

STUDIOGAGGERO

SAVONA – VIA PIA 130 R – FAX 019/8386702 – TEL 019/829463
CELL. 335/303133 – E-MAIL ing.gaggero@libero.it

Elab. B

COMUNE DI DIANO MARINA

GESTIONI MUNICIPALI S.p.A.

PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE MORFOLOGICA DELLA BOCCA PORTUALE

RELAZIONE TECNICA

Dott. ing. Paolo GAGGERO

C.F. GGGPLA49H27I480F

Giugno 2015

File: NP 1896/pr.def./rel.tecn.

NP 1896

COMUNE DI DIANO MARINA

GESTIONI MUNICIPALI S.p.A.

PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE MORFOLOGICA DELLA BOCCA PORTUALE

PROGETTO DEFINITIVO

EL. B: RELAZIONE TECNICA

Giugno 2015

Dott. Ing. Paolo Gaggero

Nel presente elaborato vengono svolti i temi relativi a:

- individuazione e verifica della nuova morfologia della bocca, ai fini di una sensibile e significativa riduzione dell'ingresso dell'onda all'interno dello specchio acqueo;
- verifica della mantellata della nuova porzione di opera.

Il primo tema è stato sviluppato con simulazioni matematiche svolte da HydroSoil S.r.l. - Noventa Padovana (PD).

Il secondo è stato elaborato mediante applicazione del metodo di HUDSON applicato alle condizioni marine individuate nel documento precedente.

Vengono inoltre affrontati i temi relativi a

- indagini archeologiche
- indagini geologiche/geotecniche.

Per queste il testo di riferimento alle indagini di campo ed alle conclusioni già sviluppate per conto dell'Amministrazione Comunale di Diano Marina, socia totalitaria di G.M. S.p.A., in accompagnamento al progetto di ampliamento del porto turistico. La documentazione è stata rilasciata in copia alla G.M. nell'ottobre 2015 e le presenti note sono state inserite nel progetto in pari data.

La documentazione originale, prodotta nel corso del procedimento ex D.P.R. 509/97 dal Comune di Diano Marina riguardante l'ampliamento del porto turistico, è per intero ad atti di tutti gli enti coinvolti nell'approvazione del presente progetto.

Individuazione e verifica della nuova morfologia della bocca, ai fini di una sensibile e significativa riduzione dell'ingresso dell'onda all'interno dello specchio acqueo

Regione Liguria	Provincia di Imperia	Comune di Diano Marina

Committente:
STUDIO GAGGERO

MODELLISTICA NUMERICA RELATIVA ALL'AGITAZIONE ONDOSA INTERNA AL PORTO TURISTICO DI DIANO MARINA



Elaborato UNICO	RELAZIONE TECNICA

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

Commessa: Diano Marina 2015	REV: 00	Data: Aprile 2015

INDICE

1 PREMESSA 6

2 INQUADRAMENTO DEL PARAGGIO 7

3 FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI 10

4 CLIMA ONDOSO AL LARGO 12

4.1 CARATTERISTICHE DEL CLIMA ONDOSO AL LARGO 13

4.2 STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI AL LARGO 16

5 SETTORI DI TRAVERSIA 18

6 REGIME DELLE MAREE 19

7 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA 21

7.1 SETTAGGIO DEL MODELLO 21

7.2 PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI 23

7.3 CLIMA ONDOSO NEL PUNTO P2 25

8 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE 28

8.1 SETTAGGIO DEL MODELLO 28

8.1.1 Coefficienti di riflessione degli elementi del dominio 30

8.2 CONDIZIONI ONDAMETRICHE IMPOSTE NEL MODELLO 31

8.2.1 Condizioni ondametriche derivanti dal clima ondoso 31

8.2.2 Condizioni ondametriche generate dall'azione del vento sullo specchio acqueo compreso tra il molo Cavour e il porto di Diano Marina 32

8.3 VALUTAZIONE DELL'AGITAZIONE ONDOSA PER MAREGGIATA CON FREQUENZA PARI A 5 GG/ANNO 35

8.4 VALUTAZIONE DELL'AGITAZIONE ONDOSA PER MAREGGIATA CON TEMPO DI RITORNO PARI A 50 ANNI 37

8.5 VALUTAZIONE DELL'AGITAZIONE ONDOSA PER MAREGGIATA GENERATA DA VENTO 39

9 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 41

9.1 CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 41

9.2 RISULTATI DELLO STUDIO DELLA PENETRAZIONE NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 42

9.2.1 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata con frequenza pari a 5 gg/anno 42

9.2.2 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata con tempo di ritorno pari a 50 anni 44

9.2.3 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata generata da vento di Libeccio 46

10 CONFRONTO DEI RISULTATI 48

10.1 CONFRONTO AGITAZIONE ONDOSA PER MAREGGIATA CON FREQUENZA PARI A 5 GG/ANNO 49

10.2 CONFRONTO AGITAZIONE ONDOSA PER MAREGGIATA CON TEMPO DI RITORNO PARI A 50 ANNI 50

10.3 CONFRONTO AGITAZIONE ONDOSA PER MAREGGIATA GENERATA DA VENTO 51

11 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO ALTERNATIVA 52

11.1 CONFIGURAZIONE DI PROGETTO ALTERNATIVA 52

11.2 VALUTAZIONE DELL'AGITAZIONE ONDOSA PER MAREGGIATA GENERATA DA VENTO 53

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 – Inquadramento geografico del paraggio 7
Fig. 2.2 – Promontorio a Sud-Ovest del molo della Chiesa fino al molo Cavour 8
Fig. 2.3 – Molo di sottoflutto del porto di Diano (o molo dell'Oratorio) 8
Fig. 2.4 – Bacino del porto di Diano Marina 9
Fig. 3.1 – Fetch geografici per il paraggio di Diano Marina 10
Fig. 3.2 – Fetch efficaci per il paraggio di Diano Marina 11
Fig. 4.1 – Mediterraneo occidentale. Distribuzione completa dei punti di output e area di interesse 12
Fig. 4.2 – Curva di durata nel punto C.N.R. al largo 13
Fig. 4.3 – Rosa delle registrazioni (in blu, a sinistra), delle energie (in rosso, a destra) e delle altezze massime (in verde, in basso) nel punto C.N.R. al largo 15
Fig. 4.4 – Statistica delle onde estreme per eventi di Grecale, Scirocco, Mezzogiorno, Levante e Libeccio 17
Fig. 5.1 – Settore di traversia locale 18
Fig. 6.1 – Andamento dei livelli di marea nel peiodo gennaio 1992 - dicembre 2004 19
Fig. 6.2 – Curve di durata dei livelli di marea 20
Fig. 6.3 – Durata livelli di marea superiori a + 0.5 m 20
Fig. 7.1 – Griglia di calcolo BIG GRID (passo 200 m) 22
Fig. 7.2 – Griglia di dettaglio SMALL GRID (passo 20 m) 22
Fig. 7.3– Individuazione eventi estremi 23
Fig. 7.4 – Caratteristiche locali della mareggiata estrema (T_R = 50 anni) di Mezzogiorno 25
Fig. 7.5 – Curva di durata nel punto P2 26
Fig. 7.6 - Rosa delle registrazioni (in blu, a sinistra), delle energie (in rosso, a destra) e delle altezze massime (in verde, in basso) nel punto P2 27
Fig. 8.1 – Dominio di calcolo impiegato nello studio della penetrazione del moto ondoso 29
Fig. 8.2 – Particolare della mesh di calcolo in prossimità e all'interno del porto 29
Fig. 8.3 – Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione interna 30
Fig. 8.4 – Altezza d'onda significativa della mareggiata considerata nello studio 31
Fig. 8.5 – Evidenza di una mareggiata generata da vento di Libeccio 32
Fig. 8.6 – Normogramma per la stima dei parametri dell'onda generata da vento 33
Fig. 8.7 – Fetch corrispondente alla direzione 210°N 34
Fig. 8.8 – TEST 1 configurazione attuale: andamento delle creste Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 1.44 m – DIR = 180 °N – T_{01} = 6.0 s 35
Fig. 8.9 – TEST 1 configurazione attuale: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto 36
Fig. 8.10 – TEST 1 configurazione attuale: agitazione ondosa all'interno del porto 36
Fig. 8.11 – TEST 2 configurazione attuale: andamento delle creste Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 5.35 m – DIR = 175 °N – T_{01} = 9.5 s 37
Fig. 8.12 – TEST 2 configurazione attuale: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto 38
Fig. 8.13 – TEST 2 configurazione attuale: agitazione ondosa all'interno del porto 38
Fig. 8.14 – TEST 3 configurazione attuale: andamento delle creste Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s 39
Fig. 8.15 – TEST 3 configurazione attuale: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto 40
Fig. 8.16 – TEST 3 configurazione attuale: agitazione ondosa all'interno del porto 40
Fig. 9.1 – Schema del layout della configurazione di progetto 41
Fig. 9.2 – TEST 1 configurazione di progetto: andamento delle creste Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 1.44 m – DIR = 180 °N – T_{01} = 6.0 s 42
Fig. 9.3 – TEST 1 configurazione di progetto: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto 43
Fig. 9.4 – TEST 1 configurazione di progetto: agitazione ondosa all'interno del porto 43
Fig. 9.5 – TEST 2 configurazione di progetto: andamento delle creste Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 5.35 – DIR = 175 °N – T_{01} = 9.5 s 44
Fig. 9.6 – TEST 2 configurazione di progetto: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto 45
Fig. 9.7 – TEST 2 configurazione di progetto: agitazione ondosa all'interno del porto 45
Fig. 9.8 – TEST 3 configurazione di progetto: andamento delle creste Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s 46
Fig. 9.9 – TEST 3 configurazione di progetto: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto 47

Fig. 9.10 – TEST 3 configurazione di progetto: agitazione ondosa all'interno del porto 47
Fig. 10.1 – TEST 1: Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 1.44 – DIR = 180 °N – T_{01} = 6.0 s Agitazione ondosa all'interno del porto: configurazione attuale (a sinistra) e di progetto(a destra) 49
Fig. 10.2 – TEST 2: Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 5.35 – DIR = 175 °N – T_{01} = 9.5 s Agitazione ondosa all'interno del porto: configurazione attuale (a sinistra) e di progetto(a destra) 50
Fig. 10.3 – TEST 3: Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s Agitazione ondosa all'interno del porto: configurazione attuale (a sinistra) e di progetto(a destra) 51
Fig. 11.1 – Schema della configurazione di progetto alternativa 52
Fig. 11.2 – TEST 3 configurazione di progetto alternativa: andamento delle creste TEST 3: Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s 53
Fig. 11.3 – TEST 3 configurazione di progetto alternativa: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto 54
Fig. 11.4 – TEST 3 configurazione di progetto alternativa: agitazione ondosa all'interno del porto 54
Fig. 11.5 – TEST 3: Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s Agitazione ondosa all'interno del porto: configurazione di progetto (a sinistra) e alternativa (a destra) 55

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 4.1 – Registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 100000) 14
Tab. 4.2 – Risultati statistica degli estremi per eventi di Grecale, Scirocco, Mezzogiorno e Libeccio 17
Tab. 7.1 – Mareggiate estreme propagata sottocosta con il codice di calcolo SWAN 24
Tab. 7.2 – Elenco dei test di propagazione delle mareggiate estreme con il codice di calcolo SWAN 24
Tab. 7.3 – Caratteristiche nel punto P2 delle mareggiate estreme 24
Tab. 7.4 – Registrazioni di moto ondoso nel punto P2 ordinate per altezza e direzione (in parti per 100000) 26
Tab. 8.1 – Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore 30
Tab. 8.2 - Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio 32
Tab. 8.3 - Caratteristiche della mareggiata da vento considerata nello studio 33

Elenco degli allegati:

Allegato Descrizione dei codici di calcolo

1 PREMESSA

Lo studio, come concordato con il Committente, è finalizzato all'approfondimento della conoscenza dell'agitazione ondosa all'interno del porto di Diano Marina.
In particolare, l'analisi si pone l'obiettivo di valutare l'efficacia della layout di progetto proposto ai fini della diminuzione della penetrazione del moto ondoso e dell'agitazione residua all'interno del porto.
L'analisi è stata svolta preliminarmente sulla configurazione attuale e successivamente su una configurazione che prevede il prolungamento del molo.
Sulla base delle risultanze degli studi è stata inoltre individuata dal Committente una possibile configurazione alternativa del molo, in grado di limitare ulteriormente la penetrazione del moto ondoso e l'agitazione residua nel bacino portuale, ma, evidentemente, rende meno agevole la manovra di ingresso al porto e l'eventuale incrocio tra imbarcazioni in ingresso e in uscita.

La redazione dello studio è stata articolata con particolare riferimento alle seguenti attività:

- inquadramento geografico del paraggio, individuazione del settore di traversia e definizione dei fetch geografici ed efficaci;
- descrizione del clima ondoso e degli eventi estremi al largo;
- propagazione del clima ondoso e degli eventi estremi verso costa;
- studio su modello matematico dell'agitazione ondosa nella configurazione attuale per alcune mareggiate ritenute significative;
- studio su modello matematico dell'agitazione ondosa nella configurazione di progetto;
- confronto dei risultati ottenuti per le due diverse configurazioni analizzate;
- studio su modello matematico dell'agitazione ondosa nella configurazione progettuale alternativa e confronto con le soluzioni precedenti.

Lo studio è stato condotto con l'ausilio di idoneo modello matematico in grado di simulare la propagazione verso costa e la penetrazione del moto ondoso all'interno di porti, insenature e paraggi con morfologia complessa, tenendo conto dei fenomeni di rifrazione, diffrazione, riflessione e dei processi di dissipazione dovuta all'attrito (CGWAVE).

I dati di base utilizzati per la redazione del presente studio sono stati forniti dal Committente. In particolare, per quanto riguarda la batimetria di dettaglio dell'area di intervento, il clima ondoso al largo e sottocosta, sono stati utilizzati i dati descritti nell' "Elaborato C – relazione idraulico marittima" relativa al "Progetto di ampliamento e completamento del porto turistico – Livello definitivo" (redatto da S.I.P.I.M. nel febbraio 2006).

2 INQUADRAMENTO DEL PARAGGIO

L'area in cui è ubicato il porto oggetto di studio è situata nel Comune di Diano Marina, in provincia di Imperia, sulla costa occidentale della Regione Liguria (Fig. 2.1). Il tratto di litorale in cui si inserisce il porto turistico è compresa tra il molo Cavour (a Sud-Ovest) e le barriere di San Bartolomeo al Mare (a Nord-Est). Si riporta di seguito una breve descrizione dei luoghi.
Procedendo da Sud-Ovest verso Nord-Est (dal molo Cavour, Fig. 2.2, verso l'abitato di San Bartolomeo al Mare), si trova la spiaggia di Diano Marina. Il litorale, fino al pennello della Chiesa (o delle "Tartarughe"), è caratterizzato dalla presenza di numerosi pennelli e pontili. Una delle opere rigide più rilevanti è il pennello posto a ponente della foce del torrente Varcavello.
Procedendo verso Nord-Est, si incontra il porto di Diano, che risulta delimitato dai due moli di levante (sopraflutto) e di ponente (sottoflutto, Fig. 2.3).
Il molo foraneo di sopraflutto (Fig. 2.4) è ubicato immediatamente a Ovest della foce del torrente San Pietro, con radice in destra idrografica della foce del corso d'acqua.

L'imboccatura risulta esposta alle mareggiate provenienti da Scirocco e, in misura maggiore, alle mareggiate provenienti da Mezzogiorno. L'imboccatura risulta inoltre esposta alle mareggiate di Libeccio in grado di essere generate dal vento nello specchio acqueo compreso tra il molo Cavour e l'imboccatura.



Fig. 2.1 – Inquadramento geografico del paraggio



Fig. 2.2 – Promontorio a Sud-Ovest del molo della Chiesa fino al molo Cavour



Fig. 2.3 – Molo di sottoflutto del porto di Diano (o molo dell'Oratorio)



Fig. 2.4 – Bacino del porto di Diano Marina

3 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 successiva Fig. 3.1.

Per quanto concerne invece la determinazione dei fetch efficaci, è stata utilizzata la procedura proposta nello "Shore Protection Manual" (CERC, 1984). La metodologia proposta consiste nel costruire, a partire dal punto di interesse, nove raggi con spaziatura di 3°, estesi fino ad incontrare la linea di riva. Il fetch efficace, per ciascuna direzione, risulta dalla media aritmetica delle 9 lunghezze dei raggi così tracciati. I fetch geografici sono stati limitati a 600 km.

I risultati ottenuti da tale calcolo sono rappresentati graficamente nella successiva Fig. 3.2. Si può notare che i massimi fetch corrispondono alle mareggiate di Mezzogiorno-Libeccio (205°N), per le quali il fetch efficace è dell'ordine dei 580 km (circa 310 NM).

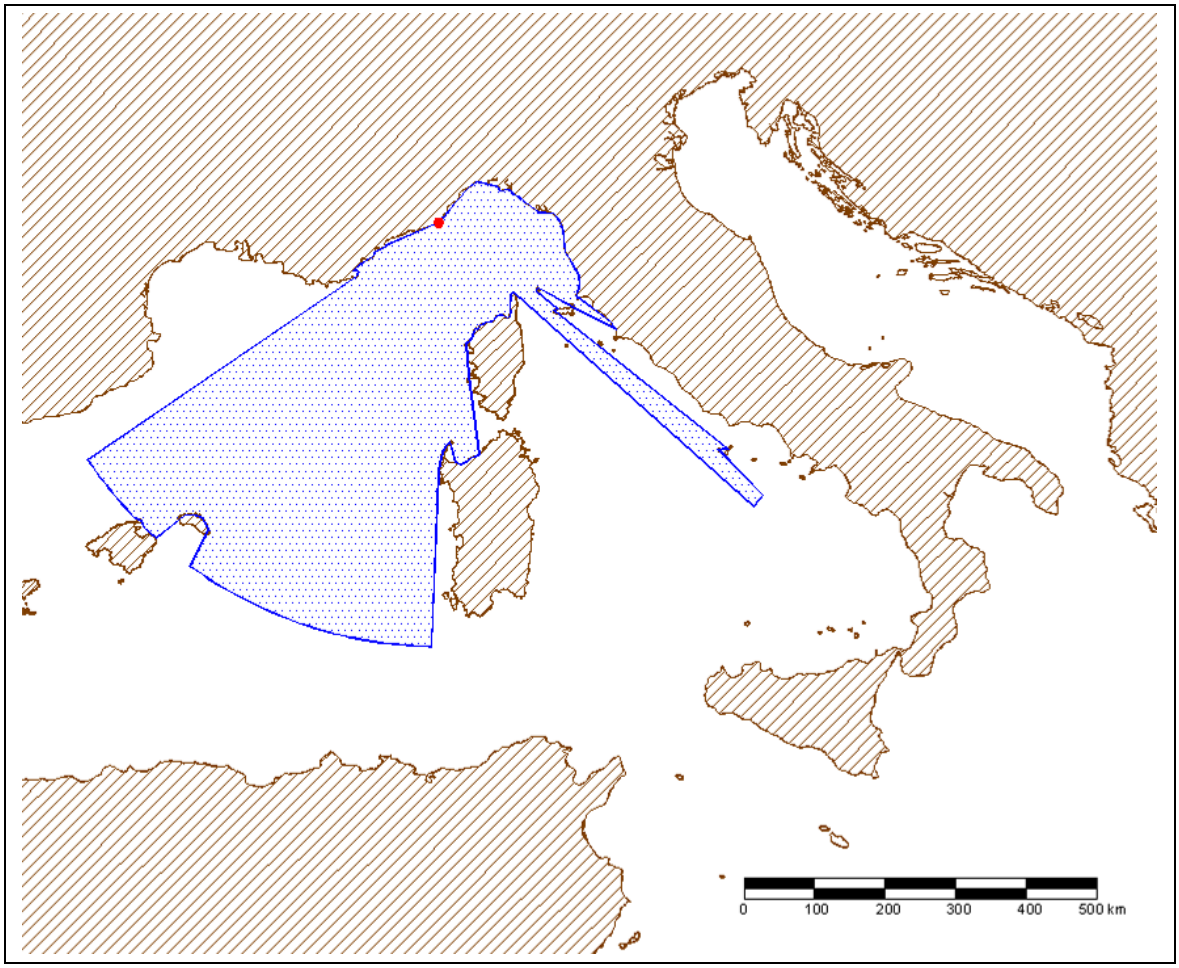


Fig. 3.1 – Fetch geografici per il paraggio di Diano Marina

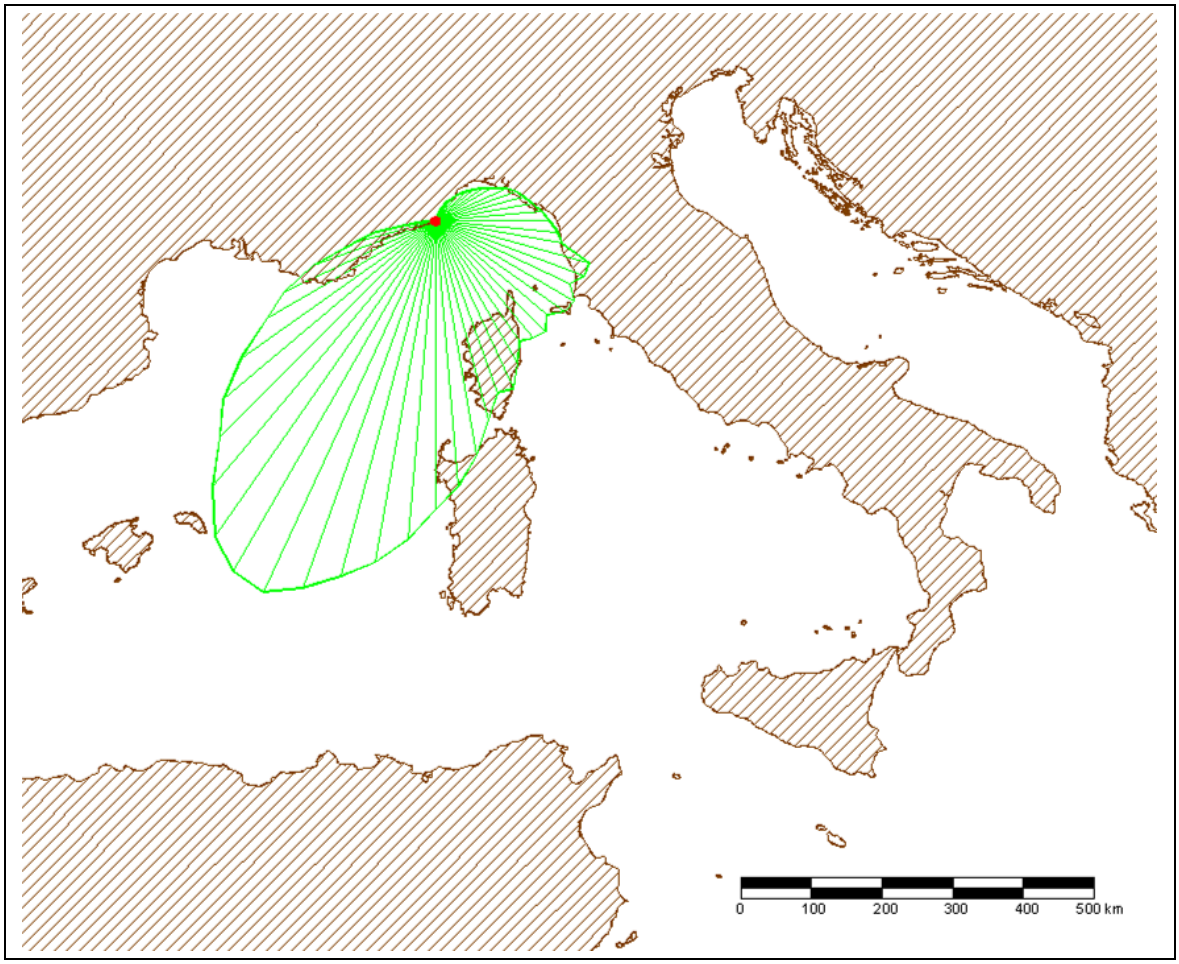


Fig. 3.2 – Fetch efficaci per il paraggio di Diano Marina

4 CLIMA ONDOSO AL LARGO

Come accennato nella premessa, per quanto riguarda il clima ondoso al largo (e sottocosta) sono stati considerati i risultati degli studi descritti nell' "Elaborato C – relazione idraulico marittima" relativa al "Progetto di ampliamento e completamento del porto turistico – Livello definitivo" (redatto da S.I.P.I.M. nel febbraio 2006). Di seguito si riporta una descrizione dei dati impiegati.

Per la definizione delle condizioni meteomarine (clima ondoso) al largo del litorale di Diano Marina sono stati utilizzati i dati di moto ondoso acquisiti dal C.N.R.. Tali dati derivano dalla ricostruzione della serie storica delle mareggiate mediante modellazione matematica dei fenomeni di generazione/dissipazione del moto ondoso sulla base dei venti ricavati dalle carte bariche.
Per ottenere i dati sono stati utilizzati modelli matematici sviluppati a partire da osservazioni meteorologiche ottenute dall'archivio del Centro Meteorologico Europeo (ECMWF) e calibrati in base a rilevazioni del satellite topex poseidon e registrazioni di boe ondametriche.
L'informazione è disponibile su di una serie di punti uniformemente distribuiti con un intervallo di 0.5 gradi geografici (55 km in latitudine; circa 40 km in longitudine alla nostra latitudine). Un esempio della distribuzione dei punti di output del modello WAM (Wave Model) con risoluzione 0.5° è fornito dalla Fig. 4.1, che mostra la loro distribuzione per il Mediterraneo Occidentale. L'output del modello WAM viene immagazzinato al centro europeo sotto forma di campi esaorari.

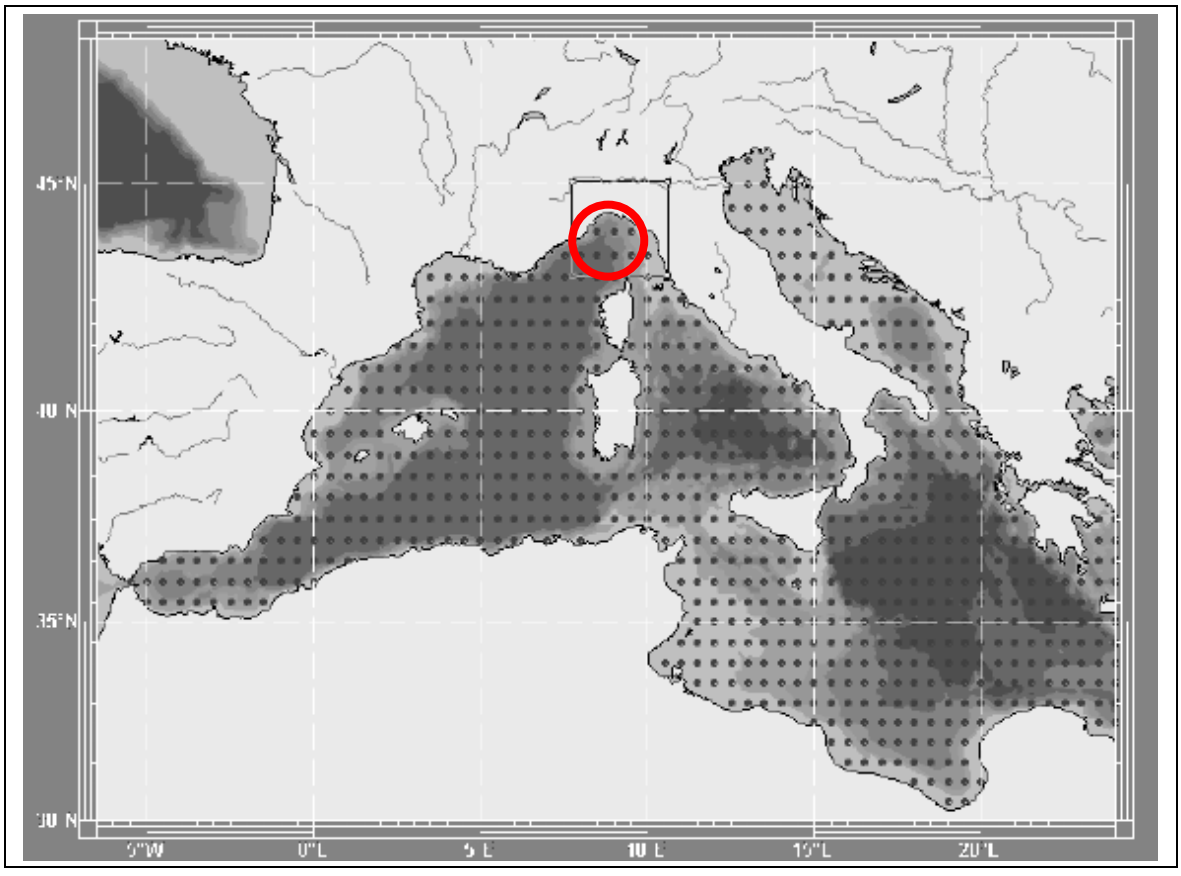


Fig. 4.1 – Mediterraneo occidentale. Distribuzione completa dei punti di output e area di interesse

4.1 Caratteristiche del clima ondoso al largo

Le informazioni originali del moto ondoso al largo, disponibili come campi bidimensionali, sono state organizzate in serie temporali che comprendono altezza significativa H_s, periodo medio spettrale e di picco (T_{01} e T_p), direzione media di provenienza (DIR). I relativi valori coprono il periodo luglio 1992 - giugno 2002, ad intervalli di sei ore. Per ragioni di proprietà dei dati originali le serie temporali non sono rese disponibili a terzi, anche se sono state utilizzate per ricavare la climatologia nel punto offshore prescelto.

