



## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO</b>	<b>6</b>
	2.1 <i>FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI</i>	7
<b>3</b>	<b>REGIME DELLE MAREE</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>VENTI</b>	<b>11</b>
	4.1 <i>REGIME ANEMOLOGICO LOCALE</i>	11
<b>5</b>	<b>MOTO ONDOSO AL LARGO</b>	<b>13</b>
	5.1 <i>CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO AL LARGO</i>	13
<b>6</b>	<b>ANALISI DEGLI EVENTI ESTREMI AL LARGO</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>CLIMA ONDOSO SOTTO COSTA</b>	<b>20</b>
	7.1 <i>SETTAGGIO DEL MODELLO</i>	20
	7.2 <i>CLIMA ONDOSO SOTTO COSTA – PUNTO P</i>	22
	7.3 <i>DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO STWAVE</i>	25
<b>8</b>	<b>PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI</b>	<b>29</b>
	8.1 <i>DEFINIZIONE DEL TEMPO DI RITORNO PER L'AZIONE IDRAULICO-MARITTIMA</i>	29
	8.2 <i>CARATTERISTICHE DEGLI EVENTI ESTREMI PROPAGATI</i>	30
	8.3 <i>SETTAGGIO DEL MODELLO</i>	32
	8.4 <i>CARATTERISTICHE LOCALI DELLE MAREGGIATE ESTREME</i>	32
<b>9</b>	<b>STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA</b>	<b>36</b>
	9.1 <i>MODELLO MATEMATICO CGWAVE</i>	36
	9.1.1 <i>Caratteristiche generali di CGWAVE</i>	36
	9.1.2 <i>Cenni sulle formulazioni di CGWAVE</i>	37
	9.1.3 <i>Condizioni al contorno</i>	38
	9.2 <i>CARATTERISTICHE DELLE MAREGGIATE ANALIZZATE</i>	40
	9.3 <i>AGITAZIONE ONDOSA IN STATO ATTUALE</i>	41
	9.3.1 <i>Settaggio del modello</i>	41
	9.3.2 <i>Definizione del contorno inshore</i>	43
	9.3.3 <i>Risultati dello studio dell'agitazione ondosa</i>	46

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

<b>9.4</b>	<b>AGITAZIONE ONDOSA IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO</b>	<b>50</b>
9.4.1	Settaggio del modello	50
9.4.2	Definizione del contorno inshore	51
9.4.3	Risultati dello studio dell'agitazione ondosa	53
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>57</b>

**INDICE DELLE FIGURE**

Figura 2.1	- Inquadramento geografico del paraggio: settore caratteristico di traversia (a sinistra) e immagine satellitare del porto (a destra)	6
Figura 2.2	- Fetch geografici per il paraggio di interesse	7
Figura 2.3	- Fetch efficaci per il paraggio di interesse	8
Figura 3.1	- Mareografo RMN (Palermo)	9
Figura 3.2	- Andamento dei livelli di marea nel periodo gennaio 1998 – dicembre 2015	10
Figura 4.1	- Rosa dei venti (gennaio 1990 – dicembre 2015) – Punto UNIGE	11
Figura 4.2	- Rosa delle registrazioni dei dati (a sinistra) di vento e rosa delle velocità massime (a destra) (gennaio 1990 – dicembre 2015) – Punto UNIGE	12
Figura 5.1	- Dominio del modello di generazione tipo Wavewatch III per l'area del mediterraneo	13
Figura 5.2	- Ubicazione del punto UNIGE	15
Figura 5.3	- Rosa delle registrazioni nel punto UNIGE	15
Figura 5.4	- Rosa delle energie nel punto UNIGE	16
Figura 5.5	- Rosa delle altezze massime nel punto UNIGE	16
Figura 6.1	- Eventi massimi annui per settore nel periodo gennaio 1990 – dicembre 2015 Punto UNIGE	18
Figura 6.2	- Elaborazione statistica degli estremi con il metodo di Gumbel (i punti nel grafico rappresentano i massimi annuali per settore)	19
Figura 7.1	- Griglie e dominio di calcolo impiegati per lo studio della propagazione del clima ondoso	21
Figura 7.2	- Rosa delle registrazioni nel punto P	23
Figura 7.3	- Rosa delle energie nel punto P	23
Figura 7.4	- Rosa delle altezze massime nel punto P	24
Figura 7.5	- Curva di durata nel punto P	24
Figura 7.6	- Spettro monodimensionale	25
Figura 7.7	- Convenzioni griglia STWAVE	27
Figura 7.8	- Input e Output STWAVE	27
Figura 8.1	- Eventi massimi annuali per i settori 20°÷50°N e 50°÷90°N (periodo gennaio 1990 – dicembre 2015 – Punto UNIGE)	30
Figura 8.2	- Correlazioni $H_s-T_P$ per i settori 20°÷50°N e 50°÷90°N	31
Figura 8.3	- TEST 3 (Grecale - $T_R = 100$ anni) - Caratteristiche mareggiata al largo: $H_s = 5.38$ m, $T_P = 9.45$ s, Dir = 45°N	34
Figura 8.4	- TEST 3 (Grecale - $T_R = 100$ anni) – Dettaglio area di intervento	34
Figura 8.5	- TEST 5 (Levante - $T_R = 100$ anni) - Caratteristiche mareggiata al largo: $H_s = 5.55$ m, $T_P = 8.81$ s, Dir = 65°N	35
Figura 8.6	- TEST 5 (Levante - $T_R = 100$ anni) – Dettaglio area di intervento	35
Figura 9.1	- Condizioni al contorno del modello	39
Figura 9.2	- Curva di durata	40
Figura 9.3	- Dominio di calcolo impiegato nello studio della dell'agitazione ondosa	41
Figura 9.4	- Particolare della mesh di calcolo nell'area del Porto di Levante nello stato attuale	42
Figura 9.5	- Banchina di radice del molo aliscafi – fori sulla parete verticale	44
Figura 9.6	- Banchina di radice del molo aliscafi – griglie di sfogo in banchina	44

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

Figura 9.7 - Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa.....	45
Figura 9.8 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), andamento delle creste.....	46
Figura 9.9 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), altezza significativa delle onde .....	47
Figura 9.10- TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), agitazione ondosa nell'area di interesse (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi esistente).....	47
Figura 9.11- TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), andamento delle creste .....	48
Figura 9.12- TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), altezza significativa delle onde.....	49
Figura 9.13- TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), agitazione ondosa nell'area di interesse (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi esistente).....	49
Figura 9.14 - Particolare della mesh di calcolo nell'area del Porto di Levante nella configurazione di progetto	50
Figura 9.15 - Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa.....	51
Figura 9.16 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), andamento delle creste.....	53
Figura 9.17 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), altezza significativa delle onde .....	54
Figura 9.18 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), agitazione ondosa nell'area di interesse (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi in progetto) .....	54
Figura 9.19 - TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), andamento delle creste.....	55
Figura 9.20 - TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), altezza significativa delle onde.....	56
Figura 9.21 - TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), agitazione ondosa nell'area di interesse (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi in progetto) .....	56
Figura 10.1- TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), agitazione ondosa nell'area di interesse: nello stato attuale (a sinistra) e in configurazione di progetto (a destra) (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi) .....	57
Figura 10.2- TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), agitazione ondosa nell'area di interesse: nello stato attuale (a sinistra) e in configurazione di progetto (a destra) (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi) .....	58

**INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 5.1 - RegISTRAZIONI ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 227904) - Punto al largo (15.11°E, 38.46) .....	17
Tabella 6.1 - Risultati statistica degli estremi con il metodo di Gumbel .....	19
Tabella 7.1 - RegISTRAZIONI di moto ondoso nel punto P ordinate per altezza e direzione (in parti per 227904)	22
Tabella 7.2 - Correlazione tra parametri spettrali (Thompson et al., 1996).....	28
Tabella 8.1 - Ipotesi progettuali di base per il calcolo del periodo di ritorno dell'azione ondosa .....	29
Tabella 8.2 - Mareggiate individuate per la propagazione degli eventi estremi .....	31
Tabella 8.3 - Caratteristiche locali delle mareggiate estreme .....	32
Tabella 9.1 - Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio dell'agitazione ondosa .....	40
Tabella 9.2 - Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore.....	45
Tabella 9.3 - Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore.....	52
Tabella 10.1 – Agitazione ondosa nel Porto di Levante di Vulcano .....	58



**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

## **1 **PREMESSA****

Nella presente relazione tecnica viene riportato lo Studio su modello matematico - Studio meteomarino, redatto a supporto del Progetto Definitivo "*Messa in Sicurezza del Porto di Levante e di Ponente nell'isola di Vulcano con la sistemazione del molo foraneo e collegamento tra le banchine portuali e radice pontile attracco aliscafo*".

Nel presente documento sono riportati i dati di base impiegati nello studio e le elaborazioni eseguite sulla base di tali dati. La raccolta dei dati di base e la loro qualità costituisce 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 Palermo.

Per la definizione delle condizioni meteomarine (moto ondoso e regime anemologico) al largo del paraggio si è scelto di acquisire dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova la serie temporale delle condizioni meteomarine ottenute per mezzo di un procedimento di wave hindcasting (ricostruzione dello stato del mare sulla base di dati meteorologici, mediante l'utilizzo di modelli numerici) ad alta risoluzione, che, allo stato attuale rappresenta lo stato dell'arte per la definizione del clima ondoso ove non siano disponibili misure dirette.

I dati del wave hindcasting sono stati estratti "al largo", in prossimità del punto di coordinate 15.11°E, 38.46°N, ed utilizzati per la definizione delle condizioni al contorno per lo studio su modello matematico. Le condizioni al contorno sono state individuate in relazione alla finalità dello studio: lo studio dell'agitazione ondosa interna all'approdo e il dimensionamento delle opere previste in progetto (nuova banchina di riva in massi pilonati con scogliera antiriflettente e pontile su pali).

Il clima meteomarino è stato conseguentemente propagato sotto costa per la definizione del clima ondoso locale caratteristico del paraggio ed elaborato in termini di eventi estremi. Lo studio su modello della propagazione degli eventi estremi è stato condotto al fine di ricavare le caratteristiche sottocosta, ovvero di fronte alle strutture oggetto di intervento.

Al fine di analizzare l'efficacia della soluzione progettuale ipotizzata è stato svolto lo studio dell'agitazione ondosa nei pressi della banchina del Porto e nella porzione di bacino antistante è stato svolto. La valutazione è stata fatta con riferimento ad eventi ondosi ritenuti rappresentativi delle condizioni di moto ondoso locale; nel dettaglio si è scelto di analizzare eventi ondosi severi ma non estremi, caratterizzati da frequenza massima complessiva non superiore a 5 giorni/anno.

Lo studio è stato eseguito dapprima nella configurazione attuale e successivamente in quella di progetto ed ha permesso di evidenziare l'efficacia degli interventi previsti in termini di riduzione dell'agitazione ondosa.

Nel dettaglio la redazione dello studio è stata articolata sviluppando i seguenti temi:

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

- inquadramento geografico del paraggio, fetches geografici ed efficaci;
- regime delle maree;
- regime anemologico;
- clima del moto ondoso al largo;
- statistica degli eventi estremi;
- propagazione del clima ondoso sotto costa
- propagazione degli eventi estremi sotto costa;
- studio dell'agitazione ondosa del bacino del Porto di Levante di Vulcano in configurazione attuale e in configurazione di progetto.

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

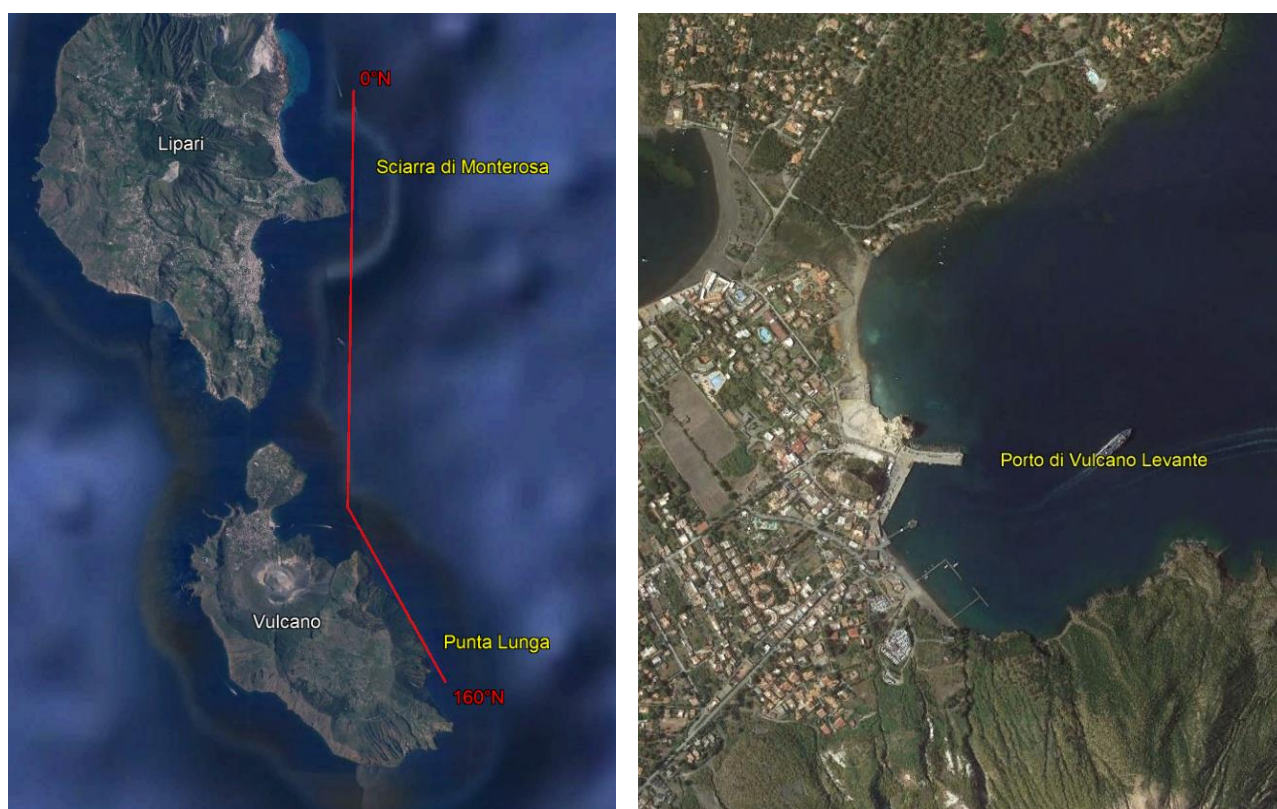
**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

## **2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO**

L'area oggetto di studio, collocata nel settore settentrionale del versante orientale dell'Isola di Vulcano, ricade nel territorio della provincia di Messina.

Il paraggio è caratterizzato da un settore di traversia costituito prevalentemente dai venti provenienti dal I e dal II quadrante. Nel dettaglio, il settore risulta limitato dalla presenza della Sciarra di Monterosa (isola di Lipari) a Nord e dall'Isola di Vulcano (Punta Lunga) a Sud e può essere considerato compreso tra 0°N e 160°N (Figura 2.1, a sinistra).

L'area di interesse, rappresentata in Figura 2.1 (a destra), è il porto di Vulcano Levante, dove attraccano i battelli di linea che collegano l'isola alle altre isole dell'arcipelago e alla terraferma. Il porto si colloca in un'insenatura naturale protetta dalle mareggiate, con l'eccezione di quelle del primo e, in parte, secondo quadrante, che possono investire direttamente gli accosti.



**Figura 2.1 - Inquadramento geografico del paraggio:  
settore caratteristico di traversia (a sinistra) e immagine satellitare del porto (a destra)**

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

## 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, è stata utilizzata la procedura proposta nello "Shore Protection Manual" (1984). La metodologia proposta consiste nel costruire, a partire dal punto di interesse, nove raggi con spaziatura 3° estesi fino ad incontrare la linea di riva. Il fetch efficace, per ciascuna direzione, risulta dalla media aritmetica delle 9 lunghezze dei raggi così tracciati.

I risultati ottenuti da tale calcolo sono rappresentati graficamente nella seguente Figura 2.3. Si può notare che i massimi fetch corrispondono alle mareggiate provenienti da Greco-Levante, per le quali il massimo fetch efficace è dell'ordine dei 115 km (circa 62 NM).



Figura 2.2 - Fetch geografici per il paraggio di interesse

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---



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



## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 3 REGIME DELLE MAREE

I dati di marea utilizzati nel presente studio sono stati scaricati dal sito dell'ISPRA ([www.mareografico.it](http://www.mareografico.it)) e si riferiscono alla stazione RMN di Palermo. Il mareografo, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale, si trova presso la stazione navale della guardia di Finanza, alla base del molo CT Bersagliere e in corrispondenza del punto di coordinate (Latitudine: 38° 07' 12" – Longitudine: 13° 22' 22"). L'edificio contenente la strumentazione è posizionato sulla banchina in calcestruzzo (Figura 3.1).

I dati utilizzati, registrati ad intervalli orari, si riferiscono al periodo gennaio 1998 – dicembre 2015, con alcune lacune parziali (registrazioni mancanti) e con alcuni evidenti problemi di funzionamento del mareografo tra il 2011 e il 2015, periodo nel quale si osservano valori minimi del livello di marea che non scendono al di sotto di -0.1 m s.m.m..

La serie storica dei dati registrati dal mareografo è riportata in Figura 3.2. Le registrazioni sono state depurate dei dati mancanti. Dalla serie storica si può osservare che il livello di marea oscilla generalmente tra +0.50 e -0.30 m s.m.m., con eventi estremi che raggiungono valori pari a +0.60 e -0.59 m s.m.m.. Dalla figura si osserva che il livello minimo di marea (pari a -0.59 m s.m.m.) rappresenta un evento isolato nel 2015 (20 febbraio). I livelli di marea registrati sono riferiti allo zero I.G.M.



Figura 3.1 - Mareografo RMN (Palermo)

PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

---

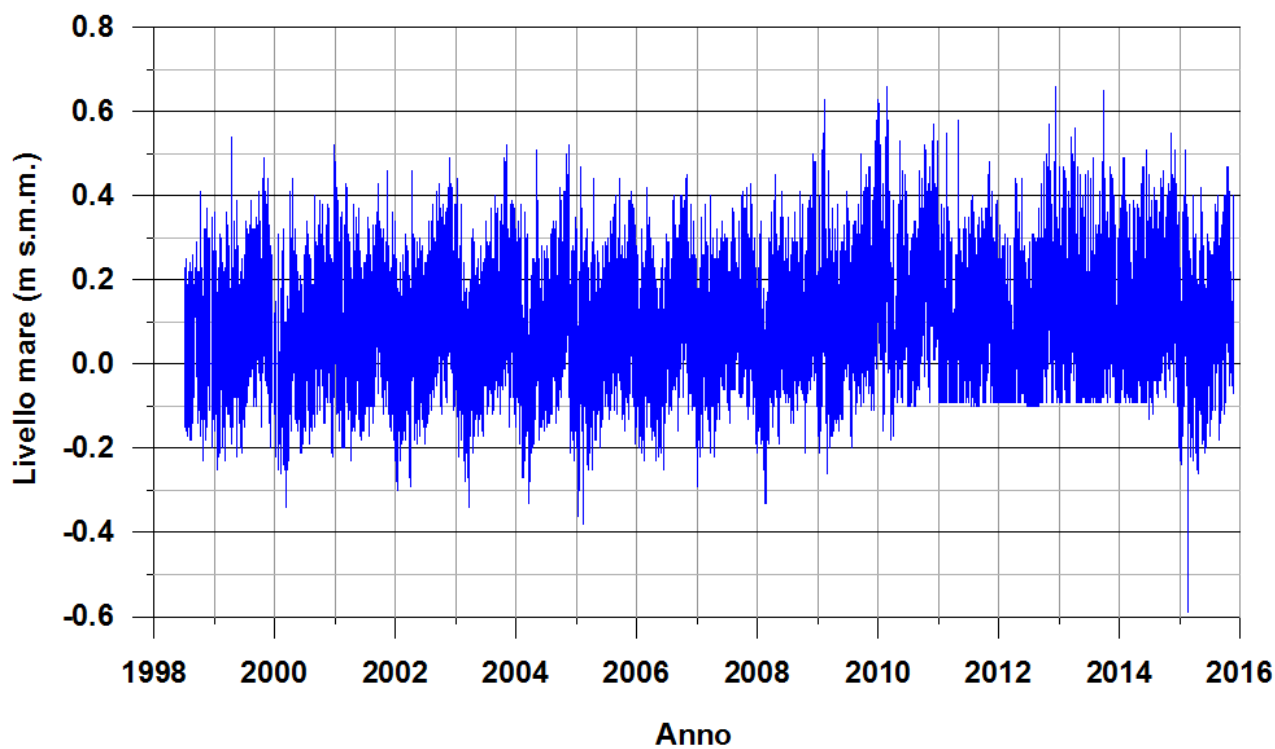


Figura 3.2 - Andamento dei livelli di marea nel periodo gennaio 1998 – dicembre 2015

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## 4 VENTI

### 4.1 Regime anemologico locale

I dati di vento ricavabili dalle registrazioni della stazione RMN di Palermo non risultano rappresentativi del paraggio di Vulcano. Per tale motivo, al fine di poter analizzare il regime anemologico caratteristico del paraggio (regime anemologico locale), si è scelto di elaborare anche i dati di vento ottenuti dall'Università di Genova e riferiti al punto UNIGE (che contengono anche informazioni riguardanti velocità e direzione del vento, n.d.r.).

I dati considerati sono quelli relativi al medesimo periodo per cui sono stati forniti i dati di moto ondoso: periodo gennaio 1990 – dicembre 2015. Nella successiva Figura 4.2 sono riportate la rosa delle registrazioni dei dati di vento (in alto) e la rosa delle velocità massime registrate per direzione di provenienza (in basso).

Come si può notare, il paraggio è caratterizzato dalla prevalenza di venti di Ponente (O) e Scirocco-Mezzogiorno (SSE). Velocità molto elevate si riscontrano peraltro da quasi tutte le direzioni, con valori estremi appartenenti ad eventi di Maestrale (NW), che hanno raggiunto velocità massime dell'ordine dei 25 m/s. La distribuzione del vento in termini di frequenza e velocità è rappresentata nella rosa dei venti riportata nella Figura 4.1.

