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 Fase 1 Simulazioni su pennello di levante

(ANALISI IDRO-MORFODINAMICA DELLA SPIAGGIA DI STURLA (GE) A SEGUITO DI INTERVENTI DI RIFIORITURA DELLE OPERE A COSTA: FASE 1)

PFTE-R-GE-04 A

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
Luogo: genova

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: FASE 1

Prof. Ing. Giovanni Besio
Ing. Francesco De Leo
Dr. Federico Baronetti

Genova, 17/05/2024

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....5
2. INTERVENTI PROGETTUALI PROPOSTI....7
3. DATI UTILIZZATI....9
4. STUDIO MODELLISTICO....13
5. RISULTATI....18
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE....28

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 citta, 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....5
Figura 2. Lato di ponente della spiaggia di Sturla. Foto scattata dal belvedere Lina Volonghi, posto sul tetto della piscina della Società Sportiva Sturla....6
Figura 3. Planimetria del pennello trasversale (in rosso) all'interno della spiaggia di Sturla....7
Figura 4. Estratto del ripascimento proposto da RockSoil S.p.A. per la Spiaggia di Sturla....8
Figura 5. 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....10
Figura 6. Esempio di curva granulometrica per uno dei campioni mostrati in Figura 5....11
Figura 7. 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....14
Figura 8. Estensione del dominio computazionale del modello X-Beach. I rettangoli concentrici indicano diverse risoluzioni della maglia computazionale....15
Figura 9. Serie temporali dell'altezza d'onda (in alto) e della direzioni di incidenza (in basso) relative alla mareggiata di Novembre 2014....16
Figura 10. Serie temporali dell'altezza d'onda (in alto) e della direzioni di incidenza (in basso) relative alla mareggiata di Novembre 2023....17
Figura 11. Risultati dell'analisi morfodinamica; pannello A): caso A14; pannello B): caso P14.. 21
Figura 12. Risultati dell'analisi morfodinamica; pannello A): caso A23; pannello B): caso P23..22
Figura 13. Correnti litoranee indotte al picco della mareggiata; pannello A): caso A23; pannello B): caso P23....23
Figura 14. Nodi bagnati in corrispondenza del picco della mareggiata. Pannello A): A14; pannello B): P14....25
Figura 15. Nodi bagnati in corrispondenza del picco della mareggiata. Pannello A): A23; pannello B): P23....26
Figura 16. Trasporto solido (definito come Q) in funzione dell'angolo compreso tra la direzione delle onde e la normale uscente da riva....27

Tabella 1. Percentuale di materiale trattenuto in funzione del setaccio (per la serie completa si rimanda all'Allegato A3)....11

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 2. Diametri caratteristici considerati per descrivere il sedimento della spiaggia di Sturla.....12
Tabella 3. Sintesi delle simulazioni effettuate e relativo codice identificativo.....18

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 e ripristino di un pennello perpendicolare a costa, al fine di favorire un'analisi comparativa tra le due e 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 citta, 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 spiaggia, parte di un pennello posto a protezione della prospiciente spiaggia di Vernazzola, che scherma parzialmente l'estremità ad Ovest della spiaggia di Sturla

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

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

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 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 (comunemente detta "reef artificiale") al largo della spiaggia. Questo studio si propone di analizzare gli interventi del primo 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 1 interessa due interventi diversi:

- 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).

Il primo intervento 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 differente da quello impiegato in questo studio (vedi 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.



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

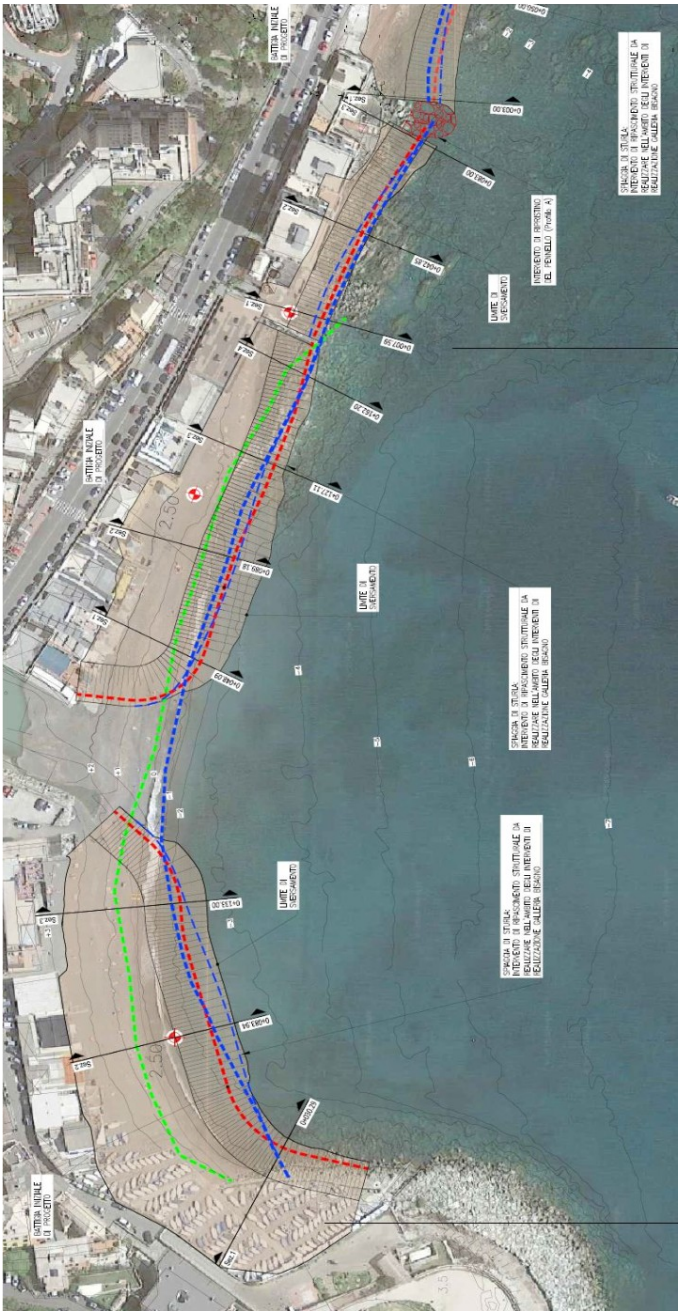


Figura 4. Estratto del ripascimento proposto da RockSoil S.p.A. per la Spiaggia di Sturla.

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

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[2], 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 sito https://meteocean.science/research/). 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[3], mentre le simulazioni della generazione e propagazione del moto ondoso sono state realizzate con il modello d'onda WavewatchIII v6.07[4], 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 8).