Attraverso l'elaborazione dei dati forniti dal C.N.R. è stato definito il clima ondoso in corrispondenza del punto di coordinate (Long. 8° 30', Lat. 43° 30'), situato nel Mar Ligure su un fondale di circa 1000 m. In Tab. 4.1 sono riportate le caratteristiche delle onde "al largo", cioè nel punto cui si riferiscono i valori forniti dal C.N.R.. I dati del clima ondoso del C.N.R. sono ordinati per classi di altezza significativa e direzione di provenienza.

A partire dai dati disponibili, è stato possibile ricostruire la curva di durata relativa alle registrazioni al largo; la curva di durata consente di mettere in relazione le caratteristiche di un evento con la sua durata media annuale (Fig. 4.2). Si può osservare come l'altezza significativa di 2 m venga superata mediamente per 40÷45 giorni all'anno.

Di seguito, in Fig. 4.3, vengono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze significative massime al largo.
La rosa delle energie è caratterizzata da due picchi: il principale in corrispondenza del settore di Libeccio (SW) e quello secondario in corrispondenza del settore di Grecale (NE).
Le mareggiate di Libeccio sono inoltre caratterizzate dalle altezze significative massime: nel periodo luglio 1992 - giugno 2002 si registrano valori massimi dell'ordine di 7 m.

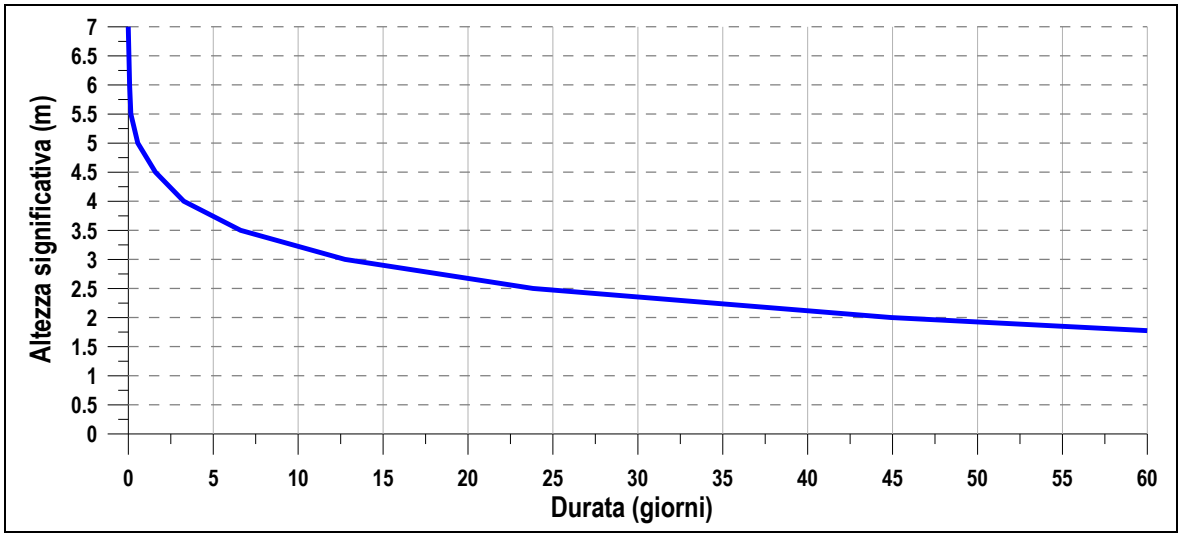


Fig. 4.2 – Curva di durata nel punto C.N.R. al largo

		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	6.0
(°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	7.0
0	10	288	425	226	165	124	69	41	21	0	0	***7***	0	0
10	20	397	521	357	294	172	158	69	62	***7***	0	0	0	0
20	30	665	890	582	384	226	131	55	7	14	***14***	0	0	0
30	40	904	1267	630	404	233	144	48	41	14	***7***	0	0	0
40	50	966	1155	747	500	267	124	82	48	41	***7***	0	0	0
50	60	760	719	596	377	253	110	34	0	0	7	0	***7***	0
60	70	459	548	465	336	109	21	7	0	0	***7***	0	0	0
70	80	404	623	398	212	116	34	14	14	0	7	***7***	0	0
80	90	302	465	226	164	150	41	21	0	0	***7***	0	0	0
90	100	363	383	233	102	62	7	0	***7***	0	0	0	0	0
100	110	363	465	288	130	27	***21***	0	0	0	0	0	0	0
110	120	329	431	220	96	48	0	14	***14***	0	0	0	0	0
120	130	301	384	192	76	35	***7***	0	0	0	0	0	0	0
130	140	301	363	103	28	21	21	***7***	0	0	0	0	0	0
140	150	439	330	110	55	***14***	0	0	0	0	0	0	0	0
150	160	438	288	62	21	***7***	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	459	295	131	14	14	7	0	0	***7***	0	0	0	0
170	180	432	302	137	48	21	14	***7***	0	0	0	0	0	0
180	190	678	364	213	76	21	0	***7***	0	0	0	0	0	0
190	200	1303	610	356	110	76	21	***7***	0	0	0	0	0	0
200	210	1410	1294	637	315	186	76	35	14	7	***7***	0	0	0
210	220	2721	3014	1480	1021	500	212	96	14	28	28	***7***	0	0
220	230	6591	5407	2462	1225	781	425	240	104	28	0	***7***	0	0
230	240	6804	4449	2230	1547	1144	720	418	343	131	90	28	***7***	0
240	250	3129	2379	1554	898	705	473	329	192	144	83	48	7	***21***
250	260	952	636	289	110	184	69	96	28	21	21	***7***	0	0
260	270	193	220	117	49	49	35	***21***	0	0	0	0	0	0
270	280	199	145	82	83	14	0	***21***	0	0	0	0	0	0
280	290	129	103	41	69	21	***14***	0	0	0	0	0	0	0
290	300	158	96	42	21	28	14	***7***	0	0	0	0	0	0
300	310	158	42	14	14	7	***7***	0	0	0	0	0	0	0
310	320	69	131	35	28	***21***	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	137	75	42	42	21	***14***	0	0	0	0	0	0	0
330	340	130	171	62	49	21	21	7	7	***7***	0	0	0	0
340	350	103	157	83	54	41	***7***	0	0	0	0	0	0	0
350	360	288	425	226	165	124	69	41	21	0	0	***7***	0	0

Tab. 4.1 – Registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 100000)

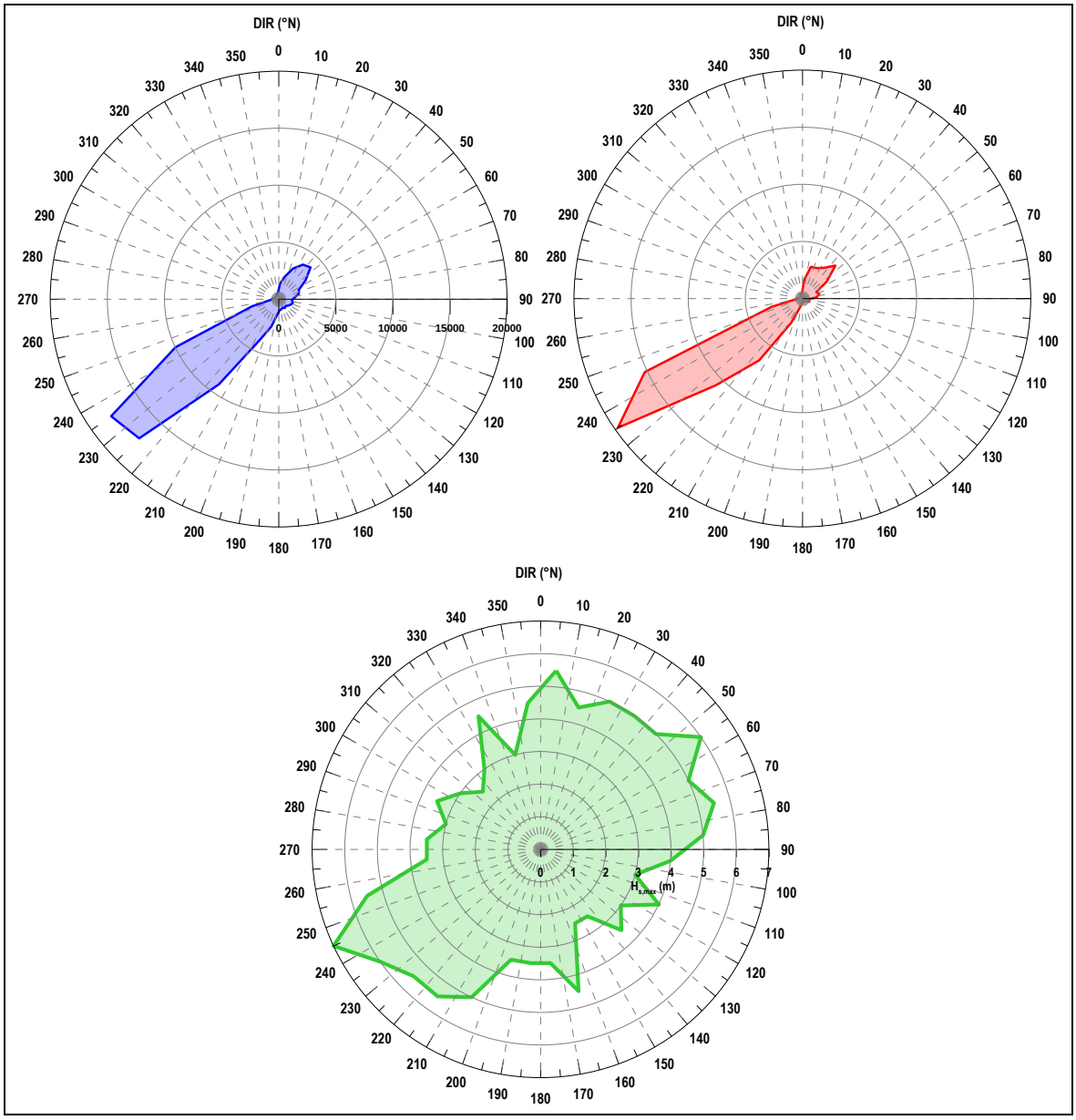


Fig. 4.3 – Rosa delle registrazioni (in blu, a sinistra), delle energie (in rosso, a destra) e delle altezze massime (in verde, in basso) nel punto C.N.R. al largo

4.2 Statistica degli eventi estremi al largo

Utilizzando i dati CNR a disposizione, è stata ricostruita la statistica degli estremi relativa al periodo dal 1992 al 2002. In particolare, sono state considerate le altezze significative massime relative a ciascun anno di osservazione, differenziando tra eventi di Grecale (50°-90°N), Scirocco (90°-150°N), Mezzogiorno (150-210°N) e Libeccio (210-270°N).

Le altezze significative massime registrate negli anni 1992 e 2002 non sono state considerate perché si riferiscono ad un periodo di osservazione di circa sei mesi e non risultano pertanto essere dati significativi per l'analisi dei massimi annuali. Fa eccezione al criterio descritto il caso in cui il valore massimo registrato nell'anno parziale corrisponda al valore massimo di altezza significativa registrato nell'intero periodo di misura.
Nella Figura 1 si riportano i valori massimi di altezza d'onda registrati nell'intervallo temporale considerato, sul settore 50-210°N.

Di seguito, in Fig. 4.4, vengono riportati in un unico grafico i risultati delle elaborazioni statistiche, ottenuti utilizzando il metodo di Gumbel, per i quattro settori di provenienza appena descritti.
Per maggiore chiarezza, in Tab. 4.2, si riportano le altezze significative corrispondenti a periodi di ritorno di 5, 10, 25 e 50 anni per ciascun settore di provenienza.

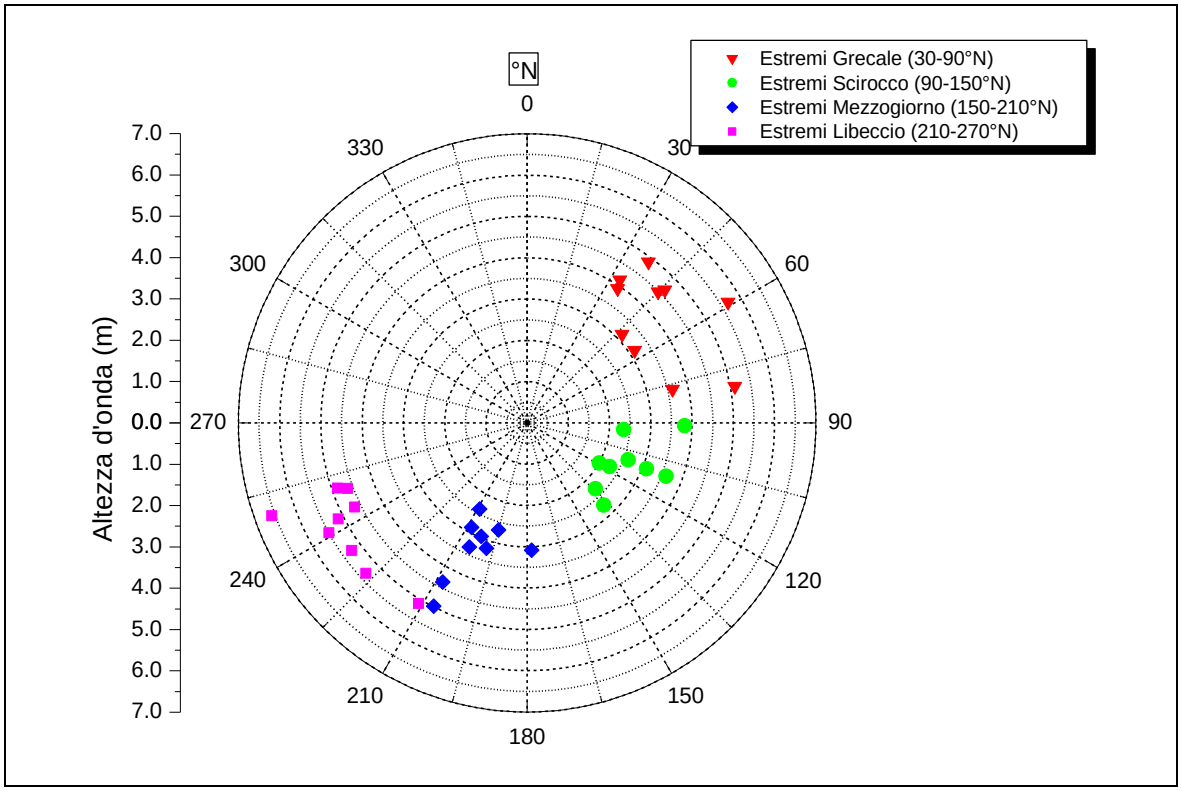


Figura 1 – Valori estremi registrati (1992-2002)

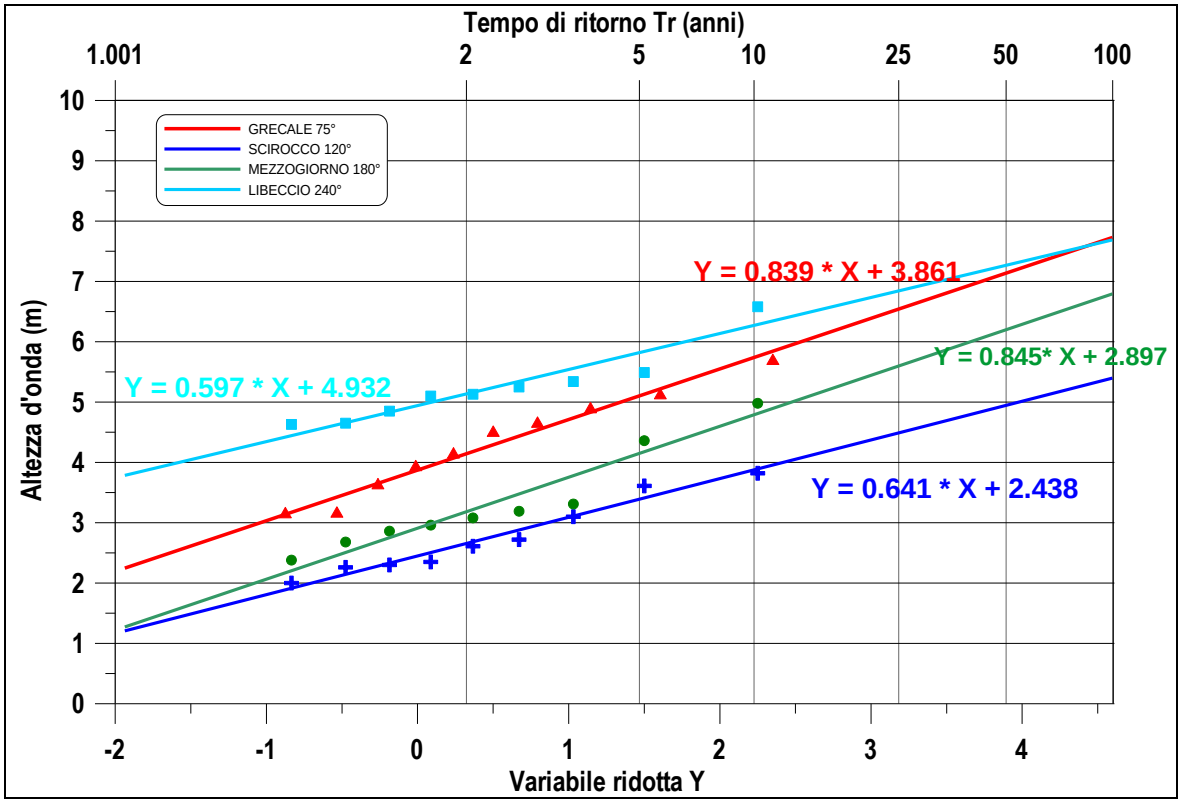


Fig. 4.4 – Statistica delle onde estreme per eventi di Grecale, Scirocco, Mezzogiorno, Levante e Libeccio

EVENTI	GRECALE	SCIROCCO	MEZZOGIORNO	LIBECCIO
	30-90°N	90-150°N	150-210°N	210-270°N
Tr (anni)	Hs (m)			
5	5.12	3.40	4.16	5.83
10	5.75	3.88	4.80	6.28
25	6.54	4.49	5.60	6.84
50	7.13	4.94	6.19	7.26

Tab. 4.2 – Risultati statistica degli estremi per eventi di Grecale, Scirocco, Mezzogiorno e Libeccio

5 SETTORI DI TRAVERSIA

In base all'analisi del clima ondoso al largo (Tab. 4.1 e Fig. 4.3) e alla conformazione geografica del paraggio (Fig. 5.1) è stato possibile individuare un settore di traversia locale, compreso tra 50° e 210°N, e uno al largo compreso tra 50 e 240°N (in funzione del fatto che le onde nella propagazione verso costa tendono a ruotare, rientrando quindi nel settore di traversia locale).

Pertanto, la propagazione del clima ondoso da largo verso costa è stata condotta propagando gli eventi ricadenti all'interno del settore di traversia al largo (50°÷240°N).

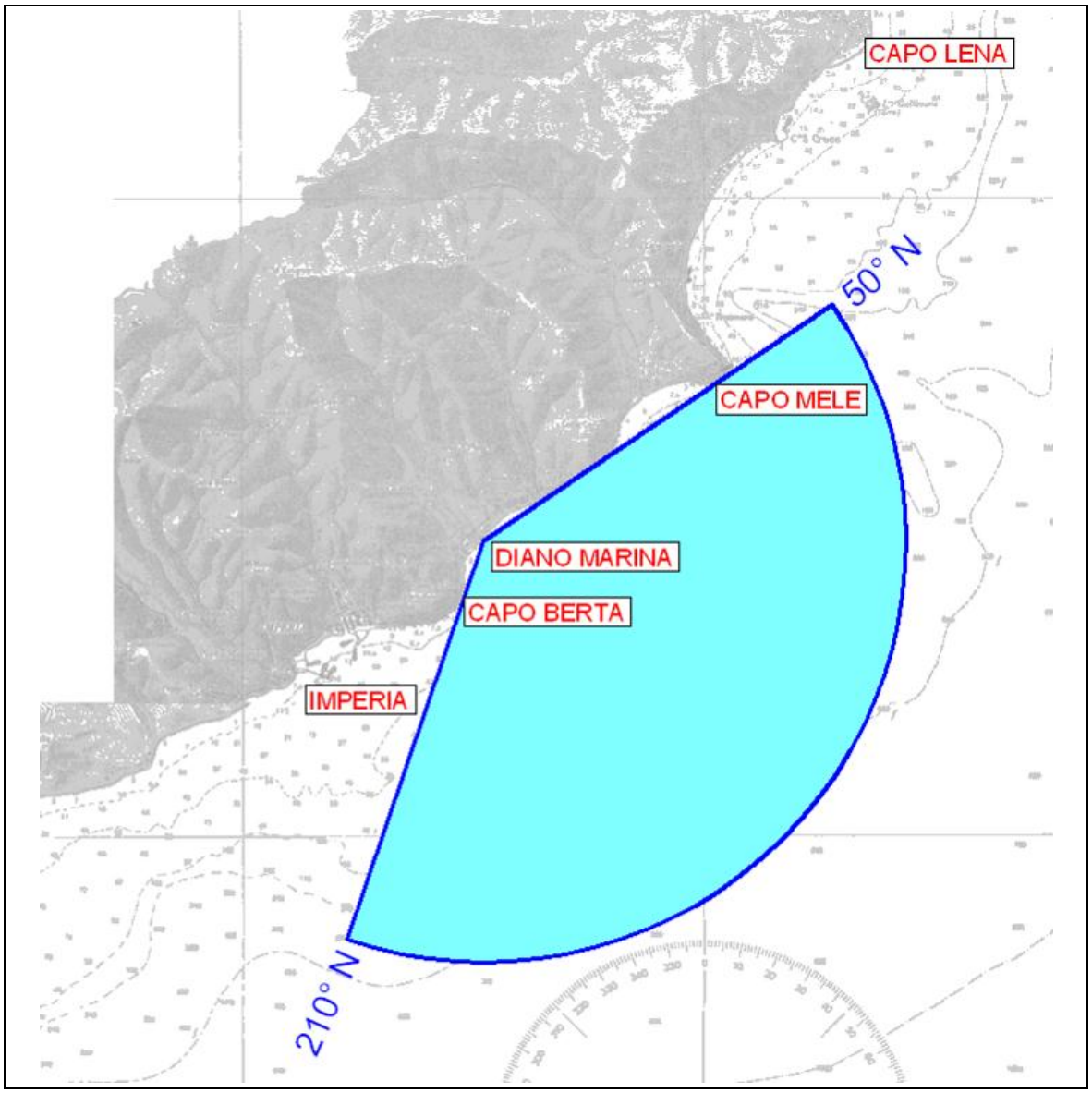


Fig. 5.1 – Settore di traversia locale

6 REGIME DELLE MAREE

I dati di marea sono stati scaricati dal sito dell'APAT (www.idromare.com) e si riferiscono alla stazione RMN di Imperia. Il mareografo, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale, si trova a Porto Maurizio presso la capitaneria di Porto in corrispondenza del punto di coordinate (Long. 08° 01' 09", Lat. 43° 52' 37"); i livelli di marea registrati sono riferiti allo zero dell'I.G.M..

I dati utilizzati, registrati ad intervalli orari, si riferiscono al periodo 8 gennaio 1992 – 31 dicembre 2004, con alcune lacune parziali (registrazioni mancanti). La serie storica dei dati registrati dal mareografo è riportata in Fig. 6.1 . Le registrazioni sono state depurate dei dati mancanti e di una registrazione evidentemente anomala; infatti il livello di marea oscilla tra 0.75 m e -0.37 m, con l'anomalia rappresentata da un livello di -2.42 m, registrato l'8 agosto 2004 alle ore 1.00 (dato errato). Partendo da tali registrazioni, sono stati separati i livelli di marea negativi da quelli positivi; le registrazioni sono state quindi riordinate in ordine decrescente (nel caso dei valori positivi) e crescente (nel caso dei valori positivi).
In questo modo è stato possibile ricostruire le curve di durata dei livelli positivi e negativi di marea riferiti ad un anno tipo, ottenuto mediando le registrazioni relative all'intero periodo considerato (ciascuna registrazione è stata presa in considerazione con peso pari ad 1).

Nella Fig. 6.2 è riportata la curva di durata dei livelli di marea, distinguendo tra livelli di marea positivi e negativi. Si può osservare come, mediamente, nell'anno tipo così costruito, siano più frequenti gli eventi di marea superiore al medio mare. Infatti, oltre ai fenomeni di carattere astronomico, vanno considerati anche fenomeni di carattere meteorologico (es: mareggiate eccezionali, variazioni di pressione, ecc.) che tendono, mediamente, a provocare localmente un innalzamento del livello medio del mare. Dalle curve così ricavate si può procedere a determinare la frequenza, in riferimento all' anno, con cui si presenta un certo livello di marea. In particolare si può notare (vedi successiva Fig. 6.3) che livelli di marea superiori + 0.5 m si presentano con durata di circa 6 ore all'anno.

