# COMUNE DI ALASSIO

PROVINCIA DI SAVONA

**OPERE A DIFESA NATURALE DEL CENTRO URBANO PROSPICIENTE IL LITORALE PER LA SICUREZZA DELLE VITE UMANE E A SALVAGUARDIA DELLE STRUTTURE, INFRASTRUTTURE E DEI BENI PUBBLICI E PRIVATI ATTRAVERSO LA RICOSTITUZIONE DELLA SPIAGGIA EMERSA CONIUGATA CON MANUTENZIONE STAGIONALE E/O OPERE A MARE DI DIFESA E CONSERVAZIONE DEGLI ARENILI**

# PROGETTO DEFINITIVO

**Oggetto: MODELLISTICA NUMERICA**

**Argomento: VALUTAZIONE DEL PROGETTO DI RIPASCIMENTO STRUTTURALE**


REDATTO NEL MESE DI LUGLIO 2020 DA:

- Ing. Franco Ferrando
- Ing. Guido FERRI
- Ing. Paolo Gaggero
- Ing. Luca Rossi
- Dott. Geol. Eros Aiello — Geologia
- Dott.ssa Frida Occelli — Archeologia

Con la consulenza:

- Prof. Enzo Pranzini — consulenza ambientale
- Geoscape (spin off università di Genova) — modellistica e verità mare
- Prof. Giovanni Besio (università di Genova) — fornitura ed elaborazione dati meteomarini

R.U.P.
Geom. Luca Corciulo

# Sommario

**Premessa** ..... 4

**1. Il modello matematico XBeach 2DH** ..... 4

**1.1 Breve descrizione del modello matematico** ..... 4

**1.2 Propagazione del moto ondoso** ..... 5

**1.3 Valutazione numerica dell'idrodinamica costiera** ..... 7

**1.4 Valutazione numerica dell'intervento di ripascimento** ..... 11

**2. Analisi morfodinamica relativa all'ipotesi di progetto mediante modellazione 1D** ..... 14

**2.1 Settaggio e impostazioni del modello XBeach 1D** ..... 15

**2.2 Profilo P1 – Stato dell'arte e ripascimento di 40 metri cubi per metro lineare** ..... 15

**2.3 Profilo P2 – Stato dell'arte e ripascimento di 40 metri cubi per metro lineare** ..... 16

**2.4 Profilo P3 – Stato dell'arte e ripascimento di 40 metri cubi per metro lineare** ..... 17

**2.5 Profilo P4 – Stato dell'arte e ripascimento di 40 metri cubi per metro lineare** ..... 18

**2.6 Profilo P2 & P3 – Stato dell'arte e ripascimento di 60 metri cubi per metro lineare** ..... 20

**2.7 Valutazione e analisi dell'esposizione da inondazione marine in relazione al progetto di ripascimento** ..... 23

**2.7.1 Profili P2** ..... 24

**2.7.2 Profilo P3** ..... 26

**2.8 Sintesi dei risultati ottenuti** ..... 29

**3.Monitoraggio** ..... 33

**3.1 Estensione temporale del monitoraggio** ..... 33

**3.2 Rilievi plano-altimetrici** ..... 33

**3.2.1 Rilievo della linea di riva** ..... 33

**3.2.2 Elementi a corredo dei rilievi planoaltimetrici** ..... 33

**3.3 Rilievi batimetrici** ..... 34

**3.4 Monitoraggio sedimentologico** ..... 34

**3.4.1 Campionamento** ..... 34

**3.4.2 Analisi granulometriche** ..... 34

**3.5 Restituzione dei dati** ..... 35

Premessa

Il Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (RTP), costituito da: Ing. Ferrando, Ing. Ferri, Ing. Gaggero, Ing. Rossi, Dott. Occelli, Dott. Aiello, ha dato incarico a Geoscape Soc. Coop. di fornire il servizio di valutazione del progetto di ripascimento strutturale della spiaggia di Alassio (SV) mediante implementazione di modellistica numerica su diversi scenari.

## 1. Il modello matematico XBeach 2DH

### 1.1 Breve descrizione del modello matematico

XBeach (eXtreme Beach) è un modello numerico 2DH open-source per la simulazione dell'idro-morfodinamica costiera, distribuito da Deltares (www.deltares.nl), ed ampiamente apprezzato dalla comunità tecno-scientifica internazionale (Roelvink et al., 2009, Bolle et al., 2011, Mucerino et al., 2019). Il modello risolve coppie di equazioni sul piano orizzontale, relative a propagazione delle onde, correnti, trasporto sedimentario, variazioni del fondale, variazioni spettrali delle onde e correnti al contorno (Roelvink et al., 2015). Per quanto riguarda la simulazione dei processi idrodinamici, XBeach possiede tre differenti opzioni: i) Stationary wave model: utile, ad esempio, per simulare i processi morfodinamici in condizioni di relativa bassa energia; ii) Surfbeat mode: indicato quando l'attenzione è portata sui fenomeni idro-morfodinamici nearshore (es. correnti costiere, zona di swash); iii) Non-hydrostatic mode: particolarmente indicato nel caso di spiagge caratterizzate da un'accentuata acclività, come ad esempio le spiagge ghiaiose. Questa breve descrizione al modello è da intendersi come una introduzione allo strumento utilizzato, per ogni ulteriore informazione tecnica di dettaglio si rimanda alla consultazione del manuale tecnico stilato da Roelvink et al. (2015). Per quanto concerne l'implementazione del modello sull'area in esame, è stata costruita una griglia computazionale a risoluzione variabile, da 10 m offshore a 5 m nell'area della spiaggia, in modo

da ottenere un'elevata risoluzione senza compromettere le performance computazionali. Per quanto riguarda i parametri sedimentologici, è stato utilizzato il valore di D50 fornito dalla committenza (0.2 mm); mentre i parametri d'onda utilizzati per le diverse simulazioni sono quelli forniti Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova. La topografia della spiaggia emersa, così come la batimetria sino alla profondità di 25 m circa, sono state fornite dal committente, mentre, il dato LiDAR (parte emersa ad esclusione della spiaggia) e il dato batimetrico offshore, sono stati forniti dalla regione Liguria. Tutti i dati topo-batimetrici sono stati fusi in un DEM (digital elevation model), sul quale è stata successivamente interpolata la griglia computazionale, al fine di ottenere le matrici di calcolo. In relazione alle caratteristiche dell'area in esame, ed agli obiettivi ricercati, XBeach è stato impostato in modalità "Surfbeat".

### 1.2 Propagazione del moto ondoso

La propagazione del moto ondoso lungo il litorale di Alassio è stata simulata mediante l'implementazione di una griglia di calcolo a risoluzione variabile; da 10 metri (offshore) a 5 metri (nell'area della spiaggia) e considerando un dominio computazionale che comprenda per intero l'area oggetto di intervento. Il margine offshore del dominio è stato posizionato in prossimità della batimetrica della -55, poiché a questa profondità si attesta il punto di estrazione per i dati meteo-marini forniti dell'Università di Genova (DICCA). Sulla base dei dati meteo-marini forniti, è stata modellizzata la propagazione del moto ondoso per le componenti di Scirocco e Libeccio,le quali rappresentano storicamente le principali direttrici di provenienza del moto ondo per il Mar Ligure. Vengono di seguito riportati (in forma grafica) e commentati i risultati ottenuti.

In Figura 1.1 è riportato un output di XBeach dove è illustrata la propagazione delle onde di Scirocco lungo il litorale di Alassio. Come si evince chiaramente dall'immagine, in virtù dell'esposizione del litorale alassino, le mareggiate di Scirocco sono quelle che maggiormente impattano sulla costa. Questo appare evidente sia osservando la direzione delle frecce indicanti l'angolo di provenienza (sostanzialmente ortogonali alla costa), sia osservando la disposizione parallela alla costa dei fronti d'onda stessi. Diversamente, in Figura 2, viene riportato un output esplicativo per la propagazione del moto ondoso con direttrice di Libeccio. La direzione media del moto ondoso al punto di estrazione (batimetrica della -55) è pari a 195 °N. Già da questo

dato si evince come il litorale alassino risulta essere parzialmente protetto dal Libeccio. Questa protezione è data dalla presenza del Promontorio di Capo Mele a sud ovest, posizionato tra il comune di Laigueglia (SV) e Marina di Andora (SV). Ovviamente, anche l'orientazione stessa della costa conferisce un'esposizione minore alle direttrici sud-occidentali. Come si evidenzia osservando le frecce riportate in Figura 1.2, la direzione di provenienza del moto ondoso risulta "sub-parallela" alla costa, evidenziando una evidente minor esposizione di quest'ultima. In particolare, Il tratto di costa sud-occidentale, posto tra la Torre Saracena e il terrapieno denominato La Scogliera, appare risentire particolarmente del ridosso offerto dal Promontorio di Capo Mele. All'estremità nord-orientale, in prossimità di Capo Santa Croce, la costa è relativamente più esposta. Tuttavia, pur considerando un'onda allargo con tempo di ritorno cinquantennale (Hs = 3.7 m), è evidente come questa arrivi sul litorale alquanto smorzata.

