

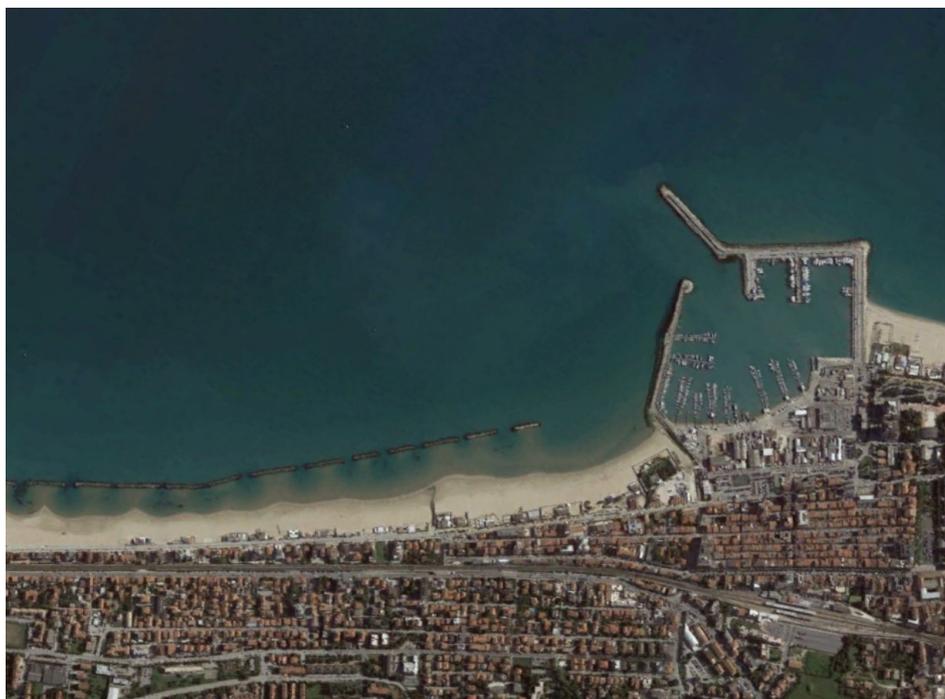


Comune di Civitanova Marche
Settore V°
Demanio marittimo - Porto



Università Politecnica delle Marche
Facoltà di Ingegneria – Dipartimento DICEA
Sezione Idraulica e Infrastrutture Viarie

STUDI IDRAULICI AGGIORNATI FINALIZZATI ALL'ESECUZIONE DELL'OPERA DI PROTEZIONE DELL'IMBOCCATURA PORTUALE DI CIVITANOVA MARCHE



RELAZIONE FINALE

Comune di Civitanova Marche
Il Dirigente
Arch. Paolo Strappato

Università Politecnica delle Marche
Il Responsabile Scientifico
Prof. Ing. Alessandro Mancinelli

Ancona, marzo 2022

Gruppo di lavoro

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura (DICEA)

Area Idraulica

Università Politecnica delle Marche

Prof. Ing. Alessandro MANCINELLI (Responsabile scientifico)

Prof. Ing. Sara CORVARO

Prof. Ing. Carlo LORENZONI

Dott. Ing. Francesco MARINI

SOMMARIO

INTRODUZIONE	3
1. INQUADRAMENTO GENERALE	5
2. CONFIGURAZIONI DI STUDIO	16
3. STUDIO METEOMARINO	18
3.1 CARATTERISTICHE ONDOSE DEL PARAGGIO MARINO DI CIVITANOVA MARCHE	18
3.2 DATI ONDOSI DELLA R.O.N.	18
3.3 DATI ONDAMETRICI REGISTRATI DALLA STAZIONE DELLA R.O.N. POSIZIONATA AL LARGO DI ANCONA	21
3.4 REGIME ONDOSO MEDIO PER IL SITO MONDAMETRICO AL LARGO DI ANCONA	28
3.5 ANALISI DELLE ONDE ESTREME.....	47
3.5.1 <i>Selezione dei dati da analizzare e metodologia adottata</i>	48
3.5.2 <i>Scelta della legge probabilistica</i>	48
3.6 ANALISI STATISTICA DELLE ONDE ESTREME CON I DATI DELLA BOA R.O.N. DI ANCONA	49
3.7 DATI ONDOSI DEL NOAA	62
3.8 ANALISI DELLE ONDE ESTREME PER I DATI NOAA	63
3.9 CONFRONTO FRA I DATI ONDOSI R.O.N.-NOAA	66
3.10 FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI PER L'APPLICAZIONE DEL METODO DI TRASPOSIZIONE GEOGRAFICA DEI DATI ONDOSI	69
3.11 APPLICAZIONE DEL METODO DI TRASPOSIZIONE GEOGRAFICA	75
3.12 CONDIZIONI ONDOSE NELLA ANALISI NUMERICHE	80
3.13 CENNI DI VENTO, CORRENTE DI DENSITÀ, MAREA ASTRONOMICA, DISLIVELLI MARINI ED EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI... ..	81
4. MODELLO DI TRASFERIMENTO ONDOSO	88
4.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO	88
4.2 GRIGLIE E BATIMETRIE	91
4.3 RISULTATI DEL TRASFERIMENTO ONDOSO	94
5. MODELLO DI AGITAZIONE INTERNA PORTUALE	108
5.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO E DELLE CONDIZIONI TESTATE.....	109
5.1.1 <i>Configurazione batimetrica dei fondali</i>	109
5.1.2 <i>Definizione dell'area da modellare e del passo di integrazione temporale</i>	111
5.1.3 <i>Condizioni al contorno</i>	116
5.1.4 <i>Caratteristiche delle strutture portuali</i>	117
5.1.5 <i>Condizione iniziale</i>	120
5.1.6 <i>Condizioni ondose simulate</i>	121
5.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI AGITAZIONE ONDOSA INTERNA AL PORTO	122
5.2.1 <i>Risultati per ondate provenienti da 330°N - TR=1 anno</i>	123
5.2.2 <i>Risultati per ondate provenienti da 0°N - TR=1 anno</i>	128

5.2.3	<i>Risultati per ondate provenienti da 30°N - TR=1 anno</i>	133
5.2.4	<i>Risultati per ondate provenienti da 120°N - TR=1 anno</i>	138
5.2.5	<i>Risultati per ondate provenienti da 330°N e TR=10 anni.....</i>	143
5.2.6	<i>Risultati per ondate provenienti da 0°N e TR=10 anni.....</i>	148
5.2.7	<i>Risultati per ondate provenienti da 330°N, TR=10 anni e sovrizzo.....</i>	153
5.2.8	<i>Risultati per ondate provenienti da 0°N, TR=10 anni e sovrizzo.....</i>	159
5.2.9	<i>Risultati per ondate provenienti da 30°N, TR=10 anni e sovrizzo.....</i>	164
5.2.10	<i>Risultati per ondate provenienti da 120°N, TR=10 anni e sovrizzo.....</i>	169
5.2.11	<i>Confronto dei risultati</i>	173
5.3	DISCUSSIONE DEI RISULTATI PER LE CONDIZIONI ONDOSE PIÙ SIGNIFICATIVE	179
5.3.1	<i>Ondate con direzione di provenienza al largo di 0°N.....</i>	181
5.3.2	<i>Ondate con direzione di provenienza al largo 30°N.....</i>	186
CONCLUSIONI		195

INTRODUZIONE

Su incarico del Comune di Civitanova Marche (MC) il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura (DICEA), in particolare la c.d. Area Idraulica, dell'Università Politecnica delle Marche ha stipulato una Convenzione di consulenza tecnico-scientifica avente come oggetto l'effettuazione di "Studi idraulici aggiornati finalizzati all'esecuzione dell'opera di protezione dell'imboccatura portuale di Civitanova Marche".

Le attività oggetto della presente Convenzione sono specificati all'art. 4 e riguardano i seguenti argomenti:

1. analisi delle caratteristiche ondose al largo. Analisi dei dati meteomarini al largo aggiornati ed individuazione delle caratteristiche delle ondate da applicare nelle simulazioni numeriche;
2. individuazione del dominio di calcolo per le simulazioni numeriche. Il dominio di calcolo verrà determinato in funzione del paraggio di mare da analizzare e delle direzioni di provenienza degli eventi ondosi di maggior interesse;
3. trasferimento delle onde dal largo alle profondità sotto costa. Le ondate individuate verranno propagate dal largo fino alla profondità sotto costa con un modello numerico adatto al tipo di trasferimento ondoso;
4. analisi dell'agitazione ondosa interna al bacino portuale. L'agitazione ondosa all'interno dell'area portuale verrà determinata con apposita modellazione numerica applicata a ciascuna configurazione. Per valutare l'efficacia marittima delle configurazioni testate, saranno effettuate verifiche sull'intensità delle onde in posizioni significative del bacino portuale.

Il Comune di Civitanova Marche ha fornito tutta la documentazione in suo possesso ed in particolare i rilievi batimetrici MBES e fotogrammetrici, effettuate tra agosto e settembre 2021 del 2021 dalla società METIS srl di Senigallia nel paraggio di mare costiero che interessa il bacino portuale in questione.

Nelle evidenze della Convenzione, si specifica, in particolare, che "le configurazioni del molo foraneo, da porre a confronto per la valutazione dell'efficacia marittima, potranno essere 3". Si specifica e si considera, inoltre, che venga effettuato lo "studio idraulico aggiornato finalizzato alla verifica dell'esatta configurazione del molo foraneo di prolungamento del Molo Est, quale elemento di chiusura dell'imboccatura portuale, anche in relazione alla realizzazione dello stesso per stralci funzionali successivi in relazione alla concessione di finanziamenti parziali".

Nella Sezione 1 è descritto l'inquadramento generale del paraggio marino oggetto di studio con riferimento ai principali riferimenti normativi di interesse. Nella Sezione 2 sono descritte le configurazioni prese in esame nel presente studio. In particolare, si fa riferimento allo stato attuale e a due configurazioni future che prevedono il prolungamento, parziale o totale, del Molo Est del Porto di Civitanova Marche e il banchinamento di riva. Nella Sezione 3 sono riportati i risultati dello studio meteomarinario. In particolare, è riportata l'elaborazione delle onde registrate alla boa della rete nazionale situata davanti ad Ancona (determinazione del clima medio e statistica dei valori estremi) per le onde al largo, il confronto dei dati ondosi registrati dalla boa R.O.N. con i dati ondosi del modello numerico meteomarinario globale *NOAA WAVEWATCH III* (WW3), la trasposizione delle onde estreme dal sito di misura al sito di studio dopo la valutazione delle corrispondenti distanze di fetch e la valutazione dei sovralzi.

Nella Sezione 4 si riporta lo studio del trasferimento delle onde a riva effettuato con modellazione numerica della propagazione ondosa spettrale tramite software Delft3D;

Nella Sezione 5 si riporta lo studio dell'agitazione ondosa all'imboccatura portuale e all'interno del porto realizzato con software MIKE21 BW per le configurazioni descritte nella Sezione 2. L'agitazione interna è stata quindi valutata in termini di altezza d'onda residua, coefficiente di diffrazione e massima elevazione della superficie libera all'interno dell'area portuale.

Infine, le conclusioni sintetizzano i risultati dello studio.

1. INQUADRAMENTO GENERALE

La fascia litoranea marchigiana si affaccia sul Mar Adriatico centrale ed è un'area di grande pregio ambientale su cui si sono sviluppate nel tempo strutture insediative abitative o collegate all'economia turistica, attività industriali e commerciali legate al Porto di Ancona ed alle altre aree portuali minori, come il Porto di Civitanova Marche, oggetto del presente studio.

Il bacino portuale in esame e parte dell'entroterra immediatamente retrostante sono illustrati nella immagine satellitare riportata nella Figura 1.1, tratta dai predetti rilievi batimetrici e fotogrammetrici eseguiti dalla ditta METIS srl di Senigallia per il Comune di Civitanova Marche.

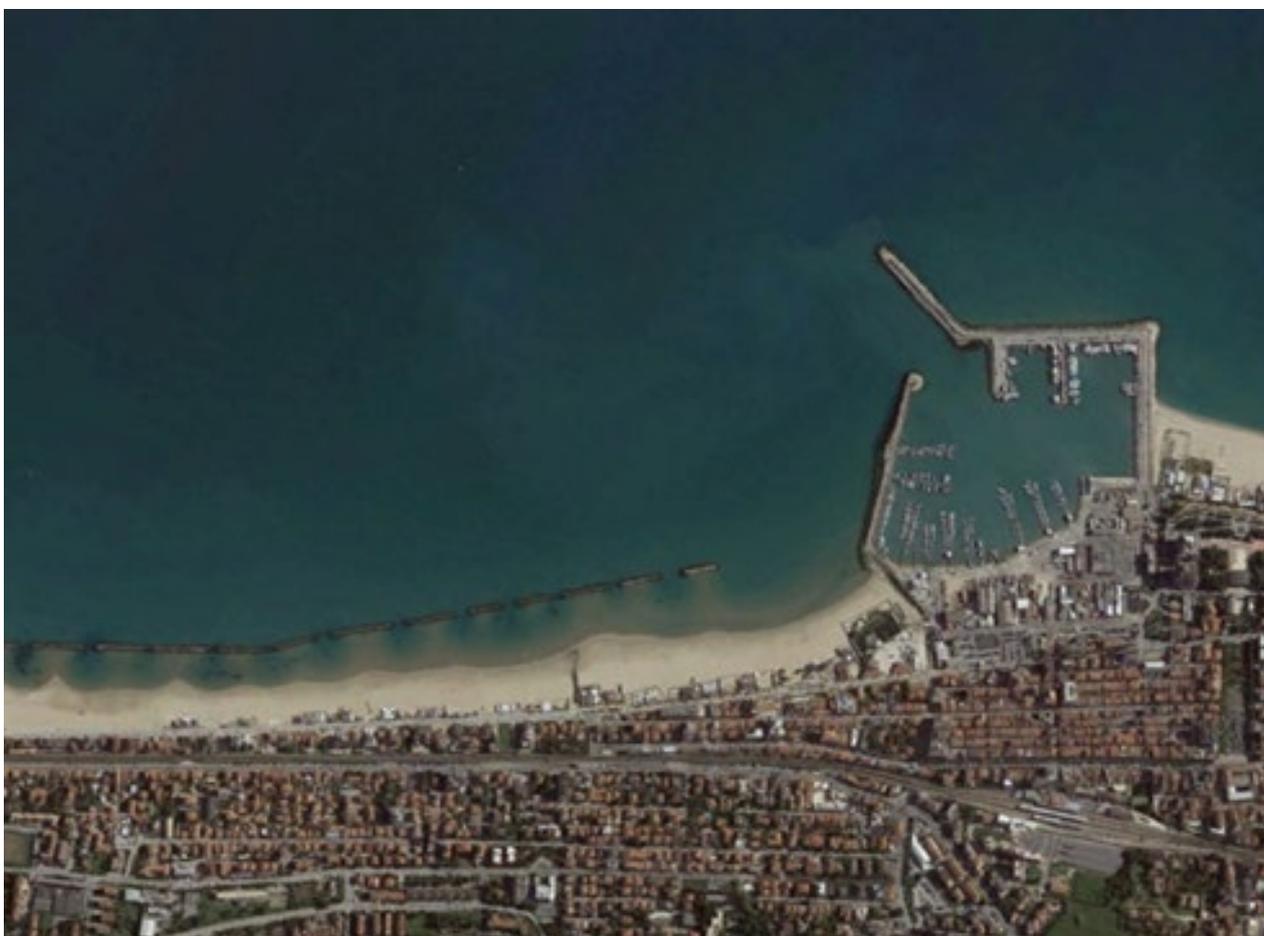


Figura 1.1 – Immagine satellitare del Porto di Civitanova Marche e del litorale circostante nel 2021.

La denominazione delle opere principali del porto è riportata nella carta topo-batimetrica schematica dell'area portuale, ad uso della nautica da diporto, della Figura 1.2, tratta dal sito www.pagineazzurre.com.

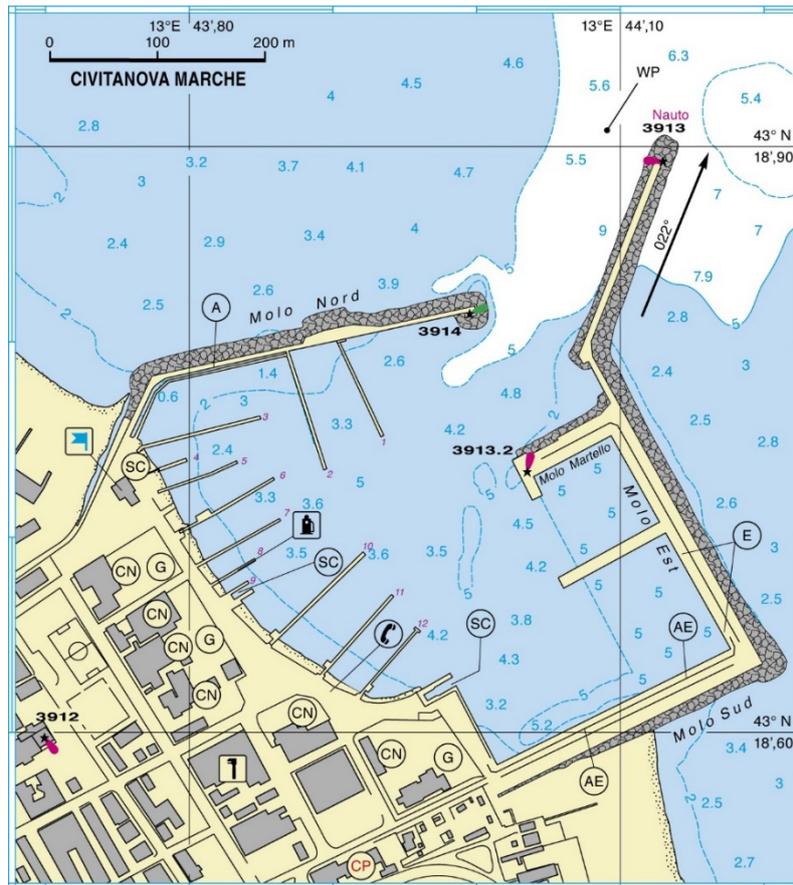


Figura 1.2 – Mappa topo-batimetrica schematica del Porto di Civitanova Marche ad uso nautico (da www.pagineazzurre.com).

Il paraggio di mare di interesse per il Porto di Civitanova Marche è illustrato nella Figura 1.3, tratta dalla Carta nautica n. 35 dell'Istituto Idrografico della Marina, edizione 1987, originale in scala 1:100000. L'Adriatico, nel tratto di costa di interesse, è caratterizzato da fondali di 50 m di profondità a circa 23 km dalla costa ed il litorale si presenta prevalentemente ghiaioso, con basse pendenze e con profondità che risultano inferiori ai 10 m entro 1 km dalla costa. Il Porto di Civitanova Marche si estende per un tratto di costa della lunghezza di quasi 600 m e le sue opere si protendono aggettanti in mare per oltre 600 m. Il Porto risulta compreso tra le foci fluviali del Chienti a nord-ovest e del Tenna a sud-est.

Oltre alla presenza degli sbocchi a mare di numerosi fossi d'acqua minori, le foci dei corsi d'acqua più vicini al bacino portuale di Civitanova Marche risultano quella del Fiume Potenza quasi 13 km a NordOvest e soprattutto quella del Fiume Chienti quasi 2 km a SudEst. Il trasporto solido sedimentario lungo tale tratto di litorale risulta prevalentemente diretto da SudEst verso NordOvest, infatti, risulta evidente l'accumulo dei sedimenti di spiaggia a ridosso sul lato esterno del Molo Sud, mentre il tratto di litorale più settentrionale al Molo Nord è soggetto ad una persistente erosione, quindi, è tuttora protetto da una estesa serie di opere di difesa costiera foranee.

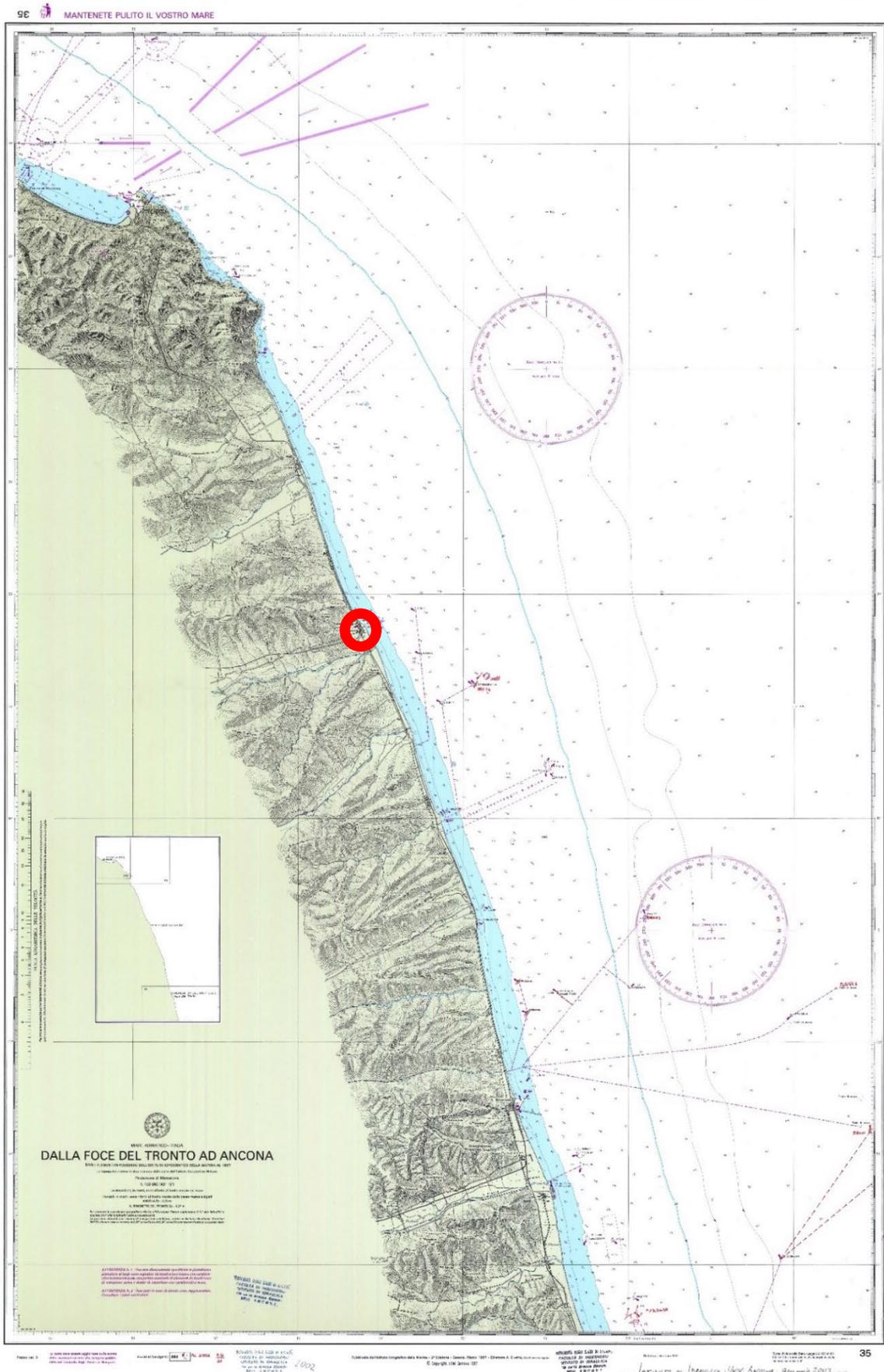


Figura 1.3 – Paraggio di mare di Civitanova Marche con l'ubicazione del sito portuale (fonte Carta nautica I.I.M. anno 1987, scala originale 1:100000).

Per un miglior inquadramento del bacino del Porto di Civitanova Marche, si fa riferimento a quanto riportato nella Relazione Generale del Piano Regionale dei Porti della Regione Marche, redatto dal Servizio Governo del Territorio, Mobilità e Infrastrutture, P.F. Demanio Idrico – Porti – LL.PP. ed approvato definitivamente dal Consiglio Regionale con la Deliberazione Amministrativa n. 149 del 2 febbraio 2010. Per quanto riguarda gli aspetti marittimi e portuali del Porto di Civitanova Marche, si riportano di seguito alcune delle parti salienti contenute nella predetta relazione, attinenti al presente studio.

“

Il Porto – aspetti marittimi e portuali

Il primo intervento a mare per la costruzione del porto di Civitanova Marche fu iniziato intorno al 1932 con la costruzione di una scogliera longitudinale emersa parallela alla linea di costa ed avente lo scopo di fornire riparo alle barche da pesca da alare sulla spiaggia.

La scelta di una struttura di tale genere fu dettata dalla necessità di evitare l'interruzione del flusso di materiale solido che nella zona era ed è diretto da sud verso nord.

Nel 1933 la costruzione di un pennello ortogonale alla linea di costa ed in direzione perpendicolare all'asse della scogliera provocò un forte accumulo di materiale solido che ne causò in un breve periodo l'insabbiamento. Tale pennello fu distrutto durante la seconda guerra mondiale e fu ripristinato subito dopo la sua fine realizzando il collegamento definitivo tra la battigia e la scogliera longitudinale (molo nord).

In seguito il porto di Civitanova Marche con D.M 1213 del 24.3.1960 fu iscritto nella prima categoria con Porto Rifugio ed il Piano Regolatore Portuale, approvato con D.M. 1764 del 30.3.1965, prevedeva la realizzazione delle seguenti opere oltre al predetto molo nord:

- *m. 300 di Molo Foraneo, radicato alla testata del molo est con direzione nord;*
- *pennello parasabbia di m 60 parallelo al molo foraneo est e radicato sul molo nord.*

Di queste due opere, in fasi successive nel corso degli anni, sono stati realizzati solo circa 190 m del molo foraneo est.

A causa del mancato completamento delle opere di protezione dell'imboccatura portuale, il Porto in argomento non assolve pienamente alla sua specifica funzione di Porto Rifugio.

Nel corso di violente mareggiate, infatti, i natanti che vi cercano riparo si trovano in grandissima difficoltà, mettendo a repentaglio sia la sicurezza dell'imbarcazione che l'incolumità del personale navigante.

Inoltre a causa dell'imboccatura portuale troppo esposta ed incompleta, lo specchio acqueo interno al porto risente sensibilmente del moto ondoso esterno.

Stante la necessità di aggiornare il vecchio piano regolatore portuale del 1965, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto n. 546 del 21/11/1990 approvò la perizia relativa all'effettuazione dei seguenti studi necessari ad individuare le caratteristiche ottimali dell'assetto planimetrico del porto sia sotto l'aspetto della sicurezza e agibilità interna, che sotto l'aspetto della interazione con il litorale e dei problemi di insabbiamento:

- A) Rilievo dello stato del litorale, indagine batimetrica e sedimentologica;
- B) Valutazione del clima ondoso di largo e sottocosta;
- C) Indagine sulla evoluzione storica del litorale in relazione alla costruzione del porto e delle opere di protezione del litorale ed interpretazione;
- D) Valutazione delle possibili cause di insabbiamento del porto;
- E) Modello fisico dell'imboccatura portuale, con onde irregolari entro un adeguato spettro, evidenziandone le correnti in prossimità della bocca, i flussi di sedimenti penetranti nel bacino portuale ed i processi di sedimentazione in prossimità della bocca, nonché l'agitazione all'interno del porto;
- F) Modello matematico di evoluzione della linea di costa.

I risultati dei predetti studi, effettuati dalla Soc. Estramed nel 1992 per conto del Ministero dei LL.PP., hanno consentito di individuare la conformazione ottimale per la sistemazione definitiva del porto, con la elaborazione della proposta di nuovo Piano regolatore Portuale.

Le opere previste in tale proposta di piano consistono:

- prolungamento del lo guardiano di levante di 100 m. lungo l'attuale direzione e quindi di 80 m, ruotando verso Nord di 30° (verso antiorario) su fondale medio di -7,00 m;
- realizzazione di una darsena per imbarcazioni da diporto alle spalle del molo di sovralfutto preesistente con fondale 3,50 m;
- darsena prevista protetta da una scogliera del tipo a gettata in massi naturali, con mantellata esterna in massi naturali di 2^a e 3^a categoria e massa di sovraccarico in calcestruzzo;
- banchinamento previsto in massi pilonati e celle di espansione, con sovrastruttura di completamento in cemento armato, a quota + 1,30 m dal l.m.m.;
- realizzazione all'estremità del nuovo molo di sottoflutto di una testata inclinata di 30° rispetto allo stesso e delimitante l'ingresso all'avamporto;
- rifiorimento del molo sud ed ampliamento della strada di accesso;
- sistemazione interna dell'attuale porto, con realizzazione delle seguenti opere:
 - n. 2 pontili pescherecci, con struttura a giorno;
 - banchina di riva, con struttura a giorno;

- *prolungamento di circa 5 m. dello scalo di alaggio;*
- *completamento pontile a giorno molo sud;*
- *realizzazione molo martello;*
- *banchinamento a giorno molo nord.*

In particolare gli interventi vengono caratterizzati in una prima e seconda fase.

Opere di 1^ fase:

- *prolungamento del molo di levante, al fine di garantire l'accesso al porto in condizioni di sicurezza, e ridurre l'agitazione interna dello specchio acqueo;*
- *realizzazione di pontili a giorno, al fine di rendere produttivo e funzionale il bacino portuale esistente.*

Opere di 2^ fase:

La seconda fase prevede la realizzazione della darsena per imbarcazioni da diporto, con la sistemazione definitiva dell'imboccatura.

La costruzione della predetta darsena consentirà di dare un ormeggio sicuro e funzionale alle numerose imbarcazioni da diporto esistenti e, nel contempo, assicurerà un rilancio del turismo della zona.

La conformazione delle nuove opere foranee in progetto consente di ricavare un avamposto sufficientemente protetto dai mari provenienti da tutte le direzioni, in modo da consentire un più comodo e sicuro accesso sia al porto interno che alla nuova darsena.

Inoltre, la presenza dell'avamposto eliminerà, all'interno dell'attuale bacino portuale, il fenomeno della notevole risacca, che da sempre si verifica, in occasione di normali mareggiate provenienti da Nord e Nord-Ovest.

Dagli studi effettuati è risultato che la nuova configurazione delle opere foranee adottata nella proposta di P.R.P. consentirà di ridurre notevolmente l'apporto di sedimenti nell'area dell'imboccatura portuale senza modificare ulteriormente rispetto alla situazione attuale gli equilibri del tratto di costa a nord del porto.

Di conseguenza si verificherà la riduzione degli interventi di manutenzione per dragaggi e, nel contempo, una migliore navigabilità dell'imboccatura.

Il nuovo Piano regolatore del Porto di Civitanova Marche è stato adottato dall'Autorità Marittima nel 1999 e ai sensi dell'art. 5 della Legge 84/94, dopo l'intesa raggiunta con gli Enti interessati.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con nota 14.06.2000, n. 209 esaminò il progetto ed espresse il parere che gli elaborati dovevano essere integrati sulla base del "considerato" del voto stesso.

Al fine di completare l'iter per l'approvazione del nuovo P.R.P. il Comune di Civitanova, nel novembre 2005, ha provveduto a trasmettere la documentazione integrativa di propria competenza. Sulla base dell'esito della conferenza dei servizi, in data 07.12.05, la variante al Piano Regolatore del Porto di Civitanova Marche è stata approvata dalla Regione Marche con D.G.R. del 28.12.2005 n. 1711, con le prescrizioni e le raccomandazioni contenute nelle autorizzazioni e pareri rilasciati, che dovranno essere recepiti in fase di redazione dei progetti esecutivi.

L'approvazione ha riguardato la parte delle opere marittime del Piano adottato nel maggio 1999, mentre per le aree a terra sono state formulate una serie di osservazioni con la prescrizione di elaborare un piano particolareggiato con l'individuazione delle caratteristiche e la destinazione funzionale delle aree interessate.

Specchi acquei

Allo stato attuale gli specchi acquei occupati dal porto, ammontano ad un totale di circa mq 146'000 di questi circa mq 50'000 sono dedicati alla pesca mentre mq 50'000 all'approdo turistico, di entrambe una parte è occupata dalle attività cantieristiche.

..... “

Di seguito, rispettivamente alla Figura 1.4, alla Figura 1.5, alla Figura 1.6 ed alla Figura 1.7 si riportano i 4 elaborati grafici relativi alle planimetrie del Porto di Civitanova Marche contenuti nel relativo fascicolo del Piano Regionale dei Porti.

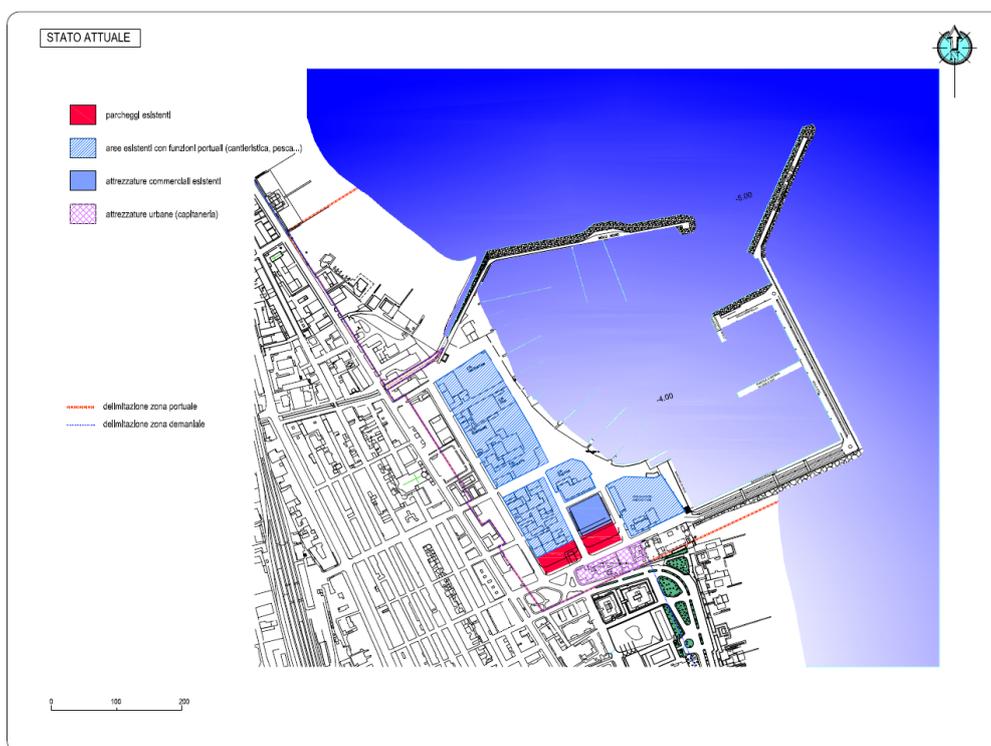


Figura 1.4 – Planimetria dello stato attuale del Porto di Civitanova Marche nel Piano Regionale dei Porti.

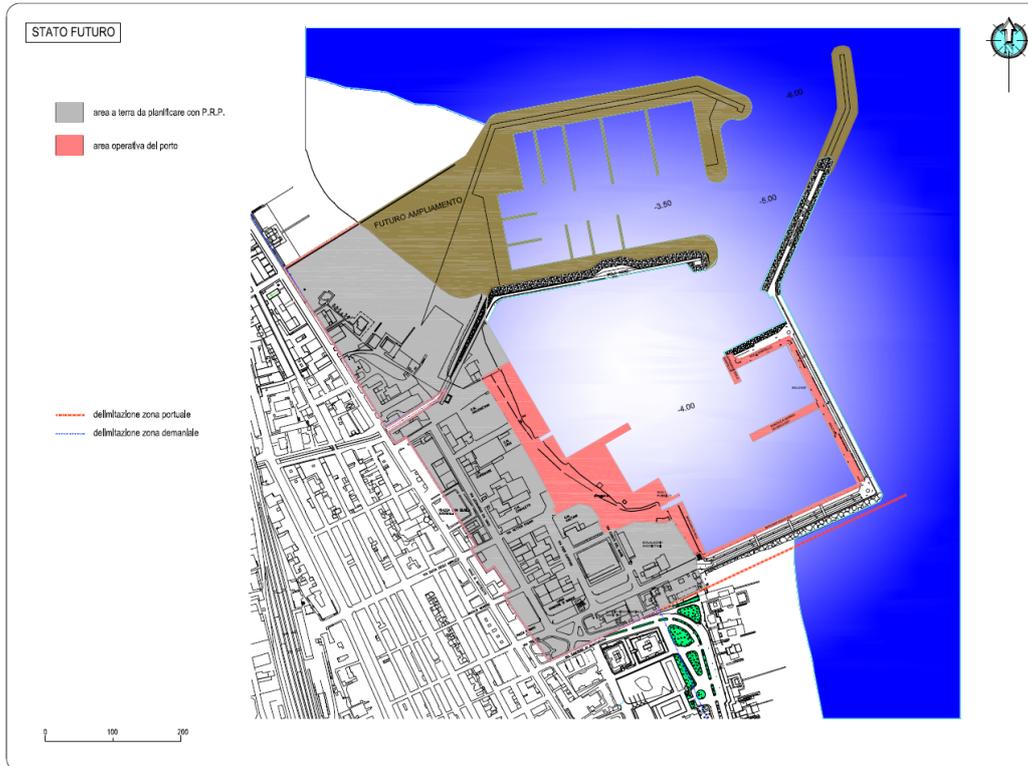


Figura 1.5 – Planimetria dello stato futuro del Porto di Civitanova Marche nel Piano Regionale dei Porti.

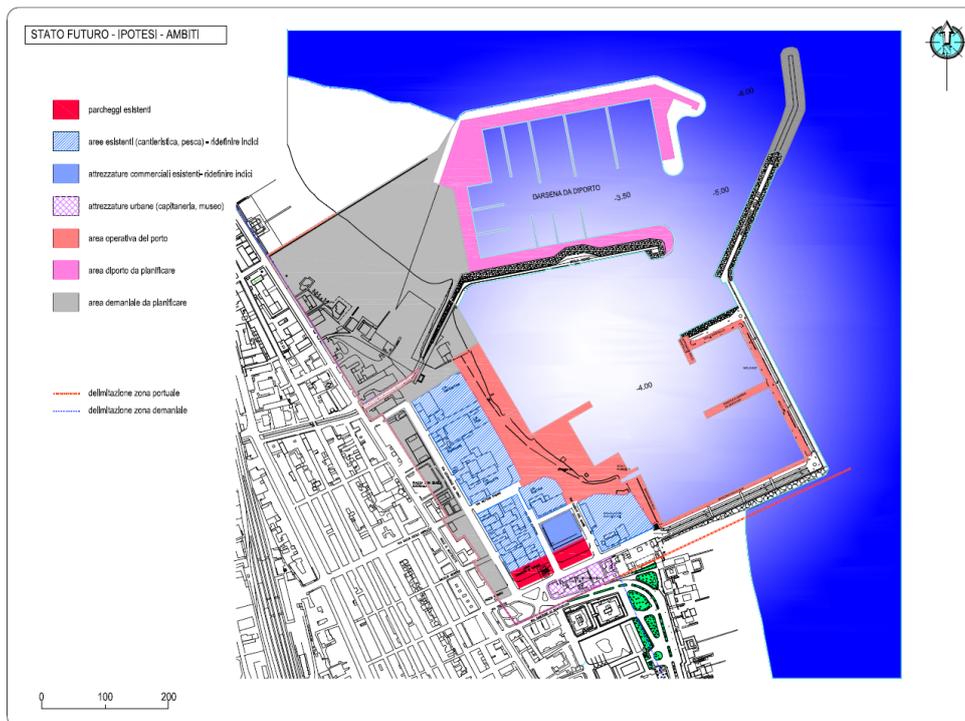


Figura 1.6 – Stato futuro – Ipotesi - Ambiti del Porto di Civitanova Marche nel Piano Regionale dei Porti.



Figura 1.7 – Canale di accesso – Interventi preventivi del Porto di Civitanova Marche nel Piano Regionale dei Porti.

Successivamente al predetto Piano Regionale dei Porti, è risultata occuparsi del Piano Regolatore Portuale del Porto di Civitanova Marche la deliberazione della Giunta Regionale della Regione Marche n. 758 del 21 settembre 2015. Nell’ambito della approvazione dello schema di Protocollo d’intesa con il Comune di Civitanova Marche per l’avvio del procedimento per l’approvazione del Piano Regolatore Portuale e delle sue varianti in coerenza con le Norme Tecniche di Attuazione del Piano Regionale dei Porti e delle disposizioni della legge 84/1994 e s.m.i.

In particolare, sono stati definiti, nell’Allegato 1 del detto accordo, gli Obiettivi strategici e gli indirizzi operativi per il Porto di Civitanova Marche.

Di seguito, si riportano le parti salienti del predetto Allegato 1 che riguardano le opere a mare.

“Allegato 1

Obiettivi strategici e indirizzi operativi per il Porto di Civitanova Marche

In coerenza con "II Piano Regionale dei Porti" si assumono come obiettivi territoriali il potenziamento e l'ammodernamento delle strutture portuali esistenti, il miglioramento della vivibilità locale, il miglioramento della mobilità delle persone e dei flussi turistici legati all'importante settore della nautica di diporto, la riorganizzazione degli spazi dedicati al settore della pesca e della cantieristica.

I porti rappresentano una risorsa non solo per la popolazione della "città" in cui si collocano, ma per un intero territorio che si estende spesso anche oltre i confini regionali.

Solo pianificando i porti a livello Regionale si può, pertanto, pensare che l'Amministrazione Pubblica possa rivestire quel ruolo super partes che le è proprio permettendole di superare problemi legati a localismi e alla conservazione di singoli e ristretti interessi privati che ostacolerebbero quel generale perseguimento dell'interesse pubblico a cui le pubbliche Amministrazioni sono demandate.

Obiettivi previsti dal Piano Regionale dei Porti integrati con le finalità di carattere locale

1. Riconferma, nella variante generale al Piano Regolatore Portuale, delle previsioni di opere a mare pianificate nel Piano Regolatore Portuale del 2005. Completamento delle opere marittime previste nel Piano del 2005 e non ancora realizzate con le seguenti priorità dettate dalla necessità assoluta di mettere in sicurezza il porto come attualmente in essere, in particolare per l'area oggi destinata alla diportistica:

- l'allungamento del molo di sopraflutto per consentire di migliorare la funzionalità del porto sia per quanta riguarda la protezione degli specchi acquei interni dalle agitazioni provenienti dalla traversia, sia per quanta attiene all'interrimento degli stessi e dell'avamporto;*
- realizzazione anche parziale delle opere finalizzate alla nuova darsena che possono fin da subito coadiuvare le opere di cui sopra per la messa in sicurezza definitiva del porto come attualmente in essere;*
- ampliamento degli specchi acquei con il completamento della nuova darsena turistica (PORTO TURISTICO) garantendo, nel contempo, il permanere degli ormeggi attuali per la nautica da diporto. L'ampliamento previsto con la realizzazione della nuova darsena consentirà di aumentare la ricettività per complessivi n. 600 posti barca permettendo di ospitare, in sicurezza, fino a 1000 posti barca (comprensivi dei 600 della futura darsena nord);*
- realizzazione dei nuovi banchinamenti nella zona di riva, prospiciente l'imboccatura, da realizzarsi solo a completamento avvenuto delle opere di cui sopra per la messa in sicurezza definita del porto così come oggi in essere. Una realizzazione antecedente dei nuovi banchinamenti infatti andrebbe ad aumentare lo stato di insicurezza interna in caso di mareggiate, venendo a mancare lo sfogo naturale per i moti ondosi dato della battigia sabbiosa;*
- razionalizzazione degli spazi per le attività: della pesca, della cantieristica e del turismo favoriti dalla messa in sicurezza del bacino interno e dalla realizzazione dei nuovi banchinamenti;*
- dimensionamento delle nuove banchine in modo tale da poter ormeggiare imbarcazioni da diporto anche di grosse dimensioni e per incrementare la produttività degli attuali cantieri;*
- previsione di un adeguato "bacino di carenaggio";*

..... “

A titolo di completezza di inquadramento, per quanto riguarda l'evoluzione recente della parte marittima della configurazione portuale del bacino di Civitanova Marche, si riportano, rispettivamente nella Figura 1.8a e Figura 1.8b, le edizioni degli anni 2000 e 2016 del c.d. pianetto del Porto di Civitanova Marche, relativamente alle carte nautiche n. 214 dell'I.I.M., dal cui confronto si nota agevolmente che le variazioni avvenute nell'ultimo ventennio hanno riguardato quasi esclusivamente opere interne portuali, salvo alcune riprofilature di rinforzo delle scogliere della mantellata di rivestimento esterna, più evidenti allo spigolo fra il Molo Sud ed il Molo Est e lungo il Molo Nord.

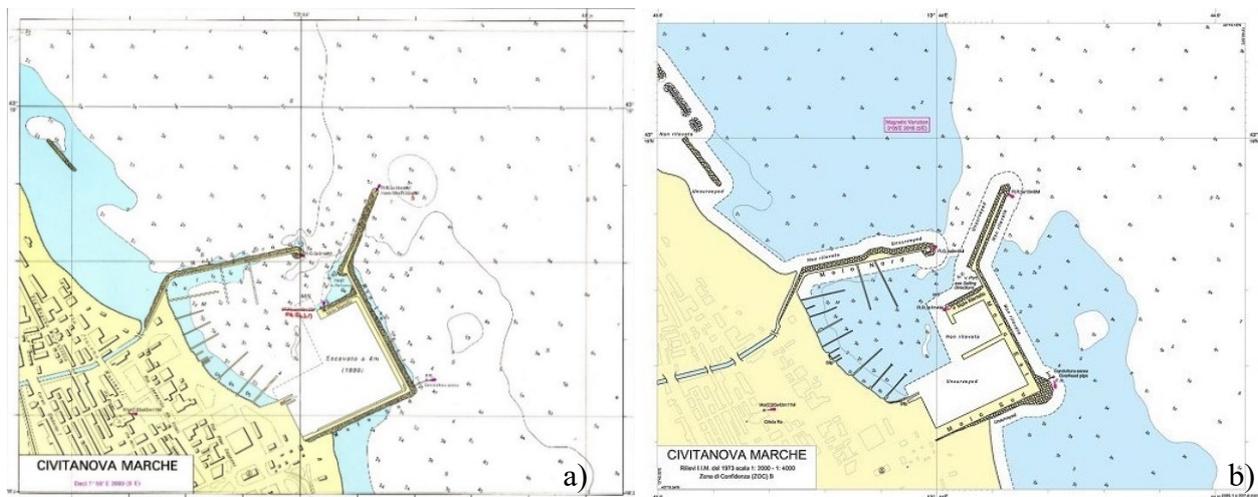


Figura 1.8 – Pianetto del Porto di Civitanova Marche tratti dalle edizioni degli anni 2000 (a) e 2016 (b) della Carta nautica n. 214 dell'I.I.M. (scala degli originali 1:5000).

2. CONFIGURAZIONI DI STUDIO

Obiettivo dello studio è quello di verificare l'impatto del prolungamento del molo di sopraflutto del Porto di Civitanova Marche lungo la direzione attuale del molo (22°N) sui livelli di agitazione ondosa interni. Tale effetto, non può che risultare benefico in quanto il prolungamento oggetto di studio risulterebbe in un maggiore grado di copertura rispetto alle onde provenienti dai settori settentrionali. Contestualmente, però, si intende anche rimodulare la distribuzione interna delle banchine portuali che risulteranno posizionate più internamente rispetto allo stato attuale, riducendo lo specchio acqueo. Tale effetto porta ad un aumento dei fenomeni riflessivi all'interno dello specchio portuale e, di conseguenza, ad una condizione peggiorativa rispetto a quella in essere. In questo studio si valuta, inoltre, l'effetto di un ulteriore prolungamento con diversa orientazione del molo di levante in modo da schermare ulteriormente le onde da Nord in accordo con quanto previsto nella variante generale al Piano Regolatore Portuale (PRP).

Nella Figura 2.1 sono mostrate le tre configurazioni testate nel presente studio:

- Configurazione attuale del porto. Tale configurazione è denominata “Configurazione attuale” (o Configurazione C0);
- Configurazione con il prolungamento parziale del Molo Est come previsto dal Piano Regolatore Portuale per il solo tratto lungo la direzione attuale del molo (22°N). Tale configurazione, che da piano prevede anche il banchinamento interno di riva, è denominata “Configurazione con molo parziale” (o Configurazione C1);
- Configurazione con il completo prolungamento del Molo Est come previsto dal Piano Regolatore Portuale (primo tratto prolungato secondo l'attuale direzione del molo e secondo tratto ruotato verso Nord di 30° nel verso antiorario). Tale configurazione, che da piano prevede anche il banchinamento interno di riva, è denominata “Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale” (o Configurazione C2).

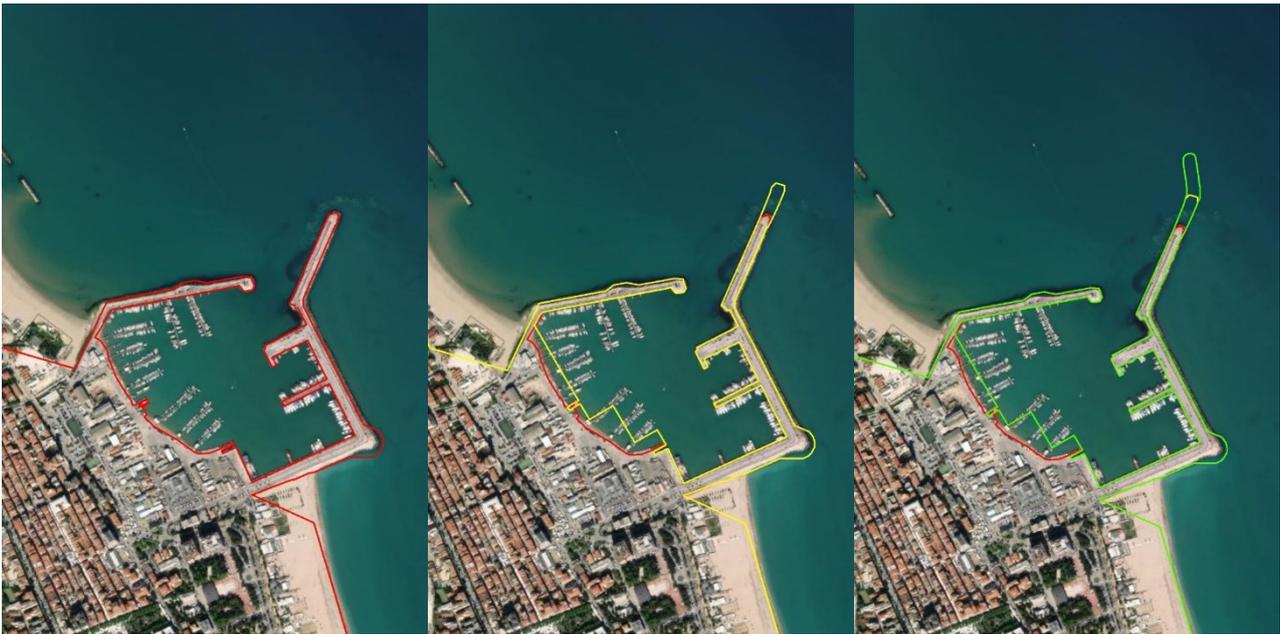


Figura 2.1 – Confronto tra le configurazioni del porto testate nel presente studio. La Configurazione attuale, Configurazione C0, in rosso (sinistra); la Configurazione con molo parziale, Configurazione C1, in giallo (centro) e la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale, Configurazione C2, in verde (destra).

3. STUDIO METEOMARINO

Nei paragrafi del presente capitolo sono illustrate le principali caratteristiche meteomarine del paraggio di Civitanova Marche. In particolare, sono indicate le principali fonti dei dati ondosi utilizzate, sono descritte le elaborazioni per definire il regime ondoso del paraggio degli eventi estremi di mareggiata e sono esposte le procedure per compiere la trasposizione geografica dei valori ondosi.

3.1 Caratteristiche ondose del paraggio marino di Civitanova Marche

Per caratterizzare le condizioni ondose del paraggio marino di Civitanova Marche sono stati presi a riferimento i dati ondosi provenienti dalle misure ondametriche effettuate dalla Rete Ondametrica Nazionale (R.O.N.) al largo di Ancona e quelli ricostruiti dai modelli meteomarini NOAA-WAVEWATCH III.

Le suddette fonti di riferimento dei dati ondosi hanno fornito informazioni relativamente a periodi diversi di rilevamento.

In particolare, nei paragrafi che seguono del presente capitolo, vengono descritti in dettaglio le caratteristiche dei dati ondosi forniti dalle diverse fonti di riferimento prese in esame, come anche le procedure utilizzate ed i risultati ottenuti dalle elaborazioni effettuate sui dati ondosi disponibili.

Sui dati della R.O.N. sono state effettuate elaborazioni riguardo al regime ondoso medio ed agli eventi estremi di altezza d'onda e sui relativi periodi ondosi.

Le informazioni ottenibili dal modello NOAA, comprendono dati ondosi ed anemometrici. Per quanto riguarda i dati ondosi provenienti dal modello NOAA, sono state effettuate elaborazioni sugli eventi estremi di altezza d'onda e sui relativi periodi ondosi.

Sui risultati ottenuti dai valori estremi sulle due suddette serie di dati ondosi, sono stati effettuati confronti qualitativi e quantitativi sia sui dati di altezza d'onda, che su quelli dei relativi periodi ondosi di picco. Nelle applicazioni sono stati usati quei dati che offrivano maggiori garanzie di affidabilità.

3.2 Dati ondosi della R.O.N.

La Rete Ondametrica Nazionale (R.O.N.) è il sistema di rilevamento del moto ondoso, nato, a titolo istituzionale, costituito da una rete di stazioni di misura distribuite in posizioni marine fisse,

dislocate lungo le coste nazionali, per la raccolta di dati che, opportunamente elaborati, caratterizzano lo stato del mare nel sito di posizionamento. I parametri descrittivi derivano dall'osservazione in continuo della variazione della superficie del mare attraverso boe ondometriche direzionali e vengono elaborati ad intervalli di tempo regolari secondo le definizioni della linea guida n.702 “*Guide to wave analysis and forecasting*” della *World Meteorological Organization* (WMO).

La R.O.N. è attiva in via sperimentale dal luglio 1989, definitivamente operativa dal 1990. Inizialmente, la R.O.N. fu progettata e gestita dall'allora Ministero dei Lavori Pubblici con la supervisione e l'ausilio di una commissione di esperti in oceanografia ed ingegneria marittima. L'entrata in vigore della L. 183/89 sulla difesa del suolo e dei successivi DPR 85/91 e 106/93 hanno sancito la nascita ed individuato i compiti del Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali (DSTN) nell'ambito della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Poi, nel 1994, la R.O.N. fu affidata al Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), nell'ambito del Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali (DSTN) della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Nel 2002 la rete, insieme a parte delle strutture del disciolto DSTN è transitata nell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) passando sotto la gestione del Servizio Mareografico Nazionale (SMN). Con l'istituzione dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), con la legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, confluirono nel nuovo ente, fra le altre, tutte le competenze tecniche del disciolto APAT. Nel campo marittimo il SMN ha mantenuto la gestione della Rete Ondometrica Nazionale (R.O.N.), operando quindi attualmente nell'ambito dell'ISPRA, predisponendo l'acquisizione dei dati in tempo reale, oggi anche a supporto alla gestione delle emergenze ambientali, nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile.

Dal punto di vista strettamente tecnico-operativo, la rete ondometrica originaria, a partire dal 1989-1990, era composta da n°8 boe ondamentriche in grado di misurare i parametri del moto ondoso direzionale e la temperatura dell'acqua. Le stazioni erano completate da un centro di ricezione ed elaborazione a terra dei dati inviati in telemisura dalla boa. Gli strumenti adottati erano boe a disco, ad inseguimento della forma ondosa, del tipo *WAVEC™* della società olandese *Datawell BV*. Le boe ondometriche erano state dislocate nelle aree di mare al largo di La Spezia, Alghero, Ortona, Ponza, Monopoli, Crotone, Catania e Mazara. Ogni boa era ormeggiata su fondali dell'ordine di 100 metri ed era dotata di un sistema di localizzazione per il controllo continuo della posizione, mediante il satellite *ARGOS*. I dati venivano acquisiti normalmente per intervalli di 30 minuti ogni tre ore (triorari) e con periodi inferiori solo nel caso di mareggiate particolarmente significative.

Nel corso dell'anno 1999 erano state introdotte alcune modifiche alla rete originaria, la cui consistenza era stata portata a n°10 stazioni, con l'aggiunta della boa al largo di Ancona e di una boa al largo di Cetraro. Gli strumenti adottati per le due nuove stazioni, ed in via sperimentale anche per la stazione di Catania, erano boe a traslazione del tipo *Directional Waverider*TM della società olandese *Datawell BV*.

Nell'anno 2002 la R.O.N. era stata oggetto di un significativo ampliamento ed è stato completamente rinnovato il parco boe impiegato per il monitoraggio ondoso. Le boe ondometriche adottate a partire dalla metà del 2002 sono state del tipo *TRIAXYS*TM, prodotte dalla società canadese *AXYS Ltd*. Il numero delle stazioni di monitoraggio era stato portato a n°14, aggiungendo n°4 nuove boe ormeggiate in aree di mare al largo di Civitavecchia, Palermo, Punta della Maestra (alla foce del fiume Po) e Siniscola. Dal punto di vista dei parametri ondosi osservati non ci sono state significative variazioni rispetto alle grandezze misurate dall'anno 1989. Le principali differenze introdotte rispetto alla versione precedente della rete sono dovute all'uso di sensori allo stato solido ed all'aumento della frequenza di campionamento (spettrale), inoltre, è stato cambiato il sistema di localizzazione satellitare passando al sistema *Inmarsat D+*. I dati, acquisiti in continuo e riferiti alla cadenza di 30 minuti (semiorari), venivano trasmessi in telemisura ogni tre ore.

Nell'anno 2007, il numero delle stazioni di monitoraggio è stato portato a n°15, con l'aggiunta di una boa al largo di Cagliari. Negli anni dal 2009 al 2014, la rete ondometrica dell'ISPRA è stata completamente rinnovata con l'adozione di boe meteo-ondometriche del tipo *WatchKeeper*TM, prodotte dalla società canadese *AXYS Ltd*. Tali boe sono equipaggiate con sensore ondometrico allo stato solido del tutto analogo a quello in uso nella R.O.N. già a partire dal 2002; inoltre, sono dotate di sensori per la misura di parametri meteorologici (temperatura dell'acqua, temperatura dell'aria, umidità relativa, pressione atmosferica, velocità e direzione de vento), di riflettore radar e di un fanale marino per segnalazione notturna con sequenza di lampeggio configurata secondo lo standard *ODAS/IALA*. I dati, riferiti a periodi di 30 minuti (semiorari), vengono acquisiti ed immessi, in telemisura in tempo-reale, nella rete internazionale *Global Telecommunication System* (GTS) del WMO per la condivisione con le comunità meteorologiche e oceanografiche coordinate nel programma internazionale *Data Buoy Cooperation Panel* (DBCP).

Da rilevare che le operazioni a mare della R.O.N. sono risultate completamente interrotte in occasione di due periodi di tempo diversi. Una prima volta è accaduto fra il 2006-2007 (inizio del periodo diverso a seconda delle stazioni di misura) e l'autunno del 2009, mentre nel secondo caso furono interrotte a partire dal 2014 (ufficialmente le attività risultano sospese dal 1 gennaio 2015, di fatto dalla primavera 2014).

Nel corso dello scorso anno 2021, le misure a mare della R.O.N. sono riprese con il varo di 7 boe ondamiche, fra cui quella del sito al largo di Ancona.

3.3 Dati ondamiche registrati dalla stazione della R.O.N. posizionata al largo di Ancona

Dal varo, avvenuto il 9 marzo 1999, fino al 14 luglio 2002, lo strumento di misura per il sito ondamico di Ancona, appartenente alla R.O.N., è stato la boa ondamica, del tipo *Directional Waverider*TM della società olandese *Datawell BV*. Essa era stata ancorata inizialmente, nel 1999, su una profondità di oltre 50 metri, in posizione di coordinate geografiche 43°37'13"N e 13°51'04"E, circa 12 miglia marine ad Est-NordEst del promontorio del Monte Conero. Per problemi dovuti a frequenti disormeggi subiti dalla boa nel primo periodo di funzionamento operativo, probabilmente dovuti all'intensa attività di pesca nel paraggio ed all'estrema vicinanza con le rotte dei traghetti che incrociano per la Grecia, la Croazia, il Montenegro o l'Albania, il sito della stazione di misura è stato spostato alla fine del mese di Maggio 2000 su una profondità di circa 70 metri, in posizione di coordinate geografiche 43°50'30"N e 13°42'50"E, circa 15 miglia marine a Nord-NordEst del Porto di Ancona, nei pressi (circa 500 metri a NordEst) della piattaforma artificiale Clara Ovest della società A.G.I.P. (si veda lo schema planimetrico in Figura 3.1).

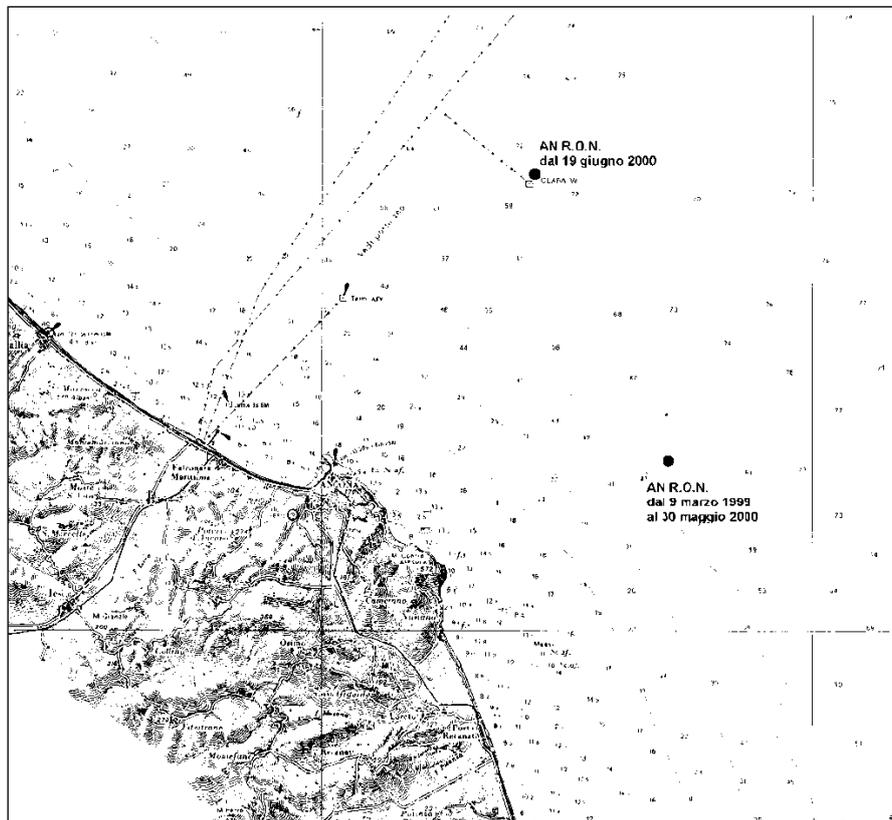


Figura 3.1 - Posizione geografica della stazione di misura gestita dalla R.O.N. al largo di Ancona.

Riguardo alle misure della stazione ondometrica di Ancona, si dispone delle registrazioni dei dati ondosi per una prima fase di oltre 7 anni, pur con alcuni periodi di interruzione, rilevati nel periodo dal 9 marzo 1999 al 31 maggio 2006. Per garantire un'opportuna omogeneità climatologica (analisi su una durata annuale) le elaborazioni sono state effettuate sui 7 anni di osservazione dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006.

In seguito ad una prima ristrutturazione della rete, avvenuta nel 2002, con la generale sostituzione degli strumenti di misura della Rete con le boe *Triaxys*TM, prodotte dalla società canadese *AXYS Axys Technologies Inc. Ltd*, le registrazioni delle misure hanno subito, tra il 14 luglio ed il 17 ottobre dell'anno 2002, varie e frequenti interruzioni, che non hanno permesso di considerare una misura valida continua in questo periodo, che è risultato il periodo "disturbato" più lungo occorso durante tale prima fase di osservazione del sito al largo di Ancona.

Sono stati rilevati i principali dati statistici (si tratta di altezza d'onda significativa, periodo di picco, periodo medio e direzione media delle onde) degli stati di mare in continuo su base semioraria (cioè dati consecutivi degli stati di mare riferiti ad intervalli di 30 minuti). I valori ondosi sono dedotti dall'analisi spettrale degli stati di mare, quindi generalmente l'altezza d'onda significativa di riferimento è indicata con H_s oppure H_{m0} .

Fino al luglio dello stesso 2002, le registrazioni dei dati sono avvenute limitatamente ad una cadenza trioraria (cioè è stato registrato un dato completo sulle caratteristiche dello stato di mare,

relativo a mezzora di tempo, ogni tre ore), consentendo, invece, le registrazioni semiorarie in continuo solo per condizioni di moto ondoso intenso, con altezza d'onda significativa superiore ad una soglia di 3 m. Invece, da agosto-settembre dello stesso anno 2002, le registrazioni dei dati sono avvenute in continuo, quindi su base semioraria, indipendentemente dalle condizioni del mare.

Precisamente nel citato periodo di osservazione di 2557 giorni (7 anni, dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006) si hanno a disposizione dati statistici relativamente a 43427 stati di mare considerati validi. Di questi 43427 stati di mare 8595 sono stati rilevati dalla boa *Directional Waverider* (8417 stati di mare trionfanti sui 9784 complessivamente rilevabili) con una percentuale di funzionamento pari all'86%. I restanti 34832 stati di mare sono stati rilevati dalla boa *Triaxys* in continuo (ogni 30 minuti) però con una minore percentuale di funzionamento sul periodo di tempo di osservazione, risultata pari al 58,5%. Complessivamente, per i 7 anni di osservazione, si è rilevata una percentuale di funzionamento generale pari ad oltre il 72,1%.

La conoscenza dell'andamento cronologico delle altezze significative del moto ondoso consente di individuare, per l'intero periodo di osservazione di 7 anni, sia il regime ondoso medio (clima) sia quello degli eventi estremi di mareggiata.

Dall'esame dell'insieme cronologico dei dati statistici a disposizione, si ricava che, nell'intero periodo di osservazione della boa (7 anni complessivi) sono stati rilevati ben 497 eventi di mareggiata indipendenti tra loro, di diversa durata, in cui le onde hanno raggiunto almeno un metro di altezza d'onda significativa (133 di essi hanno raggiunto i 2 metri, 37 hanno raggiunto i 3 metri, 5 eventi hanno superato i 4 metri ed in due soli casi si sono superati i 5 m di altezza d'onda significativa). Da notare che i due eventi ondosi che hanno superato i 5 m sono avvenuti rispettivamente nel novembre 2002 per una mareggiata da scirocco-levante e nel settembre 2004 per una mareggiata da bora, mentre quelli con valori sopra i 4 m sono avvenuti nell'aprile 2005 per un evento da libeccio, quindi non di traversia per i siti costieri in esame, gli altri due nel novembre 1999 e nel gennaio 2001, entrambi provenienti dal settore direzionale di greco-levante.

Dall'esame della rappresentazione cronologica delle altezze d'onda medie mensili, riportata in Figura 3.2, si nota che i mesi con altezza media più alta sono quelli invernali da novembre a febbraio, che generalmente il valore medio dell'altezza significativa si mantiene sopra i 60 cm da settembre-ottobre fino ad aprile-maggio. Nei mesi estivi tale valore, generalmente, non viene raggiunto e quasi sempre le medie mensili si mantengono attorno ai 40-50 cm. Inoltre, si può notare che in ogni invernata viene raggiunta, per almeno due o tre mesi, la soglia media di almeno 90 cm di altezza d'onda.

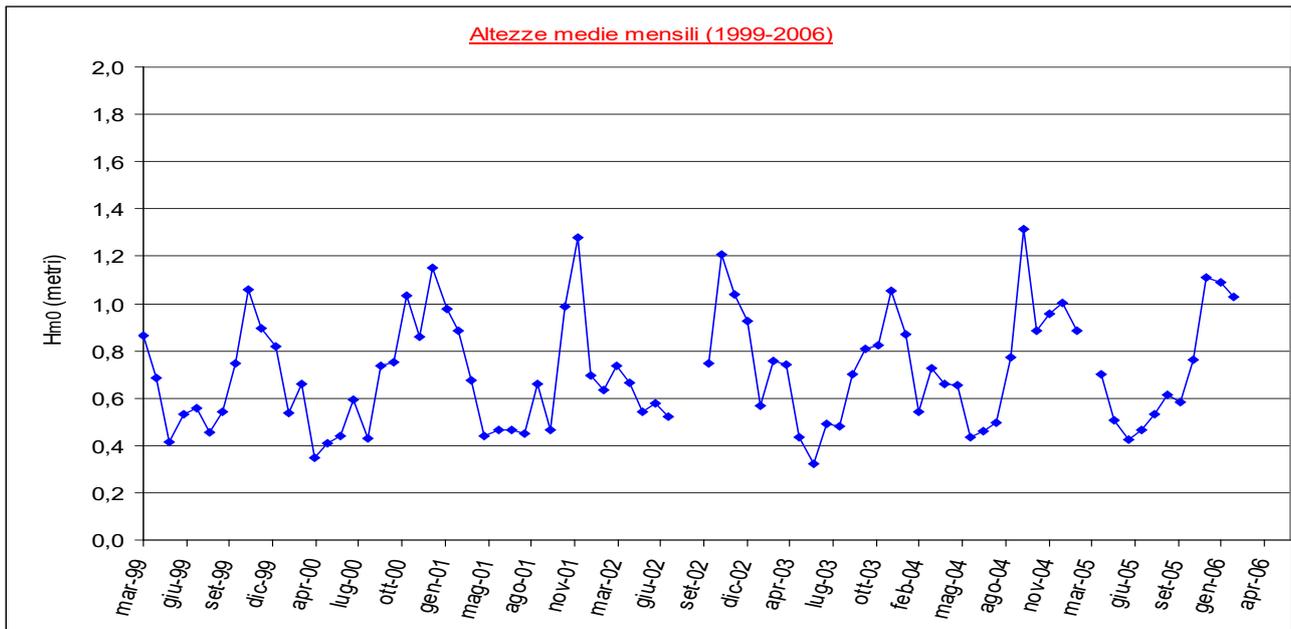


Figura 3.2 - Andamento cronologico delle altezze d'onda significative medie mensili rilevate su base trioraria dalla boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona dal marzo 1999 al marzo 2006.

Dal punto di vista ondometrico, le stagioni calme (altezze d'onda medie inferiori a *60 cm*) sono durate in genere circa 5 mesi (nel 1999 da maggio a settembre, nel 2000 da aprile ad agosto, nel 2001 da maggio a settembre e così via). In particolare, i mesi più calmi risultano spesso essere quelli di primavera (aprile, maggio e giugno). I mesi estivi veri e propri non sono risultati sempre così calmi (medie mensili anche oltre i *60-70 cm*).

Dal punto di vista ondometrico la stagione invernale '99-'00 è stata breve (solo da ottobre a gennaio l'altezza d'onda media mensile è stata superiore a *70 cm*). In questo periodo è stato raggiunto il picco di oltre *100 cm* nel novembre '99.

Al contrario l'inverno '00-'01 è risultato particolarmente lungo, da settembre a marzo l'altezza d'onda media mensile si è mantenuta sopra i *70 cm*. La stagione invernale '01-'02 ha presentato caratteristiche simili a quelle del '99-'00: breve durata ma forti mareggiate (è stato raggiunto il picco di quasi *130 cm* nel dicembre del 2001).

L'inverno '02-'03 non è risultato particolarmente lungo ma discretamente intenso; mentre la stagione invernale '03-'04 ha avuto una simile durata ma di minor intensità, si è superata la media mensile di *90 cm* di altezza d'onda solo in dicembre.

L'invernata '04-'05 è risultata particolarmente lunga (da settembre ad aprile) ed anche intensa (in ottobre la media ha superato i *130cm*); come la stagione invernale '05-'06 che è iniziata a novembre e da dicembre fino a febbraio la media mensile di altezza d'onda si è mantenuta oltre i *100 cm*.

Le differenze riscontrate fra le stagioni ondose invernali delle annate descritte è indice della variabilità meteo-marina del paraggio marittimo del medio Adriatico.

Va comunque rilevato che la citata carenza di dati in certi periodi può aver influito sul suddetto risultato descritto alterando un poco tale climatologia mensile ondosa.

Tra il 2004 ed il 2009, la Rete Ondametrica Nazionale ha subito una lunga fase di stallo parziale e di completa riorganizzazione sotto il controllo del nuovo ente gestore, l'ISPRA, nato nel frattempo, a cui sono passate le competenze della gestione della Rete stessa. Tra il 2004 ed il 2008 tutti gli strumenti di misura ondametrici della R.O.N., distribuiti su tutti i mari italiani, sono stati recuperati e mantenuti a terra, quindi ovviamente in condizioni non operative e non funzionanti. In particolare, la boa di Ancona fu portata a terra alla fine del Maggio 2006.

Nell'ambito della completa riorganizzazione dell'ISPRA, furono sostituiti gli strumenti di misura, affidandosi, in questo caso, alle nuove boe meteo-ondametriche del tipo *WatchKeeper™*, prodotte dalla società canadese *Axys Technologies Inc. Ltd.* A partire dall'estate 2009, furono riprese le attività in mare della R.O.N.. Nel giro di meno di un anno furono varate tutte le 15 boe ondametriche della Rete e ripresero i rilevamenti ondosi e le registrazioni dei dati. Il primo sito su cui fu posizionato nuovamente lo strumento di misura fu quello di Civitavecchia, il 16 luglio 2009. Il secondo sito dotato nuovamente di strumento di rilevamento ondoso fu proprio quello di Ancona, il cui varo (e conseguente ripresa delle misure e registrazioni) avvenne il 28 ottobre del 2009.

A partire da tale data, ha avuto avvio la seconda fase delle osservazioni ondametriche per il sito al largo di Ancona.

La modalità di registrazione dati è ancora semioraria ed i parametri ondametrici sono ancora quelli della prima fase di osservazioni, integrati da una serie di parametri fisici, il cui rilevamento è reso possibile dal nuovo tipo di strumenti messi a mare.

Al momento, si dispone della raccolta dei dati statistici sintetici ondosi fino al mese di marzo del 2014. Come già fatto per la prima fase delle osservazioni, anche in questo caso, al fine di garantire una opportuna omogeneità climatologica ondosa (analisi su una durata annuale), sono stati presi in considerazione, per le presenti elaborazioni, i dati che coprono un periodo di annate complete. In particolare, si è scelto, in tal caso, di far riferimento ai dati dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013, per un totale di 4 anni interi di osservazione.

Precisamente, nel citato periodo di osservazione di 1461 giorni (4 anni), si hanno a disposizione dati statistici relativamente a 60694 stati di mare considerati validi, su 70128 valori rilevabili. Quindi, complessivamente, per i 4 anni di osservazione si è rilevata una percentuale di funzionamento generale pari ad oltre l'86,5%. A partire dalla metà del 2013, fino ai dati disponibili più recenti, si sono riscontrati i periodi più frequenti di mancato funzionamento di questa seconda fase di osservazione, probabilmente legati a problemi di trasmissione-radio dei dati acquisiti dallo strumento in mare aperto.

Dall'esame dell'insieme cronologico dei dati statistici a disposizione, si ricava che, nell'intera seconda fase di osservazione della boa (4 anni complessivi) sono stati rilevati ben 612 eventi di mareggiata indipendenti tra loro, di diversa durata, in cui le onde hanno raggiunto almeno un metro di altezza d'onda significativa (115 di essi hanno raggiunto i 2 metri, 35 hanno raggiunto i 3 metri, 9 eventi hanno superato i 4 metri ed in cinque casi si sono superati i 5 m di altezza d'onda significativa). Da notare che i cinque eventi ondosi che hanno superato i 5 m sono avvenuti per due mareggiate provenienti dal settore direzionale di greco-levante, per altre due mareggiate da scirocco-levante e per una mareggiata da bora, mentre gli altri 4 eventi ondosi con valori di altezza significativa sopra i 4 m sono avvenuti per due volte a causa di eventi da greco-levante, per una mareggiata da scirocco-levante e per un'altra da bora.

Ad una prima analisi delle mareggiate, pur se, per tale seconda fase di osservazione (4 anni, 2009-2013), si è potuto contare su un maggior numero di dati (semiorari), almeno sotto i 3 m di altezza d'onda, si può certamente notare una maggior frequenza media annuale di eventi ondosi intensi, praticamente per ogni fascia di altezza d'onda, rispetto a quella riscontrata nella prima fase delle osservazioni (7 anni, 1999-2006). Inoltre, hanno assunto una importanza notevolmente più rilevante, fra gli eventi ondosi più intensi (con altezza d'onda di almeno 4 m), quelli provenienti dal settore direzionale di greco-levante, rispetto a quelli "tradizionali" provenienti da scirocco-levante e da bora.

La rappresentazione cronologica delle altezze d'onda medie mensili, relativamente a questa seconda fase di osservazione, è riportata in Figura 3.3.

In tal caso, si possono notare diversi picchi mensili invernali con altezza media anche più alta di 130 cm, sicuramente più frequenti che nella prima fase di osservazione. L'invernata (ondosa) 2010-2011 è risultata particolarmente tranquilla, con medie mensili inferiori ai 90 cm, salvo la breve ed intensa parentesi del mese di febbraio 2011, con un picco medio mensile addirittura oltre i 140 cm. L'estate 2013 e la successiva invernata sono risultate particolarmente intense, in confronto con le rispettive stagioni precedenti, ma alcuni di tali dati potrebbero essere risultati anche alterati dalla succitata carenza di valori validi riscontrata proprio in tale periodo, specie per i mesi del 2014.

Resta, comunque, il fatto che le differenze riscontrate fra le stagioni ondose, invernali ed estive, delle diverse annate è indice della variabilità meteo-marina del paraggio marittimo del medio Adriatico.

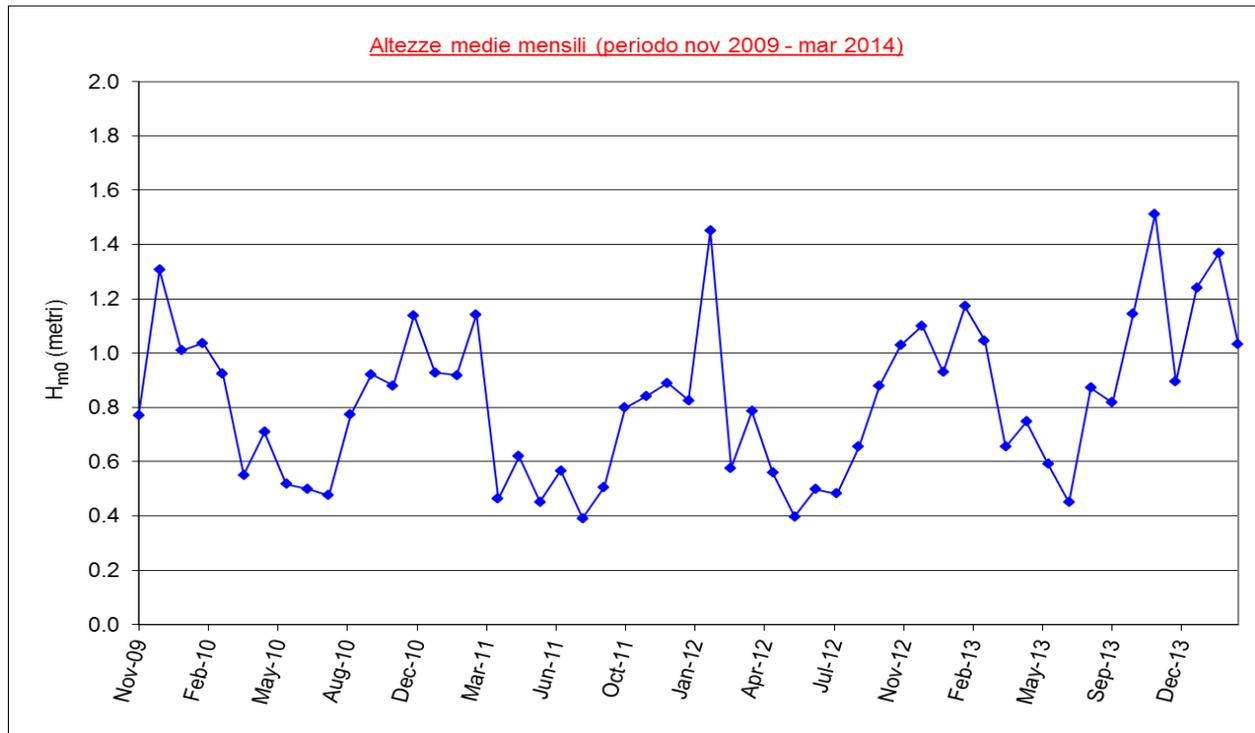


Figura 3.3 - Andamento cronologico delle altezze d'onda significative medie mensili rilevate su base semioraria dalla boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona dal novembre 2009 al marzo 2014.

3.4 Regime ondoso medio per il sito ondometrico al largo di Ancona

Il clima o regime ondoso medio in un paraggio marino individua la fenomenologia ondosa completa nella zona di mare cui si riferisce, caratterizzandone l'esposizione alle condizioni ondose provenienti dal largo. Generalmente il regime ondoso viene ricavato in condizioni di profondità infinita, in cui il moto delle onde è direttamente collegato al vento agente in superficie che lo ha generato e non risulta alterato dagli effetti di rifrazione, morfologia dei fondali, batimetria, acclività e diminuzione del fondale. Il successivo trasferimento su profondità finite viene effettuato adottando modelli matematici basati su schemi di onde regolari o irregolari spettrali, da cui è possibile poi individuare le altezze delle onde significative alle varie posizioni sottocosta.

L'esposizione di un paraggio marino è data dall'intensità delle agitazioni ondose che possono raggiungerlo per effetto dell'azione dei venti provenienti dal largo. Il settore di traversia è l'angolo comprendente le direzioni da cui possono provenire gli eventi ondosi da vento dal largo e si suddivide nella traversia principale, da cui provengono le onde più violente, e nella traversia secondaria, che include tutte le direzioni meno pericolose.

L'andamento significativo del clima medio per il sito ondometrico al largo di Ancona è stato ricostruito utilizzando tutti i dati registrati nel periodo preso in esame dallo strumento in questione.

Ai fini della ricostruzione del regime climatico ondoso, oltre alla distribuzione della frequenza (assoluta o percentuale) dei valori di altezza d'onda significativa, si può considerare anche la distribuzione (assoluta o percentuale) del flusso (o potenza) energetico F , che rappresenta l'energia delle onde che nell'unità di tempo passa attraverso una superficie verticale normale alla direzione di propagazione dell'onda di larghezza unitaria e altezza pari alla profondità del fondale nel punto in cui esso viene calcolato, che è funzione sia dell'altezza d'onda che del periodo ondoso. In particolare, il flusso energetico ondoso medio viene valutato proporzionalmente al quadrato dell'altezza d'onda ed al periodo medio relativi a ciascuna registrazione, quindi $F=f(H^2, T)$, secondo la relazione seguente:

$$F = \text{cost } H_{m0}^2 T_m$$

dove H_{m0} è l'altezza d'onda significativa spettrale e T_m è il periodo medio c.d. dell'energia, mentre cost è un termine costante che viene preventivamente calcolato. Per ogni classe di altezza d'onda, il flusso energetico assoluto si ottiene come somma dei flussi di ciascun evento appartenente alla classe presa in considerazione. La potenza complessiva è la somma di tutti i flussi di energia per metro di lunghezza di cresta degli stati di mare compresi negli intervalli temporali e dei parametri ondosi prescelti. La potenza media per metro di lunghezza di cresta è il rapporto tra la potenza e il numero di dati totali considerati.

Nelle tabelle dalla Tabella 3.1 alla Tabella 3.3 sono riportate le raccolte della distribuzione di frequenza percentuale dei dati ondosi triorari per l'intero periodo della prima fase di osservazione (7 anni, dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006), rispettivamente suddivisi per classi di altezze d'onda significative e di periodi di picco, classi di altezze d'onda significative e di periodi medi, classi di altezze d'onda significative e di settori direzionali di provenienza. Infine, la Tabella 3.4 contiene la raccolta della distribuzione di frequenza percentuale dei flussi energetici relativamente ai dati ondosi triorari per l'intero periodo della stessa prima fase di osservazione, suddivisi per classi di altezze d'onda significative e di settori direzionali di provenienza.

Dal punto di vista grafico in Figura 3.4 è rappresentata la distribuzione direzionale della frequenza percentuale del moto ondoso triorario rilevato dalla boa ondometrica posta al largo di Ancona nella prima fase dei 7 anni di osservazione, secondo il dato direzionale di provenienza media suddiviso per intervalli di 10°.

Nella Figura 3.5 è riportata la distribuzione direzionale delle frequenze percentuali del flusso energetico per metro di lunghezza di cresta delle stesse onde (dei 7 anni fra il 1999 ed il 2006), suddivise negli stessi settori direzionali di 10°.

Tabella 3.1 – Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-T_P$ per i dati ondosi triorari (di numero 15244) dei sette anni di osservazione dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI PERIODO E DI ALTEZZA D'ONDA												
TP (sec)	Classi di HMO (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	>5,0	
< 2,0	0.2493	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2493
2,0 - 2,5	1.9549	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9614
2,5 - 3,0	6.3894	0.4133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8027
3,0 - 3,5	6.9798	2.6633	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6497
3,5 - 4,0	5.9761	5.904	0.0918	0	0	0	0	0	0	0	0	11.9719
4,0 - 4,5	3.6933	7.3406	0.8003	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	11.8407
4,5 - 5,0	1.9942	5.4513	2.0205	0.0984	0	0	0	0	0	0	0	9.5644
5,0 - 5,5	1.64	4.0869	3.0241	0.4461	0.0262	0	0	0	0	0	0	9.2233
5,5 - 6,0	1.7909	1.8696	2.3681	1.0102	0.1115	0.0066	0	0	0	0	0	7.1569
6,0 - 6,5	1.7253	1.2398	1.5613	1.4301	0.4723	0.0262	0	0	0	0	0	6.455
6,5 - 7,0	1.3514	0.6691	0.9512	1.0037	0.551	0.1837	0.0262	0.0066	0	0	0	4.7428
7,0 - 7,5	1.5744	0.492	0.5248	0.6429	0.5379	0.387	0.0787	0.0066	0	0	0	4.2443
7,5 - 8,0	0.7019	0.2558	0.1246	0.223	0.1312	0.1443	0.0656	0.0131	0.0066	0	0	1.6662
8,0 - 8,5	1.2989	0.4067	0.2165	0.2034	0.2624	0.1706	0.105	0.0197	0.0066	0	0	2.6896
8,5 - 9,0	1.6137	0.1837	0.0918	0.059	0.0787	0.0525	0.0459	0.0131	0	0	0	2.1385
9,0 - 9,5	2.4272	0.1574	0.0853	0.0066	0.0459	0.0328	0.0197	0.0197	0	0	0.0066	2.8011
9,5 - 10,0	0.7806	0.059	0.0656	0.0131	0.0197	0.0131	0.0131	0	0.0066	0	0	0.9709
>10,0	4.2181	1.2792	0.2952	0.0525	0.0066	0	0.0066	0.0066	0	0.0066	0	5.8712
TOTALE	46.3592	32.4784	12.2278	5.1955	2.2435	1.0168	0.3608	0.0853	0.0197	0.0066	0.0066	100

Tabella 3.2 – Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-T_m$ per i dati ondosi triorari (di numero 15244) dei sette anni di osservazione dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI PERIODO E DI ALTEZZA D'ONDA												
TM (sec)	Classi di H_{m0} (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	>5,0	
<2,0	0.0131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0131
2,0- 2,5	1.6269	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6334
2,5- 3,0	3.5424	1.3579	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9003
3,0- 3,5	5.1758	4.1918	0.0853	0	0	0	0	0	0	0	0	9.4529
3,5- 4,0	12.7591	7.9572	1.0496	0.0131	0	0	0	0	0	0	0	21.7791
4,0- 4,5	9.3479	6.8748	2.6633	0.1378	0.0066	0	0	0	0	0	0	19.0304
4,5- 5,0	4.5329	4.1525	2.7093	0.7872	0.0722	0	0	0	0	0	0	12.254
5,0- 5,5	2.2566	3.3653	2.8142	1.4498	0.2755	0.0853	0	0	0	0	0	10.2467
5,5- 6,0	1.5022	2.027	1.6728	1.6269	0.7019	0.0918	0.0066	0	0	0	0	7.6292
6,0- 6,5	1.0955	1.1152	0.7347	0.7413	0.7085	0.3411	0.0262	0.0066	0	0	0	4.7691
6,5- 7,0	0.9906	0.6166	0.1837	0.2952	0.2427	0.2296	0.1902	0.0066	0	0	0	2.7552
7,0- 7,5	0.6822	0.3083	0.1115	0.0853	0.1837	0.1902	0.0853	0.0394	0.0066	0	0.0066	1.699
7,5- 8,0	0.656	0.1837	0.059	0.0328	0.0394	0.0459	0.0394	0.0197	0.0066	0	0	1.0824
8,0- 8,5	0.5576	0.0525	0.0131	0.0066	0.0066	0.0131	0.0131	0.0066	0	0.0066	0	0.6757
8,5- 9,0	0.3149	0.059	0.0197	0	0	0.0131	0	0.0066	0.0066	0	0	0.4198
9,0- 9,5	0.3018	0.0197	0.0131	0.0131	0	0	0	0	0	0	0	0.3477
9,5-10,0	0.2493	0.0262	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2821
>10,0	0.7544	0.164	0.0918	0.0066	0.0066	0.0066	0	0	0	0	0	1.0299
TOTALE	46.3592	32.4784	12.2278	5.1955	2.2435	1.0168	0.3608	0.0853	0.0197	0.0066	0.0066	100

Tabella 3.3 – Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-\theta$ per i dati ondosi triorari (di numero 15244) dei sette anni di osservazione dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI DIREZIONE E DI ALTEZZA D'ONDA												
DMT (gradi Nord)	Classi di HMO (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	>5,0	
0	1.7121	1.0758	0.3674	0.164	0.0131	0	0	0	0	0	0	3.3325
10	1.2398	1.3382	0.6298	0.2296	0.0984	0.0656	0.0131	0.0066	0	0	0	3.6211
20	1.0365	1.3251	0.9184	0.5904	0.2558	0.0918	0.0394	0.0197	0	0	0.0066	4.2837
30	0.9578	1.1021	0.7872	0.5379	0.2624	0.0918	0.059	0	0	0	0	3.7982
40	0.715	0.9184	0.7806	0.551	0.3346	0.1115	0.0262	0	0	0	0	3.4374
50	0.6232	0.715	0.3608	0.2952	0.1443	0.0984	0.0262	0	0	0	0	2.2632
60	0.656	0.5707	0.2427	0.1378	0.1246	0.0656	0.0197	0.0066	0	0	0	1.8237
70	0.7872	0.5182	0.2558	0.2362	0.0984	0.059	0.0394	0.0131	0.0066	0	0	2.0139
80	0.8331	0.5314	0.3674	0.1574	0.059	0.0262	0.0197	0	0	0	0	1.9942
90	0.9512	0.7806	0.2952	0.1902	0.0525	0.0197	0.0066	0.0066	0	0	0	2.3025
100	1.2858	1.1808	0.6494	0.3149	0.1115	0.0262	0	0	0	0	0	3.5686
110	1.9942	2.0401	0.9578	0.4002	0.2755	0.1246	0.0722	0.0197	0.0131	0.0066	0	5.904
120	2.5912	2.4862	0.8594	0.3018	0.1115	0.0787	0.0197	0	0	0	0	6.4484
130	2.9848	1.9089	0.4526	0.1706	0.0394	0.0394	0.0066	0.0066	0	0	0	5.6088
140	2.9061	1.6597	0.3018	0.0197	0.0066	0.0197	0.0131	0.0066	0	0	0	4.9331
150	2.8405	1.2726	0.1443	0.0262	0.0197	0.0066	0	0	0	0	0	4.3099
160	1.9549	0.8725	0.0853	0.0262	0.0066	0	0	0	0	0	0	2.9454
170	1.3907	0.5314	0.0525	0.0131	0.0131	0	0	0	0	0	0	2.0008
180	0.761	0.2886	0.0328	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	1.089
190	0.6429	0.2099	0.0262	0.0131	0.0066	0	0	0	0	0	0	0.8987
200	0.4658	0.1837	0.0787	0.0066	0.0066	0.0066	0	0	0	0	0	0.7478
210	0.4133	0.2427	0.0525	0.0131	0.0066	0	0	0	0	0	0	0.7282
220	0.3805	0.2099	0.0262	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6166
230	0.5182	0.2755	0.0525	0.0131	0.0066	0	0	0	0	0	0	0.8659
240	0.5904	0.2886	0.059	0	0.0066	0	0	0	0	0	0	0.9446
250	0.7544	0.2755	0.0984	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	1.1349
260	0.656	0.3346	0.0328	0.0394	0	0.0066	0	0	0	0	0	1.0693
270	0.8266	0.4592	0.0787	0.0459	0.0066	0	0	0	0	0	0	1.417
280	1.0299	0.6626	0.2296	0.0394	0	0.0066	0	0	0	0	0	1.968
290	1.3776	1.0299	0.492	0.0787	0.0197	0.0197	0	0	0	0	0	3.0176
300	1.5678	1.3382	0.6691	0.1574	0.0525	0.0066	0	0	0	0	0	3.7917
310	1.8368	1.6137	0.4592	0.0918	0.0262	0.0131	0	0	0	0	0	4.0409
320	1.9155	1.4104	0.3214	0.0722	0.0066	0	0	0	0	0	0	3.7261
330	1.8368	1.0758	0.2952	0.0656	0.0066	0.0066	0	0	0	0	0	3.2865
340	1.6072	0.8987	0.3674	0.0787	0.0394	0.0066	0	0	0	0	0	2.9979
350	1.7187	0.8528	0.3477	0.105	0.0262	0.0197	0	0	0	0	0	3.0701
TOTALE	46.3592	32.4784	12.2278	5.1955	2.2435	1.0168	0.3608	0.0853	0.0197	0.0066	0.0066	100

Tabella 3.4 - Distribuzione delle frequenze percentuali del flusso energetico, riferito ad un metro di lunghezza di cresta, per i dati ondosi triorari dei sette anni di osservazione dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006.