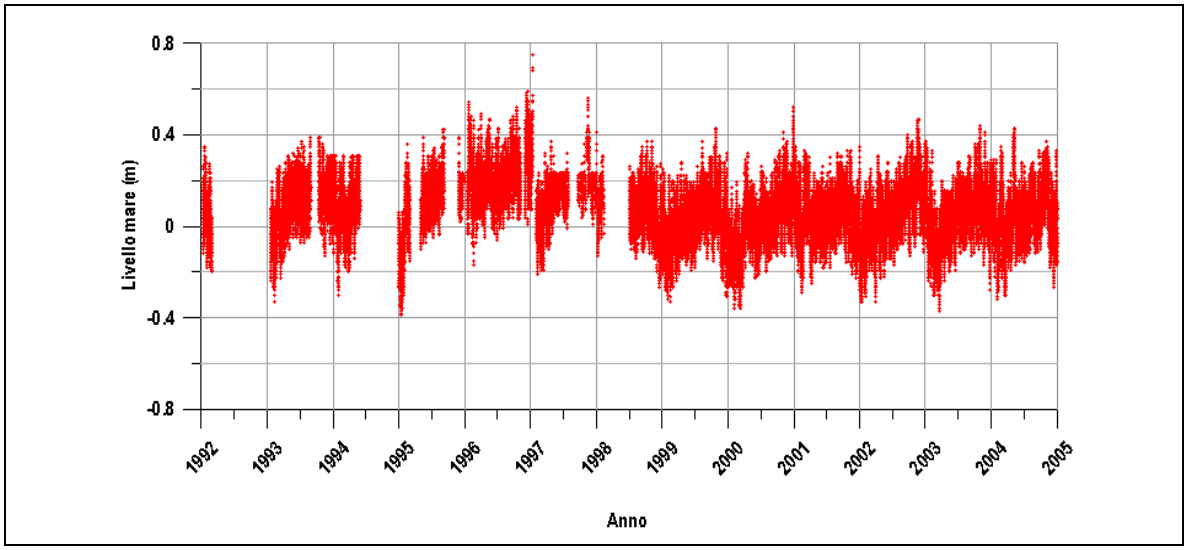


Fig. 6.1 – Andamento dei livelli di marea nel peiodo gennaio 1992 - dicembre 2004

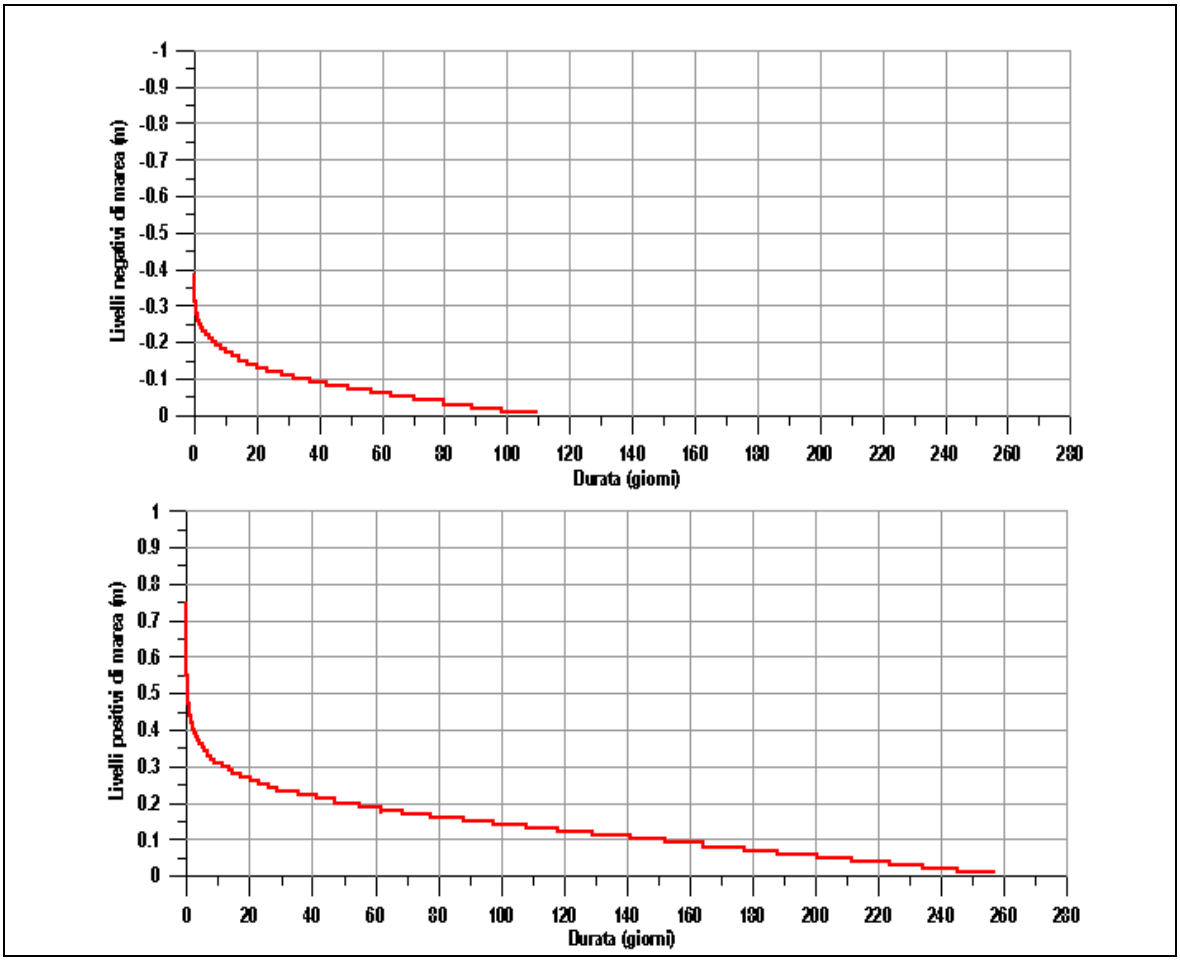


Fig. 6.2 – Curve di durata dei livelli di marea

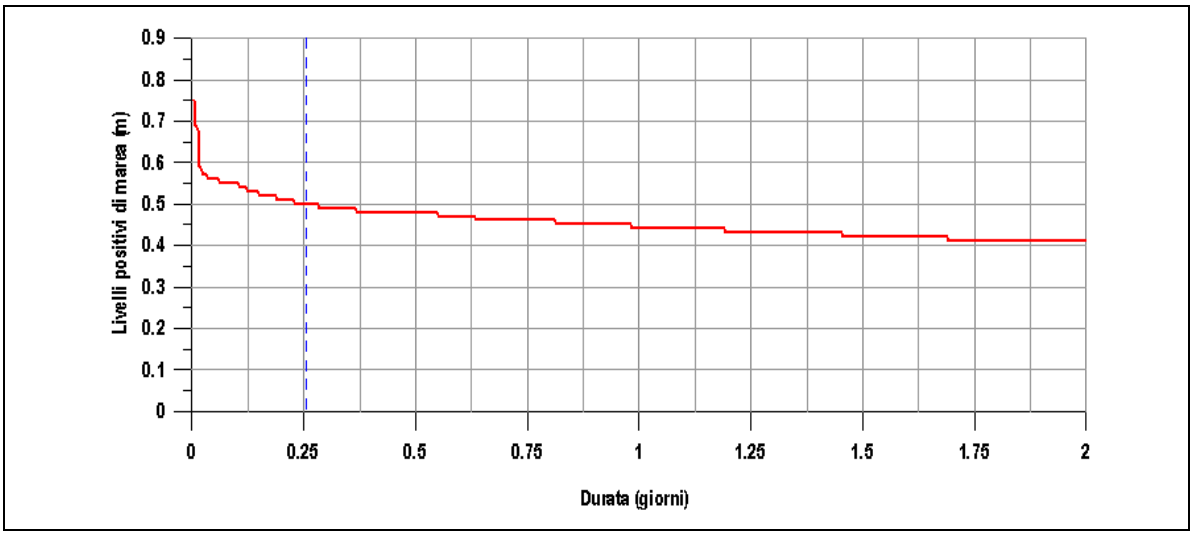


Fig. 6.3 – Durata livelli di marea superiori a + 0.5 m

7 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

Come anticipato in precedenza, per la definizione del clima ondoso sottocosta sono stati considerati i risultati degli studi descritti nell' "Elaborato C – relazione idraulico marittima" relativa al "Progetto di ampliamento e completamento del porto turistico – Livello definitivo" (redatto da S.I.P.I.M. nel febbraio 2006). Di seguito si riportano una descrizione del dominio di calcolo impiegato nello studio del 2005-2006 per la propagazione sottocosta e le caratteristiche locali del moto ondoso.

La propagazione del moto ondoso dal largo (punto CNR) verso costa è stata eseguita utilizzando il modello SWAN (Simulation WAves Nearshore) descritto in dettaglio nell'allegato. Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando come base un rilievo locale (del 2005), e le carte nautiche dell'I.I.M..

Nel dettaglio il clima ondoso e le mareggiate estreme sono state propagate fino ad un punto posto di fronte al paraggio oggetto di studio, in un fondale di circa 35 m (punto P2). Tale punto, più vicino a riva e posto su un fondale meno profondo rispetto al punto C.N.R. al largo, è stato utilizzato come input per lo studio della penetrazione e dell'agitazione ondosa all'interno del porto (codice di calcolo CGWAVE).

7.1 Settaggio del modello

Il dominio di calcolo è stato discretizzato utilizzando due griglie ortogonali annidate aventi le seguenti caratteristiche:

- BIG GRID: origine nel punto di coordinate (1415952 m E, 4837802.6 m N), dimensione 50000x20000 m, passo 200 m, ruotata di 42.55° rispetto all'asse WE (Fig. 7.1);
- SMALL GRID: origine nel punto di coordinate (1426558.2 m E, 4858545.6 m N), dimensione 5000 x3000 m, passo 20 m, ruotata di 42.55° rispetto all'asse WE (Fig. 7.2).

Il punto P2, rappresentativo del clima locale del paraggio, è ubicato in corrispondenza del punto di coordinate (1427659.7 m E, 4861131.3 m N). Tutte le coordinate sono espresse nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, Fuso Ovest.
I parametri significativi del moto ondoso sono stati rappresentati nelle simulazioni attraverso uno spettro bidimensionale di tipo JONSWAP, caratterizzato da un fattore di appuntimento del picco (γ) e da uno spreading direzionale (s) desunti dalla ripidità dell'onda (mediante la formula di Wilson, 1965). Lo spettro è stato quindi discretizzato in 25 frequenze (con f_1 = 0.04 Hz, f_{n+1} = 1.1*fn) e 24 direzioni equispaziate di 15°.

Nelle simulazioni è stata utilizzata la tecnica del ciclo annidato: le propagazioni sono state inizialmente condotte con riferimento alla BIG GRID, caratterizzata da una maglia di calcolo di 200 m per lato; successivamente i risultati del primo ciclo di calcolo sono stati forniti in input alla SMALL GRID, caratterizzata da una maglia più fitta. Le condizioni al contorno sono state assunte costanti lungo i bordi della BIG GRID con l'accortezza di scalare i parametri d'onda in funzione della profondità nella porzione di bordo immediatamente sottoriva, dove avvengono i fenomeni di

frangimento. In mancanza di informazioni più dettagliate sulla conformazione e sulla composizione del fondale, si è adottata per la dissipazione dovuta la fondo la formulazione di Madsen et al. (1988), con lunghezza caratteristica ks pari a 0.04 m (valore generalmente accettato in letteratura, cfr. Komen et al., 1994). Per quanto riguarda il parametro di frangimento γ, si è optato per utilizzare un valore variabile in funzione della ripidità dell'onda al largo, come suggerito da Battjes e Stive (1985).

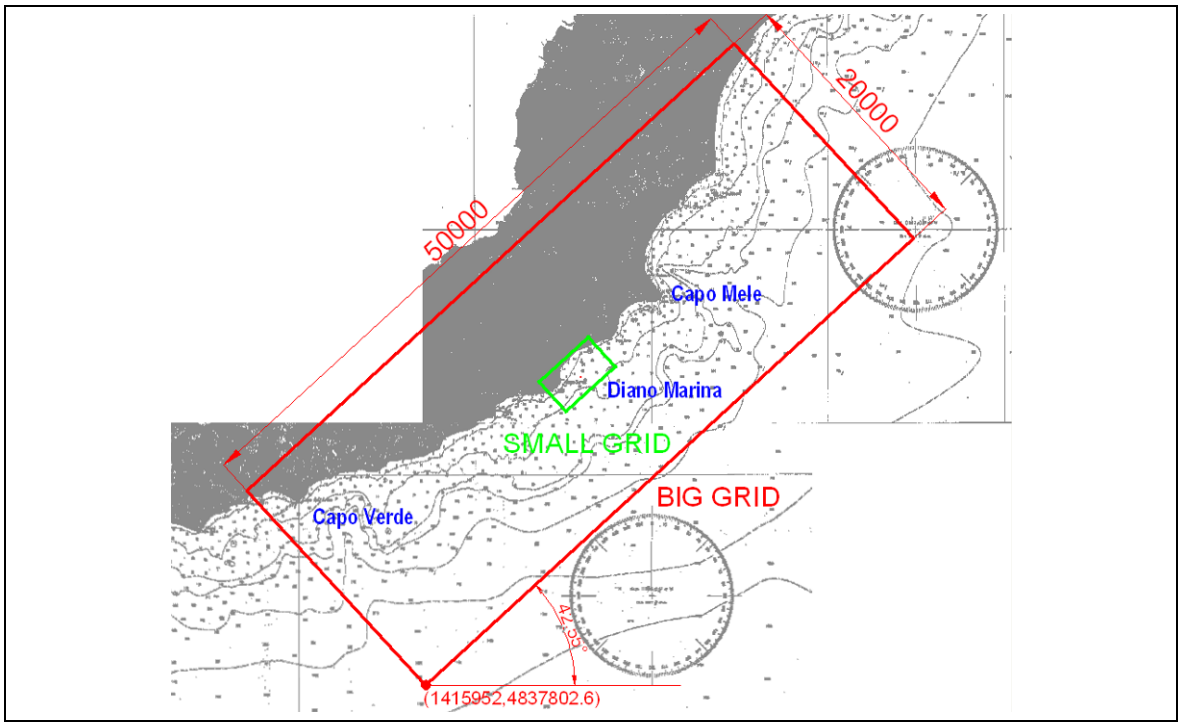


Fig. 7.1 – Griglia di calcolo BIG GRID (passo 200 m)

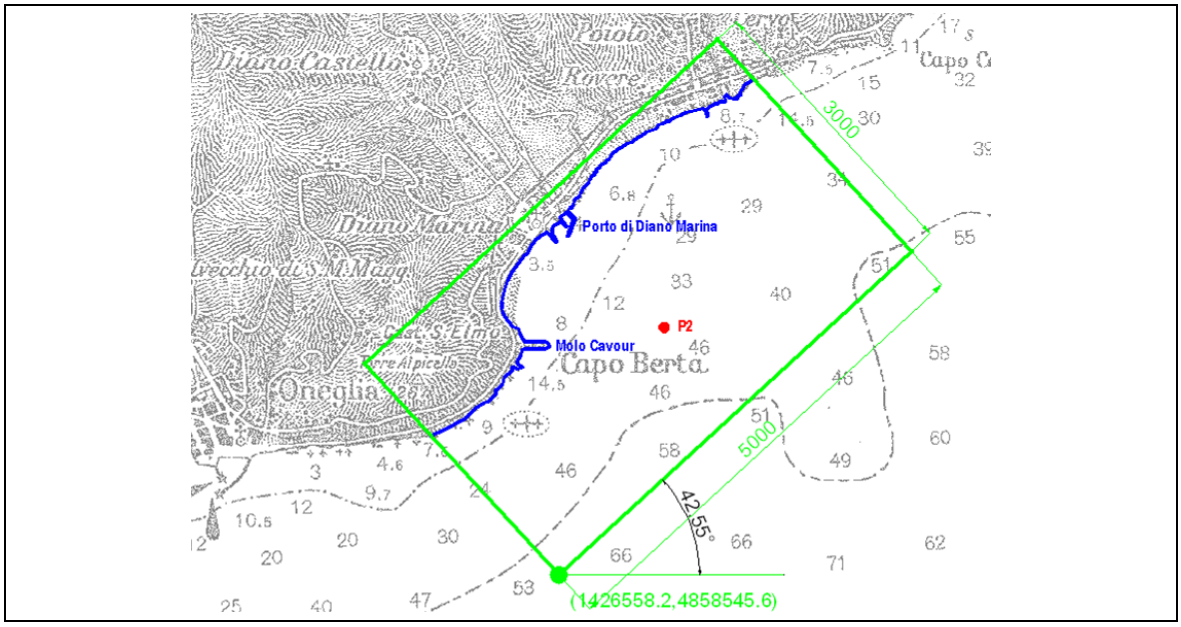


Fig. 7.2 – Griglia di dettaglio SMALL GRID (passo 20 m)

7.2 Propagazione degli eventi estremi

Nel presente paragrafo sono riassunti i risultati della propagazione degli eventi estremi dal punto C.N.R. al largo al punto P2, posto di fronte al paraggio di interesse su un fondale di circa 35 m.

In particolare si è proceduto alla propagazione degli eventi estremi, derivanti dall'analisi dell'elaborazione statistica di Gumbel relativa ai dati al largo del CNR, riportata in dettaglio al paragrafo 4.2. Le onde estreme, come si può osservare in Fig. 7.3, sono state ricavate dalla retta interpolatrice derivante dalla statistica di Gumbel, eseguita suddividendo il settore di traversia del paraggio (50° ÷ 210°N) nei tre settori principali di provenienza (Grecale, Scirocco e Mezzogiorno).

Non disponendo di statistiche direzionali degli estremi, l'onda associata al fissato tempo di ritorno è stata ipotizzata provenire dalle tre direzioni in corrispondenza della direzione media di ciascun settore. Pertanto si considerano le tre direzioni principali di provenienza (75°N, 120°N e 180°N), rappresentative di ciascun settore, e le altezze significative relative ad un tempo di ritorno rispettivamente di 10, 25 e 50 anni.

Il periodo (T_{01}) da associare all'evento estremo è stato ricavato sulla base del best fit è del tipo:

$$T_{01} = A + B \cdot \sqrt{Hs}\ ,$$

ottenuto a partire dalle coppie (H_S,T_{01}) della serie storica relativa al periodo luglio 1992 - giugno 2002, discretizzate per classi di altezza e di periodo e assegnando a ciascuna classe il relativo peso (numero di registrazioni).

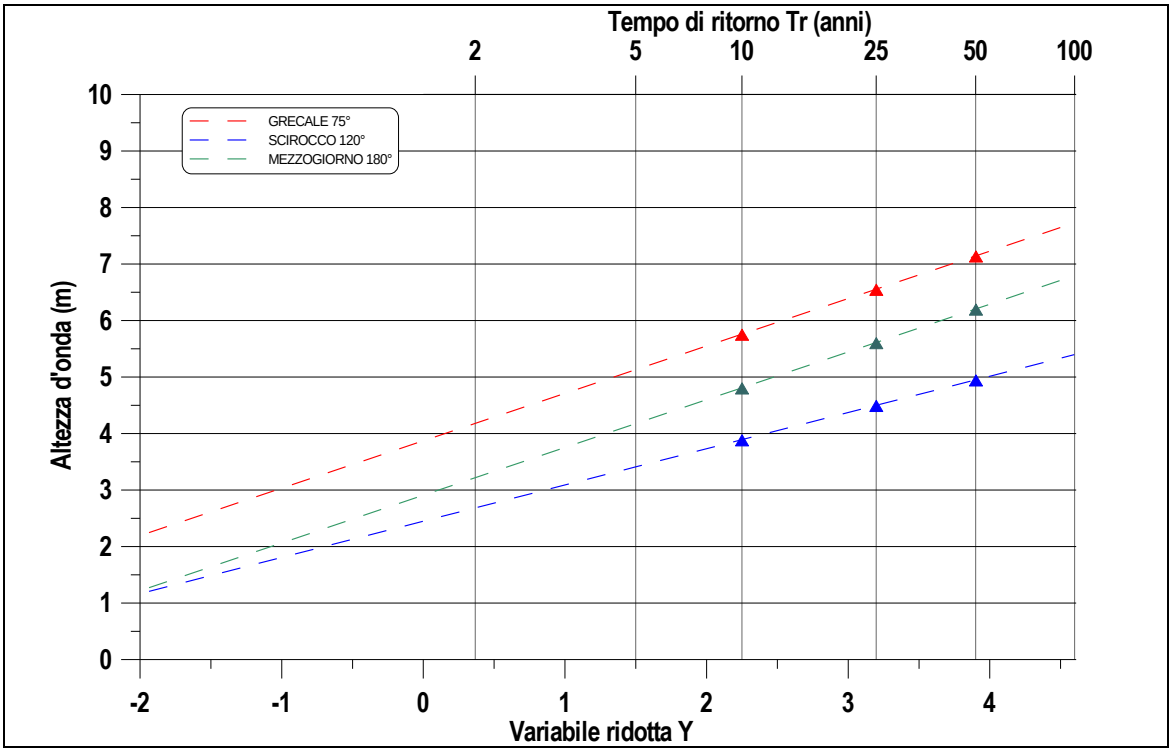


Fig. 7.3– Individuazione eventi estremi

Utilizzando le equazioni così ottenute per ciascun settore, è stato possibile associare ad ogni onda il corrispondente periodo; le onde estreme e i relativi periodi così ricavati vengono riportati nella seguente Tab. 7.1. In definitiva si sono ottenuti 9 Test da simulare, tre per ciascuna direzione di provenienza, che vengono riportati di seguito nella Tab. 7.2.

T_R (anni)	Grecale (75°N)		Scirocco (120°N)		Mezzogiorno (180°N)	
	H_S (m)	T_{01} (s)	H_S (m)	T_{01} (s)	H_S (m)	T_{01} (s)
10	5.75	8.58	3.88	7.74	4.80	8.72
25	6.54	9.04	4.49	8.15	5.60	9.18
50	7.13	9.37	4.94	8.43	6.19	9.49

Tab. 7.1 – Mareggiate estreme propagata sottocosta con il codice di calcolo SWAN

TEST	Tr (anni)	CARATTERISTICHE ONDA AL LARGO			
		Hs (m)	DIR (°N)	T_{01} (s)	T_p (s)
1	10	5.75	75	8.58	10.22
2	25	6.54	75	9.04	10.22
3	50	7.13	75	9.37	11.25
4	10	3.88	120	7.74	9.28
5	25	4.49	120	8.15	10.22
6	50	4.94	120	8.43	10.22
7	10	4.80	180	8.72	10.22
8	25	5.60	180	9.18	11.25
9	50	6.19	180	9.49	11.25

Tab. 7.2 – Elenco dei test di propagazione delle mareggiate estreme con il codice di calcolo SWAN

I risultati della propagazione sottocosta nel punto P2 vengono sintetizzati nella seguente Tab. 7.3. Nella successiva Fig. 7.4 si riporta, a titolo di esempio il piano d'onda con le caratteristiche locali della mareggiata estrema di Mezzogiorno.

TEST	Tr (anni)	SETTORE	CARATTERISTICHE ONDA NEL PUNTO P2			
			Hs (m)	DIR (°N)	T_{01} (s)	T_p (s)
1	10	**Grecale**	4.58	84	10.22	8.73
2	25	**Grecale**	5.11	86	11.25	9.21
3	50	**Grecale**	5.53	88	11.25	9.55
4	10	**Scirocco**	3.65	121	9.28	7.92
5	25	**Scirocco**	4.22	121	10.22	8.37
6	50	**Scirocco**	4.63	122	10.22	8.67
7	10	**Mezzogiorno**	4.26	176	11.25	8.70
8	25	**Mezzogiorno**	4.89	176	11.25	9.14
9	50	**Mezzogiorno**	5.35	175	11.25	9.45

Tab. 7.3 – Caratteristiche nel punto P2 delle mareggiate estreme

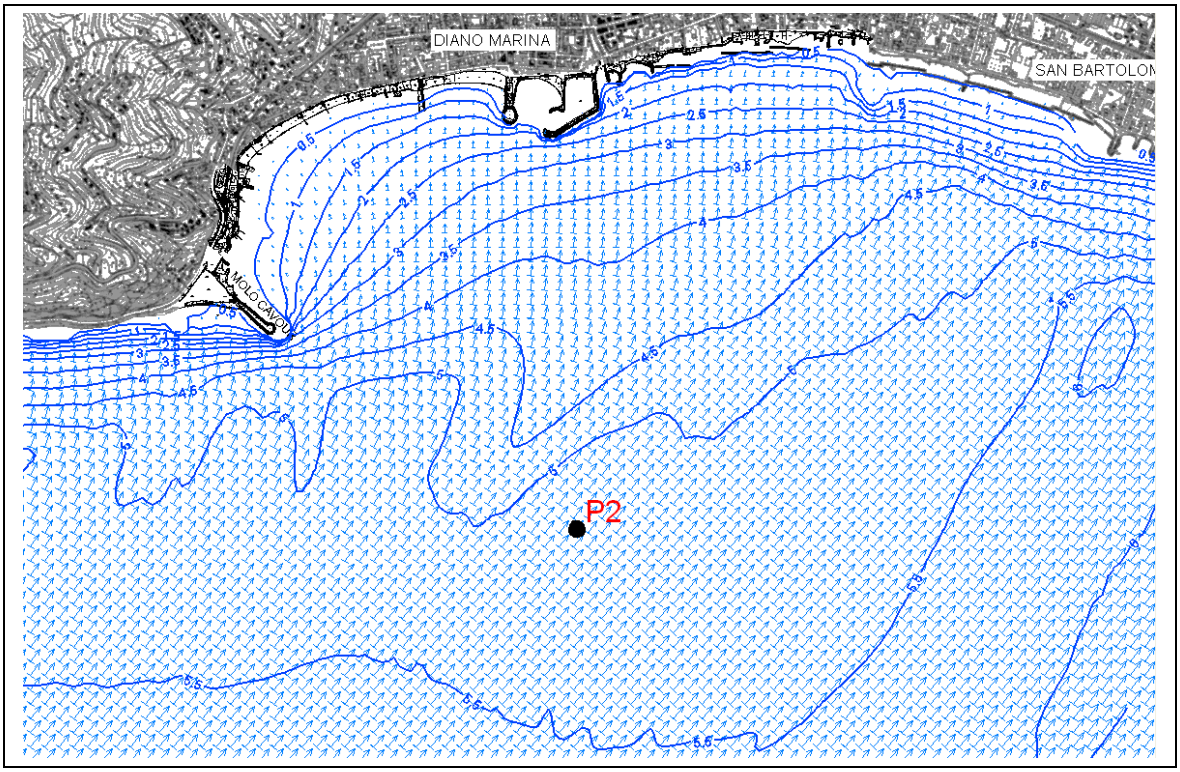


Fig. 7.4 – Caratteristiche locali della mareggiata estrema (T_R = 50 anni) di Mezzogiorno

7.3 Clima ondoso nel punto P2

Nel presente paragrafo sono riassunti i risultati della propagazione del clima ondoso dal punto C.N.R. al largo al punto P2, posto di fronte al paraggio di interesse su un fondale di circa 35 m.

Il clima nel punto antistante il porto di Diano Marina è stato ottenuto attraverso una serie di simulazioni numeriche condotte con il codice di calcolo SWAN: il clima al largo, discretizzato per classi di altezza significativa e direzione di provenienza (vedi Tab. 4.1), è stato propagato in corrispondenza del punto P2. Nelle simulazioni sono stati propagati solamente gli eventi ondosi ricadenti all'interno del settore di traversia al largo (50°÷240°N).

Nella successiva Tab. 7.4 si riporta l'elaborazione dei dati ottenuti dalle simulazioni; il clima locale è stato ricostruito ordinando i risultati delle propagazioni per classi di altezza significativa e di direzione locale dell'onda. Utilizzando le corrispondenze tra i risultati delle simulazioni (clima locale) e quelli relativi al clima nel punto C.N.R. al largo, è stato possibile associare a ciascun evento nel punto P2 una percentuale di apparizione (vedi Tab. 7.4) e, quindi, ricostruire le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze massime sottocosta. Di seguito, in Fig. 7.6, si riportano graficamente i risultati delle elaborazioni della climatologia locale; in particolare sono state rappresentate le rose delle registrazioni (in blu), delle energie (in rosso), delle altezze massime (in verde) e la curva di durata nel punto P2. I due picchi di energia si hanno in corrispondenza delle direzioni di Greco-Levante (65°÷85°N) e Mezzogiorno-Libeccio (195°N).

Le mareggiate caratterizzate dai massimi valori di altezza significativa (con altezze massime dell'ordine di 4.0÷4.5 m) provengono dai settori di Levante (85°÷95°N) e Scirocco (165°N); per gli altri settori si presentano mareggiate con altezza significativa mediamente inferiore a 4 m.

É stata inoltre ricavata la curva di durata che consente di mettere in relazione le caratteristiche di un evento con la sua durata media annuale. Si può osservare come l'altezza significativa di 2 m, che nel punto C.N.R. al largo veniva superata mediamente per 40÷45 giorni all'anno, nel punto P2 venga superata per 3÷4 giorni all'anno.