Per quanto riguarda la batimetria del fondale, sono stati utilizzate due 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

[2] 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.

[3] 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.

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

in Figura 5, 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 5). 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 6 e Tabella 1.

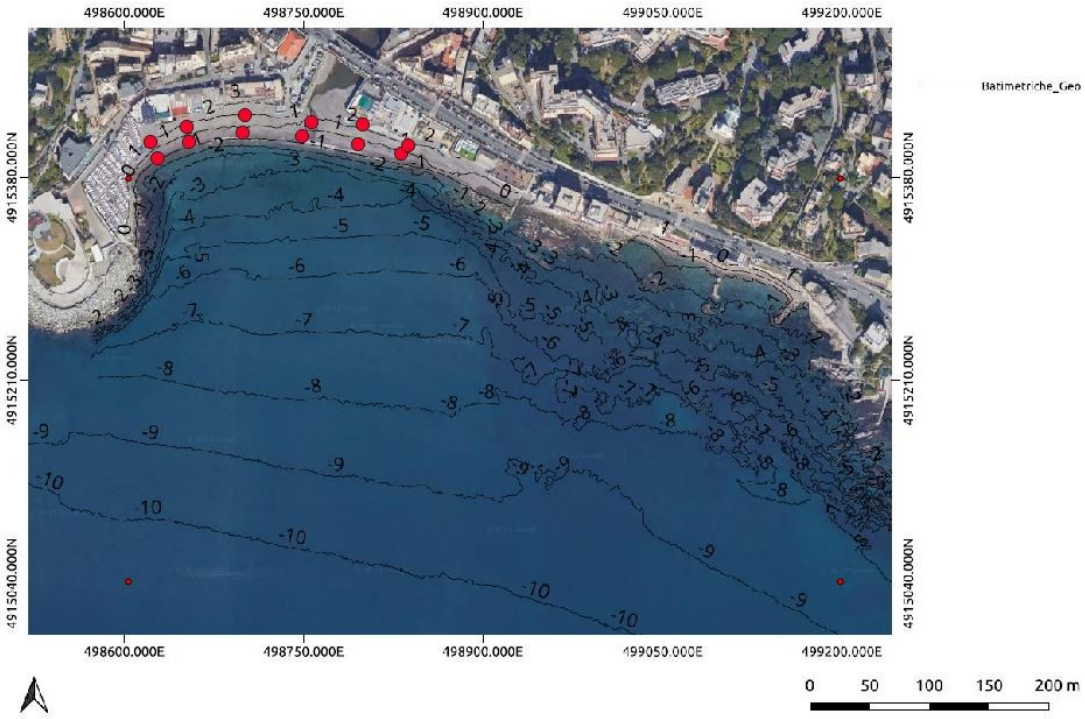


Figura 5. Batimetrie del fondale nella spiaggia di Sturla. I punti in rosso indicano i campionamenti di materiale effettuati da Geoscape lungo il profilo emerso di spiaggia.

Standard AGI/S :

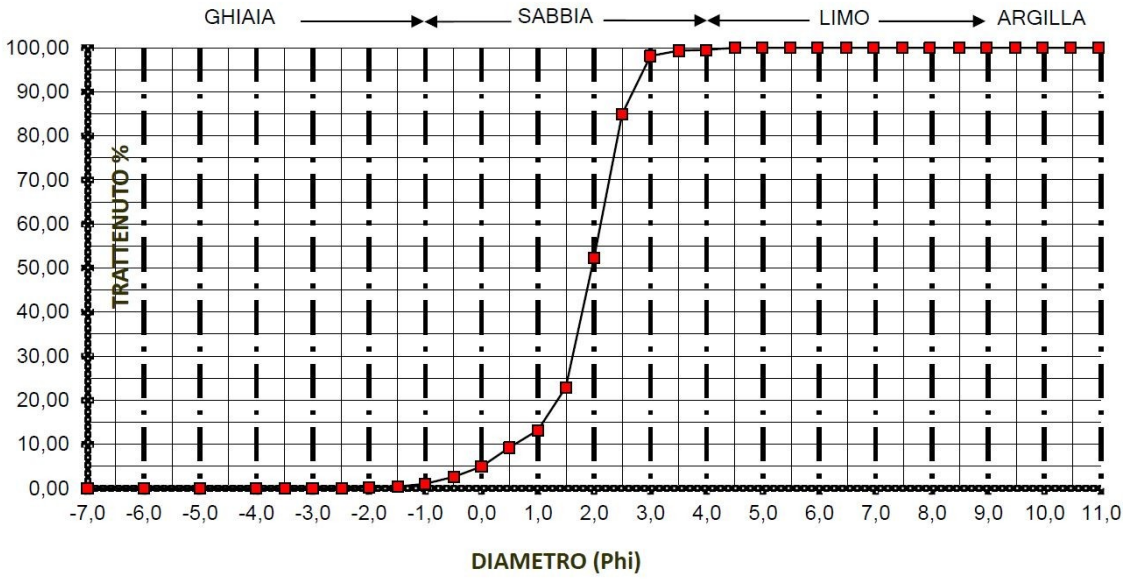


Figura 6. Esempio di curva granulometrica per uno dei campioni mostrati in Figura 5.

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

Trattenuto [%]	***d* [mm]**	***d* [Φ]**
5	0,9972	0,0040
10	0,6712	0,5752
16	0,4586	1,1248
35	0,3120	1,6804
50	0,2585	1,9518
65	0,2218	2,1730
84	0,1792	2,4802
90	0,1572	2,6694
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:

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

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 5 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.

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[5], 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 7.

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).

[5] 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.

