Firmato digitalmente da:
Capannelli Gererado
Firmato il 2025/01/23 16:54
Seriale Certificato: 3207156
Valido dal 18/01/2024 al 18/01/2027
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Geoscape Società Cooperativa
SpinOff dell'Università di Genova
Sede legale Via Varese 2 – CAP 16122 (Ge)
Pec: geoscape@pec.geoscape.it
Mail: info@geoscape.it

P.IVA: 02594600997

Servizio specialistico di valutazione per nuove ipotesi di progetto mediante modellistica costiera lungo il litorale di Mulinetti – Recco (Genova)

GEOSCAPE SOC. COOP.

3 dicembre 2024

geoscape coop.

Sommario

1. Premessa 3
2. Generalità sulla modellistica costiera applicata 3
3. Moto ondoso 4
3.1. Dati meteo-marini di riferimento 5
4. Area di intervento 5
5. Risultati modello 2DH 7
5.1. Stato attuale 7
5.1.1 Libeccio 8
5.1.2 Scirocco 12
5.2 Ipotesi di progetto con radicamento di pennello a levante della spiaggia di Mulinetti 13
5.2.1 Libeccio 14
5.2.2 Scirocco 16
5.3 Ipotesi di progetto con radicamento di pennello con testata a "Martello" a levante della spiaggia di Mulinetti 18
5.3.1 Libeccio 18
5.3.2 Scirocco 20
5.4 *Ipotesi di progetto con radicamento di pennello con testata a "Martello" con quota massima di 2 metri a levante della spiaggia di Mulinetti* 22
5.4.1 Libeccio 22
5.4.2 Scirocco 23
5.5 Ipotesi di progetto con radicamento di pennello con testata a "Martello" a levante della spiaggia di Mulinetti con livellamento fondale. 25
5.6 *Ipotesi di progetto con radicamento di pennello con testata a "Martello" a levante della spiaggia di Mulinetti* 27
5.6.1 Libeccio 28
5.6.2 Scirocco 29
6. Studio dell'inondazione Costiera Wave Run-up 31
6. Conclusioni generali 34
8. Bibliografia citata 35

1. Premessa

La società Ferretti ha dato incarico alla società cooperativa Geoscape di fornire il servizio specialistico propedeutico al progetto di Intervento di difesa costiera del tratto di costa in località Mulinetti (Recco-Genova) con l'obiettivo di proteggere dall'azione dei marosi le pile del tracciato ferroviario ubicate immediatamente a ridosso della spiaggia esistente.

Il presente documento presenta i risultati dello studio modellistico implementato sul tratto di litorale investigato.

Lo scopo dell'indagine è quello di definire i principali aspetti idrodinamici dell'area, con particolare riferimento ai risultati riferiti al nuovo scenario di assetto costiero proposto.

2. Generalità sulla modellistica costiera applicata

La modellistica costiera rappresenta uno strumento innovativo nel campo del coastal management, e di notevole supporto per gli interventi di ingegneria costiera. In questo studio è stato utilizzato il modello XBeach (eXtreme Beach), un modello numerico 1D/2DH open-source per la simulazione dell'idro-morfodinamica costiera, distribuito da Deltares (www.deltares.nl), ed ampiamente apprezzato dalla comunità tecno-scientifica internazionale (Roelvink et al., 2009; Bolle et al., 2011). Inoltre, la scelta è stata corroborata anche dal fatto che sono note diverse applicazioni lungo tratti di costa ligure, alcune delle quali anche riportate in letteratura scientifica internazionale (Mucerino et al. 2019; Carpi et al. 2020; Mucerino et al. 2021; Carpi et al. 2021). Dal punto di vista tecnico, il

modello risolve coppie di equazioni sul piano orizzontale, relative a propagazione delle onde, correnti, trasporto sedimentario, variazioni del fondale, variazioni spettrali delle onde e correnti al contorno (Roelvink et al., 2015). Per quanto riguarda la simulazione dei processi idrodinamici, XBeach possiede tre differenti opzioni: i) Stationary wave model: utile, ad esempio, per simulare i processi morfodinamici in condizioni di relativa bassa energia; ii) Surfbeat mode: indicato quando l'attenzione è portata sui fenomeni idro-morfodinamici nearshore (es. correnti costiere, zona di swash); iii) Non-hydrostatic mode (1D)(McCall et al., 2014): particolarmente indicato nel caso di spiagge caratterizzate da un'accentuata acclività, come ad esempio le spiagge ghiaiose.

Questa breve descrizione del modello è da intendersi solo come una rapida introduzione allo strumento impiegato, per ulteriori informazioni tecniche e/o approfondimenti, si rimanda alla consultazione del manuale tecnico stilato da Roelvink et al. (2019).

Per quanto concerne l'implementazione di XBeach 2DH lungo la porzione di litorale investigato, è stata creata una griglia di calcolo strutturata con maglia a risoluzione di 2.5 x 5 m lungo la surf zone (area di maggiore interesse), e 10x10 mal largo. L'ampiezza del dominio di computazionale permette di simulare lo sviluppo del moto ondoso tenendo debitamente in considerazione le dinamiche al contorno, consentendo quindi di simulare il più fedelmente possibile la propagazione del moto ondoso e, in conseguenza, le sue caratteristiche energetiche.

3. Moto ondoso

In questo paragrafo vengono illustrati i dati del clima meteomarino estratti dai valori pubblicati nel documento di "**INTERVENTI DI DIFESA DELLA COSTA E DI RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE E PAESAGGISTICA DELLA FASCIA COSTIERA IN COMUNE DI BOGLIASCO- RSD4 Modellazione matematica**", Prodotto da Regione Liguria nel 2006. Tali dati sono da considerarsi idonei ai fini dello studio qui descritto in quanto riferiti ad un'area geograficamente limitrofa e con la medesima esposizione.

3.1. Dati meteo-marini di riferimento

Per questo studio sono stati impiegati i seguenti parametri del moto ondoso:

Altezza d'onda spettrale H_o [m]	Periodo di picco T_p [s]	Direzione θ [°N]	Periodo di ritorno T_R [anni]
5.20	10	160 Scirocco	10
5.71	11	160 Scirocco	50
6.40	11	220 Libeccio	10
6.90	12	220 Libeccio	50

I dati disponibili sono stati elaborati da regione Liguria applicando il modello matematico STWAVE (Steady-state spectral wave model); Esso è un modello stazionario spettrale alle differenze finite per l'analisi della propagazione verso riva delle onde generate da vento.

Il modello descrive il cambiamento delle caratteristiche delle onde (altezza, periodo, direzione e forma spettrale) nella propagazione da largo verso riva, tenendo conto dei fenomeni di rifrazione e shoaling indotti dalla profondità e dalle correnti, di frangimento, diffrazione, interazione tra onde e whitecapping.

4. Area di intervento

L'area soggetta a investigazione modellistica è situata in località Mulinetti (Recco-Genova) e il dominio di calcolo è inquadrato in un'area che si estende dai promontori aggettanti fino ad una profondità di circa 40 metri.

Sono Stati utilizzati i dati topografici e batimetrici rilevati dalla società Ferretti srl; questi sono stati implementati per i tratti rocciosi al di sopra del livello del mare con i dati lidar del 2008, mentre il dato batimetrico tra i 15 ed i 40 metri è stato reperito sul geoportale di regione Liguria.

La stessa Società Geoscape ha condotto le analisi granulometriche necessarie per individuare i parametri sedimentologici necessari all'implementazione del modello numerico, in particolare il parametro D50. il D50 utilizzato per le simulazioni è pari a 20 mm, mentre per lo scenario di ripascimento si sono valutate due ipotesi, ovvero l'impiego di materiale con D50 pari, rispettivamente, a 30 mm e 60 mm.

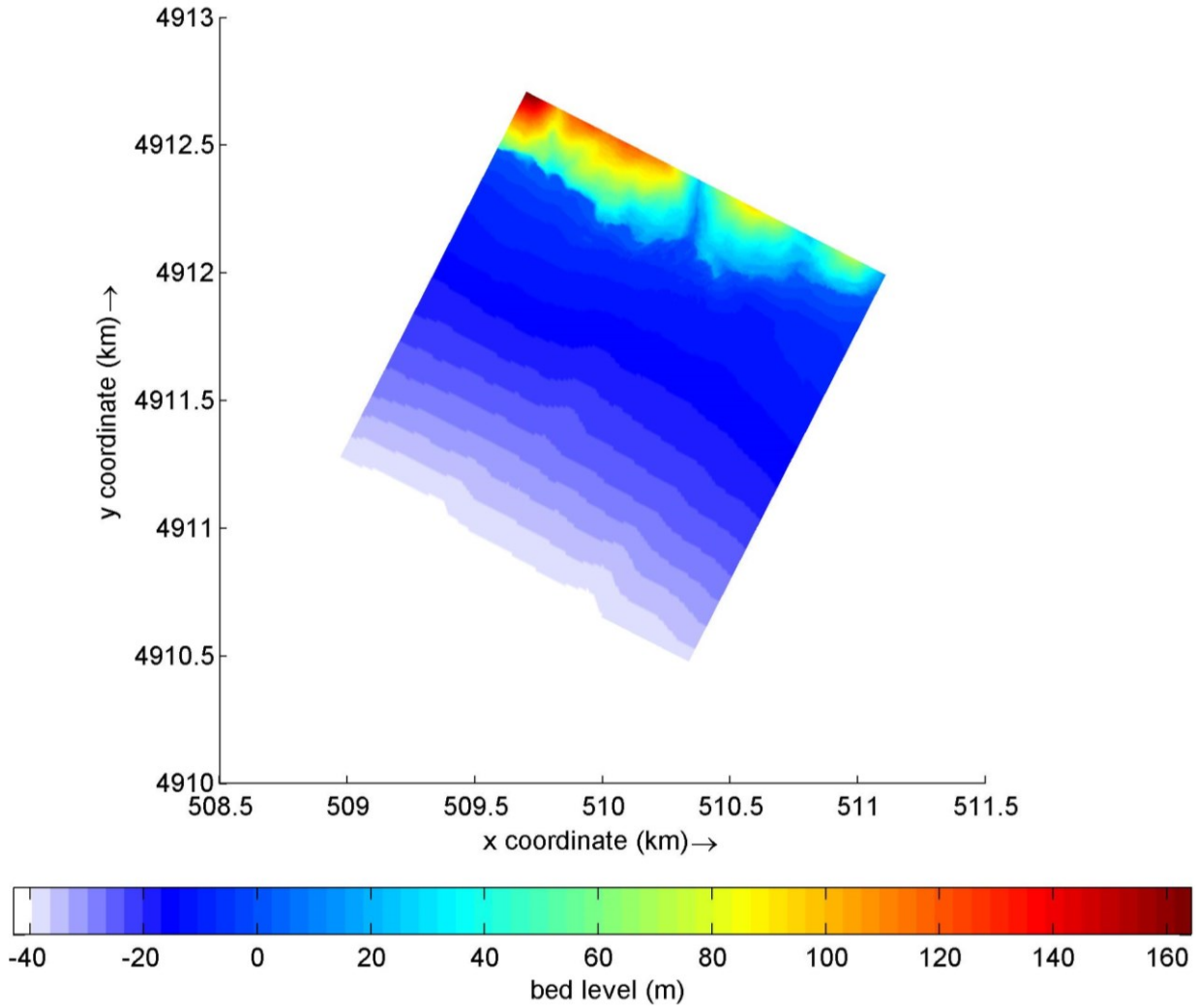


Figura 1 Dominio di calcolo.

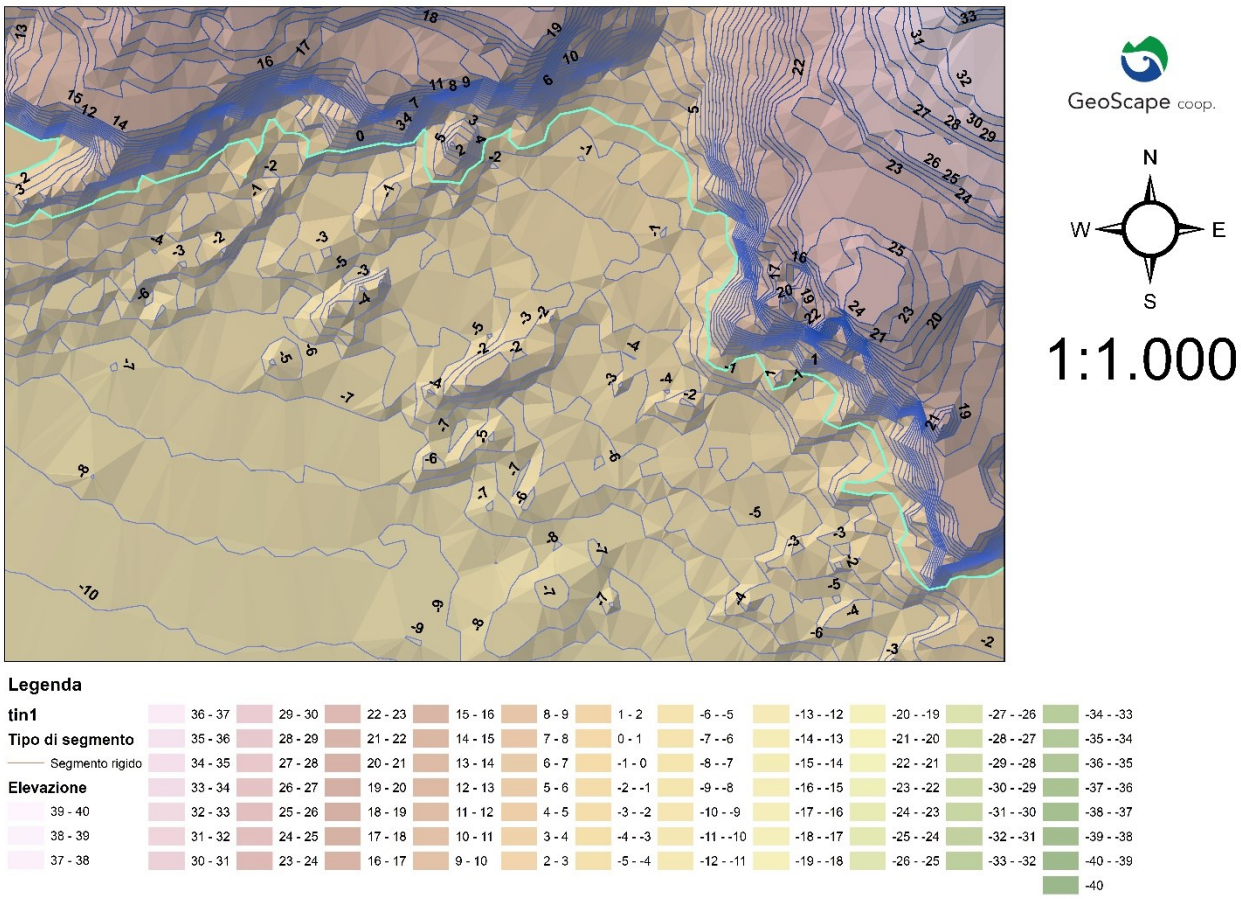


Figura 2 dati topo batimetrici dell'area di intervento.

