



# COMUNE DI CETRARO



## MESSA IN SICUREZZA BACINO E MIGLIORAMENTO FUNZIONALITÀ AREA PORTUALE

### Progetto Esecutivo

#### C – OPERE MARITTIME

**C.01**

### RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

Data:

**06-05-2022**

Scala:

PROGETTAZIONE:



Architetto  
MICHELE GONINO  
Geologo  
CATERINA CUCINOTTA

#### PROJECT MANAGER

ing. Giuseppe Bernardo



#### PROGETTISTI

ing. Giuseppe Bernardo  
arch. Michele Gonino  
ing. Massimo Tondello  
ing. Pasquale Filicetti  
ing. Gianfranco Crudo

#### GEOLOGO

geol. Caterina Cucinotta

#### GRUPPO DI LAVORO

ing. Giuseppe Cutrupi  
ing. Roberta Chiara De Clario  
ing. Simone Fiumara  
arch. Francesca Gangemi  
arch. Emanuela Panarello  
ing. Silvia Beriotto  
ing. Nicola Sguotti

REVISIONI	Rev. n°	Data	Motivazione

R.U.P.

Visti/Approvazioni

ing. F. Antonuccio

Codice elaborato:

DNC120\_PE\_C.01\_2022-05-06\_R0\_RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA\_HSM.docx



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO</b>	<b>5</b>
2.1	<i>FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI</i>	6
<b>3</b>	<b>LIVELLI DI MAREA</b>	<b>8</b>
3.1	<i>DATI DI MAREA</i>	8
3.2	<i>INNALZAMENTO DEL LIVELLO DEL MARE</i>	10
3.3	<i>LIVELLI DI INNALZAMENTO DEL LIVELLO MEDIO MARE AI FINI DEL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE MARITTIME</i>	11
<b>4</b>	<b>MOTO ONDOSO AL LARGO</b>	<b>12</b>
4.1	<i>GENERALITÀ</i>	12
4.2	<i>DATI REGISTRATI DALLA BOA RON DI CETRARO</i>	12
4.3	<i>DATI ACQUISITI DAL DICCA</i>	16
4.4	<i>ANALISI DEGLI EVENTI ESTREMI AL LARGO</i>	20
4.5	<i>CORRELAZIONE TRA ALTEZZA E PERIODO PER GLI EVENTI ESTREMI</i>	23
<b>5</b>	<b>REGIME ANEMOLOGICO</b>	<b>25</b>
5.1	<i>ANALISI DEGLI EVENTI ESTREMI DI VENTO</i>	27
5.2	<i>CURVA DI DURATA DEGLI EVENTI ANEMOLOGICI</i>	29
<b>6</b>	<b>PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA DEL CLIMA ONDOSO</b>	<b>30</b>
6.1	<i>SETTAGGIO DEL MODELLO</i>	30
6.2	<i>CLIMA ONDOSO SOTTOCOSTA</i>	32
<b>7</b>	<b>PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI</b>	<b>35</b>
7.1	<i>DEFINIZIONE DEL TEMPO DI RITORNO PER L'AZIONE IDRAULICO-MARITTIMA</i>	35
7.2	<i>DEFINIZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI PER LO STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA</i>	36
7.3	<i>CARATTERISTICHE DEGLI EVENTI ESTREMI PROPAGATI</i>	36
7.4	<i>SETTAGGIO DEL MODELLO</i>	37
7.5	<i>CARATTERISTICHE LOCALI DELLE MAREGGIATE ESTREME</i>	38
<b>8</b>	<b>ONDE GENERATE DA VENTO PER IL SETTORE DI SCIROCCO</b>	<b>42</b>

8.1	<i>EVENTI ANEMOLOGICI IMPIEGATI NELLO STUDIO DELLA GENERAZIONE</i>	42
8.2	<i>SETTAGGIO DEL MODELLO</i>	43
8.3	<i>CARATTERISTICHE LOCALI DELLE MAREGGIATE GENERATE DA VENTO</i>	44
<b>9</b>	<b>ANALISI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI PER LA RIDUZIONE DELL'AGITAZIONE ONDOSA</b>	<b>46</b>
9.1	<i>SETTAGGIO DEL MODELLO</i>	46
9.2	<i>CARATTERISTICHE DELLE MAREGGIATE ANALIZZATE</i>	55
9.3	<i>RISULTATI DELLO STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA PER LE DIVERSE CONFIGURAZIONI PROGETTUALI ANALIZZATE</i>	56
9.4	<i>ANALISI COMPARATIVA DEI RISULTATI PER LE DIVERSE CONFIGURAZIONI</i>	63
9.5	<i>AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO A SEGUITO DELLA CONFERENZA DEI SERVIZI DEL 25-11-2019 E DEL PARERE DEGLI ENTI COMPETENTI</i>	69
<b>10</b>	<b>DESCRIZIONE DEL LAYOUT PROGETTUALE</b>	<b>72</b>
10.1	<i>CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 2019</i>	72
10.2	<i>CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 2022</i>	73
<b>11</b>	<b>AGITAZIONE INTERNA IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO</b>	<b>74</b>
11.1	<i>CARATTERISTICHE DELLE MAREGGIATE ANALIZZATE</i>	74
11.2	<i>CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 2019</i>	76
11.1	<i>CONFIGURAZIONE DI PROGETTO 2022</i>	86
<b>12</b>	<b>DINAMICA LITORANEA LOCALE</b>	<b>93</b>
12.1	<i>SETTAGGIO DEI MODELLI</i>	93
12.2	<i>PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA DEL MOTO ONDOSO</i>	96
12.4	<i>CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA COSTIERA</i>	98
12.5	<i>TRASPORTO SOLIDO LITORANEO ED EVOLUZIONE DEI FONDALI</i>	101
<b>13</b>	<b>EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEL LITORALE</b>	<b>109</b>

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

---

13.1	<i>RICOSTRUZIONE STORICA</i>	109
13.2	<i>PREMESSA ALLA MODELLAZIONE</i>	113
13.3	<i>PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI SOTTOCOSTA</i>	114
13.4	<i>PROFONDITÀ DI CHIUSURA E ALTEZZA DI SWASH</i>	116
13.5	<i>DATI SEDIMENTOLOGICI</i>	117
13.6	<i>SETTAGGIO DEL MODELLO</i>	120
13.7	<i>TENDENZA EVOLUTIVA DEL LITORALE (SPIAGGIA A SUD DEL PORTO)</i>	122
13.8	<i>TENDENZA EVOLUTIVA DEL LITORALE (SPIAGGIA DI LAMPETIA)</i>	124

**ALLEGATI**

Allegato A: Descrizione dei codici di calcolo

## **1 PREMESSA**

Il presente documento descrive gli studi idraulico-marittimi redatti a supporto del Progetto Esecutivo per la "Messa in sicurezza bacino e miglioramento funzionalità area portuale" del porto di Cetraro.

Il documento riporta i dati di base impiegati per gli studi e le elaborazioni eseguite sulla base di tali dati. La completezza e la qualità dei dati di base costituiscono il presupposto fondamentale per la corretta impostazione della progettazione.

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 Palinuro.

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 ondometrica di Cetraro (Rete Ondometrica Nazionale, attualmente gestita da ISPRA). Tali registrazioni coprono il periodo febbraio 1999 – dicembre 2014, con diverse lacune nella serie temporale. Al fine di integrare tali dati anche nei periodi non coperti dalle registrazioni, nonché 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 1990 a dicembre 2018.

I dati di moto ondoso al largo sono stati utilizzati in relazione alle finalità dello studio: il dimensionamento delle opere previste in progetto, lo studio dell'agitazione ondosa interna al porto, la circolazione idrodinamica e il trasporto solido, l'evoluzione morfologica.

I dati sono stati elaborati per definire il clima ondoso e gli eventi estremi; gli eventi di moto ondoso sono stati quindi propagati per la definizione del clima ondoso locale e per ricavare le caratteristiche sottocosta, in prossimità delle strutture oggetto di intervento.

Al fine di individuare la soluzione ottimale per la riduzione dell'agitazione all'interno del porto di Cetraro, è stato eseguito anche lo studio su modello numerico della penetrazione del moto ondoso; l'analisi è stata condotta per le mareggiate più critiche e per una serie di alternative progettuali. Successivamente, si è proceduto alla verifica dell'agitazione interna per le condizioni individuate nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" (PIANC, 2002). La verifica è stata condotta per la configurazione di progetto ritenuta ottimale.

L'analisi della dinamica litoranea del paraggio su cui insiste il porto di Cetraro, finalizzata alla pianificazione di una strategia di gestione del materiale che attualmente si deposita a monte del molo sopraflutto, è stata eseguita mediante lo studio su modello numerico bidimensionale della circolazione idrodinamica e del trasporto solido. Lo studio è stato condotto per alcune mareggiate rappresentative delle condizioni ondose caratteristiche del sito.

È stato infine condotto lo studio dell'evoluzione morfologica della linea di riva, finalizzato anch'esso all'analisi della dinamica litoranea e alla razionalizzazione della gestione del trasporto solido. Lo studio ha consentito di definire le linee guida per la successiva manutenzione dei fondali.

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

L'area oggetto di studio, collocata nel settore settentrionale del litorale tirrenico della Calabria, ricade nel territorio della provincia di Cosenza.

Il paraggio è caratterizzato da settori di traversia legati prevalentemente dai venti provenienti da Sud, Ovest e Nord-Ovest. Nel dettaglio, la conformazione della costa tirrenica determina la presenza di un settore di traversia complessivo compreso tra  $150^{\circ}\text{N}$  e  $310^{\circ}\text{N}$ , delimitato a Nord da Capo Licosa e a Sud dal litorale di Lamezia Terme (Figura 2.1, a sinistra).

Il settore di traversia principale è quello di Ponente-Maestrale, dal quale provengono gli eventi meteomarini più severi, mentre quello secondario è il Mezzogiorno-Libeccio, in cui gli eventi sono limitati dal fetch compreso tra la Calabria e la Sicilia.

L'area di interesse è il Porto di Cetraro, ubicato immediatamente a Nord di Cetraro, tra il litorale di Lampetia (a Nord) e il litorale di Marina di Cetraro (a Sud).

Considerata l'esposizione dell'imboccatura (rivolta verso SE) si può osservare come il porto risulti direttamente esposto anche al moto ondoso in grado di svilupparsi localmente a margine del settore di traversia secondario, nel fetch compreso tra il porto e la costa di Paola (Figura 2.1, a destra). Si tratta di fondali profondi nei quali l'onda corta generata dal vento si sviluppa risentendo in misura limitata della costa adiacente.

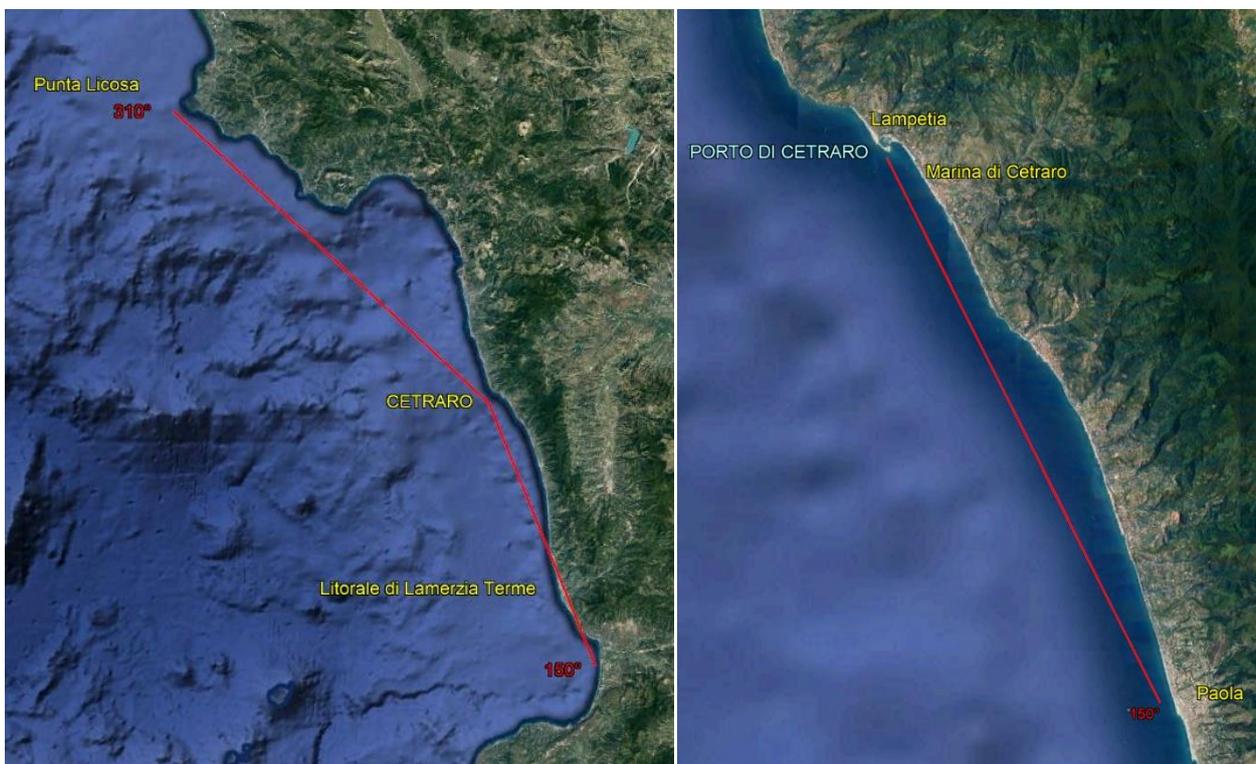


Figura 2.1 Inquadramento geografico del paraggio: settori caratteristici di traversia (a sinistra) e dettaglio dell'immagine satellitare (a destra)

## 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 Figura 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:

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

dove  $F_{eff\varphi}$  rappresenta il fetch efficace nella direzione  $\varphi$ ,  $X_i$  il fetch geografico nella  $i$ -esima direzione e  $\varphi_i$  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 lunghezza massima su cui spira il vento pari a circa 500 km, i fetch geografici ( $X_i$ ) da inserire nel calcolo del fetch efficace sono state limitati con riferimento a tale dimensione. I risultati ottenuti sono rappresentati graficamente nella successiva Figura 2.3.

Si può notare che i massimi fetches si hanno per le direzioni di Ponente, per le quali il fetch efficace è dell'ordine dei 350 km (circa 190 NM), mentre per il settore di Mezzogiorno-Libeccio il fetch efficace è dell'ordine dei 150 km.

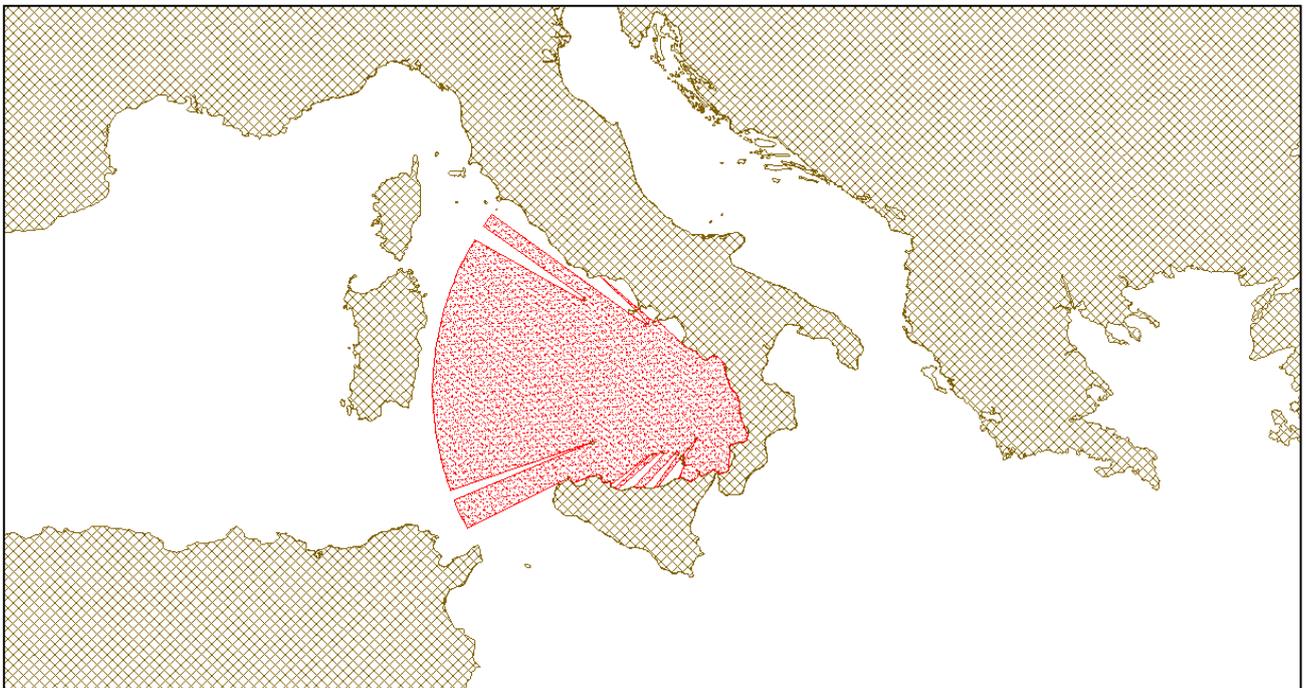
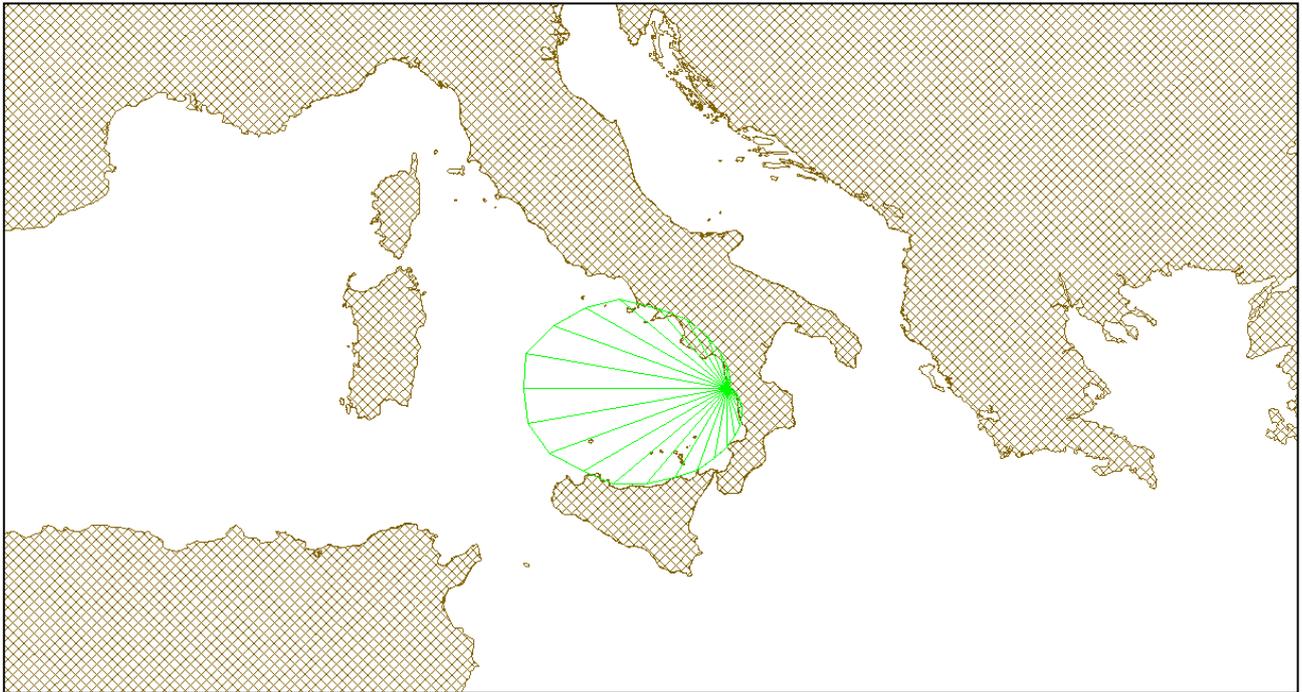


Figura 2.2 Fetch geografici per il paraggio di interesse



**Figura 2.3 Fetch efficaci per il paraggio di interesse**

### 3 LIVELLI DI MAREA

#### 3.1 Dati di marea

I dati di marea sono stati scaricati dal sito dell'APAT ([www.mareografico.it](http://www.mareografico.it)) e si riferiscono alla stazione RMN di Palinuro. Il mareografo si trova alla radice del molo di sopraflutto del porto in corrispondenza del punto di coordinate UTM – ETRF 2000: 4431284.953 Nord, 523462.37 Est (vedi Figura 3.1).

I livelli di marea registrati sono riferiti allo zero dell'I.G.M..

I valori registrati ad intervalli orari si riferiscono al periodo 1° gennaio 2010 – 31 dicembre 2018 (vedi Figura 3.2). Escludendo i due evidenti valori anomali registrati nel 2011 e nel 2014, si osserva che mediamente l'oscillazione di marea è di circa 60 cm e che il livello varia tra +0.3 m s.m.m. e - 0.3 m s.m.m.. Si osserva inoltre che i livelli massimi di marea raggiungono valori dell'ordine dei 50 cm.

Limitando l'osservazione dell'andamento della marea ad un arco temporale di una settimana (vedi Figura 3.3) si può osservare che l'andamento è di tipo semidiurno con due alte maree e due basse maree al giorno.

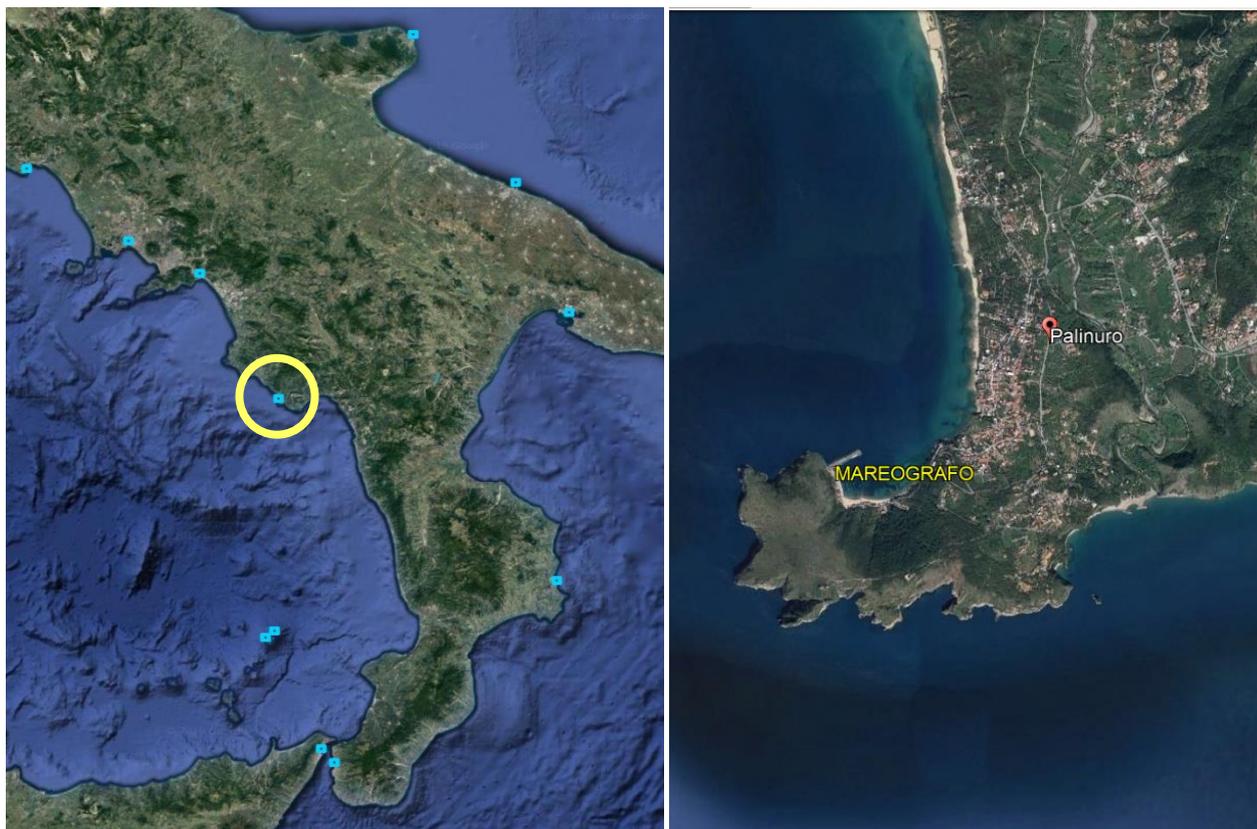
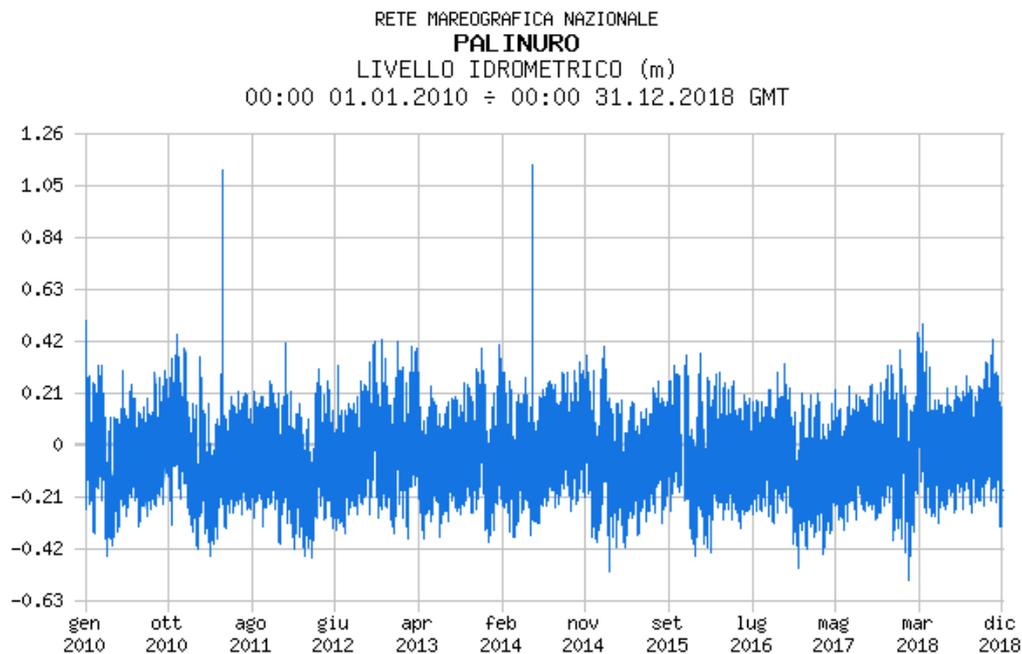
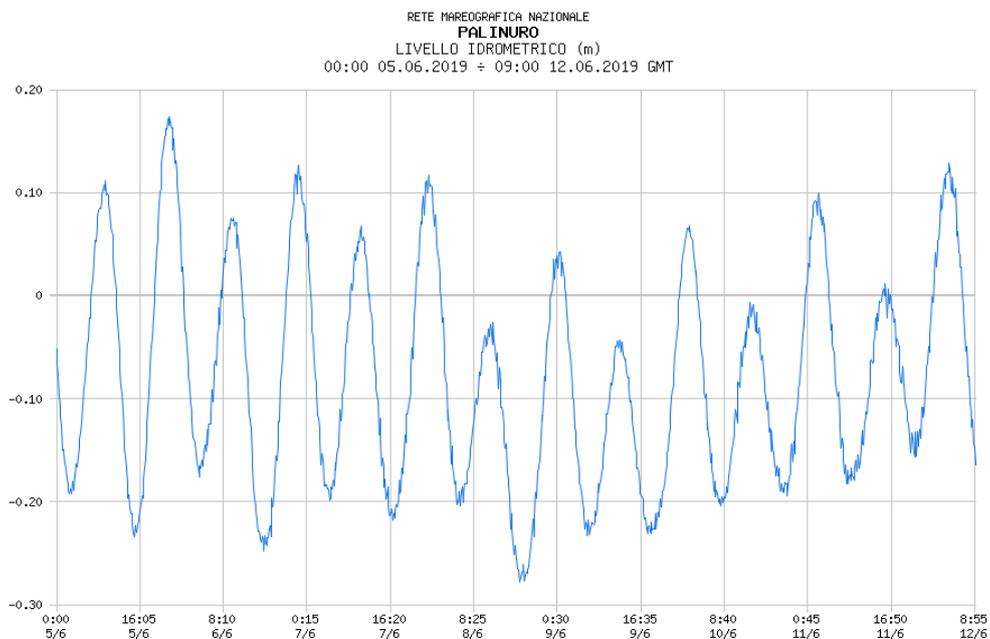


Figura 3.1 Ubicazione stazione RMN di Palinuro



**Figura 3.2 Livello della marea registrata dalla stazione RMN dell'ISPRASita nel porto di Palinuro (periodo gennaio 2010 – dicembre 2018)**



**Figura 3.3 Esempio di andamento semidiurno della marea a Palinuro**

## 3.2 Innalzamento del livello del mare

La comunità scientifica internazionale è pressoché unanimemente concorde nell'affermare che l'incremento dei gas serra sta modificando il clima del pianeta in modo tale da innescare una risalita del livello del mare su scala globale.

Gli scenari individuati dai modelli per l'ultimo decennio sono stati addirittura superati dai fatti: il mare (a livello globale) è risalito con tassi superiori a quanto ci si attendeva qualche anno fa.

In Figura 3.4 sono rappresentati i prevedibili scenari sulla base del rapporto IPCC 2013 e sulla base del trend dei livelli misurati (da dati mareografici o da satellite); i trend tengono conto delle variazioni di livello dovute alla glacio-isostasia.

Dalle figure si può osservare che l'incremento del livello del mare nei prossimi 50 anni (Figura 3.4 Figura 3.3, linea nera) varia da un minimo di 15 cm fino ad un massimo di circa 50 cm per lo scenario peggiore (RCP 8.5), considerando l'estremo della fascia di confidenza.

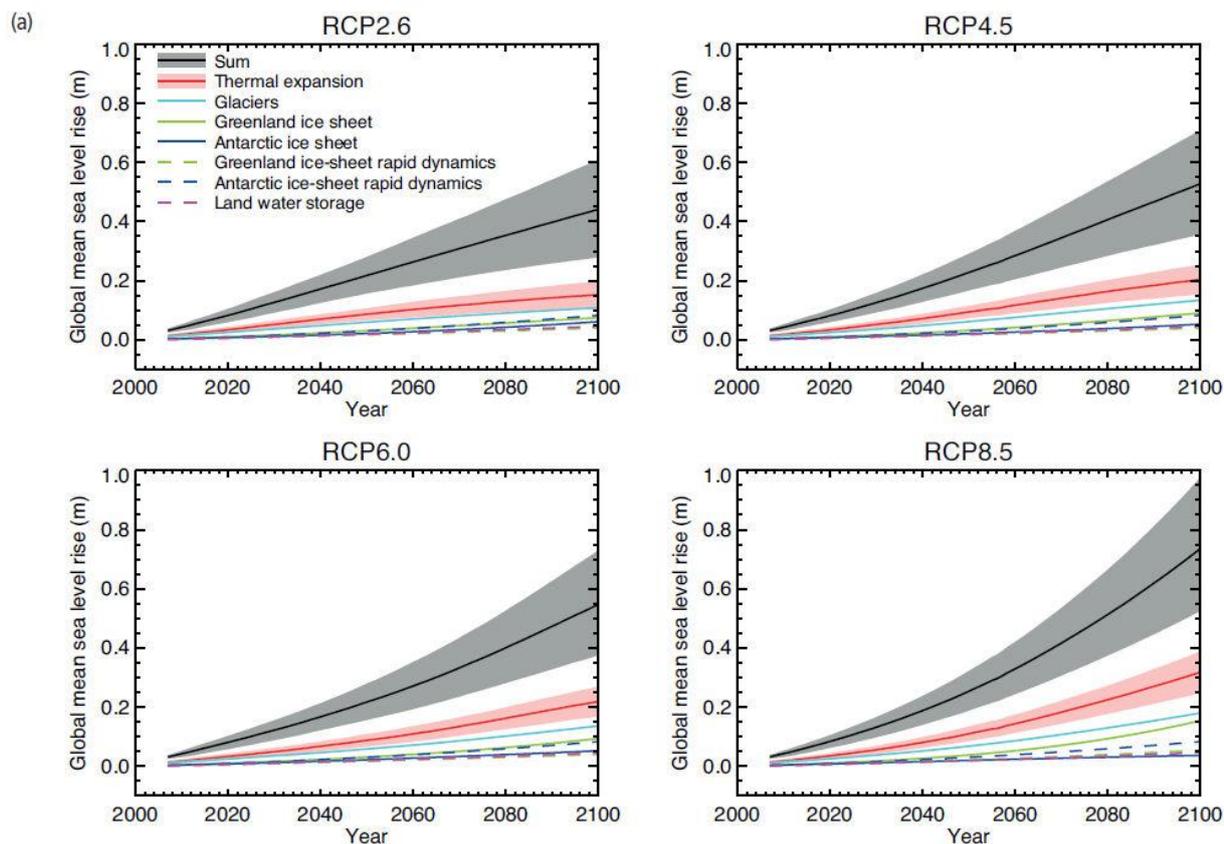


Figura 3.4 Proiezioni del sollevamento del livello marino per i prossimi 100 anni riportate nei rapporti IPCC del 2013, con riferimento ai 4 scenari RCP analizzati ([https://en.wikipedia.org/wiki/Representative\\_Concentration\\_Pathways](https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathways))

### **3.3 Livelli di innalzamento del livello medio mare ai fini del dimensionamento delle opere marittime**

Riassumendo quanto riportato nei paragrafi precedenti, tre sono le componenti da tenere in considerazione durante la progettazione:

- l'innalzamento del livello in condizioni di tempesta (storm surge);
- il sovrizzo dovuto alla marea;
- la proiezione dell'incremento del livello del mare dovuto al cambiamento climatico (Sea Level Rise).

Per quanto concerne il primo aspetto, i sofisticati modelli numerici utilizzati per la propagazione del moto ondoso sono in grado di tenere conto di tale tipo di innalzamento, per cui i valori di altezza d'onda estratti dal modello contengono in sé questo tipo di informazione.

Per quanto riguarda invece la marea, in progetto si è tenuto conto dei dati scaricati dal sito dell'APAT riferiti alla stazione RMN di Palinuro, da cui si evince che i livelli massimi di marea raggiungono **valori dell'ordine dei 50 cm**.

Infine, relativamente all'innalzamento del livello medio mare dovuto al cambiamento climatico, a vantaggio di sicurezza in progetto si è considerato il massimo livello di incremento stimato, assumendo un **Sea Level Rise pari a 50 cm**.

## 4 MOTO ONDO SO AL LARGO

### 4.1 Generalità

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 ondometrica di Cetraro. Tali registrazioni coprono il periodo febbraio 1999 – dicembre 2014 con diverse lacune di registrazione.

Al fine di integrare tali dati anche nei periodi non coperti dalle registrazioni, nonché 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 una rianalisi delle condizioni meteomarine estesa da gennaio 1990 a dicembre 2018.

### 4.2 Dati registrati dalla Boa RON di Cetraro

I dati utilizzati nello studio sono stati scaricati dal sito ufficiale dell'APAT (<http://dati.isprambiente.it>) e si riferiscono alla boa ondometrica di Cetraro. La boa è ubicata al largo della costa tirrenica della Calabria, in corrispondenza del punto di coordinate geografiche 15°55'4.80" E, 39°27'10.80" N, su un fondale di circa 100 m (Figura 4.1).

La Rete Ondometrica Nazionale è stata installata sotto la tutela della Direzione Generale delle Opere Marittime del Ministero dei Lavori Pubblici nel Giugno 1989.



Figura 4.1 Ubicazione della boa di Cetraro

Durante il periodo 1989-2002 (periodo I) la RON ha funzionato con due diversi regimi operativi: nei periodi in cui lo strumento misurava altezze significative inferiori ad un livello di soglia fissato, la stazione registrava solo i dati con cadenza trioraria, mentre quando le misure superavano il livello di soglia, l'acquisizione diventava continua e i dati venivano registrati con cadenza semioraria.

Grazie all'evoluzione dei sistemi di elaborazione, trasmissione ed archiviazione dei dati, il nuovo sistema di misura della RON opera dal 2002 (periodo II) esclusivamente in modalità continua. Questo permette di acquisire informazioni continue su base semioraria con due vantaggi principali: il primo è che facilita enormemente l'analisi statistica dell'insieme dei dati rispetto al caso di dati cronologicamente disomogenei, il secondo è che si possono studiare con migliore attenzione le fasi crescenti e decrescenti delle mareggiate ed i fenomeni ondosi associati a periodi più lunghi in assenza di onde di vento.

Per quanto riguarda la stazione di Cetraro il periodo I va dal 28 febbraio 1999 (data di inizio dei rilevamenti) all'8 febbraio 2002, mentre il periodo II va dall'8 febbraio 2002 al dicembre 2014.

Il clima ondoso al largo, riferito alla boa di Cetraro, è stato ricostruito sulla base dei dati ufficialmente validati dall'APAT. I dati validati si riferiscono al periodo febbraio 1999 – dicembre 2003. Le registrazioni sono state acquisite su base trioraria nel periodo febbraio 1999 – dicembre 2001, e su base 30 minuti nel periodo gennaio 2001- dicembre 2014. Complessivamente le registrazioni attese, avrebbero dovuto essere pari a 247.395. I dati registrati dalla boa sono stati invece 162.094, per cui risultano 85.301 dati mancanti, pari a circa il 34.4% del totale atteso. L'intera serie degli eventi di moto ondoso è riportata nella successiva Figura 4.2.

I dati sono stati rielaborati in forma tabellare (Tabella 4.1), in cui le registrazioni sono ordinate per classi di altezza significativa, direzione di provenienza e periodo. Le classi di direzione di provenienza hanno ampiezza di 10°, mentre quelle di altezza significativa ( $H_{m0}$ ) hanno intervalli di ampiezza 0.5 m.

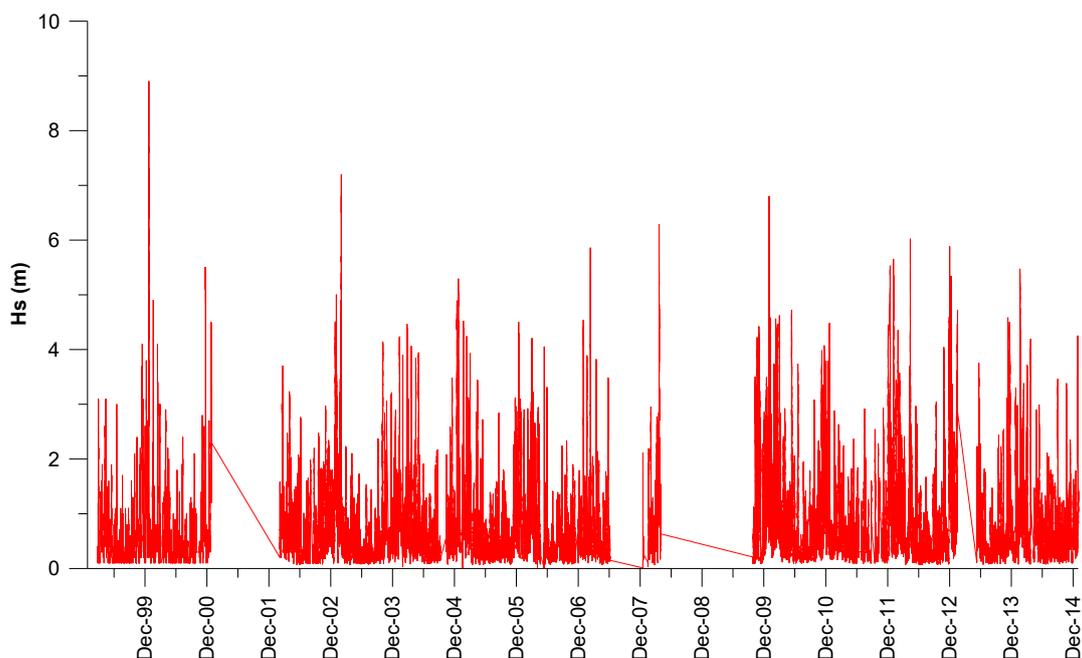


Figura 4.2 Eventi di moto ondoso registrati dalla boa di Cetraro

**Tabella 4.1 RegISTRAZIONI ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza  
(in parti per 162451) – Boa RON**

		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	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
(°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	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
0	10	262	142	14	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	300	196	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	403	291	16	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	561	518	25	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	706	1007	161	31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	60	1067	1841	414	81	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	70	855	1139	177	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	80	563	372	24	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	90	330	192	24	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	10	238	117	19	12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	11	212	91	17	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	12	185	66	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	13	187	89	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	14	147	87	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	15	182	76	0	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	16	223	132	9	5	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	17	263	225	52	12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	18	495	460	172	31	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	19	1408	1112	292	40	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	20	2244	2033	541	77	13	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	21	2207	1629	409	56	11	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	22	2103	959	312	67	16	23	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	23	2140	893	290	103	38	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	24	2867	1195	430	180	92	25	5	9	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	25	4701	2651	1452	781	429	217	90	55	18	3	3	1	0	0	0	0	0	0
25	26	9172	6953	3945	2070	1209	618	406	243	166	56	43	12	2	0	0	0	0	0
26	27	1336	8948	4724	2331	1315	568	328	173	80	39	19	11	3	6	2	0	0	0
27	28	1253	6290	2868	1317	758	391	216	133	66	37	13	8	1	1	1	4	0	0
28	29	8704	4270	1710	798	393	177	71	38	28	19	27	10	7	1	2	5	1	2
29	30	4705	1939	750	221	73	28	9	6	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0
30	31	2209	735	246	73	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	32	1073	453	86	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	33	519	230	21	4	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	34	362	150	17	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	35	298	148	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	36	291	162	22	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

Sulla base dei dati riportati nella precedente tabella sono state ricostruite la rosa delle registrazioni (Figura 4.3, in blu), la rosa delle energie (Figura 4.3, in rosso) e la rosa delle altezze massime (Figura 4.3, in verde).

Dall'analisi delle rose delle energie e delle registrazioni, si osserva la netta prevalenza delle mareggiate provenienti dal settore di Ponente (250-300°N). Dalla rosa delle altezze massime si può individuare un settore principale compreso indicativamente tra 220° e 300°N e uno secondario compreso tra 150° e 220°N. I valori massimi di altezza d'onda sono dell'ordine dei 9 m e provengono da Ponente (285°N).

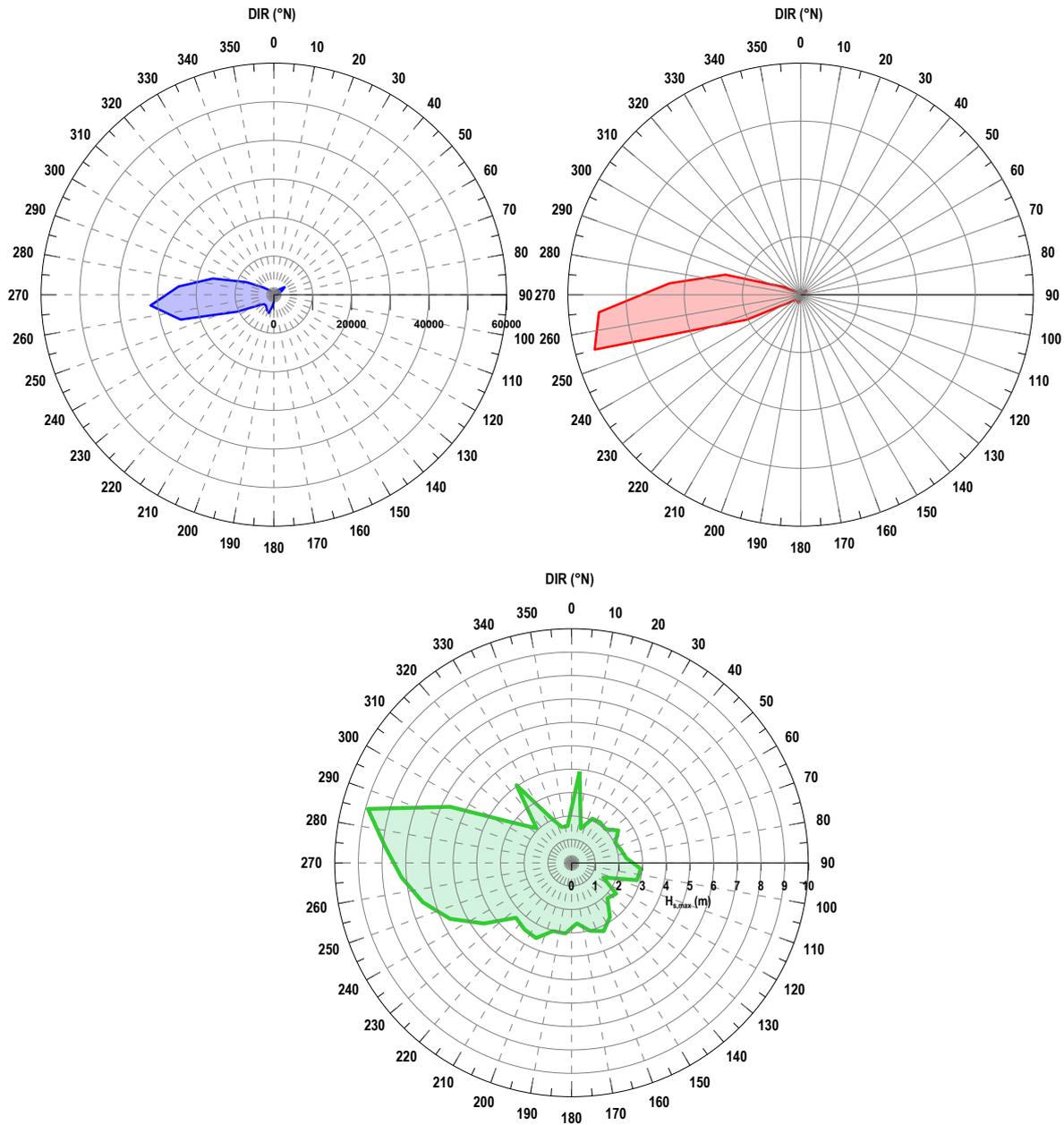


Figura 4.3 Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) Boia di Cetraro

### 4.3 Dati acquisiti dal DICCA

I dati 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 forniti dal DICCA dell'Università di Genova derivano da una rianalisi 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 WaveWatch III, versione 3.14 (Komen et al., 1994; Tolman, 2009), anch'esso con risoluzione spaziale di 10 km e temporale di 1 ora (Figura 4.4).

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  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , su 37 livelli di pressione. Il modello WAVEWATCH III™ (Tolman 1997 1999a, 2009) utilizzato per la generazione del moto ondoso è un modello di terza generazione sviluppato al NOAA / NCEP sulla base del modello WAM (WAMDIG 1988, Komen et al. 1994). Si tratta di un ulteriore sviluppo del modello WAVEWATCH, sviluppato presso la Delft University of Technology (Tolman 1989 1991a) e WAVEWATCH II, sviluppato alla NASA, Goddard Space Flight Center (Tolman 1992).

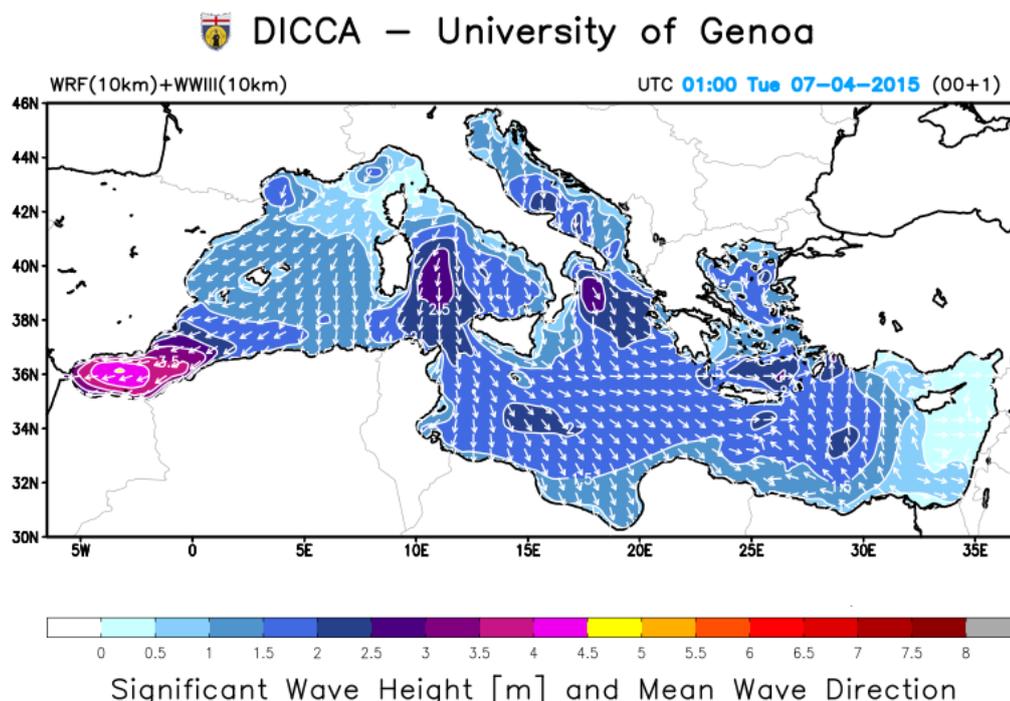


Figura 4.4 Dominio del modello di generazione tipo WaveWatch III per l'area del Mediterraneo

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

---

I dati di moto ondoso forniti dall'Università di Genova si riferiscono al punto ("UNIGE") di coordinate 15°52'26.4"E, 39°27'00"N (cfr. Figura 4.5), posizionato nelle vicinanze della boa RON di Cetraro.