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DEL FLUSSO ENERGETICO DELLE ONDE PER METRO DI LUNGHEZZA DI CRESTA (=cos*HMO ² *TM)(in Kgf/(s*m))												
DMT	Classi di HMO (metri)											TOTALE
(gradi Nord)	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	>5,0	
0	0.1928	0.5349	0.6044	0.5805	0.1056	0	0	0	0	0	0	2.0181
10	0.1289	0.7669	1.0247	0.8179	0.6444	0.6554	0.192	0.1349	0	0	0	4.3651
20	0.1129	0.7636	1.6138	2.2137	1.7371	0.9769	0.6313	0.4014	0	0	0.3163	8.7671
30	0.1006	0.6497	1.3869	2.0297	1.7575	0.9888	0.9383	0	0	0	0	7.8515
40	0.0647	0.5244	1.397	2.202	2.3466	1.2193	0.4255	0	0	0	0	8.1795
50	0.061	0.4091	0.6047	1.0983	0.9543	1.0892	0.4106	0	0	0	0	4.6272
60	0.0609	0.3283	0.4525	0.5266	0.8621	0.7666	0.3341	0.1647	0	0	0	3.4959
70	0.071	0.3271	0.4643	0.9014	0.6837	0.6345	0.6168	0.3179	0.2009	0	0	4.2175
80	0.0724	0.3338	0.673	0.6313	0.3558	0.2327	0.3701	0	0	0	0	2.6691
90	0.0873	0.4582	0.4931	0.7424	0.3635	0.2381	0.1005	0.1556	0	0	0	2.6387
100	0.1379	0.7313	1.3039	1.2063	0.8495	0.3043	0	0	0	0	0	4.5332
110	0.242	1.1992	2.0576	1.6628	2.0966	1.5393	1.333	0.4801	0.4208	0.3072	0	11.3386
120	0.3025	1.4276	1.6508	1.2996	0.9235	0.9418	0.3339	0	0	0	0	6.8797
130	0.3524	1.0146	0.7773	0.6893	0.3048	0.4672	0.1017	0.1616	0	0	0	3.8691
140	0.3413	0.8196	0.5218	0.0814	0.0618	0.2347	0.2526	0.1436	0	0	0	2.4568
150	0.3096	0.6052	0.2098	0.1193	0.1288	0.0835	0	0	0	0	0	1.456
160	0.2206	0.4018	0.1385	0.0991	0.0582	0	0	0	0	0	0	0.9183
170	0.1324	0.2497	0.0713	0.0482	0.0877	0	0	0	0	0	0	0.5894
180	0.0678	0.168	0.0406	0.0264	0	0	0	0	0	0	0	0.3029
190	0.0652	0.1214	0.0498	0.0482	0.0539	0	0	0	0	0	0	0.3385
200	0.0385	0.1268	0.1587	0.0244	0.0523	0.113	0	0	0	0	0	0.5137
210	0.0321	0.1447	0.0882	0.0423	0.0511	0	0	0	0	0	0	0.3583
220	0.0356	0.1122	0.0466	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1944
230	0.0495	0.1255	0.081	0.0409	0.0384	0	0	0	0	0	0	0.3352
240	0.057	0.1566	0.1068	0	0.0431	0	0	0	0	0	0	0.3635
250	0.0678	0.1454	0.1698	0.0211	0	0	0	0	0	0	0	0.4041
260	0.0686	0.1707	0.0498	0.1379	0	0.0798	0	0	0	0	0	0.5068
270	0.0854	0.2687	0.1105	0.17	0.0376	0	0	0	0	0	0	0.6721
280	0.1191	0.36	0.3543	0.1325	0	0.0763	0	0	0	0	0	1.0422
290	0.1518	0.4668	0.77	0.2655	0.1107	0.2176	0	0	0	0	0	1.9824
300	0.171	0.6837	1.0561	0.5297	0.3397	0.0683	0	0	0	0	0	2.8485
310	0.1972	0.7866	0.6931	0.3248	0.1745	0.1345	0	0	0	0	0	2.3107
320	0.2074	0.6647	0.5197	0.2489	0.0433	0	0	0	0	0	0	1.684
330	0.1863	0.5138	0.513	0.2544	0.0474	0.0596	0	0	0	0	0	1.5745
340	0.1584	0.4311	0.5616	0.303	0.2506	0.0684	0	0	0	0	0	1.7732
350	0.171	0.447	0.5454	0.3943	0.1691	0.1975	0	0	0	0	0	1.9243
TOTALE	4.9209	17.439	21.3605	19.9141	15.733	11.3871	6.0404	1.9599	0.6217	0.3072	0.3163	100

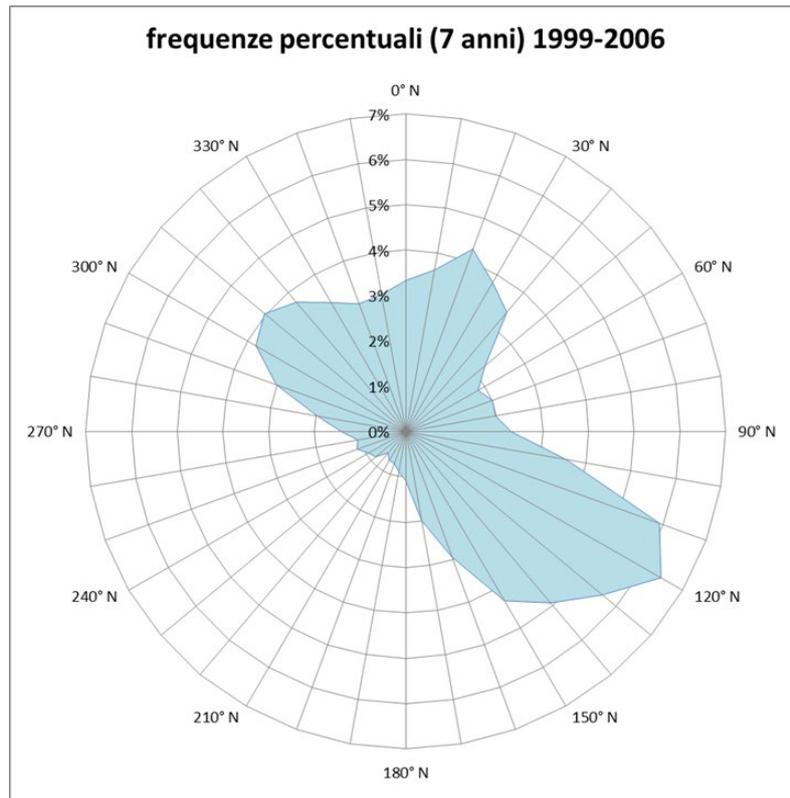


Figura 3.4 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari registrati dalla stazione di rilievo della R.O.N. al largo di Ancona nei 7 anni dal 10 marzo '99 al 9 marzo '06.

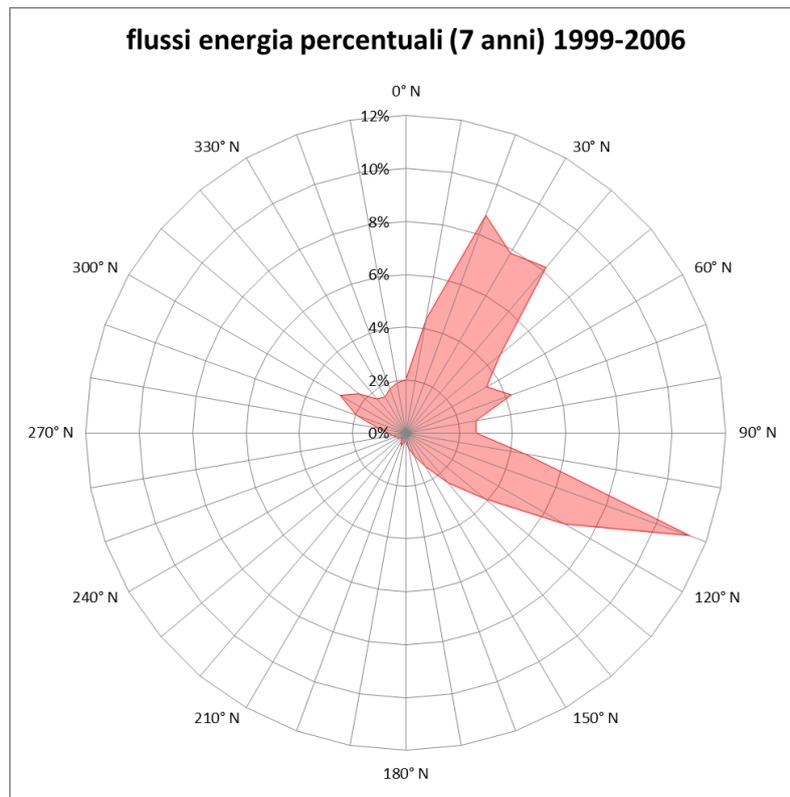


Figura 3.5 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei flussi energetici per metro di lunghezza di cresta dei dati ondosi triorari, registrati dalla stazione di misura ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona nei 7 anni dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006.

Dall'analisi di tali andamenti ed anche dal grafico di confronto delle suddette distribuzioni direzionali delle serie complessive dei dati, riportato in Figura 3.6, si può evidenziare una serie di caratteristiche legate alla fenomenologia climatologica ondosa del mare Adriatico: risulta infatti che gli eventi ondosi provengono più frequentemente (mari regnanti) dai settori attorno a Est-SudEst (scirocco-levante), a Nord-NordEst (bora-greco) e a NordOvest (maestro), mentre i casi più violenti (mari dominanti, per esempio con altezze significative maggiori e relativi flussi energetici più intensi) interessano soprattutto le direzioni da scirocco-levante e da bora-greco, ed in misura minore le rimanenti direzioni da maestro-tramontana, greco-levante e quelle al di fuori della traversia costiera del paraggio centrale adriatico anconitano.

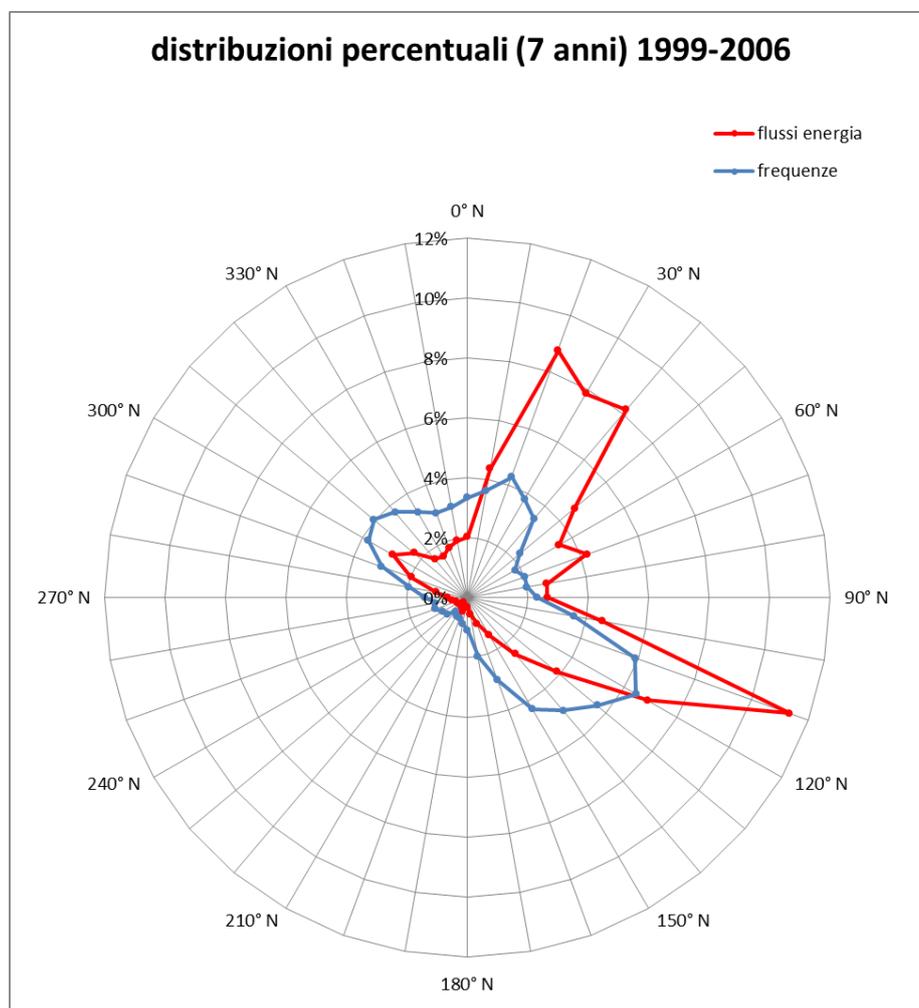


Figura 3.6 - Distribuzione direzionale percentuale di confronto fra la frequenza ed il flusso di energia per metro di lunghezza di cresta delle onde registrate dalla stazione di misura della R.O.N. al largo di Ancona nei 7 anni dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006.

Una analoga raccolta di tabelle e grafici è stata effettuata anche per la seconda fase delle osservazioni ondometriche, relativamente, quindi, ai dati ondosi acquisiti nei 4 anni che vanno dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013.

In particolare, la serie di tabelle dalla Tabella 3.5 alla Tabella 3.7 contengono le raccolte della distribuzione di frequenza percentuale dei dati ondosi triorari per l'intero periodo della seconda fase di osservazione (4 anni, dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013), rispettivamente suddivisi per classi di altezze d'onda significative e di periodi di picco, classi di altezze d'onda significative e di periodi medi, classi di altezze d'onda significative e di settori direzionali di provenienza. Infine, la Tabella 3.8 contiene la raccolta della distribuzione di frequenza percentuale dei flussi energetici relativamente ai dati ondosi triorari per l'intero periodo della stessa seconda fase di osservazione, suddivisi per classi di altezze d'onda significative e di settori direzionali di provenienza.

Ad una sommaria rapida analisi iniziale di confronto, sembra che nella seconda fase di osservazione (4 anni, fra il 2009 ed il 2013), l'ondosità media sia diventata più intensa rispetto a quella dei succitati primi 7 anni di osservazione (fra il 1999 ed il 2006). Infatti, l'altezza d'onda media, per dati omogenei (triorari per i primi 7 anni, semiorari per i secondi 4 anni) è risultata passare dai circa 0,701 m nella prima fase (7 anni, fra il 1999 ed il 2006) ai 0,809 m nella seconda fase (4 anni, fra il 2009 ed il 2013).

Tabella 3.5 - Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-T_P$ per i dati ondosi triorari (di numero 10131) dei quattro anni di osservazione dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI PERIODO E DI ALTEZZA D'ONDA												
TP (sec)	Classi di H_{M0} (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	> 5,0	
< 2,0	1.2338	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2338
2,0 - 2,5	6.0705	0.1184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1889
2,5 - 3,0	7.2648	1.3227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5875
3,0 - 3,5	7.6695	4.2839	0.0099	0	0	0	0	0	0	0	0	11.9633
3,5 - 4,0	4.7182	6.4456	0.3553	0	0	0	0	0	0	0	0	11.5191
4,0 - 4,5	2.7441	7.6794	1.5201	0.0197	0	0	0	0	0	0	0	11.9633
4,5 - 5,0	1.2832	4.6294	2.1716	0.0494	0	0	0	0	0	0	0	8.1335
5,0 - 5,5	1.0266	3.1389	3.2376	0.918	0	0	0	0	0	0	0	8.321
5,5 - 6,0	1.4905	1.7669	2.1913	1.3227	0.2073	0	0	0	0	0	0	6.9786
6,0 - 6,5	1.0068	0.7502	1.53	1.3029	0.5034	0.0691	0	0	0	0	0	5.1624
6,5 - 7,0	1.2733	0.8193	1.3819	1.5497	1.2832	0.2961	0.0197	0	0	0	0	6.6232
7,0 - 7,5	0.9278	0.4343	0.5922	0.7206	0.6515	0.4146	0.1678	0.0099	0	0	0	3.9187
7,5 - 8,0	0.4047	0.227	0.2172	0.2468	0.2369	0.1777	0.079	0.0099	0.0099	0	0	1.6089
8,0 - 8,5	0.8785	0.4343	0.2369	0.4343	0.1974	0.2961	0.1481	0.0987	0.0296	0.0099	0	2.7638
8,5 - 9,0	0.7107	0.227	0.0888	0.0592	0.1579	0.0494	0.1283	0.0494	0.0296	0.0296	0	1.53
9,0 - 9,5	1.0364	0.2073	0.1579	0.0592	0.0395	0.0197	0.0395	0.0494	0.0197	0.0395	0.0099	1.678
9,5 - 10,0	0.3751	0.2172	0.0691	0.0494	0.0395	0.0296	0.0395	0.0296	0.0099	0	0	0.8588
>10,0	0.5824	0.1481	0.1283	0.0494	0	0.0099	0.0099	0.0099	0	0.0296	0	0.9673
TOTALE	40.6969	32.8497	13.8881	6.7812	3.3166	1.3622	0.6317	0.2566	0.0987	0.1086	0.0099	100

Tabella 3.6 - Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-T_m$ per i dati ondosì triorari (di numero 10131) dei quattro anni di osservazione dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI PERIODO E DI ALTEZZA D'ONDA												
TM ₀ (sec)	Classi di HM0 (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	> 5,0	
<2,0	0.0099	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0099
2,0 - 2,5	9.239	0.0691	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.3081
2,5 - 3,0	23.3837	8.5184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.9021
3,0 - 3,5	6.8009	15.1022	1.1253	0	0	0	0	0	0	0	0	23.0283
3,5 - 4,0	0.9476	6.6528	5.952	0.1184	0	0	0	0	0	0	0	13.6709
4,0 - 4,5	0.2369	1.9149	4.58	2.7243	0.0099	0	0	0	0	0	0	9.466
4,5 - 5,0	0.0691	0.4244	1.5793	2.6651	1.4214	0	0	0	0	0	0	6.1593
5,0 - 5,5	0.0099	0.1283	0.4935	0.8489	1.3424	0.6219	0	0	0	0	0	3.4449
5,5 - 6,0	0	0.0197	0.1382	0.3553	0.4343	0.5429	0.3356	0.0099	0	0	0	1.8359
6,0 - 6,5	0	0.0197	0.0197	0.0691	0.0987	0.1579	0.1875	0.1283	0.0395	0	0	0.7206
6,5 - 7,0	0	0	0	0	0.0099	0.0395	0.079	0.0888	0.0494	0.079	0	0.3455
7,0 - 7,5	0	0	0	0	0	0	0.0197	0.0296	0.0099	0.0197	0.0099	0.0888
7,5 - 8,0	0	0	0	0	0	0	0.0099	0	0	0.0099	0	0.0197
8,0 - 8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5 - 9,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,0 - 9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5 - 10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	40.6969	32.8497	13.8881	6.7812	3.3166	1.3622	0.6317	0.2566	0.0987	0.1086	0.0099	100

Tabella 3.7 - Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-\theta$ per i dati ondosi triorari (di numero 10131) dei quattro anni di osservazione dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI DIREZIONE E DI ALTEZZA D'ONDA												
DMT (gradi Nord)	Classi di H_{m0} (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	> 5,0	
0	1.3128	1.066	0.6811	0.2369	0.1481	0.0395	0	0	0	0	0	3.4844
10	1.3918	1.1845	0.9377	0.5922	0.2665	0.0691	0.0395	0.0296	0	0	0	4.5109
20	0.9871	1.0266	0.8884	0.7107	0.5034	0.1875	0.0987	0.0395	0.0099	0	0	4.4517
30	1.0167	0.839	0.7897	0.6811	0.4442	0.1678	0.0592	0	0	0.0197	0	4.0174
40	0.5824	0.7008	0.5528	0.4146	0.3455	0.0987	0.0395	0	0	0.0296	0	2.7638
50	0.7107	0.5034	0.4639	0.2863	0.2369	0.1184	0.0296	0.0197	0.0099	0	0	2.3788
60	0.5725	0.5725	0.2369	0.1481	0.0888	0.0691	0.0395	0	0.0296	0.0099	0	1.7669
70	0.7304	0.4146	0.0987	0.1382	0.0296	0.079	0.0197	0.0197	0.0197	0.0099	0	1.5596
80	0.6021	0.4146	0.2172	0.1481	0.0592	0.0197	0.0197	0.0296	0.0197	0	0	1.53
90	0.76	0.5626	0.2961	0.0987	0.0494	0	0	0	0	0.0197	0	1.7866
100	1.2733	1.2832	0.7897	0.3553	0.0987	0.0296	0	0.0099	0	0	0	3.8397
110	1.7767	2.5861	1.372	0.8291	0.4738	0.2172	0.1481	0.0296	0	0	0	7.4326
120	2.0136	2.5664	0.839	0.4343	0.1579	0.0987	0.0987	0.0592	0	0.0197	0	6.2876
130	2.1123	1.7076	0.4047	0.1875	0.0395	0.0494	0	0.0099	0	0	0.0099	4.5208
140	2.0827	1.5991	0.2665	0.0494	0	0	0	0	0.0099	0	0	4.0075
150	2.3591	1.372	0.1875	0.0099	0.0099	0	0	0	0	0	0	3.9384
160	1.2338	0.9278	0.079	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2406
170	0.7699	0.3553	0.0197	0	0.0099	0	0	0	0	0	0	1.1549
180	0.5725	0.1875	0.0494	0	0.0099	0	0	0	0	0	0	0.8193
190	0.4244	0.1678	0.079	0.0099	0	0	0	0	0	0	0	0.6811
200	0.4639	0.1481	0.0395	0.0099	0.0099	0	0	0	0	0	0	0.6712
210	0.2863	0.2369	0.0691	0.0099	0	0	0	0	0	0	0	0.6021
220	0.4146	0.227	0.0592	0.0099	0	0	0	0	0	0	0	0.7107
230	0.5626	0.2566	0.0888	0	0.0099	0	0	0	0	0	0	0.918
240	0.6317	0.4047	0.1086	0	0	0	0	0	0	0	0	1.145
250	0.7502	0.2961	0.1481	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1944
260	1.1647	0.3948	0.1283	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6879
270	0.8982	0.4244	0.1481	0.0099	0	0.0099	0	0	0	0	0	1.4905
280	1.2141	0.8291	0.1777	0.0888	0.0197	0	0	0	0	0	0	2.3295
290	1.4905	1.1746	0.4442	0.1974	0.0494	0.0197	0.0099	0	0	0	0	3.3856
300	1.6583	1.8754	0.7403	0.3356	0.0888	0.0395	0.0099	0	0	0	0	4.7478
310	1.8359	1.8557	0.5725	0.2566	0.0296	0.0099	0.0099	0	0	0	0	4.5701
320	1.5793	1.6681	0.5528	0.0888	0.0395	0	0.0099	0	0	0	0	3.9384
330	1.372	1.1351	0.4343	0.1184	0.0099	0.0099	0	0.0099	0	0	0	3.0895
340	1.6681	0.9278	0.3751	0.1481	0.0494	0.0197	0	0	0	0	0	3.1882
350	1.4214	0.9575	0.5528	0.1777	0.0395	0.0099	0	0	0	0	0	3.1586
TOTALE	40.6969	32.8497	13.8881	6.7812	3.3166	1.3622	0.6317	0.2566	0.0987	0.1086	0.0099	100

Tabella 3.8 - Distribuzione delle frequenze percentuali del flusso energetico, riferito ad un metro di lunghezza di cresta, per i dati ondosi triorari (di numero 10131) dei quattro anni di osservazione dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013.

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DEL FLUSSO ENERGETICO DELLE ONDE PER METRO DI LUNGHEZZA DI CRESTA (=cos ² *HMO ² *TM)(in Kg/(s*m))												
DMT (gradi Nord)	Classi di HMO (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	> 5,0	
0	0.0887	0.4024	0.8401	0.628	0.7488	0.3297	0	0	0	0	0	3.0378
10	0.0736	0.4482	1.2282	1.6338	1.3348	0.5126	0.5128	0.5515	0	0	0	6.2955
20	0.0533	0.4211	1.1748	1.9449	2.5422	1.5239	1.2695	0.6286	0.2156	0	0	9.7739
30	0.0574	0.3335	1.0651	2.0565	2.3208	1.4586	0.7526	0	0	0.5657	0	8.6101
40	0.0284	0.2966	0.7441	1.2104	1.7761	0.7539	0.4898	0	0	0.9509	0	6.2501
50	0.0452	0.2074	0.578	0.8344	1.2429	1.0484	0.3961	0.371	0.218	0	0	4.9414
60	0.0296	0.2293	0.3451	0.3827	0.5075	0.5551	0.5278	0	0.745	0.2854	0	3.6075
70	0.0361	0.1693	0.1266	0.4032	0.1629	0.6712	0.249	0.3557	0.4654	0.2762	0	2.9156
80	0.0293	0.1652	0.2809	0.4307	0.2996	0.1744	0.2344	0.5838	0.5372	0	0	2.7355
90	0.0517	0.2077	0.4176	0.2898	0.2612	0	0	0	0	0.6521	0	1.8801
100	0.0863	0.5333	1.0974	1.0401	0.5639	0.2678	0	0.169	0	0	0	3.7578
110	0.1302	1.1658	2.0069	2.7219	2.7683	2.0431	2.0497	0.5335	0	0	0	13.4193
120	0.1473	1.0169	1.1499	1.4138	0.9187	0.8753	1.3325	1.1773	0	0.6988	0	8.7306
130	0.1467	0.5906	0.5274	0.5452	0.1957	0.3887	0	0.1688	0	0	0.3985	2.9616
140	0.144	0.5149	0.3436	0.1217	0	0	0	0	0.2717	0	0	1.3958
150	0.1554	0.402	0.2358	0.0397	0.0406	0	0	0	0	0	0	0.8736
160	0.0743	0.2765	0.0896	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4404
170	0.0432	0.1009	0.0177	0	0.0482	0	0	0	0	0	0	0.21
180	0.0288	0.0496	0.0534	0	0.0505	0	0	0	0	0	0	0.1822
190	0.0166	0.0615	0.0782	0.031	0	0	0	0	0	0	0	0.1873
200	0.0304	0.0477	0.0421	0.0208	0.0446	0	0	0	0	0	0	0.1856
210	0.0151	0.0675	0.085	0.0298	0	0	0	0	0	0	0	0.1975
220	0.0192	0.0755	0.0659	0.0236	0	0	0	0	0	0	0	0.1842
230	0.0274	0.0789	0.0966	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0.2529
240	0.0324	0.1221	0.1113	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2658
250	0.0431	0.091	0.1534	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2875
260	0.0707	0.1294	0.1531	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3531
270	0.0543	0.1372	0.1479	0.0291	0	0.0819	0	0	0	0	0	0.4504
280	0.0778	0.2695	0.1842	0.2373	0.0949	0	0	0	0	0	0	0.8636
290	0.1052	0.4261	0.5335	0.5048	0.214	0.1531	0.1377	0	0	0	0	2.0744
300	0.1143	0.6364	0.8602	0.8358	0.4239	0.3357	0.1207	0	0	0	0	3.3271
310	0.1333	0.6068	0.634	0.6991	0.1325	0.1022	0.1062	0	0	0	0	2.4142
320	0.1146	0.5578	0.6475	0.2296	0.1674	0	0.1287	0	0	0	0	1.8456
330	0.088	0.3724	0.4753	0.2881	0.0437	0.083	0	0.2189	0	0	0	1.5695
340	0.111	0.3276	0.4499	0.4203	0.2287	0.1513	0	0	0	0	0	1.6888
350	0.0853	0.3318	0.6695	0.4508	0.1915	0.1047	0	0	0	0	0	1.8337
TOTALE	2.588	11.8706	17.7097	19.4969	17.374	11.6145	8.3076	4.758	2.453	3.4291	0.3985	100

Dal punto di vista grafico in Figura 3.7 è rappresentata la distribuzione direzionale della frequenza percentuale del moto ondoso triorario rilevato dalla boa ondometrica posta al largo di Ancona nella seconda fase dei 4 anni di osservazioni (fra il 2009 ed il 2013), secondo il dato direzionale di provenienza media suddiviso per intervalli di 10°.

Nella Figura 3.8 è riportata la distribuzione direzionale delle frequenze percentuali del flusso energetico per metro di lunghezza di cresta delle stesse onde (dei 4 anni fra il 2009 ed il 2013), suddivise negli stessi settori direzionali di 10°.

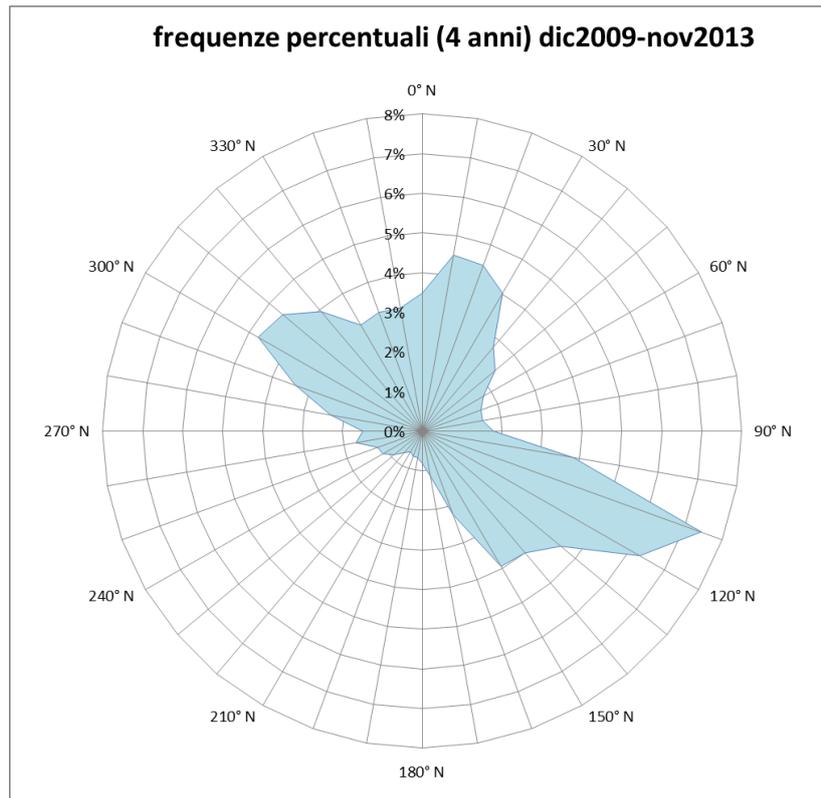


Figura 3.7 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari registrati dalla stazione di rilievo della R.O.N. al largo di Ancona nei 4 anni dal 1 dic. 1999 al 30 nov. 2006.

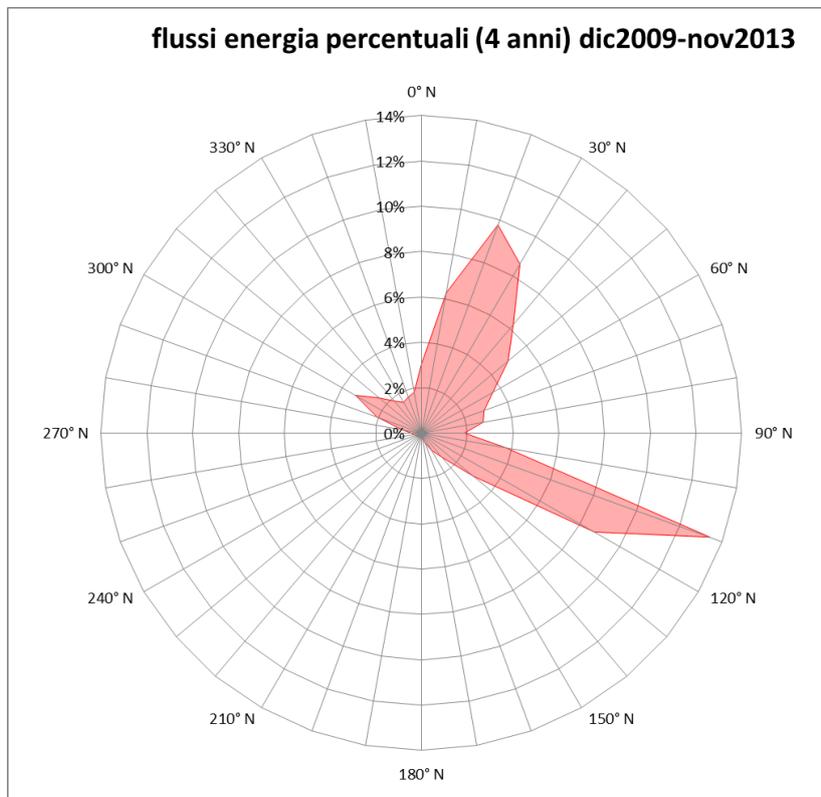


Figura 3.8 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei flussi energetici per metro di lunghezza di cresta dei dati ondosi triorari, registrati dalla stazione di misura ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona nei 4 anni dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013.

In Figura 3.9 è riportato il grafico di confronto delle suddette distribuzioni direzionali delle frequenze e del flusso energetico per metro di lunghezza di cresta delle serie triorarie dei dati della seconda fase di osservazioni (4 anni, fra il 2009 ed il 2013). Dalla analisi di tali andamenti, si confermano, sostanzialmente, le caratteristiche della fenomenologia climatologica ondosa, dal punto di vista della distribuzione direzionale, del paraggio adriatico anconitano già osservate per la prima fase delle osservazioni.

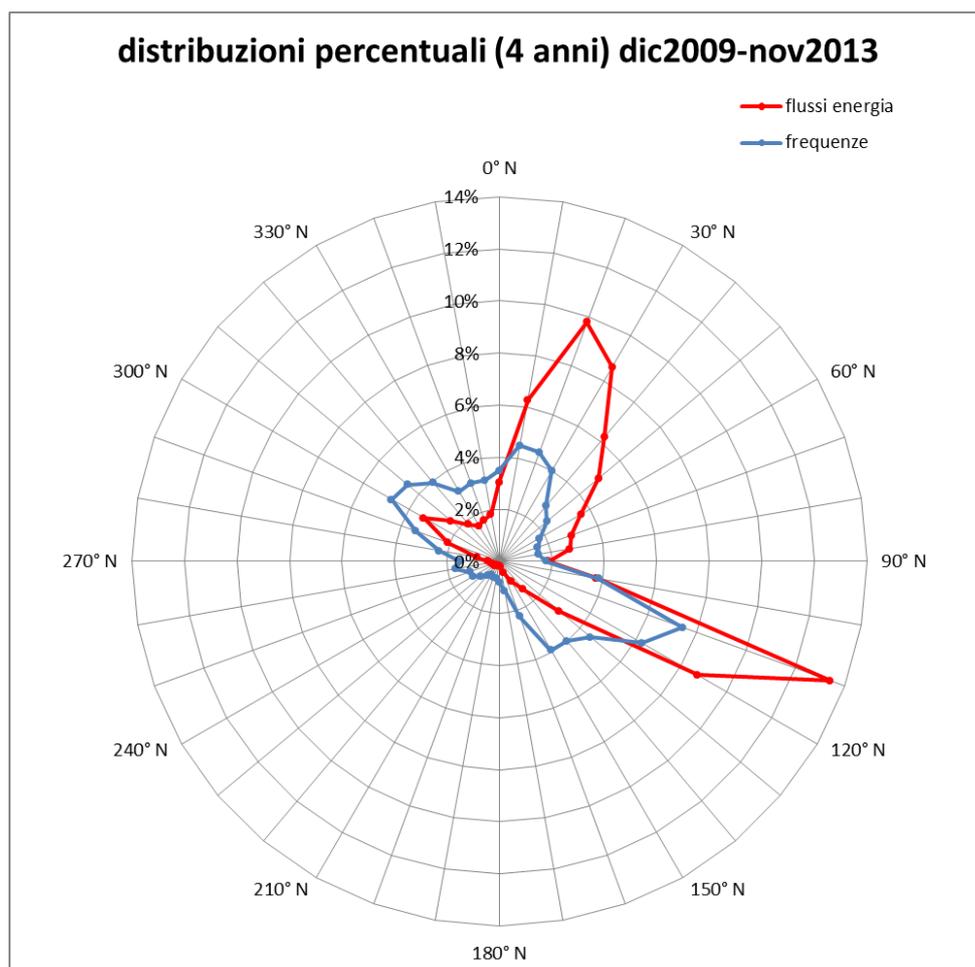


Figura 3.9 - Distribuzione direzionale percentuale di confronto fra la frequenza ed il flusso di energia per metro di lunghezza di cresta delle onde registrate dalla stazione di misura ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona nei 4 anni dal 1 dicembre 2009 al 30 dicembre 2013.

Invece, come già osservato per i dati medi di altezza d'onda, il fatto che l'intensità ondosa risulti essere aumentata dai primi 4 anni di osservazione (fra il 1999 ed il 2006) ed i secondi 4 anni di misure (fra il 2009 ed il 2013), è confermato dalle frequenze marginali delle classi di altezza d'onda presentati nelle citate tabelle. Infatti, diminuisce la frequenza delle classi di onde più basse (dal 46,3% al 40,7%), mentre aumenta per le classi più alte.

In definitiva, complessivamente, il regime ondoso medio al largo del paraggio adriatico anconitano, per i complessivi 11 anni (dei periodi 1999-2006 e 2009-2013) risulta descritto con i valori delle tabelle ed i grafici delle distribuzioni direzionali riportati di seguito.

In particolare, la serie di tabelle dalla Tabella 3.9 alla Tabella 3.11 contengono le raccolte della distribuzione di frequenza percentuale dei dati ondosi triorari per l'intero periodo di 11 anni delle due fasi di osservazione (7 anni, dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006, e 4 anni, dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013), rispettivamente suddivisi per classi di altezze d'onda significative e di periodi di picco, classi di altezze d'onda significative e di periodi medi, classi di altezze d'onda significative e di settori direzionali di provenienza. Infine, la Tabella 3.12 contiene la raccolta della distribuzione di frequenza percentuale dei flussi energetici relativamente ai dati ondosi triorari per l'intero periodo di 11 anni delle due fasi di osservazione, suddivisi per classi di altezze d'onda significative e di settori direzionali di provenienza.

Tabella 3.9 - Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-T_p$ per i dati ondosi triorari (di numero 25375) degli 11 anni di osservazione dei periodi 1999-2006 e 2009-2013.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI PERIODO E DI ALTEZZA D'ONDA												
TP (sec)	Classi di H_{m0} (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	> 5,0	
< 2,0	0.6424	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6424
2,0 - 2,5	3.598	0.0512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6493
2,5 - 3,0	6.7389	0.7764	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.5153
3,0 - 3,5	7.2552	3.3103	0.0079	0	0	0	0	0	0	0	0	10.5734
3,5 - 4,0	5.4739	6.1202	0.197	0	0	0	0	0	0	0	0	11.7911
4,0 - 4,5	3.3143	7.4759	1.0877	0.0118	0	0	0	0	0	0	0	11.8897
4,5 - 5,0	1.7103	5.1232	2.0808	0.0788	0	0	0	0	0	0	0	8.9931
5,0 - 5,5	1.3951	3.7084	3.1094	0.6345	0.0158	0	0	0	0	0	0	8.8631
5,5 - 6,0	1.6709	1.8286	2.2975	1.135	0.1498	0.0039	0	0	0	0	0	7.0857
6,0 - 6,5	1.4384	1.0443	1.5488	1.3793	0.4847	0.0433	0	0	0	0	0	5.9389
6,5 - 7,0	1.3202	0.7291	1.1232	1.2217	0.8433	0.2286	0.0236	0.0039	0	0	0	5.4936
7,0 - 7,5	1.3163	0.469	0.5517	0.6739	0.5833	0.398	0.1143	0.0079	0	0	0	4.1143
7,5 - 8,0	0.5833	0.2443	0.1616	0.2325	0.1734	0.1576	0.0709	0.0118	0.0079	0	0	1.6433
8,0 - 8,5	1.131	0.4177	0.2246	0.2956	0.2365	0.2207	0.1222	0.0512	0.0158	0.0039	0	2.7192
8,5 - 9,0	1.2532	0.201	0.0906	0.0591	0.1103	0.0512	0.0788	0.0276	0.0118	0.0118	0	1.8956
9,0 - 9,5	1.8719	0.1773	0.1143	0.0276	0.0433	0.0276	0.0276	0.0315	0.0079	0.0158	0.0079	2.3527
9,5 -10,0	0.6187	0.1222	0.067	0.0276	0.0276	0.0197	0.0236	0.0118	0.0079	0	0	0.9261
>10,0	2.7665	0.8276	0.2286	0.0512	0.0039	0.0039	0.0079	0.0079	0	0.0158	0	3.9133
TOTALE	44.0985	32.6266	12.8906	5.8286	2.6719	1.1547	0.469	0.1537	0.0512	0.0473	0.0079	100

Tabella 3.10 - Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-T_m$ per i dati ondosi triorari (di numero 25375) degli 11 anni di osservazione dei periodi 1999-2006 e 2009-2013.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI PERIODO E DI ALTEZZA D'ONDA												
TM ₀ (sec)	Classi di HMO (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	>5,0	
<2,0	0.0118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0118
2,0 - 2,5	4.666	0.0315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.6975
2,5 - 3,0	11.464	4.2167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.6808
3,0 - 3,5	5.8246	8.5478	0.5005	0	0	0	0	0	0	0	0	14.8729
3,5 - 4,0	8.0434	7.4365	3.0069	0.0552	0	0	0	0	0	0	0	18.5419
4,0 - 4,5	5.7103	4.8946	3.4286	1.1704	0.0079	0	0	0	0	0	0	15.2118
4,5 - 5,0	2.7507	2.664	2.2581	1.5369	0.6108	0	0	0	0	0	0	9.8207
5,0 - 5,5	1.3596	2.0729	1.8877	1.2099	0.7015	0.2995	0	0	0	0	0	7.531
5,5 - 6,0	0.9025	1.2256	1.0601	1.1192	0.5951	0.2719	0.1379	0.0039	0	0	0	5.3163
6,0 - 6,5	0.6581	0.6778	0.4493	0.4729	0.465	0.268	0.0906	0.0552	0.0158	0	0	3.1527
6,5 - 7,0	0.5951	0.3704	0.1103	0.1773	0.1498	0.1537	0.1458	0.0394	0.0197	0.0315	0	1.7931
7,0 - 7,5	0.4099	0.1852	0.067	0.0512	0.1103	0.1143	0.0591	0.0355	0.0079	0.0079	0.0079	1.0562
7,5 - 8,0	0.3941	0.1103	0.0355	0.0197	0.0236	0.0276	0.0276	0.0118	0.0039	0.0039	0	0.6581
8,0 - 8,5	0.335	0.0315	0.0079	0.0039	0.0039	0.0079	0.0079	0.0039	0	0.0039	0	0.4059
8,5 - 9,0	0.1892	0.0355	0.0118	0	0	0.0079	0	0.0039	0.0039	0	0	0.2522
9,0 - 9,5	0.1813	0.0118	0.0079	0.0079	0	0	0	0	0	0	0	0.2089
9,5 -10,0	0.1498	0.0158	0.0039	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1695
>10,0	0.4532	0.0985	0.0552	0.0039	0.0039	0.0039	0	0	0	0	0	0.6187
TOTALE	44.0985	32.6266	12.8906	5.8286	2.6719	1.1547	0.469	0.1537	0.0512	0.0473	0.0079	100

Tabella 3.11 – Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0} - \theta$ per i dati ondosì triorari (di numero 25375) degli 11 anni di osservazione dei periodi 1999-2006 e 2009-2013.

DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI PER CLASSI DI DIREZIONE E DI ALTEZZA D'ONDA												
DMT (gradi Nord)	Classi di H_{m0} (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	>5,0	
0	1.5527	1.0719	0.4926	0.1931	0.067	0.0158	0	0	0	0	0	3.3931
10	1.3005	1.2768	0.7527	0.3744	0.1655	0.067	0.0236	0.0158	0	0	0	3.9764
20	1.0167	1.2059	0.9064	0.6384	0.3547	0.13	0.0631	0.0276	0.0039	0	0.0039	4.3507
30	0.9813	0.997	0.7882	0.5951	0.335	0.1222	0.0591	0	0	0.0079	0	3.8857
40	0.6621	0.8315	0.6897	0.4966	0.3389	0.1064	0.0315	0	0	0.0118	0	3.1685
50	0.6581	0.6305	0.402	0.2916	0.1813	0.1064	0.0276	0.0079	0.0039	0	0	2.3094
60	0.6227	0.5714	0.2404	0.1419	0.1103	0.067	0.0276	0.0039	0.0118	0.0039	0	1.801
70	0.7645	0.4768	0.1931	0.197	0.0709	0.067	0.0315	0.0158	0.0118	0.0039	0	1.8325
80	0.7409	0.4847	0.3074	0.1537	0.0591	0.0236	0.0197	0.0118	0.0079	0	0	1.8089
90	0.8749	0.6936	0.2956	0.1537	0.0512	0.0118	0.0039	0.0039	0	0.0079	0	2.0966
100	1.2808	1.2217	0.7054	0.331	0.1064	0.0276	0	0.0039	0	0	0	3.6768
110	1.9074	2.2581	1.1232	0.5714	0.3547	0.1616	0.1025	0.0236	0.0079	0.0039	0	6.5143
120	2.3606	2.5182	0.8512	0.3547	0.13	0.0867	0.0512	0.0236	0	0.0079	0	6.3842
130	2.6365	1.8286	0.4335	0.1773	0.0394	0.0433	0.0039	0.0079	0	0	0.0039	5.1744
140	2.5773	1.6355	0.2877	0.0315	0.0039	0.0118	0.0079	0.0039	0.0039	0	0	4.5635
150	2.6483	1.3123	0.1616	0.0197	0.0158	0.0039	0	0	0	0	0	4.1616
160	1.667	0.8946	0.0828	0.0158	0.0039	0	0	0	0	0	0	2.664
170	1.1429	0.4611	0.0394	0.0079	0.0118	0	0	0	0	0	0	1.6631
180	0.6857	0.2483	0.0394	0.0039	0.0039	0	0	0	0	0	0	0.9813
190	0.5557	0.1931	0.0473	0.0118	0.0039	0	0	0	0	0	0	0.8118
200	0.465	0.1695	0.0631	0.0079	0.0079	0.0039	0	0	0	0	0	0.7172
210	0.3626	0.2404	0.0591	0.0118	0.0039	0	0	0	0	0	0	0.6778
220	0.3941	0.2167	0.0394	0.0039	0	0	0	0	0	0	0	0.6542
230	0.536	0.268	0.067	0.0079	0.0079	0	0	0	0	0	0	0.8867
240	0.6069	0.335	0.0788	0	0.0039	0	0	0	0	0	0	1.0246
250	0.7527	0.2837	0.1182	0.0039	0	0	0	0	0	0	0	1.1586
260	0.8591	0.3586	0.0709	0.0236	0	0.0039	0	0	0	0	0	1.3163
270	0.8552	0.4453	0.1064	0.0315	0.0039	0.0039	0	0	0	0	0	1.4463
280	1.1034	0.7291	0.2089	0.0591	0.0079	0.0039	0	0	0	0	0	2.1123
290	1.4227	1.0877	0.4729	0.1261	0.0315	0.0197	0.0039	0	0	0	0	3.1645
300	1.6039	1.5527	0.6975	0.2286	0.067	0.0197	0.0039	0	0	0	0	4.1734
310	1.8365	1.7103	0.5044	0.1576	0.0276	0.0118	0.0039	0	0	0	0	4.2522
320	1.7813	1.5133	0.4138	0.0788	0.0197	0	0.0039	0	0	0	0	3.8108
330	1.6512	1.0995	0.3507	0.0867	0.0079	0.0079	0	0.0039	0	0	0	3.2079
340	1.6315	0.9103	0.3704	0.1064	0.0433	0.0118	0	0	0	0	0	3.0739
350	1.6	0.8946	0.4296	0.134	0.0315	0.0158	0	0	0	0	0	3.1054
TOTALE	44.0985	32.6266	12.8906	5.8286	2.6719	1.1547	0.469	0.1537	0.0512	0.0473	0.0079	100

Tabella 3.12 – Distribuzione delle frequenze percentuali del flusso energetico, riferito ad un metro di lunghezza di cresta, per i dati ondosi triorari (di numero 25375) degli 11 anni di osservazione dei periodi 1999-2006 e 2009-2013.

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DEL FLUSSO ENERGETICO DELLE ONDE PER METRO DI LUNGHEZZA DI CRESTA (=cost*HMO ² *TM)(in Kg/(s*m))												
DMT (gradi Nord)	Classi di HMO (metri)											TOTALE
	0,0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	> 5,0	
0	0.1487	0.4787	0.7043	0.6007	0.3783	0.1398	0	0	0	0	0	2.4505
10	0.1055	0.6318	1.111	1.1638	0.9372	0.5948	0.328	0.3116	0	0	0	5.1836
20	0.0876	0.6184	1.4277	2.0997	2.0785	1.2089	0.9019	0.4977	0.0914	0	0.1822	9.194
30	0.0822	0.5156	1.2504	2.0411	1.9963	1.188	0.8595	0	0	0.2399	0	8.1731
40	0.0493	0.4278	1.1201	1.7815	2.1047	1.0219	0.4528	0	0	0.4032	0	7.3613
50	0.0543	0.3236	0.5933	0.9864	1.0767	1.0719	0.4044	0.1573	0.0924	0	0	4.7604
60	0.0476	0.2864	0.4069	0.4656	0.7118	0.6769	0.4162	0.0949	0.3159	0.121	0	3.5432
70	0.0562	0.2602	0.3211	0.6901	0.4629	0.6501	0.4608	0.3339	0.3131	0.1171	0	3.6654
80	0.0541	0.2623	0.5067	0.5462	0.332	0.208	0.3126	0.2475	0.2278	0	0	2.6972
90	0.0722	0.352	0.4611	0.5505	0.3201	0.1371	0.0579	0.0896	0	0.2765	0	2.3171
100	0.116	0.6473	1.2164	1.1358	0.7284	0.2888	0	0.0717	0	0	0	4.2044
110	0.1946	1.185	2.0361	2.1119	2.3814	1.7529	1.6369	0.5027	0.2424	0.1769	0	12.2208
120	0.2367	1.2534	1.4384	1.348	0.9215	0.9136	0.7574	0.4992	0	0.2963	0	7.6645
130	0.2652	0.8348	0.6713	0.6282	0.2585	0.4339	0.0586	0.1647	0	0	0.169	3.4843
140	0.2576	0.6904	0.4462	0.0985	0.0356	0.1352	0.1455	0.0827	0.1152	0	0	2.0069
150	0.2442	0.519	0.2208	0.0855	0.0914	0.0481	0	0	0	0	0	1.209
160	0.1585	0.3487	0.1178	0.0571	0.0335	0	0	0	0	0	0	0.7156
170	0.0946	0.1866	0.0486	0.0278	0.0709	0	0	0	0	0	0	0.4285
180	0.0512	0.1178	0.046	0.0152	0.0214	0	0	0	0	0	0	0.2517
190	0.0446	0.096	0.0618	0.0409	0.031	0	0	0	0	0	0	0.2744
200	0.035	0.0933	0.1093	0.0229	0.049	0.0651	0	0	0	0	0	0.3745
210	0.0249	0.112	0.0869	0.037	0.0294	0	0	0	0	0	0	0.2901
220	0.0286	0.0966	0.0548	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.1901
230	0.0401	0.1057	0.0876	0.0235	0.0433	0	0	0	0	0	0	0.3003
240	0.0466	0.142	0.1087	0	0.0248	0	0	0	0	0	0	0.3221
250	0.0573	0.1224	0.1628	0.0121	0	0	0	0	0	0	0	0.3547
260	0.0695	0.1532	0.0936	0.0794	0	0.0459	0	0	0	0	0	0.4417
270	0.0722	0.2129	0.1264	0.1102	0.0217	0.0347	0	0	0	0	0	0.5781
280	0.1016	0.3216	0.2822	0.1769	0.0402	0.0439	0	0	0	0	0	0.9665
290	0.132	0.4495	0.6697	0.367	0.1545	0.1902	0.0584	0	0	0	0	2.0214
300	0.147	0.6636	0.9731	0.6595	0.3754	0.1817	0.0512	0	0	0	0	3.0514
310	0.1701	0.7104	0.6681	0.4835	0.1567	0.1208	0.045	0	0	0	0	2.3545
320	0.1681	0.6194	0.5739	0.2407	0.0959	0	0.0546	0	0	0	0	1.7526
330	0.1446	0.4538	0.497	0.2687	0.0458	0.0695	0	0.0928	0	0	0	1.5724
340	0.1383	0.3872	0.5142	0.3527	0.2413	0.1036	0	0	0	0	0	1.7374
350	0.1347	0.3981	0.598	0.4183	0.1786	0.1582	0	0	0	0	0	1.8859
TOTALE	3.9317	15.0777	19.8124	19.7371	16.4287	11.4835	7.0017	3.1464	1.3982	1.6309	0.3512	100

Graficamente, in Figura 3.10, è rappresentata la distribuzione direzionale della frequenza percentuale del moto ondoso triorario rilevato dalla boa ondometrica posta al largo di Ancona negli 11 anni relativi alle due fasi di osservazione (i 7 anni, fra il 1999 ed il 2006, ed i 4 anni, fra il 2009 ed il 2013), secondo il dato direzionale di provenienza media suddiviso per intervalli di 10°.

Nella Figura 3.11 è riportata la distribuzione direzionale delle frequenze percentuali del flusso energetico per metro di lunghezza di cresta delle stesse onde degli 11 anni complessivi dei due periodi (1999-2006 e 2009-2013), suddivise negli stessi settori direzionali di 10°.

La Figura 3.12 mostra lo schema grafico di confronto delle suddette distribuzioni direzionali delle frequenze e del flusso energetico per metro di lunghezza di cresta delle serie triorarie dei dati di entrambe le fasi di osservazione di 11 anni (7 anni, 1999-2006, più 4 anni, 2009-2013).

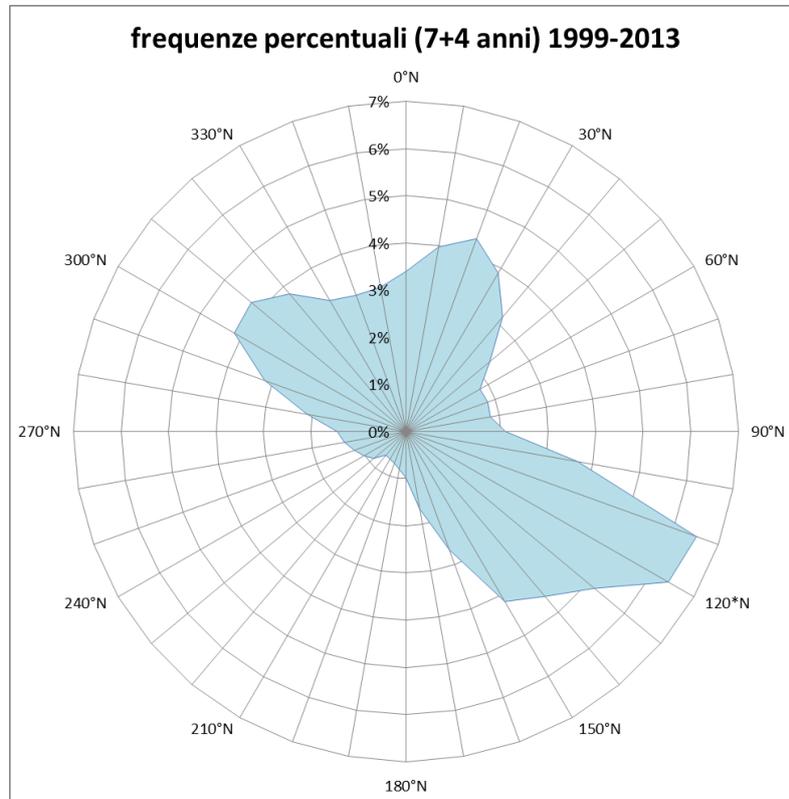


Figura 3.10 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari registrati dalla stazione della R.O.N. al largo di Ancona negli 11 anni dei periodi 1999-2006 e 2009-2013

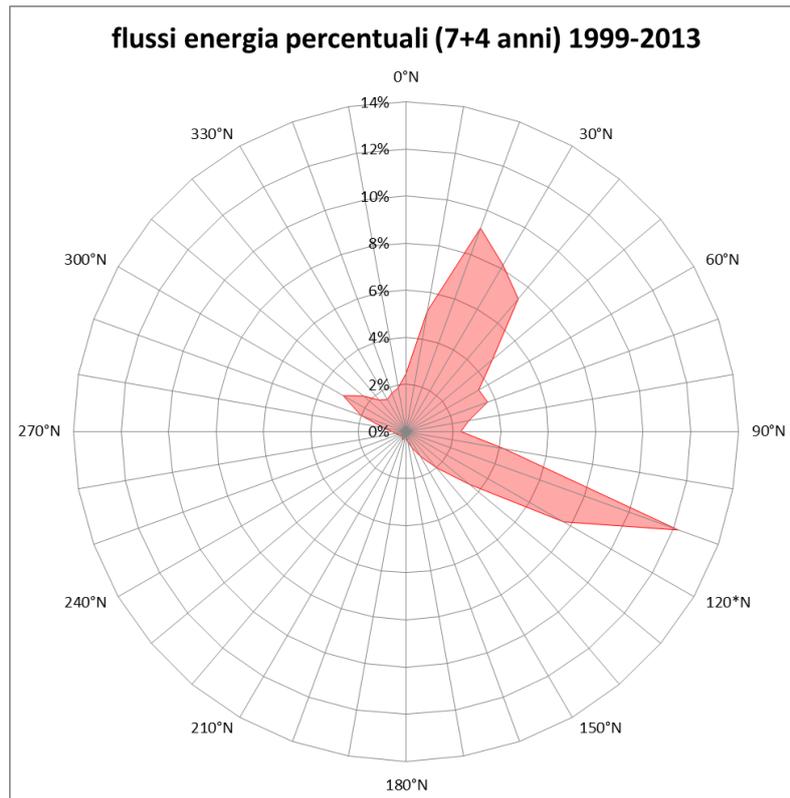


Figura 3.11 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei flussi energetici per metro di lunghezza di cresta dei dati ondosi triorari rilevati al largo di Ancona in 11 anni nel periodo '99-'13

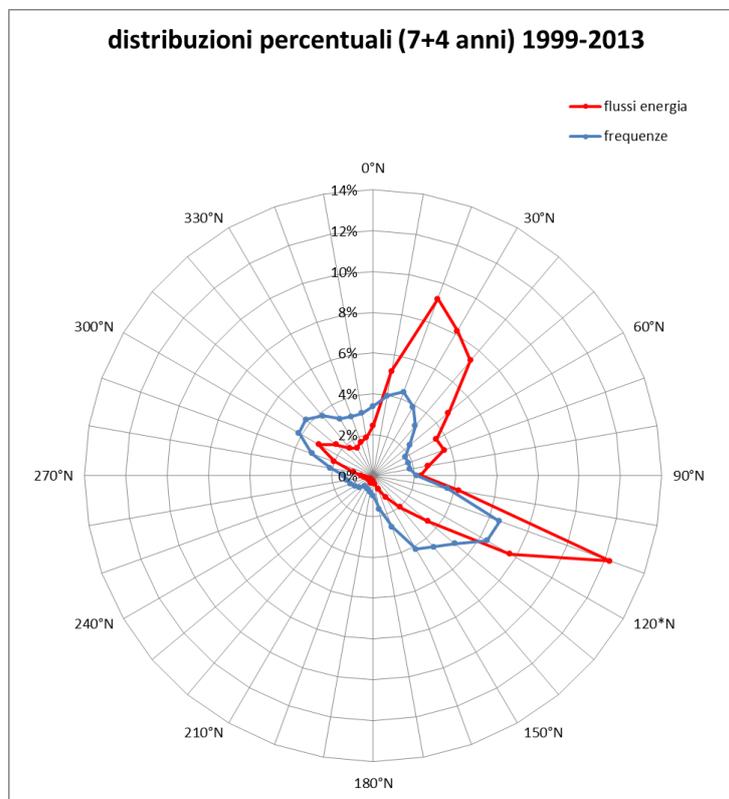


Figura 3.12 - Distribuzione direzionale percentuale di confronto fra la frequenza ed il flusso di energia per metro di lunghezza di cresta delle onde registrate dalla stazione di misura ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona negli 11 anni di osservazioni dei due periodi 1999-2006 e 2009-2013

Per il calcolo del periodo significativo più probabile per i diversi settori direzionali di provenienza si sono ricavate delle relazioni funzionali che tengono conto del loro legame con le altezze d'onda significative. Nella tabella seguente vengono riportati, a titolo di esempio, i valori del periodo ondoso significativo nel sito al largo di Ancona per i vari settori di direzione e le differenti classi di altezza d'onda.

Tabella 3.13 - Periodi significativi (s) per i vari settori direzionali e le diverse classi di altezze d'onda.

Periodi significativi T_p (s) per i diversi settori direzionali e altezze d'onda					
θ (° N)	Classi di H_{m0} (m)				
	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
345-15	4.093	5.410	6.158	6.707	7.148
15- 45	4.350	5.568	6.240	6.725	7.111
45- 75	4.372	5.702	6.442	6.979	7.407
75-105	4.576	5.846	6.519	6.999	7.380
105-135	4.327	6.078	7.116	7.895	8.531
285-315	3.736	4.848	5.470	5.922	6.284
315-345	3.884	4.947	5.533	5.956	6.292

3.5 Analisi delle onde estreme

L'onda di progetto deve essere rappresentativa delle condizioni ambientali che possono considerarsi pericolose ai fini della stabilità delle strutture marittime. In generale, l'onda di progetto può essere sia un'onda significativa sia un'onda caratteristica dello stato di mare ($H_{1/10}$, $H_{1/100}$, $H_{1/250}$).

Il rischio da associare all'onda di progetto si specifica generalmente, attraverso il periodo di ritorno T_R degli stati di mare che la contengono e dalla loro probabilità di accadimento durante la vita prevista dell'opera.

Le fasi da affrontare in un'analisi volta alla previsione dei massimi valori che l'altezza d'onda può assumere in un determinato arco temporale, si possono così riassumere:

- selezione dei dati omogenei ed indipendenti tra quelli disponibili;
- individuazione del modello probabilistico che meglio rappresenta i dati selezionati;
- determinazione del massimo valore d'altezza d'onda atteso in un fissato arco di tempo;
- calcolo dell'intervallo di confidenza associato al valore atteso.

Nei seguenti paragrafi viene illustrata la procedura standardizzata, adottata per l'analisi statistica dei valori estremi delle altezze d'onda significative, viene mostrata l'applicazione di tale procedura alla serie di dati ondosi rilevati dalla boa ondometrica della R.O.N., situata al largo di Ancona, per il

primo periodo di osservazione (di sette anni fra il 10 marzo 1999 ed il 9 marzo 2006), poi sono riportati i soli risultati dell'analogà operazione applicata sui dati del secondo periodo (4 anni fra il 1 dicembre 2009 ed il 30 novembre 2013), infine vengono riportati i soli risultati finali dei 7+4 anni considerati assieme.

3.5.1 Selezione dei dati da analizzare e metodologia adottata

La selezione dei dati da elaborare è probabilmente l'aspetto piú importante dell'analisi statistica dei valori estremi. In generale i modelli di analisi richiedono che il campione da elaborare venga estratto dall'intera serie di dati e che debba essere rappresentativo dell'intera popolazione da cui è estratto.

Nel 1990 la “*Section on Maritime Hydraulics of the International Association for Hydraulic Research*” ha organizzato un “*Working Group on Extreme Wave Statistics*” le cui conclusioni sono state pubblicate da Mathiesen et al. nel 1994. Tale gruppo di lavoro raccomanda di utilizzare, per le elaborazioni delle altezze d'onda estreme, il metodo “delle serie tronche” o “di durata parziale sopra una soglia” (P.O.T.) proposto da Goda, come illustrato nella relativa pubblicazione del 1988.

L'elaborazione delle altezze d'onda estreme descritta nella presente relazione viene effettuata seguendo il procedimento suddetto.

L'uso di questo metodo richiede che i massimi scelti siano tra loro indipendenti. La scelta della soglia dovrebbe essere basata su informazioni fisiche e meteorologiche: ad esempio l'analisi meteorologica delle carte del tempo potrebbe condurre a determinare il numero medio annuale degli eventi significativi di tempesta N_α che interessano la zona in esame. Il gruppo di lavoro raccomanda che, per ottenere una buona significatività, la soglia di troncamento per l'elaborazione dei dati estremi con il metodo P.O.T. sia scelta in modo tale che il numero medio dei dati all'anno superiori alla soglia sia uguale o poco meno ad N_α . Dalle analisi meteorologiche effettuate per le fasce costiere italiane risulta che N_α sia pari circa a 25-30, con i valori piú alti relativamente alle fasce costiere estreme (nord) occidentali.

3.5.2 Scelta della legge probabilistica

Non esistono giustificazioni teoriche per scegliere una legge di distribuzione di probabilità rispetto ad un'altra, di solito si utilizzano quelle che meglio interpretano i dati sperimentali. Spesso, per

interpolare le altezze d'onda significative, viene utilizzata la distribuzione di Weibull a tre parametri. Tale legge è data dall'espressione:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]$$

dove $x(>a)$ è la variabile statistica ed i parametri sono detti:

a = parametro locale

b = parametro di scala

c = parametro di forma (di valore compreso tra 0,75 e 2).

La corrispondente funzione di distribuzione tronca per il metodo P.O.T. è data dalla:

$$F_T(x) = \frac{[F(x) - F(x_0)]}{[1 - F(x_0)]} = 1 - \exp\left\{-\left[\frac{(x-a)}{b}\right]^c + \left[\frac{(x_0-a)}{b}\right]^c\right\}$$

dove $F_T(x)$ è la probabilità di non superamento per le serie tronche, o distribuzione tronca per i picchi di tempesta sopra la soglia, o punto di troncamento, x_0 .

Se il fattore di forma della distribuzione tronca di Weibull a tre parametri è valutato essere prossimo ad 1, un adattamento accettabile può essere fornito dalla distribuzione di Gumbel per le serie tronche. La distribuzione di Gumbel è data da:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left[-\frac{(x-a)}{b}\right]\right]$$

dove x è la variabile statistica, ed i parametri sono detti: a parametro locale e b parametro di scala.

La corrispondente distribuzione tronca per il metodo P.O.T. è data dall'espressione:

$$F_T(x) = \frac{\exp\{-\exp[-(x-a)/b]\} - \exp\{-\exp[-(x_0-a)/b]\}}{1 - \exp\{-\exp[-(x_0-a)/b]\}}$$

Riguardo alla scelta di una legge di distribuzione di probabilità rispetto ad un'altra, in assenza di altre giustificazioni teoriche, Goda (1988) suggerisce di tentare l'adattamento dei dati ondosi estremi con le leggi di distribuzione tronca di Gumbel e di Weibull a tre parametri (per diversi valori del parametro c), scegliendo poi quella che fornisce il miglior adattamento ai dati, che può essere indicato dal valore dell'indice di regressione della legge di distribuzione rispetto ai dati sperimentali, che deve risultare quanto più possibile prossimo all'unità.

3.6 Analisi statistica delle onde estreme con i dati della boa R.O.N. di Ancona

Il procedimento descritto nei paragrafi precedenti è stato utilizzato per l'elaborazione degli eventi ondosi estremi dei dati rilevati e registrati dalla boa della R.O.N. posta al largo di Ancona fra il

10 marzo 1999 ed il 9 marzo 2006. Di volta in volta, è stata considerata ed elaborata la serie dei dati aventi direzione di provenienza compresa rispettivamente nei seguenti settori di interesse:

285°N - 315°N;	315°N - 345°N;	345°N - 15°N;
15°N - 45°N;	45°N - 75°N;	75°N - 105°N;
105°N - 135°N;	0°N - 360°N	

avendo posto maggior attenzione su quelli compresi nella traversia del paraggio marino di Ancona. Dall'andamento cronologico delle altezze d'onda sono state individuate le mareggiate più intense rilevate dalla boa ondometrica direzionale al largo di Ancona durante il periodo di tempo preso in considerazione (in cui si aveva la disponibilità di registrazioni). Fra queste sono stati selezionati tutti gli eventi ondosi indipendenti in cui era stata raggiunta o superata l'altezza d'onda di un metro (soglia scelta per indicare un evento di mareggiata) e compresi volta per volta in ognuno dei suddetti settori direzionali. Come valore rappresentativo di ogni evento indipendente è stata considerata la massima altezza d'onda significativa raggiunta al picco della mareggiata. Il numero della frazione dei dati da elaborare con il metodo P.O.T. va ulteriormente ridotto dovendo considerare solo quei valori di altezza d'onda superiori ad una prefissata soglia di troncamento.

Per ogni settore direzionale considerato la serie dei dati ondosi estremi così determinati è stata elaborata statisticamente secondo la procedura sopra indicata ed utilizzando le leggi analitiche di Gumbel e di Weibull a tre parametri per tentare l'adattamento della distribuzione probabilistica al campione statistico. Poi per ogni settore diverso viene scelta quella fra esse che assicura la migliore interpolazione della serie dei dati estremi sperimentali analizzati per le eventuali valutazioni probabilistiche dei prevedibili eventi ondosi futuri e dei relativi tempi di ritorno associati.

A tal riguardo per la soglia di troncamento è stato scelto un unico valore indipendentemente dal settore direzionale considerato e dal numero di mareggiate estreme individuabili in ognuno di essi. La procedura è stata applicata con un valore della soglia di troncamento pari a 1,5 metri.

Di seguito sono riportate le tabelle dalla Tabella 3.14 alla Tabella 3.17 dei dati ai picchi delle mareggiate individuate durante i 7 anni di osservazione considerati ed i grafici dalla Figura 3.13 alla Figura 3.20 in cui sono riportati gli andamenti della legge probabilistica di miglior adattamento con la nuvola dei dati sperimentali per ciascun settore direzionale analizzato. Nella Figura 3.21 e nella Tabella 3.18 sono invece riportati, in forma grafica ed in forma numerica, in maniera sintetica per tutti i settori direzionali di provenienza presi in esame, i risultati dell'elaborazione statistica in termini di valori di altezza d'onda fra i principali tempi di ritorno dell'evento ondoso estremo.

Tabella 3.14 - Valori al picco delle mareggiate dei settori direzionali 315°N-345°N e 345°N-15°N.

n° mareggiata	data	Hm0	Tm	Tp	Dmt
1	11/06/1999 21:30	1.43	4.94	6.25	317.43
2	19/06/1999 12:30	1.37	5.56	6.45	334.70
3	07/07/1999 09:30	1.08	4.05	4.88	327.73
4	18/11/1999 09:30	2.54	6.07	6.90	331.97
5	13/12/1999 12:30	1.91	5.29	6.06	335.24
6	27/03/2000 18:30	1.04	4.00	4.26	319.27
7	09/07/2000 06:30	2.65	6.40	7.41	336.04
8	15/07/2000 06:30	1.13	4.34	4.55	341.80
9	16/07/2000 09:30	1.15	4.20	4.88	343.13
10	28/07/2000 21:30	1.18	4.64	5.41	336.38
11	04/08/2000 21:30	1.23	4.71	5.56	339.38
12	05/08/2000 21:30	1.18	4.05	4.35	321.62
13	18/06/2001 06:30	1.32	4.65	5.56	321.67
14	12/11/2001 00:30	1.39	5.07	5.13	327.72
15	02/12/2001 15:30	1.07	4.15	4.65	334.90
16	06/01/2002 12:30	1.34	4.47	5.00	317.17
17	17/01/2002 12:30	1.79	5.15	6.06	337.60
18	24/02/2002 12:30	1.06	3.91	4.26	331.18
19	19/05/2002 03:30	1.09	4.18	4.35	316.03
20	05/07/2003 06:00	1.32	5.37	4.88	325.47
21	25/08/2003 15:30	1.41	6.01	6.90	341.20
22	05/11/2003 10:00	1.44	4.88	5.56	335.77
23	16/12/2003 06:00	2.44	5.56	5.88	336.01
24	07/04/2004 17:00	1.24	5.90	6.25	325.02
25	20/04/2004 14:00	1.19	5.92	4.44	323.56
26	23/05/2004 06:00	1.63	5.75	5.00	319.41
27	13/06/2004 10:30	2.61	6.82	7.41	343.27
28	12/07/2004 11:30	1.13	5.57	4.55	333.37
29	13/07/2004 04:30	1.43	5.09	4.44	342.09
30	26/08/2004 18:00	1.96	5.99	6.67	328.92
31	09/11/2004 04:30	1.43	4.00	6.10	341.20
32	21/11/2004 09:00	1.20	3.60	4.50	324.90
33	11/02/2006 15:00	1.18	4.70	28.60	338.20
34	17/02/2006 18:30	1.51	15.06	28.57	340.89
35	15/03/2006 01:30	1.02	4.10	28.60	338.90
1	07/07/1999 21:30	1.09	4.70	5.71	355.71
2	10/09/1999 12:30	1.08	4.60	5.13	10.00
3	17/12/1999 00:30	1.76	5.59	6.90	8.40
4	31/12/1999 15:30	1.74	4.91	5.56	351.29
5	02/01/2000 21:30	1.17	4.10	4.00	356.20
6	02/03/2000 09:30	3.02	6.51	7.14	5.96
7	13/07/2000 06:30	1.74	4.86	5.71	345.88
8	16/07/2000 00:30	1.09	4.23	4.88	354.94
9	30/07/2000 15:30	1.13	4.73	5.88	13.17
10	22/12/2000 18:30	1.28	4.54	5.26	12.02
11	18/02/2001 09:30	1.18	4.26	4.44	2.43
12	17/09/2001 06:30	1.84	5.62	6.45	5.87
13	03/11/2001 18:30	1.04	4.57	5.56	12.89
14	29/11/2001 15:30	1.45	4.77	5.56	11.84
15	05/01/2002 06:30	1.43	4.57	5.56	11.62
16	11/03/2002 06:30	1.65	5.21	6.06	12.40
17	25/04/2002 06:30	1.06	4.35	5.26	7.44
18	03/06/2002 03:30	1.09	3.99	4.44	8.87
19	29/06/2002 06:30	1.68	5.46	5.41	348.58
20	24/10/2002 13:00	1.11	5.24	5.88	13.35
21	04/11/2002 10:30	2.02	5.68	7.14	14.81
22	08/11/2002 18:30	1.54	5.11	5.88	8.97
23	01/12/2002 23:30	1.36	4.85	4.65	13.72
24	15/05/2003 05:00	1.77	5.75	4.88	7.99
25	21/05/2003 12:00	1.96	5.57	5.71	5.15
26	15/08/2003 01:00	1.35	5.61	6.25	352.14
27	31/08/2003 21:30	2.45	6.18	6.90	12.15
28	10/09/2003 19:00	1.76	5.31	5.88	8.86
29	11/09/2003 20:00	2.08	6.37	6.67	14.48
30	25/10/2003 00:30	1.46	5.36	6.25	10.30
31	25/04/2004 00:30	2.81	6.84	8.00	10.49
32	13/05/2004 06:00	1.77	5.71	6.25	4.12
33	29/05/2004 17:00	1.83	5.55	6.25	4.50
34	03/07/2004 04:00	1.53	5.95	6.45	14.51
35	27/07/2004 11:30	2.15	6.30	6.67	356.41
36	18/09/2004 13:30	1.12	5.49	4.35	350.39
37	24/09/2004 22:00	3.97	7.60	8.70	13.17
38	19/11/2004 21:00	2.82	5.40	7.10	352.60
39	03/01/2005 06:30	1.60	4.10	5.40	14.30
40	05/02/2005 21:00	1.28	4.00	5.40	8.60
41	01/10/2005 08:30	2.11	5.78	6.67	13.58
42	08/01/2006 20:30	1.04	3.70	5.10	6.10
43	13/01/2006 16:00	1.08	3.60	4.20	2.00

Tabella 3.15 - Valori al picco delle mareggiate del settore direzionale 15°-45°N.

n° mareggiata	data	Hm0	Tm	Tp	Dmt
1	3/18/1999 6:30	3.08	6.58	6.90	37.93
2	4/3/1999 15:30	1.00	4.14	4.55	25.18
3	7/9/1999 3:30	1.36	4.84	6.06	37.79
4	7/24/1999 12:30	1.67	5.26	6.06	28.99
5	10/6/1999 6:30	1.94	5.15	5.71	24.54
6	11/19/1999 19:00	3.59	7.10	8.33	28.68
7	11/25/1999 15:30	1.07	4.54	6.06	25.24
8	1/17/2000 0:30	1.45	5.44	6.45	27.48
9	1/19/2000 9:30	2.71	6.35	6.67	16.19
10	1/23/2000 18:30	2.85	6.45	8.00	15.31
11	2/21/2000 12:30	1.24	4.96	5.26	26.12
12	5/30/2000 9:30	1.93	5.84	7.41	40.97
13	7/31/2000 0:30	1.08	5.62	4.88	37.43
14	1/14/2001 9:30	2.77	6.51	7.69	40.70
15	2/11/2001 15:30	1.92	5.28	6.25	23.69
16	2/14/2001 15:30	1.25	5.08	6.06	40.57
17	2/19/2001 9:30	1.51	5.16	6.06	23.69
18	2/24/2001 18:30	1.74	5.57	5.88	35.41
19	2/26/2001 15:30	2.80	6.63	8.00	33.25
20	3/6/2001 12:30	1.23	5.18	5.00	41.89
21	3/31/2001 9:30	2.19	5.89	7.14	33.67
22	4/17/2001 15:30	1.61	5.31	6.06	26.60
23	5/7/2001 15:30	1.03	4.67	5.41	20.57
24	8/11/2001 12:30	2.79	6.62	7.14	19.50
25	9/9/2001 18:30	1.26	4.74	5.56	43.40
26	9/10/2001 6:30	1.10	4.11	4.65	32.90
27	11/10/2001 6:30	2.31	6.07	7.41	31.02
28	11/20/2001 18:30	1.66	5.15	6.25	23.02
29	11/23/2001 18:30	2.73	6.05	6.67	27.51
30	12/1/2001 3:30	1.46	5.39	6.06	21.97
31	12/16/2001 23:00	3.77	7.31	8.70	23.48
32	12/18/2001 9:30	2.39	5.94	6.45	44.81
33	12/24/2001 6:30	1.93	6.03	6.67	31.63
34	12/27/2001 12:00	3.46	6.86	7.41	24.26
35	12/31/2001 15:30	2.51	5.93	6.67	19.77
36	1/3/2002 18:30	2.51	6.06	7.41	32.75
37	1/15/2002 15:30	1.38	4.80	5.13	17.39
38	3/4/2002 6:30	1.01	4.80	4.88	43.27
39	3/27/2002 3:30	1.49	5.22	5.88	39.47
40	4/5/2002 6:30	1.63	5.39	6.06	21.80
41	4/9/2002 18:30	2.29	5.95	6.90	31.23
42	4/21/2002 12:30	1.16	5.06	5.71	18.60
43	6/6/2002 9:30	2.85	7.46	8.33	26.06
44	11/6/2002 2:30	2.11	6.10	6.45	36.41
45	12/19/2002 4:00	2.35	6.13	7.41	19.67
46	1/1/2003 6:30	2.17	5.81	6.67	23.25
47	3/16/2003 7:00	3.42	6.78	7.41	32.36
48	3/18/2003 13:00	1.29	5.35	5.13	27.89
49	3/19/2003 4:00	1.34	5.18	5.26	39.50
50	4/8/2003 1:30	1.49	5.18	5.56	30.00
51	4/18/2003 6:00	1.04	5.11	4.44	22.92
52	5/23/2003 12:00	1.11	5.11	4.76	30.09
53	8/1/2003 22:00	1.37	5.33	5.41	21.74
54	9/13/2003 0:00	1.06	5.40	4.00	28.45
55	9/13/2003 15:00	1.00	5.34	4.88	44.67
56	9/14/2003 0:00	2.30	5.92	6.90	42.36
57	9/24/2003 16:30	2.31	6.11	5.71	39.59
58	10/15/2003 9:00	2.03	5.94	6.67	20.14
59	12/8/2003 12:00	3.61	7.08	8.00	36.35
60	12/15/2003 22:30	1.78	5.58	6.06	23.77
61	1/19/2004 2:30	2.55	6.41	6.67	30.83
62	1/22/2004 0:30	2.73	6.07	6.67	31.92
63	1/24/2004 4:30	1.48	5.30	4.88	20.52
64	1/30/2004 4:30	2.27	5.80	5.71	15.94
65	3/9/2004 4:00	2.13	6.06	6.67	30.08
66	3/27/2004 8:30	1.16	5.46	5.88	18.56
67	4/12/2004 10:30	1.44	6.08	6.67	31.57
68	4/14/2004 14:00	1.07	4.60	4.55	17.03
69	5/17/2004 12:00	1.85	5.69	5.88	21.26
70	5/24/2004 7:00	1.66	5.39	6.06	26.75
71	6/4/2004 9:00	1.38	5.69	5.71	18.97
72	7/28/2004 7:00	1.42	5.44	5.88	23.14
73	9/5/2004 0:00	1.14	6.26	5.13	25.21
74	9/6/2004 6:00	1.40	5.85	5.26	42.27
75	9/9/2004 9:30	1.44	5.68	5.71	19.96
76	9/17/2004 13:30	1.69	5.74	6.25	35.38
77	9/24/2004 18:30	5.45	7.00	9.10	17.00
78	11/8/2004 19:00	3.18	5.80	6.90	16.30
79	11/16/2004 18:00	1.74	4.30	5.90	27.40
80	1/26/2005 7:00	3.70	7.43	8.70	23.73
81	2/2/2005 0:30	1.96	4.70	6.50	43.40
82	2/4/2005 18:00	1.87	4.60	6.50	27.30
83	2/15/2005 3:30	3.71	6.45	6.67	22.49
84	4/21/2005 12:30	1.65	4.40	6.10	27.30
85	5/8/2005 19:00	1.27	4.20	5.40	44.60
86	5/20/2005 1:00	1.44	4.00	5.40	30.30
87	6/7/2005 23:00	2.80	6.28	6.90	27.53
88	8/4/2005 10:30	2.16	5.84	5.71	15.26
89	12/18/2005 0:00	2.13	4.80	6.30	15.00
90	1/5/2006 11:00	1.24	4.90	5.88	31.00
91	2/6/2006 14:00	3.13	5.90	7.70	38.10
92	2/12/2006 1:00	1.07	14.47	33.33	16.50
93	2/21/2006 21:30	1.11	5.00	28.60	40.00
94	2/24/2006 5:30	2.22	5.30	6.50	40.30
95	2/27/2006 17:30	2.35	5.20	6.50	15.40
96	3/6/2006 15:30	3.29	6.10	8.00	39.80

Tabella 3.16 - Valori al picco delle mareggiate dei settori direzionali 45°-75°N e 75°N-105°N.

n° mareggiata	data	Hm0	Tm	Tp	Dmt
1	02/09/1999 03:30	2.12	5.79	6.45	45.44
2	04/10/1999 12:30	1.40	5.32	6.06	69.00
3	19/10/1999 00:30	1.85	5.28	6.06	65.93
4	07/11/1999 13:30	4.47	7.46	8.00	73.78
5	16/11/1999 00:30	2.34	5.89	6.45	66.27
6	05/12/1999 18:30	3.02	6.71	7.14	70.16
7	05/03/2000 06:30	2.34	6.15	7.14	63.32
8	18/03/2000 00:30	1.20	4.91	5.56	57.26
9	20/03/2000 03:30	1.09	4.27	4.55	68.15
10	08/09/2000 06:30	1.72	5.34	6.06	72.07
11	17/11/2000 18:30	2.06	6.78	7.41	68.55
12	20/12/2000 12:30	1.55	5.30	5.71	63.93
13	01/04/2001 09:30	1.67	5.48	6.45	60.81
14	12/04/2001 06:30	1.62	4.89	5.00	73.66
15	14/04/2001 06:30	1.89	5.36	5.88	46.29
16	12/05/2001 15:30	1.22	4.78	5.71	52.55
17	01/06/2001 09:30	1.34	4.68	4.76	46.06
18	02/11/2001 18:30	1.89	5.60	6.90	54.35
19	13/11/2001 14:00	3.86	7.23	8.00	48.09
20	07/12/2001 19:00	3.82	7.20	8.33	45.20
21	14/12/2001 01:00	3.65	7.07	7.69	68.08
22	22/02/2002 06:30	2.39	6.23	6.67	50.86
23	25/03/2002 03:30	3.14	6.79	7.69	61.61
24	07/12/2002 01:30	2.64	6.00	6.06	56.36
25	25/12/2002 08:00	1.27	4.46	4.76	64.70
26	03/03/2003 15:30	2.08	5.84	6.67	74.85
27	22/03/2003 06:30	1.23	5.21	5.71	63.79
28	23/03/2003 05:30	1.89	5.82	6.06	54.00
29	04/04/2003 12:30	2.55	6.36	7.14	47.33
30	03/09/2003 08:30	1.39	5.65	6.06	51.07
31	04/09/2003 04:00	1.40	5.37	5.88	48.40
32	18/10/2003 01:30	1.17	4.60	5.56	73.67
33	27/10/2003 04:30	2.23	6.07	6.06	70.53
34	11/11/2003 04:00	1.28	5.18	5.71	67.85
35	12/02/2004 07:00	2.23	6.25	6.45	73.13
36	14/05/2004 11:30	1.04	5.05	5.00	48.51
37	17/05/2004 23:00	1.01	5.33	4.35	47.89
38	14/06/2004 12:30	1.39	5.54	4.88	52.29
39	10/09/2004 05:00	1.08	5.37	6.06	60.85
40	16/09/2004 17:00	1.19	4.88	4.44	56.26
41	30/12/2004 00:00	3.13	6.69	7.41	47.42
42	14/02/2005 03:00	1.45	4.20	5.40	52.70
43	18/02/2005 13:00	1.09	4.00	5.30	48.50
44	18/09/2005 04:30	2.74	6.02	6.90	67.03
45	24/11/2005 05:00	1.96	6.39	6.06	60.64
46	09/12/2005 23:00	3.40	6.60	6.90	59.36
47	12/01/2006 10:00	1.34	4.40	5.40	56.40
48	12/03/2006 19:30	3.76	6.60	8.30	66.30
1	10/04/1999 06:30	1.93	5.65	7.14	86.66
2	22/04/1999 09:30	1.67	5.94	6.90	101.55
3	17/05/1999 03:30	1.09	4.48	5.56	79.91
4	16/07/1999 09:30	1.05	4.34	5.41	88.39
5	16/10/1999 03:30	1.42	4.89	5.88	97.54
6	04/11/1999 09:30	1.43	4.82	5.00	77.68
7	21/11/1999 06:30	2.54	6.25	6.90	80.31
8	15/03/2000 21:30	2.01	5.50	6.45	87.02
9	17/03/2000 03:30	1.06	4.51	5.00	79.72
10	26/08/2000 12:30	1.14	4.53	4.76	82.46
11	21/09/2000 00:30	2.69	6.97	8.00	104.01
12	03/10/2000 03:30	1.22	4.91	4.44	81.51
13	04/10/2000 06:30	1.40	6.29	8.33	87.83
14	13/11/2000 21:30	2.09	6.38	7.41	102.95
15	16/11/2000 03:30	1.22	5.47	6.90	78.27
16	31/12/2000 09:30	2.45	6.06	6.45	76.45
17	30/01/2001 08:00	4.69	7.68	8.00	75.12
18	04/02/2001 09:30	1.11	5.39	5.88	89.12
19	13/03/2001 15:30	1.95	7.04	8.00	76.33
20	15/02/2002 21:30	2.03	5.39	5.88	81.01
21	28/02/2002 06:30	1.04	5.39	6.25	104.48
22	02/03/2002 09:30	1.50	6.63	7.14	99.04
23	03/03/2002 03:30	1.17	6.35	6.67	101.91
24	29/03/2002 03:30	1.03	4.66	5.41	89.23
25	27/04/2002 21:30	1.23	5.19	6.06	78.72
26	17/10/2002 21:30	1.72	6.38	7.14	96.76
27	22/10/2002 06:00	2.08	6.19	7.41	103.21
28	29/10/2002 09:00	1.25	4.82	5.41	93.81
29	04/12/2002 13:30	3.64	6.72	7.69	86.20
30	06/04/2003 18:00	1.97	5.74	6.45	78.40
31	21/04/2003 15:30	1.15	5.30	4.26	96.17
32	14/07/2003 05:00	1.76	5.23	5.71	101.51
33	08/09/2003 21:30	1.66	5.94	6.45	97.33
34	29/10/2003 22:30	1.48	6.44	6.67	103.07
35	08/11/2003 15:00	2.19	6.64	7.41	104.92
36	24/11/2003 19:00	1.14	5.29	5.71	97.61
37	10/12/2003 00:00	2.72	6.80	9.09	102.98
38	17/12/2003 12:00	1.08	5.13	5.71	81.39
39	12/03/2004 01:00	2.62	6.98	8.33	95.92
40	31/10/2004 17:30	2.54	6.10	8.30	103.60
41	12/11/2004 05:00	1.65	4.10	4.90	81.70
42	24/11/2004 14:30	1.10	4.10	5.70	88.30
43	15/01/2005 01:00	1.26	4.00	5.10	80.10
44	19/01/2005 14:00	3.35	7.12	7.69	93.25
45	22/01/2005 06:00	1.08	4.00	5.00	80.50
46	03/10/2005 15:30	2.03	5.90	6.90	104.92
47	08/10/2005 09:30	2.26	6.15	6.90	98.56
48	03/12/2005 14:30	1.92	7.06	6.90	99.96
49	01/01/2006 01:30	1.76	5.10	6.90	92.70
50	03/01/2006 13:00	2.20	4.80	5.60	75.90
51	12/02/2006 06:30	1.04	10.64	28.57	95.59
52	15/02/2006 18:30	1.19	19.47	33.33	101.02

Tabella 3.17 - Valori al picco delle mareggiate dei settori direzionali 105°N-135°N e 285°N-315°N.

n° mareggiata	data/ora del dato max	Hm0	Tm	Tp	Dmt
1	27/03/1999 12:30	2.21	6.87	7.69	106.66
2	16/04/1999 03:30	3.03	7.72	9.09	108.32
3	14/05/1999 15:30	1.21	4.43	5.13	115.51
4	16/09/1999 06:30	1.26	4.51	5.13	126.40
5	20/09/1999 19:00	3.07	6.92	8.00	132.61
6	21/10/1999 14:00	3.55	7.38	8.00	126.00
7	25/10/1999 18:30	1.73	6.09	6.25	118.47
8	15/12/1999 03:30	1.08	5.53	6.45	115.29
9	27/03/2000 09:30	1.03	5.24	6.67	126.21
10	29/03/2000 12:30	2.68	7.02	8.33	106.74
11	07/05/2000 18:30	1.03	4.90	6.06	122.32
12	04/07/2000 15:30	1.06	4.86	5.71	131.54
13	27/08/2000 18:30	1.37	4.88	5.71	134.56
14	31/08/2000 21:30	1.28	5.40	6.90	118.30
15	30/09/2000 18:00	3.24	7.36	8.33	119.27
16	13/10/2000 18:30	2.66	7.63	8.00	126.43
17	06/11/2000 20:30	3.82	12.04	8.70	117.85
18	21/11/2000 15:30	1.53	6.19	6.67	123.20
19	24/11/2000 18:30	1.87	6.12	6.90	117.75
20	09/12/2000 18:30	1.17	5.57	6.25	115.53
21	25/12/2000 09:30	2.22	7.22	8.00	117.08
22	29/12/2000 12:30	1.11	6.15	10.00	118.11
23	03/01/2001 06:30	1.56	6.64	7.69	116.27
24	07/01/2001 18:30	2.81	7.42	8.33	114.60
25	25/01/2001 21:30	1.76	6.09	7.14	106.45
26	08/02/2001 15:30	1.42	6.45	7.41	110.15
27	28/02/2001 09:30	2.99	6.69	7.14	133.45
28	04/03/2001 03:30	1.29	7.34	8.70	113.88
29	04/03/2001 12:30	1.11	5.93	9.09	130.27
30	09/03/2001 09:30	1.94	6.98	7.69	108.10
31	17/03/2001 15:30	2.25	7.11	8.00	109.14
32	25/03/2001 15:30	1.58	6.16	7.41	132.38
33	30/03/2001 06:30	2.10	5.96	7.41	114.57
34	08/04/2001 00:30	1.68	6.93	8.00	118.46
35	16/04/2001 18:30	1.10	4.51	5.00	133.26
36	15/05/2001 15:30	1.38	5.17	5.88	126.76
37	23/06/2001 06:30	1.06	5.00	5.71	133.09
38	23/09/2001 18:30	1.51	5.85	6.90	116.38
39	21/10/2001 03:30	1.65	5.65	6.06	119.80
40	29/12/2001 18:30	1.23	5.26	6.67	116.48
41	06/02/2002 21:30	1.86	6.22	7.41	122.96
42	06/03/2002 09:30	2.44	7.03	7.69	111.68
43	15/03/2002 06:30	1.24	5.86	6.90	111.59
44	12/04/2002 12:30	2.33	7.60	8.33	133.67
45	03/05/2002 21:30	1.59	6.20	6.45	120.69
46	08/05/2002 18:30	2.01	5.92	7.14	113.53
47	12/11/2002 02:00	1.29	5.52	6.06	124.32
48	16/11/2002 13:00	5.23	8.61	9.52	115.85
49	18/11/2002 12:30	2.95	7.48	8.70	109.22
50	25/11/2002 20:00	3.77	7.58	8.70	106.07
51	28/12/2002 16:00	1.58	6.76	7.14	119.27
52	03/01/2003 04:00	1.39	5.88	6.90	110.92
53	02/04/2003 22:30	2.03	6.59	7.14	111.71
54	10/04/2003 21:30	1.76	6.77	7.14	111.83
55	28/04/2003 14:30	1.05	5.68	7.69	121.75
56	29/04/2003 22:00	1.13	4.74	5.00	126.24
57	30/04/2003 19:30	1.35	5.24	5.56	122.41
58	29/08/2003 21:30	2.01	6.64	7.41	111.90
59	28/09/2003 22:00	1.19	5.38	5.71	121.33
60	01/11/2003 15:30	2.72	7.17	8.00	122.70
61	28/11/2003 03:30	2.33	7.31	8.00	127.00
62	04/12/2003 11:30	1.23	5.29	5.56	120.00
63	12/01/2004 23:30	1.40	6.13	6.45	113.43
64	07/03/2004 15:00	3.18	7.83	8.70	109.90
65	24/03/2004 08:30	1.86	7.78	9.09	124.98
66	17/04/2004 03:30	1.76	6.75	7.41	120.26
67	30/04/2004 09:00	1.84	6.59	7.14	109.58
68	04/05/2004 07:00	2.85	7.01	7.69	110.22
69	25/08/2004 20:00	1.02	5.84	4.88	106.44
70	14/09/2004 20:00	1.31	5.45	4.88	119.81
71	10/11/2004 00:00	2.81	5.50	7.10	133.20
72	25/11/2004 06:30	1.06	4.71	5.56	108.68
73	25/11/2004 13:30	1.02	3.80	6.30	130.30
74	26/12/2004 10:30	3.81	7.40	9.10	114.20
75	16/04/2005 15:30	2.09	6.20	7.70	110.40
76	25/04/2005 03:00	2.01	5.70	8.00	106.50
77	26/11/2005 14:30	2.42	7.59	9.52	113.81
78	30/11/2005 12:00	1.06	6.00	6.67	119.35
79	05/12/2005 13:00	1.22	5.83	6.45	110.49
80	05/12/2005 22:00	1.07	5.66	5.71	108.94
81	27/12/2005 18:00	1.21	3.80	4.70	124.20
82	09/02/2006 11:00	1.49	4.40	28.60	124.30
83	16/02/2006 04:30	1.00	4.30	28.60	118.40
84	16/02/2006 11:00	1.07	4.40	28.60	121.20
85	03/03/2006 09:30	1.30	13.32	28.57	118.96
86	04/03/2006 11:30	1.33	4.40	28.60	131.30
87	09/03/2006 00:00	1.05	4.20	28.60	120.00
1	23/03/1999 06:30	1.81	5.07	5.56	307.49
2	18/04/1999 09:30	1.75	5.15	6.45	306.39
3	22/06/1999 03:30	2.87	6.10	7.14	292.75
4	10/07/1999 09:30	1.12	4.15	4.76	286.28
5	26/07/1999 06:30	1.00	3.77	3.92	307.03
6	29/07/1999 06:30	1.43	4.73	5.56	301.78
7	21/08/1999 06:30	1.35	4.42	5.00	296.64
8	12/11/1999 12:30	1.13	4.39	4.65	295.34
9	23/11/1999 03:30	1.97	5.28	5.71	296.01
10	11/12/1999 06:30	1.61	5.05	5.71	314.25
11	01/01/2000 09:30	1.15	3.91	3.92	298.08
12	11/01/2000 12:30	1.32	4.34	4.88	300.88
13	14/01/2000 15:30	1.59	4.71	5.41	297.45
14	26/01/2000 12:30	1.28	4.32	4.88	305.35
15	03/02/2000 09:30	1.02	3.84	4.65	301.09
16	20/02/2000 09:30	1.33	4.18	4.65	313.44
17	19/11/2000 15:30	2.11	5.47	5.88	305.85
18	27/11/2000 03:30	2.33	5.87	6.06	297.13
19	30/12/2000 03:30	2.68	6.26	7.14	289.36
20	05/01/2001 03:30	1.74	5.26	5.88	291.64
21	22/04/2001 21:30	1.22	4.28	4.88	309.86
22	20/07/2001 21:30	2.16	5.65	6.90	300.98
23	02/09/2001 12:30	1.13	4.05	4.88	311.53
24	05/09/2001 09:30	2.04	5.50	6.45	294.23
25	15/09/2001 12:30	1.69	4.96	5.88	298.21
26	26/09/2001 18:30	1.32	4.44	5.00	304.05
27	04/11/2001 12:30	1.01	4.14	4.88	307.38
28	19/11/2001 09:30	1.57	4.98	5.41	306.33
29	28/11/2001 12:30	1.44	4.64	5.13	303.13
30	03/12/2001 06:30	1.12	4.13	4.76	310.64
31	21/12/2001 09:30	1.15	4.38	5.00	303.84
32	08/01/2002 06:30	1.18	4.29	5.13	297.68
33	16/01/2002 06:30	1.06	4.20	4.76	299.16
34	25/01/2002 00:30	1.84	5.50	6.90	290.63
35	21/04/2002 00:30	1.19	4.37	4.76	289.82
36	03/12/2002 03:00	1.48	4.94	6.06	307.44
37	13/12/2002 15:30	1.76	5.24	6.06	293.44
38	16/12/2002 04:30	1.41	4.88	5.41	295.90
39	22/04/2003 10:00	1.43	5.10	5.13	313.08
40	10/09/2003 08:30	1.39	5.51	5.00	288.02
41	29/09/2003 14:30	1.29	5.24	5.56	297.93
42	06/10/2003 06:00	2.84	6.84	7.14	304.13
43	08/10/2003 07:30	2.44	6.01	6.67	309.93
44	09/11/2003 12:30	1.60	5.78	5.88	305.74
45	29/11/2003 17:00	1.45	5.05	4.88	305.68
46	13/12/2003 15:00	1.36	5.01	5.13	312.47
47	15/12/2003 04:30	1.49	4.79	5.00	306.29
48	10/01/2004 03:30	1.19	4.81	4.35	313.20
49	10/01/2004 15:30	1.33	5.23	5.26	301.60
50	15/01/2004 10:30	3.18	6.97	7.41	307.81
51	28/01/2004 11:30	1.79	5.59	5.71	308.41
52	13/04/2004 17:00	1.02	4.95	4.17	298.92
53	24/07/2004 23:30	1.27	5.55	4.26	297.70
54	14/08/2004 10:30	1.03	5.20	4.65	314.86
55	21/08/2004 19:00	1.62	5.01	5.56	313.37
56	12/11/2004 00:00	1.56	4.10	5.10	293.80
57	17/11/2004 09:00	1.01	3.10	4.20	295.60
58	20/11/2004 17:00	1.01	3.40	4.40	287.80
59	23/12/2004 13:00	3.06	31.00	33.30	291.80
60	01/01/2005 11:30	1.47	4.10	5.30	294.50
61	17/01/2005 07:30	1.64	4.30	5.90	295.90
62	06/02/2005 10:30	1.00	3.40	4.30	312.70
63	10/02/2005 09:30	1.16	3.80	5.00	286.10
64	01/12/2005 05:00	1.47	4.88	4.55	309.53
65	06/12/2005 10:30	2.09	5.46	5.71	296.17
66	07/12/2005 11:00	1.52	4.57	4.55	288.90
67	28/12/2005 03:30	1.82	4.50	5.40	285.30
68	30/12/2005 05:30	1.69	4.50	5.60	291.50
69	07/01/2006 01:00	1.39	4.00	5.00	308.50
70	10/01/2006 06:30	1.39	3.90	5.00	299.10
71	11/01/2006 13:30	1.16	3.50	5.00	285.50
72	14/01/2006 07:30	1.04	3.90	4.80	293.20

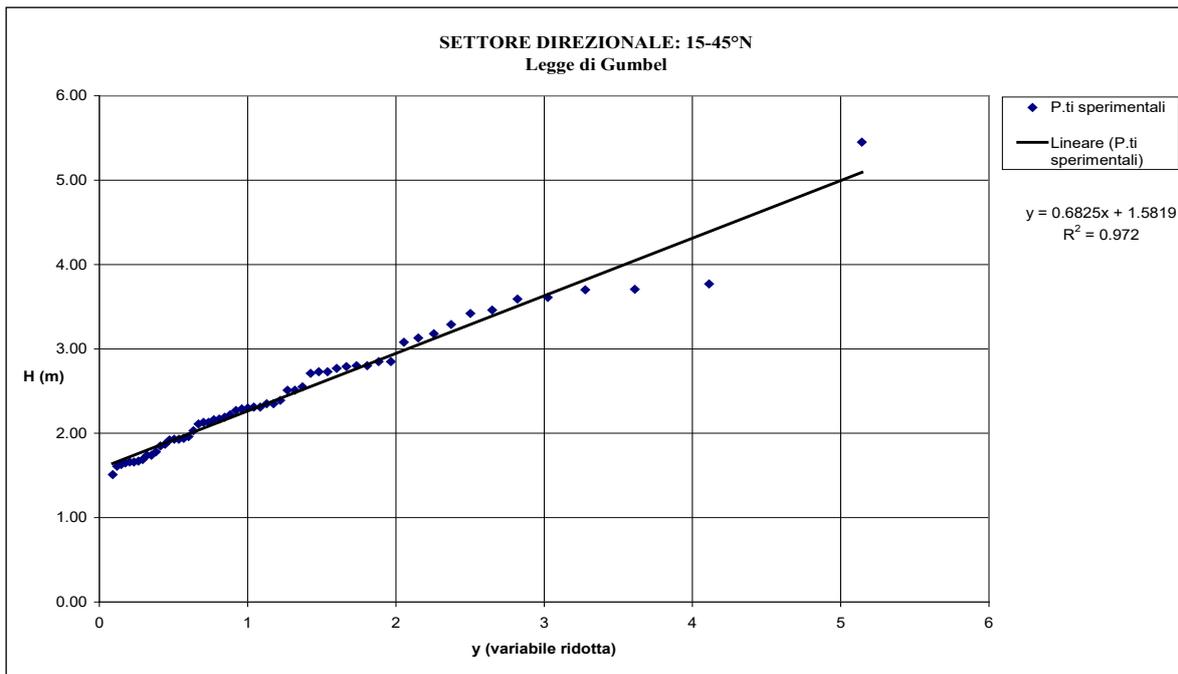


Figura 3.13 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 15°N-45°N.