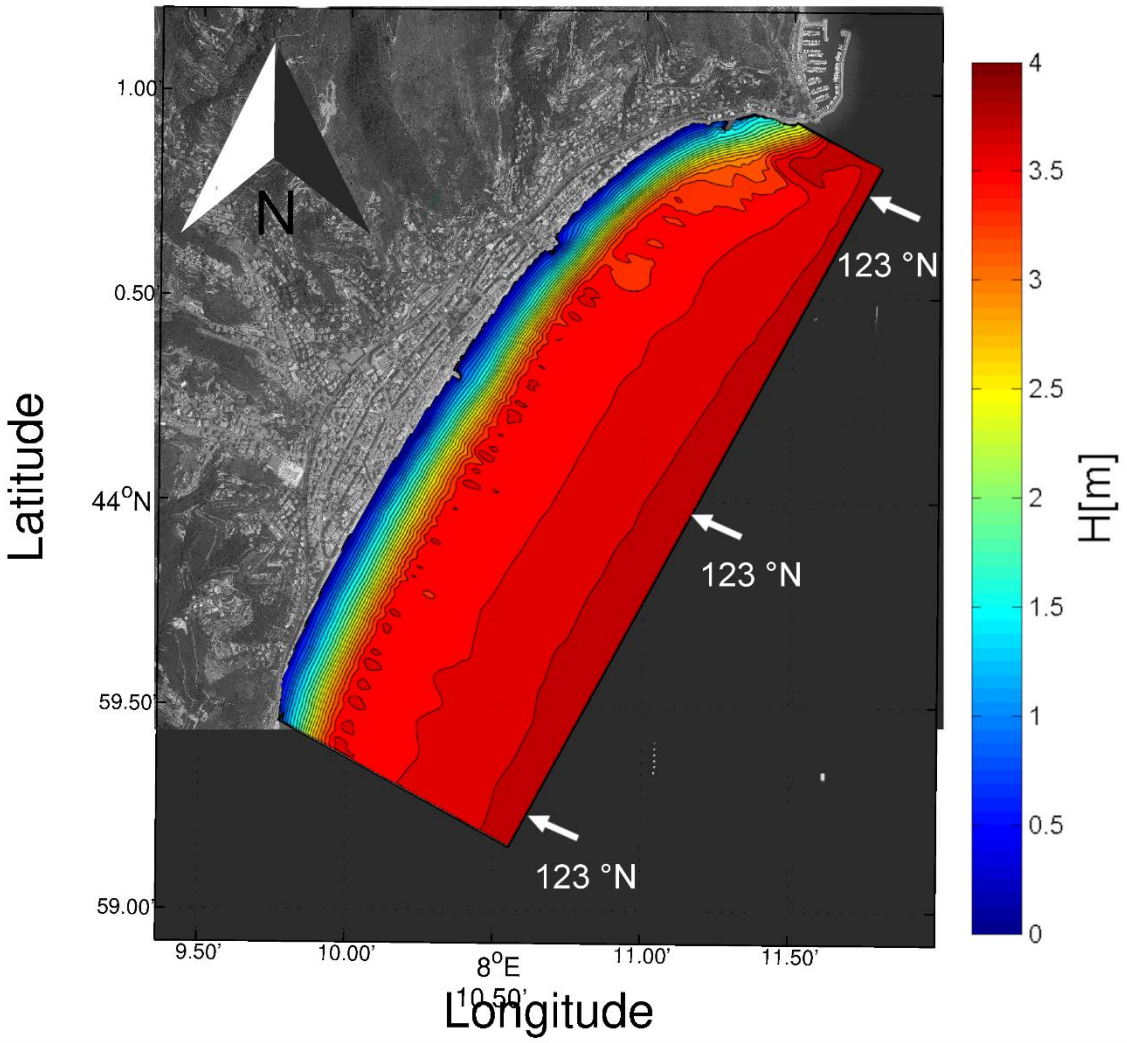



*Figura 1-0-1. Propagazione del moto ondoso proveniente da Scirocco (SE).*

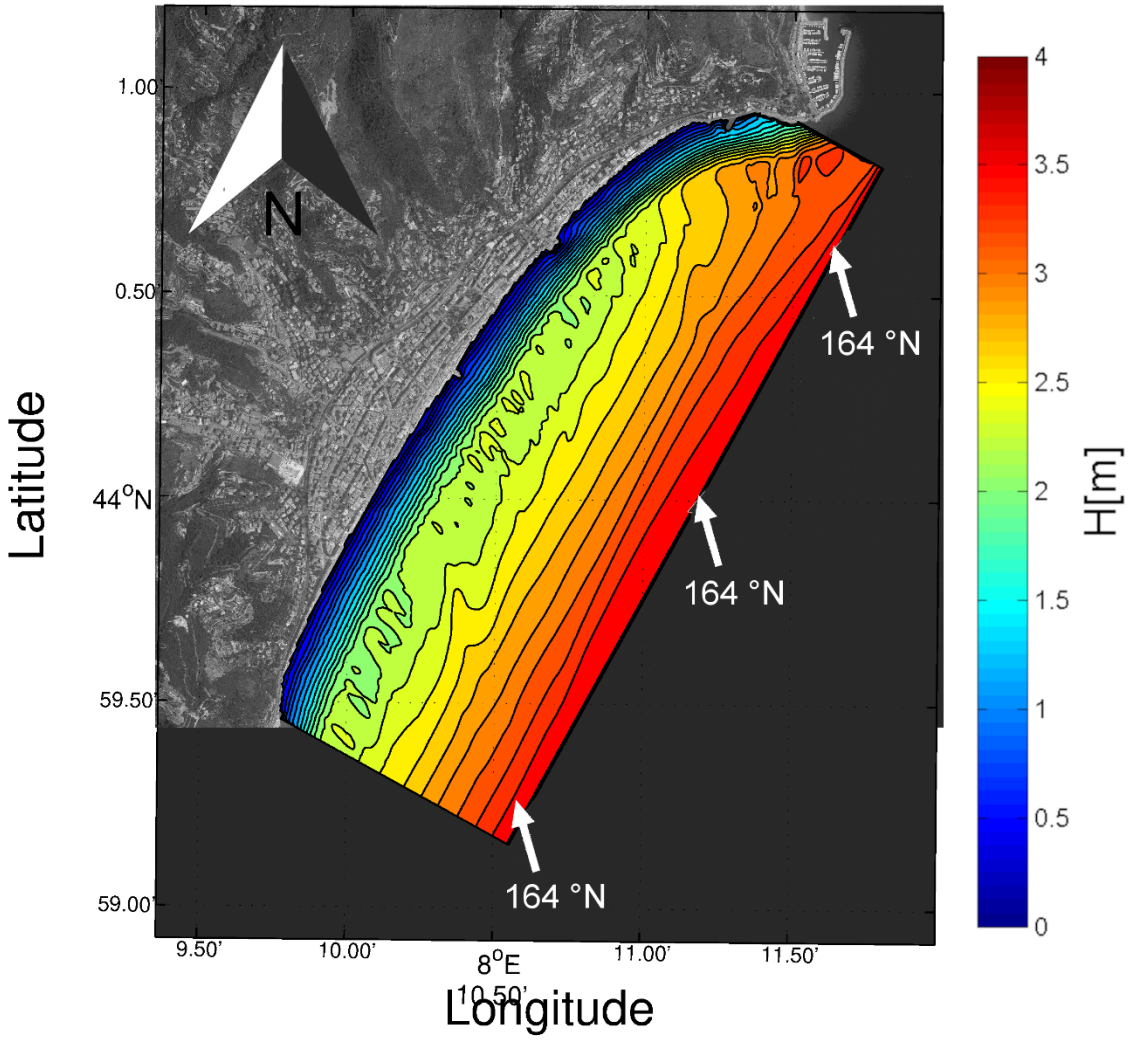



*Figura 1-0-2. Propagazione del moto ondoso proveniente da Libeccio (SO)*

In conclusione, i risultati mostrano e confermano come il litorale di Alassio, in virtù della sua orientazione, sia particolarmente esposto alle mareggiate di Scirocco, le quali si abbattono in direzione sostanzialmente ortogonale alla costa. Si tratta di un dato di primaria importanza, di cui tenere debitamente conto in ottica di pianificazione e progettazione costiera. Tuttavia, al fine di una corretta visione di insieme, ed in ottica di un'oculata pianificazione costiera, occorre non trascurare completamente il Libeccio, in particolare per quanto riguarda il tratto nord-orientale del litorale alassino.

### 1.3 Valutazione numerica dell'idrodinamica costiera

In ottica di pianificazione dell'intervento di ripascimento, è stata eseguita una valutazione dell'idrodinamica costiera. Anche in questo caso è stata implementata una griglia computazionale a

risoluzione variabile (10 m offshore – 5 m in spiaggia). Il modello è stato impostato in modalità "surf-beat (instationary)". Questa modalità risolve il modello di onde HISWA (Holthuijsen et al., 1989), il quale include le "nonlinear shallow water equations" per la risoluzione delle correnti costiere indotte dal moto ondoso (es. longshore current, rip currents) (Roelvink et al. 2015). L'obiettivo è stato quello di stabilire le principali direttrici del trasporto costiero, in relazione alla direzione di provenienza del moto ondoso (Scirocco e Libeccio). Vengono quindi di seguito mostrati (Figure 1.3, 1.4, 1.5, 1.6) e descritti i risultati delle simulazioni numeriche. In Figura 1.3 e 1.4 si illustrano le direttrici del trasporto in caso di forzante ondosa proveniente da Scirocco; rispettivamente per i settori nord-est (Figura 1.3) e sud-ovest (Figura 1.4) della spiaggia di Alassio. Come evidenziano chiaramente i vettori riportati nelle Figure, il trasporto litoraneo appare chiaramente disposto in direzione cross-shore, mentre la componente longshore appare alquanto trascurabile. La dinamica cross-shore è spiegabile anche considerando l'angolo di incidenza del moto ondoso che, come descritto in precedenza (sezione 1), per lo Scirocco risulta essere sostanzialmente ortogonale alla costa.

Risultati differenti si osservano in caso di moto ondoso proveniente da Libeccio. In Figura 1.5 e 1.6 si evidenzia come, in questo caso, la componente di trasporto cross-shore sia al quanto ridotta (se non trascurabile), mentre appare marcata la componente di trasporto longshore. In dettaglio, con moto ondoso proveniente dalle direttrici sud-occidentali, le simulazioni modellistiche mostrano l'instaurarsi di un trasporto longshore in direzione sudovest-nordest (Figure 1.5 e 1.6).

In conclusione, i risultati mostrano come il trasporto cross-shore sia predominante con moto ondoso di Scirocco; mentre il trasporto longshore sia predominante con il Libeccio.

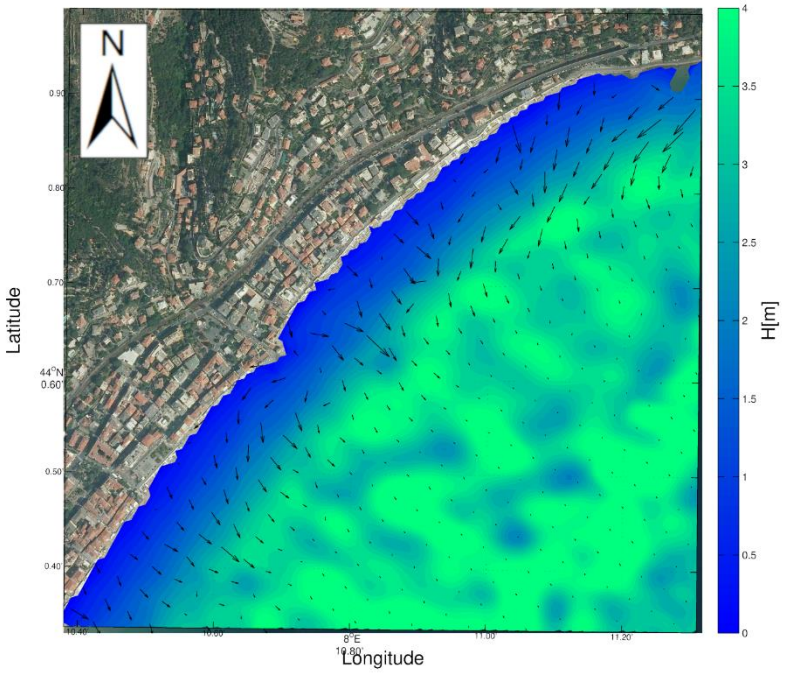



*Figura 1-0-3. Vettori del trasporto litoraneo nel caso di moto ondoso proveniente da Scirocco - settore nord-orientale della spiaggia di Alassio (SV).*

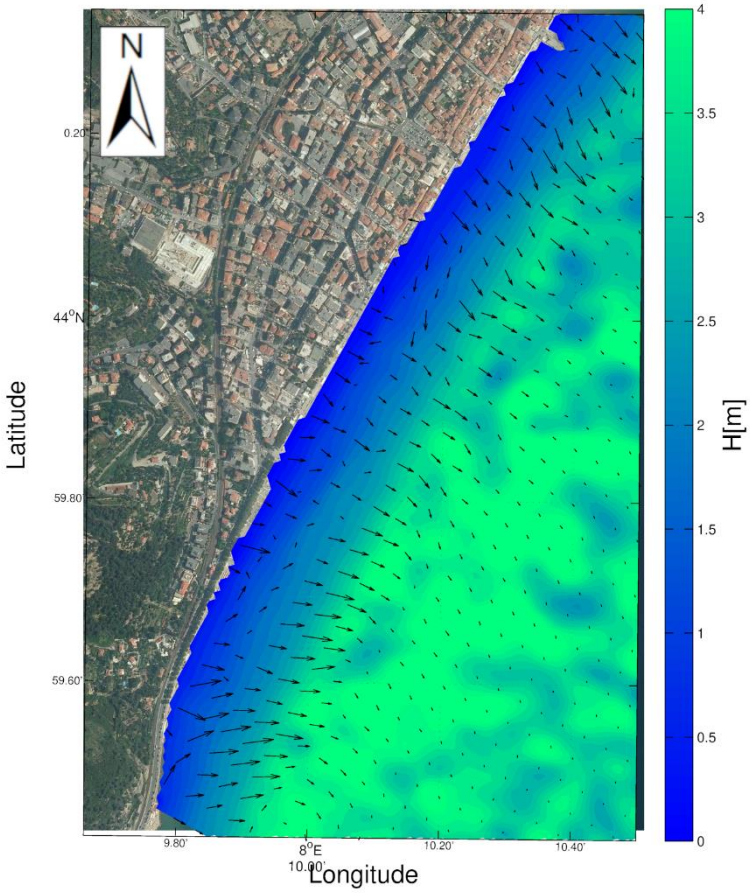



*Figura 1-0-4. Vettori del trasporto litoraneo nel caso di moto ondoso proveniente da Scirocco - settore sud-occidentale della spiaggia di Alassio (SV).*

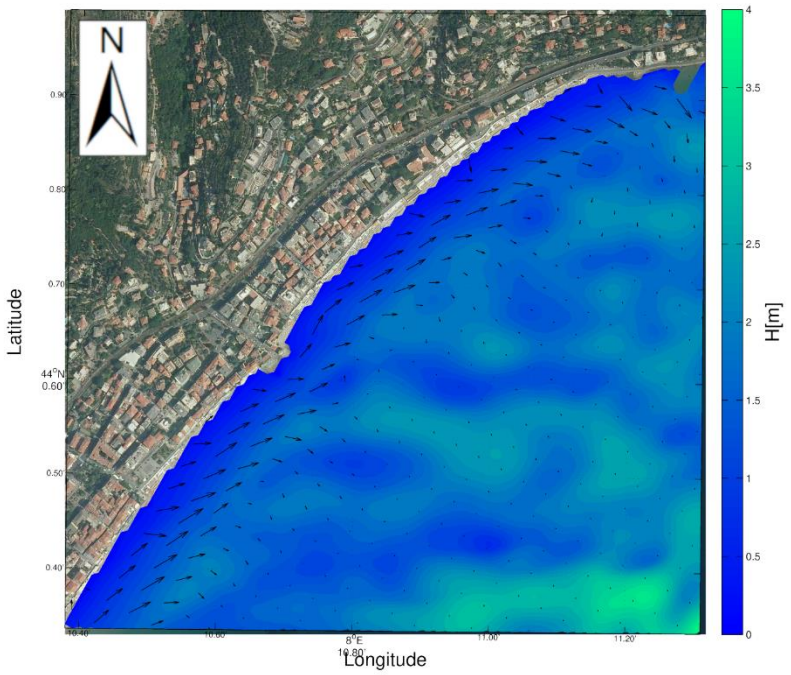



*Figura 1-0-5. Vettori del trasporto litoraneo nel caso di moto ondoso proveniente da Libeccio - settore nord-orientale della spiaggia di Alassio (SV).*

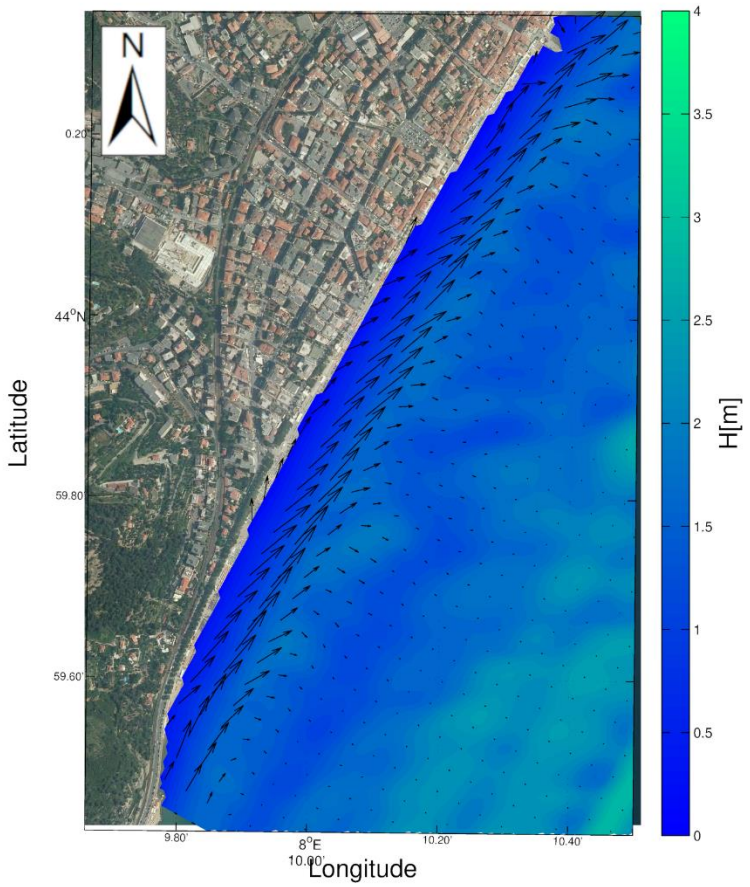



*Figura 1-0-6. Vettori del trasporto litoraneo nel caso di moto ondoso proveniente da Libeccio - settore sud-occidentale della spiaggia di Alassio (SV).*

### 1.4 Valutazione numerica dell'intervento di ripascimento

Nel contesto degli interventi per la difesa della costa compresa tra il pennello in località ex-Adelasia ed il Terra-Pieno denominato la scogliera, si riportano di seguito, come richiesto dalla committenza, i risultati della simulazione numerica di un intervento di ripascimento con entità di 40 $m^3$ × metro lineare. Come da indicazione della committenza, la posa del materiale è stata disposta in maniera uniforme sul tratto di costa interessato dal progetto di intervento. Anche in questo caso, come già descritto nelle sezioni precedenti, è stato implementato XBeach 2DH utilizzando una griglia di calcolo a risoluzione variabile (10 m offshore – 5 m in spiaggia), al fine di ottenere una migliore risoluzione nell'area del ripascimento. Una volta disposta la posa del materiale, si è proceduto con le simulazioni modellistiche. Come forzante ondosa sono stati utilizzati i dati meteo-marini forniti dal DICCA. Una volta settato il modello, si è proceduto a forzare il clima ondoso, sino al raggiungimento di una situazione di apparente equilibrio, caratterizzata da limitati processi di erosione e/o accumulo. In Figura 1.7 e 1.8 sono riportati i risultati ottenuti. La linea di riva risulta in avanzamento, sino a valori massimi di circa 15 metri. L'avanzamento sembra essere più marcato nel settore nord-orientale, compreso tra la Torre Saracena e Capo Santa Croce (Figura 1.7); mentre lungo il settore centrale l'avanzamento sembra più contenuto, nell'ordine dei 10 – 15 metri, con alcuni tratti dove la linea di riva della spiaggia ripasciuta ricalca lo stato dell'arte. Questo aspetto potrebbe essere spiegato, almeno in parte, con le dinamiche di trasporto litoraneo sudovest-nordest indotte dal Libeccio. Tuttavia, in virtù dell'esposizione della costa, sono le direttrici di Scirocco ed i fenomeni di trasporto cross-shore associati, quelle che maggiormente incidono sull'evoluzione della linea di riva.