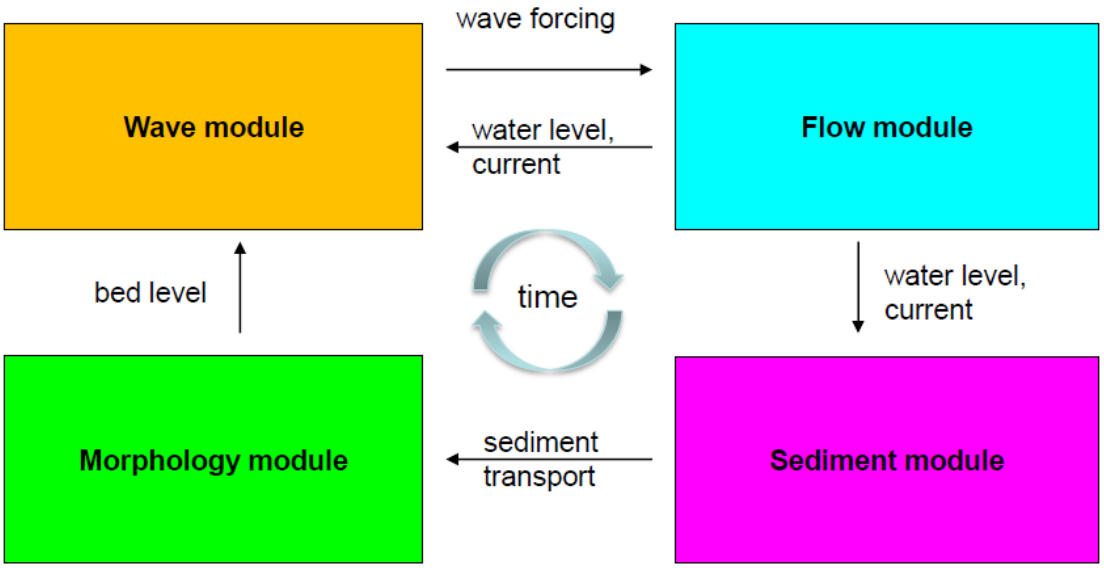


Figura 7. Schema del funzionamento del modello X-Beach. Ciascun modulo è rappresentato da un colore diverso; le interazioni tra i diversi moduli sono indicate dalle frecce.

Nel presente lavoro, volendo verificare il comportamento della costa in risposta a determinate mareggiate, ci si è avvalsi della modalità Surf-beat; 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 5. La maglia computazionale presenta risoluzione variabile tra 20 m e 5 m in direzione cross-shore, e degradante da 20 m e 5 m in direzione long-shore, raggiungendo massima risoluzione in prossimità dell'area di progetto (Figura 8).

Il modello è stato dunque forzato per le due diverse configurazioni di spiaggia considerate (cfr. Paragrafo 2), in riferimento a due mareggiate emblematiche per il sito oggetto di studio. 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. 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.

La scelta delle mareggiate è ricaduta sugli eventi verificatisi nelle date 04-05/11/2014 e 05/11/2023, riprodotte attraverso i dati hindcast menzionati nel Paragrafo 3 e di cui si mostrano i profili in Figura 9 e Figura 10, per un periodo di osservazione totale pari a ca. 60 ore. Questo ha permesso di valutare la risposta della spiaggia a forzanti associate ad eventi particolarmente gravosi per l'area e tuttavia ordinari, fornendo dunque una panoramica sui rischi a cui la spiaggia è

frequentemente assoggettata, anziché considerare eventi eccezionali estrapolati statisticamente.

Inoltre, le mareggiate considerate presentavano intensità e direzioni variabili, spaziando un'ampia gamma di possibili condizioni ambientali e favorendo un'analisi esaustiva delle possibili dinamiche attese a costa.

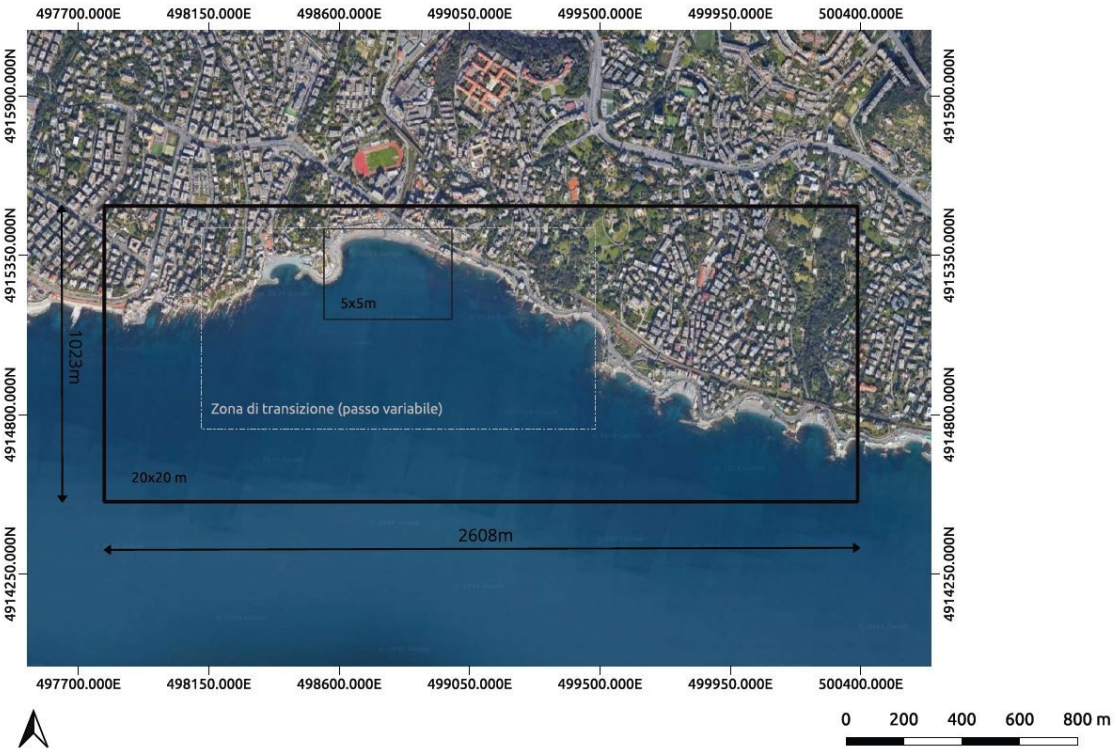


Figura 8. Estensione del dominio computazionale del modello X-Beach. I rettangoli concentrici indicano diverse risoluzioni della maglia computazionale.

Confrontando l'andamento dell'altezza d'onda dei due eventi, si osserva come la mareggiata relativa a Novembre 2014 (Figura 9) presentasse due picchi di altezza pari a ca. 3,5 m, con onde inizialmente afferenti al settore di Scirocco e Mezzogiorno (propagazione da S/SE verso N/NW) e infine ruotate verso il settore di Libeccio (propagazione da SW verso NE) in corrispondenza di un calo progressivo di intensità dell'altezza d'onda. La mareggiata di Novembre 2023 (Figura 10) presentava al contrario un massimo di altezza d'onda nell'ordine dei 4,5 m, con direzionalità omogeneamente distribuite nell'intervallo [205°N,220°N], dunque all'interno del settore di Libeccio (si usa la convenzione Nautica, per cui la direzione indica la provenienza delle onde, espressa a partire dal Nord in senso orario).

