Geoscape Società Cooperativa

SpinOff dell'Università di Genova

Sede legale Via Varese 2 – CAP 16122 (Ge)

Sede operativa Corso Europa 26 – CAP 16132 (Ge)

Pec: geoscape@pec.geoscape.it

Mail: info@geoscape.it

P.IVA: 02594600997

SERVIZIO SPECIALISTICO DI VALUTAZIONE DEL PROGETTO DI RIEQUILIBRATURA, MEDIANTEMODELLISTICA APPLICATA SU DIVERSI SCENARI LUNGO IL TRATTO DI MARE COMPRESO TRA LA FOCE DEL RIO RANZI E LA FOCE DEL RIO CHIAPPE NELL'AMBITO DEGLI INTERVENTIDI RIPRISTINO OPERE A MARE A SEGUITO DI ECCEZIONALI EVENTI METEOROLOGICI CHE HANNO INTERESSATO IL TERRITORIO DELLA REGIONE LIGURIA NELL'OTTOBRE 2018(O.C.D.P.C. 558/2018 N. 67/2020) - PIETRA LIGURE - SV

CIG Z072FD9D97

Sommario

Breve sintesi 2
Breve descrizione del modello XBeach 2DH 2
Implementazione del modello XBeach 3
Direzione °N 180 4
Propagazione del moto ondoso 4
Processi di sedimentazione ed erosione 6
Risposta morfodinamica del fondale 8
Commento 9
Direzione °N 150 10
Propagazione del moto ondoso 10
Processi di sedimentazione ed erosione 12
Risposta morfodinamica del fondale 14
Commento 15
Direzione °N 120 16
Propagazione del moto ondoso 16
Processi di sedimentazione ed erosione 19
Risposta morfodinamica del fondale 22
Commento 24
Direzione °N 210 25
Propagazione del moto ondoso 25
Processi di sedimentazione ed erosione 29
Risposta morfodinamica del fondale 31
Commento 33
Conclusioni 34

Il Marchio “Spin off dell’Università degli Studi di Genova” testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all’Università degli Studi di Genova

Breve sintesi

Come richiesto dalla committenza, è stata eseguita l'implementazione della modellistica numerica al fine di valutare gli effetti, in termini di idrodinamica e morfodinamica costiera, della costruzione di un'opera di difesa costiera prospiciente al litorale di Pietra Ligure (SV). In dettaglio, si tratta di una struttura parallela di lunghezza pari a 176 m, ubicata ad una distanza di circa 255 m dalla costa, presso la batimetrica dei 5 m. La struttura si eleva dal fondale sino a 2 metri sotto il livello del mare (quota massima -2 m). Il modello è stato applicato a e differenti ipotesi progettuali della struttura.

Per quanto concerne il clima ondoso, si è fatto riferimento ai dati riportati nel PTAMC (Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero) della Regione Liguria. I parametri ondametrici utilizzati sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Parametri ondametrici utilizzati per l'implementazione dei modelli numerici.

Dir. °N (al largo)	Dir. °N (sottocosta)	H (m)	T (s)	Descrizione (tempo di ritorno)	Modelli implementati
180	165.51	2.36	7.85	Onda annuale massima	Stato dell'arte, opera, opera-variante B
150	143.43	4.72	10.38	Onda cinquantennale massima	Stato dell'arte, opera, opera-variante B
120	120.52	1.61	5.89	Onda annuale	Stato dell'arte, opera, opera-variante B
120	122.65	3.54	8.93	Onda cinquantennale	Stato dell'arte, opera, opera-variante B
210	174.20	1.43	8.24	Onda annuale	Stato dell'arte, opera, opera-variante B
210	159.63	2.78	12.41	Onda cinquantennale	Stato dell'arte, opera, opera-variante B

Considerando i diversi scenari (stato dell'arte, opera, opera-variante B) e le diverse forzanti ondose, utilizzando il modello XBeach, sono state implementate un totale di 18 simulazioni numeriche.

Breve descrizione del modello XBeach 2DH

XBeach (eXtreme Beach) è un modello numerico 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., 2011, Bolle et al., 2011, Mucerino et al., 2019). Il modello risolve coppie di equazioni sul piano orizzontale, al fine di ottenere simulazioni numeriche di fenomeni quali la propagazione delle onde, l'idrodinamica costiera, il trasporto sedimentario, le variazioni del fondale, le variazioni spettrali delle onde e delle 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.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

correnti costiere, zona di swash); iii) *Non-hydrostatic mode*: particolarmente indicato nel caso di spiagge caratterizzate da un'accentuata acclività, come ad esempio le spiagge ghiaiose. Quanto fin qui riportato è da intendersi come una breve introduzione allo strumento utilizzato; per ogni ulteriore informazione tecnica di dettaglio si rimanda alla consultazione del manuale tecnico stilato da Roelvink et al. (2015).

Bibliografia citata nel paragrafo

- *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.*
- *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. (2015). XBeach technical reference: Kingsday release. Delft, The Netherlands: Deltares, Technical report.*
- *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.*

Implementazione del modello XBeach

Per quanto concerne l'implementazione del modello XBeach, è stata costruita una griglia computazionale regolare a risoluzione variabile. In questo modo è stato possibile ottenere un'elevata risoluzione spaziale nell'area di indagine, consentendo altresì di considerare un dominio computazionale ampio (al fine di una migliore simulazione dello sviluppo del moto ondoso). In dettaglio, considerando un dominio di 2.2 × 1.5 km, si è raggiunta una risoluzione di 2.5 m nel sottocosta.

Per quanto riguarda l'implementazione del moto ondoso, per ognuna delle 18 simulazioni precedentemente citate, è stato simulata una mareggiata della durata di 6 ore.

In termini di tessitura del sedimento di spiaggia, si è fatto riferimento alle analisi sedimentologiche fornite dalla committenza.

In termini di output, si sono presi in considerazione la *sedimentazione/erosione (sed/ero)*, *l'altezza d'onda* e l'*evoluzione del fondale*.

Si riportano nelle sezioni successive, suddivisi per direzione di provenienza del moto ondoso al largo, i risultati ottenuti con relativa descrizione.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Direzione °N 180

Propagazione del moto ondoso

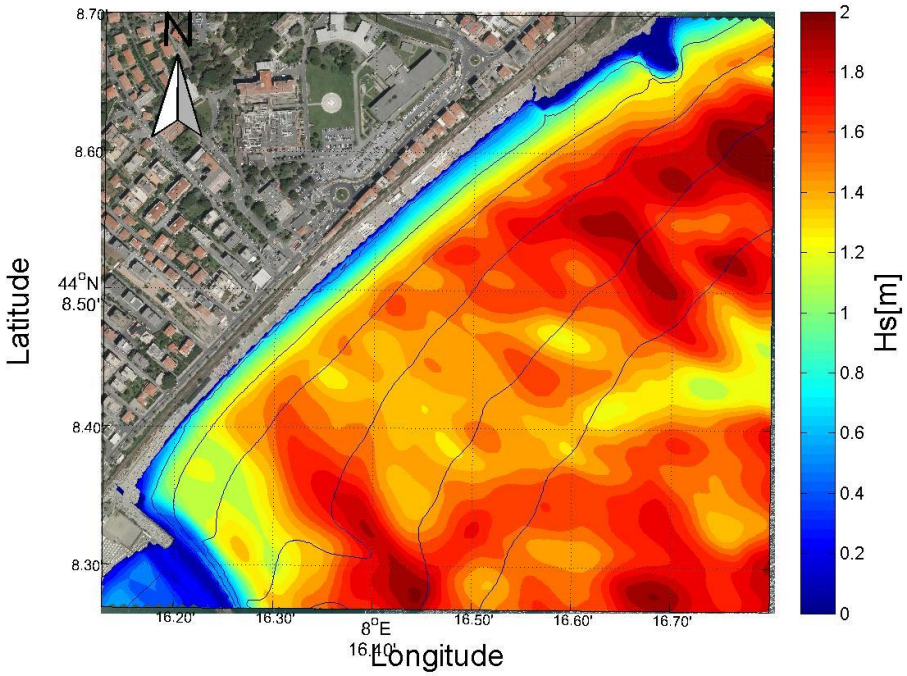


Figura 1. Distribuzione delle altezze d'onda allo stato dell'arte – onda annuale massima (Dir. N° sottocosta = 165.51, H = 2.36, T = 7.85).

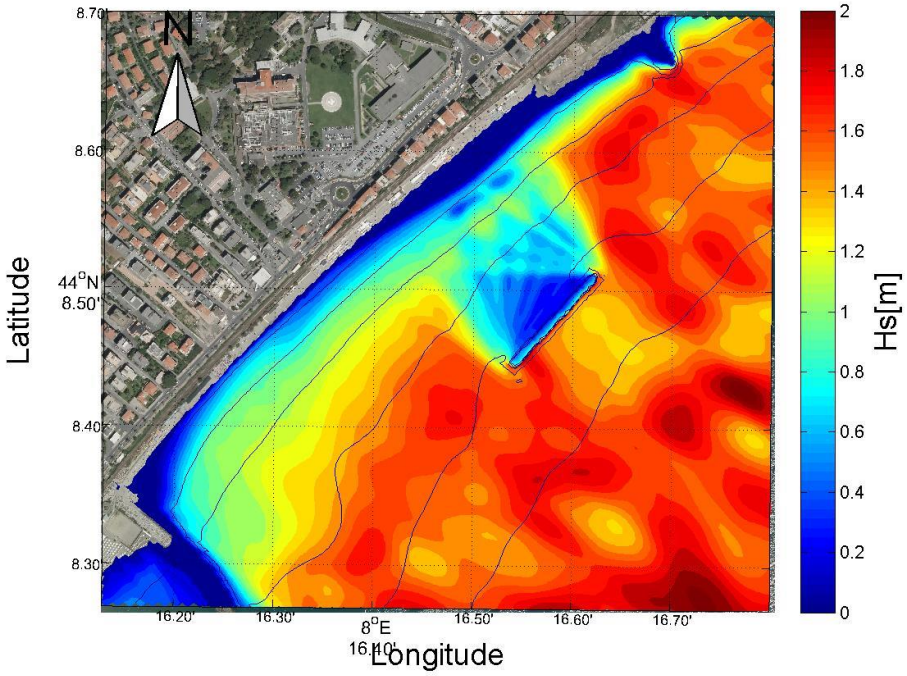


Figura 2. Distribuzione delle altezze d'onda in scenario con opera – onda annuale massima (Dir. N° sottocosta = 165.51, H = 2.36, T = 7.85).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

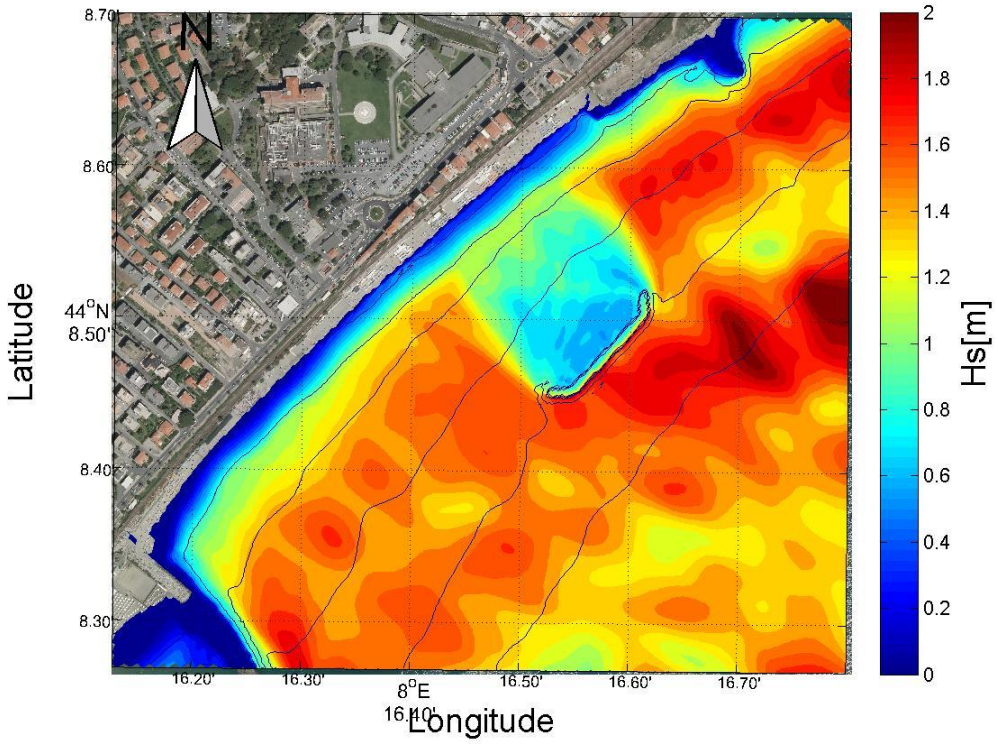


Figura 3. Distribuzione delle altezze d'onda in scenario con opera-variante B – onda annuale massima (Dir. N° sottocosta = 165.51, H = 2.36, T = 7.85).

