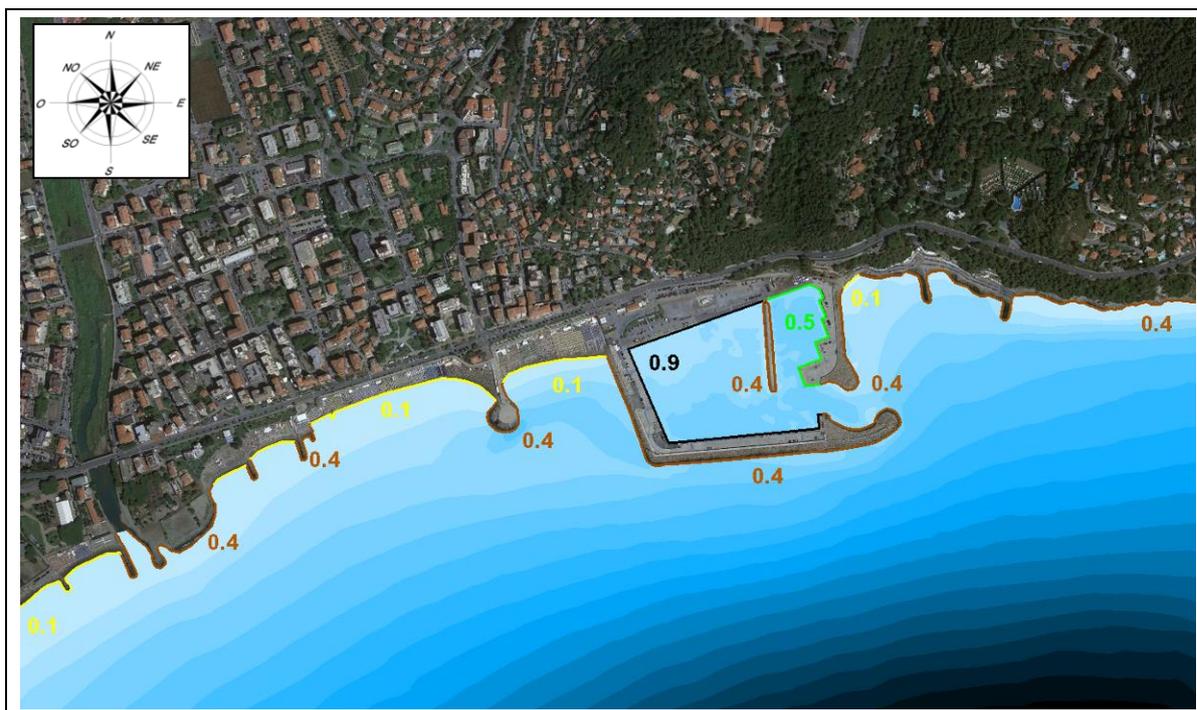


Fig. 6.6 – Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 47 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3 Risultati dello studio dell'agitazione ondosa in configurazione attuale

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

In particolare, nel paragrafo 6.3.1 sono riportati i risultati relativi alla verifica della condizione "limite", nel paragrafo 6.3.2 sono riportati i risultati relativi alla verifica della condizione di "sicurezza" e infine nel paragrafo 6.3.3 sono riportati i risultati relativi alla verifica della condizione di "comfort".

6.3.1 Verifica della condizione "limite" ($T_R = 50$ anni)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del porto sono riportati nelle successive figure per ciascuna delle mareggiate analizzate. In Fig. 6.7, Fig. 6.11 e Fig. 6.15 viene riportato l'andamento delle creste delle diverse mareggiate analizzate; mentre in Fig. 6.8, Fig. 6.12 e Fig. 6.16 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche della mareggiata in termini di altezza d'onda significativa.

In Fig. 6.10, Fig. 6.13 e Fig. 6.17 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa all'interno del porto e nel suo immediato intorno.

I medesimi risultati sono infine riportati in Fig. 6.11, Fig. 6.14 e Fig. 6.18, 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 tutte le mareggiate propagate giungono in prossimità dell'imboccatura portuale con altezze d'onda dell'ordine dei 3-3.5 m in quanto risultano limitate dal fondale che di fronte all'imboccatura assume profondità dell'ordine dei 4.5-5 m.

I risultati evidenziano inoltre che la mareggiata in grado di penetrare in misura maggiore all'interno del bacino portuale risulta essere quella di Levante. L'agitazione residua all'interno portuale risulta comunque piuttosto contenuta con valori di altezza d'onda massima dell'ordine dei 40 cm e quindi ampiamente al disotto del valore limite (0.5 m).

Conseguentemente la verifica della condizione limite risulta soddisfatta per tutte le mareggiate analizzate.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 48 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.1.1 Agitazione ondosa per la mareggiata estrema di Levante TEST8

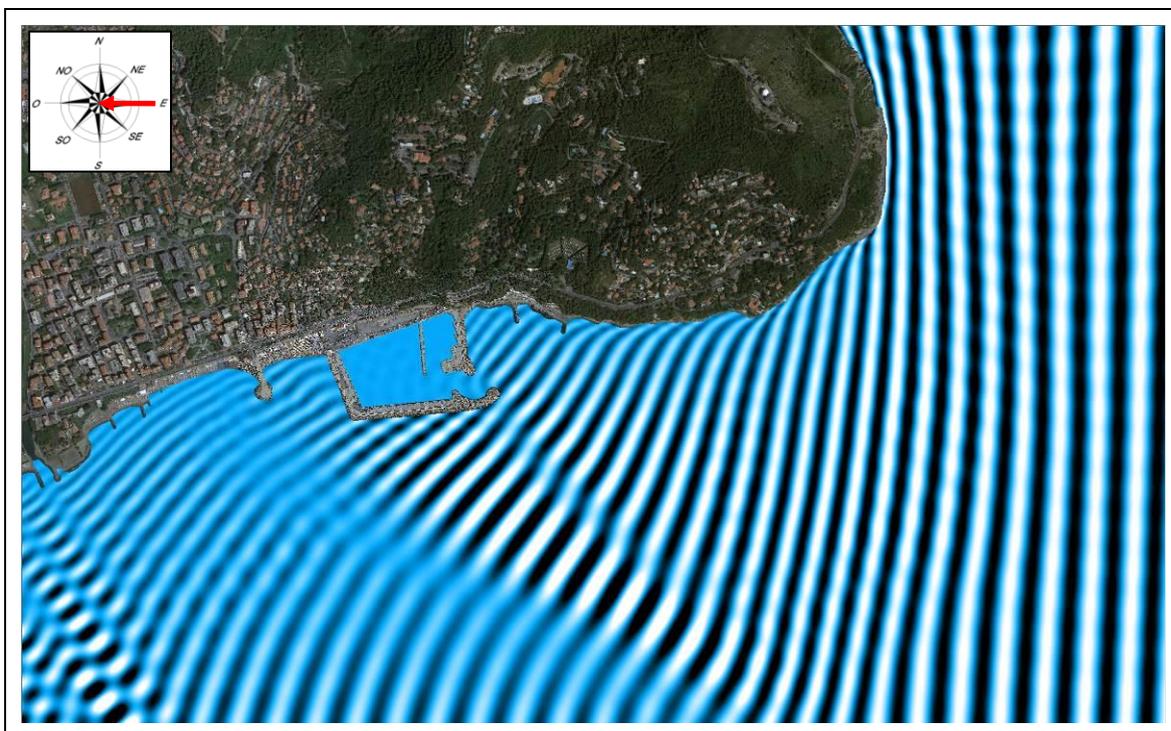


Fig. 6.7 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, andamento delle creste

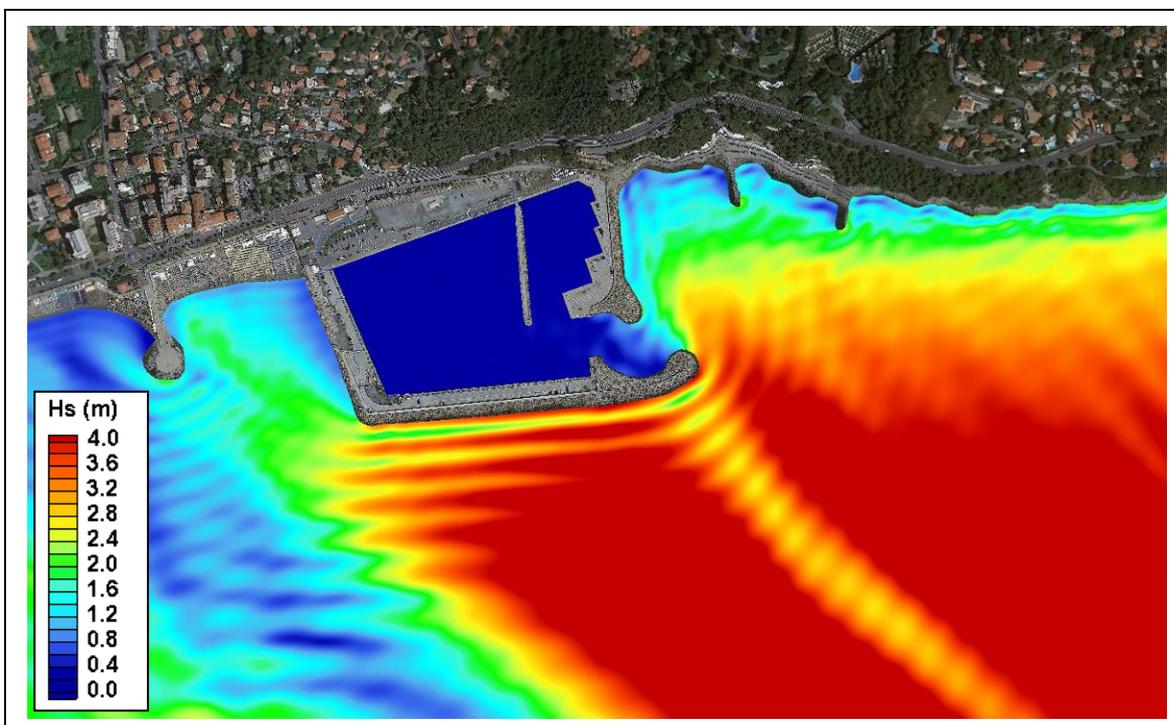


Fig. 6.8 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 49 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

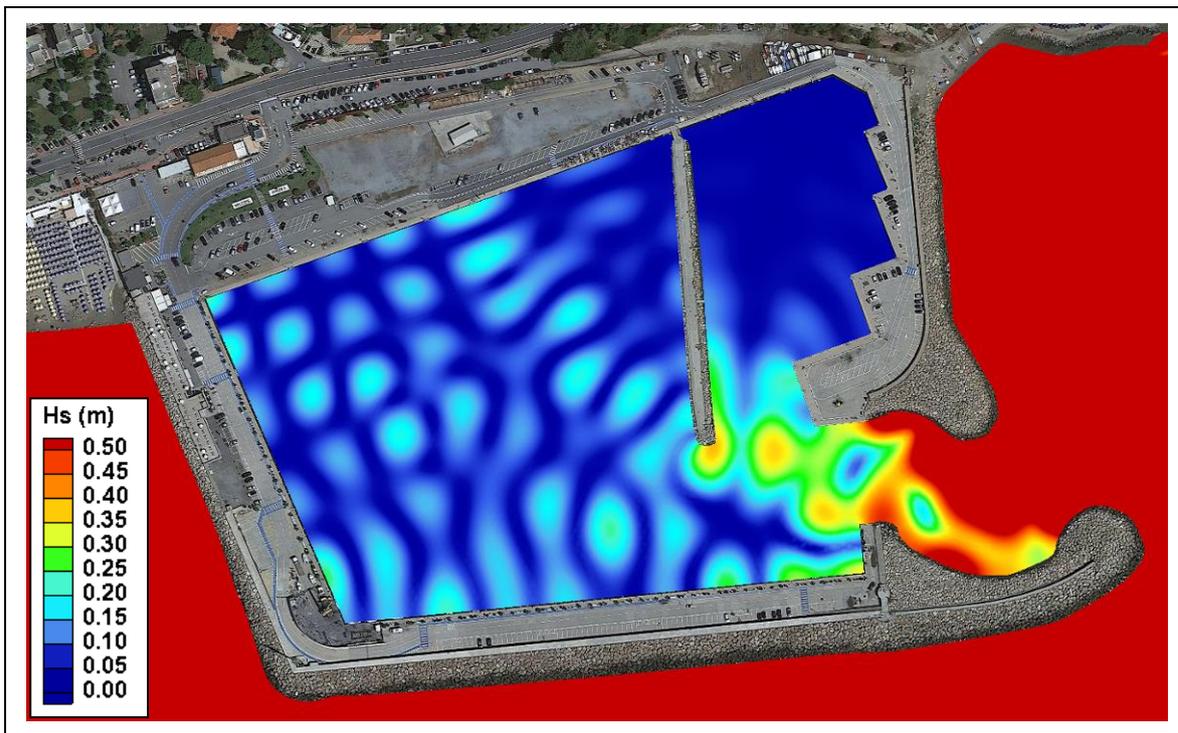


Fig. 6.9 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio porto



Fig. 6.10 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, verifica delle condizioni "limite"

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 50 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.1.2 Agitazione ondosa per la mareggiata estrema di Levante-Scirocco TEST9

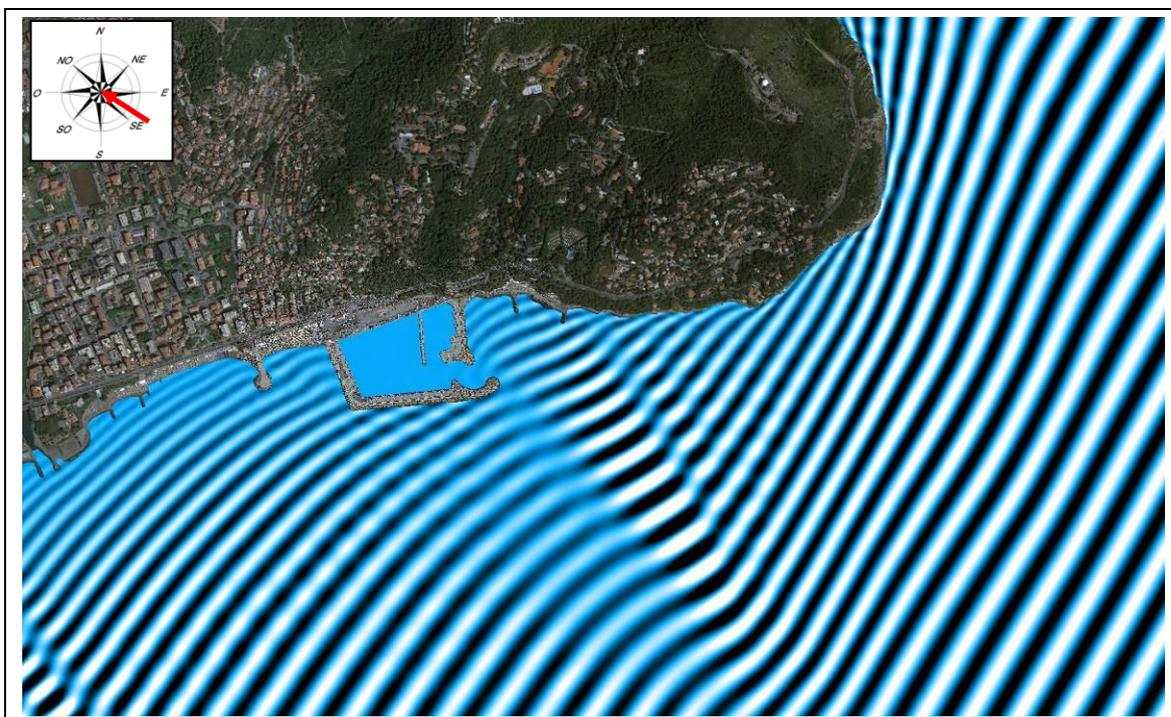


Fig. 6.11 – TEST 9: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante-Scirocco, andamento delle creste

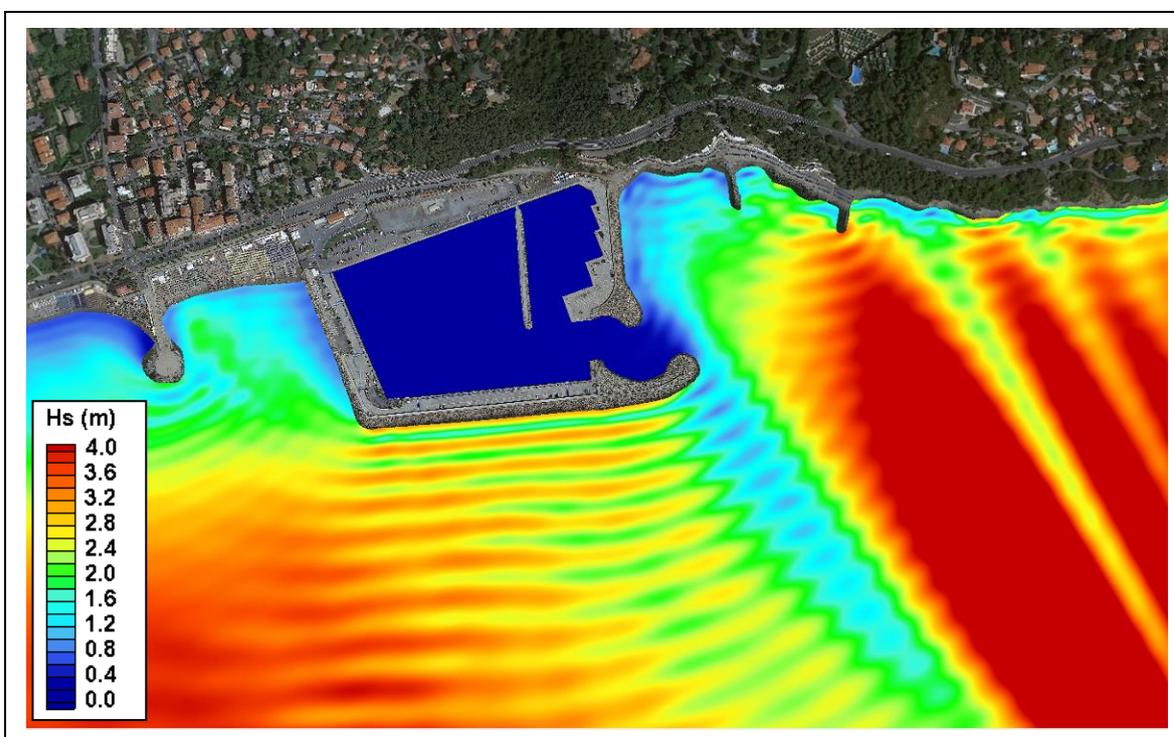


Fig. 6.12 – TEST 9: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante-Scirocco, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 51 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

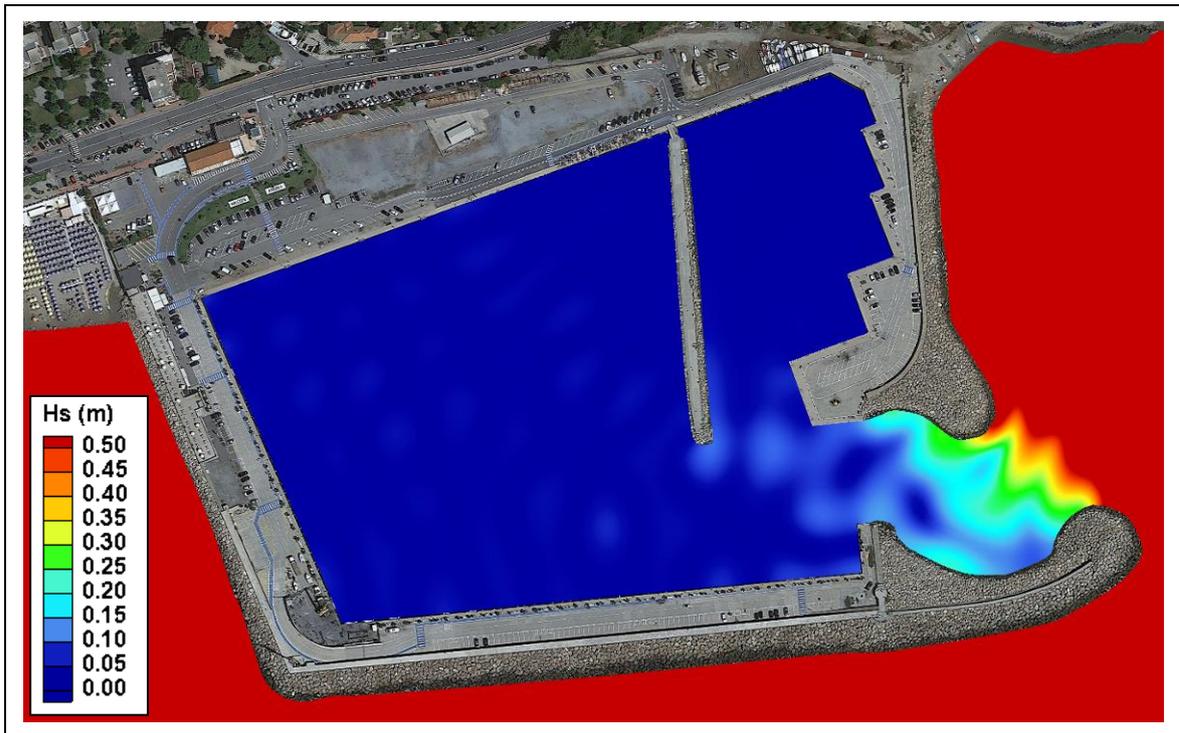


Fig. 6.13 – TEST 9: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante-Scirocco, altezza d'onda significativa – dettaglio



