



Università Politecnica delle Marche - Ancona
Facoltà di Ingegneria - Dipartimento ICEA
Sezione Idraulica e Infrastrutture Viarie



Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Centrale

Porti di Pesaro, Falconara Marittima, Ancona, S. Benedetto, Pescara, Ortona

Autorità di Sistema Portuale del
Mare Adriatico Centrale
Molo Santa Maria - Ancona

STUDIO IDRODINAMICO PER LA MESSA IN SICUREZZA DALL'AZIONE METEOMARINA E PER LA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA FERROVIARIA ADRIATICA DA ANCONA A TORRETTE



RELAZIONE FINALE

Il Responsabile scientifico
Prof. Ing. Alessandro Mancinelli

Ancona, lì 31 luglio 2018

Il Dirigente Tecnico dell'ADSP
Dott. Ing. Gianluca Pellegrini

GRUPPO DI LAVORO

Il gruppo di lavoro della Sezione Idraulica e infrastrutture viarie del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura della Facoltà di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche di Ancona per il presente studio è costituito da:

Prof. Ing. ALESSANDRO MANCINELLI

Responsabile scientifico

Dott. Ing. SARA CORVARO

Dott. Ing. CARLO LORENZONI

Dott. Ing. FRANCESCO MARINI

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	4
2. CONFIGURAZIONE DELLE NUOVE OPERE PER IL LUNGOMARE NORD	6
3. CARATTERISTICHE METEOMARINE NEL PARAGGIO DI ANCONA	9
3.1 Dati ondosi della R.O.N.....	10
3.1.1 Regime ondoso medio al largo di Ancona	17
3.1.2 Analisi delle onde estreme	34
3.2 Dati ondosi del NOAA	48
3.2.1 Analisi delle onde estreme	49
3.3 Confronto fra i dati ondosi RON-NOAA	52
3.3.1 Altezze significative	52
3.3.2 Periodi di picco	53
4. MODELLO PER LO STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DELLE ONDE	56
4.1 Codice di calcolo <i>Delft3D</i>	56
4.2 Griglie e configurazione batimetrica dei fondali	58
4.3 Condizioni al contorno.....	65
4.4 Valutazione dell'onda di progetto.....	66
5. RISULTATI SULLA PROPAGAZIONE DELLE ONDE A RIVA	69
5.1 Configurazione attuale "C0"	70
5.1.1 Direzione di provenienza delle onde: 0°N - $T_R=30$ anni.....	70
5.1.2 Direzione di provenienza delle onde: 0°N - $T_R=70$ anni.....	71
5.1.3 Direzione di provenienza delle onde: 30°N- $T_R=30$ anni.....	72
5.1.4 Direzione di provenienza delle onde: 30°N - $T_R=70$ anni.....	73
5.1.5 Direzione di provenienza delle onde: 60°N- $T_R=30$ anni.....	74
5.1.6 Direzione di provenienza delle onde: 60°N - $T_R=70$ anni.....	75
5.1.7 Direzione di provenienza delle onde: 90°N- $T_R=30$ anni.....	76
5.1.8 Direzione di provenienza delle onde: 90°N - $T_R=70$ anni.....	77
5.1.9 Direzione di provenienza delle onde: 120°N- $T_R=30$ anni.....	78
5.1.10 Direzione di provenienza delle onde: 120°N - $T_R=70$ anni.....	79
5.1.11 Direzione di provenienza delle onde: 330°N- $T_R=30$ anni.....	80
5.1.12 Direzione di provenienza delle onde: 330°N - $T_R=70$ anni.....	81
5.2 Configurazione di progetto "C1"	82
5.2.1 Direzione di provenienza delle onde: 0°N- $T_R=30$ anni.....	82
5.2.2 Direzione di provenienza delle onde: 0°N - $T_R=70$ anni.....	83
5.2.3 Direzione di provenienza delle onde: 30°N- $T_R=30$ anni.....	84
5.2.4 Direzione di provenienza delle onde: 30°N - $T_R=70$ anni.....	85

5.2.5	Direzione di provenienza delle onde: 60°N- $T_R=30$ anni.....	86
5.2.6	Direzione di provenienza delle onde: 60°N - $T_R=70$ anni.....	87
5.2.7	Direzione di provenienza delle onde: 90°N- $T_R=30$ anni.....	88
5.2.8	Direzione di provenienza delle onde: 90°N - $T_R=70$ anni.....	89
5.2.9	Direzione di provenienza delle onde: 120°N- $T_R=30$ anni.....	90
5.2.10	Direzione di provenienza delle onde: 120°N - $T_R=70$ anni.....	91
5.2.11	Direzione di provenienza delle onde: 330°N- $T_R=30$ anni.....	92
5.2.12	Direzione di provenienza delle onde: 330°N - $T_R=70$ anni.....	93
5.3	Altezze d'onda per le opere di progetto.....	94
5.3.1	Attacchi ondosi con tempo di ritorno $T_R=30$ anni	94
5.3.2	Attacchi ondosi con tempo di ritorno $T_R=70$ anni	97
5.4	Sintesi riassuntiva sugli attacchi ondosi per le opere di progetto.....	100
6.	MODELLO PER LO STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO.....	101
6.1	Caratterizzazione delle forzanti del trasporto solido nel paraggio di Ancona	102
6.1.1	Corrente di circolazione generale.....	102
6.1.2	Corrente costiera dovuta al moto ondoso	103
6.1.3	Corrente costiera dovuta alla presenza del vento.....	103
6.1.4	Valutazione della portata liquida e solida del fiume Esino	105
6.2	APPLICAZIONE DEL MODELLO	106
6.2.1	Griglie di calcolo e batimetrie.....	107
6.2.2	Condizioni al contorno.....	113
6.3	SCENARI ANALIZZATI DI CONDIZIONI FORZANTI	113
6.4	AZIONE DELLA CORRENTE DA VENTO	115
6.4.1	Configurazione attuale "C0"	115
6.4.2	Configurazione di progetto "C1"	117
6.5	AZIONE DELLA CORRENTE DI CIRCOLAZIONE.....	119
6.5.1	Configurazione attuale "C0"	119
6.5.2	Configurazione di progetto "C1"	121
6.6	AZIONE DELLA CORRENTE DA MOTO ONDOSI	123
6.6.1	Configurazione attuale "C0"	123
6.6.2	Configurazione di progetto "C1"	125
6.7	PRESENZA DELLA CORRENTE DI CIRCOLAZIONE COMBINATA CON L'AZIONE ONDOSI.....	127
6.7.1	Configurazione attuale "C0"	127
6.7.2	Configurazione di progetto "C1"	129
6.8	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE SUL TRASPORTO SOLIDO	131
6.8.1	Descrizione delle analisi effettuate	131
6.8.2	Osservazioni generali sulla rappresentazione del trasporto solido costiero.....	132

6.8.3	Stima delle intensità di trasporto solido nei bacini in esame.....	132
6.8.4	Confronto dei risultati sulle concentrazioni dei sedimenti fini trasportati in prossimità del porto turistico e della Darsena Marche.....	134
7.	VARIANTE DI PROGETTO	142
8.	CONCLUSIONI.....	149

1. PREMESSA

I contenuti della Convenzione per lo “Studio idrodinamico per la messa in sicurezza dall’azione meteomarina e per la velocizzazione della linea ferroviaria adriatica tra Ancona e Torrette” stipulata tra l’Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale (ADSP) ed il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura (DICEA) dell’Università Politecnica delle Marche hanno lo scopo di fornire all’ADSP le caratteristiche del moto ondoso in prossimità della linea di costa dove dovrà essere realizzato l’interramento di una fascia dello spazio a mare nel tratto di litorale compreso tra Torrette di Ancona e il Porto turistico “Marina Dorica” e fornire indicazioni sugli effetti del trasporto solido nel suddetto paraggio di mare anconetano a seguito della realizzazione delle nuove opere.

La presente relazione finale contiene gli studi in questione per la configurazione definitiva delle opere portuali. Tale relazione è successiva alle versioni delle relazioni di studio redatte e consegnate in precedenza, che, in particolare, consistono rispettivamente nella “*Relazione di prima fase*” redatta in data 16 novembre 2017 e nella “*Relazione di prima fase – nuova linea di riva*” redatta in data 6 aprile 2018.

Il tracciato della nuova linea di costa, utile per la rettifica della linea ferroviaria, e quello del braccio di molo necessario a ridurre l’interrimento all’imboccatura del porto turistico sono stati definiti a seguito di diversi incontri intercorsi tra i vari enti interessati al progetto e sono il risultato di aggiornamenti ed adattamenti succedutisi in più fasi diverse. Le suddette relazioni delle fasi precedenti dei presenti studi, sono state redatte con configurazioni delle opere portuali che non sempre sono risultate corrispondere a quella definitiva.

Le informazioni per ricostruire la batimetria del paraggio di mare in questione, come la planimetria delle suddette nuove opere di progetto, sono state fornite dall’ADSP.

Nella Figura 1 è riportata la vista generale attuale dello stato del Porto di Ancona dopo la realizzazione del molo di sopraflutto, mentre nella Figura 2 è riportata la stessa vista generale del Porto di Ancona, con l’aggiunta dello schema planimetrico delle previste nuove opere di progetto.

Particolare attenzione è stata rivolta alla verifica dei rischi di interrimento dell’imboccatura del porto turistico, già sofferente allo stato attuale per il cospicuo deposito di sedimenti, fenomeno destinato ad accentuarsi fortemente con lo spostamento della linea di riva del lungomare in questione, in assenza di opere destinate direttamente alla attenuazione di tali problematiche. Ugualmente si è posta attenzione alla ripercussione delle opere di progetto sui rischi di interrimento della Darsena Marche.



Figura 1 - Vista del Porto di Ancona allo stato attuale (da Google Earth, immagine del 22 maggio 2016)



Figura 2 - Vista del Porto di Ancona con la rappresentazione delle nuove opere previste.

2. CONFIGURAZIONE DELLE NUOVE OPERE PER IL LUNGOMARE NORD

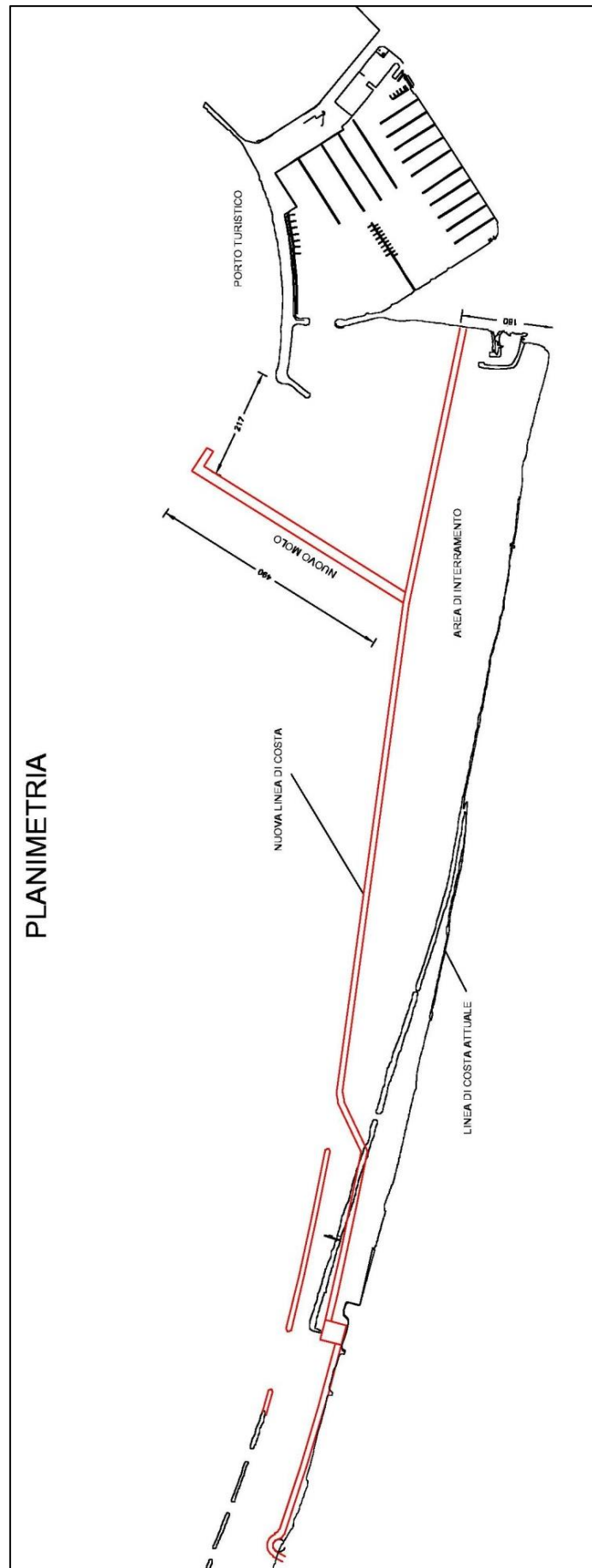
Come premesso nel Capitolo 1, per poter effettuare la velocizzazione e messa in sicurezza della linea ferroviaria adriatica nel tratto da Ancona a Torrette, si prevede la realizzazione di nuove opere tali da permettere la rettifica in riallineamento del tracciato ferroviario. Le opere, riportate in Figura 3 in una scala di maggiore dettaglio, prevedono l'avanzamento della linea di costa attraverso i) la realizzazione di una scogliera a protezione della linea ferroviaria, ii) l'interramento di una fascia dello spazio a mare nel tratto di litorale compreso tra Torrette ed il Porto turistico "Marina Dorica", iii) la realizzazione di un molo aggettante per la protezione del porto turistico dall'interrimento della sua imboccatura, iv) la realizzazione di una nuova scogliera foranea in corrispondenza del ridosso di Torrette ed il prolungamento della vicina barriera esistente. Le caratteristiche delle opere sono state definite dagli enti coinvolti nel progetto.



Figura 3 – Inquadramento planimetrico delle nuove opere nella zona del nuovo Lungomare Nord.

In particolare, oltre alla riorganizzazione della costa e del ridosso della località di Torrette, le nuove opere (si veda la planimetria di dettaglio in Figura 4) consistono in:

- i) una scogliera radente a protezione della linea ferroviaria composta dalla successione di tratti di diverse caratteristiche di inclinazione, lunghezza ed avanzamento dall'attuale linea di riva;
- ii) un ampliamento verso mare delle aree terrestri con l'interramento dello specchio acqueo delimitato dalla suddetta nuova scogliera radente a nord, dall'attuale linea di riva a sud e dal porto turistico ad est. L'avanzamento massimo previsto della linea di costa è di 180m;
- iii) un molo aggettante per la protezione del porto turistico dall'interrimento della bocca, lungo 490m e con asse principale in direzione 32°N;
- iv) una nuova scogliera foranea a protezione del nuovo ridosso di Torrette di circa 370m ed il prolungamento di circa 50m della scogliera limitrofa esistente ad ovest del bacino.



PLANIMETRIA

Figura 4 - Planimetria delle nuove opere

Il funzionamento delle opere previste dal punto di vista marittimo è stato analizzato tramite modellazione numerica. In particolare, le configurazioni studiate sono le seguenti:

- Configurazione “C0”: condizione attuale delle opere (si veda schema in Figura 5);
- Configurazione “C1”: condizione futura delle opere previste (nuovo assetto del ridosso e delle opere costiere circostanti in località Torrette, avanzamento per interrimento della linea di riva, molo a protezione del porto turistico - si veda schema in Figura 6);

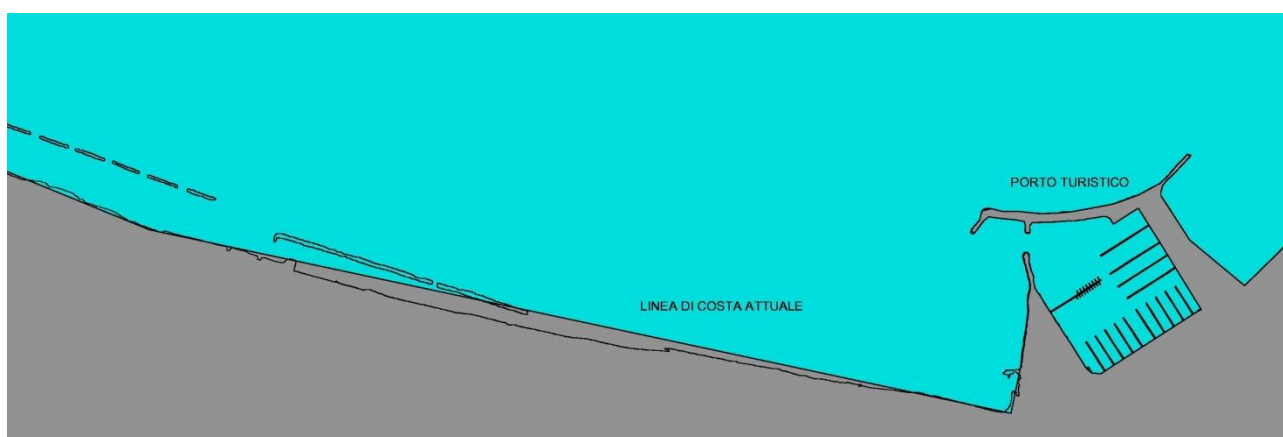


Figura 5 – Schema planimetrico della Configurazione C0

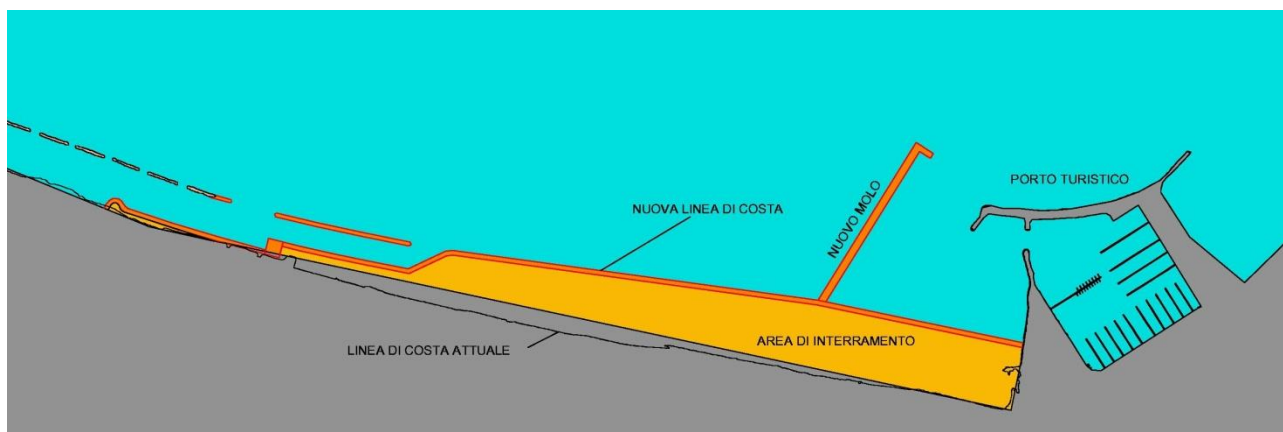


Figura 6 – Schema planimetrico della Configurazione C1

Nei Capitoli 5 e 6 sono riportati i risultati delle analisi della propagazione del moto ondoso a riva e sugli effetti del trasporto solido nel paraggio di mare indagato per le due configurazioni (attuale e futura) delle opere portuali.

Nel Capitolo 7 si riporta anche l'analisi comparativa del comportamento marittimo del nuovo molo provvisto o meno di un ulteriore breve tratto in prolungamento in direzione Nord (l'analisi fa riferimento ad una configurazione quasi-definitiva delle opere, comunque molto simile a quella definitiva). Con tale analisi di confronto, si è voluto indagare l'efficacia del prolungamento del molo in direzione Nord, soprattutto sugli effetti della corrente di trasporto solido litoraneo in corrispondenza dell'imboccatura del Porto turistico.

3. CARATTERISTICHE METEOMARINE NEL PARAGGIO DI ANCONA

Le caratteristiche meteomarine del paraggio anconitano sono state esaminate utilizzando i dati ondosi provenienti dalle misure ondometriche effettuate dalla Rete Ondometrica Nazionale (R.O.N.) al largo di Ancona ed i dati ricostruiti dal modello meteomarino 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 varie elaborazioni effettuate sui dati ondosi disponibili.

Sui dati della RON 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.

3.1 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 punti fissi 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 ondametriche 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 RON è attiva in via sperimentale dal luglio 1989, definitivamente operativa dal 1990. Inizialmente, la RON 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 RON 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 Ondametrica Nazionale (RON), 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 ondametrica 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 ondametriche erano state dislocate nelle aree di mare al largo di La Spezia, Alghero, Ortona, Ponza, Monopoli, Crotona, Catania e Mazara. Ogni boa era ormeggiata su fondali dell'ordine di 100 metri ed era dotata di un sistema di localizzazione che utilizza il satellite *ARGOS* per il controllo continuo della posizione. I dati venivano acquisiti normalmente per periodi di circa 30 minuti ogni tre ore (triorari) e con intervalli inferiori 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*[™] della società olandese *Datawell BV*.

Nell'anno 2002 la RON 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*[™], 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*[™], prodotte dalla società canadese *AXYS Ltd*. Tali boe sono equipaggiate con sensore ondometrico allo stato solido del tutto analogo a quello in uso nella RON 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 RON 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) e devono tuttora (giugno 2018) riprendere.

Dati ondametrici 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 ondametrico di Ancona, appartenente alla R.O.N., è stato la boa ondametrica, 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 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 7).

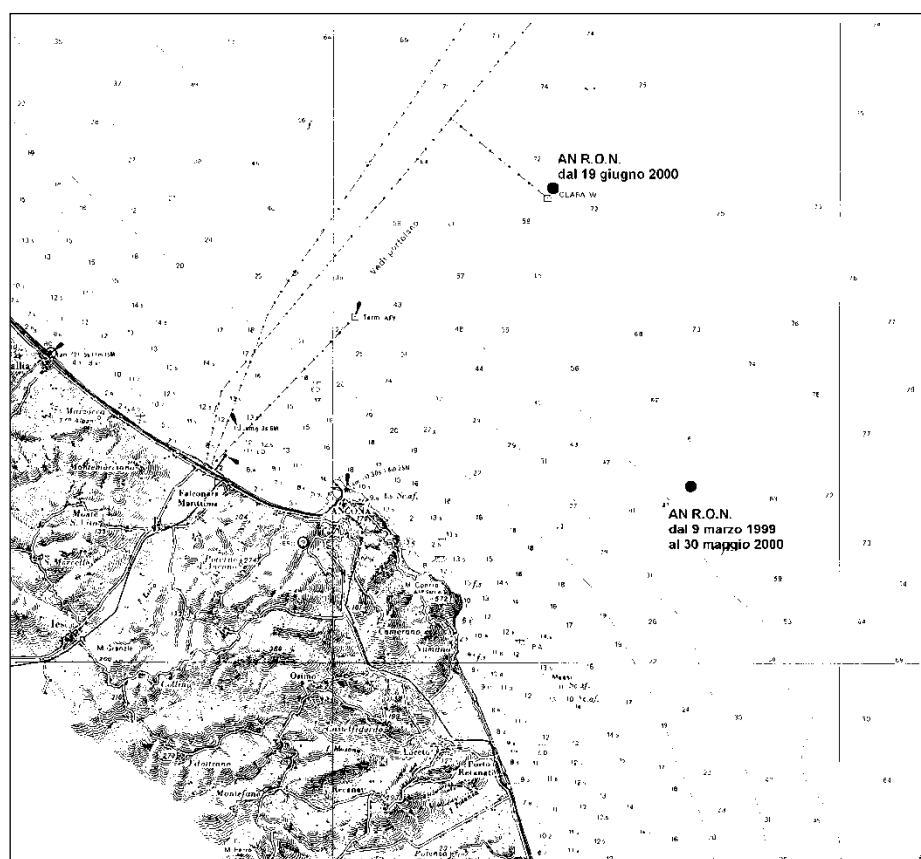


Figura 7 - Posizione geografica della stazione di misura gestita dalla R.O.N. al largo di Ancona

Riguardo alle misure della stazione ondametrica di Ancona, si dispone delle registrazioni dei dati ondati 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 (annuale) le elaborazioni sono state effettuate sui 7 anni di osservazione dal 9 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.

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 su base trioraria (cioè un dato completo sulle caratteristiche dello stato di mare lungo mezzora di tempo ogni tre ore), consentendo le registrazioni semiorarie in continuo solo in condizioni di moto ondoso intenso, con altezza d'onda significativa superiore ad una soglia di 3m. 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 9 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 triorari 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) che tutti gli eventi 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 5m 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 4m 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 8, 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 centimetri.

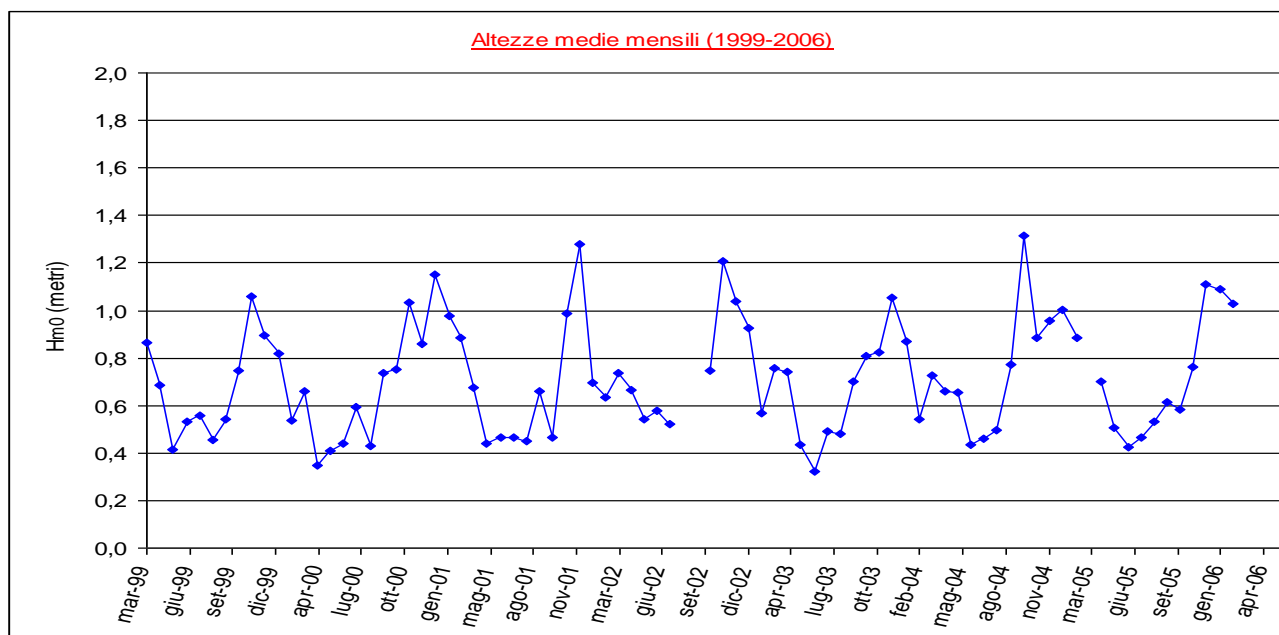


Figura 8 - Andamento cronologico delle altezze d'onda significative medie mensili rilevate su base trioraria dalla boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona dal marzo 1999 al marzo 2006

Dal punto di vista ondametrico, 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 ondametrico 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 RON, 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 RON. 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 (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 5m 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 4m 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 3m di altezza d'onda, si può certamente notare una maggior frequenza media annuale delle mareggiate, 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 4m), quelli provenienti dal settore direzionale di greco-levante, rispetto a quelli "tradizionali" provenienti da scirocco-levante e/o da bora.

La rappresentazione cronologica delle altezze d'onda medie mensili, relativamente a questa seconda fase di osservazione, è riportata in Figura 9.

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.

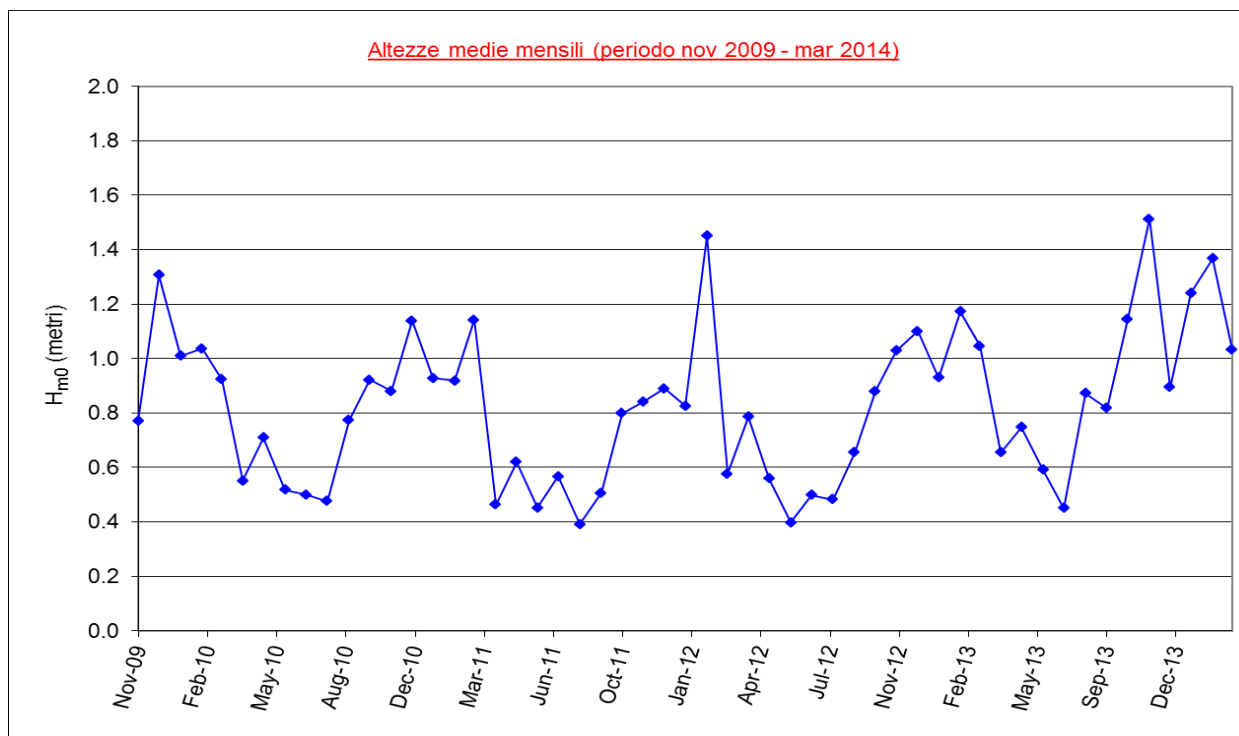


Figura 9 - Andamento cronologico delle altezze d'onda significative medie mensili rilevate su base semioraria dalla boa ondometrica della RON al largo di Ancona dal novembre 2009 al marzo 2014

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.

3.1.1 Regime ondoso medio 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 regime ondoso medio o clima generale 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 significativa spettrale 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 media spettrale, T_m è il periodo medio e 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.

Dalla Tabella 1 alla

Tabella 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 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 10 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 11 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 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 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 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	0.0131	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 – Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-D_{MT}$ per i dati ondosì tritorari (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 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	1.7121	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 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 ² *HMO ² *TM)(in Kgf/(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	0.1928	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

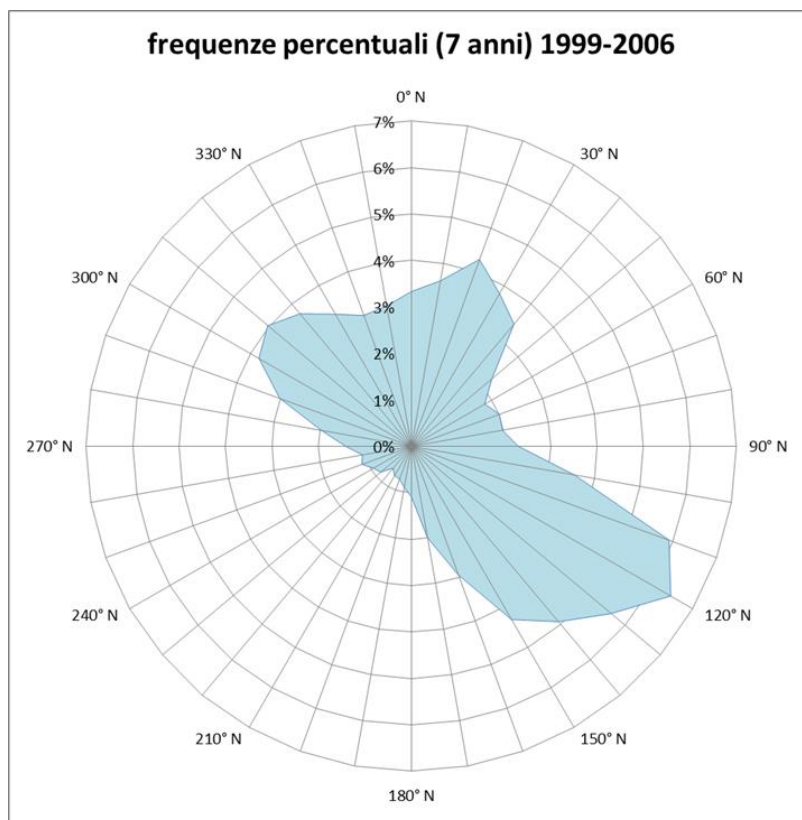


Figura 10 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari registrati dalla stazione di rilievo della RON al largo di Ancona nei 7 anni dal 10 marzo '99 al 9 marzo '06

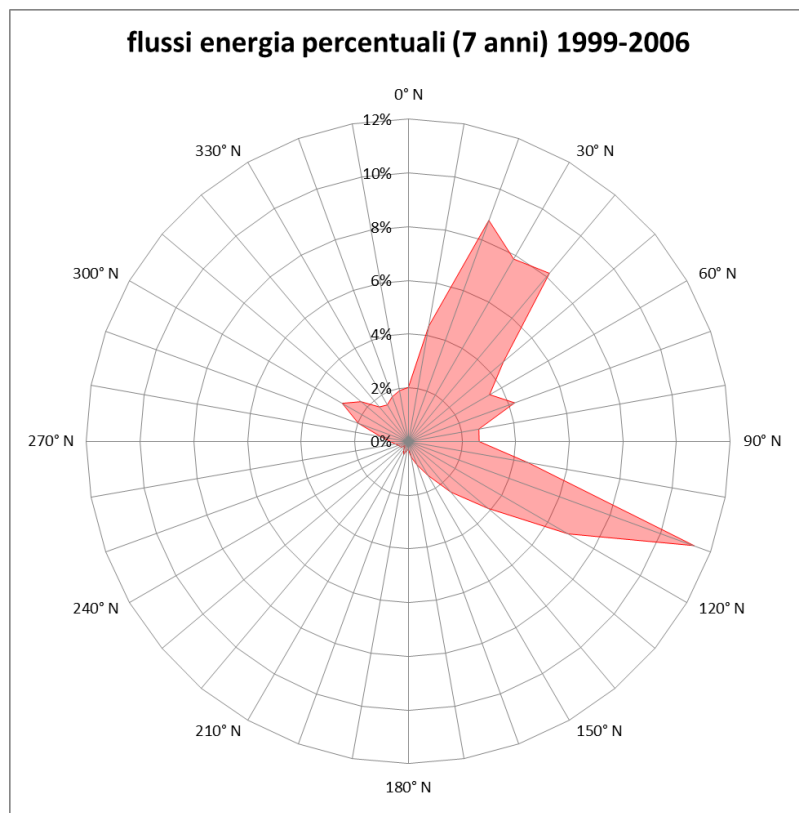


Figura 11 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei flussi energetici per metro di lunghezza di cresta dei dati ondosi triorari, registrati dalla stazione di misura ondometrica della RON al largo di Ancona nei 7 anni dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006

Dall'analisi di tali andamenti ed anche dal grafico di confronto delle suddette distribuzioni direzionali delle serie complessive dei dati, riportato in Figura 12, si può evidenziare una serie di caratteristiche legate alla fenomenologia climatica ondosa del mare Adriatico: risulta infatti che gli eventi ondosi provengono più frequentemente (mari regnanti) dai settori attorno a EstSudEst (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.

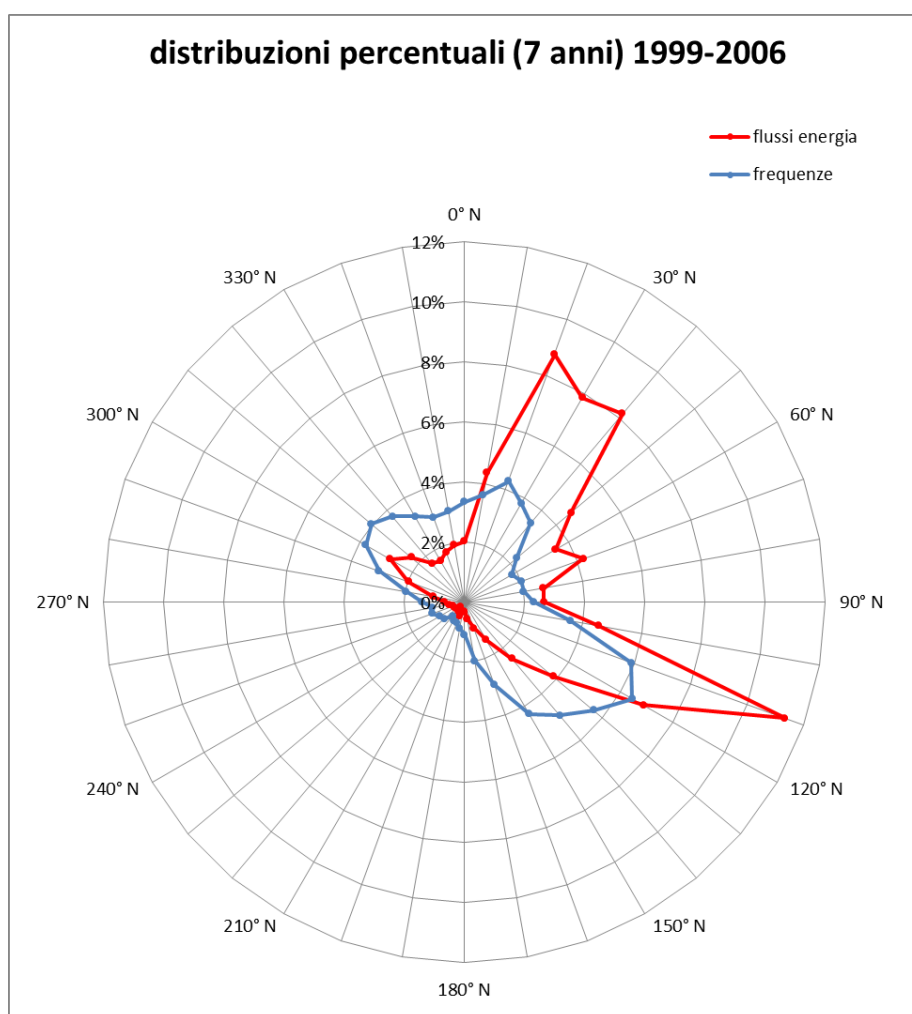


Figura 12 - Distribuzione direzionale percentuale di confronto fra la frequenza ed il flusso di energia per metro di lunghezza di cresta delle onde registrate dalla stazione di misura della RON al largo di Ancona nei 7 anni dal 10 marzo 1999 al 9 marzo 2006

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 5 alla Tabella 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 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 0,701m 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 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 6 - Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-T_M$ 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												
TM ₀ (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	0.0099	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 7 - Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-DMT$ 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 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 (=cost*HMO^2*TM)(in Kgf/(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 13 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 14 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°.

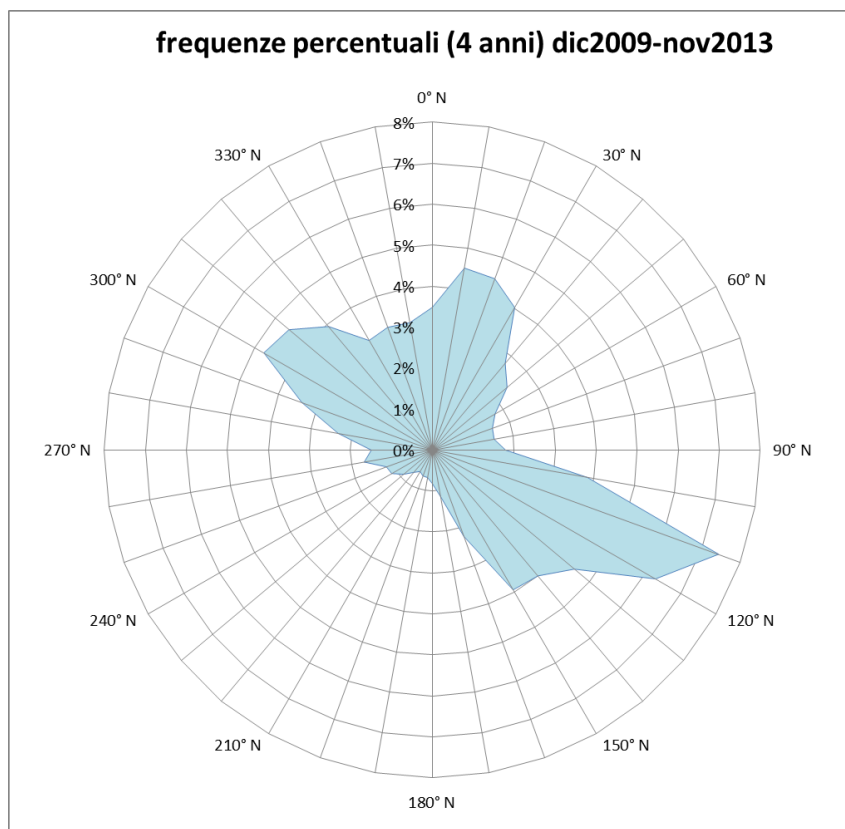


Figura 13 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari registrati dalla stazione di rilievo della RON al largo di Ancona nei 4 anni dal 1 dic. 1999 al 30 nov. 2006

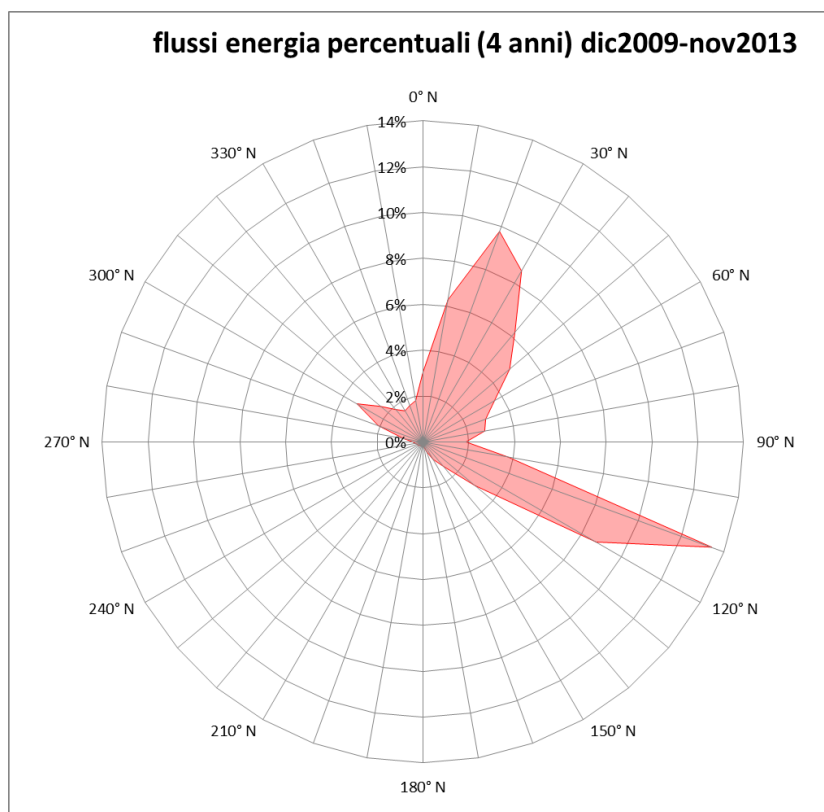


Figura 14 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei flussi energetici per metro di lunghezza di cresta dei dati ondosi triorari, registrati dalla stazione di misura ondometrica della RON al largo di Ancona nei 4 anni dal 1 dicembre 2009 al 30 novembre 2013

In Figura 15 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.

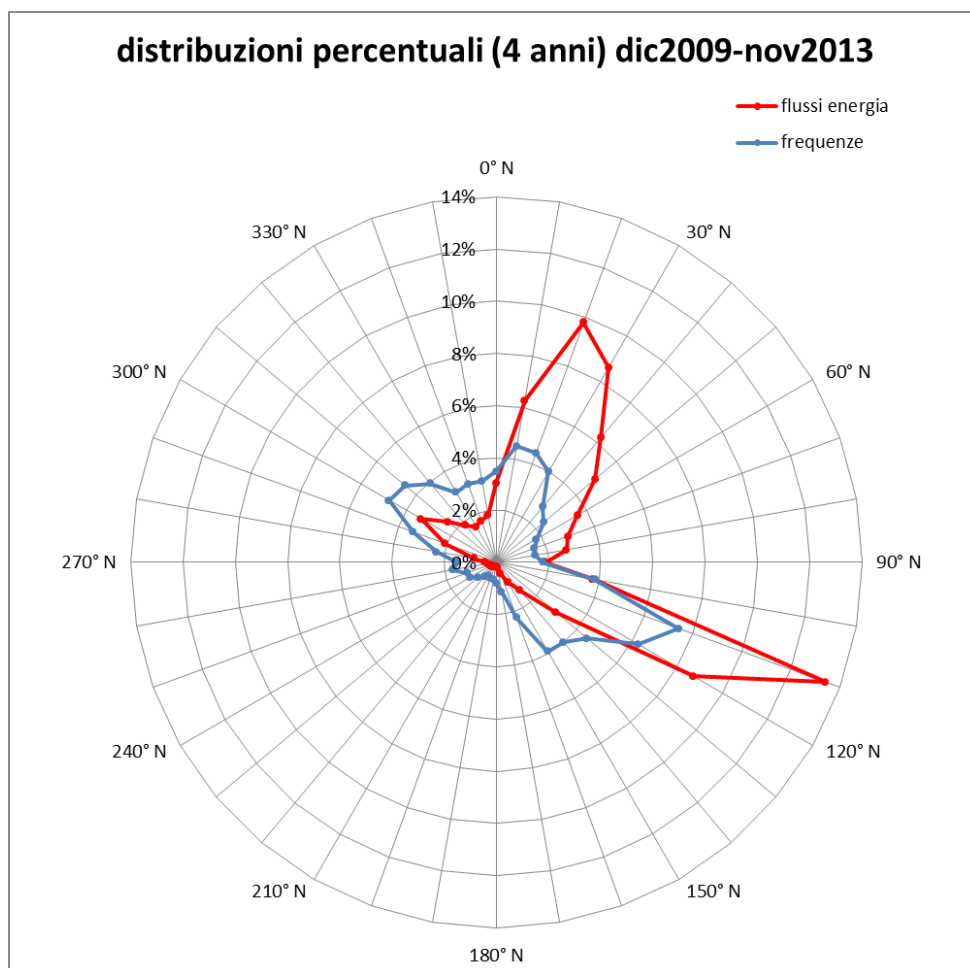


Figura 15 - Distribuzione direzionale percentuale di confronto fra la frequenza ed il flusso di energia per metro di lunghezza di cresta delle onde registrate dalla stazione di misura ondometrica della RON al largo di Ancona nei 4 anni dal 1 dicembre 2009 al 30 dicembre 2013

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 9 alla Tabella 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 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 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 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	0.6424	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 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 ₂ (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	0.0118	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 11 - Distribuzione delle frequenze percentuali di $H_{m0}-D_{MT}$ 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 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 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 ($=\cos^2 \cdot HMO^2 \cdot TM$) (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 16, 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 17 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°.

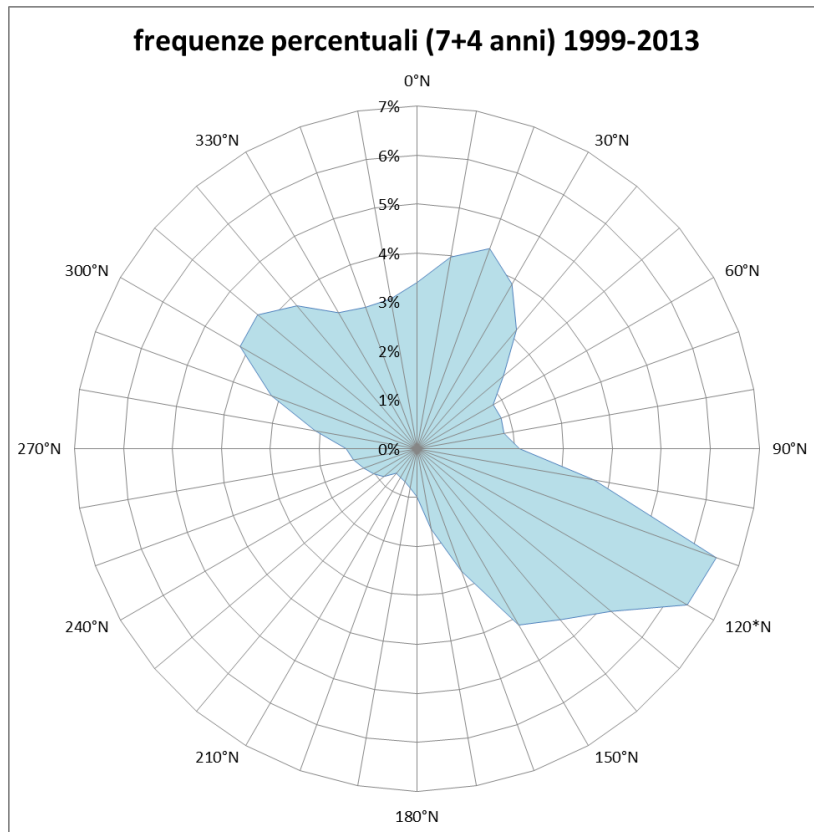


Figura 16 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari registrati dalla stazione della RON al largo di Ancona negli 11 anni dei periodi 1999-2006 e 2009-2013

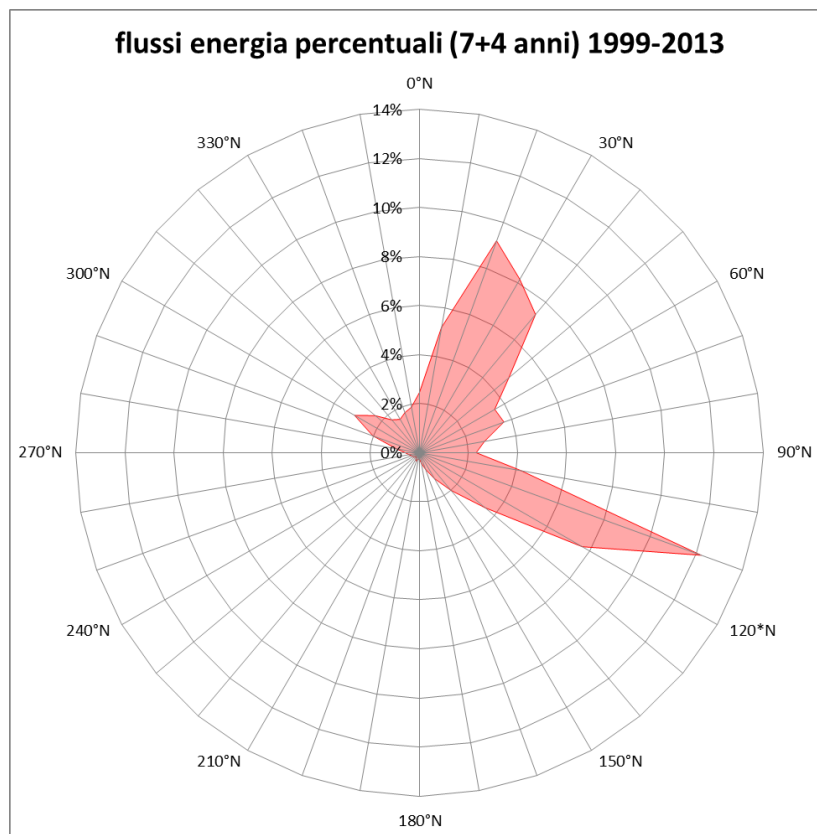


Figura 17 - Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei flussi energetici per metro di lunghezza di cresta dei dati ondosi triorari rilevati al largo di Ancona in 11 anni nel periodo '99-'13

In Figura 18 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 di entrambe le fasi di osservazione di 11 anni (7 anni, fra il 1999 ed il 2006 e 4 anni, fra il 2009 ed il 2013).

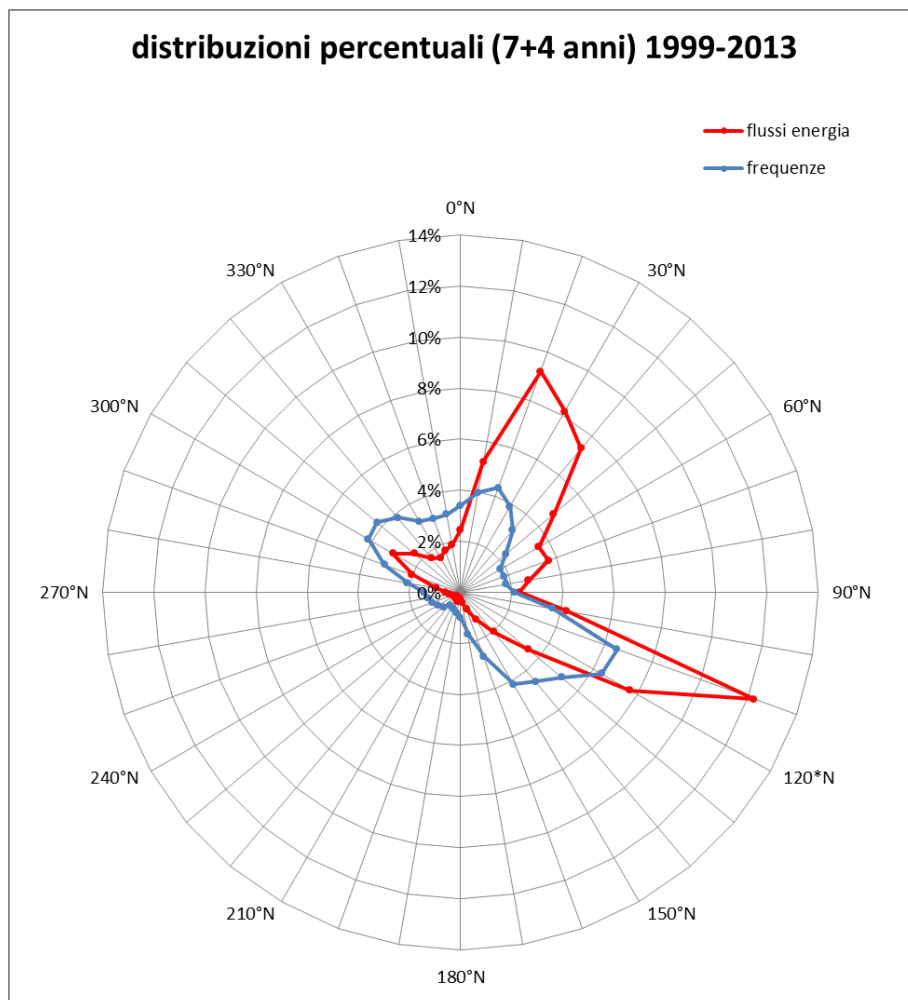


Figura 18 - Distribuzione direzionale percentuale di confronto fra la frequenza ed il flusso di energia per metro di lunghezza di cresta delle onde registrate dalla stazione di misura ondometrica della RON al largo di Ancona negli 11 anni di osservazioni dei due periodi 1999-2006 e 2009-2013

Infine, a titolo di completamento dell'analisi climatologica ondosa del sito della R.O.N. di monitoraggio al largo di Ancona, si può rilevare che, dopo i frequenti malfunzionamenti riscontrati a partire dal periodo fra la fine del 2013 e l'inizio del 2014, le attività del sito in questione, come quelle degli altri siti della Rete Ondometrica Nazionale (RON), sono state completamente sospese a partire dal 1 gennaio 2015 per problemi tecnico-burocratici e risultano tuttora in attesa della ripresa delle operazioni, inizialmente previste per il 2017.

3.1.2 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'analoga 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.

Selezione dei dati da analizzare e metodologia adottata

La selezione dei dati da elaborare è probabilmente l'aspetto più 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 più alti relativamente alle fasce costiere estreme (nord) occidentali.

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:

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

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.

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

L'intero 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, per le elaborazioni, è stata considerata 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 (intero settore omnidirezionale).	

avendo posto, nella loro individuazione, la 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 dal picco della mareggiata. Il numero della frazione dei dati da elaborare con il metodo P.O.T. va poi ulteriormente ridotto considerando solo quelli con valore di altezza d'onda superiore ad un prefissato valore della 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 caso (di elaborazione) diverso viene scelta quella fra esse che assicuri 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 è stato scelto per la soglia di troncamento 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 riassuntive da Tabella 13 a Tabella 16 dei dati ai picchi delle mareggiate individuate durante i 7 anni di osservazione considerati ed i grafici dalla Figura 19 alla Figura 26 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 35 e nella

Tabella 17 sono invece riportati, in forma grafica ed in forma numerica, in maniera sintetica per tutti i settori direzionali di provenienza presi in esame, i principali risultati dell'elaborazione statistica in termini di legami analitici risultati fra altezza d'onda e tempo di ritorno dell'evento ondoso.

Tabella 13 - 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 14 - 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 15 - 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

n° mareggiata	data	Hm0	Tm	Tp	Dmt
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 16 - 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

n° mareggiata	data	Hm0	Tm	Tp	Dmt
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

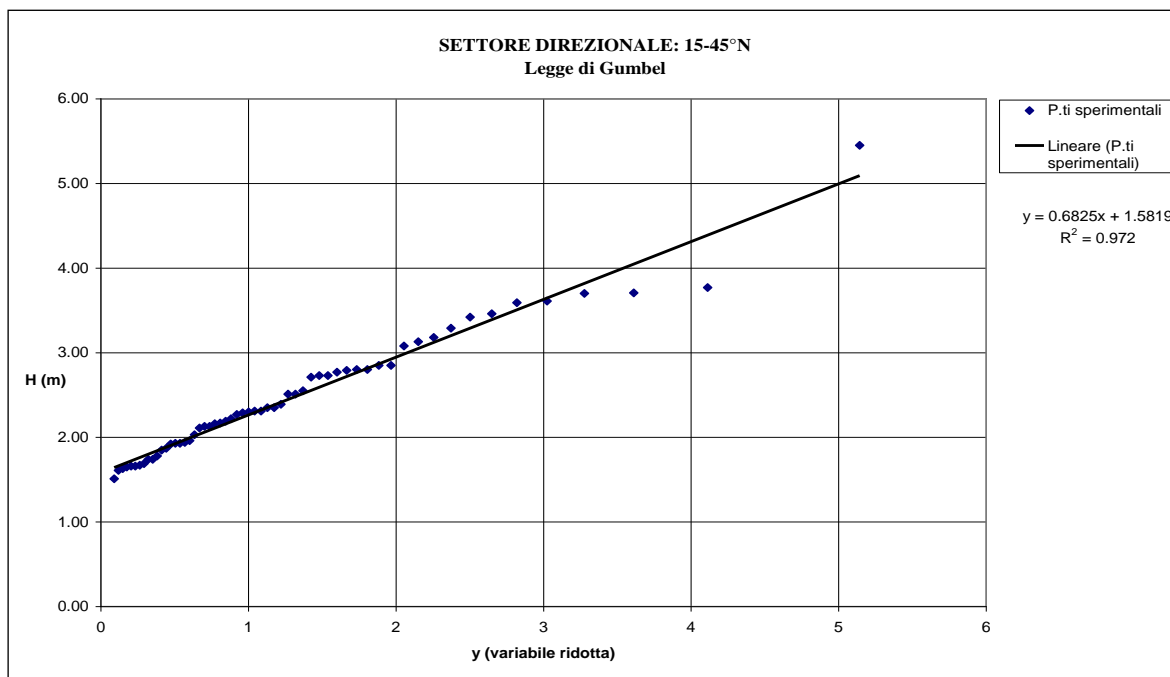


Figura 19 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 15°N-45°N.

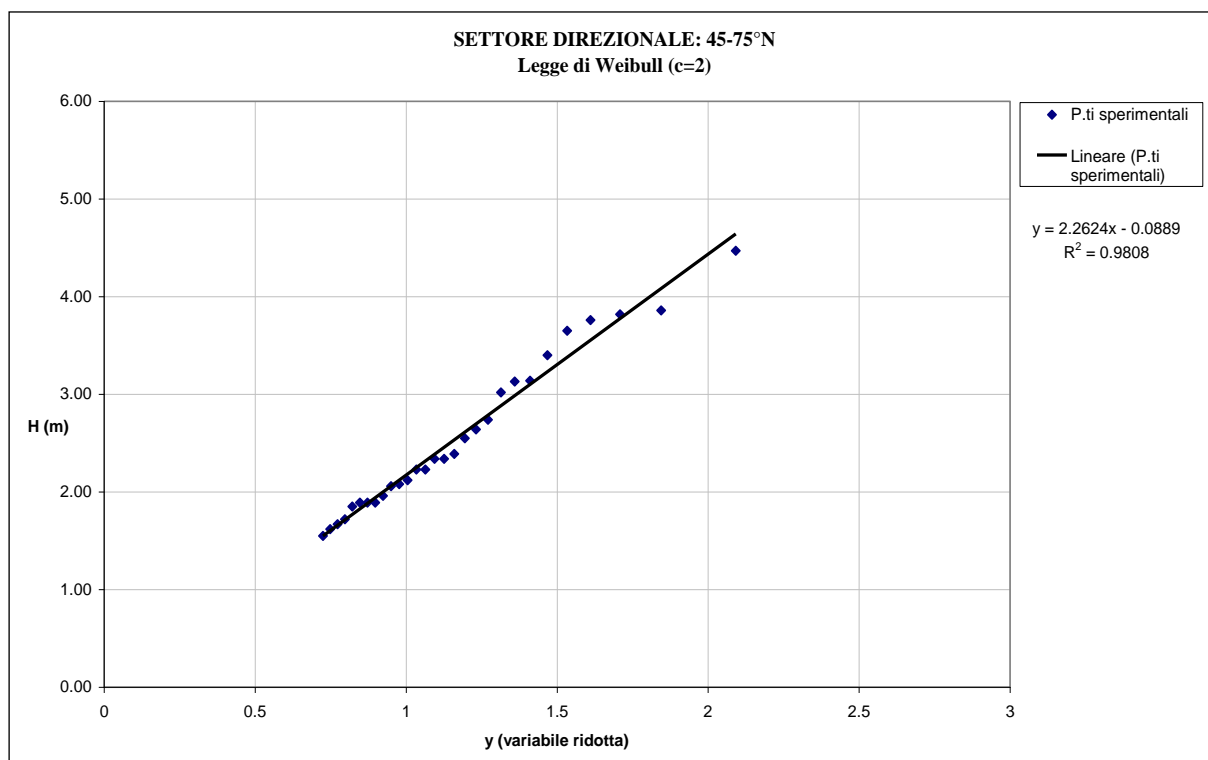


Figura 20 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 45°N-75°N.

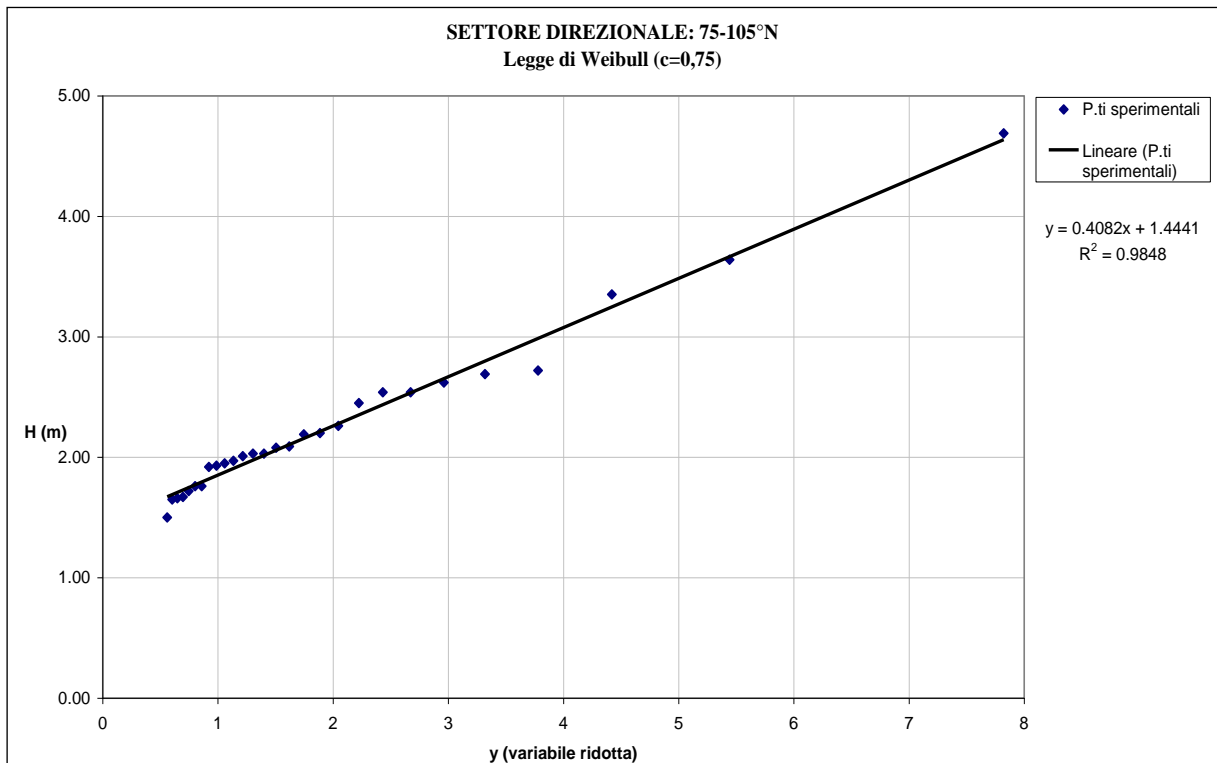


Figura 21 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 75°N-105°N.