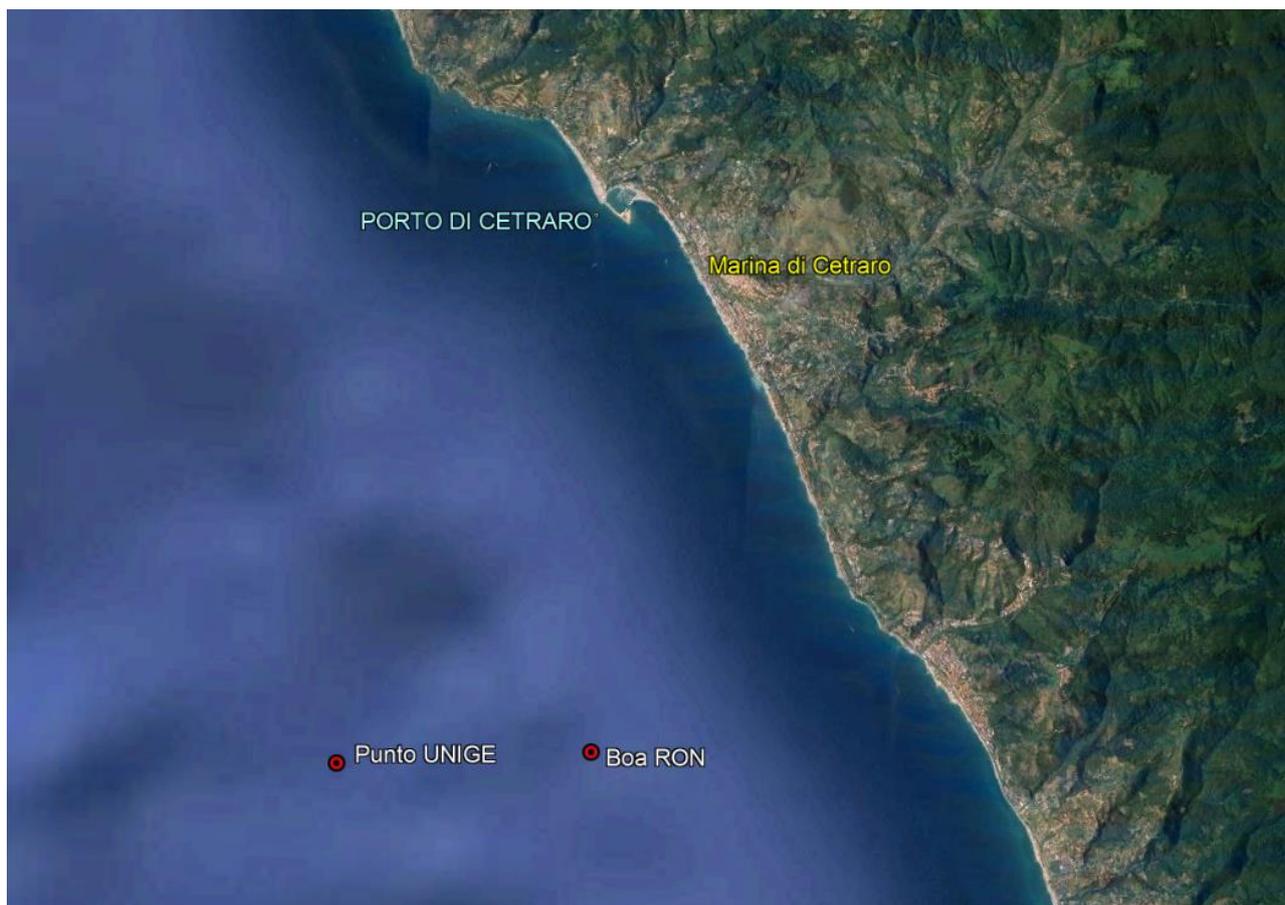
Nella successiva tabella (Tabella 4.2) sono riportate le caratteristiche delle onde "al largo"; i dati del clima ondoso al largo sono stati ordinati per classi di altezza significativa e direzione media di provenienza. Il numero di registrazioni si riferisce al totale della "registrazioni" (254.208) nel periodo di analisi (da gennaio 1990 a dicembre 2018).

In Figura 4.6 vengono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze significative massime al largo.

Si può notare che analogamente a quanto osservato per i dati della Boa RON gli eventi con percentuale di apparizione più elevata appartengono al settore di Ponente.

Anche gli eventi caratterizzati da maggiore energia sono quelli compresi nel settore 250÷300°N e presentano un picco di energia in corrispondenza della direzione di provenienza 265°N.

Le mareggiate caratterizzate dai valori massimi di altezza significativa sono quelle provenienti da Ponente (275°N), per le quali si raggiungono valori di  $H_s$  prossimi agli 8 m (valori leggermente inferiori a quelli rilevati dalla Boa RON). Per il settore di Mezzogiorno si osservano valori massimi di altezza significativa superiori ai 4 m.



**Figura 4.5 Posizione del punto (UNIGE, 15°52'26.4"E, 39°27'00"N) cui si riferiscono i dati di moto ondoso dell'Università di Genova e della Boa RON**

**Tabella 4.2**Registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza  
(in parti per 254'208) - Punto UNIGE (15°52'26.4"E, 39°27'00"N)

		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	6.5	7.0	7.5	8.0
(°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	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
0	10	247	196	57	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	261	209	82	10	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	286	279	113	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	363	354	193	50	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	504	667	386	145	48	7	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	60	919	1989	1842	953	303	117	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	70	2085	5270	3002	1201	350	99	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	80	1966	2281	917	407	104	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	90	728	627	186	33	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	100	355	273	98	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	110	209	207	73	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	120	172	184	68	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	130	175	212	59	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	140	178	206	93	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	150	222	231	114	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	160	246	352	379	179	71	20	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	354	689	635	313	130	23	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	706	853	618	251	57	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	190	1005	1054	482	175	54	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
190	200	1924	1536	633	216	32	7	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
200	210	2550	1958	829	189	54	9	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	220	2274	1494	667	226	69	8	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	230	2311	1482	633	230	82	28	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	240	2554	1541	659	293	121	54	11	13	6	0	0	0	0	0	0	0	0
240	250	3935	2499	1176	635	238	101	71	40	22	8	3	0	0	0	0	0	0
250	260	12070	7265	3852	2211	1138	560	317	191	107	69	23	0	0	0	0	0	0
260	270	19314	15096	7834	3941	2109	1139	589	313	202	97	55	14	2	1	1	0	0
270	280	19505	13459	6308	2715	1284	691	468	194	136	47	11	12	4	2	3	2	0
280	290	18149	7916	3007	1235	567	269	162	97	61	20	4	13	5	0	0	0	0
290	300	9738	2726	984	373	158	103	24	18	10	5	1	3	1	0	0	0	0
300	310	2327	1199	479	274	141	37	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
310	320	1019	684	277	157	49	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	330	647	398	173	33	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	340	448	288	110	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	350	281	225	67	15	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	360	266	202	60	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

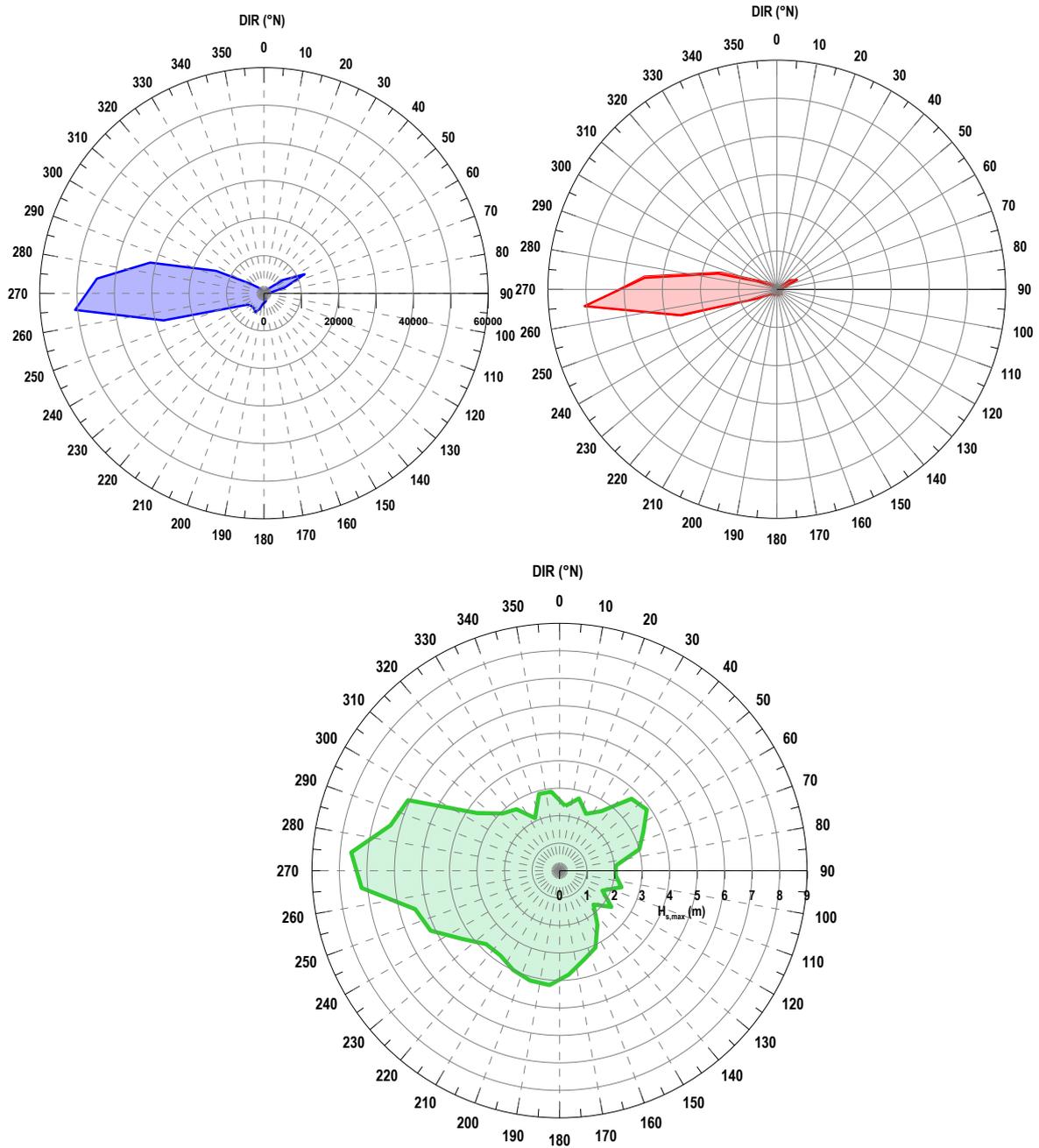


Figura 4.6 Rosa delle registrazioni (in blu), delle energie (rosso) e delle altezze massime (verde) Punto UNIGE

#### 4.4 Analisi degli eventi estremi al largo

Per l'elaborazione degli eventi estremi al largo si è scelto di far riferimento ai dati di moto ondoso registrati dalla Boa RON in quanto presentano valori massimi di altezza d'onda leggermente superiori a quelli del punto UNIGE.

Al fine di poter disporre di una serie storica completa ed estesa, i dati registrati dalla Boa sono stati integrati con i dati forniti dal DICCA. In questo modo è stato possibile ottenere una serie storica completa da gennaio 1990 a dicembre 2018.

A partire dalla serie storica così ricavata si è quindi proceduto all'individuazione degli eventi massimi annui. Considerate le caratteristiche del moto 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: 150°÷220°N e 220°÷330°N.

Di seguito in Tabella 4.3 e Tabella 4.4 vengono riportati gli eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica disponibile, rispettivamente per il settore 150°÷220°N e 220°÷330°N.

**Tabella 4.3 Eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica – Settore 150-220°N**

ANNO	Settore 150°÷220°N					
	Mese	Giorno	Ora	Hs (m)	Tp (s)	DIR
1990	12	10	2	2.94	7.40	183.70
1991	11	24	8	4.18	8.30	186.50
1992	3	26	7	3.37	7.30	164.20
1993	10	2	16	2.37	7.30	187.00
1994	4	10	19	2.37	7.10	211.10
1995	12	31	17	2.11	6.70	213.50
1996	2	20	8	2.20	6.80	216.70
1997	12	20	6	2.41	6.80	185.40
1998	3	24	19	2.31	7.30	181.70
1999	2	10	15	2.36	7.20	218.20
2000	4	4	21	2.00	6.70	205.00
2001	11	11	14	2.60	6.80	171.30
2002	6	6	12	1.90	11.10	217.00
2003	1	8	23	3.55	7.69	209.00
2004	12	26	18	3.01	7.40	211.90
2005	2	22	8	1.92	6.30	212.50
2006	4	12	4	2.60	7.70	170.80
2007	2	9	17	1.67	6.70	215.80
2008	11	28	16	3.20	7.30	163.20
2009	3	6	11	3.15	7.00	212.50
2010	3	10	1	2.39	7.40	200.40
2011	3	16	23	1.92	6.90	193.50
2012	2	4	5	2.45	6.50	210.20
2013	3	6	12	2.83	7.00	160.90
2014	12	28	2	1.86	5.00	210.70
2015	10	10	7	2.51	6.50	152.50
2016	2	28	16	3.09	7.20	157.40
2017	12	27	23	2.80	7.90	217.90
2018	10	29	15	2.89	6.90	160.80

Tabella 4.4 Eventi massimi annuali ricavati dalla serie storica – Settore 220-330°N

ANNO	Settore 220°÷330°N					
	Mese	Giorno	Ora	Hs (m)	Tp (s)	DIR
1990	12	13	18	5.17	10.90	248.10
1991	12	21	9	6.07	10.90	293.50
1992	12	6	13	5.40	11.50	266.40
1993	12	27	14	4.34	11.20	270.80
1994	1	1	23	6.24	11.40	282.50
1995	3	30	6	5.35	10.20	277.10
1996	12	1	1	4.67	10.20	266.80
1997	12	3	21	5.82	11.30	272.30
1998	5	4	21	4.20	10.30	253.90
1999	12	28	23	8.90	13.30	281.00
2000	11	27	6	5.50	11.10	288.00
2001	2	26	18	4.85	9.90	274.80
2002	2	24	18	3.70	10.50	267.00
2003	2	5	9	7.20	11.80	263.00
2004	12	27	8	5.29	11.10	254.40
2005	1	26	7	4.52	10.00	240.00
2006	3	6	14	4.20	11.80	250.60
2007	2	13	10	5.86	10.50	270.40
2008	3	25	1	6.28	11.10	253.20
2009	1	25	12	5.15	12.50	259.00
2010	1	2	7	6.80	11.10	262.30
2011	12	17	15	5.53	11.10	284.00
2012	4	14	14	6.02	10.00	270.60
2013	1	18	2	4.72	11.10	257.90
2014	1	21	7	5.47	11.10	252.70
2015	1	30	14	5.06	10.60	250.70
2016	1	3	17	3.60	8.90	272.30
2017	12	28	18	5.46	11.50	268.10
2018	11	27	11	5.04	11.00	259.50

Nella successiva Figura 4.7 si riporta graficamente la distribuzione degli eventi massimi annuali individuati per i due settori, in funzione della direzione di provenienza.

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 da gennaio 1990 a dicembre 2018. L'analisi statistica è stata condotta utilizzando il metodo sviluppato da Gumbel.

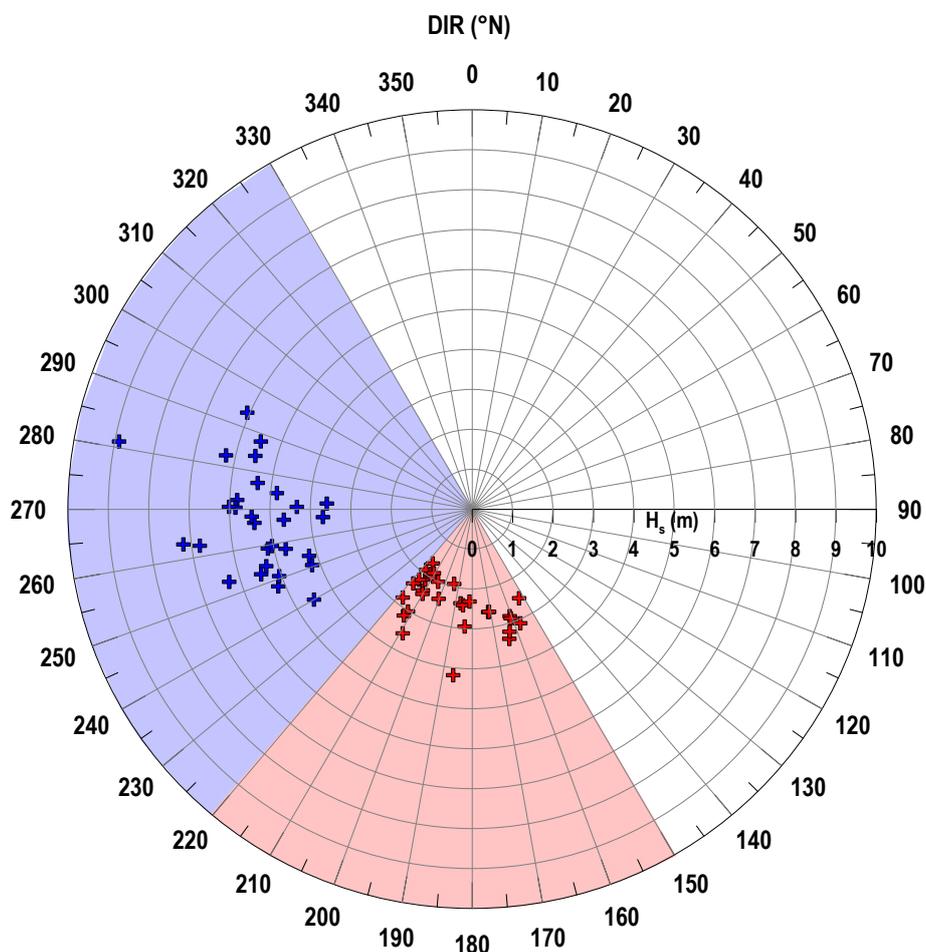


Figura 4.7 Distribuzione degli eventi estremi considerati nell'analisi di Gumbel

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

Tabella 4.5 Risultati statistica degli estremi

T <sub>R</sub> (anni)	Settore 150°÷220°N	Settore 220°÷330°N
	H <sub>s</sub> (m)	H <sub>s</sub> (m)
1	1.32	3.03
5	3.08	6.32
10	3.46	7.04
50	4.30	8.62

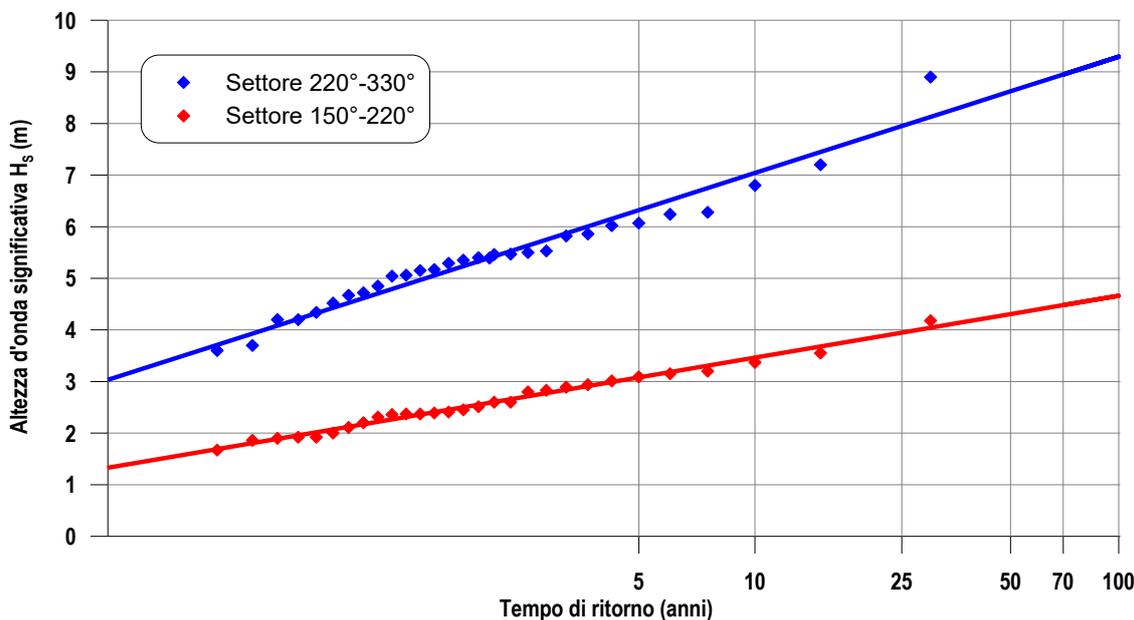


Figura 4.8 Statistica degli estremi

### 4.5 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 1990 - 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 Figura 4.9 e Figura 4.10.

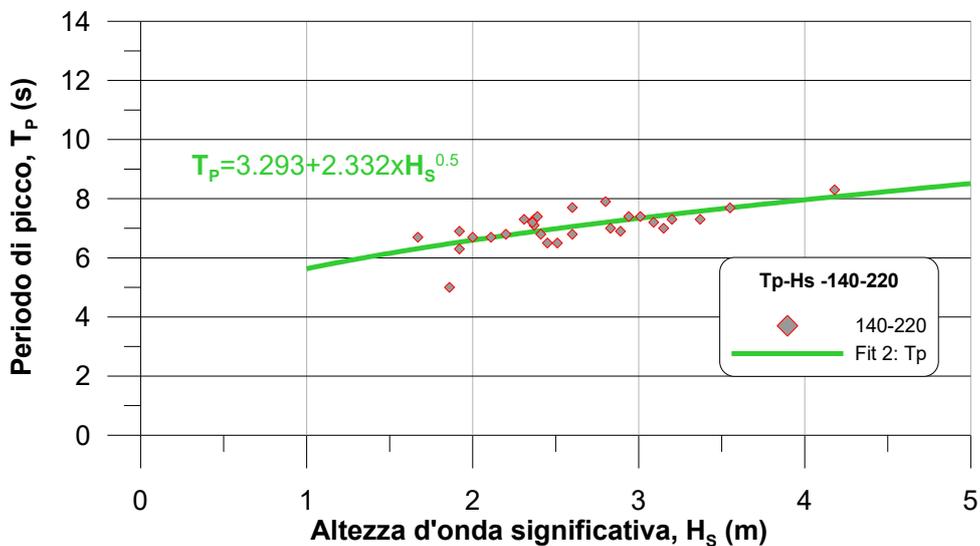


Figura 4.9 Correlazione  $H_s$ -  $T_P$  per gli eventi estremi nel settore 150-220°N

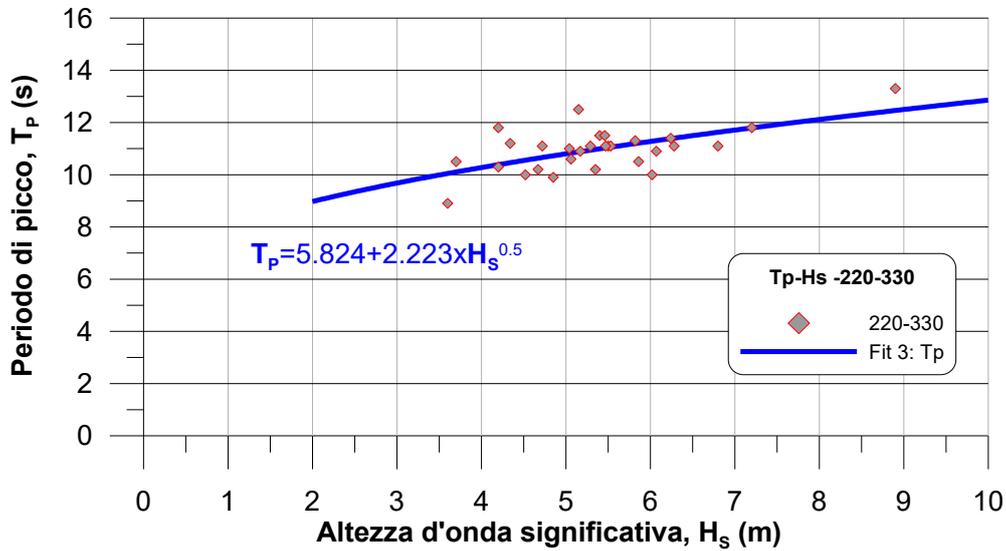


Figura 4.10 Correlazione  $H_s$ -  $T_P$  per gli eventi estremi nel settore 220-330°N

Utilizzando le correlazioni ricavate dall'interpolazione dei dati di base, è stato possibile associare a ciascun evento estremo il corrispondente periodo di picco  $T_P$  (Tabella 4.6).

Tabella 4.6Eventi estremi al largo

$T_R$ (anni)	Settore 150°÷220°N		Settore 220°÷330°N	
	$H_s$ (m)	$T_P$ (m)	$H_s$ (m)	$T_P$ (m)
1	1.32	6.0	3.03	9.7
5	3.08	7.4	6.32	11.4
10	3.46	7.6	7.04	11.7
50	4.30	8.1	8.62	12.4

## 5 REGIME ANEMOLOGICO

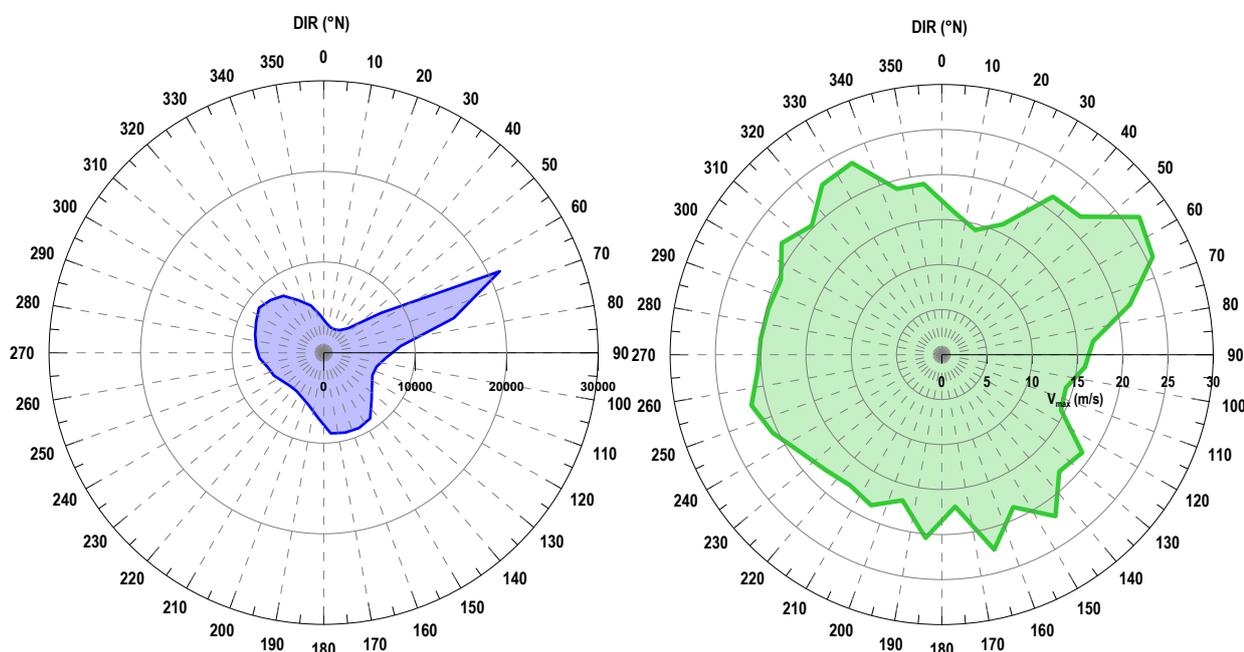
I dati di vento ricavabili dalle registrazioni della stazione RMN di Palinuro non risultano rappresentativi del paraggio di Cetraro. Per tale motivo, al fine di poter analizzare il regime anemologico caratteristico del paraggio (regime anemologico locale), si è scelto di elaborare i dati di vento della serie storica acquisita dall'Università di Genova e riferiti al punto UNIGE.

Nella successiva tabella (Tabella 5.1) sono riportate le caratteristiche del regime anemologico riferito al punto UNIGE; i dati di vento sono stati ordinati per classi di velocità e direzione media di provenienza. Il numero di registrazioni si riferisce al totale della "registrazioni" (254.208) nel periodo di analisi (da gennaio 1990 a dicembre 2018).

In Figura 5.1 sono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni e delle velocità massime del vento per il paraggio di Cetraro.

Si può notare che i venti regnanti provengono da Greco – Levante, ma si osservano frequenze di apparizione elevate anche per eventi di Scirocco-Mezzogiorno e di Maestrale.

In termini di velocità massime, si osserva che per quasi tutte le direzioni vengono raggiunti e superati i 20 m/s. Solo per la direzione di Greco-Levante, tuttavia, si osservano valori superiori ai 25 m/s.



**Figura 5.1 Rosa delle registrazioni anemometriche (a sx, in blu) e delle velocità massime del vento (a dx, in verde) [Punto UNIGE]**

**Tabella 5.1** RegISTRAZIONI ordinate per velocità del vento e direzione di provenienza  
(registrazioni sul totale di 254.208) - Punto UNIGE (15°52'26.4"E, 39°27'00"N)

DIR (°N)		Velocità vento (m/s)													
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0
0	10	1012	1187	593	286	120	62	25	4	0	0	0	0	0	0
10	20	948	1007	544	244	108	42	7	1	0	0	0	0	0	0
20	30	961	947	537	236	104	36	10	3	0	0	0	0	0	0
30	40	941	971	629	278	119	63	22	5	0	0	1	0	0	0
40	50	989	1037	785	512	242	124	67	32	15	14	3	0	0	0
50	60	1028	1163	1050	1114	1015	784	554	378	267	145	76	26	8	3
60	70	1112	1351	1669	2664	3971	4189	303	176	891	411	146	29	6	0
70	80	1119	1725	2274	4154	3235	1442	525	186	44	12	5	0	0	0
80	90	1222	1994	2551	2125	444	104	28	1	1	0	0	0	0	0
90	100	1375	2357	2046	764	203	53	12	2	0	0	0	0	0	0
100	110	1459	2548	1326	422	171	48	8	2	0	0	0	0	0	0
110	120	1483	2745	1018	362	195	69	6	2	0	0	0	0	0	0
120	130	1645	2923	1060	379	264	117	48	11	1	1	0	0	0	0
130	140	1702	3094	1308	559	340	220	115	50	25	3	0	0	0	0
140	150	1744	3372	1677	875	482	350	210	104	33	11	2	0	0	0
150	160	1754	3375	1802	1086	626	314	137	57	16	2	0	0	0	0
160	170	1814	3320	1956	1134	595	216	72	25	3	0	0	1	0	0
170	180	2222	3324	1737	966	457	156	50	21	2	0	0	0	0	0
180	190	1727	2838	1320	716	338	163	62	22	5	0	1	0	0	0
190	200	1736	2430	927	545	277	104	36	10	1	0	0	0	0	0
200	210	1693	2097	839	452	228	115	37	18	2	1	0	0	0	0
210	220	1633	1852	780	433	226	142	53	39	6	0	0	0	0	0
220	230	1531	1715	793	516	320	175	99	27	12	2	0	0	0	0
230	240	1465	1618	843	666	431	278	130	39	6	1	0	0	0	0
240	250	1486	1694	861	764	584	353	182	50	13	2	1	0	0	0
250	260	1446	1776	942	817	631	386	204	74	25	0	2	0	0	0
260	270	1511	1988	1112	907	666	454	245	105	33	8	2	0	0	0
270	280	1366	2176	1323	1056	700	430	235	83	23	9	1	0	0	0
280	290	1486	2364	1442	1143	668	373	185	60	21	5	0	0	0	0
290	300	1465	2696	1732	1224	560	284	106	47	15	2	0	0	0	0
300	310	1468	2879	2035	1300	577	212	111	24	10	4	1	0	0	0
310	320	1402	2955	1973	1117	446	189	94	16	7	2	2	0	0	0
320	330	1383	2799	1872	888	364	202	112	18	14	4	0	1	0	0
330	340	1197	2289	1410	711	324	222	154	39	9	2	2	1	0	0
340	350	1233	1780	1091	625	336	180	103	25	8	1	0	0	0	0
350	360	1041	1458	851	464	257	128	46	11	1	0	0	0	0	0

## 5.1 Analisi degli eventi estremi di vento

Come anticipato nel precedente paragrafo 2, l'orientazione del Porto di Cetraro espone l'imboccatura al moto ondoso in grado di generarsi lungo il pur ridotto fetch di Scirocco (direzione NNW-SSE) tra il porto e il litorale di Paola.

Per questo motivo si è deciso di condurre un'analisi separata per studiare anche le mareggiate in grado di generarsi per eventi anemologici intensi lungo il fetch di Scirocco ( $150^\circ$  N). A questo scopo è stata eseguita una analisi degli eventi estremi di vento limitatamente al settore SE-SSE.

A partire dalla serie storica, si è quindi proceduto all'individuazione degli eventi estremi annuali con riferimento al settore  $135^\circ \div 165^\circ$  N. Nella successiva Figura 5.2 si riporta graficamente la distribuzione degli eventi estremi annuali individuati per il settore, in funzione della direzione di provenienza.

Utilizzando le altezze significative massime relative a ciascun anno di osservazione, è stata condotta una statistica degli eventi estremi di vento, per il settore individuato, per il periodo da gennaio 1990 a dicembre 2018. L'analisi statistica è stata condotta utilizzando il metodo di Gumbel.

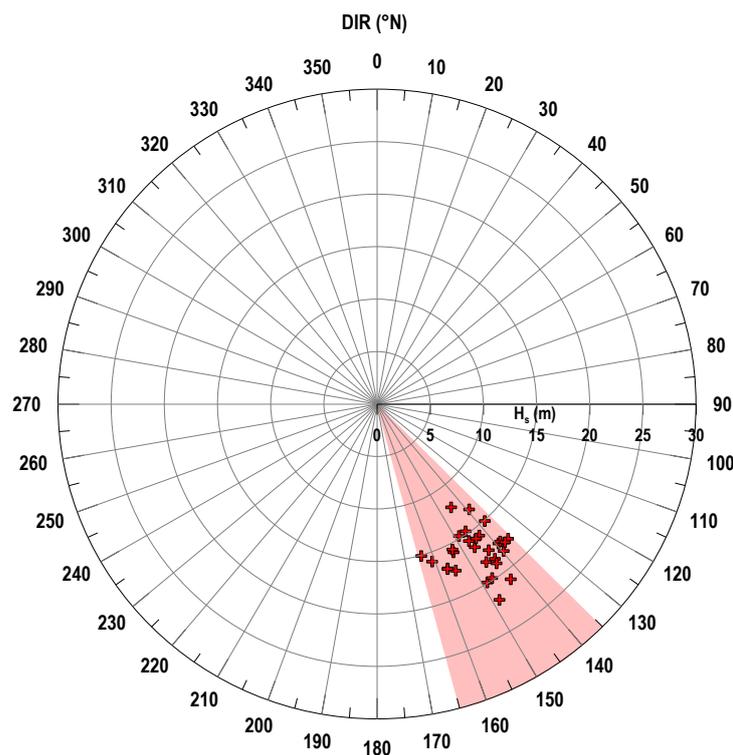


Figura 5.2 Distribuzione degli eventi estremi annuali di vento considerati nell'analisi di Gumbel

Nella Figura 5.3 sono riportati i risultati delle elaborazioni statistiche, ottenuti utilizzando il metodo di Gumbel per il settore considerato, mentre nella successiva Tabella 5.2 sono riportati i valori di estremi di velocità del vento ricavati dall'analisi statistica in funzione del tempo di ritorno.

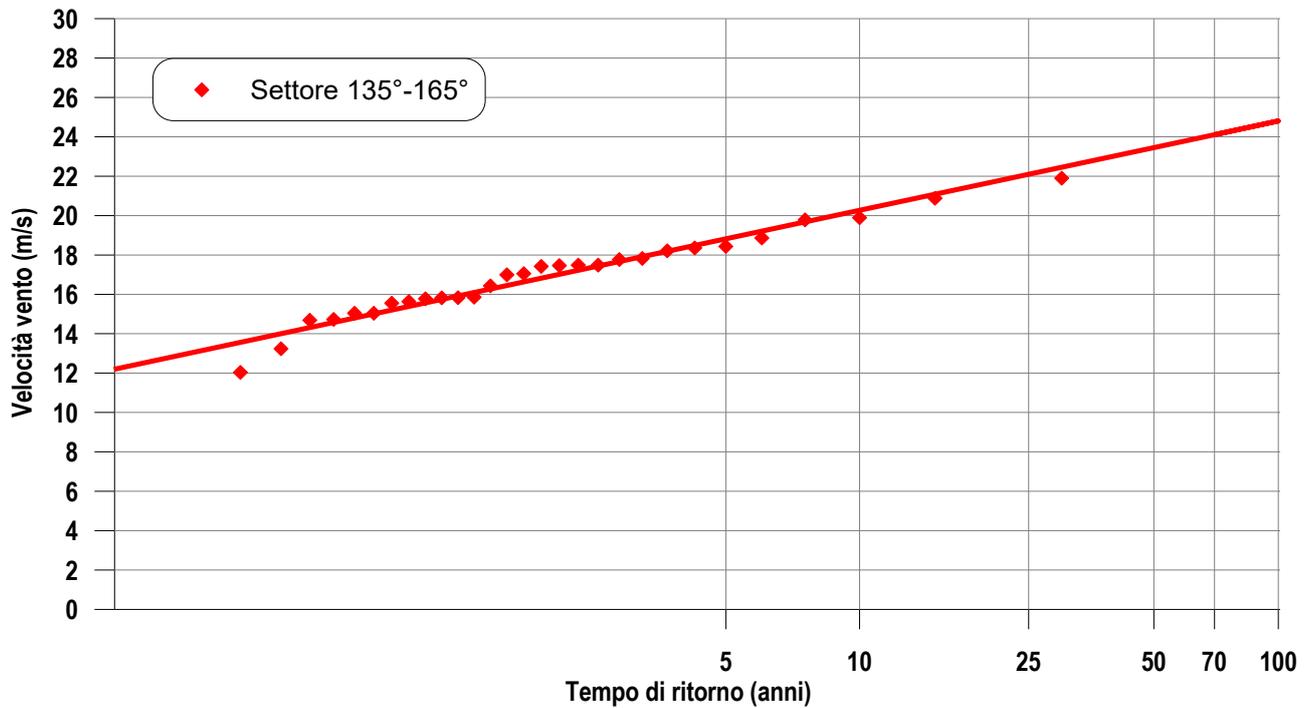


Figura 5.3 Statistica degli estremi

Tabella 5.2 Risultati statistica degli estremi

T <sub>R</sub> (anni)	Settore 135°÷165°N
	Velocità del vento (m/s)
1	12.18
5	18.81
10	20.26
50	23.45

## 5.2 Curva di durata degli eventi anemologici

A partire dai dati anemologici ricavati dalla serie storica del DICCA è stato inoltre possibile ricavare la curva di durata per il settore di Scirocco.

Tale analisi è stata eseguita propedeuticamente alla fase di analisi della generazione delle mareggiate dovute ad eventi anemologici intensi (cfr. successivo paragrafo 8).

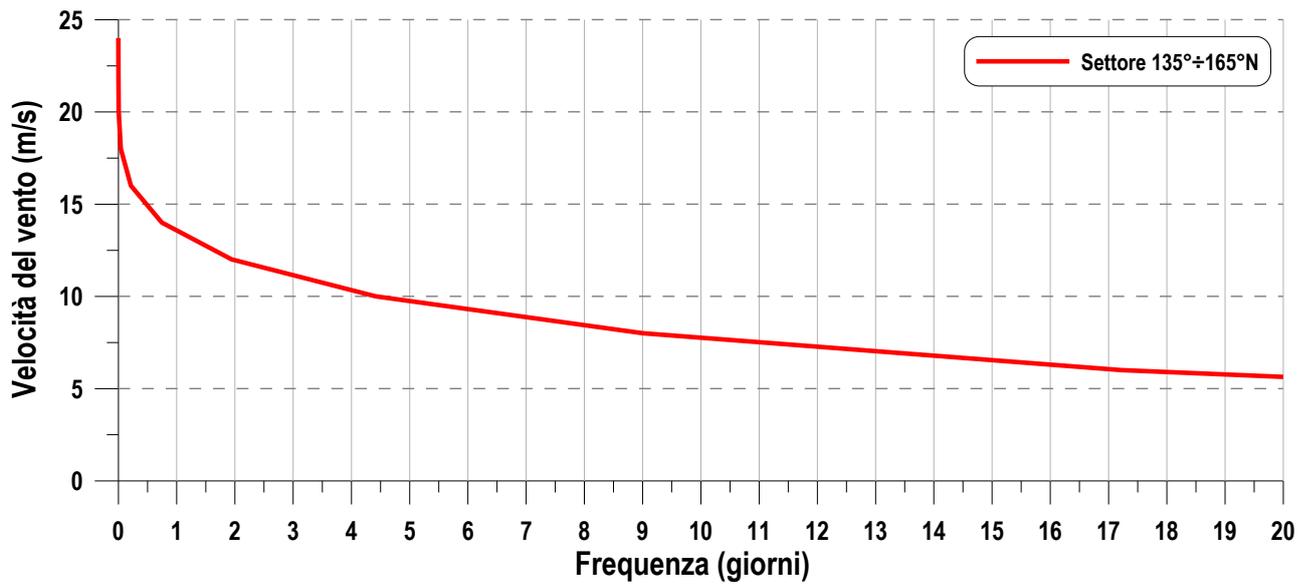


Figura 5.4 Curva di durata degli eventi anemologici per il settore 135-165°N

## **6 PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA DEL CLIMA ONDOSONO**

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati dello studio finalizzato alla definizione delle condizioni locali del clima ondoso; lo studio è stato condotto con l'ausilio di specifica modellistica numerica.

Il clima ondoso al largo, analizzato nel precedente paragrafo 4, è stato propagato in corrispondenza di un punto posto di fronte al paraggio. Tale punto, più vicino a riva e posto su un fondale poco profondo, è stato utilizzato come input per i successivi studi di agitazione interna (codice di calcolo CGWAVE), circolazione idrodinamica e trasporto solido (CMS-Wave E CMS-Flow), ed evoluzione morfologica della spiaggia (GENESIS).

Nel dettaglio, si è scelto di propagare il clima ondoso medio annuo riferito al punto UNIGE, in quanto ottenuto da una serie storica completa e più estesa rispetto ai dati registrati dalla Boa RON.

### **6.1 Settaggio del modello**

La propagazione del clima ondoso, condotta mediante il modello numerico STWAVE, descritto in dettaglio nell'Allegato A, è stata basata sulla batimetria del paraggio ricavata in base alle carte nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina e al rilievo locale di dettaglio di Maggio 2019.

Considerando la conformazione e il settore di traversia del paraggio, si è scelto di propagare solo gli eventi ondosi provenienti dal II, III e IV quadrante, limitando il settore analizzato tra  $140^\circ$  e  $330^\circ$ N. Al fine di poter definire il clima ondoso sottocosta, sono stati quindi propagati gli eventi ondosi provenienti da tale settore (cfr. precedente Tabella 4.2); il dominio di calcolo è stato discretizzato attraverso due griglie con maglia ortogonale a celle quadrate di passo 20 m. Le due griglie impiegate risultano sovrapposte, ma con orientamento ottimizzato in funzione delle mareggiate da propagare (Figura 6.1).

La prima griglia è stata orientata in modo tale da propagare al suo interno gli eventi del II e III quadrante (settore  $140^\circ$ ÷ $225^\circ$ N); ha origine nel punto di coordinate 583250.0 m E; 4369490.0 N (UTM 33N – Datum WGS84, vertice in basso a destra di Figura 6.1), dimensioni 8'500 x 9'800 m e inclinazione di  $90^\circ$  rispetto all'asse WE. Per le propagazioni eseguite su questa griglia, la mareggiata è stata generata dal bordo inferiore (rosso).

La seconda, con lati paralleli agli assi cartesiani, è stata utilizzata per propagare gli eventi provenienti dal III e del IV quadrante (settore  $225^\circ$ ÷ $330^\circ$ N); ha origine nel punto di coordinate 573450.0 E; 4369490.0 m N (vertice in basso a sinistra di Figura 6.1) e dimensioni 9'800 x 8'500 m. Per le propagazioni eseguite con questa griglia, la mareggiata è stata generata dal bordo laterale sinistro (giallo).

I parametri significativi del moto ondoso sono stati rappresentati nel modello STWAVE con uno spettro bidimensionale di tipo JONSWAP avente fattore di picco ( $\gamma$ ) e "spreading" direzionale (nn) desunti dalla ripidità dell'onda. Lo spettro è stato discretizzato in 35 frequenze e 36 direzioni (equispaziate di  $10^\circ$ ). 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.

Il punto di output del clima locale (punto P – posto di fronte al porto di Cetraro) si trova su un fondale di circa 50 m, in corrispondenza del punto di coordinate 577791.0 m EST, 4374367.0 m NORD. Le coordinate del punto P e dell'origine delle griglie di calcolo sono pure espresse nel sistema di riferimento UTM 33N – Datum WGS84.

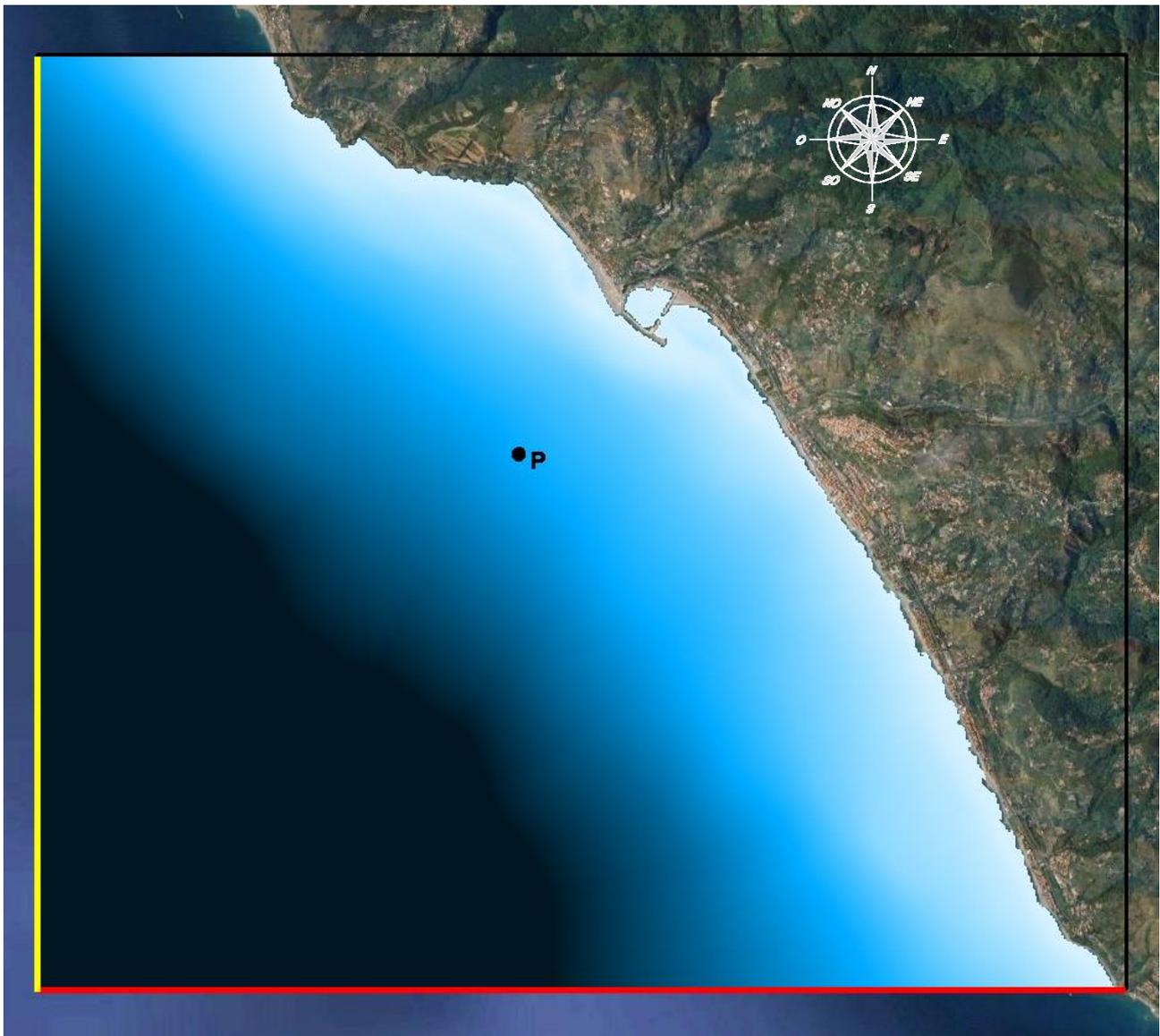


Figura 6.1- Griglie e dominio di calcolo impiegati per lo studio della propagazione del clima ondoso

## 6.2 Clima ondoso sottocosta

Nel presente paragrafo sono riassunti i risultati della propagazione del clima ondoso dal punto UNIGE al largo al punto P, posto di fronte al paraggio di interesse su un fondale di circa 50 m. Il clima nel punto P antistante il porto di Cetraro è stato ottenuto attraverso una serie di simulazioni numeriche condotte con il codice di calcolo STWAVE: il clima al largo (relativo al settore 140÷330°N) è stato discretizzato per classi di altezza significativa e direzione di provenienza (vedi precedente Tabella 4.2).

Nella successiva Tabella 6.1 si riporta l'elaborazione dei risultati della propagazione del clima dal punto UNIGE al largo al punto P. Il clima locale è stato ricostruito ordinando i risultati delle propagazioni per classi di altezza significativa e di direzione locale di provenienza. Utilizzando le corrispondenze tra i risultati delle simulazioni (clima locale) e quelli relativi al clima nel punto UNIGE al largo (cfr. Tabella 4.2), è stato possibile associare a ciascun evento nel punto P una percentuale di apparizione (vedi Tabella 6.1) e, quindi, ricostruire le rose delle registrazioni e delle energie sottocosta.

Di seguito, in Figura 6.2, Figura 6.3 e Figura 6.4, si riportano graficamente i risultati delle elaborazioni del clima di moto ondoso locale; in particolare, sono rappresentate le rose delle registrazioni (in blu), delle energie (in rosso) e delle altezze massime (in verde). Dall'analisi della rosa delle registrazioni e, soprattutto, di quella delle energie, si osserva che l'energia è concentrata nel settore di Ponente (con picco a 265°N). Le mareggiate con altezze massime che raggiungono i 7 m provengono sempre da Ponente (265°N); per i rimanenti settori, le altezze massime risultano inferiori a 5 m. A partire dai dati disponibili è stata infine ricostruita la curva di durata, che consente di mettere in relazione le caratteristiche di un evento con la sua durata media annuale (Figura 6.5). Si può osservare come l'altezza significativa di 2.0 m, nel punto P, venga superata per circa 18 giorni all'anno.