Un doveroso commento va riservato all'entità dell'avanzamento della linea di riva in relazione alla risoluzione della griglia di calcolo impiegata. Va infatti ricordato che, per la simulazione 2DH, è stata impiegata una griglia con risoluzione massima di 5 m, il che, considerando la modellizzazione di un tratto di costa di oltre 3 km rappresenta un livello di risoluzione elevata, ma che potrebbe indurre un certo grado di sovrastima e/o sottostima. Tuttavia, anche considerando la peggiore delle ipotesi, ovvero una sovrastima di 5 metri, la linea di riva mostrerebbe comunque un avanzamento generale compreso tra i 5 ed i 10 metri circa. In virtù di questa potenziale incertezza sull'asse cross-shore sono stati fatti ulteriori test utilizzando il modello matematico XBeach 1D su settori individuati di concerto con la committenza.




*Figura 1-0-7. Linea di riva allo stato dell'arte e post-ripascimento, settore nord-orientale.*




*Figura 1-0-8. Linea di riva allo stato dell'arte e post-ripascimento, settore sud-occidentale.*

## 2. Analisi morfodinamica relativa all'ipotesi di progetto mediante modellazione 1D

In questa sezione, in aggiunta ai test effettuati con il modello 2DH, è stata valutata l'evoluzione morfodinamica dei principali profili di spiaggia, come richiesto dal committente.

Il modello impiegato è stato XBeach 1D, in grado di simulare l'idrodinamica e la morfodinamica lungo una determinata sezione. Per queste simulazioni sono stati utilizzati i settaggi già impiegati per il modello XBeach 2DH descritto in precedenza. Questa parte di lavoro ha previsto la modellazione del ripascimento versato e la risposta morfologica ad un determinato stato di mare; inoltre, per meglio valutare l'efficienza del ripascimento è stato applicato lo stesso moto ondoso per lo stato dell'arte, fornito dal committente.

Nella Figura 2.1 viene riportata la carta che identifica la posizione dei profili presi in esame: il profilo P1 nell'estremo levante, P2 a levante del pontile, P3 a ponente del pontile e P4 nell'estremo ponente. La scelta dei profili è funzione delle maggior criticità a cui sono sottoposti questi settori di spiaggia.

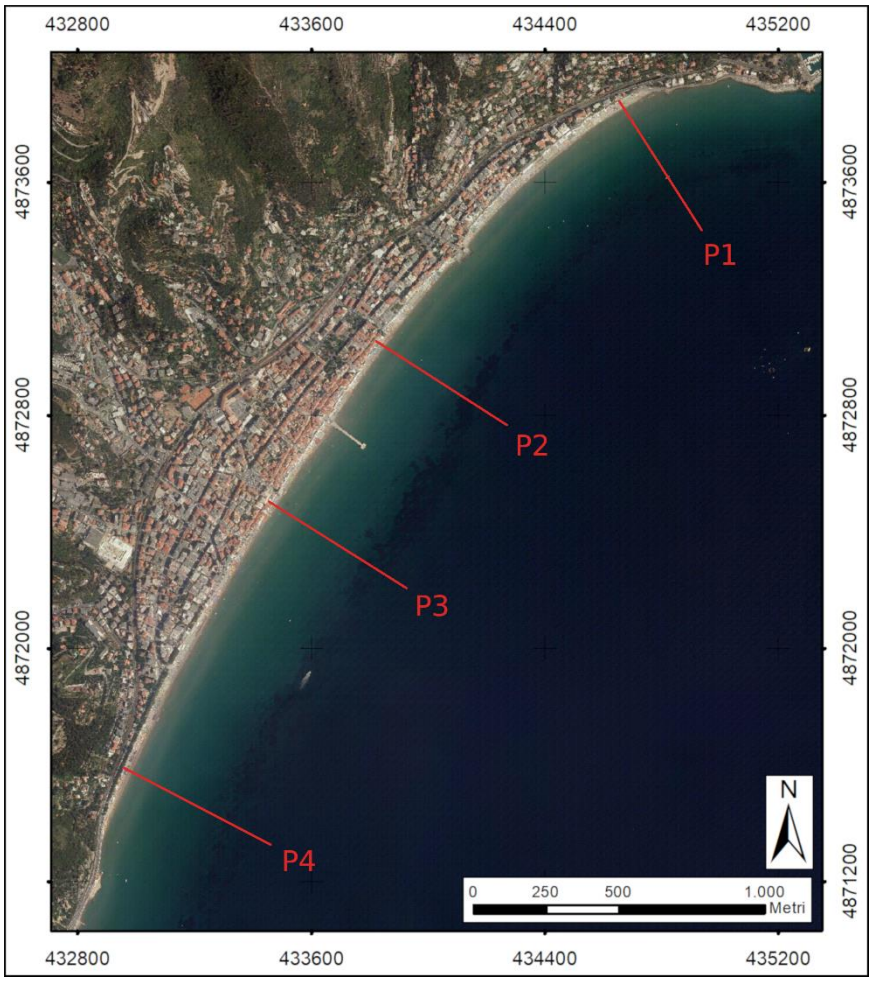



*Figura 2.1 Profili utilizzati per la modellazione 1D*

### 2.1 Settaggio e impostazioni del modello XBeach 1D

Per queste simulazioni, è stata utilizzata, per ogni profilo, una griglia a risoluzione variabile, da 10 metri allargo fino a 0,2 metri lungo la spiaggia emersa, partendoda una profondità media di circa 40 metri fino al retrospiaggia, Sia per lo stato dell'arte che per lo scenario di ripascimento la granulometria adottata è pari a 0,2 mm, ritenuta, dalla committenza, come tessitura rappresentativa di questo tratto di costa. Le simulazioni di ripascimento hanno previsto un versamento di materiale per 40 mc per tutti e quattro i profili e supplementari simulazioni con un versamento di 60 mc per i profili 2 e 3. Per il moto ondoso utilizzato, sono state fatte opportune valutazioni sui dati forniti dalla committenza ed è stato individuato uno stato di mare molto mosso con altezza d'onda significativa di 3,5 metri ed una stato di mare poco mosso pari ad 1 metro di altezza d'onda significativa; il primo necessario alla distribuzione del volume di spiaggia versato lungo il profilo, il secondo per rimodellare il profilo di tempesta venutosi a costituire dopo la simulazione della mareggiata; i tempi di simulazione sono stati di 15 ore di mare molto mosso e 88 ore di mare poco mosso provenienti entrambi da SE.

### 2.2 Profilo P1 – Stato dell'arte e ripascimento di 40 metri cubi per metro lineare

Il profilo P1 è situato nell'estremo levante della spiaggia di Alassio a poco distante dal pennello di recente costruzione; questo si presenta con una morfologia lineare, uno spessore di spiaggia di circa 20 metri e raggiunge la profondità di 3 metri a circa 100 metri dalla costa. Le simulazioni per lo stato dell'arte (Figura 2.2) hanno portato alla luce un arretramento della linea di riva di circa 7 metri ed un discreto accumulo di materiale fino alla -0.8 metri. Utilizzando lo stesso settaggio, per la distribuzione dei sedimenti alieni (Figura 2.3) è stato constatato una distribuzione del volume fino alla profondità di 2.7 metri con un sollevamento della quota di circa 0.7 metri ed un avanzamento di spiaggia di circa 16 metri. In riferimento alle Figure indicate, in grigio viene riportato il profilo di tempesta e in verde il nuovo profilo post ripascimento; nella figura 2.3, viene riportato in rosso la posa del ripascimento di 40mc per metro lineare.

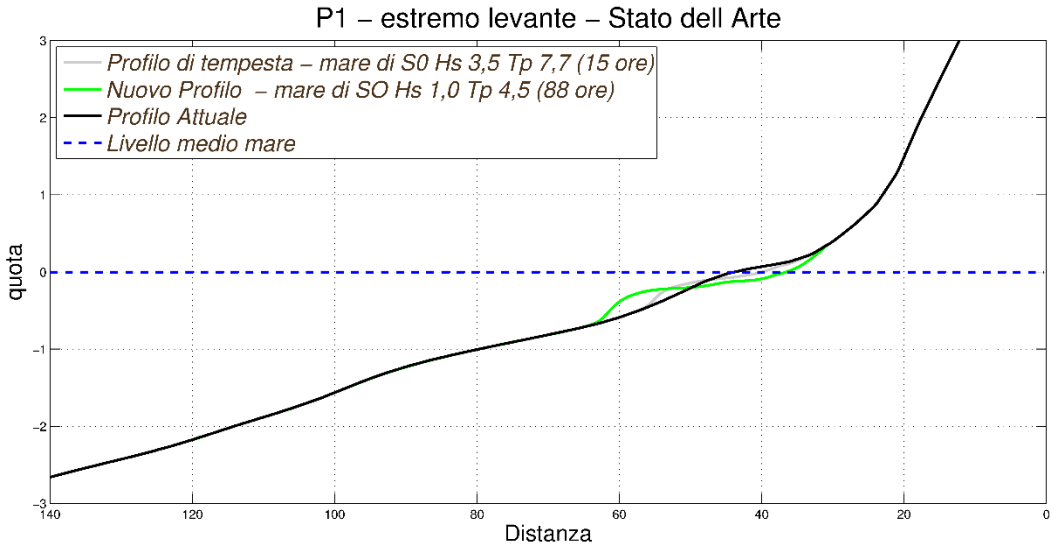



*Figura 2.2 Simulazione effettuate sullo stato dell'Arte*

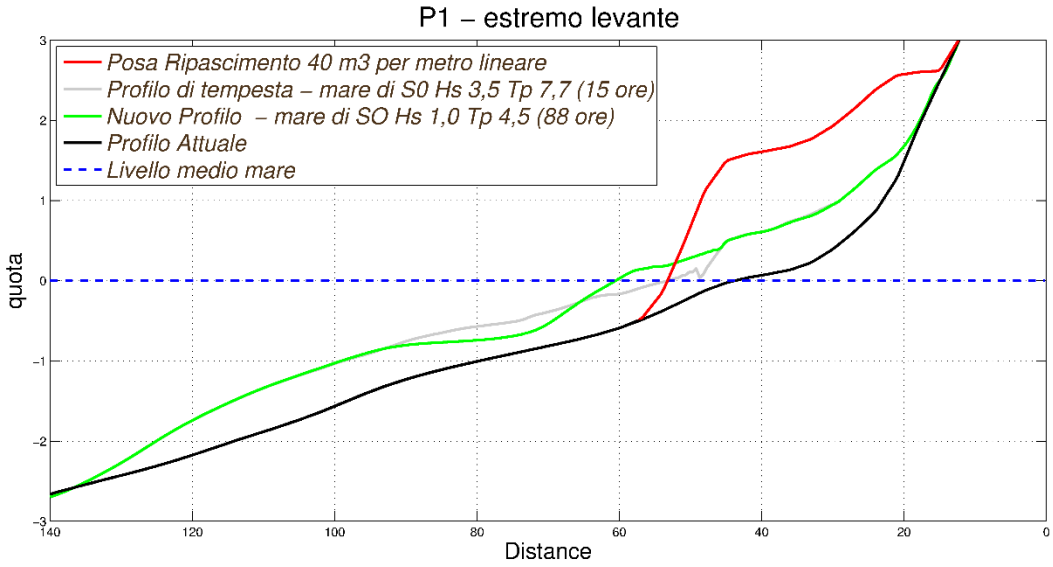



*Figura 2.3 Simulazioni effettuate per lo scenario di ripascimento*

### 2.3 Profilo P2 – Stato dell'arte e ripascimento di 40 metri cubi per metro lineare

Questa sezione di spiaggia è collocata a circa 200 metri a levante dal pontile posto lungo la spiaggia di Alassio. Anche questo profilo non presenta morfologie particolari e raggiunge profondità di 3 metri a circa 100 metri dalla linea di costa. Le simulazioni hanno evidenziato un'erosione di circa 10 metri in risposta dell'agitazioni ondose sopra descritte ed un accumulo di materiale fino alla profondità di 0.7 metri a circa 20 metri dallo zero topografico. La modellazione del ripascimento ha mostrato un avanzamento di circa 14 metri e un trasporto di materiale fino alla profondità di 2.7;

per questo profilo si evidenzia una maggior distribuzione di materiale nella zona emersa rispetto a quella sommersa.