5. Risultati modello 2DH

In questo paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti, in termini di energia del moto ondoso ed evoluzione idrodinamica, dalle simulazioni modellistiche per un moto ondoso incidente con tempo di ritorno decennale e cinquantennale, per le direttrici di Libeccio (SW) e Scirocco (SE). Dal punto di vista delle tempistiche di simulazione, al fine di garantire un approccio maggiormente conservativo, si sono simulati 2 eventi con onda annuale e cinquantennale della durata di circa 6 ore, al fine di simulare il massimo e completo sviluppo del moto ondoso.

5.1. Stato attuale

In questo paragrafo sono riportati i risultati delle simulazioni per lo stato attuale con i mari di Libeccio, Scirocco su un tempo di ritorno decennale e cinquantennale per valutare il

comportamento idrodinamico del litorale ad oggi; questo permette di avere un termine di paragone con le ipotesi di progetto descritte nei paragrafi successivi. Per ogni sottoparagrafo sono evidenziati il moto ondoso e le correnti superficiali. Come di consueto si utilizza il tempo di ritorno decennale su un tempo di 6 ore di simulazione al fine di avere un quadro preciso della evoluzione idrodinamica, in quanto su stati di mare più gravosi l'eccessiva dinamica non permette di comprendere coerentemente le forze in gioco.

5.1.1 Libeccio

Altezza d'onda significativa per tempo di ritorno 10 anni

In questa sezione sono riportati i risultati per i mari di libeccio su tempi di ritorno decennali con un periodo di circa 11 secondi; nell'immagine riportata in figura 3 è mostrato lo sviluppo del moto ondoso dal largo fino a costa. La simulazione numerica si basa su un sistema di equazioni non lineari, che produce un'evoluzione non regolare del moto ondoso, ma che maggiormente rappresenta la reale evoluzione dei marosi.

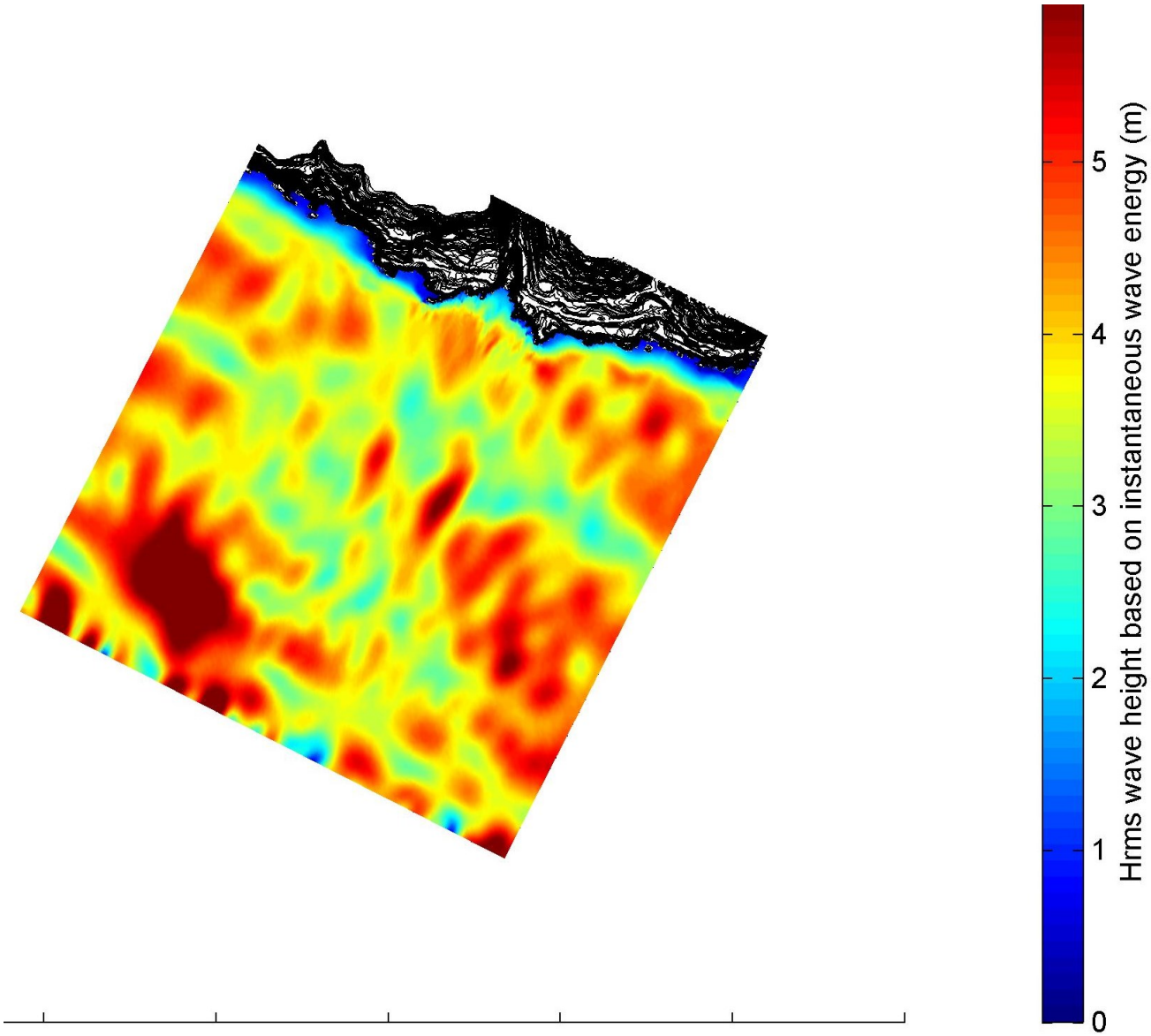


Figura 3. Altezza d'onda su area di interesse.

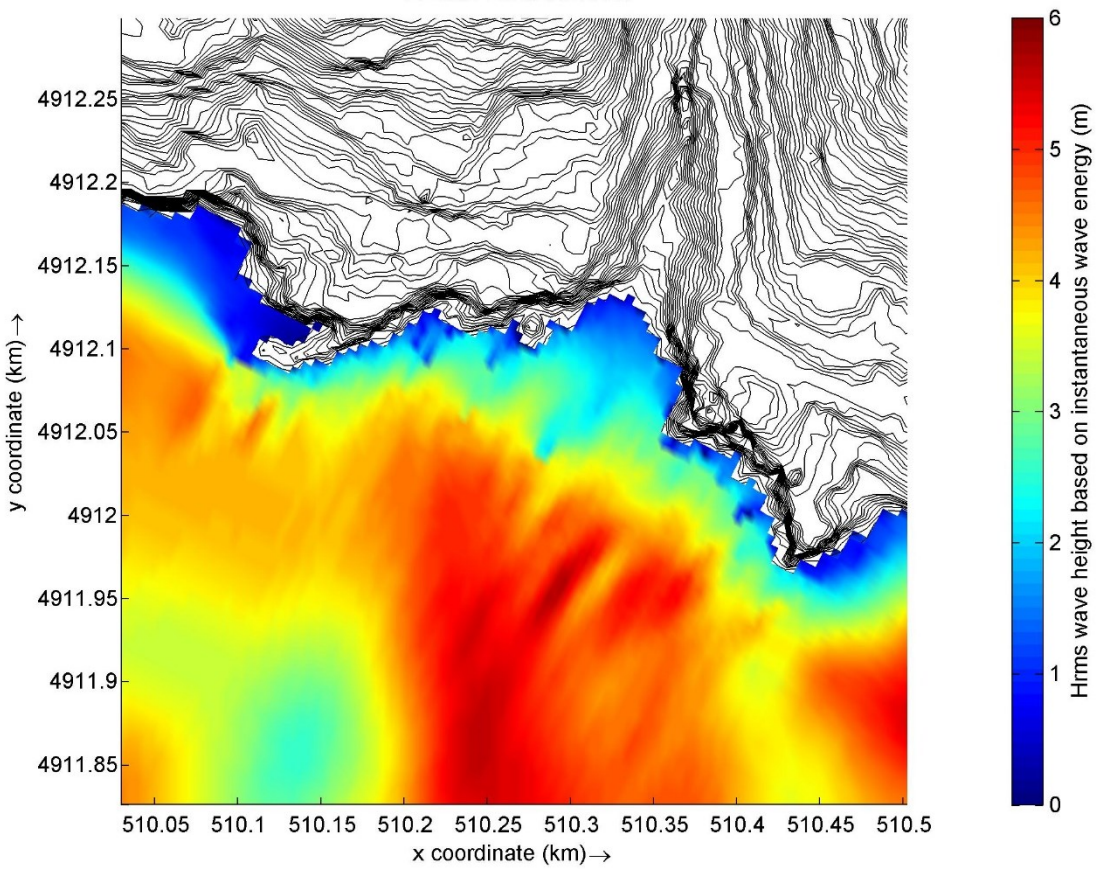


Figura 4. dettaglio area Progetto.

In figura 4 sono riportate le aree interessate della progettazione; da questa simulazione si evince che l'energia del moto ondoso in atto subisce una scarsa riduzione rispetto a quella offshore in quanto l'alto fondale attua una minima dissipazione dell'energia. Ciò comporta che il tratto di costa in esame è fortemente esposto alle mareggiate di libeccio sia per il settore di traversia stesso, sia per la morfologia del fondale. Va comunque sottolineato che la presenza di affioramenti rocciosi sul fondale determina comunque un'attenuazione del moto ondoso (particolarmente visibile in figura 4).

Correnti Superficiali per tempo di ritorno 10 anni

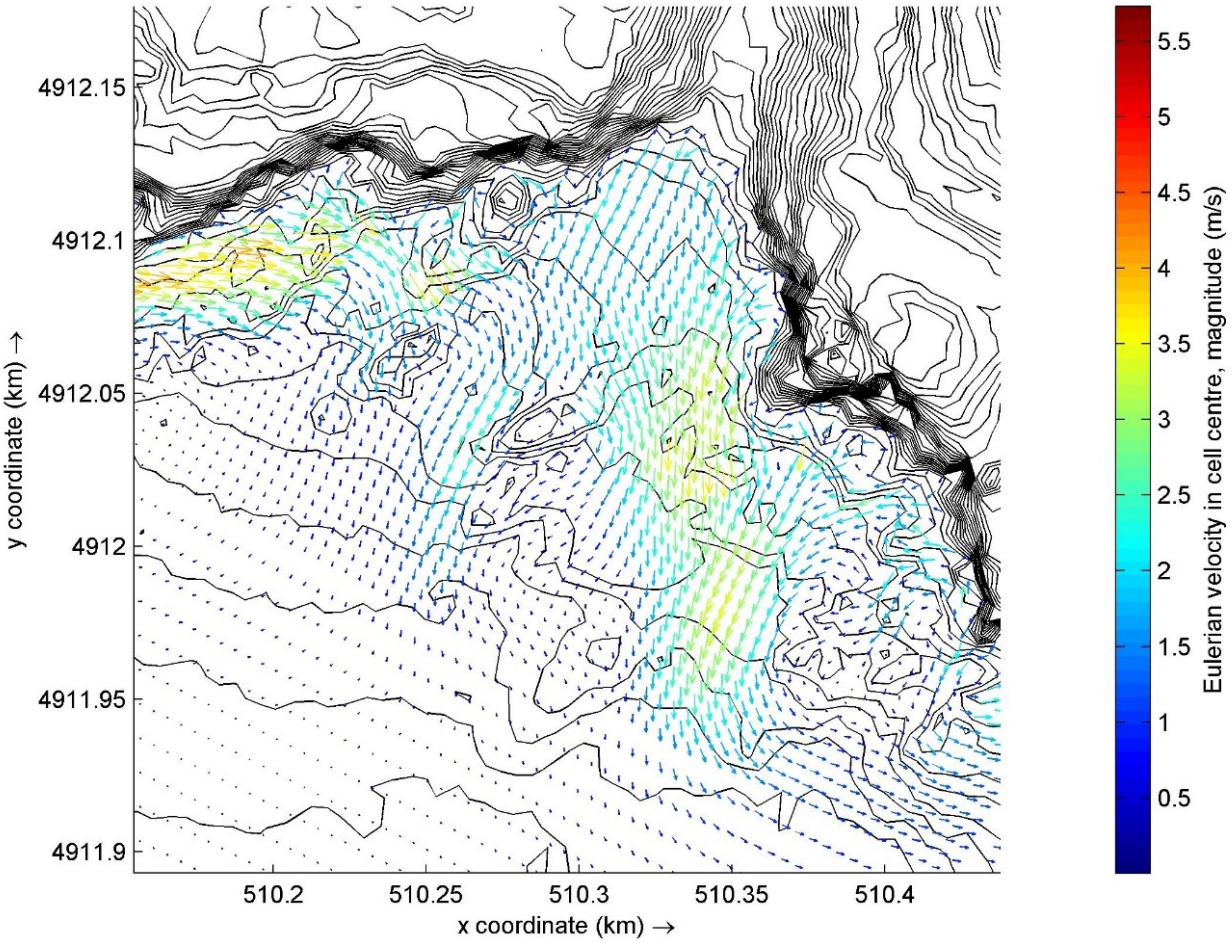


Figura 5. simulazione delle correnti in area di interesse.

In riferimento alla dinamica delle correnti ottenuta dalle simulazioni modellistiche emerge la presenza di una corrente long-shore da ponente a levante, e la genesi di rip current che determinano il trasporto solido di materiale disciolto dalla spiaggia emersa verso il largo. Il fenomeno risulta intensificato dalle presenze di canaloni rocciosi sotto costa che agevolano lo sviluppo delle rip current.

5.1.2 Scirocco

Altezza d'onda significativa per tempo di ritorno 10 anni

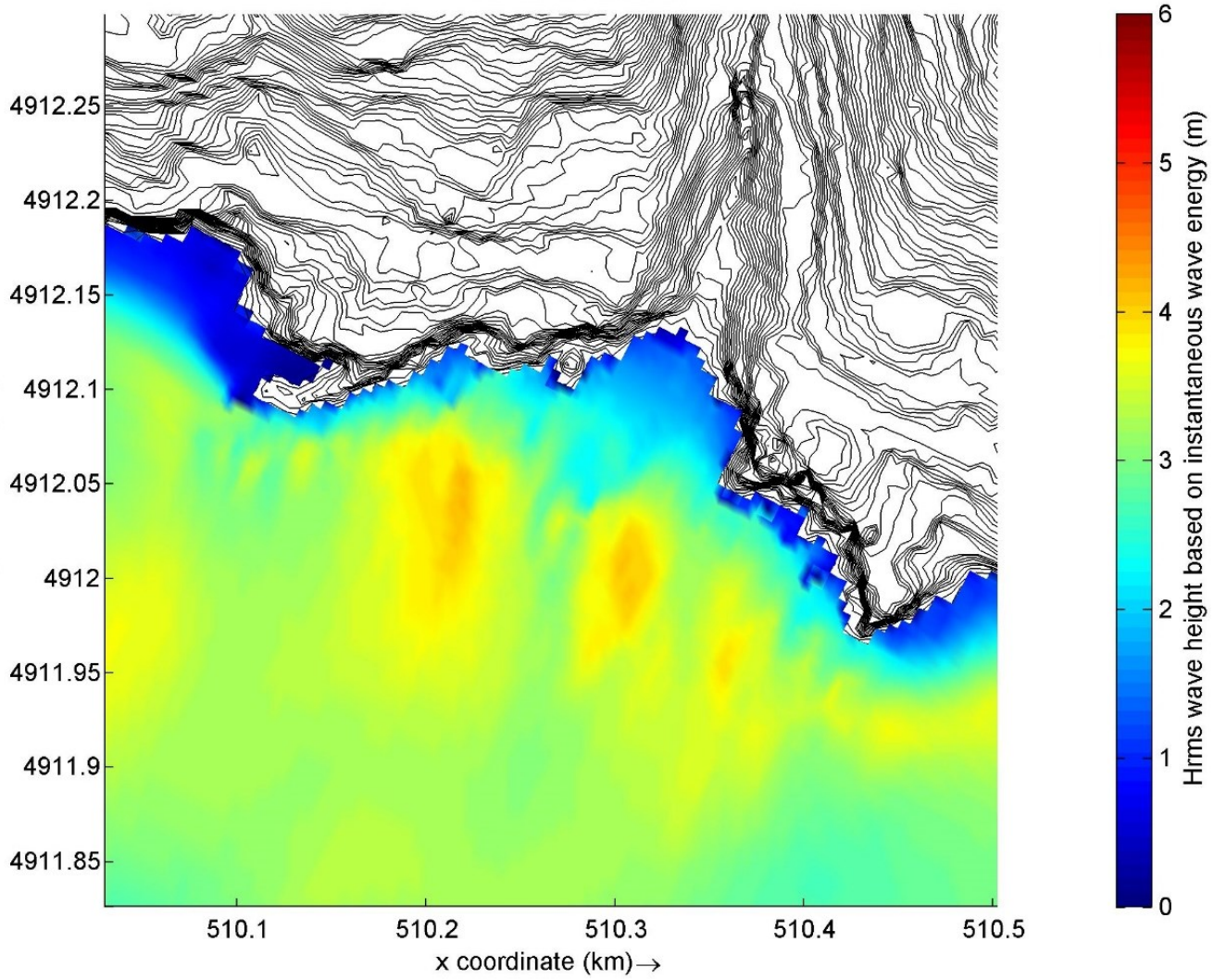


Figura 5. Altezza d'onda per Scirocco con tempo di ritorno di 10 anni.