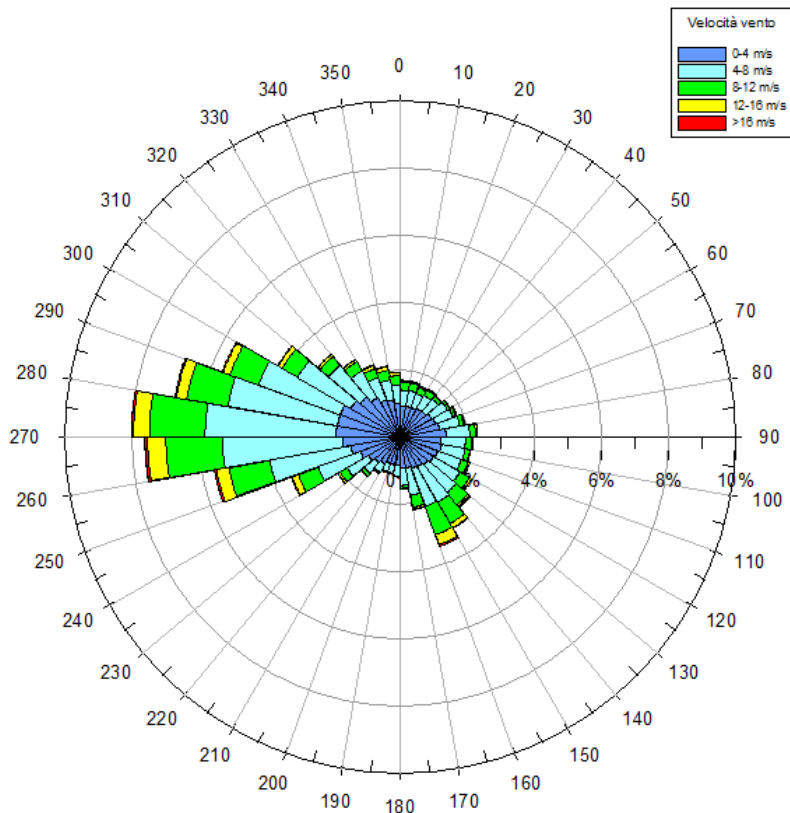


Figura 4.1 - Rosa dei venti (gennaio 1990 – dicembre 2015) – Punto UNIGE



PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

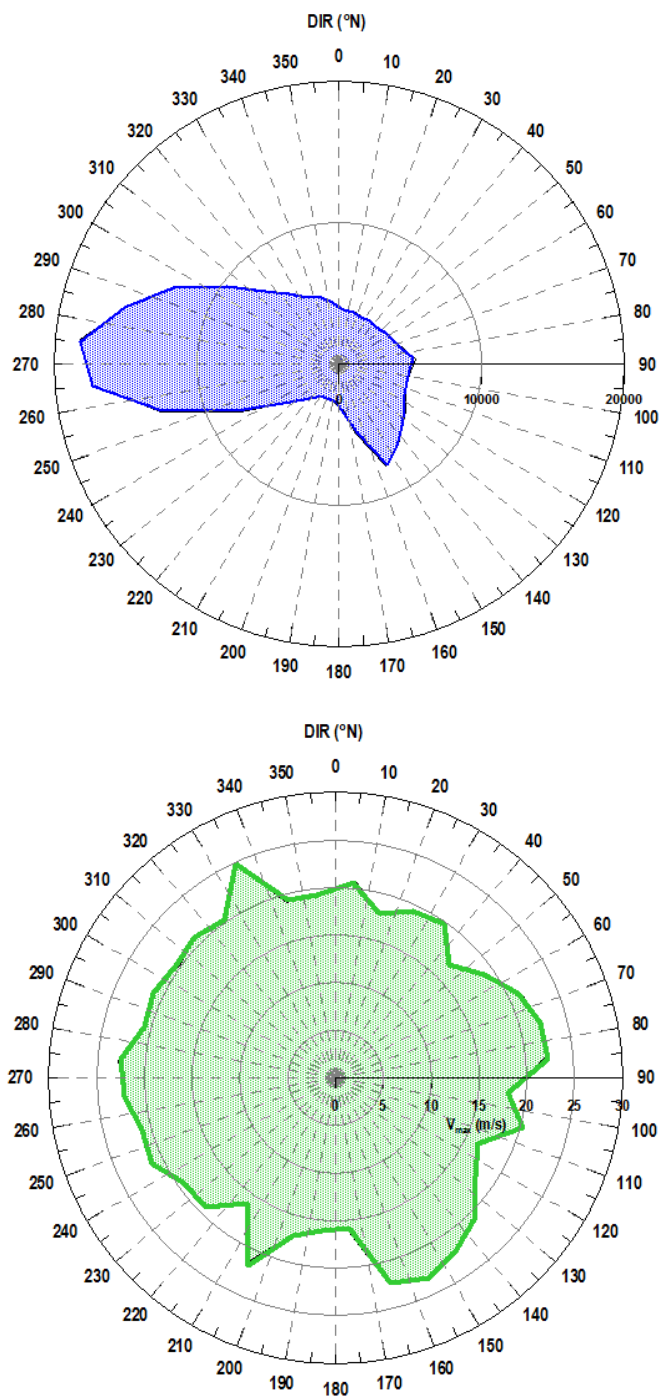


Figura 4.2 - Rosa delle registrazioni dei dati (a sinistra) di vento e rosa delle velocità massime (a destra) (gennaio 1990 – dicembre 2015) – Punto UNIGE

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## 5 MOTO ONDO SO AL LARGO

I dati di moto ondoso utilizzati nello studio derivano dai risultati di un programma di ricerca recentemente portato a termine dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova: i dati sono stati ottenuti per mezzo di un procedimento di "wave hindcasting" (ricostruzione dello stato del mare sulla base di dati meteorologici, mediante l'utilizzo di modelli numerici) ad alta risoluzione.

I dati utilizzati nel presente studio (<http://www.dicca.unige.it>) sono ottenuti da una reanalisi delle condizioni meteomarine estesa da gennaio 1990 a dicembre 2015.

### 5.1 Caratteristiche del moto ondoso al largo

Il MetOcean group, operante all'interno del DICCA dell'Università di Genova, ha sviluppato una reanalisi delle condizioni atmosferiche e di moto ondoso che, per i fini della presente attività, va dal gennaio 1990 fino alla fine di dicembre 2015. La reanalisi dei dati meteorologici è stata sviluppata utilizzando il Climate Forecast System Reanalysis del NCEP; più specificatamente, la versione CFSR per il periodo dal gennaio 1979 al dicembre 2010 e la CFSv2 per il periodo dal gennaio 2011 al dicembre 2015.

L'analisi (hindcast) è stata eseguita per tutto il bacino del Mediterraneo con una risoluzione di 0,1° forzando il modello, ampiamente validato, con i dati del CFSR, ricavati dal National Center for Environmental Prediction (NCEP, <http://cfs.ncep.noaa.gov>), disponibili con una risoluzione di 0.5°.

 DICCA – University of Genoa

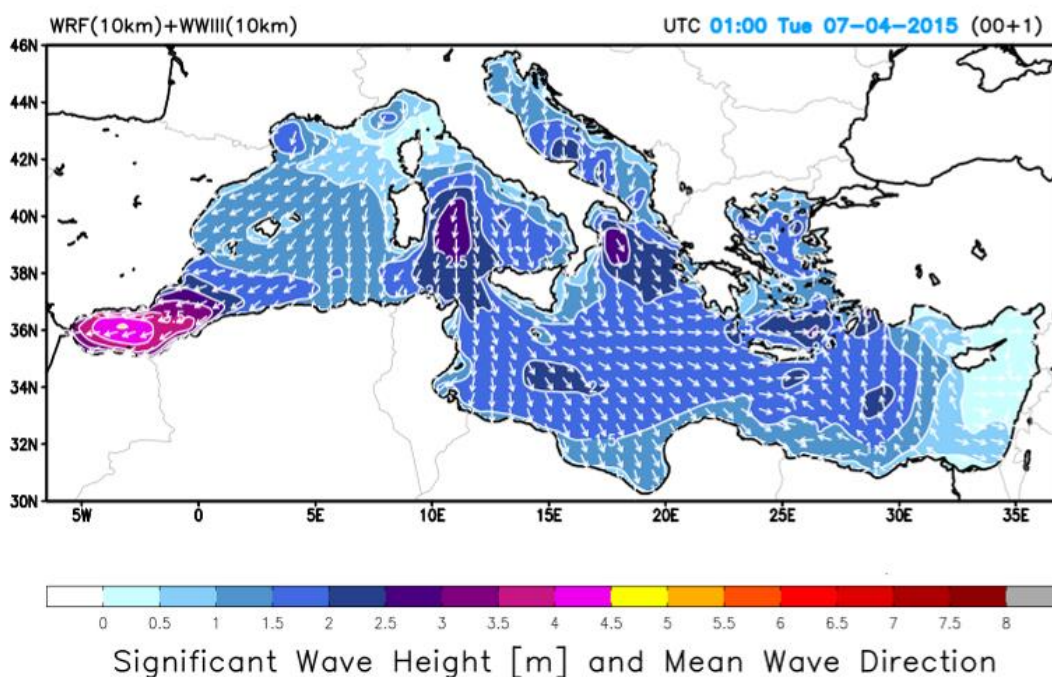


Figura 5.1 - Dominio del modello di generazione tipo Wavewatch III per l'area del mediterraneo

L'analisi è stata eseguita utilizzando il modello di generazione WAVEWATCH III

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEI E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

(WWIII), versione 3.14, operativo al DICCA, con una risoluzione media della griglia pari a 10 km. Per la generazione del moto ondoso attraverso il modello 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 state ricavate 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, 1999, 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, 1991) e WAVEWATCH II, sviluppato alla NASA, Goddard Space Flight Center (Tolman, 1992). WAVEWATCH III™ si differenzia dai suoi predecessori in molti punti importanti, come le equazioni che governano la fisica, la struttura del modello, i metodi numerici e le parametrizzazioni fisiche. Inoltre, con il modello versione 3.14, WAVEWATCH III™ si sta evolvendo da un modello d'onda in un quadro generale di modellazione, che permette un facile sviluppo di approcci fisici e numerici aggiuntivi per la modellazione d'onda.

I dati di moto ondoso forniti dall'Università di Genova si riferiscono al punto (definito nel seguito "UNIGE") di coordinate  $15.11^\circ\text{E}$ ,  $38.46^\circ\text{N}$ , posto ad NE dell'isola di Vulcano ad una distanza pari a circa 14 km dal porto di Levante (Figura 5.2). Le condizioni di moto ondoso, disponibili come campi bidimensionali in serie temporali orarie, comprendono altezza significativa ( $H_s$ ), periodo di picco ( $T_p$ ) e direzione media di provenienza (DIR).

Attraverso l'elaborazione dei dati acquisiti è stato possibile definire il clima ondoso in corrispondenza del punto "UNIGE", situato al largo dell'isola di Vulcano, su un fondale di circa 700 m. Di seguito, in Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5 vengono riportate rispettivamente le rose delle registrazioni, delle energie e delle altezze significative massime al largo.

Limitando l'osservazione al settore di traversia caratteristico del paraggio (ovvero alle mareggiate provenienti dal I e II quadrante), si può notare che nel punto al largo gli eventi con percentuale di apparizione più elevata appartengono al settore di Scirocco (SE). Le maggiori concentrazioni di energia si individuano pure nel settore di Scirocco (SE), anche se si può osservare un picco di energia secondario nel settore di Grecale (NNE).

Le mareggiate caratterizzate dai valori massimi di altezza significativa (con valori di  $H_s$  prossimi ai 5 m) sono invece quelle provenienti da Levante ( $75^\circ\text{N}$ ), ma si osservano valori elevati anche per onde provenienti da Grecale ( $25^\circ\text{N}$ ) e Scirocco ( $150^\circ\text{N}$ ), per le quali si raggiungono valori di  $H_s$  prossimi ai 4.5 m.

Nella successiva tabella (Tabella 5.1) sono riportate le caratteristiche delle onde "al largo"; i dati del clima ondoso al largo sono stati ordinati per classi di altezza significativa e direzione media di provenienza. Il numero di registrazioni si riferisce al totale della "registrazioni" (227'904) nel periodo di analisi (da gennaio 1990 a dicembre 2015).

PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

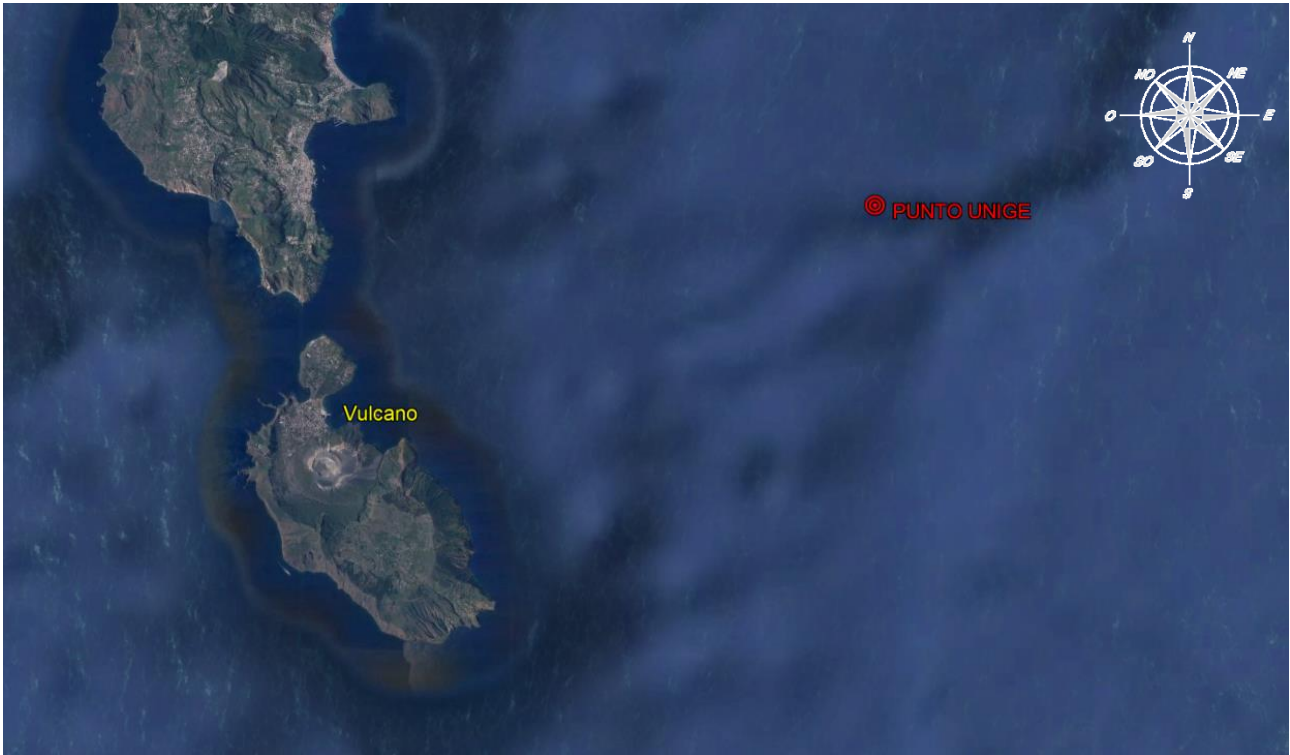


Figura 5.2 - Ubicazione del punto UNIGE

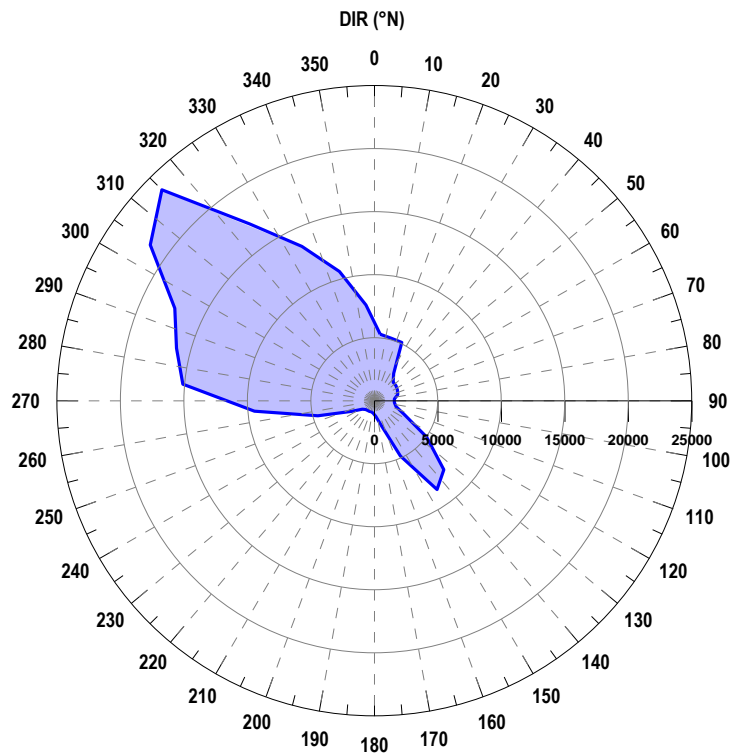
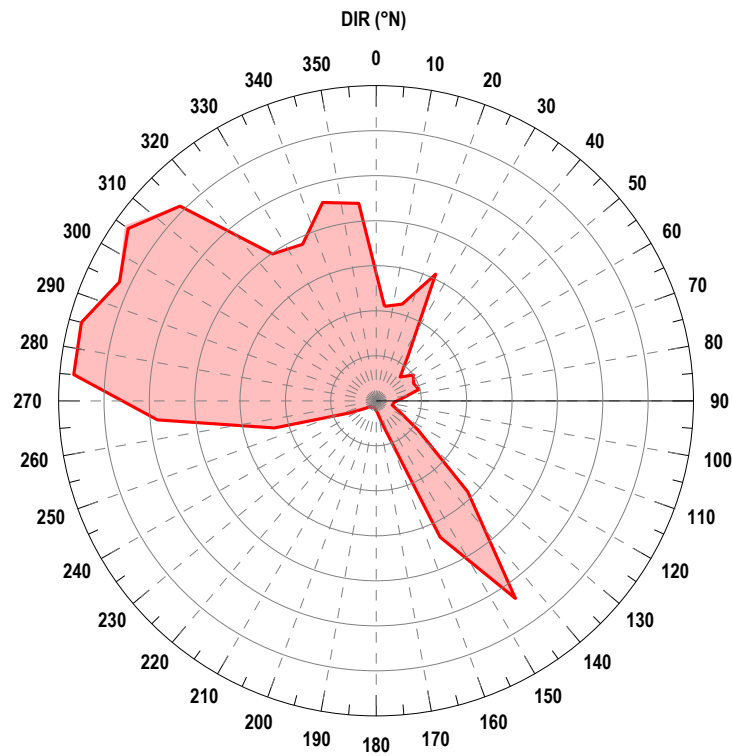


Figura 5.3 - Rosa delle registrazioni nel punto UNIGE

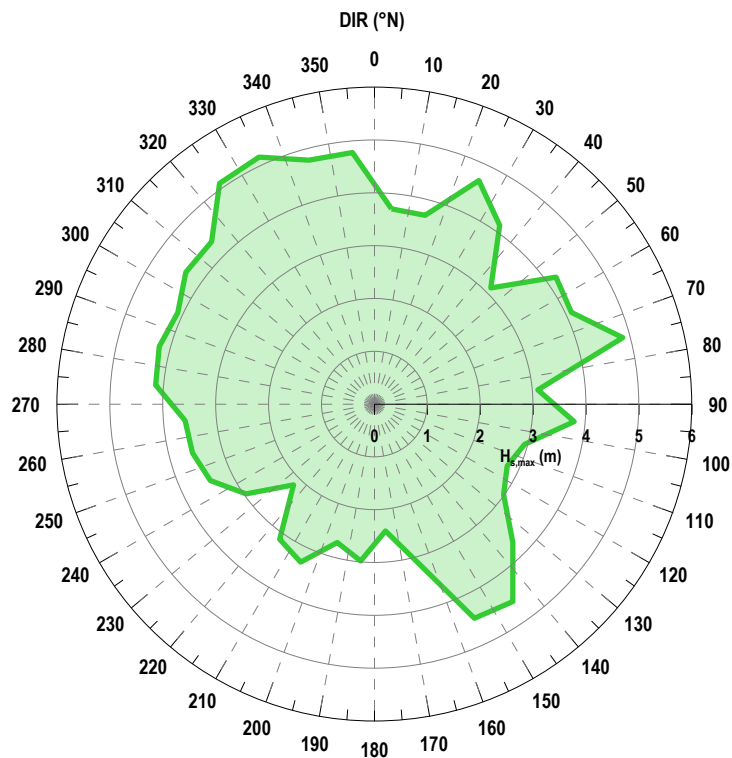
**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**



**Figura 5.4 - Rosa delle energie nel punto UNIGE**



**Figura 5.5 - Rosa delle altezze massime nel punto UNIGE**

Nella successiva tabella (Tabella 5.1) sono riportati i dati del clima ondoso al largo

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEI E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

ordinati per classi di altezza significativa e direzione media di provenienza. Il numero di registrazioni si riferisce al totale della "registrazioni" (227904) nel periodo di analisi (da gennaio 1990 a dicembre 2015).

