COMUNE DI GENOVA

COMUNE DI GENOVA

PROVINCIA DI GENOVA

INTERVENTI DI RIASSETTO, RIORGANIZZAZIONE, INCREMENTO RESILIENZA E RIGENERAZIONE DEL LITORALE DI STURLA SITUATO ALL'INTERNO DEL COMUNE DI GENOVA

CUP : B35E23013900004 – MOGE: 21253 – CIG: A042F6FD9A

PFTE

Relazione modellistica su eventi meteo marini su tempi di ritorno EVA

ANALISI IDRO-MORFODINAMICA DELLA SPIAGGIA DI STURLA (GE) A SEGUITO DI INTERVENTI DI RIFIORITURA DELLE OPERE A COSTA E POSIZIONAMENTO DI REEF ARTIFICIALE MEDIANTE STUDIO METEO MARINO SU TEMPI DI RITORNO

PFTE-R-GEN-04.C

REDATTO NEL MESE DI Luglio 2024 DA
-- Ing. Guido FERRI
-- Collaboratore Ing. Delfino Christian
-- Geoscape (Spin off dell'Università di Genova)

CONSULENTE: DICCA UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

R.U.P
Arch. Roberto Varcalda

Firmato digitalmente da: MUCERINO LUIGI

Università di Genova
DICCA DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA
E AMBIENTALE

ANALISI IDRO-MORFODINAMICA DELLA SPIAGGIA DI STURLA (GE) A SEGUITO DI INTERVENTI DI RIFIORITURA DELLE OPERE A COSTA E POSIZIONAMENTO DI REEF ARTIFICIALE

Prof. Ing. Giovanni Besio

Ing. Francesco De Leo

Dr. Federico Baronetti

Genova, 15/07/2024

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

Sommario

1. AREA DI STUDIO....6
2. INTERVENTI PROGETTUALI PROPOSTI....8
3. DATI UTILIZZATI....12
4. STUDIO MODELLISTICO....16
5. ANALISI AI VALORI ESTREMI PER IL CALCOLO DELLE MAREGGIATE DI PROGETTO....19
6. RISULTATI....24
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE....44

Figura 1. Area di studio; la città di Genova è indicata dal cerchio bordato in rosso nel pannello (A). Il pannello (B) mostra un ingrandimento sull'area di levante della città, evidenziando la spiaggia di Sturla tramite il riquadro rosso. Il pannello (C) mostra un inciso sul tratto di ponente della spiaggia; il simbolo della macchina fotografica indica la posizione da dove è stata scattata la foto di Figura 2....6
Figura 2. Lato di ponente della spiaggia di Sturla. Foto scattata dal belvedere Lina Volonghi, posto sul tetto della piscina della Società Sportiva Sturla....7
Figura 3. Planimetria del pennello trasversale (in rosso) all'interno della spiaggia di Sturla....9
Figura 4. Estratto del ripascimento proposto da RockSoil S.p.A. per la Spiaggia di Sturla....10
Figura 5. Planimetria del reef artificiale di Mount Maunganui. I colori da blu a rosso sono associati a profondità decrescenti, indicando una tipica sezione conoidale....11
Figura 6. Batimetrie del fondale nella spiaggia di Sturla. I punti in rosso indicano i campionamenti di materiale effettuati da Geoscape lungo il profilo emerso di spiaggia....13
Figura 7. Esempio di curva granulometrica per uno dei campioni mostrati in Figura 6....14
Figura 8. Batimetria dell'area di studio per la configurazione di progetto; il cuneo ad Ovest del pannello indica la piattaforma sommersa o ASR....15
Figura 9. Schema del funzionamento del modello X-Beach. Ciascun modulo è rappresentato da un colore diverso; le interazioni tra i diversi moduli sono indicate dalle frecce....18
Figura 10. Estensione del dominio computazionale del modello X-Beach. I rettangoli concentrici indicano diverse risoluzioni della maglia computazionale....18
Figura 11. Valori di H_s e θ_p per le mareggiate estratte in prossimità di Sturla....20
Figura 12. Curve H_s-T_R per il settore di Scirocco....22
Figura 13. Curve H_s-T_R per il settore di Libeccio....22
Figura 14. Coppie di valori H_s-T_p per il settore di Scirocco....23
Figura 15. Coppie di valori H_s-T_p per il settore di Libeccio....23
Figura 16. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 1 anno....26
Figura 17. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 1 anno....26
Figura 18. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 10 anni....27
Figura 19. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 10 anni....27

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

Figura 20. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 50 anni....28
Figura 21. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 50 anni....28
Figura 22. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 1 anno....29
Figura 23. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 1 anno....29
Figura 24. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 10 anni....30
Figura 25. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 10 anni....30
Figura 26. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 50 anni....31
Figura 27. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 50 anni....31
Figura 28. Evoluzione del transetto A (linea nera continua nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato attuale....32
Figura 29. Evoluzione del transetto A (linea nera continua nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto....32
Figura 30. Evoluzione del transetto A (linea nera continua nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato attuale....33
Figura 31. Evoluzione del transetto A (linea nera continua nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto....33
Figura 32. Evoluzione del transetto B (linea nera puntinata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato attuale....34
Figura 33. Evoluzione del transetto B (linea nera puntinata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto....34
Figura 34. Evoluzione del transetto B (linea nera puntinata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato attuale....35
Figura 35. Evoluzione del transetto B (linea nera puntinata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto....35
Figura 36. Evoluzione del transetto C (linea nera tratteggiata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato attuale....36
Figura 37. Evoluzione del transetto C (linea nera tratteggiata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto....36
Figura 38. Evoluzione del transetto C (linea nera tratteggiata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato attuale....37
Figura 39. Evoluzione del transetto C (linea nera tratteggiata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto....37
Figura 40. Schema esplicativo dei fenomeni di Run-Up e Set-up....38
Figura 41. Aree allagate per evento da Scirocco associato a T_R pari a 10 anni. Pannello superiore: stato di progetto; pannello inferiore: stato attuale. La linea spessa in blu indica la posizione della battigia (stessa prassi nelle figure successive)....40
Figura 42. Aree allagate per evento da Scirocco associato a T_R pari a 50 anni....41
Figura 43. Aree allagate per evento da Libeccio associato a T_R pari a 10 anni....42
Figura 44. Aree allagate per evento da Libeccio associato a T_R pari a 50 anni....43

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

Tabella 1. Percentuale di materiale trattenuto in funzione del setaccio (per la serie completa si rimanda all'Allegato A3).....14
Tabella 2. Diametri caratteristici considerati per descrivere il sedimento della spiaggia di Sturla.....15
Tabella 3. Parametri ondametrici per i periodi di ritorno considerati.....21

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

PREMESSA

In data 13/05/2024, il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (nel seguito DICCA; https://meteocean.science/) veniva incaricato da Geoscape Società Cooperativa (nel seguito Geoscape o Committente) di caratterizzare il comportamento idro e morfodinamico della spiaggia di Sturla, all'interno della città metropolitana di Genova. Nello specifico, si richiedeva di valutare potenziali fenomeni di allagamento della spiaggia emersa unitamente al rischio di erosione della stessa, per due diverse configurazioni: la prima relativa allo stato attuale della spiaggia; la seconda caratterizzata da interventi di ripascimento, ripristino di un pennello perpendicolare a costa, ed installazione di una piattaforma sommersa sul fondale prospiciente la spiaggia (nel seguito anche indicata come *Artificial Surf Reef* o ASR). Scopo del presente elaborato è quello di favorire un'analisi comparativa tra i due stati, al fine di valutare l'efficacia degli interventi proposti.

Il presente documento riporta le analisi svolte ed i risultati ottenuti; questi ultimi sono altresì forniti alla Committenza su apposito formato elettronico.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

1. AREA DI STUDIO

Lo studio interessa la spiaggia di Sturla, sita all'interno della Città Metropolitana di Genova all'interno dell'omonimo quartiere. Figura 1 mostra l'area di studio tramite progressivi ingrandimenti, da un inquadramento generale dell'area (pannello A) sino alla scala locale (pannello C). In Figura 2 si può apprezzare una foto della spiaggia scattata in loco.



Figura 1. Area di studio; la città di Genova è indicata dal cerchio bordato in rosso nel pannello (A). Il pannello (B) mostra un ingrandimento sull'area di levante della città, evidenziando la spiaggia di Sturla tramite il riquadro rosso. Il pannello (C) mostra un inciso sul tratto di ponente della spiaggia; il simbolo della macchina fotografica indica la posizione da dove è stata scattata la foto di Figura 2.

La spiaggia risulta essere particolarmente esposta rispetto ai settori di traversia principali che interessano la maggior parte dell'arco ligure, ovvero ad onde da Libeccio che si propaghino lungo la direzione SW-NE, così come riportato nell'Atlante dei venti e delle onde nel Mar Mediterraneo[1]; e, secondariamente, ad onde provenienti da Scirocco e Mezzogiorno, ovvero che si propaghino verso N e NW.

Infatti, allo stato attuale, non vi sono strutture in grado di schermare l'azione delle mareggiate, ad eccezione di una massicciata ubicata sul tratto di ponente della

[1] Cavaleri, L. (2005). The wind and wave atlas of the Mediterranean Sea-the calibration phase. *Advances in Geosciences*, *2*, 255-257.

spiaggia, parte di un pennello posto a protezione della prospiciente spiaggia di Vernazzola, che scherma parzialmente l'estremità ad Ovest della spiaggia di Sturla rispetto alle mareggiate di Libeccio (apprezzabile sulla sinistra del pannello C in Figura 1).



Figura 2. Lato di ponente della spiaggia di Sturla. Foto scattata dal belvedere Lina Volonghi, posto sul tetto della piscina della Società Sportiva Sturla.

Tuttavia, il resto della spiaggia è esposto ad elevate criticità, sia per quanto riguarda l'allagamento delle quote emerse, che in riferimento all'asportazione di materiale solido ad opere delle onde, con conseguente possibile innesco di processi erosivi. Sono infatti numerosi i fenomeni che, di recente, hanno causato ingenti danni alle infrastrutture ivi presenti, come ampliamente testimoniato dalla organi della stampa locale (https://www.genova24.it/2023/01/la-mareggiata-sfonda-la-sede-della-sportiva-sturla-il-segretario-da-anni-chiediamo-una-protezione-330692/).

A tal proposito, è stata avanzata una proposta per la difesa del litorale dal Comune di Genova, che preveda due possibili interventi progettuali, ripartiti in altrettanti lotti: il Lotto 1, che prevede un ripascimento strutturale della spiaggia ed il ripristino di un pennello trasversale nella parte centrale della spiaggia; il Lotto 2, che prevede i medesimi interventi unitamente alla posa di una piattaforma sommersa (o Artificial Surfing Reef ASR) al largo della spiaggia. Questo studio si propone di analizzare gli interventi del secondo lotto, valutando l'efficacia degli stessi nel mitigare il potenziale erosivo e di inondazione delle mareggiate, così come descritto nel prosieguo del documento.

2. INTERVENTI PROGETTUALI PROPOSTI

Il progetto del Lotto 2 interessa tre diversi interventi:

- Un ripascimento strutturale della spiaggia, ottenuto tramite l'aggiunta di materiale sciolto avente granulometria compatibile con quella presente in loco e garantendo assegnate pendenze alle scarpate;

- Il ripristino di un pennello trasversale in corrispondenza del punto avente coordinate LON/LAT pari a 8.986515/44.391567 (SR: WGS84);

- L'installazione di un ASR al largo, sul fondale prospiciente la spiaggia. Questa tipologia di opere, sebbene di comprovata efficacia, non ha ancora trovato ampia diffusione in Italia; se ne propone pertanto una descrizione di carattere generale nel Paragrafo 2.1.

L'intervento di ripascimento era stato predisposto a suo tempo nello studio *SECONDO LOTTO DEI LAVORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DELLA GALLERIA SCOLMATRICE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA – RIPASCIMENO SPIAGGE GENERALE*, redatto da RockSoil S.p.A. ed esteso a tutto il litorale della Città Metropolitana, del quale si riporta nel seguito un estratto della planimetria relativa alla spiaggia di Sturla (i documenti completi sono allegati in coda al presente documento).

In Figura 4, è possibile apprezzare il ripascimento della spiaggia, previsto all'interno del buffer indicato con le barbette (linee nere alternate di diversa lunghezza) in corrispondenza della zona di battigia. Le linee di diversi colori indicano lo stato attuale della linea di riva e le proiezioni della stessa, ottenute tramite modelli parametrici a ridotta complessità, approccio questo differente da quello impiegato in questo studio (dettagliato nel Paragrafo 4), e che non sono dunque considerate ai fini delle successive analisi.

Per quanto attiene al secondo intervento, è stato preso a riferimento il prospetto planimetrico fornito dalla Committenza, mostrato nella figura sottostante.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it



Figura 3. Planimetria del pennello trasversale (in rosso) all'interno della spiaggia di Sturla.

2.1 REEF ARTIFICIALI

Con il termine reef artificiale per il surf o Artificial Surfing Reef (ASR) si intende una particolare conformazione del fondale, tipicamente di natura rocciosa o corallina, in corrispondenza della quale si osserva l'alterazione del moto ondoso incidente. In particolare, l'innalzamento diffuso e progressivo della quota del fondale induce un aumento nella ripidità dei profili d'onda, comportandone il frangimento prima che queste giungano a riva e dissipandone pertanto il contenuto energetico, unitamente al potenziale erosivo e di inondazione della costa.

Negli ultimi anni, la progettazione di strutture soffolte in grado di riprodurre la funzione dei surf reef naturali ha riscontrato un crescente interesse, poiché le stesse permettono di assolvere una duplice funzione:

1) La protezione delle spiagge situate nelle loro prossimità, legata allo spostamento dei frangimenti d'onda, principale innesco di fenomeni di trasporto solido litoranee ed allagamento indotto da Run-Up, verso il largo;

2) L'impicchimento dei fronti d'onda in sezioni controllate, favorendo lo sviluppo di profili adatti alla pratica del surf da onda.