		Hs (m)								
DIR		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
50	60	760	***719***	0	0	0	0	0	0	0
60	70	459	1144	1178	363	***34***	0	0	0	0
70	80	404	623	398	321	178	7	***14***	0	0
80	90	302	465	226	164	150	76	14	7	***7***
90	100	363	383	233	102	62	7	7	0	***7***
100	110	363	465	288	130	27	***21***	0	0	0
110	120	329	431	220	96	48	0	14	***14***	0
120	130	301	384	192	76	35	***7***	0	0	0
130	140	301	363	103	28	21	21	***7***	0	0
140	150	439	330	110	55	***14***	0	0	0	0
150	160	438	288	62	21	***7***	0	0	0	0
160	170	459	295	131	14	14	7	0	***7***	0
170	180	432	302	137	48	21	14	***7***	0	0
180	190	678	364	213	76	21	***14***	0	0	0
190	200	4450	5140	1390	586	91	21	***7***	0	0
200	210	37594	*1480*	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 7.4 – Registrazioni di moto ondoso nel punto P2 ordinate per altezza e direzione (in parti per 100000)

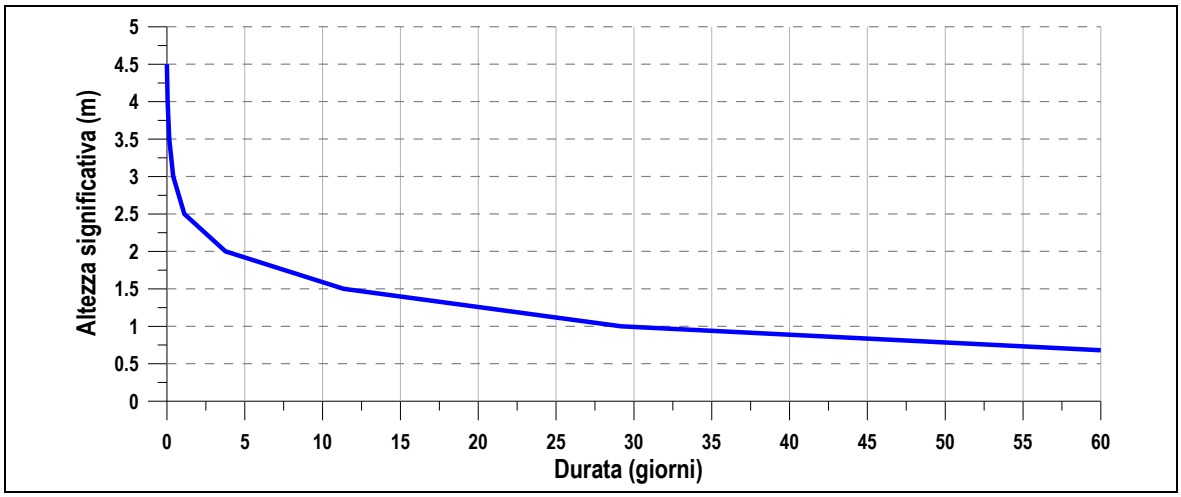


Fig. 7.5 – Curva di durata nel punto P2

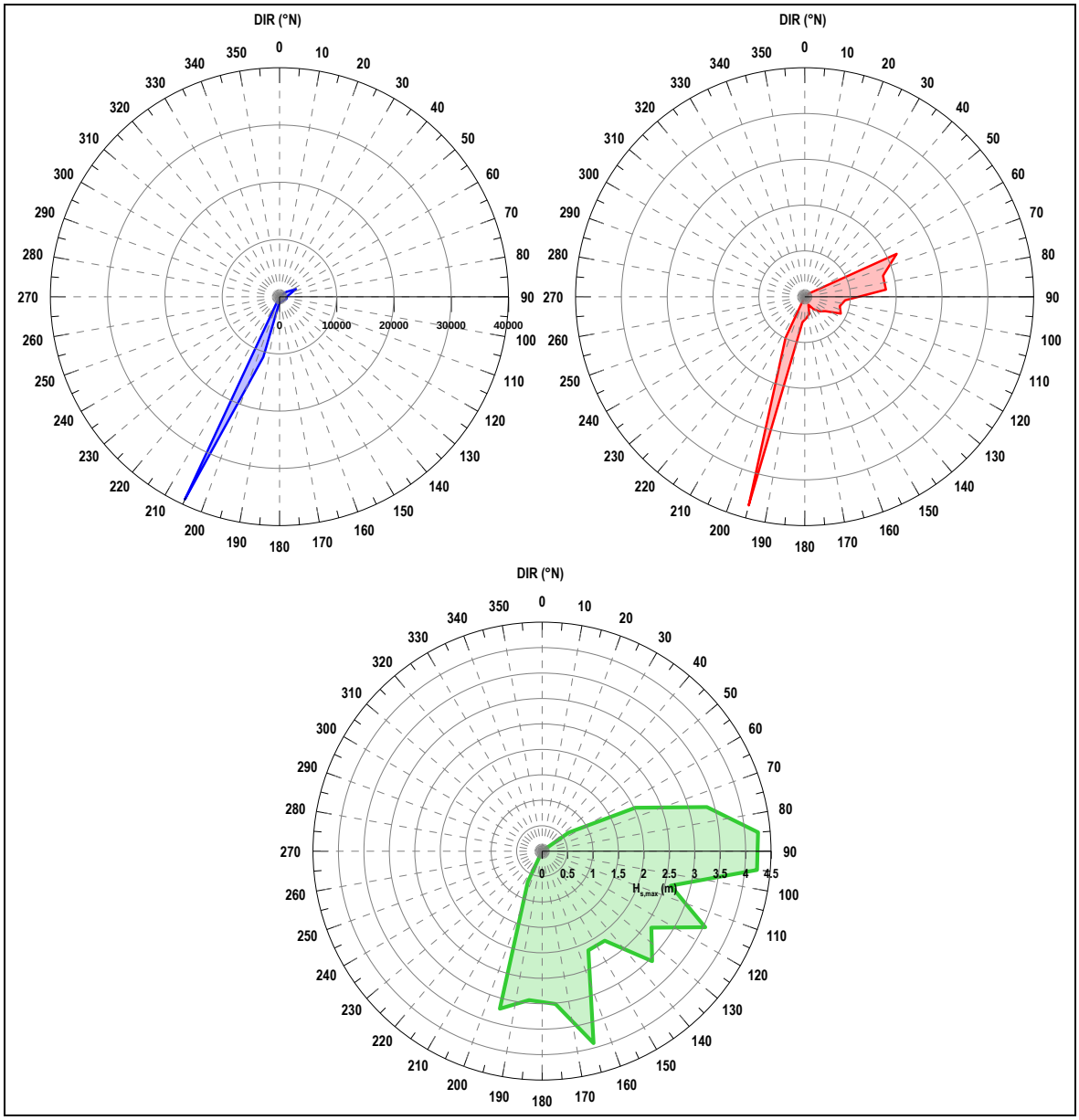


Fig. 7.6 - Rosa delle registrazioni (in blu, a sinistra), delle energie (in rosso, a destra) e delle altezze massime (in verde, in basso) nel punto P2

8 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE

Nella prima fase dello studio si è proceduto ad analizzare l'agitazione ondosa interna al porto nella configurazione attuale.

Lo studio è stato condotto tramite il modello matematico "CGWAVE" messo a punto dall'Università del Maine per l'U.S. Army Corps of Engineers e descritto in dettaglio nell'allegato.

Lo studio è stato eseguito con riferimento ad eventi ondosi di una prefissata durata media annua o tempo di ritorno. Nel dettaglio la valutazione delle condizioni di agitazione residua nel bacino portuale è stata eseguita facendo riferimento agli eventi individuati nelle raccomandazioni dell'A.I.P.C.N. (cfr. "*Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici*", A.I.P.C.N.-2002).
L'analisi è stata limitata alle condizioni più gravose per la sicurezza e alle condizioni di comfort delle imbarcazioni ormeggiate:

- condizione "*limite*": eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiori a 50 anni;
- condizione "*di comfort*": eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiore a 5 giorni/anno.

Lo studio è stato quindi sviluppato considerando le mareggiate relative agli eventi individuati nelle raccomandazioni (tempo di ritorno di 50 anni e frequenza media annua pari a 5 giorni/anno, cfr paragrafo 8.2.1).
Ad integrazione delle mareggiate sopra esposte, nello studio è stata inoltre considerata la mareggiata generata dall'azione del vento sullo specchio acqueo compreso tra il molo Cavour e il porto di Diano Marina; in particolare si è considerata la mareggiata generata da eventi di Libeccio (cfr paragrafo 8.2.2).

8.1 Settaggio del modello

Per lo studio è stato definito un dominio di calcolo che impiega un contorno offshore di tipo semicircolare (Fig. 8.1); il dominio si estende verso il largo fino a profondità dell'ordine dei -35 m s.m.m., e passa in prossimità del punto P2 (punto di output delle propagazioni del moto ondoso) Il contorno inshore del dominio di calcolo è stato definito in modo da riprodurre la configurazione della costa e delle strutture esistenti, nonché del porto di Diano Marina nella configurazione attuale.

La batimetria impiegata nel modello è stata ricavata facendo riferimento alle più recenti carte nautiche (IIM) e sulla base dei rilievi disponibili.
Il dominio così definito è stato ricoperto con una mesh a maglie triangolari formata da elementi di dimensioni variabili dai 15 m, sul contorno offshore, ai 2 m, sul contorno inshore. 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. Nella successiva Fig. 8.2 si riporta un dettaglio della mesh di calcolo in prossimità e all'interno del porto.



Fig. 8.1 – Dominio di calcolo impiegato nello studio della penetrazione del moto ondoso



Fig. 8.2 – Particolare della mesh di calcolo in prossimità e all'interno del porto

8.1.1 Coefficienti di riflessione degli elementi del dominio

Le caratteristiche di ciascun elemento che compone il dominio sono state messe in relazione alla capacità di riflettere/dissipare il moto ondoso, al fine di definire per ciascuno di essi uno specifico coefficiente di riflessione.
Le opere a gettata (moli, pennelli, barriere, etc.) sono state considerate parzialmente riflettenti, mentre il tratto di costa all'interno del porto e il litorale esterno al porto, sono stati considerati completamente assorbenti.
Le banchine interne al porto, caratterizzate da struttura a parete verticale, sono state considerate completamente riflettenti, ad esclusione di una porzione di banchina in prossimità dell'imboccatura (cfr. foto in Fig. 2.3 e Fig. 2.4), dove la struttura può essere considerata parzialmente riflettente.

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. I valori del coefficiente di riflessione, per ciascuna tipologia di elemento considerata all'interno del dominio di calcolo, sono riportati nella successiva Tab. 8.1 e nella Fig. 8.3.

Caratteristiche tratto	Coefficiente di riflessione
Tratti di spiaggia	0.10
Opere a gettata	0.40
Strutture antiriflettenti con riempimento in pietrame	0.50
Strutture a parete verticale	0.90

Tab. 8.1 – Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore

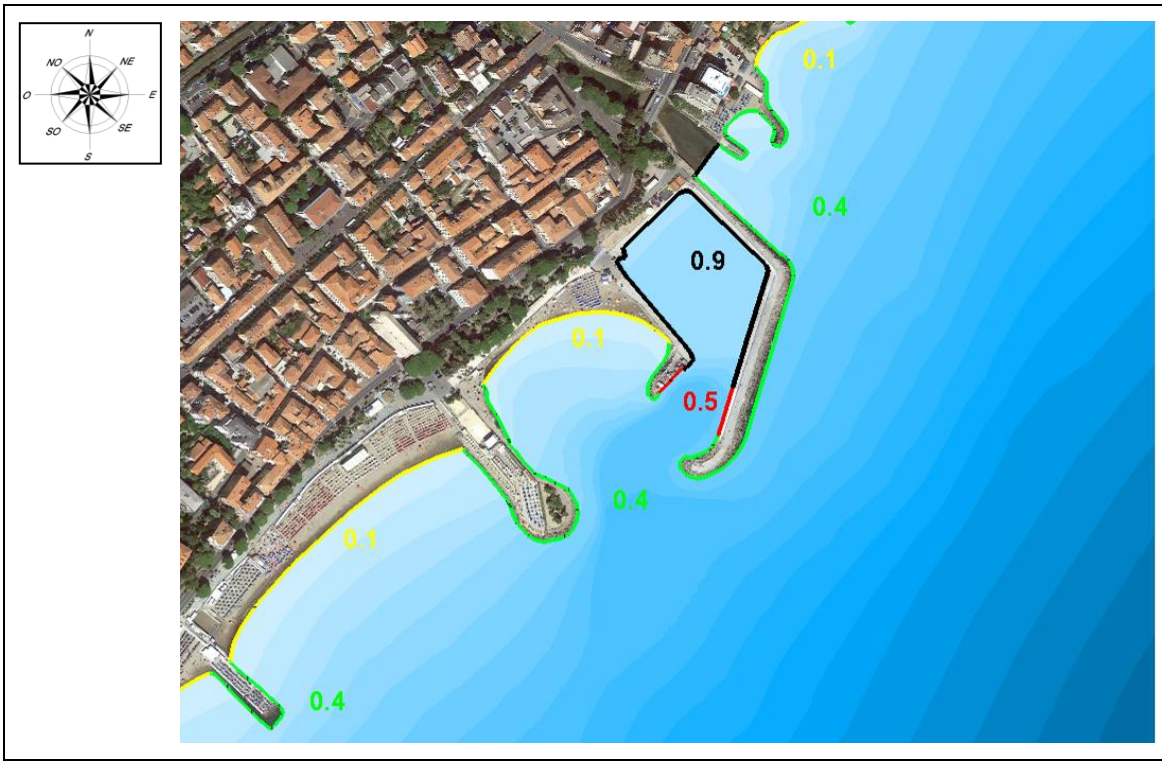


Fig. 8.3 – Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione interna

8.2 Condizioni ondametriche imposte nel modello

8.2.1 Condizioni ondametriche derivanti dal clima ondoso

Le mareggiate analizzate nello studio sono quelle associate agli eventi definiti in precedenza: eventi con tempo di ritorno pari a 50 anni e con frequenza media annua non superiore a 5 giorni/anno. Le caratteristiche delle mareggiate (altezza, direzione e periodo) da assegnare in input sul contorno del modello sono state ricavate sulla base delle caratteristiche meteomarine locali (cfr. capitolo 7).
Nel dettaglio, considerato che il contorno del modello di agitazione CGWAVE passa in prossimità del punto di output P2, è stato scelto di assegnare sul contorno del modello le caratteristiche delle mareggiate nel punto stesso.

Le caratteristiche locali degli eventi con tempo di ritorno pari a 50 anni sono state ricavate a partire dai risultati delle propagazioni locali delle mareggiate estreme (cfr. paragrafo 7.2). In particolare sono state adottate come condizioni al contorno le caratteristiche, nel punto P2, della mareggiata estrema ritenuta più significativa per lo studio dell'agitazione ondosa: la mareggiata di Mezzogiorno (180°N al largo), che corrisponde alla direzione di attacco ondoso in grado di penetrare in misura maggiore all'interno dell'imboccatura.

La climatologia disponibile in corrispondenza del punto P2 (cfr. paragrafo 7.3) è stata impiegata per ricavare le condizioni di input per gli eventi con frequenza media annua non superiore a 5 giorni/anno. I valori di altezza d'onda significativa sono stati ricavati dalle curve di durata in P2, ottenute suddividendo le registrazioni nei due settori 50÷130°N e 130÷210°N, per la suddetta frequenza di 5 gg/anno (Fig. 8.4). In base alla distribuzione locale (nel punto P2) dell'energia, delle registrazioni e delle altezze massime, nonché della conformazione dell'imboccatura portuale è stata individuata la direzione principale di provenienza: 180°N (Mezzogiorno), che corrisponde alla direzione di attacco ondoso in grado di penetrare in misura maggiore all'interno dell'imboccatura.

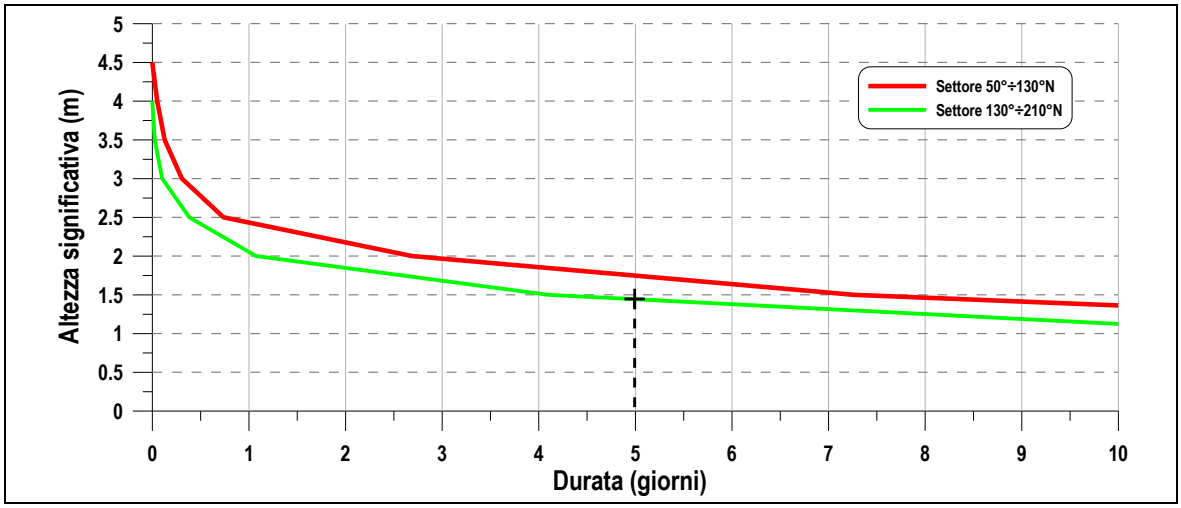


Fig. 8.4 – Altezza d'onda significativa della mareggiata considerata nello studio

Il periodo dell'evento così individuato è stato assegnato, in funzione delle caratteristiche della mareggiata (altezza d'onda e direzione), sulla base dei risultati delle propagazioni del clima ondoso in P2.
Nella successiva Tab. 8.2 si riassumono le condizioni al contorno individuate e le caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio dell'agitazione ondosa. Si sottolinea che a favore di sicurezza, per la propagazione della mareggiata con tempo di ritorno pari a 50 anni è stato assunto un sovralzo di marea pari a 0.50 m, che comprende sia la marea astronomica che quella meteorologica e l'eventuale sovralzo dovuto alla mareggiata (storm surge).

TEST	Caratteristiche	Sovralzo (m s.m.m.)	Al largo			Nel punto P2		
			H_S (m)	T_{01}(s)	Dir (°N)	H_S (m)	T_{01}(s)	Dir (°N)
1	Frequenza =5 gg/anno	-	-	-	-	1.44	6	180
2	Tempo di ritorno =50 anni	0.50	6.19	9.5	180	5.35	9.5	175

Tab. 8.2 - Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio

8.2.2 Condizioni ondametriche generate dall'azione del vento sullo specchio acqueo compreso tra il molo Cavour e il porto di Diano Marina

L'azione del vento sullo specchio acqueo compreso tra il molo Cavour e il porto di Diano Marina può generare eventi in grado di determinare una significativa penetrazione del moto ondoso all'interno del porto; in particolare si rileva che i venti di Libeccio sono in grado di generare onde in grado di penetrare in modo consistente all'interno del porto (Fig. 8.5).

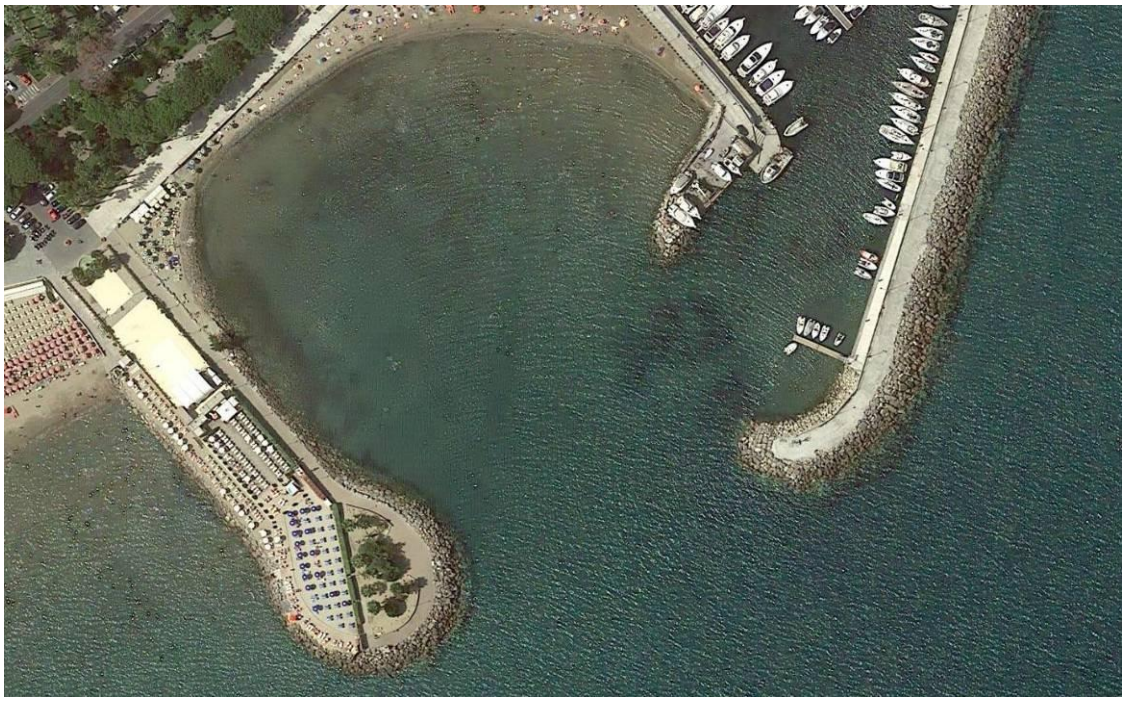


Fig. 8.5 – Evidenza di una mareggiata generata da vento di Libeccio

Per completezza dello studio di agitazione ondosa interna al porto si è quindi deciso, ad integrazione delle mareggiate individuate nel precedente paragrafo, di studiare anche un evento ondoso generato dal vento di Libeccio (è stata scelta la direzione 210°N).

Per ricavare le caratteristiche dell'onda generata da vento sono disponibili in letteratura numerose formulazioni teoriche. Nel caso specifico si è scelto di adottare il "metodo SMB", sviluppato inizialmente da Sverdrup e Munk (1947), successivamente ripreso da Bretschneider. Tale approccio permette di calcolare le caratteristiche dell'onda (altezza e periodo significativi) generata da vento in acque profonde. In particolare, per eventi limitati dal fetch ("stazionari") le caratteristiche dell'onda vengono ricavate tenendo conto della velocità del vento e del fetch geografico. Nella Fig. 8.6 si riporta il normogramma impiegato per la stima dei parametri dell'onda generata da vento.

Nel dettaglio si è considerata una velocità media del vento pari circa 100 km/h (circa 30 m/s) e la lunghezza del fetch corrispondente alla direzione di 210°N (pari a circa 1 km, cfr Fig. 8.7). Le caratteristiche dell'onda, ottenute in prossimità dell'imboccatura e successivamente impiegate nello studio dell'agitazione ondosa, sono riportate nella seguente Tab. 8.3.

TEST	Caratteristiche	All'imboccatura		
		H_S (m)	T_{01}(s)	Dir (°N)
1	Onda da vento - Libeccio	0.80	2.3	210

Tab. 8.3 - Caratteristiche della mareggiata da vento considerata nello studio

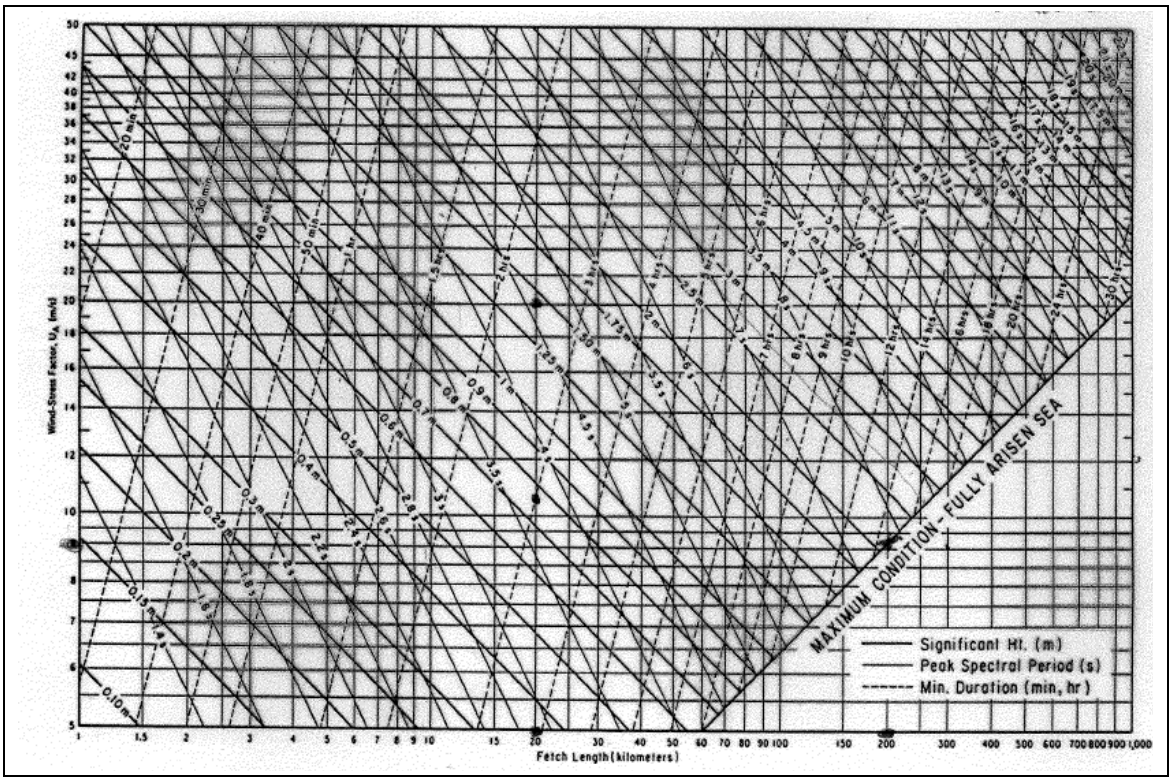


Fig. 8.6 – Normogramma per la stima dei parametri dell'onda generata da vento

Si sottolinea che per lo studio della penetrazione del moto ondoso dell'onda generata da vento il dominio di calcolo è stato ridefinito con un dimensione ridotta e ricoperto con una mesh a maglie triangolari formata da elementi di dimensioni variabili dai 1.5 m, sul contorno offshore, ai 0.1 m, sul contorno inshore. Tali dimensioni consentono di ottenere la stabilità del modello per la mareggiata simulata, caratterizzata da un periodo molto basso, pari 2.3 s.