**Tabella 5.1 - Registrazioni ordinate per altezza significativa e direzione di provenienza (in parti per 227904) - Punto al largo (15.11°E, 38.46)**

DIR		Hs (m)										
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
0	10	2814	1535	547	260	96	32	8	2	0	0	0
10	20	2515	1594	645	232	101	35	12	3	0	0	0
20	30	2144	1616	740	387	136	56	13	3	7	3	0
30	40	1313	755	386	99	51	23	9	3	1	0	0
40	50	1148	578	225	82	33	15	2	0	0	0	0
50	60	987	626	271	109	39	30	10	1	1	0	0
60	70	969	584	269	112	49	18	1	2	3	0	0
70	80	1001	465	238	118	57	13	4	4	2	4	0
80	90	913	367	201	47	41	14	2	0	0	0	0
90	100	1003	364	138	47	18	5	1	2	0	0	0
100	110	1138	419	134	55	14	6	0	0	0	0	0
110	120	1736	556	207	82	32	7	0	0	0	0	0
120	130	2865	1583	377	127	51	22	0	0	0	0	0
130	140	2789	3227	1202	355	107	34	12	1	0	0	0
140	150	2285	3089	1884	901	306	101	27	3	0	1	0
150	160	1504	1591	924	449	237	91	38	3	4	0	0
160	170	1059	612	219	67	17	8	1	0	0	0	0
170	180	745	362	107	23	11	0	0	0	0	0	0
180	190	679	233	60	24	4	1	0	0	0	0	0
190	200	598	243	49	9	5	1	0	0	0	0	0
200	210	581	286	47	10	1	0	1	0	0	0	0
210	220	607	240	59	21	4	0	1	0	0	0	0
220	230	663	237	63	15	3	0	0	0	0	0	0
230	240	744	275	89	33	10	5	0	0	0	0	0
240	250	1149	503	207	96	26	11	4	0	0	0	0
250	260	1987	1256	792	367	154	37	15	1	0	0	0
260	270	3723	2961	1708	710	255	104	22	1	0	0	0
270	280	7259	4484	2066	795	396	108	30	3	1	0	0
280	290	8413	4828	1776	716	288	65	29	12	2	0	0
290	300	10364	4730	1429	472	223	93	17	15	1	0	0
300	310	14469	4943	1323	493	202	78	22	12	4	0	0
310	320	17144	4795	1088	372	166	51	31	16	6	0	0
320	330	13003	2960	654	309	108	46	25	12	2	0	1
330	340	10288	2093	561	293	151	51	43	17	4	2	3
340	350	7376	1718	713	386	245	92	37	27	12	4	0
350	360	4323	1732	753	419	206	109	62	24	4	0	0



## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## 6 ANALISI DEGLI EVENTI ESTREMI AL LARGO

Utilizzando i dati relativi al punto UNIGE, descritti nel precedente paragrafo 5, è stata condotta una statistica degli eventi estremi “al largo” per il periodo 1990 - 2015. Considerato il settore di traversia caratteristico del paraggio, l'elaborazione statistica delle mareggiate estreme è stata condotta con riferimento al settore  $20^{\circ}$ - $160^{\circ}$ N. L'analisi statistica è stata condotta suddividendo il settore principale in quattro settori secondari:  $20^{\circ}$ - $50^{\circ}$ N,  $50^{\circ}$ - $90^{\circ}$ N,  $90^{\circ}$ - $120^{\circ}$ N e  $120^{\circ}$ - $160^{\circ}$ .

Nel dettaglio, sono state considerate le altezze significative massime relative a ciascun anno di osservazione, riferite agli eventi provenienti da ciascuno dei settori considerati. Gli eventi massimi sono riportati in Figura 6.1. L'analisi degli eventi estremi è stata condotta utilizzando l'approccio proposto da Gumbel. Di seguito, in Figura 6.2, vengono riportati i risultati delle elaborazioni statistiche, ottenuti utilizzando il metodo di Gumbel, per i settori considerati ( $20^{\circ}$ - $50^{\circ}$ N,  $50^{\circ}$ - $90^{\circ}$ N,  $90^{\circ}$ - $120^{\circ}$ N e  $120^{\circ}$ - $160^{\circ}$ N). In Tabella 6.1 sono riportati i valori di altezza significativa ricavati dall'analisi statistica degli eventi estremi in funzione del tempo di ritorno e del settore di provenienza al largo.

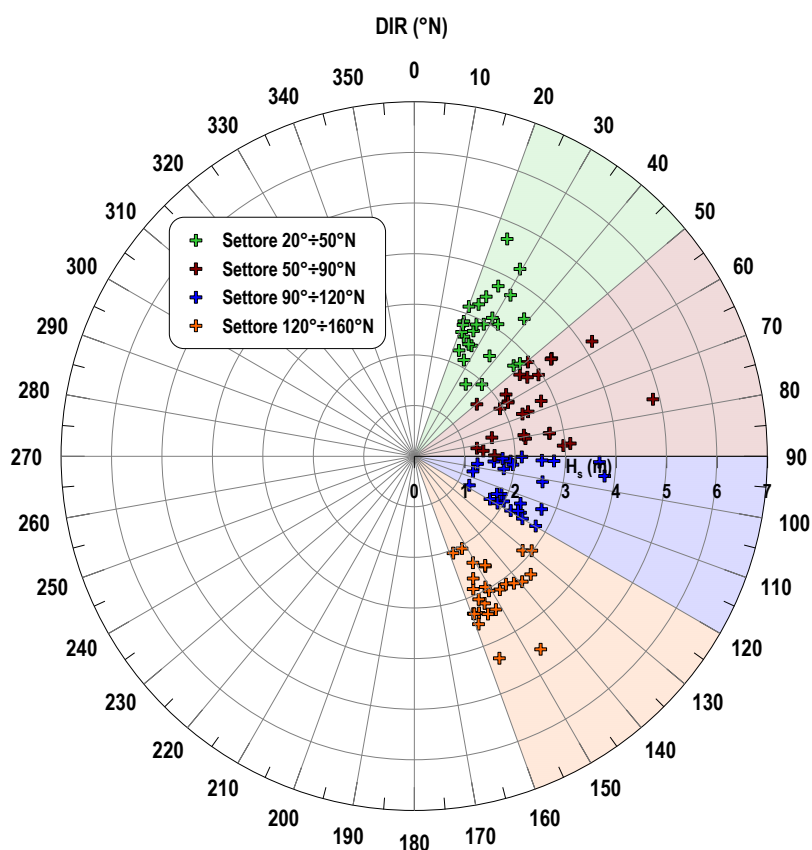


Figura 6.1 - Eventi massimi annui per settore nel periodo gennaio 1990 – dicembre 2015  
Punto UNIGE

PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

Tabella 6.1 - Risultati statistica degli estremi con il metodo di Gumbel

T <sub>R</sub> (anni)	H <sub>s</sub> (m)			
	Settore 20°-50°N	Settore 50°-90°N	Settore 90°-120°N	Settore 120°-160°N
5	3.52	3.26	2.73	3.59
10	3.97	3.82	3.17	3.96
25	4.54	4.52	3.71	4.44
50	4.96	5.04	4.12	4.79

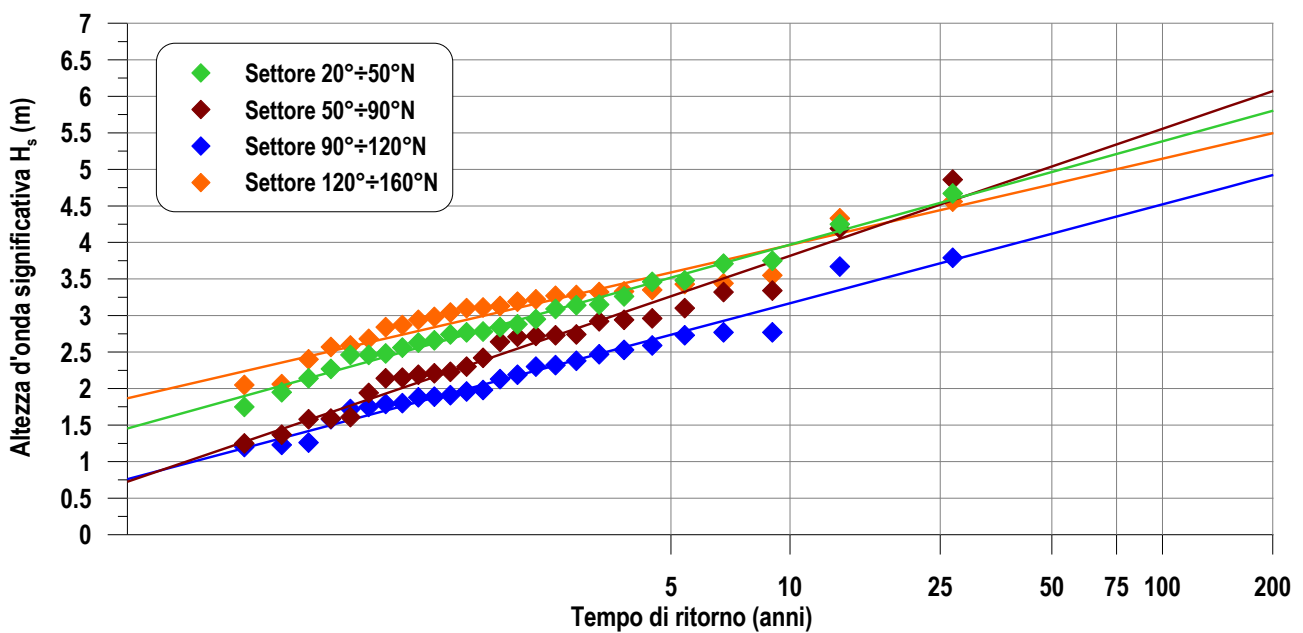


Figura 6.2 - Elaborazione statistica degli estremi con il metodo di Gumbel (i punti nel grafico rappresentano i massimi annuali per settore)



**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEI E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

## **7 CLIMA ONDOSI SOTTO COSTA**

Nel presente paragrafo si riportano i risultati dello studio condotto con l'ausilio di specifica modellistica numerica e finalizzato alla definizione delle condizioni locali del clima ondoso.

Il clima ondoso al largo è stato propagato in corrispondenza di un punto locale posto di fronte al paraggio oggetto di studio (punto P). Tale punto, più vicino a riva e posto su un fondale meno profondo rispetto al punto UNIGE al largo, è stato utilizzato come input per lo studio dell'agitazione ondosa nel Porto di Vulcano Levante (codice di calcolo CGWAVE).

### **7.1 Settaggio del modello**

La propagazione del clima ondoso, condotta mediante il modello numerico STWAVE, descritto nel successivo paragrafo 7.3, è stata basata sulla batimetria del paraggio ricavata in base alle carte nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina e al rilievo di dettaglio di agosto 2018.

Considerando la conformazione e il settore di traversia caratteristico del paraggio, si è scelto di propagare solo gli eventi ondosi provenienti dal I e II quadrante, limitando il settore a  $0^\circ$  e  $160^\circ\text{N}$  per la presenza dei promontori a Nord e a Sud del porto. Al fine di poter definire il clima ondoso sottocosta sono stati quindi propagati gli eventi ondosi provenienti dal settore  $0^\circ\div 160^\circ\text{N}$  (cfr. precedente Tabella 5.1); il dominio di calcolo è stato discretizzato attraverso due griglie con maglia ortogonale a celle quadrate di passo 2 m.

La prima griglia è stata orientata in modo tale da propagare al suo interno gli eventi provenienti dal I quadrante (settore  $0^\circ\div 100^\circ\text{N}$ ); ha origine nel punto di coordinate (497608.8 m E; 4250181.5 m N – vertice in basso a sinistra), dimensioni 3'000 x 2'500 m ed inclinata di  $40^\circ$  rispetto all'asse WE (griglia rossa in Figura 7.1).

La seconda, con lati paralleli agli assi cartesiani, è stata utilizzata per propagare gli eventi provenienti dal II quadrante (settore  $100^\circ\div 160^\circ\text{N}$ ); ha origine nel punto di coordinate (496390.0 m E; 4250880.0 m N – vertice in basso a sinistra) e dimensioni 3'000 x 2'500 m (griglia gialla in Figura 7.1).

Il punto di output del clima locale (punto P – posto di fronte al porto di Vulcano Levante) si trova su un fondale di circa 100 m, in corrispondenza del punto di coordinate (497233.5 m EST, 4252153.0 m NORD). Le coordinate del punto P e dell'origine delle griglie di calcolo sono espresse nel sistema di riferimento UTM 33N – Datum WGS84.

I parametri significativi del moto ondoso sono stati rappresentati nel modello STWAVE con uno spettro bidimensionale di tipo JONSWAP avente fattore di appuntimento ( $\gamma$ ) 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.

PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

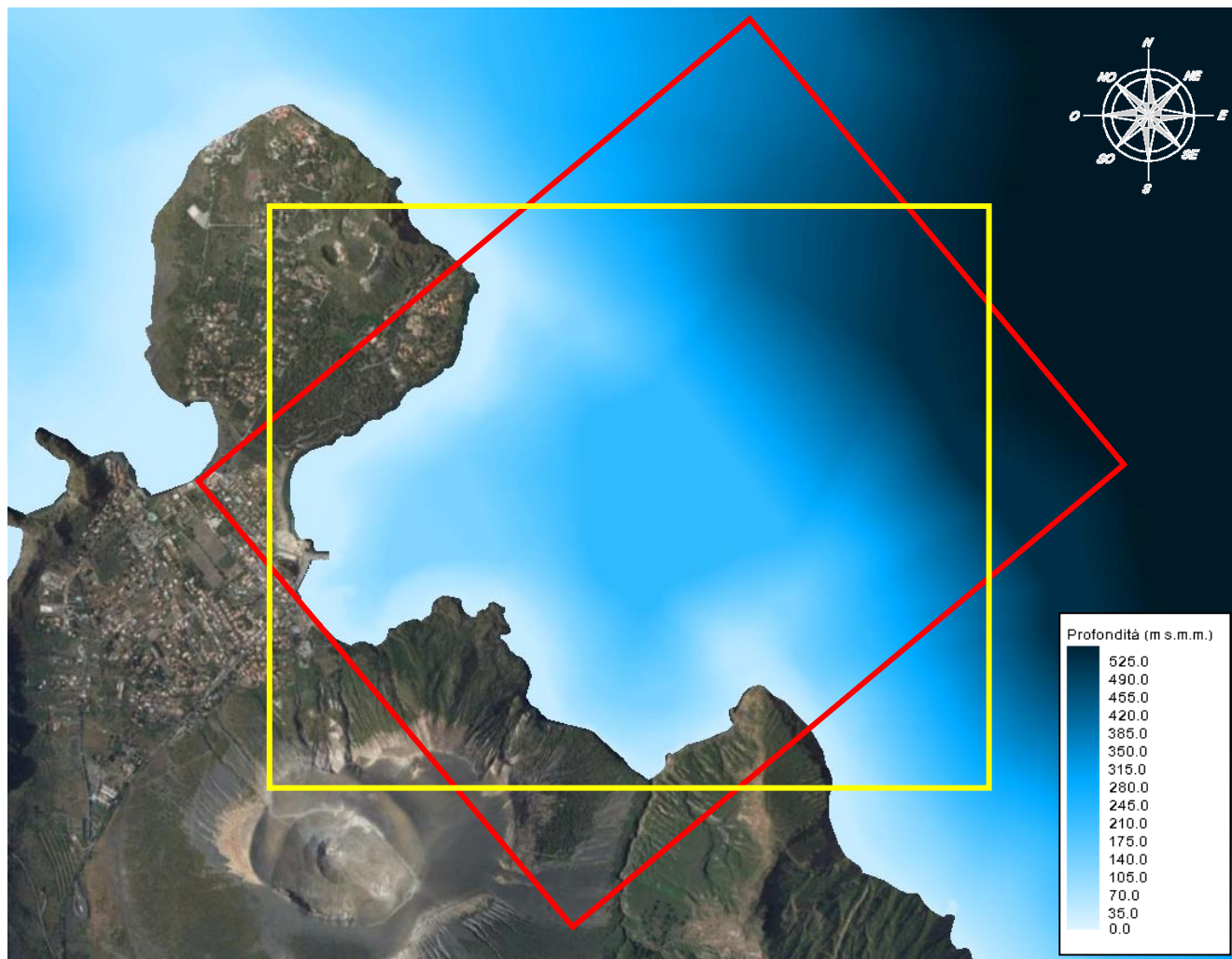


Figura 7.1 - Griglie e dominio di calcolo impiegati per lo studio della propagazione del clima ondoso

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## 7.2 Clima ondososo sottocosta – punto P

Nel presente paragrafo sono riassunti i risultati della propagazione del clima ondososo dal punto UNIGE al largo al punto P, posto di fronte al paraggio di interesse su un fondale di circa 100 m. Il clima nel punto antistante il porto di Vulcano Levante è stato ottenuto attraverso una serie di simulazioni numeriche condotte con il codice di calcolo STWAVE: il clima al largo (relativo al settore 0÷160°N), discretizzato per classi di altezza significativa e direzione di provenienza (vedi precedente Tabella 5.1), è stato propagato in corrispondenza del punto P.

Nella successiva Tabella 7.1 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 dell'onda.

Utilizzando le corrispondenze tra i risultati delle simulazioni (clima locale) e quelli relativi al clima nel punto C.N.R. al largo (cfr. Tabella 5.1), è stato possibile associare a ciascun evento nel punto P una percentuale di apparizione (vedi Tabella 7.1) e, quindi, ricostruire le rose delle registrazioni e delle energie sottocosta.

Di seguito, in Figura 7.2, Figura 7.3 e Figura 7.4, si riportano graficamente i risultati delle elaborazioni della climatologia locale; in particolare sono state rappresentate le rose delle registrazioni (in blu), delle energie (in rosso) 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 nei settori di Grecale (con picco principale a 35°N e secondario a 55÷75°N) e Levante (con picco a 105°N). Le mareggiate con altezze massime (di poco superiori a 4.5 m) provengono da Greco-Levante (75°N). Per il resto, per il settore di Grecale (Mezzogiorno e Scirocco) si presentano mareggiate con altezze comprese tra 3.5 e 4.5 m; mentre per il settore di Levante si presentano mareggiate con altezze significative più basse (inferiori a 3.5 m).

A partire dai dati disponibili è stata infine ricostruita la curva di durata nel punto P che consente di mettere in relazione le caratteristiche di un evento con la sua durata media annuale (Figura 7.5). Si può osservare come l'altezza significativa di 1.0 m nel punto P venga superata per 9÷10 giorni all'anno.

**Tabella 7.1 - Registrazioni di moto ondososo nel punto P ordinate per altezza e direzione (in parti per 227904)**

DIR		Hs (m)									
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
(°N)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
20	30	4349	547	356	40	2	0	0	0	0	0
30	40	4659	3855	1359	272	68	16	10	3	0	0
40	50	2461	1333	611	181	107	24	5	1	0	0
50	60	987	626	271	109	39	30	10	1	1	0
60	70	969	584	269	112	49	18	1	2	3	0
70	80	1001	465	238	118	57	13	4	4	2	4
80	90	913	367	201	94	59	20	4	0	0	0
90	100	3877	1546	409	53	6	0	0	0	0	0
100	110	10464	2035	349	36	0	0	0	0	0	0
110	120	11963	1343	0	0	0	0	0	0	0	0

PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

---

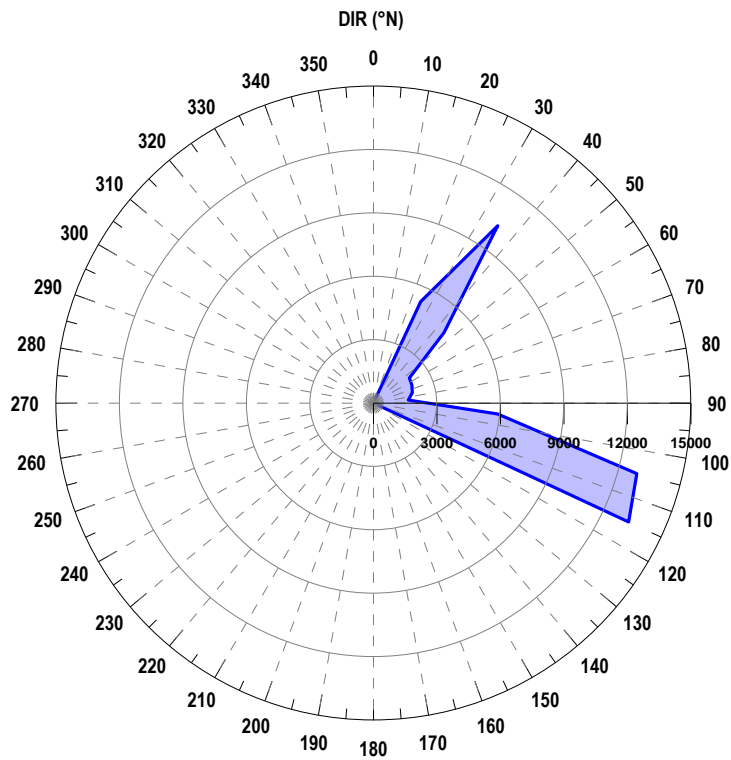


Figura 7.2 - Rosa delle registrazioni nel punto P

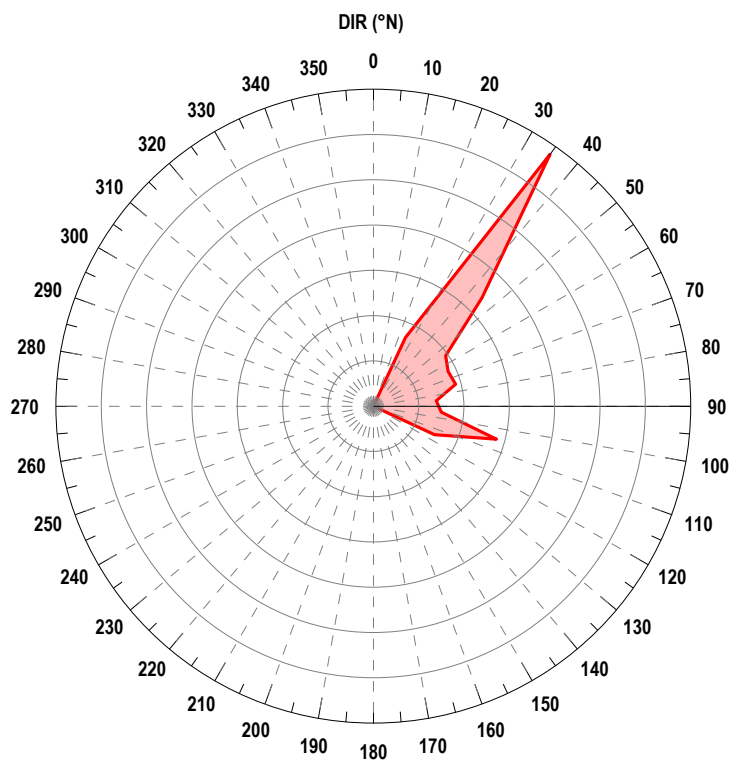
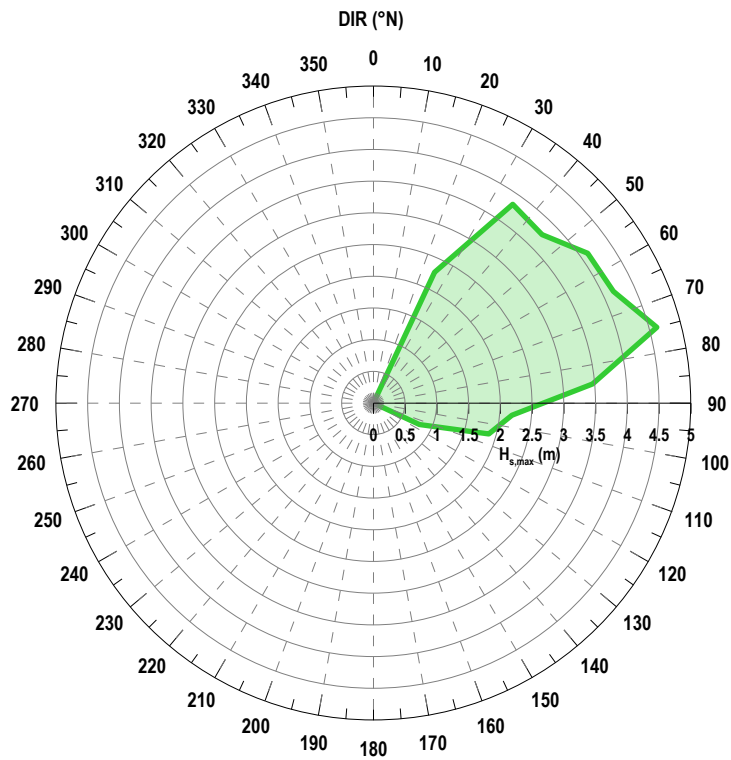