Correnti Superficiali per tempo di ritorno 10 anni

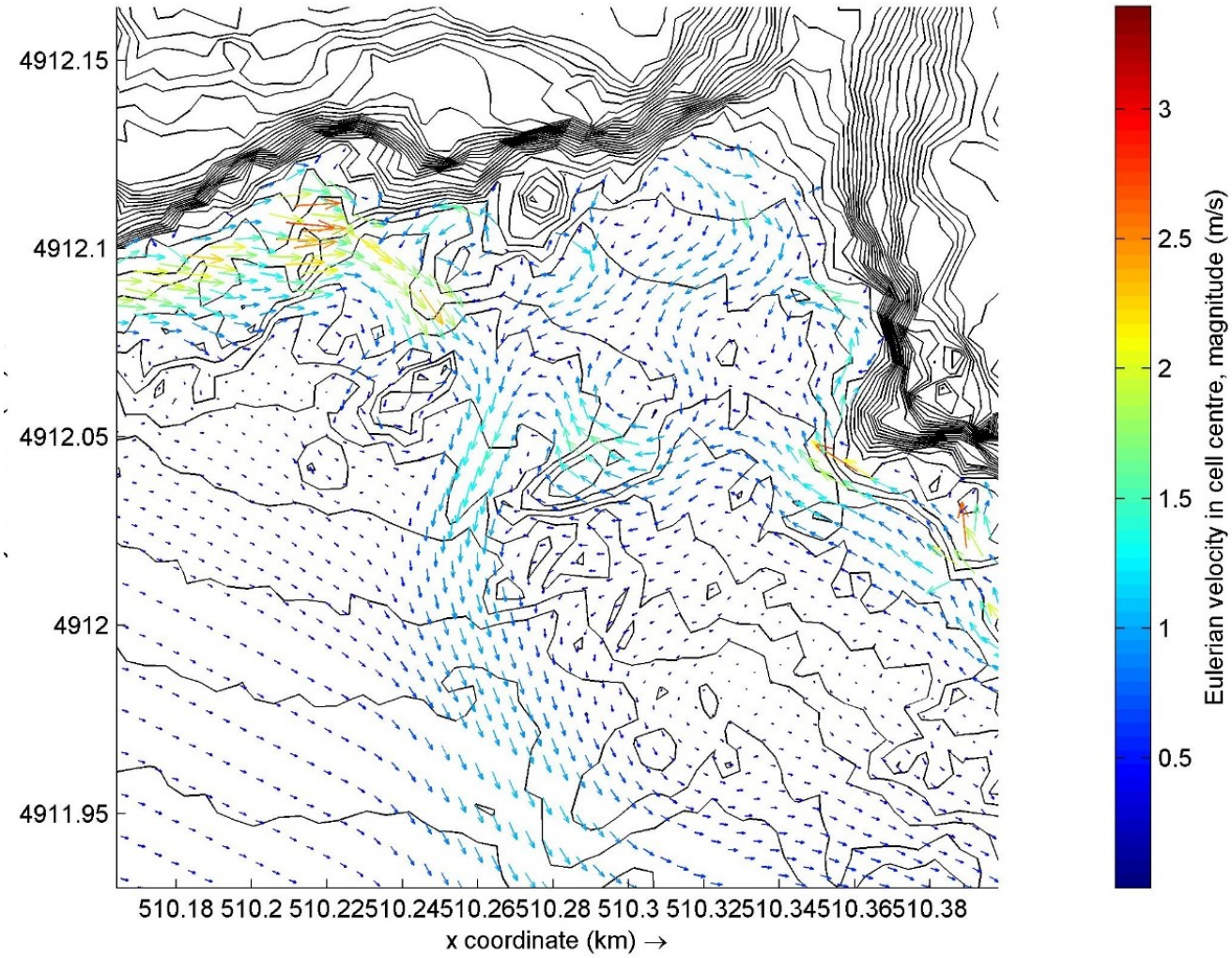


Figura 7. Correnti per mare di Scirocco con tempo di ritorno 10 anni.

5.2 Ipotesi di progetto con radicamento di pennello a levante della spiaggia di Mulinetti

In questa ipotesi di progetto è stata valutato il radicamento di un pennello a levante della spiaggia di Mulinetti con l'obiettivo di interrompere la corrente con direttrice ponente-levante e attenuare i mari di scirocco provenienti da Sud Est.

5.2.1 Libeccio

<u>Altezza d'onda significativa per tempo di ritorno 10 anni</u>

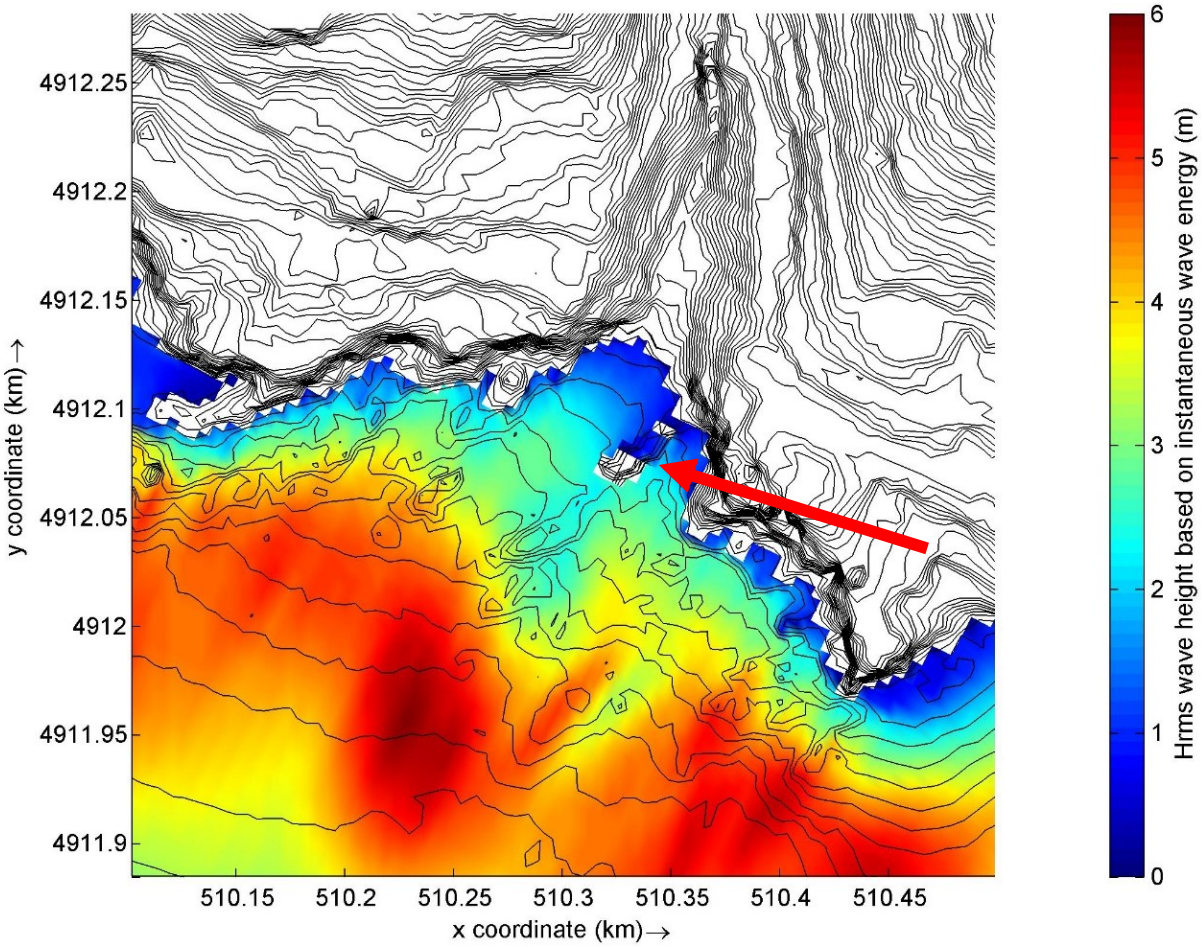


Figura 8. Impatto del moto ondoso per libeccio con tempo di ritorno decennale con presenza del Pennello.

Correnti Superficiali per tempo di ritorno 10 anni

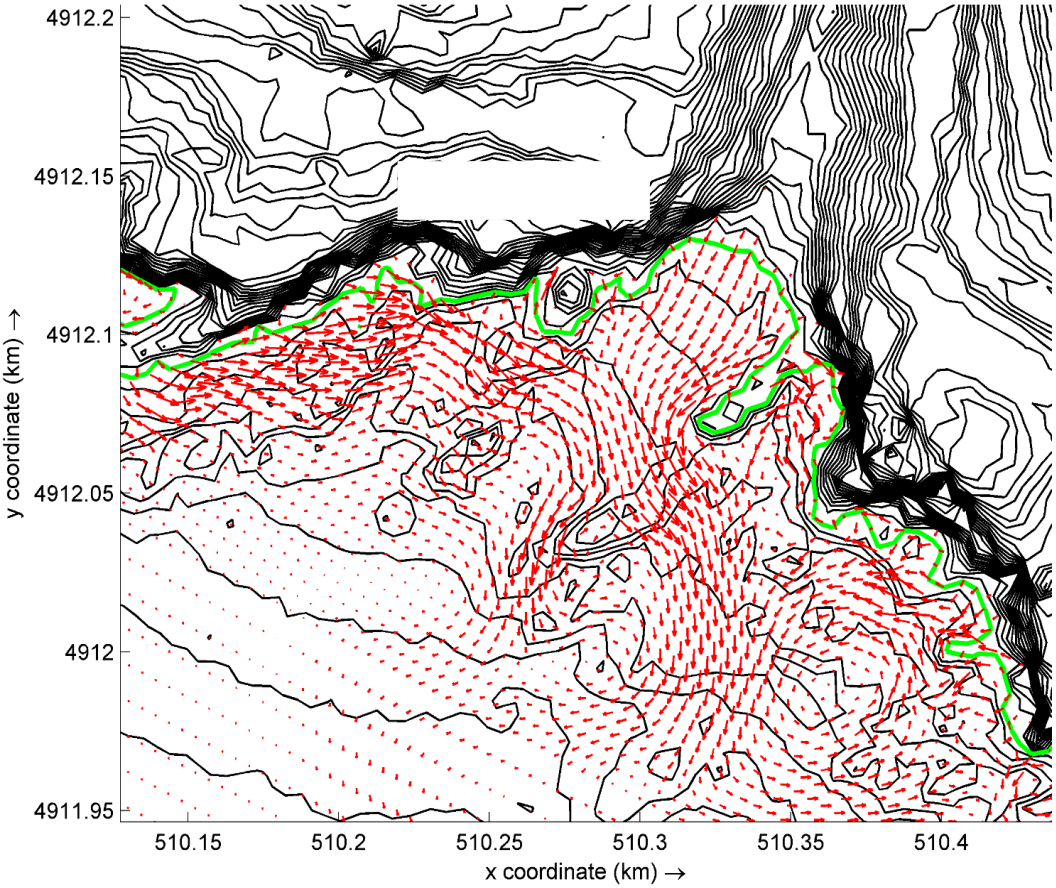


Figura 9. correnti con mare di Libeccio con tempo di ritorno 10 anni.

Per le simulazioni con mari di libeccio decennali si evince che, in presenza dell'opera, le correnti da ponente a levante non subiscono un gran variazione e il flusso tra le rocce sommerse e il pennello risulta presente; questo può determinare la perdita di materiale a danno della spiaggia emersa.

5.2.2 Scirocco

Altezza d'onda significativa per tempo di ritorno 10 anni

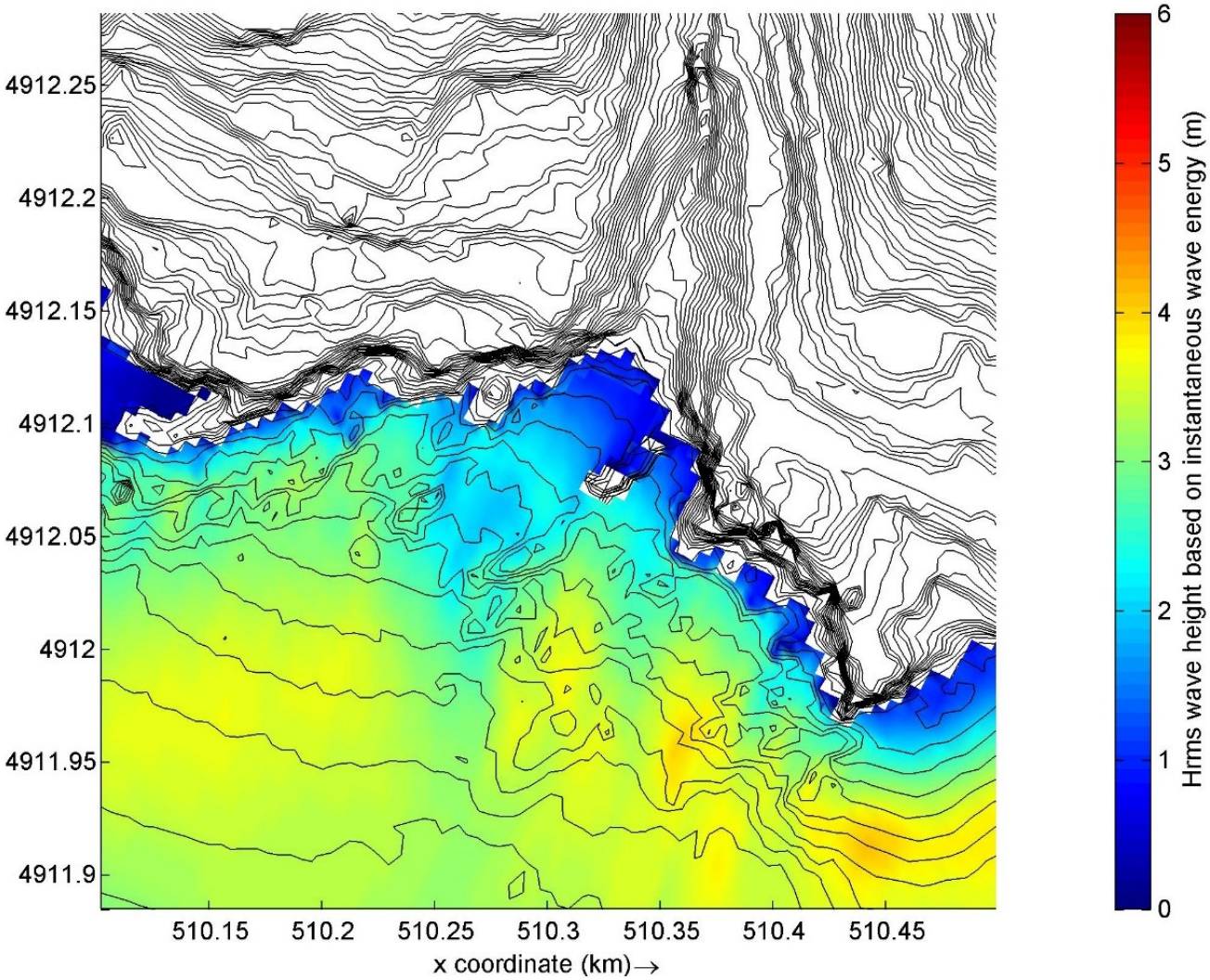


Figura 10. Altezza d'onda con mare di Scirocco con tempo di ritorno 10 anni.