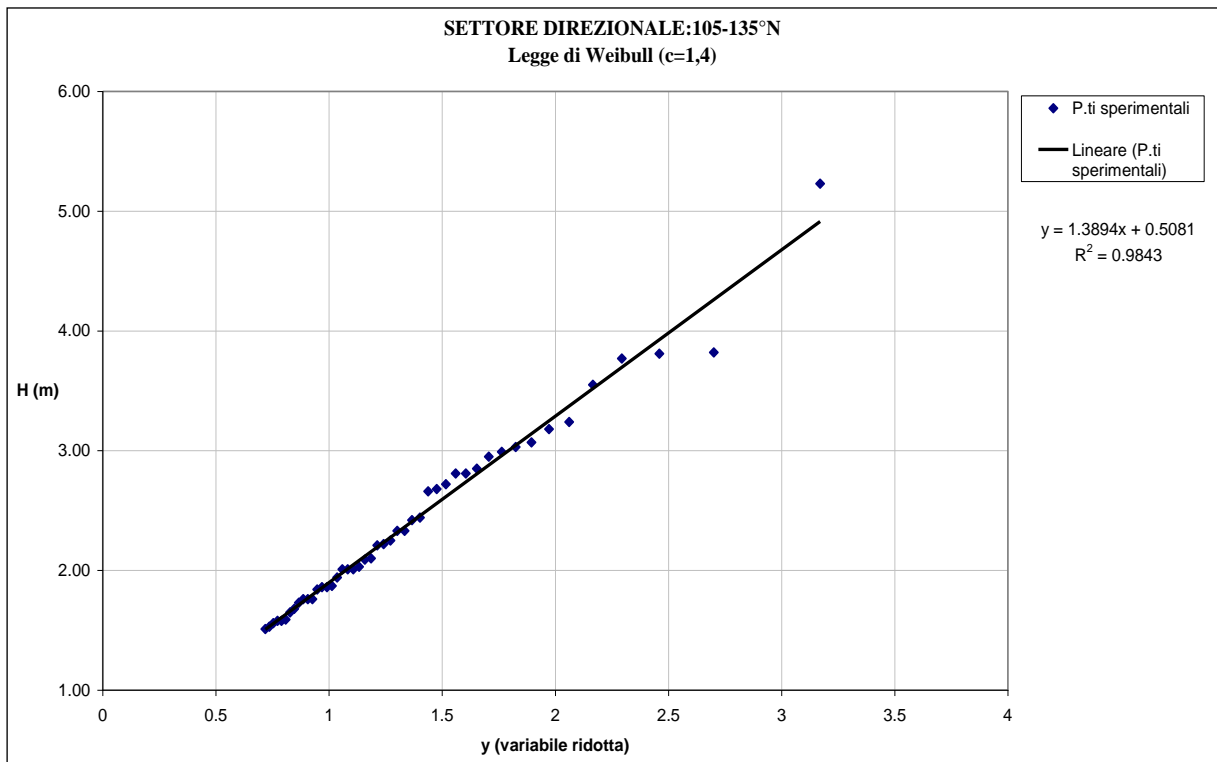


Figura 22 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 105°N-135°N

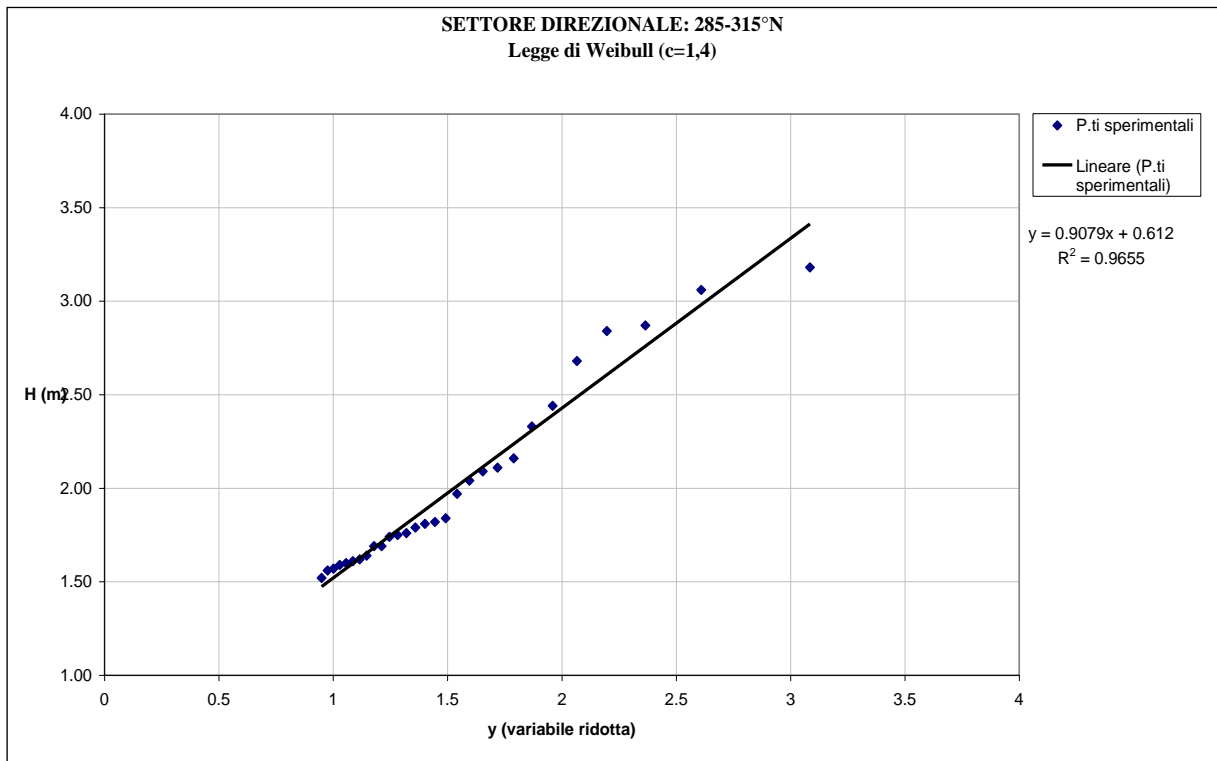


Figura 23 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 285°N-315°N

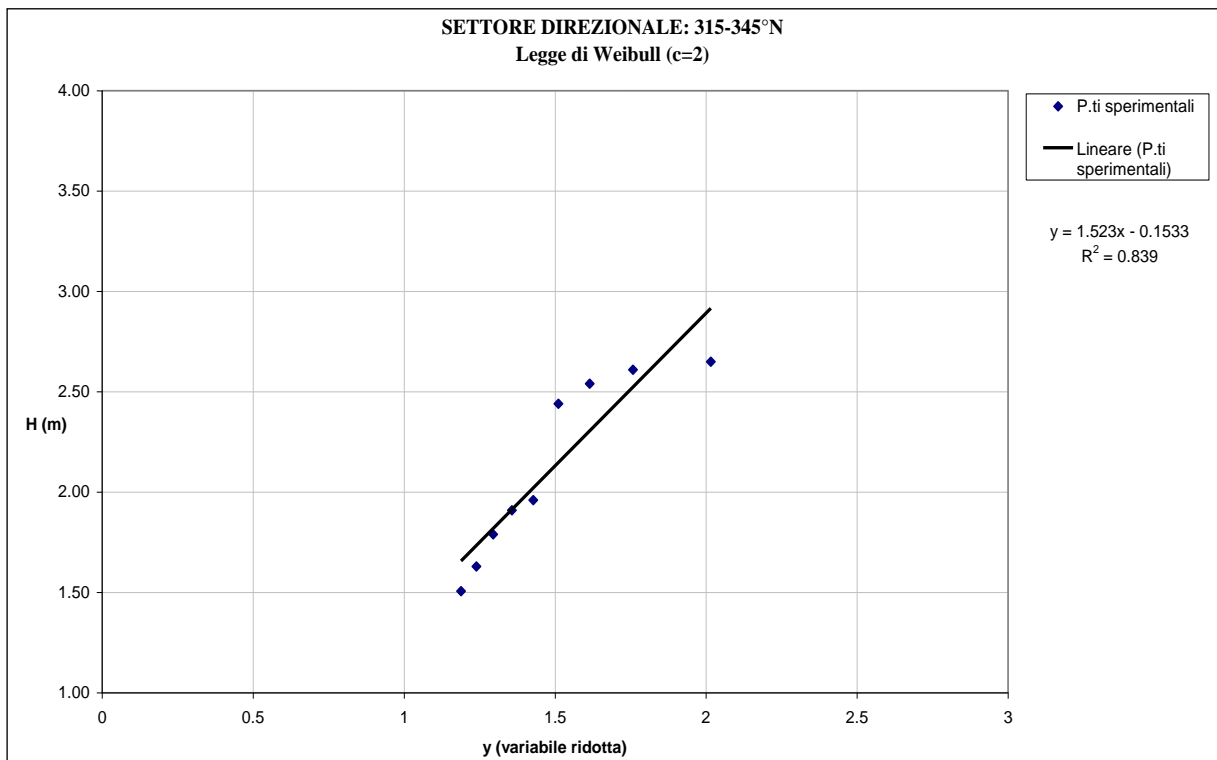


Figura 24 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 315°N-345°N

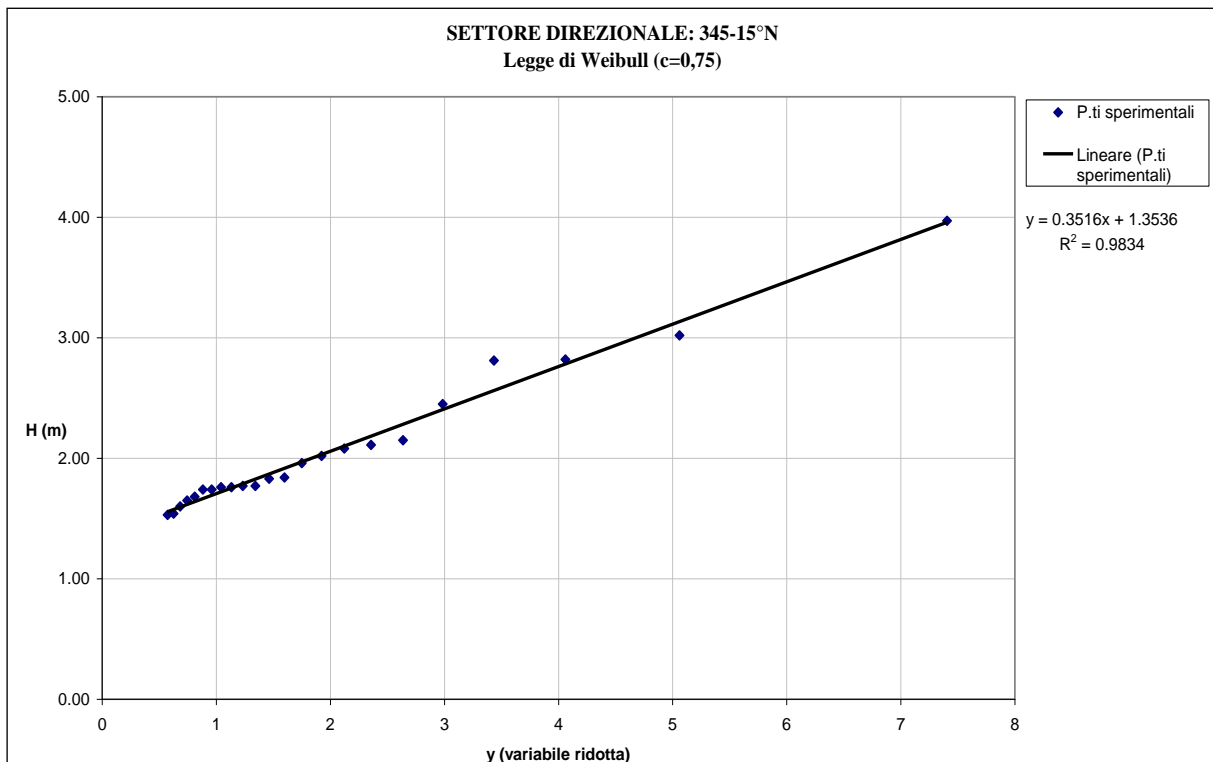


Figura 25 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore direzionale 345°N-15°N.

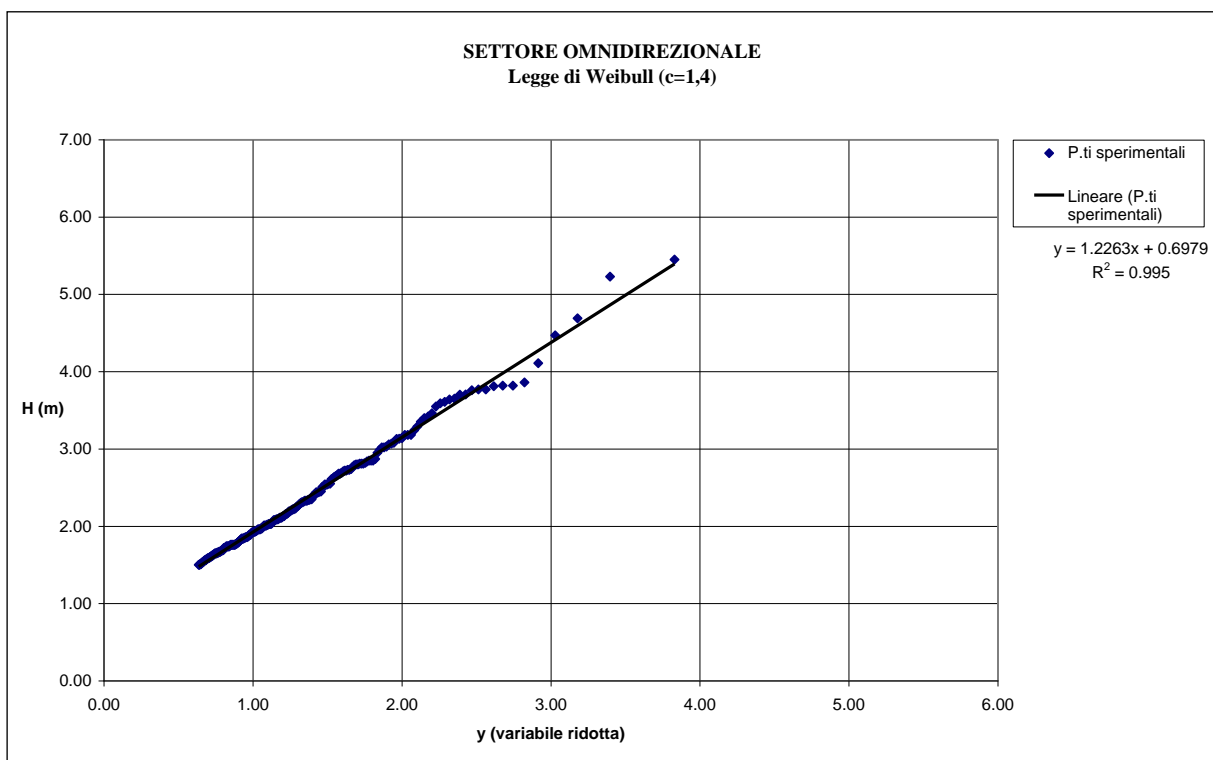


Figura 26 - Dati sperimentali e legge probabilistica di miglior adattamento per il settore omni-direzionale.

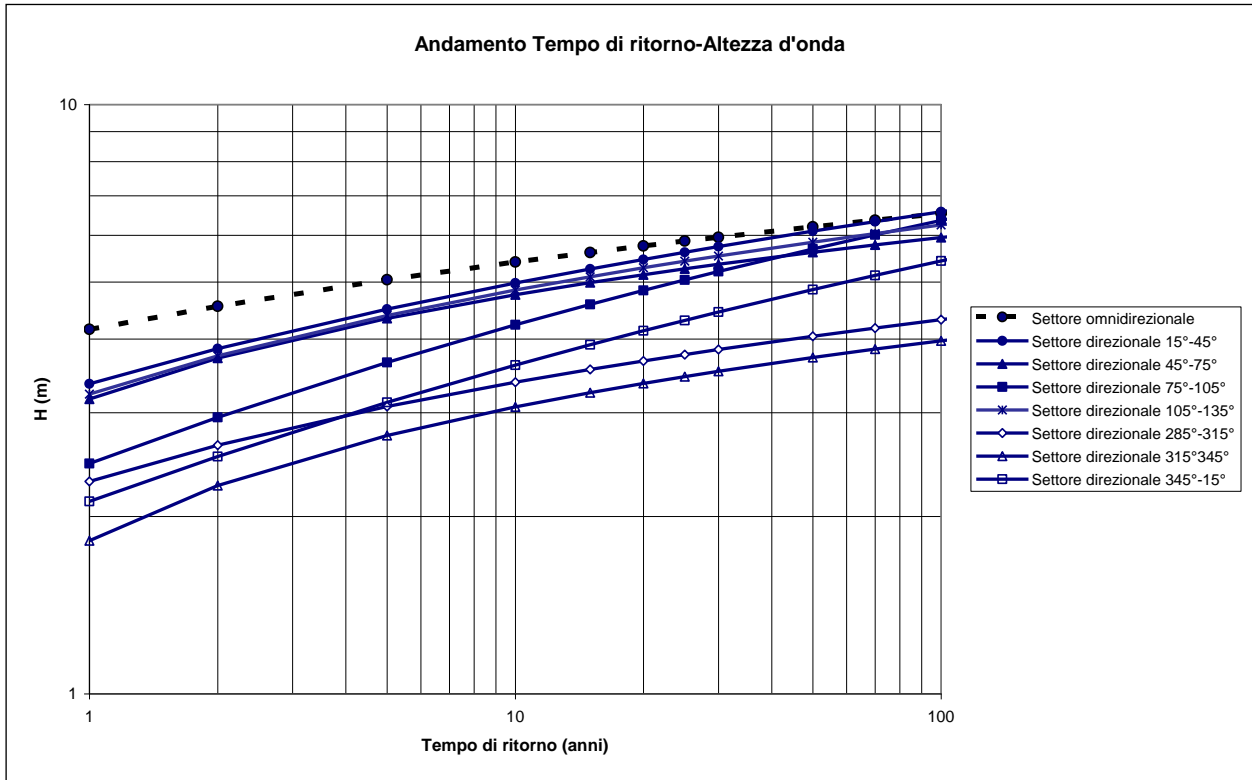


Figura 27 - Risultati dell'elaborazione in termini di tempo di ritorno da associare alle mareggiate.

Tabella 17 - Risultati dell'elaborazione dei dati ondososi 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

Infine, come pure 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 19.

Tabella 19 - 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

3.2 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 da 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.

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 28 - Particolari delle griglie a media ed alta risoluzione utilizzate nel modello WW3

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, la rianalisi copre un periodo di oltre 31 anni dal 1979 al 2009.

In Figura 29 sono rappresentate la posizione della boa ondometrica RON e del punto di maglia considerato nel modello *WW3* (43°49'48.0"N; 13°40'12.0"E). Entrambi i punti si trovano ad una profondità sufficientemente elevata (circa 70m) da potersi considerare in "acque alte", permettendo quindi un adeguato confronto e l'utilizzo dei dati, da queste derivati, come *input* per il modello di trasferimento ondoso realizzato.

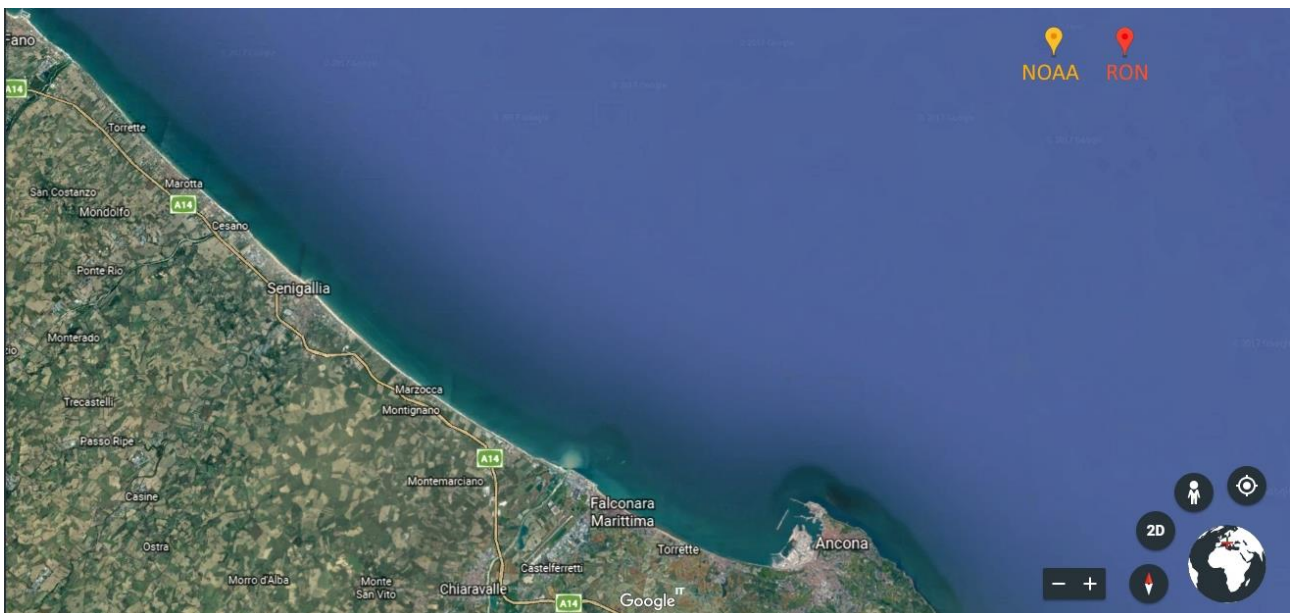


Figura 29 - Posizioni della boa ondometrica della RON e punto della maglia considerato nel modello *WW3*

3.2.1 Analisi delle onde estreme

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 $H_s=1\text{m}$;

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 $H_s=1\text{m}$;

si escludono gli eventuali picchi per i quali H_s non aumenti di almeno 0.5m rispetto al minimo sopra soglia precedentemente individuato.

In Figura 30 è riportato un esempio di funzionamento del codice in un periodo della serie temporale analizzata. La linea verde stabilisce la soglia di 1m 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).

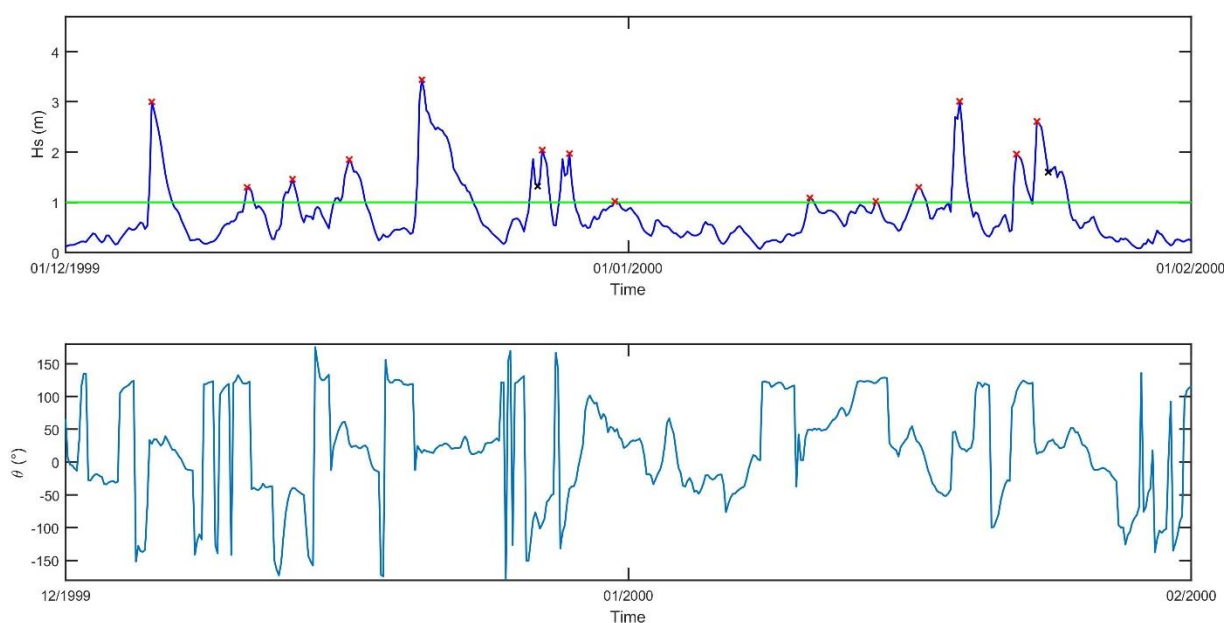


Figura 30 Esempio di applicazione del codice di calcolo per l'individuazione delle mareggiate

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 31

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).

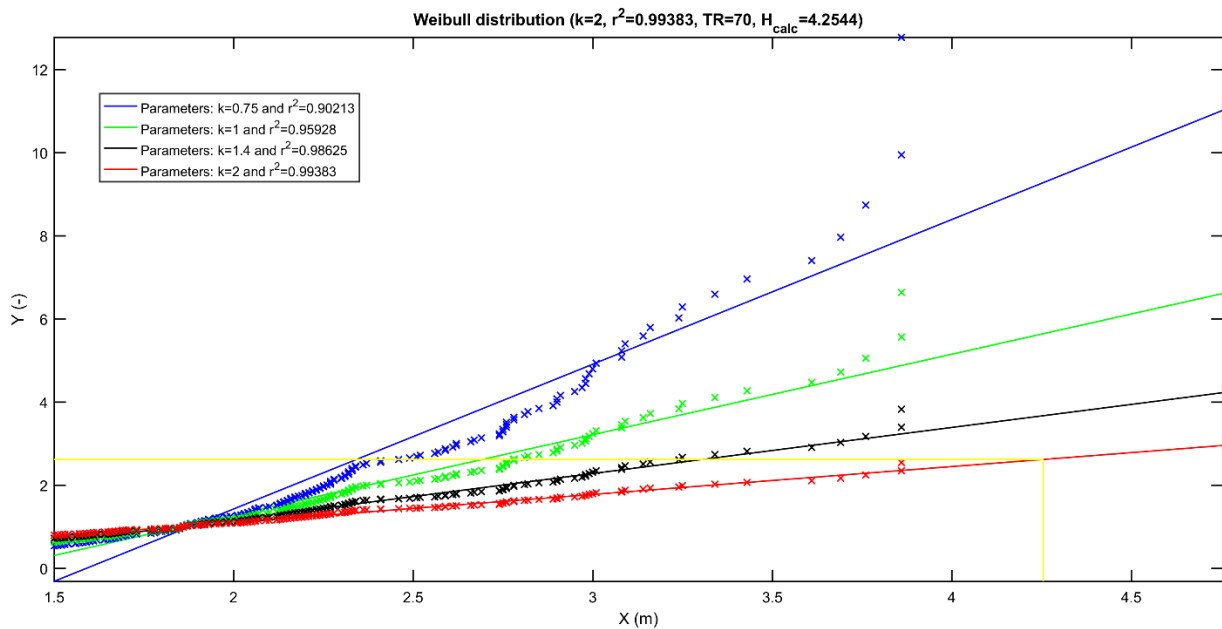


Figura 31 Analisi di Weibull per mareggiate provenienti dal settore 30°N

I valori di altezza d'onda significativa associati ai diversi tempi di ritorno per ogni settore direzionale considerato possono essere riassunti nella Tabella 20.

Tabella 20- 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

In tale tabella i valori di altezza d'onda corretta tengono conto della correzione dell'errore sistematico.

3.3 Confronto fra i dati ondosì RON-NOAA

3.3.1 Altezze significative

Il principale vantaggio dell'utilizzo di un modello meteomarinò per la determinazione delle principali grandezze ondose risiede nell'elevato numero di dati a disposizione. 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 non riesce a

rappresentare in modo adeguato i picchi principali delle mareggiate che vengono invece registrati dagli ondometri.

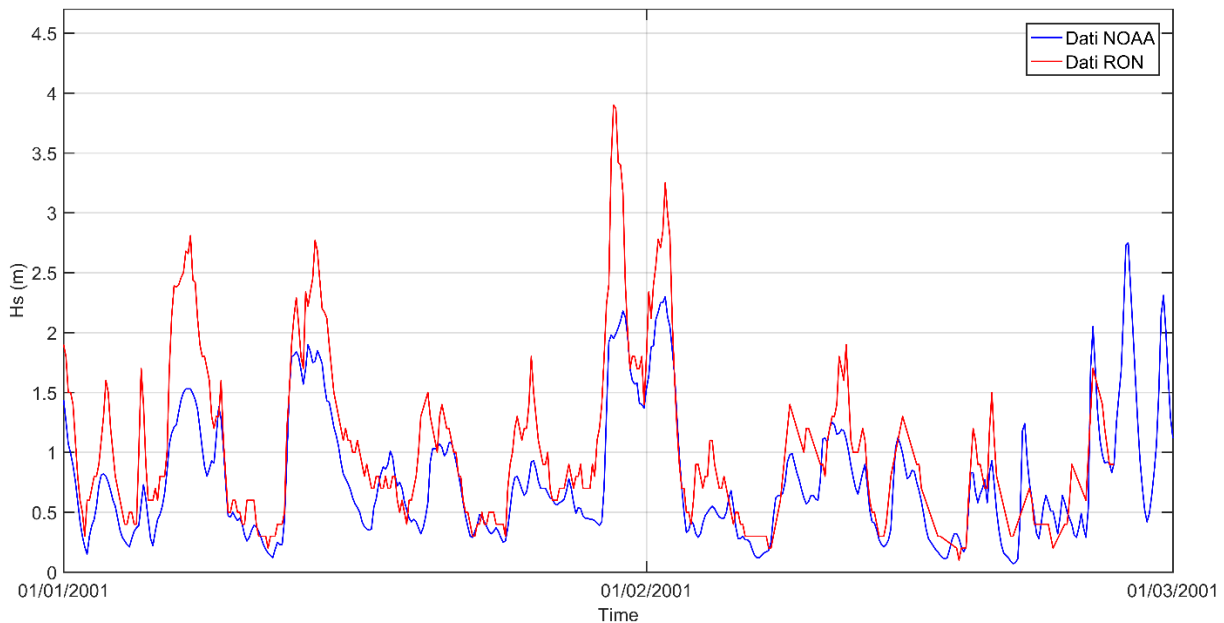


Figura 32 - Confronto tra le serie temporali NOAA e RON

Come evidenziato in Figura 3, il confronto tra le serie temporali mostra un andamento delle altezze significative ricavate con misurazioni dirette tendenzialmente superiori a quelle calcolate dal modello WW3. Nel presente studio saranno tenuti in considerazione entrambi i set di dati valutando di volta in volta lo scenario più cautelativo.

3.3.2 Periodi di picco

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.

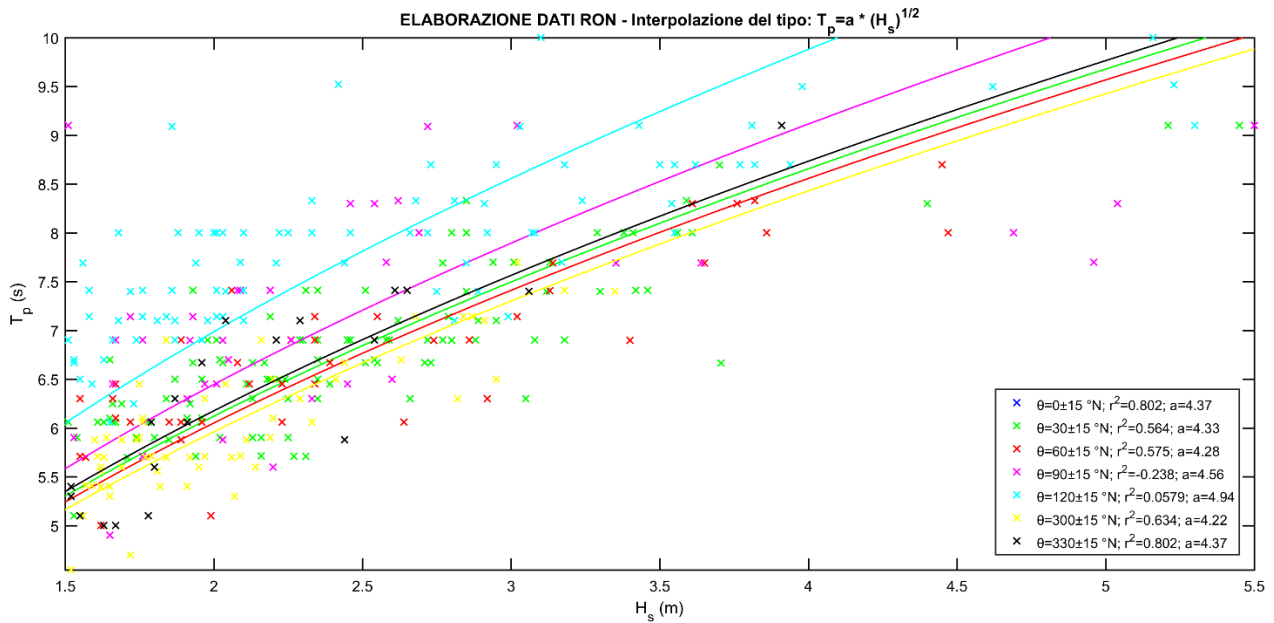


Figura 33 - Relazione tra H_s e T_p riferita ai dati RON

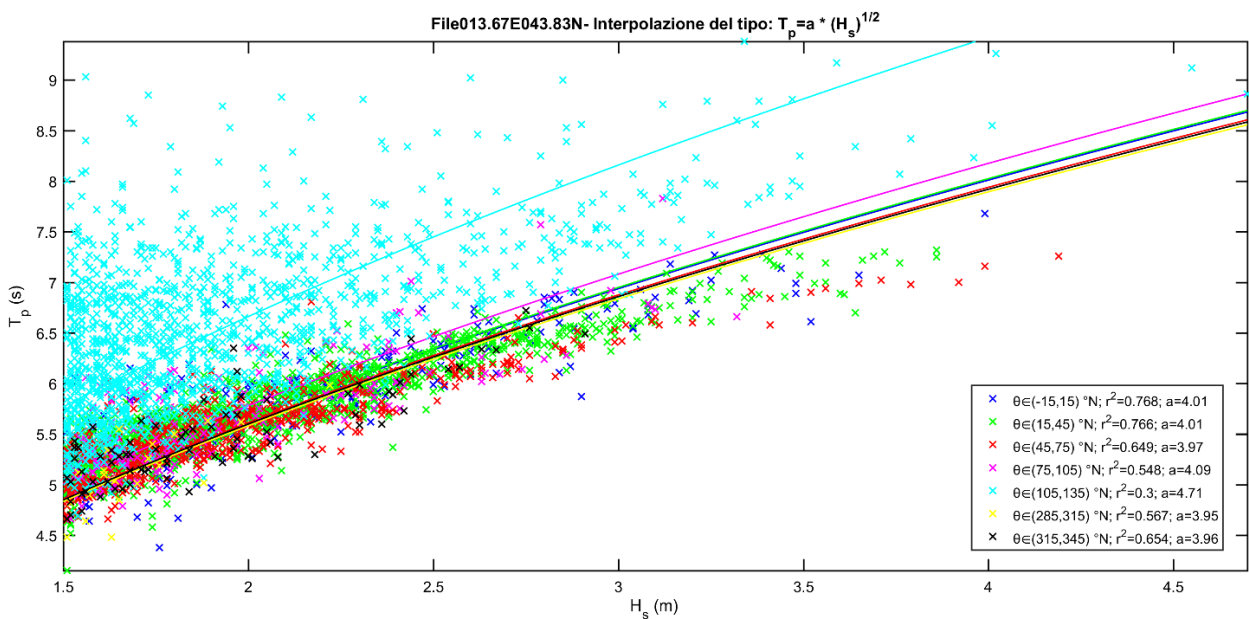


Figura 34 - Relazione tra H_s e T_p riferita ai dati NOAA

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 Sud-Est, ovvero quello associato al *fetch* maggiore in cui vengono registrati periodi ondosi più lunghi. La Tabella 21 riassume i valori dei coefficienti per associare ad ogni altezza significativa di ogni settore direzionale il corrispondente periodo di picco.

Tabella 21 - Coefficienti "a" della relazione tra H_s e T_p riferiti ai dati NOAA e RON

		Coefficiente a nei diversi settori direzionali					
Fonte dati	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
RON	4.37	4.33	4.28	4.56	4.94	4.22	4.37

4. MODELLO PER LO STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DELLE ONDE

La validità di una soluzione progettuale marittima che prevede una variazione della linea di costa e della configurazione di un bacino portuale dipende, tra l'altro, dal grado di protezione offerto nei confronti del moto ondoso.

Per analizzare la trasmissione di tale moto ondoso dalle acque a profondità elevata fino all'interno del bacino portuale e nella zona di realizzazione della nuova opera, occorre studiare un problema di propagazione del moto ondoso in acque basse o intermedie in presenza di tutti i fenomeni di modifica del moto ondoso, quali *shoaling*, rifrazione, frangimento, ecc.

La soluzione di questo problema complesso è generalmente affidata a due tipi di soluzioni approssimate: la modellazione di tipo fisico a scala ridotta e quella di tipo matematico-numerico. La possibilità di disporre di 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 l'utilizzo della modellazione matematica offre la possibilità sia di un minor costo dello studio, con operazioni di lavoro da eseguire "a tavolino", che di modificare più facilmente le condizioni di prova, semplificando il confronto tra soluzioni (progettuali) diverse. Tuttavia, tutti i modelli matematici presentano comunque una soluzione approssimata, più o meno raffinata, a causa della schematizzazione semplificativa utilizzata per risolvere le equazioni matematiche descrittive della fisica del problema.

Lo studio dell'agitazione ondosa in corrispondenza delle nuove opere da realizzare, analizzate nella presente Convenzione, è stato condotto mediante l'utilizzo del modello matematico di tipo commerciale *Delft3D*.

4.1 Codice di calcolo *Delft3D*

Il *software* commerciale utilizzato per la realizzazione dei modelli di trasferimento dell'onda dal largo verso la costa è il *Delft3D*.

Delft3D è un programma sviluppato da *Deltares* che permette la modellazione idrodinamica, morfologica, del trasporto solido e della qualità delle acque in ambienti fluviali e costieri.

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.

All'interno del pacchetto complessivo di questa *suite* modellistica si individuano diversi moduli, ognuno dei quali specifico per la trattazione di una serie di processi fisici.

Tra questi, il modulo *FLOW* è il cuore di *Delft3D* ed è un programma di simulazione multidimensionale ed idrodinamica che calcola flussi non stazionari e fenomeni di trasporto risultanti da forzanti mareali e meteorologiche. Il modulo *MOR* calcola il trasporto dei sedimenti (sospesi e al fondo) e le variazioni morfologiche. Sia correnti che onde possono essere utilizzate come forzanti esterne del fenomeno indagato e vi risultano incorporate un'ampia varietà di formule di trasporto.

Per simulare l'evoluzione delle onde generate dal vento in ambiente costiero viene utilizzato il modulo *WAVE*. Esso valuta la propagazione ondosa, la generazione d'onda da vento, l'interazione non lineare onda-onda e la dissipazione dell'energia per una data batimetria, campo di vento e corrente in acque alte, intermedie o basse. Al momento due modelli (entrambi mediati in fase) sono disponibili. Un modello di generazione 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 *Simulating WAVes Nearshore (SWAN)* viene utilizzato per simulare l'evoluzione di onde irregolari a cresta corta generate dal vento. *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.

Altri aspetti importanti per le applicazioni pratiche del modulo *Delft3D-WAVE* sono:

SWAN può effettuare calcoli su griglie curvilinee (se il modulo *FLOW* usa anch'esso questo tipo di griglia l'accoppiamento è perfetto);

le forze delle onde possono inoltre essere calcolate sul gradiente del tensore degli sforzi tangenziali (piuttosto che sul rapporto di dissipazione come nel modello *HISWA*);

gli *output* possono essere generati in termini di spettri ondosi mono- o bi-dimensionali.

4.2 Griglie e configurazione batimetrica dei fondali

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* tre griglie, con maglie di risoluzioni diverse, innestate una nell'altra:

- la griglia esterna ha maglie di larghezza pari a circa 600 m e copre un'area che si estende per una zona che va da Rimini fino a Civitanova Marche (Figura 35);

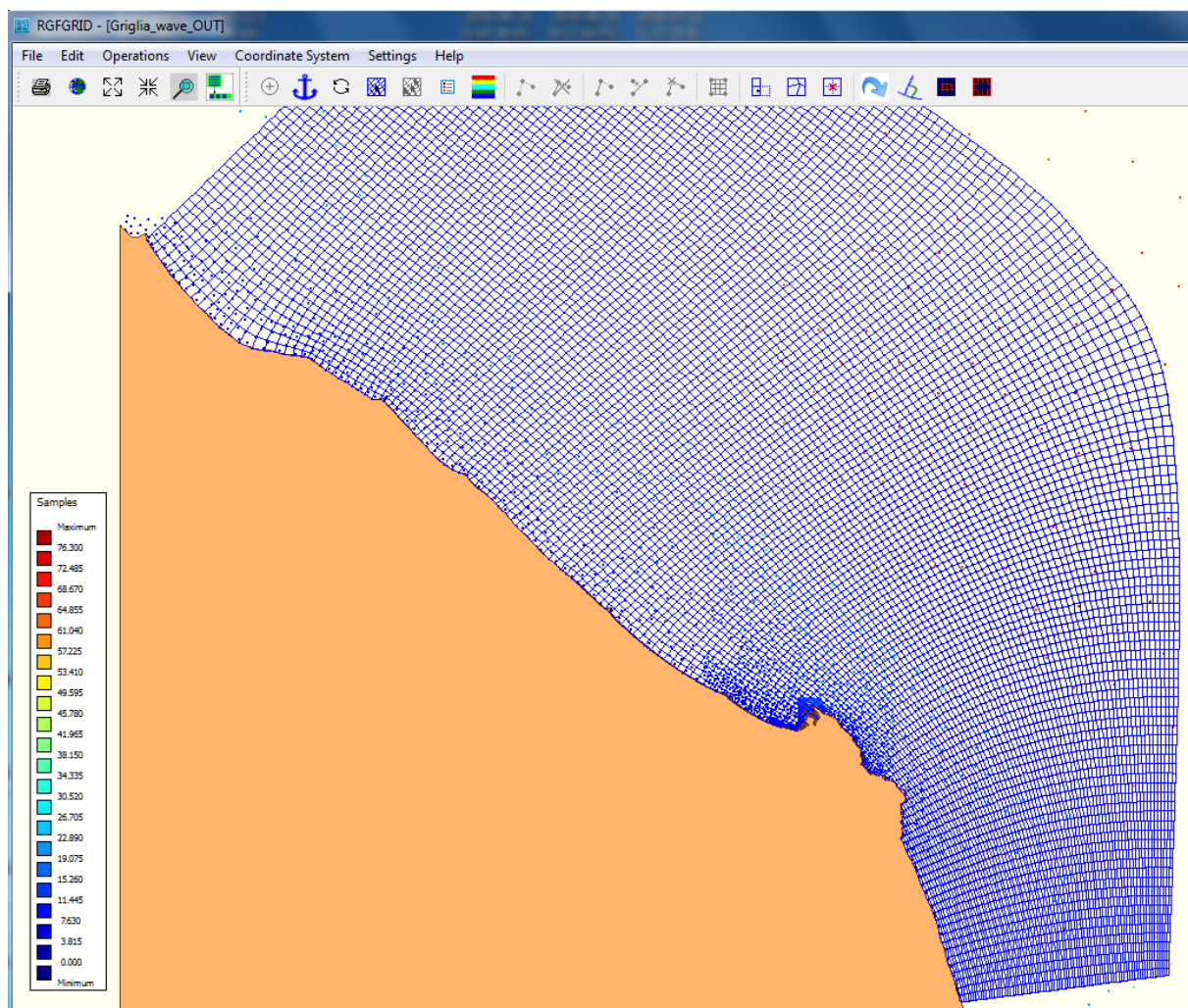


Figura 35 Griglia esterna utilizzata per il modulo WAVE

- la griglia intermedia, innestata all'interno della precedente, si estende all'incirca dalla foce dell'Esino al Porto di Ancona ed è caratterizzata da una maglia strutturata di larghezza pari a circa 40 m (Figura 36);

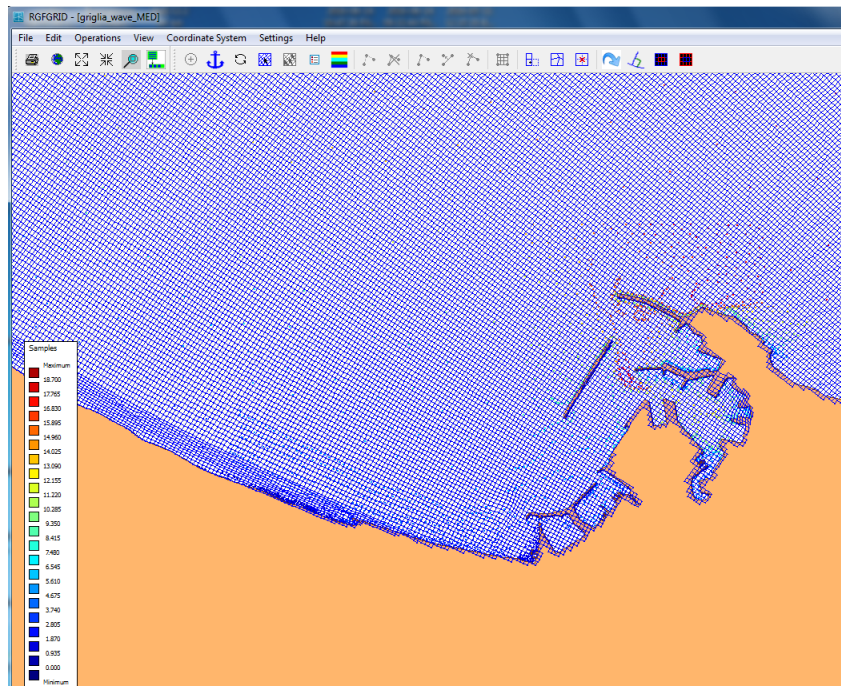


Figura 36 - Dettaglio della griglia intermedia utilizzata nel modulo WAVE

- la griglia interna, di dettaglio, si estende all'incirca da Torrette al porto turistico "Marina Dorica" ed è caratterizzata da una maglia strutturata di larghezza pari a circa 10 m (Figura 37).

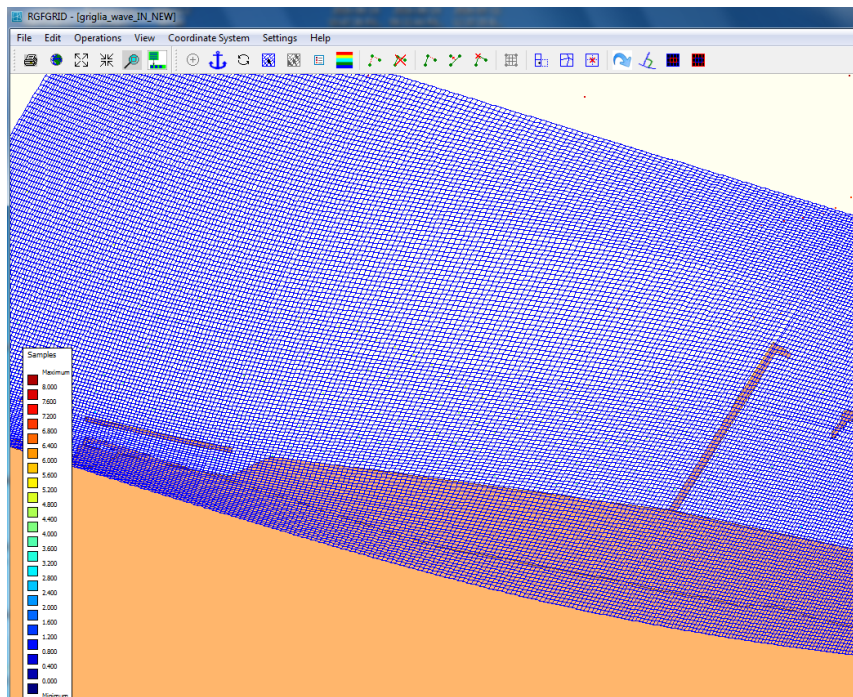


Figura 37 - Dettaglio della griglia interna utilizzata nel modulo WAVE

I dati batimetrici vengono integrati nel modello tramite il pacchetto *QUICKIN*.

Il *software* determina la profondità del fondale in ogni punto della griglia precedentemente realizzata. L'interpolazione avviene a partire da punti a profondità nota situati all'interno del dominio. Al fine di ottenere una batimetria più accurata e affidabile possibile è stata effettuata un'integrazione delle profondità dei fondali riportate in carte nautiche a diversa scala e rilievi effettuati con tecnologia *Multi-Beam*.

In particolare, le carte nautiche utilizzate sono state:

- "Porto di Ancona" (carta n°208 dell'Istituto Idrografico della Marina), aggiornata al 2014, scala 1:5.000;
- "Litorale di Ancona" (carta n°209 dell'Istituto Idrografico della Marina), aggiornata al 2012, scala 1:30.000 - Figura 38;
- "Da Ancona a Pesaro" (carta n°36 dell'Istituto Idrografico della Marina), aggiornata al 2012, scala 1:100.000;
- "Da Porto San Giorgio a Porto Corsini e Zara" (carta n°36 dell'Istituto Idrografico della Marina), aggiornata al 2009, scala 1:100.000.

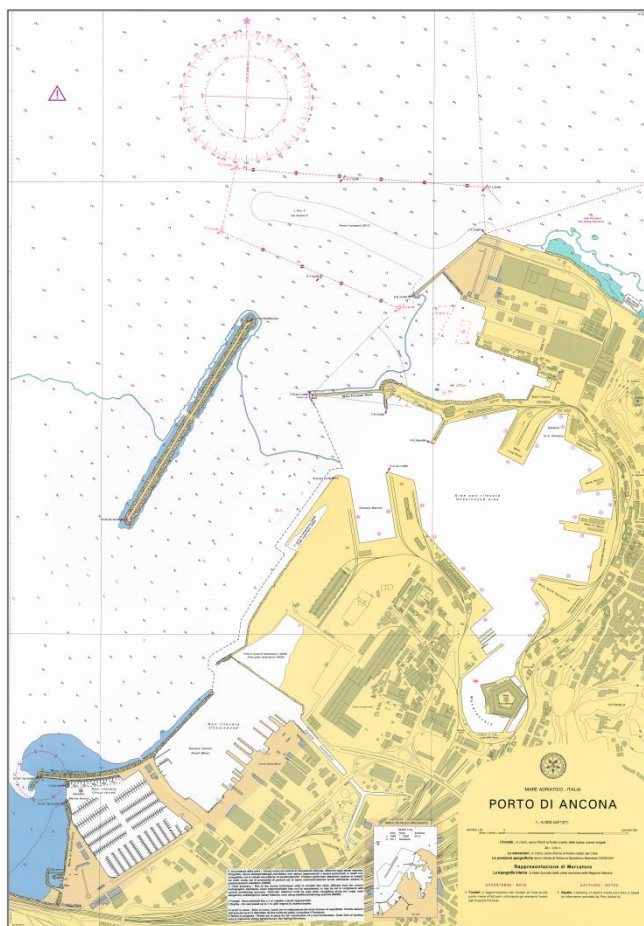


Figura 38 - Carta nautica n°209 dell'IIM della zona portuale di Ancona

In aggiunta ai sopracitati, sono stati aggiunti nel modello dati provenienti da rilievi effettuati nella zona di interesse negli ultimi anni, in particolare:

- rilievo dell'Istituto Idrografico della Marina del 2015 con sistema *Multi-Beam*;
- rilievo della società *Consulcad* di Perugia del 2016 con sistema *Single-Beam Echo Sounder*;
- rilievo eseguito dall'Ufficio Coste della Regione Marche del 2017 con barche con ecoscandaglio ad alta risoluzione (Figura 39).

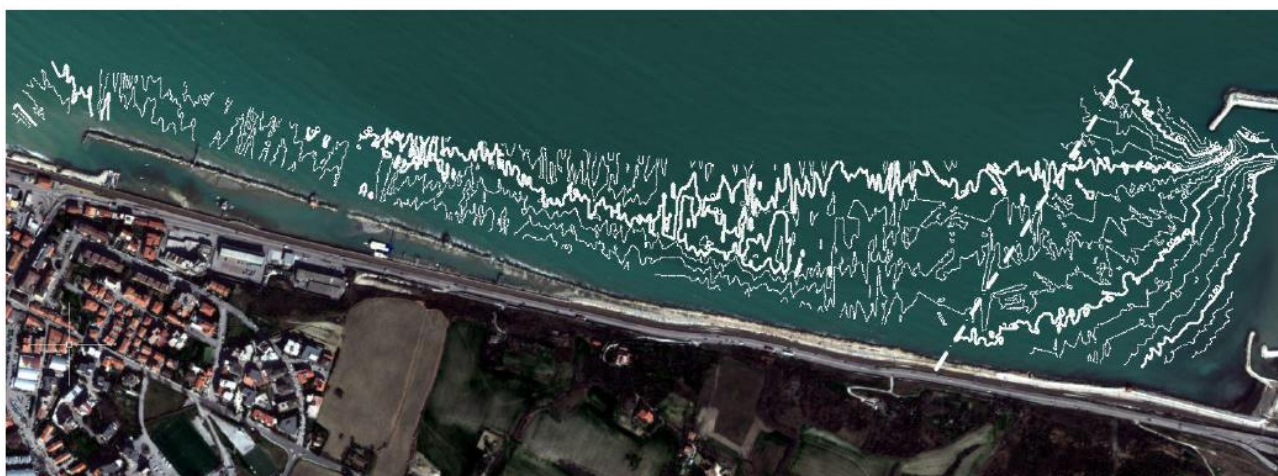


Figura 39 - Batimetria rilevata dell'Ufficio Coste del 2017

L'acquisizione di tale ingente mole di dati ha permesso di ottenere una numerosa nuvola di punti in grado di caratterizzare l'area di interesse con idoneo livello di dettaglio. Tali punti sono stati georeferenziati ed importati in ambiente *GIS*.

Come evidente in Figura 40 la sovrapposizione dei diversi rilievi batimetrici effettuati a risoluzioni differenti porta ad una nuvola di punti che mostra una densità molto più elevata nella zona del porto e nella fascia costiera in generale. Il dettaglio dei rilievi nella zona portuale è rappresentato in Figura 41.

Il metodo di triangolazione utilizzato dal software *QUICKIN* è quello che meglio si adatta per set di dati che hanno una 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.

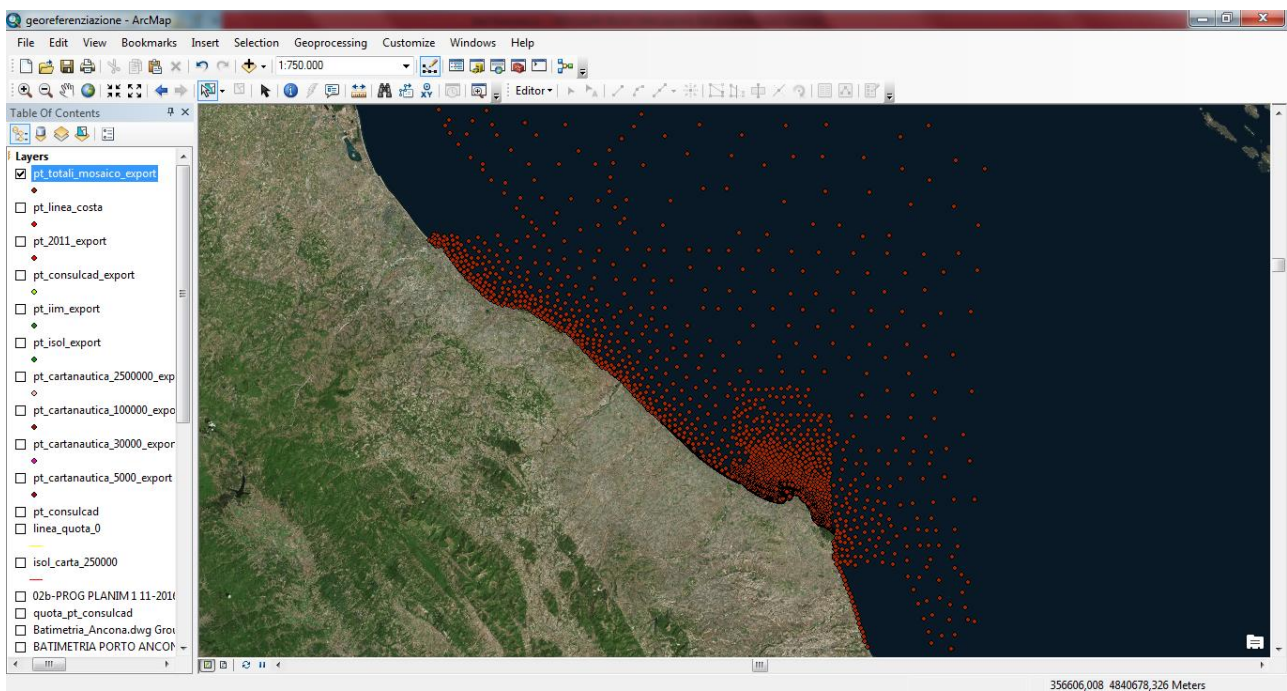


Figura 40 - Sovrapposizione dei diversi rilievi batimetrici

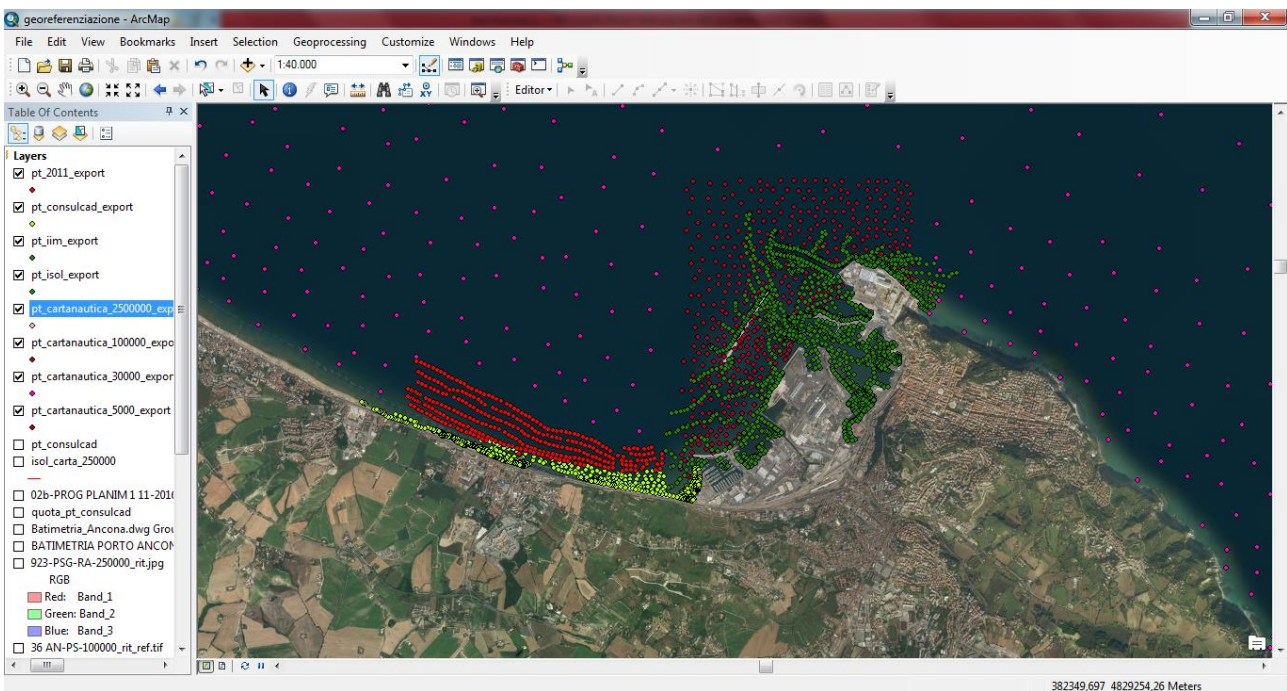


Figura 41 - Rappresentazione dei diversi rilievi batimetrici nella zona portuale

I risultati dell'interpolazione per triangolazione sui punti della griglia esterna da utilizzare per il trasferimento dell'onda sono mostrati in Figura 42. La stessa procedura è stata effettuata per la griglia intermedia e per quella interna, per la quale sono state realizzate due batimetrie differenti per le configurazioni C0 e C1 (Figura 43 e Figura 44).

