COMUNE DI ANCONA - LUNGOMARE NORD.
REALIZZAZIONE DELLA SCOGLIERA DI PROTEZIONE DELLA LINEA FERROVIARIA BOLOGNA-LECCE, INTERRAMENTO CON GLI ESCAVI DEI FONDALI MARINI, RETTIFICA E VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA FERROVIARIA

RISPOSTE AD ISTRUTTORIA VIA

ID_VIP4711

ALLEGATO 1.1

Valutazione di Impatto Ambientale

Art. 23 D.Lgs 152/2006 e ss.mm.ii

D'ALESSANDRO
NICOLA
RFI
05.10.2021
13:43:47 UTC

GIANLUCA PELLEGRINI
Regione
Marche/80008630420
Ruolo
30.09.2021 13:58:00
GMT+00:00

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

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

STUDIO IDRODINAMICO INTEGRATIVO FINALIZZATO AD ANALIZZARE GLI EFFETTI DEL NUOVO "LUNGOMARE NORD" SUI TRATTI DI LITORALE LIMITROFI

RELAZIONE FINALE

Il Responsabile scientifico
Prof. Ing. Alessandro Mancinelli

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

Ancona, lì 15 luglio 2021

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*

Prof. Ing. SARA CORVARO

Dott. Ing. CARLO LORENZONI

Dott. Ing. FRANCESCO MARINI

SOMMARIO

1. PREMESSA 2
2. INQUADRAMENTO GENERALE 8
3. MODELLO PER LO STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DELLE ONDE 20
3.1 Griglie e batimetrie per le diverse configurazioni 20
4. PROPAGAZIONE DELLE ONDE A RIVA 26
4.1 Sintesi riassuntiva sugli attacchi ondosi per le opere di progetto 39
5. CORRENTI INDOTTE DALLE ONDE 40
5.1 Sintesi riassuntiva sulle correnti indotte da onde per le opere di progetto 89
6. CONCLUSIONI 91

1. PREMESSA

L'Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura (*DICEA*), nel 2018 ha effettuato lo "*Studio idrodinamico per la messa in sicurezza dall'azione meteomarina e per la velocizzazione della linea ferroviaria adriatica da Ancona a Torrette*" per conto delll'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale (*ADSP*).

I contenuti della presente relazione di integrazione dello studio idrodinamico per il progetto del nuovo "Lungomare Nord" di Ancona hanno lo scopo di fornire all'*ADSP*, le analisi degli effetti sui tratti di litorale limitrofi delle opere di progetto per il nuovo terrapieno.

Lo "*Studio idrodinamico per la messa in sicurezza dall'azione meteomarina e per la velocizzazione della linea ferroviaria adriatica da Ancona a Torrette*" del 2018 è stato recepito come Allegato (denominato "*Allegato Studio Meteomarino"*) nel progetto definitivo redatto dalla Società Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. "Comune di Ancona - Lungomare Nord. Realizzazione della scogliera di protezione della linea ferroviaria Bologna-Lecce, interramento con gli escavi dei fondali marini, rettifica e velocizzazione della linea ferroviaria" da realizzarsi nel Comune di Ancona.

Tale progetto è stato sottoposto a procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi dell'art. 23 del D.Lgs.n.152/2006 e s.m.i, con nota del 29/05/2019 e con nota del 04/07/2019.

La Regione Marche in data 04/11/2019 (prot. n. CTVA/4230) ha trasmesso l'istruttoria contenente le osservazioni relative al procedimento.

La Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS, Gruppo Istruttore 3, del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, con nota CTVA/2145 del 9.07.2020, acquisita in data 15/07/2020 ha ricevuto la assegnazione dell'istruttoria in oggetto, ha esaminato la documentazione pervenuta richiedendo integrazioni documentali ed analisi.

Le integrazioni richieste riguardano i seguenti temi: 1) la Dinamica costiera, 2) Impatti cumulativi, 3) Zone classificate o protette dalla normativa nazionale; i siti della rete Natura 2000, 4) Ambiente biologico marino, 5) Rumore, 6) Acqua, 7) Aria, 8) Suolo - Sedimenti marini - Gestione delle materie e 9) Aspetti progettuali e tempistiche di realizzazione.

Le osservazioni e richieste di integrazioni effettuate dalla Commissione sul tema della Dinamica Costiera, di interesse per il presente studio, sono le seguenti:

> L'intervento si inserisce in un ambito, a sud chiuso dal porto di Ancona e a nord caratterizzato da un litorale parzialmente protetto.
>
> Nella documentazione presentata, il proponente include l'elaborato di "Studio idrodinamico per la messa in sicurezza dall'azione meteomarina e per la velocizzazione della linea ferroviaria adriatica da Ancona a Torrette" fatto redigere dall'Autorità Portuale di Ancona.

Tale studio si è focalizzato sulle "*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" per fornire indicazioni sugli effetti del trasporto solido nel suddetto paraggio di mare anconetano a seguito della realizzazione delle nuove opere.* " Comune di Ancona - Lungomare Nord. Realizzazione della scogliera di protezione della linea ferroviaria Bologna- Lecce, interramento con gli escavi dei fondali marini, rettifica e velocizzazione della linea ferroviaria Istruttoria VIA.

La relazione finale contiene gli studi in questione per la configurazione definitiva delle opere portuali. In essa "*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*."

Tutte le analisi riportate fanno però riferimento, come sopra riportato alla sola area direttamente interessata dall'intervento e al porto, senza valutare gli effetti delle opere previste sui litorali adiacenti. Il tratto sud-est risulta già parzialmente confinato dalle opere presenti; ciononostante, anche alla luce delle dinamiche mostrate nelle analisi sopra citate, è importante valutare gli effetti anche su tale tratto. Le analisi a nord/nord-ovest sono limitate agli effetti sull'opera e non sull'ambiente interessato dalla movimentazione dei sedimenti, considerato altresì che il tratto di costa a nord è già interessato da pennelli a mare per il ripascimento.

Si richiede di integrare lo studio meteomarino con una valutazione sugli effetti indotti dalle trasformazioni sui tratti di litorali limitrofi, con particolare attenzione al tratto nord con estensione al tratto di litorale fino alla Raffineria di Ancona; a sud, dovrà comunque essere valutata la presenza, ad una distanza di circa 3.800 m dell'area SIC IT5320005 – Costa tra Ancona e Portonovo (e ZPS IT5320015 Monte Conero).

In sintesi, la Commissione ha richiesto di integrare lo "Studio idrodinamico" del 2018 andando a valutare l'effetto delle opere previste dal progetto del terrapieno per il "Lungomare Nord" di Ancona sui litorali limitrofi a NordOvest e a SudEst. In risposta a tali osservazioni, è stato effettuato un nuovo studio idrodinamico in cui la zona di analisi è stata estesa, come richiesto, ai litorali adiacenti alle opere di progetto. In particolare, il nuovo studio è stato condotto su un dominio di calcolo esteso dal litorale di Marina di Montemarciano (a NordOvest) fino agli scogli delle "Due Sorelle" (a SudEst), i quali si trovano in corrispondenza della parte più aggettante, nella direzione orientale, del promontorio del Monte Conero. Come da richiesta di integrazione, il nuovo dominio di calcolo comprende la raffineria API di Ancona, estendendosi più a Nord fino a Marina di Montemarciano nel Comune di Montemarciano, e a Sud comprende l'intera area SIC IT5320005 "Costa tra Ancona e Portonovo", estendendosi a SudEst fino agli scogli delle "Due Sorelle" nel Comune di Sirolo, ad una distanza di circa 3800m.

Nella Figura 1.1 è riportata la vista generale del tratto di costa preso in considerazione nel presente studio nel nuovo dominio di calcolo.

Figura 1.1 - Area di analisi del presente studio (linee verdi tratteggiate): dal litorale di Marina di Montemarciano (Comune di Montemarciano) fino agli scogli delle "Due Sorelle" (Comune di Sirolo), i limiti verso costa del dominio di calcolo sono rappresentati dalle linee verdi tratteggiate. Schema planimetrico delle opere di progetto per il "Lungomare Nord" (in giallo), limiti comunali (in bianco), limite area SIC IT5320005 "Costa tra Ancona e Portonovo" (rosso), Fiume Esino (in celeste).

Le ondazioni provenienti dalle diverse direzioni di traversia per il paraggio (330°N, 0°N, 30°N, 60°N, 90°N, 120°N), ricavate dalle elaborazioni dei valori estremi effettuate nello studio meteomarino precedente ("Studio idrodinamico" del 2018) per due diversi tempi di ritorno (T_R=30 anni e T_R=70 anni), sono state trasferite nel nuovo dominio di calcolo dal largo fino a riva. Nelle simulazioni numeriche sono state valutate le correnti indotte dal moto ondoso per le diverse direzioni di provenienza delle onde sia nella configurazione attuale che in quella di progetto. Sono state inoltre confrontate le intensità delle correnti indotte dalle diverse condizioni idrodinamiche su dieci transetti posizionati lungo i due tratti di litorale limitrofi oggetto di analisi del presente studio di integrazione.

CONFIGURAZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO PER IL "LUNGOMARE NORD"

Le opere di progetto per il "Lungomare Nord" necessarie per la rettifica e velocizzazione della linea ferroviaria Bologna-Lecce, consistono nella realizzazione di scogliere di protezione e di contenimento ed interventi di interramento degli specchi acquei delimitati dalla gran parte delle nuove scogliere.

Nella relazione descrittiva del progetto definitivo, le scogliere di protezione della linea ferroviaria Bologna-Lecce sono state suddivise in più tratti (si veda la Figura 1.2) di diverse lunghezze come di seguito riportato:

- tratto SF1 Est: scogliera foranea tipo 1 di lunghezza 542 m;
- tratto SF2: scogliera foranea tipo 2 di lunghezza 1140 m;
- tratto SF1 Ovest: scogliera foranea tipo 1 di lunghezza 385 m;
- tratto P: pennello di lunghezza 567 m;
- tratto SR1: scogliera radente tipo 1 di lunghezza 1590 m;
- tratto SR2: scogliera radente tipo 2 (ridosso) di lunghezza 370 m;
- tratto SR3: scogliera radente tipo 3 di lunghezza 500 m;
- tratto SFE: prolungamento scogliera foranea esistente di lunghezza 45 m.

Si fa notare che le scogliere SF2 e SF1 Est, realizzate come foranee, fungeranno da scogliere radenti a lavori di interramento completati. Le scogliere del tratto SF2 sono disposte con orientamento della normale all'opera di circa 8°N. Tutte le scogliere presentano mantellata di rivestimento in massi naturali con pendenza lato mare di 1:2.

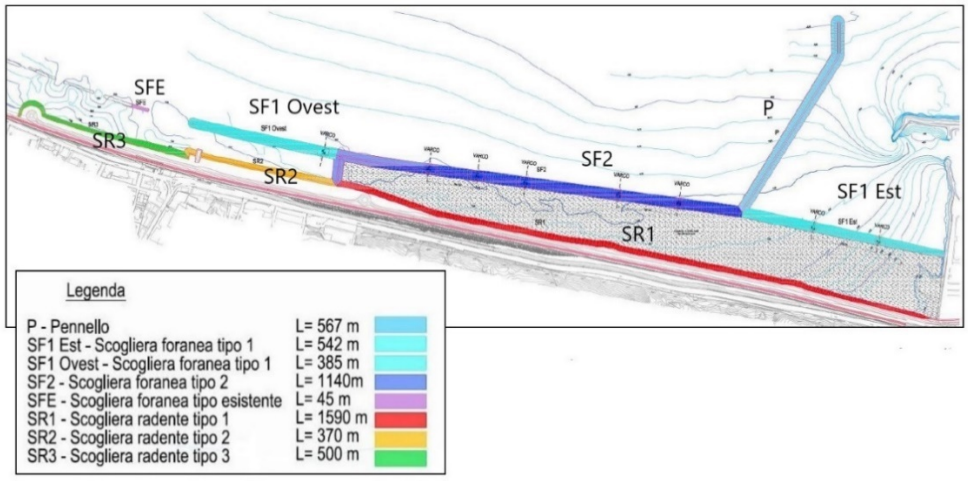

Figura 1.2 - Planimetria di progetto con le indicazioni della suddivisione dei tratti di scogliera, adattata dalla Figura 9 della Relazione descrittiva del Progetto definitivo "Comune di Ancona - Lungomare Nord. Realizzazione della scogliera di protezione della linea ferroviaria Bologna-Lecce, interramento con gli escavi dei fondali marini, rettifica e velocizzazione della linea ferroviaria".

La planimetria delle opere del progetto definitivo del "Lungomare Nord" di Ancona è stata fornita dall'*ADSP*. I dati batimetrici, per la zona di ampliamento del dominio di calcolo in direzione SudEst, sono stati forniti dalla Regione Marche - P.F. Tutela delle Acque e Difesa del Suolo e della Costa, che aveva a disposizione i dati desunti da un rilievo *LIDAR* del 2012 effettuato nel tratto di costa tra Ancona e Portonovo. Per la zona di ampliamento a NordOvest sono stati utilizzati i dati delle batimetrie desunti dalle carte nautiche. In tale

tratto la spiaggia è caratterizzata da fondali a deboli pendenze e le linee batimetriche sono prevalentemente rettilinee e parallele alla costa.

Nella Figura 1.3 si riporta la vista generale del Porto di Ancona con la planimetria del progetto definitivo del “Lungomare Nord” (in giallo).

Figura 1.3 - Vista generale del Porto di Ancona con la planimetria delle opere di Progetto per il “Lungomare Nord”.

Nelle simulazioni numeriche le analisi vengono svolte in modo da confrontare le azioni idrodinamiche sia nella configurazione attuale che in quella di progetto. Le configurazioni studiate sono quindi le seguenti:

Configurazione “*C0*”: stato attuale (Figura 1.4);

Configurazione “*C1*”: stato di progetto definitivo (Figura 1.5).

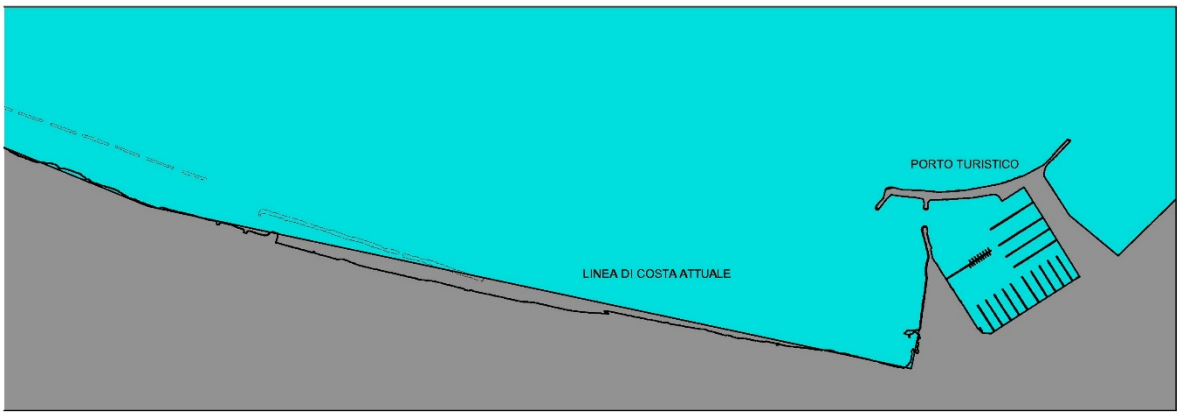

Figura 1.4 - Configurazione attuale– Configurazione C0.

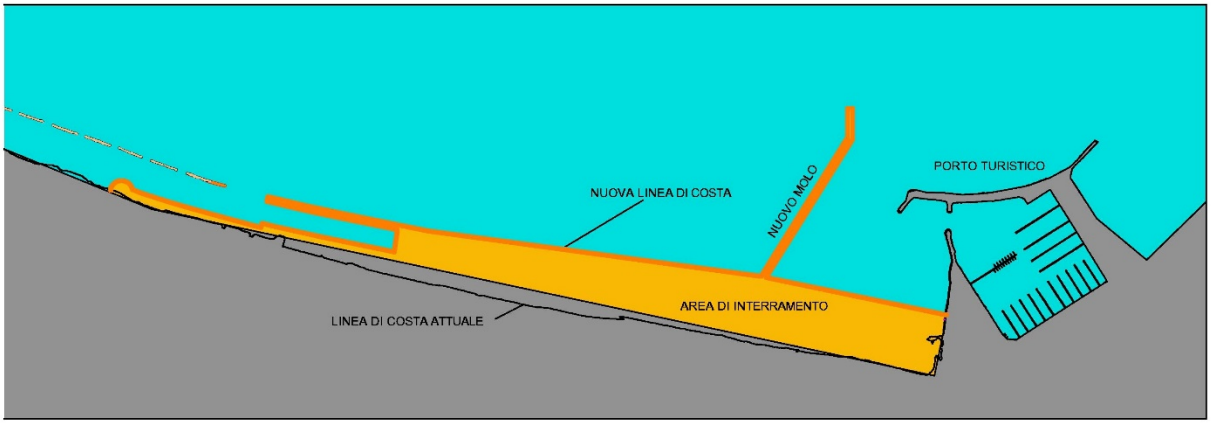

Figura 1.5 - Configurazione del progetto definitivo per il “Lungomare Nord” di Ancona – Configurazione C1.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

Globalmente, la costa marchigiana, inquadrata da un punto di vista geografico e morfologico, risulta suddivisa in due distinti tratti di costa prevalentemente bassa, corrispondenti alle macro unità fisiografiche, quello settentrionale e quello meridionale, a loro volta separati, a circa la metà, dal tratto del promontorio del Monte Conero, costituito da costa prevalentemente alta e rocciosa. In pratica, il Conero risulta, in senso strettamente geometrico, il vertice cuspidale di un angolo ottuso, i cui lati sono costituiti dai tratti costieri settentrionale e meridionale. Questi hanno diverso orientamento geografico, per cui tali due tratti di costa risultano anche diversamente esposti al mare aperto ed alle sue dinamiche. In particolare, mentre il litorale settentrionale risulta esposto alle direzioni nord-orientali (circa 40°N), quello meridionale è direttamente aperto a direzioni più orientali (circa 70°N). La diversa esposizione geografica dei due tratti di litorale condiziona anche gli effetti prodotti sulle spiagge dagli attacchi ondosi più intensi.

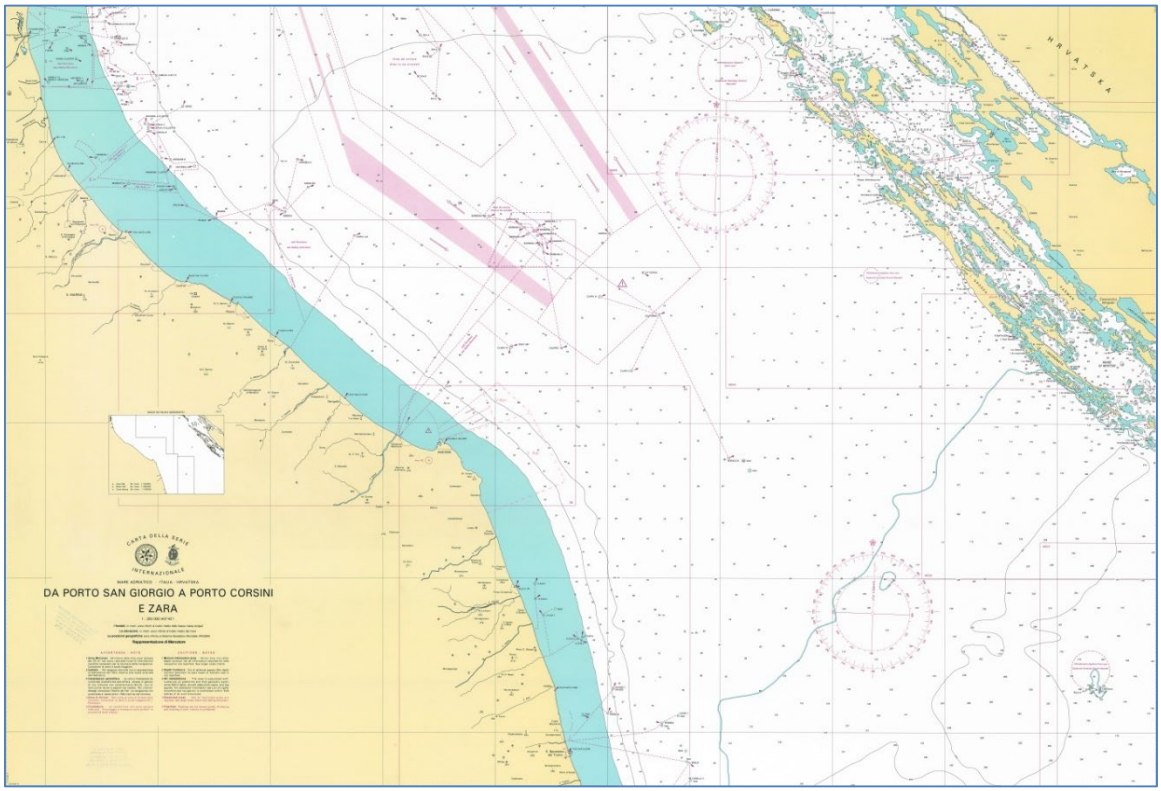

Figura 2.1 - Litorale dell'Adriatico centrale con l'intero sviluppo della costa marchigiana (dalla Carta nautica n. 923 dell'Istituto idrografico della Marina)

Come evidenziato da tutti gli studi sul litorale marchigiano, a partire dallo "*Studio generale per la difesa delle coste, prima fase*" redatto dalla società *Aquater* per la *Regione Marche* nel 1982, il macro-tratto settentrionale della costa marchigiana si comporta in maniera diversa rispetto a quello meridionale. Infatti, mentre il trasporto litoraneo nel tratto Ancona-Gabicce avviene in modo chiaramente dominante diretto da Sud verso Nord; nel

tratto Conero-Tronto tale verso, soprattutto a causa della diversa esposizione della costa, risulta meno marcato, si verificano infatti frequenti alternanze (spaziali e temporali) del verso di trasporto solido e talvolta, per taluni periodi di tempo anche lunghi, non è facile stabilire precisamente il verso dominante.

Il paraggio costiero in fase di analisi nel presente studio di integrazione, disposto attorno al previsto interramento per il "Lungomare Nord" di Ancona ed esteso da Marina di Montemarciano agli scogli delle "Due Sorelle", risulta inserito nella parte centrale dell'intero litorale marchigiano e precisamente comprende il tratto dell'estremità meridionale del litorale marchigiano settentrionale, corrispondente quindi ai bacini portuali del Porto di Ancona ed il tratto settentrionale della costa alta e rocciosa del promontorio del Monte Conero.

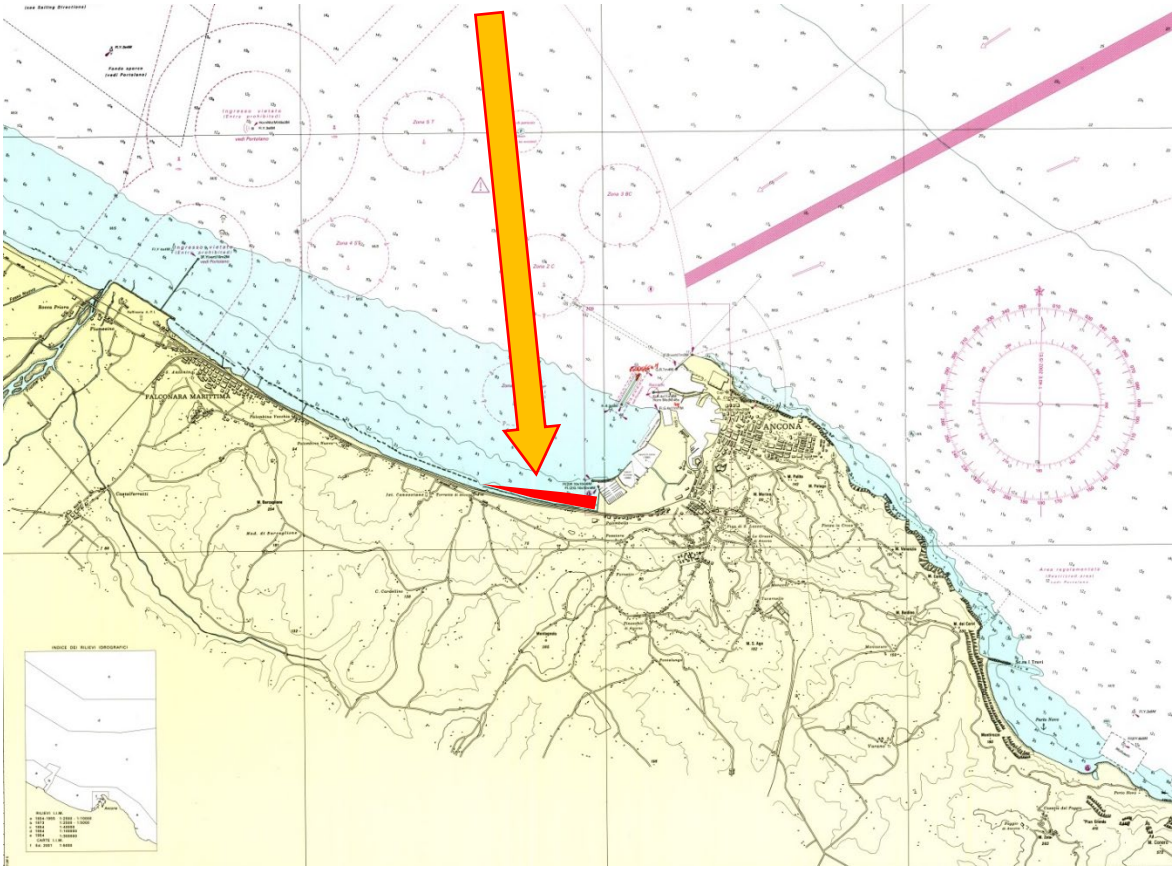

Figura 2.2 - Schema planimetrico del "Lungomare Nord" di Ancona nel tratto di litorale dalla Foce del Fiume Esino alla località costiera di Portonovo (dalla Carta nautica n. 210 dell'Istituto Idrografico della Marina)

In particolare, il tratto costiero direttamente interessato dall'intervento del "Lungomare Nord" di Ancona costituisce proprio l'estremità più meridionale sia dell'intero arco litoraneo settentrionale marchigiano sia del golfo tra Ancona e Falconara Marittima. Tale golfo risulta essersi formato naturalmente perché è venuto a trovarsi sottoflutto al promontorio del Conero ed alle opere portuali di Ancona, considerando che il settore direzionale dominante della traversia dei mari nel paraggio anconitano ha direzione di provenienza da scirocco-levante. Si tenga inoltre conto che, nel clima delle mareggiate di traversia del paraggio

anconitano, è presente anche un altro settore direzionale, quello proveniente da greco-tramontana, che risulta anch'esso importante nel regime ondoso generale del paraggio.

Dal punto di vista dinamico-sedimentologico costiero, oltre al trasporto sedimentario prevalente dovuto alle correnti lungocosta causate dal moto ondoso delle mareggiate, risulta presente anche la più debole corrente litoranea di circolazione, diretta da Nord verso Sud, in grado di trasportare solo la frazione più fina dei sedimenti, che si muove solo in condizioni di sospensione.

Come indicato dalle "*Istruzioni tecniche per la progettazione e la esecuzione di opere di protezione delle coste*" (oggetto della Deliberazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 151, nella Assemblea Generale del 28 giugno 1991), in merito al concetto di "unità fisiografica", "… *Le zone costiere … sono caratterizzate, da un punto di vista della dinamica del litorale, da un'associazione di tratti distinti più o meno ampi chiamati unità fisiografiche. …*". Secondo la definizione e le conseguenti considerazioni fornite sullo stesso documento "… *Una unità fisiografica è caratterizzata dal fatto che materiali che formano o contribuiscono a formare la costa presentano movimenti confinati all'interno dell'unità stessa o scambi con l'esterno in misura non influenzata da quanto accade al litorale. Il significato ingegneristico deriva dal corollario che gli effetti di un'opera costruita sul litorale non si estendono, a breve termine, al di fuori della unità fisiografica di cui essa viene a far parte. Se ci si limita a considerare la più piccola area che, comprendendo l'opera, abbia la proprietà di cui sopra, l'unità fisiografica viene a coincidere con l'area di influenza degli interventi in essa attuati. …*".

Solo le frazioni pelitiche, che vengono facilmente messe in sospensione dall'azione del moto ondoso, possono diffondersi agevolmente in ogni area del mare, finendo per depositarsi, quando le condizioni meteomarine lo permettono e tornano alla quiete, nei bacini di calma o al largo, anche indipendentemente dai limiti delle unità fisiografiche di origine o di appartenenza. Tali tipi di depositi pelitici non creano problemi morfodinamici sensibili ed evidenti nel breve e nel medio termine. Tali effetti potranno risultare apprezzabili solo per tempi lunghi, cioè dell'ordine di grandezza pluridecennale o più, come tra l'altro evidenziato dalla predetta definizione di unità fisiografica.

Le variazioni morfologiche sedimentarie costiere più evidenti, dovute essenzialmente ai movimenti dei sedimenti sabbiosi e granulari più grossolani (che formano le spiagge, nelle parti emersa e sommersa), restano invece confinate entro i limiti di ciascuna unità fisiografica, per gli intervalli di tempo di medio e di breve termine. Di conseguenza, la realizzazione di qualsivoglia opera artificiale costiera, può ripercuotersi in modo sensibile ed evidente, dal punto di vista morfologico e sedimentario, esclusivamente all'interno della propria unità fisiografica di appartenenza. In pratica, l'influenza tra unità fisiografica diverse, anche se vicine, si può ritenere assolutamente trascurabile, e, quindi, dal punto di vista sedimentario costiero, ogni unità fisiografica fa storia a sé. In definitiva, i sedimenti di spiaggia presentano movimenti "confinati" all'interno di ciascuna unità fisiografica di appartenenza, poiché gli scambi con le spiagge delle unità fisiografiche limitrofe sono nulli

o comunque caratterizzati da quantitativi di flusso trascurabili. Dal punto di vista ingegneristico, l'unità fisiografica comprende in pratica la zona di influenza di ogni intervento realizzato al suo interno.

A conferma di quanto scritto sopra, riguardo, in particolare, all'intero tratto di costa marchigiana, si riporta letteralmente quanto scritto nel lavoro dai geologi sedimentologi *Dal Cin e Simeoni* ("*Analisi ambientale quantitativa dei litorali marchigiani fra Gabicce ed Ancona*", *Bollettino della Società geologica italiana*, n. 106, pag. 377-423, 1987): "… *Il litorale in esame rappresenta una grande unità fisiografica compresa fra il promontorio di Gabicce-Pesaro a nord, e quello di Ancona-Numana a sud. Gli scambi sedimentari di questa unità con quelle contigue sono assai esigui (specie con le aree a sud di Ancona) e limitati quasi esclusivamente alle frazioni trasportate in sospensione.*".

Ad ulteriore riprova della separazione di comportamento fra il tratto di costa che comprende l'interramento del "Lungomare Nord" e quello relativo al promontorio del Monte Conero, si può fare riferimento alla suddivisione per *"… l'intero sviluppo del litorale regionale (172 km) in tratti di diversa lunghezza, aventi caratteristiche di costa abbastanza omogenee e, ove è stato possibile e ritenuto opportuno, coincidenti con le stesse unità fisiografiche a piccola scala. La costa è risultata così suddivisa in 27 tratti, di cui 8 riguardano esclusivamente le parti occupate dalle strutture degli 8 principali bacini portuali presenti lungo il litorale marchigiano*." effettuata nel 2001 in occasione degli "*Studi, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del Piano di difesa della costa*" dall'ex Istituto di Idraulica della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ancona per conto dell'Ufficio Progetti della Regione Marche nell'ambito del "*Piano di Gestione Integrata delle Aree Costiere"* del 2005. Relativamente al litorale anconitano in analisi, risulta evidente la netta separazione fra il "Tratto 11 – dalla Foce del Fiume Esino al Porto di Ancona" (poi denominato "Unità fisiografica 11" nel Piano del 2005) comprendente le opere per il nuovo "Lungomare Nord" di Ancona ed il "Tratto 13 – promontorio del monte Conero" (denominato "Unità fisiografica 13 nel Piano del 2005) relativo alla costa fra Ancona e Numana. Tra l'altro, essi risultano pure separati dal "Tratto 12 – Porto di Ancona" comprendente le opere artificiali aggettanti del bacino portuale anconitano. Gli schemi planimetrici dei due tratti di costa, 11 e 13, sono evidenziati nella Figura 2.3.

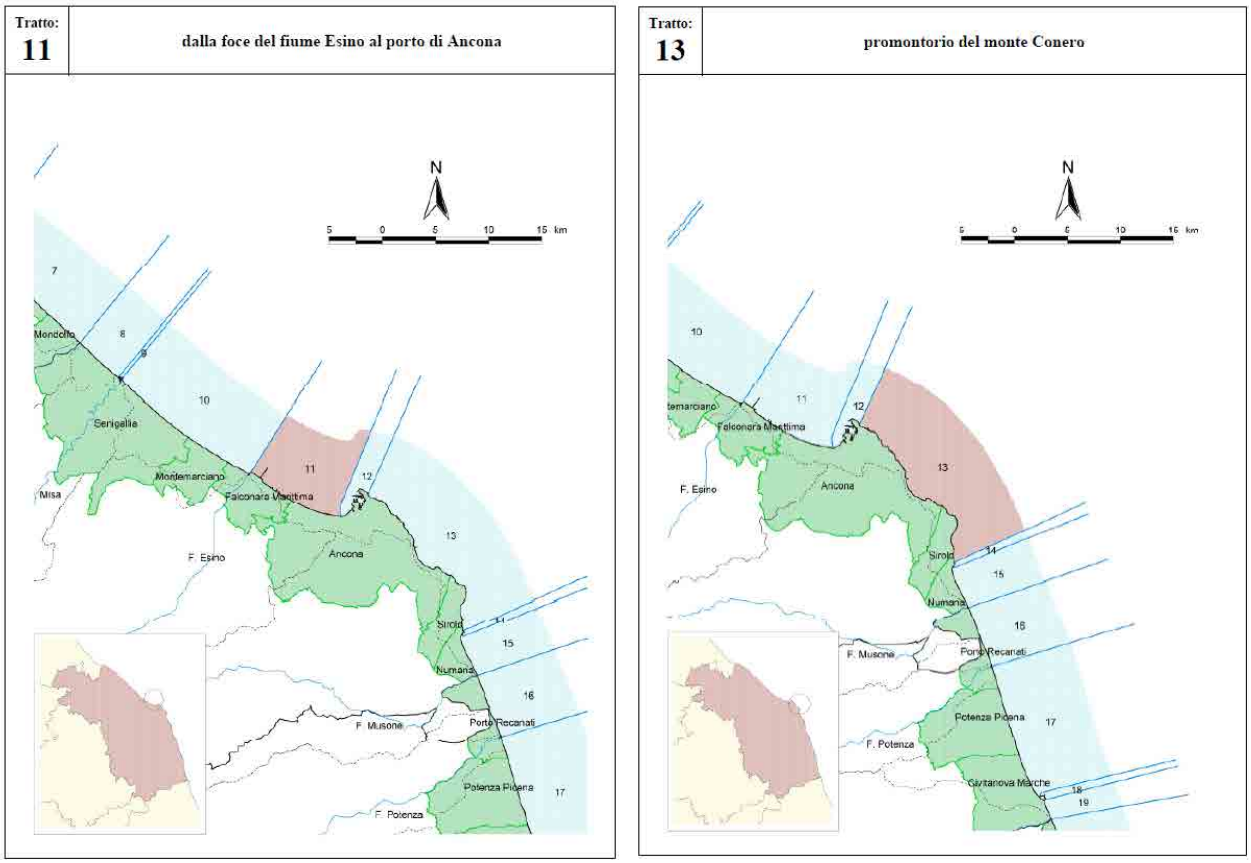

Figura 2.3 - Schemi planimetrici dei tratti di unità fisiografiche 11 e 13 riconosciute negli Studi del 2001 per il Piano della costa del 2005.

A completamento del presente inquadramento ambientale-litoraneo, si ricorda che nel recente "*Piano di gestione integrata delle zone costiere (Piano GIZC)*", emesso dalla *Regione Marche* nel 2018, l'intervento del "Lungomare Nord" di Ancona ricade nella estremità meridionale della Unità Fisiografica Costiera Secondaria (*UFCS*) n. 6 ("Dalla Foce del Fiume Esino al Porto di Ancona"), distinta dall' *UFCS* n.7 ("Promontorio del Monte Conero"), che comprende la falesia e le spiagge del Passetto, di Mezzavalle e di Portonovo, e che dette *UFCS* sono separate fra loro pure attraverso il tratto costiero riguardante le strutture portuali del "Porto Ancona" (vd. Figura 2.4 e Figura 2.5).Tra l'altro, la definizione delle *UFCS* contenuta nelle "Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici" (MATTM/ISPRA) specifica letteralmente che *"… Questi tratti di costa sono contraddistinti da un bilancio sedimentario proprio, naturale o condizionato da opere antropiche, anche rispetto ad eventi con tempi di ritorno medi.* …". Inoltre, *"… le opere marittime di grandi dimensioni … interrompono gran parte del trasporto solido litoraneo (grandi porti, ecc. … opere aggettanti …)* …".

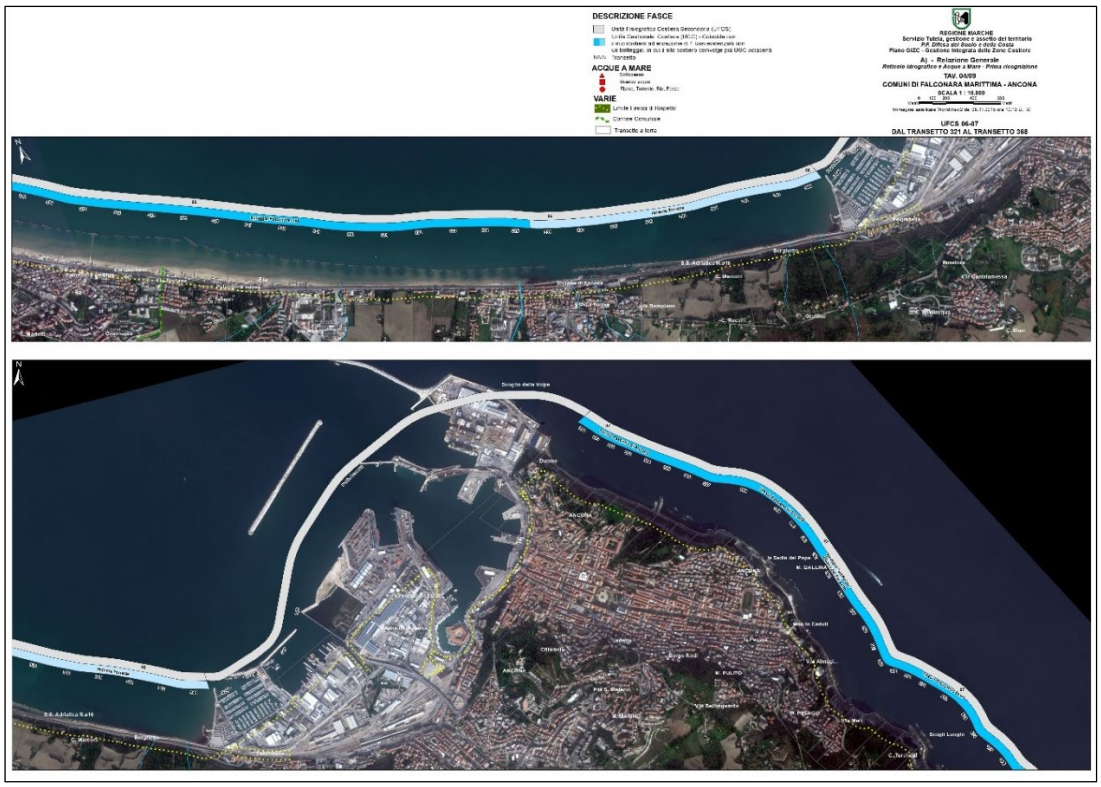

Figura 2.4 - Unità fisiografiche costiere secondarie (UFCS) 06-07, Comuni di Falconara Marittima - Ancona (da Tavola 04/09 del Piano di Gestione Integrata della Zona Costiera della Regione Marche, 2018)

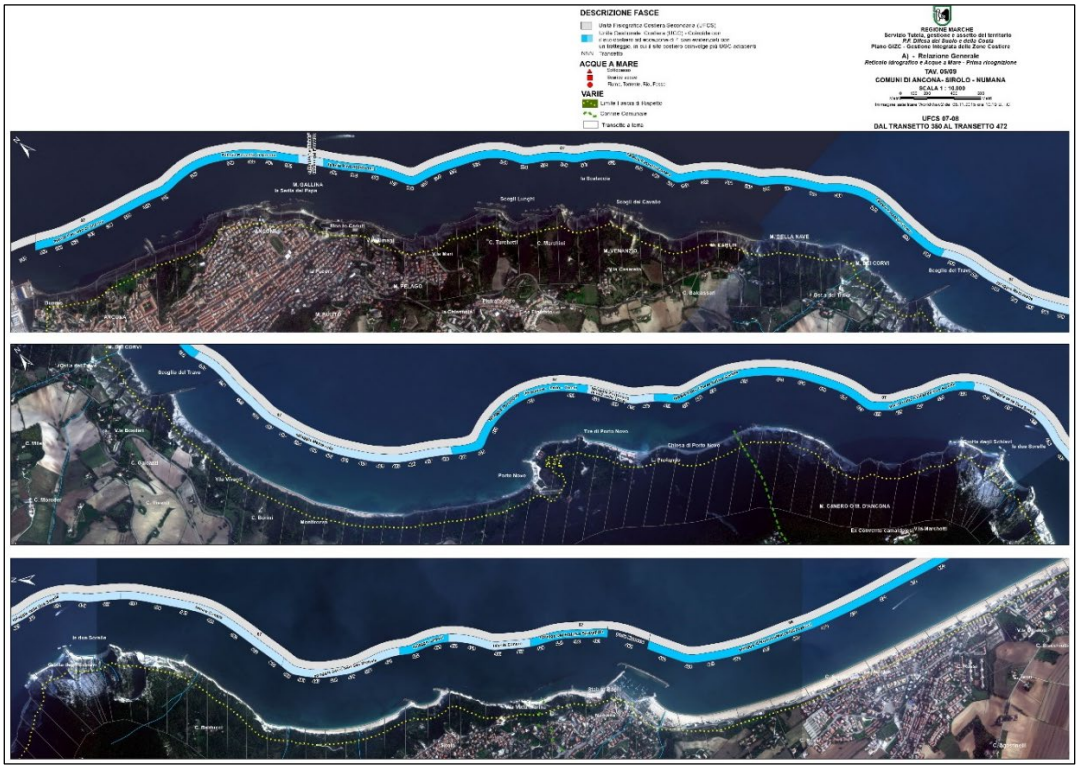

Figura 2.5 - Unità fisiografiche costiere secondarie (UFCS) 07-08, Comuni di Ancona – Sirolo – Numana (da Tavola 05/09 del Piano di Gestione Integrata della Zona Costiera della Regione Marche, 2018)

La costa a NordOvest del previsto interramento di progetto presenta spiagge basse e sottili che risultano saldamente protette da opere rigide di difesa dall'erosione, che di fatto bloccano ogni possibilità di transito di attraversamento, longitudinalmente al litorale, da parte del trasporto solido lungocosta dei sedimenti di spiaggia (sabbiosi o più grossolani). Le opere di protezione di questo tratto di litorale sono ormai ampiamente consolidate e stabilizzate. La cronologia realizzativa delle opere di protezione costiera del tratto fra Ancona e Falconara Marittima è illustrata schematicamente nella Figura 2.6. All'altra estremità del previsto interramento sono presenti le opere marittime artificiali poste a protezione dei vari bacini portuali del Porto di Ancona, che ugualmente non consentono il transito di attraversamento longitudinale al tratto di litorale da parte del trasporto solido lungocosta dei sedimenti di spiaggia.

Occorre inoltre notare che nelle immediate vicinanze del tratto di lungomare oggetto dell'intervento in questione, non sono presenti "sorgenti" di apporto di sedimenti naturali, quindi qualsivoglia variazione morfodinamica di spiagge e fondali, potrebbero essere dovuti esclusivamente a sedimenti in transito, provenienti da litorali adiacenti o ad eventuali versamenti di natura artificiale.

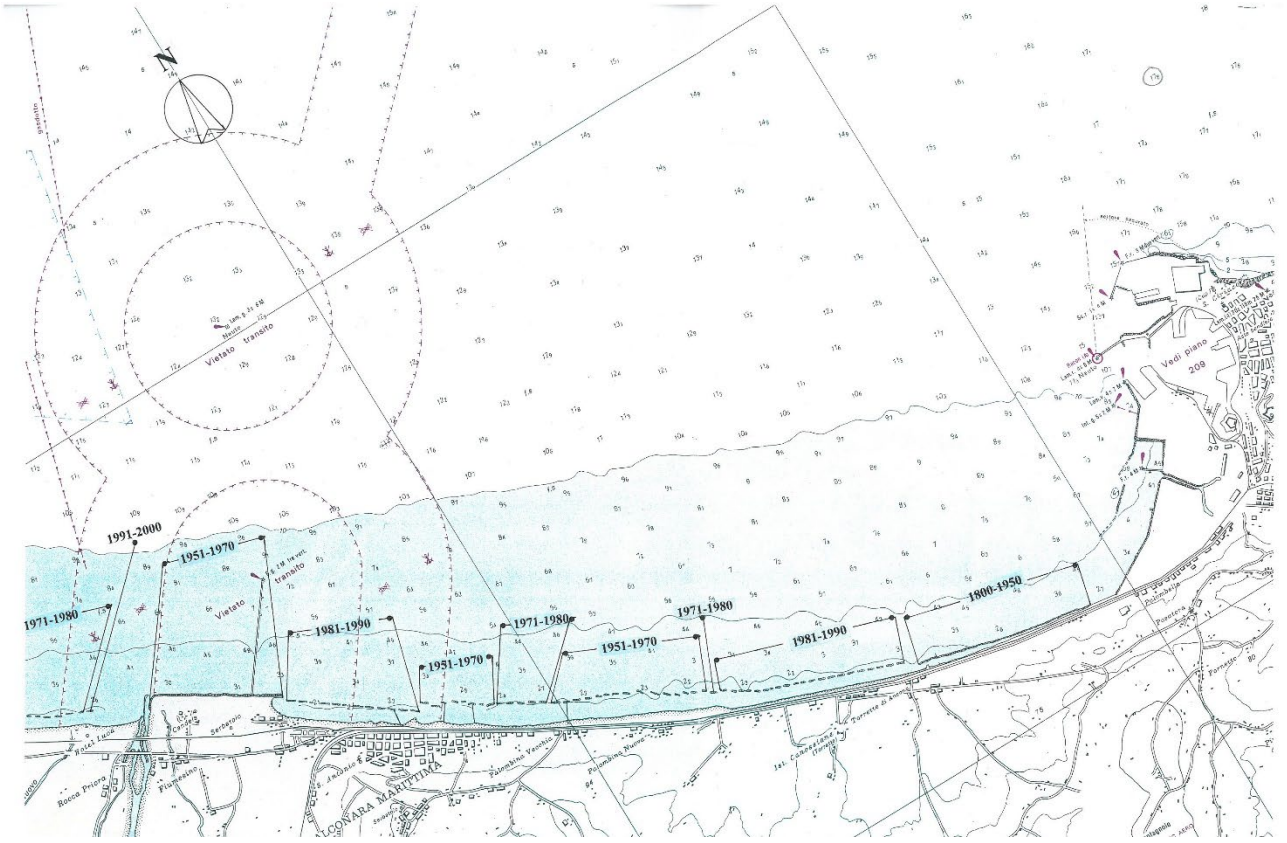

Figura 2.6 - Realizzazione diacronica schematica delle opere di protezione della costa nel tratto fra Ancona e Falconara Marittima (dalla Scheda di Bacino Portuale del Porto di Ancona).

In conclusione del presente inquadramento ambientale dinamico litoraneo, riguardo alle opere antropiche da realizzare per il terrapieno del “Lungomare Nord” di Ancona, comprese fra il porto turistico “Marina Dorica” ed il rifugio di Torrette di Ancona, si può notare, da un punto di vista assolutamente preliminare ai risultati delle indagini numeriche di confronto, che le opere previste non producono ripercussioni sedimentarie sensibili su entrambi i tratti litoranei circostanti in esame (a Nord-NordOvest fino alla Foce del Fiume Esino ed a quello a Est-SudEst oltre i bacini del Porto di Ancona), salvo le inevitabili potenziali diffusioni delle frazioni più fini, trasportate per sospensione, che però tendono a depositarsi o al largo o nei bacini di calma, non producendo alcuna evidente variazione morfodinamica sulle spiagge e/o sui litorali (nelle parti emerse e sommerse). In particolare, sul tratto settentrionale (da Torrette di Ancona a Falconara, Foce del Fiume Esino) la estesa serie continua di setti di scogliere emerse distaccate disposte in batteria non consente alcun transito sedimentario evidente. Risulta, altresì, da escludere alcun trasferimento sedimentario anche nel tratto costiero dal Porto di Ancona a Portonovo-Riviera del Conero, in quanto qualsiasi materiale sedimentario in transito (tranne quello pelitico-limoso) risulterebbe inevitabilmente bloccato dal deposito che avverrebbe nei bacini portuali limitrofi, come già pure evidenziato nello “Studio idrodinamico” del 2018.

In sintesi, nelle considerazioni morfo-dinamiche costiere, si è tenuto presente che, come noto, la dinamica dei litorali è soggetta prevalentemente all’azione del moto ondoso. Lo studio idrodinamico precedente (del 2018) aveva considerato anche le correnti litoranee (di circolazione e da vento) perché l’attenzione era concentrata sul trasporto del materiale sedimentario più fino e sui suoi effetti sui bacini portuali più prossimi alle opere di progetto del “Lungomare Nord” di Ancona. Si ricorda ancora che il trasporto dei sedimenti più fini non interferisce in modo evidente con la dinamica dei litorali. Nel presente Studio integrativo, invece, è richiesto di concentrare l’attenzione proprio sugli aspetti morfo-dinamici di un tratto di costa molto esteso e più esposto al mare aperto. Quindi, tenuto conto di tutto ciò, come forzante meteomarina utilizzata nelle simulazioni numeriche di confronto, si è focalizzata l’attenzione sul regime del moto ondoso delle mareggiate, come richiamato nei paragrafi successivi.

CARATTERISTICHE METEOMARINE PRINCIPALI DEL PARAGGIO ANCONETANO

Dalle indicazioni fornite nello “Studio idrodinamico” del 2018, alla cui Relazione Finale si faccia riferimento per gli approfondimenti di maggior dettaglio delle informazioni di carattere ondoso, i principali risultati delle elaborazioni dei valori estremi di mareggiata sono sinteticamente riportati in Tabella 1, Tabella 2 e Tabella 3 per quanto riguarda le registrazioni delle osservazioni della Rete Ondametrica Nazionale (*RON*) nel sito ondametrico al largo di Ancona e nella Tabella 4 per quanto riguarda i dati ondosi ottenuti nello stesso sito geografico dal modello numerico meteomarino globale di ricostruzione WAVEWATCH III (*WW3*) sviluppato dall’ente statunitense National Oceanic and Atmospheric Administration (*NOAA*) presso l’Ocean Modeling Branch dell’Environmental Modeling Center dei National Centers for Environmental Prediction (*NCEP*). Mentre i rilievi ondosi della *RON* sono disponibili per i due intervalli di tempo 1999-2006 e 2009-2013, i dati del *NOAA* sono disponibili fra il 1979 ed il 2009.

Tabella 1 - Risultati dell’elaborazione dei dati ondosi estremi relativi ai 7 anni di osservazione (marzo 1999-2006) della boa ondametrica della RON al largo di Ancona per i settori direzionali di traversia.

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

Tabella 2 - Risultati dell'elaborazione dei dati ondosi estremi relativi ai 4 anni di osservazione (dic.2009-nov.2013) della boa ondametrica della RON al largo di Ancona per i settori direzionali di traversia.

Settore 15°-45°		
Gumbel		
TR	H	H_{corr}
1	3.622	3.637
2	4.096	4.115
5	4.718	4.742
10	5.186	5.215
15	5.459	5.490
20	5.653	5.686
25	5.804	5.838
30	5.926	5.962
50	6.271	6.309
70	6.497	6.538
100	6.737	6.780
140	6.964	7.009
150	7.011	7.055
200	7.204	7.251
300	7.477	7.526
500	7.821	7.873
1000	8.288	8.344

Settore 45°-75°		
Weibull (c=1.4)		
TR	H	H_{corr}
1	2.558	2.600
2	3.283	3.338
5	4.163	4.236
10	4.787	4.871
15	5.138	5.229
20	5.382	5.477
25	5.568	5.667
30	5.719	5.821
50	6.133	6.243
70	6.400	6.516
100	6.679	6.800
140	6.938	7.064
150	6.991	7.118
200	7.209	7.340
300	7.513	7.650
500	7.888	8.032
1000	8.388	8.541

Settore 75°-105°		
Weibull (c=2)		
TR	H	H_{corr}
1	3.343	3.627
2	4.411	4.751
5	5.651	6.055
10	6.496	6.943
15	6.961	7.432
20	7.280	7.767
25	7.521	8.021
30	7.715	8.224
50	8.242	8.778
70	8.577	9.131
100	8.923	9.495
140	9.242	9.830
150	9.306	9.898
200	9.572	10.177
300	9.961	10.586
500	10.385	11.032
1000	10.972	11.649

Settore 105°-135°		
Weibull (c=2)		
TR	H	H_{corr}
1	4.141	4.287
2	4.733	4.897
5	5.443	5.628
10	5.938	6.138
15	6.213	6.421
20	6.403	6.617
25	6.547	6.766
30	6.664	6.885
50	6.981	7.212
70	7.184	7.421
100	7.394	7.638
140	7.589	7.838
150	7.628	7.879
200	7.790	8.046
300	8.029	8.292
500	8.290	8.561
1000	8.652	8.934

Settore 285°-315°		
Weibull (c=0.75)		
TR	H	H_{corr}
1	2.590	2.574
2	2.966	2.934
5	3.497	3.442
10	3.922	3.849
15	4.179	4.095
20	4.365	4.272
25	4.511	4.412
30	4.632	4.528
50	4.976	4.857
70	5.207	5.078
100	5.456	5.316
140	5.694	5.543
150	5.743	5.590
200	5.950	5.788
300	6.245	6.071
500	6.624	6.433
1000	7.148	6.934

Settore 315°-345°		
Weibull (c=0.75)		
TR	H	H_{corr}
1	2.184	2.186
2	2.691	2.670
5	3.417	3.364
10	4.003	3.923
15	4.359	4.263
20	4.617	4.510
25	4.820	4.704
30	4.988	4.864
50	5.467	5.323
70	5.790	5.631
100	6.138	5.963
140	6.471	6.282
150	6.540	6.348
200	6.830	6.625
300	7.272	7.047
500	7.777	7.530
1000	8.515	8.235

Settore 345°-15°		
Weibull (c=2)		
TR	H	H_{corr}
1	2.666	2.749
2	2.978	3.073
5	3.345	3.455
10	3.598	3.718
15	3.737	3.864
20	3.834	3.964
25	3.906	4.039
30	3.965	4.100
50	4.125	4.266
70	4.226	4.372
100	4.332	4.482
140	4.429	4.583
150	4.448	4.603
200	4.529	4.687
300	4.648	4.811
500	4.778	4.946
1000	4.957	5.132

Settore OmniDir		
Weibull (c=1.4)		
TR	H	H_{corr}
1	4.902	4.898
2	5.370	5.366
5	5.964	5.959
10	6.397	6.392
15	6.645	6.640
20	6.819	6.813
25	6.952	6.947
30	7.061	7.055
50	7.360	7.354
70	7.555	7.549
100	7.760	7.753
140	7.950	7.943
150	7.989	7.982
200	8.150	8.143
300	8.375	8.368
500	8.656	8.648
1000	9.030	9.022

Tabella 3 - Risultati dell'elaborazione dei dati ondosi estremi relativi ai 7+4 anni di osservazione (1999-2006 e 2009-2013) della boa ondametrica della RON al largo di Ancona per i settori direzionali di traversia.