**Tabella 6.1 - Registrazioni di moto ondoso nel punto P ordinate per altezza e direzione (in parti per 254'208)**

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	6.0	6.5
150	160	222	345	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	170	600	352	379	250	20	4	0	0	0	0	0	0	0	0
170	180	706	1542	1253	564	187	39	1	1	0	0	0	0	0	0
180	190	1005	1054	482	175	54	7	0	0	1	0	0	0	0	0
190	200	1924	1536	633	216	32	7	9	0	1	0	0	0	0	0
200	210	2550	1958	829	189	54	9	2	2	0	0	0	0	0	0
210	220	2274	1494	667	226	69	8	4	1	0	0	0	0	0	0
220	230	2311	1482	633	230	82	28	7	3	0	0	0	0	0	0
230	240	2554	1541	659	293	121	54	11	13	6	0	0	0	0	0
240	250	3935	2499	1176	635	238	101	71	40	22	8	3	0	0	0
250	260	12070	7265	3852	2211	1138	560	317	191	107	69	23	0	0	0
260	270	19314	15096	7834	3941	2109	1139	589	449	249	163	26	6	3	6
270	280	19505	13459	9315	3950	1851	1122	565	255	20	4	18	0	0	0
280	290	27887	10642	984	531	103	24	18	15	1	3	1	0	0	0
290	300	2327	1476	910	190	55	6	0	0	0	0	0	0	0	0
300	310	2064	857	38	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

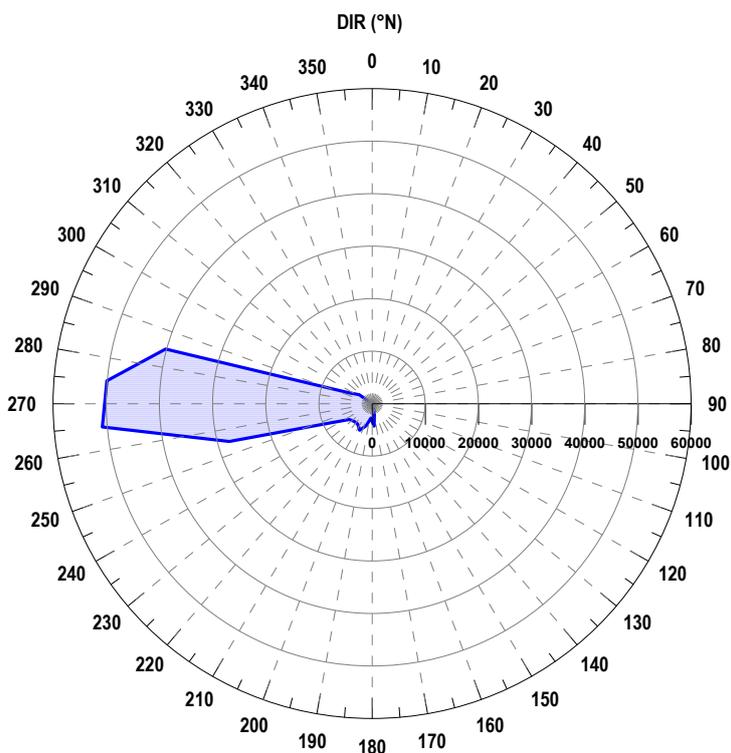


Figura 6.2 - Rosa delle registrazioni nel punto P

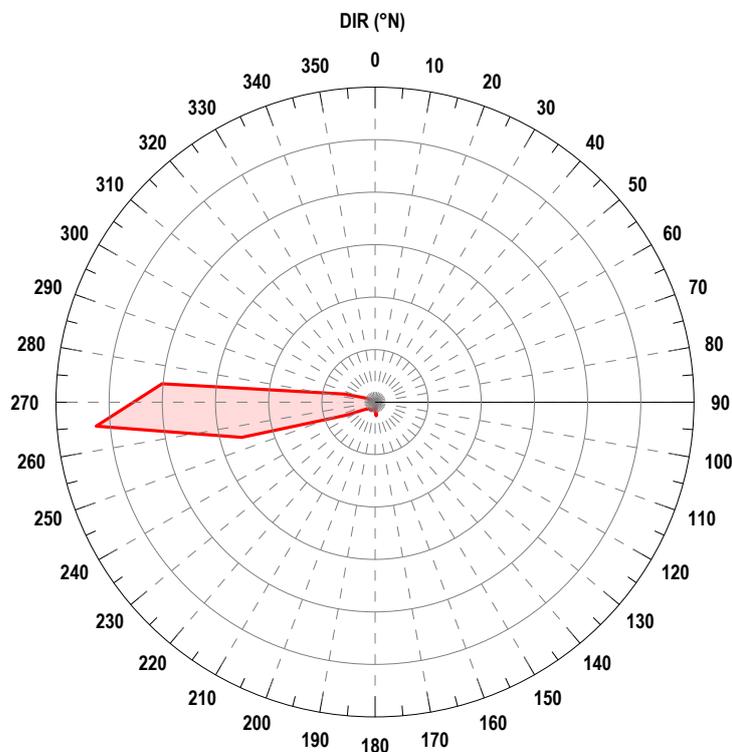


Figura 6.3 - Rosa delle energie nel punto P

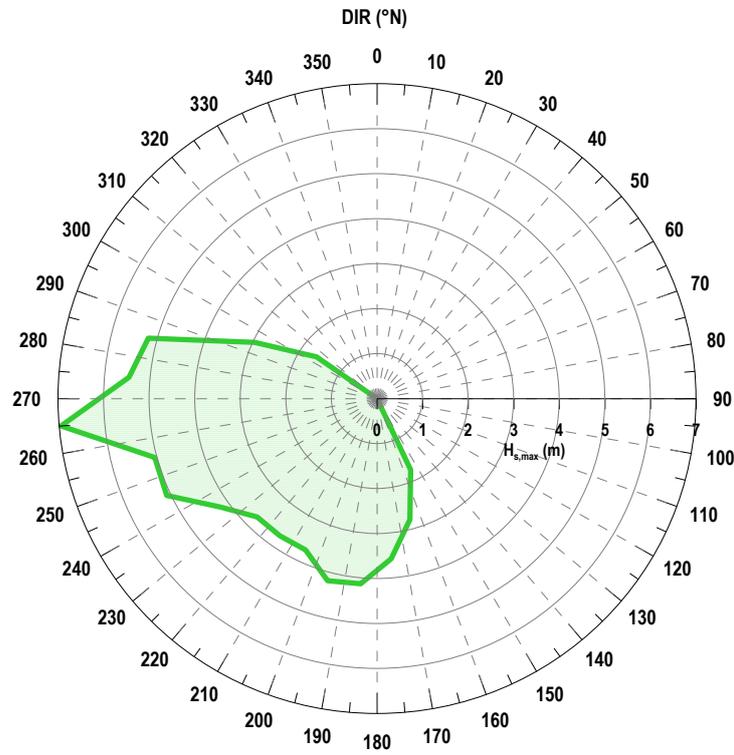


Figura 6.4 - Rosa delle altezze massime nel punto P

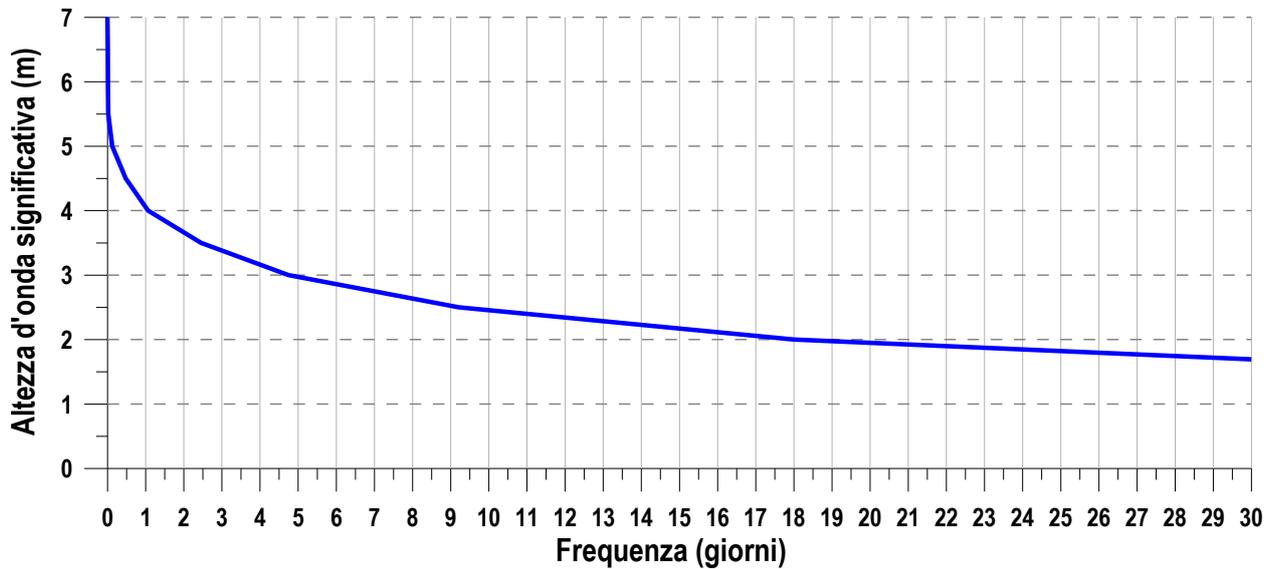


Figura 6.5 - Curva di durata nel punto P

## **7 PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI**

Lo studio della propagazione locale delle mareggiate estreme è un'attività indispensabile ai fini della progettazione, sia per gli aspetti riguardanti l'analisi dell'agitazione ondosa all'interno del porto che per gli aspetti legati al dimensionamento delle opere.

Nei paragrafi successivi sono riportate le caratteristiche delle mareggiate estreme simulate e riassunti i risultati dello studio della propagazione di tali mareggiate nell'area di intervento.

### **7.1 Definizione del tempo di ritorno per l'azione idraulico-marittima**

In mancanza di specifici riferimenti normativi, per definire il periodo di ritorno degli eventi ondosi da considerare nel dimensionamento delle opere, si è fatto riferimento a quanto riportato nel paragrafo 2.1.4.5 delle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" del Consiglio Superiore LL.PP., con le ipotesi descritte di seguito e riassunte nella successiva Tabella 7.1.

L'opera in oggetto è identificabile come del tipo ad "uso generale" (*opere di difesa di singole installazioni .... di depositi o piattaforme di carico e scarico ....*), alla quale è richiesto un "livello di sicurezza 1" (*opere o installazioni di interesse locale o ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane ...*), da cui risulta una durata minima di vita di 25 anni. Con riferimento alla condizione di danneggiamento incipiente, ad un rischio di perdita di vite umane limitato e assumendo una ripercussione economica bassa (da cui una probabilità di danneggiamento nel periodo di vita operativa dell'opera  $P_f$  di 0.50), si ottiene un tempo di ritorno di circa 36 anni. A favore di sicurezza è stato assunto un valore di  $T_{rp}$  di 50 anni.

**Tabella 7.1 Ipotesi progettuali di base per il calcolo del periodo di ritorno dell'azione ondosa**

<b>Parametro</b>	<b>Valore prescelto</b>	<b>Rif. Istruz. Tecniche C.S.LL.PP.</b>
Tipo dell'opera	Infrastrutture per uso generale	
Livello di sicurezza richiesto	1	
Durata minima di vita	$T_v = 25$ anni	Tab. 1
Condizione di danneggiamento	Incipiente	
Rischio per la vita umana	Limitato	
Ripercussione economica	Bassa	
Max probabilità di danno ammissibile	$P_f = 0.50$	Tab. 2

## 7.2 Definizione degli eventi estremi per lo studio dell'agitazione ondosa

Per lo studio dell'agitazione ondosa all'interno del porto di Cetraro (cfr. successivi paragrafi 9 e 11) 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 pari a 5 giorni/anno e da periodi di ritorno non inferiori a 5 e 50 anni.

## 7.3 Caratteristiche degli eventi estremi propagati

A partire dalle elaborazioni svolte sulla serie storica 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 di propagare una mareggiata proveniente dal settore di Ponente ( $260^\circ\text{N}$ ) e due mareggiate provenienti dal settore di Scirocco-Mezzogiorno ( $160^\circ\text{N}$  e  $180^\circ\text{N}$ ).

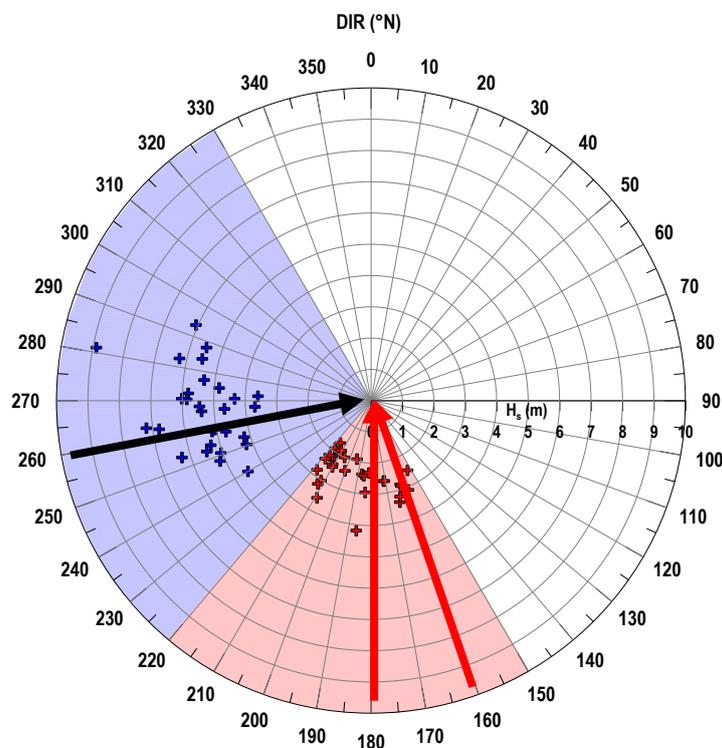


Figura 7.1 Eventi massimi annuali e individuazione delle direzioni di provenienza delle mareggiate estreme propagate

L'altezza d'onda significativa è stata individuata sulla base dell'analisi statistica degli eventi estremi, condotta per i settori di Scirocco-Mezzogiorno (150°÷220°N) e Ponente-Maestrale (220°÷330°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 di specifiche correlazioni  $H_s-T_p$  elaborate per ciascun settore sulla base degli eventi massimi annuali.

Complessivamente, sono state propagate 6 mareggiate; le caratteristiche delle diverse mareggiate sono riportate nella seguente Tabella 7.2.

Le simulazioni sono state condotte considerando un sovrizzo del livello medio del mare di +1.00 m s.m.m., derivante dalla somma del massimo livello di marea registrato dal mareografo della rete RMN e dal prevedibile incremento del livello medio del mare nello scenario peggiore (cfr. precedente paragrafo 3).

**Tabella 7.2 Mareggiate individuate per la propagazione degli eventi estremi**

TEST	$T_R$ (anni)	Mareggiata	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Dir (°N)
1	5	Scirocco-Mezzogiorno	3.08	7.4	160
2	5		3.08	7.4	180
3	50		4.30	8.1	160
4	50		4.30	8.1	180
5	5	Ponente	6.32	11.4	260
6	50		8.62	12.4	260

#### 7.4 Settaggio del modello

La propagazione locale delle mareggiate estreme è stata condotta per mezzo del codice di calcolo STWAVE.

Il dominio di calcolo è stato discretizzato analogamente a quello impiegato per la propagazione locale del clima ondoso (cfr. precedente paragrafo 6.1 e Figura 6.1). In particolare, per gli eventi estremi appartenenti al settore di Scirocco-Mezzogiorno, è stata impiegata la prima griglia di calcolo (mareggiata generata sul bordo meridionale), mentre per gli eventi di Ponente è stata impiegata la seconda griglia di calcolo (mareggiata generata sul bordo occidentale).

Al fine di ricavare i parametri di progetto per le nuove opere, la batimetria è stata localmente modificata per tener conto del dragaggio previsto; la rimozione del materiale attualmente depositato in prossimità dell'imboccatura determinerà infatti una maggiore esposizione delle nuove opere al moto ondoso.

## 7.5 Caratteristiche locali delle mareggiate estreme

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

I risultati delle propagazioni sono riportati in termini di piani d'onda nelle successive figure (da Figura 7.2 a Figura 7.7). 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.

Le caratteristiche delle mareggiate estreme, caratterizzate da un tempo di ritorno di 50 anni, sono state estratte in prossimità delle opere da dimensionare. In particolare, per ciascun TEST, sono state estratte le condizioni più gravose, ovvero i massimi valori di altezza significativa, ai fini del dimensionamento della nuova scogliera all'imboccatura. I risultati sono riassunti nella successiva Tabella 7.3 (in grassetto sono indicati i valori massimi, impiegati successivamente nei dimensionamenti).

Dai risultati ottenuti si osserva che i valori massimi di altezza significativa, in corrispondenza della nuova scogliera, si ottengono per eventi estremi di Scirocco-Mezzogiorno (TEST3).

**Tabella 7.3 Caratteristiche locali delle mareggiate estreme con tempo di ritorno 50 anni**

TEST	T <sub>R</sub> (anni)	AL LARGO				SCOGLIERA TESTATA/ SCOGLIERA INTERNA		
		H <sub>s</sub> (m)	DIR (°N)	Tp (s)	Sovr. (m s.m.m.)	H <sub>s</sub> (m)	DIR (°N)	Tp (s)
3	50	4.30	160	8.1	+1.00	<b>1.80/1.00</b>	<b>160</b>	<b>8.1</b>
4	50	4.30	180	8.1	+1.00	1.60/1.00	165	8.1
6	50	4.30	260	12.4	+1.00	0.00	-	-

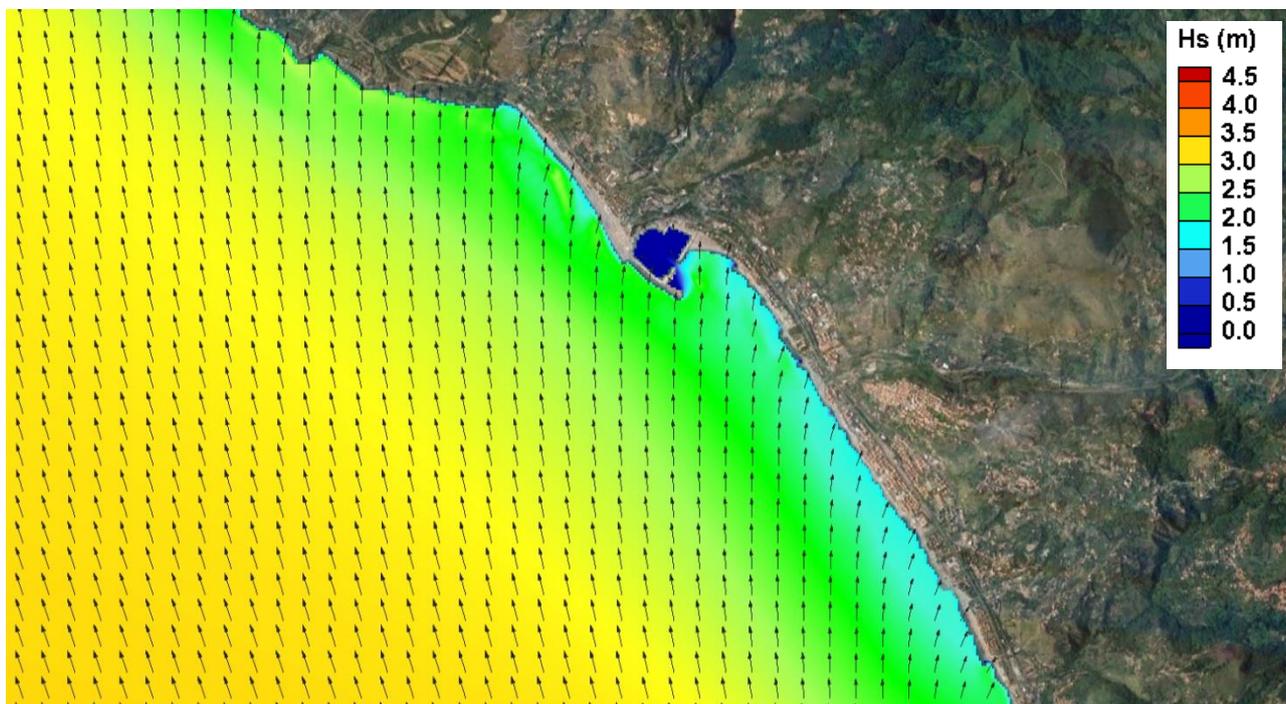


Figura 7.2TEST 1 (Scirocco-Mezzogiorno -  $T_R = 5$  anni) - Caratteristiche mareggiata al largo:  
 $H_S = 3.08$  m,  $T_P = 7.4$  s, Dir =  $160^\circ$ N

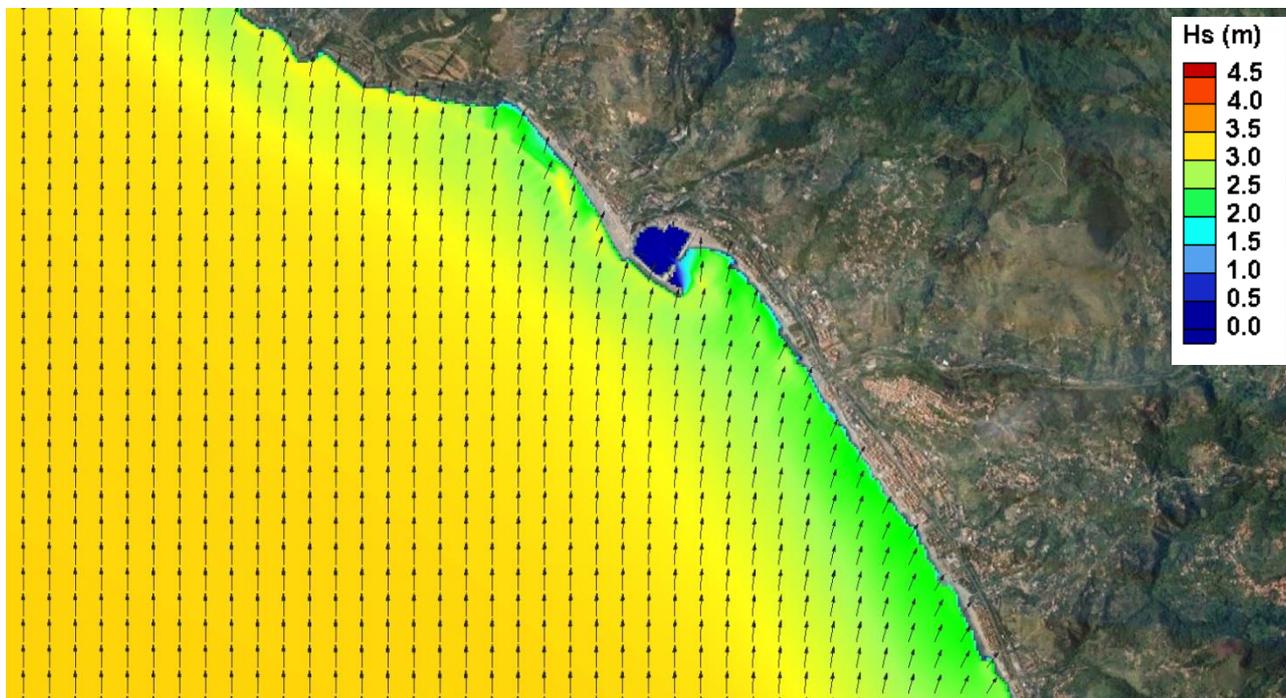


Figura 7.3TEST 2 (Mezzogiorno -  $T_R = 5$  anni) - Caratteristiche mareggiata al largo:  
 $H_S = 3.08$  m,  $T_P = 7.4$  s, Dir =  $180^\circ$ N

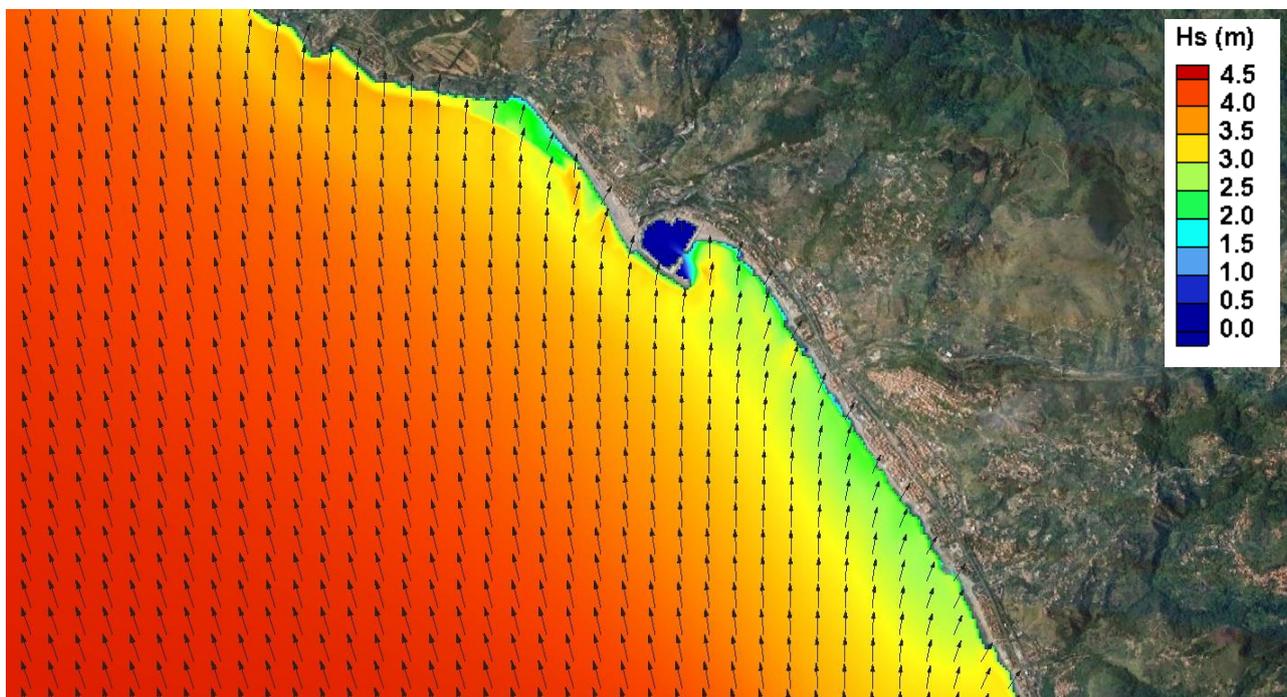


Figura 7.4TEST 3 (Scirocco-Mezzogiorno -  $T_R = 50$  anni) - Caratteristiche mareggiata al largo:  
 $H_s = 4.30$  m,  $T_p = 8.1$  s, Dir =  $160^\circ N$

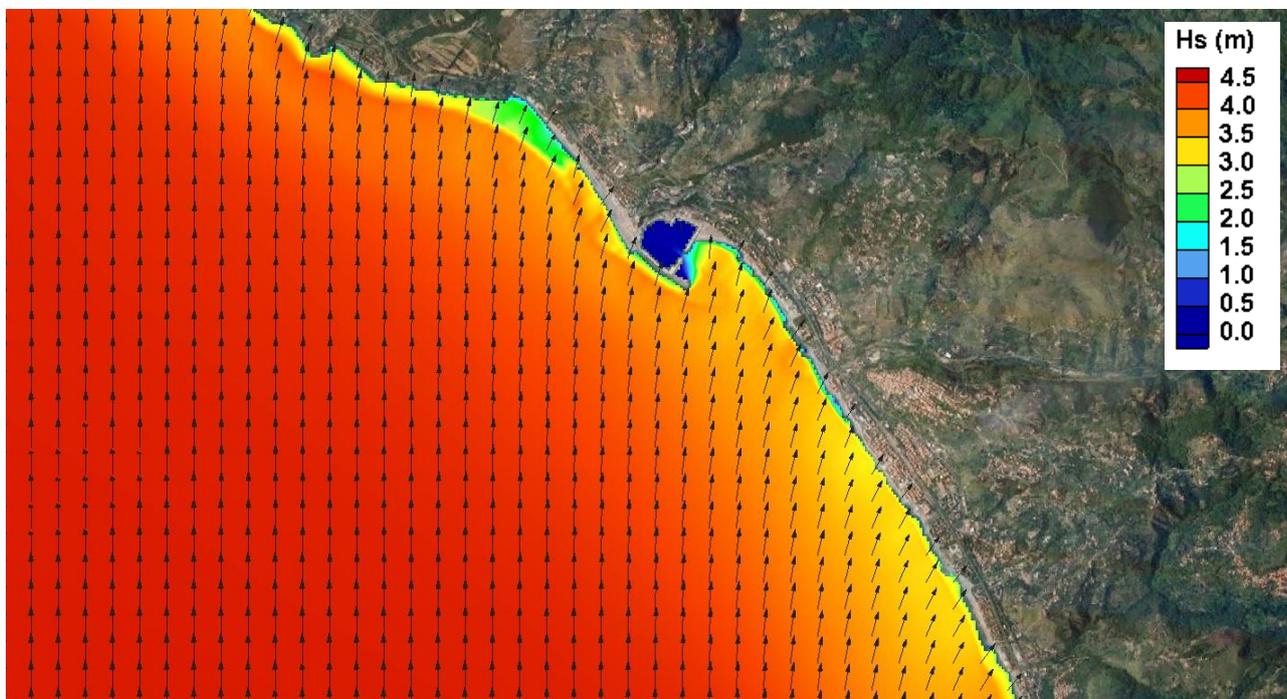


Figura 7.5TEST 4 (Mezzogiorno -  $T_R = 50$  anni) - Caratteristiche mareggiata al largo:  
 $H_s = 4.30$  m,  $T_p = 8.1$  s, Dir =  $180^\circ N$

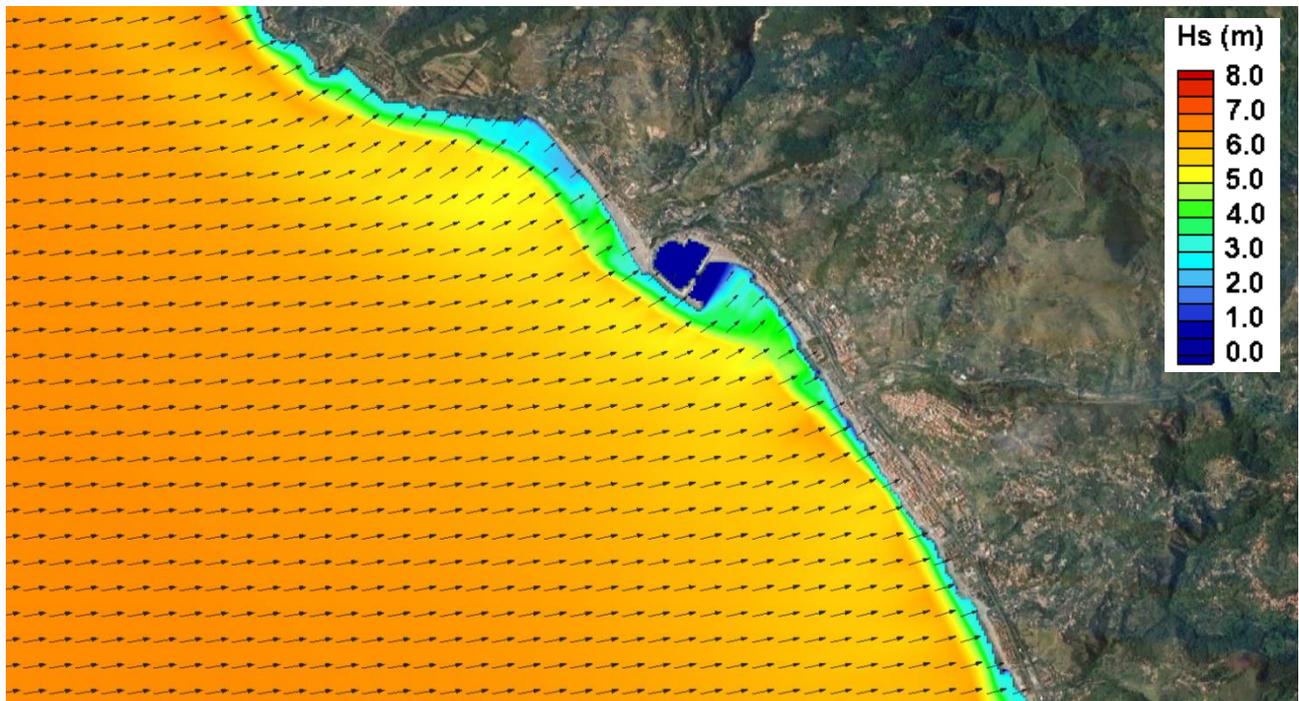


Figura 7.6 TEST 5 (Ponente -  $T_R = 5$  anni) - Caratteristiche mareggiata al largo:  
 $H_S = 6.32$  m,  $T_P = 11.4$  s, Dir =  $260^\circ N$

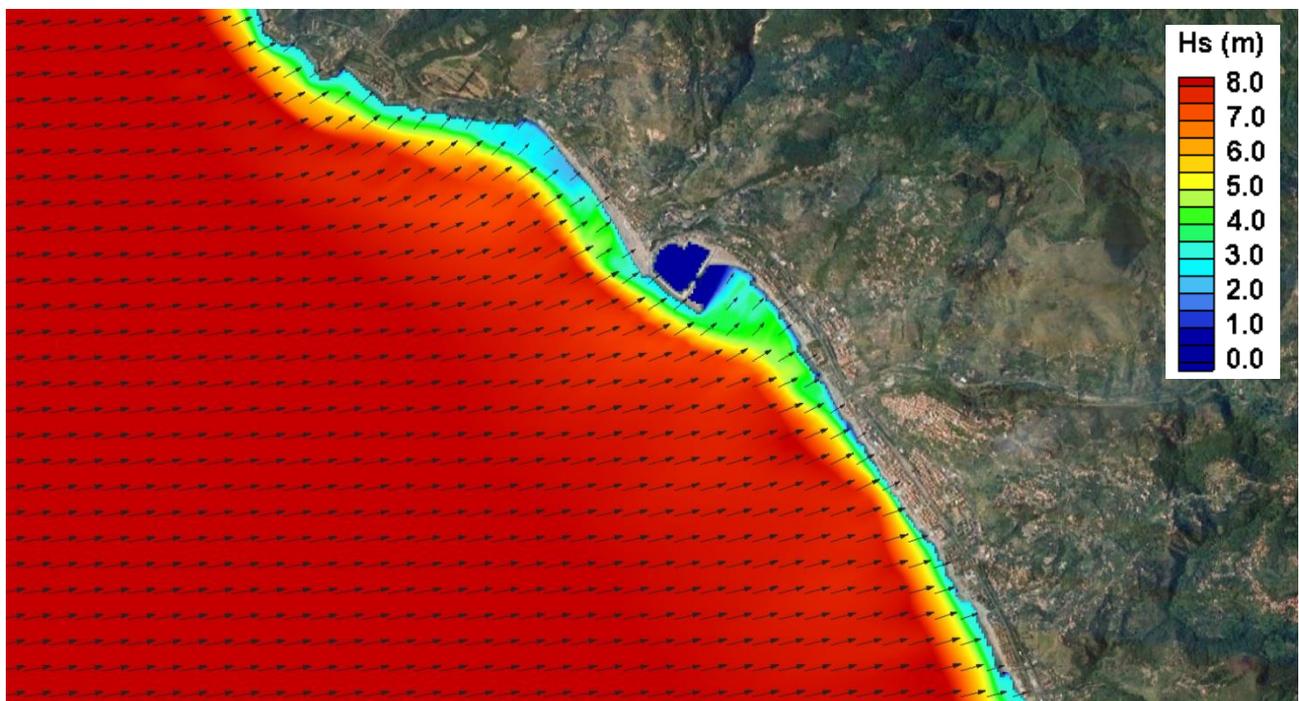


Figura 7.7 TEST 6 (Ponente -  $T_R = 50$  anni) - Caratteristiche mareggiata al largo:  
 $H_S = 8.62$  m,  $T_P = 12.4$  s, Dir =  $260^\circ N$

## 8 ONDE GENERATE DA VENTO PER IL SETTORE DI SCIROCCO

Come anticipato nel precedente paragrafo 2, l'imboccatura del Porto di Cetraro risulta esposta direttamente al moto ondoso di Scirocco generato dal vento nello specchio di mare compreso tra il porto e il litorale di Paola (direzione NNW-SSE). Per stimare le caratteristiche delle onde generate da vento sono stati utilizzati i dati di vento forniti dall'Università di Genova (cfr. paragrafo 5). Sono state quindi calcolate le caratteristiche delle onde generate da venti estremi (tempi di ritorno di 5 e 50 anni) e da venti intensi, caratterizzati da frequenza di apparizione relativamente bassa (5 giorni/anno).

La generazione delle onde da vento è stata condotta per mezzo del codice di calcolo STWAVE, in condizioni generative; l'onda analizzata è quindi esclusivamente quella in grado di generarsi localmente della velocità del vento e delle caratteristiche del dominio.

### 8.1 Eventi anemologici impiegati nello studio della generazione

Le condizioni da impiegare nello studio della generazione da vento sono state ricavate sulla base delle analisi descritte nel precedente paragrafo 5. In particolare, sono state ricavate le velocità del vento associate ai tempi di ritorno di 5 e 50 anni (cfr. Tabella 5.2) e alla frequenza di apparizione di 5 gg/anno (Figura 8.1). Le velocità del vento così ricavate sono state associate alla direzione ritenuta più critica in termini di fetch e direzione di provenienza (SSE, 150°N).

Le 3 condizioni complessivamente individuate per l'analisi sono riassunte in Tabella 8.1.

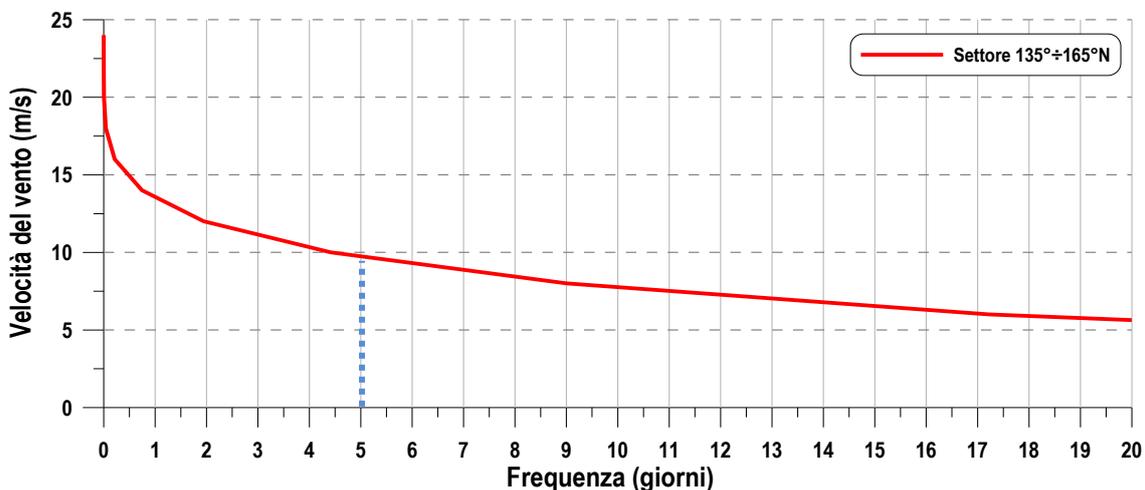


Figura 8.1 Curva di durata della velocità del vento

Tabella 8.1 Caratteristiche degli eventi anemologici impiegati nello studio della generazione da vento

TEST	Caratteristiche	Velocità vento (m/s)	Dir (°N)
7	$T_R = 5$ anni	18.81	150
8	$T_R = 50$ anni	23.45	150
9	Frequenza = 5 giorni/anno	9.70	150

## 8.2 Settaggio del modello

La studio della generazione del moto ondoso, condotto sempre con l'ausilio del codice STWAVE, è stato basato sulla batimetria del paraggio ricavata in base alle carte nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina e al rilievo locale di dettaglio di Maggio 2019.

Il dominio di calcolo è stato discretizzato attraverso una griglia con maglia ortogonale a celle quadrate di passo 25 m. La griglia ha origine nel punto di coordinate 4354310.0 m E; 590440.0 m N (vertice in basso a destra, Figura 8.2), dimensioni 24'000 x 15'000 m ed è inclinata di 90° rispetto all'asse WE.

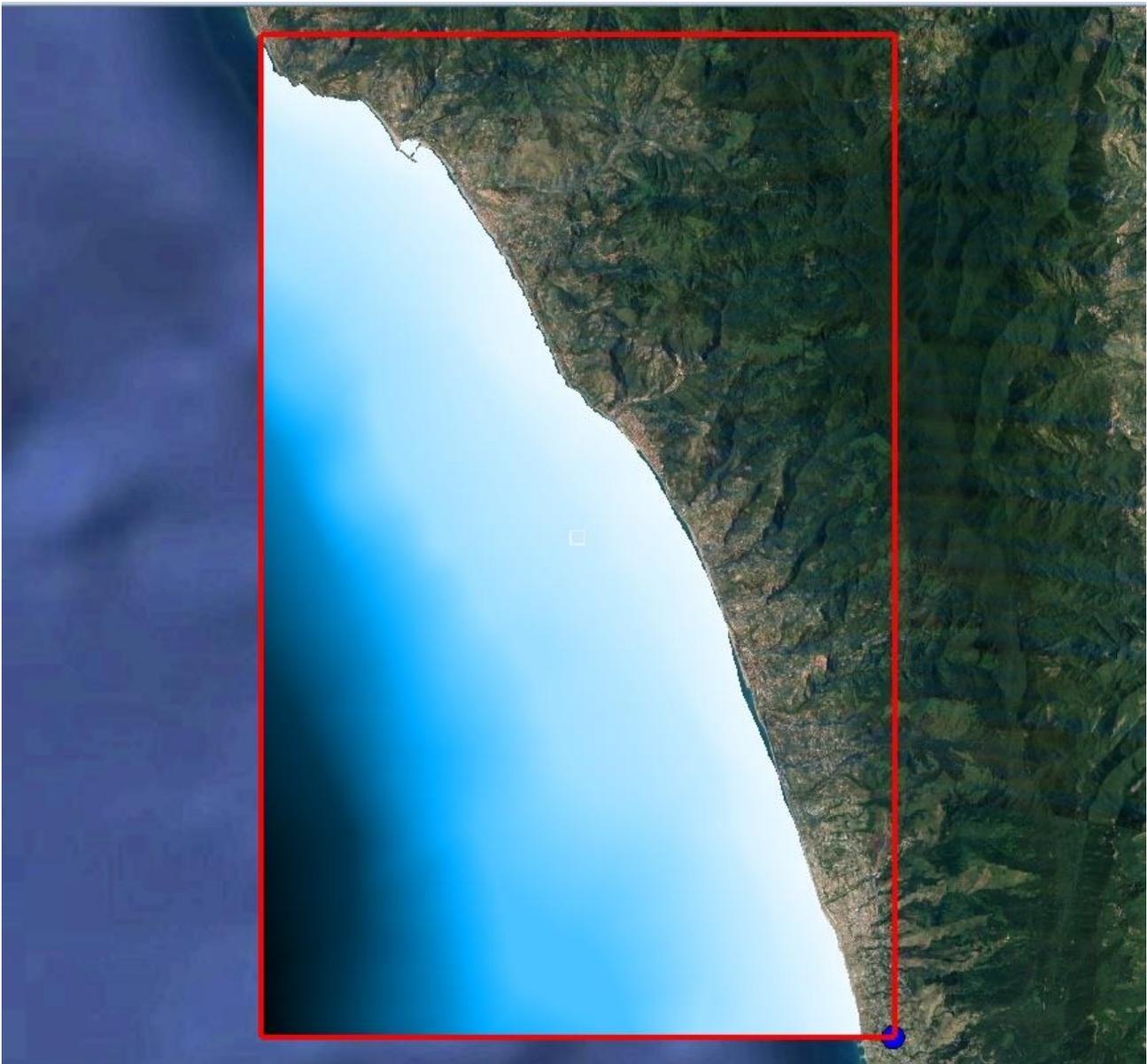


Figura 8.2 Griglie e dominio di calcolo impiegati per lo studio della generazione del moto ondoso

### 8.3 Caratteristiche locali delle mareggiate generate da vento

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati delle simulazioni di generazione delle mareggiate da vento; i risultati delle propagazioni sono riportati in termini di piani d'onda nelle successive figure (da Figura 8.3 a Figura 8.5).

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.

Dai risultati ottenuti si può osservare che le mareggiate generate dai venti estremi raggiungono, in prossimità del porto, altezze d'onda tra 1.0 m e 1.5 m, mentre, per il vento caratterizzato da frequenza pari a 5 giorni/anno, l'altezza d'onda risulta essere dell'ordine dei 60 cm.

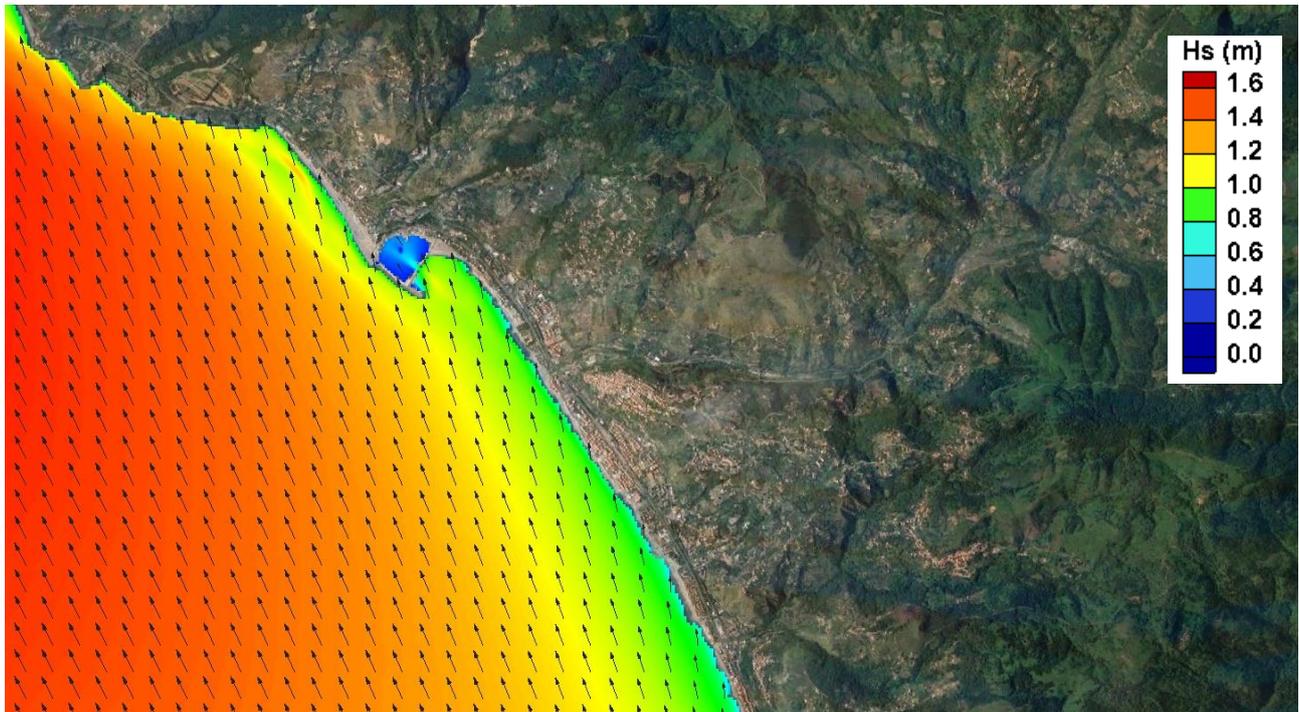


Figura 8.3TEST 7 ( $T_R = 5$  anni) - Caratteristiche evento anemologico:  
Velocità vento = 18.81 m/s, Dir = 150°N

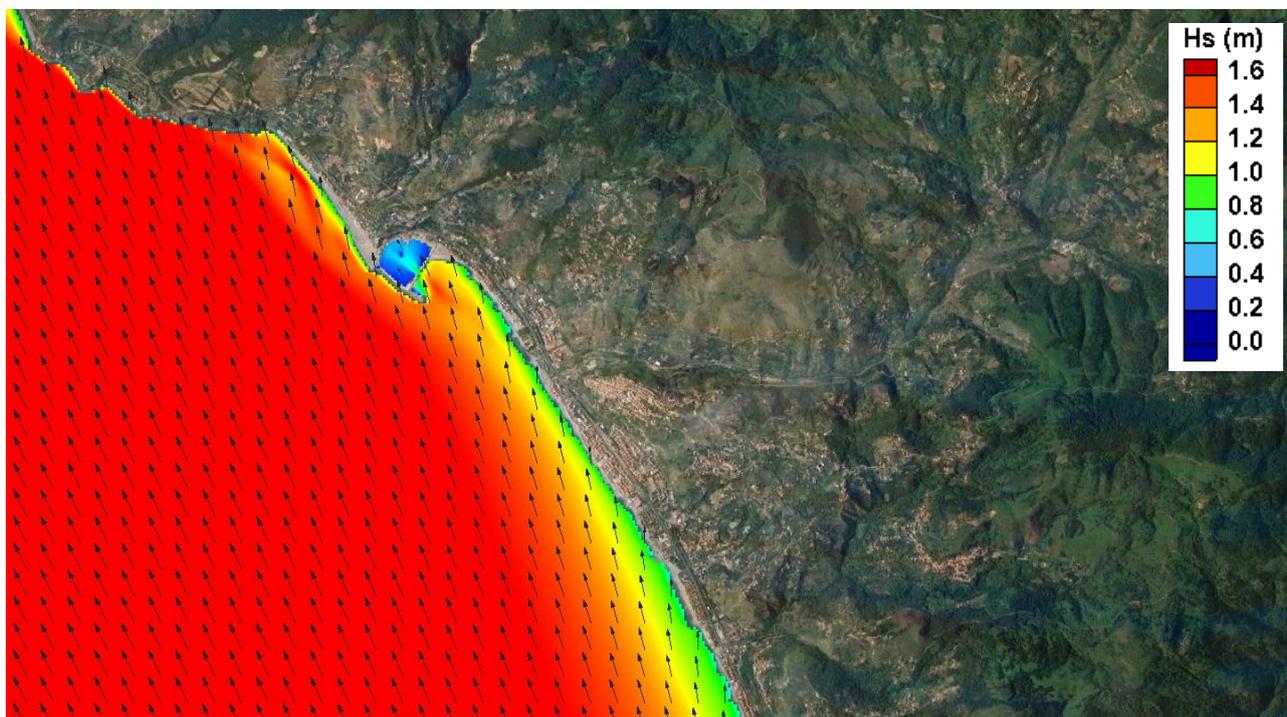


Figura 8.4 TEST 8 ( $T_R = 50$  anni) - Caratteristiche evento anemologico:  
Velocità vento = 23.45 m/s, Dir = 150°N

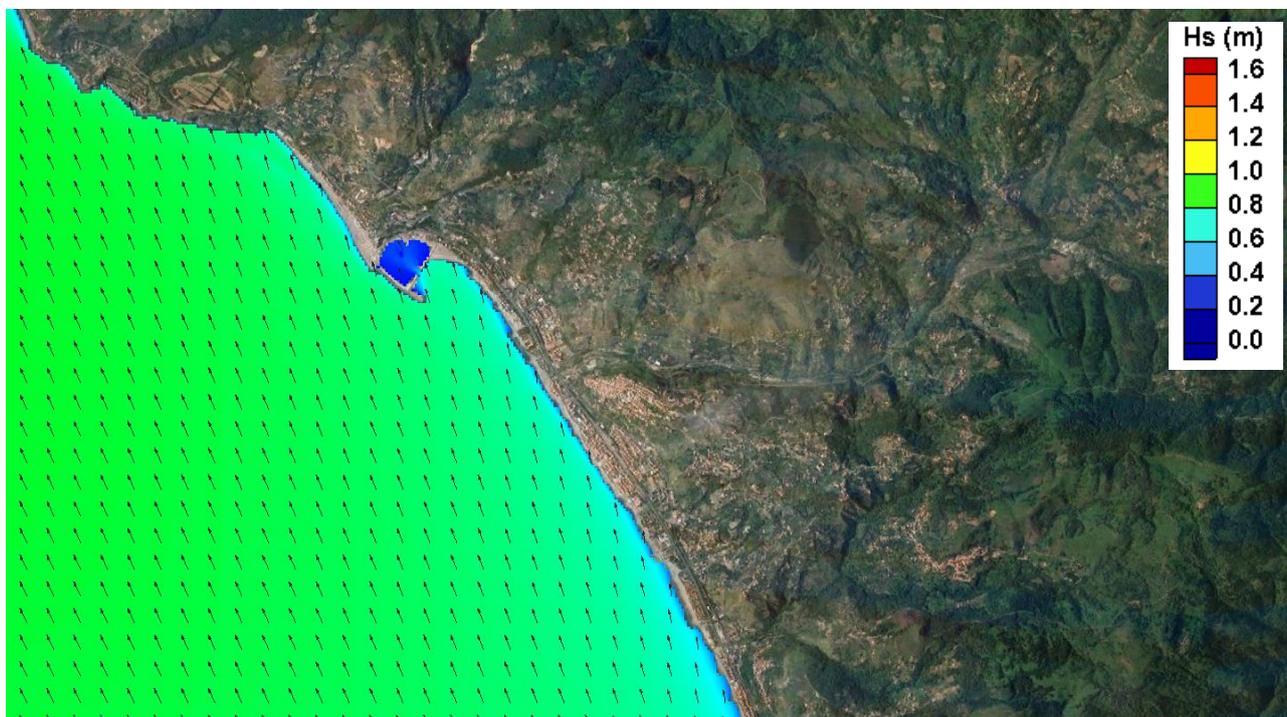


Figura 8.5 TEST 9 (Frequenza = 5 anni) - Caratteristiche evento anemologico:  
Velocità vento = 9.70 m/s, Dir = 150°N

## **9 ANALISI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI PER LA RIDUZIONE DELL'AGITAZIONE ONDOSA**

Nel presente paragrafo sono riportate le analisi e gli studi svolti per l'individuazione degli interventi finalizzati alla riduzione dell'agitazione ondosa all'interno del Porto di Cetrato.