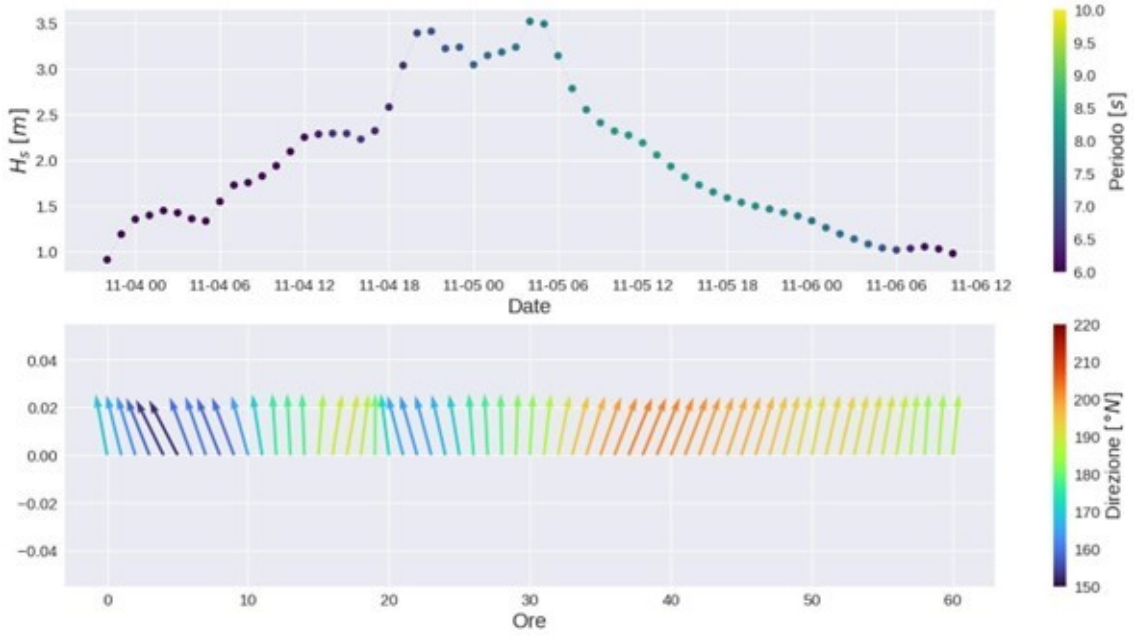


Figura 9. Serie temporali dell'altezza d'onda (in alto) e della direzioni di incidenza (in basso) relative alla mareggiata di Novembre 2014.

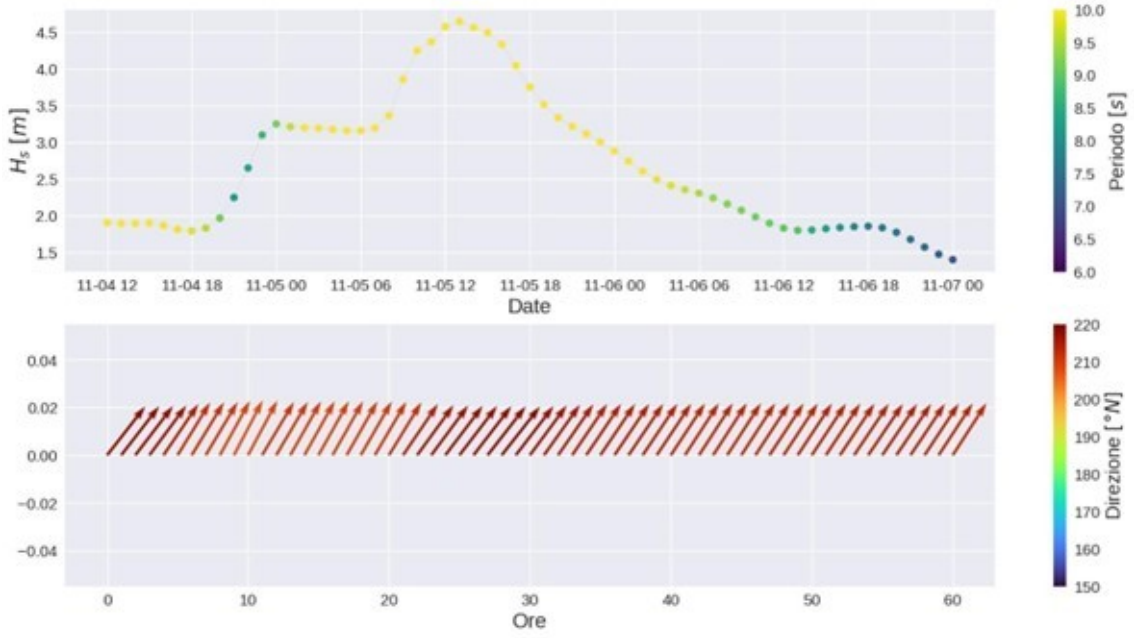


Figura 10. Serie temporali dell'altezza d'onda (in alto) e della direzioni di incidenza (in basso) relative alla mareggiata di Novembre 2023.

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

Le due mareggiate sono inoltre caratterizzate da differenti valori del periodo, con onde mediamente più lunghe in corrispondenza dell'evento di Novembre 2023 (si vedano a tal proposito i colori dei pannelli superiori, i quali indicano per l'appunto i periodi associati alle altezze d'onda).

Infine, si precisa come non sia stata considerata alcuna escursione mareale all'interno delle modellazioni summenzionate, poiché la stessa è irrilevante ai fini delle analisi proposte, essendo il regime locale caratterizzato da onde micro-tidali con ampiezze nell'ordine di pochi centimetri.

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. RISULTATI

Si riportano nel seguito i risultati delle analisi svolte per le due mareggiate considerate e le due diverse configurazioni di spiaggia. Al fine di facilitarne la lettura, si utilizzano le lettere *A* e *P* per indicare lo stato attuale e lo stato modificato come previsto dal Lotto 1; ed i codici 14 e 23 per indicare l'evento del 2014 e quello del 2023, rispettivamente; si ottengono dunque quattro diverse combinazioni, sintetizzate nella tabella sottostante:

Tabella 3. Sintesi delle simulazioni effettuate e relativo codice identificativo.

	Stato	
Evento	**attuale**	**Progetto**
2014	A14	P14
2023	A23	P23

5.1 ANALISI MORFODINAMICA

Il presente paragrafo mostra i risultati di erosione e deposito dei sedimenti alla fine delle mareggiate considerate. I casi A14 e P14 sono mostrati in Figura 11; i casi A23 e P23 sono mostrati invece in Figura 12. In tutti i casi considerati, è possibile apprezzare il tipico pattern erosivo associato all'azione delle mareggiate sulle coste in materiale sciolto[6]. 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).

Prendendo a riferimento il caso relativo alla mareggiata del 2014, è possibile osservare come, complessivamente, le entità di scavi e depositi dei profili di spiaggia non presentino sostanziali differenze, rimanendo in larga parte contenuti nell'intervallo ± 1,8 m; tali quantità sono peraltro del tutto coerenti a precedenti studi di settore[7], a riprova della bontà delle simulazioni svolte. Lo stato di progetto (pannello B in Figura 11) mostra tuttavia scavi generalmente più marcati in corrispondenza della berma, con un'unica eccezione nella zona sita ad Est nelle immediate vicinanze del pennello.