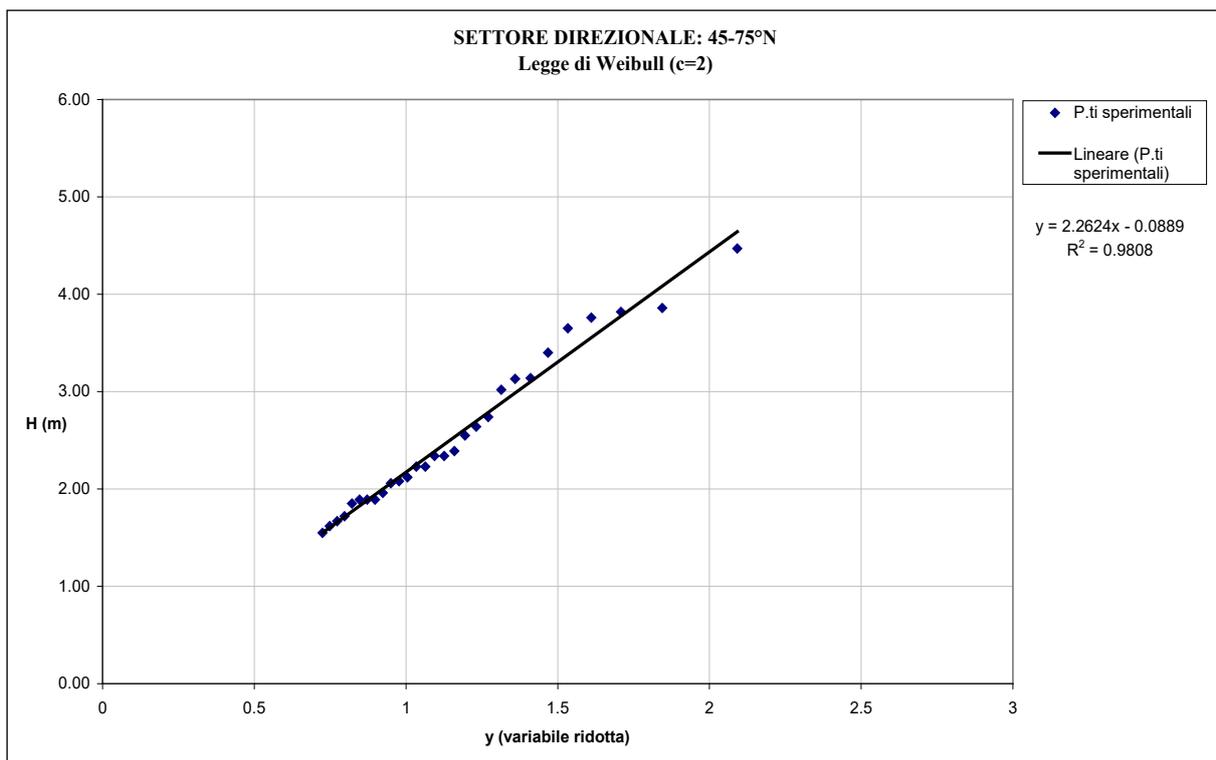


Figura 3.14 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 45°N-75°N.

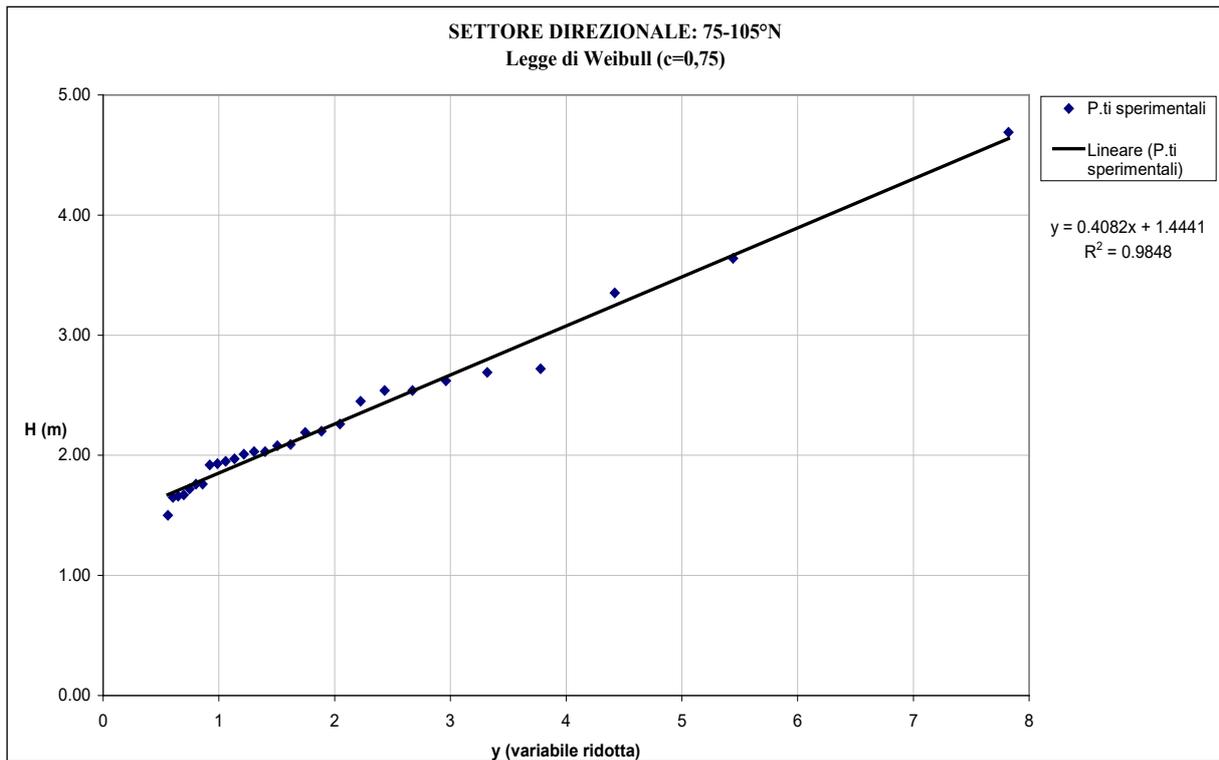


Figura 3.15 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 75°N-105°N.

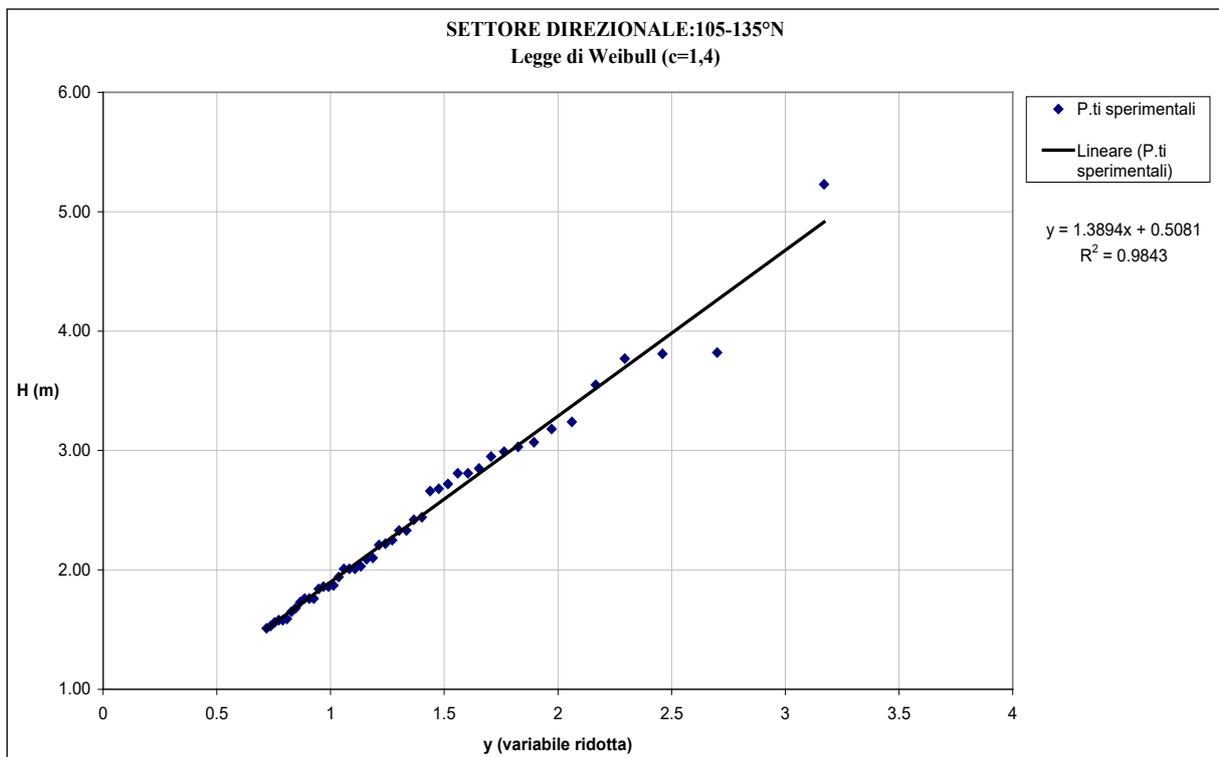


Figura 3.16 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 105°N-135°N.

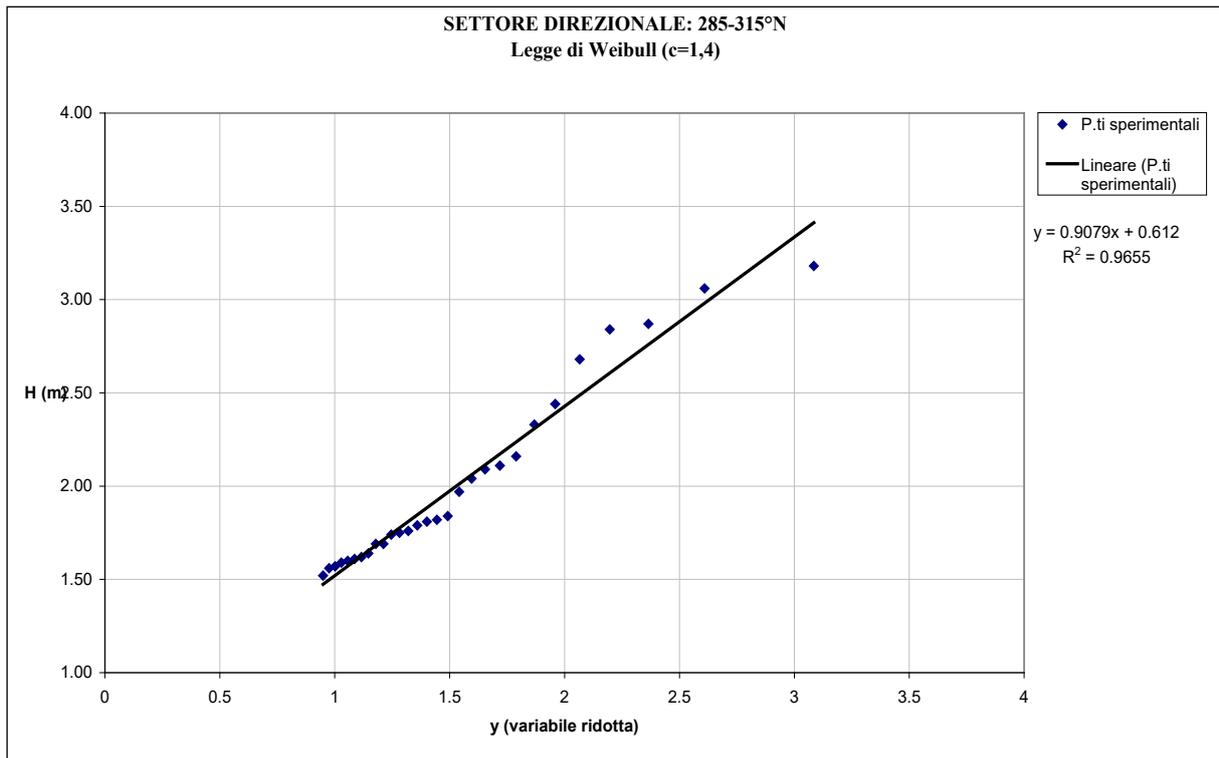


Figura 3.17 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 285°N-315°N.

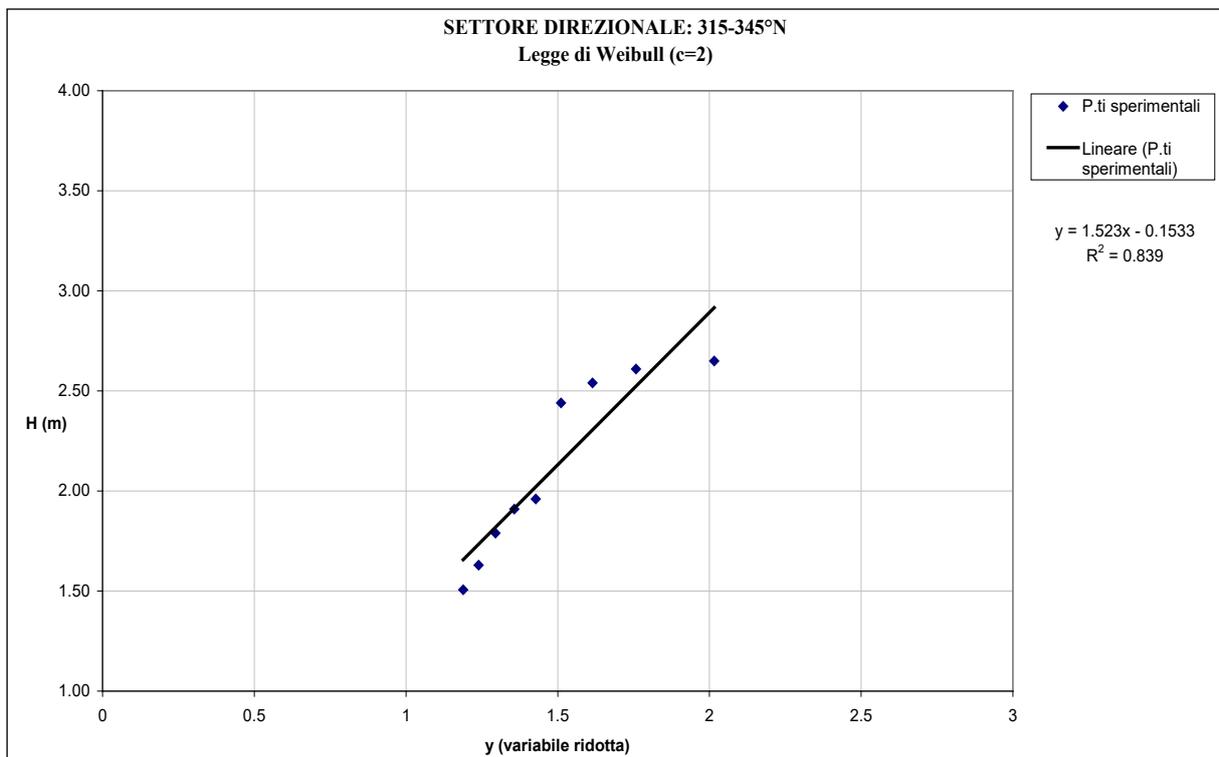


Figura 3.18 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 315°N-345°N.

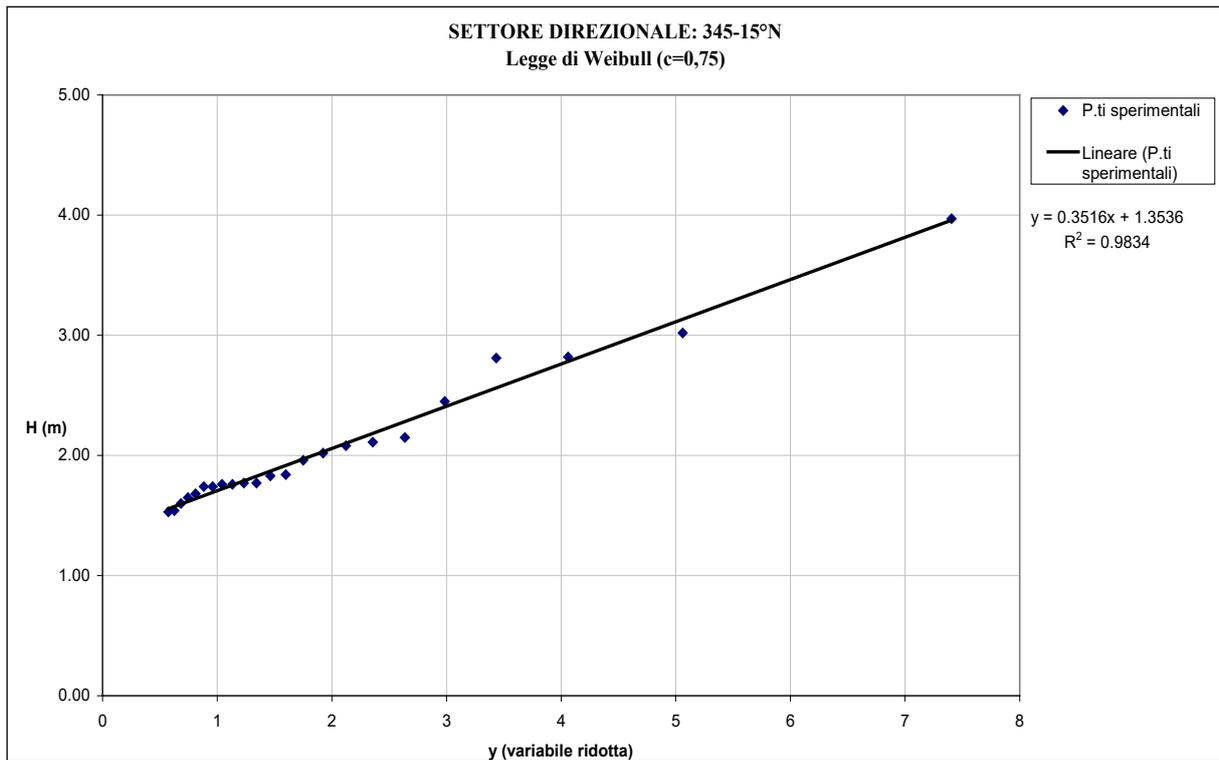


Figura 3.19 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 345°N-15°N.

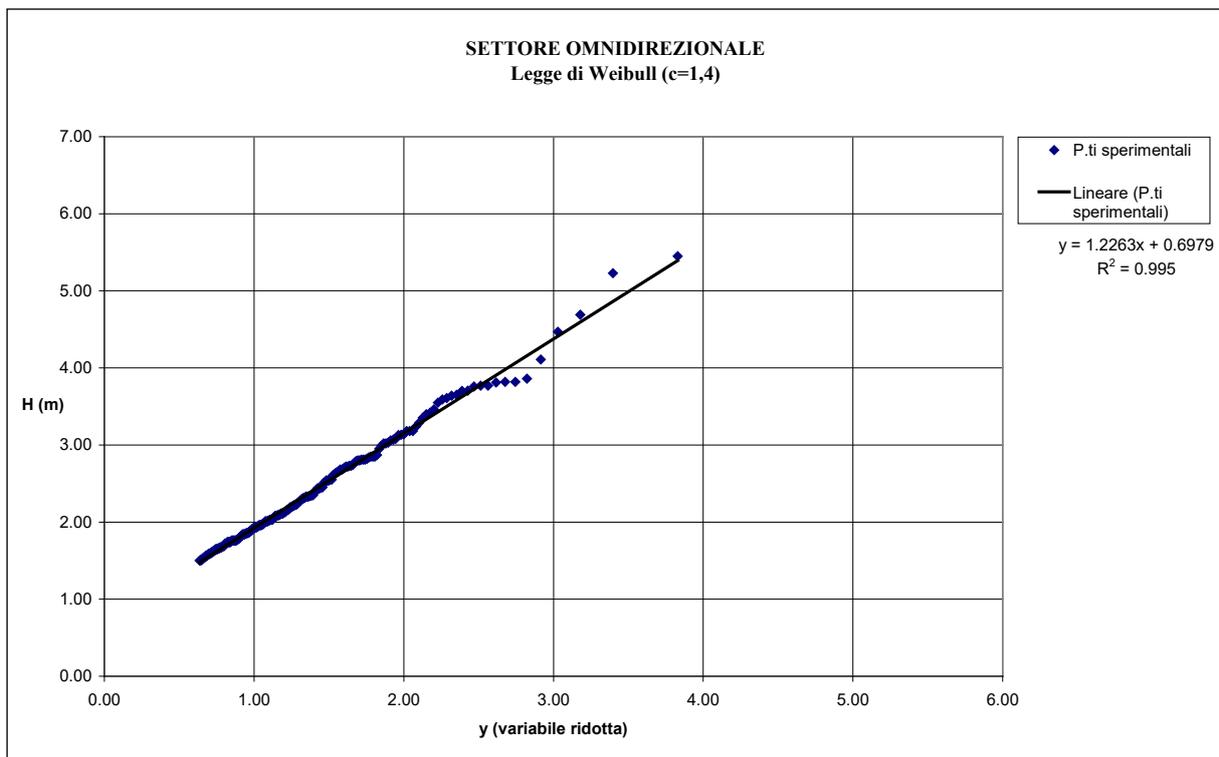


Figura 3.20 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore omni-direzionale.

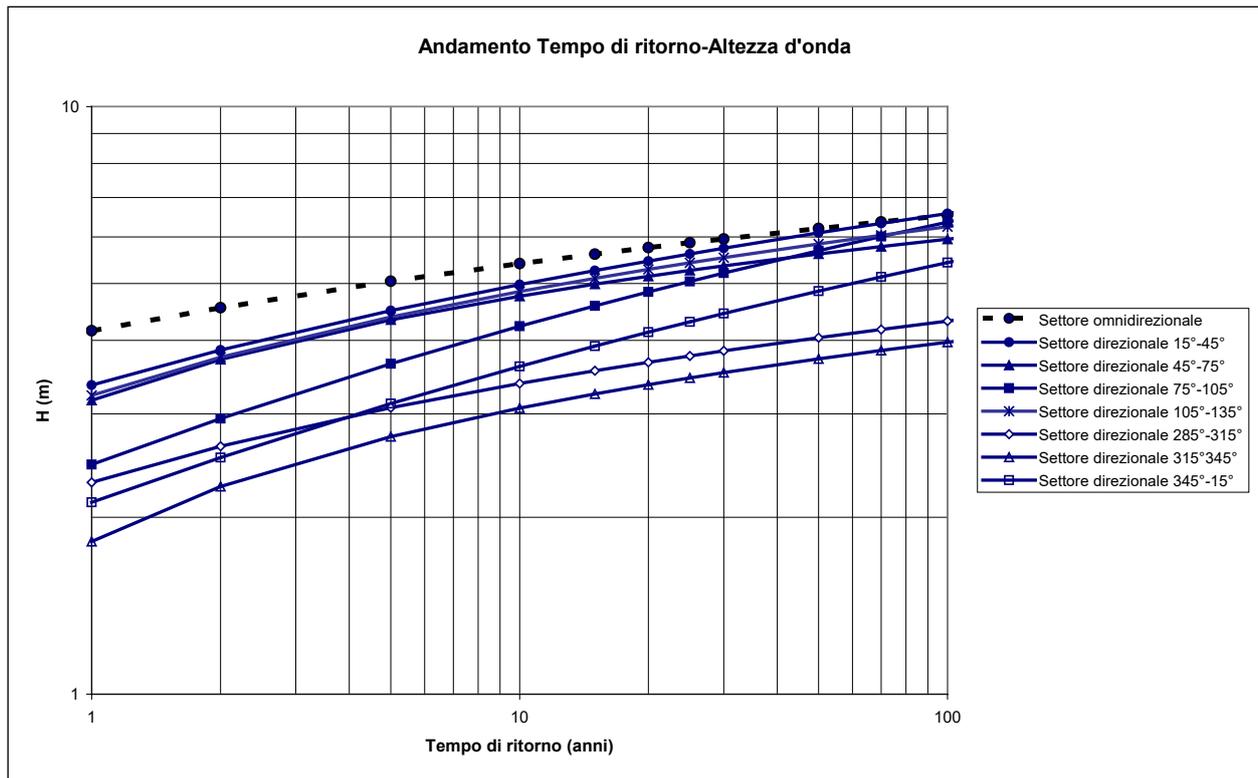


Figura 3.21 - Risultati dell'elaborazione in termini di tempo di ritorno da associare alle mareggiate.

Tabella 3.18 - Risultati dell'elaborazione dei dati ondosi estremi relativi ai 7 anni (marzo 1999-2006) per i settori direzionali esaminati.

Settore 15°-45°		
Gumbel		
TR	H	H _{corr}
1	3.356	3.358
2	3.849	3.852
5	4.491	4.495
10	4.973	4.978
15	5.255	5.260
20	5.454	5.460
25	5.609	5.615
30	5.735	5.741
50	6.089	6.096
70	6.322	6.329
100	6.569	6.576
140	6.802	6.810
150	6.850	6.858
200	7.049	7.057
300	7.330	7.338
500	7.684	7.692
1000	8.164	8.173

Settore 45°-75°		
Weibull (c=2)		
TR	H	H _{corr}
1	3.050	3.164
2	3.577	3.714
5	4.176	4.338
10	4.579	4.757
15	4.799	4.986
20	4.950	5.143
25	5.063	5.261
30	5.154	5.356
50	5.402	5.614
70	5.558	5.777
100	5.720	5.946
140	5.869	6.100
150	5.899	6.132
200	6.022	6.260
300	6.192	6.438
500	6.400	6.654
1000	6.672	6.937

Settore 75°-105°		
Weibull (c=0.75)		
TR	H	H _{corr}
1	2.474	2.460
2	2.978	2.944
5	3.714	3.651
10	4.315	4.228
15	4.683	4.581
20	4.950	4.837
25	5.161	5.040
30	5.335	5.207
50	5.834	5.687
70	6.171	6.010
100	6.535	6.359
140	6.884	6.694
150	6.956	6.764
200	7.260	7.056
300	7.724	7.501
500	8.255	8.011
1000	9.032	8.757

Settore 105°-135°		
Weibull (c=1.4)		
TR	H	H _{corr}
1	3.198	3.226
2	3.712	3.746
5	4.345	4.386
10	4.798	4.844
15	5.054	5.103
20	5.232	5.283
25	5.368	5.421
30	5.478	5.533
50	5.782	5.840
70	5.978	6.039
100	6.183	6.246
140	6.374	6.440
150	6.413	6.479
200	6.574	6.642
300	6.812	6.883
500	7.075	7.149
1000	7.445	7.523

Settore 285°-315°		
Weibull (c=1.4)		
TR	H	H _{corr}
1	2.275	2.292
2	2.621	2.643
5	3.045	3.073
10	3.347	3.379
15	3.518	3.552
20	3.636	3.672
25	3.727	3.764
30	3.801	3.839
50	4.003	4.044
70	4.133	4.176
100	4.270	4.315
140	4.397	4.443
150	4.422	4.469
200	4.529	4.578
300	4.678	4.728
500	4.862	4.915
1000	5.107	5.164

Settore 315°-345°		
Weibull (c=2)		
TR	H	H _{corr}
1	1.744	1.819
2	2.158	2.257
5	2.619	2.744
10	2.924	3.067
15	3.091	3.243
20	3.204	3.363
25	3.290	3.454
30	3.358	3.526
50	3.543	3.722
70	3.661	3.846
100	3.781	3.973
140	3.892	4.091
150	3.915	4.114
200	4.007	4.211
300	4.141	4.354
500	4.287	4.508
1000	4.489	4.722

Settore 345°-15°		
Weibull (c=0.75)		
TR	H	H _{corr}
1	2.129	2.122
2	2.552	2.528
5	3.174	3.124
10	3.683	3.613
15	3.995	3.912
20	4.222	4.130
25	4.402	4.302
30	4.550	4.445
50	4.976	4.853
70	5.263	5.129
100	5.573	5.426
140	5.871	5.712
150	5.933	5.772
200	6.193	6.021
300	6.589	6.401
500	7.043	6.837
1000	7.708	7.475

Settore OmniDir		
Weibull (c=1.4)		
TR	H	H _{corr}
1	4.157	4.154
2	4.551	4.547
5	5.047	5.044
10	5.409	5.404
15	5.615	5.610
20	5.759	5.754
25	5.870	5.865
30	5.960	5.955
50	6.208	6.203
70	6.369	6.364
100	6.538	6.532
140	6.696	6.690
150	6.728	6.722
200	6.861	6.855
300	7.046	7.040
500	7.277	7.271
1000	7.586	7.579

Come scritto in precedenza, la stessa procedura di elaborazione dei dati ondosi estremi di altezza d'onda è stata applicata anche alla serie di dati ondosi relativi al secondo periodo analizzato, quello che va dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013, per gli stessi settori direzionali presi in esame.

L'elaborazione dei dati ondosi estremi di altezza d'onda, relativamente a tale secondo periodo di osservazione, ha fornito i risultati riportati sinteticamente nella Tabella 3.19.

Tabella 3.19 - Risultati dell'elaborazione dei dati ondosi estremi relativi ai 4 anni (dic.2009-nov.2013) per i settori direzionali esaminati.

Settore 15°-45° Gumbel			Settore 45°-75° Weibull (c=1.4)			Settore 75°-105° Weibull (c=2)			Settore 105°-135° Weibull (c=2)		
TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}
1	3.622	3.637	1	2.558	2.600	1	3.343	3.627	1	4.141	4.287
2	4.096	4.115	2	3.283	3.338	2	4.411	4.751	2	4.733	4.897
5	4.718	4.742	5	4.163	4.236	5	5.651	6.055	5	5.443	5.628
10	5.186	5.215	10	4.787	4.871	10	6.496	6.943	10	5.938	6.138
15	5.459	5.490	15	5.138	5.229	15	6.961	7.432	15	6.213	6.421
20	5.653	5.686	20	5.382	5.477	20	7.280	7.767	20	6.403	6.617
25	5.804	5.838	25	5.568	5.667	25	7.521	8.021	25	6.547	6.766
30	5.926	5.962	30	5.719	5.821	30	7.715	8.224	30	6.664	6.885
50	6.271	6.309	50	6.133	6.243	50	8.242	8.778	50	6.981	7.212
70	6.497	6.538	70	6.400	6.516	70	8.577	9.131	70	7.184	7.421
100	6.737	6.780	100	6.679	6.800	100	8.923	9.495	100	7.394	7.638
140	6.964	7.009	140	6.938	7.064	140	9.242	9.830	140	7.589	7.838
150	7.011	7.055	150	6.991	7.118	150	9.306	9.898	150	7.628	7.879
200	7.204	7.251	200	7.209	7.340	200	9.572	10.177	200	7.790	8.046
300	7.477	7.526	300	7.513	7.650	300	9.961	10.586	300	8.029	8.292
500	7.821	7.873	500	7.888	8.032	500	10.385	11.032	500	8.290	8.561
1000	8.288	8.344	1000	8.388	8.541	1000	10.972	11.649	1000	8.652	8.934

Settore 285°-315° Weibull (c=0.75)			Settore 315°-345° Weibull (c=0.75)			Settore 345°-15° Weibull (c=2)			Settore OmniDir Weibull (c=1.4)		
TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}
1	2.590	2.574	1	2.184	2.186	1	2.666	2.749	1	4.902	4.898
2	2.966	2.934	2	2.691	2.670	2	2.978	3.073	2	5.370	5.366
5	3.497	3.442	5	3.417	3.364	5	3.345	3.455	5	5.964	5.959
10	3.922	3.849	10	4.003	3.923	10	3.598	3.718	10	6.397	6.392
15	4.179	4.095	15	4.359	4.263	15	3.737	3.864	15	6.645	6.640
20	4.365	4.272	20	4.617	4.510	20	3.834	3.964	20	6.819	6.813
25	4.511	4.412	25	4.820	4.704	25	3.906	4.039	25	6.952	6.947
30	4.632	4.528	30	4.988	4.864	30	3.965	4.100	30	7.061	7.055
50	4.976	4.857	50	5.467	5.323	50	4.125	4.266	50	7.360	7.354
70	5.207	5.078	70	5.790	5.631	70	4.226	4.372	70	7.555	7.549
100	5.456	5.316	100	6.138	5.963	100	4.332	4.482	100	7.760	7.753
140	5.694	5.543	140	6.471	6.282	140	4.429	4.583	140	7.950	7.943
150	5.743	5.590	150	6.540	6.348	150	4.448	4.603	150	7.989	7.982
200	5.950	5.788	200	6.830	6.625	200	4.529	4.687	200	8.150	8.143
300	6.245	6.071	300	7.272	7.047	300	4.648	4.811	300	8.375	8.368
500	6.624	6.433	500	7.777	7.530	500	4.778	4.946	500	8.656	8.648
1000	7.148	6.934	1000	8.515	8.235	1000	4.957	5.132	1000	9.030	9.022

Nelle precedenti tabelle ed in quelle successive, sono riportati affiancati i valori di altezza d'onda di primo tentativo e quelli corretti, che tengono conto della correzione dell'errore sistematico nella procedura di calcolo dei valori estremi.

Infine, come scritto in precedenza, la stessa procedura di elaborazione dei dati ondosi estremi di altezza d'onda è stata applicata anche al complesso dei dati ondosi relativi alle due serie dei due periodi analizzati (7+4 anni, dal 9 marzo 1999 al 9 marzo 2006 e dal 1 dicembre 2009 al 30

novembre 2013), come fossero considerati tutti i 7+4=11 anni globalmente assieme, per gli stessi settori direzionali presi in esame.

L'elaborazione dei dati ondosi estremi di altezza d'onda, relativamente a tale complesso di dati osservati, ha fornito i risultati riportati sinteticamente nella Tabella 3.20.

Tabella 3.20 - Risultati dell'elaborazione dei dati ondosi estremi relativi ai 7+4 anni (1999-2006 e 2009-2013) per i settori direzionali esaminati.

Settore 15°-45° Weibull (c=1.4)			Settore 45°-75° Weibull (c=2)			Settore 75°-105° Weibull (c=1)			Settore 105°-135° Weibull (c=2)		
TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}
1	3.970	3.988	1	2.916	3.014	1	2.787	2.784	1	3.894	3.983
2	4.368	4.390	2	3.483	3.600	2	3.504	3.500	2	4.443	4.543
5	4.861	4.887	5	4.129	4.267	5	4.452	4.446	5	5.092	5.207
10	5.215	5.244	10	4.563	4.716	10	5.169	5.162	10	5.540	5.665
15	5.416	5.447	15	4.800	4.962	15	5.589	5.580	15	5.789	5.919
20	5.556	5.588	20	4.963	5.130	20	5.887	5.877	20	5.960	6.094
25	5.663	5.696	25	5.086	5.257	25	6.118	6.108	25	6.090	6.226
30	5.749	5.783	30	5.184	5.358	30	6.306	6.296	30	6.194	6.333
50	5.988	6.024	50	5.451	5.634	50	6.835	6.824	50	6.479	6.624
70	6.143	6.180	70	5.620	5.809	70	7.183	7.171	70	6.660	6.809
100	6.305	6.343	100	5.795	5.990	100	7.552	7.539	100	6.848	7.001
140	6.455	6.495	140	5.955	6.156	140	7.900	7.887	140	7.021	7.178
150	6.486	6.526	150	5.988	6.189	150	7.972	7.958	150	7.056	7.214
200	6.613	6.654	200	6.121	6.327	200	8.269	8.255	200	7.201	7.362
300	6.789	6.832	300	6.305	6.518	300	8.716	8.701	300	7.413	7.579
500	7.008	7.053	500	6.529	6.749	500	9.218	9.201	500	7.645	7.816
1000	7.300	7.348	1000	6.823	7.053	1000	9.935	9.917	1000	7.967	8.145

Settore 285°-315° Weibull (c=2)			Settore 315°-345° Weibull (c=0.75)			Settore 345°-15° Gumbel			Settore OmniDir Gumbel		
TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}	TR	H	H _{corr}
1	2.473	2.525	1	1.892	1.907	1	2.410	2.417	1	4.360	4.330
2	2.792	2.852	2	2.293	2.289	2	2.784	2.795	2	4.870	4.830
5	3.169	3.239	5	2.874	2.845	5	3.269	3.285	5	5.540	5.500
10	3.428	3.504	10	3.348	3.297	10	3.632	3.651	10	6.040	6.000
15	3.572	3.652	15	3.637	3.573	15	3.844	3.865	15	6.340	6.290
20	3.671	3.753	20	3.847	3.774	20	3.994	4.017	20	6.550	6.500
25	3.746	3.830	25	4.013	3.932	25	4.110	4.134	25	6.710	6.660
30	3.806	3.891	30	4.150	4.063	30	4.205	4.230	30	6.850	6.790
50	3.970	4.059	50	4.542	4.438	50	4.471	4.499	50	7.220	7.160
70	4.074	4.167	70	4.807	4.691	70	4.647	4.675	70	7.460	7.400
100	4.183	4.278	100	5.092	4.963	100	4.832	4.863	100	7.720	7.660
140	4.282	4.380	140	5.366	5.225	140	5.007	5.039	140	7.970	7.900
150	4.302	4.401	150	5.423	5.279	150	5.043	5.076	150	8.020	7.950
200	4.386	4.486	200	5.662	5.507	200	5.193	5.227	200	8.230	8.160
300	4.500	4.604	300	6.025	5.855	300	5.417	5.453	300	8.530	8.450
500	4.641	4.748	500	6.442	6.253	500	5.669	5.708	500	8.900	8.820
1000	4.826	4.937	1000	7.051	6.835	1000	6.030	6.072	1000	9.410	9.320

3.7 Dati ondosi del NOAA

Il *NOAA WAVEWATCH III* (WW3) è un modello numerico meteomarinario globale di terza generazione di ricostruzione dello spettro in numero d'onda-direzione delle onde generate dal vento basato sulla risoluzione alle differenze finite dell'equazione del bilancio energetico. È stato sviluppato dall'ente statunitense *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) presso l'*Ocean Modeling Branch* dell'*Environmental Modeling Center* dei *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Questo modello calcola diversi parametri dello spettro ondoso bidimensionale: altezza d'onda significativa H_s , periodo di picco T_p , periodo medio T_m e le direzioni associate a tali periodi. Viene principalmente utilizzato per realizzare previsioni globali delle onde; è inoltre disponibile un archivio pubblico di rianalisi tipo *hindcast* che include i citati parametri ondosi spettrali, oltre a velocità e direzione del vento ad intervalli tri-orari.

L'implicita assunzione delle equazioni che governano questo modello è che le proprietà del mezzo (profondità dell'acqua, correnti), come lo stesso campo d'onda, variano nelle scale spaziali e temporali con un'intensità maggiore della variazione della singola onda. Questo implica che il modello può generalmente essere applicato su scale spaziali maggiori di 1-10 km fuori dalla zona dei frangenti. *WW3* può essere eseguito come un mosaico di griglie con risoluzioni diverse che interagiscono tra loro, questo permette di aumentare l'efficacia computazionale restringendo le zone ad alta risoluzione solo nelle aree in cui risulta necessario lo specifico dettaglio. Il dominio globale è separato in sedici griglie di calcolo di 3 differenti risoluzioni (bassa = 30', media = 10', alta = 4'). Il dominio spettrale risulta diviso in 50 frequenze (0.035-0.963 Hz) e 36 settori direzionali.

L'approccio di rianalisi di tipo *hindcast*, associato a questo tipo di modelli, permette di utilizzare, come confronto dei risultati calcolati dal modello, i dati di moto ondoso o di vento registrati per definire le condizioni ondose nell'area di interesse originando serie temporali al centro dei punti di griglia considerati tenendo un minimo conto degli effetti dell'abbassamento del fondale. Il modello viene forzato con il campo di vento derivante dal *Climate Forecast System Reanalysis* prodotto nel *National Centre for the Environmental Prediction* nel 2010. Nel caso in esame, in Adriatico, la rianalisi copre un periodo di oltre 31 anni dal 1979 al 2009.

In Figura 3.23 sono rappresentate la posizione della boa ondometrica R.O.N. al largo di Ancona e del punto di maglia considerato nel modello *WW3* (in posizione di coordinate geografiche 43,83°lat.N e 13,67°long.E corrispondente alle 43°49'48"lat.N e 13°40'12"long.E). Entrambi i punti si trovano ad una profondità sufficientemente elevata (circa 70 m) da potersi considerare in condizioni di "acque profonde", permettendo quindi un adeguato confronto e l'utilizzo dei dati, da queste derivati, come *input* per il modello di trasferimento ondoso adottato.

Name	Grid label	Latitude	Longitude	Resolution (lat x lon)
Global	glo_30m	90°S : 90°N	180°E : 180°W	1/2° x 1/2°
Arctic	ao_30m	55°N : 90°N	180°E : 180°W	1/2° x 1/2°
Mid-Globe	mid_30m	65°S : 65°N	180°E : 180°W	1/2° x 1/2°
Antarctic	ac_30m	90°S : 55°S	180°E : 180°W	1/2° x 1/2°
East Coast US	ecg_10m	0°N : 55°N	100°W : 50°W	1/6° x 1/6°
West Coast US	wc_10m	25°N : 50°N	150°W : 110°W	1/6° x 1/6°
Alaska	ak_10m	44°N : 75°N	140°E : 120°W	1/6° x 1/4°
Pacific Isl.	pi_10m	20°S : 30°N	130°E : 145°W	1/6° x 1/6°
Australia	oz_10m	50°S : 0°N	105°E : 165°E	1/6° x 1/6°
North Sea	nsb_10m	42°N : 75°N	28°W : 31°E	1/6° x 1/4°
Mediterranean	med_10m	30°S : 48°N	7°W : 43°E	1/6° x 1/6°
NW Indian O.	nwio_10m	20°S : 31°N	30°E : 70°E	1/6° x 1/6°
East Coast US	ecg_4m	15°N : 47°N	101°W : 60°W	1/15° x 1/15°
West Coast US	wc_4m	15°N : 50°N	165°W : 116°W	1/15° x 1/15°
Alaska	ak_4m	48°N : 74°N	165°E : 122°W	1/15° x 2/15°
Australia	oz_4m	50°S : 0°N	105°E : 165°E	1/15° x 1/15°
North Sea	nsb_4m	42°N : 68°N	28°W : 31°E	1/15° x 2/15°

Figura 3.22 - Particolari delle griglie a media ed alta risoluzione utilizzate nel modello WW3.

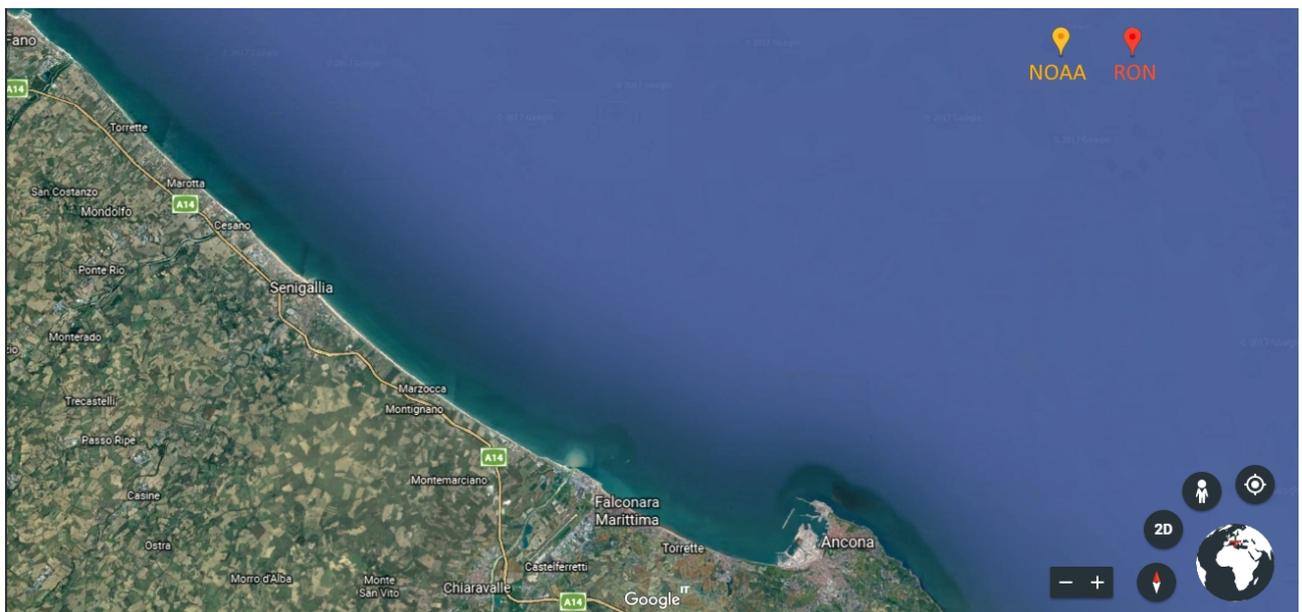


Figura 3.23 - Posizioni della boa ondometrica della R.O.N. e punto della maglia considerato nel modello WW3.

3.8 Analisi delle onde estreme per i dati NOAA

La determinazione delle mareggiate nella serie temporale derivante dal modello *WW3* non è avvenuta mediante una procedura “manuale” ma tramite l’utilizzo di un codice di calcolo

appositamente realizzato in ambiente *Matlab*. Il codice permette l'individuazione delle mareggiate seguendo le linee guida riportate nel paragrafo precedente.

Le fasi di calcolo risultano le seguenti:

- in una prima fase vengono individuati tutti i picchi sopra una soglia pari ad $H_s=1$ m;
- se vengono rilevati due picchi a meno di 12 ore di distanza l'uno dall'altro viene considerato solo il maggiore tra i due come se appartenessero alla stessa mareggiata;
- vengono individuati tutti i punti di minimo (interni ad un evento di mareggiata) che si trovano sopra la soglia pari ad $H_s=1$ m;
- si escludono gli eventuali picchi per i quali H_s non aumenti di almeno $0,5$ m rispetto al minimo sopra soglia precedentemente individuato.

In Figura 3.24 è riportato un esempio di funzionamento del codice in un periodo della serie temporale analizzata. La linea verde stabilisce la soglia di 1 m oltre la quale si vanno a ricercare i picchi delle mareggiate, le croci nere rappresentano i “minimi” sopra soglia e infine le croci rosse individuano i valori di altezza d’onda significativa associati alle mareggiate. Ad ogni valore di H_s viene inoltre associato un valore della direzione di provenienza θ (in basso nella figura) e del periodo di picco T_p (non riportato).

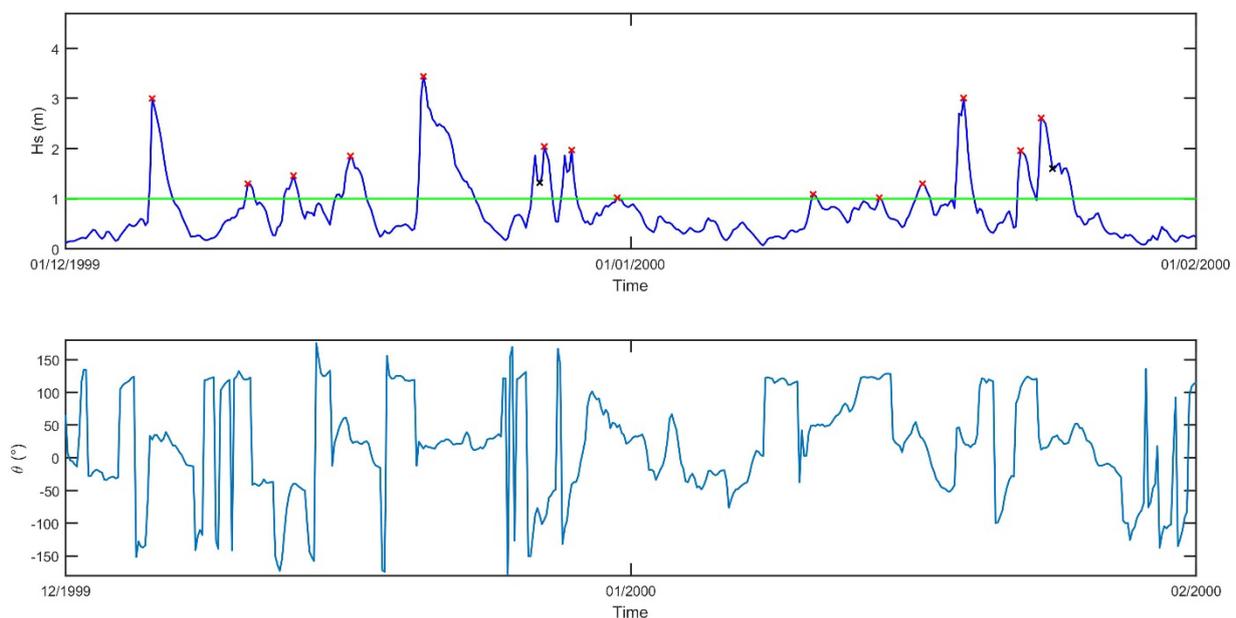


Figura 3.24 Esempio di applicazione del codice di calcolo per l'individuazione delle mareggiate.

I valori ottenuti da questa fase di riconoscimento vengono poi suddivisi in 12 settori direzionali di 30° ognuno in analogia alla procedura effettuata per i dati della Rete Ondametrica Nazionale.

Per ogni settore è stata effettuata un'analisi statistica con la distribuzione probabilistica di Weibull a tre parametri (che risulta fornire adattamenti statistici migliori rispetto a quella di Gumbel) in cui è

stato identificato l'andamento (associato al terzo parametro, k , della distribuzione) che meglio si adatta ai valori. Anche per quest'analisi degli estremi è stata applicata una soglia di troncamento fissata a 1,5 m. Un esempio dell'adattamento della distribuzione degli estremi con i valori NOAA è riportato in Figura 3.25 in cui tale distribuzione è applicata ai valori delle mareggiate appartenenti al settore con centro a 30°N. Per ogni settore viene determinato quale coefficiente determina il miglior adattamento (tramite il coefficiente di regressione r^2) e ad ogni tempo di ritorno si associa un valore di altezza d'onda significativa (linea gialla in figura).

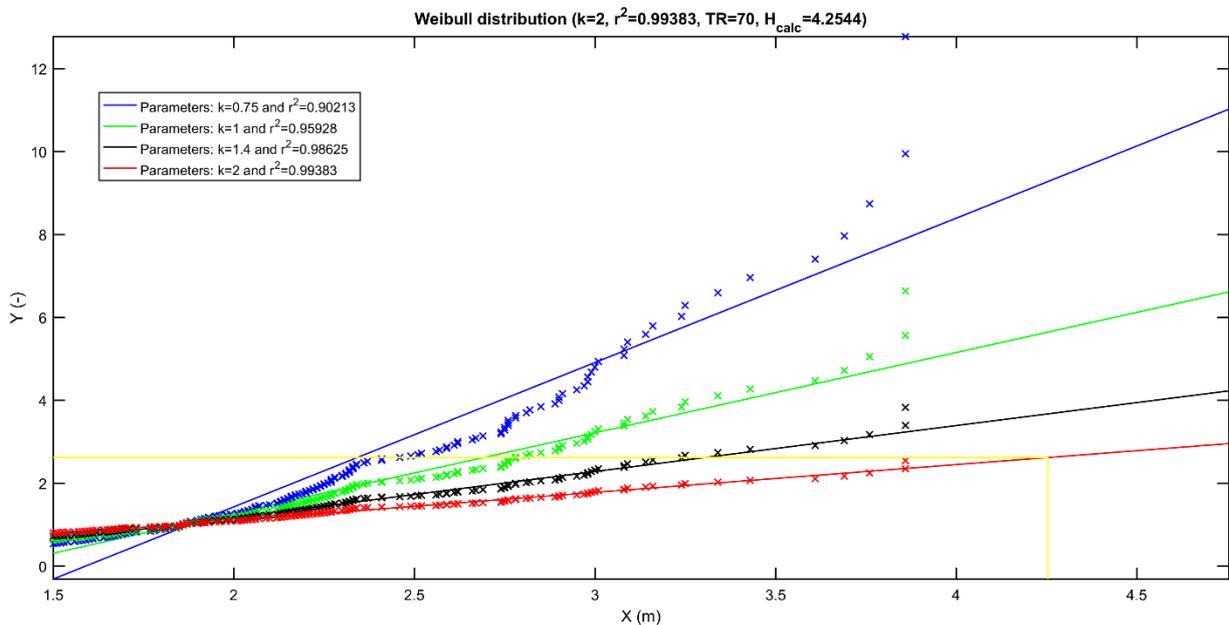


Figura 3.25 Analisi di Weibull per mareggiate provenienti dal settore 30°N.

I valori di altezza d'onda significativa associati ai diversi tempi di ritorno per ogni settore direzionale considerato possono essere riassunti nella Tabella 3.21. In tale tabella i valori di altezza d'onda corretta tengono conto della correzione dell'errore sistematico.

Tabella 3.21 - Valori di altezza d'onda significativa associata a diversi tempi di ritorno e corretta tenendo conto dell'errore sistematico.

Settore 345° - 15°			Settore 15° - 45°			Settore 45° - 75°			Settore 75° - 105°		
T_R	H	H_{corr}	T_R	H	H_{corr}	T_R	H	H_{corr}	T_R	H	H_{corr}
2	2.78	2.84	2	3.06	3.12	2	2.47	2.47	2	1.91	1.94
5	3.22	3.34	5	3.41	3.52	5	2.95	2.96	5	2.42	2.51
10	3.52	3.69	10	3.65	3.79	10	3.32	3.34	10	2.75	2.90
15	3.68	3.89	15	3.79	3.95	15	3.53	3.55	15	2.93	3.12
20	3.79	4.02	20	3.88	4.06	20	3.69	3.71	20	3.05	3.27
25	3.87	4.13	25	3.95	4.14	25	3.80	3.83	25	3.14	3.39
30	3.94	4.21	30	4.01	4.21	30	3.90	3.93	30	3.21	3.48
50	4.12	4.45	50	4.16	4.39	50	4.17	4.21	50	3.40	3.74
70	4.23	4.60	70	4.25	4.51	70	4.35	4.39	70	3.53	3.92
100	4.35	4.76	100	4.35	4.64	100	4.54	4.58	100	3.65	4.10
140	4.46	4.91	140	4.45	4.76	140	4.72	4.77	140	3.77	4.27
150	4.48	4.94	150	4.47	4.78	150	4.75	4.81	150	3.79	4.30
200	4.57	5.07	200	4.54	4.88	200	4.90	4.96	200	3.89	4.45
300	4.69	5.25	300	4.65	5.02	300	5.12	5.19	300	4.02	4.65
500	4.84	5.47	500	4.78	5.19	500	5.39	5.47	500	4.18	4.91
1000	5.04	5.77	1000	4.95	5.42	1000	5.76	5.85	1000	4.38	5.26

Settore 105° - 135°			Settore 285° - 315°			Settore 315° - 345°		
T_R	H	H_{corr}	T_R	H	H_{corr}	T_R	H	H_{corr}
2	3.02	3.04	2	1.66	1.66	2	1.84	1.87
5	3.51	3.54	5	1.69	1.69	5	2.26	2.33
10	3.88	3.91	10	1.72	1.72	10	2.53	2.65
15	4.10	4.14	15	1.73	1.73	15	2.68	2.83
20	4.25	4.30	20	1.75	1.75	20	2.78	2.96
25	4.37	4.42	25	1.76	1.76	25	2.86	3.05
30	4.47	4.52	30	1.76	1.76	30	2.92	3.13
50	4.74	4.80	50	1.79	1.79	50	3.08	3.35
70	4.92	4.99	70	1.80	1.80	70	3.19	3.49
100	5.11	5.19	100	1.82	1.82	100	3.29	3.64
140	5.29	5.37	140	1.84	1.84	140	3.39	3.78
150	5.33	5.41	150	1.84	1.84	150	3.41	3.81
200	5.48	5.57	200	1.85	1.85	200	3.49	3.93
300	5.70	5.80	300	1.88	1.88	300	3.60	4.10
500	5.97	6.09	500	1.90	1.90	500	3.74	4.31
1000	6.34	6.48	1000	1.94	1.94	1000	3.92	4.60

3.9 Confronto fra i dati ondosi R.O.N.-NOAA

Il principale vantaggio dell'utilizzo di un modello meteomarinò per la determinazione delle principali grandezze ondose risiede nell'elevato numero di dati a disposizione, senza perdite di disponibilità di intervalli temporali. La ricostruzione dei dati di vento in un periodo trentennale ha permesso di ricavare una serie temporale tri-oraria di una durata complessiva decisamente superiore a quella disponibile con le misurazioni dirette effettuate mediante boa ondometrica.

Il limite principale di tale metodologia, tuttavia, risiede proprio nella natura del dato stesso. Derivando dall'applicazione di modelli di trasferimento vento-onda, questo tipo di dati non riesce a rappresentare in modo adeguato i picchi principali delle mareggiate che vengono invece registrati dagli ondometri.

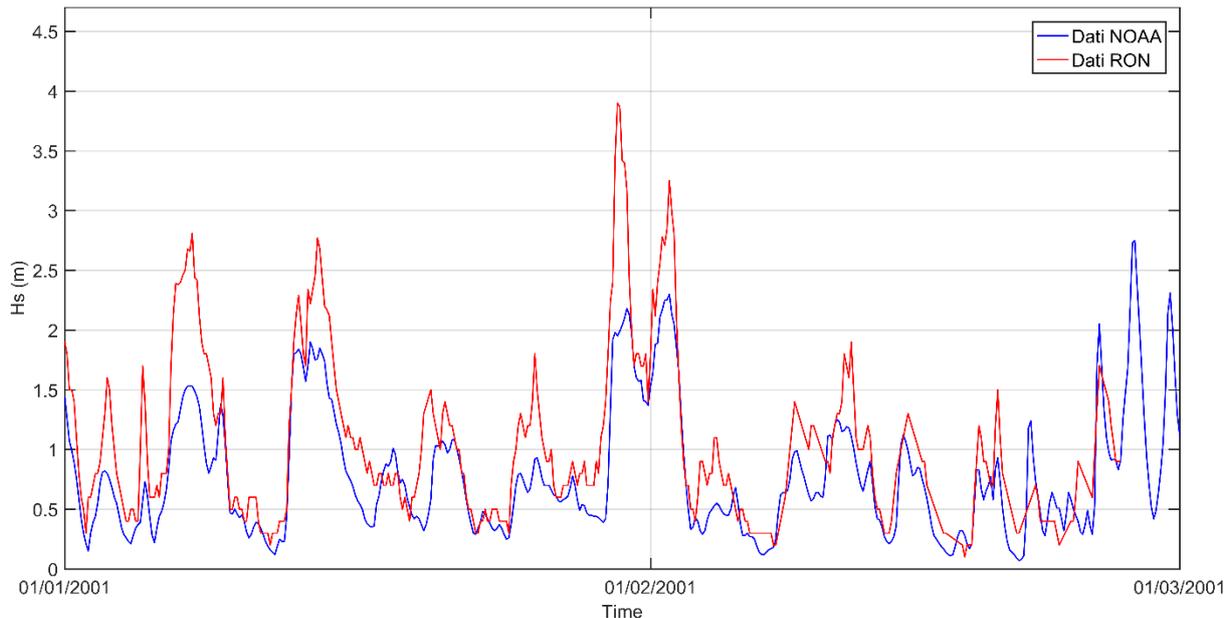


Figura 3.26 - Confronto tra le serie temporali NOAA e rilevamenti R.O.N. al largo di Ancona.

Come evidenziato in Figura 3.26, il confronto tra le serie temporali mostra un andamento delle altezze significative ricavate con misurazioni dirette tendenzialmente superiori a quelle calcolate dal modello WW3.

Per entrambe le fonti di dati è stato analizzato il rapporto tra l'altezza significativa e il periodo di picco ad essa associato.

L'interpolazione è stata fatta utilizzando una relazione del tipo:

$$T_p = a \sqrt{H_s}$$

Anche in questo caso è stata utilizzata una soglia di troncamento dei dati per la quale sono state considerate solamente le mareggiate con picchi maggiori di 1,5 m.

I valori ottenuti da tale analisi mostrano un sostanziale accordo tra le due tipologie di dati per i quali i valori di a ottenuti differiscono di poco. In accordo con quanto ci si potrebbe aspettare risultano dei valori maggiori nel settore proveniente da SudEst, ovvero quello associato al *fetch* maggiore in cui vengono registrati periodi ondosi più lunghi. La Tabella 3.2 riassume i valori dei coefficienti per associare ad ogni altezza significativa di ogni settore direzionale il corrispondente periodo di picco.

Nelle elaborazioni che seguono si è scelto di prendere in considerazione i set di dati registrati dalla boa R.O.N., avendo verificato che le altezze d'onda significative sono più elevate di quelle ricavate dal modello WW3.

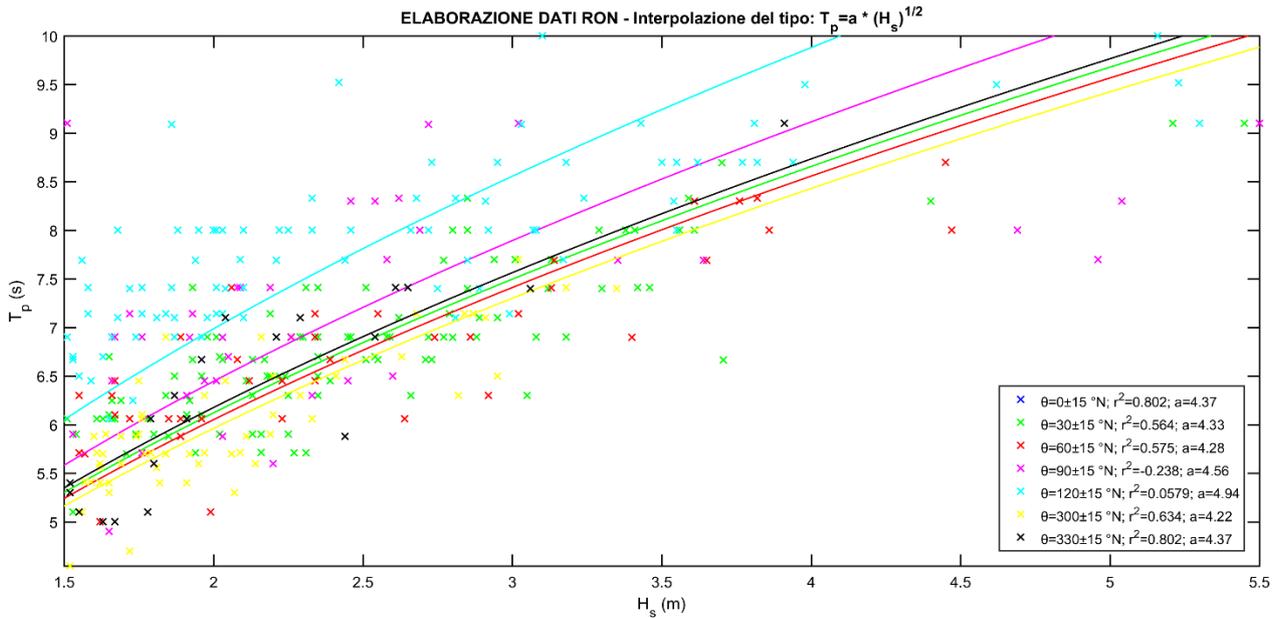


Figura 3.27 - Relazione tra H_s e T_p riferita ai dati R.O.N.

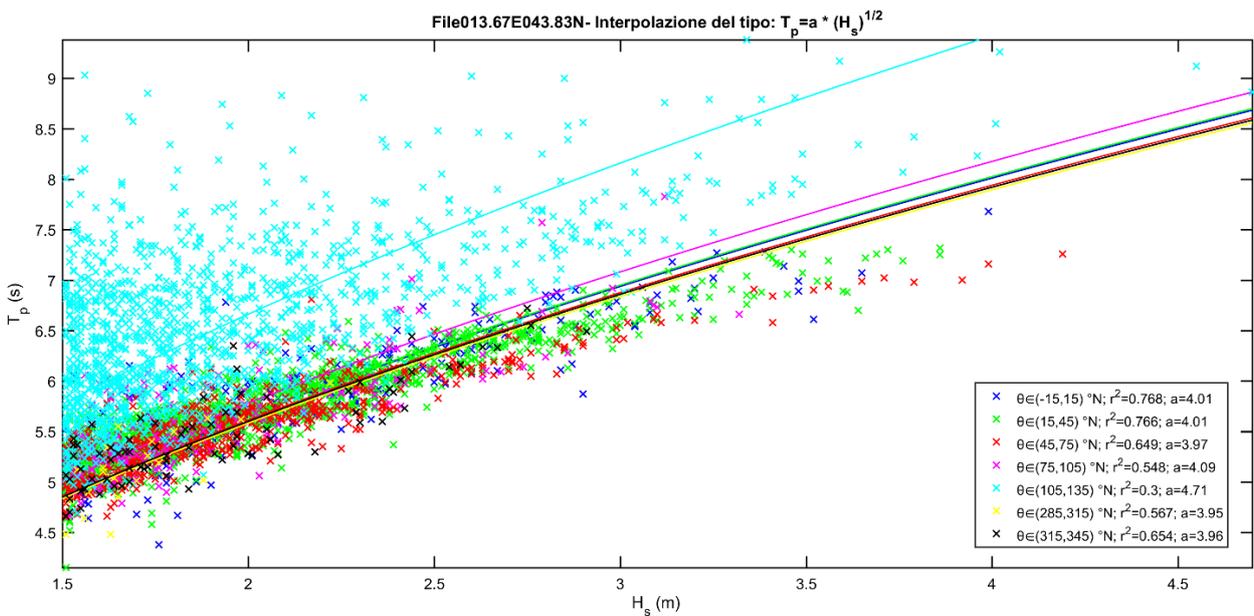


Figura 3.28 - Relazione tra H_s e T_p riferita ai dati NOAA.

Tabella 3.22 - Coefficienti "a" della relazione tra H_s e T_p riferiti ai dati NOAA e R.O.N.

Fonte dati	Coefficiente a nei diversi settori direzionali						
	345°- 15°	15°- 45°	45°- 75°	75°- 105°	105°- 135°	285°- 315°	315°- 345°
NOAA	4.01	4.01	3.97	4.09	4.71	3.95	3.96
R.O.N.	4.37	4.33	4.28	4.56	4.94	4.22	4.37

3.10 Fetch geografici ed efficaci per l'applicazione del metodo di trasposizione geografica dei dati ondosi

L'analisi dell'esposizione geografica di una stazione di misura del moto ondoso o di un sito costiero si basa sulla determinazione dei fetch geografici ed efficaci.

Il fetch geografico (F_w) indica la distesa di mare libero, ossia la distanza tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione.

Il fetch efficace o effettivo (F_e) invece denota l'estensione effettiva della porzione di mare sulla quale si esplica "effettivamente" l'azione di trasferimento energetico dal vento al moto ondoso. Il valore del fetch efficace relativo ad una determinata direzione è funzione anche dell'estensione dei fetch geografici associati alle direzioni contigue; in questo modo i fetch efficaci tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso contribuiscono, oltre alla superficie marina individuata nella direzione media lungo la quale spira il vento, anche le porzioni di mare calcolate dalle direzioni comprese in un settore di ampiezza fissata rispetto alla direzione media di azione del vento.

A partire dai diagrammi dei fetch geografici sono stati determinati quelli dei fetch efficaci. Fissata una direzione Φ_w , la lunghezza del corrispondente fetch efficace può essere valutata attraverso una media ponderata delle distanze geografiche relative alle direzioni comprese all'interno di un settore di ampiezza $90^\circ (\pm 45^\circ)$ a cavallo di quella considerata:

$$F_e = \frac{\sum_i F_{w,i} \cdot \cos^3(\Phi_i - \Phi_w)}{\sum_i \cos^2(\Phi_i - \Phi_w)}$$

in cui:

$F_{w,i}$ = lunghezza del fetch geografico lungo la i -esima direzione Φ_i ;

Φ_i = i -esima direzione, riferita al Nord geografico, compresa nel settore di ampiezza fissata, il cui relativo fetch geografico contribuisce alla determinazione di F_e ;

Φ_w = direzione media all'interno del settore di ampiezza prefissata di provenienza del vento responsabile della generazione del moto ondoso e per la quale si vuole valutare il relativo fetch efficace.

Di seguito vengono riportati i fetch geografici ed efficaci determinati per siti individuati al largo di Civitanova Marche e di Ancona (in corrispondenza della posizione dello strumento di rilievo ondoso di riferimento, della Rete Ondametrica Nazionale R.O.N.) ed un confronto fra tali fetch efficaci. Sono stati utilizzati i dati della rete R.O.N. perché, come emerso nel precedente paragrafo, si è verificato che le altezze d'onda significative sono superiori rispetto ai dati del NOAA.

Tabella 3.23 - Fetch geografici (F_w) ed efficaci (F_e) al largo di Civitanova Marche per ogni direzione geografica.

	direzione Fw °N	Fw (km)	Fe (km)			direzione Fw °N	Fw (km)	Fe (km)	
W	270	37.19	49.42			E	90	176.30	212.56
	275	38.35	57.04				95	178.82	228.02
	280	40.06	66.78				100	233.27	242.08
	285	42.22	78.04				105	195.05	254.08
	290	45.48	90.46				110	435.15	263.40
	295	48.55	103.88				115	486.10	269.61
	300	60.30	118.18				120	506.15	271.95
	305	176.79	130.81				125	522.00	270.78
	310	196.84	142.52				130	592.54	265.98
NW	315	217.51	153.76			SE	135	221.52	257.75
	320	216.10	162.70				140	206.99	246.20
	325	258.94	170.08				145	195.03	232.19
	330	270.61	175.43				150	183.23	215.31
	335	269.24	178.59				155	167.80	197.97
	340	271.27	179.58				160	152.61	175.69
	345	278.10	178.51				165	129.64	153.57
	350	185.20	175.35				170	110.76	132.75
	355	163.26	168.65				175	107.00	113.60
N	0	181.53	160.85			S	180	92.24	95.37
	5	129.16	152.34				185	82.88	86.14
	10	133.25	143.88				190	73.88	77.67
	15	124.49	134.97				195	65.27	69.95
	20	116.26	126.59				200	56.61	63.01
	25	111.90	119.57				205	51.16	56.94
	30	109.38	113.50				210	46.68	51.69
	35	105.57	108.85				215	42.95	47.40
	40	105.67	107.25				220	39.68	43.91
NE	45	101.22	107.36			SW	225	37.23	40.90
	50	100.01	108.02				230	36.12	38.58
	55	101.78	111.76				235	35.26	36.80
	60	105.90	115.43				240	34.64	35.54
	65	109.84	125.47				245	34.30	34.78
	70	130.03	138.85				250	34.23	34.50
	75	126.64	155.00				255	34.33	34.80
	80	145.33	173.78				260	34.79	38.14
	85	152.84	196.37				265	35.89	42.97

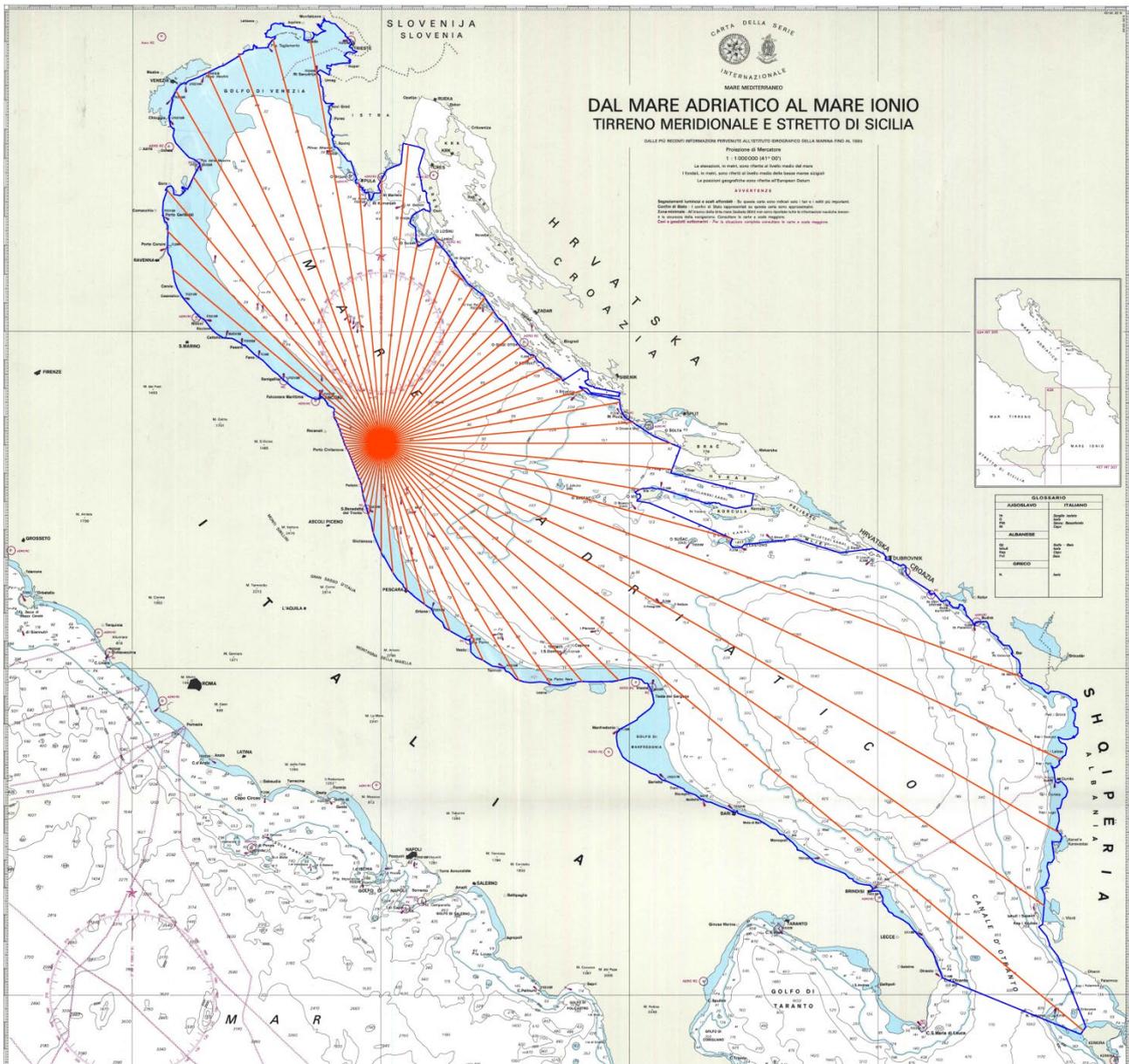


Figura 3.29 - Fetch geografici al largo di Civitanova Marche riportati su Carta Nautica con scala 1:1000000.

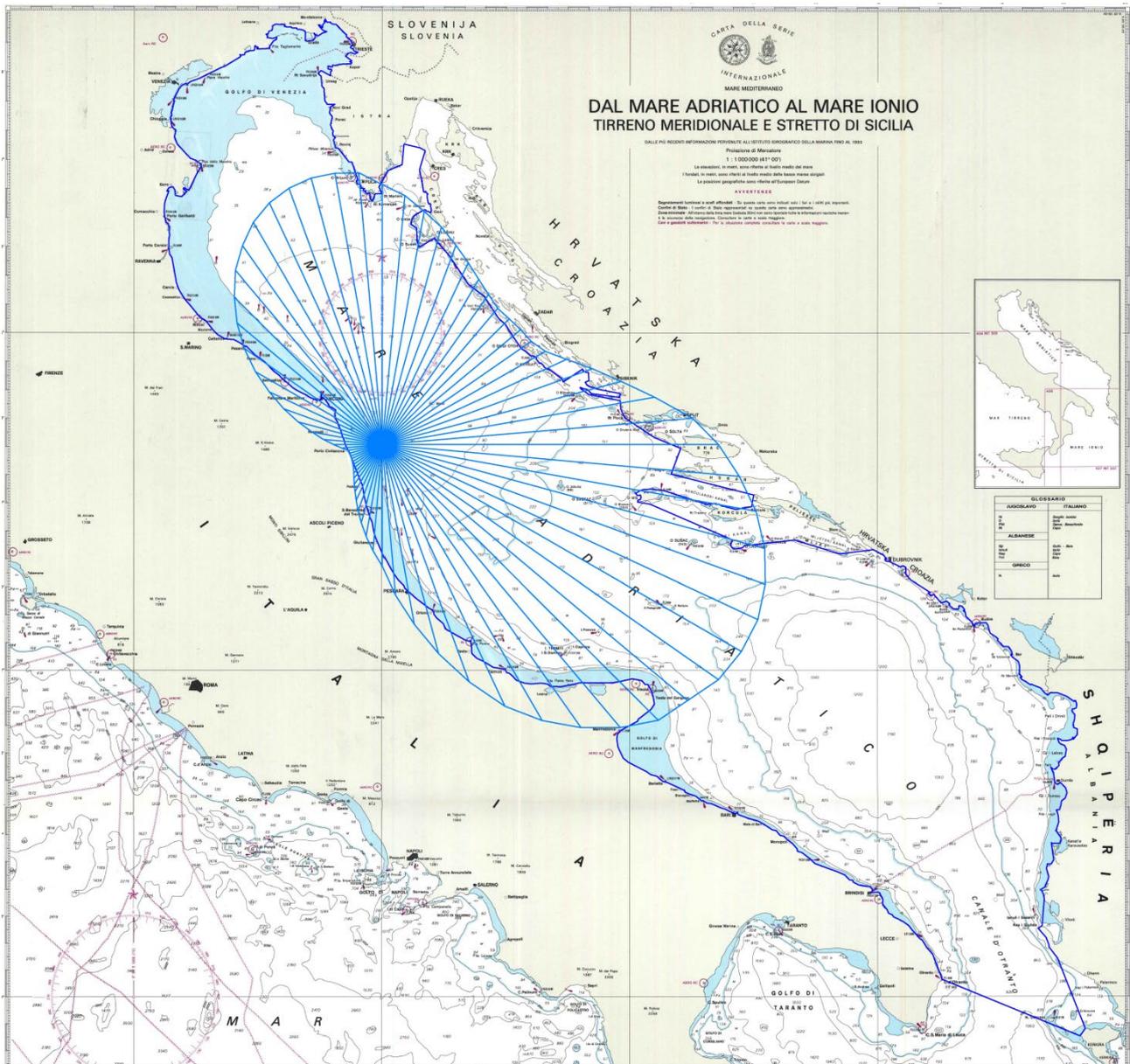


Figura 3.30 - Fetch efficaci al largo di Civitanova Marche riportati su Carta Nautica con scala 1:100000.

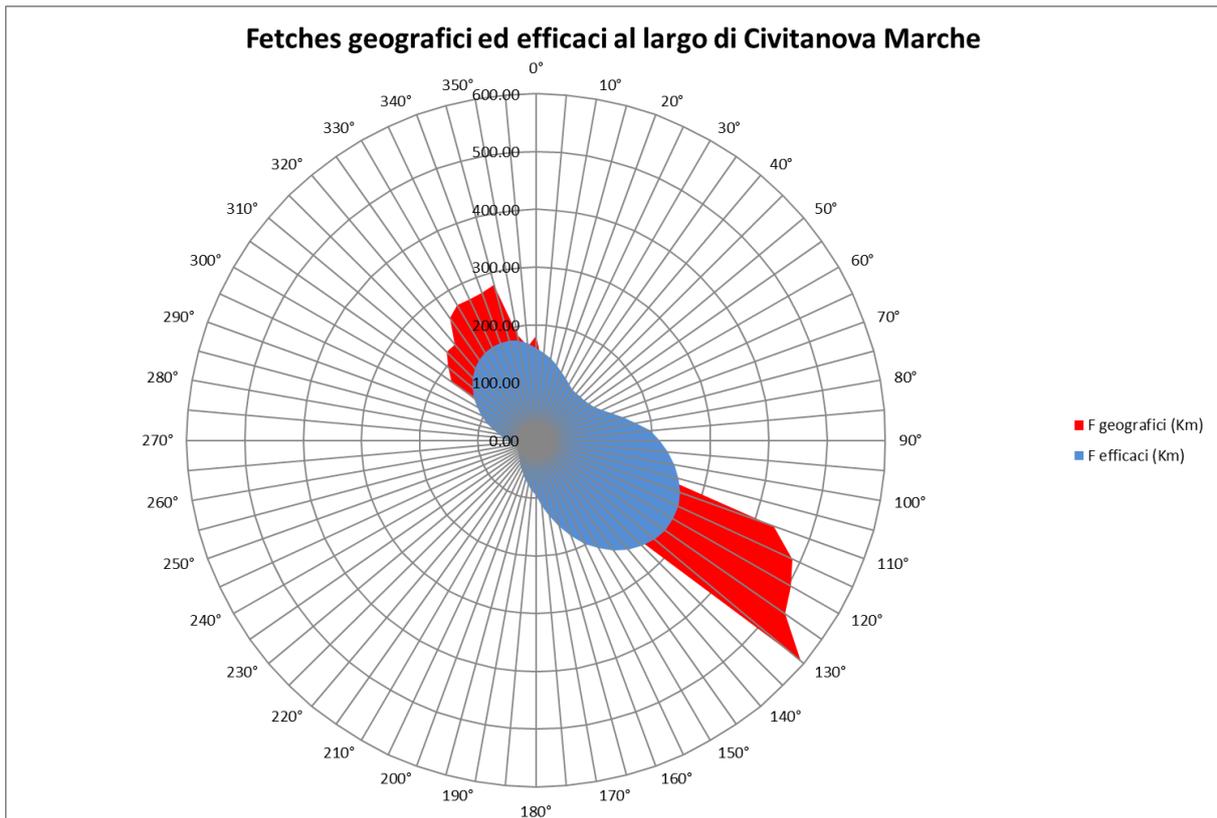


Figura 3.31 - Fetch geografici ed efficaci in km al largo di Civitanova Marche.

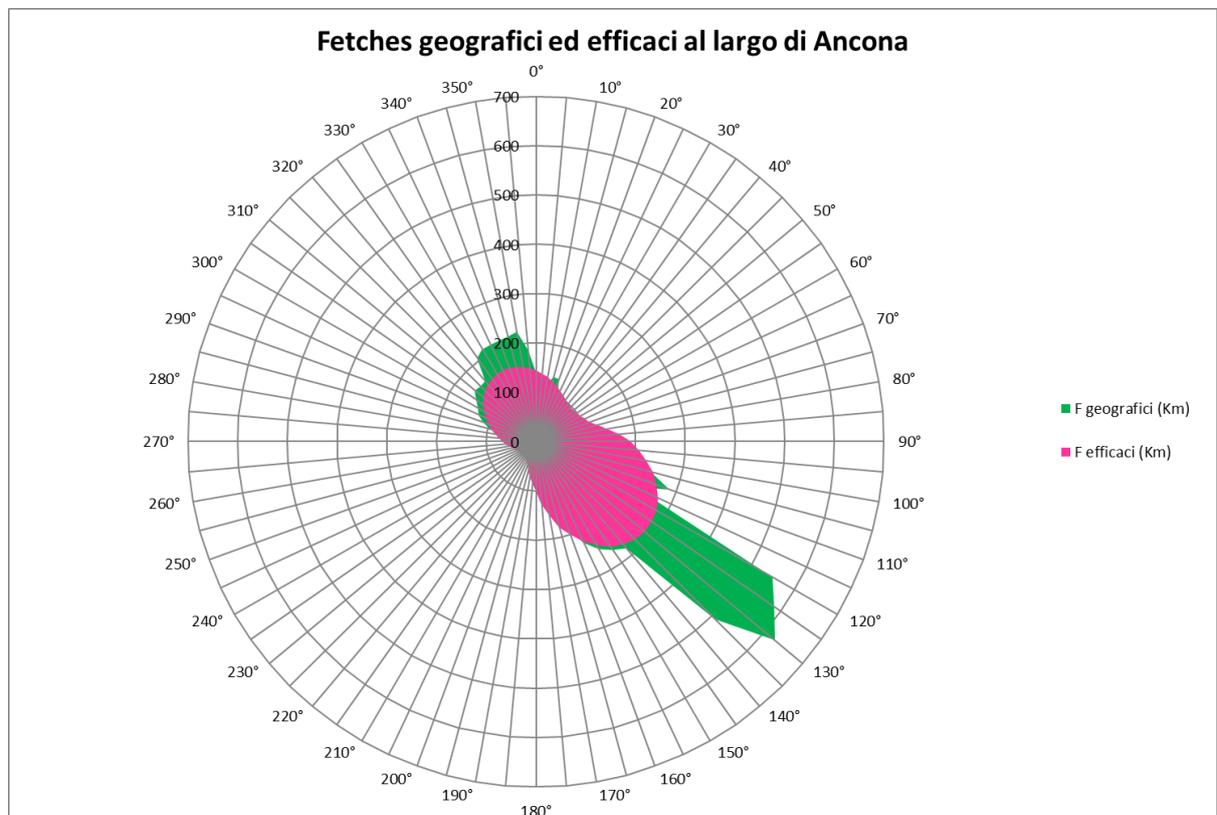


Figura 3.32 - Fetch geografici ed efficaci in km al largo di Ancona (sito di rilievo Rete Ondametrica Nazionale).