Fig. 6.14 – TEST 9: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante-Scirocco, verifica delle condizioni "limite"

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 52 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.1.3 Agitazione ondosa per la mareggiata estrema di Mezzogiorno-Libeccio TEST10

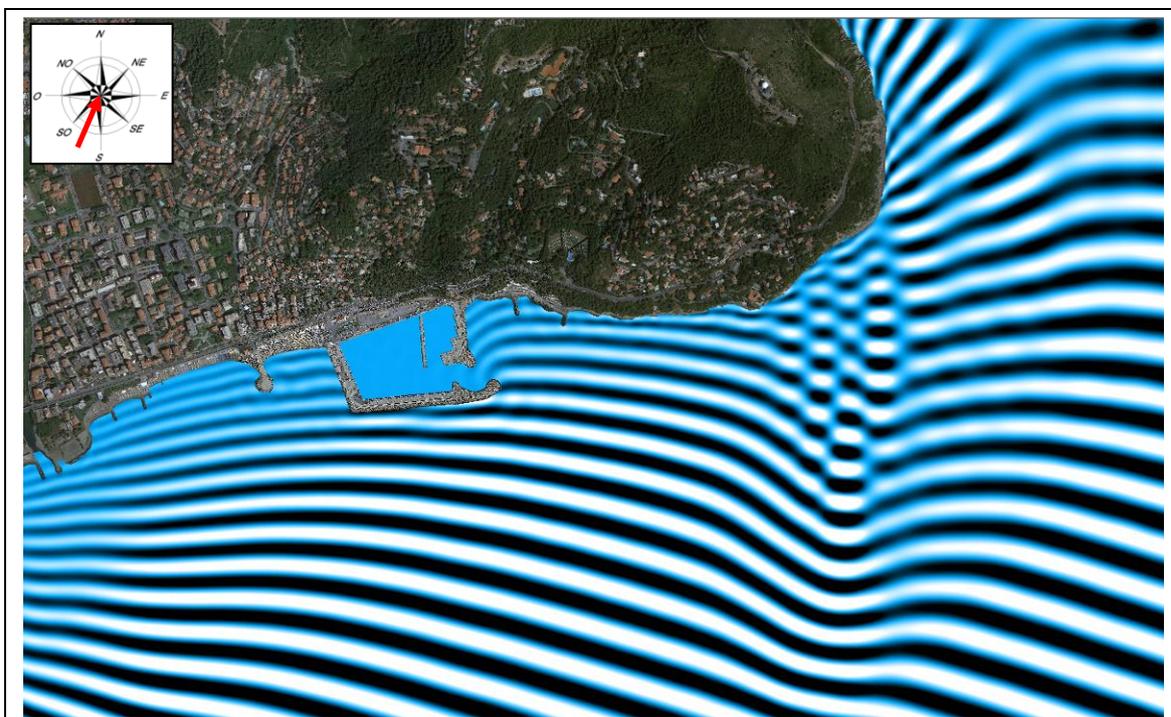


Fig. 6.15 – TEST 10: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, andamento delle creste

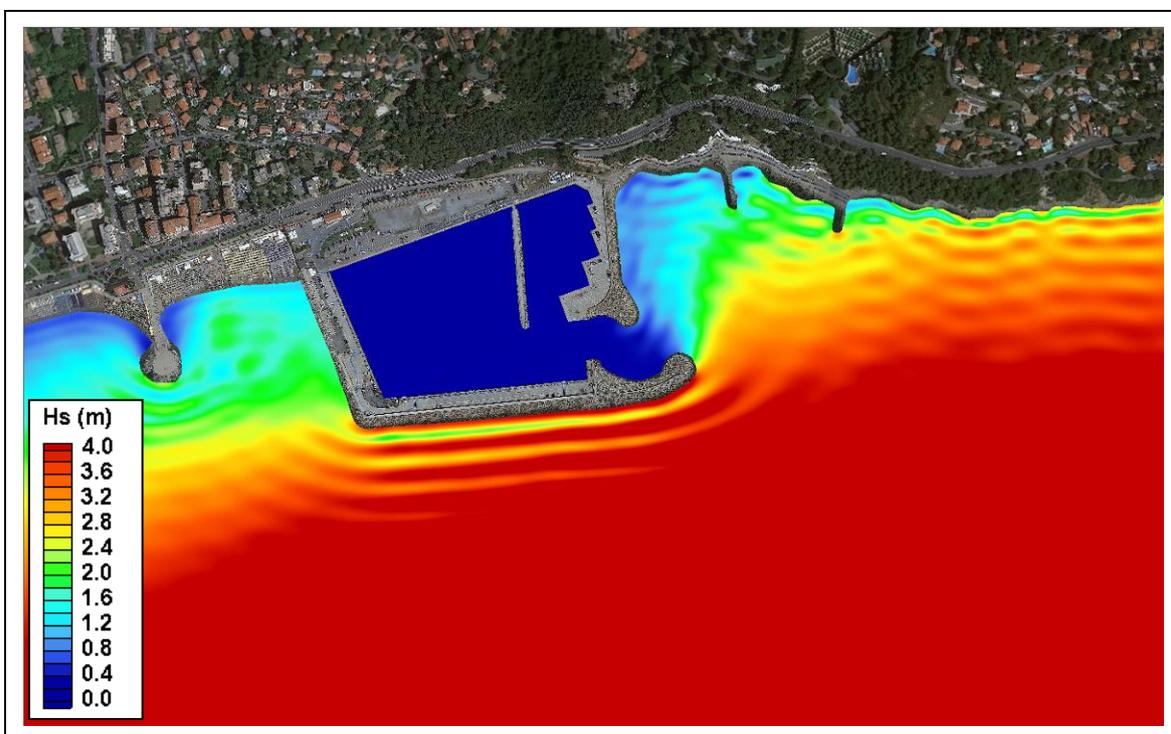


Fig. 6.16 – TEST 10: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 53 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

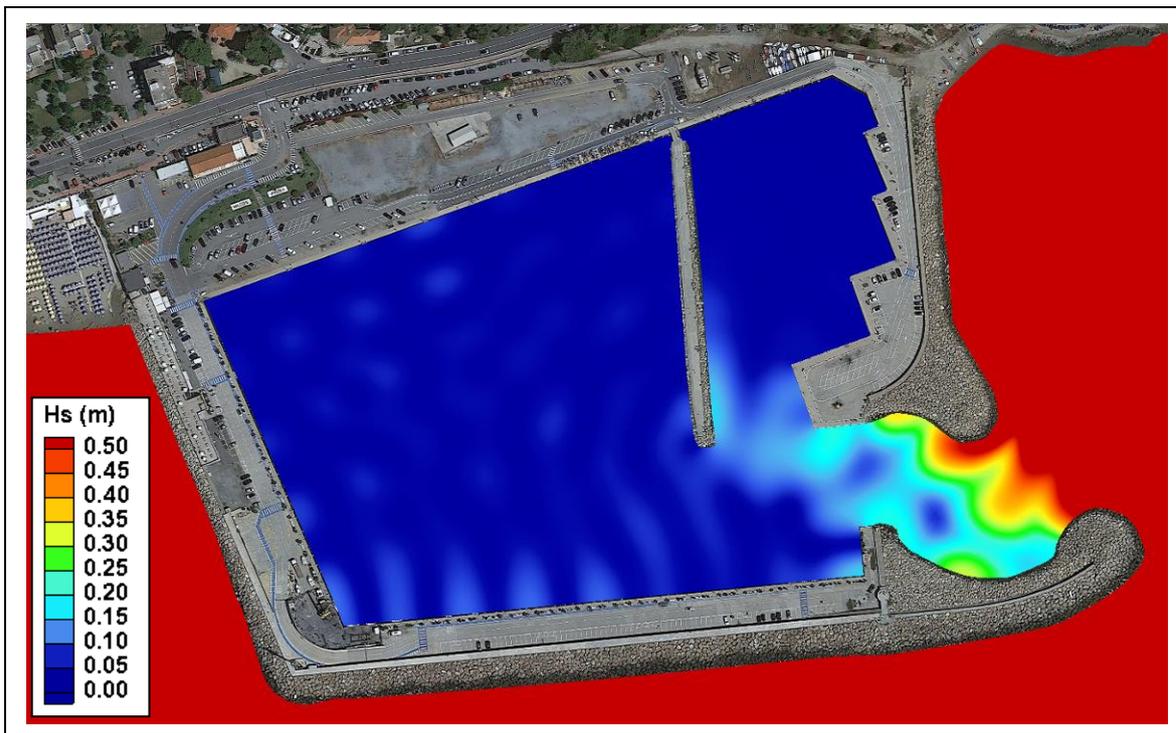


Fig. 6.17 – TEST 10: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Mezz.-Libeccio, altezza d'onda significativa – dettaglio



Fig. 6.18 – TEST 10: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, verifica delle condizioni "limite"

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 54 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.2 Verifica della condizione “di sicurezza” ($T_R = 5$ anni)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del porto sono riportati nelle successive figure per ciascuna delle mareggiate analizzate. In Fig. 6.18, Fig. 6.22 e Fig. 6.26 viene riportato l'andamento delle creste delle diverse mareggiate analizzate; mentre in Fig. 6.19, Fig. 6.23 e Fig. 6.27 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche della mareggiata in termini di altezza d'onda significativa.

In Fig. 6.20, Fig. 6.24 e Fig. 6.28 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa all'interno del porto e nel suo immediato intorno.

I medesimi risultati sono infine riportati in Fig. 6.21, Fig. 6.25 e Fig. 6.29 dove la scala cromatica è limitata al valore massimo di a 0.3 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si osserva che anche in questo caso tutte le mareggiate propagate giungono in prossimità dell'imboccatura portuale con altezze d'onda dell'ordine dei 3-3.5 m in quanto risultano limitate dal fondale che di fronte all'imboccatura assume profondità dell'ordine dei 4.5-5 m.

I risultati evidenziano inoltre che le mareggiate in grado di penetrare in misura maggiore all'interno del bacino portuale sono quelle di Levante e Levante-Scirocco. L'agitazione residua risulta piuttosto contenuta nella maggior parte del bacino portuale ad eccezione dell'area in prossimità dell'imboccatura portuale: all'interno del bacino si rilevano infatti valori di altezza d'onda di poco superiori ai 20 cm ad esclusione dell'area in prossimità del tratto terminale dell'ex sottoflutto in cui si raggiungono valori prossimi ai 35 cm.

Si può quindi ritenere che la condizione di “sicurezza” sia sostanzialmente soddisfatta in quanto il superamento del limite (0.3 m) si verifica in un'area piuttosto limitata e raggiungendo comunque valori di altezza d'onda compatibili con la sicurezza delle imbarcazioni ormeggiate.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 55 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.2.1 Agitazione ondosa per la mareggiata estrema di Levante TEST5

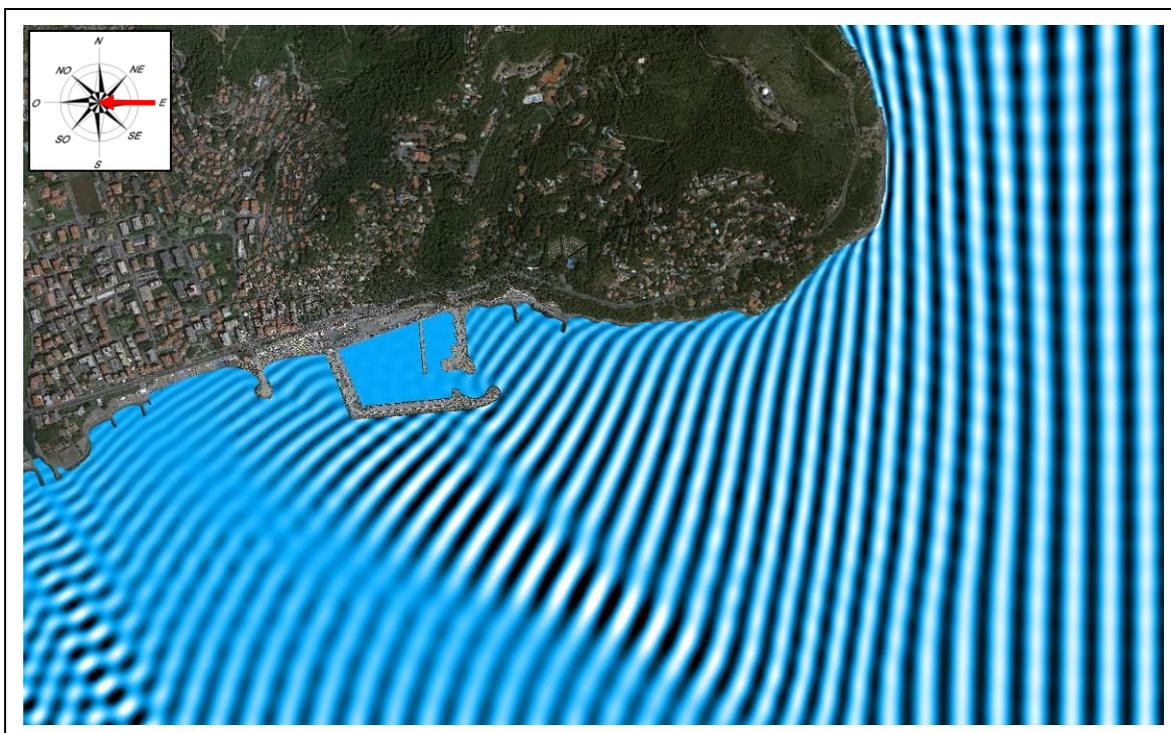


Fig. 6.19 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, andamento delle creste

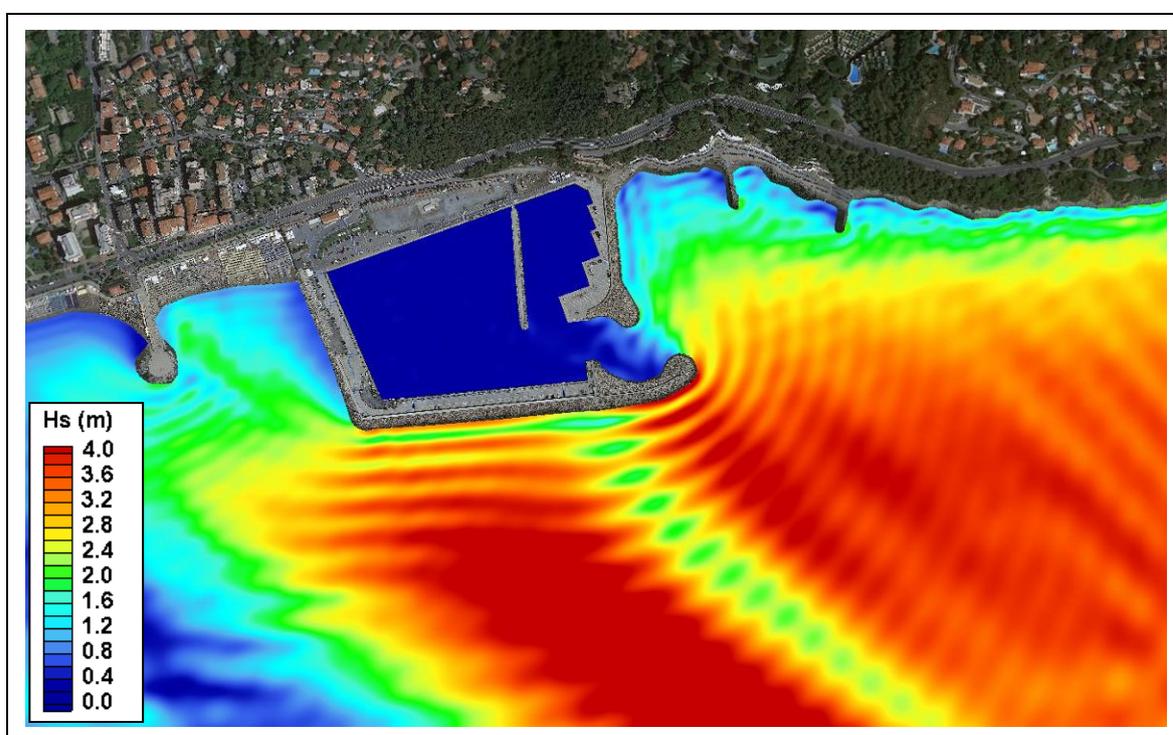


Fig. 6.20 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 56 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

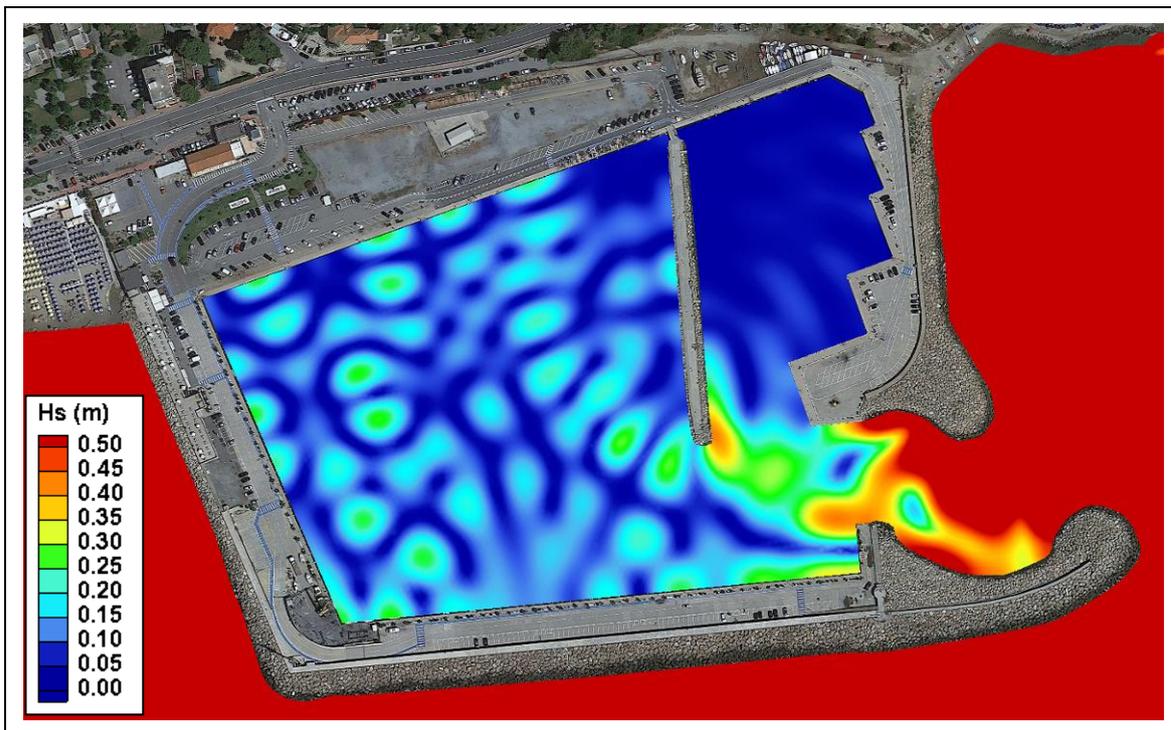


Fig. 6.21 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio



Fig. 6.22 – TEST 5: mareggiata estrema di Levante, verifica delle condizioni “di sicurezza”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 57 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.2.2 Agitazione ondosa per la mareggiata estrema di Levante-Scirocco TEST6