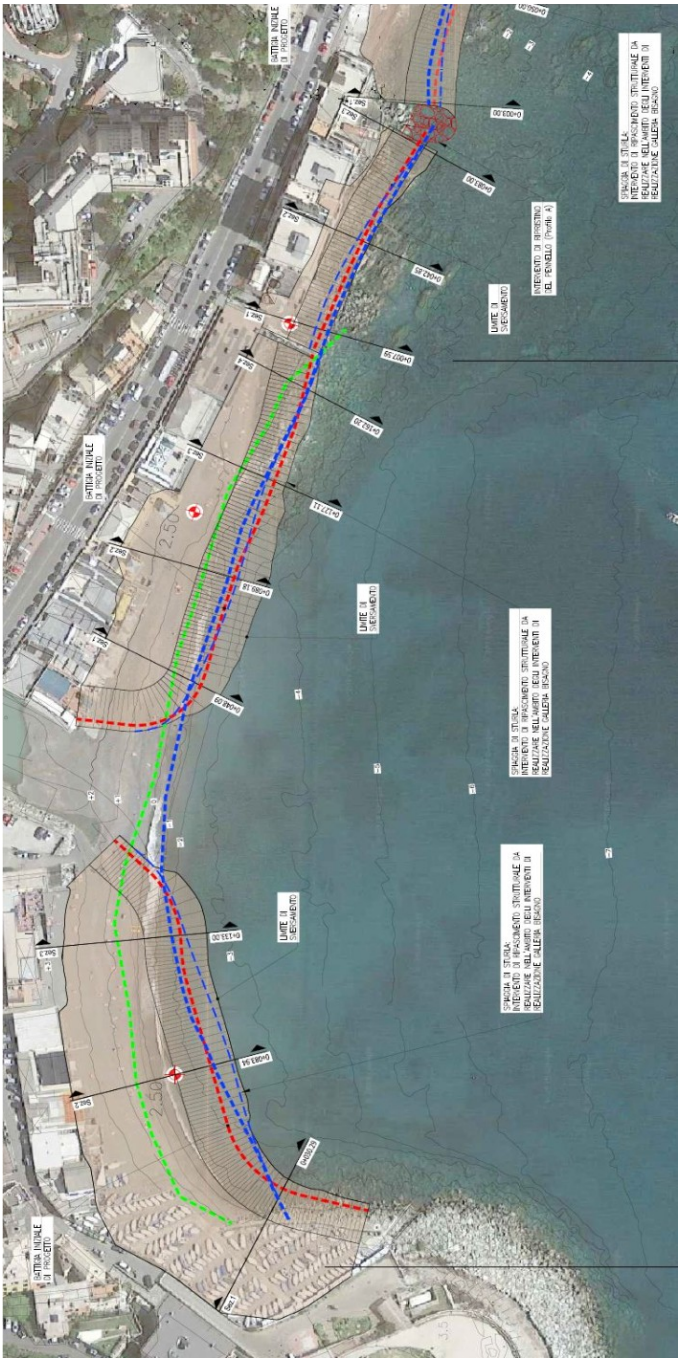


Figura 4. Estratto del ripascimento proposto da RockSoil S.p.A. per la Spiaggia di Sturla.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

La possibilità di conciliare aspetti propri della protezione civile con altri legati alla fruizione del mare a scopo ricreativo, ha favorito lo sviluppo di numerosi studi ed installazioni nei paesi dove la pratica del surf è maggiormente sedimentata, quali Australia e Nuova Zelanda[2]. Ad ogni modo, è bene ricordare come la pratica del surf stia riscontrando crescente interesse anche in Italia; in effetti, uno dei siti più attrattivi per il surf si trova a Varazze (SV), dovutamente ad un ASR generato, casualmente, dallo scarico del materiale di risulta degli scavi a supporto delle reti ferroviarie ed autostradali nel corso del secolo passato. Analogamente, è in programma l'installazione di un ASR all'interno del Comune di Ventimiglia (https://www.4actionsport.it/reef-artificiale-a-ventimiglia-un-sogno-che-si-avvera/).

Un ASR consta essenzialmente di materiale sciolto (quale ad esempio massi naturali) disposto in modo tale da formare un cuneo sommerso. A titolo esplicativo, In Figura 5 è mostrata la planimetria dell'installazione *Mount Maunganui Multi-level Reef* (Nuova Zelanda). Questa forma favorisce l'incremento dei profili d'onda tramite l'innesco dei fenomeni di shoaling e rifrazione, i quali tendono inoltre a far convergere i fronti delle onde in transito sulla piattaforma sino ad indurne il frangimento (ovvero, la formazione di schiuma e conseguente dissipazione del contenuto energetico).

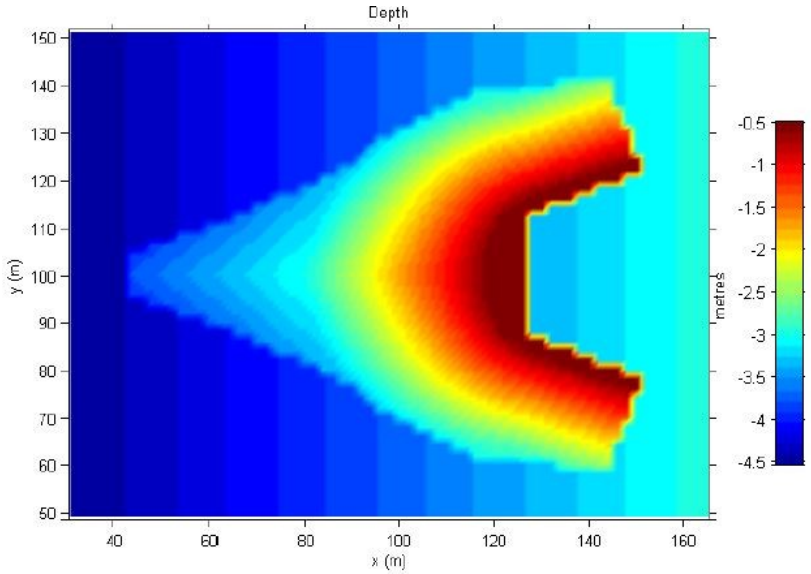


Figura 5. Planimetria del reef artificiale di Mount Maunganui. I colori da blu a rosso sono associati a profondità decrescenti, indicando una tipica sezione conoidale.

[2] Si vedano a titolo di esempio le seguenti pubblicazioni scientifiche:
Black, K., & Mead, S. (2001). Design of the Gold Coast reef for surfing, public amenity and coastal protection: surfing aspects. Journal of Coastal Research, 115-130.
Hutt, J. A., Black, K. P., & Mead, S. T. (2001). Classification of surf breaks in relation to surfing skill. Journal of coastal research, 66-81.

3. DATI UTILIZZATI

I dati necessari allo svolgimento dello studio interessano la climatologia locale del moto ondoso, che rappresenta infatti il principale innesco di correnti litoranee e fenomeni di erosione ed allagamento costiero, e la morfologia locale della spiaggia, ovvero le quote emerse e del fondale ad essa prospiciente, unitamente alla distribuzione granulometrica del materiale presente in loco.

Per quanto attiene ai dati del moto ondoso, ci si è avvalsi delle ricostruzioni numeriche del DICCA[3], poiché non vi sono misurazioni dirette nell'area (si osservi che la boa MEDA installata al largo della spiaggia non è stata operativa negli anni recenti). I dati ricostruiti forniscono serie estese di parametri meteo-marini di comprovata affidabilità, utilizzati allo stato dell'arte sia in ambito industriale che per ricerca scientifica, come testimonia la copiosa produzione bibliografica al riguardo (un elenco di alcune pubblicazioni può essere reperito al sitohttps://meteocean.science/research/#publications). Tali serie sono state ricostruite sulla base di dati di re-analisi atmosferica Climate Forecast System Reanalysis, CFSR, per il periodo compreso tra il primo gennaio 1979 e il 31 dicembre 2010, e sul dataset CFSv2 per il periodo successivo al primo gennaio 2011. Le forzanti atmosferiche sono state quindi risolte su una maglia di calcolo con risoluzione pari a circa 0.1 km sia in longitudine che in latitudine con il modello meteorologico WRF-ARW versione 3.3.1[4], mentre le simulazioni della generazione e propagazione del moto ondoso sono state realizzate con il modello d'onda WavewatchIII v6.07[5], implementato su una maglia a risoluzione variabile dalle alte alle basse profondità. Le uscite del modello della dinamica del moto ondoso sono salvate su tutti i punti della maglia di calcolo a cadenza oraria, per tutto il periodo della simulazione. Per il presente studio, sono stati utilizzati i dati salvati nel punto maglia 000231, avente coordinate LON/LAT pari a 8.998 e 44.31 (SR: WGS84), sito sul limitare della maglia computazionale del modello numerico (vedi Figura 10).

Per quanto riguarda la batimetria del fondale, sono stati utilizzate diverse sorgenti di dati: dati reperiti da Geoscape tramite rilievo single-beam, confrontati e integrati, ove necessario, da campionamenti svolti dal DICCA tramite strumento portabile SONAR (https://v1.deepersonar.com/it/it_it/prodotti/smart-sonar-chirp-plus-2). Le quote emerse sono invece state definite sulla base dei dati DEM (Digital Elevation Model), reperibili tramite il Geoportale della Regione Liguria (https://geoportal.regione.liguria.it/). Le quote batimetriche dell'area sono mostrate

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

Lira-Loarca, A., Caceres-Euse, A., De-Leo, F., & Besio, G. (2022). Wave modeling with unstructured mesh for hindcast, forecast and wave hazard applications in the Mediterranean Sea. Applied Ocean Research, 122, 103118.

[4] Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., ... & Powers, J. G. (2008). A description of the advanced research WRF version 3. NCAR technical note, 475, 113.

[5] WAVEWATCH III, R. Development Group (WW3DG). User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III R Version 6.07; Tech. Note 333.

in Figura 6, dove si può apprezzare come il fondale nell'area Ovest presenti un profilo regolare con isobate quasi rettilinee; al contrario, l'area Est presenta un fondale più irregolare e frastagliato (i.e., la zona a destra della Società Sportiva Sturla, indicata con il simbolo della macchina fotografica nel pannello C di Figura 1), anche, in parte, dovutamente ai massi del precedente pennello dilavati nel tempo dall'azione delle mareggiate e sparsi nell'area a questi prospiciente.

Infine, ci si è avvalsi sia dei dati utilizzati da RockSoil S.p.A. per il progetto di ripascimento, che delle curve granulometriche riprodotte da Geoscape sulla base della setacciatura di campioni di sedimento prelevati sia lungo il profilo emerso che lungo il profilo sommerso della spiaggia (i punti evidenziati in rosso in Figura 6). A partire da tali curve, è possibile derivare valori statistici rappresentativi della distribuzione granulometrica dei sedimenti presenti in loco, quali i diametri di sedimenti associati a diversi percentili, di cui si riporta un esempio in Figura 7 e Tabella 1.

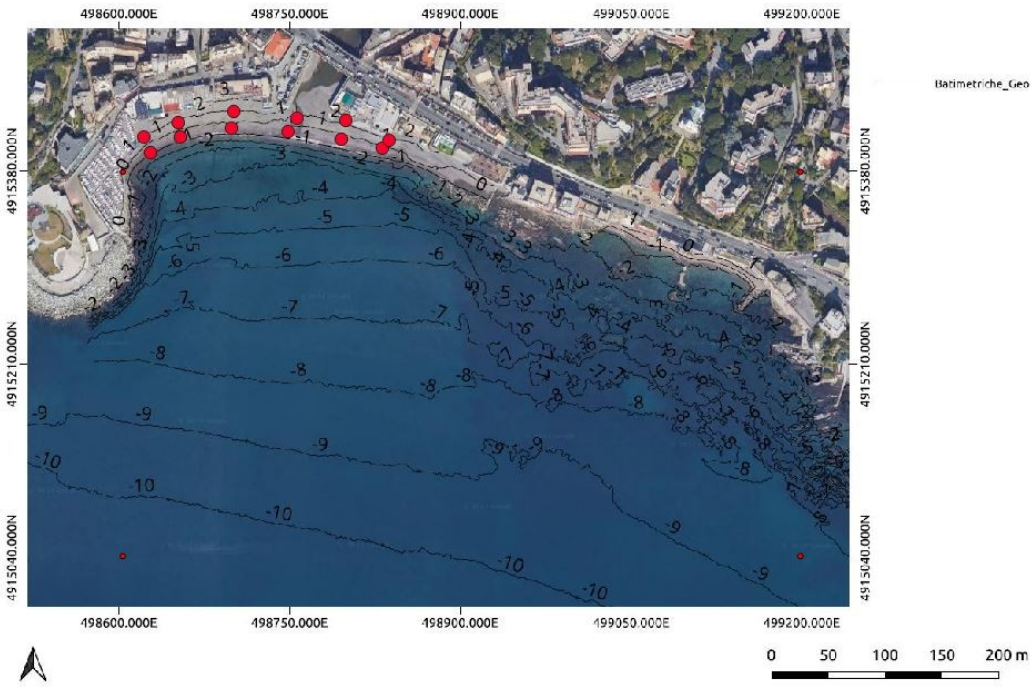


Figura 6. Batimetrie del fondale nella spiaggia di Sturla. I punti in rosso indicano i campionamenti di materiale effettuati da Geoscape lungo il profilo emerso di spiaggia.

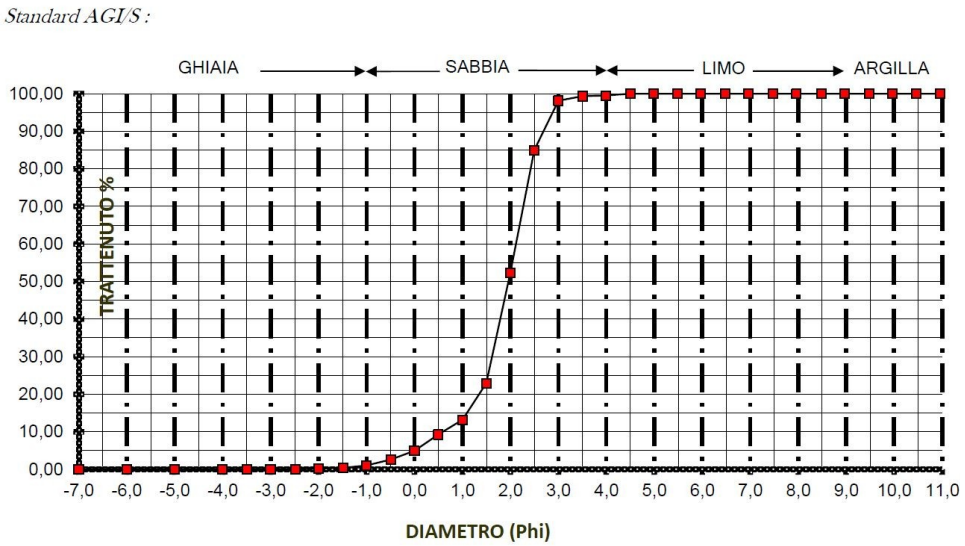


Figura 7. Esempio di curva granulometrica per uno dei campioni mostrati in Figura 6.

Tabella 1. Percentuale di materiale trattenuto in funzione del setaccio (per la serie completa si rimanda all'Allegato A3).

Trattenuto [%]	***d* [mm]**	***d* [Φ]**	Trattenuto [%]	***d* [mm]**	***d* [Φ]**
5	0,9972	0,0040	**65**	0,2218	2,1730
10	0,6712	0,5752	**84**	0,1792	2,4802
16	0,4586	1,1248	**90**	0,1572	2,6694
50	0,2585	1,9518	**95**	0,1374	2,8633

I valori caratteristici del materiale si definiscono sulla base della frazione del campione passante per ciascun setaccio. A titolo di esempio, il diametro associato al decimo percentile, definito come d_{10}, è associato al 10% di passante, ovvero il 90% di trattenuto (0,15 mm nell'esempio sopra riportato); analogamente, il d_{90} è associato al 10% di trattenuto (0,6712 mm nell'esempio), etc. La misura convenzionalmente indicata con Φ permette una più facile rappresentazione grafica dei risultati, e si definisce come:

$$\Phi = -\log_2(d) \qquad (1)$$

È necessario precisare come la distribuzione granulometrica lungo la spiaggia presenti una fisiologica variabilità, sia lungo il profilo planimetrico, che lungo le sezioni trasversali (ovvero, i campioni associati ai punti rossi in Figura 6 non

restituiscono le medesime serie per *d* e *Φ)*, così come emerge dai campionamenti condotti dalla Committenza. Tuttavia, nel presente studio sono stati presi a riferimento due diametri ritenuti rappresentativi per l'intera spiaggia coerentemente al progetto proposto da RockSoil; tali valori ricadono comunque all'interno della variabilità rilevata tramite le analisi granulometriche, e sono riportati nella tabella sottostante:

Tabella 2. Diametri caratteristici considerati per descrivere il sedimento della spiaggia di Sturla.

d_{50} [mm]	d_{90} [mm]
6	15

Tale scelta permette di lavorare in modo coerente alle potenzialità del modello di calcolo successivamente utilizzato, e, poiché non sono considerate solamente le frazioni più grossolane riscontrate, permette altresì di operare in favor di sicurezza, valutando l'efficacia degli interventi proposti rispetto ad un'elevata mobilitazione attesa dei sedimenti.