Osservando i risultati illustrati in Figura 1, 2 e 3 si nota come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla propagazione del moto ondoso nel caso dell'onda annuale massima riportata per il tratto di costa in esame. La presenza dell'opera influisce sulla distribuzione delle altezze d'onda. In particolare, in Figura 2 e in Figura 3, si osserva la marcata attenuazione del moto ondoso incidente nella porzione di specchio acqueo a tergo della struttura stessa. Confrontando le due varianti di opera proposte (Figura 2 e Figura 3) non si osservano differenze degne di nota. Entrambe le strutture portano ad una evidente diminuzione dell'altezza d'onda a tergo dell'opera, con un conseguente effetto protettivo concentrato principalmente sul tratto di costa ridossato dalla struttura.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Processi di sedimentazione ed erosione

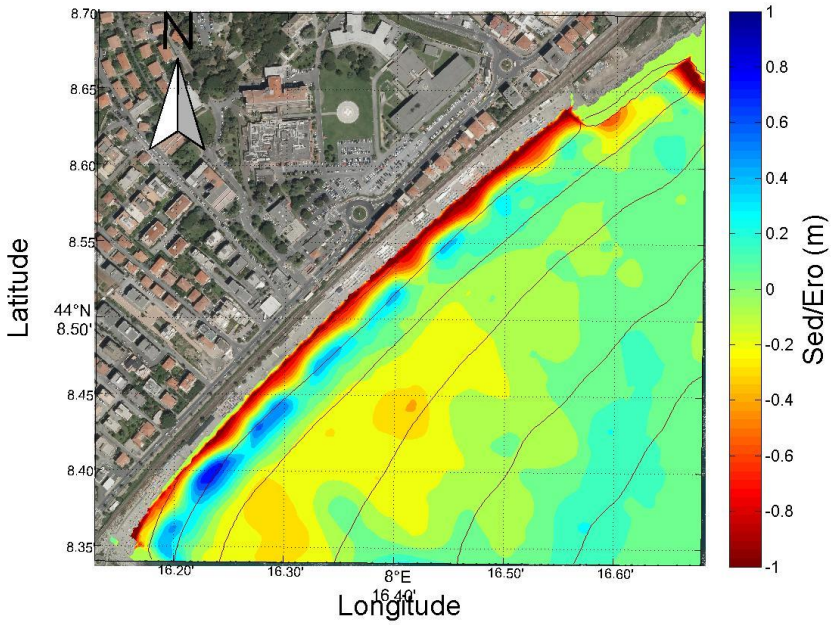


Figura 4. Processi di sedimentazione ed erosione allo stato dell'arte - onda annuale massima (Dir. N° sottocosta = 165.51, H = 2.36, T = 7.85).

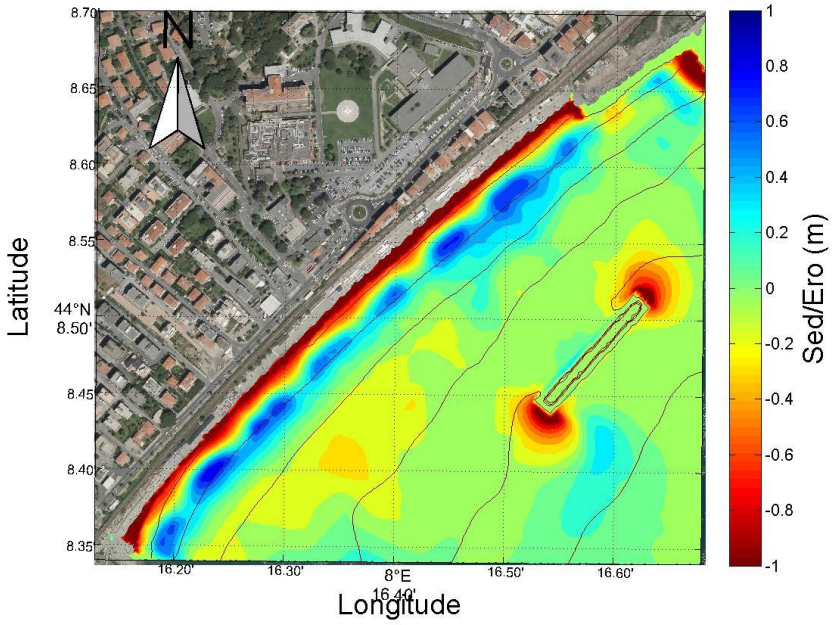


Figura 5. Processi di sedimentazione ed erosione nello scenario con opera - onda annuale massima (Dir. N° sottocosta = 165.51, H = 2.36, T = 7.85).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

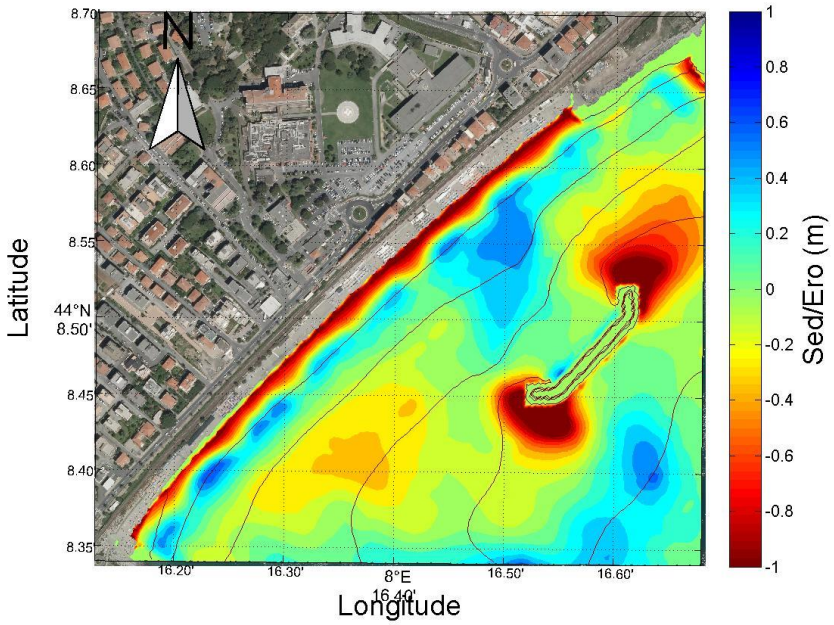


Figura 6. Processi di sedimentazione ed erosione nello scenario con opera-variante B - onda annuale massima (Dir. N° sottocosta = 165.51, H = 2.36, T = 7.85).

Osservando i risultati illustrati in Figura 4, 5 e 6 si nota l'effetto che la posa dell'opera, nelle due varianti proposte, ha sui processi di sedimentazione ed erosione nel caso di un moto ondoso incidente con onda annuale massima riportata per il tratto di costa in esame. In generale si osserva come le dinamiche di sedimentazione ed erosione in prossimità della linea di riva siano concordi nei tre casi. La spiaggia risulta in erosione e si osserva uno spostamento di materiale sedimentario dalla spiaggia emersa a quella sommersa. Si tratta di una dinamica assolutamente normale in condizioni di mareggiata intensa. In Figura 5 e 6 si nota come la presenza dell'opera generi dei fenomeni di accumulo in prossimità della porzione di spiaggia sommersa a tergo della stessa. Questo aspetto risulta concorde con i risultati mostrati nella sezione precedente, dove si è evidenziato l'effetto protettivo rispetto al moto ondoso incidente.

Portando l'attenzione sull'opera (Figura 5 e 6) si osserva la generazione di processi erosivi al piede della stessa, particolarmente accentuati alle sue estremità. Si tratta di processi erosivi comunemente associati a questa tipologia di opere, in quanto dovuti ai processi riflettivi dovuti all'interazione onda-opera. In Figura 6 sembra osservarsi una maggiore estensione di tali processi erosivi, probabilmente in relazione alla differente propagazione del moto ondoso attorno all'opera, dovuta alla presenza delle due estremità ripiegate verso costa.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Risposta morfodinamica del fondale

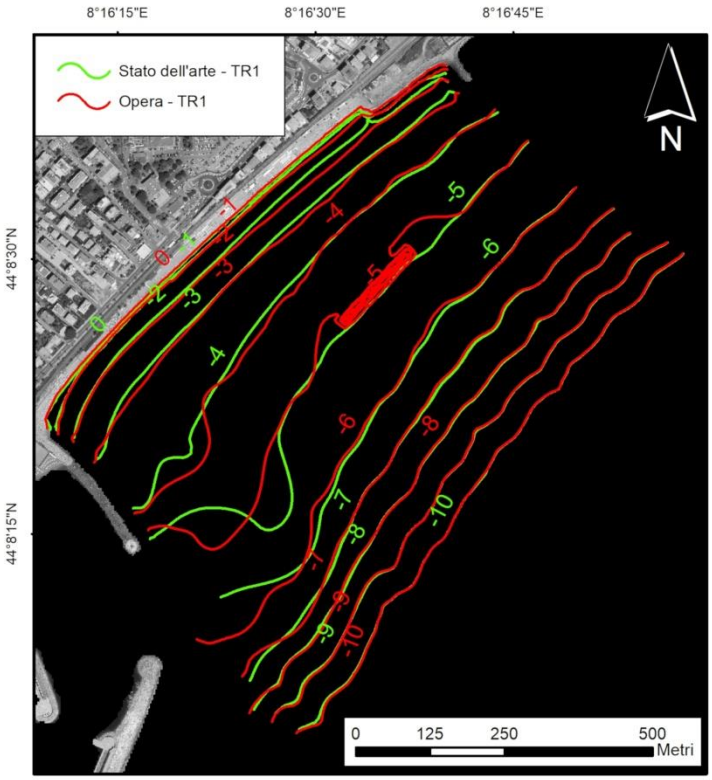


Figura 7. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda annuale massima (Dir. N° sottocosta = 165.51, H = 2.36, T = 7.85) - stato dell'arte Vs opera.

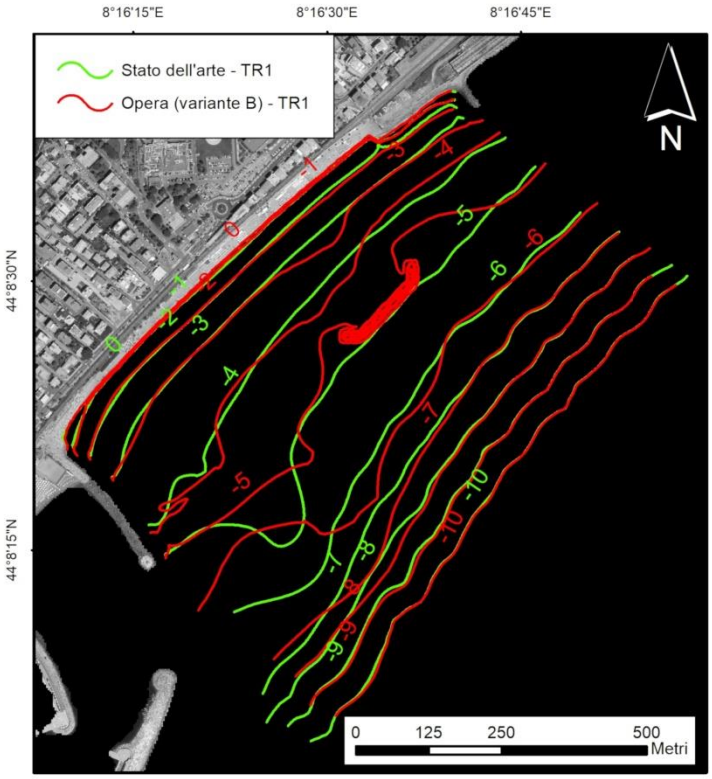


Figura 8. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda annuale massima (Dir. N° sottocosta = 165.51, H = 2.36, T = 7.85) - stato dell'arte Vs opera-variante B.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Osservando i risultati illustrati in Figura 4 e 5 si nota come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla risposta morfodinamica del fondale. Si nota come, tra la linea di riva e la batimetria della -5, l'influenza dell'opera induca una traslazione delle linee batimetriche verso il largo (diminuzione della profondità). Anche in questo caso l'effetto risulta essere più accentuato in prossimità dello specchio acqueo a tergo della struttura. Osservando la Figura 5 si nota come le linee batimetriche della -4 e della -3 risultino maggiormente influenzate dalla presenza dell'opera-variante B. Tuttavia, spostandoci verso ovest, le stesse linee batimetriche risultano sensibilmente più arretrate rispetto allo stato dell'arte. Diversamente, osservando la Figura 4, si apprezza un'influenza dell'opera sensibilmente più uniforme (in particolare osservando le linee batimetriche della -3 e -4).