Anche per queste immagini l'applicazione dei colori è quella utilizzata per il profilo P1.

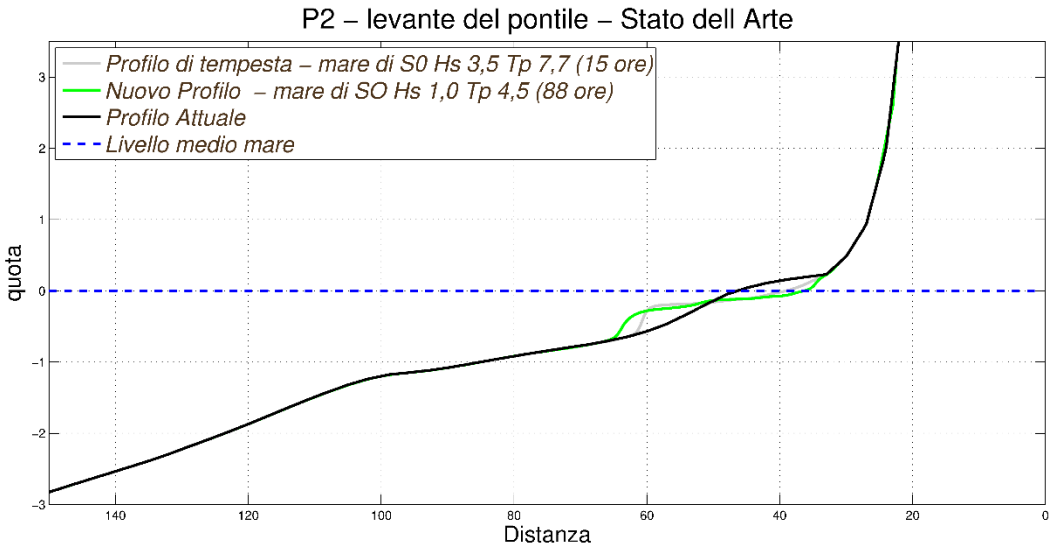



*Figura 2.4 Simulazione effettuate sullo stato dell'Arte*

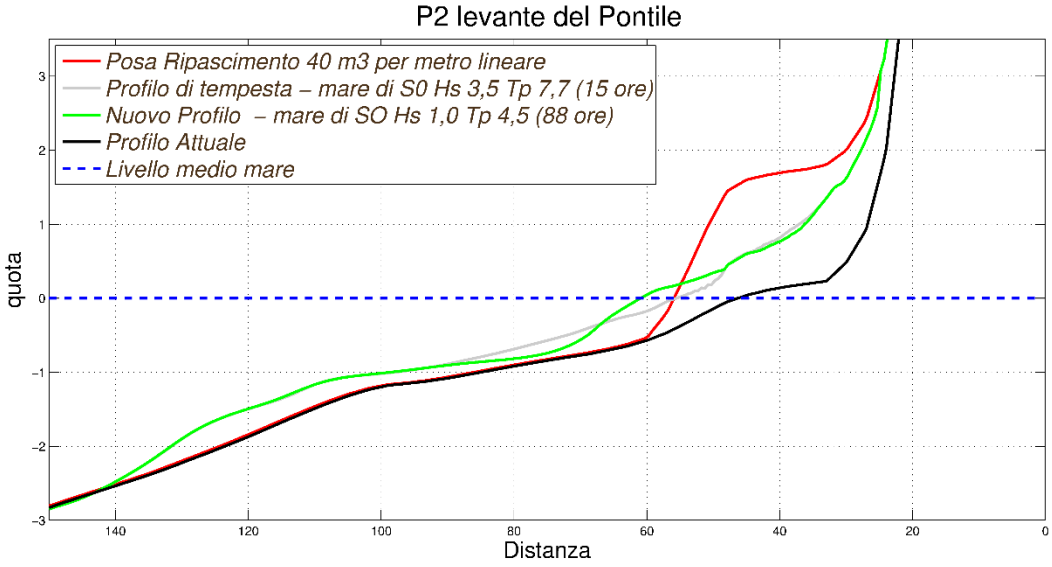



*Figura 2.5 Simulazione del ripascimento*

### 2.4 Profilo P3 – Stato dell'arte e ripascimento di 40 metri cubi per metro lineare

Questo profilo è situato a ponente del pontile e, anche esso, è costituito da una morfologia lineare raggiungendo, come i profili descritti in precedenza, i 3 metri di profondità a circa 100 metri dalla costa. Seppur meno marcato, le simulazioni hanno prodotto un arretramento della linea di riva di circa 6 metri ed un accumulo di materiale fino alla profondità di 0.5 metri. Le stesse simulazioni

applicate al ripascimento hanno prodotto una progradazione di circa 10 metri della linea di riva e un discreto accumulo fino alla profondità di 2.6 metri; inoltre la spiaggia ha ottenuto un sollevamento medio dalla quota di spiaggia di circa 0.5 metri e, a differenza dei profili analizzati fin ora, si evidenza un lieve processo erosivo a profondità maggiori.

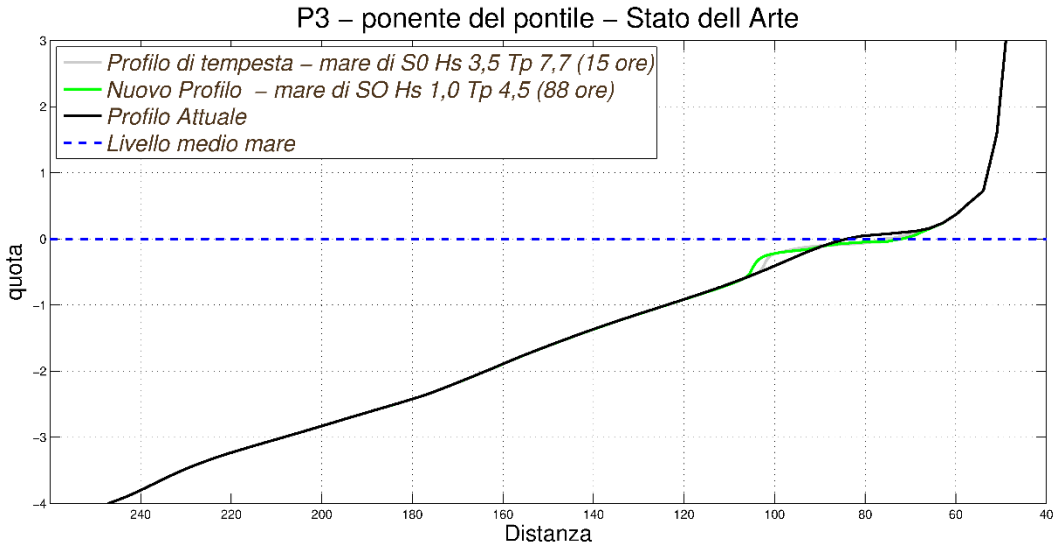



*Figura 2.6 simulazione stato dell'arte*

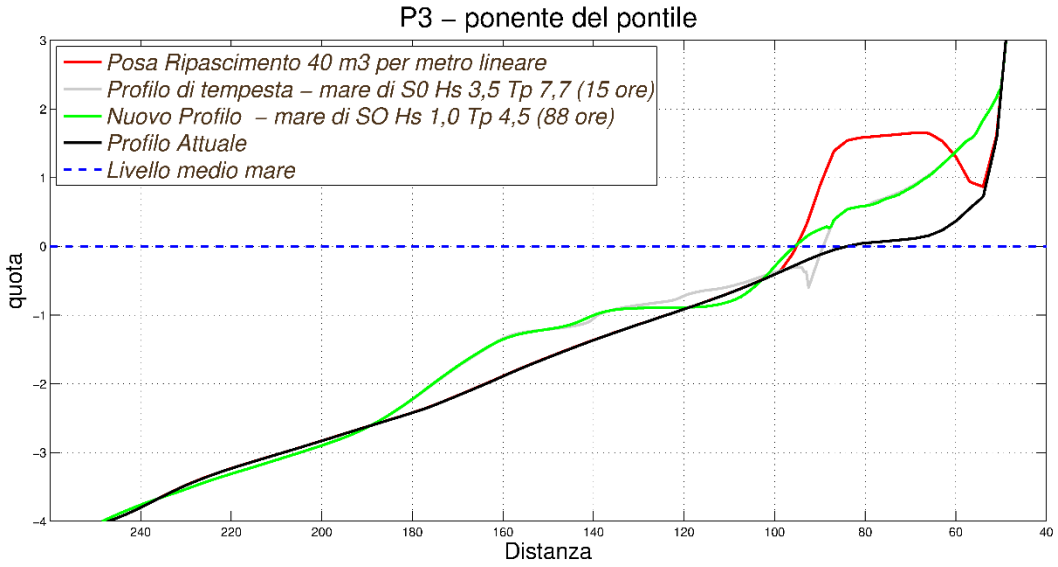



*Figura 2.7 Simulazione ripascimento*

## 2.5 Profilo P4 – Stato dell'arte e ripascimento di 40 metri cubi per metro lineare

Questo profilo mostra un'acclività più dolce, in quanto raggiunge la profondità di 2,5 metri a 100 metri dalla linea di costa e come per i casi precedenti, non mostra alcuna morfologia degna di nota. Anche in questo caso l'attacco dei marosi produce un'erosione che arretra la linea di riva fino a 7 metri ed un accumulo fino alla 0.7 metri. In riferimento alle simulazioni per la distribuzione del

ripascimento, i risultati sono analoghi al profilo P1, con una distribuzione uniforme del materiale versato fino alla profondità di 2.7 metri, anche se la linea di riva mostra una progradazione maggiore di 4 metri.

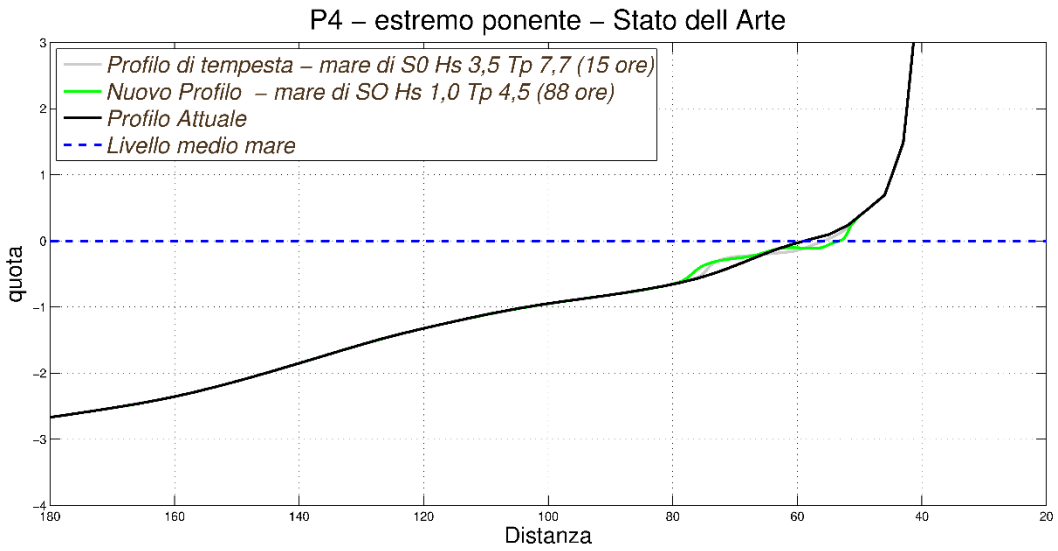



*Figura 2.8 Simulazioni per lo stato dell'arte*

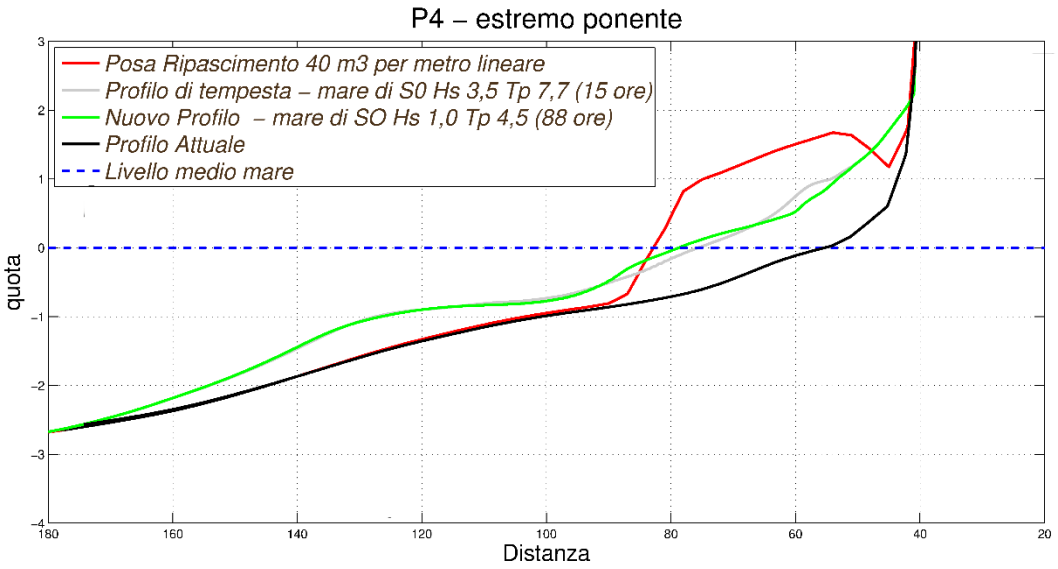



*Figura 2.9 Simulazioni per il ripascimento*

### 2.6 Profilo P2 & P3 – Stato dell'arte e ripascimento di 60 metri cubi per metro lineare

Sulla base dei risultati ottenuti, risulta evidente che P2 e P3 hanno mostrato un avanzamento minore rispetto a P3 e P4; questo ha posto la necessità di effettuare ulteriori test, ipotizzando un versamento di 60 mc per metro lineare per i profili situati al centro della baia di Alassio. Prima di descrivere i risultati ottenuti, va sottolineato che la divergenza dalle forme delle pose del ripascimento è frutto di due diverse metodologie: per quella di 40mc e stata utilizzata un interpolazione lineare lungo tutto la costa dal quale sono stati estratti i profili, mentre per la posa di 60mc è stato inserito manualmente solo sui profili; questo giustifica le differenti forme nelle figure sottostanti. Si ritiene che i differenti metodi di posa non inficino i risultati ottenuti.