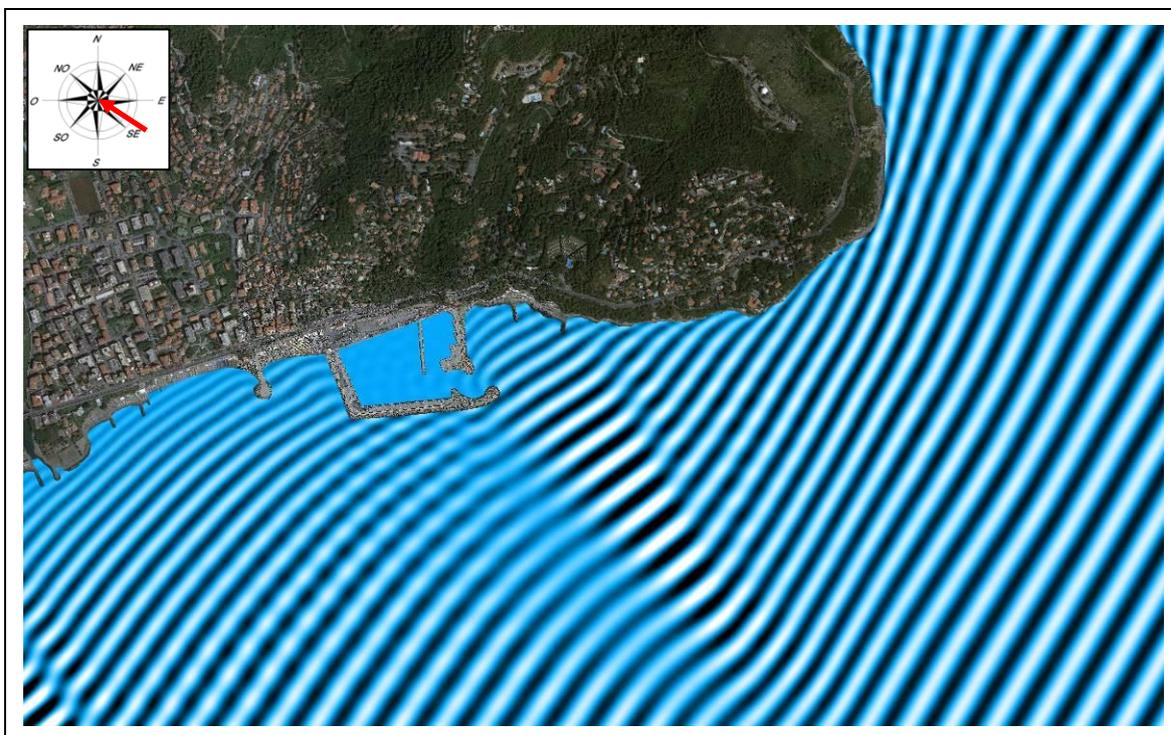


Fig. 6.23 – TEST 6: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante-Scirocco, andamento delle creste

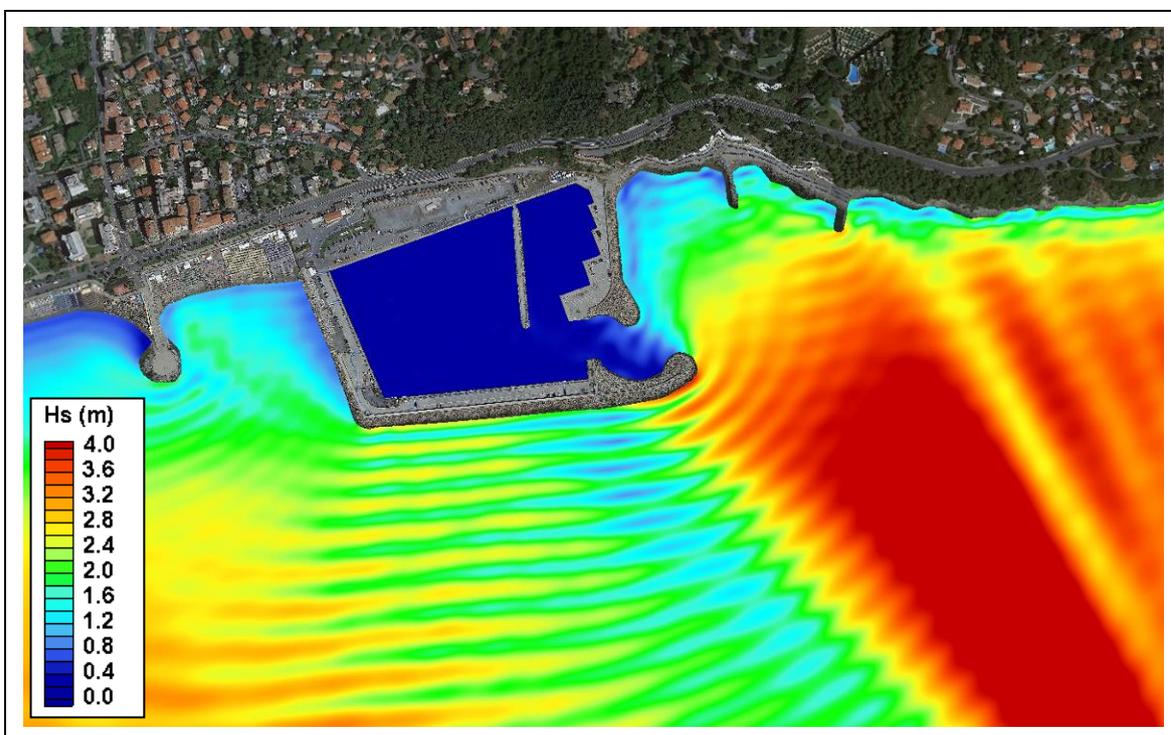


Fig. 6.24 – TEST 6: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante-Scirocco, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 58 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

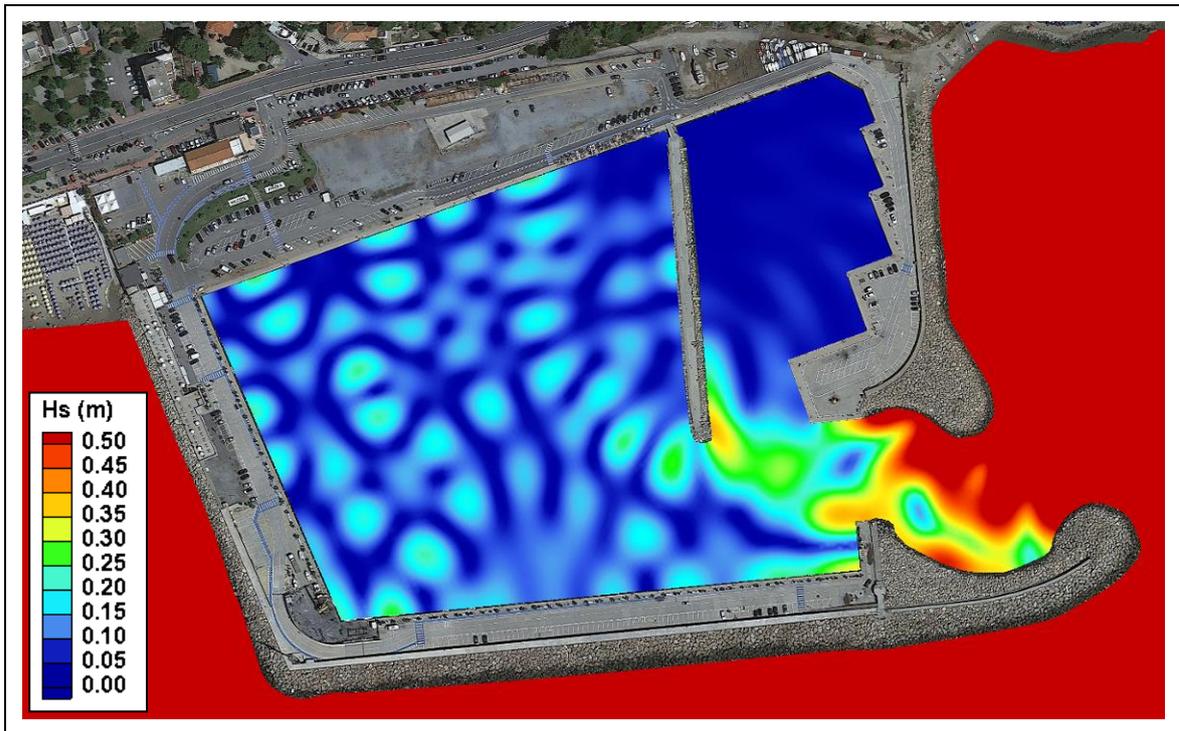


Fig. 6.25 – TEST 6: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante-Scirocco, altezza d'onda significativa – dettaglio

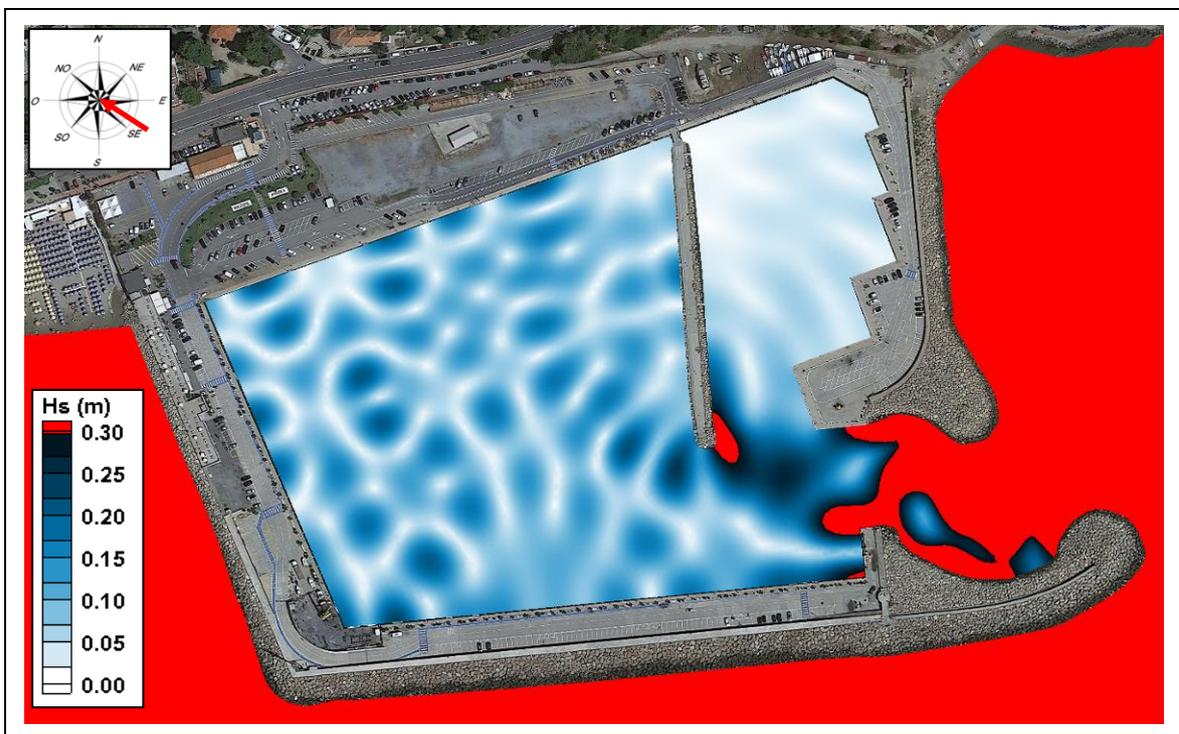


Fig. 6.26 – TEST 6: mareggiata estrema di Levante-Scirocco, verifica delle condizioni “di sicurezza”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 59 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.2.3 Agitazione ondosa per la mareggiata estrema di Mezzogiorno-Libeccio TEST7

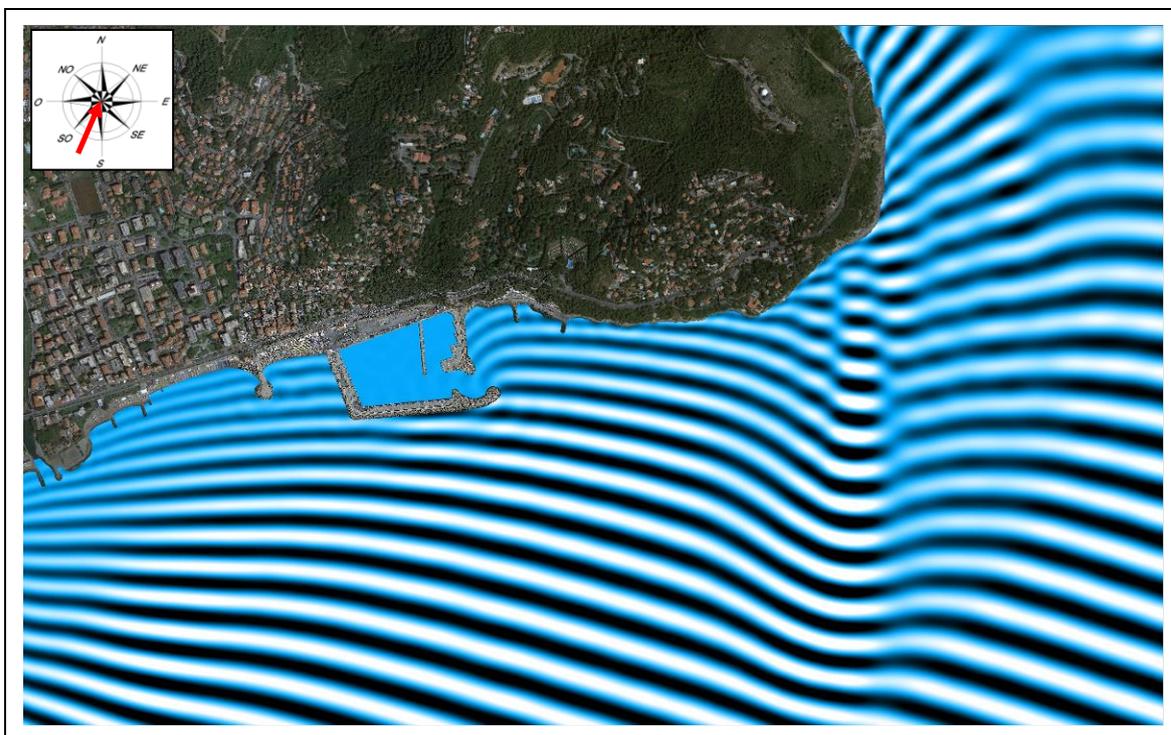


Fig. 6.27 – TEST 7: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, andamento delle creste

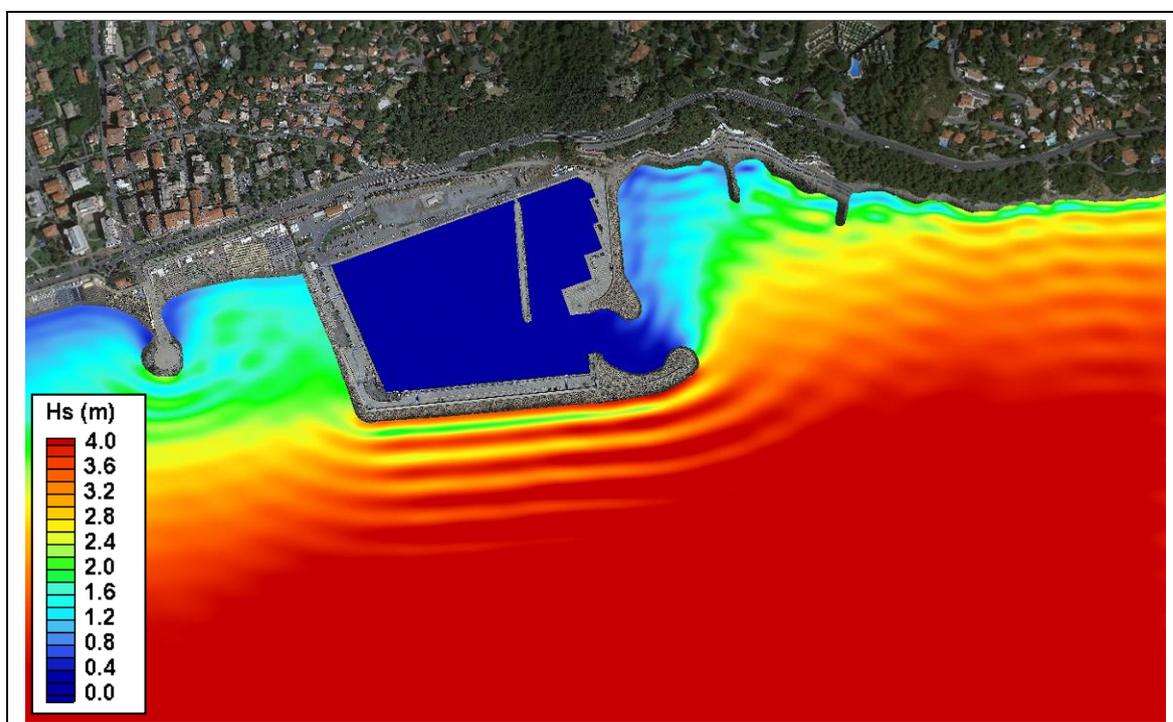


Fig. 6.28 – TEST 7: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Mezzogiorno-Libeccio, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 60 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

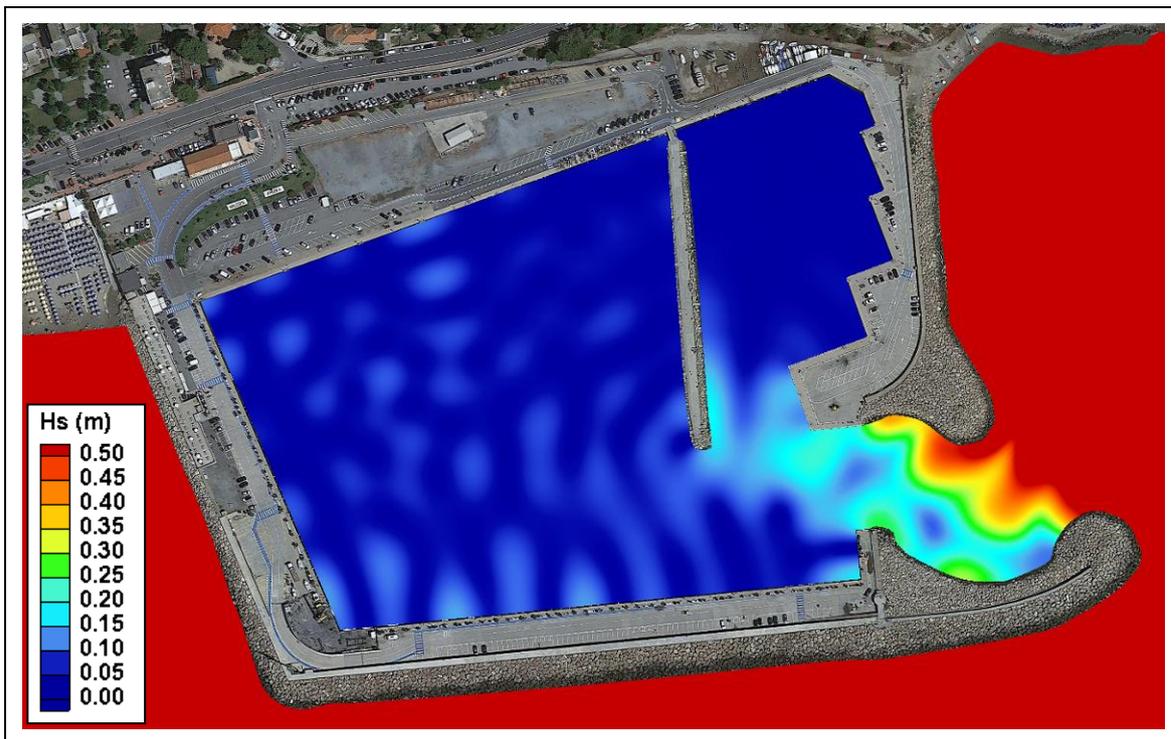


Fig. 6.29 – TEST 7: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Mezz.-Libeccio, altezza d'onda significativa – dettaglio



Fig. 6.30 – TEST 7: mareggiata estrema di Mezzogiorno-Libeccio, verifica delle condizioni “di sicurezza”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 61 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.3 Verifica delle condizioni “di comfort” (frequenza 5 giorni/anno)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del porto sono riportati nelle successive figure per ciascuna delle mareggiate analizzate. In Fig. 6.30, Fig. 6.34, Fig. 6.38 e Fig. 6.42, viene riportato l'andamento delle creste delle diverse mareggiate analizzate; mentre in Fig. 6.31, Fig. 6.35, Fig. 6.39 e Fig. 6.43 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche della mareggiata in termini di altezza d'onda significativa.

In Fig. 6.32, Fig. 6.36, Fig. 6.40 e Fig. 6.44 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa all'interno del porto e nel suo immediato intorno.

I medesimi risultati sono infine riportati in Fig. 6.33, Fig. 6.37, Fig. 6.41 e Fig. 6.45 dove la scala cromatica è limitata al valore massimo di a 0.15 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si osserva che le mareggiate con frequenza pari a 5 giorni/anno provenienti da Levante, caratterizzate da minori altezze d'onda rispetto alle mareggiate estreme analizzate in precedenza, giungono in prossimità dell'imboccatura portuale con altezze significative dell'ordine dei 1-1.5 m, mentre quelle provenienti da Mezzogiorno presentano valori dell'ordine dei 2 m.