Settore 15°-45°		
Weibull (c=1.4)		
TR	H	H_{corr}
1	3.970	3.988
2	4.368	4.390
5	4.861	4.887
10	5.215	5.244
15	5.416	5.447
20	5.556	5.588
25	5.663	5.696
30	5.749	5.783
50	5.988	6.024
70	6.143	6.180
100	6.305	6.343
140	6.455	6.495
150	6.486	6.526
200	6.613	6.654
300	6.789	6.832
500	7.008	7.053
1000	7.300	7.348

Settore 45°-75°		
Weibull (c=2)		
TR	H	H_{corr}
1	2.916	3.014
2	3.483	3.600
5	4.129	4.267
10	4.563	4.716
15	4.800	4.962
20	4.963	5.130
25	5.086	5.257
30	5.184	5.358
50	5.451	5.634
70	5.620	5.809
100	5.795	5.990
140	5.955	6.156
150	5.988	6.189
200	6.121	6.327
300	6.305	6.518
500	6.529	6.749
1000	6.823	7.053

Settore 75°-105°		
Weibull (c=1)		
TR	H	H_{corr}
1	2.787	2.784
2	3.504	3.500
5	4.452	4.446
10	5.169	5.162
15	5.589	5.580
20	5.887	5.877
25	6.118	6.108
30	6.306	6.296
50	6.835	6.824
70	7.183	7.171
100	7.552	7.539
140	7.900	7.887
150	7.972	7.958
200	8.269	8.255
300	8.716	8.701
500	9.218	9.201
1000	9.935	9.917

Settore 105°-135°		
Weibull (c=2)		
TR	H	H_{corr}
1	3.894	3.983
2	4.443	4.543
5	5.092	5.207
10	5.540	5.665
15	5.789	5.919
20	5.960	6.094
25	6.090	6.226
30	6.194	6.333
50	6.479	6.624
70	6.660	6.809
100	6.848	7.001
140	7.021	7.178
150	7.056	7.214
200	7.201	7.362
300	7.413	7.579
500	7.645	7.816
1000	7.967	8.145

Settore 285°-315°		
Weibull (c=2)		
TR	H	H_{corr}
1	2.473	2.525
2	2.792	2.852
5	3.169	3.239
10	3.428	3.504
15	3.572	3.652
20	3.671	3.753
25	3.746	3.830
30	3.806	3.891
50	3.970	4.059
70	4.074	4.167
100	4.183	4.278
140	4.282	4.380
150	4.302	4.401
200	4.386	4.486
300	4.500	4.604
500	4.641	4.748
1000	4.826	4.937

Settore 315°-345°		
Weibull (c=0.75)		
TR	H	H_{corr}
1	1.892	1.907
2	2.293	2.289
5	2.874	2.845
10	3.348	3.297
15	3.637	3.573
20	3.847	3.774
25	4.013	3.932
30	4.150	4.063
50	4.542	4.438
70	4.807	4.691
100	5.092	4.963
140	5.366	5.225
150	5.423	5.279
200	5.662	5.507
300	6.025	5.855
500	6.442	6.253
1000	7.051	6.835

Settore 345°-15°		
Gumbel		
TR	H	H_{corr}
1	2.410	2.417
2	2.784	2.795
5	3.269	3.285
10	3.632	3.651
15	3.844	3.865
20	3.994	4.017
25	4.110	4.134
30	4.205	4.230
50	4.471	4.499
70	4.647	4.675
100	4.832	4.863
140	5.007	5.039
150	5.043	5.076
200	5.193	5.227
300	5.417	5.453
500	5.669	5.708
1000	6.030	6.072

Settore OmniDir		
Gumbel		
TR	H	H_{corr}
1	4.360	4.330
2	4.870	4.830
5	5.540	5.500
10	6.040	6.000
15	6.340	6.290
20	6.550	6.500
25	6.710	6.660
30	6.850	6.790
50	7.220	7.160
70	7.460	7.400
100	7.720	7.660
140	7.970	7.900
150	8.020	7.950
200	8.230	8.160
300	8.530	8.450
500	8.900	8.820
1000	9.410	9.320

Tabella 4 - Risultati dell'elaborazione dei dati ondosi estremi relativi ai 31 anni di osservazione (1979-2009) ottenuti dal modello WW3 del NOAA al largo di Ancona per i settori direzionali di traversia.

Settore 345° - 15°		
T_R	H	H_{corr}
2	2.78	2.84
5	3.22	3.34
10	3.52	3.69
15	3.68	3.89
20	3.79	4.02
25	3.87	4.13
30	3.94	4.21
50	4.12	4.45
70	4.23	4.60
100	4.35	4.76
140	4.46	4.91
150	4.48	4.94
200	4.57	5.07
300	4.69	5.25
500	4.84	5.47
1000	5.04	5.77

Settore 15° - 45°		
T_R	H	H_{corr}
2	3.06	3.12
5	3.41	3.52
10	3.65	3.79
15	3.79	3.95
20	3.88	4.06
25	3.95	4.14
30	4.01	4.21
50	4.16	4.39
70	4.25	4.51
100	4.35	4.64
140	4.45	4.76
150	4.47	4.78
200	4.54	4.88
300	4.65	5.02
500	4.78	5.19
1000	4.95	5.42

Settore 45° - 75°		
T_R	H	H_{corr}
2	2.47	2.47
5	2.95	2.96
10	3.32	3.34
15	3.53	3.55
20	3.69	3.71
25	3.80	3.83
30	3.90	3.93
50	4.17	4.21
70	4.35	4.39
100	4.54	4.58
140	4.72	4.77
150	4.75	4.81
200	4.90	4.96
300	5.12	5.19
500	5.39	5.47
1000	5.76	5.85

Settore 75° - 105°		
T_R	H	H_{corr}
2	1.91	1.94
5	2.42	2.51
10	2.75	2.90
15	2.93	3.12
20	3.05	3.27
25	3.14	3.39
30	3.21	3.48
50	3.40	3.74
70	3.53	3.92
100	3.65	4.10
140	3.77	4.27
150	3.79	4.30
200	3.89	4.45
300	4.02	4.65
500	4.18	4.91
1000	4.38	5.26

Settore 105° - 135°		
T_R	H	H_{corr}
2	3.02	3.04
5	3.51	3.54
10	3.88	3.91
15	4.10	4.14
20	4.25	4.30
25	4.37	4.42
30	4.47	4.52
50	4.74	4.80
70	4.92	4.99
100	5.11	5.19
140	5.29	5.37
150	5.33	5.41
200	5.48	5.57
300	5.70	5.80
500	5.97	6.09
1000	6.34	6.48

Settore 285° - 315°		
T_R	H	H_{corr}
2	1.66	1.66
5	1.69	1.69
10	1.72	1.72
15	1.73	1.73
20	1.75	1.75
25	1.76	1.76
30	1.76	1.76
50	1.79	1.79
70	1.80	1.80
100	1.82	1.82
140	1.84	1.84
150	1.84	1.84
200	1.85	1.85
300	1.88	1.88
500	1.90	1.90
1000	1.94	1.94

Settore 315° - 345°		
T_R	H	H_{corr}
2	1.84	1.87
5	2.26	2.33
10	2.53	2.65
15	2.68	2.83
20	2.78	2.96
25	2.86	3.05
30	2.92	3.13
50	3.08	3.35
70	3.19	3.49
100	3.29	3.64
140	3.39	3.78
150	3.41	3.81
200	3.49	3.93
300	3.60	4.10
500	3.74	4.31
1000	3.92	4.60

Sulla base delle indicazioni tecnico-statistiche delle "*Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime*" emesse dal *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici* nel 1994, avendo fatto riferimento alle caratteristiche delle opere a mare da prevedere, erano stati adottati i seguenti tempi di ritorno di progetto per il dimensionamento idraulico-marittimo delle relative strutture:

T_R = 30 anni;

T_R = 70 anni.

Come evidenziato dai confronti, i dati del *NOAA* risultano inferiori a quelli misurati dalla boa ondametrica *RON*, per cui nelle simulazioni numeriche del predetto Studio del 2018 era stato scelto, a favore di sicurezza, di far riferimento ai dati delle altezze d'onda di progetto derivanti dall'elaborazione statistica dei valori ottenuti dalle misure della RON, facendo riferimento, in particolare, ai risultati ottenuti per il periodo dei 7+4 anni di osservazione disponibili. In definitiva, quindi, erano stati considerati i valori ondosi estremi associati ai detti suddetti tempi di ritorno riportati sinteticamente nella Tabella 5.

La collocazione geografica dell'area oggetto dell'intervento del "Lungomare Nord" di Ancona evidenzia la protezione fornita dalle opere artificiali aggettanti presenti a protezione dei bacini del porto commerciale di Ancona e dal promontorio naturale del Monte Conero rispetto alle onde provenienti da levante e scirocco, per cui, nel predetto Studio del 2018, si era concentrata l'attenzione agli effetti sulla zona costiera dell'intervento delle mareggiate di provenienza dai soli settori settentrionali.

Nel presente studio di integrazione, invece, l'attenzione risulta ampliata all'intero tratto costiero più esteso, compreso fra la Foce del Fiume Esino a Nord ed il sito di Portonovo, sul promontorio del Monte Conero, a Sud. Per cui, il settore di traversia a cui far riferimento risulta ben più ampio di quello dello studio precedente, perché risulta comprendere pure i settori di provenienza dai quadranti orientali e meridionali, non considerati per le prove numeriche dello studio precedente. In pratica, nel caso del presente studio, vengono effettuate le simulazioni numeriche, sulle configurazioni da testare, per tutte le ondazioni dell'intera serie dei dati riportati nella Tabella 5.

Tabella 5 - Valori ondosi estremi adottati per le simulazioni numeriche dei precedenti studi meteomarini

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

3. MODELLO PER LO STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DELLE ONDE

L'analisi dell'agitazione ondosa in corrispondenza delle nuove opere da realizzare, analizzate nel presente studio di integrazione è stato condotto mediante l'utilizzo del modello matematico di tipo commerciale *Delft3D*. Tale software permette la modellazione del trasferimento delle onde dal largo verso la costa (modulo *WAVE*) e per lo studio delle correnti da esse generate (modulo *FLOW*).

3.1 Griglie e batimetrie per le diverse configurazioni

Le operazioni preliminari per l'applicazione del modello di trasferimento ondoso riguardano la creazione di griglie strutturate nella zona oggetto di studio e delle batimetrie da associare al paraggio marino da analizzare.

Le griglie sono realizzate con il pacchetto *RGFGRID* mentre i dati batimetrici vengono integrati nel modello tramite il pacchetto *QUICKIN*.

Le batimetrie sono state ottenute tramite un'integrazione delle profondità dei fondali riportate in carte nautiche a diversa scala e rilievi effettuati con tecnologia *Multi-Beam* e *LIDAR*.

In particolare, le carte nautiche utilizzate sono state:

- "Porto di Ancona" (carta n°209 dell'Istituto Idrografico della Marina), aggiornata al 2014, scala 1:5.000;
- "Litorale di Ancona" (carta n°210 dell'Istituto Idrografico della Marina), aggiornata al 2012, scala 1:30.000;
- "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°923 dell'Istituto Idrografico della Marina), aggiornata al 2009, scala 1:250.000.

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

- rilievo eseguito dalla Regione Marche nel 2012 con tecnologia *LIDAR*;
- 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.

Per quanto riguarda il modulo *WAVE* sono state utilizzate due griglie a diversa risoluzione:

- 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 3.1);

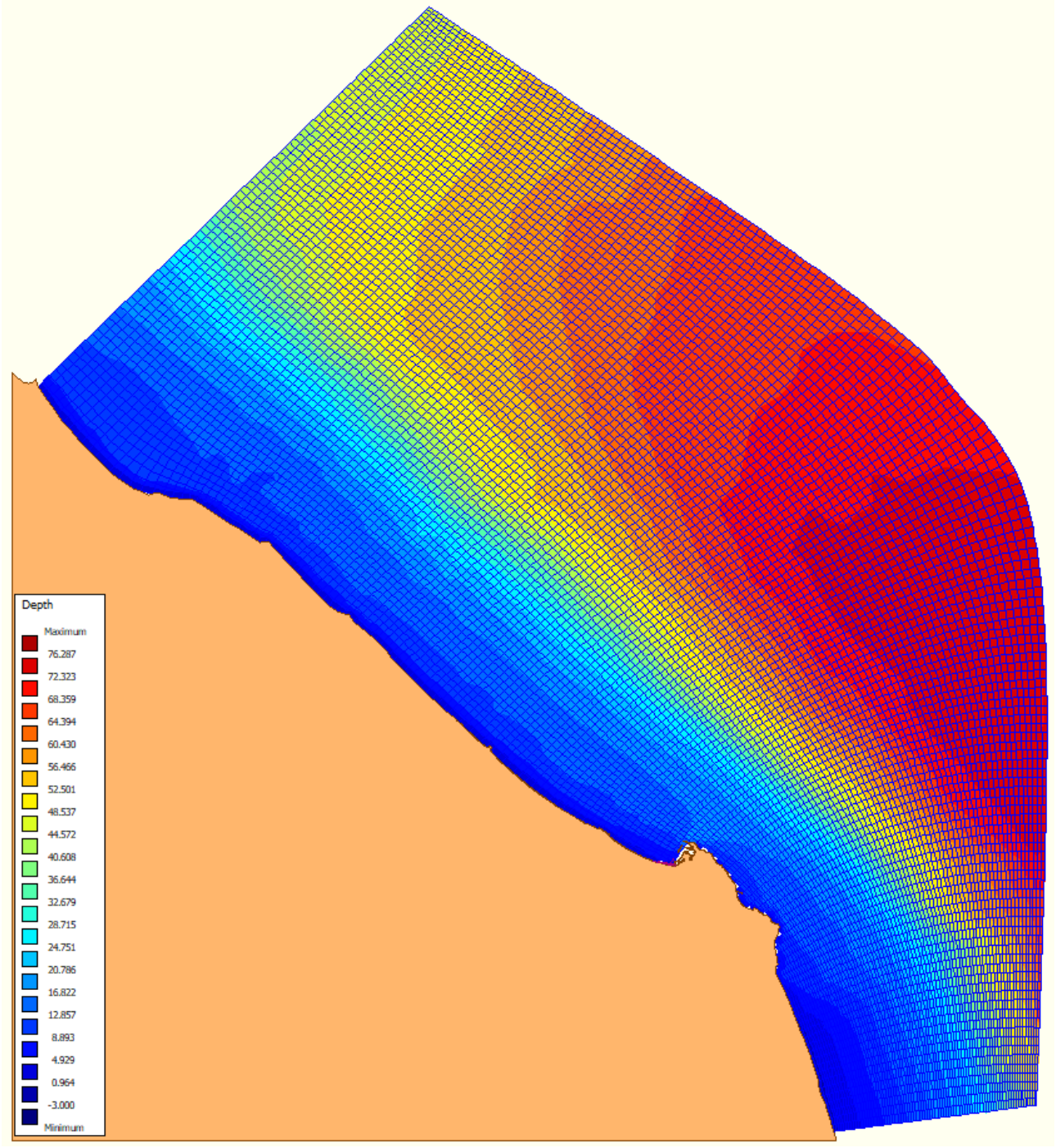

Figura 3.1 Griglia esterna utilizzata per il modulo WAVE

- la griglia interna, innestata all'interno della precedente (Figura 3.2), si estende all'incirca da Marina di Montemarciano agli scogli delle "Due sorelle" di Sirolo ed è caratterizzata da una maglia strutturata di larghezza pari a circa 24 m. Due diversi livelli di dettaglio della griglia in corrispondenza della zona in cui saranno realizzati gli interventi oggetti di studio sono riportati in Figura 3.3.

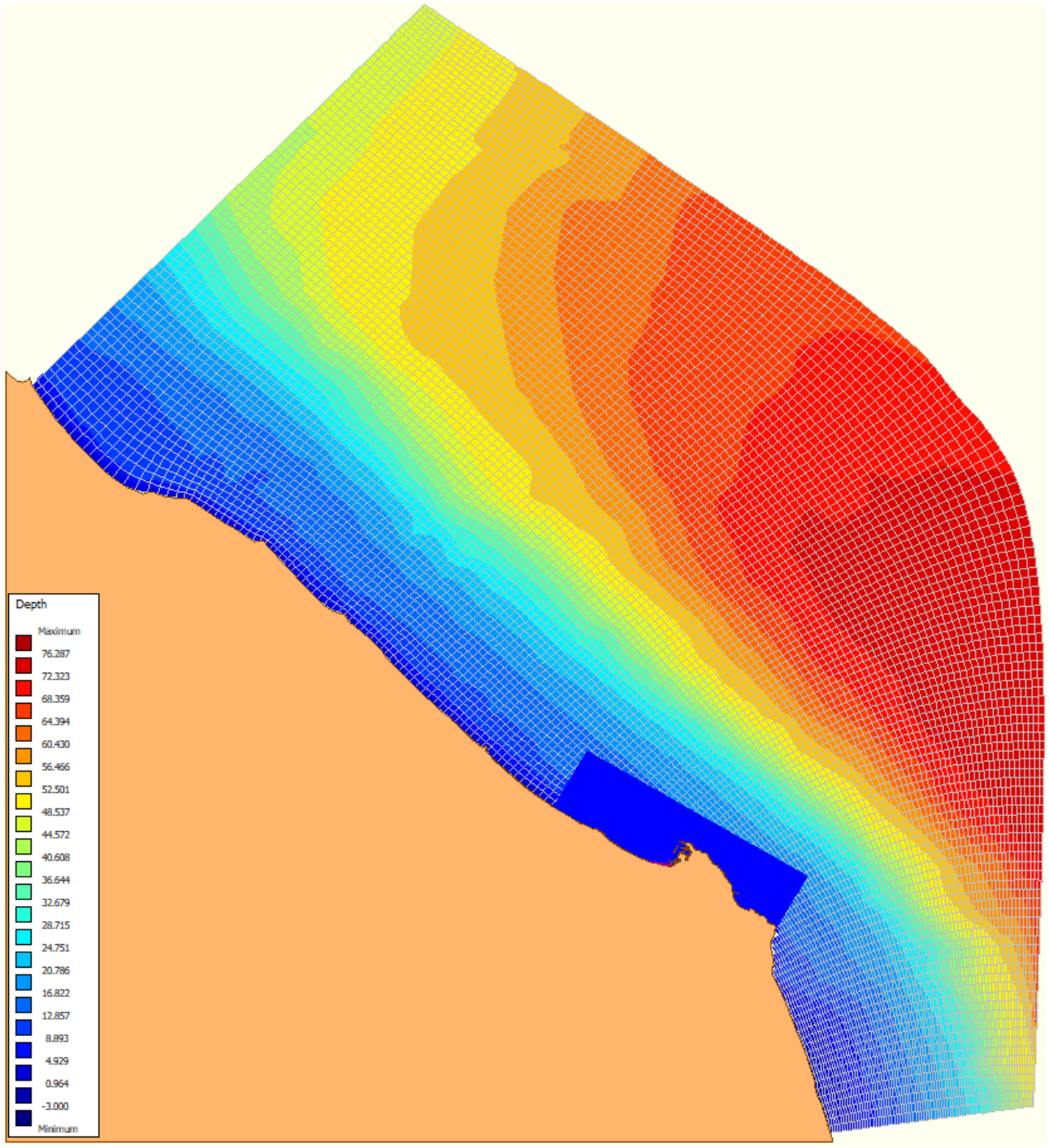

Figura 3.2 - Griglia interna utilizzata nel modulo WAVE innestata all'interno della griglia esterna

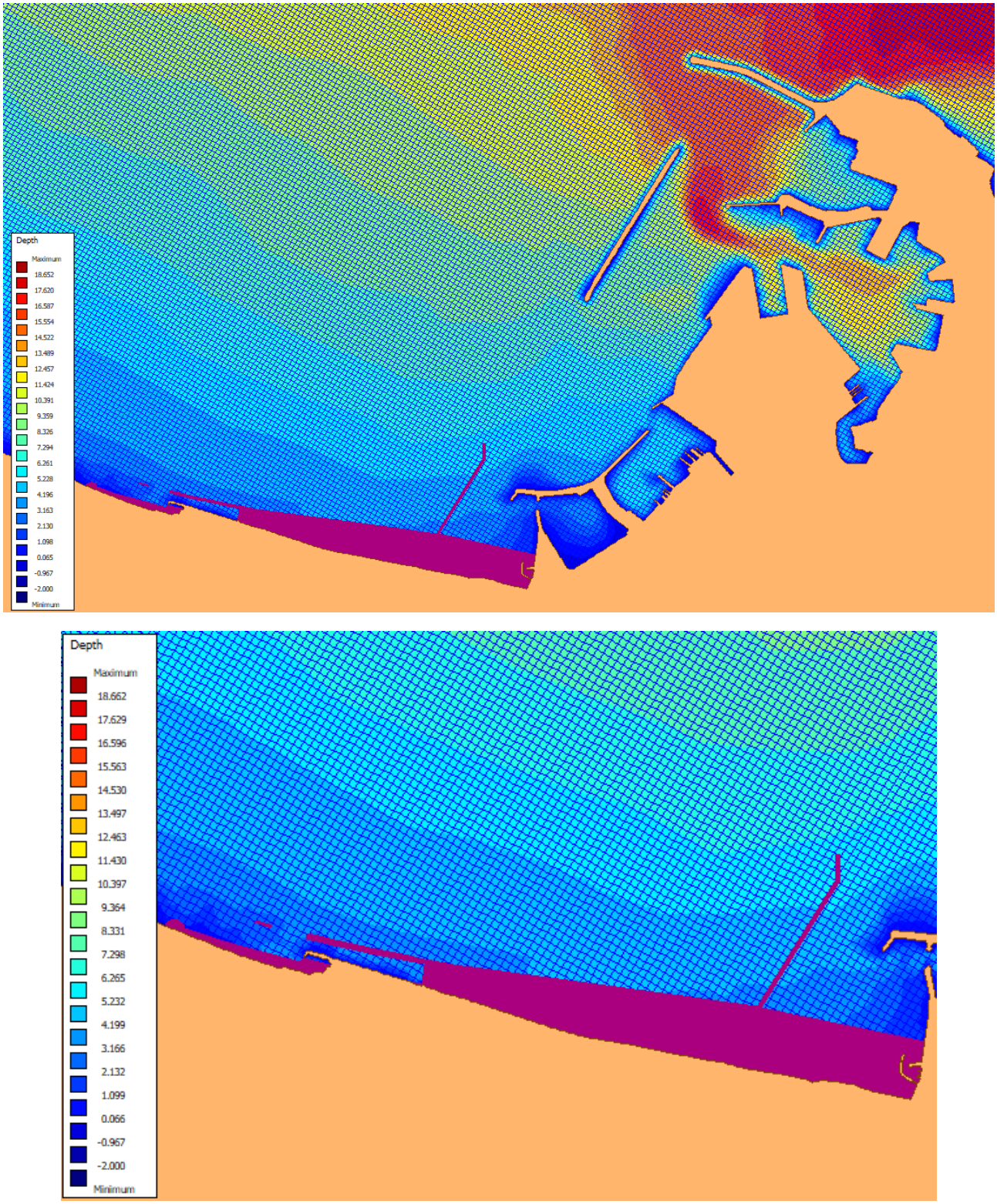

Figura 3.3 – Due livelli di dettaglio della griglia interna utilizzata nel modulo WAVE in corrispondenza della zona oggetto di studio.

Per la determinazione delle correnti da onde (*FLOW*) è stata invece realizzata un'unica griglia ad elevata risoluzione. La griglia ha la stessa estensione della griglia interna utilizzata nel modulo WAVE (da Marina di Montemarciano agli scogli delle "Due Sorelle") ma è caratterizzata da maglie di larghezza pari a circa 12 m (Figura 3.4 e Figura 3.5).

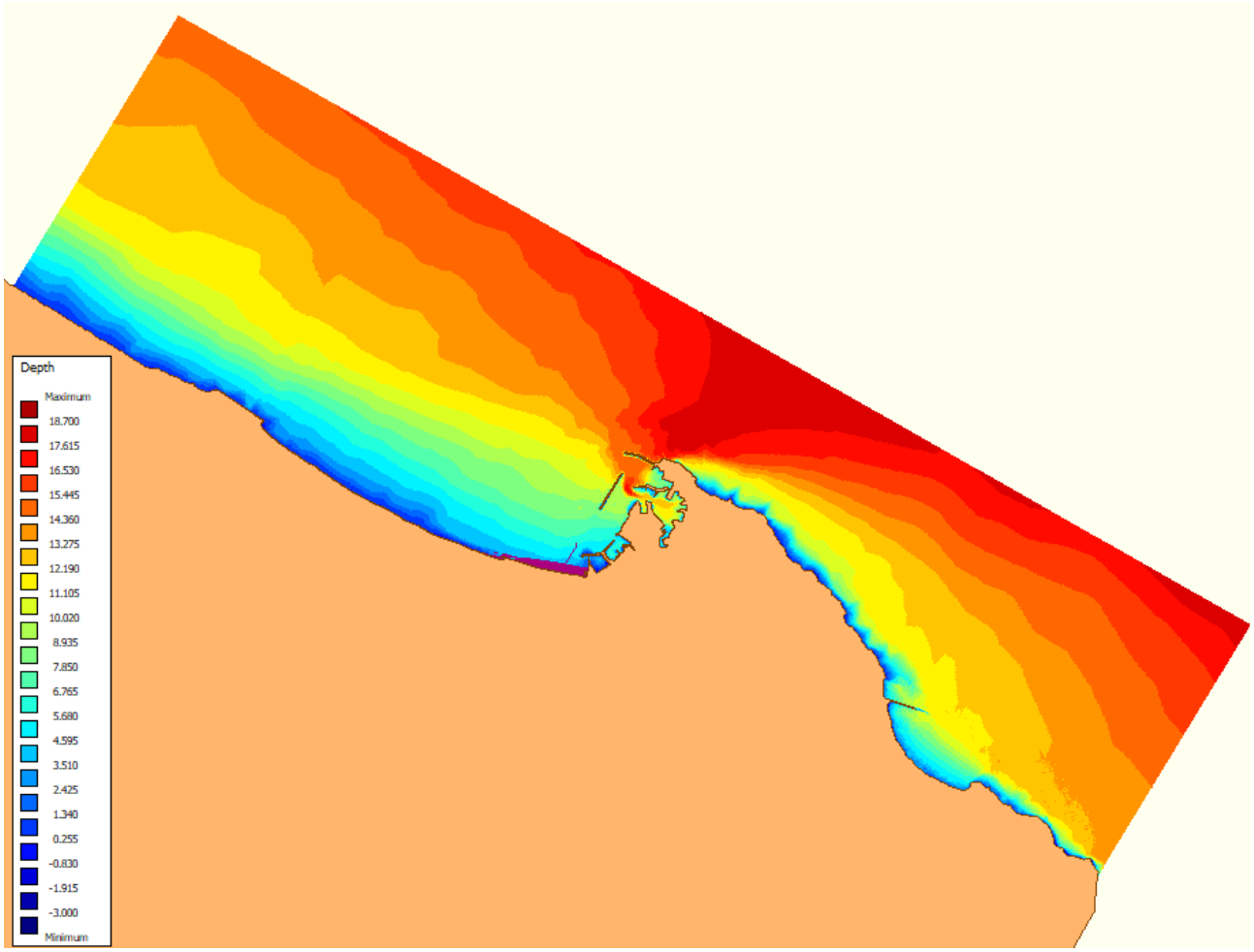

Figura 3.4 - Batimetria interpolata sulla griglia del modulo FLOW

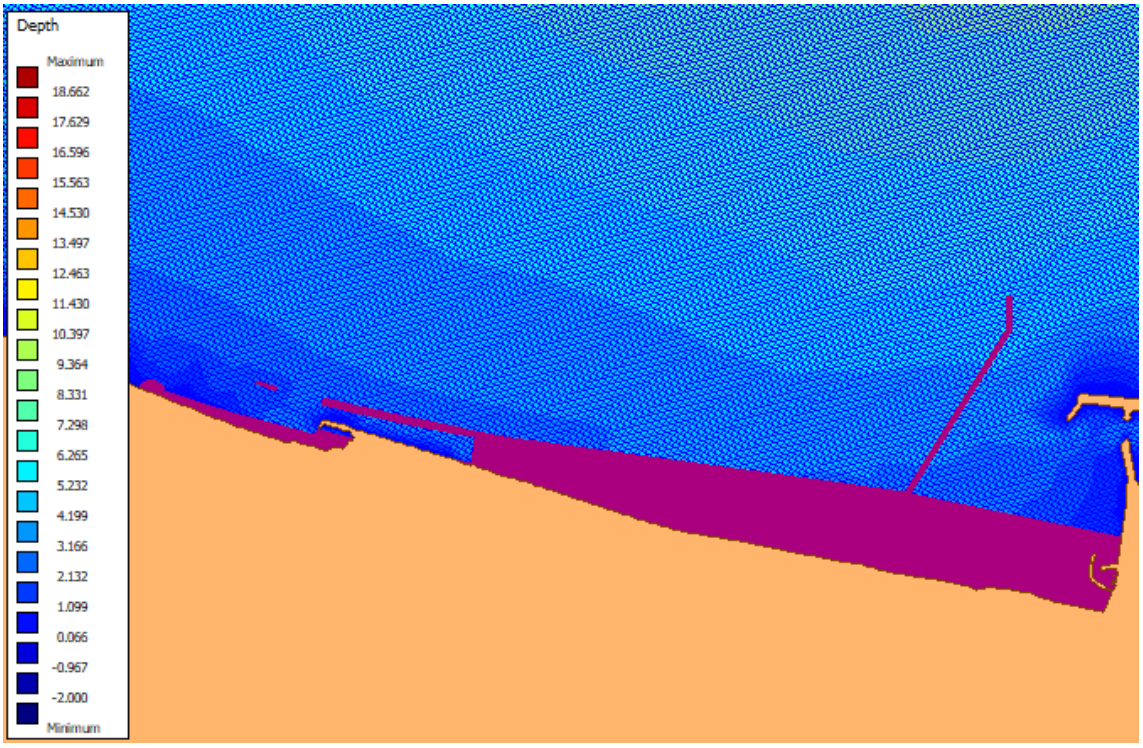

Figura 3.5 - Dettaglio della griglia utilizzata nel modulo FLOW in corrispondenza della zona oggetto di studio.

Per ogni griglia interna sono state realizzate due batimetrie distinte, una per lo stato attuale (*C0*) e una per lo stato di progetto (*C1*). Inoltre, al fine di considerare gli effetti di strutture caratterizzate da dimensioni inferiori a quelle della griglia (es: scogliere foranee), sono stati inseriti elementi di tipo "*obstacle*" per la riduzione dell'onda nel suo trasferimento e di tipo "thin dams" per non permettere scambi di massa tra due celle adiacenti.

4. 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 5. 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 e per ogni configurazione, 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, vengono riportate tali caratteristiche ondose ottenute nella griglia più interna per poter valutare meglio gli effetti nelle zone di interesse del presente studio.

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.

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

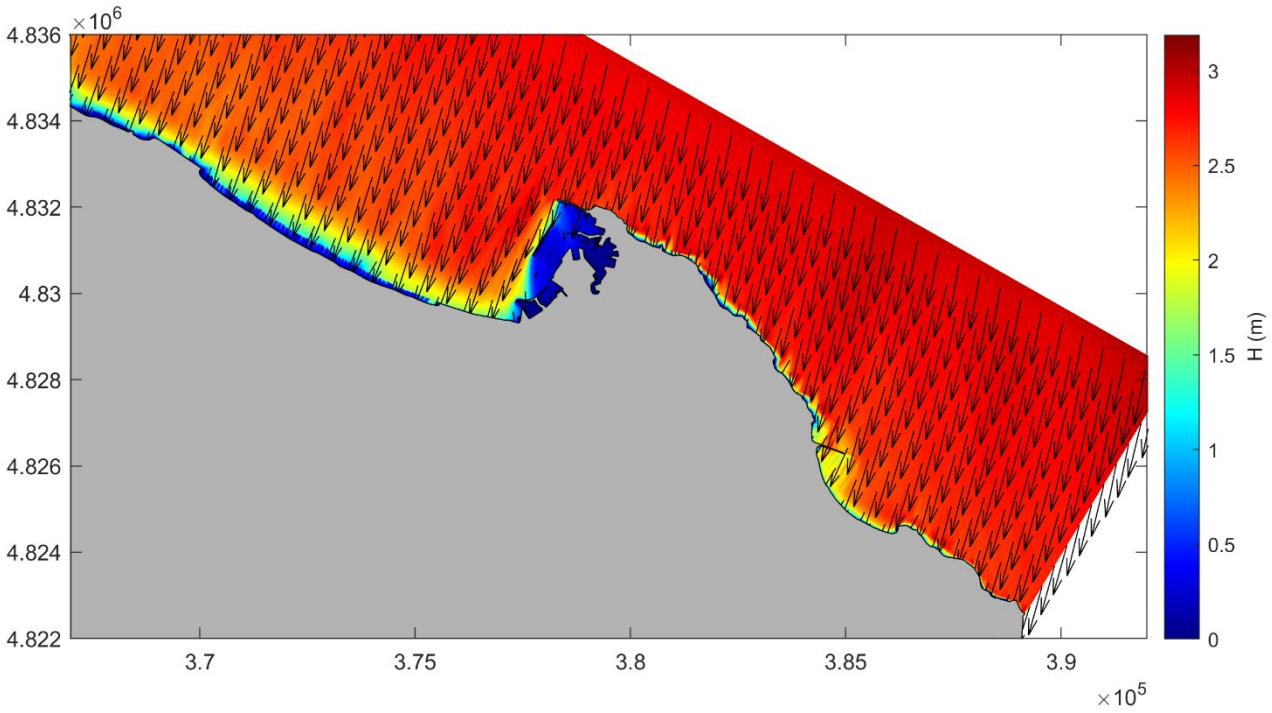

Figura 4.1 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Configurazione C0

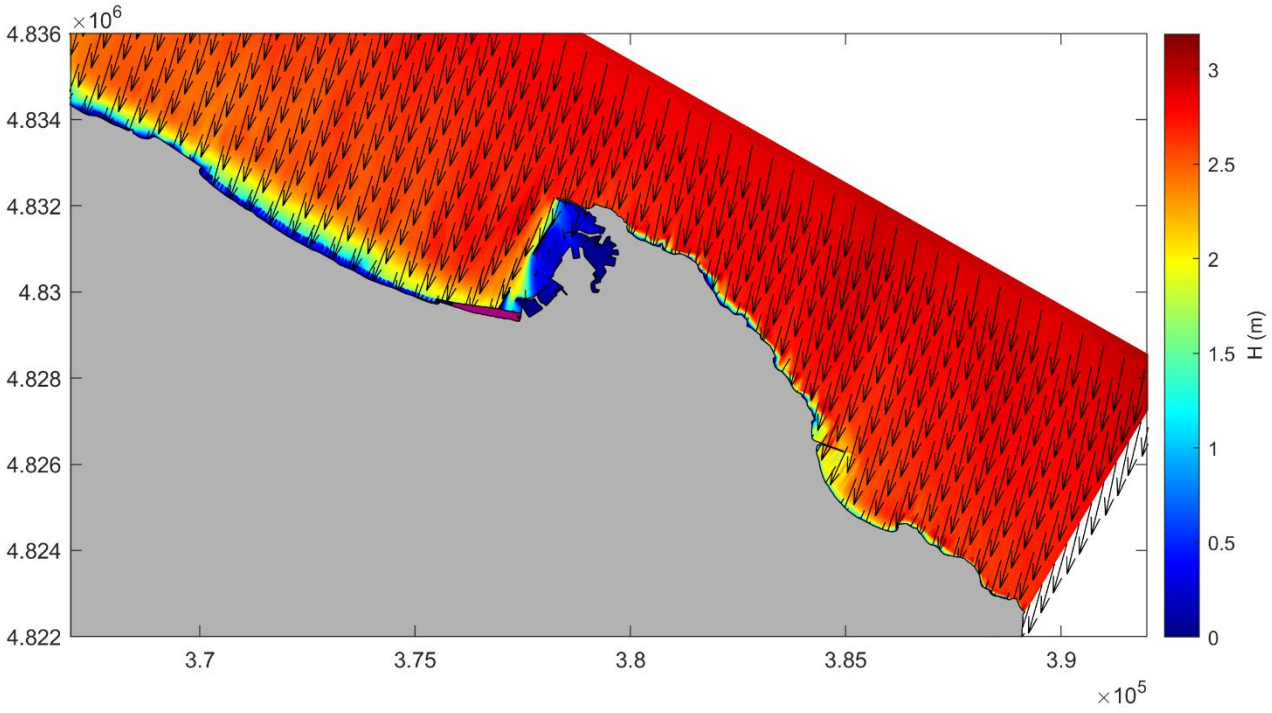

Figura 4.2 – Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Configurazione C1

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

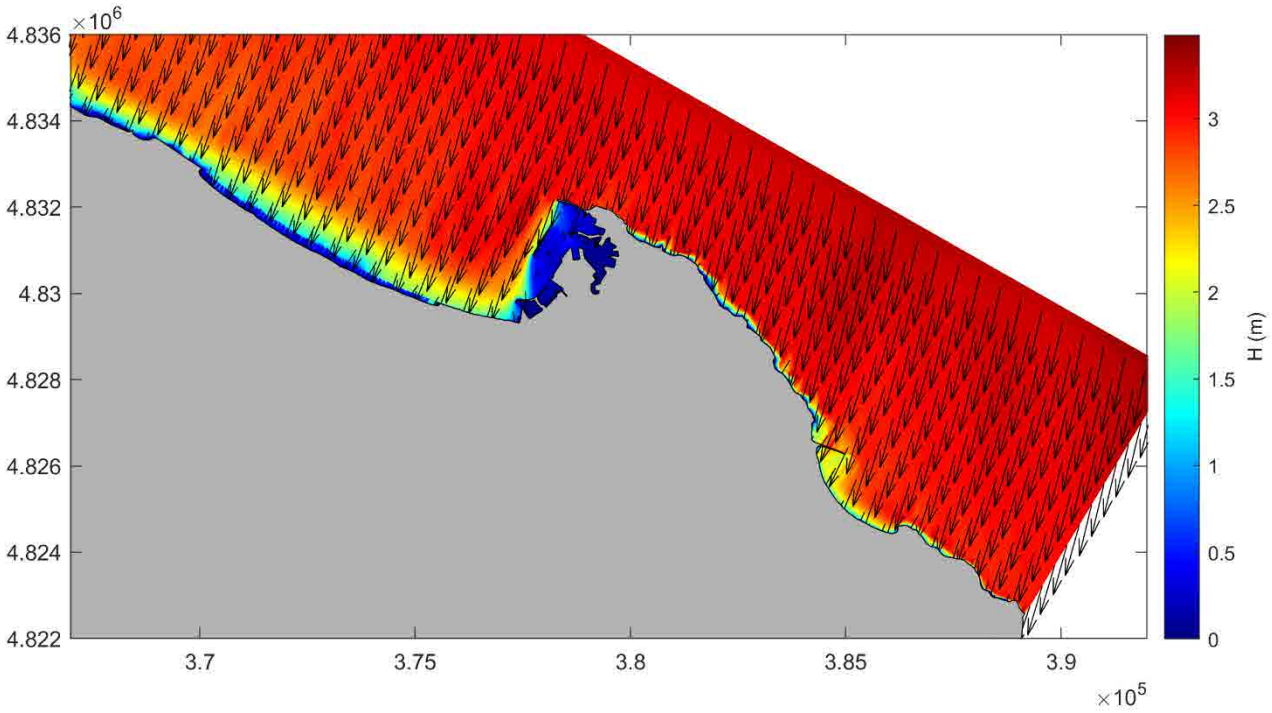

Figura 4.3 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Configurazione C0

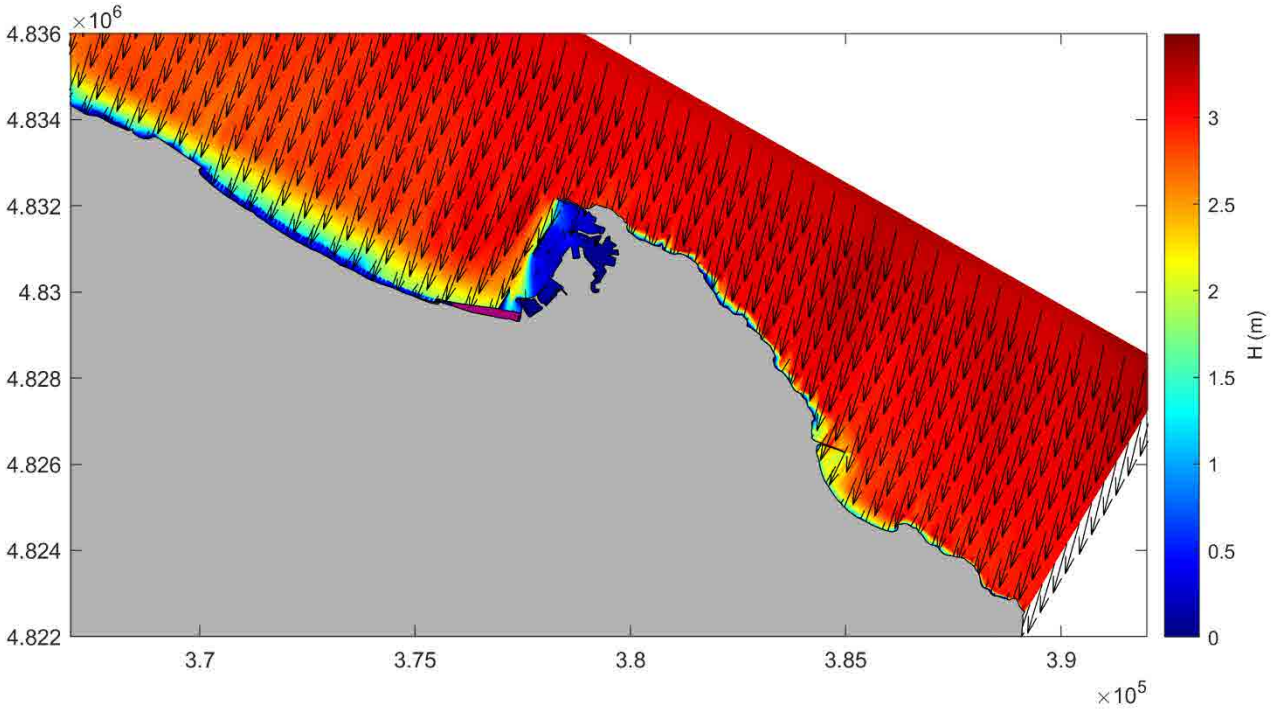

Figura 4.4 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Configurazione C1

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

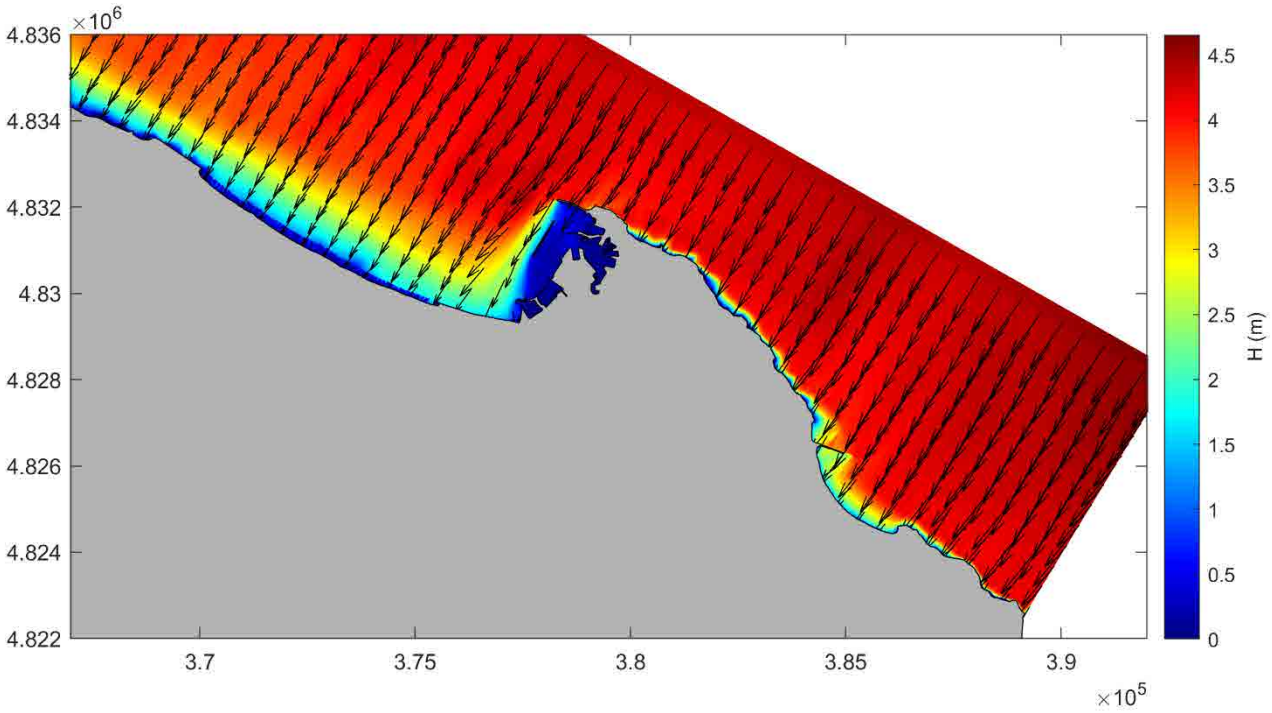

Figura 4.5 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Configurazione C0

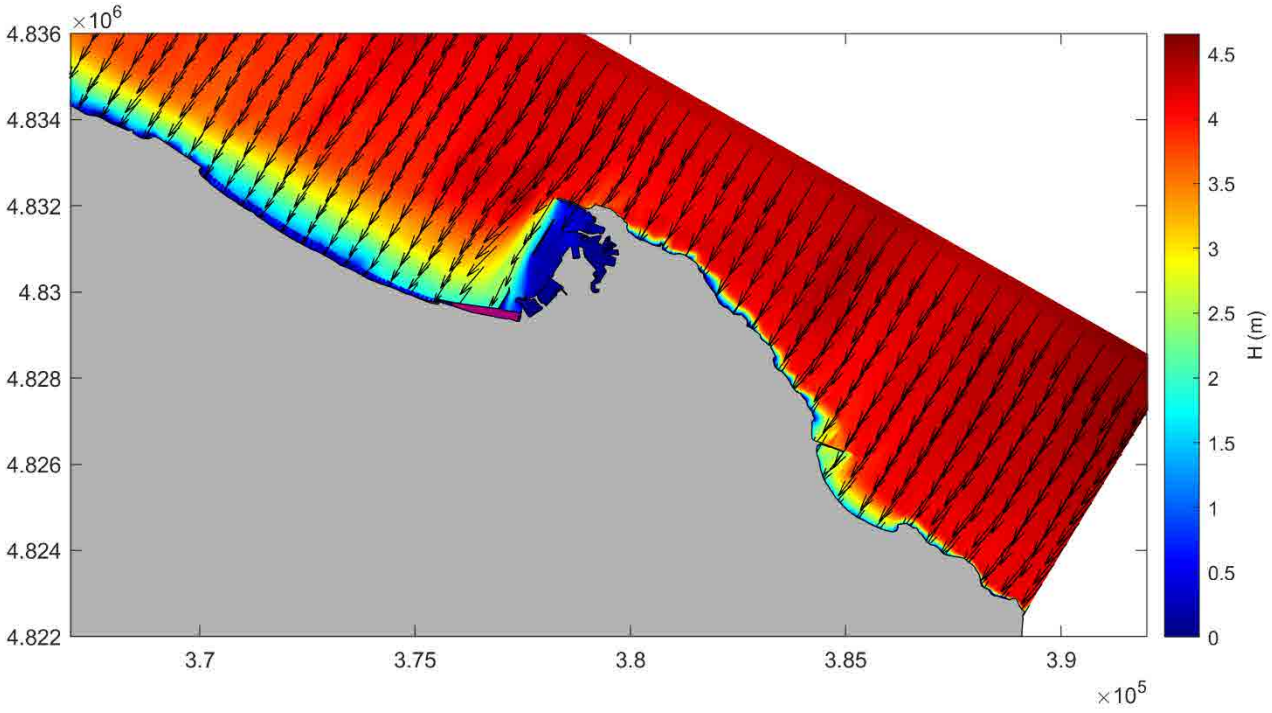

Figura 4.6 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Configurazione C1

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

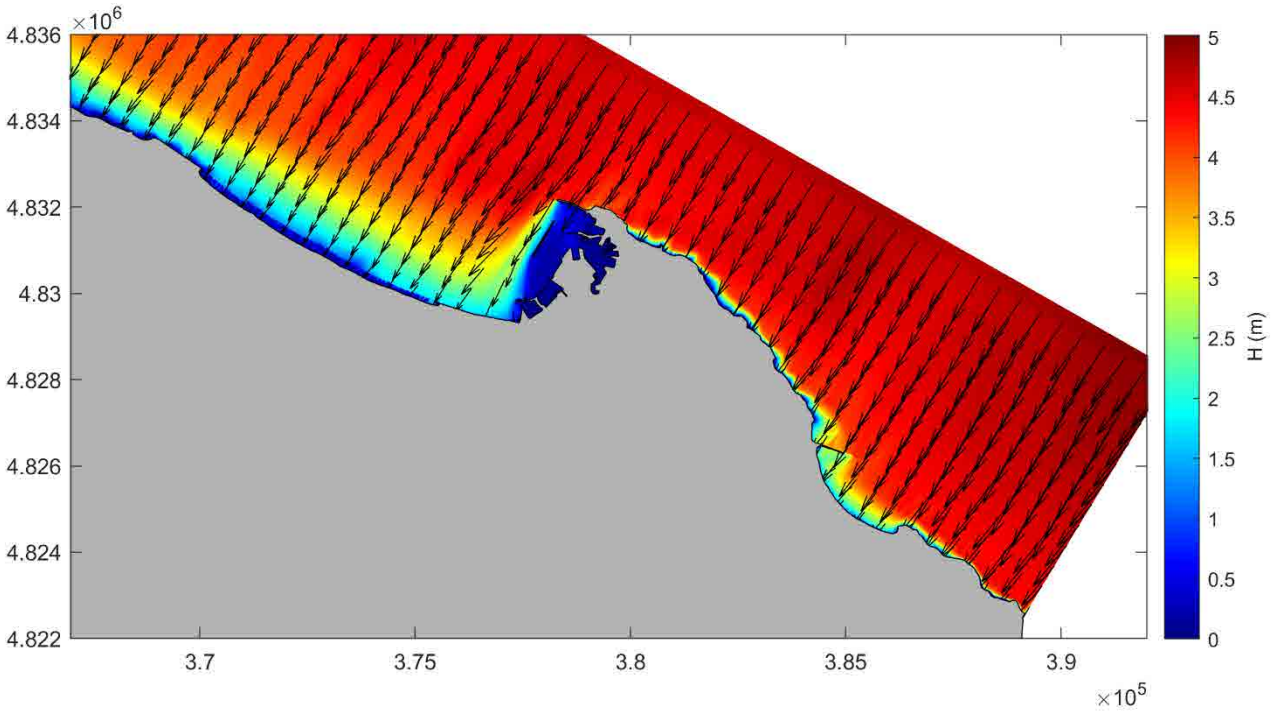

Figura 4.7 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Configurazione C0

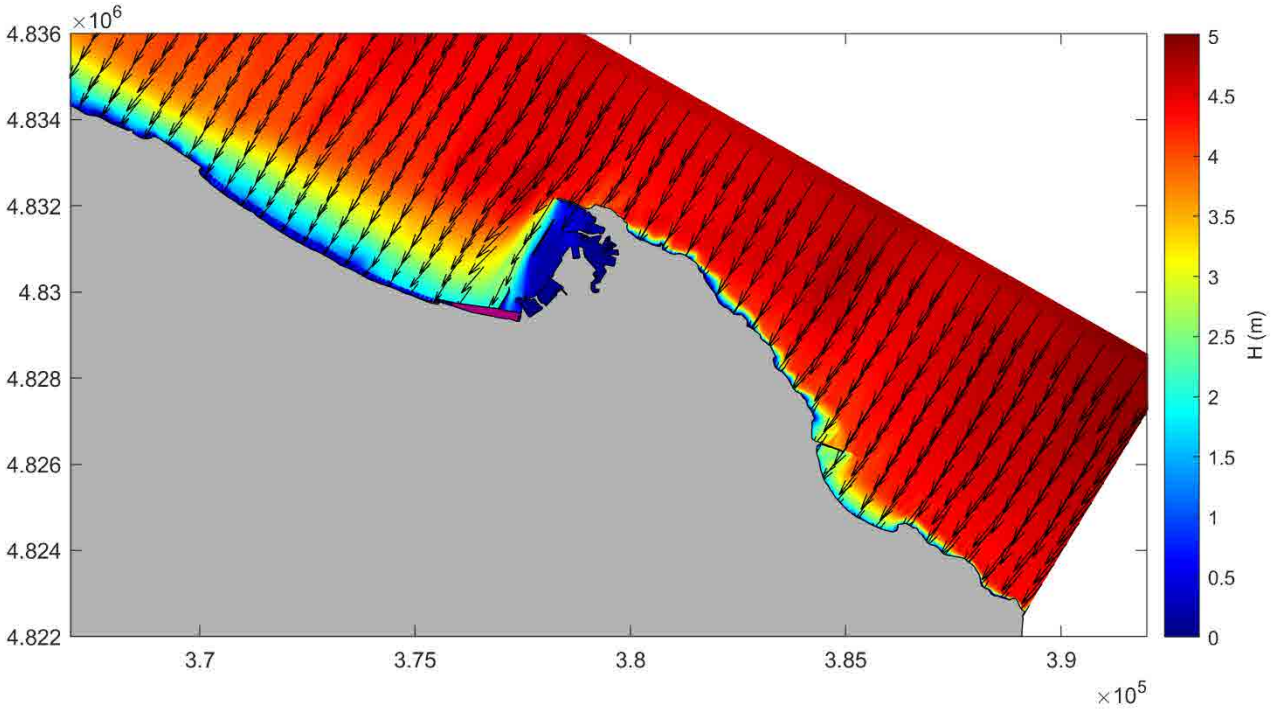

Figura 4.8 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Configurazione C1