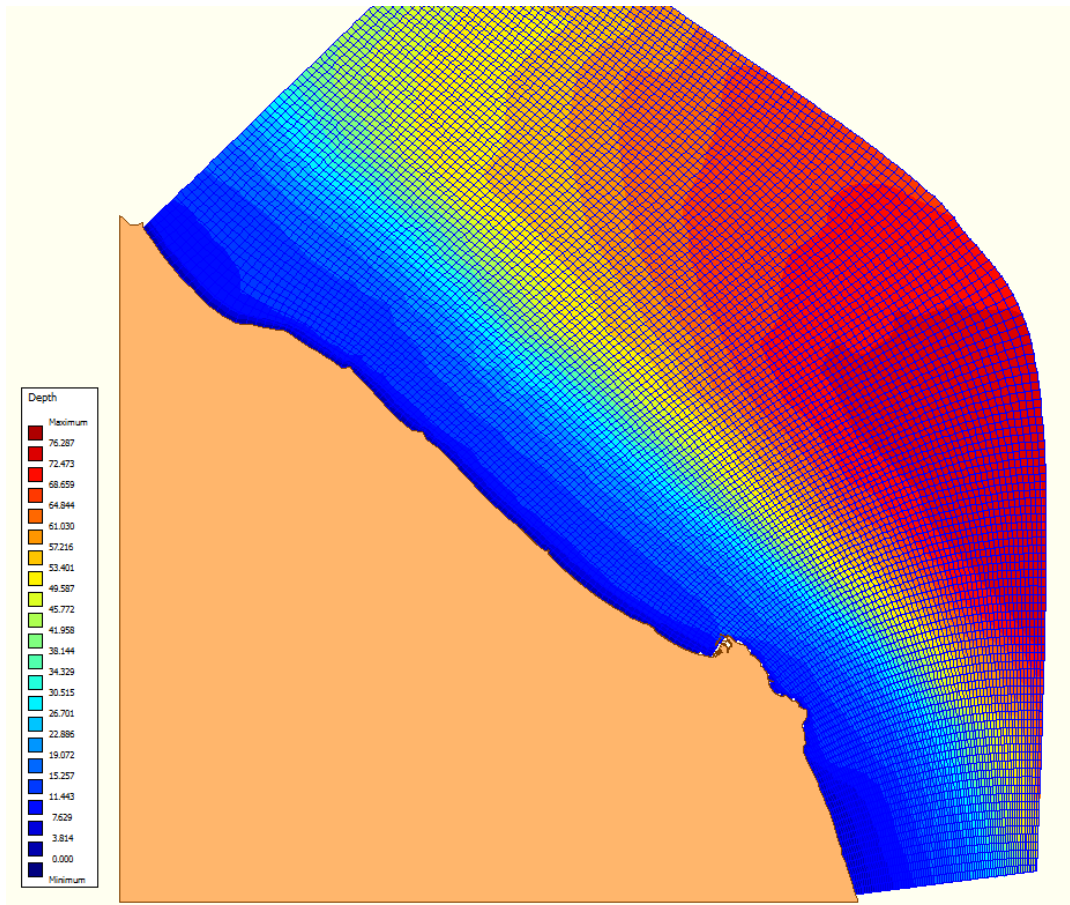


Figura 42 - Batimetria interpolata sui punti della griglia esterna

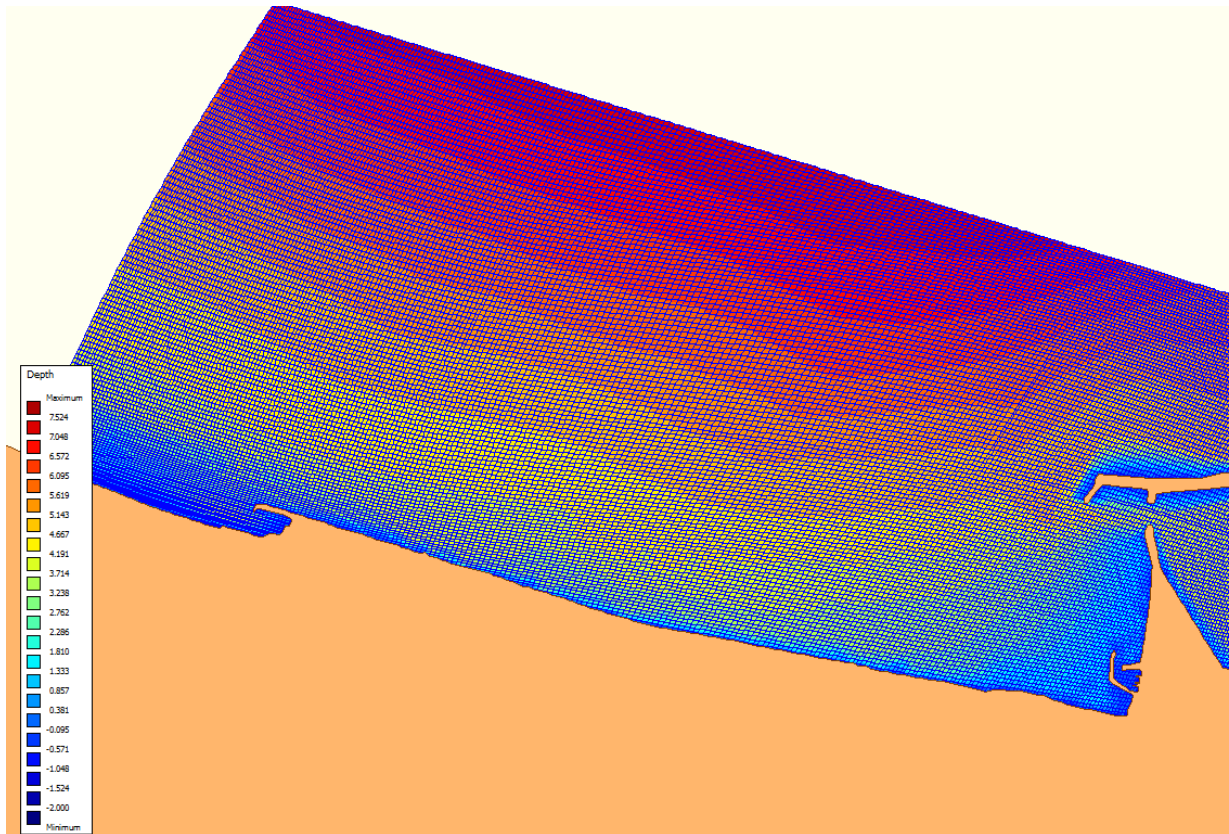


Figura 43 - Dettaglio della batimetria ricostruita per la griglia interna nella configurazione C0

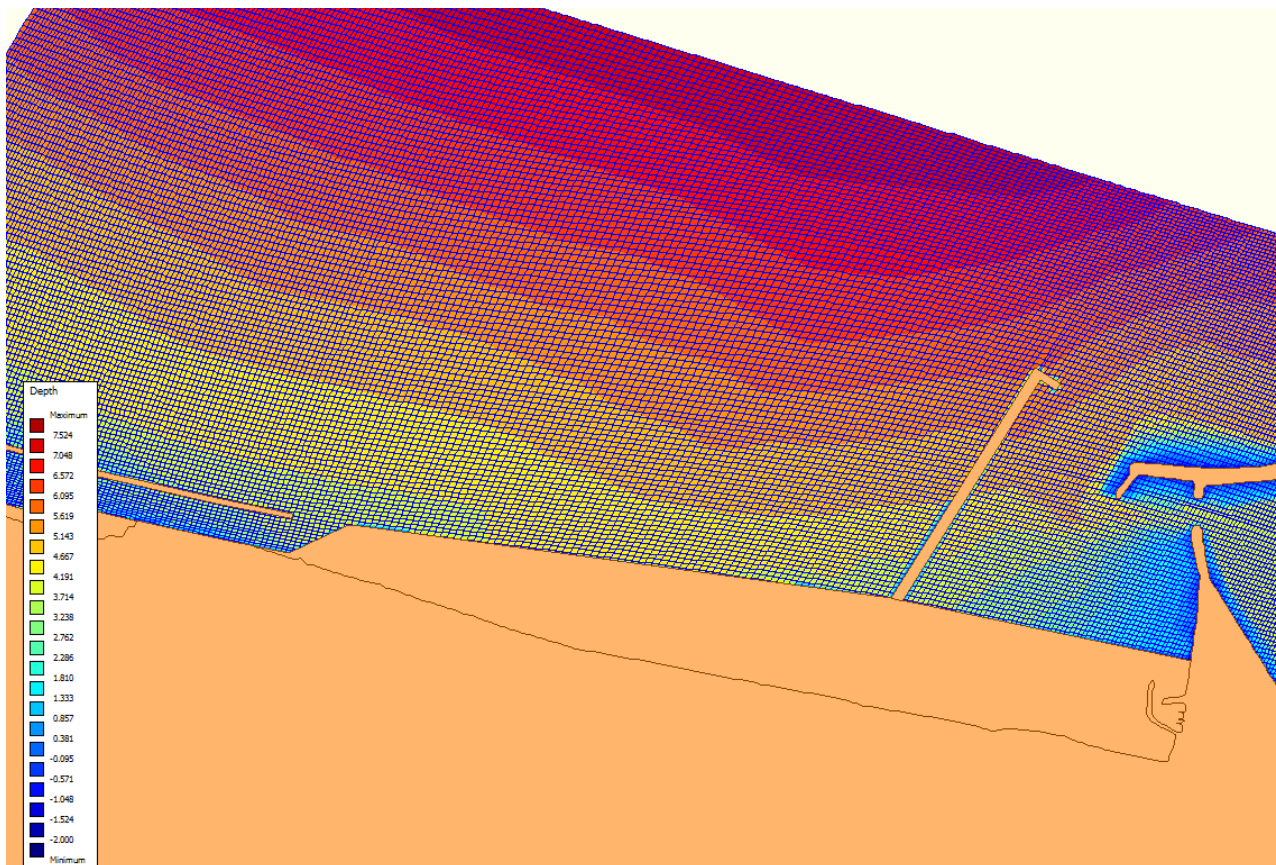


Figura 44 - Dettaglio della batimetria ricostruita per la griglia interna nella configurazione C1

4.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno vengono inserite nel modello nella sezione *Boundaries* della GUI del software *Delft3D-WAVE*. In questa scheda vengono descritte le condizioni dell'onda nei contorni della griglia computazionale più esterna. La griglia interna risulterà innestata nell'altra ricavando autonomamente le proprie condizioni al contorno per la propagazione nella zona a risoluzione maggiore. I contorni in cui vengono definite le condizioni sono individuati a seconda della loro orientazione. Dopo aver scelto l'orientazione tra quelle disponibili (Figura 45), il programma individua il bordo del dominio su cui applicare la condizione ondosa confrontando la normale al bordo con la direzione individuata dall'orientazione.

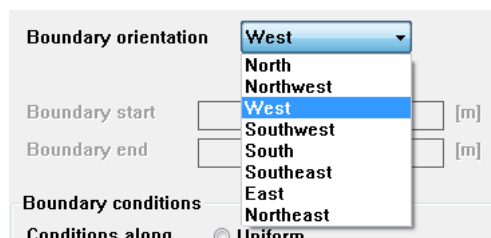


Figura 45 - Tipologie di orientazioni per la scelta dei contorni del dominio in cui applicare le condizioni

Vanno inoltre stabilite le caratteristiche degli spettri da generare; nel presente studio sono stati sempre utilizzati spettri del tipo JONSWAP con fattore di picco pari a 3,3.

Come mostrato in Figura 46, vengono infine stabiliti i parametri fondamentali delle condizioni da simulare come:

- altezza significativa - H_s [m]
- periodo di picco - T_p [s]
- direzione – θ [°N secondo la convenzione nautica, senso orario]
- *directional spreading* – m [-] utilizzato per il calcolo dell'energia ondosa direzionale come $D(\theta) = A \cos^m(\theta)$

Uniform boundary conditions

Significant wave height:	<input type="text" value="4.214"/>	[m]
Peak period T_p	<input type="text" value="8.21"/>	[s]
Direction (nautical):	<input type="text" value="0"/>	[deg]
Directional spreading:	<input type="text" value="4"/>	[]

Figura 46- Esempio di parametri utilizzati

4.4 Valutazione dell'onda di progetto

Per la valutazione dell'altezza d'onda da utilizzare per la progettazione di un'opera marittima, si stabilisce il Tempo di ritorno da associare all'opera in questione, che risulta stimabile in funzione della durata di vita presunta dell'opera, T_v , e del livello di rischio o probabilità di superamento dell'onda di progetto, P_f . I valori di questi parametri si stabiliscono in funzione dei livelli di sicurezza da assegnare all'opera, dei danni che le onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ristabilire la normale funzionalità dell'opera stessa con operazioni di manutenzione. Per opere importanti il livello di rischio ottimale potrà essere stimato attraverso una valutazione costi-benefici.

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili, commerciali o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc. Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori, scarichi a mare, strade litoranee, ecc.). Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.). Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione da inondazione, opere di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difesa di centri urbani o industriali, ecc.). Nella Tabella 22 sono riportate le durate di vita delle opere a seconda del tipo di uso e del livello di sicurezza richiesto.

Tabella 22 – Durata di vita presunta di un'opera T_v

Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo T_v			
<i>Tipo di opera</i>	<i>Livello di sicurezza richiesto</i>		
	1	2	3
	<i>Vita di progetto [anni]</i>		
<i>Infrastrutture di uso generale</i>	25	50	100
<i>Infrastrutture ad uso specifico</i>	15	25	50

Si assumono le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente o alla distribuzione totale in relazione alle deformazioni-modifiche subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito. Per strutture rigide (dighe a parete verticale), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, si assume la probabilità di distruzione totale. Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili, si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di

danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra della quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione. Per queste opere si deve comunque verificare anche lo scenario di rovina totale, cioè del superamento di un livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale l'opera cessa di svolgere un'apprezzabile funzione protettiva. Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è logico prevedere alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato. Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20. Nella Tabella 23 è riportata la probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera al variare del livello di danno, del rischio per la vita umana e del livello di ripercussione economica.

Tabella 23 – Probabilità di danneggiamento ammissibile P_f

Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera P_f		
<i>Danneggiamento incipiente</i>	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	<i>Limitato</i>	<i>Elevato</i>
<i>Bassa</i>	0.50	0.30
<i>Media</i>	0.30	0.20
<i>Alta</i>	0.25	0.15
<i>Distruzione totale</i>	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	<i>Limitato</i>	<i>Elevato</i>
<i>Bassa</i>	0.20	0.15
<i>Media</i>	0.15	0.10
<i>Alta</i>	0.10	0.05

La combinazione del tempo di vita dell'opera T_v e della probabilità di danneggiamento P_f determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_R mediante l'espressione che prende il nome di Formula di *Borgman*, 1963:

$$T_R = \frac{T_v}{[-\ln(1 - P_f)]}$$

Sulla base di queste indicazioni sono stati adottati i seguenti tempi di ritorno di progetto:

$T_R = 30$ anni: tempo di ritorno associato al dimensionamento della scogliera di protezione del lungomare;

$T_R = 70$ anni: tempo di ritorno associato al dimensionamento del molo aggettante.

Gli eventi estremi sono stati elaborati con le leggi statistiche di Gumbel e Weibull a 3 parametri, scegliendo, per ogni direzione, la legge di adattamento ottimale al campione statistico (si veda il Capitolo 3). Dall'elaborazione statistica è stato possibile estrarre gli eventi associati ai tempi di ritorno fissati (Tabella 24).

Come precedentemente evidenziato i dati del NOAA risultano inferiori a quelli misurati dalla boa ondometrica R.O.N., per cui nelle simulazioni numeriche si è scelto, a favore di sicurezza, di utilizzare i dati delle altezze d'onda di progetto derivanti dall'elaborazione dei dati R.O.N.

Tabella 24 - Riassunto dei valori estremi derivanti dall'analisi dei dati RON

Direzione	T_R	RON	
		H_s	T_p
[°]	[anni]	[m]	[s]
0°N	30	4.230	8.99
	70	4.675	9.45
30°N	30	5.783	10.41
	70	6.180	10.76
60°N	30	5.358	9.91
	70	5.809	10.32
90°N	30	6.296	11.44
	70	7.171	12.21
120°N	30	6.333	12.43
	70	6.809	12.89
330°N	30	4.150	8.90
	70	4.807	9.58

5. RISULTATI SULLA PROPAGAZIONE DELLE ONDE A RIVA

Nel presente capitolo sono riportati i risultati delle simulazioni numeriche di ricostruzione delle caratteristiche del fenomeno di propagazione delle onde dalle condizioni di acque profonde al largo a quelle di profondità finita verso la riva.

Le condizioni ondose di ingresso, al largo, a cui si è fatto riferimento per le prove testate con il solutore numerico sono quelle riassunte nella precedente Tabella 24. Si tratta delle condizioni ondose ottenute per le diverse direzioni di provenienza delle onde di traversia per il lungomare in analisi (0°N, 30°N, 60°N, 90°N, 120°N, 330°N) e per i tempi di ritorno di progetto individuati in precedenza ($T_R=30$ anni e $T_R=70$ anni). Queste stesse condizioni ondose sono state analizzate per le due diverse configurazioni: attuale, C0, e di progetto, C1.

Nella presente relazione, per ogni simulazione, si riporta graficamente il risultato ottenuto in termini di altezza d'onda significativa (l'intensità risultata localmente viene rappresentata graficamente come *contour* sfumato sulla scala di colori di tipo *jet*) e di direzione ondosa di picco (rappresentata graficamente con vettori d'onda orientati, di lunghezza proporzionale al valore di altezza d'onda locale). In particolare, per ogni prova di simulazione, vengono riportate tali caratteristiche ondose sulle due planimetrie relative rispettivamente all'inquadramento generale del paraggio di mare circostante il Porto di Ancona ed al paraggio di dettaglio in corrispondenza della zona in cui verranno realizzate le nuove opere (lungomare Torrette-Marina Dorica). Le indicazioni grafiche delle suddette mappe, una sorta di piani d'onda, sono riportate rispettivamente nel Paragrafo 5.1, per la configurazione C0, e nel Paragrafo 5.2, per la configurazione C1.

Inoltre, in aggiunta alle suddette indicazioni, per la sola configurazione di progetto C1, su ulteriori planimetrie di maggior dettaglio, focalizzate in corrispondenza del profilo del lungomare e del molo aggettante, sono stati riportati anche i valori di altezza d'onda massima risultanti incidenti poco al largo delle nuove opere, stimati, in pratica, ad una distanza da queste opere di circa 50 m. Tale indicazione viene riportata nel successivo Paragrafo 5.3.

Nelle suddette rappresentazioni grafiche delle simulazioni numeriche, si noti che la scala dei colori che descrive l'intensità ondosa non è omogenea, ma adattata, di caso in caso, all'intervallo delle altezze d'onda da rappresentare.

Infine, in particolare nel Paragrafo 5.4, sono state descritte alcune considerazioni conclusive generali e riassuntive deducibili, per il caso in esame, dalle indicazioni e dalle caratteristiche ondose fornite dai risultati delle simulazioni numeriche del fenomeno della propagazione ondosa dal largo verso la riva.

5.1 Configurazione attuale "C0"

5.1.1 Direzione di provenienza delle onde: 0°N - $T_R=30$ anni

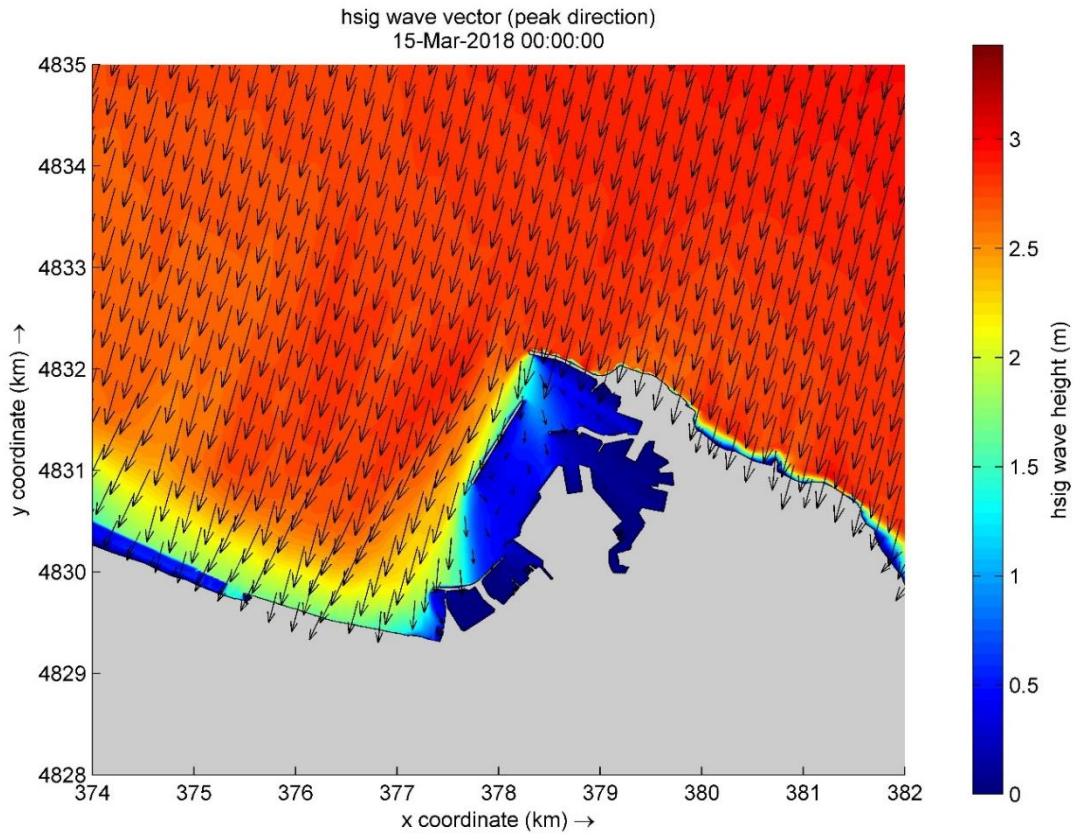


Figura 47 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.230$ m $T_{p,0}=8.99$ s) – Configurazione C0

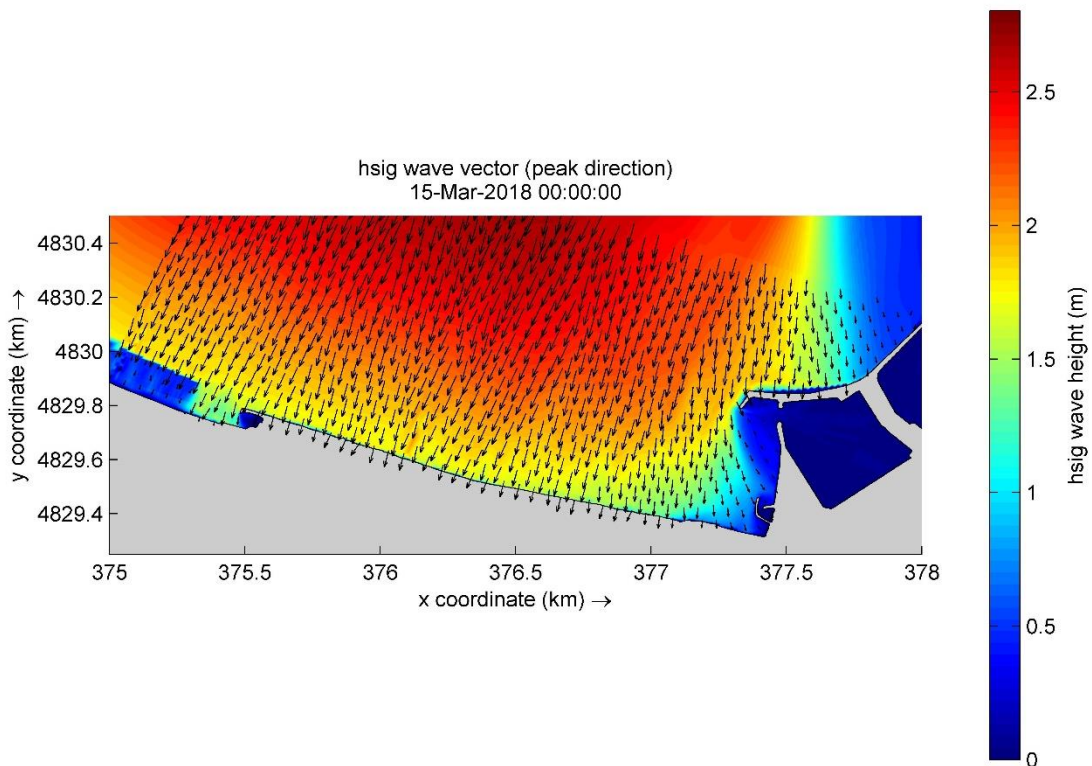


Figura 48 – Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.230$ m $T_{p,0}=8.99$ s) – Configurazione C0

5.1.2 Direzione di provenienza delle onde: 0°N - $T_R=70$ anni

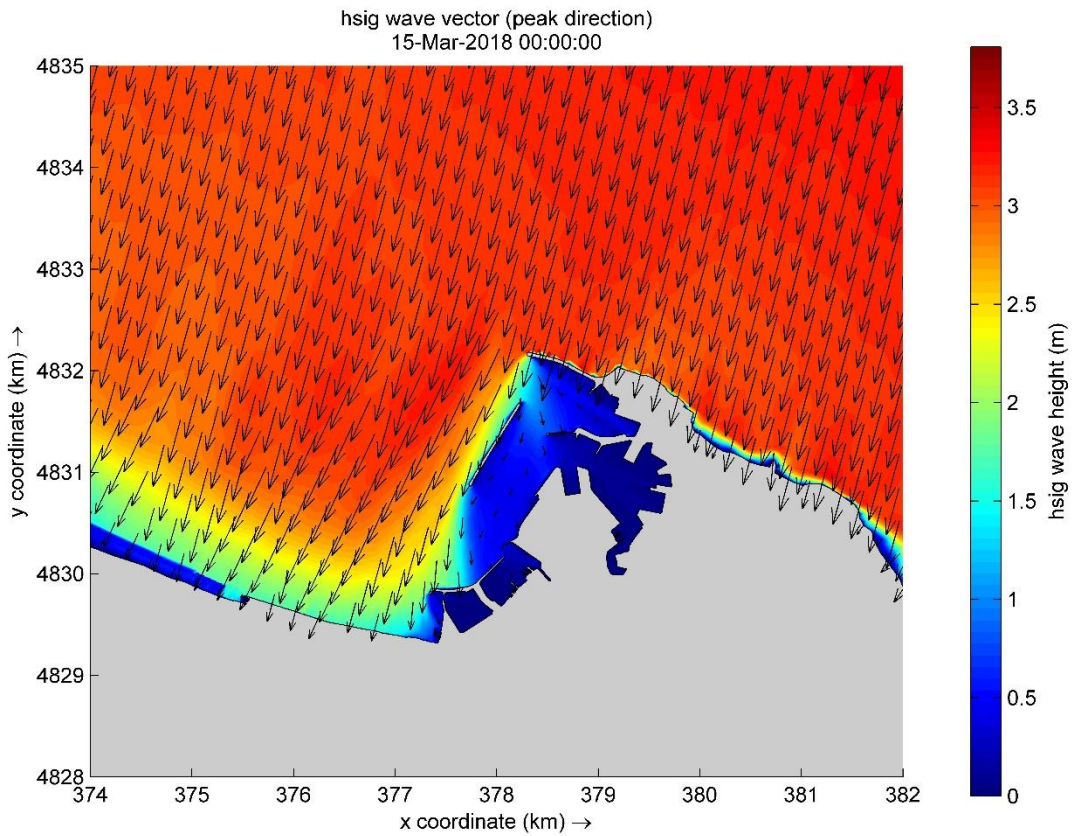


Figura 49 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.675$ m $T_{p,0}=9.45$ s) – Configurazione C0

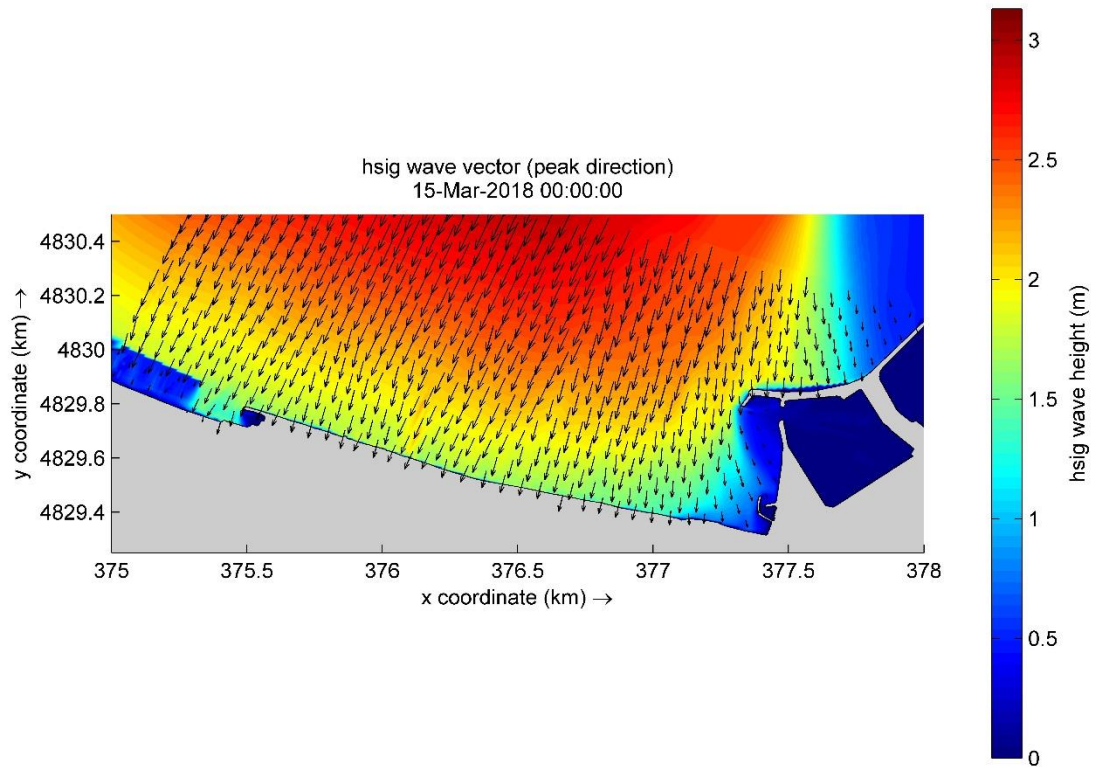


Figura 50 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.675$ m $T_{p,0}=9.45$ s) – Configurazione C0

5.1.3 Direzione di provenienza delle onde: 30°N- $T_R=30$ anni

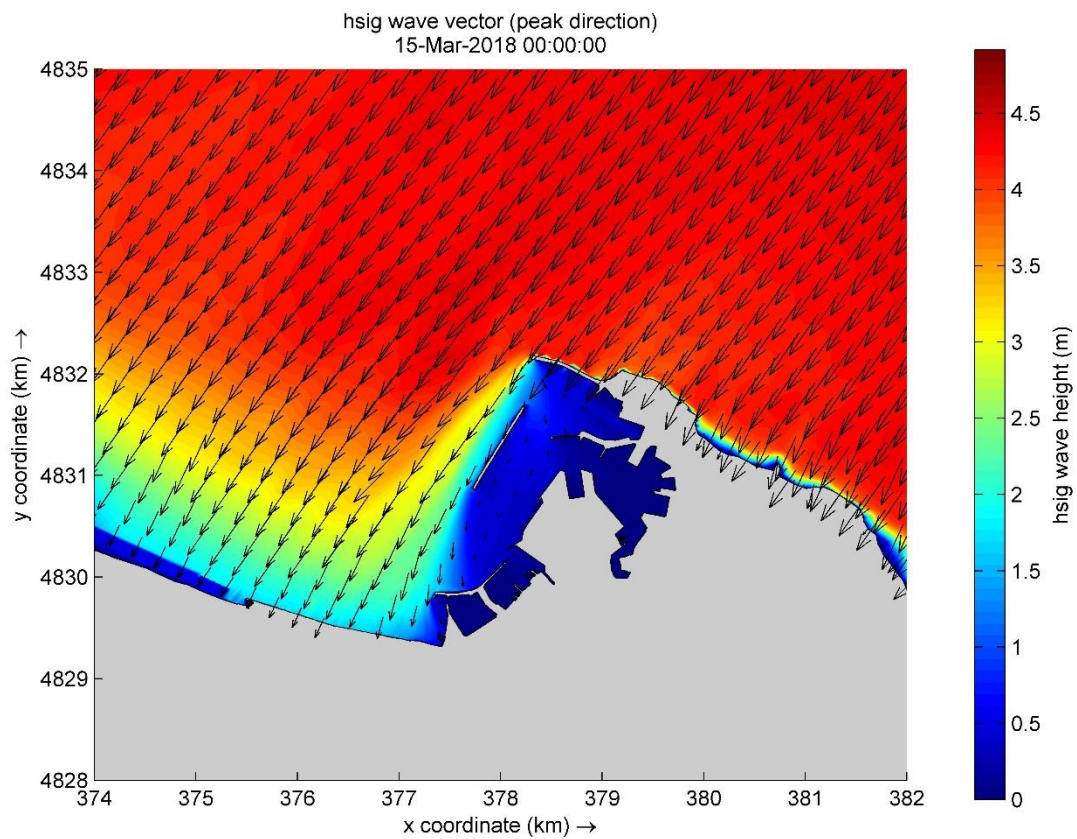


Figura 51 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=5.783$ m $T_{p,0}=10.41$ s) – Configurazione C0

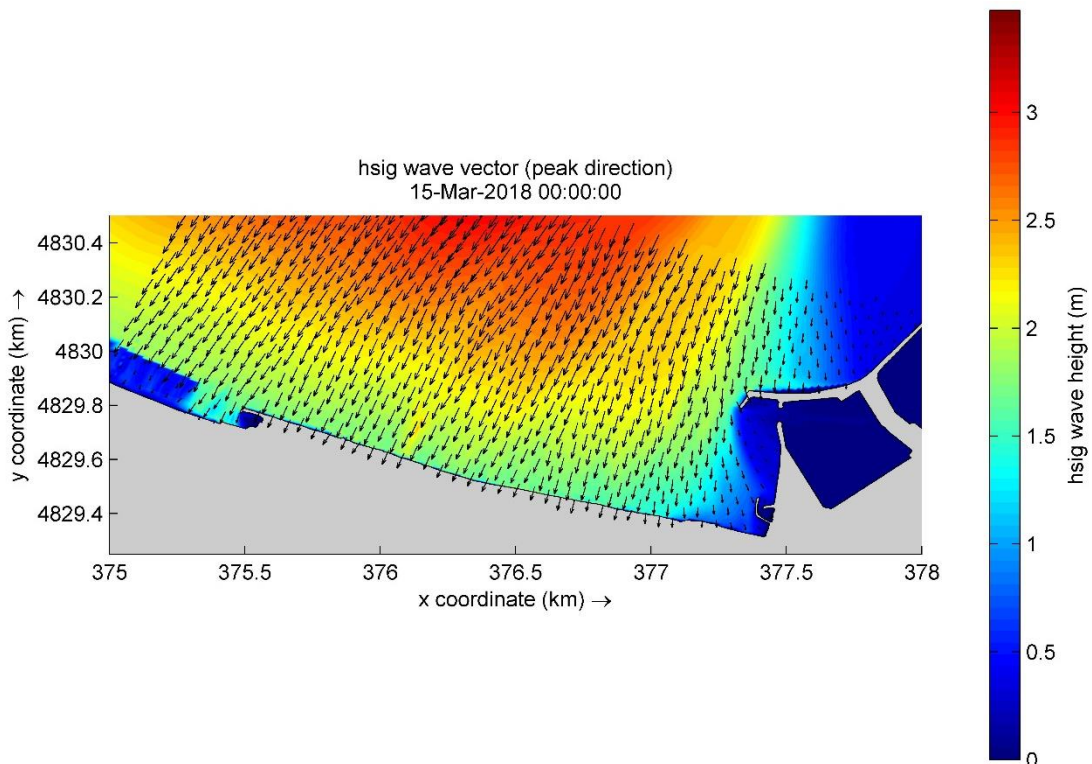


Figura 52 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=5.783$ m $T_{p,0}=10.41$ s) – Config. C0

5.1.4 Direzione di provenienza delle onde: 30°N - $T_R=70$ anni

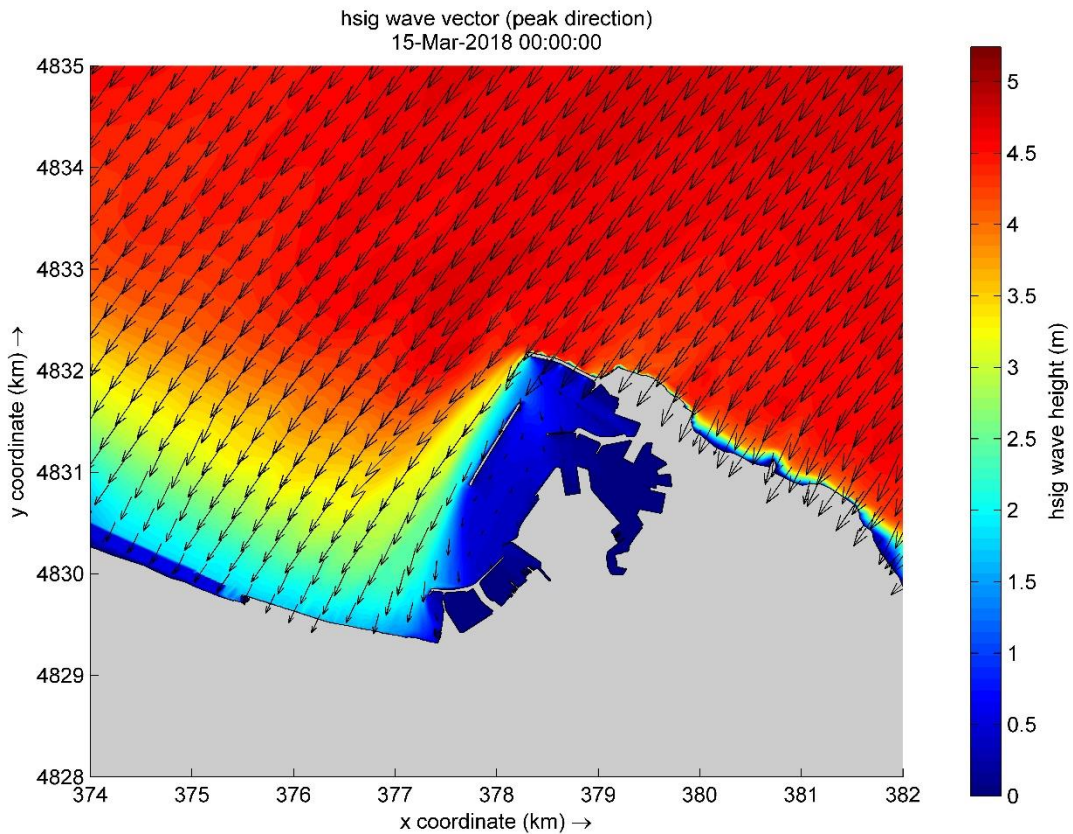


Figura 53 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=6.180$ m $T_{p,0}=10.76$ s) – Configurazione C0

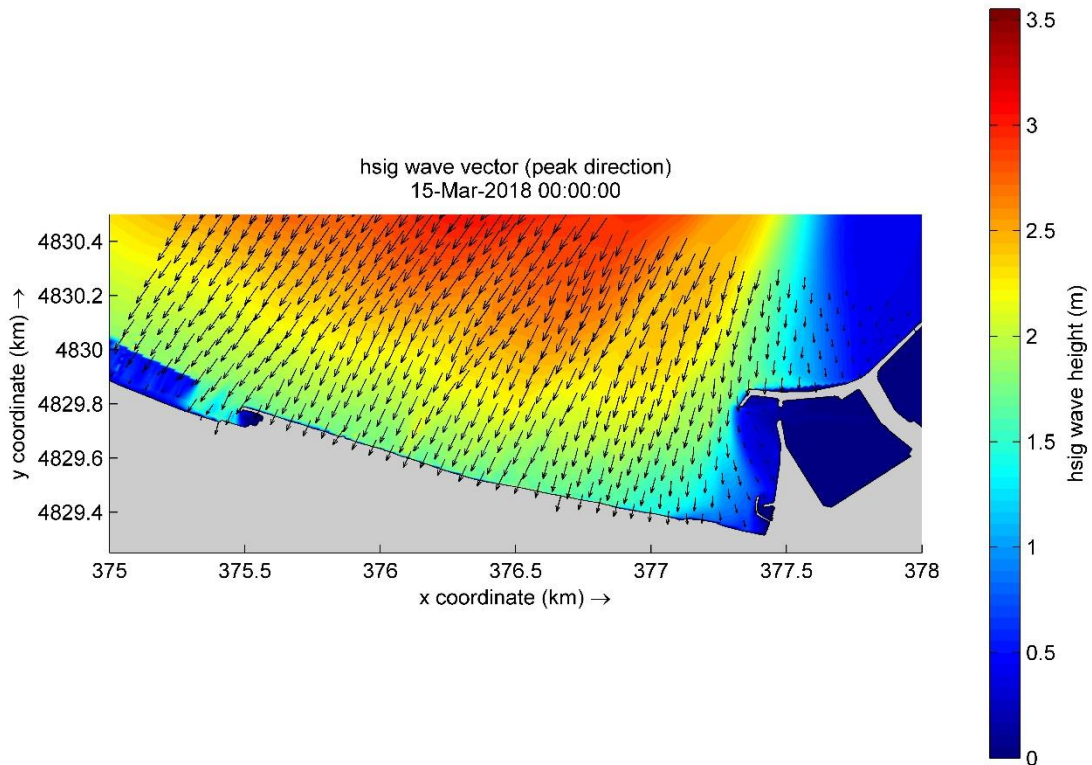


Figura 54 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=6.180$ m $T_{p,0}=10.76$ s) – Config. C0

5.1.5 Direzione di provenienza delle onde: 60°N- $T_R=30$ anni

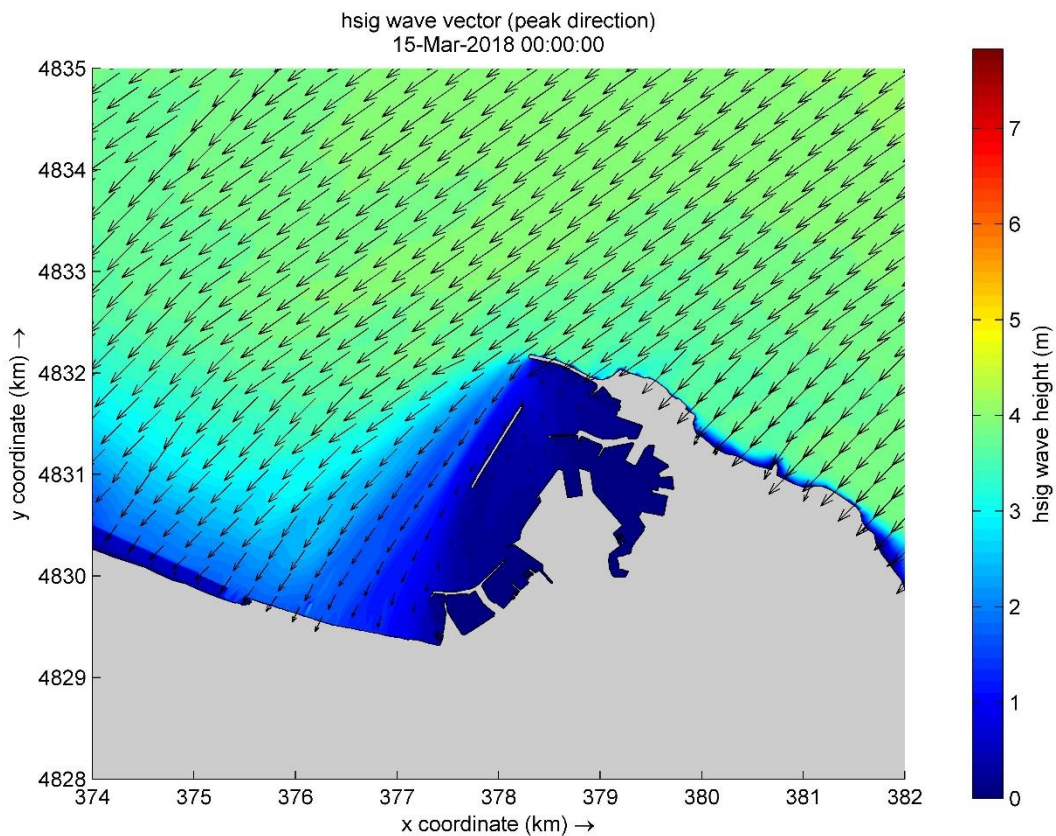


Figura 55 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.358$ m $T_{p,0}=9.91$ s) – Configurazione C0

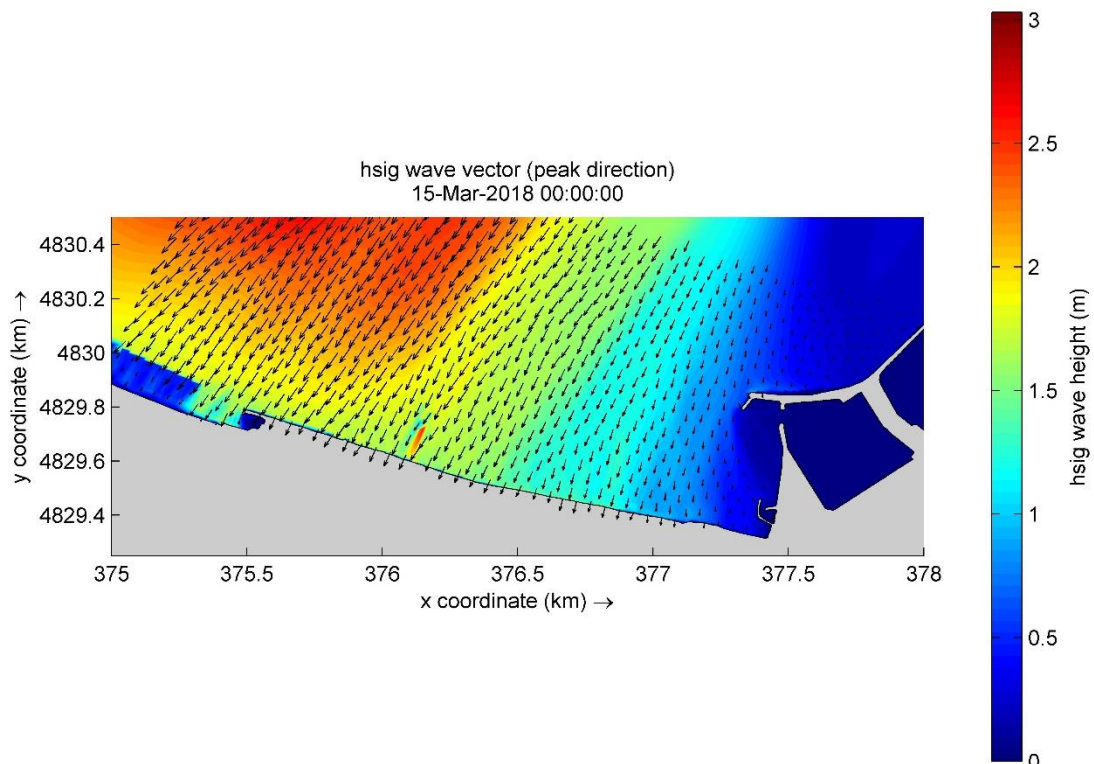


Figura 56 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.358$ m $T_{p,0}=9.91$ s) – Configurazione C0

5.1.6 Direzione di provenienza delle onde: 60°N - $T_R=70$ anni

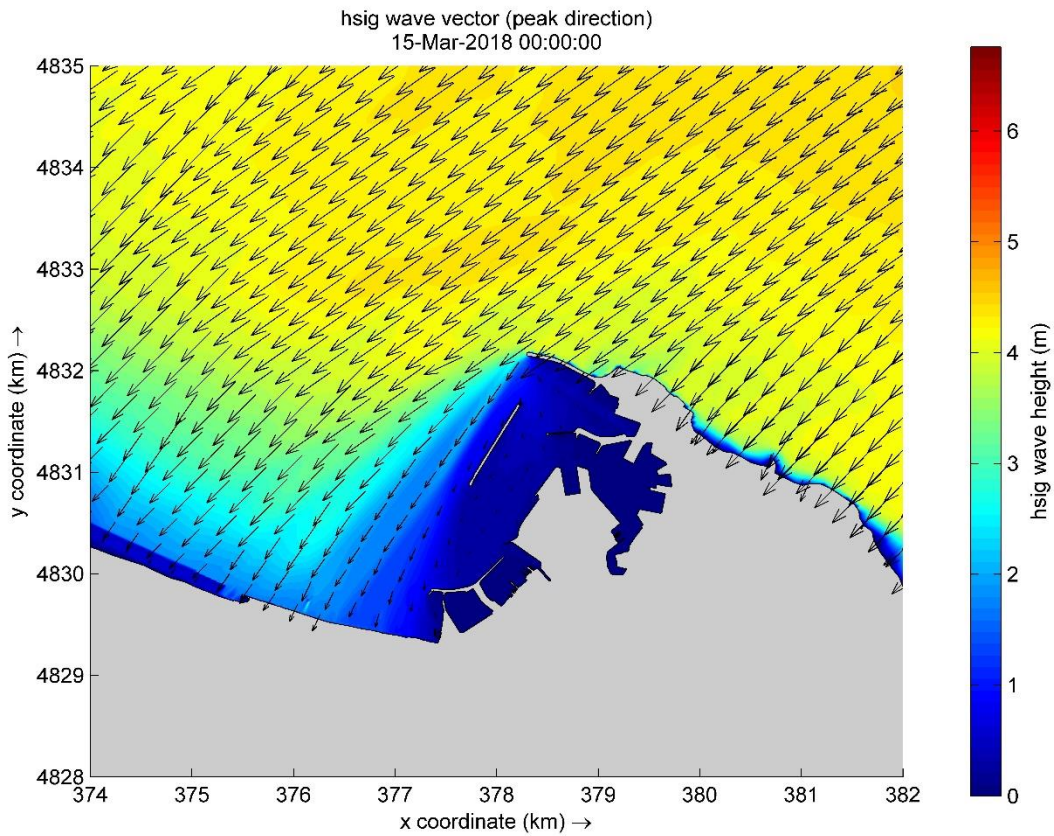


Figura 57 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.809$ m $T_{p,0}=10.32$ s) – Configurazione C0

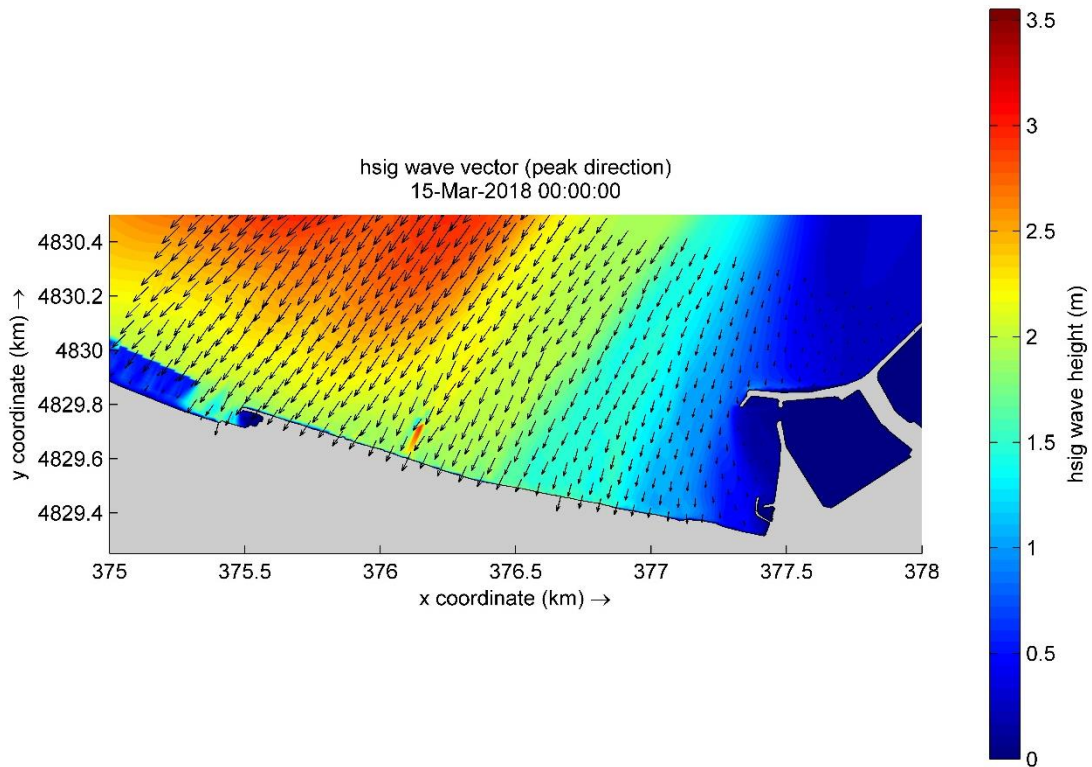


Figura 58 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.809$ m $T_{p,0}=10.32$ s) – Config. C0

5.1.7 Direzione di provenienza delle onde: 90°N- $T_R=30$ anni

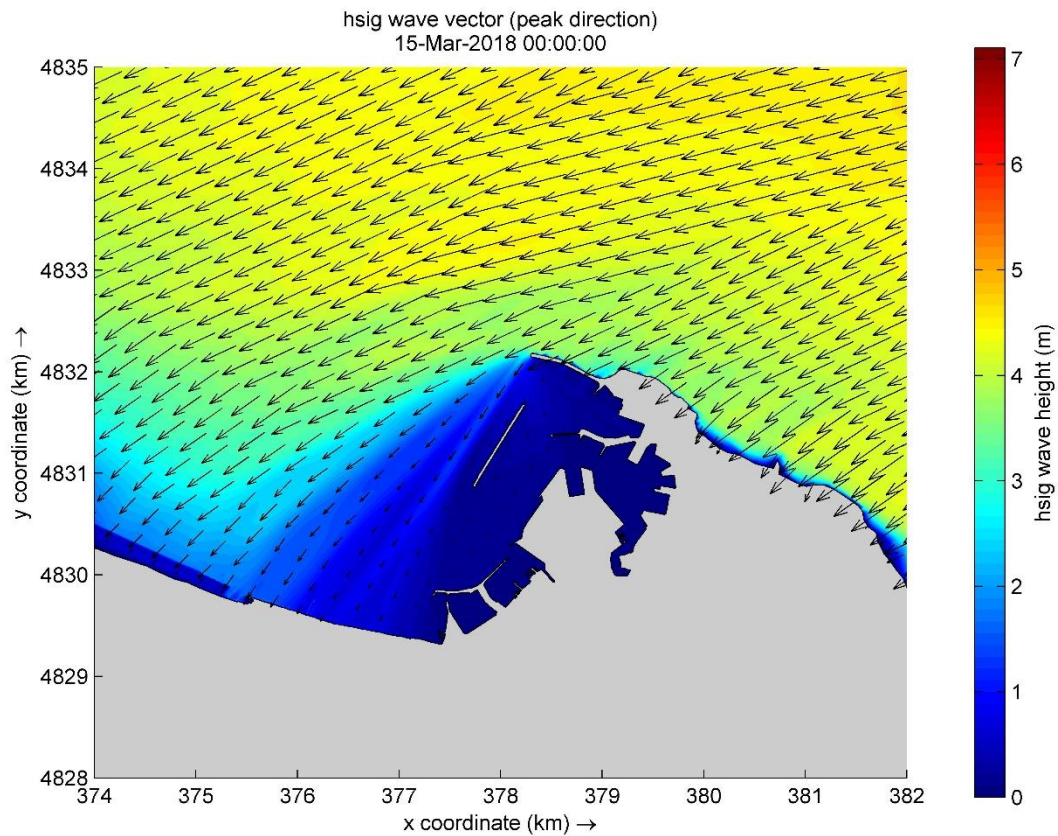


Figura 59 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=6.296$ m $T_{p,0}=11.44$ s) – Configurazione C0

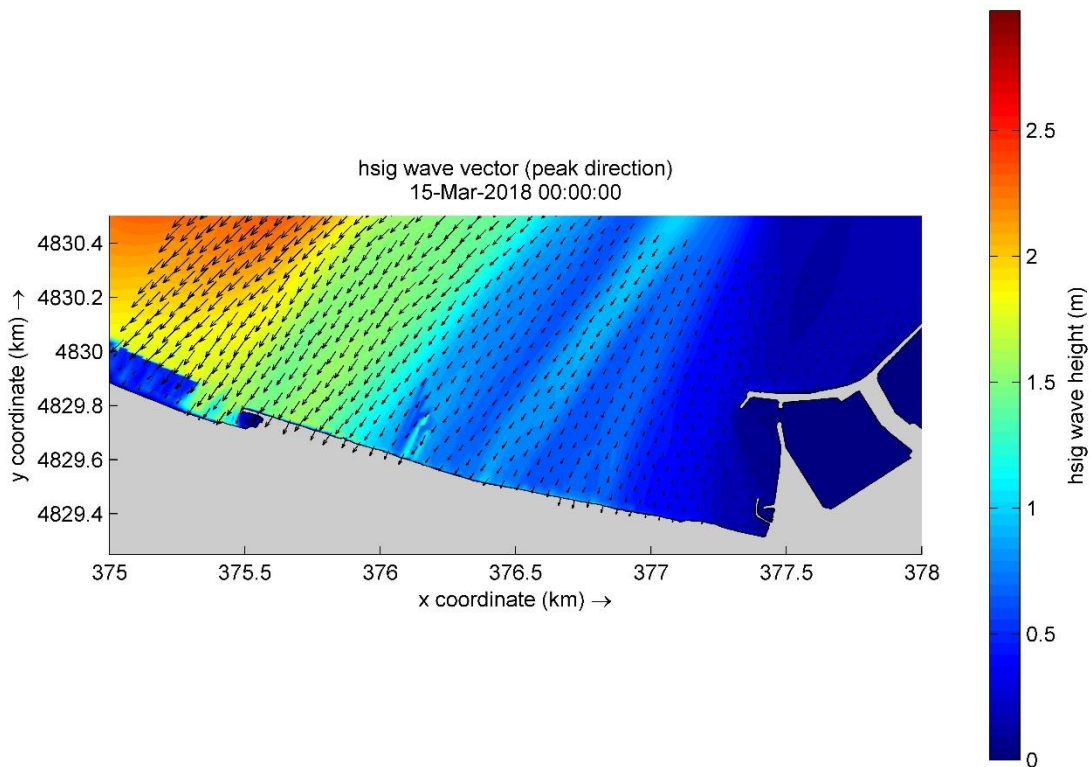


Figura 60 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=6.296$ m $T_{p,0}=11.44$ s) – Config. C0

5.1.8 Direzione di provenienza delle onde: 90°N - $T_R=70$ anni

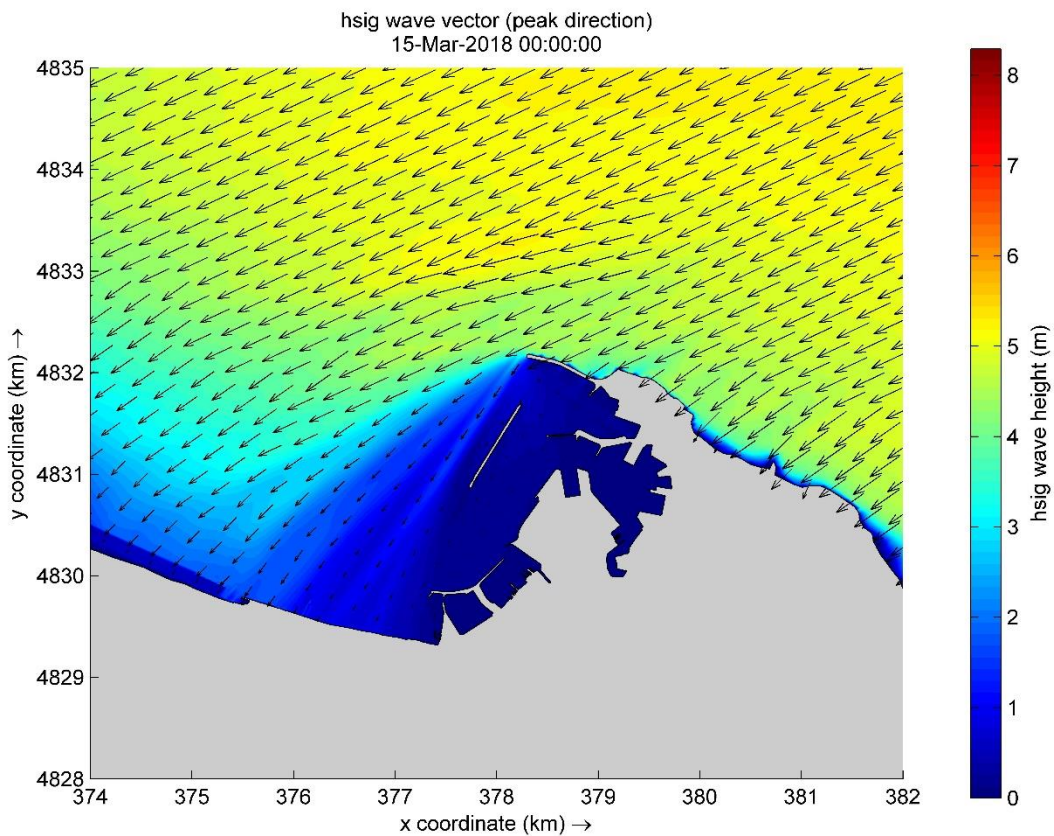


Figura 61 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=7.171$ m $T_{p,0}=12.21$ s) – Configurazione C0

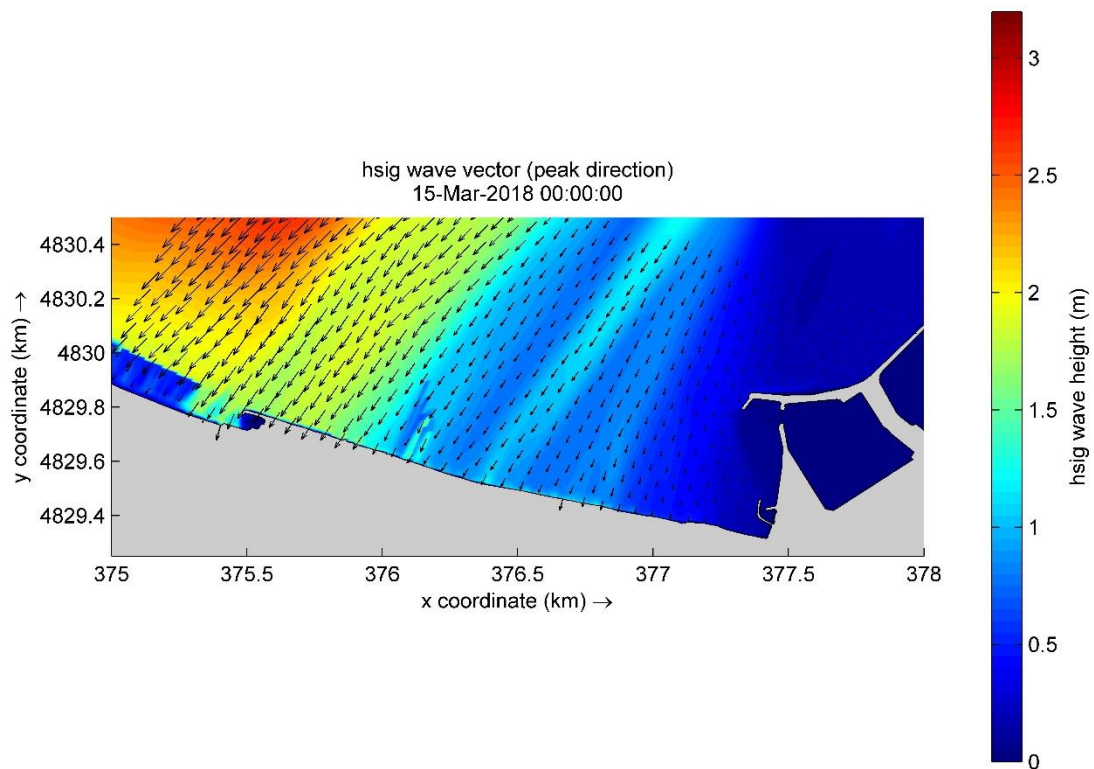


Figura 62 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=7.171$ m $T_{p,0}=12.21$ s) – Config. C0

5.1.9 Direzione di provenienza delle onde: 120°N- $T_R=30$ anni

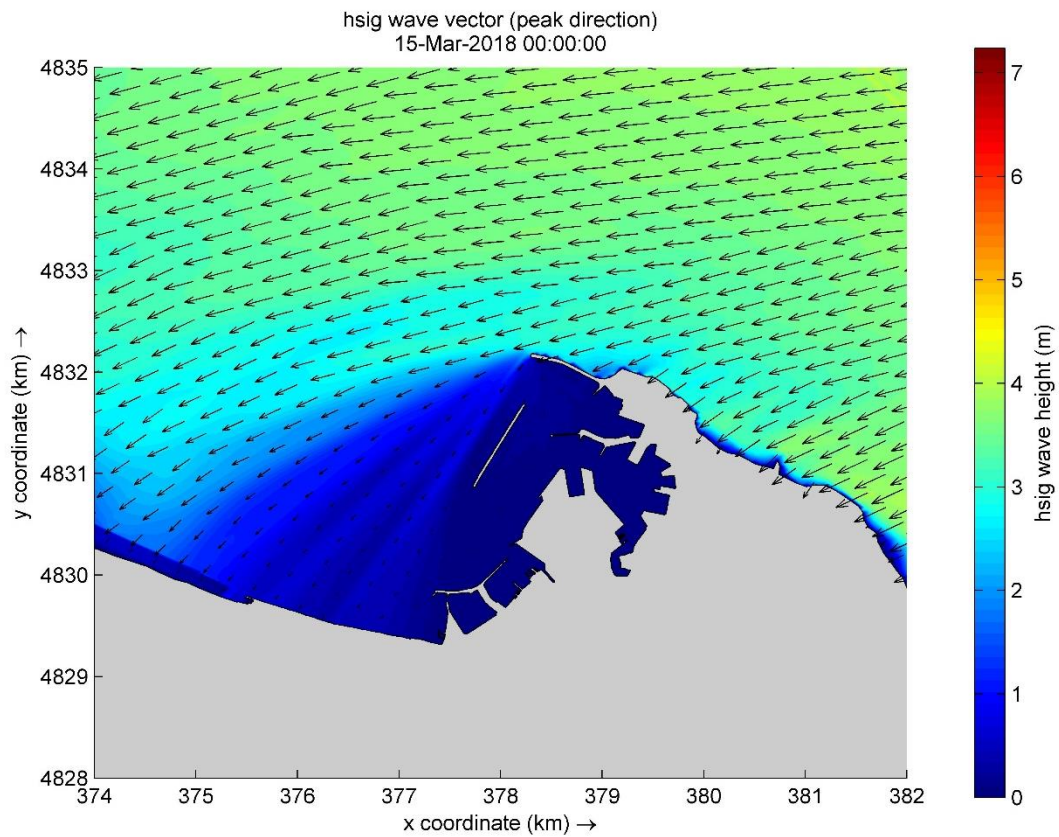


Figura 63 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.333$ m $T_{p,0}=12.43$ s) – Configurazione C0