Dalla propagazione idrodinamica si evince la genesi di un a zona ridossata a tergo del pennello, evidenza di una buona protezione per gli eventi di sud est (area in blu a tergo del pennello).

Correnti Superficiali per tempo di ritorno 10 anni

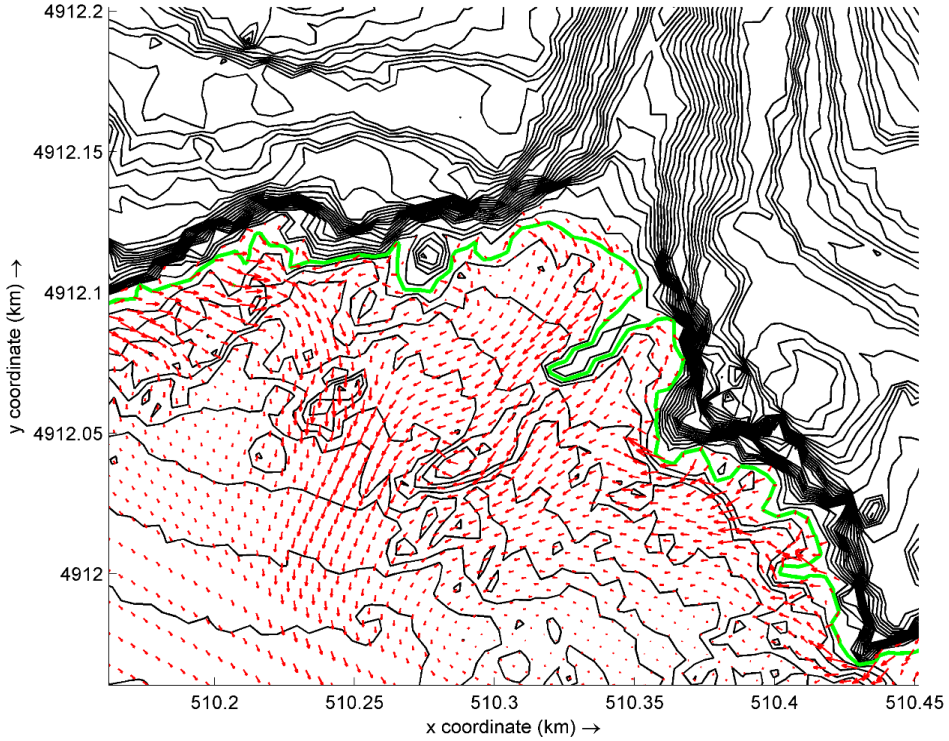


Figura 11. Idrodinamica per mare di Scirocco (tempo di ritorno 10 anni).

Gli output modellistici evidenziano la formazione di una rip current adiacente al pennello, che può funge da vettore per il trasporto solido di materiale disciolto verso il largo, come riportato in figura 11.

5.3 Ipotesi di progetto con radicamento di pennello con testata a "Martello" a levante della spiaggia di Mulinetti

5.3.1 Libeccio

È stata valutata l'ipotesi di una modifica dell'opera di difesa (pennello) inserendo una testata a martello con l'obiettivo di migliorare la resa in termini di protezione della costa dell'opera stessa.

Altezza d'onda significativa per tempo di ritorno 10 anni

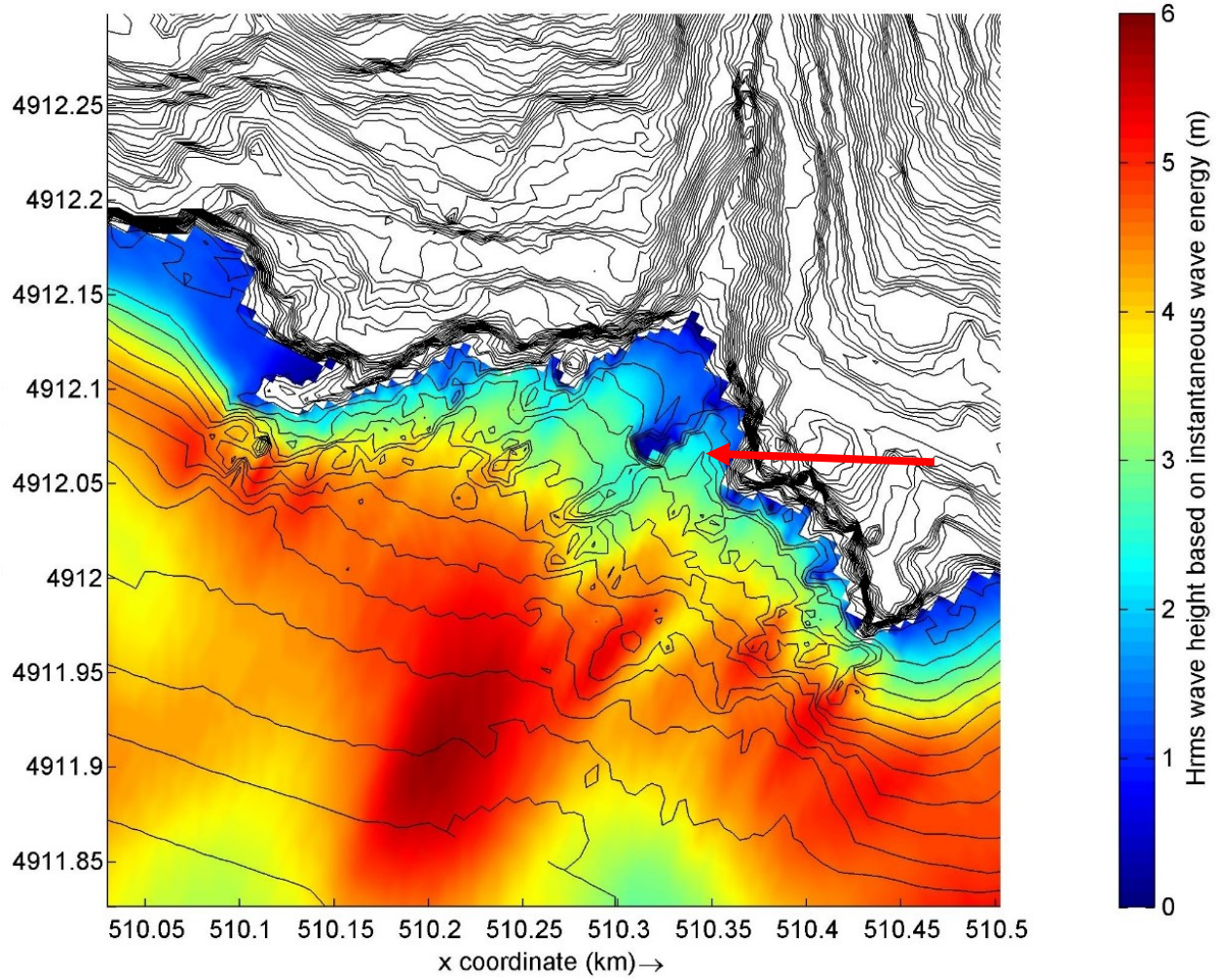


Figura 12. Altezza d'onda per mare da Libeccio (tempo di ritorno 10 anni).

Correnti Superficiali per tempo di ritorno 10 anni

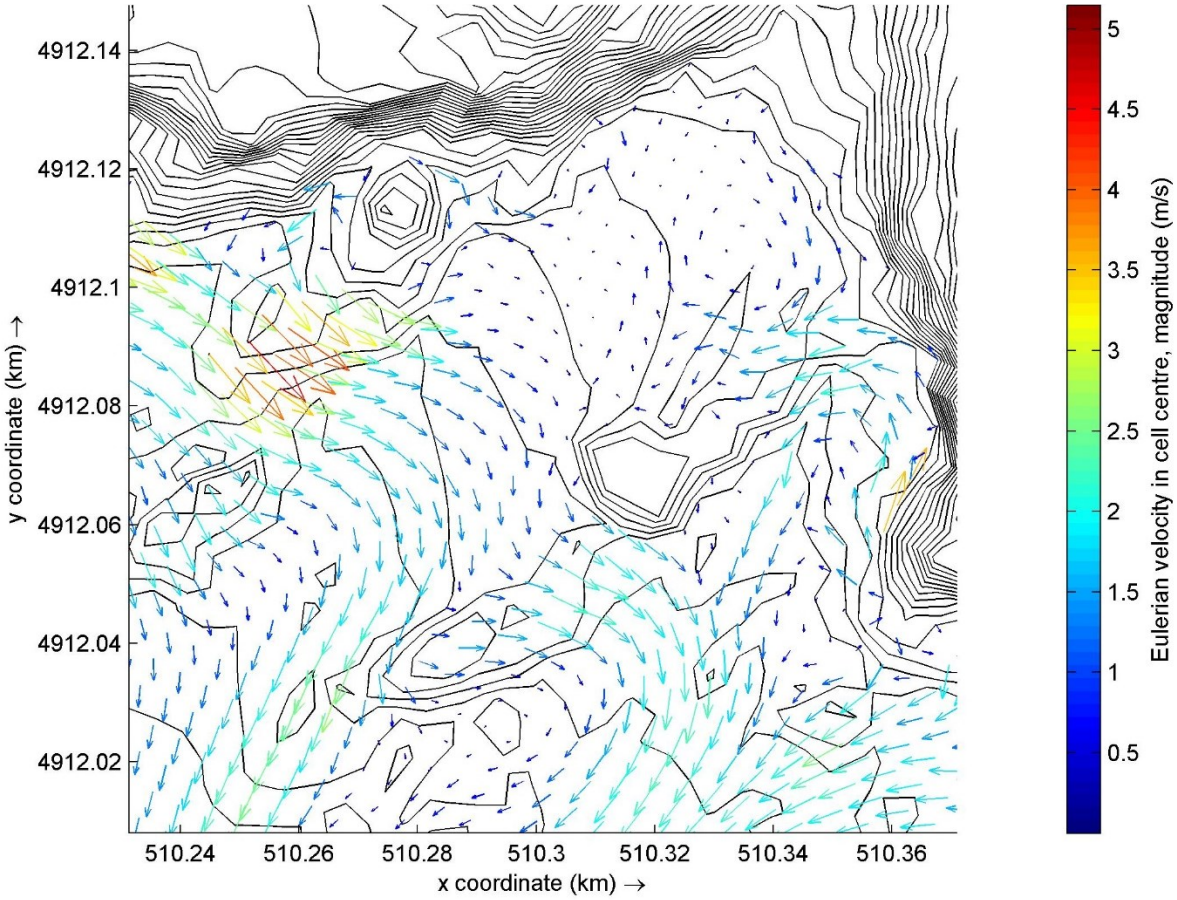


Figura 13. Dinamica delle correnti per mare di Libeccio (tempo di ritorno 10 anni).

Dai risultati emerge una riduzione delle correnti in uscita, con conseguente riduzione del trasporto solido off-shore, e quindi una maggior stabilità della spiaggia. Inoltre, si evidenzia un sistema circolatorio di correnti a bassa intensità a tergo del pennello a martello che potrebbe determinare l'accumulo di materiale in quella zona (riducendone quindi la dispersione verso il largo).

5.3.2 Scirocco

Altezza d'onda significativa per tempo di ritorno 10 anni

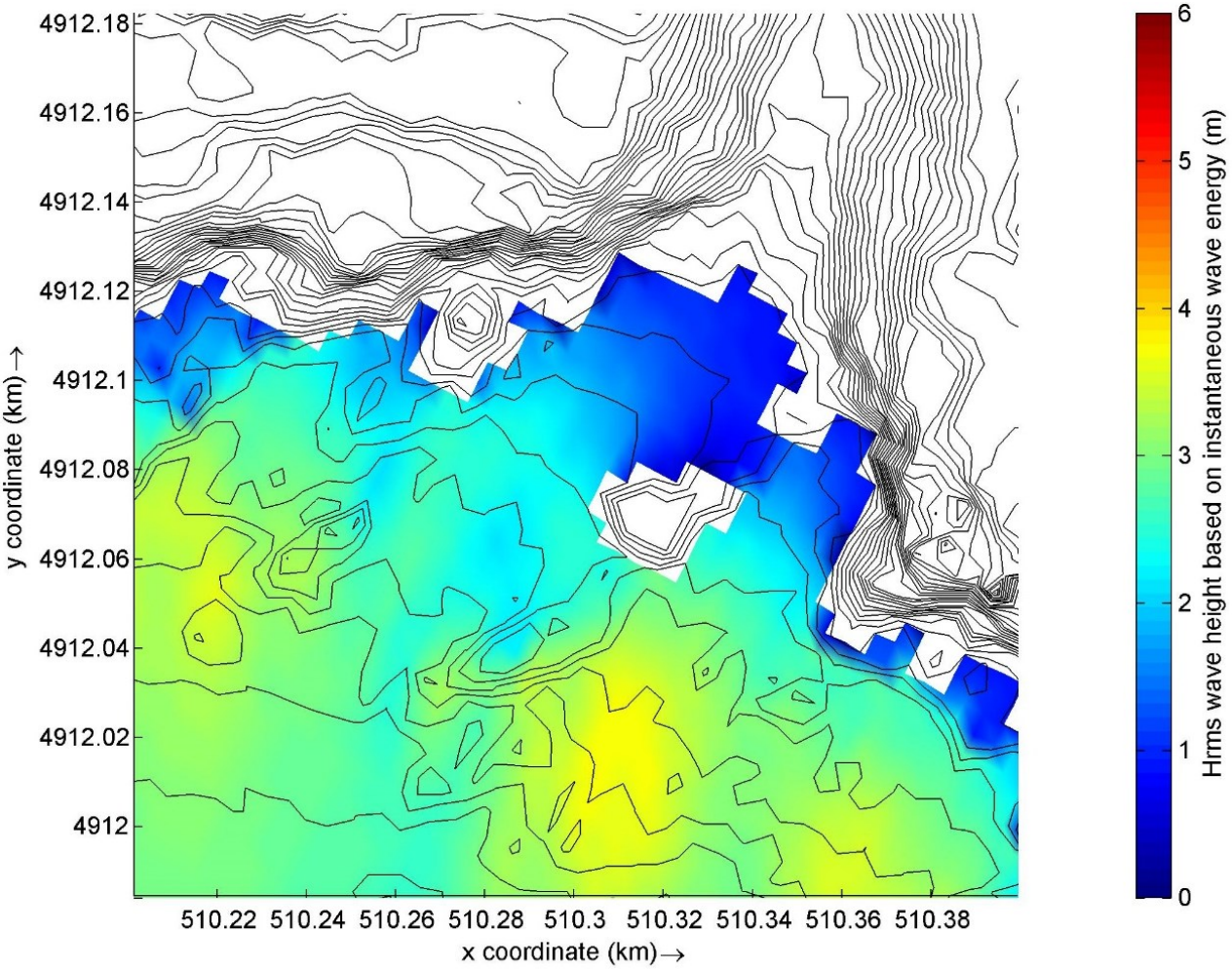


Figura 14. Altezza d'onda per mare da Scirocco (tempo di ritorno 10 anni).

