COMUNE DI SESTRI LEVANTE

Piazza Matteotti, 3 – 16039 Sestri Levante (GE)

INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DELLA RESILIENZA DELL'AREA DELLA BAIA DEL SILENZIO NEI CONFRONTI DELLE AZIONI DEGLI EVENTI ONDOSI ESTREMI

PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

R01

Genova, 25 marzo 2021
aggiornamento 16 aprile 2021

STUDIOELB INGEGNERI ASSOCIATI

Corso Torino 17/6 sc. A - 16129 GENOVA GE Tel. 010.5740568 - Fax 010.4211052
e-mail: inge@studioelb.it - PEC: studio@pec.studioelb.it - C.F. e P. IVA: 01933110

Firmato digitalmente da
Riccardo Giammarini
O = Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova
T = Ingegnere
C = IT

SOMMARIO

1. PREMESSA 4

2. DESCRIZIONE DEI LUOGHI 6

3. INQUADRAMENTO NORMATIVO 14

3.1 INQUADRAMENTO CATASTALE 14

3.2 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PAESISTICO (PTCP) 15

3.2.1 Assetto Insediativo 15

3.3 IL PTC DELLA COSTA 16

3.4 PIANO DI TUTELA DELL'AMBIENTE MARINO E COSTIERO – AMBITO 15 16

3.5 PIANO DI BACINO – AMBITO 17 19

3.6 P.U.C. DEL COMUNE DI SESTRI LEVANTE 22

3.7 PROGETTO DI UTILIZZO DELLE AREE DEMANIALI E DEGLI SPECCHI ACQUEI DEL COMUNE DI SESTRI LEVANTE 24

4. VALUTAZIONE GENERALE DELLA SENSIBILITÀ AMBIENTALE DEL SITO 25

4.1 VINCOLI ARCHITETTONICI, ARCHEOLOGICI E PAESAGGISTICI 25

4.2 VINCOLO IDROGEOLOGICO 26

4.3 SITI DI IMPORTANZA COMUNITARIA 27

5. ASPETTI NATURALISTICI 28

5.1 INDAGINI BIONATURALISTICHE DI DETTAGLIO 29

6. STUDIO METEOMARINO - ANALISI STATO ATTUALE 33

7. APPROFONDIMENTI GEOLOGICI 36

8. STUDIO DI FATTIBILITÀ 39

9. STUDIO METEOMARINO – IDENTIFICAZIONE EVENTI ESTREMI E CONFRONTO IPOTESI DI PROGETTO 42

10. SCELTA DELLA CONFIGURAZIONE PROGETTUALE 45

10.1 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A PROGETTO 46

10.1.1 Allungamento della scogliera di ponente 46

10.1.2 Rifiorimento delle scogliere esistenti 48

11. DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LA SCOGLIERA 49

12. UTILIZZO DELLE RISORSE NATURALI 56

12.1 CRITERI DI SCELTA DEL MATERIALE DA UTILIZZARE – DISPONIBILITÀ DELLE RISORSE 56

12.2 APPROVVIGIONAMENTO IDRICO 57

13. PRODUZIONE E SMALTIMENTO DI RIFIUTI 57

14. VOLUMI DI TRAFFICO INDOTTI E CAPACITÀ DEL SISTEMA INFRASTRUTTURALE 58

15. INQUINAMENTO E DISTURBI AMBIENTALI 58

15.1 VALUTAZIONE DEGLI INQUINAMENTI INDOTTI 58

15.2 INQUINAMENTO DEL TERRENO NELLA ZONA DI INTERVENTO 58

15.3 INQUINAMENTO ACUSTICO 58

15.4 INQUINAMENTO ATMOSFERICO E DA POLVERI 60

15.5 INQUINAMENTO DELL'ACQUA 60

16. GENERAZIONE DI CONFLITTI PER L'USO DELLE RISORSE CON ALTRI INTERVENTI LIMITROFI 61

17. COMPATIBILITÀ CON IL QUADRO NORMATIVO PAESAGGISTICO - AMBIENTALE 61

18. IMPATTO SUL PATRIMONIO STORICO E PAESAGGISTICO 61

19. IMPATTO SUL PATRIMONIO AMBIENTALE 63

20. ASPETTI RIGUARDANTI IL RISCHIO ARCHEOLOGICO 63

21. MITIGAZIONE DELL'IMPATTO DEGLI INTERVENTI 64

22. STIMA DEI COSTI, TEMPI DI ATTUAZIONE 65

ALLEGATI:

Allegato 1: "Studio di fattibilità – Relazione tecnica generale e allegati grafici"

Allegato 2: "Modellazione numerica della circolazione costiera e valutazione di ricadute in termine di protezione civile all'interno della Baia di Sestri Levante a cura di Università di Genova – DICCA"

Allegato 3: Stima dei lavori e quadro economico

1. PREMESSA

Nel 2018 l'Amministrazione Comunale di Sestri Levante ha avviato indagini e progettazioni per la manutenzione delle scogliere a protezione della Baia del Silenzio: i primi studi eseguiti hanno individuato l'esigenza di eseguire una serie di interventi, classificabili come manutenzione e rifiorimento localizzato delle scogliere, per un importo complessivo di € 200.000, inclusi lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione dell'Amministrazione.

La mareggiata che ha colpito la costa ligure nei giorni 29 e 30 Ottobre 2018 ha causato ingenti danni alla Baia del Silenzio, alle strutture ed attività che in prossimità della stessa sorgono e alle scogliere in massi naturali poste a difesa della stessa.

Per tale ragione, a novembre 2018 l'ufficio LL.PP. del comune di Sestri Levante, con il supporto dello Studioelb Ingegneri Associati, ha predisposto un aggiornamento del sopra citato studio di fattibilità dei possibili/attuabili interventi di manutenzione delle scogliere in funzione delle condizioni delle stesse, della normativa vigente e della peculiarità dell'area.

Nel suddetto studio di fattibilità, redatto sulla base dei risultati di una campagna di indagini batimetriche e topografiche eseguita nel maggio/giugno 2018 e di una ulteriore campagna di indagini effettuata, mediante video ripresa aerea con drone, dopo gli eventi del 29-30 ottobre 2018 - entrambe finalizzate alla verifica delle condizioni delle scogliere di difesa della Baia del Silenzio - era stata proposta un'ipotesi di intervento di manutenzione delle scogliere di difesa - avente l'obbiettivo di ripristinarne la funzionalità senza modifiche significative del delicato equilibrio della baia – da attuare in due fasi d'intervento:

- fase 1 – Ripristino parziale della sagoma originaria delle scogliere da attuare nel breve periodo per consentire un iniziale ripristino delle opere di difesa.
- fase 2 – Ripristino globale delle scogliere da attuare in una seconda fase - previo aggiornamento del rilievo batimetrico e topografico delle scogliere.

L'Amministrazione Comunale, anche a seguito degli ingenti danni provocati dalla mareggiata del 29-30 Ottobre 2018 e dell'estrema urgenza di un primo intervento di ripristino, ha dato avvio agli interventi di manutenzione delle scogliere di difesa della Baia del Silenzio previsti nella fase 1 sopra citata, che si sono conclusi a marzo del 2019, con completamento degli stessi mediante uso dei ribassi d'asta nel maggio 2019: in questa prima fase sono stati posati circa 1.250 t di nuovi scogli ed è stato eseguito il salpamento di massi fuori sagoma.

Nel marzo 2019 è stata avviata da parte del Comune di Sestri Levante una convenzione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova, per l'effettuazione di uno studio sulla circolazione costiera all'interno della Baia del Silenzio ed

una verifica delle condizioni degli agenti meteomarini all'interno della baia ai fini di protezione civile.

Lo studio è stato eseguito dal DICCA nel 2020 e, a seguito dello stesso, è emersa l'esigenza di effettuare interventi strutturali rilevanti per poter raggiungere adeguate condizioni di difesa delle strutture presenti all'interno della baia: per questo il Comune ha incaricato gli scriventi di eseguire uno studio preliminare di fattibilità, che si allega interamente al presente studio preliminare ambientale ("Allegato 1: Studio di fattibilità – Relazione tecnica generale e allegati grafici).

Nell'ambito di tale studio sono state ipotizzate diverse configurazioni che sono state valutate in prima ipotesi maggiormente idonee ai fini della difesa delle aree della baia, sulla base dello studio del DICCA.

Sono state quindi valutati i diversi aspetti delle differenti ipotesi progettuali ed è stata individuata la soluzione di progetto.

Gli interventi di difesa previsti nel presente progetto possono essere classificati quali opere di difesa costiera, pertanto ricadono tra le opere di cui all'allegato IV al d.lgs. n. 152/2006, ossia tra le opere da sottoporre alla procedura di verifica di assoggettabilità/screening [lettera n) opere costiere destinate a combattere l'erosione e lavori marittimi volti a modificare la costa, mediante la costruzione di dighe, moli ed altri lavori di difesa del mare].

Il presente Studio preliminare ambientale, che fa parte del progetto definitivo degli interventi, descrive i quadri di riferimento programmatico, progettuale ed ambientale e l'inserimento della soluzione prescelta nei rispettivi contesti, valutando gli eventuali impatti e le misure che minimizzino le ricadute progettuali sull'area.

2. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

La Baia del Silenzio o Portobello è una caratteristica baia di forma più o meno circolare posta nella parte di ponente del paraggio tra Punta di Sestri e Punta Manara, tra falesie di arenaria che si sviluppano su entrambi i lati dell'arco costiero per una lunghezza di circa 800 m sul promontorio di Sestri e per quasi 2500 m sul promontorio di punta Manara.

La baia è larga all'imbocco circa 250 m e profonda 300 m. La spiaggia emersa è costituita da una sottile striscia di sabbia addossata direttamente ai manufatti che costituiscono il borgo antico di Sestri Levante: essa ha uno sviluppo lineare di circa 350 metri e un'ampiezza pari, in condizioni estive, di circa 15 metri.

L'imboccatura della baia è protetta da due scogliere parallele tracimabili, realizzate intorno agli anni '50, che lasciano al centro un varco di circa 100 metri.



Foto 2.1 : Vista prospettica della Baia del Silenzio (fonte Regione Liguria)

La spiaggia emersa è sostanzialmente stabile dal dopoguerra ad oggi. Con la costruzione delle barriere di protezione, la linea di spiaggia ha raggiunto la sua configurazione planimetrica di equilibrio che è rimasta invariata negli ultimi 35 anni.

Come emerge anche dagli approfondimenti riportati sul Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero Ambito 15, non si prevedono nel breve termine particolari variazioni nelle condizioni di equilibrio dei processi costieri. Nel medio-lungo termine possono essere previsti, invece, lievi

fenomeni erosivi della spiaggia per consunzione del materiale che la compone e per lento arretramento della testata del canale di rip current al centro della baia.

Le opere in scogliera hanno subito negli anni il naturale assestamento tipico di tali opere per le quali deve essere previsto una costante opera di monitoraggio e manutenzione in caso di mareggiate particolarmente intense.

La mantellata delle due scogliere, a seguito della mareggiata del 29-30 Ottobre 2018 – di cui si riportano qui di seguito alcune immagini tratte dalle riprese aeree eseguite con drone – presentavano porzioni della berma emersa completamente depauperate – sia in corrispondenza della scogliera di levante per un tratto di circa 25 m, sia in corrispondenza della scogliera di ponente per un tratto di circa 15 m – e vari tratti con cedimenti e assestamenti localizzati soprattutto in corrispondenza della linea del medio mare.

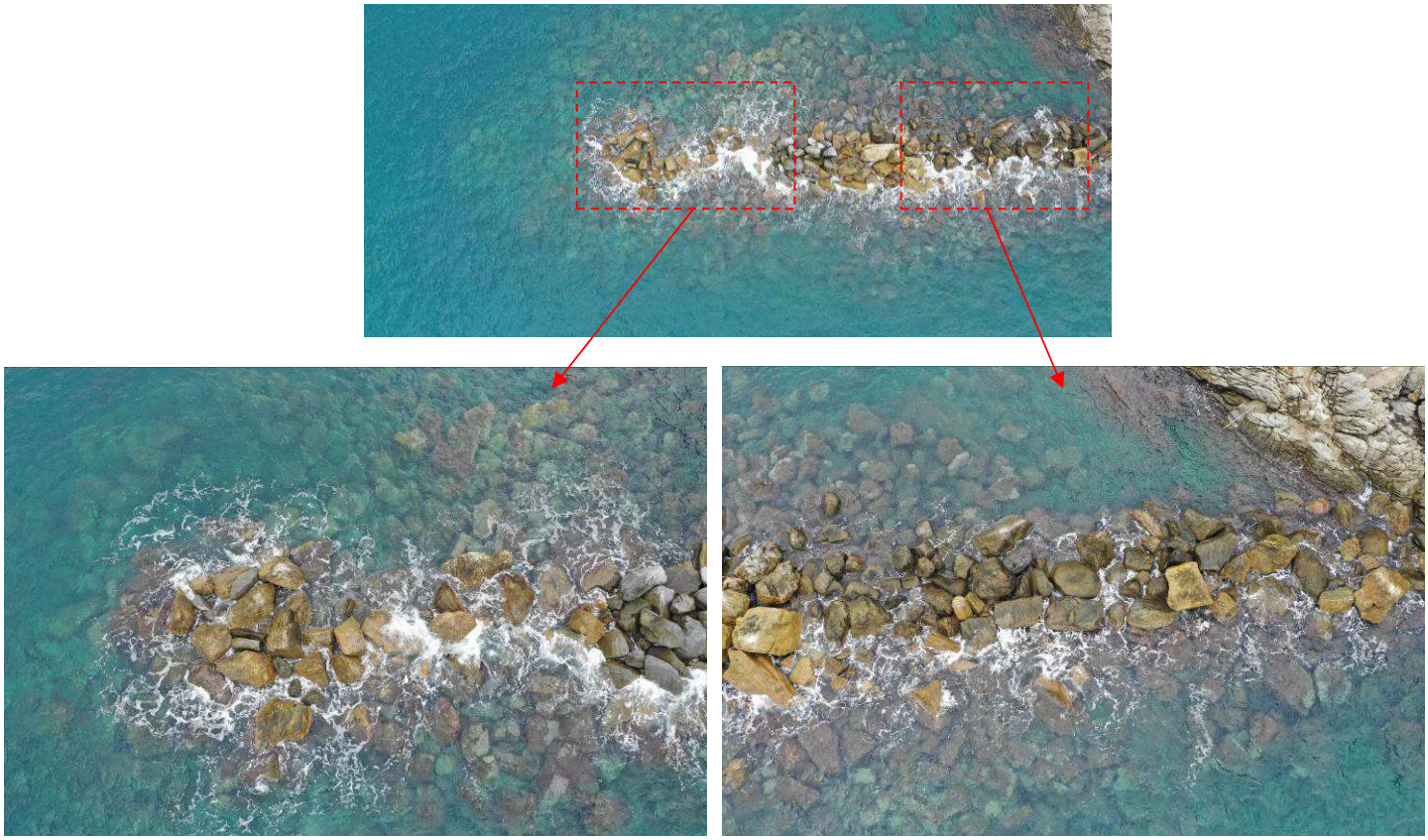


Foto 2.2 : Vista aerea e particolari della scogliera di levante

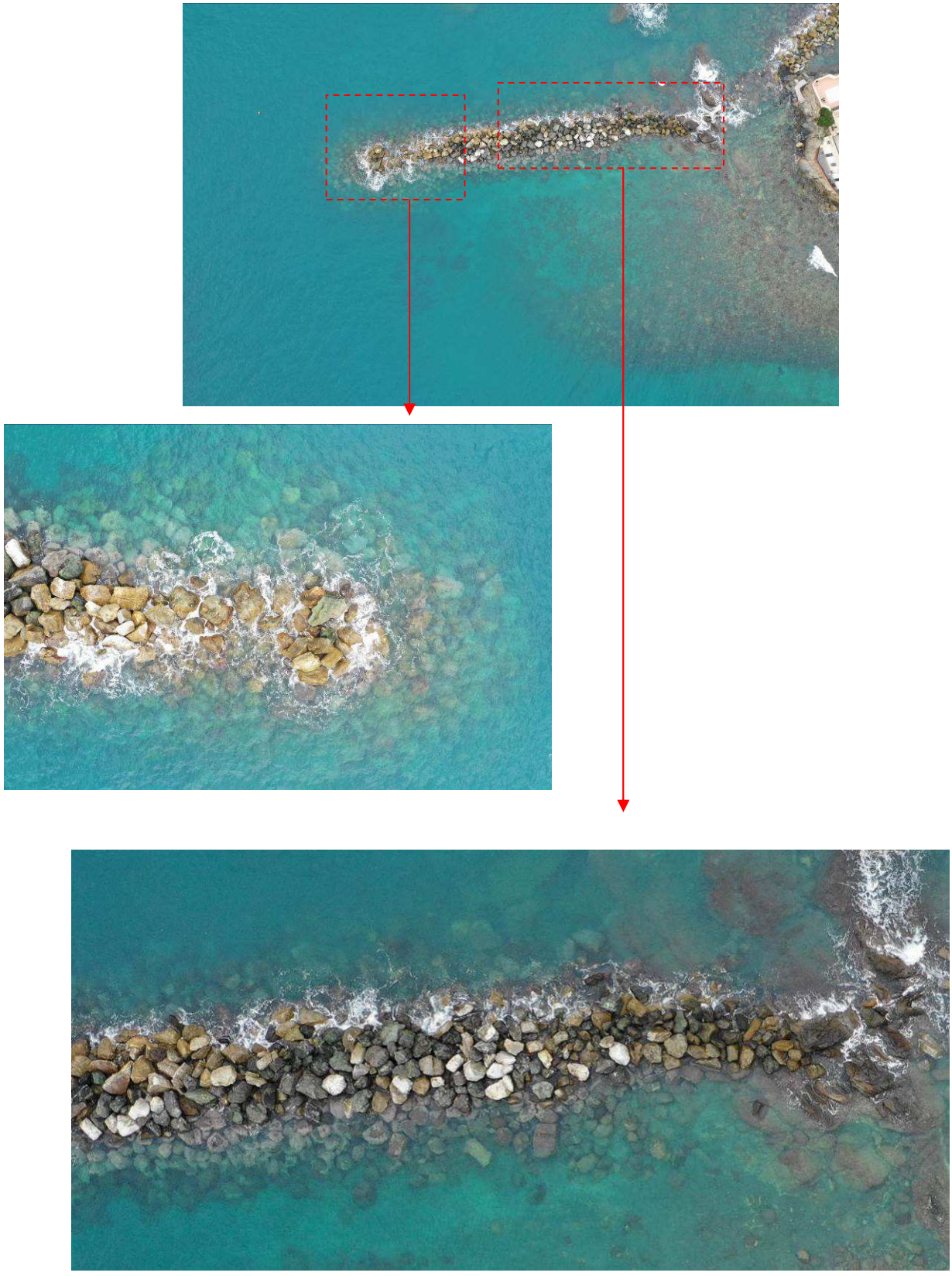


Foto 2.3 : Vista aerea e particolari della scogliera di ponente

A seguito degli interventi di fase 1 (che si si sono conclusi a marzo 2019, con un completamento puntuale mediante uso dei ribassi nel maggio 2019) le scogliere attualmente presentano forme abbastanza regolari: in particolare, la scogliera di ponente si estende per una lunghezza totale di circa 130 m e presenta una berma alla quota circa +1,50 m s.l.m.m. di larghezza variabile 3÷5 m con pendenza della mantellata su entrambi i lati di 1/2,5.

La scogliera di levante si estende per una lunghezza totale di circa 90 m e presenta una berma alla quota circa +1,50 m s.l.m.m con larghezza variabile 4÷6 m e pendenza della mantellata sul lato verso mare di 1/2,5, mentre sul lato interno la pendenza è irregolare.

Attualmente la scogliera di ponente (volume di scogli a partire dal fondale) ha un volume di circa 16.400 mc, corrispondenti a circa 32.600 t di massi; la scogliera di levante ha un volume di circa 12.200 mc, corrispondenti a circa 24.400 t.

A luglio del 2019 è stata eseguita una campagna di indagini batimetriche e topografiche di dettaglio finalizzata alla verifica delle attuali condizioni delle scogliere di difesa della Baia del Silenzio e dello specchio acqueo ad esse limitrofe a seguito degli interventi previsti nella fase 1 sopra descritti.

Di seguito vengono riportate foto in cui vengono rappresentate le due scogliere a seguito degli interventi di ripristino parziale della sagoma originaria.



Foto 2.4 : Vista della baia da mare a seguito degli interventi di FASE 1



Foto 2.5 : Vista della scogliera di ponente dall'esterno a seguito degli interventi di FASE 1



Foto 2.6 : Vista della scogliera di levante dall'esterno a seguito degli interventi di FASE 1

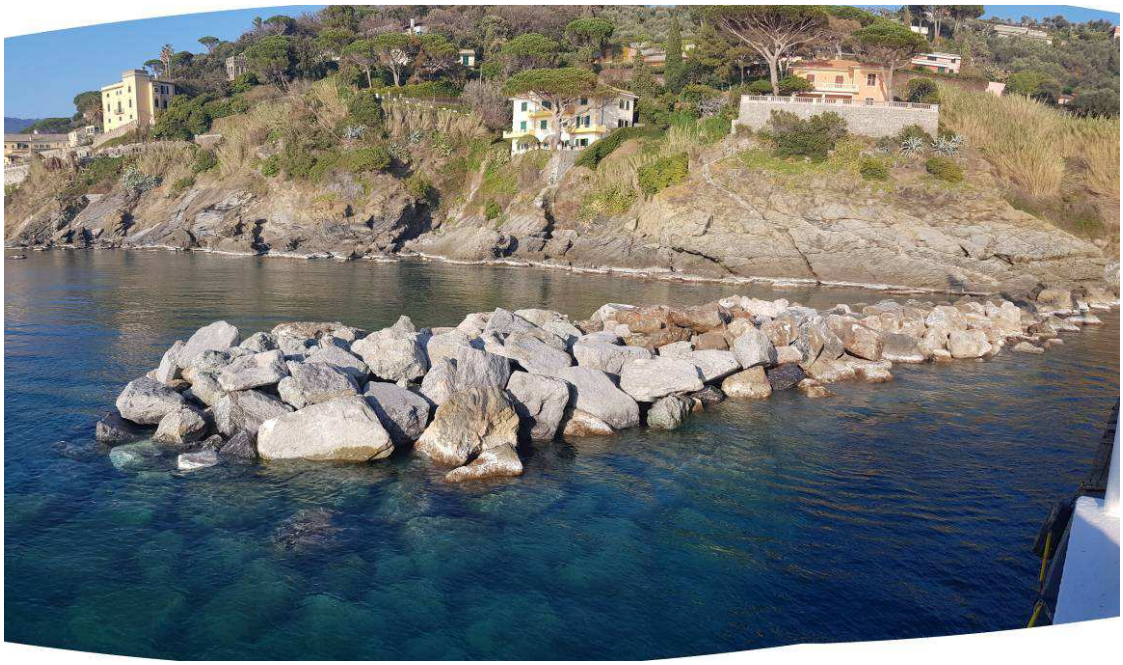


Foto 2.7 : Vista della scogliera di levante a seguito degli interventi di FASE 1



Foto 2.8 : Vista della scogliera di ponente a seguito degli interventi di FASE 1

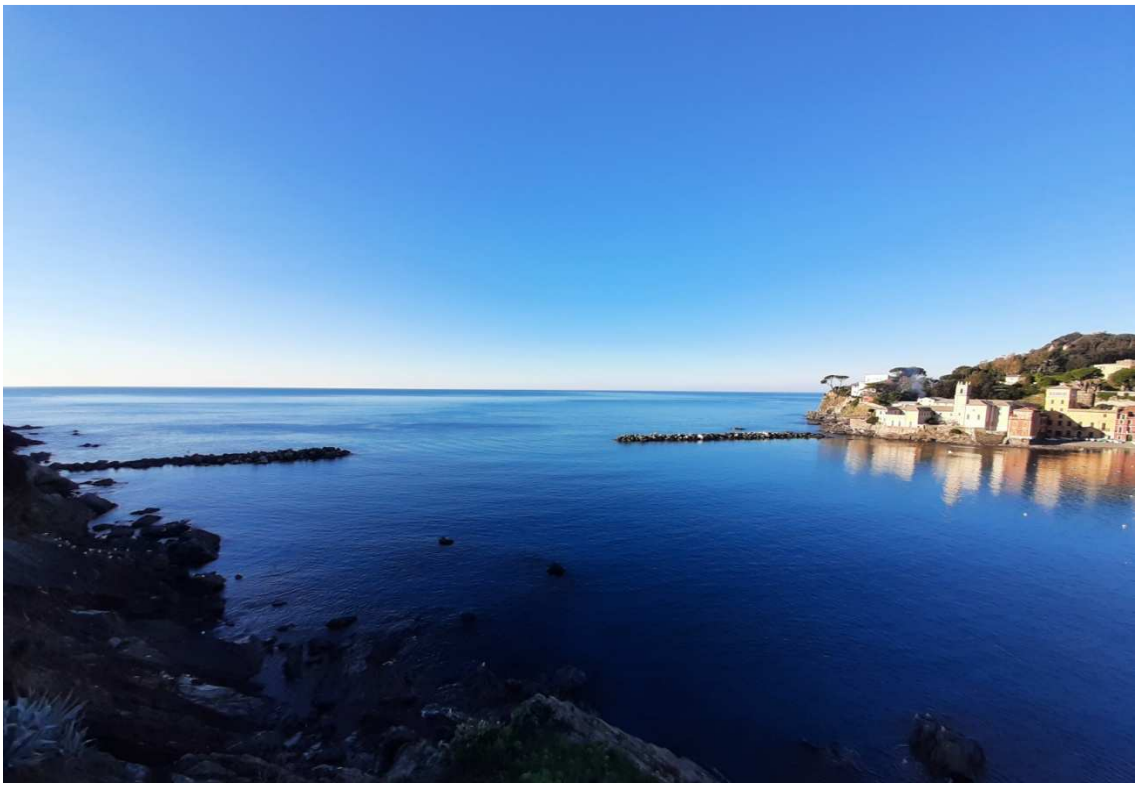


Foto 2.9 : Vista delle scogliere dall'interno della baia - febbraio 2021

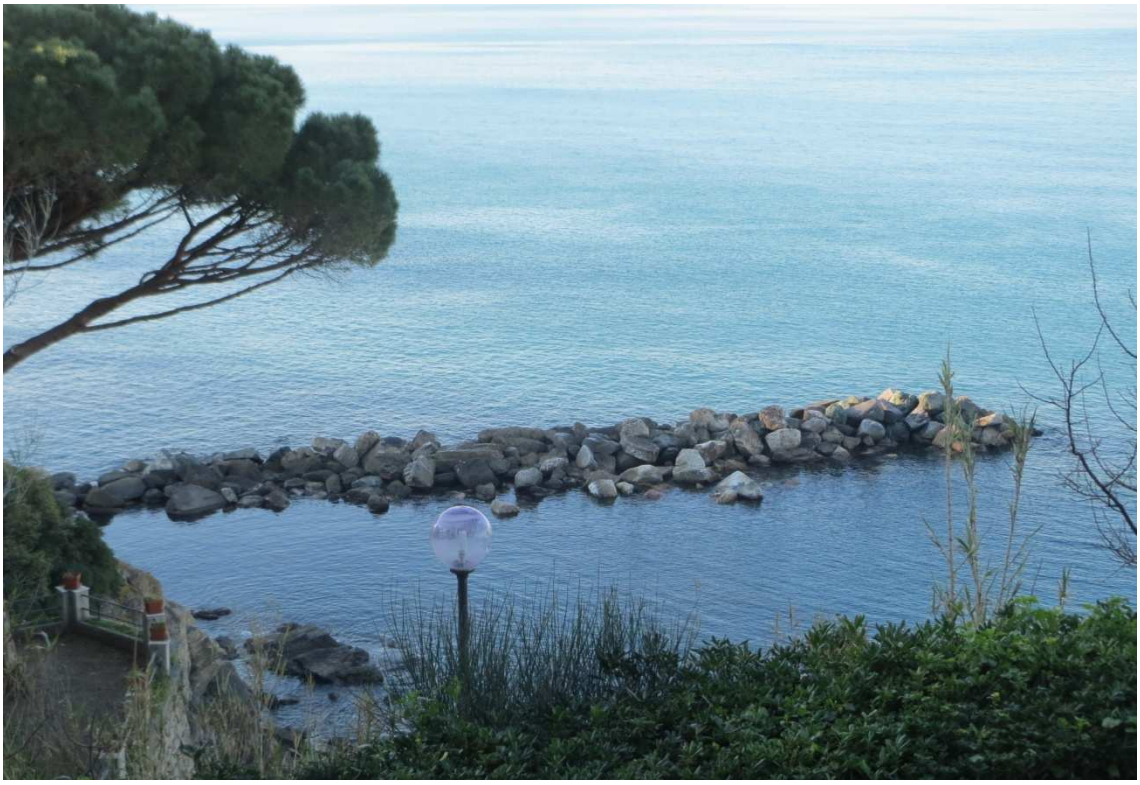


Foto 2.10 : Vista della scogliera di levante dall'interno della baia - febbraio 2021



Foto 2.11 : Vista della scogliera di ponente dall'interno della baia - febbraio 2021

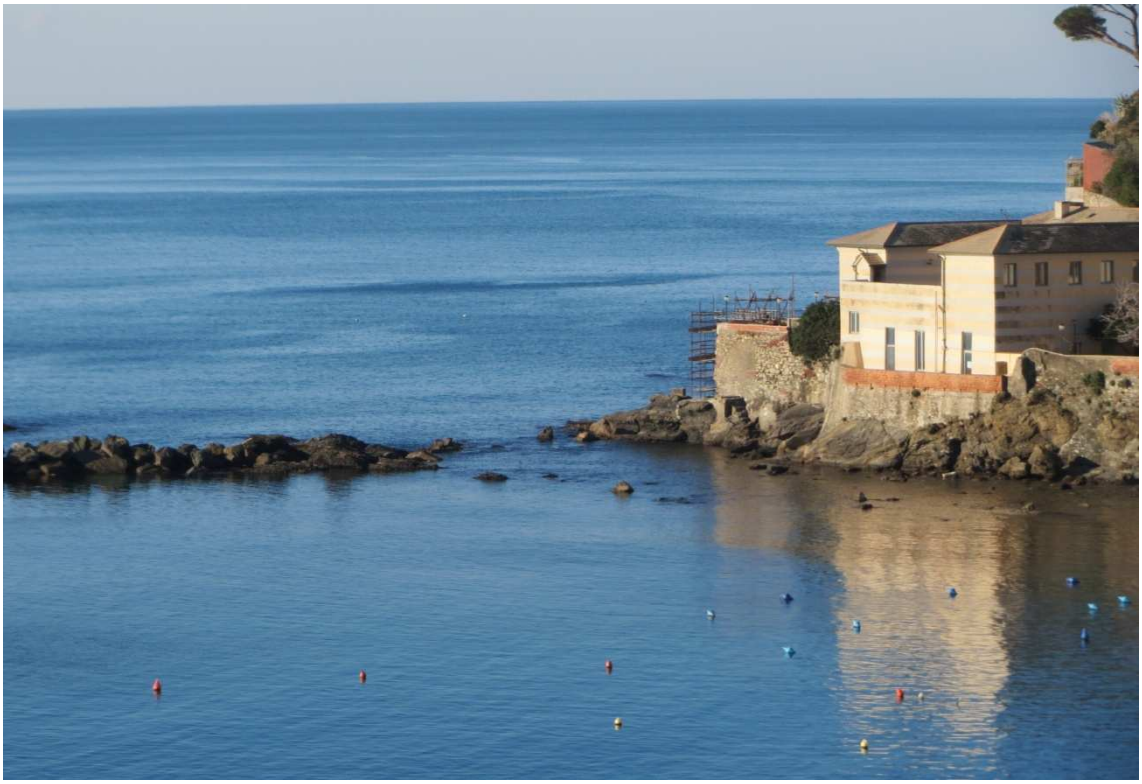


Foto 2.12 : Vista del varco alla radice della scogliera di ponente - febbraio 2021

3. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Si riporta qui di seguito una sintesi di quanto previsto dagli strumenti di pianificazione vigenti nel sito in esame.