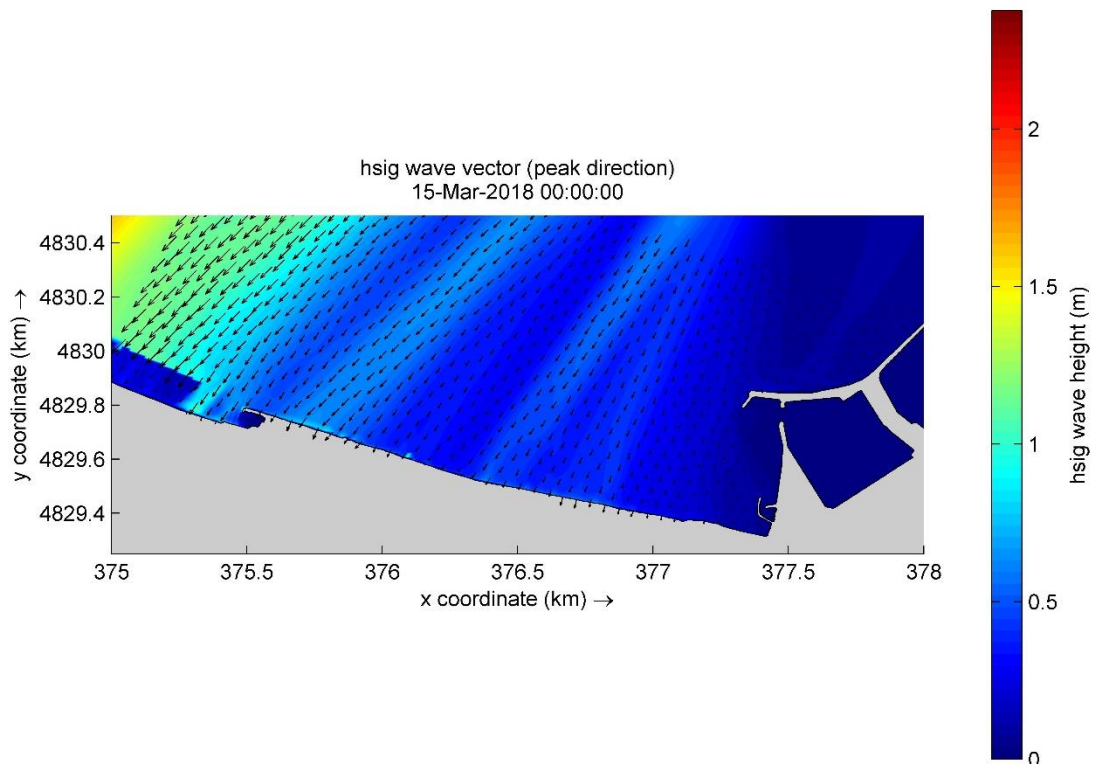


Figura 64 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.333$ m $T_{p,0}=12.43$ s) – Config. C0

5.1.10 Direzione di provenienza delle onde: 120°N - $T_R=70$ anni

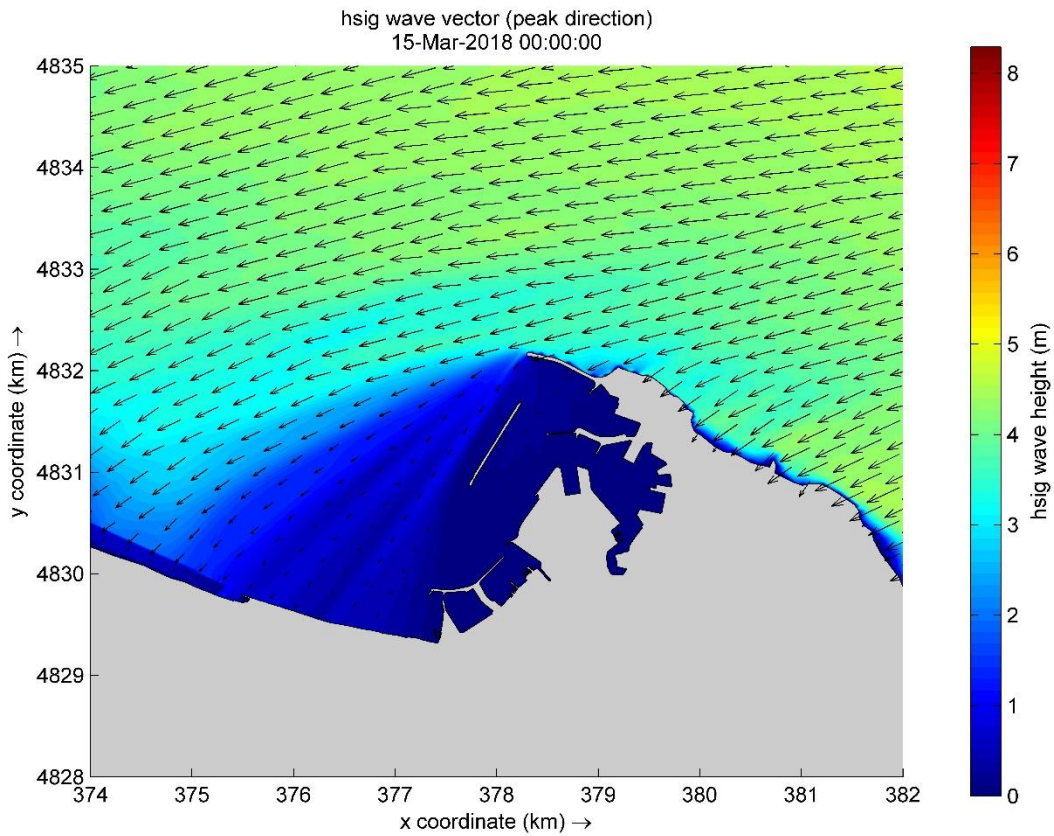


Figura 65 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.809$ m $T_{p,0}=12.89$ s) – Configurazione C0

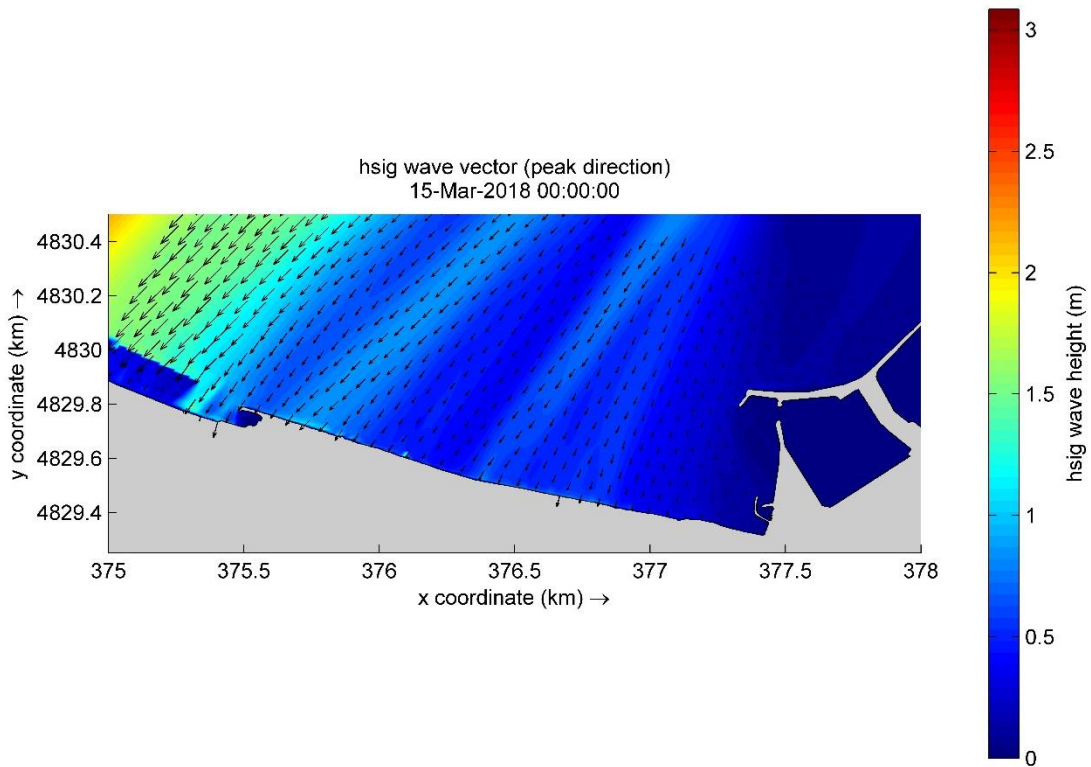


Figura 66 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.809$ m $T_{p,0}=12.89$ s) – Config. C0

5.1.11 Direzione di provenienza delle onde: 330°N- $T_R=30$ anni

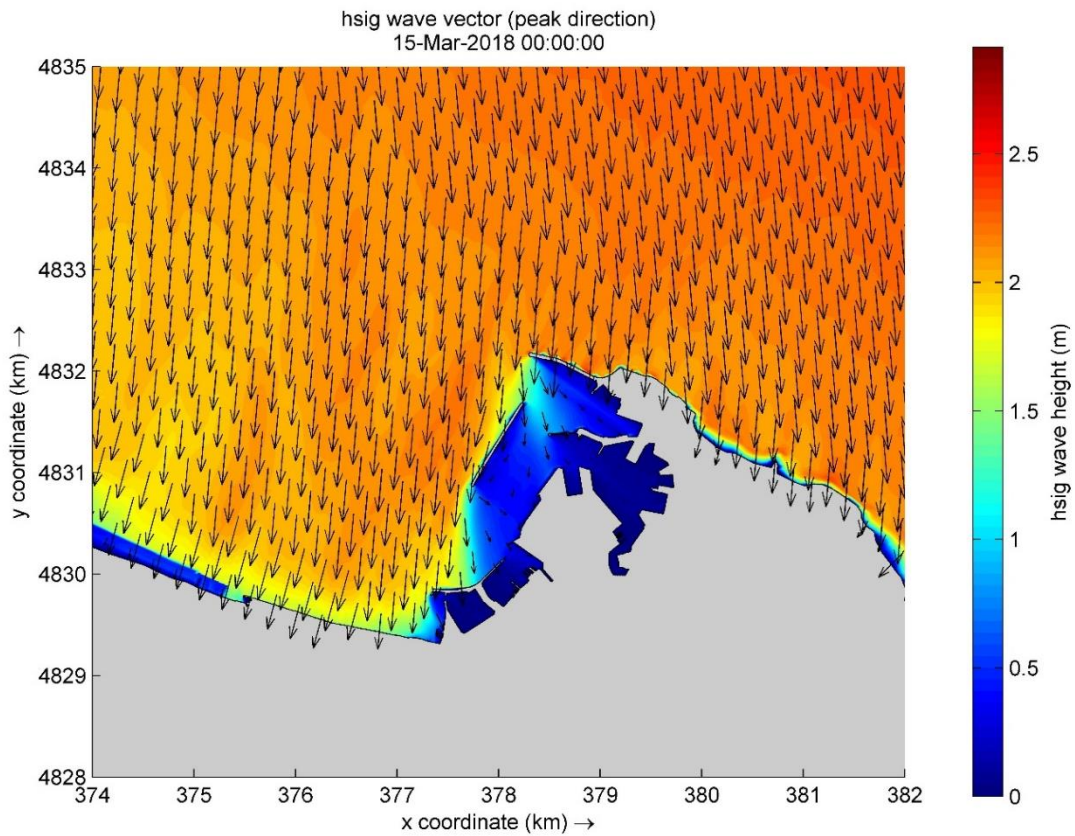


Figura 67 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.150$ m $T_{p,0}=8.90$ s) – Configurazione C0

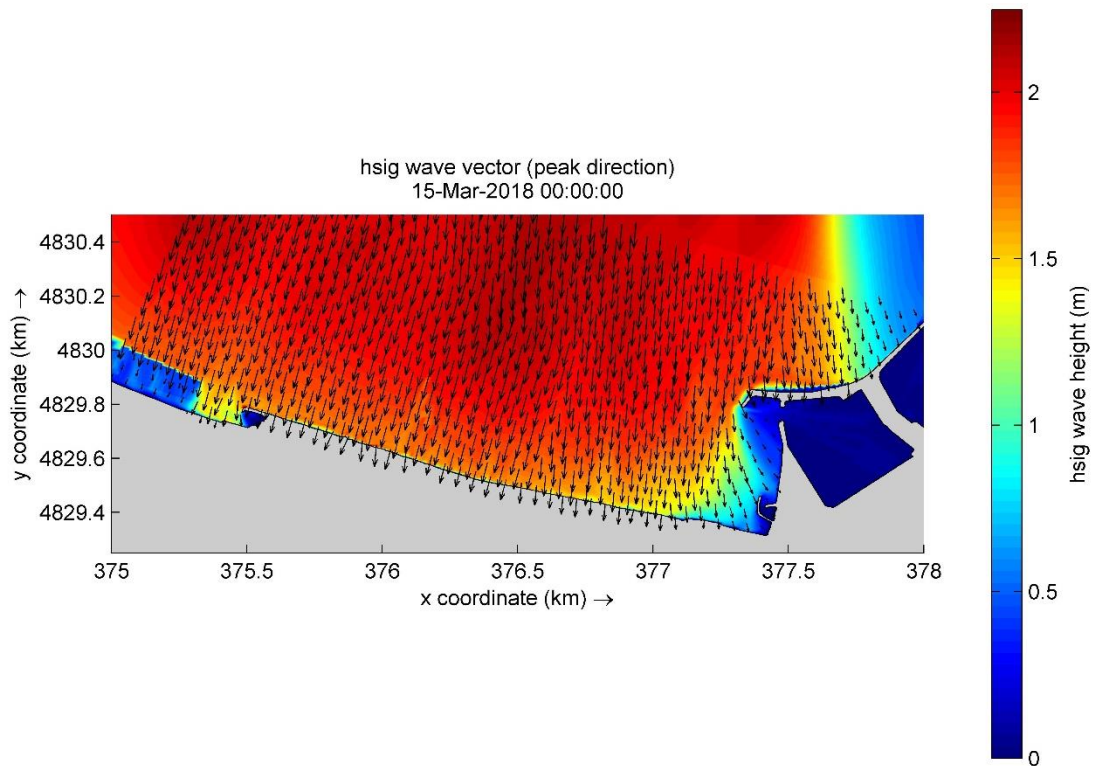


Figura 68 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.150$ m $T_{p,0}=8.90$ s) – Config. C0

5.1.12 Direzione di provenienza delle onde: 330°N - $T_R=70$ anni

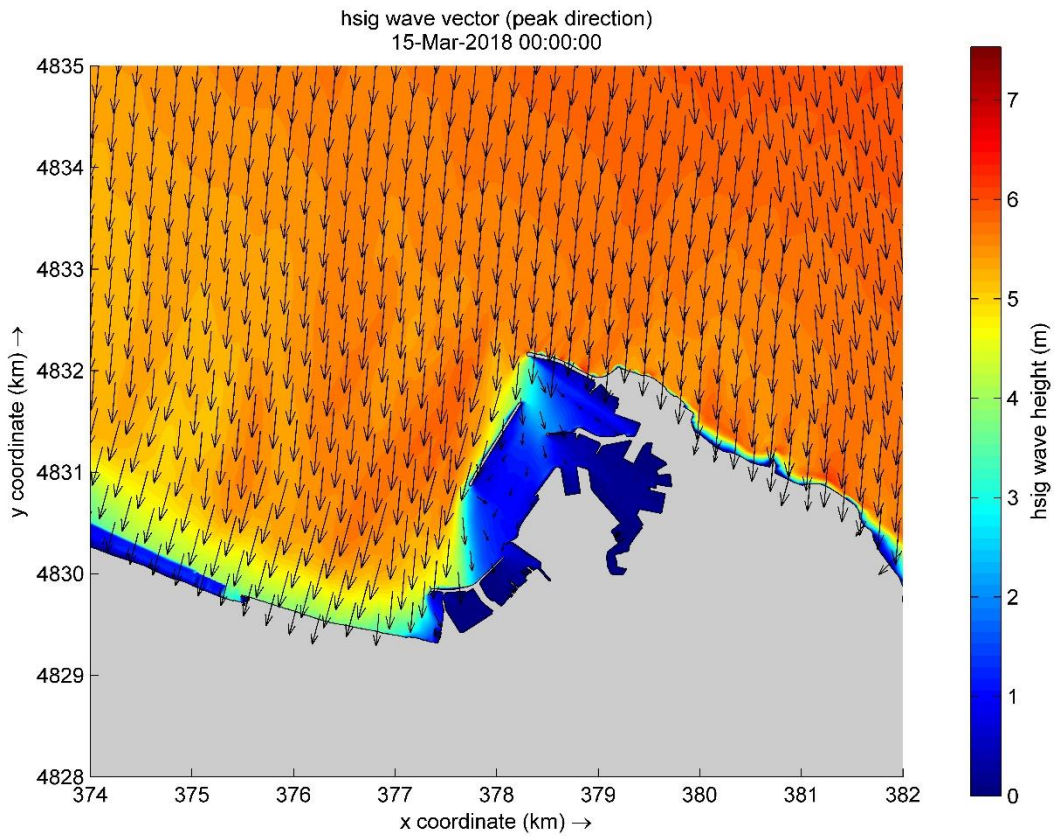


Figura 69 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.807$ m $T_{p,0}=9.58$ s) – Configurazione C0

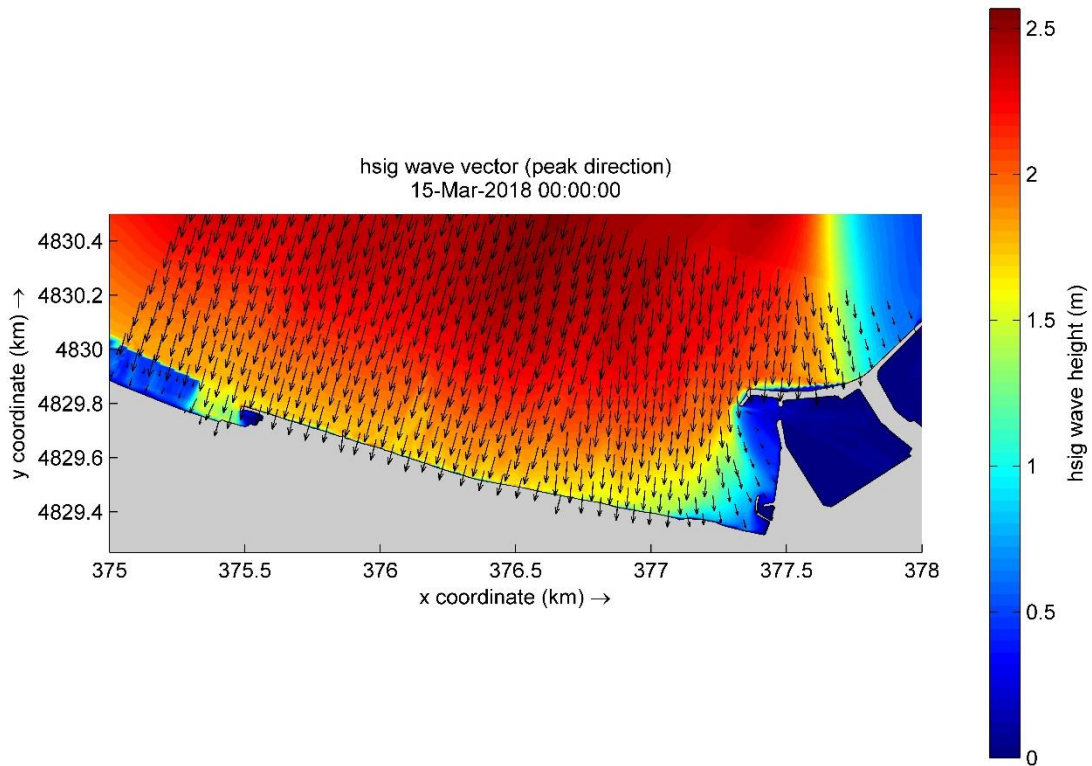


Figura 70 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.807$ m $T_{p,0}=9.58$ s) – Config. C0

5.2 Configurazione di progetto "C1"

5.2.1 Direzione di provenienza delle onde: 0°N- $T_R=30$ anni

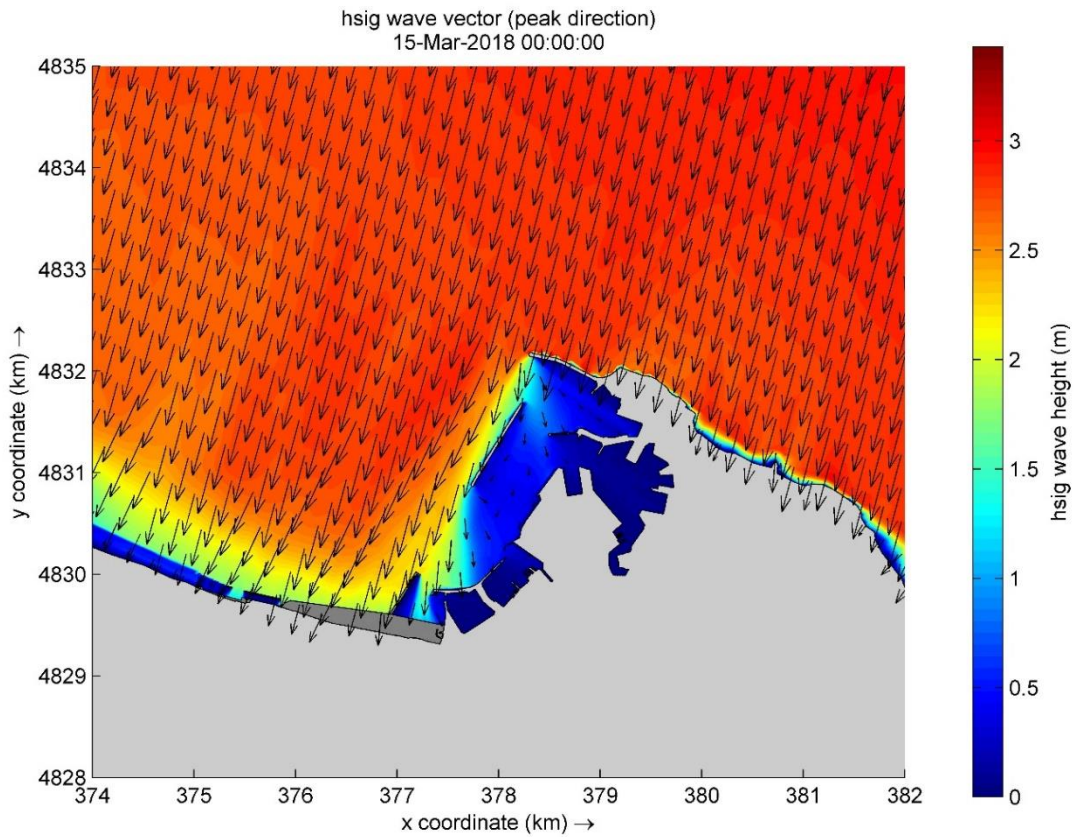


Figura 71 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.230$ m $T_{p,0}=8.99$ s) – Configurazione C1

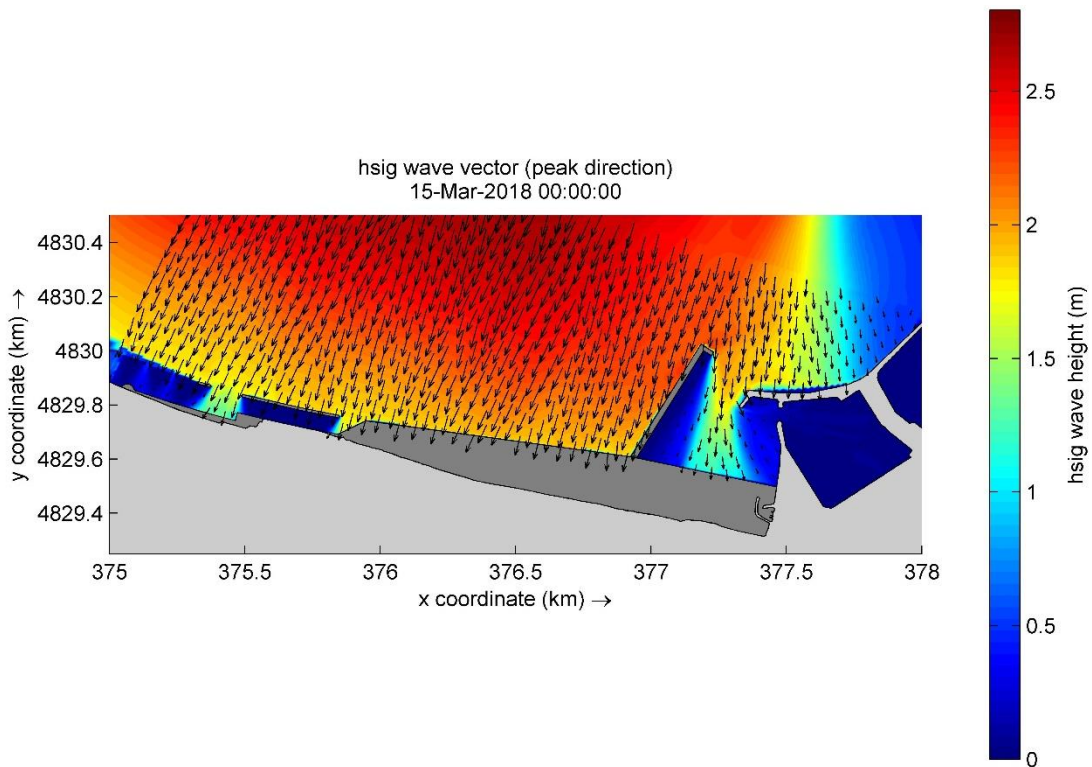


Figura 72 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.230$ m $T_{p,0}=8.99$ s) – Configurazione C1

5.2.2 Direzione di provenienza delle onde: 0°N - $T_R=70$ anni

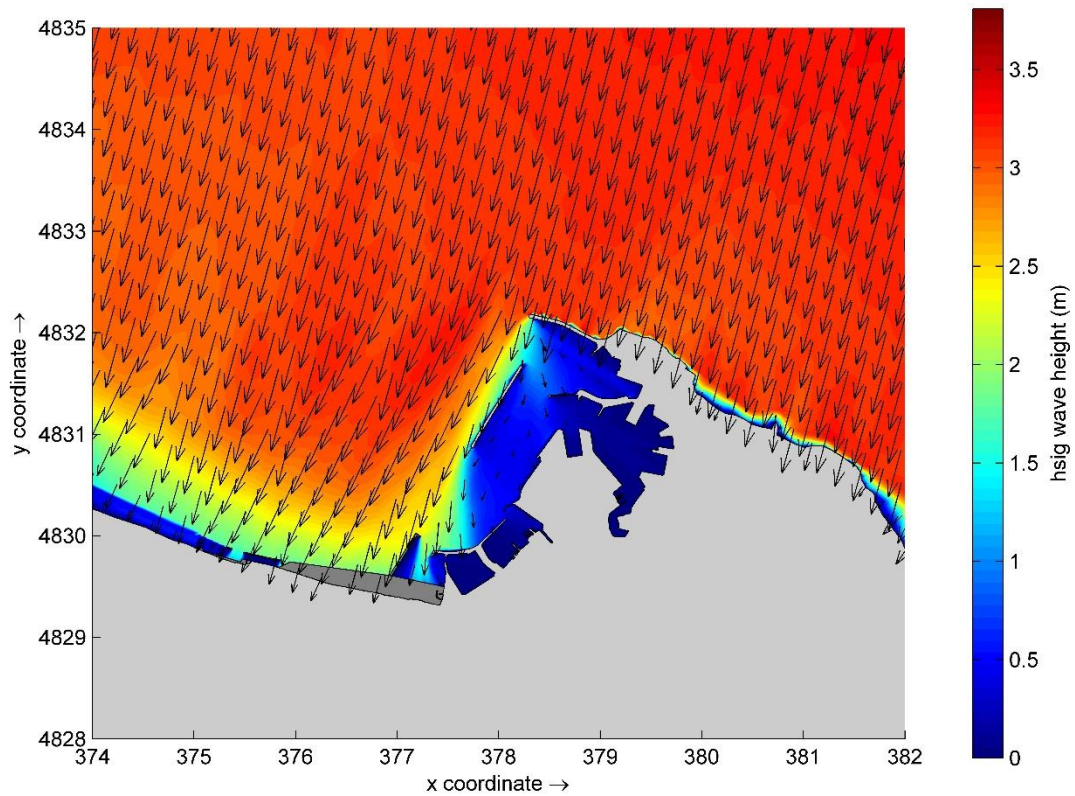


Figura 73 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.675$ m $T_{p,0}=9.45$ s) – Configurazione C1

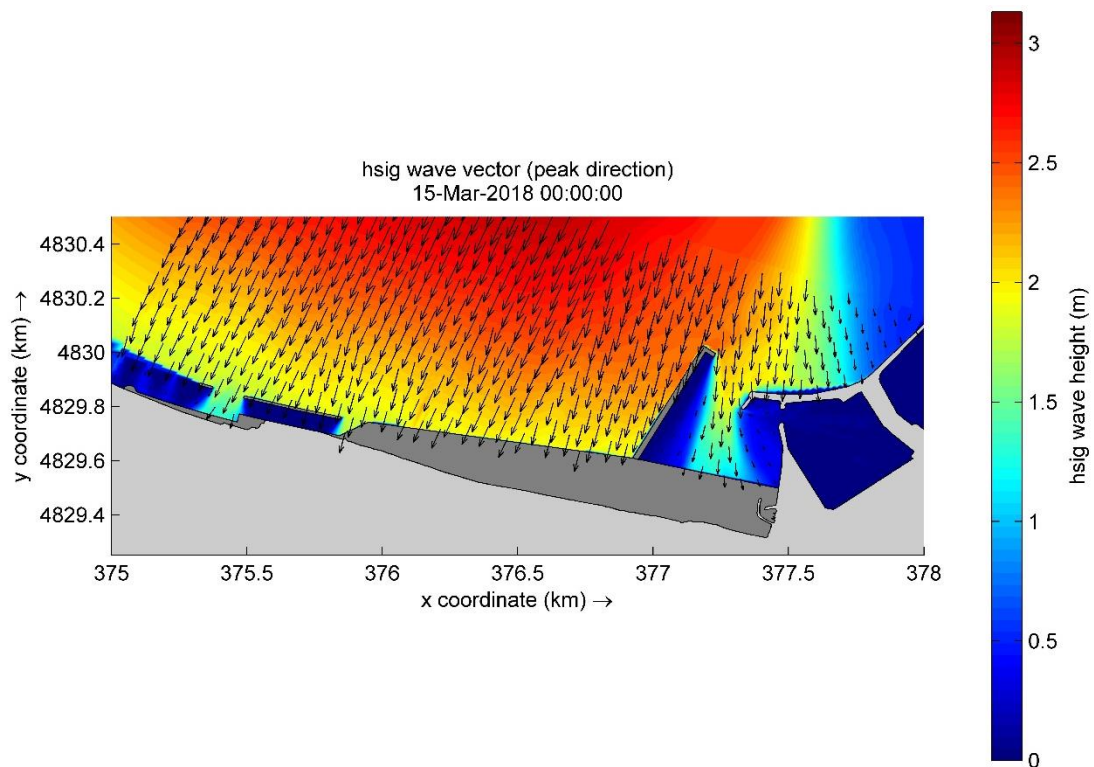


Figura 74 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.675$ m $T_{p,0}=9.45$ s) – Configurazione C1

5.2.3 Direzione di provenienza delle onde: 30°N- $T_R=30$ anni

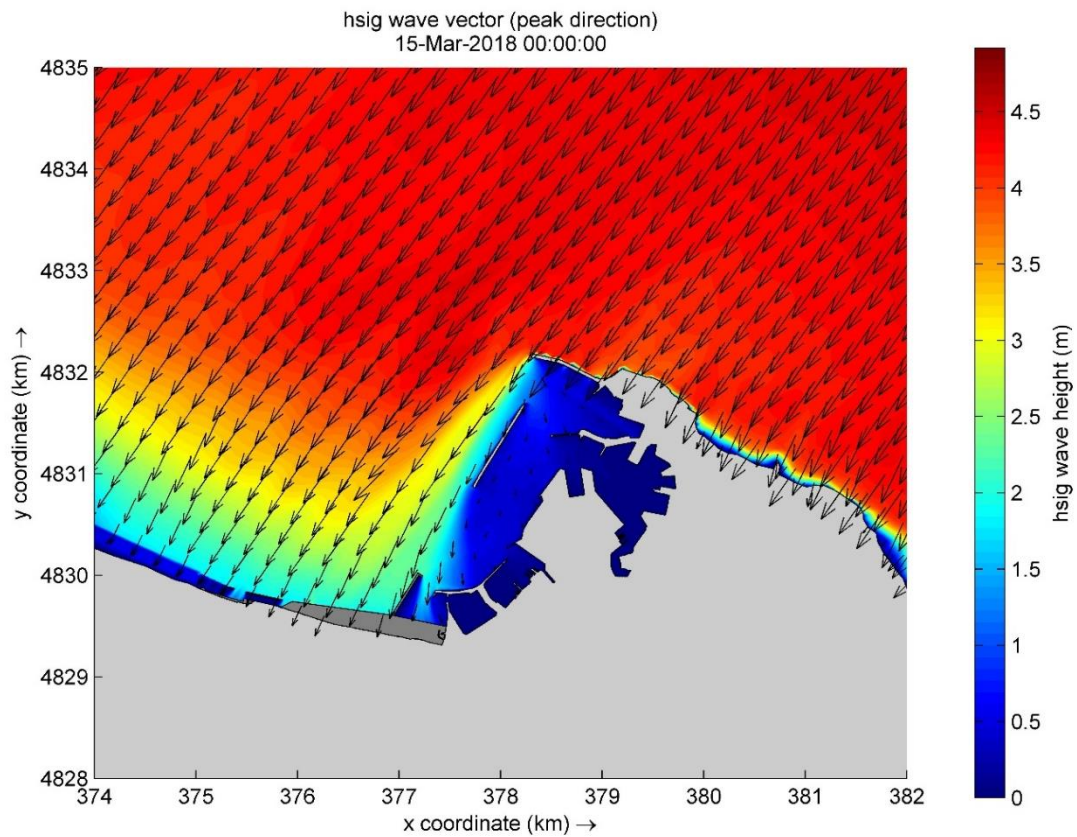


Figura 75 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=5.783$ m $T_{p,0}=10.41$ s) – Configurazione C1

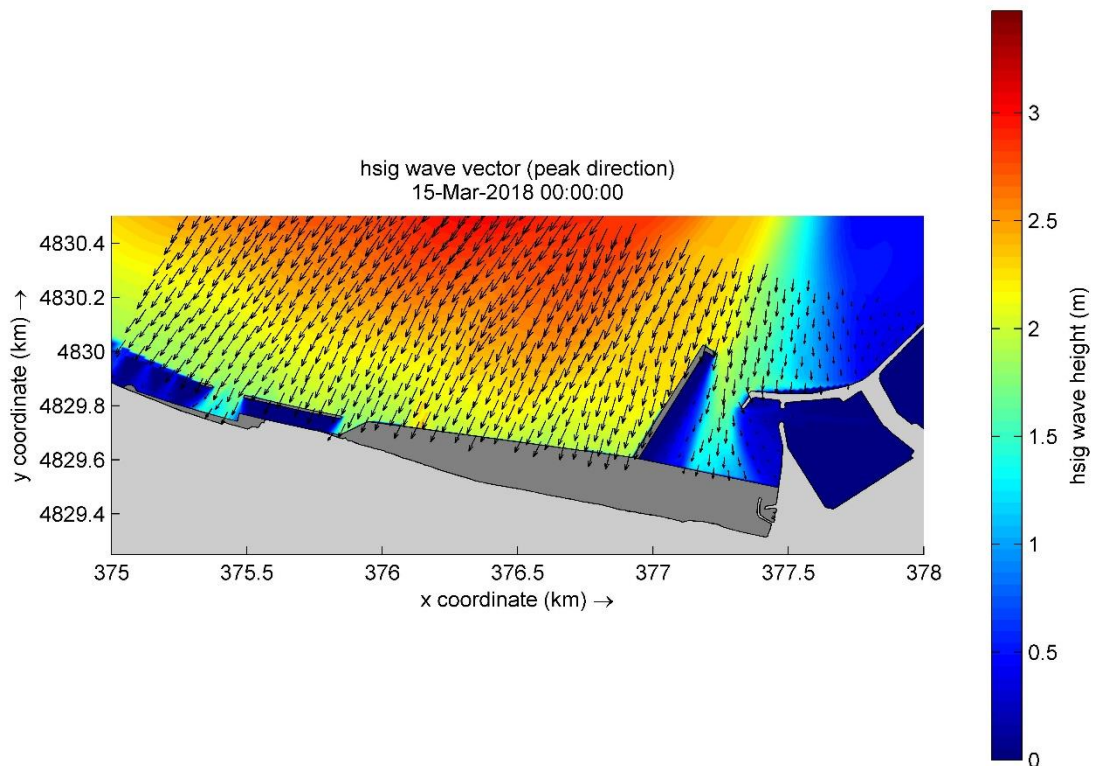


Figura 76 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=5.783$ m $T_{p,0}=10.41$ s) – Config. C1

5.2.4 Direzione di provenienza delle onde: 30°N - $T_R=70$ anni

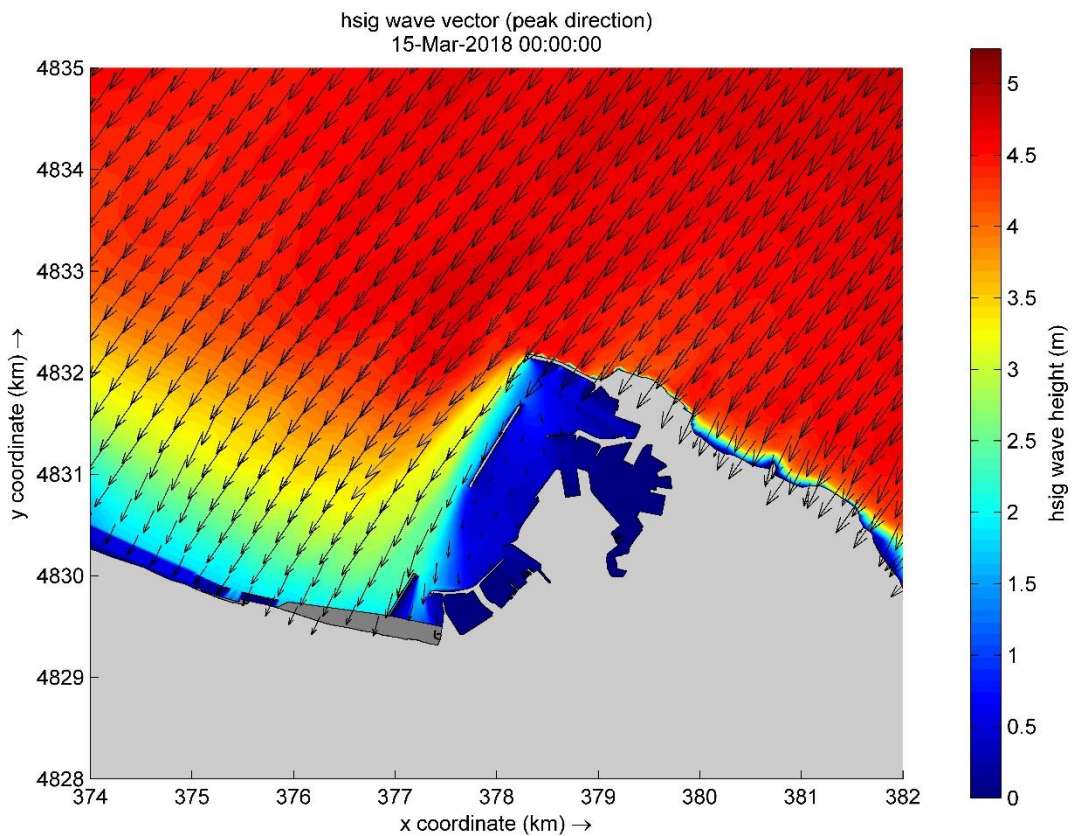


Figura 77 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=6.180$ m $T_{p,0}=10.76$ s) – Configurazione C1

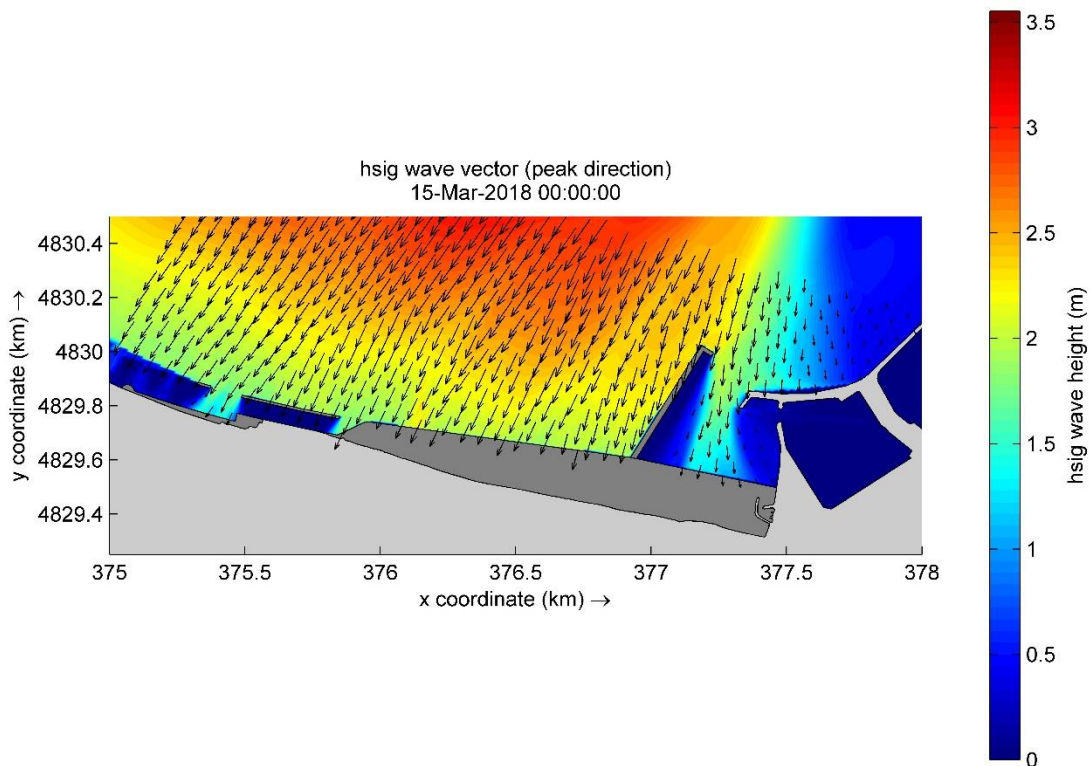


Figura 78 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=6.180$ m $T_{p,0}=10.76$ s) – Config. C1

5.2.5 Direzione di provenienza delle onde: 60°N- $T_R=30$ anni

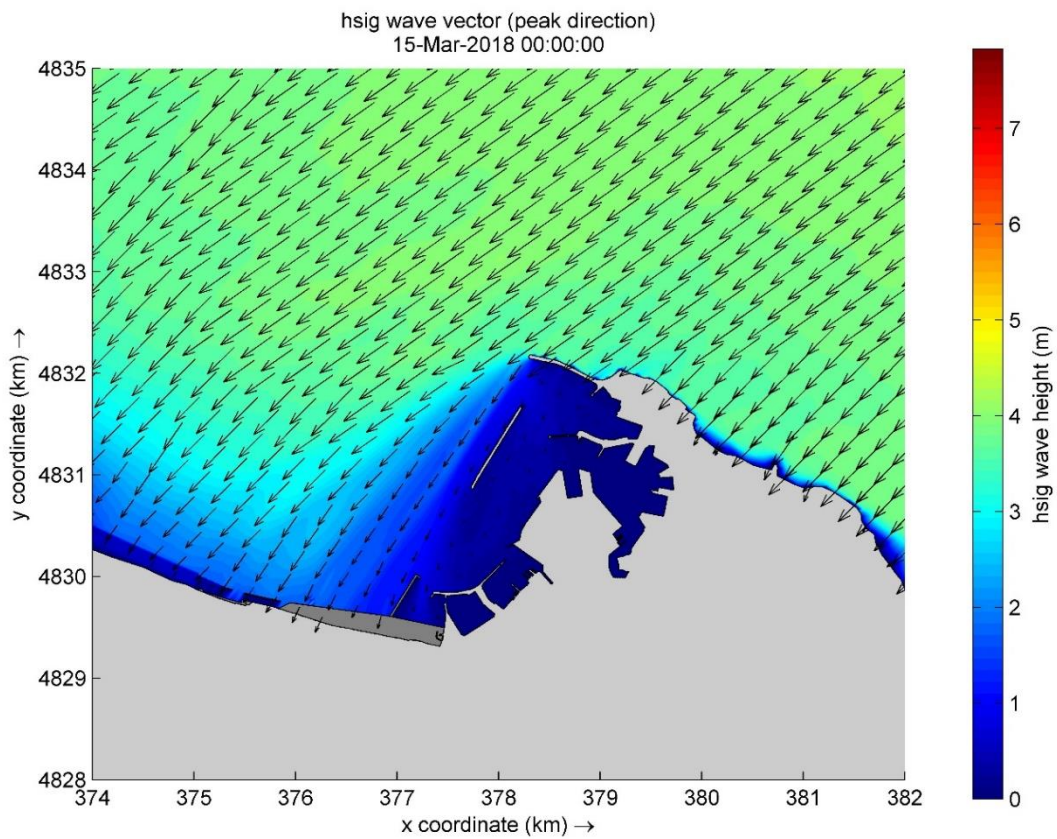


Figura 79 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.358$ m $T_{p,0}=9.91$ s) – Configurazione C1

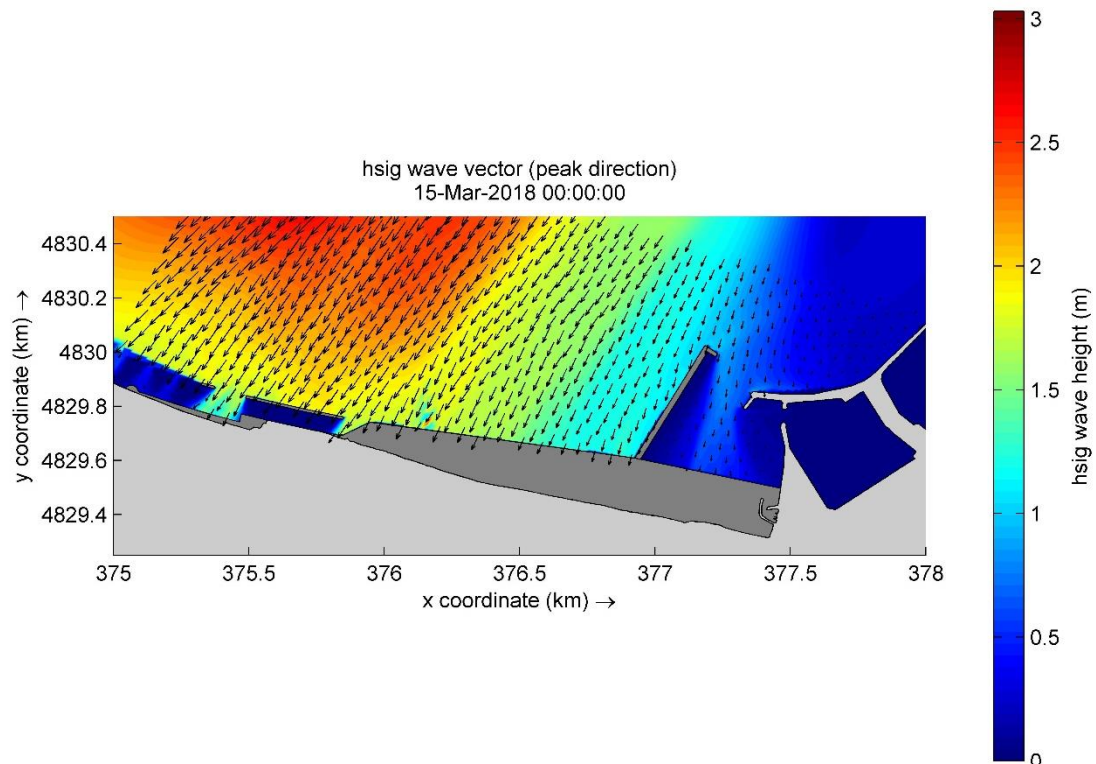


Figura 80 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.358$ m $T_{p,0}=9.91$ s) – Configurazione C1

5.2.6 Direzione di provenienza delle onde: 60°N - $T_R=70$ anni

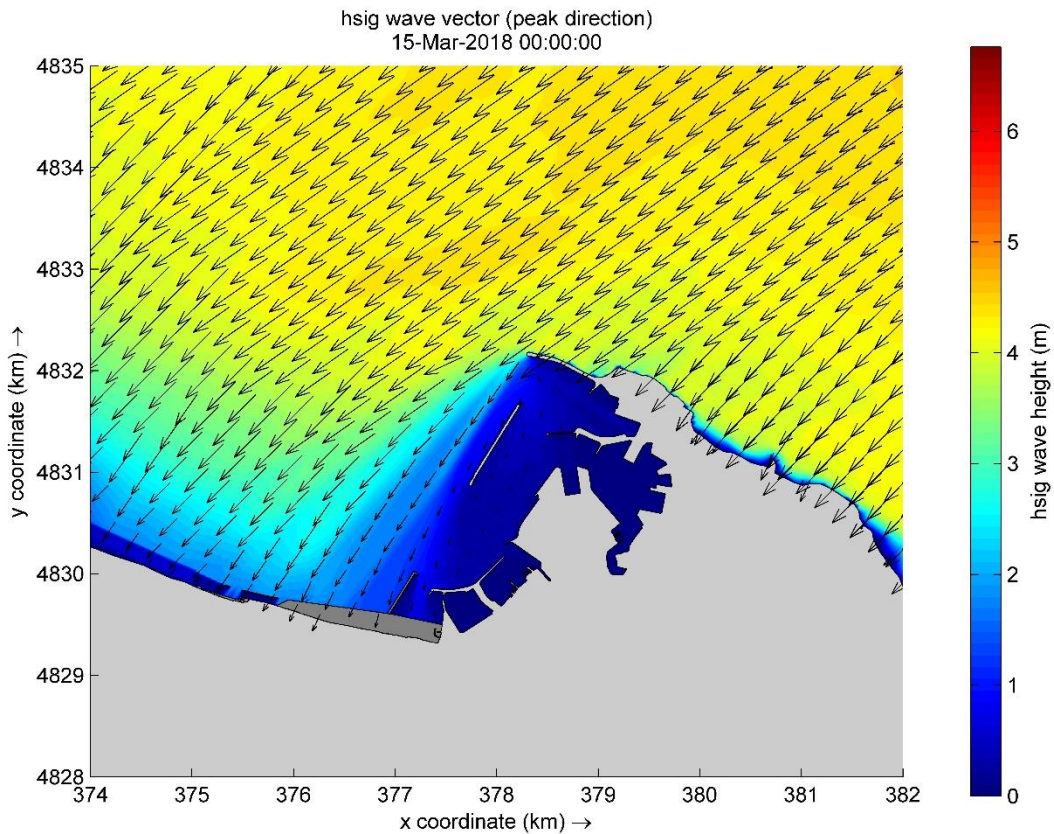


Figura 81 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.809$ m $T_{p,0}=10.32$ s) – Configurazione C1

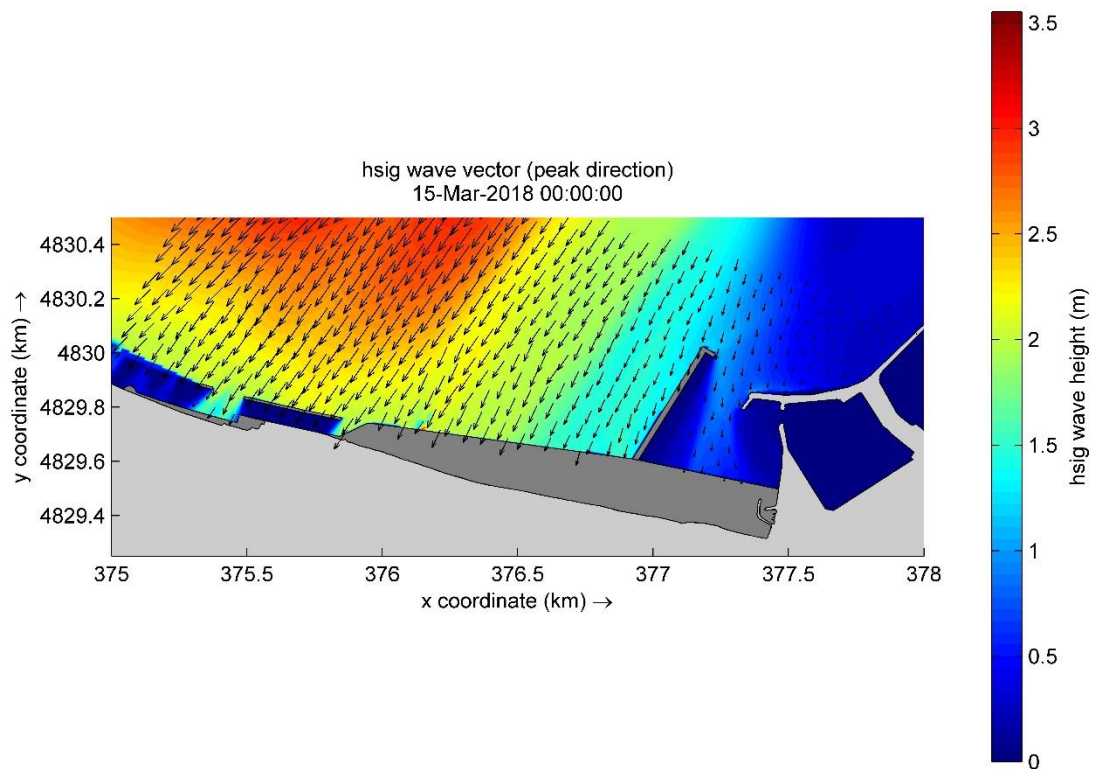


Figura 82 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.809$ m $T_{p,0}=10.32$ s) – Config. C1

5.2.7 Direzione di provenienza delle onde: 90°N- $T_R=30$ anni

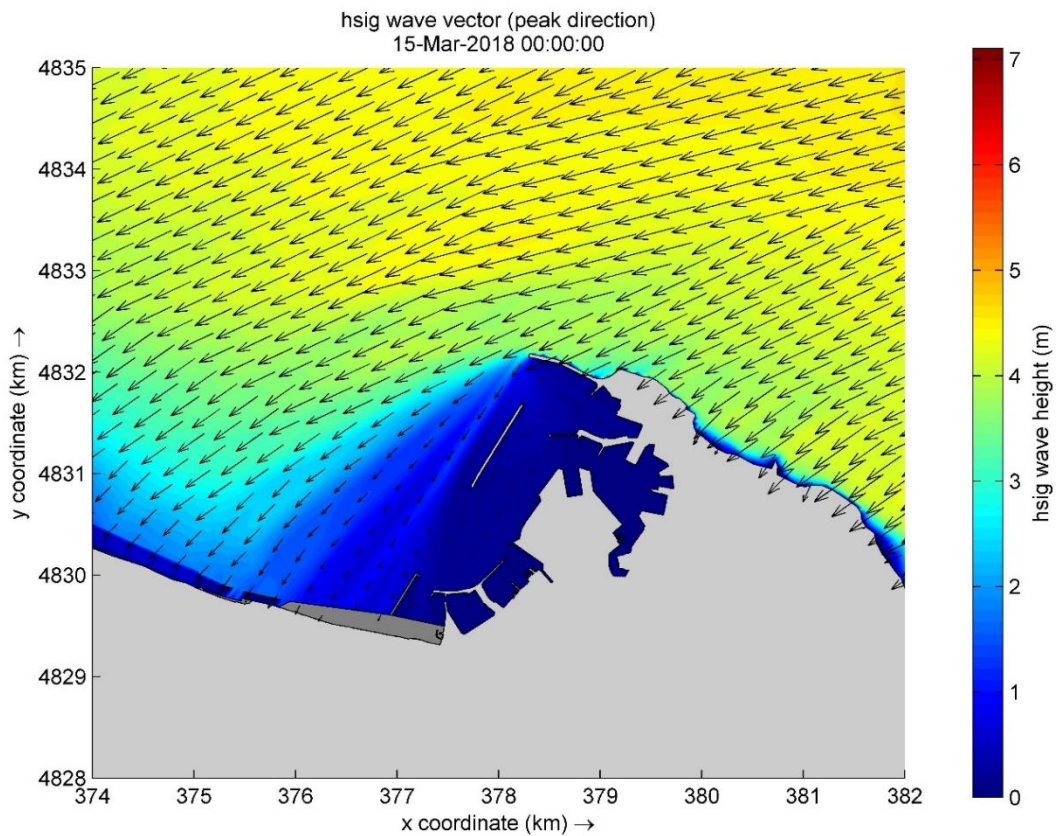


Figura 83 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=6.296$ m $T_{p,0}=11.44$ s) – Configurazione C1

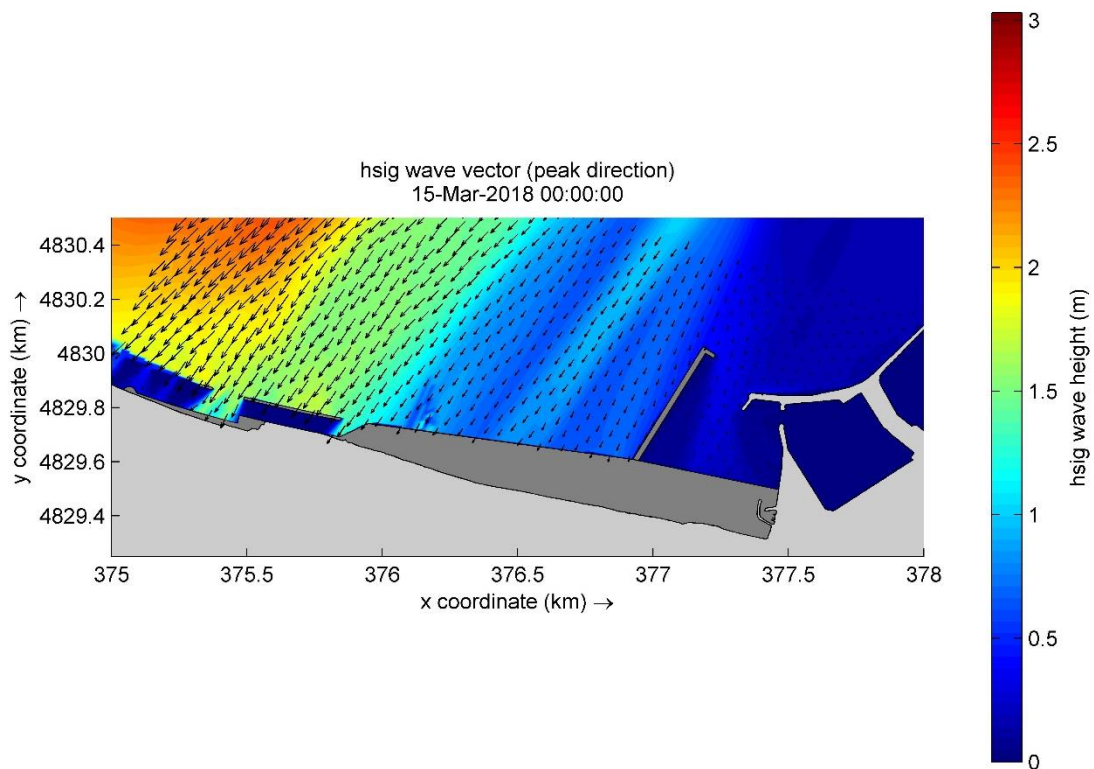


Figura 84 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=6.296$ m $T_{p,0}=11.44$ s) – Config. C1

5.2.8 Direzione di provenienza delle onde: 90°N - $T_R=70$ anni

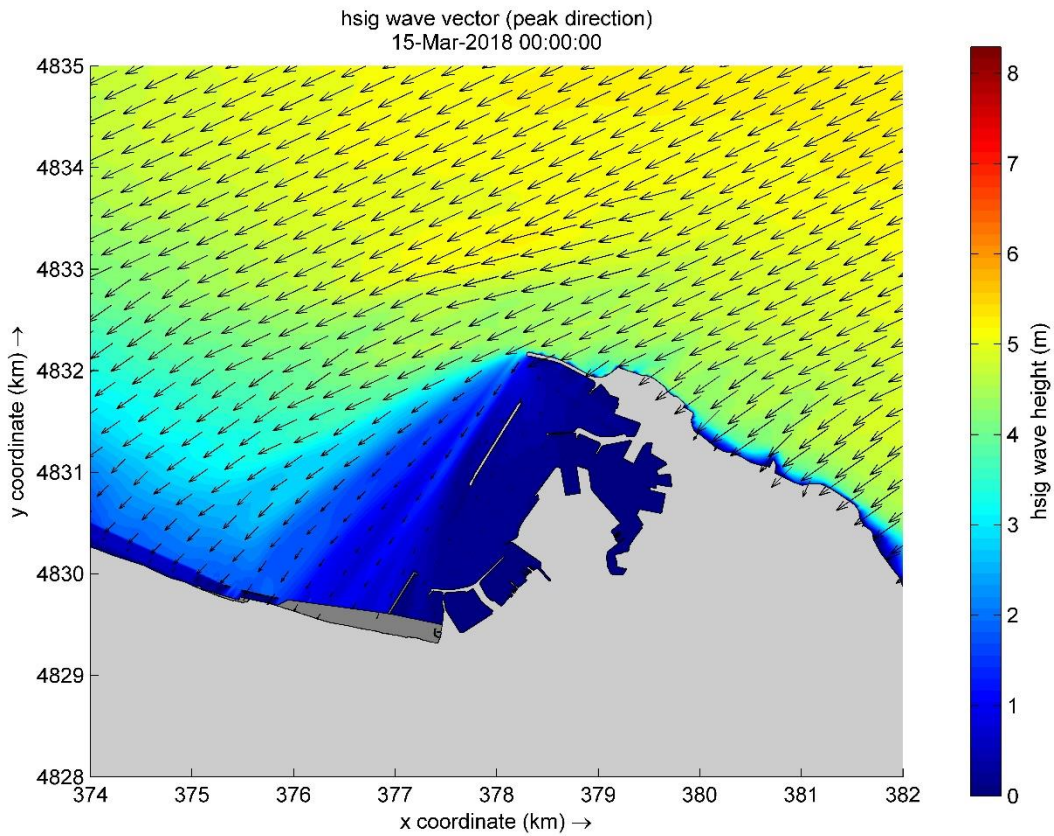


Figura 85 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=7.171$ m $T_{p,0}=12.21$ s) – Configurazione C1

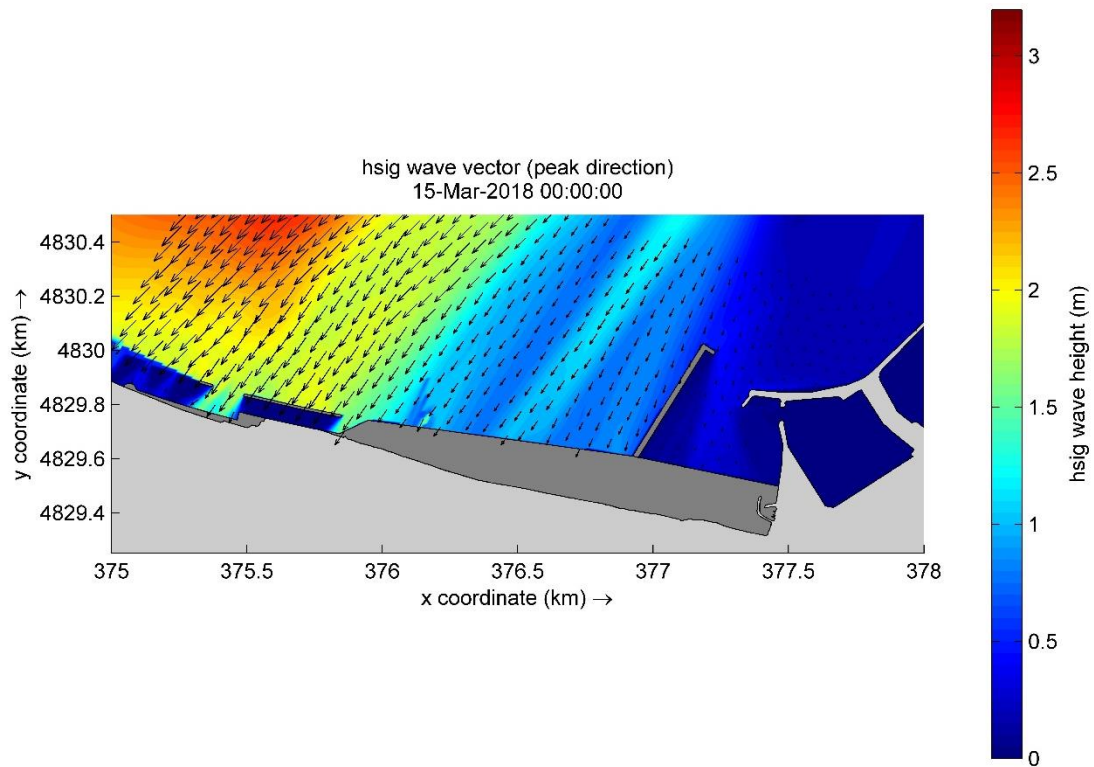


Figura 86 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=7.171$ m $T_{p,0}=12.21$ s) – Config. C1