Come per l'ipotesi progettuale descritta in precedenza, il pennello con testata modificata determina una zona ridossata a tergo dello stesso, riducendo l'impatto per gli eventi di Scirocco.

Correnti Superficiali per tempo di ritorno 10 anni

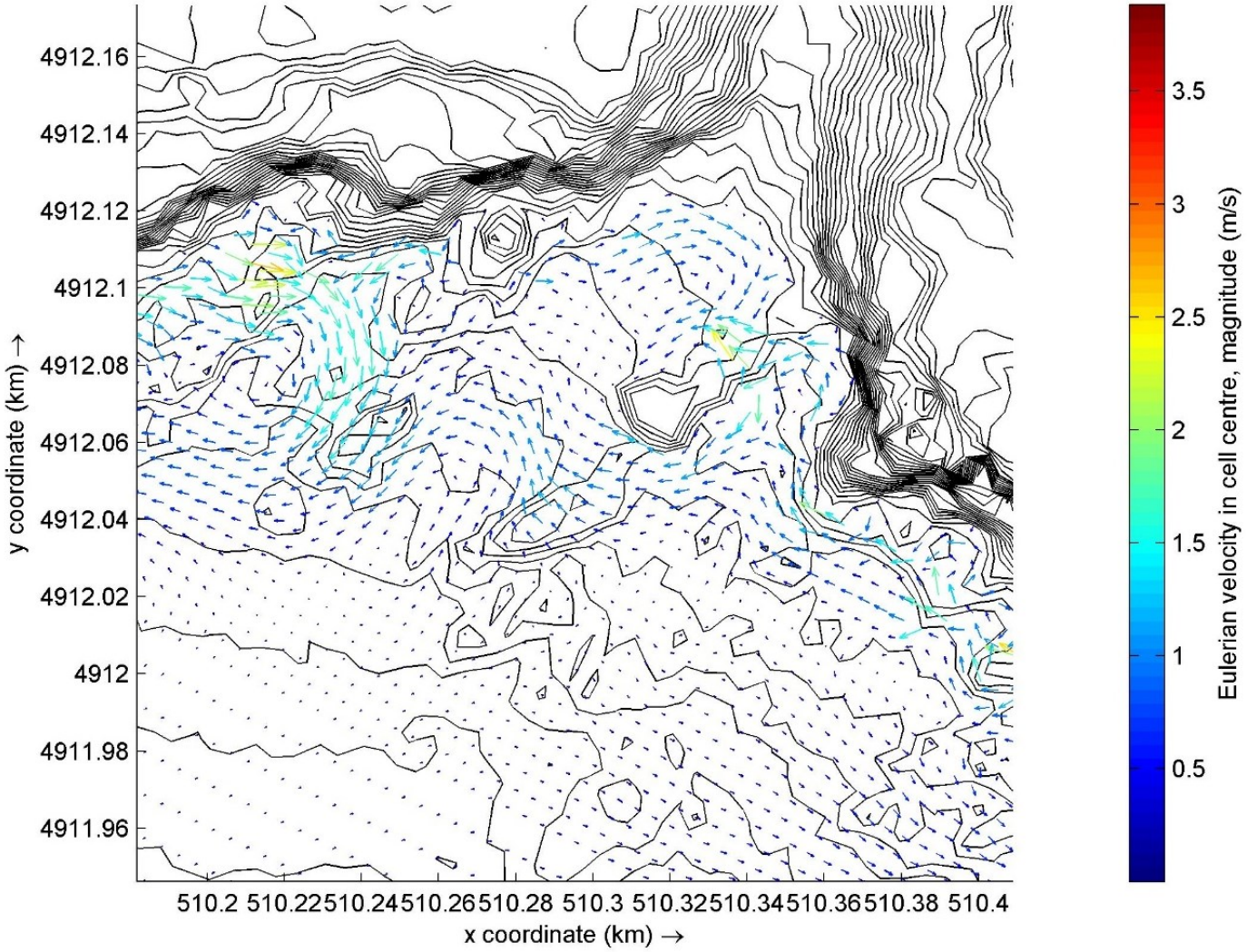


Figura 15. Dinamica delle correnti per mare di Scirocco (tempo di ritorno 10 anni).

Questi risultati mostrano una maggior funzionalità della soluzione “pennello con martello” rispetto al pennello con testata “semplice”, in quanto si genera un flusso quasi circolare (cellulare) all’interno dell’area protetta dal pennello stesso, che suggerisce una maggiore efficacia nel trattenere il materiale disciolto, e quindi una maggior stabilità della spiaggia.

5.4 *Ipotesi di progetto con radicamento di pennello con testata a "Martello" con quota massima di 2 metri a levante della spiaggia di Mulinetti*

Per queste simulazioni è stata valutata l'ipotesi progetto con una configurazione identica a quella discussa nel paragrafo precedente, ma con una quota maggiore della cresta dell'opera; in sintesi, la parte radicata a terra raggiunge quota 2 metri, mentre la centrale circa 1,5 metri e la parte terminale, che comprende la testata "a martello", circa 1,25 metri.

