

IL COMMITTENTE

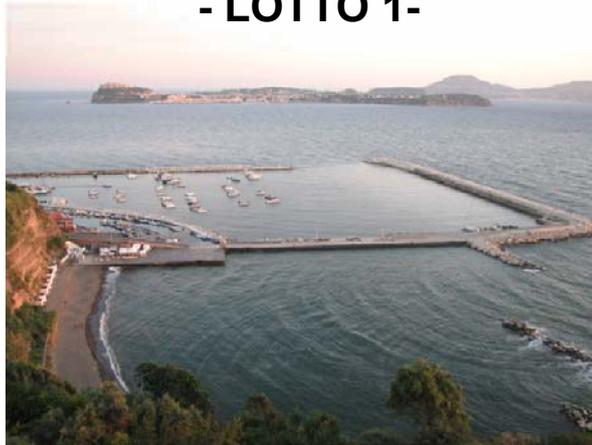


COMUNE DI MONTE DI PROCIDA
Provincia di Napoli

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

OPERA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLE STRUTTURE PORTUALI
DEL PORTO DI ACQUAMORTA CON INTERVENTI SUI MOLLI DI
SOPRAFLUTTO E SOTTOFLUTTO - OPERE DI COMPLETAMENTO
- LOTTO 1-



PROGETTISTI

U.T.C. Monte di Procida

07/2018	consegna			
DATA	EMISSIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

FASE D'INCARICO	TIPO ELABORATO
PROGETTO DEFINITIVO	DOCUMENTAZIONE
OGGETTO ELABORATO	N° ELABORATO
Relazione Idraulica Marittima	REL_IDR_MAR
NOME FILE : Mascherine def.dwg	SCALA

INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO.	3
3.	CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL SITO.....	4
3.1.	Esposizione del paraggio.....	4
3.2.	Ricostruzione del clima ondoso in acqua profonda.	5
3.3.	Statistica delle onde estreme.	8
3.4.	Definizione dell'onda di progetto.	10
3.5.	Trasferimento del moto ondoso sottocosta.....	11
3.5.1.	Descrizione del modello utilizzato per il trasferimento del moto ondoso da largo alla batimetrica $h = -12$ m.....	13
3.5.2.	Caratteristiche del moto ondoso alla profondità $h = -12$ m	14
3.5.3.	Descrizione del modello utilizzato per il trasferimento del moto ondoso dalla batimetrica -12 m sino alla riva.	15
3.5.4.	Caratteristiche del moto ondoso in prossimità dei moli frangiflutti.	16
4.	STUDIO DEL LAYOUT PORTUALE.	17
4.1.	Modello utilizzato.	17
4.2.	Condizioni ondose utilizzate per lo studio dell'agitazione interna.....	20
4.3.	Risultati dello studio.	21
4.4.	Conclusioni.	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.	IMPATTO DELL'INTERVENTO SULLA DINAMICA LITORANEA.....	26
5.1.	Considerazioni preliminari.....	26
5.2.	Stima delle onde di modellazione	26
1.1	Modello di simulazione delle correnti di circolazione costiera	27
5.3.	I risultati del modello di simulazione delle correnti	30



1. PREMESSA

In data 24.12.2003, con delibera di giunta regionale n. 3851, è stato approvato il progetto di “Messa in sicurezza delle strutture portuali di *“Acquamorta” a Monte di Procida (NA) con interventi sui moli di sopraflutto e sottoflutto*”, numero identificativo I001 – MDP, che rientra nell’insieme degli interventi “invarianti” del Progetto Integrato Portualità Turistica del POR Campania 2000-2006. L’intervento riguarda “la messa in sicurezza del PORTO DI ACQUAMORTA, attraverso il ripristino delle strutture esistenti, finalizzata alla tranquillità del bacino, per garantire lo svolgimento delle attività insediate”.

Successivamente, in data 9/2/2005, è stata stipulata una Convenzione tra il Comune di Monte di Procida, nella persona dell’ing. Andrea Marasco, ed il Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale “Girolamo Ippolito” dell’Università degli Studi di Napoli “Federico II”, rappresentato dal direttore prof. ing. Maurizio Giugni, avente per oggetto l’espletamento degli studi specialistici di idraulica-marittima propedeutici alla progettazione degli interventi di messa in sicurezza.

Gli studi sono stati coordinati dal prof. ing. Mario Calabrese, responsabile scientifico della Convenzione per conto del Dipartimento.

In estrema sintesi, le attività svolte, nel rispetto dell’Articolato tecnico allegato alla Convenzione, hanno riguardato:

1. l’analisi meteomarina del paraggio e cioè la definizione delle caratteristiche climatiche del moto ondoso e dell’onda di progetto al largo ed in prossimità dell’impianto portuale;
2. lo studio dell’efficacia di alcune possibili configurazioni portuali nei riguardi della protezione dal moto ondoso;
3. lo studio degli effetti della nuova configurazione sull’equilibrio del litorale.

La modellazione matematica del trasferimento del moto ondoso dal largo a riva e della agitazione ondosa nel bacino portuale protetto, al variare della geometria dell’impianto, hanno richiesto la preliminare caratterizzazione topo-batimetrica dell’area di studio.

All’uopo, così come previsto in Convenzione, è stata predisposta dal Dipartimento una idonea campagna di indagini che è consistita essenzialmente:

- nel rilievo topografico della infrastruttura portuale;
- nel rilievo batimetrico dello specchio acqueo interno al bacino;
- nel rilievo della batimetria esterna al porto sino alla profondità di -15.00 m e comunque per una lunghezza massima di 250 m

e i cui risultati sono allegati alla presente relazione.



2. DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Il porticciolo di Acquamorta è localizzato nel Comune di Monte di Procida, a nord-ovest del canale di Procida, in una minuscola insenatura – Acquamorta – scavata dall'erosione marina nelle pareti di tufo del promontorio il cui toponimo ha origine dalla posizione prospiciente l'isola di Procida.

L'area portuale è delimitata a nord dalla spiaggia di Acquamorta, protetta da una serie di scogliere distaccate, e a sud-est dal promontorio di Punta di Torrefumo.

A nord della spiaggia, in corrispondenza di una lieve sporgenza del banco tufaceo, è ubicato l'isolotto di S. Martino che emerge dal mare quale resto di un antico cratere; a sud del porto sono raggiungibili l'abitato e la spiaggia di Miliscola ed il retrostante lago di Miseno, detto anche Mare Morto.

La corografia generale dell' area di studio è illustrata in Fig. 1.

Lo specchio acqueo portuale, di circa 100.000 m², è protetto, a nord, da una molo di sopraflutto, a due bracci, orientati, rispettivamente, per ovest e per sud-ovest, e da un molo di sottoflutto, a sud, orientato per ovest, che ha origine dalla Punta di Torre Fumo.

Il molo di sopraflutto ha una lunghezza di 295 m circa, per la parte emergente, e di 50 m circa ,per la parte sommersa (testata originaria danneggiata). La profondità all'imbasamento della parte sommersa risulta essere di circa 10m.

Il molo di sottoflutto si estende per circa 350 m e la profondità in corrispondenza della testata risulta essere di circa 7.50m.

Il varco di ingresso ha una lunghezza di 130m circa.

Le scogliere costituenti le opere di difesa del porto sono in evidente stato di degrado a seguito delle violente mareggiate registrate negli ultimi anni.



3. CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL SITO

3.1. Esposizione del paraggio

Il paraggio in esame ricade nella parte settentrionale del Canale di Procida, che si apre fra l'isola omonima e la terra ferma. L'imboccatura del porto risulta esposta alle ondatazioni comprese nella traversia geografica delimitata dalle direttrici tangenti a Capo Miseno (dd. 110°N) e all'isolotto di San Martino (dd. 320°N). (Fig.2)

Nell'ambito della traversia geografica, di ampiezza 210° , si individua un settore centrale (settore di sud-ovest), rivolto verso il Canale di Procida, con fetch (distanza dalla costa sopravvento più vicina) molto esigui, e due settori laterali, rivolti, rispettivamente, l'uno, verso il golfo di Napoli e il Mar Tirreno Meridionale (settore di sud est) e l'altro, verso il golfo di Gaeta e il Mare Tirreno Centrale (settore di nord ovest), con fetch maggiori, dai quali provengono le condizioni ondose più gravose per il paraggio.

Per l'individuazione dell'esposizione del paraggio al moto ondoso è conveniente fare riferimento a punti localizzati in mare aperto, al largo della costa, e su profondità relativamente alte. Infatti, la traversia, intesa come insieme delle direzioni di provenienza del moto ondoso che possono incidere sul paraggio in esame, risulta essere fortemente influenzata dai fenomeni di rifrazione e di diffrazione del moto ondoso.

A tal fine, per la particolare esposizione del paraggio in esame, sono stati scelti due diversi punti, uno rappresentativo delle condizioni ondose che si generano nelle aree ad OVEST del porto di Acquamorta, ed uno rappresentativo di quelle che si generano in aree ad EST dello stesso (Fig. 3).

I punti suddetti sono individuati dalle seguenti coordinate geografiche (espresse in gradi, primi e centesimi di primo):

settore OVEST: LAT $40^{\circ} 47' 59'' \text{N}$ - LON $13^{\circ} 59' 90'' \text{E}$

settore EST: LAT $40^{\circ} 45' 91'' \text{N}$ - LON $14^{\circ} 04' 21'' \text{E}$

Il settore di traversia OVEST risulta delimitato dalle direzioni 252°N , tangente a Punta Caruso (isola di Ischia), e dalla direzione 0°N . Il settore compreso tra le direzioni 252°N e 300°N (tangente a Capo Circeo) può ritenersi il principale.

Il settore di traversia EST è delimitato dalle direzioni 50°N , tangente a Capo Miseno e dalla direzione 234°N tangente a Punta S. Pancrazio (isola di Ischia). Il settore



compreso tra le direzioni 157°N (tangente a Punta Carena nell'isola di Capri) e 234°N (tangente a Punta S. Pancrazio) può ritenersi il principale.

Allo scopo di considerare gli effetti sullo sviluppo del moto ondoso della larghezza dell'area di generazione e della dispersione direzionale dell'energia ondosa sono stati calcolati, sulla base dei valori dei fetch geografici, i corrispondenti valori dei fetch efficaci mediante il metodo sviluppato da Seymour a seguito della campagna sperimentale JONSWAP.

Con l'introduzione del fetch efficace si tiene conto del fatto che, nel trasferimento di energia dal vento al mare secondo una prefissata direzione, contribuiscono alla formazione del moto ondoso anche le direzioni adiacenti a quella del vento che rientrano in un settore di 180° di ampiezza.

In tale ipotesi, le aliquote di energia trasmessa secondo le varie direzioni sono proporzionali al quadrato del coseno dell'angolo che le direzioni stesse formano con quella del vento. Pertanto si ha:

$$F_{eff}(\theta_m) = \frac{\sum_{\theta_m-90^\circ}^{\theta_m+90^\circ} F_g(\theta) \cos^2(\theta - \theta_m)}{\sum_{-90^\circ}^{+90^\circ} \cos \theta}$$

La suddetta relazione fornisce la lunghezza del fetch efficace corrispondente alla direzione θ_m in funzione dei fetches geografici $F_g(\theta)$ e delle differenze angolari $(\theta - \theta_m)$ relative a tutte le direzioni comprese nel settore di 90° centrato su θ_m .

I valori dei fetch geografici ed efficaci, calcolati con riferimento ai punti specificati in precedenza sono riportati nella Tab. 1 per il settore EST e nella Tab.3 per il settore OVEST.

Nella Fig. 4 e 9 sono anche riportati i diagrammi polari dei fetch geografici ed efficaci.

3.2. Ricostruzione del clima ondoso in acqua profonda

Per clima ondoso si intende la ripartizione in frequenza su classi di direzioni ed altezza d'onda dei singoli stati di mare caratterizzati dall'altezza H_s ed dal periodo T_s dell'onda significativa e dalla direzione θ_m di provenienza. Scopo fondamentale di tali elaborazioni è quello di rappresentare il corpo della distribuzione di frequenza delle onde a diverse scale temporali.

Il clima ondoso può essere ricostruito o sulla base di misure dirette – sia visuali che strumentali – ovvero a partire dalla conoscenza dei dati di vento e di fetch (metodi indiretti).



Le stime visuali delle caratteristiche ondose (es. dati UKMO, KNMI) sono molto approssimate e statisticamente poco affidabili e, pertanto, non sono state prese in considerazione nel presente studio.

I metodi di ricostruzione indiretta degli stati di mare sulla base delle registrazioni anemometriche, pur essendo affidabili e molto diffusi nella pratica tecnica, presentano le inevitabili incertezze connesse alla necessità di schematizzare il meccanismo di trasmissione di energia dal vento al mare e di generazione delle onde.

Pertanto, è in generale preferibile ricorrere ai dati ottenuti da registrazioni dirette dello stato di mare, a condizione che si disponga di una serie temporale sufficientemente ampia di misure, e che la stazione di misura sia sufficientemente prossima al paraggio in esame.

Nel caso in esame, entrambe le condizioni sono verificate per la presenza della stazione ondometrica R.O.N. (Rete Ondometrica Nazionale) di Ponza, in funzione dal mese di luglio del 1989.

Per il presente studio sono state, pertanto, acquisite le serie temporali misurate dalla boa ondometrica al largo dell'isola di Ponza le quali, nonostante non possano considerarsi pienamente coincidenti con le condizioni meteomarine interessanti il paraggio in esame, possono sicuramente ritenersi generate dalle stesse perturbazioni atmosferiche.

Per caratterizzare il moto ondoso al largo di Monte di Procida, si è utilizzato il criterio di trasposizione geografica proposto da De Girolamo e Contini, adeguando i dati ondometrici misurati a Ponza alle caratteristiche del punto di trasposizione scelto in prossimità del sito di interesse, sulla base del rapporto di similitudine tra i fetches efficaci.

Il metodo di trasposizione consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni di propagazione, le altezze ed i periodi del moto ondoso relative al punto di misura e a quello di interesse.

Nel caso di fetches limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_{m0} e il periodo di picco spettrale T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti:

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 16 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$\frac{gT_m}{U_A^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{3}}$$



dove U_A è il fattore di velocità del vento (wind stress factor), dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota +10 m s.l.m., ed F è il fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica.

Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura e al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il vento) alla quale risultano associati i fetches efficaci F^P e F^O , le precedenti relazioni permettono di stabilire la ricercata corrispondenza tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto O e al punto P:

$$\frac{H_{mo}^P}{H_{mo}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$\frac{T_{mo}^P}{T_{mo}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Per ottenere le precedenti relazioni si suppone che il fattore di velocità del vento sia lo stesso nei due punti in esame. Tale assunzione deriva dall'aver ipotizzato che le aree di generazione dei due punti siano interessate dalla stessa perturbazione climatica e quindi dalla stessa velocità del vento.

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato.

Le ipotesi assunte alla base del metodo sono verificate per il caso in esame stante la vicinanza dei siti di Ponza e Monte di Procida.

Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento si determina la direzione dell'onda nel punto di interesse. Nel contempo si definiscono i coefficienti correttivi H_p/H_o e T_p/T_o per il calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda risultante nel punto di trasposizione geografica.

Nelle Fig. 5, 6 e 7 per il settore EST e nelle Fig. 10,11 e 12 per il settore OVEST sono riportati rispettivamente i diagrammi rappresentativi della deviazione tra le direzioni del moto ondoso ed il vento, delle direzioni delle onde e del vento e della lunghezza dei fetch efficaci.

Nelle Tab. 2 e 4 è riportato il clima ondoso medio, in termini di frequenze annuali di apparizione associate alle classi di altezza d'onda e direzione di provenienza per entrambi i settori considerati EST e OVEST.

Gli stessi risultati sono illustrati in Fig. 8 e 13 sotto forma di diagramma polare dello stato del mare.



Dall'analisi dei risultati ottenuti si può facilmente notare la prevalenza degli stati di mare provenienti dai quadranti occidentali, sia in termini di valori delle altezze d'onda, sia in termini di frequenza di apparizione.

In particolare, per il settore EST, si notano chiaramente due distinti picchi nella distribuzione delle frequenze di apparizione con classi di altezze d'onda fino a 4,5m per i settori direzionali 200°N – 220°N e 260°N – 280°N.

Per il settore OVEST, al contrario, si evidenzia una concentrazione delle frequenze di apparizione intorno al settore direzionale 280°N – 300°N con classi di altezze d'onda fino a 6,5m.

3.3. Statistica delle onde estreme.

L'analisi statistica degli eventi ondosi estremi costituisce lo strumento fondamentale per poter giungere alla definizione dell'onda di progetto, ossia dell'onda da assumere a base della progettazione strutturale delle opere marittime e delle verifiche funzionale delle opere esistenti e delle configurazioni di progetto.

Tale onda, in genere rappresentata da un'onda significativa, viene infatti precisata in termini di altezza, periodo e direzione di propagazione, sulla base del periodo di ritorno degli eventi ondosi che la contengono. A tal fine e' necessaria la conoscenza della funzione analitica di distribuzione a lungo termine delle altezze significative H_s . La funzione analitica di distribuzione viene selezionata e precisata a partire dai dati di altezza significativa che si sono verificate nel bacino marino in considerazione durante il tempo di osservazione.

Nel caso in esame, allo scopo di determinare le caratteristiche estreme del moto ondoso di largo si è utilizzato il procedimento che considera i massimi annuali delle altezze d'onda. In particolare, utilizzando tale procedura, il set di dati costituito dai massimi annuali di altezza d'onda della serie storica dei dati ondometrici trasposti, è stato adattato alla distribuzione dei valori estremi di Gumbel. In tal modo, una volta calcolati i parametri di tale distribuzione, quest'ultima è stata estrapolata oltre il periodo di osservazione dei dati per ottenere l'altezza ed il periodo dell'onda di progetto per assegnati periodi di ritorno.

La distribuzione di Gumbel, o Fisher-Tippet I, sviluppata da Gumbel nel contesto della previsione delle piene ed in seguito applicata alle altezze d'onda estreme, presenta una probabilità cumulata data da:

$$P(H) = \exp\{-\exp[-(H - \varepsilon) / \theta]\}$$

essendo:

ε = parametro di posizione;

θ = parametro di scala.



Il piano probabilistico è definito in ascissa dai valori di H , ed in ordinata dai valori della variabile trasformata:

$$W = -\ln\{-\ln[P(H)]\}$$

L'adattamento dei dati alla distribuzione scelta viene effettuato riducendo le altezze d'onda selezionate ad un set di punti da plottare su carta probabilistica. A tal fine i dati sono ordinati in senso decrescente, con riferimento ad un indice m tale che ad $m=1$ corrisponde l'onda più alta e ad $m=N$ l'onda più bassa:

$$C_{H_m} = \{H_m\}_{m=1}^N$$

Con la predetta operazione di ordinamento, la probabilità totale $P(H_m)$ e la probabilità di superamento $Q(H_m)$ da associare ad ogni H_m sono date dalle relazioni:

$$P(H_m) = 1 - m/(N+1)$$

$$Q(H_m) = m/(N+1)$$

le quali rappresentano le relazioni di base per precisare la forma della funzione analitica di distribuzione a lungo termine delle altezze significative, la cui conoscenza è necessaria per poter operare un'extrapolazione dei dati oltre il periodo di osservazione.

Per individuare la retta interpolatrice che sulla carta probabilistica costituisce il miglior adattamento dei dati alla distribuzione è necessario determinare i parametri di quest'ultima con il metodo dei momenti, che si basa sull'eguaglianza tra il valore medio μ_H e la varianza σ^2_H dedotti dalle altezze ottenute con la funzione analitica di distribuzione e quelli μ_{H_m} e $\sigma^2_{H_m}$ ottenuti a partire dalla popolazione statistica.

Una volta effettuato l'adattamento dei dati alla distribuzione di probabilità, questa deve essere extrapolata allo scopo di individuare l'altezza d'onda di progetto corrispondente ad un prefissato periodo di ritorno. Questo è definito come l'intervallo di tempo medio tra due eventi ondosi consecutivi caratterizzati da stati di mare con altezze significative che eguagliano o superano l'altezza d'onda di progetto H_{Tr} , ed è correlato alla probabilità di superamento di quest'ultima dalla relazione:

$$\frac{T_r}{r} = \frac{1}{1 - P(H_{Tr})} = \frac{1}{Q(H_{Tr})}$$

dove r è un parametro temporale, che rappresenta l'intervallo medio con cui si succedono nel tempo i dati della popolazione statistica.

La stima del periodo corrispondente all'altezza d'onda di progetto può essere effettuata utilizzando differenti tipi di approccio.



La seguente relazione, basata su considerazioni teoriche e risultati sperimentali, largamente utilizzata in virtù della sua semplicità, fornisce il periodo d'onda corrispondente all'altezza significativa:

$$T_s = \frac{9\pi}{1.05} \sqrt{\frac{H_s}{4g}}$$

3.4. Definizione dell'onda di progetto.

Per la *progettazione delle strutture di difesa portuale*, la scelta del periodo di ritorno da associare all'altezza d'onda convenzionale di progetto, discende da considerazioni di carattere tecnico ed economico, legate alla durata minima di vita dell'opera, alla probabilità di danneggiamento, alla gravità del danno ed alla possibilità di porvi rimedio, al rischio di superamento di tale altezza ritenuto ammissibile in relazione all'importanza dell'opera ed alla salvaguardia della vita umana.

La combinazione della vita media dell'opera T_v e della probabilità di danneggiamento, ovvero della probabilità di superamento relativa alle condizioni di progetto, $Q(H_{Tr})$, determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto:

$$T_R = \frac{T_v}{-\ln[1 - Q(H_{Tr})]}$$

In accordo con le "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" edite dal Ministero dei lavori pubblici e dal CNR, ipotizzando che l'opera da realizzare sia un'infrastruttura di tipo specifico, ed assegnandole un livello di sicurezza pari a 1 si stima per essa una vita media $T_v = 15$ anni.

Le opere a gettata di massi, in considerazione della loro agevole riparabilità in caso di dissesto, sono progettate sulla base di altezze d'onda di progetto corrispondenti ad un danneggiamento incipiente e si verificano con altezze d'onda corrispondenti alla distruzione totale.

Per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto, ipotizzando un rischio limitato di perdita di vite umane e una ripercussione economica media, si ottiene, utilizzando la formula precedentemente indicata, un valore del periodo di ritorno $T_R=42$ anni.

Tuttavia, considerazioni legate alle inevitabili incertezze nella determinazione delle caratteristiche ondose, della loro propagazione e del comportamento delle strutture, suggeriscono di incrementare leggermente il valore del periodo di ritorno. Si assume, pertanto, per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto, a vantaggio di sicurezza, $T_R=50$ anni.



Per la verifica a distruzione totale occorre valutare l'altezza d'onda corrispondente a tale circostanza, il cui periodo di ritorno, calcolato sulla base delle precedenti formulazioni ed assumendo gli stessi parametri utilizzati in precedenza, risulta essere $T_R=92$ anni. A vantaggio di sicurezza si assume pertanto $T_R=100$ anni.

Per ciò che concerne, poi, *la verifica dell'agibilità dello specchio acqueo* portuale sia nei riguardi delle condizioni operative limite sia delle condizioni estreme, sono state prese a riferimento, in accordo con gli standard tecnici e con le linee guida regionali le condizioni ondose aventi periodo di ritorno di 5 e 50 anni.

I risultati della statistica degli eventi estremi relativi ad un periodo di ritorno di 100 anni sono riportati nella tabelle 5 e 6, in cui sono riportate le caratteristiche di largo in funzione della direzione di provenienza.

I risultati della statistica degli eventi estremi relativi al periodo di ritorno di 50 anni sono riportati nella tabelle 7 e 8.

Gli eventi estremi con periodo di ritorno 5 anni sono invece riportati nelle tabelle 9 e 10.

Dall'esame dei risultati, si nota che, in entrambi i paraggi individuati EST ed OVEST, le onde di altezza maggiore sono quelle provenienti dalle direzioni di Libeccio e di Maestrale (settore $210^\circ\text{N} - 310^\circ\text{N}$), come avviene tipicamente nei siti costieri del Tirreno Meridionale.

La direzione dalla quale provengono le onde più gravose è la 290°N , con una altezza d'onda significativa che raggiunge i 6.96 m per il periodo di ritorno di 100 anni, i 6.57 m per il periodo di ritorno di 50 anni e i 5.21 m per il periodo di ritorno di 5 anni.

3.5. Trasferimento del moto ondoso sottocosta

Le caratteristiche del moto ondoso di largo, indicate nei paragrafi precedenti, sia come matrice climatica media che come onde significative della mareggiata di progetto per assegnato periodo di ritorno sono state propagate sotto costa per ogni settore direzionale, consentendo la determinazione delle caratteristiche fisiche ed energetiche in corrispondenza delle aree di interesse per i calcoli dimensionali dell'intervento.

Per ottenere tale risultato è stato necessario utilizzare due distinti modelli matematici per simulare al meglio i complessi e diversi fenomeni che hanno luogo durante la propagazione del moto ondoso da largo fino all'area di interesse.



Il primo strumento di calcolo utilizzato è un modello numerico spettrale che è particolarmente indicato per studiare lo sviluppo, la propagazione ed il decadimento del moto ondoso irregolare in aree costiere per effetto della riduzione del fondale.

Tale modello non consente però di valutare gli effetti diffrattivi indotti sul campo di moto da ostacoli puntuali quali promontori, moli frangiflutti etc..

Ragion per cui ci si è limitati ad utilizzarlo per lo studio dei fenomeni di rifrazione del moto ondoso fino alla batimetrica di profondità -12m che risulta sufficientemente prossima al porto in esame, ma che nello stesso tempo consente di trascurare gli effetti sul campo di moto della configurazione della linea di costa e della presenza di punti di discontinuità.

Per studiare l'insieme dei fenomeni di rifrazione, diffrazione e frangimento dalla batimetrica -12m sino alla riva si è utilizzato un modello matematico particolarmente indicato per la simulazione di tali fenomeni, basato sulla *mild slope equation*.

Preliminarmente all'applicazione dei modelli di propagazione, è stato necessario individuare la batimetria di dettaglio nel tratto di mare antistante l'area in esame, che costituisce il primo dato di input di entrambi i modelli matematici utilizzati.

Per le profondità più elevate, da largo fino alla batimetrica -12m, è stata utilizzata la Carta Nautica "Canali di Ischia e Procida", in scala 1:25.000, edita dall'Istituto Idrografico della Marina Militare.

Per le profondità minori, i dati batimetrici desumibili dalla cartografia esistente sono stati integrati con quelli dei rilievi effettuati nell'ambito della convenzione stipulata.

Le batimetrie utilizzate per le simulazioni sono indicate nella Fig. 14.

In considerazione dell'ampia esposizione al moto ondoso dell'area da studiare, è stato necessario approntare due distinte griglie di calcolo, una per il settore OVEST, per la propagazione delle ondate con direzioni di provenienza comprese tra 250 e 320°N ed una per il settore EST, per la propagazione delle ondate con direzioni di provenienza comprese tra 110 e 180°N

Con il modello di rifrazione spettrale si è proceduto, quindi sia alla ricostruzione del clima meteomarinico sottocosta, che al trasferimento delle onde estreme di periodo di ritorno $T_R = 100$ anni, $T_R = 50$ anni e $T_R = 5$ anni, sulla batimetrica di profondità $h = -12m$.

Per entrambi i settori EST ed OVEST le onde estreme con periodo di ritorno $T_R = 100$ anni, $T_R = 50$ anni e $T_R = 5$ anni trasferite sottocosta sono indicate nelle tabelle 11, 12 e 13.



Successivamente si sono selezionate le onde estreme di maggior interesse per lo studio e l'analisi delle configurazioni proposte del layout del bacino portuale in località Acquamorta e si è proceduto a studiare la loro evoluzione attraverso l'impiego del secondo modello estraendo i valori di altezza e di direzione del moto ondoso in corrispondenza delle opere di protezione del bacino portuale.

3.5.1. Descrizione del modello utilizzato per il trasferimento del moto ondoso da largo alla batimetrica $h = -12$ m.

Nel presente studio è stato utilizzato un modello numerico spettrale che descrive lo sviluppo, la propagazione e il decadimento delle onde in aree costiere basate sulle equazioni sviluppate da Holtuijsen, Booij ed Herbers, che esprimono la conservazione dell'energia:

$$\frac{\partial}{\partial x}(c_{gx} \cdot m_0) + \frac{\partial}{\partial y}(c_{gy} \cdot m_0) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_{\theta} \cdot m_0) = T_0$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(c_{gx} \cdot m_1) + \frac{\partial}{\partial y}(c_{gy} \cdot m_1) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_{\theta} \cdot m_1) = T_1$$

dove θ indica la direzione di propagazione dell'onda e x, y sono due assi cartesiani. In tali equazioni i termini m_0 e m_1 rappresentano i momenti di ordine 0 e 1 dello spettro di energia dell'onda.

In linea generale indicando con $A(\omega, \theta)$ la funzione che descrive lo spettro, il momento di ordine n è definito dall'integrale:

$$m_n(\theta) = \int_0^{\infty} \omega^n A(\omega, \theta) d\omega$$

in cui ω è la frequenza dell'onda.

I termini C_{gx} e C_{gy} sono le componenti lungo gli assi della celerità di gruppo, mentre C_{θ} esprime la celerità dell'onda; tali grandezze sono calcolate utilizzando la teoria lineare.

Il primo membro delle equazioni di conservazione dell'energia tiene conto degli effetti della rifrazione e dello shoaling. I termini sorgente T_0 e T_1 considerano gli effetti del vento, dell'attrito al fondo, delle correnti e del frangimento.

L'energia del moto ondoso si distribuisce lungo varie direzioni all'interno di un settore centrato rispetto alla direzione media di propagazione.

Indicando con E_0 l'energia associata allo spettro:

$$E_0 = \frac{H_{m0}^2}{16}$$



la parte di energia che si distribuisce lungo la generica direzione θ è espressa in funzione dell'angolo rispetto alla direzione media di propagazione:

$$E(\theta) = E_0 \cdot D(\theta)$$

La funzione $D(\theta)$ viene detta funzione di dispersione direzionale, ed assume, per le onde di vento, una espressione caratteristica:

$$D(\theta) = \beta \cdot \cos^n(\theta - \theta_m)$$

L'esponente n (indice di dispersione o indice di spreading) determina la maggiore o minore concentrazione dell'energia attorno alla direzione media del moto ondoso d'insieme.

Il termine β è un coefficiente di normalizzazione, funzione di n , che garantisce la condizione:

$$\int_0^{2\pi} D(\theta) d\theta = 1$$

A valori di n elevati corrispondono spettri direzionali molto stretti e appuntiti che tendono a condizioni di stato di mare unidirezionale per $n \rightarrow \infty$.

Nei calcoli effettuati, sulla base di quanto dedotto dall'analisi dei dati della Rete Ondametrica Nazionale, si è posto $n=2$.

3.5.2. Caratteristiche del moto ondoso alla profondità $h=12$ m

Alcuni esempi delle simulazioni effettuate relativamente alle onde estreme con $T_R = 50$ anni, sono riportati, graficamente, nelle figure dalla 15 alla 22, per il settore EST, e dalla 24 alla 31, per il settore OVEST.

Nelle Figure 23 e 32 è riportato il clima medio annuo sottocosta sottoforma di diagramma polare dello stato di mare per i due settori studiati.

Si osserva come il settore di traversia, nella propagazione da largo verso costa, subisca, in entrambi casi, una notevole restrizione, per effetto della rotazione dei fronti d'onda, che tendono a disporsi parallelamente alla linea di riva. Tale rotazione, al diminuire della profondità, è accompagnata da una riduzione di altezza, che riduce il contenuto energetico dell'onda incidente.

Dal confronto dei predetti diagrammi polari risulta evidente che le ondatazioni più intense e maggiormente frequenti provengono dal 3° e 4° quadrante.



Nelle tabelle 14, 15 e 16 sono indicati i valori di altezza d'onda e di provenienza delle onde alla profondità -12 m per il settore EST mentre nelle tabelle 17,18 e 19 sono indicati i valori di altezza d'onda e di provenienza delle onde alla profondità -12 m per il settore OVEST, rispettivamente per i periodi di ritorno $T_R = 100$ anni, $T_R = 50$ anni e $T_R = 5$ anni.

3.5.3. Descrizione del modello utilizzato per il trasferimento del moto ondoso dalla batimetria -12 m sino alla riva.

La propagazione del moto ondoso nell'area d'interesse, dalla profondità $h=-12$ m sino alla scogliera di sopraflutto, è stata condotta utilizzando un modello matematico per la simulazione dei fenomeni di rifrazione, diffrazione e frangimento, basato sulla *mild slope equation*.

Con riferimento ad un sistema di assi cartesiani x,y,z , con l'asse z verticale avente origine sulla superficie di quiete ed orientato verso l'alto, l'equazione di base si scrive:

$$\vec{\nabla} \cdot (CC_G \vec{\nabla} \phi) + (k^2 CC_G + i\omega W) \cdot \phi = 0$$

Nell'equazione i simboli hanno il seguente significato:

C e C_G rappresentano la celerità e la celerità di gruppo dell'onda, e si possono valutare, come la lunghezza d'onda L , con riferimento alla teoria lineare, in funzione della profondità.

ω è la fase dell'onda, espressa in funzione del periodo T , pari a $2\pi/T$.

ϕ è il potenziale di superficie dell'onda, legato al potenziale di velocità Φ attraverso la relazione:

$$\Phi = \frac{g}{\omega} \cdot \phi \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh(kh)} \cdot e^{-i\omega t}$$

dove k è il numero d'onda $2\pi/L$, h la profondità del fondale e z il soprizzo della superficie libera rispetto al livello medio.

W rappresenta i termini dissipativi, in termini di densità di energia dell'onda:
 $W = E_{\text{diss}}/E$.

Nel caso in cui si identifica a priori una direzione prevalente di propagazione dell'onda, che per semplicità si considera coincidente con l'asse delle x , la *mild slope equation* assume, la forma semplificata:

$$\frac{\partial}{\partial x} CC_G \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} CC_G \frac{\partial \phi}{\partial y} + (k^2 CC_G + i\omega W) \cdot \phi = 0$$

che prende il nome di *parabolic mild slope equation*.



3.5.4. Caratteristiche del moto ondoso in prossimità dei moli frangiflutti.

Per ciascuna delle direzioni di provenienza del settore OVEST, le caratteristiche ondose alla profondità -12 m, associate ai periodi di ritorno $T_R = 100, 50, 5$ anni sono state trasferite in prossimità della struttura portuale allo scopo di individuare le corrispondenti grandezze di progetto.

Relativamente all'onda di progetto, di periodo di ritorno cinquantennale, dopo aver individuato la condizione meteomarina più gravosa ($H_{S0\ TR=50} = 6.57\text{m}$; $T_s = 11.02\text{ s}$; $DD_0 = 290^\circ\text{N}$), si è proceduto all'estrazione dei valori di altezza d'onda significativa lungo l'intero sviluppo della scogliera di sopraflutto con passo di 5 m a partire dall'origine del riferimento indicato in figura 33.

Nella tabella 20 e nella figura 34 sono indicati tali valori dell'altezza d'onda

Si osserva che tali valori di altezza d'onda di progetto variano da 2.56 m alla progressiva 0 sino ad un valore massimo di 3.80 m in corrispondenza dell'attuale testata. La direzione media di incidenza sulla struttura risulta essere di 272° N .

Nella tabella 21 e nella figura 35 sono indicati i valori dell'altezza d'onda lungo l'intero sviluppo della scogliera necessari alla verifica a distruzione totale.

Nell'area di probabile ubicazione della futura testata del molo di sopraflutto, (indicata in figura 36), si è proceduto ad estrarre, a vantaggio di sicurezza, i massimi valori di altezza d'onda significativa, per tutte le simulazioni effettuate (tabelle 22, 23, e 24).

Relativamente al periodo di ritorno $T_R=50$ anni la condizione ondosa più gravosa è risultata essere: $H_s = 4.00\text{ m}$; $T_s = 11.02\text{ s}$; $DD = 275^\circ\text{ N}$.



4. STUDIO DEL LAYOUT PORTUALE.

Sono state esaminate, preliminarmente, le configurazioni portuali, fornite dall'Amministrazione Comunale previste nel progetto di "*Messa in sicurezza delle strutture portuali di "Acquamorta" a Monte di Procida (NA) con interventi sui moli di sopraflutto e sottoflutto*" (soluzione1) e nello studio di fattibilità "*Riqualficazione del Porto Turistico di Acquamorta*" effettuato per conto del Comune (soluzione 2).

Entrambi i layout studiati hanno evidenziato alcuni limiti: la soluzione 1 nei riguardi della protezione dalle mareggiate provenienti da Ponente e la soluzione 2 nei riguardi dell'accessibilità al porto e dell'efficienza del bacino di manovra. Per tale motivo sono state concordate con i tecnici dell'Amministrazione e analizzate ulteriori configurazioni portuali.

Complessivamente, quindi, sono stati studiati otto differenti layout portuali indicati nelle figure 38,43,48,53,58,63, 68 e 73.

Al fine di verificare l'efficienza di ciascuna delle suddette configurazioni è stato eseguito uno studio di agitazione ondosa all'interno del bacino portuale mediante l'utilizzo di un idoneo modello numerico che consente di portare in conto le modifiche del moto ondoso incidente conseguenti ai processi di shoaling, rifrazione, diffrazione, frangimento, attrito sul fondale e alla riflessioni parziali sulle strutture esistenti e/o alla trasmissione attraverso strutture porose.

Per poter simulare correttamente la penetrazione delle agitazioni ondose provenienti sia dal quadrante di scirocco (Sud-Est) che di maestrale (Nord-Ovest) si è reso necessario individuare due distinti reticoli di calcolo.

Il rilievo batimetrico dell'area d'interesse è indicato nella figura 37.

Le linee ad uguale profondità sono state rilevate con passo di 0.25 m, dalla batimetrica a -12.00 m sino alla batimetrica a 0.00 m.