5.2.9 Direzione di provenienza delle onde: 120°N- $T_R=30$ anni

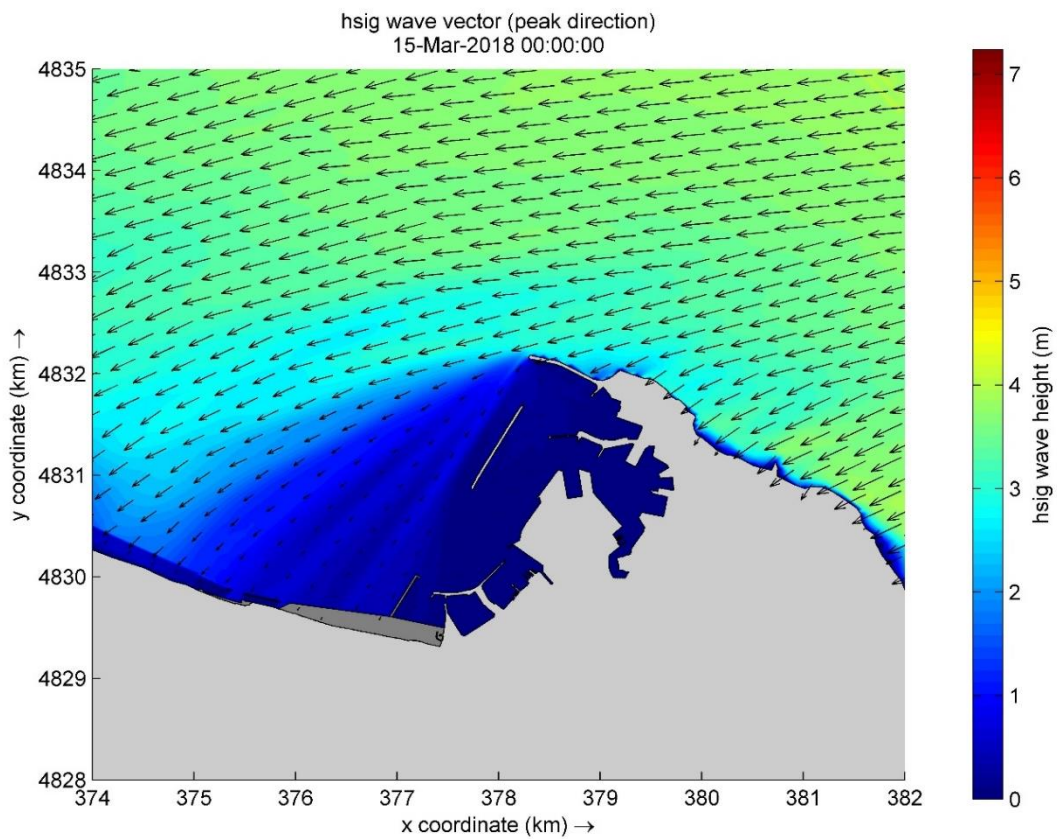


Figura 87 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.333$ m $T_{p,0}=12.43$ s) – Configurazione C1

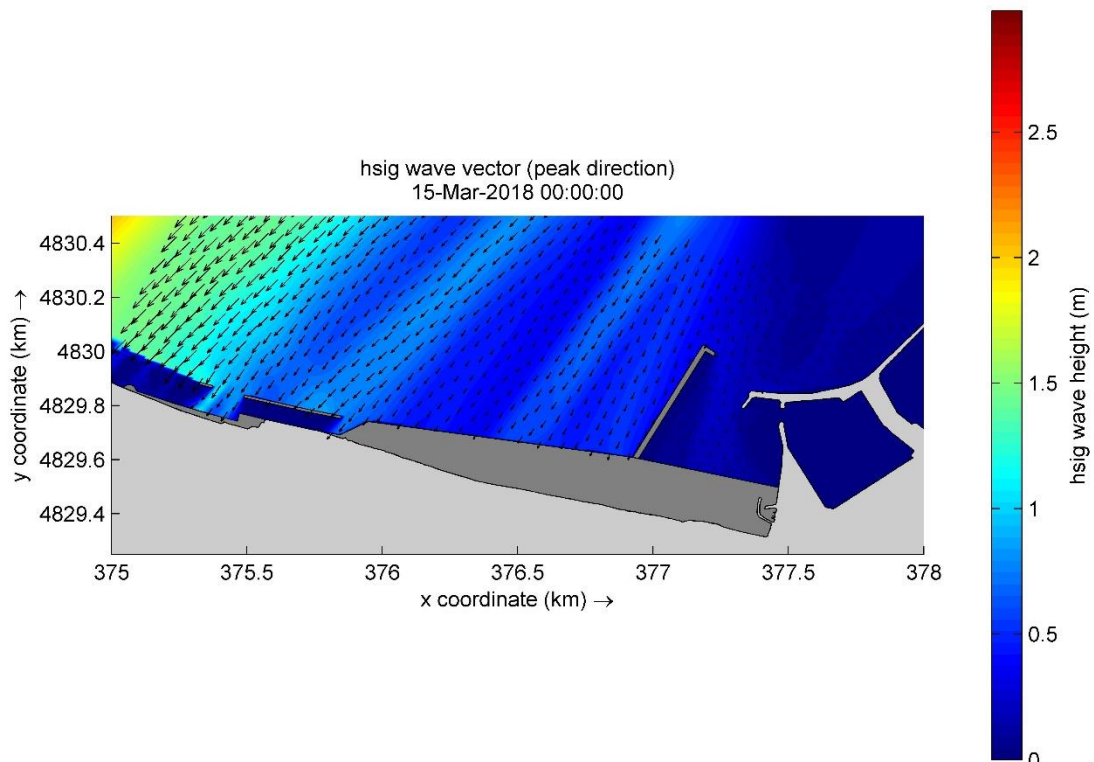


Figura 88 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.333$ m $T_{p,0}=12.43$ s) – Config. C1

5.2.10 Direzione di provenienza delle onde: 120°N - $T_R=70$ anni

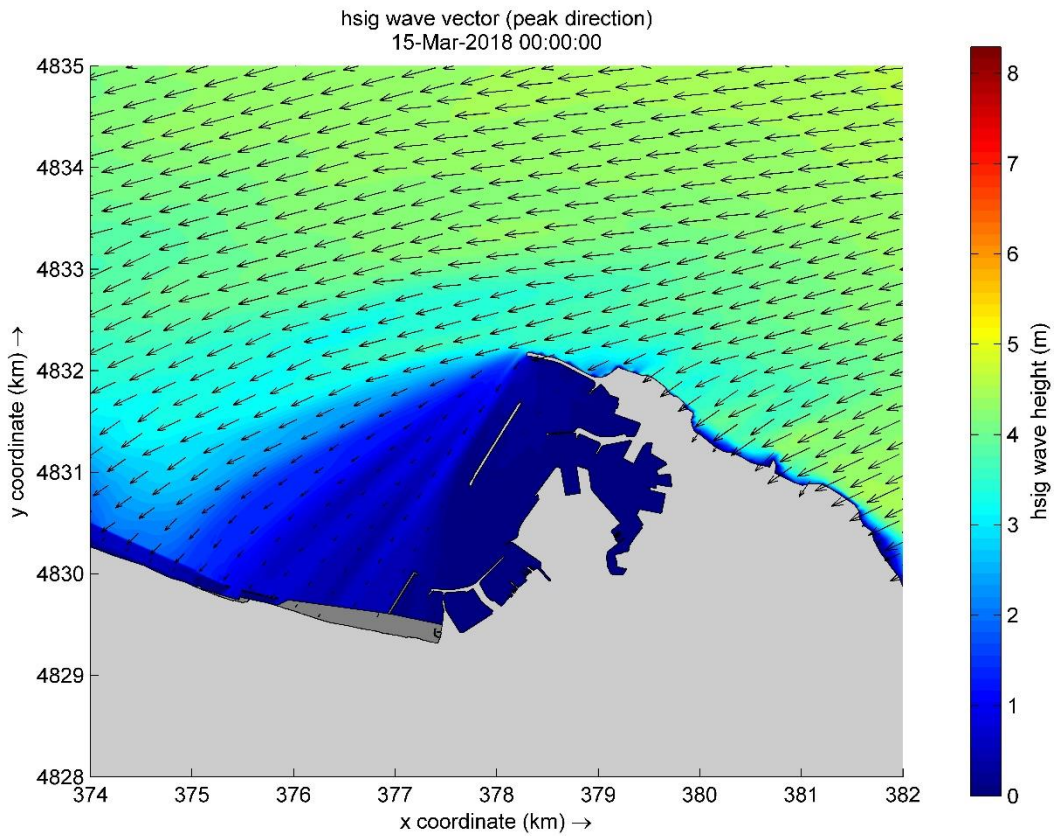


Figura 89 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.809$ m $T_{p,0}=12.89$ s) – Configurazione C1

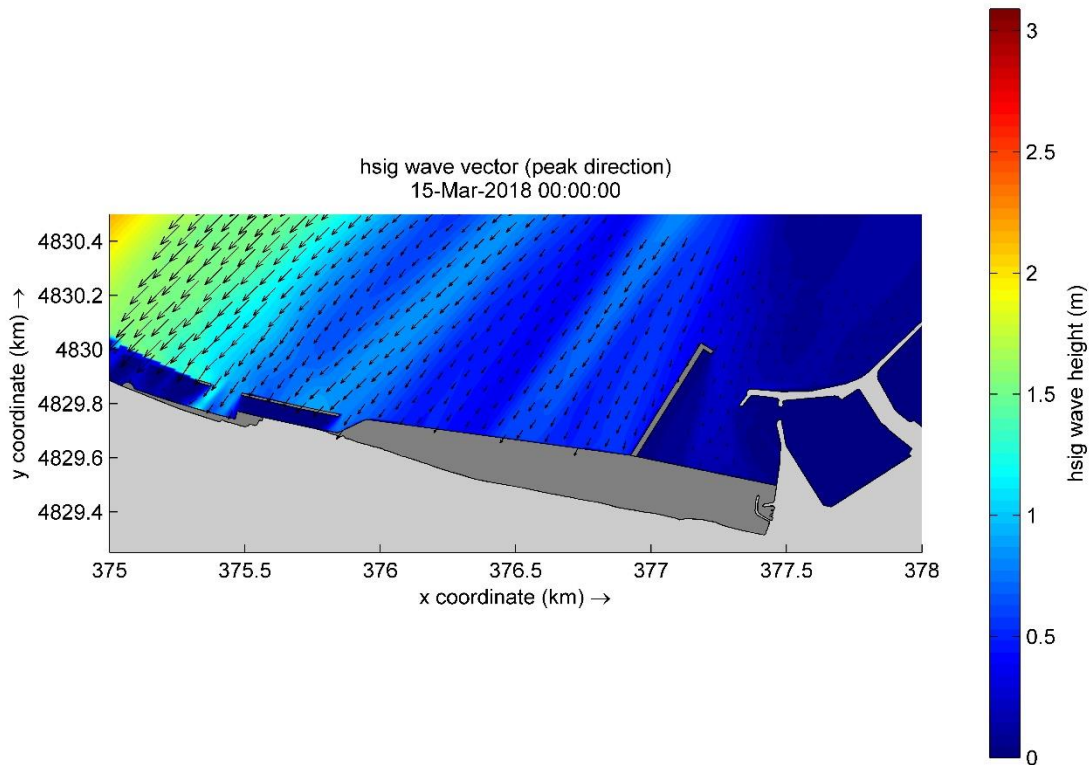


Figura 90 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.809$ m $T_{p,0}=12.89$ s) – Config. C1

5.2.11 Direzione di provenienza delle onde: 330°N- $T_R=30$ anni

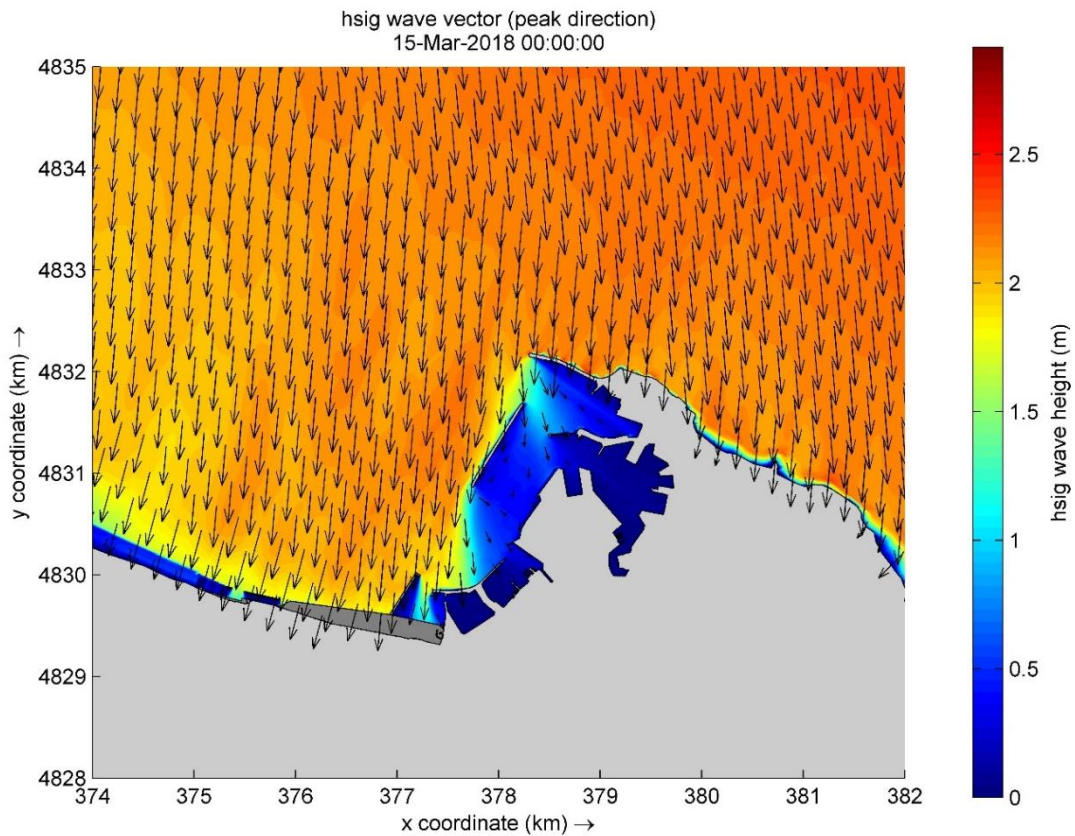


Figura 91 - Propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.150$ m $T_{p,0}=8.90$ s) – Configurazione C1

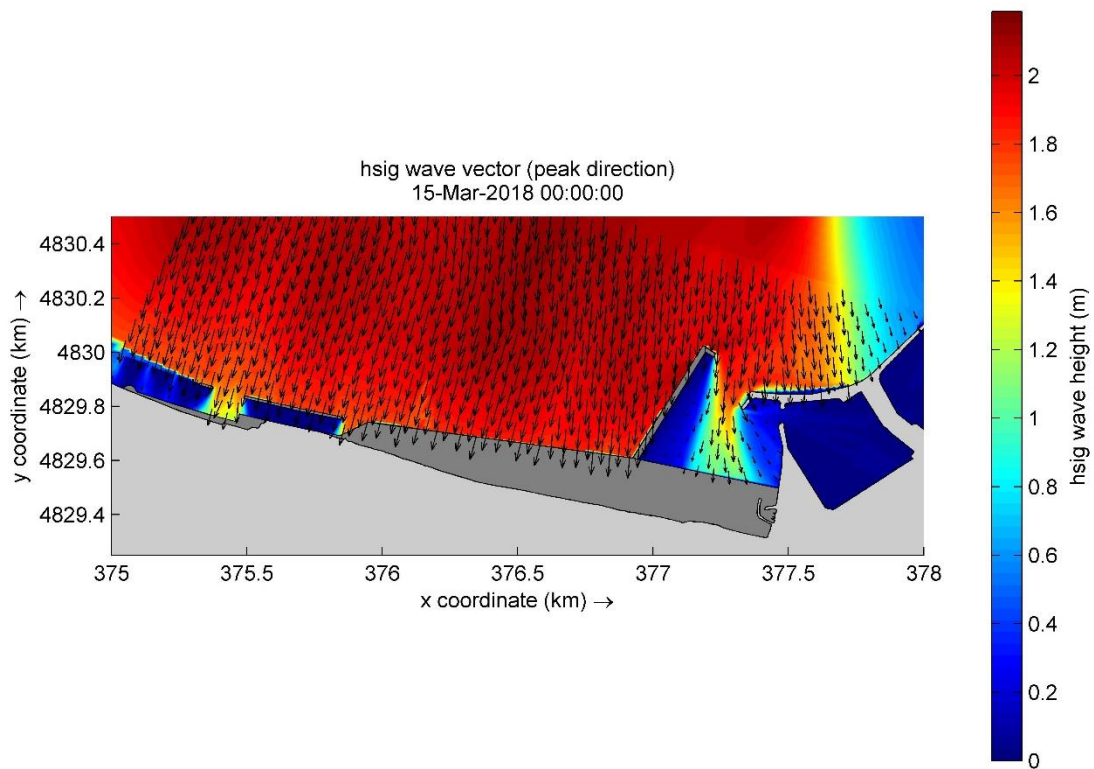


Figura 92 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=30$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.150$ m $T_{p,0}=8.90$ s) – Config. C1

5.2.12 Direzione di provenienza delle onde: 330°N - $T_R=70$ anni

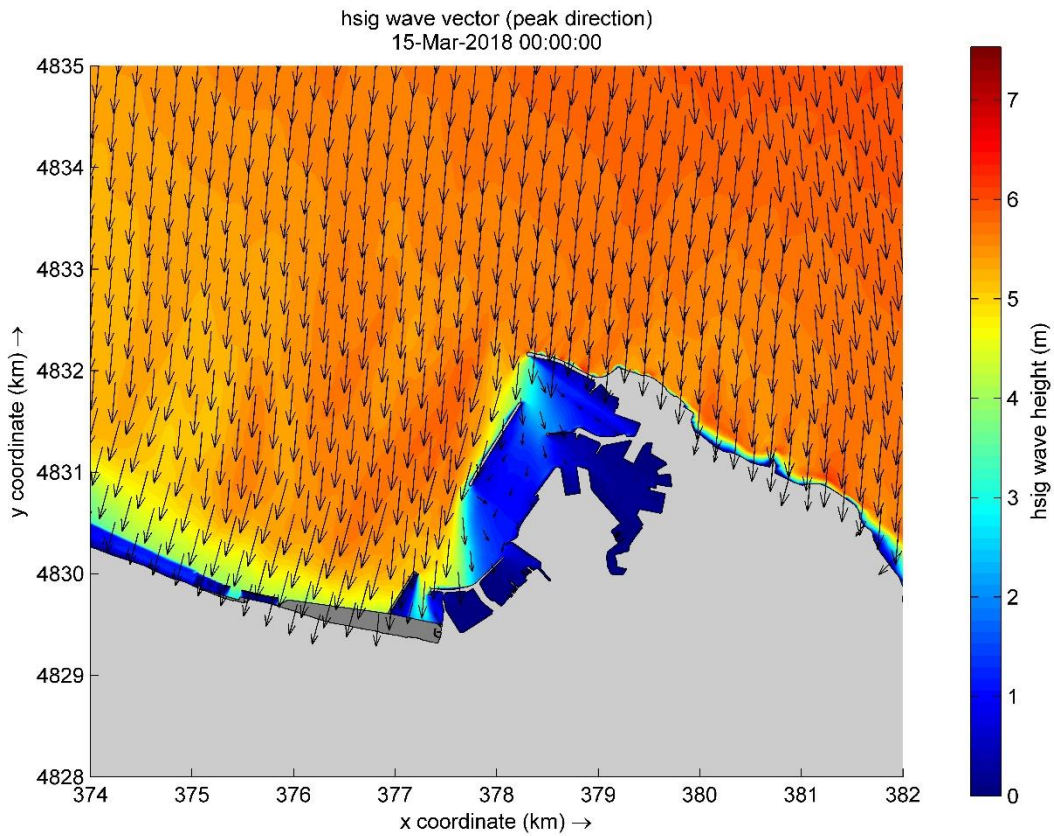


Figura 93 - Propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.807$ m $T_{p,0}=9.58$ s) – Configurazione C1

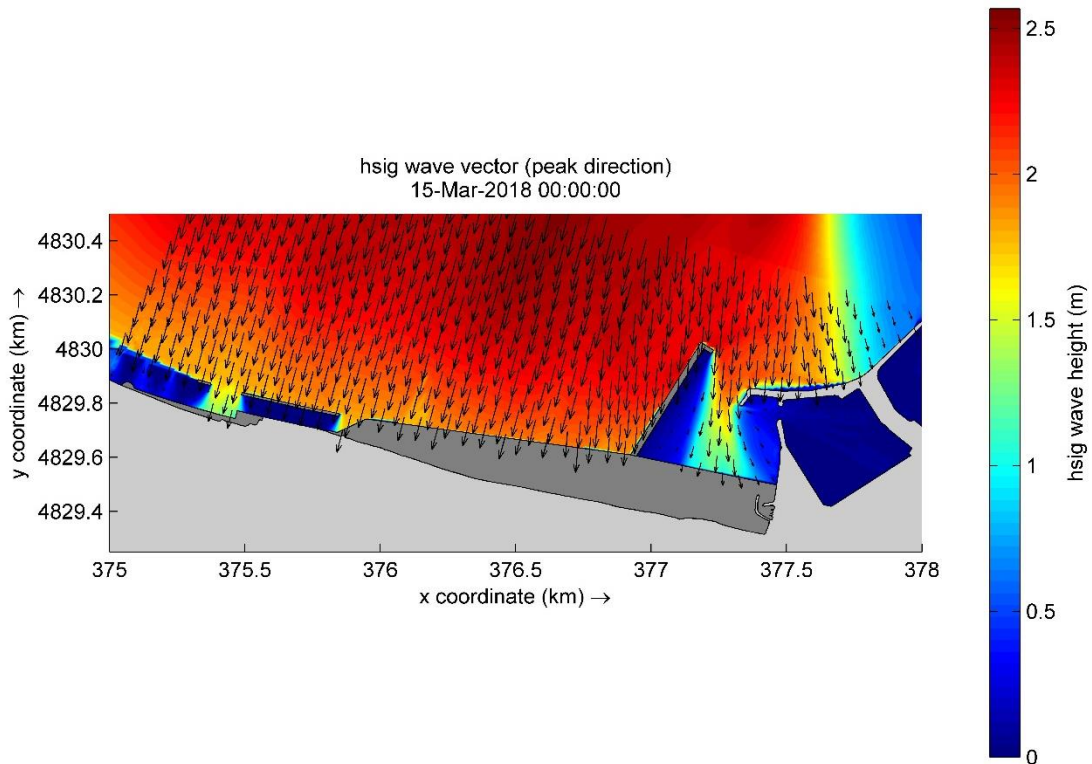


Figura 94 - Dettaglio sulla propagazione dell'onda ($T_R=70$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.807$ m $T_{p,0}=9.58$ s) – Config. C1

5.3 Altezze d'onda per le opere di progetto

5.3.1 Attacchi ondosi con tempo di ritorno $T_R=30$ anni

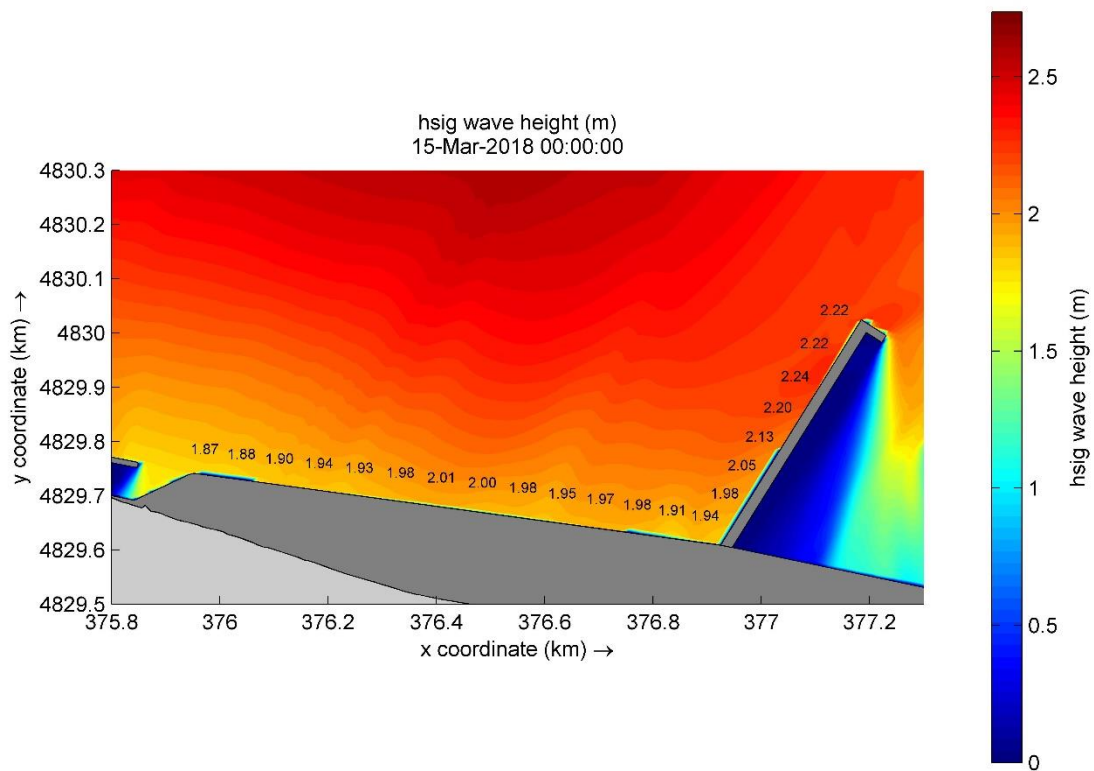


Figura 95 – Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=30$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.230$ m $T_{p,0}=8.99$ s) – Config. C1

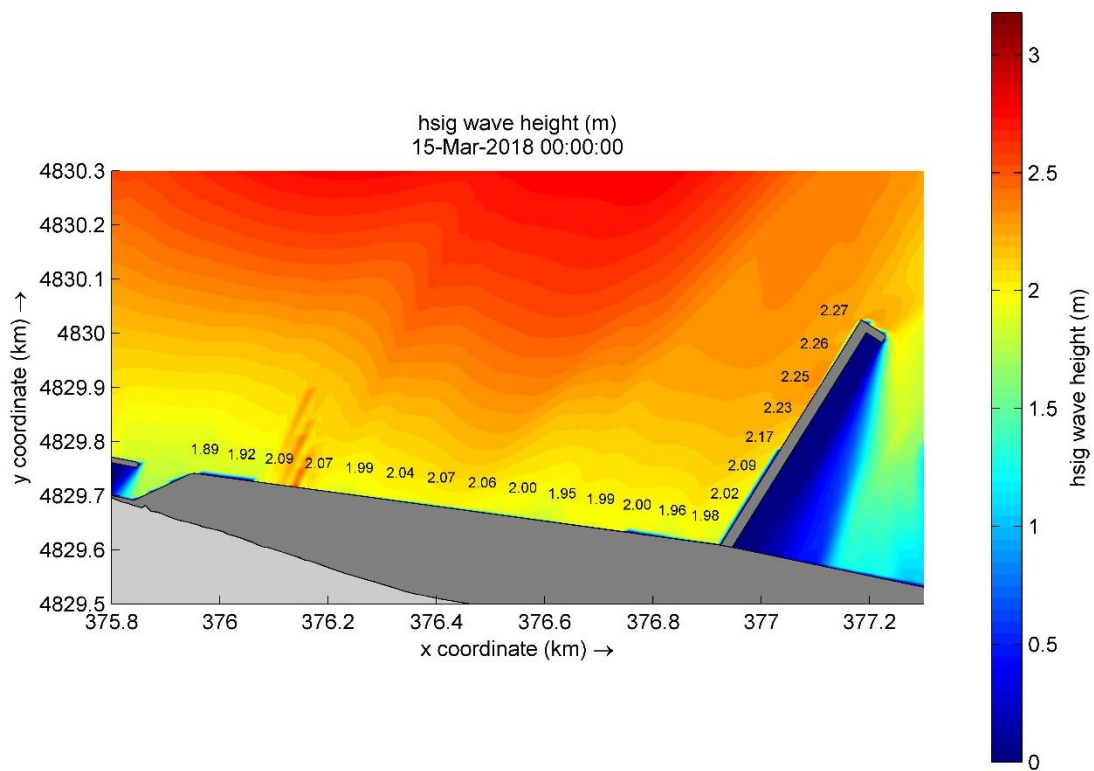


Figura 96– Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=30$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=5.783$ m $T_{p,0}=10.41$ s) – Config. C1

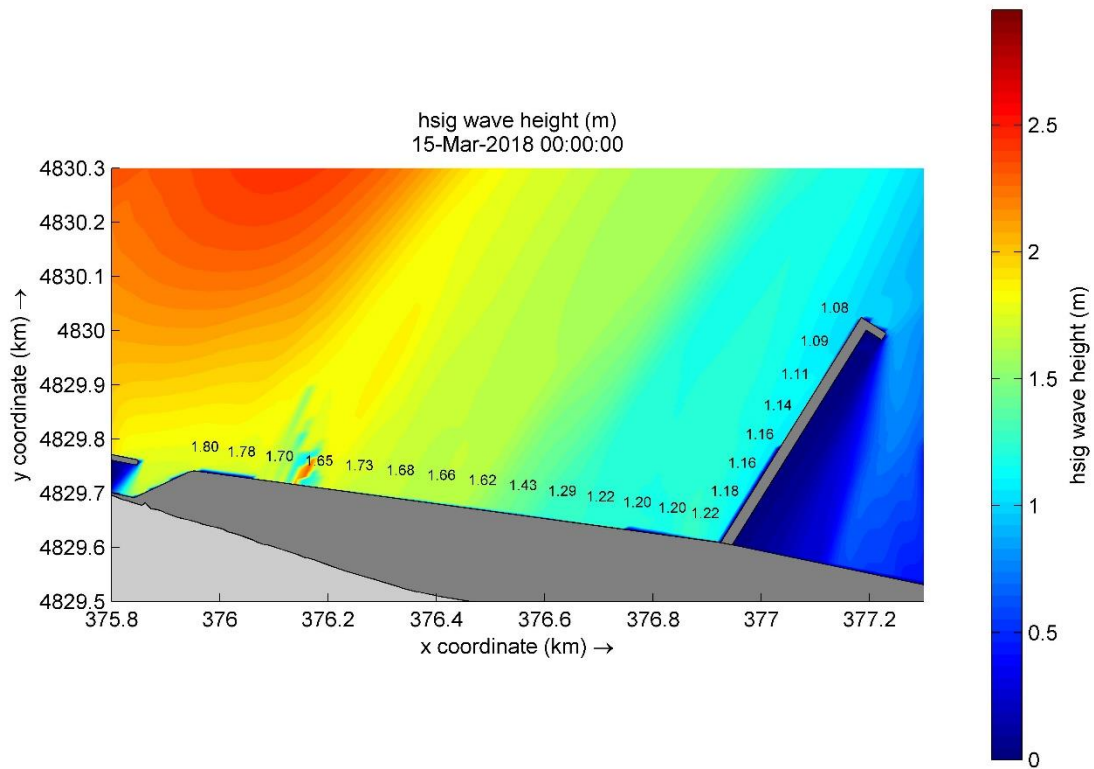


Figura 97 - Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=30$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.358$ m $T_{p,0}=9.91$ s) – Config. C1

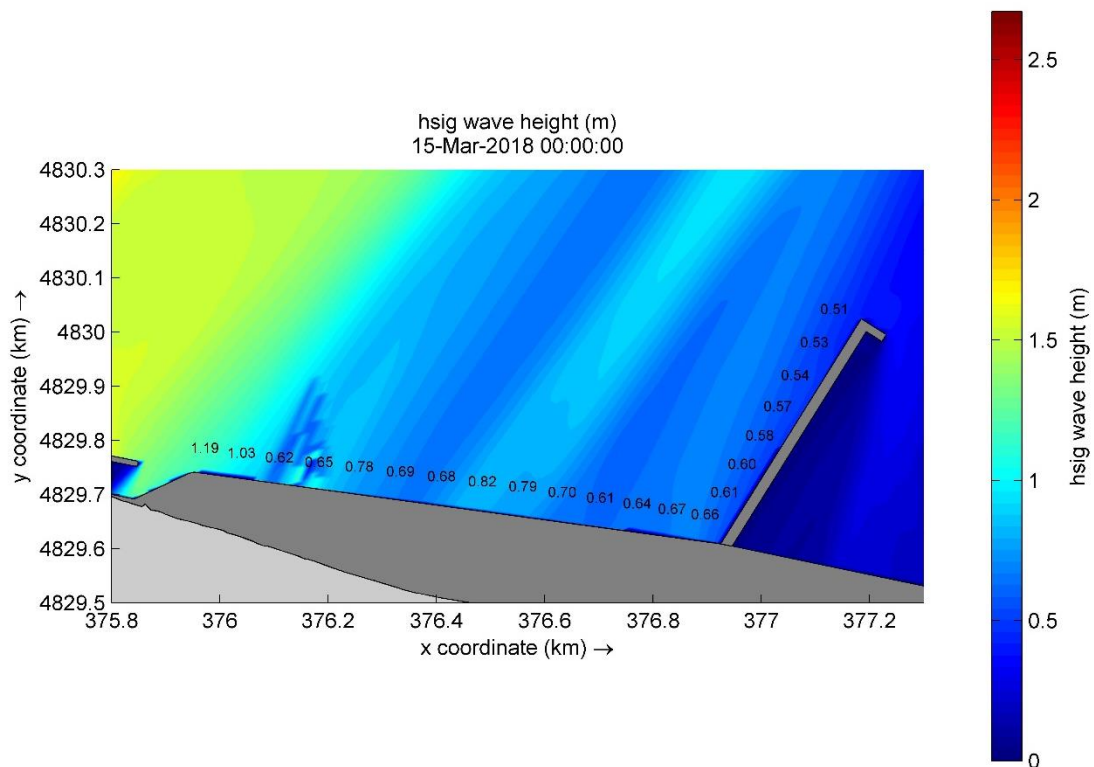


Figura 98 - Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=30$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=6.296$ m $T_{p,0}=11.44$ s) – Config. C1

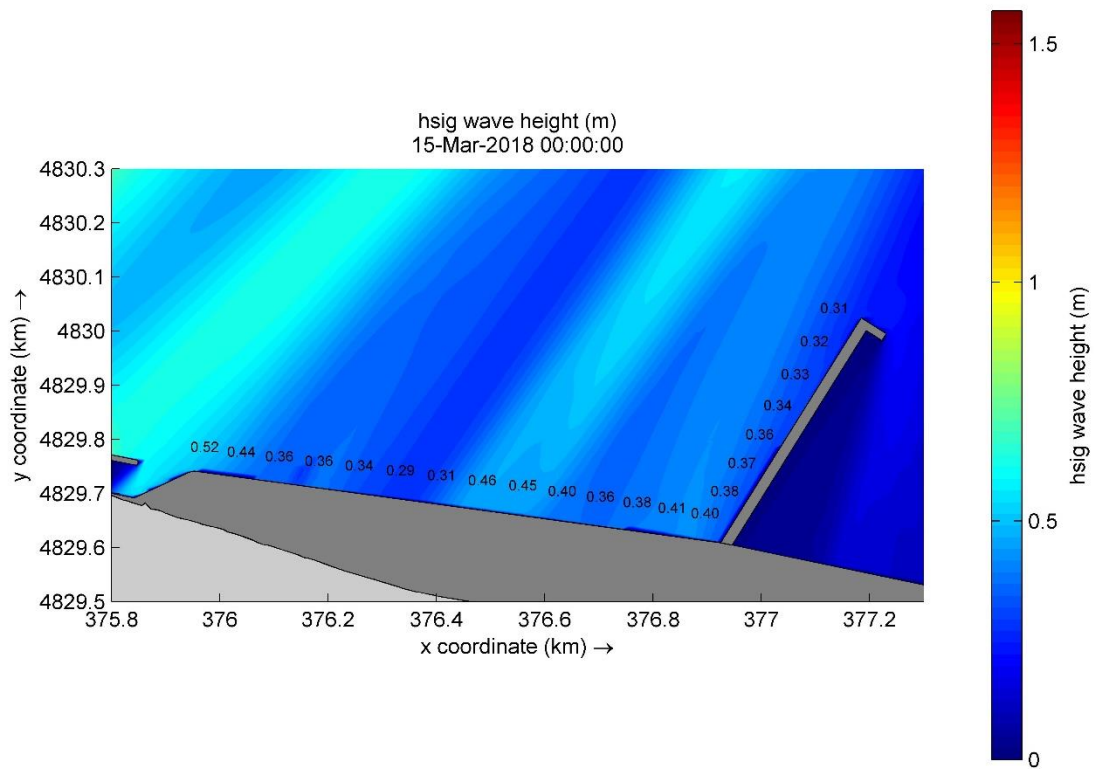


Figura 99 - Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=30$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.333$ m $T_{p,0}=12.43$ s) – Config. C1

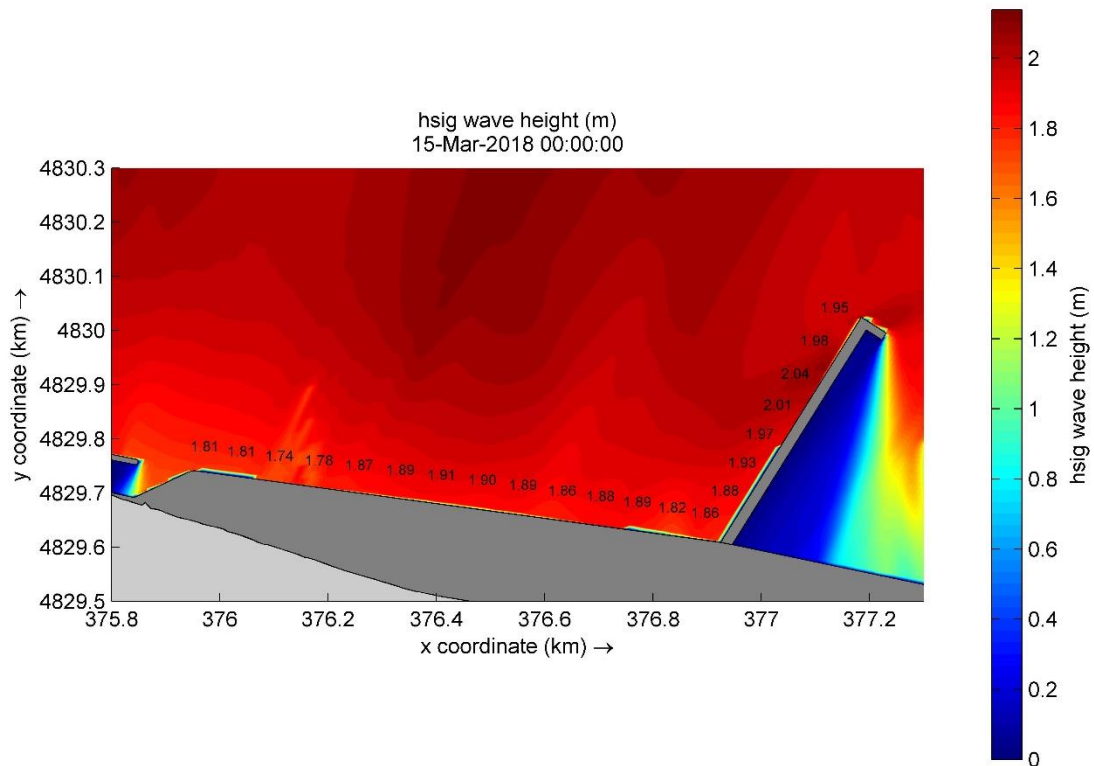


Figura 100 – Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=30$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.150$ m $T_{p,0}=8.90$ s) – Config. C1

5.3.2 Attacchi ondosi con tempo di ritorno $T_R=70$ anni

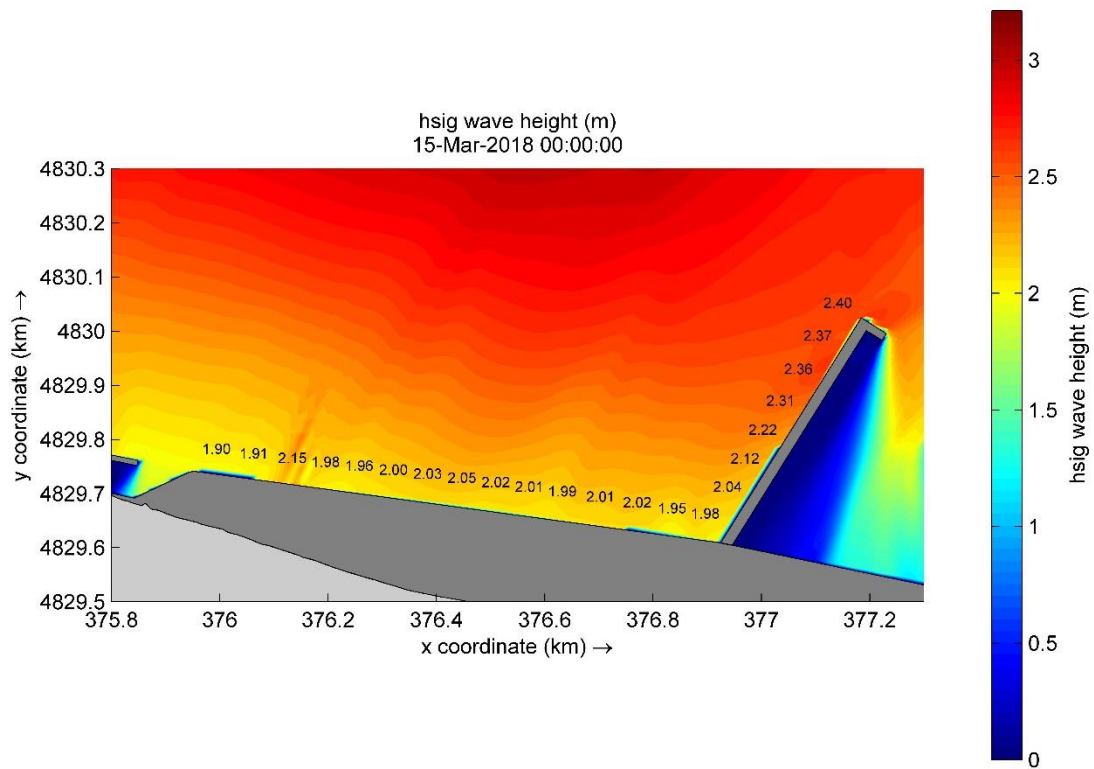


Figura 101 – Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=70$ anni: $\theta_0=0^\circ N$ $H_{s,0}=4.675$ m $T_{p,0}=9.45$ s) – Config. C1

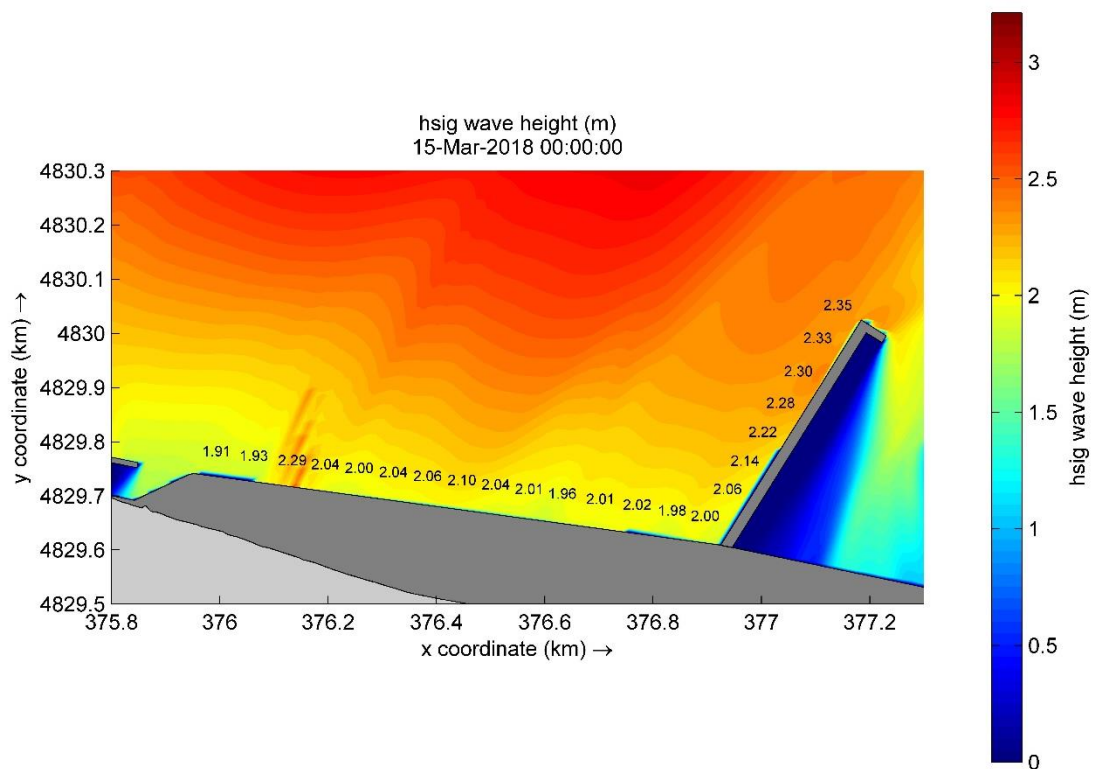


Figura 102 – Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=70$ anni: $\theta_0=30^\circ N$ $H_{s,0}=6.180$ m $T_{p,0}=10.76$ s) – Config. C1

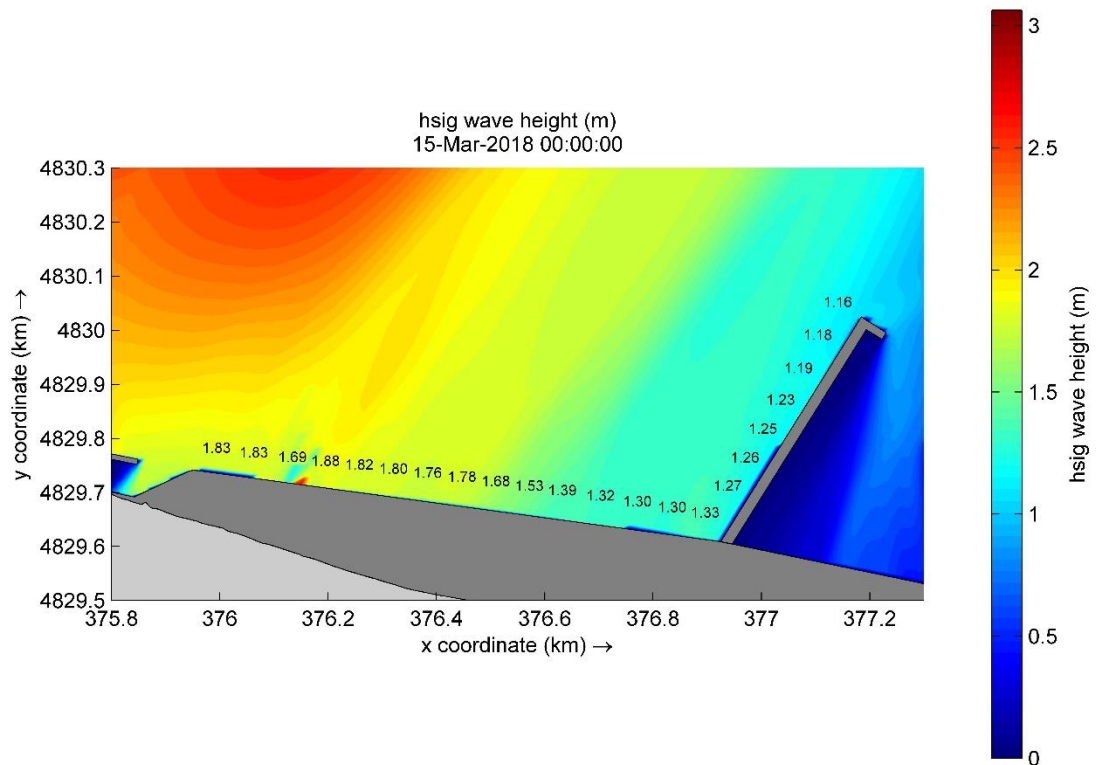


Figura 103 – Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=70$ anni: $\theta_0=60^\circ N$ $H_{s,0}=5.809$ m $T_{p,0}=10.32$ s) – Config. C1

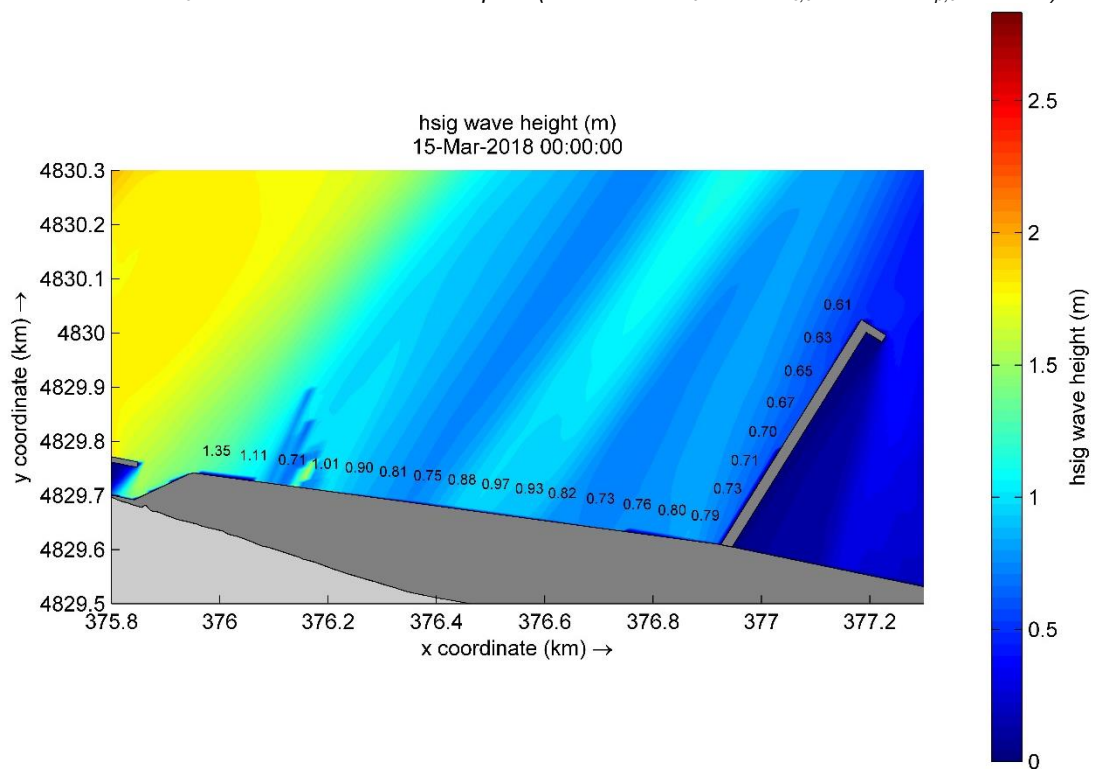


Figura 104 – Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=70$ anni: $\theta_0=90^\circ N$ $H_{s,0}=7.171$ m $T_{p,0}=12.21$ s) – Config. C1

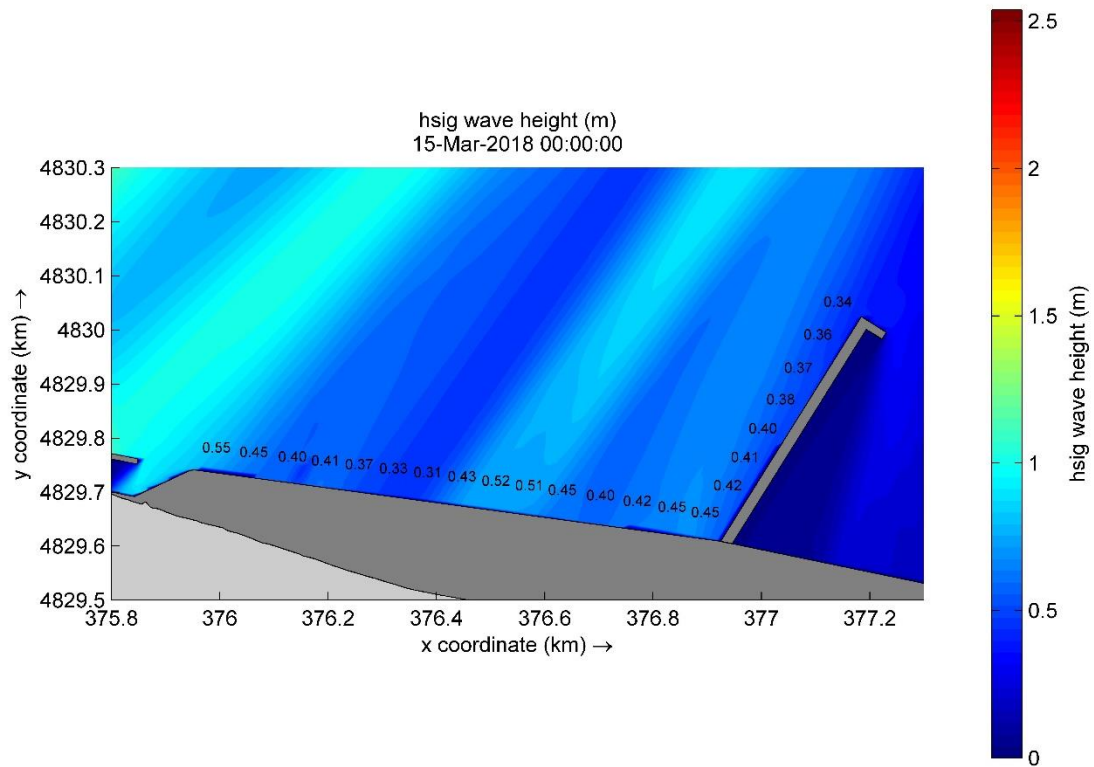


Figura 105 – Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=70$ anni: $\theta_0=120^\circ N$ $H_{s,0}=6.809$ m $T_{p,0}=12.89$ s) – Config. C1

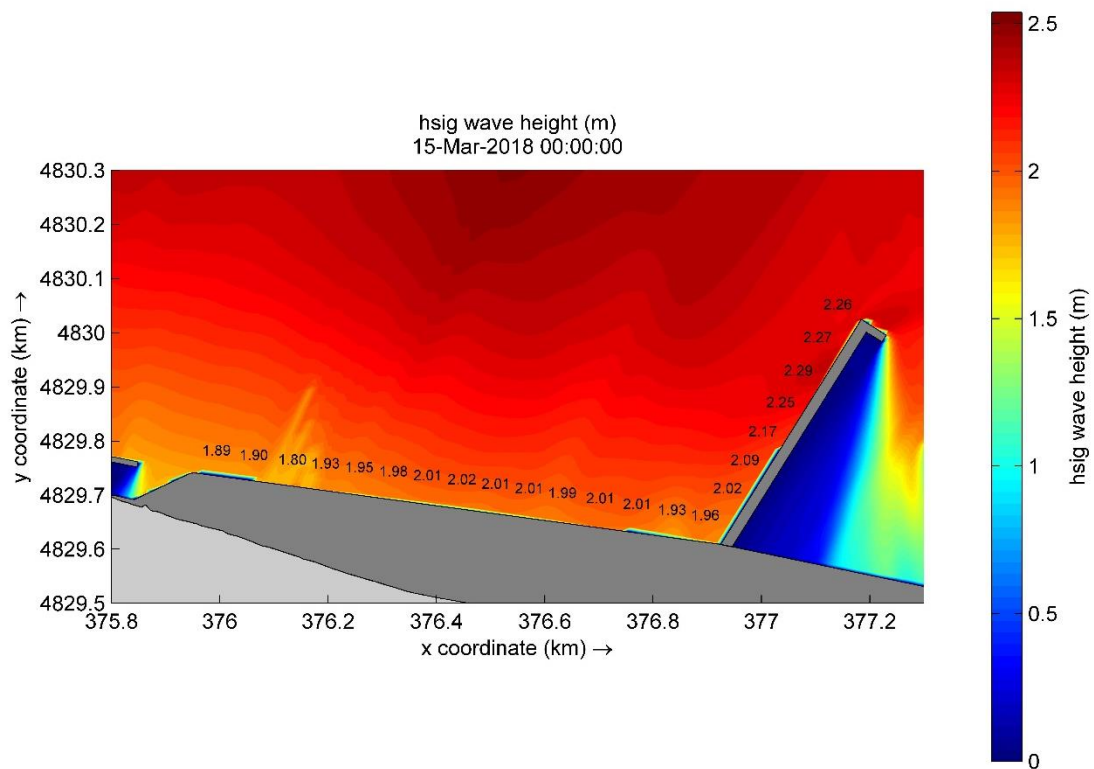


Figura 106 – Valori di H_s misurati a circa 50 m dall'opera ($T_R=70$ anni: $\theta_0=330^\circ N$ $H_{s,0}=4.807$ m $T_{p,0}=9.58$ s) – Config. C1

5.4 Sintesi riassuntiva sugli attacchi ondosi per le opere di progetto

Dall'esame dei risultati della simulazioni numeriche sulla propagazione ondosa si possono dedurre le seguenti considerazioni sintetiche.

Ponendo l'attenzione sui dati al largo della RON, relativamente ai settori delle onde di traversia per il lungomare in analisi (0°N , 30°N , 60°N , 90°N , 120°N , 330°N) e per i tempi di ritorno di progetto individuati in precedenza ($T_R=30$ anni e $T_R=70$ anni), si riscontrano i valori più elevati di periodo ondoso di picco nel settore proveniente da ESE. Per quanto riguarda l'altezza d'onda significativa, il settore in cui risulta massima è quello di Levante per il Tempo di ritorno di 70 anni, mentre per il Tempo di ritorno di 30 anni risulta più elevata per il settore di ESE.

Dall'analisi dei risultati sulla propagazione ondosa risulta, come atteso, che le opere settentrionali del Porto di Ancona offrono una protezione parziale al tratto di lungomare in questione (Ancona-Torrette) dagli attacchi ondosi di provenienza orientale, i quali subiscono inoltre ampie riduzioni di intensità per effetto della rifrazione. Il lungomare in esame risulta quindi più direttamente esposto alle ondate di provenienza settentrionale. Le ondate di provenienza nord-occidentali, subiscono invece maggiormente gli effetti della rifrazione, prima di impattare sulle opere in progetto.

Per le simulazioni con ondate con Tempo di ritorno di 30 anni si è ottenuto che i valori massimi di onda significativa incidente sulla scogliera radente del nuovo profilo del lungomare Ancona-Torrette e sul molo aggettante sono dovuti ad ondate provenienti (al largo) da 30°N , rispettivamente pari a 2,09m (radente) e 2,27m (alla testata del molo).

Per le condizioni indagate per il Tempo di ritorno di 70 anni, i valori massimi di altezza d'onda significativa che risultano incidere le opere in progetto sono pari a 2,15m per la scogliera radente ed a 2,40m per la testata del molo in aggetto, corrispondenti entrambi alle ondate provenienti (al largo) dal settore di 0°N .

Si precisa che, come già detto in precedenza, per i valori ondosi incidenti sulle opere, si è fatto riferimento alla posizione indicativa posta ad una distanza di circa 50m al largo dalle opere stesse.

L'effetto degli eventuali sovralti del livello medio del mare risulta molto marginale sui valori ottenibili di altezza d'onda per gli eventi di provenienza settentrionale, che sono risultati i più gravosi sulle opere di progetto, mentre non potrebbe essere trascurato per gli eventi ondosi di provenienza orientale e meridionale. In fase di dimensionamento delle opere in questione, si suggerisce di considerare un sovralto di circa 30-50cm per gli eventi ondosi più gravosi di provenienza settentrionale e di circa 1-1,2m per gli eventi ondosi di provenienza meridionale-orientale. A favore di sicurezza, si suggerisce, inoltre, di considerare le intensità ondose, in termini di altezza, arrotondate per eccesso, per le diverse situazioni e condizioni di attacco in esame.

6. MODELLO PER LO STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO

Nel presente capitolo sono descritte le simulazioni numeriche ed i risultati ottenuti per lo studio delle caratteristiche del fenomeno di trasporto solido dei sedimenti marini e degli effetti conseguenti alla realizzazione delle opere di progetto.

Come è noto, si ricorda che il fenomeno del trasporto solido sedimentario risulta presente ed attivo in presenza di condizioni meteomarine di intensità sostenute, mentre in condizioni di calma i sedimenti tendono a depositarsi sul fondo. Quindi, lo studio del fenomeno di trasporto è ovviamente connesso all'imposizione di condizioni delle varie componenti meteomarine di adeguata intensità, sufficienti ad innescare e forzare il trasporto sedimentario piuttosto che dare luogo al relativo deposito. Inoltre, il fenomeno morfodinamico del fondale si sviluppa su tempi generalmente ampi, con variazioni sensibili connesse anche alla successione delle mareggiate che si sviluppano nell'ordine delle stagioni e degli anni o su periodi ancora maggiori.

Sulla conoscenza della velocità di corrente idrodinamica presente nel paraggio indagato, della caratterizzazione dei sedimenti marini coinvolti nel fenomeno e sulle entità dei depositi sedimentari e di molte delle grandezze ambientali in gioco, si hanno informazioni estremamente carenti per poter tarare una modellazione numerica affidabile ed efficace. Per cui, sull'inquadramento del problema in questione e sulle impostazioni del modello di studio, si è fatto riferimento alle scarse informazioni disponibili e si sono dovute imporre delle condizioni inevitabilmente semplificative al fenomeno fisico da studiare ed il modello numerico di rappresentazione della stessa fenomenologia è stato calibrato basandosi anche sulle osservazioni empiriche dirette.

Nella assoluta impossibilità di modellare fenomeni o eventi fisici di lunga o lunghissima durata (dell'ordine dei mesi, degli anni o ancora più), sono state forzatamente simulate evoluzioni del fenomeno di trasporto solido limitate ad una scala temporale ridotta. Quindi, in quest'ottica, si è scelto di simulare un evento di trasporto solido di sedimenti che si sviluppa in pochi giorni con trasporto solido in sospensione proveniente dal Fiume Esino.

Dal bacino del Fiume Esino provengono sia i sedimenti grossolani (sabbie e ghiaie), sia i sedimenti fini (peliti) trasportati prevalentemente in sospensione. Alla foce del Fiume Esino, per le condizioni morfologiche ed ambientali presenti (terrapieno API e promontorio del Monte Conero), le sabbie e le ghiaie vengono avviate verso NordOvest, cioè verso Marina di Montemarciano, mentre i sedimenti in sospensione si dirigono prevalentemente verso il Porto di Ancona. A seguito di eventi piovosi di una certa intensità, il getto generato dalle piene alla foce dell'Esino, con i sedimenti più fini in sospensione, alimenta una corrente litoranea che si propaga sino al Porto di Ancona.

Nonostante le semplificazioni adottate, le risultanze delle simulazioni effettuate sono in grado di fornire utilissime indicazioni, specialmente qualitative, sulle caratteristiche del

trasporto solido sedimentario nel paraggio costiero indagato e sulle direzioni dei flussi sedimentari, poi destinati a depositarsi sul fondo, in condizioni di calma.

6.1 Caratterizzazione delle forzanti del trasporto solido nel paraggio di Ancona

Oltre alla corrente di circolazione generale, che risulta sempre presente, pur con intensità variabile, e che sta alla base delle azioni forzanti che alimentano il trasporto solido, vanno considerate anche le altre caratteristiche ambientali che forniscono contributi al trasporto sedimentario, come il moto ondoso, il vento, nonché il trasporto solido fluviale del corso d'acqua più vicino, il Fiume Esino, che costituisce la principale fonte di alimentazione sedimentaria nel paraggio marino.

La stima delle caratteristiche meteomarine da considerare agenti nel paraggio marino in esame per la valutazione del trasporto solido, viene effettuata facendo riferimento ad eventi di intensità media e di durata prolungata, secondo quanto specificato in precedenza. A tal fine, per le principali grandezze fisico-ambientali per le quali è possibile effettuare studi di tipo statistico, sono stati considerati tempi di ritorno relativamente bassi, limitati all'ordine di 1-2 anni, come descritto di seguito.

I dati a disposizione per la stima delle correnti marine, della portate liquida e solida del fiume Esino sono scarsi. I dati utilizzati per la modellazione del trasporto solido sono stati desunti da diverse fonti. In particolare si è fatto riferimento allo studio dall'Aquater, relativo al Piano della costa della Regione Marche, ai dati ondametrici della RON per le informazioni ondose, ad alcuni noti modelli meteorologici per i dati anemometrici, agli studi del CNR per le correnti di circolazione e alle batimetrie effettuate negli anni con lo scopo di stimare il volume di materiale trasportato lungo la costa.

6.1.1 Corrente di circolazione generale

La scarsità di dati disponibili e di misurazioni effettuate è stata un fattore limitante nella scelta dei valori adeguati di intensità media da attribuire alla corrente di circolazione generale da applicare nel paraggio costiero indagato per le simulazioni del modello idrodinamico.