Per quanto riguarda la conformazione del ASR, è stato preso a riferimento un profilo simile a quello riscontrato nella piattaforma di Varazze, seppur adattato alla geometria locale della costa ed alla conformazione del fondale. A tal proposito, giova ricordare come non vi siano indicazioni normative sulla progettazione di tali piattaforme, e come la stessa debba essere valutata ad hoc per ciascun sito di installazione, attraverso analisi di sensitività atte ad esaminare diverse possibili configurazioni e che tuttavia esulano dagli scopi del presente lavoro. Il layout utilizzato nel presente studio può essere apprezzato in Figura 8.

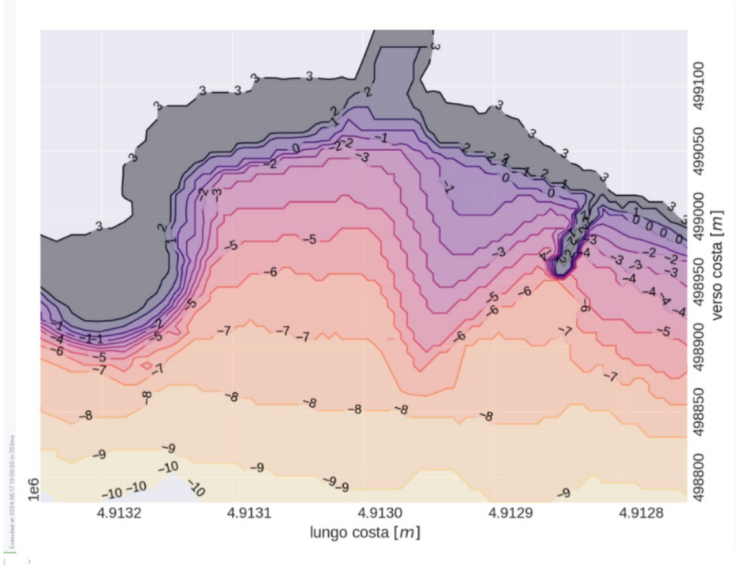


Figura 8. Batimetria dell'area di studio per la configurazione di progetto; il cuneo ad Ovest del pannello indica la piattaforma sommersa o ASR.

4. STUDIO MODELLISTICO

Per le analisi sul rischio di allagamento ed erosione della spiaggia di Sturla è stato impiegato il modello di calcolo X-Beach[6], ampiamente validato con una serie di casi analitici, di laboratorio e di test sul campo da parte dell'Università di Delft e del gruppo olandese Deltares (https://oss.deltares.nl/web/xbeach/). Si tratta di un modello in grado di risolvere la propagazione delle onde di mare (periodi nell'ordine dei secondi), onde lunghe dette di *infra-gravità* (periodi nell'ordine dei minuti), e delle correnti indotte e relativo trasporto dei sedimenti, con conseguenti variazioni morfologiche sotto-costa di spiagge soggette all'azione di mareggiate aventi assegnate caratteristiche.

Il modello è strutturato in diversi moduli che risolvono specifiche componenti, interagendo e scambiandosi informazioni ad ogni iterazione lungo il periodo della simulazione. In particolare, sono inclusi i processi di trasformazione delle onde corte (rifrazione, shoaling e frangimento) e trasformazione delle onde di infra-gravità (generazione, propagazione e dissipazione); processi morfodinamici, i quali comprendono il trasporto di sedimenti dal fondo per trascinamento e sospensione (per quanto concerne le frazioni più fini), la formazione di barre sommerse e la erosione dei fronti dunali. È inoltre possibile includere gli effetti legati alla presenza di vegetazione sommersa e delle strutture rigide. Lo schema di calcolo di X-Beach è schematizzato in Figura 9.

Il modello può essere implementato in tre modalità di funzionamento distinte:

- *Stazionario*: indicato per valutare le variazioni morfodinamiche attese nel lungo periodo (ovvero, decorrenti su scale temporali di mesi) in risposta a stati di mare di bassa/media intensità; non permette di risolvere l'idrodinamica costiera;

- *Surf-beat*: permette la risoluzione dell'idrodinamica costiera per onde lunghe e le evoluzioni morfodinamiche a scala di mareggiata (ore/giorni);

- *Non-idrostatico*: permette la risoluzione dell'idrodinamica costiera per tutte le onde di uno stato di mare (onde lunghe ed onde corte); non ancora pienamente operativo per le analisi di trasporto solido (comunicazione personale con il Dott. McCall del gruppo di sviluppo del modello).

Nel presente lavoro, ci si è avvalsi della modalità Surf-beat per lo studio dell'evoluzione morfodinamica della spiaggia in risposta alle mareggiate di progetto,

[6] Roelvink, D., Reniers, A. J. H. M., Van Dongeren, A. P., Van Thiel de Vries, J., Lescinski, J., & McCall, R. (2010). XBeach model description and manual. *Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Tecnhology. Report June*, *21*, 2010.

e loro correnti litoranee indotte in prossimità della spiaggia. Successivamente, sono state riprodotte delle simulazioni in modalità non idrostatica al fine di valutare l'allagamento indotto a riva in virtù delle mareggiate di progetto selezionate.

È stata sviluppata una maglia computazionale per la propagazione di mareggiate selezionate a costa, interpolando sui rispettivi nodi computazionali i valori di profondità associati ai dati batimetrici di cui a Figura 6. La maglia computazionale presenta risoluzione variabile tra 20 m e 5 m in direzione largo-riva, e degradante da 20 m e 5 m in direzione lungo-costa, raggiungendo la massima risoluzione in prossimità dell'area di progetto (Figura 10).

Il modello è stato dunque forzato per le due diverse configurazioni di spiaggia considerate (cfr. Paragrafo 2), in riferimento a stati di mare significativi estrapolati tramite Analisi ai Valori Estremi, così come esplicato nel Paragrafo successivo. Per la sola configurazione di progetto, è stata imposta una condizione di non erodibilità in corrispondenza dei nodi di calcolo che ricadessero all'interno del pennello trasversale e dell'ASR. Per il calcolo dell'evoluzione morfodinamica della costa, e per valutare l'interazione del pennello con i pattern di trasporto solido litoraneo per la configurazione di progetto, sono stati forniti al modello i dati inerenti al materiale presente sul fondale, descritti attraverso i valori di d_{50} e d_{90} riportati in Tabella 2.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

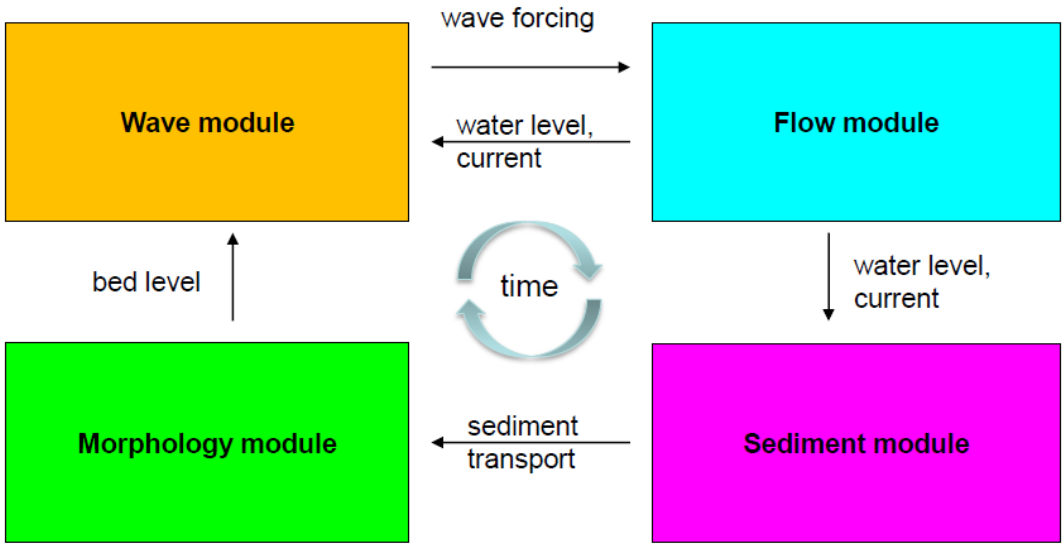


Figura 9. Schema del funzionamento del modello X-Beach. Ciascun modulo è rappresentato da un colore diverso; le interazioni tra i diversi moduli sono indicate dalle frecce.

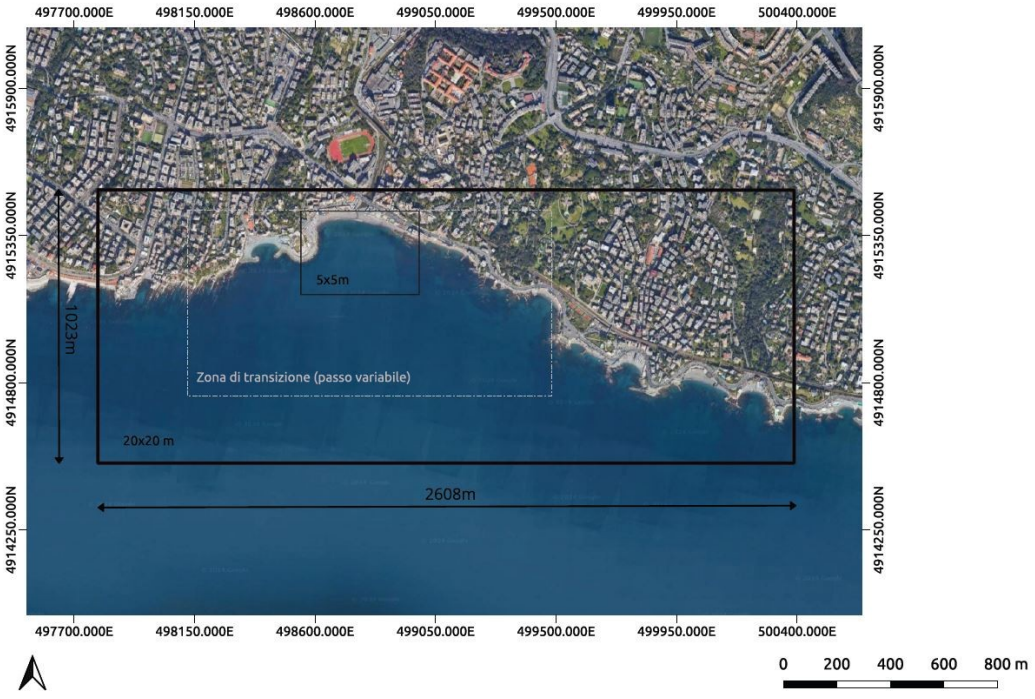


Figura 10. Estensione del dominio computazionale del modello X-Beach. I rettangoli concentrici indicano diverse risoluzioni della maglia computazionale.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

5. ANALISI AI VALORI ESTREMI PER IL CALCOLO DELLE MAREGGIATE DI PROGETTO

Nella progettazione delle opere di ingegneria, l'analisi ai valori estremi delle forzanti ambientale assume un ruolo fondamentale, poiché rappresenta il passaggio necessario a definire gli stati critici, ancorché infrequenti, cui le opere sono chiamate a resistere garantendo adeguato margine di sicurezza. Nella presente analisi, il calcolo di mareggiate associate a bassa probabilità di accadimento permette di valutare l'efficacia delle opere proposte nel mitigare fenomeni di erosione ed allagamento nei confronti di mareggiate particolarmente gravose per l'area. A tal fine, sulla base dei dati hindcast di cui al Paragrafo 3, sono state sviluppate analisi ai valori estremi per i settori di traversia maggiormente significativi per l'area, al fine di definire le caratteristiche di stati di mare associati a determinati periodi di ritorno (o tempi di ritorno).

Si definisce periodo di ritorno il tempo che mediamente intercorre tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità. Pertanto, eventi associati a tempi di ritorno elevati (ad esempio 100 anni), sono da ritenersi infrequenti e dunque associati ad intensità eccezionali. Detta *x* una variabile di interesse, se ne possono calcolare i valori associati a periodi di ritorno progettuali tramite le seguenti equazioni[7]:

$$P(x<X)=1-\frac{1}{\lambda \times T_R} \tag{1}$$

Essendo P la probabilità di non superamento del valore X, λ il numero medio annuo di eventi estremi osservati, T_R il tempo di ritorno considerato. La probabilità di non superamento si esprime attraverso apposite distribuzioni ai valori estremi; la distribuzione più utilizzata in ambito meteo-marino è la *Generalized Pareto Distribution* (GPD), la cui probabilità si esprime come segue:

$$P=1-\left(1+\frac{\xi(x-\mu)}{\sigma}\right)^{\frac{-1}{\xi}} \tag{2}$$

Avendo indicato i parametri di scala, forma e posizione con σ, ξ e μ rispettivamente.

Le analisi ai valori estremi si sviluppano attraverso i seguenti punti:

[7] Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., & Dorazio, P. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values (Vol. 208, p. 208). London: Springer.

1. Selezione di eventi estremi a partire da una serie di dati osservati o ricostruiti per un'assegnata variabile di interesse progettuale e conseguente calcolo del parametro λ;
2. Calcolo dei parametri della distribuzione GPD tramite opportuni algoritmi (e.g., metodo della massima verosimiglianza, metodo dei momenti, etc.);
3. Selezione di un valore di riferimento per T_R e calcolo del valore di x a questi associato tramite l'inversione dell'equazione di cui al punto 2.

Nel presente lavoro, sono state inizialmente estratte le serie dei parametri ondametrici in corrispondenza di un nodo hindcast sito in prossimità della spiaggia di Sturla. A partire dalla serie di altezze d'onda significativa (H_s), sono state selezionate le mareggiate avvalendosi di una finestra mobile di estensione pari a 24 ore. Quando il valore massimo di H_s ricadesse nel centro della finestra, lo stesso veniva selezionato quale picco di una mareggiata, associandovi i valori di direzione (media e di picco, indicate rispettivamente con θ_m e θ_p) e periodo (T_m e T_p per periodo medio e di picco). Tale approccio trova ampio riscontro in bibliografia[8], mentre l'estensione della finestra temporale usata come filtro è legata al tempo scala caratteristico delle mareggiate lungo l'arco ligure[9].
Successivamente, gli eventi così selezionati sono stati suddivisi sulla base dei settori di traversia ritenuti di specifico interesse per la spiaggia, ovvero Scirocco/Mezzogiorno e Mezzogiorno/Libeccio, come mostrano i dati di H_s e θ_p associati alle mareggiate estratte riportati in Figura 11.

[8] Solari, S., & Alonso, R. (2017). A new methodology for extreme waves analysis based on weather-patterns classification methods. Coastal Engineering Proceedings, (35), 23-23.
[9] Cremonini, G., De Leo, F., Stocchino, A., & Besio, G. (2021). On the selection of time-varying scenarios of wind and ocean waves: Methodologies and applications in the North Tyrrhenian Sea. Ocean Modelling, 163, 101819.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

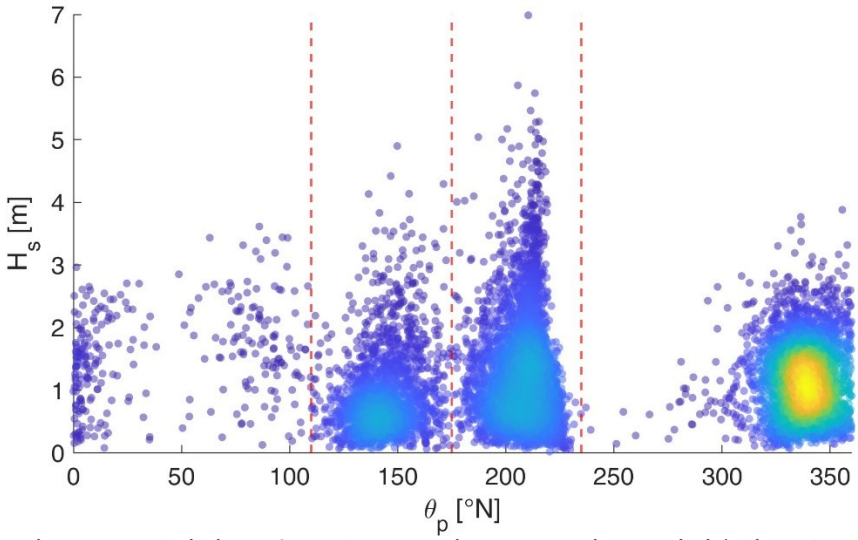


Figura 11. Valori di H_s e θ_p per le mareggiate estratte in prossimità di Sturla.