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

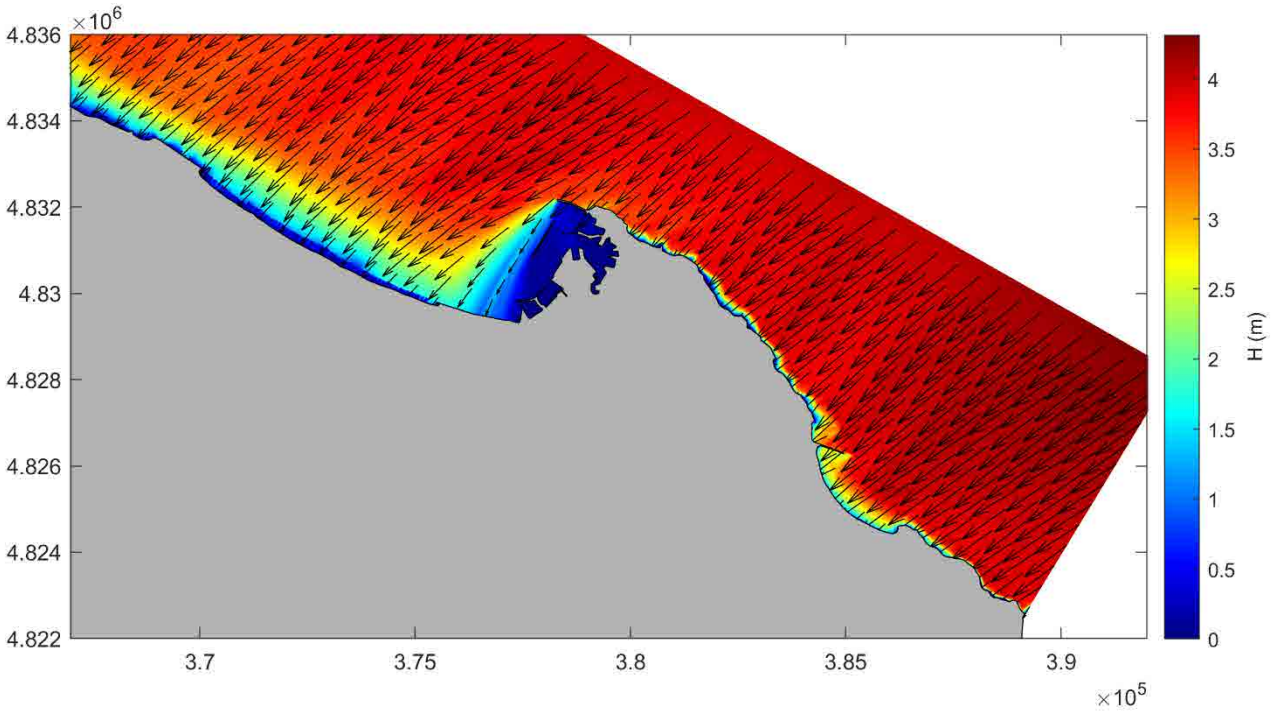

Figura 4.9 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Configurazione C0

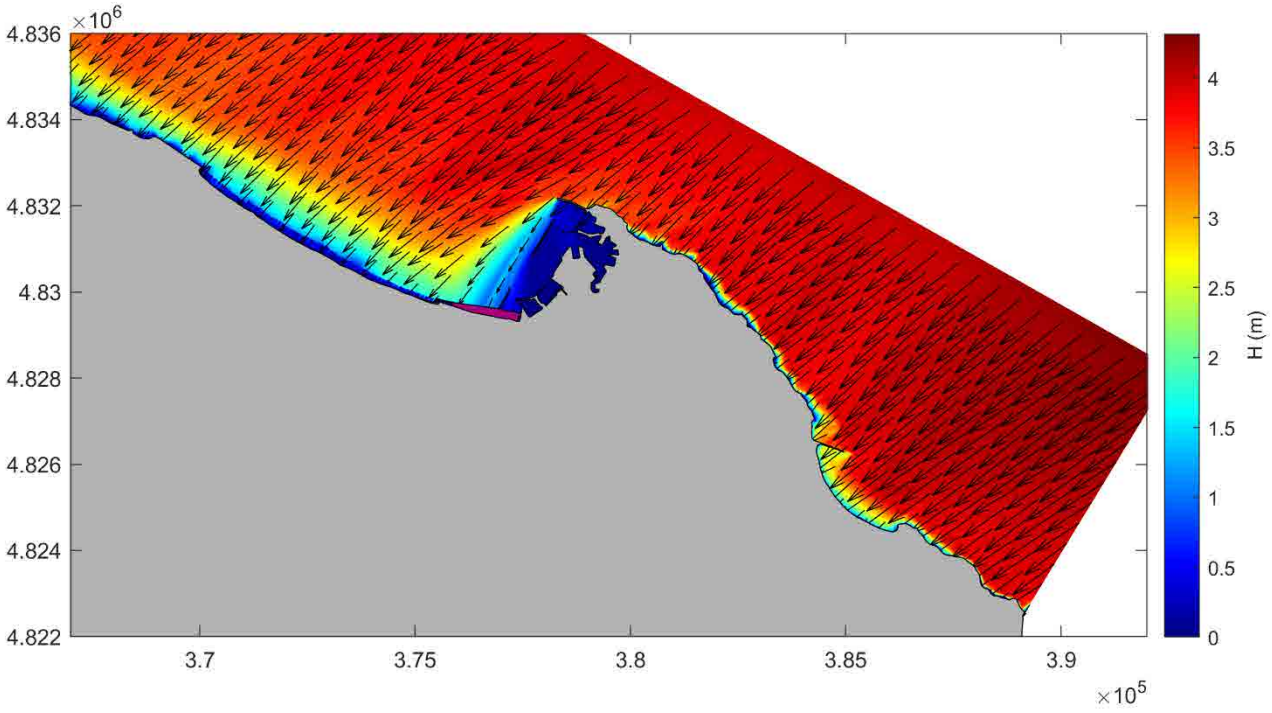

Figura 4.10 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Configurazione C1

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

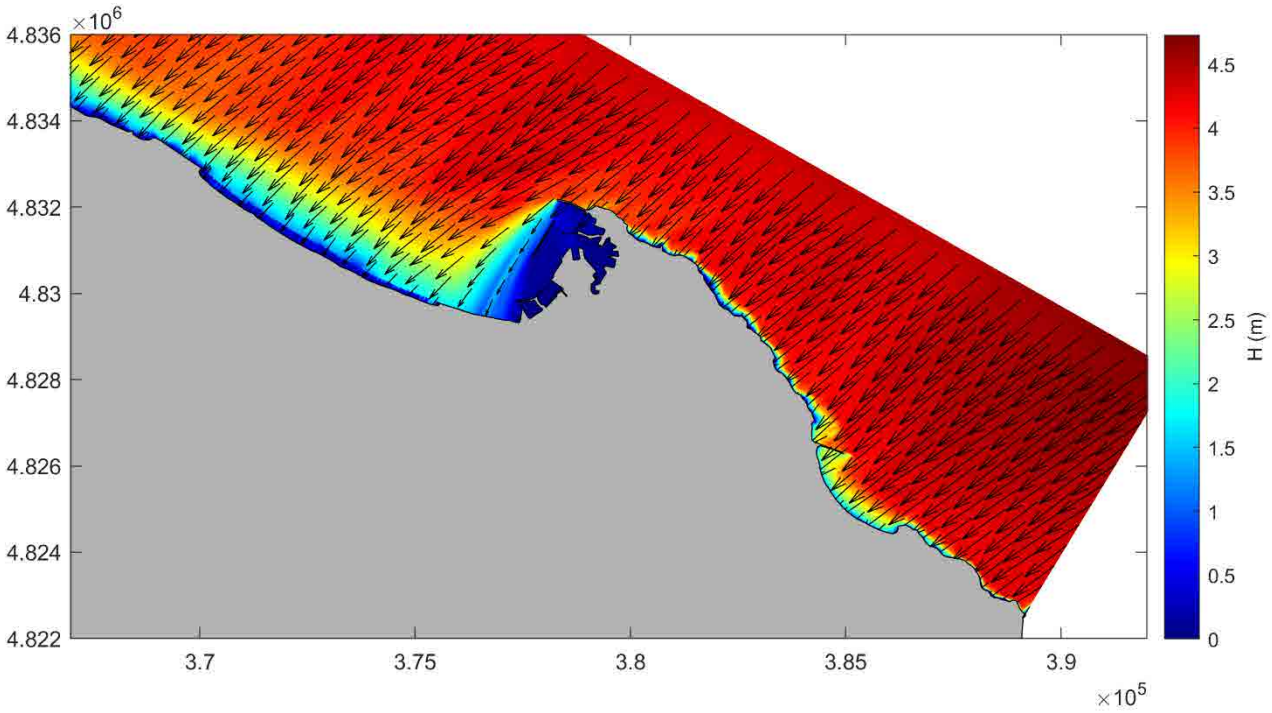

Figura 4.11 - Propagazione dell'onda (TR=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Configurazione C0

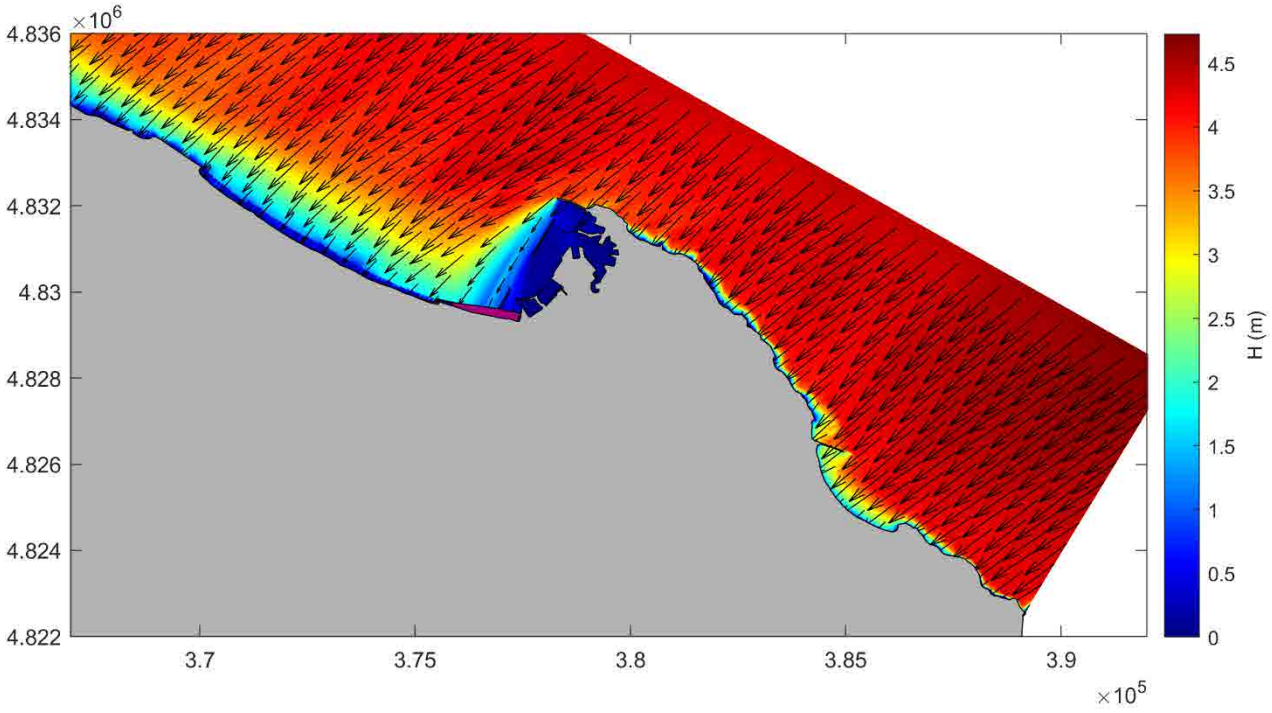

Figura 4.12 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Configurazione C1

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

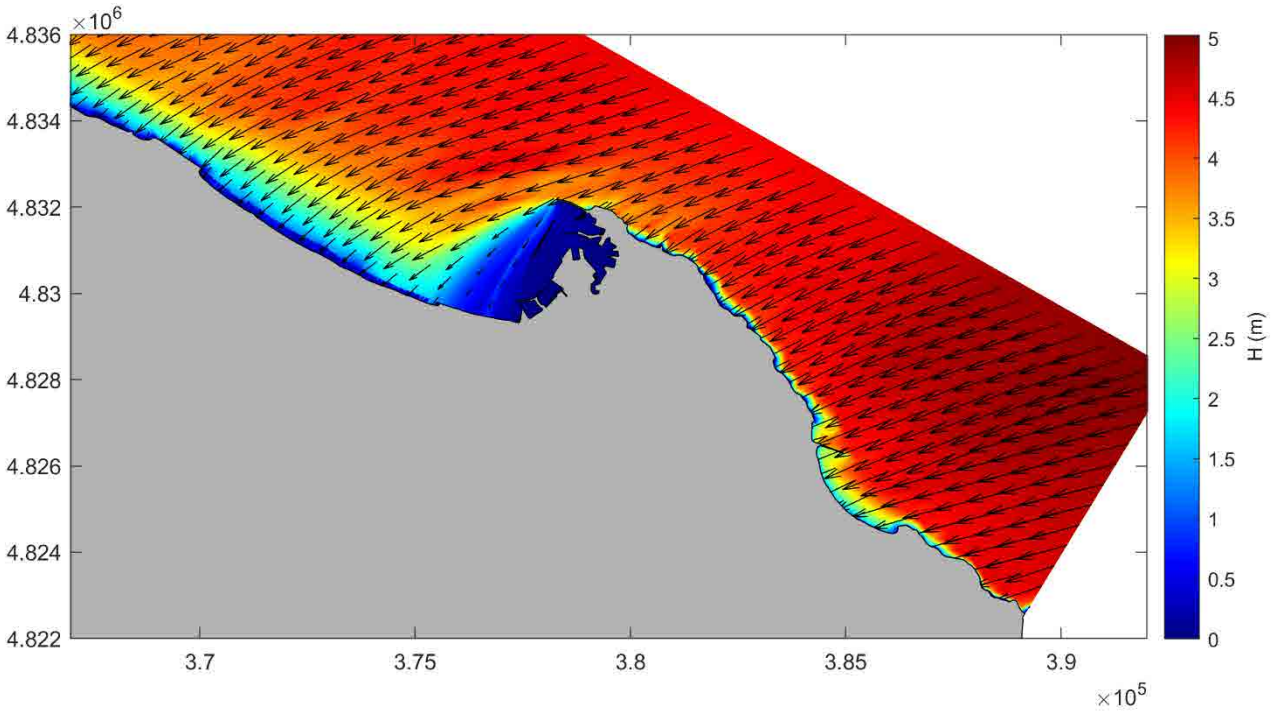

Figura 4.13 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Configurazione C0

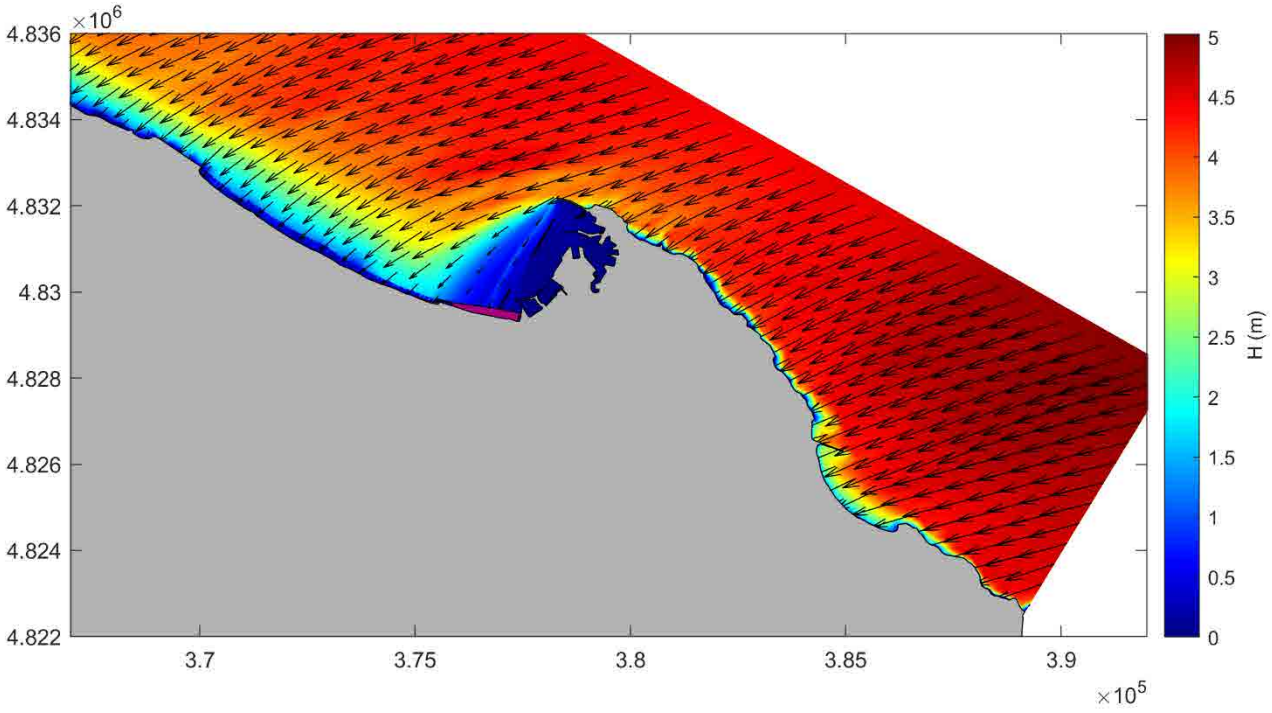

Figura 4.14 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Configurazione C1

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

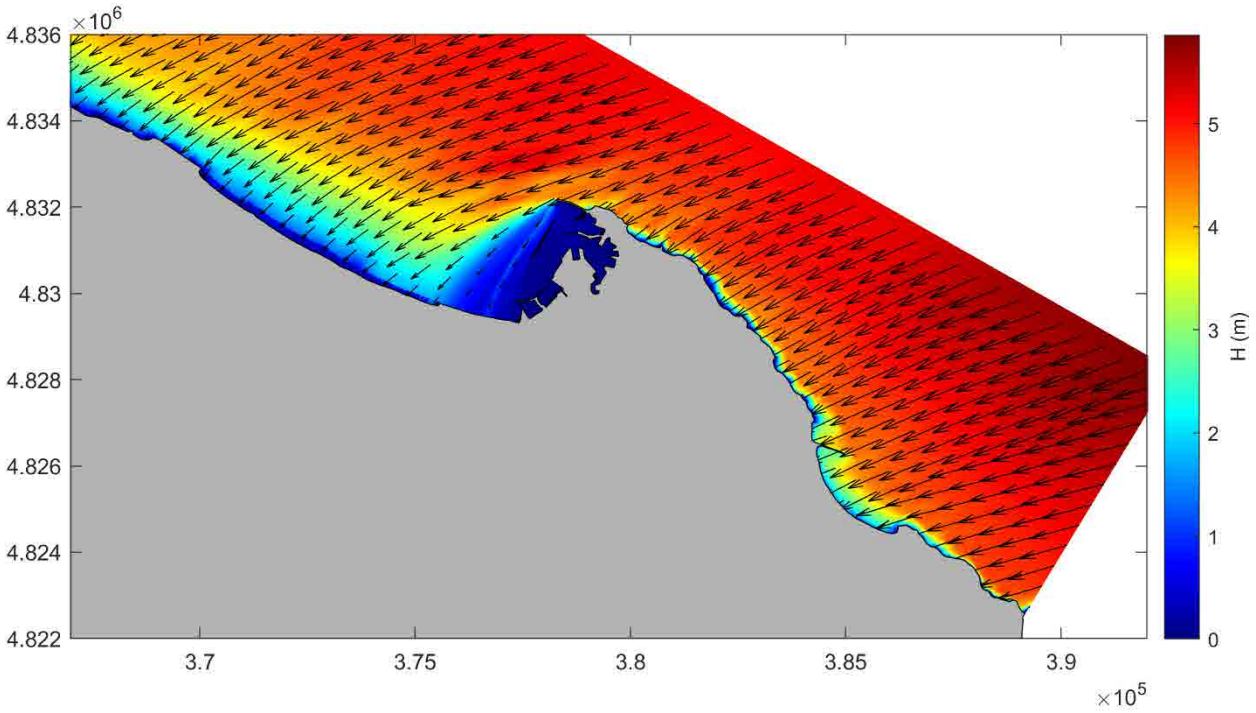

Figura 4.15 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21s) – Configurazione C0

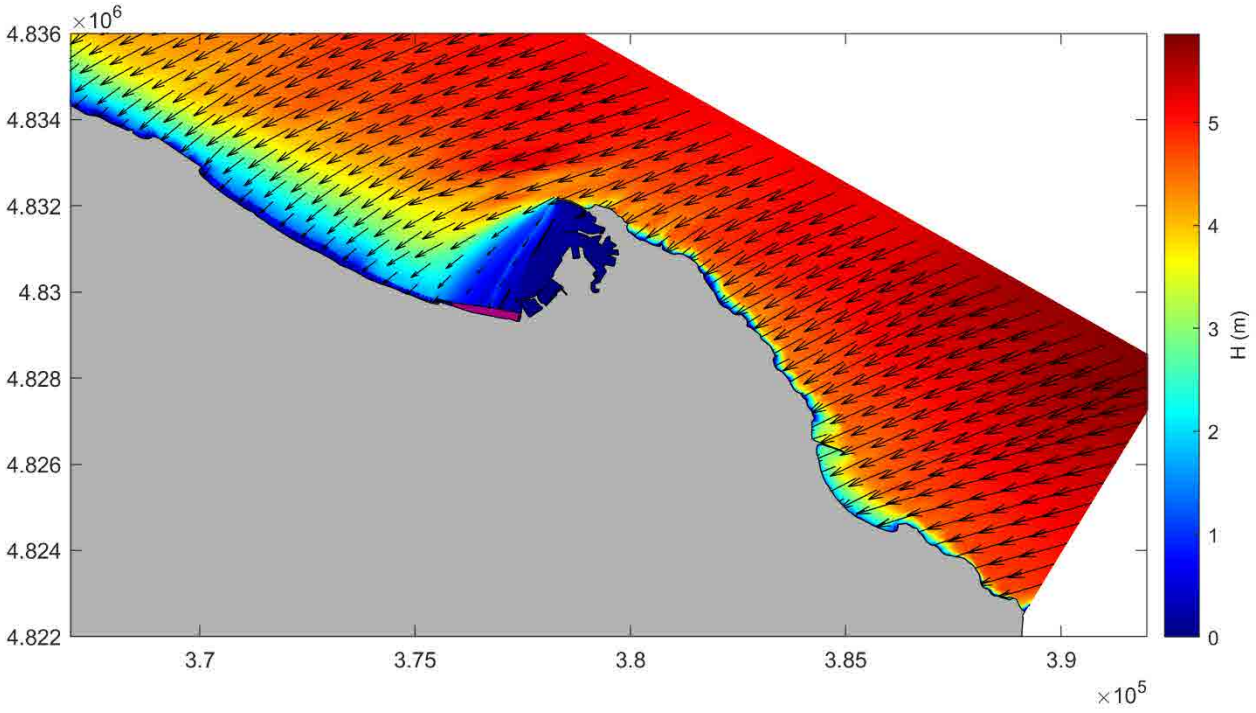

Figura 4.16 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21 s) – Configurazione C1

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

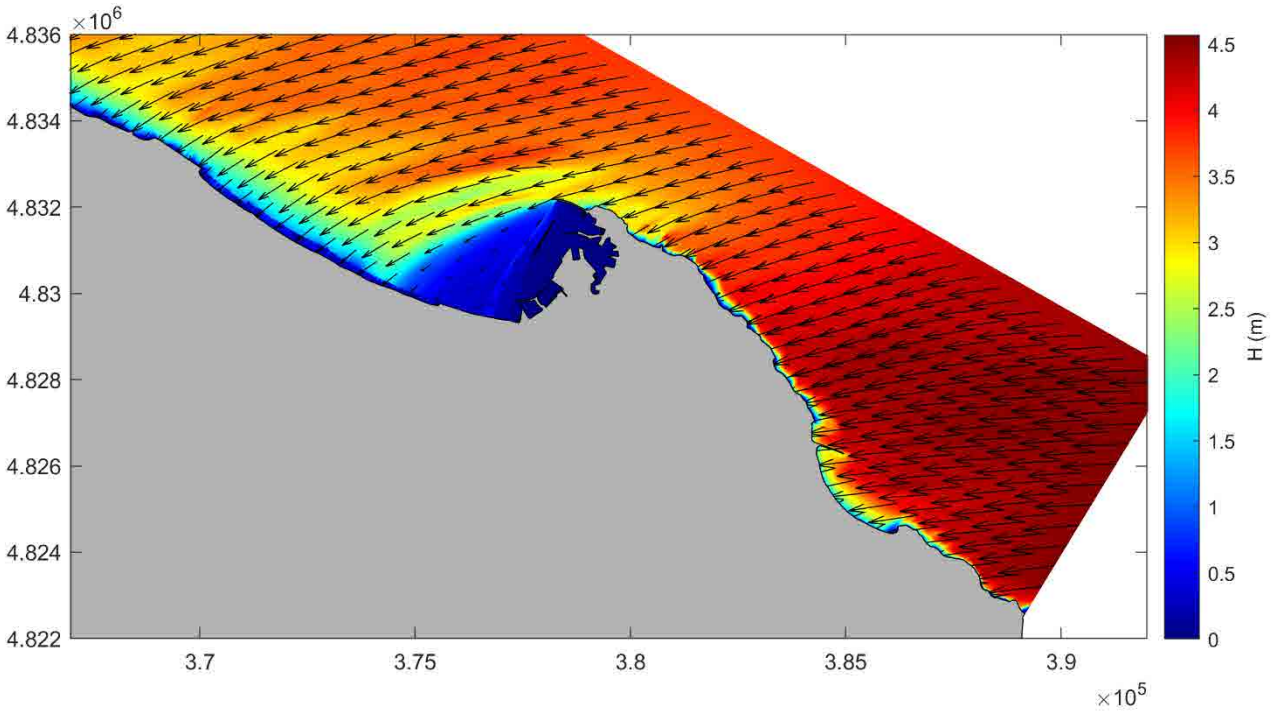

Figura 4.17 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Configurazione C0

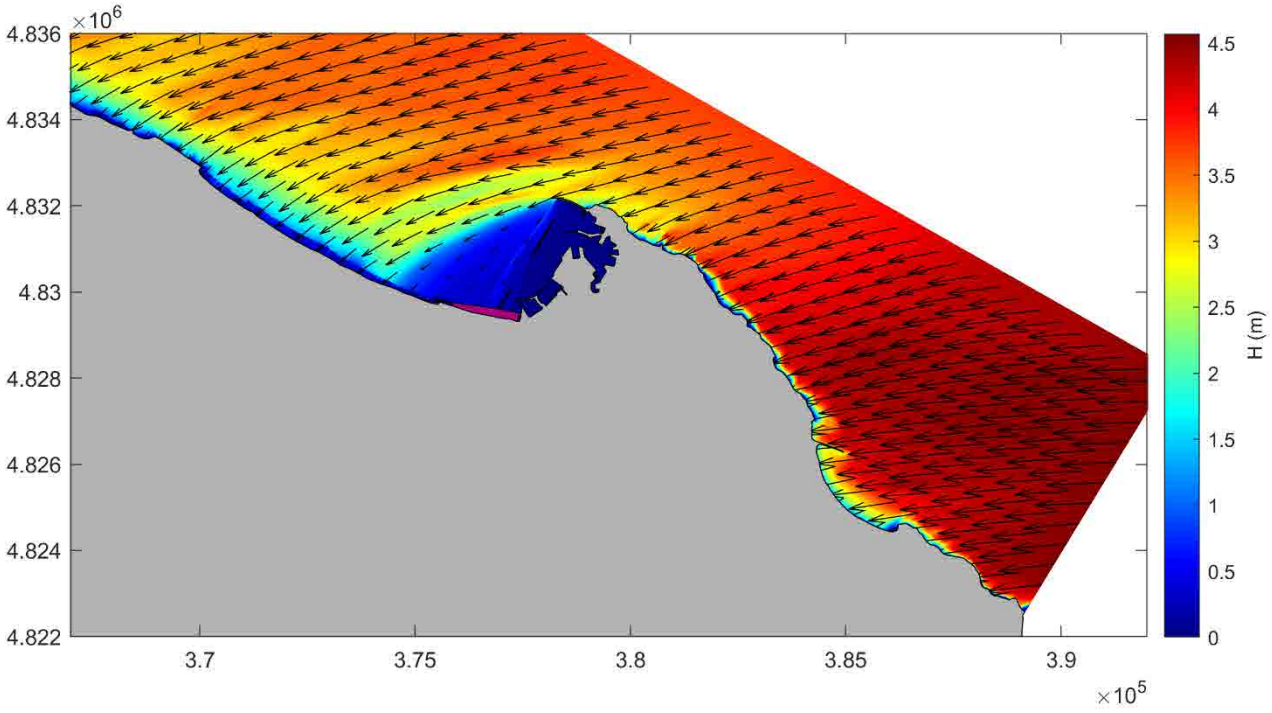

Figura 4.18 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Configurazione C1

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

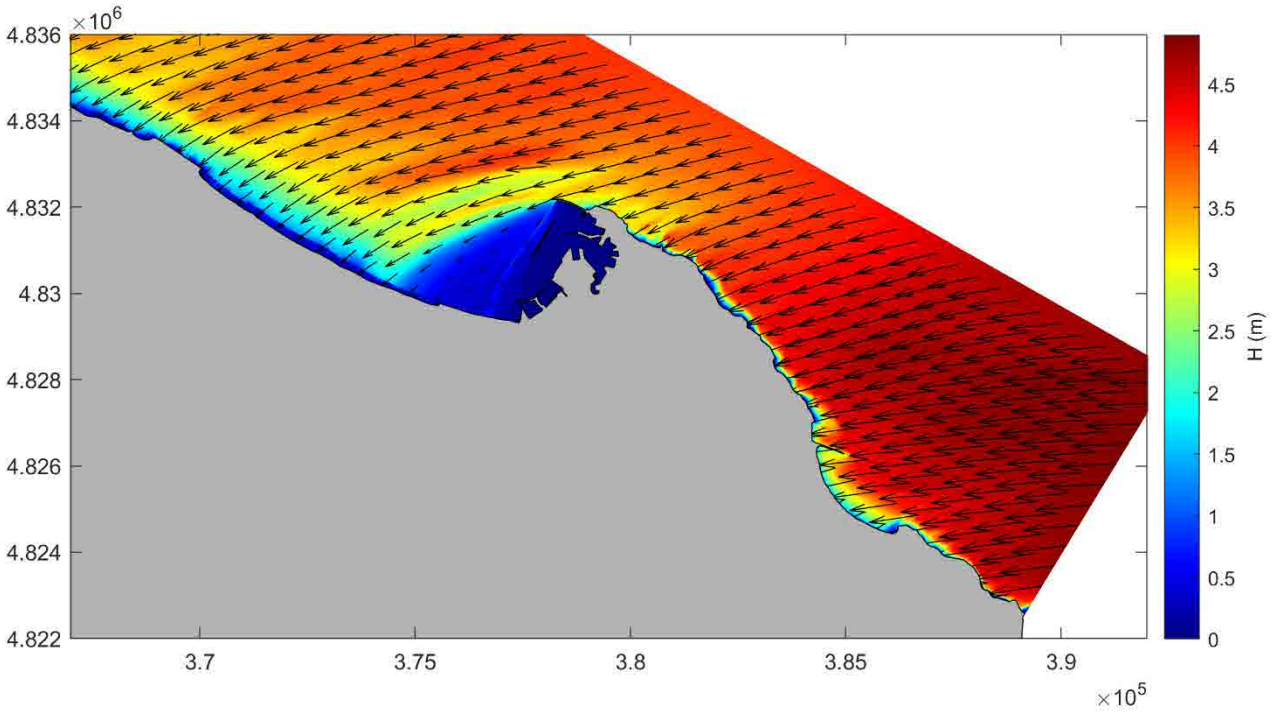

Figura 4.19 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Configurazione C0

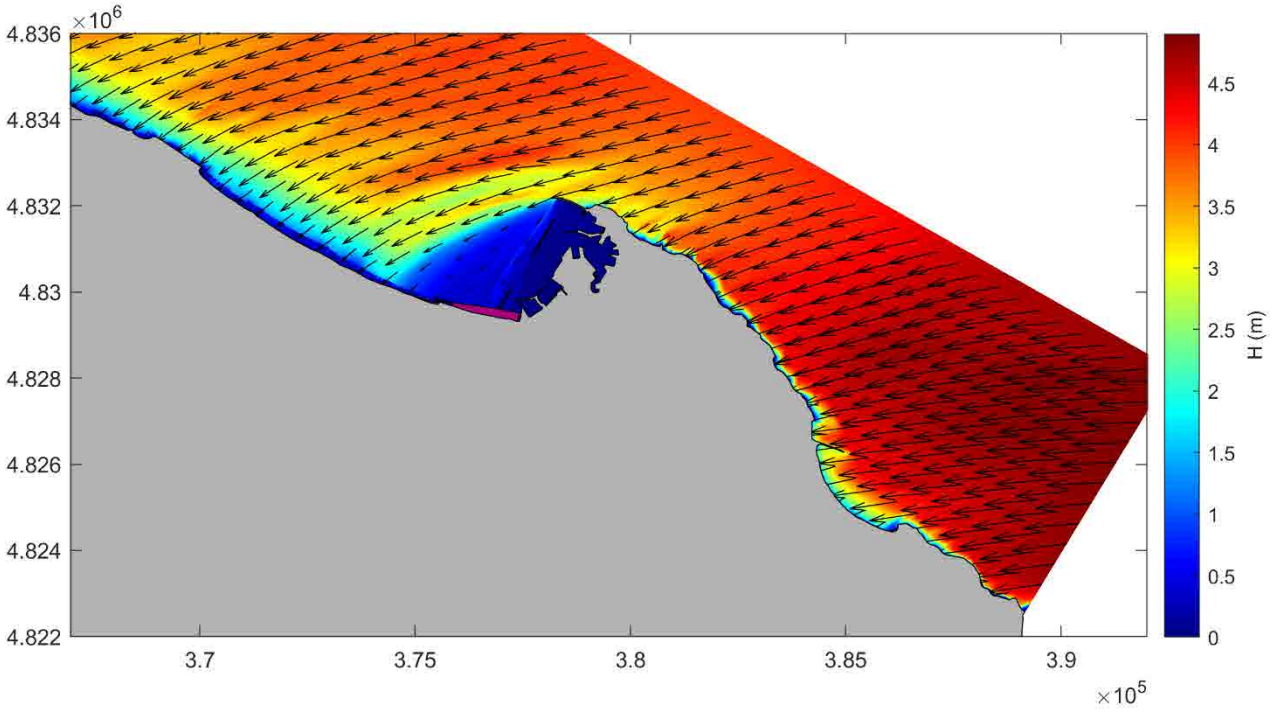

Figura 4.20 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Configurazione C1

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

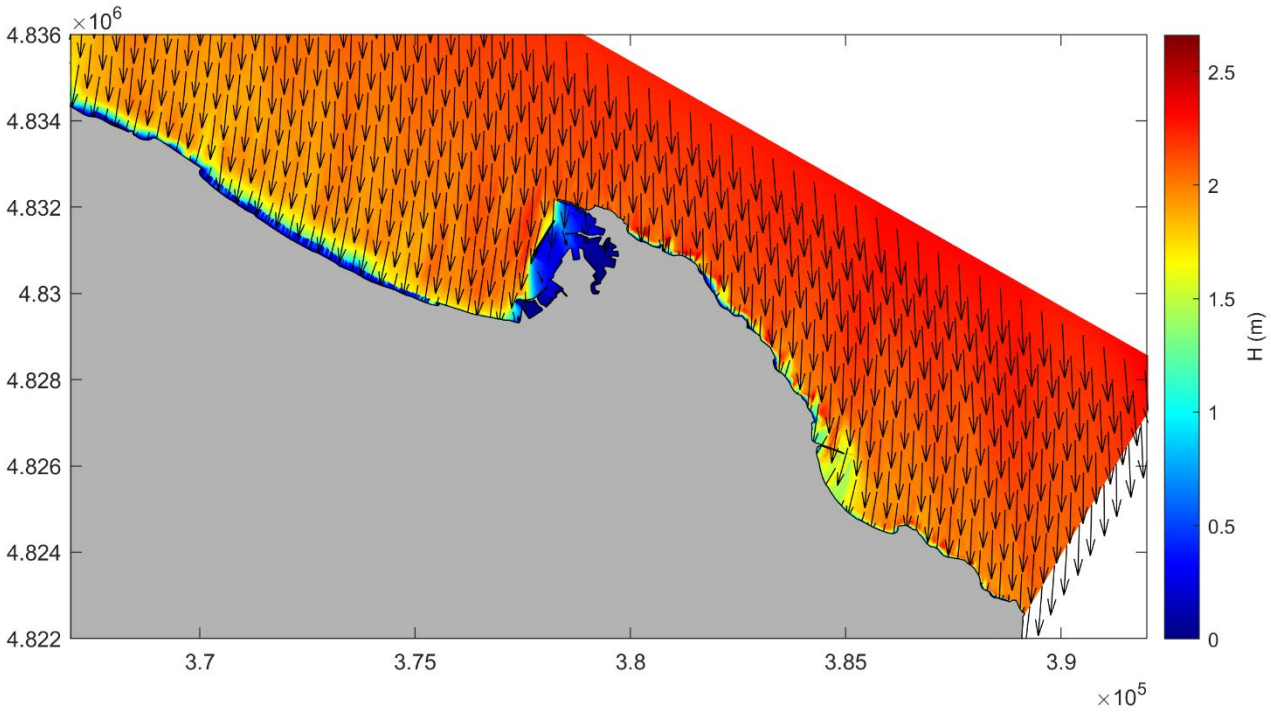

Figura 4.21 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Configurazione C0

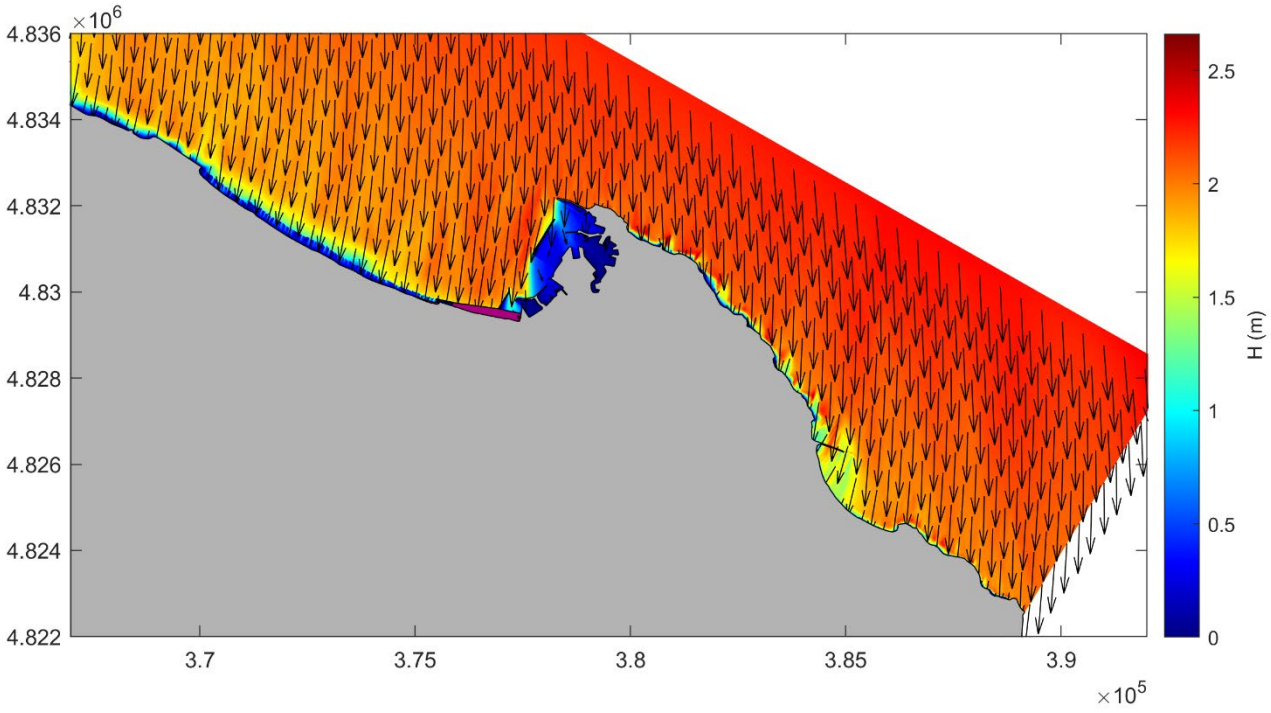

Figura 4.22 - Propagazione dell'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Configurazione C1

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

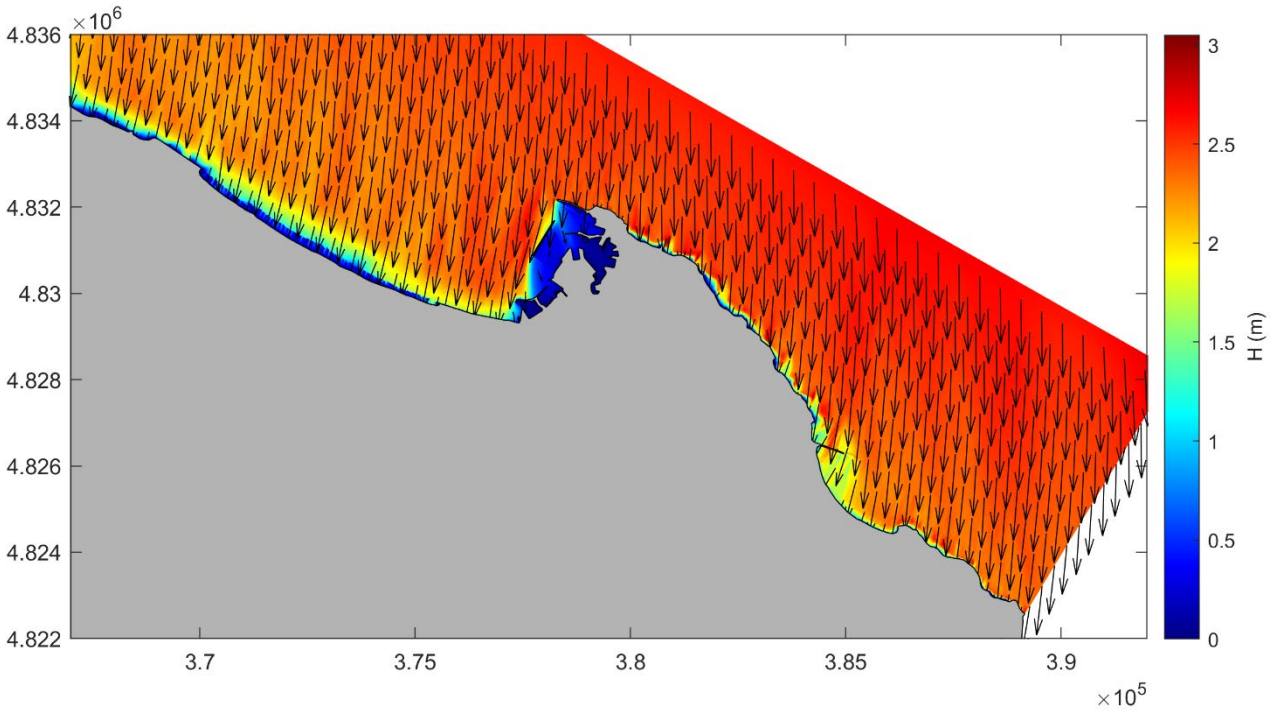

Figura 4.23 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.807 m $T_{p,0}$=9.58 s) – Configurazione C0

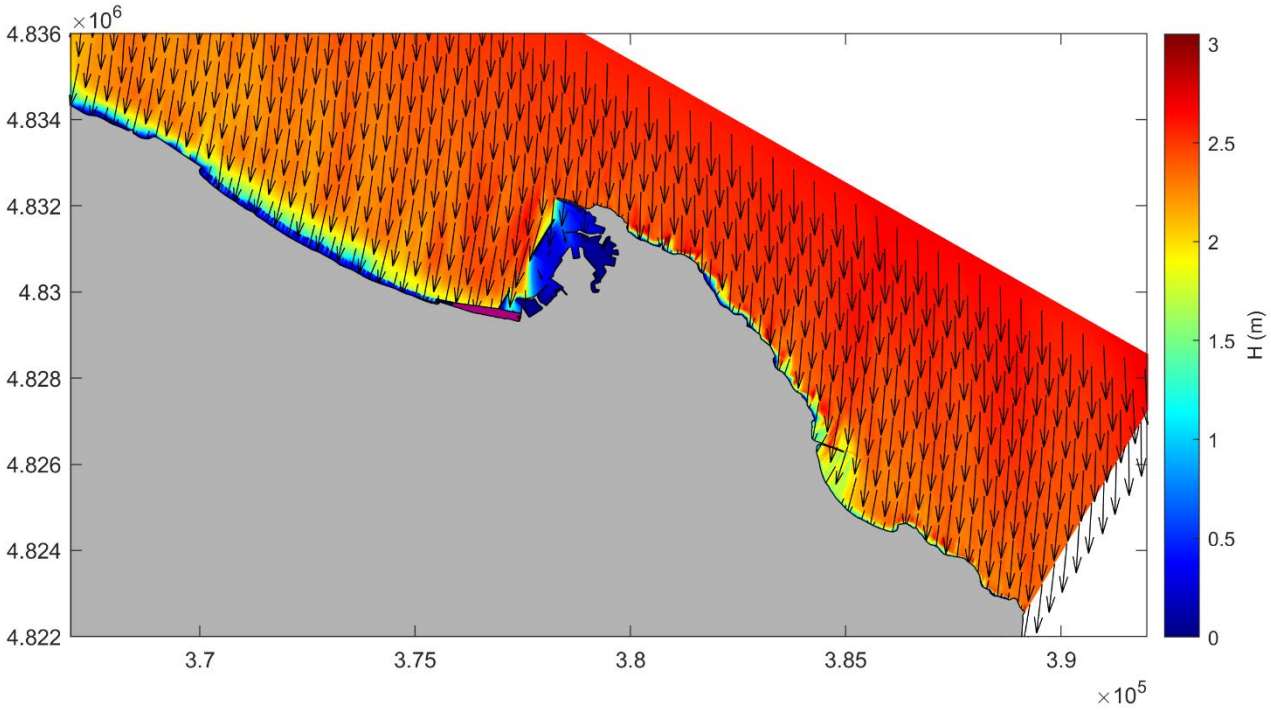

Figura 4.24 - Propagazione dell'onda (T_R=70 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.807 m $T_{p,0}$=9.58 s) – Configurazione C1

4.1 Sintesi riassuntiva sugli attacchi ondosi per le opere di progetto

Dall'esame dei risultati dell'elaborazione degli estremi (effettuata nello "Studio idrodinamico" del 2018) e delle simulazioni numeriche sulla propagazione ondosa dal largo verso riva si possono dedurre le seguenti considerazioni sintetiche.

Dall'elaborazione dei valori estremi di mareggiata dei dati della boa 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 Est-SudEst, mentre 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 Est-SudEst (per maggiori dettagli si rimanda allo studio precedente).

Dall'analisi dei risultati sulla propagazione ondosa risulta, come atteso e in accordo con i risultati ottenuti nello studio precedente, che le opere settentrionali del Porto di Ancona offrono protezione 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 ondazioni di provenienza settentrionale. Le ondazioni di provenienza da NordOvest subiscono invece maggiormente gli effetti della rifrazione, prima di impattare sulle opere di progetto.

Per tutti gli stati di mare considerati, inoltre, in termini di altezza d'onda risulta nulla l'influenza della nuova opera sulle zone limitrofe che sono oggetto di questo studio. In particolare, non si osservano variazioni apprezzabili né nella zona di Falconara Marittima, né a SudEst del Porto di Ancona (tratto di costa tra Ancona e Portonovo).

5. CORRENTI INDOTTE DALLE ONDE

Nel presente Capitolo sono mostrati i risultati delle simulazioni numeriche in termini di velocità e direzione delle correnti indotte dalle varie condizioni ondose.

Per ogni condizione ondosa considerata sono presentati: la mappa dell'idrodinamica, sia a grande scala (da Marina di Montemarciano agli scogli delle "Due Sorelle") che a due scale di maggior dettaglio, una focalizzata nella zona di Falconara e l'altra nella zona di Portonovo.

Per evidenziare ulteriormente eventuali differenze indotte dalla presenza dell'opera oggetto di studio, sono stati riportati anche i valori assoluti della velocità delle correnti su diverse sezioni (5 sezioni a Sud del Porto di Ancona fino allo "Scoglio della Vela" e 5 sezioni a Nord della zona di intervento fino all'inizio del litorale di Marina di Montemarciano).