3.1 Inquadramento catastale

Le scogliere di difesa della Baia del Silenzio ricadono interamente in area di proprietà demaniale. Le stesse, come risulta dalla cartografia del S.I.D. non sono identificate catastalmente.



Figura 3.1: mappa del SID (Sistema Informativo Demanio)

3.2 Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico (PTCP)

L'area a terra limitrofa alle scogliere oggetto di intervento ricade nell'Ambito Territoriale N. 86 "Sestri Levante". Le scogliere di difesa sono al di fuori delle aree perimetrate.

3.2.1 Assetto Insediativo



Figura 3.2: stralcio PTCP Assetto Insediativo

La parte centrale e di ponente della baia ricade in Struttura Urbana Qualificata (SU); la parte di levante della baia ricade in Insediamento Diffuso a regime normativo di Conservazione (ID-CE).

Le strutture urbane qualificate sono assoggettate al regime normativo di MANTENIMENTO in quanto trattasi di ambiti urbani di ampie dimensioni che si distinguono dal contesto per caratteri di particolare pregio paesistico-ambientale, tali da identificarli come componenti significative della morfologia urbana. L'obiettivo della norma è quello di evitare che vadano compromesse identità e l'identificazione dell'assetto territoriale preesistente.

Gli Insediamenti diffusi sono assoggettati al regime di conservazione in quanto si rende necessario subordinare ogni intervento indipendentemente dalla sua motivazione, al rispetto dei valori di qualità e di tipicità dell'insieme e dei singoli elementi costitutivi.

3.3 Il PTC della costa

La Regione Liguria - Dipartimento Pianificazione Territoriale e Paesistica ha predisposto il PTC della costa ligure, approvato con D.C.C. n. 64 del 19.12.2000.

Nel piano non vi sono riferimenti di interventi previsti per la Baia del Silenzio.

3.4 Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero – Ambito 15

Il Consiglio Regionale ha approvato con D.C.C. n.18 del 25 settembre 2012 il Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero per l'Ambito Costiero 15, esteso da Punta di Portofino a nord-ovest a Punta Baffe e comprendente le unità fisiografiche del Golfo del Tigullio, della Baia del Silenzio e di Riva Trigoso.

Detto PTAMC ha valore di piano territoriale di settore, ed è finalizzato alla tutela dell'ambiente marino costiero in termini sia di riequilibrio sedimentario dei litorali e di stabilizzazione della costa alta, sia di miglioramento della qualità delle acque costiere, sia di difesa e valorizzazione degli habitat marini e della biodiversità costiera, sia di rispetto degli assetti naturali e della loro tendenza evolutiva, degli usi compatibili e dello sviluppo sostenibile.

Il Piano, vista la delicatezza del luogo, impone che eventuali previsioni future di intervento all'interno della baia debbano essere attentamente valutate, consentendo nel breve e medio termine solamente interventi a carattere manutentivo.

Dal punto di vista ambientale dell'ecosistema marino costiero il Piano pone come obiettivo, all'interno delle barriere, la sopravvivenza e recupero della prateria di Posidonia oceanica mediante la riorganizzazione dell'attuale utilizzo nautico con modalità compatibili; all'esterno delle barriere prevede la necessità di interventi che riducano la pressione o l'impatto dell'attività di pesca.

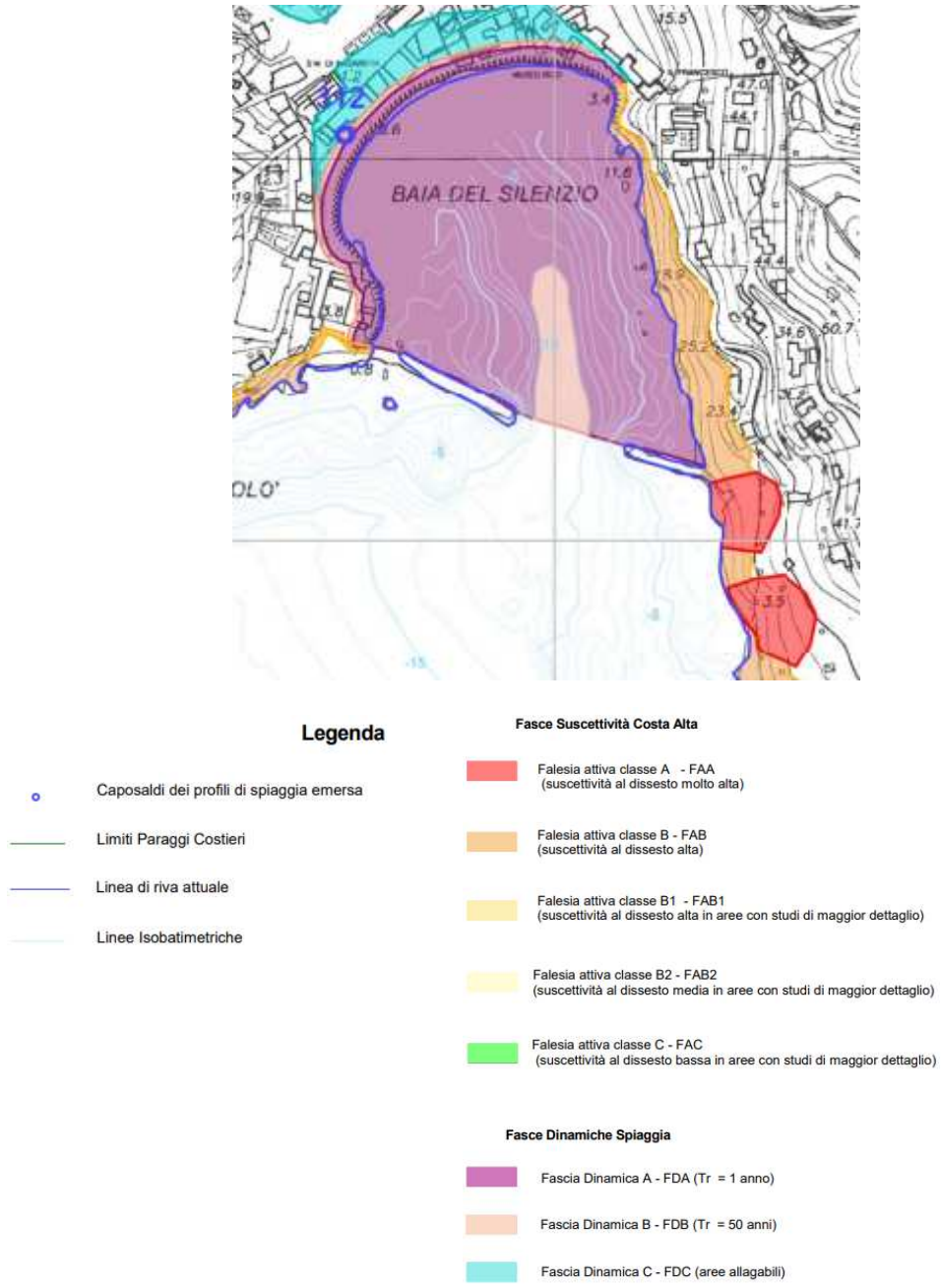


Figura 3.3: stralcio PTAMC Ambito 15 Carta C06 – carta delle fasce dinamiche della spiaggia e della costa alta

Il fianco interno alla Baia di entrambe le scogliere ricade in Fascia Dinamica A (Tr=1 anno). La FDA (area a pericolosità alta) si estende dalla profondità di chiusura della spiaggia sommersa al limite del run-up massimo per onde di qualsiasi provenienza con un tempo di ritorno di 1 anno.

Lo spazio libero tra le due teste delle scogliere, ovvero l'imboccatura della Baia ricade in Fascia Dinamica B (Tr=50 anni).FDB (area a pericolosità media) si estende dalla profondità di

chiusura della spiaggia sommersa al limite del run-up massimo per inde di qualsiasi provenienza con un tempo di ritorno di 50 anni.

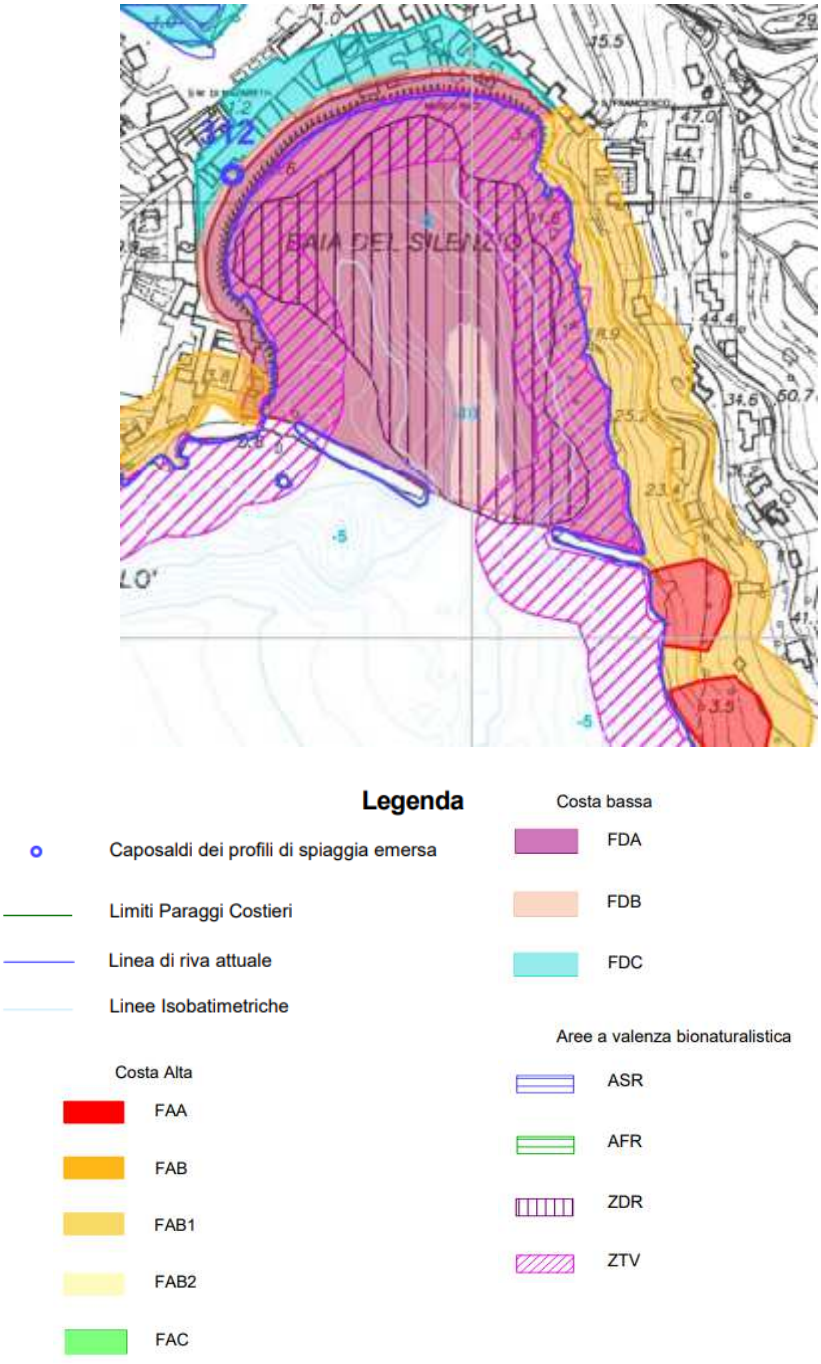


Figura 3.4: stralcio PTAMC Ambito 15 Carta C09 – carta dei regimi normativi

L'area intorno all'intera scogliera di levante e la radice della scogliera di ponente, sono classificate come ZTV "zona a trasformazione vincolata" per tutela di habitat di alto valore naturalistico da preservare dalle trasformazioni antropiche.

Nei tratti a trasformazione vincolata non sono consentiti:

a) porti, porti turistici ed approdi turistici;

b) opere marittime radicate alla costa, ad eccezione delle opere finalizzate alla difesa dell'abitato dall'erosione marina;

c) ripascimenti ad eccezione di quelli necessari per la manutenzione di spiagge esistenti in equilibrio con le condizioni idrodinamiche locali e che impieghino materiali aventi comprovata stabilità

L'intervento in esame rappresenta un potenziamento dell'opera di difesa della spiaggia e dell'abitato di Sestri Levante e pertanto rientra negli interventi consentiti nella zona di trasformazione vincolata.

Nell'area non sono previsti particolari indirizzi di intervento.

3.5 Piano di Bacino – Ambito 17

L'area di intervento ricade nell'ambito del Piano di Bacino – Ambito 17, approvato con DCP n. 68 del 12.12.2002 e s.s.m.m.i.i. (ultima variante approvata: DDG n.7092 del 16/11/2020). Come mostrato nella cartografia riportata di seguito, nell'area non si riscontrano problematiche di deflusso di rivi.

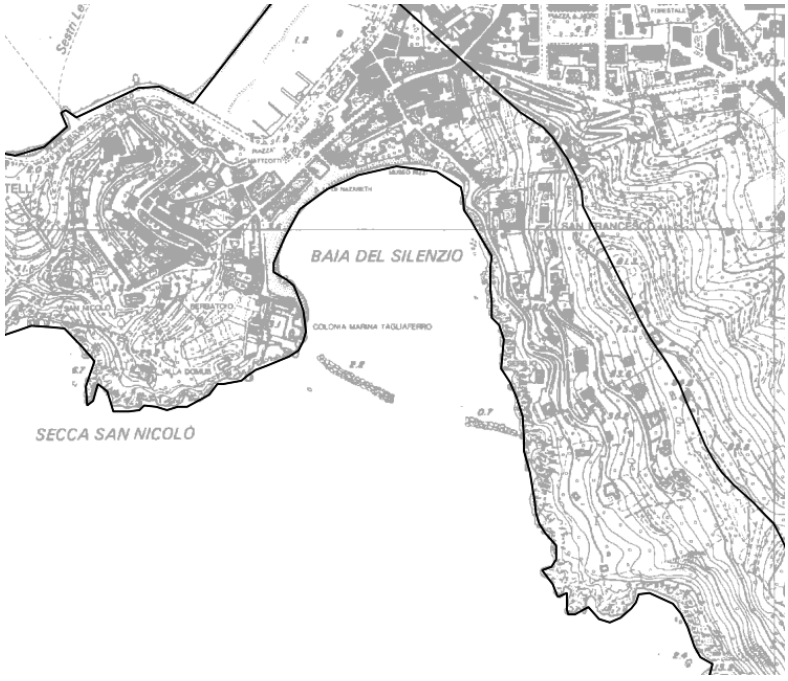
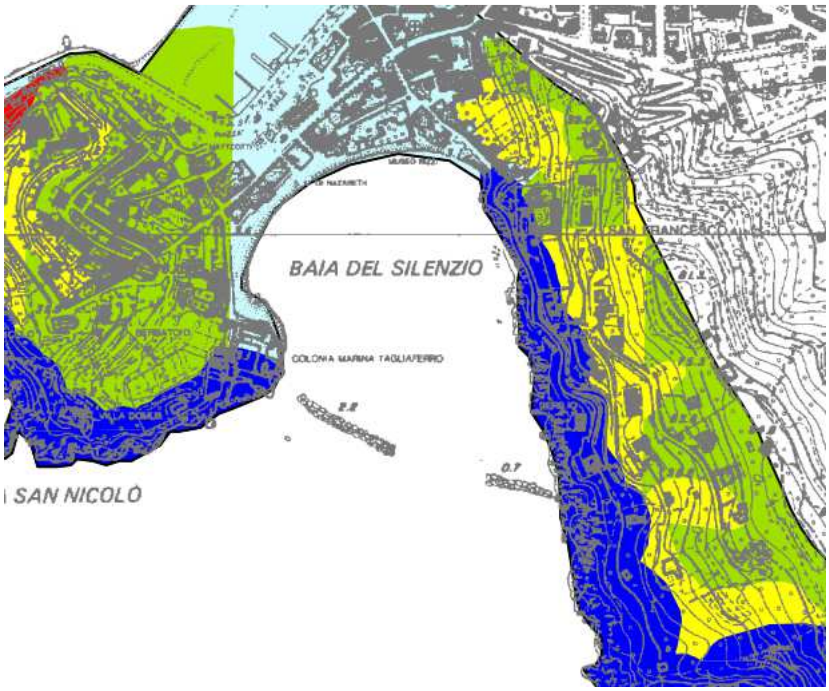


Figura 3.5: Piano di Bacino – Stralcio carta del reticolo idrografico



LEGENDA

CLASSI DI SUSCETTIVITA' AL DISSESTO		NORME DI ATTUAZIONE
MOLTO ELEVATA	Pg4	Art. 16, c. 2
ELEVATA	Pg3a	Art. 16, c. 3
ELEVATA	Pg3b	Art. 16, c. 3–ter
MEDIA	Pg2	Art. 16, c. 4
BASSA	Pg1	Art. 16, c. 4
MOLTO BASSA	Pg0	Art. 16, c. 4
CLASSI SPECIALI		
TIPO A – Cave attive, miniere attive e discariche in esercizio		Art. 16bis, c. 2
TIPO B_1 – Cave inattive e miniere abbandonate		Art. 16bis, c. 3
TIPO B_2 – Discariche dismesse e riporti antropici		Art. 16bis, c. 5
Aree di costa alta/falesia attiva per le quali si rinvia al Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero Approvato con DCR n. 18 del 25/09/2012		

Figura 3.6: Piano di Bacino – Stralcio carta della suscettività al dissesto

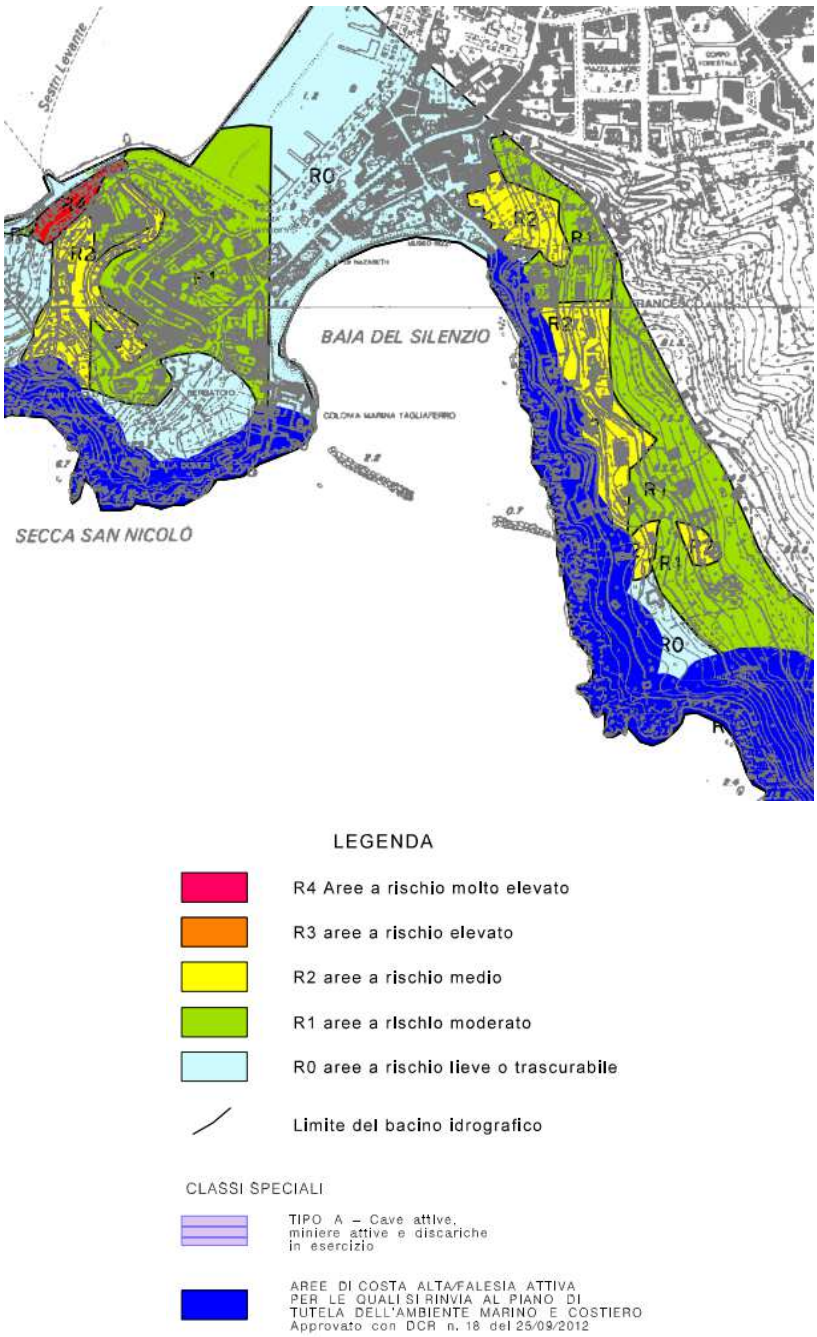


Figura 3.7: Piano di Bacino – Stralcio carta del rischio idrogeologico

Nelle carte della suscettività al dissesto e del rischio idrogeologico, le aree a terra in corrispondenza della radice di entrambe le scogliere, ricadono in Aree di costa alta/falesia attiva per le quali si rinvia al Piano di Tutela dell'ambiente Marino e Costiero approvato con DCR n.18 del 25/09/2012.

3.6 P.U.C. del Comune di Sestri Levante

Il P.U.C. (Piano Urbanistico Comunale) di Sestri Levante è vigente dal 13/08/2003 (sulla base dell'Atto n. 4475 emesso dalla Provincia di Genova in data 25.07.2003), da ultimo variato con Deliberazione del Consiglio Comunale n. 6 del 16/01/2013, diventata efficace con Provvedimento n.ro 1276 del 26/03/2014 reso dal Dirigente del Servizio di Pianificazione Generale e di Bacino della Provincia di Genova.

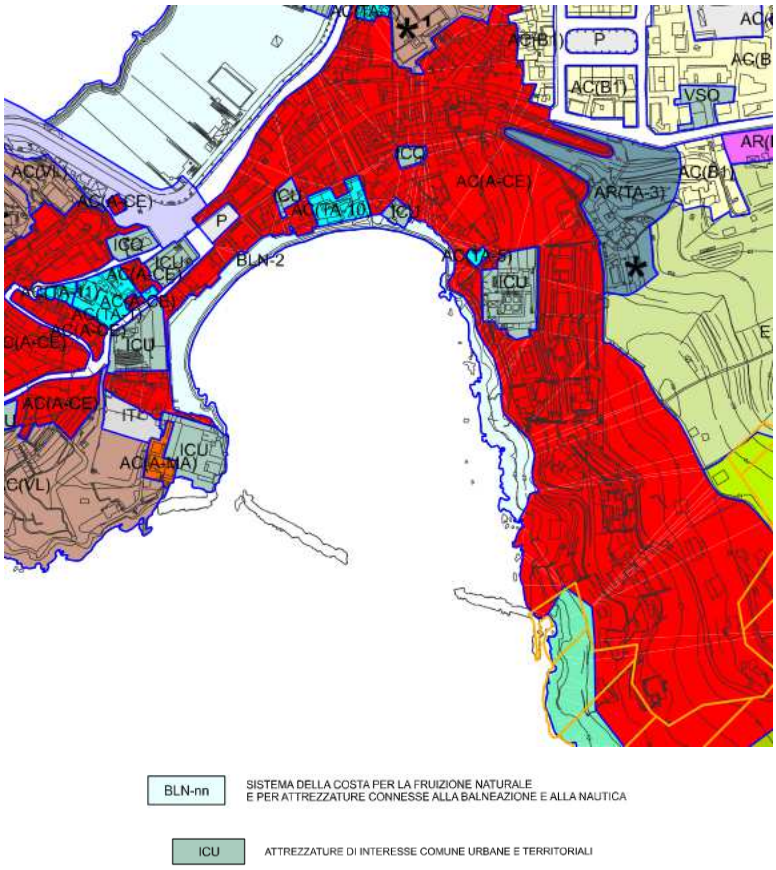


Figura 3.8: Variante P.U.C. Sestri Levante – Struttura - stralcio Tav. STR 6

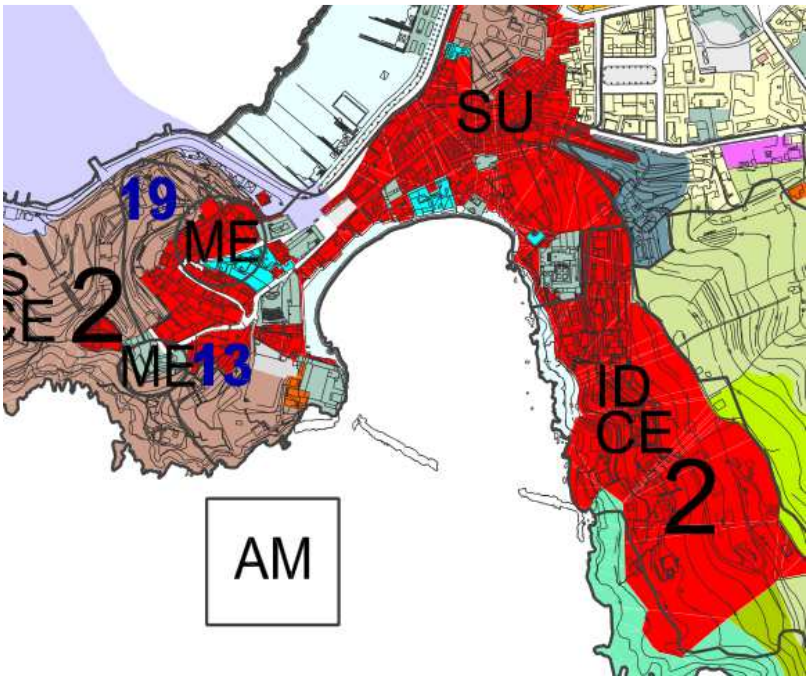


Figura 3.9: Variante P.U.C. Sestri Levante Disciplina paesaggistica - stralcio Tav. PAES 6

L'area interessata dagli interventi in progetto non è compresa in nessun ambito del PUC; è frontistante la spiaggia che ricade in area BLN-2, ossia nel sistema della costa per la fruizione naturale e per attrezzature connesse alla balneazione e alla nautica di Portobello.

In tale area il complesso degli interventi deve tendere a tutelare e valorizzare l'ecosistema costiero locale, eliminando i fattori di disturbo e compromissione, migliorandone e regolandone la fruizione pubblica, qualificandone l'immagine in relazione alle esigenze dei residenti e dei turisti, favorendo le attività sportive e professionali legate alla pesca.

Nelle disciplina paesaggistica le strutture urbane qualificate in cui ricade l'area retrostante le scogliere sono disciplinate dall'art. 2.2, che persegue gli obiettivi di mantenimento del PTCP. Le previsioni puntuali sono riferite al tessuto urbano e non alle scogliere in esame.

3.7 Progetto di utilizzo delle aree demaniali e degli specchi acquei del Comune di Sestri Levante

Le scogliere di difesa della Baia del Silenzio non ricadono in nessun ambito del PUD.

Proteggono tuttavia aree a diversa funzione.

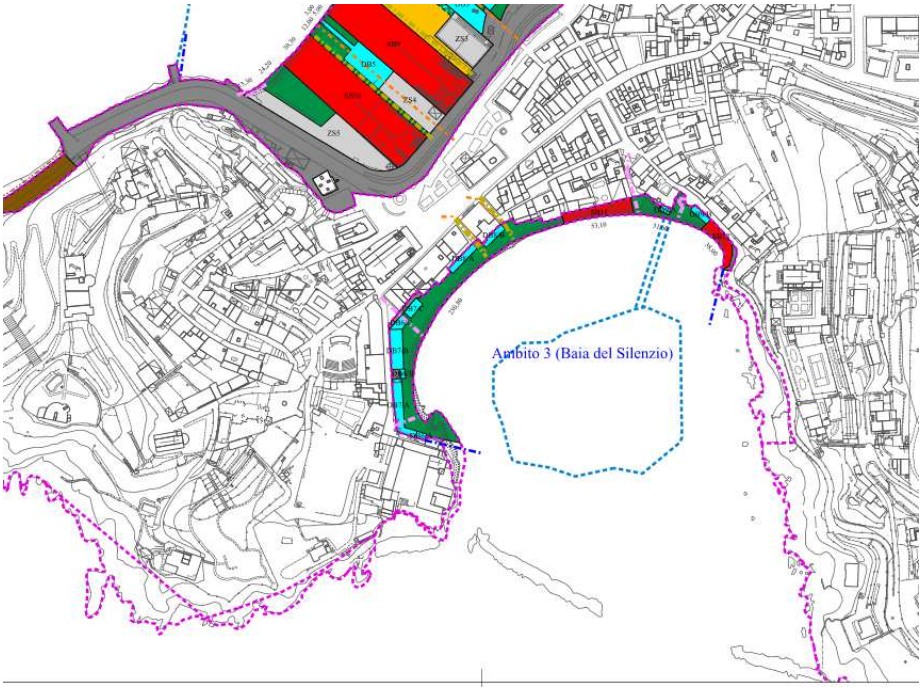


Figura 3.10: Variante P.U.D. Sestri Levante Stralcio Tav. 1 Agg. 2015

4. VALUTAZIONE GENERALE DELLA SENSIBILITÀ AMBIENTALE DEL SITO

4.1 Vincoli architettonici, archeologici e paesaggistici

Il "Patrimonio culturale" nazionale, costituito sia dai "beni culturali" che dai "beni paesaggistici" è riconosciuto e tutelato dal Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei beni Culturali e del Paesaggio come modificato e integrato dal D. Lgs. 24.03.2006, n. 157.