Le direzioni θ_p sono espresse secondo la convenzione nautica, per cui si definiscono in senso orario a partire dalla direzione Nord (associata a 0°N o, equivalentemente, 360°N) ed indicano la direzione di provenienza delle onde. Pertanto, dall'analisi di Figura 11 si evince chiaramente come le mareggiate si distribuiscano in tre settori di traversia principali, ovvero Scirocco (direzioni comprese tra 110°N e 175°N), Libeccio (175°N e 235°N) e Tramontana (onde con direzioni prossime a 350°N); poiché le ultime si allontanano da riva, non sono considerate nel prosieguo del lavoro.

Per ciascuno dei due settori identificati, sono stati calcolati i periodi di ritorno tramite analisi ai valori estremi, condotta sui picchi ulteriormente filtrati al fine di rimuovere gli eventi irrilevanti; a tal proposito, sono state utilizzate esclusivamente le eccedenze di valori soglia fissati e posti pari al 98esimo percentile della distribuzione dei dati ritenuti per ciascun settore di traversia. I risultati sono mostrati in Figura 12 e Figura 13, le quali riportano le coppie di valori H_s-T_R per le direzioni S/SE-N/NW (Scirocco) e S/SW-N/NE (Libeccio).

Una volta estrapolati i valori di H_s per ciascun periodo di ritorno considerato, vi sono stati associati i corrispondenti valori di T_p avvalendosi della ben nota formula di Boccotti[10]:

$$T_p = 8{,}5\,\pi\sqrt{\frac{H_s}{4\,g}} \quad (3)$$

[10] Boccotti, P. (1997). Idraulica marittima. Utet.

Essendo g l'accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s^2. La scelta della formula di Boccotti si rivela cautelativa, come mostrato in Figura 14 e Figura 15; nelle immagini, si può infatti apprezzare come le coppie H_s-T_p calcolate tramite Eq. (3) forniscono una buona approssimazione alle coppie di dati reali, sebbene tendano a sovrastimare leggermente i periodi d'onda, permettendo dunque di operare in favor di sicurezza.

Infine, ai fini della modellazione con X-Beach, sono state calcolate le direzioni medie rispetto ai limiti utilizzati per distinguere i settori di traversia. I parametri risultanti per i periodi di ritorno progettuali considerati sono riassunti in Tabella 3.

Tabella 3. Parametri ondametrici per i periodi di ritorno considerati.

	Scirocco			Libeccio		
T_R [y]	**H_s [m]**	**T_p [s]**	**θp [°N]**	**H_s [m]**	**T_p [s]**	**θp [°N]**
1	2,81	7,1	142,5	4,23	8,8	205
10	4,00	8,5	142,5	5,55	10,0	205
50	4,64	9,2	142,5	6,26	10,7	205

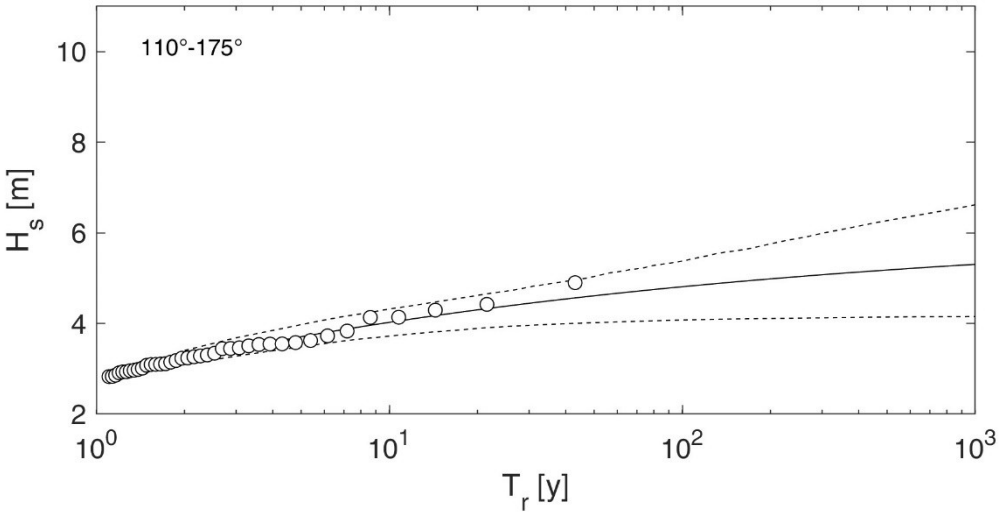


Figura 12. Curve H_s-T_R per il settore di Scirocco.

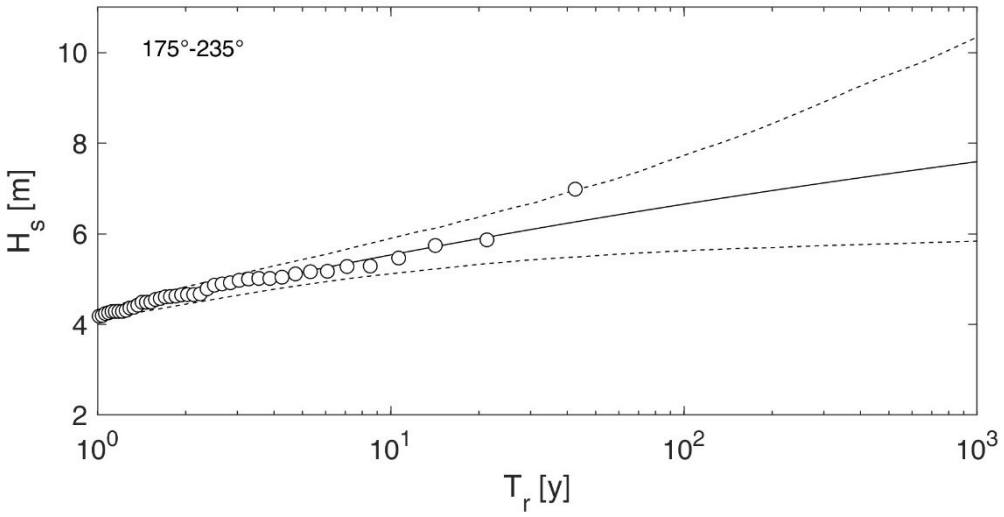


Figura 13. Curve H_s-T_R per il settore di Libeccio.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

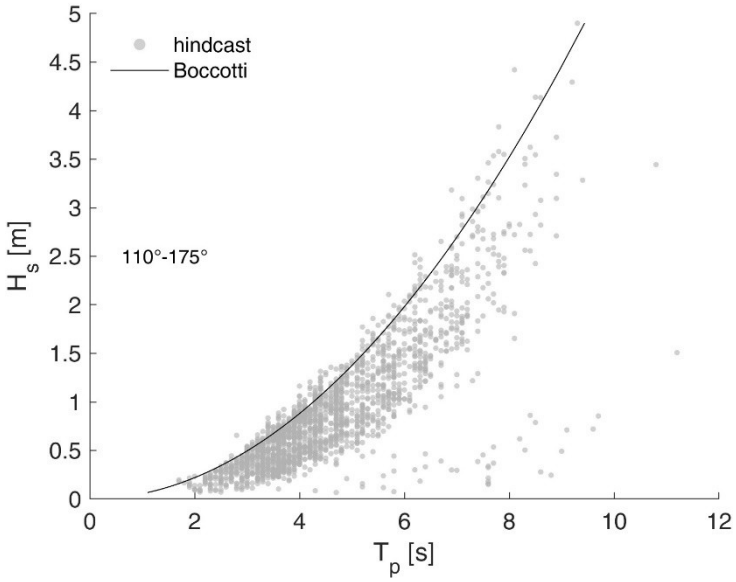


Figura 14. Coppie di valori H_s-T_p per il settore di Scirocco.

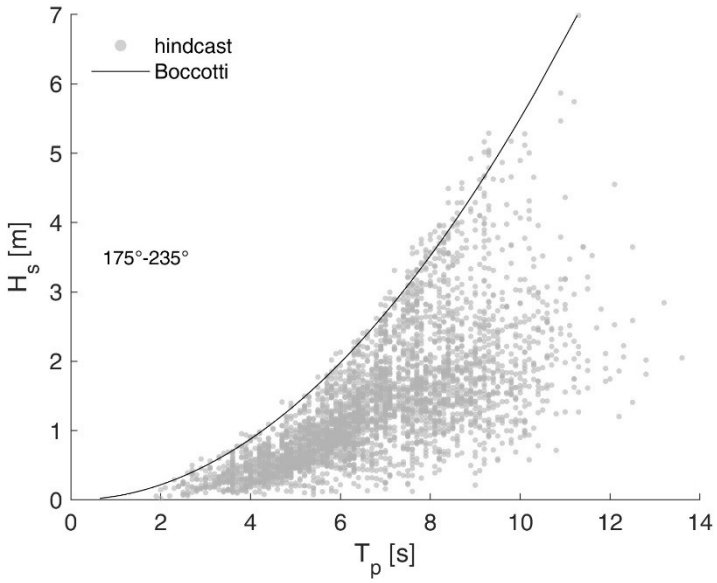


Figura 15. Coppie di valori H_s-T_p per il settore di Libeccio.

6. RISULTATI

6.1 ANALISI MORFODINAMICA

Si riportano nel seguito i risultati delle analisi attinenti alla morfodinamica costiera. Nelle figure da Figura 16 a Figura 21 sono mostrate le aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per lo stato attuale; gli stessi risultati in riferimento agli interventi progettuali introdotti nel Paragrafo 2 sono riportati nelle figure da Figura 22 a Figura 27.

In tutti i casi considerati, è possibile apprezzare il tipico pattern erosivo associato all'azione delle mareggiate sulle coste in materiale sciolto. Nello specifico, si osserva la rimozione di sedimento dalla parte sommitale di spiaggia, ovvero quella corrispondente alla berma (indicata dai colori rossi nelle figure), ed un corrispondente deposito nella parte sommersa della spiaggia (evidenziato dal colore blu). Tale tendenza è fisiologica, e si manifesta in tutte le spiagge composte da materiale sciolto non coesivo, a prescindere dalla pezzatura del materiale presente in loco[11]. Tuttavia, da un'analisi comparativa delle mappe riportate nelle figure si possono desumere una serie di ulteriori interessanti considerazioni.

Anzitutto, i casi più gravosi risultano essere quelli associati a mareggiate aventi periodo di ritorno cinquantennale e afferenti al settore di Libeccio (i.e., Figura 21 e Figura 27). Tale circostanza è legata all'elevato valore di T_R, indicativo di marosi infrequenti, e al settore di traversia considerato, essendo le onde da Libeccio quelle notoriamente più critiche lungo l'arco ligure (a tal proposito, basti confrontare i quantili di H_s estrapolati tramite analisi ai valori estremi e mostrati in Figura 12 e Figura 13). In questi casi, le entità di scavi e depositi possono raggiungere i $\pm$ 2,0 m per lo stato attuale (Figura 21), intensità queste in linea con l'evidenza empirica della tendenza erosiva della spiaggia e peraltro del tutto coerenti a precedenti studi di settore[12], a riprova della bontà delle simulazioni effettuate. Tale risultanza ha validità generale: a parità di condizioni al contorno (i.e., stato attuale o stato di progetto) e tempo di ritorno, le onde di Libeccio presentano tendenzialmente maggior criticità, com'è possibile apprezzare dal confronto tra Figura 16 e Figura 17, Figura 18 e Figura 19, etc.

In secondo luogo, le mappe palesano il contributo del ASR nella mitigazione dei fenomeni erosivi; si prenda nuovamente a riferimento il caso più critico (ovvero T_R pari a 50 anni), il che facilita un'immediata lettura dei risultati: confrontando i risultati per quanto attiene sia alle mareggiate da Scirocco (Figura 20 e Figura 26) che a quelle da Libeccio (Figura 21 e Figura 27), si può apprezzare come, a valle della piattaforma sommersa ed in prossimità del pennello, sia quasi azzerata la movimentazione di sedimento per lo stato di progetto, contrariamente a quanto

[11] Komar, P. D. (1977). Beach processes and sedimentation.

[12] Si veda a titolo di esempio: Armaroli, C., Grottoli, E., Harley, M. D., & Ciavola, P. (2013). Beach morphodynamics and types of foredune erosion generated by storms along the Emilia-Romagna coastline, Italy. Geomorphology, 199, 22-35.

atteso per lo stato attuale. Tale comportamento è imputabile allo spostamento verso il largo dei frangenti delle onde, i quali ne dissipano il contenuto energetico prima che le stesse possano giungere a riva, innescando a loro volta processi di trasporto solido. Al contrario, la sezione di Ponente (ovvero quella a ridosso del pennello, che separa le spiagge di Sturla e Vernazzola) risulta essere esposta ad un maggior fenomeno erosivo per lo stato di progetto. Ciò può essere apprezzato in particolar modo dal confronto delle mappe associate a bassi periodi ritorno, quali ad esempio quelle riportate in Figura 16 (stato attuale) e Figura 22 (stato di progetto) per eventi da Scirocco, o Figura 17 (stato attuale) e Figura 23 (stato di progetto) per eventi da Libeccio nel caso di T_R pari a 1 anno, e si spiega come segue: il ripascimento previsto dal progetto fornisce un "serbatoio" di sedimento erodibile rispetto a quello presente nello stato inalterato della spiaggia. Inoltre, qualsiasi ripascimento, nel periodo a questi immediatamente successivo, costituisce una massa alloctona che devia le sezioni della spiaggia dai cosiddetti profili di equilibrio. Infatti, ogni costa tende ad un naturale profilo, che ne traduce la stabilità in funzione di pendenza media e granulometria del materiale presente in loco[13]. Un intervento di ripascimento altera naturalmente tale condizione, pertanto la spiaggia necessita di una fase transitoria di assestamento, lungo la quale tende nuovamente al profilo di equilibrio, redistribuendo il materiale aggiunto sia lungo il profilo emerso che lungo il profilo sommerso. A valle dei meccanismi di assestamento della spiaggia, nello stato di progetto il profilo si trova in posizione comunque sopravanzata rispetto allo stato attuale.

Queste considerazioni trovano ulteriore riprova dall'analisi dell'evoluzione dei profili trasversali in corrispondenza di specifici transetti (evidenziati nelle mappe), così come riportato nelle Figure da Figura 28 a Figura 39; nelle immagini, le lettere da A a C indicano i transetti posti più a Ponente e a Levante, rispettivamente. I profili associati al transetto A mostrano chiaramente come i volumi erosi a valle delle mareggiate siano maggiori per lo stato di progetto; tuttavia, la battigia, rappresentata dall'intersezione dei profili con il livello del medio mare (i.e., linea tratteggiata in blu), si trova ad essere maggiormente spostata verso il largo, così come si evince, ad esempio, da confronto tra Figura 28 e Figura 29. L'analisi del transetto B in risposta alle mareggiate di Libeccio (Figura 34 e Figura 35), permette invece di ribadire le ricadute del ASR sulla morfodinamica attesa per i profili di spiaggia: la variazione degli stessi nel caso dello stato di progetto risulta essere del tutto marginale, contrariamente a quanto si verifica allo stato attuale, per cui il transetto risulta essere drammaticamente esposto a marcati processi di erosione.

[13] Dean, R. G. (1991). Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. Journal of coastal research, 53-84.