Tale comportamento è imputabile principalmente a due fattori: innanzitutto, il ripascimento fornisce un ulteriore "serbatoio" di sedimento erodibile, rispetto a quello presente nello stato inalterato della spiaggia. Secondariamente, qualsiasi ripascimento, nel periodo a questi immediatamente successivo, costituisce una

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

[7] 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.

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[8]. 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. Pertanto, nello stato di progetto, il profilo si trova in posizione comunque sopravanzata rispetto allo stato attuale (ovvero, il pannello A di Figura 11).

Con riferimento alla mareggiata del 2023, sebbene si riscontri nuovamente una maggior quantità negli scavi, questa si concentra su areali più circoscritti, in particolar modo nella zona ad Est del pennello (si notino a tal proposito le diverse estensioni delle aree colorate in rosso e le diverse tonalità di colore nei pannelli A e B di Figura 12). Si può dunque concludere che il pennello induca una maggior mitigazione dell'erosione della spiaggia, e ciò è imputabile a due motivi: la direzione della mareggiata, che induce correnti orientate da Ovest verso Est, e dunque scherma la zona di levante che si trova ad essere sottoflutto rispetto al pennello. In secondo luogo, la maggior intensità della mareggiata induce correnti amplificate rispetto al caso del 2014, il che scatena un maggior innesco dell'azione della barriera costituita dal pennello.

Quest'ultima considerazione trova ampio riscontro nell'analisi delle correnti litoranee estratte in corrispondenza dei picchi delle mareggiate e sui nodi computazionali della maglia di calcolo, così come mostrato in Figura 13. Qui, si può notare come le correnti siano mediamente orientate lungo la direttrice Ovest-Est, coerentemente alla direzione di propagazione delle onde lungo la mareggiata (i.e., Libeccio, cfr. Figura 10), sebbene a riva la direzione delle frecce sia condizionata dai processi di generazione di cosiddette "correnti di ritorno", orientate verso il largo. Ad ogni modo, analizzando la lunghezza ed il colore delle frecce, è possibile apprezzare come, nel pannello B, l'intensità delle correnti indotte in prossimità della battigia sia generalmente ridimensionata rispetto allo stato attuale (pannello A).

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

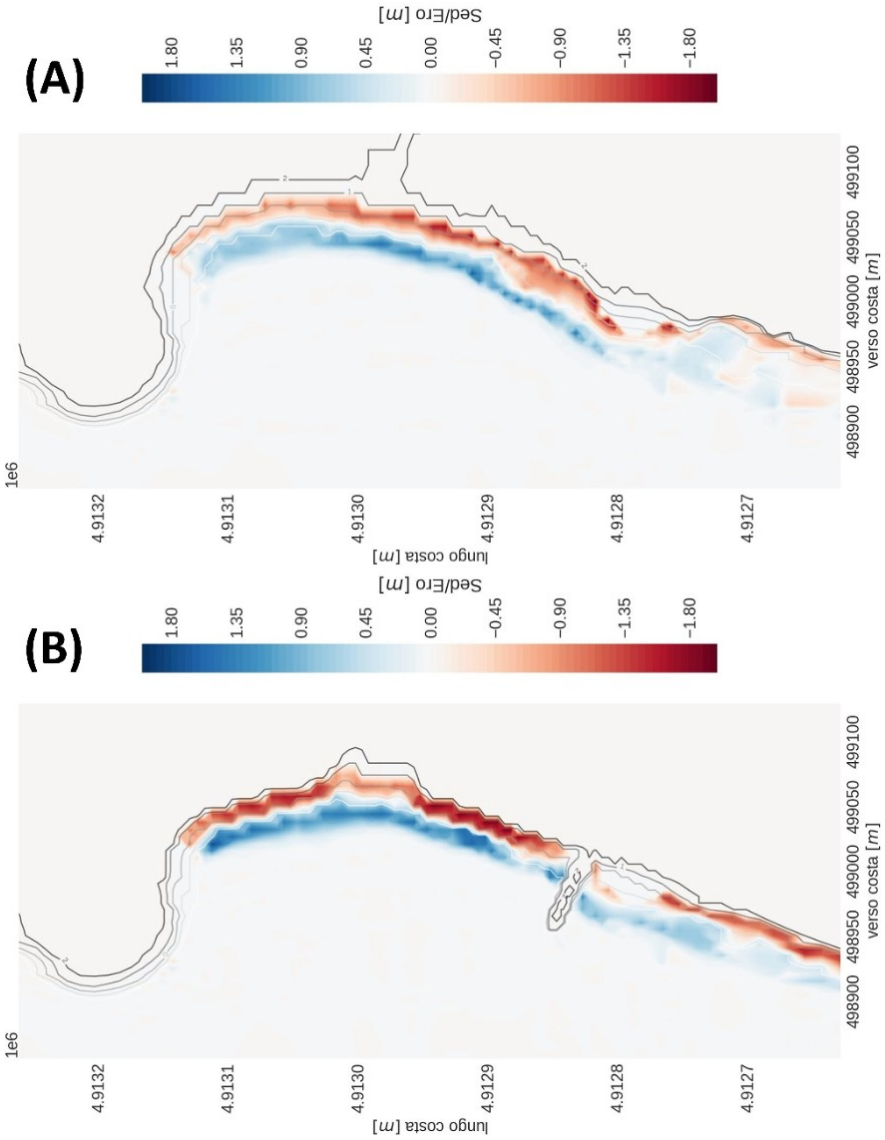


Figura 11. Risultati dell'analisi morfodinamica; pannello A): caso A14; pannello B): caso P14.