La scelta di un valore di velocità media della corrente di circolazione generale litoranea nel tratto di costa che va da Rimini ad Ancona è stata effettuata sulla base delle poche informazioni disponibili, oltre che in accordo con le esperienze maturate dai membri del gruppo di lavoro di questo studio. Le sole misure in campo disponibili per il paraggio marino indagato sono state effettuate dal CNR-ISMAR nell'ambito di uno studio sulla dinamica dei sedimenti marini provenienti da escavi portuali. I dati sono stati acquisiti tramite correntometri sul fondo per un intervallo di tempo di poche settimane (primavera del 2015); in tale periodo di tempo non si sono verificate importanti eventi di mareggiate

intense. In tale campagna di misure, era stata registrata, nei pressi lato-terra della diga foranea antistante il Porto di Ancona, una velocità media nella colonna d'acqua di circa 0,1-0,2m/s. Nell'ambito dello stesso studio, il correntometro posto nella Baia di Mezzavalle di Portonovo, aveva registrato velocità medie nella colonna d'acqua che hanno superato anche i 0,3-0,4m/s, mentre lo strumento posto al largo del Fiume Cesano, al largo di Senigallia, aveva rilevato valori fino a 0,5-0,6m/s. Ulteriori informazioni sono deducibili dalle pubblicazioni dell'Istituto Idrografico della Marina, in particolare, dall'Atlante delle correnti superficiali dei mari italiani si deducono valori medi mensili della corrente litoranea superficiale, individuati a circa 5-10 miglia marine dalla costa, mensilmente variabili pari a 0,3-0,6 nodi.

A seguito di una fase di calibrazione del modello, per ottenere velocità di tale intensità nel paraggio marino in prossimità del Porto di Ancona, si è scelto di adottare, sul contorno a Nord della griglia di studio, un valore di velocità superiore, considerando le perdite di carico subite nella propagazione nelle acque basse nella zona rappresentata dal dominio di calcolo. Si è quindi scelto di imporre sul contorno Nord del dominio un valore cautelativo della velocità della corrente pari a 1 m/s, superiore quindi ai dati misurati.

Sugli altri lati di contorno della griglia di calcolo, è stata adottata una condizione di omogeneità del livello acqueo in modo da garantire l'uscita del flusso della corrente di circolazione, imposta come azione forzante sul contorno Nord.

6.1.2 Corrente costiera dovuta al moto ondoso

La condizione ondosa scelta per la determinazione del trasporto solido è quella associata alla serie dei dati della RON (che, come rilevato in precedenza, si è dimostrata essere quella più gravosa) con un periodo di ritorno di 2 anni. Il settore direzionale che più favorisce il trasporto in corrispondenza del lungomare, in direzione delle opere portuali, è risultato quello proveniente dagli 0°N, settore per il quale le onde risultano inclinate rispetto alla linea di costa, favorendo il generarsi di intense correnti parallele alla costa. Per il settore di provenienza ondosa proveniente dai 330°N, sebbene l'inclinazione rispetto alla linea di costa risulti maggiore, le minori altezze d'onda inducono una corrente lungocosta, longitudinale alla riva di intensità inferiore.

Di conseguenza, in riferimento alla Tabella 19, le condizioni ondose scelte per la determinazione delle correnti ondose lungocosta, longitudinali alla riva sono:

$$H_s = 2,80\text{m} \quad \text{e} \quad T_p = 7,27\text{s}$$

6.1.3 Corrente costiera dovuta alla presenza del vento

Per l'azione del vento, considerata come contributo forzante di alimentazione della corrente di trasporto sedimentario, è stata effettuata un'analisi statistica analoga a quella

effettuata per le onde. In questo caso, si è fatto riferimento ai dati a disposizione provenienti dal modello meteomarinario NOAA-WW3 che fornisce, così come per le onde, valori tri-orari della velocità e della direzione del vento in un arco temporale di 31 anni.

La Tabella 25 riassume i risultati ottenuti dall'applicazione della distribuzione statistica di Weibull sui campioni di velocità del vento estratti dal modello WW3. Anche in questo caso si è scelto di considerare il settore di provenienza anemometrica di 0°N, relativamente ad un tempo di ritorno di 1 anno. La velocità del vento scelta per le simulazioni riguardanti il trasporto solido è stata quindi pari a: $v_{\text{vento}} = 12,8 \text{ m/s}$

Tabella 25 - Risultati dell'elaborazione statistica di Weibull sui dati di velocità del vento

SETTORE 0°N		SETTORE 30°N		SETTORE 60°N		SETTORE 90°N	
T_R	$v \text{ (m/s)}$	T_R	$v \text{ (m/s)}$	T_R	$v \text{ (m/s)}$	T_R	$v \text{ (m/s)}$
1	12.8	1	15.3	1	12.0	1	10.8
2	14.5	2	16.6	2	13.3	2	12.3
5	16.5	5	18.3	5	14.9	5	13.6
10	17.9	10	19.5	10	16.1	10	14.4
15	18.6	15	20.1	15	16.9	15	14.8
20	19.1	20	20.6	20	17.4	20	15.0
25	19.5	25	20.9	25	17.8	25	15.2
30	19.8	30	21.2	30	18.1	30	15.4
50	20.7	50	22.0	50	19.0	50	15.8
70	21.3	70	22.5	70	19.7	70	16.1
100	21.9	100	23.0	100	20.3	100	16.4
140	22.4	140	23.5	140	20.9	140	16.6
150	22.5	150	23.6	150	21.0	150	16.7
200	23.0	200	24.0	200	21.5	200	16.9
300	23.6	300	24.6	300	22.3	300	17.2
500	24.4	500	25.3	500	23.2	500	17.5
1000	25.4	1000	26.3	1000	24.4	1000	18.0

SETTORE 120°N		SETTORE 300°N		SETTORE 330°N	
T_R	$v \text{ (m/s)}$	T_R	$v \text{ (m/s)}$	T_R	$v \text{ (m/s)}$
1	12.3	1	10.5	1	11.1
2	13.5	2	11.8	2	12.7
5	15.1	5	13.5	5	14.4
10	16.3	10	14.8	10	15.6
15	17.0	15	15.5	15	16.3
20	17.5	20	16.0	20	16.7
25	17.8	25	16.5	25	17.1
30	18.2	30	16.8	30	17.3
50	19.0	50	17.8	50	18.1
70	19.6	70	18.4	70	18.6
100	20.2	100	19.0	100	19.1
140	20.8	140	19.7	140	19.5
150	20.9	150	19.8	150	19.6
200	21.4	200	20.3	200	20.0
300	22.1	300	21.1	300	20.5
500	23.0	500	22.0	500	21.2
1000	24.2	1000	23.3	1000	22.1

6.1.4 Valutazione della portata liquida e solida del fiume Esino

Per la zona di analisi si è assunto che il materiale solido provenga essenzialmente dalle piene del Fiume Esino. Il trasporto solido del fiume Esino è composto da ghiaie, sabbie e peliti. Il materiale grossolano, come le ghiaie, è trasportato principalmente verso Nord (Falconara, Montemarciano), mentre il materiale più fine, come le sabbie fini, limi e argille (peliti), viene trasportato principalmente verso Sud, in quanto le correnti sono in grado di trasportare solo i sedimenti in sospensione.

I dati a disposizione per la stima delle correnti, della portate liquida e solida del fiume Esino sono scarsi. I dati utilizzati per la modellazione del trasporto solido fluviale sono stati desunti da diverse fonti. In particolare si è fatto riferimento allo studio dall'Aquater, relativo al Piano della costa della Regione Marche, con lo scopo di stimare il volume di materiale trasportato.

Sullo studio dell'Aquater, relativo al Piano di difesa della costa delle Marche, del 1982, si hanno indicazioni delle portate dei diversi corsi d'acqua marchigiani per vari tempi di ritorno. Nella simulazione della piena del Fiume Esino si è assunto un valore di portata di $500\text{m}^3/\text{s}$.

Tabella 26 – Portata al colmo per i diversi fiumi marchigiani ($T_R=2$ anni e $T_R=5$ anni).

Tempo di ritorno [anni]	2	5
Foglia	188	361
Arzilla	93	147
Metauro	306	488
Cesano	205	342
Misa	216	341
Esino	329	581
Musone	155	286
Potenza	199	341
Chienti	315	547
Tenna	250	354

Anche per la stima della portata solida trasportata si è fatto riferimento allo stesso studio dell'Aquater, in cui sono riportati i volumi annui di materiale solido sospeso trasportato nell'anno per i diversi fiumi marchigiani (si veda la Tabella 27). Per il fiume Esino si è considerato un volume annuo di sedimenti sospesi trasportati pari a 500.000m^3 . Assumendo inoltre che il peso specifico del sedimento in sospensione sia pari a $1.600\text{kg}/\text{m}^3$, si è ricavata la massa solida trasportata annualmente.

I dati di ingresso del modello numerico richiedono la conoscenza della concentrazione del sedimento coesivo e non coesivo. Le simulazioni sono state effettuate andando a rappresentare un evento di piena, tenendo conto che il sedimento viene essenzialmente mobilitato durante tali eventi. Dalla conoscenza dei sedimenti trasportati durante l'intero anno, dei volumi liquidi che defluiscono durante gli eventi di piena e del numero di piene nell'anno, si è stimato che la concentrazione di sedimenti solidi sia di circa 4kg/m^3 . Tenendo anche conto dell'incertezza di tutti i dati necessari alla stima delle grandezze da utilizzare come input nelle simulazioni numeriche si è cautelativamente assunto che la concentrazione dei sedimenti fosse pari a 5kg/m^3 .

Tabella 27 – Volume annuo di materiale solido in sospensione trasportato dai diversi fiumi marchigiani.

BACINI	SUPERFICIE DEL BACINO (km^2)	MATERIALE TRASP. IN SOSP. (m^3)		EROSIONE MEDIA ANNUA (m^3/km^2)	
		MIN	MAX	MIN	MAX
Foglia	701	345.350	563.600	492,6	804,0
Arzilla	104	57.200	93.100	550,0	895,2
Metauro	1.405	236.200	423.404	168,1	301,4
Cesano	413	141.250	238.900	342,0	578,4
Misa	376	203.250	323.600	540,0	860,6
Esino	1.203	375.450	649.900	312,1	540,2
Musone	642	337.250	889.450	525,3	1.385,4
Potenza	775	180.600	327.000	233,0	421,9
Chienti	1.297	538.550	887.200	415,2	676,3

6.2 APPLICAZIONE DEL MODELLO

L'analisi del trasporto solido dei sedimenti apportati dal Fiume Esino e trasportati longitudinalmente alla costa da condizioni meteomarine sostenute, di diverso tipo (corrente di circolazione, da vento o da onde) viene effettuata utilizzando il modulo principale del software *Delft3D*.

Delft3D-FLOW è un modello di simulazione idrodinamica, che può essere utilizzato in modalità bidimensionale (mediato sulla verticale) o tridimensionale. Esso calcola fenomeni di flusso e trasporto non stazionari che derivano da forzanti mareologiche e meteorologiche su una griglia rettilinea o curvilinea. Questo modulo può essere usato per la predizione del flusso in acque basse, zone costiere, estuari, lagune, fiumi e laghi.

Se il fluido è omogeneo verticalmente, un approccio mediato sulla verticale risulta appropriato. *Delft3D-FLOW* può essere quindi agevolmente eseguito in modalità 2D

(un livello computazionale), corrispondente alla risoluzione delle equazioni mediate sulla verticale.

Il sistema di equazioni comprende: l'equazione del moto orizzontale, l'equazione di continuità e quelle di trasporto per le costituenti conservative. Esse sono formulate in coordinate curvilinee ortogonali o sferiche. Modelli con una griglia rettangolare sono considerati come una forma semplificata di una griglia curvilinea. In coordinate curvilinee, il livello della superficie libera e la batimetria sono correlate ad un piano di riferimento orizzontale.

Nel modello *Delft3D-FLOW* (sia 2D che 3D) vengono risolte le equazioni non lineari delle acque basse. Queste equazioni derivano dalle equazioni tri-dimensionali di Navier-Stokes per flusso incomprimibile a superficie libera. L'insieme delle equazioni alle derivate parziali, in combinazione con un insieme appropriato di condizioni iniziali e al contorno, viene risolto alle differenze finite su una griglia strutturata.

Il modulo morfologico e del trasporto dei sedimenti supporta sia il trasporto in sospensione (sedimenti coesivi e non coesivi) che al fondo (sedimenti non coesivi). Per la schematizzazione distinguiamo il "fango" (trasporto di sedimento in sospensione) e le frazioni "sabbia" (trasporto in sospensione e sul fondo del sedimento non coesivo). Un modello può contenere fino a 99 frazioni di "sabbia" o combinazioni di "sabbia" e "fango".

Il trasporto solido è calcolato in *Delft3D* a partire dalle variabili idrodinamiche. La teoria generale del trasporto solido, prevede che il trasporto totale sia pari alla somma del trasporto di fondo e di quello di sospensione. Questa suddivisione è dovuta dalla diversa fisica dei fenomeni che generano il trasporto dei sedimenti. Per calcolare il trasporto di sospensione si utilizza l'equazione di avvezione-diffusione. Per il trasporto al fondo, invece, si utilizzano delle relazioni empiriche che stimano la massa di sedimenti trasportata al di sotto di una certa altezza di riferimento.

6.2.1 Griglie di calcolo e batimetrie

Le griglie di riferimento da utilizzare nel modulo *FLOW* differiscono da quelle utilizzate nelle simulazioni relative al modulo *WAVE*, per il trasferimento del moto ondoso descritto in precedenza. Anche in questo caso si è scelto di utilizzare griglie a diversi livelli di risoluzione, a seconda della lontananza dalla zona di interesse. La tecnica utilizzata per questo studio non è quella del *nesting*, come per il modulo *WAVE*. Infatti, nella modellistica numerica, il metodo alternativo, all'innestare una griglia nell'altra a diversa risoluzione, consiste nella metodologia del *Domain Decomposition*, che consiste nell'affiancare planimetricamente griglie di diversa risoluzione. Questa tecnica risulta anche meno onerosa, in termini computazionali, nel caso in questione.

I metodi di scomposizione del dominio risolvono il problema dei valori nei contorni dividendolo in problemi più piccoli sui sottodomini e iterando per coordinare la soluzione

tra sottodomini adiacenti. In questo caso il dominio deve essere suddiviso in zone in cui può essere effettuato un raffittimento locale. Rispetto alla tecnologia del *nesting*, l'onere in termini di tempi di calcolo è inferiore, ma necessita di una maggiore precisione nella realizzazione della griglia stessa. Infatti, tutti i nodi della griglia esterna che ricadono nel *Domain Decomposition Boundary (DDB)*, devono coincidere perfettamente con gli stessi di quella interna. Si determina quindi uno specifico rapporto di raffittimento che non dovrebbe (di norma) superare valori pari a 6-7.

La griglia esterna utilizzata si sviluppa per una vasta area, come nel caso del modulo *WAVE*, da Rimini a Civitanova Marche e presenta una maglia con un passo di circa 350m (Figura 107).

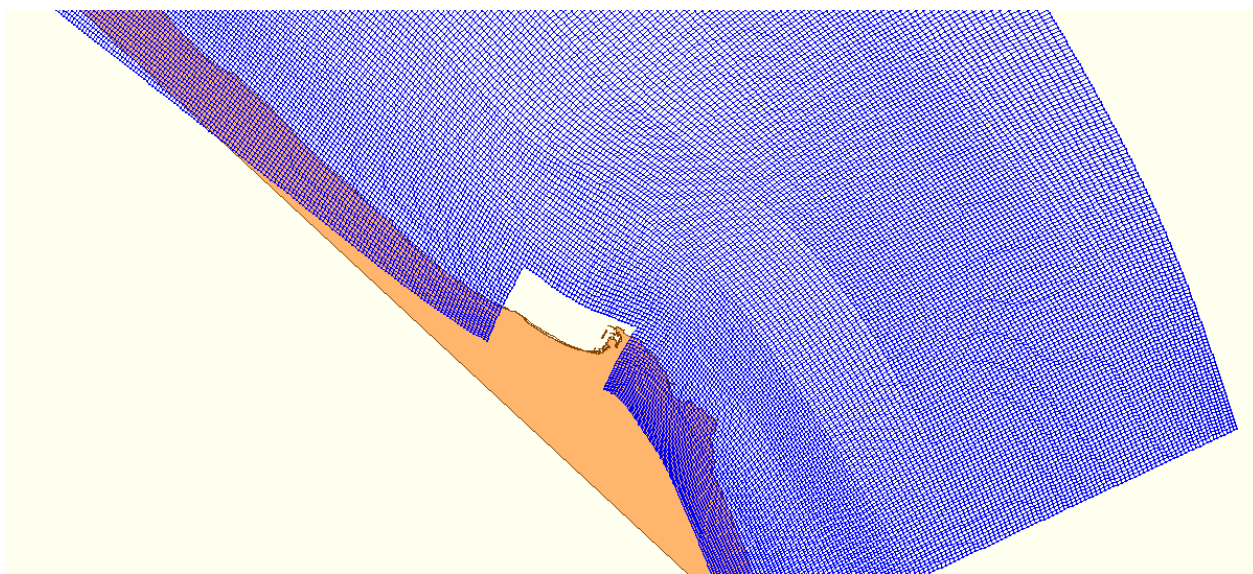


Figura 107 - Griglia esterna utilizzata nel modulo FLOW

La griglia interna copre in modo dettagliato l'area che va dal Fiume Esino a tutto il porto di Ancona, la maglia di circa 30m è risultata idonea per la valutazione del trasporto del carico solido proveniente dal fiume. Come evidente in Figura 108 la griglia è stata deformata in corrispondenza delle principali opere portuali e dighe foranee. Tale operazione, seppur negativa ai fini della stabilità e robustezza numerica, in quanto ha provocato locali diminuzioni dell'ortogonalità della griglia, non ha influenzato la bontà dei risultati grazie all'elevato livello di raffittimento raggiunto. Al contrario, grazie a questo, è stato possibile modellare il vincolo posto da questo tipo di strutture che sono quindi state modellate come "*thin dams*", intese come ostacoli di dimensioni inferiori alla larghezza della maglia, attraverso i quali non può avvenire uno scambio di massa; per cui la velocità risulterà sempre, quindi, parallela alla direzione dell'ostacolo. In corrispondenza del Fiume Esino è stata tagliata la griglia in modo da poter impostare una condizione al contorno di portata (liquida e solida) in corrispondenza di tale "apertura".

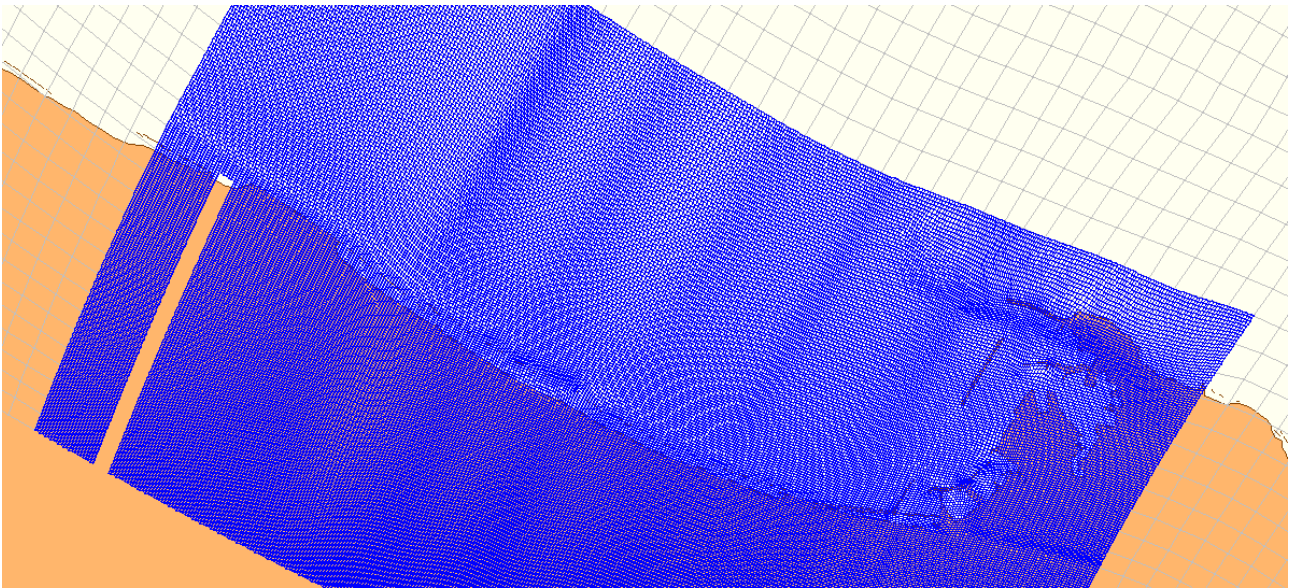


Figura 108 Griglia interna utilizzata nel modulo FLOW

La Figura 109 mostra, infine, il *DDB* (somma dei lati viola) che è stato realizzato tra le due griglie e sul quale avviene il calcolo iterativo per garantire la continuità dei valori tra i due diversi domini.

Seguendo la procedura esposta in precedenza, sono state realizzate diverse batimetrie per le diverse configurazioni adottate (in aggiunta alle due configurazioni C0 e C1 descritte nel Capitolo 2, ne è stata analizzata una terza, denominata C2, variante della Configurazione C1), utilizzando lo stesso set di campioni batimetrici illustrato in precedenza e una batimetria esterna comune a tutte e tre le configurazioni.

Anche in questo caso le batimetrie sono state ottenute mediante una procedura di triangolazione sui campioni di profondità raccolti e georeferenziati. Nelle figure fra la Figura 110 e la Figura 113 sono riportate le interpolazioni ottenute per le diverse griglie nelle configurazioni C0, C1 e C2.

Per favorire la stabilità delle simulazioni tutti i punti a terra sono stati posti alla quota di +2m. Nelle configurazioni C1 e C2 la batimetria è stata modificata solo localmente per tener conto della presenza delle nuove opere in progetto.

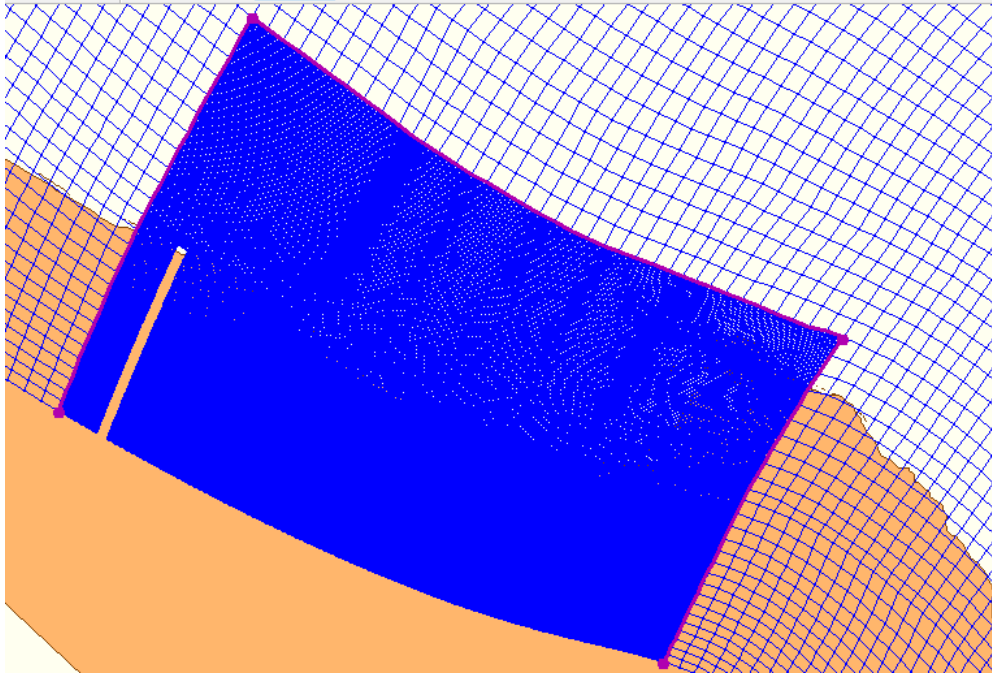


Figura 109 Domain Decomposition Boundary realizzato per unire le griglie a diversa risoluzione

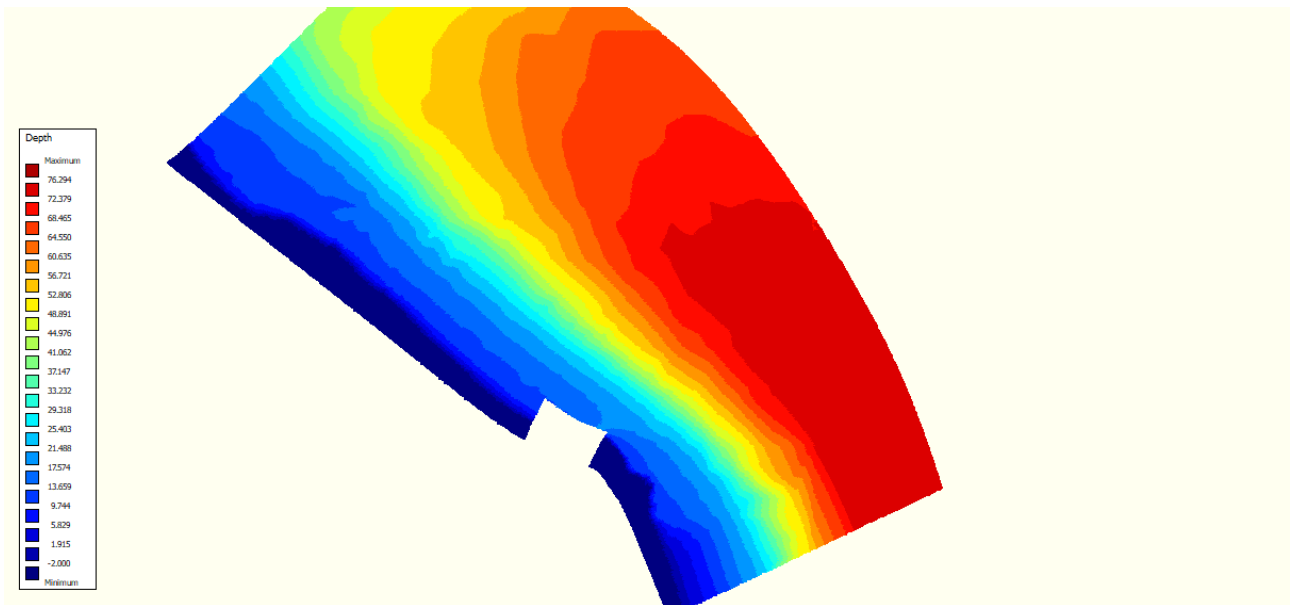


Figura 110 - Batimetria esterna utilizzata nel modulo FLOW

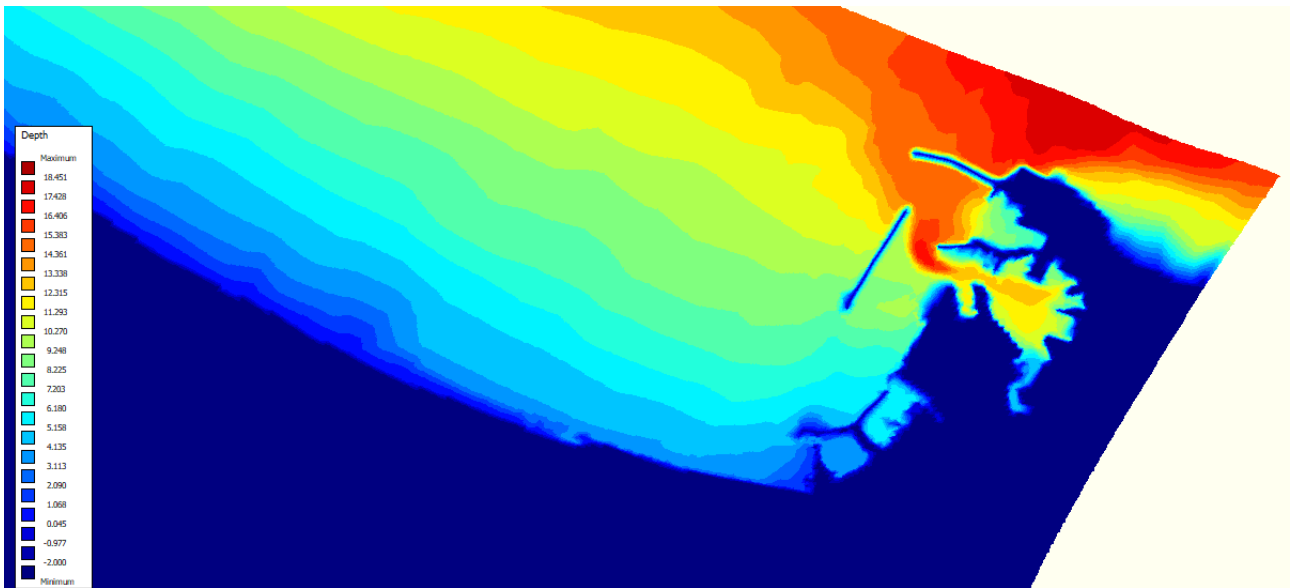


Figura 111 - Batimetria interna utilizzata nel modulo FLOW in configurazione "C0"

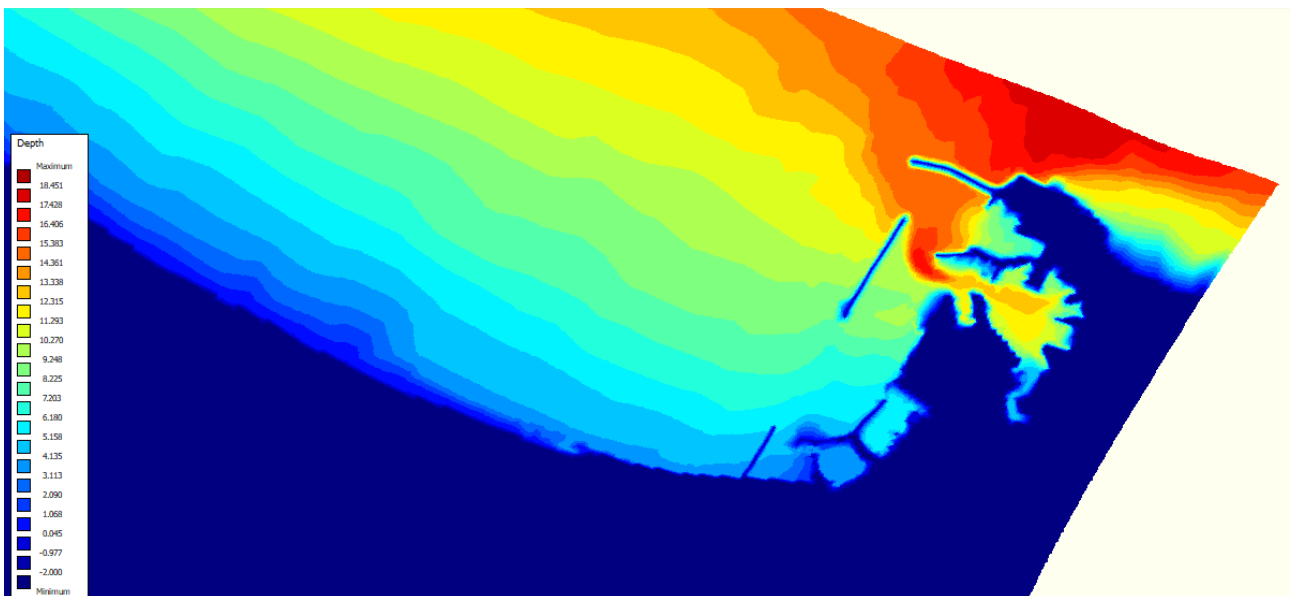


Figura 112 - Batimetria interna utilizzata nel modulo FLOW in configurazione "C1"

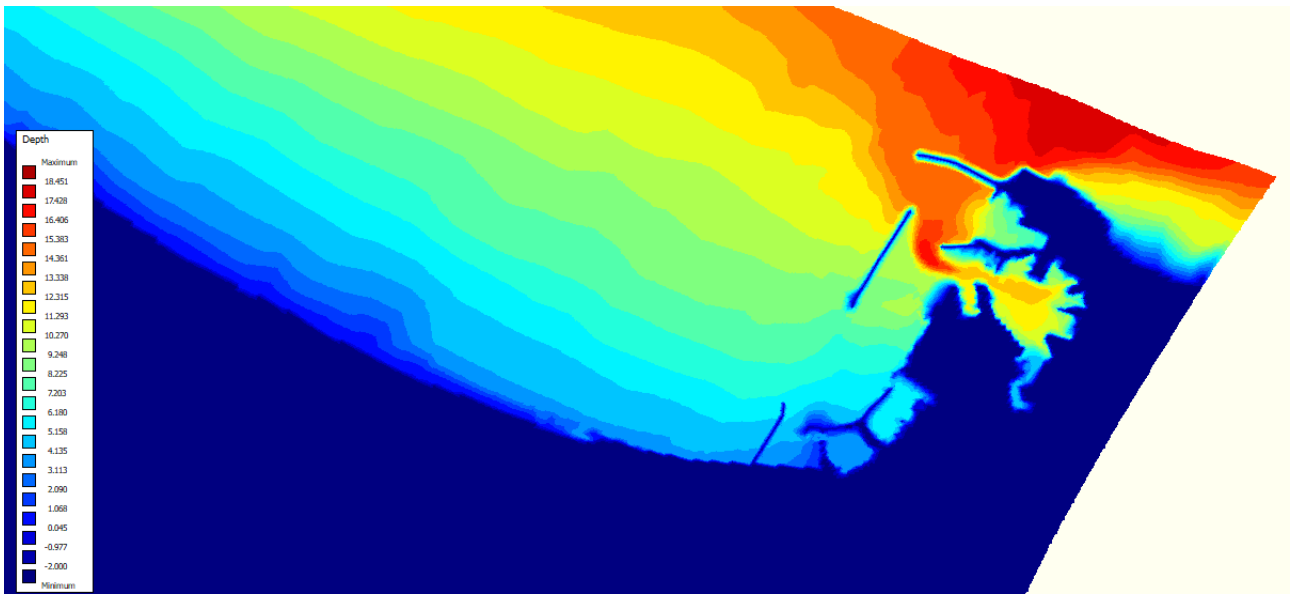


Figura 113 - Batimetria interna utilizzata nel modulo FLOW in configurazione "C2"

6.2.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nelle simulazioni numeriche del modello effettuate per questo studio sono di due tipi:

- condizioni sul dominio;
- condizioni sui bordi.

Per una corretta valutazione del trasporto solido, soprattutto in riferimento alle frazioni caratterizzate dai diametri inferiori, sono stati considerati scenari associati a combinazioni di condizioni forzanti e fenomeni meteomarinari diversi.

In particolare, come già detto, le forzanti principali in grado di generare il trasporto solido dei sedimenti sospesi nella zona portuale risultano essere:

- corrente di circolazione;
- corrente da vento;
- corrente da onda.

Di queste condizioni la forzante ventosa è l'unica applicata sull'intero dominio; la forzante ondosa è applicata come descritto nel Capitolo 4, nel modulo *WAVE*, che viene eseguito anche in modalità accoppiata con *FLOW*; la corrente di circolazione del Mar Adriatico, infine, viene applicata, come forzante diretta, sul contorno più a Nord del dominio, mentre le condizioni sugli altri contorni ne garantiscono l'uscita attraverso i bordi meridionali.

6.3 SCENARI ANALIZZATI DI CONDIZIONI FORZANTI

Come già detto, sono stati considerati scenari di analisi del trasporto solido nel paragone di studio associati a combinazioni di condizioni forzanti e fenomeni meteomarinari diversi. In particolare, sono stati analizzati i seguenti scenari:

- azione della singola corrente da vento;
- azione della singola corrente di circolazione;
- azione della singola corrente da moto ondoso;
- azione della corrente di circolazione combinata con l'azione ondosa.

Per la corrente da vento è stata applicata una forzante costante e uniforme su tutto il dominio impostando un vento proveniente da Nord di intensità pari a 12,8 m/s (come riportato in precedenza tale condizione è associata a $T_R=1$ anno).

La corrente di circolazione è stata impostata, come forzante diretta in direzione NordOvest-SudEst sul contorno più a Nord del dominio, con intensità pari ad 1m/s, mentre una idonea condizione di omogeneità sul livello degli altri bordi, ne permette la regolare uscita verso SudEst.

L'azione ondosa considerata è risultata, come detto in precedenza, quella associata alla direzione 0°N ed avente $T_R=2$ anni (dalla serie dei dati RON, corrispondente ad $H_s=2,795\text{m}$ e $T_p=7,27\text{s}$).

La portata liquida e solida inserite nel modello sono quelle uscenti dalla foce del Fiume Esino, già descritte nel Paragrafo 6.1.4.

Per ogni scenario è stata ricostruita l'idrodinamica indotta dai diversi fenomeni nella condizione attuale e in presenza delle nuove opere (velocità mediata sulla verticale). Inoltre, il trasporto dei sedimenti viene valutato in termini di concentrazione (isolinee) e di trasporto in sospensione (freccie) per entrambe le condizioni.

Di seguito, rispettivamente nel Paragrafo 6.4, nel Paragrafo 6.5, nel Paragrafo 6.6 e nel Paragrafo 6.7, sono riportati i risultati in forma grafica delle simulazioni numeriche per i quattro scenari analizzati. Per ogni caso, sono presentati: la mappa dell'idrodinamica, sia a grande scala (dalla foce del Fiume Esino al Porto di Ancona) che a scala di maggior dettaglio, focalizzata nell'intorno del porto turistico, in condizioni di stazionarietà del moto, nonché la mappa relativa al trasporto sedimentario, focalizzata nei paraggi del porto turistico, per gli istanti più significativi in termini di attraversamento del carico di trasporto dei sedimenti nel paraggio marino indagato (si veda dalla Figura 114 alla Figura 137).

Nel Paragrafo 6.8 sono descritti i risultati delle simulazioni numeriche sul trasporto solido.

6.4 AZIONE DELLA CORRENTE DA VENTO

6.4.1 Configurazione attuale "C0"

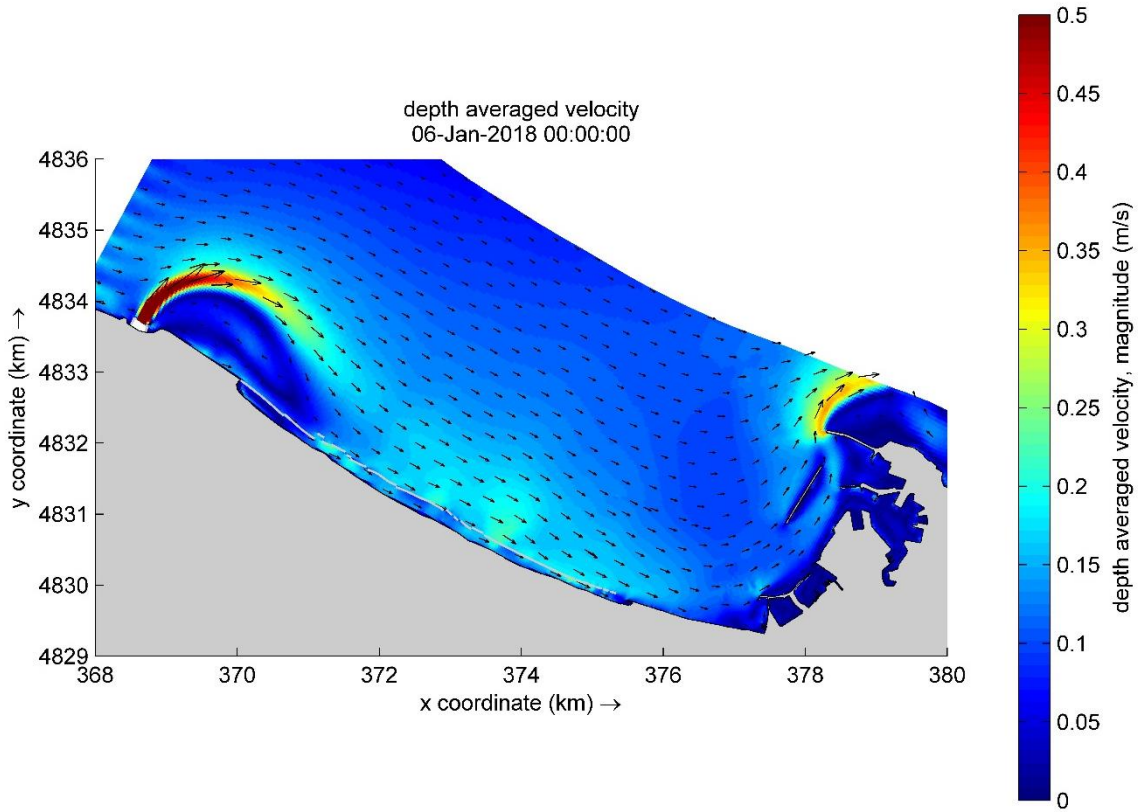


Figura 114 – Mappa dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente da vento - Configurazione C0

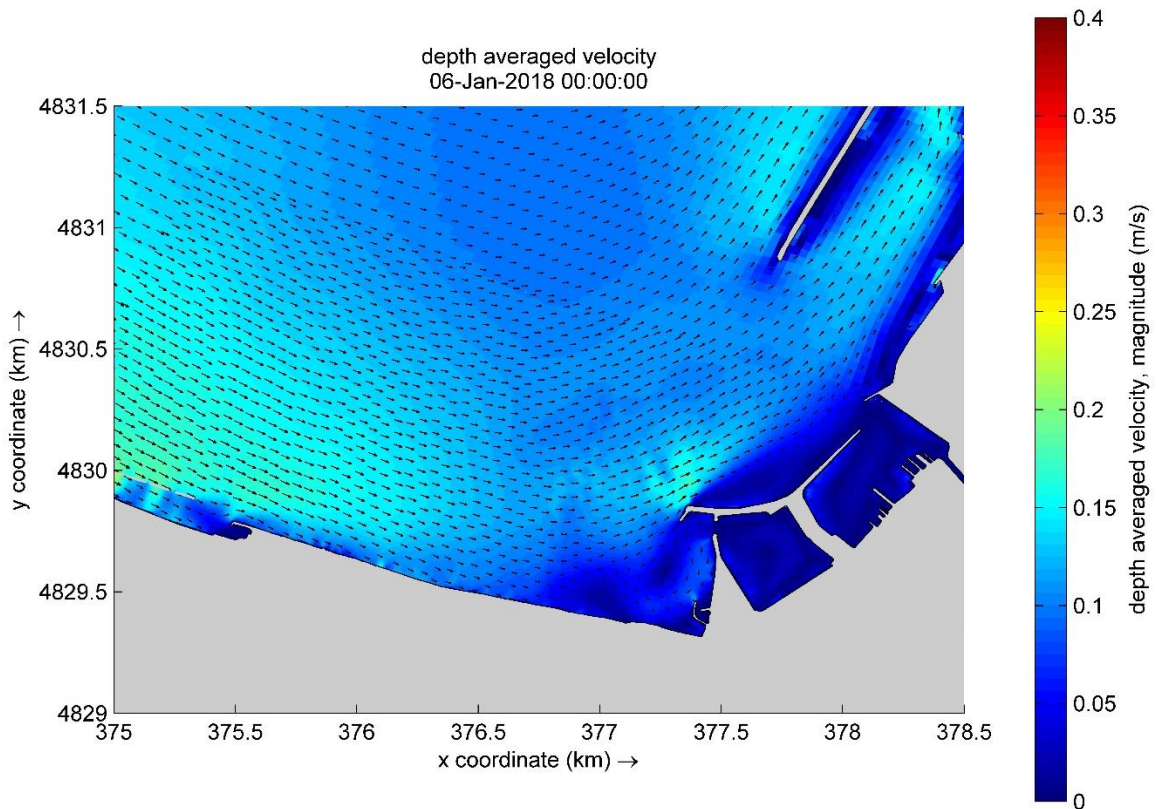


Figura 115 - Mappa di dettaglio dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente da vento - Configurazione C0

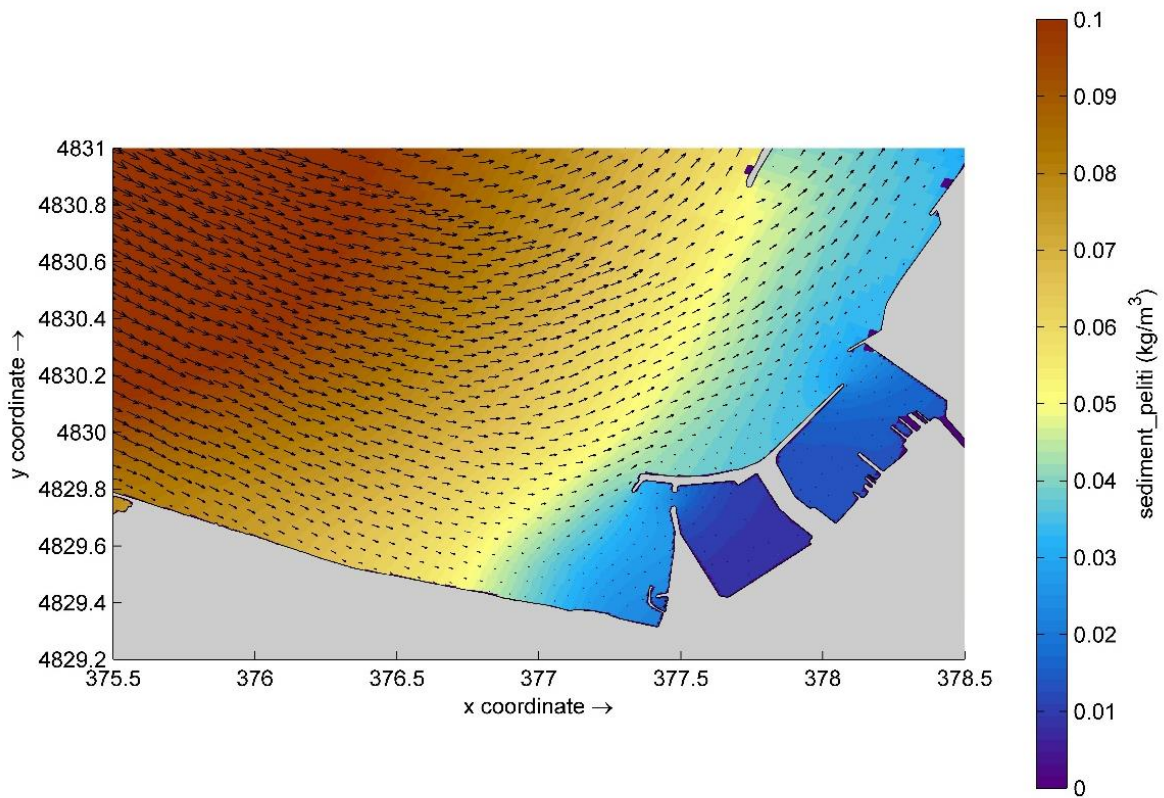


Figura 116 - Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di corrente da vento - Configurazione C0

6.4.2 Configurazione di progetto “C1”

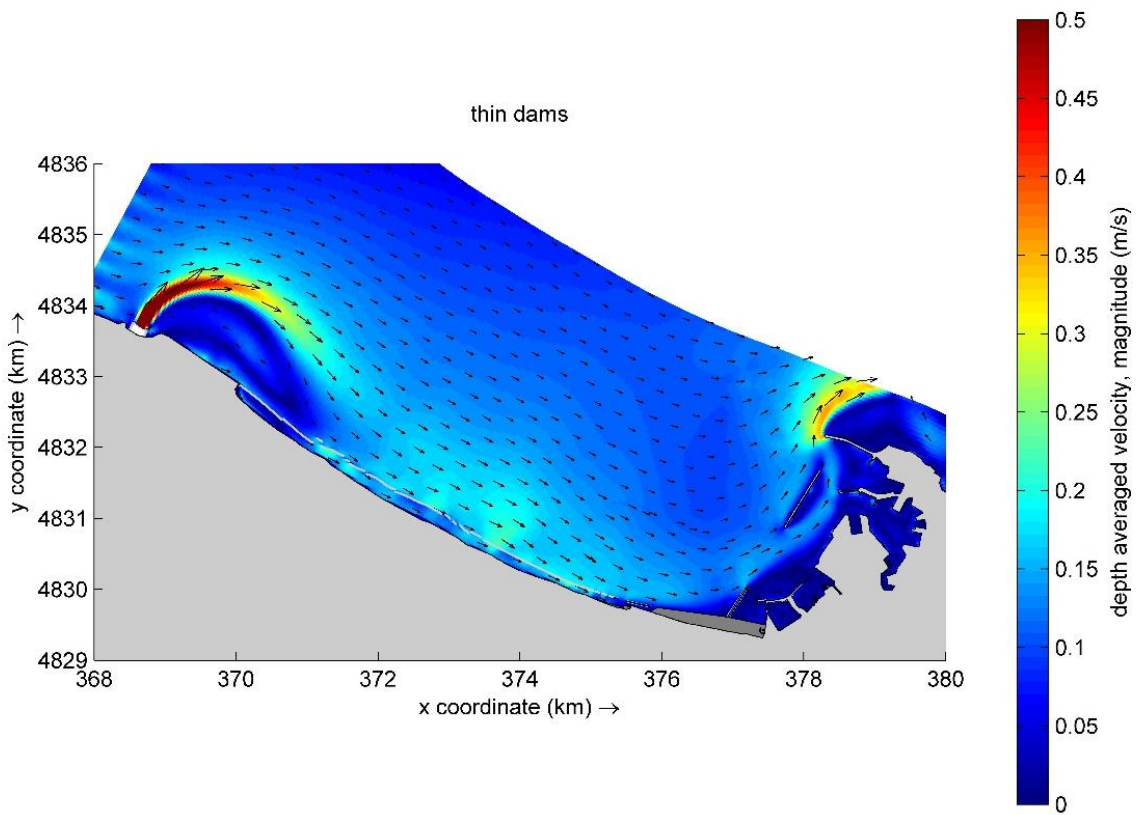


Figura 117 – Mappa dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente da vento - Configurazione C1

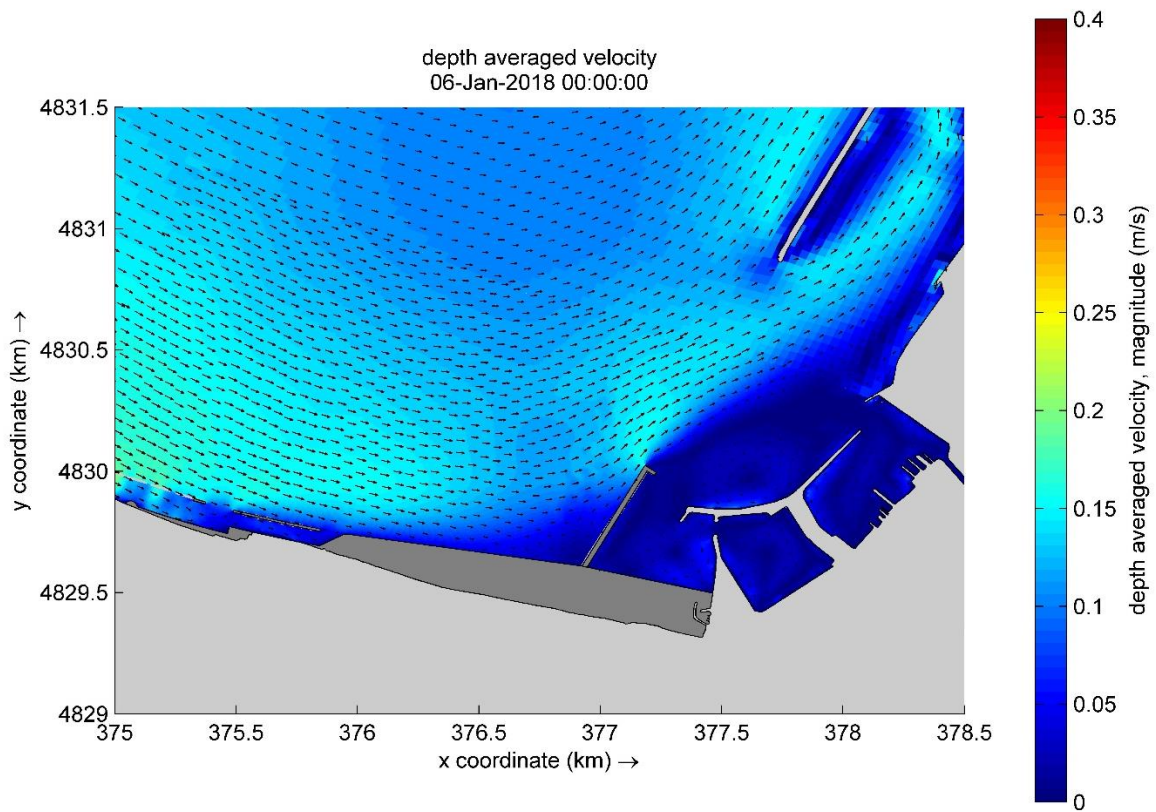


Figura 118 - Mappa di dettaglio dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente da vento - Configurazione C1

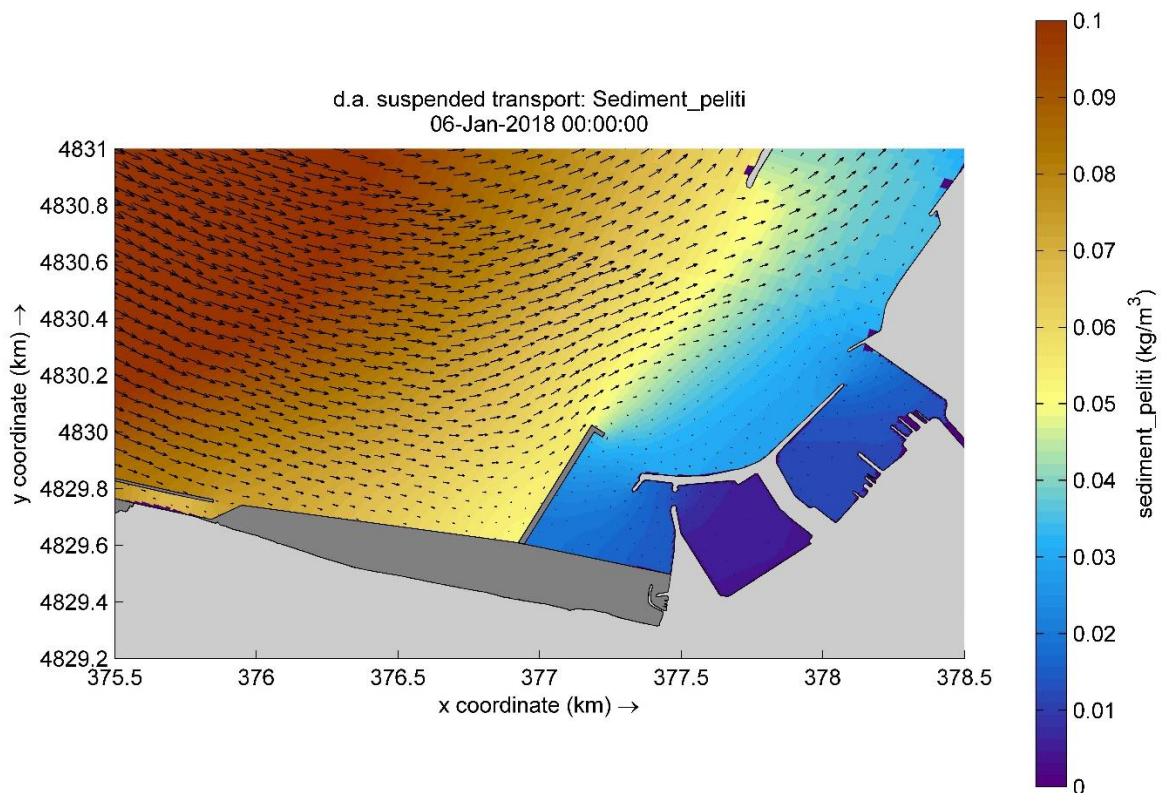


Figura 119 - Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di corrente da vento - Configurazione C1

6.5 AZIONE DELLA CORRENTE DI CIRCOLAZIONE

6.5.1 Configurazione attuale "C0"

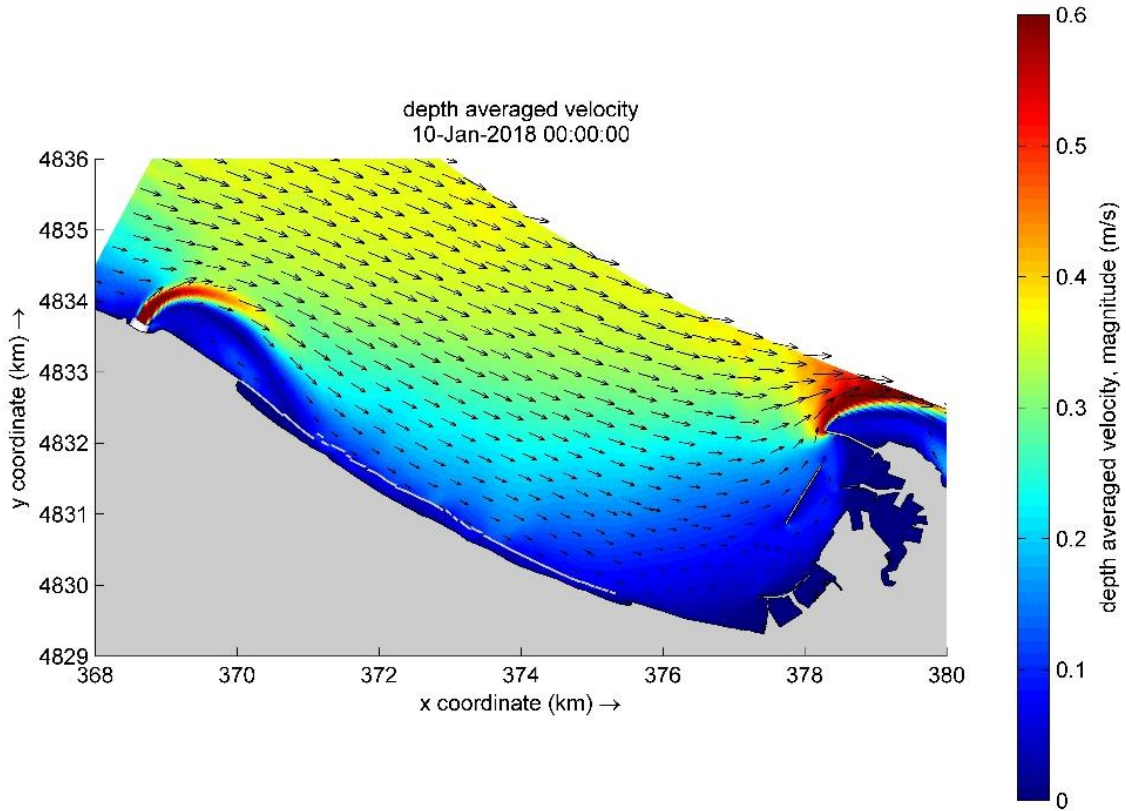


Figura 120 – Mappa dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente di circolazione - Configurazione C0

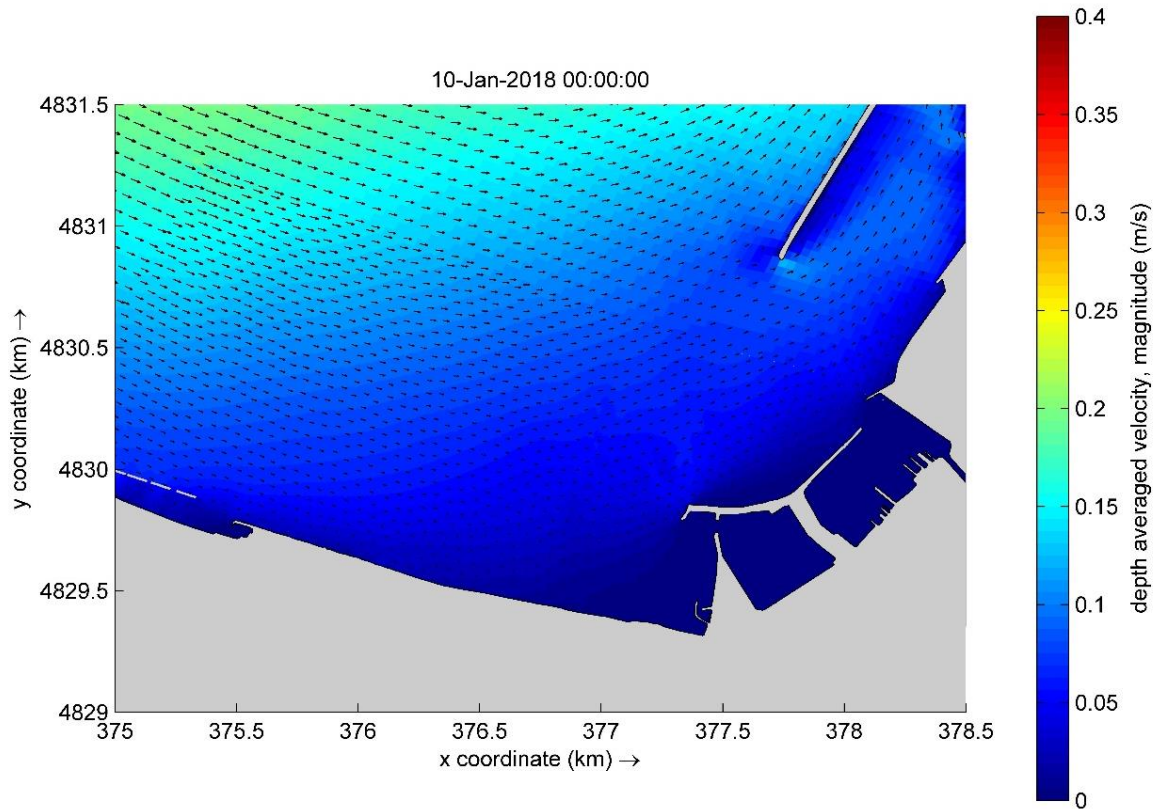


Figura 121 - Mappa di dettaglio dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente di circolazione - Configurazione C0

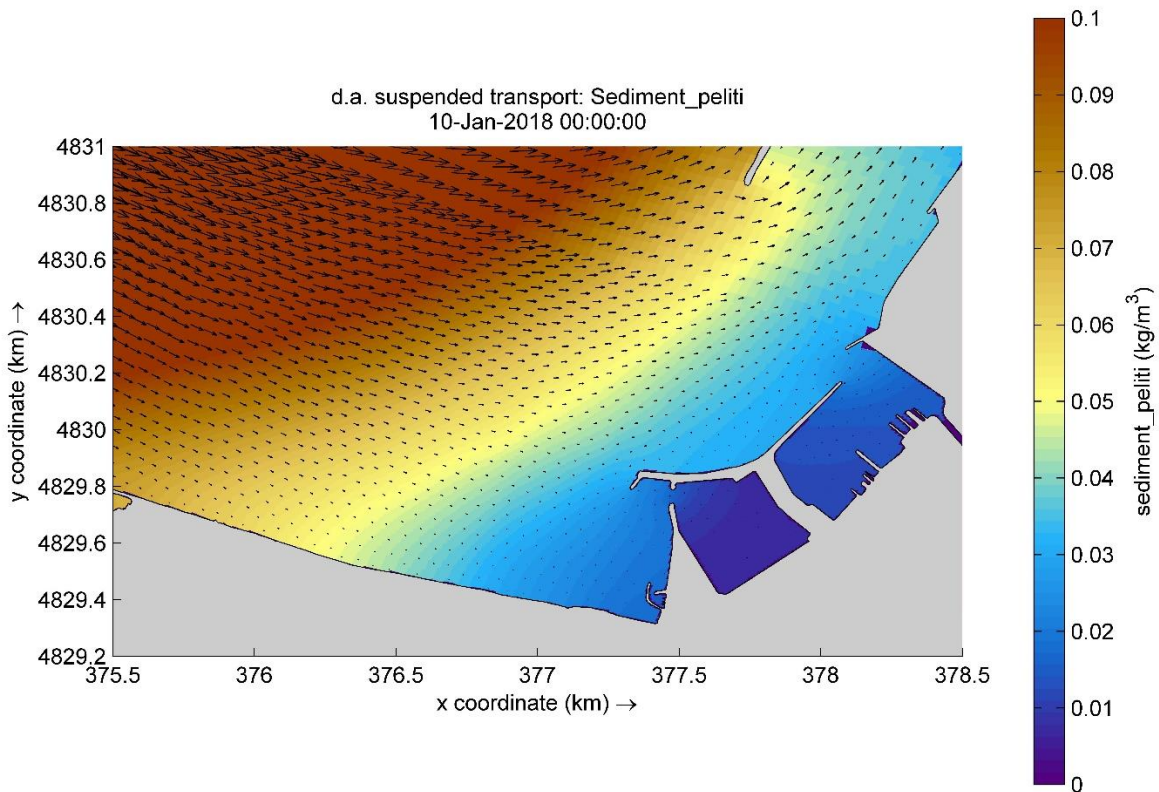


Figura 122 - Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di corrente di circolazione - Configurazione C0