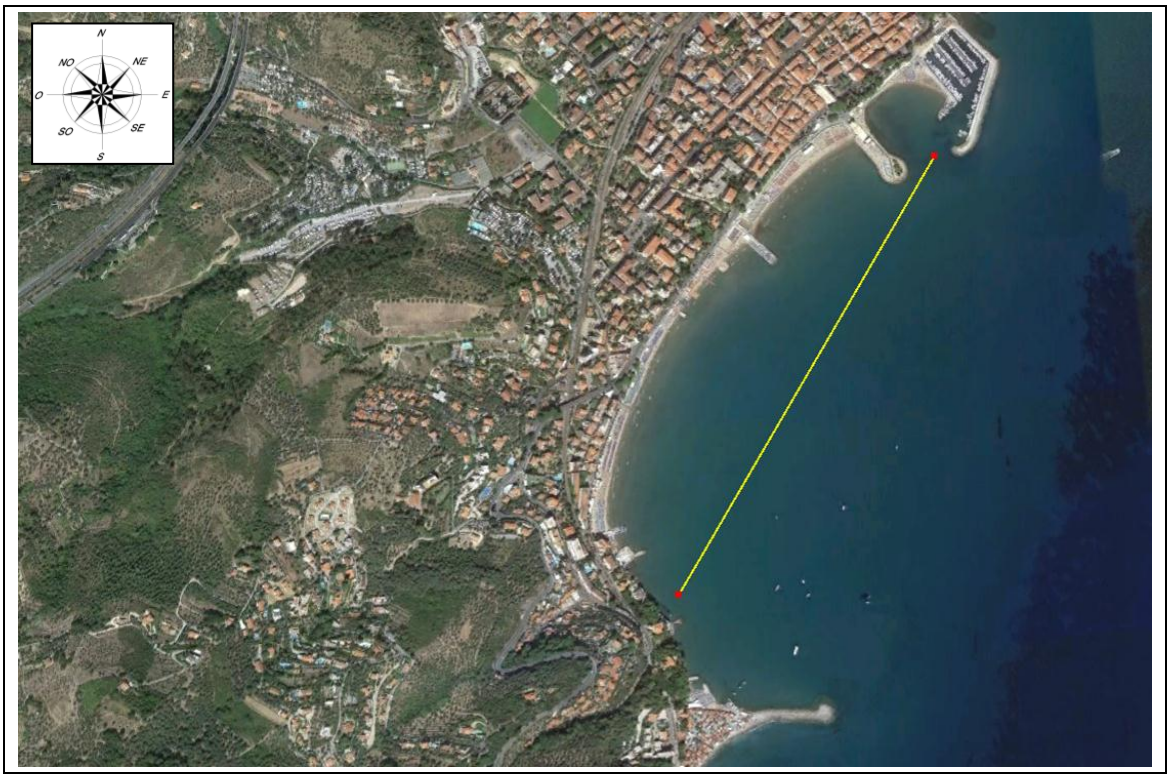


Fig. 8.7 – Fetch corrispondente alla direzione 210°N

8.3 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata con frequenza pari a 5 gg/anno

I risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione del moto ondoso, in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del bacino portuale, sono riportati nelle figure riportate nelle pagine seguenti. Le figure rappresentano mediante gradazioni cromatiche le caratteristiche locali della mareggiata: in Fig. 8.8 è riportato l'andamento delle creste, mentre in Fig. 8.9 sono riportate le altezze d'onda significativa nei pressi del porto e all'interno del bacino portuale. Infine nella Fig. 8.10 si riporta l'agitazione ondosa residua all'interno del porto limitando la scala cromatica al valore H_S = 0.50 m, al fine di meglio evidenziare l'agitazione ondosa interna al bacino.
Dai risultati ottenuti si osserva che la mareggiata di Mezzogiorno con frequenza media annua pari a 5 giorni all'anno (TEST1), per effetto della rifrazione, giunge in prossimità dell'imboccatura con direzione quasi perpendicolare al litorale (cfr. Fig. 8.8). I fronti d'onda sono paralleli alla costa e l'altezza d'onda significativa, in prossimità dell'imboccatura, è superiore ad 1 m (cfr Fig. 8.9).
L'onda risulta in grado di penetrare parzialmente all'interno del bacino portuale in particolare per effetto della riflessione esercitata dal molo di sottoflutto, in particolare dallo scalo di alaggio posto in testata al molo stesso. L'agitazione ondosa residua all'interno del porto risulta piuttosto elevata (Fig. 8.10), con valori di altezza d'onda significativa prossimi o superiori ai 0.50 m, che rappresentano la condizione limite normalmente individuata per i porti turistici.

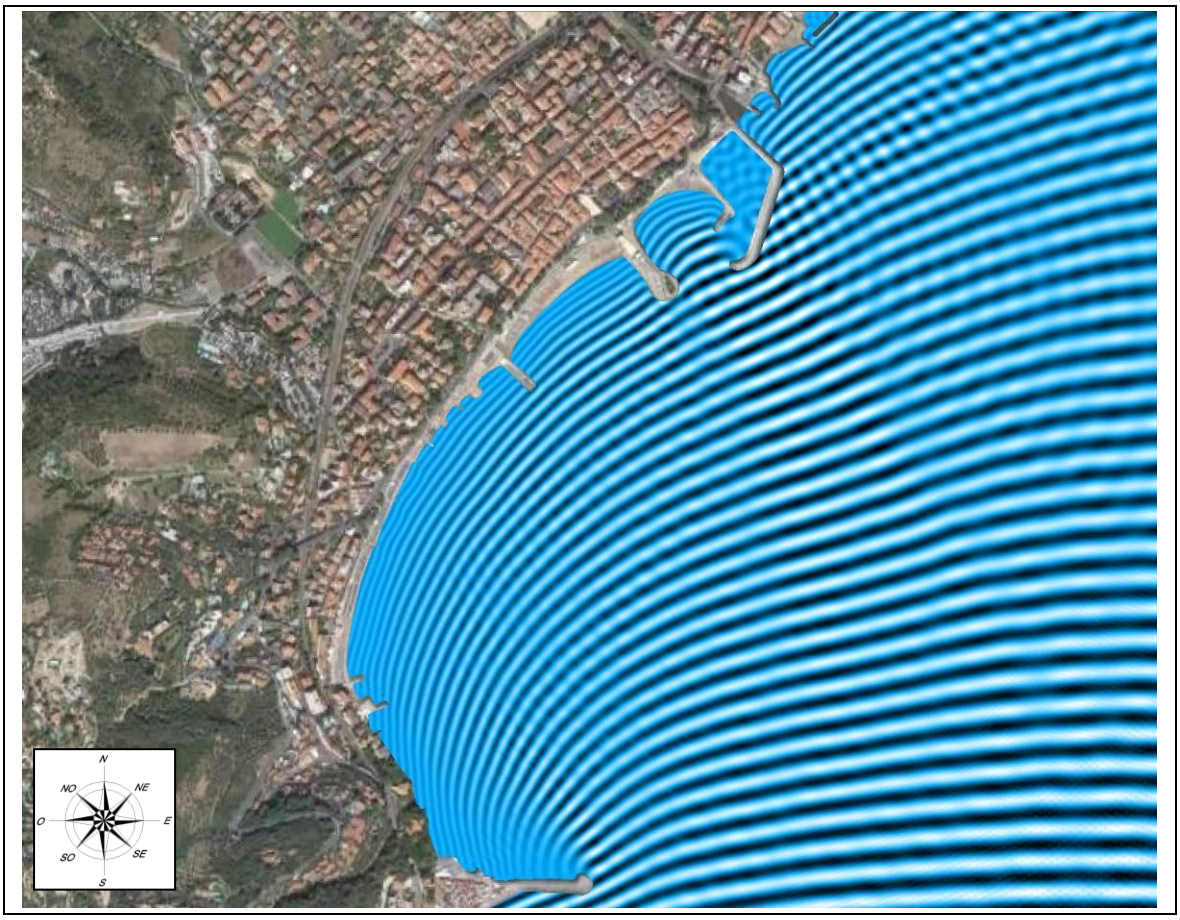


Fig. 8.8 – TEST 1 configurazione attuale: andamento delle creste
Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 1.44 m – DIR = 180 °N – T_{01} = 6.0 s

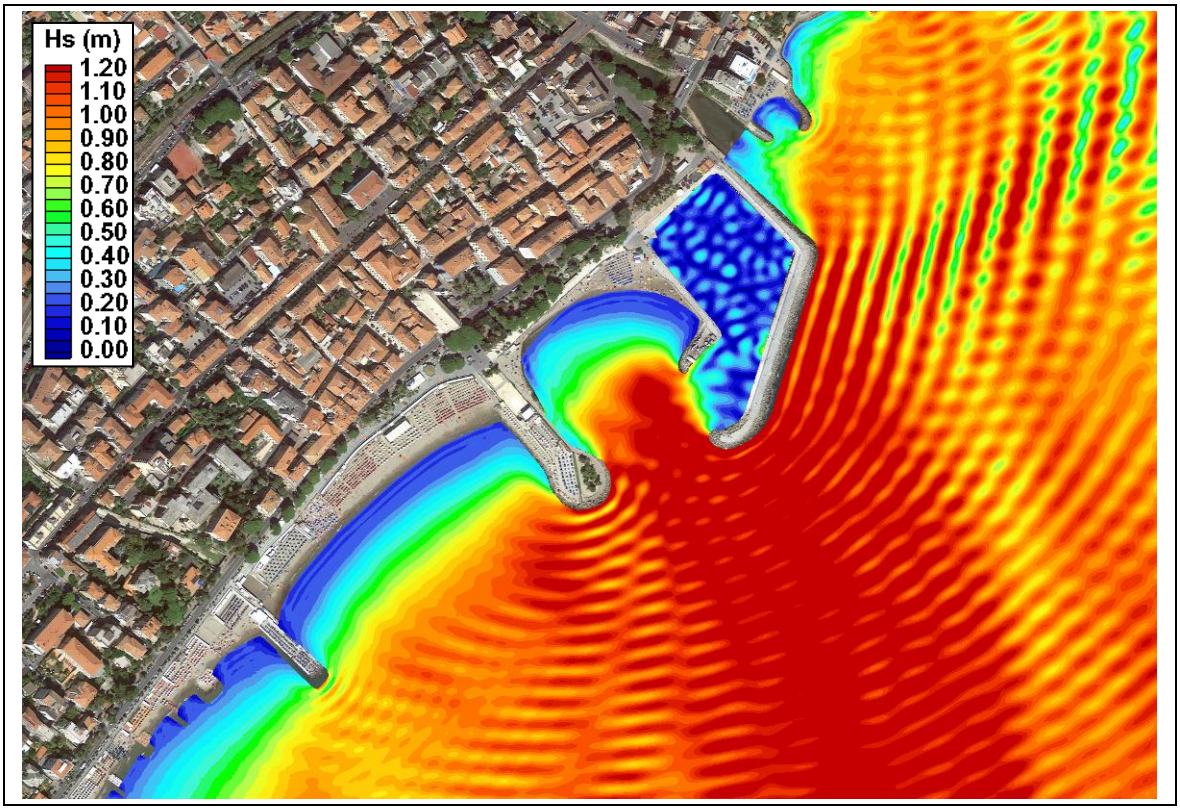


Fig. 8.9 – TEST 1 configurazione attuale: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto

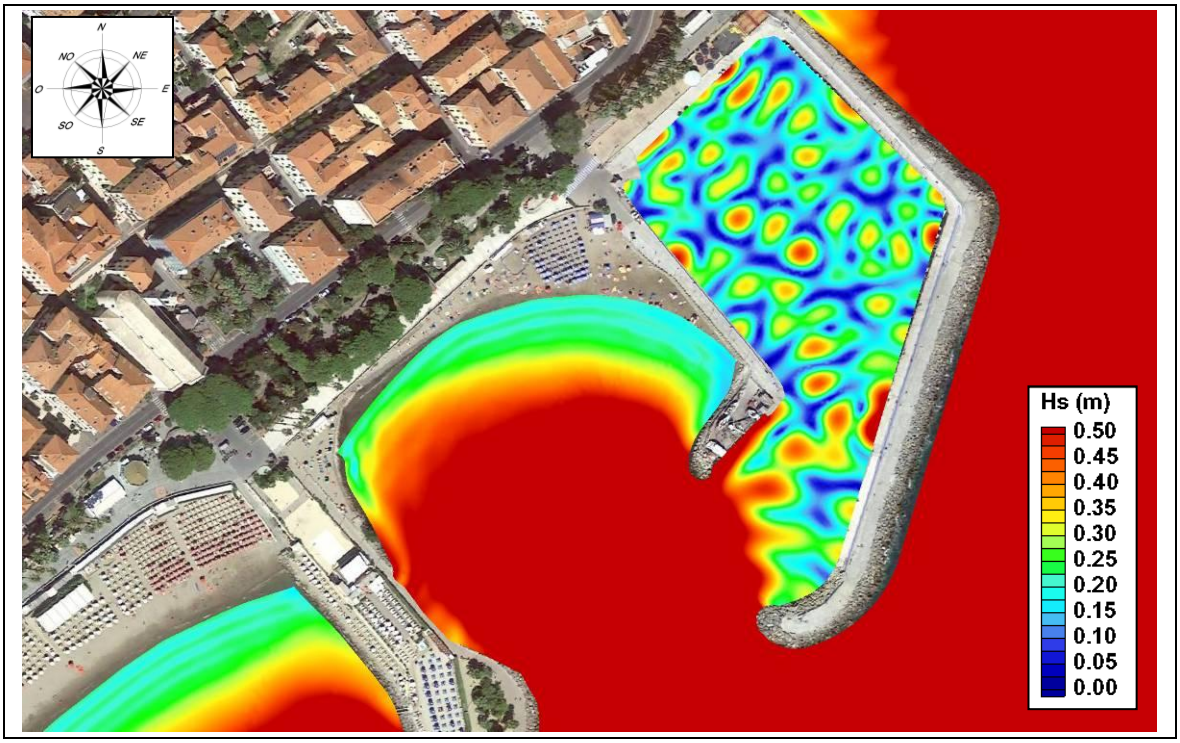


Fig. 8.10 – TEST 1 configurazione attuale: agitazione ondosa all'interno del porto

8.4 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata con tempo di ritorno pari a 50 anni

I risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione del moto ondoso, in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del bacino portuale, sono riportati nelle figure seguenti. Le figure rappresentano mediante gradazioni cromatiche le caratteristiche locali della mareggiata: in Fig. 8.11 è riportato l'andamento delle creste, mentre in Fig. 8.12 sono riportate le altezze d'onda significativa nei pressi del porto e all'interno del bacino portuale. Infine nella Fig. 8.13 si riporta l'agitazione ondosa residua all'interno del porto limitando la scala cromatica al valore H_S = 0.50 m, al fine di meglio evidenziare l'agitazione ondosa interna al bacino.
Dai risultati ottenuti si osserva che la mareggiata di Mezzogiorno con tempo di ritorno pari a 50 anni (TEST2) giunge in prossimità dell'imboccatura con direzione perpendicolare alla costa (cfr. Fig. 8.11) e altezza d'onda significativa superiore a 2 m (cfr Fig. 8.12).
Si rileva inoltre che l'onda è in grado di penetrare in modo consistente all'interno del bacino portuale. L'agitazione ondosa residua all'interno del porto risulta piuttosto elevata (Fig. 8.13) con valori di altezza d'onda abbondantemente superiori a 0.50 m, circostanza che nei porti turistici andrebbe evitata, anche se alcuni standard la ritengono ancora accettabile (per particolari disposizioni degli ormeggi, n.d.r.).

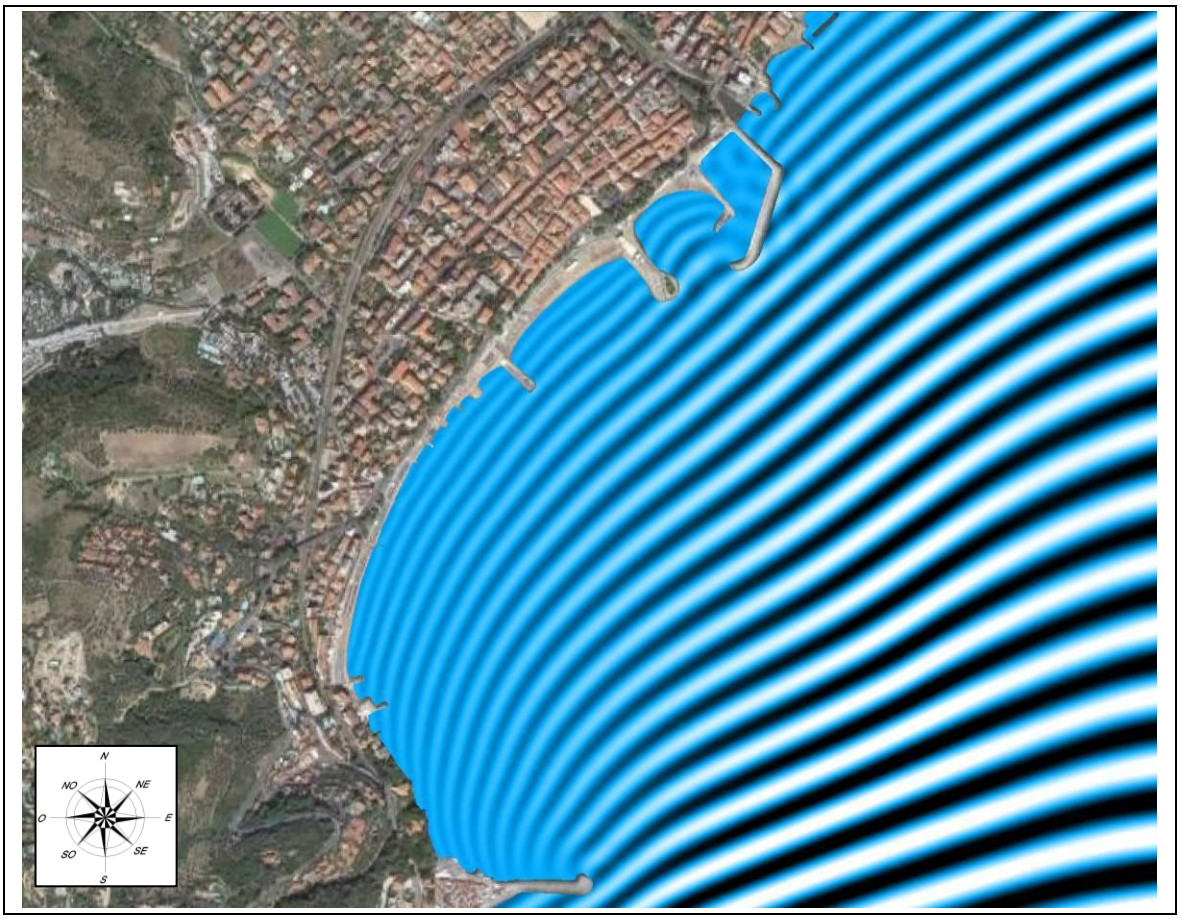


Fig. 8.11 – TEST 2 configurazione attuale: andamento delle creste
Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 5.35 m – DIR = 175 °N – T_{01} = 9.5 s

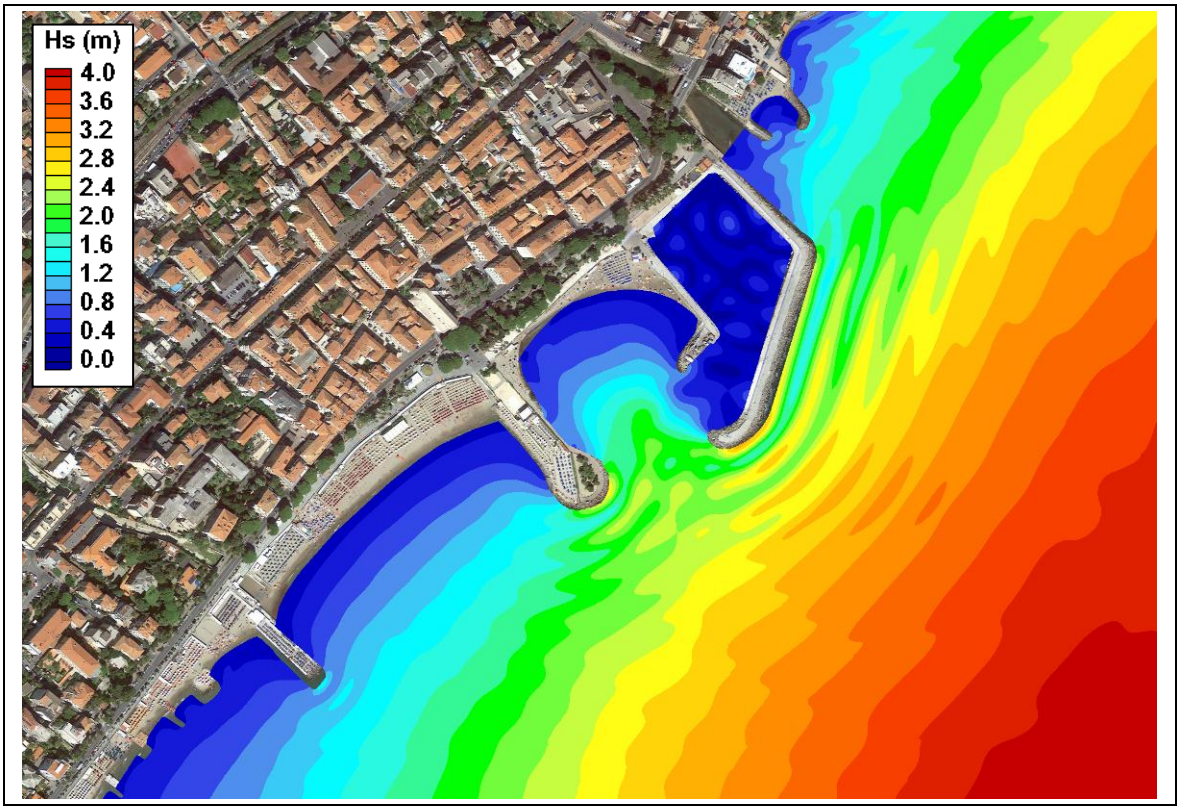


Fig. 8.12 – TEST 2 configurazione attuale: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto

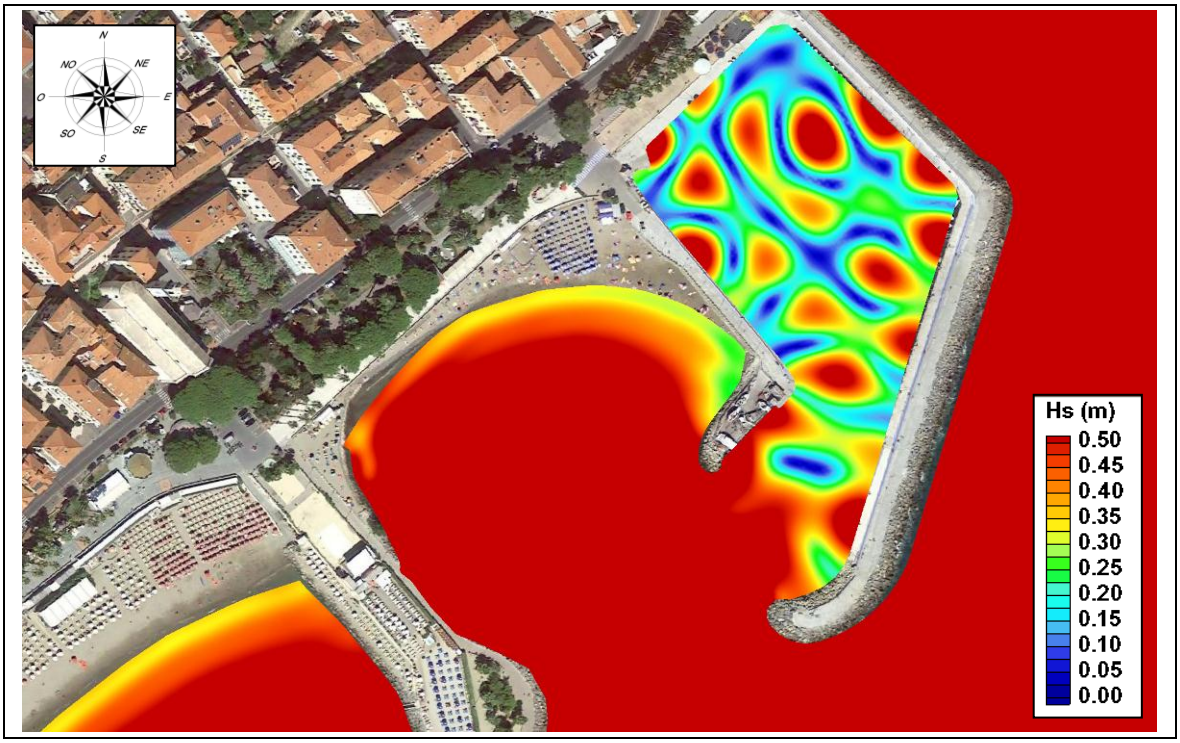


Fig. 8.13 – TEST 2 configurazione attuale: agitazione ondosa all'interno del porto

8.5 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata generata da vento

I risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione dell'evento generato localmente da vento di Libeccio nello specchio acqueo compreso tra Capo Berta e Diano, in termini di agitazione ondosa in prossimità e all'interno del bacino portuale, sono riportati nelle figure seguenti. Le figure rappresentano mediante gradazioni cromatiche le caratteristiche locali della mareggiata: in Fig. 8.14 è riportato l'andamento delle creste, mentre in Fig. 8.15 sono riportate le altezze d'onda significativa nei pressi del porto e all'interno del bacino portuale. Infine nella Fig. 8.16 si riporta l'agitazione ondosa residua all'interno del porto, limitando la scala cromatica al valore H_S = 0.50 m per meglio evidenziare l'agitazione ondosa interna al bacino.
Dai risultati ottenuti si osserva che la mareggiata di Libeccio generata da vento (TEST3) penetra direttamente all'interno del bacino portuale (cfr. Fig. 8.14): si tratta infatti di un'onda corta, che non risente del basso fondale e non subisce quindi rifrazione: si propaga nella direzione del vento che l'ha generata e può interessare la zona dell'imboccatura con direzioni che le mareggiate provenienti dal mare aperto non posso localmente avere. L'onda si propaga attraverso l'imboccatura come un fascio compatto, grazie all'elevata frequenza, creando situazioni di particolare disagio per parte degli ormeggi. Nonostante sia caratterizzata da altezza piuttosto ridotta, l'onda è in grado di penetrare nel porto (Fig. 8.15), determinando un'agitazione residua piuttosto elevata (Fig. 8.16), con valori di altezza d'onda superiori a 0.50 m.