I risultati evidenziano inoltre che le mareggiate di Levante sono in grado di penetrare in misura maggiore all'interno del bacino portuale. In particolare la mareggiata con provenienza al largo 90°N genera un'agitazione residua caratterizzata da valori prossimi ai 20 cm in una parte del vecchio bacino portuale e in particolare in prossimità delle banchine Nord e Sud e del tratto in prossimità della testata del vecchio sottoflutto; resta invece completamente protetto il nuovo bacino compreso tra il vecchio e il nuovo molo di sottoflutto.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 62 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.3.1 Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Levante (90°N) TEST1

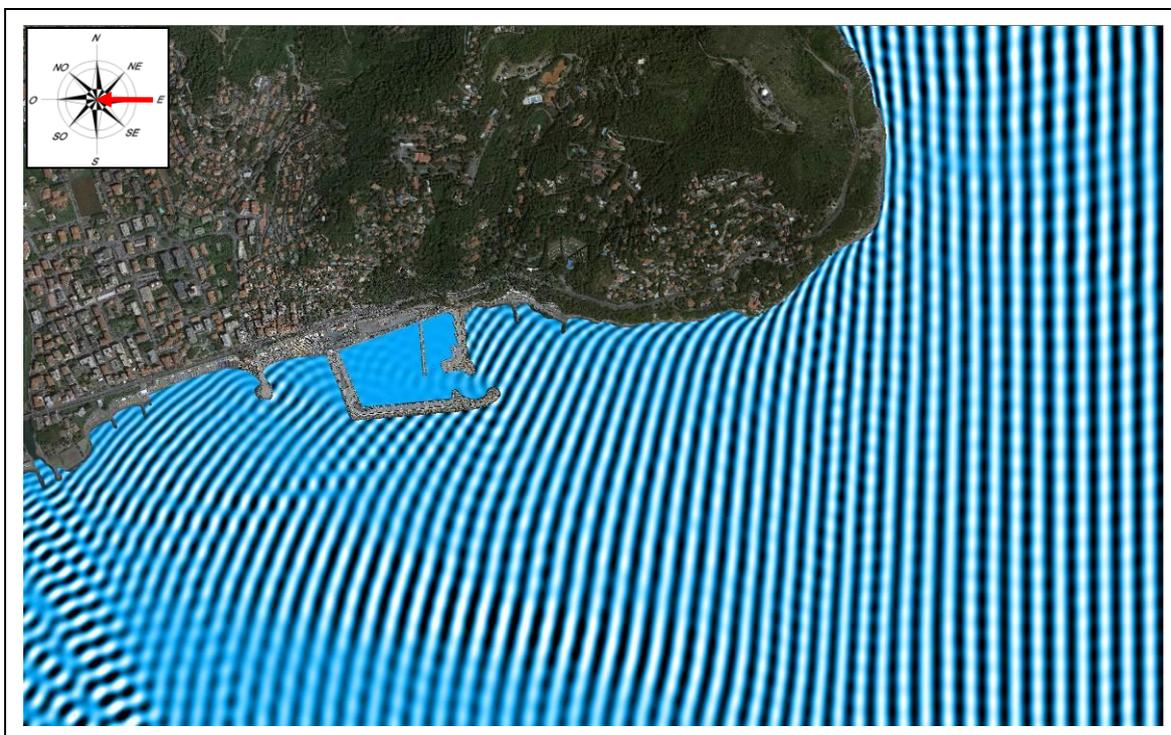


Fig. 6.31 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante (90°), andamento delle creste

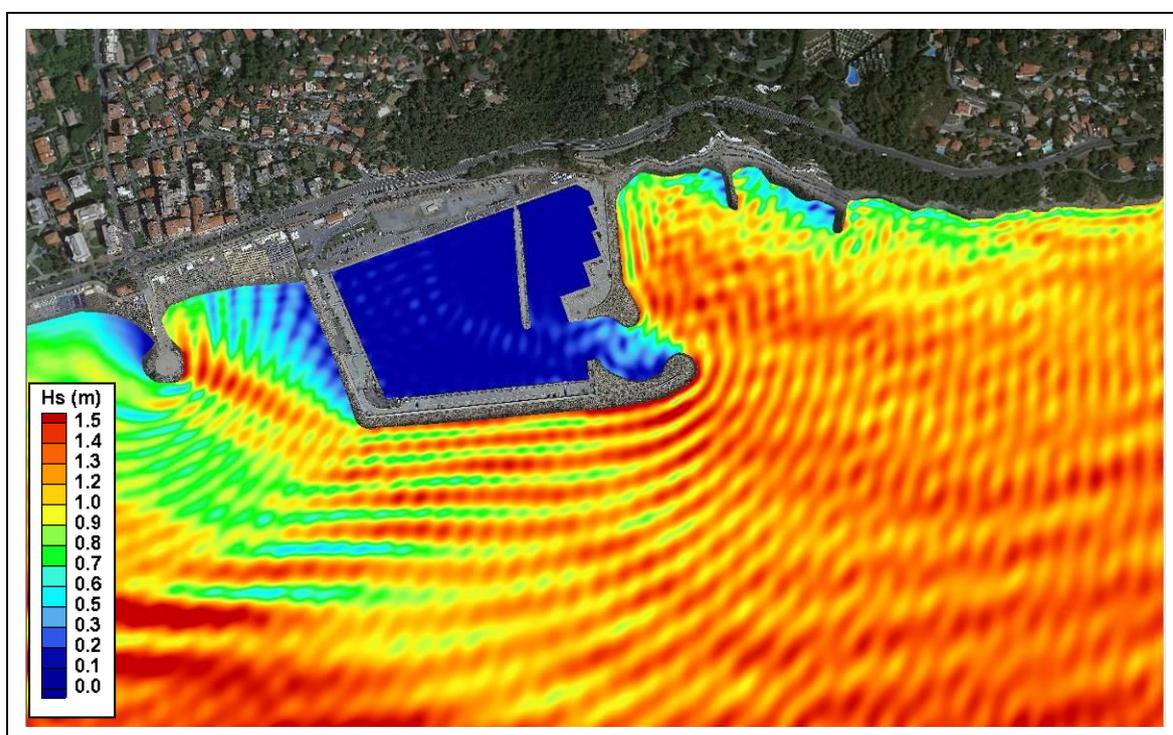


Fig. 6.32 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante (90°), altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 63 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

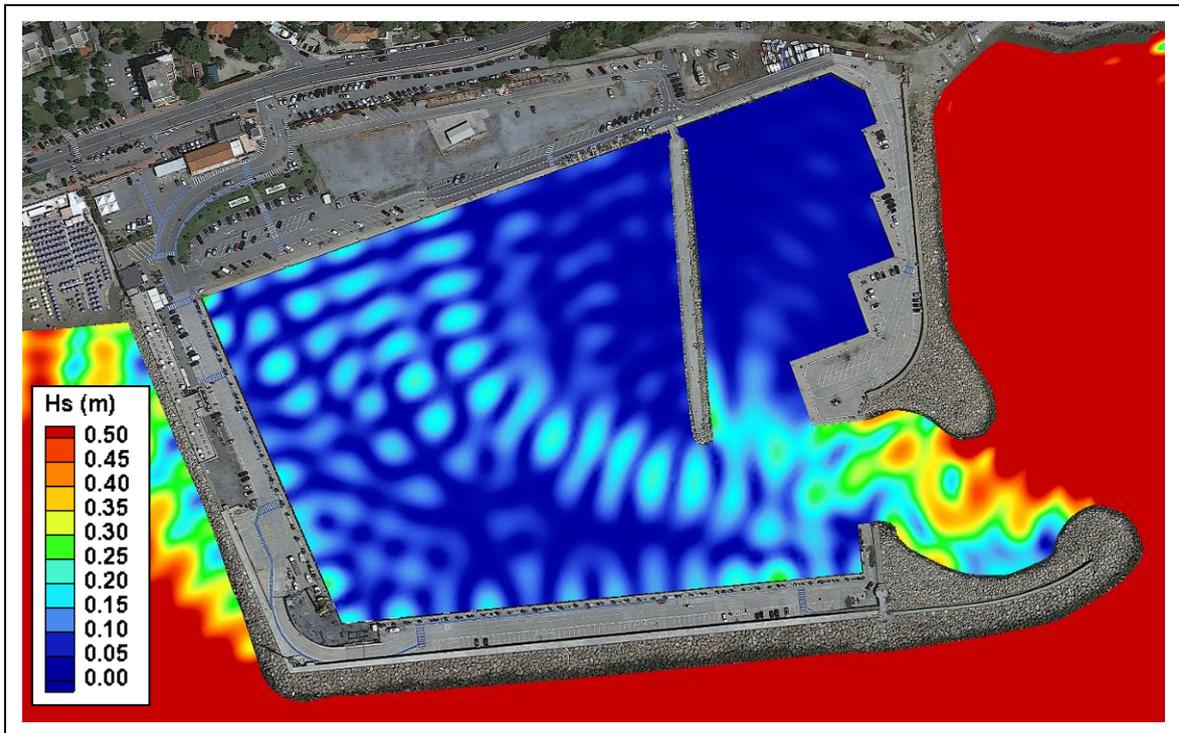


Fig. 6.33 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante (90°), altezza d'onda significativa – dettaglio porto

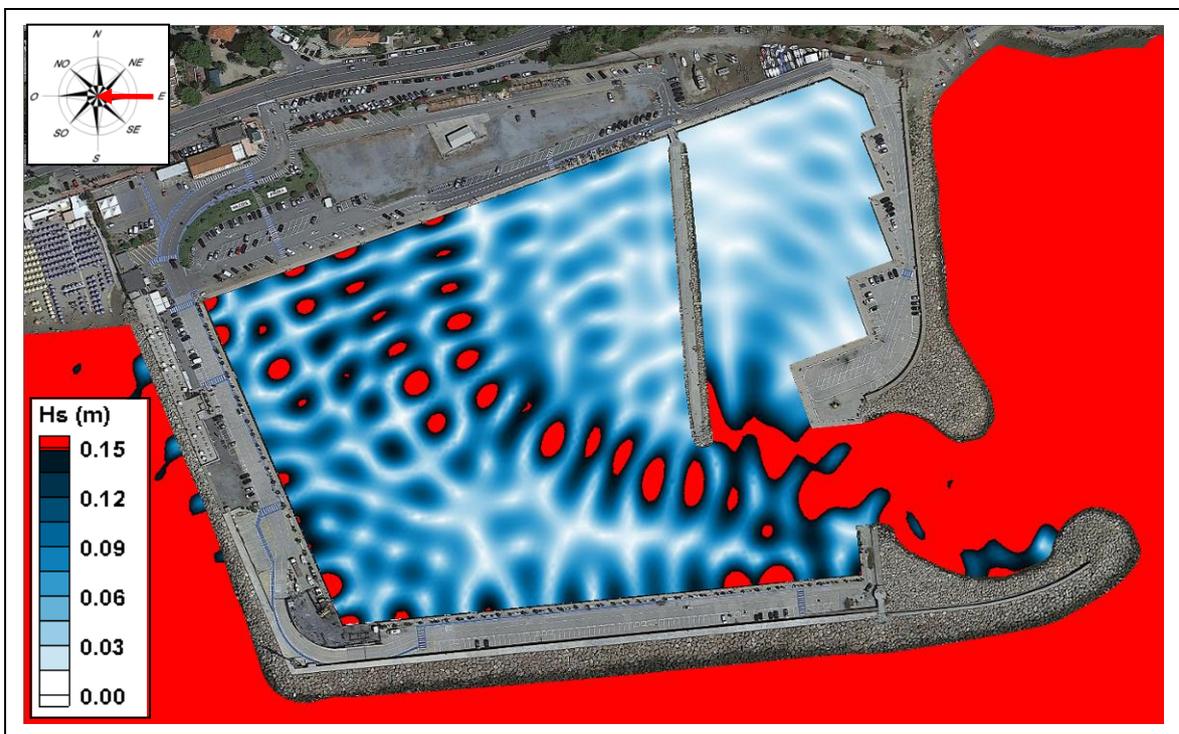


Fig. 6.34 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante (90°), verifica delle condizioni “di comfort”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 64 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.3.2 Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Levante (100°N) TEST2

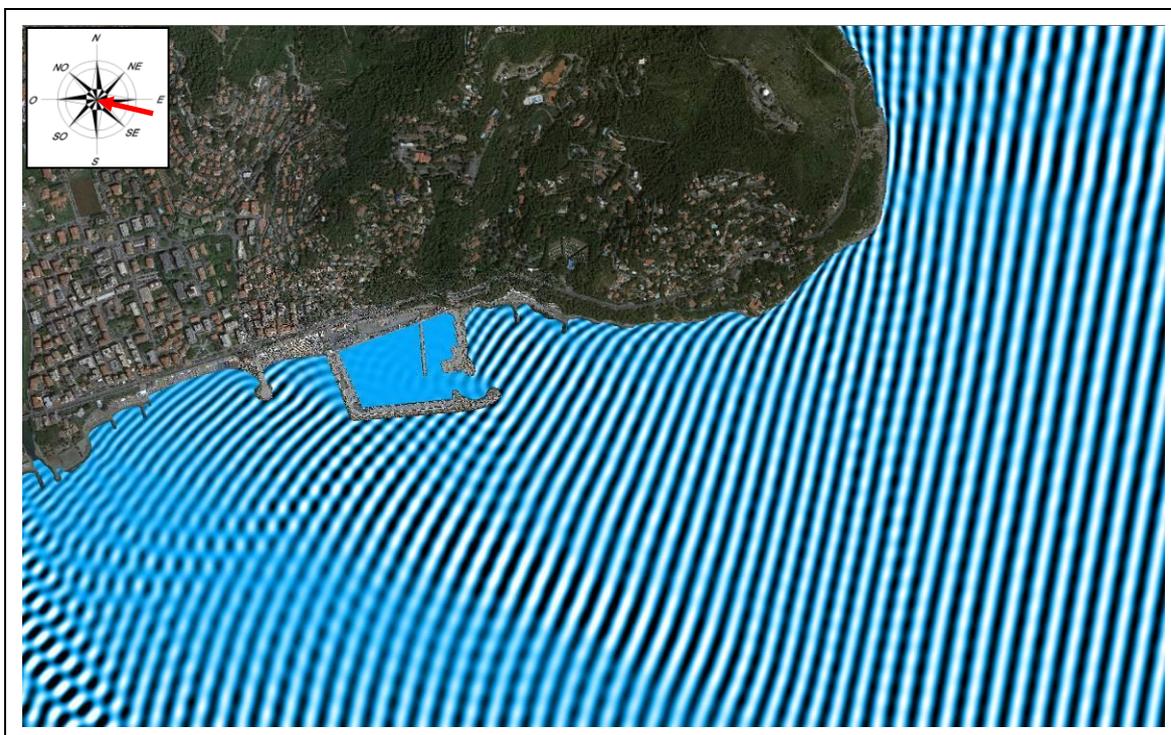


Fig. 6.35 – TEST 2: mareggiata intensa di Levante (100°), andamento delle creste

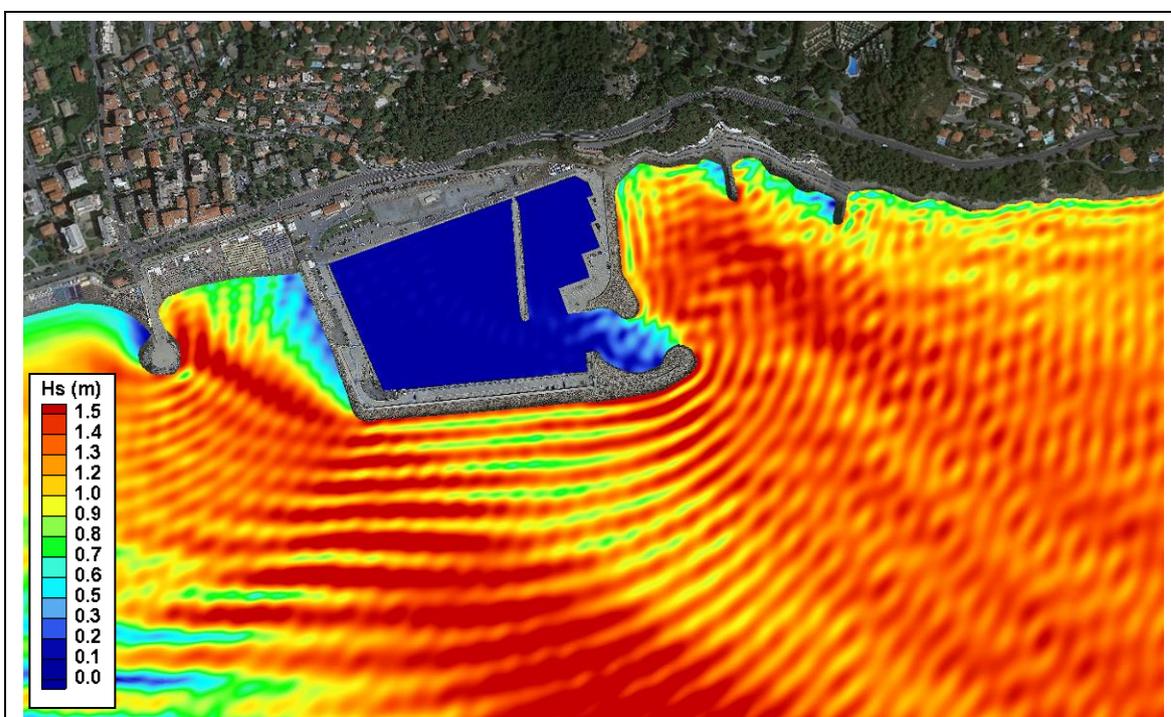


Fig. 6.36 – TEST 2: mareggiata intensa di Levante (100°), altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 65 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

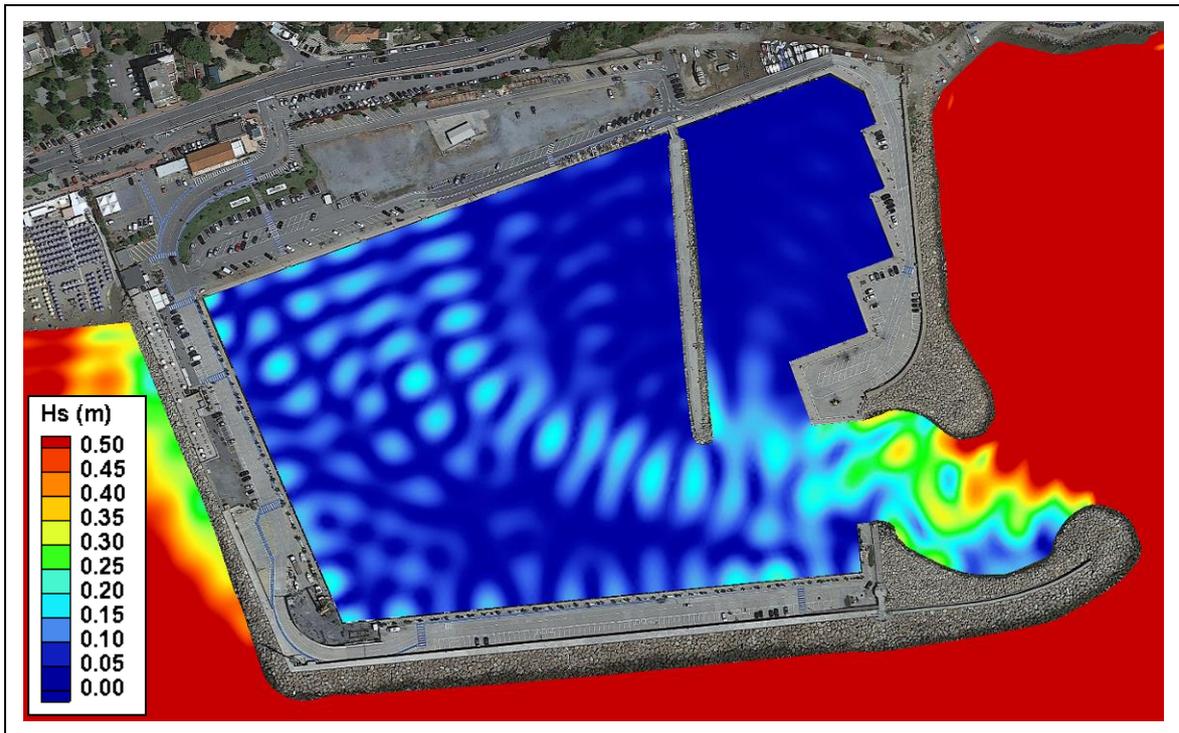


Fig. 6.37 – TEST 2: mareggiata intensa di Levante (100°), altezza d'onda significativa – dettaglio porto