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

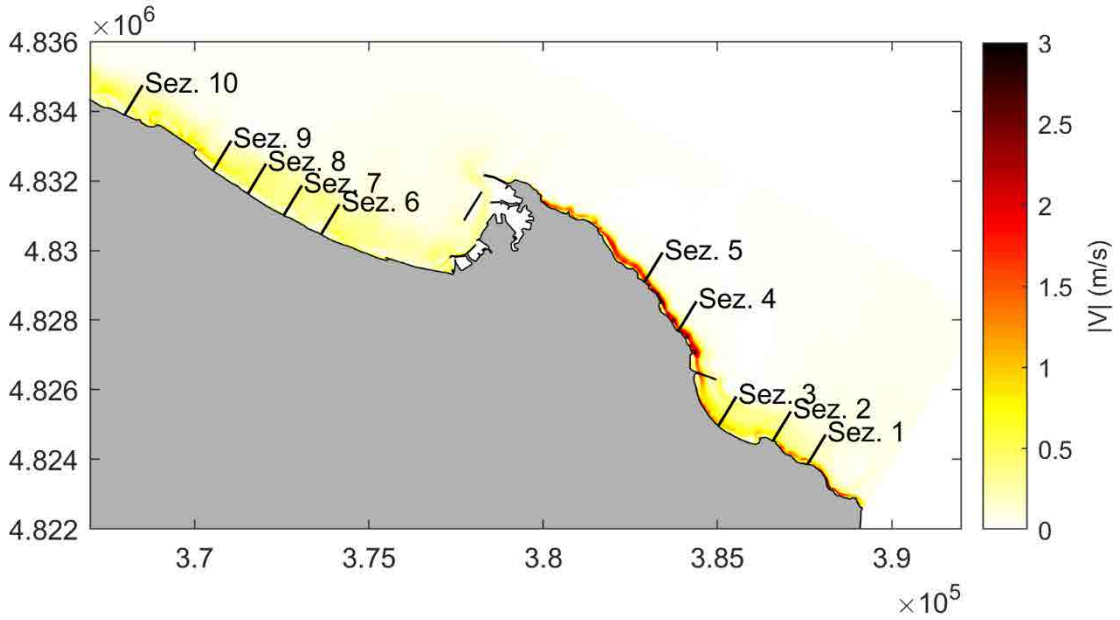

Figura 5.1 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Configurazione C0

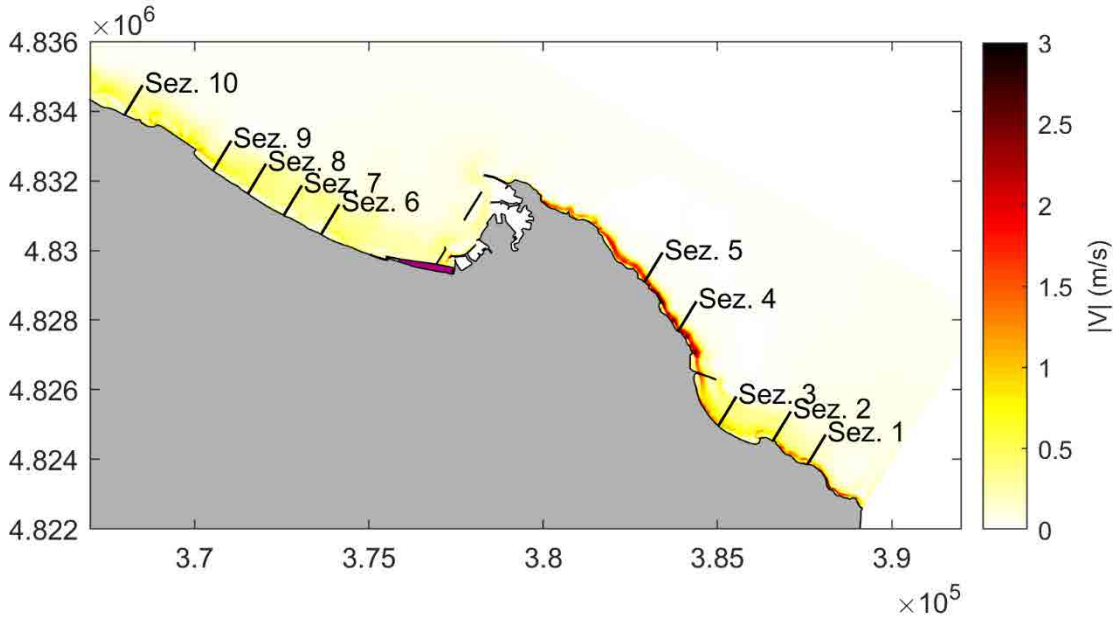

Figura 5.2 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Configurazione C1

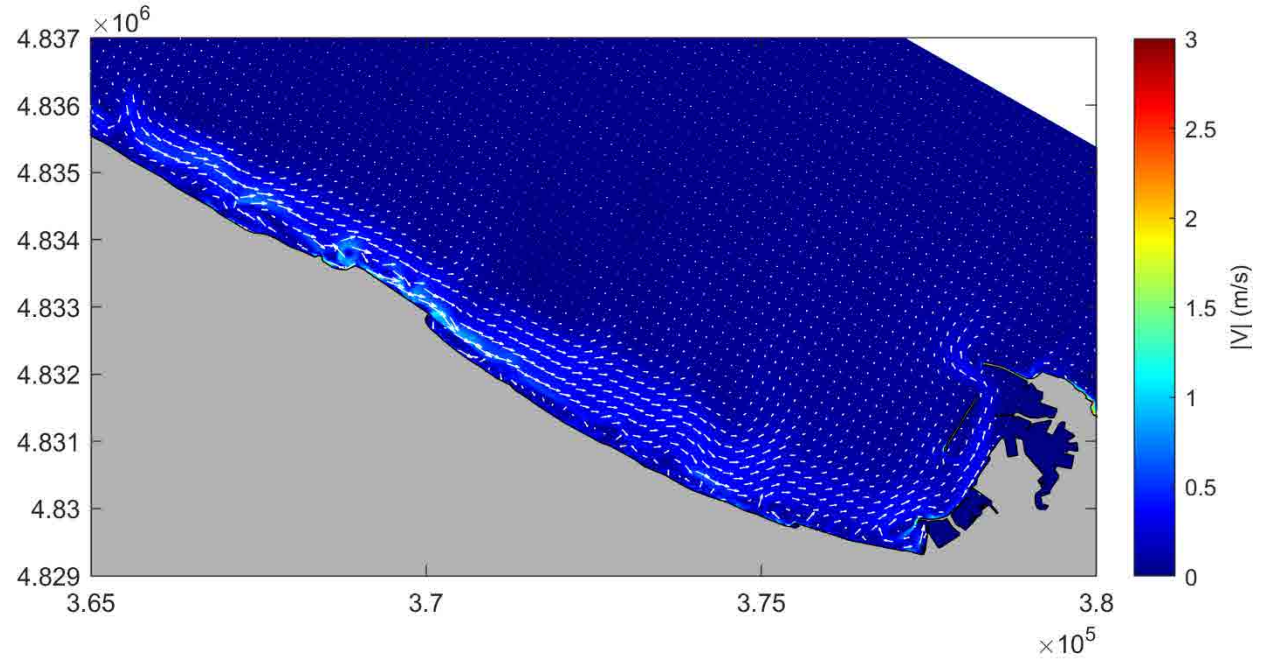

Figura 5.3 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Configurazione C0 – NORD

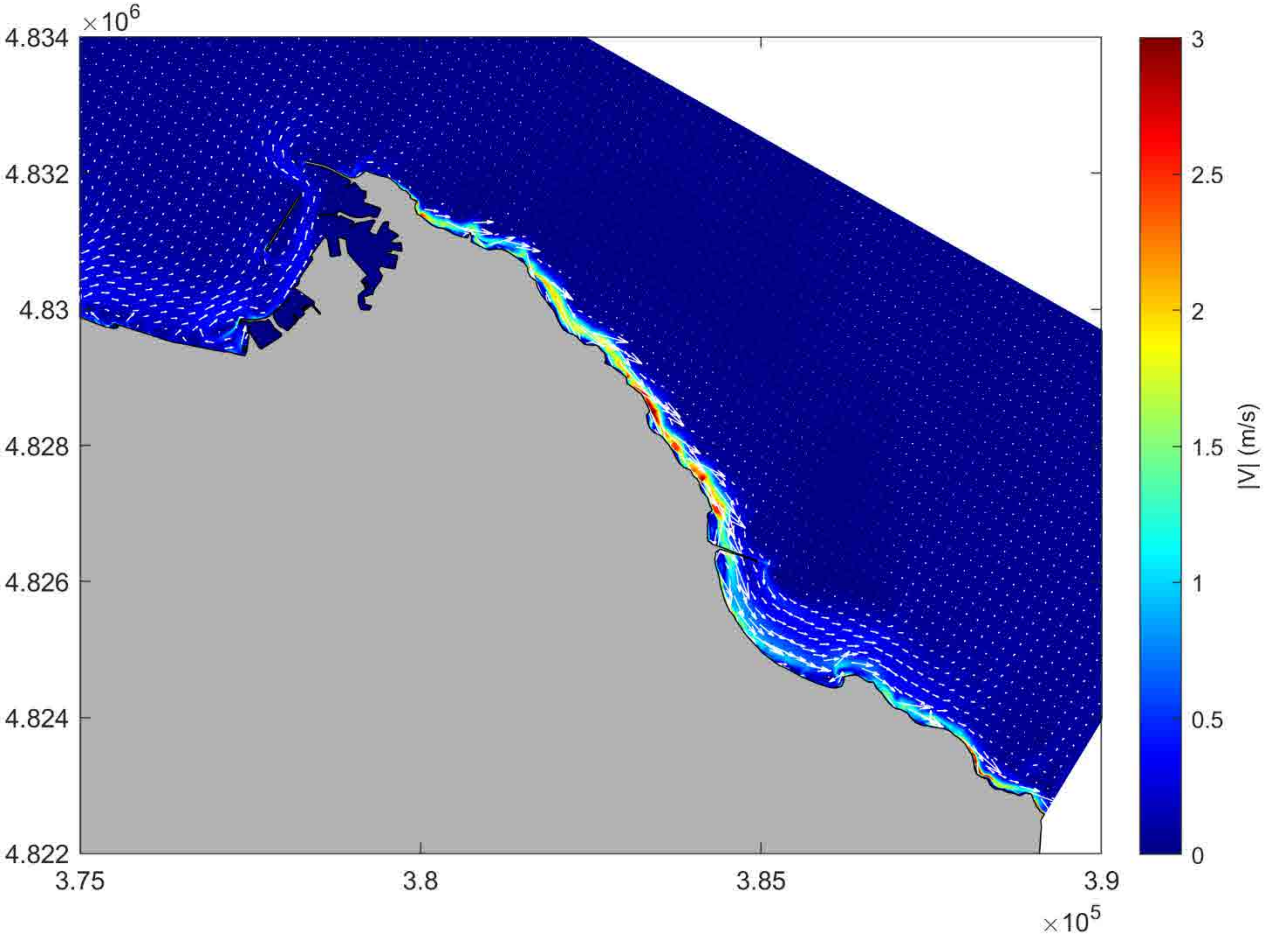

Figura 5.4 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Configurazione C0 – SUD

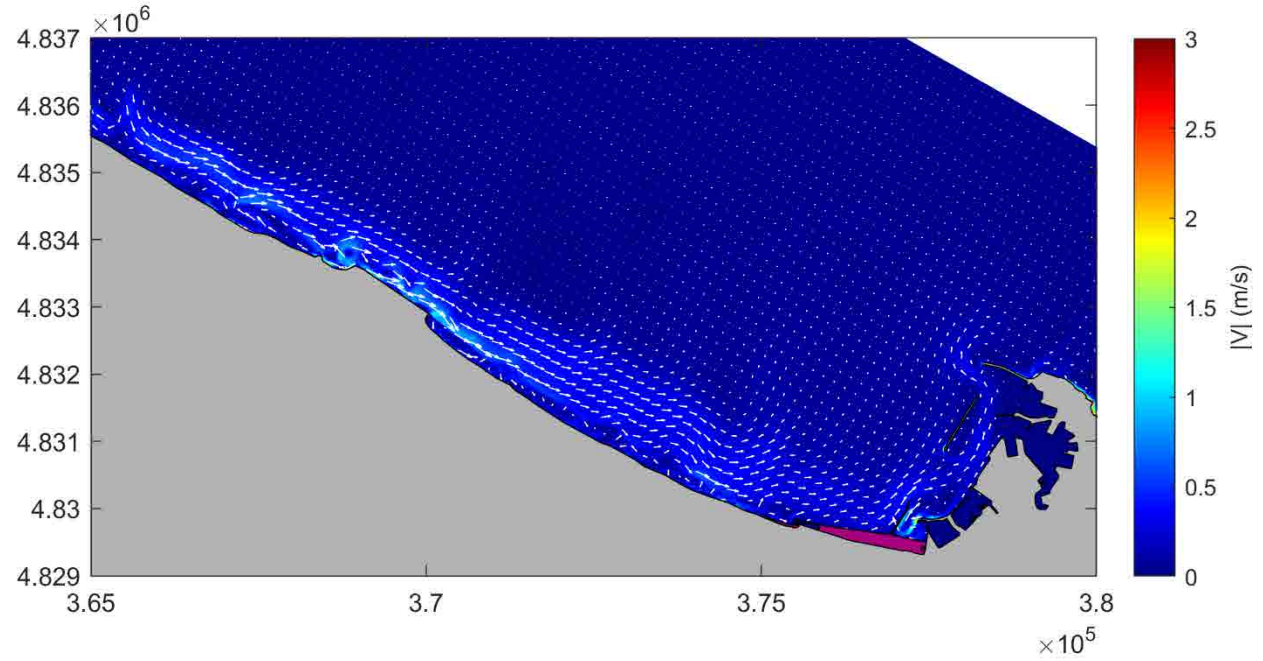

Figura 5.5 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Configurazione C1 – NORD

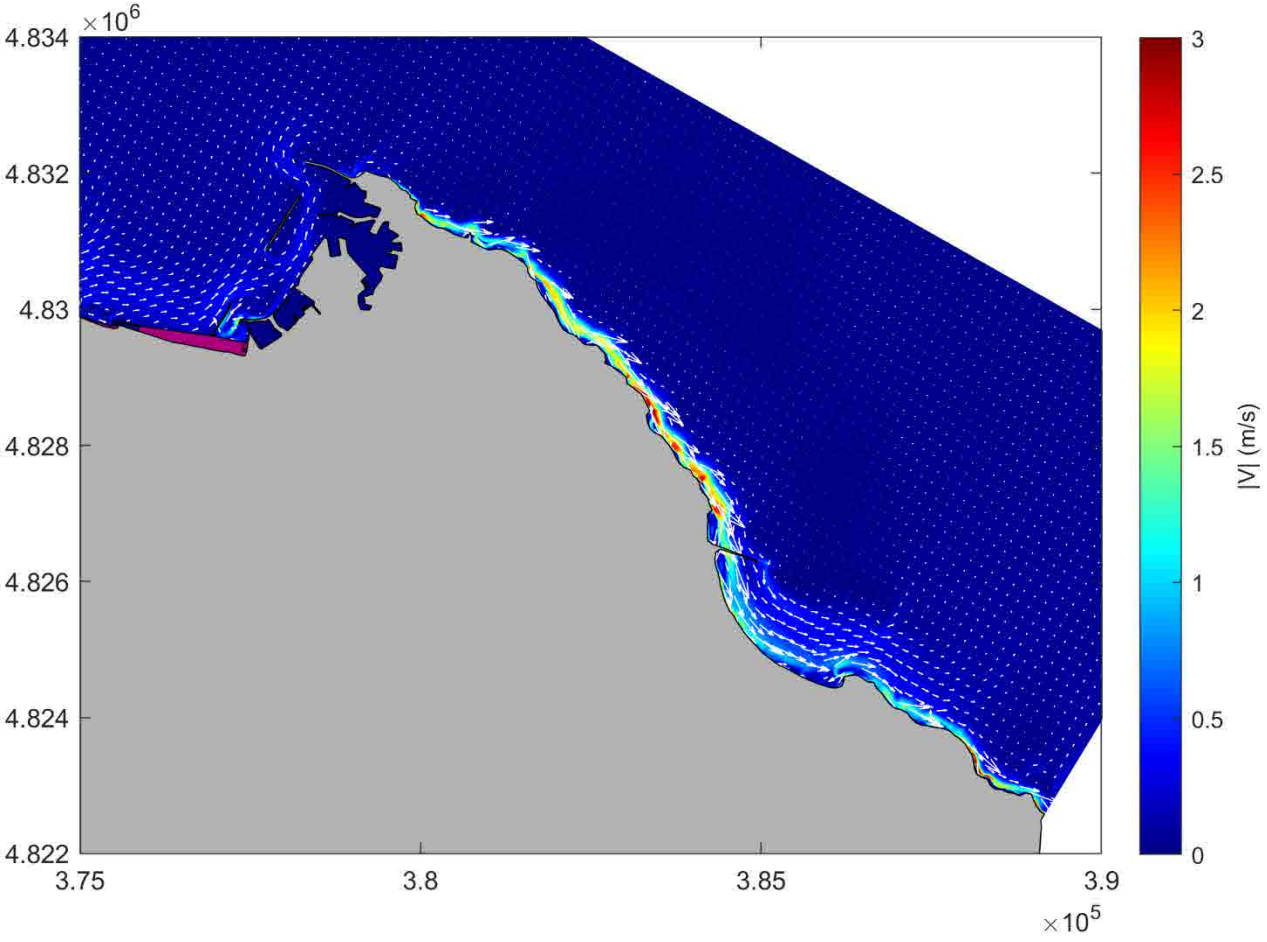

Figura 5.6 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Configurazione C1 – SUD

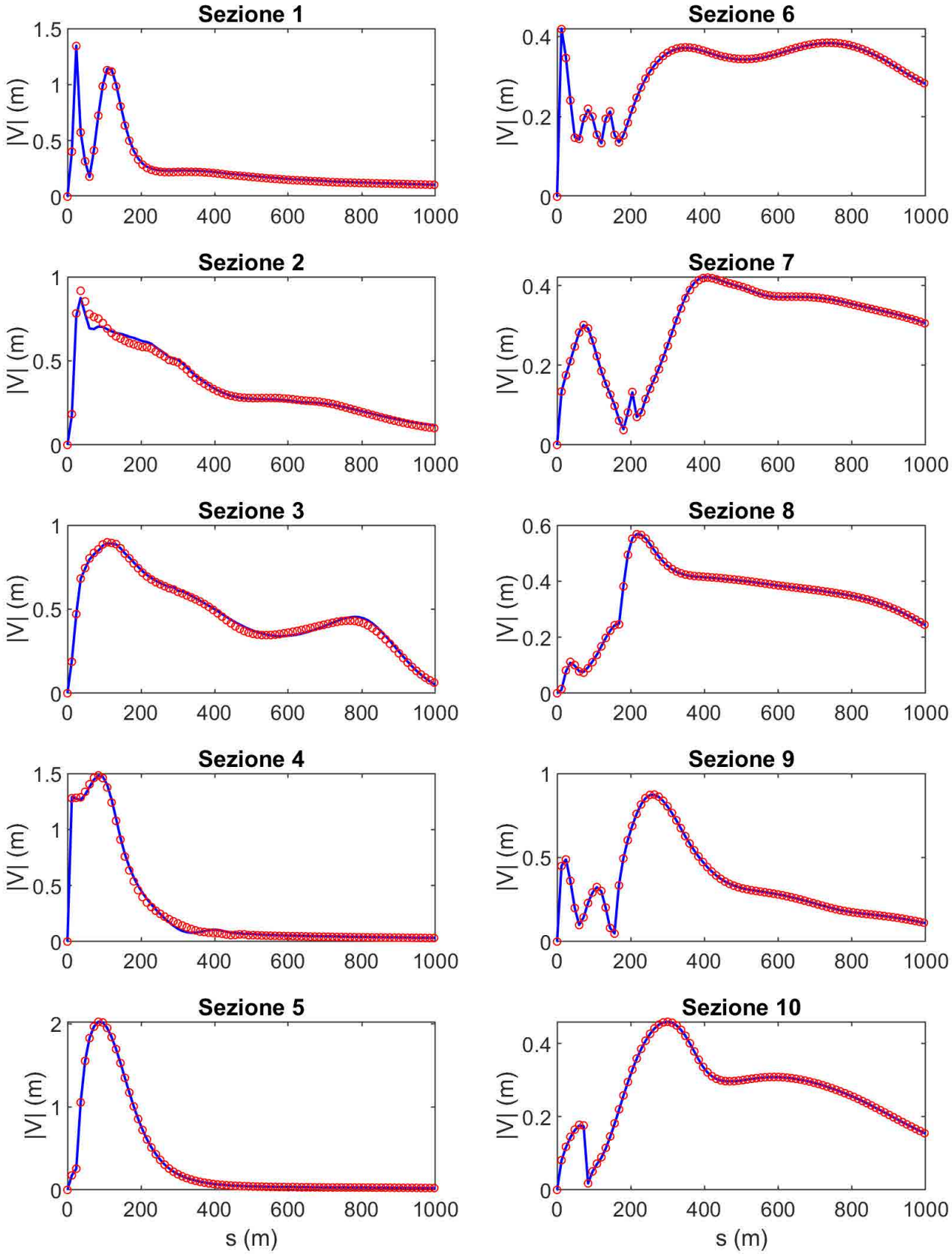

Figura 5.7 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.230 m $T_{p,0}$=8.99 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

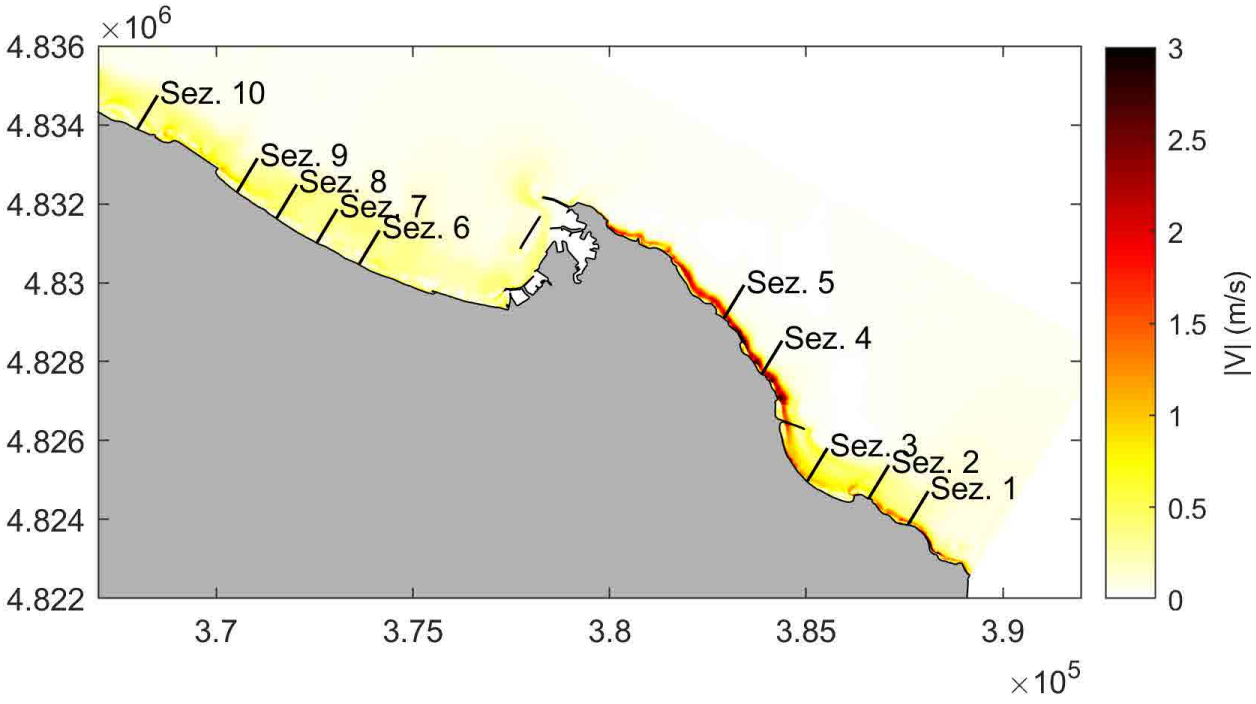

Figura 5.8 – Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Configurazione C0

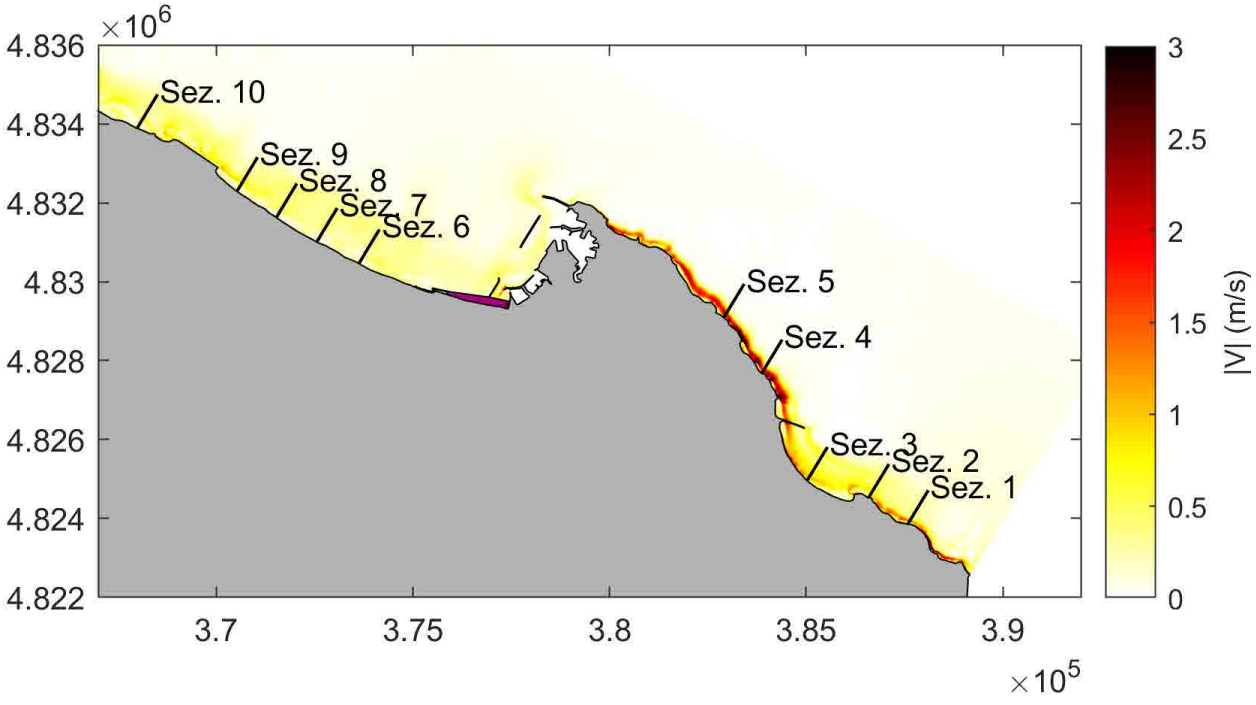

Figura 5.9 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Configurazione C1

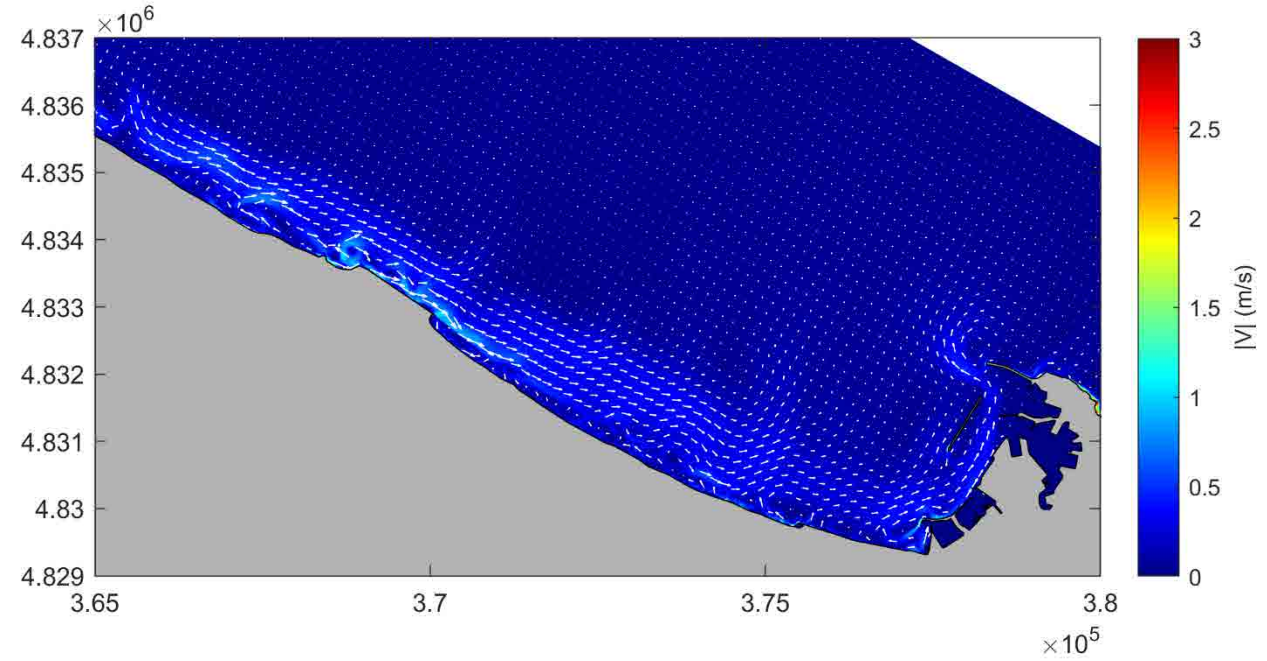

Figura 5.10 – Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Configurazione C0 – NORD

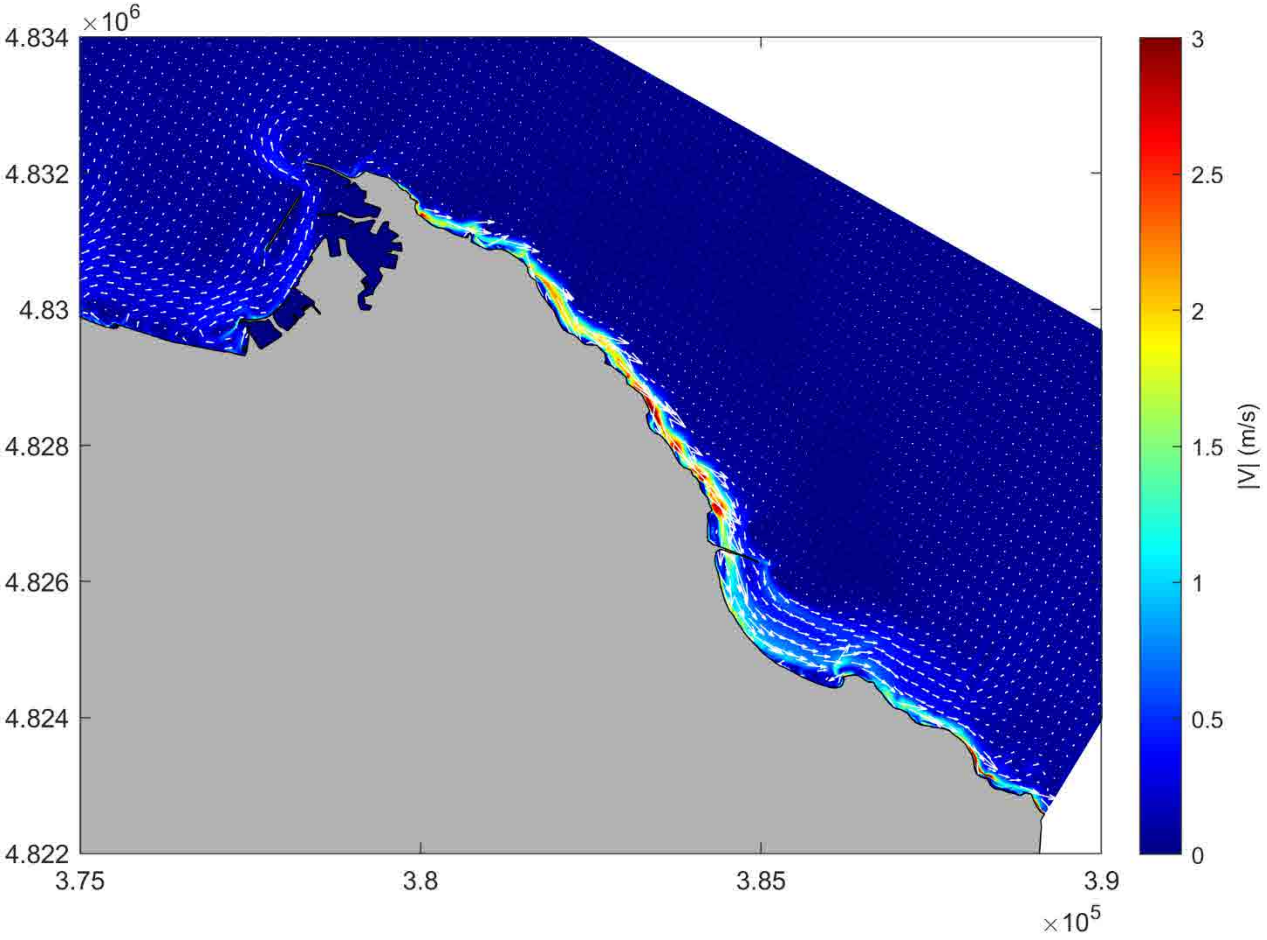

Figura 5.11 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Configurazione C0 – SUD

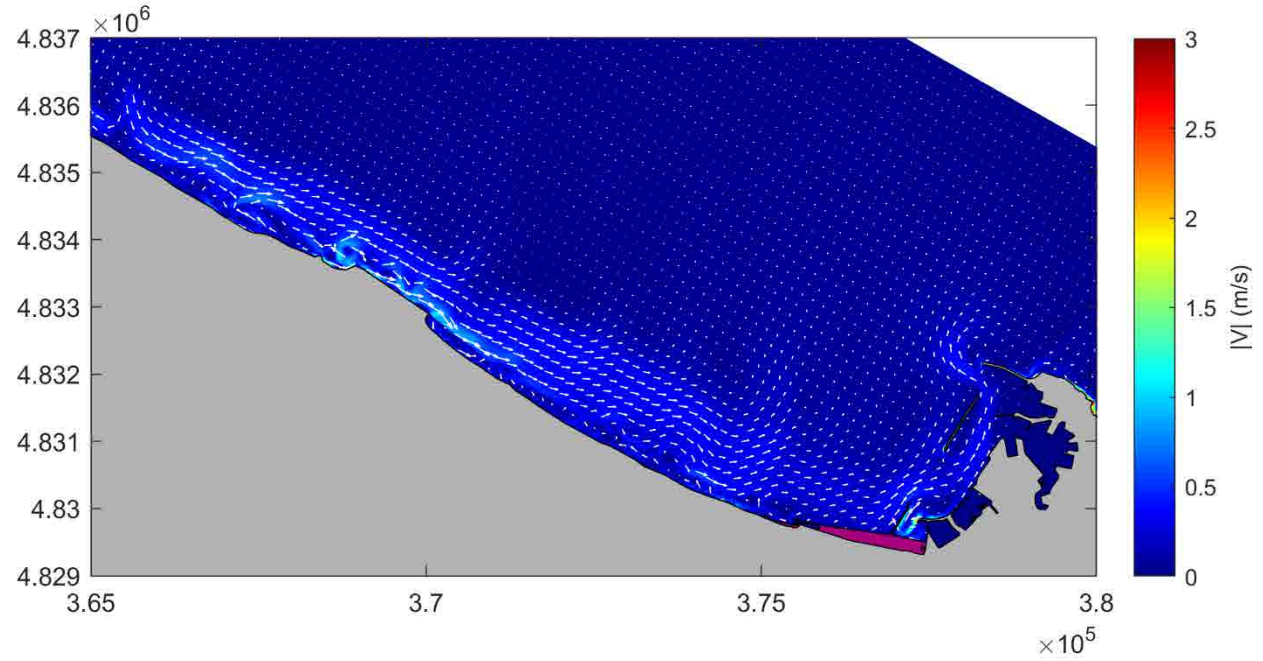

Figura 5.12 – Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Configurazione C1 – NORD

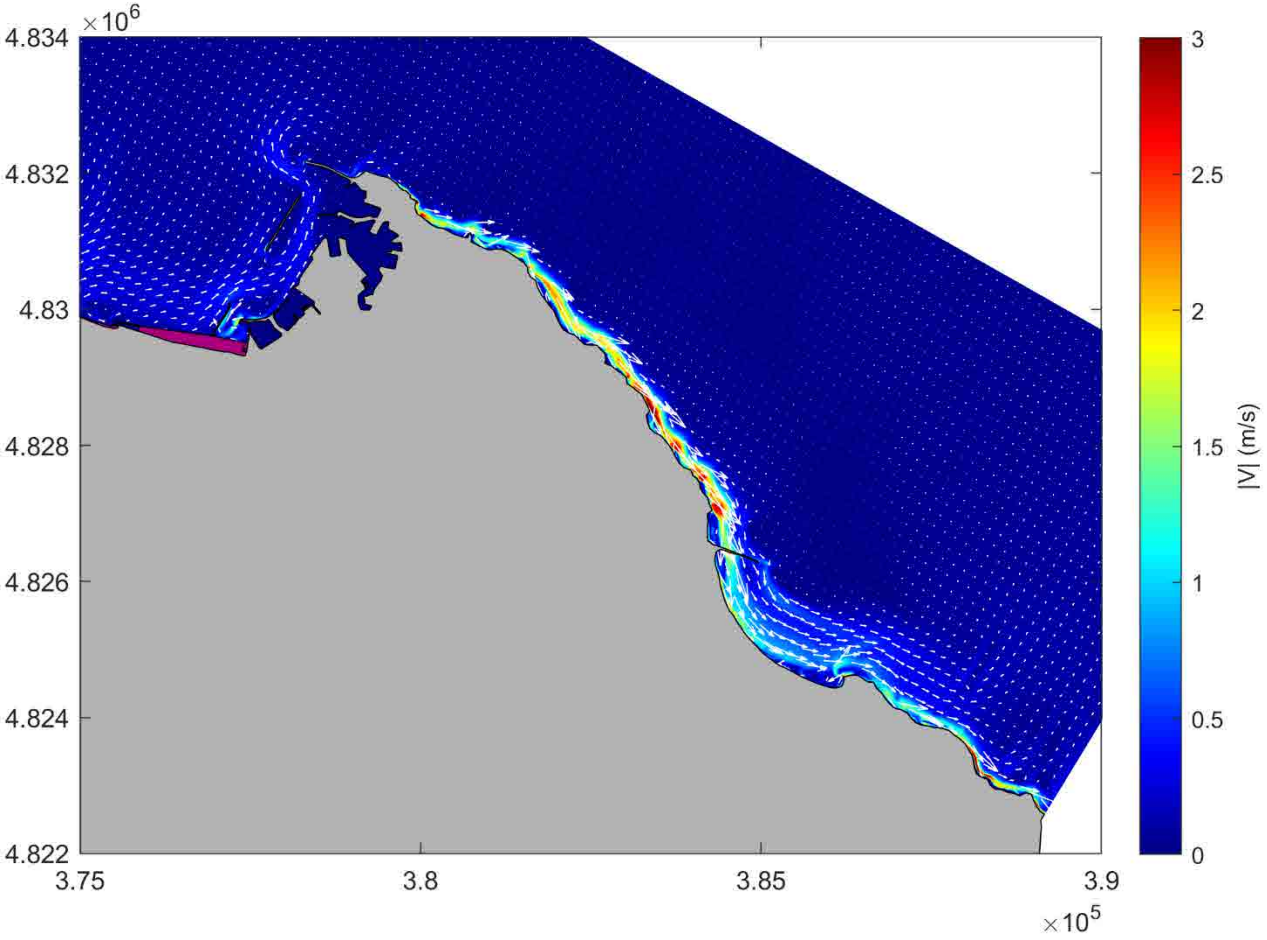

Figura 5.13 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Configurazione C1 – SUD

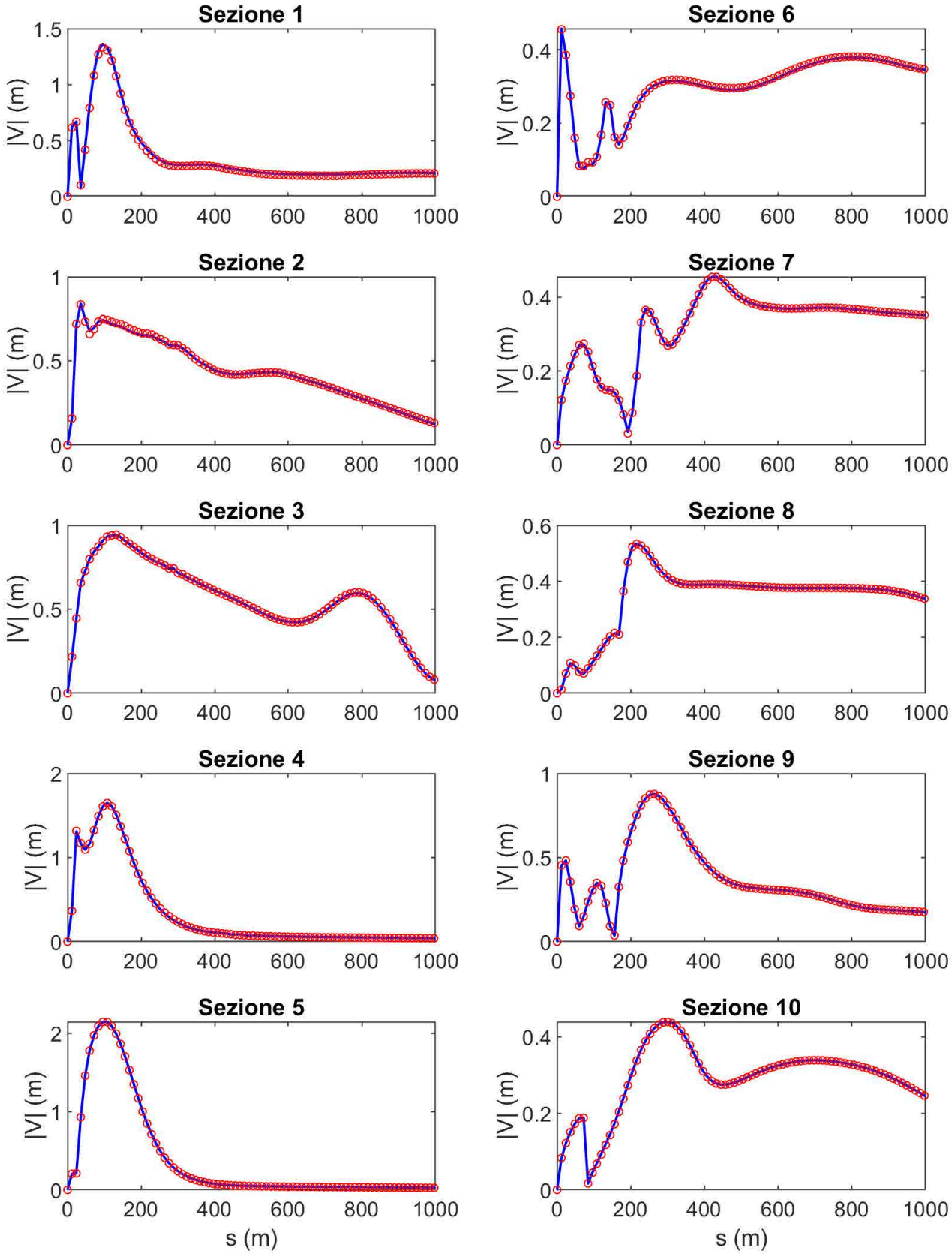

Figura 5.14 – Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=0°N $H_{s,0}$=4.675 m $T_{p,0}$=9.45 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

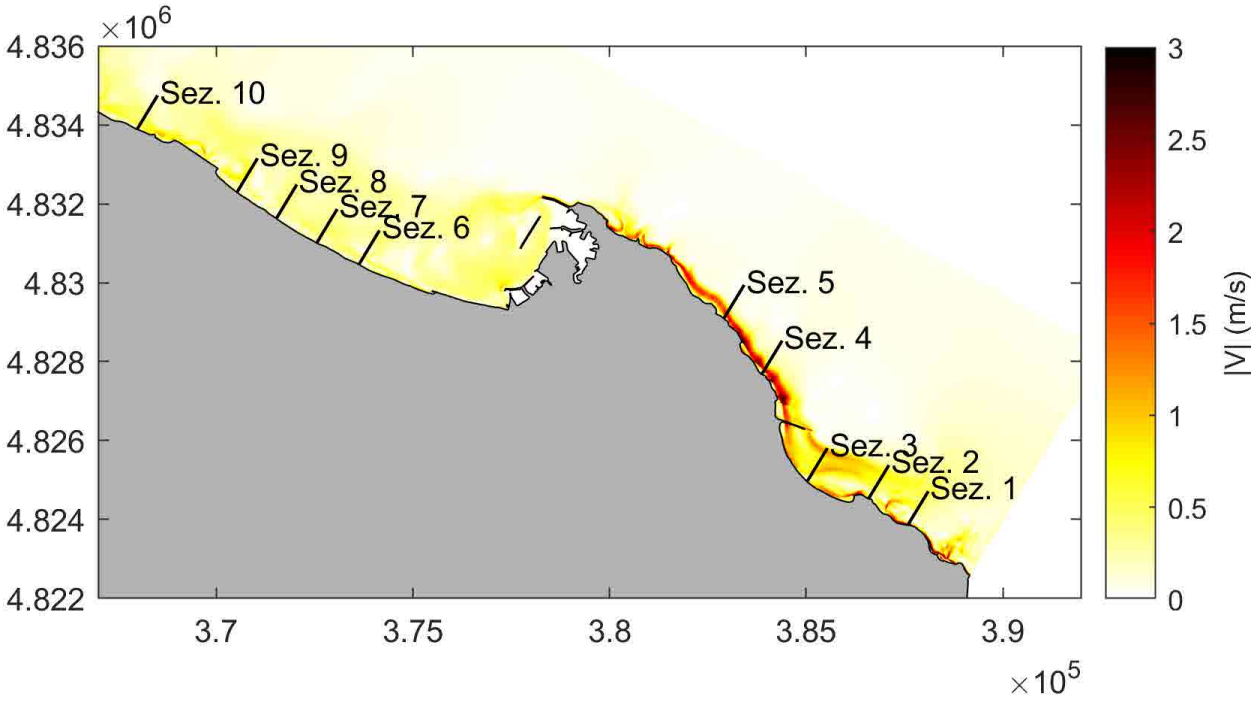

Figura 5.15 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Configurazione C0

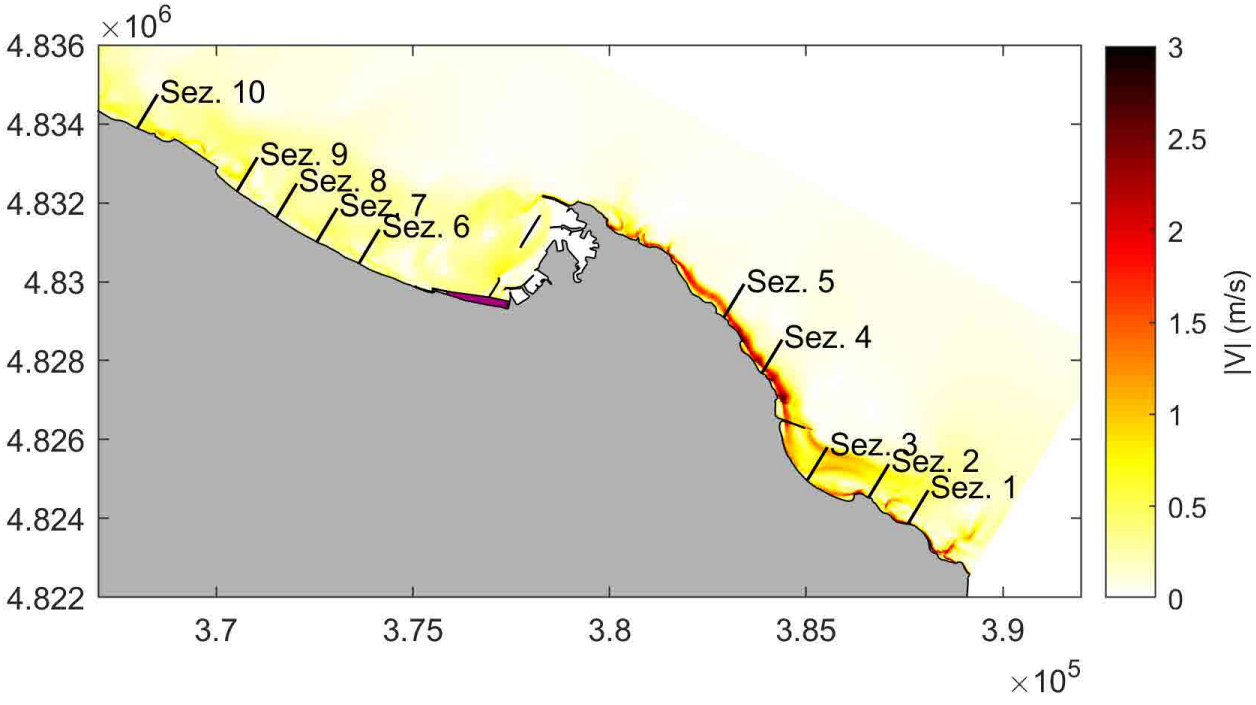

Figura 5.16 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Configurazione C1

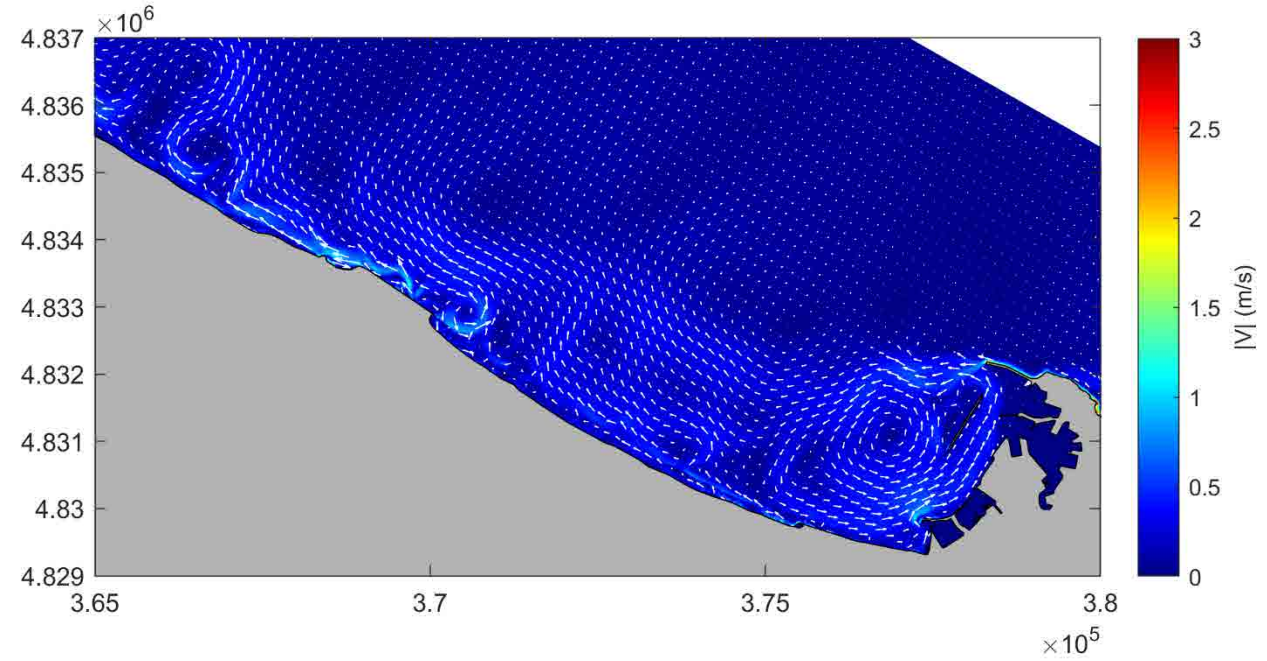

Figura 5.17 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Configurazione C0 – NORD

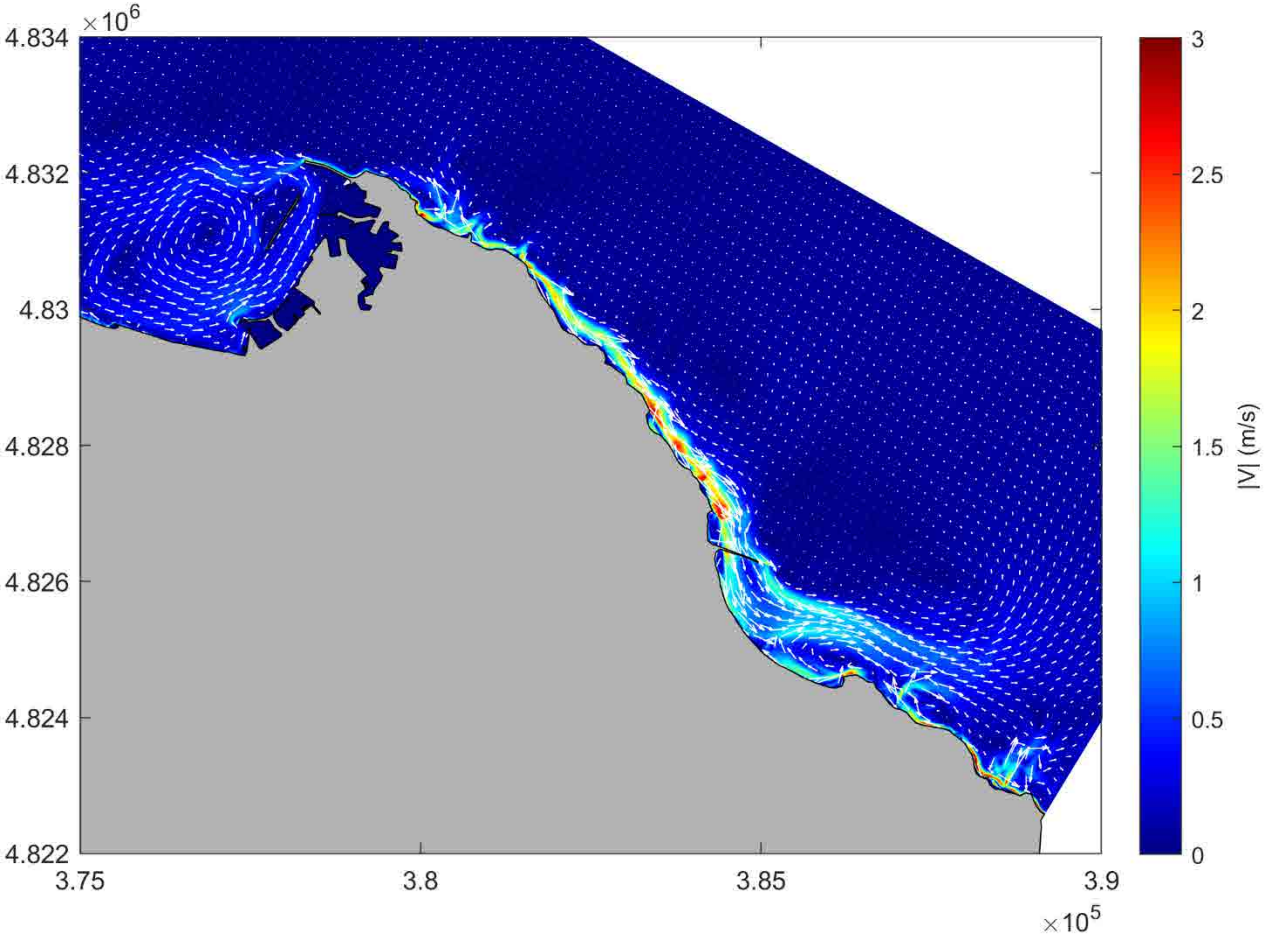

Figura 5.18 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Configurazione C0 – SUD

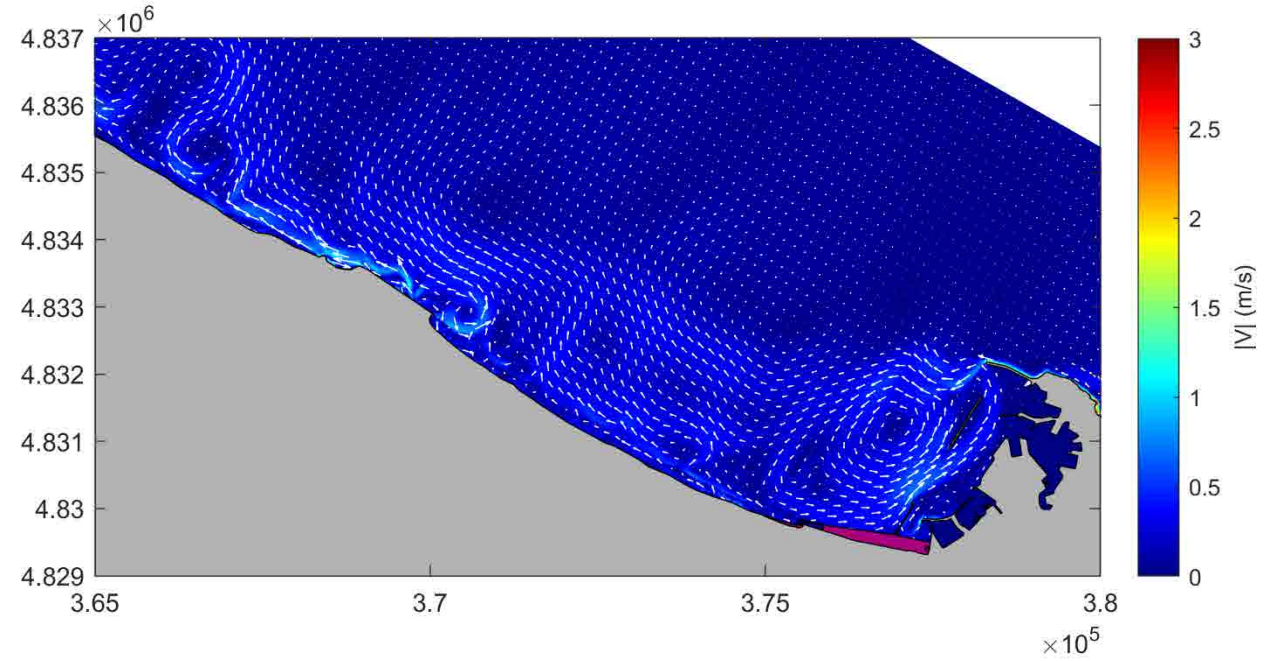

Figura 5.19 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Configurazione C1 – NORD

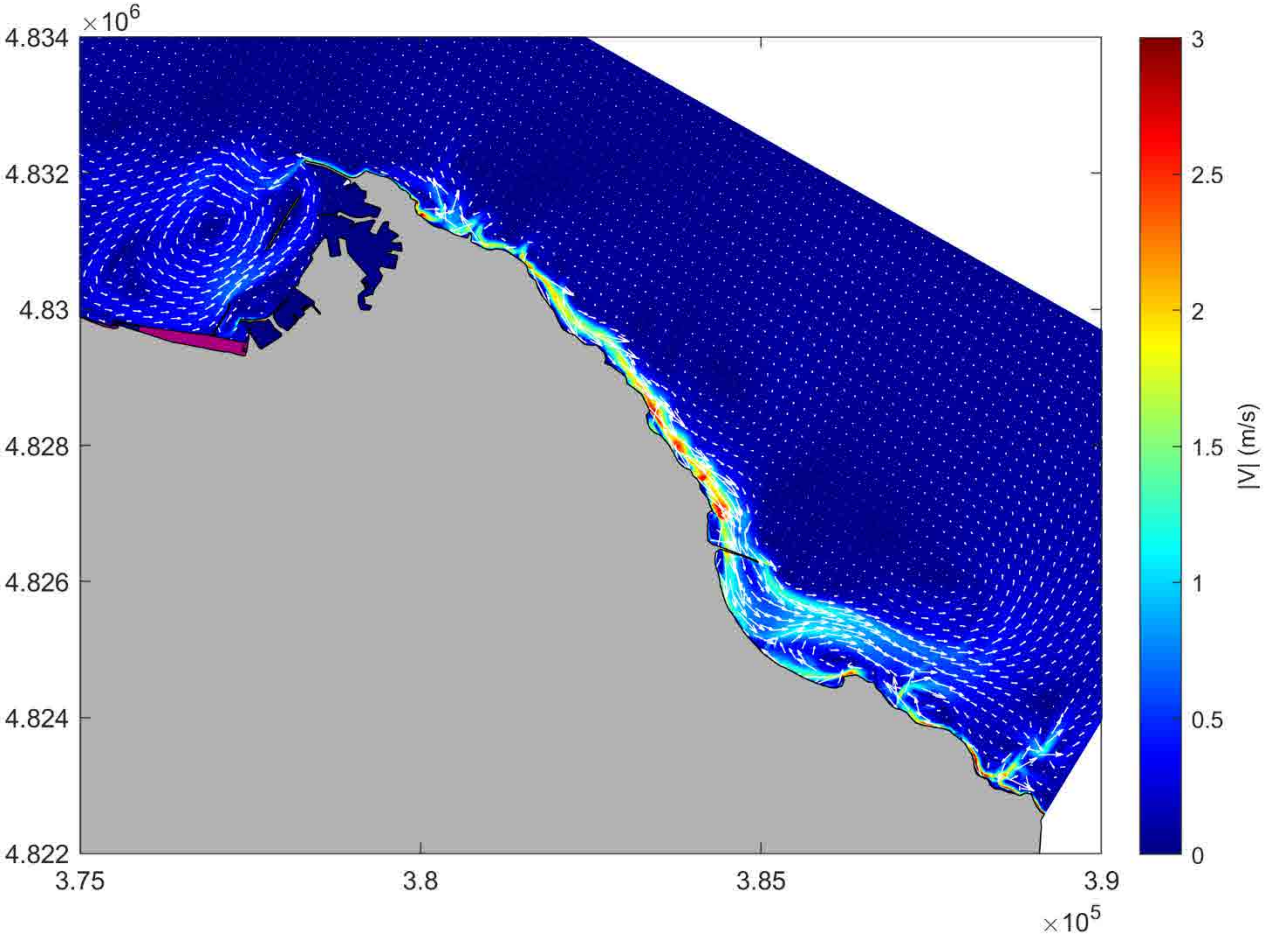

Figura 5.20 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Configurazione C1 – SUD