6.5.2 Configurazione di progetto “C1”

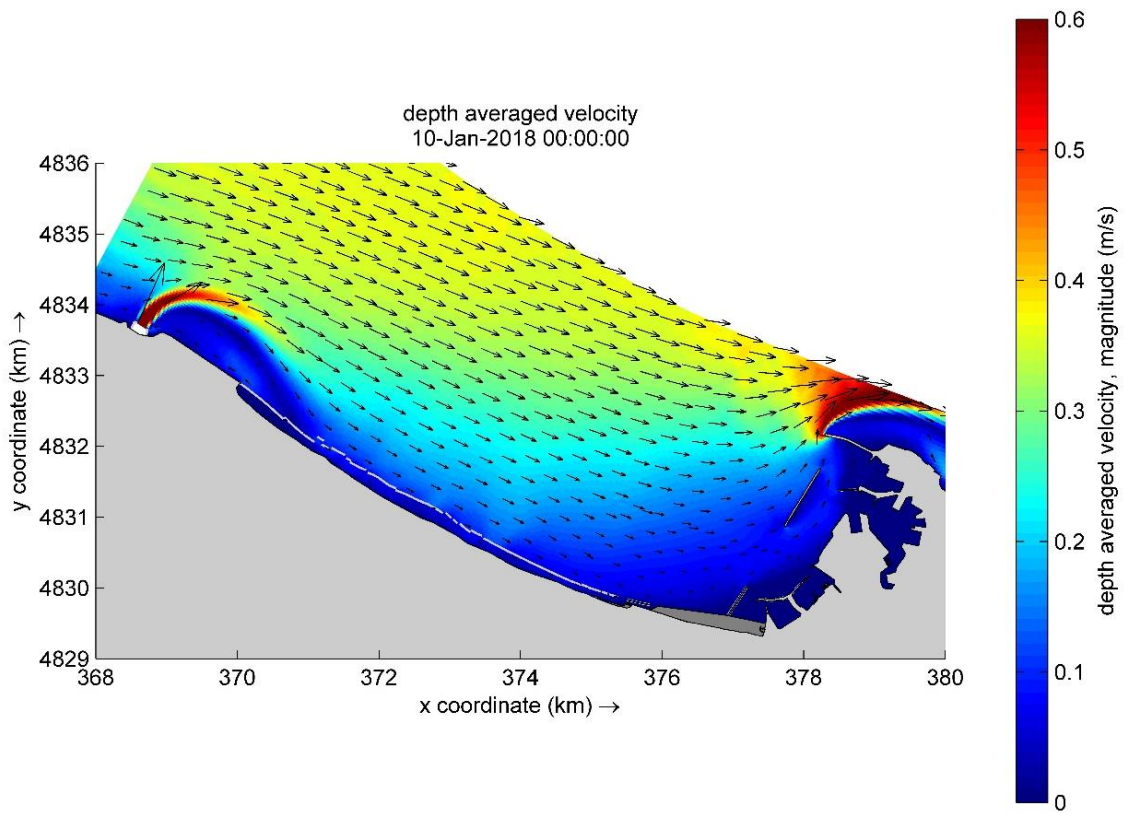


Figura 123 – Mappa dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente di circolazione - Configurazione C1

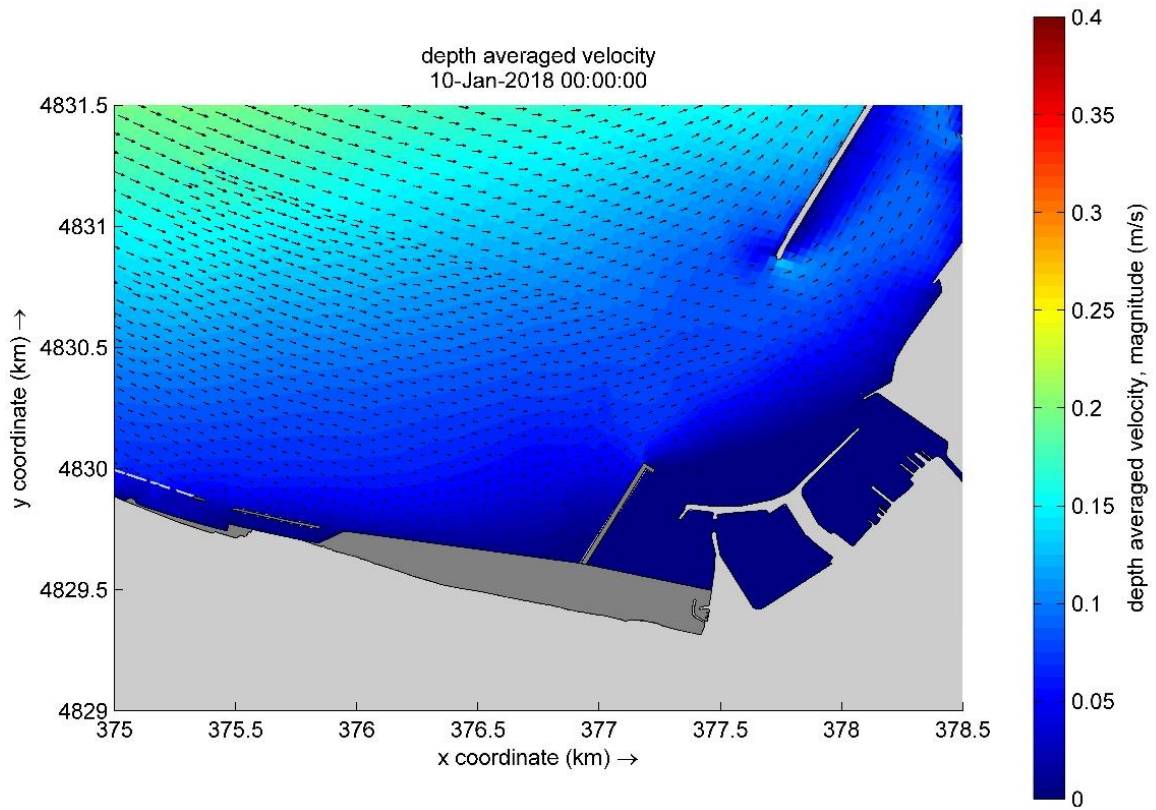


Figura 124 - Mappa di dettaglio dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente di circolazione - Configurazione C1

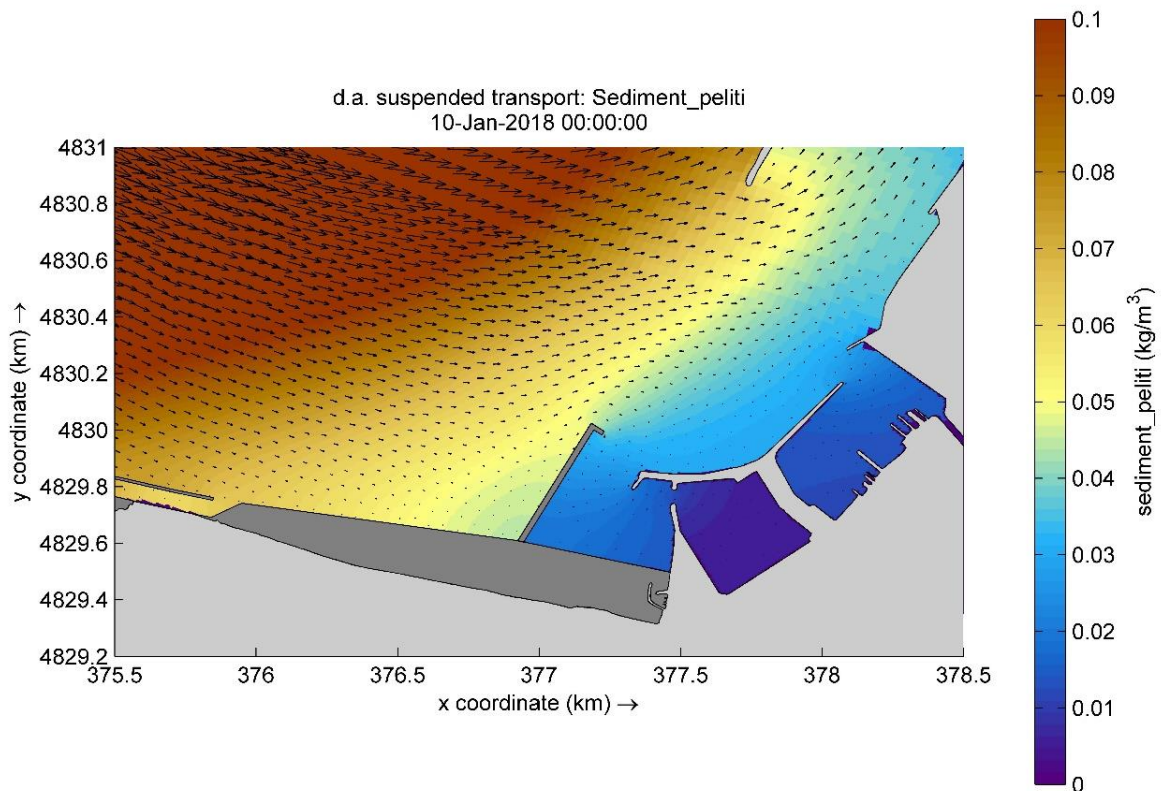


Figura 125 - Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di corrente di circolazione - Configurazione C1

6.6 AZIONE DELLA CORRENTE DA MOTO ONDOSO

6.6.1 Configurazione attuale "C0"

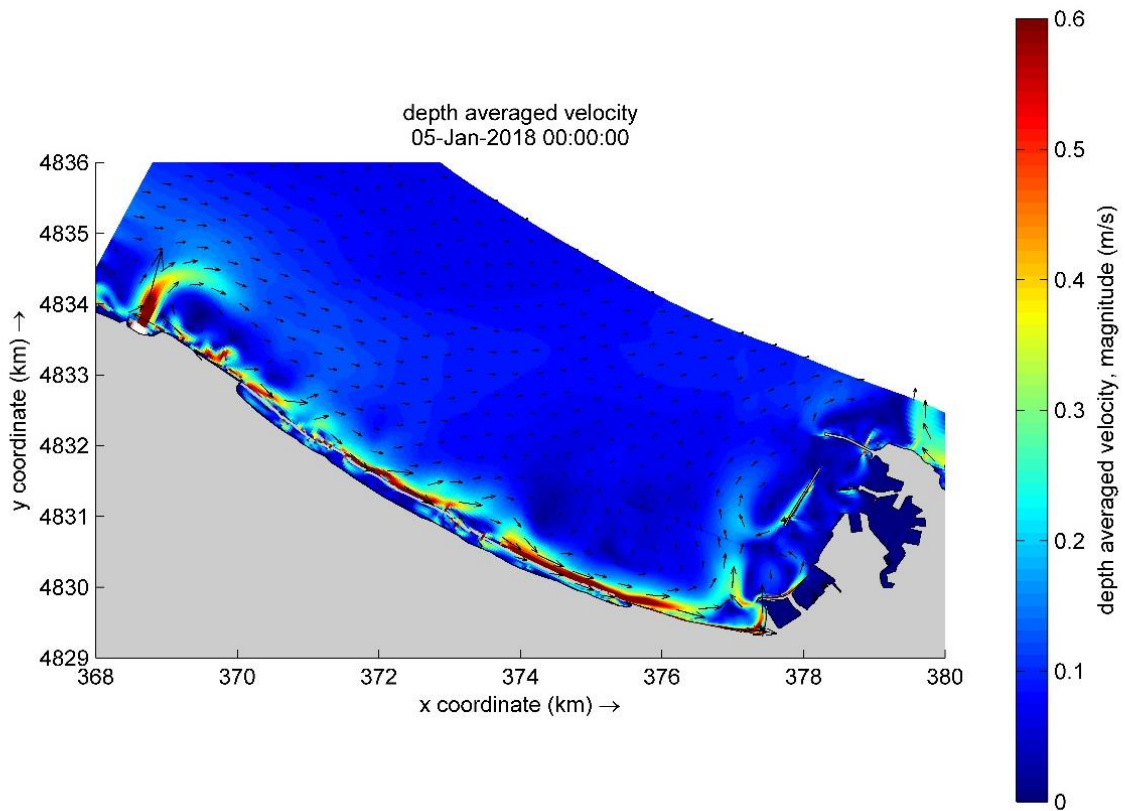


Figura 126 – Mappa dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente da onde - Configurazione C0

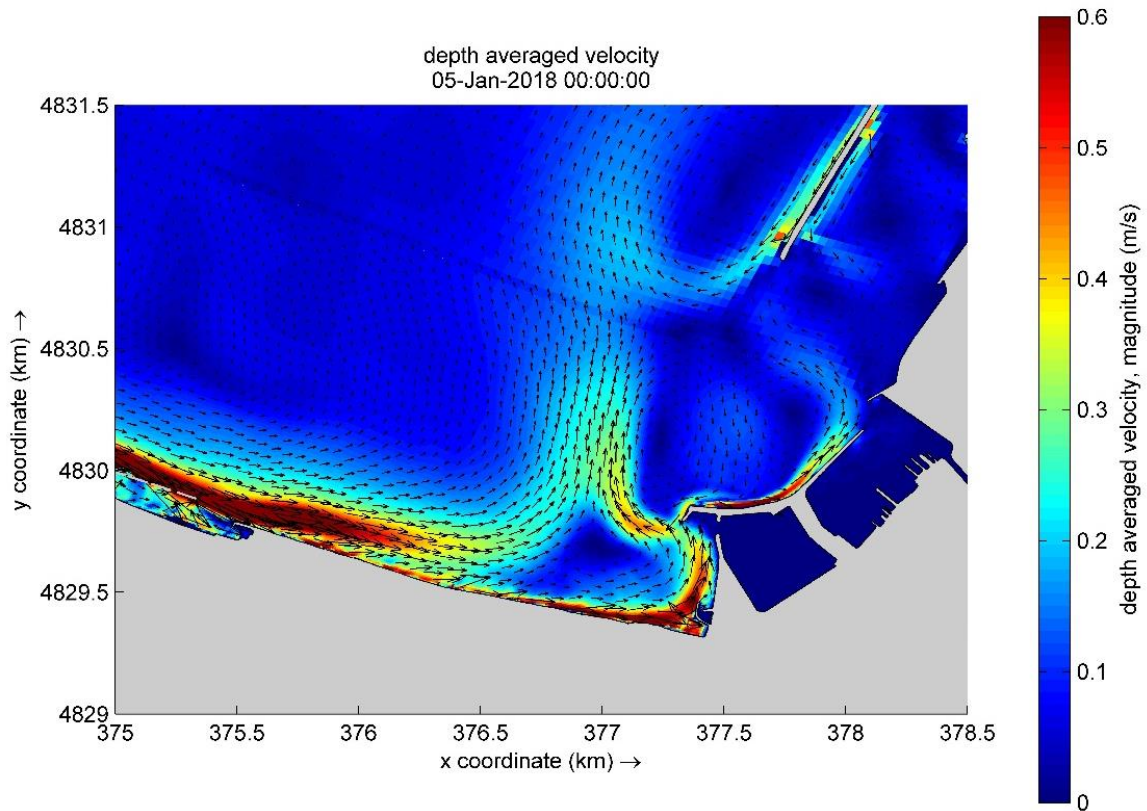


Figura 127 - Mappa di dettaglio dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente da onde - Configurazione C0

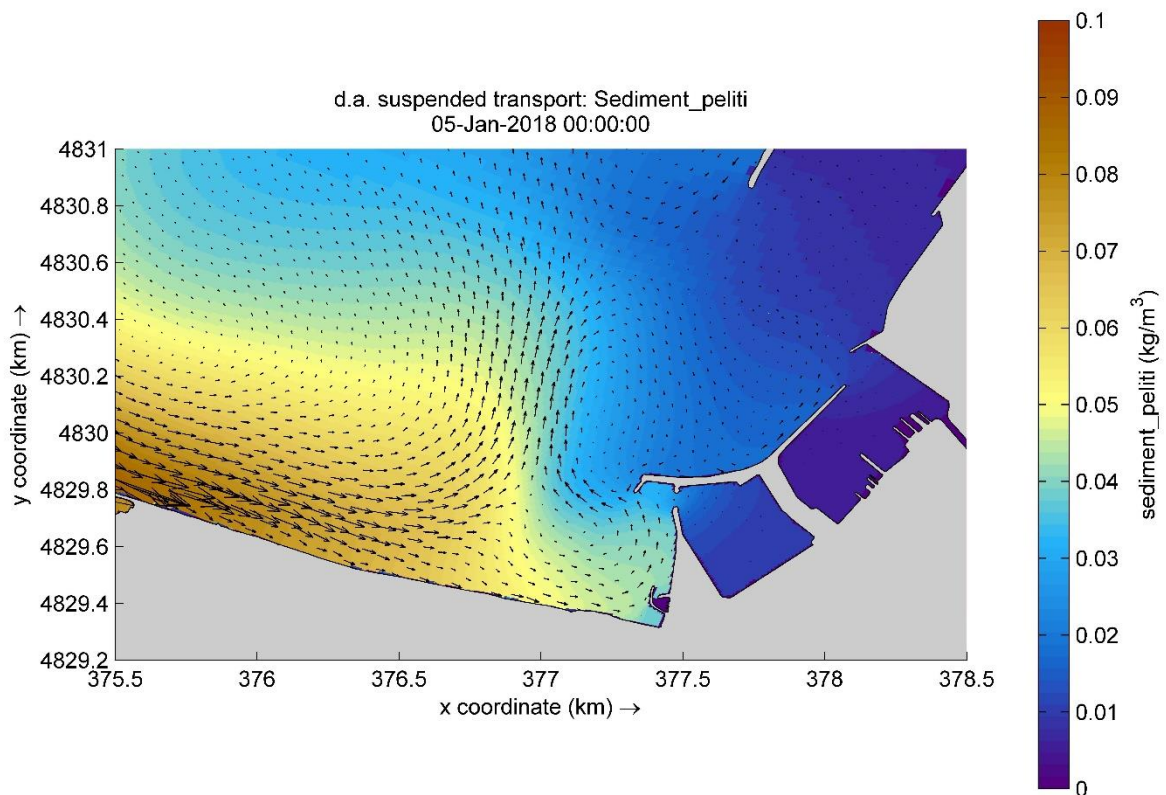


Figura 128 - Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di corrente da onde - Configurazione C0

6.6.2 Configurazione di progetto “C1”

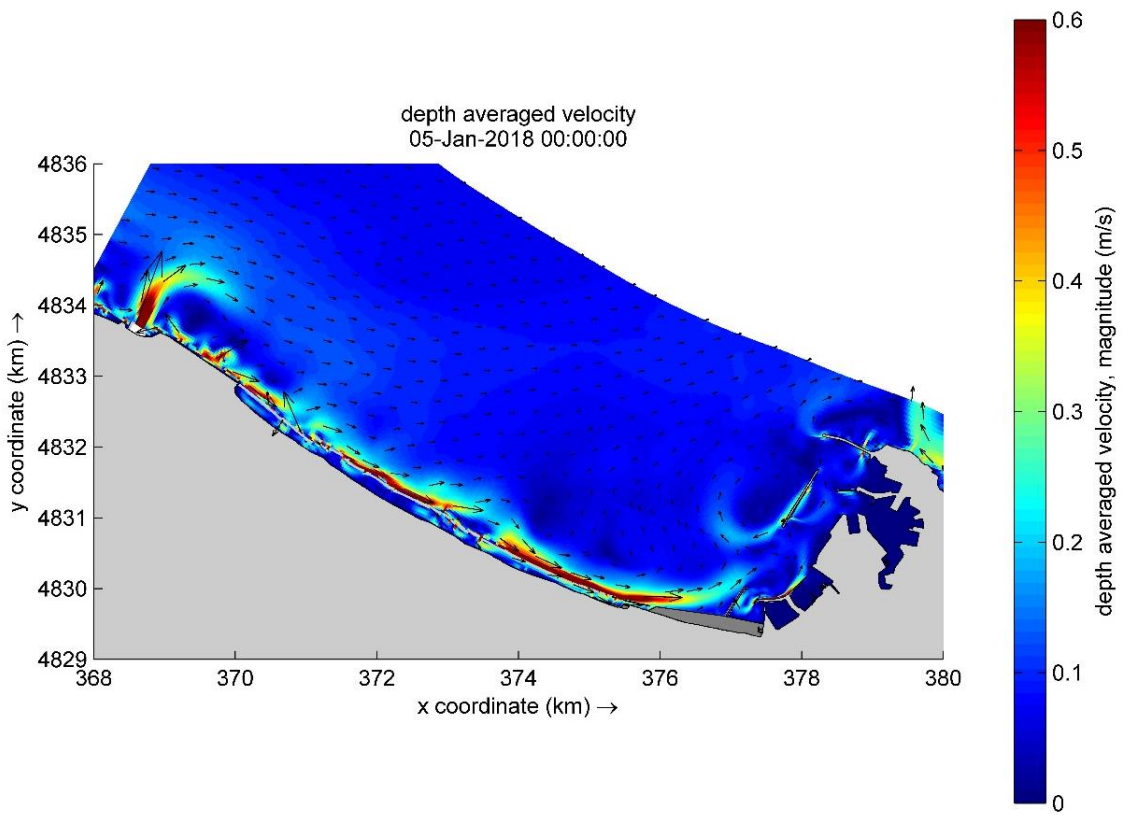


Figura 129 – Mappa dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente da onde - Configurazione C1

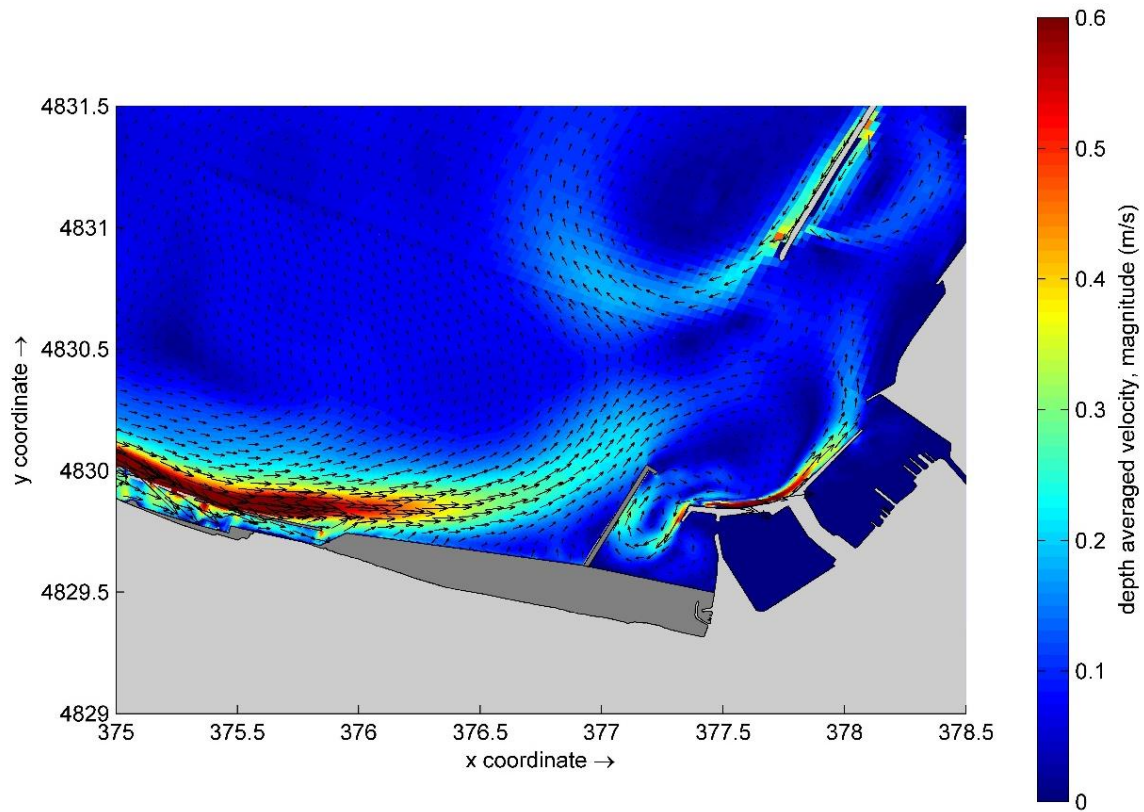


Figura 130 - Mappa di dettaglio dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di corrente da onde - Configurazione C1

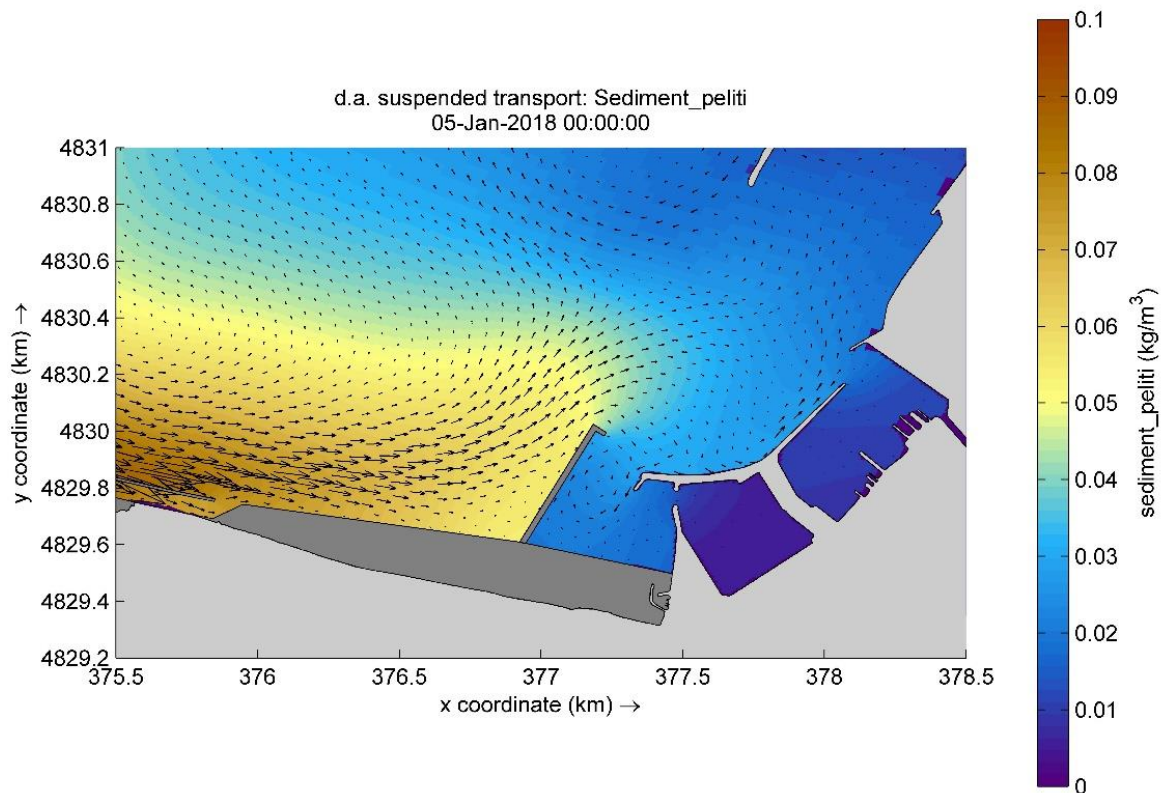


Figura 131 - Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di corrente da onde - Configurazione C1

6.7 PRESENZA DELLA CORRENTE DI CIRCOLAZIONE COMBINATA CON L'AZIONE ONDOSA

6.7.1 Configurazione attuale "C0"

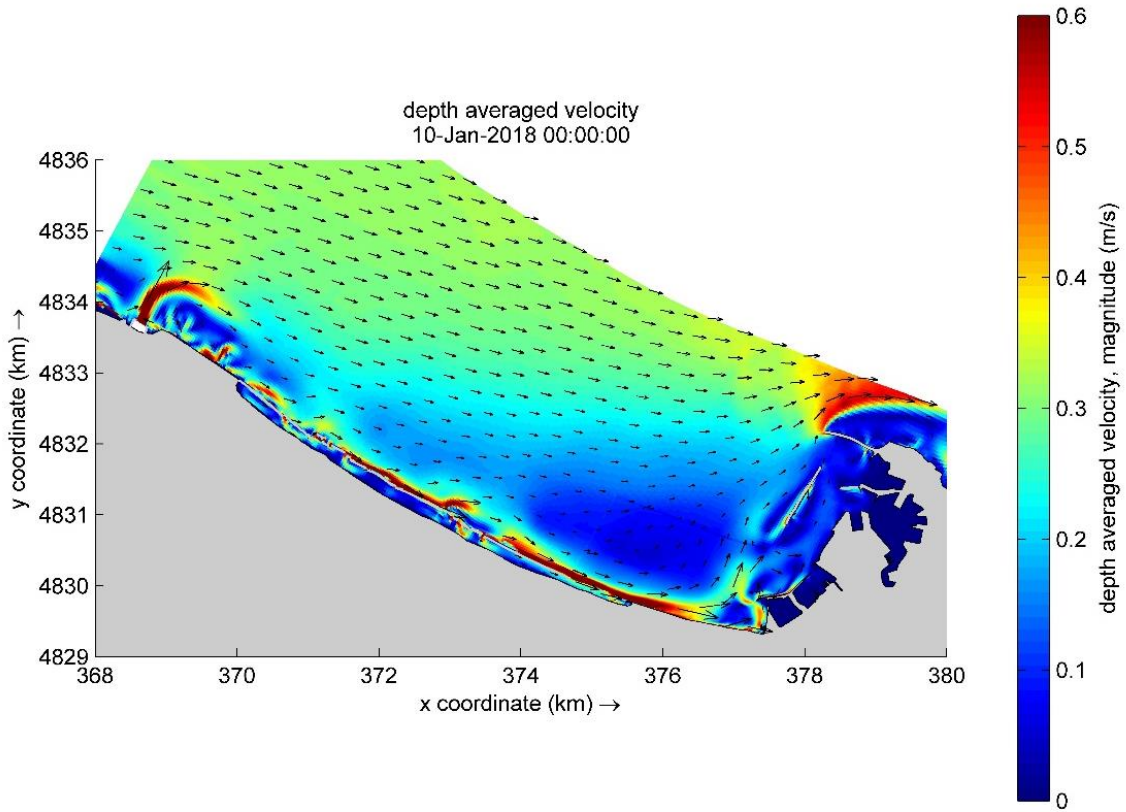


Figura 132 – Mappa dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di onde e corrente - Configurazione C0

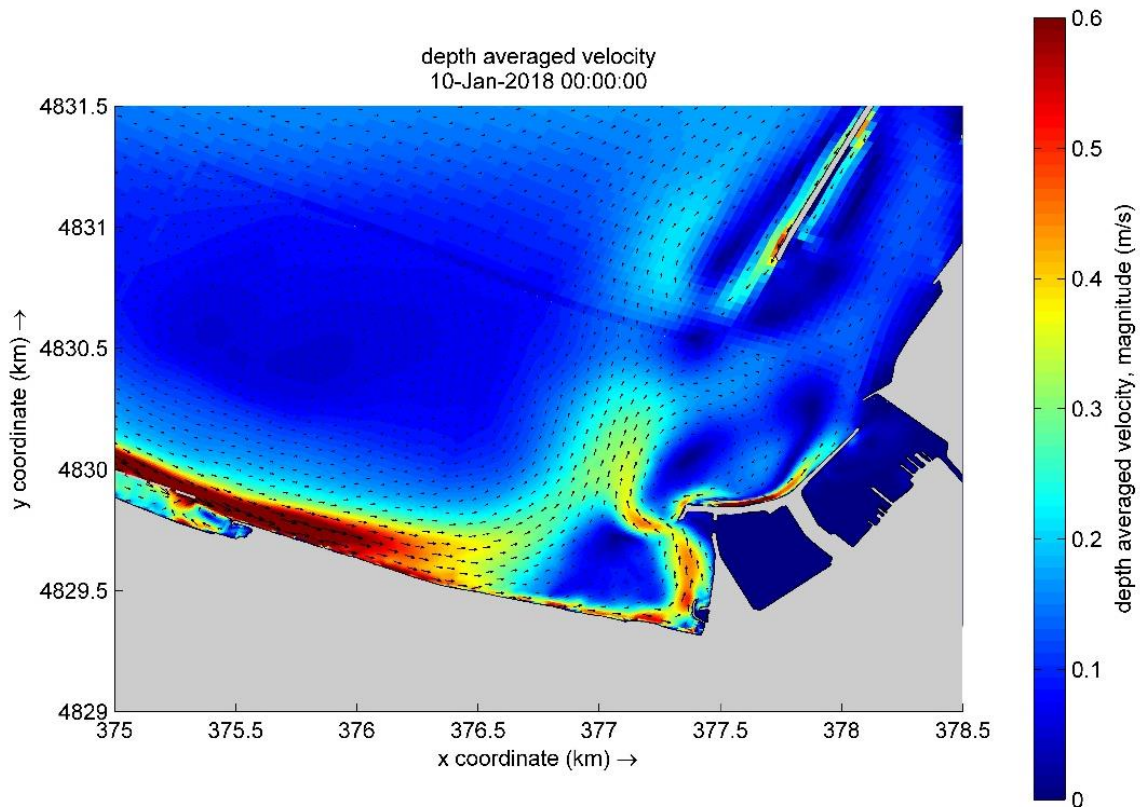


Figura 133 - Mappa di dettaglio dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di onde e corrente - Configurazione C0

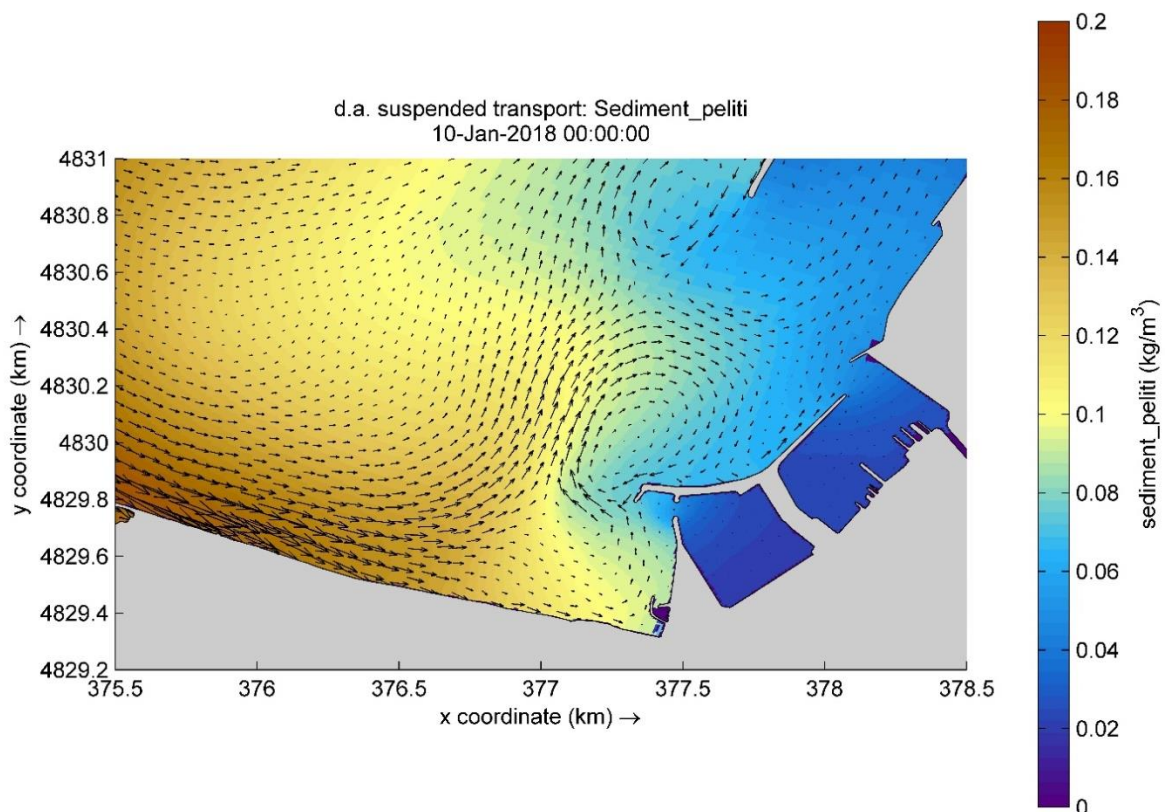


Figura 134 - Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di onde e corrente - Configurazione C0

6.7.2 Configurazione di progetto "C1"

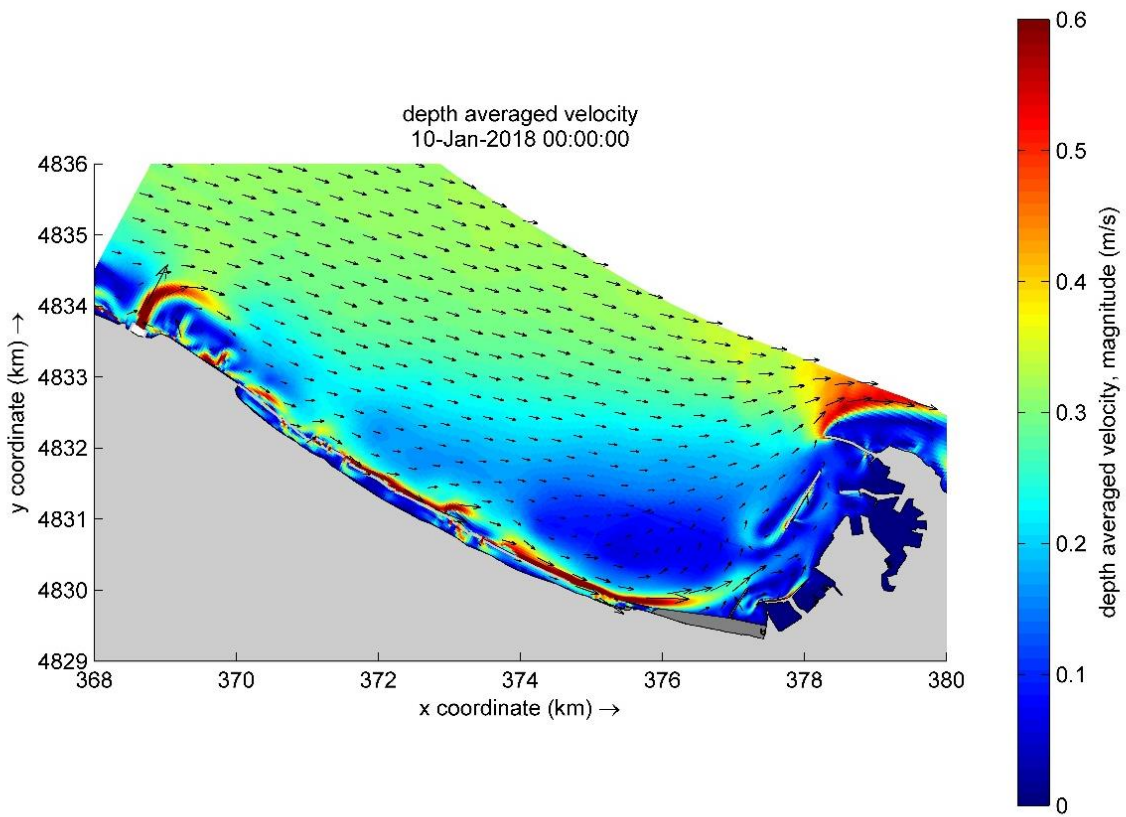


Figura 135 – Mappa dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di onde e corrente - Configurazione C1

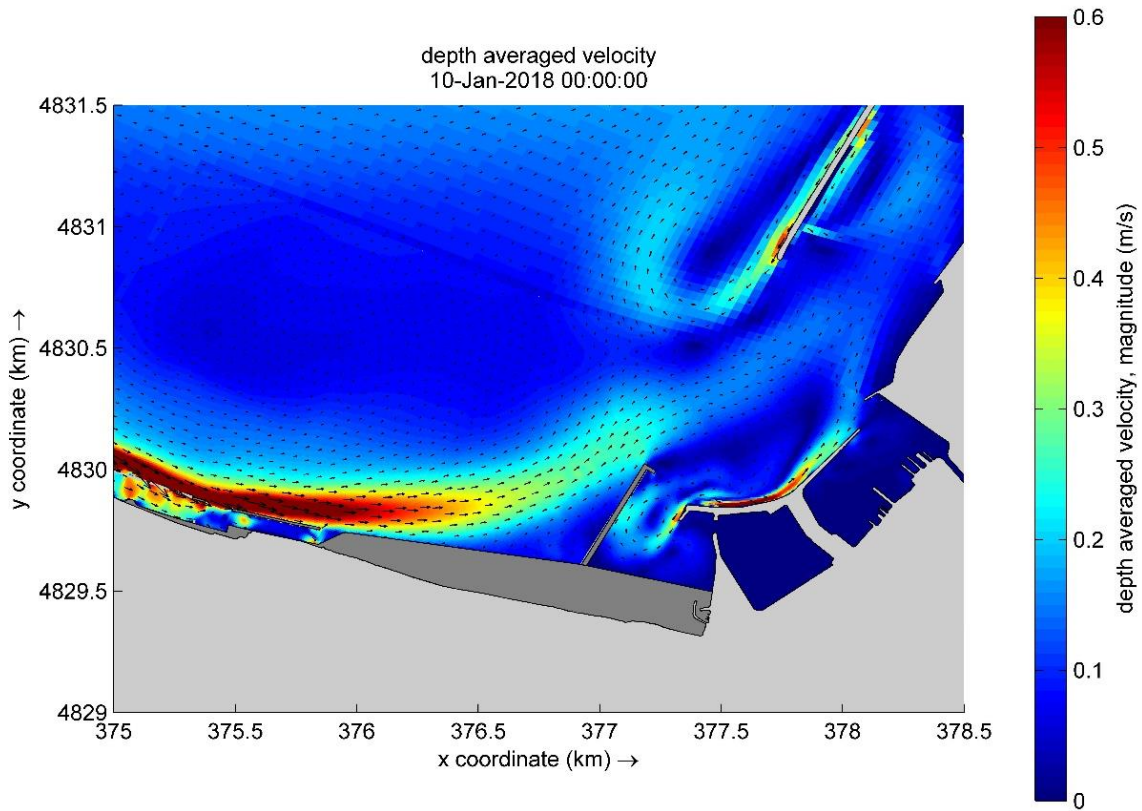


Figura 136 - Mappa di dettaglio dell'idrodinamica in condizioni stazionarie in presenza di onde e corrente - Configurazione C1

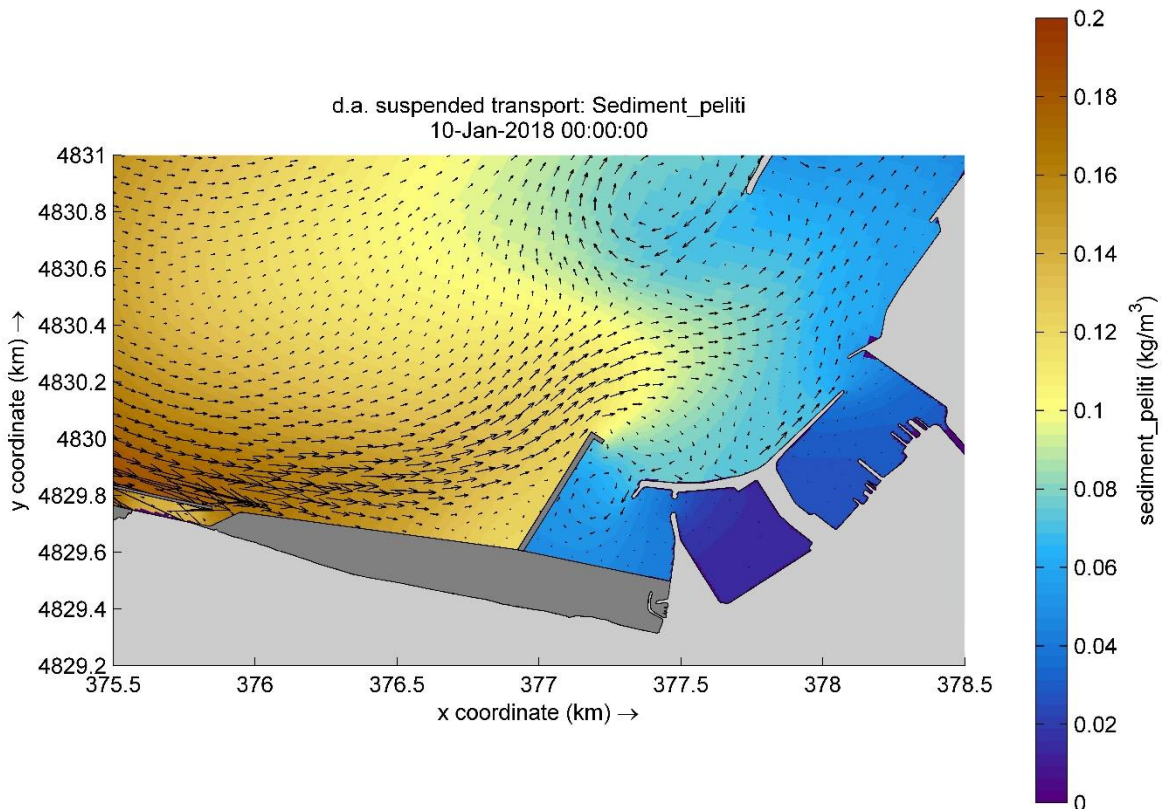


Figura 137 - Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di onde e corrente - Configurazione C1

6.8 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE SUL TRASPORTO SOLIDO

In questo capitolo si riportano i risultati delle simulazioni effettuate per la stima delle velocità della corrente, della concentrazione del materiale solido trasportato e per la valutazione dell'interrimento in seguito alla realizzazione delle nuove opere, in particolare nell'intorno dell'imboccatura del porto turistico.

Per la valutazione dell'influenza delle nuove opere sulla riduzione del trasporto dei sedimenti, le simulazioni sono state ovviamente effettuate sia per la configurazione attuale C0 che per la configurazione di progetto C1, per poter operare con il confronto degli effetti indotti da ciascuna di esse.

6.8.1 Descrizione delle analisi effettuate

Determinati i parametri di *input*, sono state eseguite due tipologie di analisi, sintetizzate nello schema della Tabella 28, tenendo sempre in considerazione la differenza tra configurazione attuale C0 e la configurazione di progetto C1.

Le simulazioni sono state eseguite considerando tre diverse forzanti: corrente da vento, corrente di circolazione o corrente da moto ondoso. Per la componente solida si è assunto che per le diverse condizioni di corrente ci sia l'immissione di portata solida dal Fiume Esino e che la piena abbia durata pluri-giornaliera. Le simulazioni in modalità accoppiata onda e corrente sono state effettuate solo nell'ipotesi di corrente di circolazione.

Tabella 28 – Schema riassuntivo dei dati di ingresso considerati per le diverse tipologie di analisi effettuate.

ANALISI	FORZANTE	INTENSITA'	DURATA
1)	Vento	velocità $u=12,8\text{m/s}$, direzione $\alpha=0^\circ\text{N}$	totale: 7 gg, il vento raggiunge una condizione stazionaria dopo 2 gg
	Esino	portata $Q=500\text{m}^3/\text{s}$, concentrazione $C=5\text{kg}/\text{m}^3$	totale: 2 gg, la portata è immessa dopo 1 gg dalla condiz. stazionaria
2)	Corrente di Circolazione	velocità $u=1,0\text{m/s}$, direzione $\alpha=0^\circ\text{N}$	totale: 11 gg, la corrente raggiunge una condizione stazionaria dopo 6 gg
	Esino	portata $Q=500\text{m}^3/\text{s}$, concentrazione $C=5\text{kg}/\text{m}^3$	totale: 2 gg, la portata è immessa dopo 1 gg dalla condiz. stazionaria
3)	Onde	$H_s=2,80\text{m}$, $T_p=7,27\text{s}$, direzione $\alpha=0^\circ\text{N}$	totale: 7 gg, l'onda raggiunge una condizione stazionaria dopo 1 gg
	Esino	portata $Q=500\text{m}^3/\text{s}$, concentrazione $C=5\text{kg}/\text{m}^3$	totale: 2 gg, la portata è immessa dopo 1 gg dalla condiz. stazionaria
4)	Corrente di circolazione	velocità $u=1,0\text{m/s}$, direzione $\alpha=0^\circ\text{N}$	totale: 11 gg, la corrente raggiunge una condizione stazionaria dopo 6 gg
	Onde	$H_s=2,80\text{m}$, $T_p=7,27\text{s}$, direzione $\alpha=0^\circ\text{N}$	totale: 11 gg, l'onda raggiunge una condizione stazionaria dopo 1 gg
	Esino	portata $Q=500\text{m}^3/\text{s}$, concentrazione $C=5\text{kg}/\text{m}^3$	totale: 2 gg, la portata è immessa dopo 1 gg dalla condiz. stazionaria

6.8.2 Osservazioni generali sulla rappresentazione del trasporto solido costiero

In tutte le condizioni simulate si può riconoscere l'andamento della corrente generale costiera, come atteso dalle osservazioni empiriche, nel paraggio in esame per le condizioni meteomarine testate.

In particolare e con maggior evidenza nel caso della corrente di circolazione e di quella da vento, la corrente che si instaura scende lungo la costa da NordOvest verso il golfo anconitano, si inflette seguendo la costa e assumendo direzione verso Nord-NordEst, attraversa tutto il fronte delle varie opere portuali, aggira la testata del nuovo molo di sopraflutto dell'avanporto concentrandosi in una sorta di getto ristretto ed a forte velocità, superato il molo ripiega velocemente verso Est e poi verso SudEst, riprendendo il suo flusso normale lungo le coste della Riviera del Conero e quelle più meridionali. Tale andamento generale risulta parzialmente variato con la corrente da moto ondoso, o meglio, proprio per la dinamica di questo tipo di fenomeno, risulta molto più accentuato nelle acque più basse (come presso l'imboccatura del porto turistico), dove infatti avvengono più facilmente i frangimenti ondosi, vero motore forzante di questa particolare fenomenologia di corrente, invece la corrente generata da tali condizioni appare quasi impercettibile nelle acque alte, come attorno al molo di sopraflutto.

Sembrerebbe che la simulazione combinata di corrente di circolazione e di moto ondoso possa risultare la più rappresentativa dell'andamento realistico della corrente generale costiera nel paraggio da indagare in occasione di condizioni meteomarine avverse.

6.8.3 Stima delle intensità di trasporto solido nei bacini in esame

Al fine di valutare il trasporto solido affluente e di stimare l'interrimento potenziale nelle zone dell'imboccatura del porto turistico e della Darsena Marche e nell'area antistante la Banchina Marche, è stato scelto di individuare le posizioni planimetriche di 28 punti, disposti e suddivisi lungo 4 diversi allineamenti, paralleli fra loro, significativi per fornire alcune delle informazioni quantitative richieste. Tali posizioni, infatti, risultano molto efficaci per poter stimare le quantità dei sedimenti in transito diretti verso le due predette zone di interesse e quindi il potenziale grado di interrimento delle relative aree.

In tali posizioni sono stati estratti i valori di concentrazione dei sedimenti nelle condizioni più significative indagate. Si è proceduto, quindi, a porre a confronto i relativi valori ricavati, per le configurazioni indagate, nelle diverse condizioni analizzate. In tal modo, si è potuto stimare l'influenza che avrebbero le nuove opere sul trasporto sedimentario nei pressi delle aree di interesse per le diverse condizioni meteomarine prese in esame, dove il solo confronto grafico tramite mappa non risulta evidenziare le differenze.

I punti prescelti ed i quattro allineamenti (indicati come sezioni S1, S2, S3 ed S4, procedendo da Nord verso Sud) sono illustrati, per le configurazioni C0 e C1, nelle mappe rispettivamente della Figura 138 e della Figura 139.

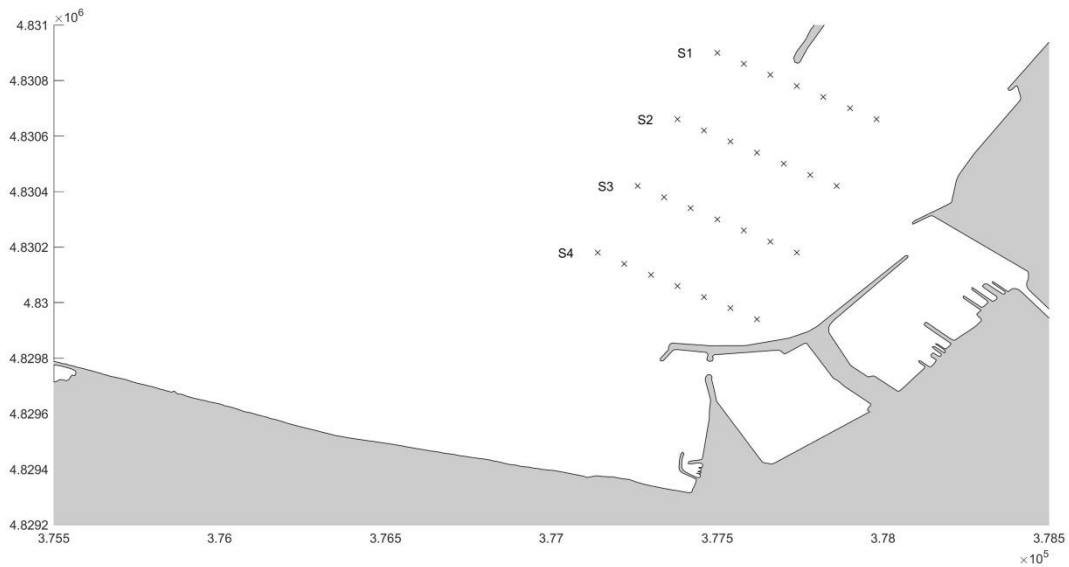


Figura 138 - Mappa dell'area di interesse con le posizioni dei punti prescelti per l'analisi del trasporto solido - Configurazione C0

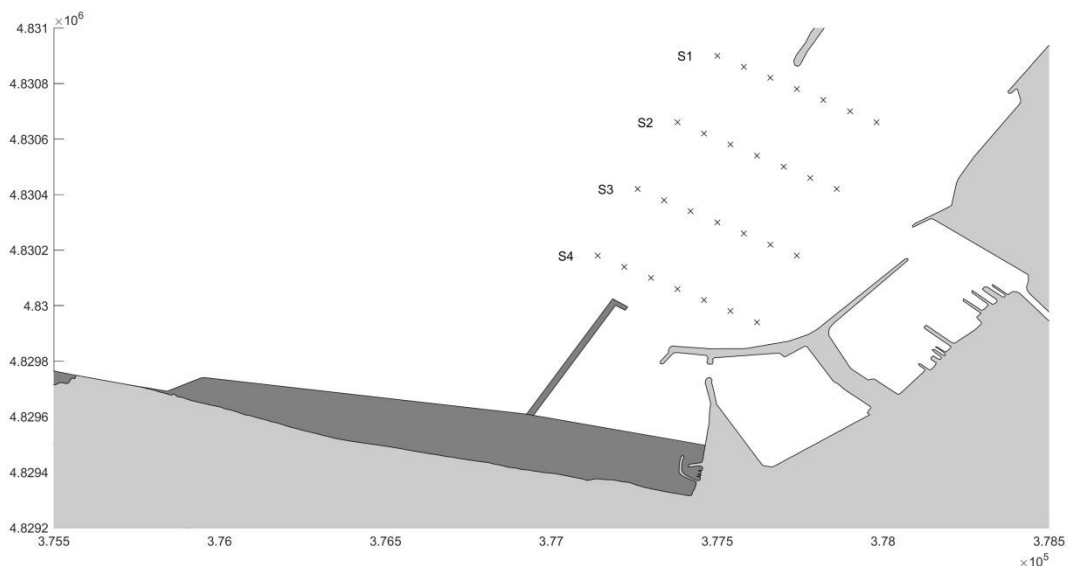


Figura 139 - Mappa dell'area di interesse con le posizioni dei punti prescelti per l'analisi del trasporto solido - Configurazione C1

Come si può agevolmente notare, la Sezione S1 risulta prossima alla Darsena Marche, la Sezione S4 risulta prossima alla apertura che risulterà avere il bacino antistante la imboccatura vera e propria del Porto Turistico nella configurazione con le nuove opere, mentre le altre due sezioni si trovano nell'area intermedia fra di esse.

Risulta, inoltre, evidente, anche solo dal semplice confronto visivo, che il materiale sedimentario presente all'imboccatura del Porto Turistico nelle simulazioni più significative analizzate per la configurazione attuale, risulta essere deviato quasi totalmente verso Nord dal nuovo molo aggettante, allontanando molto efficacemente il grosso del trasporto solido proprio da questa area più a rischio di interrimento. Proprio per questo aspetto, si ribadisce di aver scelto di effettuare il confronto sui valori di trasporto solido limitatamente per i punti nelle posizioni indicate, in cui il semplice confronto a vista tramite mappa non risultava sufficiente ad evidenziare le differenze tra la configurazione attuale e quella con le opere in progetto.

6.8.4 Confronto dei risultati sulle concentrazioni dei sedimenti fini trasportati in prossimità del porto turistico e della Darsena Marche

In questo paragrafo sono riportati i risultati sulle concentrazioni delle peliti trasportate in sospensione dalle correnti costiere nelle aree di interesse, per la Configurazione C0 e per la Configurazione C1.

Per rendere più efficace e facilmente leggibile il confronto tra le due situazioni (attuale e con le nuove opere), l'andamento dei valori di concentrazione dei sedimenti trasportati dalle correnti relativamente ai 4 allineamenti individuati è stato riportato in forma grafica su linee inserite in riferimenti cartesiani ortogonali, sovrapponendo quelle risultate per le due configurazioni analizzate. Ciò è stato eseguito per tutte i 4 scenari delle condizioni meteomarine testate.

In pratica, per la condizione di corrente da vento, nella Figura 140 e nella Figura 141, sono riportate le mappe della concentrazione dei sedimenti fini nella zona degli allineamenti descritti rispettivamente per la Configurazione C0 e per la Configurazione C1. Nella successiva Figura 142, invece, sono riportati i 4 grafici della coppia degli andamenti dei valori delle concentrazioni dei sedimenti trasportati in sospensione, sui punti disposti lungo i 4 allineamenti prescelti, nell'area di interesse, per le configurazioni C0 (in colore azzurro) e C1 (in colore rosso).

Analogamente sono riportati, rispettivamente nella Figura 143, nella Figura 144 e nella Figura 145, i risultati ottenuti per la condizione di corrente di circolazione. Stessa cosa, rispettivamente nella Figura 146, nella Figura 147 e nella Figura 148, sono riportati i risultati ottenuti per la condizione di corrente da moto ondoso. Infine, rispettivamente nella Figura 149, nella Figura 150 e nella Figura 151, sono riportati i risultati ottenuti per la condizione combinata di corrente di circolazione e da moto ondoso.