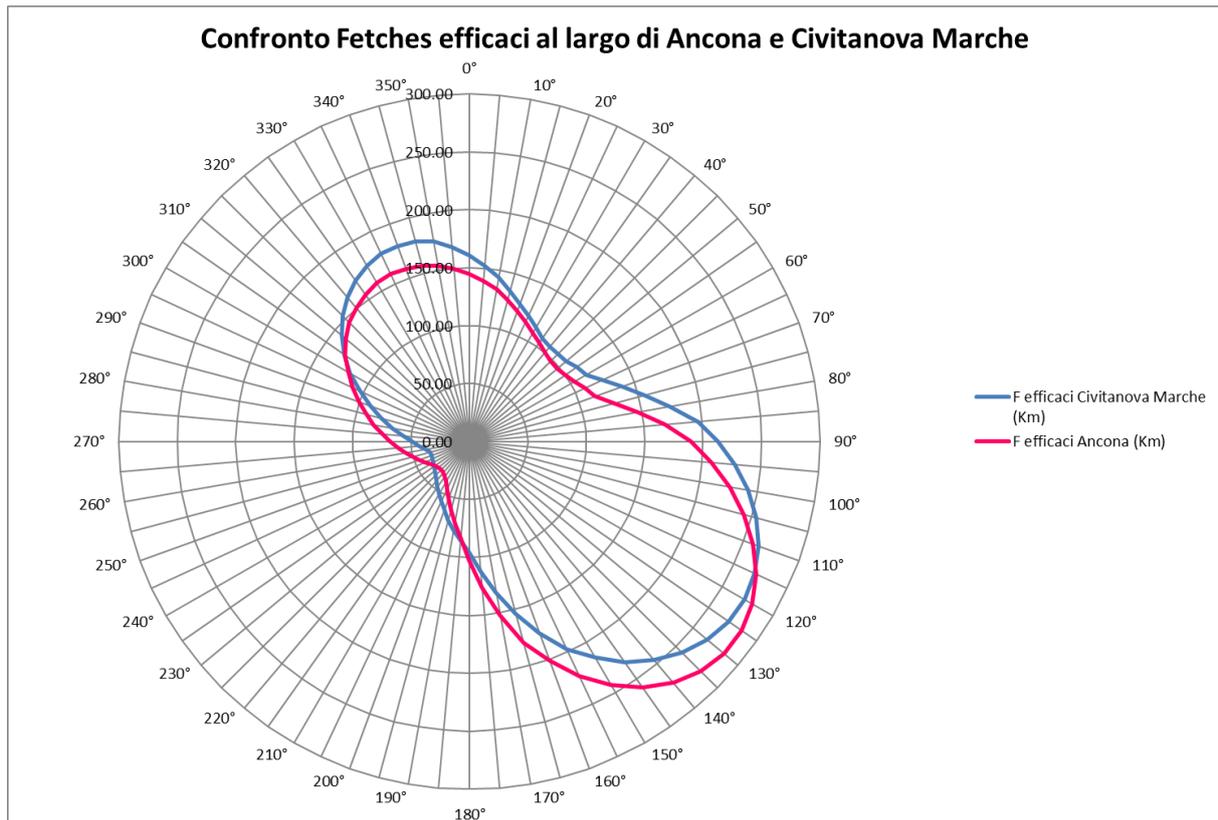


Figura 3.33 - Confronto fetch efficaci (in km) al largo di Civitanova Marche e Ancona.

Per caratterizzare il moto ondoso che investe il litorale di Civitanova Marche si fa quindi riferimento alle misure registrate dalla boa ondometrica della R.O.N posta al largo di Ancona, trasposte poi nel sito di interesse con il metodo di trasposizione geografica. Il punto di trasposizione al largo di Civitanova Marche è stato scelto a Est del porto in corrispondenza di una profondità di 70 m circa, in modo da avere caratteristiche geografico-meteorologiche analoghe a quelle della stazione ondometrica di Ancona.

L'ipotesi fondamentale alla base del metodo di trasposizione è che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione) che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro di riferimento abbiano interessato anche l'area di generazione al largo del sito di interesse. Si suppone inoltre che la direzione del moto ondoso sia correlata alla direzione del vento che lo ha generato. Il metodo stabilisce una corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relative al sito di registrazione ed a quello oggetto di studio. Nel caso di fetch limitati le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_s ed il relativo periodo di picco spettrale T_p in funzione della lunghezza del fetch considerato e della velocità del vento sono:

$$\frac{g \cdot H_s}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{g \cdot F_e}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \frac{g \cdot T_p}{U_A^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{g \cdot F_e}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

dove:

g = accelerazione di gravità;

U_A = *wind stress factor*, dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota di +10 m sul livello del mare;

F_e = lunghezza del fetch efficace relativo alla direzione prefissata.

Indicando con gli apici A e C rispettivamente le grandezze relative al punto di misura (Ancona) e al punto di trasposizione (Civitanova Marche) e fissata una direzione geografica dalla quale si ritenga spiri il vento, le relazioni precedenti permettono di trovare la corrispondenza ricercata tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto A e al punto C:

$$K_H = \frac{H_{S,C}}{H_{S,A}} = \left(\frac{F_{e,C}}{F_{e,A}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$K_T = \frac{T_{P,C}}{T_{P,A}} = \left(\frac{F_{e,C}}{F_{e,A}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Questi coefficienti di trasposizione geografica K_H e K_T sono stati ottenuti nell'ipotesi che il fattore di velocità del vento (U_A) sia lo stesso per i due punti in esame. Per ottenere H_s e T_p nel sito di interesse è sufficiente moltiplicare i dati registrati dalla stazione di misura per i valori di tali coefficienti relativi alla direzione a cui i dati si riferiscono.

3.11 Applicazione del metodo di trasposizione geografica

Avendo a disposizione la metodologia della trasposizione geografica dei dati ondosi, la caratterizzazione del moto ondoso agente sul sito marino al largo della costa di Civitanova Marche si può attuare mediante la trasposizione geografica di valori ondosi certi disponibili nel paraggio marino circostante. Per ricercare tali valori affidabili, si fa riferimento preferibilmente a dati ondosi effettivamente misurati direttamente nel paraggio marino circostante.

Nel caso in esame, si può far riferimento ai dati ondosi registrati dalle boe ondometriche della R.O.N. collocate al largo di Ancona o al largo di Ortona. Dopo aver effettuato un confronto di entrambe queste possibilità di fonti di dati ondosi certi a disposizione, si è verificato che i valori ondosi trasferiti al largo di Civitanova Marche che risultavano fornire maggiori garanzie di affidabilità erano quelli di Ancona. Pertanto, sono state adottate le misure ondometriche di Ancona, già descritte nei paragrafi precedenti, per trasferirle al largo di Civitanova Marche tramite il metodo di trasposizione geografica, anch'esso descritto in precedenza.

Come sopra riportato, il punto di trasposizione al largo di Civitanova Marche è stato scelto in corrispondenza di una profondità di 70 m, in modo da avere caratteristiche geografico-climatiche simili a quelle della stazione ondometrica di Ancona. In questo modo si rispettano le condizioni di

omogeneità della forzante del vento (in velocità e direzione) in grado di generare le condizioni di moto ondoso analoghe, nel senso dovute alle stesse condizioni meteomarine. Sotto tale ipotesi è possibile definire i coefficienti K_H e K_T i quali, moltiplicati per i valori di altezza e periodo relativi al largo di Ancona, permettono di stimare i corrispettivi valori trasposti al largo di Civitanova Marche.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'applicazione della procedura relativa al metodo di trasposizione geografica dei dati degli eventi estremi del moto ondoso a largo di Ancona per la stima delle altezze d'onda e periodi significativi di detti valori nel sito di trasposizione al largo del Porto di Civitanova Marche.

Nella Tabella 3.24 si riportano i valori dei fetches geografici ed efficaci (in km) per i siti individuati al largo di Ancona e di Civitanova Marche sia per settori direzionali di 5° di ampiezza sia quelli mediati ricavati sui settori di 30° di ampiezza, in modo da poterli associare, nelle procedure di calcolo sulle caratteristiche ondose relative alla trasposizione, ai valori ondosi estremi calcolati, per il sito ondometrico di Ancona, per settori di 30° di ampiezza.

Noti i fetches efficaci nel punto riferibile alle misure ondose (Ancona) e nel punto di trasposizione (Civitanova Marche) per i diversi settori considerati, si sono calcolati i coefficienti di trasposizione geografica K_H e K_T secondo le relazioni descritte in precedenza, ipotizzando che il fattore di velocità del vento (U_A) sia lo stesso per i due punti in esame (cioè che siano soggetti allo stesso tipo di evento anemometrico). I calcoli dei fetch efficaci e medi sono stati effettuati sia per i settori ampi 5° che per i settori direzionali ampi 30° (i risultati sono riportati in Figura 3.24). I valori dei coefficienti di trasposizione geografica K_H e K_T dal sito al largo di Ancona a quello al largo di Civitanova Marche riportati in Tabella 3.25 per settori direzionali ampi 30° .

I coefficienti K_H e K_T moltiplicati per i rispettivi valori di altezza d'onda e periodo elaborati ad Ancona consentono di ricavare le altezze d'onda e i periodi trasposti a Civitanova Marche per ogni settore considerato. Nella Tabella 3.26 si riportano i risultati dei calcoli della trasposizione geografica, a titolo di esempio, per una serie di altezze e corrispondenti periodi ondosi, per ciascun settore direzionale di 30° .

Si è quindi proceduto all'applicazione del metodo della trasposizione geografica dei valori ondosi estremi dal sito al largo di Ancona a quello al largo di Civitanova Marche, attraverso l'utilizzo dei coefficienti K_H e K_T ottenuti come suddetto. Nella Tabella 3.27 e nella Tabella 3.28 si riportano i valori di altezza d'onda e dei periodi ondosi di picco trasposti al largo di Civitanova Marche, calcolati per ogni settore direzionale.

Tabella 3.24 - Valori dei fetch efficaci al largo di Ancona e di Civitanova Marche per settori di 5° e mediati a 30°.

Ancona						Civitanova Marche					
	direzione Φ_w °N	F_w (km)	F_e (km)	Fe medio settori (km)	settori		direzione Φ_w °N	F_w (km)	F_e (km)	Fe medio settori (km)	settori
N	0	138.22	144.59	146.17	345-15	N	0	181.53	160.85	163.26	345-15
	5	117.98	139.03				5	129.16	152.34		
	10	115.56	133.17				10	133.25	143.88		
	15	135.93	126.47	112.23	15-45		15	124.49	134.97	118.45	15-45
	20	135.28	119.96				20	116.26	126.59		
	25	102.63	113.94				25	111.90	119.57		
	30	99.63	108.61				30	109.38	113.50		
	35	102.61	104.07				35	105.57	108.85		
	40	101.39	100.31				40	105.67	107.25		
	NE	45	98.68	98.30	103.86		45-75	NE	45	101.22	107.36
50		95.10	98.14			50	100.01		108.02		
55		96.72	99.91			55	101.78		111.76		
60		100.57	103.61			60	105.90		115.43		
65		103.08	108.99			65	109.84		125.47		
70		102.45	114.20			70	130.03		138.85		
75		108.61	128.54	177.86	75-105	75	126.64		155.00	201.30	75-105
80		112.60	146.38			80	145.33		173.78		
85		117.97	167.96			85	152.84		196.37		
E		90	127.21	189.72			E		90	176.30	212.56
	95	142.34	208.18			95		178.82	228.02		
	100	188.75	226.35			100		233.27	242.08		
	105	241.41	243.46	270.29	105-135	105		195.05	254.08	265.97	105-135
	110	286.16	258.58			110		435.15	263.40		
	115	219.60	270.79			115		486.10	269.61		
	120	550.00	279.72			120		506.15	271.95		
	125	584.43	284.59			125		522.00	270.78		
	130	626.80	284.60			130		592.54	265.98		
	SE	135	508.55	280.31	246.31	135-165		SE	135	221.52	257.75
140		283.07	271.75			140	206.99		246.20		
145		267.32	259.24			145	195.03		232.19		
150		252.37	242.69			150	183.23		215.31		
155		226.70	222.93			155	167.80		197.97		
160		188.55	200.96			160	152.61		175.69		
165		161.02	179.61	119.51	165-195	165	129.64		153.57	109.85	165-195
170		126.32	152.29			170	110.76		132.75		
175		72.30	126.57			175	107.00		113.60		
S		180	57.73	102.76			S		180	92.24	95.37
	185	45.81	84.06			185		82.88	86.14		
	190	39.90	71.79			190		73.88	77.67		
	195	32.82	61.18	44.98	195-225	195		65.27	69.95	55.48	195-225
	200	32.45	52.24			200		56.61	63.01		
	205	30.38	45.17			205		51.16	56.94		
	210	29.30	40.07			210		46.68	51.69		
	215	30.19	36.57			215		42.95	47.40		
	220	33.42	34.65			220		39.68	43.91		
	SW	225	34.45	34.44	38.61	225-255		SW	225	37.23	40.90
230		35.28	35.01			230	36.12		38.58		
235		36.74	36.34			235	35.26		36.80		
240		38.62	38.58			240	34.64		35.54		
245		40.52	41.70			245	34.30		34.78		
250		42.21	45.56			250	34.23		34.50		
255		44.81	50.12	65.42	255-285	255	34.33		34.80	48.19	255-285
260		47.50	55.41			260	34.79		38.14		
265		51.20	61.46			265	35.89		42.97		
W		270	55.27	67.89			W		270	37.19	49.42
	275	62.61	74.72			275		38.35	57.04		
	280	72.81	82.89			280		40.06	66.78		
	285	95.89	91.72	115.18	285-315	285		42.22	78.04	110.65	285-315
	290	112.75	100.92			290		45.48	90.46		
	295	126.94	110.39			295		48.55	103.88		
	300	135.70	120.01			300		60.30	118.18		
	305	146.43	129.71			305		176.79	130.81		
	310	160.76	138.33			310		196.84	142.52		
	NW	315	158.40	145.26	154.46	315-345		NW	315	217.51	153.76
320		160.00	150.70			320	216.10		162.70		
325		205.94	154.76			325	258.94		170.08		
330		216.26	157.85			330	270.61		175.43		
335		216.23	159.36			335	269.24		178.59		
340		218.47	158.80			340	271.27		179.58		
345		219.65	156.82			345	278.10		178.51		
350		225.97	153.76			350	185.20		175.35		
355		186.40	149.66			355	163.26		168.65		

Tabella 3.25 - Valori dei coefficienti di trasposizione per altezza e periodo ondosi dal sito al largo di Ancona a quello al largo di Civitanova Marche mediati per settori di 30°.

	<i>KH</i>	<i>KT</i>
345-15	1.057	1.038
15-45	1.027	1.018
45-75	1.065	1.043
75-105	1.064	1.042
105-135	0.992	0.995
135-165	0.947	0.964
165-195	0.959	0.972
195-225	1.111	1.072
225-255	0.977	0.985
255-285	0.858	0.903
285-315	0.980	0.987
315-345	1.049	1.033

Tabella 3.26 - Valori ondosi di trasposizione per una serie di dati di altezze e corrispondenti periodi ondosi, per ciascun settore direzionale di 30° di ampiezza, dal sito al largo di Ancona a quello al largo di Civitanova Marche.

	<i>H_{AN}</i> (m)	<i>H_{CVT}</i> (m)	<i>T_{AN}</i> (s)	<i>T_{CVT}</i> (s)
345-15	0.500	0.528	4.093	4.247
	1.500	1.585	5.410	5.613
	2.500	2.642	6.158	6.389
	3.500	3.699	6.707	6.959
	4.500	4.756	7.148	7.416
15-45	0.500	0.514	4.350	4.429
	1.500	1.541	5.568	5.669
	2.500	2.568	6.240	6.353
	3.500	3.596	6.725	6.847
	4.500	4.623	7.111	7.240
45-75	0.500	0.533	4.372	4.560
	1.500	1.598	5.702	5.947
	2.500	2.663	6.442	6.719
	3.500	3.728	6.979	7.279
	4.500	4.793	7.407	7.725
75-105	0.500	0.532	4.576	4.769
	1.500	1.596	5.846	6.092
	2.500	2.660	6.519	6.794
	3.500	3.724	6.999	7.294
	4.500	4.787	7.380	7.691
105-135	0.500	0.496	4.327	4.304
	1.500	1.488	6.078	6.045
	2.500	2.480	7.116	7.078
	3.500	3.472	7.895	7.853
	4.500	4.464	8.531	8.485

Tabella 3.27 - Valori delle altezze d'onda estreme ottenuti al largo di Ancona e dei corrispondenti valori trasposti al largo di Civitanova Marche per i principali settori direzionale di traversia di 30° di ampiezza.

Settore 15°-45°			Settore 45°-75°			Settore 75°-105°			Settore 105°-135°		
15-45			45-75			75-105			105-135		
Weibull (c=1.4)			Weibull (c=2)			Weibull (c=1)			Weibull (c=2)		
1.027			1.065			1.064			0.992		
TR	Hcorr_AN	Hcorr_Civ	TR	Hcorr_AN	Hcorr_Civ	TR	Hcorr_AN	Hcorr_Civ	TR	Hcorr_AN	Hcorr_Civ
1	3.988	4.097	1	3.014	3.210	1	2.784	2.962	1	3.983	3.951
2	4.390	4.510	2	3.600	3.834	2	3.500	3.724	2	4.543	4.507
5	4.887	5.021	5	4.267	4.545	5	4.446	4.730	5	5.207	5.165
10	5.244	5.387	10	4.716	5.023	10	5.162	5.492	10	5.665	5.620
15	5.447	5.596	15	4.962	5.285	15	5.580	5.936	15	5.919	5.872
20	5.588	5.741	20	5.130	5.464	20	5.877	6.252	20	6.094	6.045
25	5.696	5.852	25	5.257	5.599	25	6.108	6.498	25	6.226	6.176
30	5.783	5.941	30	5.358	5.707	30	6.296	6.698	30	6.333	6.282
50	6.024	6.189	50	5.634	6.001	50	6.824	7.260	50	6.624	6.571
70	6.180	6.349	70	5.809	6.187	70	7.171	7.629	70	6.809	6.754
100	6.343	6.517	100	5.990	6.380	100	7.539	8.021	100	7.001	6.945
140	6.495	6.673	140	6.156	6.557	140	7.887	8.391	140	7.178	7.120
150	6.526	6.705	150	6.189	6.592	150	7.958	8.466	150	7.214	7.156
200	6.654	6.836	200	6.327	6.739	200	8.255	8.782	200	7.362	7.303
300	6.832	7.019	300	6.518	6.942	300	8.701	9.257	300	7.579	7.518
500	7.053	7.246	500	6.749	7.188	500	9.201	9.789	500	7.816	7.753
1000	7.348	7.549	1000	7.053	7.512	1000	9.917	10.550	1000	8.145	8.080

Settore 285°-315°			Settore 315°-345°			Settore 345°-15°		
285-315			315-345			345-15		
Weibull (c=2)			Weibull (c=0.75)			Gumbel		
0.980			1.049			1.057		
TR	Hcorr_AN	Hcorr_Civ	TR	Hcorr_AN	Hcorr_Civ	TR	Hcorr_AN	Hcorr_Civ
1	2.525	2.475	1	1.907	2.001	1	2.417	2.554
2	2.852	2.795	2	2.289	2.402	2	2.795	2.954
5	3.239	3.175	5	2.845	2.985	5	3.285	3.472
10	3.504	3.434	10	3.297	3.459	10	3.651	3.859
15	3.652	3.579	15	3.573	3.749	15	3.865	4.085
20	3.753	3.678	20	3.774	3.960	20	4.017	4.245
25	3.830	3.754	25	3.932	4.125	25	4.134	4.369
30	3.891	3.814	30	4.063	4.263	30	4.230	4.470
50	4.059	3.978	50	4.438	4.656	50	4.499	4.755
70	4.167	4.084	70	4.691	4.922	70	4.675	4.941
100	4.278	4.193	100	4.963	5.207	100	4.863	5.139
140	4.380	4.293	140	5.225	5.482	140	5.039	5.325
150	4.401	4.314	150	5.279	5.539	150	5.076	5.365
200	4.486	4.397	200	5.507	5.778	200	5.227	5.524
300	4.604	4.513	300	5.855	6.143	300	5.453	5.763
500	4.748	4.654	500	6.253	6.561	500	5.708	6.033
1000	4.937	4.839	1000	6.835	7.171	1000	6.072	6.417

Tabella 3.28 - Valori dei periodi di picco ottenuti dalle altezze d'onda estreme al largo di Ancona e dei corrispondenti valori trasposti al largo di Civitanova Marche per i principali settori direzionale di traversia di 30° di ampiezza.

Settore 15°-45°				15-45			15-45			Settore 45°-75°				45-75			45-75			Settore 75°-105°				75-105			75-105			Settore 105°-135°				105-135			105-135		
Weibull (c=1.4)				4.33			1.018			Weibull (c=2)				4.28			1.043			Weibull (c=1)				4.56			1.042			Weibull (c=2)				4.94			0.995		
TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ	TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ	TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ	TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ	TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ					
1	3.988	8.647	8.804				1	3.014	7.430	7.749				1	2.784	7.609	7.929				1	3.983	9.859	9.806				1	3.983	9.859	9.806								
2	4.390	9.072	9.237				2	3.600	8.121	8.469				2	3.500	8.531	8.890				2	4.543	10.529	10.473				2	4.543	10.529	10.473								
5	4.887	9.572	9.746				5	4.267	8.841	9.221				5	4.446	9.615	10.020				5	5.207	11.273	11.212				5	5.207	11.273	11.212								
10	5.244	9.916	10.096				10	4.716	9.295	9.694				10	5.162	10.360	10.797				10	5.665	11.758	11.695				10	5.665	11.758	11.695								
15	5.447	10.106	10.289				15	4.962	9.534	9.943				15	5.580	10.772	11.226				15	5.919	12.019	11.954				15	5.919	12.019	11.954								
20	5.588	10.236	10.422				20	5.130	9.694	10.110				20	5.877	11.055	11.520				20	6.094	12.195	12.130				20	6.094	12.195	12.130								
25	5.696	10.334	10.522				25	5.257	9.813	10.235				25	6.108	11.270	11.745				25	6.226	12.326	12.260				25	6.226	12.326	12.260								
30	5.783	10.413	10.602				30	5.358	9.907	10.332				30	6.296	11.442	11.924				30	6.333	12.432	12.365				30	6.333	12.432	12.365								
50	6.024	10.627	10.820				50	5.634	10.159	10.595				50	6.824	11.912	12.414				50	6.624	12.714	12.646				50	6.624	12.714	12.646								
70	6.180	10.764	10.960				70	5.809	10.316	10.758				70	7.171	12.211	12.726				70	6.809	12.890	12.821				70	6.809	12.890	12.821								
100	6.343	10.905	11.103				100	5.990	10.475	10.925				100	7.539	12.521	13.048				100	7.001	13.071	13.001				100	7.001	13.071	13.001								
140	6.495	11.035	11.236				140	6.156	10.619	11.075				140	7.887	12.806	13.346				140	7.178	13.235	13.164				140	7.178	13.235	13.164								
150	6.526	11.061	11.262				150	6.189	10.648	11.105				150	7.958	12.864	13.406				150	7.214	13.268	13.197				150	7.214	13.268	13.197								
200	6.654	11.169	11.372				200	6.327	10.766	11.228				200	8.255	13.102	13.654				200	7.362	13.404	13.332				200	7.362	13.404	13.332								
300	6.832	11.318	11.523				300	6.518	10.927	11.396				300	8.701	13.451	14.018				300	7.579	13.600	13.527				300	7.579	13.600	13.527								
500	7.053	11.499	11.708				500	6.749	11.119	11.596				500	9.201	13.832	14.415				500	7.816	13.811	13.737				500	7.816	13.811	13.737								
1000	7.348	11.737	11.951				1000	7.053	11.367	11.855				1000	9.917	14.360	14.965				1000	8.145	14.098	14.023				1000	8.145	14.098	14.023								

Settore 285°-315°				285-315			285-315			Settore 315°-345°				315-345			315-345			Settore 345°-15°				345-15			345-15							
Weibull (c=2)				4.22			0.987			Weibull (c=0.75)				4.37			1.033			Gumbel				4.37			1.038							
TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ	TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ	TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ	TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ	TR	Hcorr	AN	TP	AN	TP	Civ
1	2.525	6.706	6.617				1	1.907	6.035	6.231				1	2.417	6.794	7.049				1	2.417	6.794	7.049				1	2.417	6.794	7.049			
2	2.852	7.127	7.032				2	2.289	6.612	6.827				2	2.795	7.306	7.580				2	2.795	7.306	7.580				2	2.795	7.306	7.580			
5	3.239	7.595	7.494				5	2.845	7.371	7.611				5	3.285	7.920	8.218				5	3.285	7.920	8.218				5	3.285	7.920	8.218			
10	3.504	7.899	7.794				10	3.297	7.935	8.193				10	3.651	8.350	8.664				10	3.651	8.350	8.664				10	3.651	8.350	8.664			
15	3.652	8.065	7.957				15	3.573	8.260	8.529				15	3.865	8.591	8.914				15	3.865	8.591	8.914				15	3.865	8.591	8.914			
20	3.753	8.175	8.067				20	3.774	8.490	8.766				20	4.017	8.759	9.087				20	4.017	8.759	9.087				20	4.017	8.759	9.087			
25	3.830	8.259	8.149				25	3.932	8.665	8.947				25	4.134	8.885	9.219				25	4.134	8.885	9.219				25	4.134	8.885	9.219			
30	3.891	8.324	8.214				30	4.063	8.809	9.095				30	4.230	8.988	9.325				30	4.230	8.988	9.325				30	4.230	8.988	9.325			
50	4.059	8.502	8.389				50	4.438	9.206	9.506				50	4.499	9.269	9.617				50	4.499	9.269	9.617				50	4.499	9.269	9.617			
70	4.167	8.614	8.500				70	4.691	9.465	9.773				70	4.675	9.449	9.804				70	4.675	9.449	9.804				70	4.675	9.449	9.804			
100	4.278	8.728	8.612				100	4.963	9.735	10.052				100	4.863	9.637	9.999				100	4.863	9.637	9.999				100	4.863	9.637	9.999			
140	4.380	8.832	8.714				140	5.225	9.989	10.314				140	5.039	9.810	10.178				140	5.039	9.810	10.178				140	5.039	9.810	10.178			
150	4.401	8.853	8.735				150	5.279	10.041	10.367				150	5.076	9.846	10.215				150	5.076	9.846	10.215				150	5.076	9.846	10.215			
200	4.486	8.938	8.819				200	5.507	10.255	10.589				200	5.227	9.991	10.366				200	5.227	9.991	10.366				200	5.227	9.991	10.366			
300	4.604	9.055	8.934				300	5.855	10.574	10.918				300	5.453	10.205	10.588				300	5.453	10.205	10.588				300	5.453	10.205	10.588			
500	4.748	9.195	9.073				500	6.253	10.928	11.283				500	5.708	10.441	10.833				500	5.708	10.441	10.833				500	5.708	10.441	10.833			
1000	4.937	9.377	9.252				1000	6.835	11.425	11.796				1000	6.072	10.768	11.173				1000	6.072	10.768	11.173				1000	6.072	10.768	11.173			

I predetti valori calcolati sono stati utilizzati come valori ondosi al largo di Civitanova Marche, nelle successive applicazioni dei modelli numerici.

Il confronto con i dati ottenuti dalla trasposizione delle serie storiche di dati e dalla successiva elaborazione degli estremi ha confermato l'affidabilità dei suddetti risultati.

3.12 Condizioni ondose nella analisi numeriche

Per quanto riguarda le analisi di agibilità ed agitazione ondosa interna per un bacino portuale, in genere si fa riferimento a condizioni limite accettabili di funzionalità operative legati, oltre che alle caratteristiche dei natanti all'ormeggio, al periodo ondoso ed alla direzione di incidenza ondosa rispetto al natante, anche alla probabilità di occorrenza dell'evento ondoso, facendo riferimento a condizioni ondose intense che si verificano con frequenza annuale e/o pluriennale.

Sulla base di queste indicazioni, per il presente studio sono stati adottati i seguenti tempi di ritorno:

- $TR = 1$ anni, tempo di ritorno associato ad eventi intensi di frequenza annuale;
- $TR = 10$ anni, tempo di ritorno associato ad eventi intensi con frequenza pluriennale.

Gli eventi estremi sono stati ottenuti applicando ai dati ondosi le leggi statistiche di Gumbel e di Weibull a 3 parametri e scegliendo, per ogni direzione di provenienza delle onde, la legge di adattamento ottimale al campione di dati.

Come precedentemente evidenziato, le altezze d'onda del NOAA risultano inferiori a quelle registrate dalla boa ondometrica di Ancona, per cui nelle simulazioni numeriche si è scelto, a favore di sicurezza, di utilizzare le altezze d'onda di progetto derivanti dall'elaborazione dei dati R.O.N. Tali valori sono stati poi trasposti a largo di Civitanova Marche seguendo la metodologia descritta in Sezione 3.10. È stato quindi possibile ottenere gli eventi ondosi associati ai tempi di ritorno fissati (Tabella 3.29).

Tabella 3.29 – Riassunto dei valori estremi derivanti dall'analisi dei dati R.O.N.

TR (anni)	Settore 315°-345° $\theta=330^\circ\text{N}$		Settore 345°-15° $\theta=0^\circ\text{N}$		Settore 15°-45° $\theta=30^\circ\text{N}$		Settore 105°-135° $\theta=120^\circ\text{N}$	
	<i>H_s</i> (m)	<i>T_p</i> (s)	<i>H_s</i> (m)	<i>T_p</i> (s)	<i>H_s</i> (m)	<i>T_p</i> (s)	<i>H_s</i> (m)	<i>T_p</i> (s)
1	2.00	6.2	2.55	7.1	4.10	8.8	4.0	9.8
10	3.46	8.2	3.86	8.7	5.39	10.1	5.6	11.7

Questi parametri ondosi sono quindi stati utilizzati come condizioni al contorno per le simulazioni di trasferimento verso costa con Delft3D allo stato attuale. Le diverse configurazioni di progetto sono state considerate nel modello di dettaglio MIKE21 BW.

3.13 Cenni di vento, corrente di densità, marea astronomica, dislivelli marini ed effetti dei cambiamenti climatici

Le stazioni costiere di osservazione meteorologica gestite dall'I.T.A.V. dell'Aeronautica Militare e dall'E.N.A.V. dell'Aeronautica civile nella zona marchigiana sono quelle di Monte Cappuccini in Ancona (attualmente dismessa), Falconara Marittima e Grottammare (attualmente dismessa).

Occorre osservare che la stazione di Monte Cappuccini in Ancona è propriamente costiera, ma si trova sulla cima della scoscesa rupe a mare del colle omonimo, a quota di 104 metri s.l.m.m., che si affaccia sul mare in direzione Nord-NordEst. Le rilevazioni anemometriche dello strumento, posto a 10 metri sul suolo, risentono fortemente della particolare morfologia di questo sito di misura, per cui esse non risultano adatte alla ricostruzione del moto ondoso in mare aperto. Di tale stazione, funzionante già dal 1930 (fino al 1964 sotto la gestione della Marina Militare), si dispone

dei dati di vento su supporto cartaceo dal 1951 al 1978, anno in cui la stazione è stata chiusa. Nel regime medio sembrano essere regnati le direzioni provenienti dai settori direzionali del terzo e quarto quadrante, gli eventi più intensi mostrano provenienze da Ovest, da NordEst e prevalentemente da Nord.

La stazione di Falconara Marittima, a quota di 9 metri s.l.m.m. (strumento a 13 metri sul suolo), non è propriamente costiera ma è situata nella pianura dell'aeroporto a circa 3 km dal mare. Di tale stazione di Falconara Marittima si dispone dell'intera serie dei dati meteorologici su supporto magnetico dal 1960 al giugno 1996. I dati, non trovandosi proprio in mare aperto, risentono dell'influenza delle strutture naturali o artificiali presenti nel paraggio. La loro direzione risente soprattutto dalla direzione della vallata del fiume Esino nella cui pianura la stazione di misura risulta collocata. I dati direzionali tendono a disporsi lungo l'asse della vallata, cioè in direzione NordEst-SudOvest. Anche le intensità risultano influenzate dalla catena di colline limitrofe, che offrono ovviamente significativo ridosso ai venti che spirano in direzione trasversale alla Vallesina. Anche gli eventi più intensi mostrano direzioni da Nord-NordOvest, Nord, Nord-NordEst e SudOvest.

La stazione di Grottammare è situata nella pianura della vallata del fiume Tesino (nell'aviosuperficie) in vicinanza del mare a quota di 13 metri s.l.m.m. (strumento a 8 metri sul suolo). I dati direzionali ed anche le intensità risultano influenzate dalla morfologia della zona. Quindi, anche tale stazione risulta non certo ideale per la determinazione del vento spirante in mare aperto ai fini della ricostruzione del moto ondoso. Della stazione di Grottammare si dispone della serie dei dati anemometrici su supporto cartaceo dal 1967 al 1977, anno in cui cessò la sua attività. Risultano regnare e dominare le direzioni di provenienza settentrionali.

Il forte gradiente di densità che si viene a formare fra le coste italiane e slave nell'alto Adriatico costituisce il motore delle correnti superficiali di gradiente ascendenti lungo la costa dalmata e discendenti lungo quella italiana, che sono il motivo dominante della circolazione dell'Adriatico.

Lungo la costa adriatica occidentale tale corrente litoranea di circolazione si risente generalmente fino a 5-6 miglia marine dalla costa, ma, in taluni casi, può anche oltrepassare le 10-15 miglia marine da terra. In mancanza di relative misurazioni estese nel tempo e nello spazio, si stima che raggiunga la massima intensità a circa 2-3 miglia marine dalla riva. A 5-10 miglia marine dalla costa l'intensità media della corrente raggiunge, in diversi mesi dell'anno, il mezzo nodo, come indicato dall'istituto idrografico della marina.

Un tale schema generale di circolazione è modulato però, nella sua intensità, dalla periodicità delle stagioni, dalla più o meno ingressione nell'Adriatico di acqua proveniente dal Mediterraneo orientale, dalla più o meno portata del fiume Po, oltre che dalle condizioni meteorologiche (si intensifica considerevolmente con venti settentrionali, specie in inverno quando tale condizione può mantenersi persistente anche per lunghi periodi di tempo). Con tempo buono la velocità della corrente è generalmente di circa un nodo d'estate e 2-3 nodi d'inverno, ma con Tramontana e Ponente-Maestro può anche raggiungere i 5 nodi (dalle indicazioni riportate sul Portolano dell'I.I.M.).

La corrente litoranea mantiene la sua direzione normale (verso SudEst) fin presso il promontorio di Ancona, si inflette nell'insenatura a Sud del porto costeggiando le strutture presenti ed intensificandosi e, una volta che le ha oltrepassate ed ha superato il promontorio della città, ripiega di nuovo per riprendere la primitiva direzione e lambire in tal modo il tratto meridionale del litorale marchigiano.

Per la gran parte delle informazioni sui dislivelli e sovralti marini, si fa riferimento alle indicazioni riportate sulla Relazione generale del Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere (Piano GIZC) marchigiane, redatto dal Servizio tutela, gestione e assetto del territorio, P.F. Difesa del suolo e della costa, della Regione Marche, approvato dall'Assemblea Legislativa Regionale con delibera amministrativa n. 104 del 6 dicembre 2019 e pubblicato nel BUR Marche al n. 100 del 12 dicembre 2019.

Le oscillazioni della marea astronomica nel mare Adriatico non sono autonome ma risultano indotte: esse vengono prevalentemente innescate dalle oscillazioni di marea ioniche.

Le maree semidiurne presentano un nodo anfidromico (punto in cui le escursioni di marea si annullano) posto a circa 20 miglia marine a NordEst di Ancona con linee cotidali che ruotano intorno ad esso in senso antiorario (Figura 3.34). Lungo la costa marchigiana, per la vicinanza al suddetto punto, le maree hanno un andamento generalmente diurno, cioè le componenti principali della marea sono quelle diurne. Ciò si riscontra anche osservando i valori delle costanti armoniche della marea valide per il Porto di Ancona riportate nella Tabella 3.30.

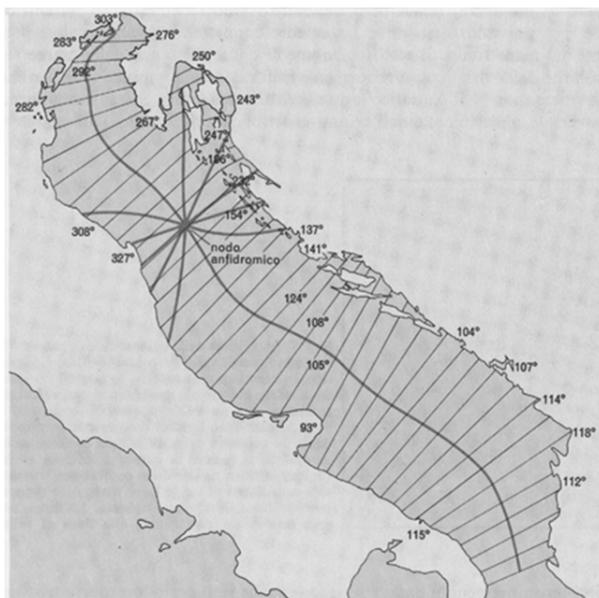


Figura 3.34 - Linee cotidali e nodo anfidromico dell'onda della marea semidiurna nell'Adriatico.

Tabella 3.30 - Costanti armoniche della componente astronomica della marea nel Porto di Ancona.

Componente	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1
H (cm)	6.6	3.5	1.2	1.0	13.2	4.1	4.4
g° (gradi)	332	347	326	347	88	74	88

L'oscillazione del livello della superficie del mare è molto influenzata, oltre che dai fattori astronomici, anche da quelli meteorologici. Ad esempio, lungo la costa marchigiana, risultano particolarmente influenti i venti: con forte Bora si sono talvolta verificate ampiezze di marea superiori al metro, come indicato sul Portolano. Le massime alte maree si verificano in autunno, in condizioni di bassa pressione. Con tempo cattivo e con burrasche provenienti da Scirocco-Levante si verificano sopraelevazioni del livello del mare ben oltre il metro di altezza, con valori crescenti risalendo la costa da meridione verso la parte settentrionale. I più bassi livelli delle acque (abbassamenti oltre il mezzo metro e fino al metro nel tratto settentrionale della Regione) si hanno in inverno, con tempo buono e con venti settentrionali.

La Rete Mareografica Nazionale gestita attualmente dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) comprende, tra le 36 stazioni di misura uniformemente distribuite sul territorio nazionale, 2 stazioni di misura fisse nei porti di Ancona e di San Benedetto del Tronto, che risultano essere ubicate a Nord ed a Sud del sito costiero di interesse relativo alla località di Civitanova Marche.

Dalle informazioni già note dal passato, si può far riferimento a quelle indicate sul Portolano dell'Istituto Idrografico della Marina Militare, che vengono riportate di seguito.

Nel Porto di San Benedetto del Tronto le maree sono le meno notevoli della costa occidentale adriatica: ampiezza media alle sizigie 19 cm, pressoché nulla alle quadrature. Il dislivello medio delle basse maree sizigiali è di 27 cm.

Nel Porto di Ancona, le ampiezze massime delle maree astronomiche oscillano intorno ai 58 cm. L'ampiezza media alle sizigie è di 47 cm mentre alle quadrature è di 14 cm. Lo stabilimento volgare del porto è di 10 ore e 28 minuti. La differenza fra il livello medio mare ed il livello di riferimento degli scandagli (corrispondente al valore medio delle basse maree sizigiali) è di 30 cm.

Il sovrizzo di tempesta (*storm surge*, la c.d. *acqua alta* nell'Alto Adriatico) rappresenta l'effetto della combinazione contemporanea dell'ingorgo da vento e dell'effetto della pressione atmosferica sul livello del mare nel periodo di tempo dell'evento in corso. L'effetto della pressione barometrica (atmosferica) su un bacino di mare, corrisponde ad una variazione del livello superficiale del bacino di circa 1 centimetro conseguentemente ad una variazione di 1 *ettoPascal* (=1 *millibar*) della pressione atmosferica presente. L'ingorgo da vento (*wind set-up*) corrisponde all'innalzamento della superficie dell'acqua dovuto alla presenza del vento che soffia sul bacino di mare verso una sponda terminale sottovento, in grado di spingere l'acqua, per attrito superficiale, ad accumularsi a ridosso del lato di fondo sottovento del bacino.

Riguardo alla stima dei valori di sovrizzo di tempesta (*storm surge*), nella Relazione generale del Piano GIZC della Regione Marche, nell'ambito dell'analisi del rischio di inondazione del territorio costiero, legato al rispetto della c.d. Direttiva "Alluvioni", sono stati considerati due scenari di pericolosità (relativamente ai tempi di ritorno di 10 e di 100 anni), in cui sono stati riportati alcuni valori di riferimento anche della componente del sovrizzo di tempesta (*storm surge*). In particolare, sono stati riportati i valori di *storm surge* indicati dalla adiacente Regione Emilia-Romagna nel relativo Piano costiero regionale. Per lo scenario "frequente", corrispondente al tempo di ritorno di 10 anni, il valore di *storm surge* risulta pari a 0,79 m, mentre per lo scenario "poco frequente", relativo al tempo di ritorno di 100 anni, il valore indicato è di 1,02 m; avendo dedotto tali valori dalle stime di Masina & Ciavola (2011).

Il progressivo aumento della temperatura atmosferica a scala mondiale registrato nell'ultimo trentennio (il 2018 è risultato l'anno più caldo, a livello globale, dall'inizio delle misure, nel 1850) è principalmente attribuito all'aumento dell'effetto-serra, causato dalle emissioni di anidride carbonica e di altri gas. L'aumento della temperatura influisce in due modi sull'innalzamento del livello medio marino, uno per dilatazione delle acque oceaniche e l'altro per lo scioglimento dei ghiacciai. Le stime proposte dal *DELTA COMMITTEE* sul possibile innalzamento al 2100, risultano

di 55-110cm con un valor di circa 80cm, ritenuto da Pfeffer et al. (2008), come il più verosimile. L'innalzamento del livello marino non è omogeneo, in particolari aree il valore può risultare incrementato (ad esempio nell'Adriatico centro-settentrionale), mentre in altre aree si possono verificare degli abbassamenti, come rilevato nello Ionio. I cambiamenti climatici producono, inoltre, l'aumento sia in intensità sia in frequenza delle mareggiate estreme, mentre l'aumento del livello medio marino potrebbe modificare il regime di intensità anche delle maree astronomiche. L'incremento dell'intensità delle mareggiate estreme è valutato solo localmente: nel Mare del Nord, ad esempio, la previsione è di un aumento dell'altezza d'onda significativa del 2%-5% nel periodo 2050-2100, legata all'aumento della velocità del vento. L'incremento della velocità del vento è in grado di aumentare anche la componente del cosiddetto "ingorgo da vento" (*wind set-up*) per le coste piatte (*STOWASUS project*, Kaas et al., 2001). Gli effetti dovuti allo *storm surge* vanno a sommarsi a quelli degli altri tipi di sovrizzo (marea astronomica, sovrizzi ondosi, ecc.), dando luogo all'innalzamento complessivo. Tali fenomeni, inoltre, possono essere anche dipendenti da condizioni locali e temporanee particolari. In tal caso, il rischio di inondazione di aree costiere e spiagge sottili, con conseguenti processi erosivi e danni a strutture ed infrastrutture costiere presenti, può anche accentuarsi localmente.

Riguardo agli effetti dei cambiamenti climatici in atto, sul medesimo Piano GIZC della Regione Marche si tiene conto dell'aggravamento dell'intensità degli eventi ondosi estremi, considerando un incremento del 10% sui valori delle altezze d'onda massime utilizzati per il calcolo dei sovrizzi ondosi (*wave set-up*) e della risalita ondosa (*wave run-up*).

L'effetto combinato dei diversi contributi di variazione del livello medio marino (quali il sovrizzo ondoso *wave set-up*, lo *storm surge*, la marea astronomica, gli effetti dovuti ai cambiamenti climatici, ecc.), sommandosi, possono dar luogo ad importanti innalzamenti superficiali ed a condizioni meteomarine sfavorevoli, che potrebbero aggravare le ripercussioni ondose prodotte sottocosta.

Per quanto riguarda i massimi livelli marini rilevati, merita un cenno particolare l'evento di carattere eccezionale verificatosi nella notte fra il 31-1-1986 ed il 1-2-1986 lungo l'intero arco costiero adriatico centro-settentrionale, monitorato da mareografi posizionati contemporaneamente sia a Pesaro che a San Benedetto che in Ancona, e notevole per i suoi riflessi sul litorale e sulle opere di difesa esistenti. In tale occasione si è sovrapposto un fenomeno di acqua alta ad una mareggiata di intensità valutata dal Servizio Mareografico della Marina con vento a forza 7-8 al largo, altezza d'onda di 3,5-4,0 m con direzione di provenienza Est-SudEst. I valori massimi del dislivello sono stati raggiunti fra le 2:00 e le 5:00 del mattino e sono decrescenti andando da Nord

verso Sud. A Pesaro sono stati registrati 104 cm, ad Ancona 86 cm, mentre a San Benedetto il livello raggiunto è stato pari a 47 cm, valore quest'ultimo che non è poi molto lontano dai valori usuali di alta marea.

In definitiva, per tenere conto dei predetti effetti sui livelli marini, gli eventi ondosi testati, relativi a tempi di ritorno più elevati, sono stati considerati, nelle simulazioni, accompagnati da una sopraelevazione del livello medio superficiale di 0.79 m. Questo valore, assunto mediamente per tutte le ondazioni, risulta sicuramente cautelativo, quindi a favore di sicurezza, per le ondazioni di provenienza settentrionale, che rappresentano le condizioni ondose più gravose per stimare l'agitazione ondosa interna del bacino portuale di Civitanova Marche e che sono proprio quelle utilizzate per fornire le indicazioni di confronto sul grado di protezione ondosa offerto dalle opere esterne portuali e dalle caratteristiche del bacino stesso.

4. MODELLO DI TRASFERIMENTO ONDOSONO

L'efficacia di una soluzione progettuale marittima come il prolungamento del molo principale di un porto o il suo banchinamento interno si valuta, tra l'altro, con il grado di protezione offerto nei confronti del moto ondoso e dalla dinamica prodotta dalla presenza delle opere stesse.

Per analizzare la trasmissione del moto ondoso dalle acque a profondità elevata fino alla zona di realizzazione di nuove opere, occorre studiare come il moto ondoso si propaga in acque intermedie o basse in presenza di fenomeni come shoaling, rifrazione, diffrazione e frangimento.

Questo problema complesso è generalmente affrontato tramite due metodologie che forniscono soluzioni approssimate: la modellazione di tipo fisico a scala ridotta e quella di tipo matematico-numerico. La possibilità di applicare entrambe rappresenta ovviamente la condizione ottimale, in quanto ognuna delle due, presa singolarmente, presenta pregi e difetti. Lo studio mediante modello fisico offre il vantaggio di una soluzione più simile al vero, ma presenta possibili errori legati ad effetti scala e/o di laboratorio e comporta un notevole investimento economico. Dall'altra parte la modellazione matematica comporta un minor costo dello studio, con operazioni di lavoro da eseguire "a tavolino", e permette di modificare facilmente le condizioni di prova, semplificando il confronto tra soluzioni (progettuali) diverse.

I modelli matematici danno comunque una soluzione approssimata, più o meno raffinata, poiché risolvono le equazioni matematiche alla base dei problemi fisici introducendo ipotesi semplificative. Per questo motivo la maggior parte dei modelli numerici sono stati validati sulla base di numerose sperimentazioni, di laboratorio e in campo.

Nello studio sono stati usati due diversi modelli: per il trasferimento delle onde dal largo alla profondità di 10 m è stato utilizzato il modello spettrale Delft3D in grado di riprodurre i fenomeni di shoaling, rifrazione ondosa e dissipazione per frangimento. Dalla profondità di 10 m fino all'interno della zona portuale è stato utilizzato il modello di tipo Boussinesq MIKE21 (Sezione 5) in grado di risolvere la fase dell'onda e risulta applicabile solamente in condizioni di acque intermedie/basse, permettendo la modellazione di fenomeni, quali la diffrazione, che risultano fondamentali in uno studio di agitazione portuale.

4.1 Descrizione del modello

L'analisi del trasferimento ondoso in corrispondenza delle scogliere oggetto del presente studio è stata condotta mediante l'utilizzo del software commerciale Delft3D.

Il Delft3D è un programma sviluppato da Deltares che permette di modellare ambienti naturali come aree costiere, lacustri e fluviali ma è adatto anche per simulazioni in porti o aree urbane. Il programma è utilizzato da esperti appartenenti a diverse categorie: consulenti, ingegneri, appaltatori e ufficiali del governo o chiunque sia attivo nella progettazione/gestione di opere in ambito marittimo.

Deltares è un istituto di ricerca olandese specializzato in ambiti che spaziano dall'acqua, al suolo, al sottosuolo. Negli ultimi decenni ha sviluppato il software Delft3D, che contiene tutto ciò che potrebbe servire ad un modellista nell'ottica di una modellazione flessibile, stabile, robusta e di facile interpretazione.

Il software è composto da diversi moduli che, essendo raccolti all'interno di un'unica interfaccia condivisa, possono interagire tra di loro. Ciascun modulo permette di simulare specifici fenomeni come storm surge, tsunami, correnti, variazioni di livelli idrici, onde, trasporto solido, morfologia e qualità dell'acqua.

La componente principale di Delft3D è il modello numerico idrodinamico FLOW che simula il moto bidimensionale (2DH, mediato sulla verticale) o tridimensionale (3D) di fluidi in condizioni non stazionarie e i fenomeni di trasporto dovuti a maree e/o forzanti meteorologiche, includendo l'effetto delle differenze di densità che si hanno per effetto di distribuzioni di densità o di salinità non uniformi. Può quindi essere utilizzato per prevedere il moto che avviene in aree costiere, estuari, lagune, fiumi e laghi.

FLOW risolve le equazioni delle acque basse in 2D (mediate sulla verticale) o in 3D. Se il fluido è omogeneo verticalmente può essere appropriato un approccio mediato sulla profondità, considerando un solo layer computazionale, mentre la modellazione tridimensionale è adatta a problemi di trasporto in cui il campo di flusso mostra una significativa variazione nella direzione verticale. Il sistema di equazioni deriva dalle equazioni tridimensionali di Navier-Stokes per fluido incomprimibile e comprende le equazioni orizzontali del moto, l'equazione di continuità e le equazioni del trasporto. Le forzanti del moto sui confini liberi possono essere le maree, l'azione del vento, i gradienti di pressione barometrica sulla superficie libera o i gradienti di densità. Nelle equazioni sono inclusi anche termini aggiuntivi che consentono di modellare l'eventuale immissione o prelievo di acqua. Le condizioni idrodinamiche calcolate nel modulo FLOW, tra cui velocità, livelli, densità e salinità dell'acqua, sono utilizzate come input per gli altri moduli di Delft3D.

Il modulo MOR calcola il trasporto di sedimenti, sia in sospensione che al fondo, e le variazioni morfologiche per un certo numero di frazioni coesive e non coesive sotto l'azione di onde e correnti. Una caratteristica fondamentale di questo modulo è il collegamento dinamico con i moduli

FLOW e WAVE che permette alle correnti e alle onde di adattarsi alle variazioni locali della batimetria facendo simulazioni su qualsiasi scala temporale, dai giorni (per valutare l'effetto delle mareggiate) alle decine di anni (per seguire l'evoluzione della costa).

Il modulo WAVE calcola la propagazione non stazionaria di onde corte su fondale non costante, considerando l'azione del vento, la dissipazione di energia dovuta all'attrito al fondo, l'interazione non lineare tra le onde, il frangimento, la rifrazione, lo shoaling e lo spreading direzionale. Al momento, due modelli (entrambi mediati in fase) sono disponibili: un modello di seconda generazione (HISWA) e il suo successore di terza generazione (SWAN) che è stato utilizzato nelle simulazioni oggetto di questo studio.

Il modello di terza generazione SWAN (Simulating WAVes Nearshore) risolve l'equazione di bilancio dell'azione spettrale e permette di valutare l'evoluzione di onde random a cresta corta in acque profonde, intermedie e basse. In SWAN le onde sono descritte da spettri bidimensionali di densità dell'azione dell'onda anche quando prevalgono fenomeni non lineari (ad esempio nella surf zone). SWAN presenta un elevato numero di vantaggi rispetto al suo predecessore HISWA e ne supera molti limiti.

Le principali caratteristiche fisiche e numeriche di SWAN sono:

- la fisica in SWAN è esplicitamente rappresentata con formulazioni ben note ed evolute nello stato dell'arte delle attuali conoscenze scientifiche nel settore marittimo;
- il modello è a spettro ondoso completo, in frequenze e direzioni (0° - 360°);
- il calcolo dei parametri ondosi in SWAN è incondizionatamente stabile per merito dello schema di calcolo completamente implicito in esso implementato;
- la griglia computazionale non deve essere orientata nella direzione media delle onde, quindi può gestire tutte le direzioni ondose.

Il moto non stazionario è simulato come quasi-stazionario attraverso sequenze di simulazioni stazionarie. Questa approssimazione è considerata accettabile purché il tempo di propagazione dell'onda da largo alla costa sia relativamente breve rispetto alla scala temporale entro cui variano il campo delle onde incidenti, la profondità e le correnti indotte dal vento e dalle maree. Il modello permette di stimare anche la trasmissione dell'onda attraverso una struttura lineare, come un'opera a scogliera. Un ostacolo influenza il campo d'onda in due modi, riducendo l'altezza d'onda localmente per tutta la sua lunghezza e causando la diffrazione intorno alle sue estremità. Tuttavia, trattandosi di un modello spettrale, SWAN non risolve la fase dell'onda e non permette di modellare propriamente la diffrazione. Risulta pertanto meno applicabile soprattutto in regioni in cui i fenomeni avvengono entro piccole distanze (vicino a strutture costiere o nei porti). Un altro fenomeno che il modello spettrale non è in grado di prevedere è la

variazione del periodo d'onda spettrale $T_{m-1,0}$ che si osserva quando le onde si propagano su fondali molto bassi a causa della generazione di onde a bassa frequenza o onde infragravitative. In questi casi è preferibile l'uso di altri modelli come modelli in acque basse o modelli tipo Boussinesq come MIKE21 BW.

4.2 Griglie e batimetrie

Le operazioni preliminari per l'applicazione del modello di trasferimento ondoso riguardano la creazione di una griglia strutturata nella zona oggetto di studio e della batimetria da associare al paraggio marino da analizzare.

Nell'ottica di un alleggerimento dei tempi di calcolo sono state realizzate tramite il software RGFGRID due griglie, con maglie aventi diverse risoluzioni, innestate una nell'altra:

- la griglia esterna ha maglie di larghezza pari a 150 m e copre un'area che si estende da Pedaso a Numana (Figura 4.1);
- la griglia interna, innestata all'interno della precedente, si estende all'incirca da Lido Tre Archi oltre il Porto di Civitanova ed è caratterizzata da una maglia strutturata di larghezza pari a 23 m (Figura 4.2);

I dati batimetrici sono stati integrati nel modello tramite l'applicativo QUICKIN. Il software crea la batimetria interpolando linearmente sulla griglia i punti a profondità nota situati all'interno del dominio. La batimetria dei fondali è stata ricostruita sulla base dei punti quotati e delle linee batimetriche della Carta Nautica n°35 dell'Istituto Idrografico della Marina ("Dalla Foce del Tronto ad Ancona"), in scala 1:100.000.

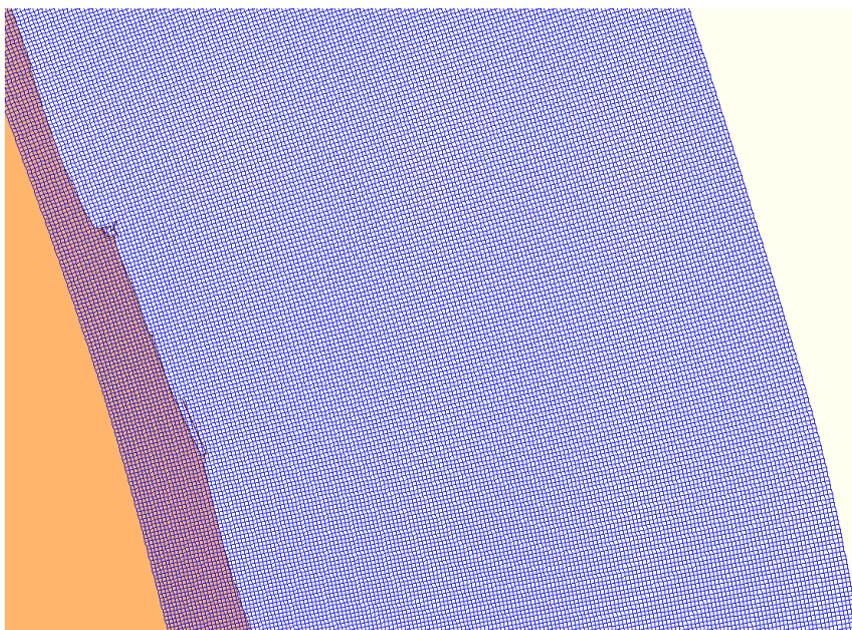


Figura 4.1 – Griglia esterna utilizzata per il modulo WAVE.

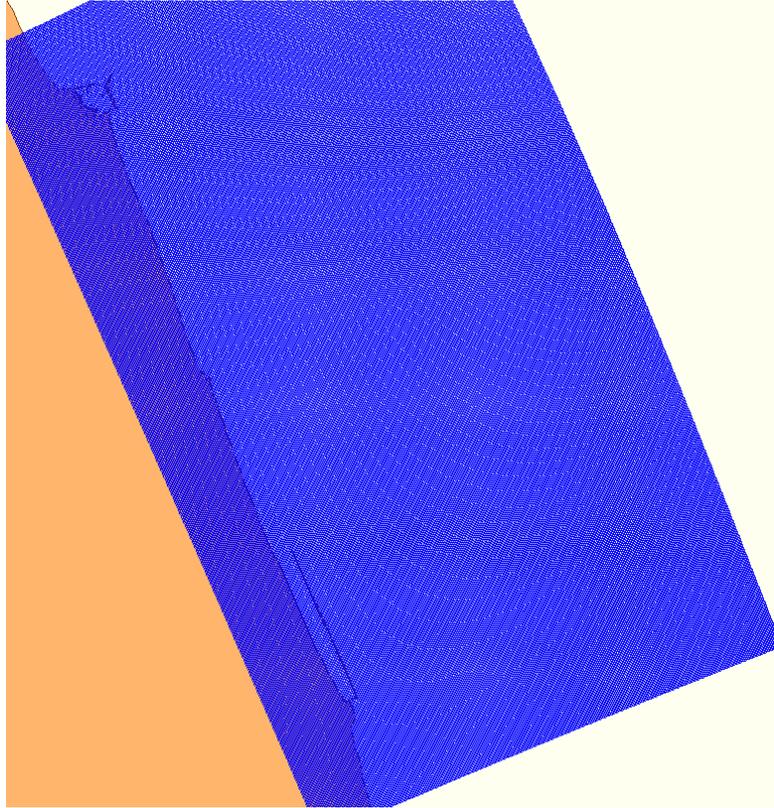


Figura 4.2 – Dettaglio della griglia interna utilizzata nel modulo WAVE.

L'unione di tali dati ha permesso di ottenere una nuvola di punti in grado di caratterizzare l'area di interesse con idoneo livello di dettaglio (Figura 4.3).

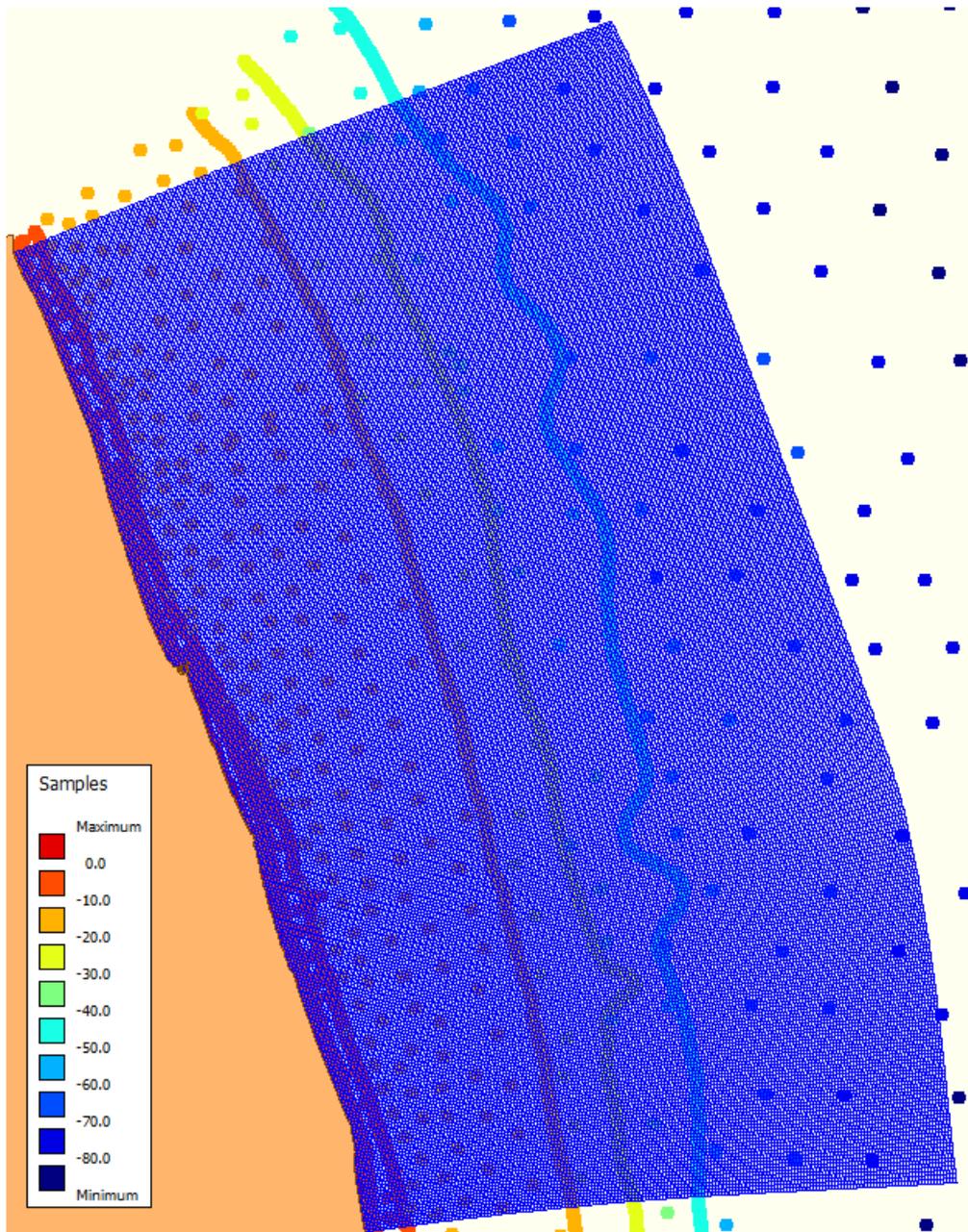


Figura 4.3 – Sovrapposizione dei punti batimetrici utilizzati nell'interpolazione sulle griglie di calcolo.

Il metodo di triangolazione utilizzato dal software QUICKIN è quello che meglio si adatta al set di dati con risoluzione uguale o minore della risoluzione della griglia. I campioni sono inizialmente organizzati in una rete di Delaunay e successivamente i valori della griglia vengono interpolati. Il numero di operazioni necessarie nel processo di creazione dipende in modo quadratico dal numero di campioni. QUICKIN realizza una triangolazione che permette di associare ad ogni punto della griglia un valore di batimetria a partire dai campioni più vicini ad esso.

I risultati dell'interpolazione per triangolazione sui nodi della griglia esterna utilizzata per il trasferimento delle onde sono mostrati in Figura 4.4. La stessa procedura è stata seguita per la griglia interna. Il trasferimento è stato effettuato dal largo (profondità pari a 70 m) fino alla

profondità di 10 m corrispondente a quella, lato mare, del modello di agitazione portuale utilizzato in seguito.

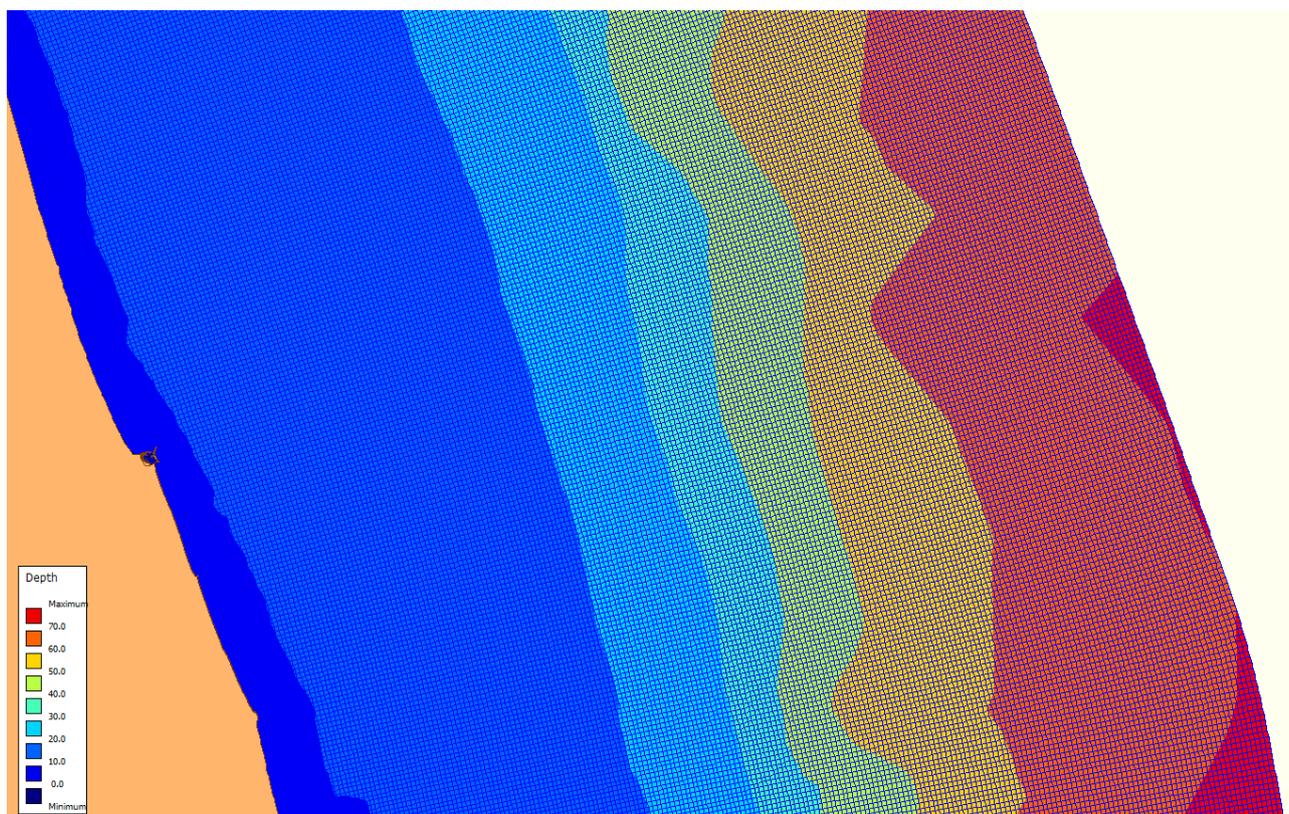


Figura 4.4 – Dettaglio della batimetria interpolata sui punti della griglia esterna.

4.3 Risultati del trasferimento ondoso

In questa sezione sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate con Delft3D in termini di altezza d'onda (al largo e sotto-costa) per le onde con tempo di ritorno di 1 e 10 anni, provenienti da tutti i settori direzionali riportati in Tabella 3.29. In particolare, in virtù delle considerazioni riportate in Sezione 3.13, le simulazioni con $TR=10$ anni sono state anche ripetute aggiungendo un sovrizzo rispetto al l.m.m. di 0.79 m, per tener conto dello *storm-surge* solitamente associato alle mareggiate. Da questi risultati si osserva come le condizioni ondose che arrivano in prossimità del porto con una direzione simile all'orientazione della sua imboccatura siano quelle provenienti dai settori $330^{\circ}N$ e $0^{\circ}N$. Queste due condizioni risultano quindi essere quelle più sfavorevoli in termini di agitazione portuale indotta. In particolare, le onde da $0^{\circ}N$ risentendo meno dei fenomeni di rifrazione durante la loro propagazione verso costa, risultano meno abbattute rispetto alle onde da $330^{\circ}N$. Per le onde provenienti da $120^{\circ}N$, invece, si ottiene il maggiore livello di protezione dell'ingresso portuale.

STATO ATTUALE

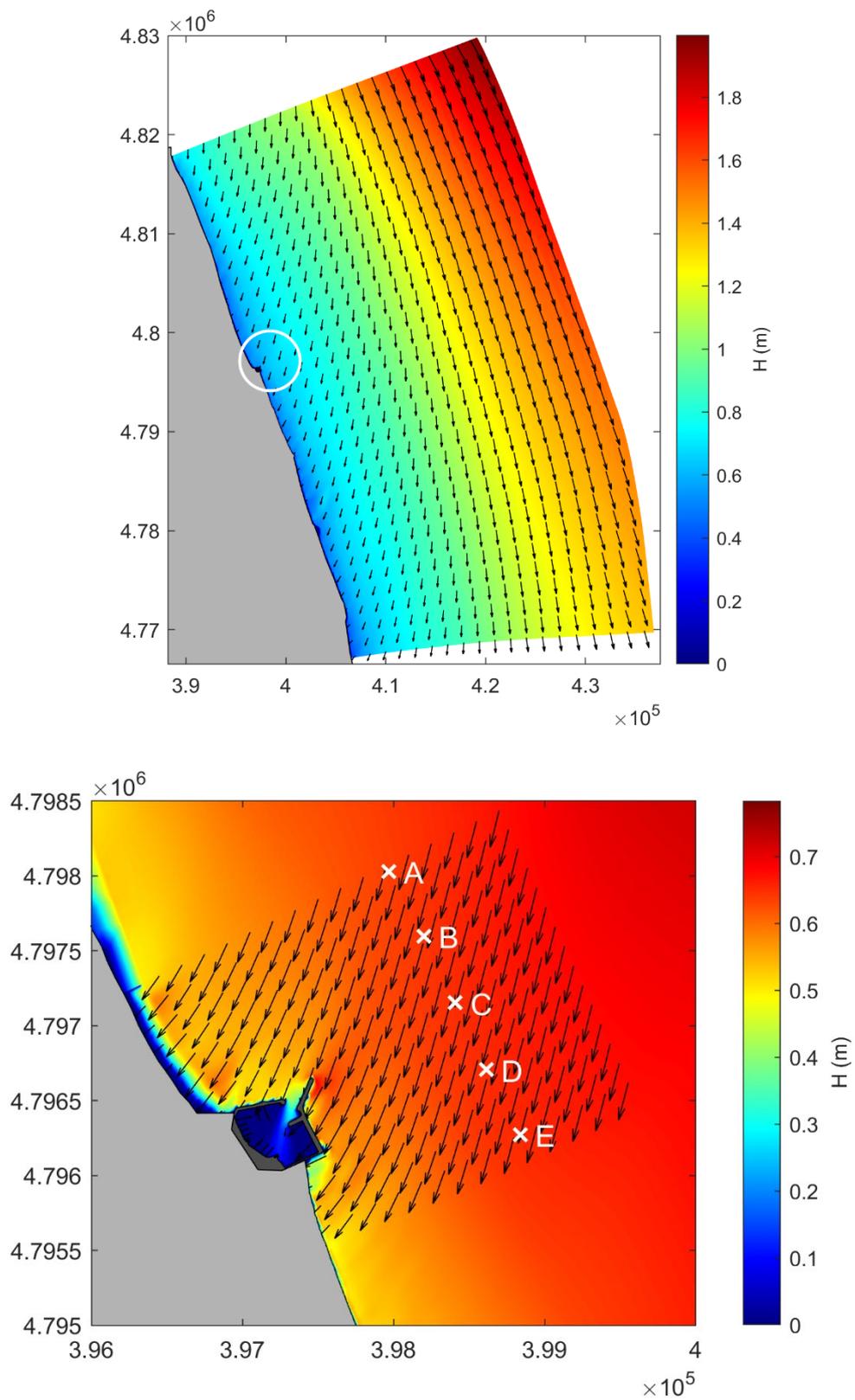
 $TR = 1$ ANNO – DIREZIONE $330^\circ N$ 

Figura 4.5 - Trasferimento onda con $TR=1$ anno e direzione $330^\circ N$. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

$TR = 10$ ANNI – DIREZIONE $330^\circ N$

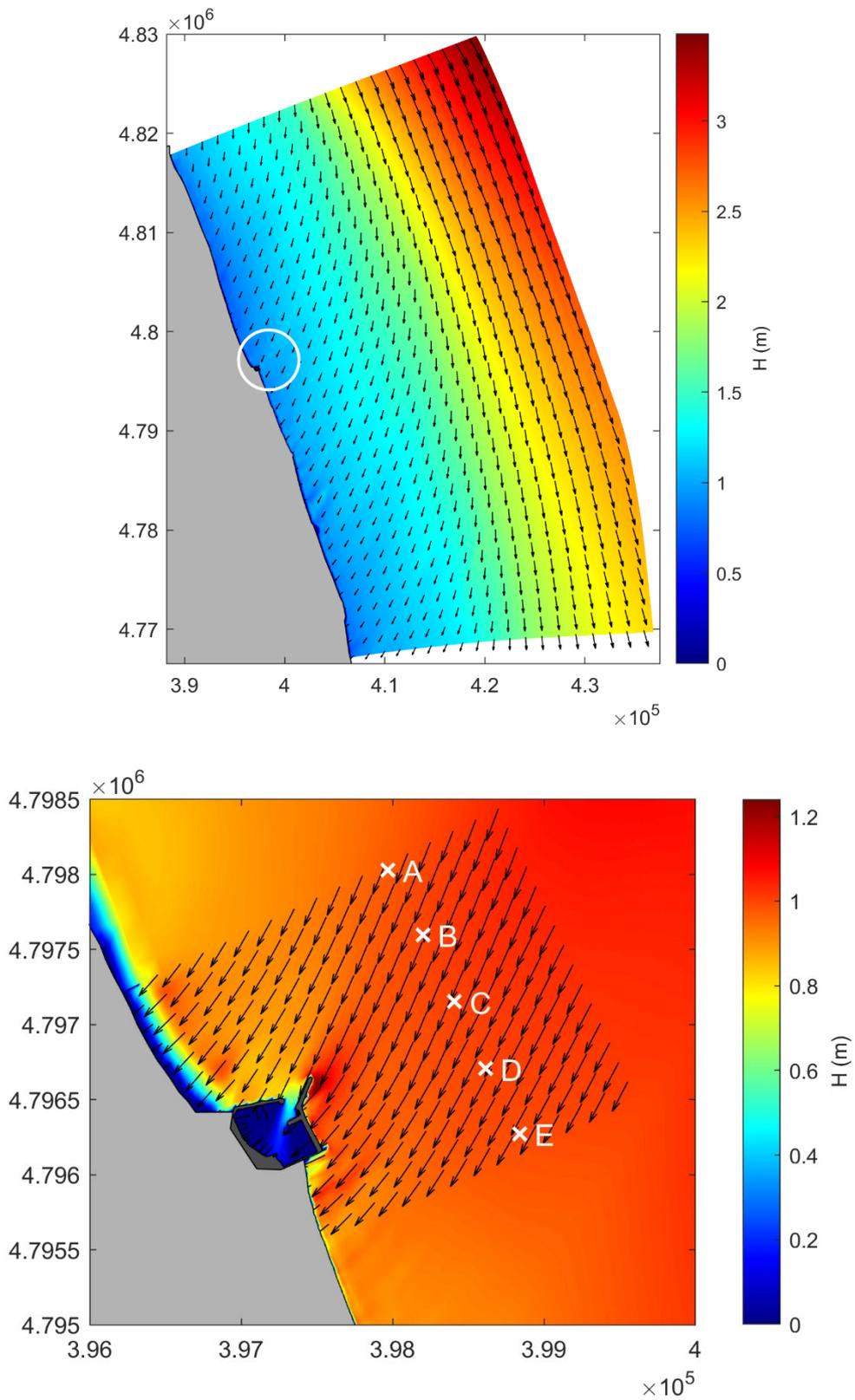


Figura 4.6 - Trasferimento onda con $TR=10$ anni e direzione $330^\circ N$. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

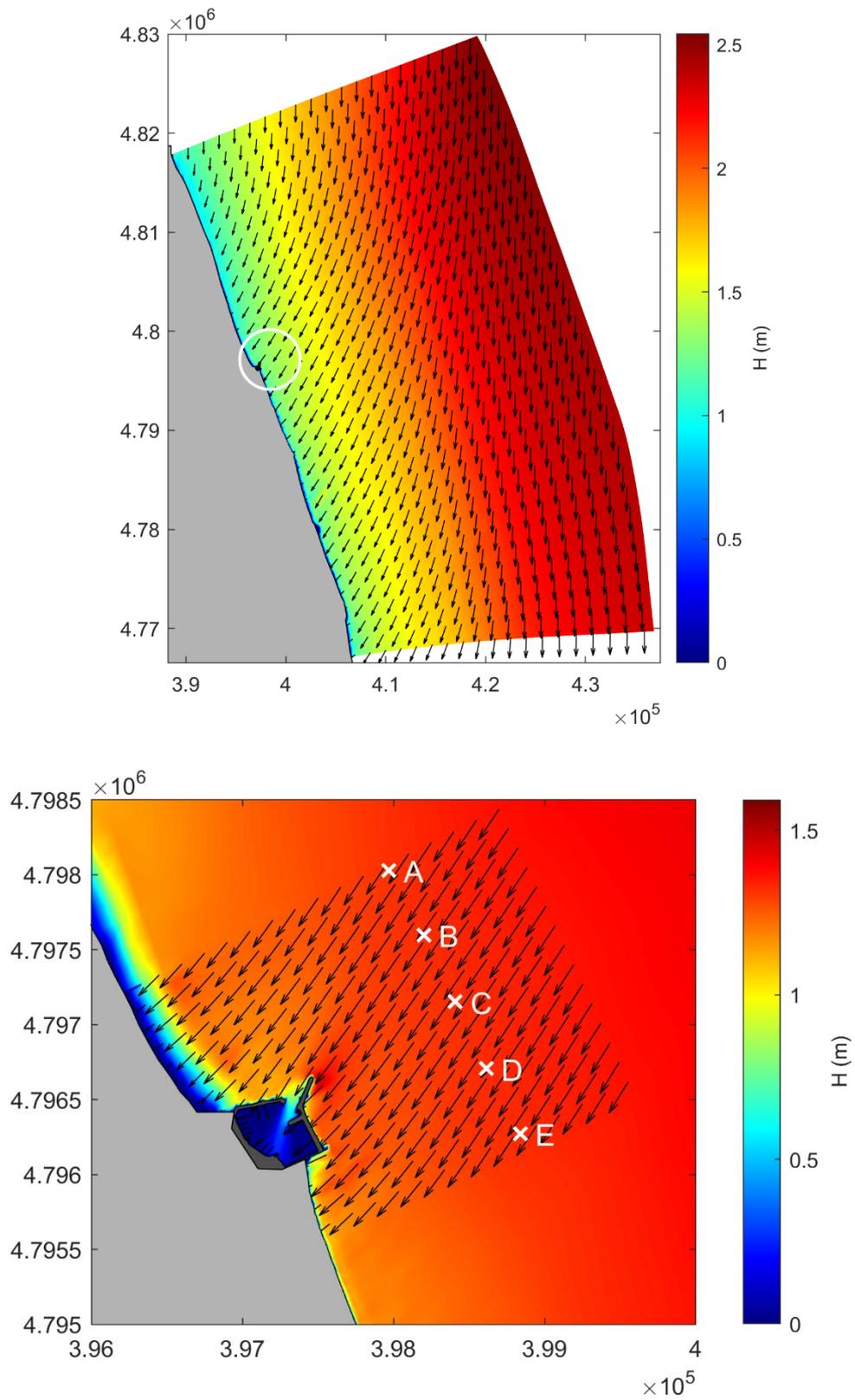
$TR = 1$ ANNI – DIREZIONE $0^\circ N$ 

Figura 4.7 - Trasferimento onda con $TR=1$ anno e direzione $0^\circ N$. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

$TR = 10$ ANNI – DIREZIONE $0^\circ N$

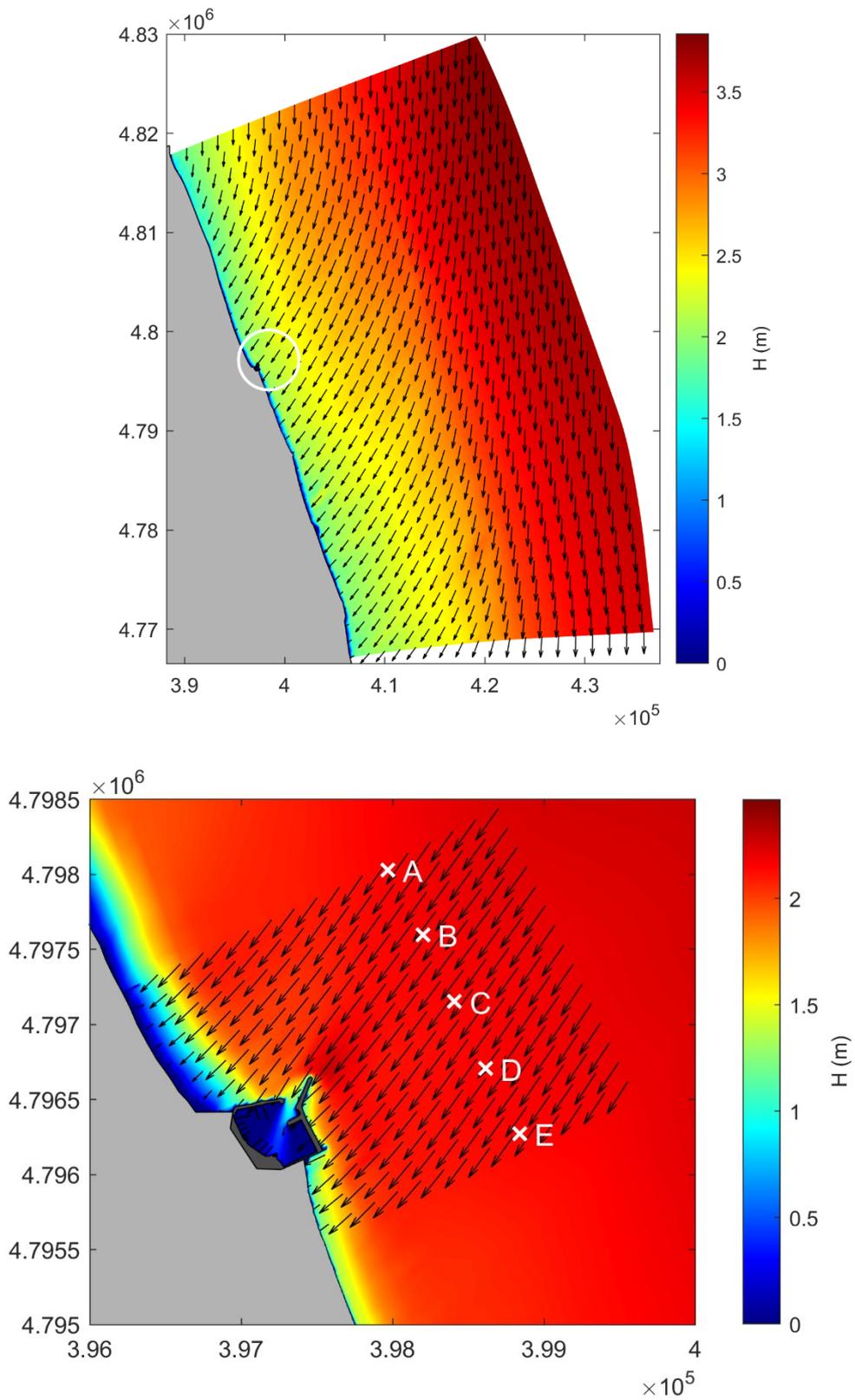


Figura 4.8 - Trasferimento onda con $TR=10$ anni e direzione $0^\circ N$. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

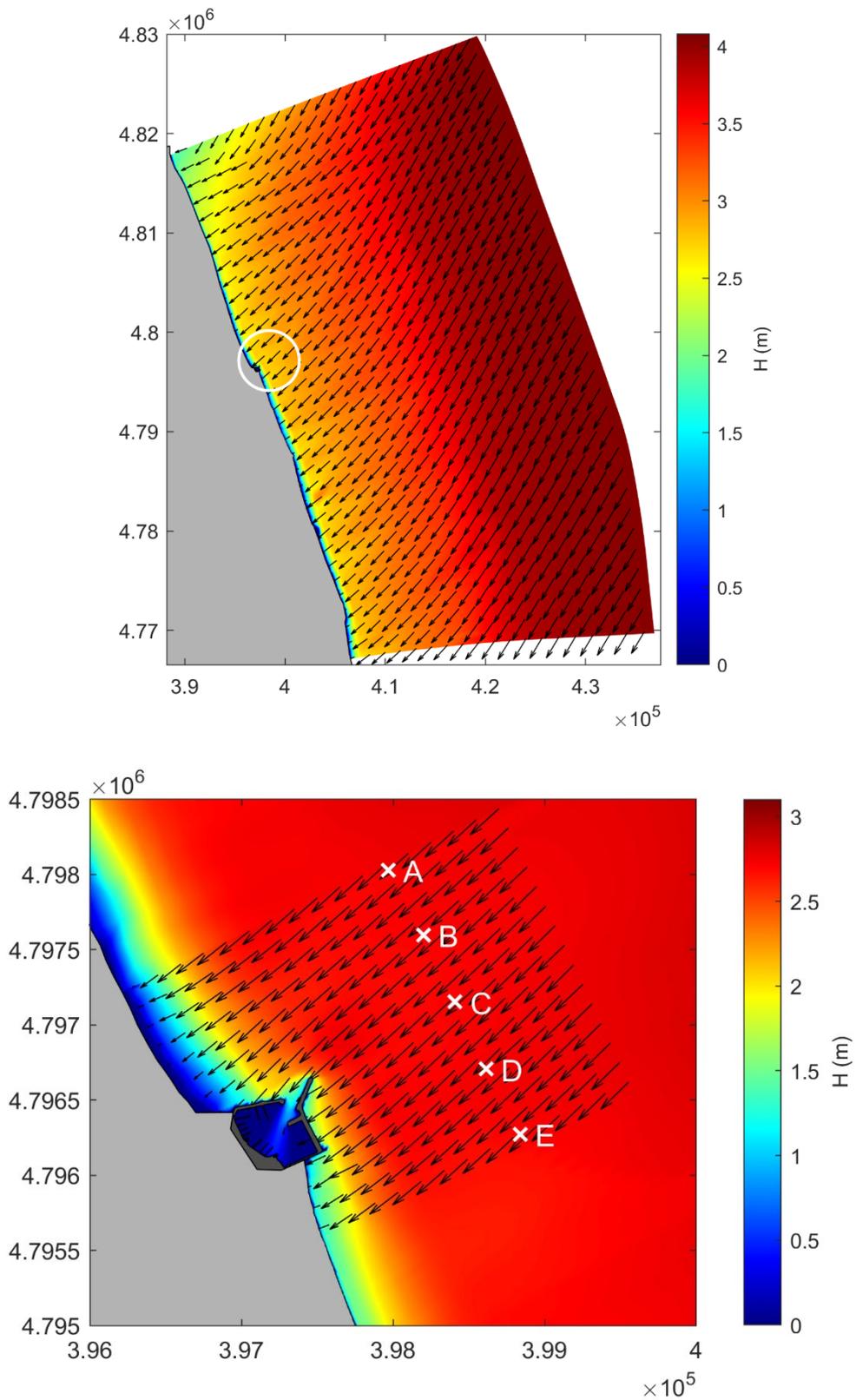
$TR = 1$ ANNI – DIREZIONE $30^\circ N$ 

Figura 4.9 - Trasferimento onda con $TR=1$ anno e direzione $30^\circ N$. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

TR = 10 ANNI – DIREZIONE 30°N

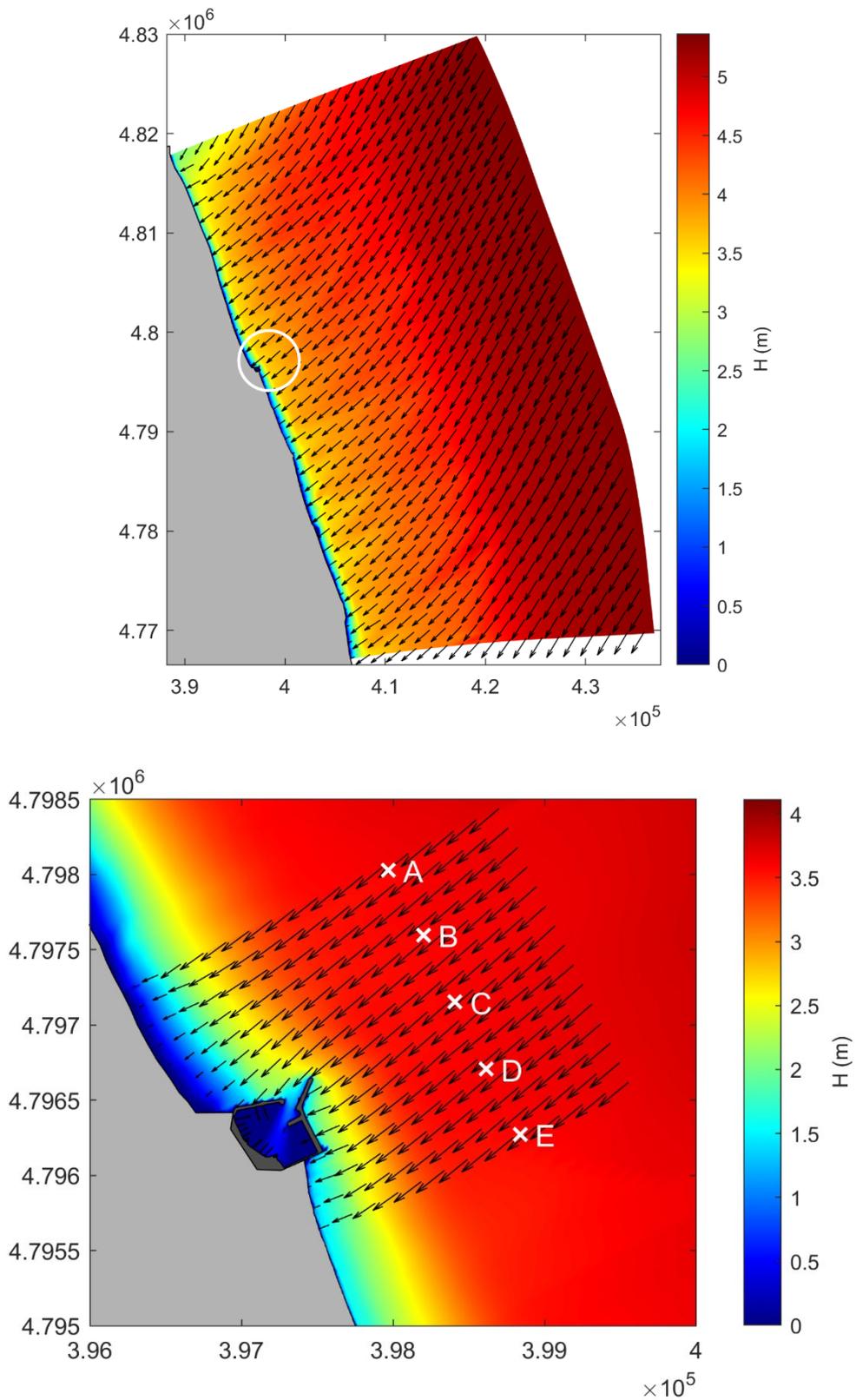


Figura 4.10 - Trasferimento onda con $TR=10$ anni e direzione $30^\circ N$. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