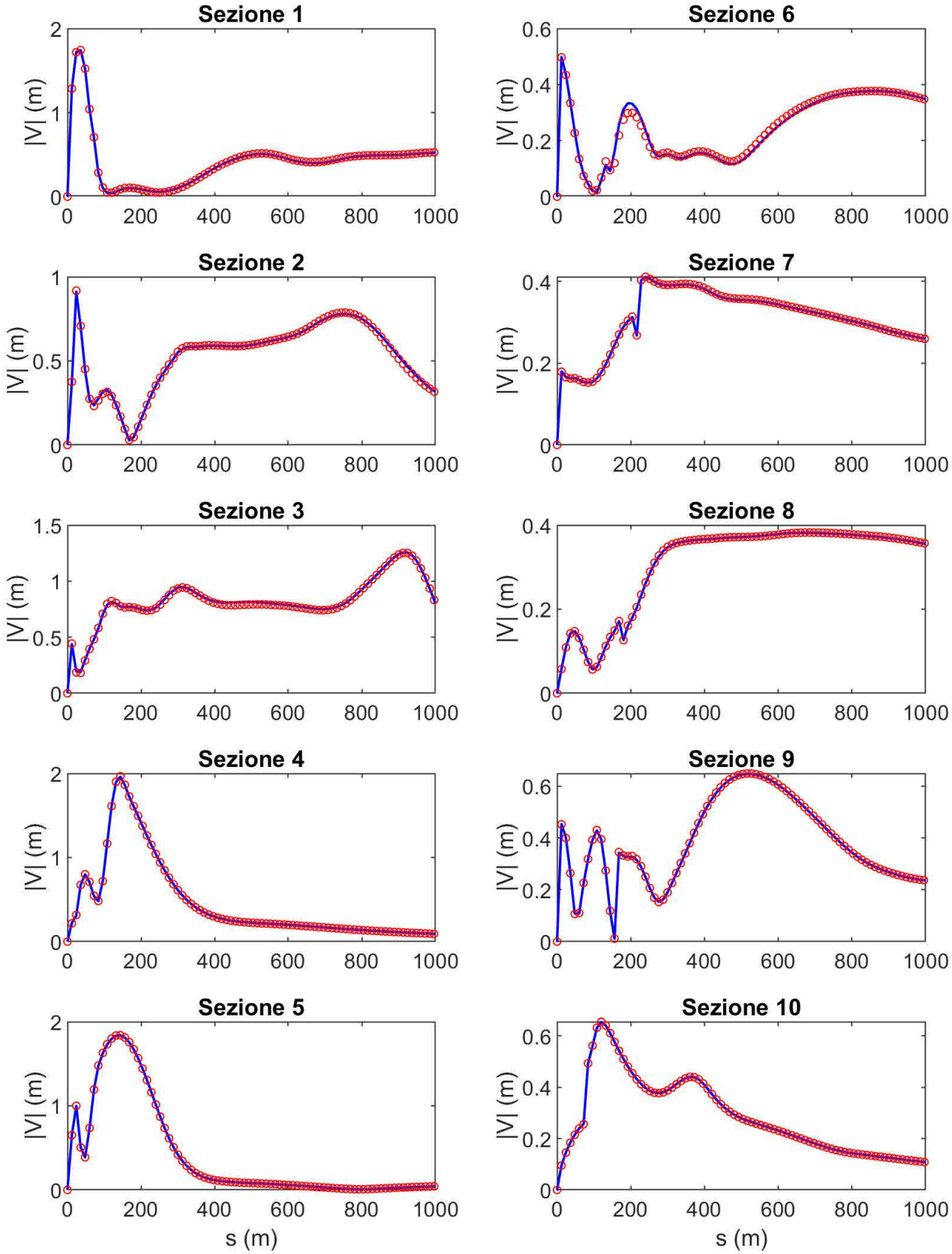

Figura 5.21 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=5.783 m $T_{p,0}$=10.41 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

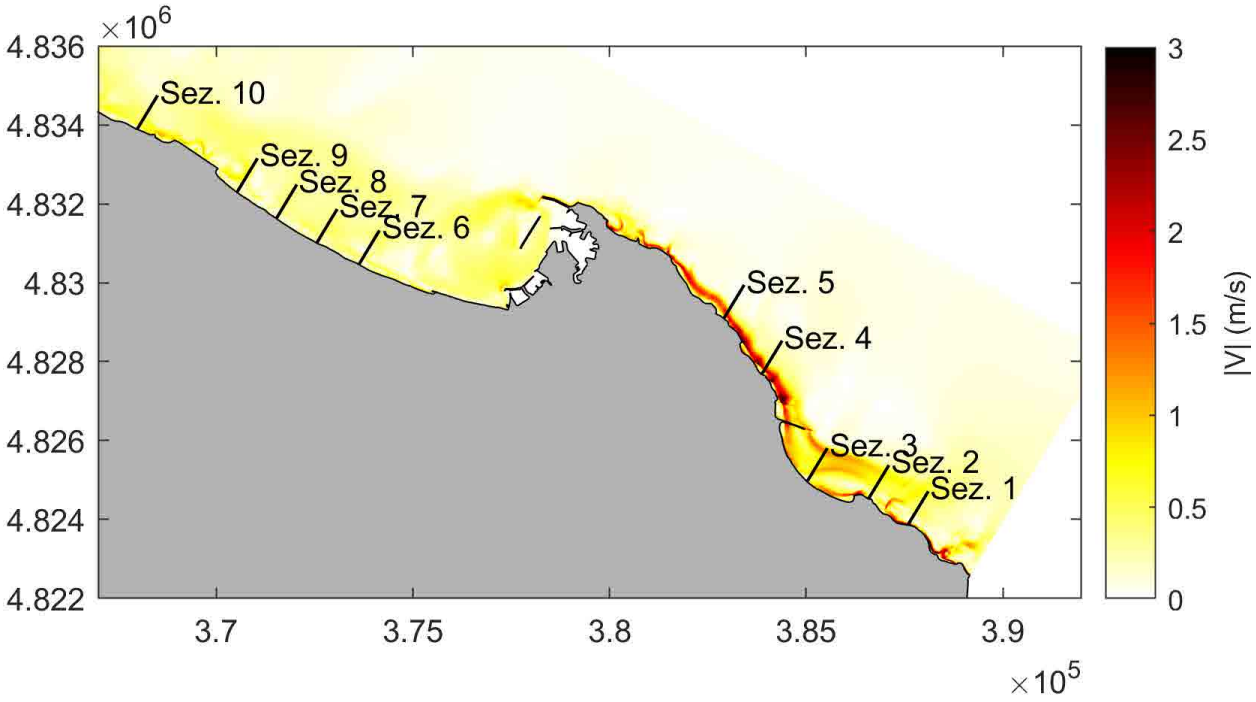

Figura 5.22 – Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Configurazione C0

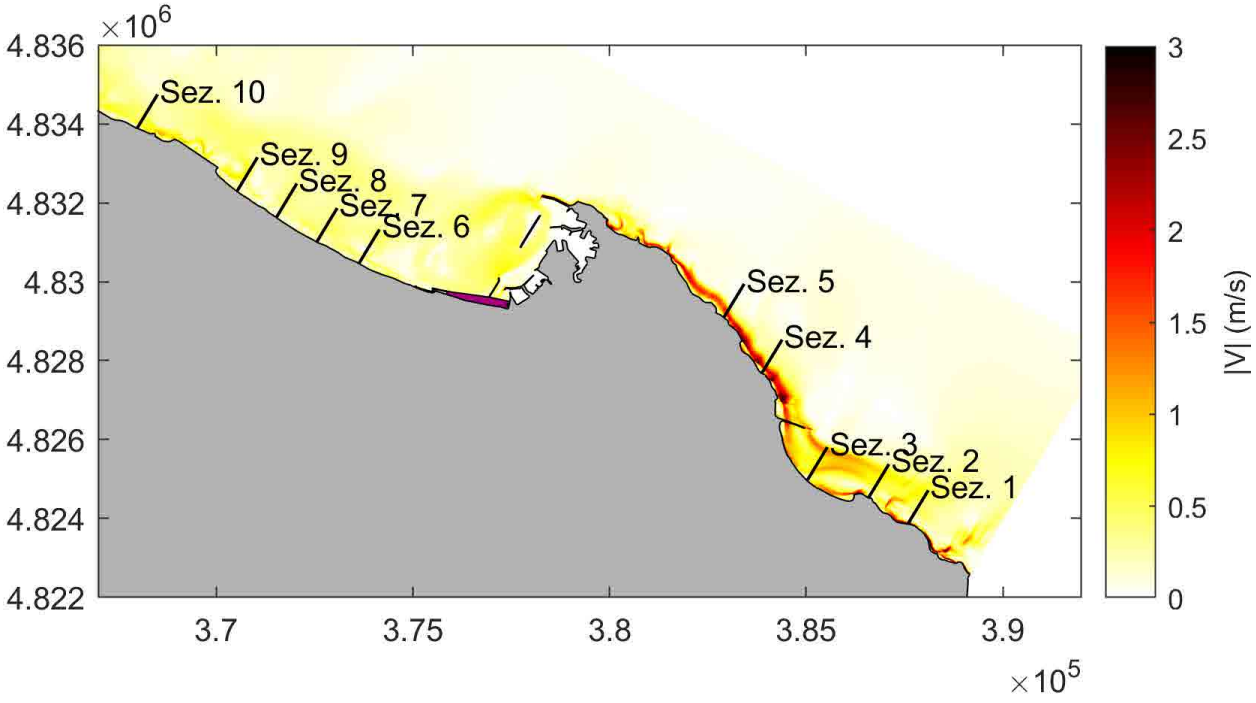

Figura 5.23 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Configurazione C1

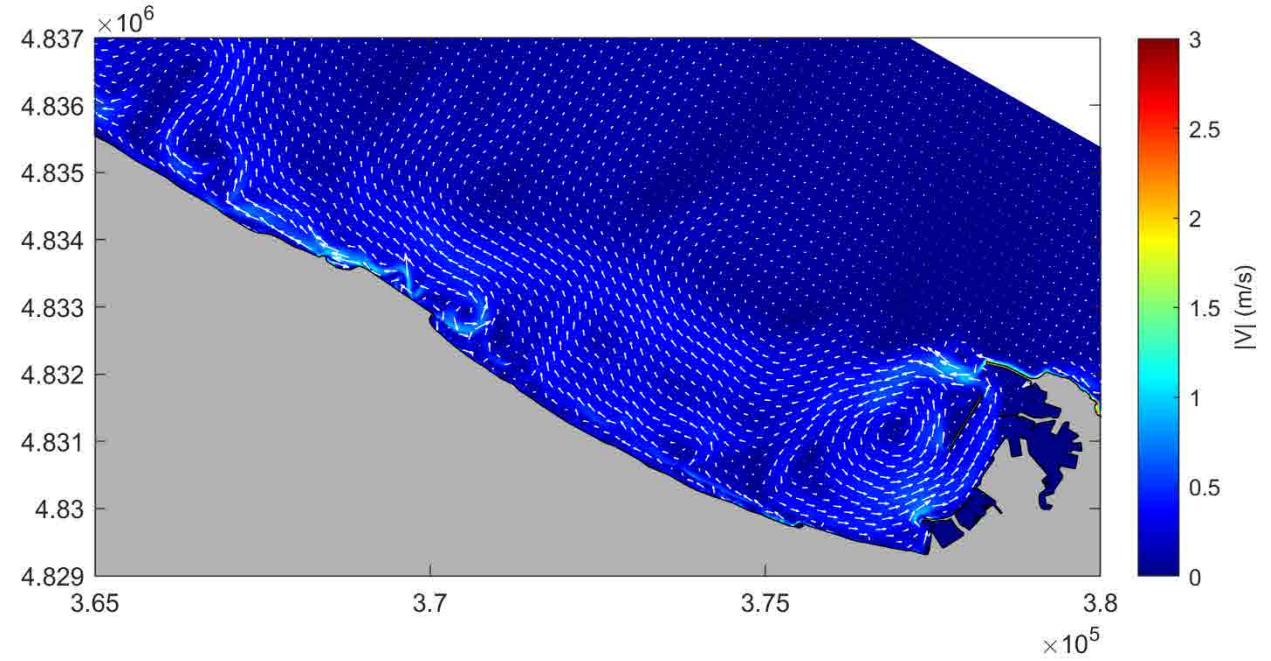

Figura 5.24 – Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Configurazione C0 – NORD

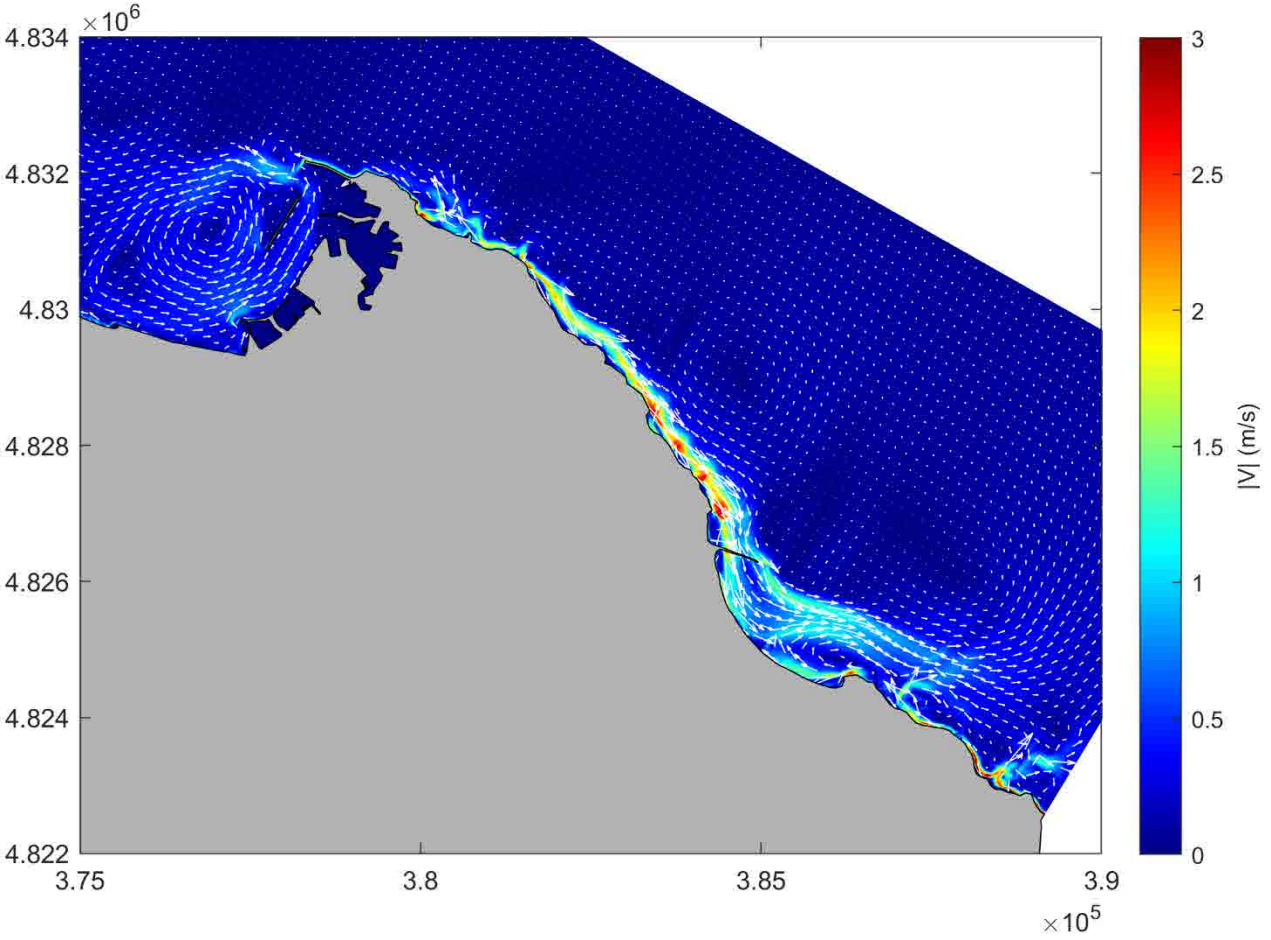

Figura 5.25 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Configurazione C0 – SUD

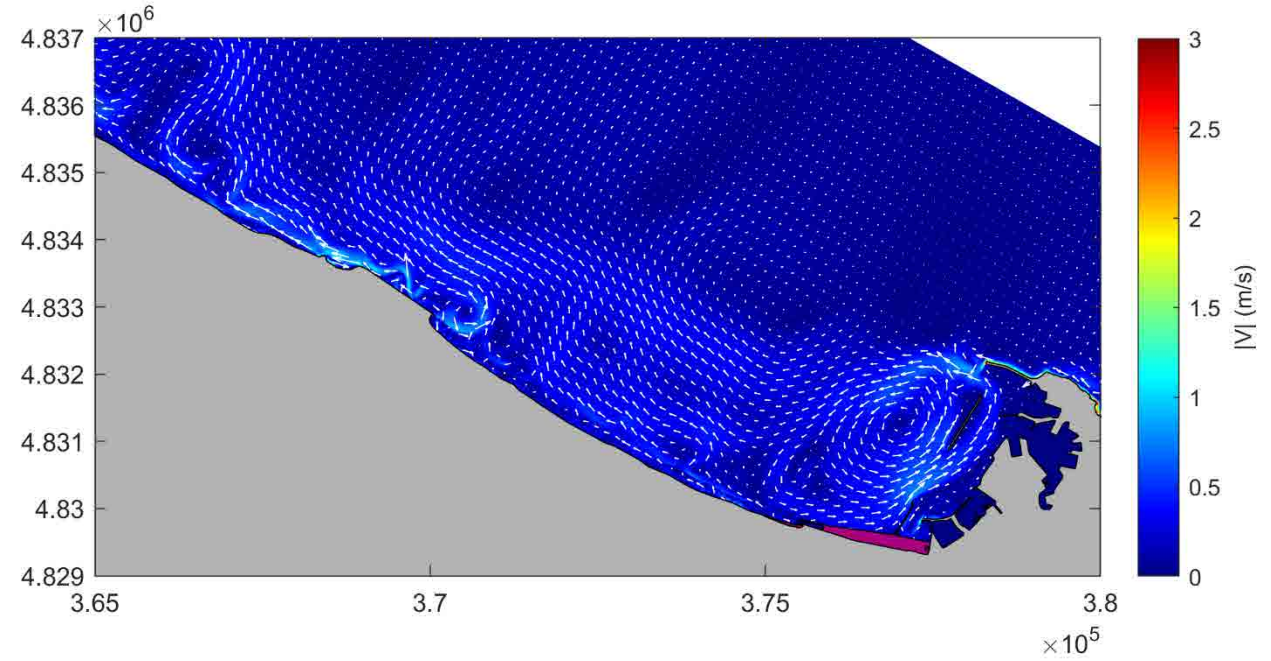

Figura 5.26 – Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Configurazione C1 – NORD

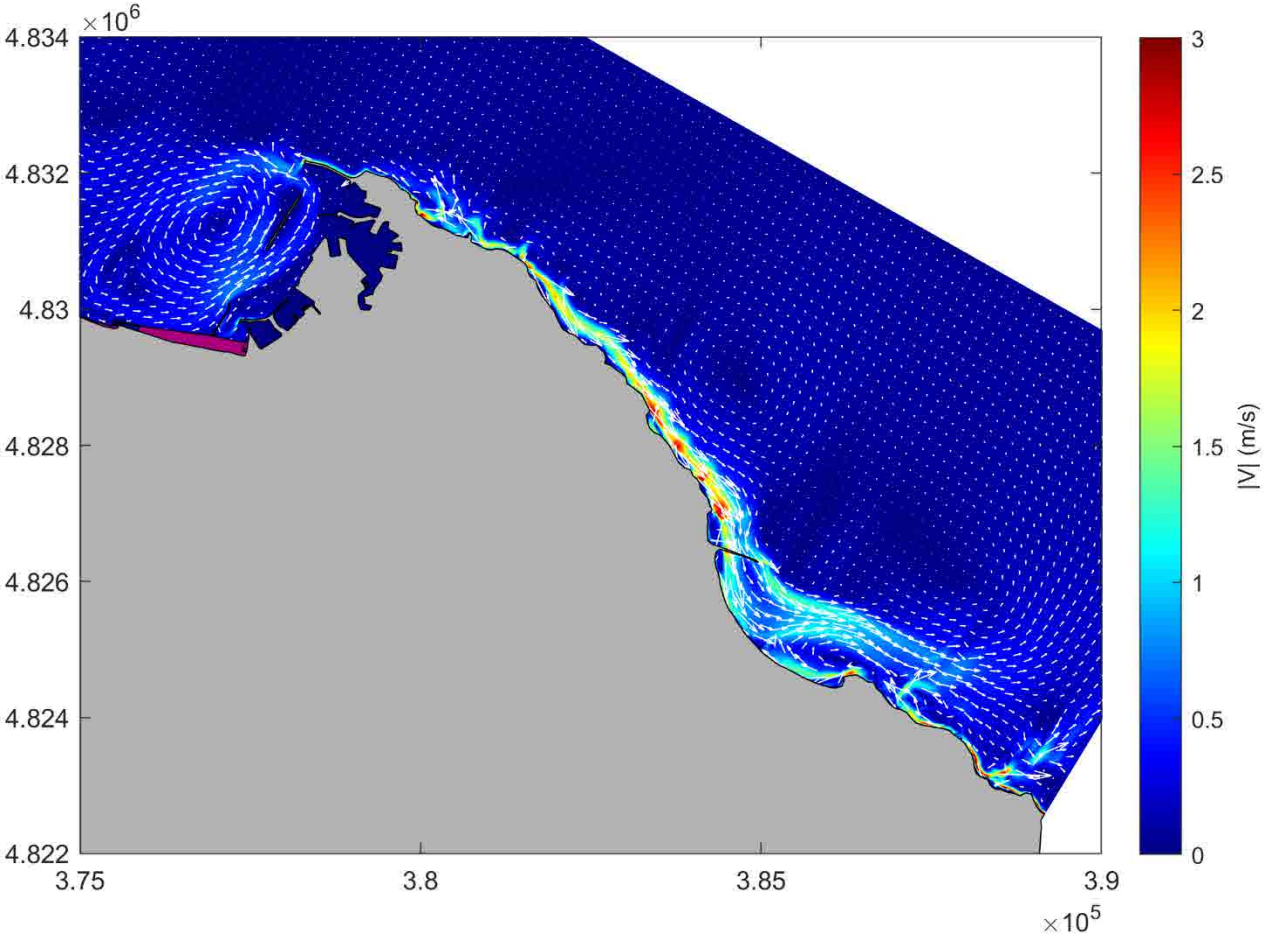

Figura 5.27 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Configurazione C1 – SUD

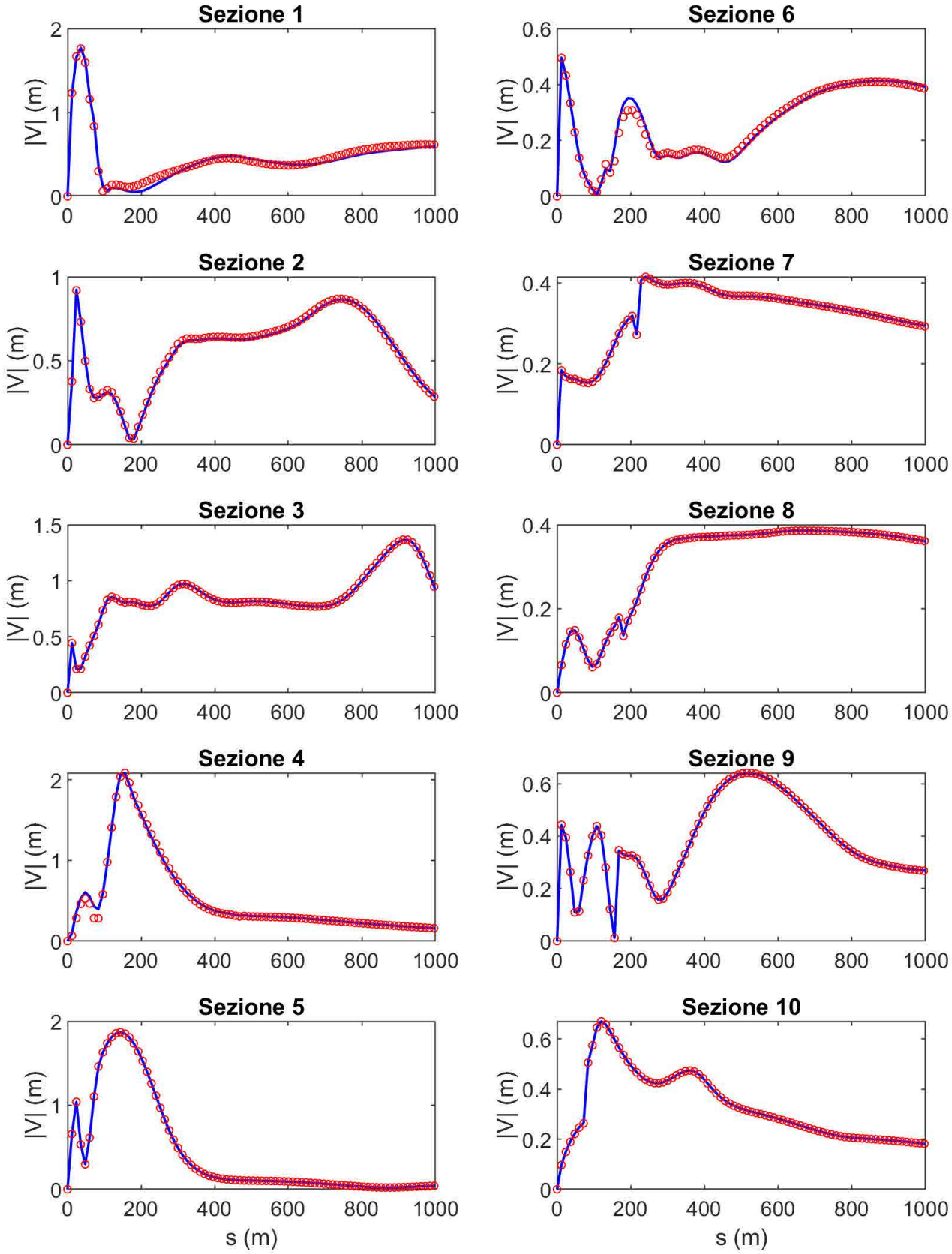

Figura 5.28 – Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=30°N $H_{s,0}$=6.180 m $T_{p,0}$=10.76 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

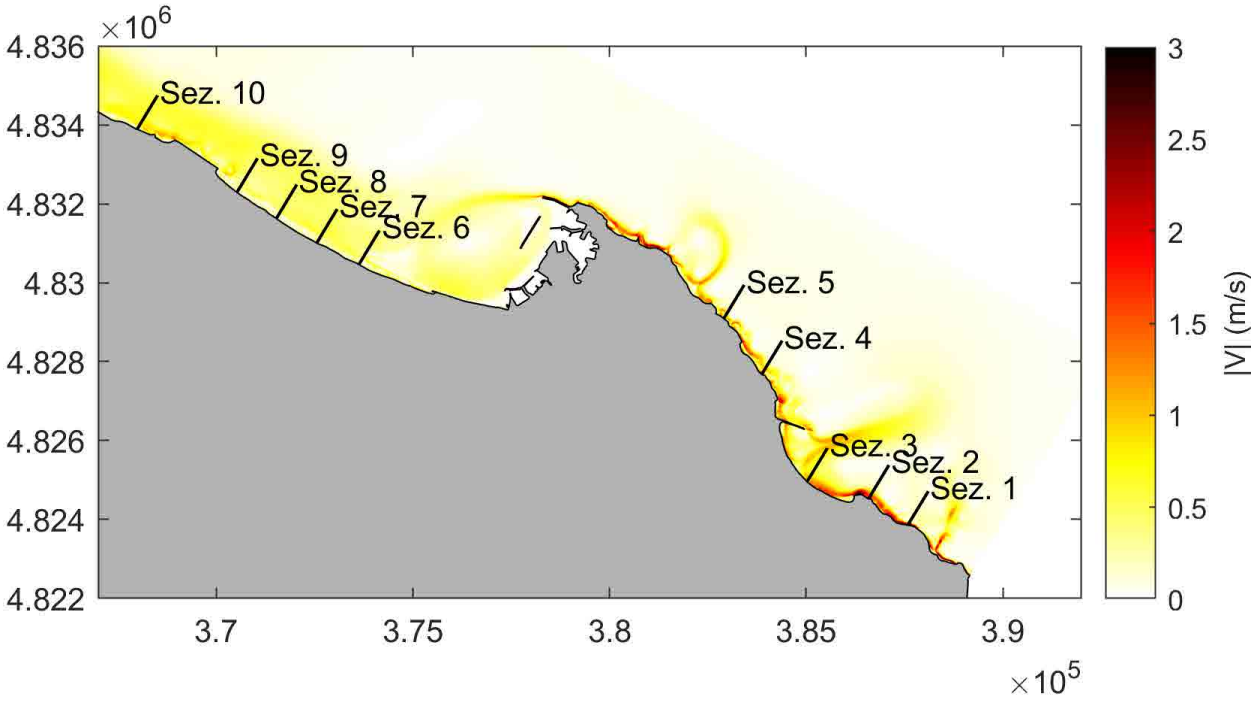

Figura 5.29 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Configurazione C0

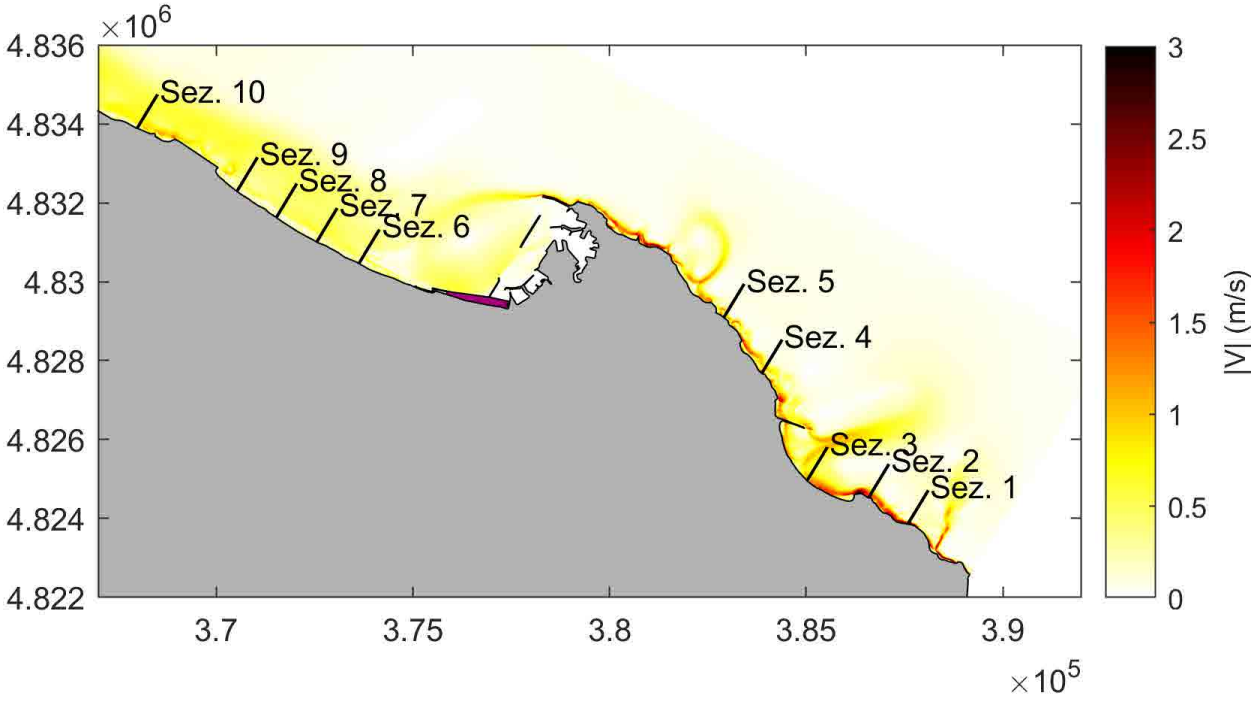

Figura 5.30 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Configurazione C1

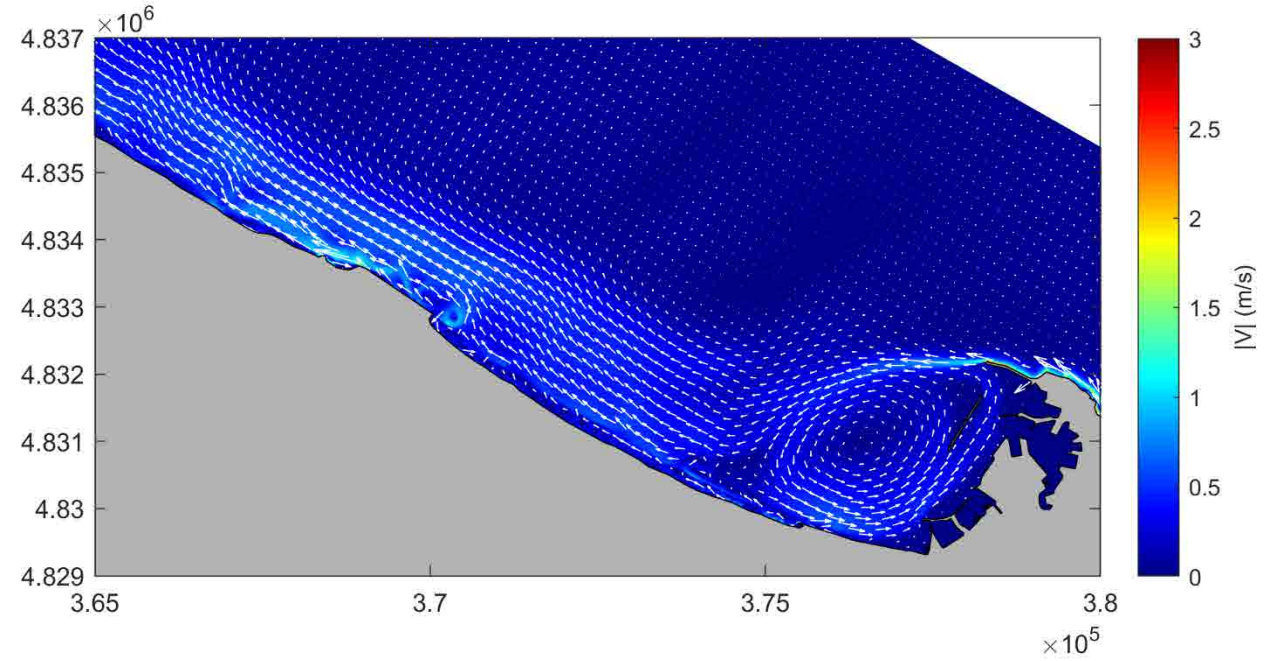

Figura 5.31 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Configurazione C0 – NORD

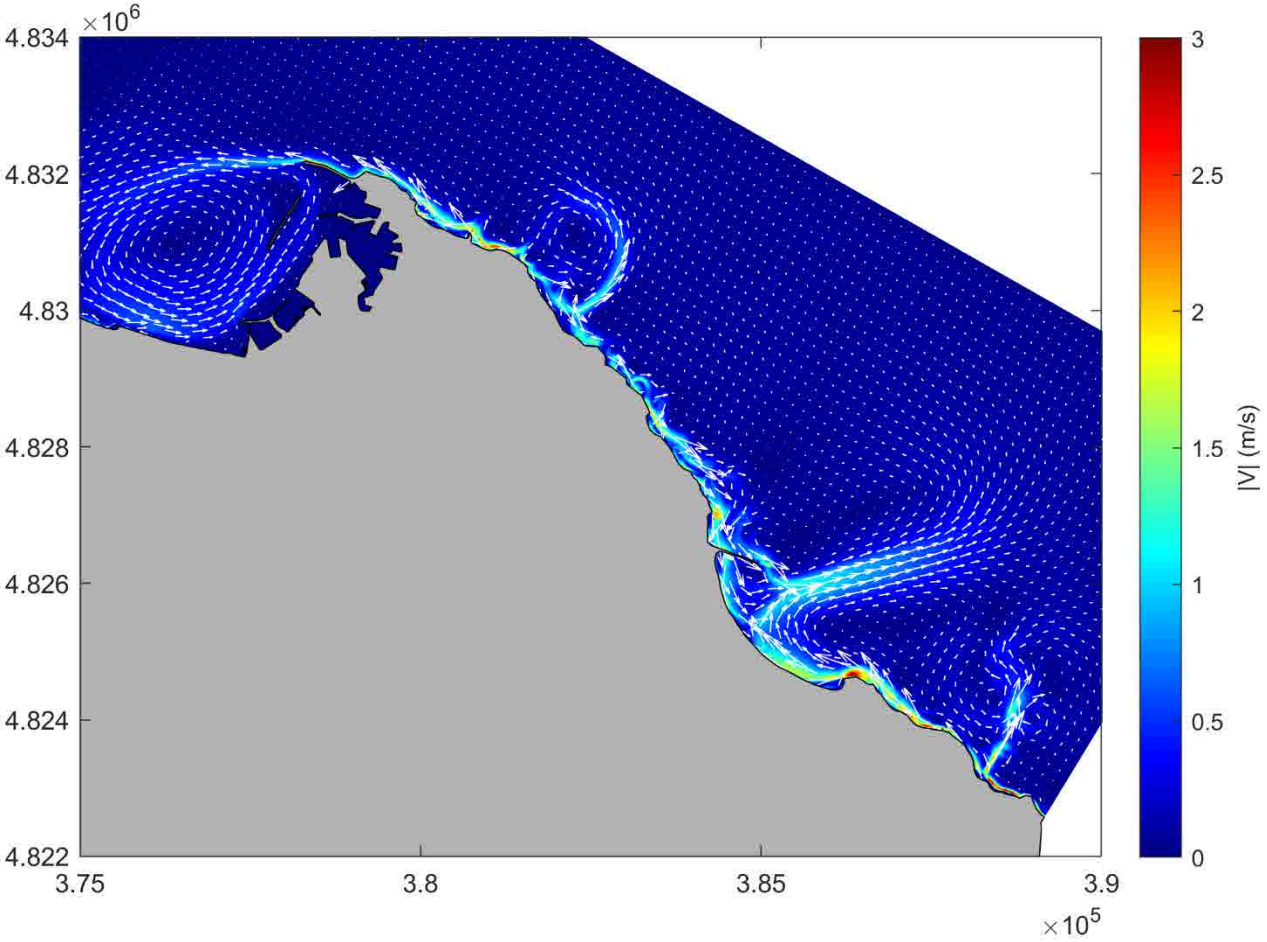

Figura 5.32 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Configurazione C0 – SUD

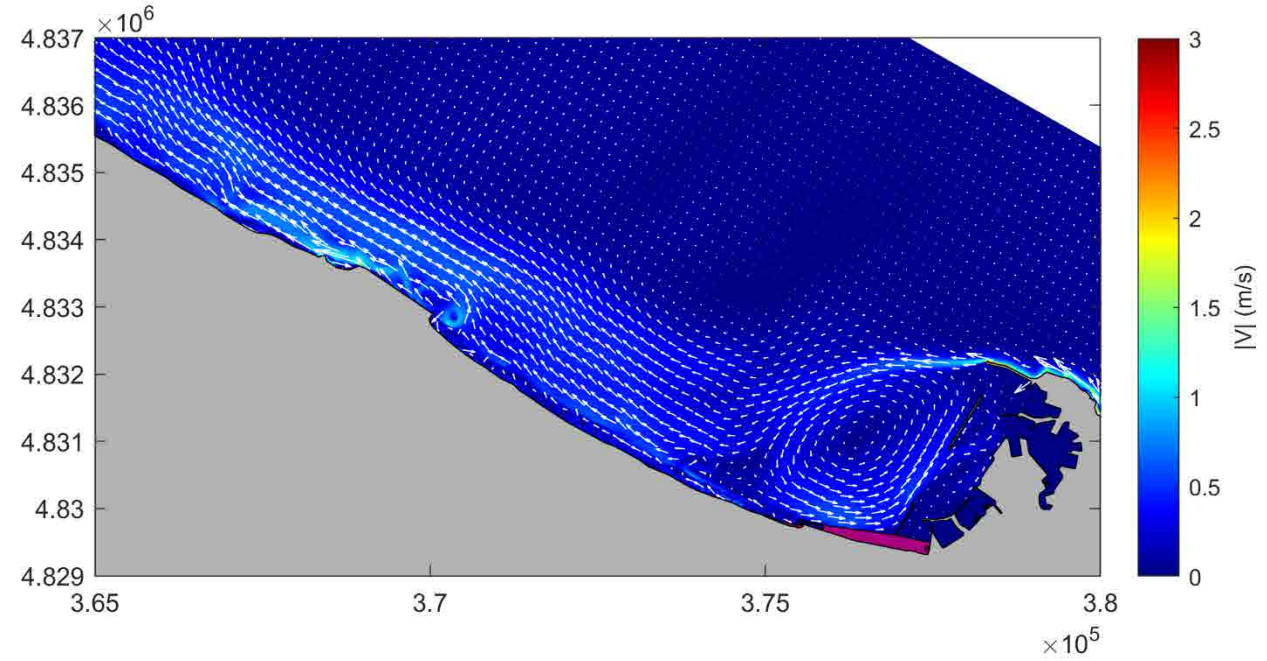

Figura 5.33 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Configurazione C1 – NORD

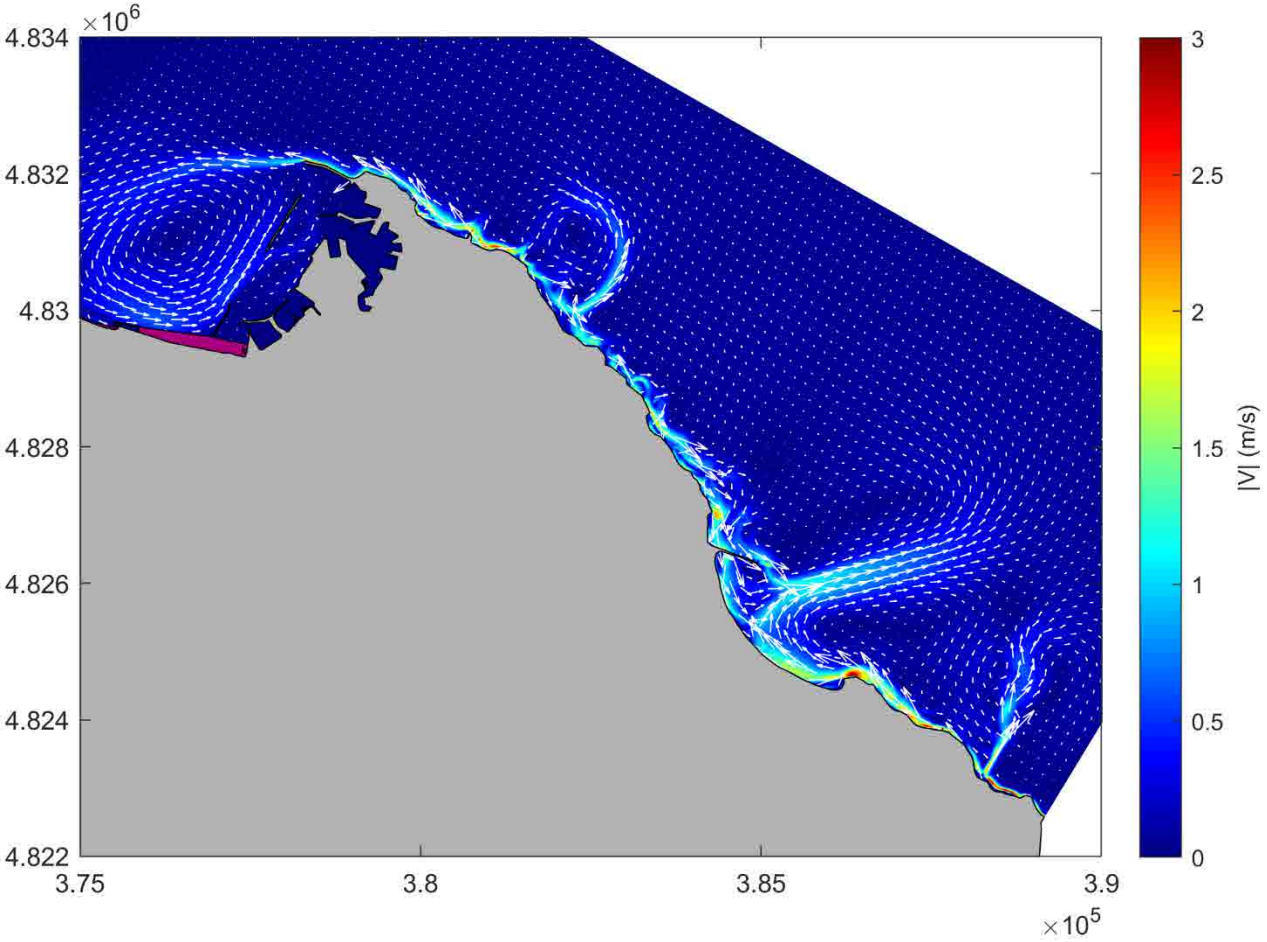

Figura 5.34 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Configurazione C1 – SUD

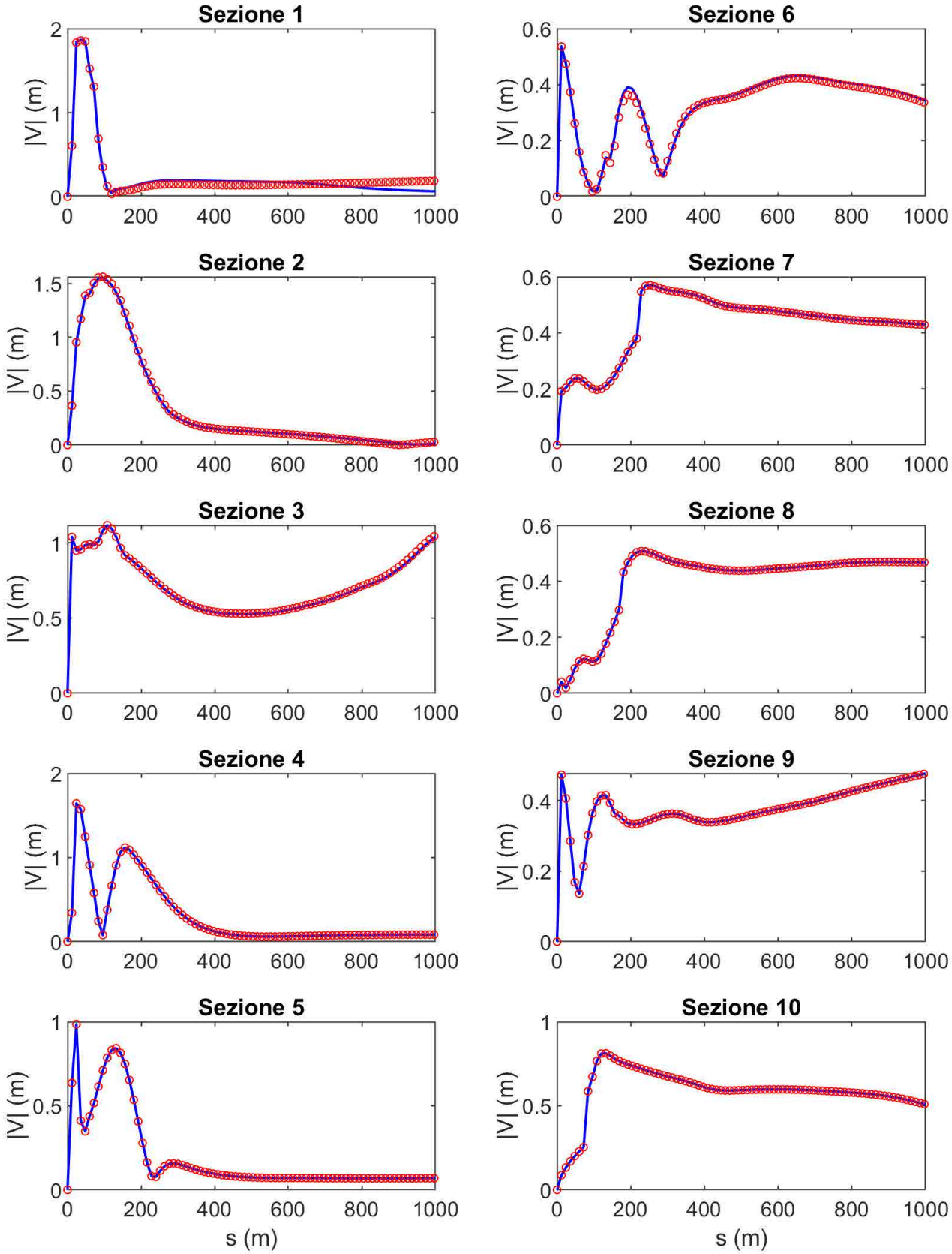

Figura 5.35 – Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.358 m $T_{p,0}$=9.91 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

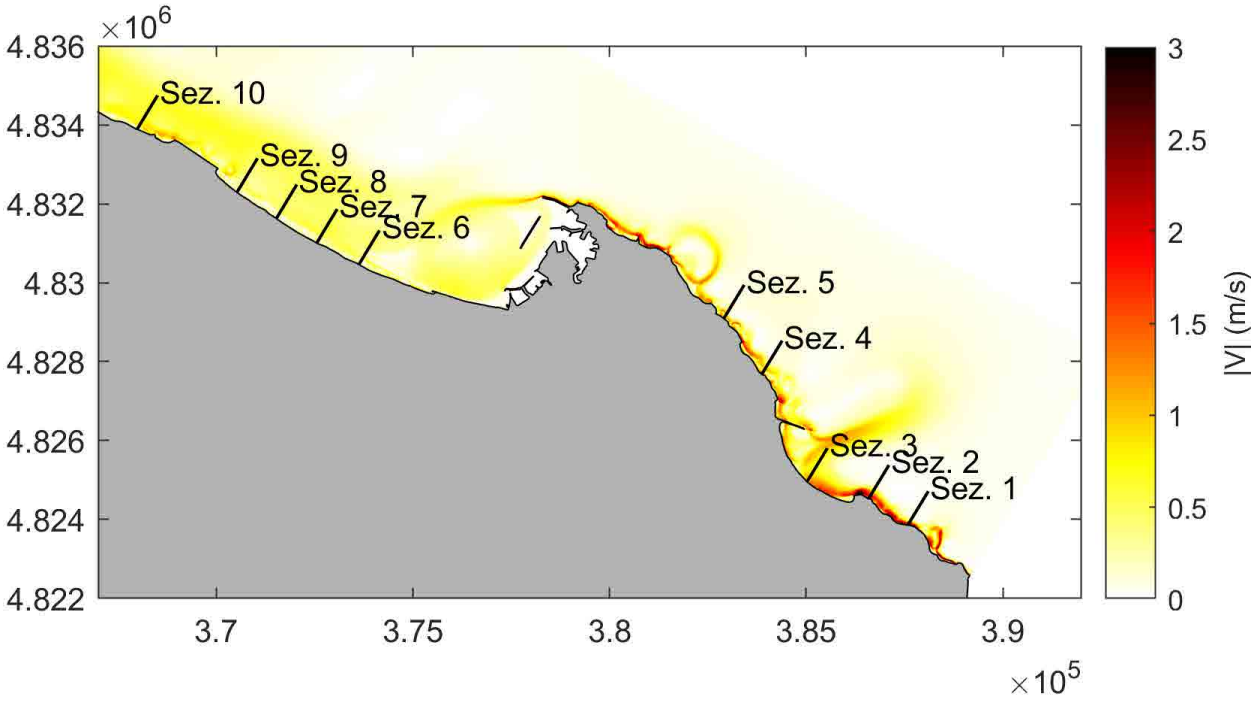

Figura 5.36 - Correnti indotte dall'onda (TR=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Configurazione C0

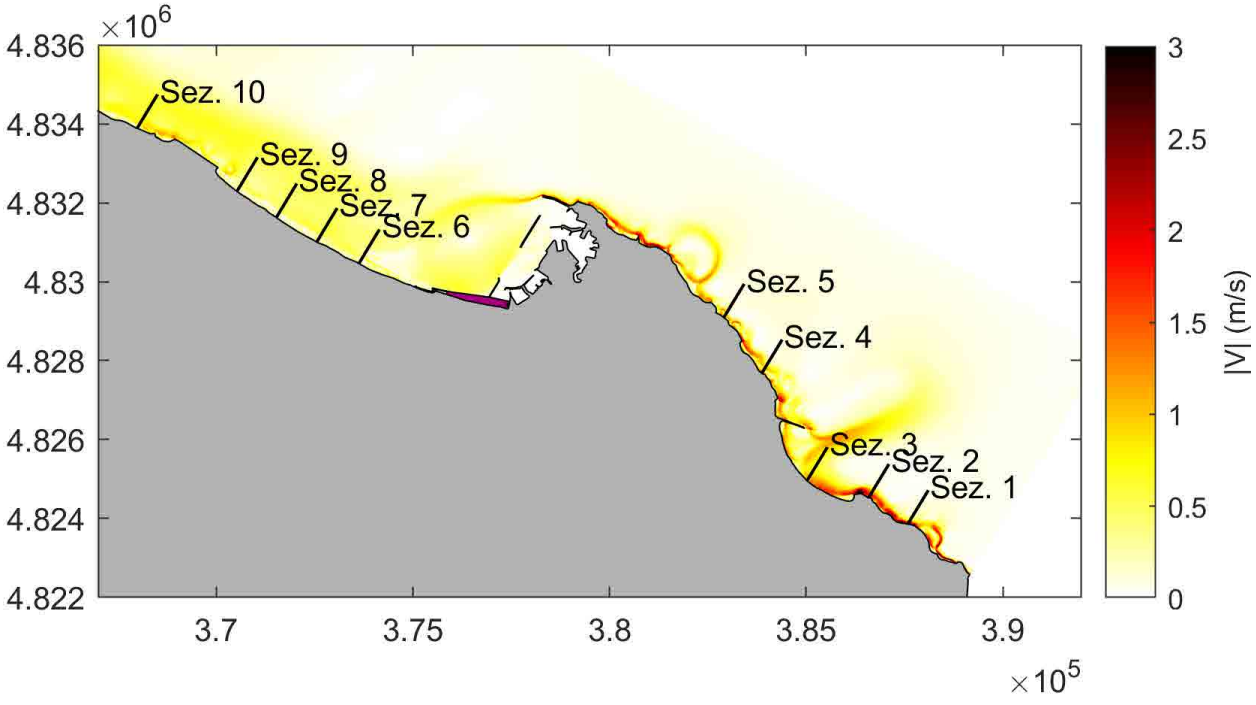

Figura 5.37 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Configurazione C1