Figura 7.3 - Rosa delle energie nel punto P

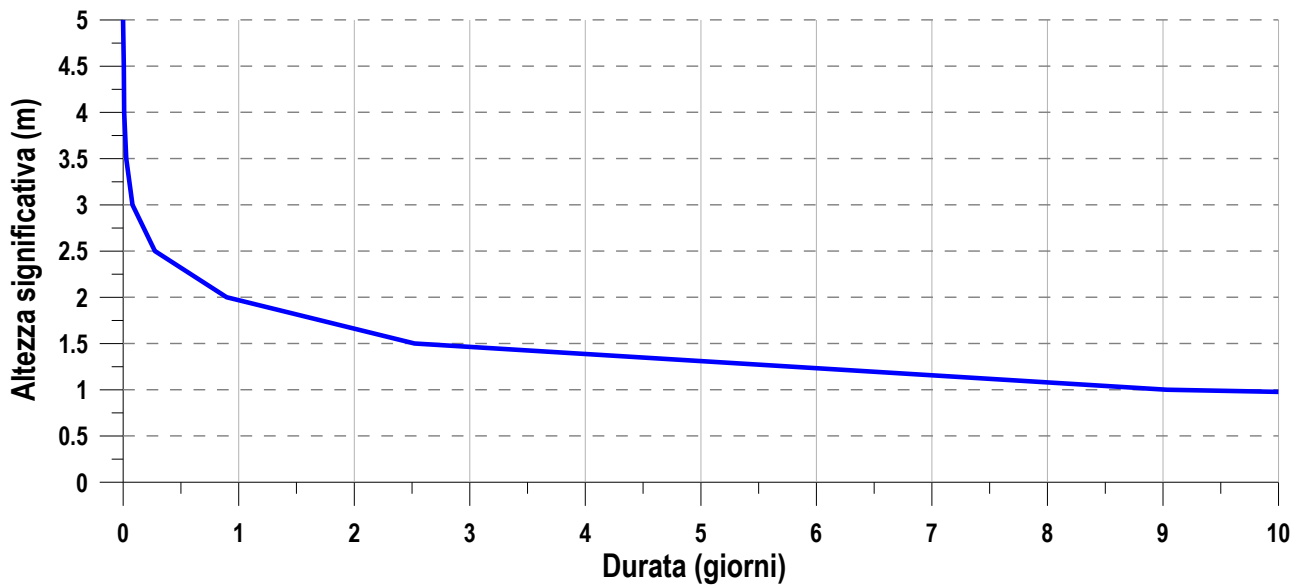
**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**



**Figura 7.4 - Rosa delle altezze massime nel punto P**



**Figura 7.5 - Curva di durata nel punto P**

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 7.3 Descrizione del codice di calcolo STWAVE

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

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

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

Uno spettro d'onda è una rappresentazione statistica di stato del mare. Essenzialmente, uno spettro è rappresentato da una sovrapposizione lineare di onde monocromatiche e descrive la distribuzione dell'energia del moto ondoso come una funzione della frequenza (spettro monodimensionale di frequenza) o della frequenza e direzione (spettro bidimensionale). Un esempio di spettro monodimensionale è rappresentato in Figura 7.6.

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

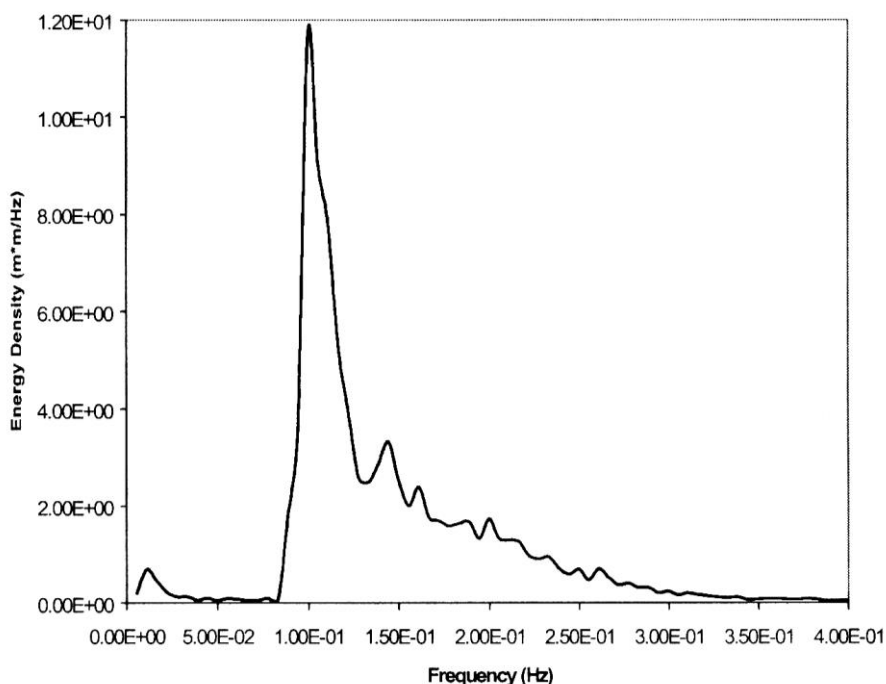


Figura 7.6 - Spettro monodimensionale

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

STWAVE è basato sulle seguenti assunzioni:

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

STWAVE è un modello numerico alle differenze finite, basato su una griglia cartesiana ortogonale. Le celle della griglia sono assunte quadrate ( $\Delta x = \Delta y$ ). Si possono ottenere griglie a diversa risoluzione andando a costruire griglie annidate. Ciò può essere ottenuto facendo "girare" il modello a una risoluzione più grossolana, salvando uno spettro per un punto più a riva. Questo spettro può quindi essere utilizzato come una condizione al contorno per una griglia di risoluzione maggiore. Una griglia schematica è rappresentata nella Figura 7.7.

STWAVE opera in un sistema di coordinate locali, con l'asse X orientato in direzione perpendicolare alla spiaggia (con origine al largo) e asse Y orientato parallelamente alla costa, formando un sistema di coordinate che rispettano la regola della mano destra. L'orientazione dell'asse X ( $\pm 87.5^\circ$ ) definisce il semipiano che è rappresentato nel modello. L'asse Y è generalmente allineato con le batimetriche al largo. Gli angoli di provenienza delle onde sono computati in senso antiorario dall'asse X. I confini laterali nel modello possono essere specificati come terra o mare indicando la profondità delle celle come positiva (mare) o negativa (terra). Si riassume alla seguente Figura 7.8 gli input e gli output forniti dal modello.

PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

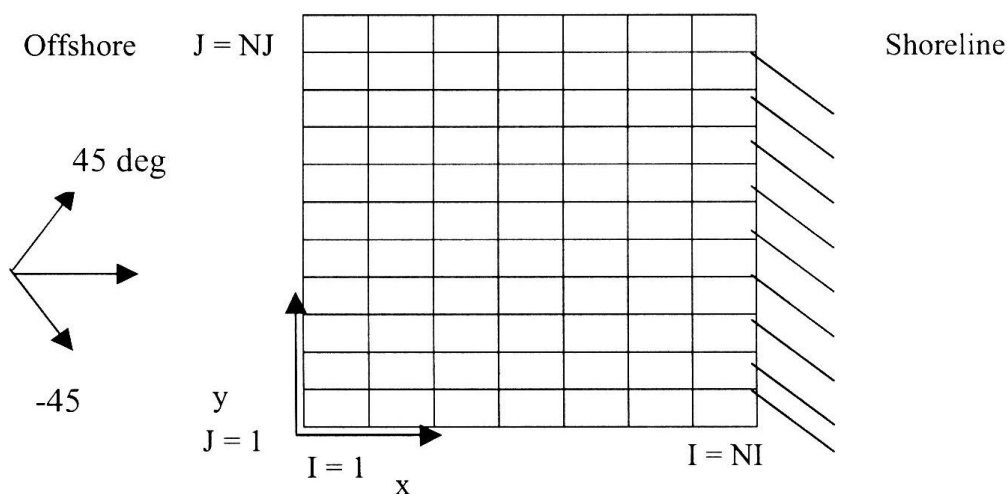


Figura 7.7 - Convenzioni griglia STWAVE

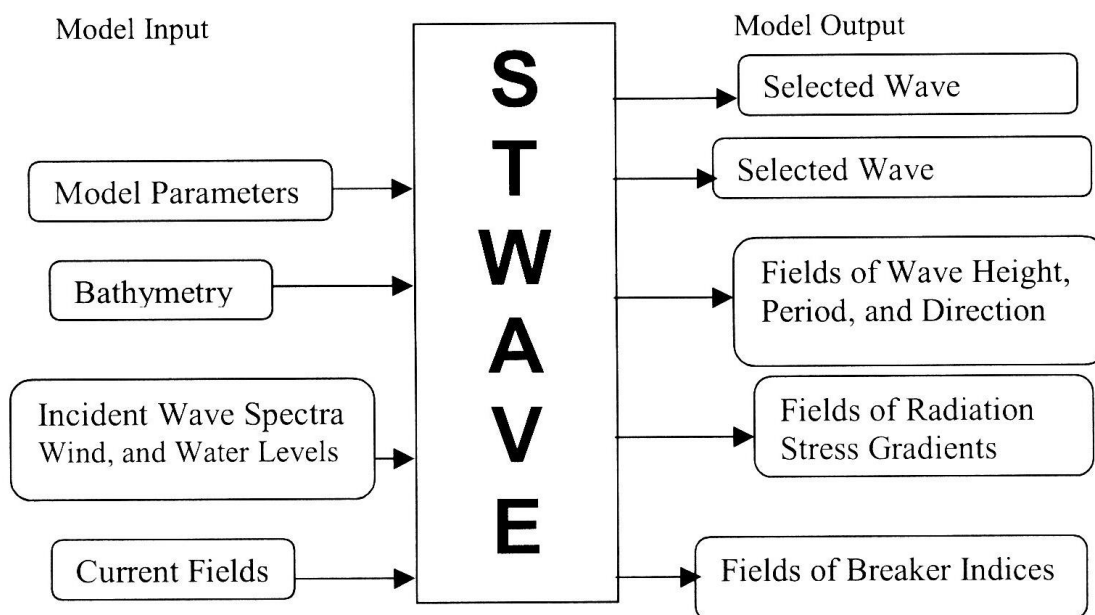


Figura 7.8 - Input e Output STWAVE

Per generare uno spettro occorre specificare i seguenti parametri:

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

Il parametro di appuntimento controlla la larghezza dello spettro in frequenza (numeri bassi forniscono picchi "larghi", ovvero condizioni di mare vivo, numeri elevati picchi "ristretti", ovvero condizioni di mare di swell). La distribuzione direzionale dello spettro è



## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

invece specificata mediante una direzione media e un coefficiente di spreading direzionale ( $nn$ ).

L'energia nello spettro di frequenza è proporzionale a  $\cos^m(\alpha - \alpha_m)$ , dove  $\alpha$  è la direzione della componente spettrale e  $\alpha_m$  è la direzione media di propagazione dell'onda. Una guida per la scelta di  $\gamma$  e  $nn$  è fornita nella Tabella 7.2. Gli spettri con periodi di picco elevati sono generalmente ristretti sia in frequenza che in direzione. Per piccoli periodi di picco gli spettri sono tipicamente allargati sia in frequenza che in direzione.

Tabella 7.2 - Correlazione tra parametri spettrali (Thompson et al., 1996)

<b> Tp (sec)</b>	<b> <math>\gamma</math></b>	<b> <math>nn</math></b>
≤ 10	3.3	4 (JONSWAP)
11	4	8
12	4	10
13	5	12
14	5	16
15	6	18
16	6	20
17	7	22
18	7	26
19	8	28
20	8	30

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## 8 PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI

Lo studio della propagazione locale di mareggiate estreme ritenute significative per il paraggio è un'attività indispensabile ai fini della progettazione e del dimensionamento delle opere oggetto del presente intervento (pali del pontile, massi pilonati e scogliera antiriflettente).

Nei paragrafi successivi si riportano le caratteristiche delle mareggiate estreme simulate e si riassumono i risultati della propagazione di tali mareggiate dal punto UNIGE all'area oggetto di intervento, con particolare riferimento ai fondali antistanti la testata del nuovo pontile e la nuova banchina di riva.

### 8.1 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 8.1.

L'opera in oggetto è identificabile come del tipo ad "uso specifico" (*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 15 anni. Con riferimento alla condizione di danneggiamento totale, ad un rischio di perdita di vite umane limitato e assumendo una ripercussione economica media (da cui una probabilità di danneggiamento nel periodo di vita operativa dell'opera  $P_f$  di 0.15), si ottiene un tempo di ritorno di circa 92 anni. A favore di sicurezza è stato assunto un valore di  $T_{rp}$  di 100 anni.

Tabella 8.1 - Ipotesi progettuali di base per il calcolo del periodo di ritorno dell'azione ondosa

Parametro	Valore prescelto	Rif. Istruz. Tecniche C.S.LL.PP.
Tipo dell'opera	Infrastrutture per uso specifico	
Livello di sicurezza richiesto	1	
Durata minima di vita	$T_v = 15$ anni	Tab. 1
Condizione di danneggiamento	Totale	
Rischio per la vita umana	Limitato	
Ripercussione economica	Media	
Max probabilità di danno ammissibile	$P_f = 0.15$	Tab. 2

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## 8.2 Caratteristiche degli eventi estremi propagati

A partire dalle elaborazioni svolte sulla serie storica delle onde al largo (cfr. precedente paragrafo 6), sono stati individuati gli eventi estremi da propagare. Nello specifico, considerando la conformazione del paraggio e i risultati della propagazione del clima ondoso sottocosta (cfr. precedente paragrafo 7.2), risulta evidente come gli eventi provenienti dal II quadrante siano schermati dal promontorio a Sud del porto e arrivino quindi in corrispondenza dell'approdo notevolmente attenuati (con valori di altezza significativa pressoché trascurabili, soprattutto se confrontati con quelli delle mareggiate di Greco-Levante).

Pertanto, ai fini del dimensionamento delle opere sono stati considerati gli eventi estremi, caratterizzati da un periodo di ritorno di 100 anni (cfr. precedente paragrafo 8.1), provenienti dal I quadrante (Figura 8.1).

L'altezza d'onda significativa da è stata individuata sulla base dell'analisi statistica degli eventi estremi condotta per i settori  $20^{\circ}\div 50^{\circ}\text{N}$  (Grecale) e  $50^{\circ}\div 90^{\circ}\text{N}$  (Levante); per ciascun settore è stata individuata la mareggiata avente tempo di ritorno pari a 100 anni. I periodi da associare alle due 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 (vedi successiva Figura 8.2).

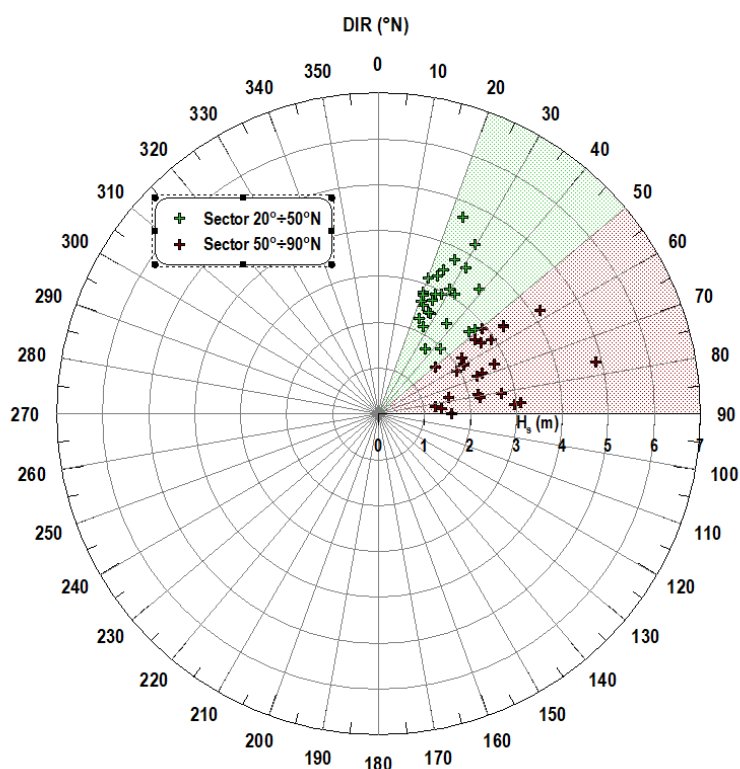


Figura 8.1 - Eventi massimi annuali per i settori  $20^{\circ}\div 50^{\circ}\text{N}$  e  $50^{\circ}\div 90^{\circ}\text{N}$  (periodo gennaio 1990 – dicembre 2015 – Punto UNIGE)

In merito alle direzioni di provenienza, per ciascuno di due settori sono state

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

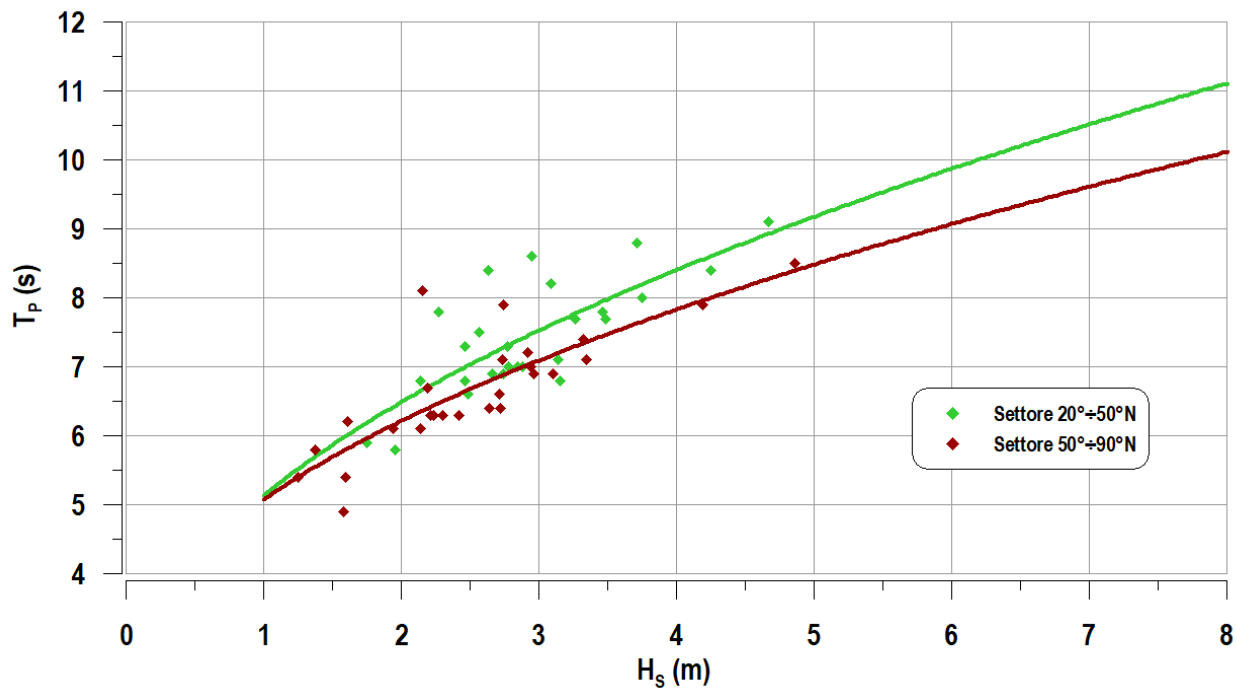
**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

considerate tutte le possibili direzioni di provenienza con passo 10°. Complessivamente, sono state propagate 7 mareggiate; le caratteristiche delle diverse mareggiate sono riportate nella seguente Tabella 8.2.

Le simulazioni sono state condotte considerando un sovrizzo del livello medio di mare di +0.60 m s.m.m. (cfr. precedente paragrafo 3).

**Tabella 8.2 - Mareggiate individuate per la propagazione degli eventi estremi**

TEST	T <sub>R</sub> (anni)	Mareggiata	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>p</sub> (s)	Dir (°N)
1	100	Grecale	5.38	9.45	25
2					35
3					45
4	100	Levante	5.55	8.81	55
5					65
6					75
7					85



**Figura 8.2 - Correlazioni H<sub>S</sub>-T<sub>P</sub> per i settori 20°÷50°N e 50°÷90°N**

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 8.3 Settaggio del modello

La propagazione locale delle mareggiate estreme è stata condotta per mezzo del codice di calcolo STWAVE, descritto nel precedente paragrafo 7.3.

Il dominio di calcolo è stato discretizzato analogamente a quello impiegato per la propagazione locale del clima ondoso (cfr. precedente paragrafo 7.1). In particolare, dal momento che sono stati propagati solamente eventi ondosi provenienti dal I quadrante, è stata impiegata la prima griglia di calcolo (griglia rossa in Figura 7.1).

Nel dominio di calcolo non sono state rappresentate le nuove opere previste in progetto, in quanto si ritiene più cautelativo considerare il nuovo pontile su pali completamente "trasparente" nei confronti del moto ondoso incidente, trascurando appunto la presenza dei pali e dell'impalcato.

### 8.4 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. Le caratteristiche delle mareggiate estreme, caratterizzate da un tempo di ritorno di 100 anni provenienti da Grecale e Levante, sono state estratte in corrispondenza dei fondali antistanti l'area di intervento. 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 banchina di riva e del pontile. I risultati sono riassunti nella successiva Tabella 8.3.

Per ciascun settore, con riferimento alle condizioni più gravose (TEST 3 e 5 evidenziati in Tabella 8.3), si riportano i risultati di dettaglio delle propagazioni rappresentati nelle successive figure da Figura 8.3 a Figura 8.6). 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.