Lo studio su modello della penetrazione del moto ondoso è stato eseguito per le mareggiate più critiche in relazione al tema specifico (con altezze d'onda più elevate o direzione più sfavorevole), considerando una serie di diverse alternative progettuali. Lo studio è stato condotto tramite il codice di calcolo "CGWAVE", descritto in Allegato A.

La valutazione dell'efficacia delle diverse alternative progettuali è stata condotta con riferimento ad eventi ondosi ritenuti rappresentativi delle condizioni di moto ondoso locale (cfr. successivo paragrafo 9.2); in particolare, si è scelto di analizzare le mareggiate estreme caratterizzate da tempo di ritorno pari a 50 anni, provenienti dai settori di Scirocco-Mezzogiorno ( $160^{\circ}$ - $180^{\circ}$  N) e dal settore di Ponente ( $260^{\circ}$ N), e gli eventi di Scirocco (generazione da vento) in grado di generarsi lungo la direzione  $150^{\circ}$ N.

### **9.1 Settaggio del modello**

Per lo studio dell'agitazione interna al porto sono stati definiti due differenti domini, al fine di ottimizzare il modello per tutte le mareggiate simulate, nonché per ottenere una accurata rappresentazione di tutte le opere presenti all'interno del dominio.

Le mareggiate di Scirocco-Mezzogiorno e di Ponente, caratterizzate da periodi e lunghezze d'onda maggiori, sono state analizzate utilizzando un dominio di dimensioni maggiori, che impiega un contorno offshore di tipo semicircolare (Figura 9.1); il dominio si estende verso il largo fino a profondità dell'ordine dei -75 m s.m.m.. Il dominio così definito è stato ricoperto con una mesh a maglie triangolari formata da elementi di dimensioni variabili da 12 m, sul contorno offshore, a 2 m, sul contorno inshore e all'interno del nuovo porto.

Le mareggiate generate da vento lungo la direzione di  $150^{\circ}$ N, caratterizzate da periodi e lunghezze d'onda ridotti, sono state analizzate utilizzando un dominio di dimensioni inferiori, che impiega pure un contorno offshore di tipo semicircolare (Figura 9.2); il dominio, tuttavia, si estende verso il largo fino a profondità dell'ordine dei -25 m s.m.m.. Il dominio così definito è stato ricoperto con una mesh a maglie triangolari formata da elementi di dimensioni variabili da 3 m, sul contorno offshore, a 1 m, sul contorno inshore e all'interno del nuovo porto (Figura 9.3).

La batimetria impiegata nel modello è stata ricavata sulla base delle più recenti carte nautiche e del recente rilievo locale eseguito a Maggio 2019. Lo studio è stato svolto, nella prima fase, per lo stato attuale e per la configurazione originaria di progetto, corrispondente alla configurazione attuale, ma in assenza dell'accumulo di sedimenti realizzatosi in seguito a tergo della testata del sopraflutto. Lo scopo della prima fase è stato quello di valutare le effettive condizioni di agitazione ondosa nella configurazione attuale (opere e batimetria) e nell'ipotesi di solo dragaggio, finalizzato al ripristino della batimetria precedente all'interrimento, almeno nella misura sufficiente a garantire la piena operatività del porto. Successivamente sono state analizzate diverse configurazioni progettuali (cfr. successivo 9.1.1) per arrivare alla definizione di quella ottimale. Per tutte le configurazioni di progetto analizzate, la batimetria è stata modificata per tener conto del dragaggio, che verrà eseguito fino alla profondità di -4.5 m s.m.m.; il contorno inshore del dominio di calcolo riproduce le caratteristiche di costa, opere foranee e banchine.

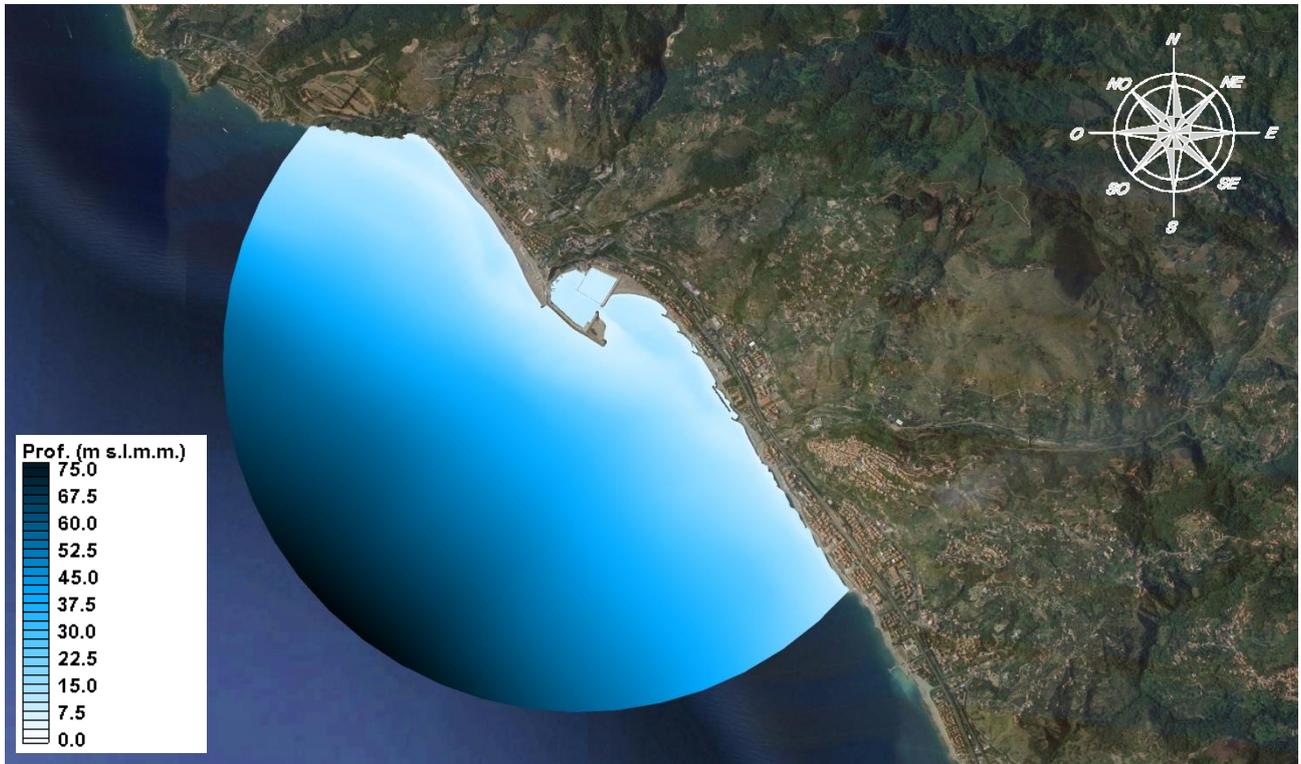


Figura 9.1 Dominio di calcolo impiegato nello studio delle mareggiate provenienti dal largo



Figura 9.2 Dominio di calcolo impiegato nello studio delle mareggiate generate da vento sotto costa

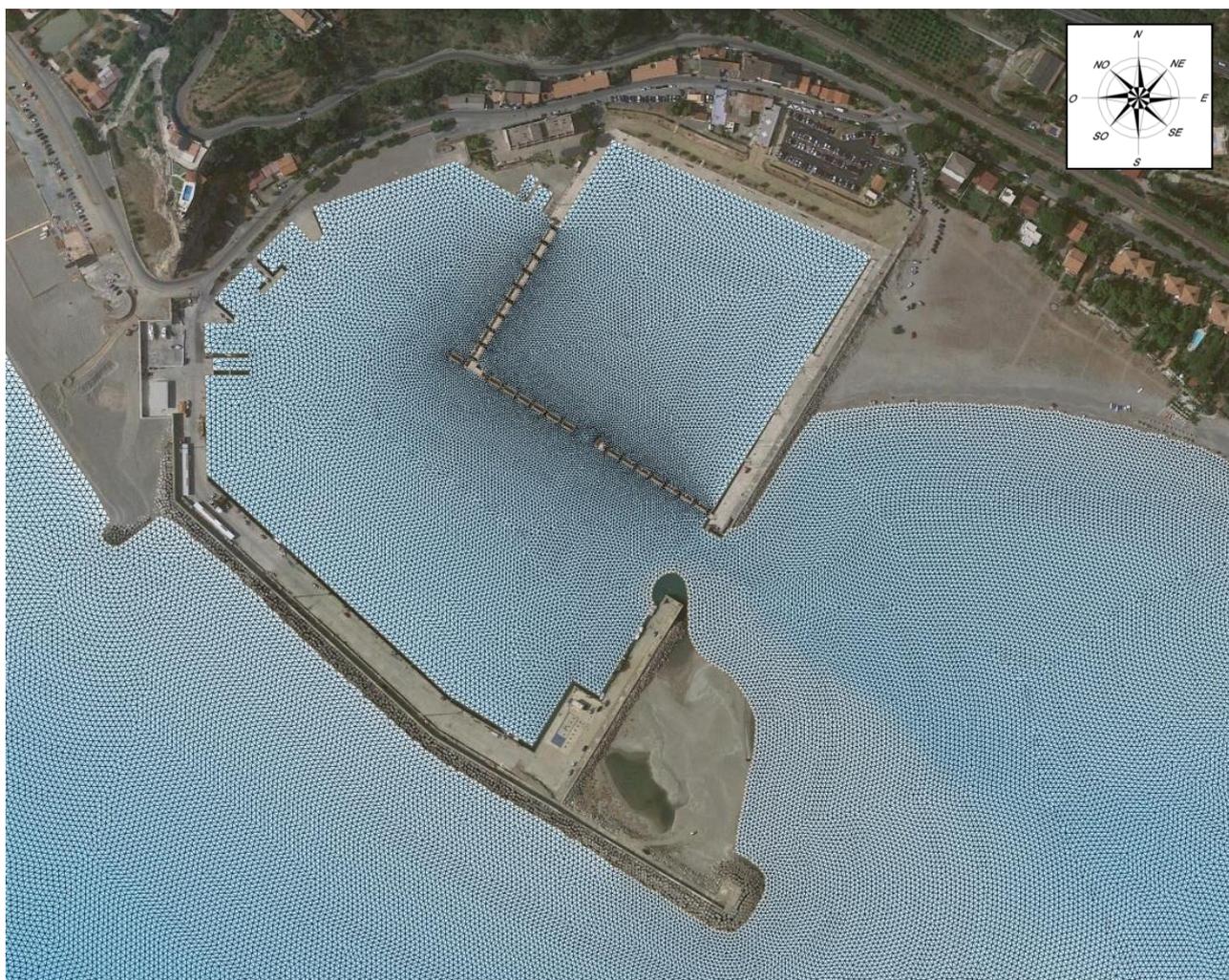


Figura 9.3 Particolare della mesh di calcolo per la configurazione attuale

### 9.1.1 Configurazioni analizzate

Oltre alla configurazione attuale e alla configurazione attuale dragata (corrispondente alla configurazione progettuale originaria in condizioni operative) sono stati analizzati una serie di interventi da realizzare in prossimità dell'imboccatura portuale o in corrispondenza della testata del molo di sopraflutto.

In particolare, sono stati individuati gli interventi ritenuti più idonei alla riduzione dell'azione ondosa in grado di raggiungere l'imboccatura portuale (come ad esempio la realizzazione del pennello ricurvo o l'allungamento del molo di sopraflutto) o alla riduzione della penetrazione del moto ondoso attraverso l'imboccatura portuale; per il raggiungimento di quest'ultimo obiettivo sono state analizzate sia soluzioni che limitassero direttamente la penetrazione del moto ondoso (spostamento verso Sud dell'imboccatura) che soluzioni in grado di limitare indirettamente la penetrazione, riducendo la riflessione del moto ondoso in grado di penetrare dall'imboccatura (realizzazione di una scogliera in prossimità dell'imboccatura e a ridosso dell'adiacente pontile su massi pilonati).

## RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

Nella sottostante Tabella 9.1 sono riassunte le 8 configurazioni analizzate con una breve descrizione degli interventi previsti.

Nelle successive figure (Figura 9.4 e Figura 9.5) sono riportati in dettaglio i layout delle configurazioni analizzate con indicati (in rosso) i tratti di intervento.

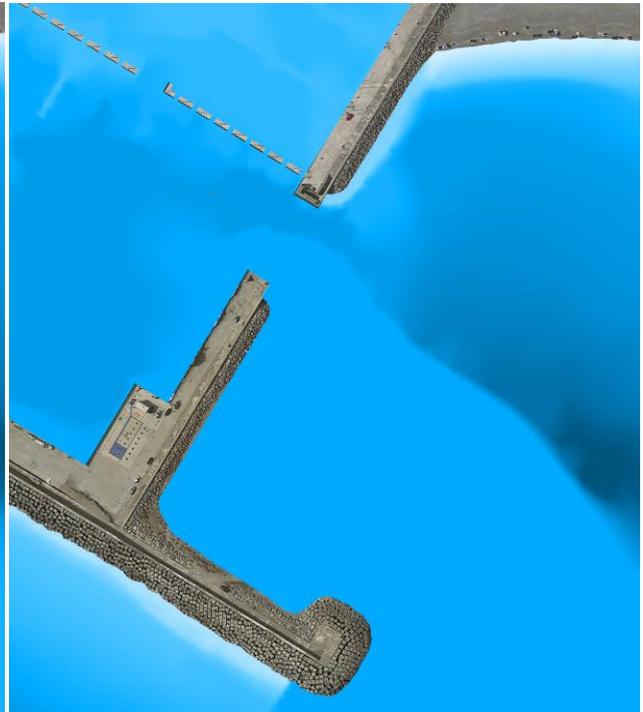
**Tabella 9.1 Descrizione sommaria delle configurazioni analizzate e degli interventi che le distinguono**

CONFIG.	DESCRIZIONE	INTERVENTO
<b>A</b>	Configurazione attuale	Nessuno
<b>B</b>	Configurazione attuale dragata	Dragaggio dei fondali antistanti l'imboccatura fino alla - 4.5 m s.m.m.
<b>C</b>	Pennello ricurvo e scogliera interna	Realizzazione di un pennello ricurvo in massi naturali a protezione dell'imboccatura (di lunghezza pari a 100 m) e di una scogliera antiriflettente di lunghezza pari a circa 40 m ridossata al pontile su massi pilonati adiacente l'imboccatura
<b>C BIS</b>	Pennello ricurvo	Realizzazione del solo pennello ricurvo in massi naturali di cui alla configurazione C
<b>C TER</b>	Pennello ricurvo allungato	Realizzazione di un pennello ricurvo in massi naturali a protezione dell'imboccatura di lunghezza pari a 110 m
<b>D</b>	Prolungamento del sopraflutto	Realizzazione di una scogliera di lunghezza pari a circa 40 m per il prolungamento del molo di sopraflutto
<b>E</b>	Modifica imboccatura	Spostamento verso Sud dell'imboccatura mediante demolizione di 20 m del molo martello a Sud e corrispondente allungamento del sottoflutto a Nord
<b>F</b>	Scogliera all'imboccatura, sul pontile su massi pilonati e martelletto	Realizzazione di una scogliera sulla testata del sottoflutto, di una scogliera antiriflettente di lunghezza pari a circa 90 m ridossata al pontile su massi pilonati adiacente l'imboccatura e di un martelletto di chiusura in calcestruzzo di lunghezza pari a circa 12 m

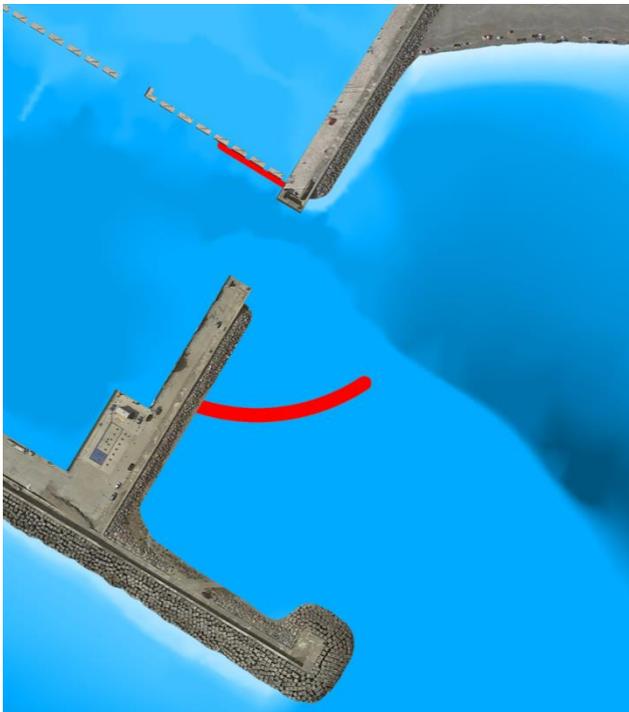
A-Stato attuale



B-Stato attuale dragato



C-Pennello ricurvo e scogliera interna



C BIS-Pennello ricurvo

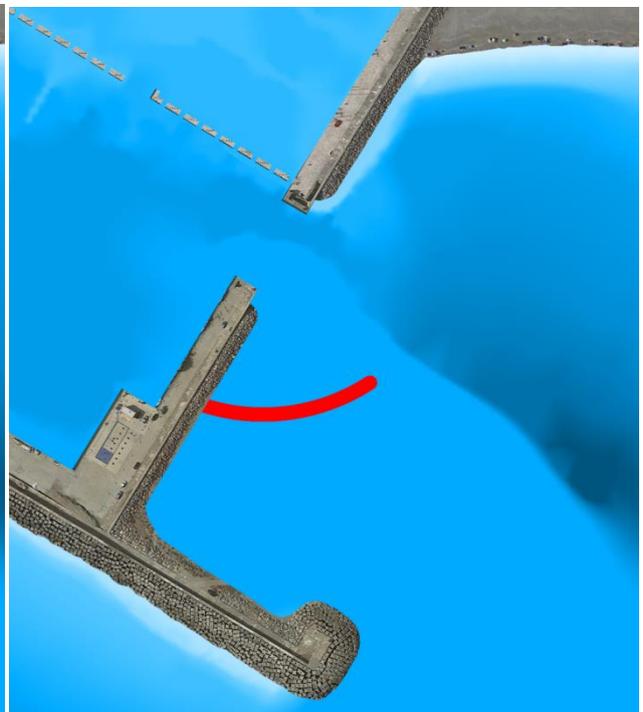


Figura 9.4 Configurazioni A, B, C e C BIS analizzate nello studio della penetrazione

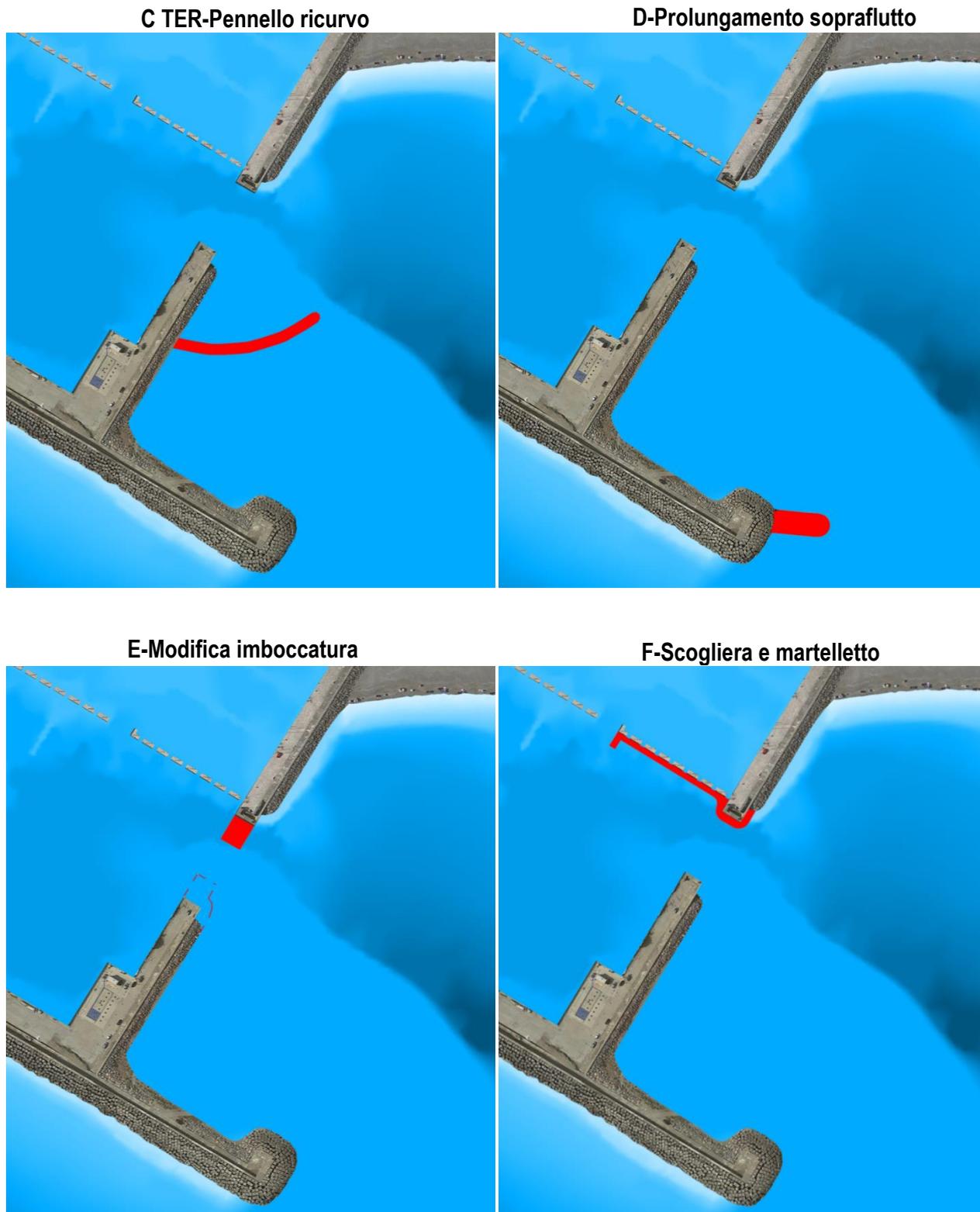


Figura 9.5 Configurazioni C TER, D, E e F analizzate nello studio della penetrazione

### 9.1.2 Definizione del contorno inshore

Per la definizione del contorno inshore, delle caratteristiche delle opere esistenti (moli, banchine, ecc.) e della costa nel tratto oggetto di studio, si è fatto riferimento al recente rilievo fotogrammetrico eseguito tramite drone e ai sopralluoghi eseguiti. Sulla base delle informazioni disponibili è stato possibile definire il layout delle opere che costituiscono il Porto di Cetraro e del tratto di costa in adiacenza, prevalentemente costituito da spiaggia, da opere in scogliera e nel tratto più settentrionale da versante roccioso.

Per ciascuna delle configurazioni studiate, sono stati analizzati il layout e le caratteristiche delle opere previste al fine di riprodurle correttamente all'interno del modello.

Nella configurazione attuale si è tenuto conto della presenza dell'accumulo di materiale in adiacenza al molo di sopraflutto (vedi Figura 9.6), mentre per tutte le configurazioni di progetto si è tenuto conto del dragaggio dell'area di fronte all'imboccatura e del layout previsto per i diversi interventi.

Le caratteristiche delle opere presenti nel contorno inshore sono state messe in relazione alla capacità di riflettere/dissipare il moto ondoso, al fine di definire per ciascuna di esse uno specifico coefficiente di riflessione.

Le strutture a parete verticale, quali le banchine esistenti, sono state considerate completamente riflettenti, mentre le opere a gettata (moli, scogliere, etc.) sono state considerate parzialmente riflettenti. I tratti di spiaggia sono stati considerati completamente assorbenti.

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. Nel successivo paragrafo 9.1.2.1 sono riportati i coefficienti di riflessione adottati.



**Figura 9.6 Accumulo di sedimenti tra il sopraflutto e l'imboccatura**

### 9.1.2.1 Coefficienti di riflessione

Il contorno inshore è stato suddiviso in diversi tratti, ciascuno dei quali corrispondente ad una diversa tipologia di opera e ad un diverso comportamento nei confronti dell'onda incidente; a ciascun tratto è stato associato il relativo coefficiente di riflessione.

Nella successiva Figura 9.7 è riportato il dominio di calcolo, in cui sono indicati, per la configurazione attuale, i valori dei coefficienti di riflessione associati agli elementi del contorno inshore.

Le configurazioni di progetto analizzate prevedono i seguenti tipi di interventi:

- Realizzazione del dragaggio: tale intervento libererà l'area tra il sopraflutto e l'imboccatura e le scogliere in massi naturali sul lato interno del sopraflutto e del molo martello;
- Realizzazione di opere in scogliera: pennello ricurvo, prolungamento sopraflutto, scogliera all'imboccatura e sul molo interno del porto turistico;
- Realizzazione di strutture a parete verticale: modifica dell'imboccatura e realizzazione del martelletto sul molo interno del porto turistico.

I valori del coefficiente di riflessione, per ciascuna tipologia di elemento considerata, sono sintetizzati in Tabella 9.2.

In Figura 9.7 si riporta, a titolo di esempio, il dominio di calcolo, in cui sono indicati i valori dei coefficienti di riflessione associati agli elementi del contorno inshore per la configurazione F.



**Figura 9.7 Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa in configurazione attuale**



Figura 9.8 Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa nella configurazione F

Tabella 9.2 Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore

Descrizione tratto	Coeff. di riflessione
Banchine a parete verticale	0.90
Opera a gettata in massi artificiali	0.50
Opera a gettata in massi naturali	0.40
Prolungamento sopraflutto	0.50
Pennello ricurvo	0.40
Scogliera all'imboccatura e interna	0.40
Martelletto	0.90
Modifica imboccatura	0.90
Spiaggia	0.10

## 9.2 Caratteristiche delle mareggiate analizzate

Le caratteristiche delle mareggiate impiegate nello studio sono state ricavate a partire dalle propagazioni locali eseguite per mezzo del codice di calcolo STWAVE e descritte nei precedenti paragrafi 7 e 8.

In particolare, sono state adottate come condizioni ondametriches al contorno le mareggiate estreme provenienti da Scirocco-Mezzogiorno, Mezzogiorno e Ponente e le mareggiate generate da vento lungo la direzione 150°N. Complessivamente sono state individuate 4 mareggiate le cui caratteristiche sono state ricavate in corrispondenza del bordo del dominio CGWAVE sulla base dei risultati delle propagazioni. Nella successiva Tabella 9.3 sono riportate le caratteristiche delle mareggiate analizzate.

**Tabella 9.3 Caratteristiche delle mareggiate utilizzate per lo studio dell'agitazione interna nelle diverse configurazioni di progetto analizzate**

TEST	CARATTERISTICHE	AL LARGO			SUL BORDO		
		H <sub>s</sub> (m)	T <sub>P</sub> (s)	Dir (°N)	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>P</sub> (s)	Dir (°N)
3	Scirocco-Mezzogiorno T <sub>R</sub> =50 anni	4.30	8.1	160	3.80	8.1	169
4	Mezzogiorno T <sub>R</sub> =50 anni	4.30	8.1	180	4.15	8.1	183
6	Ponente T <sub>R</sub> =50 anni	8.62	12.4	260	8.15	12.4	257
8	Onda da vento 150°N T <sub>R</sub> =50 anni	-	-	-	1.55	4.5	160

### **9.3 Risultati dello studio dell'agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali analizzate**

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa su modello matematico CGWAVE sono riportati nei successivi paragrafi. In particolare, nel paragrafo 9.3.1 sono riportati i risultati completi, in termini di agitazione interna nella configurazione attuale, mentre nel successivo paragrafo 9.4 è riportata un'analisi comparativa dei risultati per le diverse configurazioni di progetto analizzate.

#### **9.3.1 Agitazione ondosa in configurazione attuale**

I risultati dello studio sono riportati nelle figure alle pagine seguenti: da Figura 9.9 a Figura 9.12 è riportato l'andamento delle creste per le diverse mareggiate, mentre in Figura 9.13, Figura 9.15, Figura 9.17 e Figura 9.19 sono rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa nella zona di interesse e nel suo intorno; si fa presente che, per visualizzare meglio i risultati, le scale cromatiche sono state variate per i diversi test.

I risultati in termini di agitazione ondosa, nell'intorno e all'interno dello specchio acqueo portuale, sono riportati in maggiore dettaglio in Figura 9.14, Figura 9.16, Figura 9.18 e Figura 9.20.

Dai risultati ottenuti si osserva che le mareggiate di Ponente giungono in prossimità del molo di sopraflutto con altezze d'onda dell'ordine dei 4 m, essendo modulate dal fondale e dal frangimento; in prossimità dell'imboccatura le altezze d'onda sono ulteriormente ridotte e di poco superiori al metro.

Le mareggiate di Scirocco e Mezzogiorno giungono in prossimità del molo di sopraflutto con altezze d'onda sensibilmente inferiori, comprese tra i 2 e i 3 m, ma, per effetto della diversa direzione di provenienza, raggiungono l'imboccatura con altezze d'onda dell'ordine dei 2 m.

La mareggiata generata da vento giunge in prossimità dell'imboccatura con altezze d'onda relativamente basse, dell'ordine dei 1.5 m, ma, essendo caratterizzata da una direzione di provenienza particolarmente sfavorevole e risentendo in misura minore della conformazione del fondale, risulta in grado di penetrare in misura maggiore all'interno del porto.

In linea generale, si osserva che la presenza dell'accumulo di materiale a ridosso del molo di sopraflutto offre un importante effetto di protezione dell'imboccatura dal moto ondoso, ed è in grado di limitare l'agitazione interna, che risulta comunque caratterizzata da valori di altezza d'onda superiori ai 50 cm.

Si osserva infine che le mareggiate generate da vento (TEST 8) sono in grado di penetrare in misura maggiore attraverso l'imboccatura e generare un'agitazione interna sensibilmente elevata, con valori di altezza d'onda superiori ai 75 cm.

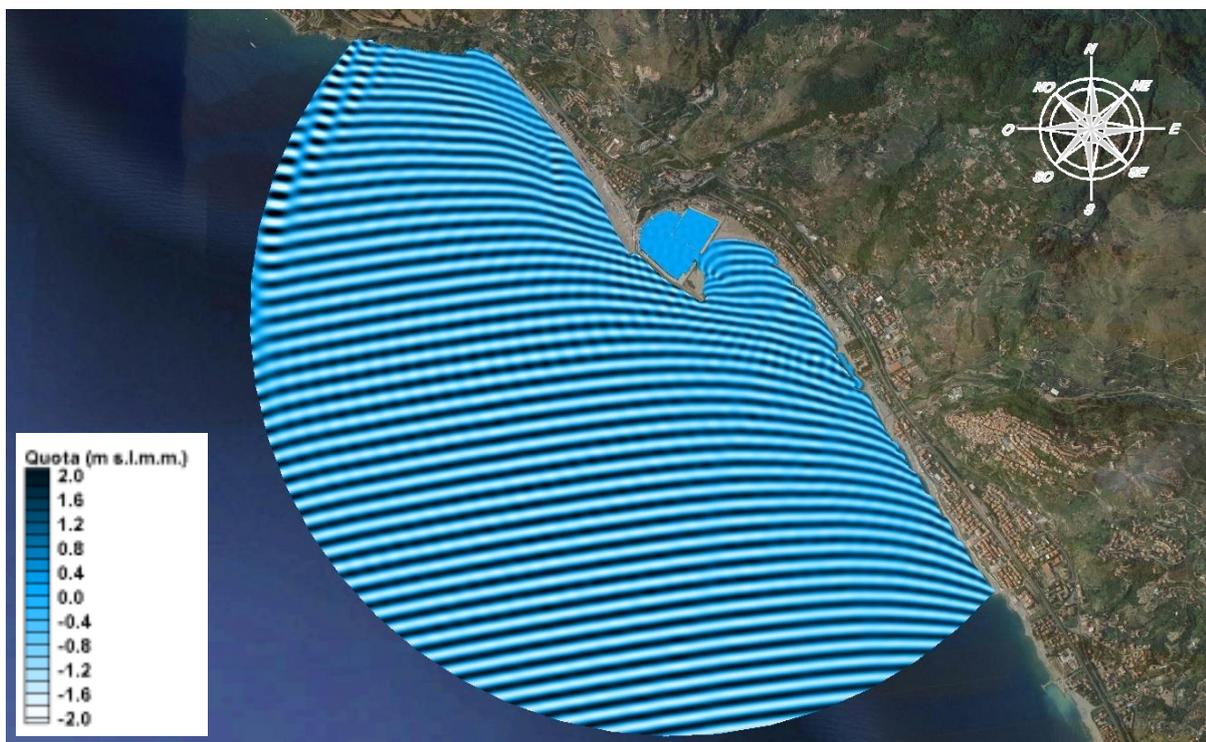


Figura 9.9 TEST 3: mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno (160°N), andamento delle creste



Figura 9.10 TEST 4: mareggiata di Mezzogiorno (180°N), andamento delle creste



Figura 9.11 TEST 6 mareggiata di Ponente (260°N), andamento delle creste



Figura 9.12 TEST 8 mareggiata generata da vento (150°N), andamento delle creste

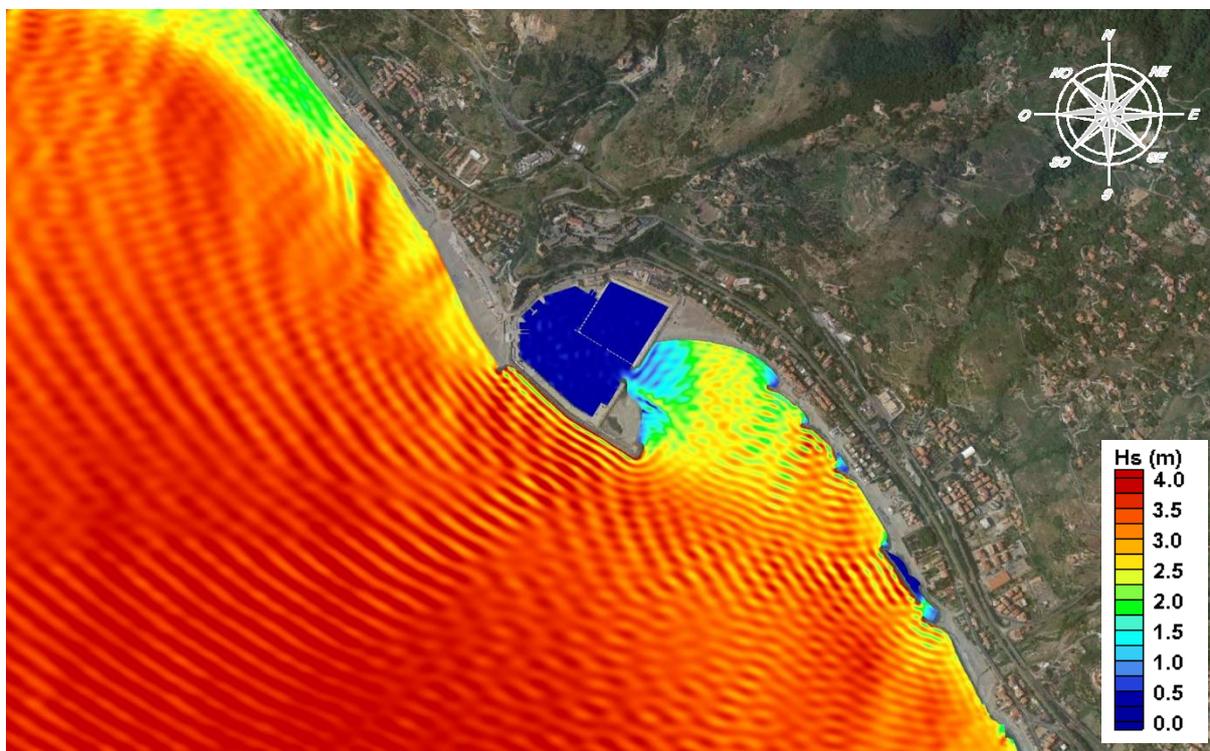


Figura 9.13 TEST 3: mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno (160°N), altezza significativa delle onde

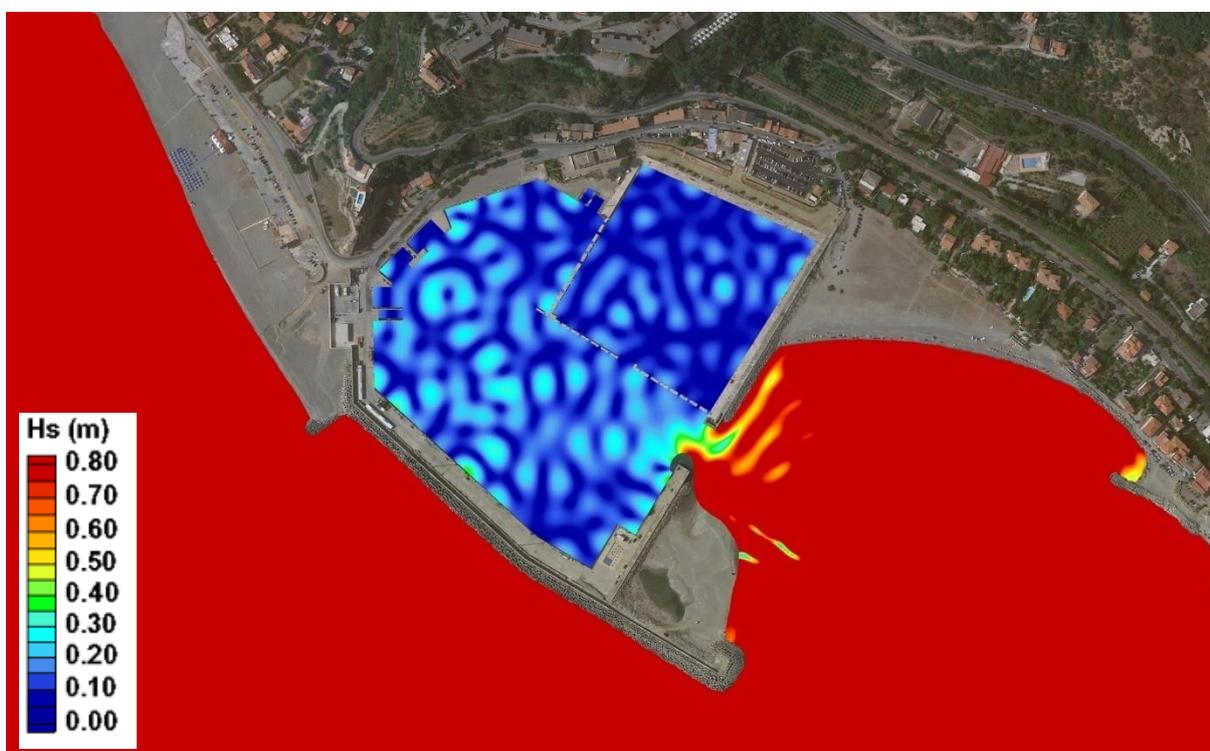


Figura 9.14 TEST 3: mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno (160°N), agitazione interna

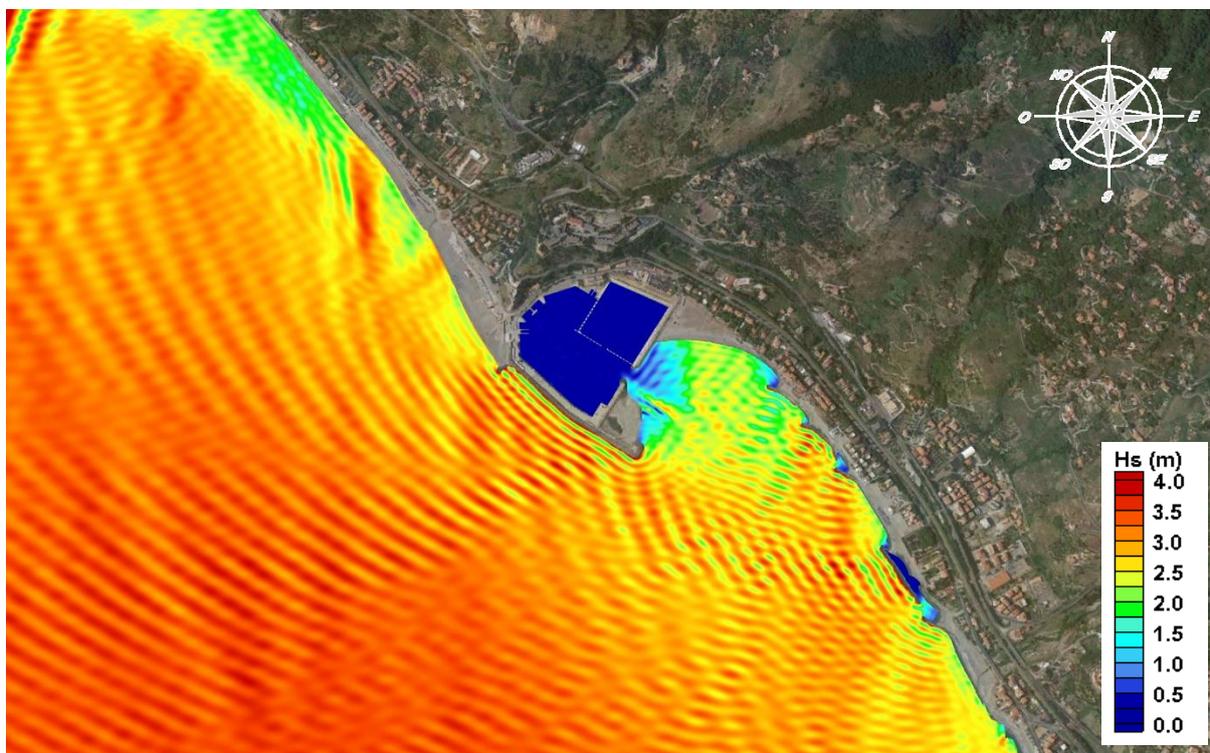


Figura 9.15 TEST 4: mareggiata di Mezzogiorno (180°N), altezza significativa delle onde

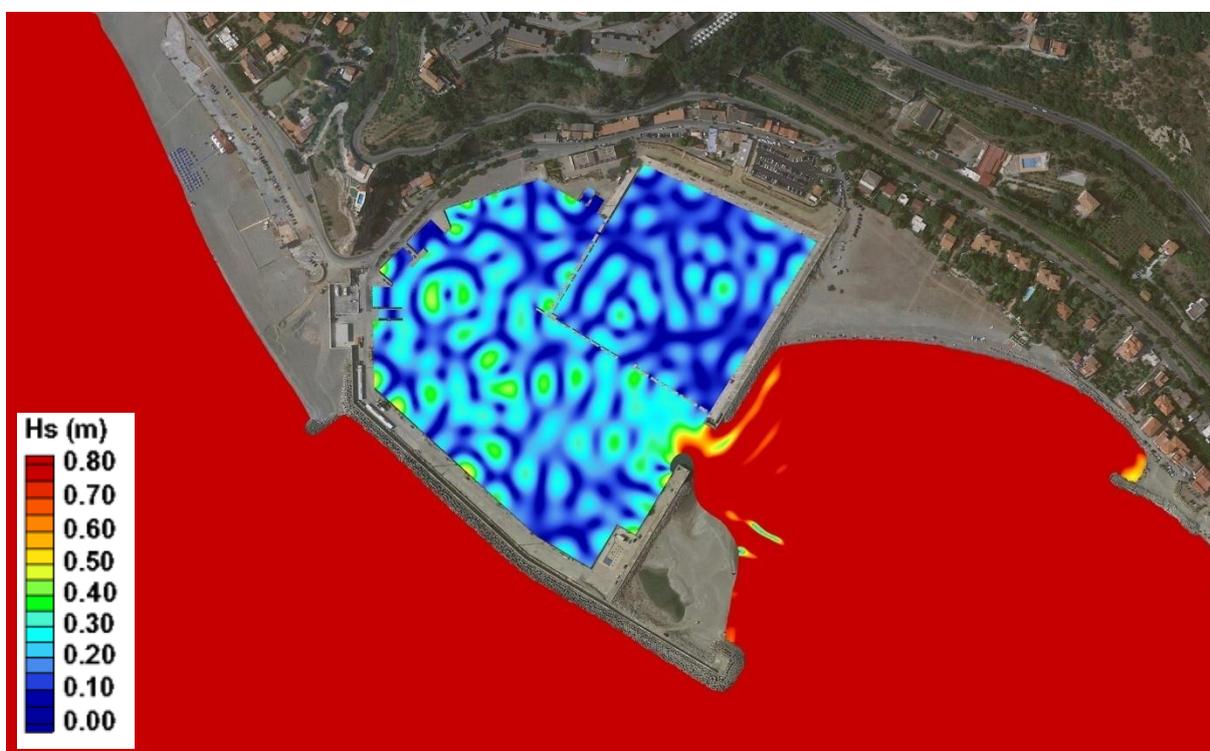


Figura 9.16 TEST 4: mareggiata di Mezzogiorno (180°N), agitazione interna

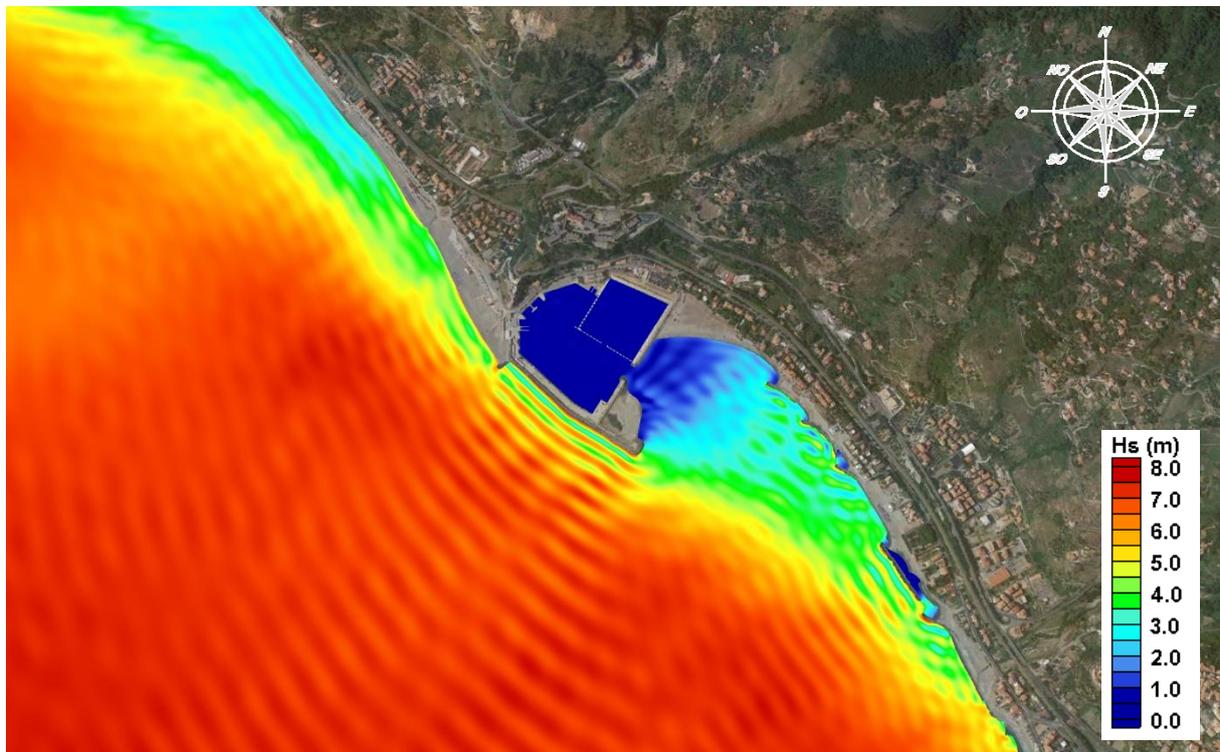


Figura 9.17 TEST 6 mareggiata di Ponente (260°N), altezza significativa delle onde