Con il modello di simulazione sono state esaminate le condizioni di moto ondoso che si instaurano sia nell'area di imboccatura del porto e nell'avanporto e sia nelle aree più interne al marina laddove, cioè , si intende installare le strutture di ormeggio.

4.1. Modello utilizzato.

Il modello matematico di simulazione utilizzato per lo studio dell'agitazione interna è basato sulla soluzione della "Elliptic Mild Slope Wave Equation" originariamente derivata da Berkoff nel 1972.



Tale modello include gli effetti dello shoaling, della rifrazione, della diffrazione, del frangimento dell'onda e dell'attrito del fondale, nella propagazione del moto ondoso.

Sono inoltre tenute in conto, riflessioni parziali da parte delle strutture esistenti e/o trasmissione attraverso strutture porose.

L'equazione alla base del modello nella sua forma generale è :

$$\nabla(c \cdot c_g \nabla \cdot \zeta) - \frac{c_g}{c} \cdot \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t} = 0$$

dove c e c_g sono rispettivamente la celerità dell'onda e la celerità di gruppo e ζ è l'elevazione della superficie del mare.

Introducendo i pseudo flussi P^* e Q^* tale equazione può essere riscritta come un sistema di equazioni differenziali del primo ordine :

$$\frac{c_g}{c} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P^*}{\partial x} + \frac{\partial Q^*}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} + c \cdot c_g \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} + c \cdot c_g \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0$$

La soluzione di questo sistema può essere espressa come :

$$\zeta = S(x, y, t)e^{i\omega t}$$

$$P^* = P(x, y, t)e^{i\omega t}$$

$$Q^* = Q(x, y, t)e^{i\omega t}$$

I valori di S , P e Q sono poi ottenuti con successive iterazioni sino al raggiungimento di uno stato stazionario.

Questo porta alle equazioni seguenti che sono generalizzate per includere la generazione interna delle onde, eventuali assorbitori dove necessari riflessione o trasmissione ad opera di strutture, attrito al fondo e frangimento :

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial S}{\partial t} + \lambda_2 \cdot S + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = S_{generazione}$$

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \lambda_3 P + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial x} = 0$$

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} + \lambda_3 Q + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial y} = 0$$

dove



$$\lambda_1 = \frac{c_g}{c}$$

$$\lambda_2 = i \cdot \frac{c_g}{c} \cdot \varpi + f_s$$

$$\lambda_3 = (i + f_p) \cdot \frac{c_g}{c} \cdot \varpi + f_s + e_f + e_b$$

In tali equazioni i simboli hanno i seguenti significati :

ζ : elevazione della superficie del mare

P^* : pseudo densità di flusso nella direzione x

Q^* : pseudo densità di flusso nella direzione y

S, P, Q funzioni complesse

ω frequenza angolare

i: unità immaginaria

f_p : coefficiente di attrito dovuto alla porosità

f_s : coefficiente di perdita di energia dovuto agli assorbitori

e_f : dissipazione di energia dovuta all'attrito al fondo

e_b : dissipazione di energia dovuta al frangimento

Il modello risolve le equazioni differenziali con una discretizzazione spaziale su una griglia rettangolare operando una serie di iterazioni sino al raggiungimento di uno stato stazionario.

Coefficienti di riflessione

I coefficienti di riflessione delle opere perimetrali dello specchio d'acqua, adottati nel modello di penetrazione, sono stati fissati in base all'esperienza e alle indicazioni comunemente riportate nella letteratura tecnica.

Per quanto concerne le opere a gettata relative alle mantellate del molo foraneo e delle strutture a scogliera esistenti sono stati considerati dei coefficienti di riflessione del 40%.

Le pareti di banchina, invece, sono state considerate con un potere riflettente pari al 90% dell'onda incidente essendo di tipo verticale; mentre in corrispondenza del tratto di costa basso e laddove sono presenti delle spiagge si e' previsto un coefficiente di riflessione pari al 20% per considerare l'effetto assorbente delle stesse.



Una indicazione più dettagliata dei coefficienti di riflessione adottati è ricavabile dalle planimetrie delle figure 38,43,48,53,58,63, 68 e 73.

4.2. Condizioni ondose utilizzate per lo studio dell'agitazione interna.

Per la verifica del bacino portuale sono state selezionate le più gravose condizioni meteomarine tra quelle individuate nello studio riportato nel precedente capitolo.

Per verificare l'agibilità ed il comfort all'ormeggio del layout portuale ci si è riferiti all'Allegato 4 delle "Linee programmatiche per lo Sviluppo del Sistema Integrato della Portualità Turistica" della Regione Campania in cui sono indicati i requisiti tecnici minimi di sicurezza all'ormeggio.

Tale documento prescrive la verifica del "marina" sia nei riguardi delle condizioni operative limite che delle condizioni estreme.

Per condizioni operative limite si intendono quelle che, se superate, producono perdita di funzionalità delle opere, usura accelerate delle attrezzature e probabile necessità di manutenzione. Il loro superamento saltuario non comporta pregiudizio per la resistenza dell'opera (di norma si assume che annualmente tali limiti di agitazione possano essere superati per un periodo complessivo di pochi giorni).

Le condizioni estreme di sollecitazione sono quelle che se superate anche una sola volta nel periodo di vita dell'opera provocano danni irreparabili alle strutture.

Per la verifica alle condizioni limite di operatività si sono calcolate le agitazioni residue delle ondate con periodo di ritorno $T_R=5$ anni in relazione al limite di operatività consigliato dalle predette linee programmatiche della regione Campania che, per l'altezza d'onda significativa residua, nel caso di periodi d'onda superiori a 2 sec, suggeriscono un valore inferiore o al più uguale a 0.30 m.

Nella verifica per le condizioni estreme si sono calcolate, invece, le agitazioni residue delle ondate con periodo di ritorno $T_R =50$ anni, per le quali è suggerito un valore dell'altezza d'onda significativa residua, nel caso di periodi d'onda superiori a 2 sec, inferiore o al più uguale a 0.50 m.

Le caratteristiche ondose utilizzate per la verifica di tutti i Layout del bacino portuale proposti sono:

per $T_R =50$ anni

DD 275°N ; H=4.00 m ; T=11.02 s

DD 161°N ; H=1.70 m ; T=6.96 s



per $T_R = 5$ anni

DD 275°N ; H=3.69 m ; T=9.81 s

DD 161°N ; H=1.36 m ; T=6.18 s

Tali direzioni di provenienza e valori di altezza d'onda e periodo, sono stati considerati rappresentative sia dell'intero campione di condizioni estreme che possono interessare l'area di studio sia delle condizioni più sfavorevoli relative al prefissato periodo di ritorno.

4.3. Risultati dello studio

I risultati dello studio sono espressi in termini di coefficiente di agitazione rilevato all'interno del bacino portuale. Tale coefficiente esprime il rapporto tra l'altezza d'onda riscontrata in tutti i punti interni al bacino portuale e l'altezza d'onda incidente riscontrata all'esterno del porto.

I risultati del modello sono stati rappresentati in forma grafica e riportati in allegato.

Soluzione 1

La soluzione 1 (figura 38), è caratterizzata da un prolungamento del molo di sopraflutto di circa 70m a partire dalla parte terminale dell'attuale parte emersa e da un prolungamento del sottoflutto che garantisce un'imboccatura di circa 70m.

Per tale soluzione i risultati del modello sono rappresentati nelle figure da 39 a 42.

Dai risultati si evince che tale lunghezza della scogliera di sopraflutto non garantisce un'adeguata protezione nella zona d'ingresso per le ondate provenienti da Ponente, con valori residui di agitazione di circa il 10-20% dell'onda incidente sia per periodo di ritorno cinquantennale che quinquennale. In prossimità delle banchine l'agitazione residua da origine ad altezze d'onda dell'ordine di 0.28 m per $T_R = 50$ anni.

Per quanto riguarda invece le ondate provenienti da sud/est l'agitazione residua è ancora maggiore con valori di altezza d'onda che all'imboccatura raggiungono valori di 0.54m per $T_R = 50$ anni e 0.42m per $T_R = 5$ anni. Nella parte terminale del bacino portuale, infine, al termine del molo di sopraflutto si riscontrano coefficienti di agitazione dell'ordine del 20% sia per $T_R = 50$ anni che per $T_R = 5$ anni.

Soluzione 2

La soluzione 2 (figura 43), è caratterizzata dal molo di sopraflutto che viene arcuato nella sua parte terminale con un raggio di curvatura di circa 140 m sino a garantire



una distanza dal molo di sottoflutto di circa 110 m ed una imboccatura che resta di 70 m. La scogliera è sempre non tracimabile con muro paraonde.

Per tale soluzione i risultati del modello sono rappresentati nelle figure da 44 a 47.

Dai risultati si evince che tale layout riesce a garantire, rispetto alla soluzione precedente, una protezione migliore dalle onde provenienti dal settore ovest sia per periodo di ritorno $T_R = 50$ anni che per periodo di ritorno $T_R = 5$ anni. Le altezze d'onda che si riscontrano sia nel primo caso che nel secondo caso infatti sono inferiori al 3% dell'onda incidente in tutto il bacino.

Tale soluzione si comporta meglio della precedente nei riguardi delle onde provenienti dal settore di sud-est. Come si ricava dalle figure 44 e 45 infatti i valori di agitazione all'interno del bacino risultano inferiori rispetto a quelli della soluzione precedente.

I valori di altezza d'onda però risultano ancora elevati nei pressi dell'imboccatura e in più nell'area di manovra dell'avanporto tali valori risultano eccessivi per garantire una buona manovrabilità, con valori anche del 50% dell'altezza d'onda incidente.

Soluzione 3

La soluzione 3 (figura 48) nasce dal naturale proseguimento dell'attuale scogliera di sopraflutto, che dalla testata attuale è prolungata per circa 130 m, utilizzando ancora una scogliera non tracimabile dotata di muro paraonde. Per la scogliera di sottoflutto è previsto un rifiorimento sino a creare un canale di accesso al porto di circa 70m.

Per tale soluzione i risultati del modello sono rappresentati nelle figure da 49 a 52.

Dai risultati si evince che tale layout riesce a garantire una buona protezione dalle onde provenienti dal settore ovest sia per periodo di ritorno $T_R = 50$ anni che per periodo di ritorno $T_R = 5$ anni. Infatti, le altezze d'onda che si riscontrano nel primo caso sono sempre inferiori a 0.2 m in tutto il bacino e nel secondo caso sempre inferiori a 0.12 cm.

Tale soluzione però non garantisce la stessa protezione per le onde provenienti dal settore di sud-est. Come si ricava dalle figure 49 e 50 infatti i valori di agitazione all'interno del bacino risultano abbastanza alti. Per entrambi i periodi di ritorno infatti tutta la parte iniziale del bacino per un totale di circa il 60% della sua estensione è interessato da altezze d'onda variabili tra il 40% ed il 15% dell'altezza d'onda incidente.



Tali valori non soddisfano i limiti di agitazione prima descritti.

Soluzione 4

La soluzione 4 (figura 53) è stata realizzata per cercare di restringere l'area d'ingresso per le onde dei settori sud-orientali, cercando nel contempo di orientare la parti terminali del molo di sopraflutto verso l'isola di Procida con una rotazione di circa 5°, per sfruttare la protezione derivante dalla vicinanza dell'isola e arcuando il molo di sottoflutto a protezione dell'avanporto. La tipologia delle scogliere è la stessa delle soluzioni precedenti.

Per tale soluzione i risultati del modello sono rappresentati nelle figure da 54 a 57.

Dai risultati si evince che tale layout non garantisce comunque una ottimale protezione dalle onde di ponente data la minore estensione della scogliera di sopraflutto.

Sia per periodo di ritorno $T_R = 50$ anni che per periodo di ritorno $T_R = 5$ anni le altezze d'onda che si riscontrano sia nel primo caso che nel secondo caso infatti risultano variabili tra il 10% all'imboccatura e il 3% dell'onda incidente per buona parte del bacino interno.

Per le onde di scirocco la sola rotazione della testata di sottoflutto non riesce ad attenuare l'agitazione all'interno del porto rispetto alle soluzioni precedenti.

I valori di altezza d'onda però risultano ancora elevati nei pressi dell'imboccatura e in più nell'area di manovra dell'avanporto tali valori risultano ancora eccessivi per garantire una buona manovrabilità, con valori ancora del 50% dell'altezza d'onda incidente.

Soluzione 5

Per tentare di soddisfare i limiti di agitazione prescritti dalle linee guida limitando nel contempo i costi dell'intervento si è ipotizzato di proteggere l'imboccatura portuale per mezzo di due moli convergenti trascinabili (figura 58). Al fine di garantire la sicurezza alla navigazione nell'avamposto anche in condizioni di tempesta, la larghezza del bacino è stata ipotizzato di ampiezza pari a 7 volte la larghezza dell'imbarcazione più grande. L'imboccatura è stata ridotta a 50 m per ridurre la propagazione all'interno del porto.

Per tale soluzione i risultati del modello sono rappresentati nelle figure da 59 a 62.

I risultati mostrano che i valori di agitazione all'interno del porto, in prossimità degli ormeggi, pur restando al di sotto dei limiti di sicurezza mostrano valori in media maggiori, imputabile ad una maggiore penetrazione del moto ondoso attraverso l'imboccatura.



Gli stessi risultati sono riscontrabili per le onde del settore di sud-est. In questo caso si notano valori di altezza d'onda variabili tra il 30% ed il 20% dell'onda incidente per tutta l'area a ridosso del molo di sopraflutto.

Le soluzioni proposte nel seguito sono state realizzate con l'intento di conservare la tipologia di scogliere tracimabili riducendo l'agitazione all'interno del bacino.

Soluzione 6

La soluzione 6 (figura 63) è identica alla soluzione 5 fatta eccezione per una scogliera trasversale radicata alla fine della parte arcuata del molo di sopraflutto. Tale scogliera è stata ipotizzata per ridurre le agitazioni all'interno dell'area portuale.

Per tale soluzione i risultati del modello sono rappresentati nelle figure da 64 a 67.

Sia per le onde di ponente che per le onde di scirocco tale soluzione si dimostra essere efficace nel ridurre l'agitazione all'interno del bacino a ridosso del molo di sopraflutto. Anche l'agitazione all'interno del bacino di manovra raggiunge valori accettabili per le onde del settore ovest.

Si riscontra solo un lieve attenuazione delle altezze d'onda nella parte centrale ed orientale del bacino.

Soluzione 7

La soluzione 7 (figura 68) è caratterizzata da una rotazione dell'asse di entrate dell'imboccatura per avere un ingresso più protetto e dalla realizzazione di bacino di manovra più ampio ricavato con due scogliere radicate trasversalmente e raccordate ai moli di sopraflutto e sottoflutto.

L'imboccatura dell'avanporto è di 60 m mentre l'ingresso dell' bacino interno è di 75 m.

Per tale soluzione i risultati del modello sono rappresentati nelle figure da 69 a 72.

Per le onde di scirocco rispetto alla soluzione precedente vi è una traslazione dell'area a maggiore agitazione più verso la scogliera di sopraflutto, con valori del coefficiente di agitazione che restano pressoché invariati.

Per le onde di scirocco è invece evidente il miglioramento in termini di protezione con ampie aree del bacino in cui si riscontrano valori del coefficiente di agitazione inferiore a 3% sia per onde con periodo di ritorno di 50 che di 5 anni.

Soluzione 8

La soluzione 8 (figura 73) è invece caratterizzata da un'unica scogliera trasversale raccordata al molo di sottoflutto con ingresso nella parte interna di ancora 75 m.



Per tale soluzione i risultati del modello sono rappresentati nelle figure da 74 a 77.

Tale soluzione per le onde di scirocco permette di avere un'ampia area del bacino con valori di altezza d'onda pari al 3% dell'onda incidente e la parte a ridosso del molo di sopraflutto con valori del coefficiente di agitazione che variano tra 0.25 a 0.1.

Per le onde del settore ovest già con le onde cinquantennali risulta evidente l'elevata attenuazione dell'altezza d'onda che tale soluzione garantisce.

In conclusione, nell'ambito degli studi effettuati, la soluzione 8 è risultata la più soddisfacente nei riguardi sia della riduzione della agitazione ondosa residua sia delle condizioni di accessibilità al porto.

Infatti, nell'avamposto i valori di altezza d'onda riscontrati sono inferiori ai 0.4 m in presenza delle ondate estreme.

All'interno dell'area portuale sono garantite le condizioni limite di operatività per le onde con periodo di ritorno cinquantennale, infatti, le altezze d'onda risultano inferiori ai 0.3 m, fatta eccezione per la parte più esterna prossima all'imboccatura per le onde incidenti da sud-est.

Anche le condizioni estreme sono verificate con valori di altezza d'onda inferiori al valore limite di 0.4 m in tutto il bacino portuale e, precisamente, con valori variabili tra 0.2 e 0.15 m per le onde di ponente più frequenti e valori intorno ai 0.4m a ridosso del molo di sopraflutto per quelle di ????

Inoltre l'ipotesi di utilizzare a protezione del bacino due scogliere convergenti trascinabili oltre a migliorare le condizioni di navigabilità e di agitazione avrebbe il vantaggio di contenere i costi di realizzazione dell'intervento.



5. EFFETTI DELLE NUOVE OPERE SULL'EQUILIBRIO DEL LITORALE.

5.1. Considerazioni preliminari

Allo scopo di definire il regime delle correnti nell'area d'interesse e di valutare l'influenza del nuovo layout proposto per il bacino portuale di Acquamorta (Soluzione 1), sono state condotte delle simulazioni utilizzando un apposito modello matematico bidimensionale di tipo 2DH (*2-Dimensional Horizontal*).

Preliminarmente all'utilizzo di tale modello è stato necessario, a partire dal clima meteomarinico mediamente incidente sul paraggio, definito in precedenza sulla batimetrica $h=-12\text{m}$ nell'analisi meteomarina, andare a valutare l'onda di modellazione, od onda morfologica per ogni settore direzionale di provenienza del moto ondoso.

Successivamente, si è simulata la generazione delle correnti litoranee dovute alla presenza di tali onde di modellazione; a tal fine, è stata dapprima effettuata la propagazione delle onde fino al frangimento, e successivamente sono state valutate le componenti di velocità delle correnti.

Tale simulazione è stata inizialmente condotta per verificare la presenza o meno di tali correnti di circolazione con la configurazione attuale del porto.

Successivamente è stata verificata l'influenza del nuovo porto su tale regime di correnti.

5.2. Stima delle onde di modellazione

Per ciascuno dei settori direzionali di provenienza del moto ondoso individuati, è stata calcolata un'onda rappresentativa delle condizioni climatiche medie su base annua, con riferimento alle grandezze del moto ondoso che maggiormente influenzano la dinamica del litorale.

Tali grandezze sono rappresentate dal flusso di energia (che è direttamente legato alla capacità dell'onda di trasportare i sedimenti) e dalla ripidità (che influenza le condizioni di frangimento).

Indicando con H e T l'altezza e il periodo di un'onda, il flusso di energia è proporzionale al prodotto $H^2 \cdot T$, mentre la ripidità è proporzionale al rapporto $\frac{H}{T^2}$.



Si definisce *onda di modellazione*, od *onda morfologica*, l'onda avente altezza H_e e periodo T_e che soddisfano il seguente sistema:

$$\begin{cases} H_e^2 \cdot T_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2 \cdot T_i \\ \frac{H_e}{T_e^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{T_i^2} \end{cases}$$

in cui N è il numero di eventi di moto ondoso relativi alla settore direzionale per cui si effettua il calcolo.

Dal calcolo sono state escluse tutte le onde appartenenti alla classe di altezza <0.5 m, ritenendo trascurabile, a causa del basso contenuto energetico, il loro effetto sui fenomeni di dinamica del litorale.

Le “onde di modellazione” o “onde morfologiche” possono essere riguardate come “onde fittizie”, rappresentative degli effetti del clima ondoso del paraggio sulla dinamica sedimentaria, nel senso che gli effetti da esse indotte sul litorale possono ritenersi equivalenti a quelle indotte da tutte le onde che interessano il litorale stesso. Tali onde vengono, pertanto, usualmente utilizzate nello studio dell'evoluzione a lungo termine della morfologia costiera.

Alle onde di modellazione viene associata la direzione pari alla risultante del flusso di energia del relativo settore direzionale.

Dai calcoli effettuati, sono state ricavate, pertanto, per ciascun settore le seguenti caratteristiche ondose (onde di modellazione) :

- settore ovest : H=1.20 m, T=4.72 s, direzione 275.22 °N
- settore sud-est : H=0.63 m, T=3.42 s, direzione 158.53 °N

Si osserva che le onde provenienti dal settore sud-est, oltre ad essere meno frequenti, presentano anche un contenuto energetico più basso rispetto al settore ovest , il che lascia supporre una loro influenza minore sul regime del trasporto litoraneo.

5.3. Modello di simulazione delle correnti di circolazione costiera

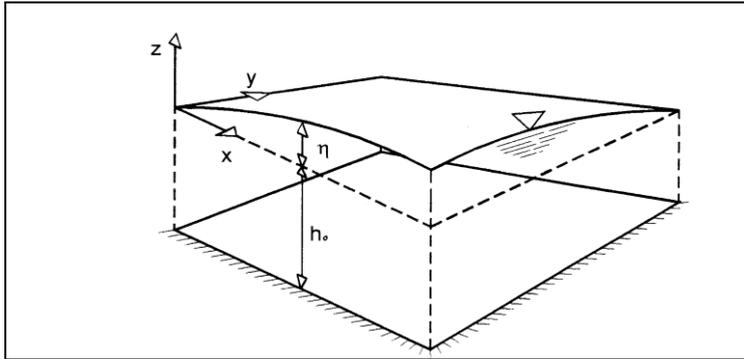
Le correnti di circolazione costiera originate dal moto ondoso sono state simulate utilizzando un modello bidimensionale di tipo 2DH (*2-Dimensional Horizontal*), in cui le equazioni di continuità e del moto sono integrate lungo la verticale.

Tale approccio è utilizzabile nell'ipotesi di *shallow water*, che si basa sulle seguenti assunzioni:



- La componente verticale di velocità è piccola rispetto alle componenti orizzontali
- I gradienti delle componenti orizzontali di velocità sono trascurabili

L'ipotesi di *shallow water*, come si può intuire dal suo significato letterale, ha senso quando si studia l'idrodinamica di un dominio in cui le dimensioni orizzontali prevalgono di gran lunga sulla dimensione verticale.



Tale ipotesi è senza dubbio verificata negli specchi d'acqua costieri, in cui le dimensioni orizzontali sono dell'ordine dei chilometri, a fronte di profondità dell'ordine dei metri, o, al più, delle decine di metri.

In un riferimento cartesiano con assi x , y orizzontali e z verticale le equazioni del modello idrodinamico, scritte in forma conservativa, sono le seguenti:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) + g \cdot h \frac{\partial \eta}{\partial x} + g \cdot P \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{C^2 \cdot h^2} + \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) + g \cdot h \frac{\partial \eta}{\partial y} + g \cdot Q \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{C^2 \cdot h^2} + \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) = 0 \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \end{cases}$$

Le prime due equazioni si ottengono mediando lungo la verticale le equazioni del moto lungo gli assi x ed y . La terza equazione rappresenta l'equazione di continuità per un fluido incompressibile, mediata lungo la verticale.

Nel sistema le grandezze presenti hanno il seguente significato:

$P(x,y,z,t)$ e $Q(x,y,z,t)$ sono i flussi idrici lungo gli assi x , y pari, rispettivamente, ai prodotti $U \cdot h$ e $V \cdot h$, essendo U e V le componenti del vettore velocità, lungo x e y , mediate lungo la verticale.

$\eta(x,y,t)$ rappresenta l'innalzamento, del pelo libero rispetto alla superficie di riposo, che, nel caso in esame, coincide con il livello medio mare.

$h(x,y,t)$ è il tirante idrico totale, somma della profondità media e del sovrizzo istantaneo, secondo la formula: $h(x,y,t) = h_0(x,y) + \eta(x,y,t)$.

C è il coefficiente di resistenza di Chezy.

S_{xx} , S_{xy} , S_{yy} sono le componenti dei radiation stress, dovuti alla presenza del moto ondoso, e rappresentano, nelle equazioni del moto, i termini *sorgente* che originano il campo idrodinamico.

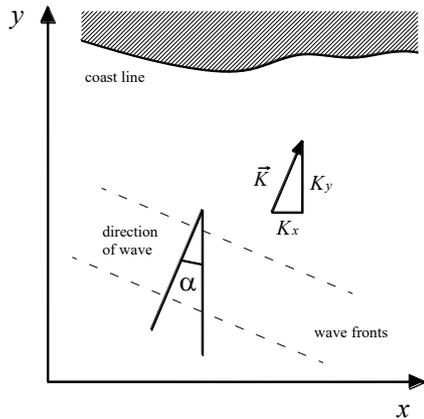
I *radiation stress* sono sforzi tangenziali associati al trasporto di massa provocato dal moto ondoso. Essi rappresentano gli incrementi medi temporali in un intervallo pari a un periodo ondoso, della pressione agente sulle superfici laterali una colonna d'acqua avente base unitaria e altezza pari al tirante idrico.

In profondità illimitata i *radiation stress* sono nulli (moto ondoso puramente oscillatorio); essi crescono alle basse profondità e divengono particolarmente intensi nella *surf zone*, cioè nel tratto di mare compreso tra la linea dei frangenti e la linea di riva.

Nelle equazioni del campo idrodinamico i termini di *radiation stress* esprimono la presenza del moto ondoso. Questo significa che, essendo l'onda presente solo attraverso grandezze che sono mediate nel periodo, il modello non considera la componente oscillatoria del moto ondoso. Ciò è coerente con gli obiettivi del presente studio.

Per la valutazione dei termini di *radiation stress* si utilizza la teoria di Stokes al II ordine di approssimazione. Lo schema di propagazione del moto ondoso è illustrato nella figura seguente.





Le espressioni dei termini di *radiation stress* sono le seguenti:

$$S_{xx} = \frac{1}{2}EG + \frac{1}{2}E(1+G)\cos^2 \alpha$$

$$S_{xy} = \frac{1}{2}E(1+G)\cos \alpha \sin \alpha$$

$$S_{yy} = \frac{1}{2}E(1+G)\sin^2 \alpha$$

in cui: $E = \frac{1}{8} \rho g H^2$ e $G = \frac{2Kh_0}{\sinh(2Kh_0)}$

5.4. I risultati del modello di simulazione delle correnti

Per ciascuna delle onde rappresentative dei settori direzionali individuati precedentemente, è stato ricavato l'andamento delle correnti litoranee relativamente allo stato attuale e nel caso della soluzione progettuale 1.

Per lo stato attuale i risultati, rappresentati in forma grafica vettoriale, sono illustrati nelle figure 78 e 79.

Dall'esame dei risultati si possono trarre le seguenti considerazioni:

Le onde provenienti dal settore sud-est danno luogo a correnti che, lungo tutto il litorale, sono dirette verso Nord. Tali correnti presentano le maggiori velocità in prossimità della radice del molo di sottoflutto ma poi subito si attenuano verso l'imboccatura del porto.

Per effetto della presenza del molo di sopraflutto non si riscontrano apprezzabili correnti nella parte settentrionale.

Le onde provenienti dal settore ovest originano correnti di circolazione dirette verso la costa nella parte settentrionale del litorale, e correnti più elevate nella parte meridionale in corrispondenza della radice del molo di sopraflutto dove si evidenzia una zona di maggiori gradienti di velocità. Per la corrente che va verso la costa è osservabile una corrente di ritorno diretta verso il largo che lambisce il molo di sopraflutto. Anche in questo caso in prossimità dell'imboccatura portuale non si riscontrano correnti apprezzabili.

Per lo stato di progetto (Soluzione1) i risultati, rappresentati in forma grafica vettoriale, sono illustrati nelle figure 80 e 81.



FIGURE
E
TABELLE



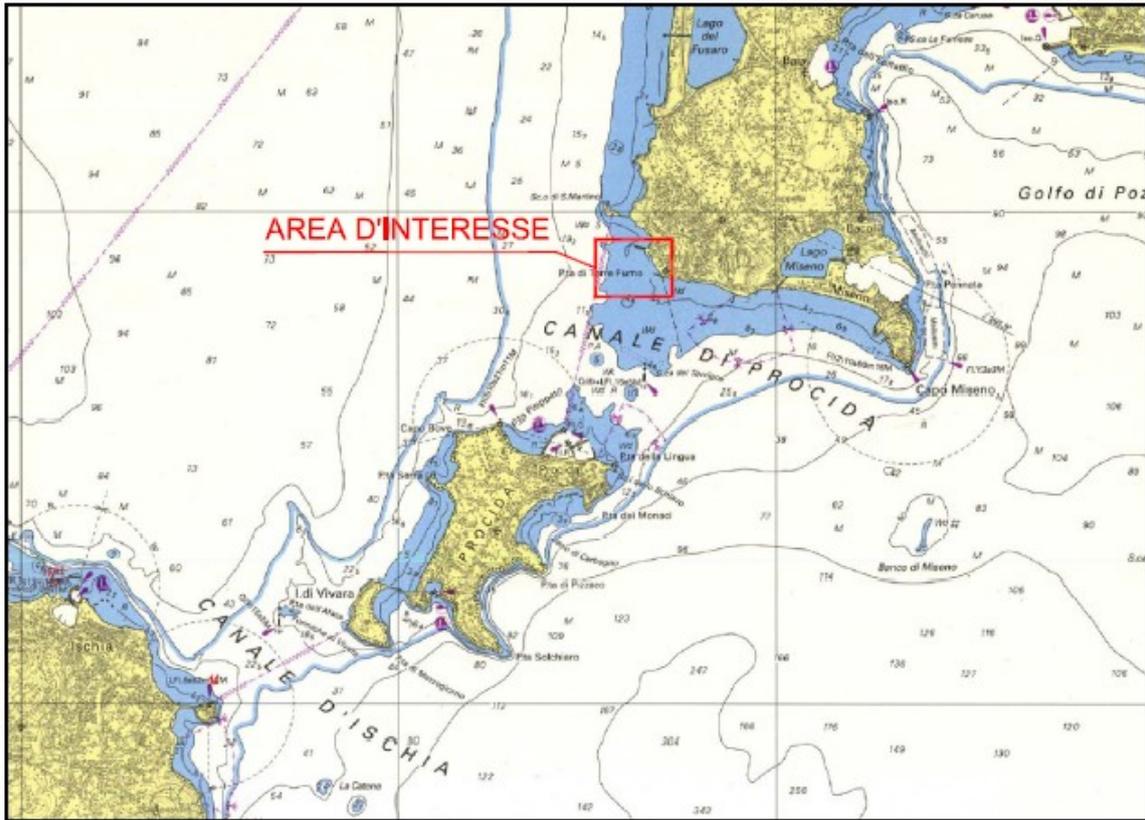


Fig. 1 – Area d'interesse.

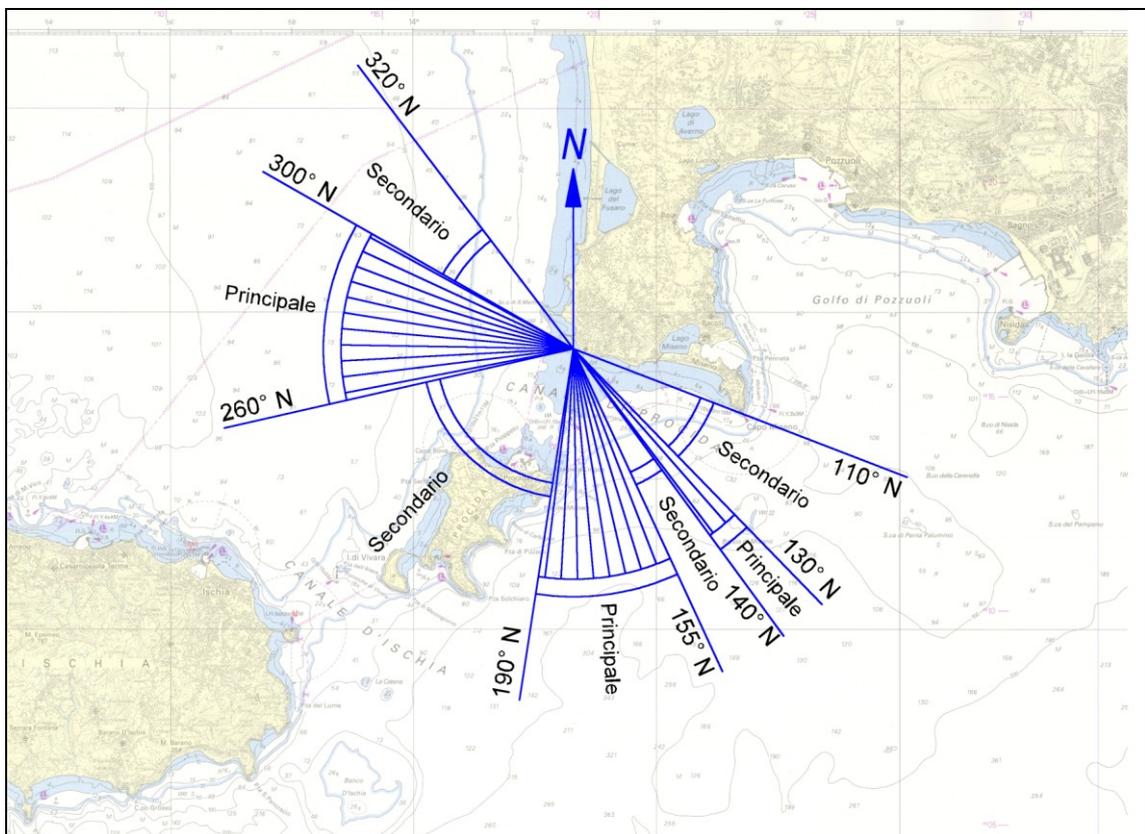


Fig. 2 – Settore di traversia .

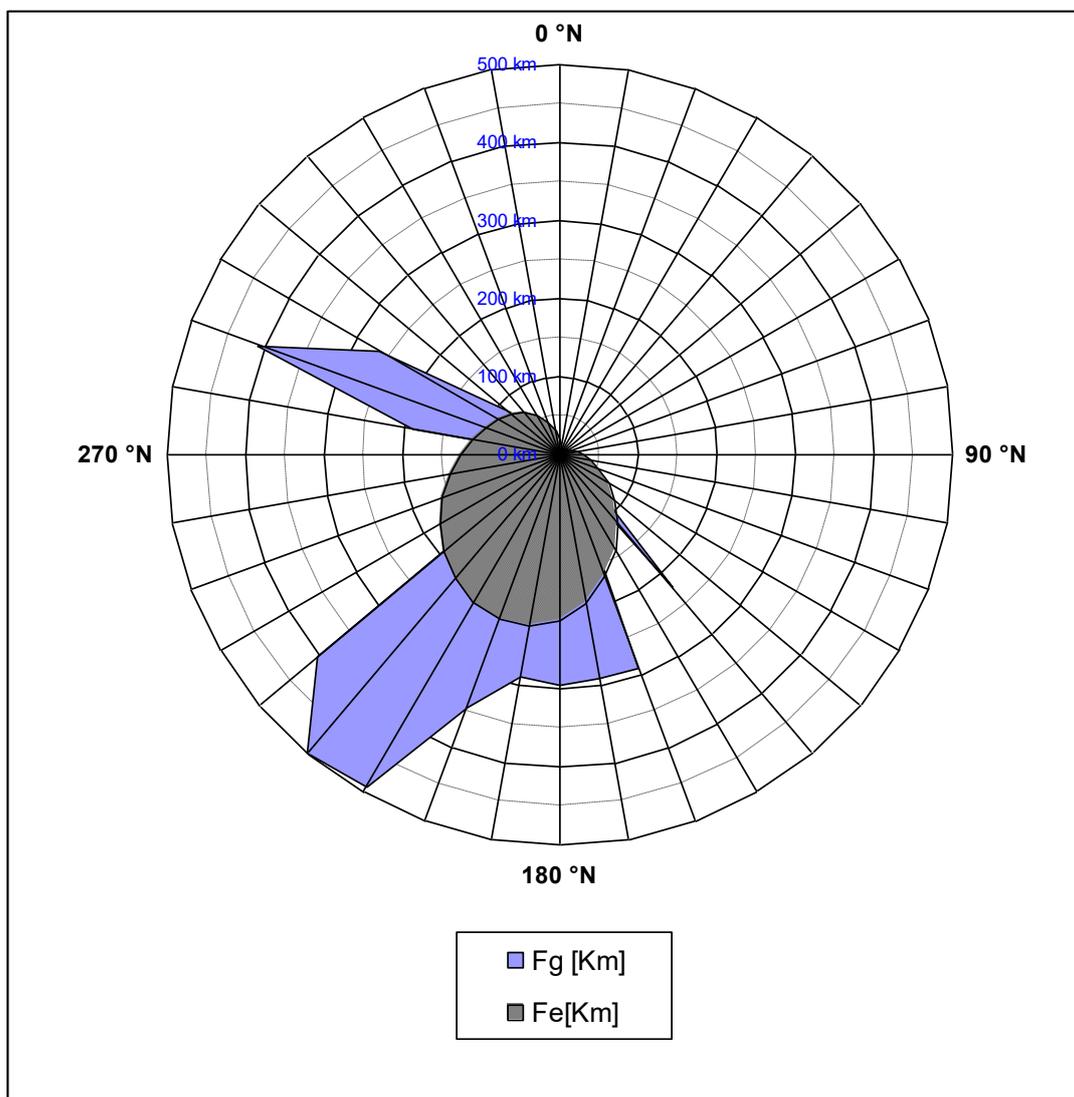


Fig. 3 – Diagramma polare Fetch geografici ed efficaci EST.