Tabella 8.3 - Caratteristiche locali delle mareggiate estreme

TEST	T <sub>R</sub> (anni)	SETTORE	CARATTERISTICHE ONDE									
			AL LARGO				TESTATA PONTILE			BANCHINA DI RIVA		
			H <sub>s</sub> (m)	DIR (°N)	Tp(m)	Sovr. (m s.m.m.)	H <sub>s</sub> (m)	DIR (°N)	Tp (m)	H <sub>s</sub> (m)	DIR (°N)	Tp (m)
1	100	Grecale	5.38	25	9.45	+0.60	2.47	45	9.45	1.50	67	9.45
2	100		5.38	35	9.45	+0.60	3.01	47	9.45	1.50	67	9.45
3	100		5.38	45	9.45	+0.60	<b>3.42</b>	<b>48</b>	<b>9.45</b>	1.50	67	9.45
4	100	Levante	5.55	55	8.81	+0.60	3.78	47	8.81	1.50	68	8.81
5	100		5.55	65	8.81	+0.60	<b>3.88</b>	<b>48</b>	<b>8.81</b>	1.50	68	8.81
6	100		5.55	75	8.81	+0.60	3.85	50	8.81	1.50	68	8.81
7	100		5.55	85	8.81	+0.60	3.66	52	8.81	1.50	69	8.81

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

Dai risultati ottenuti si osserva che i valori massimi di altezza significativa, in corrispondenza della testata del nuovo pontile, si ottengono per eventi estremi provenienti da Levante con direzione al largo pari a  $65^{\circ}\text{N}$  (3.88 m di altezza significativa contro i 3.42 m della mareggiata più severa di Grecale).

Per quanto riguarda invece la banchina di riva, si osserva come, essendo l'onda limitata dal fondale (condizioni di onda frangente), tutti i TEST forniscano lo stesso valore di altezza significativa massima al piede della struttura, pari a 1.5 m (onda frangente su un fondale di circa -2.5 m s.m.m. con un sovrizzo del livello del medio mare di +0.60 m s.m.m.).



PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

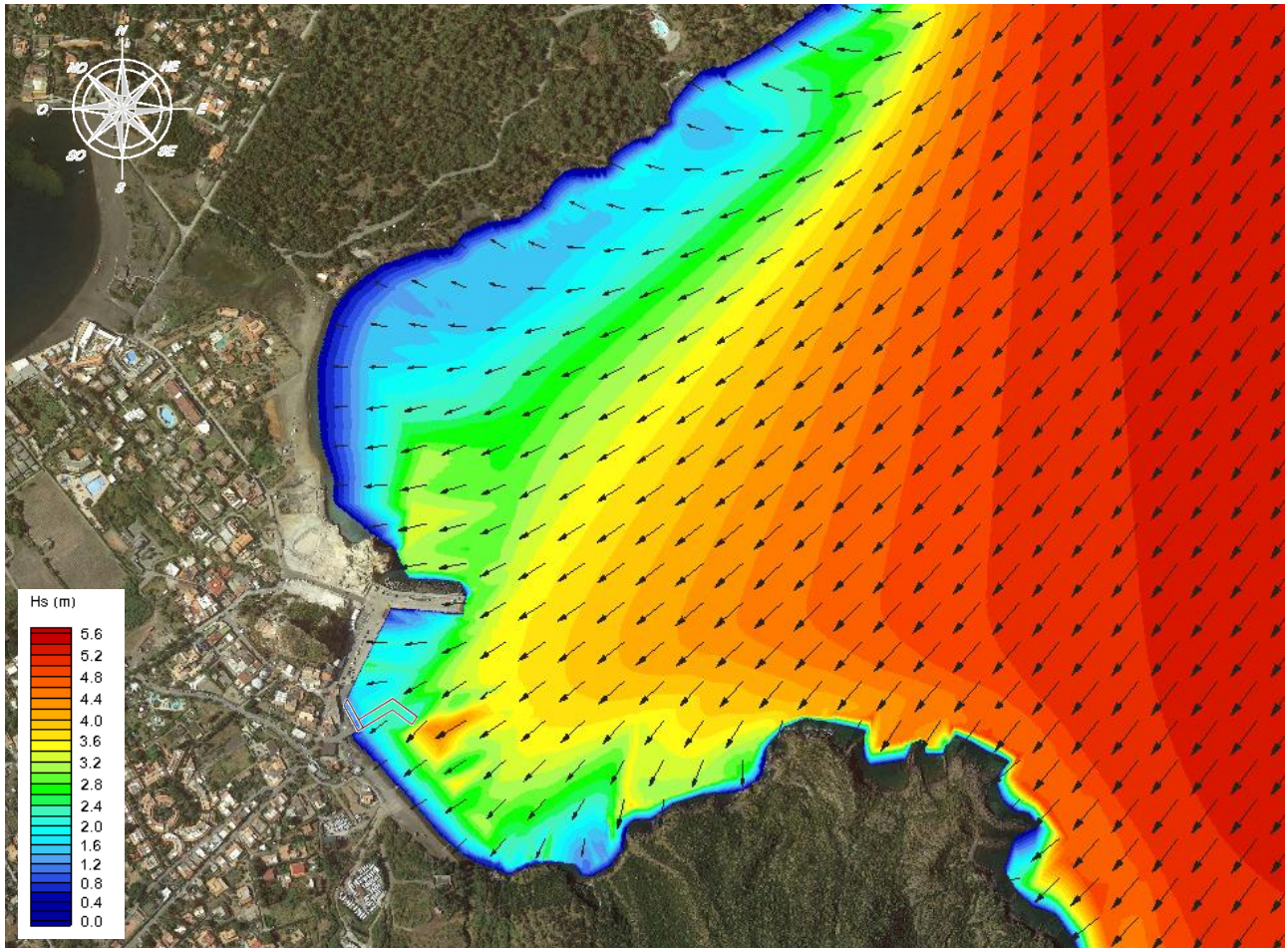


Figura 8.3 - TEST 3 (Grecale -  $T_R = 100$  anni) - Caratteristiche mareggiata al largo:  
 $H_S = 5.38$  m,  $T_P = 9.45$  s, Dir =  $45^\circ$ N

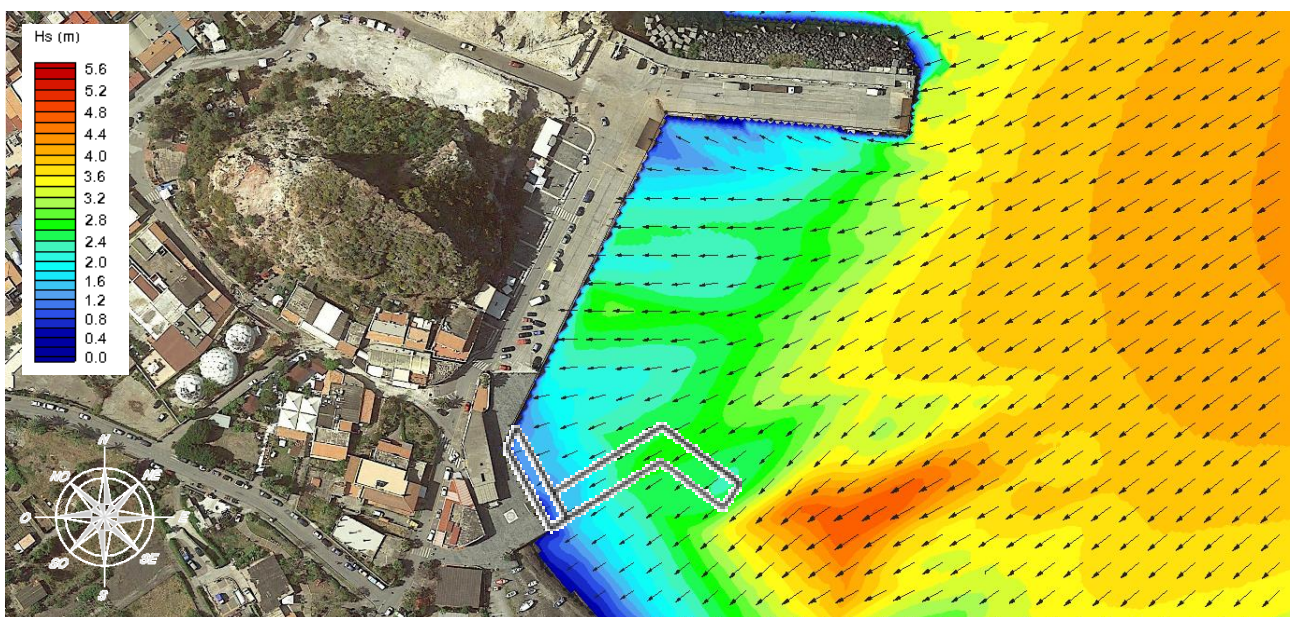


Figura 8.4 - TEST 3 (Grecale -  $T_R = 100$  anni) - Dettaglio area di intervento



PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

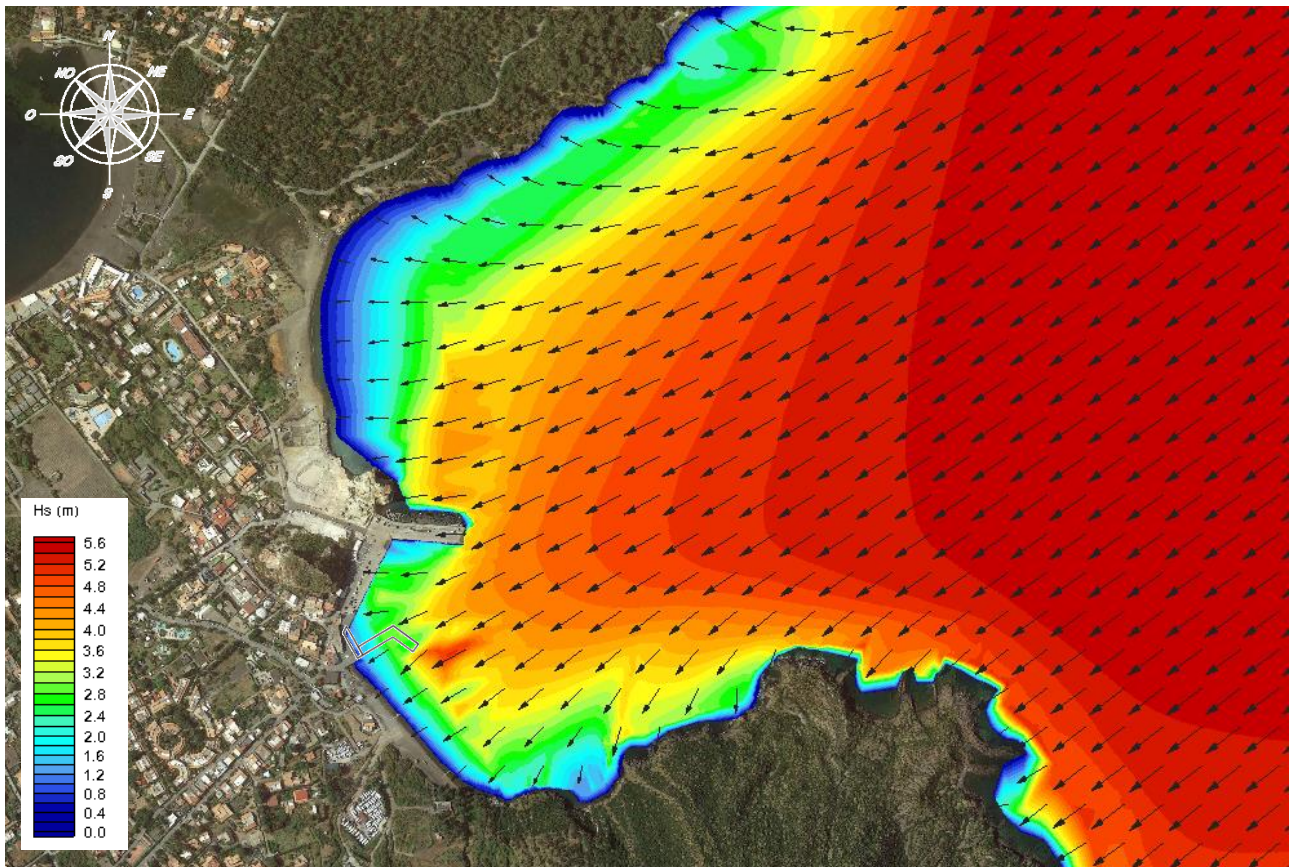


Figura 8.5 - TEST 5 (Levante -  $T_R = 100$  anni) - Caratteristiche mareggiata al largo:  
 $H_s = 5.55$  m,  $T_p = 8.81$  s, Dir =  $65^\circ$ N

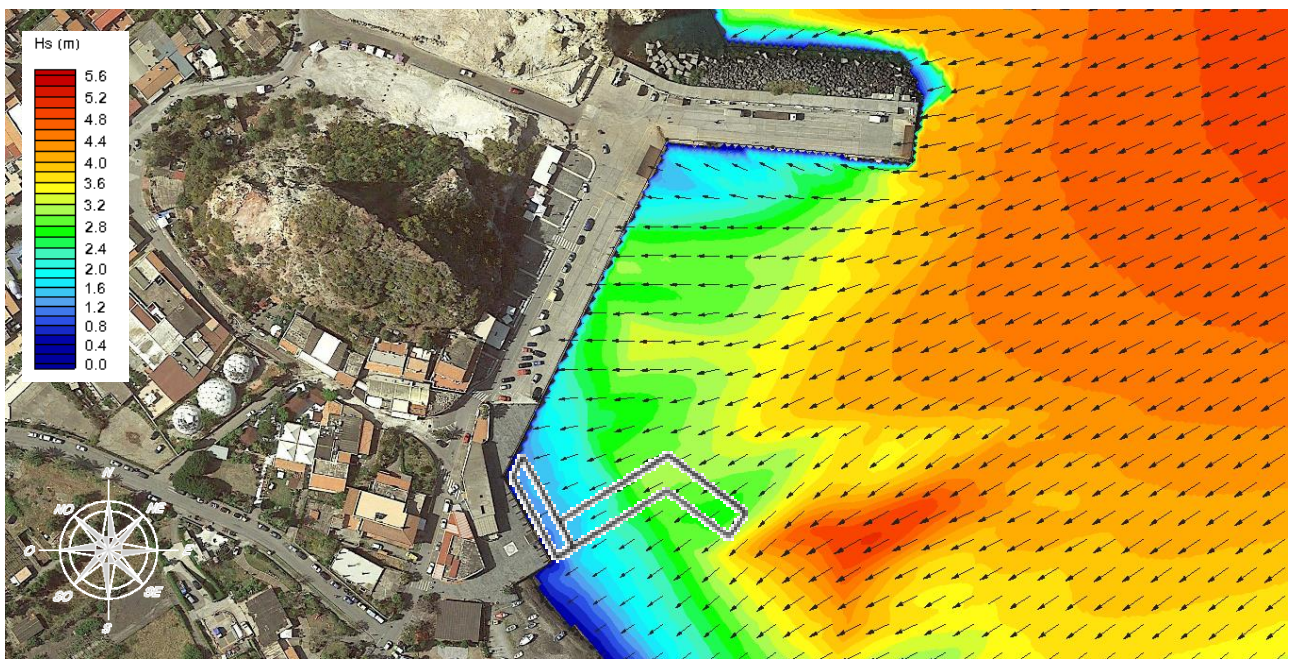


Figura 8.6 - TEST 5 (Levante -  $T_R = 100$  anni) - Dettaglio area di intervento



## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEI E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

---

## **9 STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA**

Lo studio dell'agitazione ondosa nel Porto di Levante di Vulcano è stato condotto tramite il codice di calcolo "CGWAVE", sviluppato per lo U.S. Army Corps of Engineers e descritto in dettaglio nel successivo paragrafo 9.1.

Lo studio è stato svolto valutando l'agitazione ondosa nei pressi della banchina del Porto e nella porzione di bacino antistante, dapprima nella configurazione attuale (cfr. successivo paragrafo 9.3) e successivamente nelle configurazioni di progetto, che prevede oltre al rifacimento del pontile aliscafi anche la realizzazione di un tratto di banchina antiriflettente (cfr. successivo paragrafo 9.4).

La valutazione è stata fatta con riferimento ad eventi ondosi ritenuti rappresentativi delle condizioni di moto ondoso locale; nel dettaglio si è scelto di analizzare eventi ondosi severi ma non estremi, caratterizzati da frequenza massima complessiva non superiore a 5 giorni/anno.

Lo studio ha quindi permesso di analizzare l'efficacia della soluzione progettuale ipotizzata.

### **9.1 Modello matematico CGWAVE**

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

Il modello, sviluppato su commissione dello U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, è basato sull'approssimazione ellittica della mild slope equation bidimensionale (cfr. 9.1.2) e, in particolare, è in grado di tenere conto di fenomeni dissipativi (dovuti a attrito al fondo, frangimento e dispersione non lineare) e riflessione.

#### **9.1.1 Caratteristiche generali di CGWAVE**

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

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

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

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 9.1.2 Cenni sulle formulazioni di CGWAVE

La mild slope equation, sviluppata dapprima da Eckart (1952) e successivamente riveduta da Berkhoff (1972,1976), è ad oggi una formulazione generalmente accettata per la stima delle condizioni d'onda in area costiera. La soluzione dell'equazione nella forma bidimensionale, basata sull'approssimazione ellittica, fornisce una buona base per la modellizzazione della superficie del mare nelle aree costiere (Chen & Houston, 1987; Chen, 1990; Xu & Pachang). L'equazione può essere scritta come:

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

dove:

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

$\sigma$  frequenza dell'onda (in radianti/s)

$C(x, y)$  velocità di fase (=  $\sigma/k$ )

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

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

#### Termini dissipativi

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

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

dove  $w$  è un fattore d'attrito e  $\gamma$  è un parametro di frangimento.

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

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

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

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

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

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

**Dissipazione non lineare**

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

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

viene così modificata:

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

dove:

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

**9.1.3 Condizioni al contorno**

Gli elementi che delimitano il dominio di calcolo possono essere suddivisi in due categorie (Figura 9.1):

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

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

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

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

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

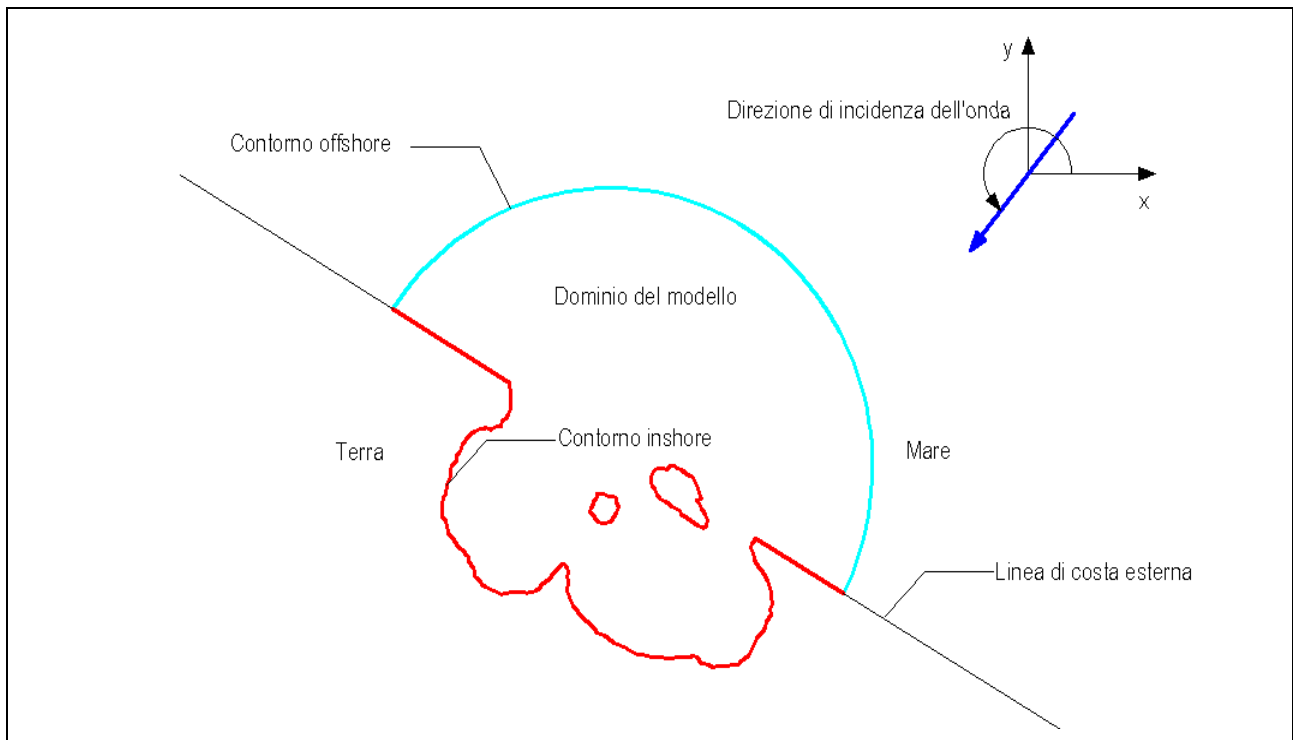
**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

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

dove

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

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



**Figura 9.1 - Condizioni al contorno del modello**

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## 9.2 Caratteristiche delle mareggiate analizzate

Le mareggiate impiegate nello studio sono state ricavate a partire dal clima ondoso locale ricavato nel precedente paragrafo 7.2, individuando degli eventi ondosi ritenuti significativi in ragione dell'esposizione del paraggio e della distribuzione locale dell'energia e delle altezze massime.

In particolare, sono state adottate come condizioni ondamiche alcune mareggiate che corrispondono a condizioni di moto ondoso relativamente severe (ma non estreme), caratterizzate da persistenza pari 5 gg/anno. Il valore di altezza d'onda significativa è stato ricavato dalla curva di durata nel punto P, per la frequenza di 5 gg/anno (vedi successiva Figura 9.2). Le direzioni di provenienza delle mareggiate sono state ricavate sulla base della distribuzione locale dell'energia e delle altezze massime (cfr. precedente Figura 7.3 e Figura 7.4), che ha evidenziato come le mareggiate più intense e caratterizzate da maggior frequenza provengano prevalentemente dal settore di Grecale, per direzioni comprese tra 35 °N e 55 °N. In definitiva sono state individuate 2 mareggiate con direzione di provenienza 35°N e 55°N.

I valori del periodo di picco da associare a ciascuna mareggiata sono stati ricavati a partire dal clima ondoso locale, individuando il  $T_P$  associato alla classe di altezza d'onda e direzione a cui appartengono le 2 mareggiate significative individuate.