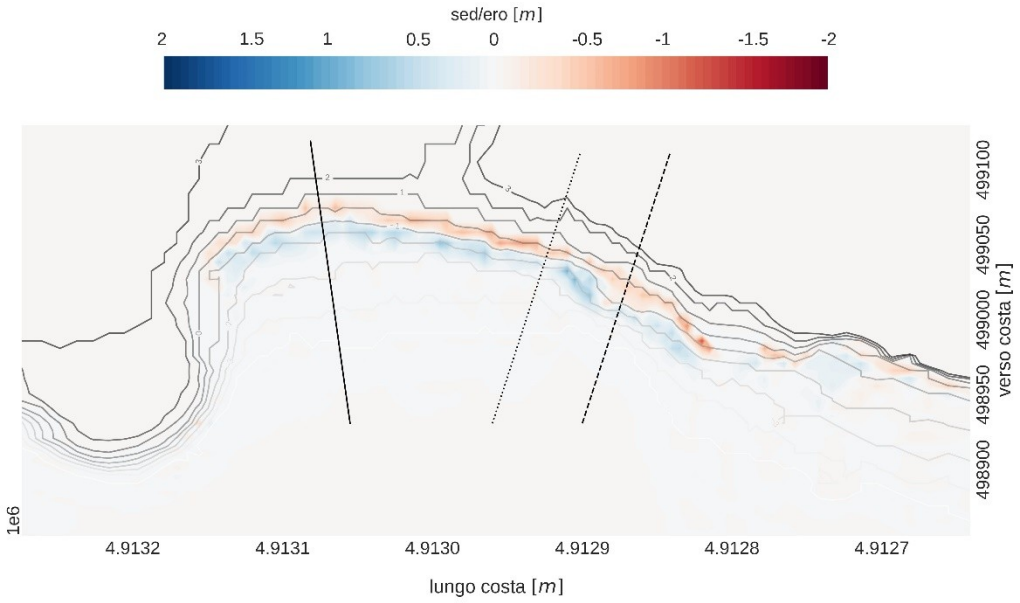


Figura 16. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 1 anno.

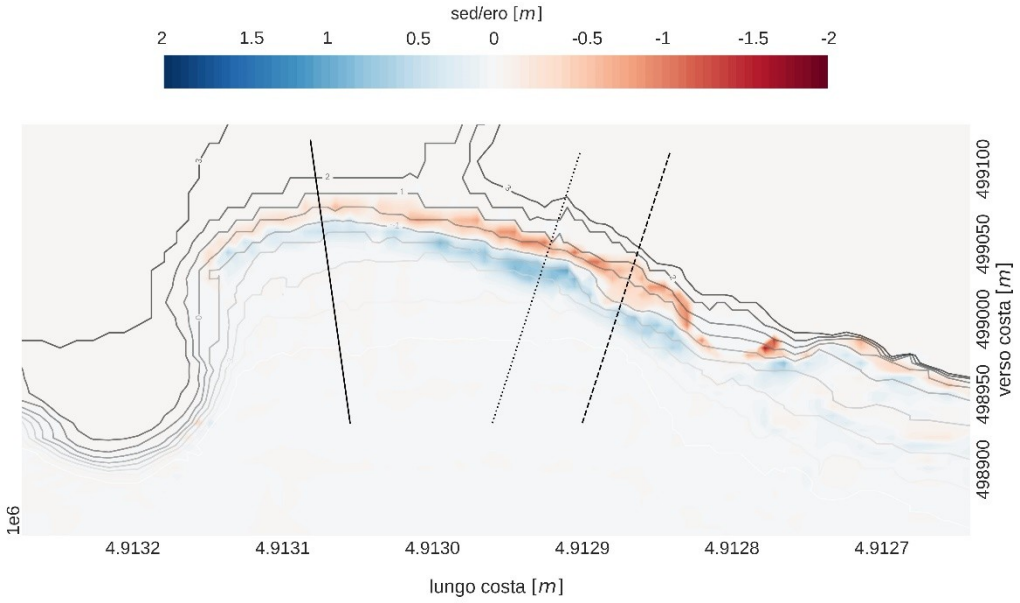


Figura 17. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 1 anno.

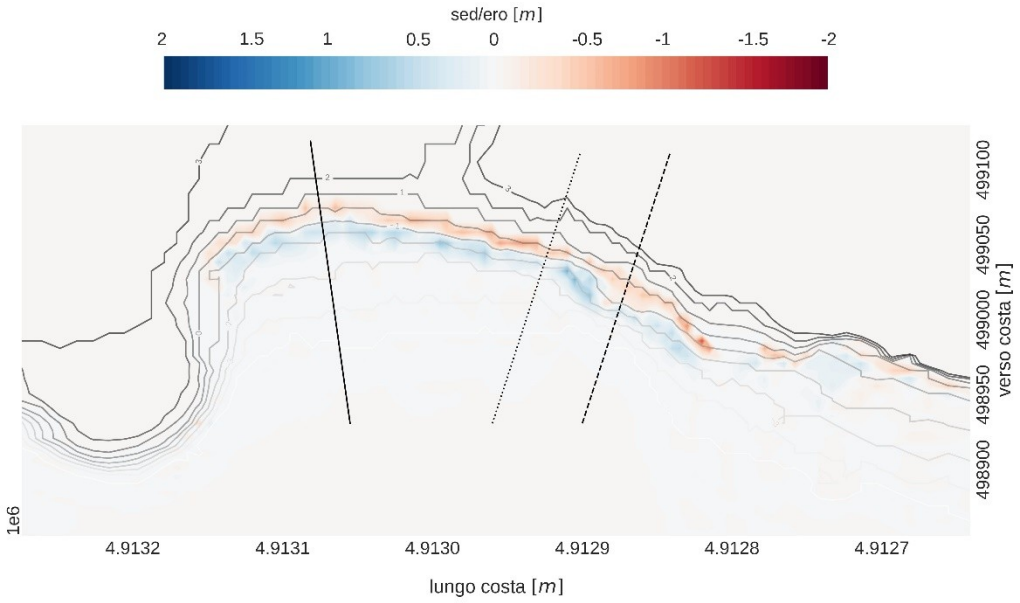


Figura 18. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 10 anni.

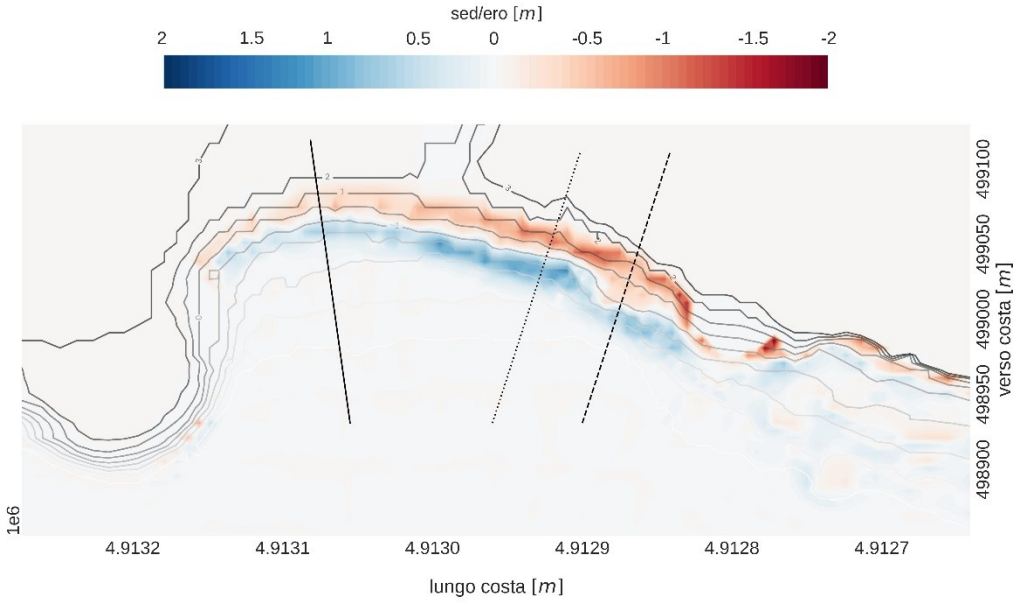


Figura 19. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 10 anni.

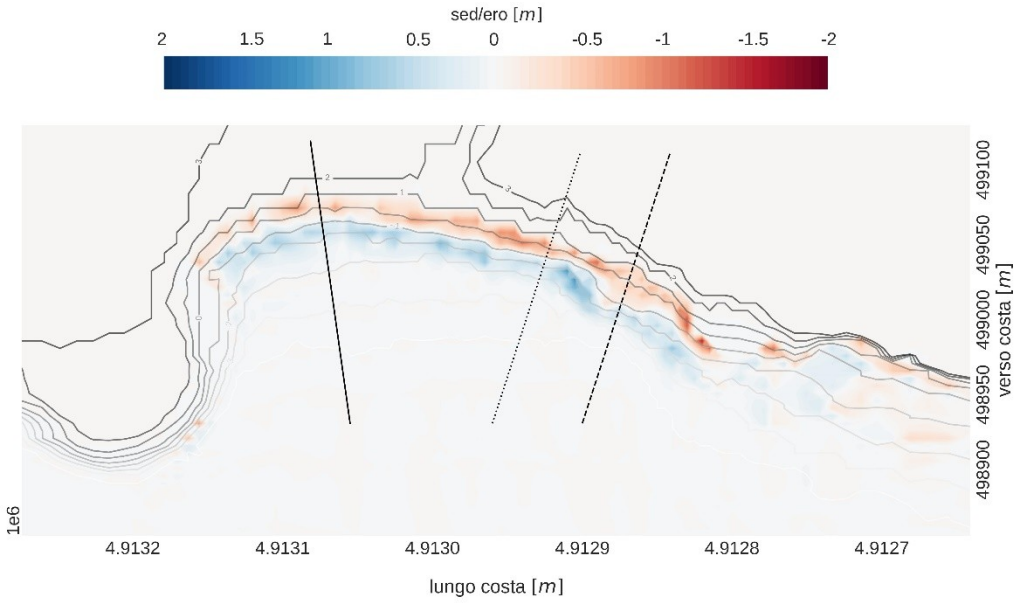


Figura 20. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 50 anni.

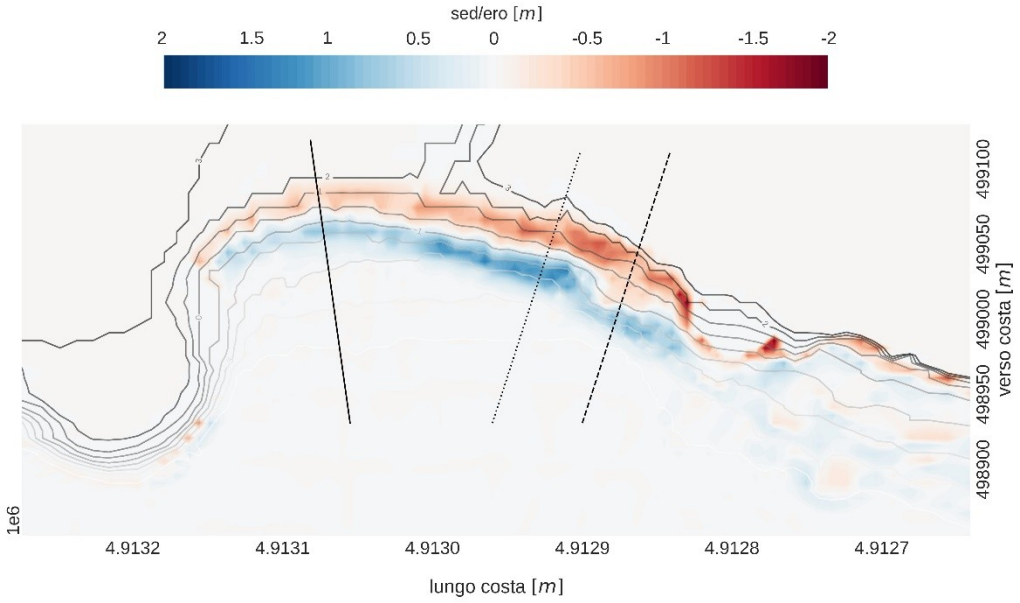


Figura 21. Stato attuale. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 50 anni.

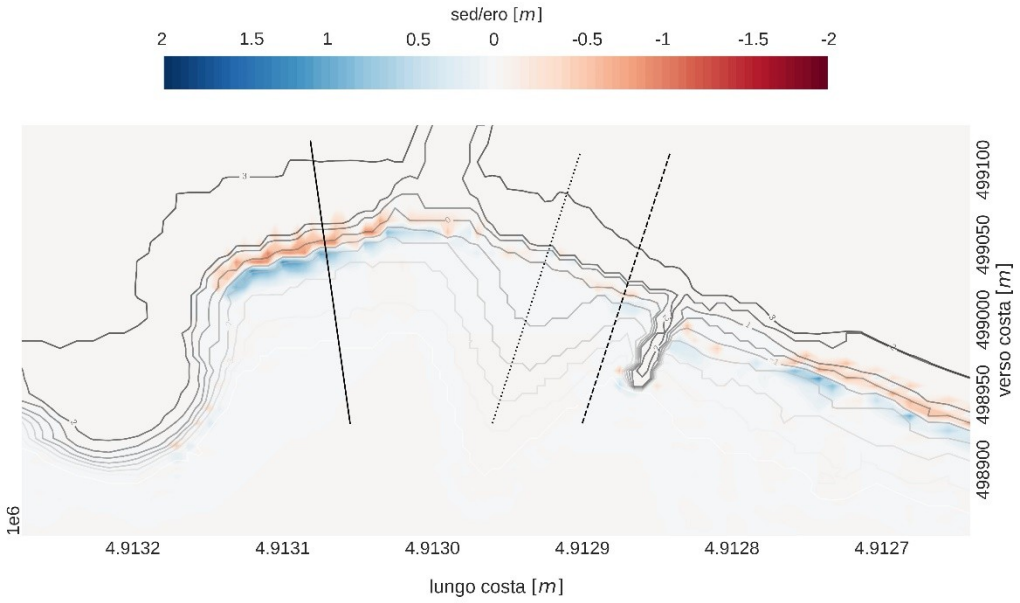


Figura 22. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 1 anno.

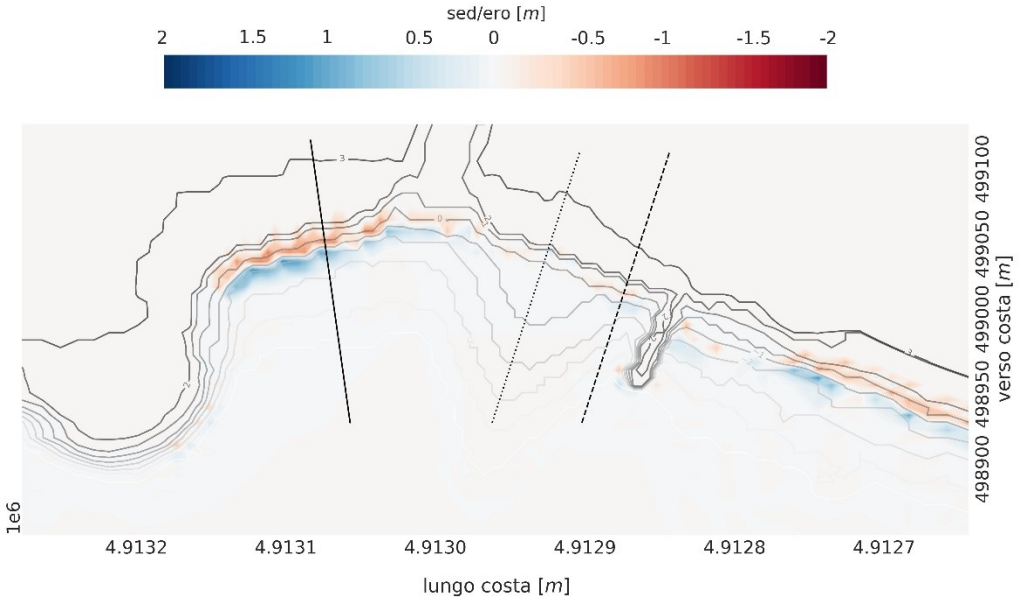


Figura 23. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 1 anno.