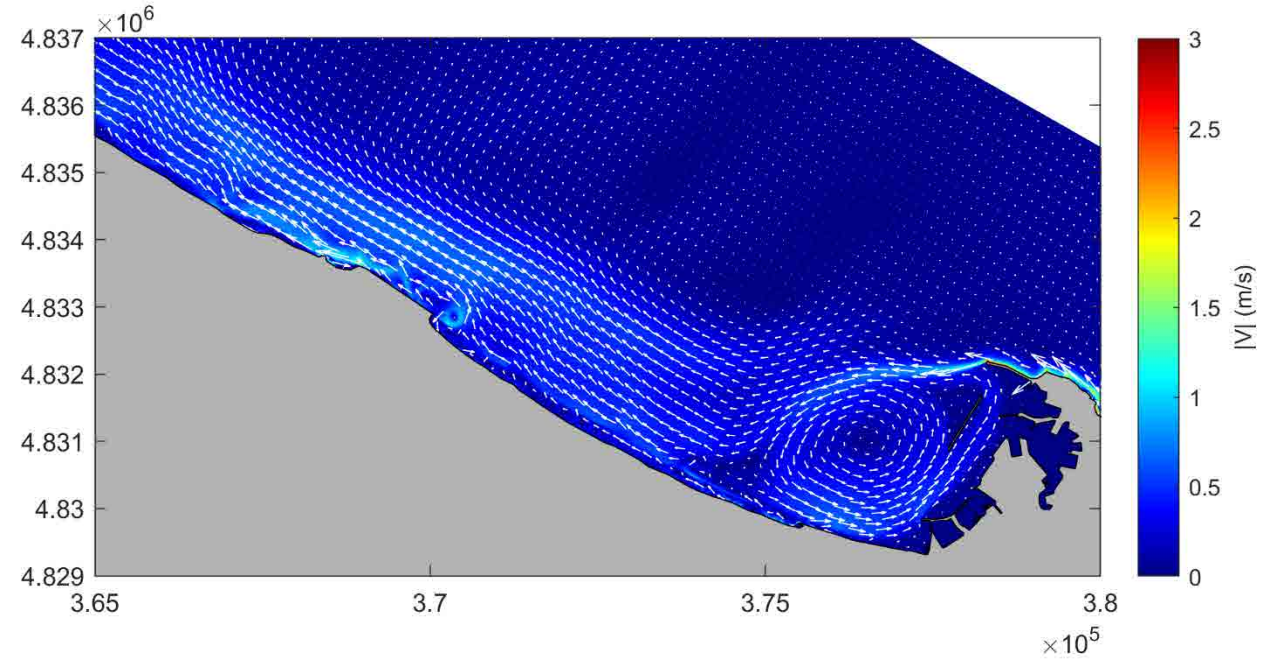

Figura 5.38 - Correnti indotte dall'onda (TR=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Configurazione C0 – NORD

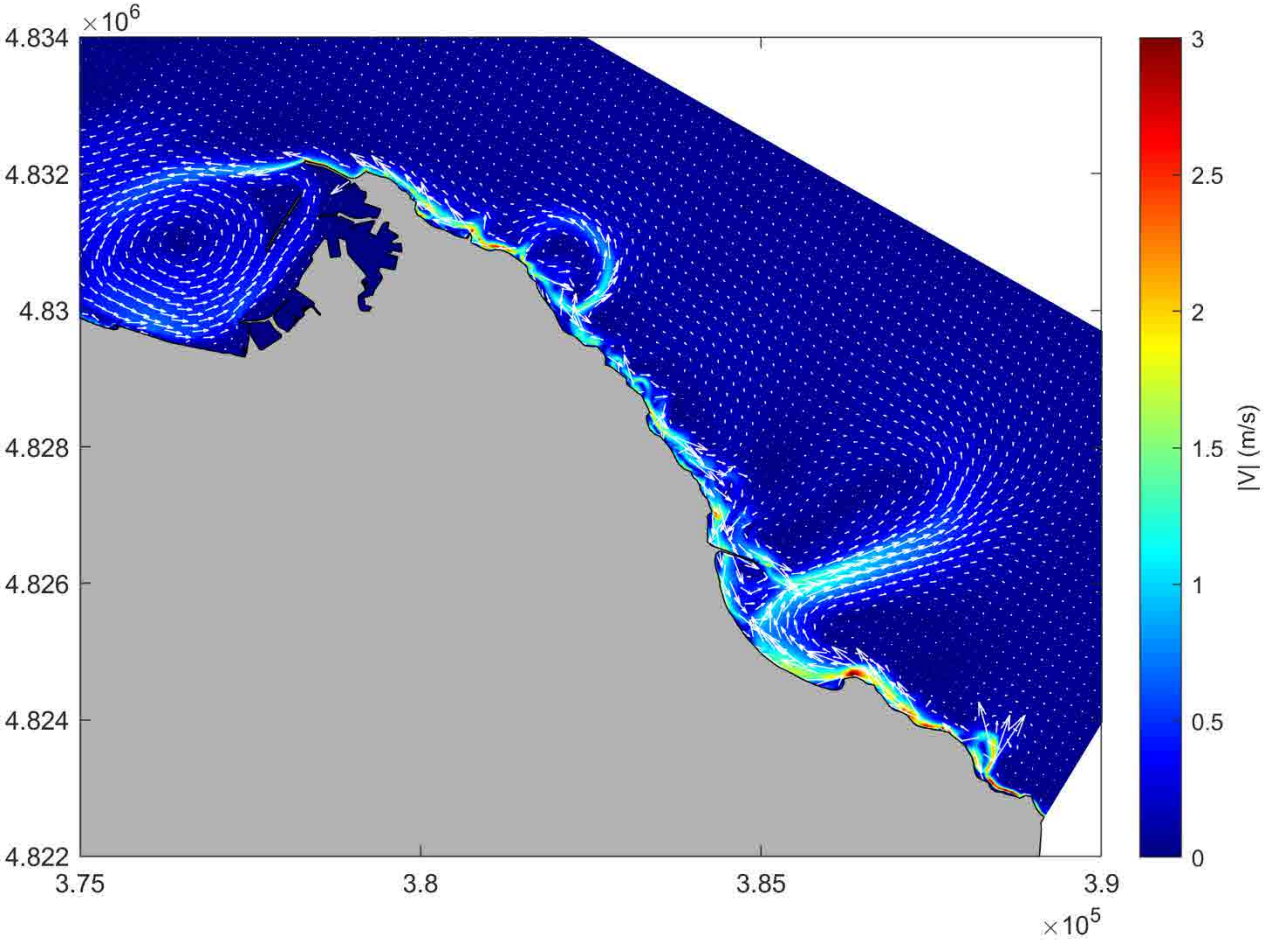

Figura 5.39 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Configurazione C0 – SUD

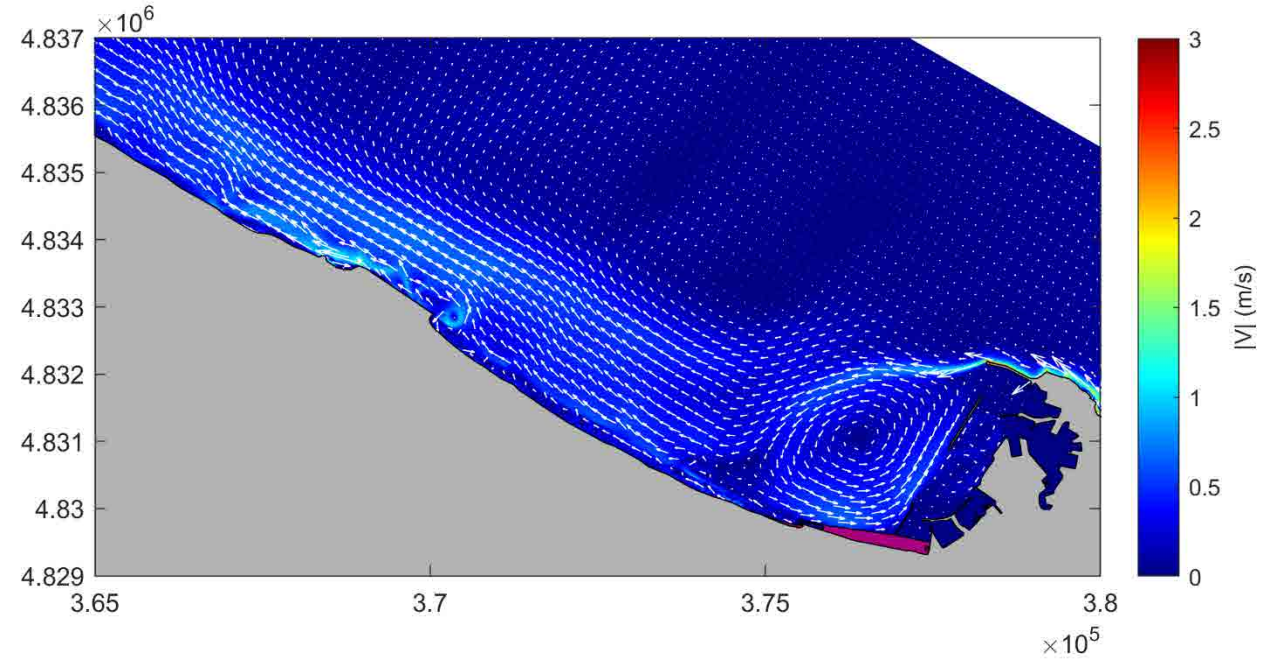

Figura 5.40 - Correnti indotte dall'onda (TR=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Configurazione C1 – NORD

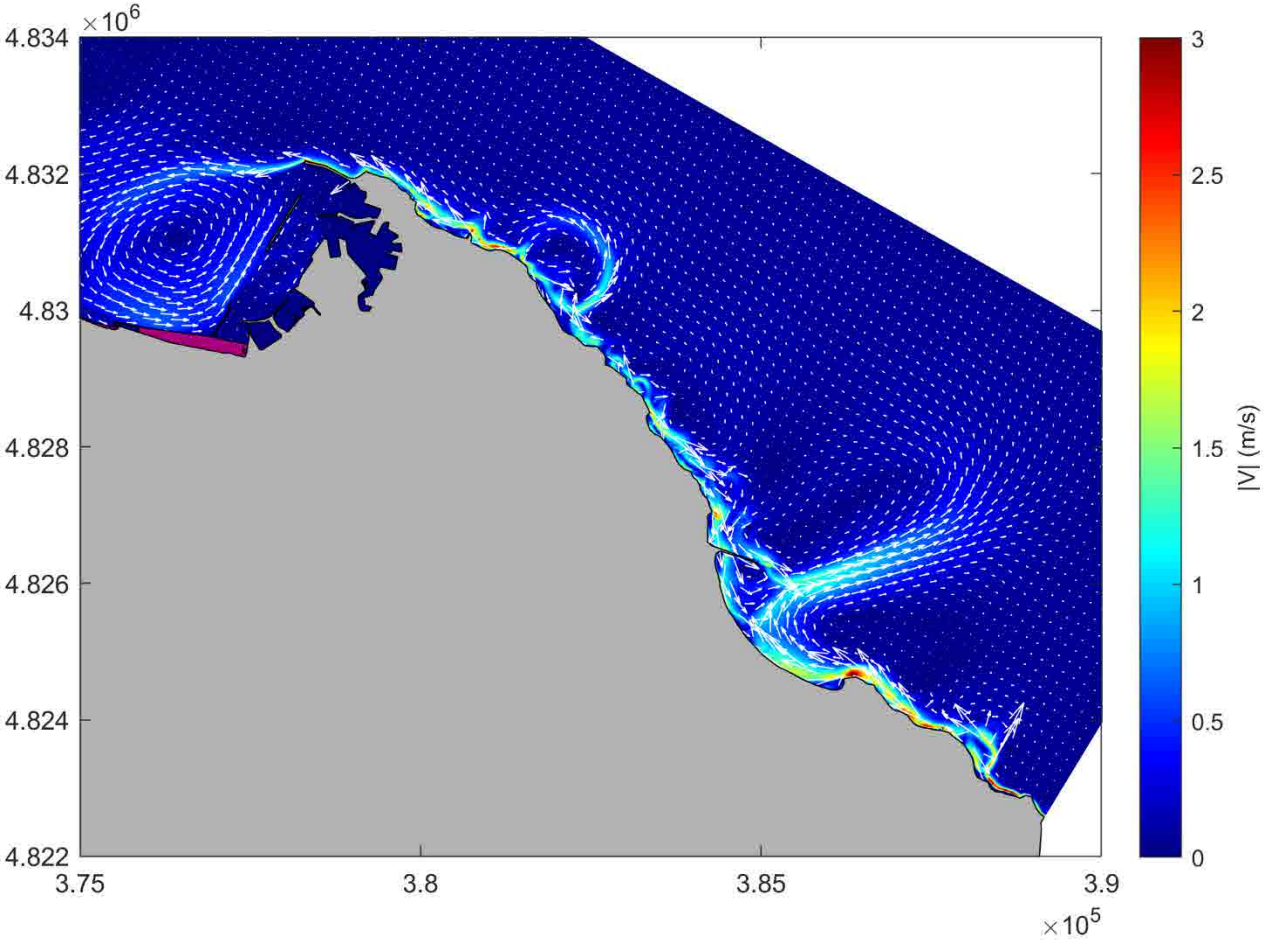

Figura 5.41 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Configurazione C1 – SUD

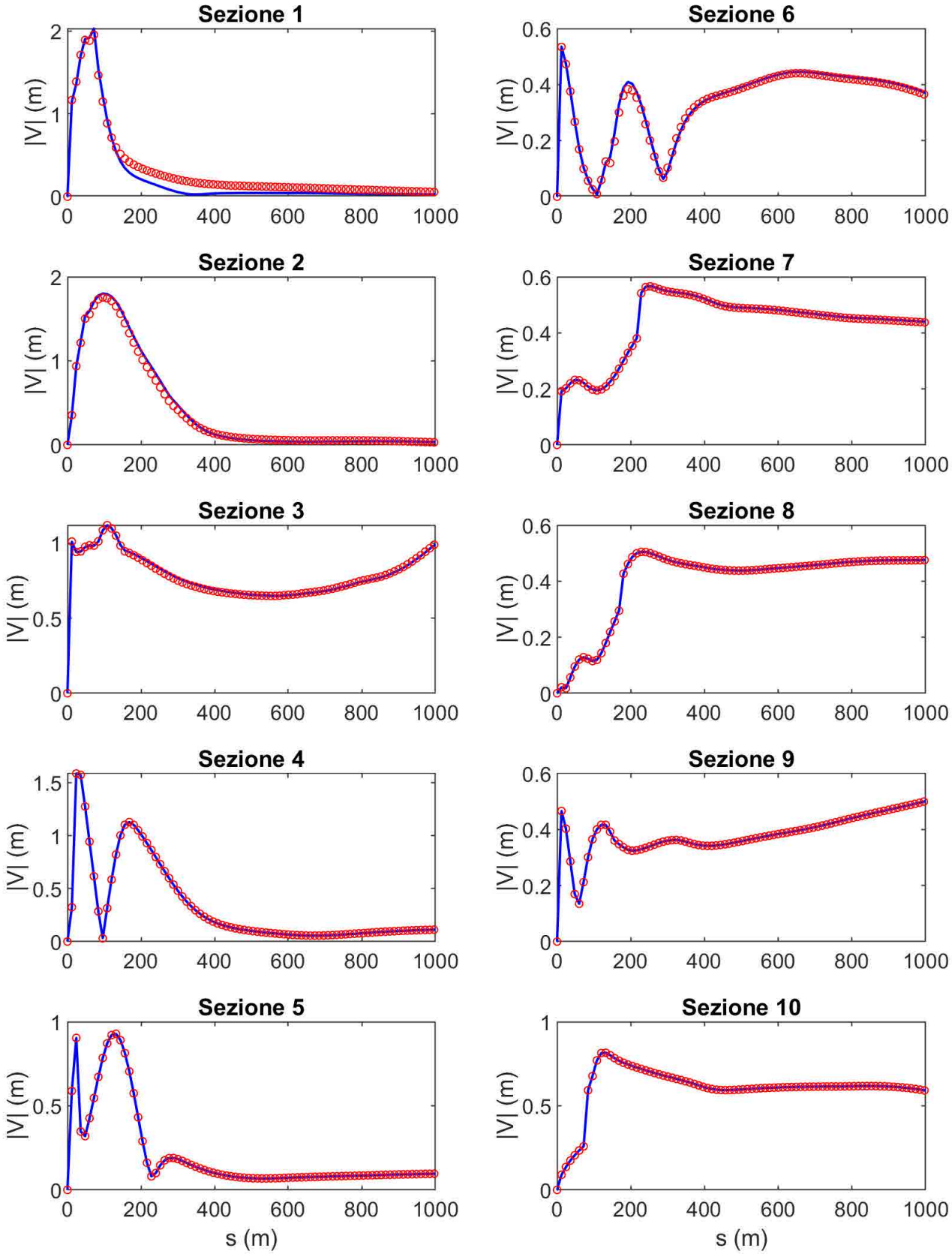

Figura 5.42 - Correnti indotte dall'onda (TR=70 anni: θ_0=60°N $H_{s,0}$=5.809 m $T_{p,0}$=10.32 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

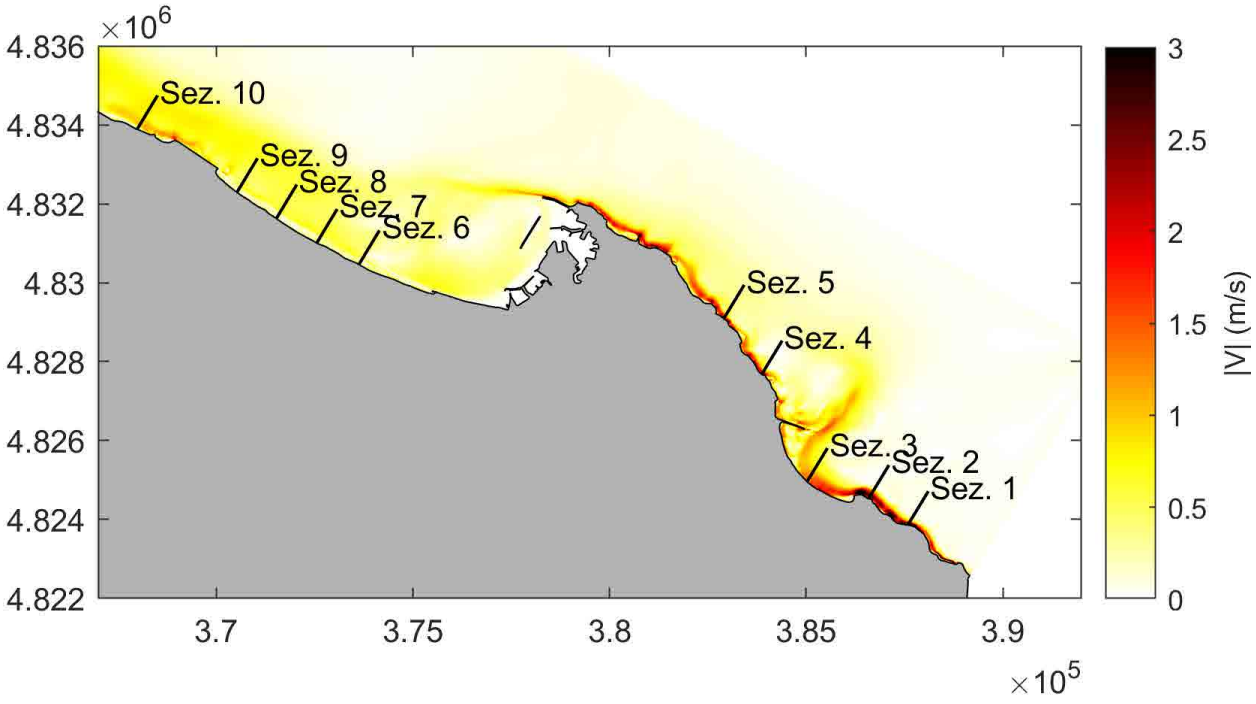

Figura 5.43 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Configurazione C0

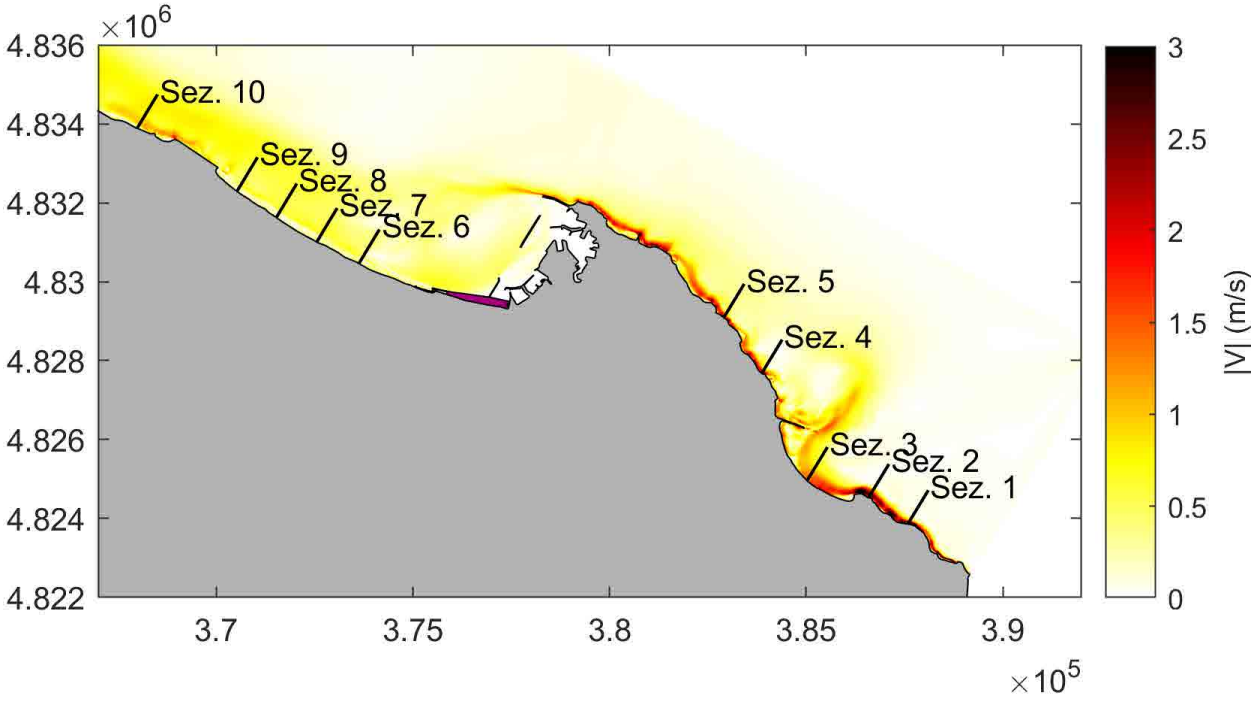

Figura 5.44 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Configurazione C1

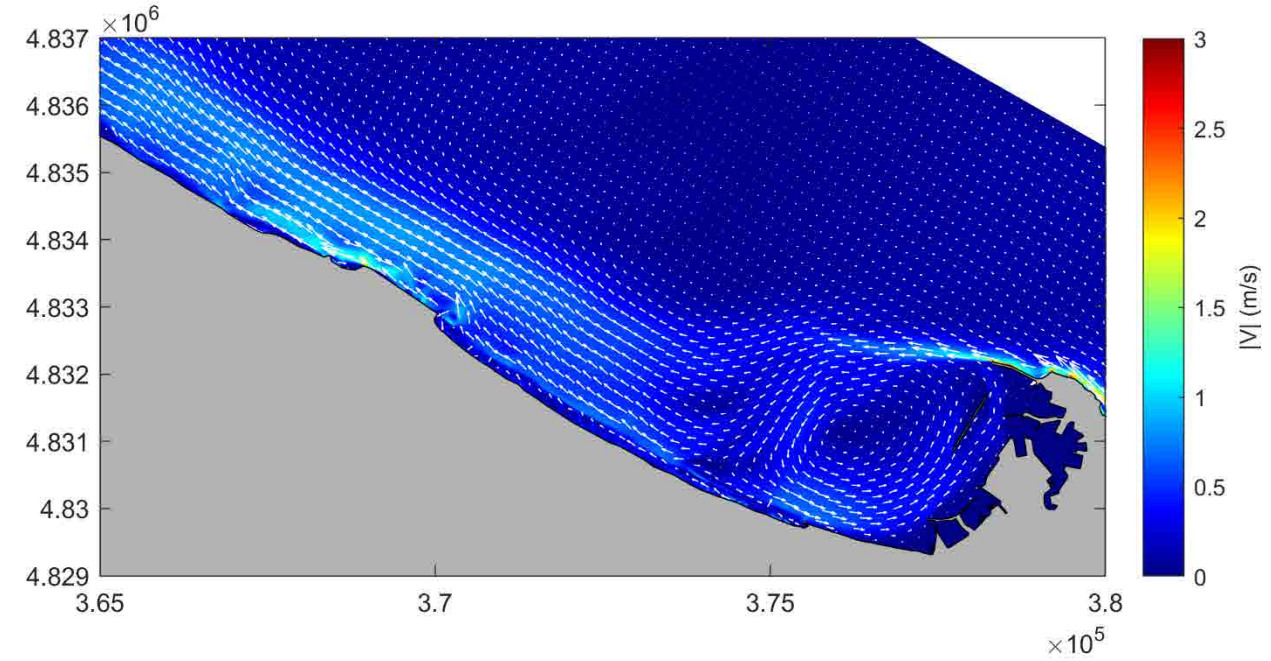

Figura 5.45 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Configurazione C0 – NORD

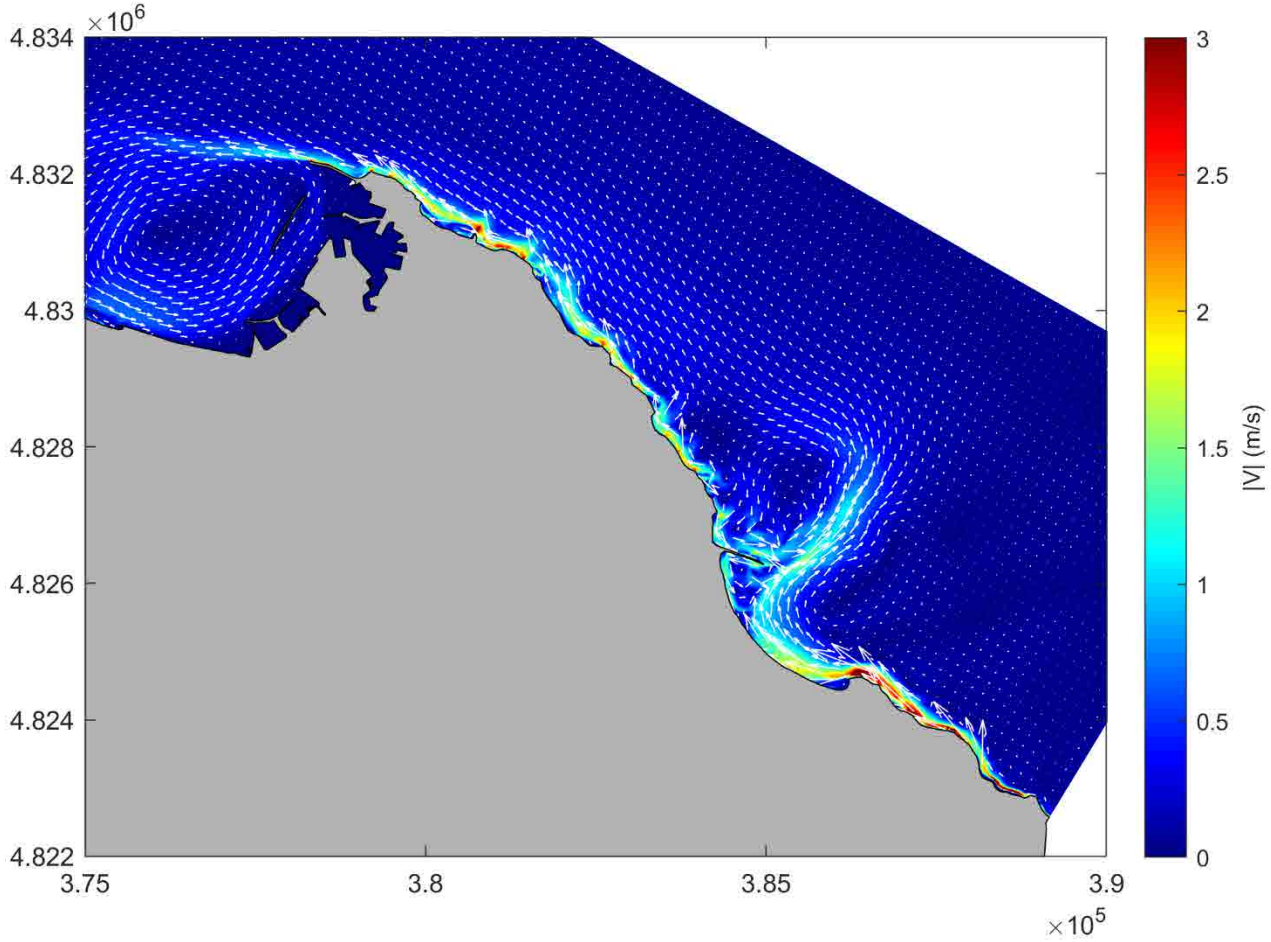

Figura 5.46 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Configurazione C0 – SUD

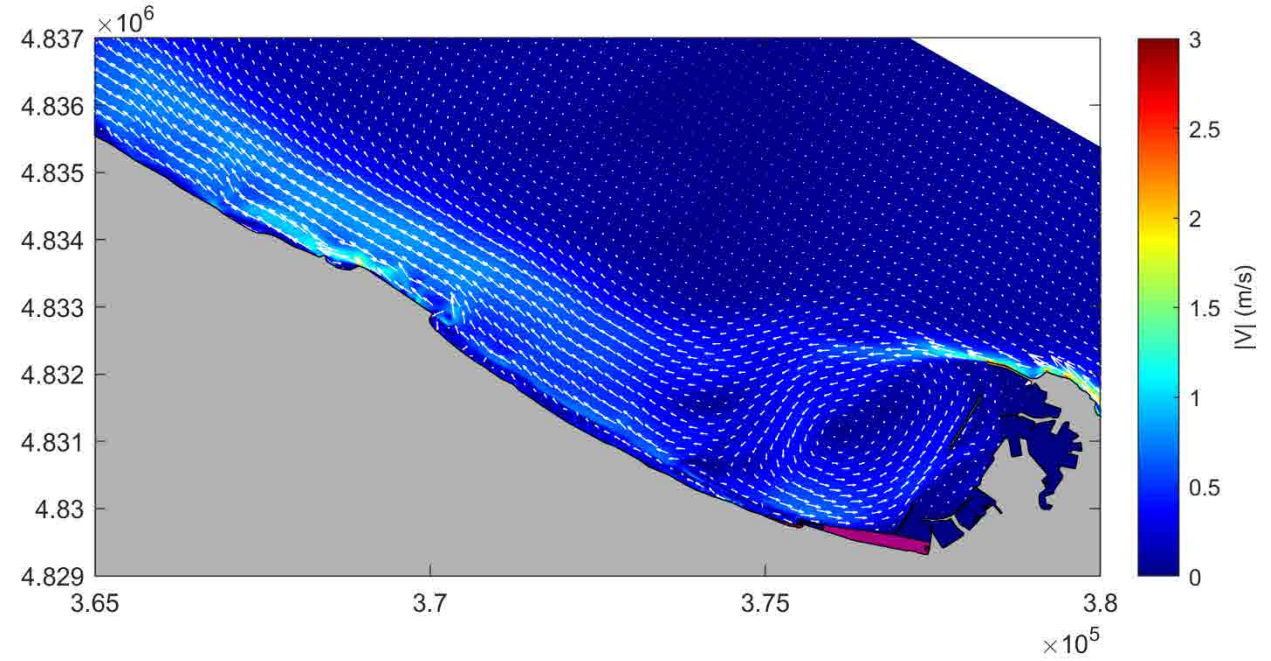

Figura 5.47 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Configurazione C1 – NORD

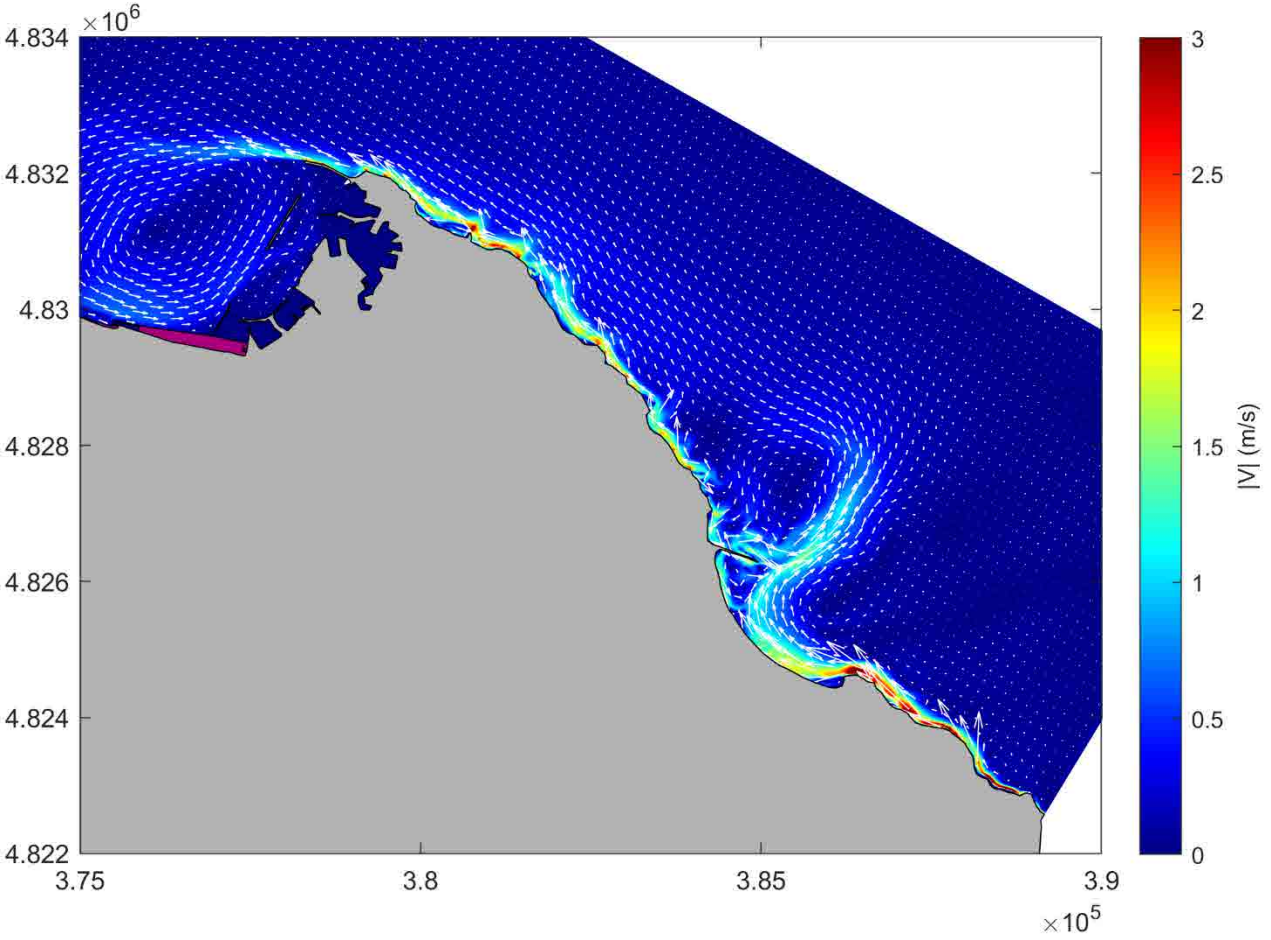

Figura 5.48 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Configurazione C1 – SUD

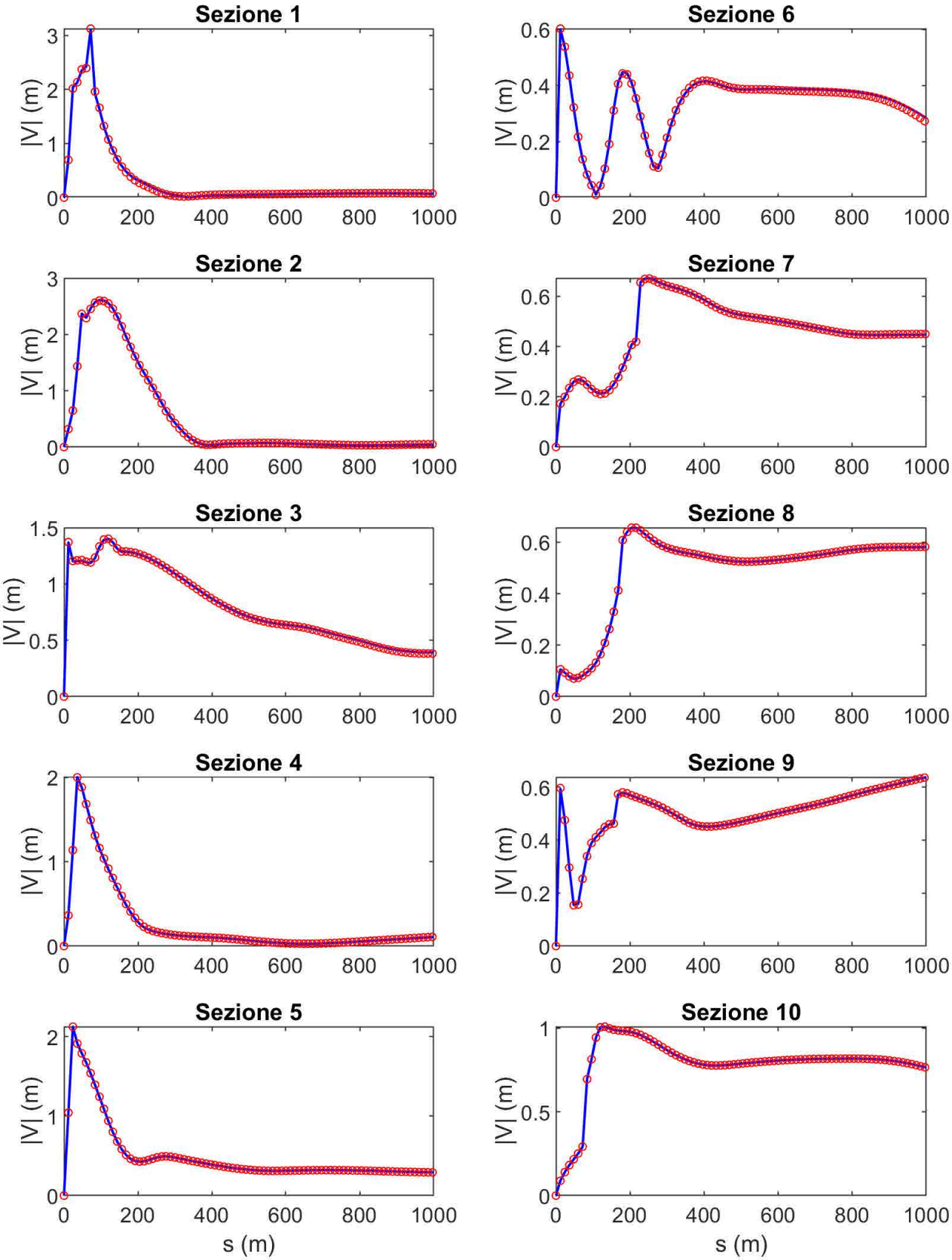

Figura 5.49 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=6.296 m $T_{p,0}$=11.44 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

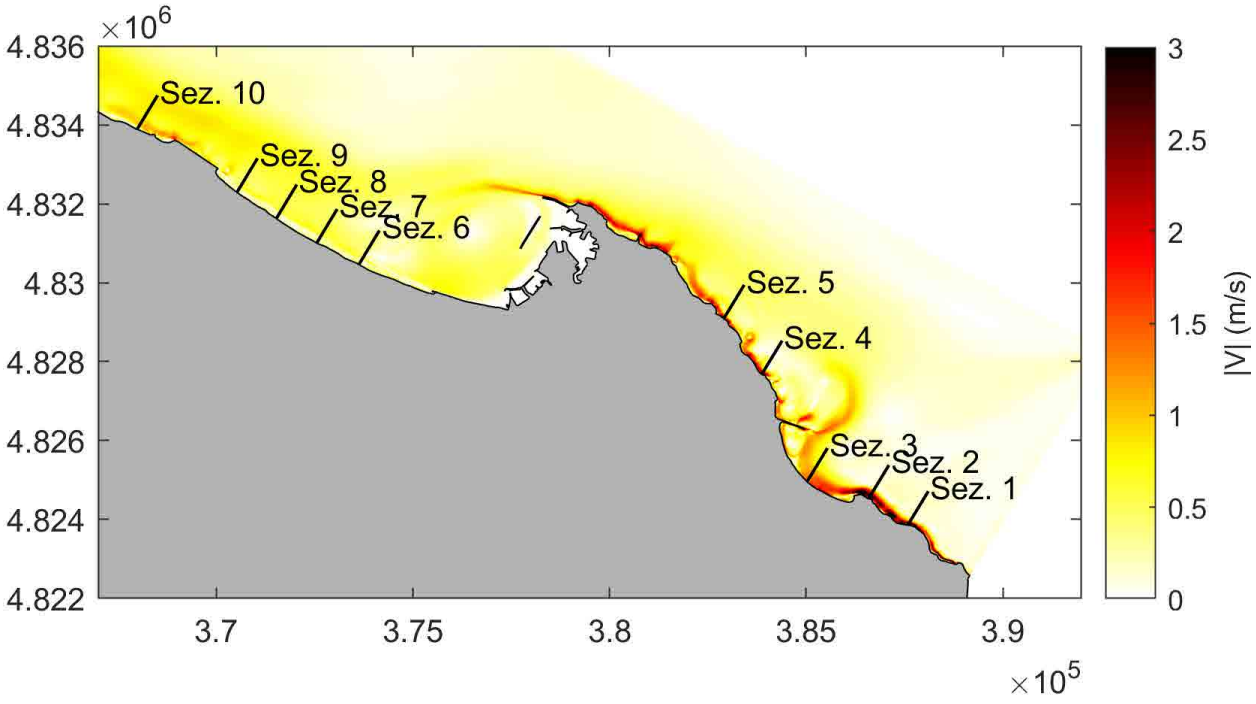

Figura 5.50 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21s) – Configurazione C0

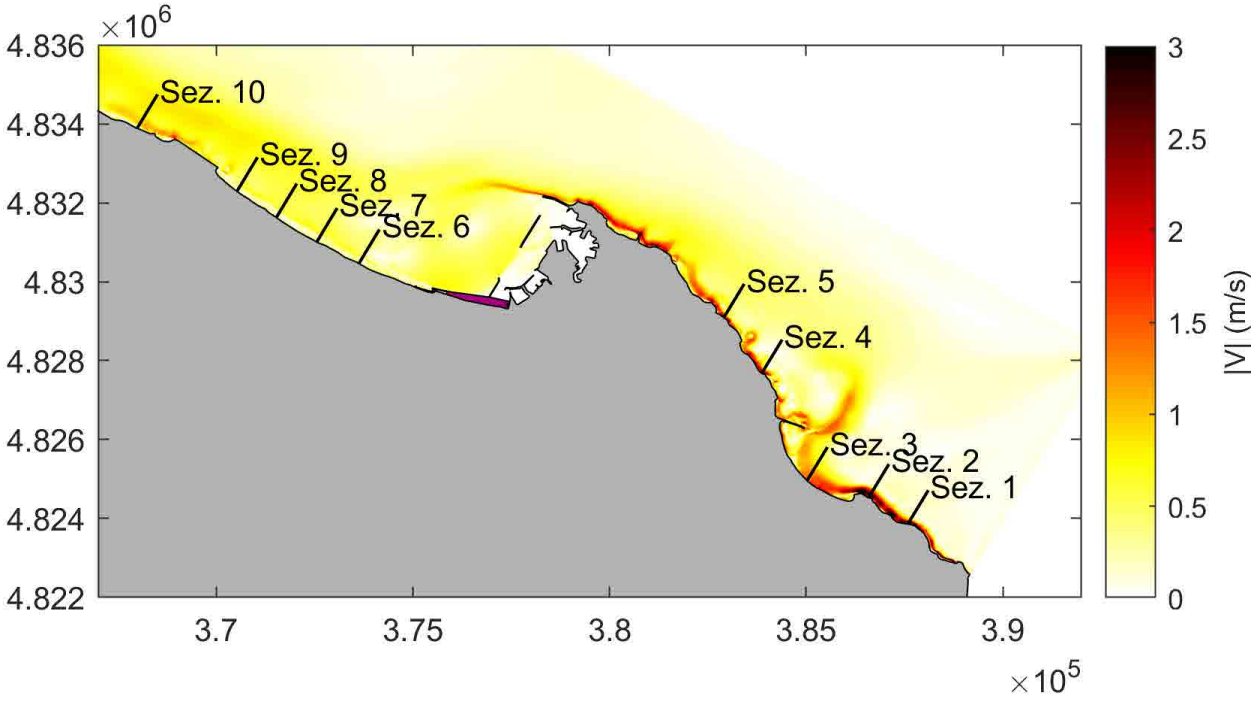

Figura 5.51 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21 s) – Configurazione C1

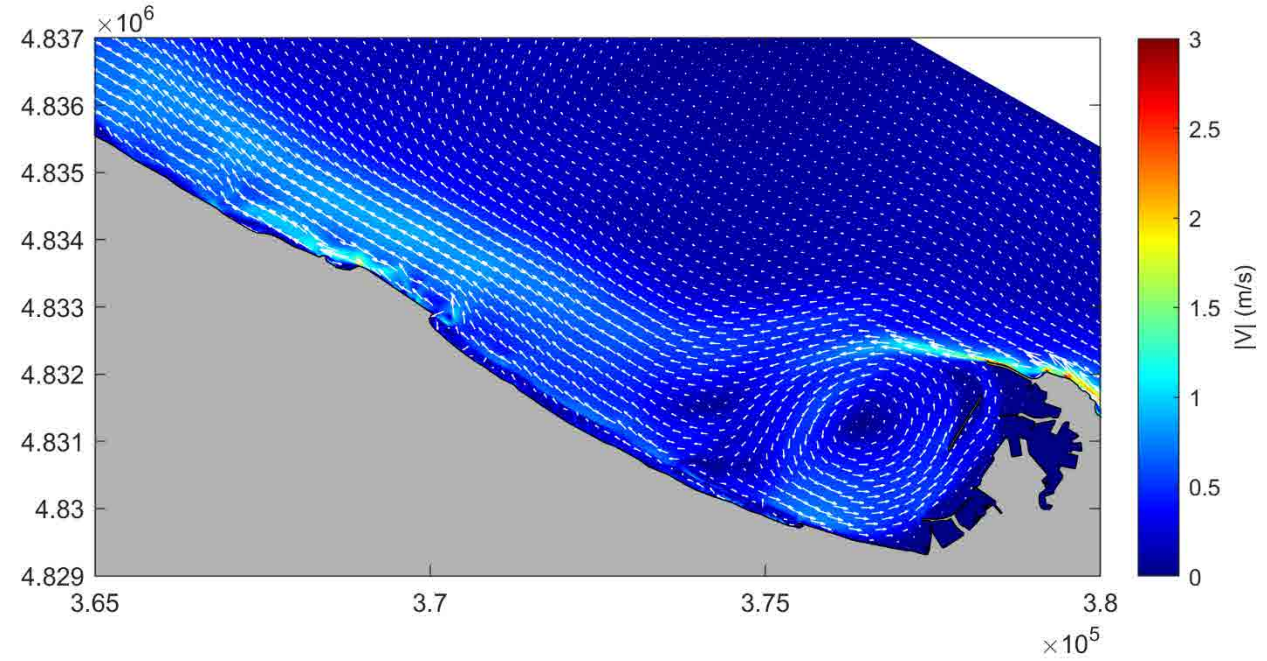

Figura 5.52 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21s) – Configurazione C0 – NORD

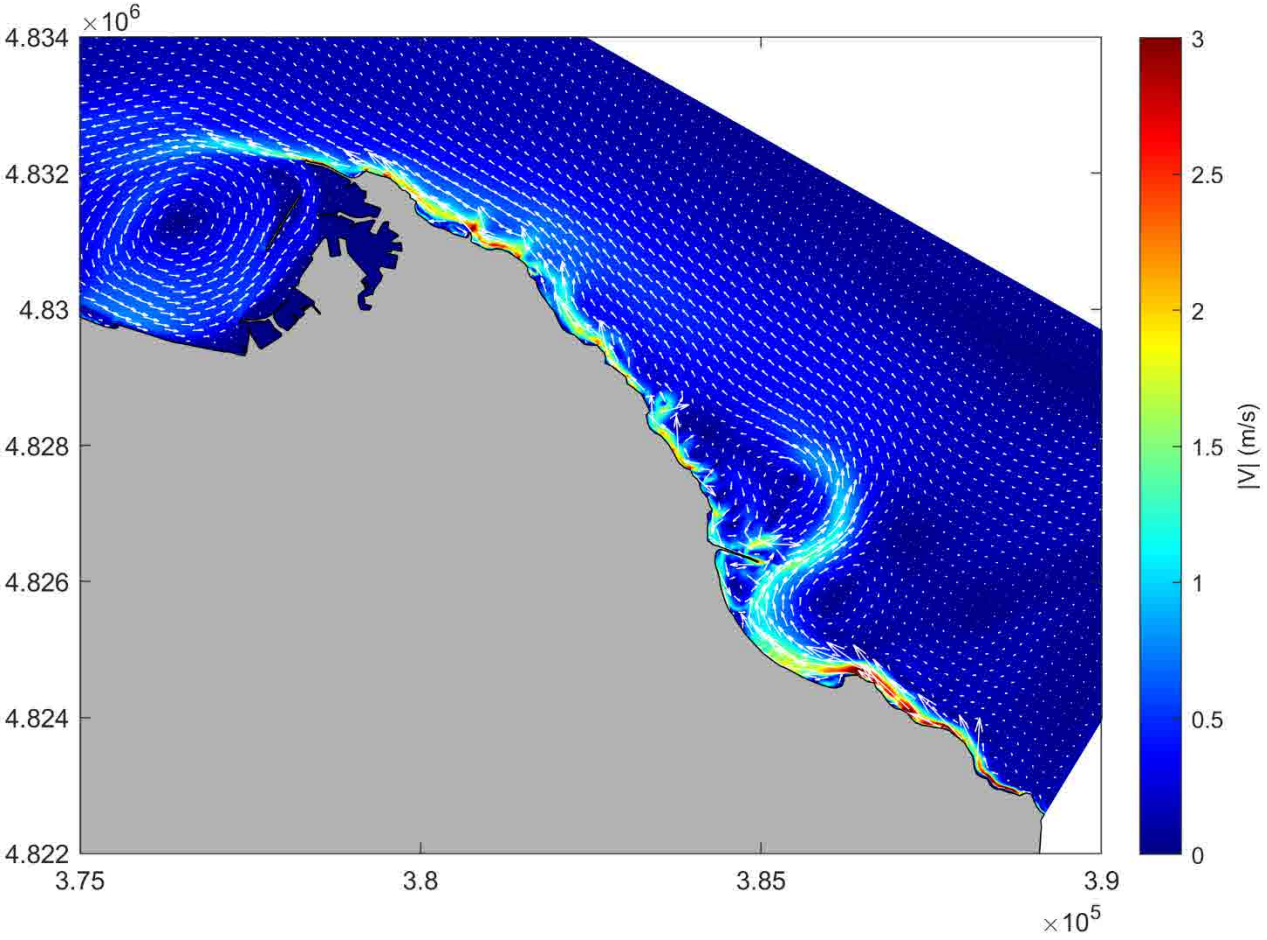

Figura 5.53 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21 s) – Configurazione C0 – SUD

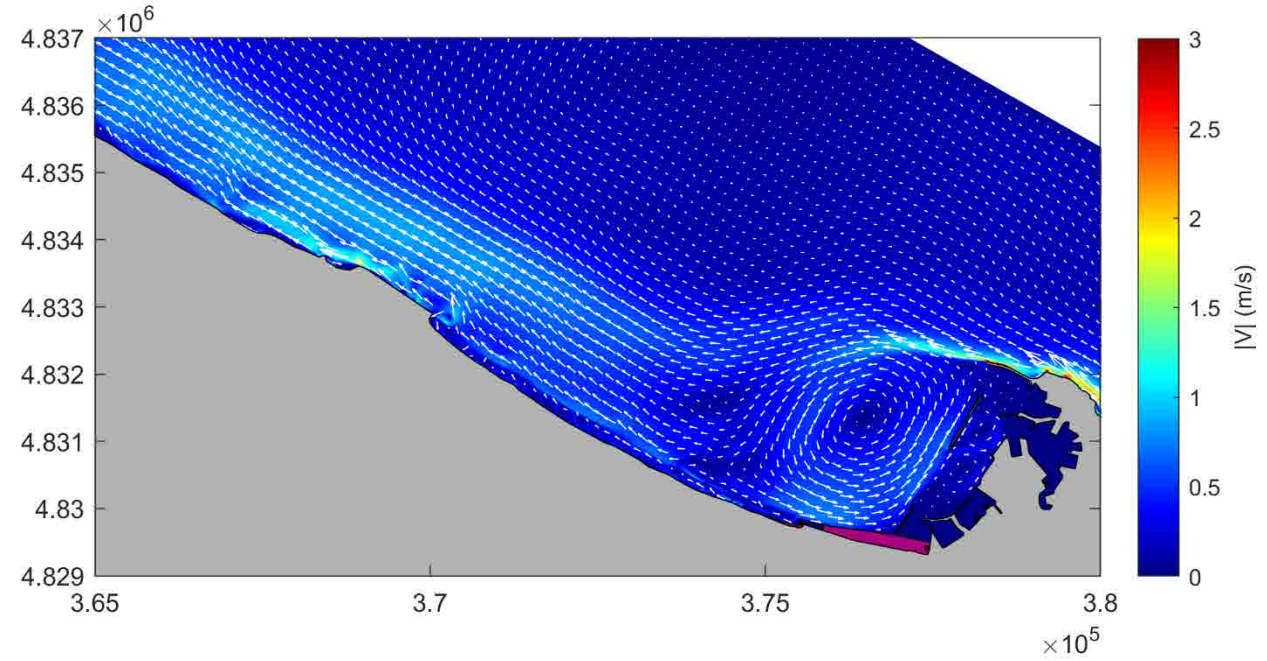

Figura 5.54 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21s) – Configurazione C1 – NORD