Commento

I risultati mostrano come la posa dell'opera, in entrambe le varianti proposte, considerando l'onda annuale massima per il tratto di costa in esame, influenzi i processi idro-morfodinamici costieri. La posa dell'opera porta ad una attenuazione del moto ondoso incidente nella porzione di specchio acqueo protetto dalla stessa. In termini di dinamica sedimentaria (processi di erosione e accumulo) ed evoluzione del fondale non si evidenziano differenze di particolare rilevanza tra le due varianti di opera proposte. Dal punto di vista dell'idromorfodinamica costiera, le lievi differenze riscontrate non sembrano suggerire in via preferenziale una delle due soluzioni.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Direzione °N 150

Propagazione del moto ondoso

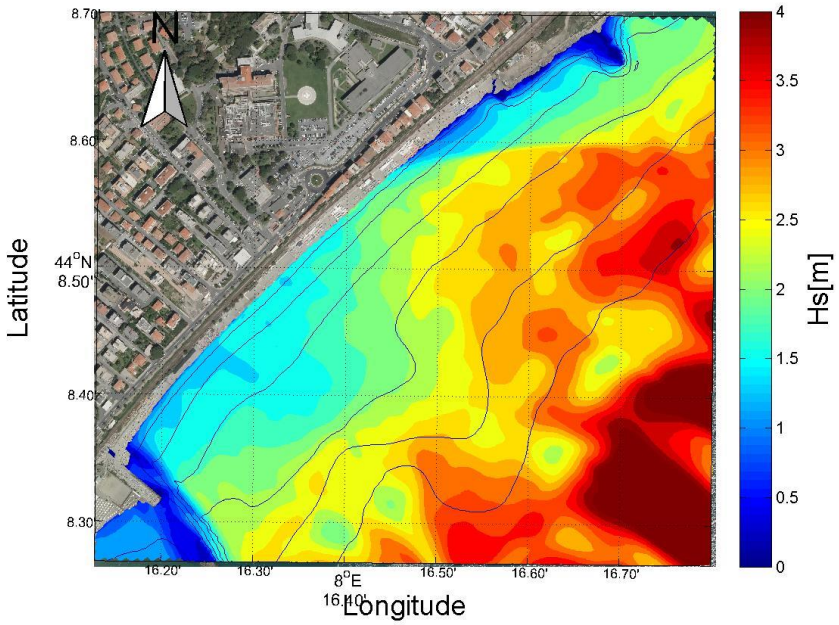


Figura 9. Distribuzione delle altezze d'onda allo stato dell'arte – onda cinquantennale massima (Dir. N° sottocosta = 143.43, H = 4.72, T = 10.38).

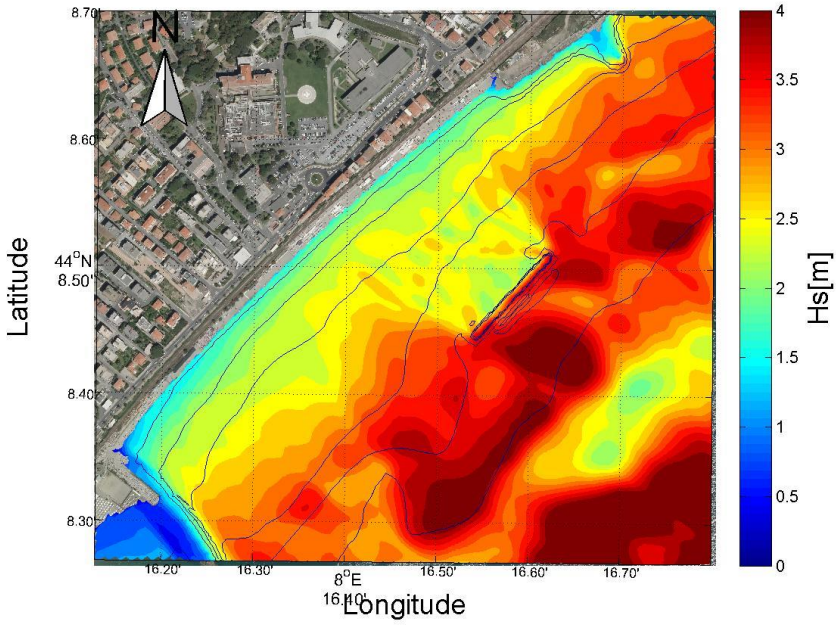


Figura 10. Distribuzione delle altezze d'onda in scenario con opera – onda cinquantennale massima (Dir. N° sottocosta = 143.43, H = 4.72, T = 10.38).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

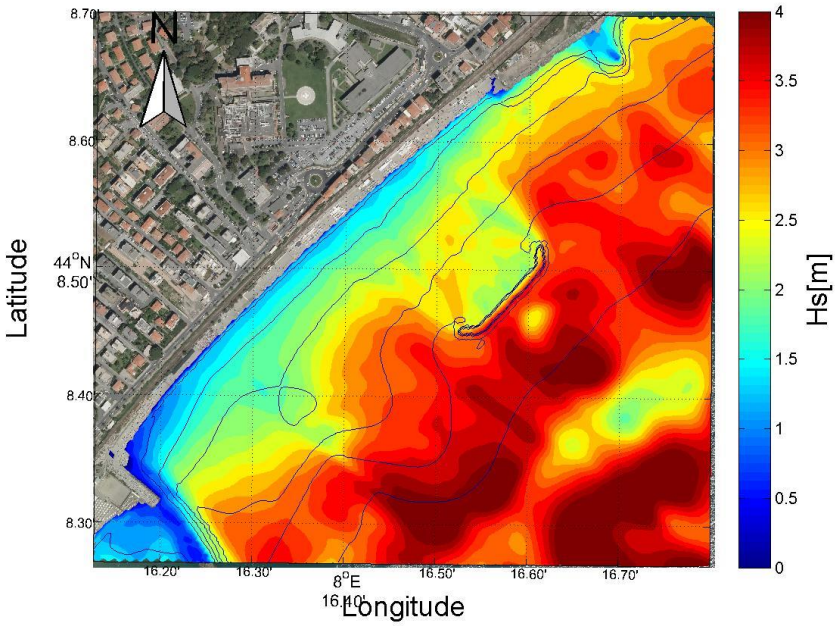


Figura 11. Distribuzione delle altezze d'onda in scenario con opera-variante B – onda cinquantennale massima (Dir. N° sottocosta = 143.43, H = 4.72, T = 10.38).

Osservando i risultati illustrati in Figura 6, 7 e 8 si nota come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla propagazione del moto ondoso nel caso dell'onda cinquantennale massima riportata per il tratto di costa in esame. La presenza dell'opera influisce sulla distribuzione delle altezze d'onda. In particolare, in Figura 7 e in Figura 8, si osserva la marcata attenuazione del moto ondoso incidente nella porzione di specchio acqueo a tergo della struttura stessa. Confrontando le due varianti di opera proposte (Figura 7 e Figura 8) non si osservano differenze degne di nota. Entrambe le strutture portano ad una evidente diminuzione dell'altezza d'onda a tergo dell'opera, con un conseguente effetto protettivo concentrato principalmente sul tratto di costa ridossato dalla struttura.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Processi di sedimentazione ed erosione

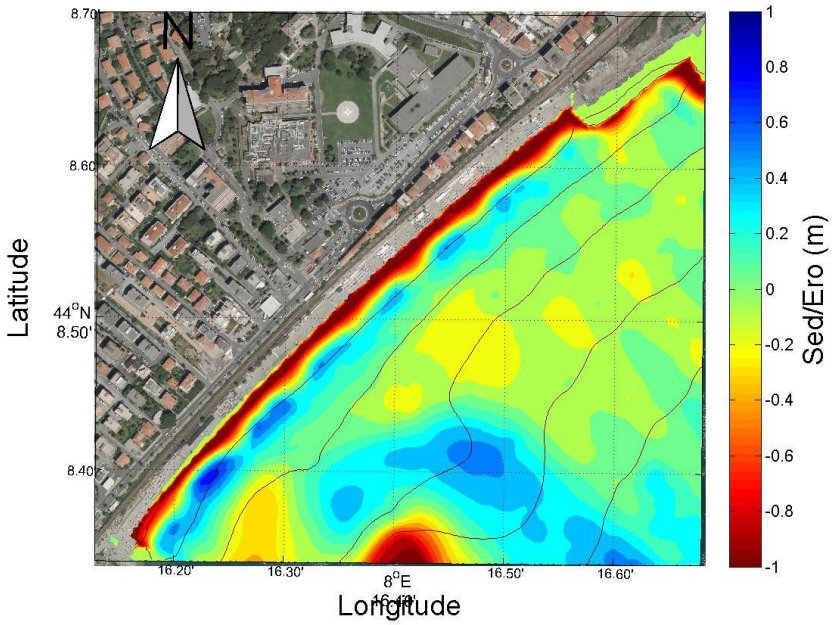


Figura 12. Processi di sedimentazione ed erosione allo stato dell'arte - onda cinquantennale massima (Dir. N° sottocosta = 143.43, H = 4.72, T = 10.38).

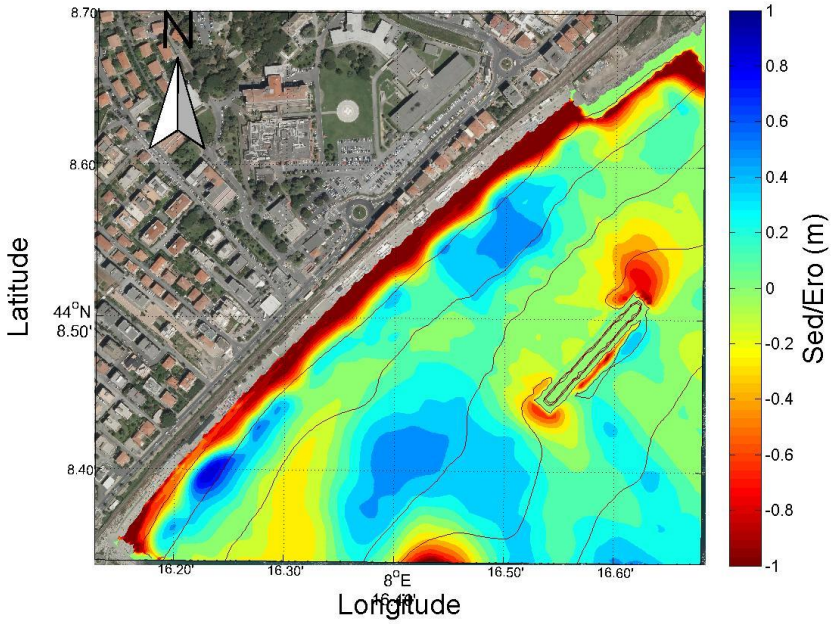


Figura 13. Processi di sedimentazione ed erosione nello scenario con opera - onda cinquantennale massima (Dir. N° sottocosta = 143.43, H = 4.72, T = 10.38).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

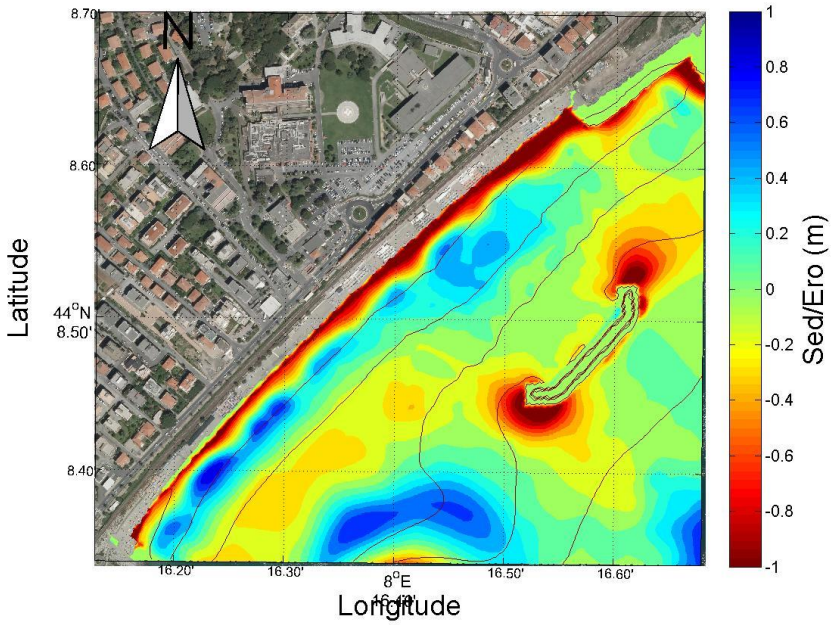


Figura 14. Processi di sedimentazione ed erosione nello scenario con opera-variante B - onda cinquantennale massima (Dir. N° sottocosta = 143.43, H = 4.72, T = 10.38).

Osservando i risultati illustrati in Figura 9, 10 e 11 si nota l'effetto che la posa dell'opera, nelle due varianti proposte, ha sui processi di sedimentazione ed erosione nel caso di un moto ondoso incidente con onda cinquantennale massima riportata per il tratto di costa in esame. In generale si osserva come le dinamiche di sedimentazione ed erosione in prossimità della linea di riva siano concordi nei tre casi. La spiaggia risulta in erosione e si osserva uno spostamento di materiale sedimentario dalla spiaggia emersa a quella sommersa. Si tratta di una dinamica assolutamente normale in condizioni di mareggiata intensa. In Figura 10 e 11 si nota come la presenza dell'opera generi dei fenomeni di accumulo in prossimità della porzione di spiaggia sommersa a tergo della stessa. Questo aspetto risulta concorde con i risultati mostrati nella sezione precedente, dove si è evidenziato l'effetto protettivo rispetto al moto ondoso incidente.