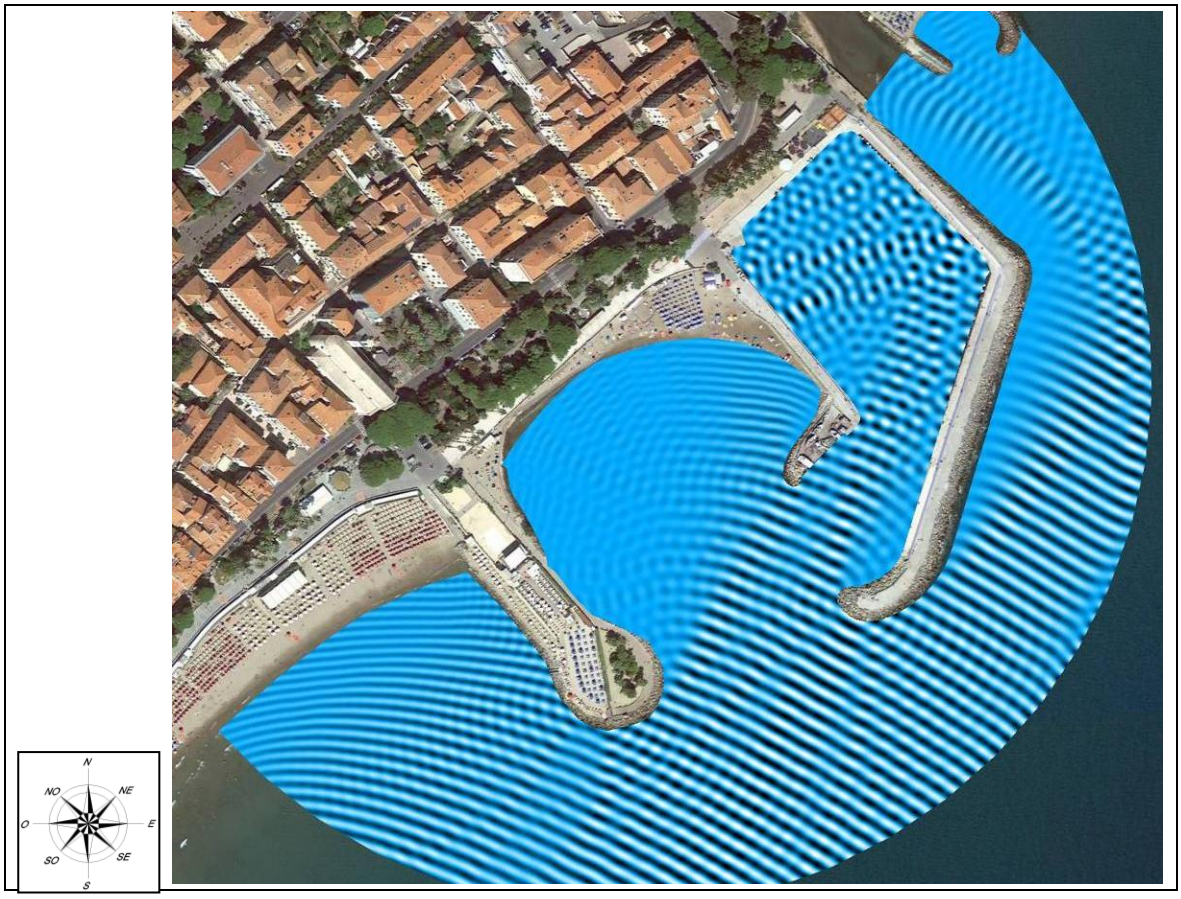


Fig. 8.14 – TEST 3 configurazione attuale: andamento delle creste
Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s

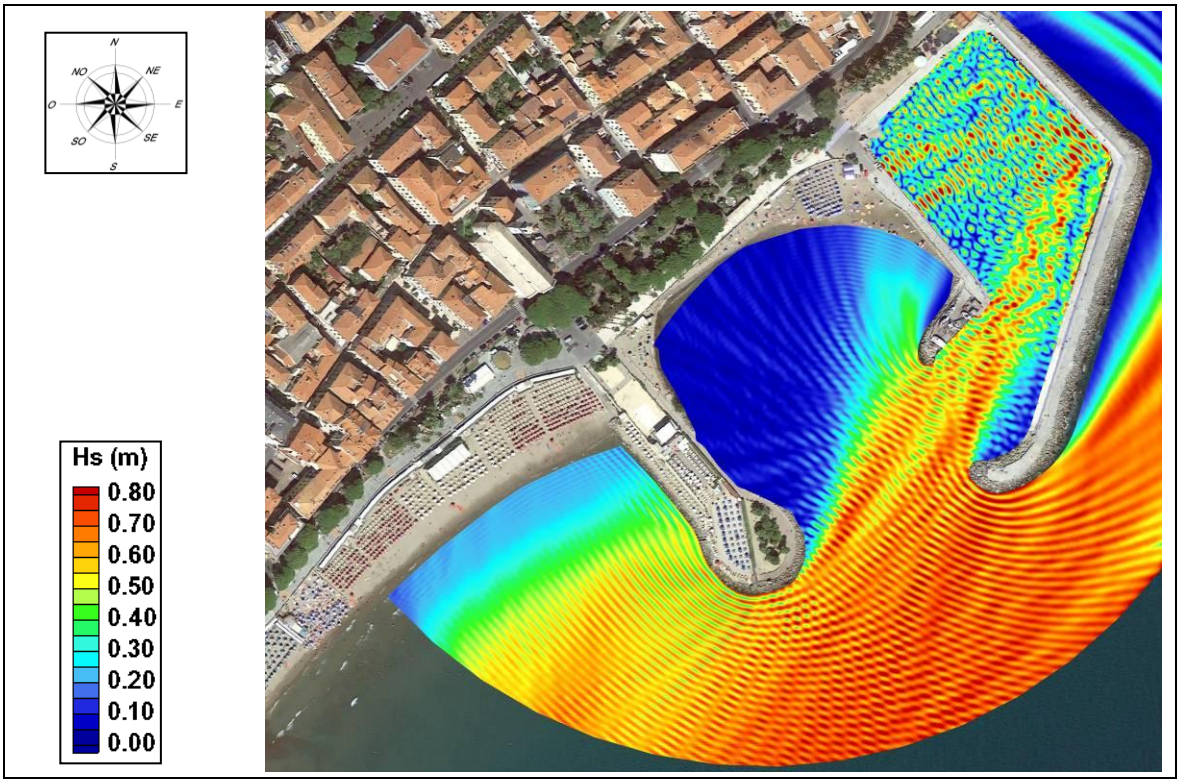


Fig. 8.15 – TEST 3 configurazione attuale: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto

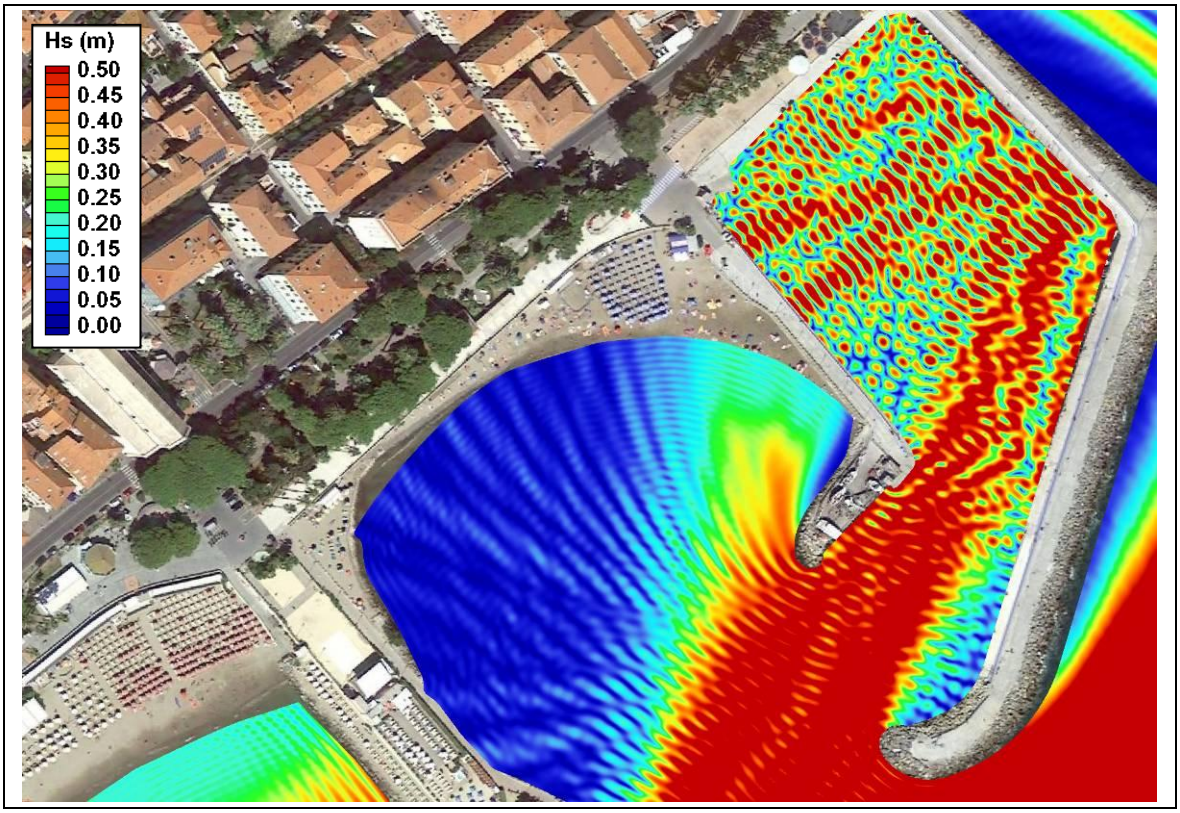


Fig. 8.16 – TEST 3 configurazione attuale: agitazione ondosa all'interno del porto

9 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Nella seconde fase dello studio si è proceduto ad analizzare l'agitazione ondosa interna al porto nella configurazione di progetto proposta.
Lo studio è stato condotto tramite il modello matematico "CGWAVE" messo a punto dall'Università del Maine per l'U.S. Army Corps of Engineers e descritto in dettaglio nell'allegato.

Lo studio è stato eseguito con riferimento ai medesimi eventi ondosi individuati nel capitolo precedente. I domini di calcolo sono stati aggiornati sulla base del layout progettuale.

9.1 Configurazione di progetto

Il layout progettuale proposto prevede il prolungamento di circa 25 m del molo di sopraflutto lungo la direzione 245°N (cfr. Fig. 9.1).



Fig. 9.1 – Schema del layout della configurazione di progetto

9.2 Risultati dello studio della penetrazione nella configurazione di progetto

Nei successivi paragrafi (da Fig. 9.2 a Fig. 9.10) sono riportati i risultati dello studio della penetrazione ondosa nella configurazione progettuale proposta, svolto con riferimento agli eventi ondosi definiti in precedenza.
I risultati ottenuti hanno evidenziato che la realizzazione del prolungamento del molo di sopraflutto determina un sostanziale miglioramento delle condizioni di agitazione per tutte le mareggiate analizzate. Si rimanda al successivo capitolo 10 per una analisi comparativa dei risultati tra la configurazione di progetto con quella attuale.

9.2.1 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata con frequenza pari a 5 gg/anno

Le figure successive rappresentano, mediante gradazioni cromatiche le caratteristiche locali della mareggiata: in Fig. 9.2 è riportato l'andamento delle creste, mentre in Fig. 9.3 sono riportate le altezze d'onda significativa nei pressi del porto e all'interno del bacino portuale.
Infine nella Fig. 9.4 si riporta l'agitazione ondosa residua all'interno del porto limitando la scala cromatica al valore H_S = 0.50 m, al fine di meglio evidenziare l'agitazione ondosa interna al bacino.

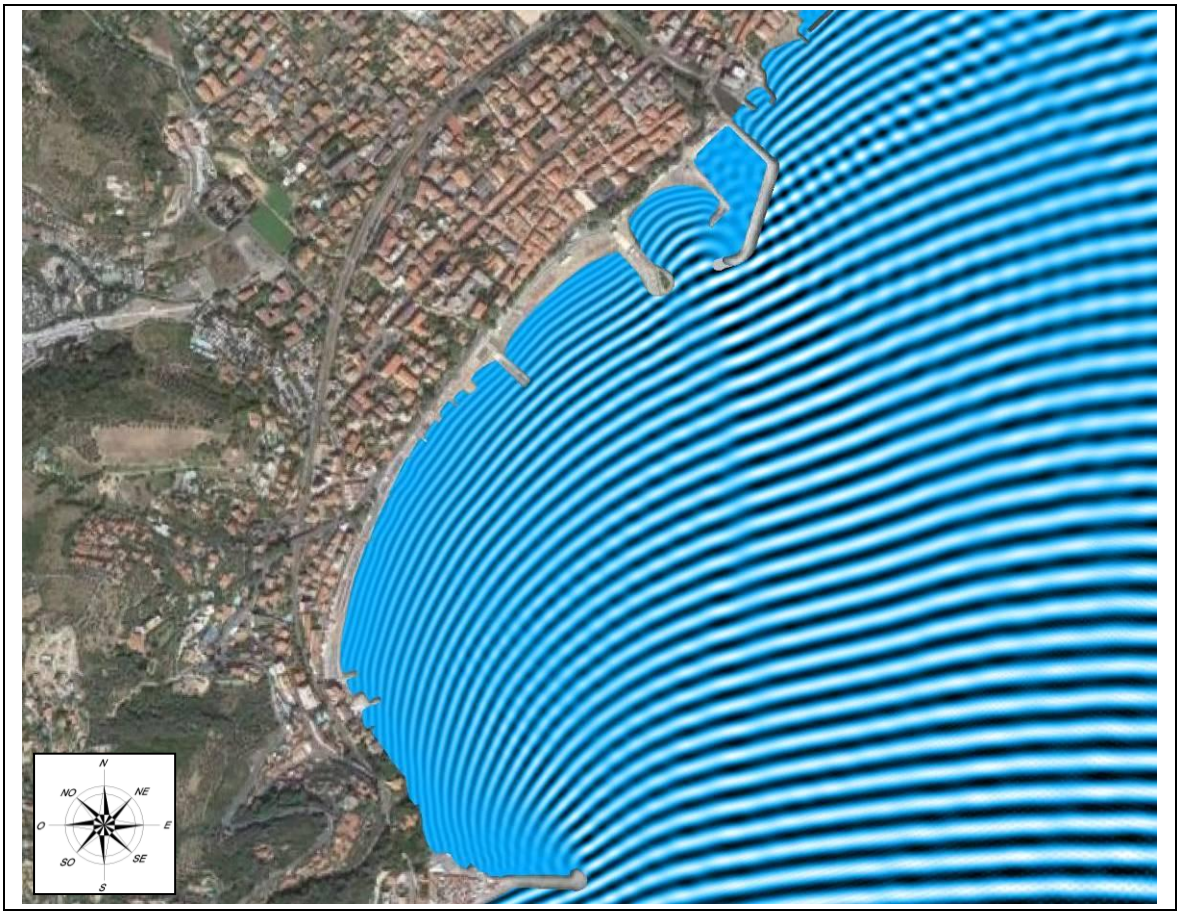


Fig. 9.2 – TEST 1 configurazione di progetto: andamento delle creste
Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 1.44 m – DIR = 180 °N – T_{01} = 6.0 s

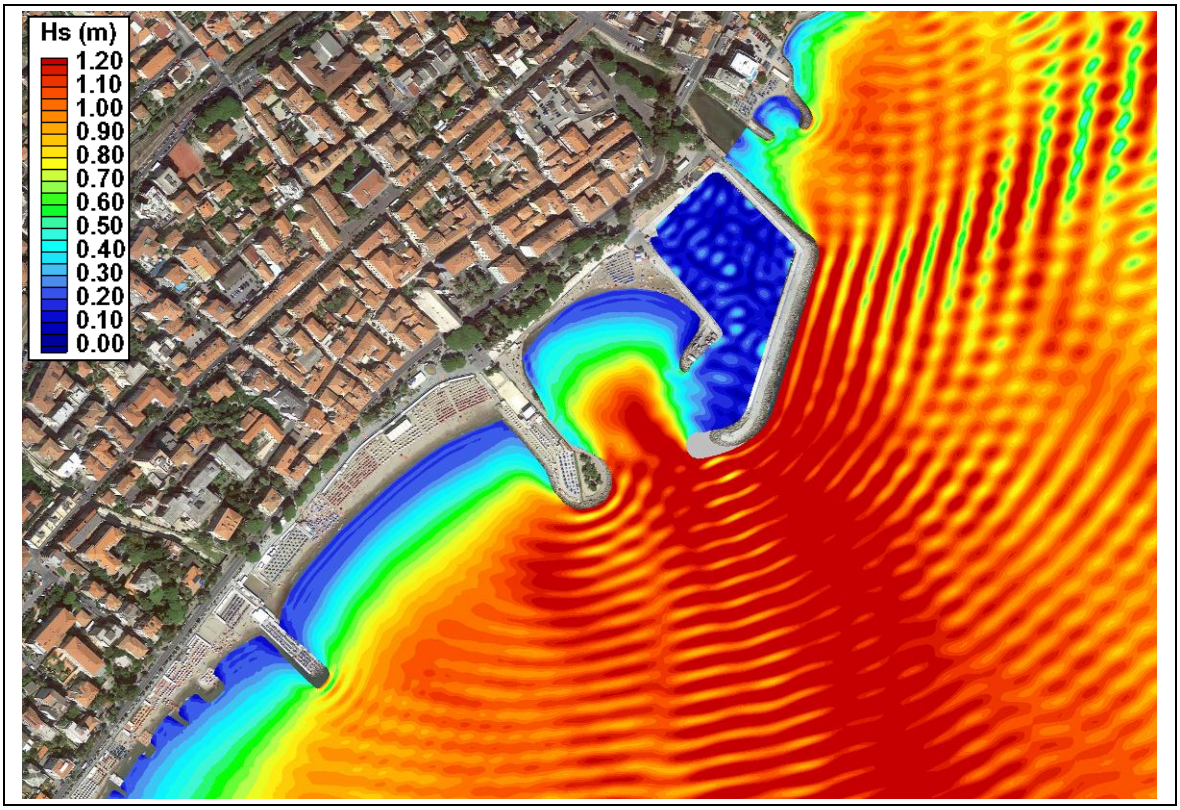


Fig. 9.3 – TEST 1 configurazione di progetto: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto

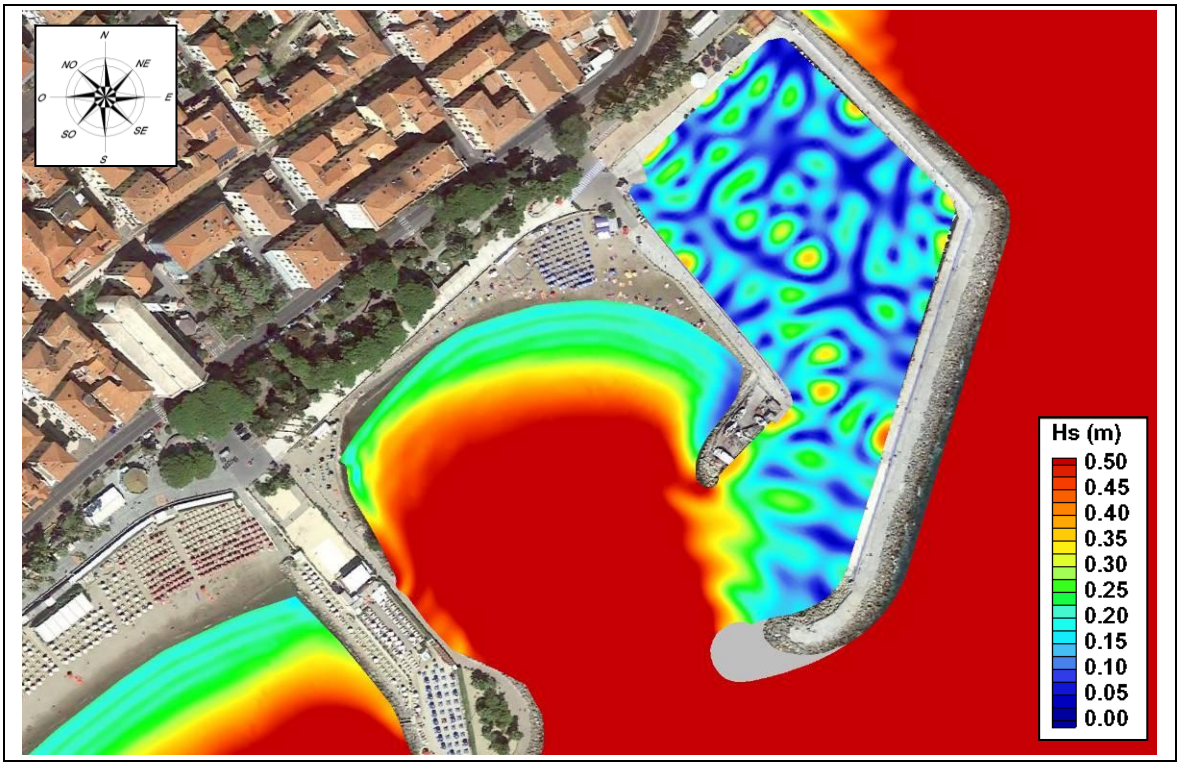


Fig. 9.4 – TEST 1 configurazione di progetto: agitazione ondosa all'interno del porto

9.2.2 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata con tempo di ritorno pari a 50 anni

Le figure successive rappresentano mediante gradazioni cromatiche le caratteristiche locali della mareggiata: in Fig. 9.5 è riportato l'andamento delle creste, mentre in Fig. 9.6 sono riportate le altezze d'onda significativa nei pressi del porto e all'interno del bacino portuale.
Infine nella Fig. 9.7 si riporta l'agitazione ondosa residua all'interno del porto limitando la scala cromatica al valore H_S = 0.50 m, al fine di meglio evidenziare l'agitazione ondosa interna al bacino.

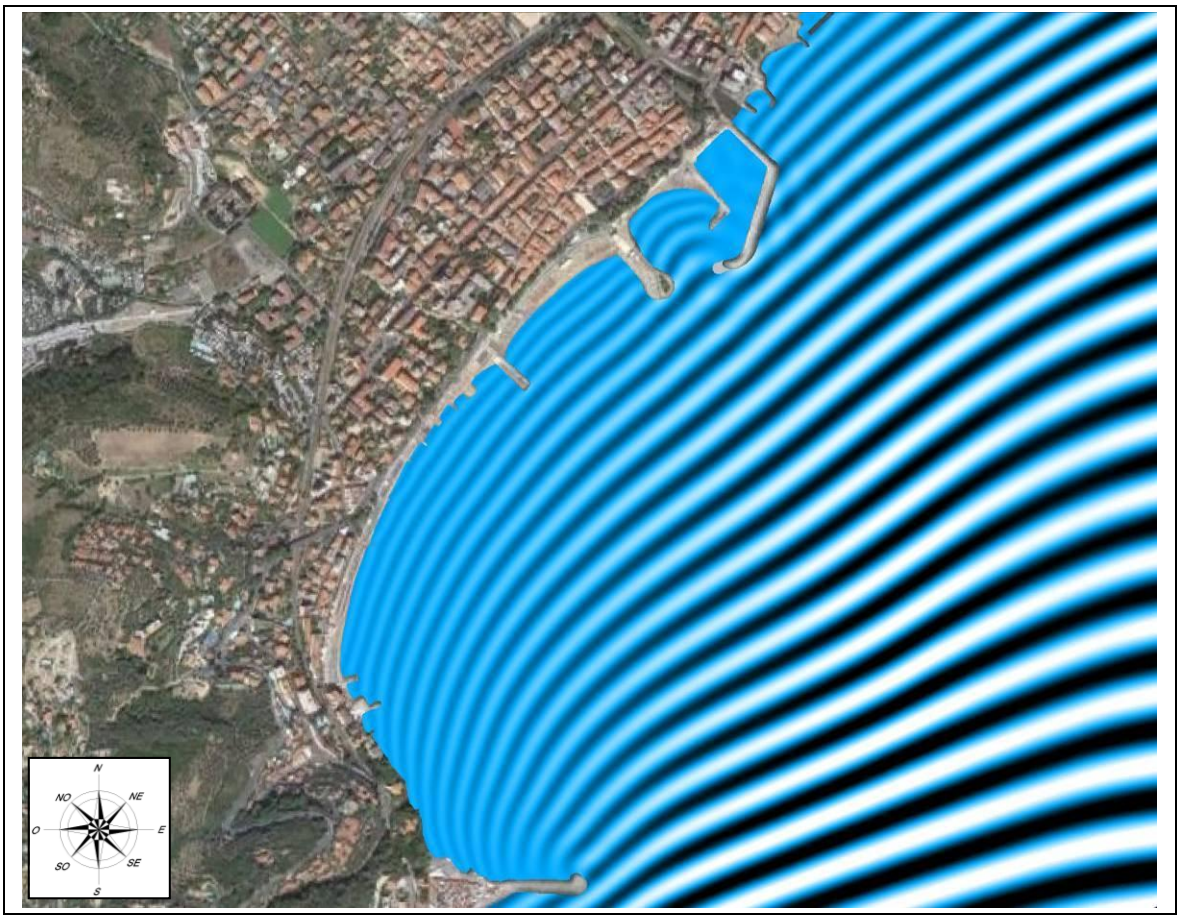


Fig. 9.5 – TEST 2 configurazione di progetto: andamento delle creste
Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 5.35 – DIR = 175 °N – T_{01} = 9.5 s

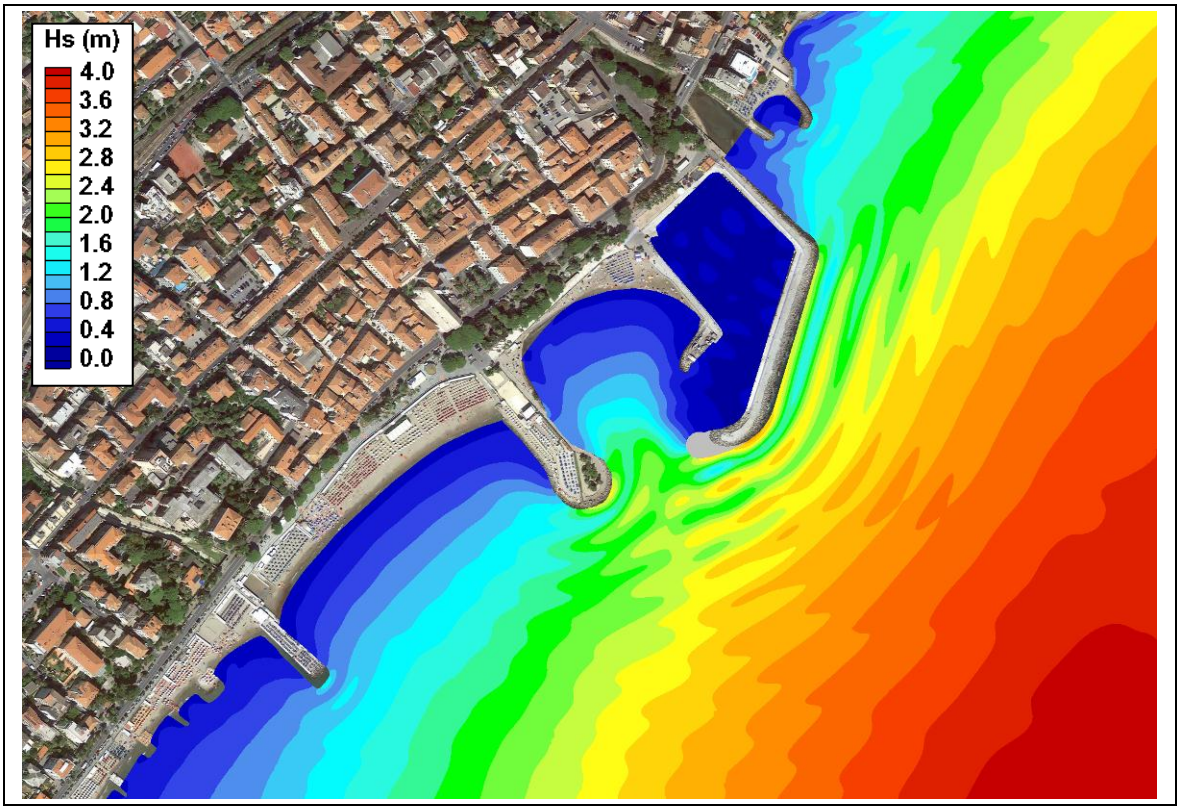


Fig. 9.6 – TEST 2 configurazione di progetto: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto

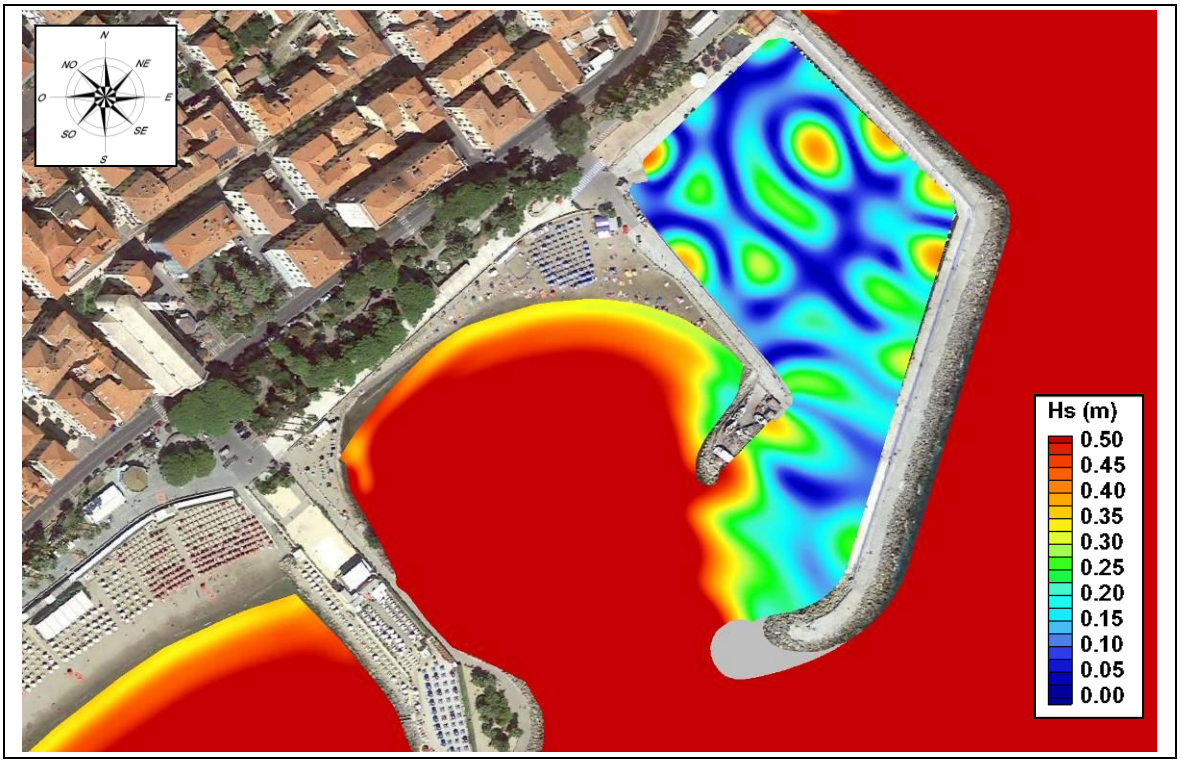


Fig. 9.7 – TEST 2 configurazione di progetto: agitazione ondosa all'interno del porto

9.2.3 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata generata da vento di Libeccio

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati dello studio della penetrazione ondosa nella configurazione progettuale proposta, svolto con riferimento all'evento generato da vento di Libeccio.