Il Codice individua e regolamenta i vincoli paesaggistici sia all'art. 136 sia all'art. 142.

L'art. 136 individua gli immobili e le aree di notevole interesse pubblico da assoggettare a vincolo paesaggistico con apposito provvedimento amministrativo (lett. a) e b) "cose immobili", "ville e giardini", "parchi"..., c) e d.) "bellezze individue", nonché lett. c) e d) "complessi di cose immobili", "bellezze panoramiche"... c e d.) "bellezze d'insieme").

L'art. 142 individua, invece, le aree tutelate per legge ed aventi interesse paesaggistico di per sé, quali "territori costieri" marini e lacustri, "fiumi e corsi d'acqua", "parchi e riserve naturali", "territori coperti da boschi e foreste", "rilievi alpini e appenninici"...

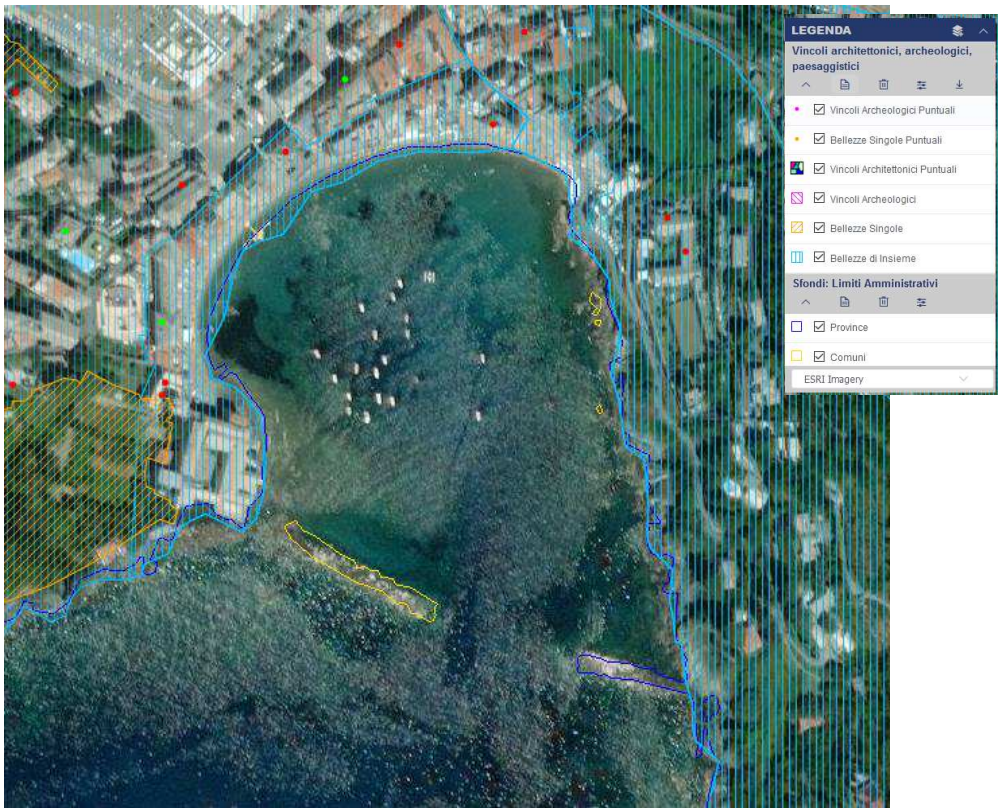


Figura 4.1: vincoli architettonici, archeologici e paesaggistici (da liguriavincoli.it)

Le scogliere ricadono all'interno delle aree vincolate ex art. 142 D. Lgs. 42/2004 (già Legge 431/1985); le aree costiere limitrofe sono classificate come bellezze di insieme e bellezze singole (penisola ed edifici ad essa adiacenti). Sono presenti vincoli architettonici puntuali su singoli edifici.

4.2 Vincolo idrogeologico

Come mostrato nella figura sotto riportata, le scogliere sono interamente in mare e si trovano al di fuori del limite del Piano di Bacino, pertanto non soggette a vincolo idrogeologico.

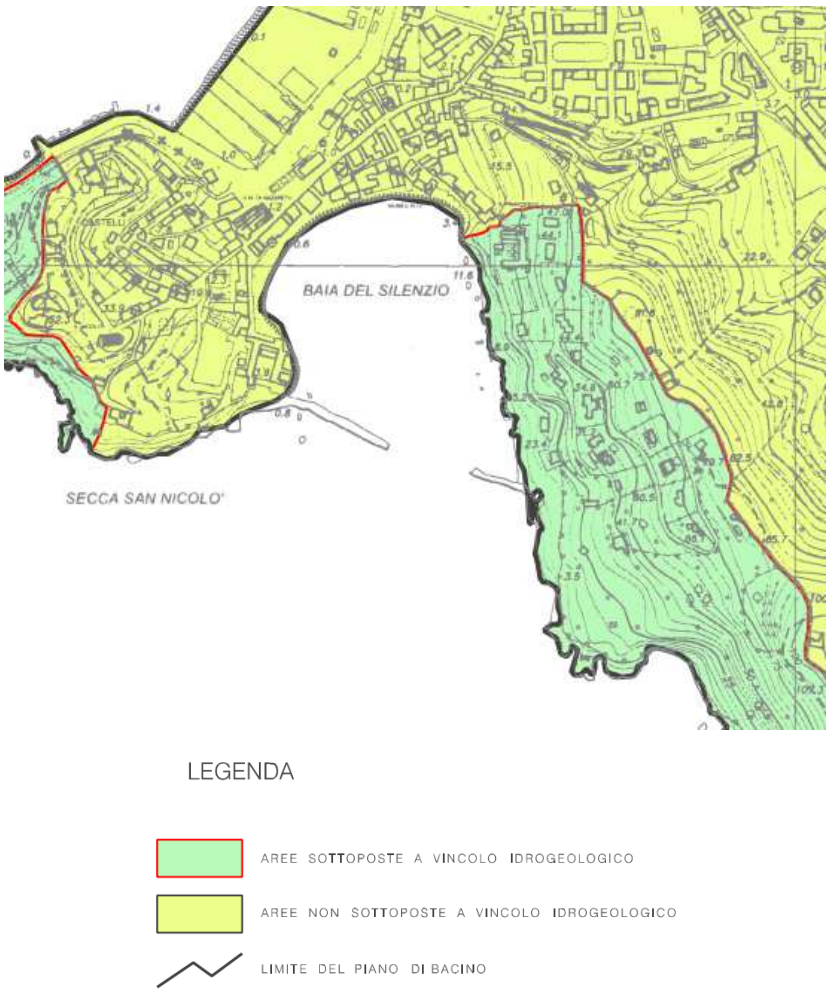


Figura 4.2: Piano di Bacino – Stralcio Carta delle aree sottoposte al vincolo idrogeologico

4.3 Siti di Importanza Comunitaria

Le scogliere di difesa della Baia del Silenzio non ricadono direttamente in alcun SIC.

In prossimità della scogliera di levante è presente il SIC marino IT1333372 - Fondali Punta Sestri e sono presenti praterie di posidonia oceanica.



Figura 4.3: stralcio Carta S.I.C. terrestri e marini

5. ASPETTI NATURALISTICI

L'area in esame, come già sopra descritto, oltre ai caratteri architettonici, paesaggistici ed ambientali di notevole importanza presenta anche la presenza di habitat di grande pregio, sia dentro sia fuori le scogliere di protezione.

Come emerge dallo stralcio dall'Atlante degli habitat marini della Liguria e dalla relazione di paraggio del PTAMC Ambito 15 all'interno della Baia del Silenzio, nella parte sommersa della spiaggia, "*…sopravvivono a bassa profondità alcune modeste superfici di prateria (nel complesso circa a 0,5 ha), circondate a matte morta, fra cui merita particolare attenzione un piccolo lembo relitto di récif-frangeant…*", mentre fuori dalla baia …. "*sul versante di levante, la scogliera che digrada in mare fino a 15 m di profondità, è colonizzata da posidonia insediata su roccia, su una superficie di circa 2,5 ha…*"

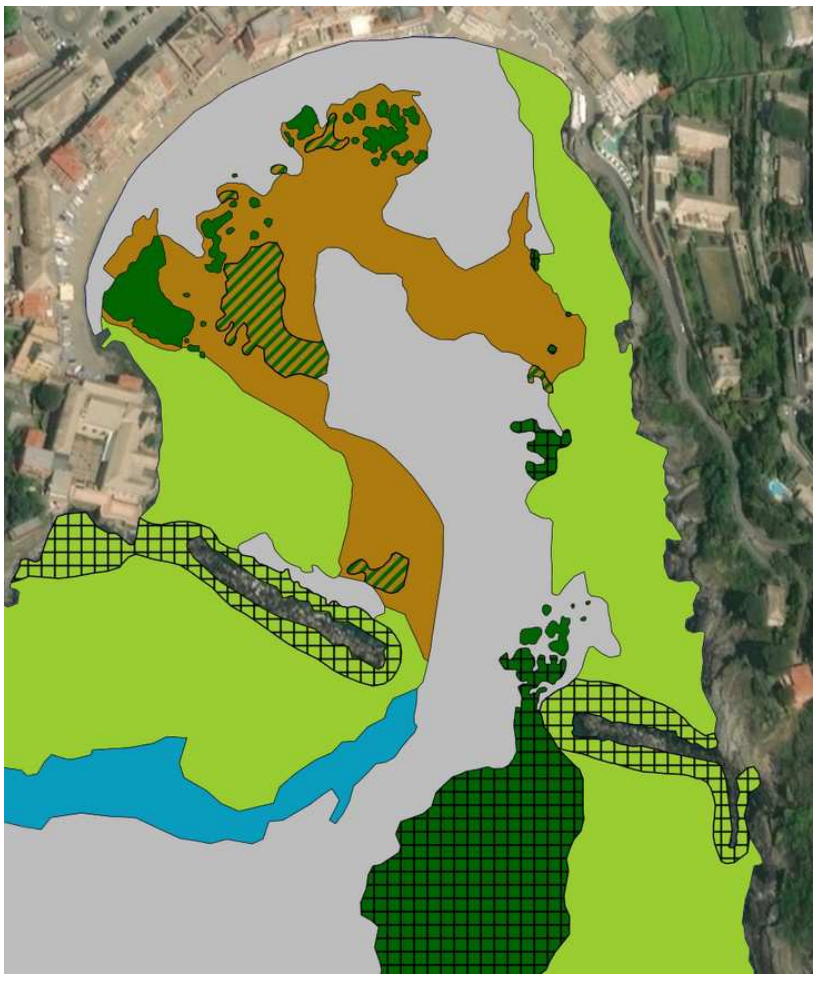


Figura 5.1: stralcio Atlante degli habitat marini della Liguria (2020) sovrapposto al rilievo delle scogliere e ai tratti oggetto di intervento

5.1 Indagini bionaturalistiche di dettaglio

Data la presenza di habitat di grande pregio nell'area e la contestuale presenza di S.I.C. terrestri e marini prossimi all'area di intervento, è stata affidata all'impresa RSTA di Genova apposita indagine specialistica finalizzata a fornire un inquadramento naturalistico di dettaglio dei popolamenti bentonici, ed in particolare della prateria di Posidonia oceanica.

I risultati di tale indagine sono esposti in dettaglio nella specifica relazione "R03: Relazione tecnico-naturalistica sui bassi fondali circostanti l'imboccatura della Baia del Silenzio nel comune di Sestri Levante (GE)" a cura di RSTA.

Lo studio è stato condotto sia da biologi marini iscritti all'Albo professionale (O.N.B.I. - Ord. Naz. Biologi Italiani) e operatori scientifici subacquei (OSS) con decennale esperienza nel monitoraggio subacqueo, censimenti fauna ittica e habitat protetti, sia da tecnici naturalisti e laureati in scienze del mare. I fondali marini sono stati indagati mediante immersioni con A.R.A. (autorespiratori ad aria) oltre che con l'ausilio di una telecamera subacquea trainata ed associata ad un sistema di posizionamento GPS (sistema Tritone). Gli OSS hanno condotto 3 transetti subacquei nei pressi delle due scogliere a protezione della baia, con conteggio dei fasci fogliari ove possibile, mentre con il sistema Tritone è stato indagato un tratto di fondale marino più ampio.

Durante le ricognizioni sono state registrate 41 specie, di cui 10 forme algali, 10 specie ittiche, 5 celenterati e 5 echinodermi come sintetizzato nella tabella seguente.

	Taxon/Specie	Transetto 1	Transetto 2	Transetto 3
Alghe	*Codium bursa*		x	x
	Corallina elongata	x	x	x
	Dictyota dichotoma	x		x
	Flabelia petiolata	x	x	x
	Halimeda tuna	x		x
	Halopteris scoparia	x	x	x
	Jania rubens	x	x	x
	Mesophyllum sp.	x	x	x
	Peyssonnelia rubra	x		x
	Peyssonnelia polymorpha	x	x	x
Piante	*Posidonia oceanica*		x	x
Spugne	*Chondrosia reniformis*	x		
	Sarcotragus sp.	x		
	Spirastrella cunctatrix	x	x	x
Celenterati	*Anemonia viridis*		x	x
	Balanophillia europea			
	Cereus pedunculatus		x	
	Cladocora caespitosa	x	x	x
	Parazoanthus axinellae	x		
Policheti	*Bonellia viridis*	x		
	Protula tubularia		x	x
	Serpulidi n.d.	x	x	x
Molluschi	*Pinna nobilis**		x	
Crostacei	*Amphibalanus amphitrite*	x		
	Inachus phalangium		x	
	Perforatus perforatus	x		
Briozoi	*Bugula* sp.	x		
Echinodermi	*Arbacia lixula*	x		
	Echinaster sepositus		x	x
	Holoturia tubulosa		x	x
	Paracentrotus lividus		x	
	Sphaerechinus granularis		x	
Tunicati	*Clavelina* sp.	x		
	Halocinthia papillosa	x		
Pesci	*Chromis chromis*	x	x	x
	Coris julis	x	x	x
	Diplodus sargus	x	x	x
	Diplodus vulgaris	x	x	x
	Sarpa salpa	x	x	x
	Serranus cabrilla	x	x	x
	Serranus scriba		x	x
	Symphodus tinca		x	x
	Symphodus doderleini		x	x
	Tripterygion delaisi	x		

* resti della conchiglia, esemplare morto.

La ricognizione subacquea ha permesso di rilevare la presenza di diverse chiazze e macchie di posidonia subito alla base della porzione centrale della scogliera artificiale di ponente (ad una distanza di circa 10m dai massi emersi) con coperture percentuali tra il 30% e il 40%, non comprese all'interno del sub-sito 1 della ZSC Fondali di Punta Sestri forse per le loro caratteristiche non rilevanti dal punto di vista conservazionistico.

Ha, inoltre, confermato la presenza di una più vasta area interessata dalla fanerogama marina in buone condizioni vitali nella parte di levante (compresa nel sub-sito 2), tuttavia con coperture percentuali inferiori al 40% e densità che ne determinano uno stato "non soddisfacente".

Le verifiche con videocamera hanno consentito di delimitare 7 aree caratterizzate da posidonia con ricoprimenti modesti e per lo più a chiazze, con le seguenti estensioni: A = 420 m^2; B = 370 m^2; C = 1000 m^2; D = 1450 m^2; E = 940 m^2; F = 570 m^2; G = 855 m^2.

Tali aree sono evidenziate nella figura seguente, estrapolata dalla suddetta relazione di dettaglio redatta da RSTA.

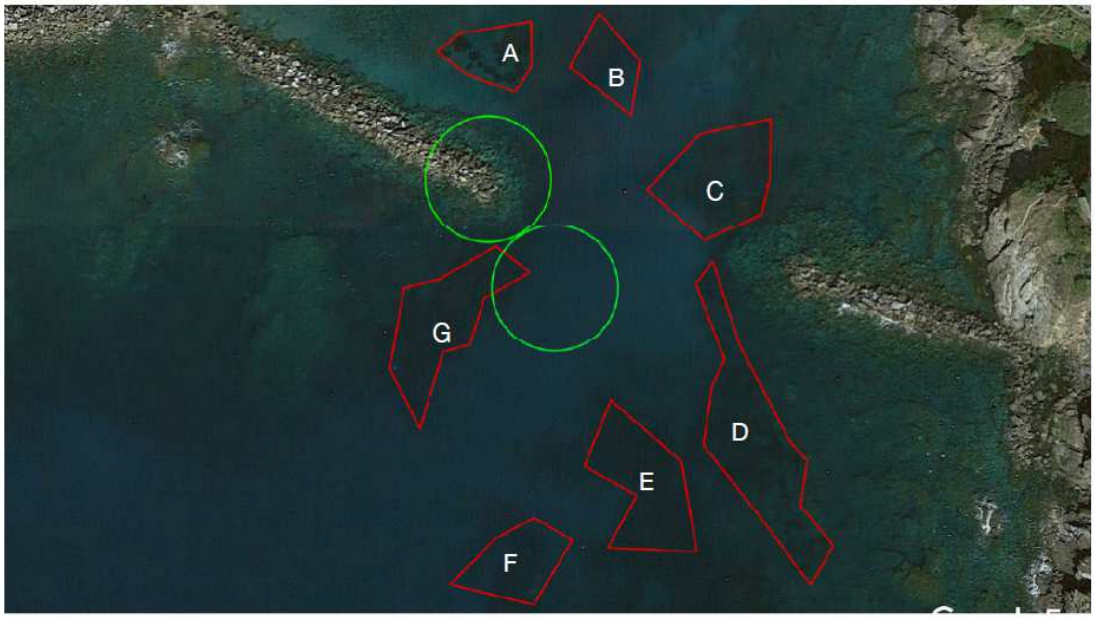


Fig. 28: Aree interessate da *Posidonia oceanica*, in rosso, e, in verde, ipotetiche zone di rispetto che non vanno ad interferire con le piante.

Figura 5.2: stralcio cartografia tratta dalle indagini di RSTA

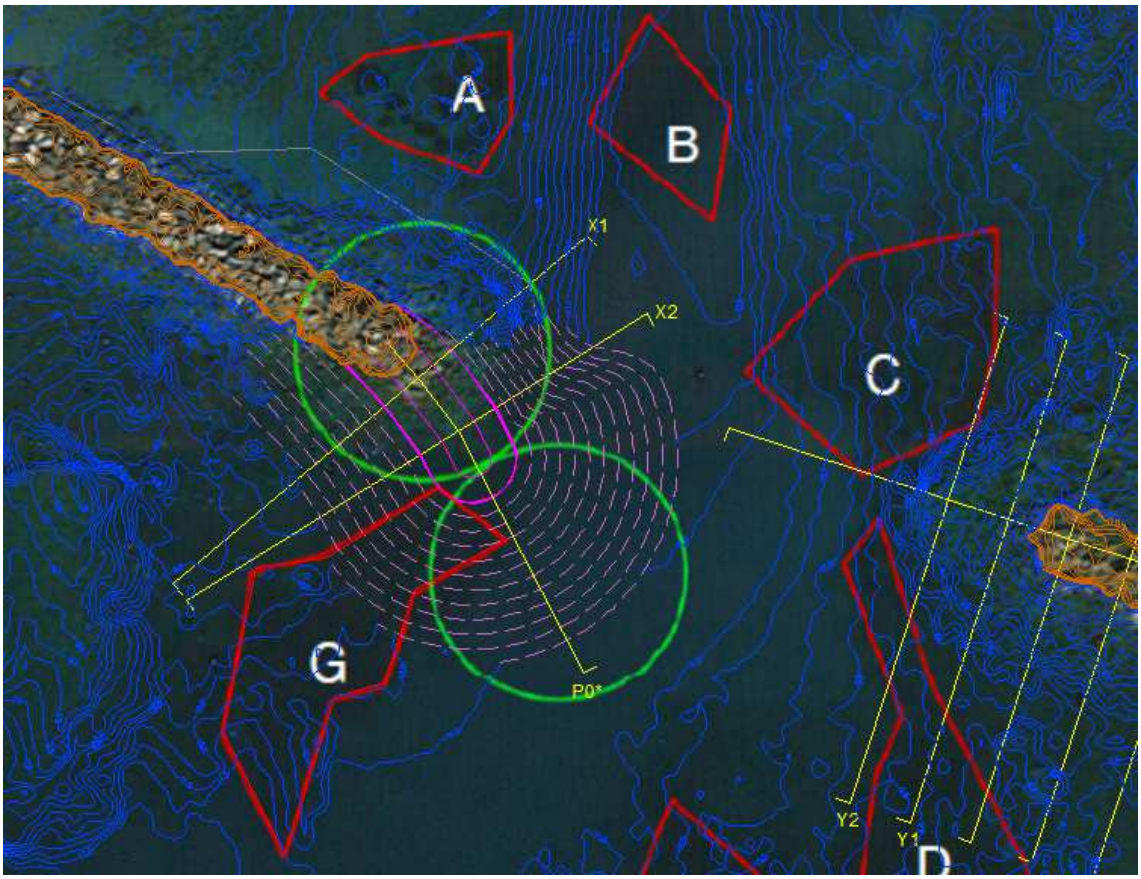


Figura 5.3: stralcio cartografia tratta dalle indagini di RSTA sovrapposta alle opere a progetto (la scogliera a progetto è rappresentata in viola, la parte sommersa è tratteggiata)

Dallo stralcio di tale cartografia a cui è stata sovrapposta la planimetria di progetto, si può vedere che l'area G è l'unica interessata, per circa 1/3, dall'intervento in oggetto ed in particolare dalla scogliera sommersa, che potrebbe quindi coprire una porzione di fondale colonizzata dalla pianta marina, insediata sia su fondale roccioso che su matte morta o negli spazi sabbiosi tra le rocce del fondo.

Essendo in tale zona la presenza della posidonia residuale e pioniera, a causa delle dinamiche presenti nell'area non si ritiene che l'impatto dell'opera risulti significativo.

Si propone tuttavia, come misura di mitigazione, l'espianto delle piante che andrebbero distrutte ed il successivo trapianto in una prateria in via di degrado o a rischio in una zona poco distante, per favorirne il ripristino.

Le aree all'interno della Baia del Silenzio, colonizzate da residuali e ridotte porzioni di prateria (area B) - o altre da individuare meglio e concordare con il Settore Ecosistema Costiero della Regione Liguria - potrebbero rappresentare un sito idoneo per effettuare un reimpianto di rizomi

delle piante di posidonia che potrebbero essere compromesse e/o interferite dai lavori di ampliamento e consolidamento delle scogliere di protezione.

Questo tipo di recupero e ripristino è già stato applicato, con diversi livelli di successo, in diversi contesti marino costieri, sia in ambito nazionale che all'estero: per quanto riguarda le iniziative nazionali, si possono richiamare le attività di trapianto delle fanerogame marine - pur con metodiche e tecnologie diverse - in Campania (Ischia), Lazio (Civitavecchia - S. Marinella), Toscana (Piombino), Sicilia (Augusta-Priolo), Veneto (Laguna di Venezia) e, più recentemente, anche in Liguria (Rapallo).

6. STUDIO METEOMARINO - ANALISI STATO ATTUALE

Durante la fase di progettazione preliminare delle opere di protezione, si è reso necessario svolgere degli studi approfonditi sulle condizioni degli agenti meteomarini all'interno della Baia del Silenzio. Il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova (DICCA), su incarico del Comune di Sestri Levante, a gennaio 2020 ha svolto uno studio dal titolo "Modellazione numerica della circolazione costiera e valutazione di ricadute in termini di protezione civile all'interno della Baia di Sestri Levante". Per il dettaglio di tale relazione si rimanda si rimanda allo "Studio di fattibilità – Relazione tecnica generale e allegati grafici" riportato in allegato 1.

Sinteticamente lo scopo di tale prima parte della collaborazione scientifica consisteva nello studio della circolazione costiera all'interno della Baia del Silenzio e la verifica delle condizioni degli agenti meteomarini all'interno della baia ai fini di protezione civile (sia per quanto riguardava le caratteristiche della risalita del moto ondoso sull'arenile della baia, sia per quanto riguarda l'intensità del moto ondoso nella zona centrale della baia adibita ad area ormeggio per le barche da diporto), alla luce di quanto verificatosi durante la mareggiata del 29 ottobre 2018.

Nello studio è stato evidenziato il rischio per i territori costieri della baia dovuto al runup, la risalita del moto ondoso lungo la spiaggia emersa all'interno della baia, una grandezza valutata ai fini di protezione civile in quanto la risalita dell'onda è una grandezza utilizzata per la stima dell'estensione dell'inondazione costiera provocata da eventi di mareggiata. La simulazione è stata condotta prendendo in considerazione tre mareggiate storiche: quella del novembre 2008, quella del gennaio 2010 e quella dell'ottobre 2018. La risalita del moto ondoso sulla spiaggia emersa ha evidenziato valori pari fino a 1,5-2,5 m lungo l'estensione dell'arenile all'interno della baia.

E' stato inoltre evidenziato come il livello raggiunto dalla risalita dell'onda, e quindi di conseguenza l'area potenzialmente inondabile in seguito al verificarsi di un evento di mareggiata intensa, dipenda in maniera significativa dalla posizione del livello del medio mare: nel caso di innalzamento del livello medio mare ovviamente l'area inondabile in corrispondenza della zona attigua alla Baia del Silenzio del centro storico di Sestri Levante aumenterà significativamente.

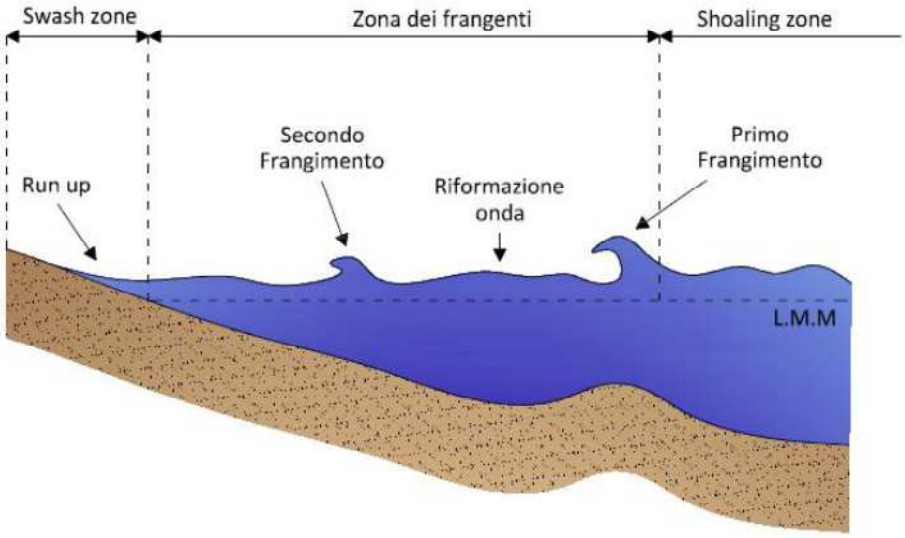


Figura 6.1: schema del fenomeno di frangimento dell'onda e conseguente run-up sulla costa.

Le due problematiche che hanno ispirato lo studio, ovvero il miglioramento della qualità delle acque della baia soprattutto durante le calme estive e la protezione del litorale dagli eventi di mareggiata intensa, sono due aspetti che possono trovarsi in antitesi tra di loro. Una maggiore protezione da parte del moto ondoso implicherebbe infatti la costruzione di opere di difesa più imponenti e impattanti rispetto alle attuali. La diminuzione del flusso di energia del moto ondoso all'interno della baia ottenuto tramite una minore esposizione della baia stessa al mare aperto comporterebbe però una limitazione alla dinamica della circolazione della baia e allo scambio tra l'interno della baia e il mare aperto, provocando quindi un maggior ristagno delle acque.

Lo studio ha concluso quindi che una maggior protezione dall'azione delle onde deve essere perseguita cercando di non diminuire in nessun modo la circolazione interna della baia (i.e. non aumentare i tempi di residenza) ed ha individuato alcune strade percorribili per un eventuale studio preliminare di risistemazione dei pennelli di protezione:

la realizzazione di una struttura con nucleo impermeabile che limiti la trasmissione del moto ondoso attraverso l'ammasso poroso;

- un irrobustimento delle strutture tramite una risagomatura per limitare la tracimazione ed eventualmente la realizzazione di una berma per dissipare localmente l'energia del moto ondoso;
- una modifica dell'orientamento del molo di ponente verso sud al fine di occludere maggiormente la bocca di entrata alla baia, permettendo comunque un facile accesso alle imbarcazioni da diporto.

Nello studio è ritenuto necessario, in seguito a qualsiasi riprofilatura / risagomatura / rifiorimento o riprogettazione della struttura di ponente, cercare di non ostruire per nessun motivo il varco presente adesso alla radice del molo, in quanto rappresenta una connessione idrodinamica tra l'interno della baia e il mare aperto, in grado quindi di scambiare acqua e favorire quindi la diluizione di eventuali contaminanti.

7. APPROFONDIMENTI GEOLOGICI

Gli approfondimenti di carattere geologico sono stati condotti dal Dott. Geol. Roberto De Franchi di Genova.

Nel presente paragrafo si riporta una breve sintesi dell'inquadramento geologico e geomorfologico e del modello geologico e geotecnico di riferimento.

La Baia del Silenzio, è un ampio golfo esposto a sud sudest compreso tra falesia che si estende da punta Manara a levante e il promontorio di Sestri a Ponente, con una spiaggia sul fondo di forma quasi semicircolare.

L'istmo sabbioso che costituisce il fondo della baia congiunge la piana alluvionale del T. Gromolo con "l'isola di San Nicolo"; la morfologia attuale deriva dall'evoluzione del cordone litoraneo storicamente interessato da diversi interramenti e sommersioni in relazione alle variazione degli apporti detritici dei torrenti e delle mareggiate succedutesi nel tempo. La completa saldatura con un profilo pressoché stabile e simile all'attuale si fa risalire alla metà del 18° secolo (G.C. Cortemilia, 1987 evoluzione della plana di Sestri Levante dal secolo XVIII d.c. alla situazione attuale, Geogr. Pis. Dinam.).