Focalizzando l'attenzione sull'opera (Figura 10 e 11) si osserva la generazione di processi erosivi al piede della stessa, particolarmente accentuati alle sue estremità. Si tratta di processi erosivi comunemente associati a questa tipologia di opere, in quanto dovuti ai processi riflettivi dovuti all'interazione onda-opera. Considerando le due soluzioni non si apprezzano particolari differenze. In Figura 10 sembra osservarsi una minore intensità di tali processi in prossimità delle estremità dell'opera, a discapito di una maggiore intensità nella porzione rettilinea (lato mare). In Figura 11 sembra osservarsi una minore intensità dei fenomeni erosivi sul lato mare dell'opera, a discapito di un incremento degli stessi alle estremità dell'opera stessa. Queste differenze sono riconducibili all'orientazione dell'opera rispetto al moto ondoso incidente (ed alla costa stessa).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Risposta morfodinamica del fondale

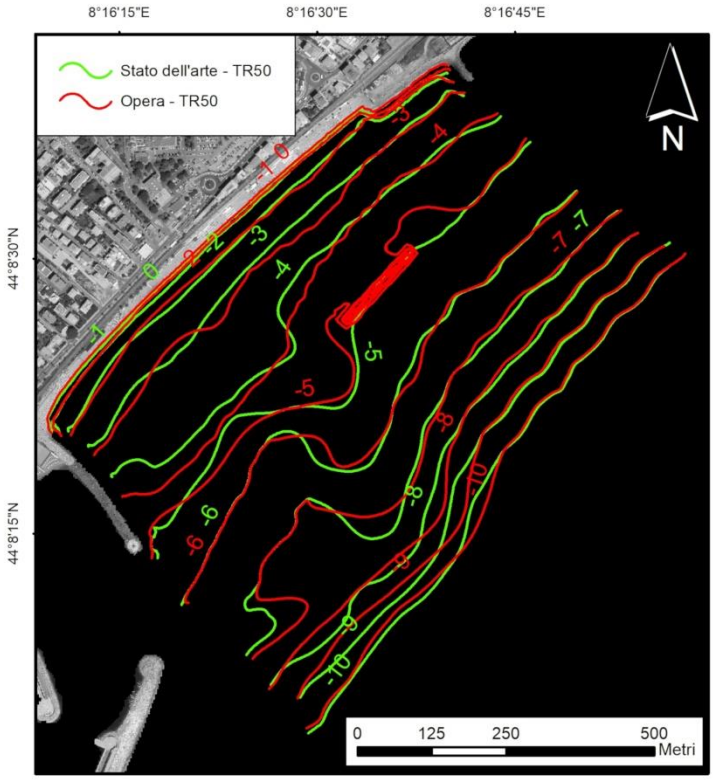


Figura 15. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda cinquantennale massima (Dir. N° sottocosta = 143.43, H = 4.72, T = 10.38) - stato dell'arte Vs opera.

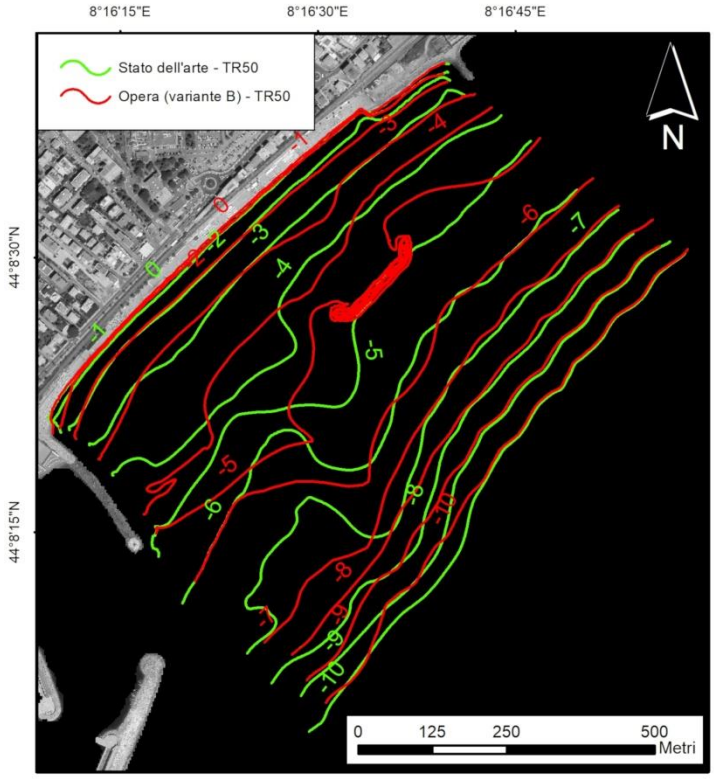


Figura 16. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda cinquantennale massima (Dir. N° sottocosta = 143.43, H = 4.72, T = 10.38) - stato dell'arte Vs opera-variante B.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Osservando i risultati illustrati in Figura 12 e 13 si nota come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla risposta morfodinamica del fondale. Si nota come il trend di evoluzione delle linee batimetriche appaia concorde con quanto osservato nel caso dell'onda annuale massima. La differenza è da ricercarsi nell'intensità del fenomeno osservato, che essendo dovuto ad un moto ondoso ben più intenso, mostra modificazioni più marcate. È evidente una diminuzione della profondità a tergo della struttura (vedere linee batimetriche -3 e -4), come è altrettanto evidente in Figura 13 (opera-variante B), spostandoci verso ovest, la marcata inversione di tendenza presso la linea batimetrica della -4 (incremento della profondità). In Figura 12 sembra apprezzarsi una maggiore linearità nella risposta morfodinamica. In Figura 13 sembra sorgere una sorta di lieve effetto tombolo (ben distante dalla effettiva generazione di un tombolo vero e proprio, anche in virtù del posizionamento dell'opera stessa ad una batimetria comunque elevata).

Commento

I risultati mostrano come la posa dell'opera, in entrambe le varianti proposte, considerando l'onda cinquantennale massima per il tratto di costa in esame, influenzi i processi idro-morfodinamici costieri. La posa dell'opera porta ad una attenuazione del moto ondoso incidente nella porzione di specchio acqueo protetto dalla stessa. In termini di dinamica sedimentaria (processi di erosione e accumulo) ed evoluzione del fondale non si evidenziano particolari differenze tra le due varianti di opera proposte, fatta eccezione per un lieve "effetto tombolo" nel caso dell'opera-variante B. Dal punto di vista dell'idromorfodinamica costiera, le differenze riscontrate non sembrano suggerire in via preferenziale una delle due soluzioni.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Direzione °N 120

Propagazione del moto ondoso

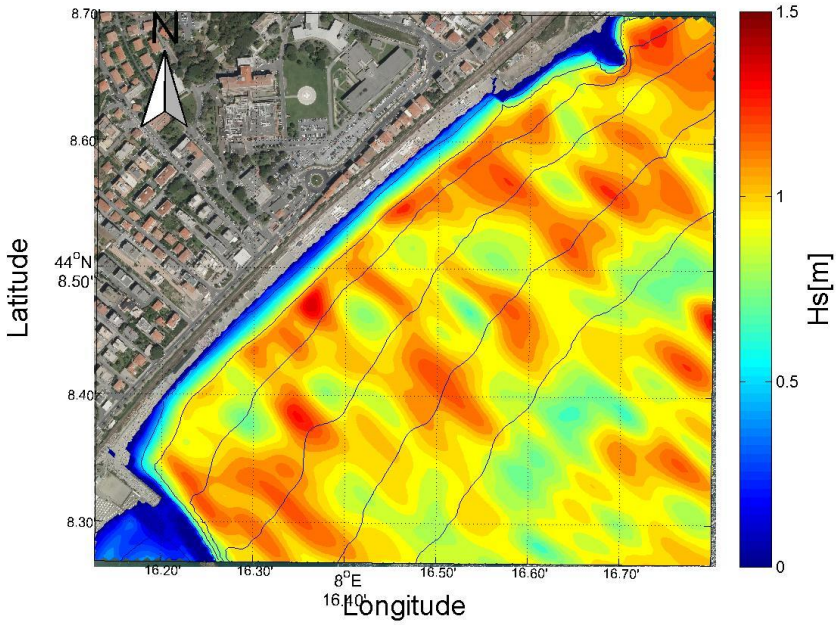


Figura 17. Distribuzione delle altezze d'onda allo stato dell'arte – onda annuale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 120.52, H = 1.61, T = 5.89).

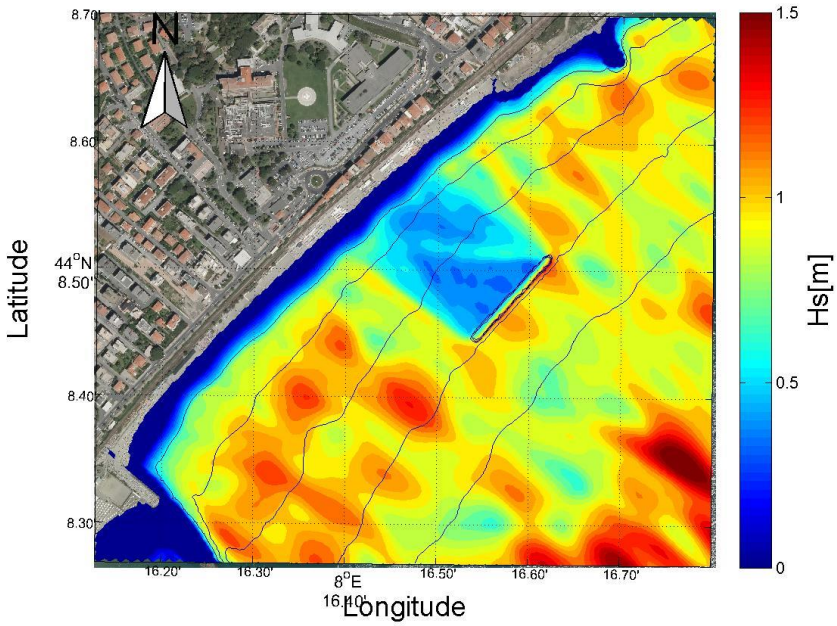


Figura 18. Distribuzione delle altezze d'onda nello scenario con opera – onda annuale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 120.52, H = 1.61, T = 5.89).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

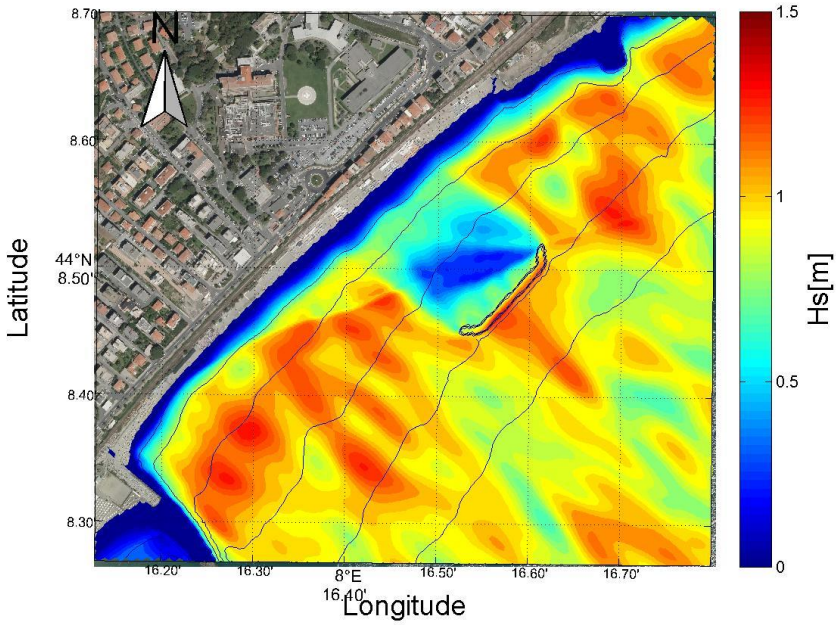


Figura 19. Distribuzione delle altezze d'onda nello scenario con opera-variante B – onda annuale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 120.52, H = 1.61, T = 5.89).

Osservando i risultati illustrati in Figura 14, 15 e 16 si nota come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla propagazione del moto ondoso nel caso di un'onda con direzione di provenienza di 120 °N al largo e tempo di ritorno annuale. La presenza dell'opera influisce sulla distribuzione delle altezze d'onda. In particolare, in Figura 15 e in Figura 16, si osserva la marcata attenuazione del moto ondoso incidente nella porzione di specchio acqueo a tergo della struttura stessa. Confrontando le due varianti di opera proposte (Figura 15 e Figura 16) non si osservano differenze degne di nota in termini di capacità di attenuazione del moto ondoso. Entrambe le strutture portano ad una diminuzione dell'altezza d'onda a tergo dell'opera, con un conseguente effetto protettivo concentrato principalmente sul tratto di costa ridossato dalla struttura stessa.

Passiamo dunque ad osservare i risultati ottenuti simulando un clima ondoso sempre proveniente da 120 °N al largo, ma con tempo di ritorno cinquantennale.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

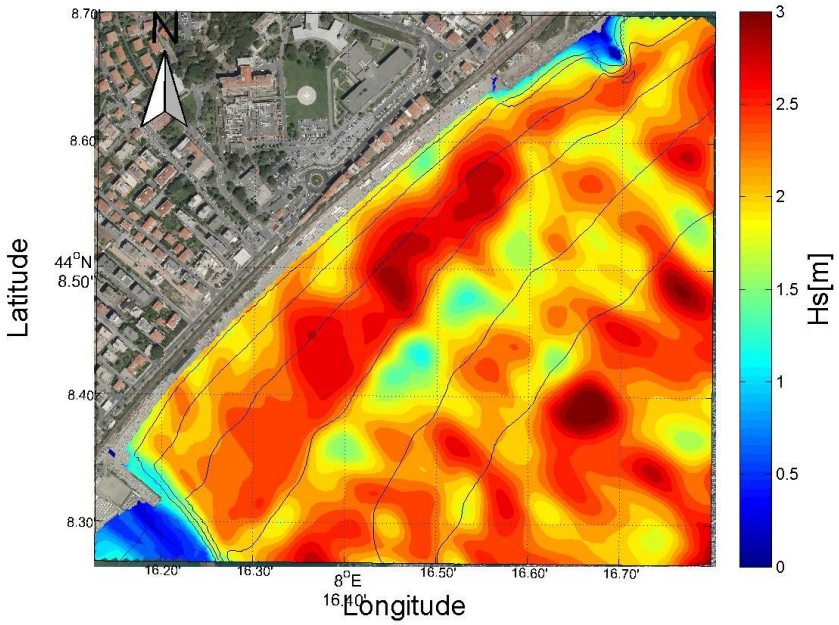


Figura 20. Distribuzione delle altezze d'onda allo stato dell'arte – onda cinquantennale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 122.65, H = 3.54, T = 8.93).