Le figure seguenti rappresentano mediante gradazioni cromatiche le caratteristiche locali della mareggiata: in Fig. 8.14 è riportato l'andamento delle creste, mentre in Fig. 8.15 sono riportate le altezze d'onda significativa nei pressi del porto e all'interno del bacino portuale. Infine, nella Fig. 8.16, si riporta l'agitazione ondosa residua all'interno del porto limitando la scala cromatica al valore H_S = 0.50 m, al fine di meglio evidenziare l'agitazione ondosa interna al bacino.

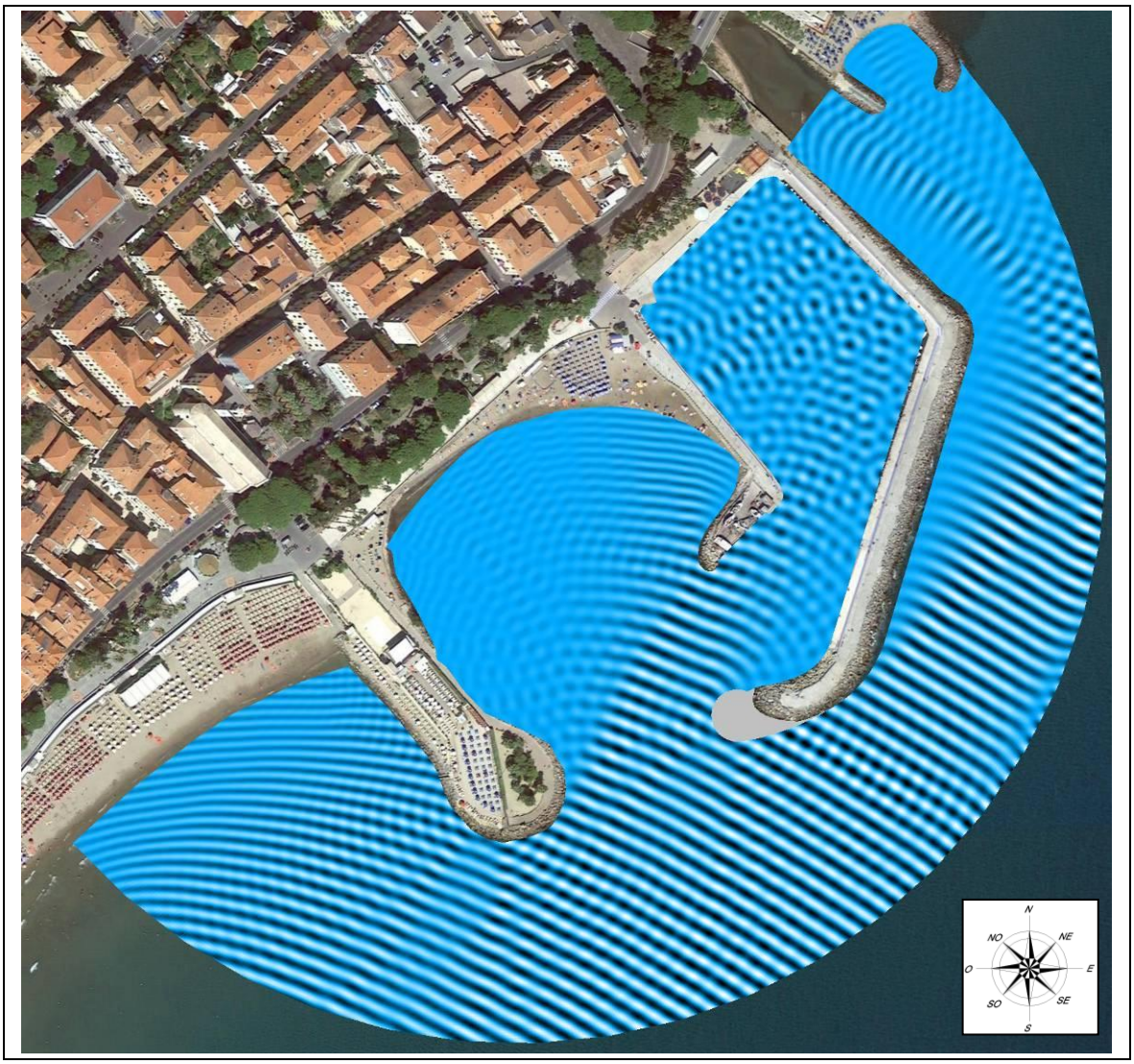


Fig. 9.8 – TEST 3 configurazione di progetto: andamento delle creste
Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s

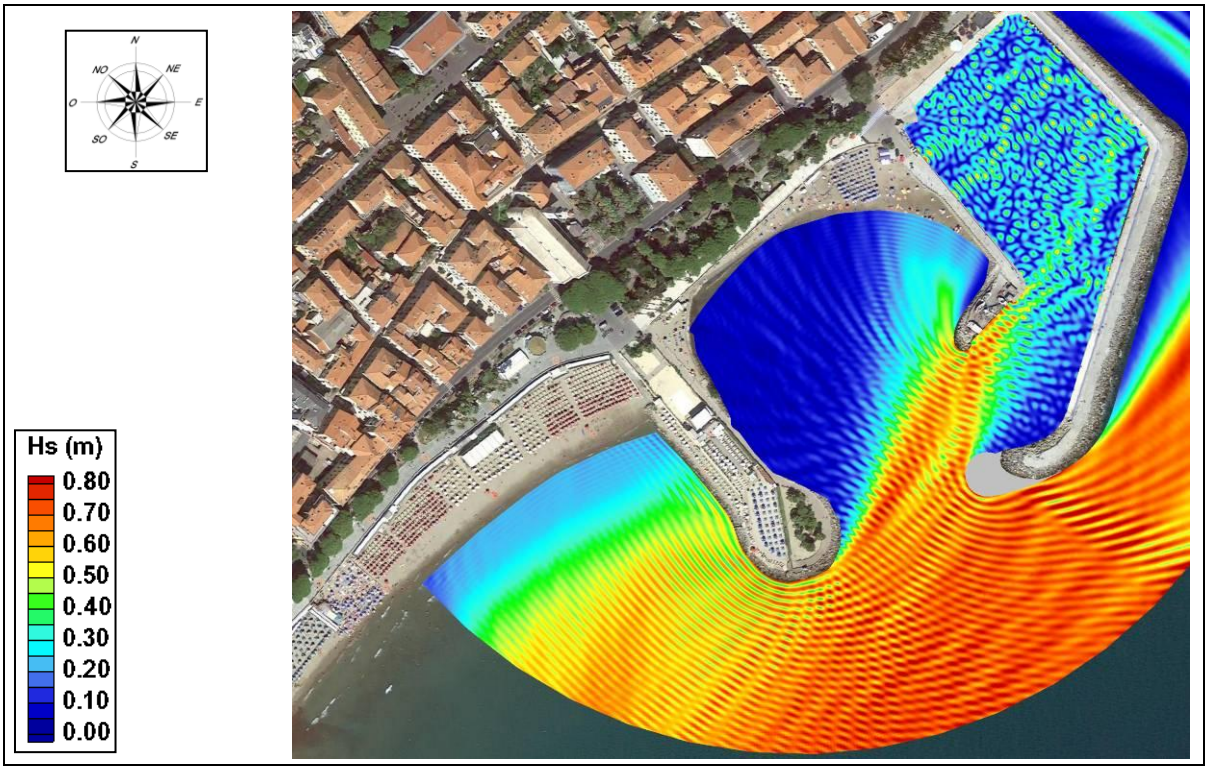


Fig. 9.9 – TEST 3 configurazione di progetto: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto

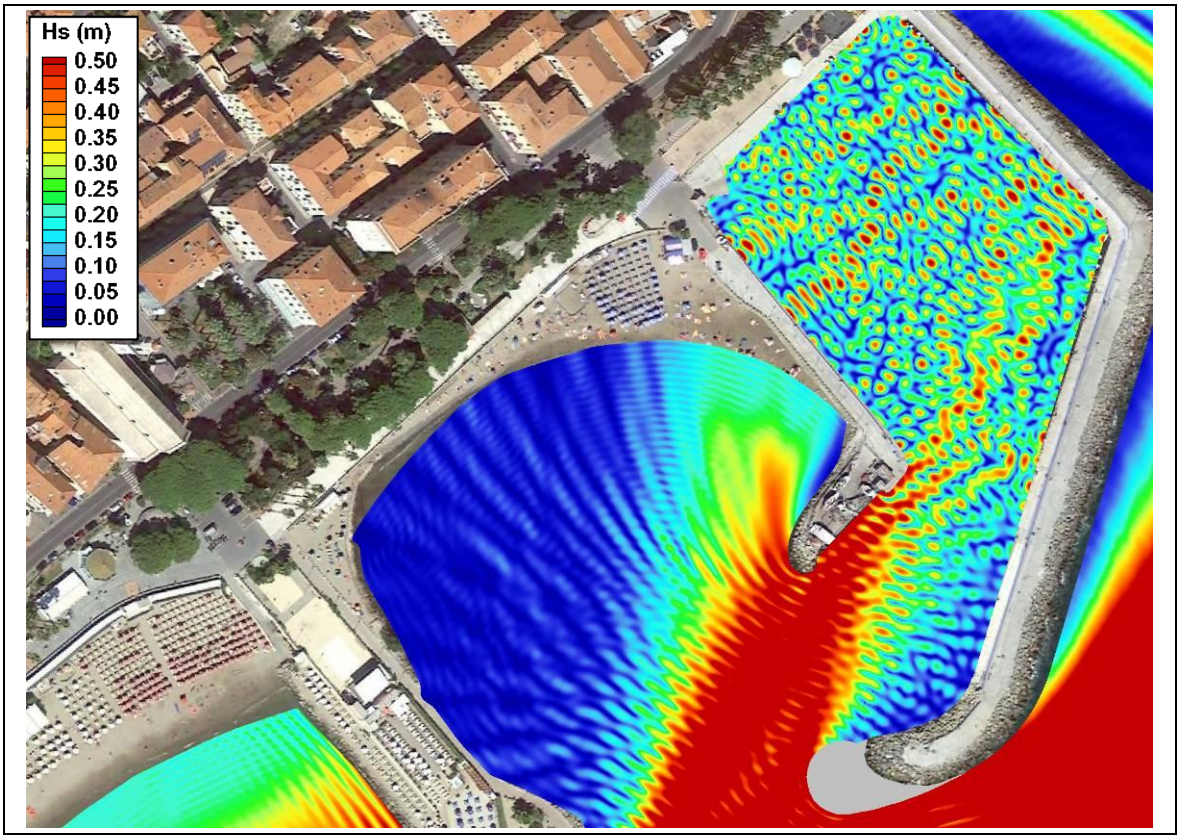


Fig. 9.10 – TEST 3 configurazione di progetto: agitazione ondosa all'interno del porto

10 CONFRONTO DEI RISULTATI

Nel presente capitolo si riporta un confronto diretto dei risultati ottenuti mediante lo studio su modello della penetrazione ondosa nelle due configurazioni analizzate. Nelle figure riportate nelle pagine successive, è stata rappresentata l'agitazione ondosa residua all'interno del porto, nella configurazione attuale e in quella di progetto, limitando la scala cromatica al valore H_S = 0.50 m, al fine di meglio evidenziare l'agitazione ondosa interna al bacino.
Come anticipato nel paragrafo precedente, si rileva che la realizzazione del prolungamento del molo di sopraflutto determina un miglioramento sostanziale delle condizioni di agitazione per tutte le mareggiate analizzate.

È evidente che il porto di Diano presenta due distinte problematiche: la prima legata alla penetrazione del moto ondoso proveniente dal mare aperto, la seconda alla penetrazione dell'onda corta di Libeccio che si genera tra Capo Berta e Diano.

Per quanto riguarda la prima problematica, la soluzione proposta risulta particolarmente efficace, in quanto consente di ridurre considerevolmente l'energia del moto ondoso in grado di penetrare nel bacino portuale; particolarmente rilevante risulta l'effetto di schermatura dello scalo di alaggio sulla testata del sottoflutto, la cui riflessione rappresenta senza dubbio un elemento critico della configurazione attuale del porto.

La seconda problematica ha aspetti sostanzialmente diversi: l'onda corta da vento si propaga fino all'imboccatura senza risentire del fondale, quindi senza ruotare per effetto della riflessione. L'onda si presenta quindi all'imboccatura con la direzione del vento di Libeccio, penetrando nel porto attraverso la sezione maestra e creando senza dubbio disagio, soprattutto per le barche più piccole.
La modifica della configurazione del molo di sopraflutto risulta sicuramente critica in relazione non solo al tema dell'agitazione interna, ma anche della sicurezza e della navigabilità. É evidente che per proteggere totalmente il bacino interno dall'onda corta di Libeccio sarebbe necessario chiudere l'imboccatura dando una sovrapposizione delle testate dei moli rispetto alla direzione di Libeccio; questa soluzione, tuttavia, in relazione alla configurazione dei fondali (bassi fondali adiacenti) e alla prossimità delle spiagge, presenta evidenti criticità.

La configurazione proposta cerca di contemperare le diverse esigenze, anche se si tratta in ogni caso di un compromesso che deve essere accettato dalla committenza. Le altezze d'onda vengono comunque abbattute considerevolmente (mediamente di oltre il 40%). Con riferimento ai 30 m/s di vento di Libeccio (velocità mediata indicativamente sui 30/60 s), le altezze significative massime si riducono di oltre il 50%.

10.1 Confronto agitazione ondosa per mareggiata con frequenza pari a 5 gg/anno

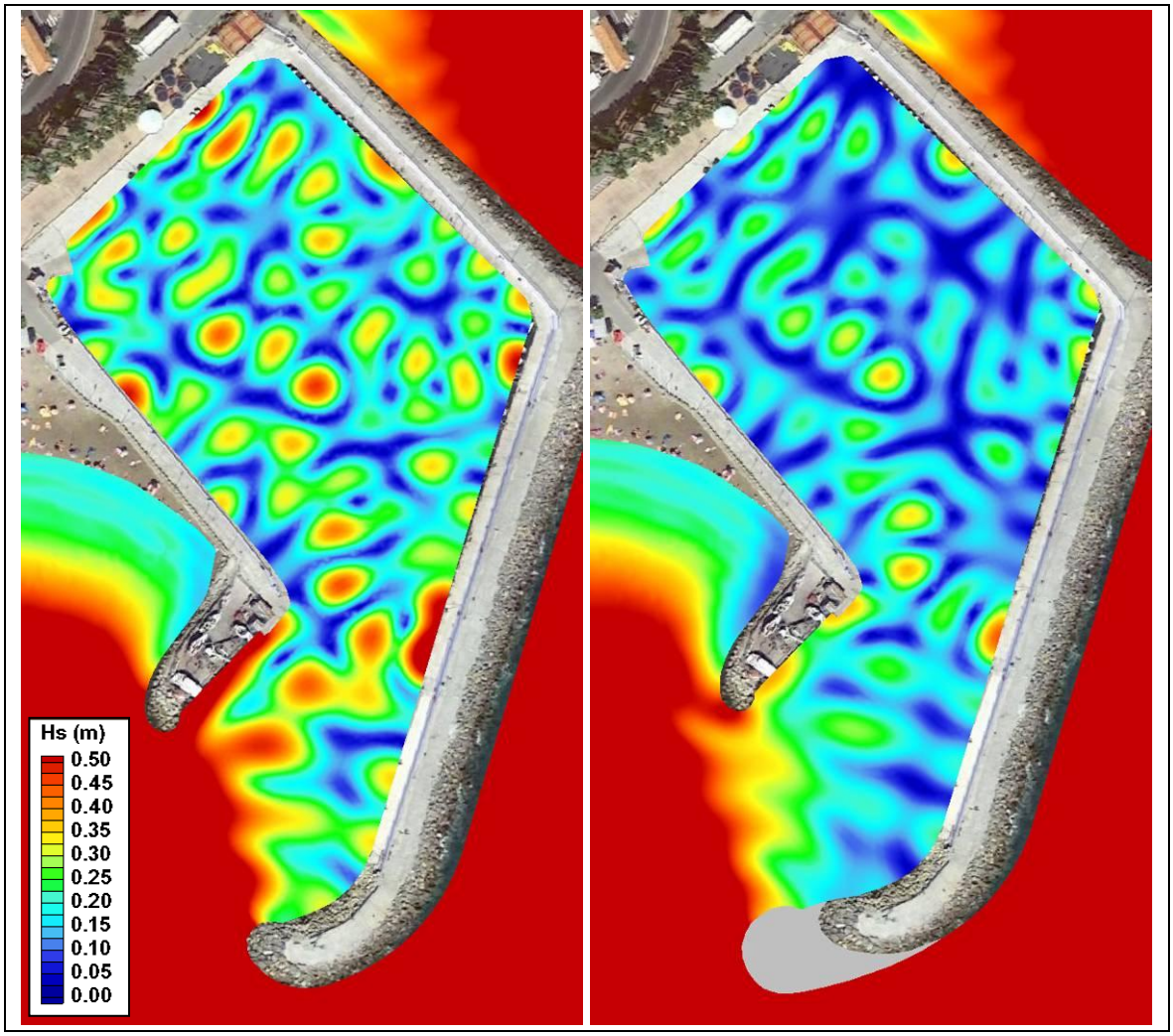


Fig. 10.1 – TEST 1: Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 1.44 – DIR = 180 °N – T_{01} = 6.0 s
Agitazione ondosa all'interno del porto: configurazione attuale (a sinistra) e di progetto(a destra)

10.2 Confronto agitazione ondosa per mareggiata con tempo di ritorno pari a 50 anni

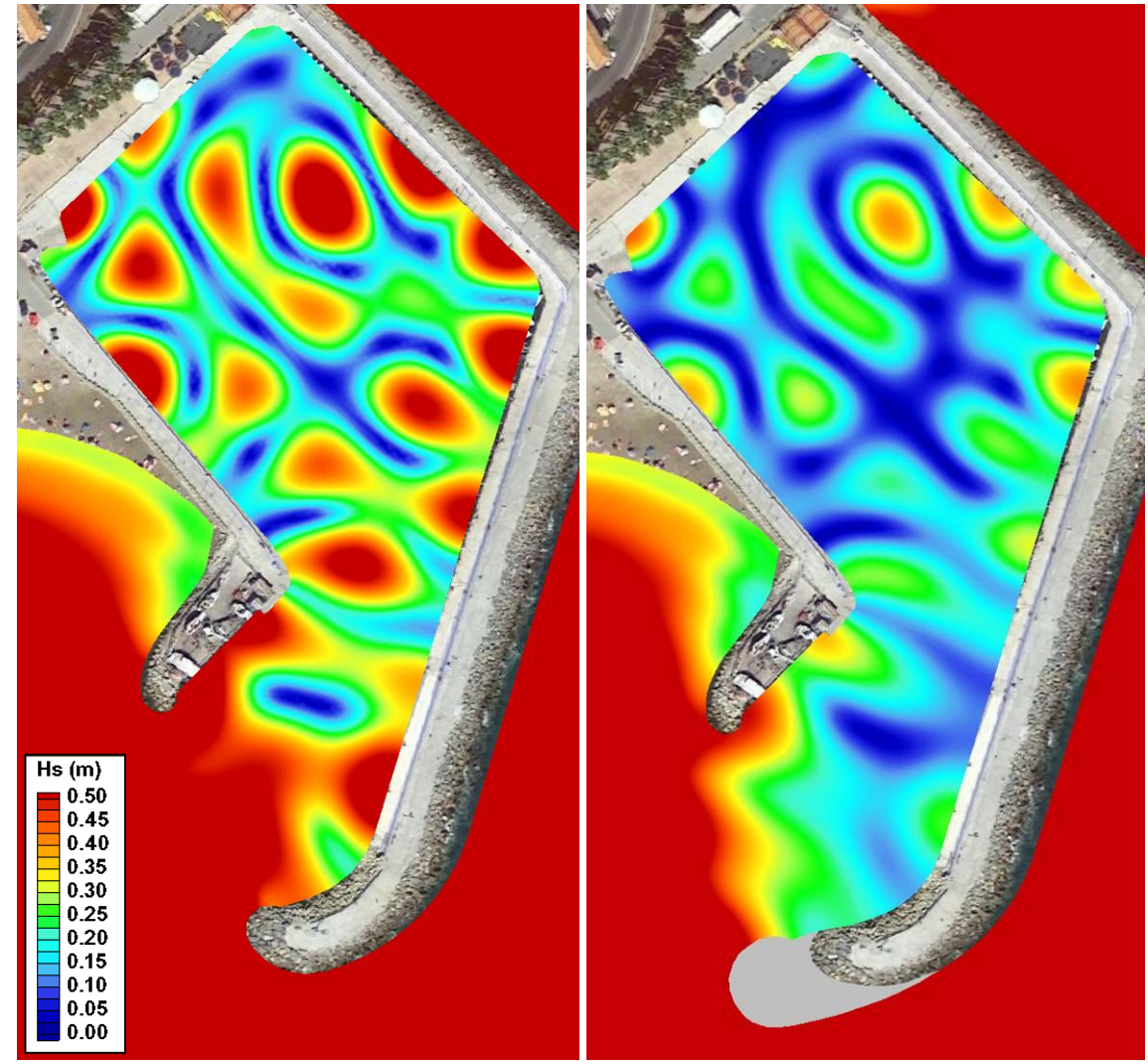


Fig. 10.2 – TEST 2: Caratteristiche mareggiata nel punto P2: H_S = 5.35 – DIR = 175 °N – T_{01} = 9.5 s
Agitazione ondosa all'interno del porto: configurazione attuale (a sinistra) e di progetto(a destra)

10.3 Confronto agitazione ondosa per mareggiata generata da vento

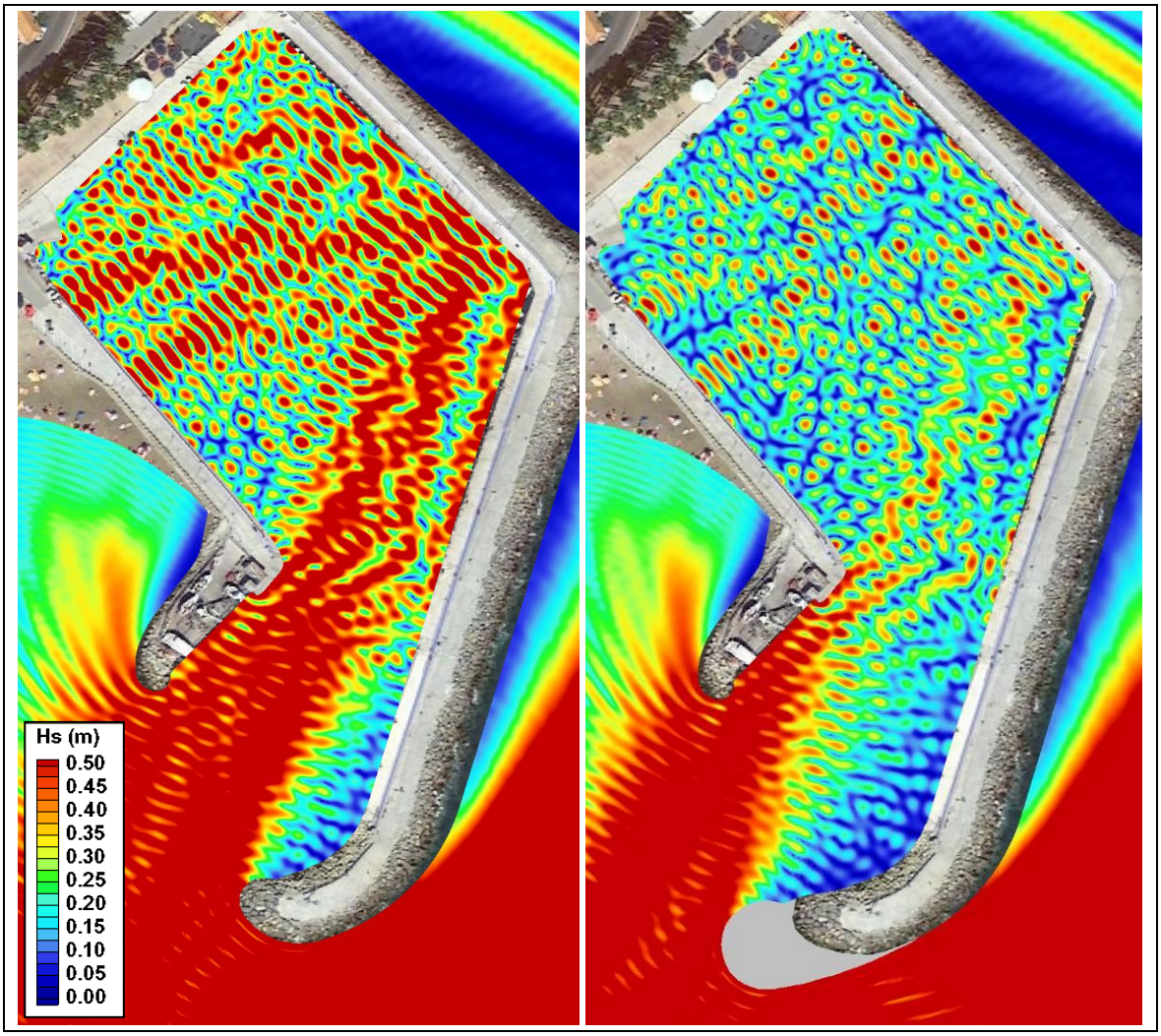


Fig. 10.3 – TEST 3: Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s
Agitazione ondosa all'interno del porto: configurazione attuale (a sinistra) e di progetto(a destra)

11 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO ALTERNATIVA

Sulla base delle risultanze degli studi su modello e del confronto dei risultati ottenuti, è stata individuata dal Committente una possibile configurazione alternativa per il prolungamento del molo, in grado di proteggere in modo più efficace il bacino portuale dalla penetrazione del moto ondoso. Si è quindi proceduto ad analizzare l'agitazione ondosa interna al porto anche in questa ulteriore configurazione.

Lo studio è stato condotto tramite il modello matematico "CGWAVE" messo a punto dall'Università del Maine per l'U.S. Army Corps of Engineers e descritto in dettaglio nell'allegato.
Lo studio è stato eseguito unicamente con riferimento alla mareggiata generata da vento, che, sulla base dei risultati ottenuti in precedenza, è risultata quella in grado di penetrare in misura maggiore. Il dominio di calcolo è stato aggiornato sulla base del layout progettuale modificato.

11.1 Configurazione di progetto alternativa

Il layout progettuale proposto prevede il prolungamento di circa 30 m del molo di sopraflutto lungo la direzione 270 °N, realizzando un ringrosso di testata (cfr. schema rappresentato in Fig. 11.1).