In entrambi i profili dove è stato versato più materiale si evidenzia un ulteriore avanzamento di circa 7 metri per . l profilo P2, mentre il profilo P3 prograda di circa 4 metri; inoltre, rispetto alle simulazioni fatte con 40 mc, i risultati mostrano un aumento della quota diffusa lungo tutto il profilo, anche se la morfologia risulta analogo.

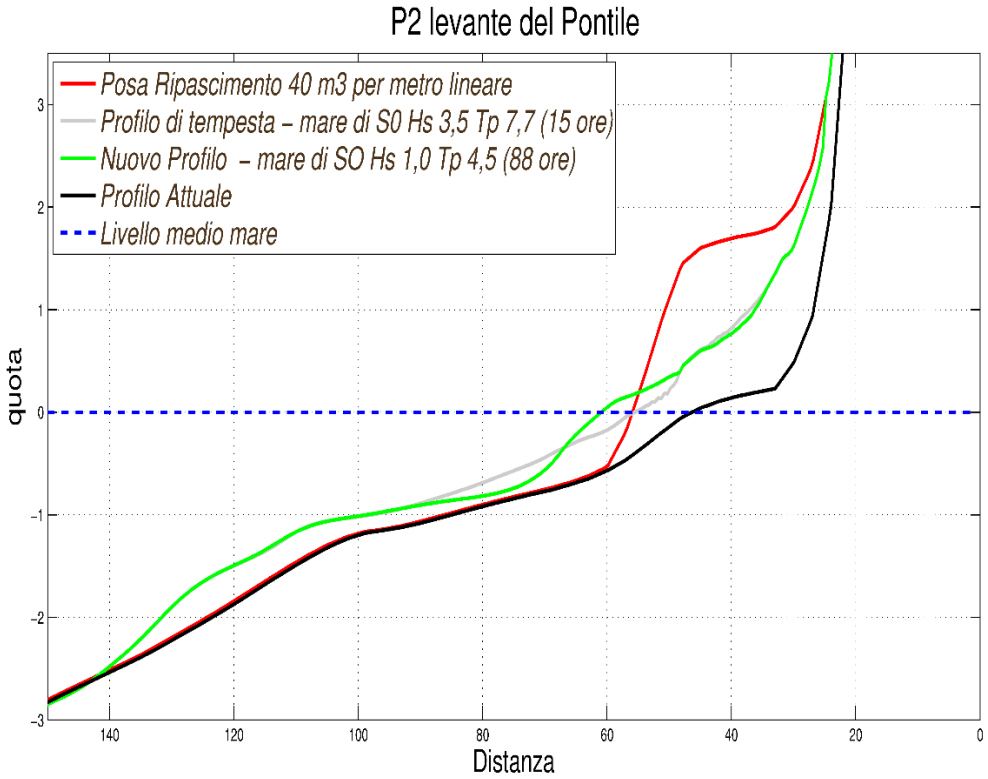



*Figura 2.10 P2 Ripascimento 40 mc*

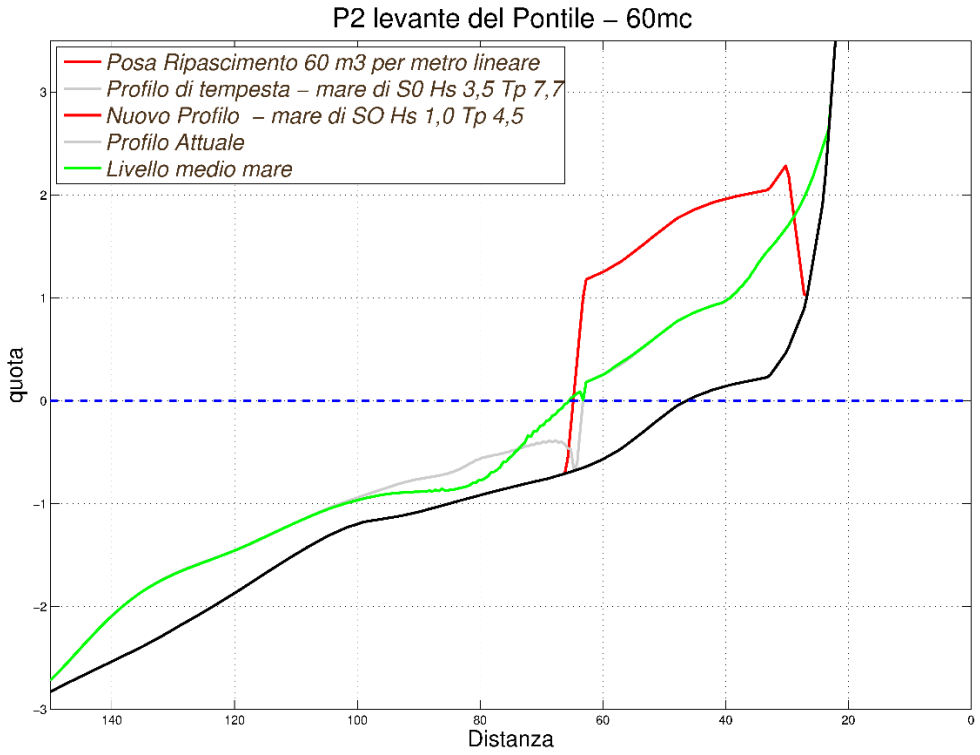



*Figura 2.11 Profilo P2 ripascimento 60mc*

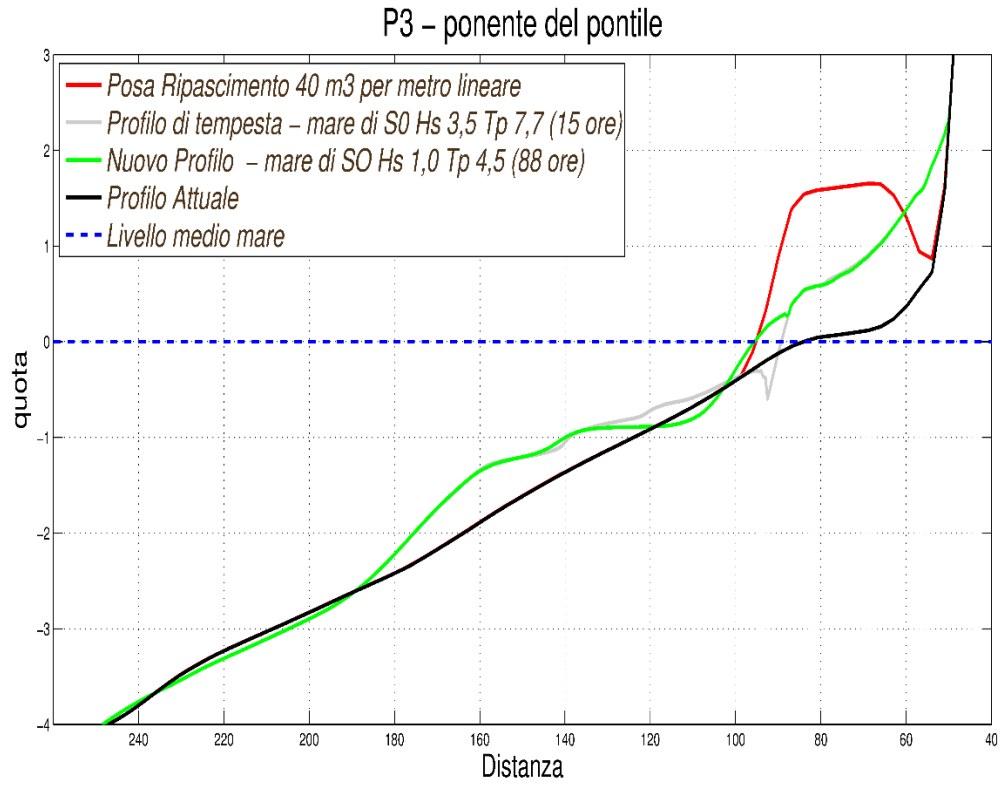



*Figura 2.12Profilo P3 ripascimento 40mc*

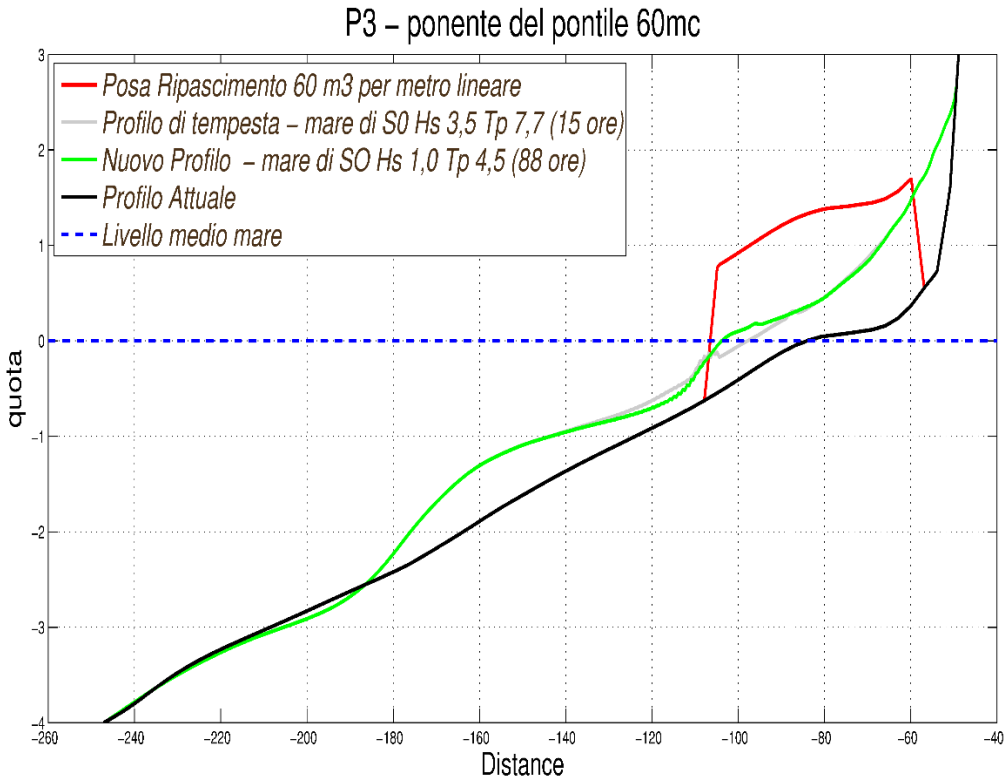



*Figura 2.13Profilo P3 ripascimento 60mc*

I risultati presentati in questa sezione hanno l'obiettivo di valutare la risposta morfodinamica dei profili di spiaggia e individuare, in prospettiva dell'intervento di ripascimento predisposto da committente, le aree di maggior criticità; durata e persistenza del ripascimento non sono oggetto di questo studio.

## 2.7 Valutazione e analisi dell'esposizione da inondazione marine in relazione al progetto di ripascimento

In questo capitolo è stata valutata l'efficacia delle 2 diverse ipotesi di ripascimento (40mc e 60 mc) rispetto all'attacco del moto ondoso, sia per i mari di SO (Libeccio) che SE (Scirocco); per quest'analisi si sono tenute in considerazione i 2 profili posti lungo la porzione centrale del litorale, risultati maggiormente esposti ai marosi. Lo Studio è stato focalizzato sull'analisi del Wave Run-up, ossia della risalita del moto ondoso lungo i profili in esame; per ognuno dei profili e stato valutato il valore di Wave Run-up per: Stato dell'arte; Ripascimento con 40 mc per metro lineare e Ripascimento con 60 mc per metro lineare. Le condizioni al contorno del moto ondoso utilizzate sono quelle fornite dal committente, ossia, Scirocco TR1 e TR50 e Libeccio TR1 e TR50, come riportate in tabella:

| | **DIREZIONE SE** | | **DIREZIONE SW** | |
|---|---|---|---|---|
| **TR** | 1 anno | 50 anni | 1 anno | 50 anni |
| **HS [M]** | 2.22 | 3.85 | 2.00 | 2.75 |
| **TP [S]** | 6.5 | 8.3 | 7.4 | 9.5 |
| **DIR M [°]** | 123.5 | 122.8 | 173.9 | 164.7 |

*Tabella 1 Dati meteo marini Meteocean*

Per lo studio del fenomeno dell'inondazione è stato preso in considerazione il Run-up 2%(R2), il quale rappresenta il valore medio del 2% dei valori più alti di risalita del moto ondoso; questo parametro statistico viene di norma utilizzato per lo studio e la progettazione di opere costiere e ripascimenti strutturali.

Di seguito sono riportati i risultati delle simulazioni per gli stati di mare sopra indicati, rispettivamente, per i profili P2 e P3; per ogni uno di essi sono state analizzate le quote di run up per le quattro simulazioni. Nelle immagini che vengono riportate nelle pagine seguenti viene mostrato la classica oscillazione del Wave run-up, costituita da una fase di risalita ed una fase di discesa lungo il profilo; inoltre, le escursioni sono rappresentate in modo che a seconda del colore, siano associate ad un profilo differente, ossia: ROSSO – Stato dell'Arte, BLU – Ripascimento di 40 mc per metro lineare e VERDE – Ripascimento di 60 mc per metro lineare.

Infine, per ogni profilo viene riportata una tabella riassuntiva che permette di visualizzare al meglio i valori di run-up associati ai differenti stati di mare ed ai differenti scenari di ripascimento.