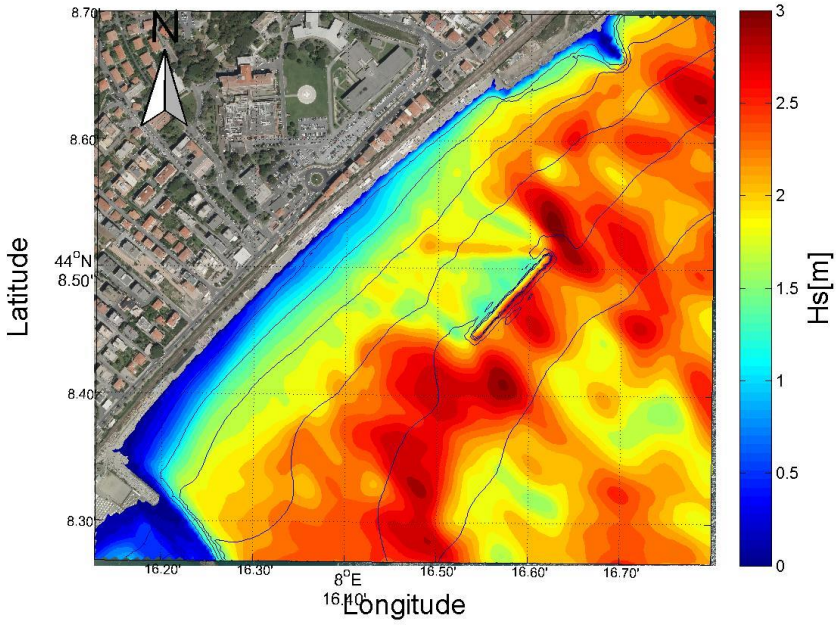


Figura 21. Distribuzione delle altezze d'onda nello scenario con opera – onda cinquantennale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 122.65, H = 3.54, T = 8.93).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

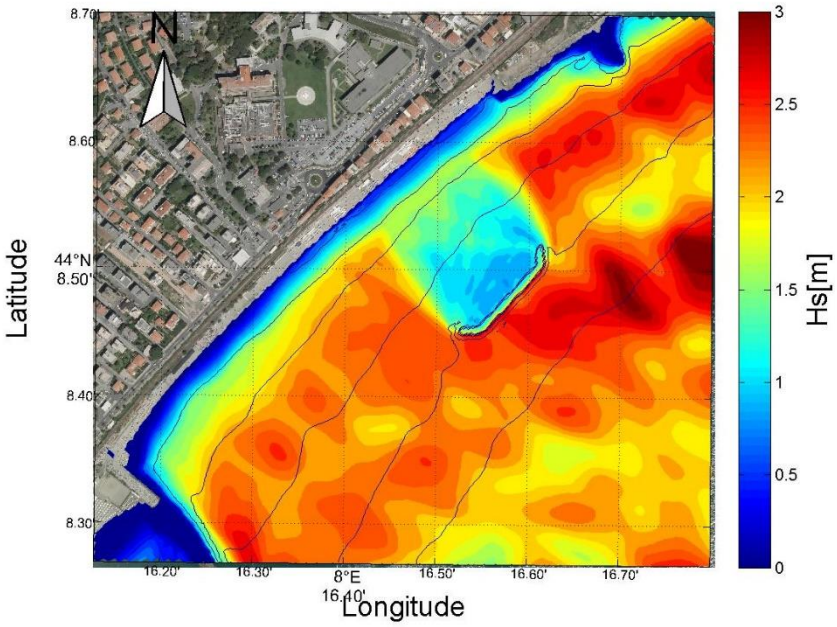


Figura 22. Distribuzione delle altezze d'onda nello scenario con opera-variante B – onda cinquantennale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 122.65, H = 3.54, T = 8.93).

I risultati riportati in Figura 17, 18 e 19 mostrano come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla propagazione del moto ondoso nel caso di un'onda con direzione di provenienza di 120 °N al largo e tempo di ritorno cinquantennale. Anche in questo caso, la presenza dell'opera influisce in maniera rilevante sulla distribuzione delle altezze d'onda. In Figura 18 e in Figura 19 si osserva l'attenuazione del moto ondoso incidente nella porzione di specchio acqueo riparata della struttura stessa. Anche nel caso di un'onda con tempo di ritorno cinquantennale, confrontando le due varianti di opera proposte (Figura 18 e Figura 19), non si osservano differenze degne di nota in termini di capacità di attenuazione del moto ondoso. Entrambe le strutture portano ad una diminuzione dell'altezza d'onda a tergo dell'opera, con un conseguente effetto protettivo concentrato principalmente sul tratto di costa ridossato dalla struttura stessa.

Processi di sedimentazione ed erosione

Viene di seguito riportata la restituzione grafica dei risultati ottenuti in termini di simulazione dei processi di sedimentazione ed erosione considerando un'onda con direzione di 120 °N al largo e tempo di ritorno cinquantennale. Non viene riportata la restituzione grafica dei medesimi risultati riferiti ad un'onda con direzione di 120 °N al largo e tempo di ritorno annuale, in quanto non ulteriormente significativi.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

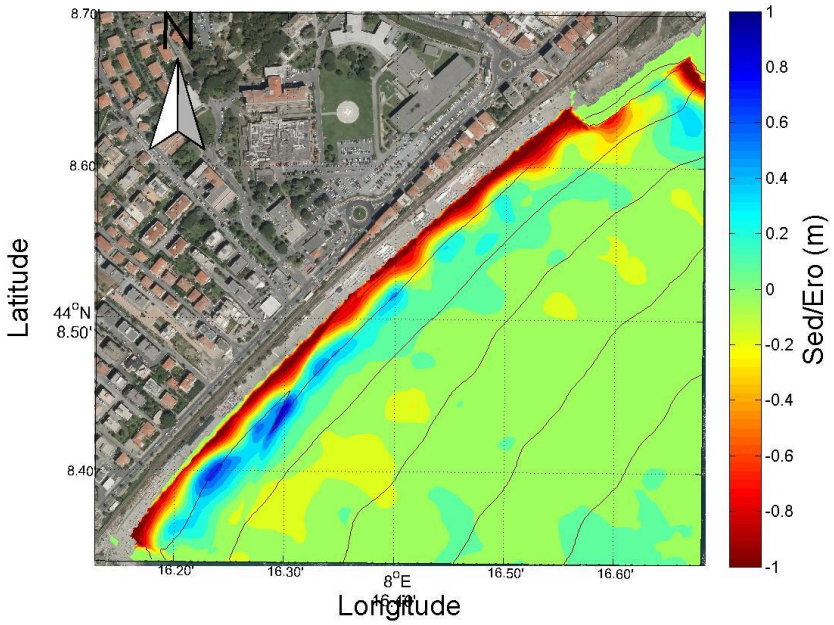


Figura 23. Processi di sedimentazione ed erosione allo stato dell'arte - onda cinquantennale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 122.65, H = 3.54, T = 8.93).

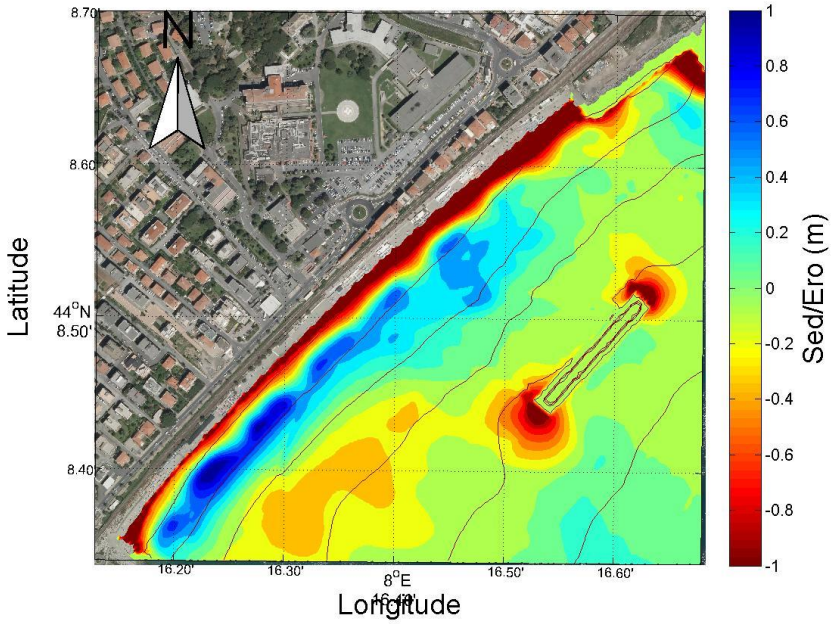


Figura 24. Processi di sedimentazione ed erosione nello scenario con opera - onda cinquantennale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 122.65, H = 3.54, T = 8.93).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

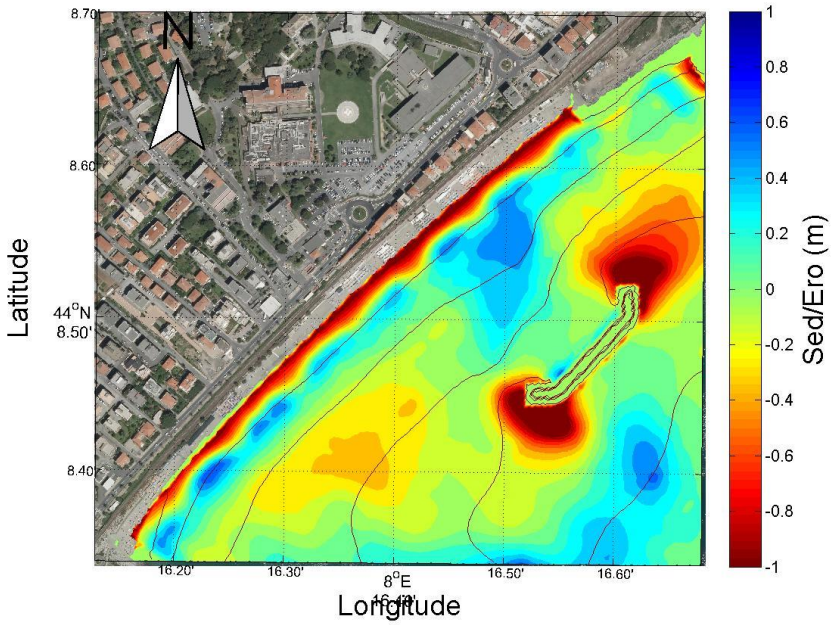


Figura 25. Processi di sedimentazione ed erosione nello scenario con opera-variante B - onda cinquantennale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 122.65, H = 3.54, T = 8.93).

Osservando i risultati illustrati in Figura 20, 21 e 22 si nota l'effetto che la posa dell'opera, nelle due varianti proposte, ha sui processi di sedimentazione ed erosione nel caso di un moto ondoso incidente con direzione di 120 °N al largo e tempo di ritorno cinquantennale. Anche in questo caso si osserva come le dinamiche di sedimentazione ed erosione in prossimità della linea di riva siano concordi nei tre casi in esame. La spiaggia risulta in erosione e si osserva uno spostamento di materiale sedimentario dalla spiaggia emersa a quella sommersa. Si tratta di una dinamica assolutamente normale in condizioni di mareggiata intensa. In accordo con quanto già osservato nelle simulazioni descritte nelle sezioni precedenti, in Figura 21 e 22 si osserva come la presenza dell'opera generi dei fenomeni di accumulo sedimentario in prossimità della porzione di spiaggia sommersa a tergo della struttura. Anche in questo caso, tale dinamica risulta essere concorde con quanto osservato in termini di attenuazione del moto ondoso incidente.

Portando l'attenzione sull'opera (Figura 21 e 22) si osserva la generazione di processi erosivi al piede della stessa, particolarmente accentuati alle sue estremità. Come già descritto in precedenza, si tratta di processi erosivi comunemente associati a questa tipologia di opere, in quanto dovuti ai processi riflettivi indotti dall'interazione onda-opera. In Figura 22 sembra osservarsi una maggiore intensità di tali fenomeni erosi, presumibilmente dovuta all'orientazione delle estremità dell'opera rispetto al moto ondoso incidente (in particolare per quanto riguarda l'estremità orientale della struttura). Anche in questo caso, considerando anche la risoluzione della griglia computazionale impiegata, tenendo conto dell'inevitabile approssimazione associata all'impiego degli strumenti modellistici, non si riscontrano differenze sostanziali in termini di dinamiche sedimentarie.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Le stesse considerazioni valgono per i processi di sedimentazione ed erosione nel caso di onda con tempo di ritorno annuale. Tali risultati, non riportati graficamente, hanno mostrato una uguale distribuzione dei fenomeni di erosione e accumulo, seppur di minore intensità per via del clima ondoso moderato (onda annuale).