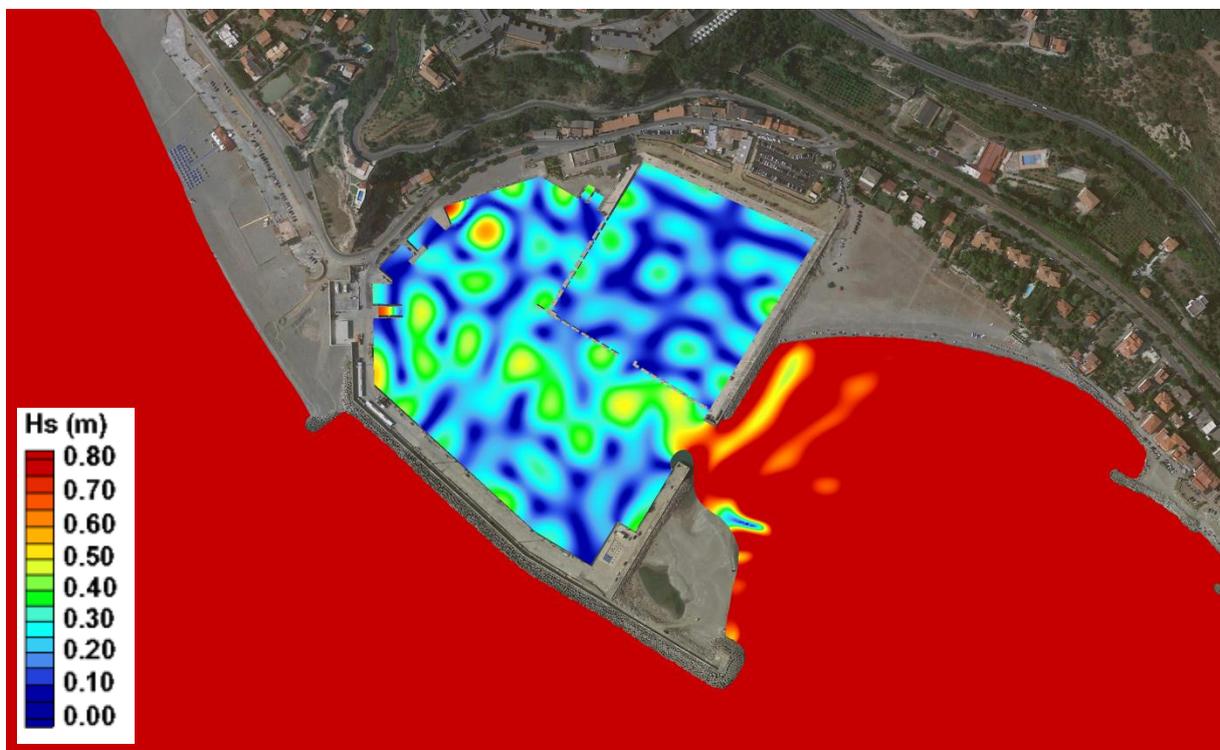


Figura 9.18 TEST 6 mareggiata di Ponente (260°N), agitazione interna

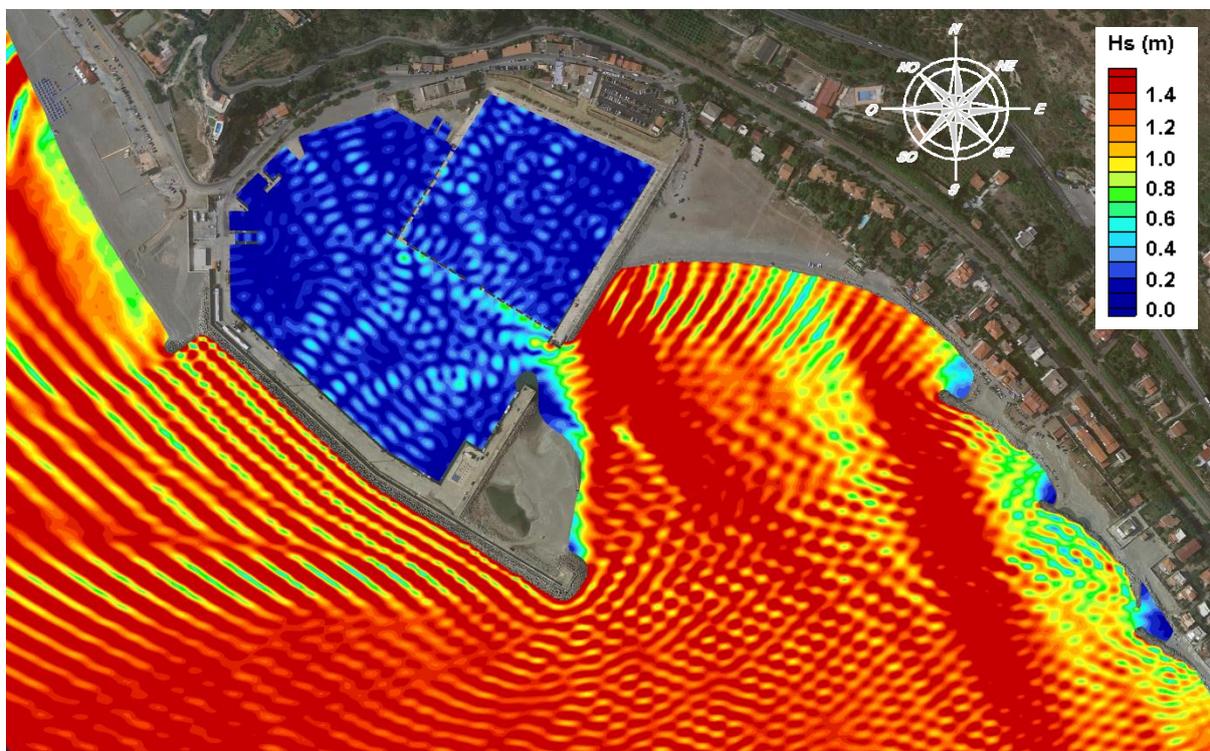


Figura 9.19 TEST 8 mareggiata generata da vento (150°N), altezza significativa delle onde

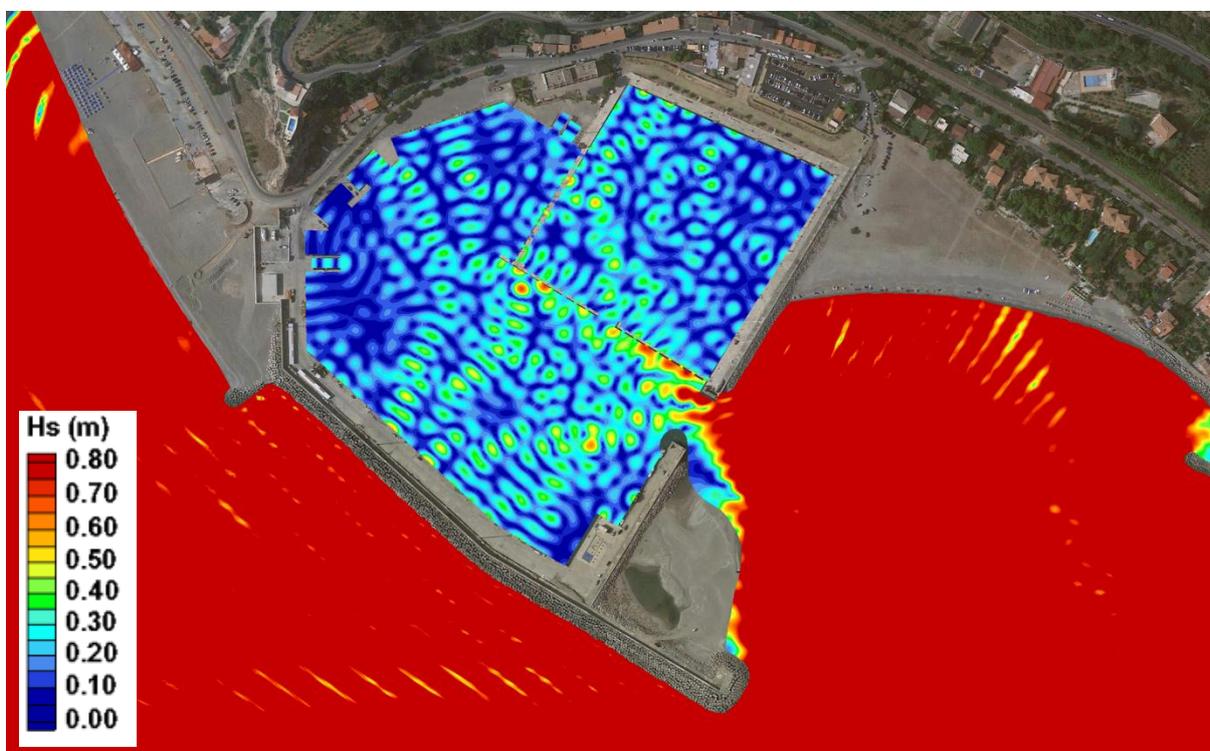


Figura 9.20 TEST 8 mareggiata di Ponente (260°N), agitazione interna

## 9.4 Analisi comparativa dei risultati per le diverse configurazioni

I risultati dello studio dell'agitazione interna per le diverse configurazioni di progetto analizzate sono riportati nelle figure alle pagine seguenti. In Figura 9.21, Figura 9.22, Figura 9.23 e Figura 9.24 sono rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa all'interno del bacino portuale, rispettivamente per il TEST 3, 4, 6 e 8. La scala cromatica è stata fissata a 0.8 m, in modo tale da rappresentare adeguatamente i risultati per tutti i test eseguiti e poterli comparare direttamente. Le diverse configurazioni sono state analizzate per tutte le mareggiate individuate, ad eccezione delle configurazioni C BIS e C TER (varianti della soluzione progettuale con pennello ricurvo), che sono state analizzate per la sola mareggiata più critica, ovvero la mareggiata di Scirocco generata dal vento localmente (TEST 8).

I risultati ottenuti hanno evidenziato che il layout del porto, nella configurazione di progetto originale (configurazione dragata) presenta importanti criticità in termini di agitazione ondosa. Tali criticità sono confermate dall'esperienza degli operatori portuali, che hanno evidenziato come il porto, appena realizzato, fosse caratterizzato da notevole agitazione ondosa, e come quest'ultima si fosse poi ridotta con l'accumularsi del materiale in testata del sopraflutto e in prossimità dell'imboccatura.

Le simulazioni hanno inoltre mostrato che gli interventi più efficaci per la riduzione dell'agitazione ondosa risultano essere la contestuale realizzazione del pennello ricurvo, della scogliera antiriflettente all'imboccatura e a ridosso del pontile su massi pilonati del porto turistico e del martelletto all'estremità di quest'ultima. Di seguito si riporta una breve sintesi dei risultati:

- Configurazione B (configurazione dragata): la rimozione dell'accumulo di sedimenti a ridosso del molo di sopraflutto riporta il porto alle condizioni di progetto originali e determina un notevole peggioramento dell'agitazione interna in tutto il bacino portuale e, in particolare, per le mareggiate di Scirocco-Mezzogiorno.
- Configurazione C (pennello ricurvo e scogliera interna): la soluzione è in grado di ridurre notevolmente l'agitazione interna per tutte le mareggiate analizzate ma presenta una criticità legata alla presenza di una struttura (il pennello), nelle immediate vicinanze dell'imboccatura, che può rendere pericolosa la manovra di ingresso al porto.
- Configurazione C BIS (solo pennello ricurvo): la soluzione, che esclude la scogliera interna, risulta comunque efficace, ma leggermente peggiorativa, rispetto alla precedente.
- Configurazione C TER (pennello ricurvo allungato): la soluzione, che prevede un pennello più lungo rispetto alla C BIS, risulta maggiormente efficace, ma riduce ulteriormente gli spazi di manovra all'imboccatura.
- Configurazione D (prolungamento sopraflutto): la soluzione è in grado di ridurre solo parzialmente l'agitazione interna, in particolare per le mareggiate di Mezzogiorno e Ponente; per essere efficace anche per le mareggiate di Scirocco, tale intervento richiederebbe un notevole allungamento del molo di sopraflutto.
- Configurazione E (modifica imboccatura): la soluzione non evidenzia una significativa efficacia in termini di riduzione dell'agitazione interna.
- Configurazione F (scogliera all'imboccatura, sul pontile su massi pilonati e martelletto): la soluzione è in grado di ridurre la riflessione dell'onda incidente sulla testata del sottoflutto e conseguentemente l'altezza d'onda in grado di penetrare all'interno del bacino; inoltre, la

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

---

presenza della scogliera interna e del martelletto è in grado di limitare il propagarsi dell'onda lungo il pontile in massi pilonati e verso gli specchi acquei più interni.

In conclusione, le simulazioni mostrano come la soluzione F sia in grado di ridurre notevolmente l'agitazione interna per tutte le mareggiate analizzate e possa quindi essere considerata ottimale in relazione alle finalità del progetto.

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

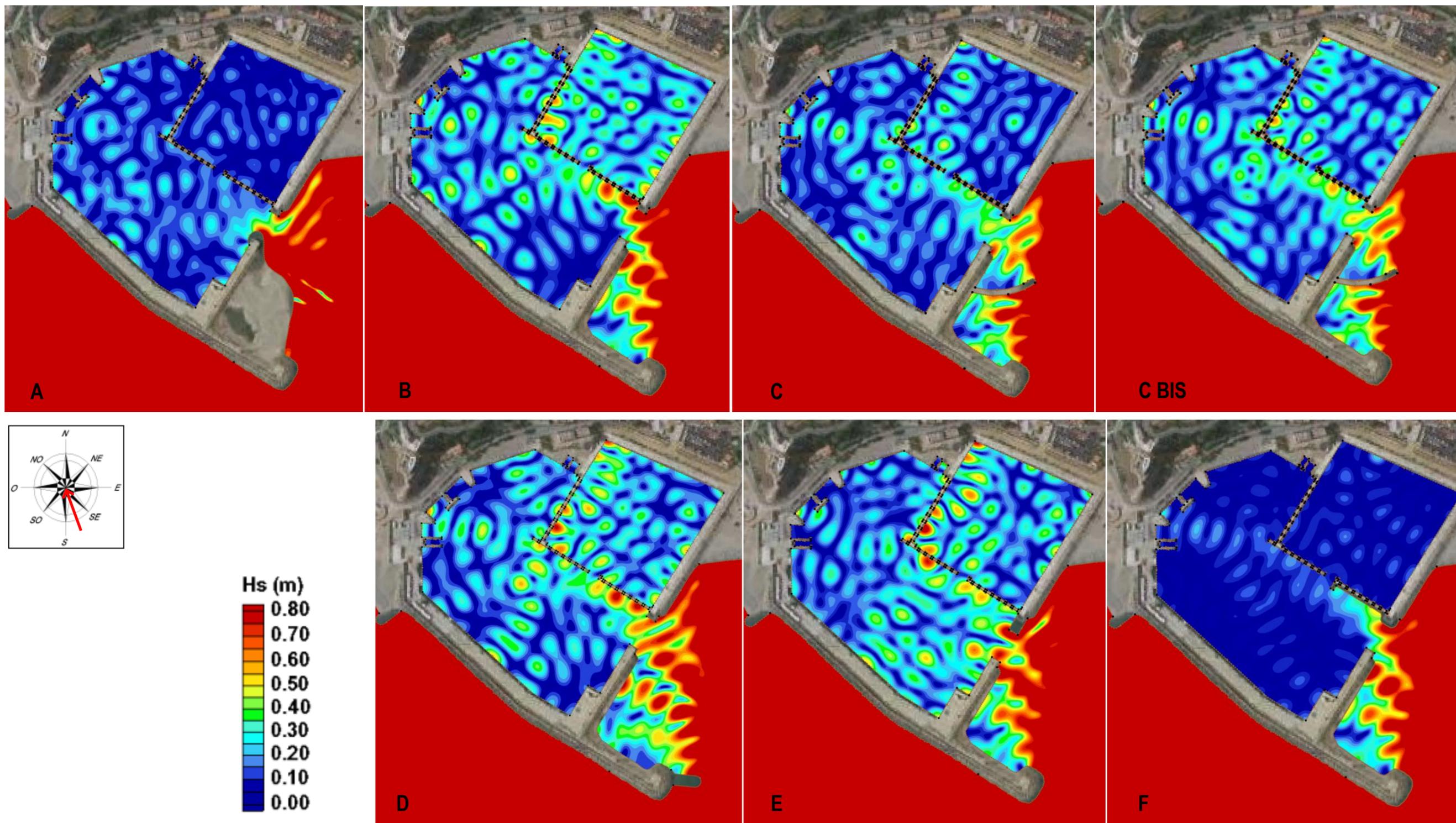


Figura 9.21 TEST 3: mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno (160°N), agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

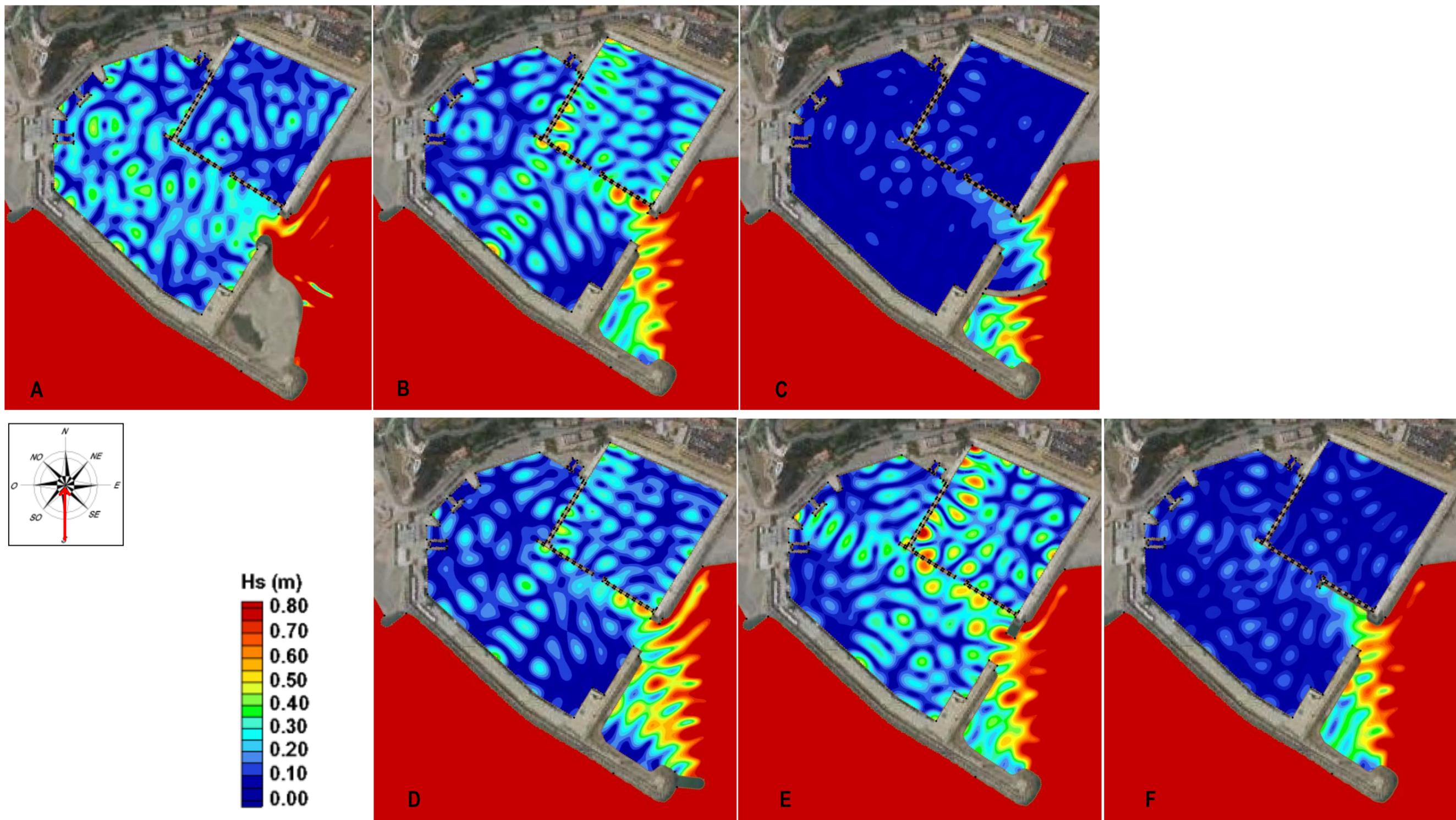


Figura 9.22 TEST 4: mareggiata di Mezzogiorno (180°N), agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

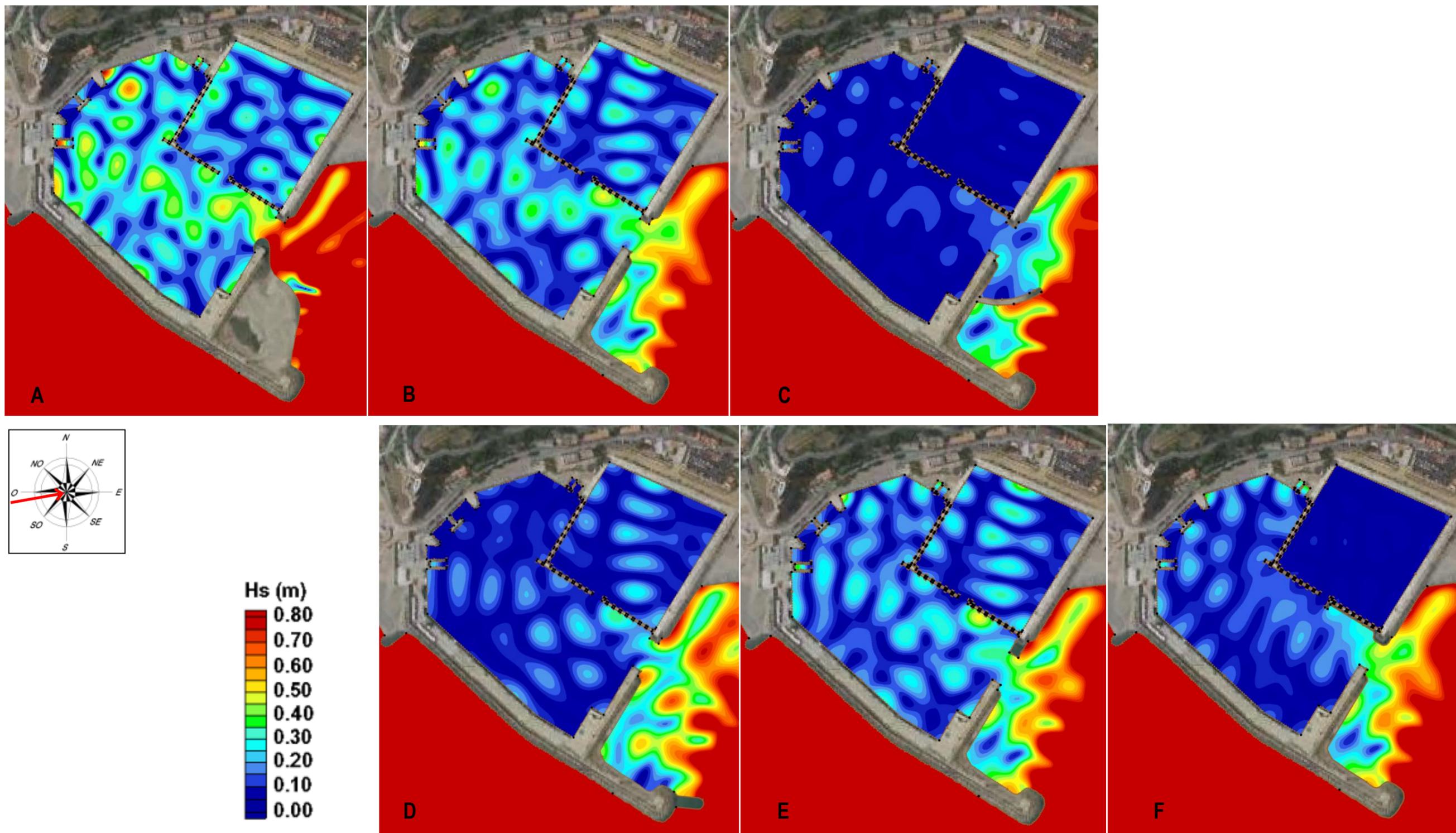


Figura 9.23 TEST 6: mareggiata di Ponente (260°N), agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

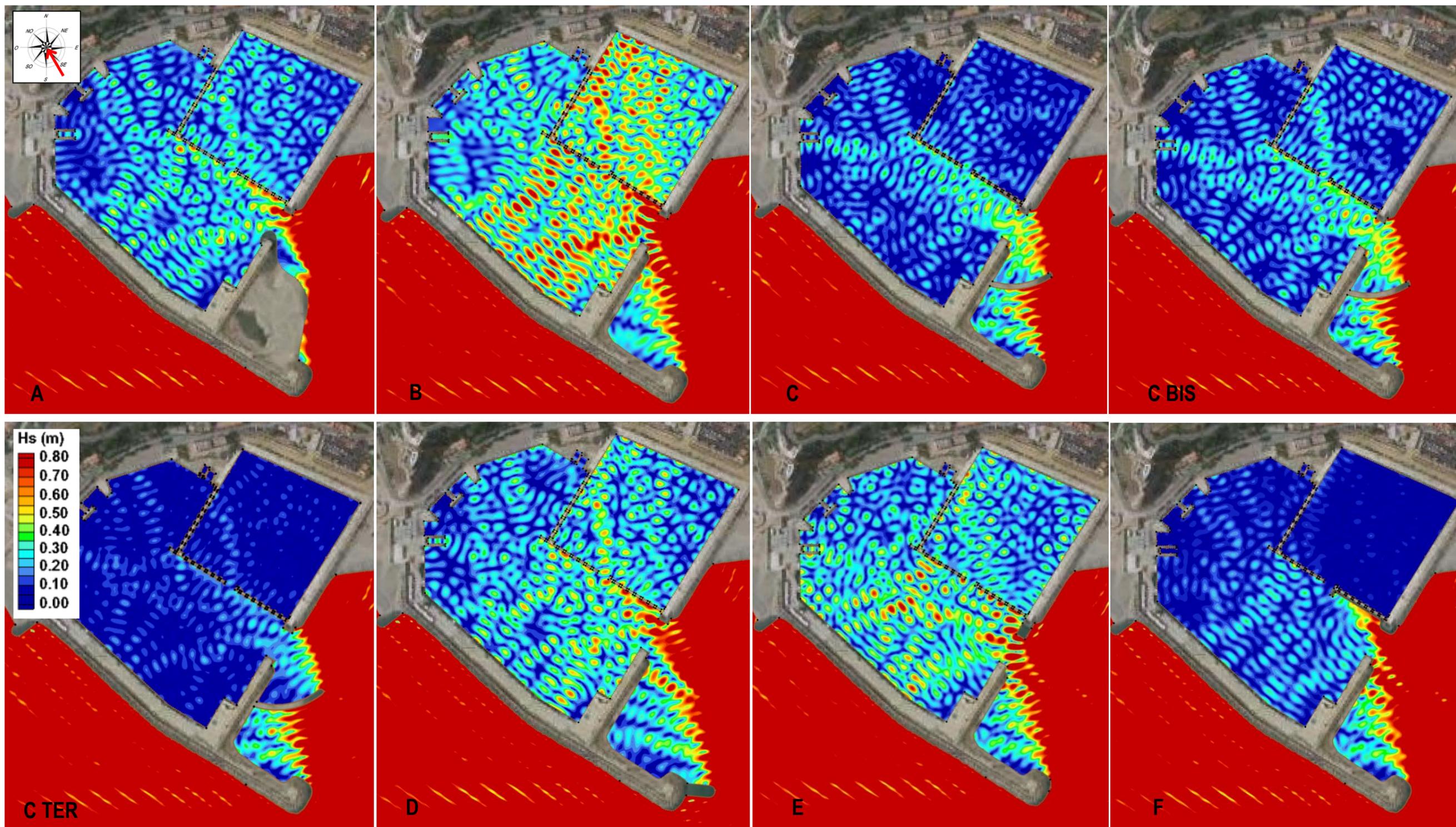


Figura 9.24 TEST 8: mareggiata generata da vento (150°N), agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali

## 9.5 Aggiornamento dello studio a seguito della conferenza dei servizi del 25-11-2019 e del parere degli Enti competenti

A seguito della conferenza dei servizi indetta in data 25-11-2019 e ai pareri degli Enti competenti (Ufficio Circondariale Marittimo di Cetraro - Guardia Costiera e Provveditorato Interregionale OO.PP. Sicilia – Calabria) è stata sviluppata una soluzione progettuale aggiornata (di seguito denominata anche "Configurazione di Progetto 2022") volta ad evitare il restringimento dell'imboccatura:

**Tabella 9.4 Descrizione sommaria della configurazione analizzata e degli interventi**

CONFIG.	DESCRIZIONE	INTERVENTO
<b>G</b>	<p><u>Configurazione di Progetto 2022</u></p> <p>Scogliere all'imboccatura (testata molo sottoflutto e molo martello) e a ridosso del pontile della darsena turistica e realizzazione di un martelletto</p>	<p>Realizzazione di scogliere sulla testata del sottoflutto e del molo martello. Inoltre è prevista una scogliera antiriflettente (con lunghezza pari a 30 m) ridossata al pontile su massi pilonati adiacente l'imboccatura e di un martelletto di chiusura in calcestruzzo di lunghezza pari a circa 12 m.</p> <p>La soluzione è in grado di garantire una larghezza di 50 m alla profondità di -4,5 m.s.m.m. nell'imboccatura</p>

I risultati dello studio dell'agitazione interna per la configurazione di progetto aggiornata G sono riportati nelle figure alle pagine seguenti e messi a confronto con i risultati della configurazione B (configurazione attuale dragata) e della configurazione F (Configurazione di Progetto 2019).

In Figura 9.25, Figura 9.26, Figura 9.27 e Figura 9.28 sono rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa all'interno del bacino portuale, rispettivamente per il TEST 3, 4, 6 e 8. La scala cromatica è stata fissata a 0.8 m, in modo tale da rappresentare adeguatamente i risultati per tutti i test eseguiti e poterli comparare direttamente.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che la Configurazione di Progetto 2022 (configurazione G) permette una maggior penetrazione del moto ondoso all'interno del porto rispetto alla Configurazione di Progetto 2019 (configurazione F) a causa dell'allargamento dell'imboccatura portuale.

Tuttavia, la Configurazione di Progetto 2022 (configurazione G) è in grado di ridurre notevolmente l'agitazione interna per tutte le mareggiate analizzate rispetto alla configurazione di progetto originale (configurazione dragata - B).

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

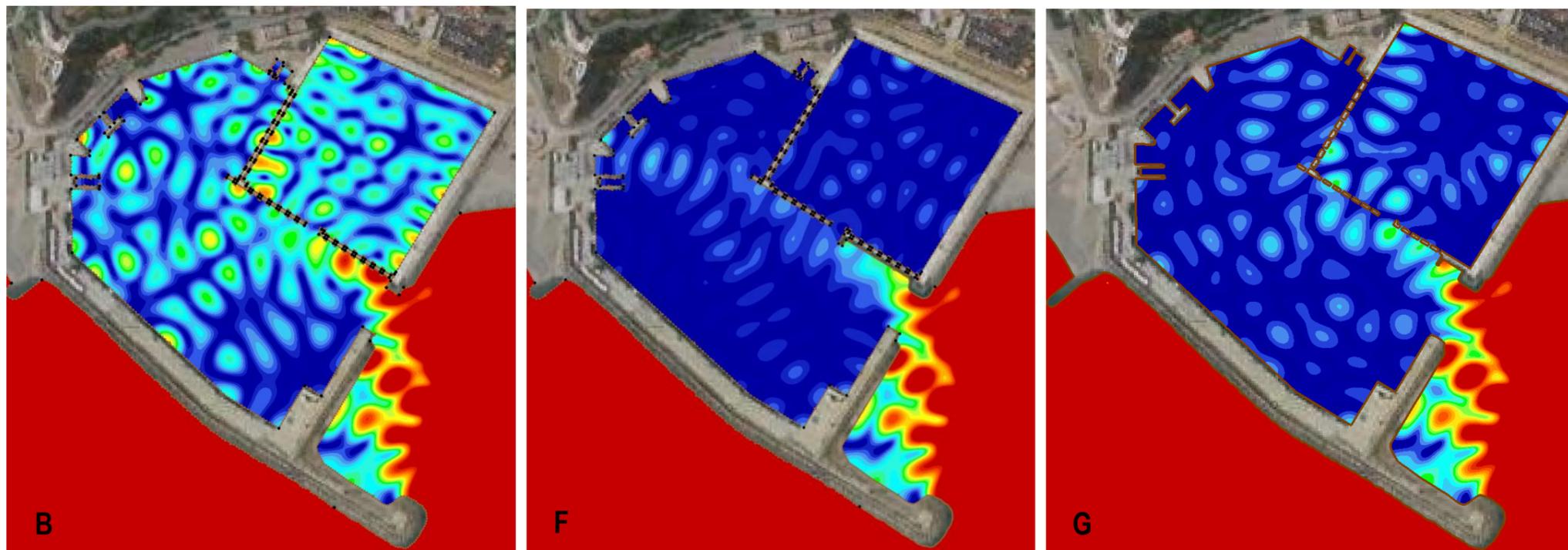
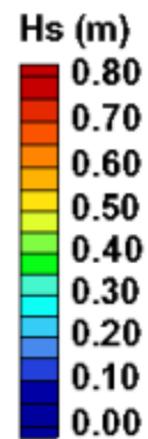
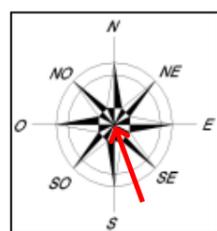


Figura 9.25 TEST 3: mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno (160°N), agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali

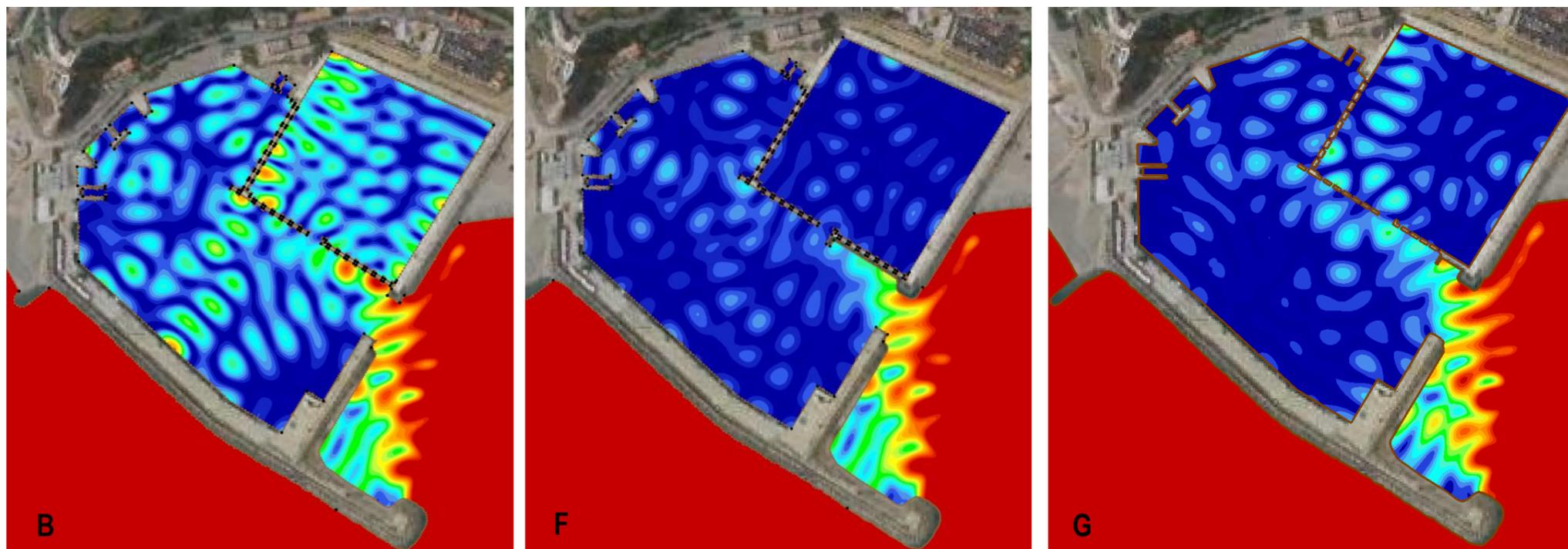
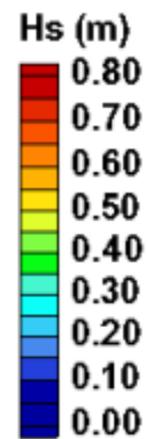
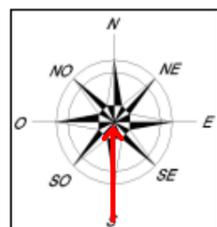


Figura 9.26 TEST 4: mareggiata di Mezzogiorno (180°N), agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

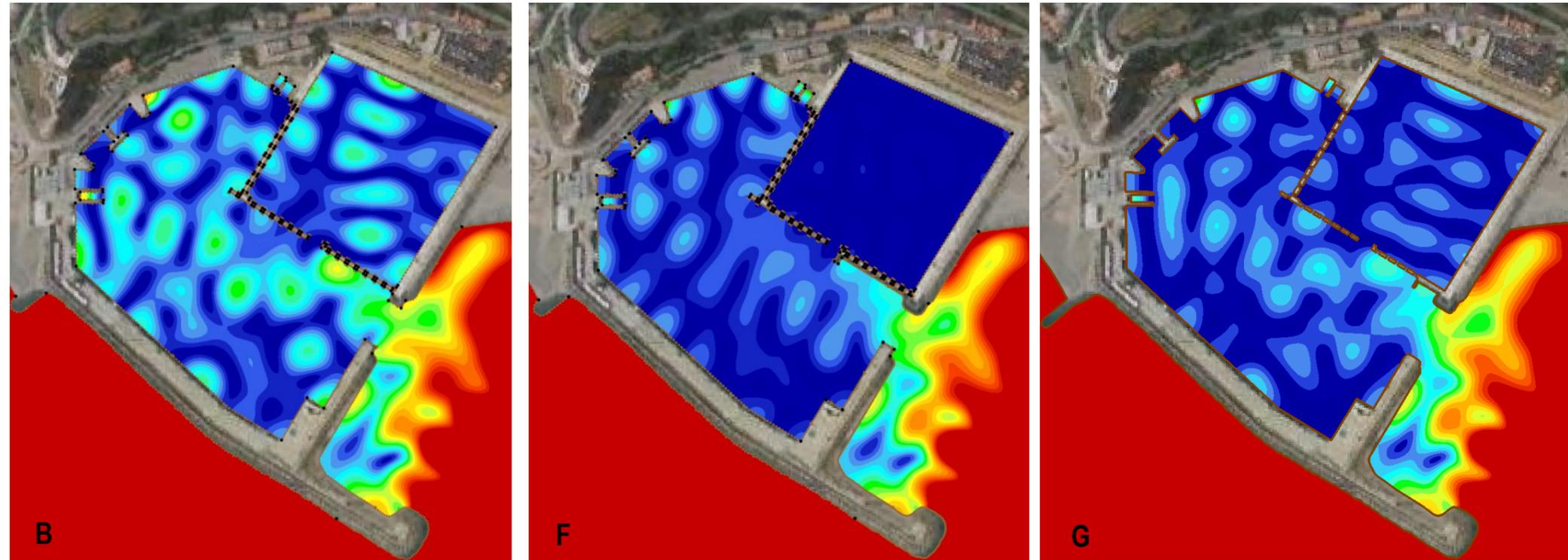
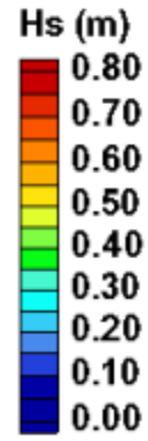
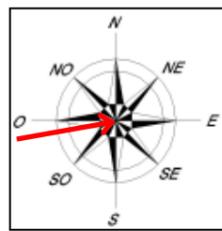


Figura 9.27 TEST 6: mareggiata di Ponente (260°N), agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali

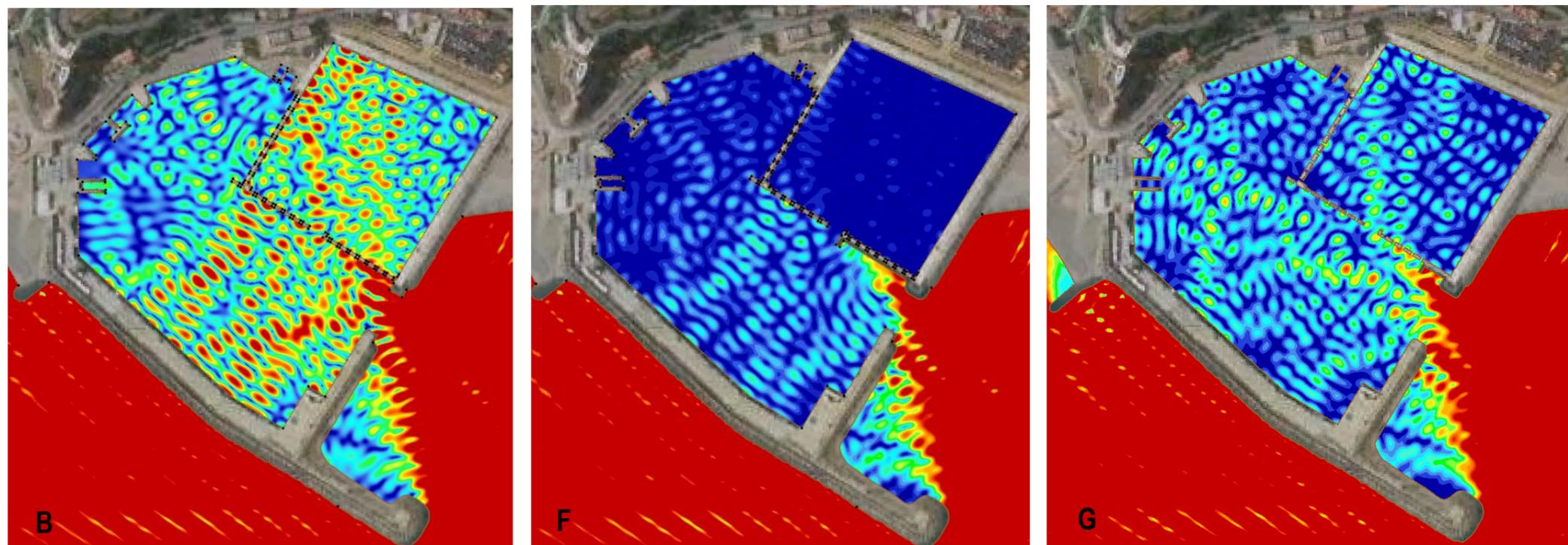
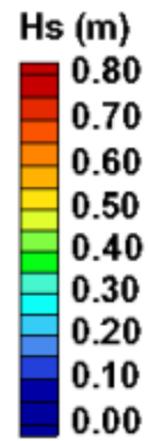
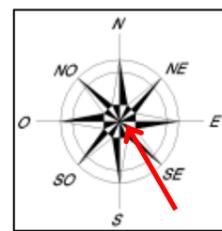


Figura 9.28 TEST 8: mareggiata generata da vento (150°N), agitazione ondosa per le diverse configurazioni progettuali

## **10 DESCRIZIONE DEL LAYOUT PROGETTUALE**

### **10.1 Configurazione di Progetto 2019**

Sulla base delle analisi svolte nel paragrafo 9.4 e delle scelte progettuali effettuate per rispondere alle diverse esigenze del porto, in fase di redazione del Progetto Definitivo nel 2019 era stato sviluppato un layout progettuale che prevede i seguenti interventi principali:

- Dragaggio dell'area antistante all'imboccatura portuale fino alla -4.5 m s.m.m. e trasporto del materiale a ripascimento nel litorale a sud del porto in località Marina di Cetraro.
- Realizzazione della scogliera all'imboccatura, della scogliera in adiacenza al pontile su massi pilonati del porto turistico e del martelletto in massi pilonati all'estremità di quest'ultimo, il tutto finalizzato alla riduzione dell'agitazione interna.
- Prolungamento del pennello di contenimento (pennello trappola), finalizzato alla ottimizzazione della gestione dei sedimenti litoranei e degli oneri di manutenzione dell'imboccatura.
- Realizzazione di un nuovo pennello lungo il litorale di Lampetia, finalizzato al riequilibrio del litorale a Nord del porto.
- Realizzazione di pontili per la piccola pesca, con pontili galleggianti a dislocamento continuo.

Di seguito, in Figura 10.1, è riportato lo schema complessivo degli interventi previsti nel Progetto definitivo 2019 per la messa in sicurezza del bacino portuale di Cetraro e per il miglioramento della funzionalità portuale.



**Figura 10.1 Configurazione di Progetto Definitivo 2019**



## **11 AGITAZIONE INTERNA IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

Nella fase finale dello studio, si è proceduto alla valutazione completa dell'agitazione interna al bacino portuale per la soluzione progettuale ottimale, individuata sulla base dei risultati ottenuti nelle analisi eseguite nel precedente paragrafo 9.

Lo studio è stato condotto sempre tramite il codice di calcolo CGWAVE, calcolando l'agitazione interna in relazione ai valori di riferimento individuati nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" (PIANC, 2002):

- condizione di "comfort":  $H_s = 0.15$  m per eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiore a 5 giorni/anno;
- condizione "di sicurezza":  $H_s = 0.30$  m per eventi con tempo di ritorno indicativamente non inferiori a 50 anni;
- condizione "limite":  $H_s = 0.50$  m per eventi con tempo di ritorno indicativamente non inferiori a 50 anni.

La verifica è stata eseguita per le direzioni di provenienza più critiche, individuate sulla base dei risultati delle precedenti analisi (cfr. precedente paragrafo 9); le analisi svolte hanno evidenziato che le mareggiate in grado di penetrare in misura maggiore all'interno del porto sono quelle provenienti da Scirocco-Mezzogiorno e quelle generate da vento lungo la direzione  $150^\circ N$ .

### **11.1 Caratteristiche delle mareggiate analizzate**

Le mareggiate analizzate nello studio sono quelle individuate dalle raccomandazioni PIANC, caratterizzate quindi da frequenza pari a 5 gg/anno e da tempi di ritorno di 5 e 50 anni. Le direzioni di provenienza simulate sono quelle risultate più critiche in base alle simulazioni preliminari.

Nel dettaglio, sono state analizzate le mareggiate provenienti da Scirocco-Mezzogiorno e quelle generate da vento lungo la direzione  $150^\circ N$ ; queste mareggiate sono infatti risultate essere quelle in grado di penetrare in misura maggiore all'interno del porto.

Le caratteristiche delle mareggiate sono state ricavate in corrispondenza del contorno del dominio CGWAVE, analogamente a quanto già fatto per lo studio dell'agitazione ondosa descritto nel precedente paragrafo 9.2.

L'altezza d'onda delle mareggiate caratterizzate da frequenza pari a 5 gg/anno per il settore di Scirocco-Mezzogiorno è stata ricavata dalla curva di durata locale per i due settori (Figura 11.1); l'altezza d'onda delle mareggiate estreme è stata ricavata dalle propagazioni degli eventi estremi. Le caratteristiche delle mareggiate generate da vento lungo la direzione  $150^\circ N$  sono state invece ricavate sulla base delle generazioni da vento.

Le caratteristiche delle 6 mareggiate complessivamente analizzate sono riportate nella successiva Tabella 11.1.

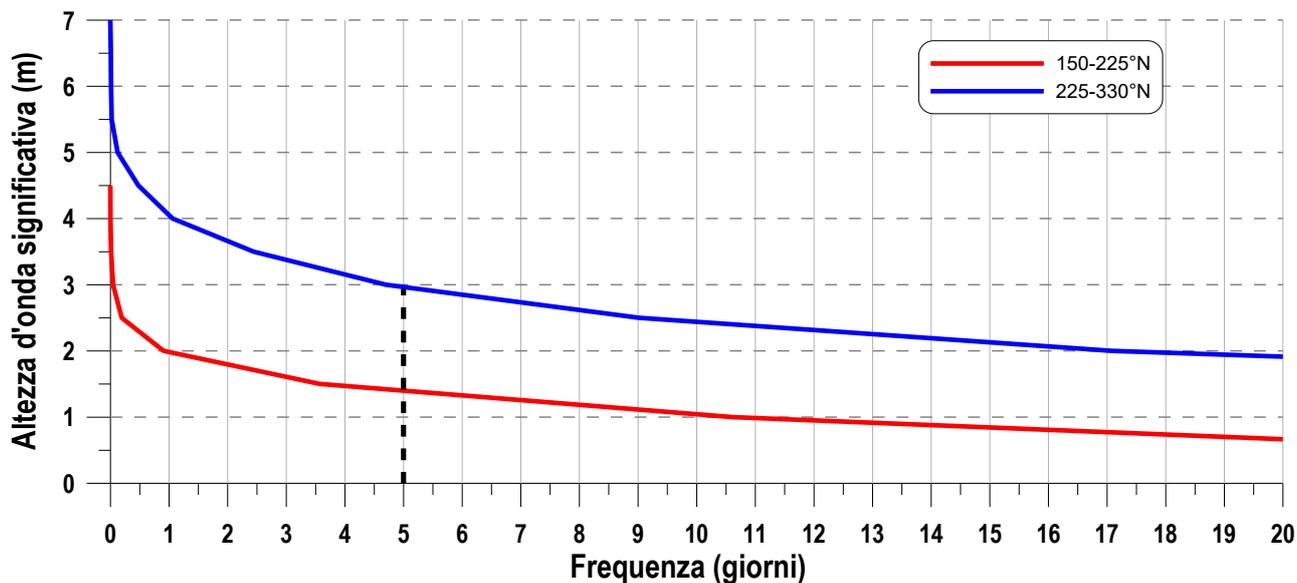


Figura 11.1 -Curva di durata locale per i due settori di traversia

Tabella 11.1 Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio dell'agitazione ondosa e impiegate come condizione al contorno sui due diversi domini

TEST	CARATTERISTICHE	AL LARGO			SUL BORDO DOMINIO GRANDE		
		H <sub>S</sub> (m)	T <sub>P</sub> (s)	Dir (°N)	H <sub>S</sub> (m)	T <sub>P</sub> (s)	Dir (°N)
1	Scirocco-Mezzogiorno T <sub>R</sub> =5 anni	3.08	7.4	160	2.80	7.4	168
3	Scirocco-Mezzogiorno T <sub>R</sub> =50 anni	4.30	8.1	160	3.80	8.1	169
10	Scirocco-Mezzogiorno durata=5 gg/anno	-	-	-	1.40	5.0	168

TEST	CARATTERISTICHE	AL LARGO			SUL BORDO DOMINIO PICCOLO		
		H <sub>S</sub> (m)	T <sub>P</sub> (s)	Dir (°N)	H <sub>S</sub> (m)	T <sub>P</sub> (s)	Dir (°N)
7	Onda da vento 150°N T <sub>R</sub> =5 anni	-	-	-	1.20	4.5	160
8	Onda da vento 150°N T <sub>R</sub> =50 anni	-	-	-	1.55	4.5	160
9	Onda da vento 150°N durata=5 gg/anno	-	-	-	0.60	3.2	160

## 11.2 Configurazione di Progetto 2019

### 11.2.1 Settaggio del modello

Per lo studio dell'agitazione ondosa sono stati impiegati i due domini definiti nel precedente paragrafo 9 (cfr. Figura 9.1 e Figura 9.2) caratterizzati da dimensioni e risoluzione differenti in funzione delle caratteristiche delle mareggiate analizzate.

Il contorno inshore dei domini è stato aggiornato per rappresentare correttamente il layout progettuale, tenendo conto del dragaggio e degli interventi strutturali previsti.

I coefficienti di riflessione da associare a ciascun elemento del dominio sono stati ricavati sulla base della bibliografia tecnica disponibile. Nella successiva Figura 11.15 sono riportati il dominio di calcolo e i valori dei coefficienti di riflessione associati agli elementi del contorno inshore.

I valori del coefficiente di riflessione, per ciascuna tipologia di elemento considerata, sono sintetizzati in Tabella 11.2.

Nel modello sono stati inoltre considerati i pontili galleggianti a dislocamento continuo che verranno impiegati per la realizzazione dell'area per la piccola pesca; tali elementi, che determinano una parziale trasmissione e conseguente riflessione dell'onda, sono infatti in grado di interagire con l'agitazione ondosa residua all'interno del bacino. Per le caratteristiche di trasmissione di questi elementi si è fatto riferimento prestazioni caratteristiche dei prodotti commerciali disponibili.



Figura 11.2 Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa nella Configurazione di Progetto 2019

**Tabella 11.2 Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore**

Descrizione tratto	Coeff. di riflessione
Banchine a parete verticale	0.90
Opera a gettata in massi artificiali	0.50
Opera a gettata in massi naturali	0.40
Scogliera all'imboccatura e interna	0.40
Martelletto	0.90
Spiaggia	0.10

### **11.2.2 Verifica delle condizioni limite**

I risultati dello studio dell'agitazione interna per eventi con tempi di ritorno di 50 anni (condizioni limite) sono riportati alle pagine seguenti; in Figura 11.3 e Figura 11.5 è riportato l'andamento delle creste rispettivamente per il TEST3 (mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno) e per il TEST 8 (onda di Scirocco generata da vento); in Figura 11.4 e Figura 11.6 sono invece rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa all'interno del bacino portuale, limitando la scala cromatica al valore massimo di 0.5 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti, si può osservare che la configurazione progettuale è in grado di assicurare un'altezza d'onda residua inferiore al valore limite in tutto il bacino portuale, ad eccezione delle immediate vicinanze dell'imboccatura portuale.