Il substrato roccioso dell'area direttamente interessata dal progetto e di tutta la baia del silenzio sia a Levante che a Ponente è stato per molti anni attribuito alla Formazione delle "Arenarie Superiori". Solo di recente, con la pubblicazione del foglio 232-Sestri Levante della Cartografia geologica regionale in scala 1:25.000 derivante dal Progetto C.A.R.G., le rocce del substrato vengono attribuite alla formazione geologica nota in letteratura come Ardesie di Monte Verzi, facente parte del Gruppo del Lavagna e caratterizzata in generale da torbiditi marnose intercalate a livelli di arenaria e a torbiditi siltoso-argillitiche.

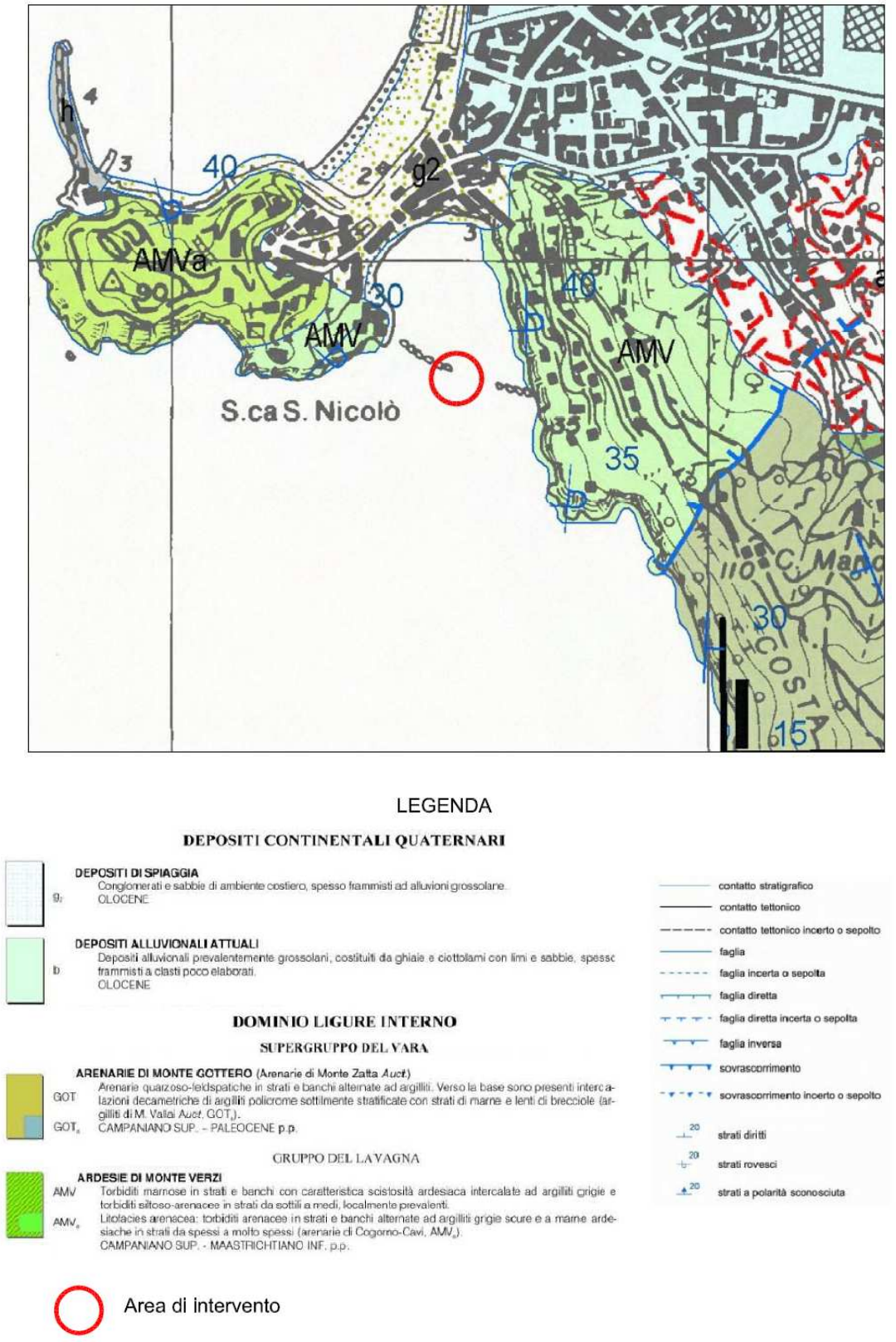


Figura 7.1: stralcio carta geologica (CARG – foglio 232 Sestri Levante)

La roccia affiora diffusamente ed è ben visibile sulle falesie che delimitano lo specchio acqueo della baia e sono costituite in buona parte dai termini arenacei anche in bancate molto spesse, intercalate a torbidite siltose e argilliti.

La giacitura degli strati è prevalentemente verso W-NW (strati rovesciati) con inclinazione compresa tra 30° e 40°con deboli ondulazioni a scala decametrica e ripiegature più fitte molto localizzate e sempre nei termini pelitici.

I depositi marini sono costituiti da sabbie da fini (più a terra) a medie talvolta frammiste a ghiaia generalmente fine, con spessori variabili ma sempre crescenti dalla costa verso il largo.

Sulla base della documentazione bibliografica disponibile e delle osservazioni dirette effettuate per il sottosuolo della zona della scogliera dove si andrà ad intervenire, è possibile ricostruire un modello geologico molto semplice, costituito da 2 strati: un livello superficiale di depositi marini sovrapposto al substrato roccioso di base.

I depositi marini sono costituiti da sabbia da medio-fine a grossolana con locali intervalli discontinui di ghiaia fine con spessore nella zona di intervento valutabile in almeno 6÷8 m.

Sulla base dei risultati di indagini effettuate in condizioni geologiche paragonabili e sulla base della granulometria del fondo che è stato possibile osservare nei campioni prelevati sul fondo, si possono valutare i seguenti parametri geotecnici medi:

- angolo d'attrito efficace ϕ = 33-35°;
- coesione efficace c' = 0 kPa
- Peso di volume γ = 18.5 KN/m^3

Il substrato roccioso è costituito da arenarie medio-fini talora in banchi anche molto spessi alternate livelli torbidi di marne siltiti e argilliti. Sulla base delle osservazioni effettuate, dell'esperienza maturata in zona e dei dati bibliografici disponibili all'ammasso roccioso possono essere attribuiti i seguenti parametri:

- Angolo di attrito ammasso r.: φ = 37-39°
- Coesione ammasso r.: c = 60÷90 KPa
- Peso di volume: γ = 25 KN/m^3

8. STUDIO DI FATTIBILITÀ

I rilievi e gli studi eseguiti hanno consentito di avere un quadro aggiornato delle condizioni attuali della baia e delle principali criticità legate alla protezione civile: sulla base degli stessi è stato redatto alla fine del 2020 un apposito Studio di Fattibilità condiviso con l'Amministrazione Comunale, che si riporta integralmente in allegato alla presente relazione ("Allegato 1: Studio di fattibilità – Relazione tecnica generale e allegati grafici").

In detto studio di fattibilità sono state individuate una serie di ipotesi progettuali, con lo scopo primario di migliorare il livello di protezione delle aree della baia a tergo delle scogliere, ma considerando anche la necessità del mantenimento delle importanti peculiarità paesaggistiche ed ambientali dell'area, con particolare riferimento agli aspetti paesaggistici (la baia è un patrimonio paesaggistico primario del Comune e dell'intero territorio regionale) e a quelli ambientali, legati alla circolazione delle acque all'interno dell'area protetta dalle scogliere e alla presenza della prateria di posidonia immediatamente a ridosso dell'imboccatura tra le due scogliere.

L'approfondimento meteomarino del DICCA, di cui al paragrafo precedente, ha evidenziato infatti sia l'esigenza di una maggiore protezione sia l'importanza di mantenere un'adeguata circolazione idrica.

Le soluzioni progettuali identificate, descritte in dettaglio nello "Studio di fattibilità – Relazione tecnica generale e allegati grafici" allegato alla presente, sono state le seguenti:

- Ipotesi A – rifiorimento scogliere

L'ipotesi progettuale A prevedeva di eseguire il rifiorimento di entrambe le scogliere per allargare le berme fino a 6,00 m a quota +2,00 m s.l.m.m. e rinforzare le scarpate verso mare. Le mantellate di entrambe le scogliere erano previste con pendenza 1/1 verso l'interno e 1/2,5 verso l'esterno.

Per il rifiorimento della scogliera di ponente risultavano necessari circa 7.600 t, mentre per quella di levante 2.200 t.

La stima dei costi necessari (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) risultava pari a circa 1.000.000 €.

- Ipotesi B – rifiorimento scogliere e berma esterna sommersa

L'ipotesi B prevedeva il rifiorimento delle scogliere come in ipotesi A e la realizzazione nelle mantellate a mare, a ridosso del rifiorimento, di una nuova berma esterna a quota -1,00 m s.l.m.m. con larghezza 10,00 m e pendenza della mantellata 1/2,5.

L'ipotesi sopra descritta era prevista da realizzare in accoppiamento all'intervento A mediante l'impiego, oltre ai quantitativi di nuovi massi necessari per il rifiorimento (v. ipotesi A: 7.600 t a ponente e 2.200 t a levante), di ulteriori 12.200 t per la scogliera di ponente e 6.300 t per quella di levante per un totale di 19.800 t a ponente e 8.500 t a levante.

La stima dei costi necessari (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) risultava pari a circa 1.500.000 € da sommare ai costi previsti per l'ipotesi A.

- Ipotesi C – allungamento scogliera ponente

L'ipotesi C prevedeva l'allungamento della scogliera di ponente con orientamento sud-est, costituito da una berma a quota +2,00 s.l.m.m di larghezza 6,00 m con mantellata di pendenza 1/2,5 verso l'esterno, in testa e per un tratto interno di raccordo. Nel tratto in cui si congiunge con la scogliera attuale la pendenza della mantellata interna era prevista invece di 1/1.

L'allungamento a quota +2,00 risultava di circa 55 m e in totale al piede di 88 m.

L'ipotesi sopra descritta prevedeva di impiegare circa 72.300 t di nuovi massi.

La stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) prevista ammontava a circa 6.850.000 €.

- Ipotesi C2 – allungamento parziale scogliera ponente

L'ipotesi C2 presentava le stesse caratteristiche dell'ipotesi C, con una minore estensione del prolungamento (circa 20 m anziché 55 e in totale al piede circa 55 m anziché 88).

Per l'intervento risultavano necessari circa 26.000 t di nuovi massi.

La stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) prevista ammontava a circa 2.500.000 €.

- Ipotesi D – allungamento scogliera levante

L'ipotesi D prevedeva di allungare la scogliera di levante seguendo l'orientamento attuale della scogliera. L'allungamento è costituito da una berma a +2,00 m s.l.m.m. con larghezza 6,00 m e pendenza della mantellata 1/2,5 verso l'esterno e in testata, mentre verso l'interno pendenza 1/1. L'allungamento a quota +2,00 m risultava essere di circa 20 m, mentre al piede di circa 50 m.

Per la realizzazione dell'intervento erano previsti circa 32.000 t di massi naturali.

La stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) era pari a circa 2.950.000 €.

- Ipotesi E – barriera sommersa

L'ipotesi E prevedeva la realizzazione di una barriera sommersa collocata tra le due teste delle scogliere attuali. La barriera risultava adagiata sul fondale a circa -12 m a riempire lo spazio libero tra le due scogliere per una lunghezza di circa 83,80 m fino a una quota di -3 m.

L'ipotesi E prevedeva di impiegare circa 48.500 t di massi naturali.

La stima dei costi prevista (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) era pari a circa 3.950.000 €.

9. STUDIO METEOMARINO – IDENTIFICAZIONE EVENTI ESTREMI E CONFRONTO IPOTESI DI PROGETTO

Nell'ambito della suddetta convenzione di collaborazione scientifica di tra il Comune di Sestri Levante e il dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova era anche previsto il supporto da parte del DICCA per l'identificazione e la verifica di eventuali soluzioni progettuali relative a interventi di protezione della Baia.

Nella seconda fase è stata quindi eseguita l'analisi di diverse possibili soluzioni progettuali identificate sulla base dello Studio di fattibilità (descritto in dettaglio al capitolo precedente), sia in termine di moto ondoso residuo all'interno della baia, che di risalita del moto ondoso lungo la battigia che di dinamica della dispersione per la soluzione progettuale indicata dalla committenza. E' stata inoltre effettuata anche l'analisi degli eventi estremi per il moto ondoso al largo della Baia necessario per le attività di progettazione delle opere grazie all'utilizzo dei dati meteo-marini di ricostruzione (hindcast) del DICCA.

Per i dettagli delle suddette attività si rimanda all'apposita relazione " R02 – Analisi configurazioni di progetto per la protezione della Baia del Silenzio, Sestri Levante (a cura di Università di Genova – DICCA Dipartimento di ingegneria civile, chimica e ambientale)".

In sintesi sono stati analizzati gli eventi estremi in un determinato punto del modello della dinamica del moto ondoso del DICCA ritenuto significativo per l'area in esame e sono stati ricavati i parametri d'onda per il settore da libeccio e il settore da scirocco corrispondenti a tempi di ritorno di 5, 25, 50 e 100 anni.

E' stata quindi propagata dal punto di hindcast utilizzato per le analisi degli eventi estremi fino al piede della struttura di protezione l'onda di progetto identificata come l'onda con tempo di ritorno pari a 50 anni con le seguenti caratteristiche: Hs=7,2 metri e Tp=12 secondi e con una direzione di provenienza pari a 220° N, corrispondente a un evento di libeccio.

Per il calcolo della propagazione dal largo verso riva è stato utilizzato il codice numerico SWAN in modalità stazionaria, con impostazione di uno spettro JONSWAP in corrispondenza del contorno del dominio di calcolo. I risultati della propagazione hanno restituito quindi i seguenti valori caratteristici del moto ondoso: Hs=5,27 metri, Tp=12 secondi, Tm=9,3 secondi, direzione di provenienza di picco pari a 215°N.

L'analisi dell'efficacia di eventuali interventi di protezione della Baia del Silenzio è stata eseguita utilizzando lo stesso approccio dello studio sviluppato nel caso dell'analisi dello stato attuale, analizzando sia gli aspetti relativi all'agitazione ondosa all'interno della baia con relativa analisi dell'inondazione costiera (run-up), sia gli aspetti relativi alla dispersione

all'interno della baia tramite un confronto tra i tempi di residenza per le ipotesi di progetto e la configurazione dello stato attuale. Infine, sempre al fine di meglio comprendere i processi dispersivi e di trasporto di sedimenti tra la baia e il mare aperto, è stato analizzato il profilo di velocità in prossimità dell'imboccatura della baia compresa tra le due scogliere.

Il modello numerico è stato implementato su tre possibili configurazioni di progetto identificate nello studio di fattibilità di cui al paragrafo precedente: C, C2 ed E.

Le simulazioni sono state condotte prendendo in considerazione le tre mareggiate storiche già utilizzate per l'analisi dello stato attuale: quella del novembre 2008, quella del gennaio 2010 e quella dell'ottobre 2018.

Per una maggiore comprensione dell'effetto delle diverse configurazioni di opere in relazione alla protezione della baia dagli eventi di mareggiata, sono state calcolate le differenze in termini di agitazione del moto ondoso e di risalita del moto ondoso rispetto alla configurazione attuale.

I risultati relativi all'agitazione residua all'interno della baia e della risalita del moto ondoso sulla spiaggia emersa, come riportato nelle conclusioni dello studio del DICCA, mostrano come gli effetti più significativi in termini di mitigazione del rischio si ottengano con la configurazione C. La realizzazione della soluzione C2, meno onerosa della soluzione C, permette tuttavia di ottenere effetti sensibili soprattutto in condizioni di mare proveniente da libeccio e presenta comunque effetti abbastanza simili. Inoltre la realizzazione delle soluzione C2 non pregiudica una eventuale futura realizzazione della configurazione C.

Per quanto riguarda la configurazione E, invece, gli effetti di mitigazione non sono apprezzabili come nei casi precedenti, a causa delle dimensioni limitate dell'intervento, in quanto una barriera sommersa per poter avere un effetto significativo sulla propagazione del moto ondoso deve avere dimensioni trasversali significative con larghezze dell'ordine di metà lunghezza d'onda, quindi lunghezze comprese come ordine di grandezza tra 10 e 30 metri.

Le stesse osservazioni possono essere realizzate per quanto riguarda i valori della risalita del moto ondoso sulla spiaggia emersa, ottenendo maggiori effetti per le mareggiate provenienti dai settori di Sud-Ovest (libeccio) e in particolare nella parte di ponente della baia.

Nella configurazione di progetto C2, l'aumento dei tempi di residenza all'interno della Baia comporterà una dinamica più lenta rispetto alla configurazione dello stato attuale. Il caso peggiore, ovvero quello di bonaccia, dovrebbe presentare comportamento comunque analogo allo stato attuale, in quanto sia nella configurazione attuale che in quella di progetto C2 i tempi di residenza sono maggiori rispetto a una eventuale permanenza di una condizione di bonaccia prolungata, ovvero non vi fisicamente il tempo di sviluppare l'effettivo tempo di residenza completo per la condizione di bonaccia (ci si aspetta infatti che le condizioni di calma siano

comunque interrotte su tempistiche più contenute rispetto ai 20 e più giorni previsti). In condizioni di forzante ondoso, invece, i tempi di residenza aumentano meno significativamente e comunque all'interno della baia viene a crearsi una circolazione che comunque innesca il ricambio delle acque.

10. SCELTA DELLA CONFIGURAZIONE PROGETTUALE

Le configurazioni individuate nello Studio di fattibilità e sinteticamente descritte al paragrafo 7 sono state sottoposte all'Amministrazione Comunale e condivise con gli Uffici Regionali Competenti.

E' stata, quindi, eseguita un'attenta analisi di differenti aspetti: necessità di difesa delle aree della Baia, tutela degli aspetti paesaggistici (la baia è un patrimonio paesaggistico primario del Comune e dell'intero territorio regionale), tutela degli aspetti ambientali, legati in particolare alla circolazione delle acque all'interno dell'area protetta dalle scogliere e alla presenza della prateria di *Posidonia oceanica* immediatamente a ridosso dell'imboccatura tra le due scogliere, disponibilità di fondi per la realizzazione delle opere ed eventuale possibile completamento/implementazione in un secondo tempo.

Tre delle configurazioni considerate nello studio preliminare (C, C2 ed E) sono, inoltre, state sottoposte a simulazioni specifiche per valutarne in dettaglio l'efficacia.

Alla luce quindi della valutazione dei diversi aspetti sopra menzionati ed in particolare delle risultanze delle analisi meteomarine, che hanno mostrato che la realizzazione della soluzione C2 (meno onerosa della soluzione C) permette tuttavia di ottenere effetti sensibili soprattutto in condizioni di mare proveniente da libeccio e presenta comunque effetti abbastanza simili, è stata scelta come soluzione progettuale a base della progettazione definitiva la soluzione denominata C2.

Tale soluzione, rispetto a come prevista nell'ambito dello studio di fattibilità è stata ottimizzata e leggermente modificata per tenere conto di aspetti di dettaglio di carattere tecnico ed ambientale.

La configurazione progettuale prescelta è descritta in dettaglio ai paragrafi seguenti.

Oltre all'allungamento, è previsto il rifiorimento delle due scogliere esistenti.

10.1 Descrizione degli interventi a progetto

10.1.1 Allungamento della scogliera di ponente

La configurazione di progetto (ipotesi base C2) prevede un prolungamento della scogliera di ponente. Il prolungamento, con orientamento sud-est, si estende per circa 25 m a quota +0,00 s.l.m.m. e in totale al piede circa 55 m. La nuova porzione di scogliera è costituita da una berma a quota +1,70 s.l.m.m. e larghezza di circa 6,00 m, in modo da raccordarsi con la testata della scogliera esistente a +2,00, con mantellata di pendenza 1/2,3 verso l'esterno, in testa e per un tratto interno di raccordo, mentre nel tratto in cui si congiunge con la scogliera attuale la pendenza della mantellata interna è di 1/1,5.

Per l'intervento sono necessari circa 22.000 t di nuovi massi.

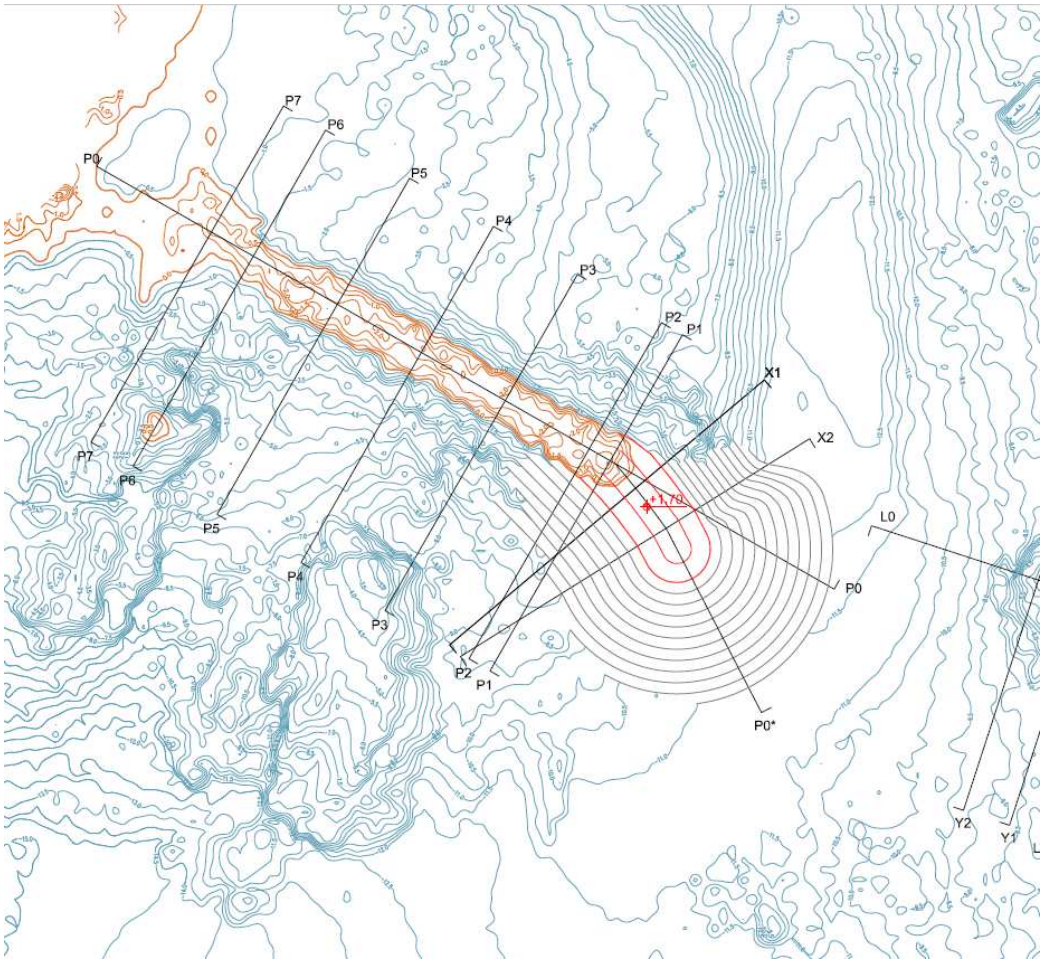


Figura 9.1: pianta allungamento parziale scogliera ponente

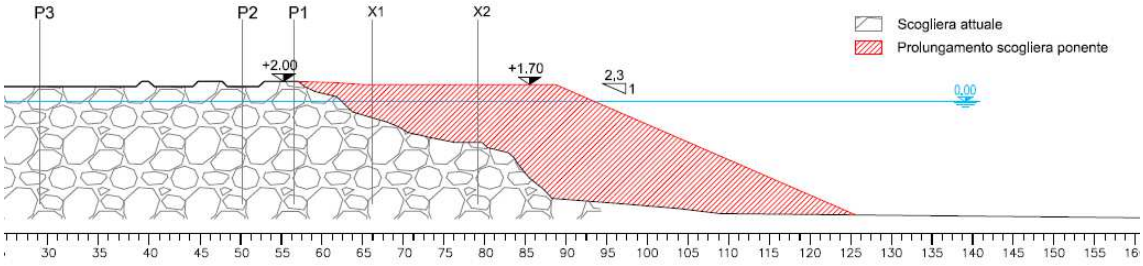


Figura 9.2: sezione longitudinale allungamento parziale scogliera ponente

Questa configurazione permette di ridurre la penetrazione del moto ondoso mediante riduzione dell'ampiezza dell'imboccatura, mantenendo il varco sufficientemente ampio per garantire l'accesso alle imbarcazioni e l'adeguata circolazione delle acque.

La quota di sommità pari a +1.70 m slm è stata definita leggermente inferiore rispetto alla scogliera attuale, per ridurre l'effetto visivo nella nuova zona di testata della scogliera (v. simulazioni fotografiche), pur mantenendo un'adeguata consistenza: è presumibile, ed è in corso di verifica e quantificazione nella progettazione geotecnica di dettaglio, il progressivo assestamento delle quote della scogliera.

10.1.2 Rifiorimento delle scogliere esistenti

Viste le condizioni delle scogliere e nell'ottica di un intervento di medio-lungo periodo, è previsto anche il rifiorimento delle due scogliere esistenti, importante per garantire il mantenimento un'adeguata configurazione delle scogliere.

E' previsto il rifiorimento di entrambe le scogliere, mantenendo la sagoma originaria di realizzazione, con berma di larghezza 6,00 m a quota +2,00 m s.l.m.m. e il rinforzo delle scarpate verso mare. Le mantellate di entrambe le scogliere sono previste con pendenza 1/1 verso l'interno e 1/2,5 verso l'esterno. Di seguito si riportano una sezione tipo per entrambe le scogliere.

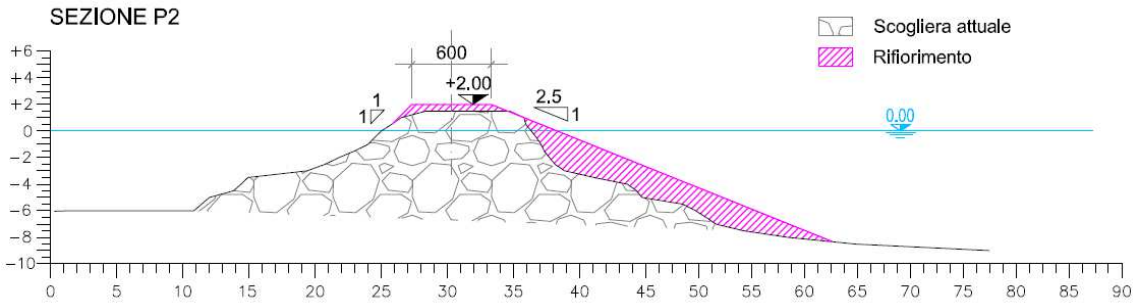


Figura 10.1: sezione tipo rifiorimento scogliera ponente

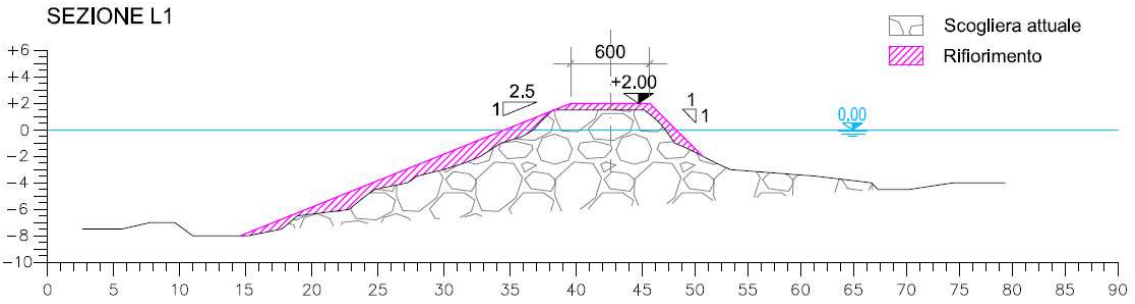


Figura 10.2: sezione tipo rifiorimento scogliera levante

Per il rifiorimento della scogliera di ponente sono necessari circa 8.500 t, mentre per quella di levante 3.500 t.

Nei rifiorimenti verrà mantenuto il varco alla radice della scogliera di ponente, fondamentale per garantire un'adeguata circolazione delle acque all'interno della baia.

11. DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LA SCOGLIERA

Per la verifica della stabilità dei massi della mantellata dell'opera di difesa in scogliera e dei pennelli si sono utilizzate le formule di Van der Meer, ricavate portando in conto l'azione di onde irregolari; esse consentono di tenere in conto anche della permeabilità del complesso mantellata - strati filtro- nucleo, della durata della mareggiata e del periodo dell'onda.

Formule di Van Der Meer

Per onda frangente tipo plunging ($\xi_m < 2.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5}$$

Per onda frangente tipo surging ($\xi_m > 3.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha}\ \xi_m^P$$

in cui:

H_s = altezza d'onda significativa al piede della scogliera

ξ_m = parametro di surf o numero di Iribarren per il periodo medio $\xi_m = \dfrac{\tan \alpha}{\sqrt{\dfrac{2\pi H_S}{g T_m^2}}}$

$T_z \approx T_m$ = periodo d'onda medio (s)

α = pendenza della mantellata (°)

$\Delta = (\gamma_m/\gamma_w - 1)$ = massa relativa del masso

γ_w = peso specifico dell'acqua marina (1023 Kg/m³)

γ_m= peso specifico del masso (2650 Kg/ m³)

D_{n50}= diametro nominale del masso, $D_{n50} = (W_{50}/\gamma m)^{1/3}$ (m)

W_{50}= valore del peso corrispondente al 50% nella curva di distribuzione (kg)

P=p* = coefficiente di permeabilità della struttura

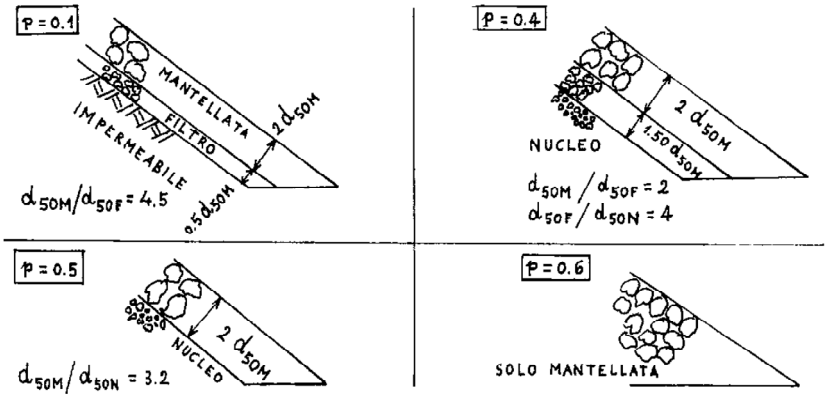


Figura 8.29 – *Rappresentazioni per il calcolo dei valori del parametro p* indicatore della permeabilità della struttura; i pedici M, F, N, indicano, rispettivamente, la mantellata, lo strato intermedio e il nucleo*

S = livello di danneggiamento ammesso, $S = A/(D_{n50})^2$ (crf. tabella seguente)

A = area erosa nella sezione

N = numero di onde (tipicamente tra 1000 e 5000).