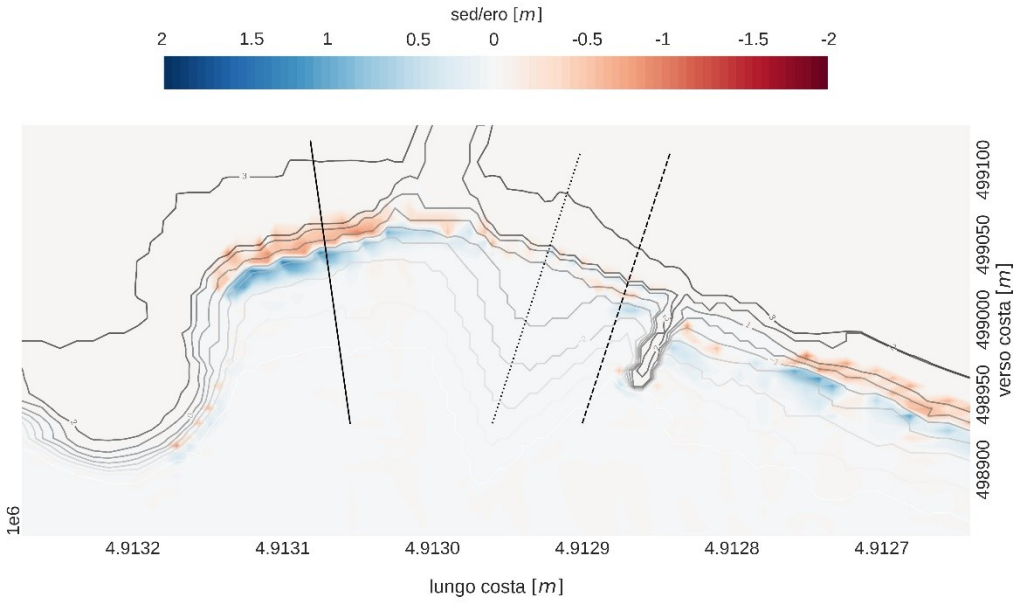


Figura 24. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 10 anni.

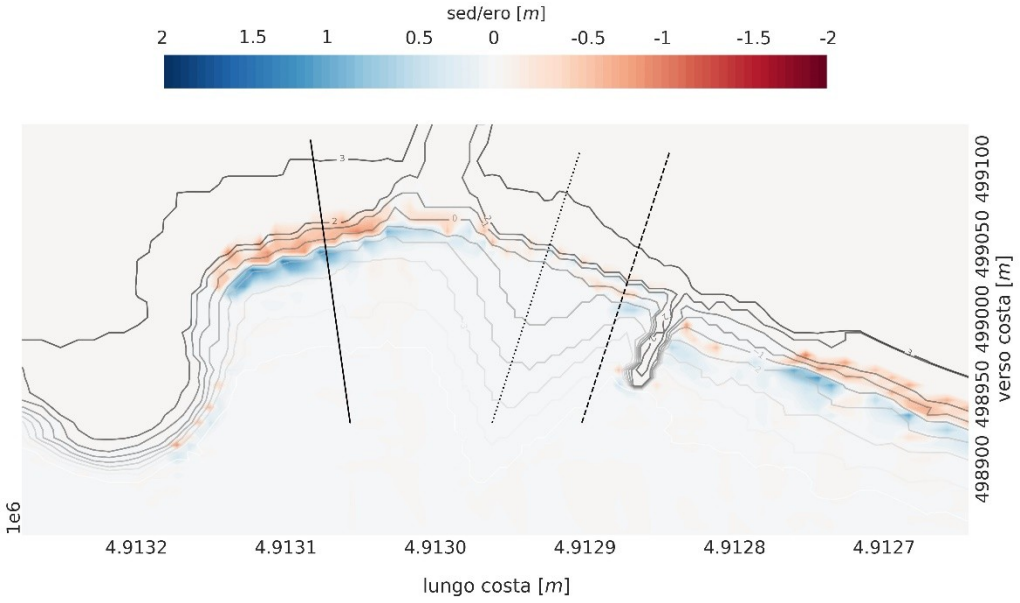


Figura 25. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 10 anni.

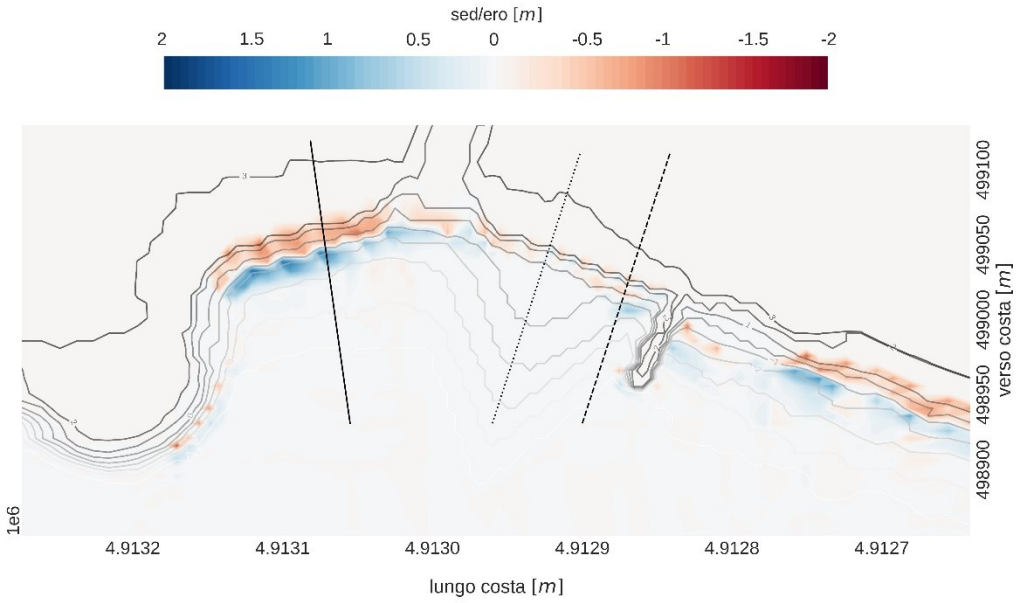


Figura 26. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Scirocco e T_R pari a 50 anni

.

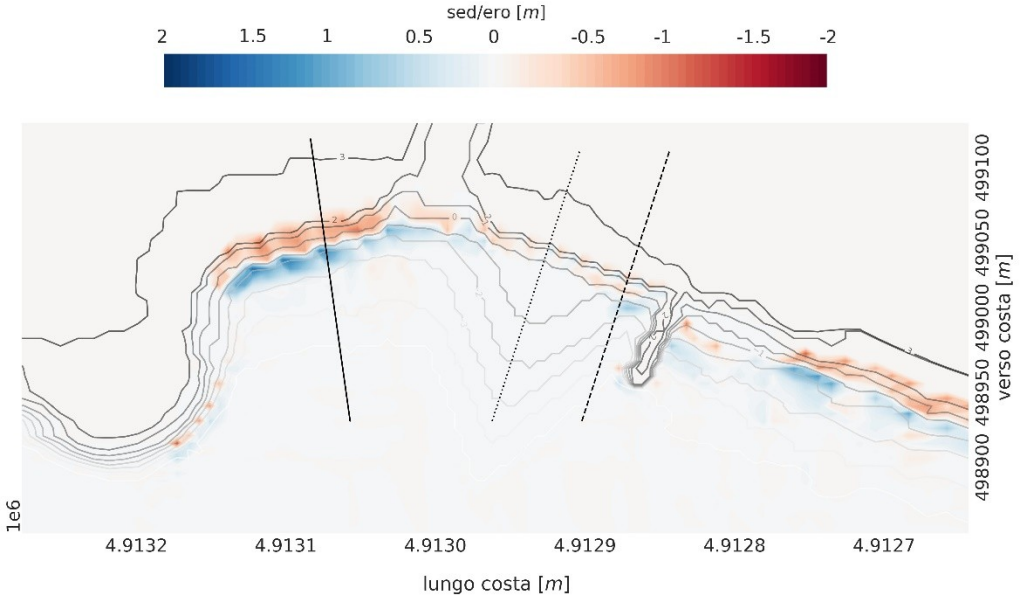


Figura 27. Stato di progetto. Aree di deposito (in blu) ed erosione (in rosso) per mareggiata di Libeccio e T_R pari a 50 anni.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

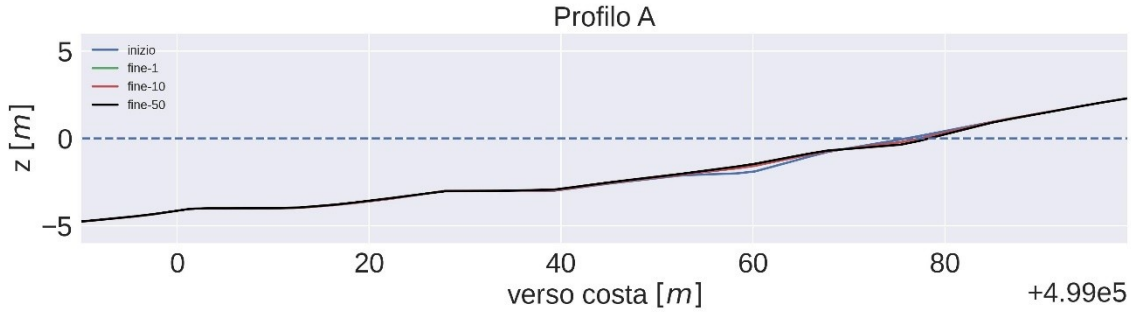


Figura 28. Evoluzione del transetto A (linea nera continua nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato attuale.

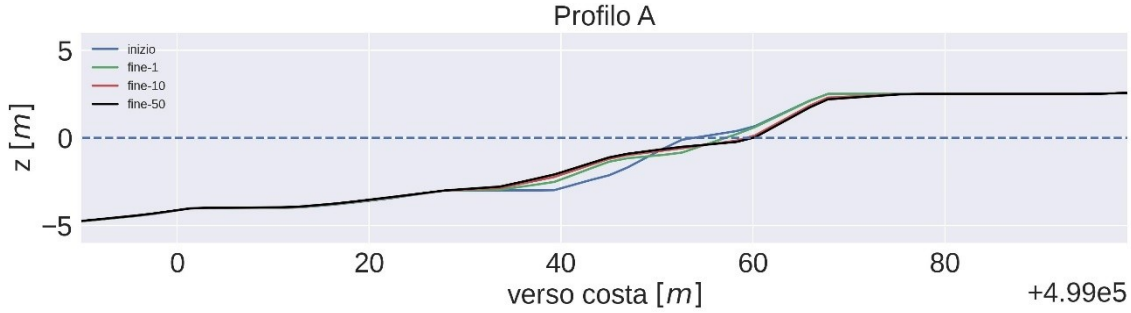


Figura 29. Evoluzione del transetto A (linea nera continua nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto.

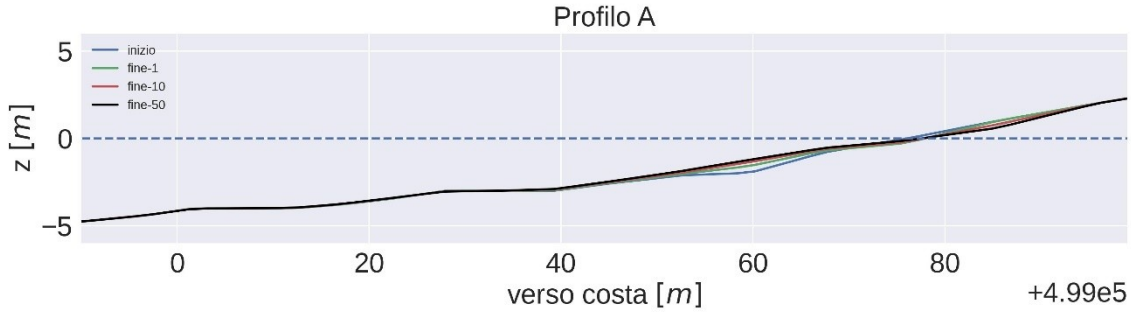


Figura 30. Evoluzione del transetto A (linea nera continua nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato attuale.

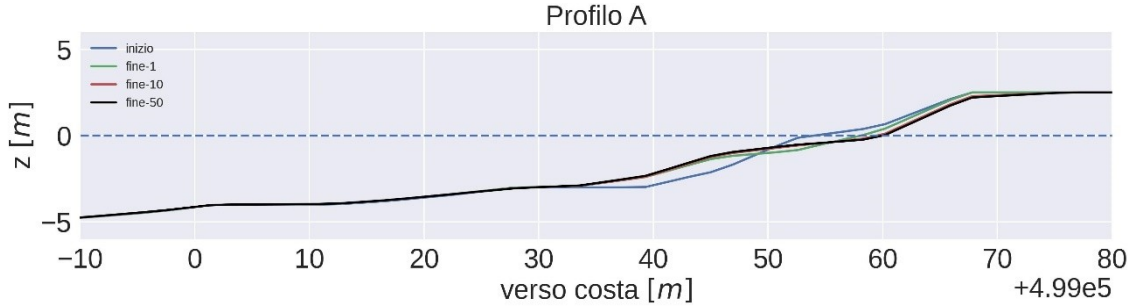


Figura 31. Evoluzione del transetto A (linea nera continua nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto.

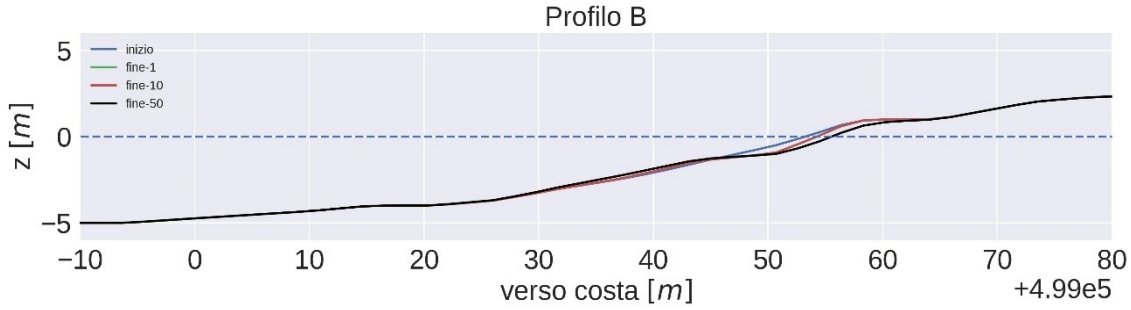


Figura 32. Evoluzione del transetto B (linea nera puntinata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato attuale.