Nella successiva Tabella 9.1 si riportano le caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio dell'agitazione ondosa.

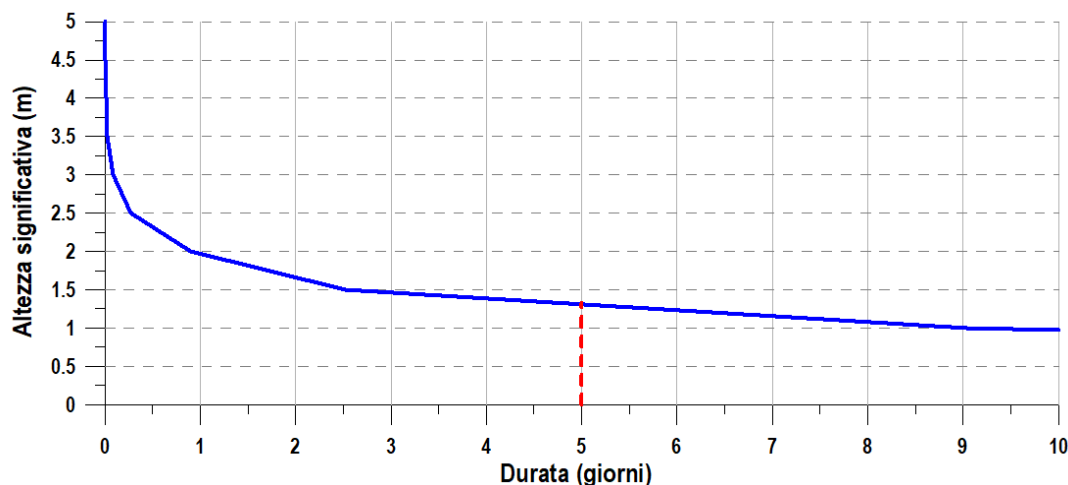


Figura 9.2 - Curva di durata

Tabella 9.1 - Caratteristiche delle mareggiate considerate nello studio dell'agitazione ondosa

TEST	Caratteristiche	$H_s$ (m)	$T_P$ (s)	Dir (°N)
TEST 1	Mareggiata da NNE con frequenza = 5 giorni/anno	1.31	6.5	35
TEST 2	Mareggiata da ENE con frequenza = 5 giorni/anno	1.31	5.7	55

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

## 9.3 Agitazione ondosa in stato attuale

### 9.3.1 Settaggio del modello

Per lo studio è stato definito un dominio di calcolo che impiega un contorno offshore di tipo semicircolare (Figura 9.3); il dominio si estende verso il largo fino a profondità dell'ordine dei -100 m s.m.m.. Il contorno inshore del dominio di calcolo è stato definito in modo da riprodurre la configurazione della linea di costa, del molo e delle banchine presenti.

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 in corrispondenza delle nuove opere previste. Tali dimensioni consentono di ottenere la stabilità del modello per tutte le mareggiate simulate, nonché una accurata rappresentazione di tutte le opere presenti all'interno del dominio.

La batimetria impiegata nel modello è stata ricavata sulla base delle più recenti carte nautiche e di un recente rilievo locale eseguito ad Agosto 2018. Nella successiva Figura 9.4 si riporta un dettaglio della mesh di calcolo in prossimità della zona interessata dagli interventi.

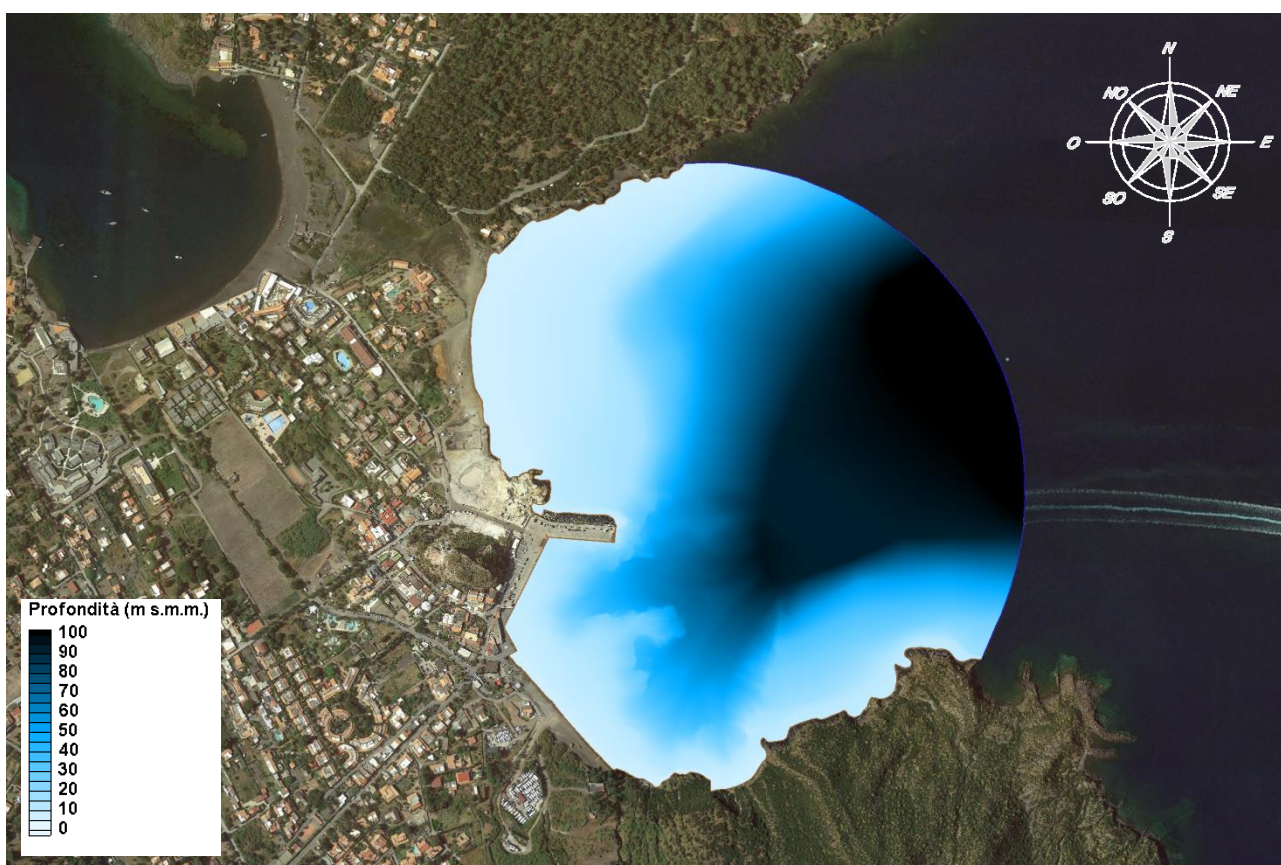


Figura 9.3 - Dominio di calcolo impiegato nello studio della del l'agitazione ondosa

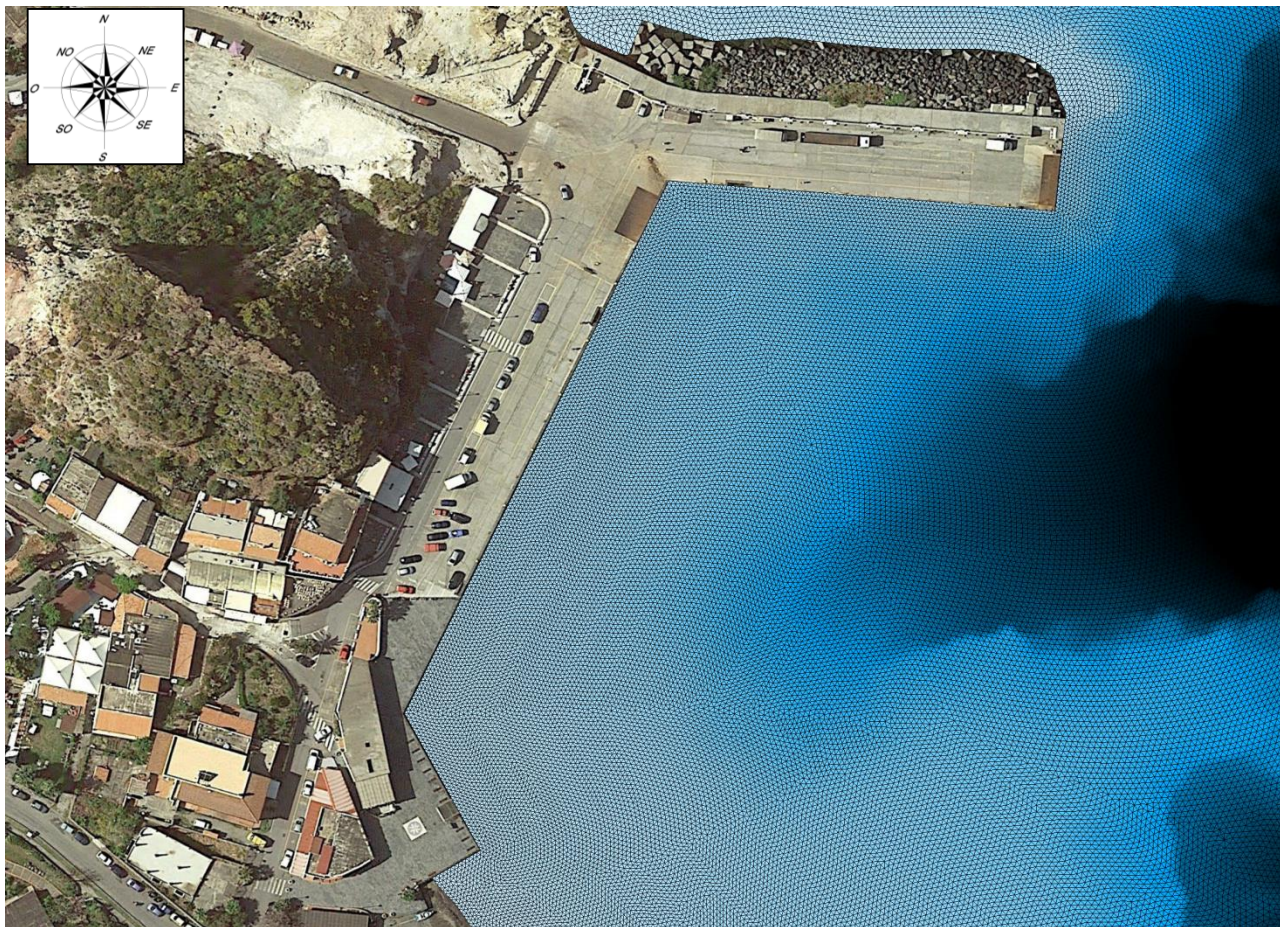


**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---



**Figura 9.4 - Particolare della mesh di calcolo nell'area del Porto di Levante nello stato attuale**



**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

**9.3.2 Definizione del contorno inshore**

Per la definizione del contorno inshore, delle caratteristiche delle opere esistenti (molo, 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 Levante e del tratto di costa in adiacenza, prevalentemente costituito da spiaggia e da versante roccioso.

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

Le strutture a parete verticale, quali il molo e le banchine esistenti, sono state considerate completamente riflettenti, mentre le opere a gettata e i versanti rocciosi (a parete verticale o con franata) sono stati considerati parzialmente riflettenti. I tratti di spiaggia sono stati considerati completamente assorbenti.

Il tratto di banchina di radice del molo aliscafi (vedi successiva Figura 9.5 e Figura 9.6) è caratterizzato dalla presenza di fori circolari sulla parete verticale e di griglie di sfogo nel piano di banchina; conseguentemente è stato considerato parzialmente antiriflettente. 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 9.3.2.1 si riportano nel dettaglio i coefficienti di riflessione adottati.

Il pontile aliscafi esistente, caratterizzato da una struttura in acciaio posata su pali, non è stato inserito nel modello in quanto può essere considerato "trasparente": i pali del pontile, caratterizzati da ridotte dimensioni, non sono in grado di influenzare la propagazione del moto ondoso e l'agitazione ondosa.

**PROGETTO DEFINITIVO**

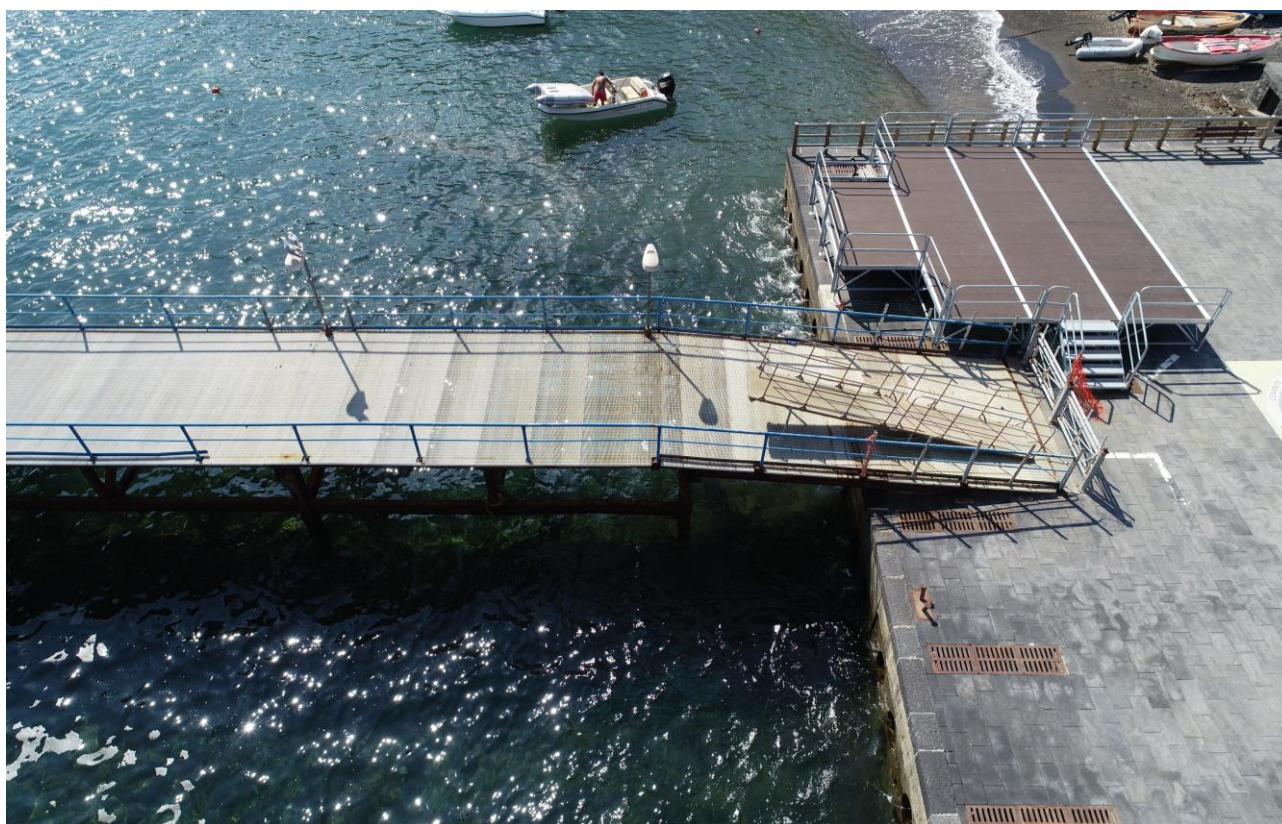
MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---



**Figura 9.5 - Banchina di radice del molo aliscafi – fori sulla parete verticale**



**Figura 9.6 - Banchina di radice del molo aliscafi – griglie di sfogo in banchina**



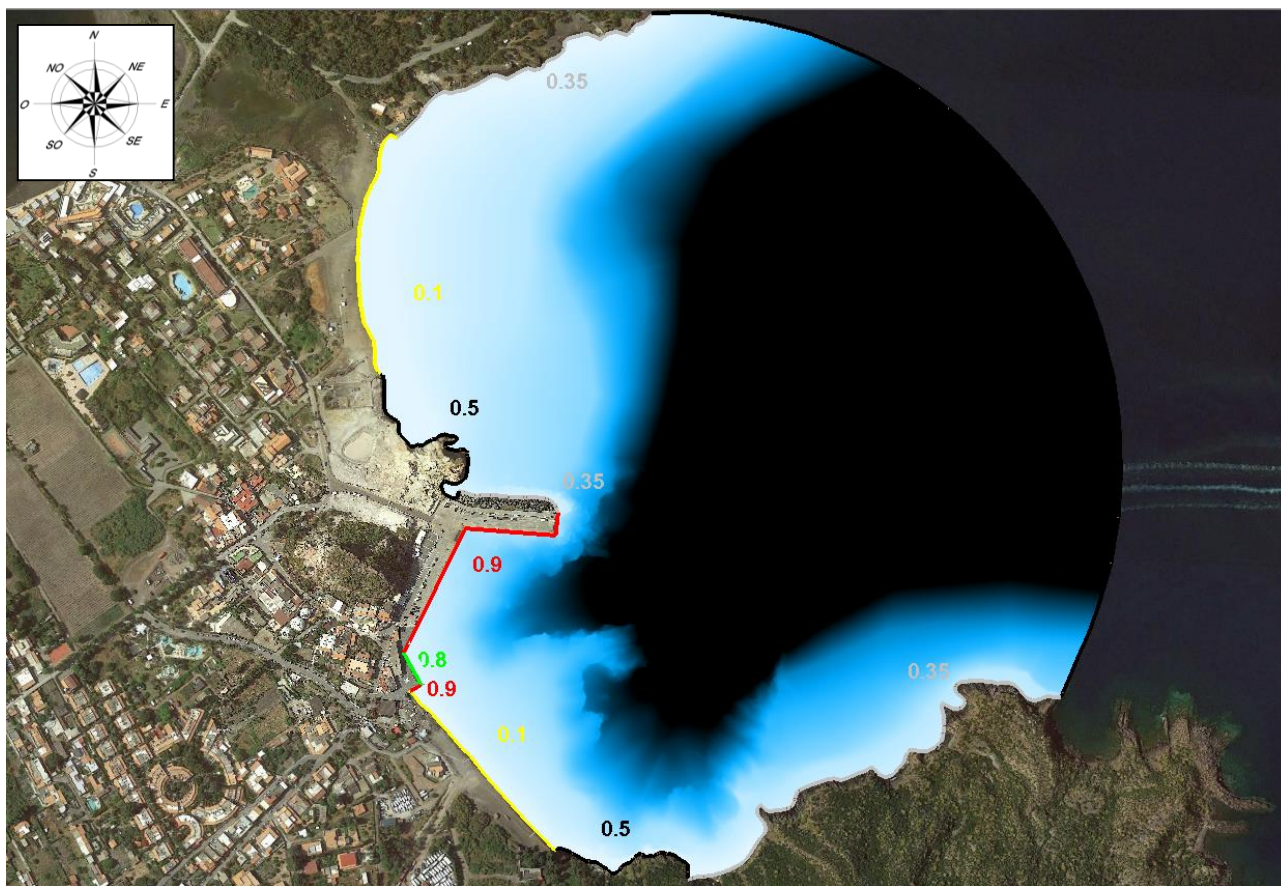
**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

**9.3.2.1 Coefficienti di riflessione**

Il contorno inshore è stato suddiviso in diversi tratti, ciascuno dei quali corrispondente ad una diversa tipologia e ad un diverso comportamento nei confronti dell'onda incidente cui è stato associato il relativo coefficiente di riflessione. Nella successiva Figura 9.7 viene riportato il dominio di calcolo in cui vengono indicati i valori dei coefficienti di riflessione associati alle opere. I valori del coefficiente di riflessione, per ciascuna tipologia di elemento considerata, sono sintetizzati in Tabella 9.2.



**Figura 9.7 - Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosu**

**Tabella 9.2 - Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore**

Descrizione tratto	Coeff. di riflessione
Molo e banchine a parete verticale	0.90
Banchina di radice del molo aliscafi	0.80
Versante roccioso verticale	0.50
Opera a gettata e versante rocciosi con franata	0.35
Spiaggia	0.10

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 9.3.3 Risultati dello studio dell'agitazione ondosa

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

#### 9.3.3.1 Mareggiata di Grecale proveniente da NNE (35°N)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa nel Porto di Levante di Vulcano sono riportati nelle successive figure. In Figura 9.8 è riportato l'andamento delle creste; in Figura 9.9 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa nella zona di interesse e nel suo intorno. Le stesse sono riportate in maggiore dettaglio, in prossimità delle banchine del porto e dello specchio acqueo antistante, nella Figura 9.10.

Dai risultati ottenuti si osserva che la mareggiata di Grecale proveniente da NNE non è in grado di raggiungere direttamente le banchine del porto, per effetto della protezione offerta dal molo esterno. Si può infatti notare che nel bacino antistante alle banchine le altezze d'onda sono prossime o poco superiori al metro; in prossimità delle banchine nel tratto di radice del pontile aliscafi si osserva che, per effetto della riflessione si possono raggiungere valori superiori a 1.2 m.