5.4.1 Libeccio

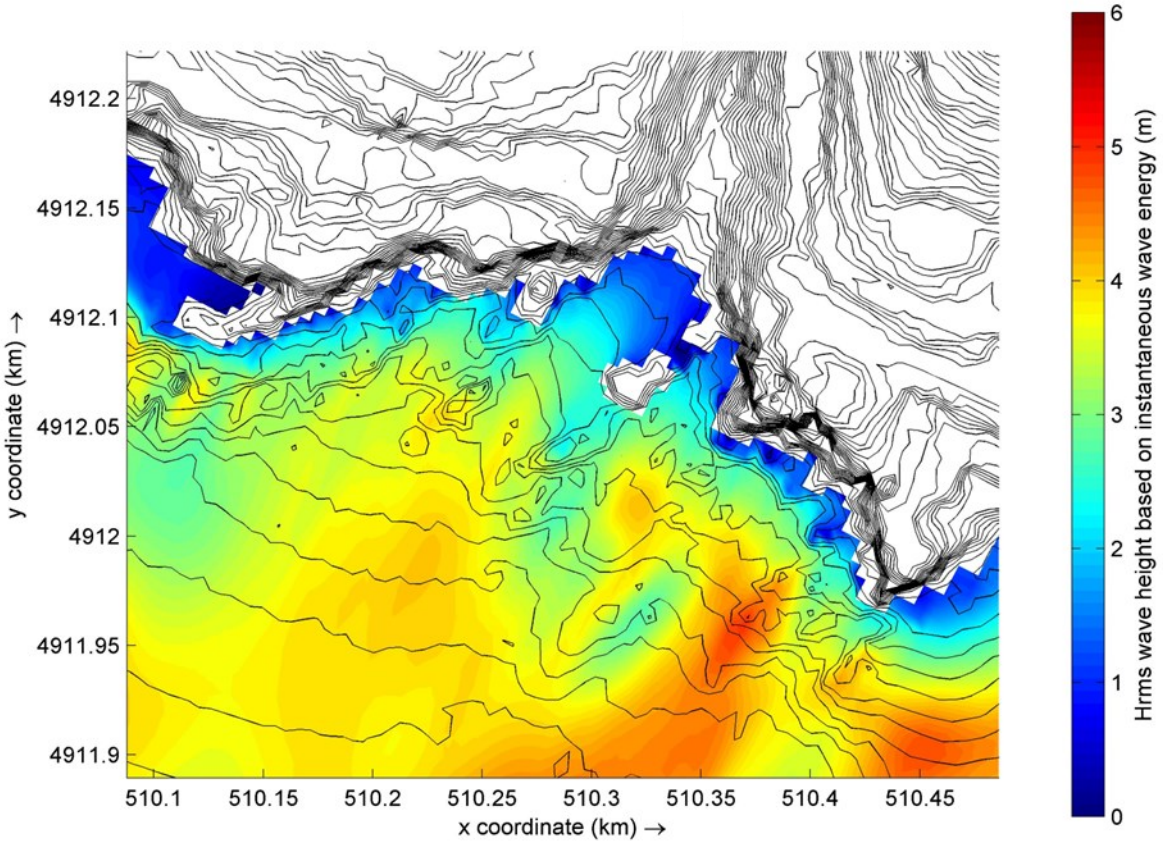


Figura 17 Moto ondoso per Tr10 di Libeccio ipotesi 2 metri

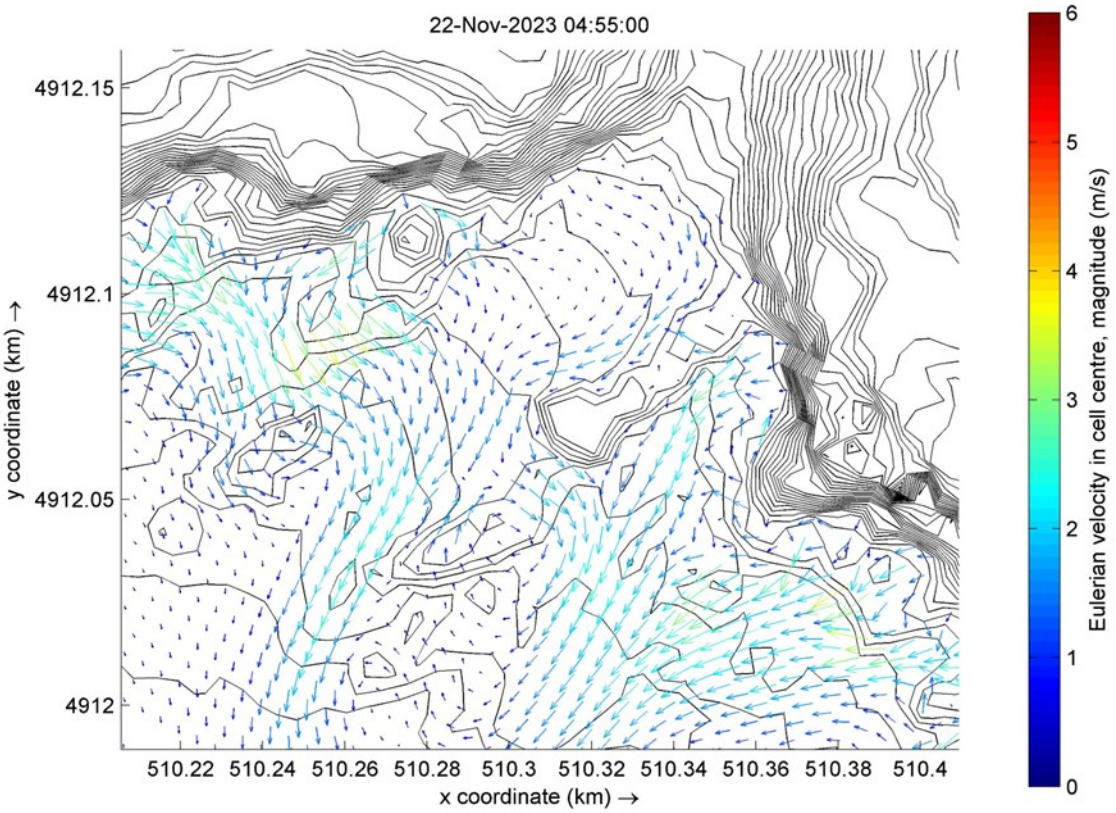


Figura 18 Correnti per Tr 10 Libeccio quota 2 metri

5.4.2 Scirocco

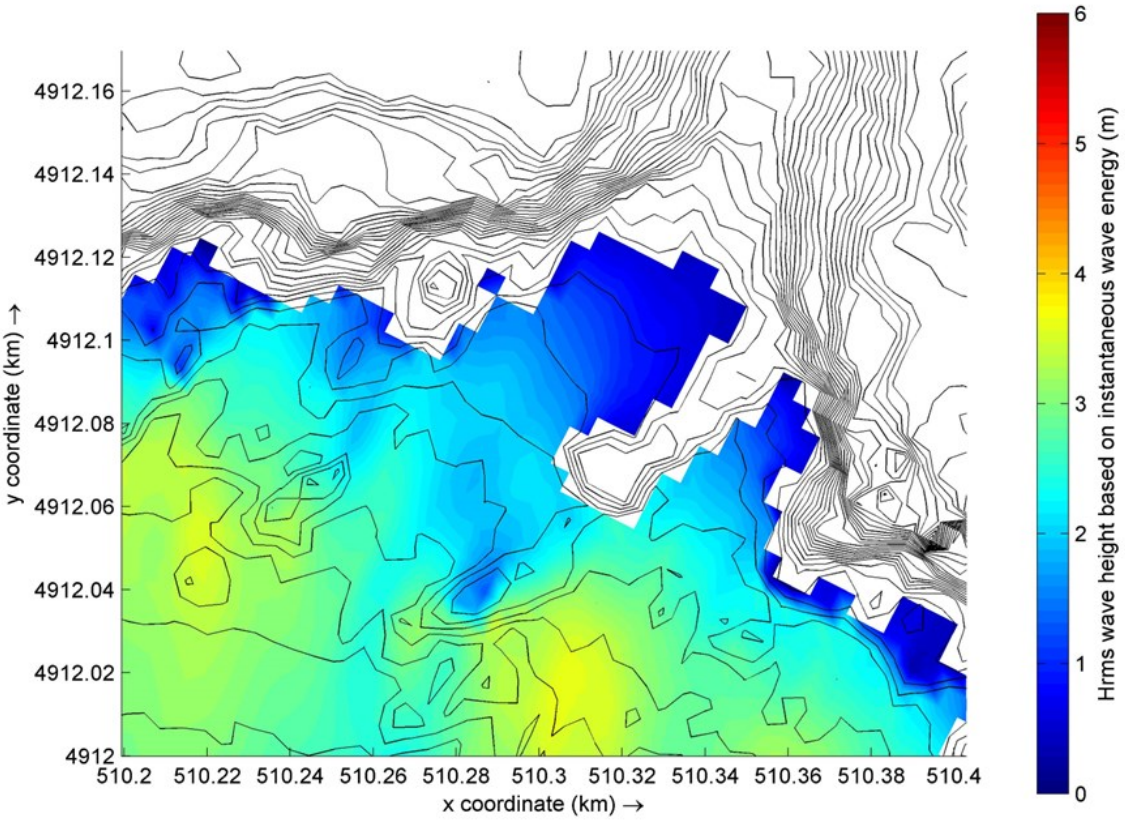


Figura 19 Moto ondoso per TR 10 di Scirocco

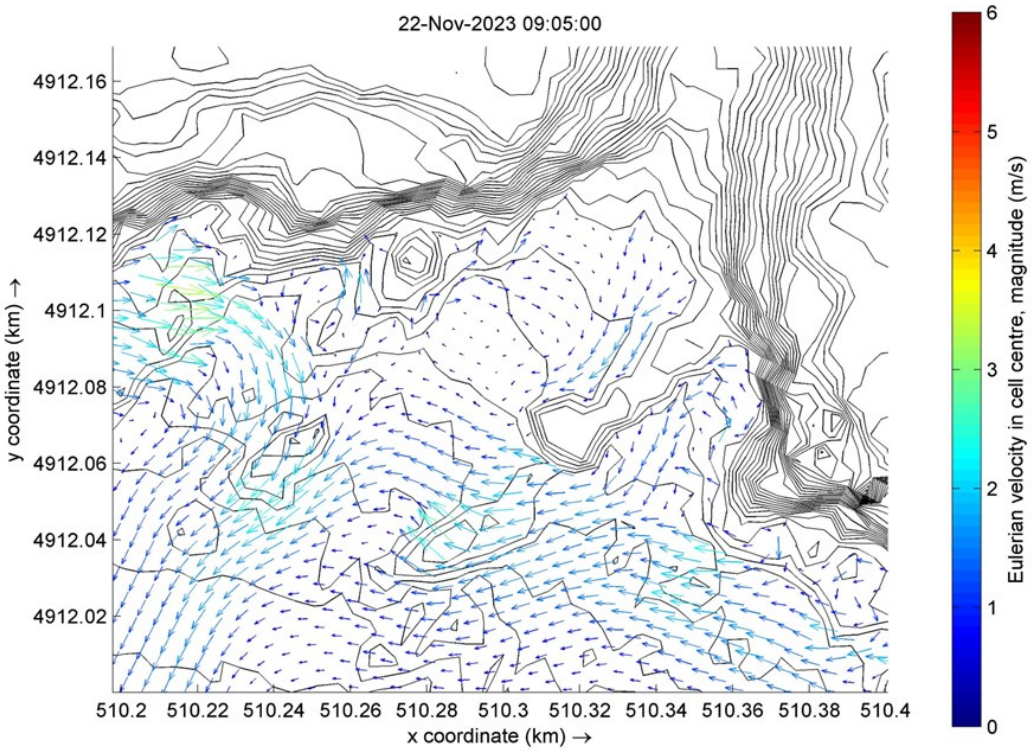


Figura 20 correnti per TR 10 Scirocco quota 2 metri

Le simulazioni effettuate su questa ipotesi ha messo in evidenza un miglior funzionamento del pennello con quota pari a 2 metri, in quanto è emerso una concreta riduzione della perdita di materiale verso levante, aspetto significativo in caso di un eventuale ripascimento, come si evince delle figure 17-18-19-20, confrontate con il pennello a quota 1.25.

5.5 Ipotesi di progetto con radicamento di pennello con testata a "Martello" a levante della spiaggia di Mulinetti con livellamento fondale.

Per questo test si è preso in considerazione il livellamento del fondale in accoppiata con il pennello con testata a martello discusso in precedenza. Il livellamento consiste nel colmare l'area contornata in rosso nella figura sottostante (figura 16), in modo da portare il fondale ad un'unica quota (minore), allo scopo di generare sia una maggiore dissipazione del moto ondoso incidente, sia una

riduzione dei flussi in uscita individuati attraverso le precedenti simulazioni modellistiche, e dunque limitare la perdita di materiale disciolto.

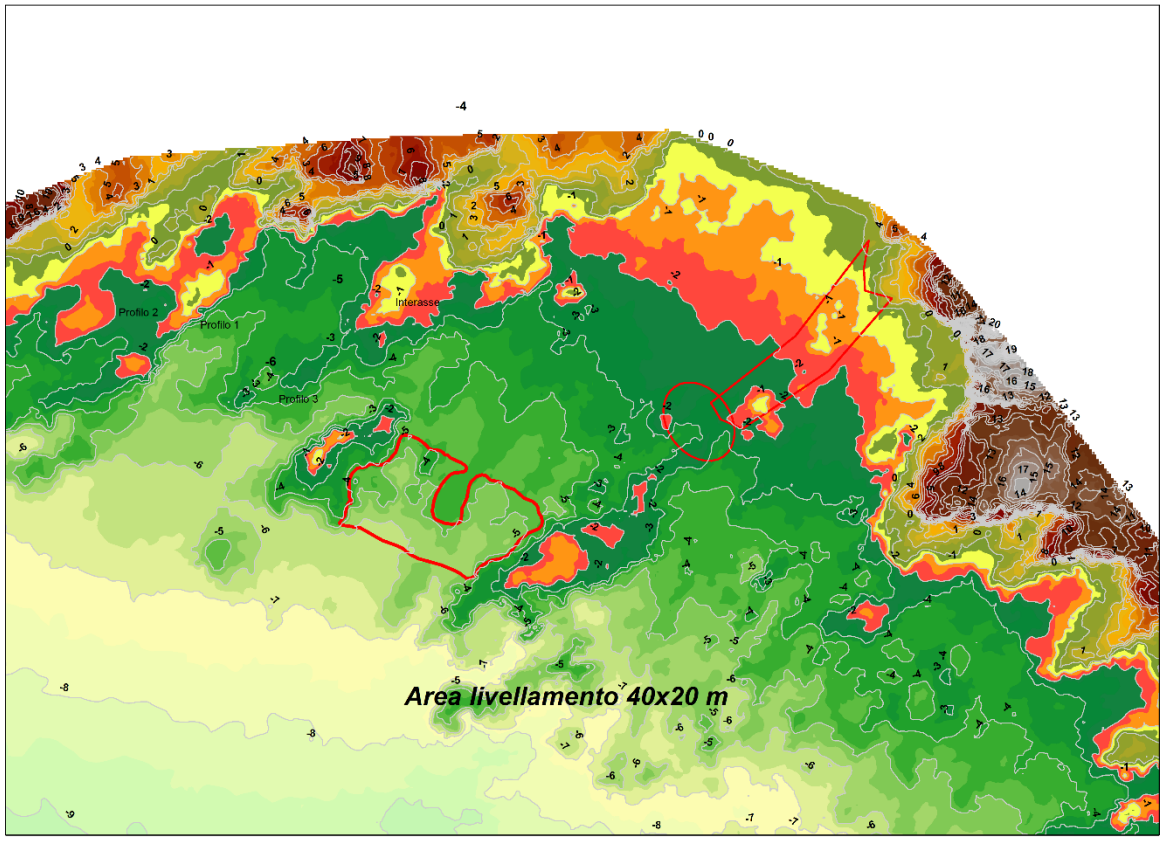


Figura 16 Livellamento

Confrontando i flussi in uscita per l'ipotesi del radicamento del pennello a martello con l'aggiunta dell'ipotesi del livellamento del fondale, si nota una rotazione del flusso in uscita con asse perpendicolare alla linea di riva. In aggiunta, per questo ultimo caso, emerge un decremento del flusso, come riportato nell'immagine seguente (figura 18). Questo intervento ha la funzione di sostegno al ripascimento previsto attraverso la riduzione della perdita di materiale disciolto dovuta alla presenza di un fondale roccioso con canalizzazioni che incentivano l'innescarsi di correnti cross-shore.

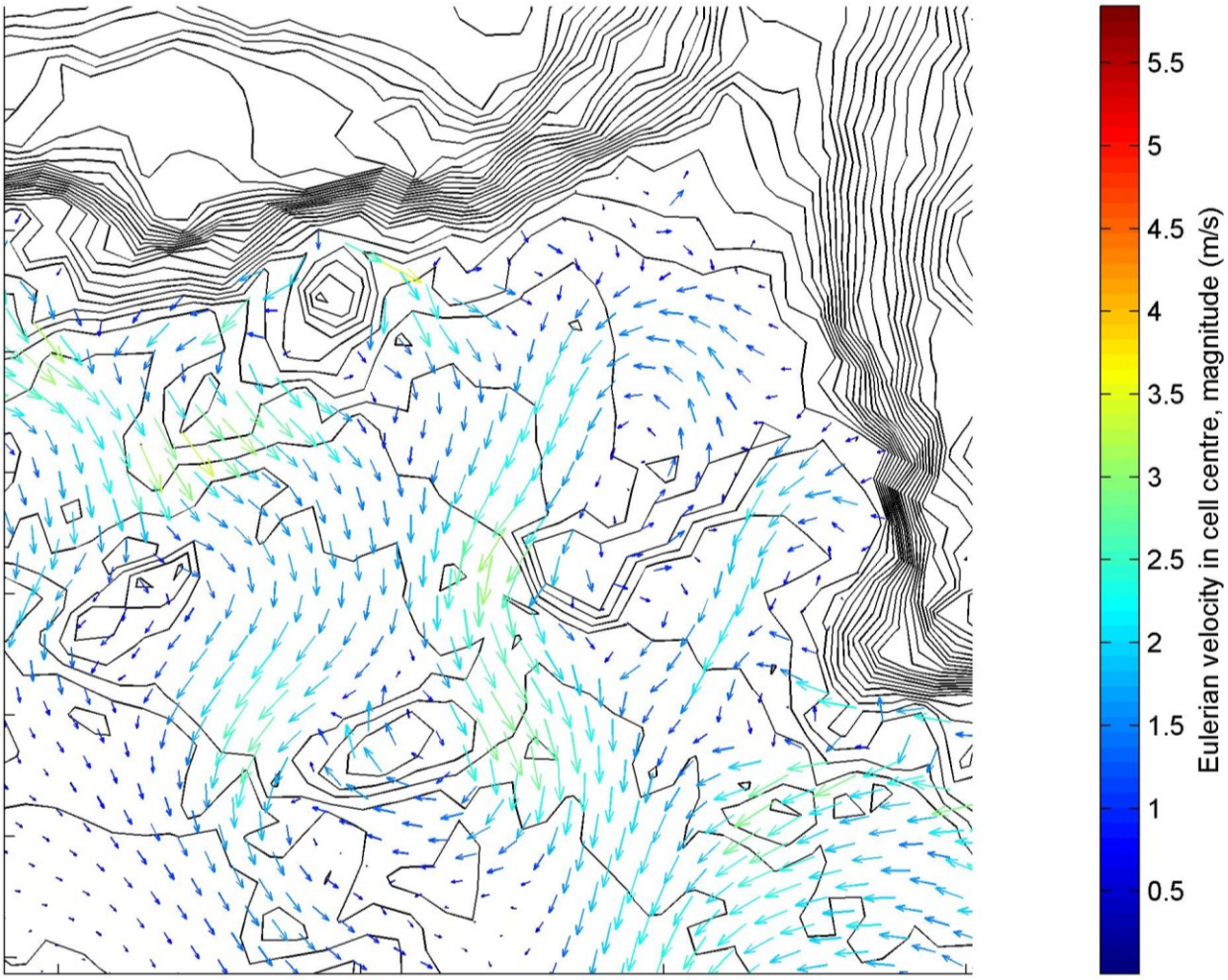


Figura 18. Dinamica delle correnti con ipotesi di livellamento del fondale.

5.6 *Ipotesi di progetto con radicamento di pennello con testata a "Martello" a estremo levante della spiaggia di Mulinetti*

Per quest'ultima ipotesi sono state eseguite le simulazioni per i mari di Libeccio (SO) e Scirocco (SE) per valute gli effetti di un pennello con testata "a martello", radicato lungo la scogliera posta a 60 metri a levante della spiaggia con posizione parallela a costa, con direttrice Est- Ovest; inoltre, va evidenziato che la posizione della testata coincide con quella delle opere descritte in precedenza.
Di seguito vengono riportati i risultati per gli stati di mare su tempi di ritorno pari a dieci anni.