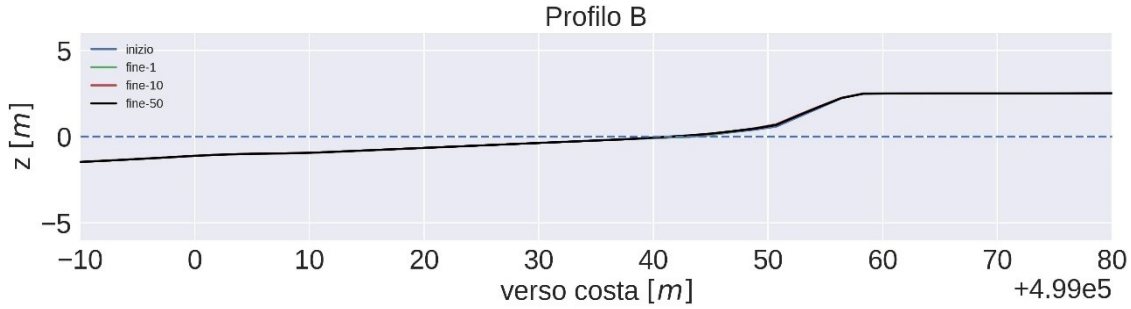


Figura 33. Evoluzione del transetto B (linea nera puntinata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

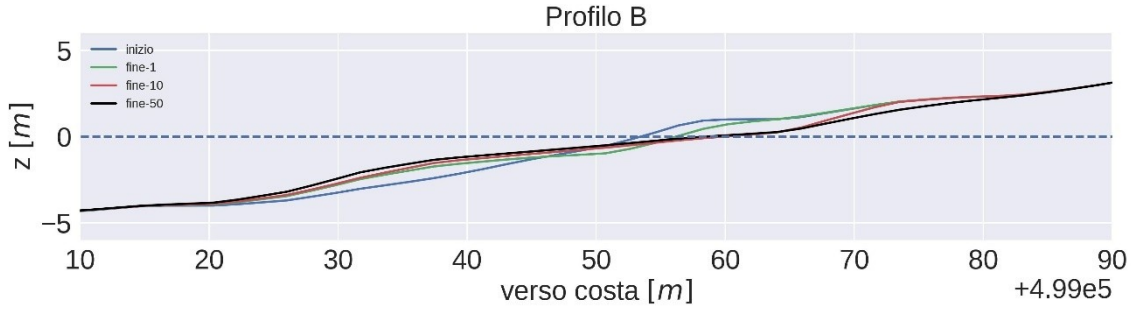


Figura 34. Evoluzione del transetto B (linea nera puntinata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato attuale.

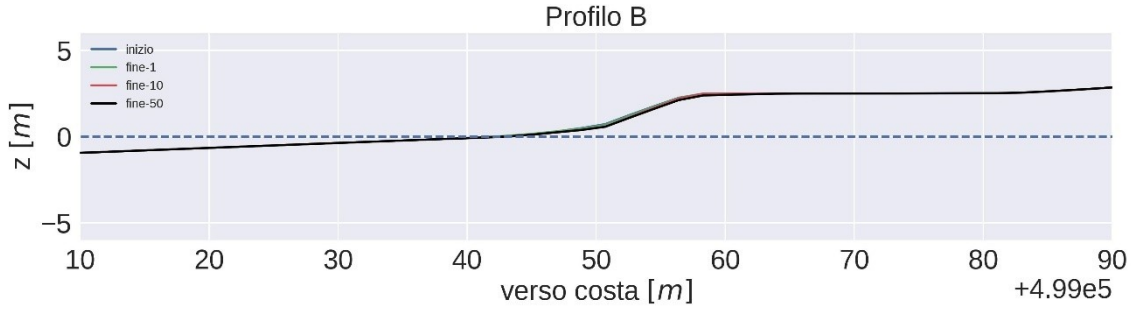


Figura 35. Evoluzione del transetto B (linea nera puntinata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto.

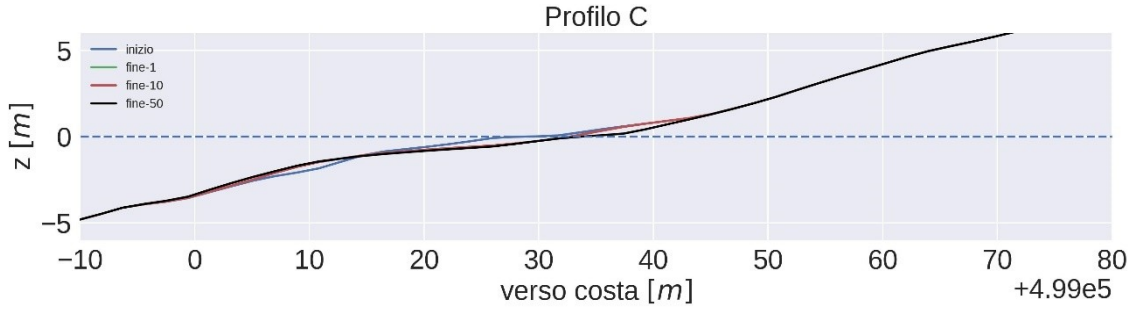


Figura 36. Evoluzione del transetto C (linea nera tratteggiata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato attuale.

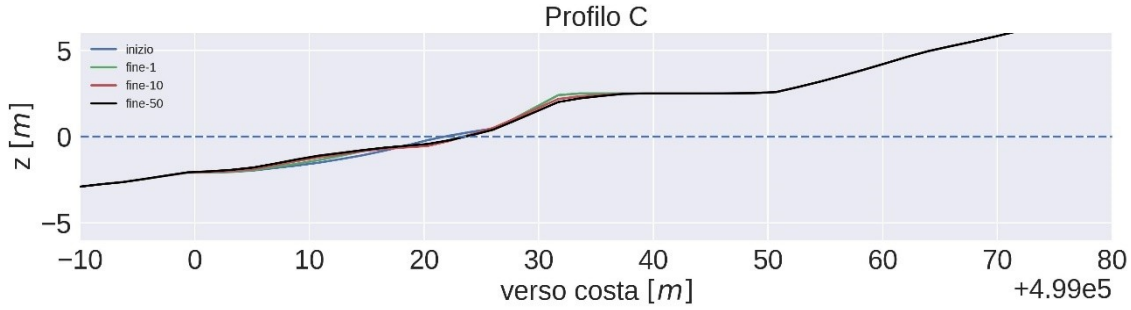


Figura 37. Evoluzione del transetto C (linea nera tratteggiata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Scirocco e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto.

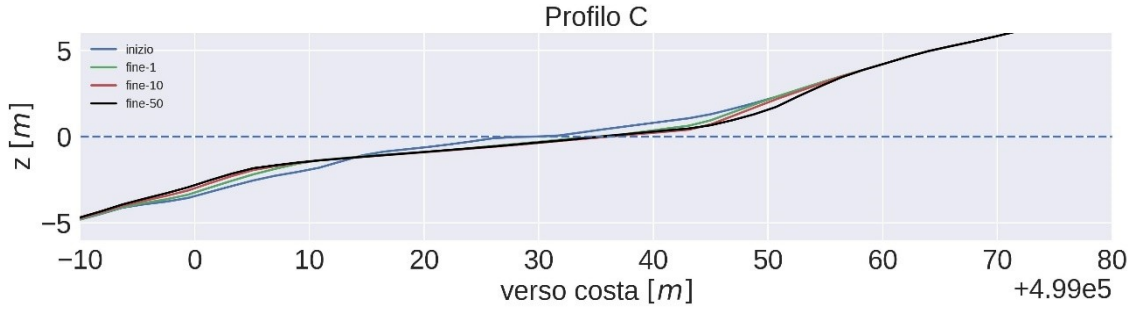


Figura 38. Evoluzione del transetto C (linea nera tratteggiata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato attuale.

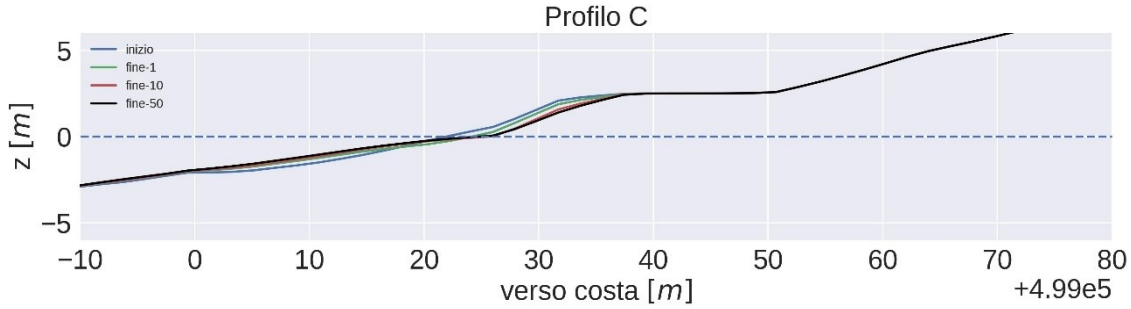


Figura 39. Evoluzione del transetto C (linea nera tratteggiata nelle mappe) in risposta a mareggiate da Libeccio e diversi periodi di ritorno. Stato di progetto.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

6.2 ANALISI IDRODINAMICA

I fenomeni di allagamento costiero sono prevalentemente imputabili al frangimento delle onde, ovvero la condizione per la quale le onde, una volta giunte a riva, si "rompano" a causa della instabilità del fronte, generando la caratteristica schiuma bianca ben visibile in prossimità della battigia. Una volta frante, le onde inducono a loro volta due fenomeni caratteristici, detti rispettivamente Run-Up e Set-Up. Il primo traduce la dissipazione di energia cinetica del moto ondoso, il quale risale la parte emersa della spiaggia a valle del frangimento inducendo allagamento. Il secondo è legato invece alla spinta che le onde, rompendosi, esercitano sulla colonna d'acqua su cui insistono, il che porta ad un diffuso innalzamento di livello a valle della sezione di rottura, così come sinteticamente riportato in figura sottostante.

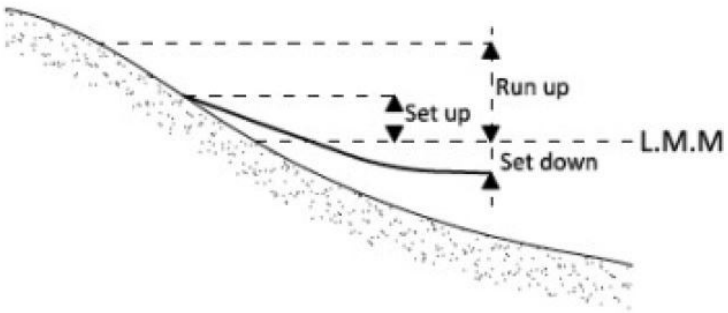


Figura 40. Schema esplicativo dei fenomeni di Run-Up e Set-up.

A tal proposito, sono state valutate le sezioni di costa allagate a seguito delle mareggiate per le due configurazioni considerate, di cui sono riportati i risultati da Figura 41 a Figura 44 (i.e., le aree evidenziate con il colore azzurro); in questo caso si omettono i risultati associati a periodo di ritorno annuale poiché ritenuti non significativi, in quanto l'estensione delle aree allagate risulta essere inferiore alla risoluzione spaziale ammessa dal modello di calcolo.

Come visto in precedenza, i fenomeni maggiormente critici sono riscontrati in corrispondenza delle mareggiate da Libeccio (Figura 43 e Figura 44). In questo caso, si osservano abbondanti porzioni allagate di spiaggia emersa, dovutamente alla maggior intensità delle onde al frangimento, capaci di inondare anche il tratto focivo del torrente Sturla, contrariamente a quanto osservato per gli eventi da Scirocco (Figura 41 e Figura 42).

Ad ogni modo, è possibile apprezzare nuovamente la capacità che gli interventi progettuali proposti hanno nello stemperare le criticità dell'area. A tal fine, si confrontino le aree colorate in azzurro nei casi considerati, derivandone l'estensione a riva grazie alle griglie segnate in bianco ed associate alle diverse latitudini e longitudini espresse in coordinate metriche. Ad esempio, già per tempo di ritorno decennale ed evento da Scirocco l'area allagata nella zona di levante si spinge sino a latitudini prossime a 499100 m (SR: UTM32) per lo stato attuale (i.e., pannello inferiore in Figura 41), mentre nello stato di progetto (pannello superiore) la stessa risulta essere più contenuta; analogamente, nella zona ad Est del dominio, l'estensione dell'area interessata da Run-Up è amplificata, giungendo a lambire la latitudine 499000 nella zona di levante rispetto alla sezione in cui è prevista l'installazione del pennello, la quale non ne è invece interessata a seguito degli interventi progettuali proposti. Considerazioni del tutto analoghe possono essere estese a tutti gli altri casi analizzati.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

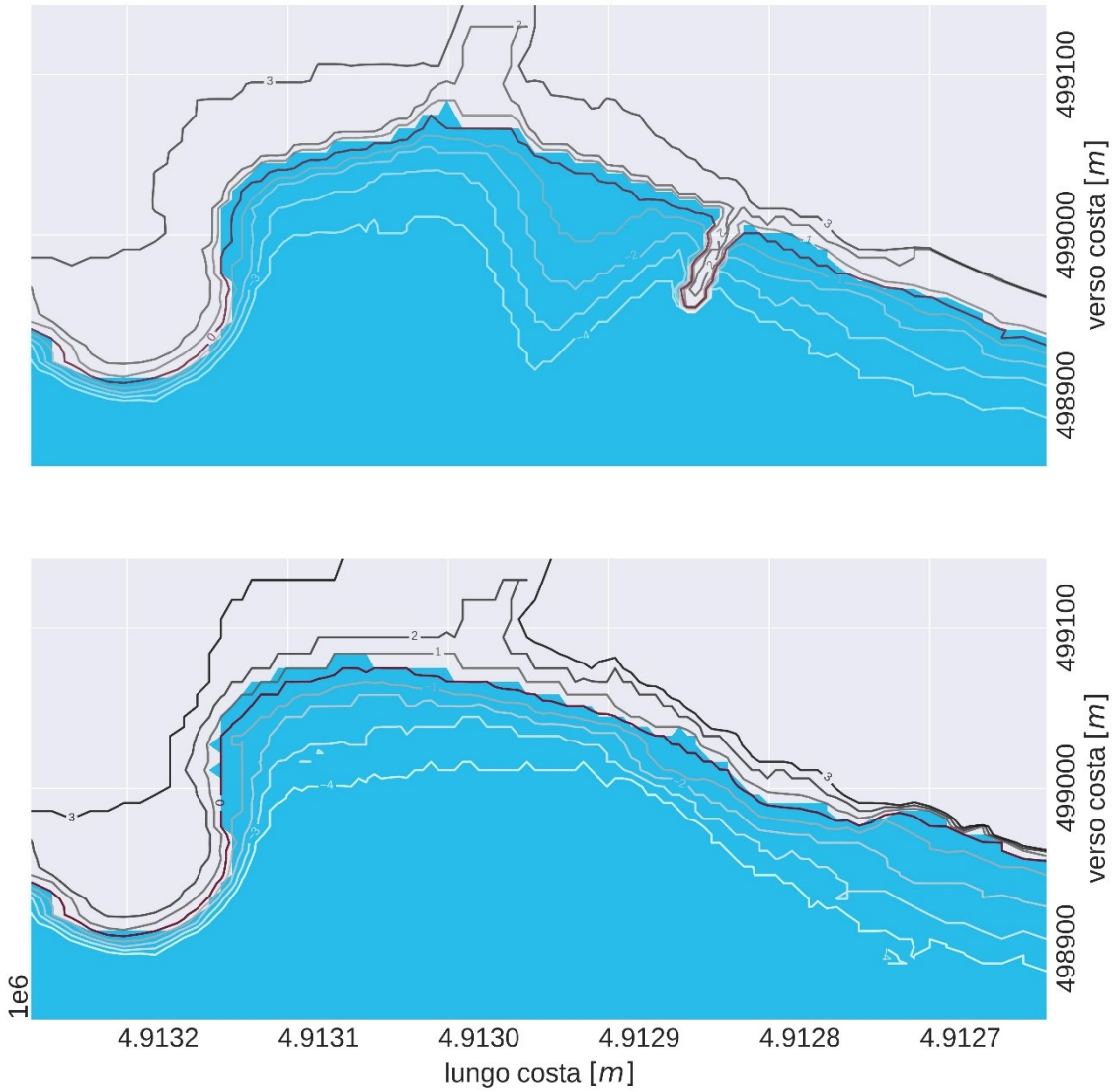


Figura 41. Aree allagate per evento da Scirocco associato a T_R pari a 10 anni. Pannello superiore: stato di progetto; pannello inferiore: stato attuale. La linea spessa in blu indica la posizione della battigia (stessa prassi nelle figure successive).