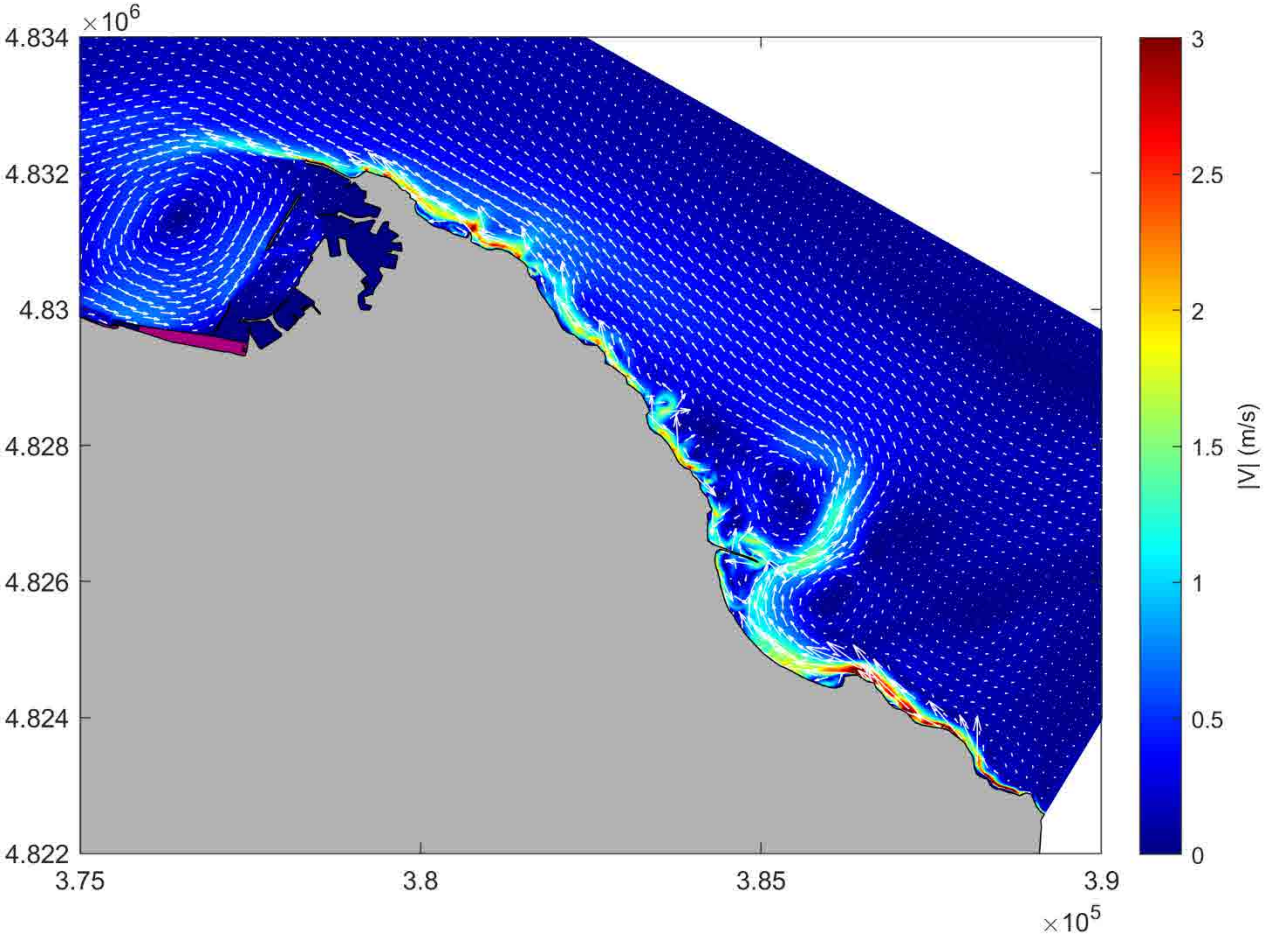

Figura 5.55 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21 s) – Configurazione C1 – SUD

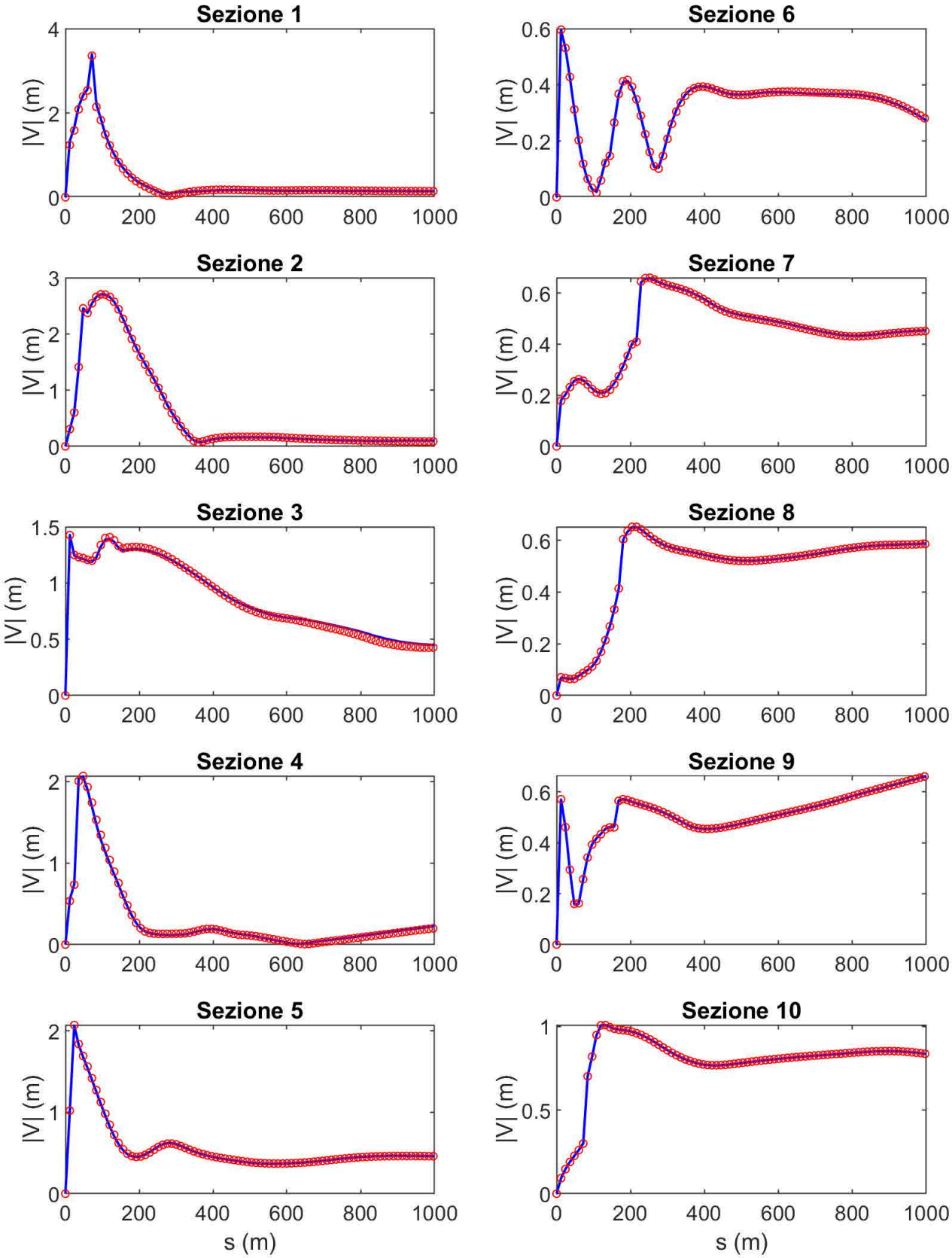

Figura 5.56 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=90°N $H_{s,0}$=7.171 m $T_{p,0}$=12.21s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

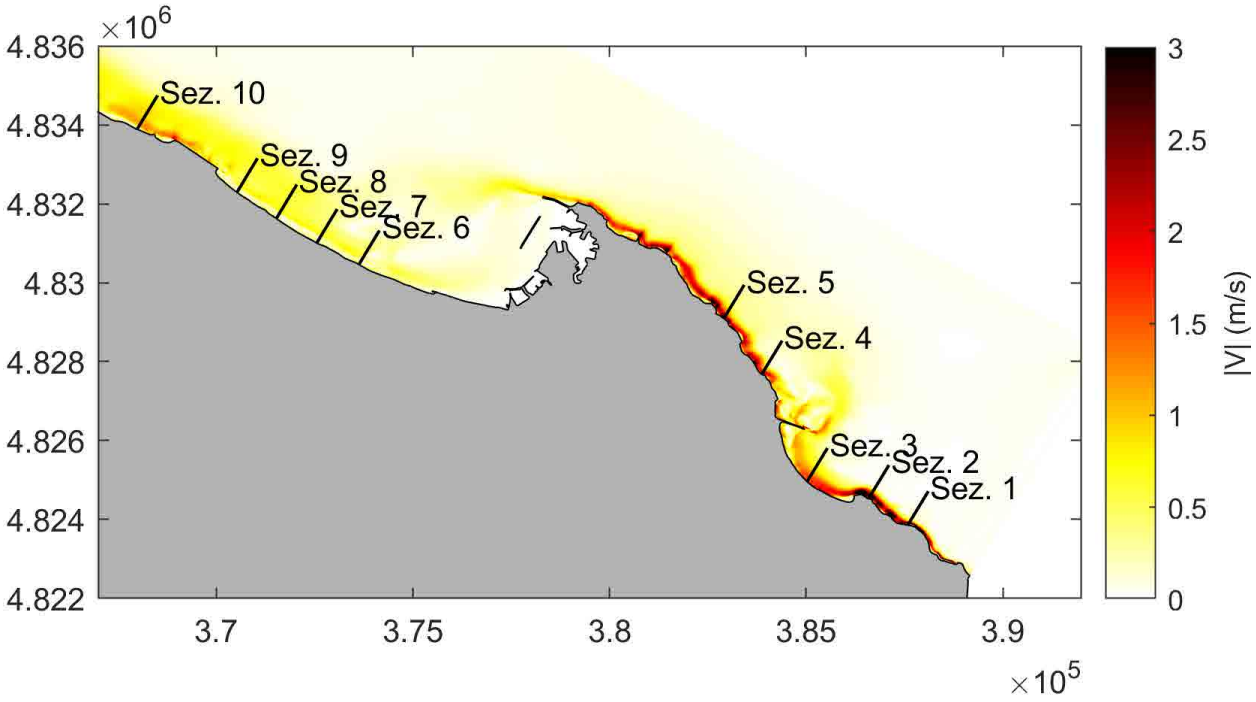

Figura 5.57 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Configurazione C0

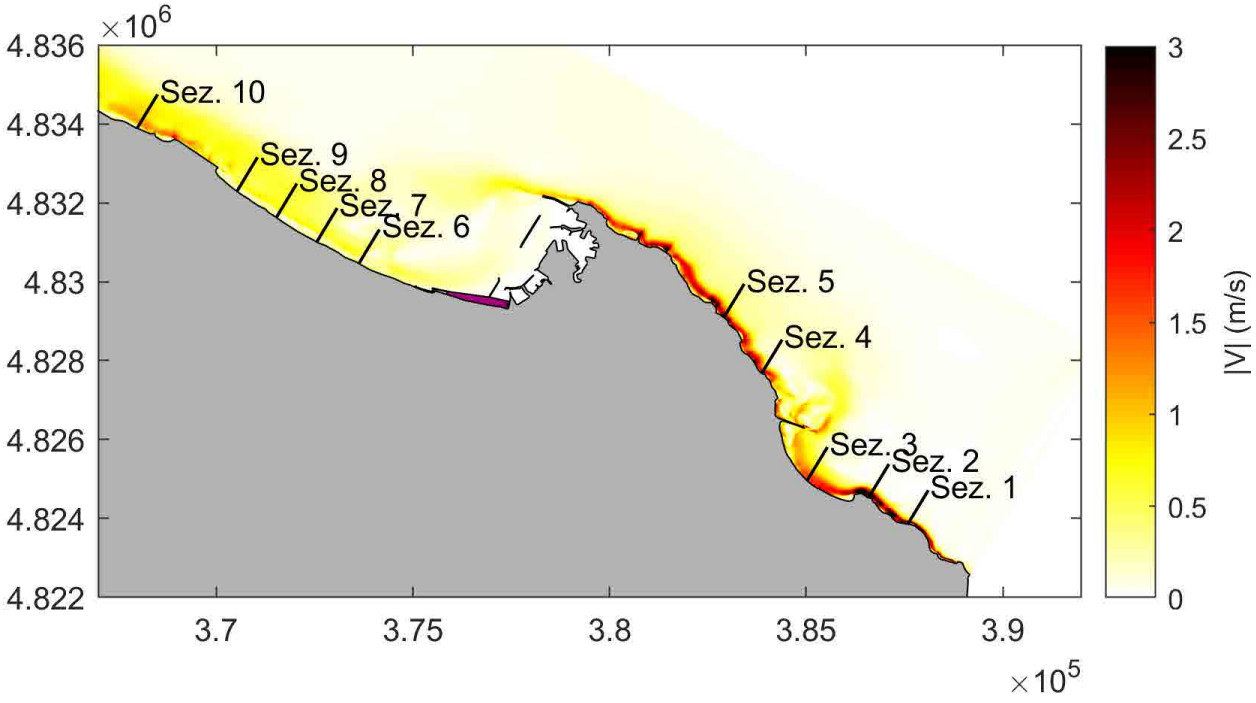

Figura 5.58 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Configurazione C1

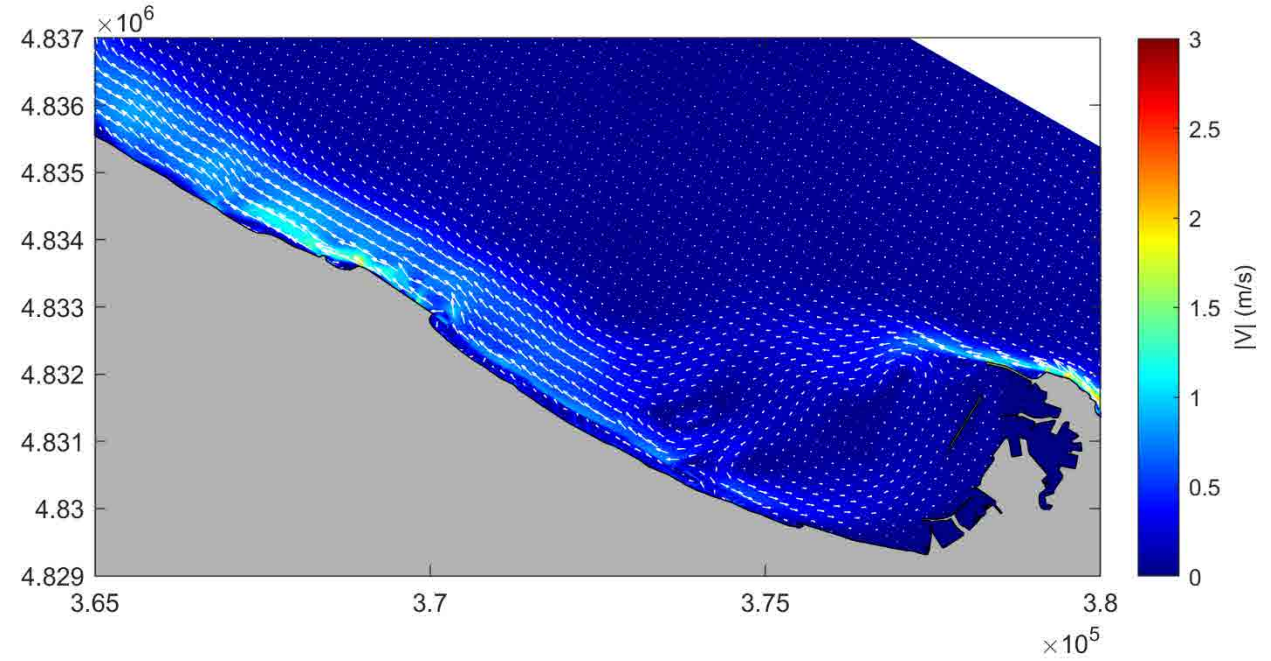

Figura 5.59 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Configurazione C0 – NORD

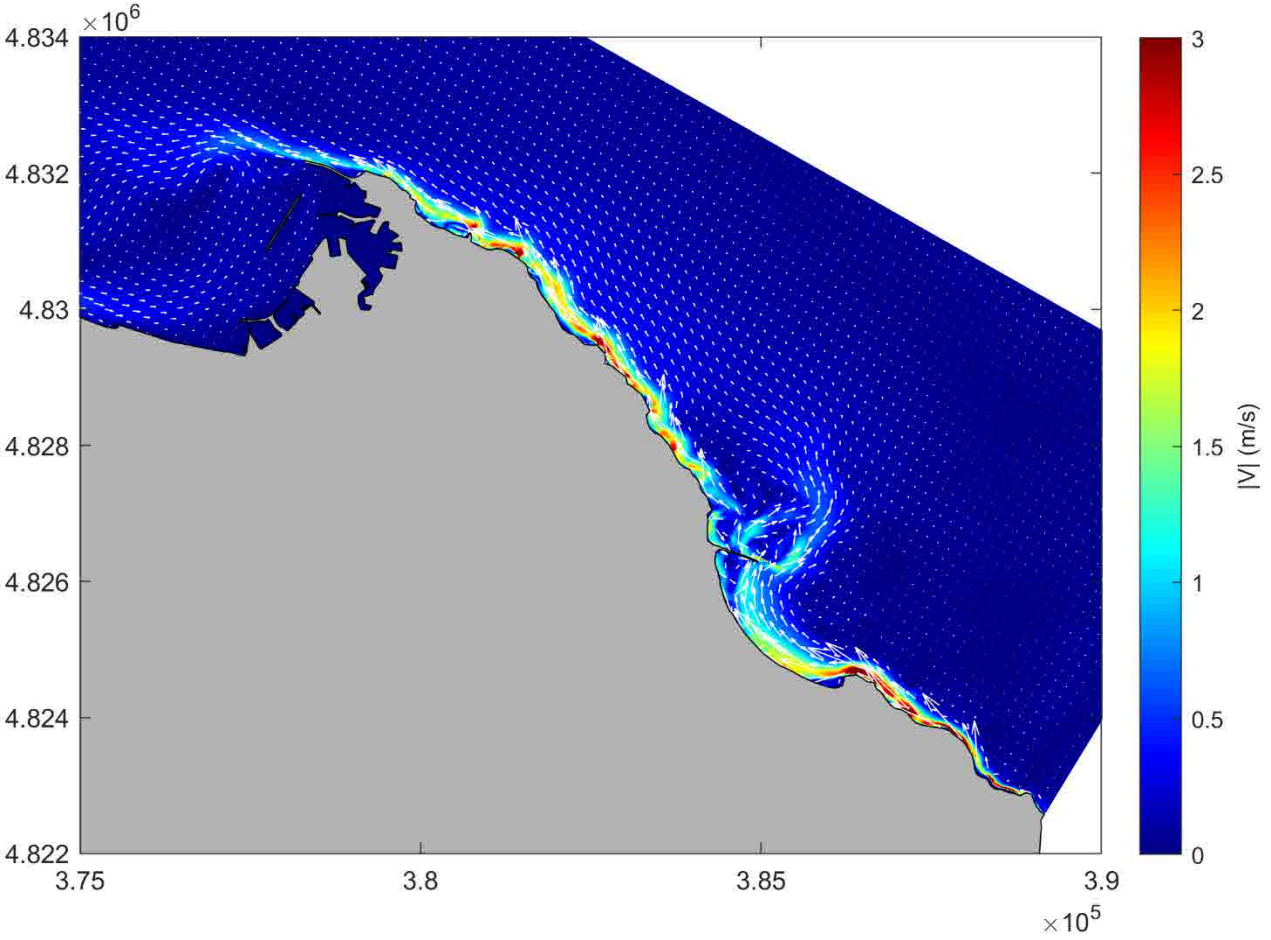

Figura 5.60 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Configurazione C0 – SUD

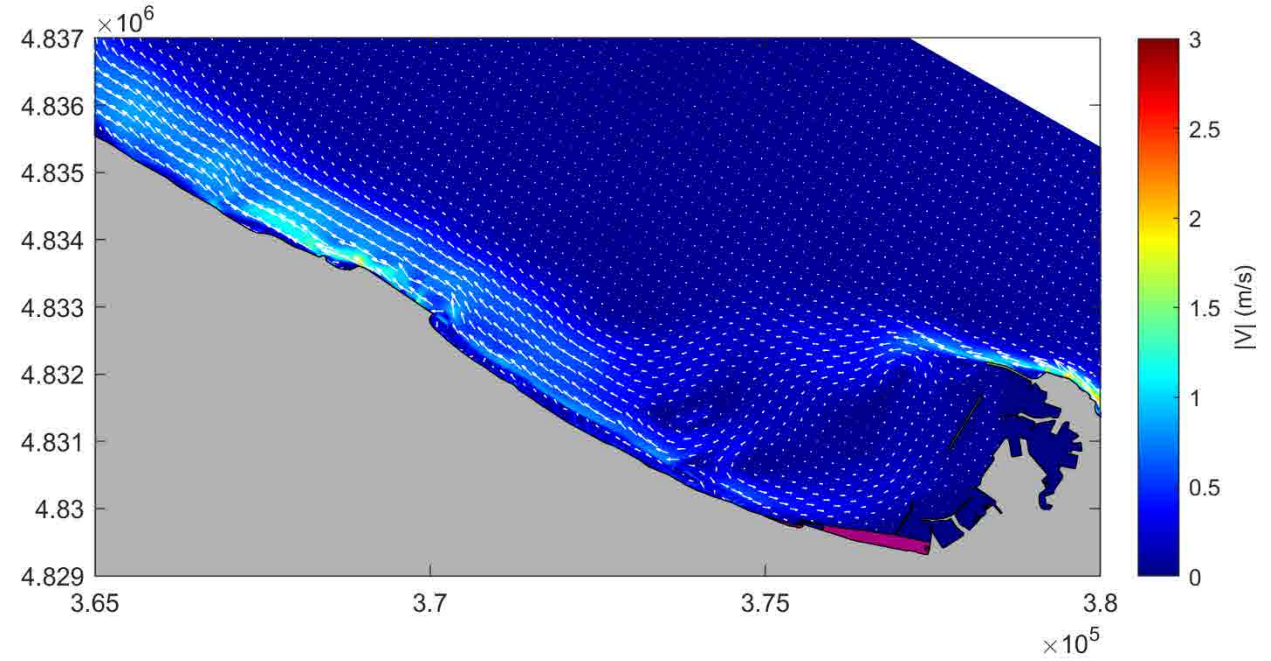

Figura 5.61 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Configurazione C1 – NORD

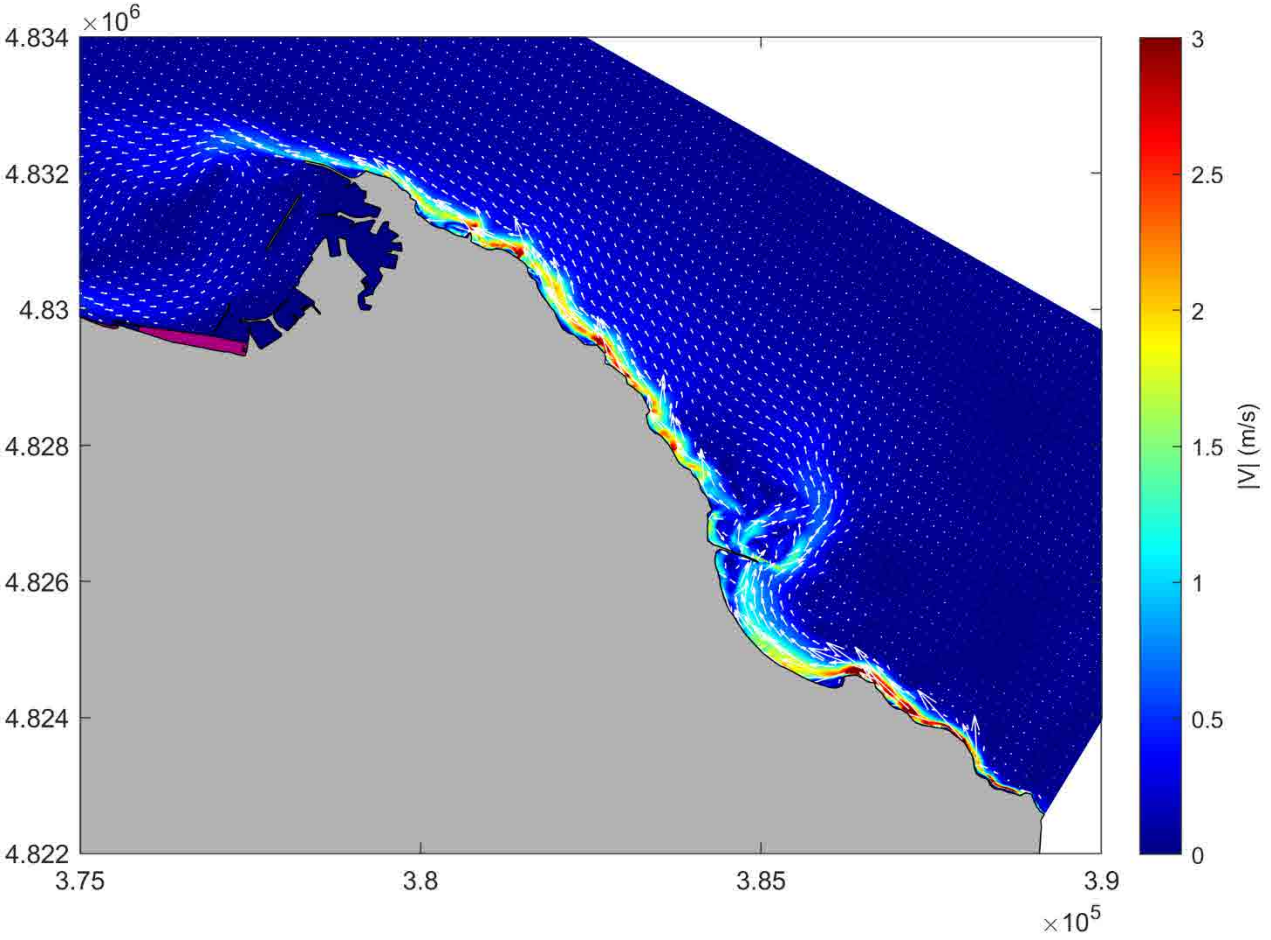

Figura 5.62 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Configurazione C1 – SUD

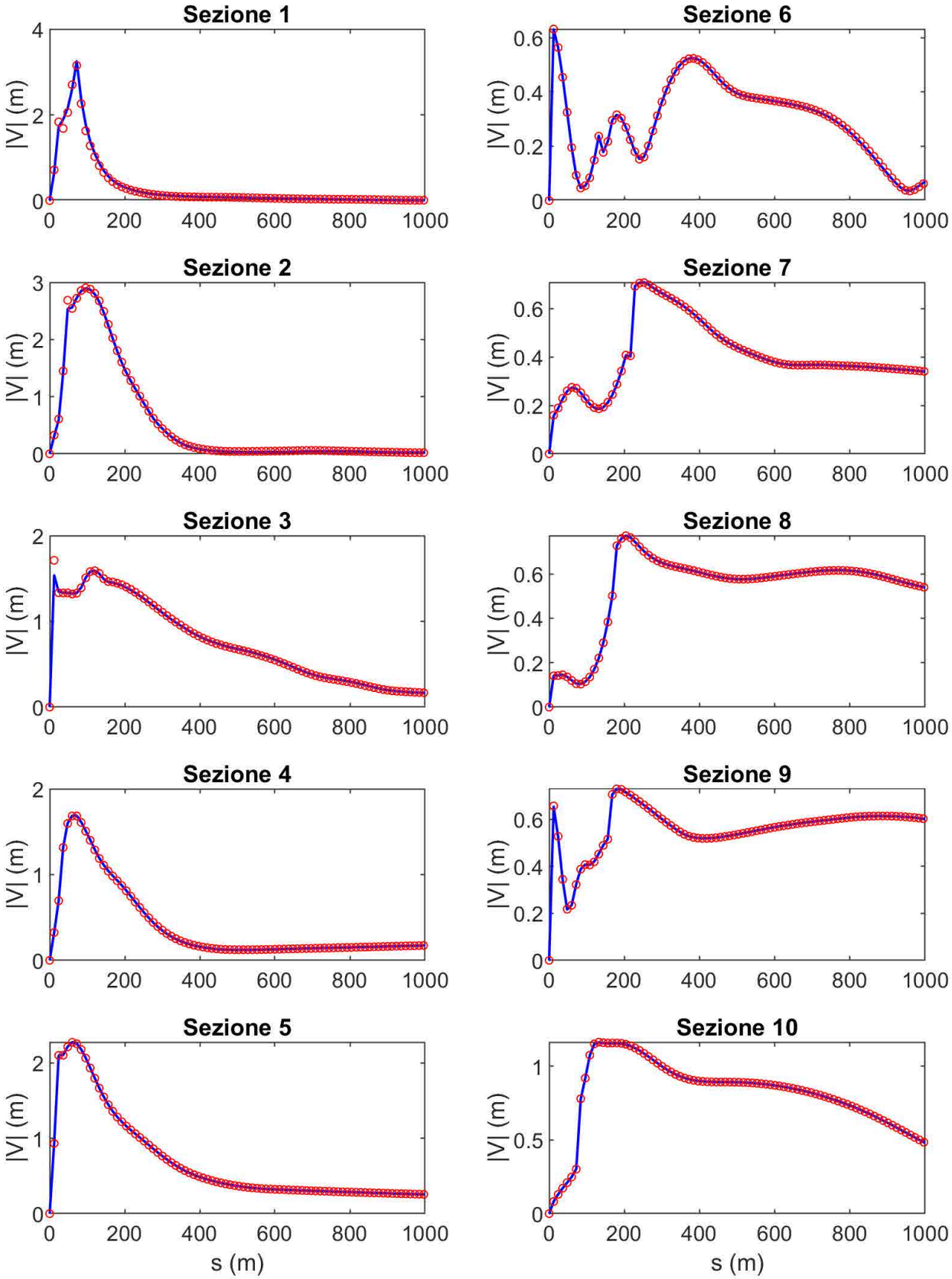

Figura 5.63 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.333 m $T_{p,0}$=12.43 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

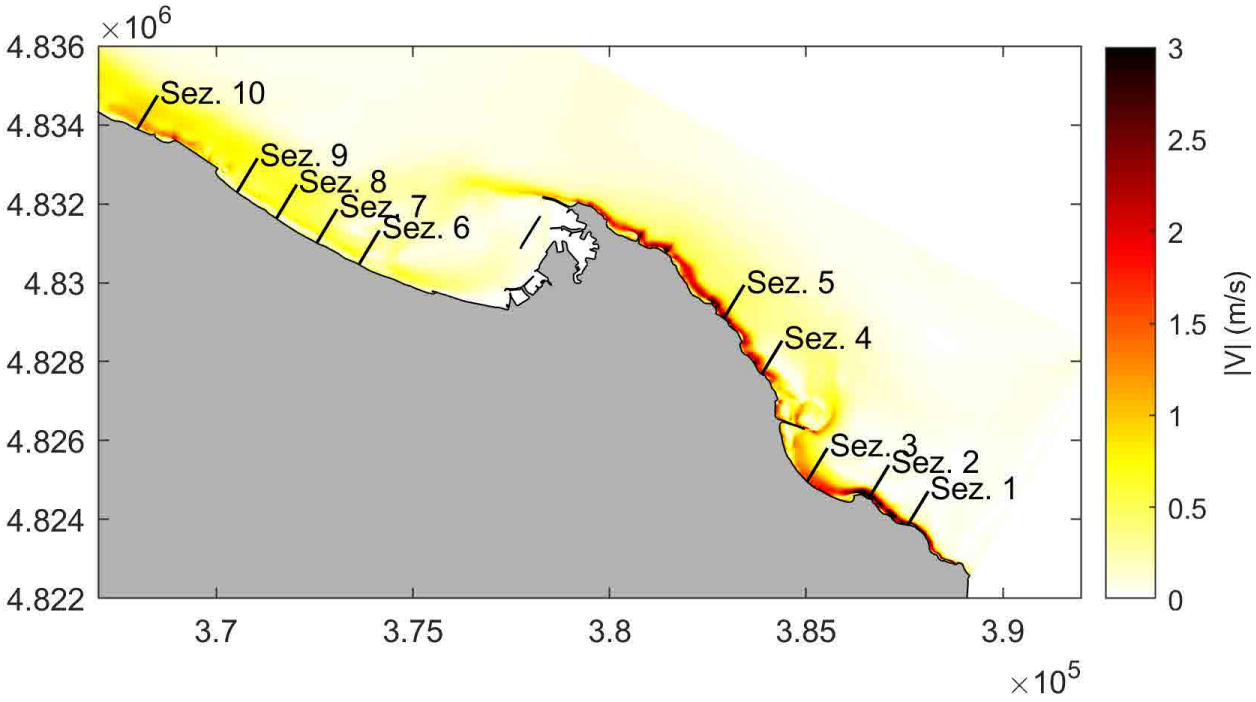

Figura 5.64 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Configurazione C0

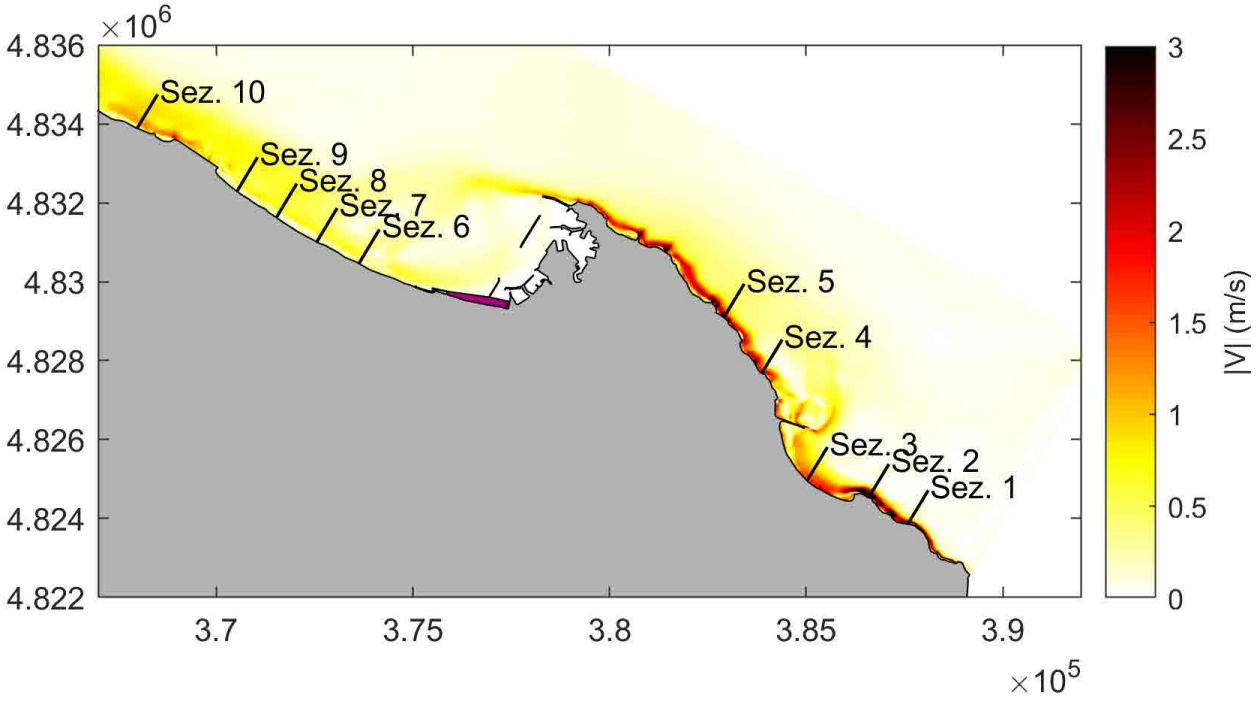

Figura 5.65 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Configurazione C1

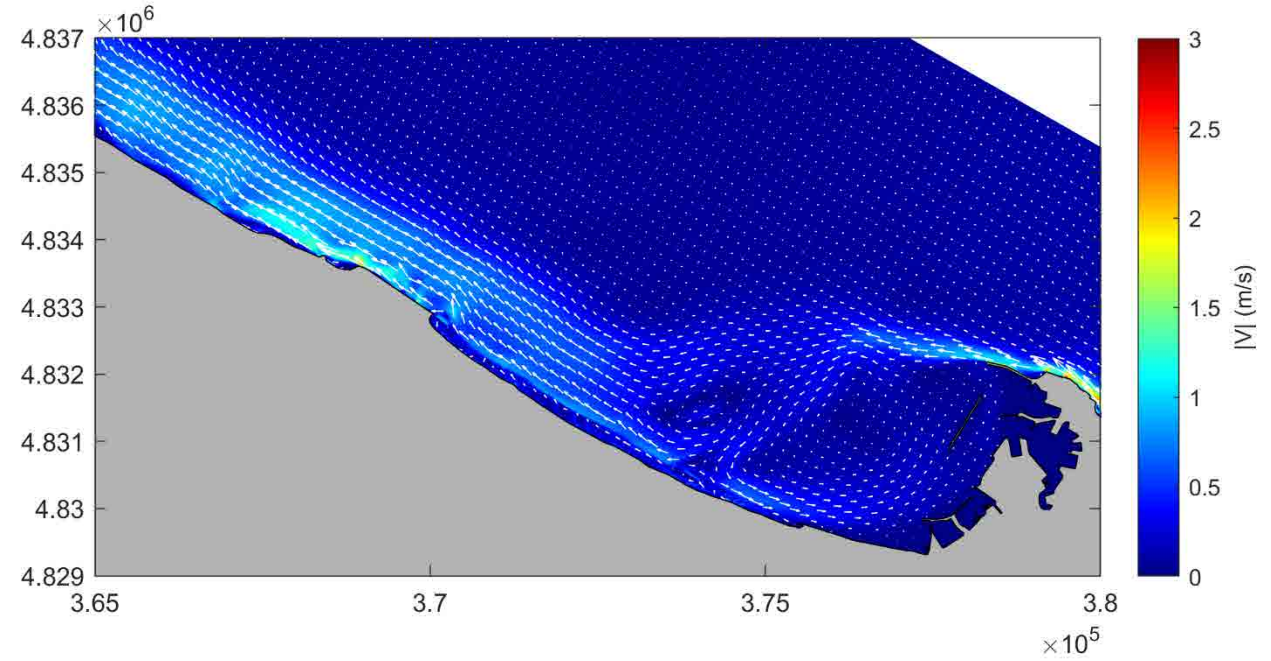

Figura 5.66 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Configurazione C0 – NORD

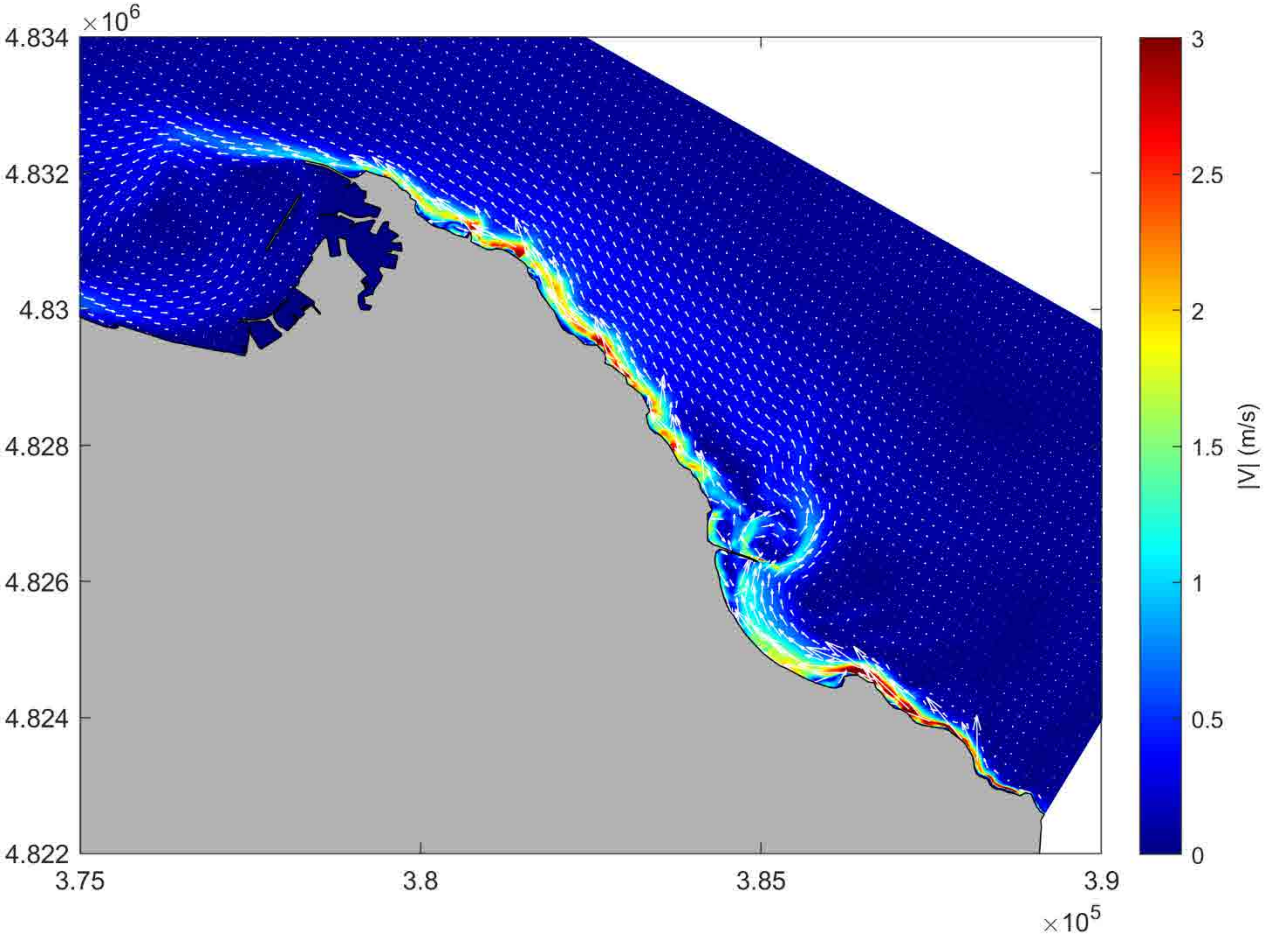

Figura 5.67 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Configurazione C0 – SUD

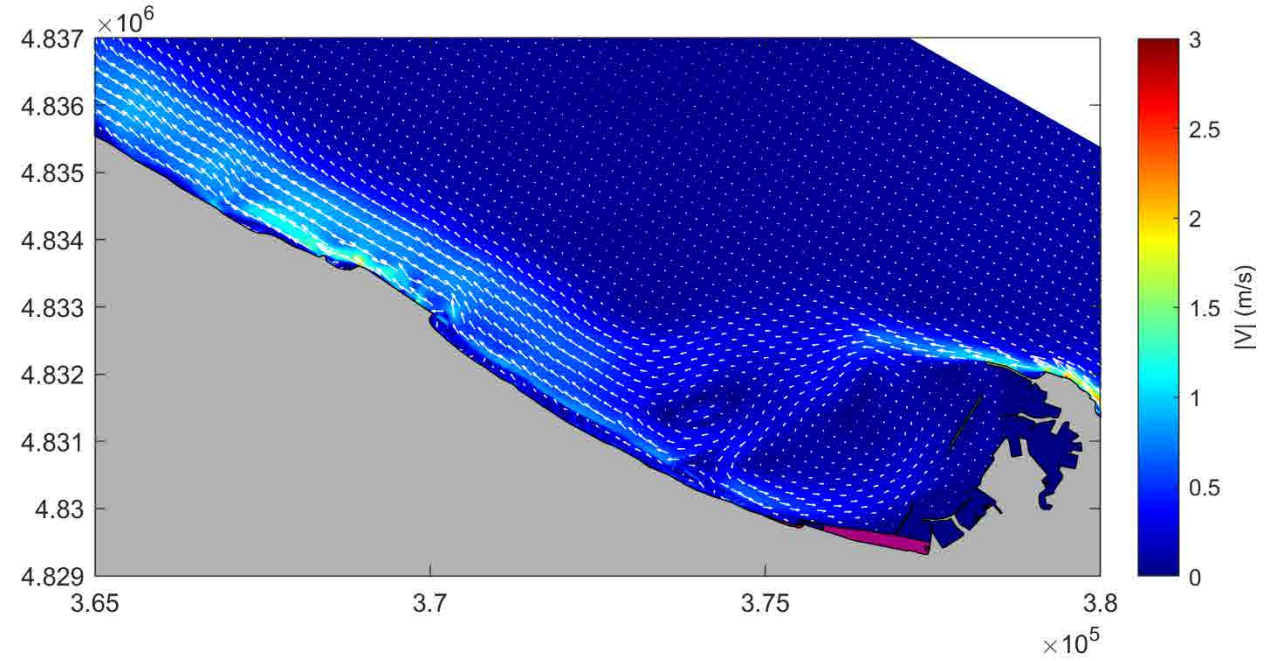

Figura 5.68 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Configurazione C1 – NORD

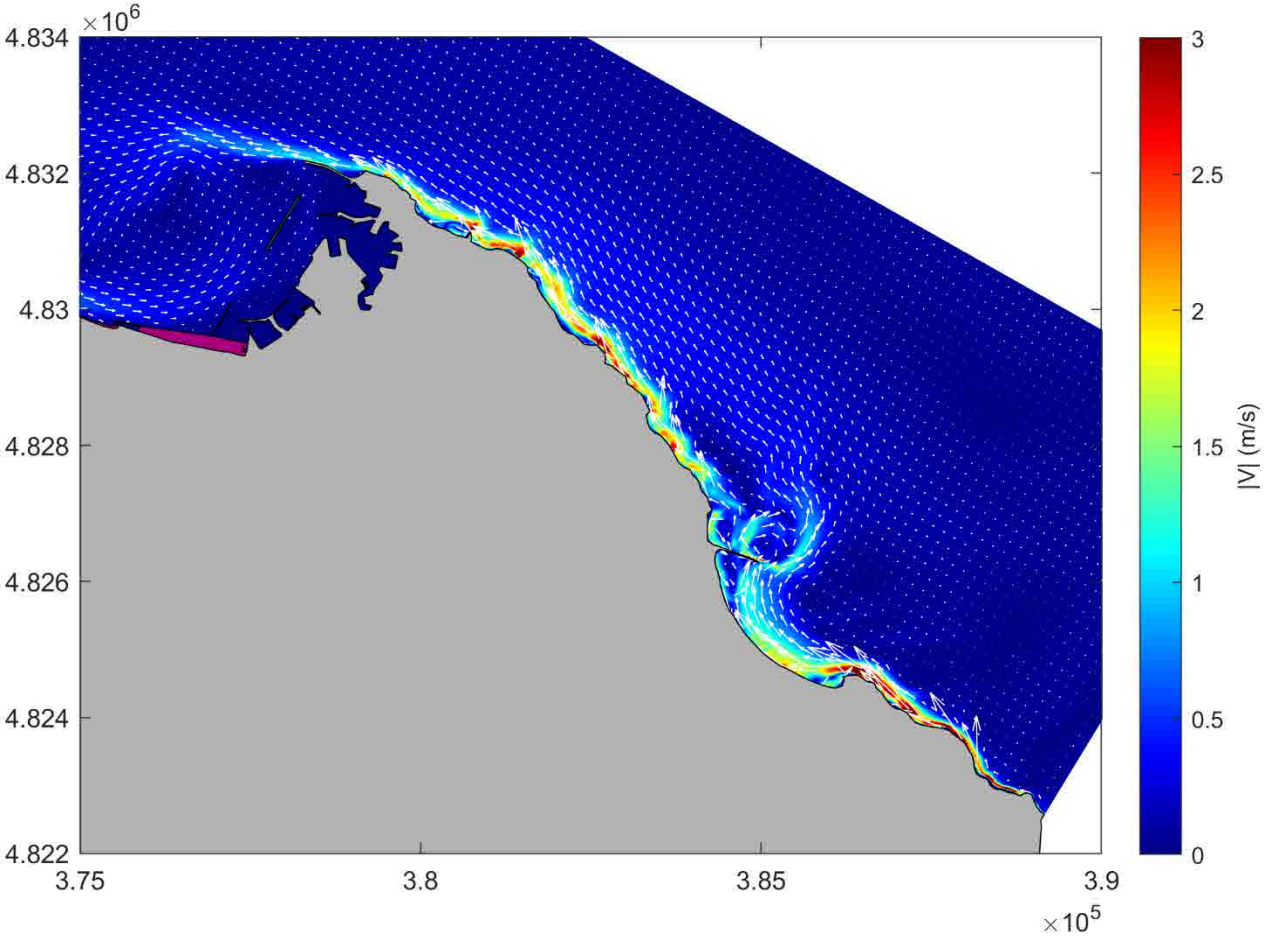

Figura 5.69 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Configurazione C1 – SUD

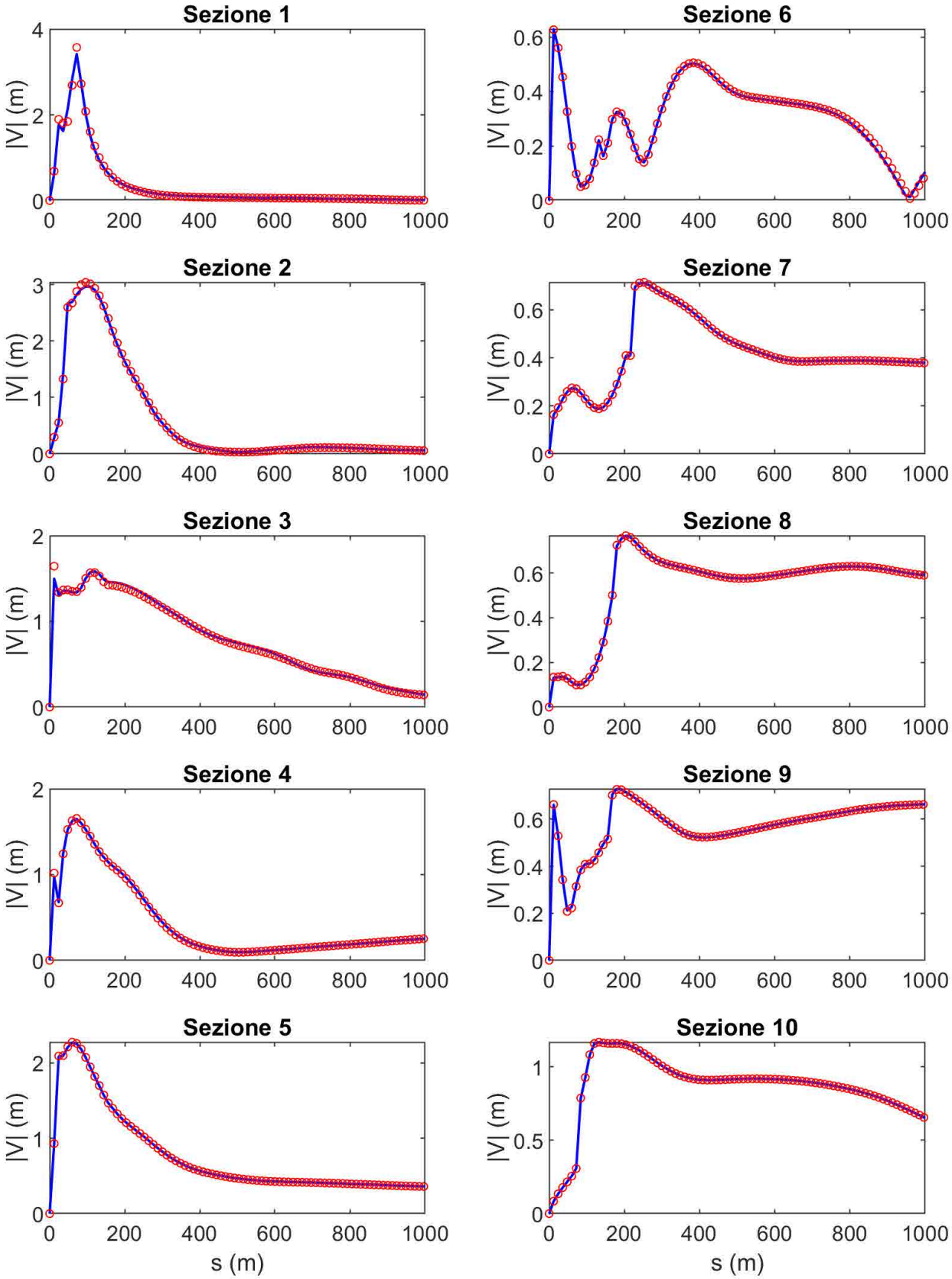

Figura 5.70 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=120°N $H_{s,0}$=6.809 m $T_{p,0}$=12.89 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

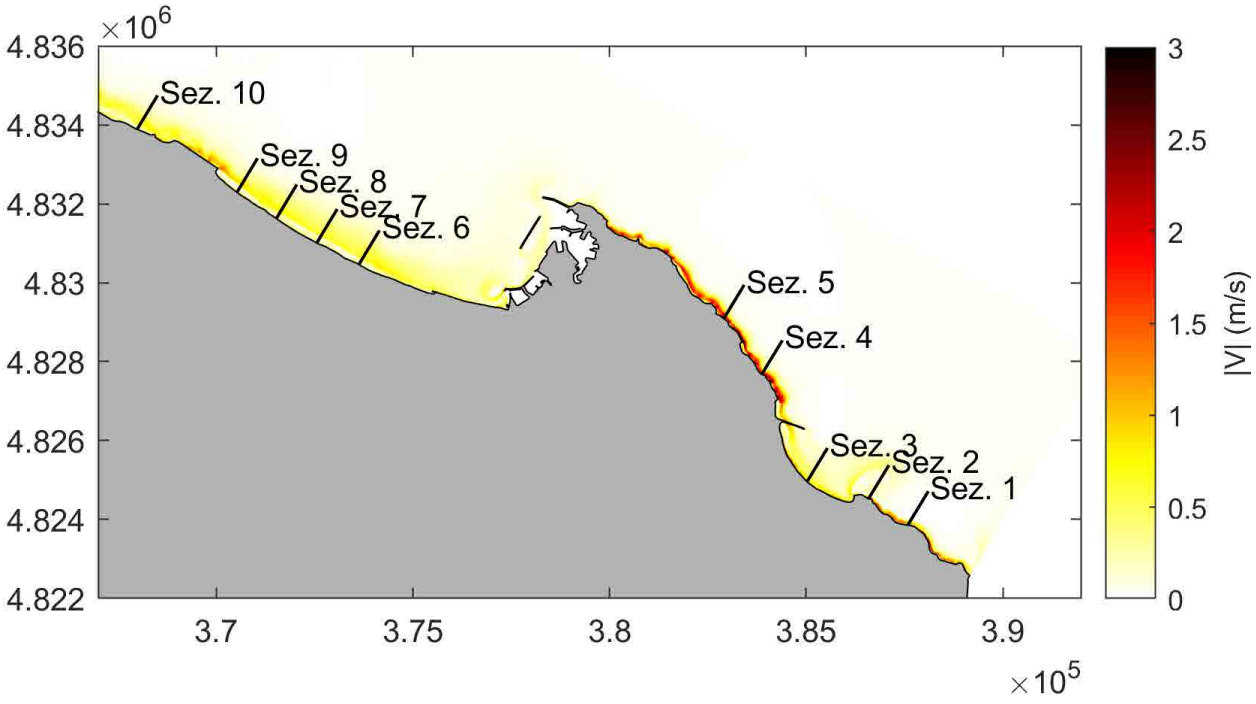

Figura 5.71 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Configurazione C0

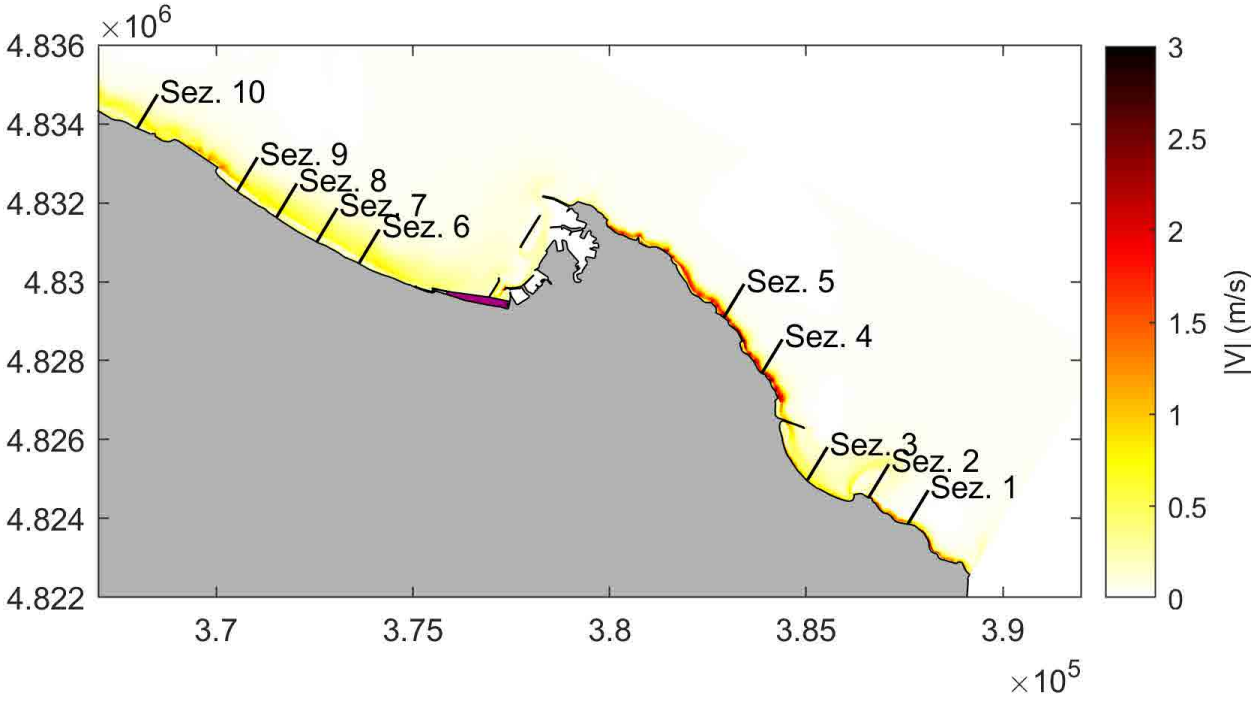

Figura 5.72 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Configurazione C1