Risposta morfodinamica del fondale

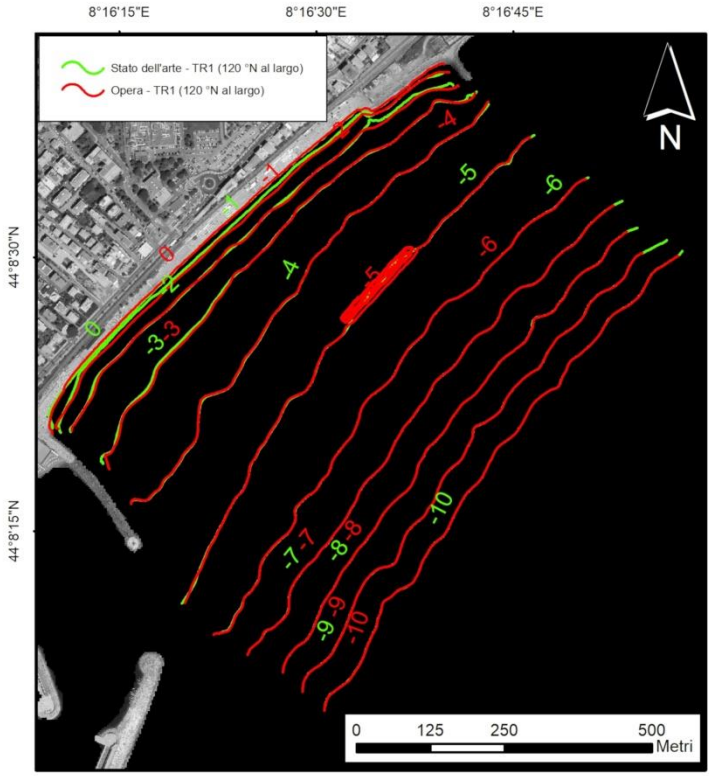


Figura 26. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda annuale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 120.52, H = 1.61, T = 5.89) – stato dell'arte Vs opera.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

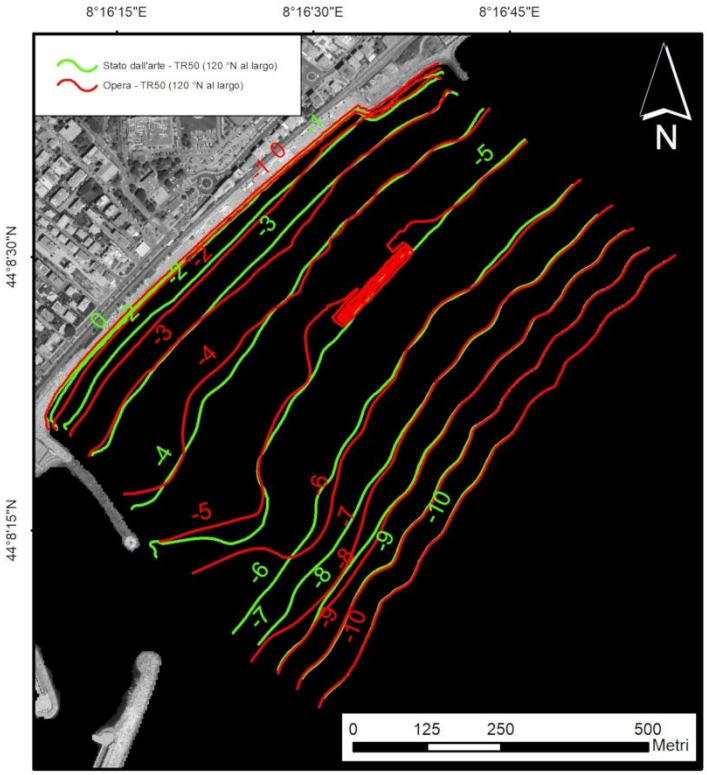


Figura 27. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda cinquantennale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 122.65, H = 3.54, T = 8.93) – stato dell'arte Vs opera.

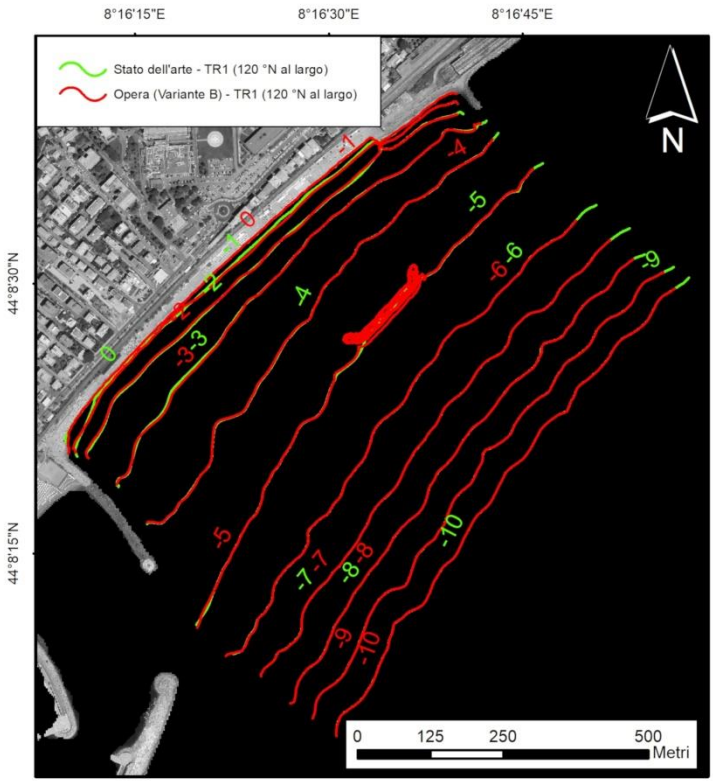


Figura 28. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda annuale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 120.52, H = 1.61, T = 5.89) – stato dell'arte Vs opera-variante B.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

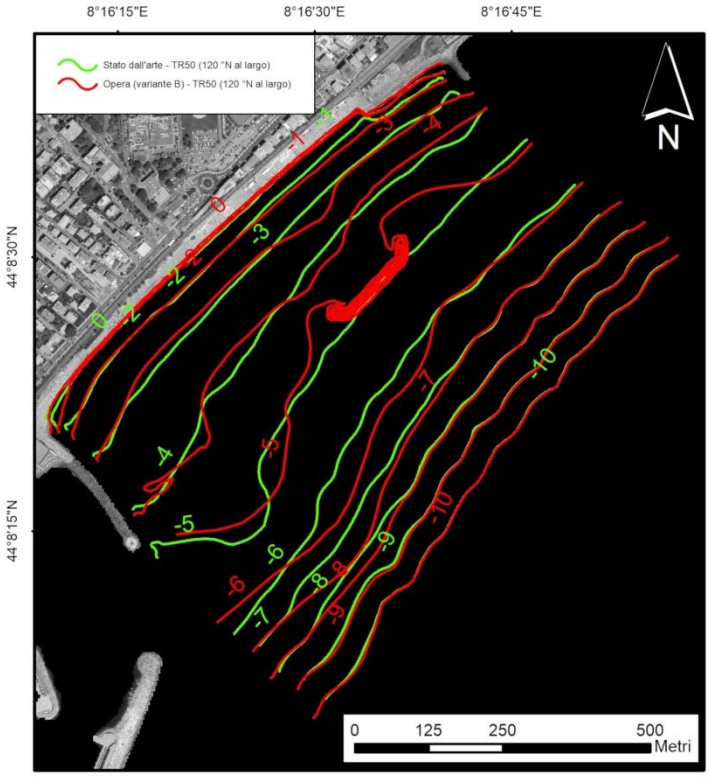


Figura 29. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda cinquantennale da 120 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 122.65, H = 3.54, T = 8.93) – stato dell'arte Vs opera-variante B.

Osservando i risultati illustrati in Figura 23, 24, 25 e 26 si nota come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla risposta morfodinamica del fondale. Si nota come il trend di evoluzione delle linee batimetriche appaia concorde con quanto già osservato negli scenari di clima ondoso precedentemente illustrati. In Figura 23 e Figura 24 si evidenzia come, in virtù delle condizioni di moto ondoso moderato, non si apprezzi sostanzialmente differenza tra la risposta morfodinamica allo stato dell'arte e nel caso dell'opera proposta (in entrambe le varianti). Diversamente, è evidente la diversa risposta morfodinamica tra stato dell'arte e scenari con opera, nel caso di un'onda con tempo di ritorno cinquantennale. I risultati sono concordi con quanto osservato nel caso, precedentemente descritto, dell'onda cinquantennale massima. Concordemente con quanto osservato in termini di attenuazione del moto ondoso e di processi di erosione-accumulo, si osserva una traslazione delle linee batimetriche verso il largo (diminuzione della profondità). In Figura 25 sembra apprezzarsi una maggiore linearità nella risposta morfodinamica, mentre in Figura 26 sembra apprezzarsi una sorta di lieve effetto tombolo (ben distante dalla effettiva generazione di un tombolo vero e proprio, anche in virtù del posizionamento dell'opera stessa ad una batimetria comunque elevata).

Commento

I risultati mostrano come la posa dell'opera, in entrambe le varianti proposte, considerando un'onda al largo proveniente da 120 °N, con tempo di ritorno annuale e cinquantennale, influenzi i processi costieri.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

In termini di dinamica sedimentaria (processi di erosione e accumulo) ed evoluzione del fondale non si evidenziano particolari differenze tra le due varianti di opera proposte, fatta eccezione per un lieve "effetto tombolo" nel caso dell'opera-variante B. Dal punto di vista dell'idromorfodinamica costiera, le lievi differenze riscontrate non sembrano suggerire in via preferenziale una delle due soluzioni.

Direzione °N 210

Propagazione del moto ondoso

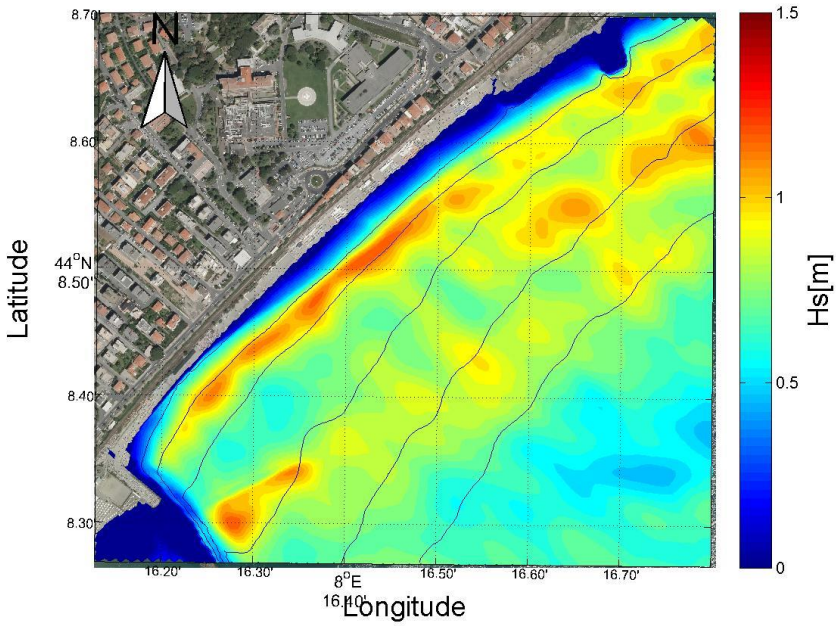


Figura 30. Distribuzione delle altezze d'onda allo stato dell'arte – onda annuale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 174.20, H = 1.40, T = 8.28).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

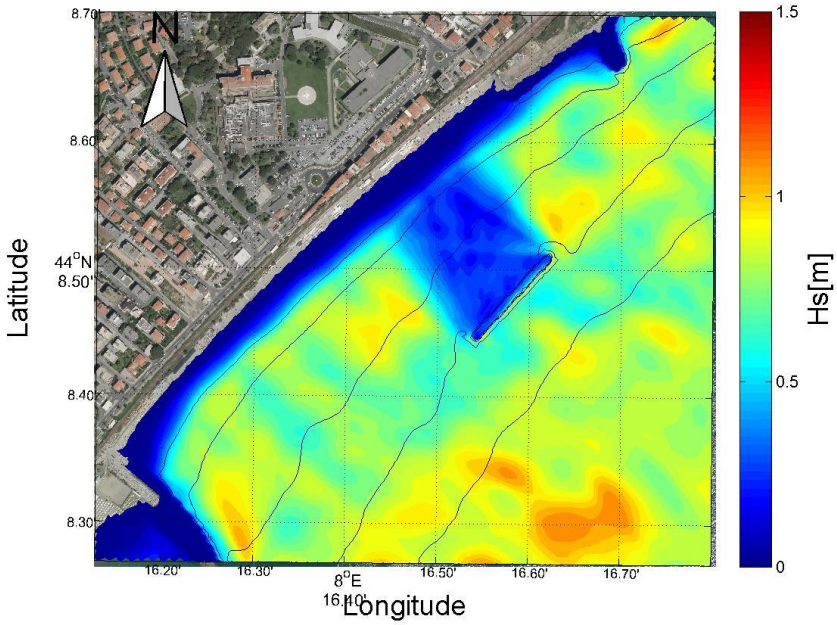


Figura 31. Distribuzione delle altezze d'onda nello scenario con opera – onda annuale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 174.20, H = 1.40, T = 8.28).