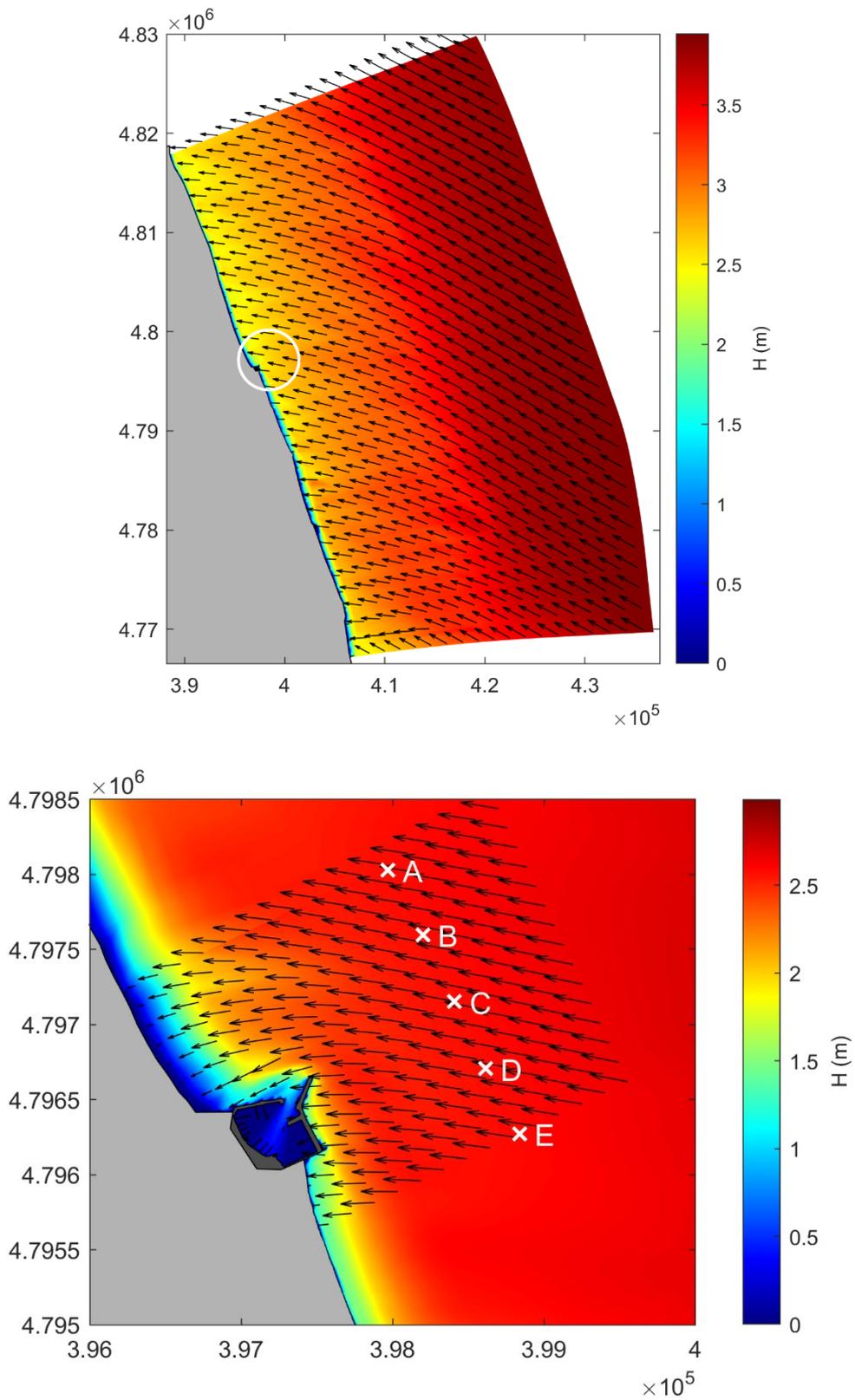
$TR = 1$ ANNI – DIREZIONE $120^\circ N$ 

Figura 4.11 - Trasferimento onda con $TR=1$ anno e direzione $120^\circ N$. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

$TR= 10$ ANNI – DIREZIONE $120^\circ N$

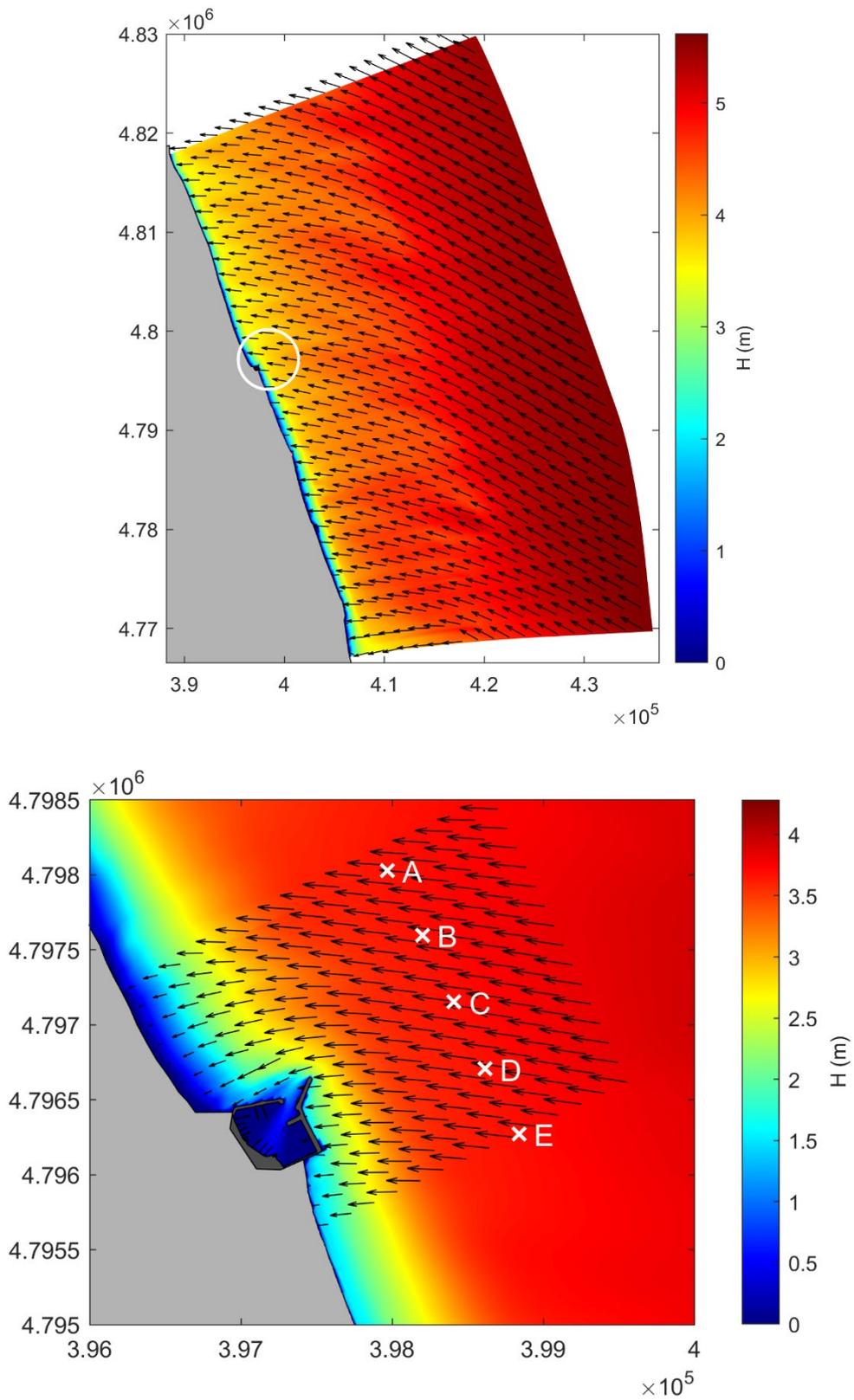


Figura 4.12 - Trasferimento onda con $TR=10$ anni e direzione $120^\circ N$. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

$TR = 10$ ANNI – DIREZIONE $330^\circ N$ + SOVRALZO DI 0.79 m

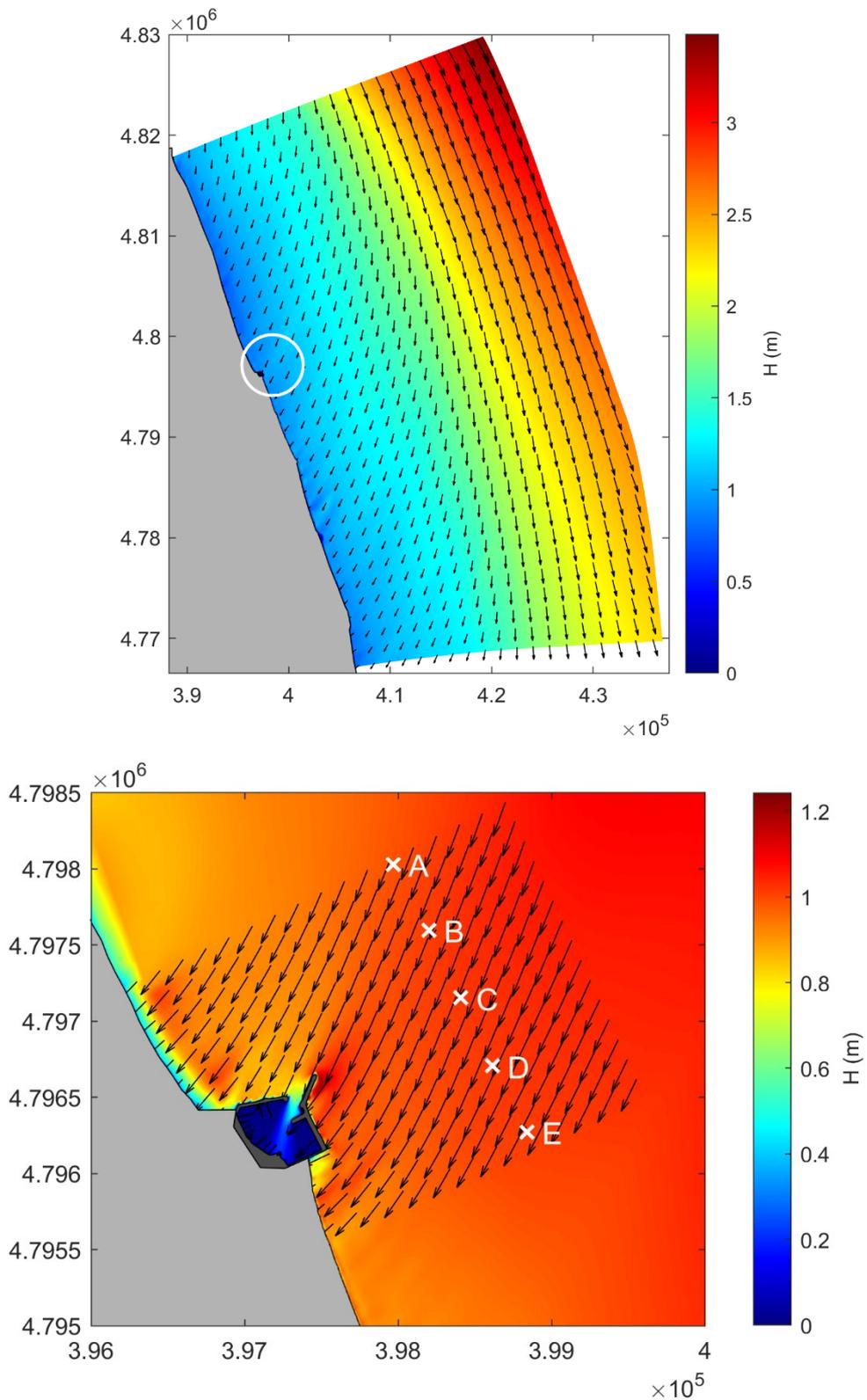


Figura 4.13 - Trasferimento onda con $TR=10$ anni e direzione $330^\circ N$ e sovrizzo di 0.79 m. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

$TR = 10$ ANNI – DIREZIONE $0^\circ N$ + SOVRALZO DI 0.79 m

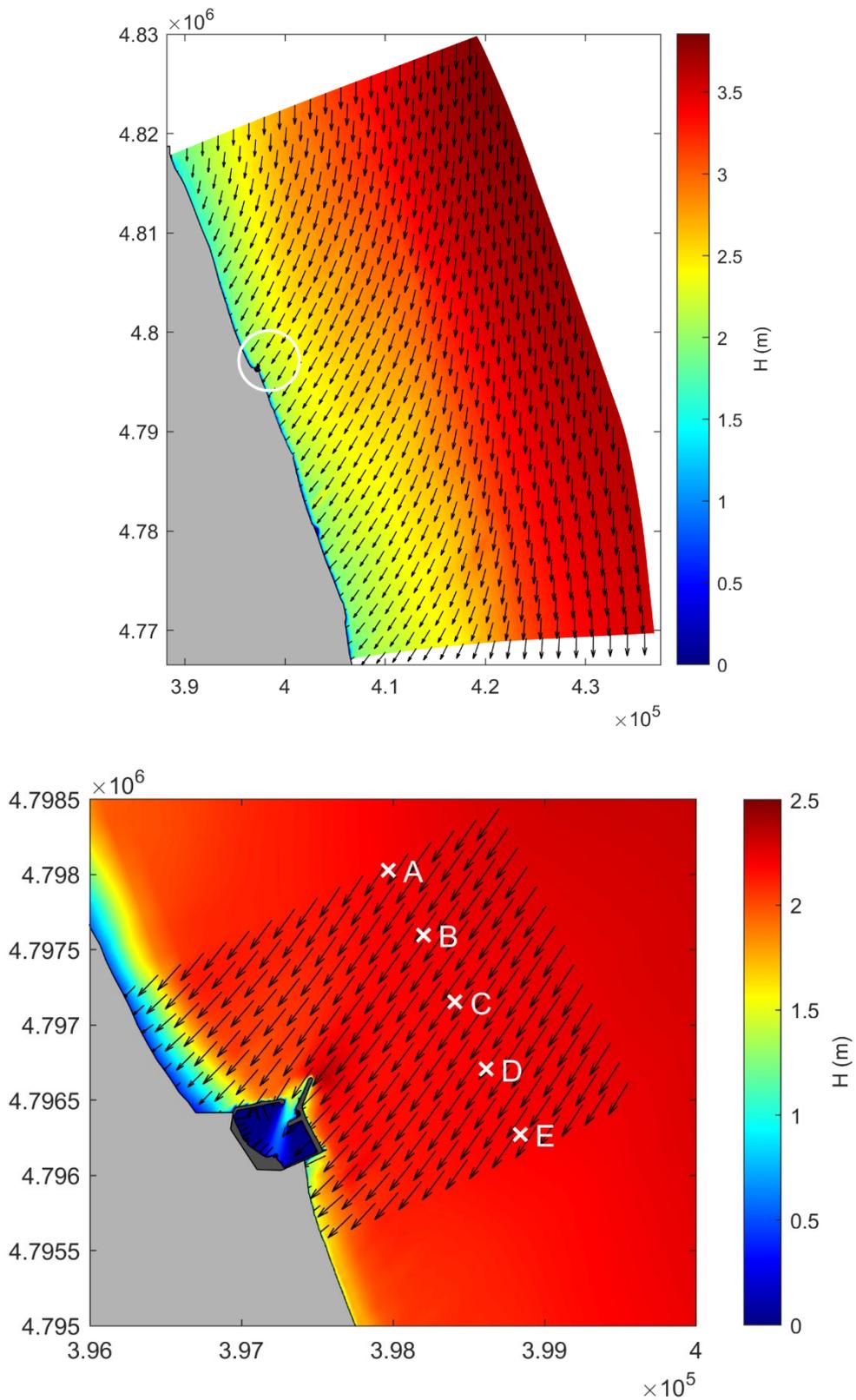


Figura 4.14 - Trasferimento onda con $TR=10$ anni e direzione $0^\circ N$ e sovrizzo di 0.79 m. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

$TR = 10$ ANNI – DIREZIONE $30^\circ N$ + SOVRALZO DI 0.79 m

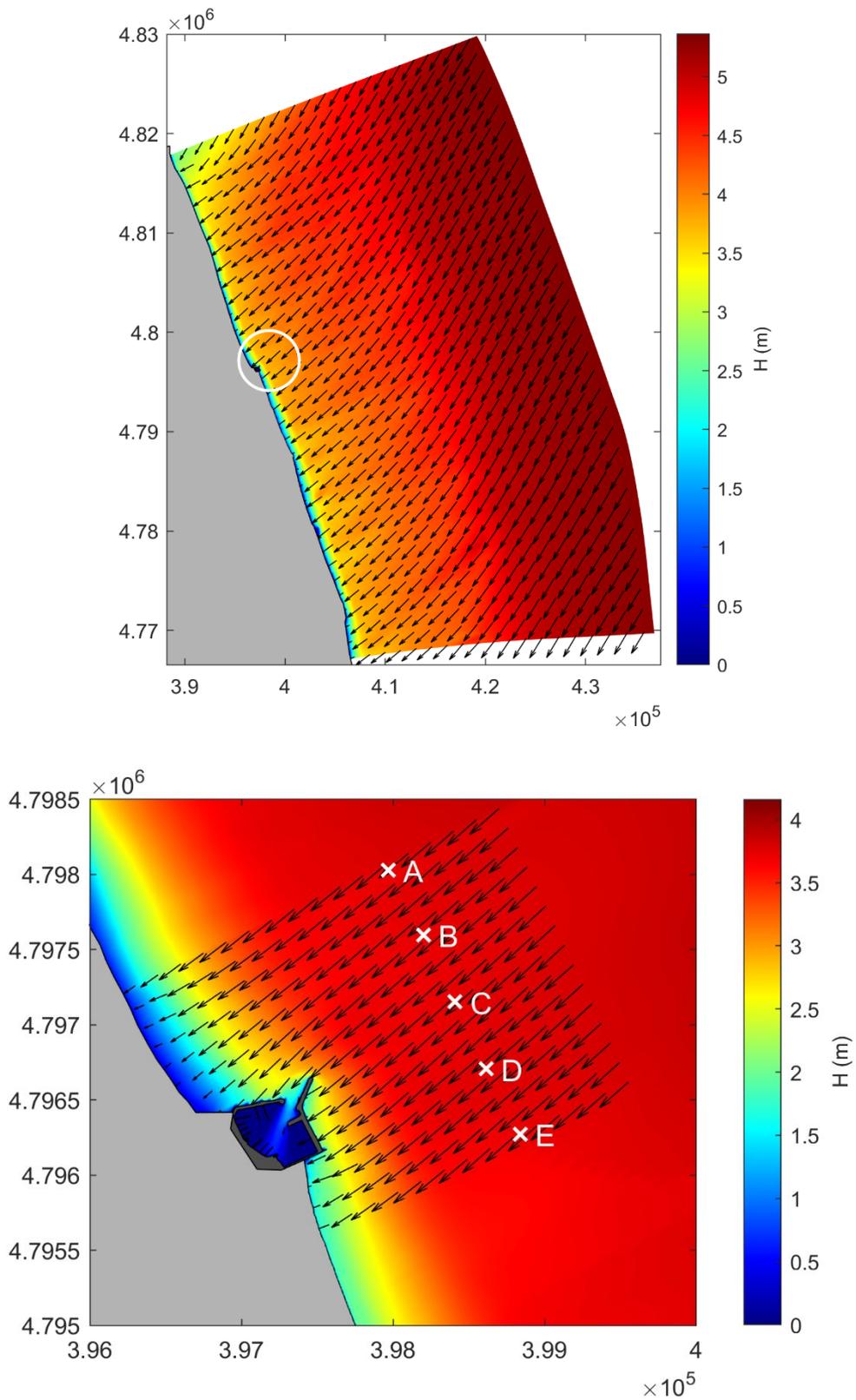


Figura 4.15 - Trasferimento onda con $TR=10$ anni e direzione $30^\circ N$ e sovrizzo di 0.79 m. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

$TR = 10$ ANNI – DIREZIONE $120^\circ N$ + SOVRALZO DI 0.79 m

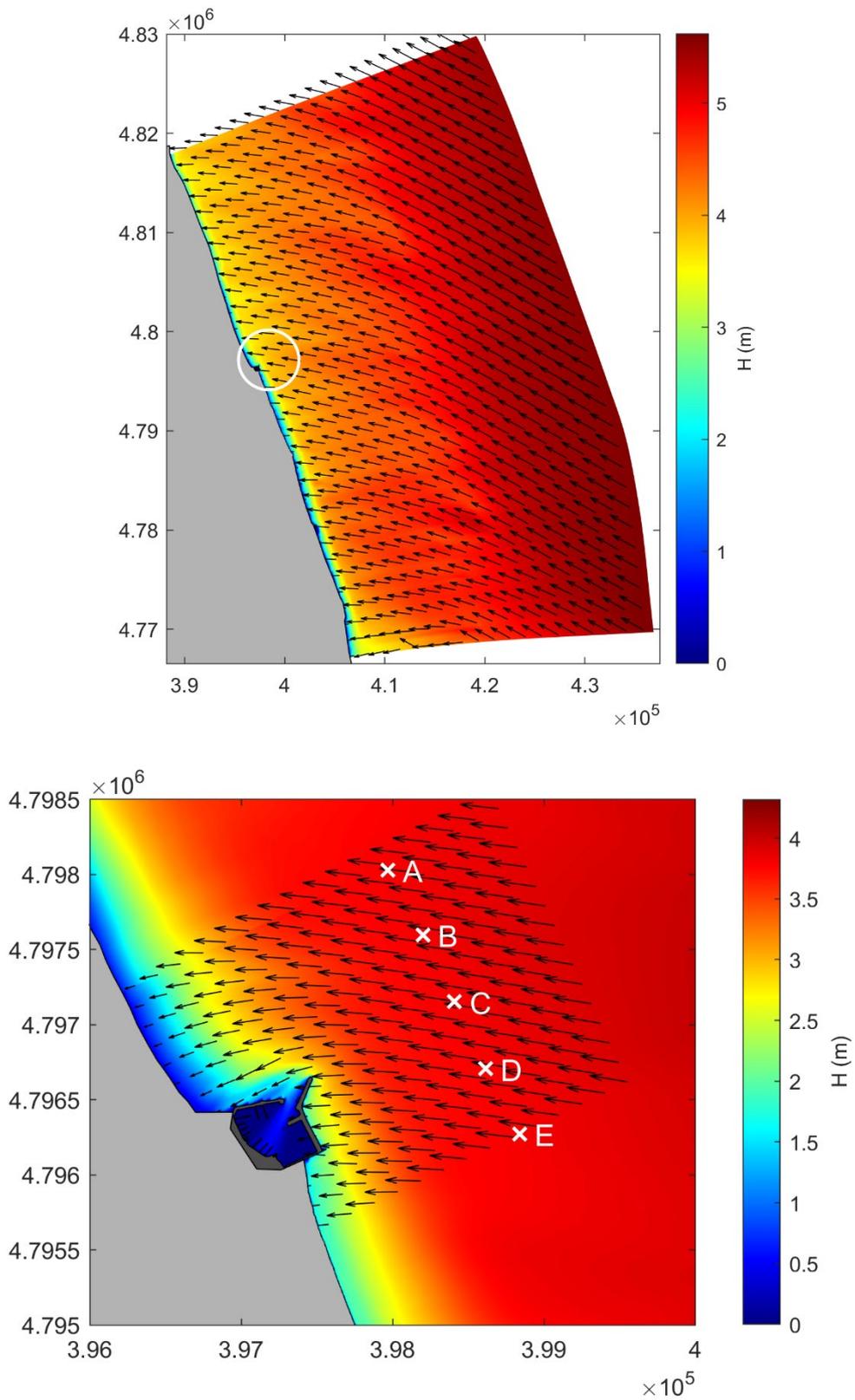


Figura 4.16 - Trasferimento onda con $TR=10$ anni e direzione $120^\circ N$ e sovrizzo di 0.79 m. Altezza d'onda al largo (in alto) e dettaglio sotto-costa (in basso) con i punti per la valutazione del trasferimento a 10 m di profondità.

In Tabella 4.1 sono sintetizzati, per ogni condizione ondosa trasferita, i valori medi ottenuti dai risultati nei punti A-E riportati nelle figure precedenti. In particolare, i valori sono ottenuti nei punti ad una profondità di 10 m a circa 1000 m dalla testata del Molo Est attuale. Si nota come le condizioni che risultano più gravose in termini di altezza d'onda sono quelle in cui le onde provengono da 30°N e 120°N. Tra le due ondatazioni, l'imboccatura portuale risulta maggiormente protetta per le onde provenienti da levante-scirocco. Si noti inoltre come nel caso in cui sia presente il sovrizzo, l'altezza d'onda risulta leggermente incrementata a causa della diminuzione dei fenomeni dissipativi. Inoltre, anche la rifrazione che l'onda subisce è leggermente inferiore e l'onda trasferita risulta avere un angolo di attacco, rispetto alla normale alla linea di riva (circa 60°N), leggermente maggiore.

Tabella 4.1 – Valori estremi al largo (pedice “0”) e trasferiti alla profondità di 10 m (pedice “t”).

Direzione	TR [anni]	S [m]	$H_{s,0}$ [m]	$H_{s,t}$ [m]	Direzione trasferita [°N]	Angolo rispetto al Molo Est del porto [°]
330° N	1	0.00	2.00	0.64	15	-7
	10	0.00	3.46	0.99	23	1
	10	0.79	3.46	1.01	22	0
0° N	1	0.00	2.55	1.32	34	12
	10	0.00	3.86	2.16	36	14
	10	0.79	3.86	2.20	35	13
30° N	1	0.00	4.10	2.71	47	25
	10	0.00	5.39	3.60	50	28
	10	0.79	5.39	3.73	49	27
120° N	1	0.00	3.95	2.58	100	78
	10	0.00	5.62	3.68	97	75
	10	0.79	5.62	3.80	98	76

Tuttavia, per una preliminare valutazione della condizione più critica in termini di agitazione ondosa all'interno del porto, il parametro principale da considerare è la direzione dell'onda rispetto all'imboccatura portuale. Considerando che il Mole Est, nello stato attuale, ha una inclinazione di 22°N, sono state valutati gli angoli tra le ondatazioni analizzate ed il molo di levante come mostrato nell'ultima colonna di Tabella 4.1. Le condizioni più critiche risulteranno essere quindi quelle caratterizzate da onde con le altezze maggiori e angoli relativi più piccoli in quanto la riduzione per diffrazione sarà minore. Tra quelle studiate, quindi, ci si aspetta che le onde più sfavorevoli siano quelle provenienti dai settori 0°N e 30°N. Le analisi della Sezione 5 sono quindi necessarie alla determinazione di tali condizioni critiche e allo studio delle diverse configurazioni future del porto nell'ottica di una mitigazione degli effetti negativi indotti all'interno del bacino portuale.

5. MODELLO DI AGITAZIONE INTERNA PORTUALE

Il codice di calcolo MIKE 21 è stato realizzato dal Danish Hydraulic Institute Water & Environment. È un software per la simulazione delle correnti a pelo libero con schema bidimensionale, applicabile in uguale maniera all'ambiente fluviale e a quello marino.

Il codice MIKE 21 ha una struttura modulare con quattro ambienti di applicazione principali, che comprendono i relativi moduli di applicazione: nel nostro studio è stato utilizzato il modulo BW (Boussinesq Wave) per determinare la propagazione in acque basse ed intermedie di onde irregolari corte o lunghe, condizione tipica delle aree portuali. Il codice MIKE 21 BW contiene due sotto-moduli di calcolo basati sulla soluzione numerica delle equazioni di Boussinesq per la determinazione e l'assegnazione di onde dinamiche nei porti e nelle aree costiere. Queste equazioni includono la non linearità e la dispersione di frequenza. Fondamentalmente, la dispersione di frequenza è introdotta nell'equazione della quantità di moto tenendo in considerazione gli effetti dell'accelerazione verticale sulla distribuzione della pressione. Entrambi i sotto-moduli risolvono le equazioni di Boussinesq usando una formulazione di flussi con sviluppo lineare delle caratteristiche di dispersione. Le equazioni di Boussinesq modificate (originariamente derivate da Madsen et al, 1991; Madsen e Sørensen, 1992) costruiscono i moduli adatti per la simulazione della propagazione di treni di onde direzionali che si propagano da acque profonde ad acque basse. In questo modello sono ben descritte la generazione e la distribuzione di basse frequenze di energia dovute alle principali trasformazioni delle onde. Il modello è capace di riprodurre gli effetti combinati di più fenomeni d'onda in ambito costiero e nell'ingegneria portuale includendo rifrazione, diffrazione e riflessione parziale di onde corte irregolari e onde lunghe di ampiezza limitata che si propagano su batimetrie complesse.

MIKE 21 BW include la porosità per la simulazione di parziale riflessione e/o trasmissione attraverso banchine e frangiflutti e la generazione interna di onde uni-direzionali e direzionali. Gli strati assorbenti sono applicati quando è richiesto il completo assorbimento dell'energia delle onde. L'applicazione del codice di calcolo richiede la definizione preliminare dei seguenti dati di ingresso per il corretto funzionamento del modello:

- la batimetria della zona;
- le condizioni al contorno;
- le caratteristiche delle strutture portuali;
- la condizione iniziale;
- le caratteristiche delle onde incidenti.

I paragrafi che seguono sono dedicati alla definizione di tali caratteristiche di ingresso per l'applicazione del modello di calcolo.

5.1 Descrizione del modello e delle condizioni testate

5.1.1 Configurazione batimetrica dei fondali

Per poter effettuare le simulazioni numeriche con il codice MIKE 21 BW è necessario definire la batimetria dell'area da modellare. Si è quindi proceduto alla raccolta di tutte le informazioni disponibili riguardanti la zona di mare sottocosta antistante il Porto di Civitanova Marche, che costituiranno l'area da simulare nel modello.

I dati dei rilievi batimetrici, effettuati dalla società Metis srl tra agosto e settembre 2021 nella area portuale e nella zona costiera a nord del porto (Figura 5.1) sono stati forniti dal Comune di Civitanova Marche. Tali rilievi batimetrici sono stati effettuati con diverse modalità:

- Rilievo multibeam dell'area portuale e imboccatura;
- Rilievo singlebeam della spiaggia sommersa del litorale a nord del porto;
- Rilievo con drone fotogrammetrico della spiaggia emersa del litorale a nord del porto.

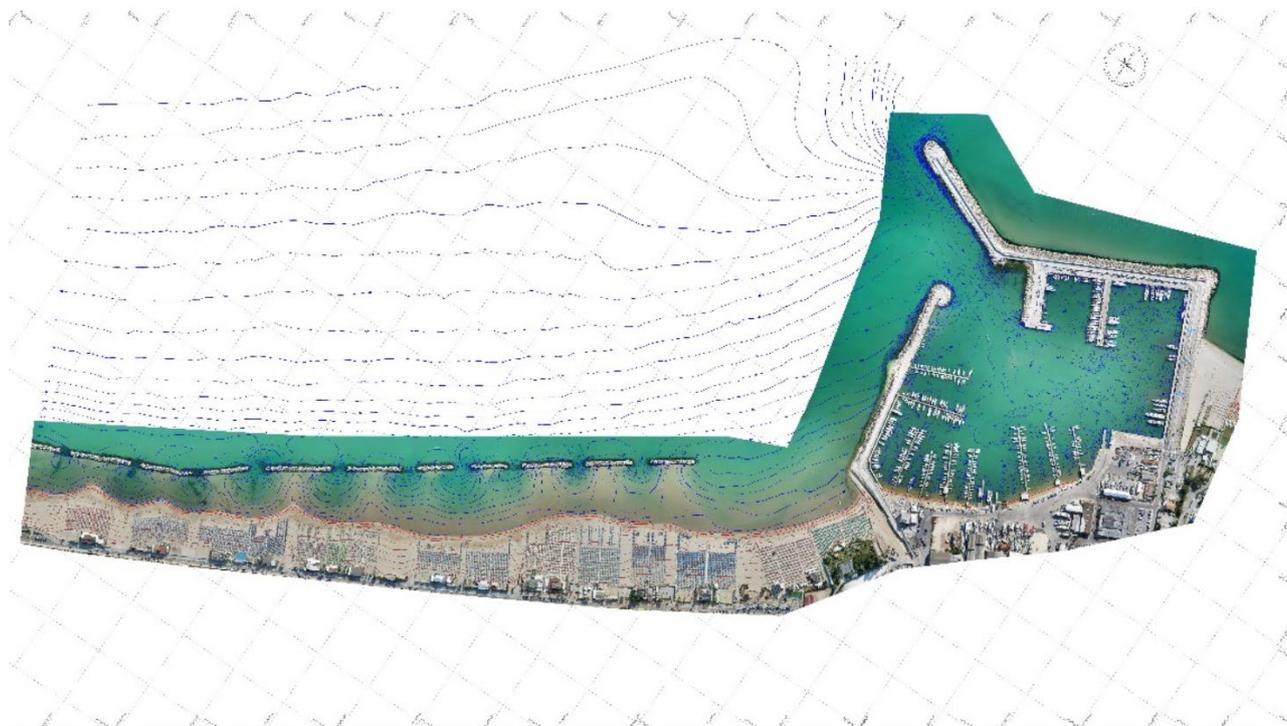


Figura 5.1 - Rilievo batimetrico effettuato dalla Metis srl e fornito dal Comune di Civitanova Marche.

Data la necessità di verificare le condizioni ondose con ondate provenienti dai due settori dominanti del paraggio costiero (ondate provenienti da bora-greco e da scirocco-levante), i dati batimetrici sono stati integrati con quelli relativi ad un precedente rilievo effettuato dal Comune di Porto Sant’Elpidio nel 2020, che hanno riguardato la zona costiera a sud del Porto di Civitanova Marche. Entrambi i rilievi batimetrici si estendono fino ad una profondità di circa 6 m.

Per poter estendere la zona da modellare fino ad una batimetrica regolare ad una profondità superiore rispetto a quella dei rilievi batimetrici a disposizione, sono stati utilizzati anche i dati desunti dalle carte nautiche. In particolare, i dati in formato cartaceo sono rappresentati dalle carte nautiche dell’Istituto Idrografico della Marina relative a “Dalla foce del Tronto ad Ancona” (n. 35 – scala 1:100.000) in Figura 1.3 e al Pianetto del Porto di Civitanova Marche (n. 214 scala 1:5000) in Figura 1.8. Per quanto riguarda i dati cartacei si è proceduto con la scansione e la georeferenziazione delle carte nautiche e successivamente con una digitalizzazione dei punti batimetrici riportati su di esse.

I dati a disposizione sono caratterizzati da una disomogeneità spaziale, la quale deve essere tenuta presente in sede di interpolazione per la costruzione del reticolo di calcolo. La batimetria dei fondali ottenuta dalla combinazione delle diverse serie di dati batimetrici a disposizione è mostrata in Figura 5.2.

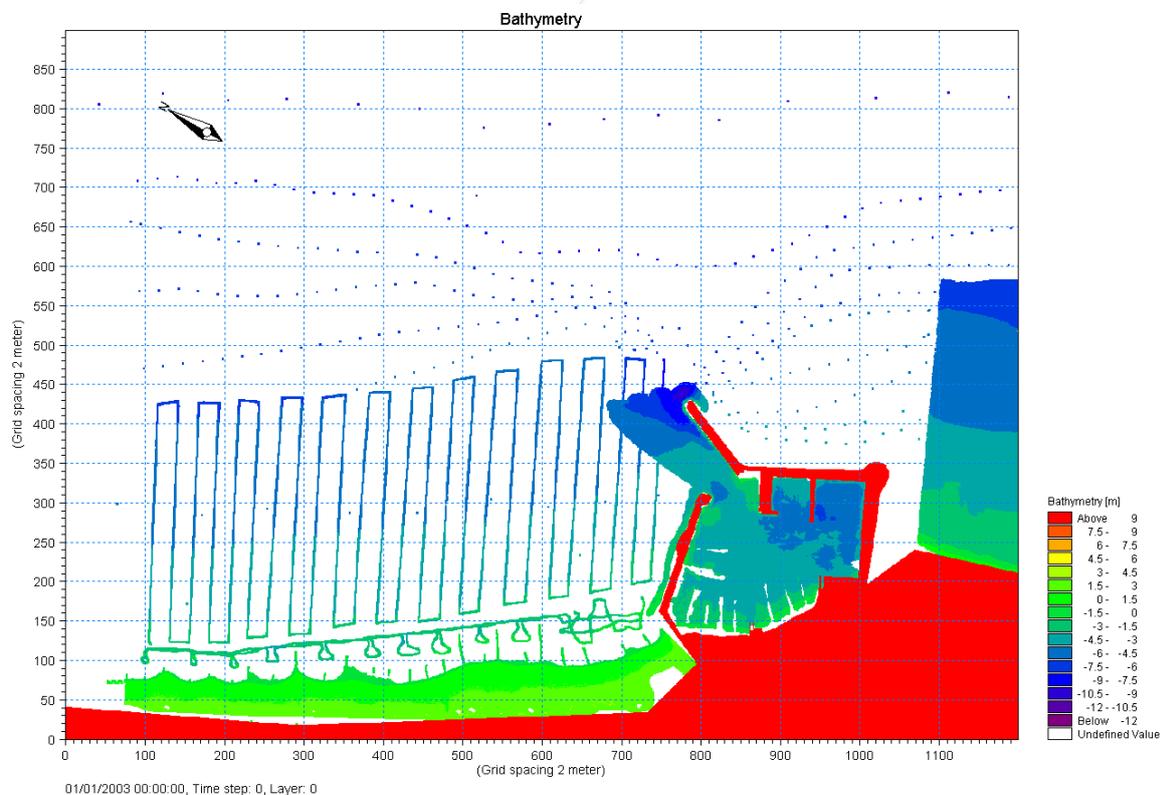


Figura 5.2- Dati batimetrici utilizzati nell’area portuale di Civitanova Marche e nella zona costiera intorno al porto.

5.1.2 Definizione dell'area da modellare e del passo di integrazione temporale

La batimetria dei fondali nell'area costiera intorno al porto è necessaria per simulare numericamente la propagazione dell'onda dalla zona di generazione fino all'imboccatura e l'agitazione ondosa interna al porto.

Nella scelta dell'area da modellare con il codice di calcolo MIKE 21 BW si è tenuto conto: della zona di interesse allo studio, dell'inclinazione del modello rispetto ai treni di onde incidenti e del tipo di condizioni al contorno. L'area di studio è stata scelta prendendo come origine il punto di coordinate proiettate UTM fuso 33N: 395950E, 4797600N, impostando una griglia di 2400 m di larghezza e di 1800 m di altezza e orientando il modello di 60°N, in modo tale da privilegiare le simulazioni con attacchi ondosi provenienti dalle direzioni di esposizione dell'imboccatura portuale (Figura 5.3). Come si osserva dalla figura il porto non è centrato nel dominio del modello in modo da ridurre l'influenza del bordo in corrispondenza dell'imboccatura portuale alle ondazioni provenienti dai settori settentrionali. L'inclinazione del modello di 60°N corrisponde alla direzione normale alla linea di riva (circa 60°N).

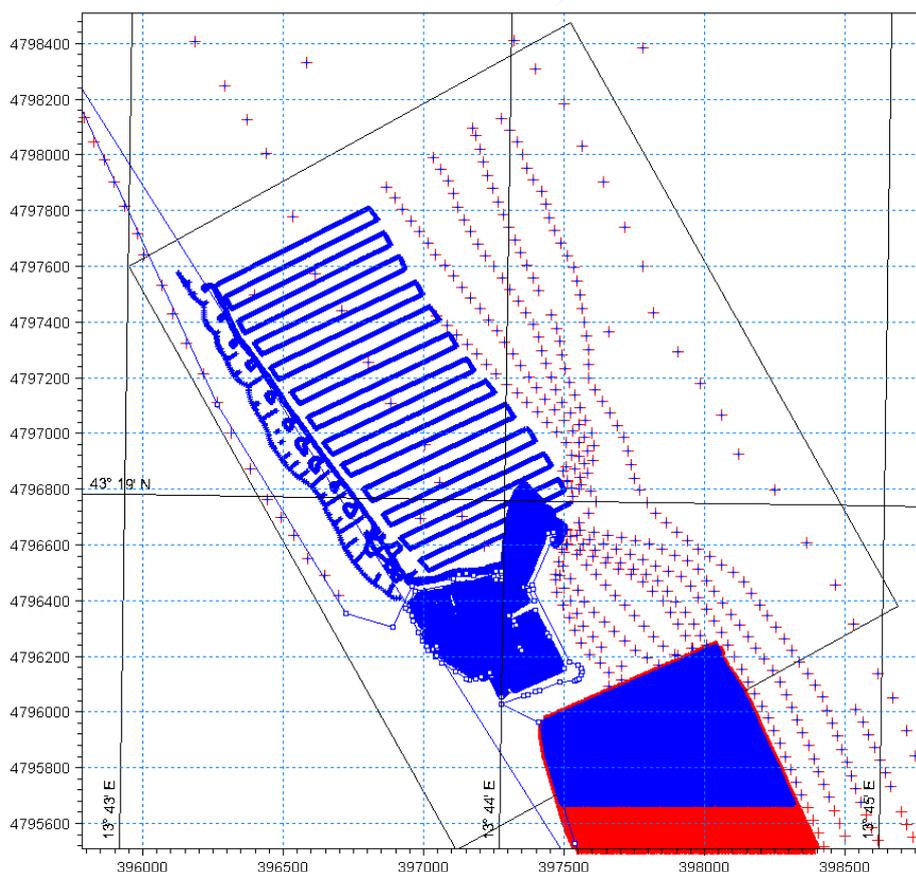


Figura 5.3 – Area del modello nelle simulazioni con il codice di calcolo MIKE 21 BW (inclinazione di 60°N).

La dimensione della griglia spaziale e del passo di integrazione temporale da utilizzare nelle simulazioni dipendono dalle condizioni ondose che si vogliono testare e dalla profondità dell'acqua nell'area del modello. Si deve tener presente che:

- il rapporto tra la massima profondità dell'acqua e la lunghezza d'onda in acque profonde deve essere inferiore a 0,22 per poter applicare le equazioni classiche di Boussinesq ed inferiore a 0,55 per l'applicazione delle equazioni modificate;
- la dimensione della griglia spaziale deve tener conto della più piccola lunghezza d'onda; per molte applicazioni 2DH sono sufficienti 7-10 punti griglia per lunghezza d'onda;
- il passo temporale deve tener conto del più piccolo periodo d'onda; generalmente per le equazioni classiche sono richiesti 8-10 passi temporali per periodo d'onda, mentre 25-35 passi per periodo d'onda sono necessari se si devono utilizzare le equazioni modificate;
- il numero di Courant deve essere inferiore ad 1. Per una efficiente determinazione del numero di Courant si può usare il MIKE 21 BW Model Setup Planner. Nella Figura 5.4 viene riportato un esempio di applicazione svolto nel presente studio.

Nello studio in oggetto si è scelto di disporre la linea di generazione delle onde "Wave generation" in corrispondenza della linea batimetrica -10 m perché caratterizzata da una maggiore regolarità e parallelismo rispetto alla linea di costa, per cui la massima profondità del modello è pari a 10 m.

Il Porto di Civitanova Marche ha una spiaggia all'interno dell'area portuale, per cui se si volesse rappresentare la batimetria della linea di riva la minima profondità da impostare nel modello sarebbe nulla. Per rispettare tutte le condizioni precedentemente elencate si dovrebbe utilizzare un passo della maglia molto ridotta, con un notevole incremento del costo computazionale. Dato che l'obiettivo dello studio non è l'analisi del movimento della linea di riva all'interno del porto, ma lo studio dell'agitazione ondosa interna portuale, si è scelto di modellare la spiaggia imponendo un'opportuna condizione al contorno in grado di simulare il comportamento dissipativo della stessa (Sezione 5.1.4). La spiaggia è stata quindi simulata come un bordo poroso costituito da una serie di strati assorbenti con un basso coefficiente di riflessione (20%). I dati batimetrici sono stati adattati in modo da imporre una profondità minima di 1 m all'interno del porto.

MIKE 21 BW Model Setup Planner



Define your model

Max. water depth (m)	10
Min. water depth (m)	1
Model extent in X-direction (m)	1200
Model extent in Y-direction (m)	900
Percentage of water points (%)	60
Max. distance for waves to propagate (m)	1200
Time required for calculation of statistics (minutes prototype time)	20
Computational points per CPU second ²⁾	100000
Spectral peak period (s)	11.7
<input checked="" type="radio"/> Exclude wave breaking/moving shoreline	
<input type="radio"/> Include wave breaking/moving shoreline	

Calculate simulation period

A: Total simulation time	
Total time required for simulation (minutes prototype time) ³⁾	22.95

Reset and clear all

Legend:

OK Not OK

Notes:

1) The MIKE 21 BW Model Setup Planner is based on the step-by-step procedure shown [here](#).

2) The computational points per CPU second can be found at the end of the run log file.

3) Includes the travel time of the first wave and the time required for calculation of wave statistics.

4) The spatial resolution may be OK in case of wave breaking/moving shoreline. Make sure the ratio L/dx is 20-40 for T_p (see check/evaluation box).

Calculate and check/evaluate T_{min} , dx and dt ¹⁾

	B: Calculate default upper limits	
	Classical eq.	Enhanced eq.
Upper limits		
Min. wave period, T_{min} (s)	5.4	5.4
Max. spatial resolution, dx (m)	2.36	2.36
Max. time step, dt (s)	0.238	0.154
C: Update upper limits using T_{min} and check/evaluation		
Own suggestion		
Min. wave period, T_{min} (s)	5.4	5.4
Spatial resolution ⁴⁾ , dx (m)	2	2
Time step, dt (s)	0.2	0.1
Check/evaluation of selected T_{min}, dx and dt		
Max. ratio h/L_o for T_{min}	0.2194	0.2194
Max. ratio h/L_o for T_p	0.0046	0.0046
Min. ratio L/dx for T_{min}	8.2660	8.2660
Min. ratio L/dx for T_p	18.242	18.242
Ratio T/dt for T_{min}	27	54
Ratio T/dt for T_p	58.499	116.99
Max. Courant Number	0.9909	0.4954
Estimated CPU time (hours)	3.1103	6.2206
Estimated RAM (MB)	30.394	30.394

Figura 5.4 - MIKE 21 BW Model Setup Planner per il numero di Courant.

Il reticolo di calcolo per il modello numerico è stato quindi definito utilizzando una maglia quadrata di passo pari a 2 m. La maglia di calcolo è costituita da 1200 celle in larghezza e 900 in altezza, per una estensione totale dell'area di 2400 m per 1800 m. Il rispetto di tutte le condizioni sopra riportate ha condotto alla scelta di un passo temporale di 0,2 s, quando si utilizzano le equazioni classiche per le quali sono state assunte condizioni di assenza di frangimento. Nel caso di ondate più intense si è osservato che nella propagazione delle onde verso l'imboccatura del porto potevano raggiungersi condizioni di instabilità numerica. Questa instabilità è stata attribuita al raggiungimento di condizioni di frangimento dell'onda per eccesso di ripidità. Si è quindi proceduto andando ad utilizzare le equazioni di Boussinesq modificate le quali migliorano le caratteristiche dispersive del modello e sono raccomandate nelle simulazioni in cui si includono condizioni di frangimento. Per mantenere la stessa griglia con la stessa dimensione della cella di 2 m, è stato necessario imporre un passo temporale inferiore e pari a 0,1 s.

Nel modello sono state simulate onde irregolari unidirezionali, per riprodurre mareggiate aventi le medesime caratteristiche di mareggiate di durata pari a 24 minuti. La durata della simulazione è stata scelta sulla base delle indicazioni riportate sul "Mike 21 BW Model Setup Planner" per il raggiungimento della condizione stazionarie (tempo minimo richiesto pari a 22,86 minuti).

La griglia di calcolo è stata realizzata tramite l'applicazione "Bathymetry" di MIKE ZERO a partire dai dati del reticolo ottenuti in precedenza e tenendo conto dalla disomogeneità dei dati di profondità dei fondali, si è utilizzato un differente raggio di interpolazione dei dati a seconda delle

zone (20 m nella fascia costiera e nella zona interna portuale, 100 m nella zona dalla batimetria - 6 m alla linea di generazione dell'onda corrispondente alla batimetria -10 m).

La Figura 5.5 mostra la batimetria ricavata per la Configurazione attuale del molo.

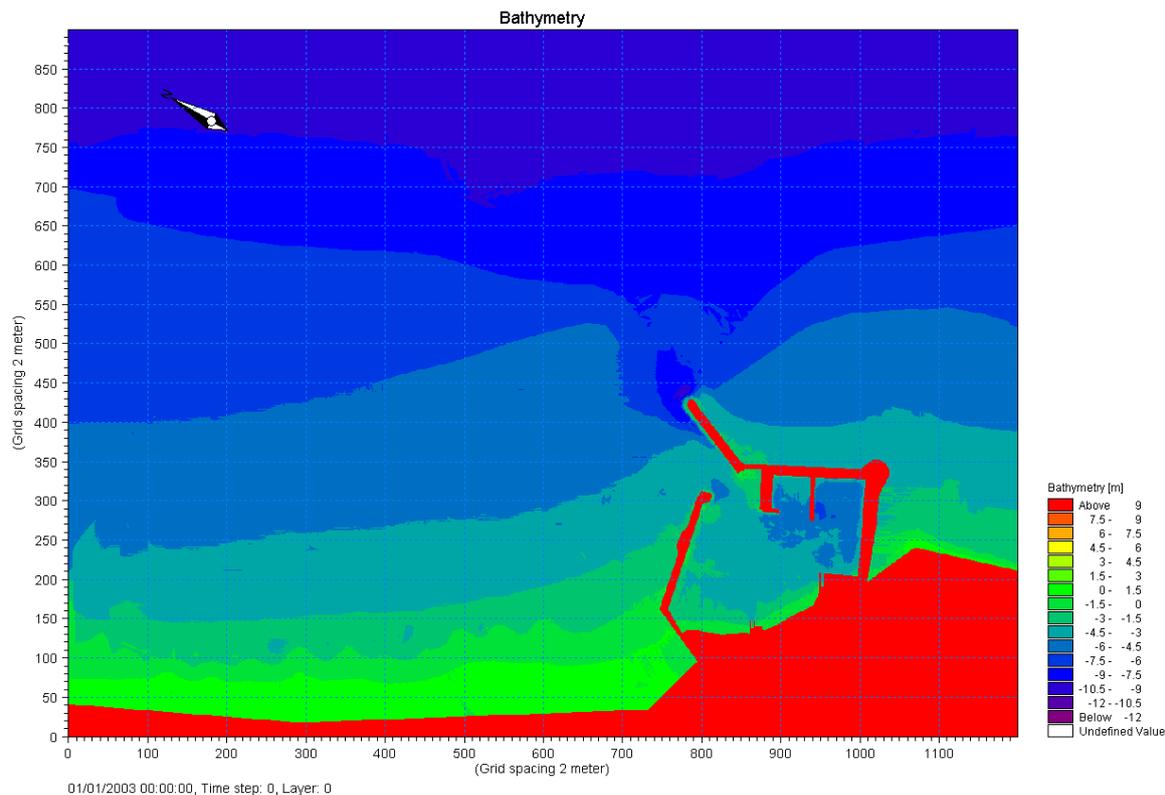


Figura 5.5 – Configurazione morfologica dei fondali adattato utilizzata per le simulazioni dell'analisi dell'agitazione ondosa interna al Porto di Civitanova Marche per la Configurazione attuale.

La Figura 5.6 mostra la batimetria relativa alla configurazione con molo parzialmente realizzato (prolungamento del molo per il solo tratto lungo la direzione attuale) e la Figura 5.7 mostra la batimetria relativa alla configurazione con molo definito nel Piano Regolatore Portuale

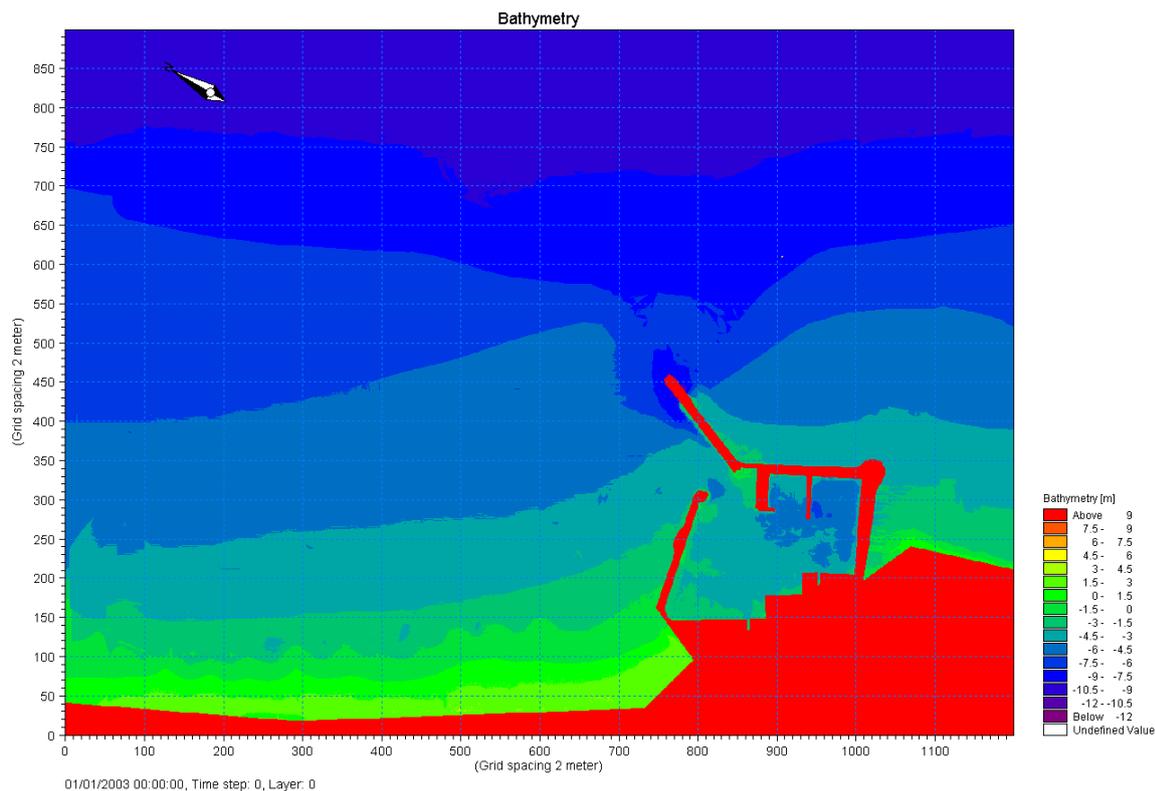


Figura 5.6 – Configurazione morfologica dei fondali adattato utilizzata per le simulazioni dell’analisi dell’agitazione ondosa interna al Porto di Civitanova Marche per la Configurazione con molo parziale.

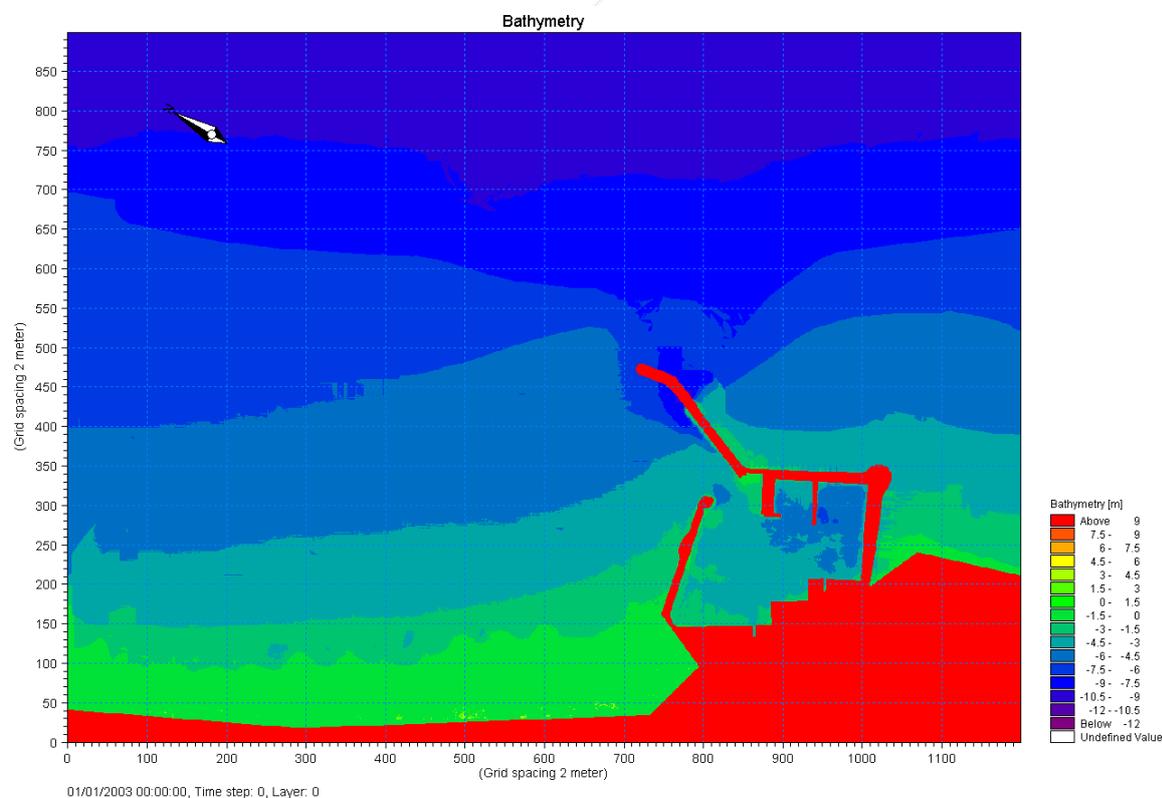


Figura 5.7 – Configurazione morfologica dei fondali adattato utilizzata per le simulazioni dell’analisi dell’agitazione ondosa interna al Porto di Civitanova Marche per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale (PRP).

5.1.3 Condizioni al contorno

Il codice MIKE 21 BW può schematizzare i limiti del dominio di calcolo come contorni aperti o come contorni chiusi. I contorni aperti sono posti generalmente in corrispondenza di una linea di delimitazione in acqua, mentre quelli chiusi sono posti al limite tra acqua e terra. Il modello considera il contorno aperto come completamente riflettente e quindi non in grado di simulare la condizione “radiativa”, cioè del contorno del modello capace di assorbire le onde in uscita dall’area di simulazione. Il contorno chiuso è invece capace di modellare la condizione di assorbimento tramite la definizione di una fascia di strati assorbenti disposti lungo il bordo del modello, in cui viene simulata la dissipazione del flusso per filtrazione attraverso un mezzo poroso.

Per delimitare l’area di calcolo del modello, escludendo le zone di mare che non hanno alcuna influenza sulle condizioni d’onda nell’area portuale, sono state inserite delle “Artificial lands” (in giallo nella Figura 5.8, cioè zone del modello in cui la profondità effettiva viene sostituita con un valore positivo e quindi vengono considerate come terra emersa ed escluse dal calcolo.

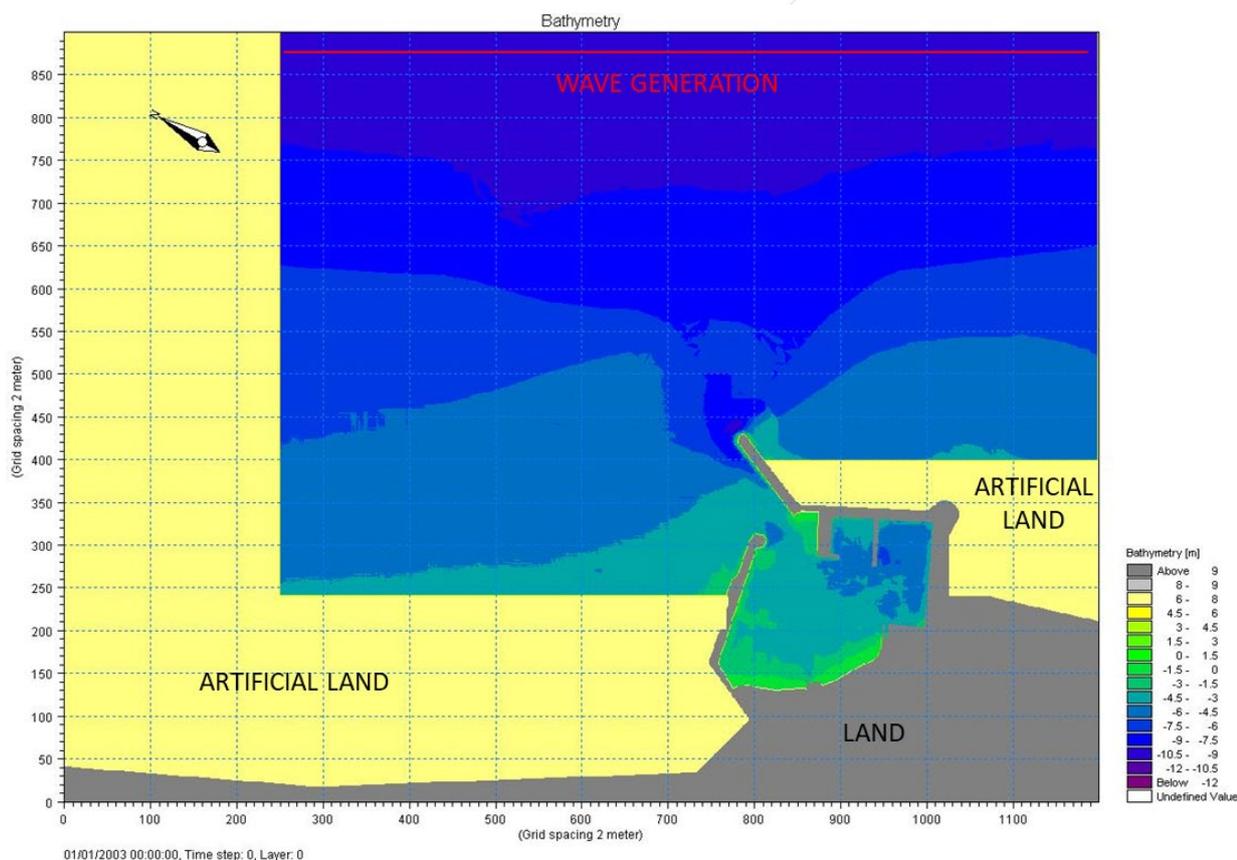


Figura 5.8 – Schema planimetrico del Porto di Civitanova Marche con indicazione della terra emersa “Land” (in grigio) e terra emersa artificiale “Artificial Land” (in giallo) e linea di generazione delle onde.

Nello studio si è scelto di utilizzare contorni chiusi resi assorbenti da un numero di 20 strati (“Sponge” layer), come mostrato nella Figura 5.9, in modo da minimizzare la riflessione nei

contorni del dominio di calcolo e nelle zone in cui la riflessione è assente. Il contorno assorbente è stato imposto nei contorni del dominio di calcolo delimitate da acqua e nelle zone a contatto tra lo specchio acqueo e la zona “Artificial land”.

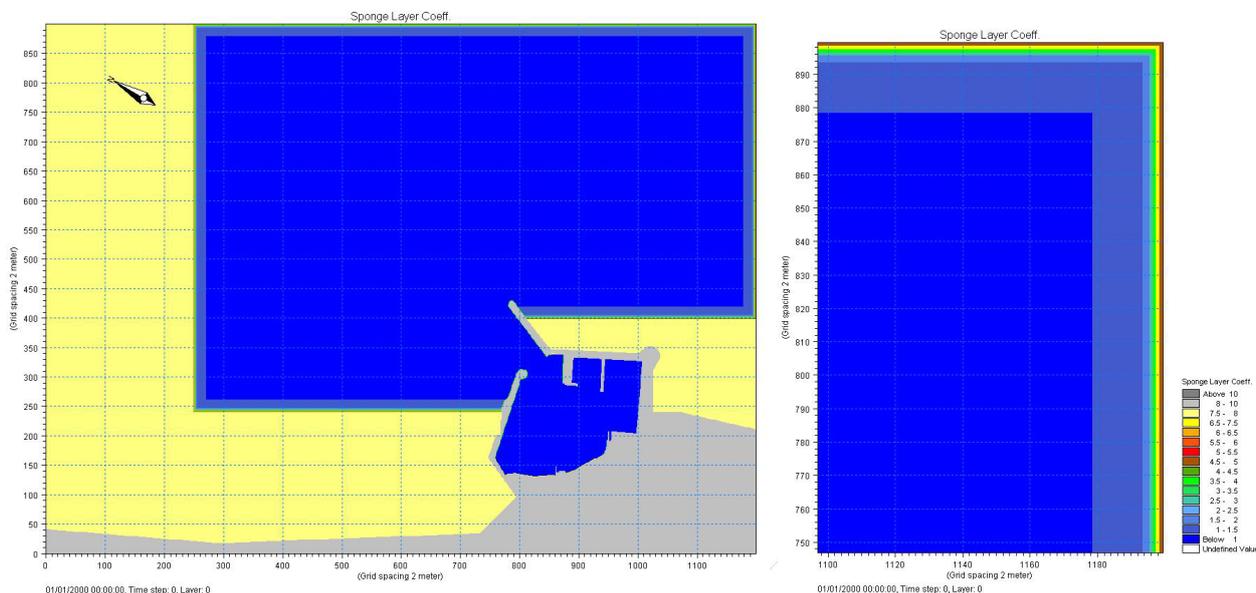


Figura 5.9- Mappa degli strati assorbenti nei contorni fluidi del modello (“Sponge layer”), a destra il particolare degli strati assorbenti.

5.1.4 Caratteristiche delle strutture portuali

In maniera simile al trattamento della condizione di assorbimento lungo i contorni chiusi, il modello può simulare il comportamento di strutture costiere o portuali riflettenti o parzialmente assorbenti tramite l’inserimento lungo il bordo delle strutture di una serie di strati porosi. Il coefficiente di porosità deve essere scelto in modo di riprodurre il desiderato grado di riflessione delle strutture.

In base alla configurazione tipologica e strutturale delle opere portuali presenti nel Porto di Civitanova Marche, in particolare del loro fronte acqueo, è stato possibile assegnare a ciascuna di esse un grado di assorbimento o riflessione ondosa rispetto all’onda incidente.

Tale comportamento delle strutture portuali, in relazione agli attacchi ondosi gravanti, è fondamentale per impostare le condizioni dei contorni terrestri degli specchi acquei da modellare negli studi di agitazione ondosa interna.

Nel caso del Porto di Civitanova Marche, sono state adottate quattro diverse tipologie strutturali da trattare in modo distinto fra loro ai fini del comportamento di riflessione/assorbimento ondoso.

In particolare, sono stati modellati i seguenti quattro gruppi: il gruppo di moli con paramenti costituiti da opere a gettata di massi, le banchine a parete verticale, la spiaggia interna al porto e la zona di riva protetta da una gettata di massi, come rappresentato in Figura 5.12.

Al primo gruppo (rappresentato con il contorno in rosso) sono state associate il Molo Est del porto e le banchine interne costituite da scogliere.

Al secondo gruppo (rappresentato con il bordo di contorno grigio) appartengono le banchine a parete verticale.

Al terzo gruppo (rappresentato con il bordo di contorno in arancione) appartiene la zona di riva protetta da scogliera, vd. Figura 5.10 – sinistra.

Al quarto gruppo (rappresentata con il bordo di contorno in verde) appartiene la zona di spiaggia all'interno del Porto di Civitanova Marche, vd. Figura 5.10 - destra.



Figura 5.10 - Zona di riva protetta da una gettata di massi (sinistra) e spiaggia all'interno del Porto di Civitanova Marche (destra).

Dallo schema in Figura 5.11, in cui sono riportati gli intervalli possibili dei coefficienti di riflessione per diverse tipologie di opere portuali e spiagge, sono stati ricavati i valori da impostare. La valutazione del grado di riflessione è stata effettuata tenendo anche in conto della profondità media al piede del molo o banchina e della lunghezza d'onda massima incidente.

Al primo gruppo è stato quindi assegnato un coefficiente di riflessione del 50%, alle opere del secondo gruppo è stata assegnata una riflessione del 100% (condizione di riflessione totale), al quarto gruppo è stato associato un coefficiente di riflessione del 40% e al quarto gruppo si è attribuito il coefficiente di riflessione del 20% (spiaggia quasi totalmente dissipativa).

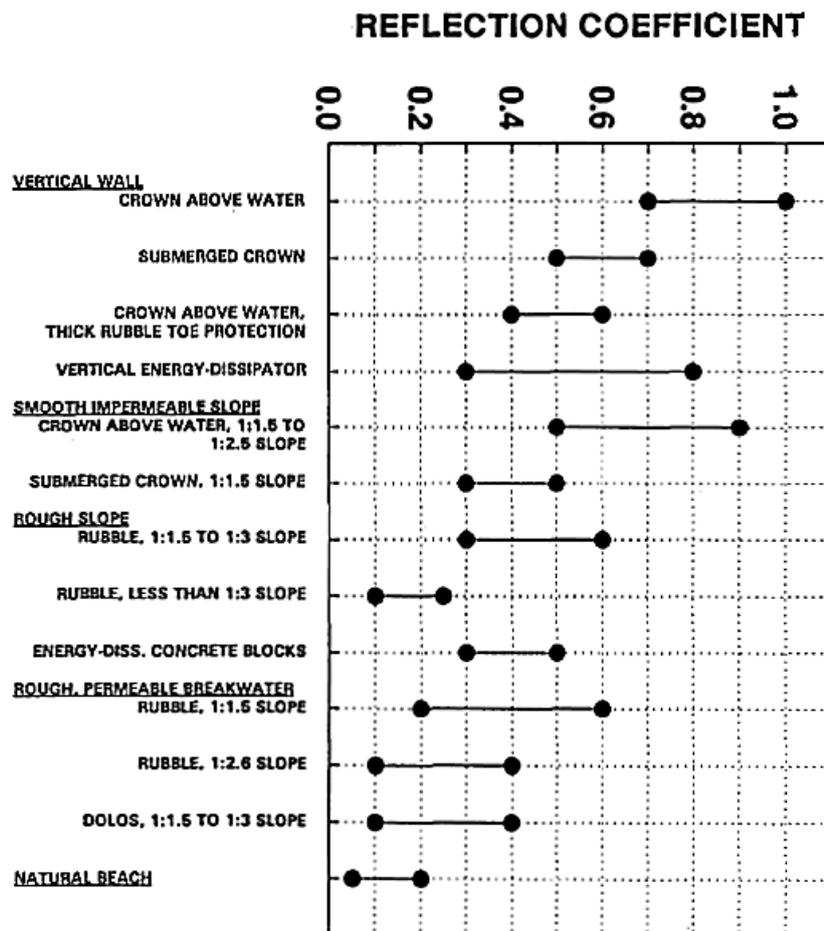


Figura 5.11 – Coefficienti di riflessione caratteristici per diverse tipologie di opere portuali e spiagge.

Le configurazioni di molo parzialmente allungato (C1) e di molo realizzato come da Piano Regolatore Portuale (C2) prevedono entrambe il banchinamento dei moli interni, per cui per tali configurazioni si utilizzano solo due gruppi di porosità: molo a scogliera (contorno in rosso) e banchine a parete verticale (contorno in grigio), come riportato in Figura 5.13.

Per la stima dell'altezza d'onda e del coefficiente di diffrazione, le banchine interne previste dal Piano Regolatore Portuale sono state assunte a parete verticale totalmente riflettente, non essendoci a disposizione un progetto per valutarne la tipologia. Tale ipotesi è la più cautelativa ai fini della valutazione dell'agitazione interna portuale, poiché si assume un grado di riflessione massimo (100%).

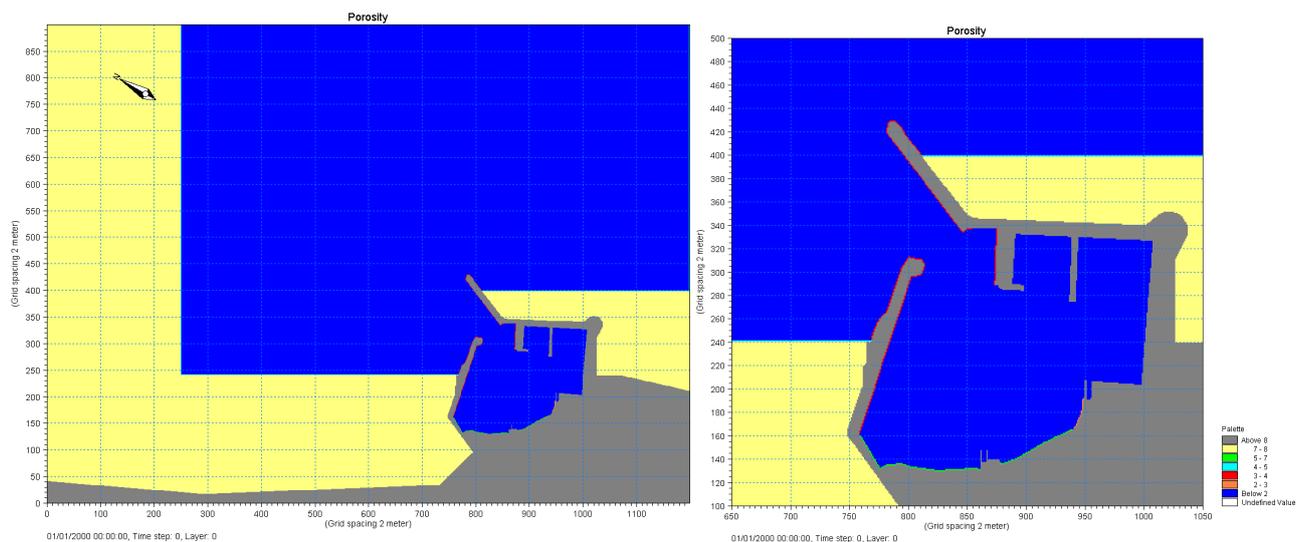


Figura 5.12 – Mappa di porosità per la Configurazione attuale C0 (sinistra). Dettaglio della mappa di porosità nell’area portuale per la Configurazione attuale C0 (destra): scogliera a gettata di massi (rosso), parete verticale ricoperta di massi (arancione), spiaggia (verde), strato assorbente “sponge” (celeste).

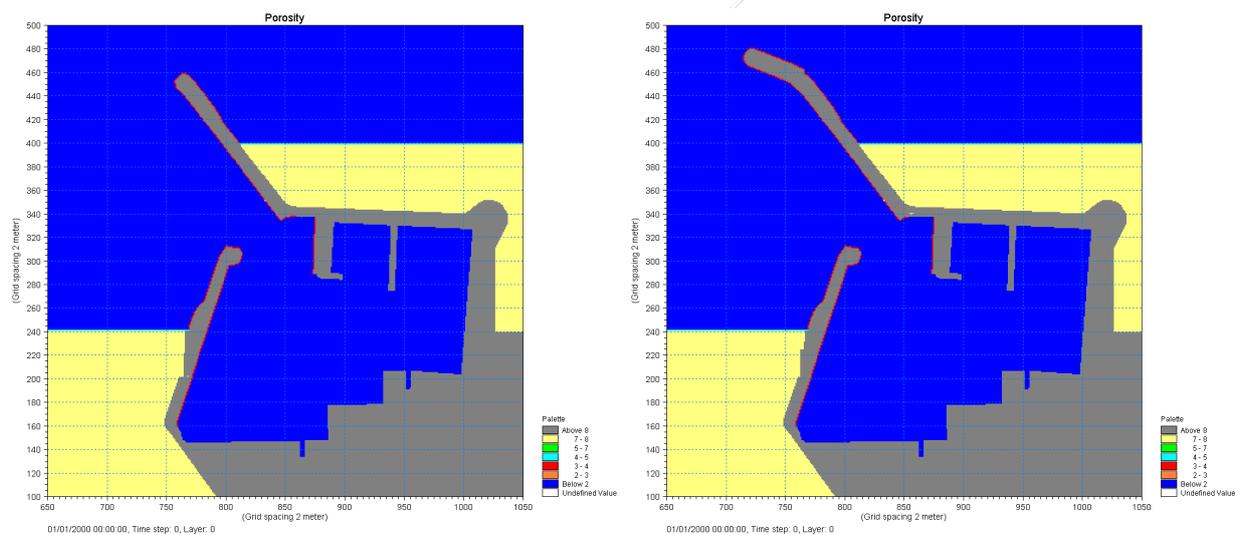


Figura 5.13 – Dettaglio della mappa di porosità nell’area portuale per la Configurazione con molo parziale C1 (sinistra) e per la configurazione del molo prevista dal Piano Regolatore Portuale C2 (destra): scogliera a gettata di massi (rosso), strato assorbente “sponge” (celeste).

5.1.5 Condizione iniziale

La condizione iniziale scelta è quella di superficie libera in quiete per le simulazioni associate ad un tempo di ritorno $TR=1$ anno, trascurando le oscillazioni dovute ai dislivelli delle maree astronomiche e/o delle sopraelevazioni meteorologiche.

Per le simulazioni associate ad un tempo di ritorno $TR=10$ anni sono stati considerati due scenari: scenario con condizione iniziale di superficie libera in cui si trascurano le oscillazioni dovute ai

dislivelli delle maree astronomiche e/o delle sopraelevazioni meteorologiche; scenario con condizione di sopraelevazione meteorologica di 0,79 m considerata come una condizione di sopraelevazione media per i diversi settori direzionali per un tempo di ritorno di 10 anni. Si fa notare che il sovrizzo ondoso (*wave-setup*) è incluso nel modello numerico MIKE21 BW in condizioni di frangimento.

La condizione di sopraelevazione meteorologica di 0,79 m è stata mantenuta costante per tutte le direzioni di provenienza delle ondate, tenendo conto che per i settori di esposizione dell'imboccatura portuale, corrispondenti alle ondate provenienti dai settori settentrionali, tale valore è cautelativo, in quanto le mareggiate provenienti dai settori di scirocco-levante sono quelle tipicamente caratterizzate dai maggiori sovrizzi.

5.1.6 Condizioni ondose simulate

L'attuale imboccatura del Porto di Civitanova Marche risulta esposta alle direzioni comprese tra i 342°N e i 45°N. Le ondate con direzioni di provenienza da NordOvest sono caratterizzate da *fetches* relativamente limitati.

Le ondate trasferite dal largo di Civitanova Marche fino alla batimetrica di -10 m per le diverse condizioni meteomarine, sono state utilizzate per le simulazioni con il modello di agitazione interna portuale.

Le onde, propagandosi da largo verso costa per effetto della rifrazione, tendono a ridurre l'angolo d'inclinazione dei fronti ondosi rispetto alle linee batimetriche, per cui un'ondata che al largo ha un angolo di inclinazione rispetto alla direzione normale alla costa, tenderà a ridurre tale angolo mentre si avvicina verso riva. Per quanto riguarda le direzioni di provenienza delle onde al largo, sono state studiate le ondate provenienti dai settori settentrionali con angolo di 330°N, 0°N e 30°N per tempi di ritorno di 1 anno e 10 anni, che assumono un angolo a riva compreso tra 15°N e 50°N circa (vedi Tabella 4.1). Sono inoltre state simulate le ondate con direzione di provenienza al largo di 120°N (angolo di circa 100°N a riva) perché tale settore è caratterizzato dal maggior flusso energetico ondoso dell'intera traversia del sito in esame e dalle massime altezze d'onda associate ai tempi di ritorno di 1 e 10 anni.

Dalla combinazione delle diverse condizioni ondose relative a tempi di ritorno di $TR=1$ anno e $TR=10$ anni (con e senza sovrizzo) per le tre diverse configurazioni del porto si sono raggiunti 30 diversi casi da simulare nel modello di agitazione interna portuale, come riassunto nella Tabella 5.1. Le analisi dei risultati vengono proposte in termini di altezze d'onda significativa, coefficienti di diffrazione, superficie libera ed elevazione massima della superficie libera rispetto al livello medio

mare in quiete. L'altezza d'onda significativa è definita come $H_s=H_{m0}=4\sigma$, dove σ è la deviazione standard della superficie libera. Il coefficiente di diffrazione è definito come il rapporto tra l'altezza d'onda significativa in un punto della griglia e l'altezza d'onda significativa di input nel modello. L'elevazione massima della superficie libera η_{max} è definita in ogni nodo della griglia come il massimo valore dell'elevazione della superficie libera raggiunto nella simulazione.

Tabella 5.1 – Condizioni ondose utilizzate nel modello di agitazione interna portuale.

			CONFIGURAZIONE ATTUALE			CONFIGURAZIONE MOLO PARZIALE			CONFIGURAZIONE MOLO PRP		
TR (anni)	S (m)	θ al largo (°N)	θ (°N)	H_s (m)	T_p (s)	θ (°N)	H_s (m)	T_p (s)	θ (°N)	H_s (m)	T_p (s)
1	0.00	330°	15	0.64	6.2	15	0.64	6.2	15	0.64	6.2
		0°	34	1.32	7.1	34	1.32	7.1	34	1.32	7.1
		30°	47	2.71	8.8	47	2.71	8.8	47	2.71	8.8
		120°	100	2.58	9.8	100	2.58	9.8	100	2.58	9.8
10	0.00	330°	23	0.99	8.2	23	0.99	8.2	23	0.99	8.2
		0°	36	2.16	8.7	36	2.16	8.7	36	2.16	8.7
10	0.79	330°	22	1.01	8.2	22	1.01	8.2	22	1.01	8.2
		0°	35	2.20	8.7	35	2.20	8.7	35	2.20	8.7
		30°	49	3.73	10.1	49	3.73	10.1	49	3.73	10.1
		120°	98	3.80	11.7	98	3.80	11.7	98	3.80	11.7

5.2 Risultati delle simulazioni di agitazione ondosa interna al porto

I risultati delle simulazioni effettuate con il codice MIKE 21 BW permettono la valutazione in ogni nodo della griglia di calcolo del valore mediato sulla verticale della profondità totale dell'acqua e delle componenti di flusso nelle due direzioni di moto.

I risultati vengono rappresentati graficamente in mappe planimetriche dell'elevazione della superficie libera del mare calcolata all'istante finale di una simulazione, risultando tale rappresentazione grafica utile per avere un'idea qualitativa generale dei fenomeni di riflessione e diffrazione che le onde subiscono per la presenza della struttura portuale.

Questi dati possono essere ulteriormente elaborati per avere dell'informazioni più idonee, anche dal punto di vista quantitativo, alla rappresentazione del problema in studio.

In particolare, per l'analisi dell'agitazione ondosa nelle configurazioni testate del Porto di Civitanova Marche, è stata ricavata, come risultato, la distribuzione planimetrica dell'altezza d'onda

significativa, del coefficiente di diffrazione K_d nella zona portuale e della massima elevazione della superficie libera rispetto al livello medio mare in quiete.

Il coefficiente di diffrazione nei punti del reticolo di calcolo viene calcolato come rapporto tra l'altezza significativa nel nodo della griglia e quella imposta alla linea di generazione ondosa corrispondente alla batimetrica -10 m. Ricordando il significato statistico dell'onda significativa, la mappa del coefficiente di diffrazione può essere calcolata in diversi istanti della simulazione. Nel caso in esame, dopo aver testato la stabilità del valore dell'altezza significativa, si è calcolato il coefficiente in questione al termine della simulazione. Le mappe planimetriche del coefficiente di diffrazione possono essere interpretate come la rappresentazione del disturbo d'onda nell'area del modello per la presenza delle strutture portuali e sono in grado di fornire il livello di protezione offerto dalla configurazione planimetrica del porto rispetto alle diverse condizioni ondose.

Le mappe prodotte per le diverse condizioni ondose di prova e per le soluzioni da porre a confronto (Configurazione attuale - C0; configurazione con parziale prolungamento del Molo Est per il solo tratto lungo la direzione attuale- C1, configurazione con molo completo est come previsto dal Piano Regolatore Portuale - C2) sono riportate dalla Figura 5.14 alla Figura 5.105.

Si ricorda che le simulazioni hanno una durata tale da permettere il raggiungimento delle condizioni stazionarie delle grandezze statistiche come l'altezza d'onda significativa, del coefficiente di diffrazione e della massima elevazione della superficie libera raggiunta nella simulazione.

5.2.1 Risultati per ondatazioni provenienti da 330°N - TR=1 anno

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondatazione che ha direzione di provenienza al largo di 330°N. Per un tempo di ritorno $TR=1$ anno, le caratteristiche dell'onda al largo sono: $H_s=2,0$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=330^\circ$ N. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il modello di trasferimento delle onde (Delft3D) dal largo (70 m) alla profondità di 10 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde sono: $H_s=0,64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ$ N. Tali condizioni sono state impostate alla linea di generazione del modello.

Le ondatazioni provenienti dalla direzione al largo di 330°N giungono sottocosta con una direzione di circa 15°N compresa nel settore di esposizione dell'imboccatura portuale.

Dalla Figura 5.14 alla Figura 5.16 si nota l'evoluzione dei fronti ondosi dalla generazione all'interno del porto in corrispondenza dell'istante finale della simulazione.

Dalla Figura 5.17 alla Figura 5.19 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di 0,02 m per tutte le configurazioni.

Dalla Figura 5.20 alla Figura 5.22 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è pari a 0,04 per tutte le configurazioni.

Il livello mediato sulla area interna portuale della massima elevazione della superficie libera è pari a 0,02 m per tutte le configurazioni.

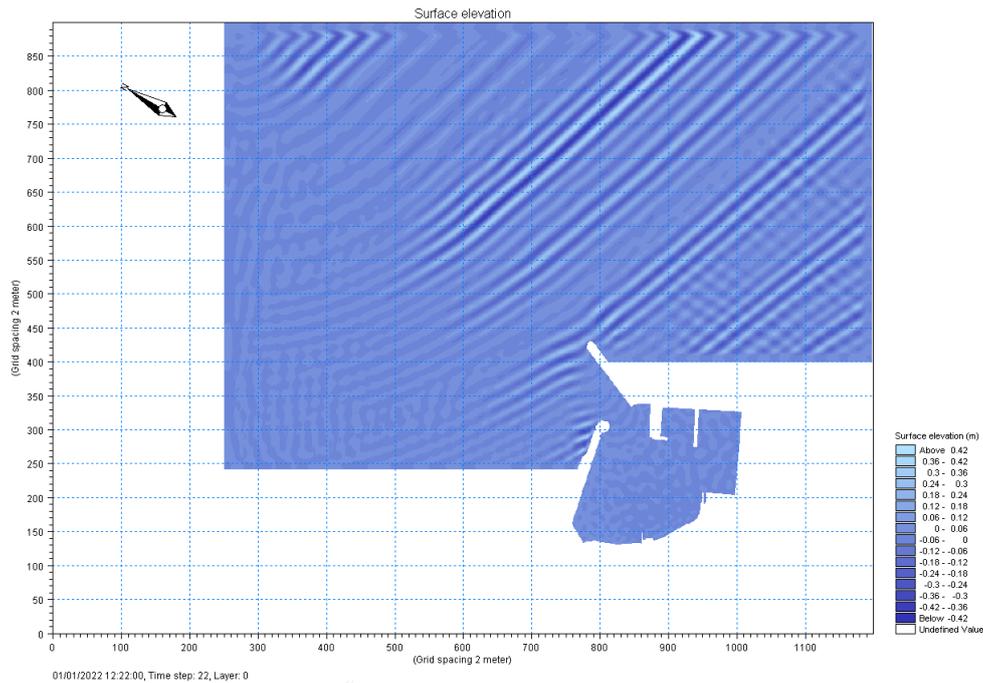


Figura 5.14 – Mappa della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=0,64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ$ N ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=1$ anno.

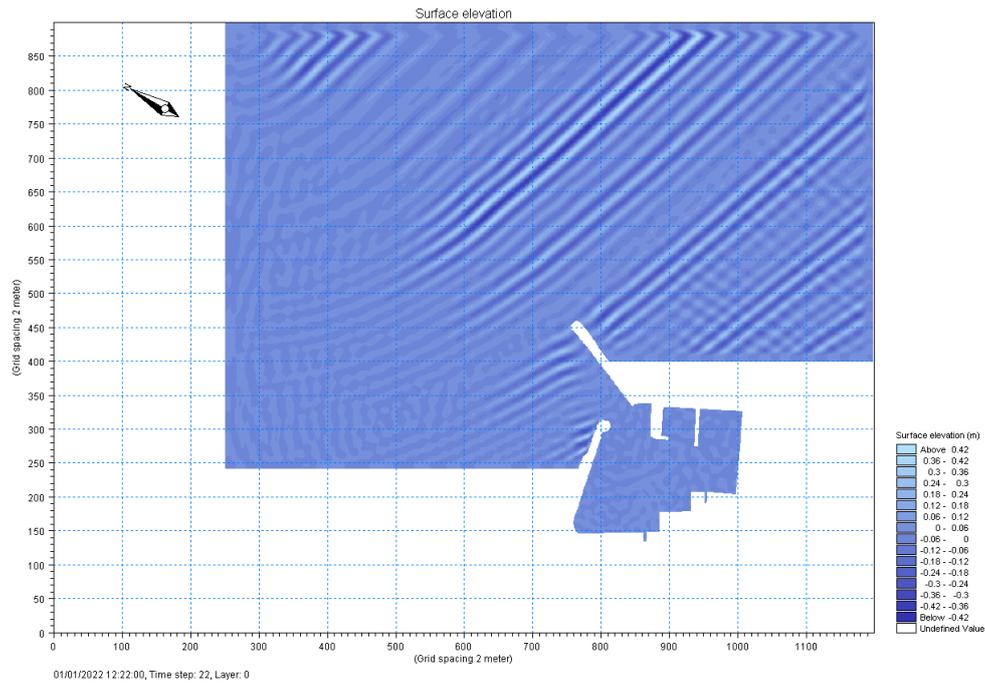


Figura 5.15 - Mappa della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=0,64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ$ N ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=1$ anno.

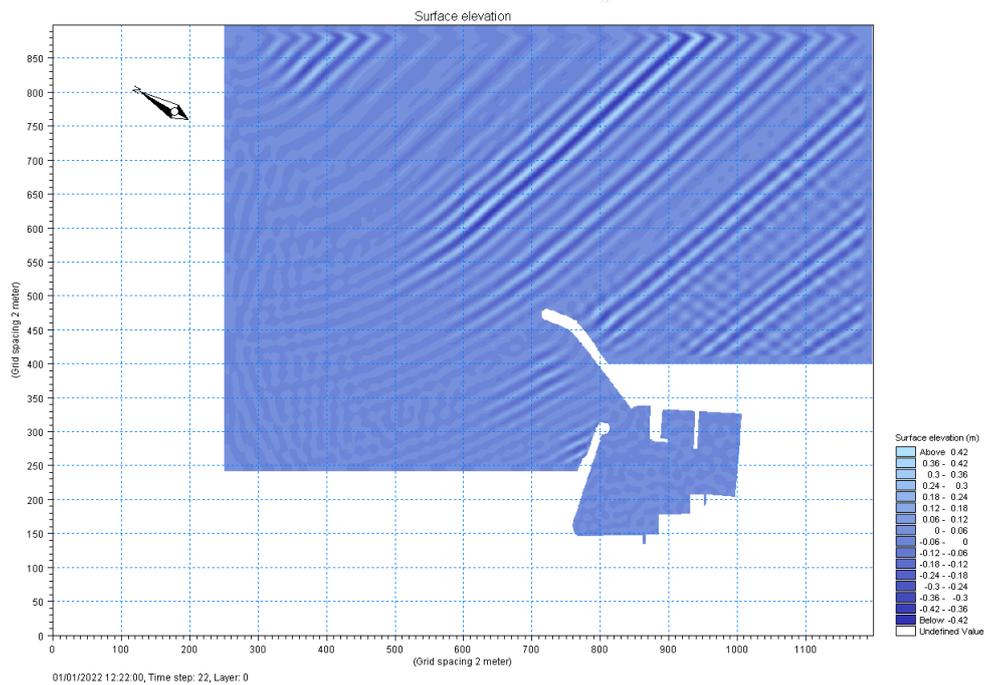


Figura 5.16 - Mappa della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=0,64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ$ N ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=1$ anno.

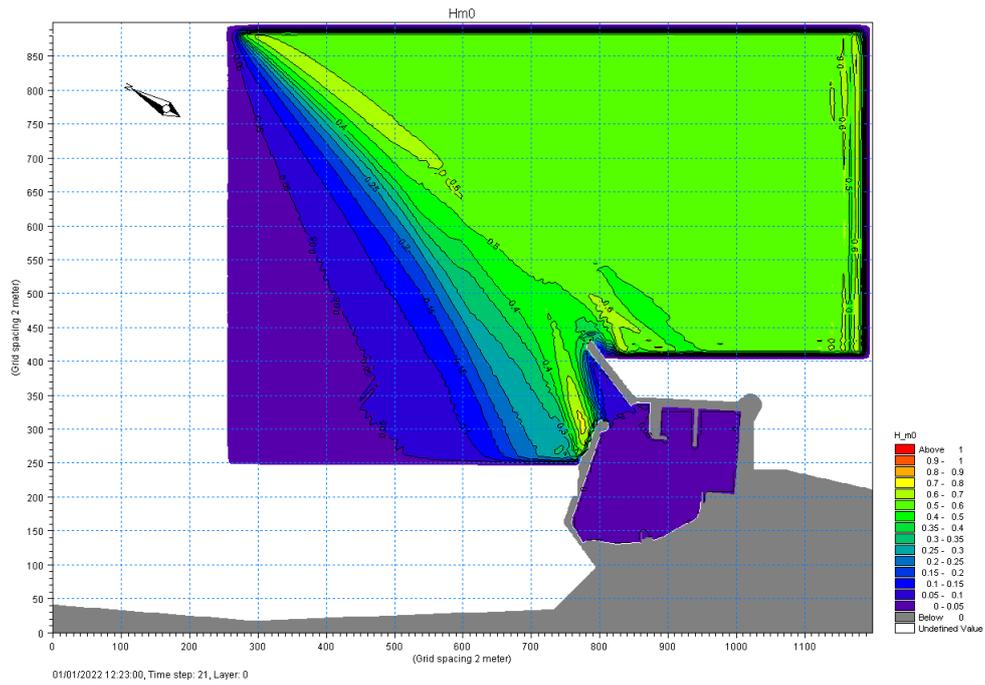


Figura 5.17 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=0.64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ N$ ($\theta=330^\circ N$ al largo) - $TR=1$ anno.

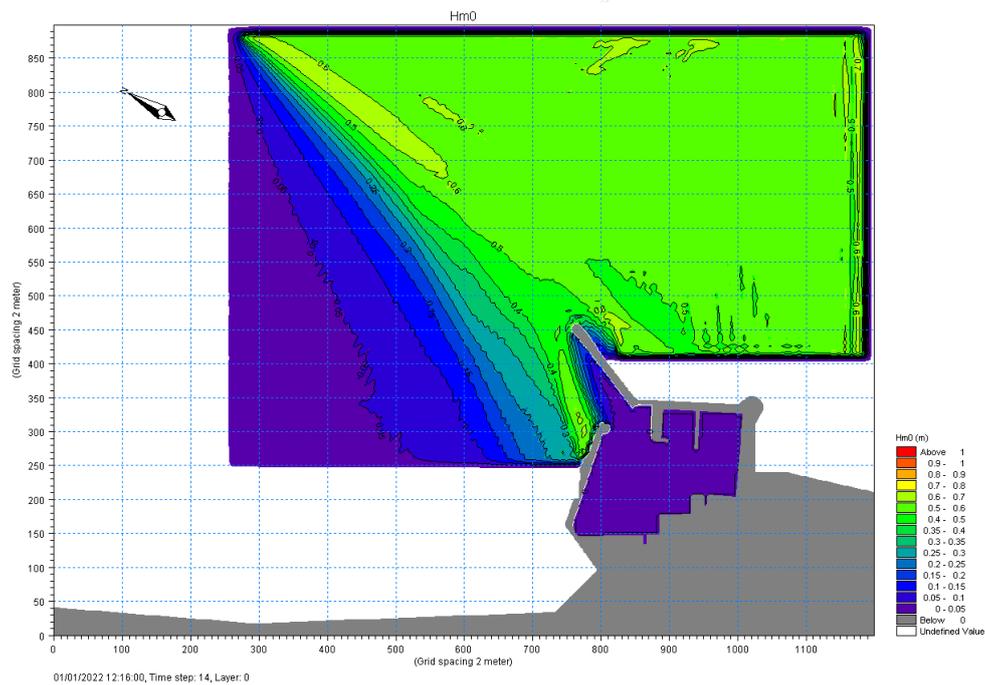


Figura 5.18 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale. $H_s=0.64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ N$ ($\theta=330^\circ N$ al largo) - $TR=1$ anno.