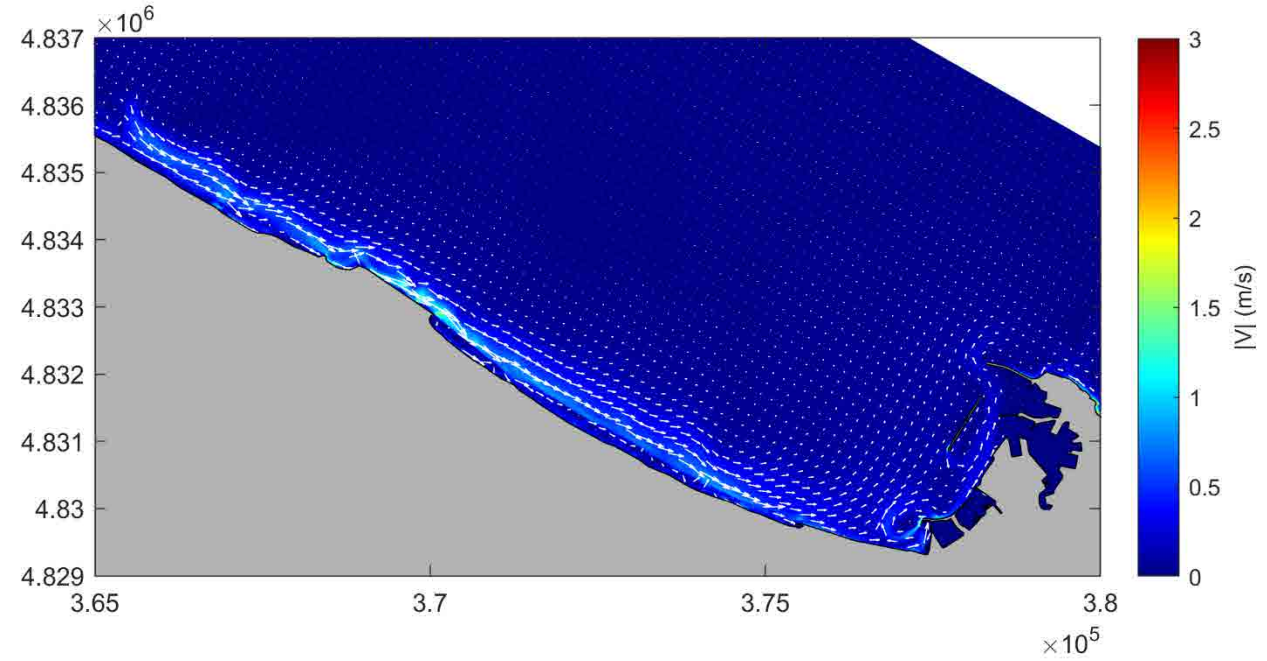

Figura 5.73 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Configurazione C0 – NORD

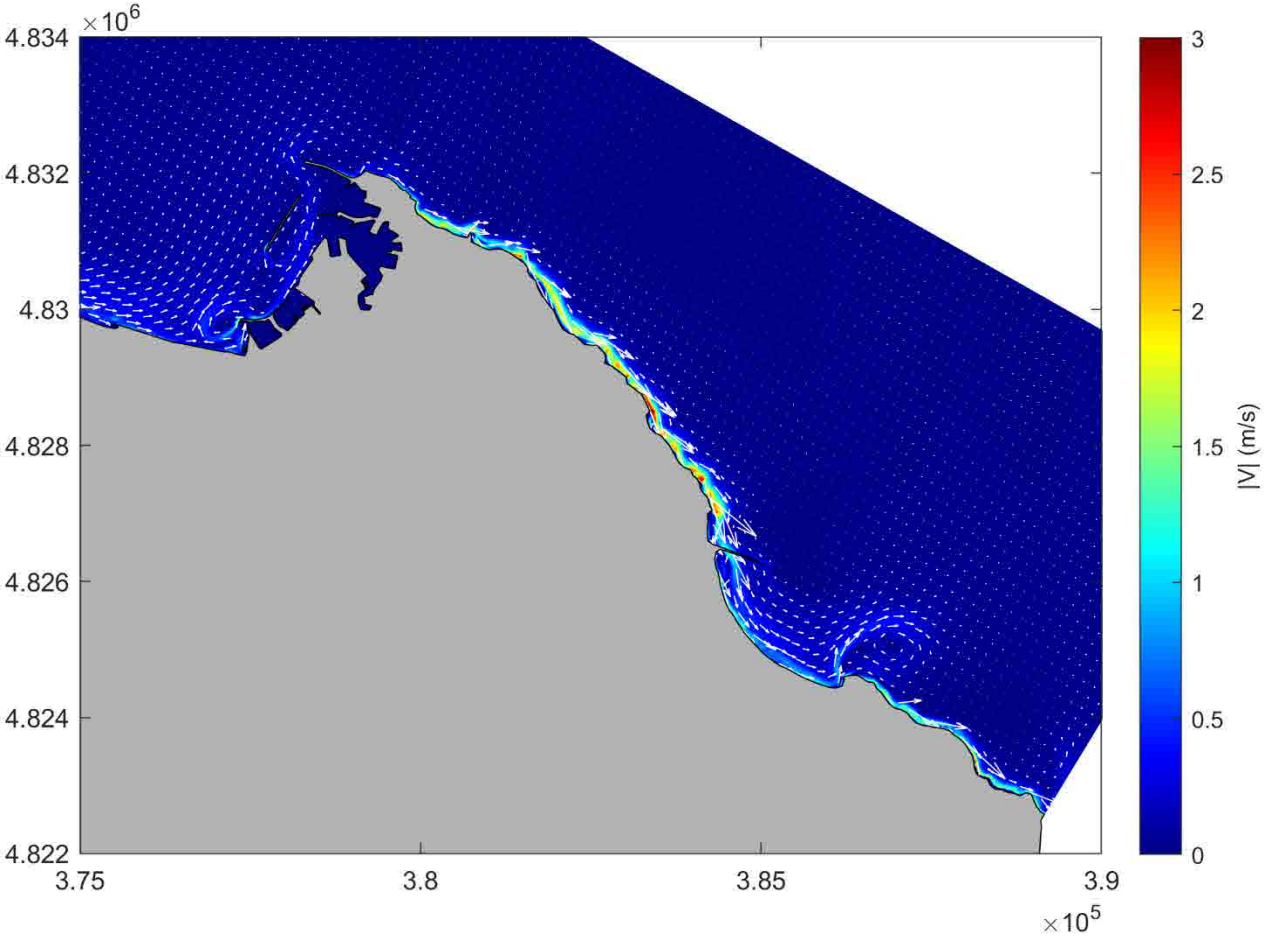

Figura 5.74 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Configurazione C0 – SUD

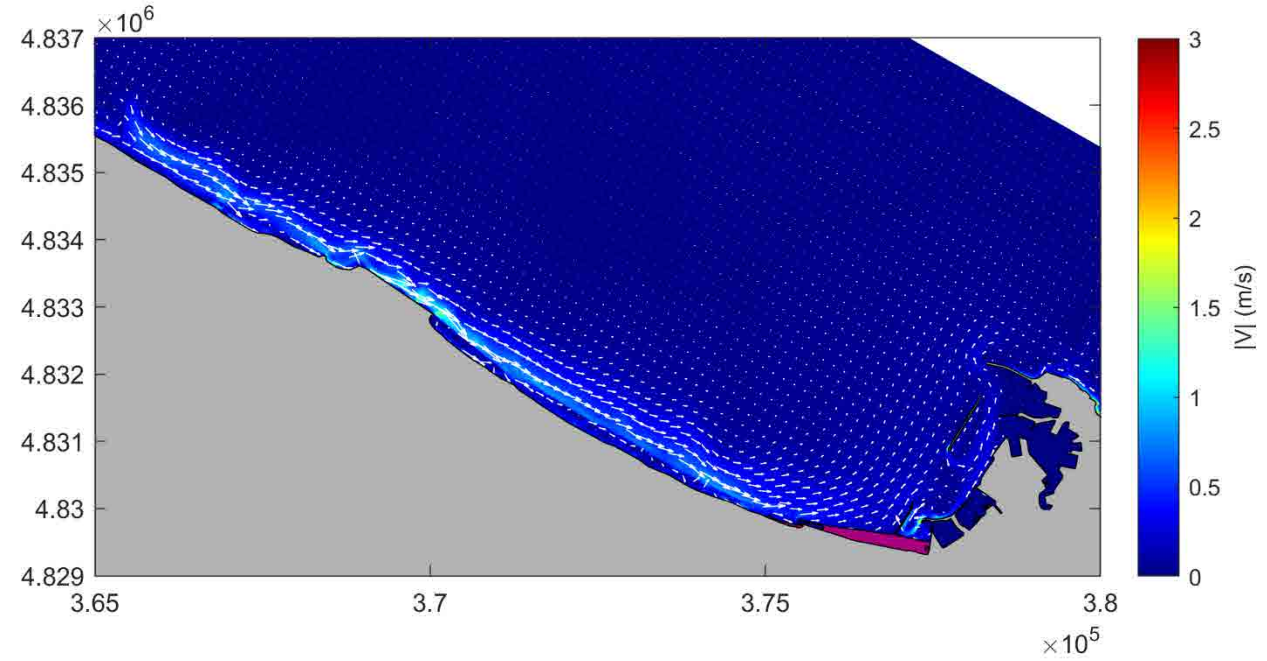

Figura 5.75 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Configurazione C1 – NORD

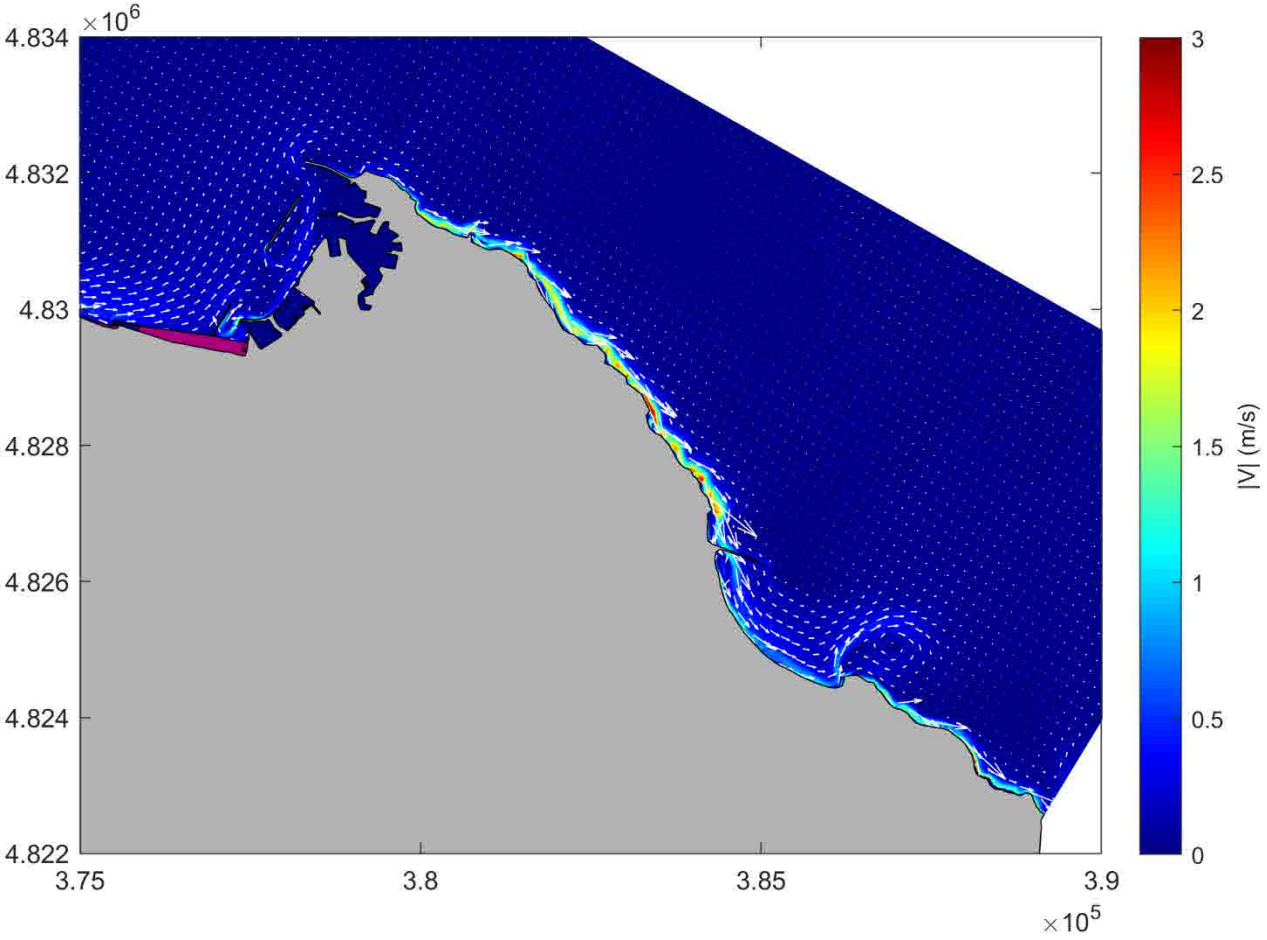

Figura 5.76 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Configurazione C1 – SUD

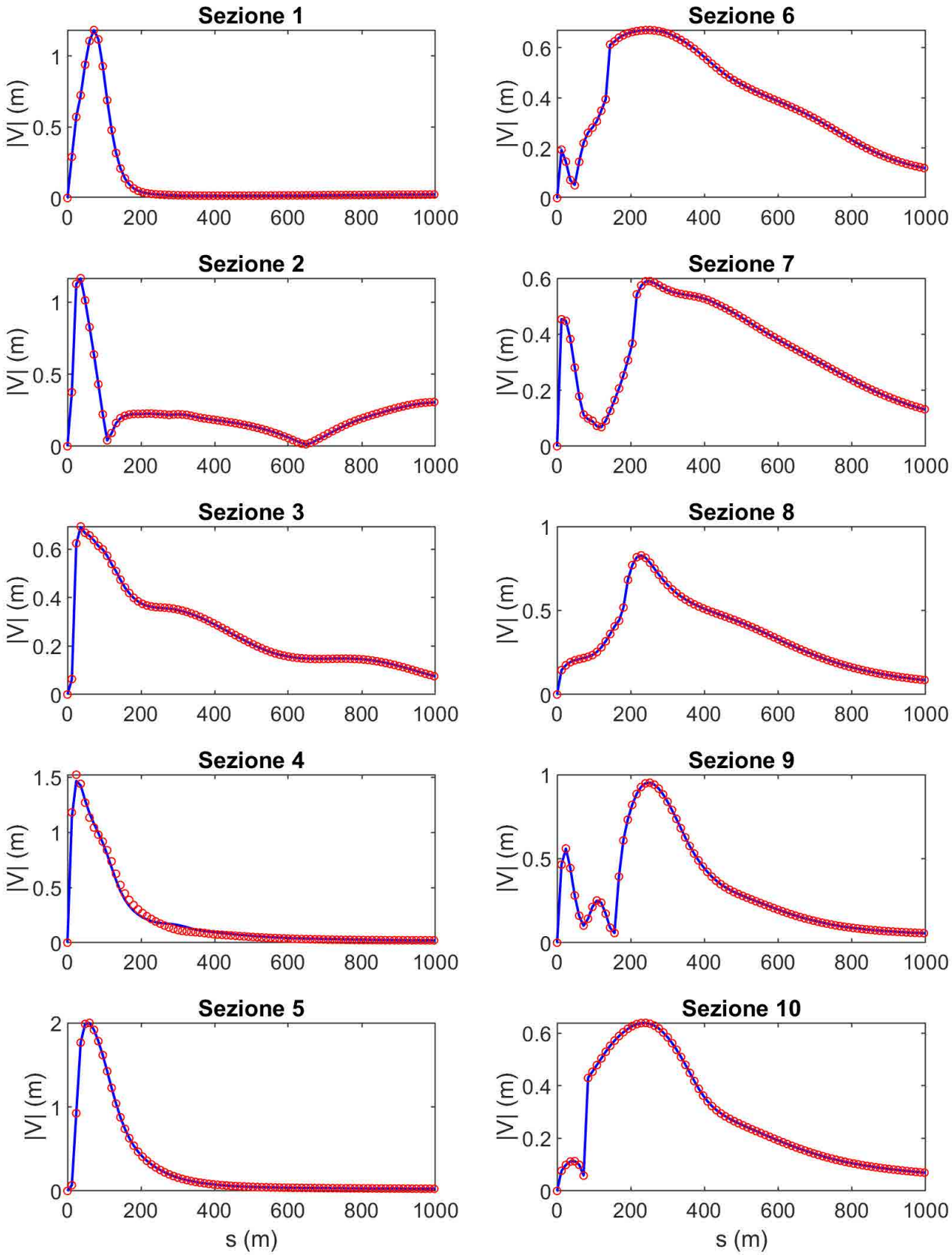

Figura 5.77 - Correnti indotte dall'onda (T_R=30 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.150 m $T_{p,0}$=8.90 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

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

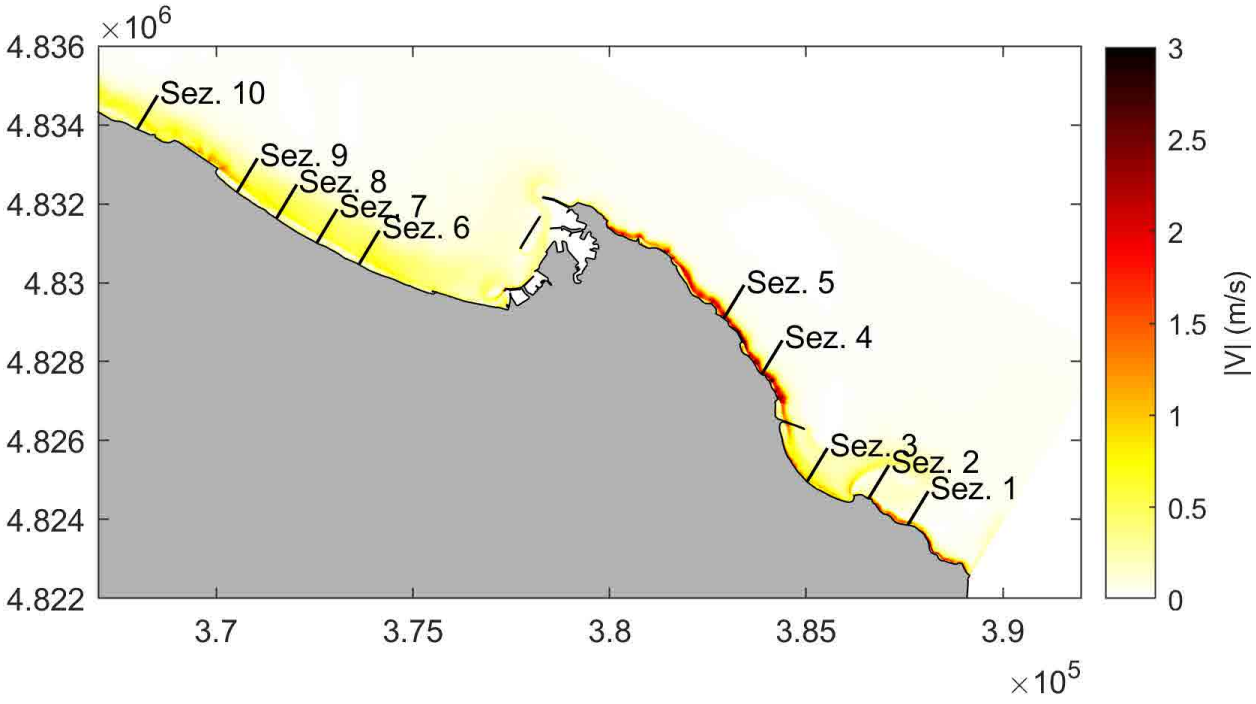

Figura 5.78 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.807 m $T_{p,0}$=9.58 s) – Configurazione C0

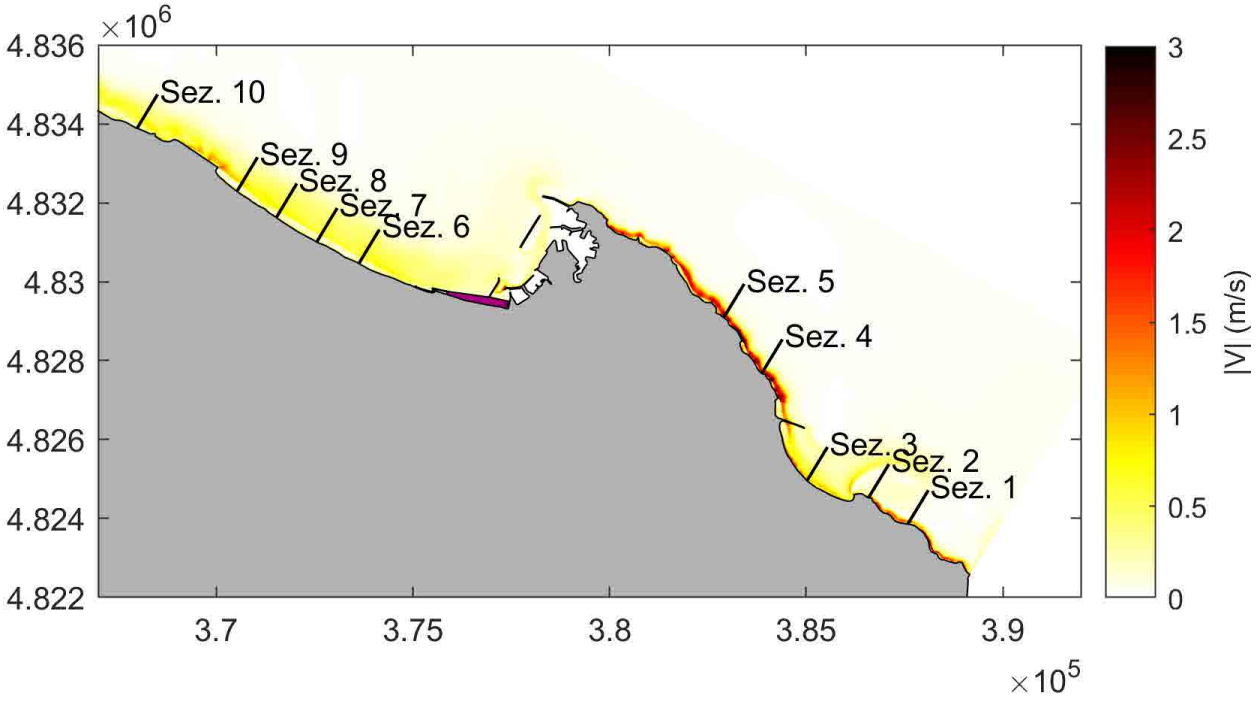

Figura 5.79 - Correnti indotte dall'onda (TR=70 anni: θ0=330°N Hs,0=4.807 m Tp,0=9.58 s) – Configurazione C1

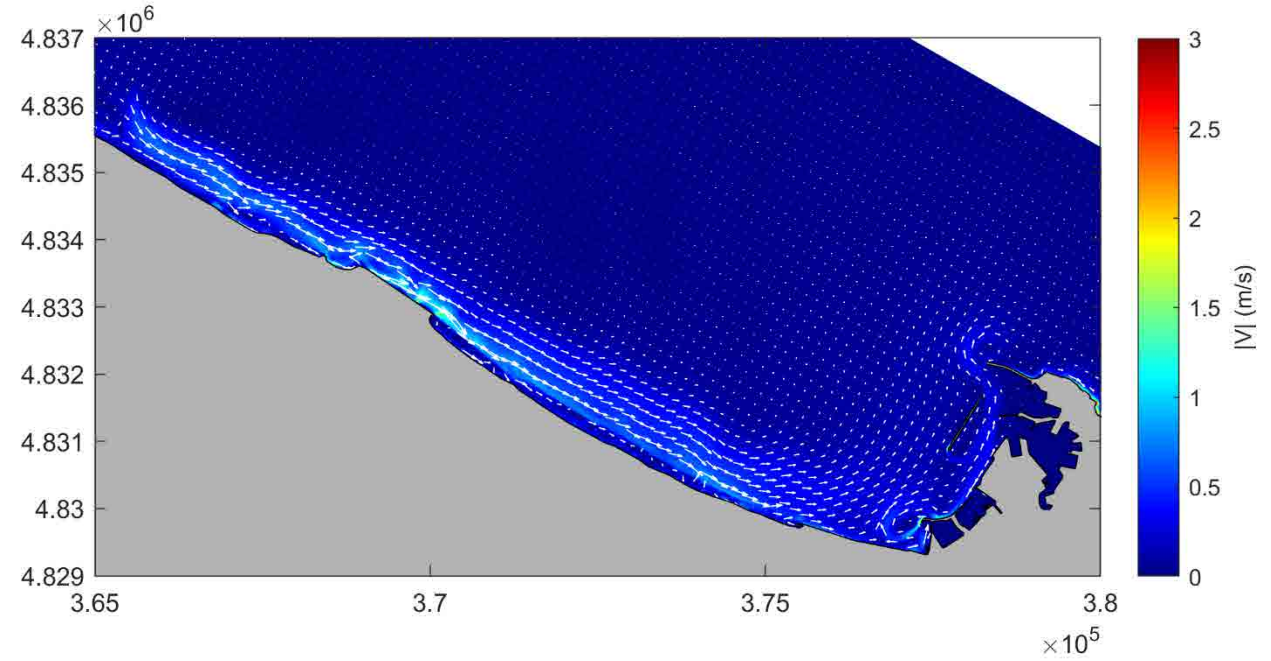

Figura 5.80 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.807 m $T_{p,0}$=9.58 s) – Configurazione C0 – NORD

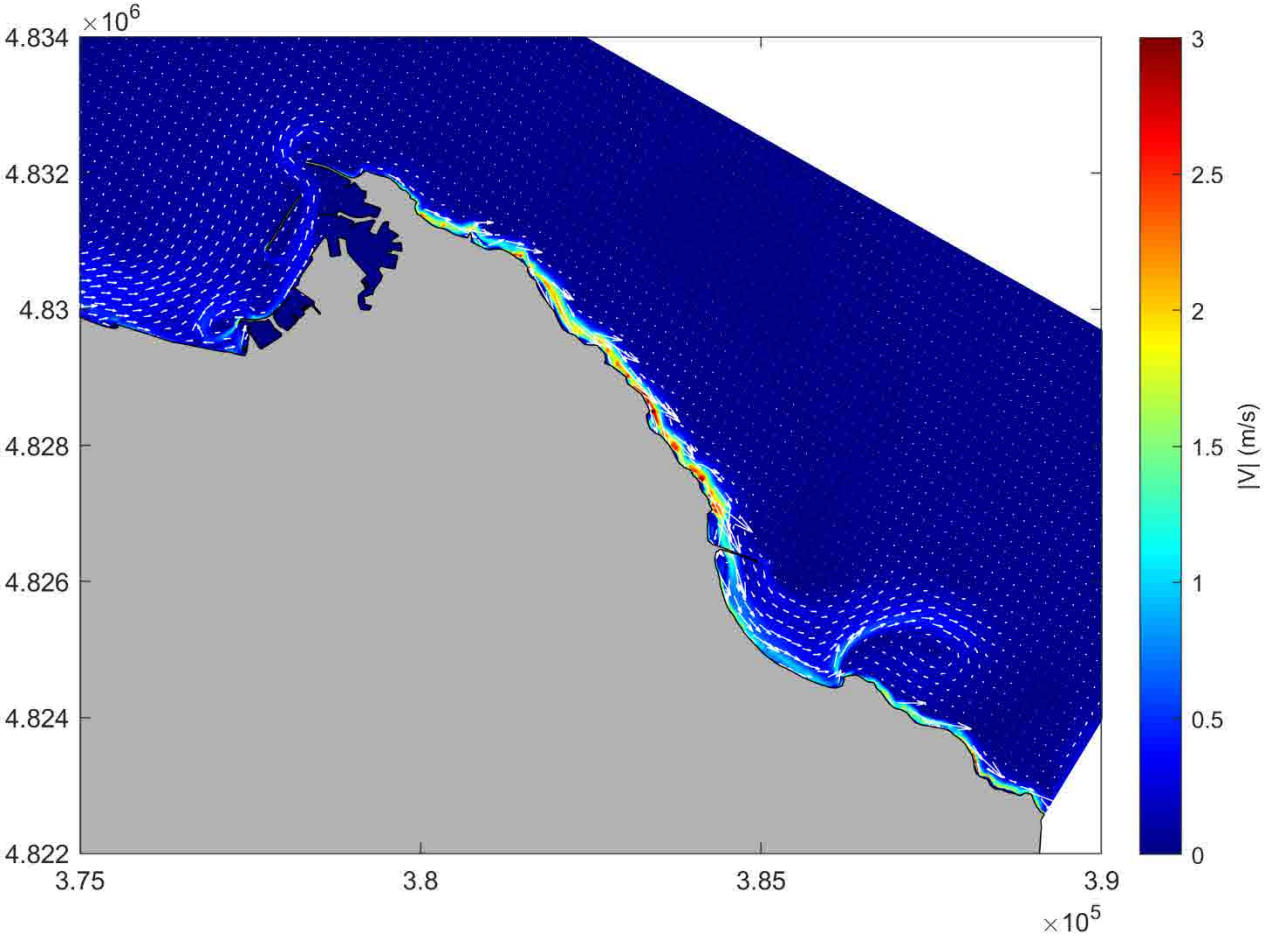

Figura 5.81 - Correnti indotte dall'onda (TR=70 anni: θ0=330°N Hs,0=4.807 m Tp,0=9.58 s) – Configurazione C0 – SUD

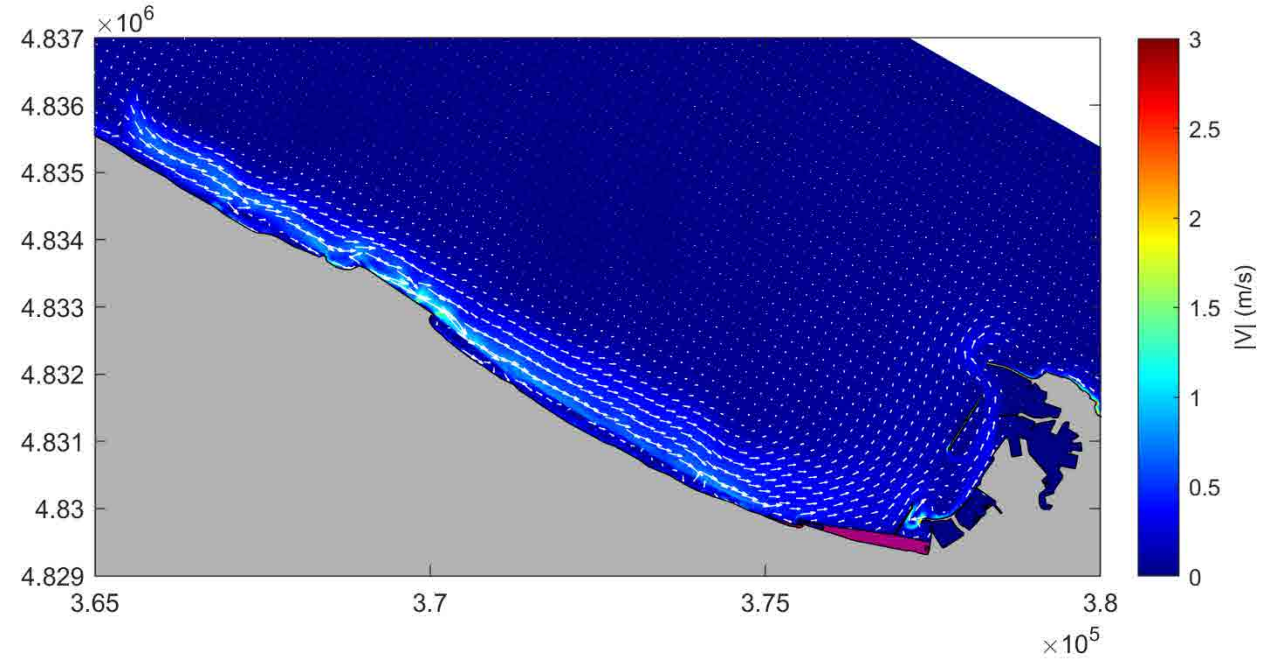

Figura 5.82 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.807 m $T_{p,0}$=9.58 s) – Configurazione C1 – NORD

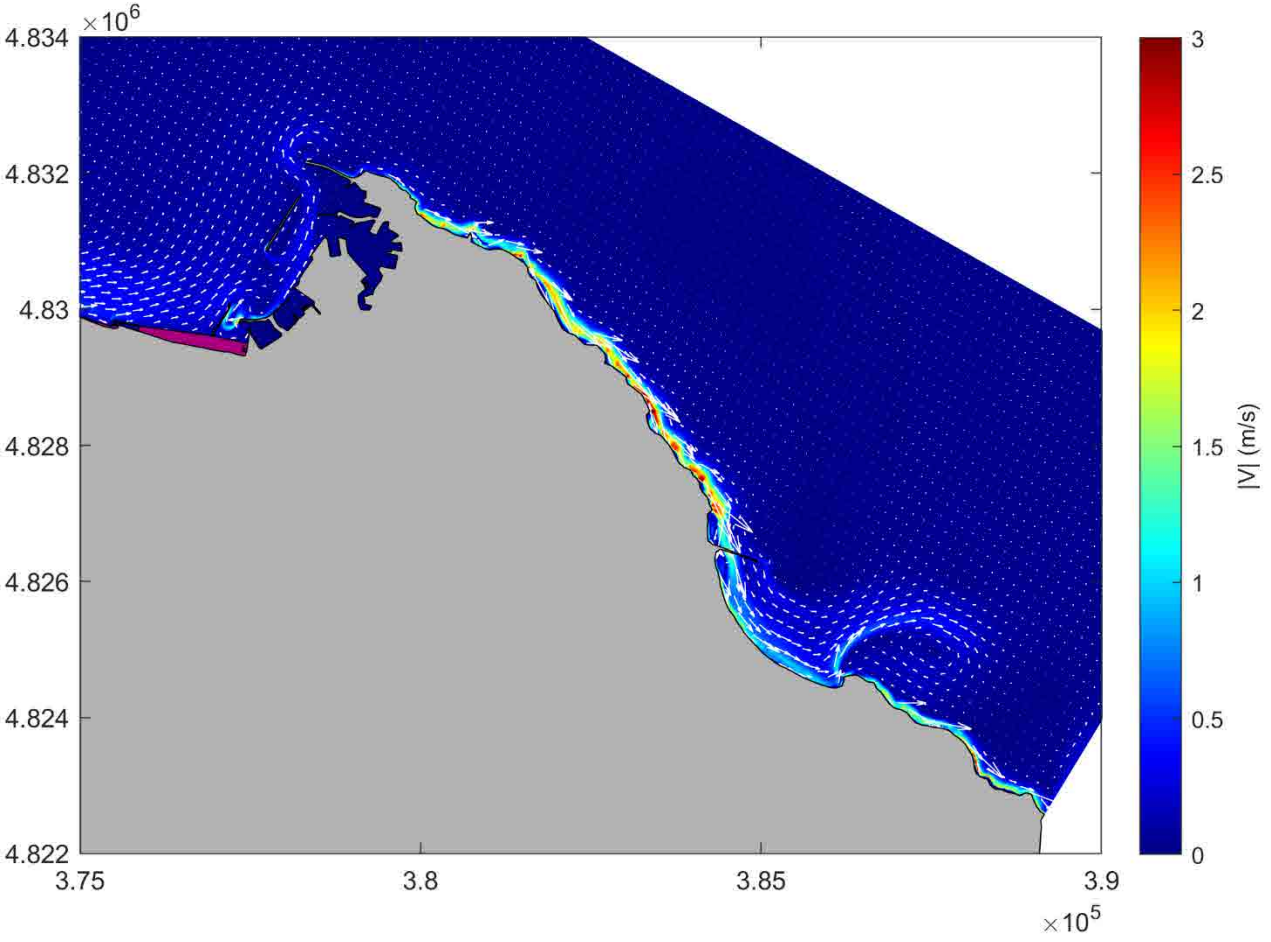

Figura 5.83 - Correnti indotte dall'onda (TR=70 anni: θ0=330°N Hs,0=4.807 m Tp,0=9.58 s) – Configurazione C1 – SUD

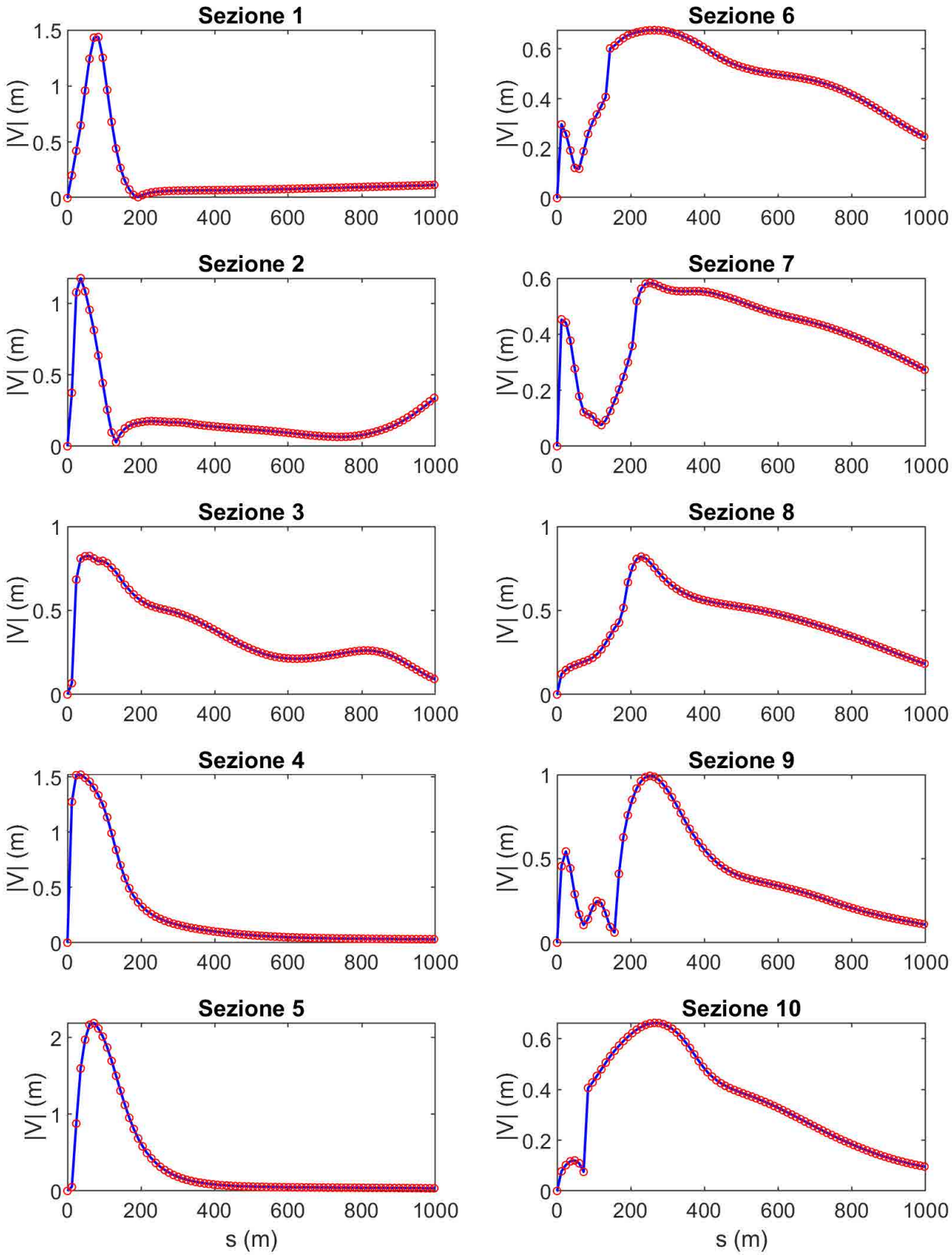

Figura 5.84 - Correnti indotte dall'onda (T_R=70 anni: θ_0=330°N $H_{s,0}$=4.807 m $T_{p,0}$=9.58 s) – Confronto tra Sezioni (linea blu continua: stato attuale; cerchi rossi: stato di progetto)

5.1 Sintesi riassuntiva sulle correnti indotte da onde per le opere di progetto

Dall'esame dei risultati delle simulazioni numeriche sulle correnti di circolazioni indotte dai diversi stati di mare di progetto si possono dedurre le seguenti considerazioni sintetiche.

Da questi risultati si evidenzia come la presenza del porto rappresenti l'elemento di separazione tra le due unità fisiografiche. A parità di condizione ondosa, le correnti si sviluppano in maniera molto differente tra la zona a Nord e a Sud del porto a causa del diverso orientamento delle linee di costa. In particolare, nel tratto a Nord del Porto di Ancona si sviluppa una corrente longitudinale diretta verso Sud solo per gli attacchi ondosi da 330°N e 0°N. Invece, nella zona a Sud del porto (con un angolo della normale alla riva rispetto al Nord molto più elevato) la corrente verso Sud si genera per più condizioni ondose (330°N, 0°N, 30°N e 60°N). Per l'onda da 60°N, tuttavia, nella parte a Sud del porto la corrente che si genera non ha una direzione univoca a causa della marcata variabilità della linea di costa.

L'unica minima alterazione del campo di velocità si osserva in una zona circoscritta in prossimità del molo aggettante (tratto P della Figura 1.2). Gli effetti locali che possono essere originati da tali modeste variazioni erano stati studiati in dettaglio nello "Studio idrodinamico" del 2018. I risultati del precedente studio, effettuato per altro mediante l'applicazione di modelli di trasporto solido al fine di valutare i rischi di interrimento da materiali fini, hanno evidenziato come gli effetti della nuova idrodinamica non fossero peggiorativi della situazione attuale. Al contrario, il materiale sedimentario presente all'imboccatura del Porto Turistico 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. Era stata osservata una drastica riduzione della concentrazione del sedimento solido sospeso per le varie forzanti considerate e anche per quanto riguarda l'area del porto commerciale l'influenza è risultata minima.

Per quanto riguarda eventuali effetti a NordOvest della zona di intervento (Falconara Marittima) e a SudEst del porto (area SIC IT5320005 "Costa tra Ancona e Portonovo"), da una semplice visualizzazione delle mappe di velocità non si riscontrano differenze. Inoltre, si noti come, in corrispondenza dell'opera, per tutte le condizioni ondose analizzate, la corrente longitudinale che si sviluppa sia diretta verso SudEst e quindi la sua influenza verso Nord risulta essere nulla. Questo effetto, comunque presente già allo stato attuale, si verifica a causa della presenza del promontorio anconitano e del molo di sopraflutto del Porto di Ancona. Infatti, la corrente proveniente da tale molo si muove verso il litorale di Palombina in cui si verifica un punto di divergenza delle correnti come evidente in particolare nelle figure che si riferiscono alle onde provenienti dai settori 60°N -90°N -120°N (da Figura 5.29 a Figura 5.69).

In ogni caso, per una valutazione quantitativa degli eventuali effetti nelle due zone di interesse, sono state studiate diverse sezioni, 5 nell tratto di litorale a Nord e 5 nel tratto di

litorale a Sud. Nelle figure viene rappresentato con una linea blu continua il risultato ottenuto nella configurazione *C0* dello stato attuale mentre con dei cerchi rossi il risultato corrispondente alla configurazione *C1* dello stato di progetto. Per la quasi totalità delle sezioni e delle prove i punti risultano perfettamente sovrapposti alle linee, gli effetti delle nuove opere in queste sezioni sono nulli. Le uniche differenze minimamente apprezzabili sono associate alle sezioni situate nelle zone più laterali del dominio di calcolo e che quindi risentono maggiormente delle condizioni al contorno. Tali piccole variazioni sono dunque imputabili ad errori di carattere puramente numerico, sempre presenti quando si effettua una modellazione di questo tipo. Ad esempio, se si osservano la Figura 5.63 e la Figura 5.70 si possono notare delle piccole differenze nelle sezioni 1, 2 e 3 (sezioni situate nella zona Sud del dominio di calcolo). Tuttavia, le onde a cui si riferiscono queste figure sono caratterizzate da una direzione di provenienza delle onde di 120°N con correnti longitudinali dirette verso Nord, per cui tali variazioni nelle sezioni 1, 2 e 3 non sono imputabili alla presenza delle opere di progetto.

6. CONCLUSIONI

Il progetto del nuovo “Lungomare Nord” di Ancona, da realizzare per velocizzare la linea ferroviaria da Ancona a Torrette, si configura come un terrapieno confinato lato-mare da una struttura marittima di tipo radente con mantellata di rivestimento di scogli naturali, disposta planimetricamente con orientamento della normale di circa 8°N. Questa tipologia di opere radenti si costruisce, in genere, dove non ci sono spiagge naturali, solitamente si realizza a protezione di strutture ed infrastrutture esistenti (strade litoranee, linee ferroviarie, costruzioni presenti sulla spiaggia, ecc.). L’impatto generato da strutture radenti di questo tipo riguarda principalmente la zona di mare frontale a tali opere ed i litorali limitrofi dove le onde riflesse da tali strutture possono aumentare l’altezza dell’onda incidente. Per ridurre al minimo questo effetto, nel caso di opere a gettata di massi, si riduce la pendenza della mantellata in modo da dissipare maggiormente l’energia dell’onda incidente, ridurre quella riflessa, e quindi ridurre gli impatti sui litorali limitrofi e davanti alla struttura stessa.

Nel caso in esame, sono state eseguite simulazioni numeriche con il codice *Delft3D* nelle configurazioni dello stato attuale e dello stato modificato dalle opere di progetto su un’area di analisi estesa ai litorali adiacenti alle opere di progetto, come richiesto dalla Commissione Tecnica di Verifica dell’Impatto Ambientale. In particolare, il dominio di calcolo si estende dal litorale di Marina di Montemarciano a NordOvest, fino agli scogli delle “Due Sorelle” nel Comune di Sirolo a SudEst e, quindi, l’aria di studio comprende la raffineria API di Ancona nel tratto a Nord e l’intera area SIC IT5320005 “Costa tra Ancona e Portonovo” nel tratto a Sud (vd. Figura 1.1). Le simulazioni sono state effettuate con sei direzioni di provenienza del moto ondoso incidente per rappresentare l’intero clima ondoso della traversia. Le simulazioni rappresentano l’effetto prodotto dalle onde in termini di altezza d’onda locale (da Figura 4.1 a Figura 4.24) e correnti prodotte dalla forzante ondosa (Figura 5.1 a Figura 5.84). Sono questi due parametri gli unici che determinano, nella zona dei frangenti, l’influenza e quindi l’impatto delle opere costiere sui litorali limitrofi, tenendo anche conto che la marea nel paraggio anconitano è di modesta entità.

Nello “Studio idrodinamico” del 2018, allegato al progetto (*Allegato Studio Meteomarino*), oltre ai suddetti effetti prodotti dalle condizioni ondose, sono state considerate le correnti di circolazione generale e quelle dovute al vento, che, però, sono importanti solo per il trasporto di materiali fini (pelitico-limosi). I sedimenti fini, come noto, non hanno alcuna influenza sulla morfodinamica dei litorali, la quale è condizionata esclusivamente dal trasporto dei sedimenti sabbiosi e ghiaiosi, di provenienza fluviale, che si depositano sulla spiaggia emersa e sommersa. Le correnti di circolazione e da vento interessano, invece, solo l’area portuale dove si vengono a formare zone di calma che favoriscono il deposito di questi sedimenti fini. Tuttavia, si fa notare che, come emerso nello studio idrodinamico precedente, gli effetti delle opere di progetto, in termini di variazione degli apporti solidi dei sedimenti fini nelle aree portuali, sono di limitata entità ed inoltre la

presenza del molo aggettante (tratto P della Figura 1.2) protegge l'imboccatura del porto turistico dall'insabbiamento.

Quindi, nel caso del presente studio, dovendo indagare solo sulla morfodinamica dei litorali limitrofi, le simulazioni sono state concentrate sull'analisi del moto ondoso e delle relative correnti indotte, a cui sarebbe associabile una portata solida costiera.

Il nuovo terrapieno del "Lungomare Nord" sarà collocato in un'area che risulta assolutamente protetta dalle onde di provenienza sud-orientale, dominanti nel paraggio, per la presenza del promontorio del Monte Conero e delle opere portuali aggettanti del Porto di Ancona. Tra l'altro, la stessa azione di protezione ondosa parziale sulle opere previste risulta esercitata anche per tutti gli altri attacchi ondosi di provenienza dai quadranti orientali. I risultati riportati tra la Figura 4.13 e la Figura 4.20 dimostrano in modo evidente il fenomeno. In pratica, la struttura radente si trova nella zona "d'ombra" e quindi non è soggetta all'attacco diretto delle onde provenienti dai settori orientali, per cui tali ondazioni, che comprendono anche le più intense del paraggio, risultano incidere la struttura radente con intensità ridotta, limitando così i loro effetti anche nelle aree circostanti. In sintesi, la nuova opera è in grado di produrre, a causa della riflessione delle onde sulla struttura radente, solo effetti ondosi di limitata entità sui litorali adiacenti.

Le onde provenienti dai settori nord-occidentali, che risultano direttamente incidenti sulla struttura radente, verrebbero riflesse verso le direzioni orientali e quindi verso le opere foranee del Porto di Ancona. Il terrapieno, da realizzare con protezione di scogliera radente avente mantellata di rivestimento in massi naturali con pendenza 1:2, ha un coefficiente di riflessione ondosa di circa $K_r \approx 0.45$ e produce quindi riflessioni di energia ondosa di minima entità. Si precisa che, tra l'altro, le opere foranee del Porto di Ancona verso cui risultano prevalentemente dirette le suddette riflessioni ondose, sono in grado di assorbire agevolmente tali impatti ondosi.

In termini di correnti costiere prodotte dal moto ondoso, il flusso di circolazione che lambisce il previsto "Lungomare Nord" risulta diretto da NordOvest verso SudEst, come rilevato dalle simulazioni numeriche e come descritto nel Capitolo 5, anche a causa della divergenza della direzione del flusso longitudinale alla costa che si instaura al margine fra zona aperta e zona d'ombra, con qualsiasi delle ondazioni testate (anche e soprattutto con le intense provenienze orientali e sud-orientali). Quindi, per effetto delle correnti di moto ondoso, le nuove opere previste non possono produrre alcuna influenza e ripercussione negativa verso il litorale limitrofo di Falconara Marittima a NordOvest.

Va, infine, ricordata un'altra fondamentale circostanza del paraggio. Le spiagge fino alla Foce del Fiume Esino sono completamente protette da scogliere foranee emerse realizzate nel secolo scorso (vd. Figura 2.6), che hanno stabilizzato in modo assolutamente determinante la dinamica del litorale ed hanno, di fatto, consolidato la spiaggia.

In generale, come già sopra riportato, la variazione delle condizioni morfodinamiche dei litorali nel medio-lungo periodo è sempre determinata da un gradiente della portata solida

longitudinale. Le simulazioni numeriche hanno dimostrato che, in condizioni di *ante*- e *post-operam*, non si produce alcuna modifica, rispetto alle condizioni dello stato attuale, delle caratteristiche ondose e delle relative correnti longitudinali sui litorali limitrofi, sia a NordOvest delle opere previste sia nel tratto di costa tra Ancona e Portonovo-Riviera del Conero. Quindi, avendo dimostrato che la costruzione del terrapieno non modifica gli effetti ondosi nei tratti di costa adiacenti, allora si può concludere che la costruzione delle opere secondo l'intervento in progetto, non genera alcun effetto e/o impatto negativo sui litorali limitrofi.

In sintesi, si ha che:

a) la costa a NordOvest del nuovo terrapieno risulta completamente protetta da scogliere foranee emerse realizzate nel corso del secolo scorso (vd. Figura 2.6), che hanno protetto il litorale e creato una linea di riva stabile. Quindi, le opere marittime necessarie a proteggere ed a consentire la velocizzazione della linea ferroviaria adriatica non possono avere alcuna influenza su tale tratto di litorale a NordOvest, cioè la stabilità della costa è comunque assicurata dalla presenza consolidata delle scogliere foranee e non può essere modificata dal nuovo intervento. Inoltre, le opere in progetto, in occasione di attacchi ondosi di provenienza orientale, vengono a trovarsi nella "zona d'ombra" protetta dalla presenza del promontorio del Conero e delle dighe foranee del Porto di Ancona, per cui anche l'eventuale incidenza delle onde diffratte, quindi di intensità limitata, che possono essere riflesse verso NordOvest, risulta fortemente attenuata, tra l'altro anche dalla pendenza e dalla porosità della mantellata della scogliera radente di protezione, che produce una forte dissipazione dell'energia ondosa incidente ed una debole riflessione. Infine, il flusso della circolazione idrodinamica indotta dalle ondazioni sul tratto di litorale oggetto dell'intervento risulta, per ogni condizione ondosa testata, diretto da NordOvest verso SudEst, escludendo qualsiasi influenza idrodinamica (e quindi anche morfodinamica) delle opere previste sul tratto di litorale limitrofo a NordOvest;

b) qualsiasi impatto sui litorali della "Costa tra Ancona e Portonovo" (area SIC IT5320005) è da escludere, infatti l'area dove sarà realizzato il nuovo "Lungomare Nord" e la costa della Riviera del Conero appartengono a due unità fisiografica differenti (vd. Capitolo 2), che risultano pure separate dalle opere del Porto di Ancona. Le onde provenienti dal settore di traversia del paraggio (NordOvest-EstSudEst) che giungono ad incidere la prevista scogliera radente vengono parzialmente riflesse dalle strutture e quelle dirette verso i settori direzionali orientali, rimangono confinate in un'area ristretta in prossimità delle opere portuali di Ancona;

c) i risultati delle simulazioni numeriche effettuate dimostrano che l'intensità e le caratteristiche delle onde e delle stesse correnti ondose (forzanti di tutta la dinamica costiera) non variano su tutto il paraggio analizzato in condizioni *ante*-

e *post-operam* (vd. da Figura 4.1 a Figura 5.84), per cui le opere in progetto non risultano produrre alcuna influenza sulla dinamica costiera, sia a NordOvest sia a SudEst, e quindi non hanno alcun impatto negativo sulla morfodinamica dei litorali limitrofi.

Firmato da:Maurizio Brocchini
Organizzazione:UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE/00382520427
Data: 15/07/2021 11:07:43