Figura 9.8 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), andamento delle creste



PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

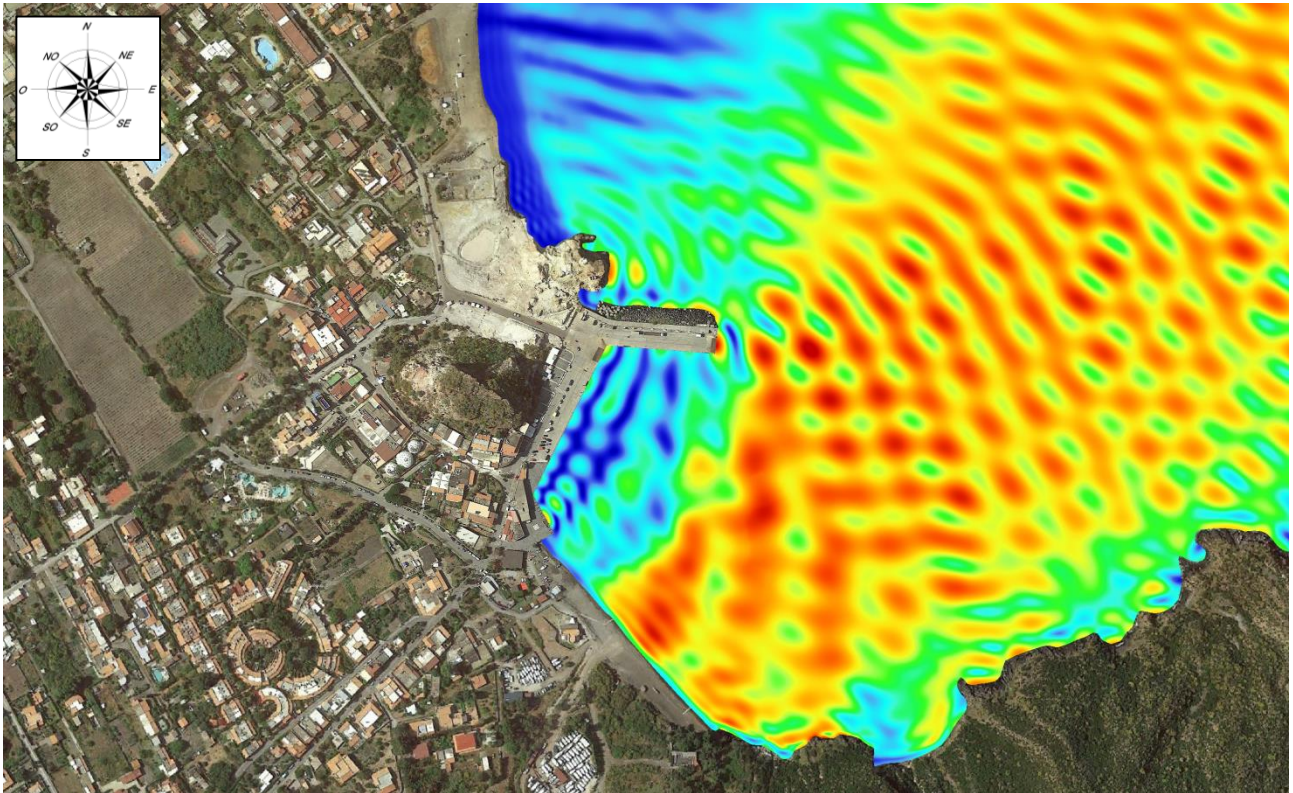


Figura 9.9 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), altezza significativa delle onde

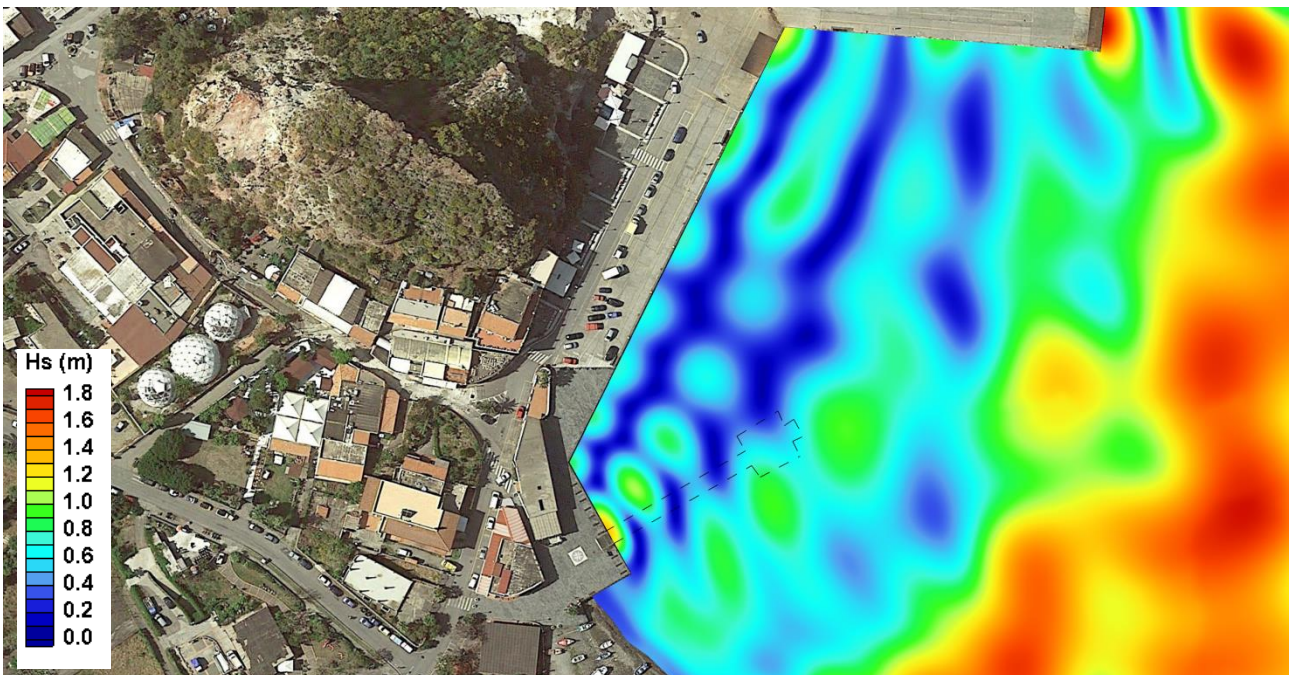


Figura 9.10- TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), agitazione ondosa nell'area di interesse (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi esistente)



## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 9.3.3.2 Mareggiata di Grecale proveniente da ENE (55°N)

In Figura 9.11 è riportato l'andamento delle creste; in Figura 9.12 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa nella zona di interesse e nel suo intorno. Le stesse sono riportate in maggiore dettaglio, in prossimità delle banchine del porto e dello specchio acqueo antistante, nella Figura 9.13.

Dai risultati ottenuti si osserva che, in occasione delle mareggiate di Grecale proveniente da ENE, il molo esterno è in grado di proteggere solo parzialmente il tratto banchinato del porto; conseguentemente la mareggiata è in grado di raggiungere direttamente l'area meridionale del porto.

In quest'area si osserva infatti che le altezze d'onda, nel bacino antistante le banchine, possono raggiungere valori molto superiori al metro.

In prossimità delle banchine e in particolare nel tratto di radice del pontile aliscafi si osserva che, per effetto della riflessione si possono raggiungere valori superiori anche a 1.7 m.



Figura 9.11- TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), andamento delle creste



PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

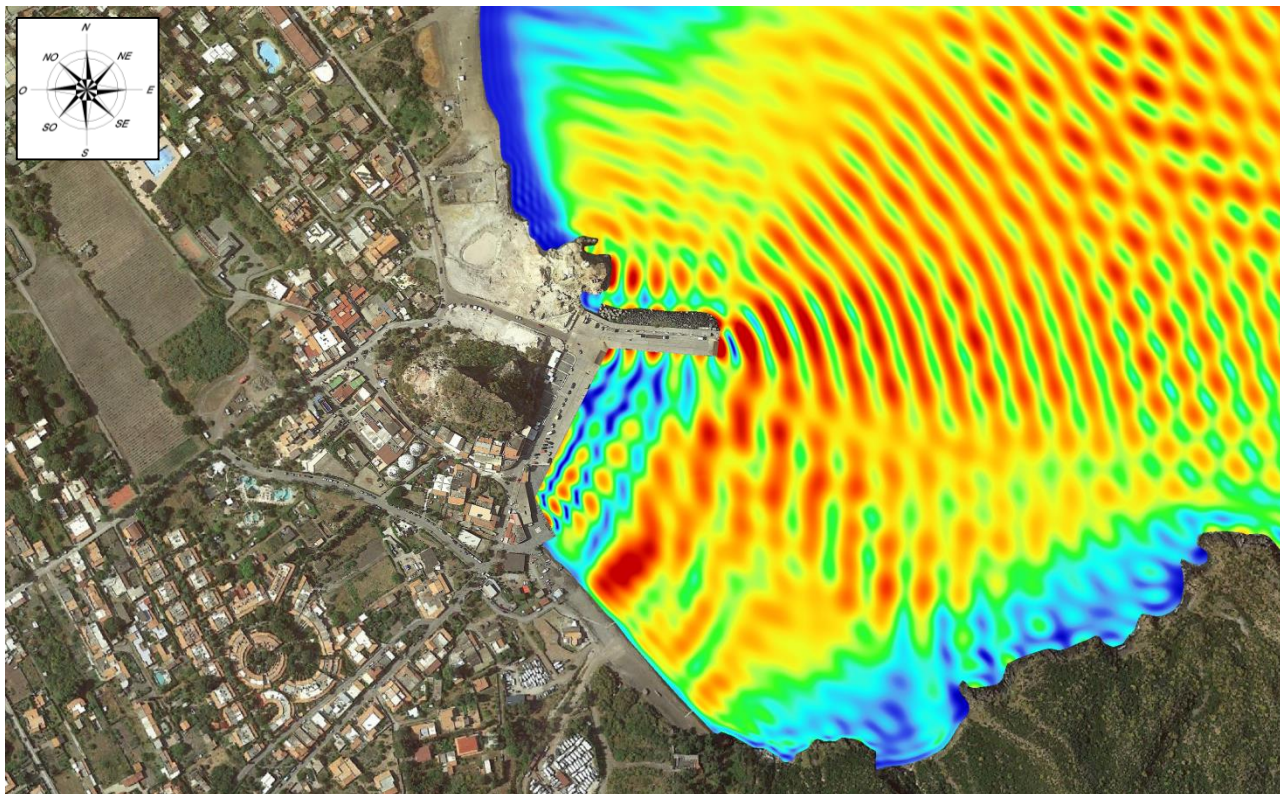


Figura 9.12- TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), altezza significativa delle onde

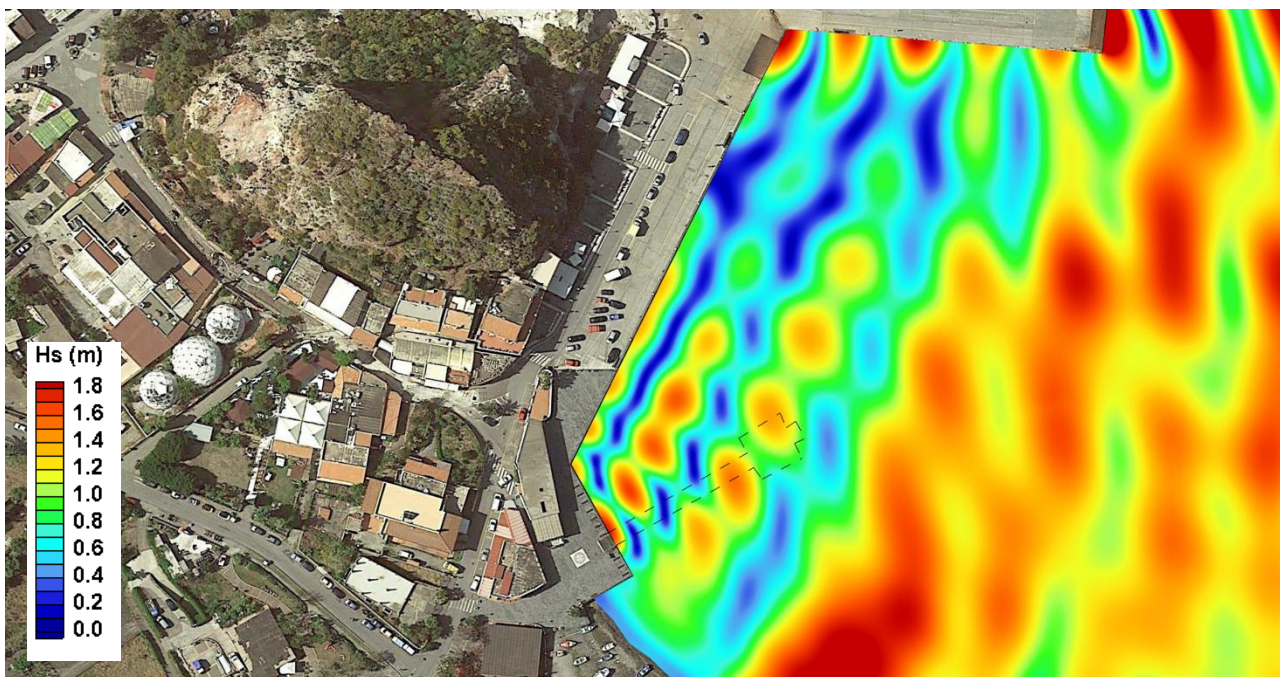


Figura 9.13- TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), agitazione ondosa nell'area di interesse (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi esistente)



**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

## 9.4 Agitazione ondosa in configurazione di progetto

### 9.4.1 Settaggio del modello

Per lo studio dell'agitazione ondosa in configurazione di progetto il dominio di calcolo è stato aggiornato per tener conto delle opere in progetto: il contorno inshore è stato modificato in modo tale da rappresentare correttamente il layout progettuale ipotizzato

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 in corrispondenza delle nuove opere previste. Tali dimensioni consentono di ottenere la stabilità del modello per tutte le mareggiate simulate, nonché una accurata rappresentazione di tutte le opere presenti all'interno del dominio.

Nella successiva Figura 9.14 si riporta un dettaglio della mesh di calcolo in prossimità della zona interessata dagli interventi.

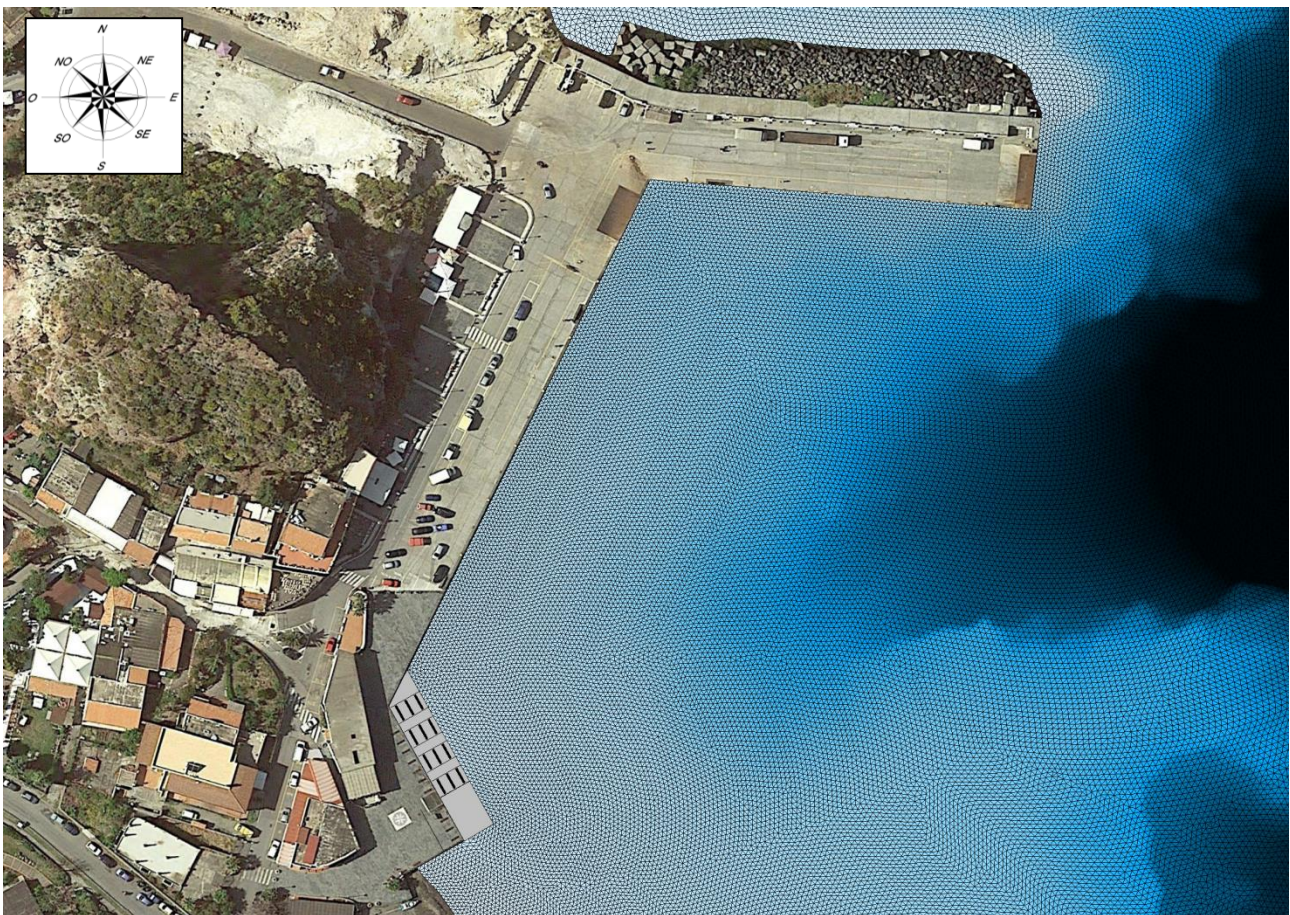


Figura 9.14 - Particolare della mesh di calcolo nell'area del Porto di Levante nella configurazione di progetto



## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 9.4.2 Definizione del contorno inshore

Il contorno inshore è stato modificato per tener conto delle opere in progetto: la banchina di radice del pontile aliscafi è stata quindi modificata al fine di inserire il previsto avanzamento della banchina, che sarà realizzato con una struttura antiriflettente.

#### 9.4.2.1 Coefficienti di riflessione

La nuova banchina sarà realizzata in massi pilonati in calcestruzzo nel tratto in corrispondenza della radice del pontile aliscafi per una lunghezza pari a circa 12 m; nel restante tratto, di lunghezza pari a circa 30 m, la banchina sarà realizzata in massi pilonati in calcestruzzo (larghezza pari a 2.4 m) alternati a tratti di scogliera (di lunghezza pari a circa 4.5 m). Quest'ultimo tratto, per effetto della presenza della scogliera, sarà in grado di dissipare efficacemente buona parte dell'energia del moto ondoso incidente.

Per questo tratto, sulla base del rapporto tra la lunghezza dei tratti in massi pilonati (riflettenti) e quella dei tratti in scogliera (assorbenti), si può assumere complessivamente un coefficiente di riflessione medio pari a 0.5.

Nella successiva Figura 9.15Figura 9.14 viene riportato il dominio di calcolo in cui vengono indicati i valori dei coefficienti di riflessione associati alle opere. I valori del coefficiente di riflessione, per ciascuna tipologia di elemento considerata, sono sintetizzati in Tabella 9.3.

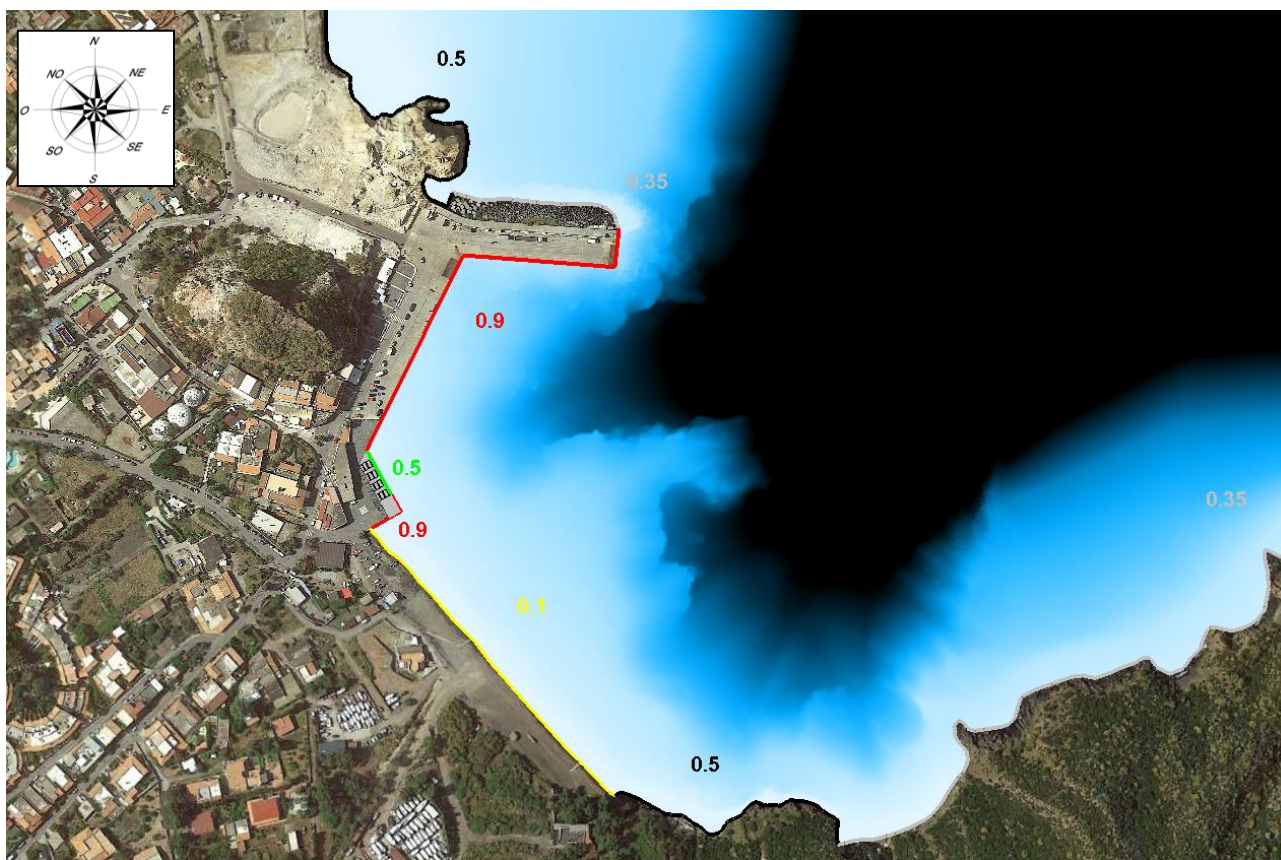


Figura 9.15 - Coefficienti di riflessione impiegati nello studio dell'agitazione ondosa

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

---

**Tabella 9.3 - Coefficienti di riflessione degli elementi del contorno inshore**

Descrizione tratto	Coeff. di riflessione
Molo e banchine a parete verticale	0.90
Banchina di radice del molo aliscafi	0.80
Versante roccioso verticale	0.50
Opera a gettata e versante rocciosi con franata	0.35
Spiaggia	0.10

## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 9.4.3 Risultati dello studio dell'agitazione ondosa

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

#### 9.4.3.1 Mareggiata di Grecale proveniente da NNE (35°N)

I risultati ottenuti dalle simulazioni in termini di agitazione ondosa nel Porto di Levante di Vulcano sono riportati nelle successive figure. In Figura 9.16 è riportato l'andamento delle creste; in Figura 9.17 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa nella zona di interesse e nel suo intorno. Le stesse sono riportate in maggiore dettaglio, in prossimità delle banchine del porto e dello specchio acqueo antistante, nella Figura 9.18.