DD	Fg [Km]	Fe[Km]	Fe [mn]	DD	Fg [Km]	Fe[Km]	Fe [mn]
0 °N	2.72	18.95	10.23	180 °N	295.88	211.97	114.46
10 °N	2.66	10.2	5.51	190 °N	288.15	222.89	120.35
20 °N	2.67	6.47	3.49	200 °N	345.61	224.72	121.34
30 °N	2.43	5.95	3.21	210 °N	491.76	218.73	118.11
40 °N	2.27	7.02	3.79	220 °N	499.54	207.31	111.94
50 °N	8.05	8.94	4.83	230 °N	402.32	192.46	103.92
60 °N	9.25	11.86	6.40	240 °N	5.69	175.58	94.81
70 °N	14.71	15.95	8.61	250 °N	4.20	158.2	85.42
80 °N	23.93	21.54	11.63	260 °N	3.20	141.56	76.44
90 °N	29.27	29.43	15.89	270 °N	2.85	126.23	68.16
100 °N	34.28	40.19	21.70	280 °N	189.26	112.52	60.76
110 °N	31.69	54.06	29.19	290 °N	408.68	100.55	54.29
120 °N	29.07	71.	38.33	300 °N	265.35	90.13	48.67
130 °N	50.06	91.18	49.23	310 °N	87.79	80.3	43.36
140 °N	222.35	114.75	61.96	320 °N	47.67	69.66	37.61
150 °N	26.14	141.25	76.27	330 °N	3.23	57.11	30.84
160 °N	291.46	168.43	90.94	340 °N	2.81	43.23	23.34
170 °N	291.10	193.02	104.22	350 °N	2.74	29.67	16.02

Tab. 1 – Valori fetch geografici ed efficaci EST

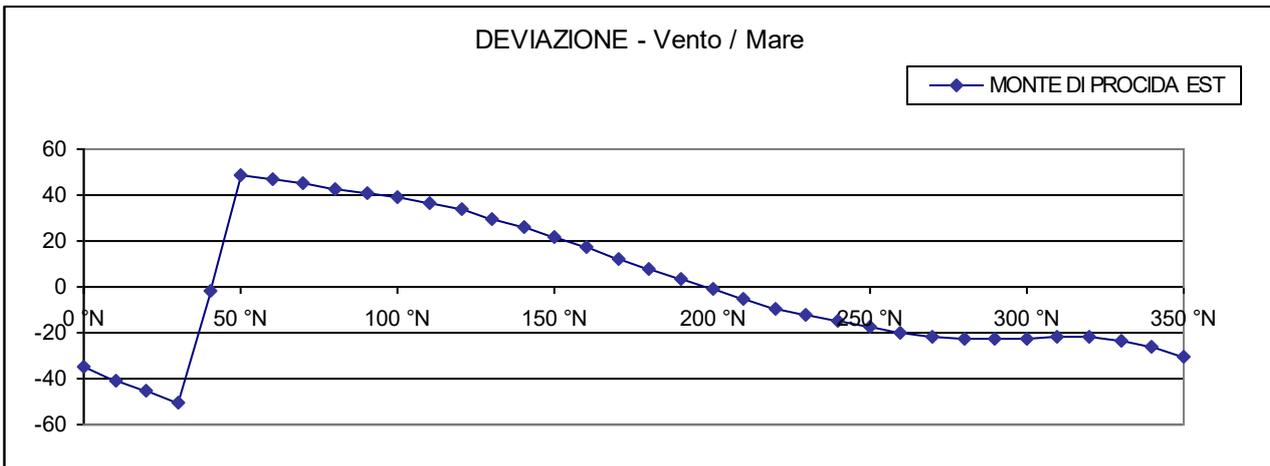


Fig. 4 - Deviazione direzione moto ondoso rispetto alla direzione del vento.

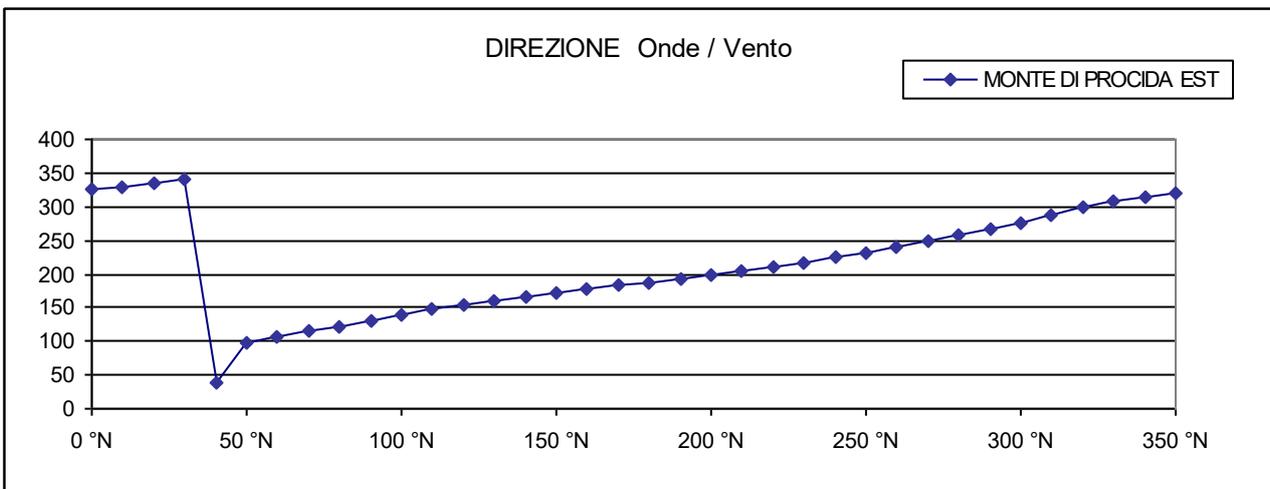


Fig. 5 - Direzione onde-vento.

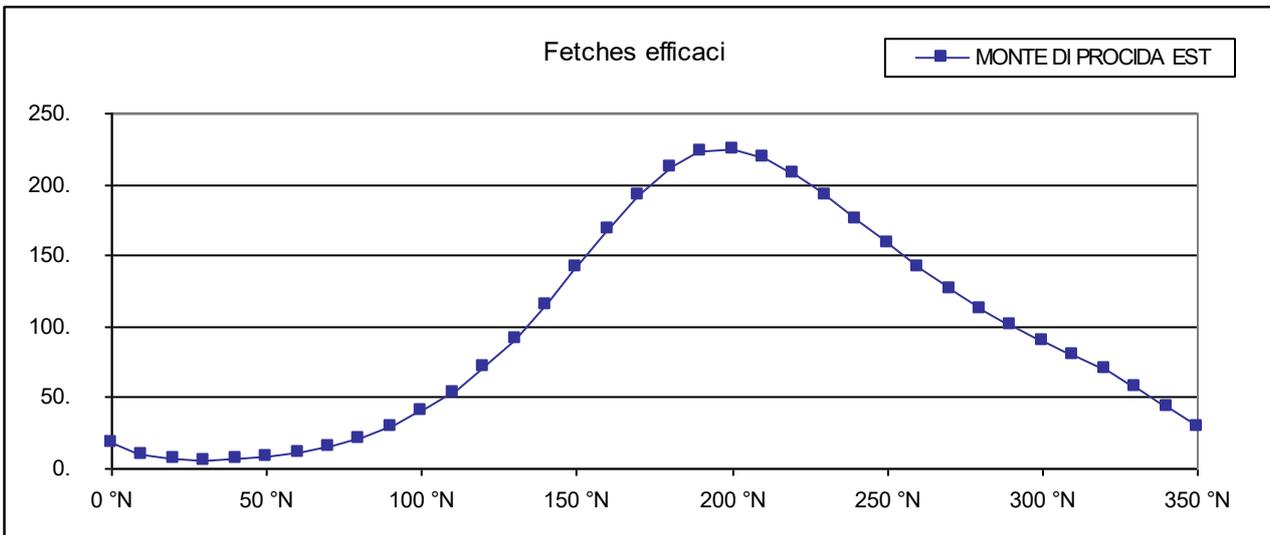


Fig. 6 - Lunghezza fetch efficace.

Classi	H<0,25	H<0,50	H<1,00	H<1,50	H<2,00	H<2,50	H<3,00	H<3,50	H<4,00	H<4,50	H<5,00	TOTALI
10 °N												0.000%
20 °N												0.000%
30 °N												0.000%
40 °N												0.000%
50 °N												0.000%
60 °N												0.000%
70 °N												0.000%
80 °N												0.000%
90 °N	0.163%	0.384%	0.396%	0.027%								0.970%
100 °N	0.861%	1.455%	1.638%	0.144%	0.004%							4.102%
110 °N	0.834%	1.447%	0.974%	0.109%	0.004%							3.368%
120 °N	0.858%	1.036%	0.524%	0.050%								2.468%
130 °N	0.574%	0.636%	0.310%	0.062%								1.583%
140 °N	0.698%	0.947%	0.567%	0.120%	0.027%							2.359%
150 °N	0.605%	0.559%	0.698%	0.233%	0.043%	0.004%						2.142%
160 °N	0.539%	1.059%	0.761%	0.326%	0.035%	0.008%						2.728%
170 °N	0.303%	0.555%	0.601%	0.144%	0.078%							1.680%
180 °N	0.761%	1.110%	1.164%	0.438%	0.167%	0.008%						3.648%
190 °N	0.489%	1.090%	1.374%	0.613%	0.283%	0.101%	0.035%	0.016%				4.001%
200 °N	0.764%	1.738%	1.808%	0.714%	0.384%	0.144%	0.039%	0.016%	0.004%			5.611%
210 °N	1.607%	1.381%	1.021%	0.594%	0.221%	0.101%	0.039%	0.008%	0.008%	0.008%		4.986%
220 °N	1.610%	1.525%	1.451%	0.671%	0.334%	0.128%	0.074%	0.031%	0.004%	0.008%		5.836%
230 °N	1.250%	1.090%	1.102%	0.458%	0.241%	0.081%	0.039%	0.004%				4.265%
240 °N	1.517%	1.133%	1.424%	0.539%	0.186%	0.093%	0.019%	0.019%				4.932%
250 °N	1.141%	0.912%	1.242%	0.574%	0.244%	0.039%	0.023%	0.012%				4.187%
260 °N	1.649%	1.773%	2.084%	1.153%	0.613%	0.256%	0.140%	0.058%	0.008%	0.008%		7.742%
270 °N	1.389%	1.622%	2.127%	1.277%	0.578%	0.376%	0.190%	0.070%	0.023%	0.027%		7.679%
280 °N	1.824%	2.072%	2.499%	1.176%	0.559%	0.241%	0.078%	0.031%	0.004%	0.004%		8.487%
290 °N	1.494%	1.572%	1.106%	0.264%	0.078%	0.039%	0.008%	0.000%	0.004%	0.004%		4.567%
300 °N	1.843%	1.599%	0.896%	0.186%	0.039%	0.027%	0.012%	0.004%				4.606%
310 °N	1.234%	0.827%	0.625%	0.144%	0.047%	0.019%	0.012%					2.906%
320 °N	0.993%	0.609%	0.407%	0.116%	0.035%	0.004%						2.165%
330 °N	0.431%	0.175%	0.144%	0.008%								0.757%
340 °N	0.695%	0.640%	0.400%	0.012%								1.746%
350 °N	0.136%	0.171%	0.163%	0.008%								0.477%
360 °N												0.000%
TOTALI	26.263%	29.119%	27.505%	10.159%	4.199%	1.669%	0.706%	0.268%	0.054%	0.058%	0.000%	100.00%

Tab. 2 – Frequenze annuali di occorrenza del moto ondoso al largo per classi di altezza significativa e direzione di provenienza (EST)

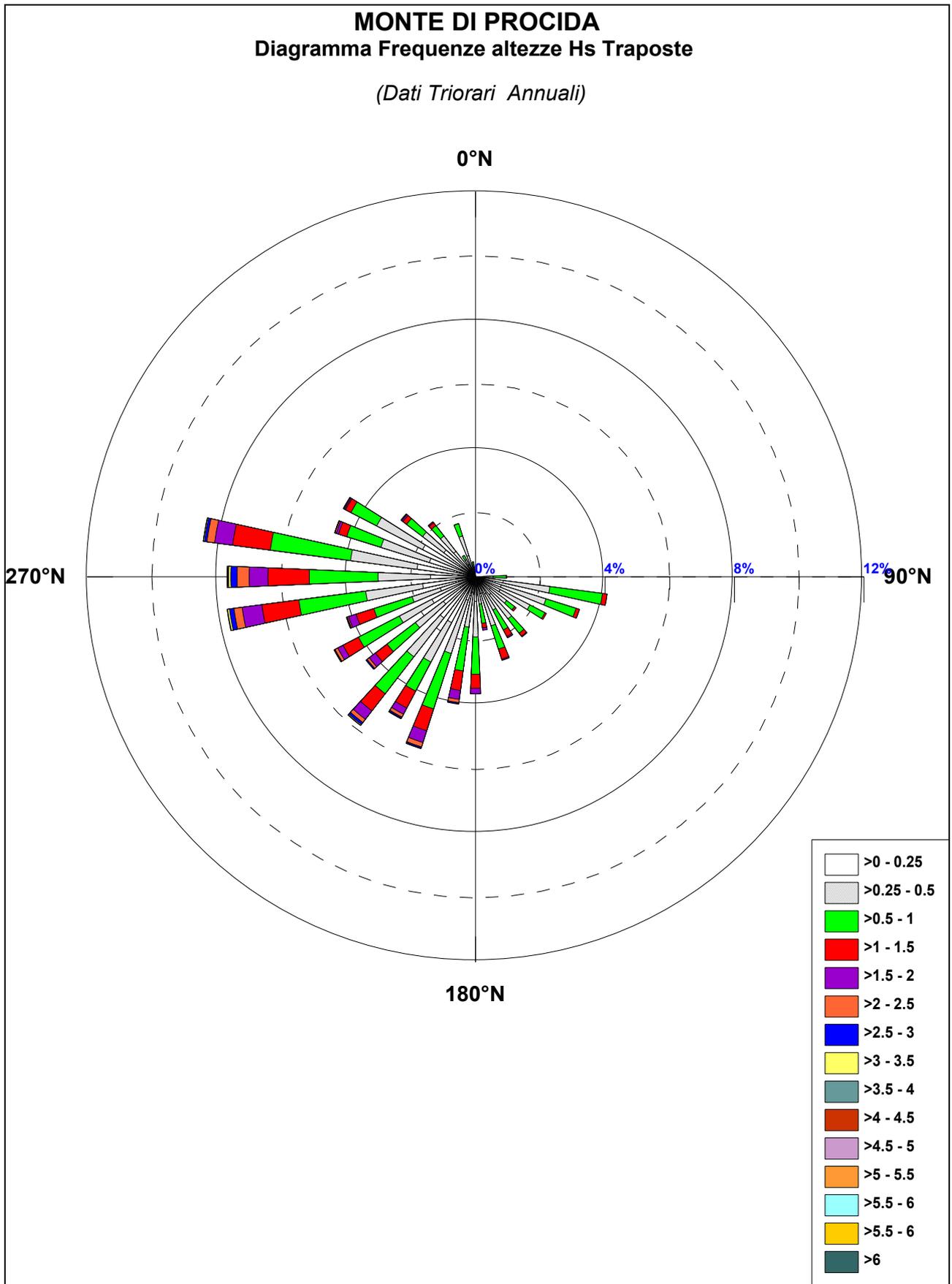


Fig. 7 – Diagramma polare del clima ondoso trasposto di largo (EST).

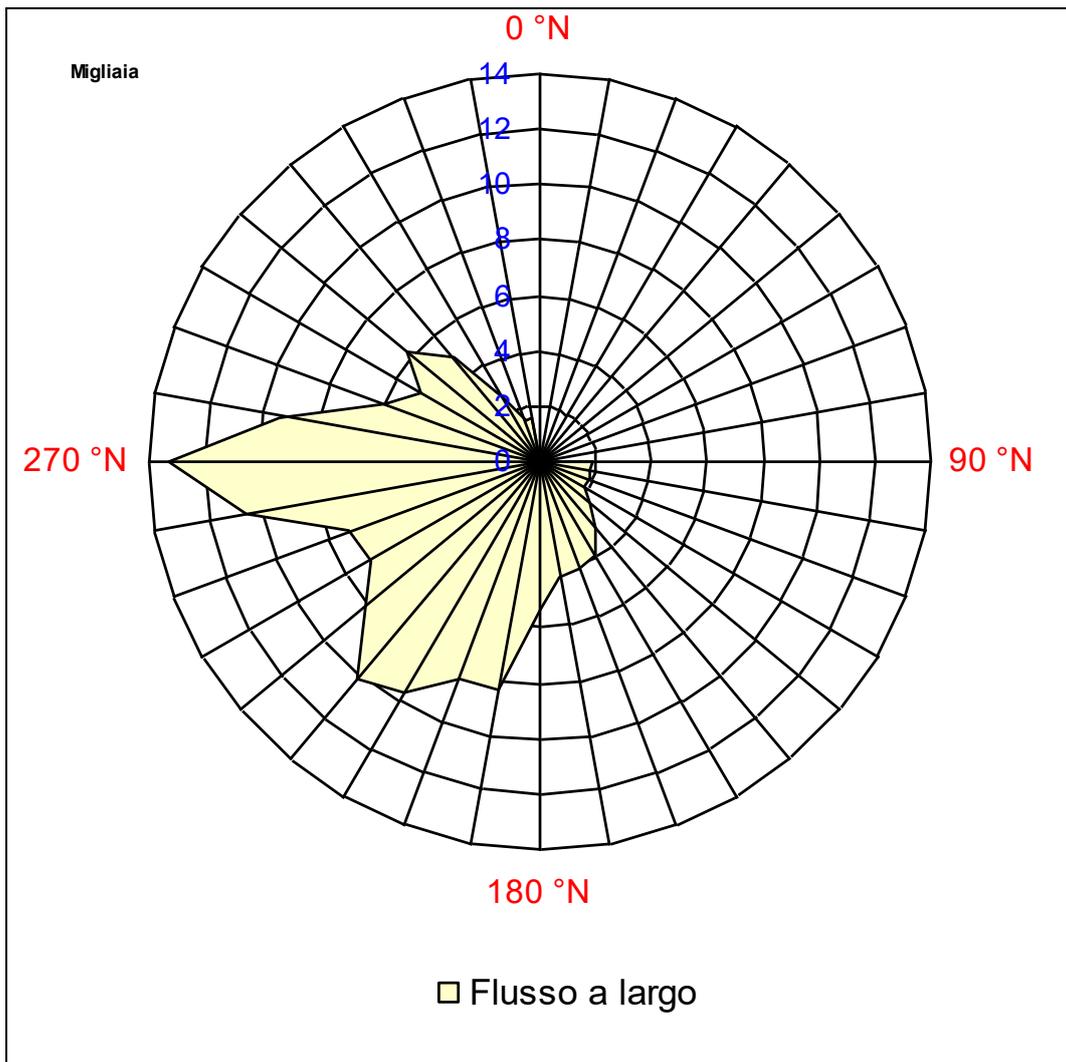


Fig. 8 – Flusso di energia a largo (EST).

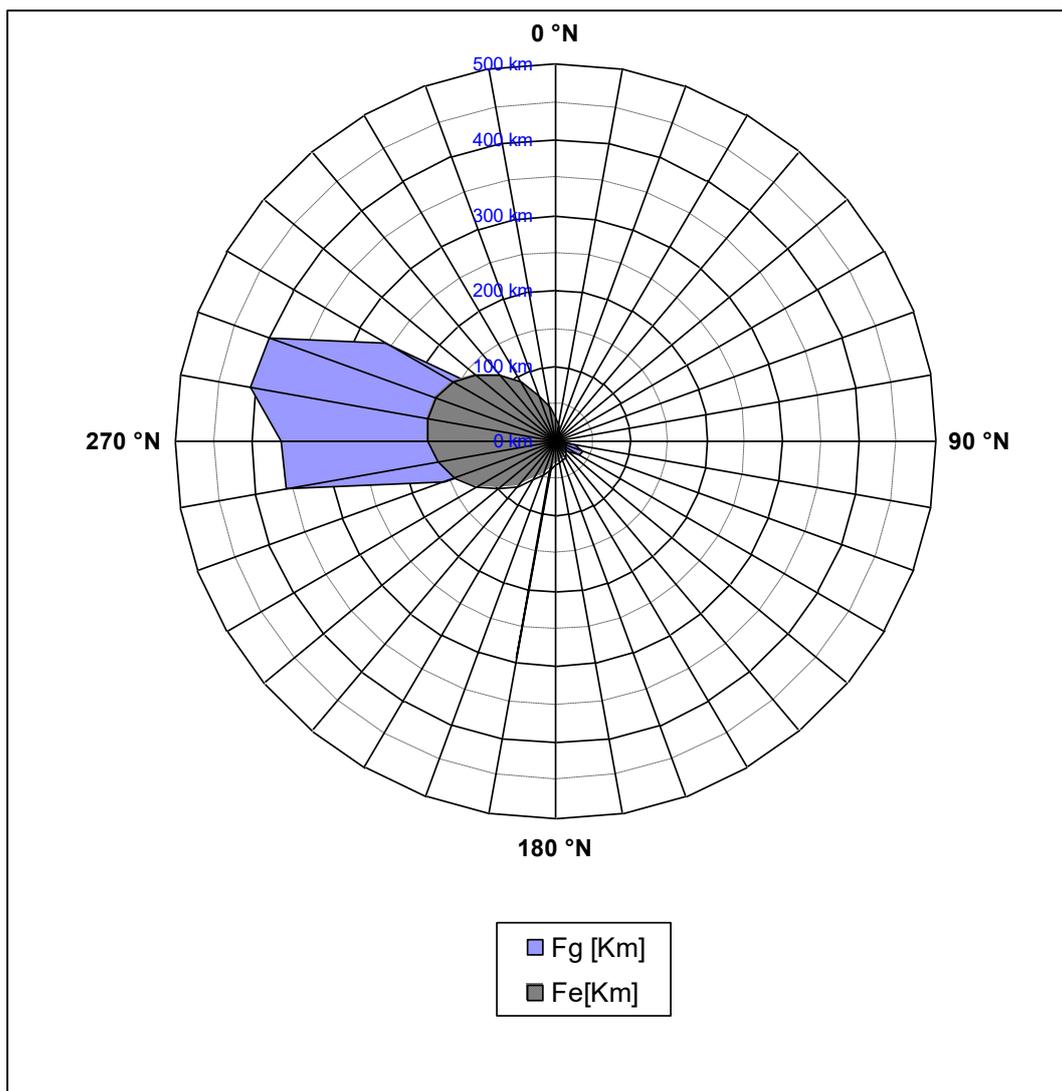


Fig. 9 – Diagramma polare Fetch geografici ed efficaci OVEST.

DD	Fg [Km]	Fe[Km]	Fe [mn]	DD	Fg [Km]	Fe[Km]	Fe [mn]
0 °N	17.69	31.47	16.99	180 °N	4.92	32.13	17.35
10 °N	13.12	20.28	10.95	190 °N	291.00	37.6	20.30
20 °N	10.14	14.05	7.58	200 °N	7.83	46.63	25.18
30 °N	8.01	10.6	5.72	210 °N	6.90	60.08	32.44
40 °N	6.48	8.72	4.71	220 °N	7.03	77.95	42.09
50 °N	5.38	7.98	4.31	230 °N	7.73	98.75	53.32
60 °N	4.56	8.14	4.39	240 °N	9.48	120.3	64.95
70 °N	3.97	8.87	4.79	250 °N	155.03	140.3	75.75
80 °N	3.68	9.84	5.31	260 °N	359.83	156.59	84.55
90 °N	4.49	10.77	5.82	270 °N	361.24	167.36	90.37
100 °N	24.50	11.54	6.23	280 °N	407.59	171.34	92.52
110 °N	38.67	12.68	6.85	290 °N	401.85	167.4	90.39
120 °N	35.73	14.72	7.95	300 °N	259.03	155.35	83.88
130 °N	19.67	17.48	9.44	310 °N	83.01	136.61	73.76
140 °N	3.45	20.6	11.12	320 °N	62.75	113.42	61.24
150 °N	2.86	23.73	12.82	330 °N	58.32	88.58	47.83
160 °N	3.10	26.52	14.32	340 °N	42.93	65.07	35.13
170 °N	4.26	28.94	15.62	350 °N	22.89	45.39	24.51

Tab. 3 – Valori fetch geografici ed efficaci OVEST

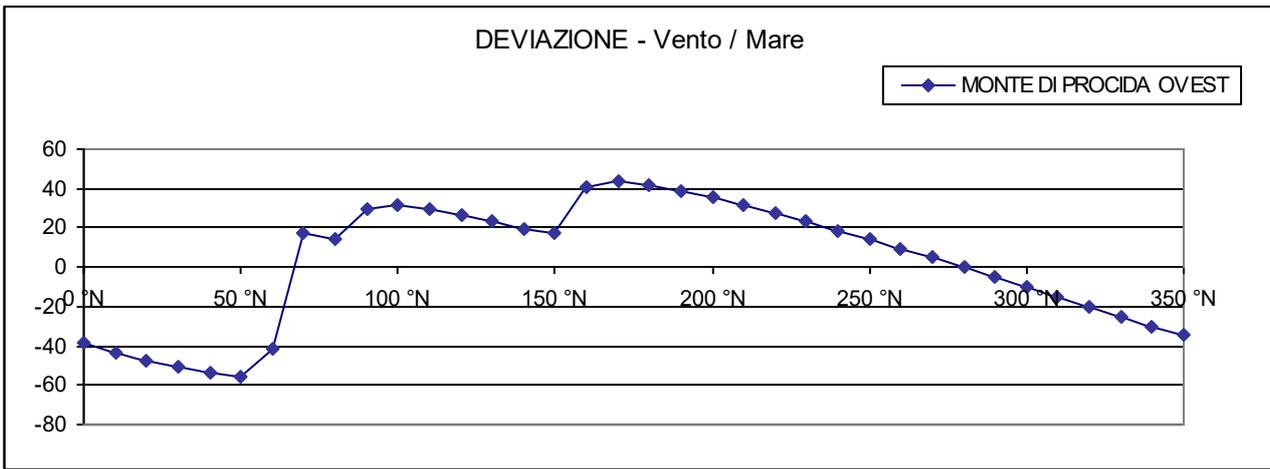


Fig. 10 - Deviazione direzione moto ondoso rispetto alla direzione del vento.

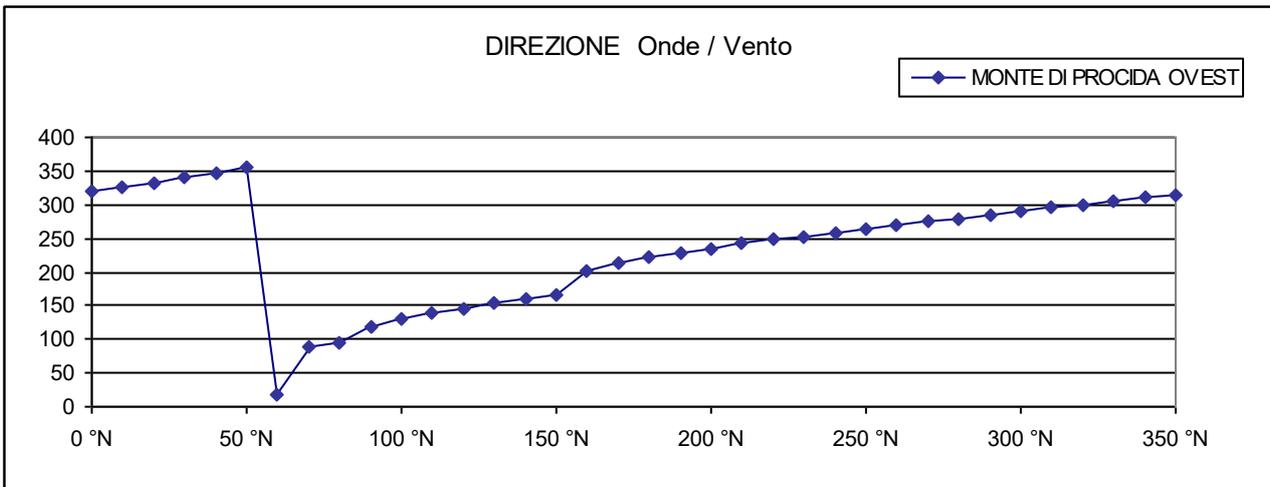


Fig. 11 - Direzione onde-vento.

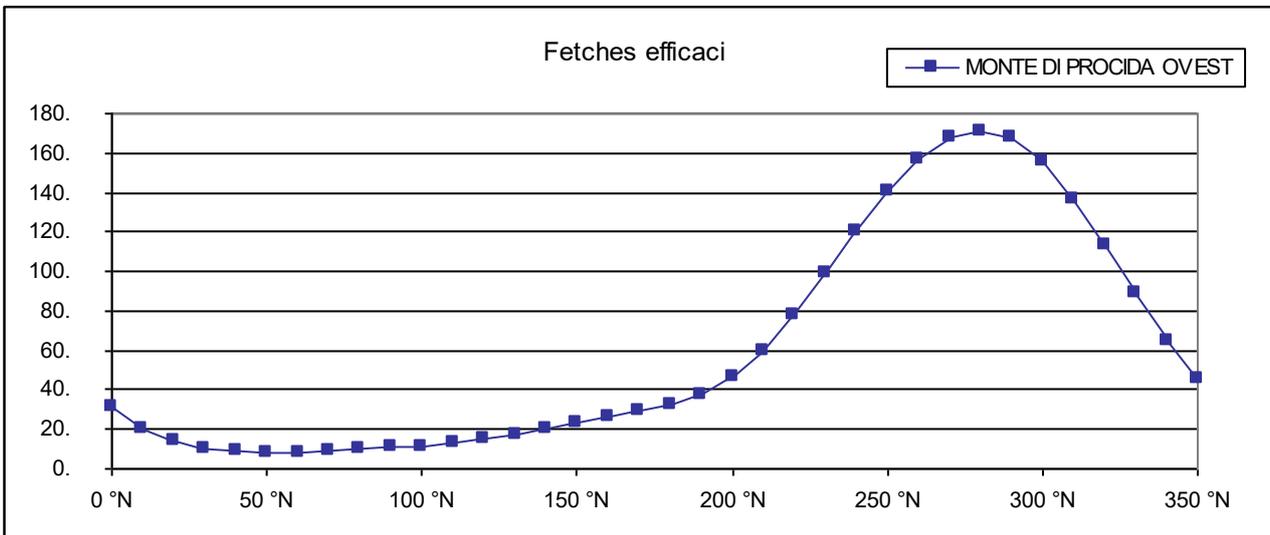


Fig. 12 - Lunghezza fetch efficace.

Classi	H<0,25	H<0,50	H<1,00	H<1,50	H<2,00	H<2,50	H<3,00	H<3,50	H<4,00	H<4,50	H<5,00	H<5,50	H<6,00	TOTALI
10 °N	0.265%	0.351%	0.152%	0.004%	0.004%									0.776%
20 °N														0.000%
30 °N														0.000%
40 °N														0.000%
50 °N														0.000%
60 °N														0.000%
70 °N														0.000%
80 °N	0.215%	0.359%	0.156%											0.729%
90 °N	1.479%	0.967%	0.312%											2.758%
100 °N	0.780%	0.382%	0.059%											1.221%
110 °N														0.000%
120 °N	0.492%	0.195%	0.074%											0.761%
130 °N	0.983%	0.359%	0.129%											1.471%
140 °N	1.393%	0.839%	0.261%	0.004%										2.497%
150 °N	1.280%	0.679%	0.179%											2.138%
160 °N	1.443%	0.585%	0.211%											2.239%
170 °N	0.538%	0.234%	0.062%											0.835%
180 °N	0.090%	0.059%	0.008%											0.156%
190 °N														0.000%
200 °N	0.441%	0.257%	0.066%											0.765%
210 °N	0.784%	0.492%	0.117%											1.393%
220 °N	1.611%	1.108%	0.359%	0.023%										3.101%
230 °N	1.564%	0.889%	0.585%	0.039%										3.078%
240 °N	3.062%	1.662%	0.925%	0.183%	0.016%									5.848%
250 °N	2.629%	1.439%	1.272%	0.347%	0.094%	0.027%	0.012%							5.820%
260 °N	2.173%	1.849%	1.619%	0.581%	0.207%	0.109%	0.012%	0.008%						6.558%
270 °N	2.009%	1.521%	1.759%	0.718%	0.339%	0.101%	0.039%	0.016%						6.503%
280 °N	1.471%	3.293%	3.277%	1.970%	1.147%	0.609%	0.320%	0.176%	0.090%	0.039%	0.008%	0.012%		12.409%
290 °N	1.377%	3.846%	4.162%	2.333%	1.681%	0.858%	0.468%	0.273%	0.176%	0.059%	0.031%	0.027%	0.004%	15.296%
300 °N	1.662%	3.382%	3.250%	0.897%	0.257%	0.105%	0.059%	0.023%	0.012%		0.004%	0.004%		9.655%
310 °N	0.772%	1.358%	0.870%	0.355%	0.117%	0.051%	0.023%	0.004%	0.008%					3.558%
320 °N	0.414%	0.609%	0.324%	0.148%	0.008%									1.502%
330 °N	0.234%	0.101%	0.090%	0.016%										0.441%
340 °N	0.492%	0.523%	0.612%	0.086%										1.713%
350 °N	0.558%	0.847%	1.202%	0.117%										2.723%
360 °N	1.166%	1.525%	1.260%	0.101%	0.004%									4.057%
TOTALI	31.376%	29.711%	23.352%	7.923%	3.874%	1.861%	0.932%	0.499%	0.285%	0.098%	0.043%	0.043%	0.004%	100.00%

Tab. 4 – Frequenze annuali di occorrenza del moto ondoso al largo per classi di altezza significativa e direzione di provenienza (OVEST)

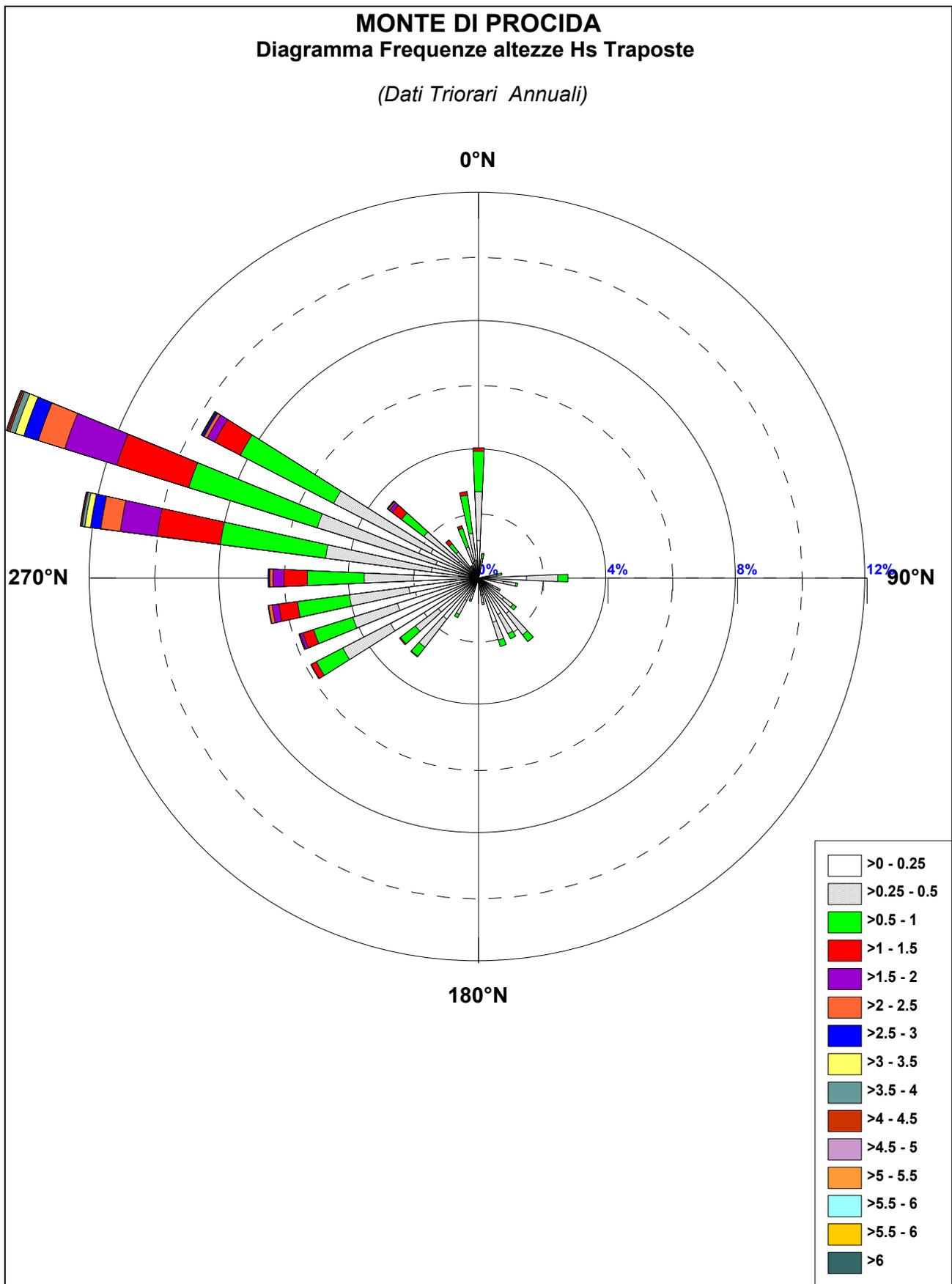


Fig. 13 – Diagramma polare del clima ondoso trasposto di largo (OVEST).