5.6.1 Libeccio

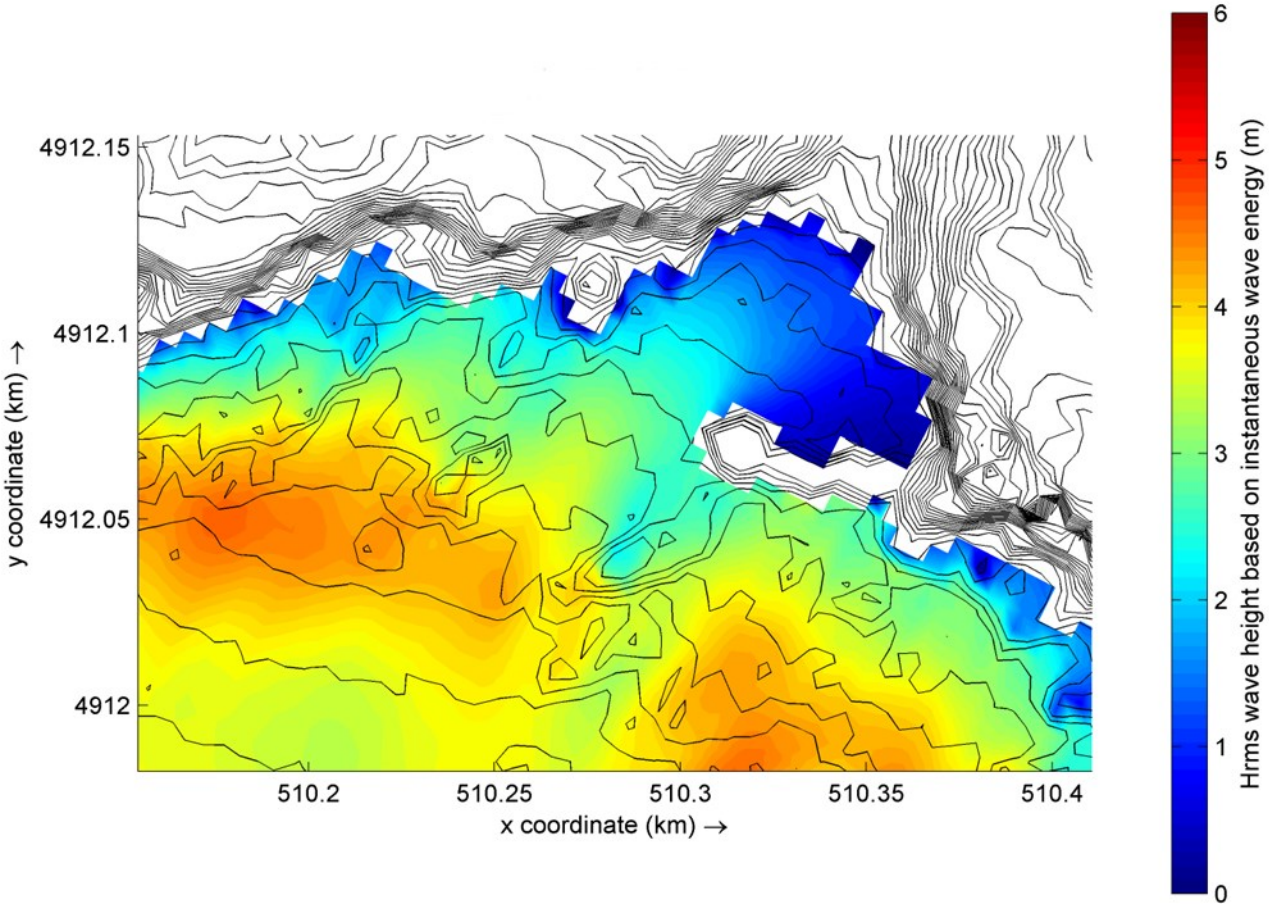


Figura 19 Moto ondoso TR10 libeccio pennello esterno

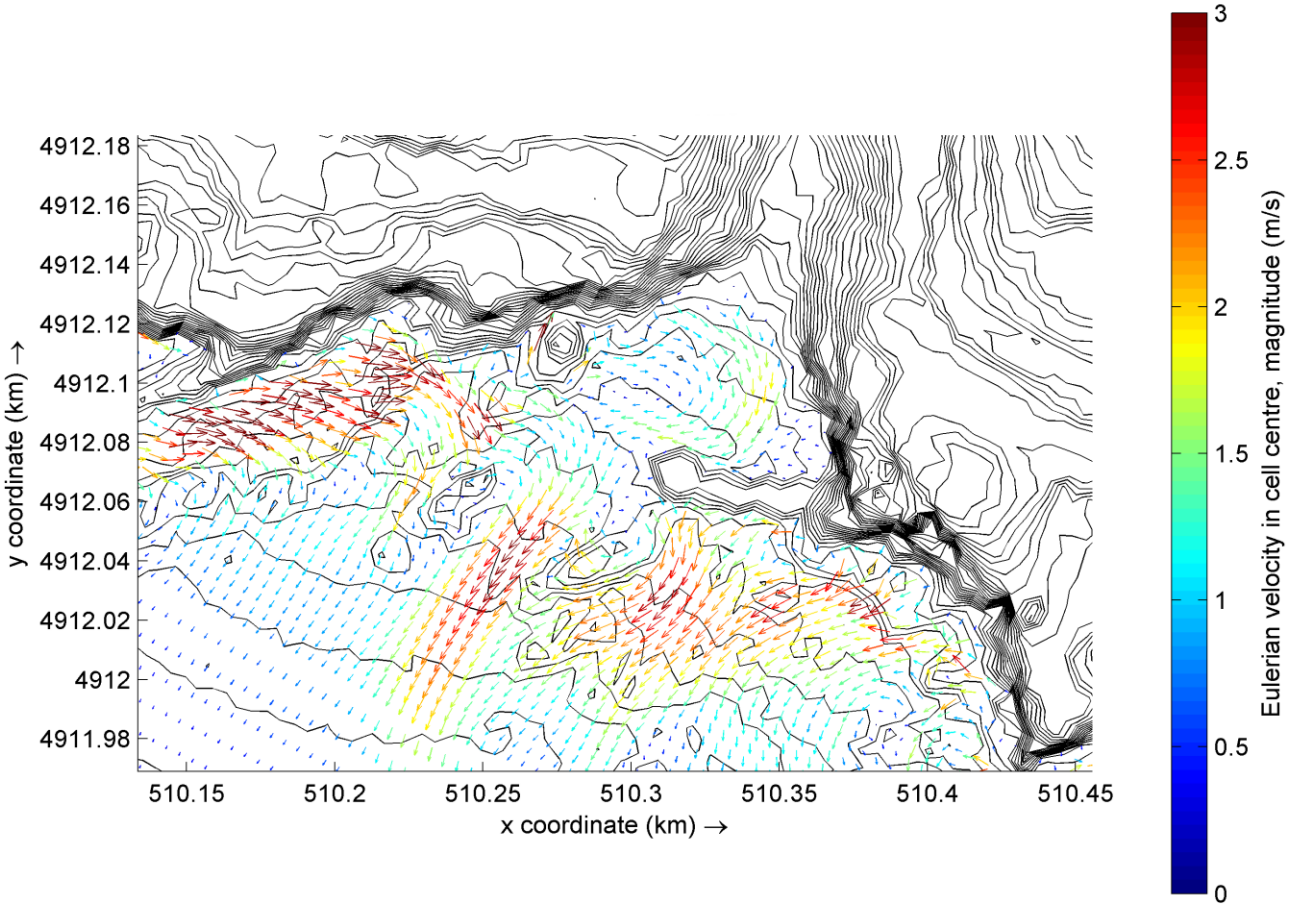


Figura 20 correnti per Tr10 libeccio pennello esterno

5.6.2 Scirocco

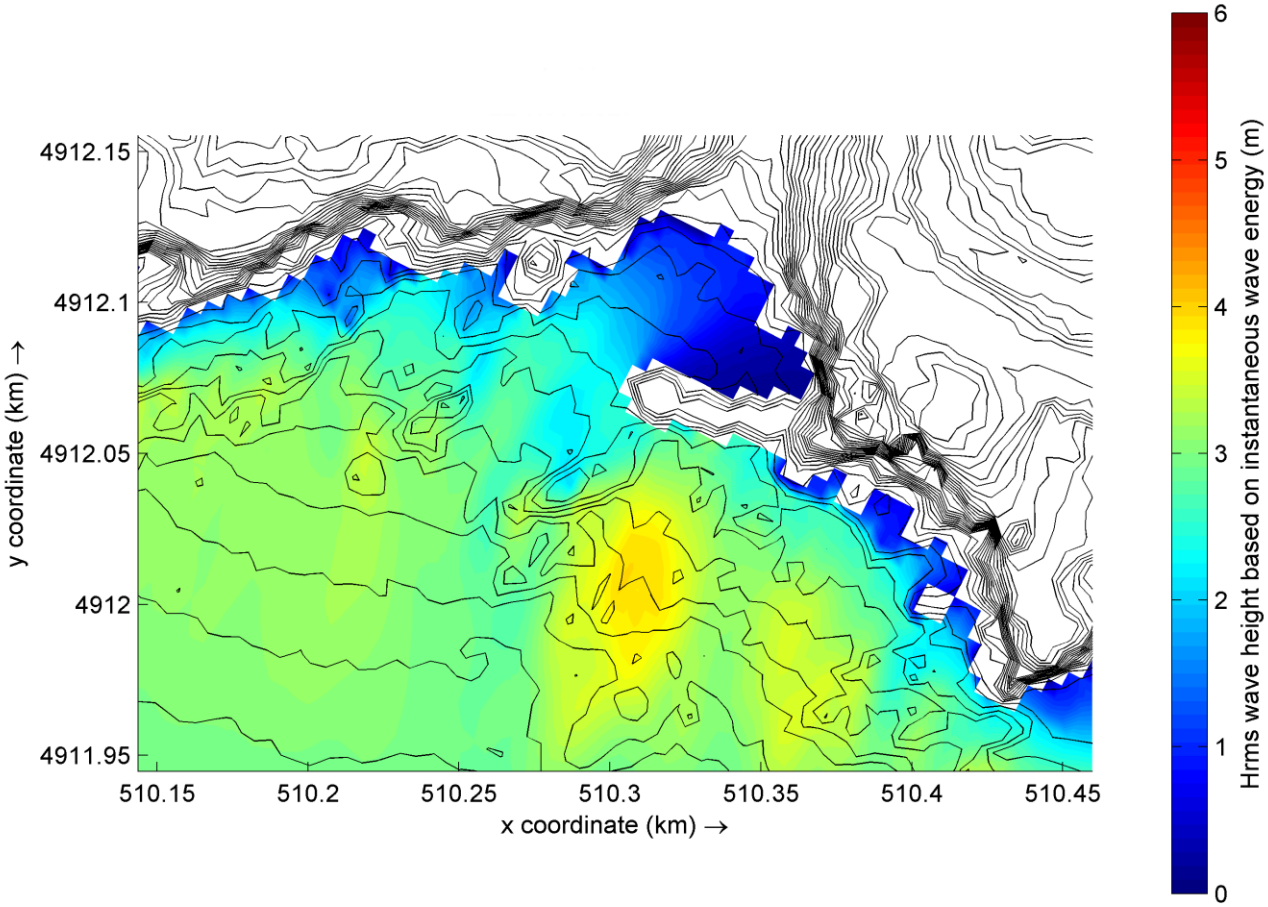


Figura 21 moto ondoso per Tr 10 Scirocco pennello esterno

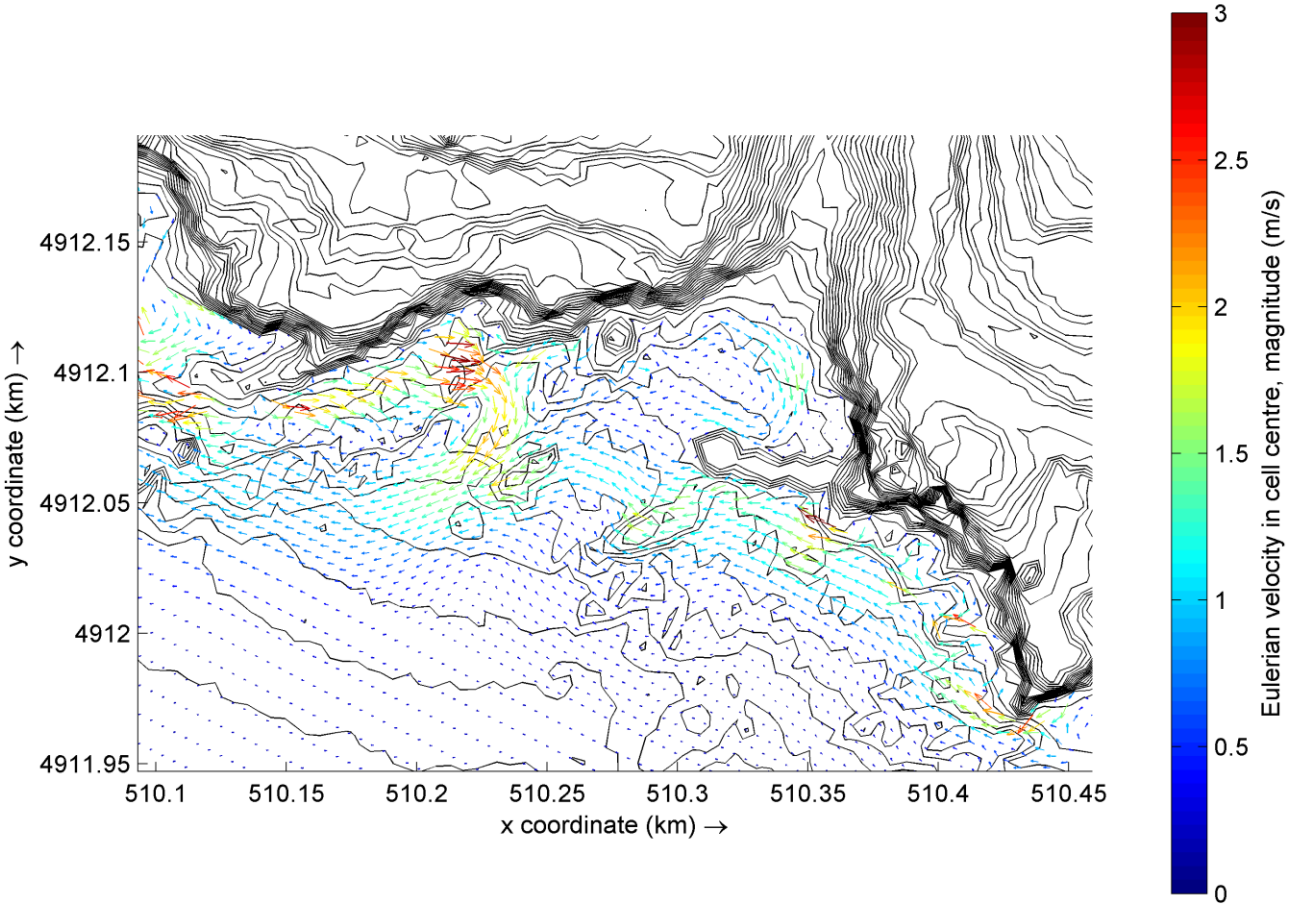


Figura 22 correnti per Tr 10 Scirocco pennello esterno

Sia per i mari di Libeccio che per i mari di Scirocco è emersa una buona protezione del litorale, anche se va sottolineato che degli output delle correnti è emerso un trasporto a tergo dell'opera che nel tempo potrebbe portare alla perdita di materiale disciolto ai piedi delle pile; questo comporterebbe un'esposizione agli attacchi del motto ondoso dei manufatti.

6. Studio dell'inondazione Costiera Wave Run-up per ipotesi di Pennello a "Martello" con ripascimento strutturale

Per lo studio dell'inondazione costiera è stato utilizzato il software XBeach-G, una versione di XBeach ottimizzata per le spiagge in ghiaia. Il modello è in grado di calcolare le dinamiche delle acque superficiali e i fenomeni di permeazione nei sedimenti di spiaggia. Sebbene le equazioni del modello vengano calcolate sulla media delle profondità, per calcolare la verticale vengono utilizzati due modelli quasi-3D, velocità e pressioni sulla superficie e sul fondo delle acque superficiali e strati

delle acque sotterranee, al fine di approssimare la distribuzione della pressione in modalità non idrostatico. Per le simulazioni è stato utilizzato il modello 1D (una linea) per valutare la differente inondazione per lo stato attuale e per lo stato di progetto. Il modello raggiunge una risoluzione di 0.5 metri per la spiaggia emersa e di 10 metri al largo; questa soluzione permette di accelerare i tempi di calcolo e migliorare i risultati attesi.

Il profilo utilizzato fa riferimento al profilo centrale in corrispondenza del pilone della rete ferroviaria ed è stato estratto dei rilievi forniti dalla committenza per lo stato attuale, mentre per lo stato di progetto è stato preso in considerazione l'ipotesi di ripascimento elaborato nella relazione sedimentologica. Per le granulometrie è stata utilizzato 20 mm per lo stato dell'arte e 60 mm per l'ipotetico ripascimento. Il moto ondoso fa riferimento al libeccio biennale (3,5 HS e 7 s Tp) per la valutazione dell'inondazione. Infine, è stato calcola il R2% per la valutazione dei differenti livelli di inondazione; il R2% è il valore medio del 2% delle risalite maggiori lungo la spiaggia.