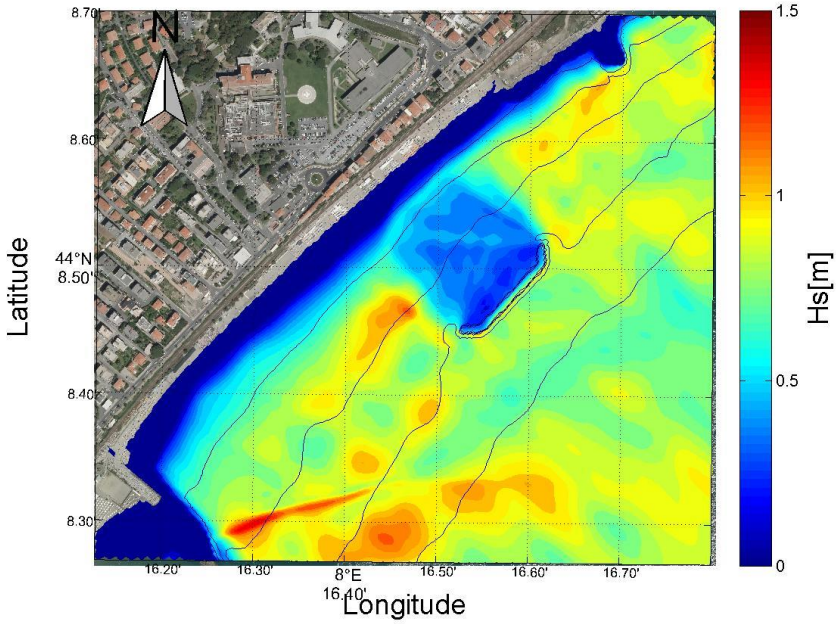


Figura 32. Distribuzione delle altezze d'onda nello scenario con opera-variante B – onda annuale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 174.20, H = 1.40, T = 8.28).

Osservando i risultati illustrati in Figura 30, 31 e 32 si nota come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla propagazione del moto ondoso nel caso di un'onda con direzione di provenienza di 210 °N al largo e tempo di ritorno annuale. La presenza dell'opera influisce sulla distribuzione delle altezze d'onda. In particolare, in Figura 31 e in Figura 32, si osserva la marcata attenuazione del moto ondoso incidente nella porzione di specchio acqueo a tergo della struttura stessa.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

Confrontando le due varianti di opera proposte (Figura 31 e Figura 32) non si osservano differenze degne di nota in termini di capacità di attenuazione del moto ondoso. Entrambe le strutture portano ad una evidente diminuzione dell'altezza d'onda a tergo dell'opera (seppur in questo caso le condizioni del clima ondoso siano molto moderate).

Passiamo dunque ad osservare i risultati ottenuti simulando un clima ondoso sempre proveniente da 210°N al largo, ma con tempo di ritorno cinquantennale.

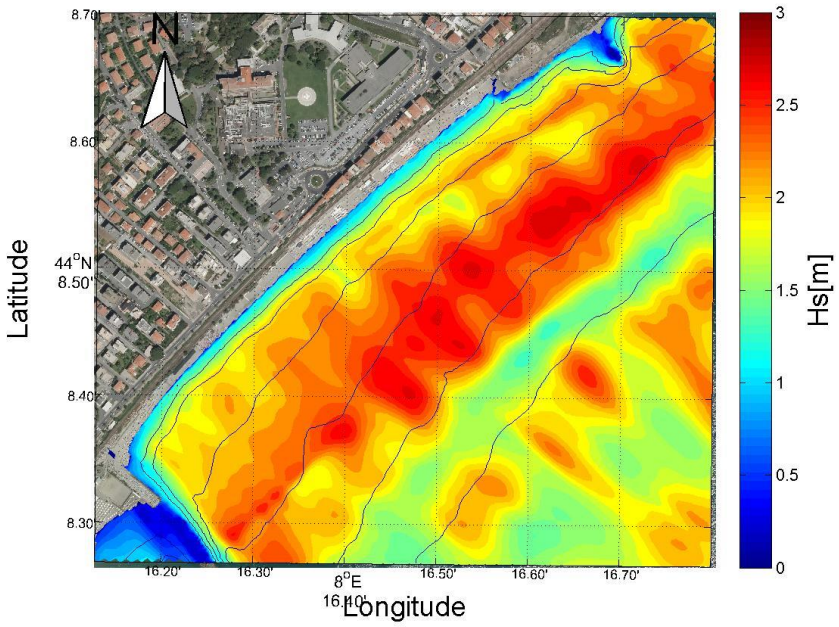


Figura 33. Distribuzione delle altezze d'onda allo stato dell'arte – onda cinquantennale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

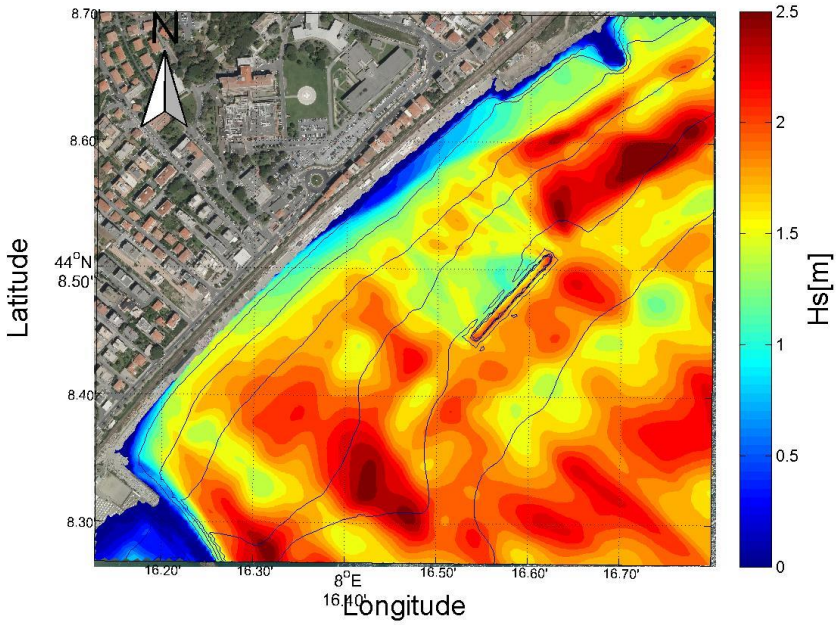


Figura 34. Distribuzione delle altezze d'onda nello scenario con opera – onda cinquantennale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41).

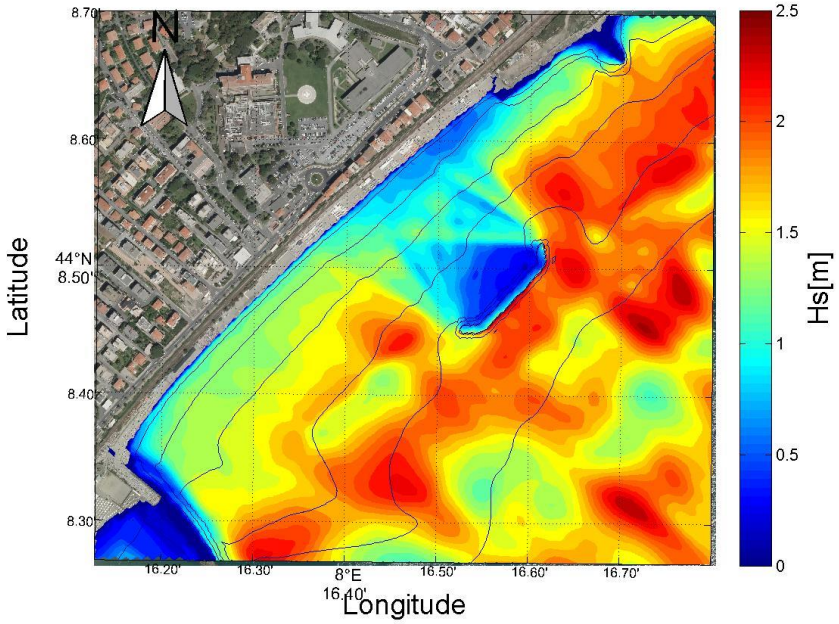


Figura 35. Distribuzione delle altezze d'onda nello scenario con opera-variante B – onda cinquantennale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41).

I risultati riportati in Figura 33, 34 e 35 mostrano come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla propagazione del moto ondoso nel caso di un'onda con direzione di provenienza di 210 °N al largo e tempo di ritorno cinquantennale. Anche in questo caso, più marcatamente per via del moto ondoso più intenso, la presenza dell'opera influisce in maniera rilevante sulla distribuzione delle altezze d'onda. In Figura 34 e in Figura 35 si osserva l'attenuazione del moto ondoso incidente nella

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

porzione di specchio acqueo riparata della struttura stessa. Anche nel caso di un'onda con tempo di ritorno cinquantennale, confrontando le due varianti di opera proposte (Figura 34 e Figura 35), non si osservano differenze degne di nota in termini di capacità di attenuazione del moto ondoso. Entrambe le strutture portano ad una diminuzione dell'altezza d'onda a tergo dell'opera, con un conseguente effetto protettivo concentrato principalmente sul tratto di costa ridossato dalla struttura stessa.

Processi di sedimentazione ed erosione

Viene di seguito riportata la restituzione grafica dei risultati ottenuti in termini di simulazione dei processi di sedimentazione ed erosione considerando un'onda con direzione di 210 °N al largo e tempo di ritorno cinquantennale. Non viene riportata la restituzione grafica dei medesimi risultati riferiti ad un'onda con direzione di 210 °N al largo e tempo di ritorno annuale, in quanto non ulteriormente significativi.

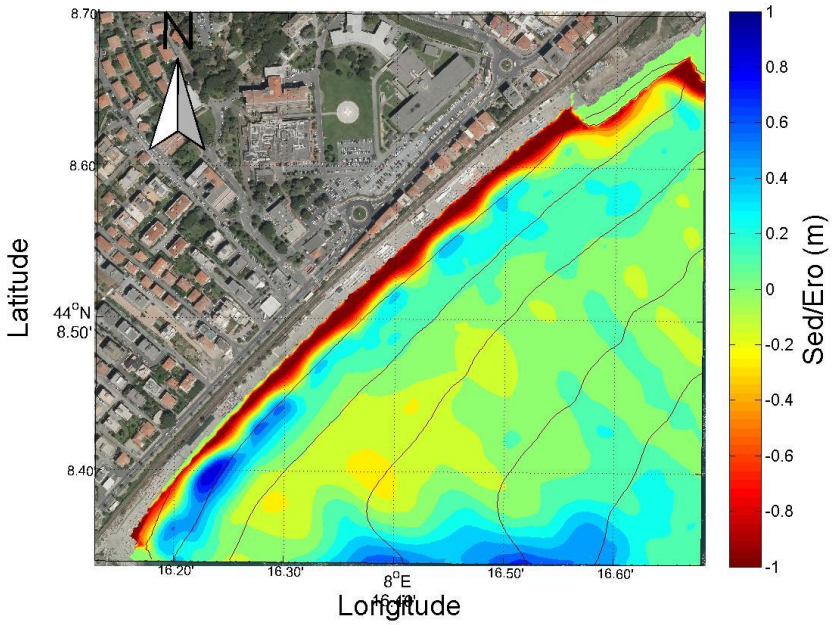


Figura 36. Processi di sedimentazione ed erosione allo stato dell'arte – onda cinquantennale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41).

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

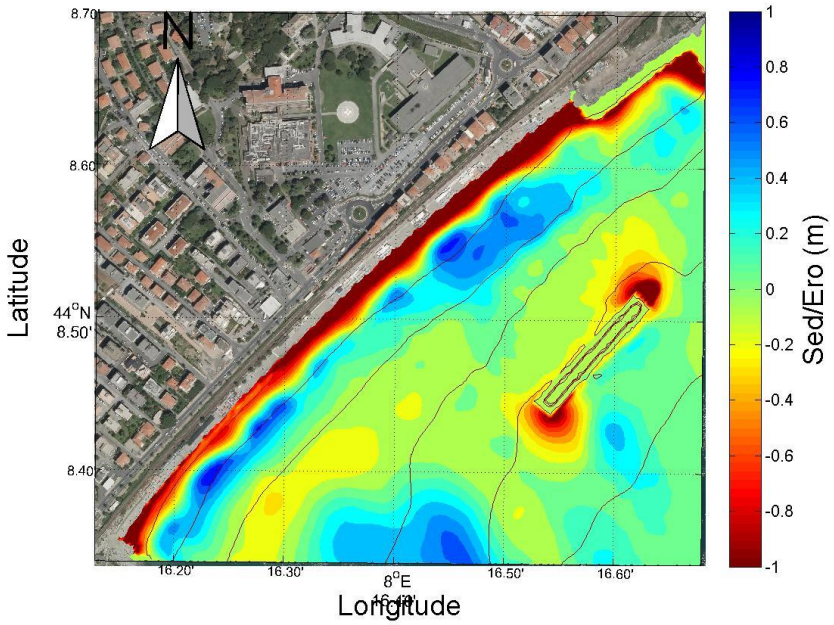


Figura 37. Processi di erosione e sedimentazione nello scenario con opera - onda cinquantennale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41).