### 2.7.1 Profili P2

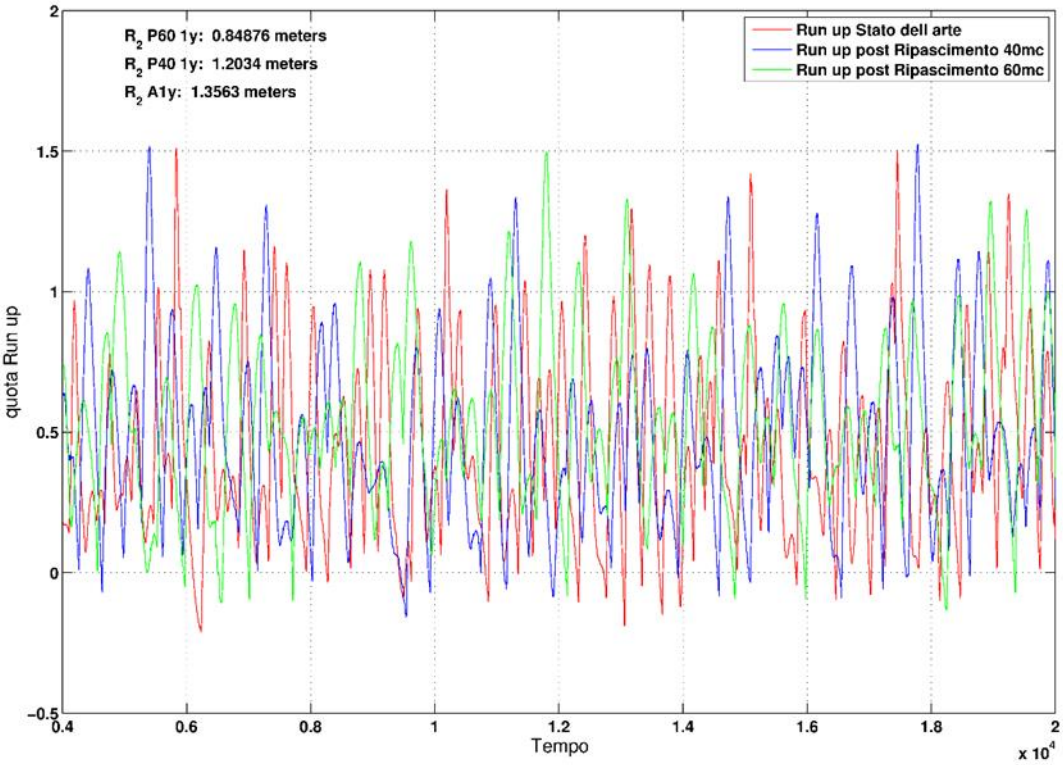



*Figura 2.14 Profilo P2: Run up per TR1 di Libeccio*

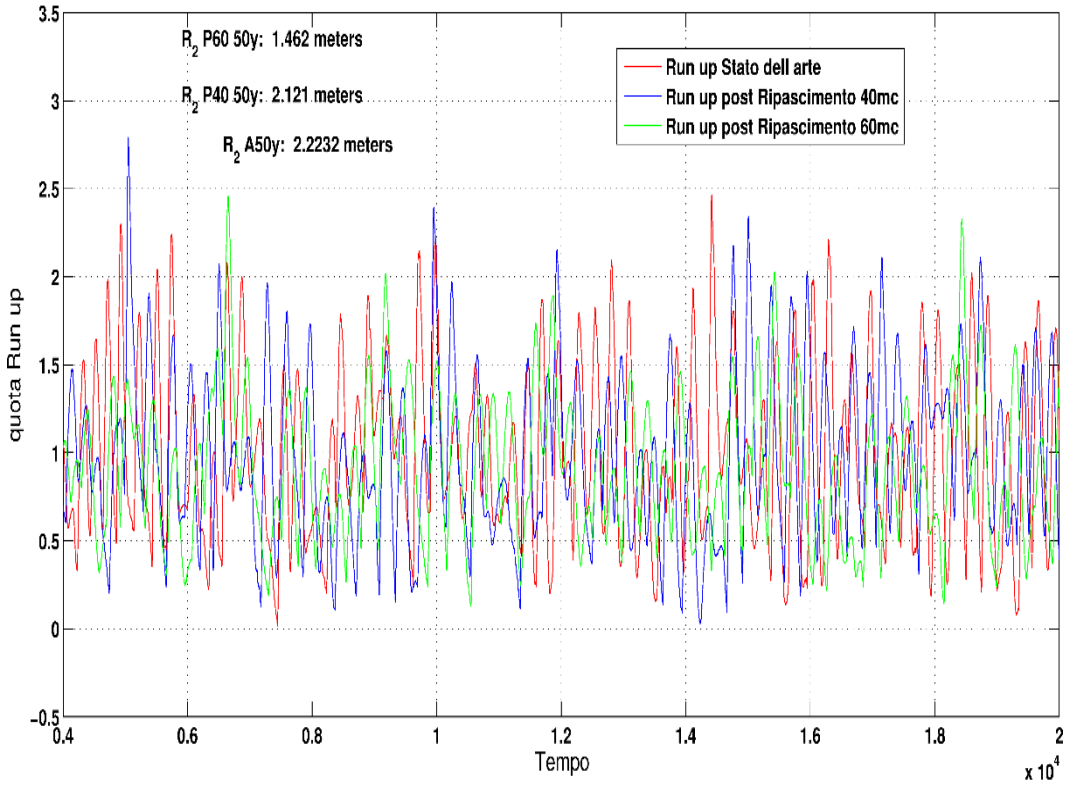



*Figura 2.15 Profilo P2: Run-up per TR50 di Libeccio*

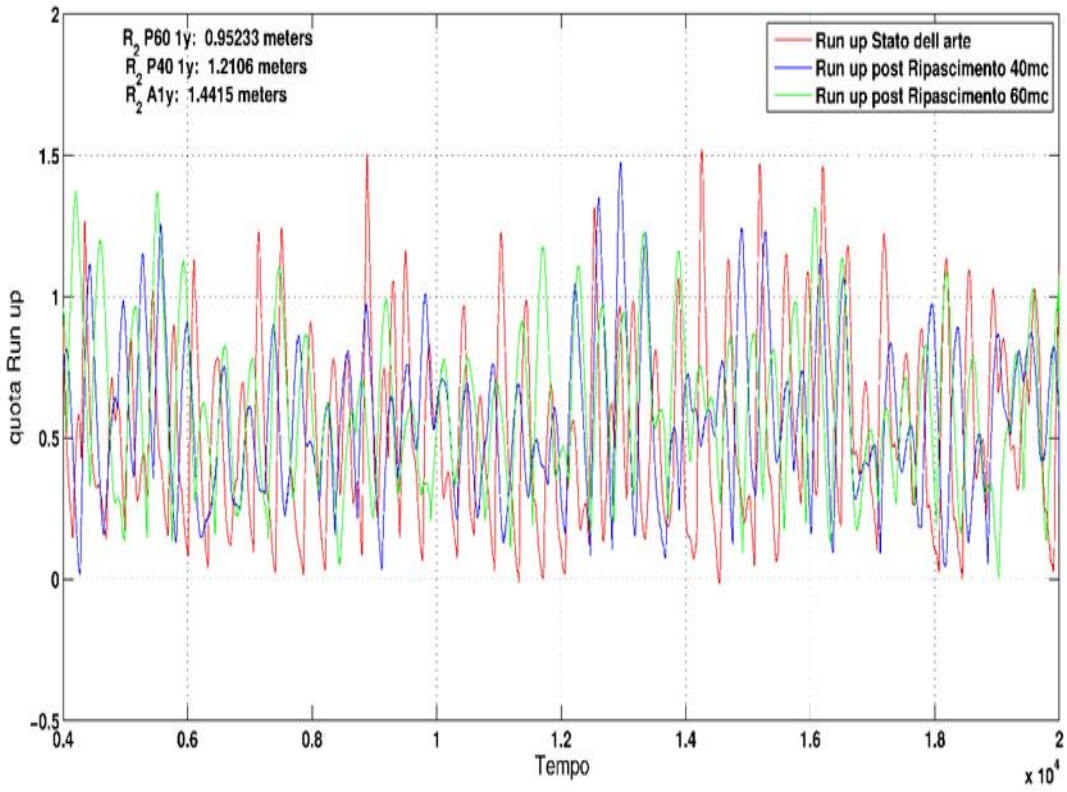



*Figura 2.16 Profilo P2 Run-up TR 1 di Scirocco*

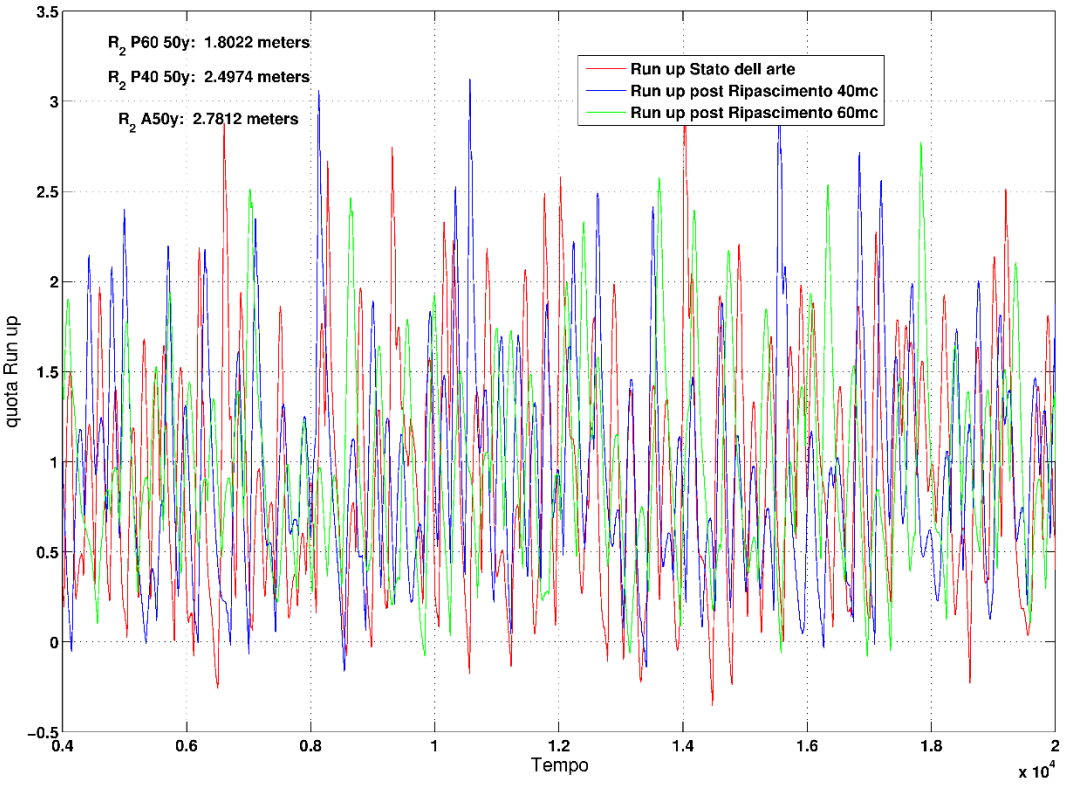



*Figura 2.17 Profilo 2 Run-up TR 50 di Scirocco*

| | *Scirocco TR1* | *Libeccio TR1* | *Scirocco TR50* | *Libeccio TR50* |
|---|---|---|---|---|
| *P2 Arte R2* | 1.44 | 1.35 | 2.78 | 2.22 |
| *P2 40 mc R2* | 1.21 | 1.20 | 2.49 | 2.12 |
| *P2 60 mc R2* | 0.95 | 0.84 | 1.80 | 1.46 |