ξ_{mc} = numero di Iribarren critico - è calcolato come

$$\xi_{mc} = \left[6.2\,P^{0.31}\sqrt{\tan\alpha}\right]^{\frac{1}{P+0.5}}$$

Mentre per pendenze lievi (cotα >3) è pari a:

$$\xi_{mc} = \left[3.58\,P^{0.31}\right]^{\frac{1}{P+0.5}}$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori dell'indice di danneggiamento S, definito come rapporto tra l'area interessata dal dislocamento e il quadrato del diametro nominale del masso, in funzione della pendenza.

Pendenza	Livello di danno S		
	Danno iniziale	Danno intermedio	Danno totale
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17

Tabella 1 - Livelli di danno per mantellate in doppio strato in funzione della pendenza

Per moli a cresta bassa sul livello del mare la stabilità dei massi lapidei della mantellata e della cresta può essere verificata con le formule di cui sopra applicando al valore al primo membro un fattore correttivo f_i che misura la riduzione della dimensione del masso in relazione al basso livello della cresta.

Tale valore è calcolabile con la seguente formula:

$$f_i = \frac{1}{\left[1.25 - 4.8\left(\frac{R_c}{H_s}\right)\left(\frac{S_m}{2\pi}\right)^{0.5}\right]}$$

che vale per 0<(Rc/Hs)<1 dove:

Rc = l'altezza della cresta fuori acqua.

S_m = ripidità d'onda media $S_{\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{H_S}}{L_{0\mathrm{m}}} = \frac{2\pi \mathrm{H_S}}{\mathrm{g T_m^2}}$

L'individuazione del tempo di ritorno per l'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento della mantellata della scogliera è stato eseguito secondo i criteri suggeriti nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime", approvate dall'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto del 23 Settembre 1994 n. 156.

Le opere oggetto della verifica sono opere di difesa costiera di interesse locale non rigide e con previsioni di manutenibilità

Si è assunta quindi come durata di vita minima Tv per l'opera a progetto la vita minima per un'infrastruttura ad uso generale con livello di sicurezza richiesto pari a 1 (come indicato per le difese costiere), ossia 25 anni.

Come massima probabilità di danneggiamento dell'opera è stata assunta la probabilità di danneggiamento incipiente come consigliato per strutture flessibili (le opere in esame non sono soggette a collasso strutturale immediato) con limitato rischio per la vita umana e ripercussione economica bassa (il rapporto tra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti per la perdita di funzionalità delle opere protette ed il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5), ossia Pf bassa pari a 0,50.

La combinazione del tempo di vita dell'opera e della probabilità di danneggiamento determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto Trp secondo la relazione:

Trp = Tv / [- ln(1-Pf)]

Ne consegue che il tempo di ritorno in caso di ripercussione economica bassa risulta pari a 36 anni; cautelativamente per i calcoli progetto si assume tempo di ritorno pari a 50 anni.

E' stata assunta, quindi, come onda di progetto l'onda corrispondente allo stato di mare più gravoso per il paraggio con T= 50 anni (evento cinquantennale caratterizzato al largo da Hs=7,2 m Tp= 12 s e direzione di provenienza 220°N) propagata al piede della struttura di protezione come fornita dallo studio meteomarino del DICCA di cui al paragrafo 8. Tale onda presenta le seguenti caratteristiche:

Hs=5,27 m

Tp=12 s

Tm=9,3 s

direzione di provenienza di picco = 215°N.

Si è, inoltre, assunta come pendenza della mantellata la pendenza del paramento esterno 2,5 e come permeabilità della mantellata il valore di 0,4.

Cautelativamente, per determinare il livello della cresta della struttura sul livello del medio mare, non è stato considerato alcun innalzamento di livello, sebbene durante gli eventi estremi possa raggiungere livelli di diverse decine di centimetri.

Come riportato nel documento "Modellazione numerica della circolazione costiera e valutazione di ricadute in termine di protezione civile all'interno della Baia di Sestri Levante" redatto dall'Università di Genova -Dicca", ad esempio, durante la mareggiata del 27 ottobre - 2 novembre 2018 si è verificato un innalzamento del livello medio mare significativo dovuto allo storm surge (stimato tra i 60 e i 75 cm).

La verifica è stata effettuata per condizioni di danneggiamento incipiente ossia con S=2 e per condizioni di danneggiamento tra incipiente e intermedio ossia con S= 3 e S=4

Si riportano di seguito le relative tabelle di calcolo.

Dati

$\rho 0$ =	1 023.00	kg/mc	densità acqua di mare
ρ =	2 650.00	kg/mc	densità scogli
Δ =	1.59		$\rho / \rho 0$ - 1
P=p*=	0.40		permeabilità (tra 0,1 e 0,6)
cotg (α) =	2.50		pendenza mantellata (1 su …)
tg (α) =	0.40		1 / pendenza della mantellata
h =	7.00	m	profondità al piede
H_s =	5.27	m	H onda significativa
g =	9.81	m/s^2	accelerazione gravità
T_p =	12.00	s	periodo di picco
T_s=	12.00	s	periodo significativo
T_m =	9.30	s	periodo medio
$L_{0\,m}$	134.98	m	lunghezza d'onda al largo riferita al Tm
ξ m =	**2.024**		parametro di Iribarren
ξ mc =	3.329		parametro di Iribarren critico
S =	2.00		livello di danneggiamento
N =	5 000.00		numero onde presenti nella mareggiata (da 1000 a 5000)
Pers =	12.92	ore	durata della mareggiata
R_c=	1.70	m	altezza della mantellata sul l.m.m.

FORMULA DI VAN DER MEER

- Calcolo del parametro Ns

ξ m $\leq$2,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	**1.81**	frangimento tipo plunging
2,5$\leq \xi$ m $\leq$ 3,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	--	-
ξ m $\geq$3,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	**--**	-
	Ns = Hs/(Δ*Dn50)=	***1.81***	

- Coefficiente di riduzione per moli a cresta bassa

	R_c / Hs =	0.32	<1
	fattore di controllo fi =	0.0254	< 0.052
	f_i	**0.89**	coeff. di riduzione moli a cresta bassa

fi applicabile

- Determinazione finale del parametro Ns, del diametro e peso del masso di progetto

	Ns/fi = Hs/(Δ*Dn50)/fi=	***2.04***	
D_{n50}		**1.62**	**m** **diametro nominale medio**
W_{50}		**11 311**	**kg** **peso medio del singolo masso di progetto**

Verifica stabilità massi mantellata – formula van Der Meer – S= 2

Dati

ρ_0 =	1 023.00	kg/mc	densità acqua di mare
ρ =	2 650.00	kg/mc	densità scogli
Δ =	1.59		ρ / ρ_0 - 1
P=p*=	0.40		permeabilità (tra 0,1 e 0,6)
cotg (α) =	2.50		pendenza mantellata (1 su …)
tg (α) =	0.40		1 / pendenza della mantellata
h =	7.00	m	profondità al piede
H_s =	5.27	m	H onda significativa
g =	9.81	m/s^2	accelerazione gravità
T_p =	12.00	s	periodo di picco
T_s=	12.00	s	periodo significativo
T_m =	9.30	s	periodo medio
$L_{0\,m}$	134.98	m	lunghezza d'onda al largo riferita al Tm
ξ m =	**2.024**		parametro di Iribarren
ξ mc =	3.329		parametro di Iribarren critico
S =	3.00		livello di danneggiamento
N =	5 000.00		numero onde presenti nella mareggiata (da 1000 a 5000)
Pers =	12.92	ore	durata della mareggiata
R_c=	1.70	m	altezza della mantellata sul l.m.m.

FORMULA DI VAN DER MEER

- Calcolo del parametro Ns

ξ m $\leq$2,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	**1.96**	frangimento tipo plunging
2,5$\leq \xi$ m $\leq$ 3,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	--	-
ξ m $\geq$3,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	**--**	-
	Ns = Hs/(Δ*Dn50)=	***1.96***	

- Coefficiente di riduzione per moli a cresta bassa

	R_c / Hs =	0.32	<1 *fi applicabile*
	fattore di controllo fi =	0.0254	< 0.052
	f_i	**0.89**	coeff. di riduzione moli a cresta bassa

- Determinazione finale del parametro Ns, del diametro e peso del masso di progetto

	Ns/fi = Hs/(Δ*Dn50)/fi=	***2.22***	
D_{n50}	**1.50**	**m**	**diametro nominale medio**
W_{50}	**8 868**	**kg**	**peso medio del singolo masso di progetto**

Verifica stabilità massi mantellata – formula van Der Meer – S= 3

Dati

$\rho 0$ =	1 023.00	kg/mc	densità acqua di mare
ρ =	2 650.00	kg/mc	densità scogli
Δ =	1.59		$\rho / \rho 0$ - 1
P=p*=	0.40		permeabilità (tra 0,1 e 0,6)
cotg (α) =	2.50		pendenza mantellata (1 su …)
tg (α) =	0.40		1 / pendenza della mantellata
h =	7.00	m	profondità al piede
H_s =	5.27	m	H onda significativa
g =	9.81	m/s^2	accelerazione gravità
T_p =	12.00	s	periodo di picco
T_s=	12.00	s	periodo significativo
T_m =	9.30	s	periodo medio
$L_{0\,m}$	134.98	m	lunghezza d'onda al largo riferita al Tm
ξ m =	**2.024**		parametro di Iribarren
ξ mc =	3.329		parametro di Iribarren critico
S =	4.00		livello di danneggiamento
N =	5 000.00		numero onde presenti nella mareggiata (da 1000 a 5000)
Pers =	12.92	ore	durata della mareggiata
R_c=	1.70	m	altezza della mantellata sul l.m.m.

FORMULA DI VAN DER MEER

- Calcolo del parametro Ns

ξ m $\leq$2,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	**2.08**	frangimento tipo plunging
2,5$\leq \xi$ m $\leq$ 3,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	--	-
ξ m $\geq$3,5—>	Hs/(Δ*Dn50)=	**--**	-
	Ns = Hs/(Δ*Dn50)=	***2.08***	

- Coefficiente di riduzione per moli a cresta bassa

	R_c / Hs =	0.32	<1 — *fi applicabile*
	fattore di controllo fi =	0.0254	< 0.052 — *fi applicabile*
	f_i	**0.89**	coeff. di riduzione moli a cresta bassa

- Determinazione finale del parametro Ns, del diametro e peso del masso di progetto

	Ns/fi = Hs/(Δ*Dn50)/fi=	***2.35***	
D_{n50}		**1.41**	**m** — **diametro nominale medio**
W_{50}		**7 463**	**kg** — **peso medio del singolo masso di progetto**

Verifica stabilità massi mantellata – formula van Der Meer – S= 4

Considerando che nella buona pratica vengono utilizzati massi di pezzatura compresa tra 0,75 e 1,25 volte il peso del masso di progetto, ipotizzando in condizioni di evento meteomarino con TR= 50 anni anche condizioni di danneggiamento appena superiori al danneggiamento iniziale (S=3), si assume per la mantellata l'**utilizzo di massi di IV categoria di peso compreso tra 7 e 12 t**, avendo cura di posizionare i massi di maggiori dimensioni nelle aree esterne maggiormente esposte come le testate e nelle zone maggiormente sollecitate dal moto ondoso.

Per lo strato di base e la parte interna, (corrispondente a circa il 40% della scogliera) si prevede l'utilizzo di pietrame 5-50 kg, massi di II cat. (di peso compreso tra 1 e 3 t) e III categoria (di peso compreso tra 3 e 7 t).

12. UTILIZZO DELLE RISORSE NATURALI

12.1 Criteri di scelta del materiale da utilizzare – Disponibilità delle risorse

Per la realizzazione degli interventi previsti sono necessari circa 34.000 t di nuovi massi naturali come segue:

Allungamento scogliera di ponente

- massi naturali di IV categoria (oltre 7 t) con peso compreso tra 10 e 12 t per la mantellata esterna nei punti maggiormente esposti al moto ondoso nella zona intorno al livello medio mare (circa 6.600 t);
- massi naturali di IV categoria (oltre 7 t) con peso compreso tra 7 e 10 t per la mantellata in scogliera negli strati più interni e nelle aree meno esposte al moto ondoso (circa 6.600 t);
- massi di III categoria (a 3 a 7 t) (circa 3.300 t) e massi di II categoria (a 1 a 3 t) per lo strato interno della scogliera nella parte in allungamento (circa 3.300 t).

E' prevista inoltre la posa di circa 2.200 t di pietrame di cava per la realizzazione dell'imbasamento nel tratto di avanzamento.

Rifiorimento scogliere esistenti

- massi naturali di IV categoria (oltre 7 t) con peso compreso tra 10 e 12 t (circa 6.000 t);
- massi naturali di IV categoria (oltre 7 t) con peso compreso tra 7 e 10 t (circa 6.000 t);

I requisiti a cui devono corrispondere i massi lapidei, oltre alla composizione compatibile con i materiali esistenti, sono rappresentati da un elevato peso specifico, da una buona resistenza a compressione, da un basso coefficiente di usura e da un basso coefficiente di imbibizione, oltre che da un buon grado di compattezza e da una buona resistenza alla gelività e all'aggressione chimica in ambiente salino.

Essendo gli interventi da eseguirsi via mare con punto di imbarco ancora da definirsi (ipotesi preliminari: imbarco a Chiavari o in area portuale a Genova), la ricerca dei materiali aventi tali requisiti dovrà essere effettuata in un intorno piuttosto ampio rispetto all'area in esame.

Nella scelta della tipologia di materiale, si dovrà tenere conto delle problematiche legate al rischio "amianto", ossia alla presenza di fibre libere o liberabili, tenuto conto che le vallate limitrofe al sito di progetto sono ricche di rocce di tipo ofiolitico, per le quali è necessario

effettuare, soprattutto per i materiali di tipo serpentinitico, controlli di carattere qualitativo e quantitativo sulle attività di cava.

La scelta delle cave di prestito dovrà essere attentamente valutata sulla base dei seguenti criteri:

- idoneità per composizione dei materiali delle cave indagate;
- cave in avanzata coltivazione, al fine di non generare alcun impatto indiretto;
- adeguata disponibilità anche in relazione alla possibile sovrapposizione con interventi di ripristino in seguito alla mareggiata in aree limitrofe;
- la vicinanza al punto di imbarco per la parte di materiali che saranno forniti via mare in modo da ottimizzare le tempistiche e minimizzare gli impatti sulla viabilità e sull'ambiente circostante.

E' possibile l'approvvigionamento anche da altre regioni se eseguito con imbarcazioni che possano garantire carichi elevati e trasporti sostenibili sia in termini di costi, che in termini di tempistiche.

12.2 Approvvigionamento idrico

Si ritiene di trascurabile rilevanza il problema dell'approvvigionamento idrico in relazione alla tipologia di intervento.

13. PRODUZIONE E SMALTIMENTO DI RIFIUTI

Gli interventi non comportano scavi e demolizioni. I normali rifiuti prodotti, connessi alle lavorazioni, saranno completamente smaltiti secondo le normative vigenti, senza lasciare rifiuti nell'area oggetto dell'intervento e nelle sue vicinanze.

14. VOLUMI DI TRAFFICO INDOTTI E CAPACITÀ DEL SISTEMA INFRASTRUTTURALE

Gli interventi saranno interamente eseguiti da mare.

Il punto di imbarco può essere preliminarmente individuato nel piazzale alla radice del porto di Chiavari; sarà tuttavia individuato nelle successive fasi della progettazione, anche in relazione alle tempistiche di esecuzione in rapporto ai cantieri limitrofi.

Non si prevedono particolari ricadute sul traffico, anche in relazione alla normale percorrenza della viabilità ordinaria, a maggior ragione se il punto di carico verrà individuato in ambito portuale.

Il transito dei mezzi avverrà al di fuori della stagione di maggiore affluenza, pertanto il traffico indotto risulterà in ogni caso molto inferiore rispetto ai carichi sopportabili dalla rete viaria nei momenti di massimo flusso turistico.

15. INQUINAMENTO E DISTURBI AMBIENTALI

15.1 Valutazione degli inquinamenti indotti

Si riportano di seguito le tipologie di inquinamento potenziale legate alle lavorazioni previste.

15.2 Inquinamento del terreno nella zona di intervento

Tale tipologia di inquinamento non è tipica delle lavorazioni in esame, che interessano prettamente la porzione di costa a mare. Verrà comunque posta ogni cura nella scelta dei materiali da impiegarsi.

15.3 Inquinamento acustico

L'area della Baia del Silenzio ricade:

- nella parte della spiaggia in zona 2;
- nella parte del borgo in zona 3;
- nelle aree dei promontori in zona 1

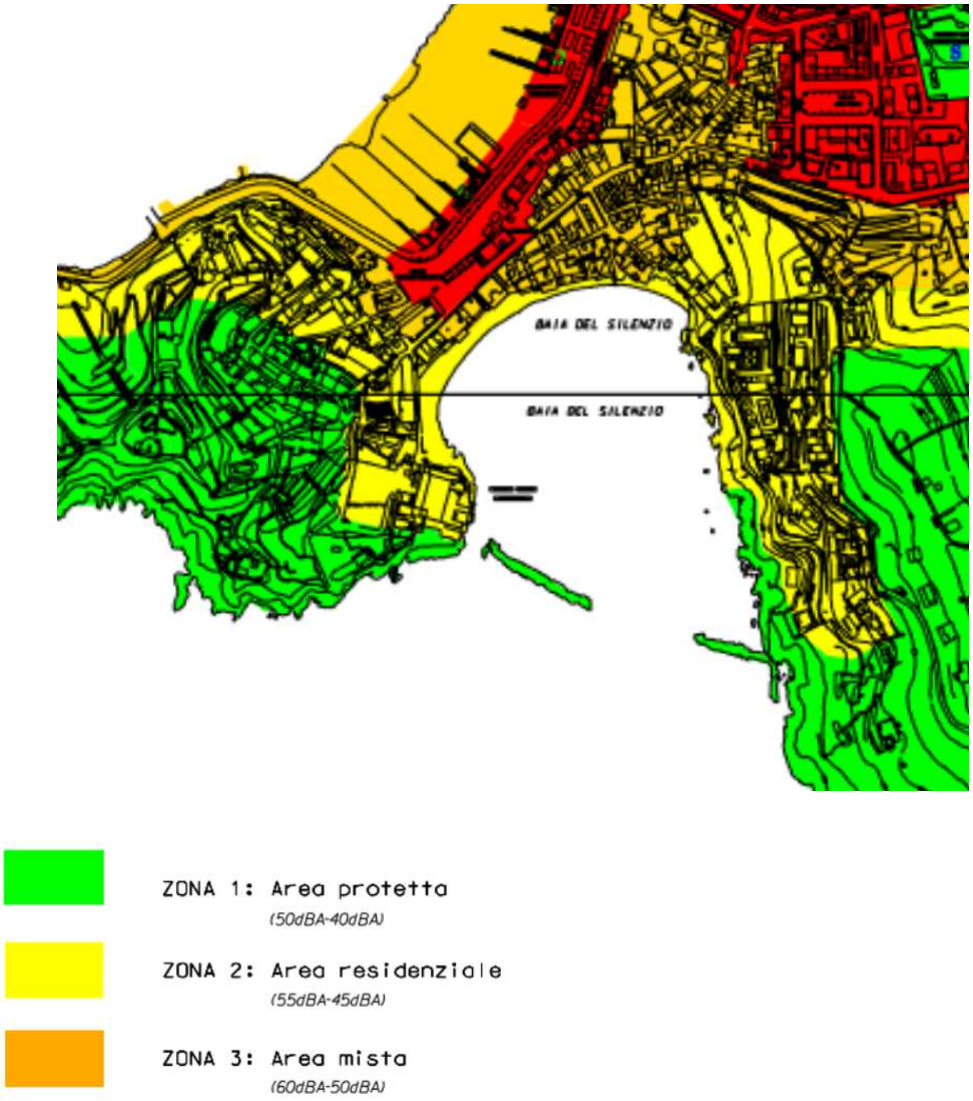


Figura 15.1: Piano di Zonizzazione Acustica del comune di Sestri Levante

Tali aree sono caratterizzate dai limiti indicati nella legenda sopra riportata.

Le lavorazioni in esame non comportano variazioni delle emissioni sonore in fase di esercizio rispetto alla situazione attuale, ma solo in fase di cantiere.

Essendo prevista nell'area di intervento in Baia la presenza del solo mezzo marittimo, si ritiene che l'impatto sia il minimo possibile in relazione all'importanza dell'intervento in termini di resilienza.

Si ritiene inoltre che il fenomeno, pur limitato, possa essere opportunamente mitigato mediante l'utilizzo di mezzi e macchinari conformi alle più recenti normative e sottoposti ad adeguata manutenzione e l'esecuzione delle lavorazioni al di fuori della stagione di massimo afflusso turistico.

In fase di cantierizzazione occorrerà effettuare apposita valutazione redatta da un tecnico competente in acustica e, se del caso, presentare apposita istanza di autorizzazione in deroga per cantieri di Lavori Pubblici ai sensi del Regolamento Comunale di Polizia Urbana.

In base all'individuazione del punto di carico dove è prevista la presenza di autocarri e di almeno un escavatore o una pala meccanica, sarà effettuata apposita valutazione una volta individuata l'area.

15.4 Inquinamento atmosferico e da polveri

Il controllo della polverosità durante il passaggio di mezzi e lo scarico dei materiali verso il punto di imbarco sarà opportunamente regolamentato, se necessario anche con lavaggi localizzati. Inoltre il materiale da fornire sarà quanto più possibile privo di frazioni polverose.

Per quanto riguarda l'incremento del traffico direttamente indotto dai lavori, come anticipato al relativo paragrafo, sarà limitato al minimo indispensabile al di fuori dalla stagione di maggior afflusso turistico.

Per quanto riguarda i gas di scarico, anche ipotizzando un numero dei mezzi utilizzati di 10-15 unità al giorno per gli approvvigionamenti verso il luogo di carico, l'incremento non si stima tale da influire significativamente sulla qualità dell'aria dell'ambiente urbano più prossimo a tale punto di carico e sarà limitato al passaggio e all'utilizzo dei mezzi.

Allo stesso modo, essendo prevista in loco la presenza di soli mezzi marittimi, non si stima un impatto significativo sulla qualità dell'aria dell'ambiente urbano della Baia anche in relazione al fatto che la presenza di gas di scarico sarà limitato all'utilizzo dei mezzi.

15.5 Inquinamento dell'acqua

Dal momento che in fase di lavorazione è previsto il versamento di materiale di grande pezzatura, oltre ad un'operatività dei mezzi d'opera limitata ai giorni di posa in opera dei massi, l'inquinamento dell'acqua non avrà particolare rilevanza. Potranno verificarsi locali situazioni di intorbidimento delle acque - dovute al materiale sciolto movimentato dai mezzi - che avranno carattere limitato nel tempo alle fasi operative dei mezzi ed estensione alla sola area di lavoro. Come già sopra indicato sarà cura di utilizzare materiali quanto più possibile privi di frazioni terrose.

16. GENERAZIONE DI CONFLITTI PER L'USO DELLE RISORSE CON ALTRI INTERVENTI LIMITROFI

Si ritiene che l'utilizzo delle risorse, sia che siano provenienti dalle cave locali o da cave a distanza maggiore debba essere attentamente valutato in sede di gara, in quanto a causa dei danni ingenti causati dall'evento dell'ottobre a molte delle strutture costiere è possibile che si generino fenomeni puntuali di mancanza di materiali. Tuttavia, preliminarmente, non si ipotizzano conflitti particolari con altri interventi in corso di progettazione e/o di realizzazione sull'utilizzo delle risorse naturali.

17. COMPATIBILITÀ CON IL QUADRO NORMATIVO PAESAGGISTICO - AMBIENTALE

Gli interventi previsti a progetto si configurano come interventi di miglioramento della resilienza dell'area della Baia del Silenzio mediante potenziamento delle scogliere già esistenti e finalizzate alla salvaguardia del sistema locale.

Con riferimento al quadro normativo di cui al paragrafo 3, si ritiene quindi che gli interventi a progetto non si pongano in contrasto né con gli strumenti sovraordinati né con la pianificazione urbanistica a livello locale.

Bilanciando le esigenze di intervento e salvaguardia, l'intervento previsto è finalizzato al mantenimento e alla tutela dell'area con riguardo sia agli aspetti paesaggistici e ambientali in termini di ecosistema, sia alle esigenze di protezione.

18. IMPATTO SUL PATRIMONIO STORICO E PAESAGGISTICO

L'intervento nel suo complesso è finalizzato al miglioramento della protezione delle opere esistenti, in modo da aumentare la protezione della baia e al contempo preservarne i peculiari caratteri paesaggistici ed ambientali.

L'intervento a progetto non genera impatti significativi sulla fascia costiera di notevole interesse paesistico, ma già influenzata dalla presenza delle opere antropiche di difesa costiera esistenti.

Come mostrato nell'elaborato "D04- Allungamento scogliera di ponente - Fotoinserimenti" (dei quali di seguito si allega uno stralcio) la configurazione prescelta è stata identificata in modo da generare il minimo impatto dai maggiori punti di vista.

Il prolungamento è limitato sul livello del mare con berma superiore a quota inferiore alla quota delle scogliere esistenti e la configurazione arcuata verso mare minimizza la percezione dell'allungamento dalla spiaggia.

I massi naturali utilizzati per il potenziamento della scogliera di protezione esistente saranno compatibili con l'utilizzo in ambiente marino e avranno caratteristiche cromatiche simile ai massi esistenti.



Foto 18.1 : vista delle scogliere dall'interno della baia - stato attuale



Foto 18.2 : vista delle scogliere dall'interno della baia - simulazione stato di progetto

19. IMPATTO SUL PATRIMONIO AMBIENTALE

La tipologia dell'intervento è stata calibrata in modo da non genera particolari ricadute sul sistema ecologico dell'area né dal punto di vista della flora e fauna terrestre, né dei fondali.

Come mostrato in dettaglio al relativo paragrafo 5, per valutare la situazione locale allo stato attuale sono state effettuate indagini di dettaglio di carattere bionaturalistico con ispezioni subacquee.

L'interessamento con l'intervento di piccole macchie di posidonia in fascia pioniera e residuale, a causa dell'intensa azione del moto ondoso, sarà mitigata dall'espianto e il reimpianto delle stesse all'interno delle scogliere in un'area maggiormente protetta.

Durante le lavorazioni saranno poi adottate tutte le cautele necessarie a ridurre i fenomeni di torbidità e a minimizzare l'impatto sugli habitat e le specie protette.

20. ASPETTI RIGUARDANTI IL RISCHIO ARCHEOLOGICO

L'area sommersa in esame non ricade in zona interessata da alcun vincolo archeologico o architettonico, né da alcun vincolo paesaggistico istituito secondo l'art 136 del Codice dei beni Culturali e del Paesaggio (Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, come modificato e integrato dal D. Lgs. 24 marzo 2006, n. 157).

Pur non prevedendo le opere a progetto l'esecuzione di scavi, nell'ambito della progettazione è stato deciso di procedere ad un'indagine archeologica preliminare condotta dalla Dott.ssa Valeria Salaris (vd. "R04 - Indagini subacquee per la valutazione del rischio archeologico a cura della Dott.ssa Valeria Salaris").

L'indagine archeologica, seguendo le indicazioni del funzionario della Soprintendenza responsabile per il territorio dott.ssa Nadia Campana, ha previsto un inquadramento storico – archeologico del contesto unitamente a una fase di attività di ricognizione del fondale marino nell'area interessata dai lavori per verificare, tramite riprese foto e video subacquee, l'eventuale presenza di evidenze sommerse di interesse archeologico nello specchio acqueo considerato.

A conclusione di detta indagine viene sottolineato lo scarso impatto dei lavori sul substrato e quindi su possibili tracce archeologiche, interessando l'intervento zone occupate da scogli artificiali già in posa e materiali sabbiosi superficiali, senza prevedere opere di escavazione.

La lettura dei dati acquisiti tramite ispezione non ha inoltre evidenziato presenze di interesse storico-archeologico almeno per la parte emergente del substrato. Le indagini svolte hanno evidenziato che fino alla batimetrica dei -12 m circa, lungo tutta l'area interessata dal progetto il

fondale risulta essere composto da uno strato di materiale sabbioso con rari massi di diverse dimensioni sparsi al piede della scogliera.

Nel corso delle indagini visive di superficie e sul fondale non sono stati rinvenuti manufatti di interesse archeologico, ma solo rari oggetti di età contemporanea, quali frammenti metallici, rifiuti e materiali di diverso tipo e non si è documentata la presenza di materiale di interesse sparso sul fondale marino.

In sintesi, gli esiti delle campagne di indagine archeologica condotte non hanno mostrato evidenze dirette relative ad elementi di interesse storico e archeologico o problematiche capaci di mettere in discussione la compatibilità archeologica del progetto.

Occorre tuttavia, in relazione ad un potenziale un rischio archeologico residuo, sottoporre il presente documento alla Soprintendenza competente per territorio, al fine delle valutazioni di legge e per la pianificazione dei necessari interventi di mitigazione dei possibili rischi legati al patrimonio culturale dell'area.

21. MITIGAZIONE DELL'IMPATTO DEGLI INTERVENTI

Dal punto di vista tecnico per gli interventi, che si configurano come miglioramento e potenziamento di opere già esistenti, finalizzate all'aumento della resilienza, è stata scelta nella tipologia e nelle dimensione, nell'intento di mitigarne al massimo l'impatto e risultare, al tempo efficace in termini di protezione.

Al fine di minimizzare l'impatto dell'intervento nei confronti dei vari vincoli presenti è stato scelto di utilizzare massi naturali con caratteristiche litologiche e cromatiche simili i massi esistenti e privi di impurità che possano creare torbidità persistenti.