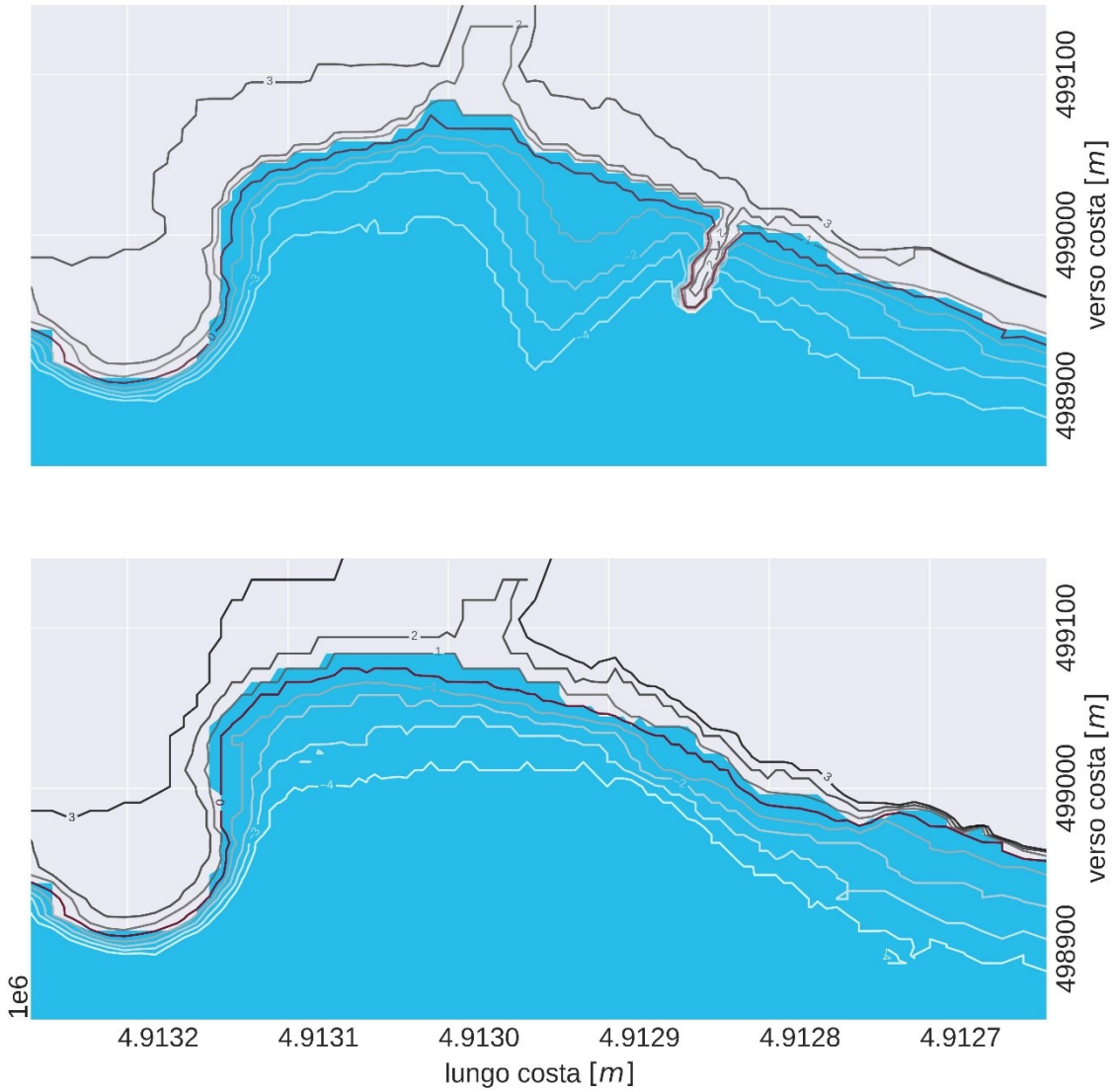


Figura 42. Aree allagate per evento da Scirocco associato a T_R pari a 50 anni.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

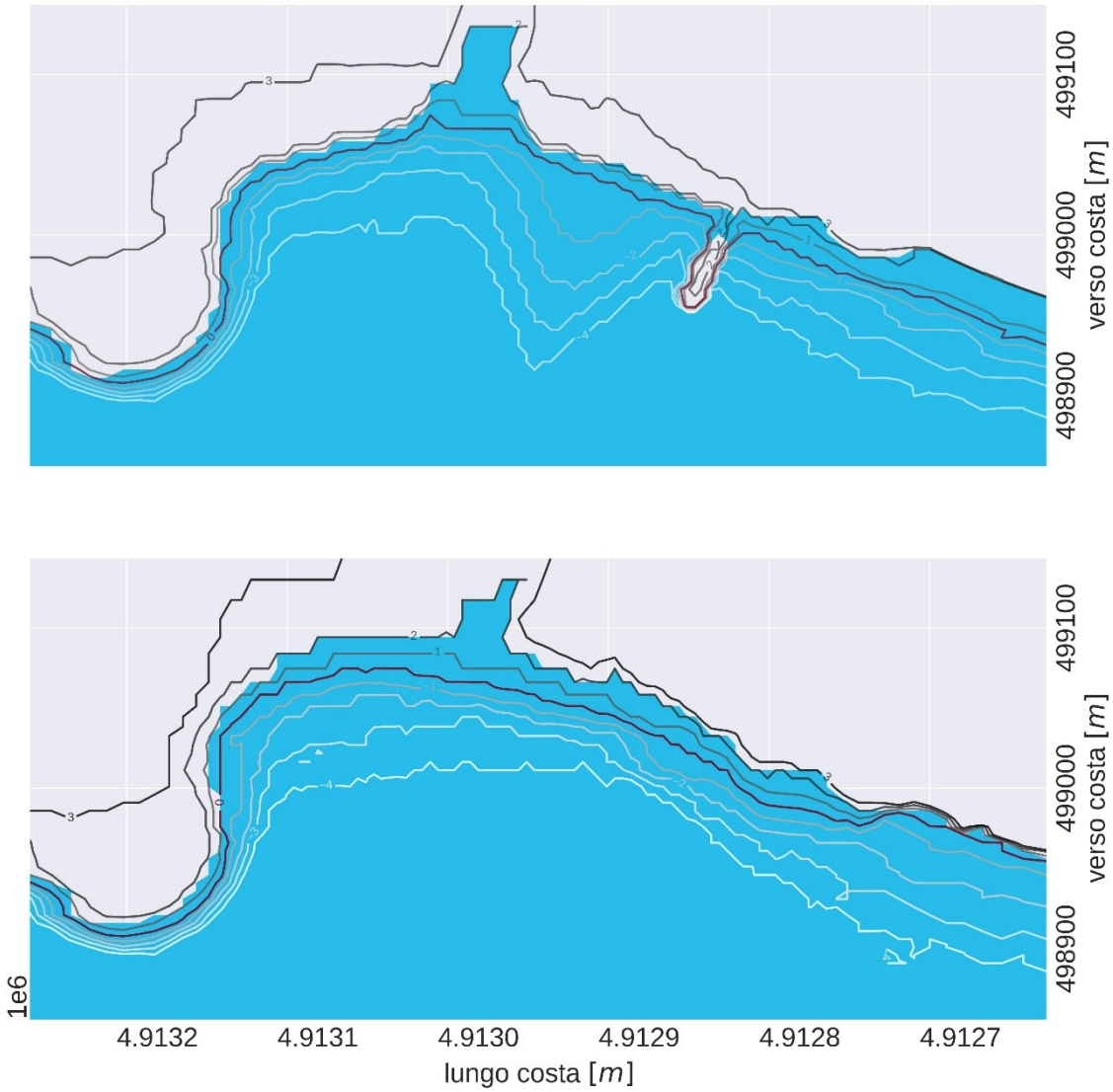


Figura 43. Aree allagate per evento da Libeccio associato a T_R pari a 10 anni.

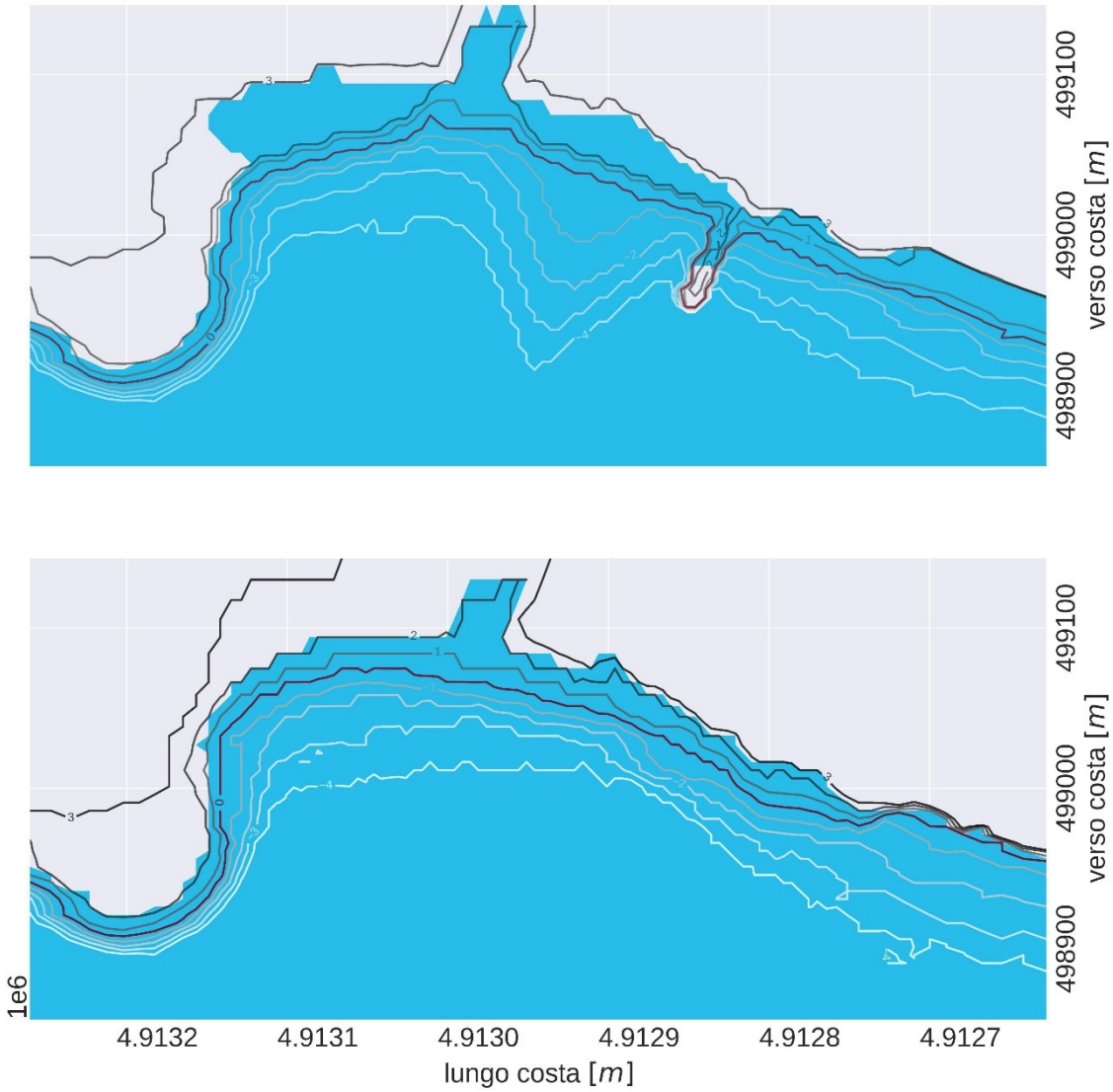


Figura 44. Aree allagate per evento da Libeccio associato a T_R pari a 50 anni.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio ha analizzato la risposta della spiaggia di Sturla (GE) a fenomeni di allagamento ed erosione costiera, indotti da stati di mare associati ad assegnati periodi di ritorno (1, 10 e 50 anni) ed estratti in prossimità della costa oggetto di studio. Le analisi summenzionate sono state svolte tramite un opportuno modello numerico largamente utilizzato all'interno della comunità scientifica di settore, avvalendosi di dati campionati in loco per quanto concerne il profilo del fondale e delle quote emerse di spiaggia, e la granulometria del materiale presente in loco. Il modello è stato implementato prendendo a riferimento due diverse configurazioni: una inerente allo stato attuale della morfologia della spiaggia; l'altra, ottenuta considerando un ripascimento strutturale unitamente al ripristino di un pennello trasversale di assegnate dimensioni e ubicazione, ed alla installazione di una piattaforma soffolta in prossimità della spiaggia (Artificial Surf Reef o ASR).

I risultati hanno permesso di evidenziare come gli interventi progettuali proposti possano mitigare significativamente il rischio erosione per singoli eventi, pur rispondendo in modo diverso a seconda delle caratteristiche delle onde incidenti quali altezza, periodo, e direzione di propagazione (così come mostrato dai risultati relativi alle diverse mareggiate considerate). La presenza di un ASR si riverbera positivamente anche su un ridotto rischio di allagamento costiero, dovutamente al frangimento anticipato indotto nelle onde di mare che ne smorza conseguentemente il potenziale di inondazione (i.e., Run-Up e Set-up).

Occorre tuttavia precisare come l'effetto cumulativo di eventi ripetuti e molteplici possa progressivamente asportare il materiale del ripascimento, seppur in modo significativamente ridimensionato grazie soprattutto all'azione schermante esercitata dalla piattaforma sommersa. A tal proposito, giova ricordare come lo scopo del presente lavoro sia stato quello di valutare la risposta degli interventi progettuali proposti rispetto ad eventi singoli estrapolati tramite analisi statistica (ovvero, associati a definiti periodi di ritorno), il che non considera l'evoluzione temporale delle mareggiate su tempi scala propri della climatologia locale. Pertanto, la stima del comportamento su lassi temporali più estesi dovrà essere integrata attraverso modelli aventi diverse risoluzioni, che permettano di valutare la variabilità climatica totale per l'area di interesse. Ad esempio, se il pennello trasversale permette un accrescimento della spiaggia nella zona sopraflutto rispetto alla direzione media di incidenza delle onde, genera al contempo un arretramento nella zona sottoflutto. Tale comportamento si manifesta su intervalli di tempo che decorrono su mesi/anni, e dipende dalle caratteristiche di venti ed onde (i.e., eventi regnanti e dominanti), necessitando dunque di analisi specifiche.

ALLEGATI

Allegato A1. SECONDO LOTTO DEI LAVORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DELLA GALLERIA SCOLMATRICE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA – RIPASCIMENO SPIAGGE GENERALE. Vedi documento "BIS2E-A-SPG00-RE01-2.pdf".

Allegato A2. RIPASCIMENTO SPIAGGE STURLA - PROGETTO DEL RIPASCIMENTO STRUTTURALE - Planimetria nella configurazione di progetto. Vedi documento "BIS2E-A-SPG05-PL01-3.pdf".

Allegato A3. Curve granulometriche per diversi campioni lungo la spiaggia di Sturla. Vedi documenti "Campione-*-Sturla-16012024".**

FERRI GUIDO
2024.10.17 16:20:59
CN=FERRI GUIDO
C=IT
2.5.4.4=FERRI
2.5.4.42=GUIDO

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
dicca.unige.it
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491
Via Montallegro 1, 16145 Genova
direttore@dicca.unige.it