Dai risultati ottenuti si osserva che, in configurazione di progetto, nel bacino antistante alle banchine le altezze d'onda sono ovunque abbondantemente inferiori al metro. Anche in prossimità delle banchine si osserva una importante riduzione dell'agitazione ondosa; in particolare, nel tratto in prossimità della radice del pontile aliscafi, si osserva che per effetto della riduzione degli effetti della riflessione si raggiungono valori di altezza d'onda inferiori o prossimi al metro.



Figura 9.16 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), andamento delle creste



PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

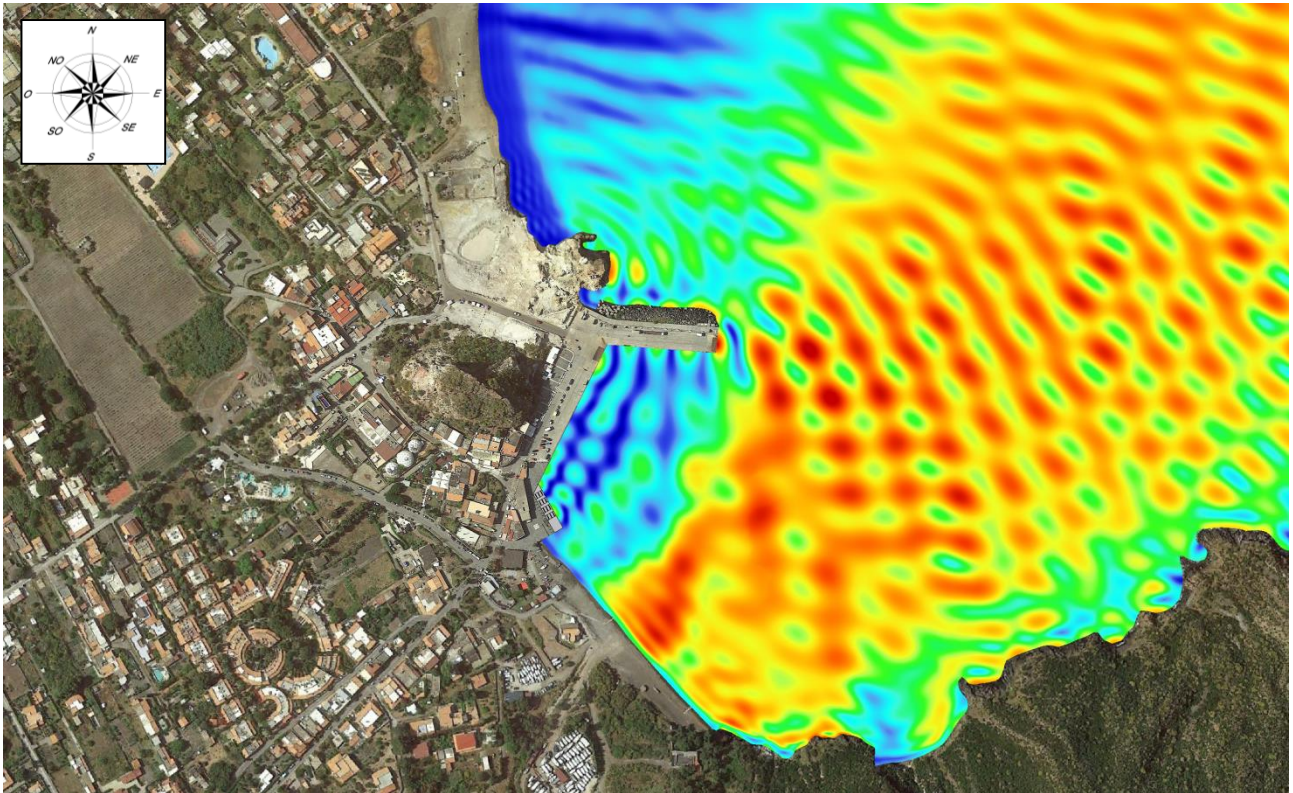


Figura 9.17 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), altezza significativa delle onde

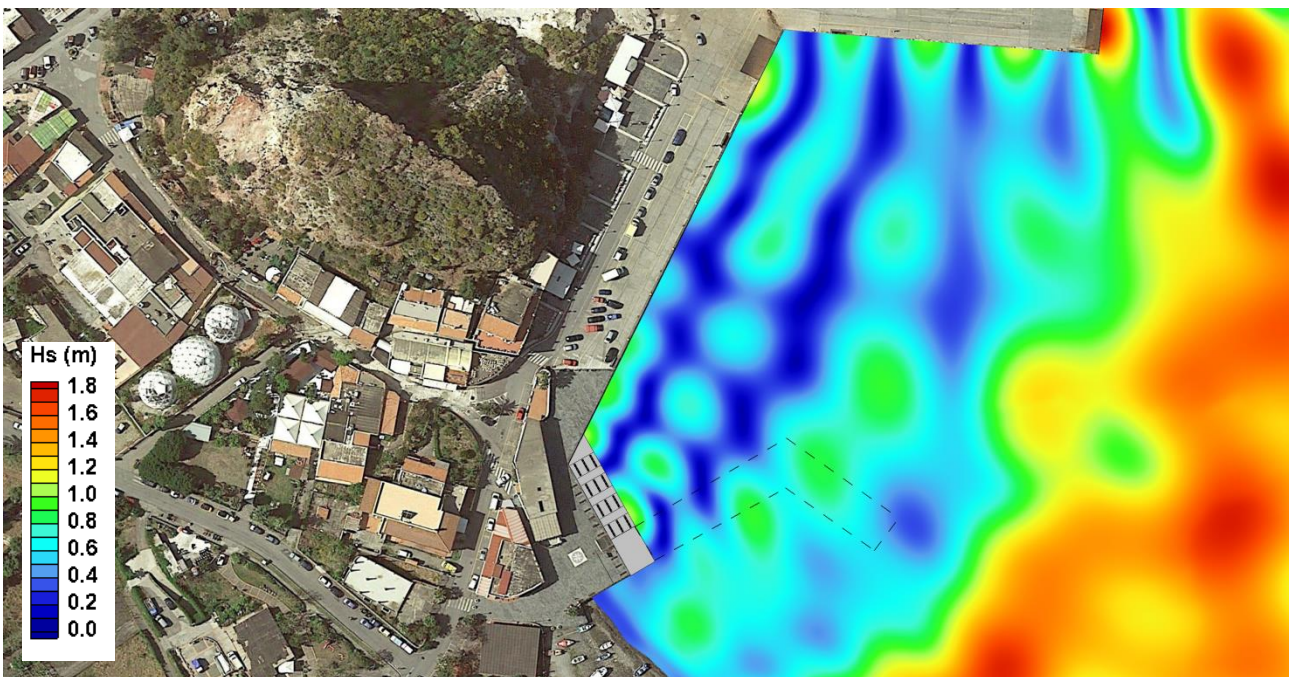


Figura 9.18 - TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE (35°N), agitazione ondosa nell'area di interesse (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi in progetto)



## PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

## STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

### 9.4.3.2 Mareggiata di Grecale proveniente da ENE (55°N)

In Figura 9.19 è riportato l'andamento delle creste; in Figura 9.20 sono invece rappresentate, mediante gradazioni cromatiche, i valori di altezza d'onda significativa nella zona di interesse e nel suo intorno. Le stesse sono riportate in maggiore dettaglio, in prossimità delle banchine del porto e dello specchio acqueo antistante, nella Figura 9.21.

Dai risultati ottenuti si osserva che, in occasione delle mareggiate di Grecale proveniente da ENE, l'efficacia della banchina antiriflettente risulta parzialmente ridotto in quanto la mareggiata è in grado di penetrare in misura maggiore nell'area protetta dal molo e viene esaltato l'effetto riflettente della banchina a nord del tratto di intervento (caratterizzato da parete verticale e quindi completamente riflettente).

In configurazione di progetto si osserva comunque un beneficio in quanto, in prossimità delle banchine e in particolare nel tratto di radice del pontile aliscafi, l'altezza d'onda è ridotta a valori inferiori o prossimi a 1.5 m.



Figura 9.19 - TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), andamento delle creste



PROGETTO DEFINITIVO

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO

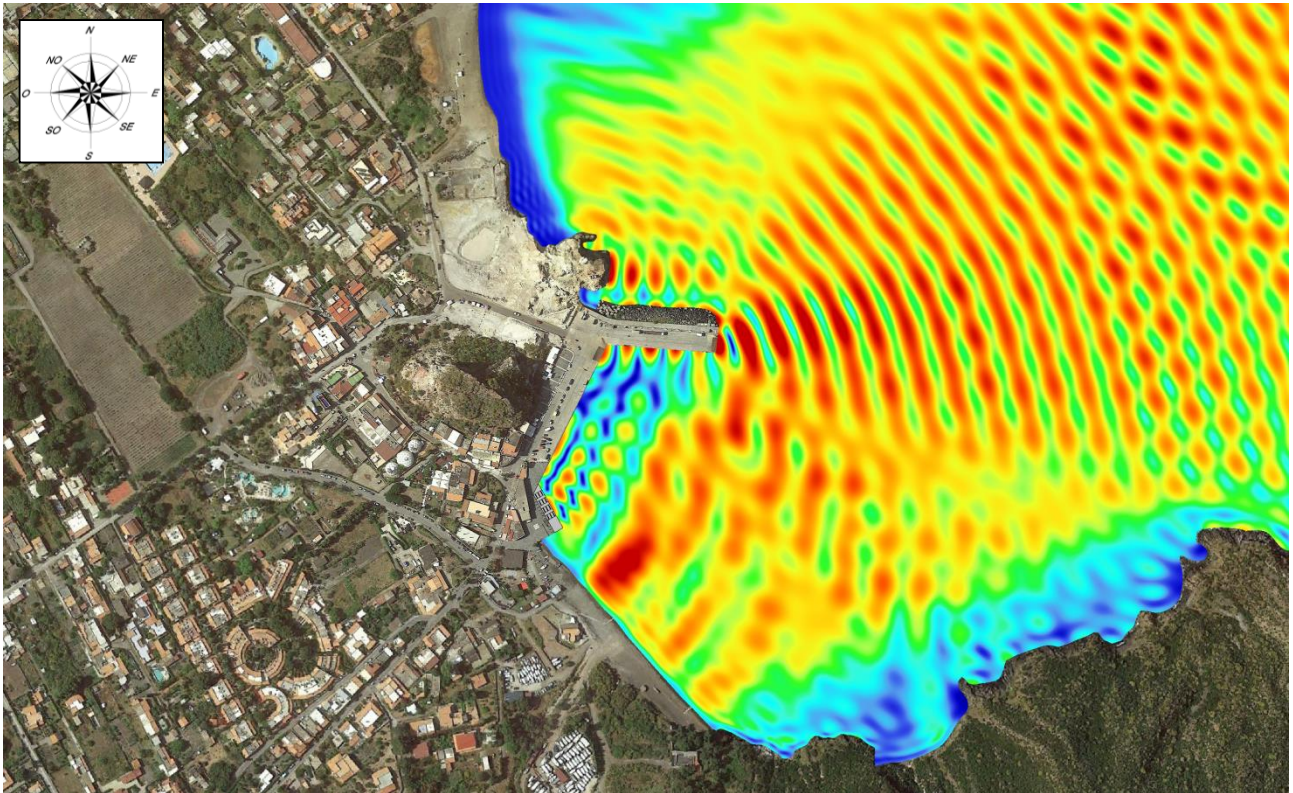


Figura 9.20 - TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), altezza significativa delle onde

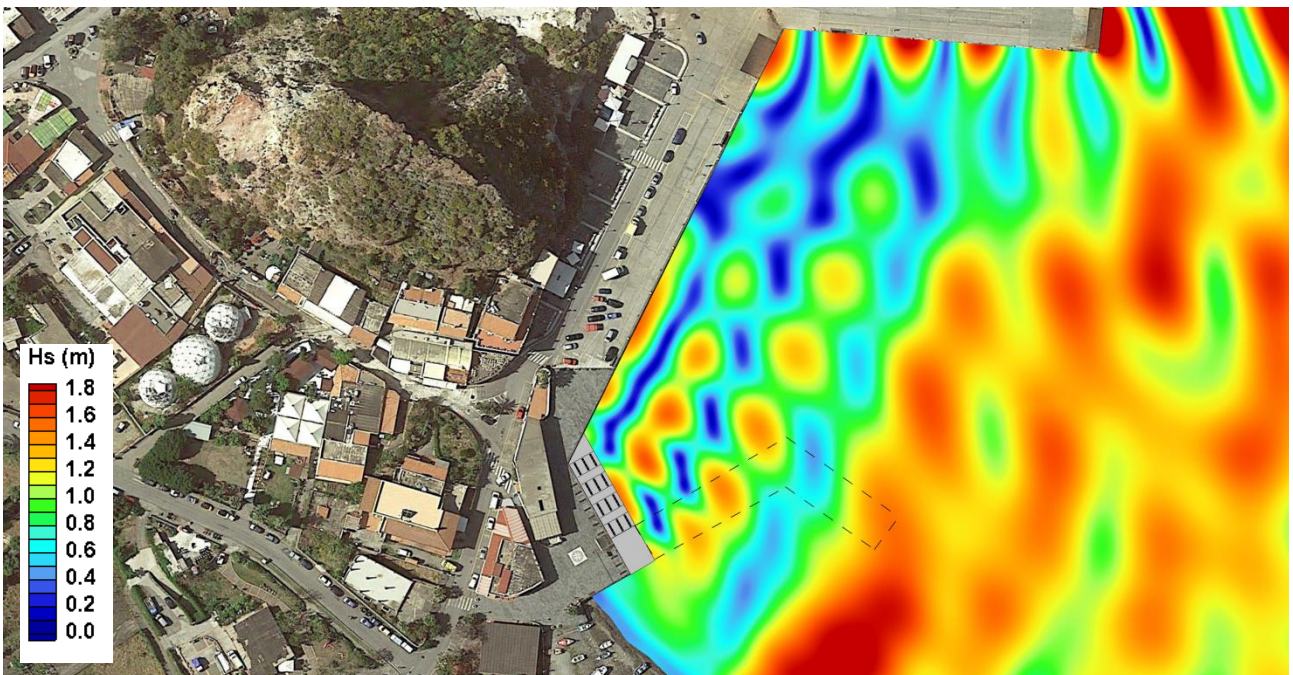


Figura 9.21 - TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), agitazione ondosa nell'area di interesse (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi in progetto)



**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**

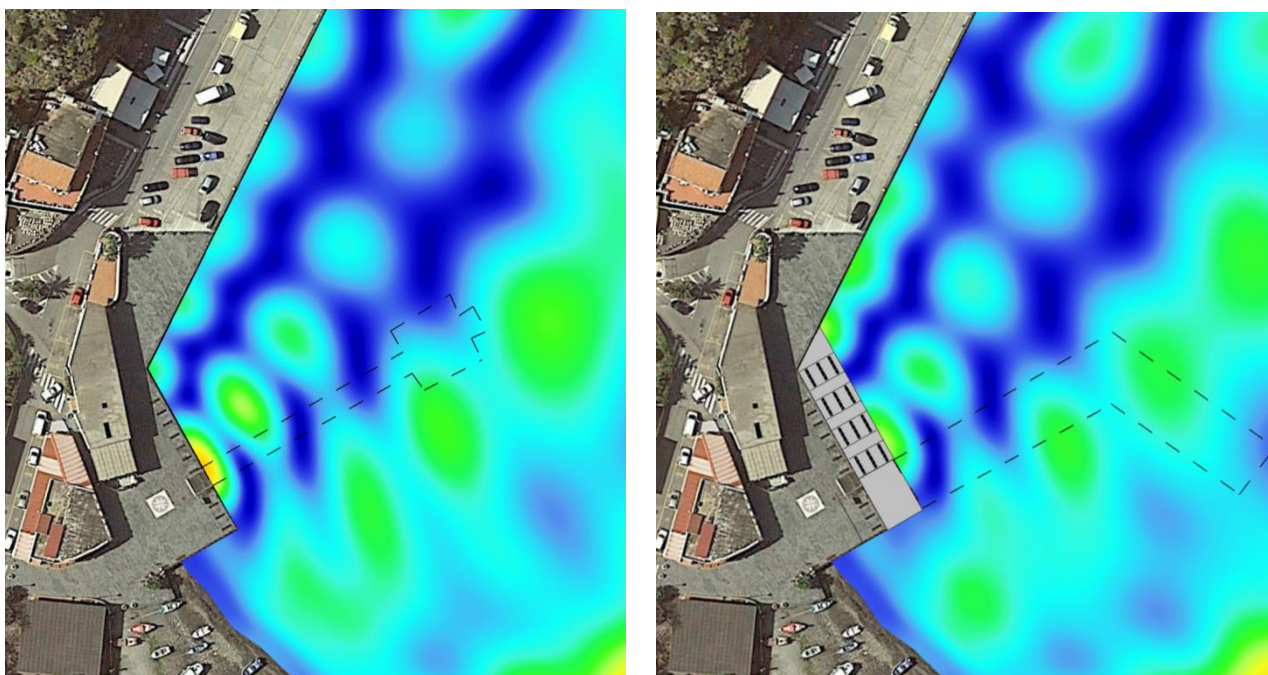
## **10 CONCLUSIONI**

I risultati ottenuti dallo studio dell'agitazione ondosa nel Porto di Vulcano Levante hanno mostrato che l'intervento in progetto, che oltre al rifacimento del pontile degli aliscafi prevede la realizzazione di un tratto di banchina antiriflettente, risulta essere efficace anche in termini di riduzione dell'agitazione ondosa.

Nelle successive Figura 10.1e Figura 10.2 sono riportati a confronto i risultati dello studio su modello dell'agitazione ondosa, nello stato attuale (a sinistra) e in configurazione di progetto (a destra), rispettivamente per la mareggiata di Grecale da NNE e da ENE.

Lo studio su modello ha evidenziato che, per le mareggiate di Grecale (in particolare quelle provenienti da direzioni di  $35^\circ\text{N}$ , caratterizzate da maggior frequenza ed energia, cfr. par. 7.2), la realizzazione del tratto di banchina antiriflettente determina una generale riduzione dell'altezza d'onda e dell'agitazione ondosa a ridosso delle banchine e nell'antistante bacino, migliorando l'operatività dell'attracco degli aliscafi.

Nella Tabella 10.1 viene infine riportato un riassunto dei risultati ottenuti, quantificando la riduzione dell'altezza d'onda ottenuta in configurazione di progetto. Si osserva che, per le mareggiate più frequenti (Grecale da NNE), la riduzione risulta essere mediamente pari a circa il 20 %, sia in prossimità delle banchine che nel bacino antistante.

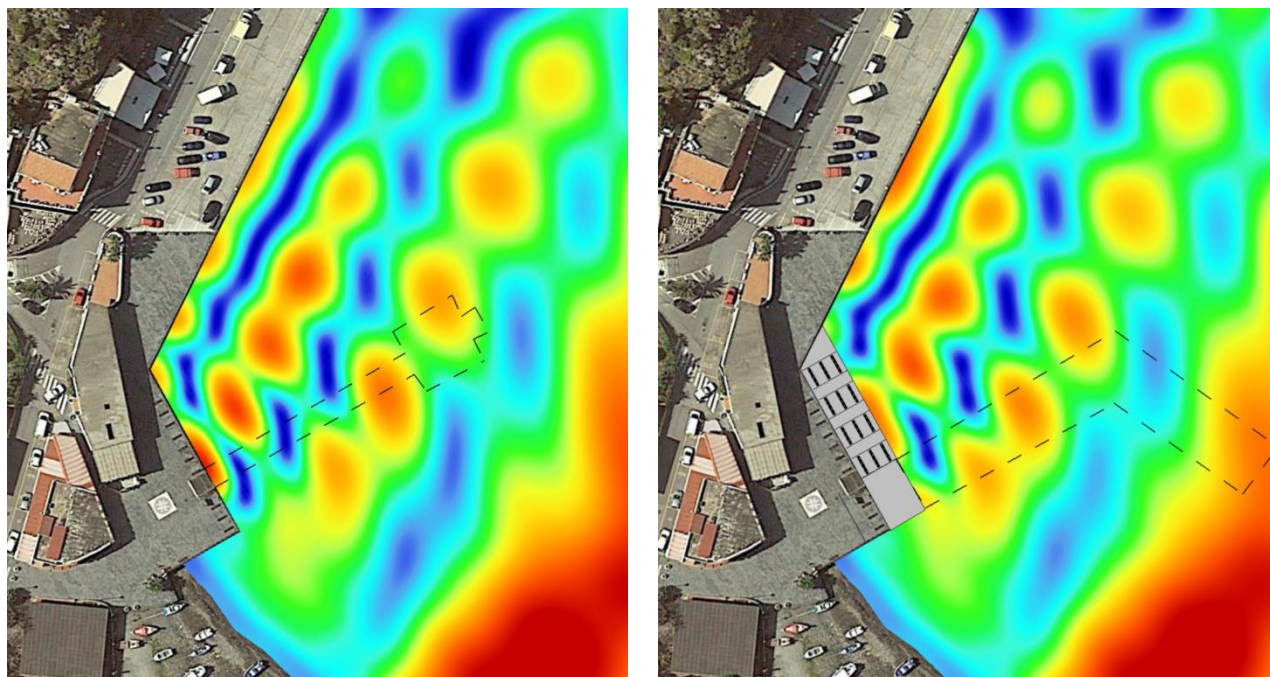


**Figura 10.1- TEST 1: mareggiata di Grecale da NNE ( $35^\circ\text{N}$ ), agitazione ondosa nell'area di interesse: nello stato attuale (a sinistra) e in configurazione di progetto (a destra) (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi)**

**PROGETTO DEFINITIVO**

MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI LEVANTE E DI PONENTE NELL'ISOLA DI VULCANO CON LA SISTEMAZIONE DEL MOLO FORANEO E COLLEGAMENTO TRA LE BANCHINE PORTUALI E RADICE PONTILE ATTRACCO ALISCAFO

**STUDI SUMODELLO MATEMATICO - STUDIO METEOMARINO**



**Figura 10.2- TEST 2: mareggiata di Grecale da ENE (55°N), agitazione ondosa nell'area di interesse: nello stato attuale (a sinistra) e in configurazione di progetto (a destra) (la linea tratteggiata indica la sagoma del pontile aliscafi)**

**Tabella 10.1 – Agitazione ondosa nel Porto di Levante di Vulcano**

Mareggiata	Altezza significativa max in banchina			Altezza significativa max bacino antistante		
	Stato attuale (m)	Conf. progetto (m)	Differenza (%)	Stato attuale (m)	Conf. progetto (m)	Differenza (%)
Grecale da NNE (35°N)	1.27	1.00	21	1.00	0.82	18
Grecale da ENE (55°N)	1.72	1.52	12	1.63	1.56	4