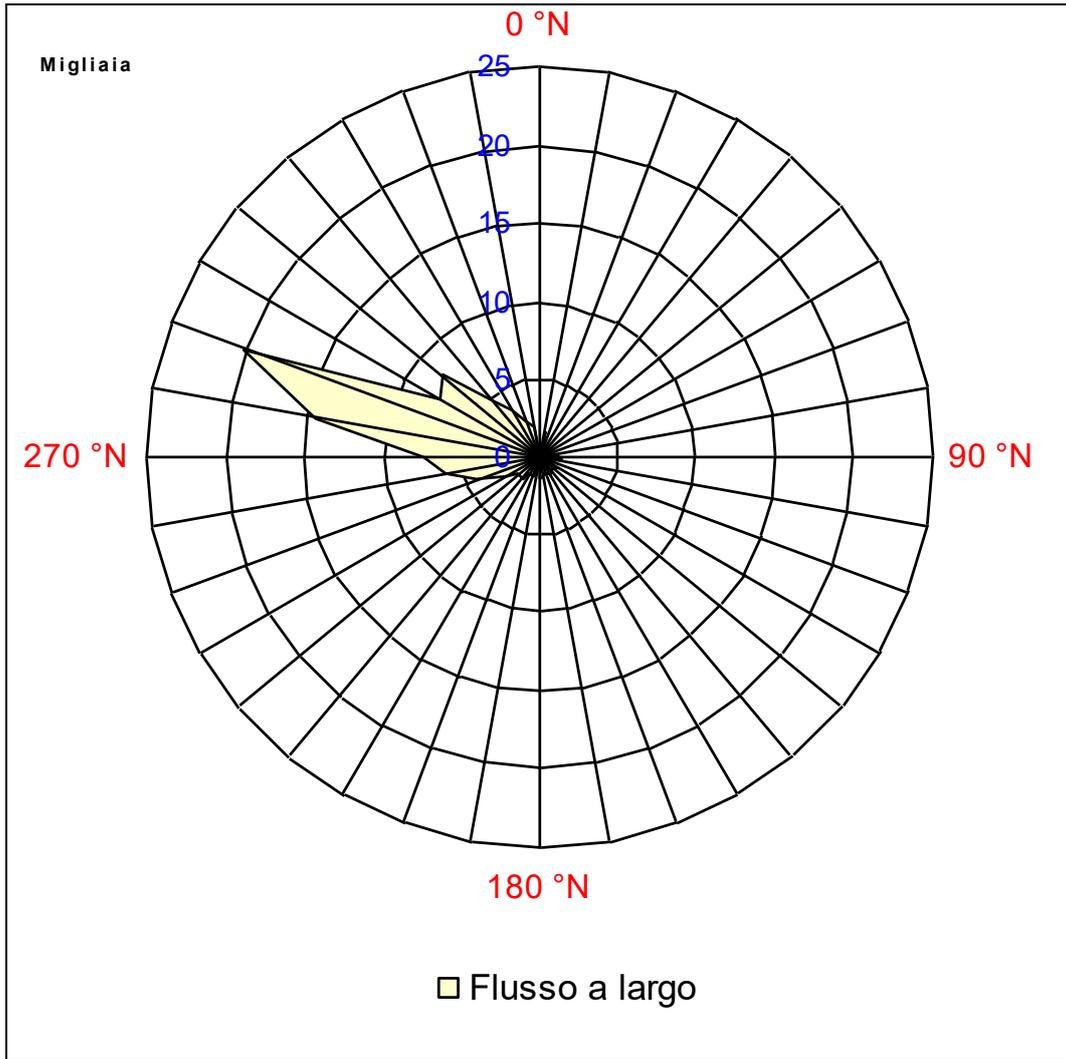


Fig. 14 – Flusso di energia a largo (OVEST).

TR = 50 anni					
DIR	Hs	Ts	DIR	Hs	Ts
10 °N			190 °N	3.63	8.19
20 °N			200 °N	3.91	8.50
30 °N			210 °N	5.09	9.69
40 °N			220 °N	4.87	9.48
50 °N			230 °N	3.69	8.25
60 °N			240 °N	3.75	8.33
70 °N			250 °N	3.86	8.45
80 °N			260 °N	4.72	9.34
90 °N	1.42	5.12	270 °N	5.06	9.67
100 °N	1.77	5.72	280 °N	4.25	8.86
110 °N	1.92	5.95	290 °N	4.14	8.75
120 °N	1.64	5.51	300 °N	3.95	8.55
130 °N	1.83	5.82	310 °N	3.46	7.99
140 °N	2.33	6.57	320 °N	2.47	6.76
150 °N	2.64	6.98	330 °N	1.54	5.33
160 °N	2.49	6.79	340 °N	1.25	4.80
170 °N	2.29	6.51	350 °N	1.32	4.93
180 °N	2.62	6.96	360 °N		

Tab. 5.1 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo
 Periodo di ritorno TR = 50 anni – (EST)

TR = 50 anni					
DIR	Hs	Ts	DIR	Hs	Ts
10 °N	1.57	5.39	190 °N		
20 °N			200 °N	0.98	4.25
30 °N			210 °N	0.97	4.24
40 °N			220 °N	1.38	5.05
50 °N			230 °N	1.63	5.50
60 °N			240 °N	1.87	5.88
70 °N			250 °N	3.31	7.82
80 °N	1.22	4.74	260 °N	3.70	8.26
90 °N	1.20	4.70	270 °N	3.90	8.49
100 °N	1.11	4.54	280 °N	6.28	10.77
110 °N			290 °N	6.57	11.02
120 °N	1.08	4.48	300 °N	5.64	10.21
130 °N	1.09	4.49	310 °N	4.31	8.93
140 °N	1.31	4.92	320 °N	2.33	6.56
150 °N	1.18	4.67	330 °N	1.52	5.30
160 °N	0.94	4.16	340 °N	1.69	5.58
170 °N	0.81	3.87	350 °N	1.58	5.40
180 °N	0.83	3.91	360 °N	1.68	5.58

Tab. 6.1 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo
 - Periodo di ritorno TR = 50 anni – (OVEST)

TR = 5 anni					
DIR	Hs (m)	T (s)	DIR	Hs (m)	T (s)
10 °N			190 °N	2.81	7.21
20 °N			200 °N	3.09	7.56
30 °N			210 °N	3.58	8.13
40 °N			220 °N	3.65	8.21
50 °N			230 °N	2.84	7.25
60 °N			240 °N	2.90	7.32
70 °N			250 °N	2.80	7.19
80 °N			260 °N	3.67	8.24
90 °N	1.14	4.60	270 °N	3.86	8.45
100 °N	1.34	4.99	280 °N	3.40	7.92
110 °N	1.36	5.02	290 °N	2.87	7.28
120 °N	1.20	4.70	300 °N	2.53	6.84
130 °N	1.31	4.92	310 °N	2.36	6.60
140 °N	1.62	5.47	320 °N	1.71	5.63
150 °N	1.94	5.99	330 °N	1.00	4.29
160 °N	1.86	5.87	340 °N	1.03	4.35
170 °N	1.79	5.76	350 °N	0.98	4.24
180 °N	2.07	6.18	360 °N		

Tab. 5.2 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo
 Periodo di ritorno TR = 5 anni – (EST)

TR = 5 anni					
DIR	Hs (m)	T (s)	DIR	Hs (m)	T (s)
10 °N	1.05	4.41	190 °N		
20 °N			200 °N	0.71	3.63
30 °N			210 °N	0.74	3.71
40 °N			220 °N	1.06	4.42
50 °N			230 °N	1.18	4.67
60 °N			240 °N	1.50	5.26
70 °N			250 °N	2.43	6.70
80 °N	0.89	4.05	260 °N	2.73	7.11
90 °N	0.92	4.12	270 °N	3.05	7.51
100 °N	0.77	3.78	280 °N	4.82	9.44
110 °N			290 °N	5.21	9.81
120 °N	0.74	3.70	300 °N	3.93	8.52
130 °N	0.74	3.69	310 °N	2.95	7.38
140 °N	0.92	4.13	320 °N	1.55	5.36
150 °N	0.85	3.95	330 °N	1.03	4.37
160 °N	0.76	3.76	340 °N	1.38	5.04
170 °N	0.66	3.50	350 °N	1.28	4.86
180 °N	0.51	3.06	360 °N	1.25	4.80

Tab. 6.2 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme al largo
 - Periodo di ritorno TR = 5 anni – (OVEST)

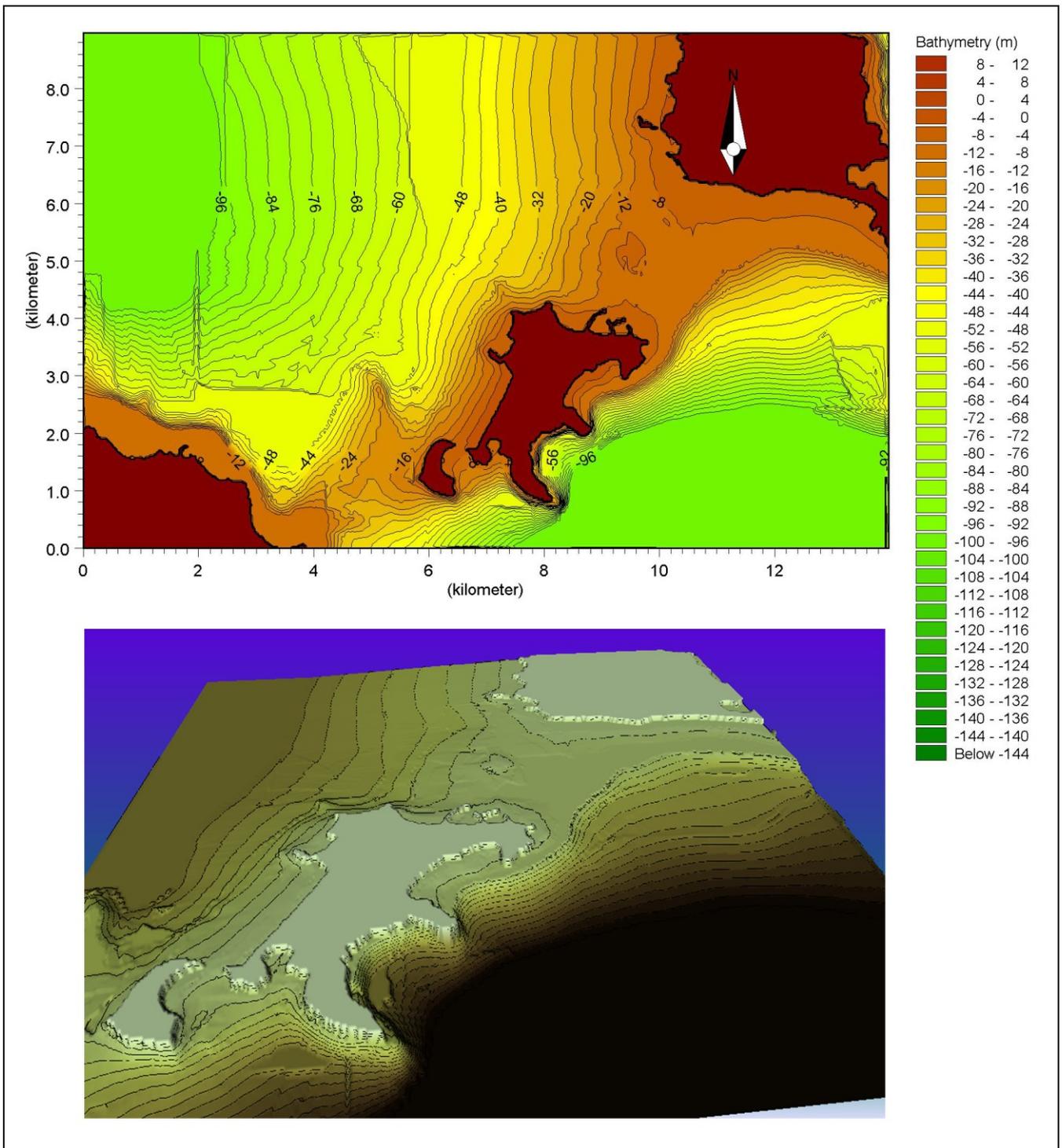


Fig. 15 – Batimetria canale di Procida.

DIR	Hs	Ts
110 °N	1.92	5.95
120 °N	1.64	5.51
130 °N	1.83	5.82
140 °N	2.33	6.57
150 °N	2.64	6.98
160 °N	2.49	6.79
170 °N	2.29	6.51
180 °N	2.62	6.96

Tab. 7.1 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme di largo da trasferire sottocosta. TR = 50 anni (EST)

DIR	Hs	Ts
250 °N	3.31	7.82
260 °N	3.70	8.26
270 °N	3.90	8.49
280 °N	6.28	10.77
290 °N	6.57	11.02
300 °N	5.64	10.21
310 °N	4.31	8.93
320 °N	2.33	6.56

Tab. 8.1 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme di largo da trasferire sottocosta. TR = 50 anni (OVEST)

DIR	Hs (m)	T (s)
110 °N	1.36	5.02
120 °N	1.20	4.70
130 °N	1.31	4.92
140 °N	1.62	5.47
150 °N	1.94	5.99
160 °N	1.86	5.87
170 °N	1.79	5.76
180 °N	2.07	6.18

Tab. 7.2 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme di largo da trasferire sottocosta. TR = 5 anni (EST)

DIR	Hs (m)	T (s)
250 °N	2.43	6.70
260 °N	2.73	7.11
270 °N	3.05	7.51
280 °N	4.82	9.44
290 °N	5.21	9.81
300 °N	3.93	8.52
310 °N	2.95	7.38
320 °N	1.55	5.36

Tab. 8.2 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme di largo da trasferire sottocosta. TR = 5 anni (OVEST)

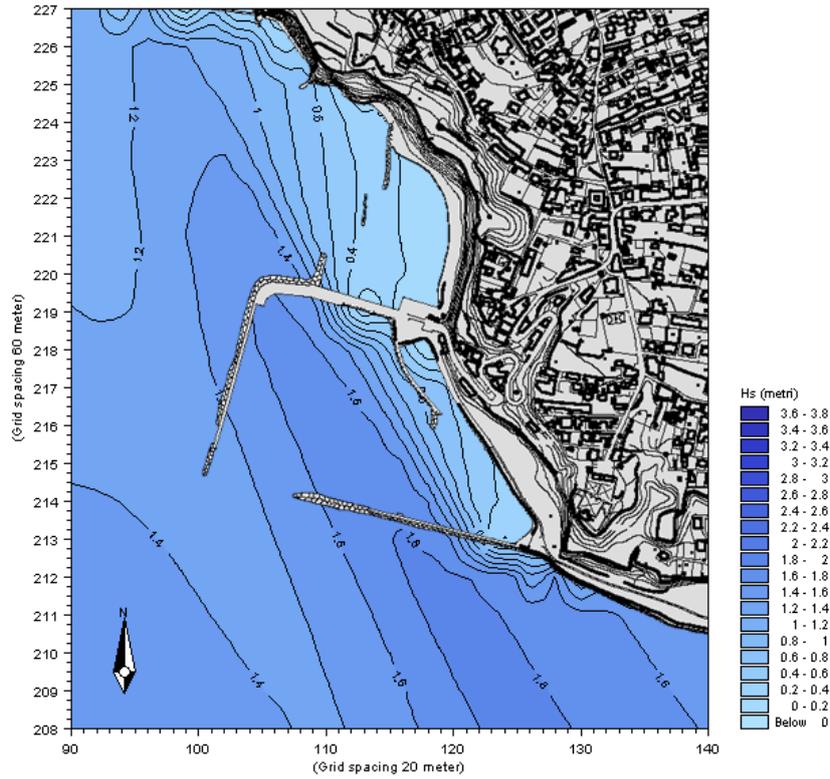


Fig. 16.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 110° N ; Altezza 1.92 m ;
Periodo 5.95 ; Tr = 50 anni.

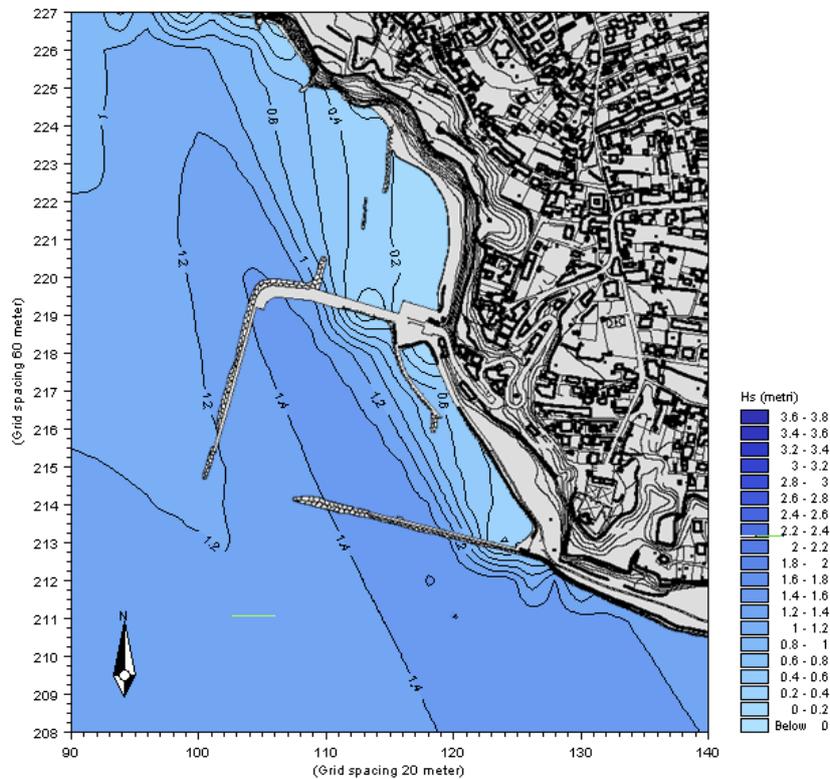


Fig. 17.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 120° N ; Altezza 1.64 m ;
Periodo 5.51 ; Tr = 50 anni.

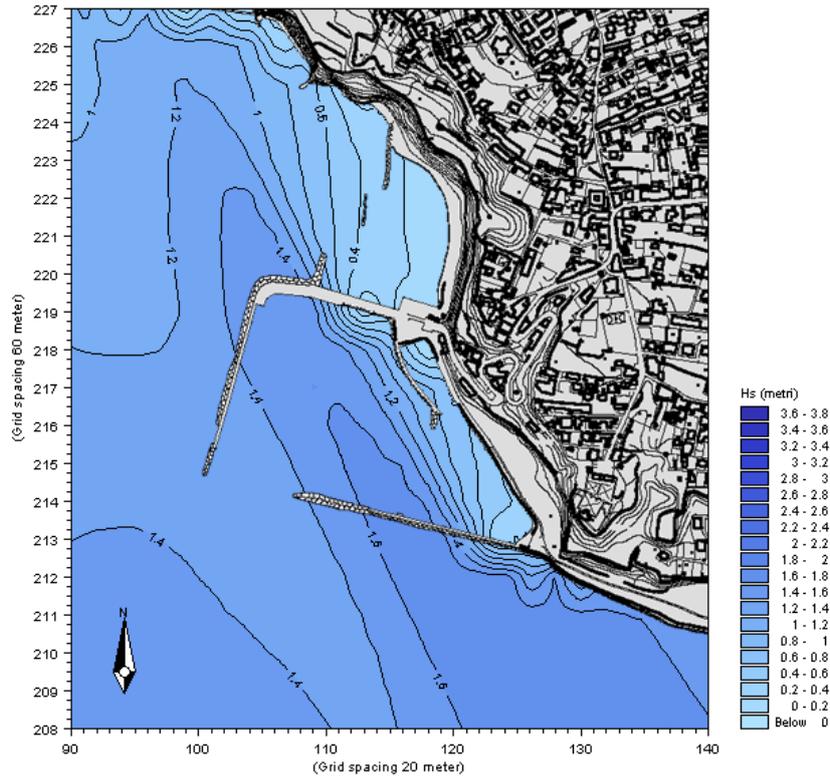


Fig. 18.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 130° N ; Altezza 1.83 m ;
Periodo 5.82 ; Tr = 50 anni.

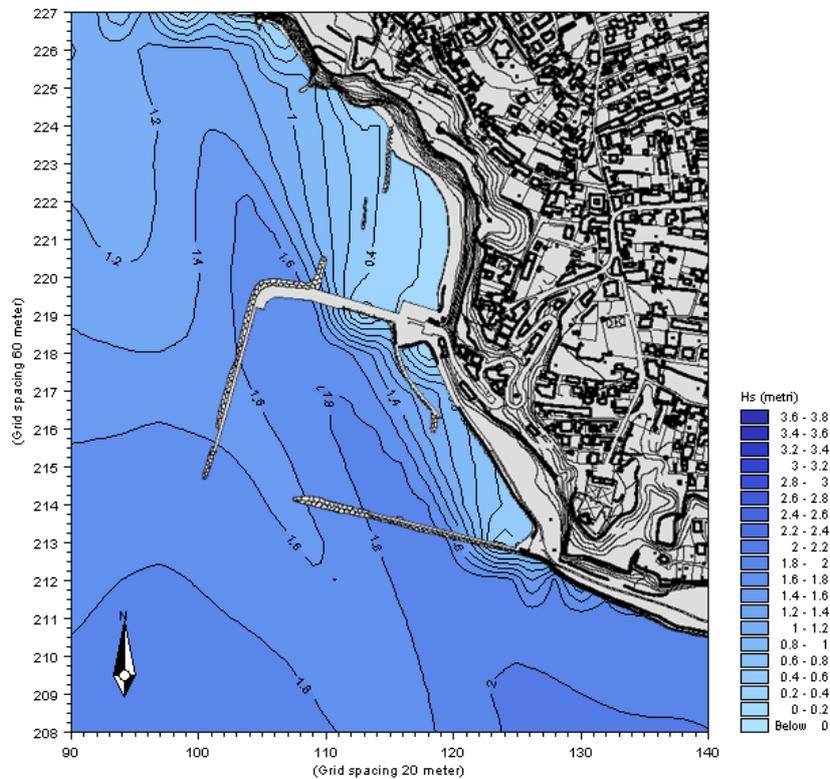


Fig. 19.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 140° N ; Altezza 2.33 m ;
Periodo 6.57 ; Tr = 50 anni.

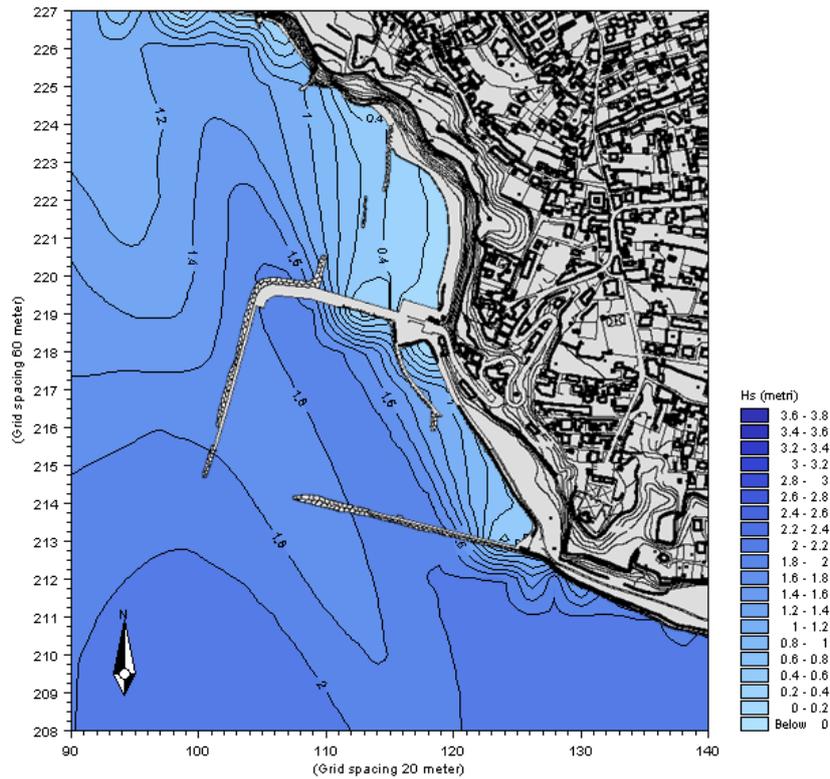


Fig. 20.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 150° N ; Altezza 2.64 m ;
Periodo 6.98 ; Tr = 50 anni.

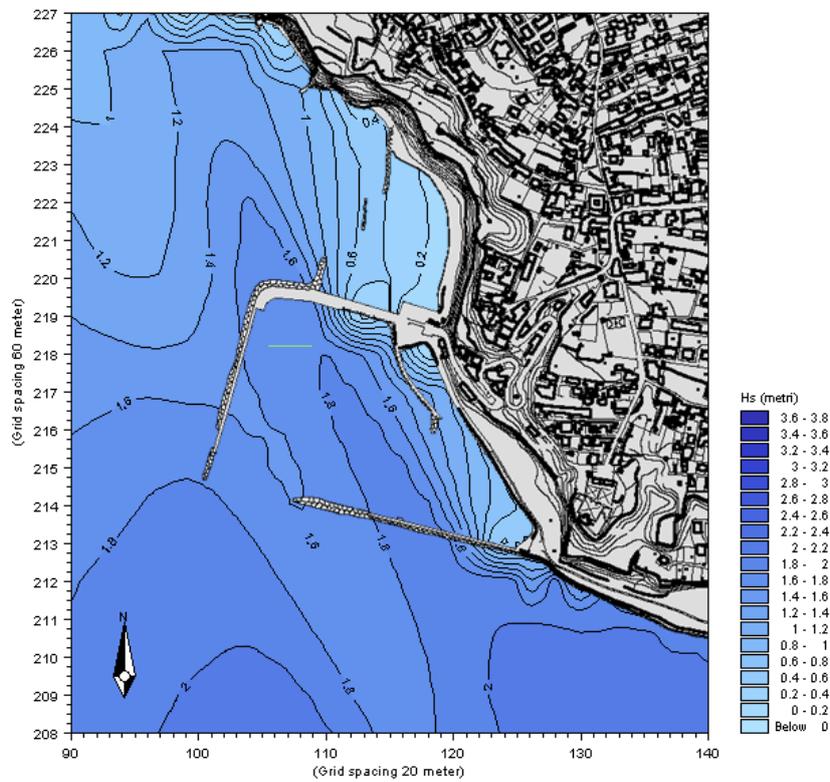


Fig. 21.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 160° N ; Altezza 2.49 m ;
Periodo 6.79 ; Tr = 50 anni.

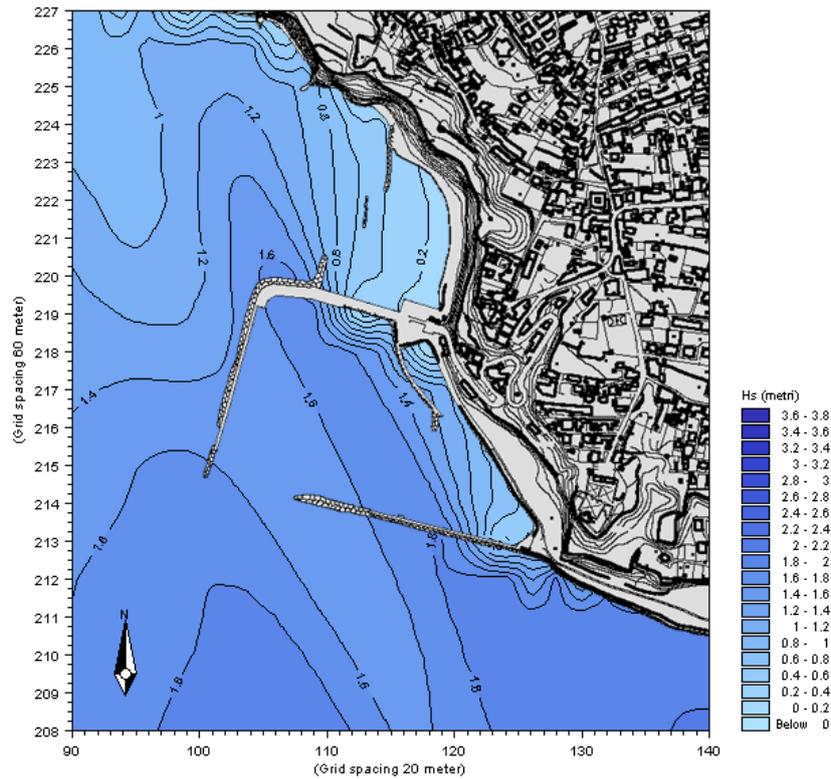


Fig. 22.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 170° N ; Altezza 2.29 m ; Periodo 6.51 ; Tr = 50 anni.

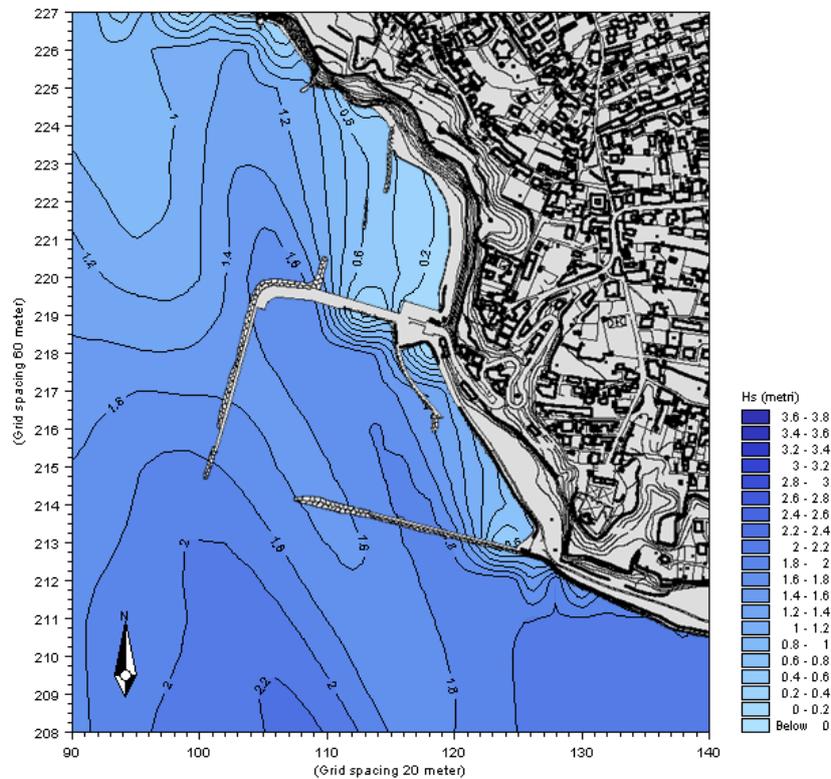


Fig. 23.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 180° N ; Altezza 2.62 m ; Periodo 6.96 ; Tr = 50 anni.

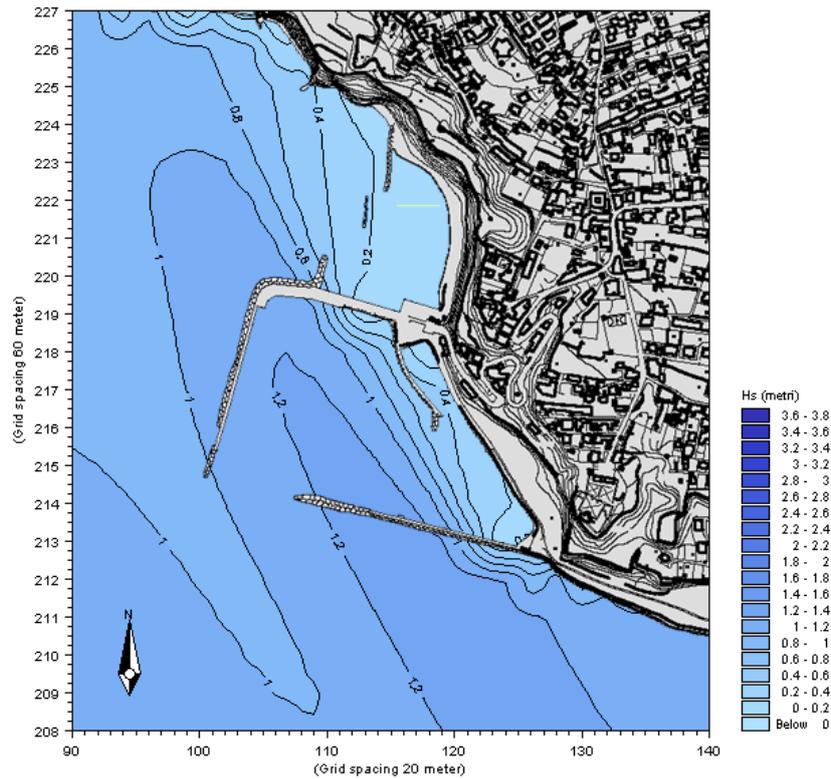


Fig. 16.2 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 110° N ; Altezza 1.36 m ;
Periodo 5.02 ; Tr = 5 anni.

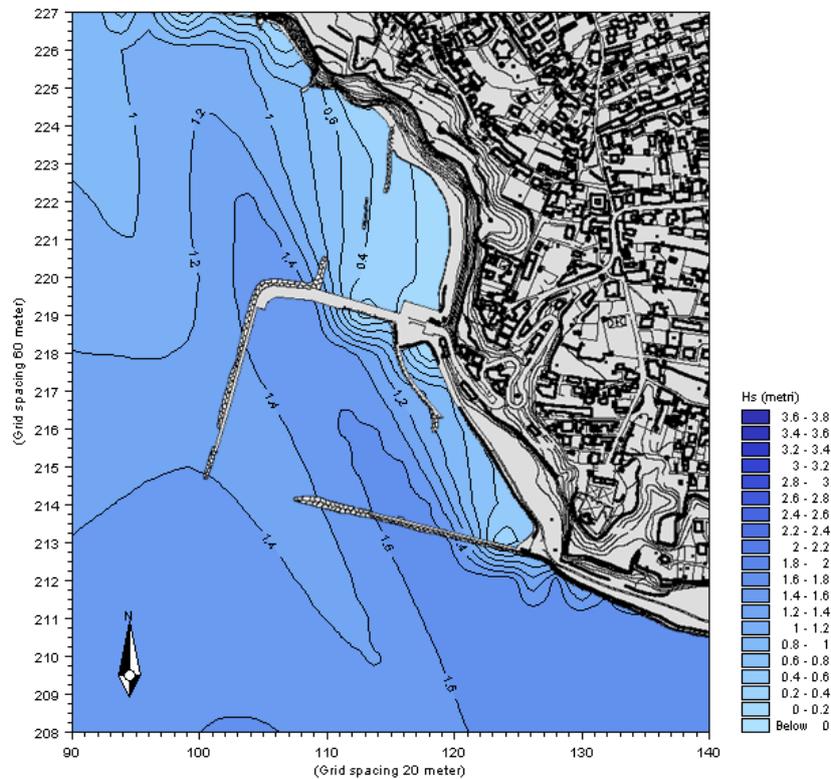


Fig. 17.2 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 150° N ; Altezza 1.94 m ;
Periodo 5.99 ; Tr = 5 anni.

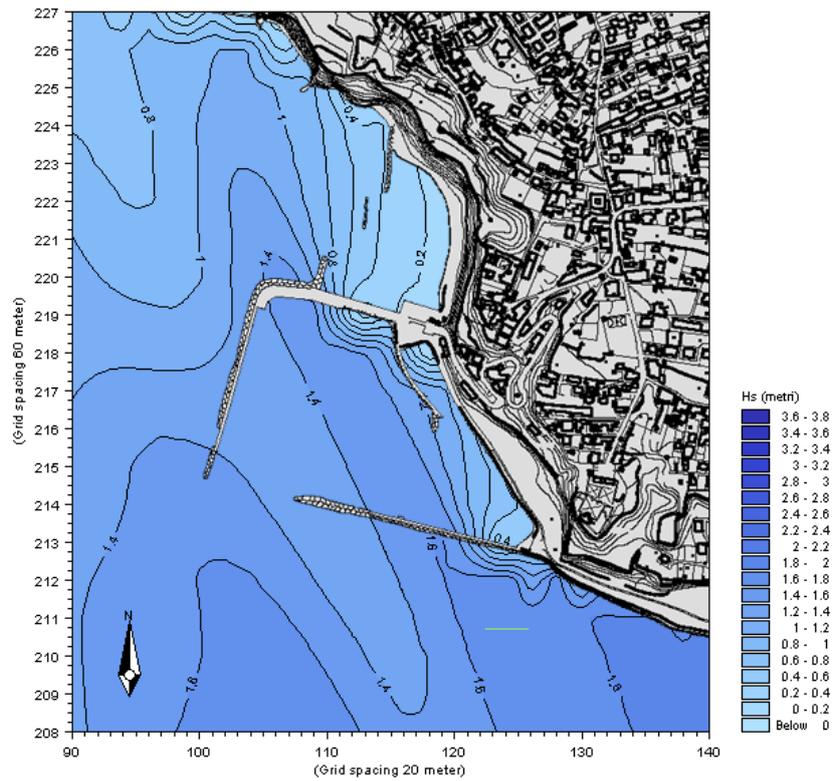


Fig. 18.2 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 180° N ; Altezza 2.02 m ;
Periodo 6.18 ; Tr = 5 anni.