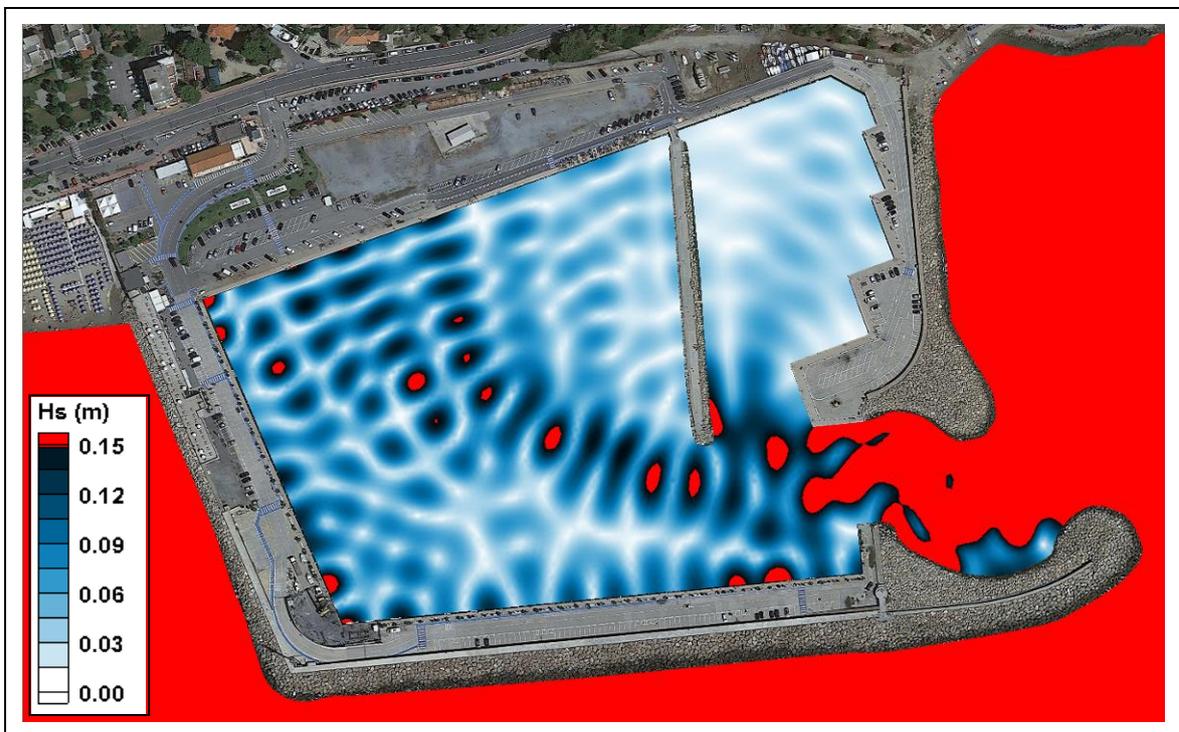


Fig. 6.38 – TEST 2: mareggiata intensa di Levante (100°), verifica delle condizioni “di comfort”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 66 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.3.3 Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Levante (110°N) TEST3

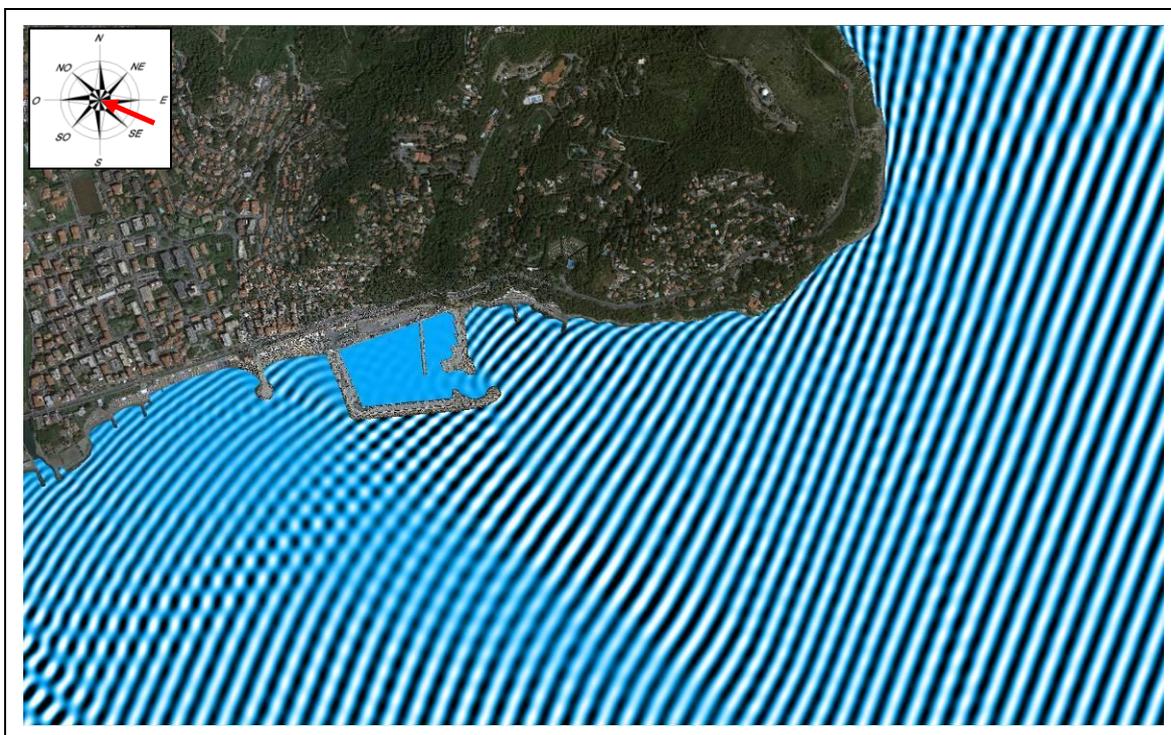


Fig. 6.39 – TEST 3: mareggiata intensa di Levante (110°), andamento delle creste

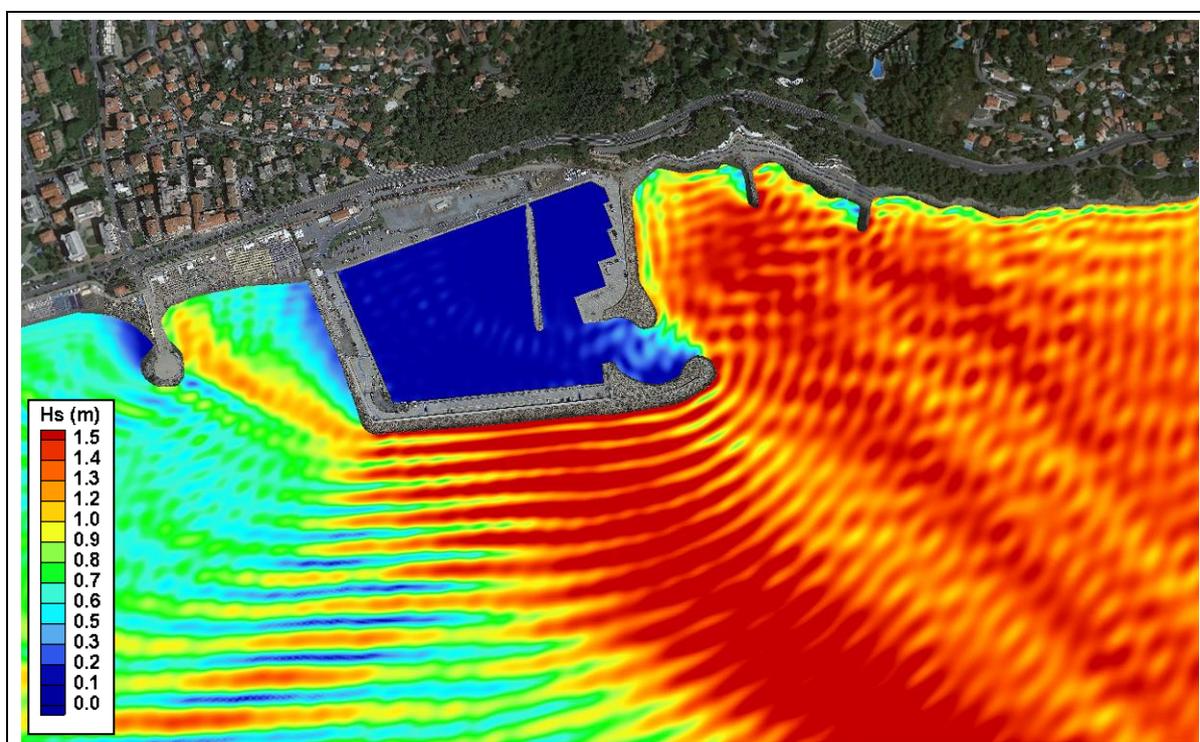


Fig. 6.40 – TEST 3: mareggiata intensa di Levante (110°), altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 67 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

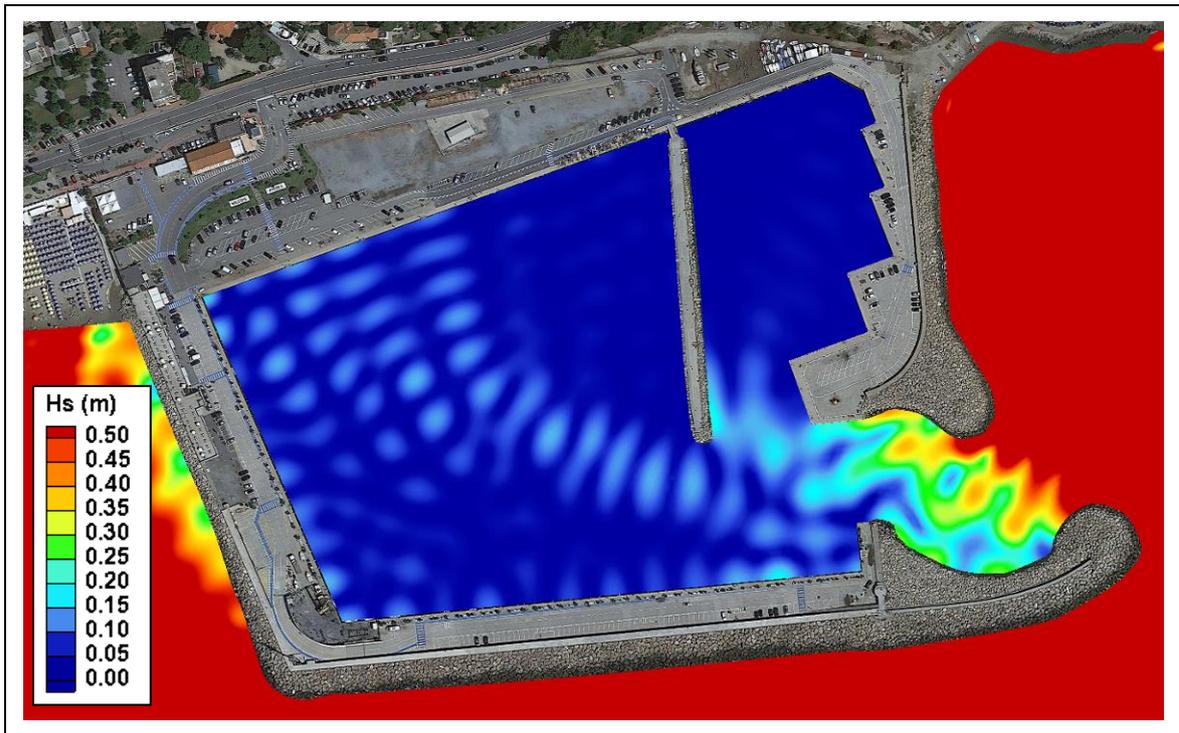


Fig. 6.41 – TEST 3: mareggiata intensa di Levante (110°), altezza d'onda significativa – dettaglio porto

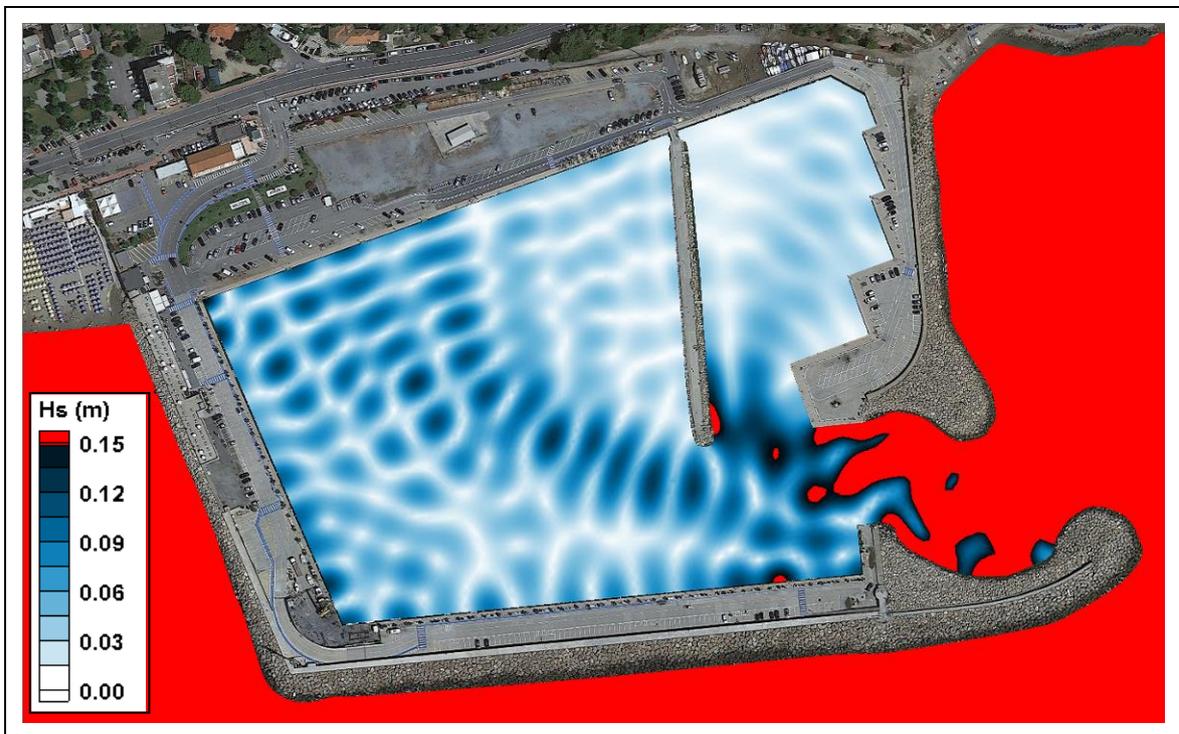


Fig. 6.42 – TEST 3: mareggiata intensa di Levante (110°), verifica delle condizioni “di comfort”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 68 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6.3.3.4 Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Mezzogiorno (180°N) TEST4

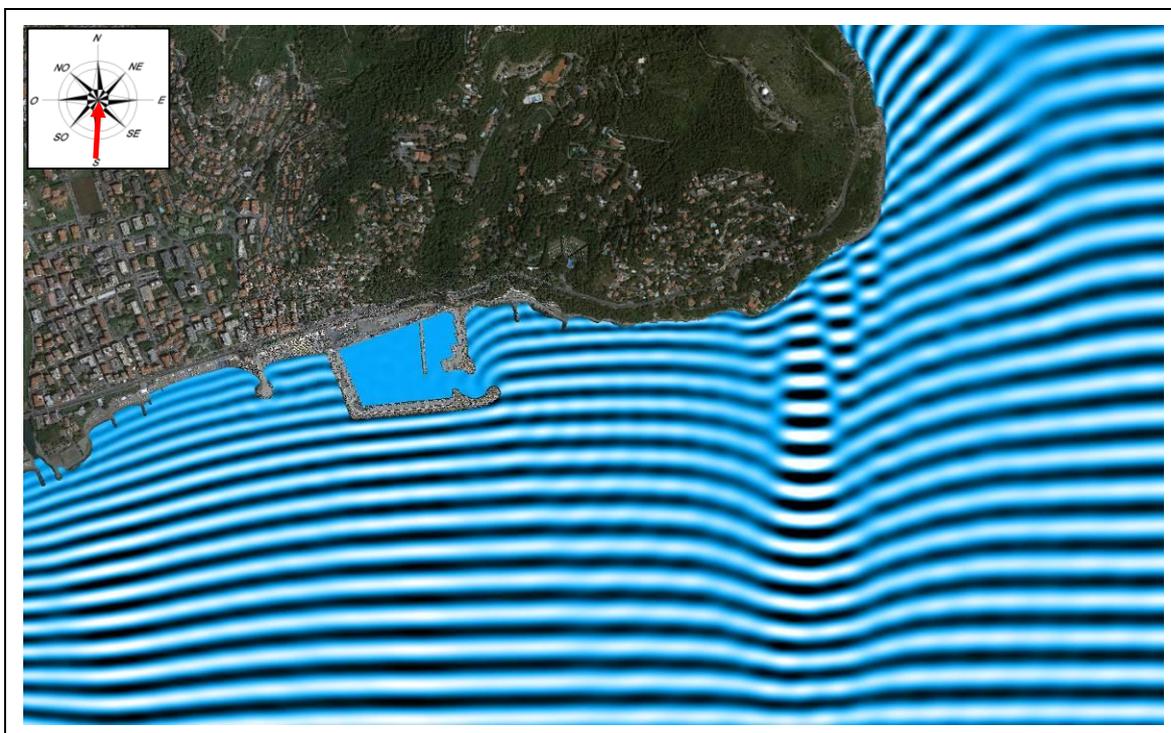


Fig. 6.43 – TEST 4: mareggiata intensa di Mezzogiorno, andamento delle creste

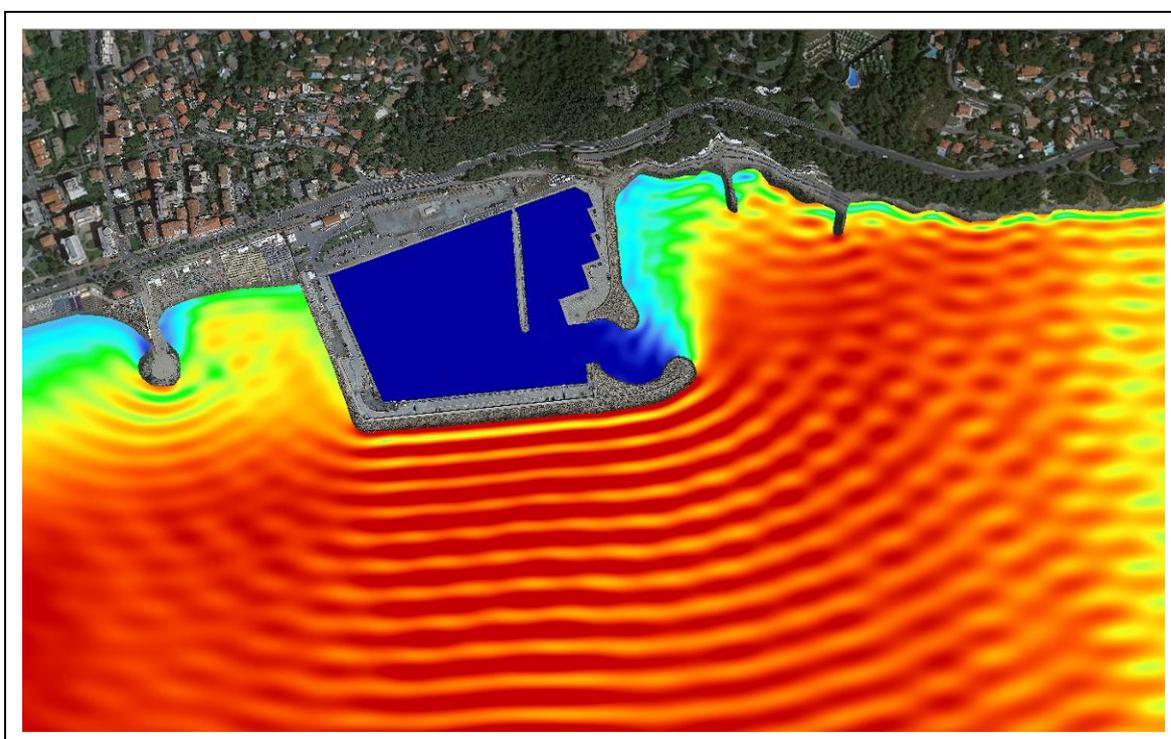


Fig. 6.44 – TEST 4: mareggiata intensa di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 69 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