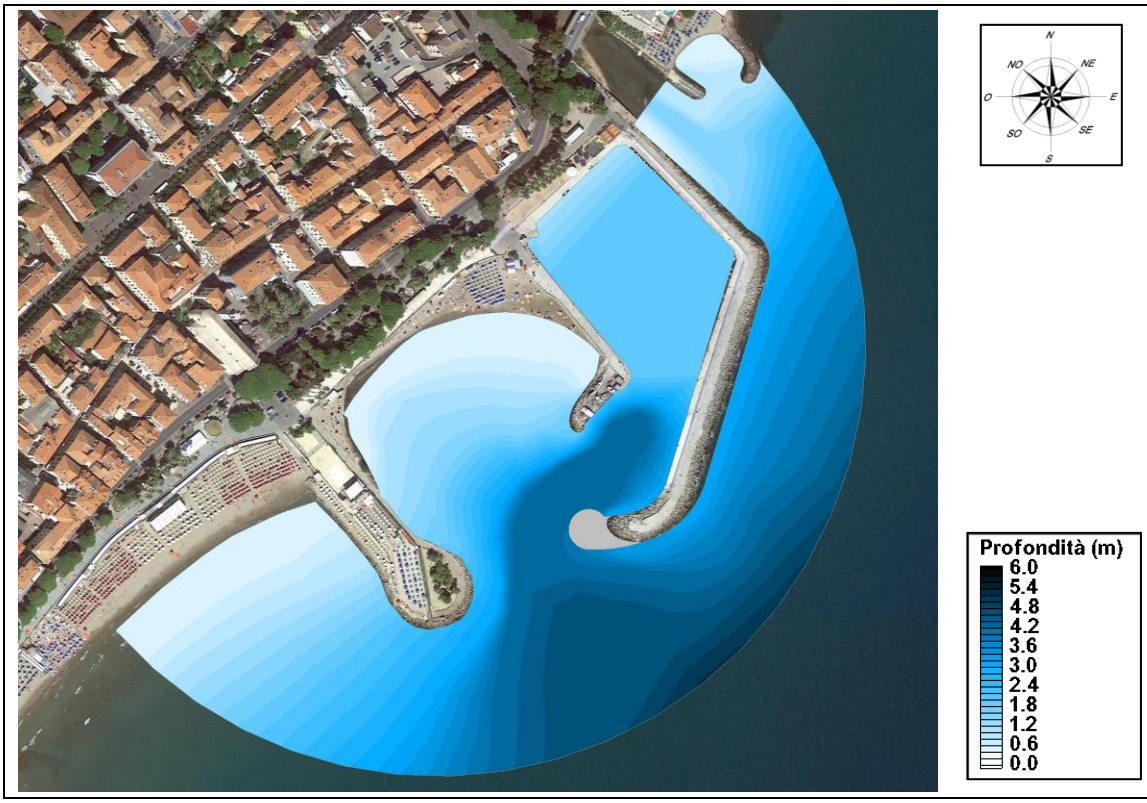


Fig. 11.1 – Schema della configurazione di progetto alternativa

11.2 Valutazione dell'agitazione ondosa per mareggiata generata da vento

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati dello studio della penetrazione ondosa nella configurazione progettuale alternativa, svolto con riferimento all'evento generato da vento di Libeccio. Le figure rappresentano mediante gradazioni cromatiche le caratteristiche locali della mareggiata: in Fig. 11.2 è riportato l'andamento delle creste, mentre in Fig. 11.3 sono riportate le altezze d'onda significativa nei pressi del porto e all'interno del bacino portuale. Infine nella Fig. 11.4 si riporta l'agitazione ondosa residua all'interno del porto limitando la scala cromatica al valore H_S = 0.50 m, al fine di meglio evidenziare l'agitazione ondosa interna al bacino.

Dai risultati ottenuti si rileva che la realizzazione del prolungamento del molo di sopraflutto secondo la configurazione di progetto alternativa determina effettivamente un importante miglioramento delle condizioni di agitazione interna per la mareggiata di Libeccio (cfr Fig. 11.5).



Fig. 11.2 – TEST 3 configurazione di progetto alternativa: andamento delle creste
TEST 3: Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s

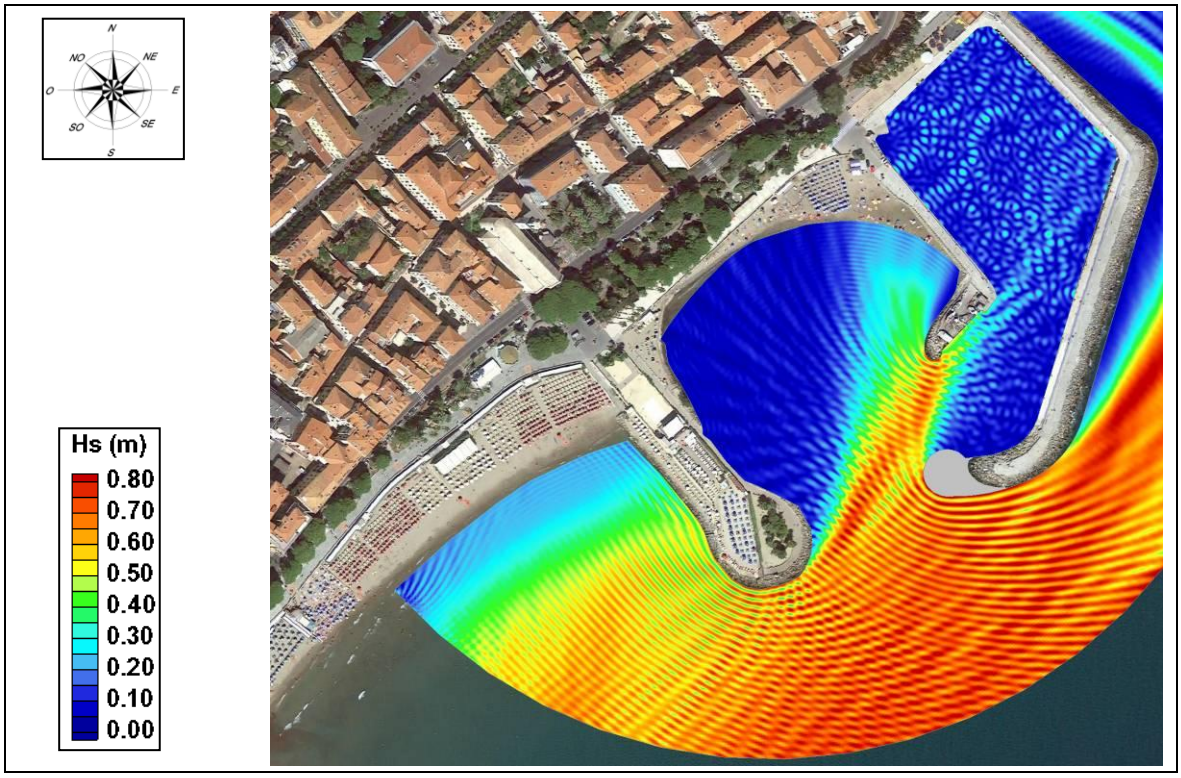


Fig. 11.3 – TEST 3 configurazione di progetto alternativa: caratteristiche della mareggiata in prossimità del porto

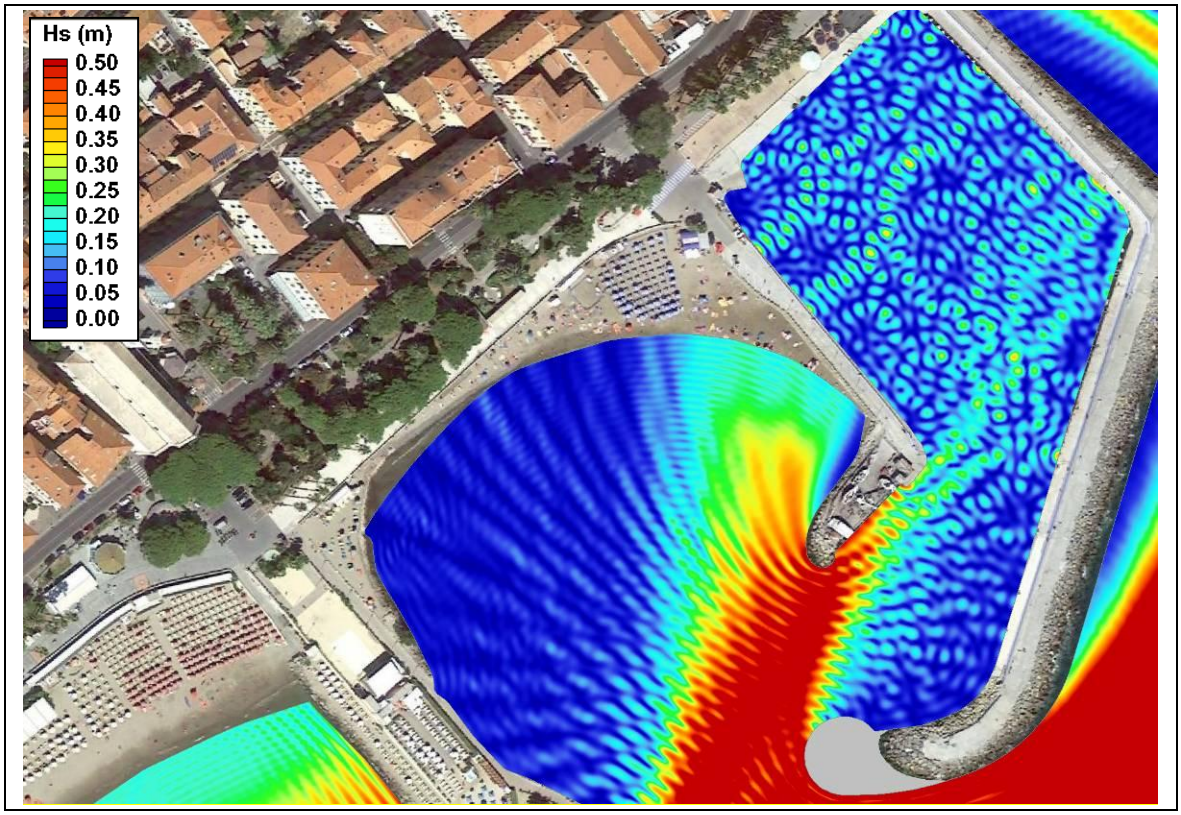


Fig. 11.4 – TEST 3 configurazione di progetto alternativa: agitazione ondosa all'interno del porto

La configurazione alternativa del molo, in grado di limitare ulteriormente la penetrazione del moto ondoso e l'agitazione residua nel bacino portuale (Fig. 11.5), ma, evidentemente, rende meno agevole la manovra di ingresso al porto e l'eventuale incrocio tra imbarcazioni in ingresso e in uscita. Per quanto riguarda le altre mareggiate analizzate per la configurazione di progetto iniziale, è facile inferire che, sotto l'aspetto dell'agitazione interna, la configurazione alternativa è sicuramente migliorativa rispetto alla configurazione attuale e, con ogni probabilità, anche rispetto alla configurazione di progetto iniziale.

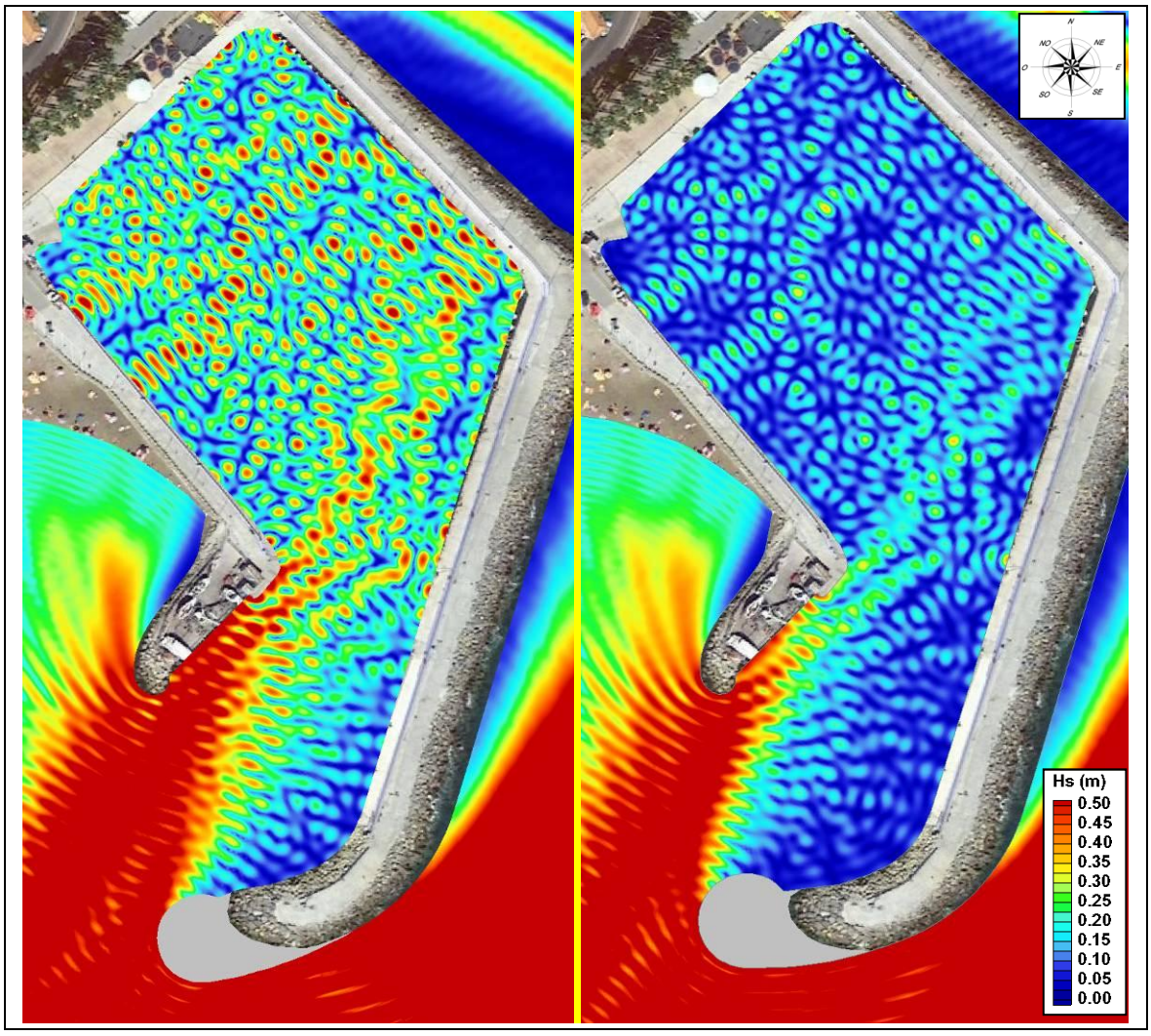


Fig. 11.5 – TEST 3: Caratteristiche mareggiata all'imboccatura: H_S = 0.80 m – DIR = 210 °N – T_{01} = 2.3 s
Agitazione ondosa all'interno del porto: configurazione di progetto (a sinistra) e alternativa (a destra)

Verifica della mantellata della nuova porzione d’opera

FORMULA di HUDSON

NP1896 DIANO MARINA BOCCA PORTUALE

La formula di Hudson e rappresentata dalla seguente espressione

$$W=(Wr/(Sr-1)^{3}*A^{3}/(Kctg@))$$

dove

Wr e' il peso specifico del litotipo usato per la scarpata	= t/mc	2,6	
A e' l'altezza d'onda incidente sull'opera	= m	3,00	(vedi Test 2 tavola 9.6)
ctg@ e' inclinazione scarpata sull'orizzontale	=	2,5	
K e' un coefficiente	K =	2	
		3,96	

volume masso mc. 1,52

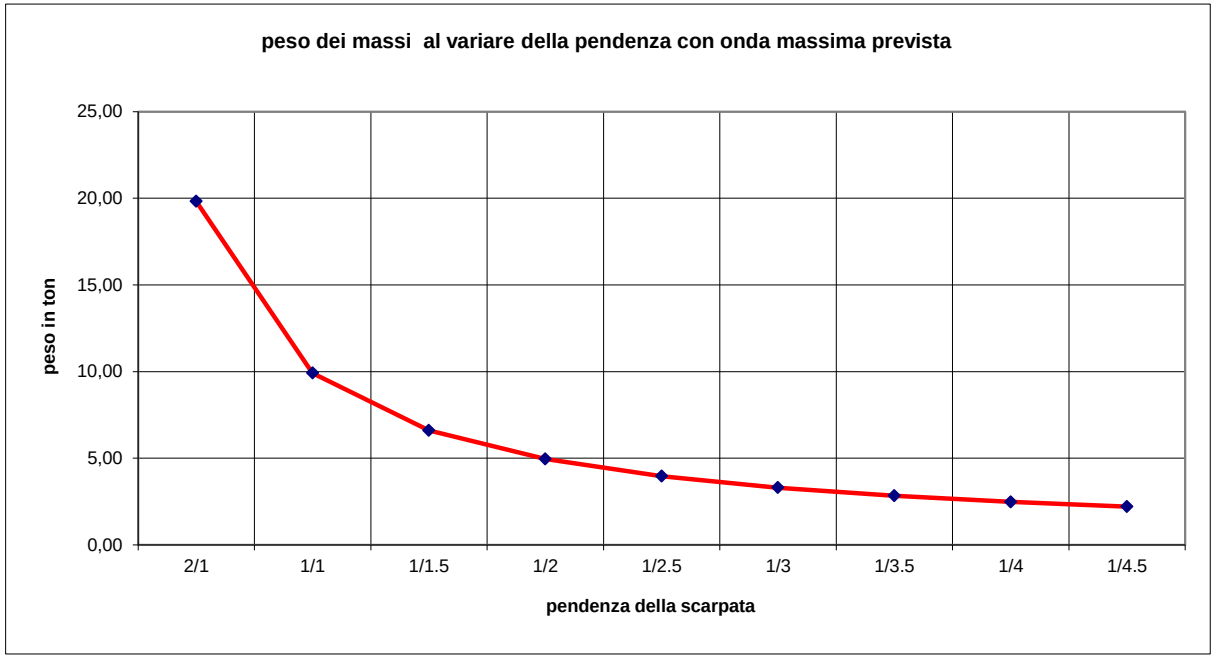
diametro sfera equivalente 1,43

Viene fornita peraltro una tabella di variazione dei valori di W al variare di A e di ctg@

	altezza d' onda incidente														
pendenza	*1,5*	*1,75*	*2*	*2,25*	*2,5*	*2,75*	*3*	*3,25*	*3,5*	*3,75*	*4*	*4,25*	*4,5*	*4,75*	*5*
2/1	2,48	3,93	5,87	8,36	11,47	15,27	19,82	25,20	31,48	38,72	46,99	56,36	66,90	78,68	91,77
1/1	1,24	1,97	2,94	4,18	5,74	7,63	9,91	12,60	15,74	19,36	23,49	28,18	33,45	39,34	45,88
1/1.5	0,83	1,31	1,96	2,79	3,82	5,09	6,61	8,40	10,49	12,91	15,66	18,79	22,30	26,23	30,59
1/2	0,62	0,98	1,47	2,09	2,87	3,82	4,96	6,30	7,87	9,68	11,75	14,09	16,72	19,67	22,94
1/2.5	0,50	0,79	1,17	1,67	2,29	3,05	3,96	5,04	6,30	7,74	9,40	11,27	13,38	15,74	18,35
1/3	0,41	0,66	0,98	1,39	1,91	2,54	3,30	4,20	5,25	6,45	7,83	9,39	11,15	13,11	15,29
1/3.5	0,35	0,56	0,84	1,19	1,64	2,18	2,83	3,60	4,50	5,53	6,71	8,05	9,56	11,24	13,11
1/4	0,31	0,49	0,73	1,05	1,43	1,91	2,48	3,15	3,93	4,84	5,87	7,04	8,36	9,84	11,47
1/4.5	0,28	0,44	0,65	0,93	1,27	1,70	2,20	2,80	3,50	4,30	5,22	6,26	7,43	8,74	10,20
1/5	0,25	0,39	0,59	0,84	1,15	1,53	1,98	2,52	3,15	3,87	4,70	5,64	6,69	7,87	9,18

categorie		
	1[a]	da 50 kg a ton 1
	2[a]	da ton 1.01 a ton 3.0
	3[a]	da ton 3.01 a ton 7.0
	4[a]	oltre 7.01 ton

pendenza	onda incidente prevista *3*
2/1	19,82
1/1	9,91
1/1.5	6,61
1/2	4,96
1/2.5	3,96
1/3	3,30
1/3.5	2,83
1/4	2,48
1/4.5	2,20



Indagini archeologiche

Come evidenziato in premessa le indagini archeologiche cui viene fatto riferimento sono state realizzate nel corso della stesura del progetto di ampliamento del porto di Diano Marina promossa dal Comune di Diano Marina e già oggetto di procedura ex art. D.P.R. 509/97; tale progetto, cui il sottoscritto progettista ha partecipato per quanto riguarda specificatamente le opere marittime, disegna il porto su ampiezze molto più estese dell'attuale configurazione. In particolare, per quanto riguarda l'attuale molo foraneo, ne prevede un prolungamento esposto verso il largo. Peraltro le indagini archeologiche, realizzate dalla ditta CO.L.MAR s.r.l. e commentate dalla dottoressa Valeria Salaris, si sono sviluppate per tutta l'area, che comprende anche quella su cui si vuole modificare (col presente progetto) la bocca portuale. La documentazione è per intero ad atti di tutti gli enti coinvolti dalla procedura ex D.P.R. 509/97. Alle indagini strumentali sono seguite verifiche puntuali delle anomalie rilevate, con le conclusioni che si riportano in corsivo.

"*Le indagini sismiche e di riflessioni acustiche effettuate nell'area in esame con Sub Bottom Profiler, Sonar a scansione laterale e magnetometro hanno evidenziato otto anomalie.*
Durante i rilievi, infatti, tre anomalie sono state identificate come sommerse e cinque di superficie. Per conoscere la natura di tali anomalie e darne una univoca interpretazione è stata effettuata un'ispezione visiva diretta con sommozzatore, in corrispondenza dei vari punti, e relative riprese video, previo scavo con sorbona nel caso di anomalie sommerse. È stata inoltre realizzata una prospezione diretta nella zona di mare non raggiungibile dagli strumenti, precisamente l'area ad ovest.
Tutte le immagini subacquee sopra elencate e il video di ispezione sono presenti in formato digitale nei CD denominati "Verifica delle anomalie sommerse e di superficie" e "Ripresa video costiera superficiale".
Da quanto descritto dagli operatori, dall'analisi delle riprese video e dalle ricognizioni a vista, è risultato che tutte le anomalie sommerse ispezionate (P1, P2, P3) sono costituite da stratificazioni più o meno uniformi di sabbia compattata e alghe morte. Due delle tre anomalie profonde sono state identificate come stratificazioni più o meno uniformi costituite da agglomerati di alghe morte miste a sabbia, mentre la terza, registrata da un segnale più debole, trova probabile giustificazione nella presenza di sabbia con granulometria differente.
La concentrazione di strati di alghe sepolte in determinati punti lascia pensare ad un ammassamento di materiale in depressioni preesistenti, interessati in precedenza dallo sviluppo di rizomi della forma vegetale superiore Posidonia Oceanica.

Le 5 anomalie di superficie ispezionate (S1, S2, B1, B2, B3) sono invece risultate essere costituite da scogli, organismi bentonici, cime flottanti in acqua o legate a corpi morti sommersi e strutture metalliche adagiate sul fondale.

Un dato interessante è il posizionamento delle anomalie B1 e B2, individuate sia dal magnetometro che dal Sub Bottom Profiler, in corrispondenza della foce del torrente Evigno; stando alle fonti orali, infatti, il trasporto in mare dei più svariati detriti durante le piene del corso d'acqua risulta essere un fenomeno conosciuto ed anche in questo caso gli elementi ferrosi riscontrati convalidano tale supposizione.

Oltre a tali oggetti, troviamo in corrispondenza di BI un elemento litico di medie dimensioni e di B2 una cima galleggiante a mezz'acqua.

L'anomalia di superficie S2, invece, addossata al grande molo del porticciolo, è stata attribuita ad un elemento litico di medie dimensioni, con ogni probabilità pertinente alla massicciata del molo stesso e rotolato in mare.

Per quanto riguarda SI, l'unica interpretazione possibile è quella relativa alla presenza di una Alcyonaria sul fondale piatto ed uniforme; lo strumento potrebbe aver letto sia la parte mobile dell'organismo ("tentacoli"), che il suo "zoccolo", costituito da materiale calcareo.

B3 è invece materializzata dalla presenza di un elemento semi-affondante: una cima galleggiante aggrovigliata vincolata al fondo tramite un corpo morto.

Per comodità, si riassumono di seguito le caratteristiche di tutte le anomalie esaminate, dandone l'interpretazione finale.

Nome	***Profondità***	***Interpretazione definitiva***
B1 *(superficiale, da SBP/ magnetometro)*	*4,0 m*	*Elemento litico di medie dimensioni e forma ovale circondato da elementi litici e detriti ferrosi di varia forma*
B2 *(superficiale, da SBP/magnetometro)*	*3,5 m*	*Cima galleggiante a mezz'acqua e relativo gavitello*
B3 *(superficiale, da SBP)*	*2,9 m*	*Cima aggrovigliata parzialmente vincolata al fondo*
S1 *(superficiale, da SSS)*	*6,0 m*	*Alcyonaria, organismo bentonico.*
S2 *(superficiale, da SSS)*	*4,0 m*	*Elemento litico di grosse dimensioni rotolato in mare dalla massicciata del molo.*
P1 *(profonda 0,7 m da SBP)*	*4,5 m*	*Strato compatto di Posidonia Oceanica morta mista a sabbia*
P2 *(profonda 0,5 m da SBP)*	*3,0 m*	*Strato sabbioso a granulometria differente dagli strati superficiali sovrastanti*
P3 *(profonda 0,3 m da SBP)*	*4,0 m*	*Strato di Posidonia e sabbia evidente e fortemente compattato.*

Anche la prospezione a vista eseguita nel tratto di mare ad ovest del porticciolo, di fronte alla spiaggia, non ha portato all'individuazione di alcun tipo di elemento di interesse.

I rilievi sono stati eseguiti utilizzando la strumentazione più idonea, in condizioni meteo sempre favorevoli ed alla presenza costante di un archeologo. Le indagini sono state svolte nel migliore dei modi per quanto concesso dalle condizioni ambientali della zona.

Per quanto riguarda i dati georeferenziati delle anomalie, le specifiche tecniche e le calibrazioni degli strumenti, si rimanda alle relazioni tecniche eseguite dalla ditta CO.L.MAR. S.r.l., paragrafi 1 e 2. I lavori sono stati coordinati da CO.L.MAR., mantenendo uno stretto contatto con la Soprintendenza per i Beni Archeologici della Liguria, nella persona del dott. G.P. Martino.

Durante le indagini in mare ed a terra, condotte nella zona interessata dai lavori con le modalità descritte nel corso della relazione, non è stata rilevata alcuna presenza che lasci sospettare fasi di popolamento o frequentazione antiche.

Per tutte le anomalie esaminate viene infatti esclusa una rilevanza archeologica; ognuna di esse è risultata riferibile, dopo un'accurata ispezione, a materia vegetale, apporti sedimentari di origine naturale o detriti fluviali classificabili come rifiuti di epoca contemporanea. Non si documenta pertanto la presenza di materiale sparso che possa rivestire interesse sotto il profilo archeologico, né sul territorio emerso, né sul fondale marino esaminato.

L'evidenza ricavata dai dati raccolti sul campo è confermata dalla situazione storica e geologica, di cui si sono brevemente tracciate le linee generali, nonché dalle fonti orali."

Indagini geologiche/geotecniche

Anche per gli aspetti geologici/geotecnici il progetto comunale di ampliamento portuale, già oggetto di procedimento ex art. D.P.R. 509/97, ha realizzato approfondimenti strumentali ed indagini. Queste ultime sono state sviluppate in più riprese per quanto riguarda aree latistanti i giardini che separano il porto dalla Via Aurelia. Per i fondali di impianto delle opere marittime invece gli studi sono stati effettuati già in prima battuta. La documentazione è per intero ad atti di tutti gli enti coinvolti dal procedimento ex D.P.R. 509/97.

Per le opere costituenti i nuovi moli veniva indicato che in relazione i valori geo-meccanici ed alla natura granulometrica del fondale, queste possono essere impostate direttamente sul fondale stesso; dalla granulometria e dalle prove SPT eseguite in corrispondenza dell'attuale molo di levante e nello specchio acqueo si ricavano i seguenti valori geo-meccanici compatibili con le opere di progetto:

peso di volume	1,65 t/mc
coesione	0,00 kg/cmq
angolo di attrito	29°
NSPT (fondo marino sabbioso)	5
$Q_{amm} = R_p med/25=$	1,1 kg/cmq

Le caratteristiche del terreno sono del tutto compatibili con l'opera prevista nel progetto di ristrutturazione morfologica della bocca portuale; anche l'osservazione delle opere esistenti (assai simili a quella in progetto) conferma la compatibilità tra le portanze e la stabilità del fondale e le caratteristiche dell'opera. Come di norma i massi saranno impastati sopra un letto di tout – venant, che funga da cuscinetto distributivo tra i carichi puntuali degli scogli e la risposta diffusa del fondale. Considerate le caratteristiche di quest'ultimo, non pare necessario interporre un geotessuto.