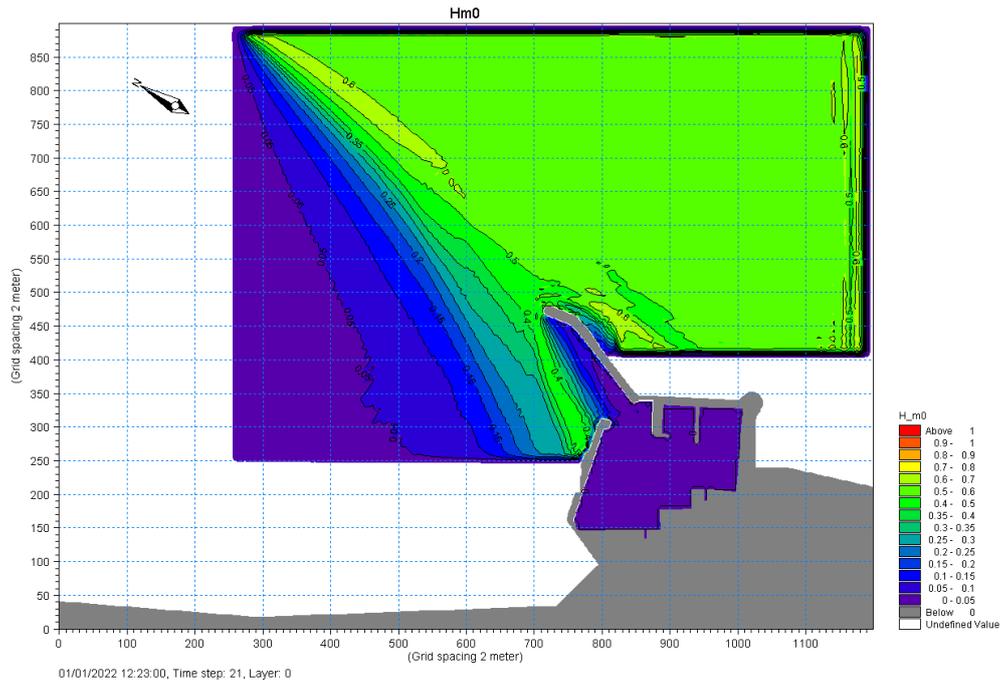


Figura 5.19 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=0,64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ N$ ($\theta=330^\circ N$ al largo) - $TR=1$ anno.

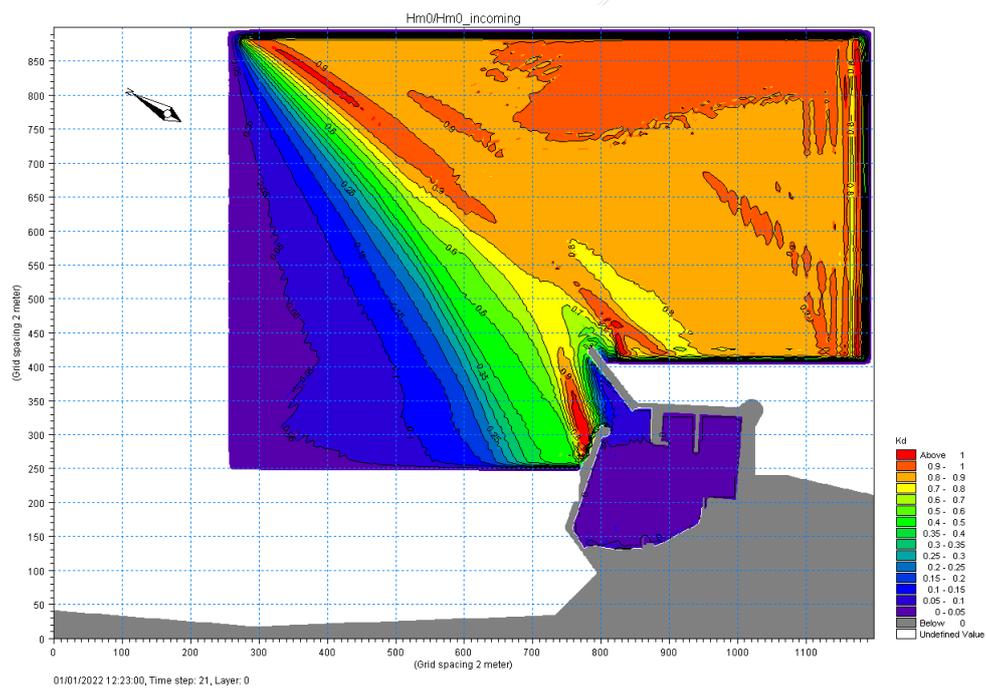


Figura 5.20 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=0,64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ N$ ($\theta=330^\circ N$ al largo) - $TR=1$ anno.

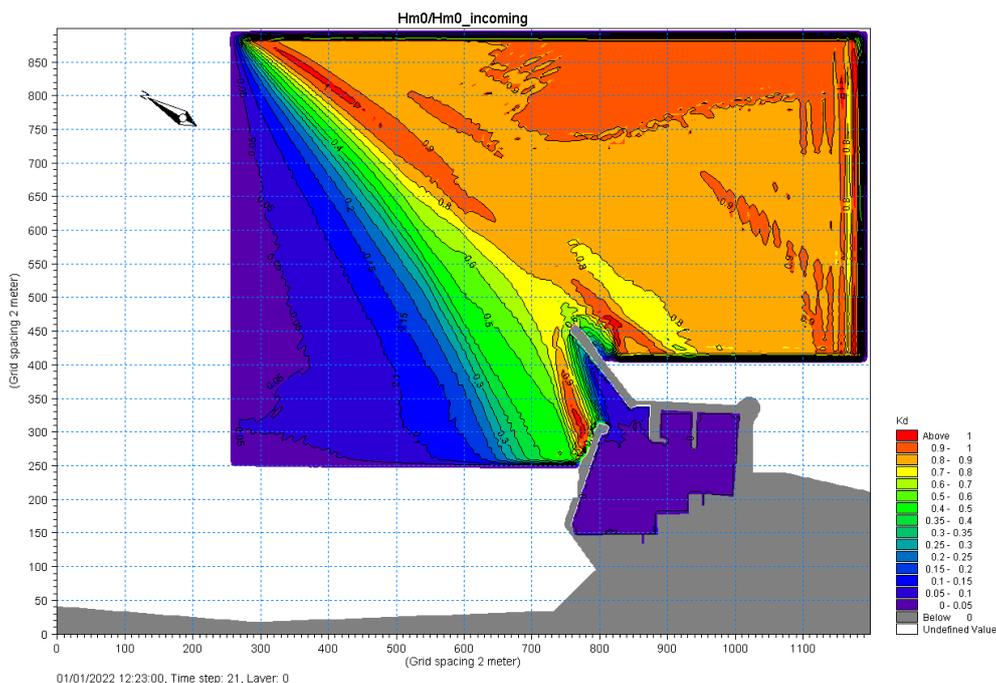


Figura 5.21 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=0,64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ\text{N}$ ($\theta=330^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

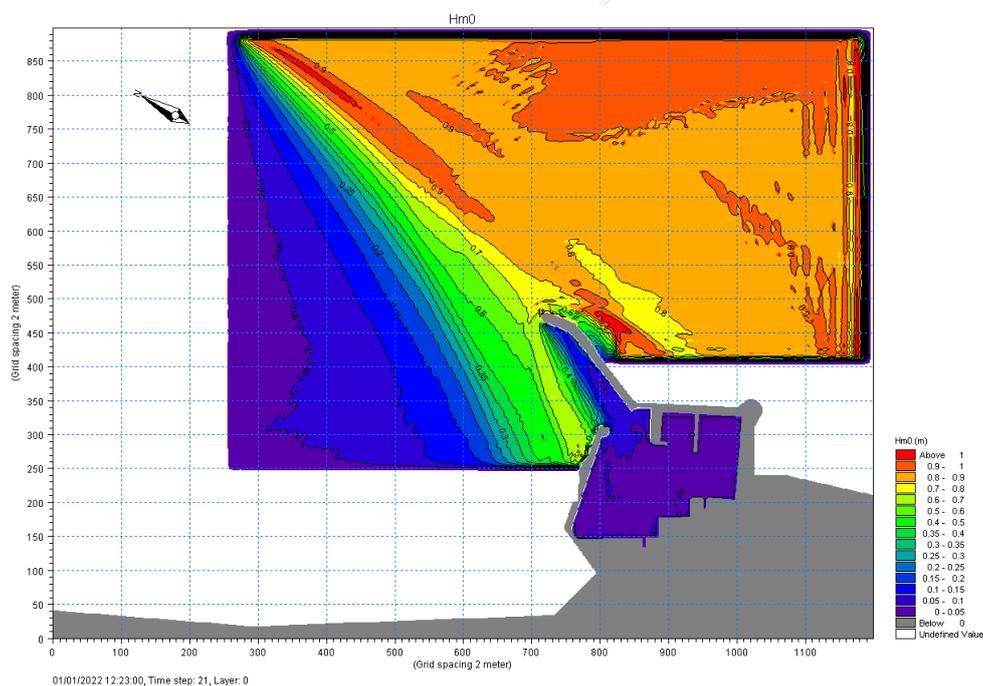


Figura 5.22 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=0,64$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=15,2^\circ\text{N}$ ($\theta=330^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

5.2.2 Risultati per ondate provenienti da 0°N - $TR=1$ anno

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondazione che ha direzione di provenienza al largo di 0°N . Per un tempo di ritorno $TR=1$ anno, le caratteristiche dell'onda al largo sono: $H_s=2,6$ m, $T_p=7,1$ s, $\theta=0^\circ\text{N}$. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il

modello di trasferimento delle onde (Delft3D) dal largo (70 m) alla profondità di 10 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde sono: $H_s=1,32$ m, $T_p=7,1$ s, $\theta=34,2^\circ\text{N}$. Tali condizioni sono state impostate alla linea di generazione del modello.

Anche le ondatazioni provenienti dalla direzione al largo di 0°N giungono sottocosta con una direzione di circa 34°N , ancora compresa nel settore di esposizione dell'imboccatura portuale.

Dalla Figura 5.23 alla Figura 5.25 si nota l'evoluzione dei fronti ondosi dalla generazione all'interno del porto in corrispondenza dell'istante finale della simulazione.

Dalla Figura 5.26 alla Figura 5.28 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di 0,09 m per tutte le configurazioni.

Dalla Figura 5.29 alla Figura 5.31 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è pari a 0,07 per tutte le configurazioni.

Il livello mediato sulla area interna portuale della massima elevazione della superficie libera è pari a 0,06 m per la Configurazione attuale e di 0,05 m per le configurazioni di progetto.

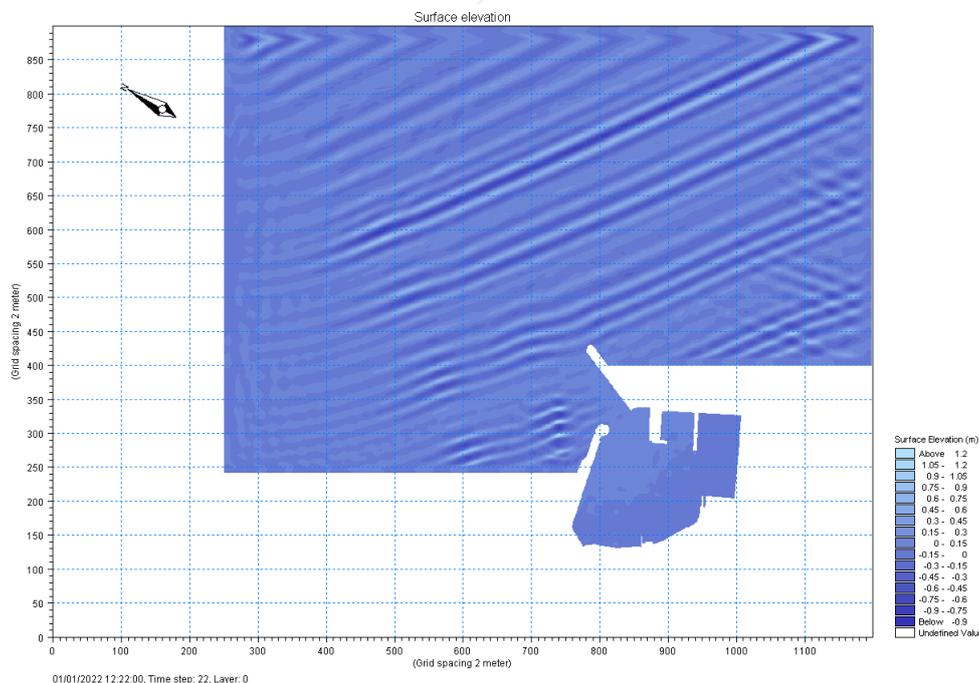


Figura 5.23 – Mappa della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

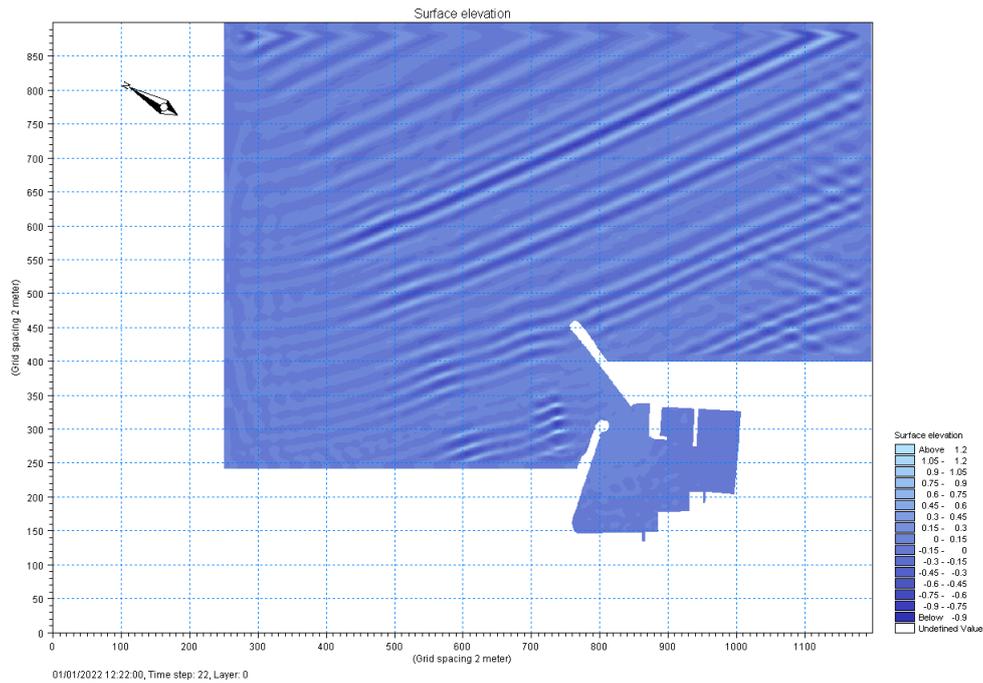


Figura 5.24 - Mappa della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=1$ anno.

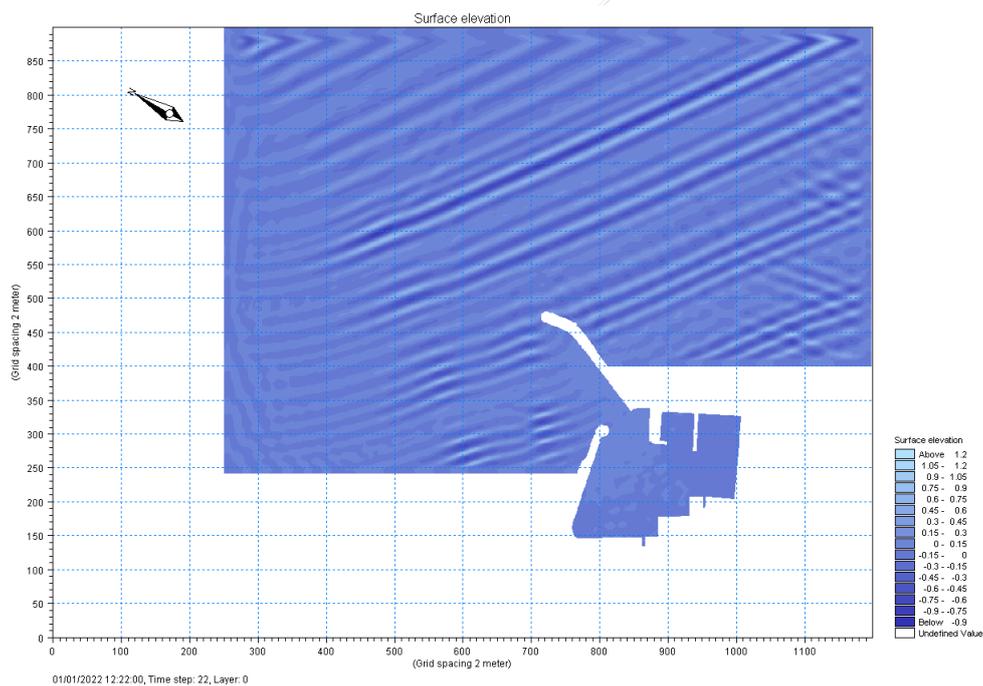


Figura 5.25 - Mappa della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=1$ anno.

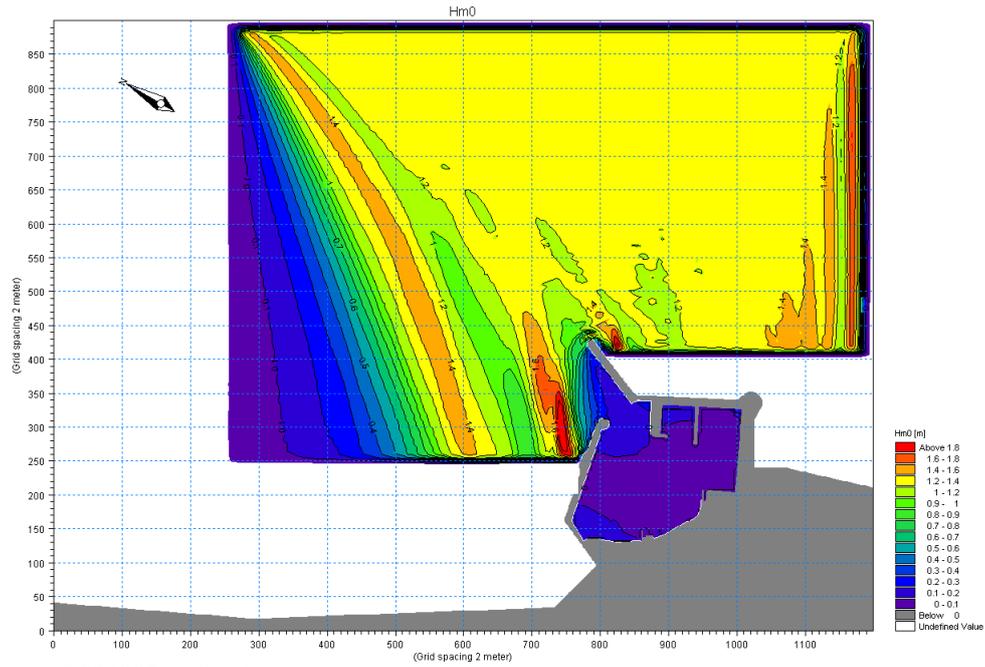


Figura 5.26 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

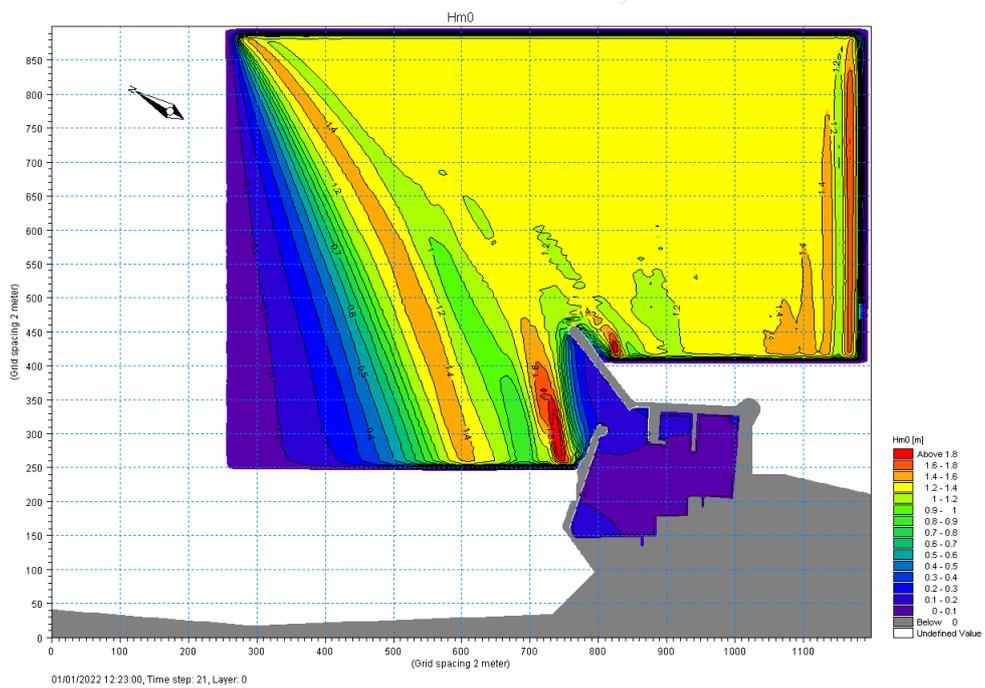


Figura 5.27 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

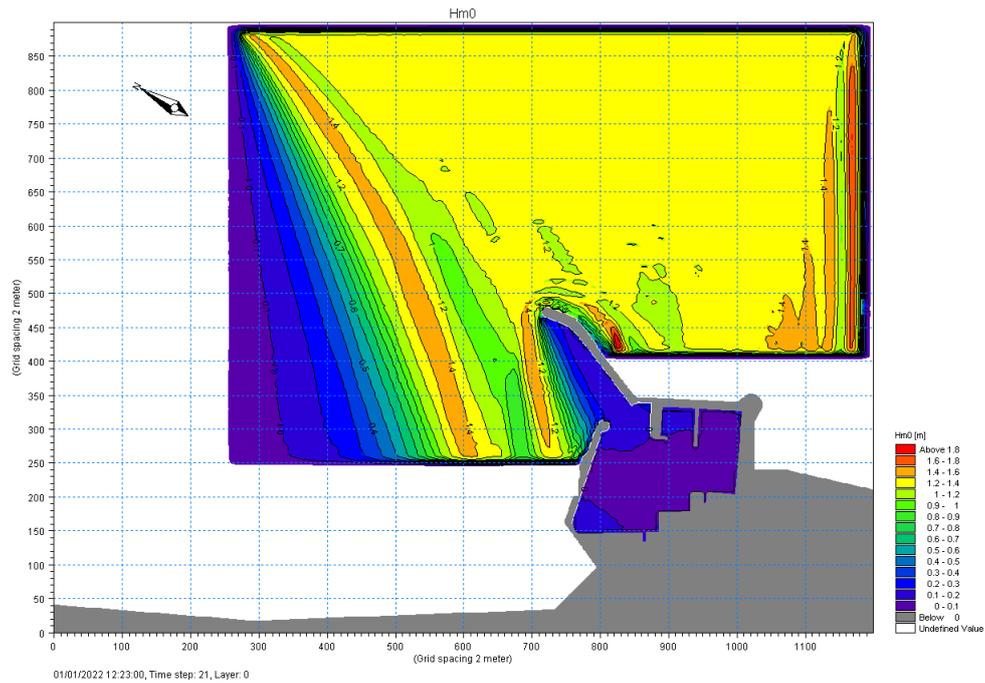


Figura 5.28 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

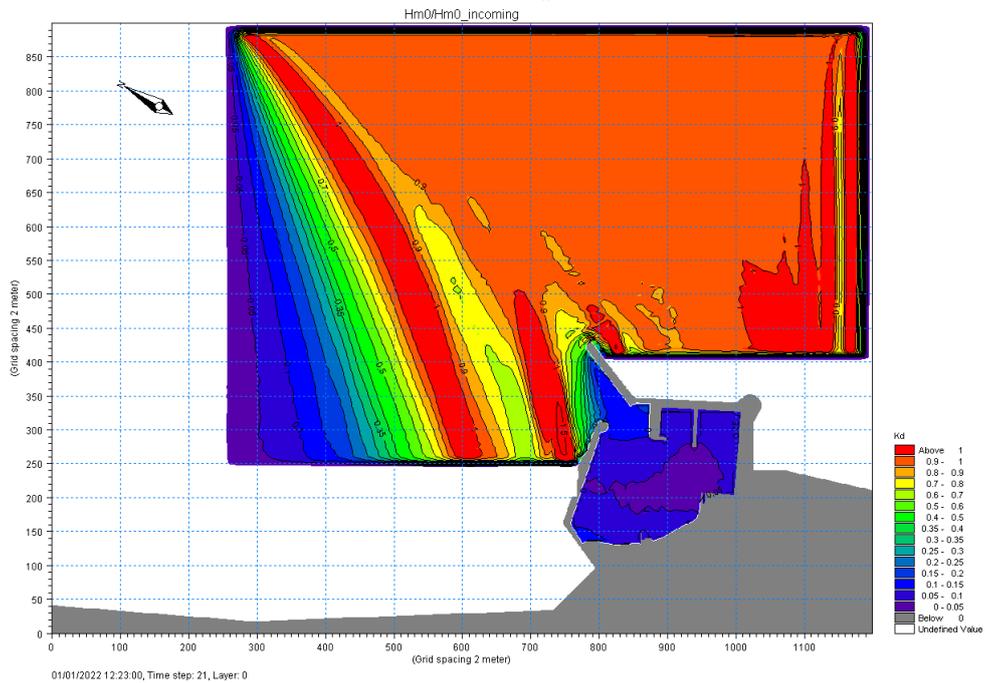


Figura 5.29 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

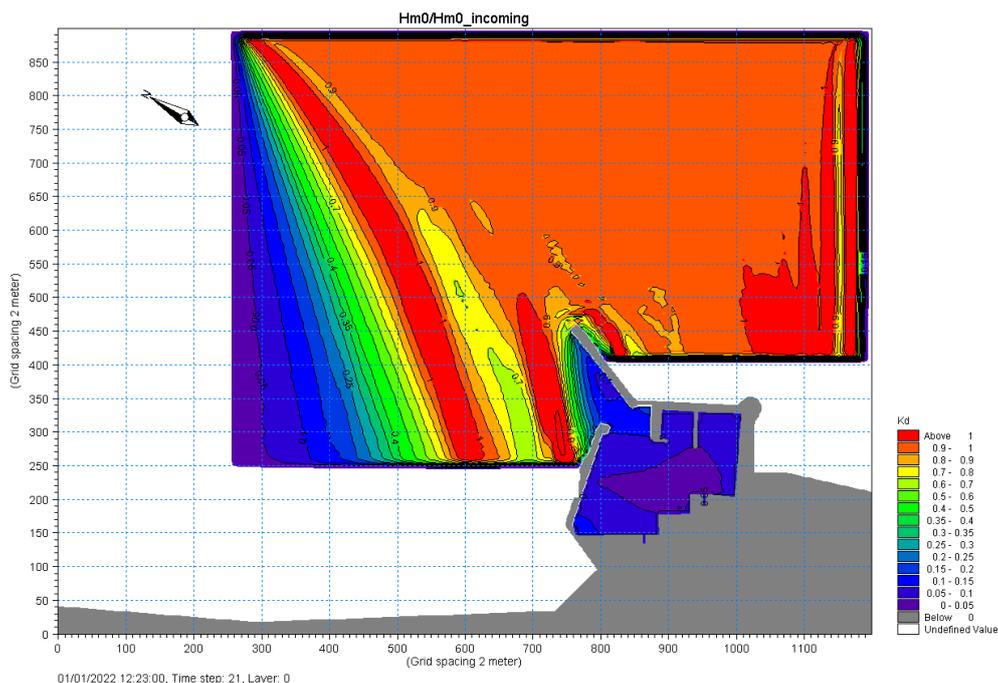


Figura 5.30 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

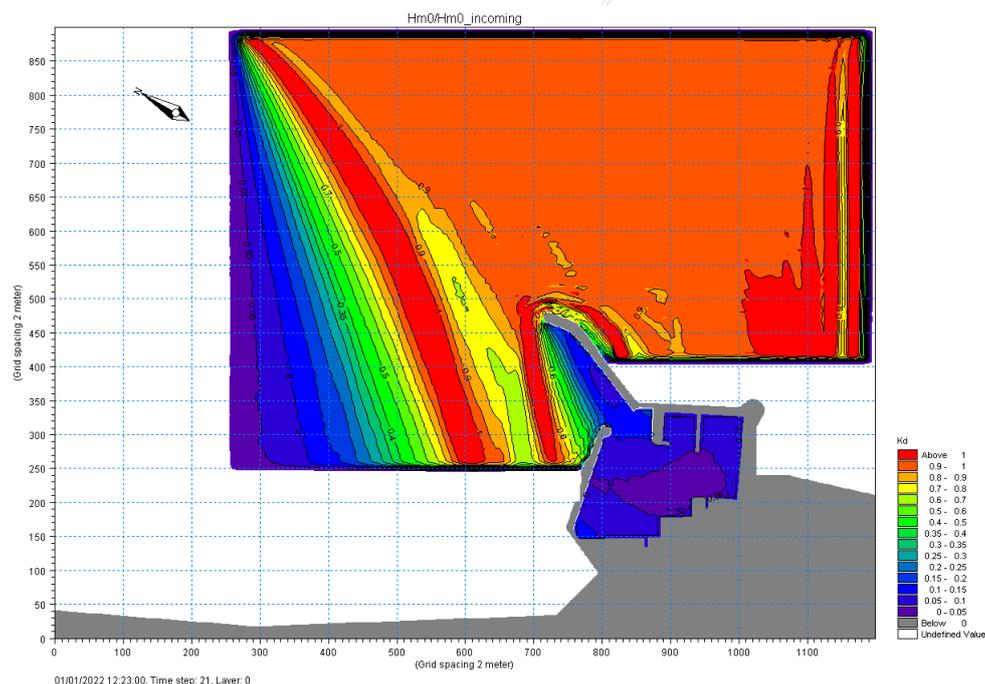


Figura 5.31 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la configurazione di molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=1,32$ m, $T_p=6,2$ s, $\theta=34,2^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

5.2.3 Risultati per ondate provenienti da 30°N - $TR=1$ anno

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondazione che ha direzione di provenienza al largo di 30°N . Per un tempo di ritorno $TR=1$ anno, le caratteristiche dell'onda al largo sono: $H_s=4,1$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=30^\circ\text{N}$. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il

modello di trasferimento delle onde (Delft3D) dal largo (70 m) alla profondità di 10 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde sono: $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ\text{N}$. Tali condizioni sono state impostate alla linea di generazione del modello.

Le ondatazioni provenienti dalla direzione di 30°N sono caratterizzate da un flusso di energia più intenso, per cui le simulazioni sono state condotte utilizzando le equazioni migliorate di Boussinesq che sono raccomandate quando si includono condizioni di frangimento.

Dalla Figura 5.32 alla Figura 5.34 si nota l'evoluzione dei fronti ondosi dalla generazione all'interno del porto in corrispondenza dell'istante finale della simulazione.

Dalla Figura 5.35 alla Figura 5.37 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di 0,26 m per la Configurazione attuale e di 0,26 m e 0,24 m per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

Dalla Figura 5.38 alla Figura 5.40 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è pari a 0,10 per la Configurazione attuale e di 0,10 e 0,09 per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

Il livello della massima elevazione della superficie libera mediato spazialmente sull'area portuale è pari a 0,16 m per la Configurazione attuale e di 0,14 m e 0,13 m per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

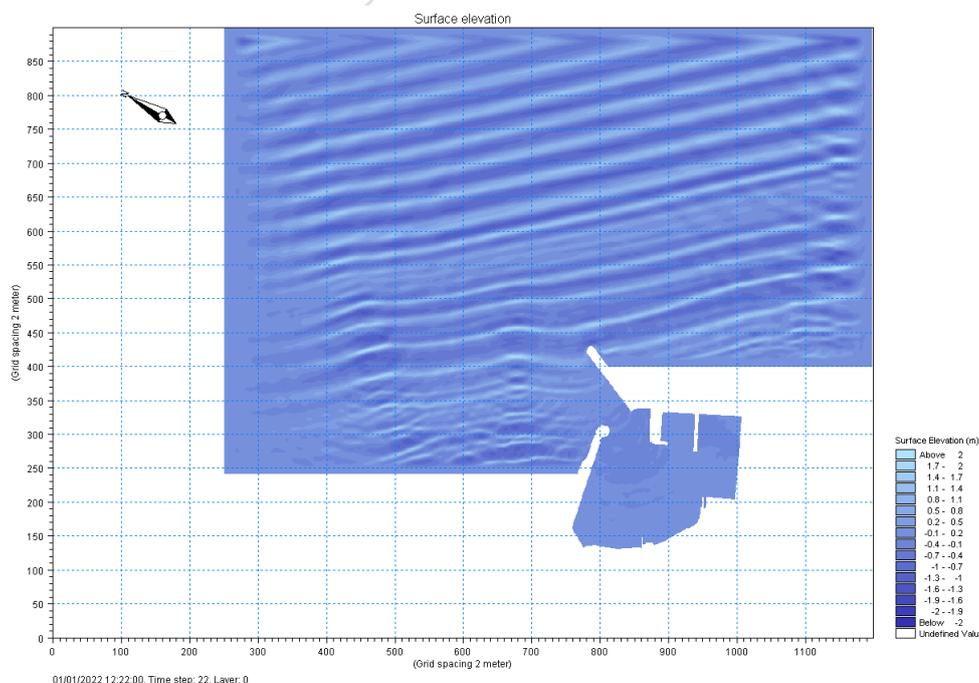


Figura 5.32 – Mappa della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

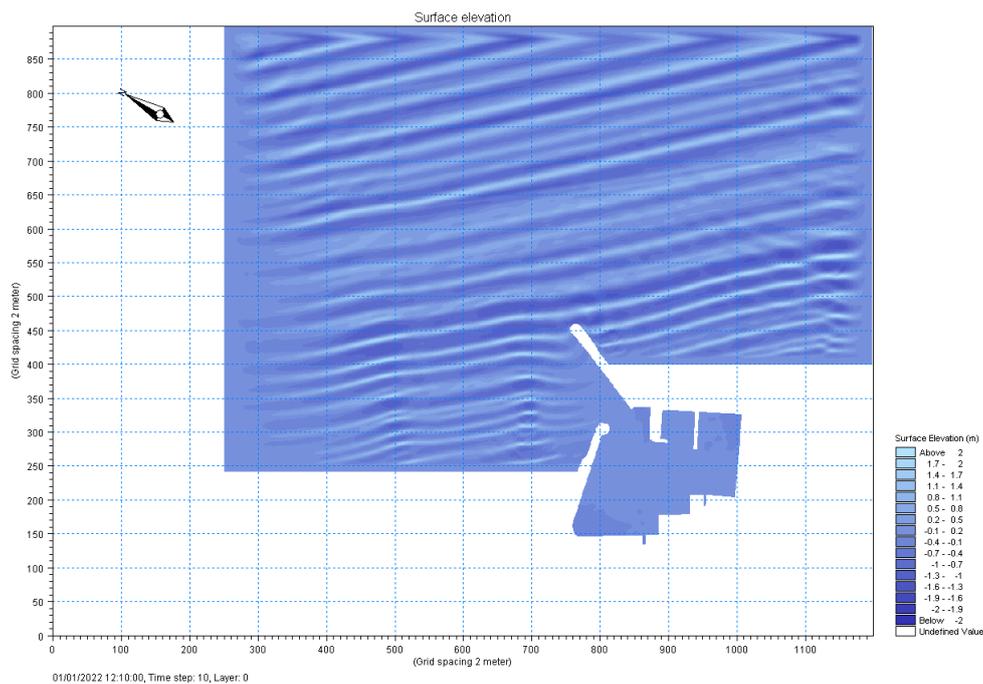


Figura 5.33 - Mappa della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

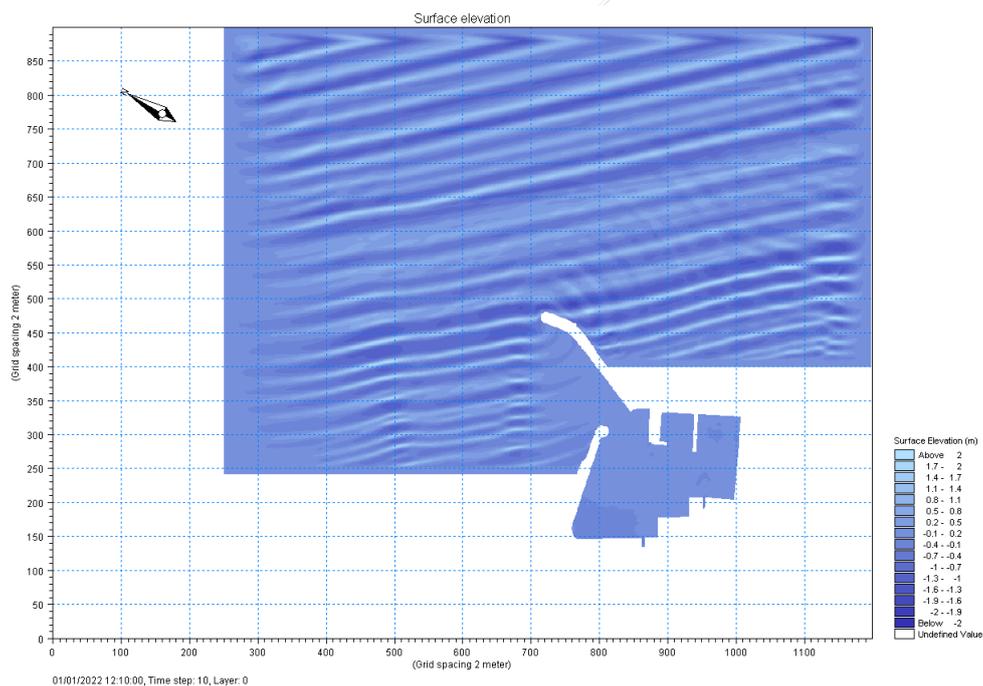


Figura 5.34 - Mappa della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

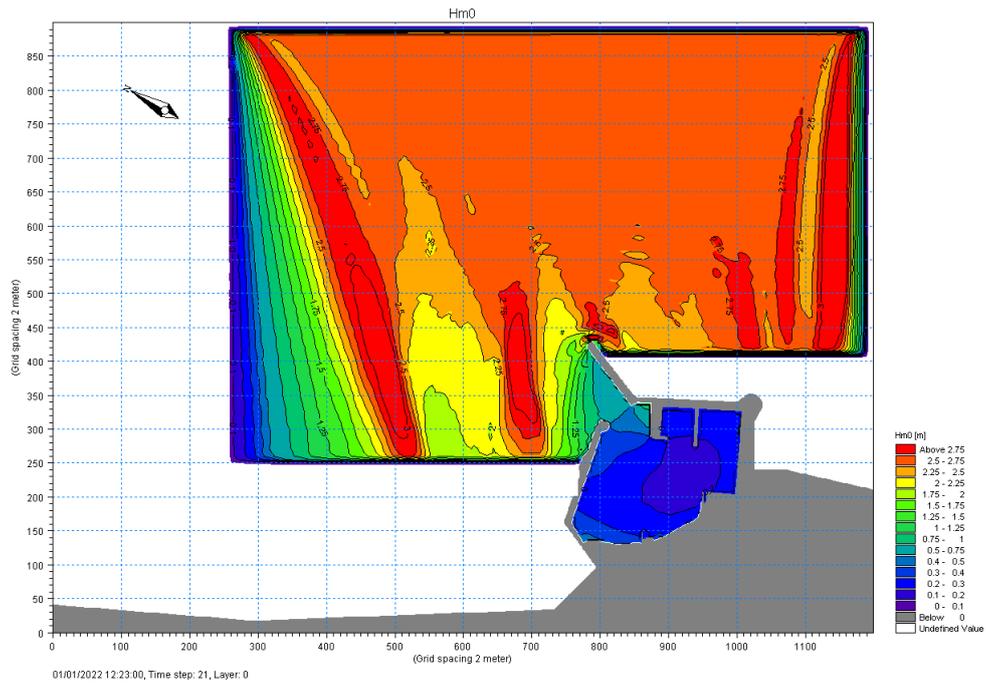


Figura 5.35 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

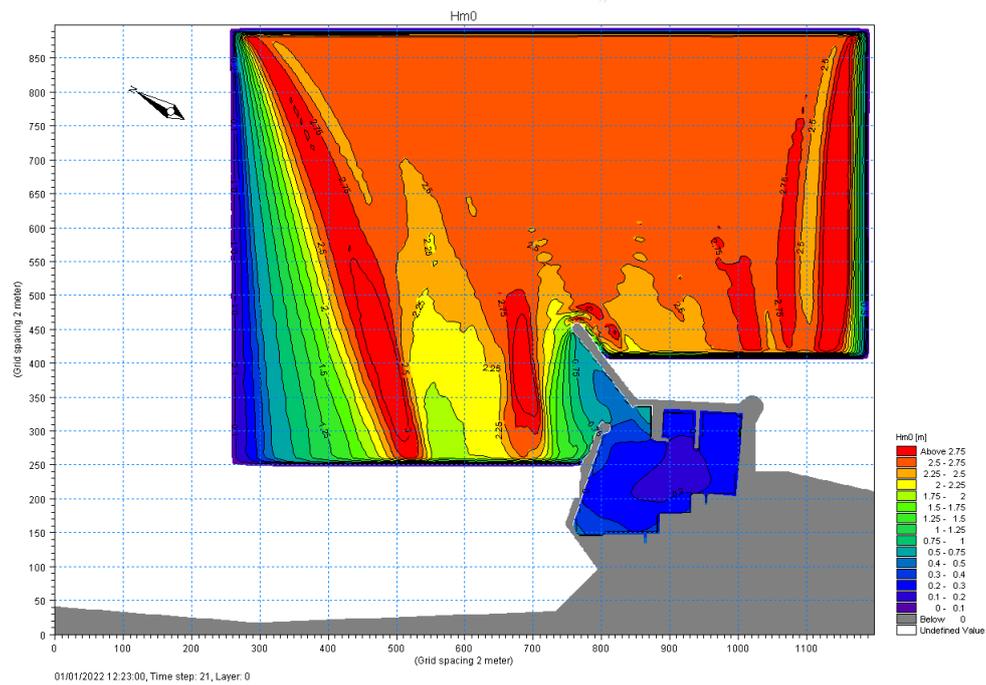


Figura 5.36 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

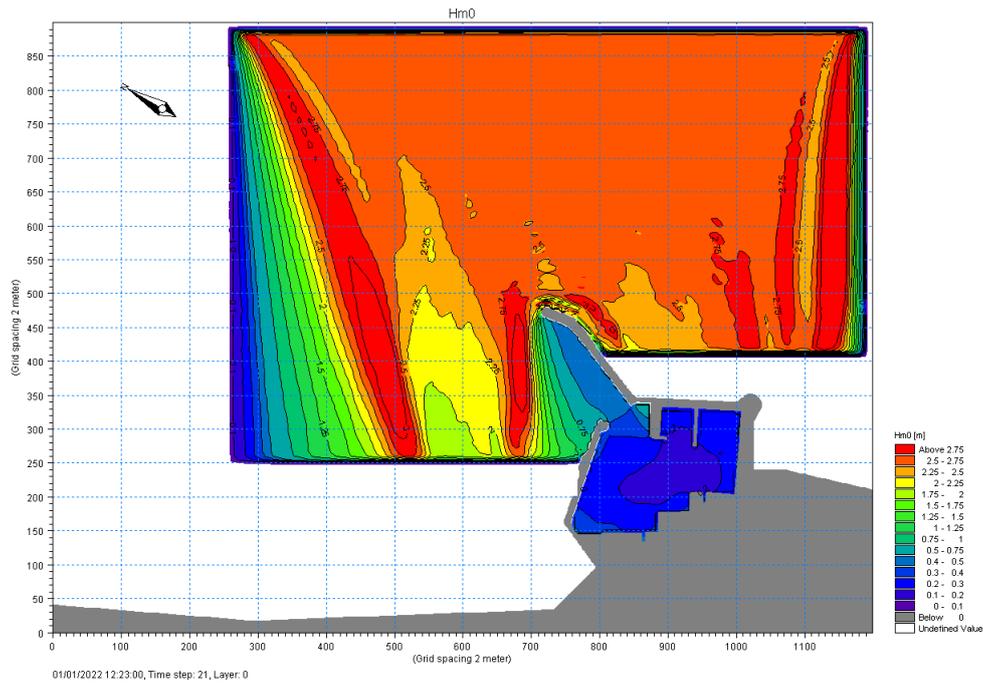


Figura 5.37 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

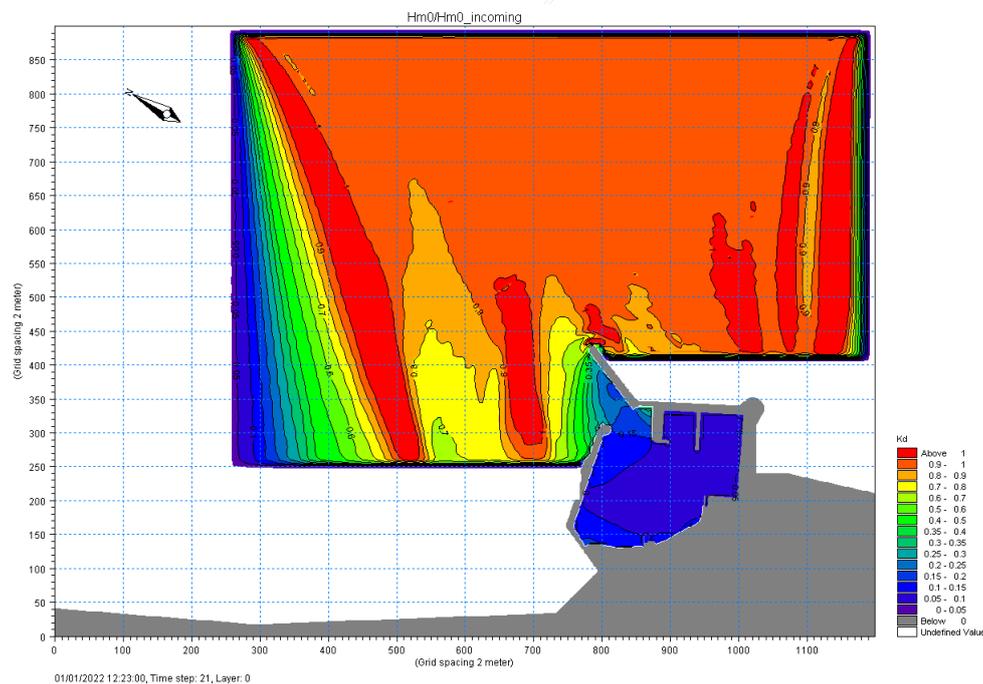


Figura 5.38 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

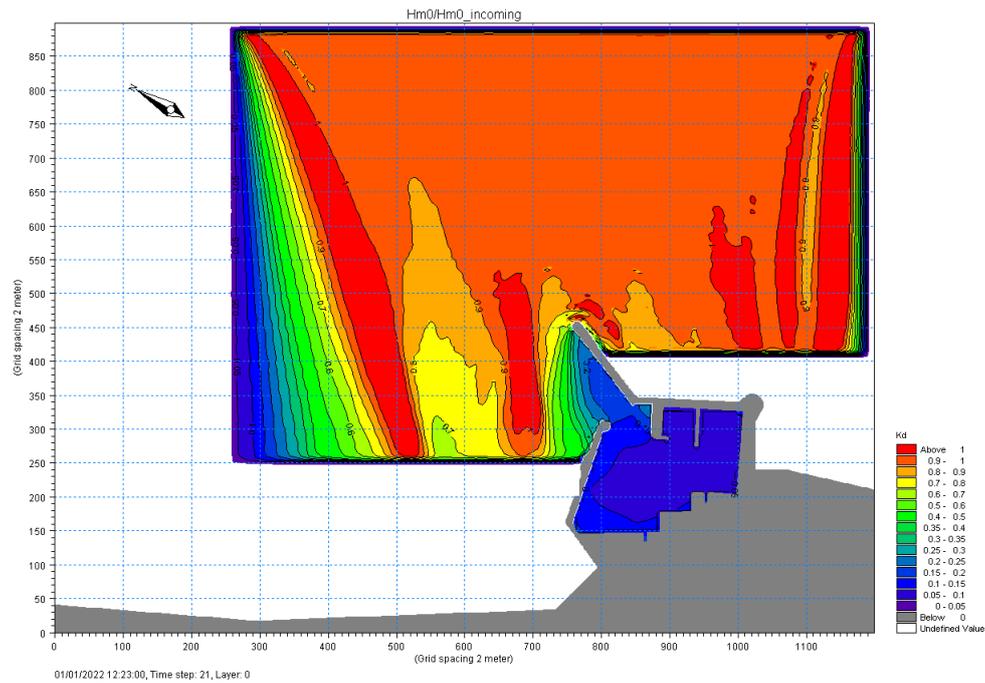


Figura 5.39 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ N$ ($\theta=30^\circ N$ al largo) - $TR=1$ anno.

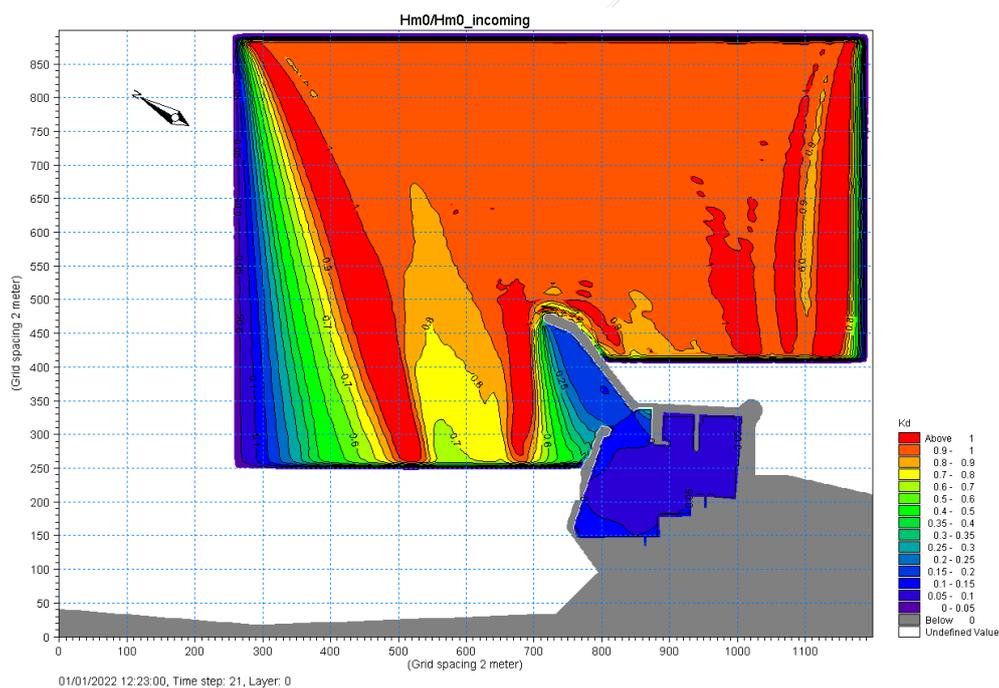


Figura 5.40 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la configurazione di molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,71$ m, $T_p=8,8$ s, $\theta=47,2^\circ N$ ($\theta=30^\circ N$ al largo) - $TR=1$ anno.

5.2.4 Risultati per ondate provenienti da $120^\circ N$ - $TR=1$ anno

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondazione che ha direzione di provenienza al largo di $120^\circ N$. Per un tempo di ritorno $TR=1$ anno, le caratteristiche dell'onda al largo sono: $H_s=3,95$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=120^\circ N$. Dai risultati delle simulazioni effettuate con

il modello di trasferimento delle onde (Delft3D) dal largo (70 m) alla profondità di 10 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde sono: $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ$ N. Tali condizioni sono state impostate alla linea di generazione del modello.

Anche le ondazioni provenienti al largo dalla direzione di 120° N sono caratterizzate da un flusso di energia più intenso, per cui le simulazioni sono state condotte utilizzando le equazioni migliorate di Boussinesq che sono raccomandate quando si includono condizioni di frangimento.

Dalla Figura 5.41 alla Figura 5.43 si nota l'evoluzione dei fronti ondosi dalla generazione all'interno del porto in corrispondenza dell'istante finale della simulazione.

Dalla Figura 5.44 alla Figura 5.46 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di circa 0,12 m per tutte le configurazioni testate, il porto è già in grado di fornire un adeguato grado di protezione. Il prolungamento del Molo Est ha effetti benefici sull'area di ingresso al porto, aumentando la zona protetta.

Dalla Figura 5.47 alla Figura 5.49 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è praticamente invariato per tutte le configurazioni.

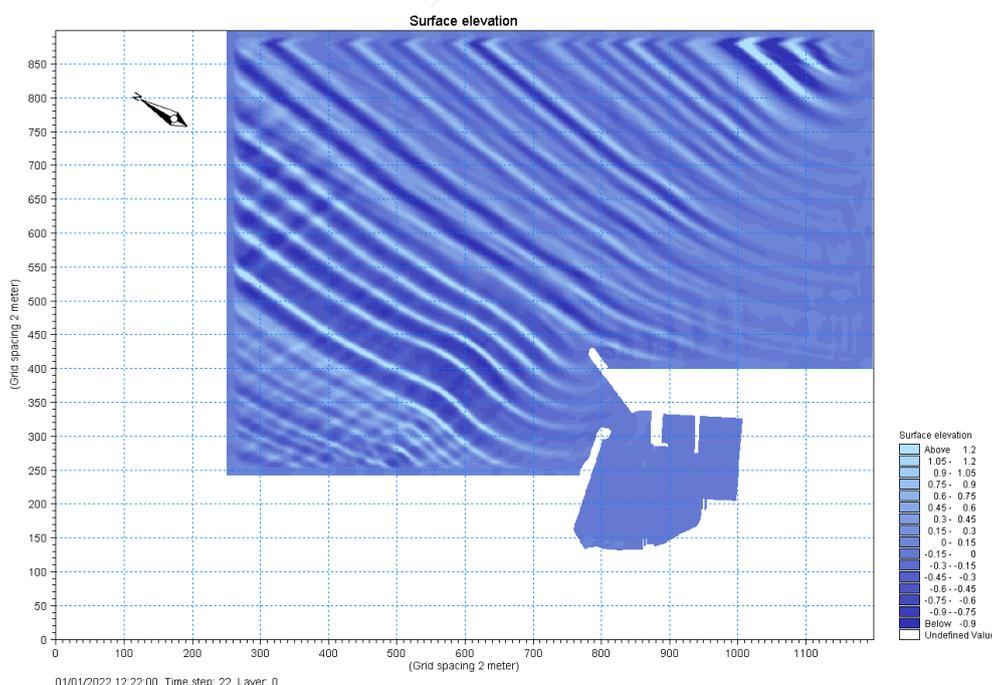


Figura 5.41 – Mappa della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ$ N ($\theta=120^\circ$ N al largo) - TR=1 anno.

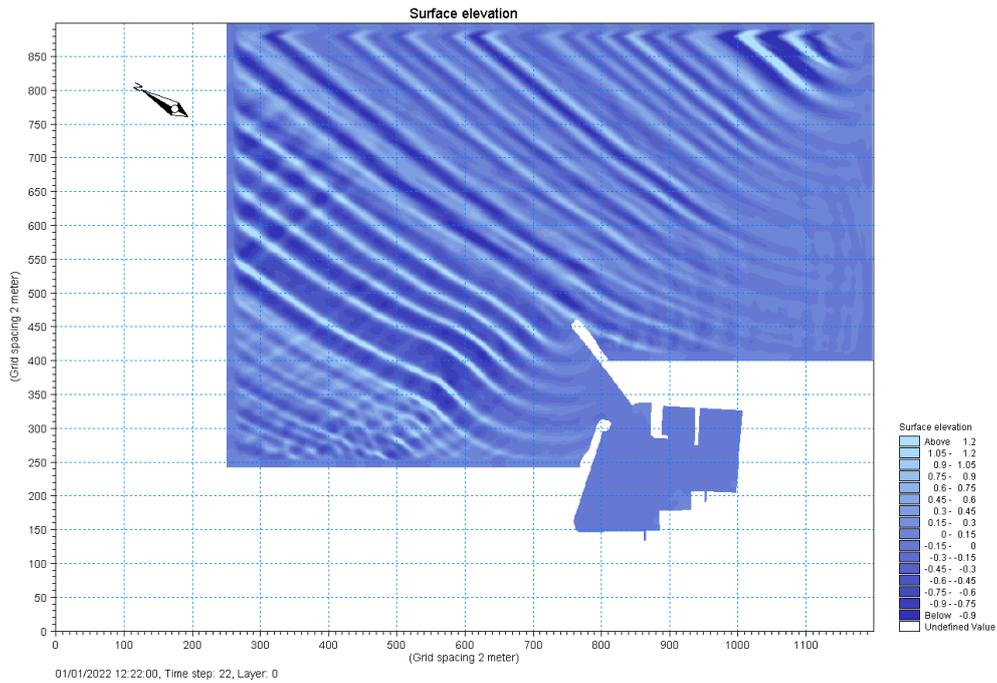


Figura 5.42 - Mappa della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

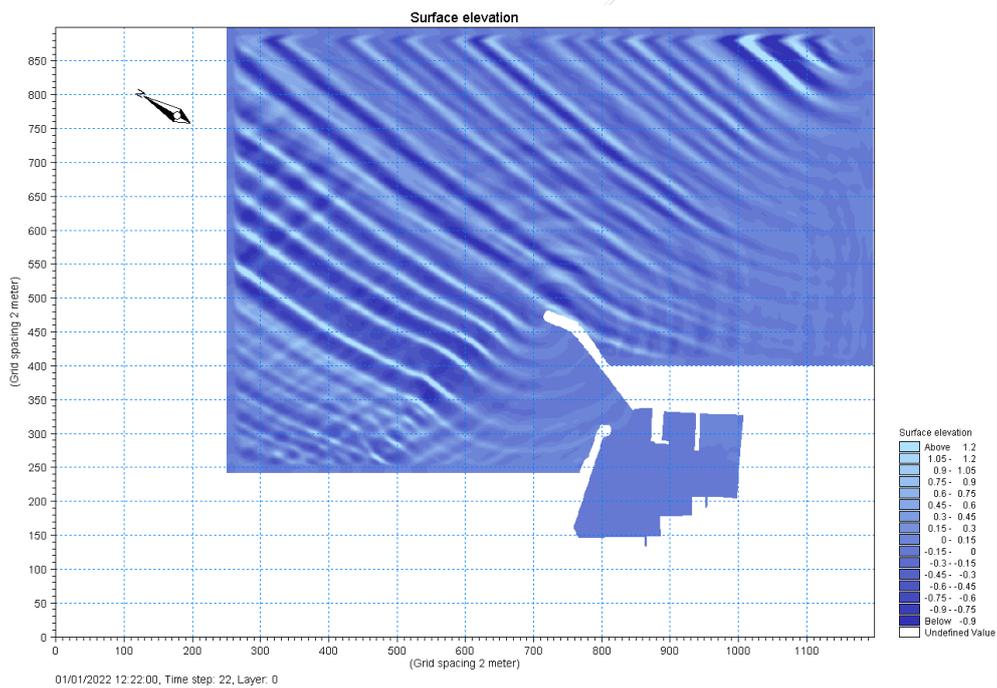


Figura 5.43 - Mappa della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

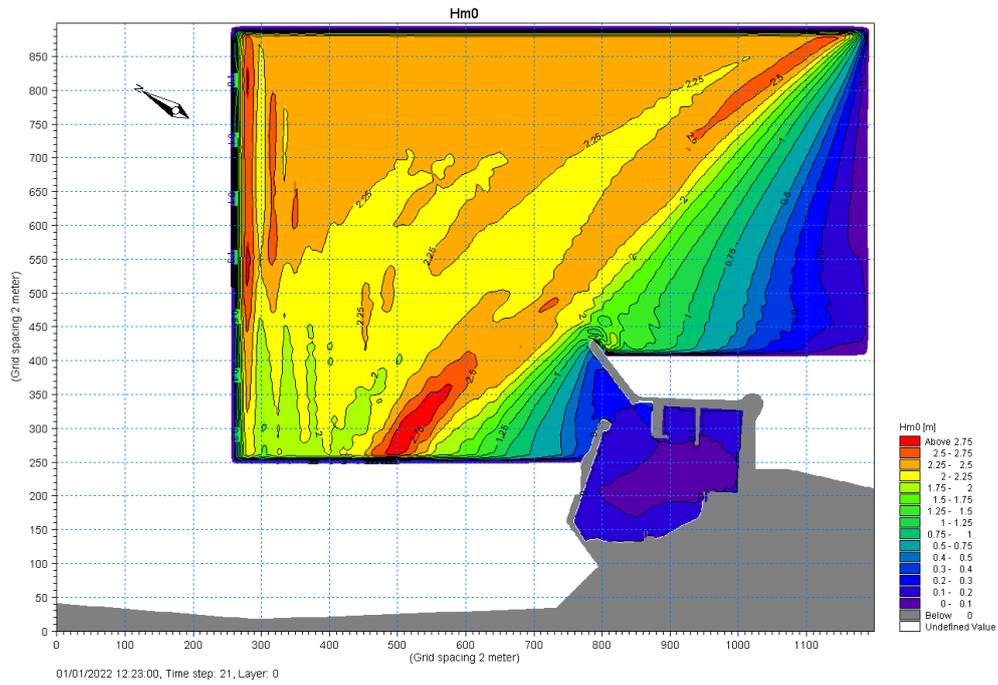


Figura 5.44 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ$ N ($\theta=120^\circ$ N al largo) - $TR=1$ anno.

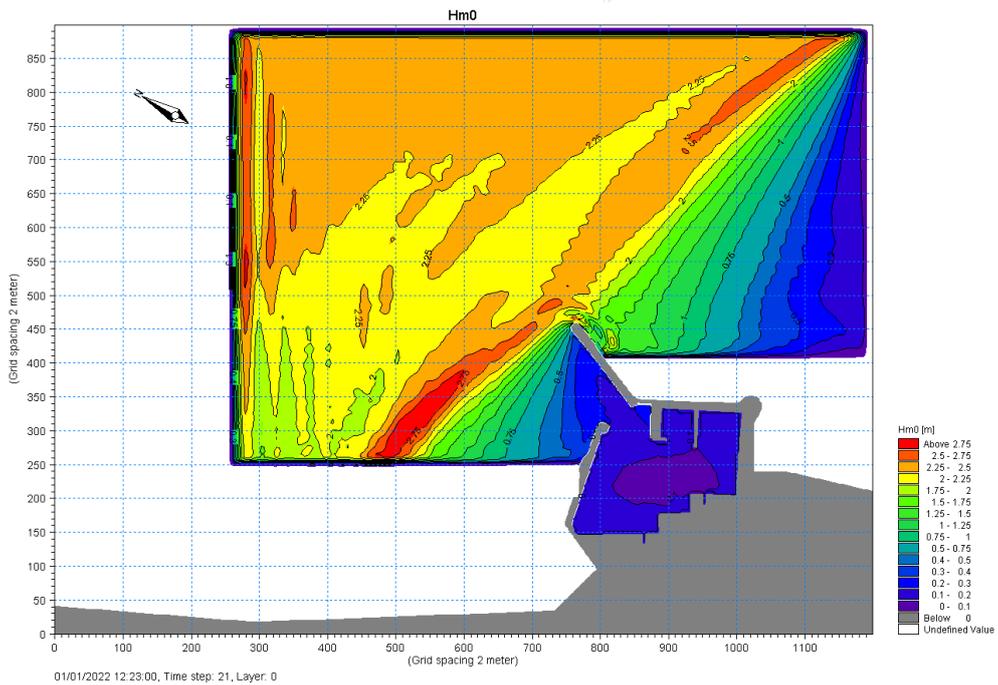


Figura 5.45 - Mappa della altezza d'onda significativa per la configurazione con molo parziale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ$ N ($\theta=120^\circ$ N al largo) - $TR=1$ anno.

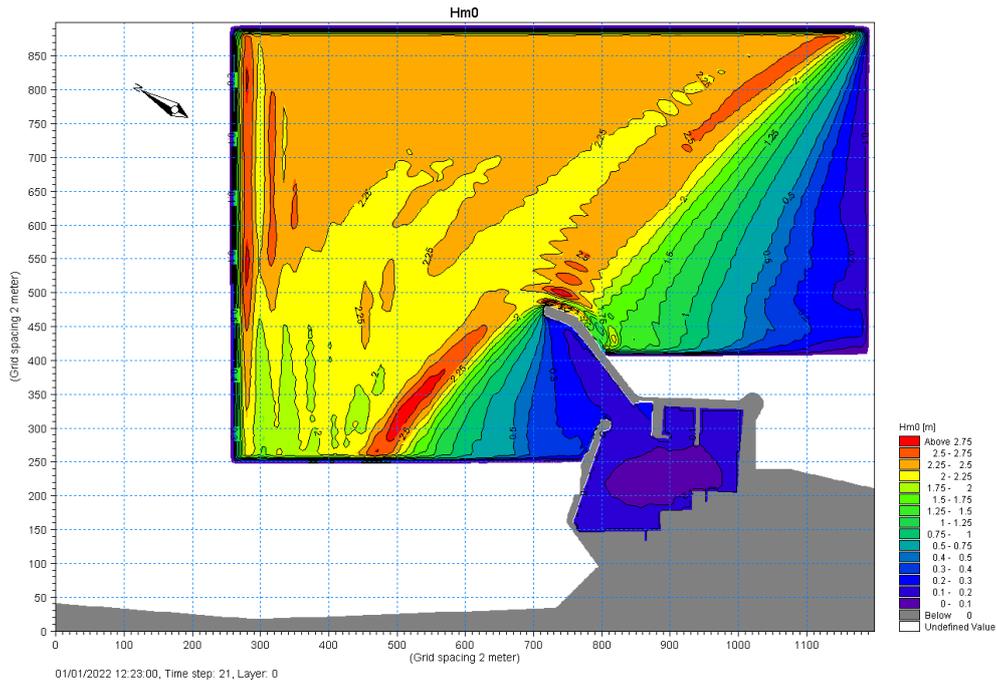


Figura 5.46 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

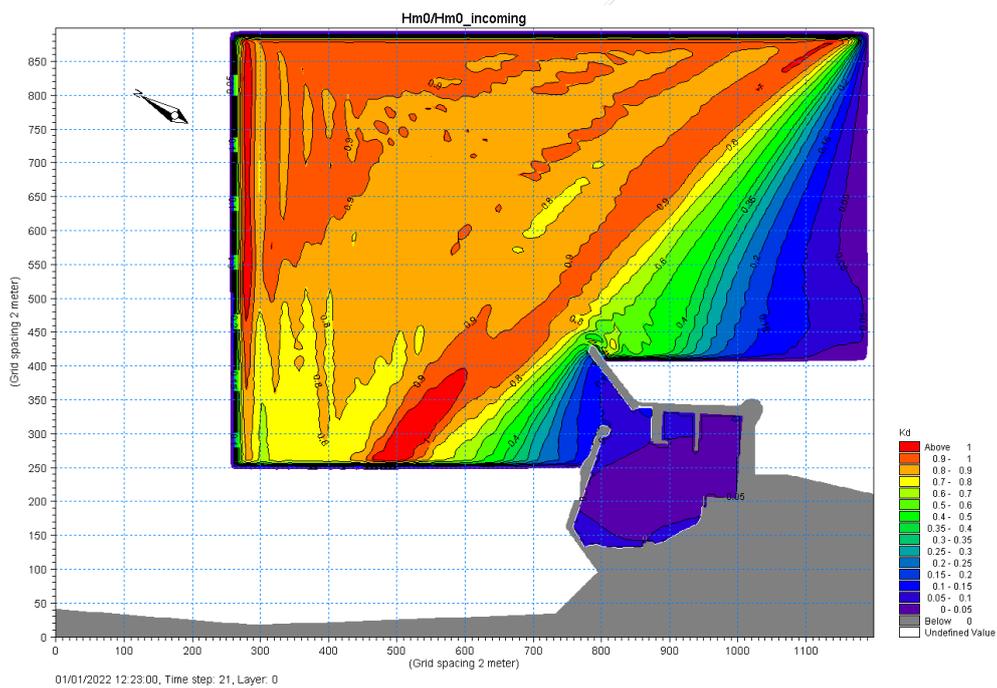


Figura 5.47 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

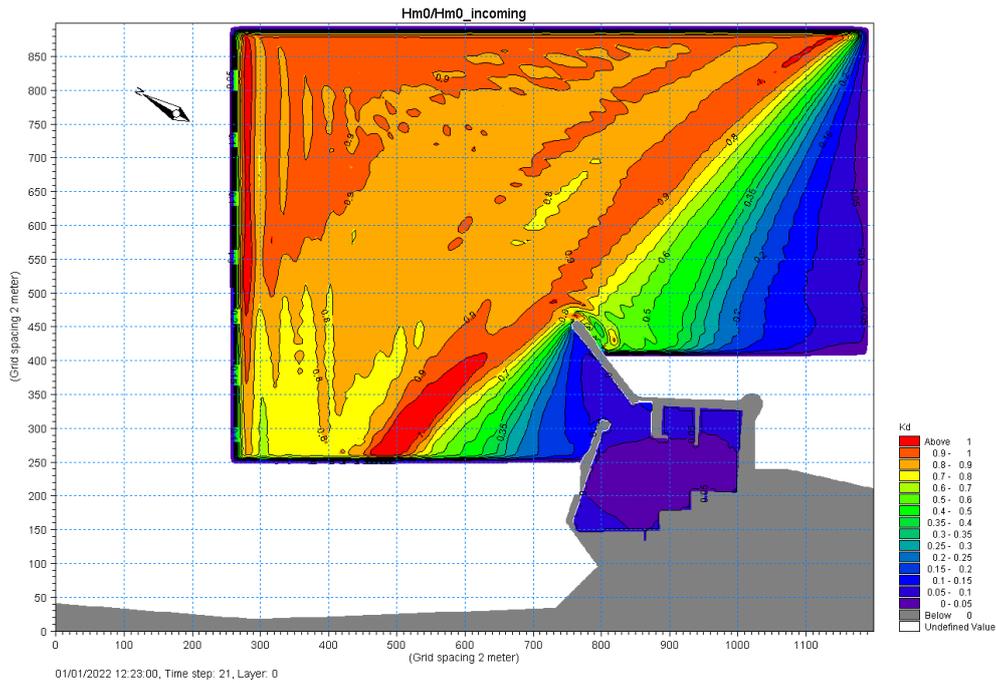


Figura 5.48 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

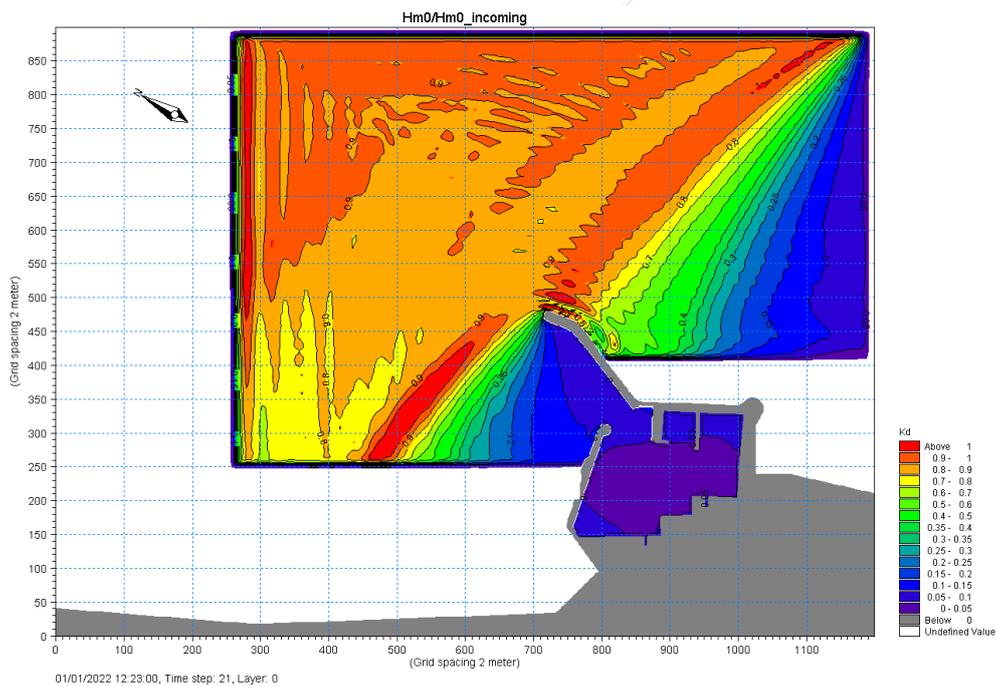


Figura 5.49 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,58$ m, $T_p=9,8$ s, $\theta=100,2^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=1$ anno.

5.2.5 Risultati per ondate provenienti da 330°N e $TR=10$ anni

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondazione che ha direzione di provenienza al largo di 330°N . Per un tempo di ritorno $TR=10$ anni. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il modello di trasferimento delle onde (Delft3D) dal largo (70 m)

alla profondità di 10 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde impostate nel modello di agitazione interna portuale sono: $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N.

Le ondatazioni provenienti dalla direzione al largo di 330° N sono le ondatazioni che giungono sottocosta con una direzione di circa 15° N, corrispondente ai settori di esposizione dell'imboccatura portuale (342° N- 45° N).

Dalla Figura 5.50 alla Figura 5.52 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di 0,06 m per la Configurazione attuale e di 0,07 m per le configurazioni di progetto.

Dalla Figura 5.53 alla Figura 5.55 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è pari a 0,06 e di 0,07 m per le configurazioni di progetto.

Dalla Figura 5.56 alla Figura 5.58 sono riportate le mappe della massima superficie libera valutata dal livello medio in quiete per le tre diverse configurazioni. Il livello mediato sulla area interna portuale della massima elevazione della superficie libera è pari a 0,05 m per tutte le configurazioni.

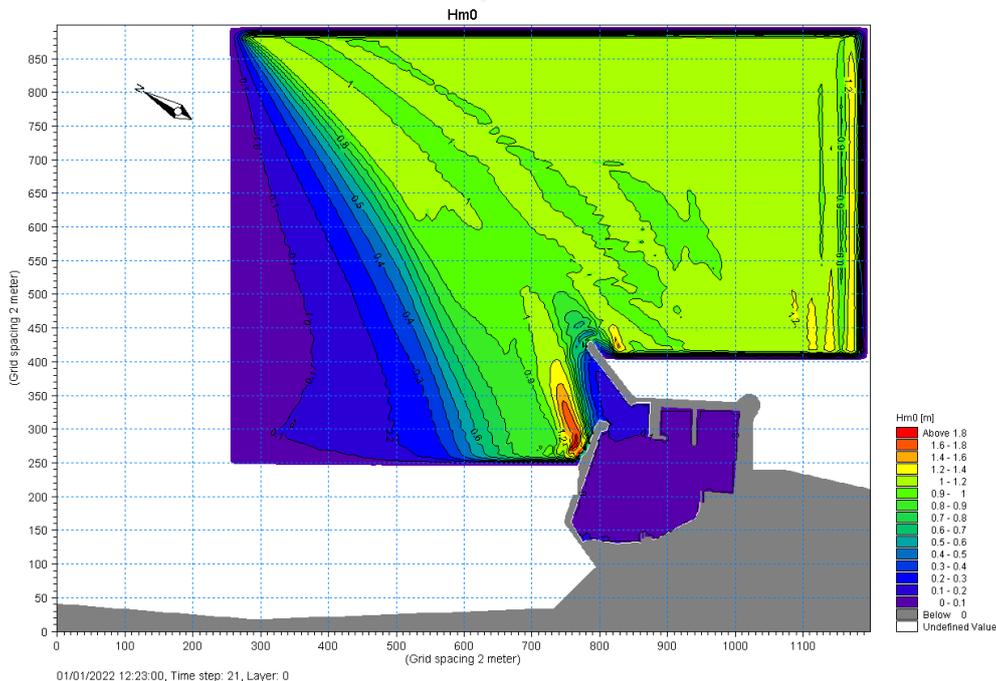


Figura 5.50 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

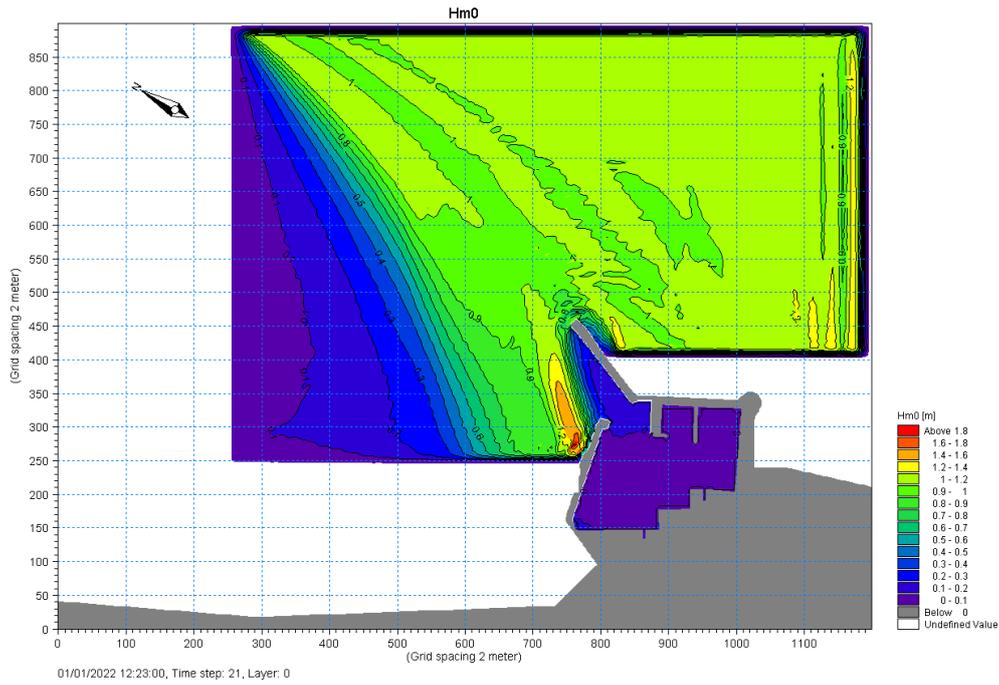


Figura 5.51 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

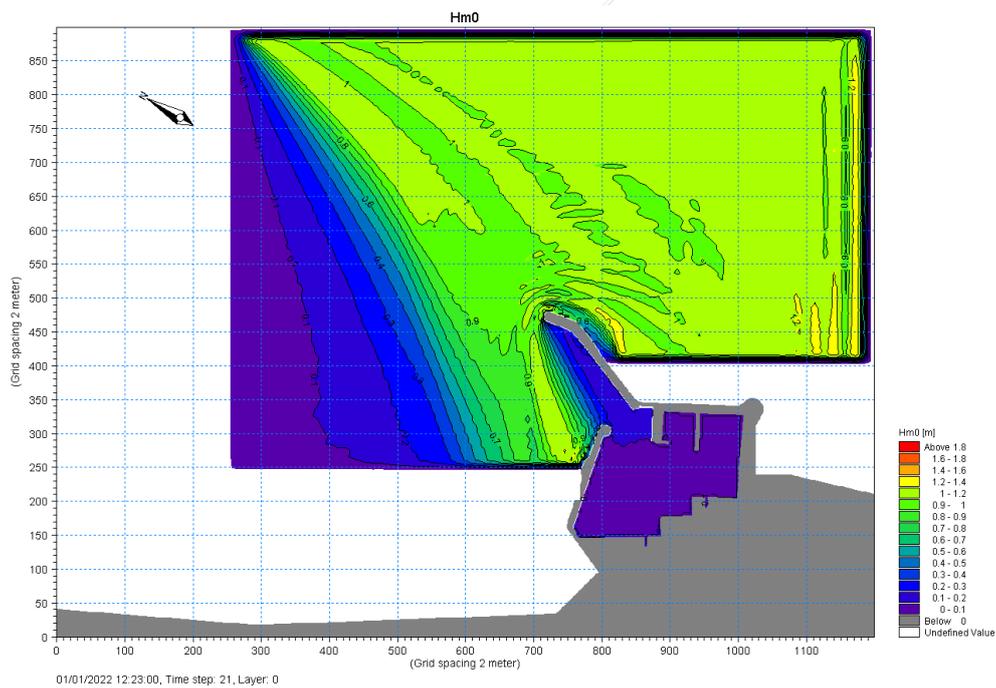


Figura 5.52- Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

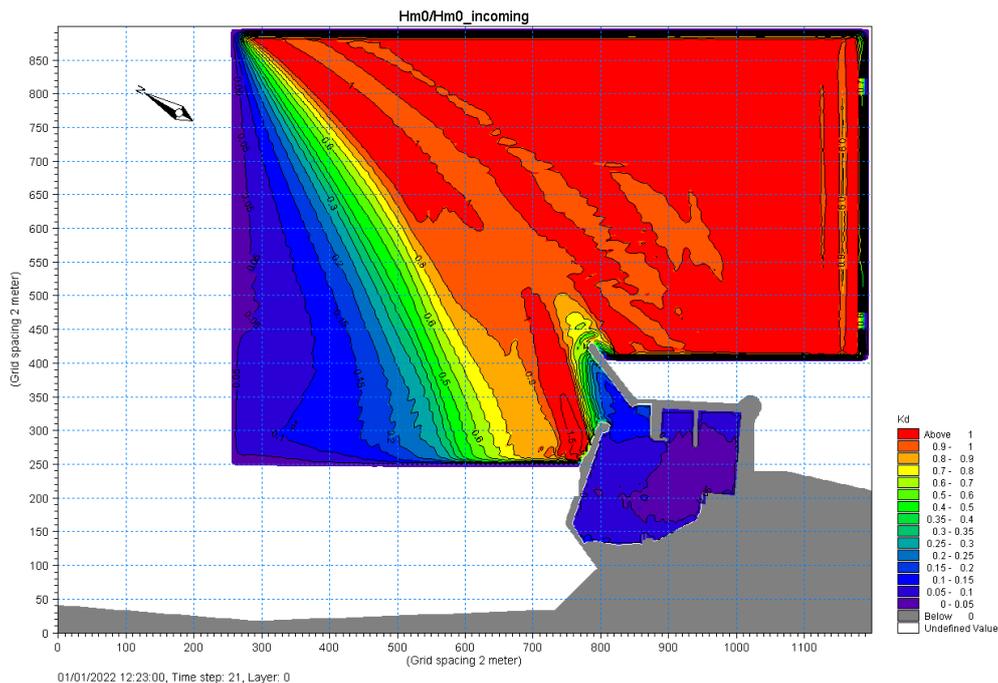


Figura 5.53 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

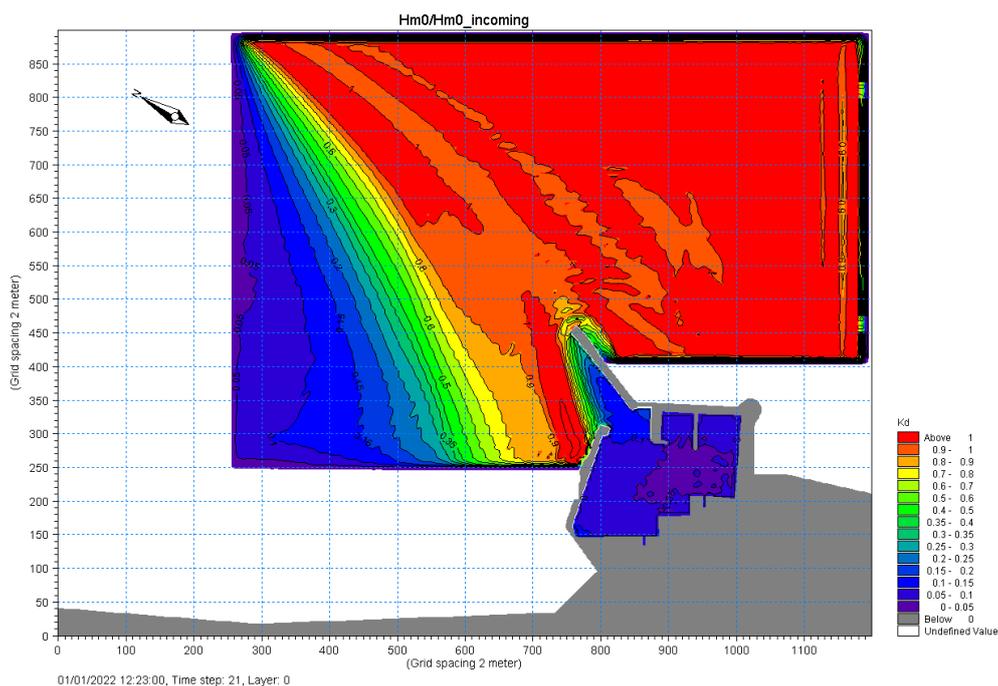


Figura 5.54 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

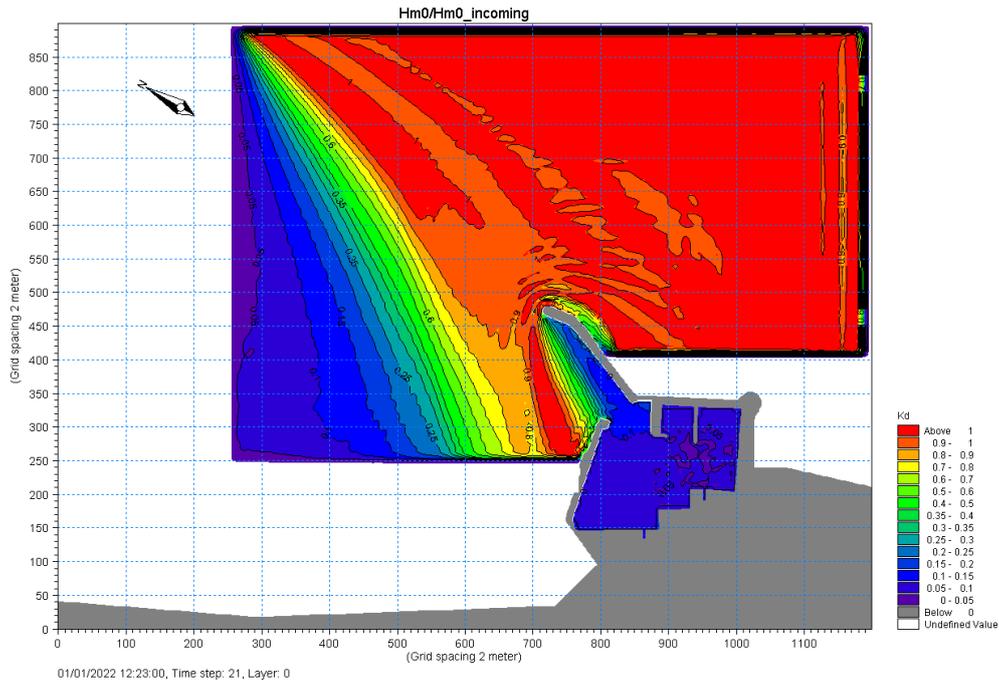


Figura 5.55 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

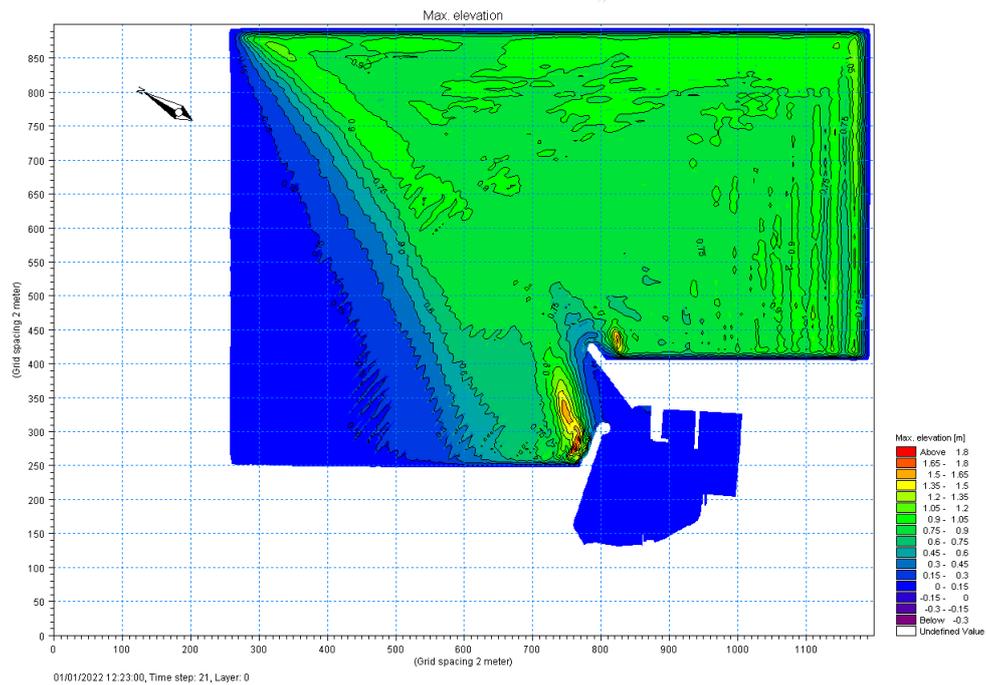


Figura 5.56– Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

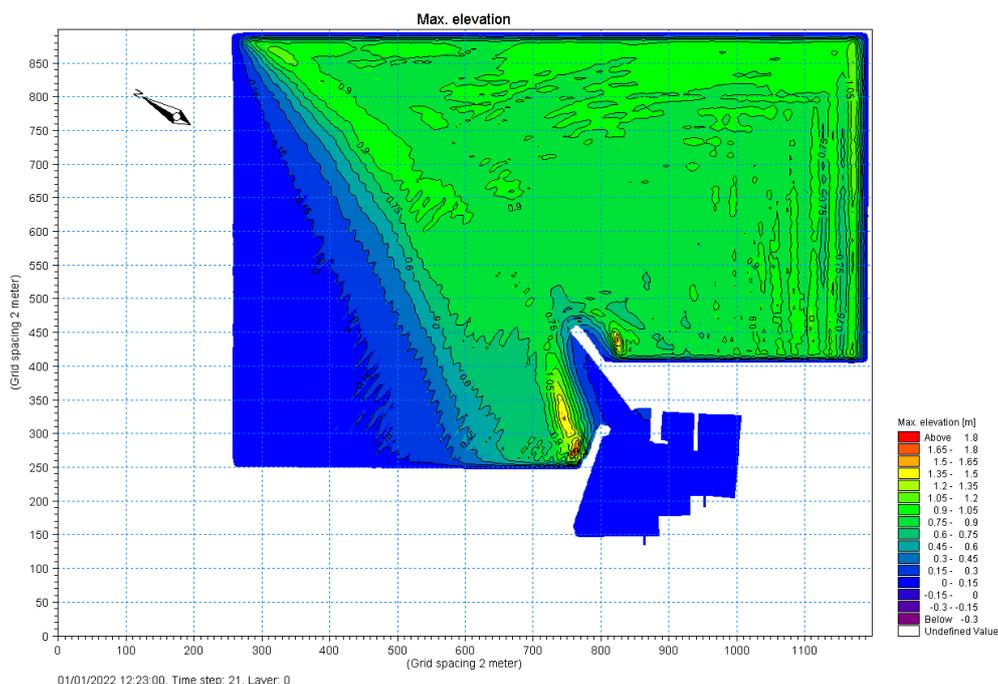


Figura 5.57 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

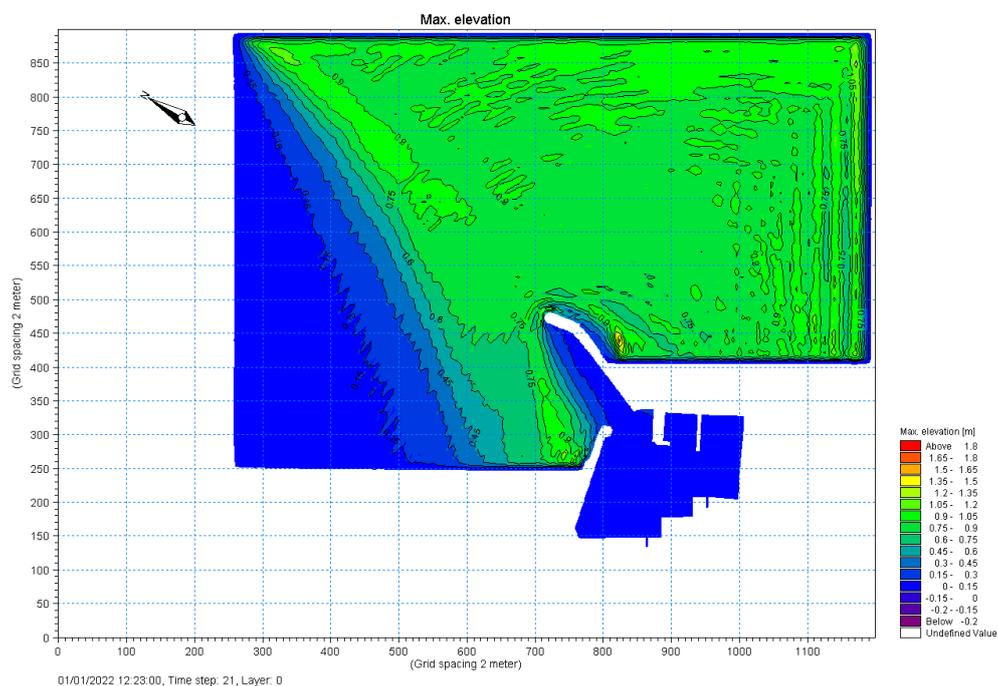


Figura 5.58 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=0,99$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=23,2^\circ$ N. ($\theta=330^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

5.2.6 Risultati per ondatazioni provenienti da 0° N e $TR=10$ anni

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'onda che ha direzione di provenienza al largo di 0° N per un tempo di ritorno $TR=10$ anni. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il modello di trasferimento delle onde (Delft3D) dal largo (70 m) alla

profondità di 10 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde impostate nel modello di agitazione interna portuale sono: $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ$ N.