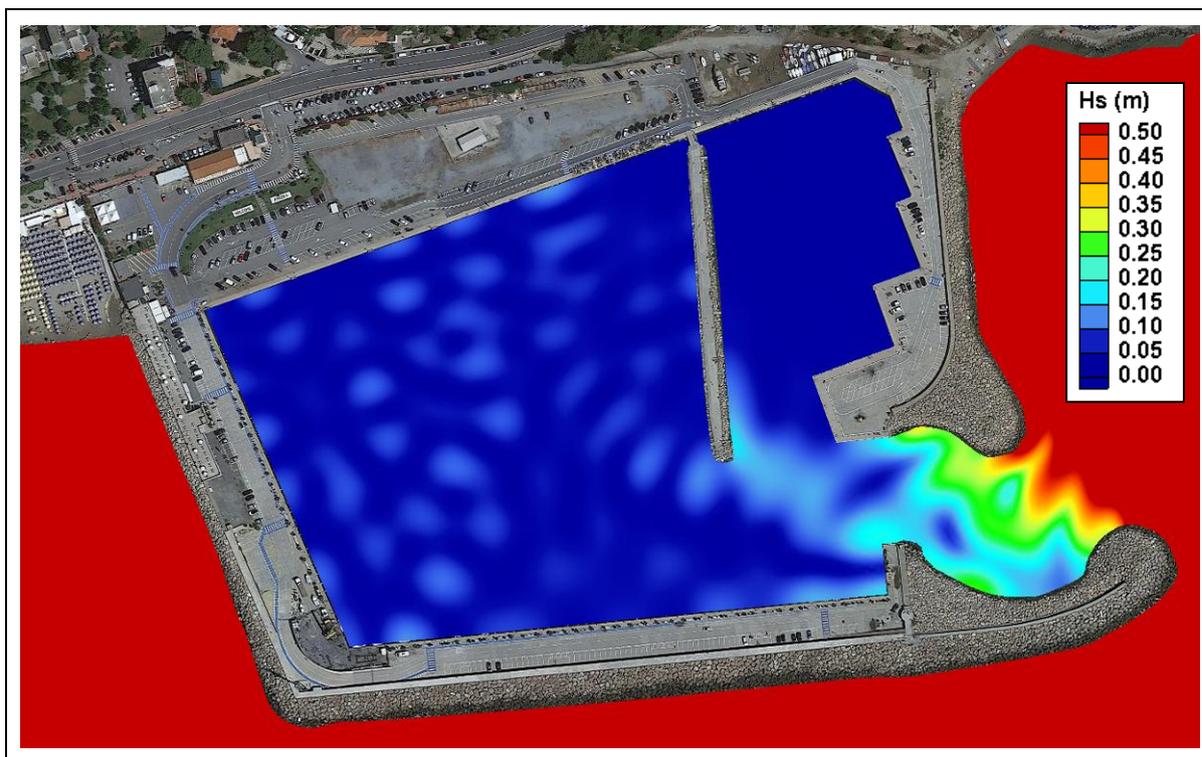


Fig. 6.45 – TEST 4: mareggiata intensa di Mezzogiorno, altezza d'onda significativa – dettaglio porto

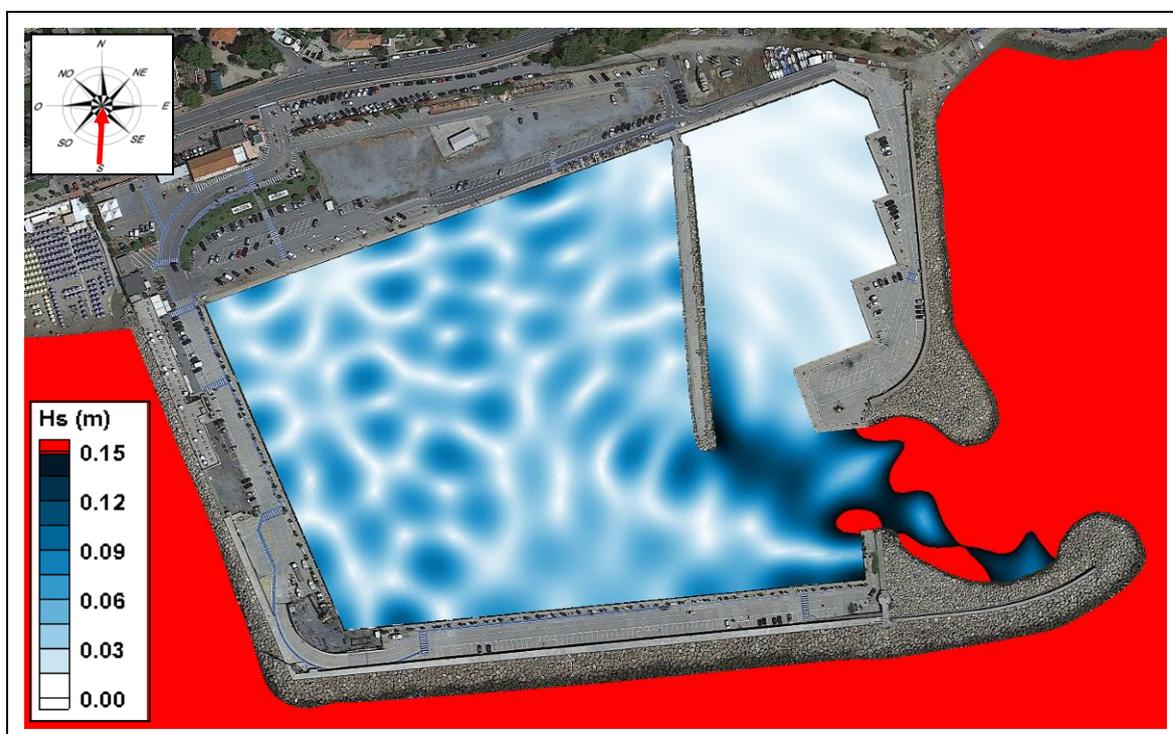


Fig. 6.46 – TEST 4: mareggiata intensa di Mezzogiorno, verifica delle condizioni “di comfort”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 70 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Le esigenze di sviluppo e di riqualificazione del porto hanno portato alla necessità di definire alcuni interventi sul vecchio molo di sottoflutto. In particolare si prevede di realizzare un tratto banchinato sul lato Est del vecchio molo di sottoflutto, sostituendo l'esistente scogliera in massi naturali con celle antiriflettenti (cfr. successivo paragrafo 7.1).

Al fine di ridurre i comunque limitati (come evidenziato anche dai risultati dei modelli) problemi di agitazione ondosa all'interno del vecchio bacino portuale si prevede inoltre di intervenire realizzando, in una prima fase sperimentale, alcuni tratti antiriflettenti in corrispondenza degli angoli della banchina (cfr. successivo paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Sulla base del monitoraggio degli effetti dell'intervento verrà valutata l'opportunità di estendere successivamente i tratti di intervento.

Nella successiva figura si riporta uno schema degli interventi previsti: le aree in rosso individuano i tratti di intervento interessati dalla realizzazione delle celle antiriflettenti.

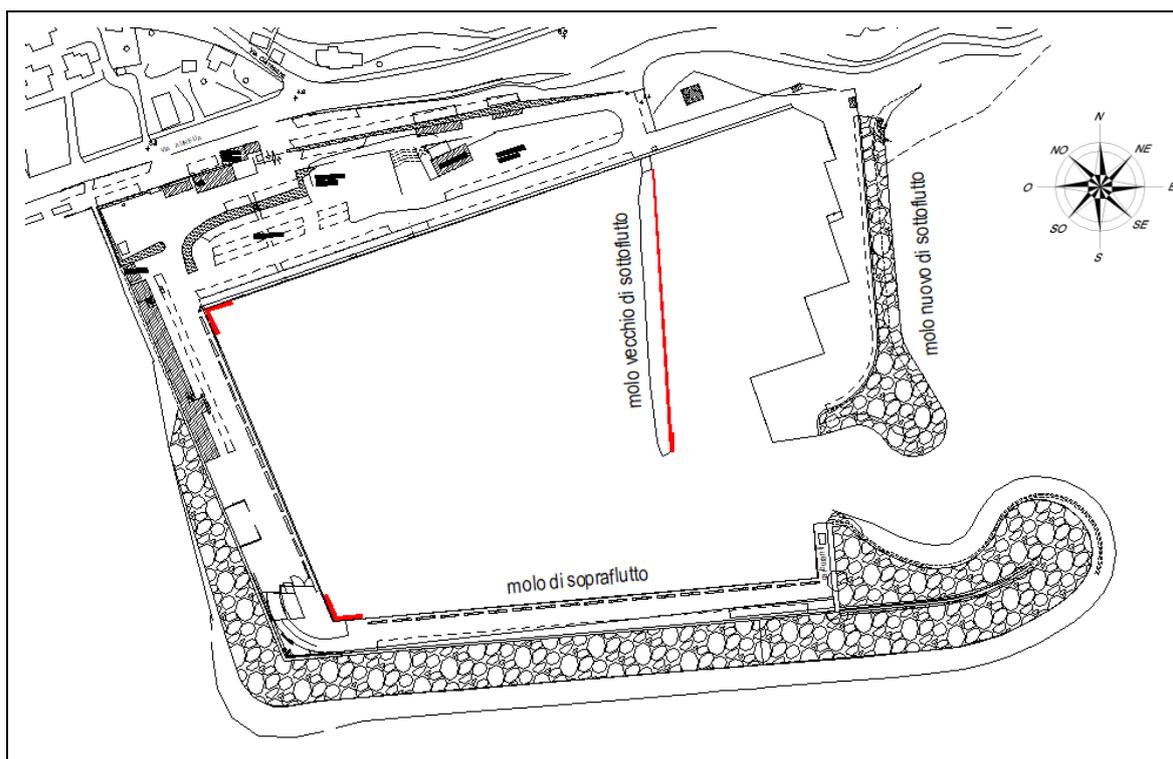


Fig. 7.1 – Schema degli interventi previsti all'interno del bacino portuale di Andora: le parti in rosso individuano i tratti di intervento interessati dalla realizzazione delle celle antiriflettenti

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 71 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

7.1 Intervento sul lato Est del vecchio molo di sottoflutto

Gli interventi previsti sul lato Est del vecchio molo di sottoflutto consistono nella sostituzione dell'esistente scogliera in massi naturali con celle antiriflettenti. Nel dettaglio si prevede di impiegare delle celle con un'ampia apertura e scogliera interna in massi naturali (cfr. Fig. 7.2, a sinistra) nel tratto in prossimità della testata del sottoflutto (cfr. tratto in rosso, Fig. 7.3) per una lunghezza complessiva di 10 m, e celle con aperture più ridotte (cfr. Fig. 7.2, a destra) nel restante tratto.

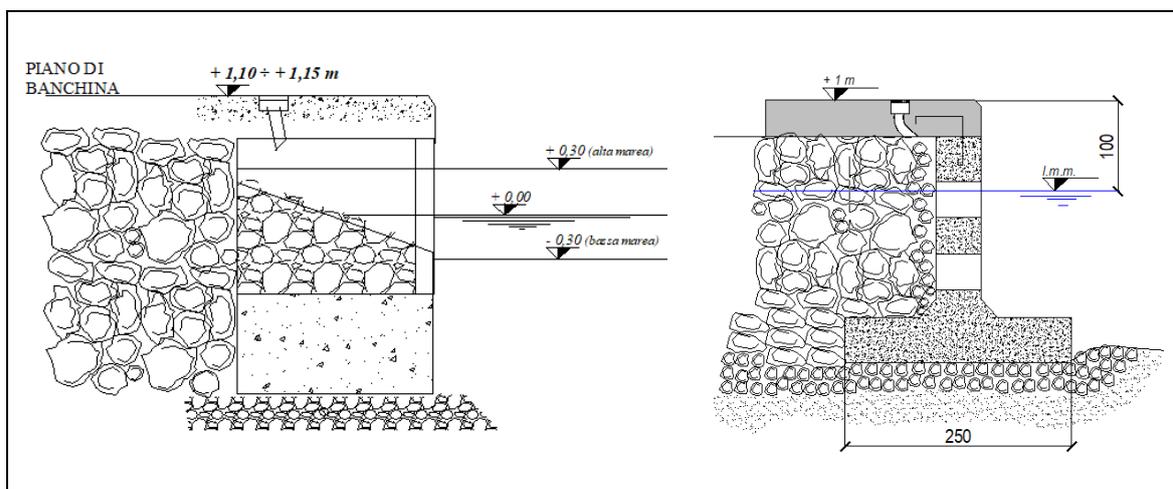


Fig. 7.2 – Celle antiriflettenti previste nel tratto terminale del vecchio sottoflutto (a sinistra) e nel restante tratto del molo (a destra)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 72 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

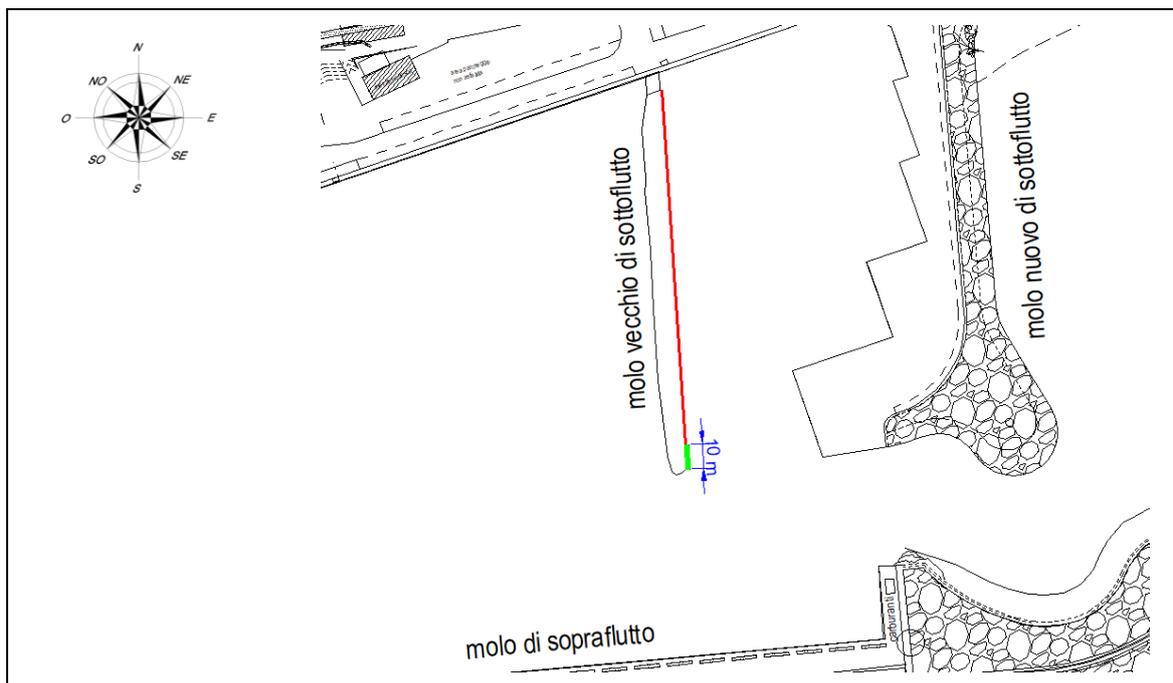


Fig. 7.3 – Schema degli interventi previsti sul lato Est del vecchio sottoflutto

7.2 Intervento sulle banchine del vecchio bacino portuale

Gli interventi previsti sulle banchine del vecchio bacino portuale consistono nella realizzazione di due tratti antiriflettenti in corrispondenza degli spigoli Nord-Ovest e Sud-Ovest del banchinamento; nel dettaglio, l'intervento consiste nell'inserimento di celle antiriflettenti del tipo simile a quello previsto per il tratto terminale del vecchio sottoflutto, con cella aperta e scogliera all'interno (vedi Fig. 7.4). I due tratti di intervento avranno lunghezza di 30 m ciascuno (vedi Fig. 7.5, tratti in rosso).

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 73 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

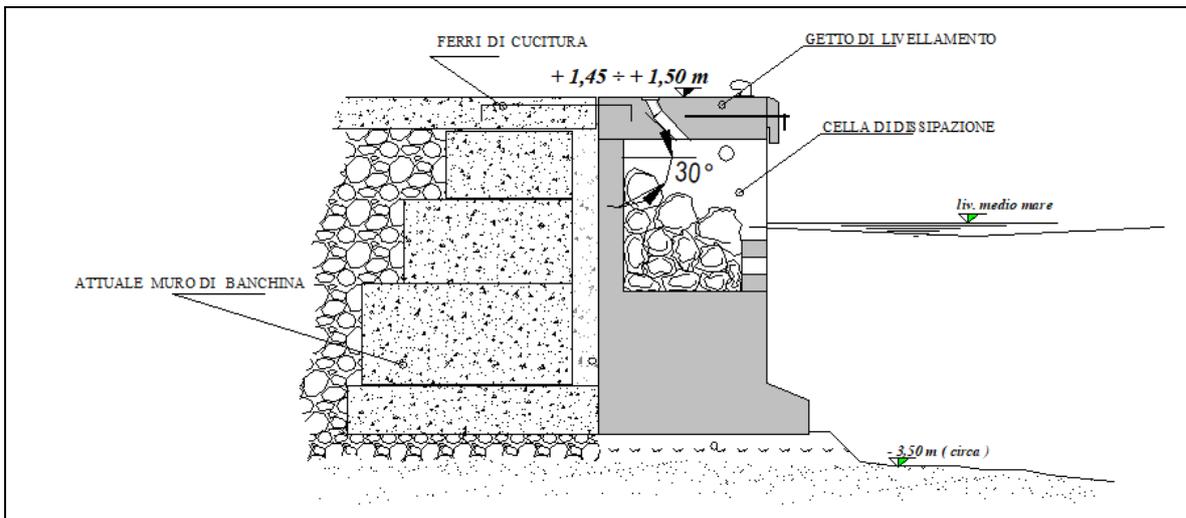


Fig. 7.4 – Celle antiriflettoni previste negli angoli della banchina del vecchio bacino portuale

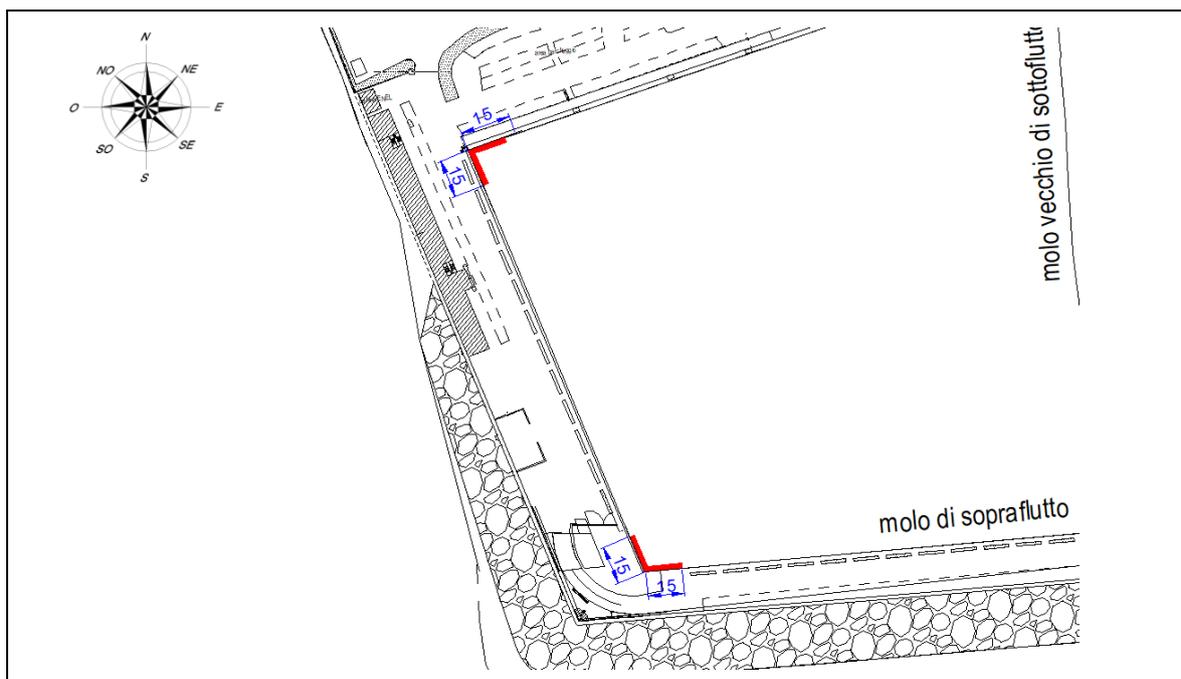


Fig. 7.5 – Schema degli interventi sulle banchine del vecchio bacino portuale

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 74 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

8 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Nella seconda parte dello studio si è proceduto all'analisi dell'agitazione ondosa all'interno del porto considerando gli interventi previsti e descritti nel precedente paragrafo.

Lo studio è stato condotto tramite il codice di calcolo "CGWAVE", valutando l'agitazione interna all'interno del bacino portuale per le mareggiate ritenute più penalizzanti, individuate a partire dai risultati ottenuti dallo studio in configurazione attuale (cfr. precedente paragrafo 6).

8.1 Settaggio del modello

Il modello definito per lo studio dell'agitazione ondosa in configurazione attuale è stato modificato per tenere conto delle opere di progetto previste: il contorno inshore del dominio di calcolo è stato aggiornato inserendo i tratti in cui si prevede di realizzare le celle antiriflettenti.