*Tabella 2 tabella riassuntiva R2 per profilo P2*

### 2.7.2 Profilo P3

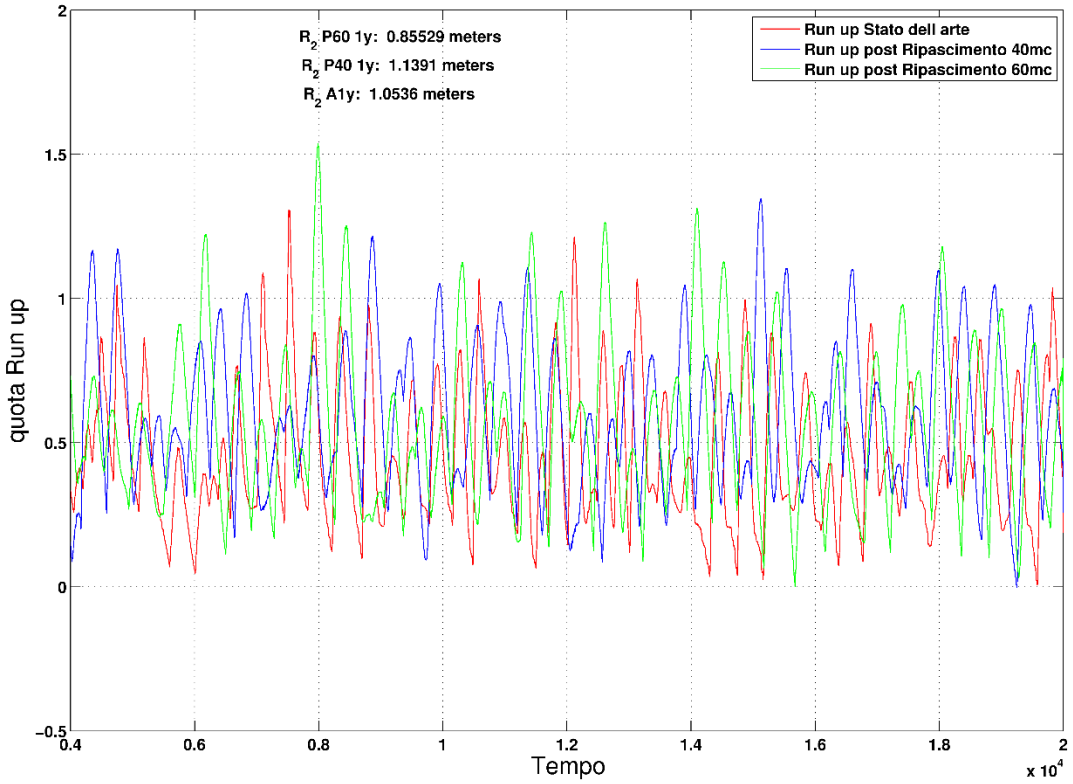



*Figura 2.18 P3 TR1 Libeccio*

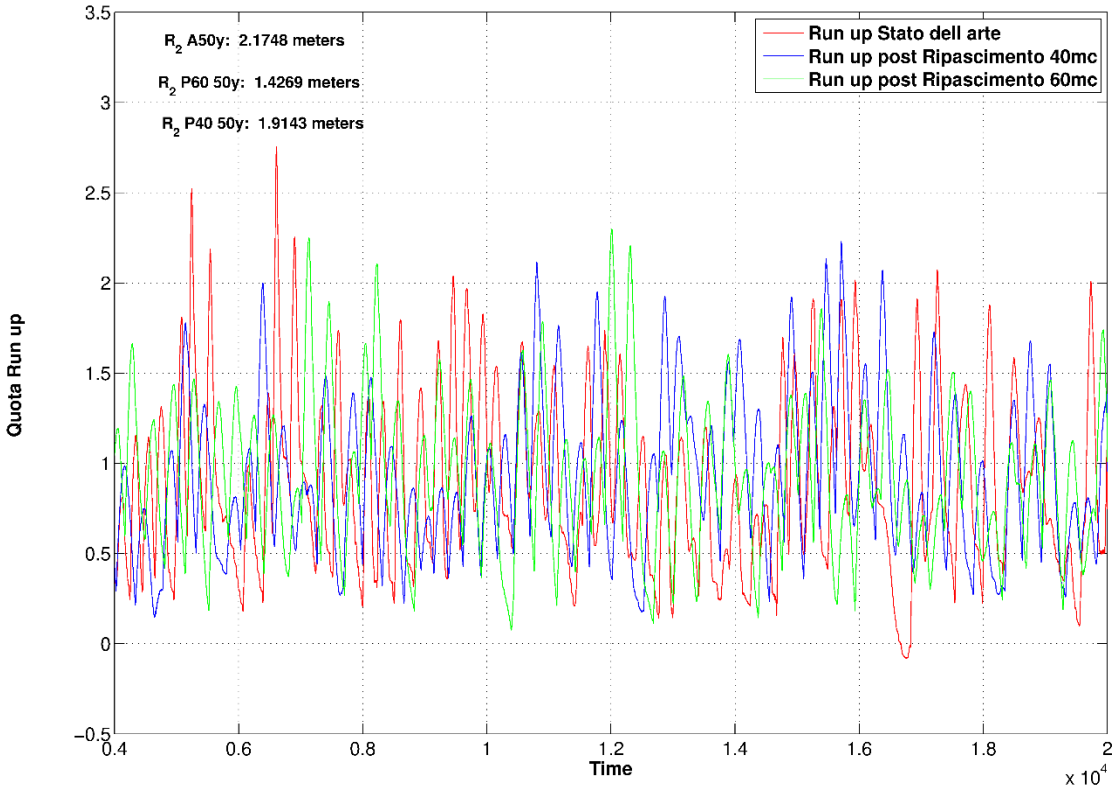



*Figura 2.19 P3 Tr50 Libeccio*

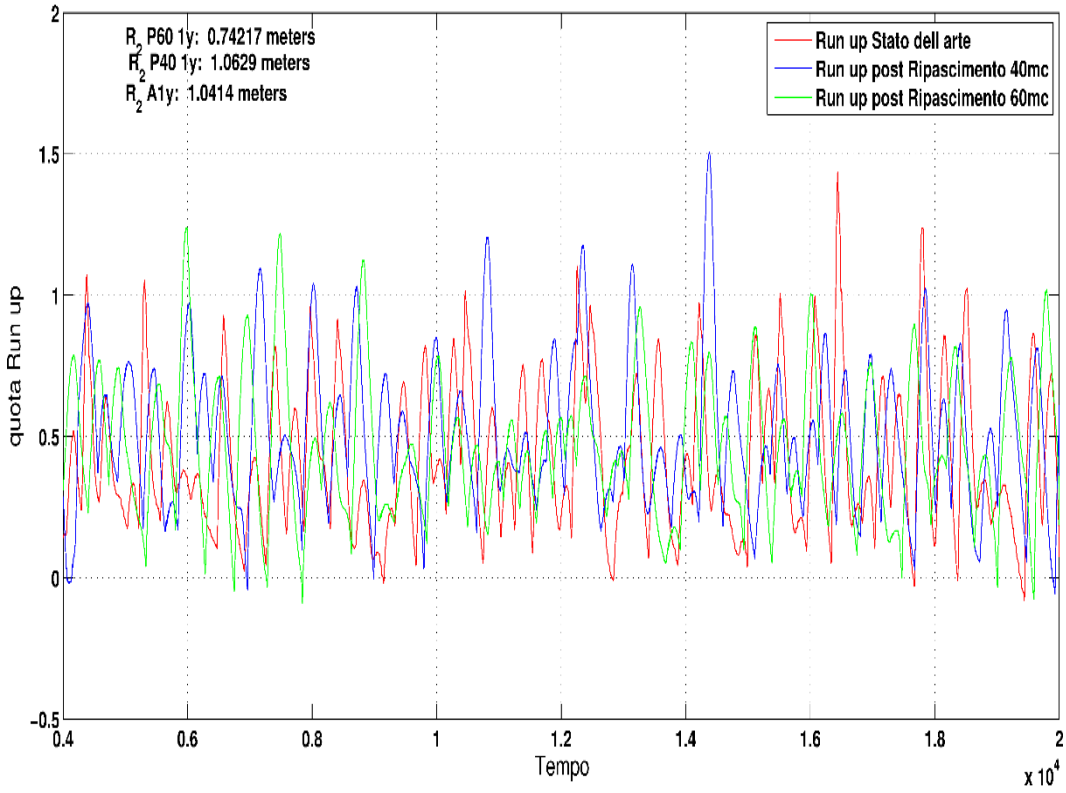



*Figura 2.20 P3 TR1 Scirocco*

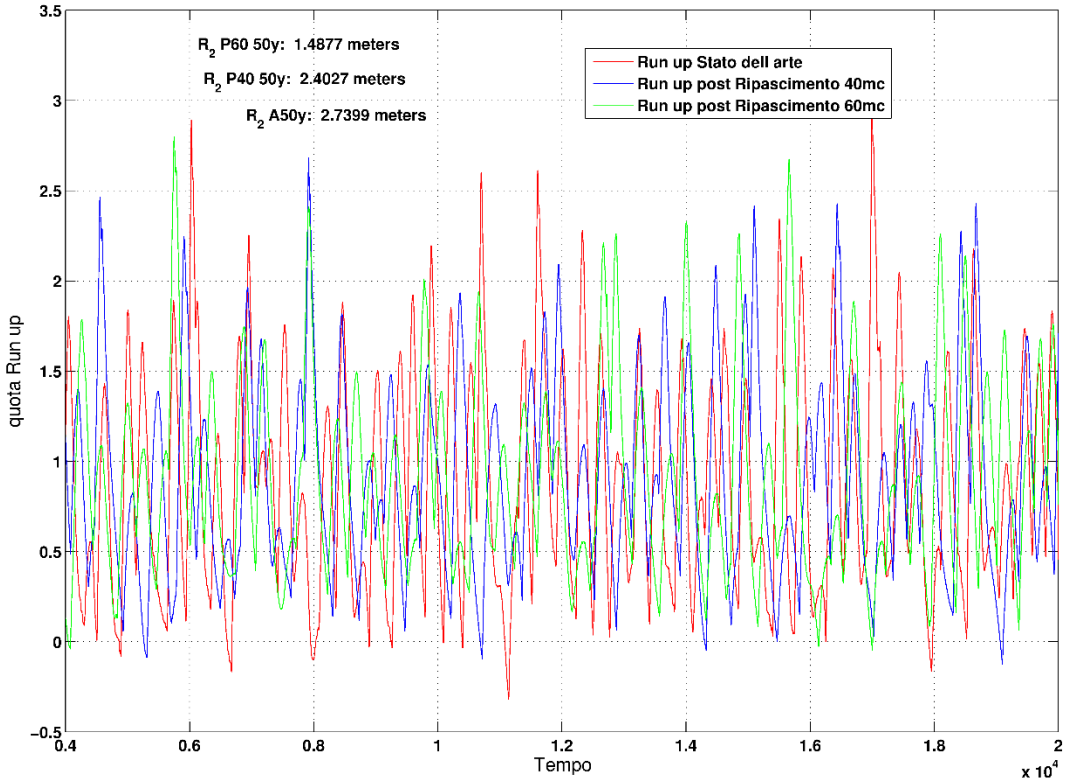



*Figura 2.21 P3 TR50 Scirocco*

| | *Scirocco TR1* | *Libeccio TR1* | *Scirocco TR50* | *Libeccio TR50* |
|---|---|---|---|---|
| *P3 Arte* | 1.04 | 1.05 | 2.73 | 2.17 |
| *P3 40 mc* | 1.06 | 1.13 | 2.40 | 1.90 |
| *P3 60 mc* | 0.74 | 0.85 | 1.48 | 1.42 |

*Tabella 3 tabella riassuntiva R2 per il profilo P3*

## 2.8 Sintesi dei risultati ottenuti

Per il profilo P2, considerando lo scenario di un ripascimento da 60 mc, si evidenzia una concreta riduzione della quota d'inondazione rispetto allo stato dell'arte, mentre, per lo scenario di un ripascimento da 40 mc, la riduzione risulta nettamente inferiore. Per lo scirocco Tr50 è stato calcolato un valore di Run-up 2% inferiore di circa un metro rispetto allo stato attuale, mentre per il Libeccio si apprezza una riduzione di 0.76 m. Inoltre, si può apprezzare la maggior risalita del moto ondoso per i mari di scirocco rispetto a quelli di libeccio.

Il profilo P3 mostra risultati molto simili a quelli del profilo P2; solo la quota di scirocco TR50 si abbassa di 1.25 metri rispetto allo stato dell'arte, mentre per il Libeccio TR50 l'abbassamento della quota è simile al profilo P2.

Il wave run-up R2% rappresenta uno strumento fondamentale per la progettazione di opere di difesa, ma da un punto di vista pratico è corretto considerare anche la massima escursione del moto ondoso in riferimento alla gestione delle emergenze durante gli eventi estremi dal punto di vista della protezione civile. Sulla base di questa affermazione è stata redatta una carta 2D (figure 2.22 e 2.22) e una 3D (2.24) che mostrano la massima risalita del mare durante gli eventi investigati in questo studio, prendendo in considerazioni i valori massimi raggiunti, i quali sono prevenienti da SE.