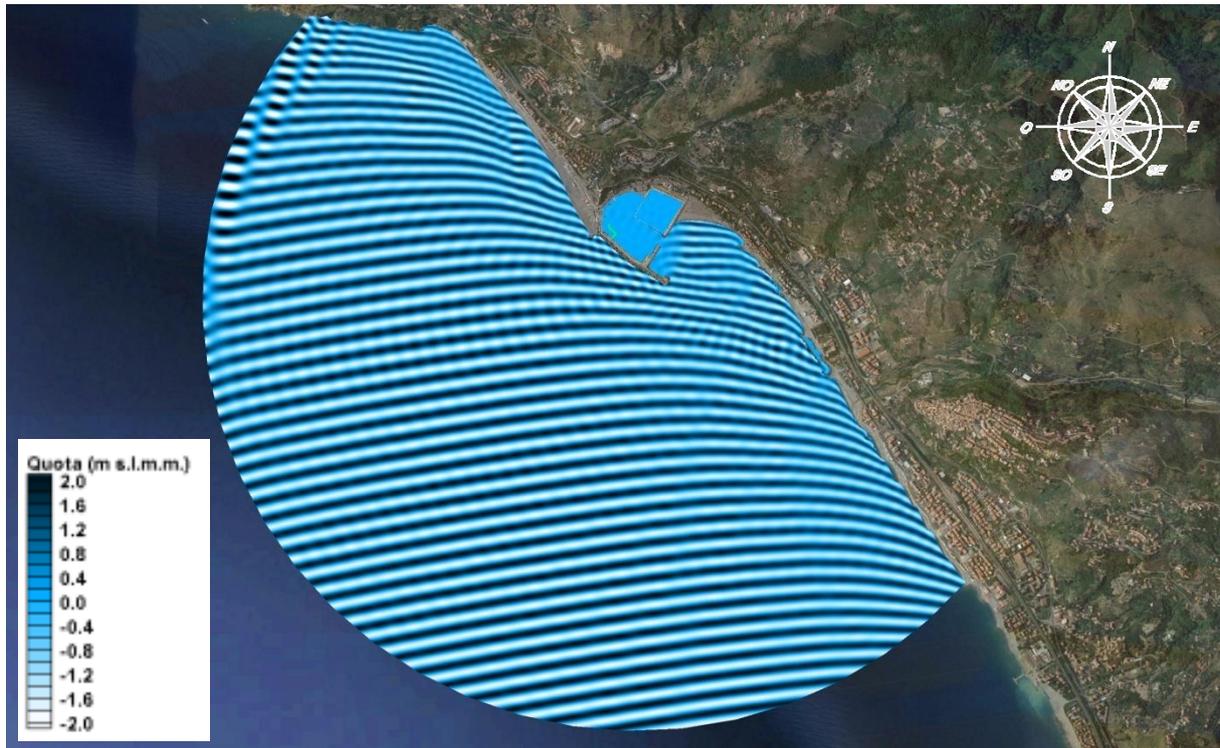


Figura 11.3 TEST 3 mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno  $T_R=50$  anni, andamento delle creste



Figura 11.4 TEST 3, verifica delle condizioni "limite"

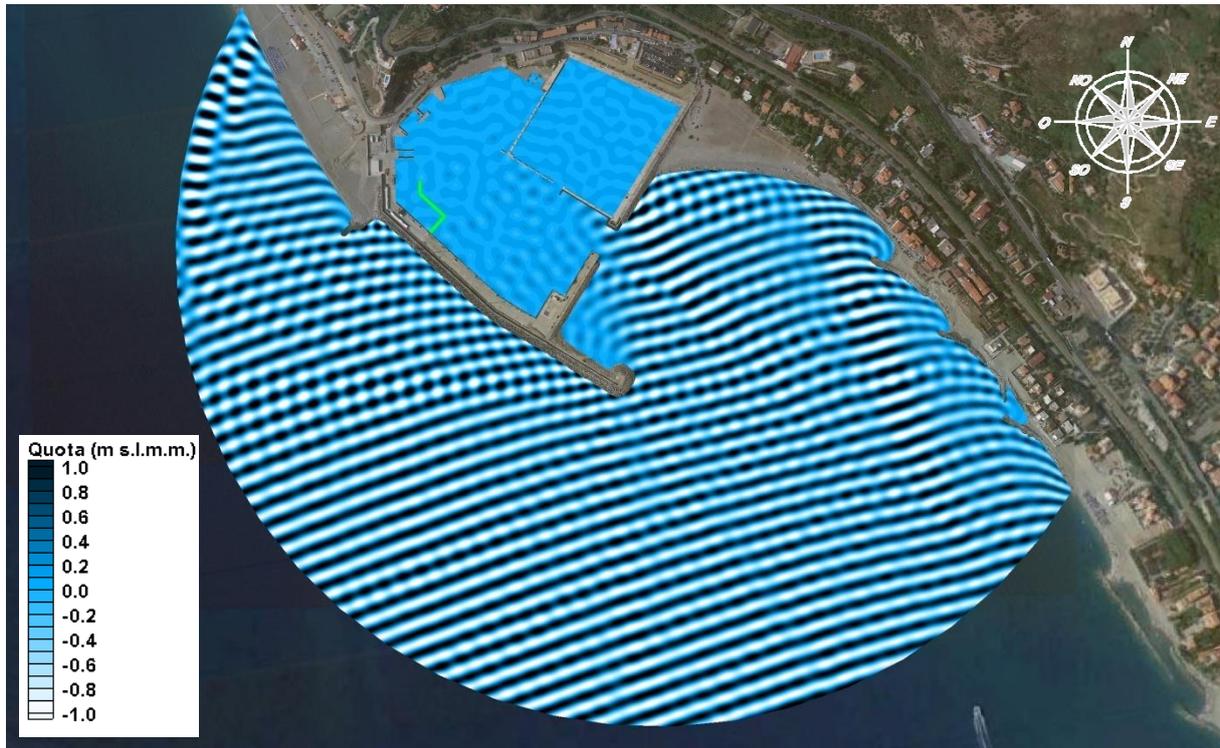


Figura 11.5 TEST 8 onda da vento 150°N  $T_R=50$  anni, andamento delle creste

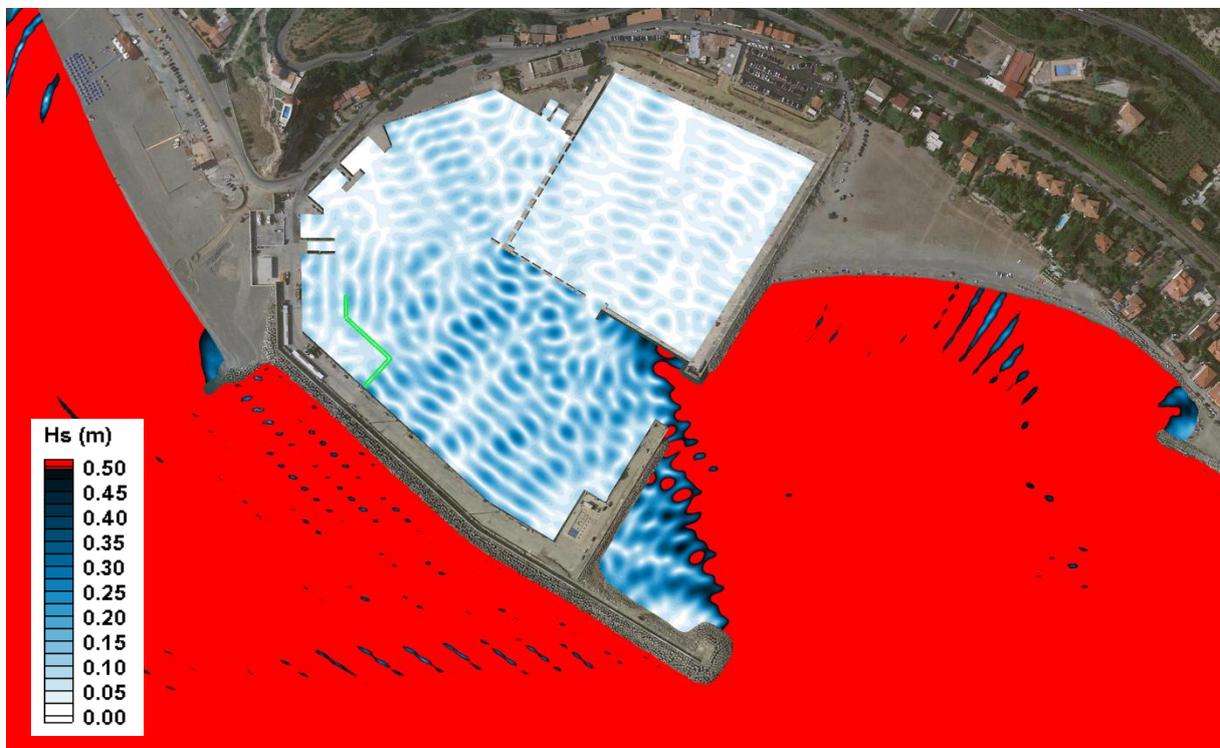


Figura 11.6 TEST 8, verifica delle condizioni "limite"

### **11.2.3 Verifica delle condizioni di sicurezza**

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa su modello matematico CGWAVE per eventi con tempi di ritorno di 5 anni (condizioni di sicurezza) sono riportati alle pagine seguenti; in Figura 11.7 e Figura 11.9 è riportato l'andamento delle creste rispettivamente per il TEST1 (mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno) e per il TEST 7 (onda di Scirocco generata da vento), mentre in Figura 11.8 e Figura 11.10 sono rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa all'interno del bacino portuale, limitando la scala cromatica al valore massimo di 0.3 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si può osservare come la configurazione progettuale sia in grado di assicurare un'altezza d'onda residua inferiore al valore raccomandato, in tutto il bacino portuale, ad eccezione dell'area in adiacenza alla nuova scogliera e in alcune zone puntuali nei pressi dell'ingresso del bacino portuale.

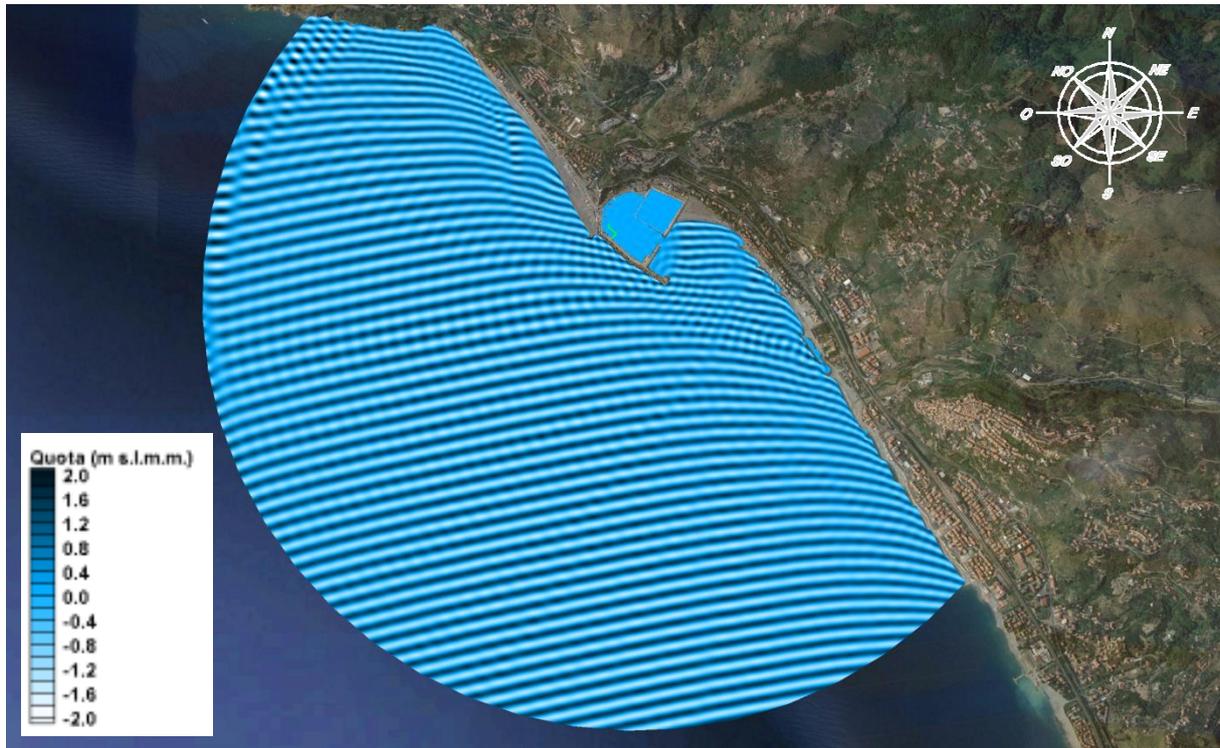


Figura 11.7 TEST 1 mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno  $T_R=5$  anni, andamento delle creste

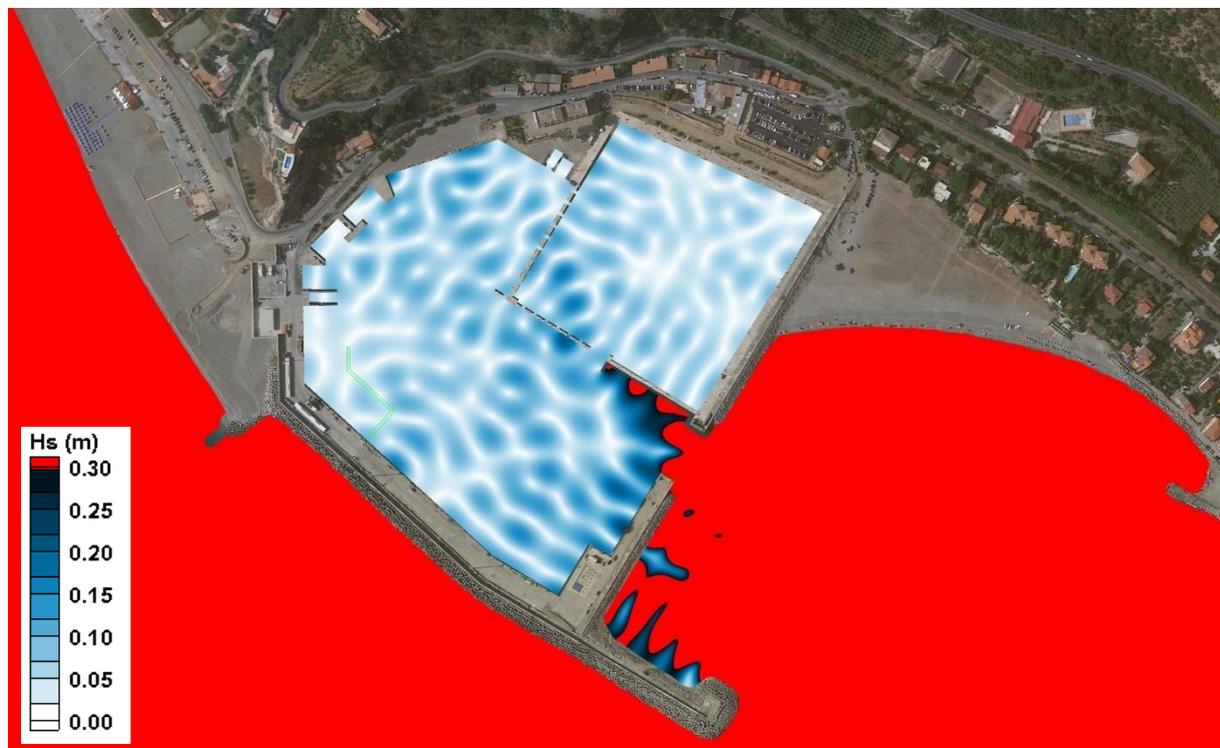


Figura 11.8 TEST 1, verifica delle condizioni "di sicurezza"

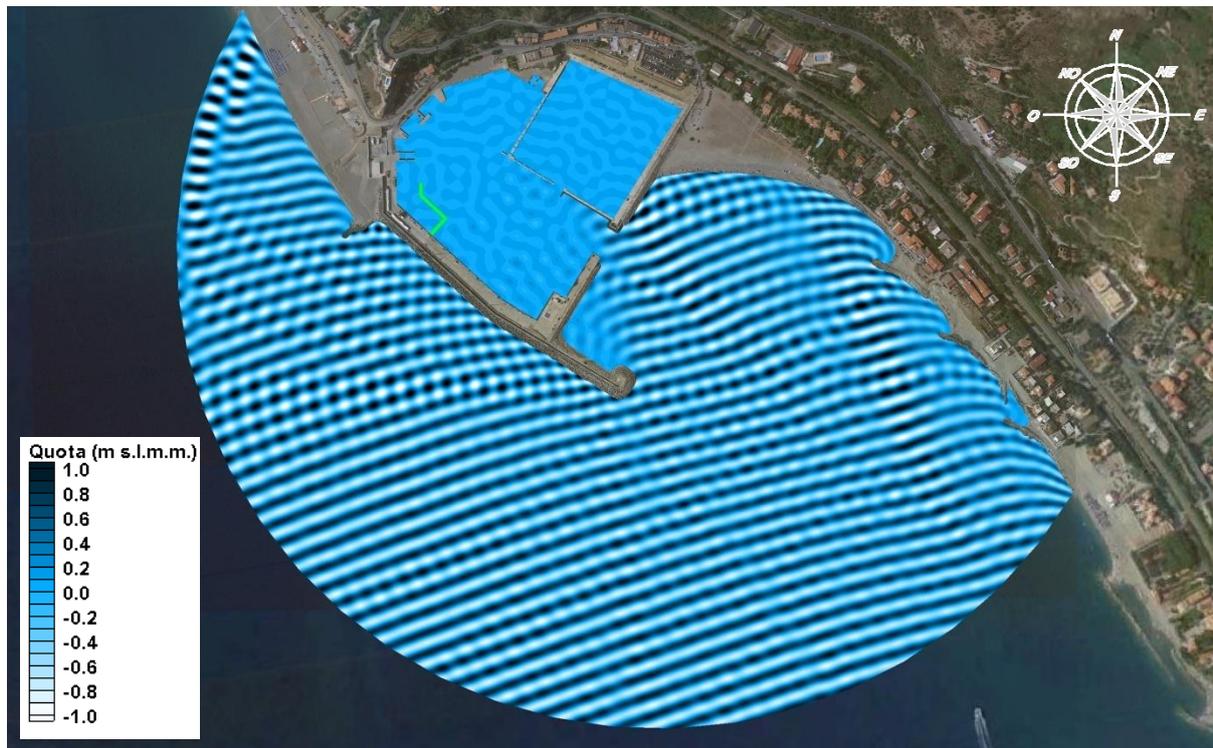


Figura 11.9 TEST 7 onda da vento 150°N  $T_R=5$  anni, andamento delle creste

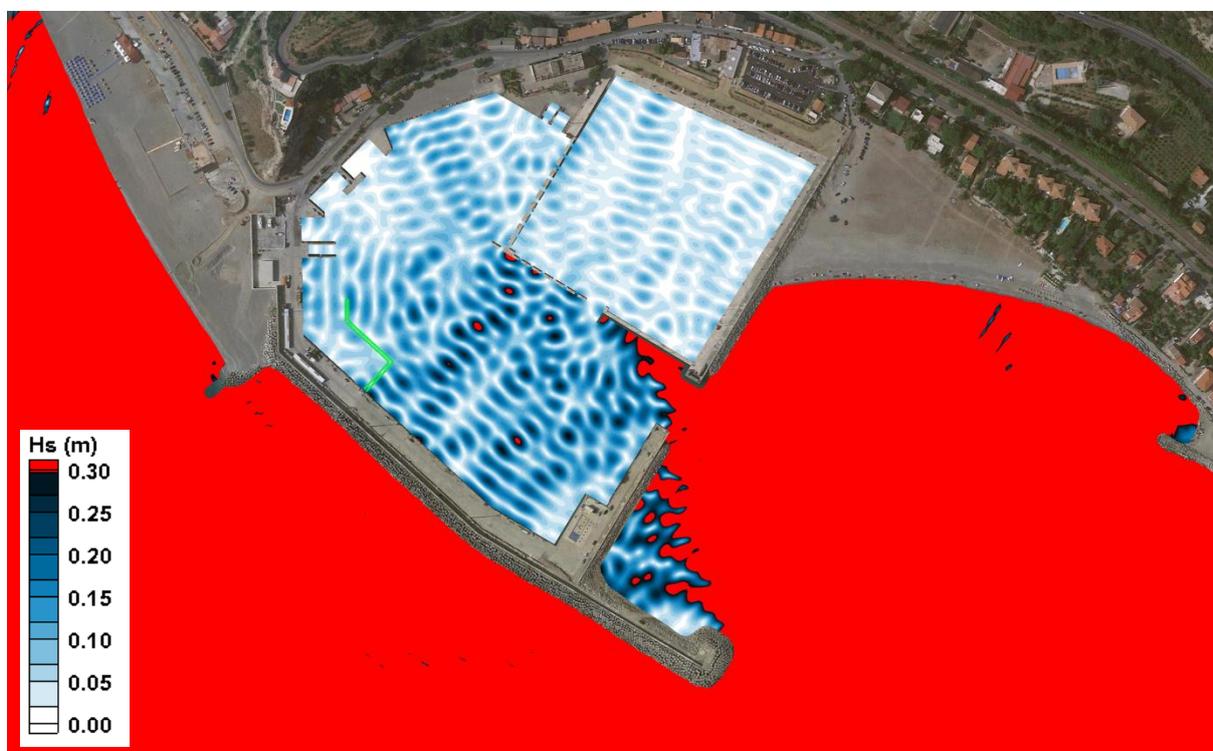


Figura 11.10 TEST 7, verifica delle condizioni "di sicurezza"

#### **11.2.4 Verifica delle condizioni di comfort**

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa su modello matematico CGWAVE per eventi con durata di 5 giorni/anno (condizioni di comfort) sono riportati alle pagine seguenti: in Figura 11.11 e Figura 11.13 è riportato l'andamento delle creste rispettivamente per il TEST10 (mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno) e per il TEST 9 (onda generata da vento), mentre in Figura 11.12 e Figura 11.14 sono rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa all'interno del bacino portuale, limitando la scala cromatica al valore massimo di 0.15 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Si sottolinea che i valori consigliati si riferiscono a condizioni di "comfort", specificamente concepite per imbarcazioni da diporto, all'interno delle quali è prevista la presenza prolungata di persone. Dai risultati ottenuti si può osservare che la configurazione del Progetto Definitivo 2019 è in grado di assicurare pressoché ovunque, all'interno della darsena turistica, un'altezza d'onda residua inferiore al valore raccomandato.

Nella zona adibita a scopi sociali e/o didattici scientifici si rilevano superamenti del valore raccomandato, con altezze d'onda di poco superiori ai 15 cm. In questa zona, tuttavia, saranno ormeggiate imbarcazioni per le quali si può ipotizzare che non debba essere garantita con continuità la condizione di comfort.

Nel resto del bacino portuale, principalmente adibito allo stazionamento di imbarcazioni ad uso commerciale e diverso da quello turistico, si osservano diverse aree in cui il valore di altezza d'onda risulta essere superiore al valore consigliato, raggiungendo valori massimi comunque inferiori ai 30 cm. Si ritiene che tali valori possano essere compatibili con la funzionalità dell'infrastruttura portuale.

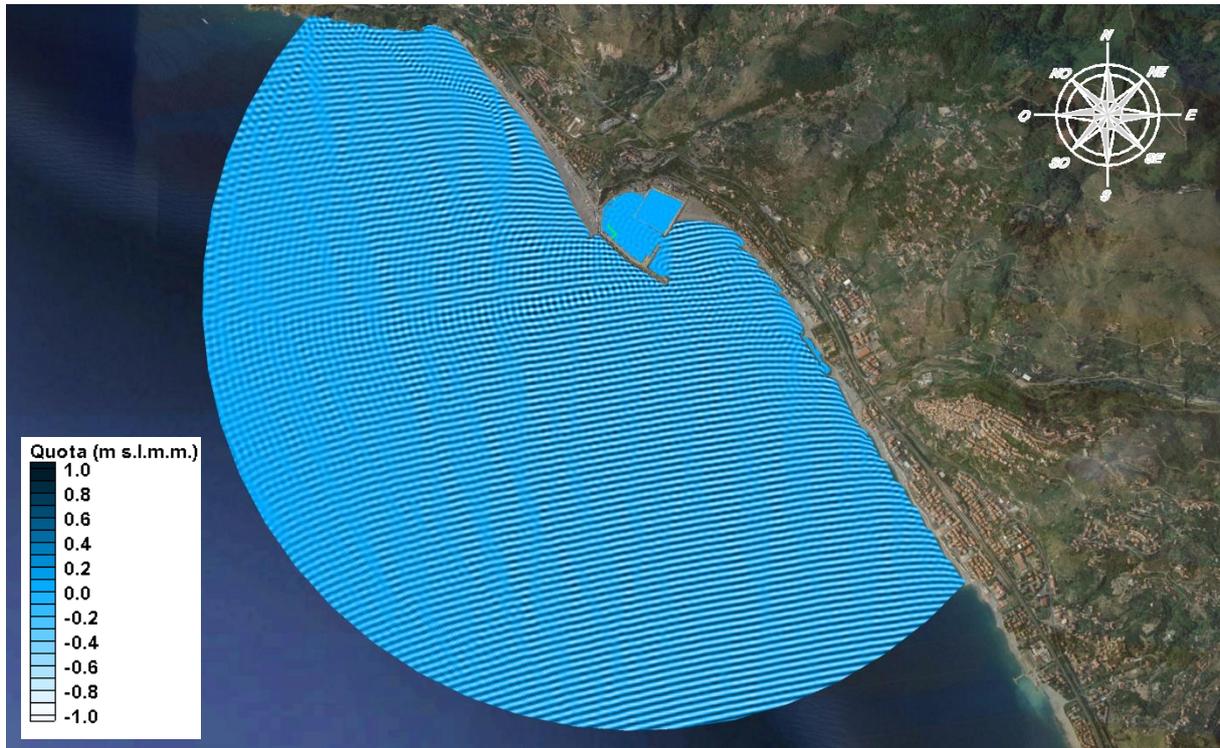


Figura 11.11 TEST 10 mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno durata=5gg/anno, andamento delle creste



Figura 11.12 TEST 10, verifica delle condizioni "di comfort"

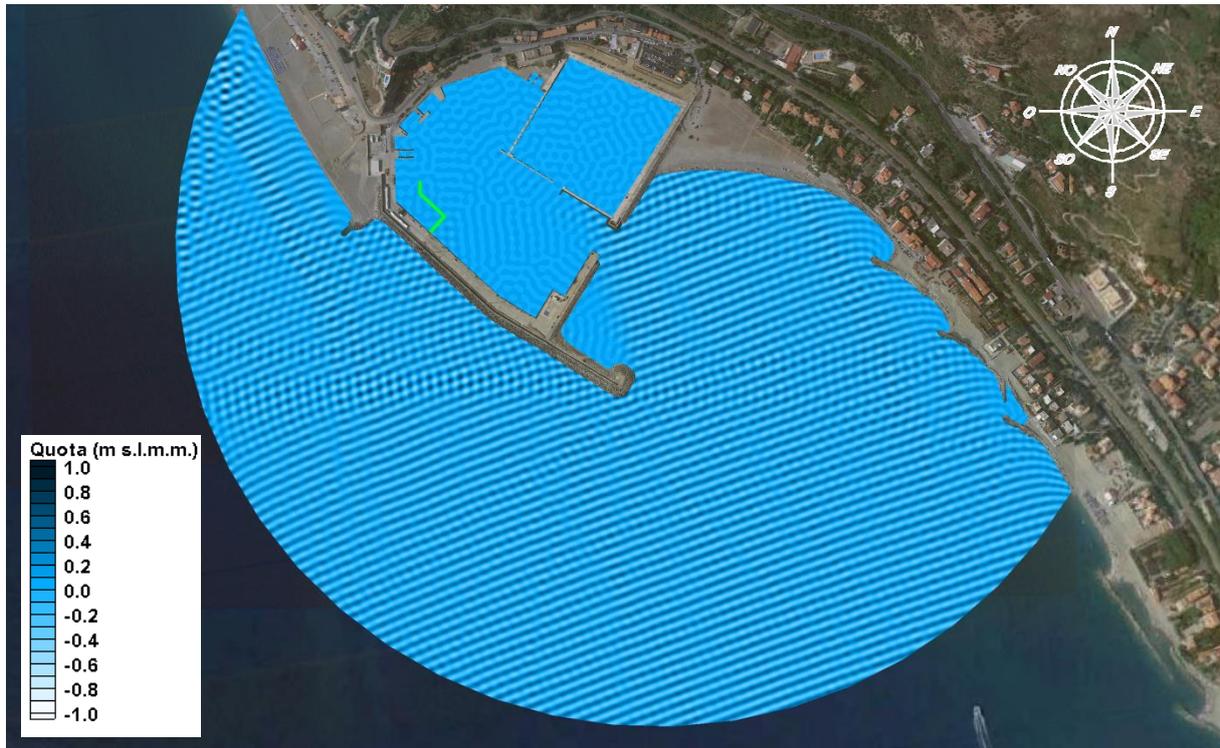


Figura 11.13 TEST 9 onda da vento 150°N durata=5 gg/anno, andamento delle creste

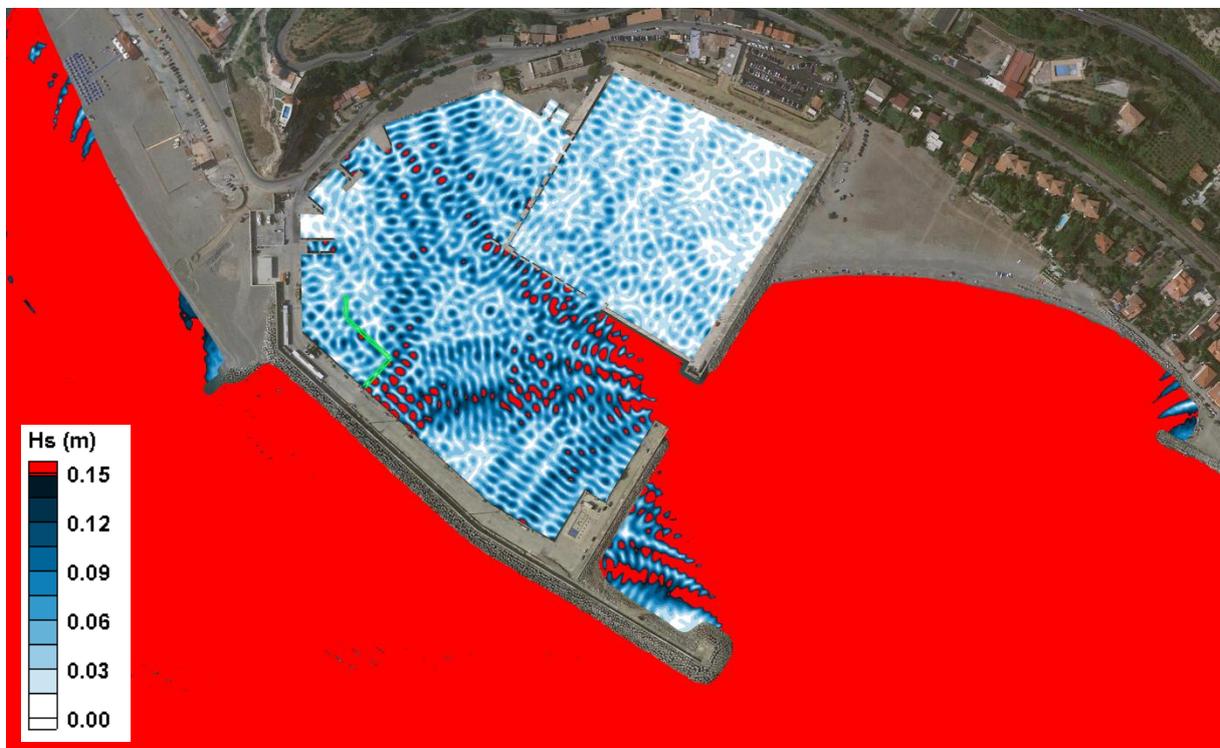


Figura 11.14 TEST 9, verifica delle condizioni "di comfort"

## 11.1 Configurazione di Progetto 2022

### 11.1.1 Settaggio del modello

Il contorno inshore dei domini è stato aggiornato in relazione alle modifiche introdotte con la Configurazione di Progetto 2022 (realizzazione scogliera all'imboccatura, in adiacenza al pontile su massi pilonati e realizzazione del martelletto all'estremità di quest'ultimo).

I coefficienti di riflessione da associare a ciascun elemento del dominio sono stati ricavati sulla base della bibliografia tecnica disponibile.

Nella successiva Figura 11.15 sono riportati il dominio di calcolo e i valori dei coefficienti di riflessione associati agli elementi del contorno inshore.

I valori del coefficiente di riflessione, per ciascuna tipologia di elemento considerata, sono sintetizzati in Tabella 11.3.

Nel modello sono stati inoltre considerati i pontili galleggianti a dislocamento continuo che verranno impiegati per la realizzazione dell'area per la piccola pesca; tali elementi, che determinano una parziale trasmissione e conseguente riflessione dell'onda, sono infatti in grado di interagire con l'agitazione ondosa residua all'interno del bacino. Per le caratteristiche di trasmissione di questi elementi si è fatto riferimento prestazioni caratteristiche dei prodotti commerciali disponibili.



Figura 11.15 Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa nella Configurazione di Progetto 2022

**Tabella 11.3 Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore**

Descrizione tratto	Coeff. di riflessione
Banchine a parete verticale	0.90
Opera a gettata in massi artificiali	0.50
Opera a gettata in massi naturali	0.40
Scogliera all'imboccatura e interna	0.40
Martelletto	0.90
Spiaggia	0.10

**11.1.2 Verifica delle condizioni limite**

I risultati dello studio dell'agitazione interna per eventi con tempi di ritorno di 50 anni (condizioni limite) sono riportati alle pagine seguenti; in Figura 11.16 e Figura 11.17 sono rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, rispettivamente per il TEST3 (mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno) e per il TEST 8 (onda di Scirocco generata da vento), i valori di altezza d'onda significativa all'interno del bacino portuale, limitando la scala cromatica al valore massimo di 0.5 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti, si può osservare che la configurazione progettuale è in grado di assicurare un'altezza d'onda residua inferiore al valore limite in tutto il bacino portuale, ad eccezione delle immediate vicinanze dell'imboccatura portuale.

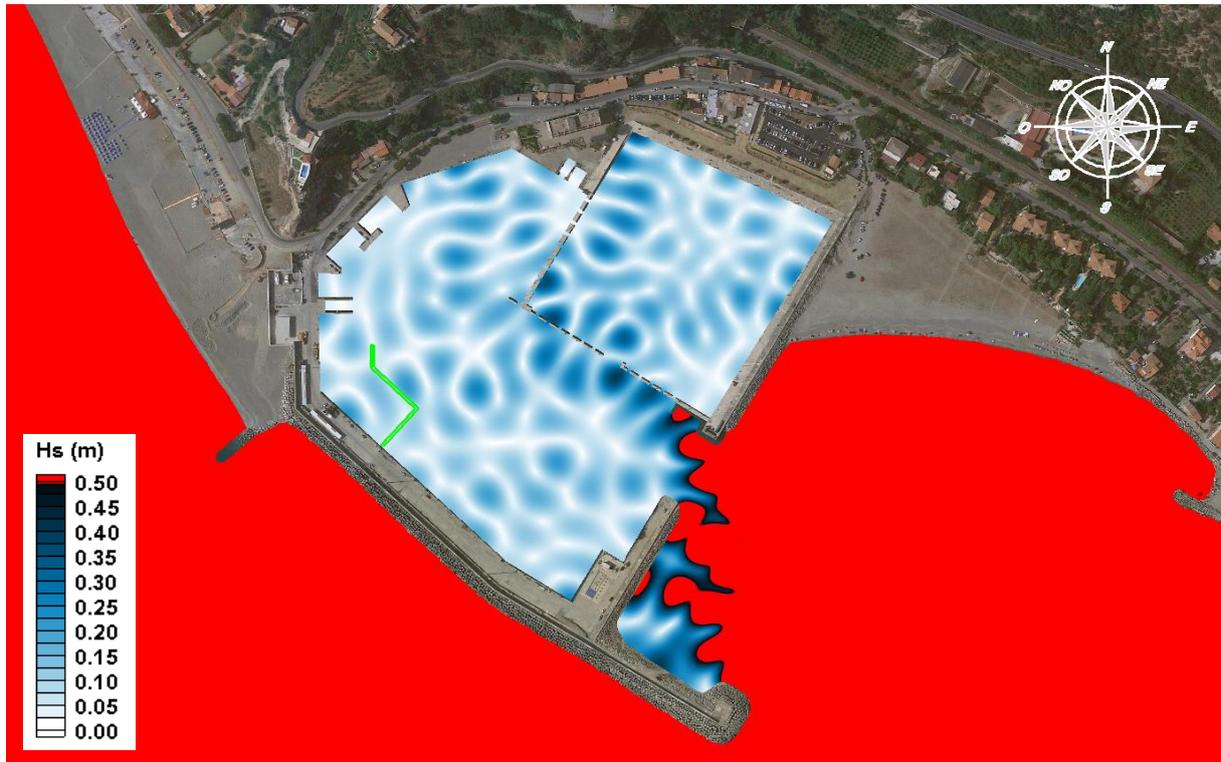


Figura 11.16 TEST 3, verifica delle condizioni "limite"



Figura 11.17 TEST 8, verifica delle condizioni "limite"

### **11.1.3 Verifica delle condizioni di sicurezza**

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa su modello matematico CGWAVE per eventi con tempi di ritorno di 5 anni (condizioni di sicurezza) sono riportati alle pagine seguenti; in Figura 11.18 e Figura 11.19 sono rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, è riportato l'andamento delle creste rispettivamente per il TEST1 (mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno) e per il TEST 7 (onda di Scirocco generata da vento), i valori di altezza d'onda significativa all'interno del bacino portuale, limitando la scala cromatica al valore massimo di 0.3 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Dai risultati ottenuti si può osservare come la configurazione progettuale sia in grado di proteggere abbastanza efficacemente il bacino portuale, con un'altezza d'onda residua inferiore al valore raccomandato, in buona parte del bacino, ad eccezione dell'area prossima all'imboccatura e in alcune zone puntuali.

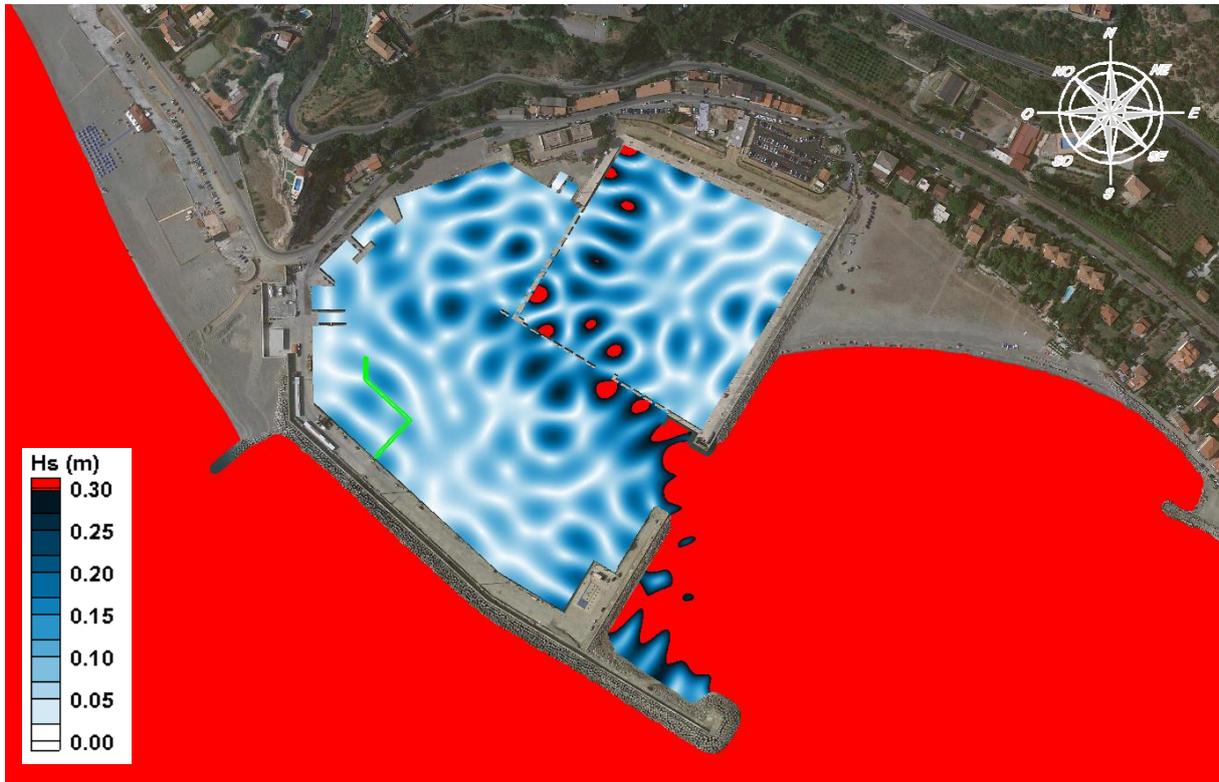


Figura 11.18 TEST 1, verifica delle condizioni "di sicurezza"



Figura 11.19 TEST 7, verifica delle condizioni "di sicurezza"

#### **11.1.4 Verifica delle condizioni di comfort**

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa su modello matematico CGWAVE per eventi con durata di 5 giorni/anno (condizioni di comfort) sono riportati alle pagine seguenti: in Figura 11.20 e Figura 11.21 sono rappresentati, mediante gradazioni cromatiche, rispettivamente per il TEST10 (mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno) e per il TEST 9 (onda generata da vento), i valori di altezza d'onda significativa all'interno del bacino portuale, limitando la scala cromatica al valore massimo di 0.15 m per evidenziare le zone di non conformità alle Raccomandazioni PIANC.

Si sottolinea che i valori consigliati si riferiscono a condizioni di "comfort", specificatamente concepite per imbarcazioni da diporto, all'interno delle quali è prevista la presenza prolungata di persone. Dai risultati ottenuti si può osservare che la configurazione progettuale è in grado di assicurare in buona parte della darsena turistica, un'altezza d'onda residua inferiore al valore raccomandato; i superamenti del valore consigliato si rilevano in aree localizzate con valori massimi comunque dell'ordine dei 20-25 cm.

Nel resto del bacino portuale, principalmente adibito allo stazionamento di imbarcazioni ad uso commerciale e diverso da quello turistico, si osservano diverse aree in cui il valore di altezza d'onda risulta essere superiore al valore consigliato, raggiungendo valori massimi comunque inferiori o prossimi ai 30 cm. Si ritiene che tali valori possano essere compatibili con la funzionalità dell'infrastruttura portuale.

#### **11.1.5 Conclusioni**

I risultati dello studio su modello dell'agitazione ondosa all'interno del Porto di Cetraro hanno evidenziato che la Configurazione di Progetto 2022, che interviene su una struttura portuale che ha evidenziato diverse criticità fin dalla messa in esercizio, è in grado di ridurre notevolmente l'agitazione interna, garantendo altezze d'onda compatibili con la sicurezza delle imbarcazioni ormeggiate per eventi ondosi estremi caratterizzati da tempi di ritorno 50 anni (condizioni limite).

Per le condizioni di sicurezza e, soprattutto, di comfort si rilevano superamenti dei valori consigliati dalle Raccomandazioni in alcune aree del bacino. Tali superamenti non dovrebbero comunque pregiudicare la funzionalità dell'infrastruttura portuale. Non sarebbe stato del resto possibile garantire, entro i limiti tecnici ed economici del progetto, nonché delle prescrizioni imposte dagli Enti, una funzionalità ed efficacia degli interventi superiore a quella ottenuta con la configurazione individuata.



Figura 11.20 TEST 10, verifica delle condizioni "di comfort"



Figura 11.21 TEST 9, verifica delle condizioni "di comfort"

## **12 DINAMICA LITORANEA LOCALE**

Il presente paragrafo descrive lo studio della dinamica litoranea del litorale di Cetraro. Lo studio ha analizzato la dinamica prodotta dalla persistenza di determinate condizioni di moto ondoso (cioè a regime, in condizioni stazionarie), che si ritengono significative e rappresentative per il sito oggetto di intervento. Lo studio è stato condotto mediante l'utilizzo del codice di calcolo CMS-Flow (circolazione idrodinamica), accoppiato al codice di calcolo CMS-Wave (propagazione del moto ondoso). La descrizione dettagliata dei codici di calcolo CMS-Wave e CMS-Flow è riportata in dettaglio nell'Allegato A.

Per lo studio delle correnti costiere sono state considerate come forzanti principali il moto ondoso e il vento; il primo obiettivo dello studio è infatti l'analisi della dinamica sedimentologica, che tipicamente si instaura quando il moto ondoso porta in sospensione i sedimenti. Il campo di moto ondoso sottocosta (forzante del modello idrodinamico) è stato ricavato, a partire dalle condizioni meteomarine sottocosta (cfr. precedente paragrafo 6.2), per mezzo del codice di calcolo CMS-Wave. Quest'ultimo si interfaccia con il codice di calcolo CMS-Flow, fornendogli i valori dei radiation stress che generano le correnti litoranee.

In particolare, sono state prese in considerazione alcune mareggiate, caratterizzate da una durata media annua pari a 5 giorni all'anno, ritenute rappresentative della dinamica del litorale (cfr. successivo paragrafo 12.1.1).

Lo studio è stato svolto con riferimento alla configurazione attuale del litorale al fine di valutare la dinamica litoranea che si genera nelle esistenti condizioni. In ogni caso le modifiche previste dal progetto (dragaggio, scogliera sulla testata del sottoflutto e sulla testata del molo martello e realizzazione di pontili interni), non sono tali da apportare sostanziali modifiche alla dinamica litoranea.

### **12.1 Settaggio dei modelli**

Per la costruzione del dominio del modello matematico sono stati impiegati i più recenti dati batimetrici a disposizione, cioè la base cartografica dell'Istituto Idrografico della Marina e il rilievo locale eseguito a Maggio 2019.

Per lo studio della propagazione locale del moto ondoso, mediante il codice di calcolo CMS-Wave, è stata impiegata una griglia costruita con orientamento pressoché parallelo al litorale oggetto di studio e maglia ortogonale a celle quadrate. La griglia ha dimensioni 2000 m x 4000 m ed è costituita da celle quadrate di lato pari a 5 m; il bordo offshore della griglia è posto su una profondità media pari a circa 50 m e passa in prossimità del punto di output della propagazione sottocosta del clima (vedi successiva Figura 12.1, griglia gialla). La griglia ha origine nel punto di coordinate 579210 m E, 4373355 m N (vertice in basso a destra in figura) ed ha l'asse x ruotato di 48° rispetto alla direzione Est. Le coordinate dell'origine sono espresse nel sistema di riferimento UTM 33N – Datum WGS84.

Lo studio della circolazione è stato condotto mediante il codice di calcolo CMS-Flow, impiegando un dominio costituito da una griglia interna alla precedente, avente dimensioni 3900 m x 1900 m (vedi successiva Figura 12.1, griglia rossa), ma caratterizzata da una maglia ortogonale a passo variabile (da 2 m, sottocosta, a 16 m verso il largo); la griglia ha origine nel punto di coordinate 576300 m E, 4376040 m N (vertice in basso a sinistra in figura) ed ha l'asse x ruotato di 42° rispetto alla direzione Est. Le coordinate dell'origine sono espresse nel sistema di riferimento UTM 33N – Datum WGS84.



Figura 12.1 Dominio di calcolo dei modelli impiegati per lo studio della propagazione del moto ondoso e della circolazione idrodinamica

### 12.1.1 Condizioni ondamiche e anemometriche imposte nel modello

Per definire le condizioni di input per i modelli di propagazione locale, di circolazione, di trasporto solido e di evoluzione dei fondali, sono stati impiegati i dati locali di moto ondoso ottenuti attraverso la propagazione sottocosta del clima ondoso locale (vedi precedente paragrafo 6.2).

Nello specifico, sono state individuate mareggiate rappresentative di mareggiate relativamente frequenti di Ponente e Scirocco-Mezzogiorno, caratterizzate da una frequenza media annua pari a 5 giorni/anno. Le caratteristiche delle mareggiate sono state ricavate dalle curve di durata locale (nel punto P, vedi successiva Figura 12.2). Le direzioni da associare alle mareggiate sono state individuate a partire dalle rose delle energie e delle altezze massime. Il periodo di picco da associare alle mareggiate è stato individuato sulla base delle caratteristiche locali del clima ondoso.

In questo modo sono state individuate due mareggiate, analizzate sia in termini di propagazione locale del moto ondoso che di idrodinamica costiera e trasporto solido; le caratteristiche delle mareggiate sono riportate sinteticamente nella successiva Tabella 12.1.

Le condizioni anemometriche, imposte come condizione di input nel modello idrodinamico, sono state individuate ricavando per ciascuna delle 2 mareggiate analizzate una condizione anemometrica congrua con i valori di altezza d'onda e periodo di picco. In particolare è stata associata la condizione di vento ricavata utilizzando la correlazione proposta da Svedrup, Munk e Bretschneider (nota come "metodo SMB") che, nell'ipotesi di condizione di mare completamente sviluppato, associa i parametri della mareggiata ( $H_s, T_P$ ) alla velocità del vento ( $U_A$ ):

$$U_A = H_S^2 \times 929.5 / T_p^3.$$

Le condizioni anemometriche sono state individuate considerando la velocità del vento a 10 m dal suolo (U), dove:

$$U = U_A^{(1/1.23)} / 0.71.$$

La direzione di provenienza del vento è stata assunta coincidente con quella di provenienza della mareggiata. I valori delle velocità del vento, corrispondenti alle diverse mareggiate, sono riportati in Tabella 12.1. Nelle simulazioni è stato inoltre considerato un sovrizzo di marea pari a 0.5 m.