Come misura di mitigazione di carattere bionaturalistico è inoltre previsto il reimpianto delle macchie di posidonia residuale presenti nell'area di intervento in area interna alla baia in posizione maggiormente protetta.

Verrà inoltre posta particolare attenzione all'ancoraggio del mezzo marittimo nell'area interessata dalla presenza di fanerogame.

22. STIMA DEI COSTI, TEMPI DI ATTUAZIONE

L'importo complessivo degli interventi previsti è pari a € 3.000.000,00, dei quali circa € 2.500.000,00 per lavori e € 500.000,00 per somme a disposizione dell'Amministrazione (v. allegato 3).

L'intervento verrà approvato con le procedure previste dalla Ordinanza n. 558/2018, che prevede tempistiche ridotte per le fasi approvative; è possibile ipotizzare le seguenti tempistiche di attuazione:

- valutazione di assoggettabilità a screening: 45 giorni
- redazione progetto definitivo, approvazione del progetto: 45 giorni
- redazione progetto esecutivo, affidamento lavori: 45 giorni
- esecuzione dei lavori: 210 giorni
- collaudi: 30 giorni.

ALLEGATO 1





COMUNE DI SESTRI LEVANTE

Città Metropolitana di Genova - Regione Liguria

INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DELLA RESILIENZA DELL'AREA DELLA BAIA DEL SILENZIO NEI CONFRONTI DELLE AZIONI DEGLI EVENTI ONDOSI ESTREMI

STUDIO DI FATTIBILITA'

RELAZIONE TECNICA GENERALE E ALLEGATI GRAFICI

Progettista: **STUDIOELB Ingegneri Associati**
Corso Torino 17/6 sc. A – 16129 Genova (Ge)
Tel. 010.5740568 – fax. 010.4211059
e-mail: inge@studioelb.it – pec: studio@pec.studioelb.it

v. il RUP e Dirigente area 04 LLPP: ing. Annalisa Fresia

rev: 0

data: 10.12.2020

SOMMARIO

1. PREMESSA 2

2. DESCRIZIONE DEI LUOGHI 4

3. INDAGINI ESEGUITE 9

3.1 RILIEVO BATIMETRICO E TOPOGRAFICO 9

4. INQUADRAMENTO NORMATIVO 13

4.1 INQUADRAMENTO CATASTALE 13
4.2 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PAESISTICO (PTCP) 14
4.2.1 Assetto Insediativo 14
4.3 PIANO DI TUTELA DELL'AMBIENTE MARINO E COSTIERO – AMBITO 15 15
4.4 P.U.C. DEL COMUNE DI SESTRI LEVANTE 16
4.5 PROGETTO DI UTILIZZO DELLE AREE DEMANIALI E DEGLI SPECCHI ACQUEI DEL COMUNE DI SESTRI LEVANTE 18
4.6 VINCOLI PAESAGGISTICI 19
4.7 SITI DI IMPORTANZA COMUNITARIA 20

5. ASPETTI NATURALISTICI 20

6. STUDIO DELLA CIRCOLAZIONE COSTIERA 22

7. ELEMENTI DI RILIEVO PER LA PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI DIFESA DELLA BAIA 25

8. IPOTESI DI PROGETTO 26

8.1 CONDIZIONI ATTUALI DELLE OPERE 26
8.2 CRITERI PROGETTUALI 28
8.3 IPOTESI A – RIFIORIMENTO SCOGLIERE 29
8.4 IPOTESI B – RIFIORIMENTO SCOGLIERE E BERMA ESTERNA SOMMERSA 30
8.5 IPOTESI C – ALLUNGAMENTO SCOGLIERA PONENTE 31
8.6 IPOTESI C2 – ALLUNGAMENTO PARZIALE SCOGLIERA PONENTE 33
8.7 IPOTESI D – ALLUNGAMENTO SCOGLIERA LEVANTE 35
8.8 IPOTESI E – BARRIERA SOMMERSA 37

9. SINTESI E VALUTAZIONI FINALI PROPEDEUTICHE ALL'APPROFONDIMENTO DELLA PROGETTAZIONE 38

1. PREMESSA

Nel 2018 l'Amministrazione Comunale di Sestri Levante ha avviato indagini e progettazioni per la manutenzione delle scogliere a protezione della Baia del Silenzio: i primi studi eseguiti hanno individuato l'esigenza di eseguire una serie di interventi, classificabili come manutenzione e rifiorimento localizzato delle scogliere, per un importo complessivo di € 200.000, inclusi lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione dell'Amministrazione.

La mareggiata che ha colpito la costa ligure nei giorni 29 e 30 Ottobre 2018 ha causato ingenti danni alla Baia del Silenzio, alle strutture ed attività che in prossimità della stessa sorgono e alle scogliere in massi naturali poste a difesa della stessa.

Per tale ragione, a novembre 2018 l'ufficio LL.PP. del comune di Sestri Levante, con il supporto dello Studioelb Ingegneri Associati, ha predisposto un aggiornamento del sopra citato studio di fattibilità dei possibili/attuabili interventi di manutenzione delle scogliere in funzione delle condizioni delle stesse, della normativa vigente e della peculiarità dell'area.

Nel suddetto studio di fattibilità, redatto sulla base dei risultati di una campagna di indagini batimetriche e topografiche eseguita nel maggio/giugno 2018 e di una ulteriore campagna di indagini effettuata, mediante video ripresa aerea con drone, dopo gli eventi del 29-30 ottobre 2018 - entrambe finalizzate alla verifica delle condizioni delle scogliere di difesa della Baia del Silenzio - era stata proposta un'ipotesi di intervento di manutenzione delle scogliere di difesa - avente l'obbiettivo di ripristinarne la funzionalità senza modifiche significative del delicato equilibrio della baia – da attuare in due fasi d'intervento:

- fase 1 – Ripristino parziale della sagoma originaria delle scogliere da attuare nel breve periodo per consentire un iniziale ripristino delle opere di difesa.
- fase 2 – Ripristino globale delle scogliere da attuare in una seconda fase - previo aggiornamento del rilievo batimetrico e topografico delle scogliere.

L'Amministrazione Comunale, anche a seguito degli ingenti danni provocati dalla mareggiata del 29-30 Ottobre 2018 e dell'estrema urgenza di un primo intervento di ripristino, ha dato avvio agli interventi di manutenzione delle scogliere di difesa della Baia del Silenzio previsti nella fase 1 sopra citata, che si sono conclusi a marzo del 2019, con completamento degli stessi mediante uso dei ribassi d'asta nel maggio 2019: in questa prima fase sono stati posati circa 1.250 t di nuovi scogli ed è stato eseguito il salpamento di massi fuori sagoma.

Nel marzo 2019 è stata avviata da parte del Comune di Sestri Levante una convenzione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova, per l'effettuazione di uno studio sulla circolazione costiera all'interno della Baia del Silenzio ed una verifica delle condizioni degli agenti meteomarini all'interno della baia ai fini di protezione civile.

Lo studio è stato eseguito dal DICCA nel 2020 e, a seguito dello stesso, è emersa l'esigenza di effettuare interventi strutturali rilevanti per poter raggiungere adeguate condizioni di difesa delle strutture presenti all'interno della baia: per questo il Comune ha incaricato gli scriventi di eseguire uno studio preliminare di fattibilità di soluzioni progettuali, da discutere con i tecnici della Regione Liguria per essere poi inseriti nella modellazione dello stato di progetto in prosecuzione degli studi già eseguiti dal DICCA.

Nel presente documento sono presentate le soluzioni progettuali individuate; le più idonee verranno sottoposte a verifica mediante modellazione numerica, per addivenire alla soluzione ottimale per la difesa della Baia del Silenzio, senza peggiorarne le peculiarità ambientali.

2. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

La Baia del Silenzio o Portobello è una caratteristica baia di forma più o meno circolare posta nella parte di ponente del paraggio tra Punta di Sestri e Punta Manara, tra falesie di arenaria che si sviluppano su entrambi i lati dell'arco costiero per una lunghezza di circa 800 m sul promontorio di Sestri e per quasi 2500 m sul promontorio di punta Manara.

La baia è larga all'imbocco circa 250 m e profonda 300 m. La spiaggia emersa è costituita da una sottile striscia di sabbia addossata direttamente ai manufatti che costituiscono il borgo antico di Sestri Levante: essa ha uno sviluppo lineare di circa 350 metri e un'ampiezza pari, in condizioni estive, di circa 15 metri.

L'imboccatura della baia è protetta da due scogliere parallele tracimabili, realizzate intorno agli anni '50, che lasciano al centro un varco di circa 100 metri.



Foto 2.1 : Vista prospettica della Baia del Silenzio (fonte Regione Liguria)

La spiaggia emersa è sostanzialmente stabile dal dopoguerra ad oggi. Con la costruzione delle barriere di protezione, la linea di spiaggia ha raggiunto la sua configurazione planimetrica di equilibrio che è rimasta invariata negli ultimi 35 anni.

Come emerge anche dagli approfondimenti riportati sul Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero Ambito 15, non si prevedono nel breve termine particolari variazioni nelle condizioni di equilibrio dei processi costieri. Nel medio-lungo termine possono essere previsti, invece, lievi

fenomeni erosivi della spiaggia per consunzione del materiale che la compone e per lento arretramento della testata del canale di rip current al centro della baia.

Le opere in scogliera hanno subito negli anni il naturale assestamento tipico di tali opere per le quali deve essere previsto una costante opera di monitoraggio e manutenzione in caso di mareggiate particolarmente intense. Il presente studio di fattibilità interessa proprio tali opere.

La mantellata delle due scogliere, a seguito della mareggiata del 29-30 Ottobre 2018 – di cui si riportano qui di seguito alcune immagini tratte dalle riprese aeree eseguite con drone – presentavano porzioni della berma emersa completamente depauperate – sia in corrispondenza della scogliera di levante per un tratto di circa 25 m, sia in corrispondenza della scogliera di ponente per un tratto di circa 15 m – e vari tratti con cedimenti e assestamenti localizzati soprattutto in corrispondenza della linea del medio mare.

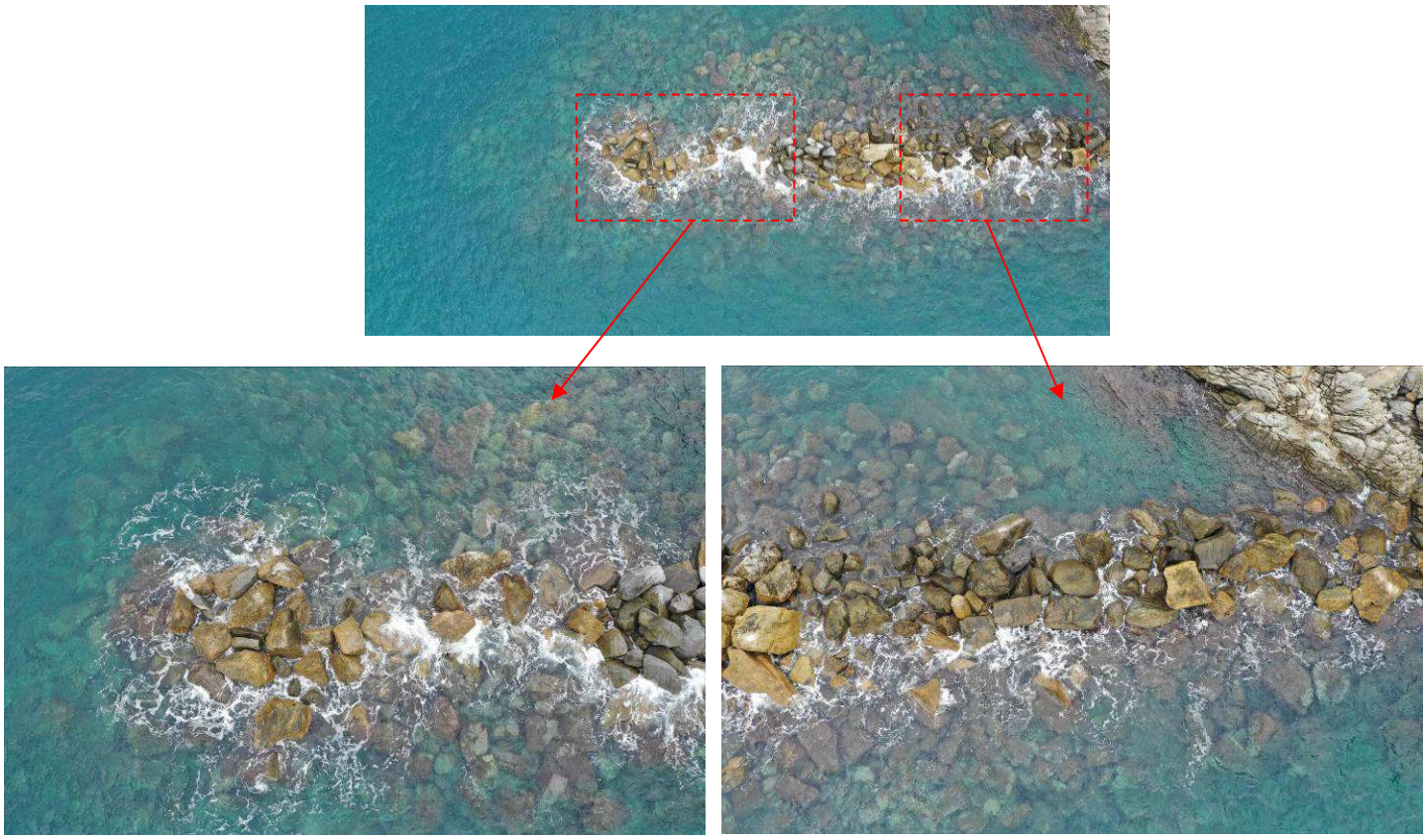


Foto 2.2 : Vista aerea e particolari della scogliera di levante

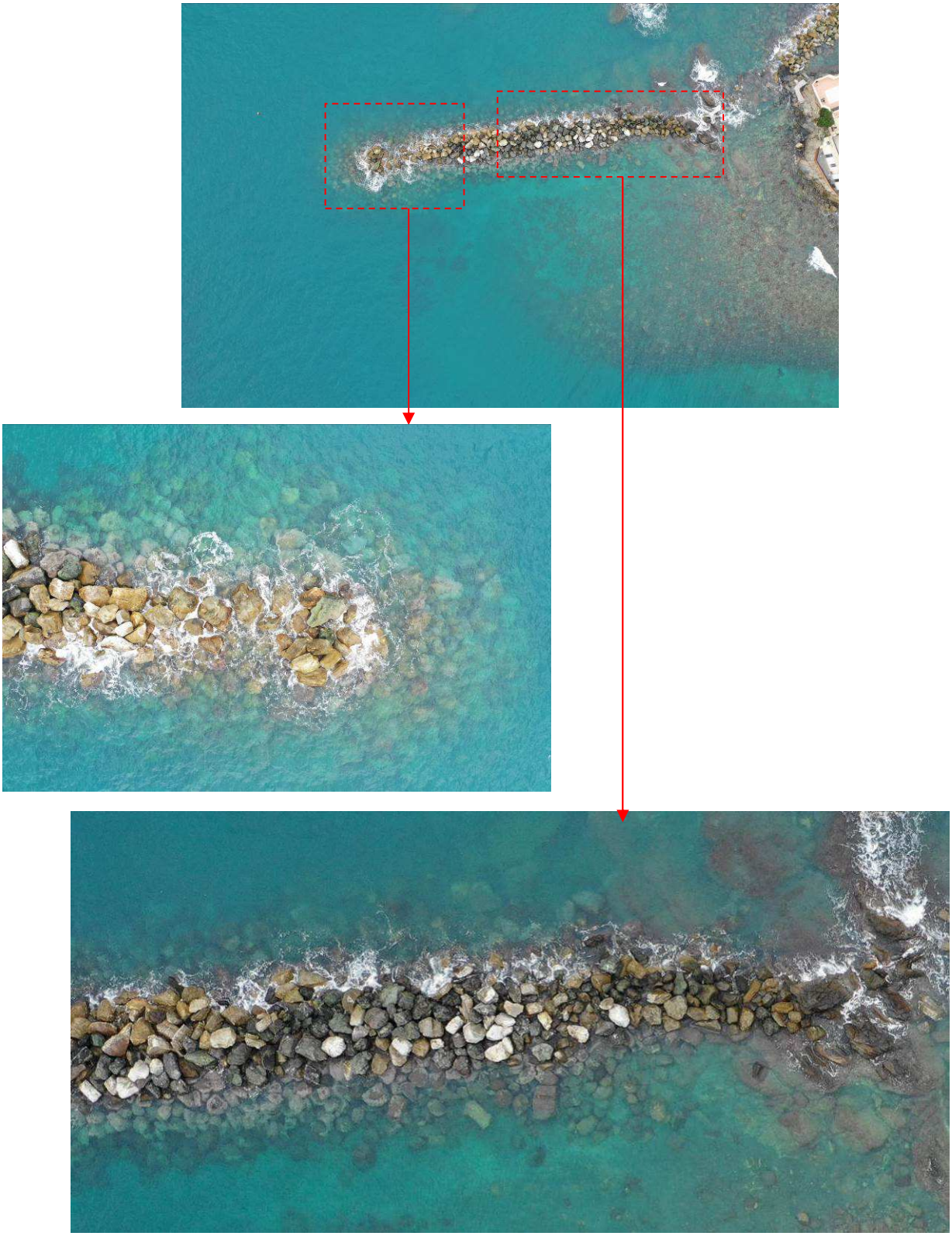


Foto 2.3 : Vista aerea e particolari della scogliera di ponente

Gli interventi della fase 1 si sono conclusi a marzo 2019, con un completamento puntuale mediante uso dei ribassi nel maggio 2019: tali interventi hanno previsto il ripristino dei tratti di scogliera danneggiati mediante provvista e posa in opera di circa 1.250 t di massi naturali di cava. La sagoma a progetto è costituita da una berma emersa a +1,50 m s.l.m.m di 3 m di larghezza, con pendenza della mantellata pari a 1 su 2,5 su entrambi i lati. Inoltre sono stati ricollocati in sagoma gli elementi disarticolati e/o franati al piede delle scogliere.

Di seguito vengono riportate foto in cui vengono rappresentate le due scogliere a seguito degli interventi di ripristino parziale della sagoma originaria.

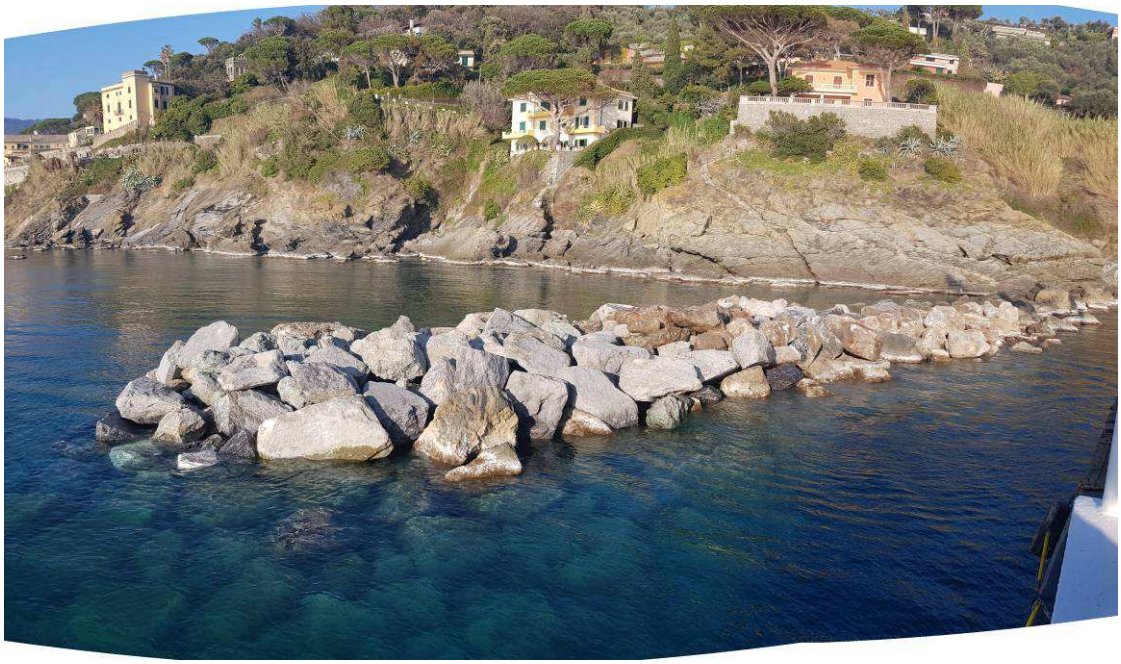


Foto 2.4 : Vista della scogliera di levante a seguito degli interventi di FASE 1



Foto 2.5 : Vista della scogliera di ponente a seguito degli interventi di FASE 1

3. INDAGINI ESEGUITE

3.1 Rilievo batimetrico e topografico

A luglio del 2019 è stata eseguita una campagna di indagini batimetriche e topografiche di dettaglio finalizzata alla verifica delle attuali condizioni delle scogliere di difesa della Baia del Silenzio e dello specchio acqueo ad esse limitrofe a seguito degli interventi previsti nella fase 1 sopra descritti.

Le attività eseguite hanno interessato la porzione di specchio acqueo interna ed esterna alle scogliere di protezione per un'estensione complessiva di circa 5850 mq (v. *Figura 3.1*) oltre alle aree a terra ad essa limitrofe.

In tale area sono stati eseguiti:

- rilievo di precisione con tecnica "multibeam", con mappatura grafica e numerica dei fondali nell'area oggetto dell'indagine, al fine di visualizzare la attuale batimetria dello specchio acqueo prospiciente le scogliere di difesa e lo stato della parte sommersa delle stesse;
- rilievo topografico di precisione con tecnica "laser scanner" con mappatura grafica e numerica della parte emersa delle scogliere di difesa e delle aree a terra oggetto dell'indagine.



Figura 3.1 : area a mare indagata

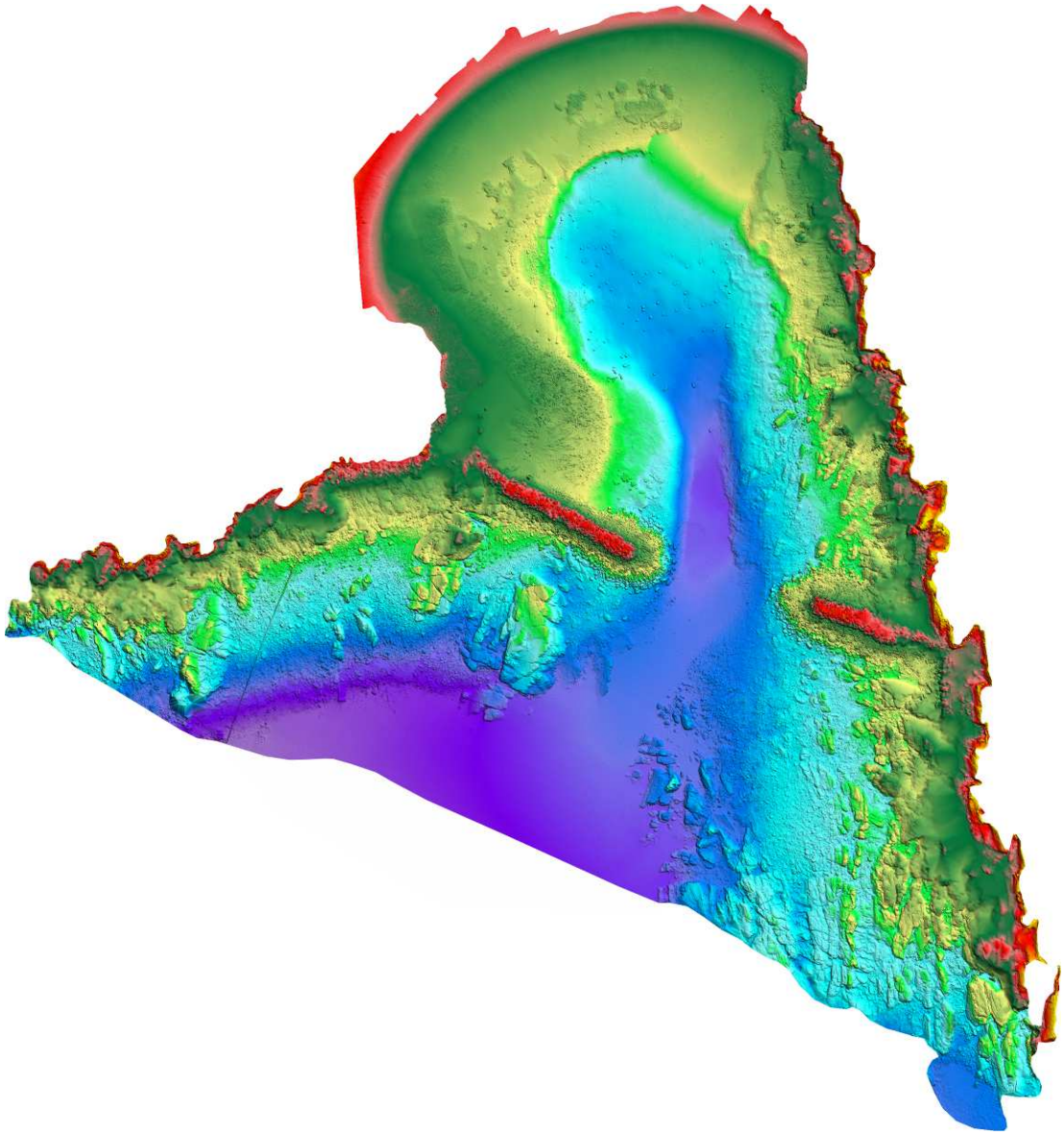


Figura 3.2: dettaglio del DTM (modello digitale del terreno) dell'area a mare oggetto di rilievo MBES

Le attività sono state eseguite alla ditta Drafinsub Survey s.r.l. di Genova, specializzata in indagini batimetriche e topografiche.

I rilievi batimorfologici sono stati eseguiti con strumentazione di tipo MBES (Multi Beam Echosounder System), con integrazione Side Scan Sonar a 455 kHz: tale strumentazione consente la mappatura a copertura totale dell'area indagata, con rappresentazione in continuo delle profondità e delle caratteristiche del fondale.

I rilievi topografici sono stati eseguiti con strumentazione di tipo Laser Scanner (modello Riegl Z420i) in modalità dinamica che consente, a differenza di un rilievo statico in cui il laser scansiona a 360 gradi da diverse stazioni preliminarmente fissate in modo da poter coprire l'intera area di indagine, una scansione in movimento ed in continuo con contestuale acquisizione dei dati e verifica – tramite software dedicato che visualizza la nuvola di punti ed il modello 3D - la reale copertura dell'area di indagine.

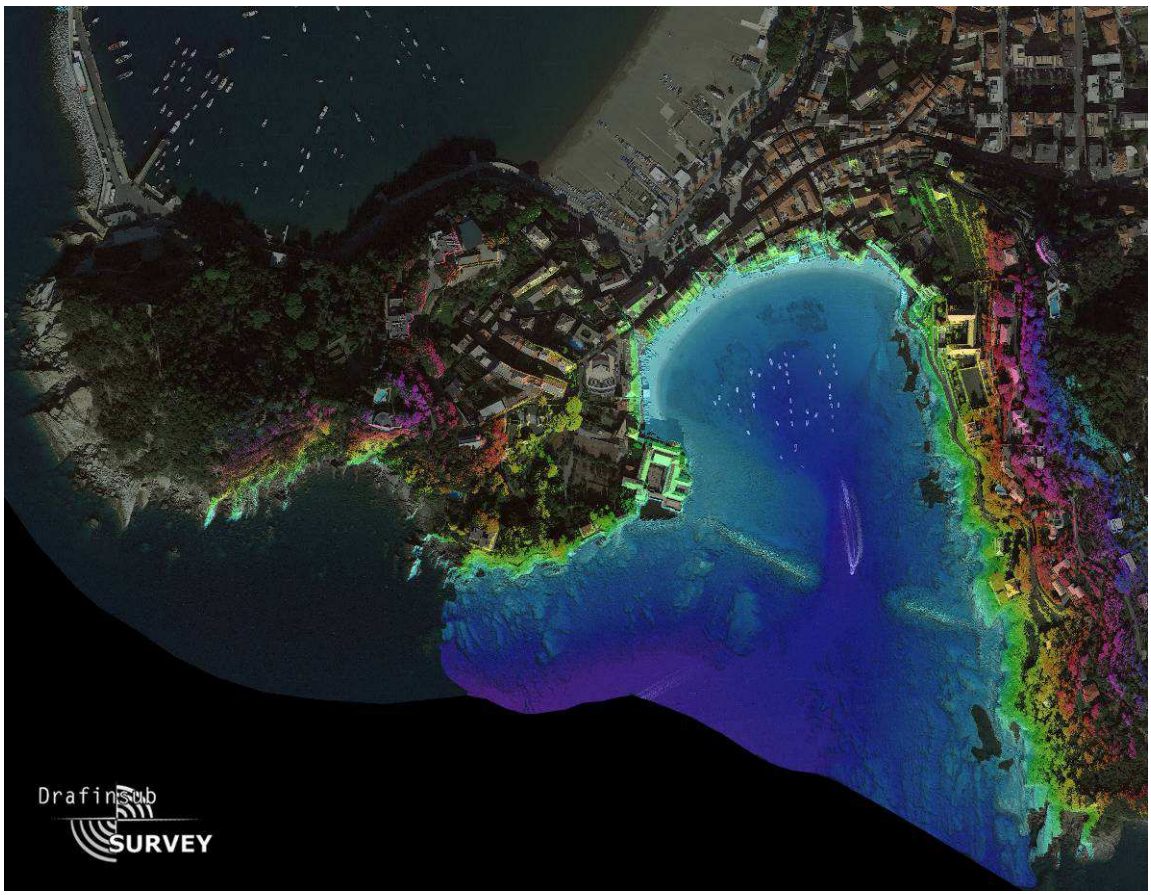


Figura 3.3: visualizzazione in pianta del rilievo laser scanner effettuato sovrapposto alla foto aerea

Il rilievo topografico è stato eseguito contestualmente a quello batimetrico, con acquisizione simultanea – tramite il software PDS2000 - dei dati derivanti dai 2 diversi *"device"* e loro elaborazione/visualizzazione - tramite il software Global Mapper - come modello tridimensionale.