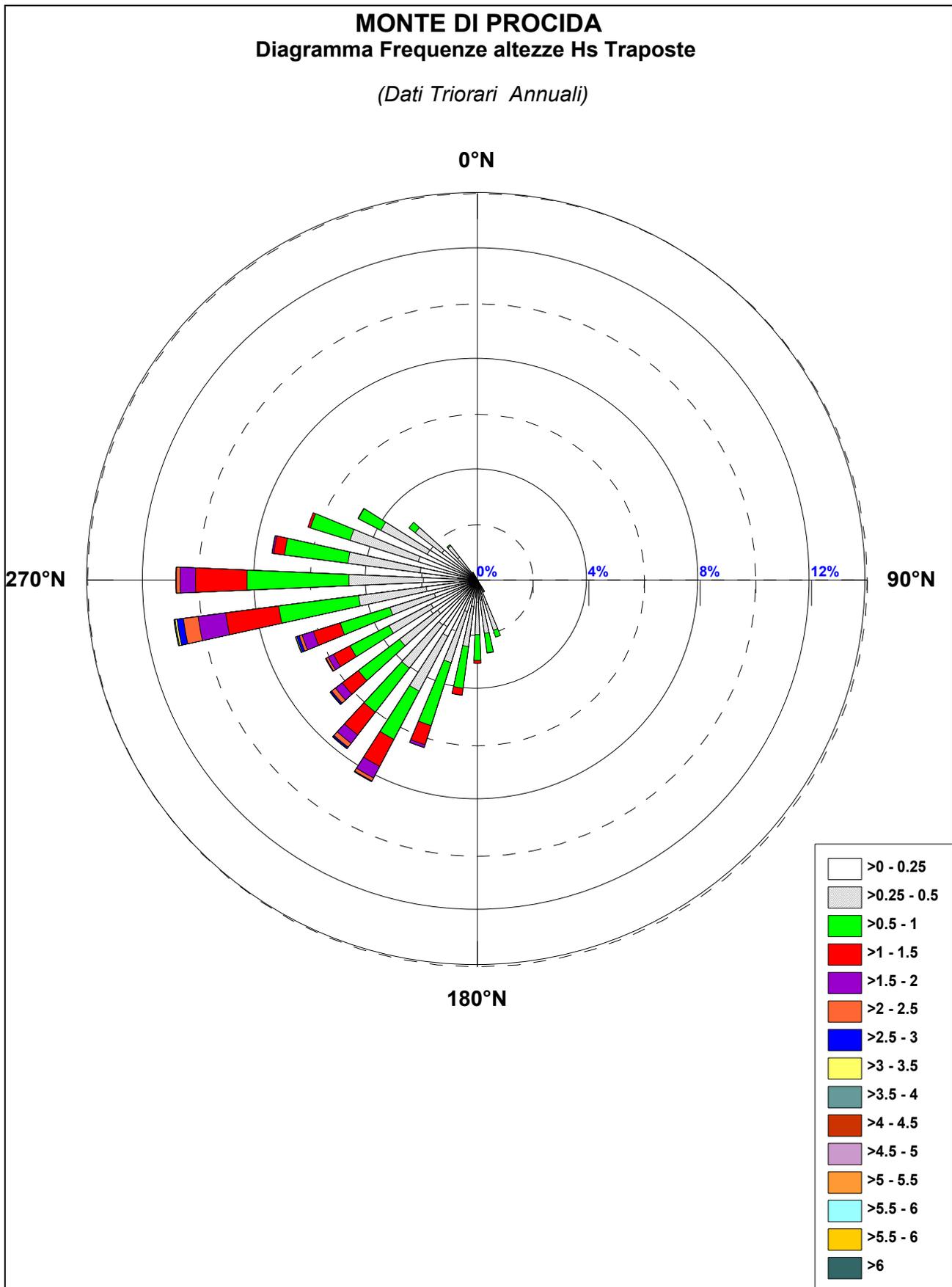


Fig. 24 – Diagramma polare del clima ondoso trasposto sottocosta (EST).

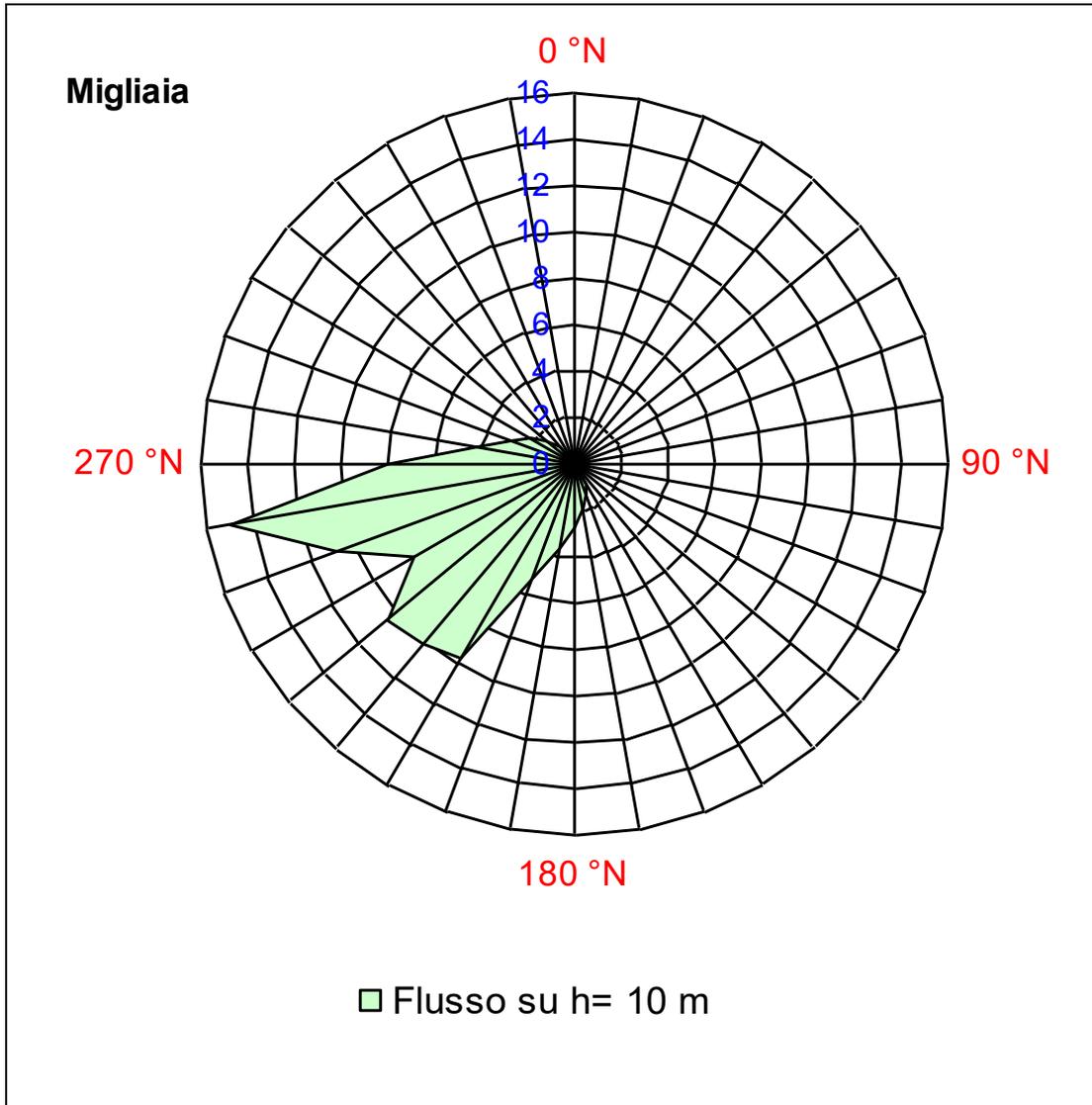


Fig. 25 – Flusso Sottocosta (EST).

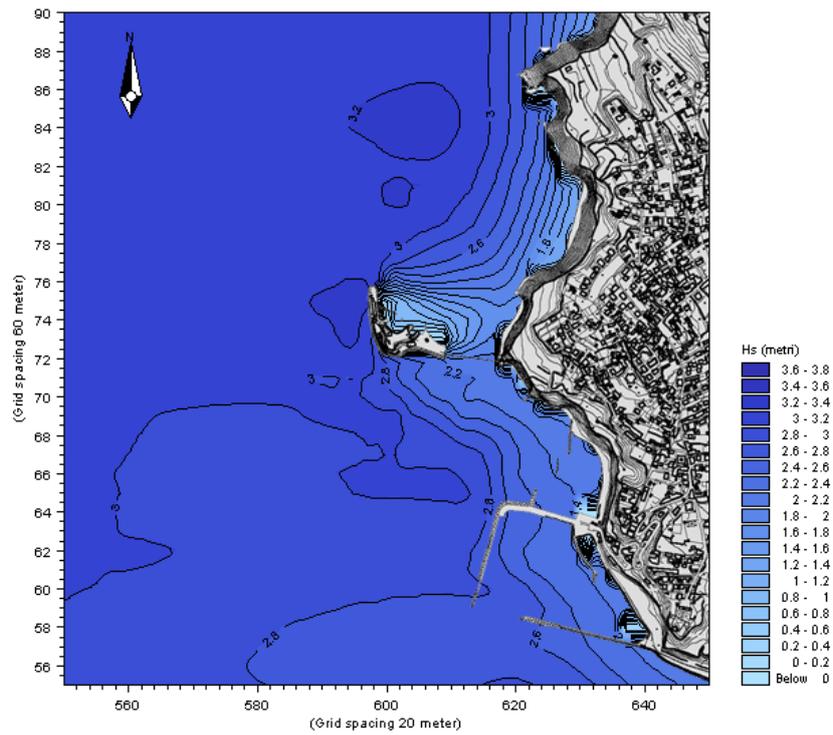


Fig. 26.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 250° N ; Altezza 3.31 m ;
Periodo 7.82 ; Tr = 50 anni.

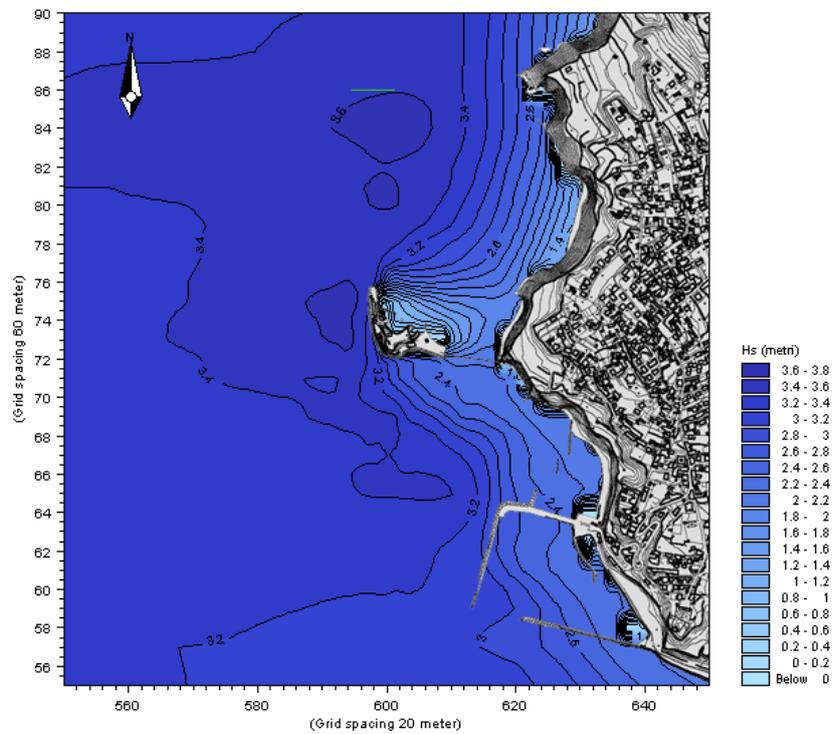


Fig. 27.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 260° N ; Altezza 3.70 m ;
Periodo 8.26 ; Tr = 50 anni.

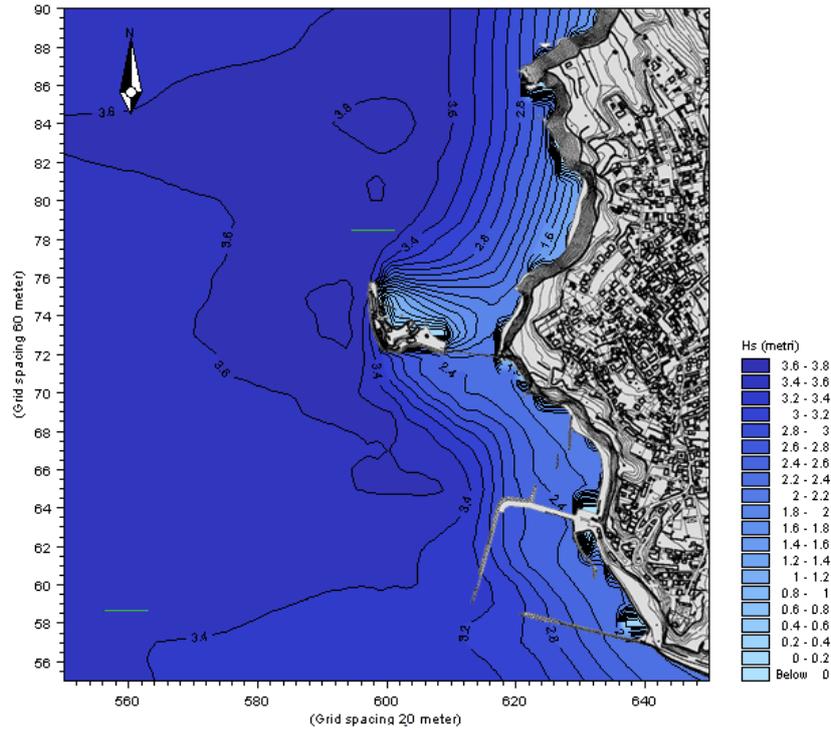


Fig. 28.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 270° N ; Altezza 3.90 m ;
Periodo 8.49 ; Tr = 50 anni.

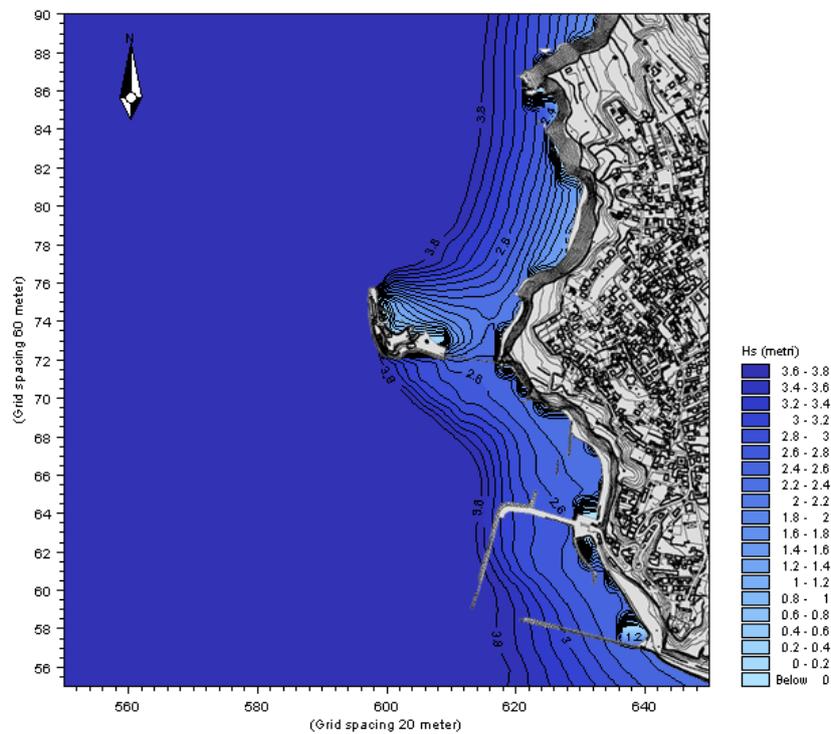


Fig. 29.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 280° N ; Altezza 6.28 m ;
Periodo 10.77 ; Tr = 50 anni.

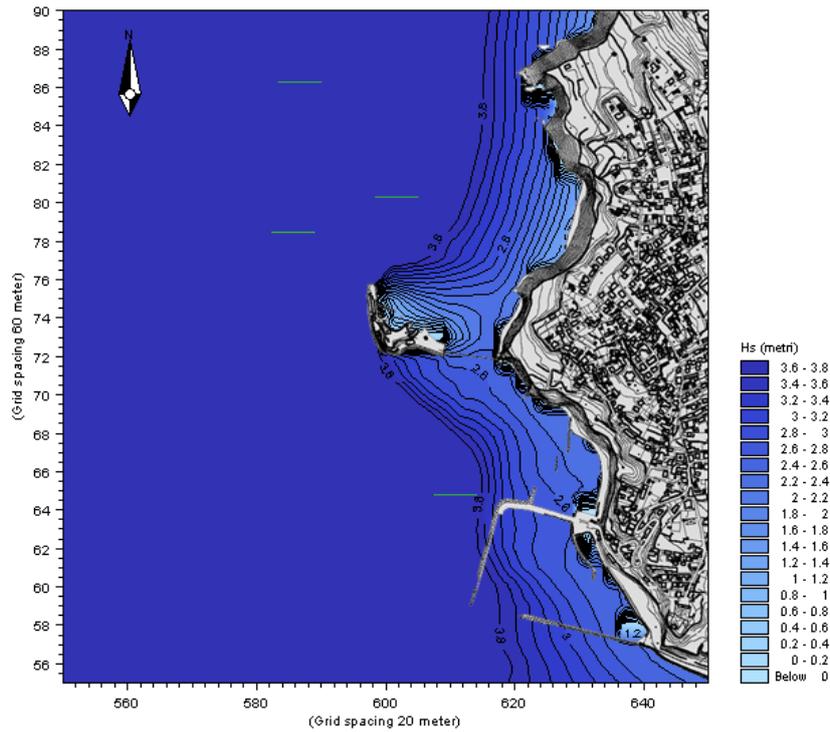


Fig. 30.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 290° N ; Altezza 6.57 m ;
 Periodo 11.02 ; Tr = 50 anni.

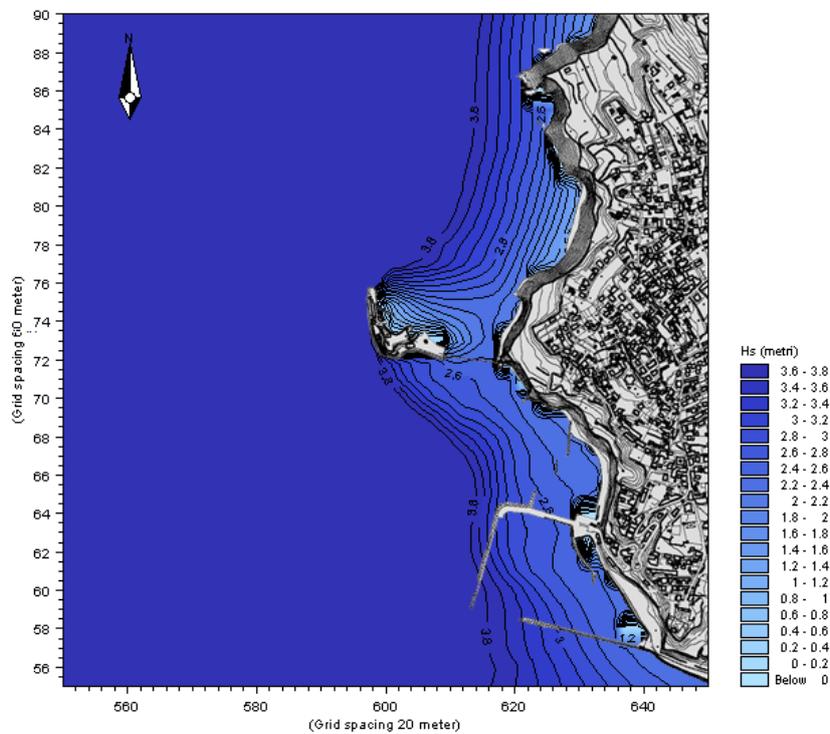


Fig. 31.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 300° N ; Altezza 5.64 m ;
 Periodo 10.21 ; Tr = 50 anni.

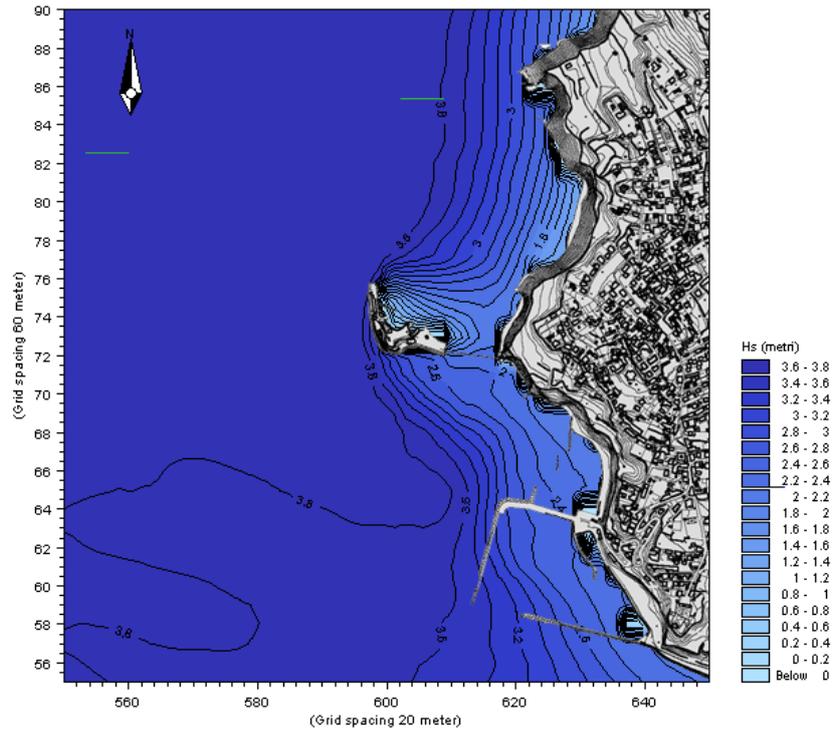


Fig. 32.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 310° N ; Altezza 4.31 m ;
Periodo 8.93 ; Tr = 50 anni.

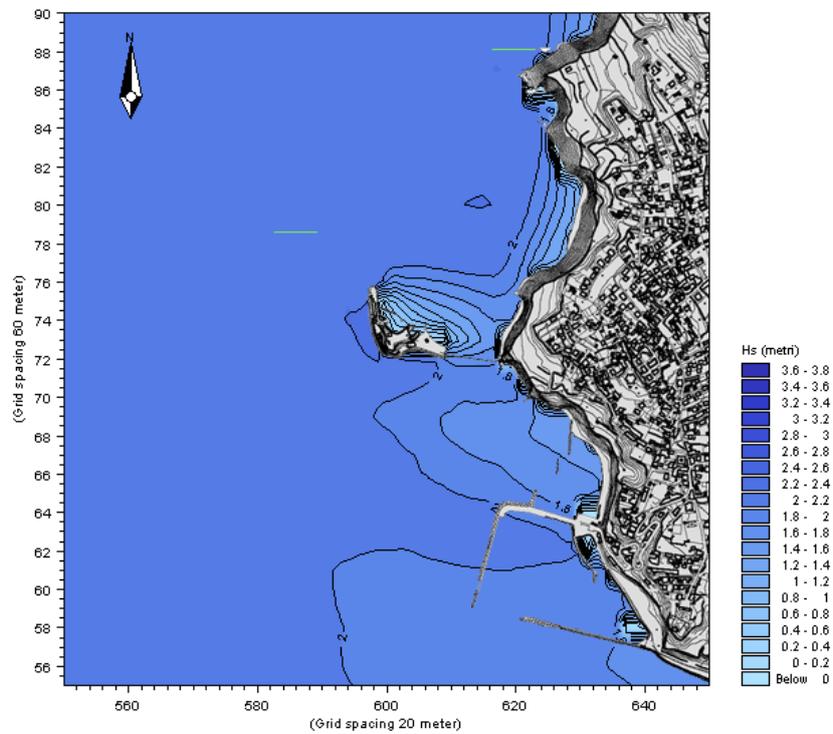


Fig. 33.1 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 320° N ; Altezza 2.33 m ;
Periodo 6.56 ; Tr = 50 anni.

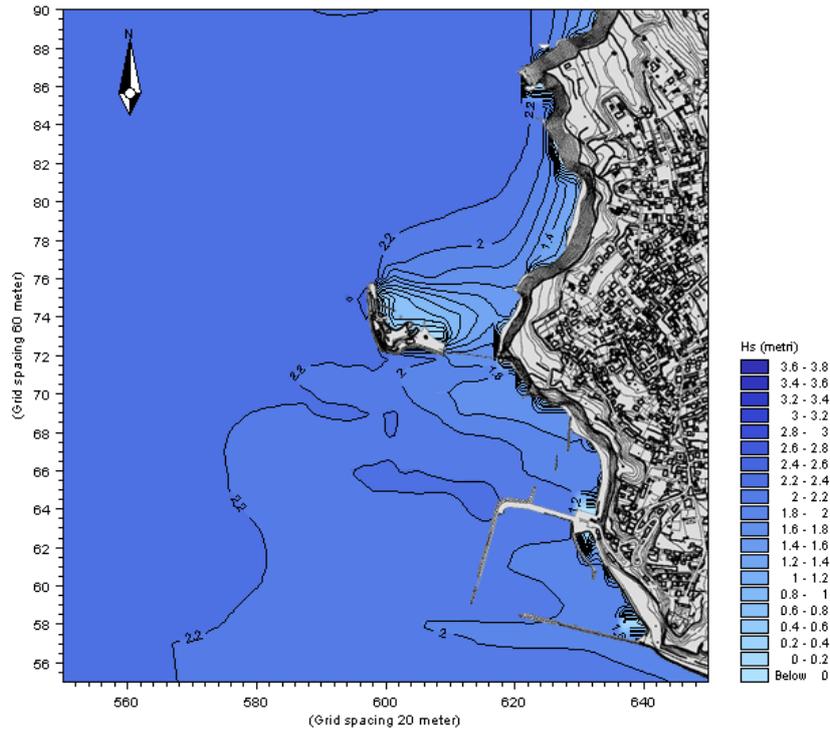


Fig. 26.2 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 250° N ; Altezza 2.43 m ;
Periodo 6.70 ; Tr = 5 anni.

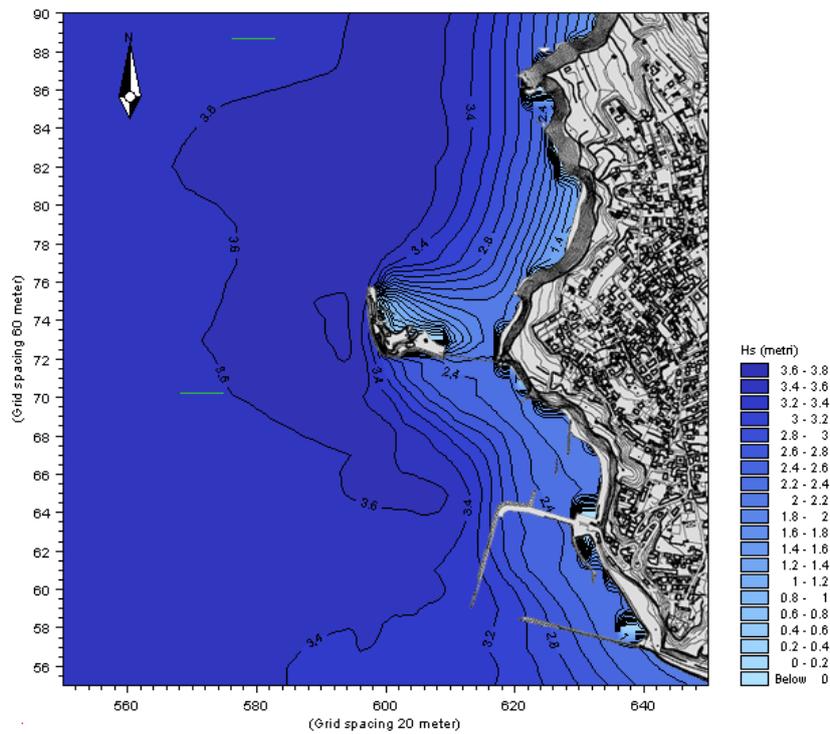


Fig. 27.2 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 300° N ; Altezza 3.93 m ;
Periodo 8.52 ; Tr = 5 anni.

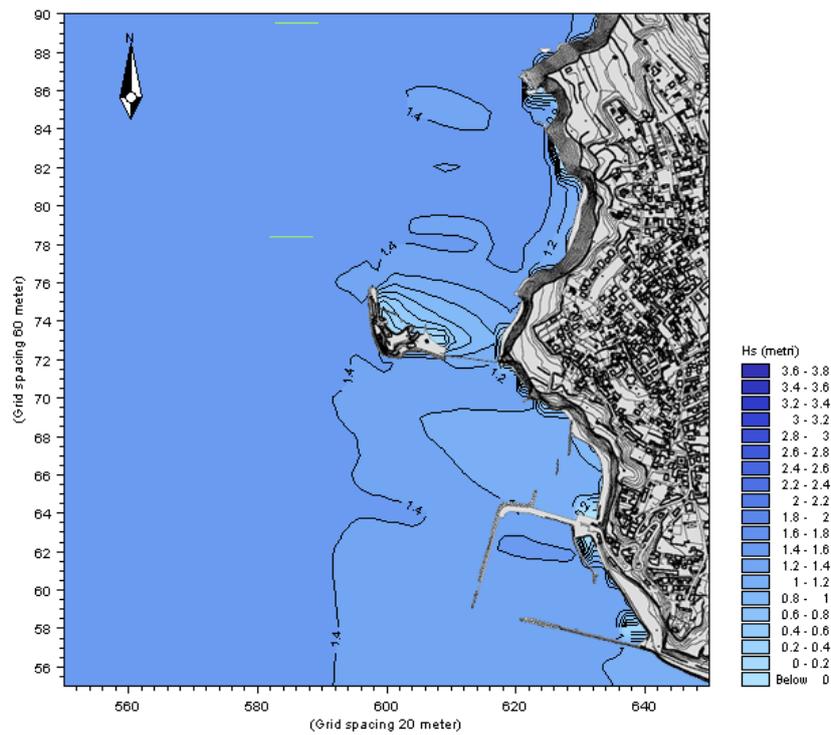


Fig. 28.2 – Propagazione del moto ondoso – Onde Estreme – Condizioni di largo : Direzione 320° N ; Altezza 1.55 m ;
 Periodo 5.36 ; Tr = 5 anni.

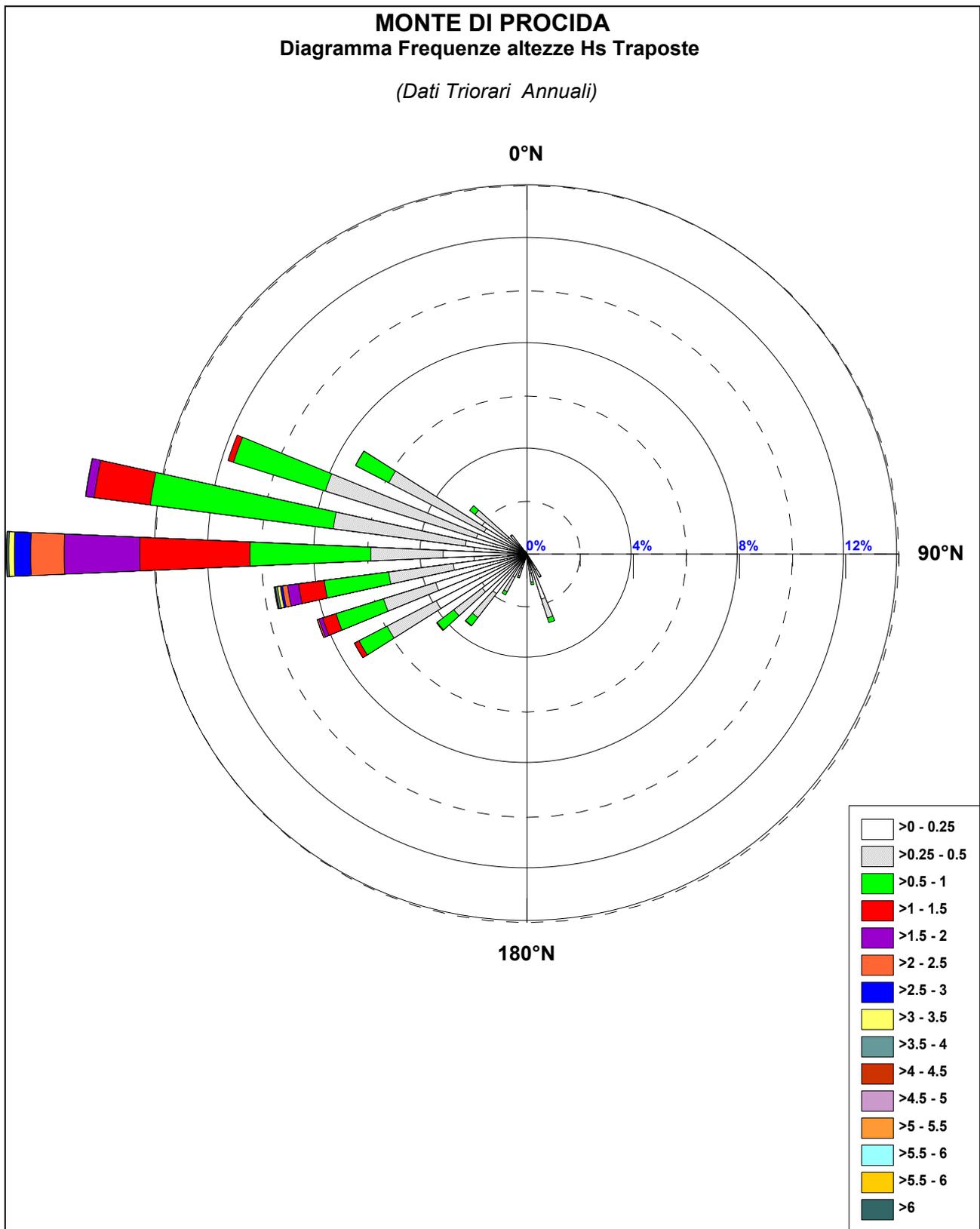


Fig. 34 – Diagramma polare del clima ondoso trasposto sottocosta (OVEST).