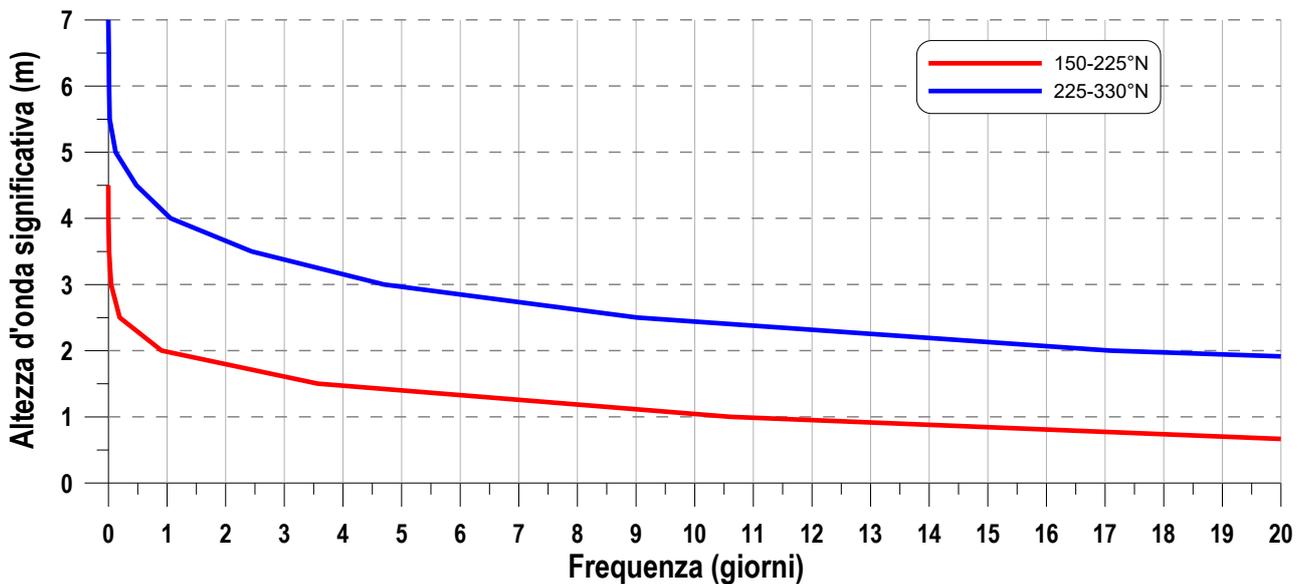


Figura 12.2 -Curva di durata locale per i due settori di traversia

Tabella 12.1 Condizioni ondamiche e anemometriche considerate nello studio

TEST	Mareggiate	Frequenza (g/anno)	CONDIZIONI ONDAMETRICHE LOCALI			CONDIZIONI ANEMOMETRICHE	
			HS (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Velocità (m/s)	Dir (°N)
11	Ponente	5	3.00	8.0	265	12.8	265
12	Scirocco-Mezzogiorno	5	1.40	5.0	170	11.7	170

## 12.2 Propagazione sottocosta del moto ondoso

I risultati ottenuti dalle simulazioni della propagazione del moto ondoso sottocosta (codice di calcolo CMS-Wave) sono rappresentati nelle figure riportate alle pagine seguenti (Figura 12.3 e Figura 12.4). Le figure rappresentano le altezze d'onda significativa, in termini di gradazione cromatica, mentre le direzioni locali dell'onda sono indicate mediante vettori il cui modulo è proporzionale all'altezza d'onda significativa.

Le propagazioni sottocosta evidenziano che il campo di moto ondoso risulta piuttosto regolare e soggetto essenzialmente alla rifrazione (rotazione delle onde che tende a disporre le creste parallelamente alla riva) e al frangimento indotto dalla presenza di alcuni bassi fondali. Si osserva infatti che nella propagazione verso costa le onde tendono a ruotare con direzione perpendicolare alla linea di riva riducendo l'altezza. In un tratto del litorale a Nord del porto, caratterizzato dalla presenza di fondali meno profondi, si osservano inoltre importanti fenomeni di frangimento, in particolare per le onde caratterizzate da altezza d'onda maggiore (TEST 11).

Le mareggiate di Scirocco-Mezzogiorno (TEST 12), caratterizzate al largo da altezze d'onda inferiori, si propagano verso riva con un campo di moto ondoso più regolare; la presenza dei bassi fondali in questo caso non influenza il campo di moto ondoso, in quanto le altezze d'onda ridotte non risentono del frangimento indotto dalla profondità.

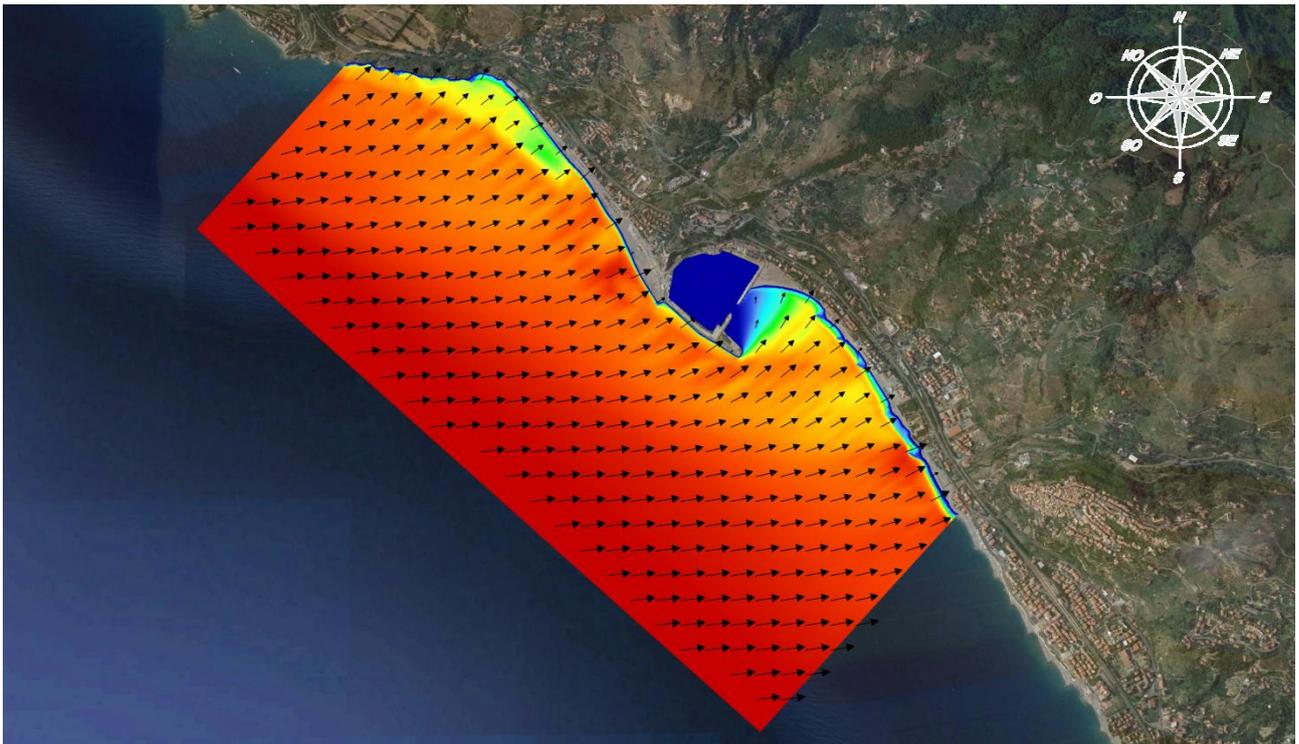


Figura 12.3 TEST 11 – Caratteristiche locali della mareggiata:  $H_s = 3.00$  m,  $T_p = 8.0$  s,  $Dir = 260^\circ N$

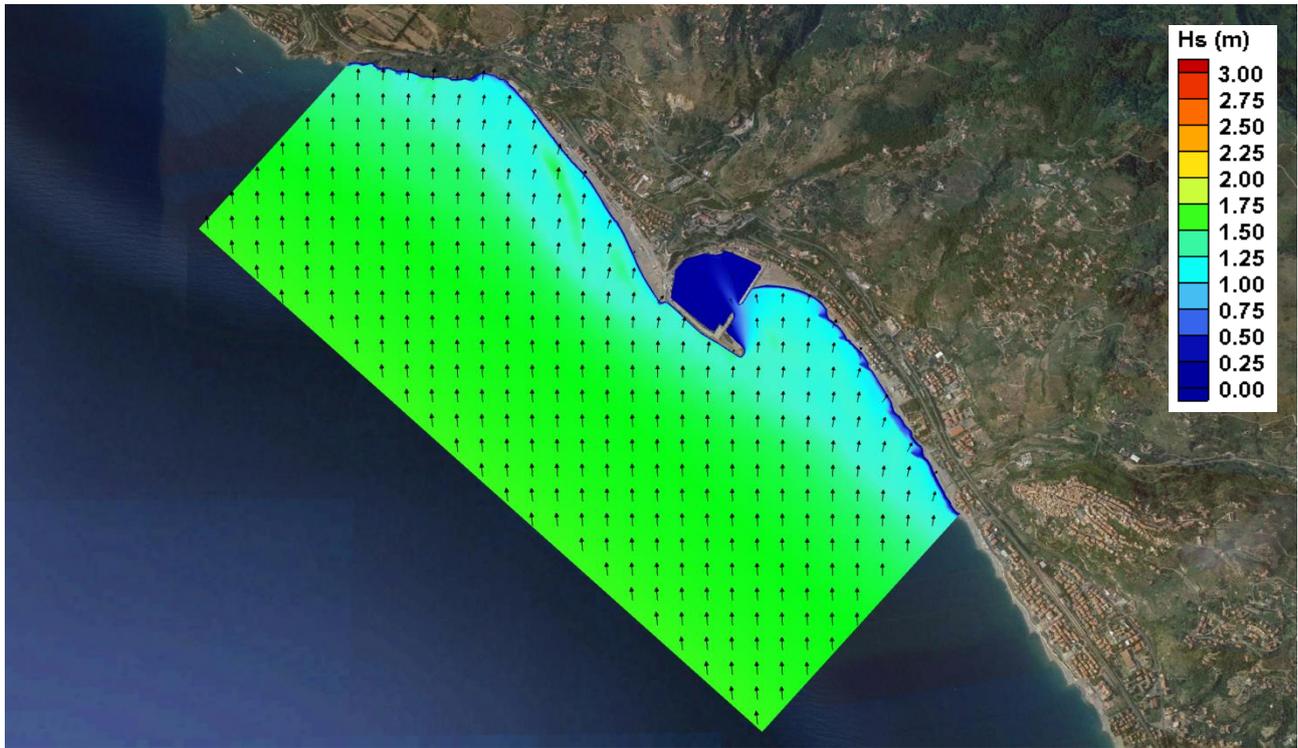


Figura 12.4TEST 12 – Caratteristiche locali della mareggiata:  $H_s = 1.40$  m,  $T_P = 5.0$  s, Dir =  $170^\circ$ N

## 12.4 Circolazione idrodinamica costiera

I risultati dello studio della circolazione idrodinamica litoranea in stato attuale, condotto per mezzo del codice di calcolo CMS-Flow interfacciato con il codice di calcolo CMS-Wave, sono rappresentati nelle figure riportate alle pagine successive (da Figura 12.5a Figura 12.8).

I risultati riportano in forma grafica le velocità medie della corrente generata dalle mareggiate (mediate sul profilo verticale): le velocità sono rappresentate in termini di gradazioni cromatiche, mentre la direzione locale della corrente viene indicata mediante vettori il cui modulo è proporzionale alla velocità stessa.

Dall'osservazione dei risultati, si osserva come, nel tratto di litorale oggetto di studio, la circolazione idrodinamica risulti influenzata principalmente dalla presenza del porto di Cetraro, che rappresenta un elemento di importante discontinuità. La presenza del porto provoca il distacco della corrente litoranea che si sviluppa da Nord verso Sud (TEST 11) e il blocco di quella che si sviluppa da Sud verso Nord (TEST12).

La corrente che si sviluppa durante la mareggiata di Ponente (TEST 11, Figura 12.5 e Figura 12.6) genera, nel tratto di litorale più settentrionale di Lampetia, una circolazione idrodinamica diretta da Nord verso Sud, caratterizzata da due distinte correnti con velocità contenute (di poco superiori a 0.5 m/s): la prima in corrispondenza del bassofondo e la seconda in prossimità della costa. Nel tratto centrale del litorale le due correnti si uniscono formando una corrente più intensa in prossimità della costa. Più a Sud la corrente, a causa della conformazione del fondale (caratterizzato dalla presenza di un locale approfondimento), subisce un rallentamento e si distacca parzialmente dalla riva. Procedendo verso il porto si osserva che la corrente tende a riformarsi poco a Nord del pennello di contenimento, subendo una importante accelerazione in corrispondenza del molo di sopraflutto e superando successivamente la testata per poi riallacciarsi alla linea di costa, a una distanza di circa 500 m dal molo di sottoflutto, e procedere verso Sud con velocità piuttosto ridotte a causa della presenza delle numerose opere di difesa. Nel tratto immediatamente a Sud del molo di sottoflutto, la circolazione idrodinamica presenta una locale zona di inversione a ridosso della linea di riva (per effetto della conformazione delle opere e della diffrazione), con velocità inferiori al mezzo metro al secondo.

L'idrodinamica che si sviluppa durante la mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno (TEST 12, Figura 12.7 e Figura 12.8) genera, nel tratto a Sud del porto, un campo di corrente diretto verso Nord piuttosto irregolare (per la presenza di numerose strutture), caratterizzato da velocità inferiori ai 50 cm/s. In corrispondenza del molo di sopraflutto, si genera invece una corrente più regolare, sempre diretta verso Nord e comunque caratterizzata da velocità relativamente basse. Oltre il pennello intercettatore e lungo tutto il litorale di Lampetia, la corrente litoranea risulta compatta, regolare e ridossata alla costa; si osserva che in questo tratto le velocità risultano essere sensibilmente superiori, rimanendo comunque inferiori ad 1m/s.

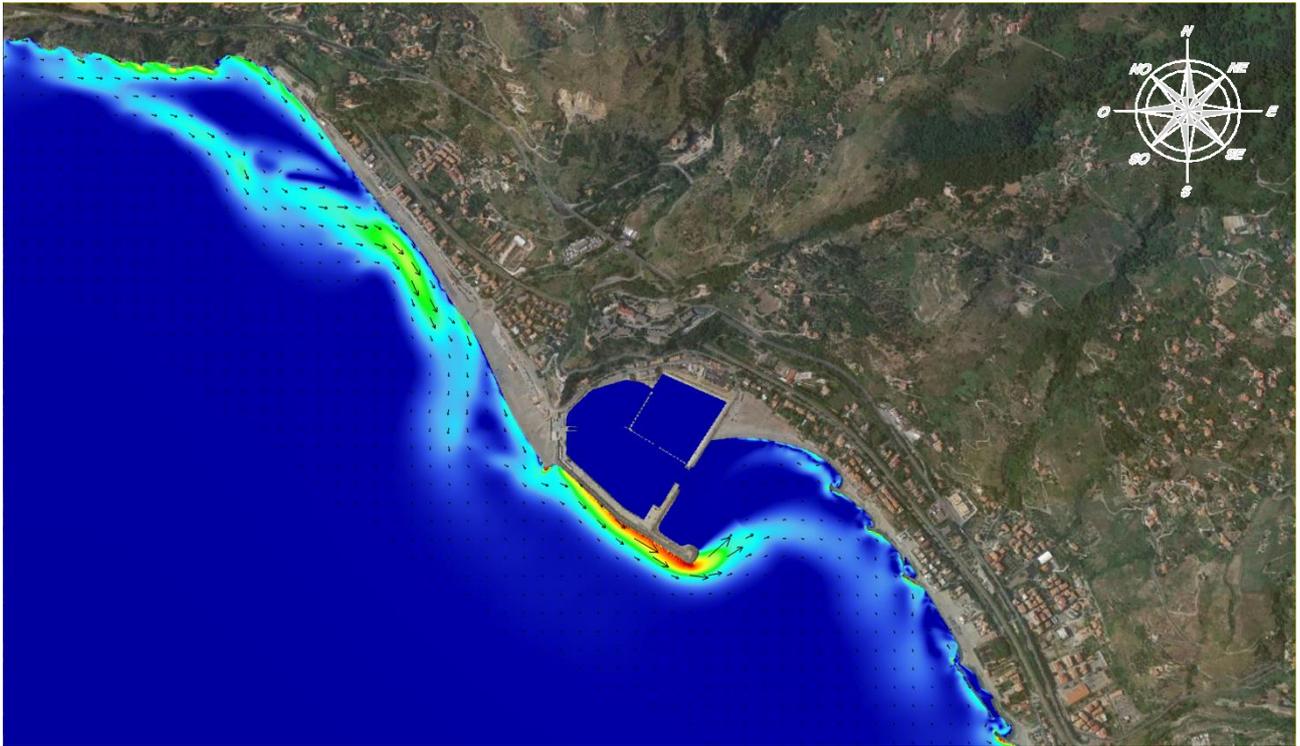


Figura 12.5 TEST 11 ( $H_s = 3.00$  m,  $T_p = 8.0$  s,  $Dir = 260^\circ N$ ) – Circolazione costiera

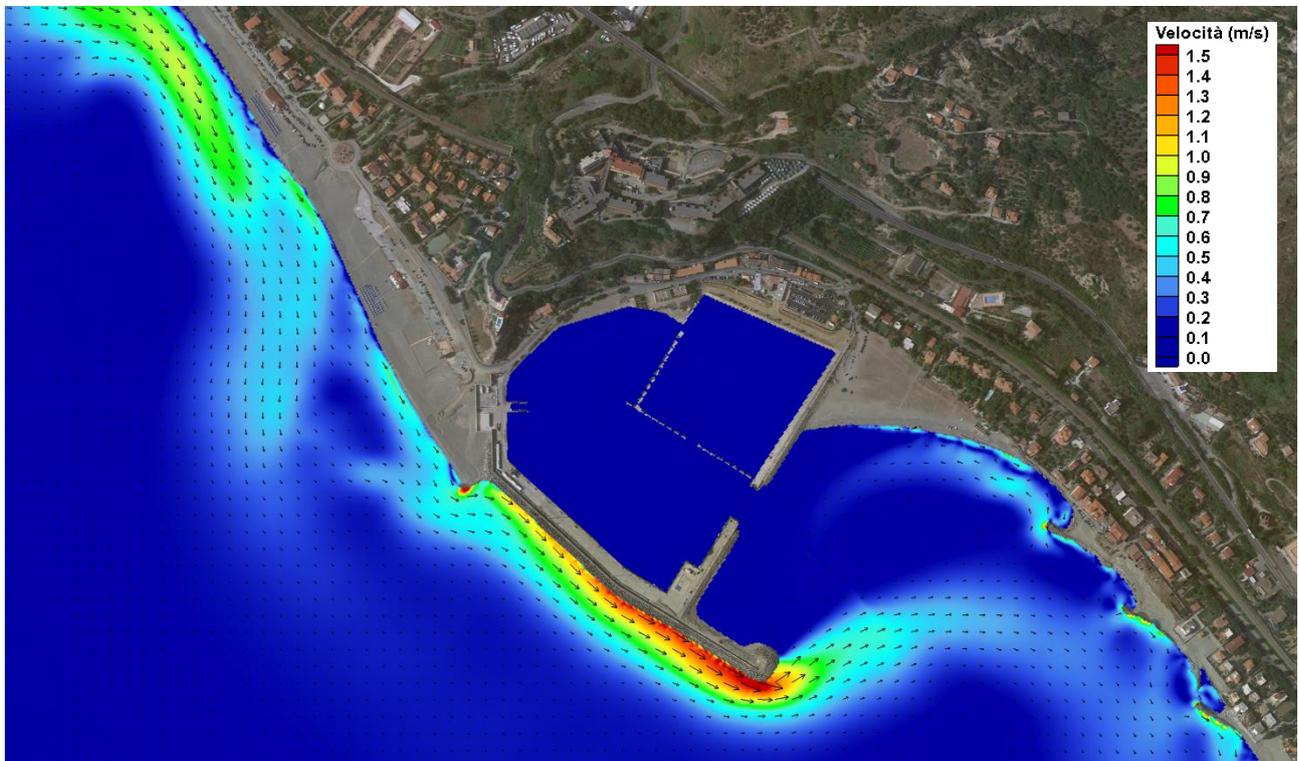


Figura 12.6 TEST 11 ( $H_s = 3.00$  m,  $T_p = 8.0$  s,  $Dir = 260^\circ N$ ) – Dettaglio della circolazione costiera



Figura 12.7 TEST 12 ( $H_s = 1.40$  m,  $T_p = 5.0$  s,  $Dir = 170^\circ N$ ) – Circolazione costiera



Figura 12.8 TEST 12 ( $H_s = 1.40$  m,  $T_p = 5.0$  s,  $Dir = 170^\circ N$ ) – Dettaglio della circolazione costiera

## **12.5 Trasporto solido litoraneo ed evoluzione dei fondali**

Lo studio del trasporto solido e della tendenza evolutiva dei fondali nel tratto di litorale in esame a seguito della persistenza di determinate mareggiate (cioè a regime, in condizioni stazionarie) è stato condotto mediante l'impiego del codice di calcolo CMS-Flow, accoppiato al codice di calcolo CMS-Wave.

Il codice di calcolo CMS-Flow consente di interpretare correttamente i fenomeni responsabili del trasporto dei sedimenti e dell'evoluzione dei fondali, anche se la mancanza di un monitoraggio approfondito dei fenomeni specifici del sito oggetto di studio non consente di arrivare ad una stima quantitativa ragionevolmente precisa della dinamica sedimentaria, complicata peraltro dall'eterogeneità delle granulometrie presenti. Le simulazioni hanno comunque permesso di evidenziare, seppur qualitativamente, le aree attive dal punto di vista del trasporto solido e le aree di erosione e deposizione generate dall'azione combinata di onde e correnti.

Per lo studio del trasporto solido sono state considerate come forzanti principali il campo di moto ondoso (CMS-Wave) e il campo di velocità e di livelli generato dal moto ondoso (risultati del modello CMS-Flow).

### **12.5.1 Settaggio del modello**

Il modello matematico sfrutta completamente geometria, dominio di calcolo e batimetria del modello definito precedentemente per lo studio della circolazione idrodinamica. Conseguentemente, lo studio del trasporto litoraneo e dell'evoluzione dei fondali è stato condotto impiegando il dominio definito nel precedente paragrafo 12.1.

### **12.5.2 Sedimentologia utilizzata**

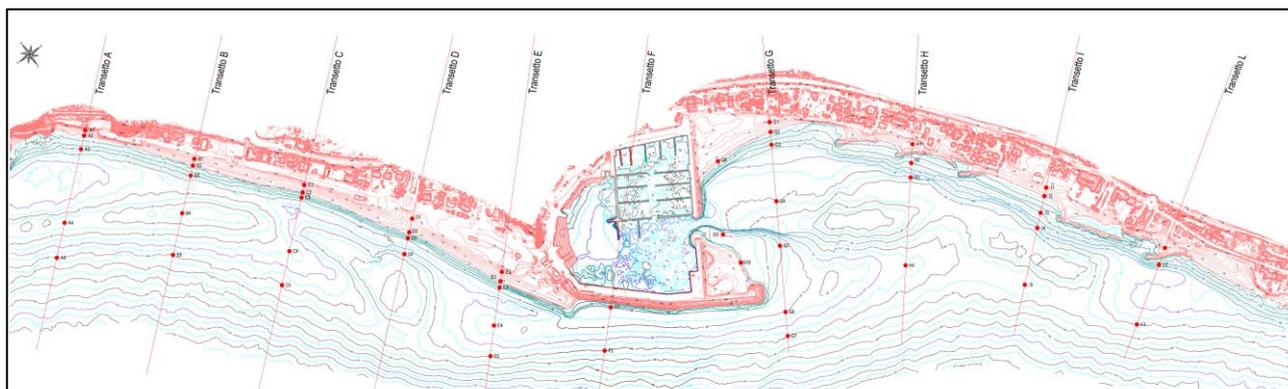
Le caratteristiche sedimentologiche del materiale presente sulla fascia attiva del litorale sono state ricavate sulla base della campagna di indagini eseguita nel 2019. Nell'ambito delle attività di indagine, è stata eseguita (in concomitanza con i rilievi topo-batimetrici del litorale) un'indagine su una serie di campioni di sedimenti, prelevati a diverse profondità nella fascia di spiaggia emersa e sommersa, lungo alcuni transetti (vedi Figura 12.9).

Nella successiva Tabella 12.2 sono riportate le caratteristiche granulometriche (diametro medio,  $D_{50}$ ) desunte dalle curve granulometriche dei campioni prelevati. Si osserva che i sedimenti prelevati sulla parte emersa e sommersa fino alla profondità di -3.00 m s.m.m. sono costituiti da materiale leggermente più grossolano rispetto a quelli prelevati su profondità maggiori. Inoltre, si osserva che, nel tratto di litorale di Lampetia, la fascia di spiaggia più prossima alla riva è caratterizzata da materiale leggermente più grossolano rispetto a quello che si trova nel litorale a Sud del Porto.

Va comunque evidenziato come nella spiaggia emersa e sommersa, in prossimità della linea di riva, vi sia una elevata disomogeneità planimetrica dei sedimenti, rilevabile anche alla scala dei metri in direzione ortogonale alla riva e delle decine di metri parallelamente ad essa. Di tale disomogeneità non è possibile rendere conto con prelievi puntuali, anche se è possibile affermare che il quadro complessivo che risulta dalle analisi condotte riproduce in maniera ragionevolmente fedele la tessitura dei fondali.

**Tabella 12.2 Caratteristiche dei campioni prelevati**

Campione	Est (m)	Nord (m)	Profondità (m s.m.m.)	D <sub>50</sub> (mm)	Campione	Est (m)	Nord (m)	Profondità (m s.m.m.)	D <sub>50</sub> (mm)
A1	577911.2	4376774.9	2.0	1.50	F1	578762.9	4375570.2	-3.0	5.00
A2	577900.5	4376765.1	0.0	3.80	F2	578681.7	4375486.0	-6.0	0.60
A3	577872.2	4376740.7	-3.0	5.00	G1	579396.2	4375723.2	2.0	0.90
A4	577721.0	4376606.9	-3.7	0.50	G2	579382.6	4375700.2	0.0	3.00
A5	577649.3	4376543.3	-6.0	0.50	G3	579364.6	4375670.9	-3.0	3.50
B1	578100.8	4376543.4	2.0	0.45	G4	579286.5	4375541.1	-6.0	0.30
B2	578087.0	4376530.3	0.0	2.00	G5	579224.0	4375439.0	-3.0	2.50
B3	578066.6	4376511.8	-3.0	6.00	G6	579131.8	4375287.1	-4.0	0.65
B4	577989.2	4376443.8	-2.4	0.60	G7	579098.7	4375231.3	-6.0	0.70
B5	577900.2	4376371.4	-6.0	0.70	G8	579223.5	4375718.8	0.0	3.00
C1	578296.2	4376314.4	2.0	1.50	G9	579119.1	4375552.1	-2.0	5.50
C2	578281.2	4376300.9	0.0	3.00	G10	579113.2	4375464.1	0.0	2.00
C3	578270.4	4376291.0	-3.0	5.00	H1	579668.9	4375452.0	1.0	1.20
C4	578160.2	4376194.1	-4.5	0.60	H2	579636.6	4375413.0	-5.7	2.80
C5	578090.6	4376132.2	-6.0	0.70	H3	5796612.4	4375382.7	-6.0	0.65
D1	578475.2	4376072.6	2.0	0.70	H4	579463.2	4375200.2	-5.3	0.60
D2	578447.8	4376047.7	0.0	0.85	I1	579888.3	4375148.8	2.0	3.00
D3	578435.7	4376037.1	-3.0	1.20	I2	579870.9	4375133.4	0.0	3.80
D4	578402.8	4376007.9	-6.0	4.00	I3	579836.5	4375103.0	-3.0	4.00
E1	578567.1	4375799.2	2.0	1.50	I4	579805.2	4375075.3	-6.0	0.65
E2	578584.6	4375817.2	0.0	3.20	I5	579689.2	4374971.9	-6.4	0.55
E3	578554.9	4375786.5	-3.0	11.00	L1	580048.8	4374832.6	1.0	1.50
E4	578427.5	4375652.6	-4.3	0.70	L2	580009.4	4374805.9	-4.7	3.20
E5	578483.2	4375713.4	-6.0	0.70	L3	579867.9	4374710.9	-6.0	0.60



**Figura 12.9** Posizione dei transetti e dei campioni di sedimenti prelevati nella spiaggia emersa e sommersa

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

---

Ai fini dello studio della dinamica dei sedimenti che costituiscono la spiaggia sommersa del litorale, sono state individuate zone caratterizzate da diversa granulometria. In particolare, si è scelto di assegnare alla fascia di spiaggia sommersa del litorale di Lampetia, compresa tra la linea di riva e la -4.0 m s.m.m. (pendenza oltre la quale si rileva un cambio di pendenza del profilo di spiaggia con conseguente variazione delle caratteristiche granulometriche), il valore medio del  $D_{50}$  dei campioni A, B, C, D, E ed F, prelevati alla profondità di -3 m s.m.m., che risulta pari a 5.5 mm.

Analogamente, nella corrispondente fascia di spiaggia sommersa del litorale a Sud del porto, si è assegnato il valore medio del  $D_{50}$  dei campioni G, H, I ed L prelevati alla profondità di -3 m s.m.m. che risulta pari a 3.5 mm.

Alla fascia di spiaggia sommersa oltre la batimetrica -4.0 m s.m.m. è stato assegnato il valore medio del  $D_{50}$  dei campioni prelevati oltre tale profondità, che risulta pari a 0.6 mm.

La distribuzione spaziale delle diverse granulometrie impiegate nel modello è riportata in Figura 12.10.



Figura 12.10 Schematizzazione della tessitura dei fondali nel dominio di calcolo

### **12.5.3 Trasporto solido**

I risultati delle simulazioni, condotte per mezzo del codice di calcolo CMS-Flow, sono rappresentati nelle figure riportate alla pagina seguente (da Figura 12.11 a Figura 12.14).

Per ciascuna delle mareggiate analizzate sono riportati i risultati che rappresentano, in termini di gradazioni cromatiche, la quantità dei sedimenti mobilitati (concentrazione dei sedimenti messi in sospensione) e, attraverso le frecce, l'andamento del trasporto solido.

Da una prima analisi dei risultati ottenuti si può osservare che la zona più attiva dal punto di vista della dinamica dei sedimenti risulta essere il litorale di Lampetia, a Nord del porto di Cetraro.

La mareggiata di Ponente (TEST 11, Figura 12.11 e Figura 12.12) genera, lungo il litorale di Lampetia, un trasporto solido diretto da Nord verso Sud con intensità molto variabile; nel tratto più settentrionale si osserva che il trasporto solido mobilita i sedimenti in una ampia fascia di spiaggia sommersa, in particolare in corrispondenza del bassofondo (barra) e, secondariamente, anche in una fascia più prossima alla linea di riva. Procedendo verso Sud, si osserva una più intensa mobilitazione dei sedimenti lungo il molo di sottoflutto, che li porta oltre la testata. Oltre quest'ultima, il fondale aumenta, l'intensità della corrente si riduce e conseguentemente si riduce pure, notevolmente, il trasporto solido, favorendo la deposizione del materiale in sospensione e determinando l'insabbiamento dell'imboccatura. A Sud si osserva una moderata movimentazione di sedimenti da Sud verso Nord lungo la riva, a ridosso del sottoflutto; più a Sud, dove la corrente litoranea riprende il suo andamento regolare lungo la costa, si riattiva anche il trasporto solido diretto verso Sud.

La mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno (TEST 12, Figura 12.13 e Figura 12.14) genera una mobilitazione meno significativa di sedimenti, che interessa la fascia di spiaggia sommersa più prossima alla linea di riva. Il trasporto solido risulta diretto ovunque da Sud verso Nord e presenta i valori massimi nel litorale di Lampetia. Il trasporto è sostanzialmente assente nella spiaggia a ridosso del sottoflutto.

Sulla base dei risultati ottenuti, si può osservare come il porto rappresenti un punto di discontinuità del trasporto solido, responsabile di un evidente perturbazione dell'equilibrio dinamico sedimentario del litorale e, ancorché in via non esclusiva, dei vari fenomeni di interrimento ed erosione che caratterizzano i litorali limitrofi.

Le correnti generate dalle mareggiate di Ponente mobilitano il materiale lungo il litorale di Lampetia e lo trasportano oltre la testa del sopraflutto, determinandone la deposizione in prossimità all'imboccatura e a SE della testata stessa, dove si è formata una grossa barra. Una parte del materiale viene poi mobilitato verso Nord, nel tratto a Sud del porto, determinando anche l'accumulo in adiacenza al molo di sottoflutto.

Le correnti generate dalle mareggiate di Scirocco-Mezzogiorno sono in grado di mobilitare poco materiale e non sono certamente in grado di riportare verso il litorale di Lampetia il materiale che ha oltrepassato la testata del sopraflutto. Anche queste correnti contribuiscono (per la mareggiata corrente in misura trascurabile) ad alimentare l'accumulo di sedimenti in adiacenza al molo di sottoflutto.



Figura 12.11 TEST 11 – Mareggiata di Ponente - Trasporto solido

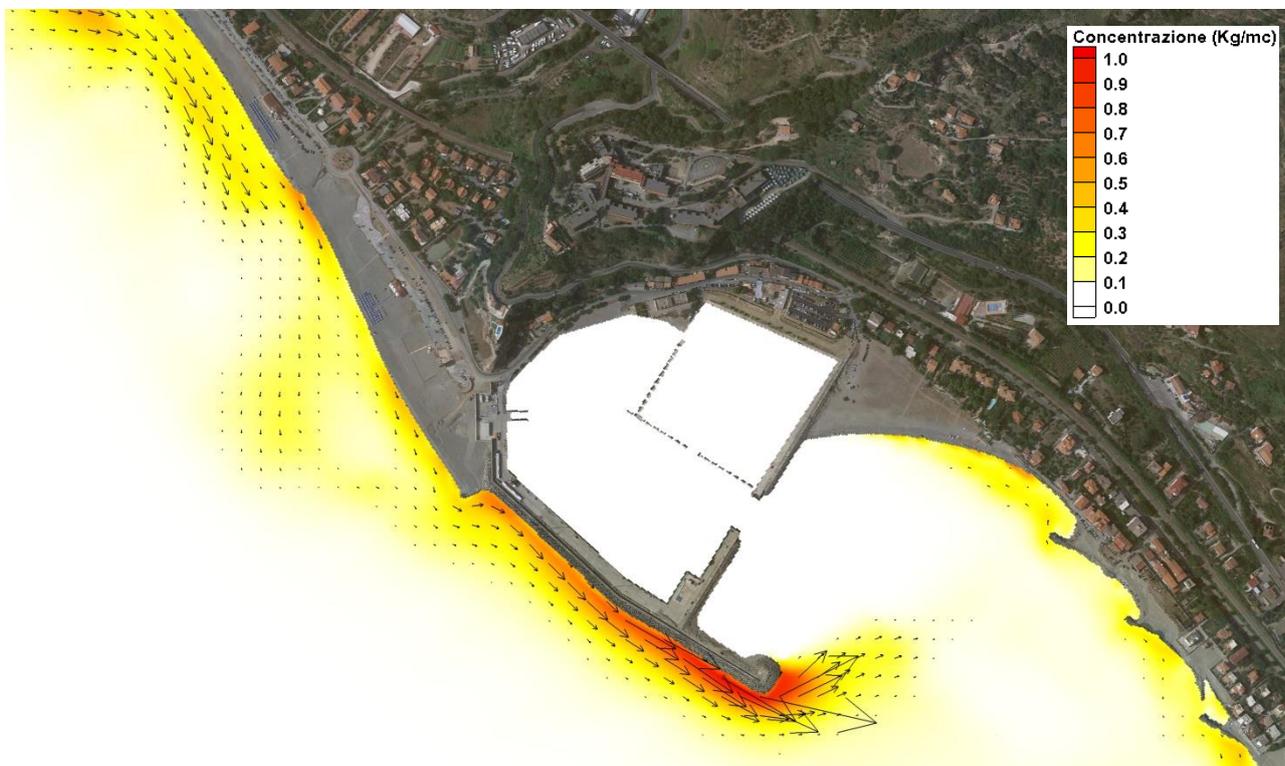


Figura 12.12 TEST 11 – Mareggiata di Ponente – Dettaglio del trasporto solido



Figura 12.13 TEST 2 – Mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno - Trasporto solido



Figura 12.14 TEST 12 – Mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno – Dettaglio del trasporto solido

#### **12.5.4 Evoluzione dei fondali**

I risultati delle simulazioni, condotte utilizzando il codice di calcolo CMS-Flow, sono rappresentati nelle figure riportate nella pagina successiva (Figura 12.15 e Figura 12.16). Per ciascuna delle mareggiate analizzate sono riportate, in termini di gradazioni cromatiche, le tendenze evolutive del fondale (accrescimento/erosione).

I risultati evidenziano la tendenza alla sedimentazione (valori positivi) ovvero all'erosione (valori negativi) e si riferiscono alle dinamiche sviluppate dalla persistenza delle mareggiate analizzate.

Dai risultati ottenuti si osserva come le mareggiate di Ponente (TEST 11, Figura 12.15) generino significative variazioni del fondale. Si può osservare come il litorale di Lampetia sia interessato da tendenze erosive della fascia più prossima alla battigia e da corrispondenti tendenze alla sedimentazione nella fascia di spiaggia sommersa adiacente (tipica reazione del profilo trasversale di spiaggia alla mareggiata). In particolare, si osservano due zone interessate da maggior deposizione: la prima nell'area di fronte alla foce del torrente Triolo e la seconda in prossimità del pennello di contenimento. Variazioni ancora più marcate dei fondali si osservano lungo il molo di sopraflutto e oltre la testata, dove le correnti determinano una significativa movimentazione del materiale, determinando soprattutto una marcata deposizione nell'area di fronte alla testata. A Sud del porto si osserva una moderata tendenza alla deposizione dei sedimenti nel tratto di litorale a ridosso del molo di sottoflutto e una sostanziale assenza di variazioni di rilievo nel tratto più a Sud (ad eccezione di fenomeni localizzati tipici delle zone di estremità delle opere rigide).

Per quanto riguarda invece le mareggiate di Scirocco-Mezzogiorno (TEST 12, Figura 12.16), si può osservare come i fondali siano interessati da modeste variazioni, che interessano esclusivamente la fascia di spiaggia più prossima al litorale.

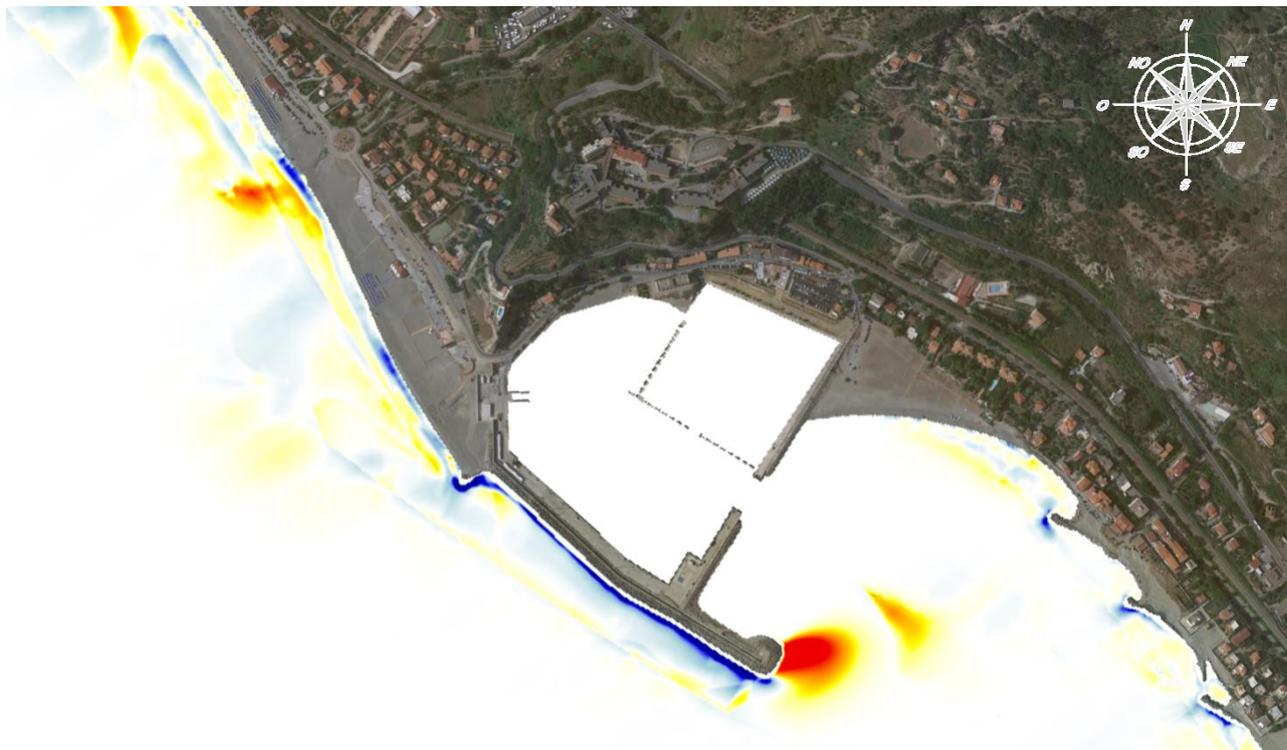


Figura 12.15 TEST 11 – Mareggiata di Ponente – Evoluzione dei fondali



Figura 12.16 TEST 12 – Mareggiata di Scirocco-Mezzogiorno - Evoluzione dei fondali

## **13 EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEL LITORALE**

Lo studio dell'evoluzione morfologica costiera nella configurazione attuale del litorale di Cetraro nell'intorno del porto è stato condotto per mezzo del codice di calcolo GENESIS, descritto in dettaglio nell'Allegato A.

Per quanto riguarda la taratura del modello, si fa presente che un processo di calibrazione rigoroso, basato sull'analisi dell'evoluzione storica del litorale, richiederebbe una serie di dati (linee di riva e informazioni dettagliate sugli interventi eseguiti) non disponibile per il sito in esame. Infatti, le linee di riva più recenti disponibili sono quelle del 1998 (cfr. successivo paragrafo 13.1) e del rilievo di progetto del 2019. Sarebbe quindi necessario impostare una simulazione di taratura con riferimento ad un periodo relativamente lungo, per il quale non sono disponibili informazioni dettagliate sugli interventi eseguiti (quantitativi di materiale versato/movimentato, periodo di intervento e area di versamento/prelievo).

I parametri di taratura del modello sono stati pertanto stimati, non solo sulla base del confronto tra linee di riva (approccio convenzionale), ma anche sulla base di esperienze su siti affini. Le tendenze evolutive previste sono risultate compatibili con le evoluzioni storiche documentate, soprattutto per quanto riguarda il litorale di Lampetia (sopraflutto al porto). In questo tratto di litorale, l'analisi delle linee di riva storiche mostra una tendenza all'accumulo in corrispondenza del pennello di contenimento del porto; in assenza di adeguati interventi manutentivi (movimentazione del materiale accumulato), i sedimenti proseguono la loro naturale deriva verso Sud-Est ostruendo in parte l'imboccatura portuale.

Nel presente paragrafo è riportata l'analisi mediante modellazione matematica dell'evoluzione morfologica della spiaggia in configurazione attuale. Si fa, infatti, presente che in relazione alle semplificazioni adottate per la rappresentazione nel modello delle strutture portuali, gli interventi previsti in progetto (dragaggio, scogliera sulla testata del sottoflutto e sulla testata del molo martello, realizzazione di pontili interni), che peraltro interessano limitatamente la zona dell'imboccatura portuale, non sono tali da indurre modifiche all'evoluzione morfologica del litorale rispetto alla configurazione attuale.

### **13.1 Ricostruzione storica**

La ricostruzione storica dell'evoluzione del litorale di Cetraro è stata condotta sulla base dei dati disponibili e, in particolare, sulla base del confronto tra le seguenti linee di riva:

- linea di riva CASMEZ del 1958;
- linea di riva IGM del 1985;
- linea di riva da ortofoto del 1998;
- linea di riva rilievo topografico di maggio 2019.

Nelle successive Figura 13.1 e Figura 13.2 sono riportati i dettagli del confronto tra le linee di riva storiche, rispettivamente per il tratto sopraflutto (spiaggia di Lampetia) e sottoflutto al porto di Cetraro. Dall'analisi dell'evoluzione delle linee di riva risulta evidente l'impatto della struttura portuale sulla dinamica litoranea e sull'evoluzione dei litorali limitrofi.

Fino al 1985 era stato realizzato solamente il tratto di radice del molo di sopraflutto e quindi l'impatto delle opere portuali sulla dinamica litoranea era piuttosto contenuto. La spiaggia di Lampetia mostrava un assetto più stabile rispetto alla situazione attuale, con una larghezza del litorale pressoché uniforme da Nord a Sud. Già nel 1985 era comunque evidente la deriva dei

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

---

sedimenti verso Sud, fenomeno che è la principale causa dell'insabbiamento dell'imboccatura portuale.

Per quanto riguarda il tratto a Sud del porto, già con la realizzazione della radice del molo di sopraflutto dal 1985 in poi, si osserva una netta tendenza all'erosione, determinata sostanzialmente dalla mancanza di apporto di sedimenti da Nord: il materiale di fatto rimane intrappolato nel bacino portuale come risulta evidente dalla conformazione della linea di riva del 1985.

Successivamente al completamento dei moli foranei del porto di Cetraro (che già nel 1998 presentavano un assetto analogo a quello attuale), la linea di costa sopraflutto al porto mostra una evidente rotazione, con arretramento a Nord e avanzamento in corrispondenza del pennello di contenimento alla radice del molo principale. Il fenomeno che già si presentava nel 1998 risulta molto più accentuato allo stato attuale con arretramento della linea di riva nel tratto settentrionale della spiaggia di Lampetia di circa 30 m (dal 1998 al 2019). Successivamente al completamento delle opere portuali, si osserva come il materiale che bypassa il pennello di contenimento tenda ad accumularsi nel tratto interno del sopraflutto in corrispondenza dell'imboccatura portuale; da qui la necessità di frequenti interventi di dragaggio manutentivo.

Sulla base di quanto sopra si può desumere che, in passato, il litorale di Lampetia abbia sperimentato periodi di equilibrio dinamico che, considerando anche il significativo trasporto solido verso Sud, dovevano essere associati ad apporti solidi da Nord, che oggi evidentemente si sono ridotti (tanto da mandare in erosione la parte settentrionale del litorale, n.d.r.).

Si evince inoltre come la corretta gestione del litorale a Nord del porto debba prevedere la movimentazione periodica dei sedimenti all'interno della cella litoranea, dalla zona sopraflutto al porto alle spiagge in crisi a Nord (per compensare il deficit nell'apporto da Nord) e a Sud (per ripristinare, anche se parzialmente, la continuità del trasporto solido litoraneo interrotta dal porto). Adottando questa strategia di intervento, dovrebbe ridursi anche l'insabbiamento dell'imboccatura portuale; il materiale che comunque tenderà ad accumularsi nel tratto interno del sopraflutto dovrà essere dragato e, qualora idoneo (si tratta in ogni caso di sedimenti di spiaggia), potrà essere impiegato per il ripascimento dei litorali sottoflutto.

A Sud del porto, dal 1998 ad oggi, risulta evidente l'intensificarsi del fenomeno erosivo, dovuto alla mancanza di alimentazione da Nord; nel corso degli ultimi 20 anni la spiaggia è di fatto scomparsa. Per far fronte a tale fenomeno e per proteggere l'abitato retrostante sono state realizzate una serie di scogliere parallele a costa, che nel corso degli anni si sono trasformate di fatto in difese radenti. È evidente che la riattivazione della dinamica e del trasporto litoraneo del litorale sopraflutto non potrà essere ottenuta se non mediante apporti artificiali di sedimenti unitamente al riassetto/riconfigurazione delle opere rigide presenti (interventi peraltro già previsti e pianificati per i litorali più a Sud che si presentano in configurazioni analoghe).

Il confronto tra le linee di riva del 1998 e del 2019, per il tratto a Nord del porto (Lampetia), porta ad una perdita netta di sedimenti pari a circa  $-11.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ . Non sono in ogni caso disponibili informazioni dettagliate sugli interventi di manutenzione eseguiti nel corso degli ultimi 20 anni. L'analisi è stata condotta ipotizzando che gli eventuali interventi eseguiti riguardassero sostanzialmente movimentazione di sedimenti all'interno della cella; apporti esterni di materiale andrebbero detratti da tale perdita, con conseguente incremento del deficit sedimentario.