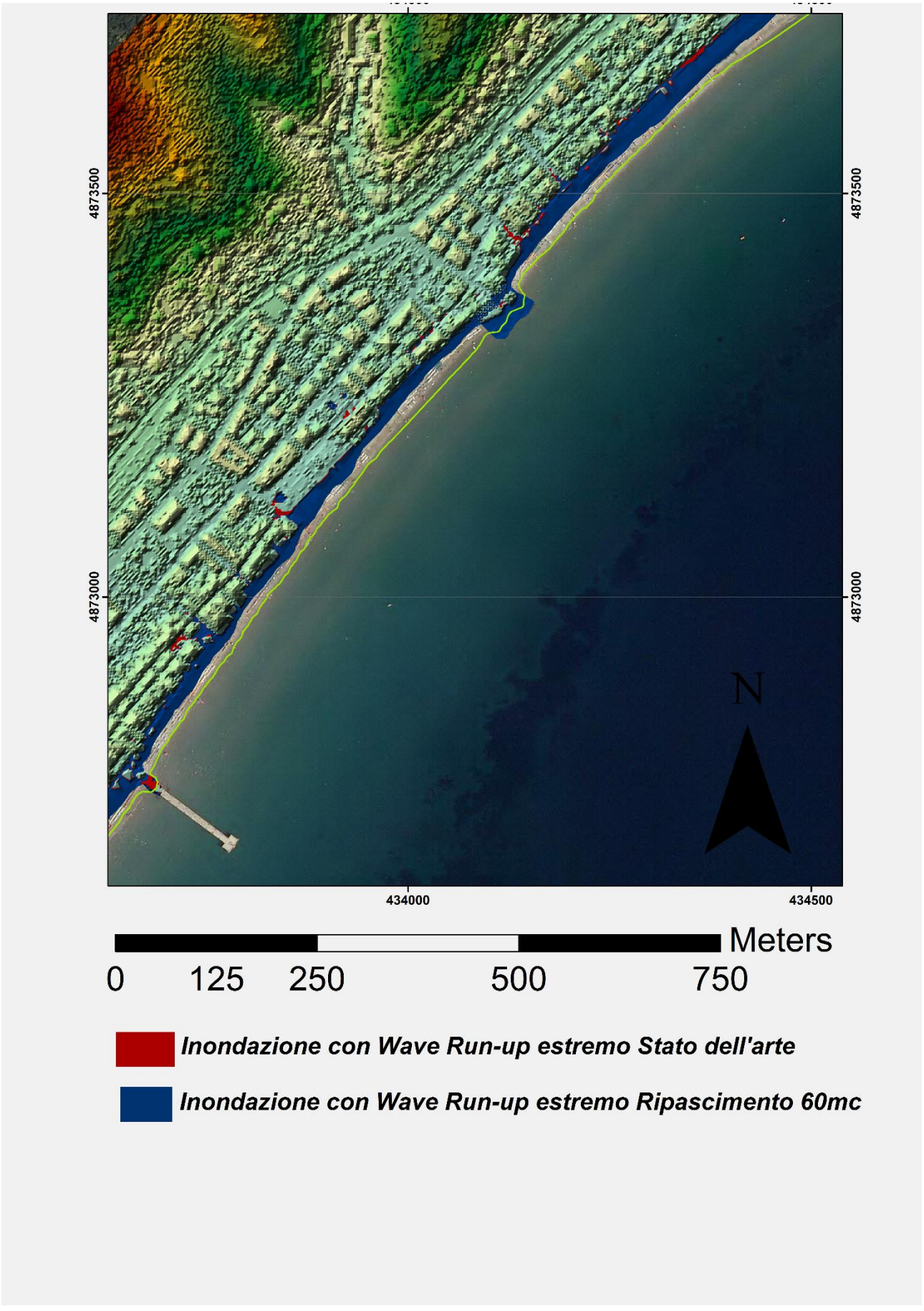



*Figura 2.22 Inondazione a Levante del pontile*

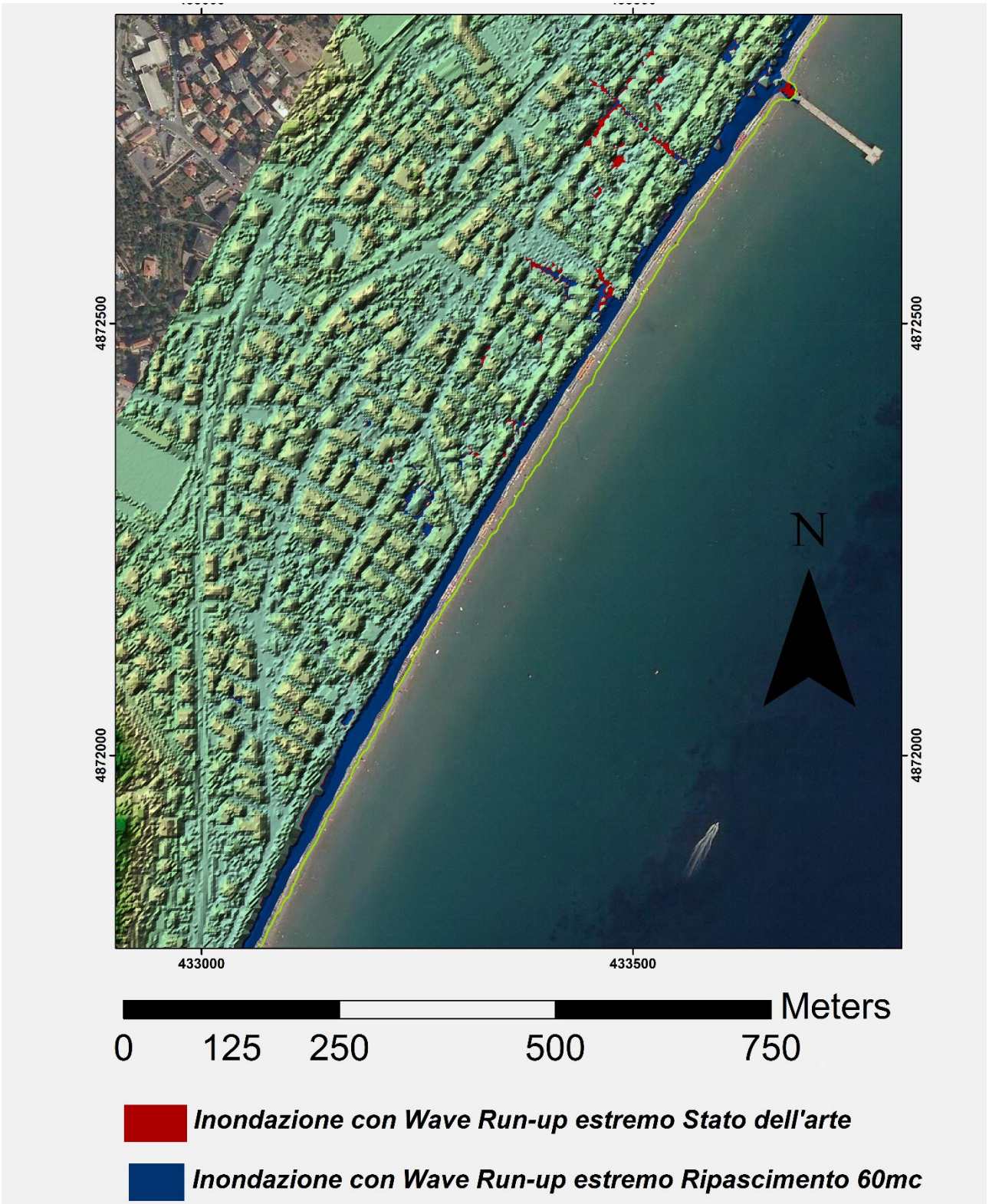



*Figura 2.23 Inondazione a Ponente del pontile*

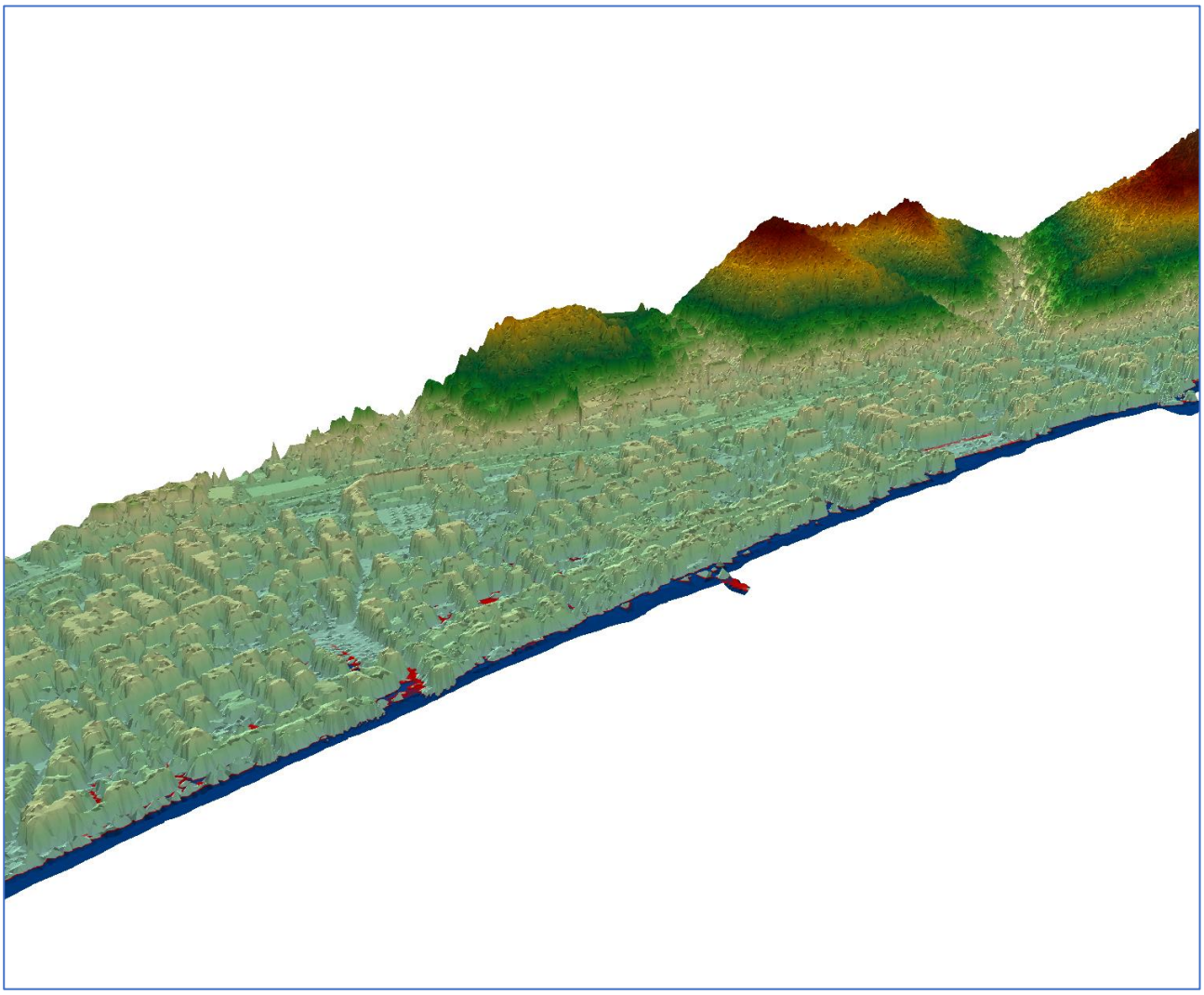


*Figura 2.24 Vista 3d inondazione*

I risultati mostrati nelle figure 2.22, 2.23 e 2.24 evidenziano che il versamento riduce l'esposizione alle inondazione del tratto cittadino, non eliminandolo del tutto; probabilmente il versamento di ulteriore materiale potrebbe ridurre ulteriormente il verificarsi del fenomeno all'interno del tessuto urbano.

## 3.Monitoraggio

Il presente elaborato, relativo al monitoraggio dell'intervento, è stato redatto secondo le modalità richieste dalla Regione Liguria nel D.G.R. n. 222 del 28/02/2003, paragrafo 3.8, successivamente approfondite e dettagliate nella nota regionale "Criteri generali per il monitoraggio delle opere di difesa della costa e degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili".

### 3.1 Estensione temporale del monitoraggio

Il monitoraggio avrà una durata di cinque anni poiché è prevista la realizzazione di nuove strutture

### 3.2 Rilievi plano-altimetrici

#### 3.2.1 Rilievo della linea di riva

Il rilievo della linea di riva sarà effettuato mediante l'utilizzo di GNSS differenziale. Il rilievo avrà cadenza annuale in coincidenza con le mareggiate invernali, quando la spiaggia assume il profilo di massima energia.

Il rilievo della spiaggia emersa sarà effettuato attraverso la realizzazione di 20 profili morfologici con interasse 100 metri (scala 1:5.000). La metodologia del rilievo sarà analoga a quella già adottata cioè mediante GNSS differenziale. Saranno indicate la posizione delle creste delle berme ordinarie e di tempesta, l'estensione della battigia, lo scalino di battigia. Infine, in sede di elaborazione saranno determinati: d Cbo – d Cbt – q Cbo – q Cbt – ε – μ, secondo lo schema proposto da Carobene & Brambati (1975). Le indagini saranno svolte dopo 1, 3 e 5 anni dalla realizzazione dell'intervento e in condizioni morfodinamiche di alta energia (profilo invernale).

#### 3.2.2 Elementi a corredo dei rilievi planoaltimetrici

A corredo di ogni campagna di rilevamento saranno indicati:

- le caratteristiche dell'ultima mareggiata che ha interessato il litorale precedentemente al rilevamento, in particolare altezza d'onda al largo e direzione di provenienza del moto ondoso (dati forniti dalla Regione Liguria);
- l'ora e il giorno di rilievo, il livello medio mare (comprensivo di correzione di marea lunisolare e atmosferica);
- monografie contenenti le coordiante spaziali e la descrizione inequivocabile della posizione dei capisaldi (già realizzati).

### 3.3 Rilievi batimetrici

Il rilievo batimetrico interesserà tutto l'areale definito nel paragrafo 2.1 fino alla profondità di circa 15 metri. L'indagine sarà effettuata con ecoscandaglio multibeam con posizionamento G.P.S. differenziale.

### 3.4 Monitoraggio sedimentologico

Il monitoraggio sedimentologico sarà eseguito con il prelievo di campioni rappresentativi di sedimento sia sulla spiaggia emersa che sommersa; verranno successivamente eseguite le analisi granulometriche e la determinazione degli indici sedimentologici in conformità con quanto previsto nei criteri precedentemente citati. Il campionamento sarà effettuato in concomitanza con i rilievi batimetrici e topografici.

#### 3.4.1 Campionamento

Sulla base delle risultanze emerse nell'indagine sedimentologica, si ritiene sufficiente un campionamento con interrasse 50 metri. I campioni saranno prelevati in coincidenza e prosecuzione dei profili morfologici eseguiti sulla spiaggia emersa (fig. 2). Nella spiaggia emersa (14 campioni) il punto di prelievo sarà ubicato in corrispondenza della battigia e ove possibile coinciderà con i punti di campionamento adottati nella presente indagine.

Per quanto riguarda i campioni della spiaggia sottomarina (32 campioni); i prelievi saranno posizionati lungo le batimetriche di 3 metri ed 8 metri. Il posizionamento dei prelievi sarà effettuato anche in questo caso con G.P.S. differenziale; il prelievo dei sedimenti nella spiaggia sottomarina saranno effettuati utilizzando una benna tipo Van veen. In relazione alle risultanze dei successivi rilievi morfologici la posizione dei nuovi prelievi potrà subire delle variazioni in relazione all'assetto morfodinamico assunto dal litorale.

#### 3.4.2 Analisi granulometriche

Le analisi granulometriche sui campioni prelevati saranno eseguite con la metodologia prevista dalla norma UNI EN 933-1.

La batteria di setacci utilizzata sarà ad intervallo ½ ϕ. Le analisi saranno restituite secondo il modello proposto dai criteri della regione Liguria e conterrà, oltre alle distribuzioni cumulative e percentuali delle classi granulometriche di ogni campione, anche i principali indici sedimentologici (media, classazione, skewness e kurtosis).

## 3.5 Restituzione dei dati

I dati raccolti nel corso del **monitoraggio della dinamica costiera** (topografico, batimetrico, sedimentologico) saranno resi in formato compatibile con gli standard della Regione Liguria in forma di triplette x, y, z, e in forma di elaborati grafici georiferiti secondo i seguenti standard:

- Coordinate metriche Gauss-Boaga fuso ovest (datum Roma 1940)
- Coordinate metriche UTM, fuso 32 (datum WGS 84).

La restituzione dei risultati delle analisi granulometriche sarà effettuata secondo le modalità precedentemente descritte; inoltre sarà anche fornita una tabella riassuntiva nel formato richiesto dalla Regione Liguria.

**Bibliografia citata**

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

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

Roelvink, D., Van Dongeren, A., McCall, R., Hoonhout, B., Van Rooijen, A., Van Geer, P., De Vet, L., Nederhoff, K., and Quataert, E. (2015). XBeach technical reference: Kingsday release. Delft, The Netherlands: Deltares, Technical report.

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

Holthuijsen, L. H., Booij, N., & Herbers, T. H. C. (1989). A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents. *Coastal engineering*, *13*(1), 23-54.