Dalla Figura 5.59 alla Figura 5.61 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di 0,17 m per la Configurazione attuale e con molo del Piano Regolatore Portuale e di 0,18 m per le Configurazione con molo parziale.

Dalla Figura 5.62 alla Figura 5.64 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è pari a 0,07 per la Configurazione attuale e di 0,08 per le configurazioni di progetto.

Dalla Figura 5.65 alla Figura 5.67 sono riportate le mappe della massima superficie libera valutata dal livello medio in quiete per le tre diverse configurazioni. Il livello mediato sulla area interna portuale della massima elevazione della superficie libera è pari a 0,11 m per la Configurazione attuale e ridotto del 4% e 5% per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

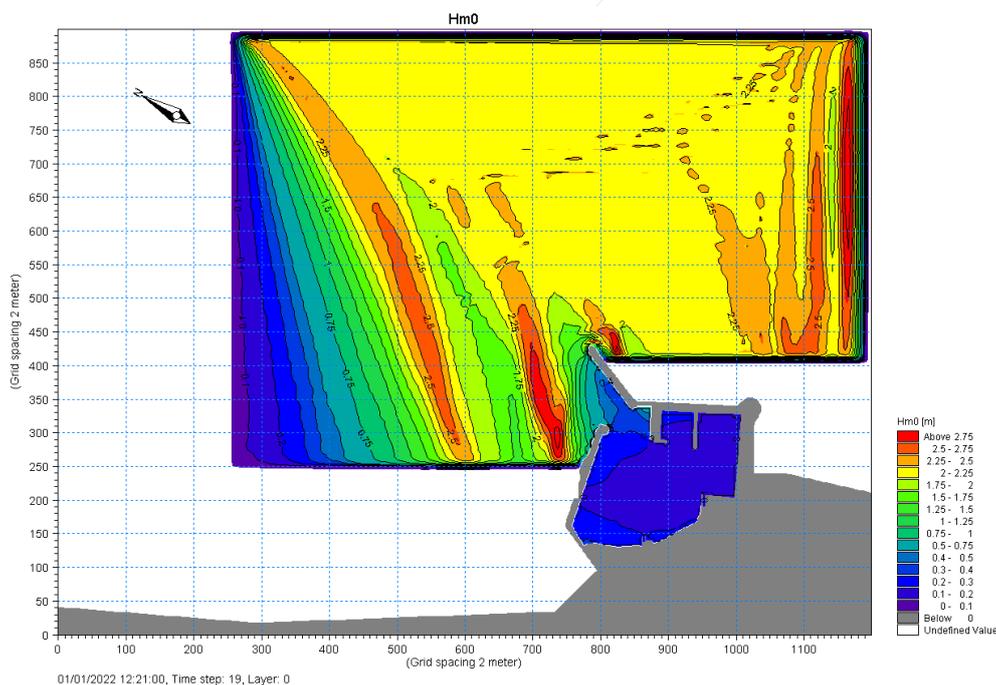


Figura 5.59 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ$ N ($\theta=0^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni.

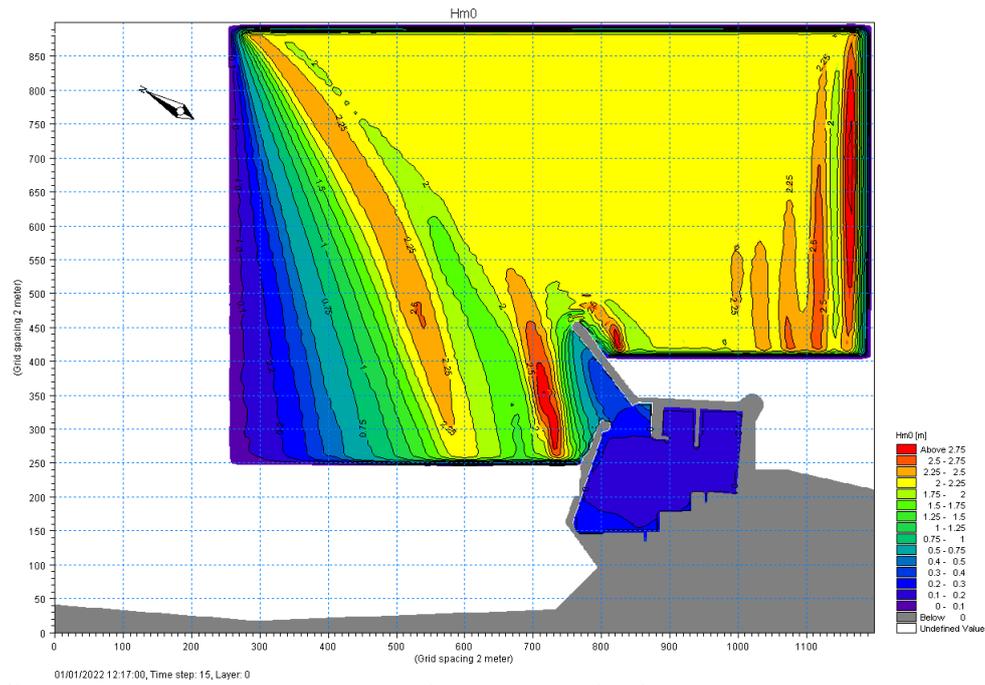


Figura 5.60 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni.

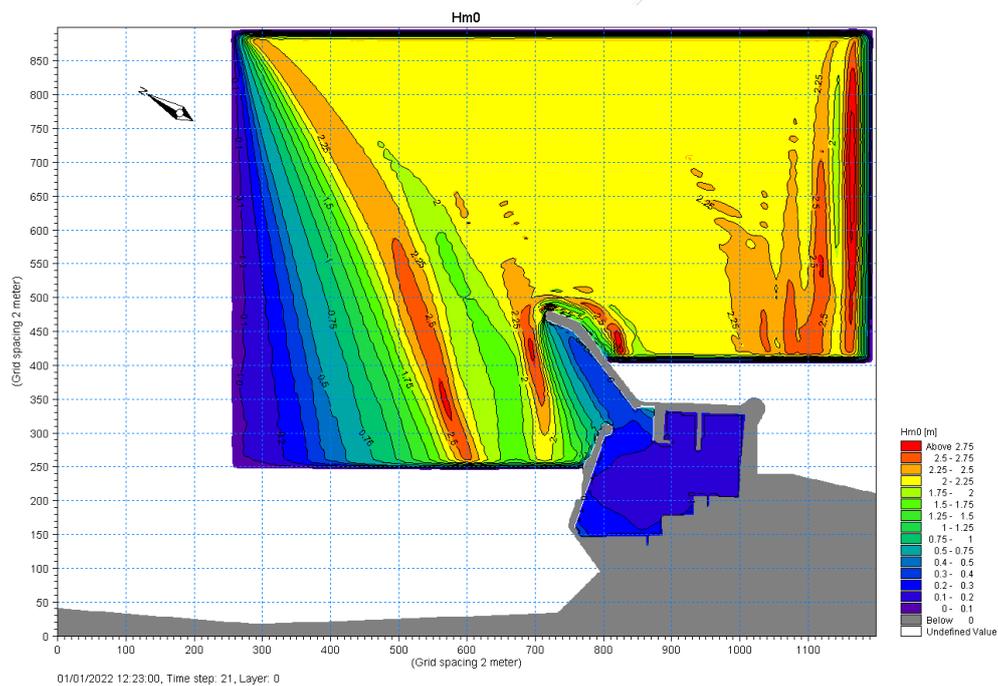


Figura 5.61 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni.

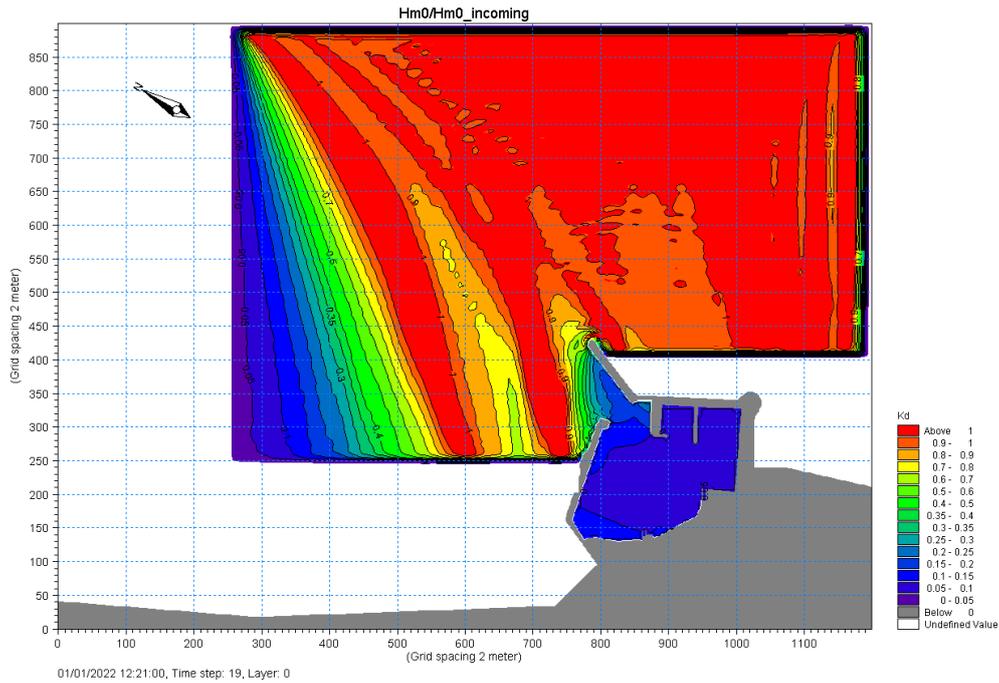


Figura 5.62 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni.

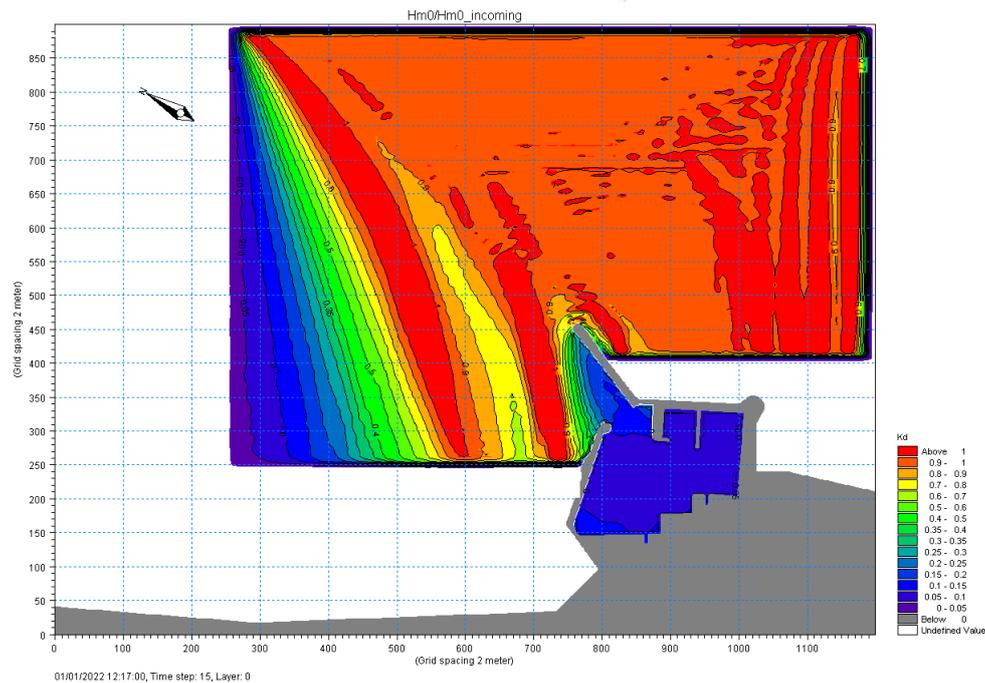


Figura 5.63 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni.

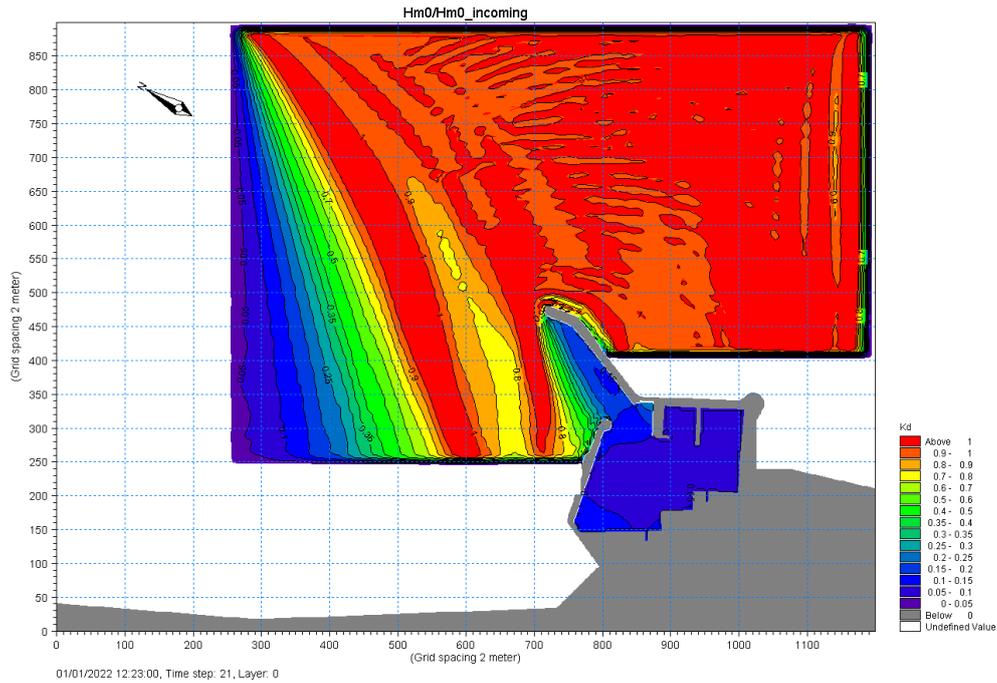


Figura 5.64 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni.

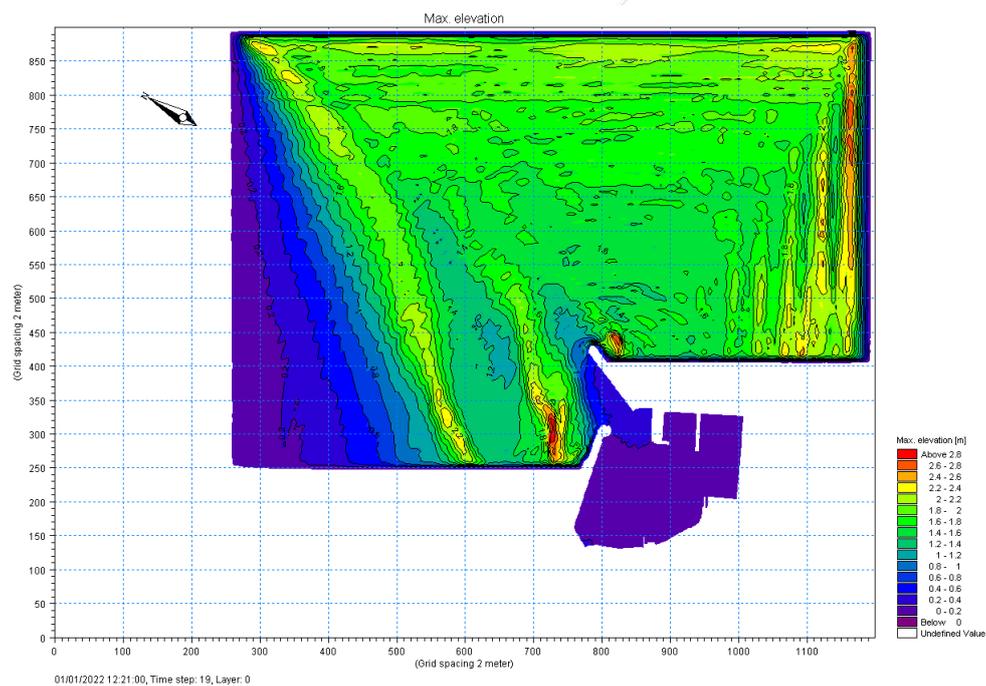


Figura 5.65 – Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni.

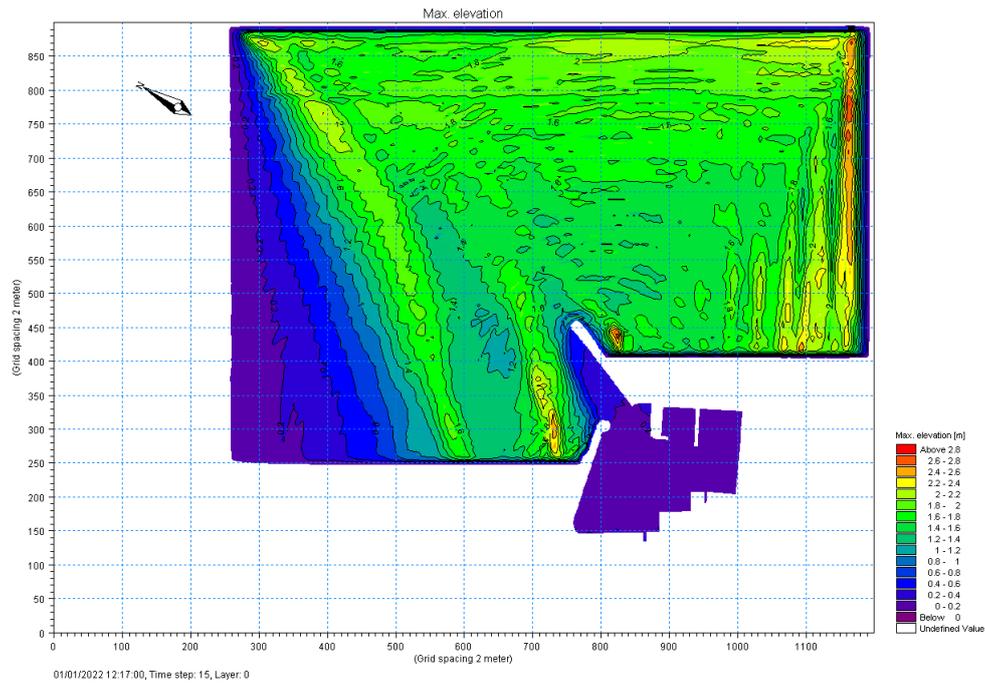


Figura 5.66 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni.

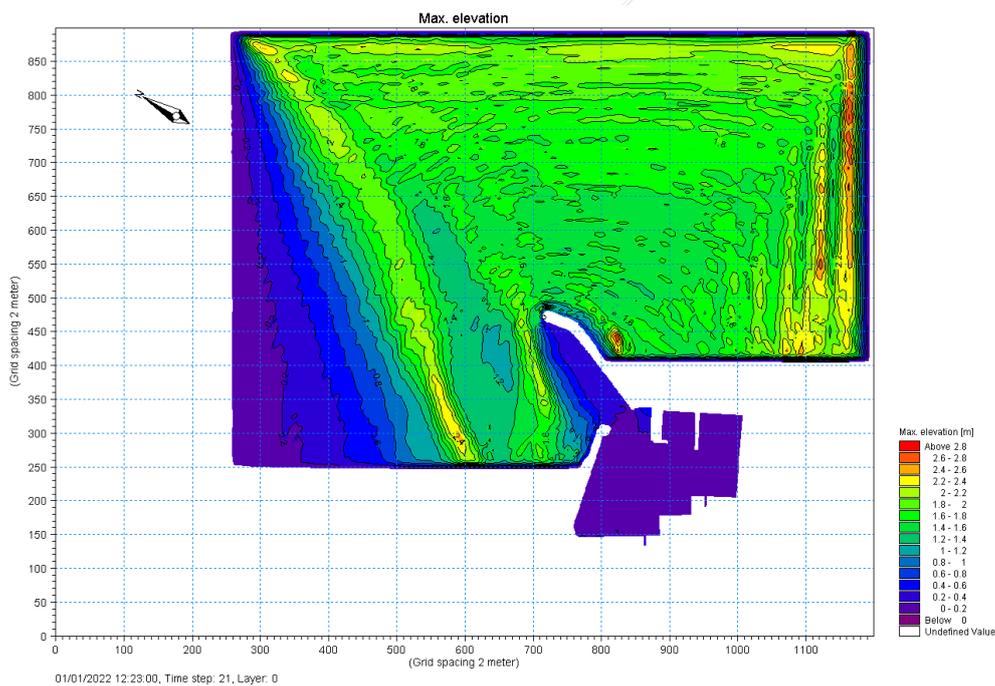


Figura 5.67 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,16$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=36^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni.

5.2.7 Risultati per ondate provenienti da 330°N , $TR=10$ anni e sovrizzo

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondazione che ha direzione di provenienza al largo di 330°N per un tempo di ritorno $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il modello di trasferimento delle onde

(Delft3D) dal largo (70 m) alla profondità di 10 m con la presenza di un sovrizzo omogeneo su tutto il dominio di 0,79 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde a riva da imporre nel modello di agitazione interna portuale sono: $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ$ N.

Si osserva che il sovrizzo di 0,79 m ha un minimo effetto sui risultati del trasferimento delle onde dal largo a riva, ad esempio l'altezza d'onda aumenta di circa il 2% e l'angolo di inclinazione delle onde alla generazione del modello si riduce di circa 1° . L'ipotesi di minima influenza del sovrizzo sull'altezza d'onda trasferita a riva e sull'angolo di attacco delle onde alla profondità di 10 m è accettabile nel range di scenari con sovrizzi totali (sovrizzo meteorologico e/o marea) dell'ordine di 1 m-2 m.

La propagazione delle onde dalla linea di generazione del modello fino all'area interna portuale avviene su un livello idrico maggiore per effetto del sovrizzo, per cui, sebbene le condizioni ondose siano simili alla generazione, si ottengono dei valori superiori dell'altezza d'onda significativa di circa il 10%. Confrontando le mappe di massima elevazione della superficie libera rispetto al livello medio mare in quiete, la presenza di un sovrizzo produce delle sopraelevazioni molto più significative. I risultati sull'altezza d'onda interna portuale e sul coefficiente di diffrazione possono essere considerati come valori indicativi anche per scenari di sovrizzo totale diversi da quello ipotizzato, ad esempio se si volesse aggiungere l'effetto della marea o l'effetto di sovrizzi meteorologici più importanti.

Dalla Figura 5.68 alla Figura 5.70 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di 0,07 m per la Configurazione attuale e di 0,09 m e 0,08 m per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

Dalla Figura 5.71 alla Figura 5.73 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è pari a 0,07 per la Configurazione attuale e di 0,09 e 0,08 per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

Dalla Figura 5.74 alla Figura 5.76 sono riportate le mappe della massima superficie libera valutata dal livello medio in quiete per le tre diverse configurazioni. Il livello mediato sulla area interna portuale della massima elevazione della superficie libera è pari a 0,05 m per la Configurazione attuale e di 0,07 m e 0,05 m per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

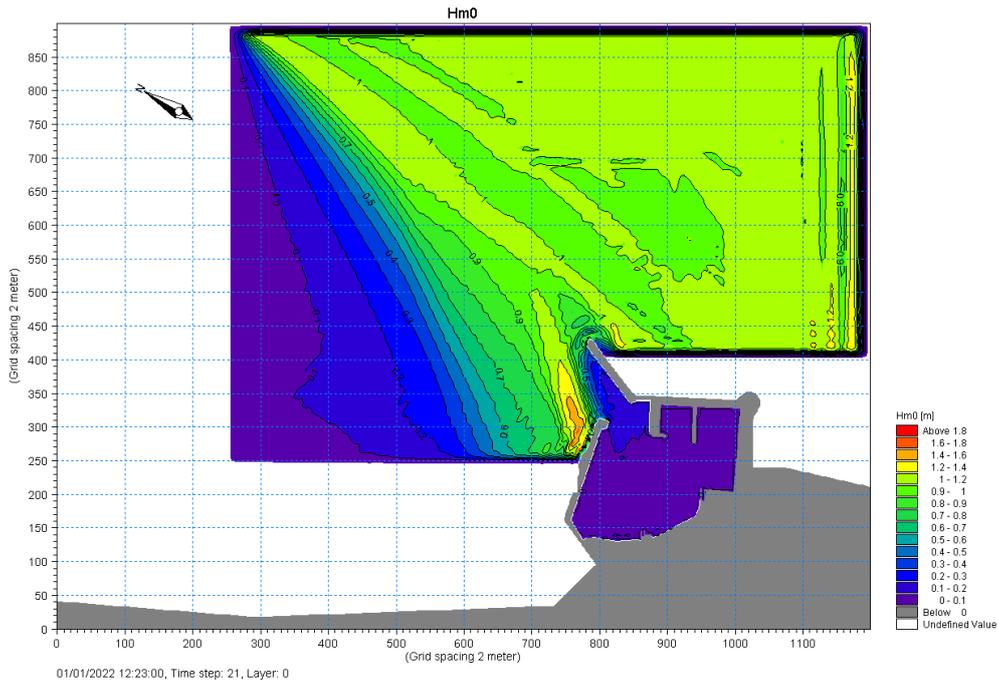


Figura 5.68- Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ\text{N}$ ($\theta=330^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

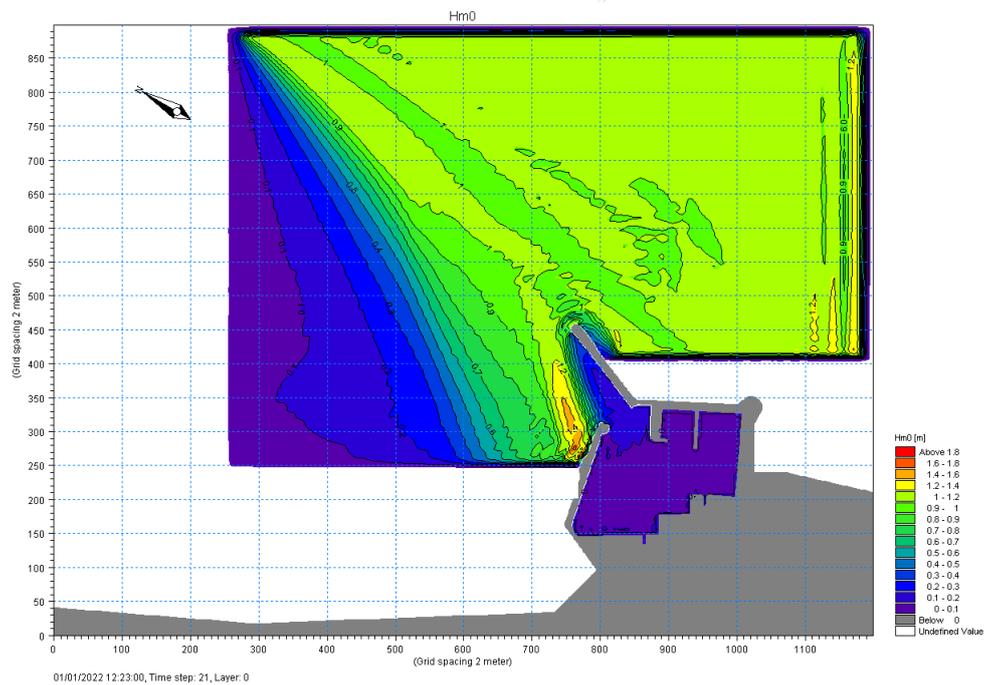


Figura 5.69- Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale. $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ\text{N}$ ($\theta=330^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

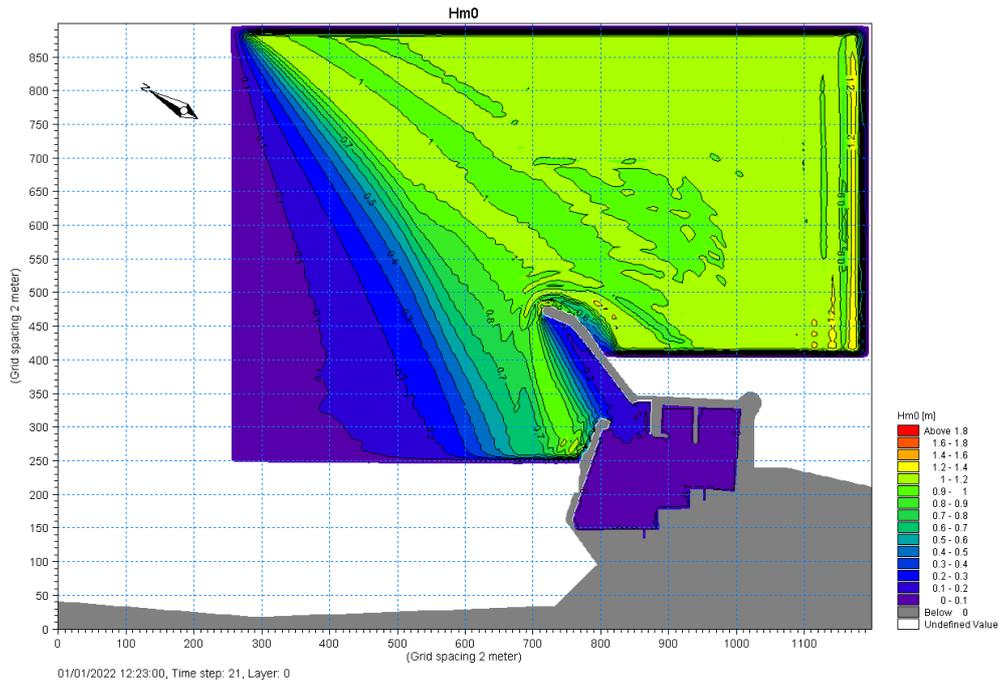


Figura 5.70 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ N$ ($\theta=330^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

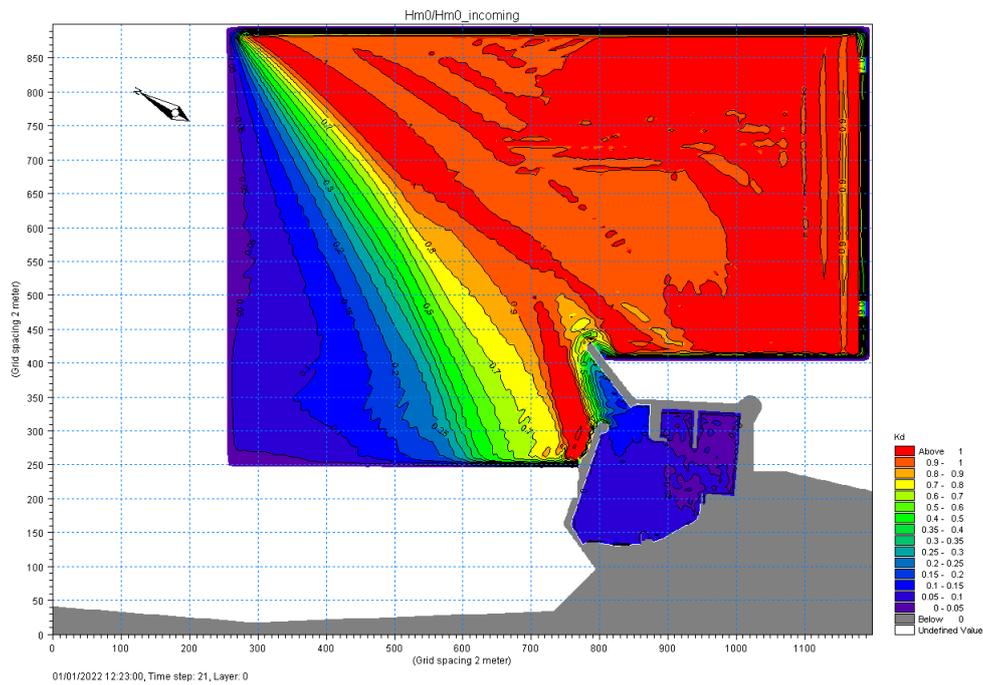


Figura 5.71- Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ N$ ($\theta=330^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

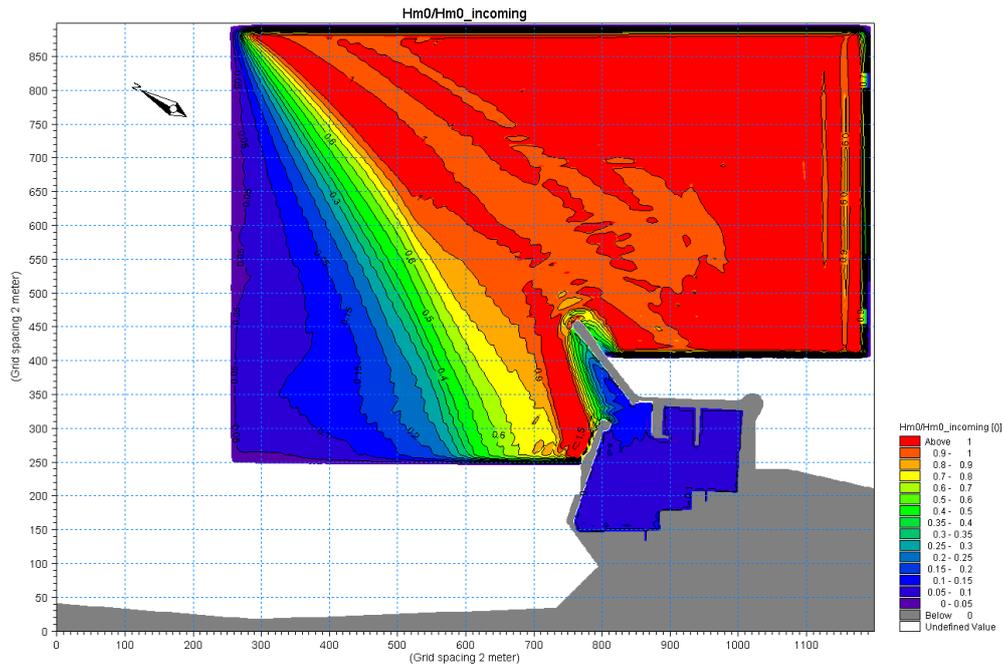


Figura 5.72- Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ N$ ($\theta=330^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

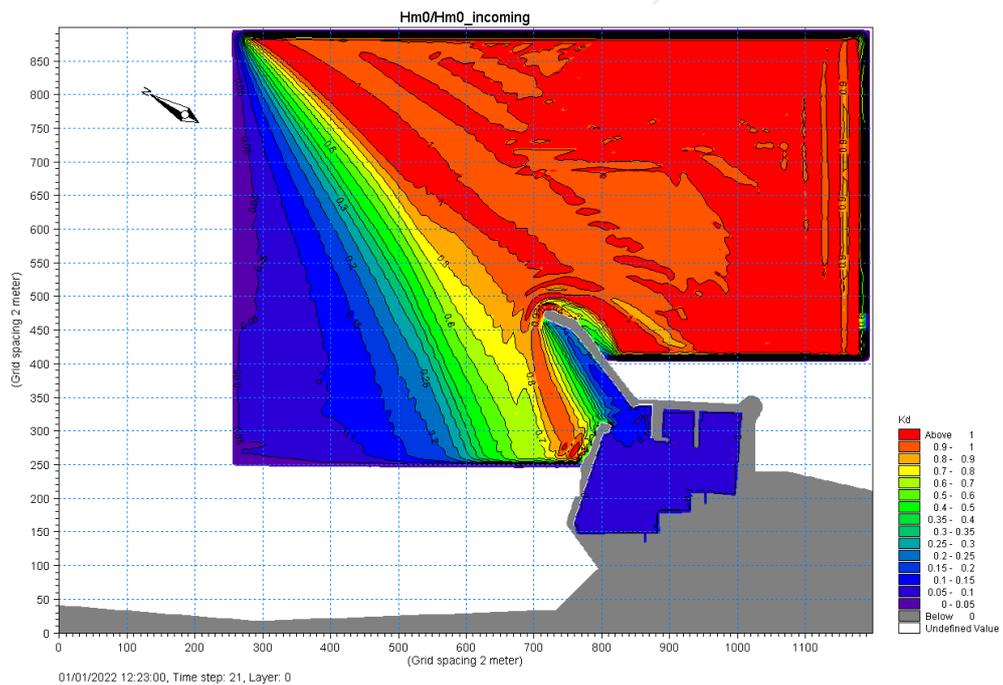


Figura 5.73- Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ N$ ($\theta=330^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

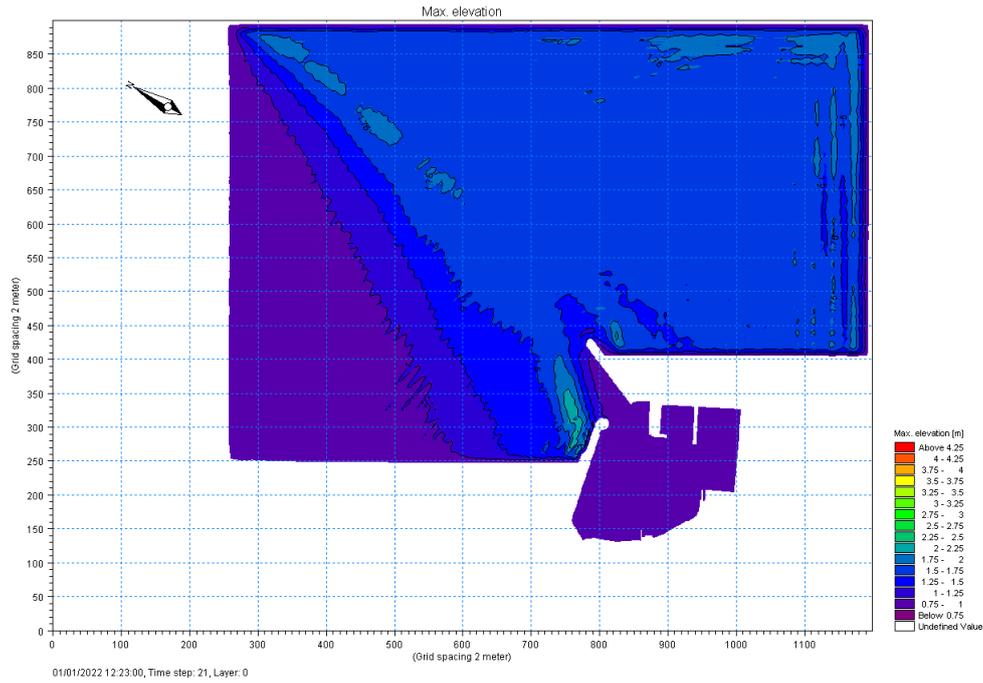


Figura 5.74 – Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ\text{N}$ ($\theta=330^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di $0,79$ m.

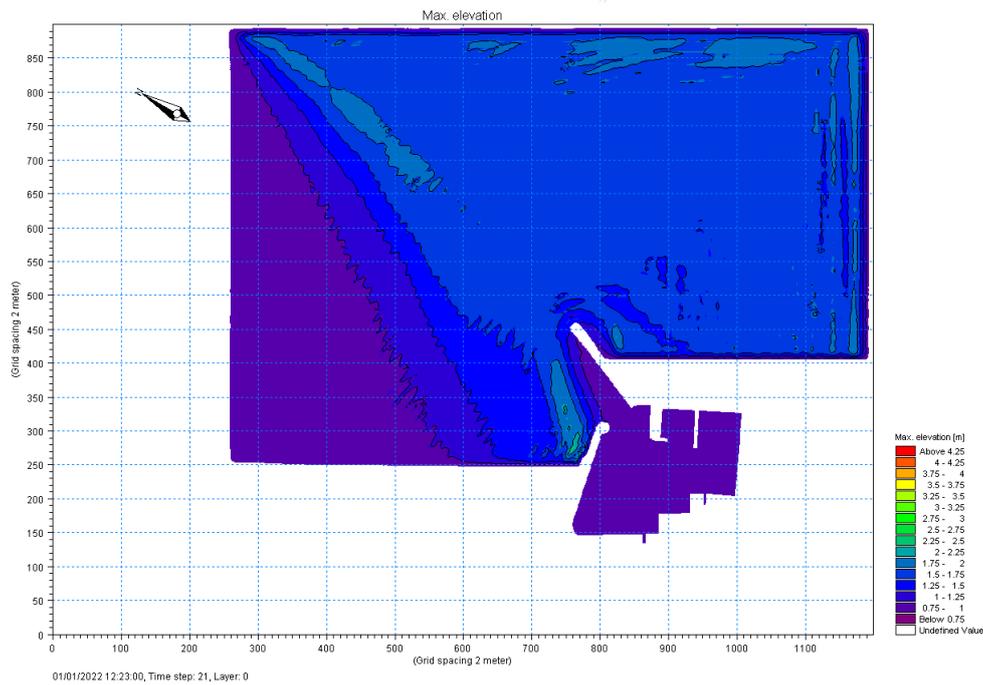


Figura 5.75 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ\text{N}$ ($\theta=330^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di $0,79$ m.

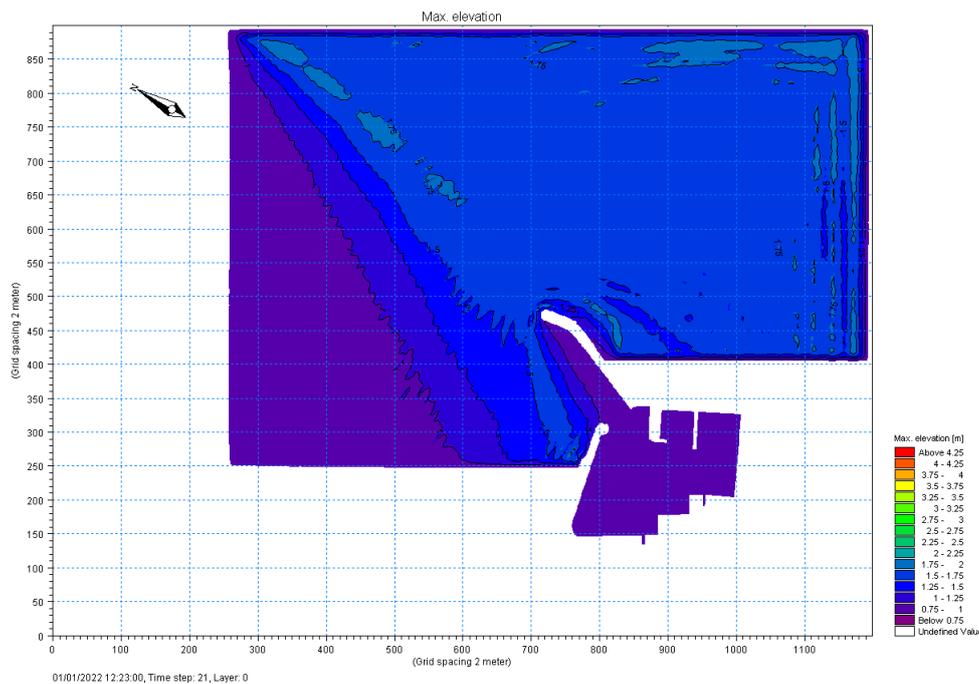


Figura 5.76 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ\text{N}$ ($\theta=330^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

5.2.8 Risultati per ondate provenienti da 0°N , $TR=10$ anni e sovrizzo

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondazione che ha direzione di provenienza al largo di 0°N per un tempo di ritorno $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il modello di trasferimento delle onde (Delft3D) dal largo (70 m) alla profondità di 10 m con la presenza di un sovrizzo omogeneo su tutto il dominio di 0,79 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde a riva da imporre nel modello di agitazione interna portuale sono: $H_s=2,2$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ\text{N}$.

Come per le simulazioni con direzione di provenienza delle onde al largo di 330°N con $TR=10$ anni e sovrizzo, anche per il caso di ondate di provenienza al largo di 0°N e $TR=10$ anni si osserva che il sovrizzo di 0,79 m ha un minimo effetto sui risultati del trasferimento delle onde dal largo a riva in termini di altezza d'onda e angolo di inclinazione delle onde. Ad esempio, l'altezza d'onda aumenta di circa il 2% e l'angolo di inclinazione delle onde alla generazione del modello si è ridotto di circa 1° , per cui anche in questo caso per estendere la validità delle mappe a scenari con sovrizzi diversi da quello assunto nel presente studio (sovrizzo di 0,79 m), valgono i commenti e osservazioni riportati nel paragrafo precedente.

Dalla Figura 5.77 alla Figura 5.79 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di 0,19 m

per la configurazione con molo attuale, di 0,21 m per la Configurazione con molo parziale e di 0,19 m per molo del Piano Regolatore Portuale.

Dalla Figura 5.80 alla Figura 5.82 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è pari a 0,09 per tutte le configurazioni.

Dalla Figura 5.83 alla Figura 5.85 sono riportate le mappe della massima superficie libera valutata dal livello medio in quiete per le tre diverse configurazioni. Il livello mediato sulla area interna portuale della massima elevazione della superficie libera è pari a 0,13 m per la Configurazione attuale e pari a 0,14 m e 0,13 m per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

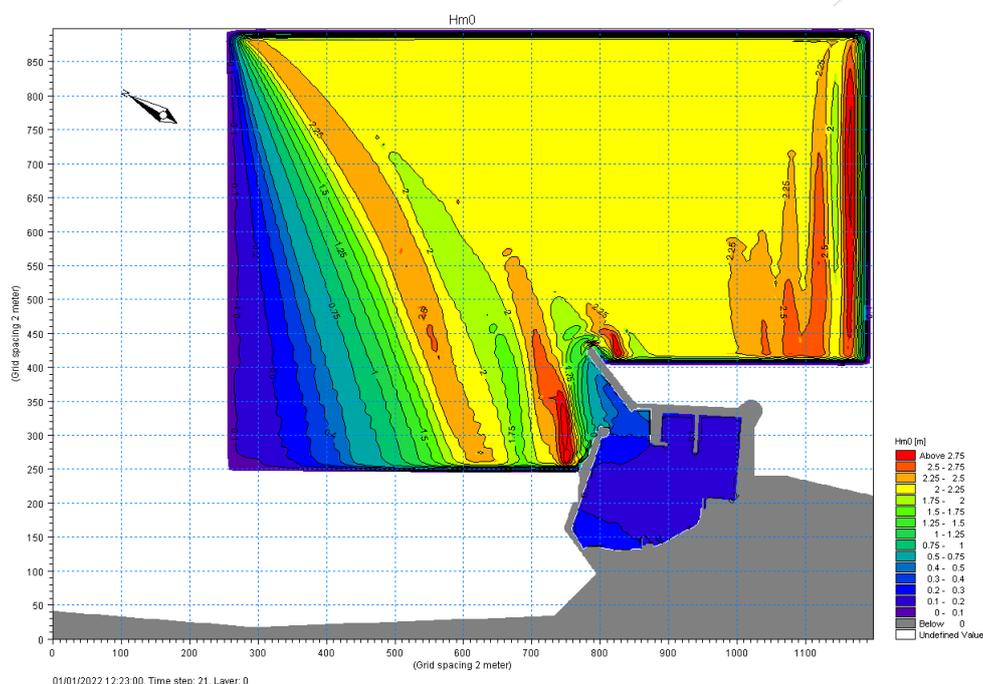


Figura 5.77- Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ$ N ($\theta=0^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

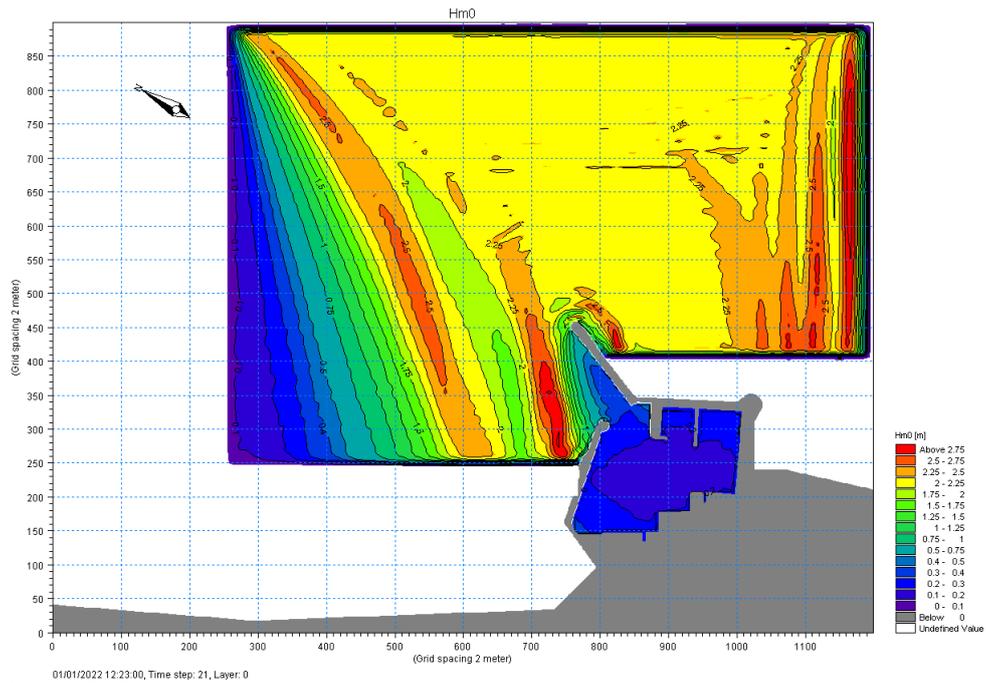


Figura 5.78 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

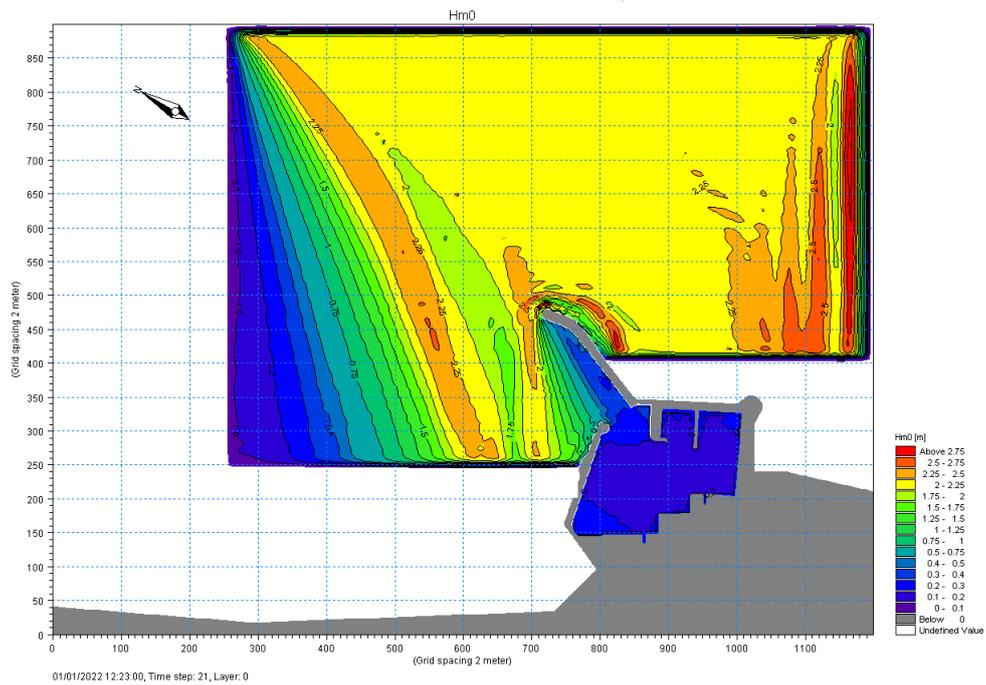


Figura 5.79 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

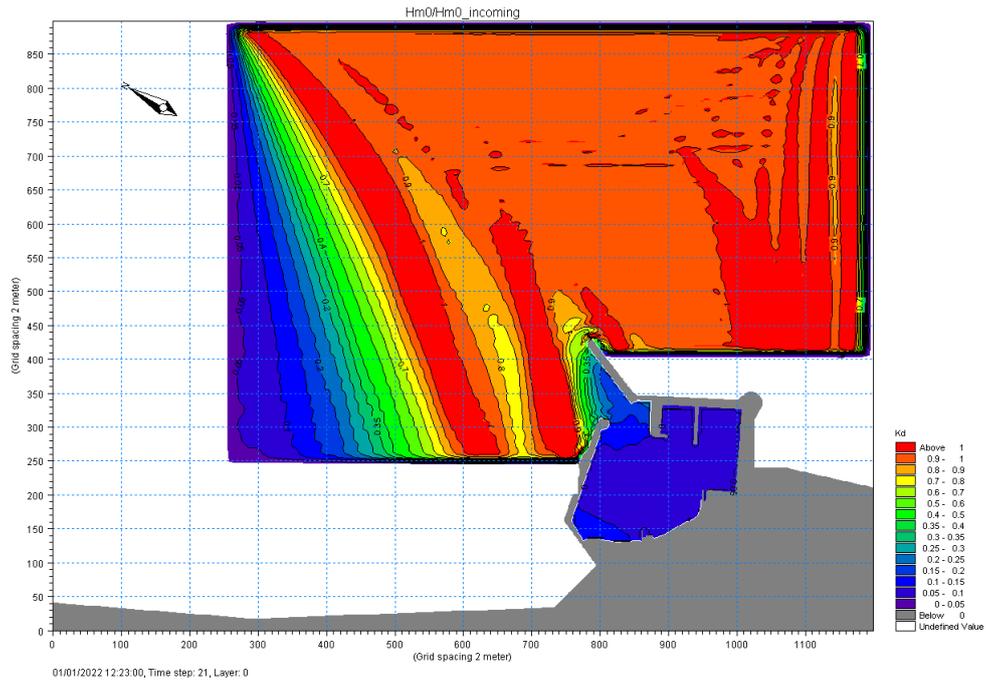


Figura 5.80 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzso di 0,79 m.

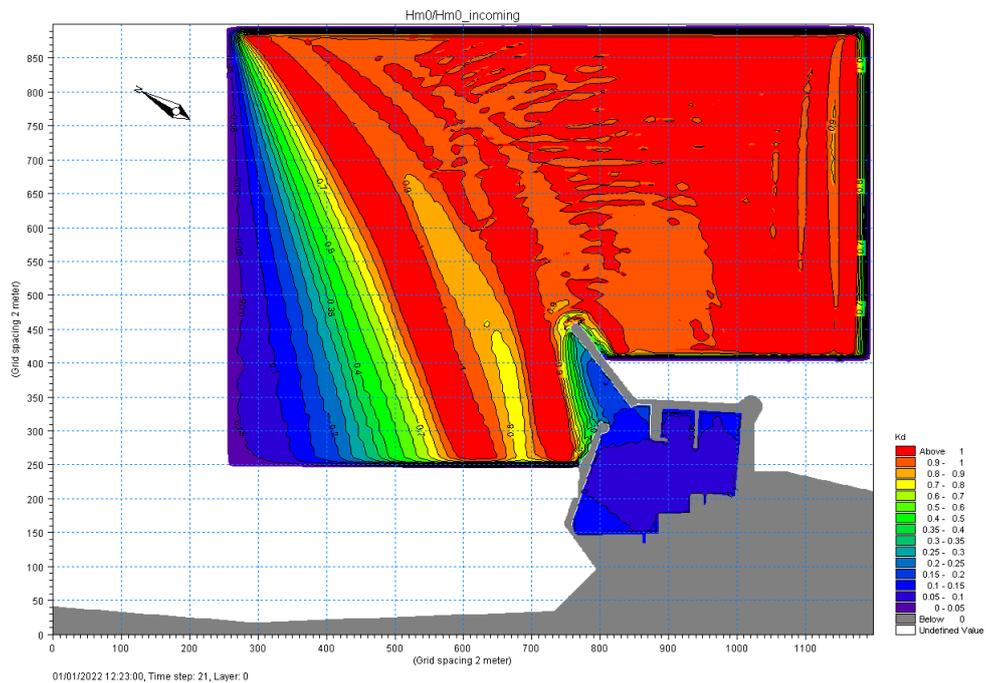


Figura 5.81 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzso di 0,79 m.

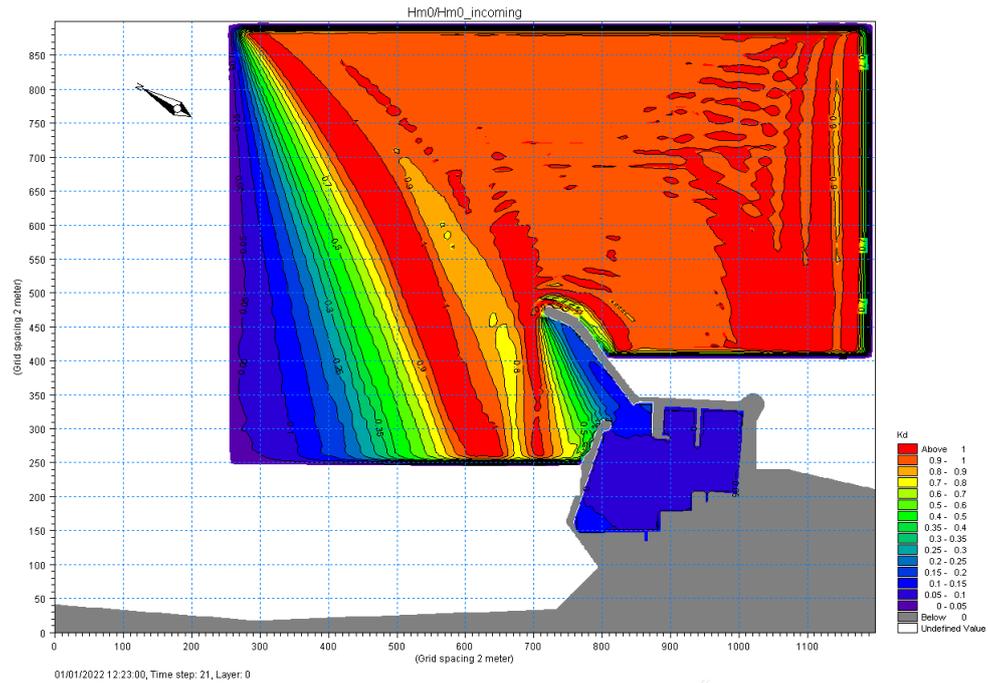


Figura 5.82 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovranzo di $0,79$ m.

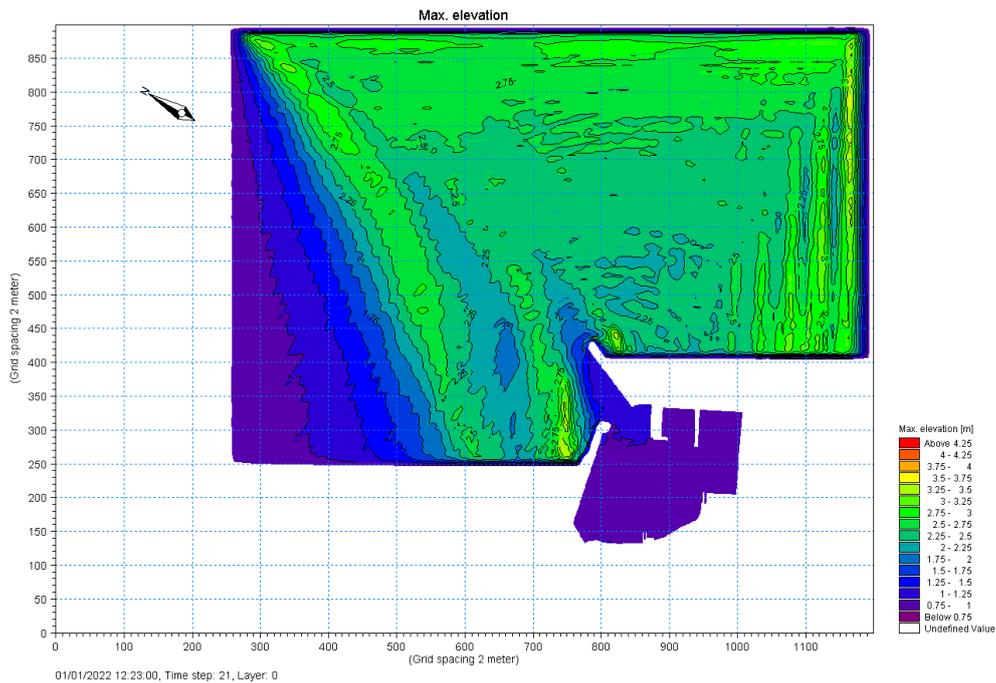


Figura 5.83 – Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ N$ ($\theta=0^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovranzo di $0,79$ m.

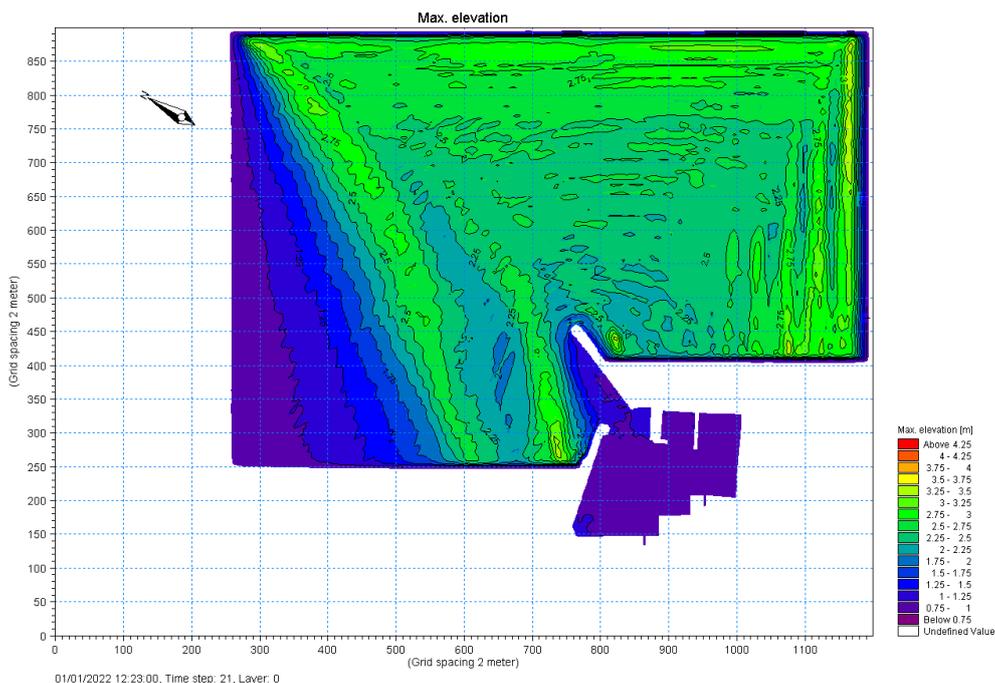


Figura 5.84 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

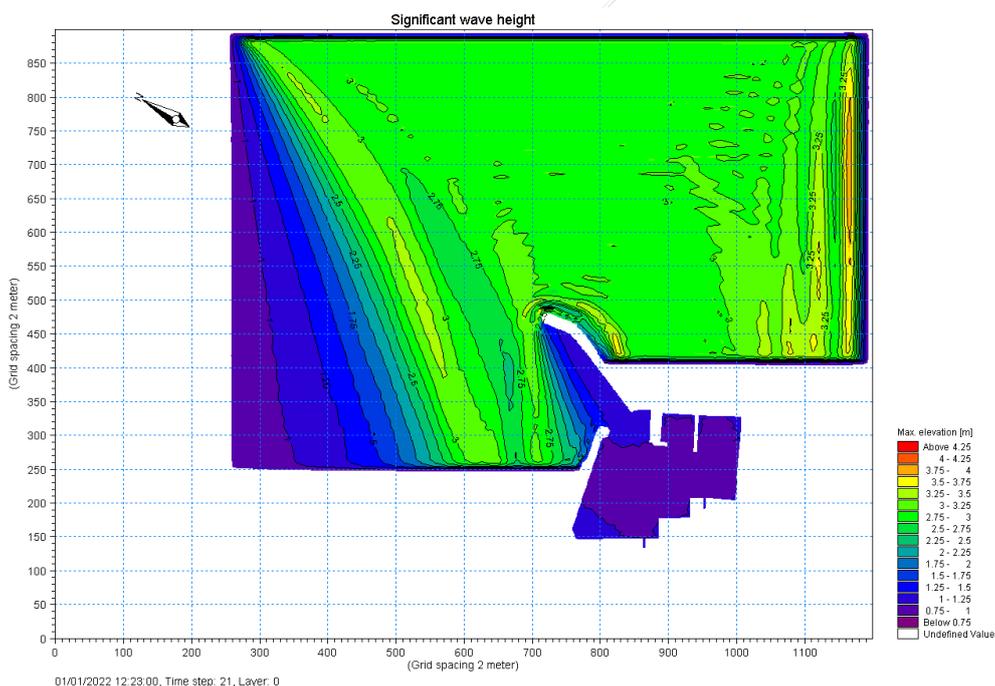


Figura 5.85 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$ s, $\theta=35^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

5.2.9 Risultati per ondate provenienti da 30°N , $TR=10$ anni e sovrizzo

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondazione che ha direzione di provenienza al largo di 30°N per un tempo di ritorno $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il modello di trasferimento delle onde

(Delft3D) dal largo (70 m) alla profondità di 10 m con la presenza di un sovrizzo omogeneo su tutto il dominio di 0,79 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde a riva da imporre nel modello di agitazione interna portuale sono: $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ$ N. Le considerazioni fatte per le simulazioni precedenti con sovrizzo valgono anche per questi casi.

Le ondatazioni provenienti dalla direzione al largo di 30° N sono caratterizzate da un flusso di energia più intenso, per cui le simulazioni sono state condotte utilizzando le equazioni migliorate di Boussinesq che sono raccomandate quando si includono condizioni di frangimento.

Dalla Figura 5.86 alla Figura 5.88 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di 0,42 m per la configurazione con molo attuale, di 0,44 m per la Configurazione con molo parziale e di 0,41 m per molo del Piano Regolatore Portuale.

Dalla Figura 5.89 alla Figura 5.91 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d dato dal rapporto dell'altezza d'onda significativa nel punto della griglia e quella alla generazione per le tre diverse configurazioni. Il coefficiente di diffrazione medio nell'area portuale è pari a 0,11 nella Configurazione attuale e pari a 0,12 e 0,11, rispettivamente, per le configurazioni C1 e C2.

Dalla Figura 5.92 alla Figura 5.94 sono riportate le mappe della massima elevazione della superficie libera valutata dal livello medio in quiete per le tre diverse configurazioni. Tale valore, mediato sulla area interna portuale, è pari a 0,25 m per la Configurazione attuale e pari a 0,24 m e 0,21 m per le configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

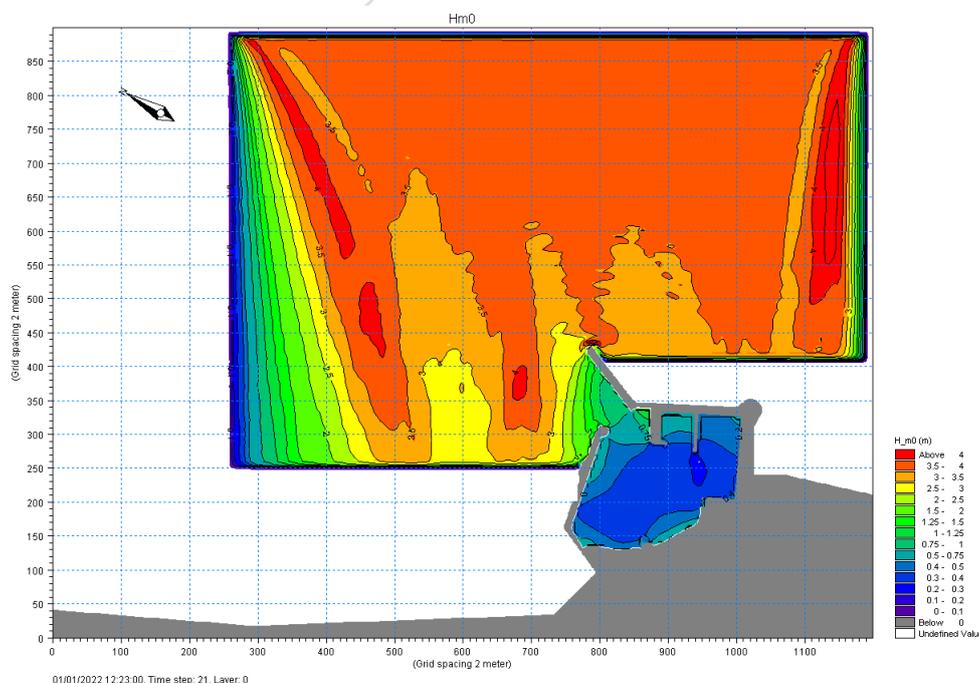


Figura 5.86 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ$ N ($\theta=30^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

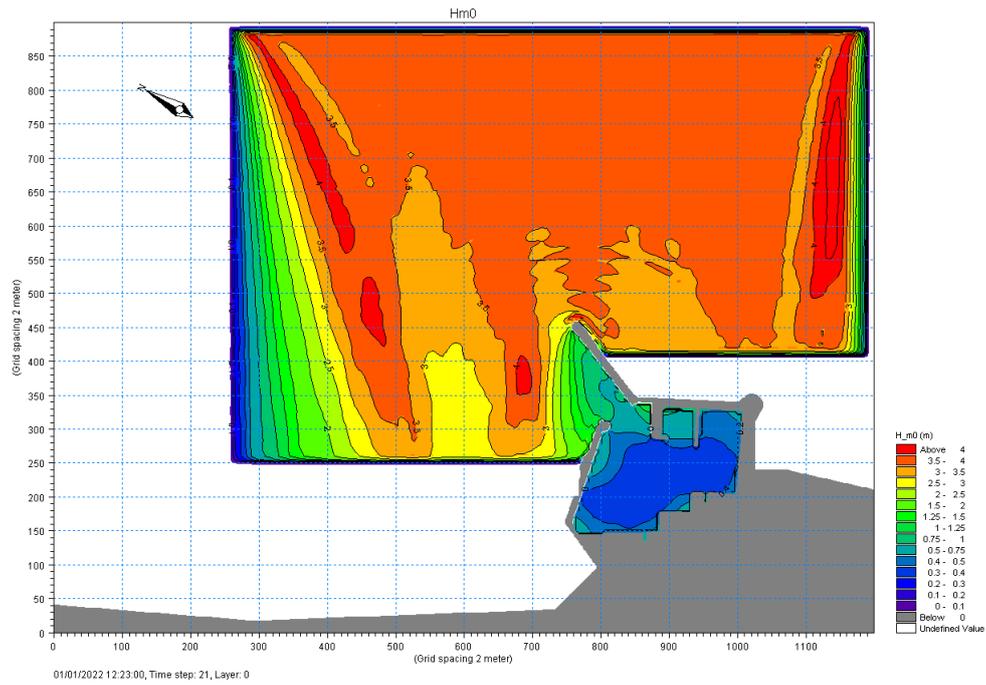


Figura 5.87 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

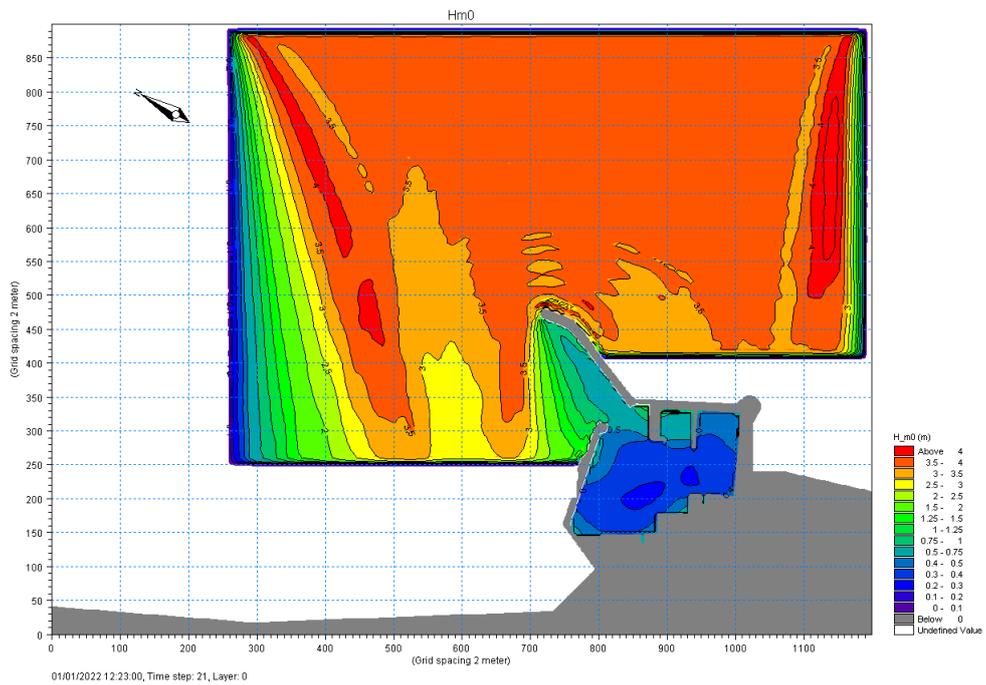


Figura 5.88 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

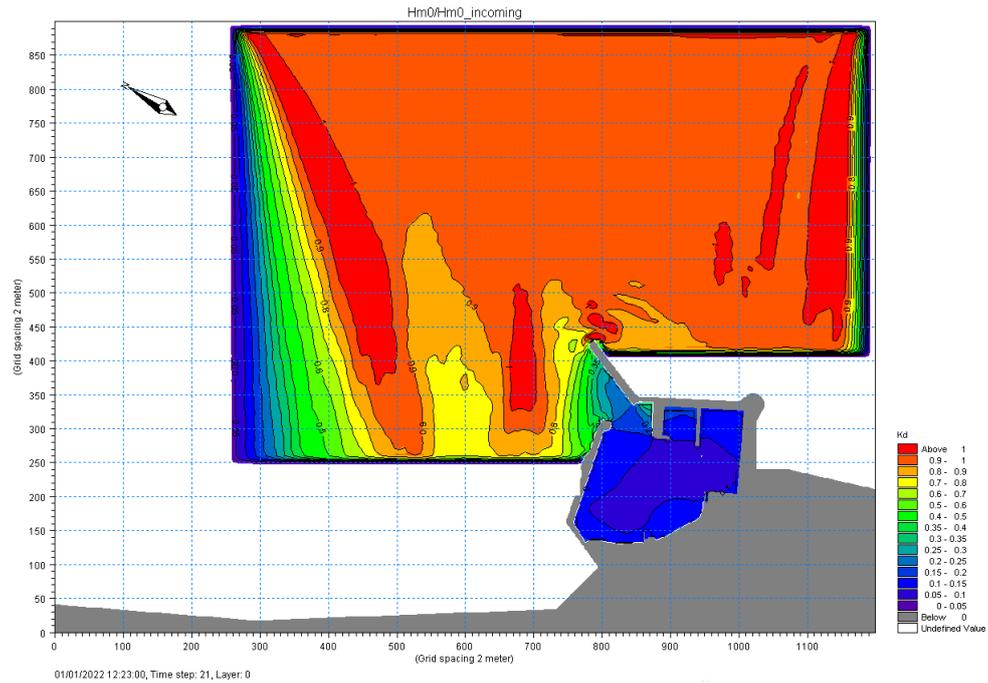


Figura 5.89 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

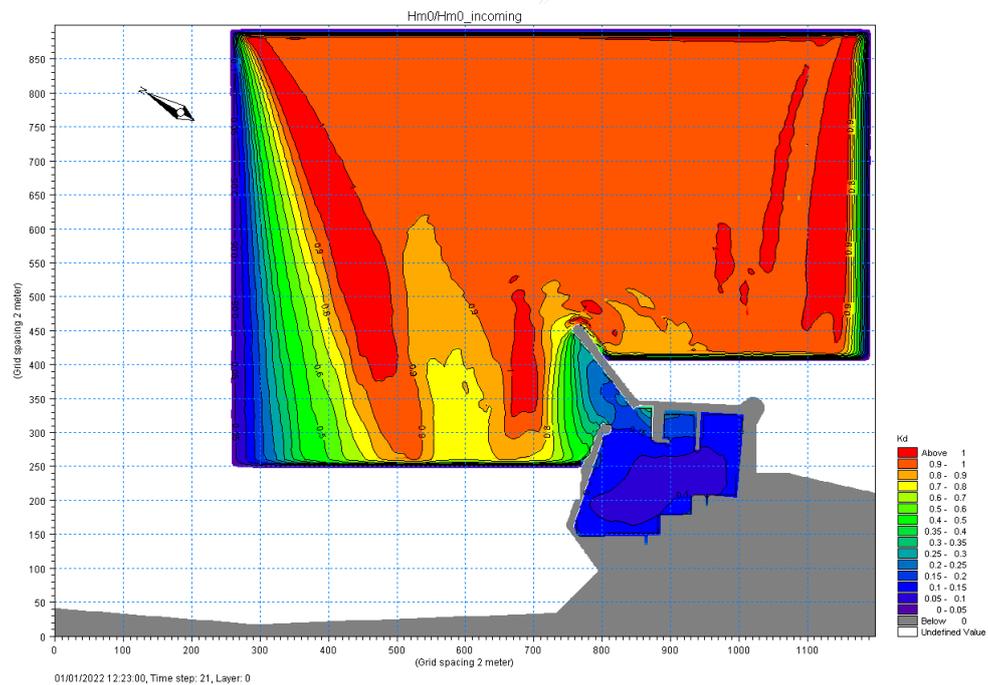


Figura 5.90 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ\text{N}$ ($\theta=30^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

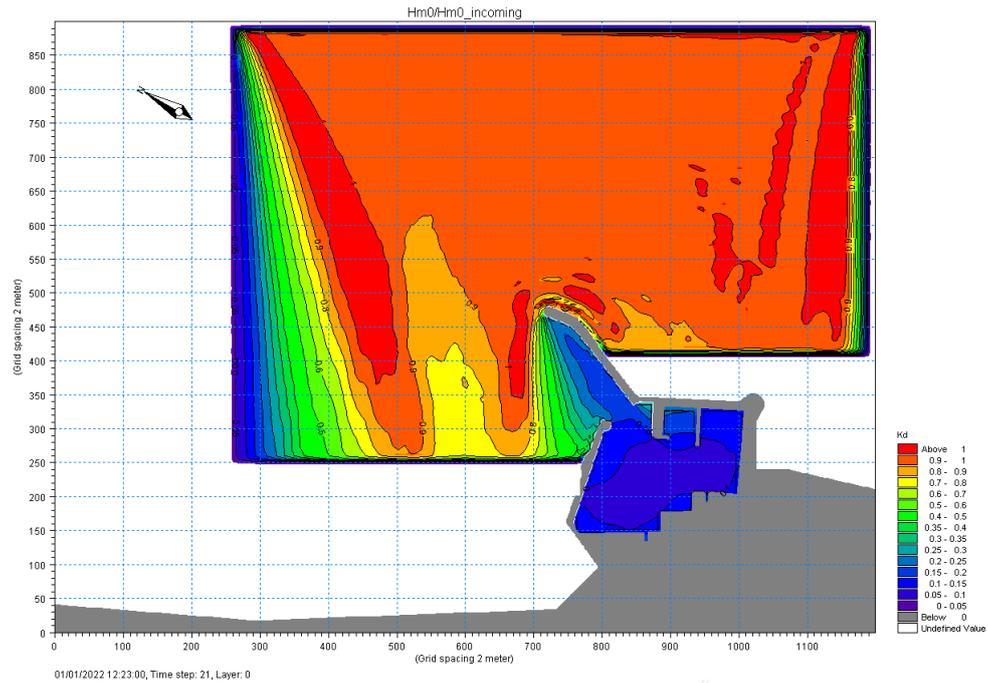


Figura 5.91 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ N$ ($\theta=30^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzso di 0,79 m.

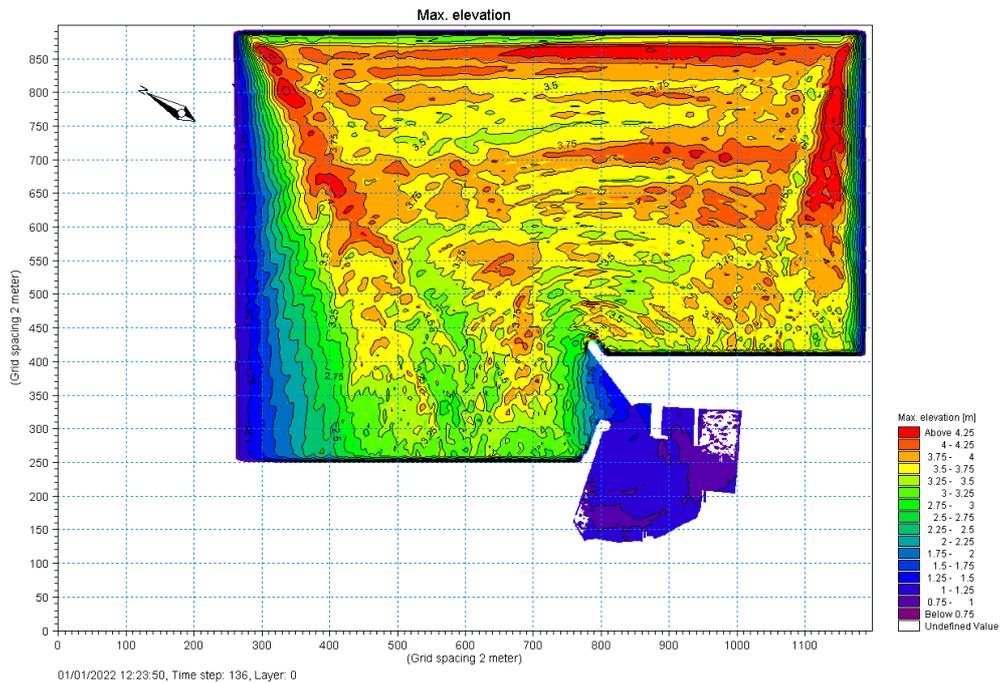


Figura 5.92 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione attuale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ N$ ($\theta=30^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzso di 0,79 m.

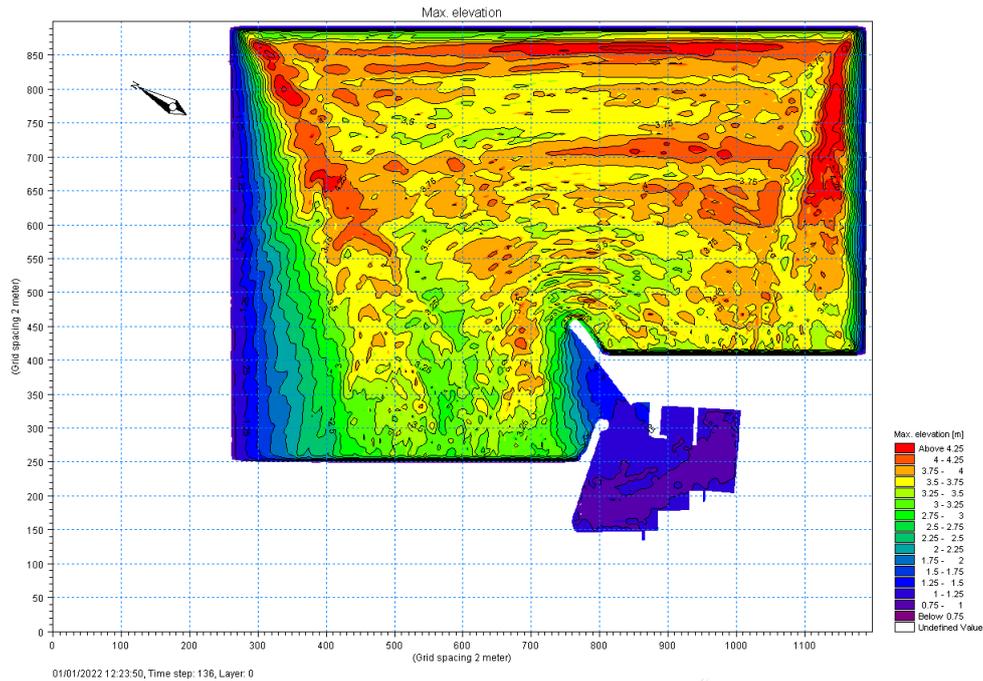


Figura 5.93 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo parziale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ$ N ($\theta=30^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni e sovrалzo di 0,79 m.

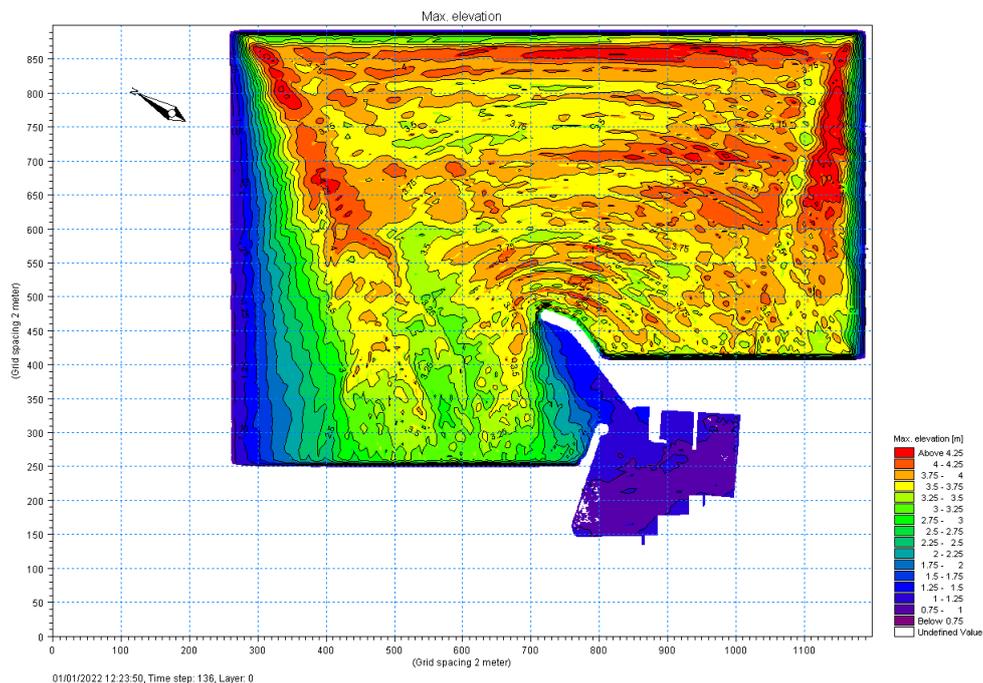


Figura 5.94 - Mappa della massima elevazione della superficie libera per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ$ N ($\theta=30^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni e sovrалzo di 0,79 m.

5.2.10 Risultati per ondate provenienti da 120° N, $TR=10$ anni e sovrалzo

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni numeriche relative all'ondazione che ha direzione di provenienza al largo di 120° N per un tempo di ritorno $TR=10$ anni e sovrалzo di 0,79 m. Dai risultati delle simulazioni effettuate con il modello di trasferimento delle onde

(Delft3D) dal largo (70 m) alla profondità di 10 m con la presenza di un sovrizzo omogeneo su tutto il dominio di 0,79 m, si è ricavato che le caratteristiche delle onde a riva da imporre nel modello di agitazione interna portuale sono: $H_s=3,80$ m, $T_p=11,7$ s, $\theta=98^\circ$ N.

Anche nel caso di ondate provenienti dalla direzione al largo di 120° le simulazioni sono state condotte utilizzando le equazioni migliorate di Boussinesq che sono raccomandate per includere condizioni di frangimento.

Per tali ondate non si hanno a disposizione i dati dell'elevazione massima della superficie libera. Dalla Figura 5.95 alla Figura 5.97 sono riportate le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni. L'altezza d'onda significativa mediata dell'area interna portuale è di circa 0,20 m per tutte le configurazioni.

Dalla Figura 5.98 alla Figura 5.100 sono riportate le mappe del coefficiente di diffrazione K_d . Il coefficiente di diffrazione medio nell'area interna portuale è praticamente invariato per tutte le tre configurazioni.

Il porto è comunque in grado di fornire un'adeguata protezione per tale ondata, che risulta essere la più severa per il paraggio in esame. Analizzando le grandezze mediate spazialmente nella zona di ingresso al porto, ridossata dal prolungamento del Molo Est (vd. immagine di destra della Figura 5.101), si è ricavato che l'altezza d'onda significativa si riduce di circa il 38% e del 67% passando dalla configurazione C0 alle configurazioni C1 e C2, rispettivamente.