Nella successiva Fig. 8.1 si riporta un dettaglio della mesh di calcolo in prossimità del porto; i tratti interessati dalla realizzazione delle celle antiriflettenti sono indicati in rosso.



Fig. 8.1 – Particolare della mesh di calcolo in prossimità e all'interno del porto – Configurazione di progetto

8.1.1 Caratteristiche delle mareggiate analizzate

Le mareggiate impiegate nello studio dell'agitazione in configurazione di progetto sono state ricavate sulla base delle risultanze dello studio in configurazione attuale, riportate nel precedente paragrafo

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 75 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

6. Nel dettaglio, per ciascuna delle condizioni limite indicate dal PIANC, è stata individuata la mareggiata in grado di penetrare in misura maggiore all'interno del bacino portuale. La lista dei test condotti per lo studio in configurazione di progetto, con le corrispondenti caratteristiche delle mareggiate estratte in corrispondenza del bordo offshore, sono riportate nella successiva Tab. 6.1.

TEST	Caratteristiche	H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	Sovralzo (m)
TEST 1	Levante con frequenza = 5 giorni/anno	1.39	6.4	90	+0.00
TEST 5	Levante con T _R = 5 anni	3.52	8.3	90	+0.62
TEST 8	Levante con T _R = 50 anni	4.46	8.9	92	+0.62

Tab. 8.1 – Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio della penetrazione e dell'agitazione ondosa e condizioni di input applicate sul bordo offshore del modello CGWAVE

8.1.2 Caratteristiche delle opere in progetto

Le caratteristiche delle opere in progetto sono state analizzate al fine di definire per ciascuna di esse uno specifico coefficiente di riflessione.

Le celle antiriflettenti costituite da un'ampia cella e da scogliera interna, che si prevede di utilizzare negli angoli del vecchio bacino portuale e nel tratto prossimo alla testata del vecchio molo di sottoflutto, possono essere ritenute adeguatamente efficaci al fine di dissipare il moto ondoso.

Le celle antiriflettenti caratterizzate da aperture ridotte saranno invece in grado di dissipare il moto ondoso in misura inferiore.

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. successiva Tab. 8.2).

Nella successiva Fig. 8.5 viene riportato il dominio di calcolo in cui vengono indicati i valori dei coefficienti di riflessione associati alle diverse opere, per la configurazione di progetto.

Descrizione tratto	Coeff. di riflessione
Banchine a parete verticale	0.90
Banchine su pali con sottostante scogliera	0.50
Opere a gettata in massi	0.40
Celle antiriflettenti angoli e tratto finale vecchio sottoflutto	0.60
Celle antiriflettenti vecchio sottoflutto	0.75
Scarpata naturale parzialmente franata	0.40
Spiaggia	0.10

Tab. 8.2 – Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 76 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	



Fig. 8.2 – Coefficienti di riflessione impiegati per lo studio dell'agitazione ondosa nella configurazione di progetto

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 77 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

8.2 Agitazione ondosa in configurazione di progetto

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa su modello matematico CGWAVE, in configurazione di progetto, sono riportati nei successivi paragrafi.

In particolare, nel paragrafo 8.2.1 sono riportati i risultati relativi alla verifica della condizione "limite", nel paragrafo 8.2.2 sono riportati i risultati relativi alla verifica della condizione di "sicurezza" e infine nel paragrafo 8.2.3 sono riportati i risultati relativi alla verifica della condizione di "comfort".

8.2.1 Verifica della condizione "limite" ($T_R = 50$ anni)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del porto sono riportati nelle successive figure per ciascuna delle mareggiate analizzate. In Fig. 8.3, viene riportato l'andamento delle creste delle diverse mareggiate analizzate; mentre in Fig. 8.4 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa all'interno del porto e nel suo immediato intorno. I medesimi risultati sono infine riportati in Fig. 8.5, dove la scala cromatica è limitata al valore massimo di a 0.5 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC. I risultati evidenziano che anche in configurazione di progetto la verifica della condizione limite risulta soddisfatta per tutte le mareggiate analizzate.

8.2.1.1 Agitazione ondosa per la mareggiata estrema di Levante TEST8

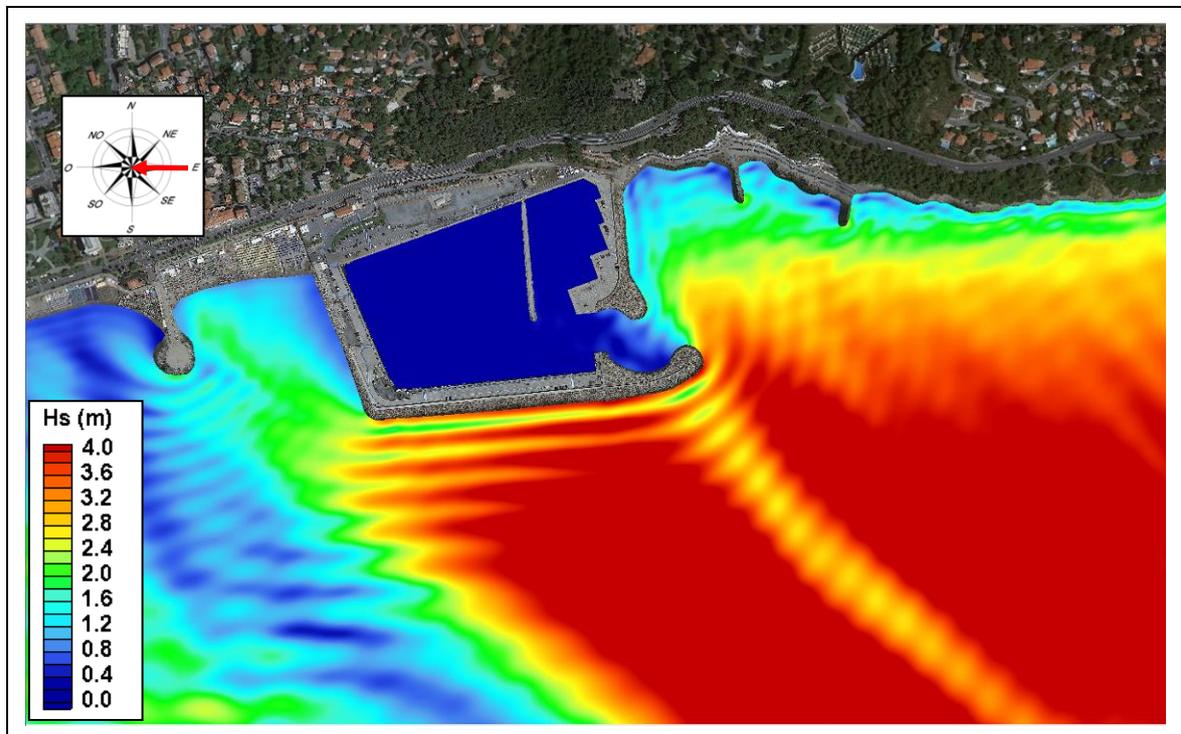


Fig. 8.3 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 78 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

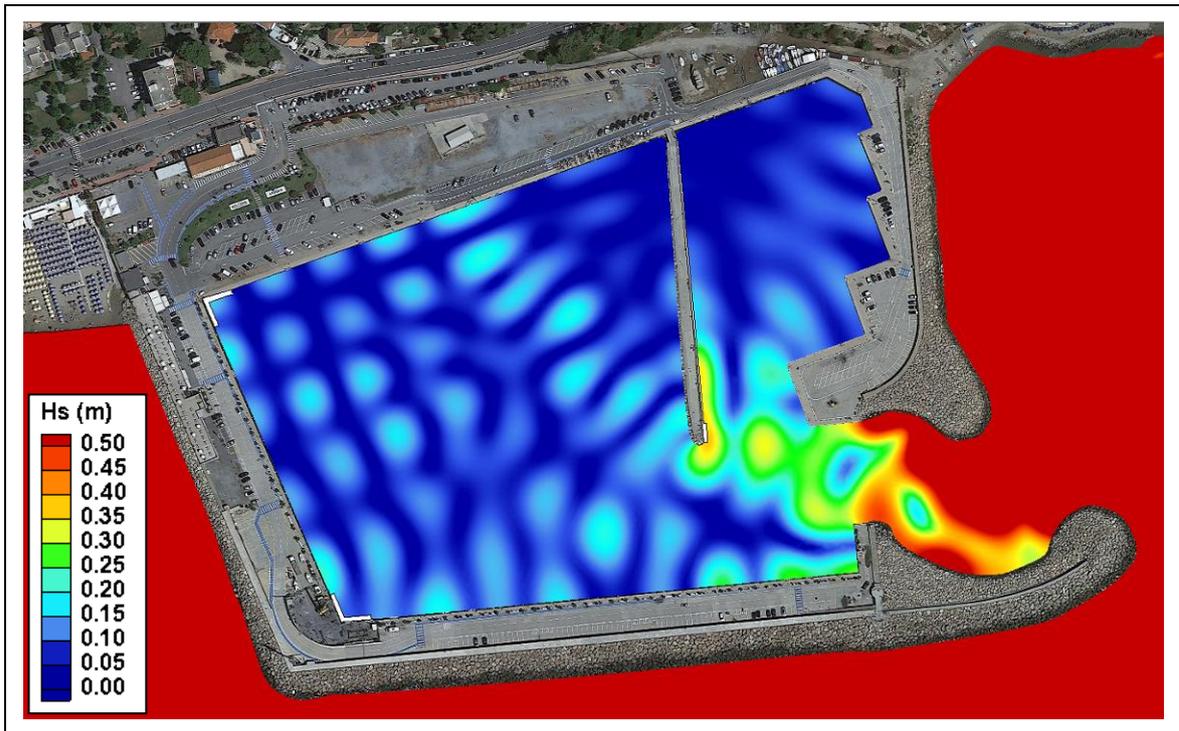


Fig. 8.4 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio porto



Fig. 8.5 – TEST 8: mareggiata estrema $T_R = 50$ anni di Levante, verifica delle condizioni "limite"

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 79 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

8.2.2 Verifica della condizione “di sicurezza” ($T_R = 5$ anni)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del porto sono riportati nelle successive figure per ciascuna delle mareggiate analizzate. In Fig. 8.6, viene riportato l'andamento delle creste delle diverse mareggiate analizzate; mentre in Fig. 8.7 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa all'interno del porto e nel suo immediato intorno. I medesimi risultati sono infine riportati in Fig. 8.8 dove la scala cromatica è limitata al valore massimo di a 0.3 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

I risultati evidenziano che anche nella configurazione di progetto l'agitazione residua risulta piuttosto contenuta nella maggior parte del bacino portuale ad eccezione dell'area in prossimità dell'imboccatura portuale: all'interno del bacino si rilevano infatti valori di altezza d'onda di poco superiori ai 20 cm ad esclusione dell'area in prossimità della testata dell'ex sottoflutto in cui si raggiungono valori prossimi ai 40 cm.

Si può quindi ritenere che anche in questo caso la condizione di “sicurezza” sia sostanzialmente soddisfatta in quanto il superamento del limite (0.3 m) si verifica in un'area piuttosto limitata e raggiungendo comunque valori di altezza d'onda compatibili con la sicurezza delle imbarcazioni ormeggiate.

8.2.2.1 Agitazione ondosa per la mareggiata estrema di Mezzogiorno-Libeccio TEST5

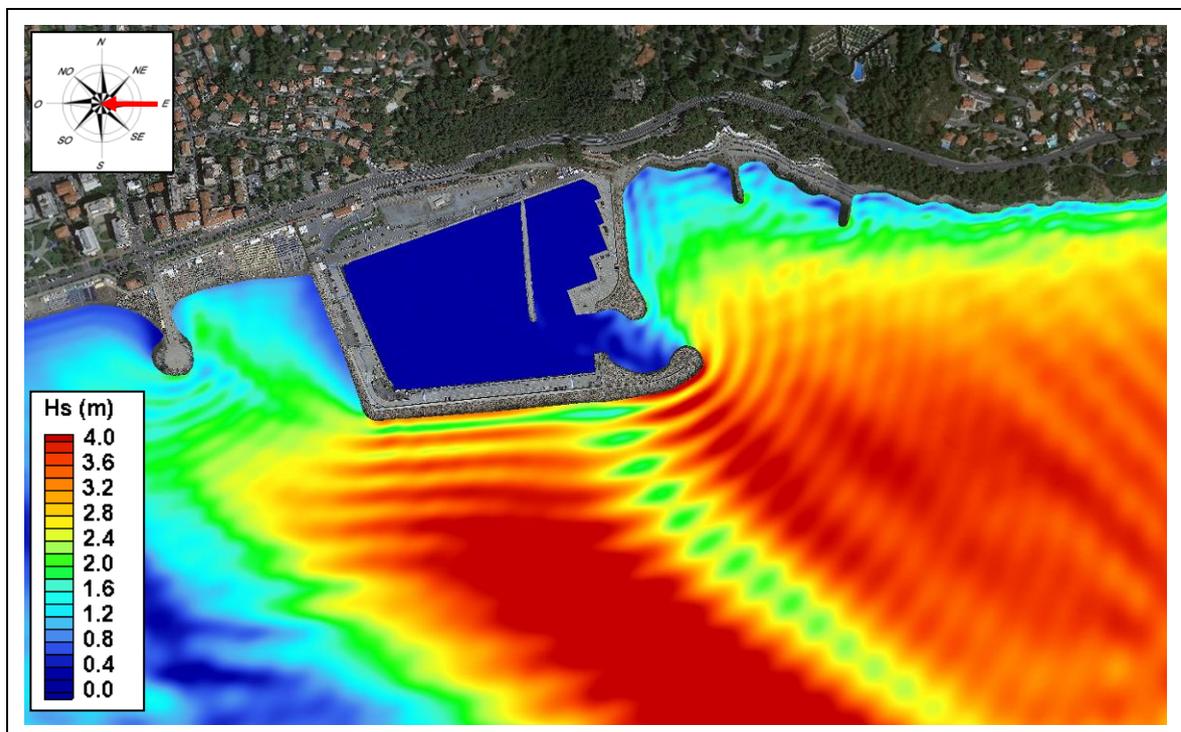


Fig. 8.6 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 80 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

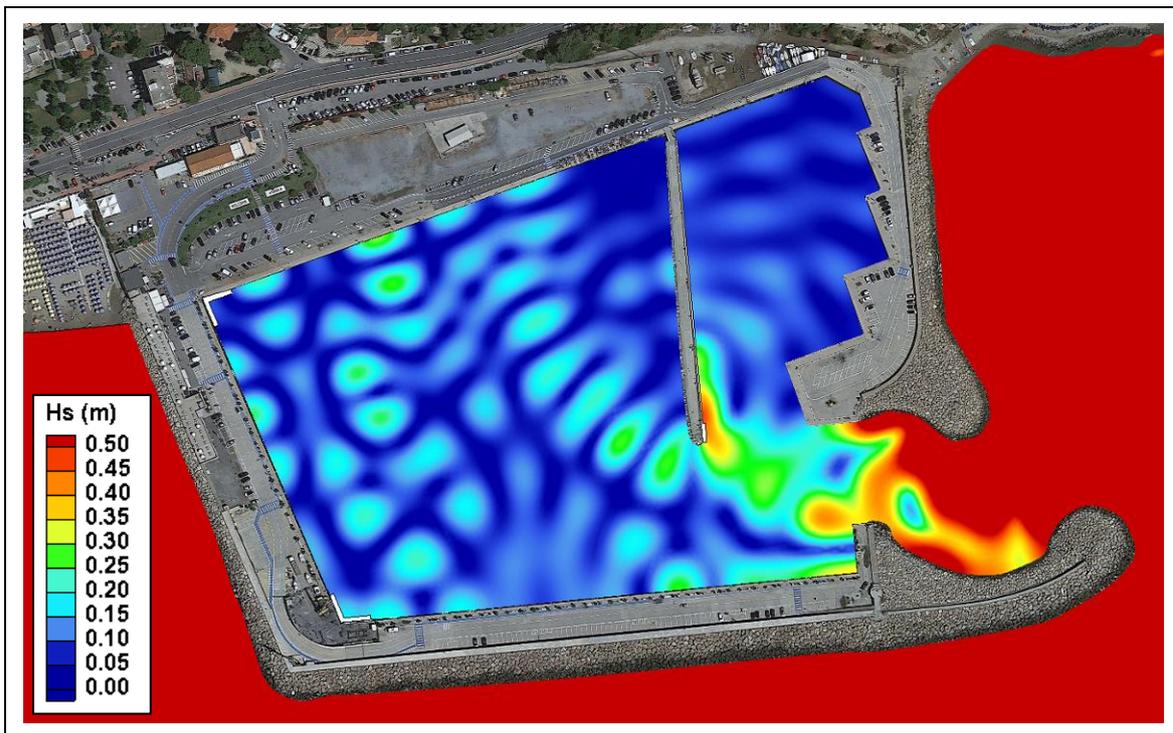


Fig. 8.7 – TEST 5: mareggiata estrema $T_R = 5$ anni di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio porto



Fig. 8.8 – TEST 5: mareggiata estrema di Levante, verifica delle condizioni “di sicurezza”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 81 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

8.2.3 Verifica delle condizioni “di comfort” (frequenza 5 giorni/anno)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del porto sono riportati nelle successive figure per ciascuna delle mareggiate analizzate. In Fig. 8.9, viene riportato l'andamento delle creste delle diverse mareggiate analizzate; mentre in Fig. 8.10 sono rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, le caratteristiche locali della mareggiata: i risultati sono riportati in termini di altezza d'onda significativa all'interno del porto e nel suo immediato intorno. I medesimi risultati sono infine riportati in Fig. 8.11 dove la scala cromatica è limitata al valore massimo di a 0.15 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

I risultati evidenziano che in configurazione di progetto i superamenti della condizione di “comfort” risultano sensibilmente ridotti e limitati a poche zone all'interno del vecchio bacino portuale e in prossimità della testata del vecchio molo di sottoflutto; resta anche in questo caso completamente protetto il nuovo bacino compreso tra il vecchio e il nuovo molo di sottoflutto.