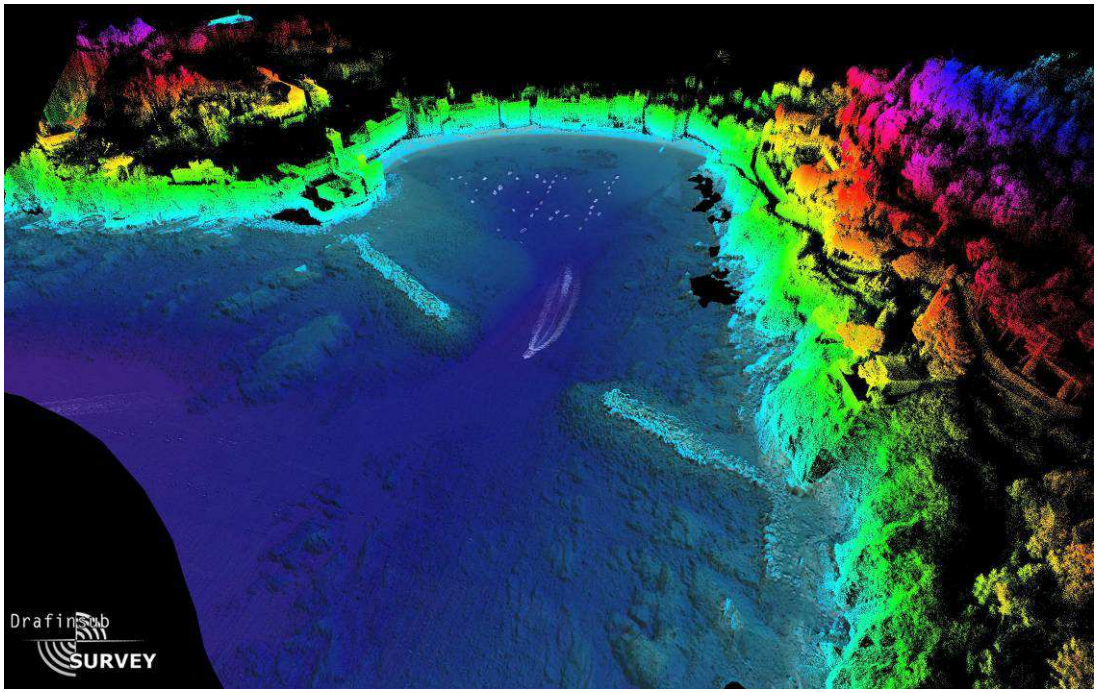


Figura 3.4: visualizzazione 3D del rilievo MBES e laser scanner effettuato

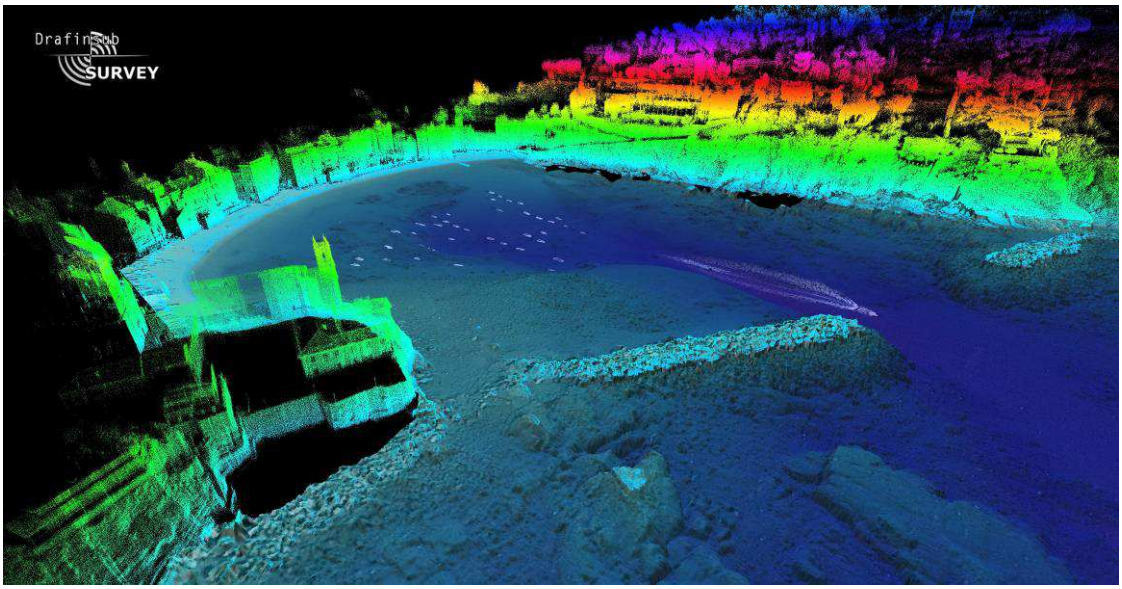


Figura 3.5: visualizzazione 3D del rilievo MBES e laser scanner effettuato

Dalla lettura del rilievo, oltre agli elementi delle scogliere, appare molto evidente l'elevata profondità dei fondali in corrispondenza del varco di accesso della baia, dovuto al passaggio delle correnti in entrata ed uscita e quindi al progressivo forte approfondimento dei fondali.

4. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Si riporta qui di seguito una sintesi di quanto previsto dagli strumenti di pianificazione vigenti nel sito in esame.

4.1 Inquadramento catastale

Le scogliere di difesa della Baia del Silenzio ricadono interamente in area di proprietà demaniale. Le stesse, come risulta dalla cartografia del S.I.D. non sono identificate catastalmente.



Figura 4.1: mappa del SID (Sistema Informativo Demanio)

4.2 Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico (PTCP)

L'area a terra limitrofa alle scogliere oggetto di intervento ricade nell'Ambito Territoriale N. 86 "Sestri Levante". Le scogliere di difesa sono al di fuori delle aree perimetrate.

4.2.1 Assetto Insediativo



Figura 4.2: stralcio PTCP Assetto Insediativo

La parte centrale e di ponente della baia ricade in Struttura Urbana Qualificata (SU); la parte di levante della baia ricade in Insediamento Diffuso a regime normativo di Conservazione (ID-CE).

Le strutture urbane qualificate sono assoggettate al regime normativo di MANTENIMENTO in quanto trattasi di ambiti urbani di ampie dimensioni che si distinguono dal contesto per caratteri di particolare pregio paesistico-ambientale, tali da identificarli come componenti significative della morfologia urbana. L'obiettivo della norma è quello di evitare che vadano compromesse identità e l'identificazione dell'assetto territoriale preesistente.

Gli Insediamenti diffusi sono assoggettati al regime di conservazione in quanto si rende necessario subordinare ogni intervento indipendentemente dalla sua motivazione, al rispetto dei valori di qualità e di tipicità dell'insieme e dei singoli elementi costitutivi.

4.3 Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero – Ambito 15

Il Consiglio Regionale ha approvato con D.C.C. n.18 del 25 settembre 2012 il Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero per l'Ambito Costiero 15, esteso da Punta di Portofino a nord-ovest a Punta Baffe e comprendente le unità fisiografiche del Golfo del Tigullio, della Baia del Silenzio e di Riva Trigoso.

Detto PTAMC ha valore di piano territoriale di settore, ed è finalizzato alla tutela dell'ambiente marino costiero in termini sia di riequilibrio sedimentario dei litorali e di stabilizzazione della costa alta, sia di miglioramento della qualità delle acque costiere, sia di difesa e valorizzazione degli habitat marini e della biodiversità costiera, sia di rispetto degli assetti naturali e della loro tendenza evolutiva, degli usi compatibili e dello sviluppo sostenibile.

Il Piano, vista la delicatezza del luogo, impone che eventuali previsioni future di intervento all'interno della baia debbano essere attentamente valutate, consentendo nel breve e medio termine solamente interventi a carattere manutentivo.

Dal punto di vista ambientale dell'ecosistema marino costiero il Piano pone come obiettivo, all'interno delle barriere, la sopravvivenza e recupero della prateria di Posidonia oceanica mediante la riorganizzazione dell'attuale utilizzo nautico con modalità compatibili; all'esterno delle barriere prevede la necessità di interventi che riducano la pressione o l'impatto dell'attività di pesca.

4.4 P.U.C. del Comune di Sestri Levante

Il P.U.C. (Piano Urbanistico Comunale) di Sestri Levante è vigente dal 13/08/2003 (sulla base dell'Atto n. 4475 emesso dalla Provincia di Genova in data 25.07.2003), da ultimo variato con Deliberazione del Consiglio Comunale n. 6 del 16/01/2013, diventata efficace con Provvedimento n.ro 1276 del 26/03/2014 reso dal Dirigente del Servizio di Pianificazione Generale e di Bacino della Provincia di Genova.

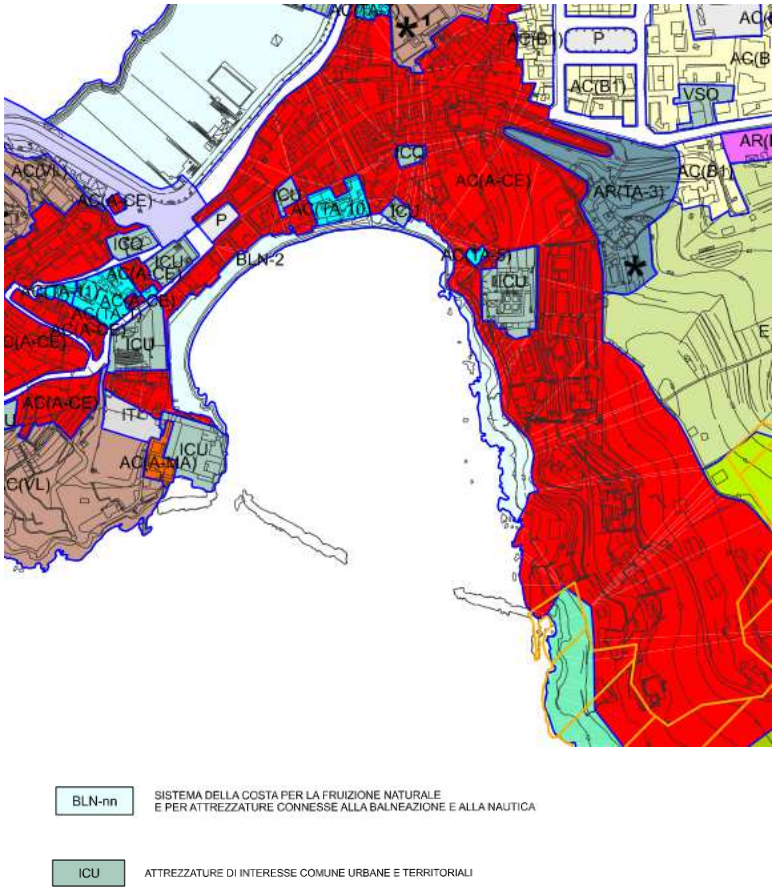


Figura 4.3: Variante P.U.C. Sestri Levante – Struttura - stralcio Tav. STR 6

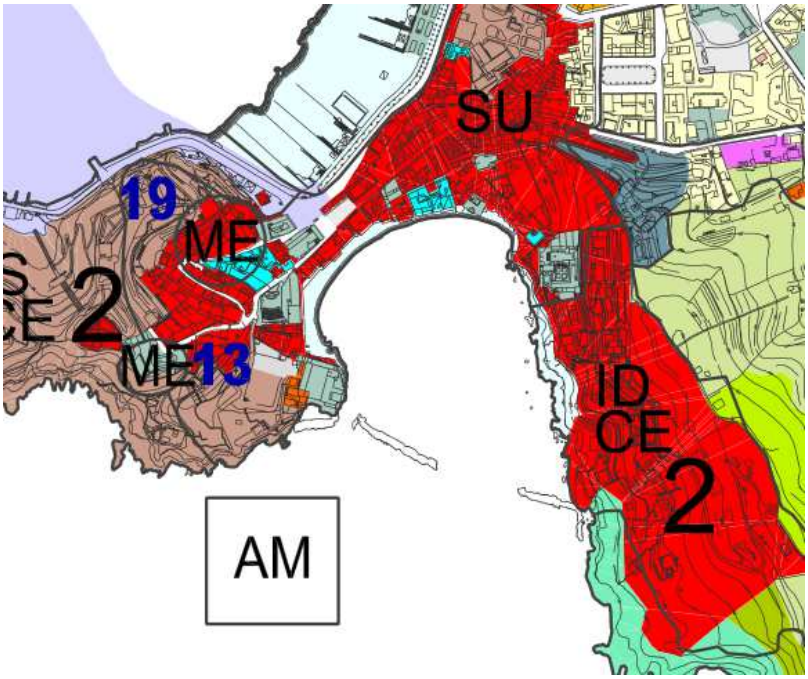


Figura 4.4: Variante P.U.C. Sestri Levante Disciplina paesaggistica - stralcio Tav. PAES 6

L'area interessata dagli interventi in progetto non è compresa in nessun ambito del PUC; è frontistante la spiaggia che ricade in area BLN-2, ossia nel sistema della costa per la fruizione naturale e per attrezzature connesse alla balneazione e alla nautica di Portobello.

In tale area il complesso degli interventi deve tendere a tutelare e valorizzare l'ecosistema costiero locale, eliminando i fattori di disturbo e compromissione, migliorandone e regolandone la fruizione pubblica, qualificandone l'immagine in relazione alle esigenze dei residenti e dei turisti, favorendo le attività sportive e professionali legate alla pesca.

Nelle disciplina paesaggistica le strutture urbane qualificate in cui ricade l'area retrostante le scogliere sono disciplinate dall'art. 2.2, che persegue gli obiettivi di mantenimento del PTCP. Le previsioni puntuali sono riferite al tessuto urbano e non alle scogliere in esame.

4.5 Progetto di utilizzo delle aree demaniali e degli specchi acquei del Comune di Sestri Levante

Le scogliere di difesa della Baia del Silenzio non ricadono in nessun ambito del PUD.

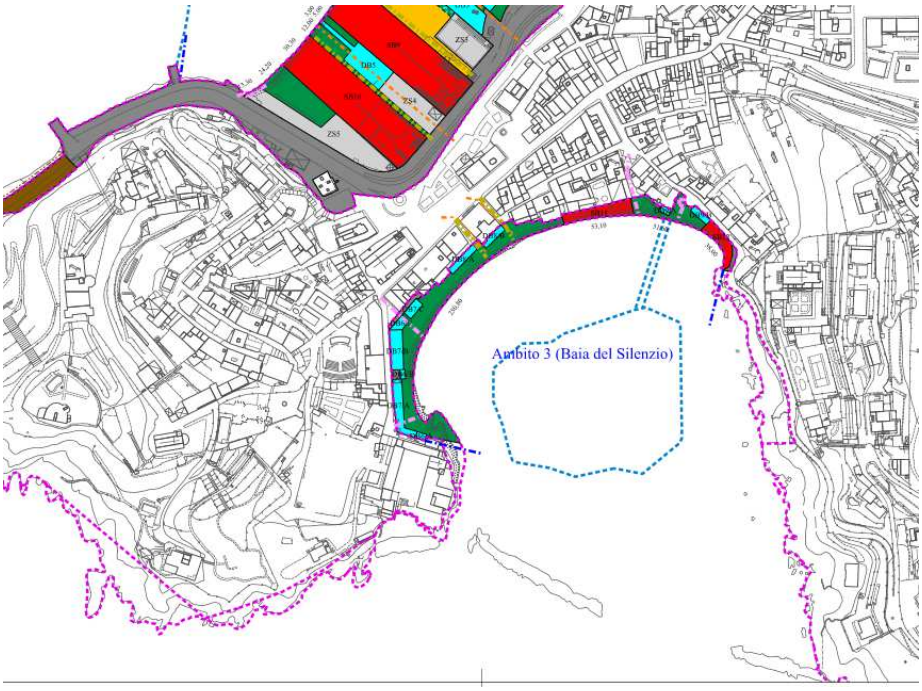


Figura 4.5: Variante P.U.D. Sestri Levante Stralcio Tav. 1 Agg. 2015

4.6 Vincoli paesaggistici

Le scogliere ricadono all'interno delle aree vincolate ex art. 142 D. Lgs. 42/2004 (già Legge 431/1985); le aree costiere limitrofe sono classificate come bellezze di insieme e bellezze singole (penisola). Sono presenti vincoli architettonici puntuali su singoli edifici.



Figura 4.6: vincoli architettonici, archeologici e paesaggistici (da liguriavincoli.it)

4.7 Siti di Importanza Comunitaria

Le scogliere di difesa della Baia del Silenzio non ricadono direttamente in alcun SIC.

In prossimità della scogliera di levante è presente il SIC marino IT1333372 - Fondali Punta Sestri e sono presenti praterie di posidonia oceanica.



Figura 4.7: stralcio Carta S.I.C. terrestri e marini

5. ASPETTI NATURALISTICI

L'area in esame, come già sopra descritto, oltre ai caratteri architettonici, paesaggistici ed ambientali di notevole importanza presenta anche la presenza di habitat di grande pregio, sia dentro sia fuori le scogliere di protezione.

Come emerge dallo stralcio dall'Atlante degli habitat marini della Liguria e dalla relazione di paraggio del PTAMC Ambito 15 all'interno della Baia del Silenzio, nella parte sommersa della spiaggia, "*…sopravvivono a bassa profondità alcune modeste superfici di prateria (nel complesso circa a 0,5 ha), circondate a matte morta, fra cui merita particolare attenzione un piccolo lembo relitto di récif-frangeant…*", mentre fuori dalla baia …. "*sul versante di levante,*

la scogliera che digrada in mare fino a 15 m di profondità, è colonizzata da posidonia insediata su roccia, su una superficie di circa 2,5 ha…"

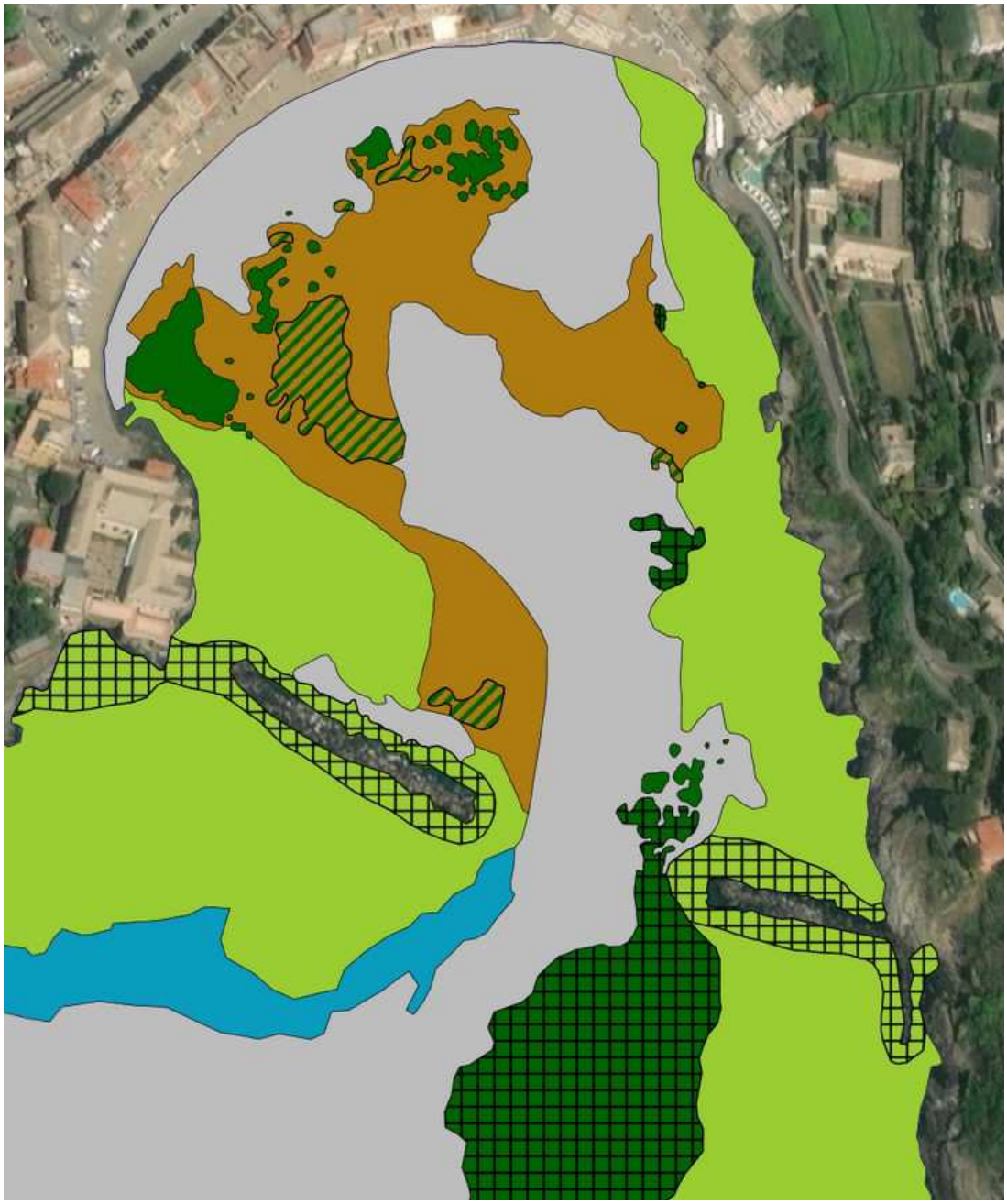


Figura 5.1: stralcio Atlante degli habitat marini della Liguria (2020) sovrapposto al rilievo delle scogliere e ai tratti oggetto di intervento

6. STUDIO DELLA CIRCOLAZIONE COSTIERA

Per poter proseguire nella progettazione preliminare delle opere di protezione, si è reso necessario svolgere degli studi approfonditi sulle condizioni degli agenti meteomarini all'interno della Baia del Silenzio. Il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova (DICCA), su incarico del Comune di Sestri Levante, a gennaio 2020 ha svolto uno studio dal titolo "Modellazione numerica della circolazione costiera e valutazione di ricadute in termini di protezione civile all'interno della Baia di Sestri Levante".

La relazione finale rappresenta il rapporto tecnico conclusivo, all'interno del quale vengono illustrati i diversi aspetti dell'analisi e in particolare l'approccio metodologico, i dati utilizzati e i risultati ottenuti. Lo scopo della collaborazione scientifica consiste nello studio della circolazione costiera all'interno della Baia del Silenzio e la verifica delle condizioni degli agenti meteomarini all'interno della baia ai fini di protezione civile (sia per quanto riguarda le caratteristiche della risalita del moto ondoso sull'arenile della baia, sia per quanto riguarda l'intensità del moto ondoso nella zona centrale della baia adibita ad area ormeggio per le barche da diporto), alla luce di quanto verificatosi durante la mareggiata del 29 ottobre 2018.

La complessità dei fenomeni fisici analizzati e della conformazione del luogo, i conflitti d'uso del poco spazio disponibile sull'arenile e la forte pressione antropica rendono la gestione della Baia del Silenzio un problema articolato e di non facile soluzione.

Nello studio è evidenziato il rischio per i territori costieri della baia dovuto al runup, la risalita del moto ondoso lungo la spiaggia emersa all'interno della baia, una grandezza valutata ai fini di protezione civile in quanto la risalita dell'onda è una grandezza utilizzata per la stima dell'estensione dell'inondazione costiera provocata da eventi di mareggiata. La simulazione è stata condotta prendendo in considerazione tre mareggiate storiche: quella del novembre 2008, quella del gennaio 2010 e quella dell'ottobre 2018. La risalita del moto ondoso sulla spiaggia emersa ha evidenziato valori pari fino a 1,5-2,5 m lungo l'estensione dell'arenile all'interno della baia.

Nello studio si sottolinea come il livello raggiunto dalla risalita dell'onda, e quindi di conseguenza l'area potenzialmente inondabile in seguito al verificarsi di un evento di mareggiata intensa, dipende in maniera significativa dalla posizione del livello del medio mare: nel caso vi sia un innalzamento del livello medio mare ovviamente l'area inondabile in corrispondenza della zona attigua alla Baia del Silenzio del centro storico di Sestri Levante aumenterà significativamente.

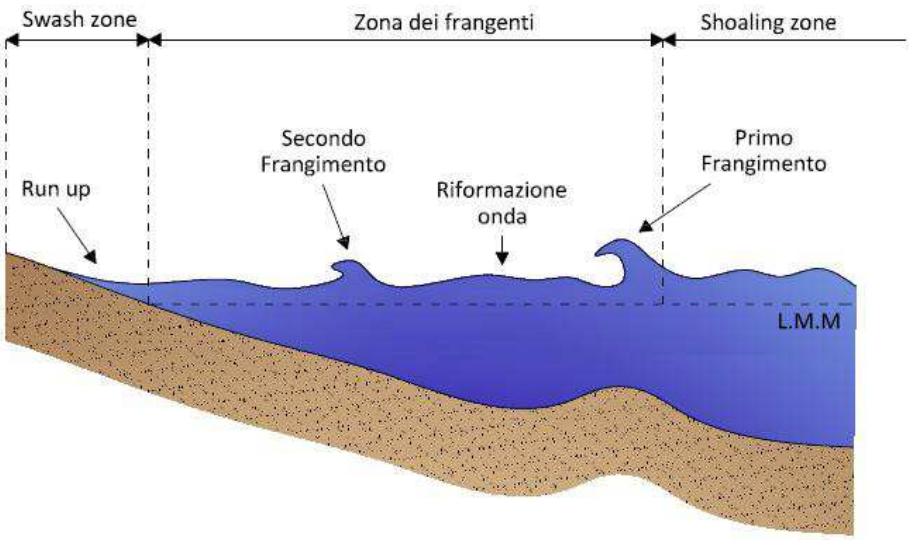


Figura 6.1: schema del fenomeno di frangimento dell'onda e conseguente run-up sulla costa.

Le due problematiche che hanno ispirato lo studio, ovvero il miglioramento della qualità delle acque della baia soprattutto durante le calme estive e la protezione del litorale dagli eventi di mareggiata intensa, sono due aspetti che possono trovarsi in antitesi tra di loro. Una maggiore protezione da parte del moto ondoso implicherebbe infatti la costruzione di opere di difesa più imponenti e impattanti rispetto alle attuali. La diminuzione del flusso di energia del moto ondoso all'interno della baia ottenuto tramite una minore esposizione della baia stessa al mare aperto comporterebbe però una limitazione alla dinamica della circolazione della baia e allo scambio tra l'interno della baia e il mare aperto, provocando quindi un maggior ristagno delle acque.

Una maggior protezione dall'azione delle onde deve essere quindi perseguita cercando di non diminuire in nessun modo la circolazione interna della baia (i.e. non aumentare i tempi di residenza). La predisposizione dei modelli numerici per lo studio dello stato attuale della baia rappresenta uno strumento di indagine e di analisi per lo studio di eventuali soluzioni progettuali per possibili interventi di modifica delle strutture di protezione.

Alcune strade percorribili per un eventuale studio preliminare di risistemazione dei pennelli di protezione sono rappresentate da:

1) la realizzazione di una struttura con nucleo impermeabile che limiti la trasmissione del moto ondoso attraverso l'ammasso poroso;

2) un irrobustimento delle strutture tramite una risagomatura per limitare la tracimazione ed eventualmente la realizzazione di una berma per dissipare localmente l'energia del moto ondoso;

3) una modifica dell'orientamento del molo di ponente verso sud al fine di occludere maggiormente la bocca di entrata alla baia, permettendo comunque un facile accesso alle imbarcazioni da diporto.

Nello studio è ritenuto necessario, in seguito a qualsiasi riprofilatura / risagomatura / rifiorimento o riprogettazione della struttura di ponente, cercare di non ostruire per nessun motivo il varco presente adesso alla radice del molo, in quanto rappresenta una connessione idrodinamica tra l'interno della baia e il mare aperto, in grado quindi di scambiare acqua e favorire quindi la diluizione di eventuali contaminanti.

7. ELEMENTI DI RILIEVO PER LA PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI DIFESA DELLA BAIA

I rilievi e gli studi eseguiti hanno consentito di avere un quadro aggiornato delle condizioni attuali della baia e delle principali criticità legate alla protezione civile: sulla base degli stessi sono state individuate una serie di ipotesi progettuali, con lo scopo primario di migliorare il livello di protezione delle aree della baia a tergo delle scogliere, ma considerano anche la necessità del mantenimento delle importanti peculiarità paesaggistiche ed ambientali dell'area, con particolare riferimento agli aspetti paesaggistici (la baia è un patrimonio paesaggistico primario del Comune e dell'intero territorio regionale) e a quelli ambientali, legati alla circolazione delle acque all'interno dell'area protetta dalle scogliere e alla presenza della prateria di posidonia immediatamente a ridosso dell'imboccatura tra le due scogliere.

Vista l'estrema vicinanza della prateria di *posidonia oceanica* alle scogliere, in caso di interventi nell'area sarà necessario pertanto eseguire in affiancamento alla progettazione specifici approfondimenti di dettaglio dell'estensione e delle condizioni della prateria di posidonia.

Lo studio del DICCA ha evidenziato l'esigenza di una maggiore protezione e l'importanza di mantenere un'adeguata circolazione idrica: il mantenimento della spiaggia in condizioni adeguate e il rinforzo delle scogliere dovranno pertanto essere valutate in maniera molto dettagliata, per focalizzare le opere nei punti più efficaci e consentire il mantenimento di un adeguato livello di qualità paesaggistica ed ambientale dell'area.

Le soluzioni progettuali potranno poi essere attuate anche per lotti successivi, in funzione della disponibilità dei finanziamenti, nell'ambito di un piano generale condiviso tra tutti i soggetti (Comune, strutture ed uffici regionali, Soprintendenza).

Di seguito verranno descritte alcune ipotesi progettuali, valutate anche in base ai risultati ottenuti dallo studio sopra descritto.

8. IPOTESI DI PROGETTO

8.1 Condizioni attuali delle opere

A seguito degli interventi di fase 1, le scogliere attualmente presentano forme abbastanza regolari: in particolare, la scogliera di ponente si estende per una lunghezza totale di circa 130 m e presenta una berma alla quota circa +1,50 m s.l.m.m. di larghezza variabile 3÷5 m con pendenza della mantellata su entrambi i lati di 1/2,5.

La scogliera di levante si estende per una lunghezza totale di circa 90 m e presenta una berma alla quota circa +1,50 m s.l.m.m con larghezza variabile 4÷6 m e pendenza della mantellata sul lato verso mare di 1/2,5, mentre sul lato interno la pendenza è irregolare.

Attualmente la scogliera di ponente (volume di scogli a partire dal fondale) ha un volume di circa 16.400 mc, corrispondenti a circa 32.600 t di massi; la scogliera di levante ha un volume di circa 12.200 mc, corrispondenti a circa 24.400 t.