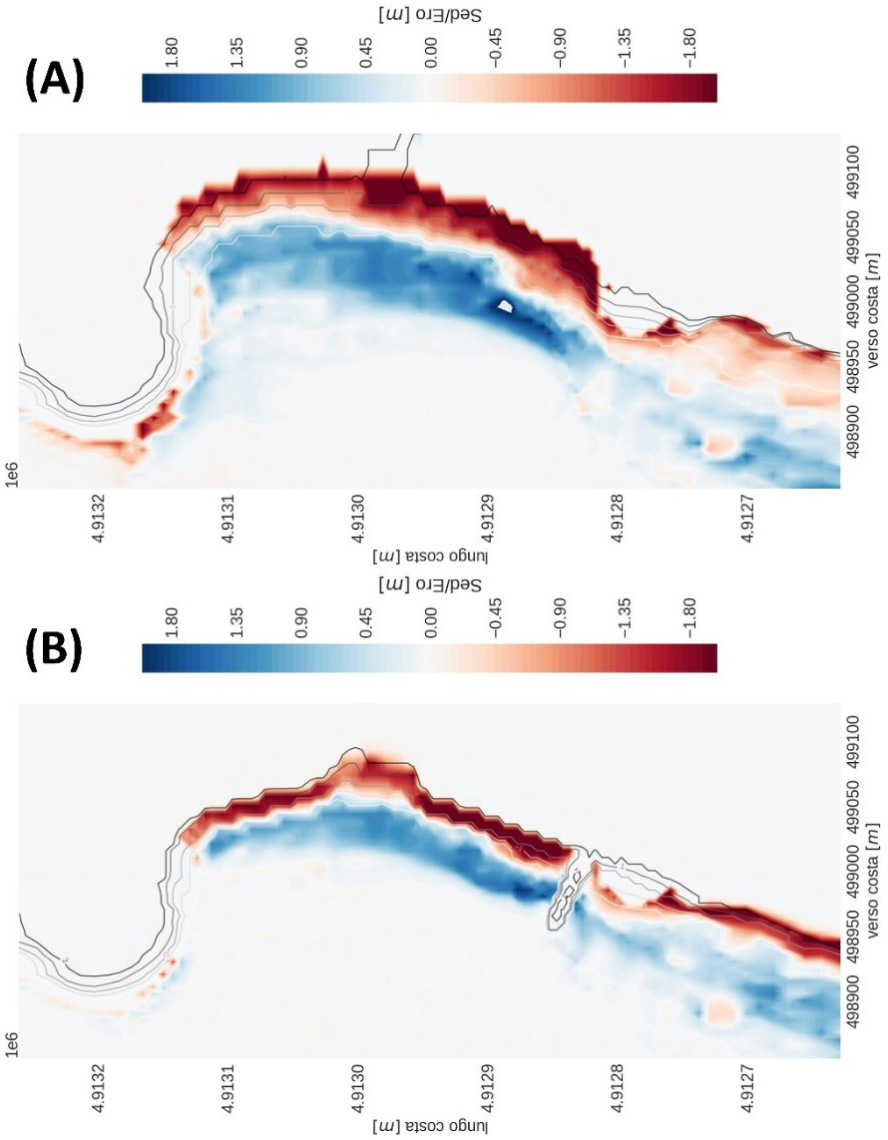


Figura 12. Risultati dell'analisi morfodinamica; pannello A): caso A23; pannello B): caso P23.

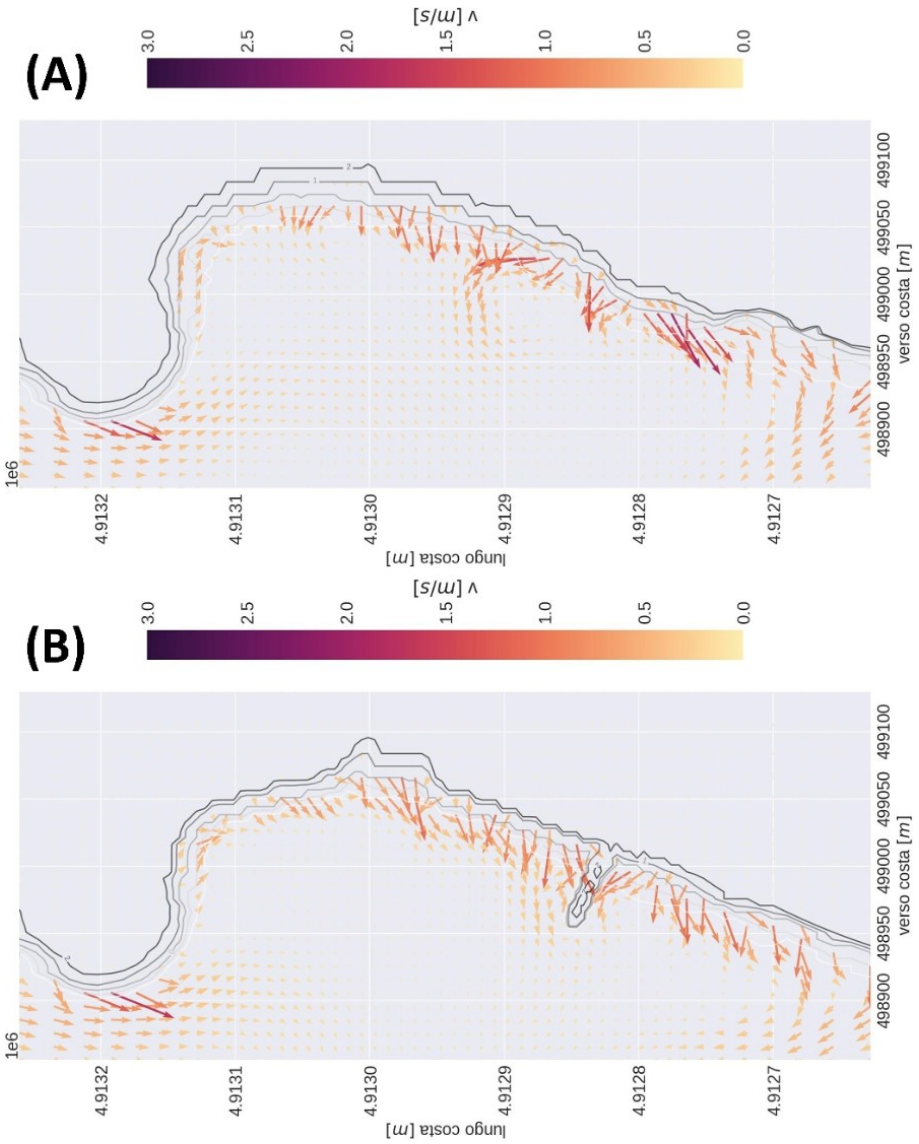


Figura 13. Correnti litoranee indotte al picco della mareggiata; pannello A): caso A23; pannello B): caso P23.

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

5.2 ANALISI SUGLI ALLAGAMENTI COSTIERI

Per l'analisi sugli allagamenti indotti dai due eventi nelle due configurazioni considerate, sono stati evidenziati i nodi estremali della griglia di calcolo che risultassero bagnati in corrispondenza del picco della mareggiata ed in prossimità della costa. Tali nodi sono visibili in Figura 14 (mareggiata del 2014) ed in Figura 15 (mareggiata del 2023); dall'analisi delle figure, si possono derivare alcune osservazioni:

1. Il pennello è in grado di prevenire l'allagamento del tratto di spiaggia su cui insiste la Società Sportiva Sturla. Tuttavia, trattandosi di una struttura perpendicolare a costa, il tratto di spiaggia che beneficia di tale protezione risulta essere estremamente circoscritto (si vedano a tal proposito i pannelli B nelle figure).