8.2.3.1 Agitazione ondosa per la mareggiata intensa (5gg/anno) di Levante (90°N) TEST1

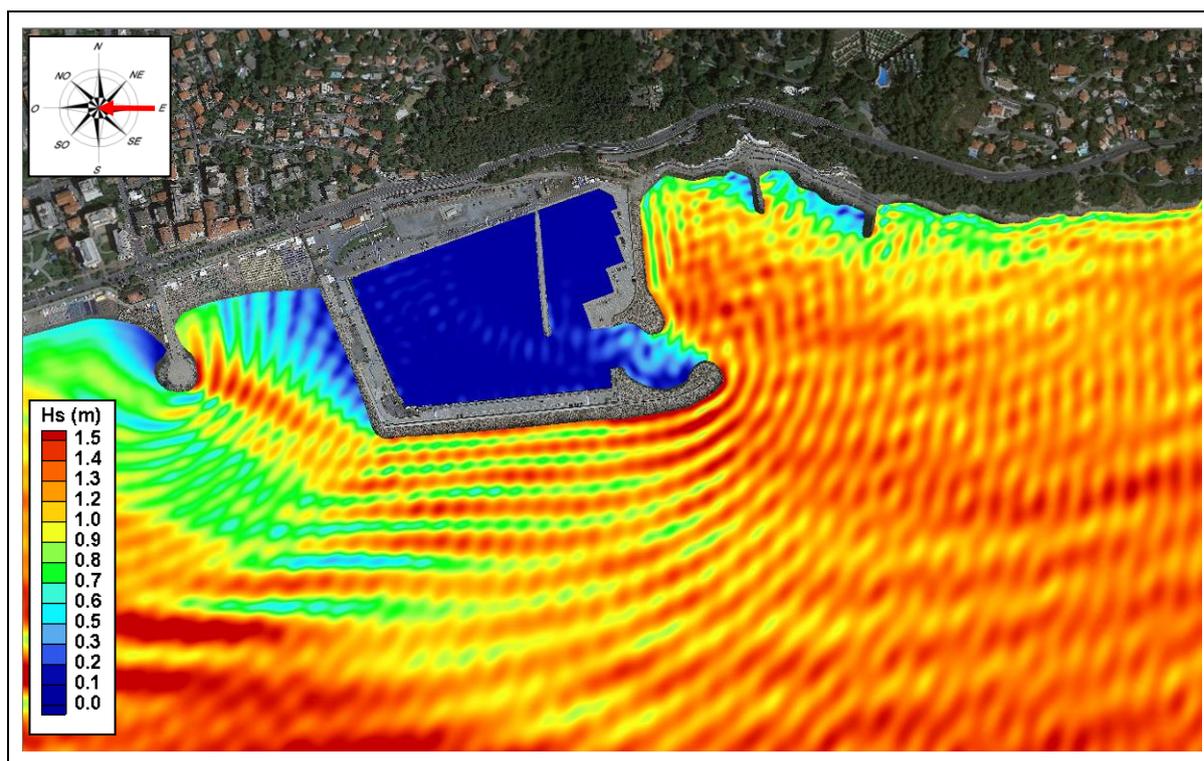


Fig. 8.9 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante, altezza d'onda significativa

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 82 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

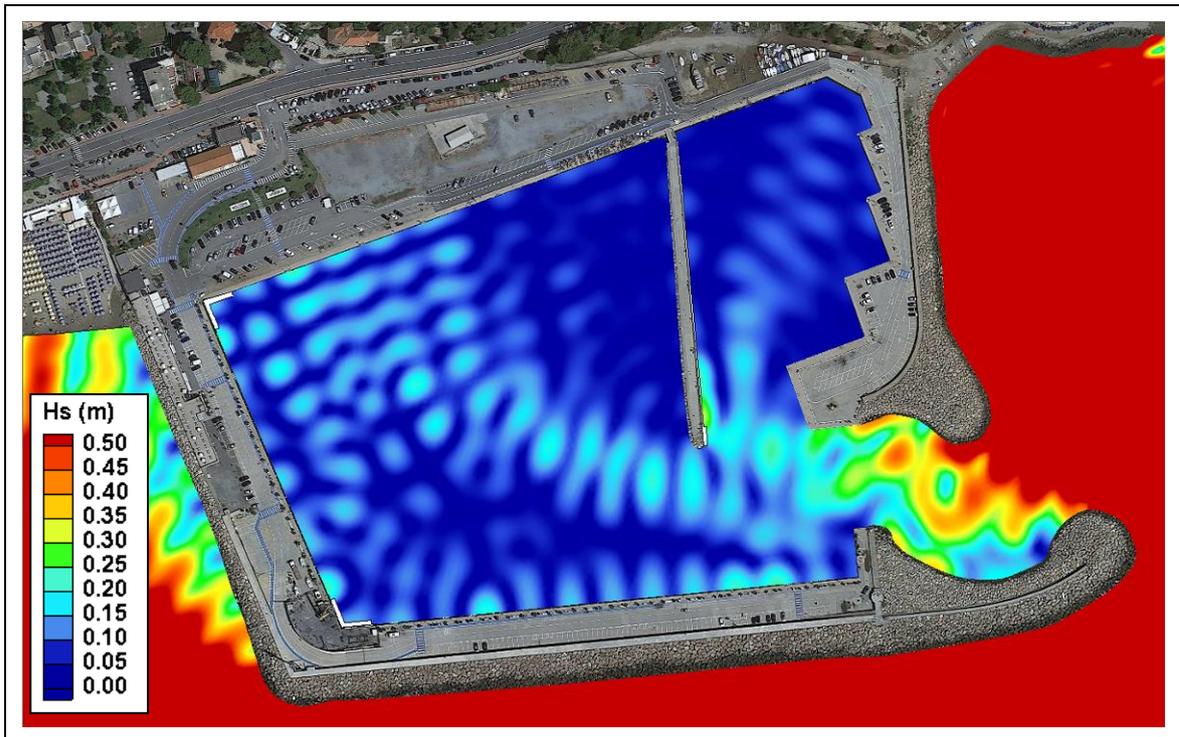


Fig. 8.10 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante, altezza d'onda significativa – dettaglio porto

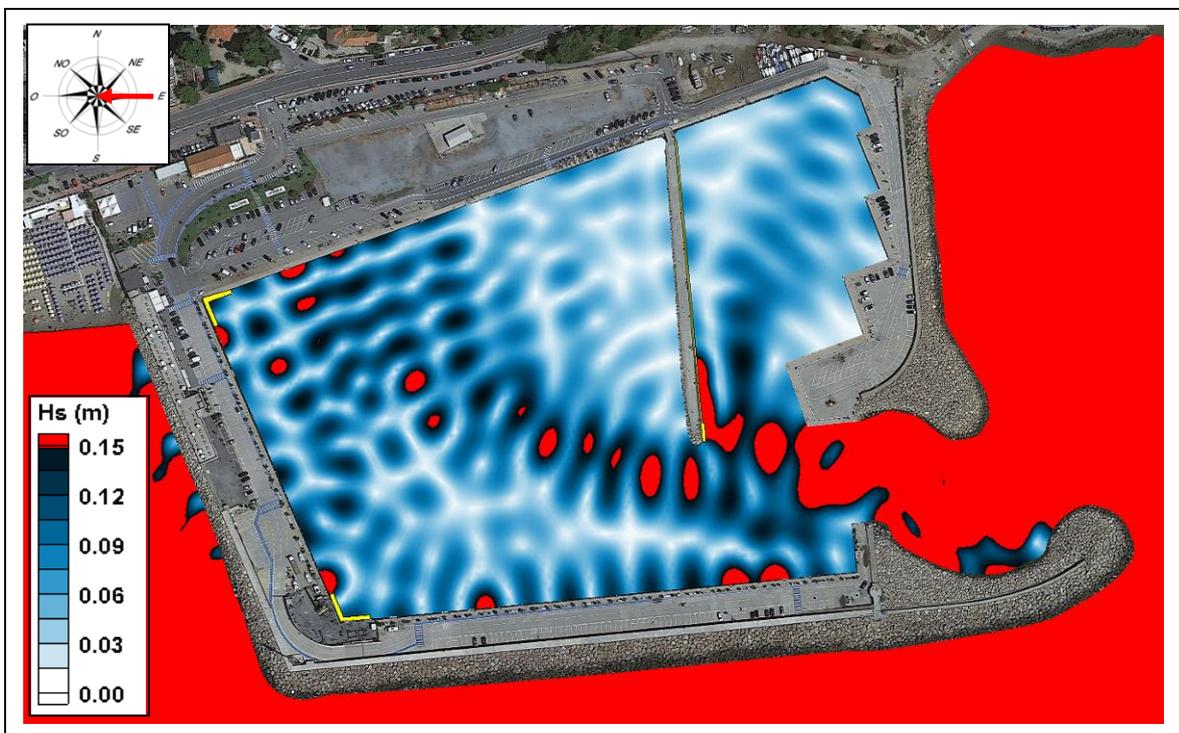


Fig. 8.11 – TEST 1: mareggiata intensa di Levante, verifica delle condizioni “di comfort”

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 83 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

	TITOLO: STUDIO SU MODELLO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO DEL MARINA DI ANDORA	COMMITTENTE: Comune di Andora
	ELAB.: RELAZIONE TECNICA	

9 CONCLUSIONI

Il presente studio è stato svolto al fine di valutare le condizioni di agitazione residua all'interno del porto di Andora, in configurazione attuale, e di analizzare gli effetti degli interventi previsti sul lato Est del vecchio molo di sottoflutto e degli interventi migliorativi che si prevede di realizzare in corrispondenza degli spigoli Nord-Ovest e Sud-Ovest del vecchio bacino portuale.

Nelle successive Fig. 9.1, Fig. 9.2 e Fig. 9.3 sono messi a confronto i risultati, nelle due configurazioni analizzate, delle simulazioni condotte rispettivamente per le condizioni "limite", di "sicurezza" e di "comfort" (cfr. raccomandazioni PIANC/AIPCN).

I risultati ottenuti mostrano che la realizzazione della banchina sul lato Est del vecchio sottoflutto, con celle antiriflettenti al posto dell'esistente scogliera, non modifica l'agitazione residua interna al bacino compreso tra il vecchio e il nuovo molo di sottoflutto. Un marginale effetto della realizzazione della nuova banchina si rileva nel tratto in prossimità della testata del vecchio sottoflutto, dove si osserva un lieve aumento dell'altezza d'onda residua per effetto dell'incrementata riflessione. Tale incremento, che si rileva comunque in un'area piuttosto limitata, non pregiudica le condizioni di sicurezza delle imbarcazioni e non riduce in modo sostanziale il comfort delle imbarcazioni in quanto quell'area sarà adibita prevalentemente ai soli transiti.

I risultati mostrano inoltre che la realizzazione dei tratti antiriflettenti negli spigoli Nord-Ovest e Sud-Ovest del vecchio bacino portuale determinano un generale miglioramento delle condizioni di agitazione residua per tutte le mareggiate analizzate. Tale miglioramento risulta piuttosto evidente dall'osservazione del confronto dei risultati per la verifica della condizione di comfort (Fig. 9.3); per tale condizione si osserva infatti come, nella configurazione di progetto, le zone di superamento del valore limite risultino essere fortemente localizzate, con valori massimi di altezza d'onda comunque prossimi o inferiori ai 20 cm.

Si sottolinea, infine, che le simulazioni sono state eseguite, in via cautelativa, non considerando l'effetto della presenza delle imbarcazioni e dei pontili galleggianti all'interno del bacino portuale; la presenza delle imbarcazioni e dei pontili può infatti ridurre l'agitazione ondosa residua nel bacino, limitando la propagazione dell'onda verso le banchine e quindi la riflessione.

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 84 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

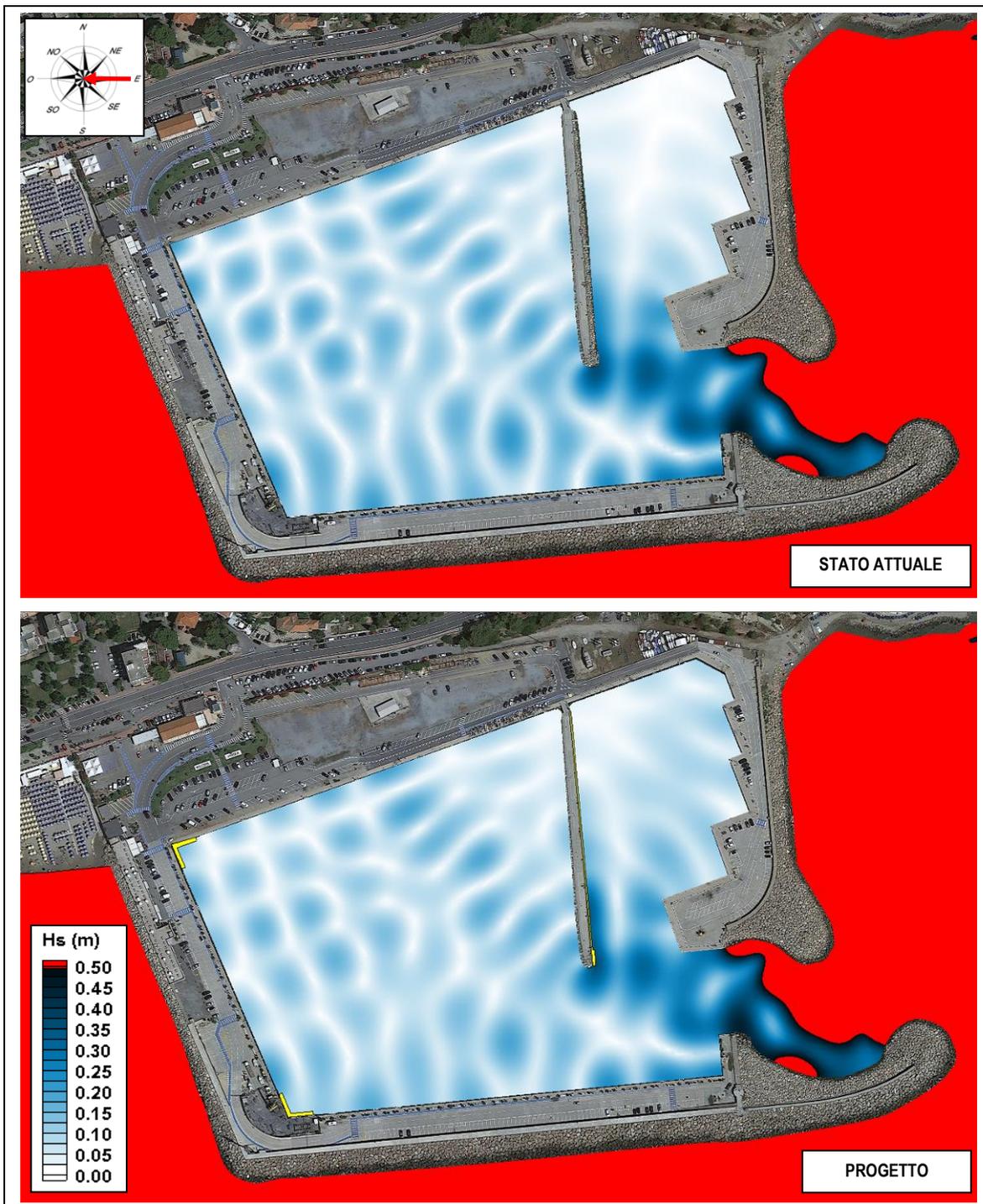


Fig. 9.1 – TEST 8 – Confronto verifica della condizione limite ($T_R = 50$ anni)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 85 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

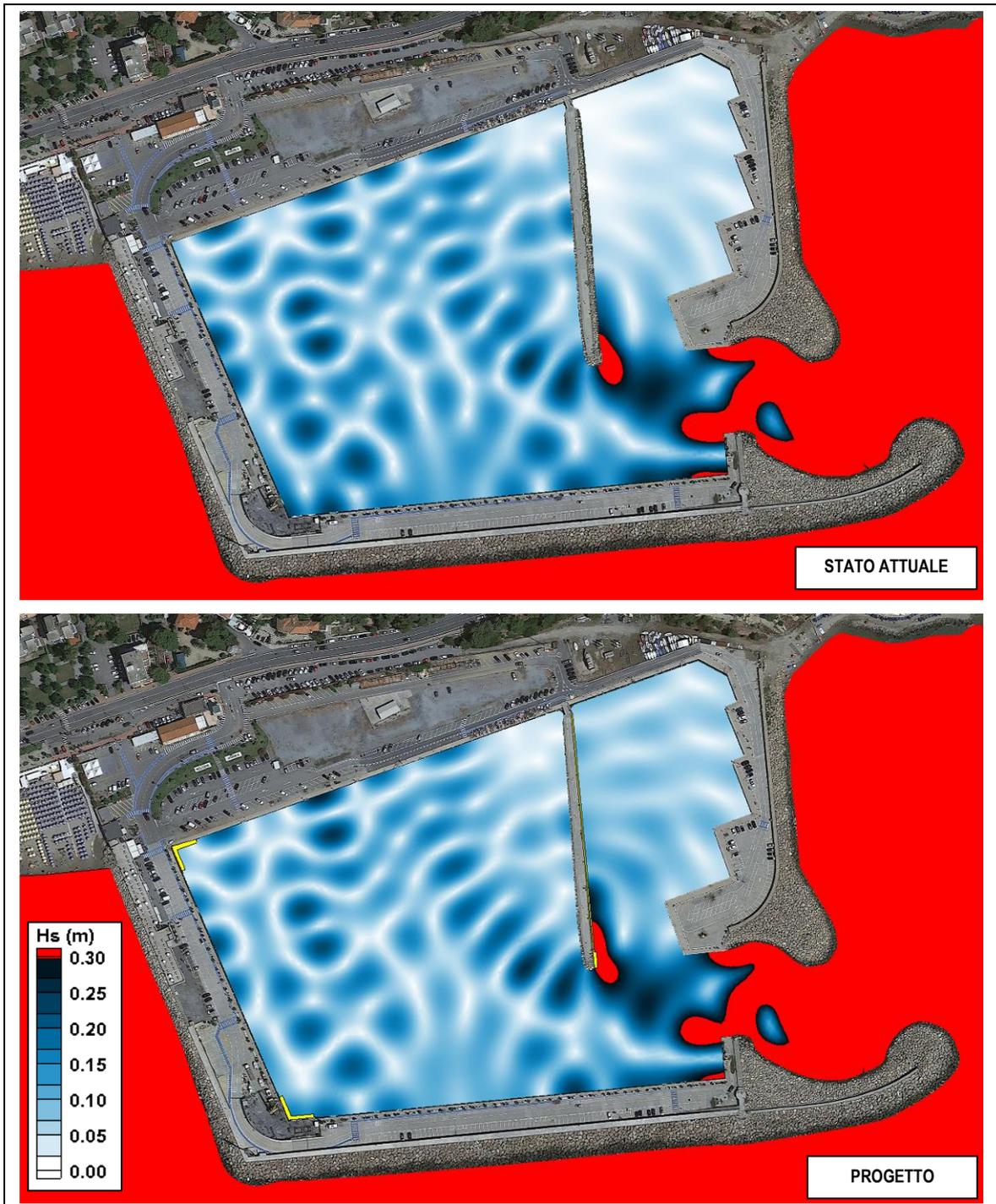


Fig. 9.2 – TEST 5 – Confronto verifica della condizione di sicurezza ($T_R = 50$ anni)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 86 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	

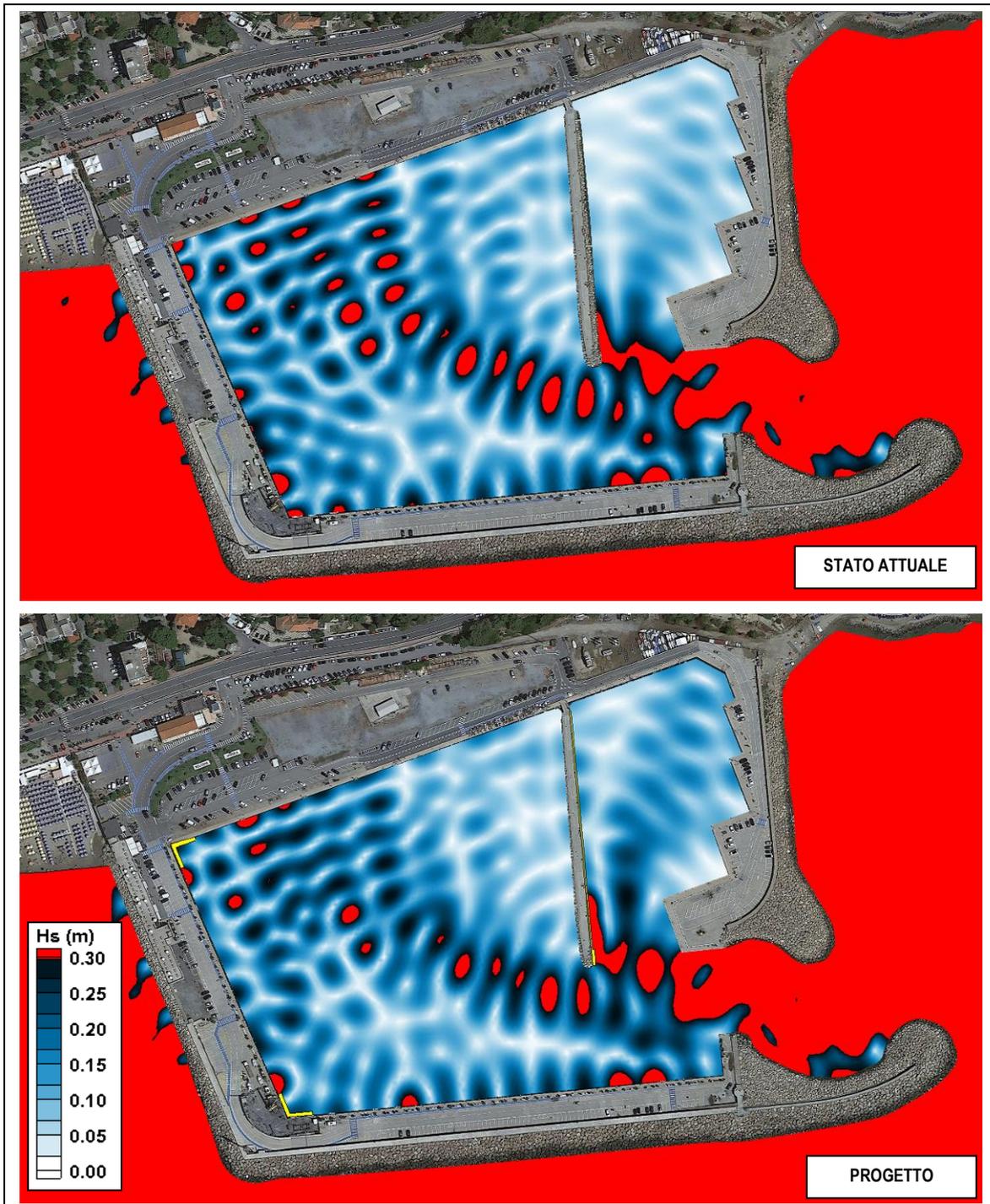


Fig. 9.3 – TEST 1 – Confronto verifica della condizione di comfort (Frequenza = 5 giorni/anno)

REDATTO: NS	COMMESSA: HSM822-19	REVISIONE: 00	Pagina 87 di 87
VERIFICATO: MT	FILE: HSM822-19-RELAZIONE-REV00.doc	DATA: Dic. 2019	