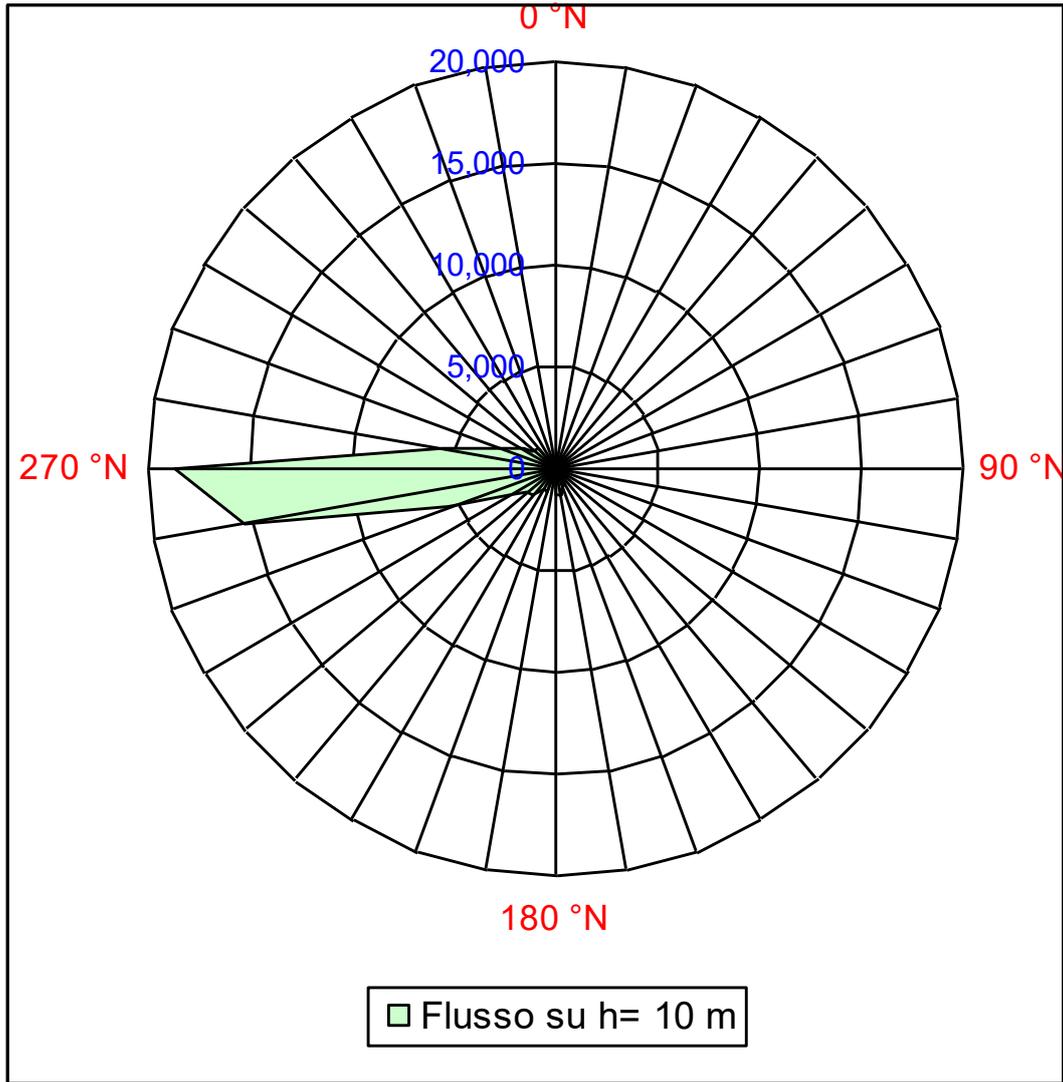


Fig. 35 - Flusso Sottocosta (OVEST).

largo			sottocosta h = -12 m		
dir	H (m)	T (s)	dir	H (m)	T (s)
250 ° N	3.31	7.82	266 ° N	2.86	7.82
260 ° N	3.70	8.26	269 ° N	3.23	8.26
270 ° N	3.90	8.49	272 ° N	3.42	8.49
280 ° N	6.28	10.77	274 ° N	5.51	10.77
290 ° N	6.57	11.02	276 ° N	5.73	11.02
300 ° N	5.64	10.21	279 ° N	5.00	10.21
310 ° N	4.31	8.93	284 ° N	3.77	8.93
320 ° N	2.33	6.56	293 ° N	2.02	6.56

Tab. 9 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme alla profondità 12 m
(TR=50 anni - OVEST)

largo			sottocosta h = -12 m		
dir	H (m)	T (s)	dir	H (m)	T (s)
250 ° N	2.43	6.70	265 ° N	2.12	6.70
260 ° N	2.73	7.11	269 ° N	2.38	7.11
270 ° N	3.05	7.51	273 ° N	2.66	7.51
280 ° N	4.82	9.44	275 ° N	4.26	9.44
290 ° N	5.21	9.81	277 ° N	4.63	9.81
300 ° N	3.93	8.52	282 ° N	3.45	8.52
310 ° N	2.95	7.38	288 ° N	2.56	7.38
320 ° N	1.55	5.36	297 ° N	1.40	5.36

Tab. 10 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme alla profondità 12 m
(TR=5 anni - OVEST)

largo			sottocosta h = -12 m		
dir	H (m)	T (s)	dir	H (m)	T (s)
110 ° N	1.92	5.95	139 ° N	1.65	5.95
120 ° N	1.64	5.51	141 ° N	1.45	5.51
130 ° N	1.83	5.82	144 ° N	1.61	5.82
140 ° N	2.33	6.57	149 ° N	2.00	6.57
150 ° N	2.64	6.98	152 ° N	2.23	6.98
160 ° N	2.49	6.79	155 ° N	2.10	6.79
170 ° N	2.29	6.51	158 ° N	1.90	6.51
180 ° N	2.62	6.96	160 ° N	2.20	6.96

Tab. 11 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme alla profondità 12 m
(TR=50 anni - EST)

largo			sottocosta h = -12 m		
dir	H (m)	T (s)	dir	H (m)	T (s)
110 ° N	1.36	5.02	139 ° N	1.21	5.02
120 ° N	1.20	4.70	141 ° N	1.10	4.70
130 ° N	1.31	4.92	144 ° N	1.18	4.92
140 ° N	1.62	5.47	149 ° N	1.41	5.47
150 ° N	1.94	5.99	152 ° N	1.64	5.99
160 ° N	1.86	5.87	155 ° N	1.54	5.87
170 ° N	1.79	5.76	158 ° N	1.50	5.76
180 ° N	2.07	6.18	160 ° N	1.61	6.18

Tab. 12 – Altezze e periodi significativi delle onde estreme alla profondità 12 m
(TR=5 anni - EST)

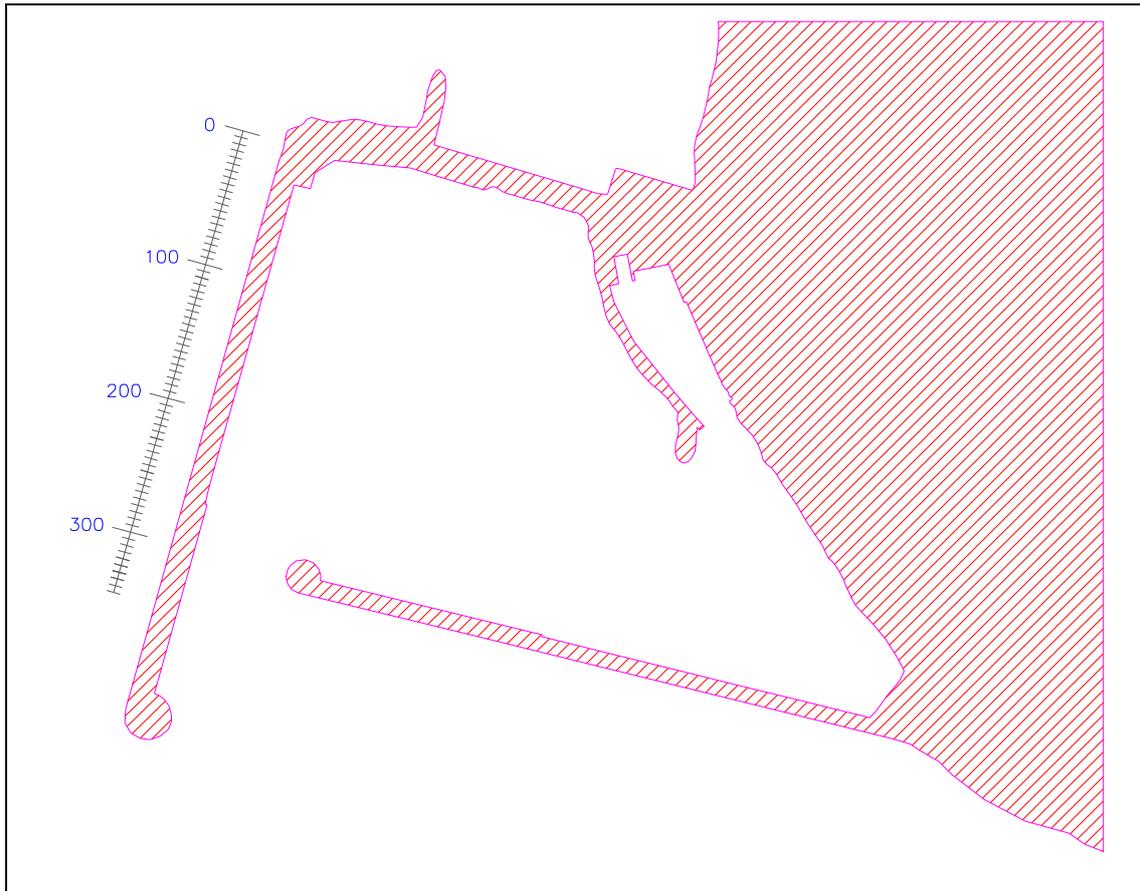


Fig. 36 – Progressiva lungo la quale sono state calcolate le altezze d'onda di progetto

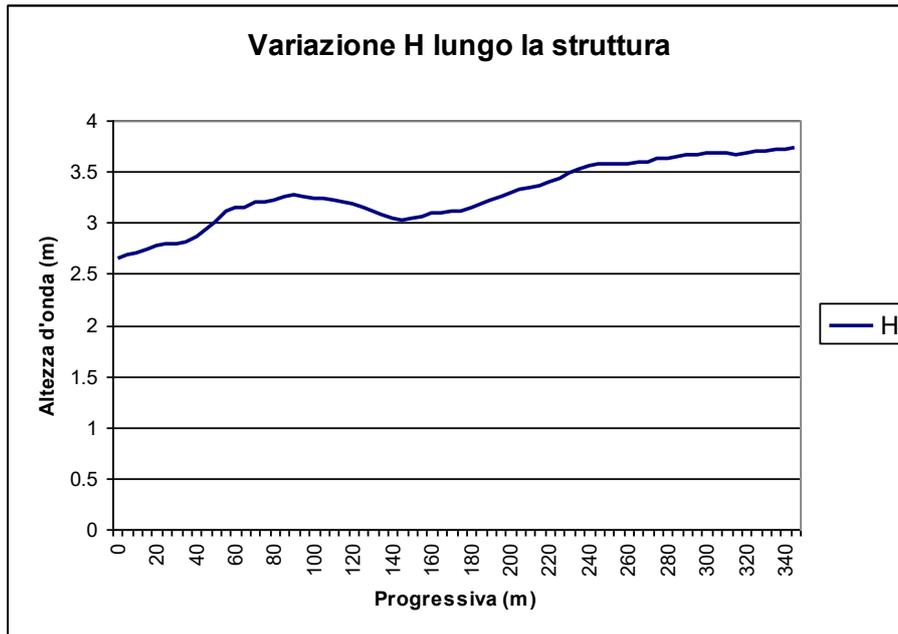


Fig. 37 – Variazione dell'altezza d'onda di progetto lungo la scogliera di sopraflutto

VARIAZIONE ALTEZZA D'ONDA LUNGO LA STRUTTURA							
Progr. (m)	H (m)	Progr. (m)	H (m)	Progr. (m)	H (m)	Progr. (m)	H (m)
0	2.66	105	3.23	210	3.34	315	3.67
5	2.68	110	3.22	215	3.36	320	3.68
10	2.71	115	3.20	220	3.40	325	3.69
15	2.74	120	3.18	225	3.44	330	3.70
20	2.77	125	3.14	230	3.48	335	3.71
25	2.79	130	3.11	235	3.52	340	3.72
30	2.80	135	3.07	240	3.55	345	3.73
35	2.82	140	3.04	245	3.57		
40	2.87	145	3.02	250	3.57		
45	2.93	150	3.04	255	3.57		
50	3.01	155	3.06	260	3.58		
55	3.10	160	3.09	265	3.59		
60	3.14	165	3.10	270	3.60		
65	3.15	170	3.11	275	3.62		
70	3.20	175	3.11	280	3.63		
75	3.20	180	3.14	285	3.65		
80	3.22	185	3.18	290	3.66		
85	3.25	190	3.22	295	3.67		
90	3.27	195	3.26	300	3.67		
95	3.26	200	3.29	305	3.68		
100	3.23	205	3.32	310	3.67		

Tab. 13 – Variazione dell'altezza d'onda di progetto lungo la scogliera di sopraflutto

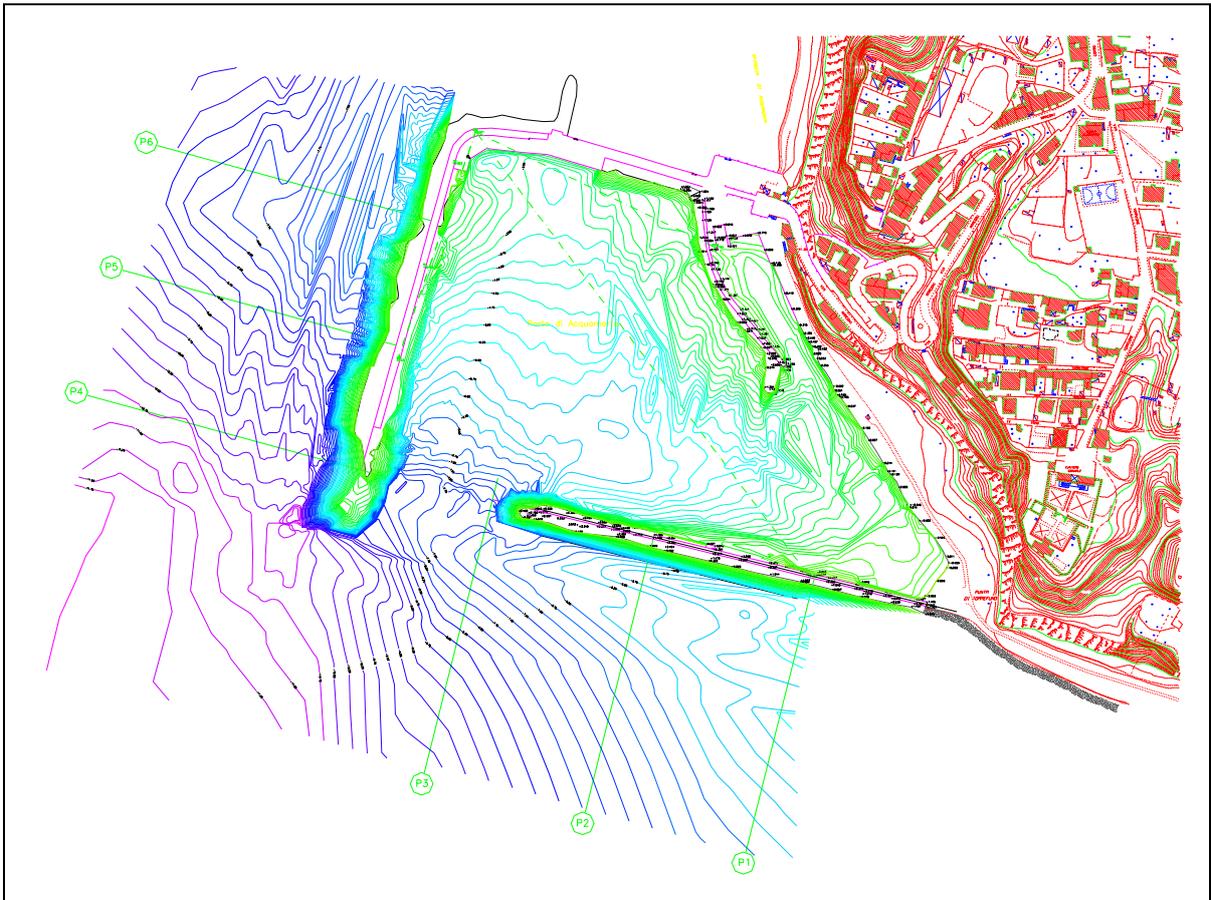


Fig. 38 – Rilievo topo-batimetrico

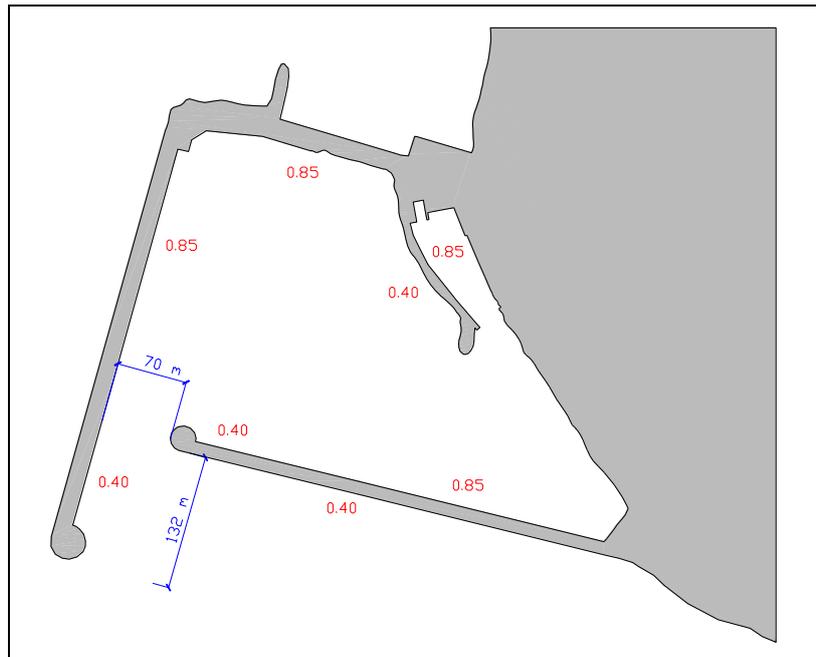


Fig. 39 - Layout portuale - Soluzione 1

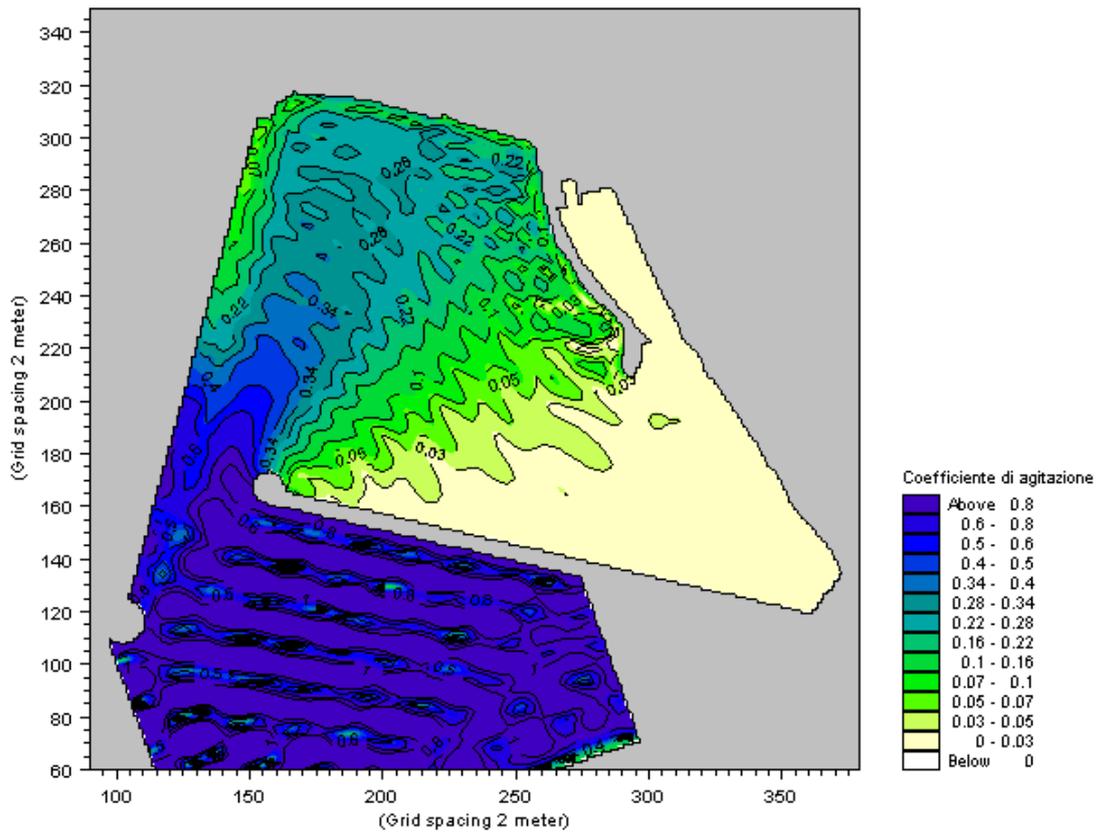


Fig. 40 - Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 1)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.82 m ; Periodo 6.96 s ; TR = 50 anni

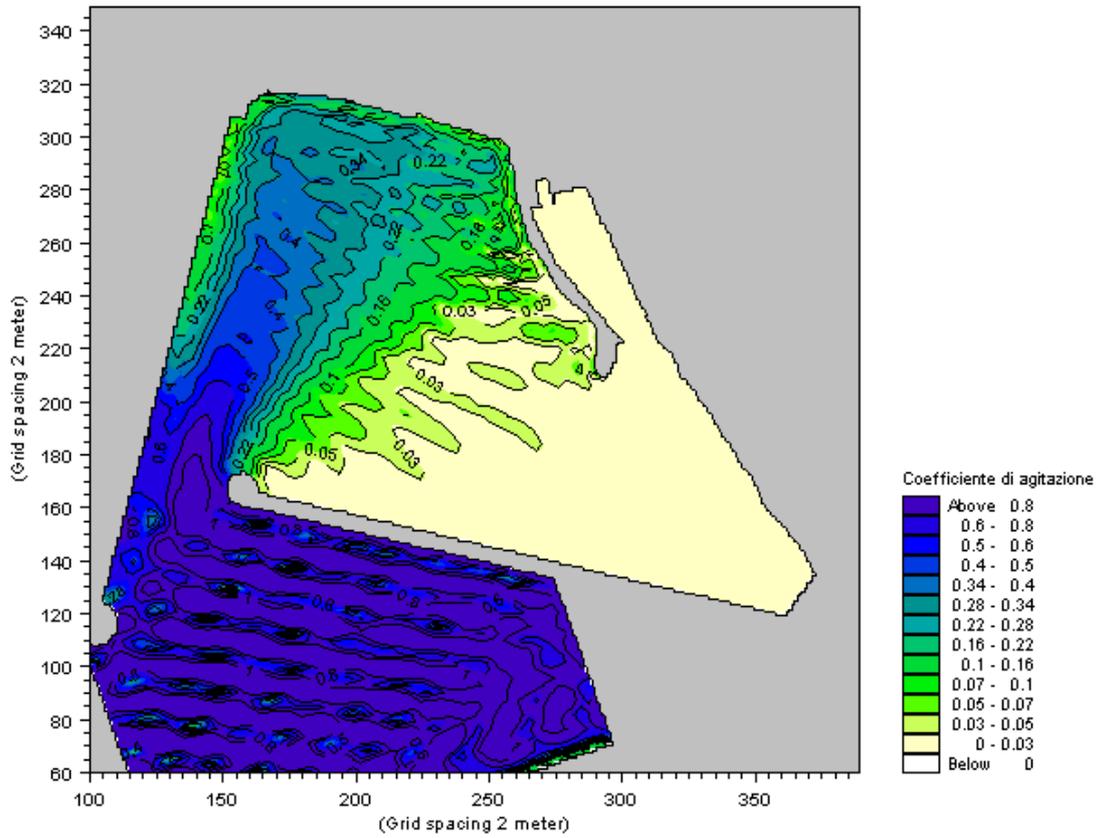


Fig. 41 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 1)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.40 m ; Periodo 6.18 s ; TR = 5 anni

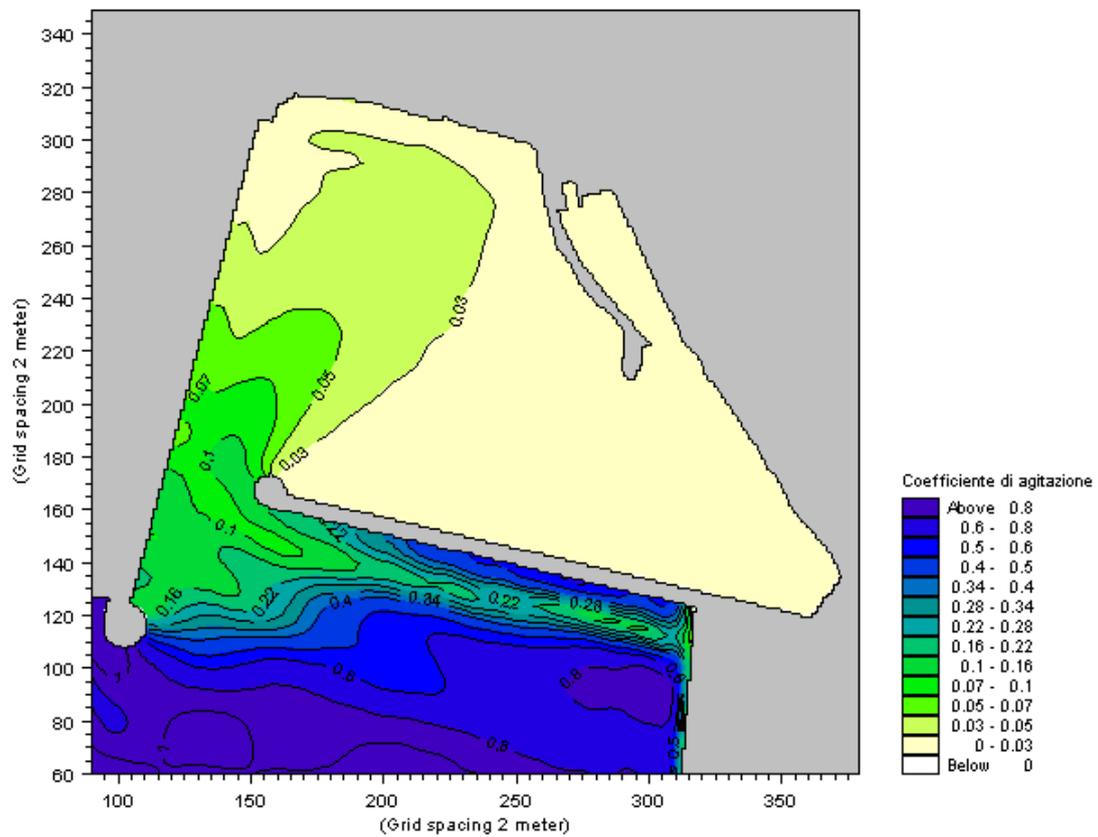


Fig. 42 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 1)
 Direzione 275°N ; Altezza 4.00 m ; Periodo 11.02 s ; TR = 50 anni

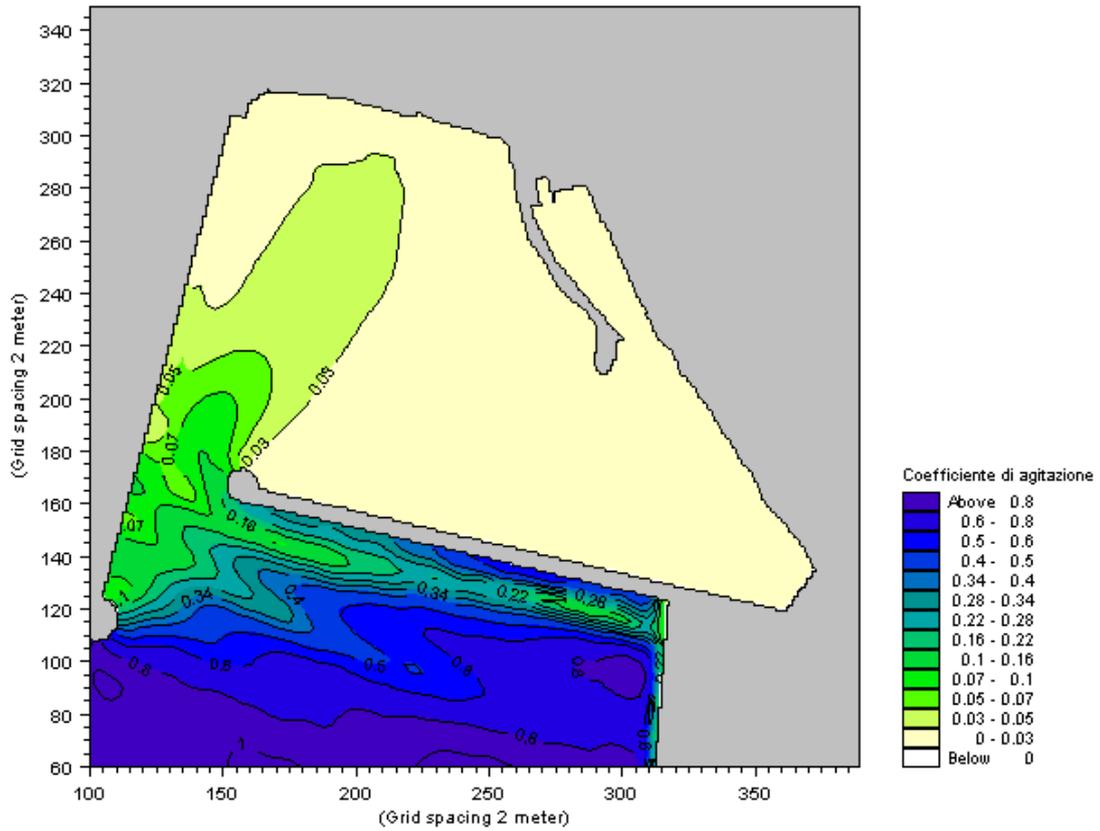


Fig. 43 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 1)
 Direzione 275°N ; Altezza 3.69 m ; Periodo 9.81 s ; TR = 5 anni



Fig. 44 – Layout portuale – Soluzione 2

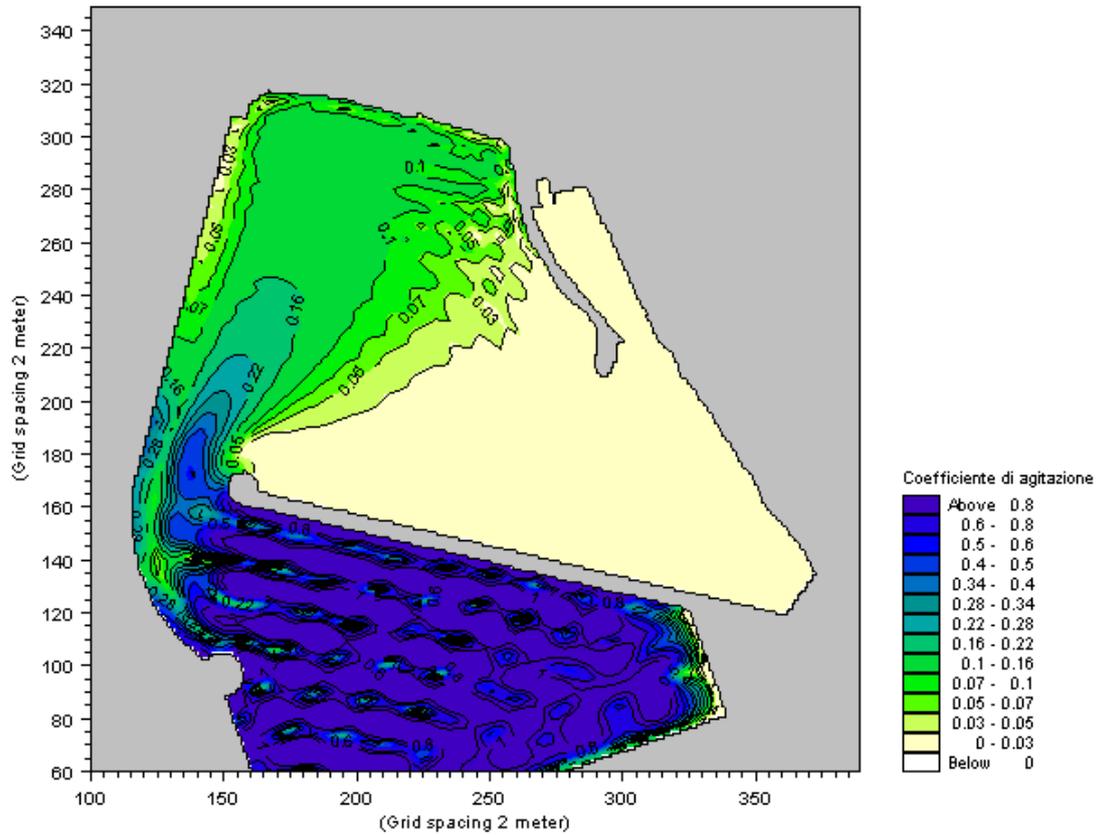


Fig. 45 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 2)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.82 m ; Periodo 6.96 s ; TR = 50 anni

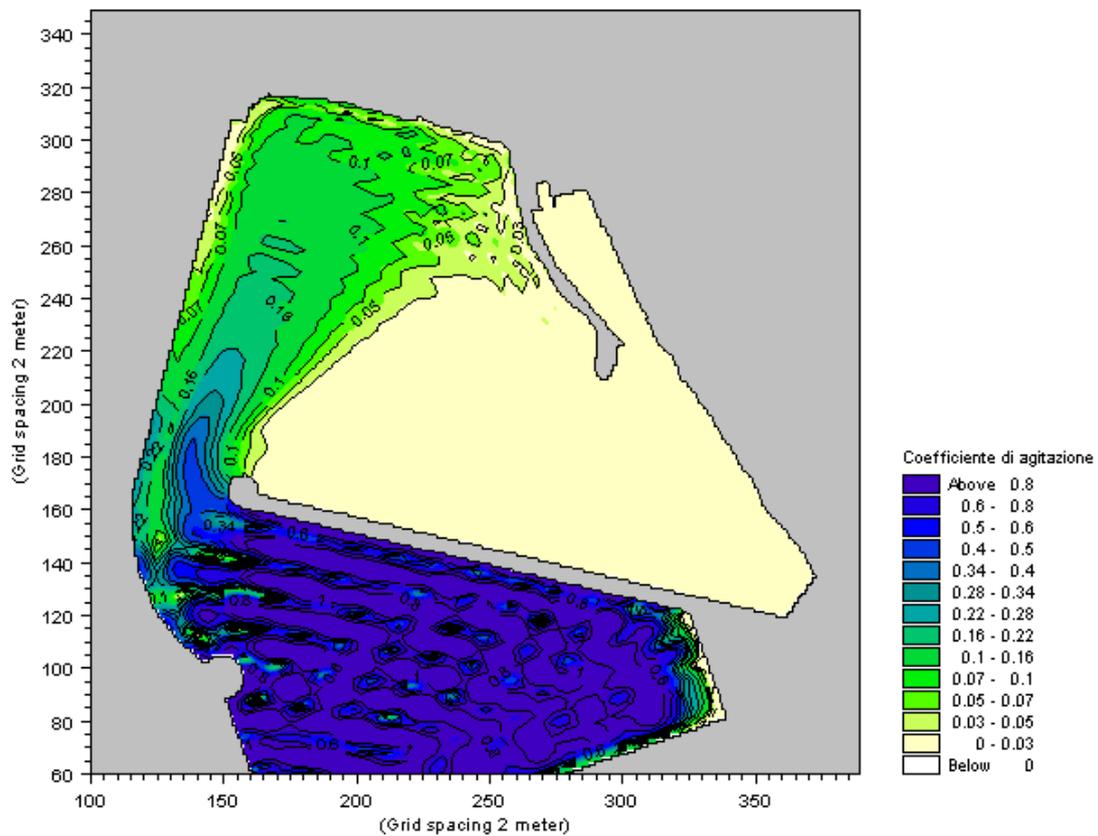


Fig. 46 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 2)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.40 m ; Periodo 6.18 s ; TR = 5 anni

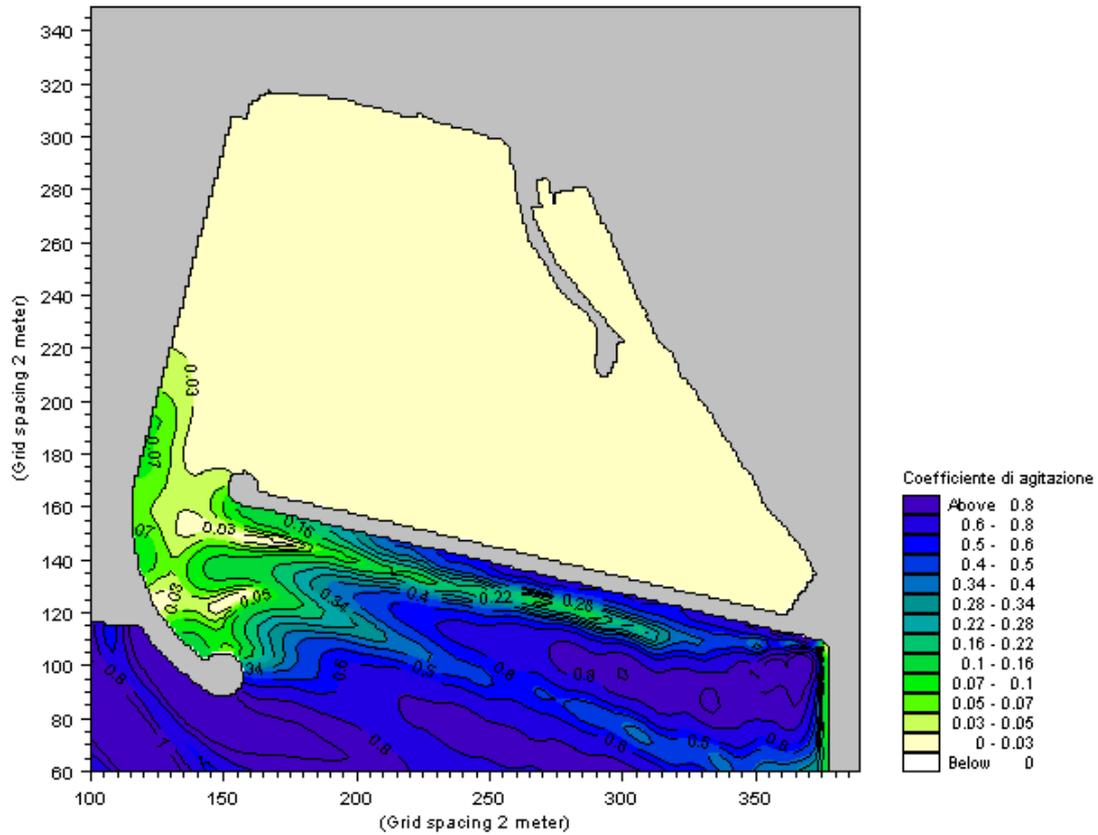


Fig. 47 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 2)
 Direzione 275°N ; Altezza 4.00 m ; Periodo 11.02 s ; TR = 50 anni

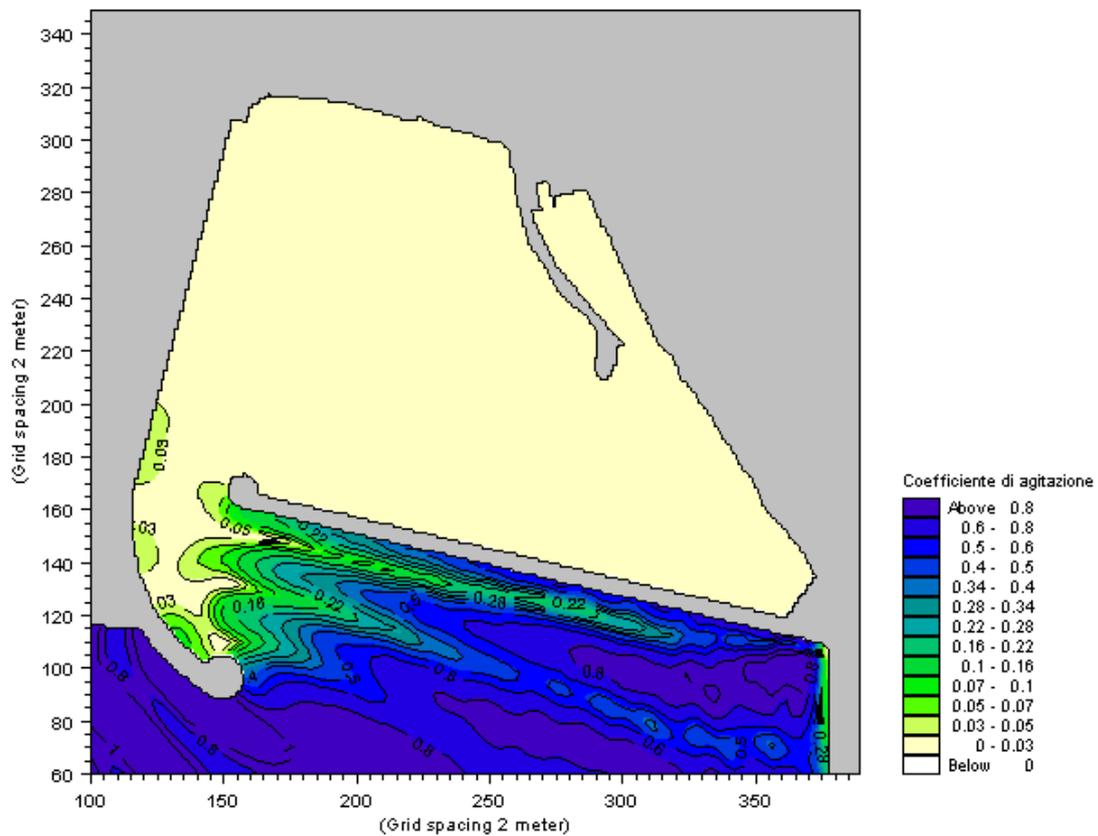


Fig. 48 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 2)
 Direzione 275°N ; Altezza 3.69 m ; Periodo 9.81 s ; TR = 5 anni