2. Nel caso di spiaggia interessata dal ripascimento, la risalita delle onde sul profilo emerso, fenomeno altresì detto Run-Up, interessa nodi posti più al largo rispetto allo stato attuale, così come emerge dal confronto tra i pannelli (A) e (B) nelle due figure. Tale risultato è ovviamente legato all'avanzamento della battigia a seguito dell'intervento di ripascimento, che, spostando in avanti la linea di riva, fa arretrare il frangente delle onde incidenti ed il conseguente fenomeno di Run-Up.

3. L'estensione dell'area allagata in corrispondenza della mareggiata del 2014 risulta essere generalmente maggiore rispetto a quella associata alla mareggiata del 2023. Tale risultato non deve sorprendere: sebbene quest'ultima presentasse maggiori altezze e periodi d'onda (cfr. Figura 9 e Figura 10), le direzioni erano orientate in modo obliquo rispetto a costa. Questo implica un maggior contributo della rifrazione indotta dalla batimetria sulla propagazione delle onde verso riva, mitigandone dunque il potenziale di inondazione rispetto alle onde occorse durante la mareggiata del 2014. Queste ultime, risultavano essere infatti perpendicolari alla linea di riva, risentendo dunque di un minor smorzamento. L'obliquità delle onde può dunque smorzare i fenomeni di allagamento amplificando al contempo i fenomeni erosivi. Ciò è dovuto al meccanismo di innesco dei fenomeni di trasporto solido, il quale dipende in modo proporzionale dall'angolo compreso tra la direzione delle creste d'onda e la direzione normale uscente dalla linea di riva[6], così come mostrato in Figura 16.

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

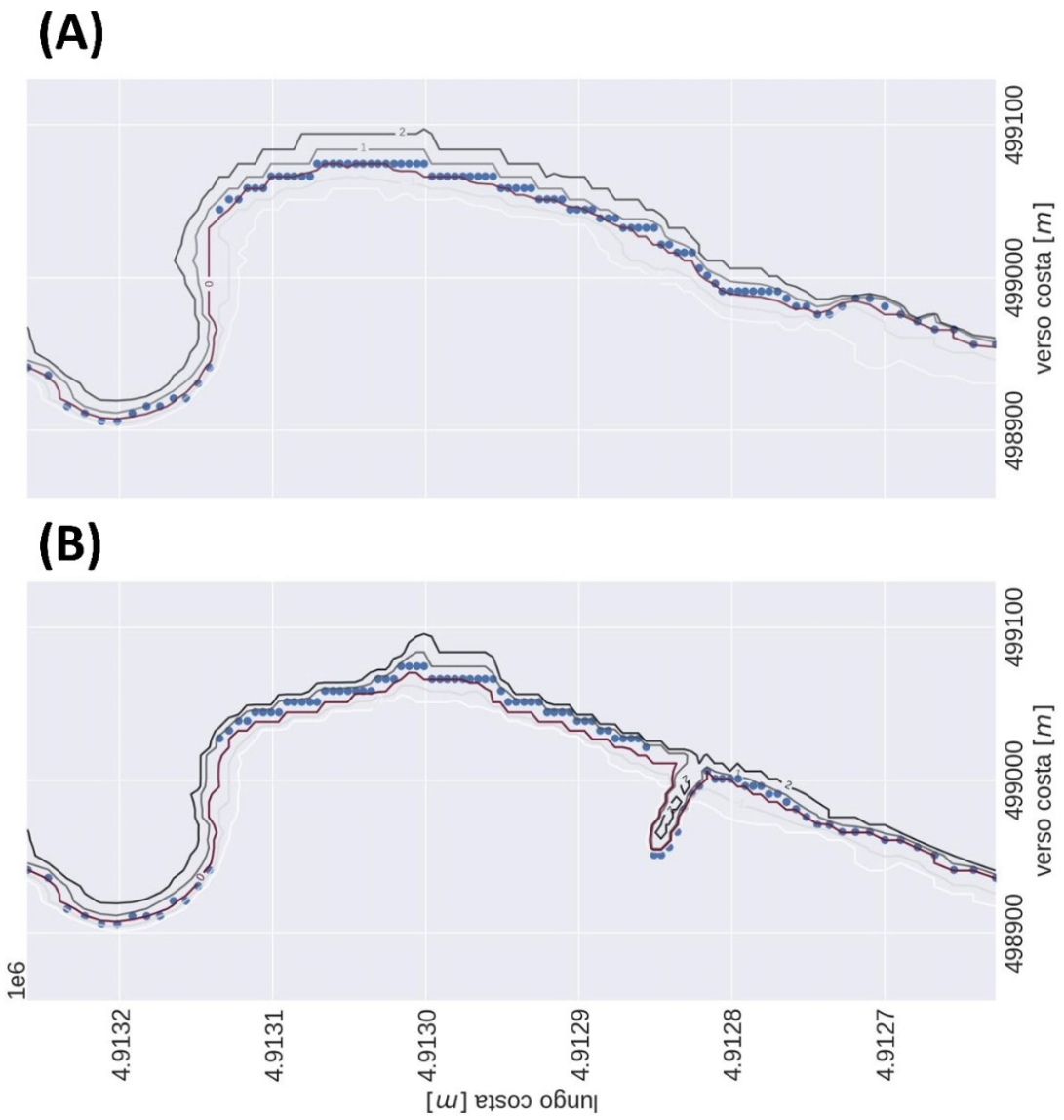


Figura 14. Nodi bagnati in corrispondenza del picco della mareggiata. Pannello A): A14; pannello B): P14.