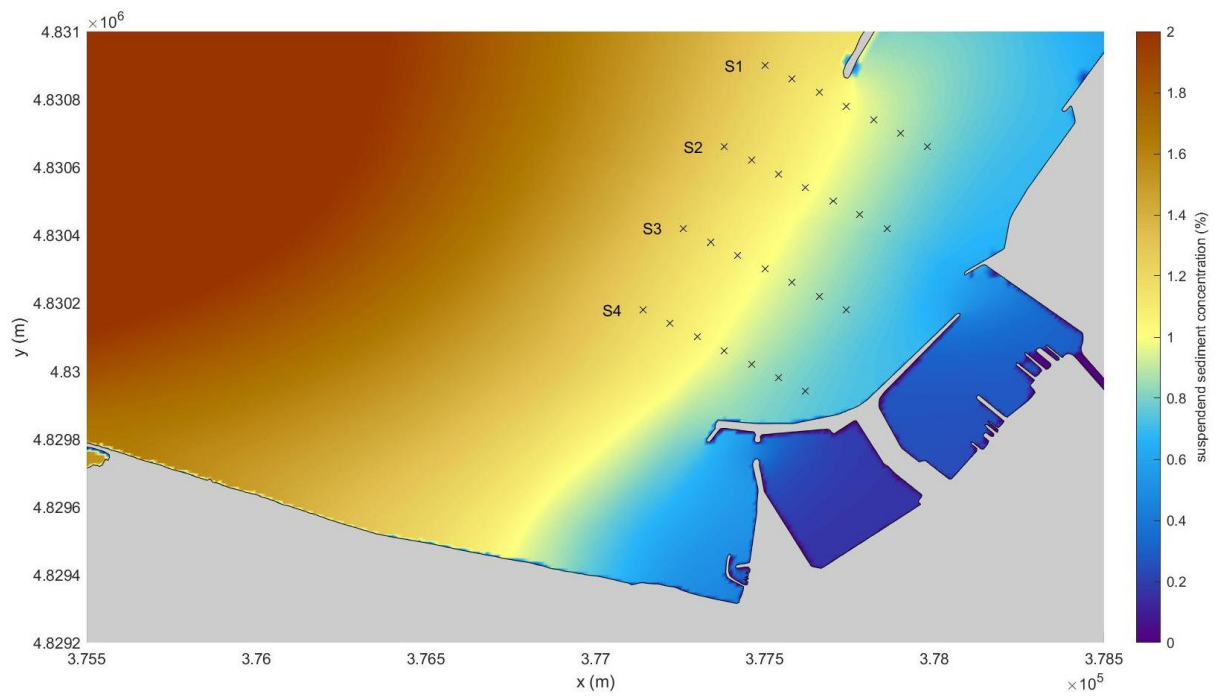


Figura 140 - Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di corrente da vento - Configurazione C0

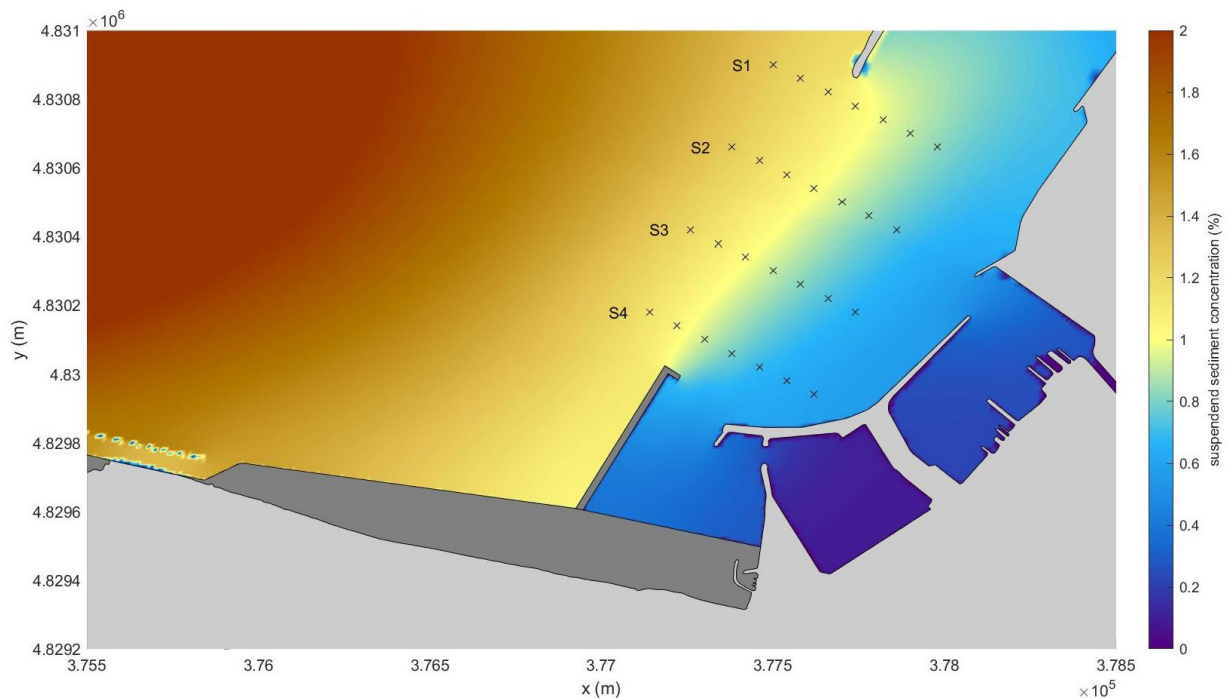


Figura 141 - Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di corrente da vento - Configurazione C1

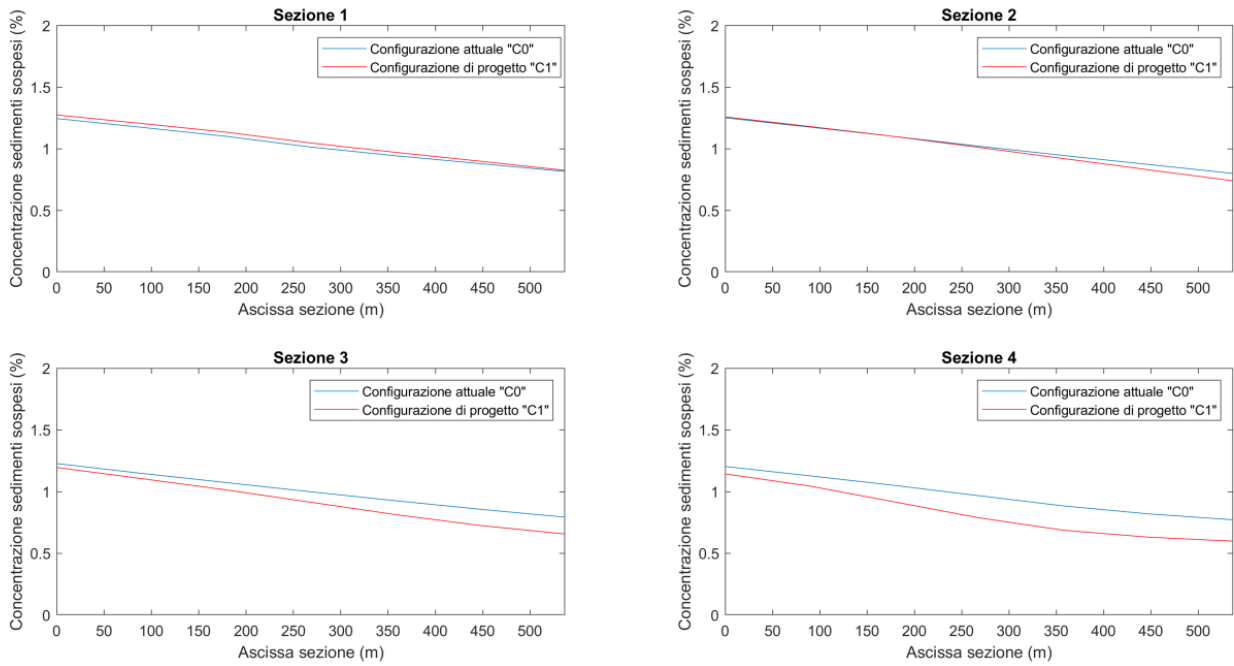


Figura 142 - Confronto della concentrazione del trasporto solido sospeso, in presenza di corrente da vento, fra stato attuale (Configurazione C0) e presenza delle nuove opere di progetto (Configurazione C1) per i 4 allineamenti individuati

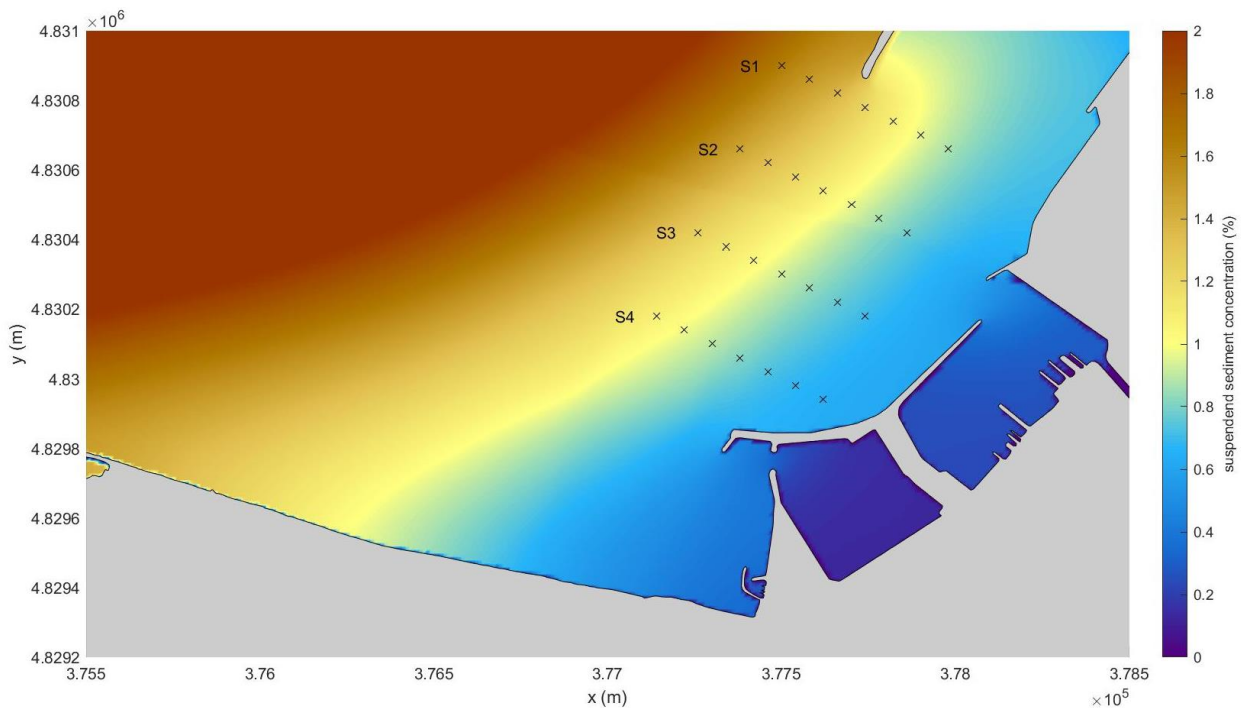


Figura 143 - Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di corrente di circolazione - Configurazione C0

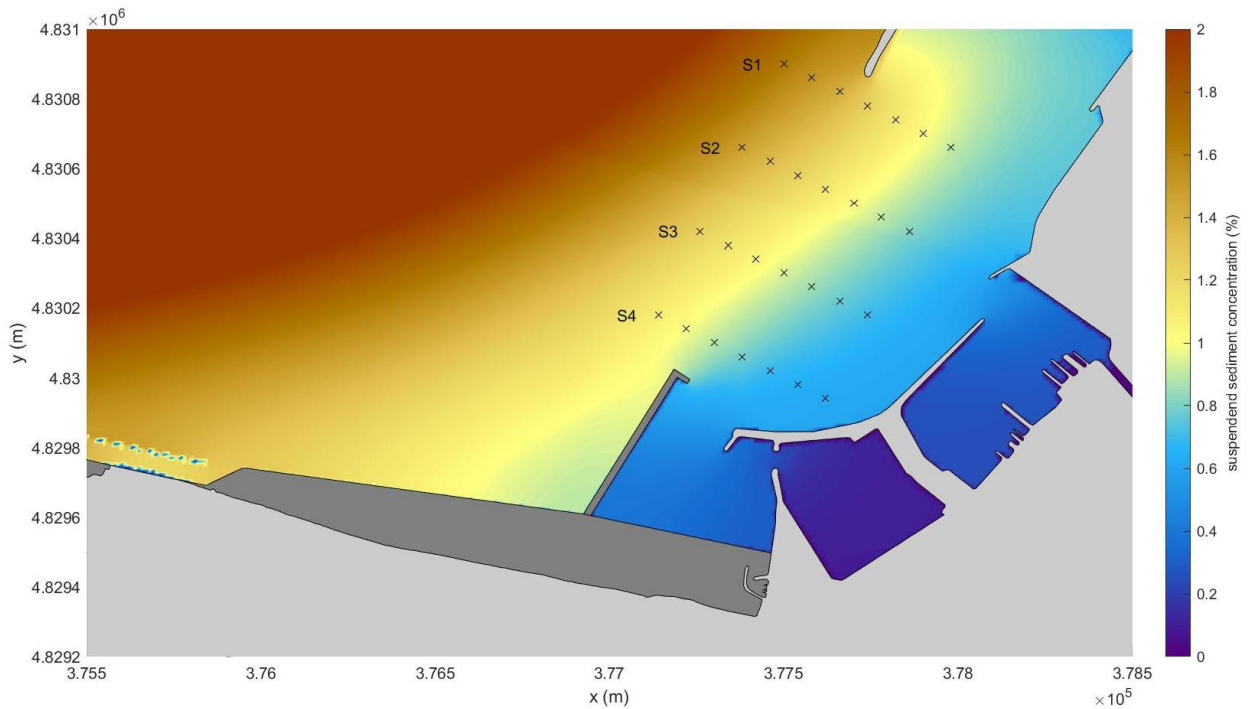


Figura 144 - Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di correnti di circolazione - Configurazione C1

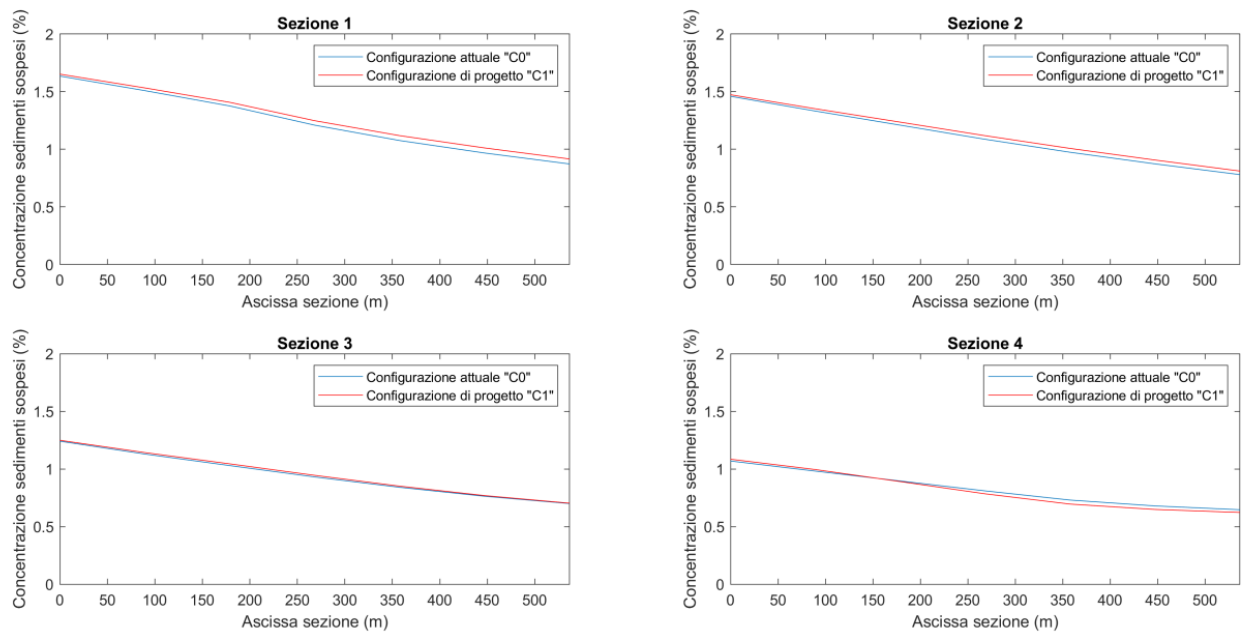


Figura 145 - Confronto della concentrazione del trasporto solido sospeso, in presenza di correnti di circolazione, fra stato attuale (Configurazione C0) e presenza delle nuove opere di progetto (Configurazione C1) per i 4 allineamenti individuati

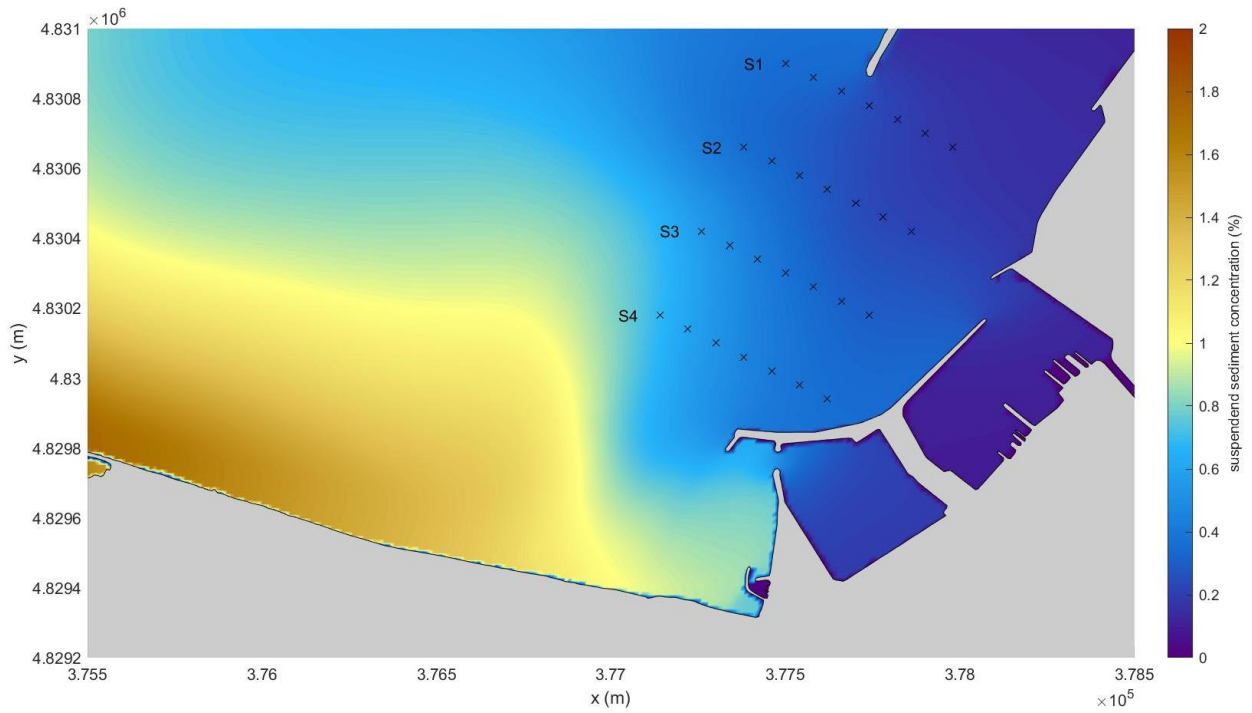


Figura 146 - Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di corrente da moto ondoso - Configurazione C0

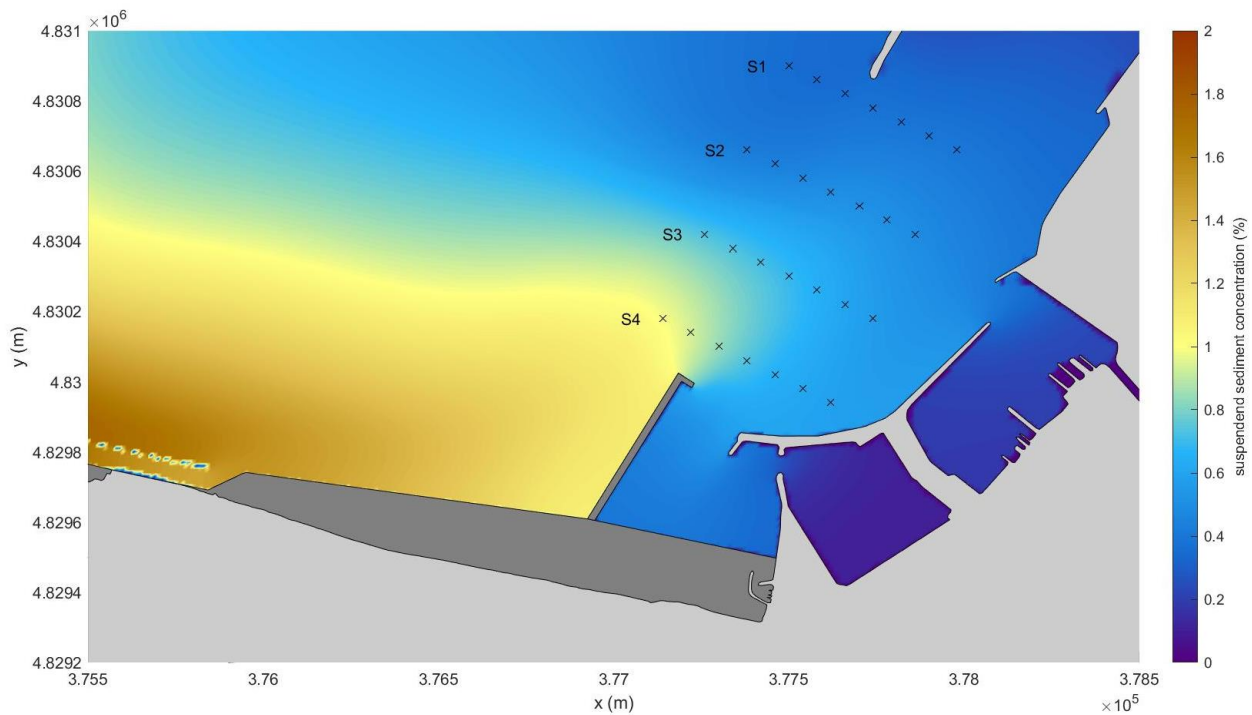


Figura 147 - Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di corrente da moto ondoso - Configurazione C1

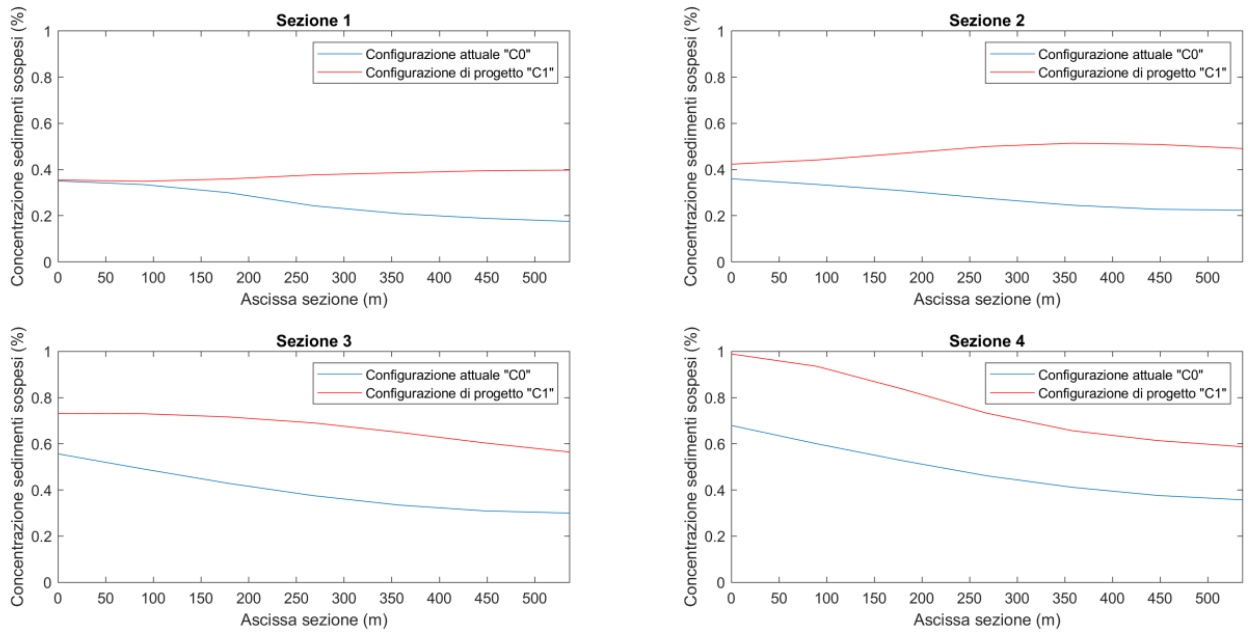


Figura 148 - Confronto della concentrazione del trasporto solido sospeso, in presenza di corrente da moto ondoso, fra stato attuale (Configurazione C0) e presenza delle nuove opere di progetto (Configurazione C1) per i 4 allineamenti individuati

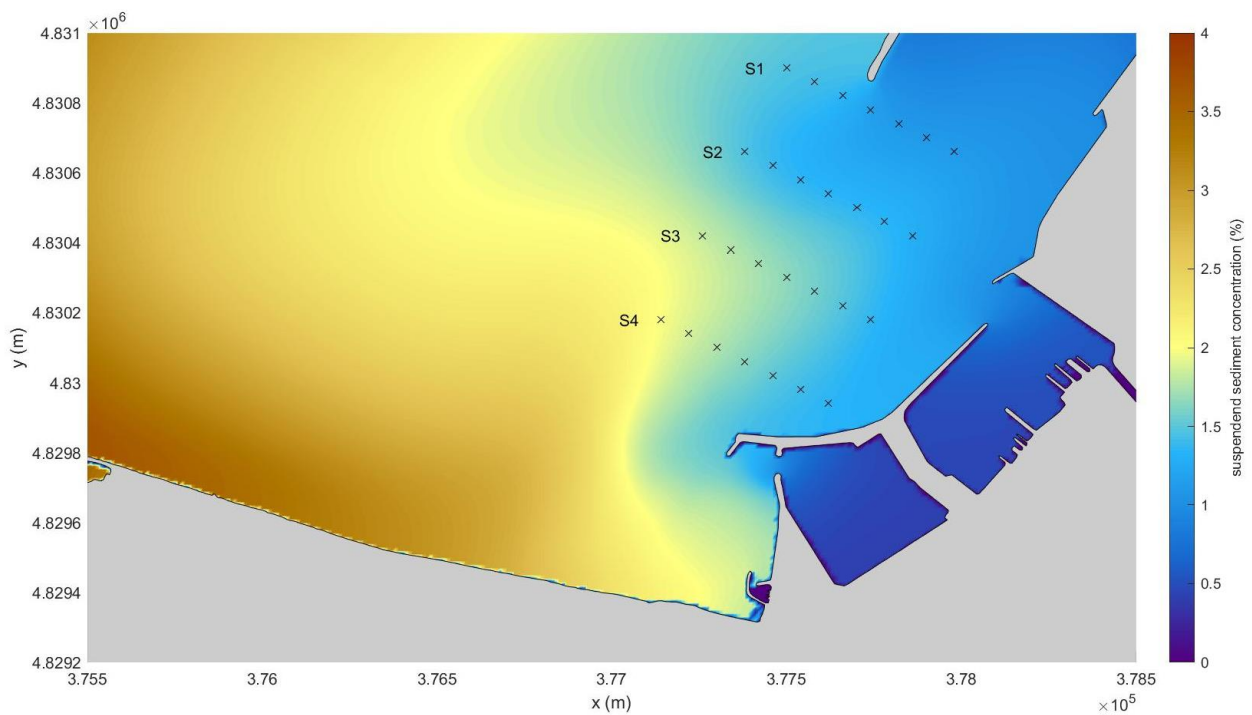


Figura 149 - Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di corrente di circolazione e moto ondoso - Configurazione C0

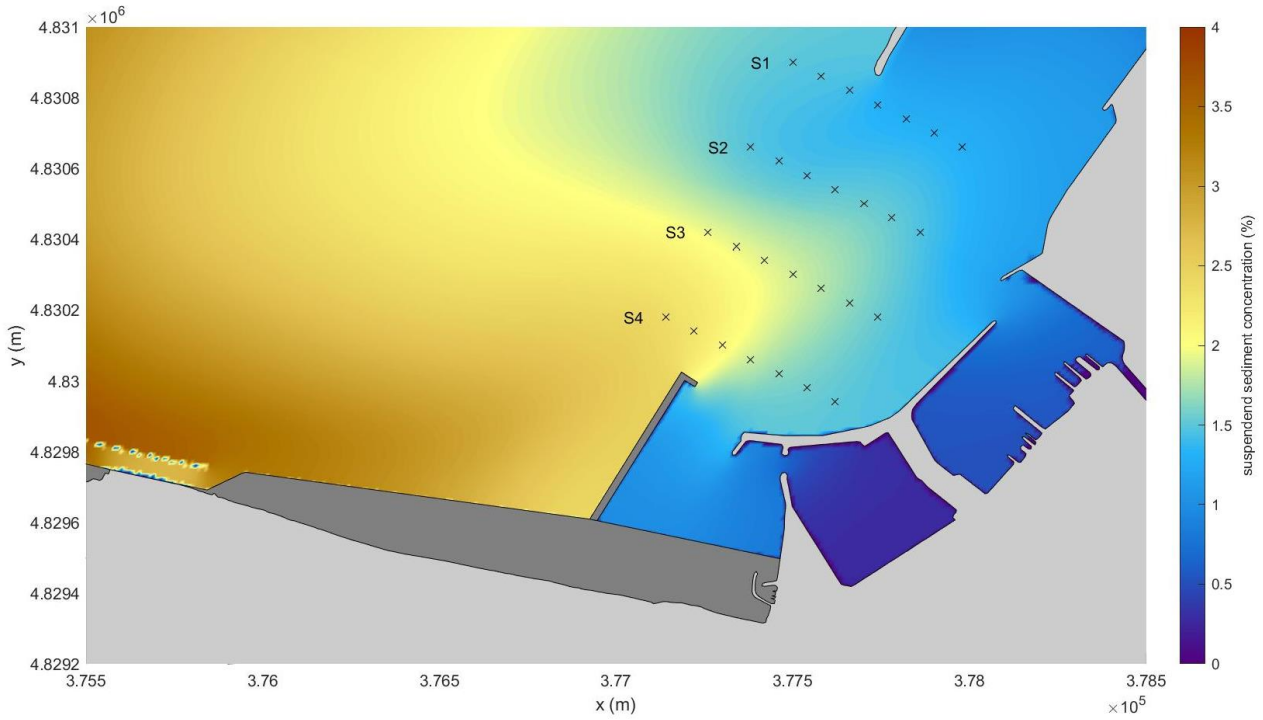


Figura 150 - Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di correnti di circolazione e moto ondoso - Configurazione C1

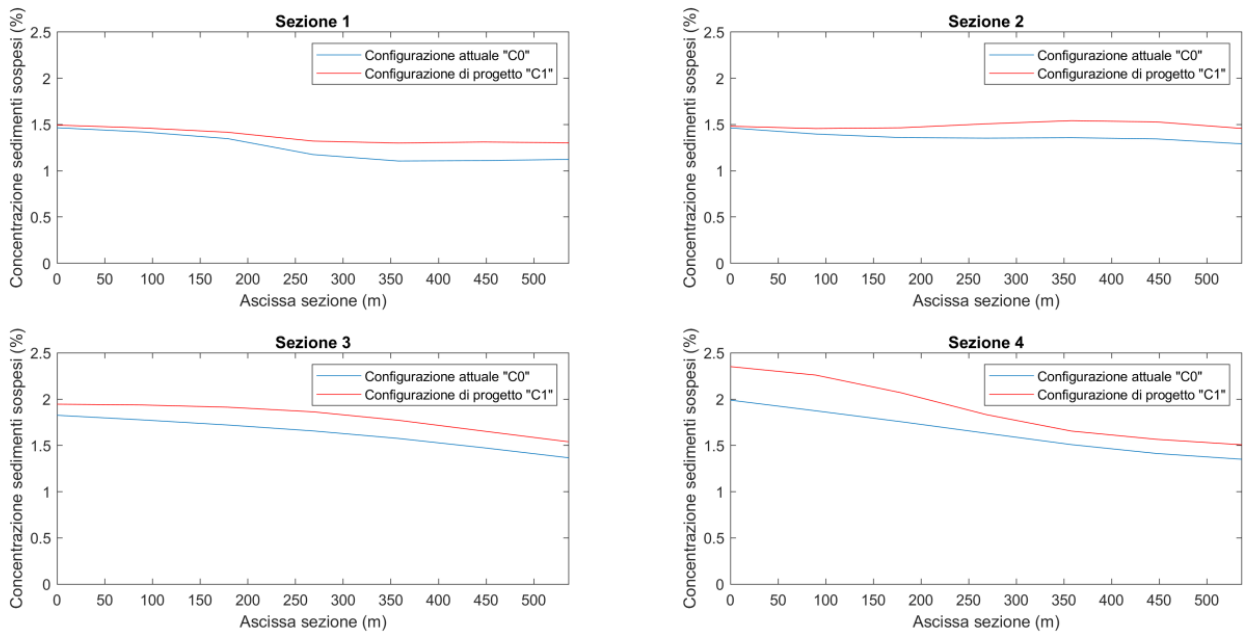


Figura 151 - Confronto della concentrazione del trasporto solido sospeso, in presenza di corrente di circolazione e moto ondoso, fra stato attuale (Configurazione C0) e presenza delle nuove opere di progetto (Configurazione C1) per i 4 allineamenti individuati

Dal confronto, anche visivo sulle mappe a colori della densità di concentrazione, delle intensità di trasporto solido nell'area dell'imboccatura del Porto turistico tra le configurazioni C0 e C1 è possibile notare una drastica riduzione della concentrazione del sedimento solido sospeso, evidente in tutte le condizioni, ma specialmente in quella in presenza di moto ondoso (focalizzando l'attenzione sul confronto fra la Figura 146 e la Figura 147) ed in quella combinata onde-circolazione (focalizzando l'attenzione sul confronto fra la Figura 149 e la Figura 150), quindi il materiale pelitico rimasto in gioco in quell'area risulta notevolmente ridotto, limitando drasticamente il rischio di deposito sedimentario su quel bacino che funge da avamposto, in cui si crea una zona di calma per la riduzione delle velocità.

Per quanto riguarda la zona in prossimità della Darsena Marche, si osserva dai grafici della Figura 142, della Figura 145, della Figura 148 e della Figura 151, come tra le due diverse configurazioni C0 (attuale) e C1 (di progetto) ci siano minime variazioni delle densità di concentrazione sedimentaria, ciò indica che la realizzazione delle nuove opere avrebbero una minima influenza nell'idrodinamica e nel trasporto solido che si sviluppano nell'area del porto commerciale e della banchina rettilinea in corso di completamento.

Nei casi in cui la densità dei sedimenti sospesi risulti ridotta con le opere di progetto, risulta evidente il beneficio delle nuove opere (si vedano la Figura 142 e la Figura 145).

Nei casi in cui, invece, si verifica una lieve variazione in aumento della densità di concentrazione sedimentaria (si vedano la Figura 148 e la Figura 151), ovviamente ciò è dovuto essenzialmente al maggior afflusso dei materiali pelitici che vengono deviati proprio in tali aree dalla presenza del molo aggettante e che, nelle condizioni attuali, sono invece destinati ad aggravare pesantemente il deposito nella zona dell'imboccatura del porto turistico, che, come è stato riportato in precedenza, risulta beneficiare ampiamente dalla realizzazione del nuovo molo aggettante.

Si ritiene, inoltre, che i casi di maggior concentrazione sedimentaria simulati si verifichino in condizioni alquanto sporadiche nel corso degli anni e che, sia per la loro limitata frequenza che per le contenute quantità dei sedimenti in gioco, non possano arrecare criticità particolari all'inevitabile deposito sedimentario che si verifica nel bacino antistante la banchina rettilinea in corso di completamento. Ciò rientrerebbe in un fenomeno ordinario di interrimento, inevitabile in tutti i bacini di calma, tranquillamente affrontabile con semplici provvedimenti di manutenzione ordinaria. Si ritiene altresì che tale situazione debba avere comunque una durata temporanea, infatti, con la realizzazione delle previste opere di completamento dell'ampliamento del Porto di Ancona (in particolare, con il prolungamento verso Sud della diga foranea di sottoflutto) e con alcuni accorgimenti infrastrutturali, come quello che verrà descritto nel successivo Capitolo 7, anche questa problematica possa essere fortemente ridotta e probabilmente anche risolta completamente.

7. VARIANTE DI PROGETTO

Una volta esaurite le analisi strettamente connesse alle richieste dello studio di Convenzione, nel presente capitolo, come già introdotto nel Capitolo 2, è stata affrontata un'ulteriore analisi, effettuata con il modello numerico già utilizzato, relativamente al comportamento marittimo di un'opera di variante, proposta come completamento ed integrazione delle opere di progetto poste in esame per il presente studio.

L'opera di cui si tratta, aggiuntiva rispetto a quelle già esaminate, riguarda un tratto in prolungamento del nuovo molo aggettante delle opere in progetto. Si tratta di un braccio di breve lunghezza, dell'ordine di qualche decina di metri, che costituirebbe una sorta di risvolto in direzione settentrionale dell'asse principale longitudinale del molo aggettante in questione in corrispondenza della sua testata. Le ragioni di una simile proposta di prolungamento, stanno nel tentativo di deviare, in direzione settentrionale, la corrente litoranea costiera principale presente nel paraggio, con annesso il flusso sedimentario trasportato, al fine di avviare tale afflusso solido in allontanamento dalle opere e dalle bocche dei vari bacini portuali, per limitare i rischi degli interrimenti interni.

Si ricorda, infatti, che la corrente litoranea percorre la costa occidentale adriatica da NordOvest verso SudEst si inflette nell'insenatura meridionale del paraggio anconitano dirigendosi verso Nord-NordEst, lambisce le opere portuali ed attraversa l'imboccatura del porto commerciale, raggiunge la testata del molo di sopraflutto, la rigira convogliata in un flusso intenso diretto verso Est, supera le opere dei bacini e le propaggini settentrionali del Colle Guasco e ripiega ancora per riprendere la primitiva direzione verso SudEst.

Una simile deviazione artificiale della corrente costiera nel paraggio del porto anconitano, storicamente aperto con imboccatura esposta ad Ovest, è sempre esistita. Infatti, già prima dell'avvio dei lavori di ampliamento del Porto di Ancona, l'originario Molo Sud aveva il profilo laterale esterno sagomato in modo tale da deviare la corrente verso Nord-NordOvest, ad oltrepassare più efficacemente l'aggetto del Molo Nord, che altrimenti avrebbe rischiato di interferire maggiormente con tale flusso di trasporto solido. Poi, secondo quanto già previsto dalle opere di ampliamento del Porto di Ancona, anche la testata dell'attuale Diga foranea di Sottoflutto va completata proprio con un tratto in prolungamento, diretto verso Nord, previsto della lunghezza di 100m, proprio con lo scopo di avviare tale afflusso sedimentario principale il più possibile lontano dalla testata della Diga di Sopraflutto.

Nelle fasi precedenti del presente studio, era già stato effettuato il confronto del comportamento marittimo, connesso con il trasporto solido, del prolungamento del molo aggettante per una delle configurazioni quasi-definitive delle opere di progetto. Essendo tale configurazione (già esaminata), comunque, molto simile a quella definitiva, si è ritenuto quindi sufficiente riportare tali risultati, per fornire una indicazione soprattutto qualitativa del confronto di funzionamento nelle condizioni del molo aggettante con o senza prolungamento e, quindi, quanto risulti efficace detto tratto di risvolto aggiuntivo.

Nelle prove numeriche di simulazione analizzate per il confronto di cui si sta trattando, era stato considerato, nelle opere di progetto, un diverso profilo della scogliera radente di contenimento del terrapieno del lungomare Torrette-Ancona ed il nuovo molo aggettante di lunghezza di 490m ed inclinazione 32°N , come indicato nella planimetria schematica della Figura 152. La predetta configurazione è analoga alla Configurazione C1 analizzata precedentemente nello studio, risulta poco differente rispetto ad essa. Nella configurazione considerata nella proposta di variante, quindi con il prolungamento in questione del braccio, era stato invece considerato il nuovo molo aggettante con un primo tratto di lunghezza di 490m ed inclinazione 32°N ed un secondo tratto di lunghezza pari a circa 70m e inclinazione pari a 0°N , come illustrato nella planimetria schematica della Figura 153.

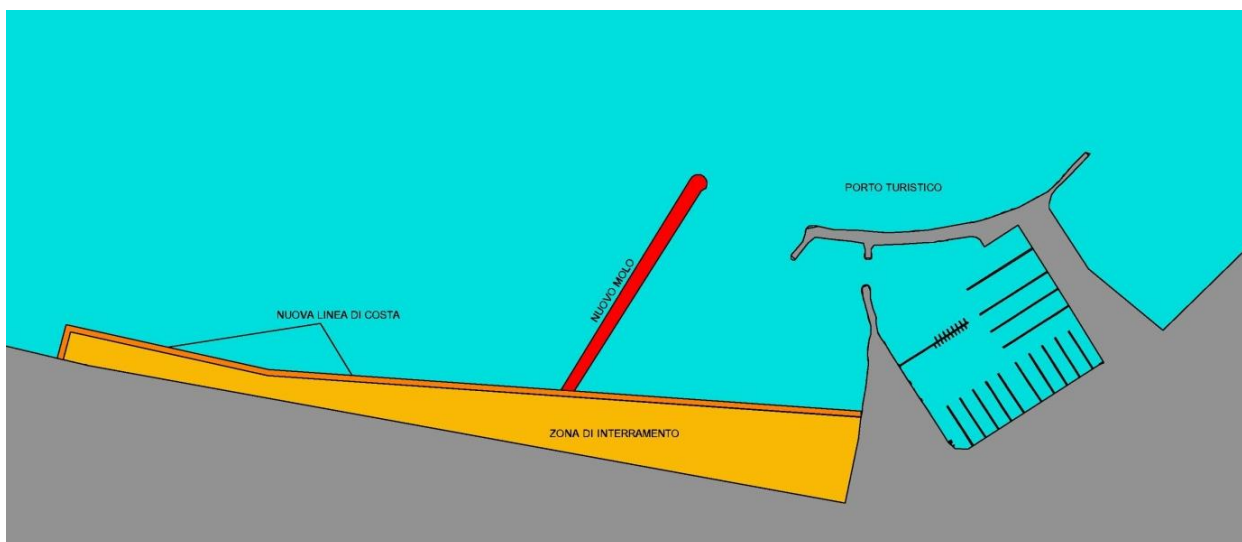


Figura 152 – Schema della configurazione di progetto esaminata con il nuovo molo aggettante senza prolungamento

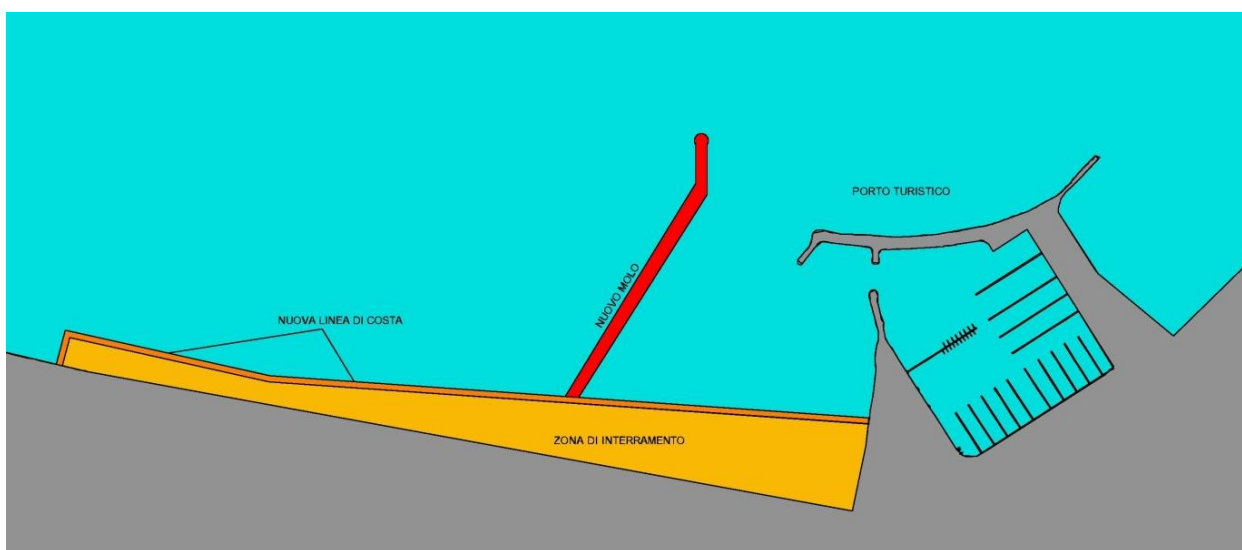


Figura 153 – Schema della configurazione di progetto esaminata con il nuovo molo aggettante con il prolungamento proposto nella variante

Limitando l'analisi delle mappe grafiche alla zona planimetrica di dettaglio concentrata attorno al bacino del porto turistico ed alla zona meridionale di interesse, per le condizioni di scenario in presenza di corrente da vento (uno degli scenari, presa in considerazione per questo confronto a solo titolo di esempio), nella Figura 154 e nella Figura 156, vengono riportati i risultati in forma grafica delle simulazioni numeriche dell'idrodinamica in condizioni di stazionarietà del moto, in particolare per il confronto della configurazione delle opere di progetto quasi-definitiva, in cui il nuovo molo aggettante si presenta rispettivamente senza e con il prolungamento in esame, come proposto nella variante di progetto descritta nel presente paragrafo.

Analogamente, per le stesse condizioni di scenario, nelle mappe della stessa zona di interesse, vengono riportati, nella Figura 155 e nella Figura 157, i risultati in forma grafica delle simulazioni numeriche relativamente al trasporto sedimentario per gli istanti più significativi in termini di attraversamento del flusso sul sito (marino) rappresentato, in particolare per il confronto della configurazione delle opere di progetto quasi-definitiva, in cui il nuovo molo aggettante si presenta rispettivamente senza e con il prolungamento in esame, come proposto nella variante di progetto descritta nel presente paragrafo.

Per lo stesso scenario di corrente da vento, per la stessa zona, vengono riportate le mappe grafiche delle concentrazioni sedimentarie, con le posizioni degli stessi punti prescelti in precedenza, per confrontare quantitativamente il contenuto del trasporto solido sospeso, nella Figura 158 e nella Figura 159, nella configurazione delle opere di progetto quasi-definitiva, in cui il nuovo molo aggettante si presenta rispettivamente senza e con il prolungamento in esame, come proposto nella variante di progetto descritta nel presente paragrafo.

Infine, nei 4 grafici della Figura 160, sono riportati gli andamenti della coppia dei valori delle concentrazioni dei sedimenti trasportati in sospensione, sui punti disposti lungo i 4 allineamenti prescelti, nell'area di interesse, per la configurazione delle opere di progetto quasi-definitiva, in cui il nuovo molo aggettante si presenta rispettivamente senza e con il prolungamento in esame, come proposto nella variante di progetto descritta nel presente paragrafo.

Con tale analisi di confronto, si è voluto indagare l'efficacia del detto prolungamento soprattutto sugli effetti della corrente di trasporto solido litoraneo in corrispondenza delle aree dell'imboccatura del porto turistico e dell'apertura della Darsena Marche.

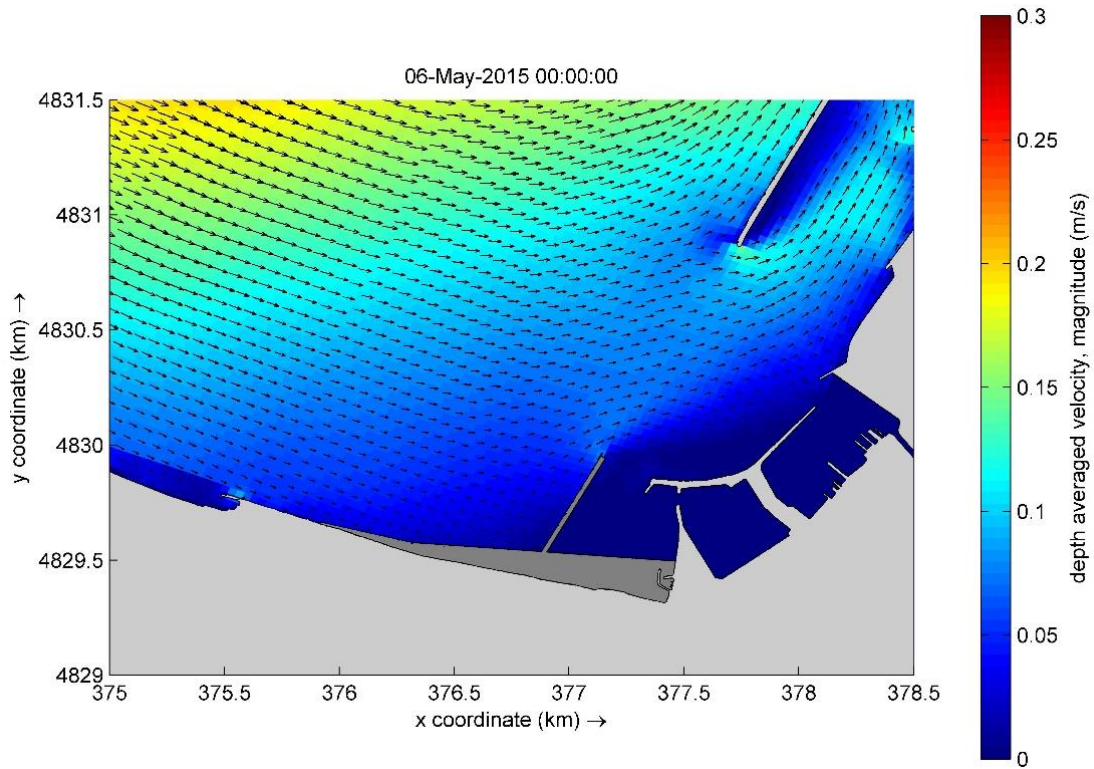


Figura 154 – Mappa dell'idrodinamica stazionaria in presenza di corrente da vento nella configurazione con il nuovo molo aggettante senza prolungamento

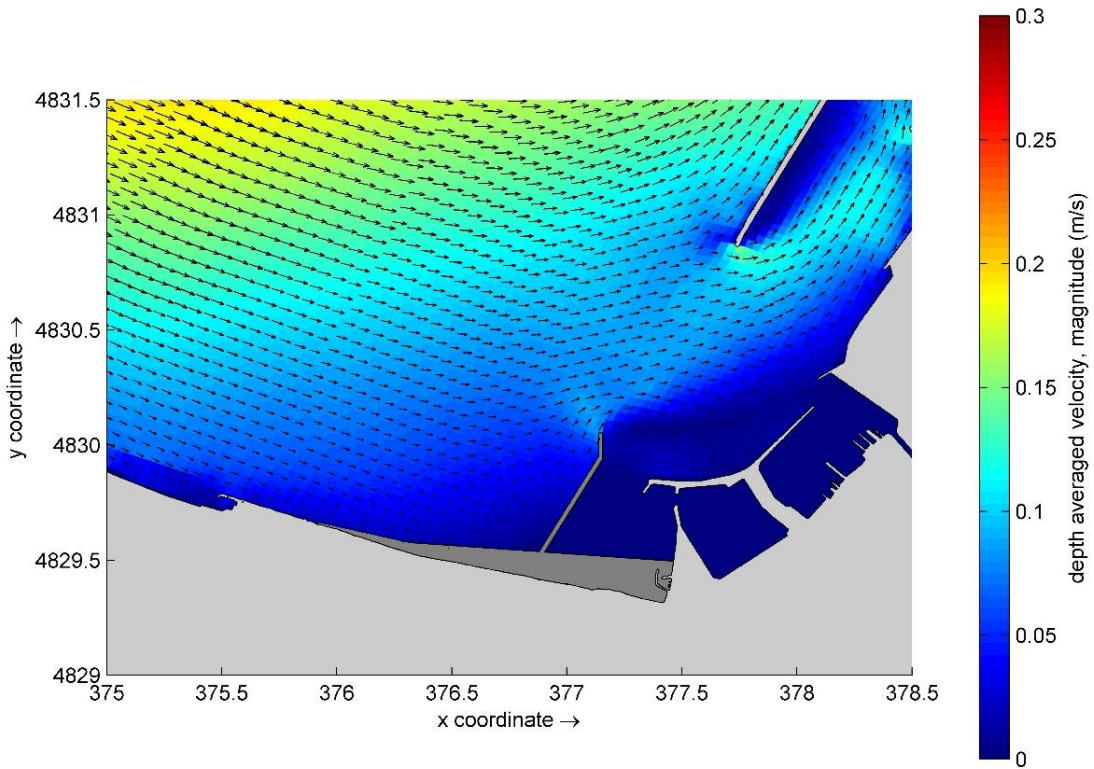


Figura 155 – Mappa dell'idrodinamica stazionaria in presenza di corrente da vento nella configurazione con il nuovo molo aggettante con il prolungamento diretto verso Nord

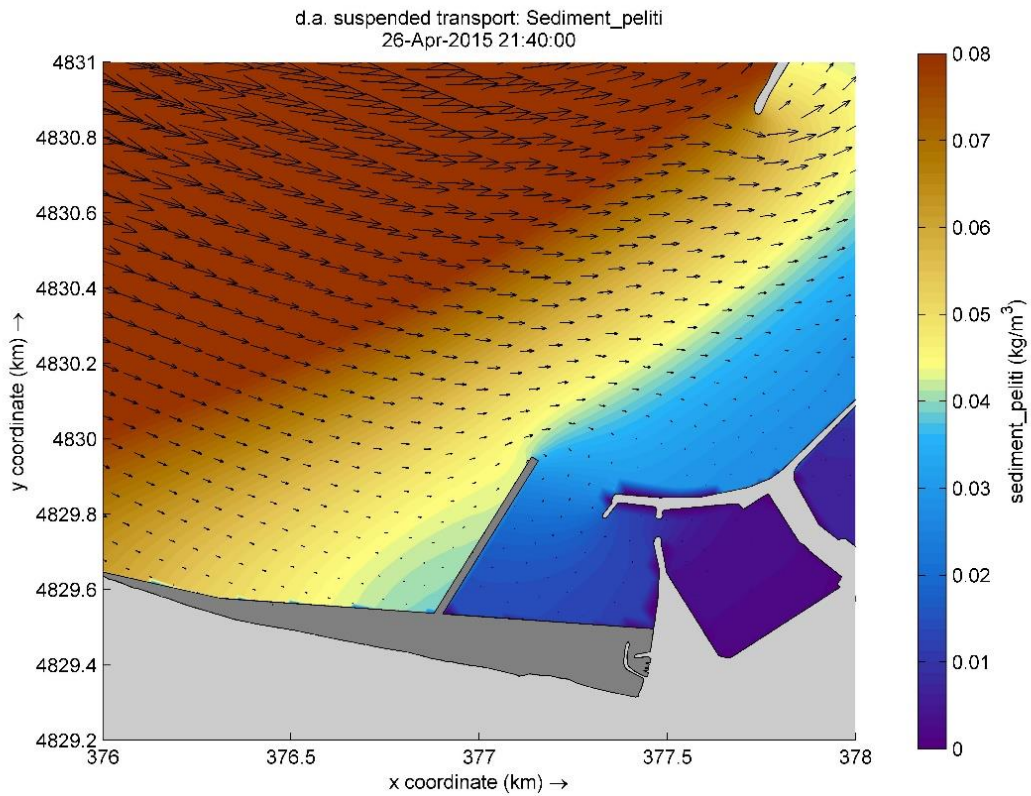


Figura 156 – Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di corrente da vento nella configurazione con il nuovo molo aggettante senza prolungamento

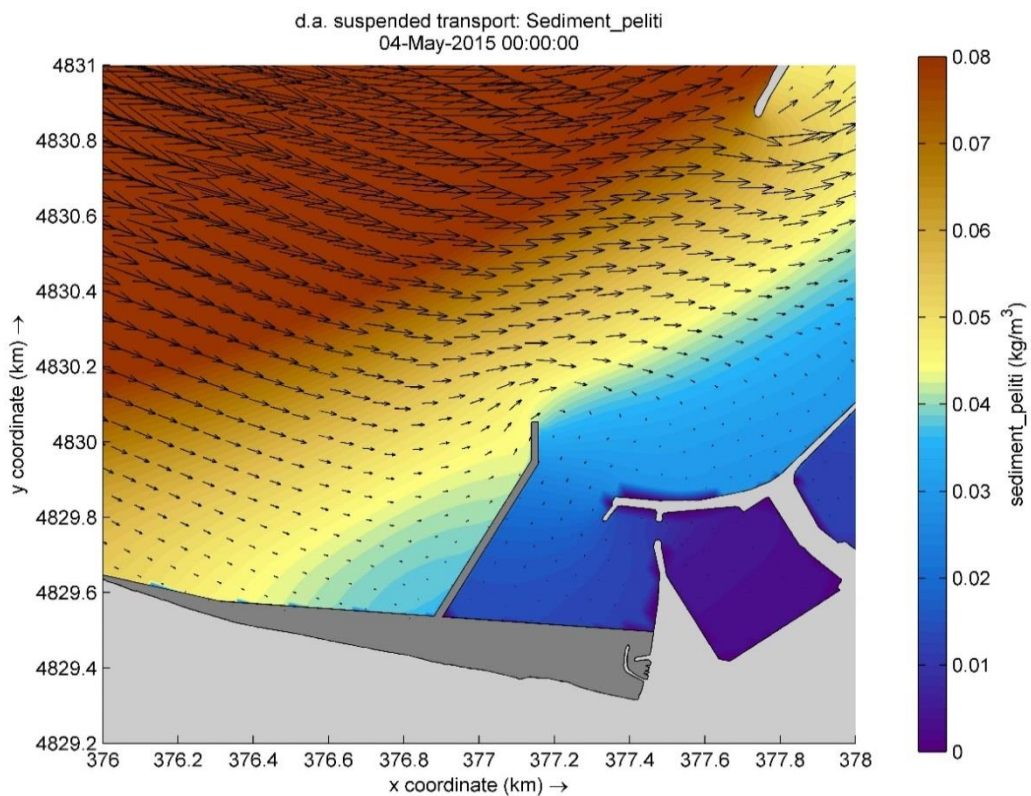


Figura 157 – Mappa di dettaglio del trasporto solido in presenza di corrente da vento nella configurazione con il nuovo molo aggettante con il prolungamento diretto verso Nord

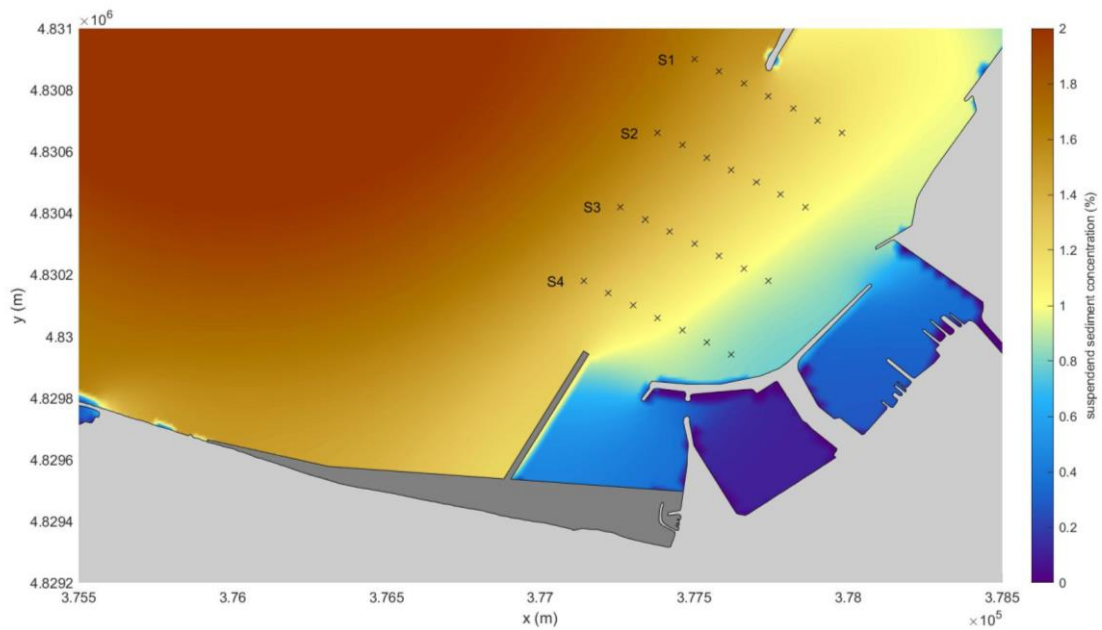


Figura 158 – Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di corrente da vento nella configurazione con il nuovo molo aggettante senza prolungamento

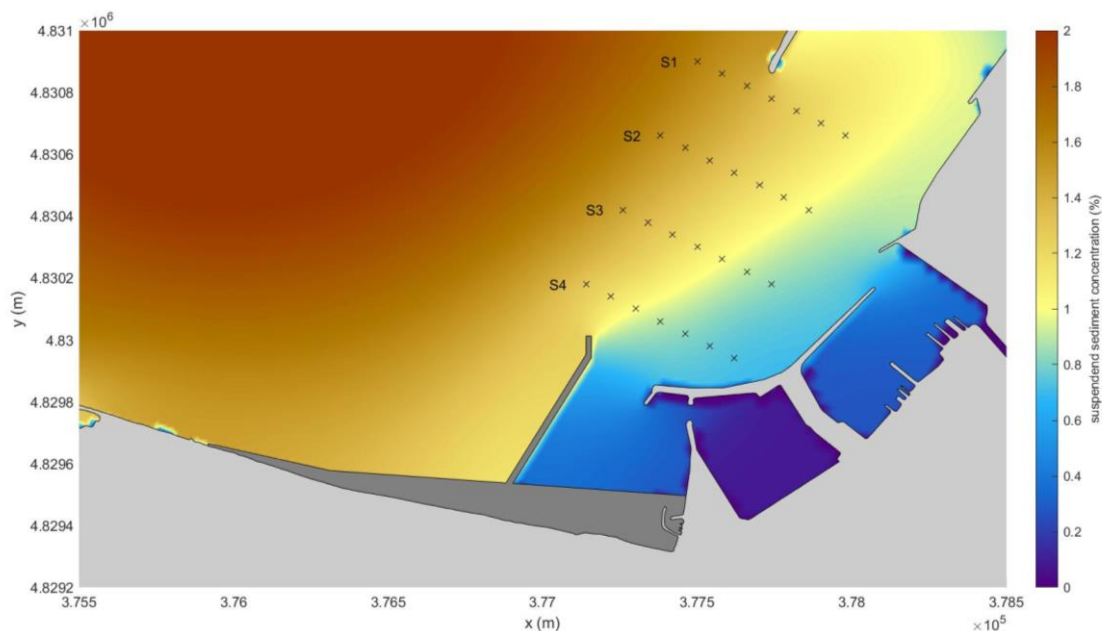


Figura 159 – Mappa della concentrazione del trasporto solido sospeso in presenza di corrente da vento nella configurazione con il nuovo molo aggettante con il prolungamento diretto verso Nord

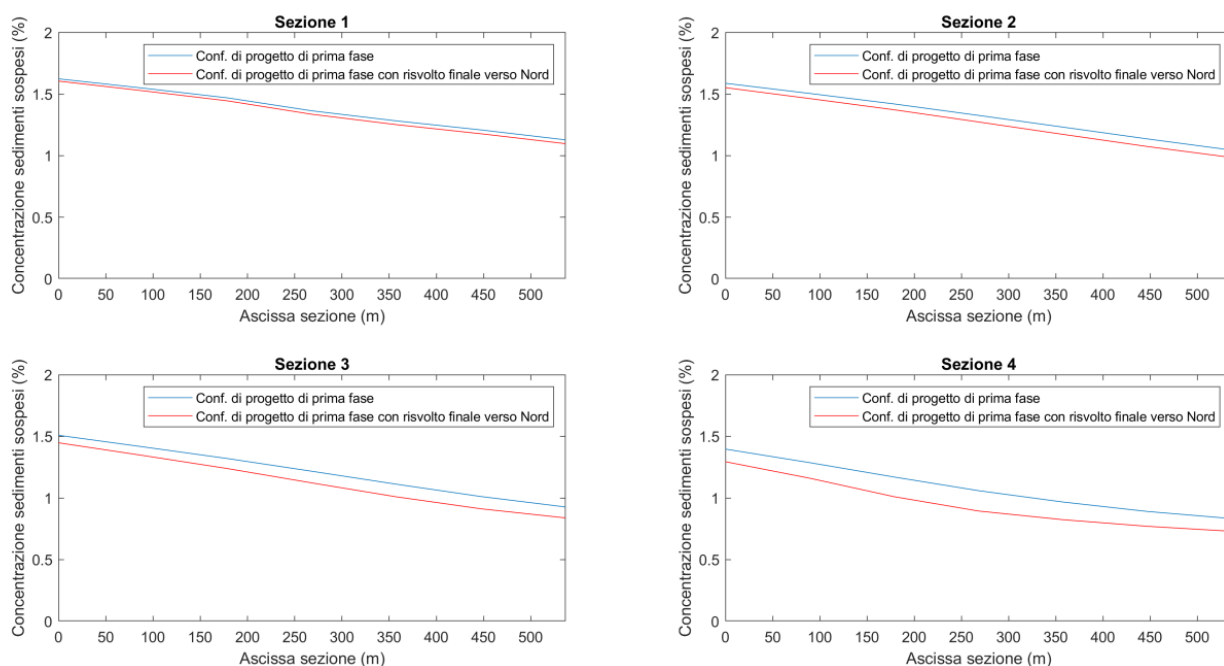


Figura 160 – Confronto della concentrazione del trasporto solido sospeso, in presenza di corrente da vento, nella configurazione di progetto quasi-definitiva, per i 4 allineamenti individuati con il nuovo molo aggettante con e senza tratto in prolungamento verso Nord della variante proposta

In definitiva, si può notare che, come atteso, il prolungamento, anche di soli 70m, del molo aggettante, come risvolto diretto verso Nord, risulti benefico per ridurre, in tutti i punti delle sezioni prescelti, il contenuto sedimentario. Tale diminuzione dei materiali solidi in gioco, in quest'area particolarmente significativa per i bacini del porto turistico e della Darsena Marche commerciale, indicano chiaramente come si possa diminuire il rischio di depositi sedimentari nei predetti bacini protetti.

Avendo considerato, a titolo di esempio, il solo scenario di forzante costituita dalla corrente da vento, si ritiene, ovviamente, di ottenere risultati qualitativamente analoghi anche per tutti gli altri scenari di condizioni meteomarine diverse.

Vale anche la pena di aggiungere che, avendo dovuto limitare il prolungamento del risvolto verso Nord a soli 70m per vincoli di dimensione della griglia di calcolo, con prolungamenti di lunghezza maggiore, per esempio di 100m, l'effetto benefico sulla corrente di trasporto solido e l'efficacia del risvolto aumenterebbero ulteriormente.

Inoltre, come già osservato in precedenza, il completamento verso Sud della attuale diga foranea di sottoflutto, secondo le indicazioni delle soluzioni dell'ampliamento portuale, porterebbero anche all'abbattimento quasi completo dei sedimenti affluenti, convogliati per corrente diretta, ai bacini del porto turistico (già drasticamente ridotti dalla presenza del nuovo molo aggettante di progetto, in grado di allontanarli) e della Darsena Marche.

8. CONCLUSIONI

Dai risultati delle simulazioni del modello numerico di analisi del trasferimento del moto ondoso nel paraggio di interesse, effettuate sulla base delle elaborazioni sui dati rilevati dalle boe ondometriche della RON, si possono dedurre le osservazioni riportate di seguito.

La collocazione geografica dell'area oggetto di studio evidenzia la protezione fornita dal porto commerciale esistente e dal promontorio del Monte Conero rispetto alle onde provenienti da Est, Sud-Est.

Secondo le indicazioni fornite dalle elaborazioni e le applicazioni numeriche utilizzando i dati RON, per il Tempo di Ritorno di 30 anni, il valore massimo dell'altezza significativa alla distanza di circa 50 m dalla scogliera radente, prevista per il nuovo profilo del lungomare Ancona-Torrette, risulta pari a 2,09 m associato alla direzione 30°N e al periodo $T_p=10,41$ s. Per il Tempo di Ritorno di 70 anni, il valore massimo dell'altezza significativa alla distanza di circa 50 m dal nuovo molo aggettante risulta pari a 2,40 m, in particolare alla testata del molo, associato alla direzione 0°N e al periodo $T_p=9,45$ s.

Date le caratteristiche degli attacchi ondosi sulle opere di protezione del bacino del Ridosso di Torrette, si ritiene che si debbano approfondire in sede esecutiva delle varianti alla disposizione delle opere previste, sia per la imboccatura Ovest, particolarmente esposta alle ondate più pericolose, che per la bocca Est, che presenta un'apertura eccessivamente ampia e soprattutto una sponda di chiusura che, con la sua direzione planimetrica, senza opportuni provvedimenti ulteriori, sarebbe in grado di alimentare sia pericolose riflessioni ondose delle onde di mareggiata, che risulterebbero dirette proprio lungo l'interno del bacino protetto, sia incrementi di altezza d'onda.

Dai risultati delle applicazioni del modello numerico di analisi del trasporto solido sedimentario nel paraggio di interesse, considerate in diversi scenari meteomarini, si possono dedurre le osservazioni di seguito riportate.

Il nuovo molo aggettante risulta fondamentale per proteggere l'imboccatura attuale del porto turistico dai rischi di inagibilità per l'eccessivo deposito sedimentario determinato dall'incremento atteso del trasporto solido, per lo spostamento verso mare della protezione radente al nuovo terrapieno del lungomare Torrette-Ancona.

Una parte degli apporti solidi allontanati, per effetto delle nuove opere di progetto, dalle aree antistanti la bocca del porto turistico, vengono deviati nella zona dell'apertura meridionale attuale della Darsena Marche. Tale parziale alterazione delle condizioni di questa parte del porto commerciale, sembra essere di intensità limitata e non recare criticità particolari di aumento di interrimento nelle suddette aree, per cui potrebbe rientrare tranquillamente nelle procedure della gestione ordinaria degli insabbiamenti dei bacini portuali. Tra l'altro, queste lievi problematiche possono essere ridotte dai semplici provvedimenti della citata proposta di variante di progetto consistente in un adeguato

prolungamento alla testata del molo aggettante o possono essere quasi totalmente eliminate dal completamento delle opere di ampliamento del Porto di Ancona, in particolare dal previsto prolungamento verso Sud dell'attuale Diga foranea di sottoflutto.

Il proposto prolungamento, diretto verso Nord, del nuovo molo aggettante, introdotto ed analizzato come variante di progetto, risulta chiaramente favorevole ad allontanare il trasporto sedimentario dalle aree di apertura del porto turistico e soprattutto della Darsena Marche; quindi mostra benefici riguardo ai rischi di interrimento di dette aree. La lunghezza dell'asse del braccio di prolungamento risulta direttamente proporzionale ai benefici apportati. Nel caso in cui tale proposta venga accettata, si suggeriscono lunghezze di 70-100m.

La proposta di variante di progetto potrebbe inoltre integrarsi perfettamente con il previsto completamento delle opere di ampliamento sull'attuale Diga foranea di sottoflutto verso Sud, pensando ad una imboccatura a moli convergenti, che minimizzerebbe drasticamente pure gli afflussi di trasporto solido nelle aree del porto turistico e della Darsena Marche.

Si rileva, altresì, che il piccolo molo-martello, presente alla testata del nuovo molo aggettante nella Configurazione C1, risulta avere una trascurabile influenza dal punto di vista marittimo. Nel caso si optasse per la variante di progetto del prolungamento verso Nord, tale molo-martello potrebbe essere dimensionato diversamente in lunghezza e potrebbe più favorevolmente essere diretto verso Est, piuttosto che verso SudEst.