Fig. 49 - Layout portuale - Soluzione 3

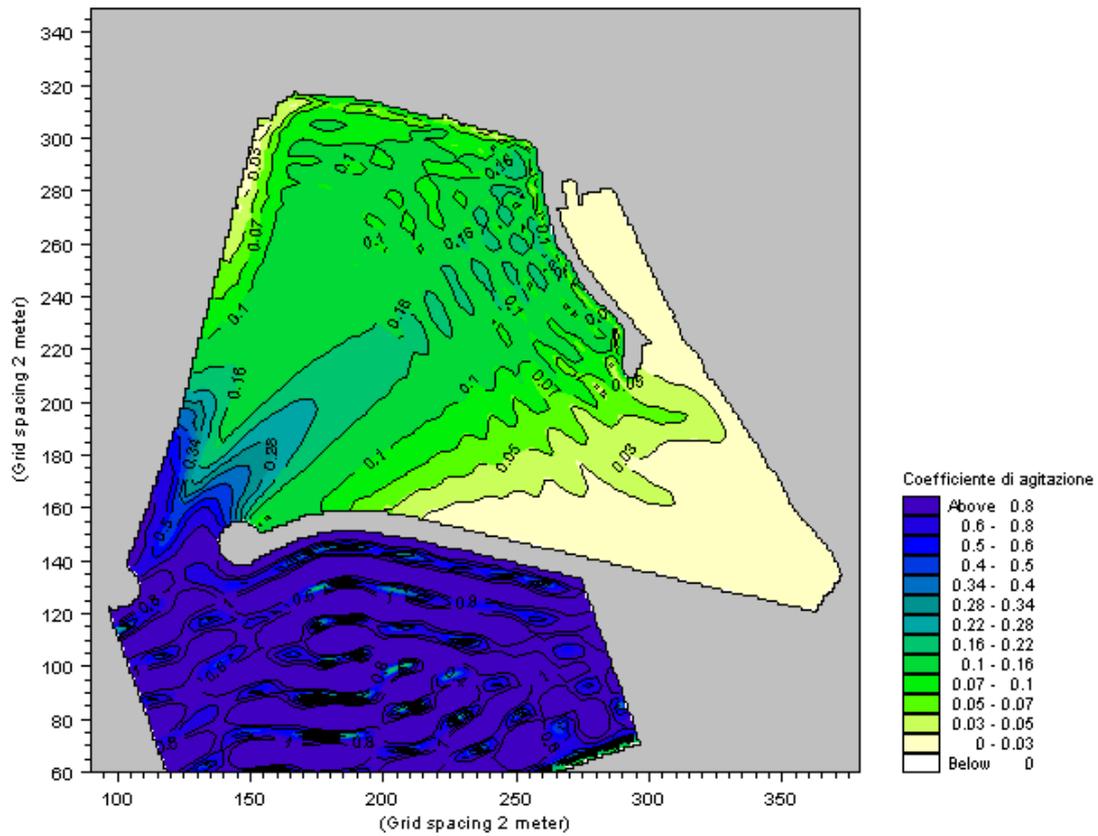


Fig. 50 - Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 3)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.82 m ; Periodo 6.96 s ; TR = 50 anni

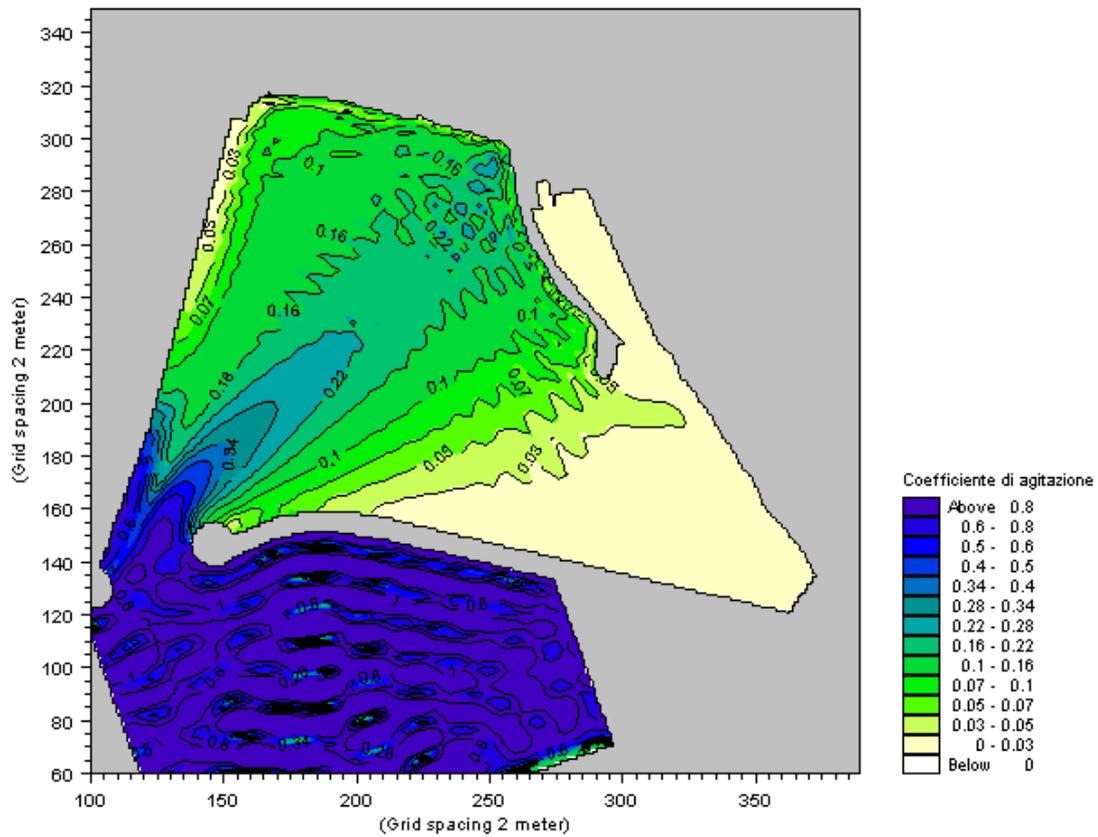


Fig. 51 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 3)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.40 m ; Periodo 6.18 s ; TR = 5 anni

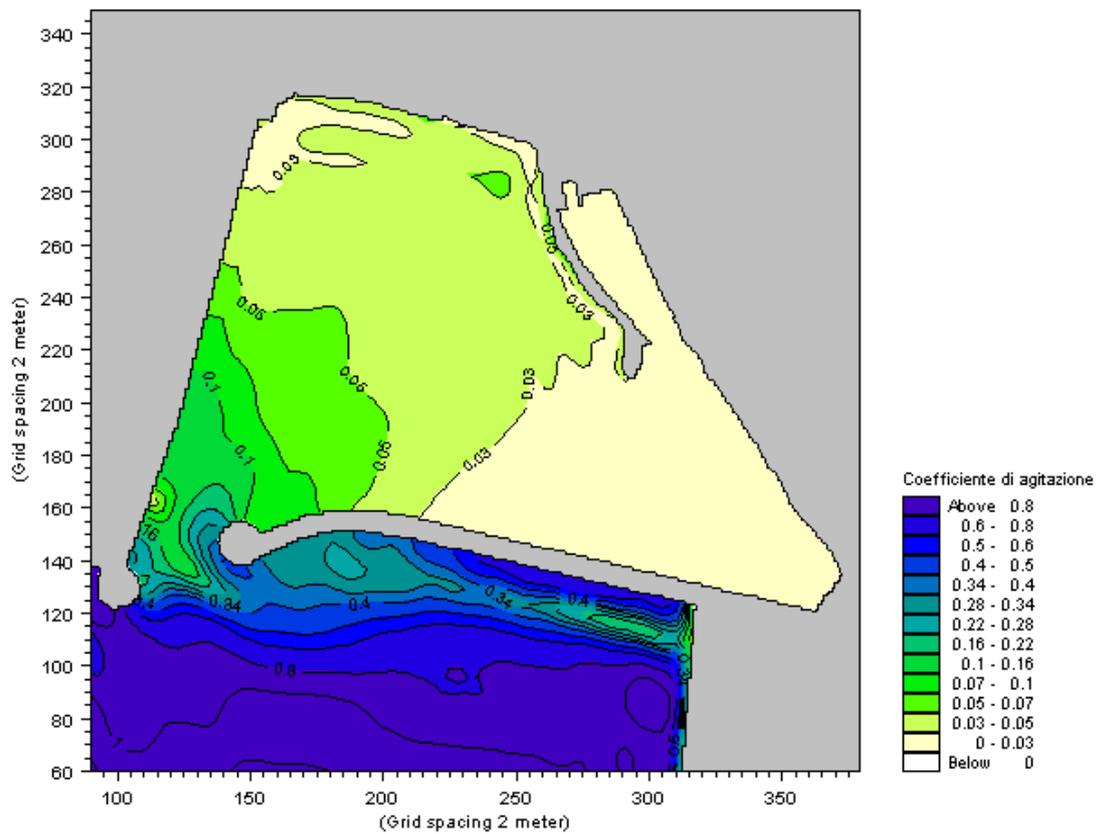


Fig. 52 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 3)
 Direzione 275°N ; Altezza 4.00 m ; Periodo 11.02 s ; TR = 50 anni

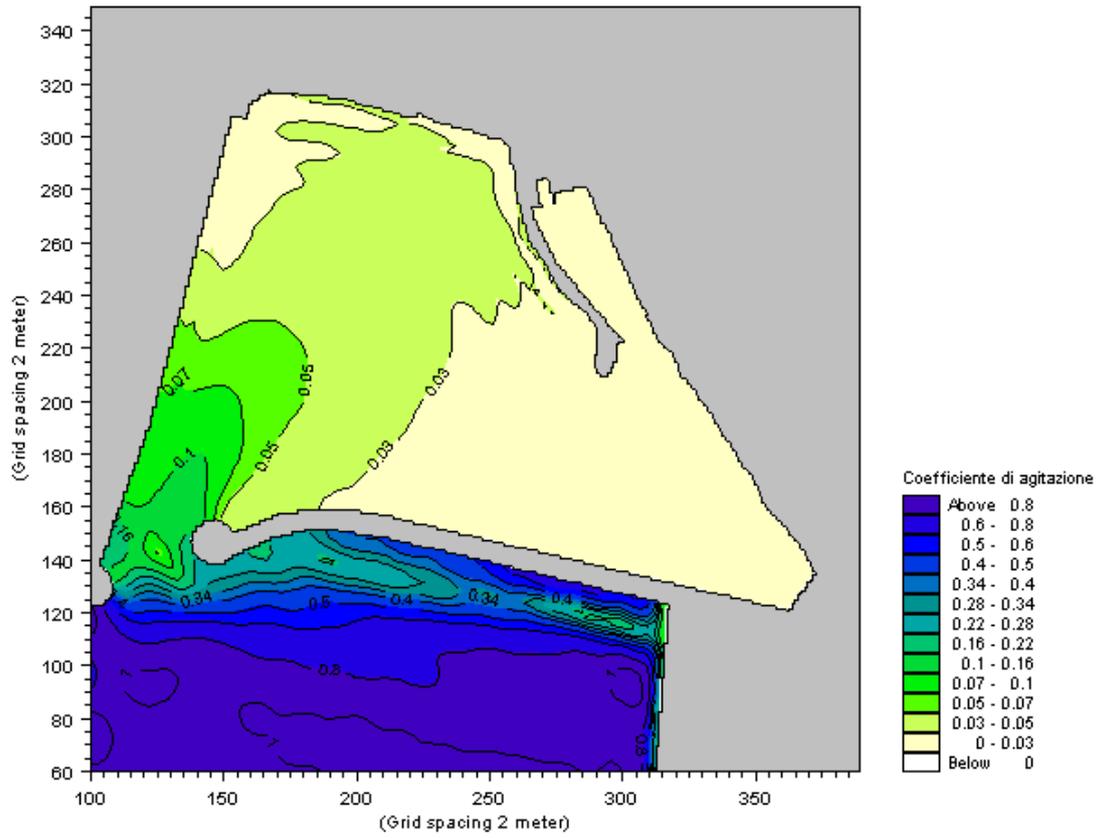


Fig. 53 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 3)
 Direzione 275°N ; Altezza 3.69 m ; Periodo 9.81 s ; TR = 5 anni

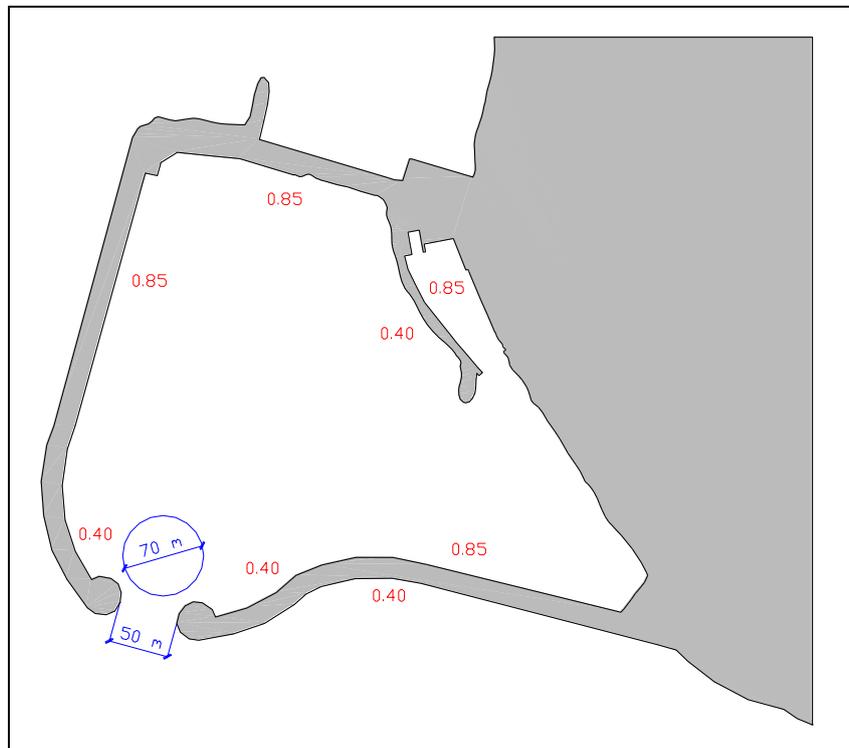


Fig. 54 – Layout portuale – Soluzione 4

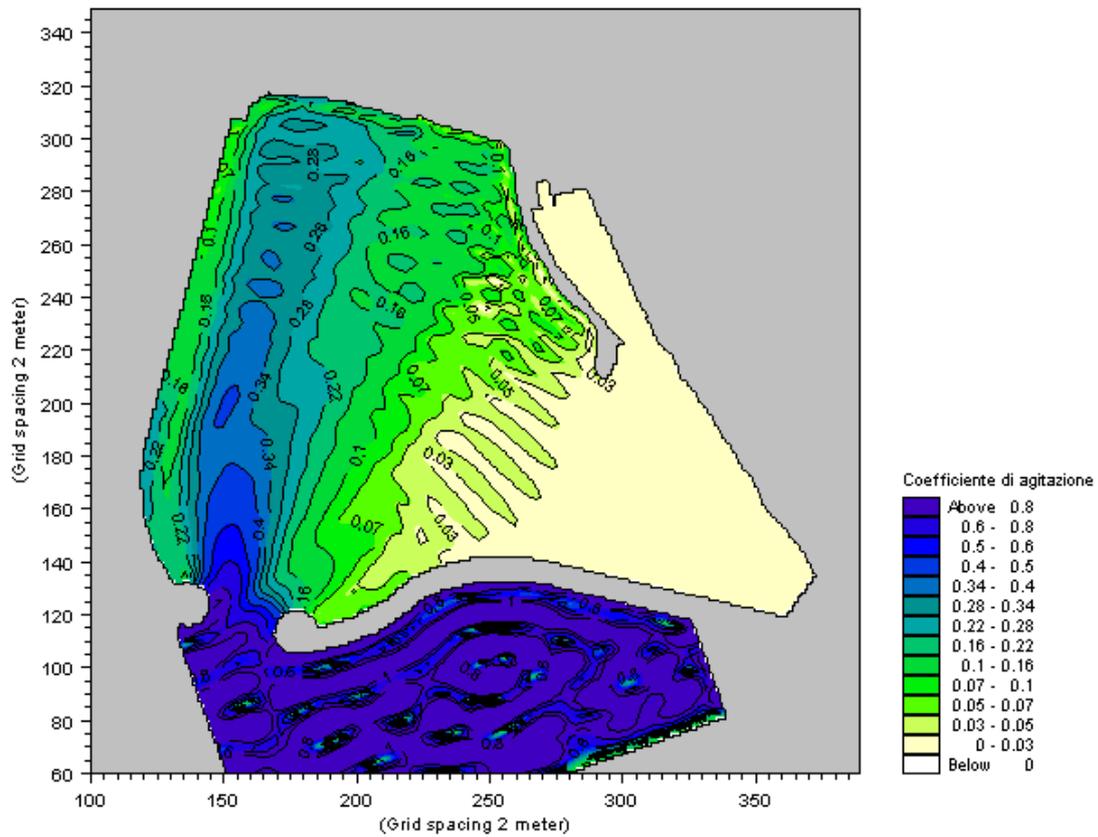


Fig. 55 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 4)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.82 m ; Periodo 6.96 s ; TR = 50 anni

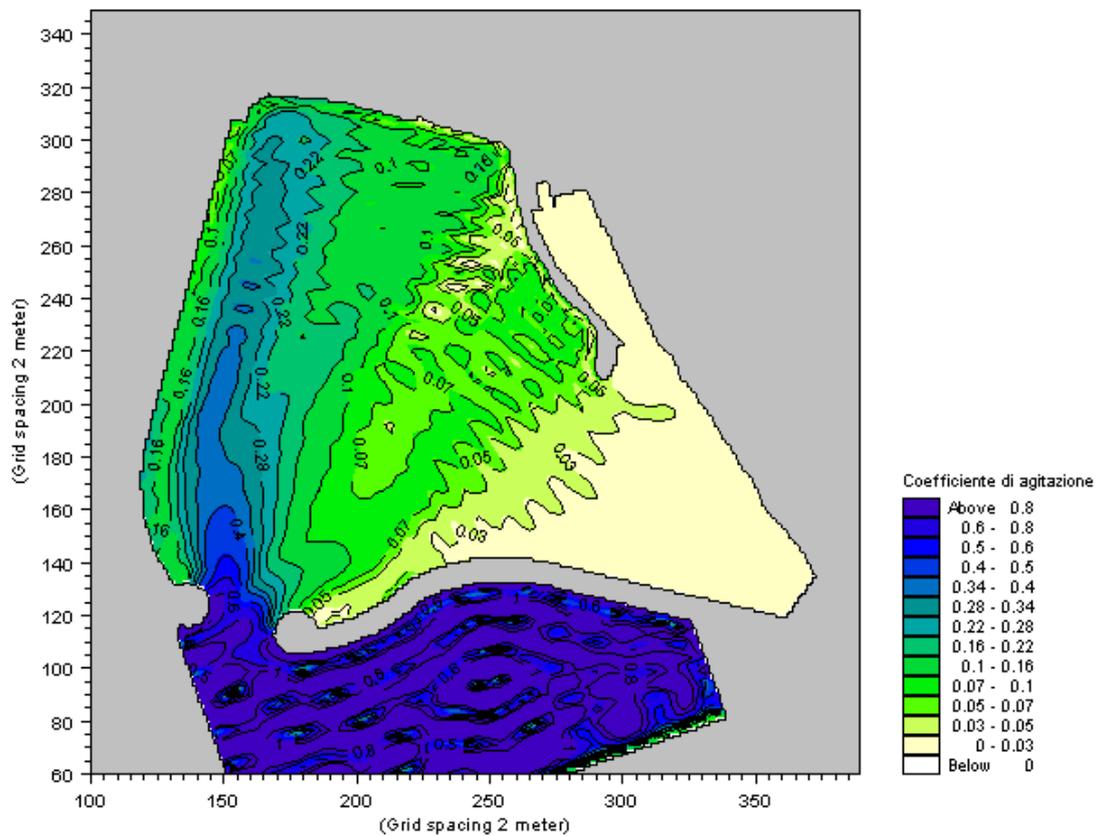


Fig. 56 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 4)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.40 m ; Periodo 6.18 s ; TR = 5 anni

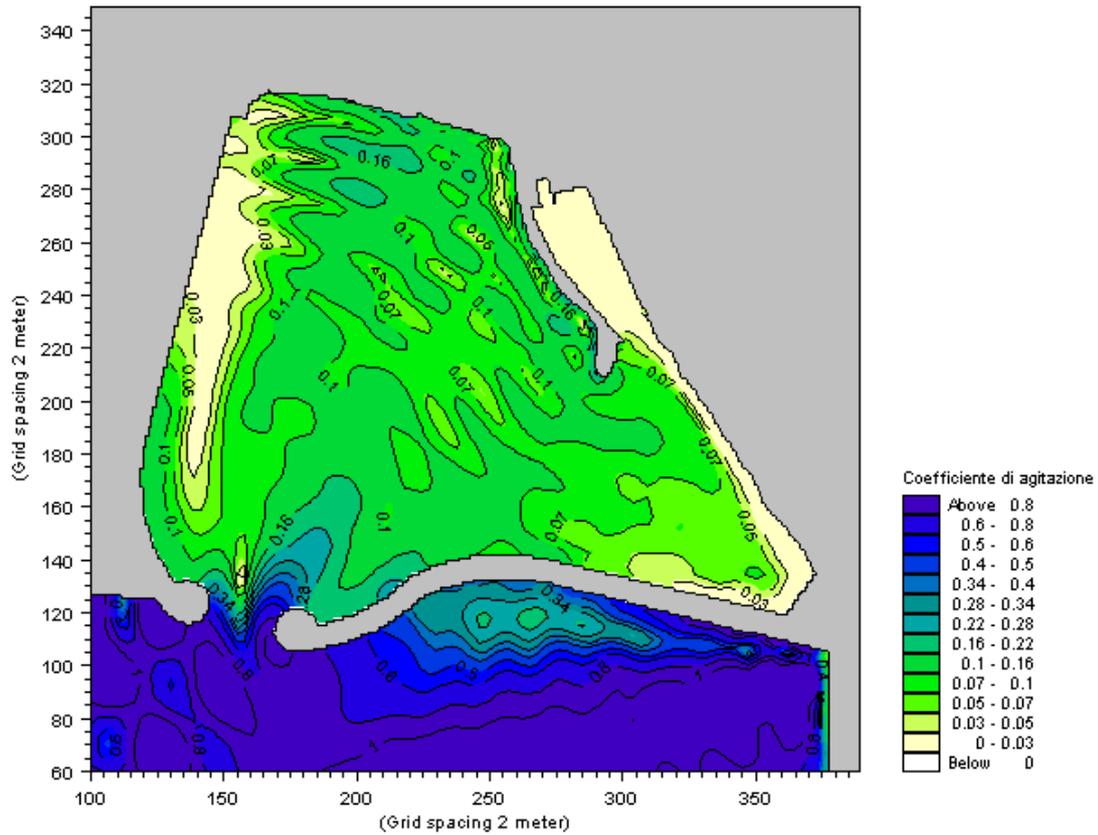


Fig. 57 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 4)
 Direzione 275°N ; Altezza 4.00 m ; Periodo 11.02 s ; TR = 50 anni

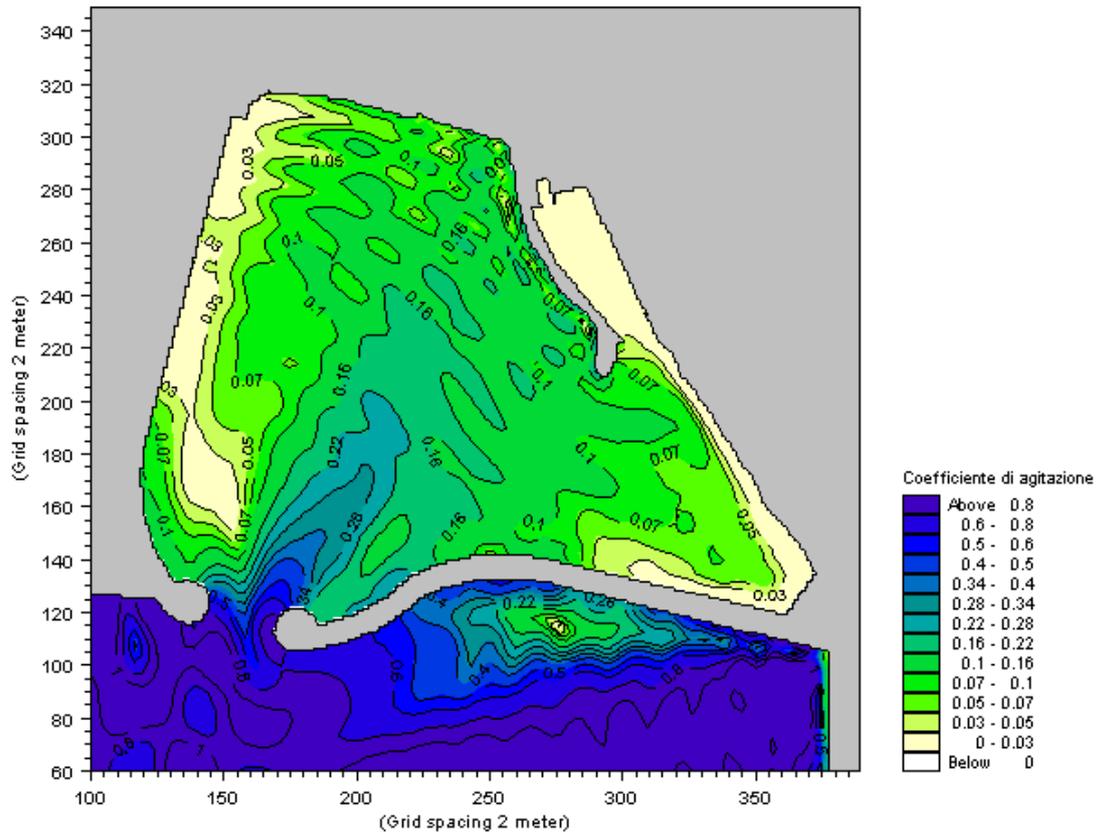


Fig. 58 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 4)
 Direzione 275°N ; Altezza 3.69 m ; Periodo 9.81 s ; TR = 5 anni

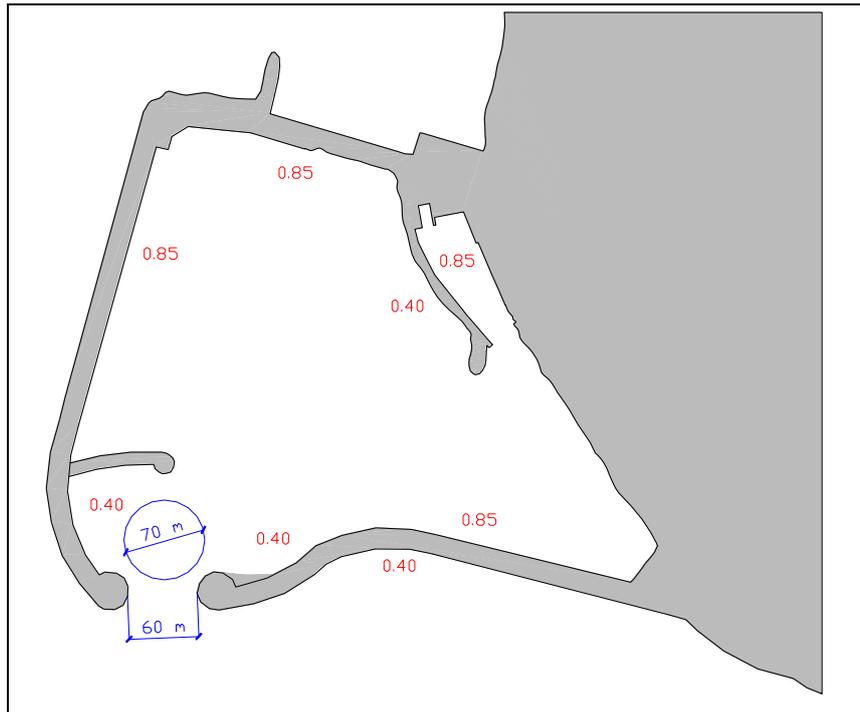


Fig. 59 - Layout portuale - Soluzione 5

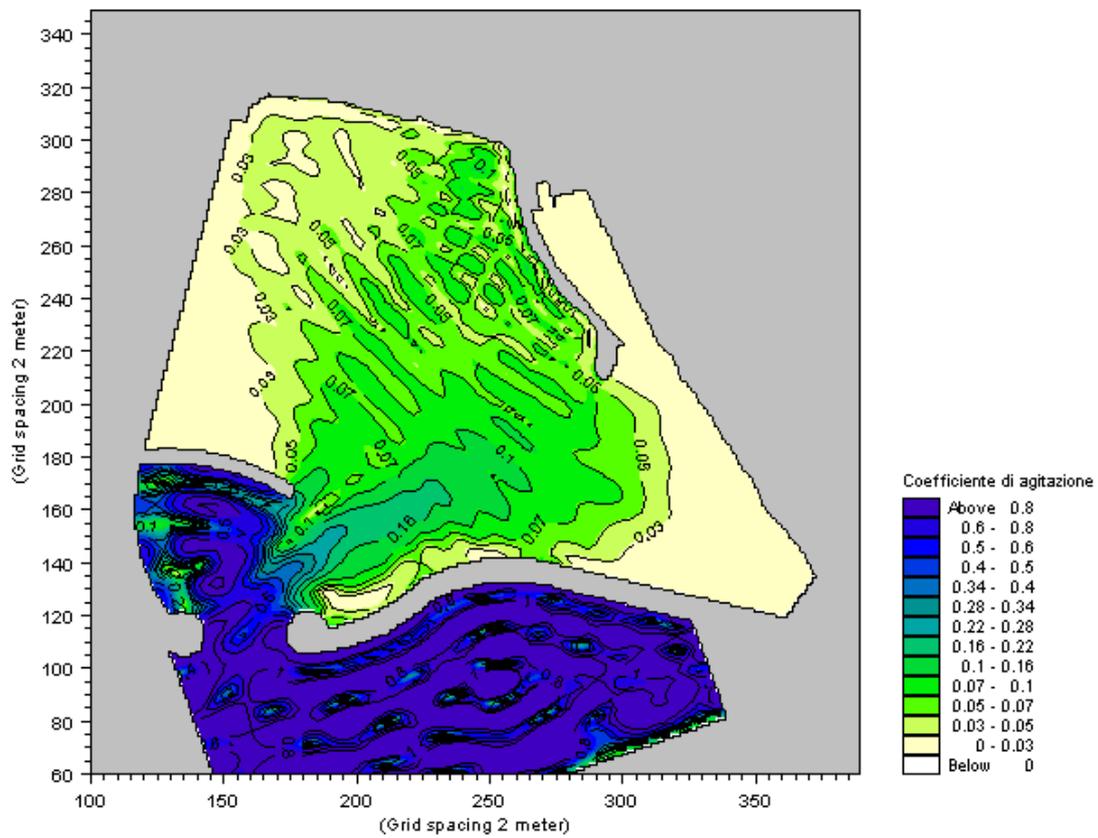


Fig. 60 - Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 5)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.82 m ; Periodo 6.96 s ; TR = 50 anni

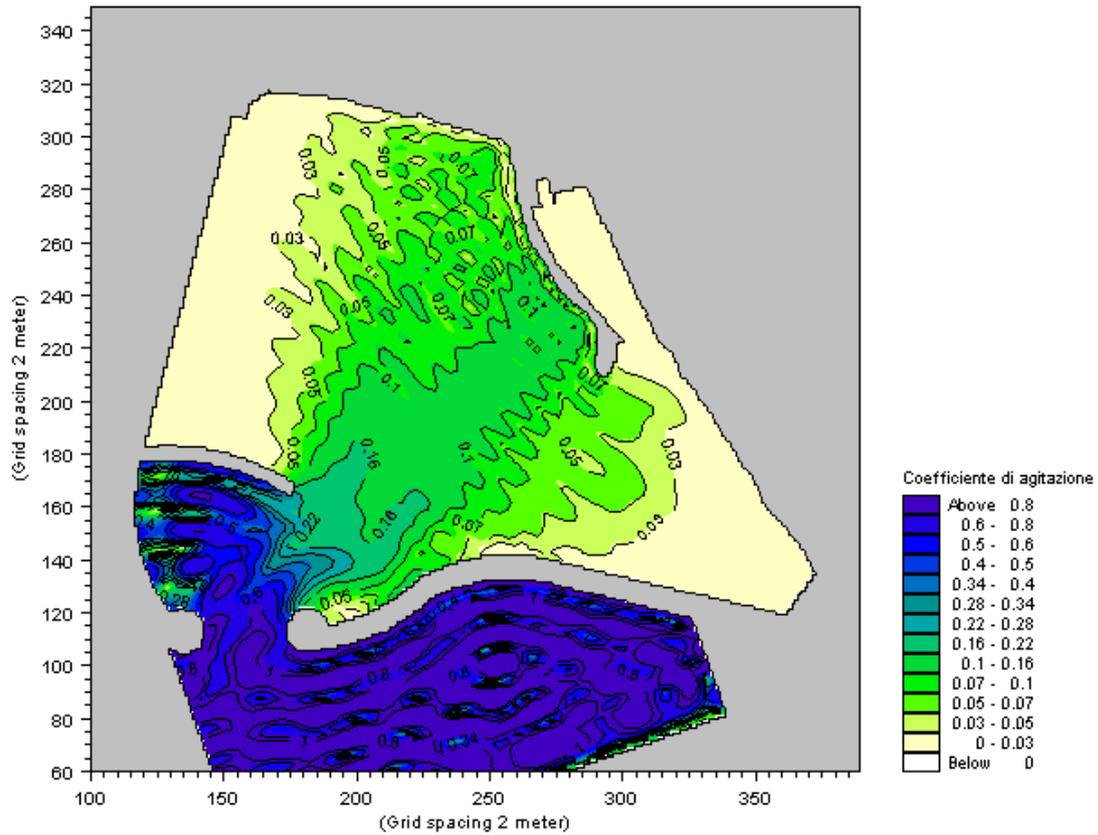


Fig. 61 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 5)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.40 m ; Periodo 6.18 s ; TR = 5 anni

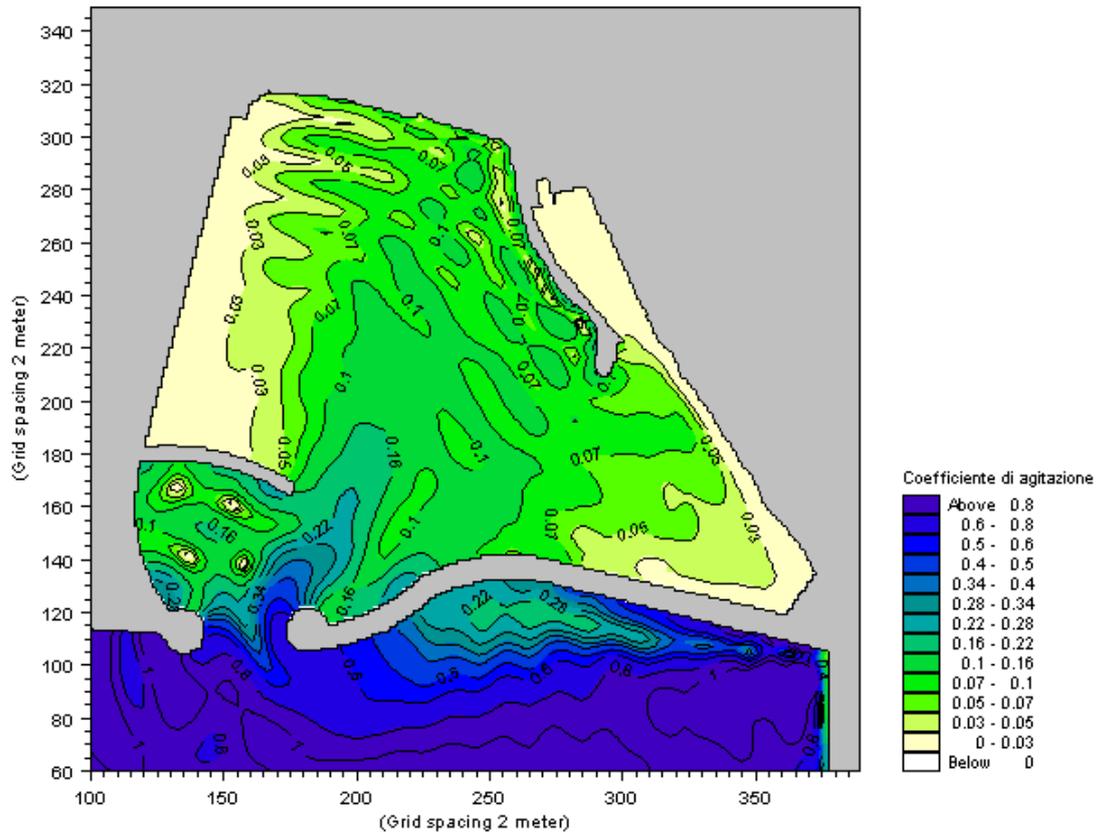


Fig. 62 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 5)
 Direzione 275°N ; Altezza 4.00 m ; Periodo 11.02 s ; TR = 50 anni