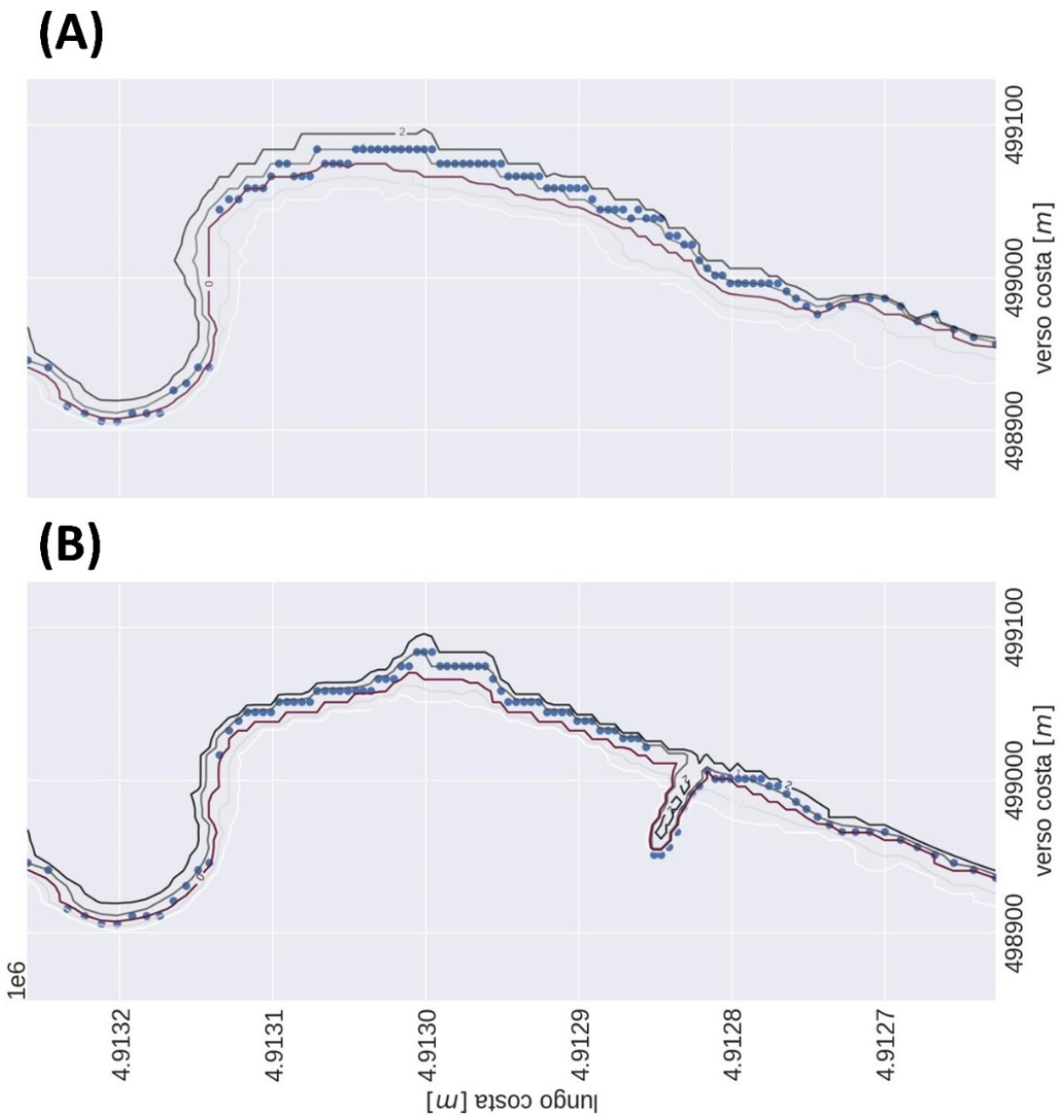


Figura 15. Nodi bagnati in corrispondenza del picco della mareggiata. Pannello A): A23; pannello B): P23.

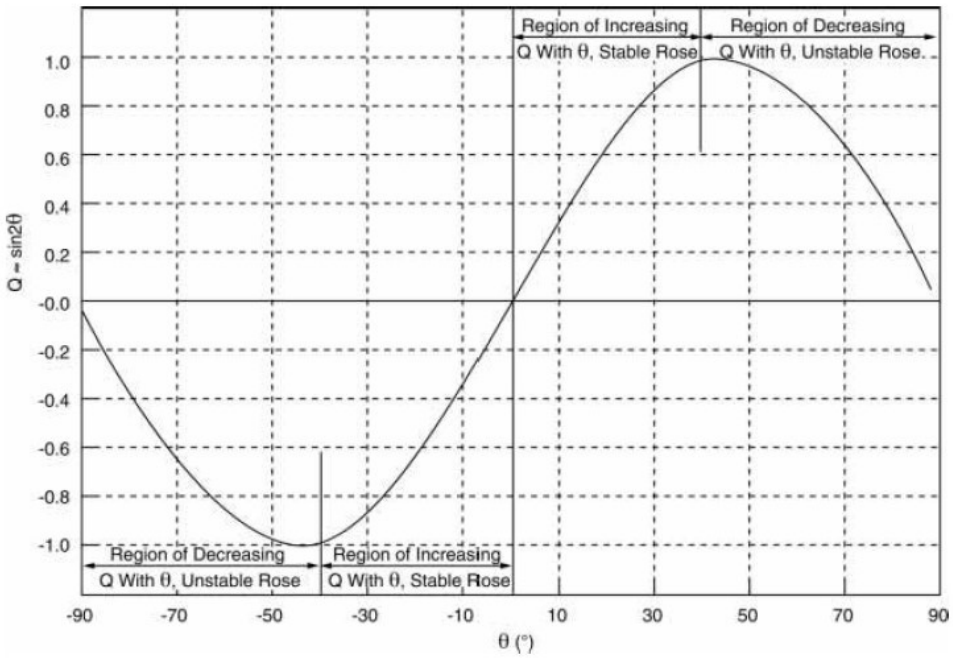


Figura 16. Trasporto solido (definito come Q) in funzione dell'angolo compreso tra la direzione delle onde e la normale uscente da riva.

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. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio ha analizzato la risposta della spiaggia di Sturla (GE) a fenomeni di allagamento ed erosione costiera, indotti dalle mareggiate che insistono nell'area. A tal fine, sono stati selezionati due eventi meteo-marini verificatisi al largo della spiaggia nel Novembre del 2014 e nel Novembre del 2023 e ricostruiti tramite simulazioni numeriche di comprovata affidabilità. La scelta di queste mareggiate ha permesso di valutare l'erosione indotta sulla spiaggia e l'estensione dell'allagamento costiero per condizioni ambientali tra loro differenti e tuttavia frequenti per l'area esaminata.

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 di spiaggia; l'altra, ottenuta considerando un ripascimento strutturale unitamente al ripristino di un pennello trasversale di assegnate dimensioni e ubicazione.

I risultati hanno permesso di evidenziare come gli interventi progettuali proposti possano mitigare il rischio di allagamento ed erosione per singoli eventi, pur rispondendo in modo diverso a seconda delle caratteristiche delle onde incidenti, quali altezza, periodo, e direzione di propagazione. Occorre tuttavia precisare come l'effetto cumulativo di eventi ripetuti e molteplici possa progressivamente asportare il materiale del ripascimento in assenza di interventi atti a mitigare l'azione delle mareggiate dal largo verso riva. A tal proposito, giova ricordare che, 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 estesi lassi temporali e dipende dalle caratteristiche di venti ed onde (i.e., eventi regnanti e dominanti), e necessita dunque uno studio dedicato.

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

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".Vedi analisi granulometriche.**

FERRI GUIDO
2024.10.17 16:20:23
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