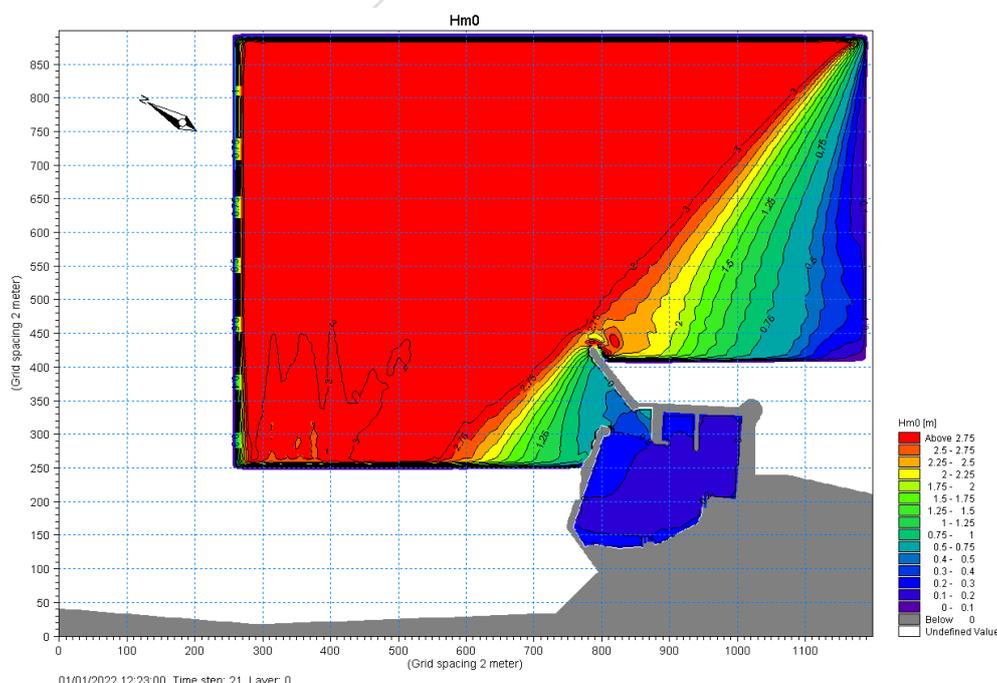


Figura 5.95 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione attuale. $H_s=3,80$ m, $T_p=11,7$ s, $\theta=98^\circ$ N ($\theta=120^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

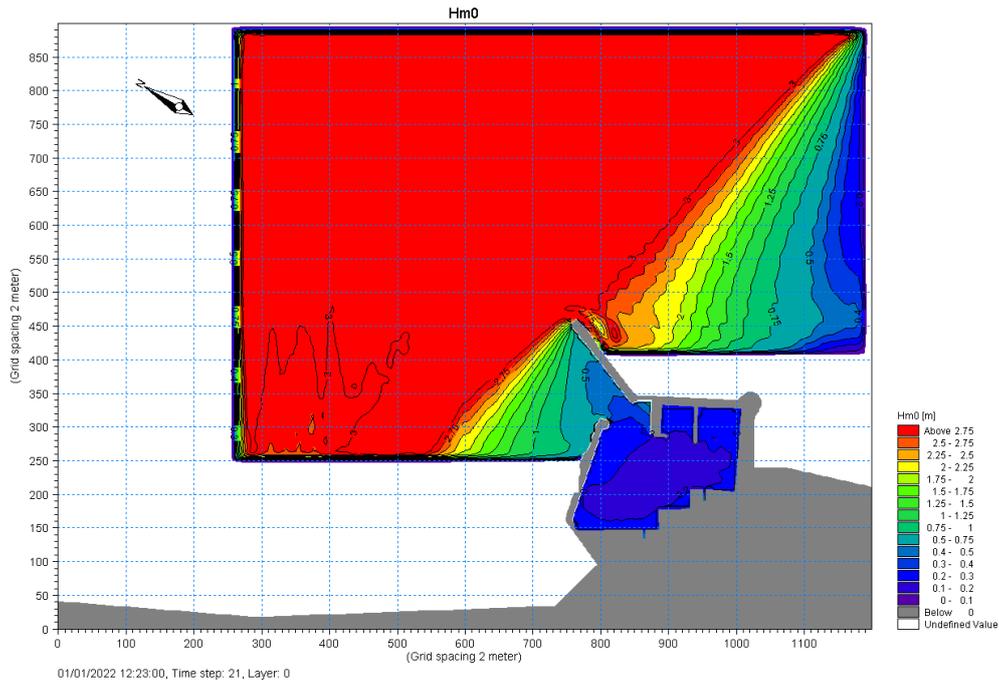


Figura 5.96 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo parziale. $H_s=3,80$ m, $T_p=11,7$ s, $\theta=98^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

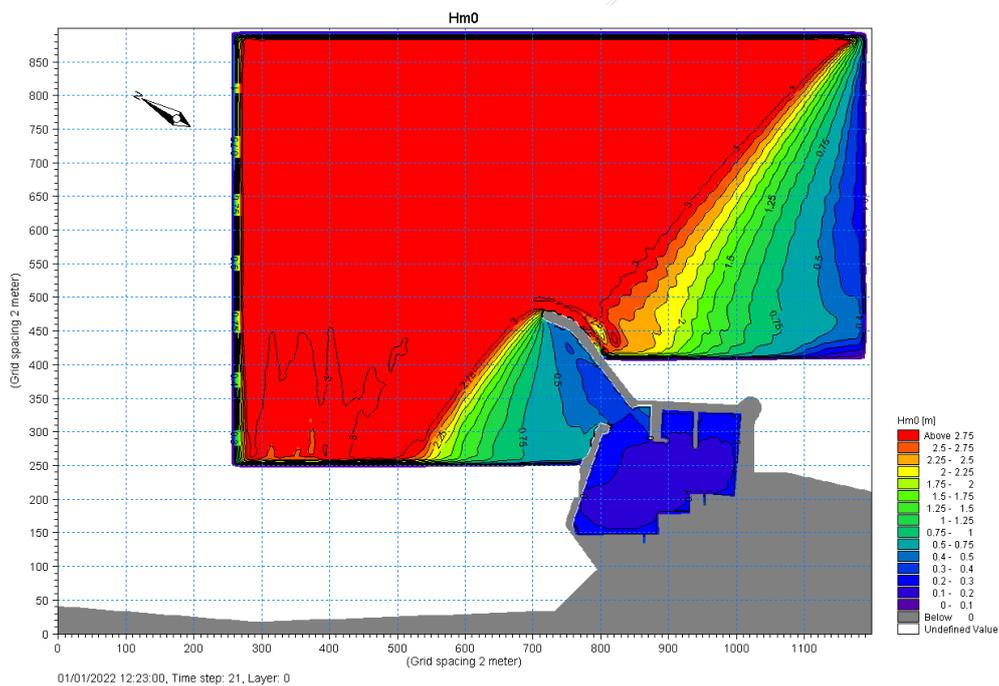


Figura 5.97 - Mappa della altezza d'onda significativa per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale. $H_s=3,80$ m, $T_p=11,7$ s, $\theta=98^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

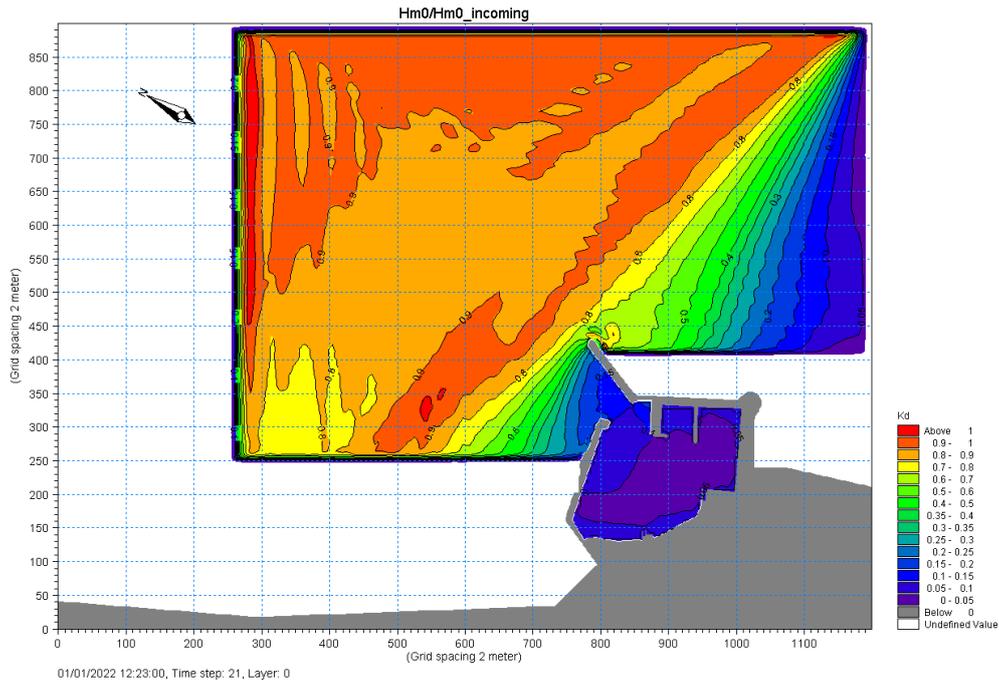


Figura 5.98 Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione attuale. $H_s=3,80$ m, $T_p=11,7$ s, $\theta=98^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

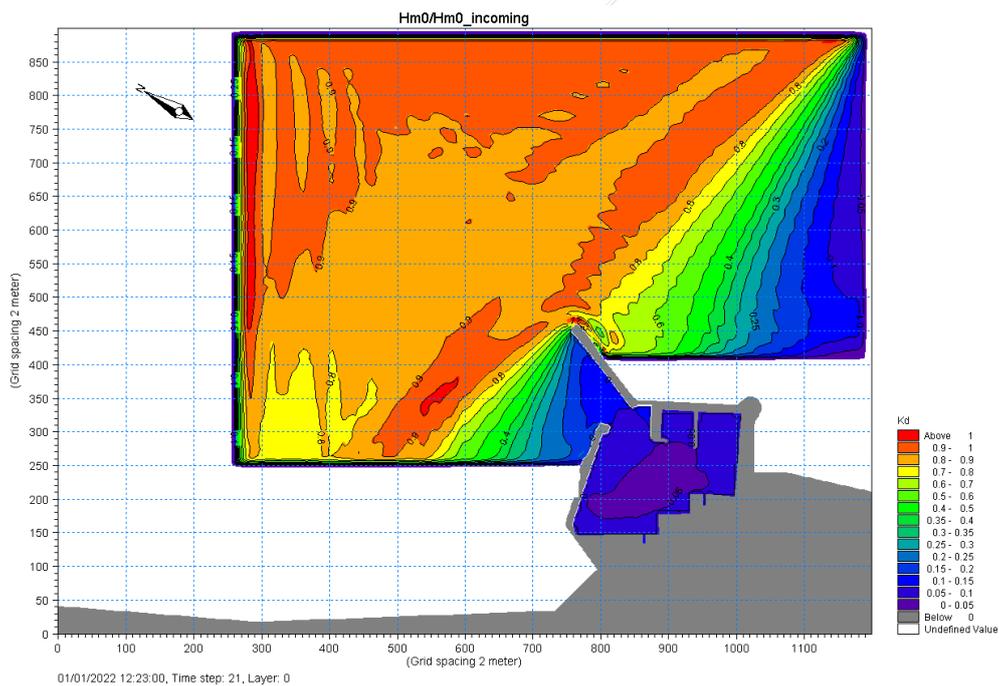


Figura 5.99 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=3,80$ m, $T_p=11,7$ s, $\theta=98^\circ\text{N}$ ($\theta=120^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

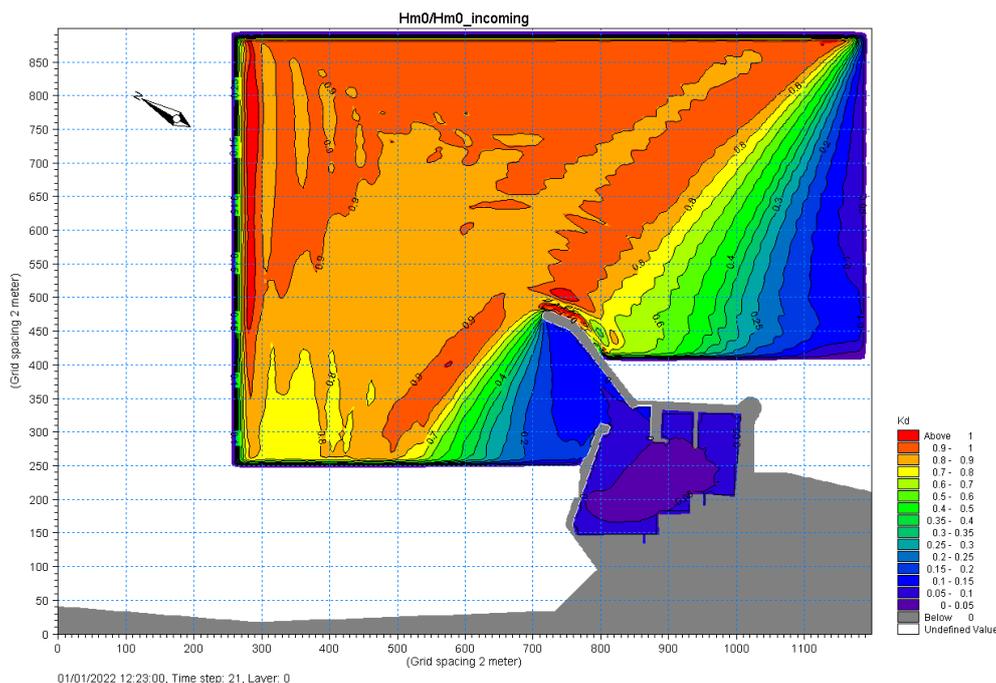


Figura 5.100 - Mappa del coefficiente di diffrazione K_d per la Configurazione con molo parziale. $H_s=3,80$ m, $T_p=11,7$ s, $\theta=98^\circ N$ ($\theta=120^\circ N$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di $0,79$ m.

5.2.11 Confronto dei risultati

In questo paragrafo si confrontano i risultati ottenuti per le tre diverse configurazioni e per le 10 diverse condizioni ondose (per un totale di 30 simulazioni). Per meglio confrontare i risultati per le diverse simulazioni effettuate, per ogni caso studio sono stati ricavati dei valori mediati spazialmente nell'area interna portuale relativi all'altezza d'onda significativa, al coefficiente di diffrazione e alla massima elevazione del livello liquido η_{max} rispetto al livello medio mare in quiete nel caso delle simulazioni effettuate in assenza di sovralzo e rispetto al livello medio mare sopraelevato di $0,79$ m nel caso delle simulazioni con sovralzo meteorologico.

Nella Tabella 5.2 sono riportati i risultati riassuntivi delle trenta simulazioni effettuate. Si fa presente che le grandezze sono mediate nello spazio e si riferiscono esclusivamente all'area interna portuale, (zona evidenziata dal retino come mostrato nella Figura 5.101 - immagine di sinistra), per cui ci possono essere sotto-aree in cui tali grandezze sono maggiori o minori.

Tabella 5.2 – Riepilogo dei risultati sull'altezza d'onda significativa, coefficiente di diffrazione ed elevazione massima della superficie libera per i 30 casi. Le grandezze sono mediate nello spazio dell'area interna portuale.

			CONFIGURAZIONE ATTUALE - Configurazione C0			CONFIGURAZIONE MOLO PARZIALE - Configurazione C1			CONFIGURAZIONE MOLO PRP - Configurazione C2		
TR	S	θ al largo	H_s	K_d	η_{max}	H_s	K_d	η_{max}	H_s	K_d	η_{max}
(anni)	(m)	(°N)	(m)	(-)	(m)	(m)	(-)	(m)	(m)	(-)	(m)
1	0	330°	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.04	0.02
		0°	0.09	0.07	0.06	0.09	0.07	0.05	0.09	0.07	0.05
		30°	0.26	0.10	0.16	0.26	0.09	0.14	0.24	0.09	0.13
		120°	0.12	0.05	/	0.12	0.05	/	0.12	0.05	/
10	0	330°	0.06	0.06	0.04	0.07	0.07	0.05	0.07	0.07	0.05
		0°	0.17	0.07	0.11	0.18	0.08	0.11	0.17	0.08	0.11
10	0,79	330°	0.07	0.07	0.05	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.05
		0°	0.19	0.08	0.13	0.21	0.09	0.14	0.19	0.09	0.13
		30°	0.42	0.11	0.25	0.44	0.12	0.24	0.41	0.11	0.21
		120°	0.20	0.05	/	0.21	0.06	/	0.20	0.05	/

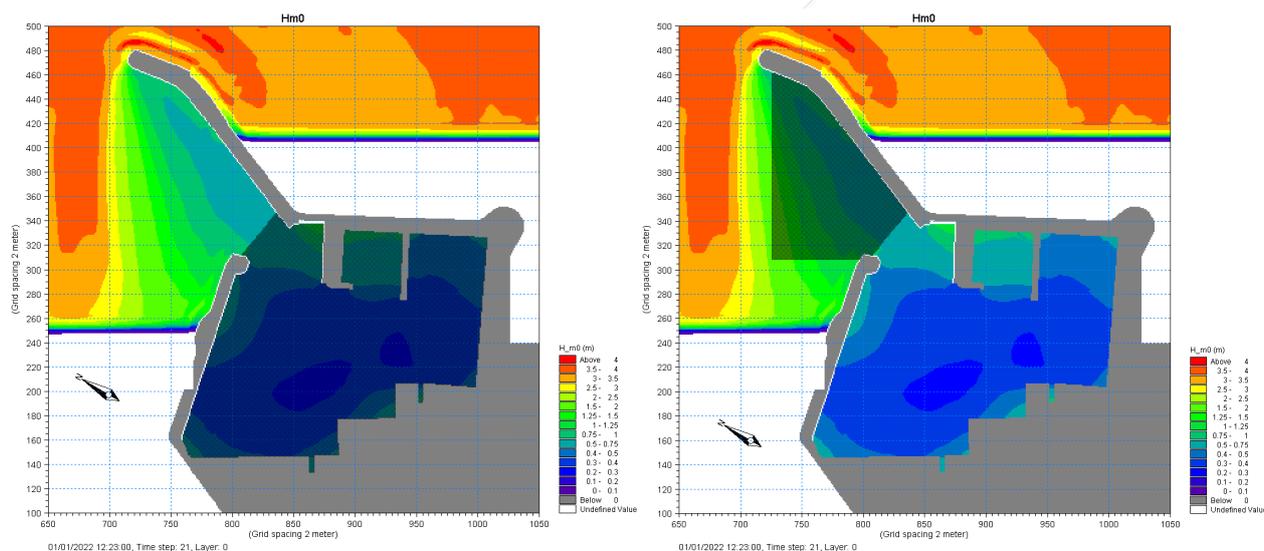


Figura 5.101 – I valori medi delle grandezze dell'area interna portuale sono valutati nella zona retinata dell'immagine di sinistra, mentre i valori medi dell'area di ingresso al porto, ridossata dal prolungamento del Molo Est, sono valutati nella zona individuata dall'area retinata nell'immagine di destra.

Dall'analisi dei risultati emerge che l'altezza d'onda significativa mediata spazialmente nell'area interna portuale risulta essere inferiore a 0,45m per tutte le condizioni meteomarine testate. Il caso di ondate con direzione di provenienza al largo di 30°N con $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m è quello che fornisce i valori maggiori. Per questo caso la Configurazione con molo parziale produce un lieve incremento dell'altezza d'onda significativa del 3%, mentre per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale si osserva una riduzione del 4%. Per entrambe le configurazioni future il prolungamento parziale o totale del Molo Est produce effetti positivi per quanto riguarda la

massima elevazione della superficie libera, con una riduzione del 3% e del 14% rispettivamente per le configurazioni C1 e C2. Per questa condizione ondosa la massima elevazione della superficie libera sommata al sovrizzo di 0,79 m genera una sopraelevazione rispetto al livello medio mare in quiete superiore a 1,00 m. Le configurazioni future non producono effetti benefici per le ondate provenienti al largo da 330°N, poiché l'imboccatura del porto è esposta a tali direzioni per cui il prolungamento del molo ha una minima influenza sull'abbattimento dell'altezza d'onda per diffrazione. Tali effetti negativi sono più pronunciati per onde associate ad un tempo di ritorno di 10 anni e sono ancora maggiori se si considerano le simulazioni con il sovrizzo meteorologico. L'effetto negativo nei confronti dell'agitazione interna portuale prodotto dal banchinamento interno previsto nelle configurazioni C1 e C2 prevale sull'effetto protettivo offerto dal prolungamento del Molo Est del porto poiché i fenomeni di riflessione ondosa diventano più intensi e, di conseguenza, anche il valore dell'elevazione massima della superficie libera aumenta. Per le ondate con direzione di provenienza al largo di 0°N si osservano riduzioni dell'altezza d'onda significativa e del coefficiente di diffrazione e della massima elevazione della superficie libera per le configurazioni future per i test relativi ad un $TR=1$ anno. Infine per le ondate provenienti al largo da 120°N, corrispondenti alle ondate con altezza d'onda significativa più elevata associata ai tempi di ritorno di 1 e 10 anni, il porto risulta adeguatamente protetto, il massimo valore di altezza d'onda significativa mediata spazialmente nell'area interna portuale è di circa 0,20m.

Per meglio confrontare i risultati per le condizioni più gravose, $TR=10$ anni e sovrizzo, si riportano a confronto le mappe planimetriche dell'altezza d'onda significativa relativamente alla zona di ingresso e all'area interna del porto. Le mappe dell'altezza d'onda significativa per le tre diverse configurazioni e per le quattro diverse condizioni ondose, associate ad un tempo di ritorno di 10 anni e sovrizzo di 0,79 m, sono riportate nelle figure da Figura 5.102 a Figura 5.105. Nelle mappe relative alle configurazioni future è possibile osservare le zone del porto dove l'altezza d'onda significativa si riduce o intensifica rispetto alla Configurazione attuale.

Come si osserva dalle mappe e dai risultati della Tabella 5.2 la riduzione dello specchio acqueo generato dalla realizzazione delle banchine di riva prevista nelle configurazioni C1 e C2 produce un aumento della riflessione ondosa e per alcuni casi tale effetto è prevalente rispetto all'effetto benefico dovuto all'azione protettiva del prolungamento (parziale o totale) del Molo Est del porto.

Dall'osservazione delle mappe si nota anche che le configurazioni future con prolungamento del Molo Est del porto producono sempre un miglioramento delle condizioni ondose nella zona di ingresso e imboccatura del porto, come evidenziato anche dai risultati riportati nella Tabella 5.3. I valori dell'altezza d'onda significativa sono valutati come media spaziale nell'area individuata dal

retino nell'immagine di destra della Figura 5.101. Nella Tabella 5.3 sono riportati i valori delle variazioni relative Δ dell'altezza d'onda significativa tra le configurazioni future C1 e C2 con quella attuale C0. La configurazione C2 fornisce una protezione notevolmente superiore alla condizione attuale, e, comunque, superiore alla Configurazione C1.

Tabella 5.3 – Riepilogo dei risultati sull'altezza d'onda significativa mediata spazialmente nell'area di ingresso al porto per le condizioni meteomarine più gravose (TR=10 anni e sovrizzo=0,79 m).

			Configurazione attuale C0	Configurazione con molo parziale C1	Configurazione con molo PRP C2	Confronto tra le configurazioni	
TR	S	θ al largo	H_s	H_s	H_s	$\Delta_{(C1-C0)/C0}$	$\Delta_{(C2-C0)/C0}$
(anni)	(m)	(°N)	(m)	(m)	(m)		
10	0.79	330°	0.82	0.76	0.45	-7%	-45%
		0°	1.53	1.26	0.74	-18%	-52%
		30°	2.07	1.48	0.95	-29%	-54%
		120°	1.33	0.82	0.44	-38%	-67%

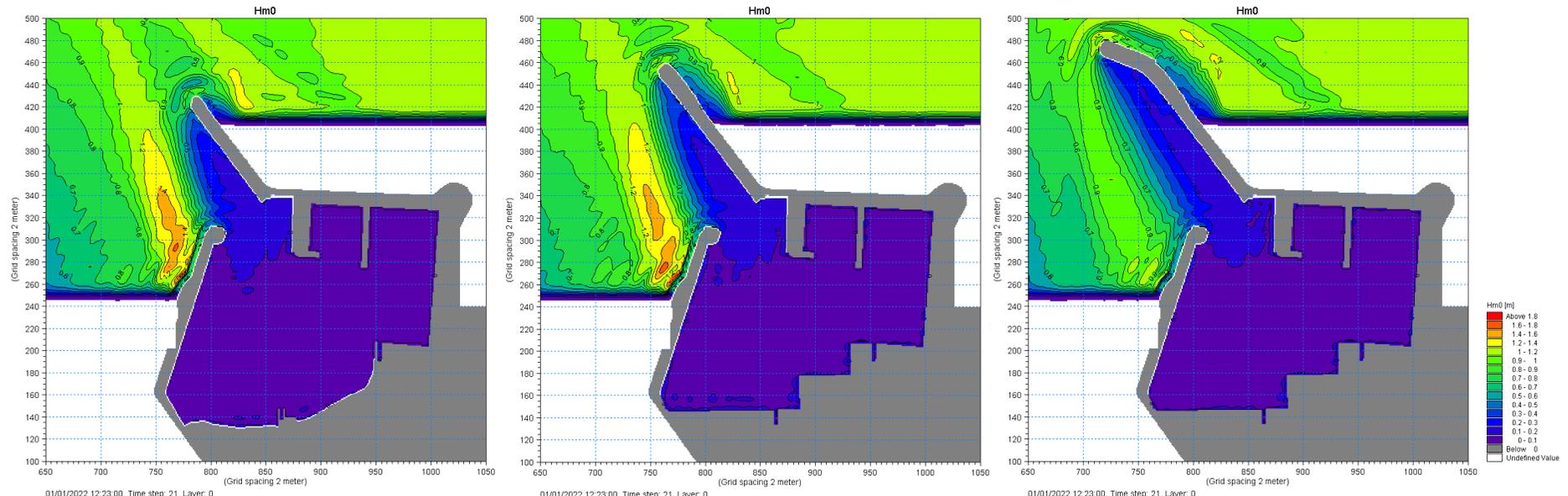


Figura 5.102 – Confronto delle mappe di altezza d’onda significativa per $H_s=1,01$ m, $T_p=8,2$ s, $\theta=22^\circ\text{N}$ ($\theta=330^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

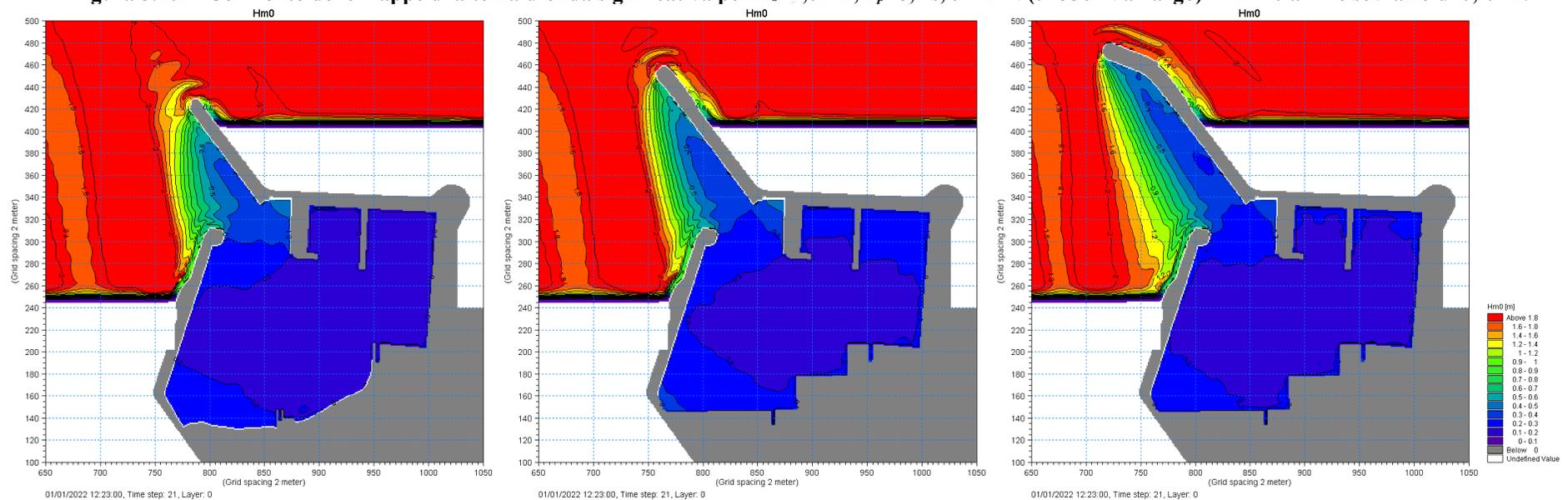


Figura 5.103 – Confronto delle mappe di altezza d’onda significativa per $H_s=2,20$ m, $T_p=8,7$, $\theta=35^\circ\text{N}$ ($\theta=0^\circ\text{N}$ al largo) - $TR=10$ anni e sovralzo di 0,79 m.

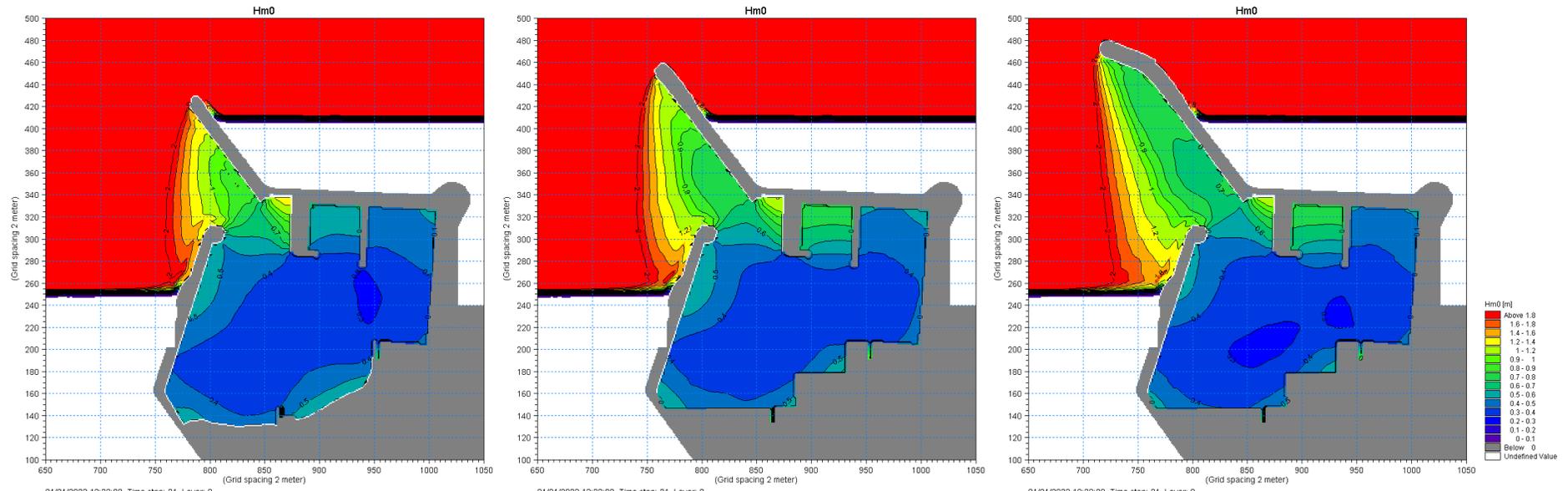


Figura 5.104 – Confronto delle mappe di altezza d’onda significativa per $H_s=3,73$ m, $T_p=10,1$ s, $\theta=49^\circ$ ($\theta=30^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni e sovralzso di 0,79 m.

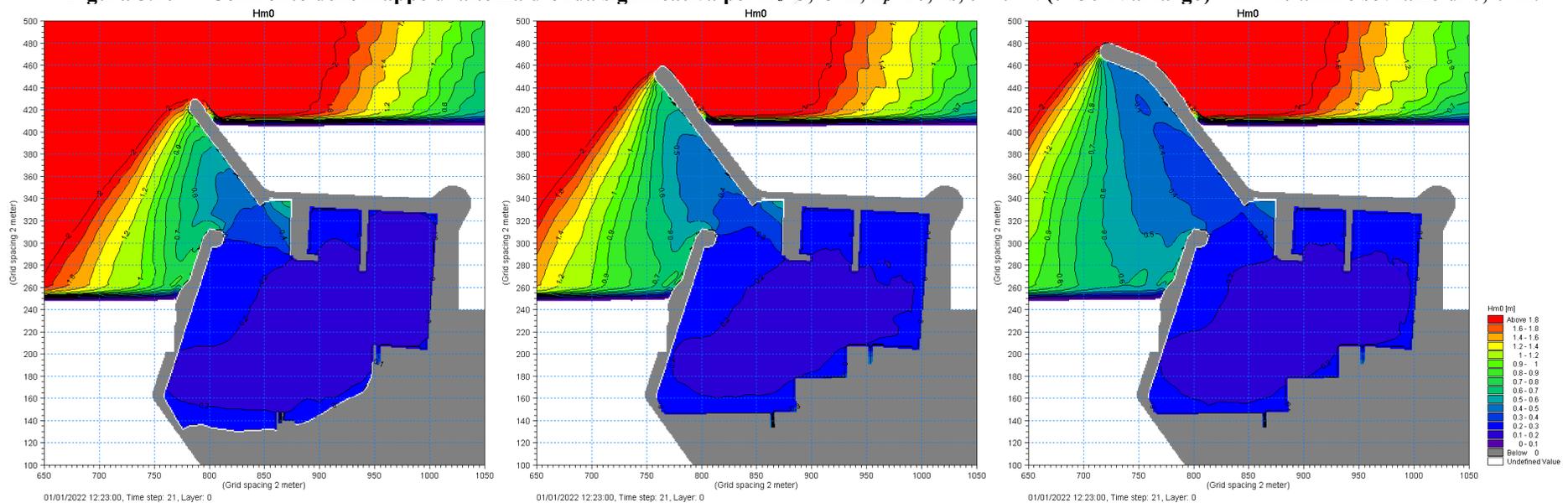


Figura 5.105 – Confronto delle mappe di altezza d’onda significativa per $H_s=3,80$ m, $T_p=11,7$ s, $\theta=98^\circ$ ($\theta=120^\circ$ N al largo) - $TR=10$ anni e sovralzso di 0,79 m.

5.3 Discussione dei risultati per le condizioni ondose più significative

Sulla base dei risultati ottenuti, in questo paragrafo si focalizza la discussione sui risultati delle simulazioni con tempo di ritorno di 10 anni e in presenza di sovrizzo di 0,79m ottenuti per le due condizioni ondose ritenute più significative per il porto: ondazioni con direzione di provenienza al largo di 0°N e le ondazioni con direzione di provenienza al largo di 30°N.

Le ondazioni con direzione di provenienza al largo di 0°N sono state scelte perché hanno una elevata altezza d'onda e perché l'imboccatura del porto è esposta a tali direzioni, mentre le ondazioni con direzione di provenienza al largo di 30°N sono state scelte perché, seppure maggiormente inclinate rispetto ai settori di esposizione dell'imboccatura del porto, sono caratterizzate dalla maggiore intensità del flusso di energia tra le ondazioni dei settori settentrionali. I risultati a confronto sono relativi al valore dell'altezza d'onda significativa, alla massima elevazione della superficie libera, all'andamento temporale della superficie libera e del livello idrico in punti caratteristici dell'area oggetto di studio.

I punti sonda sono stati presi in corrispondenza dell'imboccatura del porto (P0) e della parte terminale dei moli galleggianti (da P1 a P6), come mostrato in Figura 5.106.

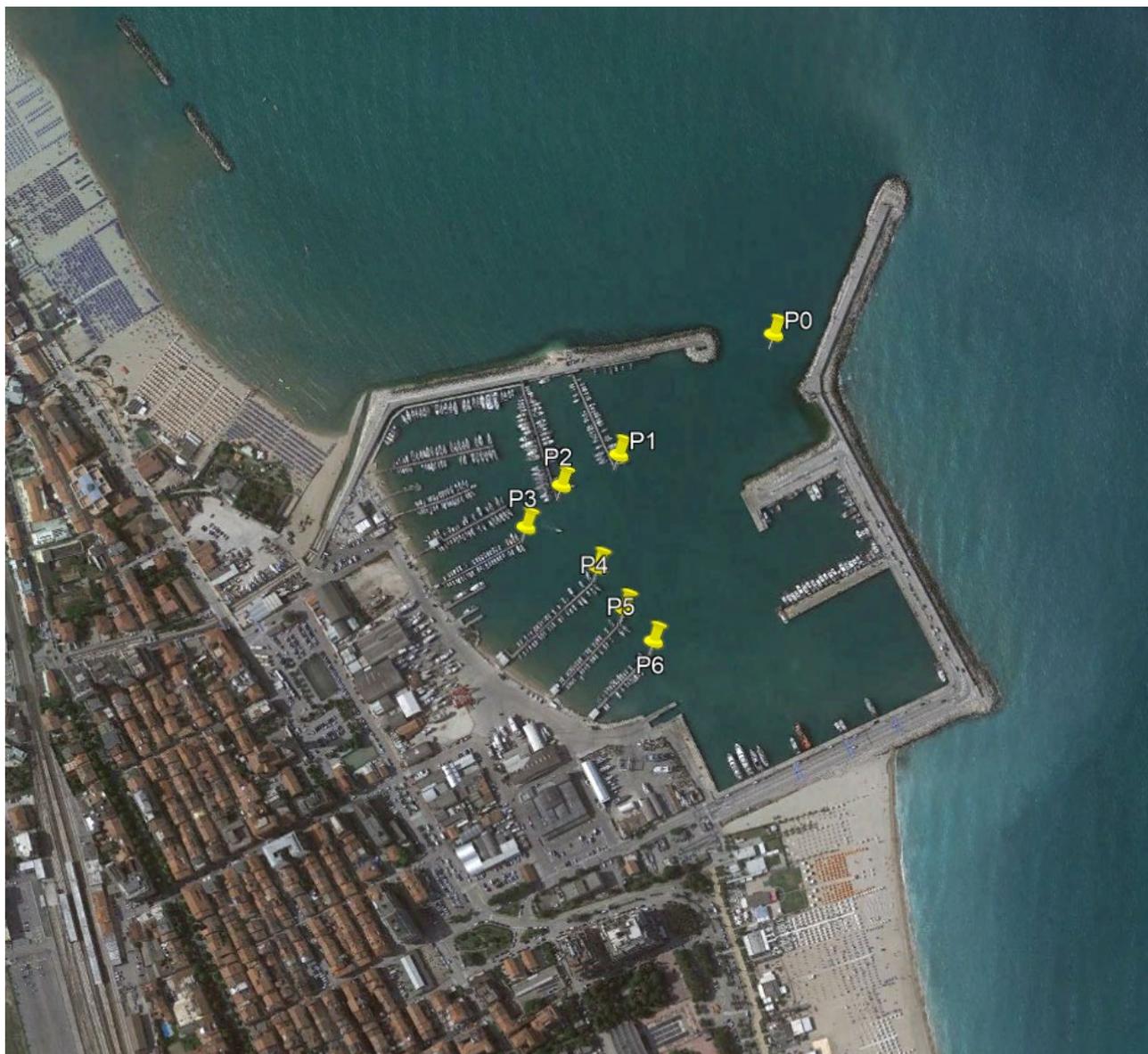


Figura 5.106 – Ubicazione dei punti sonda all'interno dell'area portuale.

Si riportano gli andamenti delle grandezze statistiche valutate nei punti sonda: all'imboccatura P0, P1, P2, P3, P4, P5 e P6 a vari intervalli della simulazione. Le grandezze statistiche, come l'altezza d'onda significativa e l'elevazione massima della superficie libera rispetto al livello medio mare in quiete, sono calcolate in modo cumulativo. Ad ogni intervallo (impostato pari a 100 passi temporali Δt) il dato viene aggiornato (dalla Figura 5.107 alla Figura 5.113 per le ondate provenienti al largo da 0°N e dalla Figura 5.116 alla Figura 5.122 per le ondate provenienti al largo da 30°N). I grafici mostrano, quindi, degli andamenti delle grandezze che variano durante la simulazione poiché le grandezze tendono a raggiungere dei valori stazionari solo dopo una certa durata della simulazione. Si ricorda che la durata della simulazione di 24 minuti consente, per le caratteristiche delle onde testate, di raggiungere condizioni stazionarie delle grandezze.

Nei grafici che seguono (Figura 5.114, Figura 5.115, Figura 5.123 e Figura 5.124) vengono mostrati gli andamenti temporali dell'oscillazione della superficie libera η rispetto al livello medio mare sopraelevato del valore del sovrizzo impostato di 0,79m e del livello idrico per il punto sonda dell'imboccatura P0 e per un punto interno al bacino portuale (punto sonda P3).

5.3.1 Ondazioni con direzione di provenienza al largo di 0°N

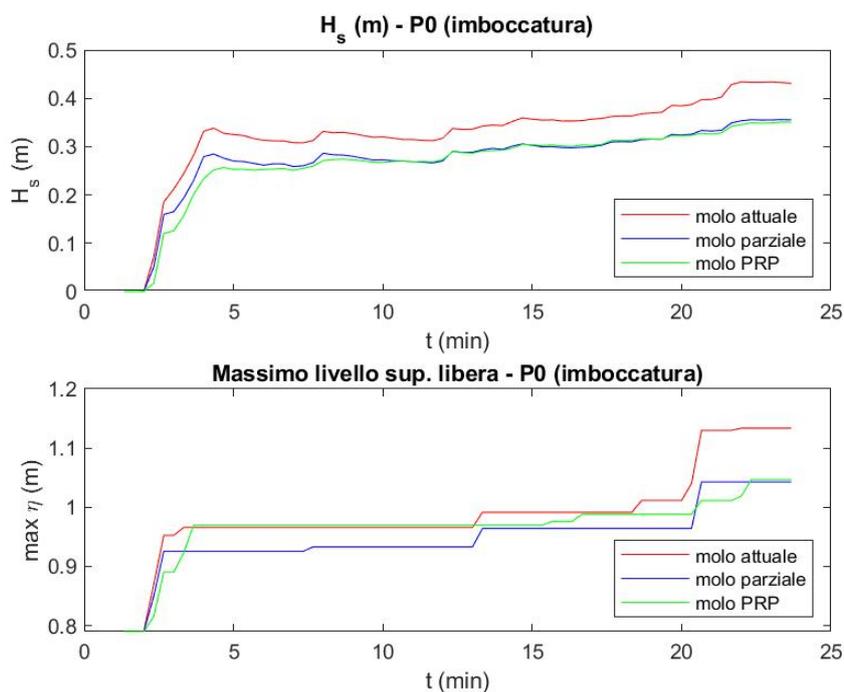


Figura 5.107 – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ all'imboccatura, punto sonda P0, per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=0°N.

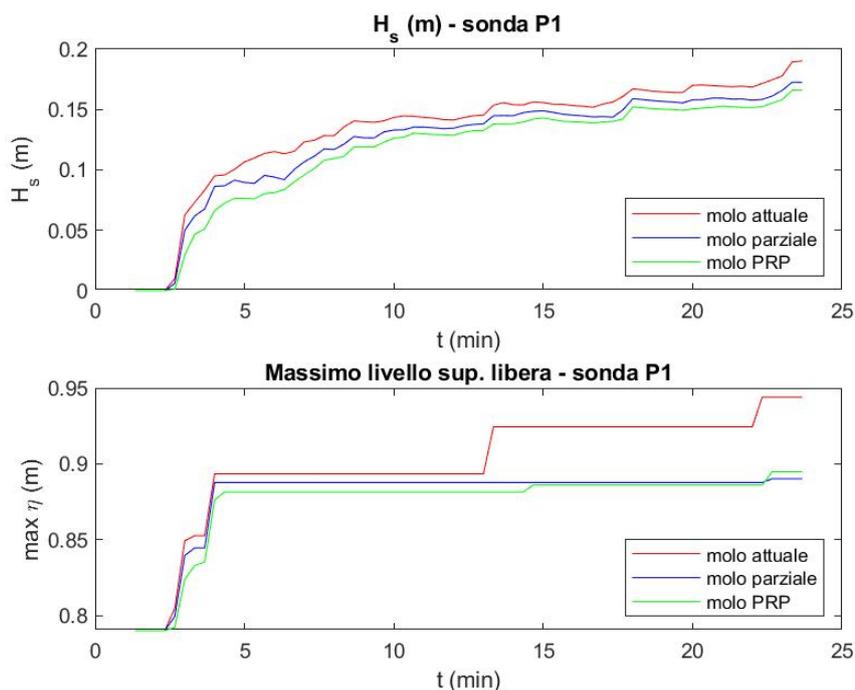


Figura 5.108- – Confronto dell’altezza d’onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P1 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=0°N.

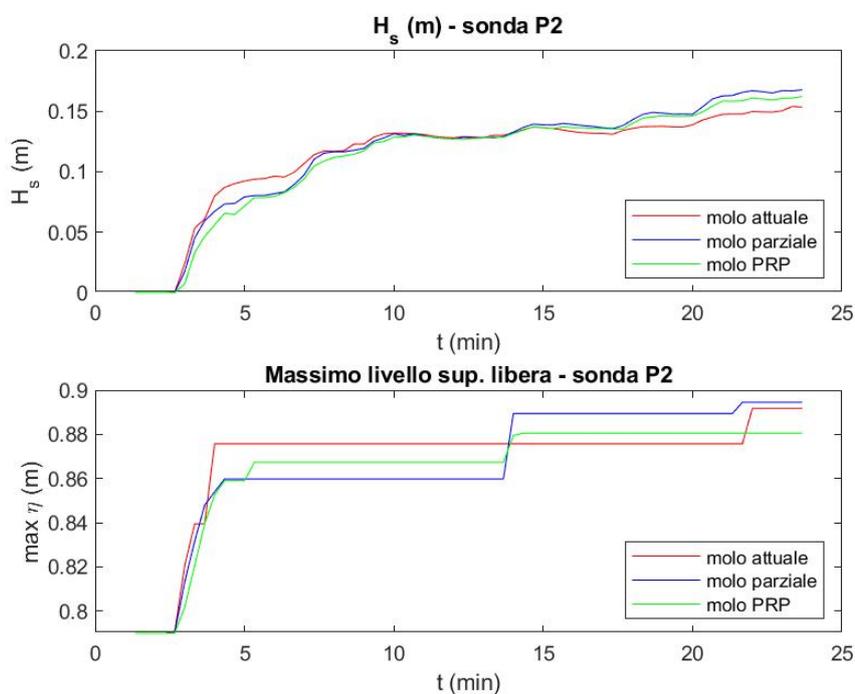


Figura 5.109- – Confronto dell’altezza d’onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P2 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=0°N.

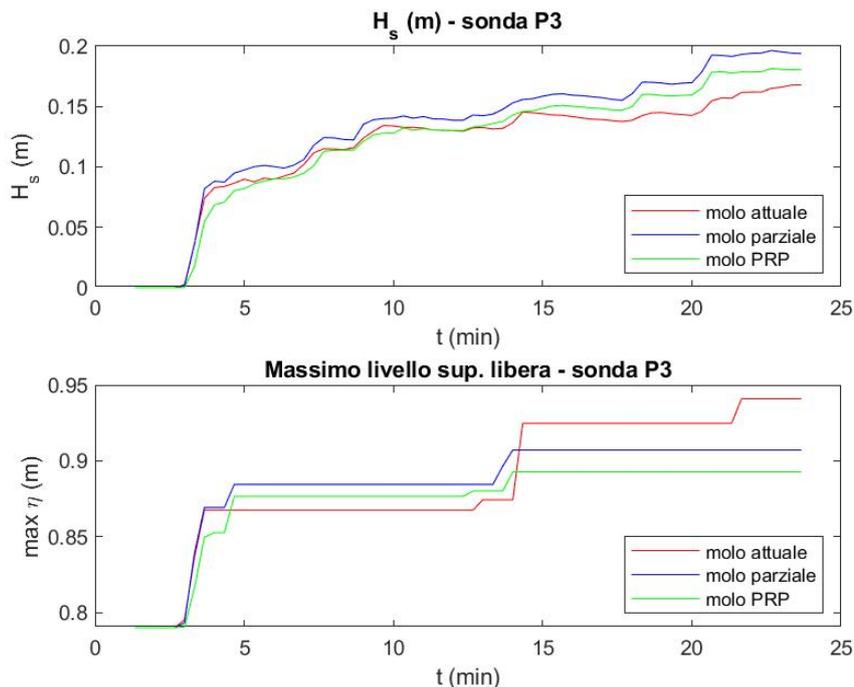


Figura 5.110- – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P3 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=0°N.

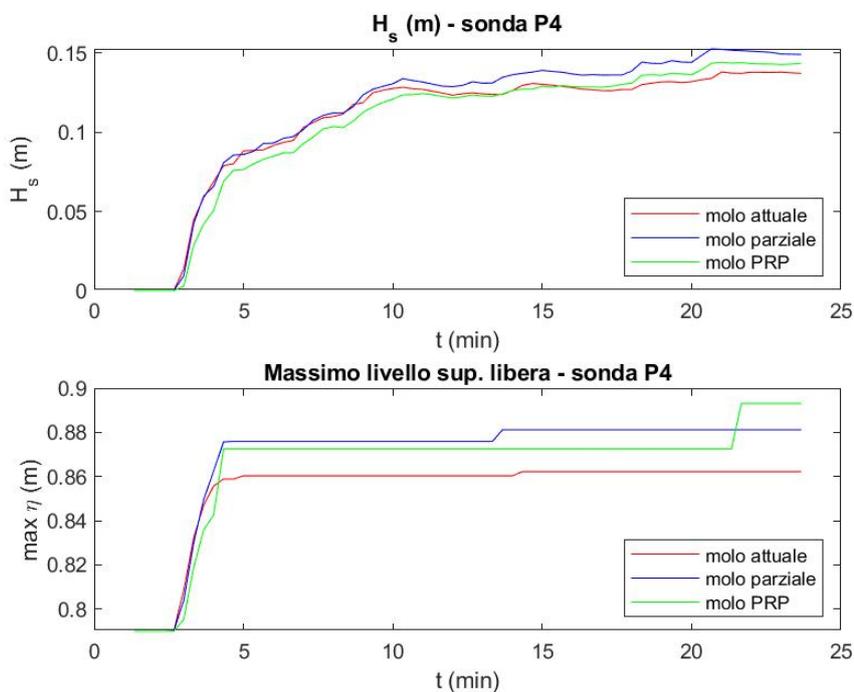


Figura 5.111- – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P4 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=0°N.

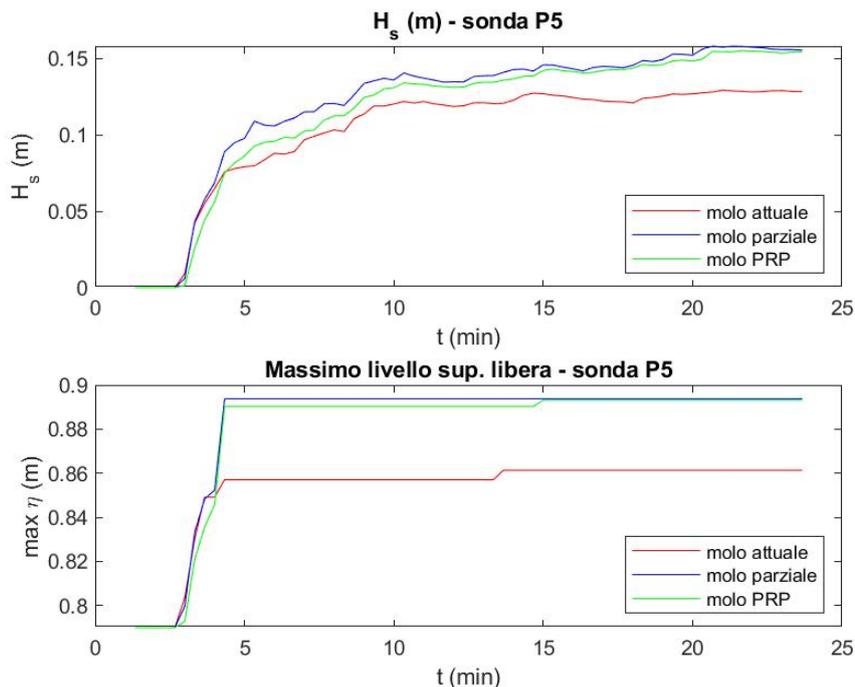


Figura 5.112- – Confronto dell’altezza d’onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P5 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo= 0° N.

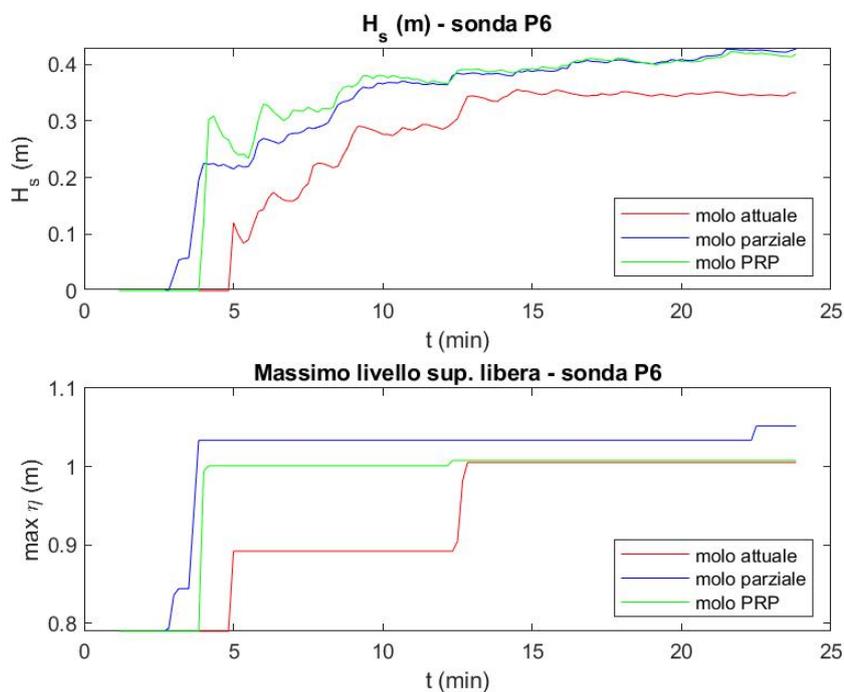


Figura 5.113- – Confronto dell’altezza d’onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P6 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo= 0° N.

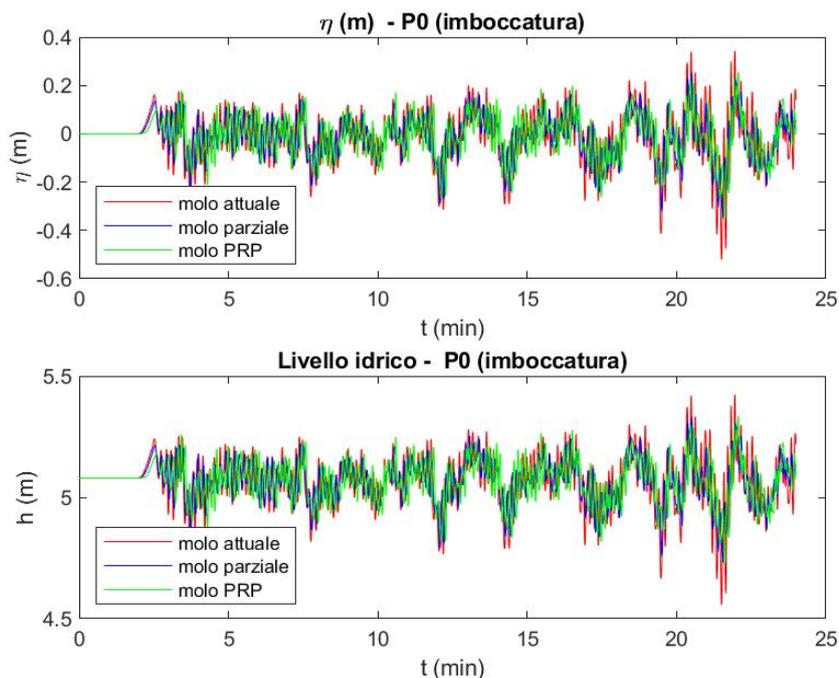


Figura 5.114- – Confronto dell’andamento della superficie libera rispetto al livello medio mare con sopraelevazione e del livello idrico all’imboccatura, sonda P0, per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=0°N.

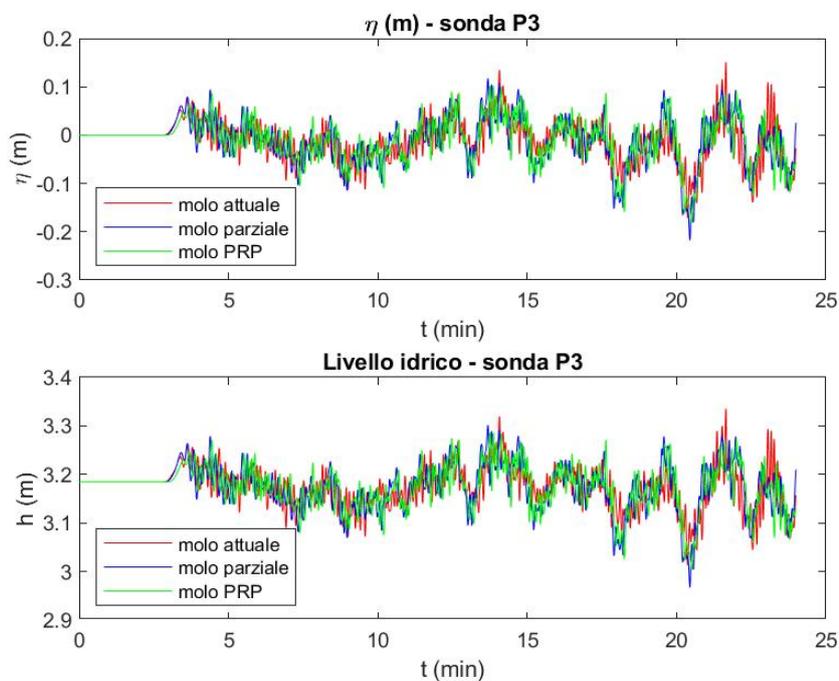


Figura 5.115- – Confronto dell’andamento della superficie libera rispetto al livello medio mare con sopraelevazione e del livello idrico al punto sonda P3 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=0°N.

5.3.2 Ondazioni con direzione di provenienza al largo 30°N

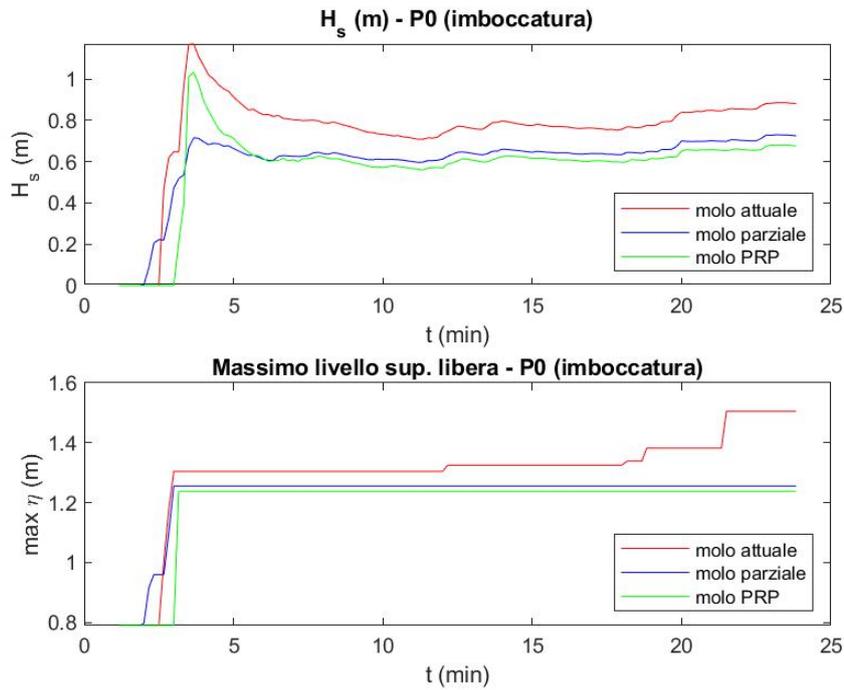


Figura 5.116 – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ all'imboccatura, sonda P0, per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

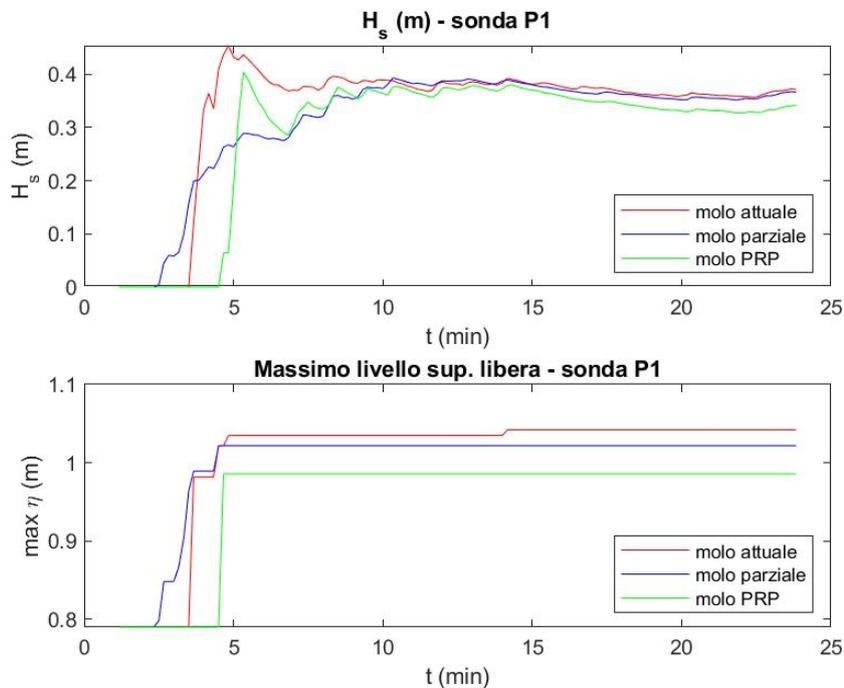


Figura 5.117 – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P1 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

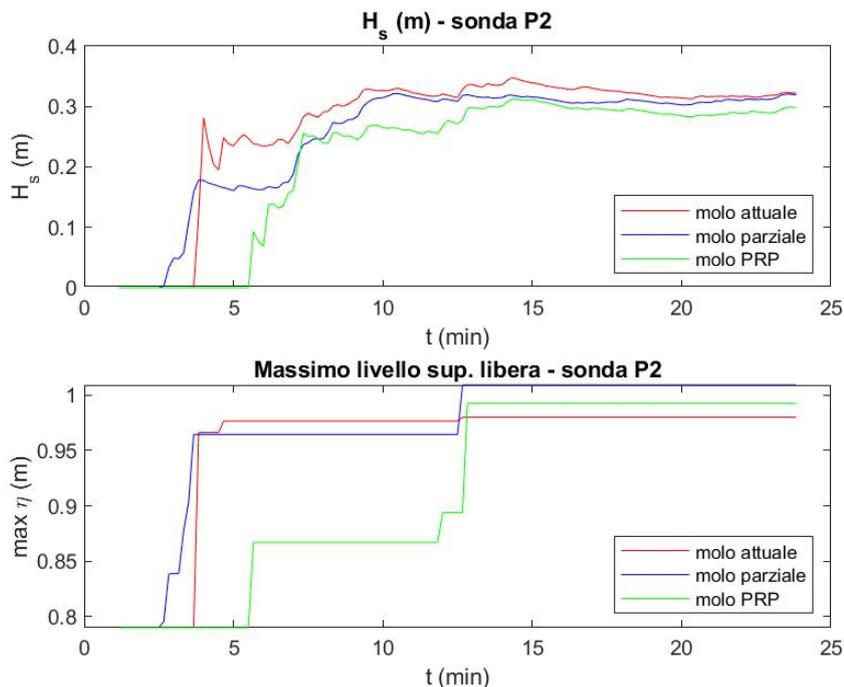


Figura 5.118- – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P2 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

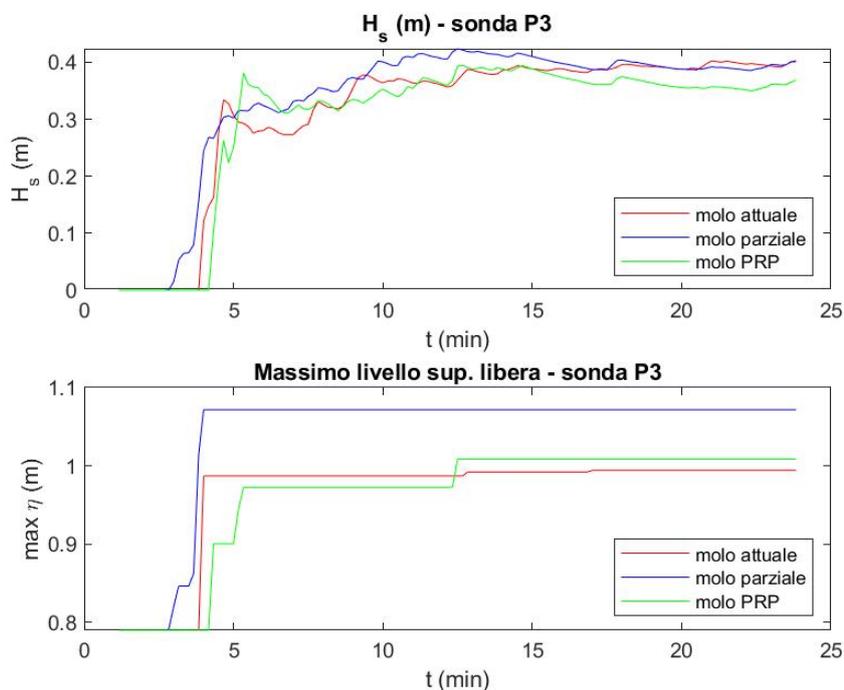


Figura 5.119- – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P3 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

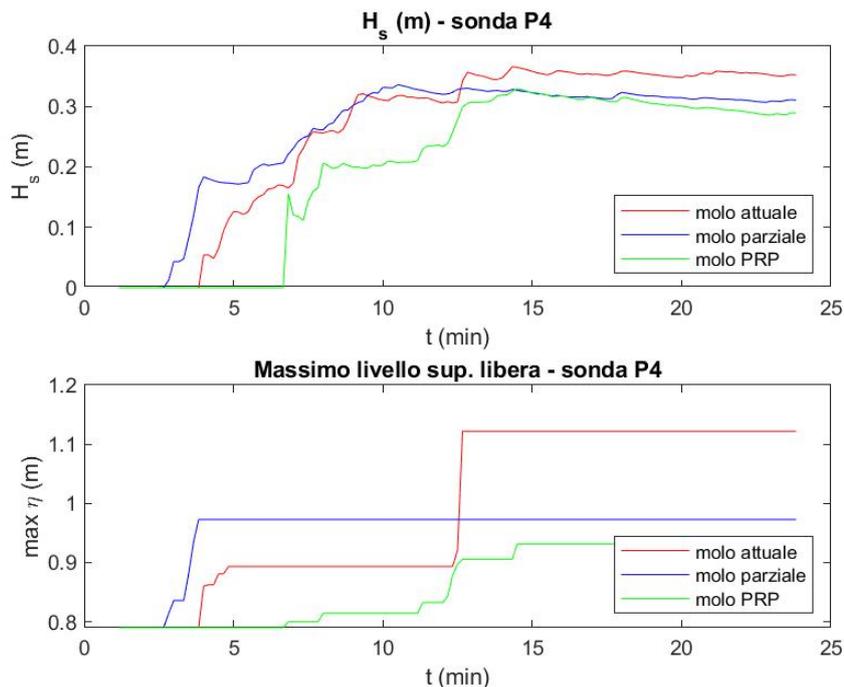


Figura 5.120- – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P4 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

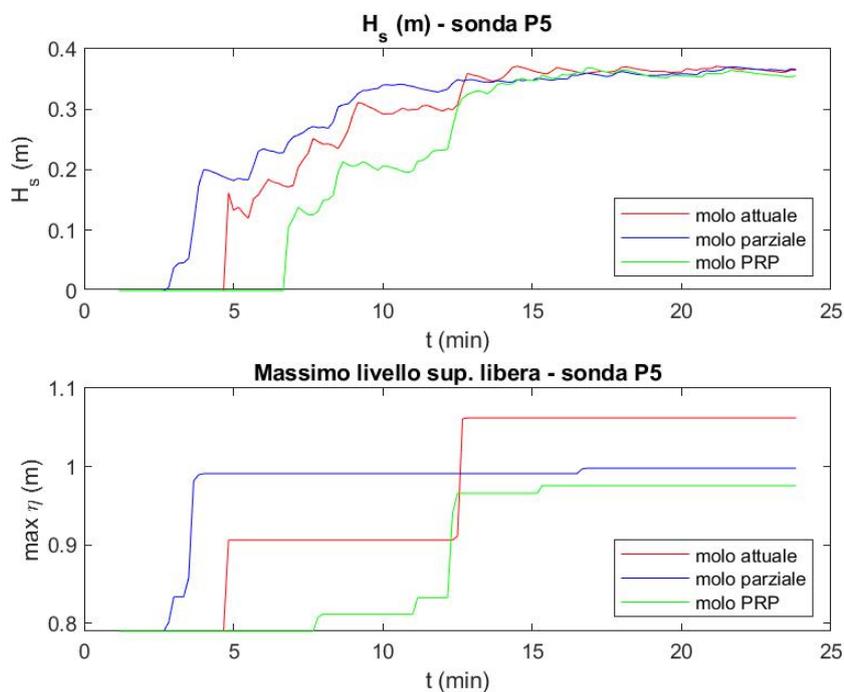


Figura 5.121- – Confronto dell'altezza d'onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P5 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

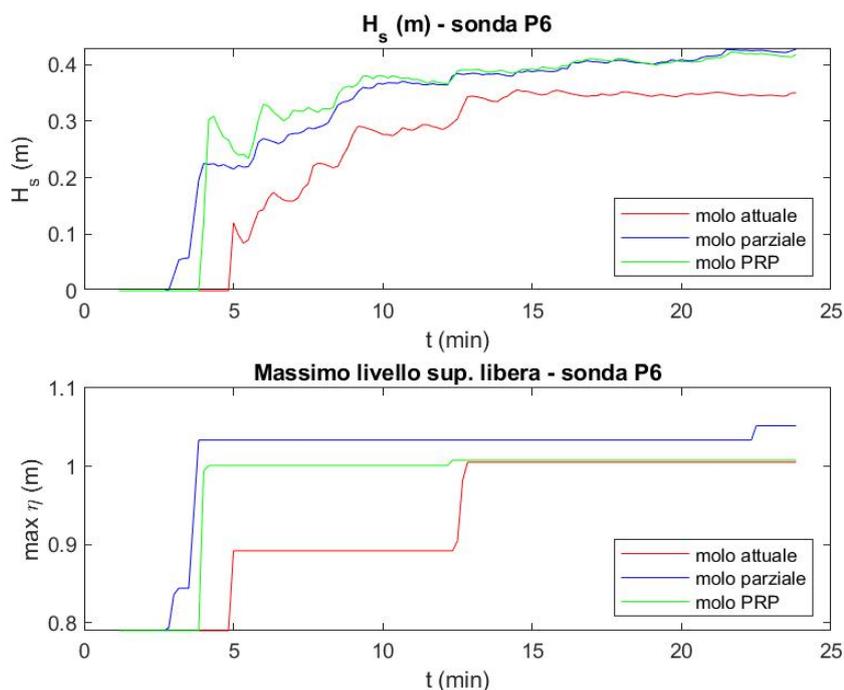


Figura 5.122- – Confronto dell’altezza d’onda significativa e della massima elevazione della superficie libera calcolate in modo cumulativo ad ogni intervallo di tempo $100\Delta t$ al punto sonda P6 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

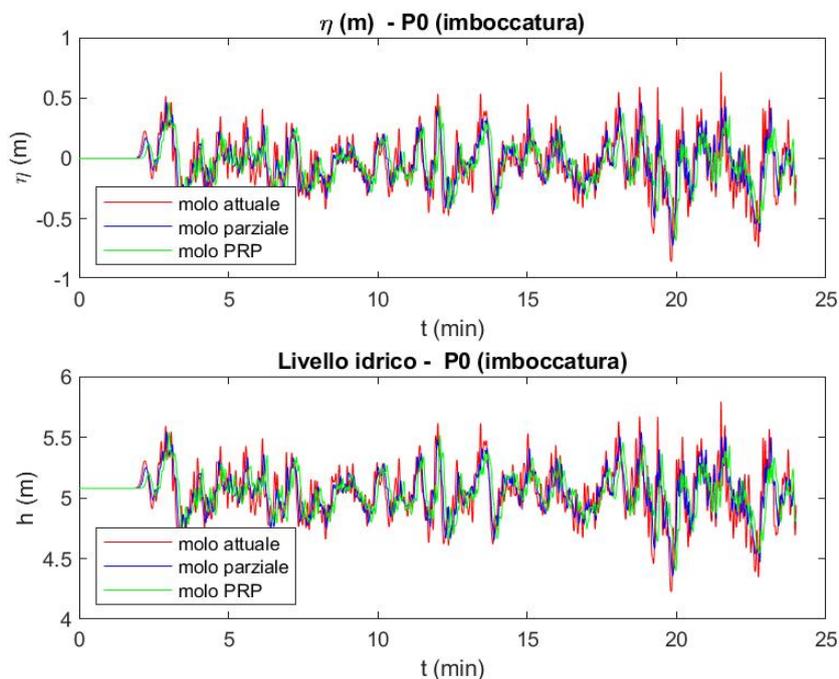


Figura 5.123- – Confronto dell’andamento della superficie libera rispetto al livello medio mare con sopraelevazione e del livello idrico all’imboccatura, sonda P0, per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

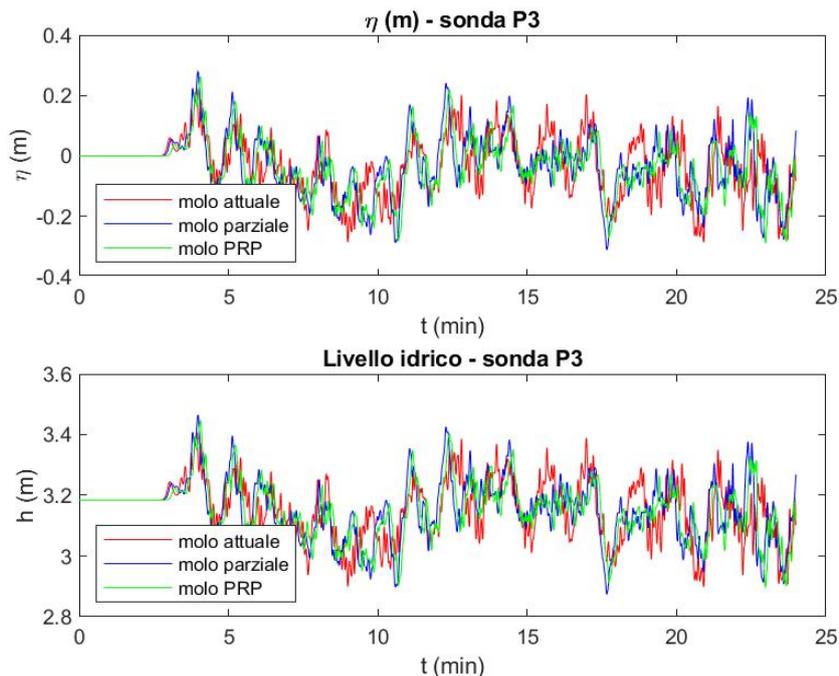


Figura 5.124- – Confronto dell’andamento della superficie libera rispetto al livello medio mare con sopraelevazione e del livello idrico al punto sonda P3 per le tre diverse configurazioni di molo. θ al largo=30°N.

Nella Tabella 5.4 e Tabella 5.5 sono riassunti i dati relativi all’altezza d’onda significativa nei punti sonda per le diverse configurazioni e per le direzioni di provenienza delle onde al largo pari a 0°N e 30°N per $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m. Sono anche riportati i valori delle variazioni relative Δ delle grandezze ottenute nelle configurazioni future (C1 o C2) rispetto a quelli ricavati nella configurazione attuale (C0).

Dall’analisi dei risultati emerge che la riduzione dell’altezza d’onda all’imboccatura (punto P0) per la presenza del molo del Piano Regolatore Portuale (configurazione C2) è di circa il 23% per ondazione con direzione di provenienza al largo di 30°N. Per tali ondazioni ($\theta=30^\circ$ N al largo) l’effetto benefico del prolungamento del molo, secondo quanto previsto dal Piano Regolatore Portuale (Configurazione C2), è visibile in quasi tutti i punti sonda (P1, P2 e P3 riduzione di circa l’8%, in P4 riduzione del 18%, in P5 del 2%) eccetto che per il punto sonda P6. Tale punto sonda è quello che risente maggiormente della riduzione dello specchio acqueo dovuta al banchinamento interno previsto nelle configurazioni future e della conseguente riflessione delle onde generata dalle pareti verticali delle nuove banchine (si ricorda che le banchine di riva sono state cautelativamente ipotizzate totalmente riflettenti). Nel caso di molo parzialmente allungato (configurazione C1) l’effetto benefico del molo si osserva ugualmente, ma in misura decisamente inferiore, con delle minime riduzioni dell’altezza d’onda nei punti sonda P1, P2 e P3, nel punto sonda P4 la riduzione è

del 12%, mentre in P6 si registra un incremento ancora più importante (22%) rispetto a quello riscontrato con il prolungamento completo del Molo Est.

Dall'analisi dei risultati per ondatazioni con direzione di provenienza al largo di 0°N si ottiene che la Configurazione con molo parziale produce una riduzione dell'altezza d'onda significativa all'imboccatura di circa il 18%, mentre per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale la riduzione è di circa il 19%. Negli altri punti sonda all'interno del porto si verifica una condizione diversa da quella osservata per le ondatazioni provenienti da 30°N al largo. La riduzione dell'altezza d'onda si verifica, oltre che all'imboccatura, solo nel punto sonda P1 (circa 9% e 13% rispettivamente per la configurazione C1 e configurazione C2), negli altri punti sonda, invece, si registra un incremento dell'altezza d'onda che raggiunge valori di circa il 20% nel punto sonda P5 e del 54÷62% nel punto sonda P6, punti che risentono maggiormente del banchinamento interno e quindi della maggiore altezza d'onda significativa dovuta al fenomeno della riflessione ondosa. Nei punti P2, P3 e P4 l'aumento dell'altezza significativa si attesta sul 9÷15% per la Configurazione con molo parziale mentre è del 5÷8% per la configurazione con molo previsto dal Piano Regolatore Portuale. Le ondatazioni che dal largo provengono da una direzione di 0°N giungono alla batimetrica di -10 m con un'inclinazione di circa 35°, vicina alle direzioni di esposizione dell'imboccatura portuale. Per tali ondatazioni l'effetto protettivo del prolungamento del molo si risente in misura più lieve e si osserva solo all'imboccatura e nel punto sonda P1, mentre nei punti interni al porto, che si avvicinano alle banchine di riva, l'effetto della riflessione delle onde, dovuta alle pareti verticali delle nuove banchine, diventa prevalente rispetto alla maggiore protezione offerta dal prolungamento del molo.

Il coefficiente di diffrazione all'imboccatura è pari a 0,11 e 0,16 rispettivamente per ondatazioni di direzione al largo di 0°N e di 30°N per la Configurazione di molo attuale, per le configurazioni future il coefficiente di diffrazione si riduce rispettivamente allo 0,9 e allo 0,13.

Il livello massimo raggiunto dalla superficie libera rispetto al livello medio mare in quiete è circa pari a 0,9 m nel caso di ondatazione di 0°N al largo, e di circa 1,0 m-1,1 m per le ondatazioni di 30°N al largo. Per quanto riguarda l'elevazione massima della superficie libera rispetto al livello medio mare sopraelevato di 0,79 m si osserva una riduzione di circa il 25% e del 35% all'imboccatura delle configurazioni future rispetto alla Configurazione attuale rispettivamente per ondatazioni di provenienza al largo di 0°N e 30°N. Nei punti sonda all'interno del porto si osservano sia riduzioni che aumenti del livello massimo della superficie libera. Per le ondatazioni provenienti al largo da 0°N si ottiene un aumento del livello massimo della superficie libera (dal 3% in P2 al 53% in P6) e una riduzione per i punti sonda P1 (35%) e P3 (22%) per la configurazione con molo parzialmente

realizzato (configurazione C1), mentre per la Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale (configurazione C2) si osserva una riduzione più significativa del livello massimo della superficie libera in P1 del 32%, P2 dell'11%, P3 del 32%, ma contemporaneamente si registra un aumento più importante della massima elevazione della superficie libera per le sonde P4 (43%) e P6 (78%). Nel caso invece di ondatazione provenienti al largo da 30°N la Configurazione di molo realizzato secondo quanto previsto dal Piano Regolatore Portuale produce delle riduzioni più significative del livello di massima elevazione della superficie libera rispetto al caso di Configurazione con molo parziale, inoltre nei punti sonda in cui si verifica un incremento del livello massimo della superficie libera, tale incremento è più modesto rispetto a quello che si osserva per la Configurazione C1.

Tabella 5.4 – Altezza significativa e coefficiente di diffrazione nei punti sonda per le tre diverse configurazioni. $\theta=0^\circ\text{N}$ al largo, $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

	Caratteristiche onde al largo			Caratteristiche onde a -10 m			Altezza d'onda significativa H_s (m)						Coefficiente di diffrazione K_d (-)							
	θ ($^\circ\text{N}$)	H_s (m)	T_p (s)	θ ($^\circ\text{N}$)	H_s (m)	T_p (s)	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
C0 molo attuale	0	3.86	8.7	35	2.20	8.7	0.43	0.19	0.15	0.17	0.14	0.13	0.13	0.11	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
C1 molo parziale	0	3.86	8.7	35	2.20	8.7	0.36	0.17	0.17	0.19	0.15	0.16	0.19	0.09	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05
C2 molo del PRP	0	3.86	8.7	35	2.20	8.7	0.35	0.17	0.16	0.18	0.14	0.15	0.20	0.09	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05
							Differenza dell'altezza d'onda significativa (%)						Differenza coefficiente di diffrazione (%)							
$\Delta_{(C1-C0)/C0}$							-18%	-9%	9%	15%	9%	21%	54%	-18%	-9%	9%	15%	9%	21%	54%
$\Delta_{(C2-C0)/C0}$							-19%	-13%	6%	8%	5%	20%	62%	-19%	-13%	6%	8%	5%	20%	62%

Tabella 5.5 – Altezza significativa e coefficiente di diffrazione nei punti sonda per le tre diverse configurazioni. $\theta=30^\circ\text{N}$ al largo, $TR=10$ anni e sovrizzo di 0,79 m.

	Caratteristiche onde al largo			Caratteristiche onde a -10 m			Altezza d'onda significativa H_s (m)						Coefficiente di diffrazione K_d (-)							
	θ ($^\circ\text{N}$)	H_s (m)	T_p (s)	θ ($^\circ\text{N}$)	H_s (m)	T_p (s)	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
C0 molo attuale	30	5.39	10.1	49	3.73	10.1	0.88	0.37	0.32	0.40	0.35	0.36	0.35	0.16	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
C1 molo parziale	30	5.39	10.1	49	3.73	10.1	0.73	0.37	0.32	0.40	0.31	0.37	0.43	0.13	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.08
C2 molo del PRP	30	5.39	10.1	49	3.73	10.1	0.68	0.34	0.30	0.37	0.29	0.36	0.42	0.13	0.06	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08
							Differenza dell'altezza d'onda significativa (%)						Differenza coefficiente di diffrazione (%)							
$\Delta_{(C1-C0)/C0}$							-18%	-1%	-1%	0%	-12%	0%	22%	-18%	-1%	-1%	0%	-12%	0%	22%
$\Delta_{(C2-C0)/C0}$							-23%	-8%	-7%	-8%	-18%	-2%	19%	-23%	-8%	-7%	-8%	-18%	-2%	19%

Tabella 5.6 – Elevazione massima della superficie libera rispetto al livello medio mare in quiete e rispetto al livello medio mare più il sovrizzo di 0,79 m per ondazione con direzione di provenienza al largo di 0°N.

	Caratteristiche onde al largo			Caratteristiche onde a -10 m			massima elevazione 1 della superficie libera rispetto al l.m.m. in quiete (m)							massima elevazione 2 della superficie libera rispetto al l.m.m. più il sovrizzo (m)						
	θ (°N)	H_s (m)	T_p (s)	θ (°N)	H_s (m)	T_p (s)	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
C0 molo attuale	0	3.86	8.7	35	2.20	8.7	1.13	0.94	0.89	0.94	0.86	0.86	0.88	0.34	0.15	0.10	0.15	0.07	0.07	0.09
C1 molo parziale	0	3.86	8.7	35	2.20	8.7	1.04	0.89	0.89	0.91	0.88	0.89	0.92	0.25	0.10	0.10	0.12	0.09	0.10	0.13
C2 molo del PRP	0	3.86	8.7	35	2.20	8.7	1.05	0.89	0.88	0.89	0.89	0.89	0.95	0.26	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.16
							Diff. massima elevazione 1 superficie libera (%)							Diff. massima elevazione 2 superficie libera (%)						
$\Delta_{(C1-C0)/C0}$							-8%	-6%	0%	-4%	2%	4%	5%	-26%	-35%	3%	-22%	26%	45%	53%
$\Delta_{(C2-C0)/C0}$							-8%	-5%	-1%	-5%	4%	4%	8%	-25%	-32%	-11%	-32%	43%	45%	78%

Tabella 5.7 – Elevazione massima della superficie libera rispetto al livello medio mare in quiete e rispetto al livello medio mare più il sovrizzo di 0,79 m con direzione di provenienza al largo di 30°N.

	Caratteristiche onde al largo			Caratteristiche onde a -10 m			massima elevazione 1 della superficie libera rispetto al l.m.m. in quiete (m)							massima elevazione 2 della superficie libera rispetto al l.m.m. più il sovrizzo (m)						
	θ (°N)	H_s (m)	T_p (s)	θ (°N)	H_s (m)	T_p (s)	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
C0 molo attuale	30	5.39	10.1	49	3.73	10.1	1.51	1.04	0.98	0.99	1.12	1.06	1.01	0.72	0.25	0.19	0.20	0.33	0.27	0.22
C1 molo parziale	30	5.39	10.1	49	3.73	10.1	1.26	1.02	1.01	1.07	0.97	1.00	1.05	0.47	0.23	0.22	0.28	0.18	0.21	0.26
C2 molo del PRP	30	5.39	10.1	49	3.73	10.1	1.24	0.99	0.99	1.01	0.93	0.98	1.01	0.45	0.20	0.20	0.22	0.14	0.19	0.22
							Diff. massima elevazione 1 superficie libera (%)							Diff. massima elevazione 2 superficie libera (%)						
$\Delta_{(C1-C0)/C0}$							-17%	-2%	3%	8%	-13%	-6%	5%	-35%	-8%	15%	38%	-45%	-24%	22%
$\Delta_{(C2-C0)/C0}$							-18%	-5%	1%	1%	-17%	-8%	0%	-37%	-22%	7%	7%	-57%	-32%	1%

CONCLUSIONI

Nel presente studio è stata analizzata l'agitazione ondosa interna al Porto di Civitanova Marche su tre diverse configurazioni portuali che corrispondono rispettivamente alla configurazione dello stato attuale del Porto di Civitanova Marche e ad altre due configurazioni del c.d. "stato futuro" del porto secondo le previsioni della vigente variante generale del Piano Regolatore Portuale, considerando il prolungamento del Molo foraneo Est in due stralci funzionali di successiva realizzazione. Entrambe le due configurazioni dello stato futuro comprendono il previsto completamento della banchina di riva nel bacino interno, mentre differiscono per le dimensioni del prolungamento del braccio di estremità del Molo Est, a partire dalla testata attuale. In pratica, la configurazione relativa al primo stralcio dello stato futuro comprende solo il prolungamento del braccio di estremità del Molo Est di 100 m lungo la direzione attuale di 22°N (Configurazione con molo parziale o Configurazione C1), mentre la seconda configurazione dello stato futuro rappresenta quella di completamento del molo foraneo secondo quanto previsto dal vigente Piano Regolatore Portuale (Configurazione con molo del Piano Regolatore Portuale o Configurazione C2), che quindi comprende anche l'ulteriore prolungamento del Molo di levante degli altri 80 m lungo la direzione ruotata di 30° in verso antiorario (352°N).

Le simulazioni numeriche dell'agitazione ondosa interna al bacino, in condizioni meteomarine avverse, hanno permesso di confrontare le caratteristiche di funzionalità di ognuna delle configurazioni messe a confronto, per quanto riguarda gli aspetti legati al grado di protezione offerto dalle opere esterne di difesa portuale allo specchio acqueo interno. Si è potuta quindi effettuare la valutazione di confronto dell'efficacia protettiva delle opere foranee previste nel vigente Piano Regolatore Portuale, nella sua fase di realizzazione parziale ed in quella definitiva, relativamente al prolungamento del Molo foraneo Est in riferimento alla Configurazione attuale (Configurazione C0).

Per la determinazione delle condizioni meteomarine avverse da utilizzare nelle simulazioni è stata effettuata un'analisi statistica delle onde estreme sui dati rilevati alla stazione di misura ondometrica della Rete Ondometrica Nazionale al largo di Ancona. Per la scelta delle condizioni da simulare si è fatto riferimento ad un moto ondoso di caratteristiche di intensità stimate per tempi di ritorno di 1 e 10 anni. Successivamente, mediante l'applicazione del metodo di trasposizione geografica, tali condizioni ondose sono state trasferite ad un punto ad elevata profondità (70 m) al largo di Civitanova Marche. Le onde sono quindi state trasferite sottocosta (alla profondità di 10 m) mediante il modello di propagazione spettrale Delft3D della Deltares (NL) al fine di ottenere le

condizioni di input da utilizzare nel modello di dettaglio. Infine, è stato applicato il modello numerico MIKE 21 BW della Danish Hydraulic Institute (DK) per lo studio della propagazione e agitazione ondosa nella zona portuale. Le caratteristiche di entrambi i modelli numerici utilizzati sono state descritte nei Capitoli 4 e 5 della presente Relazione.

In particolare, la statistica del moto ondoso è stata effettuata sulle ondate delle mareggiate di traversia del sito marino di Civitanova Marche, suddivise in settori di direzione di provenienza di 30° . Per le simulazioni numeriche, sono stati considerati gli effetti ondosi, nel bacino interno portuale, delle mareggiate provenienti al largo da 330°N , 0°N , 30°N e 120°N . Questi, infatti, rappresentano i settori settentrionali, che per direzione risultano più pericolosi rispetto all'esposizione dell'imboccatura portuale, ed il settore di 120°N che presenta il maggior flusso energetico ondoso dell'intera traversia del sito in esame e le altezze d'onda più elevate associate statisticamente ai tempi di ritorno di 1 e 10 anni, utilizzati nelle simulazioni del presente studio.

Per tenere conto di livelli marini in condizioni sfavorevoli all'interno del bacino portuale, le simulazioni numeriche relative ai tempi di ritorno più elevati (10 anni) sono state ripetute considerando anche un valore di sopraelevazione superficiale (pari a 0,79 m), tale valore di sovrizzo meteorologico è cautelativo per ondate provenienti dai settori settentrionali.

In generale, i risultati delle simulazioni di confronto mostrano un grado di protezione ondosa crescente sulle onde all'imboccatura portuale passando dalle configurazioni dello stato attuale (Configurazione C0), a quelle che comprendono il banchinamento e il prolungamento parziale (Configurazione C1) e completo (Configurazione C2) del molo di levante, secondo quanto previsto dal Piano Regolatore Portuale.

Dall'analisi dei risultati è emerso che l'altezza d'onda significativa mediata spazialmente nell'area di ingresso al porto, ridossata dal prolungamento del Molo Est, risulta ridotta del 7÷38% e del 45÷67%, rispettivamente per la Configurazione C1 e per la Configurazione C2 rispetto alla Configurazione attuale C0.

Dall'analisi dei risultati di tutte le trenta simulazioni effettuate emerge che l'altezza d'onda significativa mediata spazialmente nell'area interna portuale è inferiore a 0,45 m per tutte le condizioni ondose testate. Per le ondate provenienti dai settori di levante e scirocco il porto risulta adeguatamente protetto, con un'altezza d'onda significativa, mediata spazialmente nell'area interna portuale, di circa 0,20m nel caso di ondate provenienti al largo da 120°N , mentre solo con la condizione ondosa più gravosa nel bacino (attacco da 30°N al largo, $TR=10$ anni con sovrizzo) si superano i 0,30 m (in tutte le configurazioni studiate).

Si fa comunque notare che per le ondate con direzione di provenienza al largo di 30°N , la configurazione C2 è in grado di produrre riduzioni dell'altezza d'onda significativa, del coefficiente

di diffrazione e della massima elevazione della superficie libera. Per le ondatazioni con direzione di provenienza al largo di 0°N si osservano riduzioni dell'altezza d'onda significativa e del coefficiente di diffrazione, eccetto che nel caso di condizioni meteomarine più intense ($TR=10$ anni e sovrizzo). Per le ondatazioni provenienti al largo da 330°N , invece, le configurazioni future non producono effetti benefici, poiché l'imboccatura del porto è maggiormente esposta a tale settore, per cui il prolungamento del Molo Est ha una minima influenza sull'abbattimento dell'altezza d'onda per diffrazione. In generale l'effetto negativo riscontrato nei riguardi dell'agitazione interna portuale è risultato più evidente nel caso delle onde associate ad un tempo di ritorno di 10 anni e, in particolare, in presenza di sovrizzo. Tale effetto negativo è dovuto al banchinamento di riva previsto nelle configurazioni C1 e C2, e quindi dall'accentuarsi del fenomeno di riflessione ondosa che, in tali condizioni meteomarine, è risultato prevalere sull'effetto protettivo offerto dal prolungamento del Molo Est del porto.

A conclusioni analoghe si giunge analizzando i risultati nei c.d. punti-sonda scelti all'interno del bacino portuale, per le condizioni meteomarine più gravose, quindi relative ad un tempo di ritorno di 10 anni e sovrizzo. I risultati hanno infatti mostrato che l'altezza d'onda subisce, in molti casi, un aumento rispetto al caso della Configurazione attuale, soprattutto per le ondatazioni con direzioni di provenienza al largo di 330°N e 0°N , prossime a quelle di esposizione dell'imboccatura portuale, a causa della riflessione prodotta dal banchinamento interno. Risultano instaurarsi anche oscillazioni di lungo periodo in tutte le configurazioni studiate, e la loro intensità è in aumento rispetto alla Configurazione attuale. Tale fenomeno di aumento dell'intensità ondosa è giustificato dal fatto che la realizzazione della banchina di riva favorisce la formazione, all'interno del bacino portuale, di onde stazionarie, che risultano esaltate in altezza per risonanza a causa delle intense riflessioni ondose sulle pareti ripide delle banchine che delimitano lo specchio acqueo. Tali onde ed oscillazioni risultano sicuramente eccitate anche dalla forma molto regolare e squadrata dello specchio acqueo del bacino portuale. Queste oscillazioni sono presenti anche con la completa realizzazione del molo foraneo secondo quanto previsto dal Piano Regolatore Portuale. La presenza della spiaggia a debole pendenza in corrispondenza del lato di riva nella Configurazione attuale fornisce una naturale area di dissipazione dell'energia ondosa limitando, quindi, la presenza di onde riflesse.

La riflessione ondosa alle pareti potrebbe essere limitata con la realizzazione di strutture in cui dovrà essere adeguatamente curata l'efficacia delle caratteristiche antiriflettenti per il previsto banchinamento del lato di riva. L'accortezza di curare e/o migliorare l'aspetto antiriflettente delle strutture può essere sicuramente utile anche per le altre banchine del contorno interno portuale, per limitare la risonanza della risacca ondosa interna al porto.

Sull'elevazione massima raggiunta dalla superficie libera rispetto al livello medio mare in quiete nei diversi punti-sonda individuati, si può affermare che, per le condizioni testate in presenza di sovrizzo meteorologico, non risultano variazioni evidenti dei valori raggiunti, essendo prevalente l'effetto del sovrizzo imposto di 0,79m. In tali condizioni, i massimi valori di elevazione sono di circa 1,1 m per il caso di ondate più gravose (ondate provenienti al largo da 30°N per tempo di ritorno $TR=10$ anni e sovrizzo). Sulla sopraelevazione dei livelli marini all'interno del bacino portuale, a causa degli eventuali sovrizzi esterni, la realizzazione del prolungamento del Molo Est (parziale o completa), o di qualsiasi opera portuale, non può fornire alcun effetto. Andando invece ad analizzare i valori della massima elevazione della superficie libera, depurati del sovrizzo meteorologico, si è notato che si riducono per le configurazioni con il prolungamento del Molo Est, soprattutto nel caso di completo prolungamento del molo.

Alla luce di quanto deducibile dal presente studio, sembra risultare confermato quanto osservato negli *“indirizzi operativi per il Porto di Civitanova Marche”* riportati nella Delibera della Giunta Regionale del 2015, ove si cita che la *“realizzazione dei nuovi banchinamenti nella zona di riva, prospiciente l'imboccatura,”* sarà *“da realizzarsi solo a completamento avvenuto delle opere di cui sopra”* relative al prolungamento del molo di sopraflutto ed alla realizzazione, parziale o completa, delle opere della darsena turistica all'imboccatura *“per la messa in sicurezza definitiva (definitiva) del porto così come oggi in essere. Una realizzazione antecedente dei nuovi banchinamenti infatti andrebbe ad aumentare lo stato di insicurezza interna in caso di mareggiate, venendo a mancare lo sfogo naturale per i moti ondosi dato della battigia sabbiosa”*. In pratica, l'agitazione ondosa interna potrà essere sicuramente migliorata anche con la realizzazione della nuova darsena (turistica). In effetti, con la eventuale realizzazione completa delle opere di difesa della nuova darsena turistica si potrà formare un vero e proprio avamposto chiuso, attualmente mancante, che sarebbe destinato proprio ad attenuare l'onda residua entrante nel bacino e le oscillazioni interne ad essa associate.

In definitiva, per le ragioni sopra riportate, si precisa che il prolungamento del Molo Est fornisce una buona protezione nella zona di ingresso al porto e all'imboccatura. Sebbene nella zona interna portuale l'azione protettiva offerta dal prolungamento del molo sia attenuata dall'intensificarsi dell'altezza d'onda significativa dovuta al banchinamento di riva, si ritiene che la Configurazione con il completo prolungamento del Molo Est (Configurazione C2) è, tra le configurazioni testate, quella in grado di offrire complessivamente la maggior protezione marittima al porto. Si fa inoltre presente che il porto è comunque in grado di fornire un'adeguata protezione alle ondate più severe del paraggio che sono quelle provenienti dai settori di levante-scirocco.