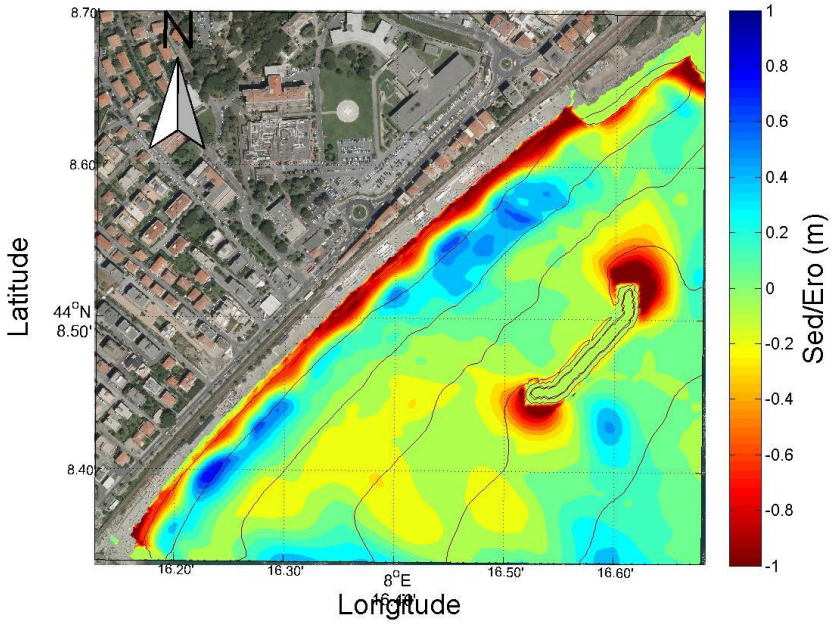


Figura 38. Processi di erosione e sedimentazione nello scenario con opera-variante B - onda cinquantennale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41).

Osservando i risultati illustrati in Figura 36, 37 e 38 si nota l'effetto che la posa dell'opera, nelle due varianti proposte, ha sui processi di sedimentazione ed erosione nel caso di un moto ondoso incidente con direzione di 210 °N al largo e tempo di ritorno cinquantennale. Anche in questo caso si osserva come le dinamiche di sedimentazione ed erosione in prossimità della linea di riva siano concordi nei tre casi in esame. La spiaggia risulta in erosione e si osserva uno spostamento di materiale sedimentario dalla spiaggia

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

emersa a quella sommersa. Si tratta di una dinamica ordinaria in condizioni di mareggiata intensa. In accordo con quanto già osservato nelle simulazioni descritte nelle sezioni precedenti, in Figura 37 e 38 si osserva come la presenza dell'opera generi dei fenomeni di accumulo sedimentario in prossimità della porzione di spiaggia sommersa prospiciente alla struttura. Anche in questo caso, tale dinamica risulta essere concorde con quanto osservato in termini di attenuazione del moto ondoso incidente.

Portando l'attenzione sull'opera (Figura 37 e 38) si osserva la genesi di processi erosivi al piede della stessa, particolarmente accentuati alle sue estremità. Come già sottolineato nelle sezioni precedenti, si tratta di processi erosivi tipicamente associati a questa tipologia di opere, in quanto dovuti ai processi riflettivi dovuti all'interazione onda-opera. Tra le due varianti non si osservano differenze significative rispetto a tali fenomeni erosivi.

Risposta morfodinamica del fondale

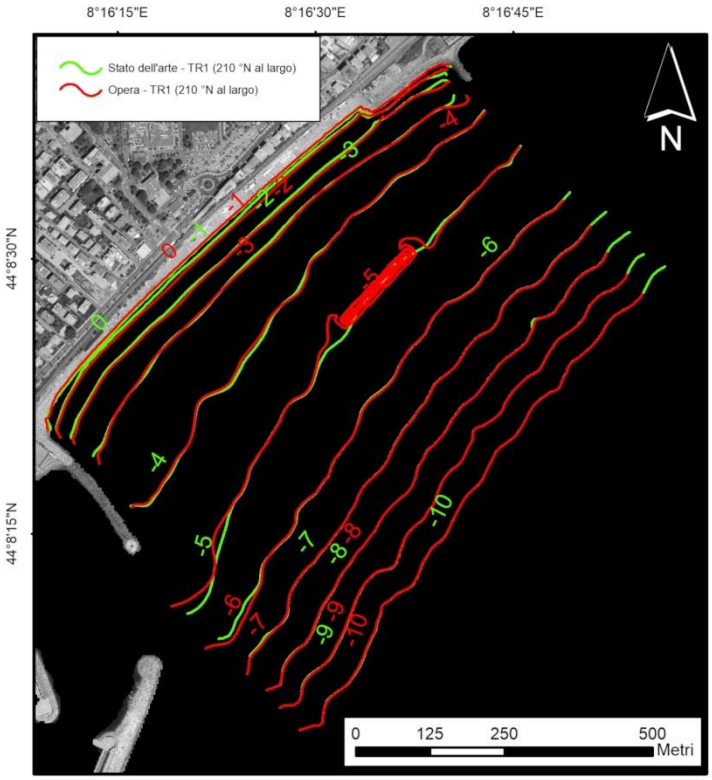


Figura 39. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda annuale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41) – stato dell'arte Vs opera.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

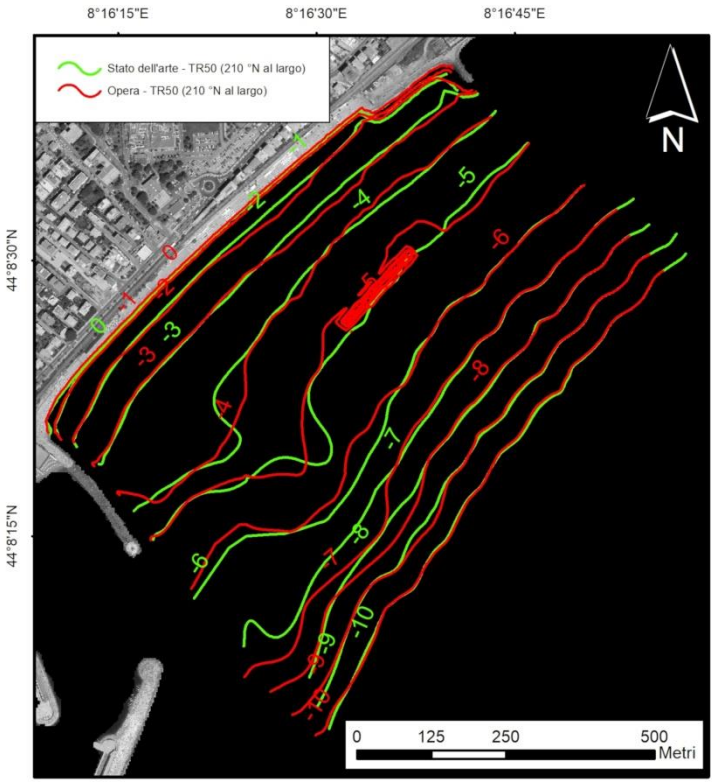


Figura 40. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda cinquantennale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41) – stato dell'arte Vs opera.

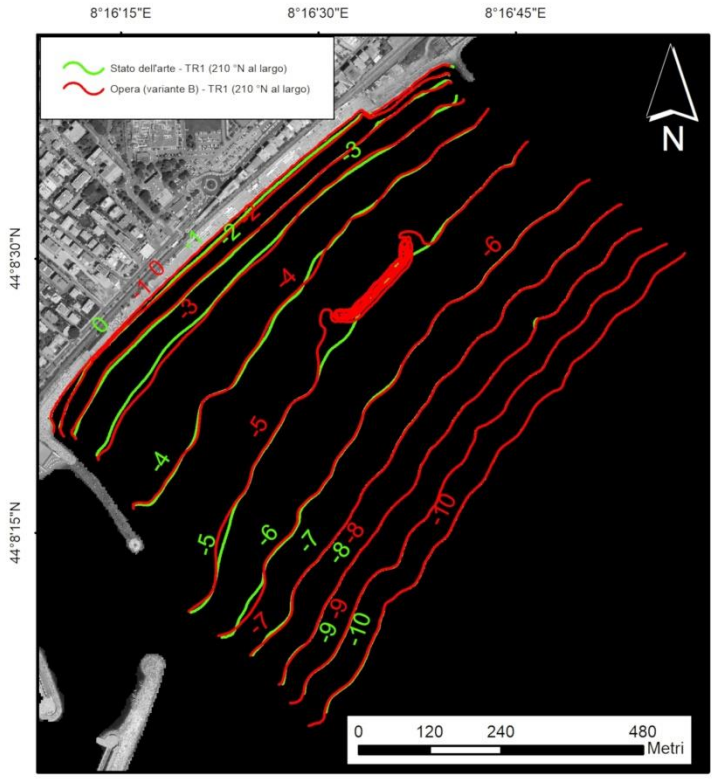


Figura 41. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda annuale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41) – stato dell'arte Vs opera-variante B.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

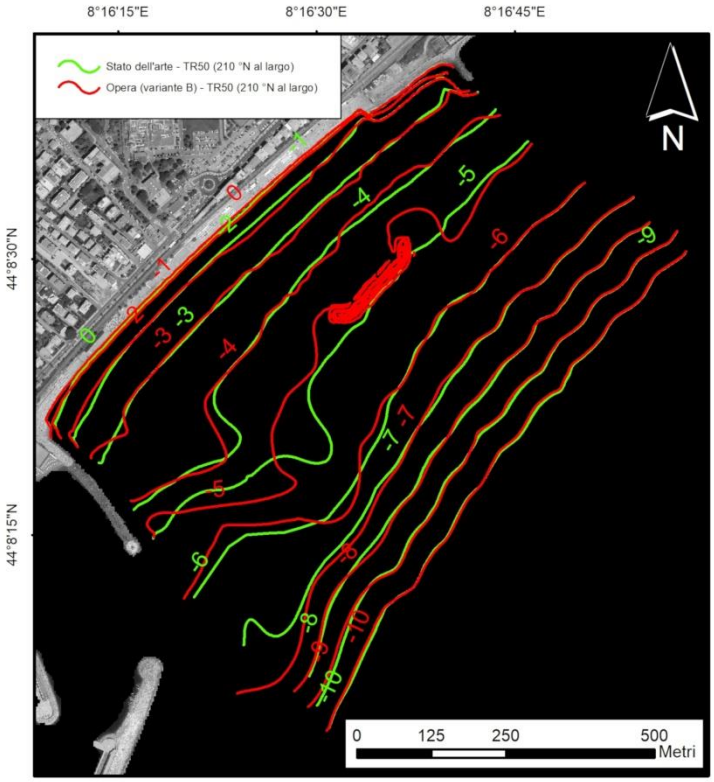


Figura 42. Confronto tra l'evoluzione del fondale in risposta ad un evento di mareggiata con onda annuale da 210 °N al largo (Dir. N° sottocosta = 159.63, H = 2.78, T = 12.41) – stato dell'arte Vs opera-variante B.

Osservando i risultati illustrati in Figura 39, 40, 41 e 42 si nota come la posa dell'opera in esame, nelle due varianti proposte, influisca sulla risposta morfodinamica del fondale. Si nota come il trend di evoluzione delle linee batimetriche appaia sostanzialmente concorde con quanto già osservato per tutti gli scenari precedentemente descritti. In Figura 39 e Figura 41 si evidenzia come, in virtù delle condizioni di moto ondoso moderato, non ci siano sostanziali differenze nella risposta morfodinamica e nella conseguente evoluzione del fondale. Differentemente, si evince una diversa risposta morfodinamica tra stato dell'arte e scenari con opera, nel caso di un'onda con tempo di ritorno cinquantennale (Figura 40 e Figura 42). I risultati concordano con quanto osservato in termini di attenuazione del moto ondoso e di processi di erosione-accumulo. Differentemente da quando osservato negli scenari precedenti, i cambiamenti batimetrici sono più contenuti, e non si apprezza neppure il lieve "effetto tombolo" evidenziato in precedenza nel caso dell'opera-variante B. Questo probabilmente aspetto trova giustificazione nell'orientazione stesa della costa, per via della quale risulta essere ben protetta dalle ondazioni provenienti da sud-ovest.

Commento

I risultati mostrano come la posa dell'opera, in entrambe le varianti proposte, considerando un'onda al largo proveniente da 210 °N, con tempo di ritorno annuale e cinquantennale, influenzi i processi costieri.

Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova

In termini di dinamica sedimentaria (processi di erosione e accumulo) ed evoluzione del fondale non si evidenziano particolari differenze tra le due varianti di opera proposte. Dal punto di vista dell'idromorfodinamica costiera non si evidenziano indicazioni che possano suggerire in via preferenziale una delle due soluzioni.

Va sottolineato come il tratto di costa in esame risulti essere, per via della sua orientazione geografica, sostanzialmente riparato dagli eventi meteo-marini provenienti da sud-ovest.

Conclusioni

I risultati ottenuti dall'applicazione del modello matematico al litorale di Pietra Ligure, nello stato attuale e con le due proposte progettuali, possono essere così sintetizzati.

- La risposta della spiaggia, sia allo stato attuale, sia in presenza dell'opera di difesa, è indipendente dalla direzione di provenienza dell'agitazione ondosa.
- La presenza della struttura difensiva, in entrambe le configurazioni, determina un'attenuazione del moto ondoso a tergo della struttura, riducendo l'energia dell'onda sul tratto di litorale sottomesso alla struttura stessa.
- Il fenomeno favorisce un accumulo, specie durante gli eventi più intensi, di sedimenti nella spiaggia sommersa in coincidenza del settore protetto.
- Si osservano fenomeni erosivi, al piede ed alle estremità della struttura, in entrambe le configurazioni.
- Non si osservano sostanziali differenze nel comportamento idromorfodinamico tra le due differenti ipotesi progettuali.

Lì Genova 04/02/2021

Il presidente



Il Marchio "Spin off dell'Università degli Studi di Genova" testimonia esclusivamente il rapporto di derivazione universitaria della società spin off, pertanto, il presente documento non è direttamente ascrivibile all'Università degli Studi di Genova