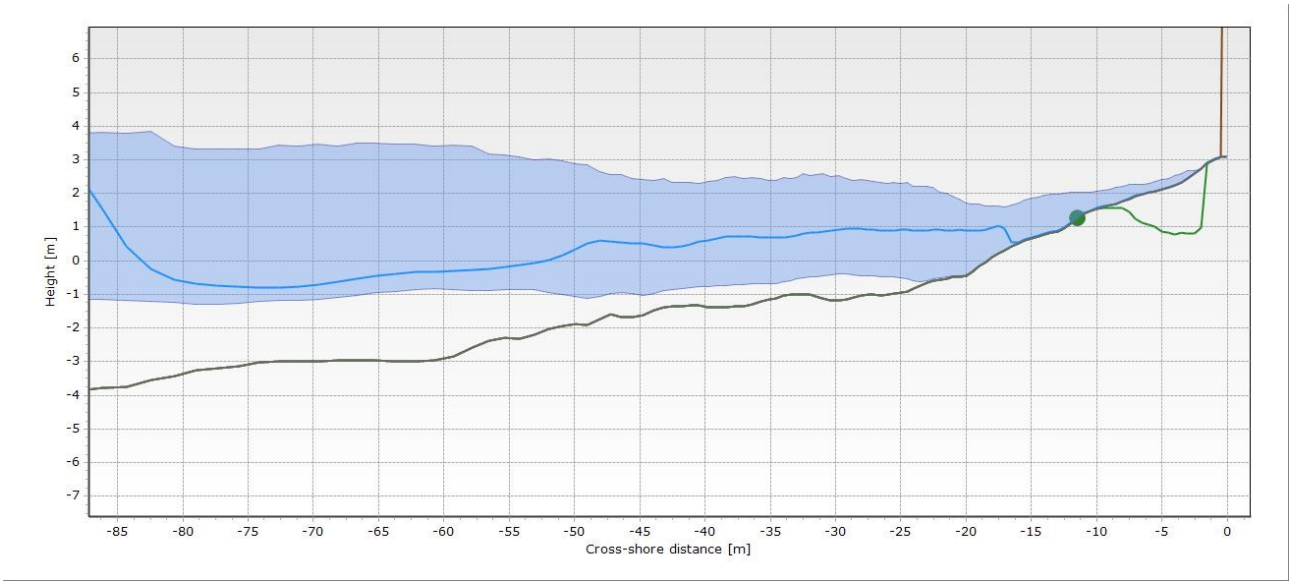


Figura 23. Propagazione moto ondoso e risalita per lo stato attuale.

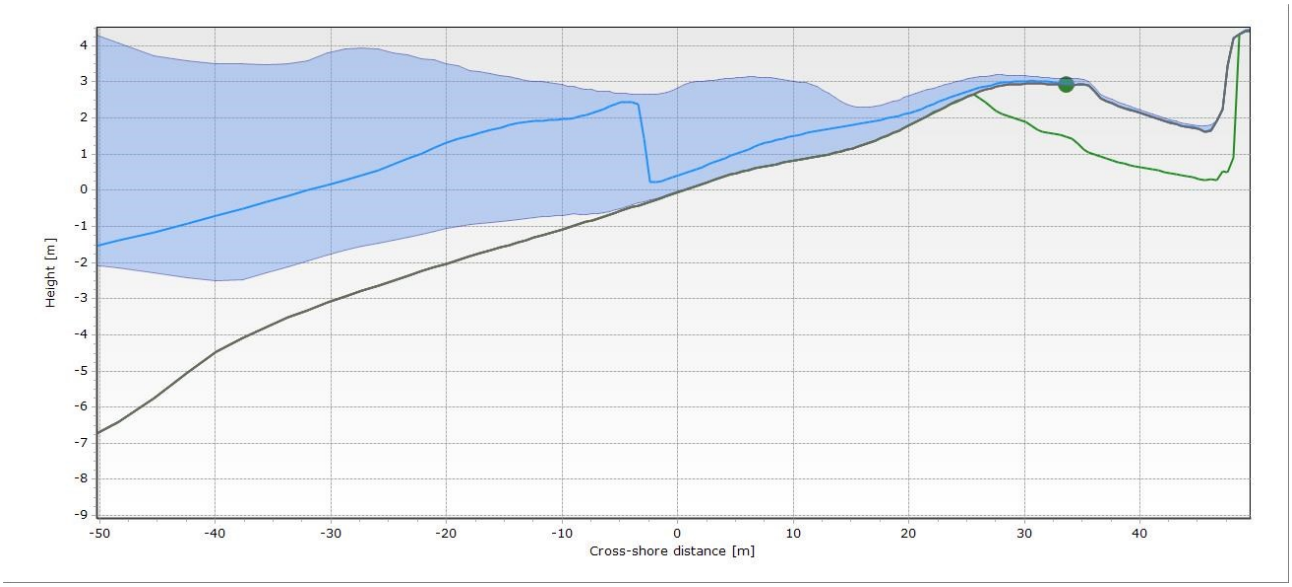


Figura 24. Propagazione moto ondoso e risalita per lo stato di progetto.

Lo studio è stato condotto per un'onda biennale con Altezza d'onda significativa 3.5 metri, e un periodo d'onda di 7 secondi; dai risultati si evince che le quote di run-up sono simili, ma per lo stato attuale l'acqua lambisce il piede del pilone della rete ferroviaria, mentre, per l ostato di progetto, la presenza di una berma ghiaiosa delimita l'inondazione alla testata della berma stessa. Di seguito sono riportati i risultati dove sono rappresentate le oscillazioni di Run-up e Run-Down e i cerchi colorati riportano la stima del R2% calcolato ogni 1200 s di simulazione.

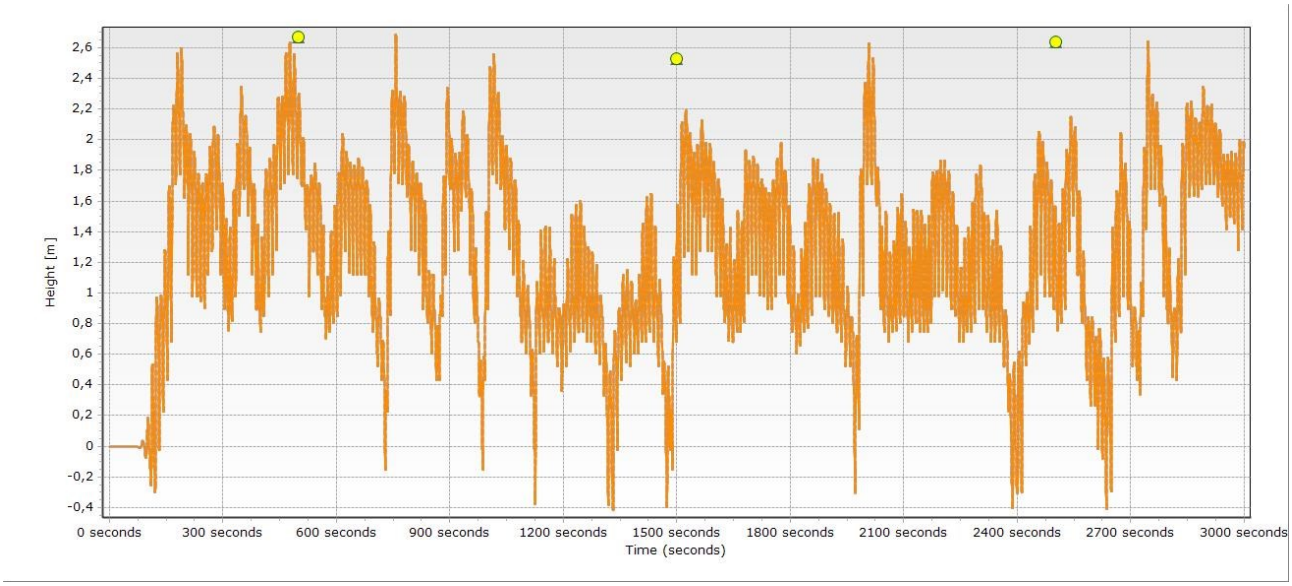


Figura 25. Run-up e Run-Down con R2% per lo stato attuale ai piedi del pilone.

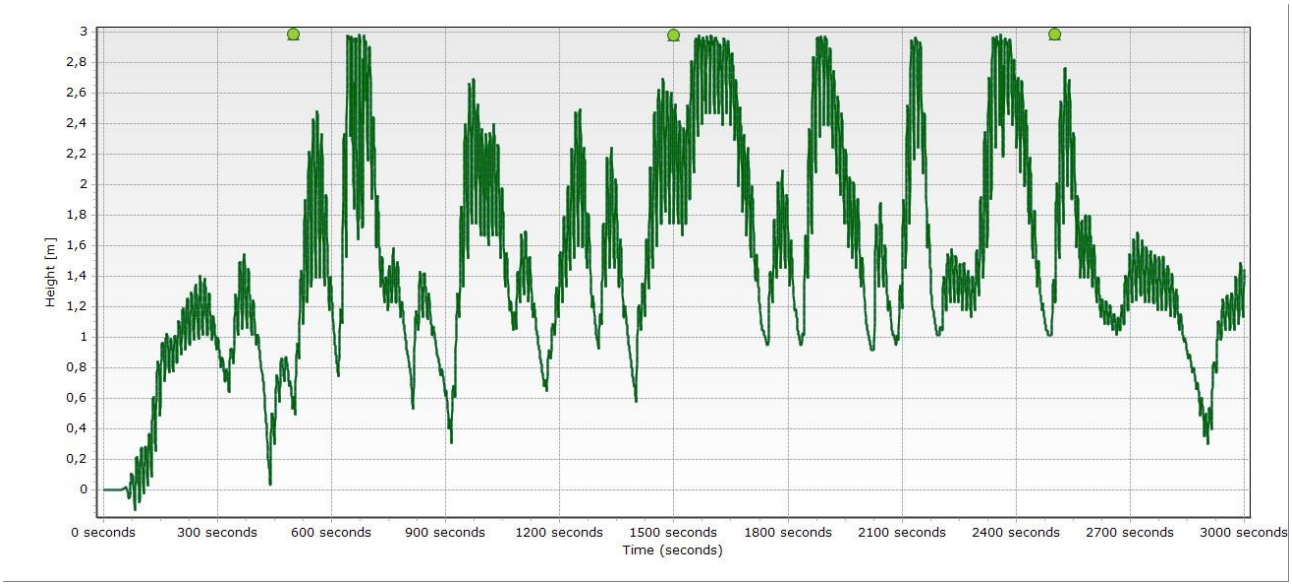


Figura 26. Run-up e Run-Down per lo stato di progetto sulla cresta della Berma.

6. Conclusioni generali

In questa sezione vengono discussi i risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche per le ipotesi prese in considerazione nei precedenti paragrafi.

La prime simulazioni hanno permesso di evidenziare sia la presenza di un flusso di corrente da ponente a levante per lo stato attuale, sia il ruolo giocato dalla presenza di canalizzazioni rocciose (canali impostati su affioramenti rocciosi sul fondale) in termini di innesco e sviluppo di rip current; i flussi si incanalano tra gli affioramenti e determinano correnti in entrata e in uscita per gli stati di mare di scirocco e libeccio, con direttrici opposte.

Per ridurre questo tipo di dinamica sono state testate quattro ipotesi:

- la prima prevedeva il radicamento di un pennello lungo la costa di levante rispetto alla spiaggia,

- il secondo una modifica del pennello ipotizzato con l'inserimento di una testata a martello;
- La terza con un pennello con testata a "martello" con quota pari a 2 metri lungo il radicamento a terra
- La quarta prevede un pennello a "martello" traslato verso levante, rispetto alle soluzioni precedenti.

Dai risultati è sorto il miglior funzionamento del pennello con testata a martello in quanto determina una riduzione dei flussi in uscita generando un flusso circolare (cellulare) parziale all'interno della baia per i mari di Libeccio. Per i marosi di Scirocco, invece, entrambe le soluzioni forniscono una buona protezione della spiaggia emersa di Mulinetti; inoltre, la terza ipotesi ha fatto emergere una maggior tenuta del ripascimento data la quota maggiorata fino a 2 metri. In ultima analisi l'inserimento dell'ipotesi di livellamento dell'area di fondale posta tra gli ammassi rocciosi con quota di immersione pari a -2 metri, tra la profondità di 4,5 e 6 metri, determina una rotazione e una leggera riduzione dei flussi in uscita con conseguente riduzione in termini di perdita di materiale disciolto. In ultima analisi è stato valutato il livello di inondazione per lo stato attuale e per quello di progetto con un ripascimento di 8000 metri cubi di materiale disciolto, da questa analisi è emersa l'importanza della berma che naturalmente si va a costituirsi sotto l'azione del mare, in quanto impedisce per stati di mare di libeccio, con tempo di ritorno biennale, il raggiungimento delle pile del tracciato ferroviario da parte dei marosi.

In allegato i risultati per le simulazioni per moto ondoso con tempo di ritorno cinquantennale di Libeccio e Scirocco, per lo stato dell'arte e per lo stato di progetto.

- **Allegato Pennello 1.25 metri Stato di progetto per Tr 50 anni**
- **Allegato Pennello estreme levante Stato di progetto per Tr 50 anni**
- **Allegato Stato attuale per Tr 50 anni**
- **Allegato Stato progetto pennello cresta fino a 2 m tr 50**

8. Bibliografia citata

Bolle, A., Mercelis, P., Roelvink, D., Haerens, P., & Trouw, K. (2011). Application and validation of XBeach for three different field sites. Coastal Engineering Proceedings, 1(32), sediment-40.

Carpi, L., Mucerino, L., Besio, G., Corradi, N., & Ferrari, M. (2020). MAREGOT project experience: Integrated approach to understanding coastal dynamics behaviour. In 2019 IMEKO TC19 International Workshop on Metrology for the Sea: Learning to Measure Sea Health Parameters, MetroSea (pp. 167-171).

Carpi, L., Bicenio, M., Mucerino, L., & Ferrari, M. (2021). Detached breakwaters, yes or not? A modelling approach to evaluate and plan their removal. Ocean & Coastal Management, 210, 105668.

McCall, R. T., Masselink, G., Poate, T. G., Roelvink, J. A., Almeida, L. P., Davidson, M., & Russell, P. E. (2014). Modelling storm hydrodynamics on gravel beaches with XBeach-G. Coastal Engineering, 91, 231-250.

Mucerino, L., Albarella, M., Carpi, L., Besio, G., Benedetti, A., Corradi, N., Firpo M. & Ferrari, M. (2019). Coastal exposure assessment on Bonassola bay. Ocean & coastal management, 167, 20-31.

Mucerino, L., Carpi, L., Schiaffino, C. F., Pranzini, E., Sessa, E., & Ferrari, M. (2021). Rip current hazard assessment on a sandy beach in Liguria, NW Mediterranean. Natural Hazards, 105(1), 137-156.

Roelvink, D. (2011). A guide to modeling coastal morphology, volume 12. World Scientific.

Roelvink, D., Van Dongeren, A., McCall, R., Hoonhout, B., Van Rooijen, A., Van Geer, P., De Vet, L., Nederhoff, K., and Quataert, E. (2019). XBeach technical reference: Kingsday release. Delft, The Netherlands: Deltares, Technical report.

Balkema, A., de Haan, L., 1974. Residual Life Time at Great Age. The Annals of Probability. 2(5):792-804

Boccotti, P. (1997). Idraulica marittima. UTET Universita.

De Leo, F., S. Solari, and G. Besio (2020). Extreme wave analysis based on atmospheric pattern classication: an application along the italian coast. Natural Hazards and EarthSystem Sciences 20 (5), 1233{1246}.

Goda, Y. (2003). Revisiting wilson's formulas for simplied wind-wave prediction. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering 129 (2), 93{95.

Gumbel, E. J. (1958). Statistics of extremes. Columbia university press.

Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.

MacQueen, J. et al. (1967). Some methods for classication and analysis of multivariate observations. In Proceedings of the fth Berkeley symposium on mathematical statisticsand probability, Volume 1, pp. 281{297. Oakland, CA, USA

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the econometric society, 245-259.

Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2013). Developing and validating a forecast/hindcast system for the Mediterranean Sea. Journal of Coastal Research, (65 (10065)), 1551-1556.

Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2015). Performance evaluation of Wavewatch III in the Mediterranean Sea. Ocean Modelling, 90, 82-94.

Pickands III, J. (1975). Statistical inference using extreme order statistics. the Annals of Statistics, 119-131.