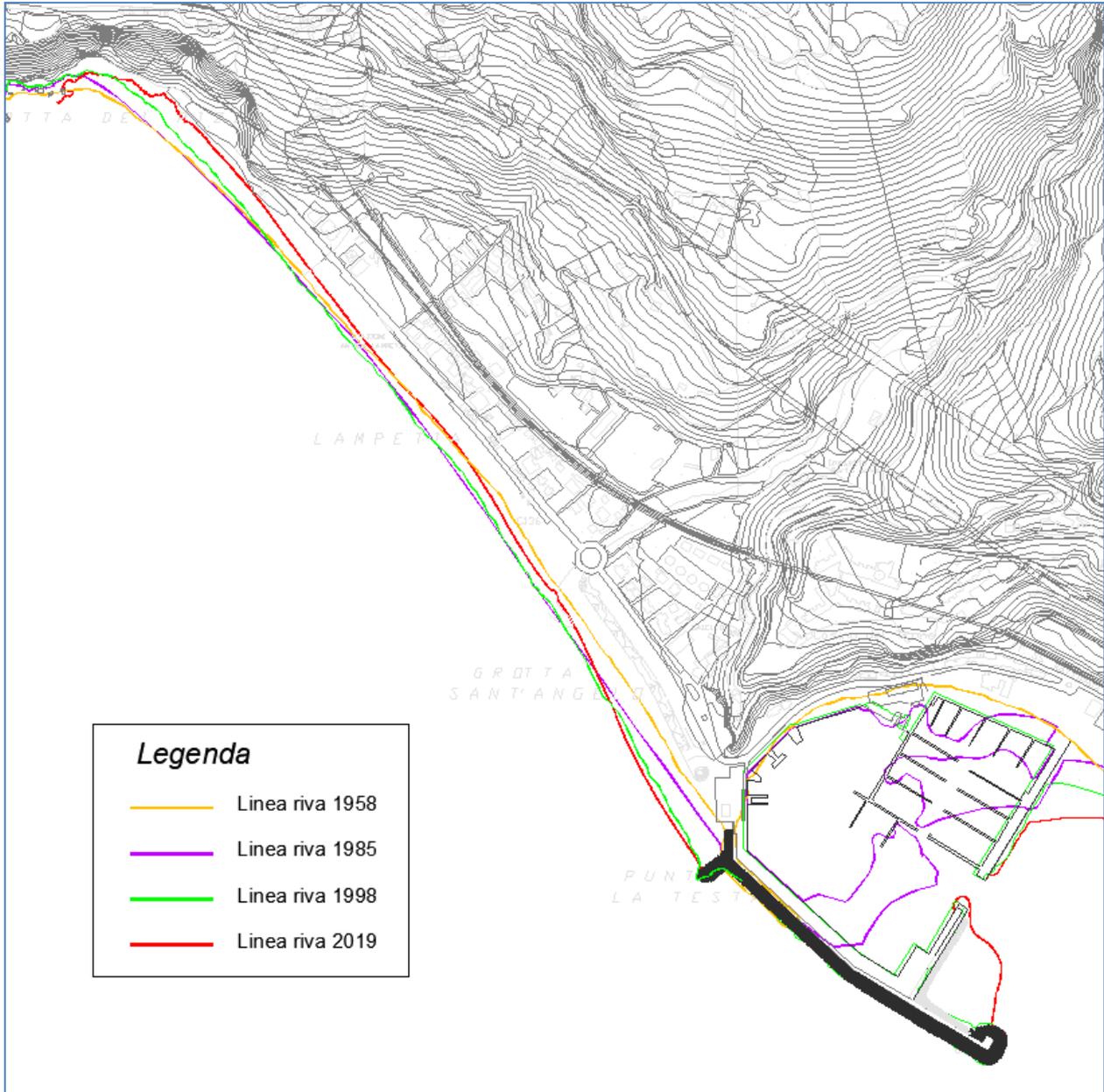


Figura 13.1 Evoluzione storica delle linee di riva per il litorale di Lampetia (dal 1958 al 2019)

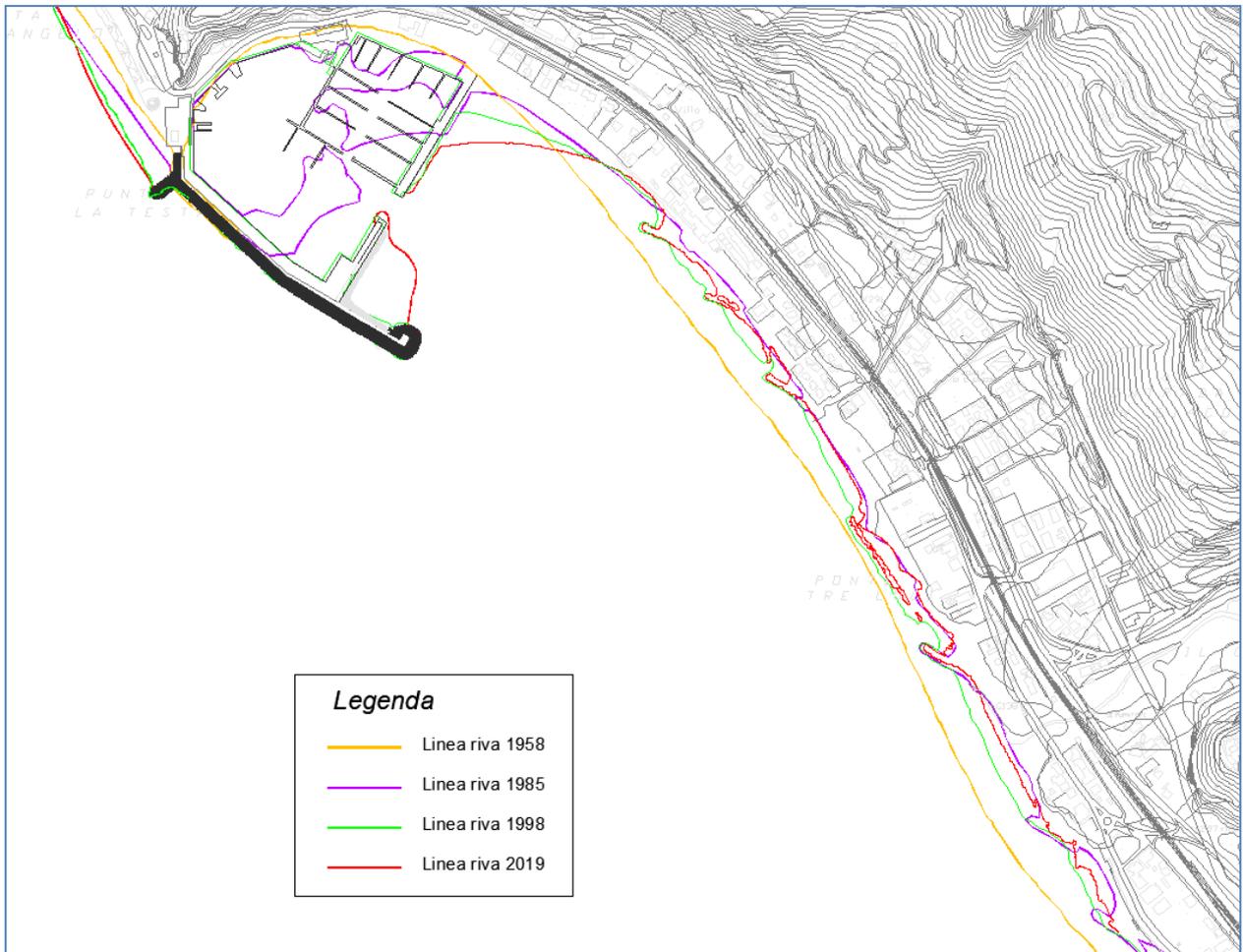


Figura 13.2 Evoluzione storica della linea di riva nel litorale a Sud del porto (dal 1958 al 2019)

## 13.2 Premessa alla modellazione

I modelli matematici costituiscono un valido strumento per l'analisi e la previsione dell'evoluzione della morfologia costiera. Il principale vantaggio dei modelli matematici risiede nella possibilità, una volta implementati, di studiare in tempi ragionevolmente brevi diverse soluzioni progettuali ovvero l'effetto di forzanti di natura diversa (mareggiate eccezionali, variazioni del clima, ecc.).

La modellazione dell'evoluzione morfologica di un litorale coinvolge fenomeni di natura diversa quali il moto ondoso incidente il litorale stesso, la presenza di correnti costiere, il trasporto solido longitudinale (in direzione parallela alla linea di riva), il trasporto solido trasversale (perpendicolare alla linea di riva), l'influenza di strutture collocate all'interno della zona attiva della spiaggia (quella cioè interessata da fenomeni di migrazione dei sedimenti per azione del moto ondoso) e di eventuali interventi di dragaggio o ripascimento artificiale.

In primo luogo è fondamentale la determinazione delle forzanti del sistema, cioè del clima meteomarinico locale. Sulla base di questi dati è possibile quindi valutare il trasporto solido nelle diverse direzioni nelle diverse celle che compongono il modello matematico. Una volta determinate le forzanti, si passa quindi alla valutazione del trasporto solido nelle diverse direzioni, valutazione che si basa su criteri semiempirici che legano le caratteristiche del moto ondoso alla geometria della spiaggia ed alle caratteristiche dei sedimenti che la costituiscono.

Va quindi analizzata l'influenza delle strutture collocate all'interno della zona attiva, sia in termini di modificazione della propagazione locale del moto ondoso che di interazione con il regime di trasporto solido, cioè di valutazione della variazione indotta localmente sulle forzanti del sistema dalla presenza di opere e della capacità di queste ultime di intercettare, totalmente o in una parte da quantificare, il trasporto solido. Alla stregua delle opere in zona attiva vanno considerati gli interventi di dragaggio e ripascimento, che modificano localmente il campo di moto delle onde incidenti e alterano in alcune zone il budget di sedimenti passibile di migrazione per effetto delle forzanti già determinate.

### 13.3 Propagazione del moto ondoso sottocosta

La fase iniziale dello studio di evoluzione morfologica è consistita nel trasferimento sottocosta, al limite esterno della fascia attiva, delle caratteristiche del clima ondoso precedentemente determinate nel punto P, posto su un fondale di circa 50 m (cfr. precedente paragrafo 6.2). Il trasferimento è stato effettuato mediante il codice di calcolo STWAVE, descritto in dettaglio nell'Allegato A.

La griglia di calcolo STWAVE è orientata con asse y parallelo al litorale in modo tale da propagare al suo interno gli eventi provenienti dal settore di traversia caratteristico del paraggio ( $150^{\circ}\div 310^{\circ}$ N nel punto P); ha origine nel punto di coordinate 579100.0mE; 4372410.0 N (UTM 33N – Datum WGS84, vertice in basso in Figura 13.3), dimensioni 2'500 x 5'000 m ed è inclinata di  $40^{\circ}$  rispetto all'asse WE.

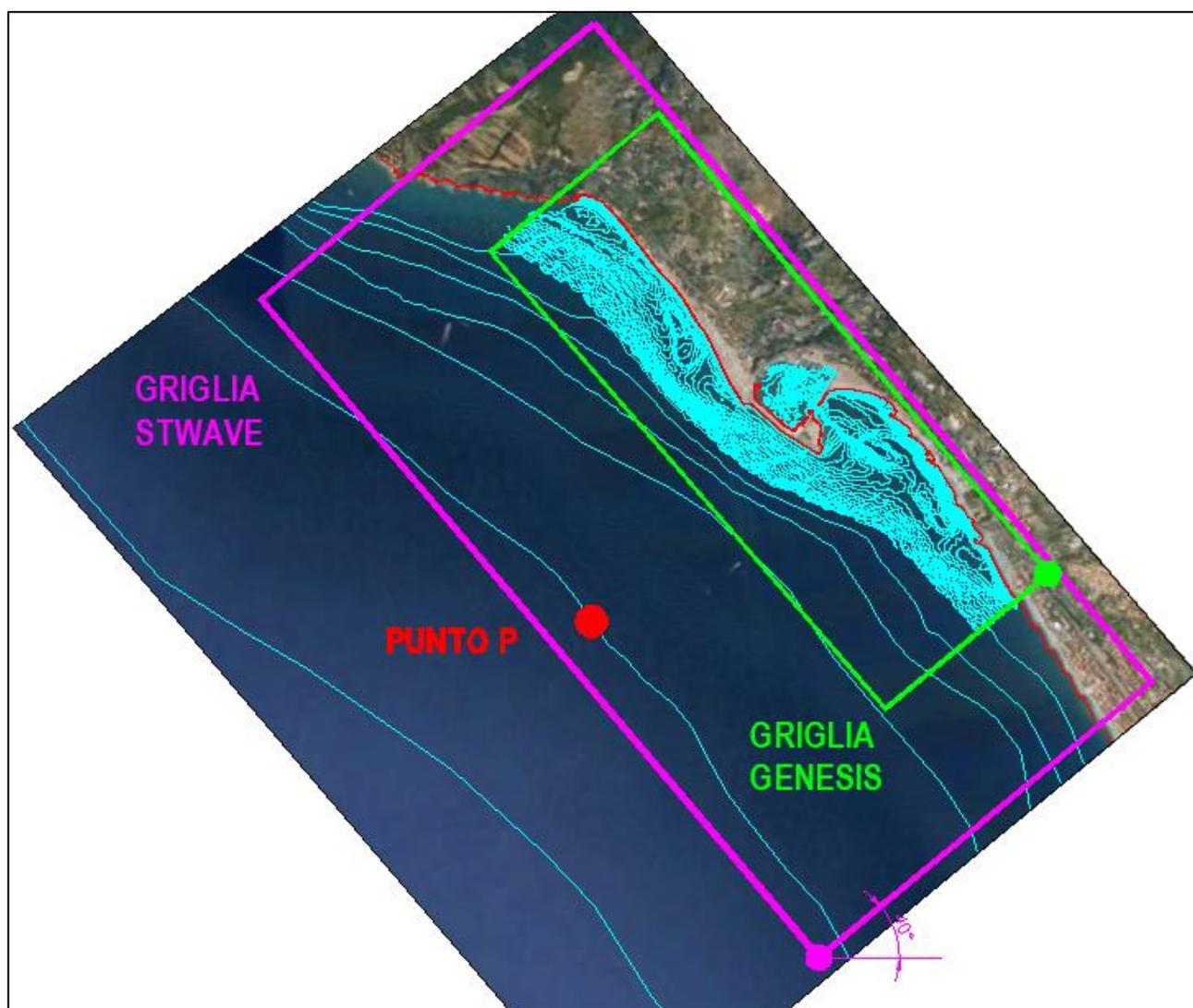


Figura 13.3 Griglie di calcolo STWAVE e GENESIS

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

Sono state quindi scelte una serie di "stazioni" (in pratica una serie di boe virtuali), poste sotto costa in corrispondenza della batimetria  $-10$  m s.m.m. e posizionate ad una distanza di 50 m tra loro; tali stazioni sono state utilizzate per rappresentare le differenti condizioni di moto ondoso lungo il litorale (Figura 13.4). Il file di input che descrive il moto ondoso nelle simulazioni condotte con il modello GENESIS è stato ricavato creando una sequenza di eventi casualmente ordinata, sulla base del clima ondoso nel punto P.

Una volta fissato l'intervallo temporale di calcolo (pari a 3 ore, nel caso in esame), l'andamento del clima meteomarinario dell'anno medio risulta descritto da un numero di eventi pari al numero di intervalli di calcolo compresi nell'anno. Il codice di calcolo associa a ciascuno degli intervalli temporali una serie di valori di altezza significativa, periodo e direzione media di provenienza, tali per cui l'andamento globale del clima ottenibile dalla sequenza ricostruita rappresenta efficacemente il clima vero. Gli eventi caratterizzati da altezza significativa inferiore a 0.5 m, nel punto UNIGE al largo, sono stati considerati come calme.

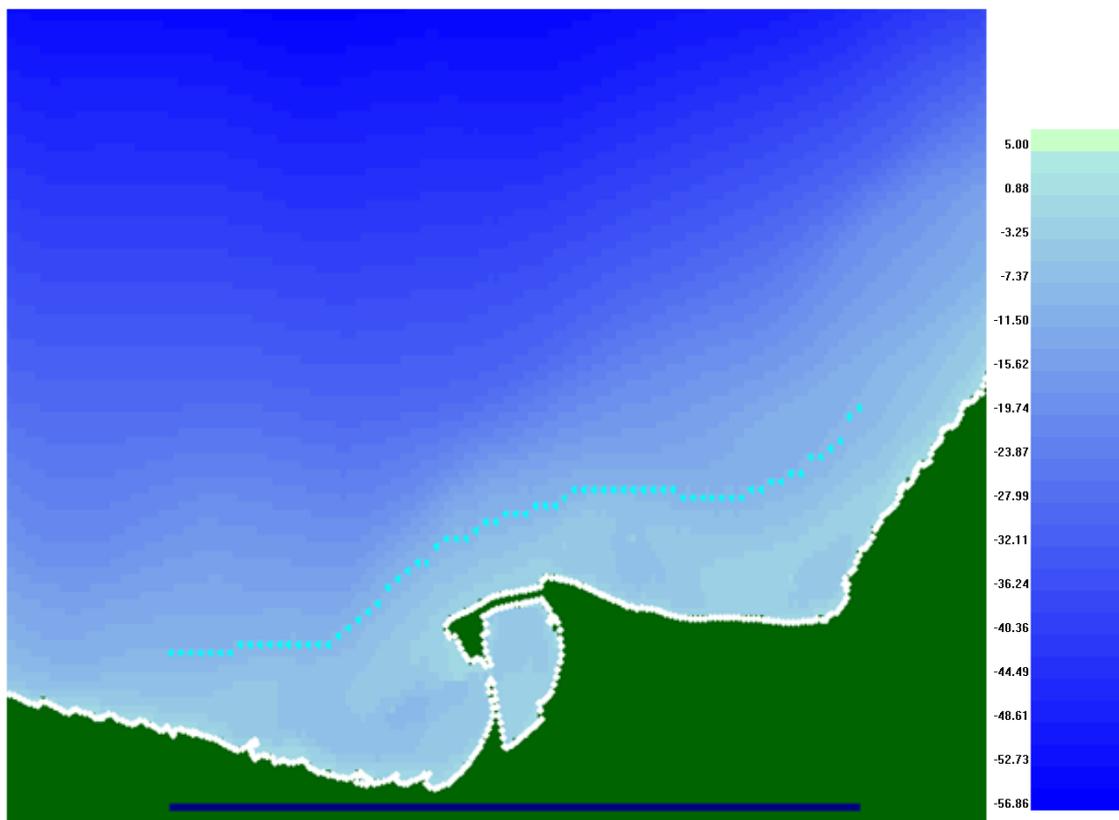


Figura 13.4 Ubicazione delle boe virtuali (stazioni) poste alla profondità di  $-10$  m s.m.m.

### 13.4 Profondità di chiusura e altezza di swash

La profondità di chiusura rappresenta la profondità limite al di sotto della quale il profilo trasversale non subisce cambiamenti significativi, nell'intervallo di tempo per cui si esegue la simulazione.

La valutazione corretta della profondità di chiusura per un dato sito è condotta sulla base dell'analisi di dati storici che documentino l'evoluzione del tempo del profilo trasversale in sezioni significative del sito in oggetto. Qualora tali dati non siano disponibili, è possibile valutare la profondità di chiusura  $h_c$  tramite la relazione di Hallermeier (1983):

$$h_c = 1.6 \cdot H_{0,12},$$

dove  $H_{0,12}$  rappresenta il valore dell'altezza significativa corrispondente ad una durata di 12 ore/anno. Utilizzando la tabella con il clima ondoso medio ricostruito nel punto P (nel precedente paragrafo 6.2) è stato possibile determinare il valore di  $H_{0,12}$  e, quindi, la profondità di chiusura.

In Figura 13.5 è rappresentata la curva di durata per il calcolo della  $H_{0,12}$ . Sulla base della frequenza annua è stata valutata un'altezza d'onda  $H_{0,12}$  pari a 4.5 m. La profondità di chiusura  $h_c$  è risultata di conseguenza pari a circa 7.2 m; l'altezza di swash è stata stimata in  $D_B = 2.0$  m. Di conseguenza l'altezza complessiva della fascia attiva risulta di 9.2 m.

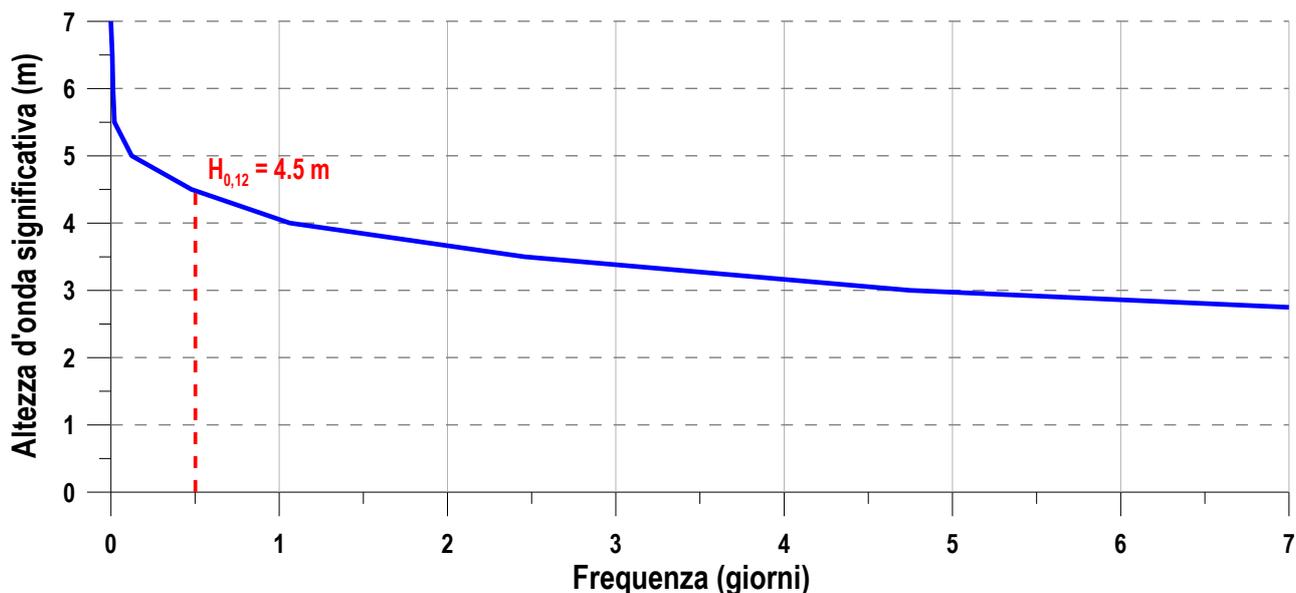


Figura 13.5 Curva di durata del moto ondoso nel punto P: individuazione di  $H_{0,12}$

### 13.5 Dati sedimentologici

Per quanto riguarda le caratteristiche granulometriche del materiale che costituisce la fascia attiva del litorale, si fa riferimento alla campagna di caratterizzazione eseguita nel 2019 nell'ambito del presente progetto. I risultati sono descritti in dettaglio nel precedente paragrafo 12.5.2.

In linea generale, i sedimenti prelevati sulla parte emersa e sommersa del litorale (sia nel tratto sopraflutto che sottoflutto al porto di Cetraro) fino alla profondità di -3.00 m s.m.m. sono costituiti da materiale più grossolano rispetto a quelli prelevati a profondità maggiori. Risulta inoltre evidente come la fascia sottocosta della spiaggia di Lampetia presenti sedimenti più grossolani rispetto al litorale a Sud del porto.

Sulla base di quanto premesso, e considerando che il modello GENESIS consente di rappresentare i sedimenti della fascia attiva del litorale con un unico valore del diametro mediano dei grani, si è scelto di procedere con due simulazioni distinte per l'evoluzione dei litorali sopraflutto e sottoflutto al porto, differenziando la granulometria sulla base dell'esito delle analisi granulometriche condotte. Si è inoltre ritenuto ragionevole, e maggiormente significativo ai fini dello studio dell'evoluzione della linea di riva del litorale, rappresentare le caratteristiche del materiale maggiormente influenzato dal trasporto solido longitudinale e dall'eventuale presenza di opere rigide (cfr. pennelli e barriere), ovvero i sedimenti della fascia attiva fino alla profondità di -4.0 m s.m.m.. In particolare, analogamente a quanto definito per lo studio della dinamica litoranea, si è scelto di assegnare alla fascia di spiaggia del litorale di Lampetia, compresa tra la linea di riva e la -4.0 m s.m.m., il valore medio del  $D_{50}$  dei campioni A, B, C, D, E ed F prelevati alla profondità di -3 m s.m.m. che risulta pari a 5.5 mm. Per il tratto di litorale a Sud del porto è stato assegnato il valore medio del  $D_{50}$  dei campioni G, H, I ed L prelevati alla profondità di -3 m s.m.m. che risulta pari a 3.5 mm. A titolo di confronto, il valore del diametro mediano ( $D_{50}$ ) dei sedimenti che costituiscono la spiaggia sommersa nel tratto di litorale oggetto di intervento è stato ricavato mediante una back-analysis di 3 profili batimetrici rappresentativi, estratti dal rilievo di dettaglio eseguito a Maggio 2019 (Figura 13.6). L'analisi è stata condotta per il litorale a Nord del porto, mentre per il litorale a Sud (che di fatto presenta un'alternanza di opere rigide radenti a costa intervallate da piccole "pocket beach") si è fatto riferimento alle analisi granulometriche condotte.

I best-fit dei profili di spiaggia sono stati ottenuti utilizzando la nota equazione di Dean (1977), interpolando il profilo dalla linea di riva fino alla profondità di chiusura; in questo modo sono stati ricavati i valori del parametro A e del diametro mediano equivalente  $D_{50}$  (utilizzando le formule di Larson e Kraus riportate nell'Allegato A).

Nelle successive figure (Figura 13.7, Figura 13.8 e Figura 13.9) si riportano, per i 3 profili analizzati, l'andamento del profilo trasversale reale e di quello interpolato.

In base al confronto tra profili rilevati e profilo di equilibrio si ricava un valore del diametro mediano dei grani compreso tra 1.6 e 8.4 mm, valori compatibili con gli esiti delle analisi granulometriche.

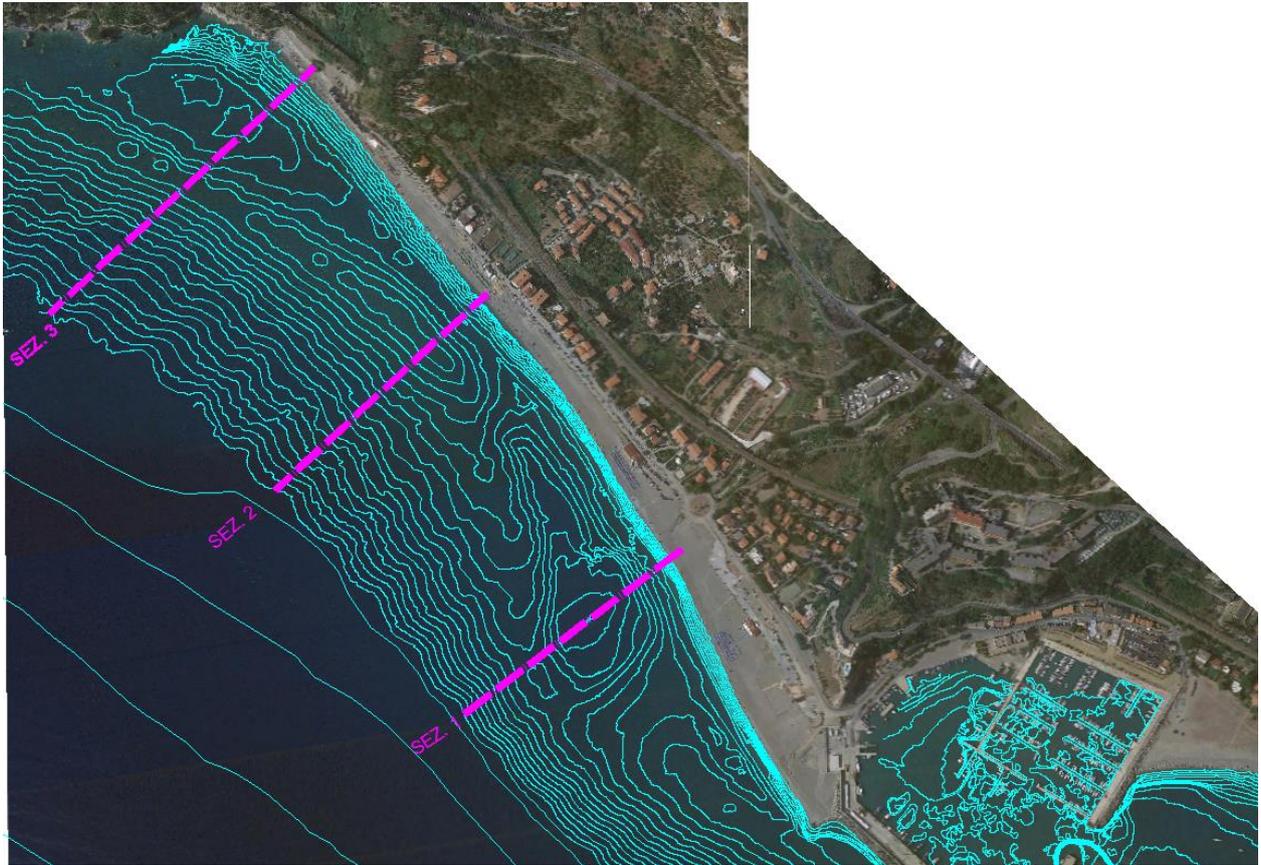


Figura 13.6 Ubicazione profili di calcolo estratti dal rilievo di maggio 2019 (in magenta sono evidenziati i tre profili considerati nell'analisi)

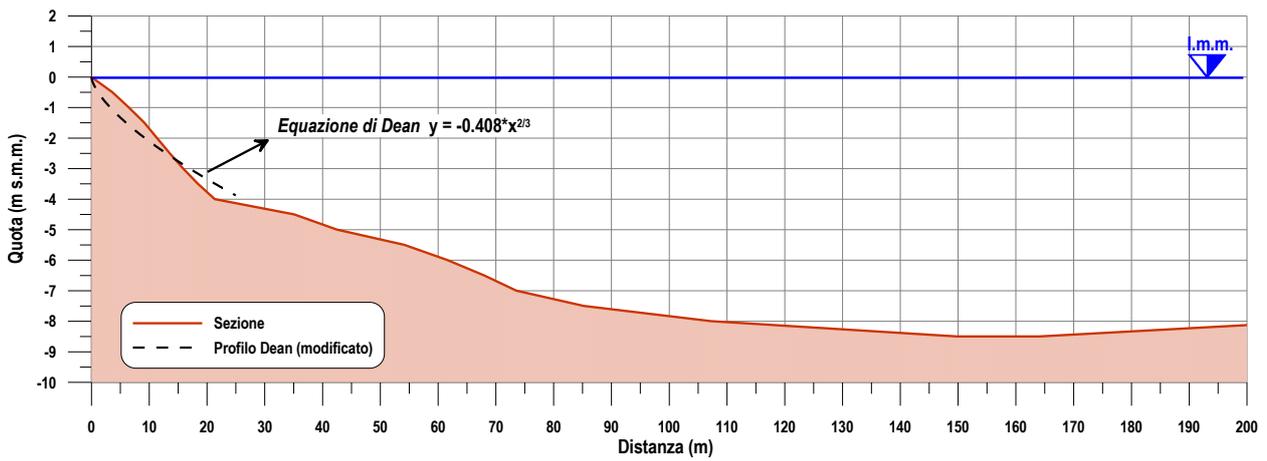


Figura 13.7 Best fit sezione 1 (spiaggia di Lampetia)

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

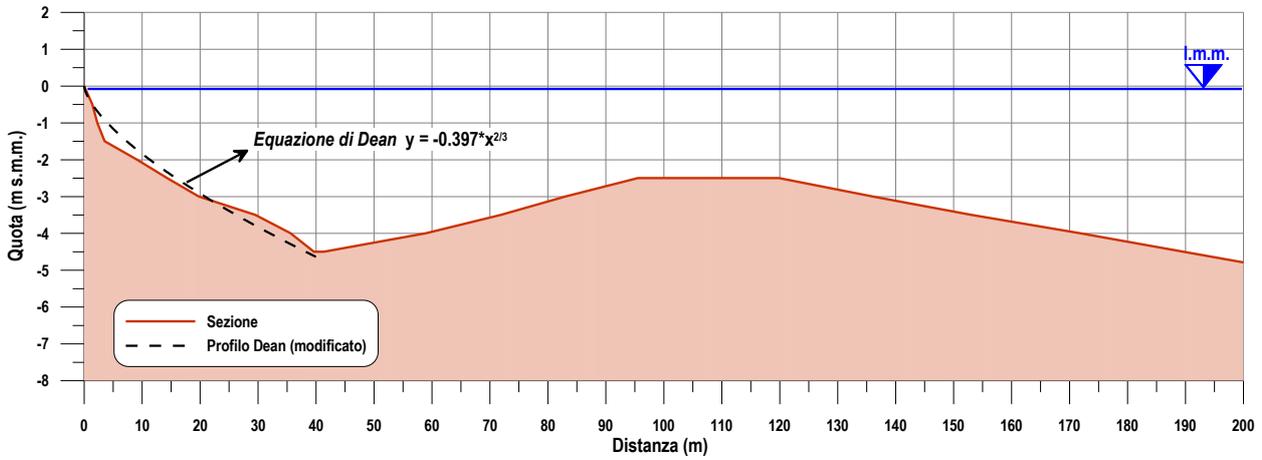


Figura 13.8 Best fit sezione2 (spiaggia di Lampetia)

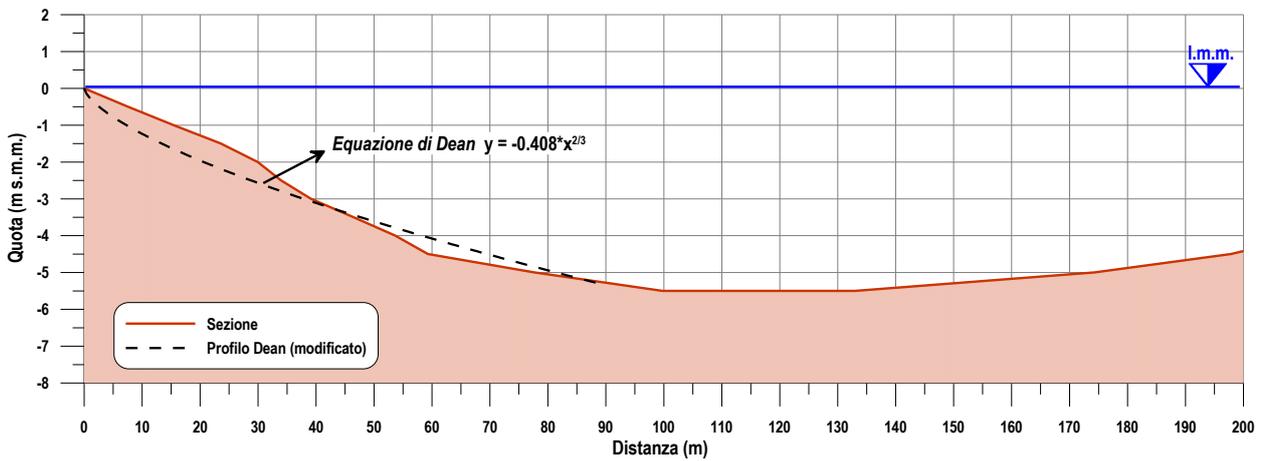


Figura 13.9 Best fit sezione3 (spiaggia di Lampetia)

### 13.6 Settaggio del modello

La griglia di calcolo GENESIS, centrata nell'area di intervento, è stata costruita suddividendo il litorale in 700 celle della lunghezza di 5 m ciascuna, per una lunghezza complessiva di 3500 m. La griglia di calcolo GENESIS ha gli assi paralleli alla griglia STWAVE (cfr. Figura 13.3); ha origine nel punto di coordinate UTM 33N – Datum WGS84 (580422.4 mE; 4374645.5 N – vertice in basso a destra).

Le dimensioni del dominio di calcolo sono state determinate in base alla conformazione del litorale e delle opere presenti, che hanno consentito di porre gli estremi in corrispondenza di punti notevoli dove fissare univocamente le condizioni al contorno. L'estremo destro del dominio di calcolo è stato fissato in corrispondenza della grotta dei Rizzi a Nord-Ovest della spiaggia di Lampetia, mentre l'estremo sinistro è stato fissato in corrispondenza delle scogliere presenti 1.5 km circa a Sud-Est (all'estremità settentrionale dell'abitato di Marina di Cetraro).

Procedendo da Nord-Ovest verso Sud-Est sono state rappresentate nel modello le seguenti opere:

- un pennello "non diffracting" parzialmente permeabile in corrispondenza del promontorio per regolare l'afflusso di sedimenti in ingresso provenienti da Nord-Ovest;
- un pennello "non diffracting" impermeabile in corrispondenza del pennello di contenimento sopraflutto al porto;
- una barriera emersa impermeabile per rappresentare il molo di sopraflutto del porto;
- un pennello "non diffracting" impermeabile in corrispondenza del molo di sottoflutto del porto.

Le scogliere parallele a costa presenti nel tratto di litorale a Sud del porto, in corrispondenza delle quali si osserva la formazione dei tomboli (allo stato attuale possono essere assimilate a difese radenti), sono state rappresentate avanzando la linea inerodibile in corrispondenza del perimetro lato mare delle scogliere. Il litorale sottoflutto, nel tratto rappresentato nel modello (1.5 km a Sud del porto) risulta pertanto caratterizzato sostanzialmente dalla presenza di tre piccole spiagge: la prima a ridosso del molo di sottoflutto (protetta dal molo principale del porto), la seconda si trova al centro dell'arcata litoranea (di fronte al camping "Lido dei Pini") e la terza in corrispondenza dello sbocco a mare del fiume Aron.

Di seguito, in Figura 13.10, si riporta la griglia di calcolo GENESIS con la schematizzazione delle opere esistenti nel tratto di litorale analizzato. I parametri impiegati nel modello sono riassunti nella seguente Tabella 13.1. In particolare, si riportano: i valori dei coefficienti di calibrazione  $K_1$  e  $K_2$ , le caratteristiche della griglia di calcolo (dimensioni e spaziatura), lo step temporale di calcolo, le caratteristiche della climatologia fornita in input al modello, la profondità della fascia attiva, l'ubicazione delle "stations" e le condizioni al contorno.

La linea di riva iniziale inserita nel modello è quella rilevata a Maggio 2019.

Come precedentemente accennato (cfr. paragrafo 13.5), considerate le differenti caratteristiche granulometriche e topo-batimetriche dei litorali sopraflutto e sottoflutto al porto, unitamente alla presenza del porto stesso (che costituisce un elemento di "discontinuità" tra le due aree per quanto riguarda il trasporto solido longitudinale), l'analisi dell'evoluzione del litorale in configurazione attuale è stata condotta separatamente per il tratto a Nord e a Sud del porto.

**Tabella 13.1 Parametri impiegati nel modello GENESIS**

PARAMETRO	VALORE	U.M.
Coefficiente di calibrazione $K_1$	0.06	
Coefficiente di calibrazione $K_2$	0.03	
Numero di celle totali	700	
Dimensioni di ogni cella	5	m
Dimensione step temporale di calcolo	3	h
Profondità a cui sono ubicate le stations	-10	m
Profondità di chiusura	-7.2	m
Altezza di swash	+2.0	m
Estremo destro	Aperto (Pinned Beach)	
Estremo sinistro	Aperto (Pinned Beach)	



**Figura 13.10 Griglia di calcolo GENESIS (configurazione attuale del litorale)**

### **13.7 Tendenza evolutiva del litorale (spiaggia a Sud del porto)**

I risultati della simulazione di evoluzione morfologica a 10 anni in configurazione attuale per il tratto di litorale a Sud del porto sono riportati nella successiva Figura 13.11 (dettaglio griglia GENESIS da progressiva 0 m a 2000 m).

La simulazione è stata condotta al fine di determinare l'influenza dell'infrastruttura portuale sulla dinamica dei sedimenti nel tratto di spiaggia sottoflutto al porto di Cetraro. In particolare la simulazione è in grado di rappresentare l'effetto di "cattura" esercitato dal molo di sopraflutto del porto e il punto di inversione del trasporto, ovvero la posizione "limite" oltre la quale è opportuno intervenire con eventuali apporti di sedimenti per riattivare la dinamica litoranea a Sud del porto. Per analizzare nel dettaglio tali aspetti la configurazione delle opere, della linea di costa e della linea inderodibile sottoflutto al porto è stata opportunamente modificata eliminando le opere rigide presenti (scogliere), lasciando quindi i sedimenti "liberi di muoversi" senza la presenza di ostacoli.

Il materiale all'interno della fascia attiva è stato rappresentato con un valore medio del diametro medio dei grani  $D_{50}$  pari a 3.5 mm (cfr. precedente paragrafo 13.5).

I risultati sono rappresentati in termini di andamento del trasporto solido longitudinale ed evoluzione della linea di riva; per quanto riguarda il trasporto sono stati estratti i risultati con riferimento al 1°, al 5° e all'ultimo (10°) anno di simulazione.

L'evoluzione della linea di riva, considerate le modifiche apportate alla configurazione delle opere, è da ritenersi puramente indicativa; la finalità era quella di riprodurre in maniera verosimile la "forma" della linea di riva a ridosso del molo di sottoflutto, dove si accumulano i sedimenti per effetto "cattura" del molo di sopraflutto.

Si osserva come il punto di inversione del trasporto tenda a spostarsi verso Nord, passando dalla progressiva 1400 m (1° anno) alla 1500 m (situazione a regime). La "zona di cattura" dei sedimenti sottoflutto al porto risulta quindi di estensione assai limitata e sostanzialmente coincidente con il tratto in cui è presente la spiaggia emersa a ridosso del molo di sottoflutto.

Nell'ottica della gestione a medio/lungo termine dei sedimenti che insabbiano l'imboccatura portuale ed il suo intorno, sarà quindi necessario programmare interventi di bypass dei sedimenti con versamenti a Sud della "zona di cattura" del sottoflutto. Va peraltro segnalato che, per la formulazione intrinseca del modello, la simulazione non tiene conto dell'effetto della barra che si forma oltre la testata del sopraflutto; la barra potrebbe determinare (e probabilmente già lo fa) un'estensione della effettiva zona di cattura, per cui la zona ottimale di versamento dei sedimenti di bypass dovrebbe essere spostata verso Sud. In questo senso, per l'individuazione dei punti di inversione della corrente litoranea, giova riferirsi alle simulazioni della circolazione idrodinamica e del trasporto solido (capitolo 12); da tali simulazioni si può evincere come l'influenza del porto si estenda verso Sud per almeno 6÷700 m, entro i quali il versamento dei sedimenti potrebbe contribuire ad alimentare l'accumulo a ridosso del molo di sottoflutto.

Trasporto (m<sup>3</sup>/anno)

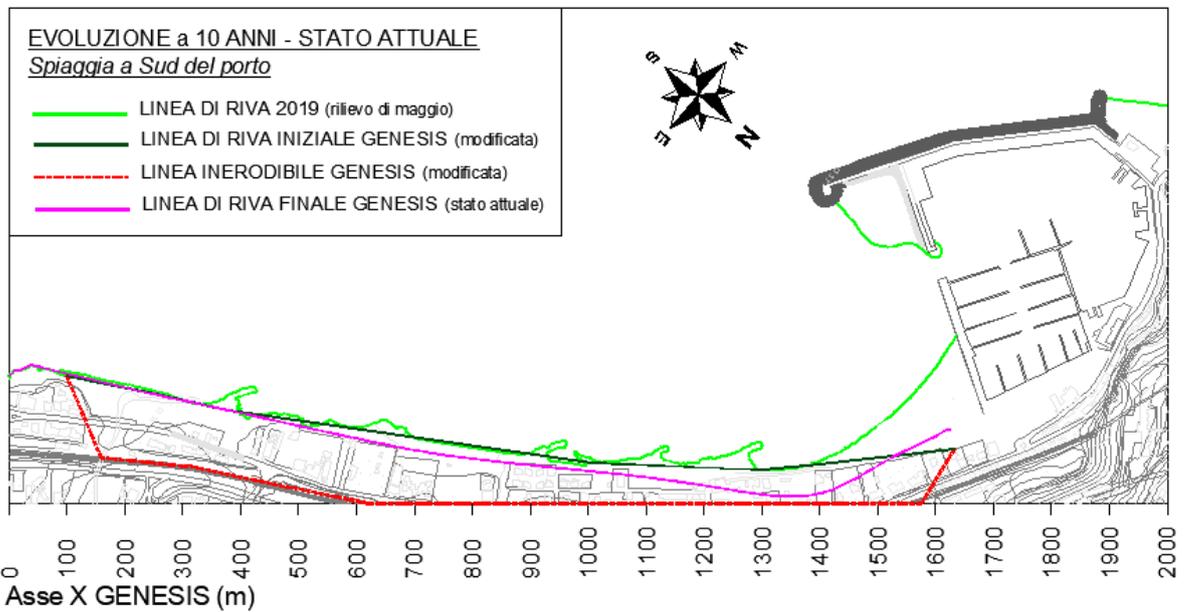
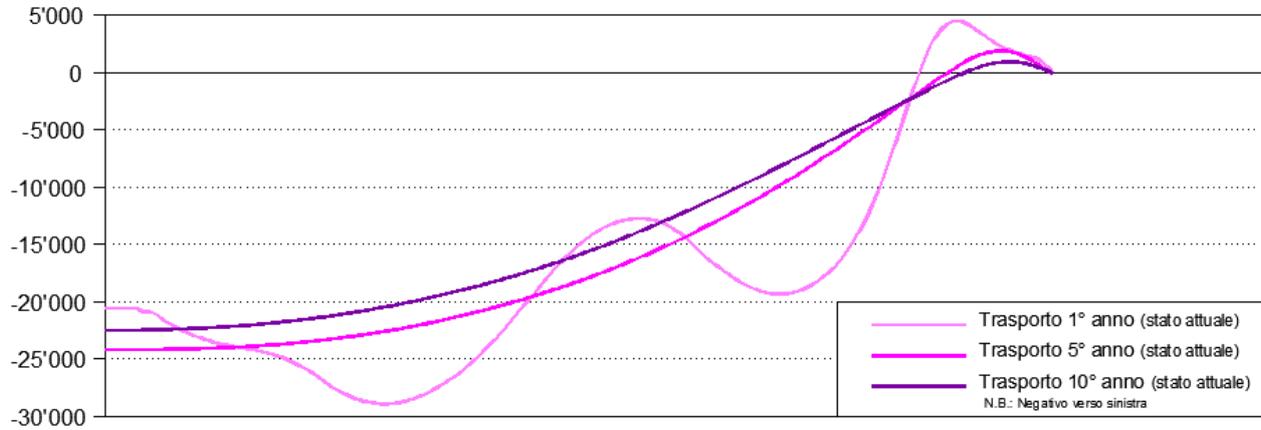


Figura 13.11 Evoluzione linea di riva e andamento del trasporto solido longitudinale in configurazione attuale (litorale a Sud del porto)

### **13.8 Tendenza evolutiva del litorale (spiaggia di Lampetia)**

I risultati della simulazione di evoluzione morfologica a 10 anni in configurazione attuale per la spiaggia a Nord del porto di Cetraro sono riportati nella successiva Figura 13.12 (dettaglio griglia GENESIS da progressiva 1300 m a 3500 m).

La simulazione è stata condotta al fine di determinare la tendenza evolutiva della spiaggia sopraflutto al porto. Per simulare l'evoluzione di questo tratto di litorale, la griglia di calcolo è stata modificata, eliminando la struttura che rappresenta il molo di sopraflutto e lasciando il materiale "libero" di entrare nella trappola costituita dal bacino portuale.

Il materiale all'interno della fascia attiva è stato rappresentato con un valore medio del diametro mediano dei grani  $D_{50}$  pari a 5.5 mm, rappresentativo della fascia di spiaggia sommersa del litorale settentrionale, nella zona più prossima alla linea di riva fino a profondità di circa -4.0 m s.m.m. (cfr. precedente paragrafo 13.5).

I risultati sono rappresentati in termini di andamento del trasporto solido longitudinale ed evoluzione della linea di riva, con riferimento alla configurazione "a regime" (10° anno di simulazione).

L'evoluzione della linea di riva evidenzia la tendenza, peraltro confermata dall'analisi dell'evoluzione storica (cfr. precedente paragrafo 13.1), all'accumulo di sedimenti in corrispondenza del pennello di contenimento alla radice del molo di sopraflutto e l'erosione del tratto di costa più settentrionale (grotta dei Rizzi). Va ovviamente sottolineato che il regime del tratto settentrionale della spiaggia dipende dall'apporto solido da Nord, oggi non valutabile oggettivamente.

Il trasporto solido longitudinale è diretto da Nord verso Sud; la simulazione è stata "tarata" con un flusso in ingresso di sedimenti da Nord pari a circa 15'000 m<sup>3</sup>/anno (valore congruente con l'evoluzione recente); il trasporto presenta un picco di 22'000 m<sup>3</sup>/anno a metà del litorale (punto in cui si osserva la rotazione della linea di costa). Procedendo verso Sud (verso il porto di Cetraro), il trasporto si riduce a 20'000 m<sup>3</sup>/anno in corrispondenza del pennello di contenimento; parte del materiale accumulato bypassa il porto contribuendo all'insabbiamento dell'imboccatura mentre la restante parte (non quantificabile dal modello) si perde verso il largo o contribuisce variamente all'alimentazione della spiaggia sommersa a Sud (senza sensibile influenza sulla morfologia della riva, che invece dipende dai sedimenti più grossolani).

Sulla base dei risultati ottenuti si può desumere che una manutenzione regolare del litorale che preveda la movimentazione dell'accumulo di sabbia a ridosso del pennello di contenimento, con spostamento nel tratto a sud del porto di Cetraro (sottoflutto al porto), contribuirebbe alla riduzione del fenomeno di insabbiamento del porto.

Nel dettaglio, dai risultati ottenuti, si può ipotizzare che lo spostamento verso sud di un quantitativo pari a 20'000 m<sup>3</sup> all'anno (indicativamente equivalente al trasporto solido che si verifica nel litorale) ridurrà sostanzialmente il by-pass del pennello di contenimento e conseguentemente il fenomeno di insabbiamento del porto.

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

Trasporto (m<sup>3</sup>/anno)

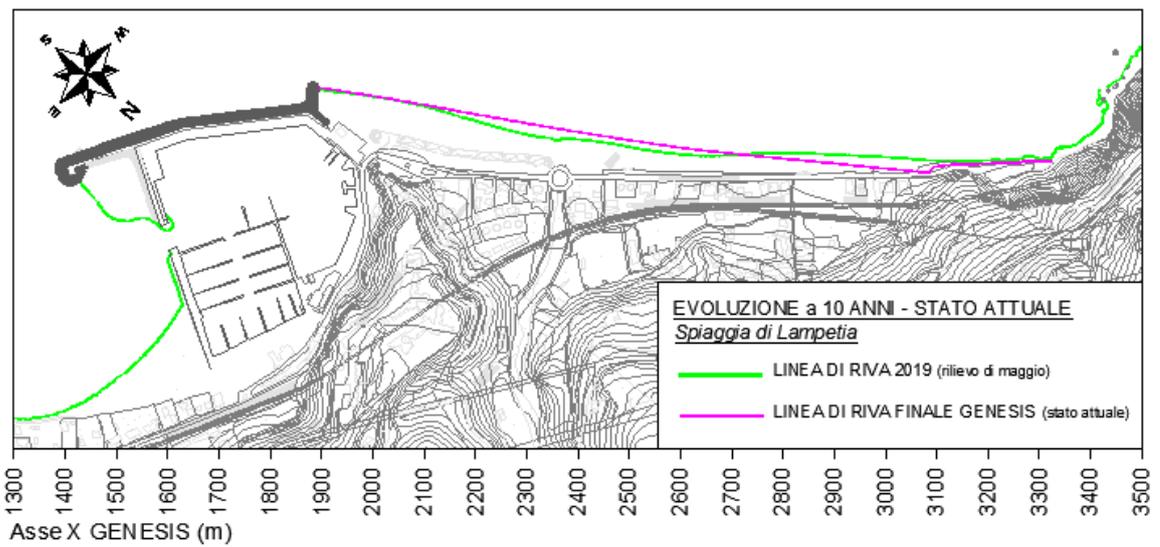
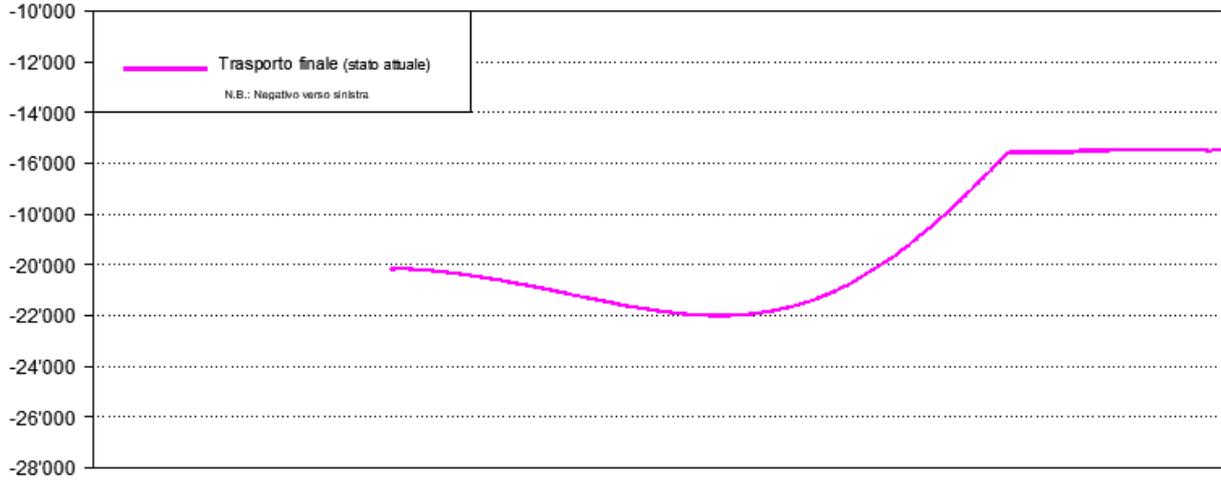


Figura 13.12 Evoluzione linea di riva e andamento del trasporto solido longitudinale in configurazione attuale (spiaggia di Lampetia)