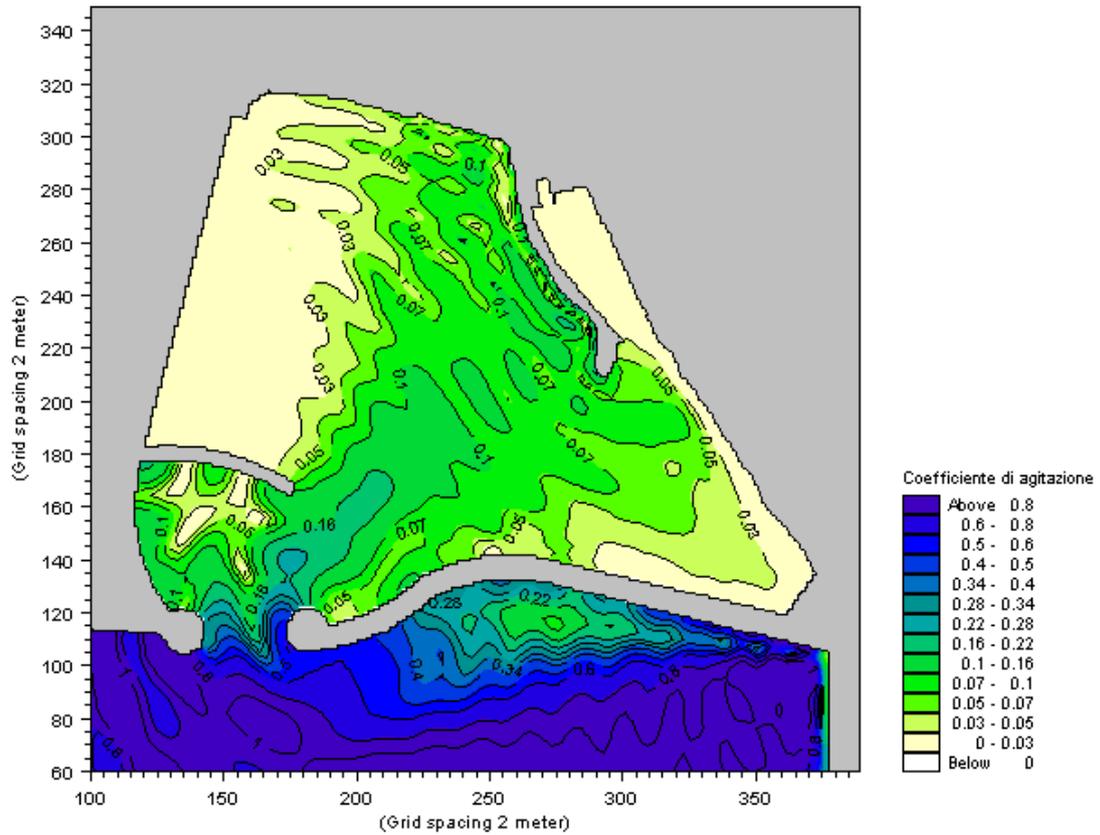


Fig. 63 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 5)
 Direzione 275°N ; Altezza 3.69 m ; Periodo 9.81 s ; TR = 5 anni

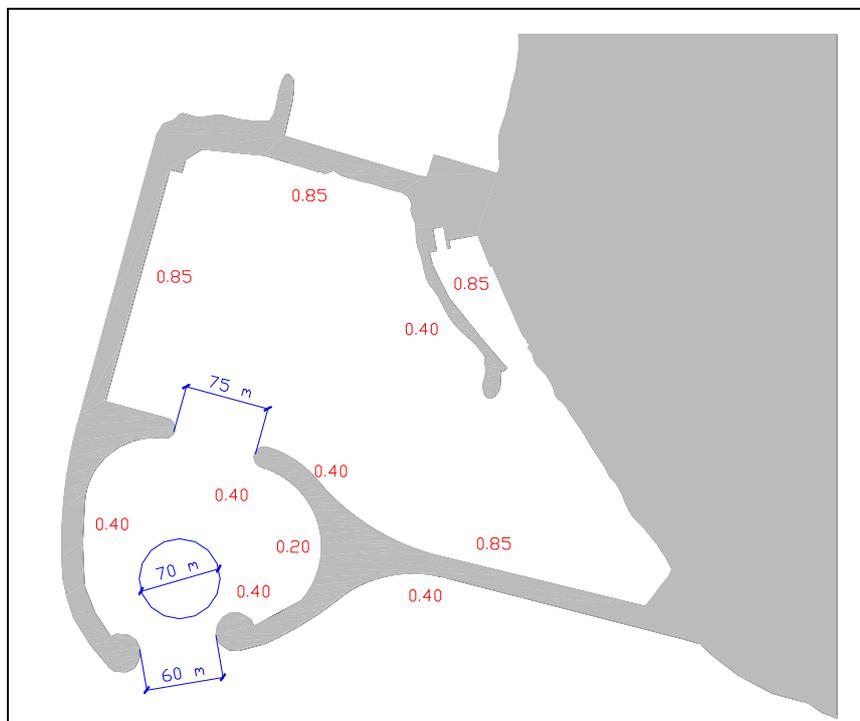


Fig. 64 – Layout portuale – Soluzione 6

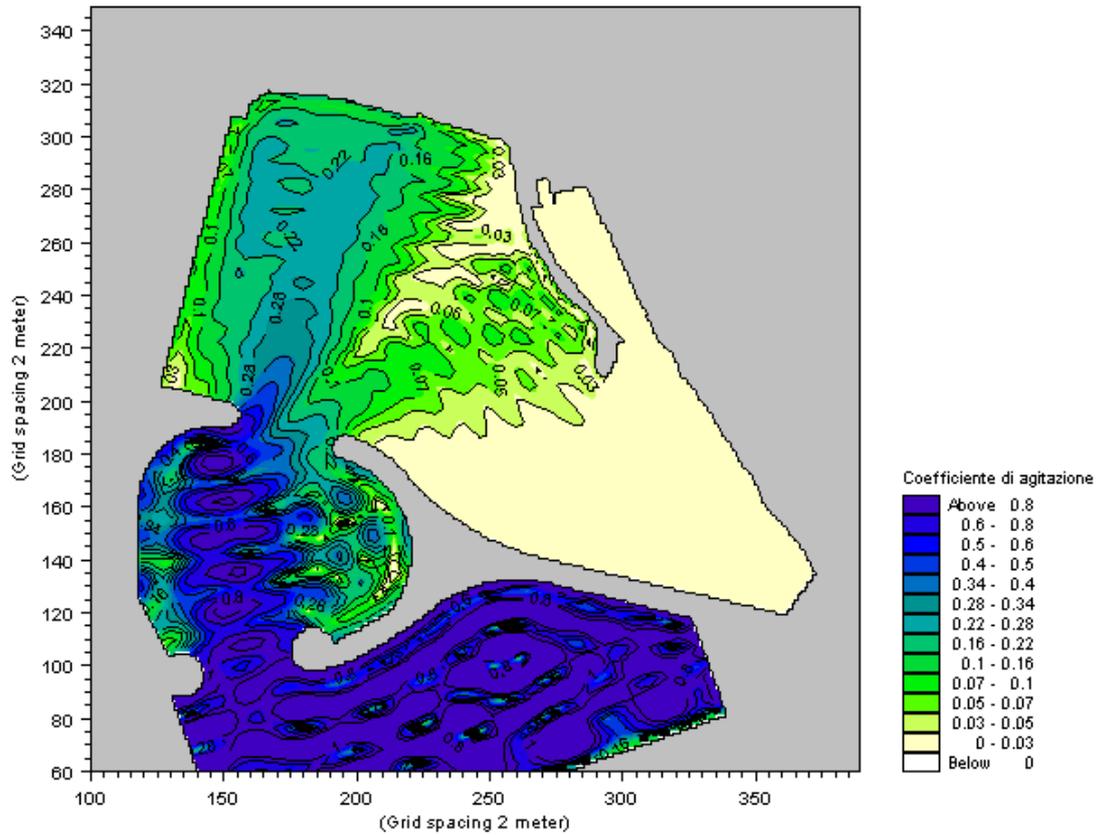


Fig. 65 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 6)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.82 m ; Periodo 6.96 s ; TR = 50 anni

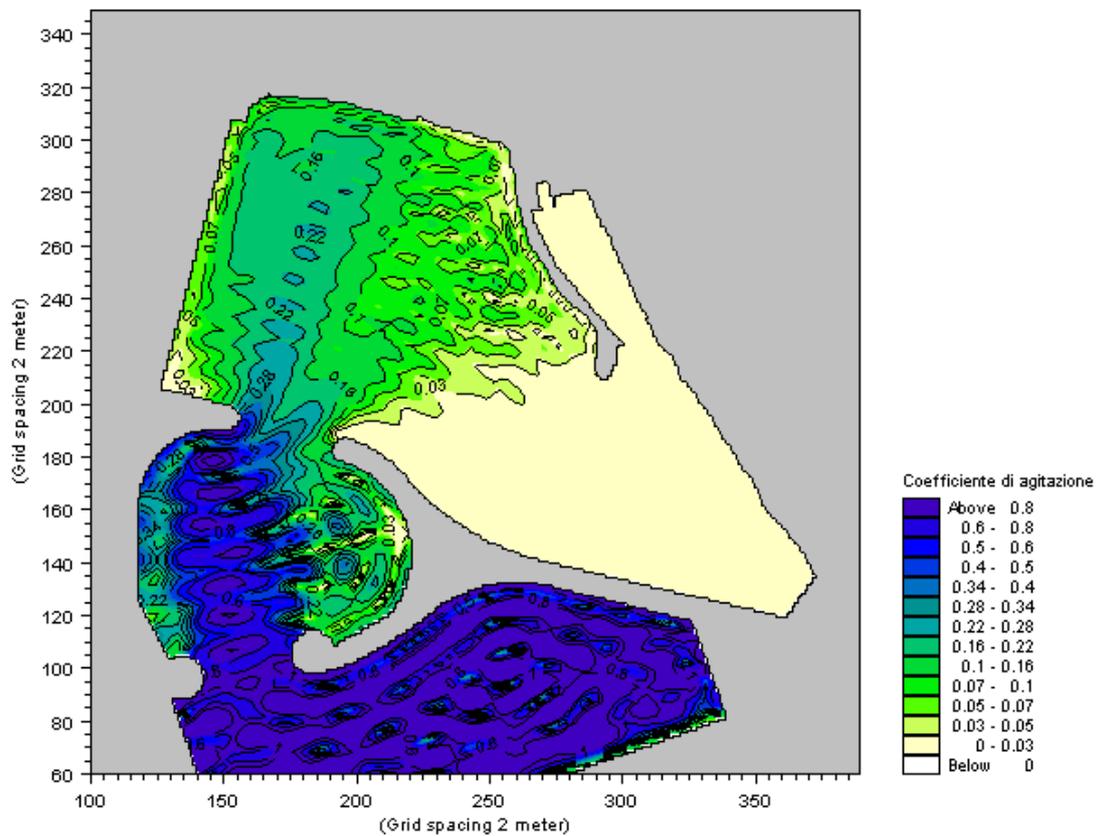


Fig. 66 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 6)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.40 m ; Periodo 6.18 s ; TR = 5 anni

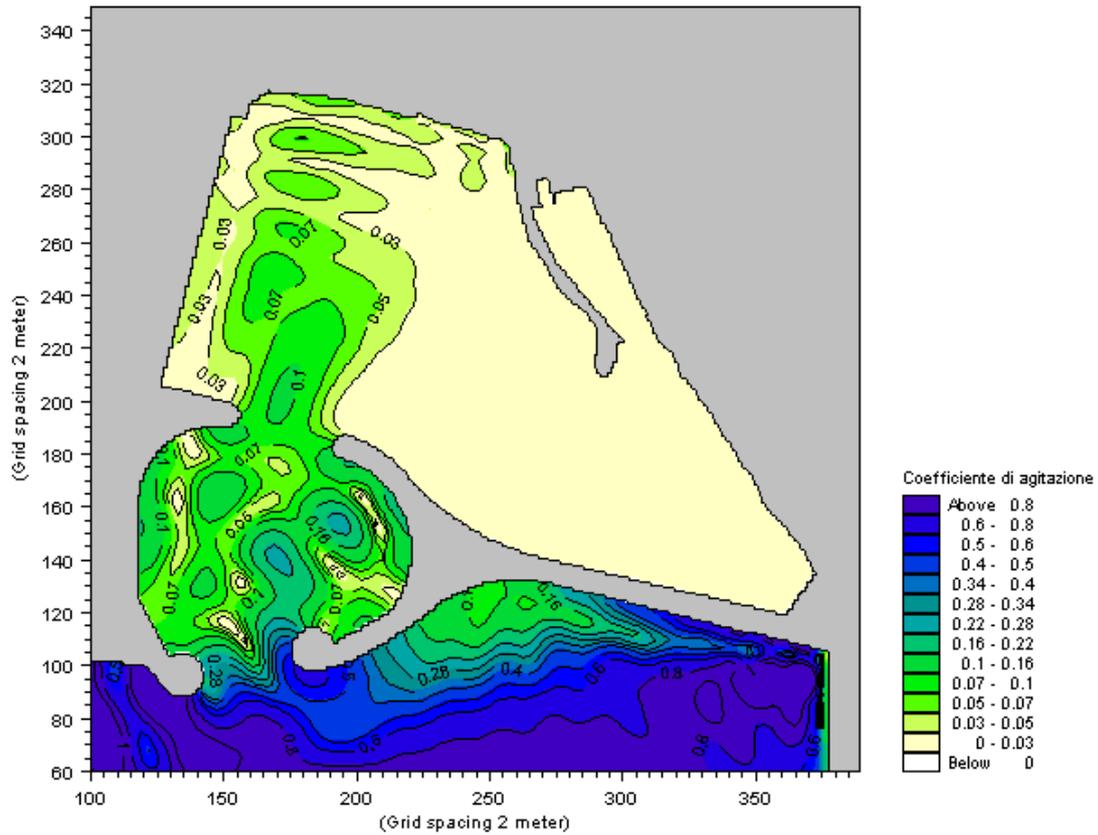


Fig. 67 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 6)
 Direzione 275°N ; Altezza 4.00 m ; Periodo 11.02 s ; TR = 50 anni

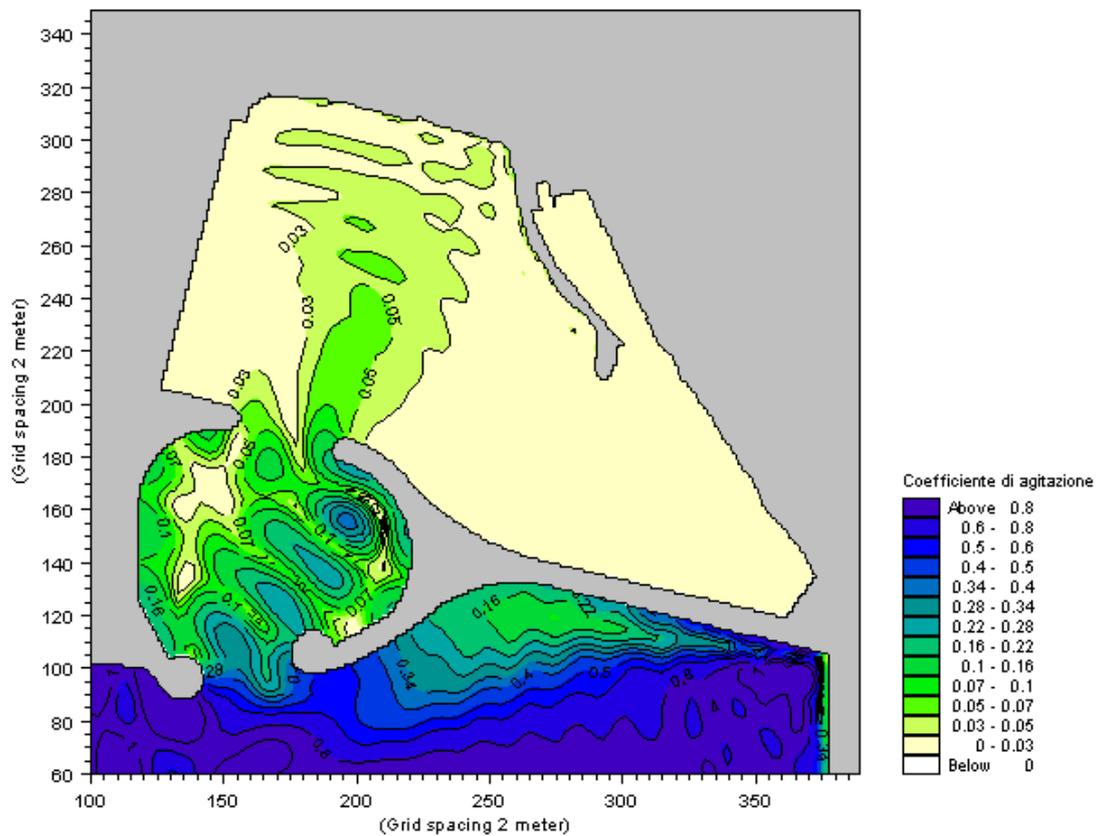


Fig. 68 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 6)
 Direzione 275°N ; Altezza 3.69 m ; Periodo 9.81 s ; TR = 5 anni

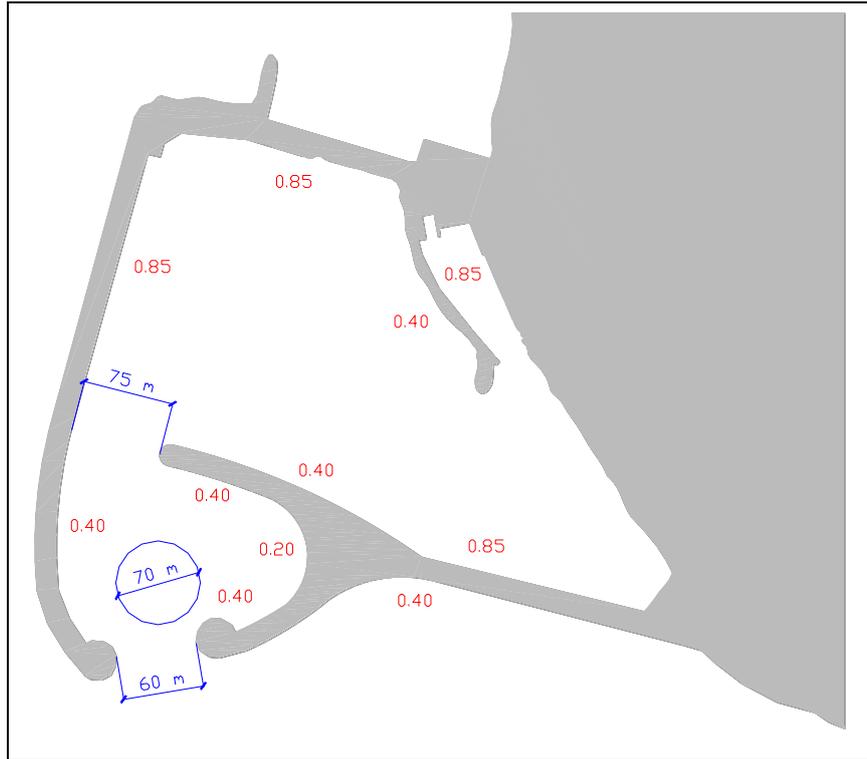


Fig. 69 - Layout portuale - Soluzione 7

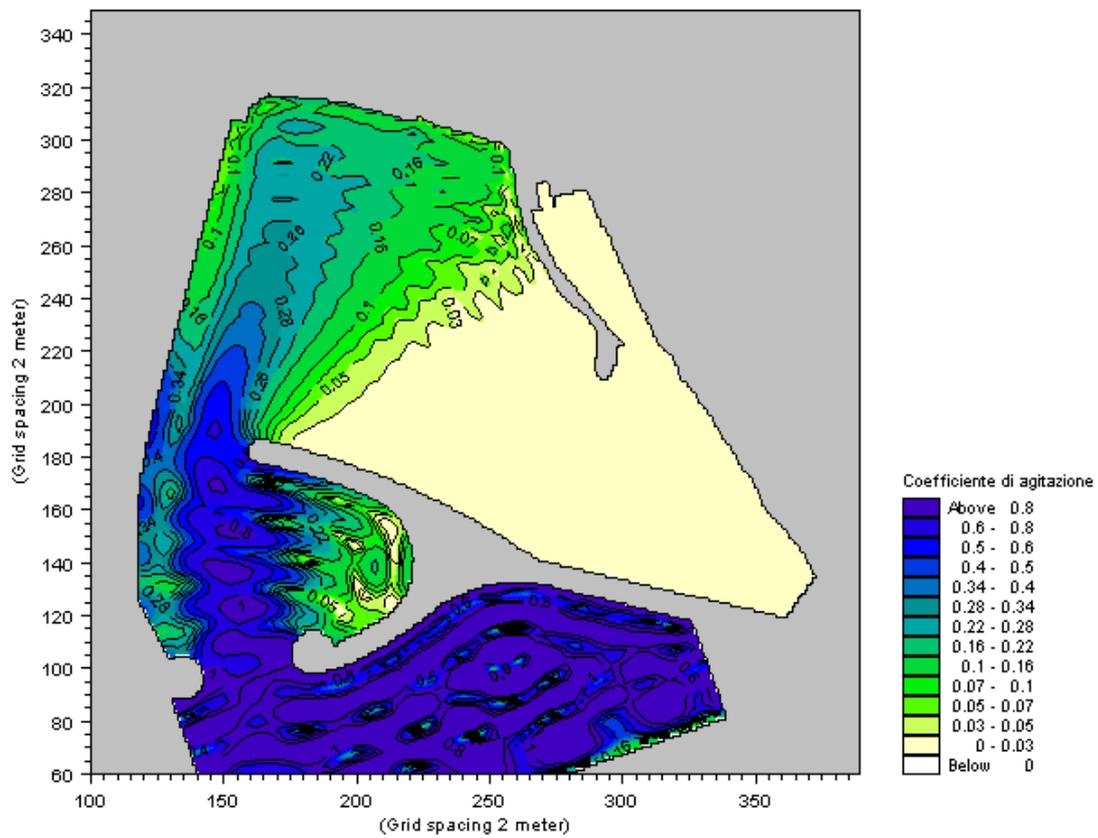


Fig. 70 - Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 7)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.82 m ; Periodo 6.96 s ; TR = 50 anni

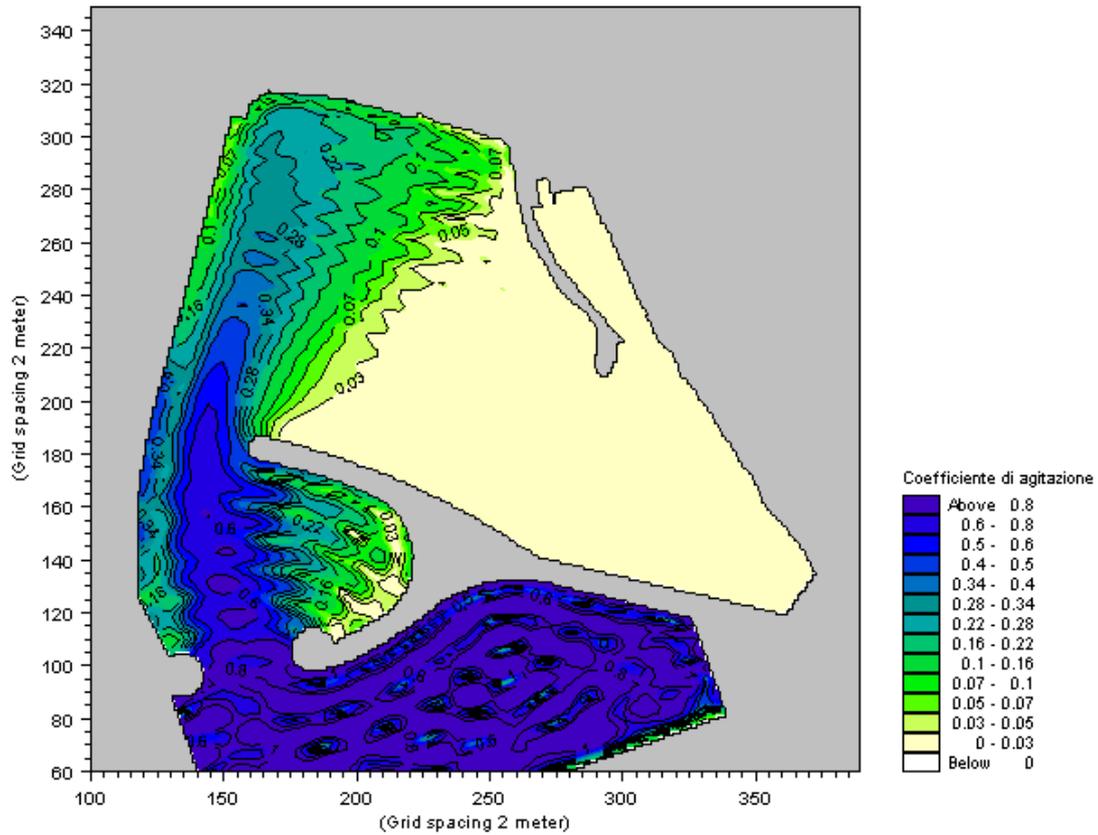


Fig. 71 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 7)
 Direzione 161°N ; Altezza 1.40 m ; Periodo 6.18 s ; TR = 5 anni

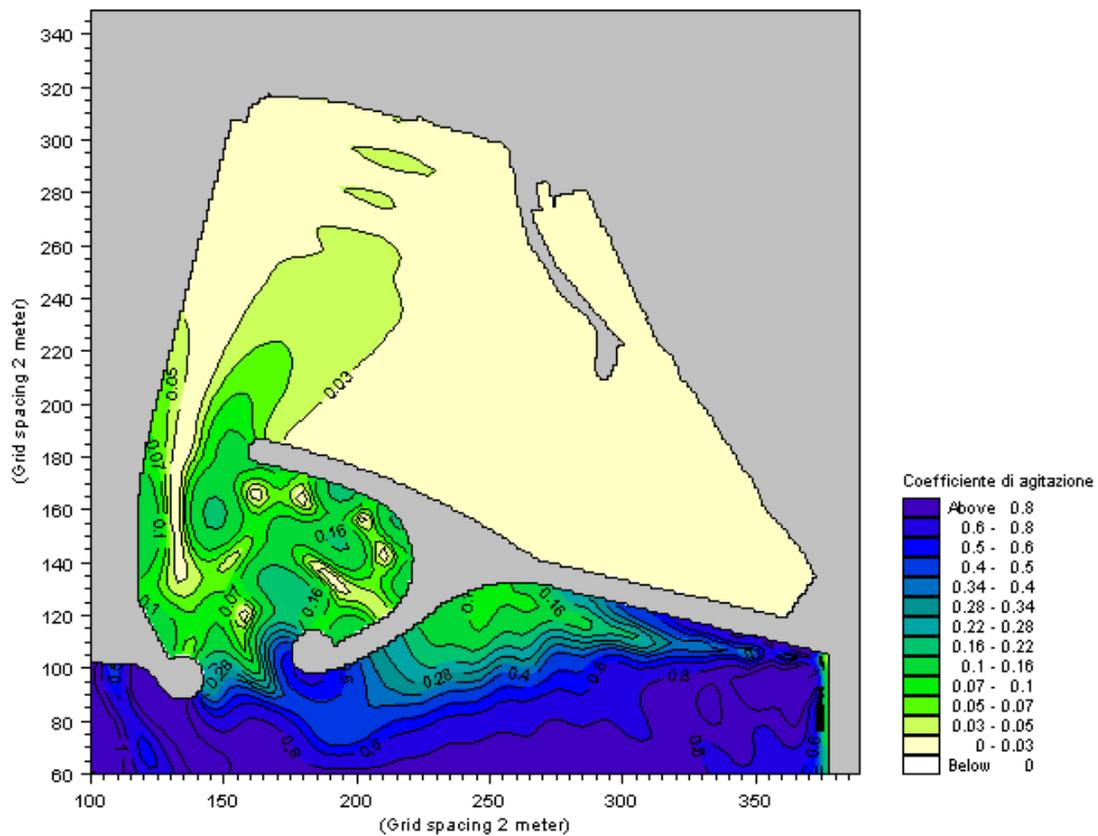


Fig. 72 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 7)
 Direzione 275°N ; Altezza 4.00 m ; Periodo 11.02 s ; TR = 50 anni

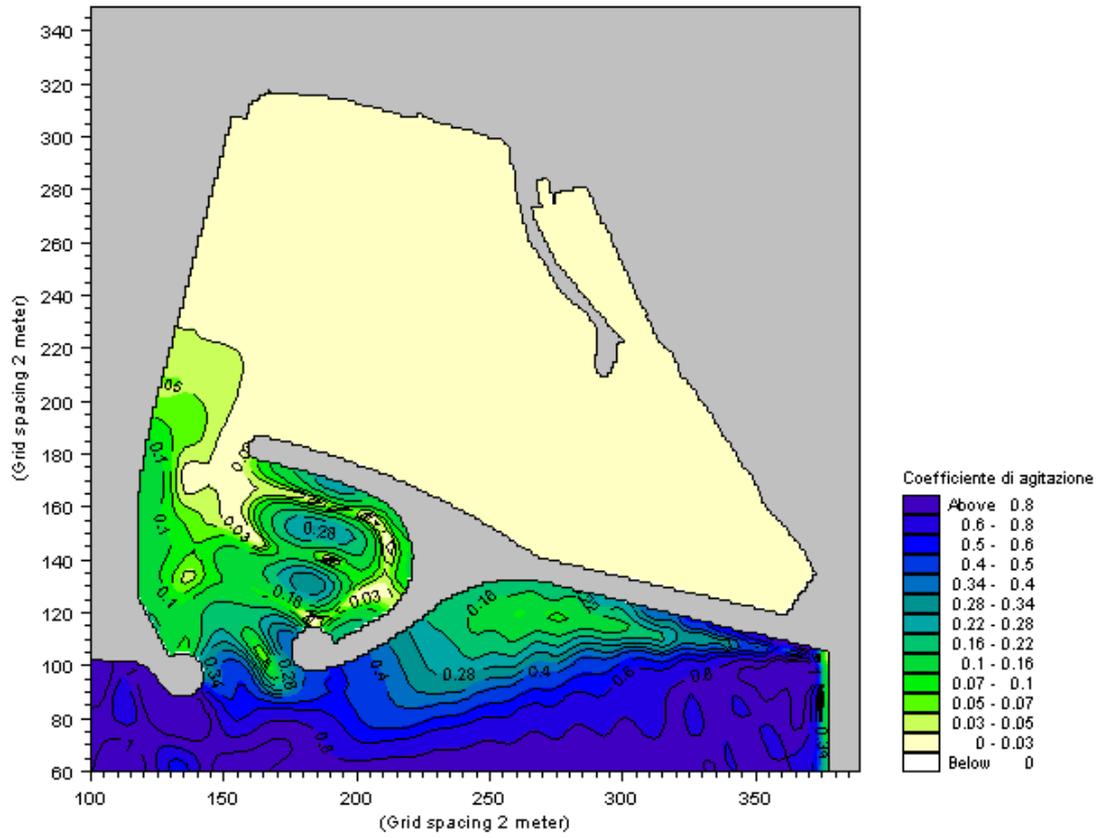


Fig. 73 – Agitazione interna al bacino portuale (Soluzione 7)
Direzione 275°N ; Altezza 3.69 m ; Periodo 9.81 s ; TR = 5 anni

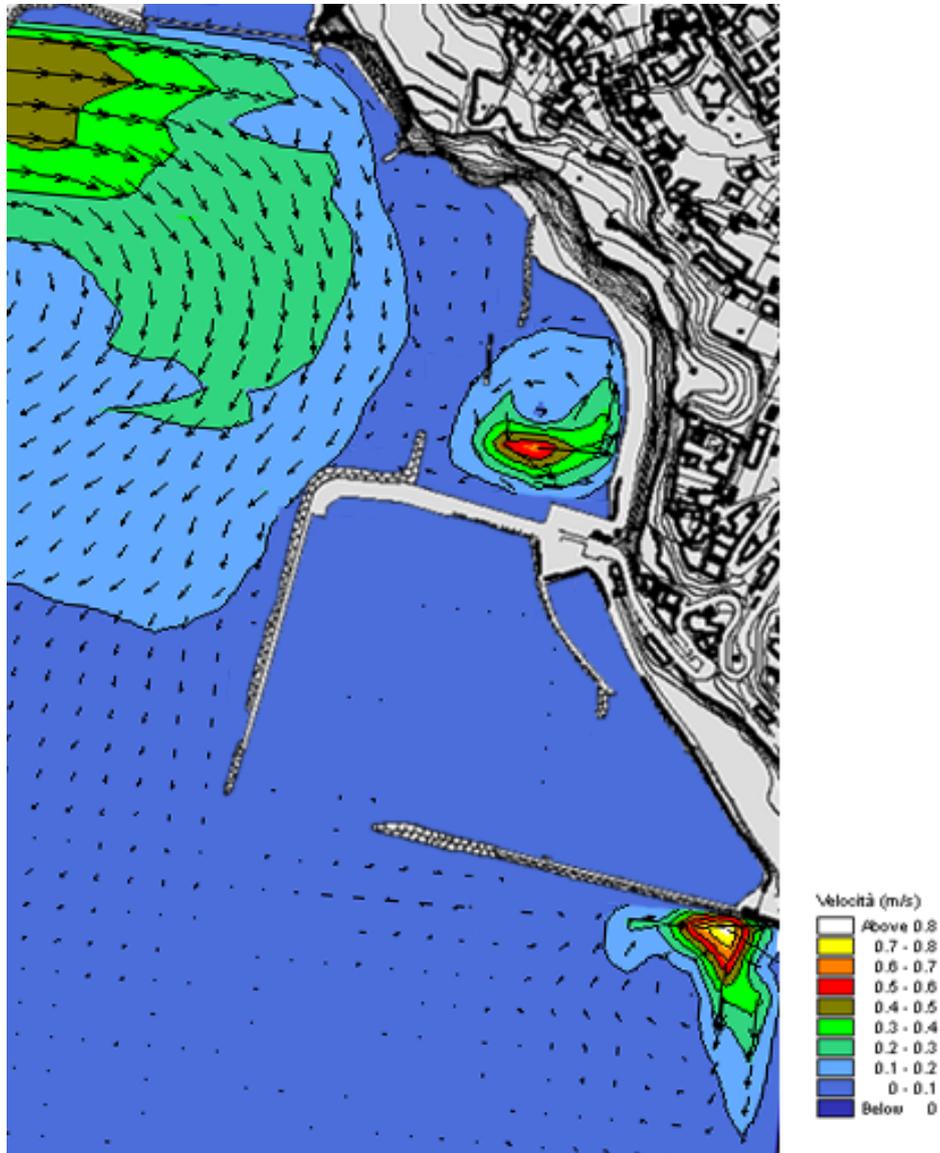


Fig. 74 – Regime delle correnti litoranee – Settore ovest – Stato attuale

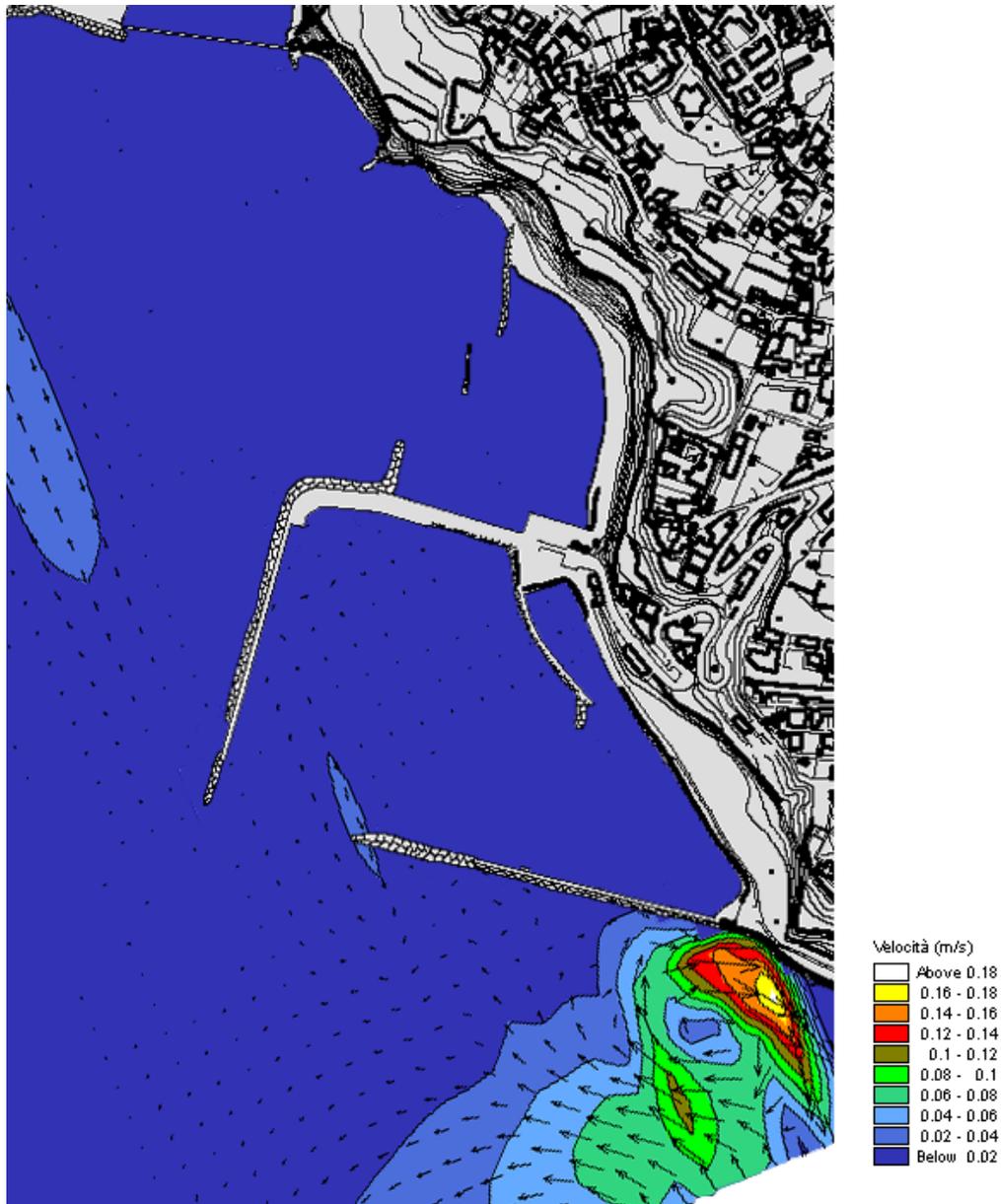


Fig. 75 – Regime delle correnti litoranee – Settore sud/est – Stato attuale