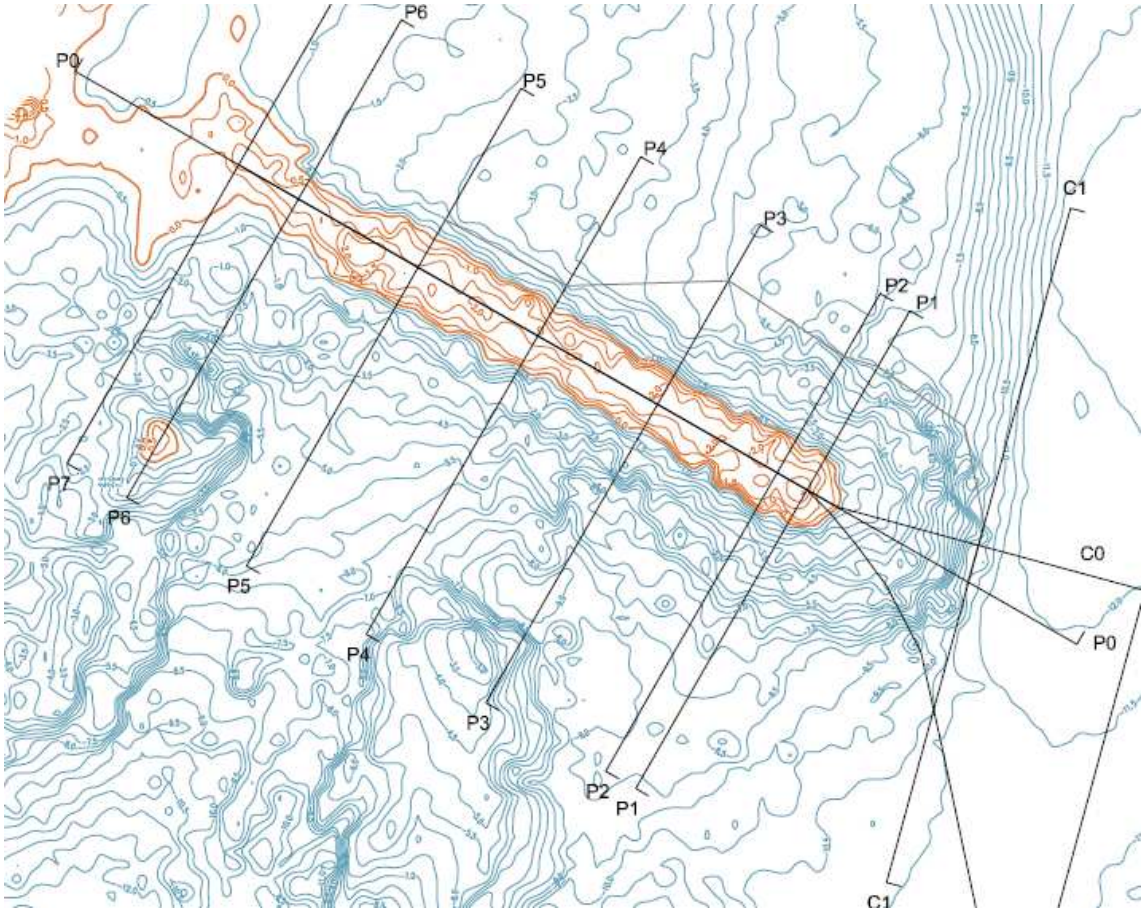


Figura 8.1: Planimetria stato attuale scogliera di ponente

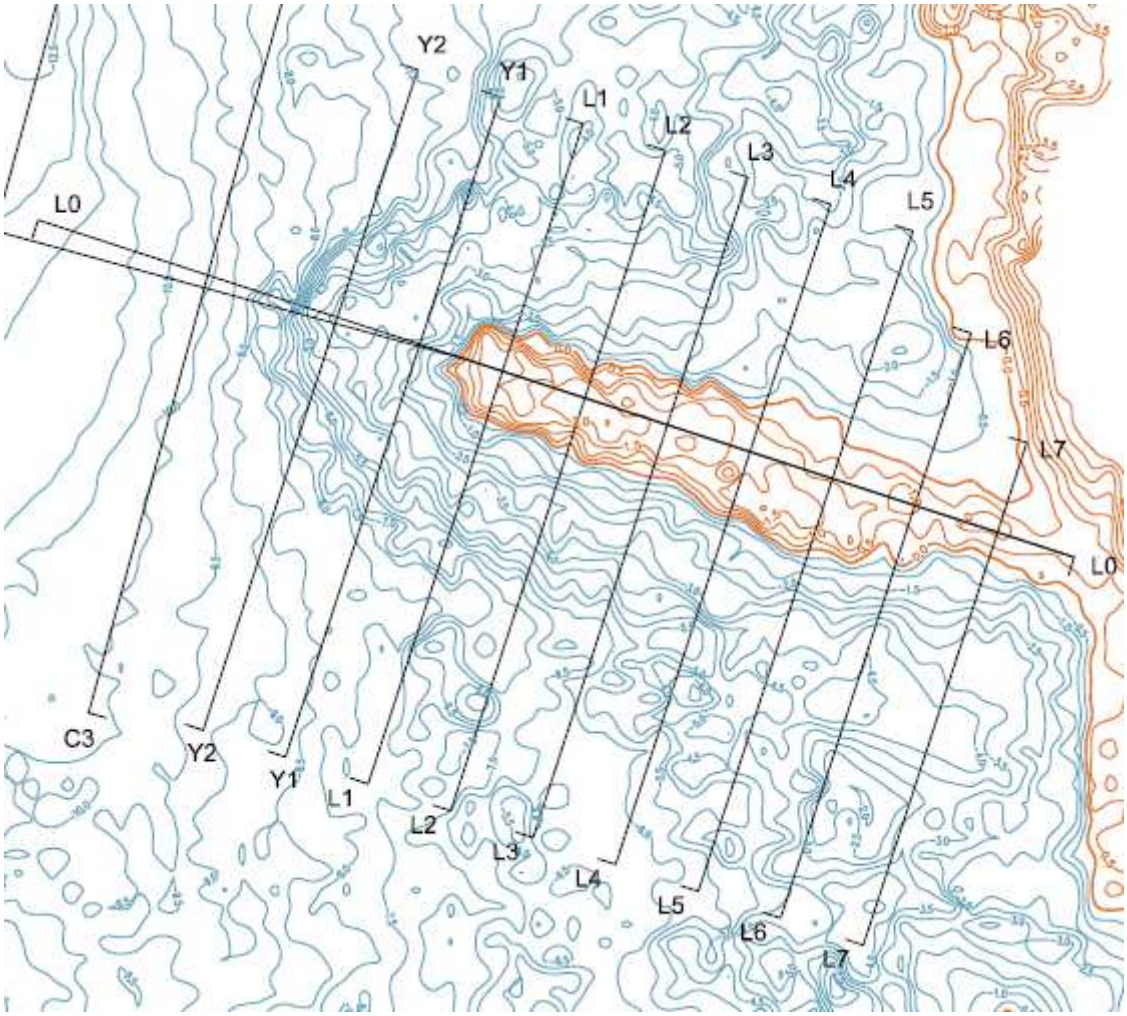


Figura 8.2: Planimetria stato attuale scogliera di levante

8.2 Criteri progettuali

Viste le volumetrie delle strutture, la possibilità di smontare e rimontare le scogliere o parte di esse in posizione differente appare di difficile attuazione, considerato anche il livello di ammorsamento raggiunto nel tempo dalla mantellata, specie per quanto riguarda la parte immersa, costituta da un insieme di massi di pezzature differenti che stanno progressivamente riducendo il livello dei vuoti, costituendo un'opera con una significativa impermeabilità, specie per quanto riguarda il passaggio delle perturbazioni ondose dall'esterno all'interno.
Per quanto sopra, non è stata presa in considerazione l'ipotesi di smontaggio e rimontaggio delle scogliere esistenti o di parte di esse, ma gli interventi sono stati tutti ipotizzati mediante modifiche in aumento delle scogliere presenti.
In sintesi gli interventi considerati consistono nel consolidamento delle sezioni delle scogliere (mediante rifiorimenti e potenziamenti della berma) e nell'allungamento di una o più scogliere, in varie configurazioni che sono state valutate in prima ipotesi maggiormente idonee ai fini della difesa delle aree della baia, sulla base dello studio del DICCA e che saranno sottoposte a simulazioni specifiche per valutarne in dettaglio l'efficacia.
Di seguito si presentano le ipotesi di intervento considerate, ciascuna delle quali con l'indicazione delle caratteristiche dimensionali: al termine è presentata una tabella riepilogativa, comprensiva della valutazione preliminare dell'efficacia, dei tempi e della stima preliminare dei costi.

Al termine della relazione sono riportati in allegato gli elaborati grafici in scala adeguata relativi allo stato attuale e alle diverse ipotesi di intervento, qui di seguito presentati in stralcio.

8.3 Ipotesi A – rifiorimento scogliere

L'ipotesi progettuale prevede di eseguire il rifiorimento di entrambe le scogliere per allargare le berme fino a 6,00 m a quota +2,00 m s.l.m.m. e rinforzare le scarpate verso mare. Le mantellate di entrambe le scogliere sono previste con pendenza 1/1 verso l'interno e 1/2,5 verso l'esterno. Di seguito si riportano una sezione tipo per entrambe le scogliere.

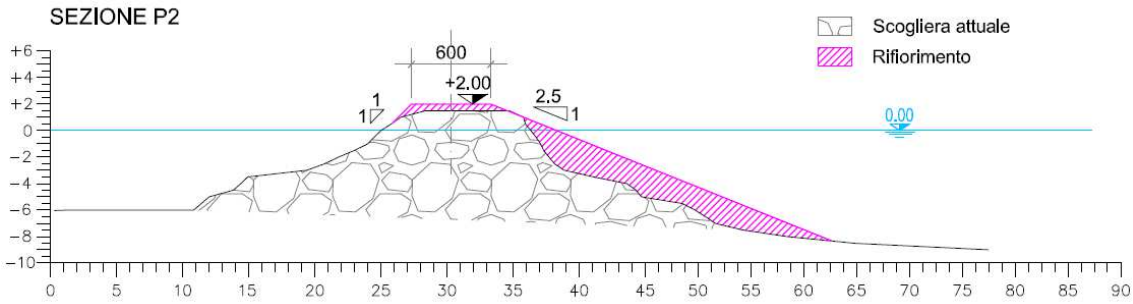


Figura 8.3: sezione tipo rifiorimento scogliera ponente

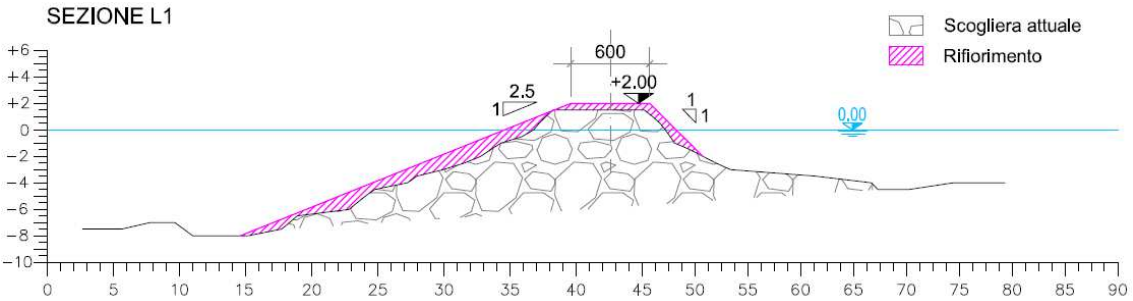


Figura 8.4: sezione tipo rifiorimento scogliera levante

Per il rifiorimento della scogliera di ponente sono necessari circa 7.600 t, mentre per quella di levante 2.200 t.

Viste le condizioni delle scogliere e nell'ottica di un intervento di medio-lungo periodo, tale intervento risulta molto importante, anche da attuare in successivi lotti, per garantire un'adeguata configurazione delle scogliere.

Scopo ed efficacia potenziale dell'intervento: migliorare le condizioni di resistenza delle scogliere

Esigenza di nuovi quantitativi di massi: bassa

Tempi di intervento: bassi (3 mesi)

Stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) : circa 1.000.000 €

8.4 Ipotesi B – rifiorimento scogliere e berma esterna sommersa

L'ipotesi B prevede il rifiorimento delle scogliere come in ipotesi A e la realizzazione nelle mantellate a mare, a ridosso del rifiorimento, di una nuova berma esterna a quota -1,00 m s.l.m.m. con larghezza 10,00 m e pendenza della mantellata 1/2,5.

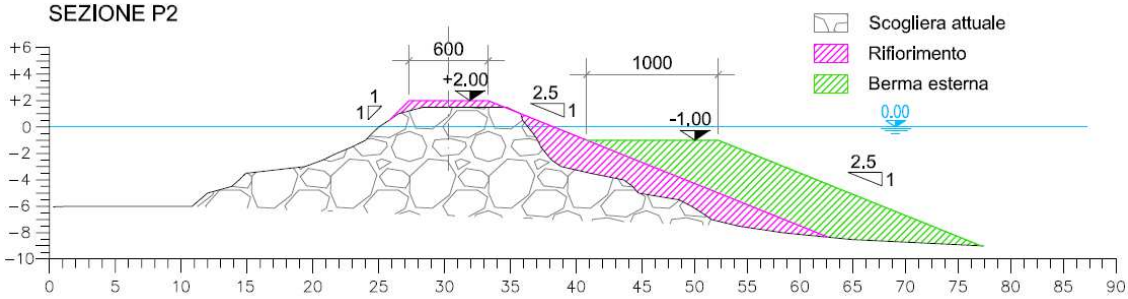


Figura 8.5: sezione tipo rifiorimento con berma esterna scogliera ponente

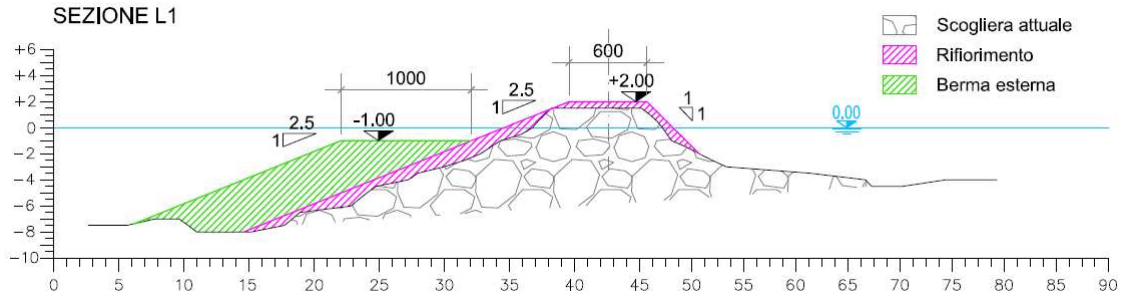


Figura 8.6: sezione tipo rifiorimento con berma esterna scogliera levante

L'ipotesi sopra descritta prevede di impiegare, oltre ai quantitativi di nuovi massi necessari per il rifiorimento (v. ipotesi A: 7.600 t a ponente e 2.200 t a levante), ulteriori 12.200 t per la scogliera di ponente e 6.300 t per quella di levante per un totale di 19.800 t a ponente e 8.500 t a levante.

NOTA: tale intervento deve essere realizzato in accoppiamento all'intervento A.

Scopo ed efficacia potenziale dell'intervento: migliorare le condizioni di resistenza delle scogliere, ridurre la tracimazione a tergo delle stesse

Esigenza di nuovi quantitativi di massi: medio/alta

Tempi di intervento: medi (6 mesi)

Stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) : circa 1.500.000 € (per il solo intervento B) - costi da sommare all'intervento A

8.5 Ipotesi C – allungamento scogliera ponente

L'ipotesi C prevede l'allungamento della scogliera di ponente con orientamento sud-est, costituito da una berma a quota +2,00 s.l.m.m di larghezza 6,00 m con mantellata di pendenza 1/2,5 verso l'esterno, in testa e per un tratto interno di raccordo, mentre nel tratto in cui si congiunge con la scogliera attuale la pendenza della mantellata interna è di 1/1.

L'allungamento a quota +2,00 risulta di circa 55 m e in totale al piede di 88 m.

L'ipotesi sopra descritta prevede di impiegare circa 72.300 t di nuovi massi.

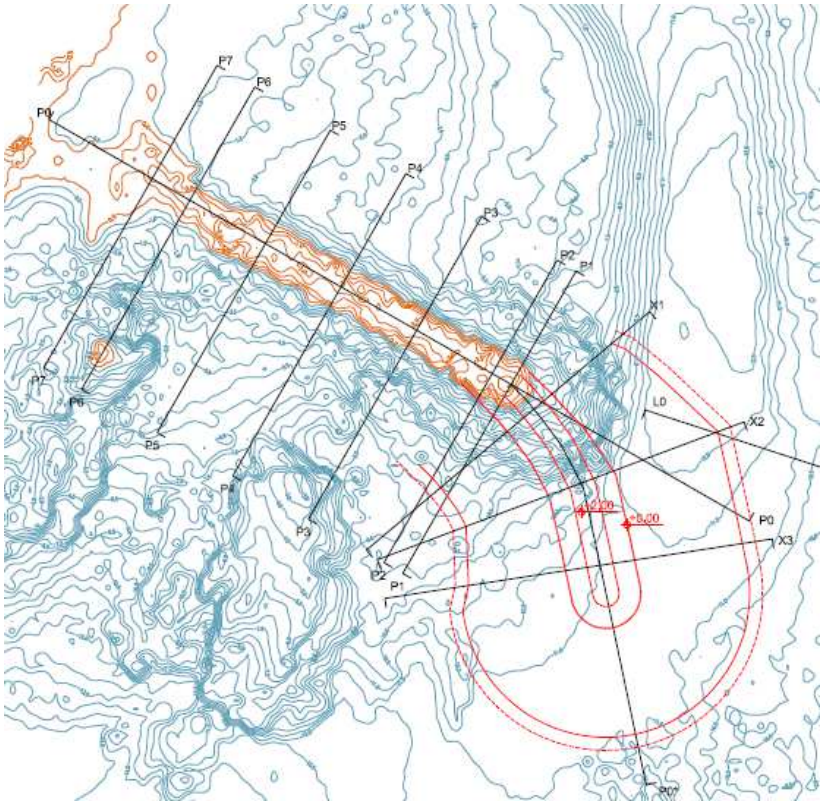


Figura 8.7: pianta allungamento scogliera ponente

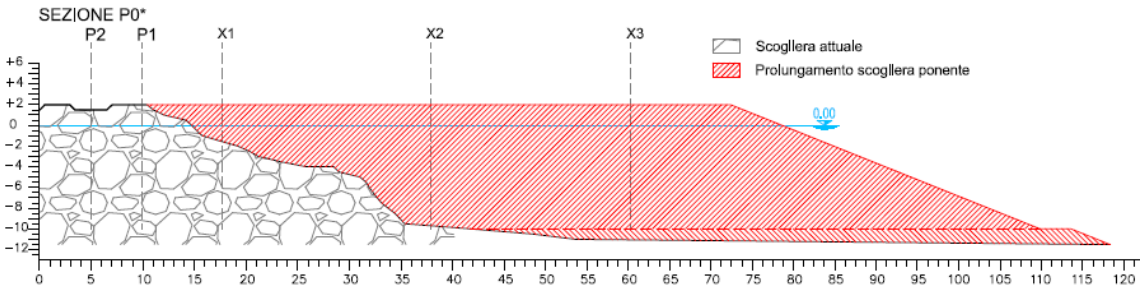


Figura 8.8: sezione longitudinale allungamento scogliera ponente

Scopo ed efficacia potenziale dell'intervento: ridurre la penetrazione del moto ondoso mediante riduzione dell'ampiezza dell'imboccatura, mantenendo il varco sufficientemente ampio per garantire l'accesso alle imbarcazioni e la circolazione delle acque

Esigenza di nuovi quantitativi di massi: molto alta

Tempi di intervento: molto elevati (20 mesi)

Stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) : circa 6.850.000 €

8.6 Ipotesi C2 – allungamento parziale scogliera ponente

L'ipotesi C2 presenta le stesse caratteristiche dell'ipotesi C, con una minore estensione del prolungamento (circa 20 m anziché 55 e in totale al piede circa 55 m anziché 88).

Per l'intervento sono necessari circa 26.000 t di nuovi massi.

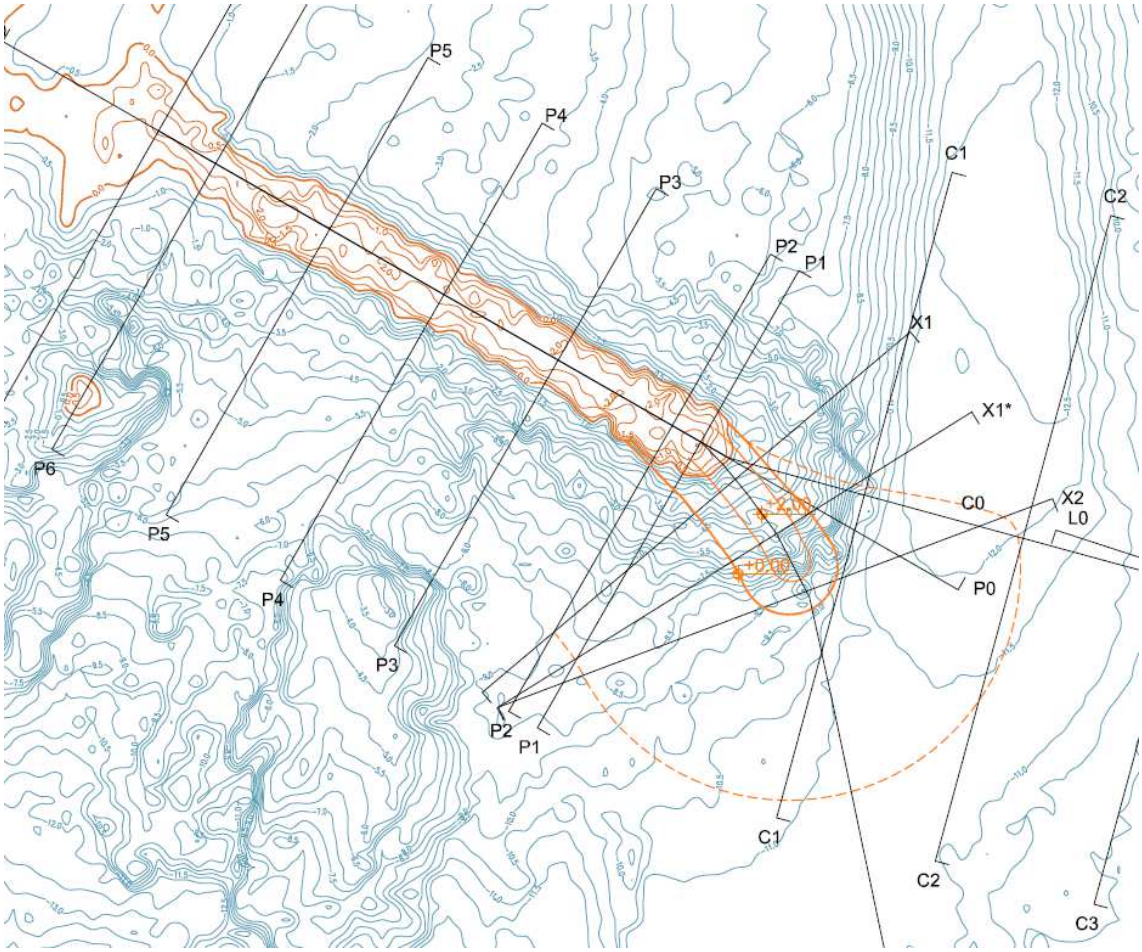


Figura 8.9: pianta allungamento parziale scogliera ponente

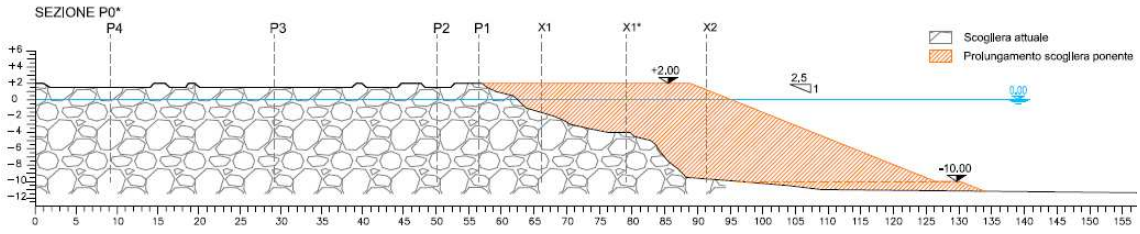


Figura 8.10: sezione longitudinale allungamento parziale scogliera ponente

Scopo ed efficacia potenziale dell'intervento: ridurre la penetrazione del moto ondoso mediante riduzione dell'ampiezza dell'imboccatura, mantenendo il varco sufficientemente ampio per garantire l'accesso alle imbarcazioni e la circolazione delle acque

Esigenza di nuovi quantitativi di massi: alta

Tempi di intervento: elevati (10 mesi)

Stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) : circa 2.500.000 €

8.7 Ipotesi D – allungamento scogliera levante

L'ipotesi D prevede di allungare la scogliera di levante seguendo l'orientamento attuale della scogliera. L'allungamento è costituito da una berma a +2,00 m s.l.m.m. con larghezza 6,00 m e pendenza della mantellata 1/2,5 verso l'esterno e in testata, mentre verso l'interno pendenza 1/1. L'allungamento a quota +2,00 m risulta essere di circa 20 m, mentre al piede di circa 50 m.
Per la realizzazione dell'intervento sono previsti circa 32.000 t di massi naturali.

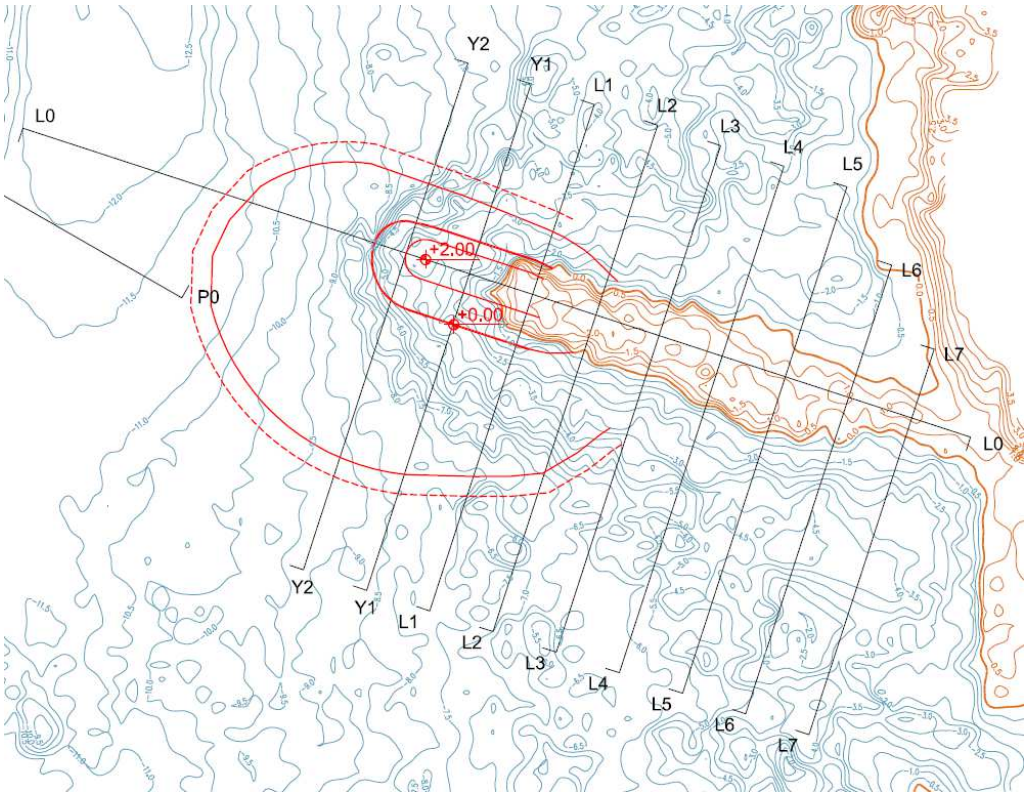


Figura 8.11: pianta allungamento scogliera levante

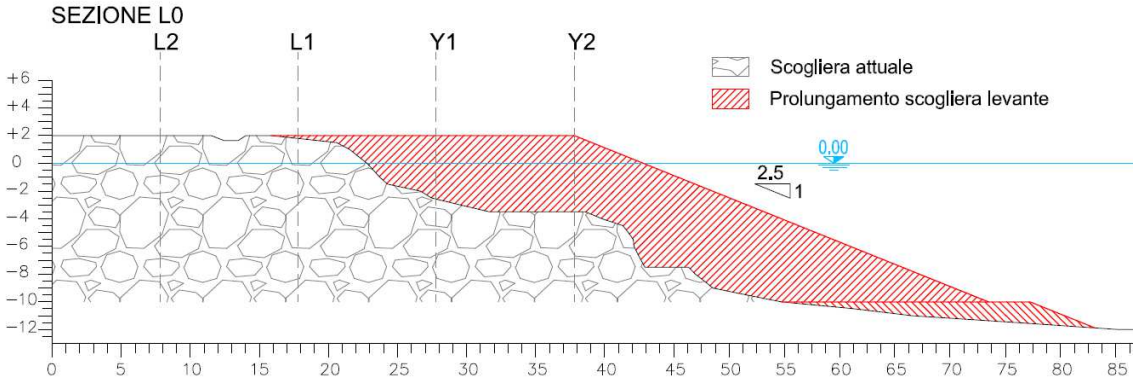


Figura 8.12: sezione longitudinale allungamento scogliera levante

Scopo ed efficacia potenziale dell'intervento: ridurre la penetrazione del moto ondoso mediante riduzione dell'ampiezza dell'imboccatura, mantenendo il varco sufficientemente ampio per garantire l'accesso alle imbarcazioni e la circolazione delle acque

Esigenza di nuovi quantitativi di massi: alta

Tempi di intervento: elevati (9 mesi)

Stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) : circa 2.950.000 €

8.8 Ipotesi E – barriera sommersa

L'ipotesi E prevede la realizzazione di una barriera sommersa collocata tra le due teste delle scogliere attuali. La barriera è adagiata sul fondale a circa -12 m e riempie lo spazio libero tra le due scogliere per una lunghezza di circa 83,80 m fino a una quota di -3 m.

L'ipotesi E prevede di impiegare circa 48.500 t di massi naturali.

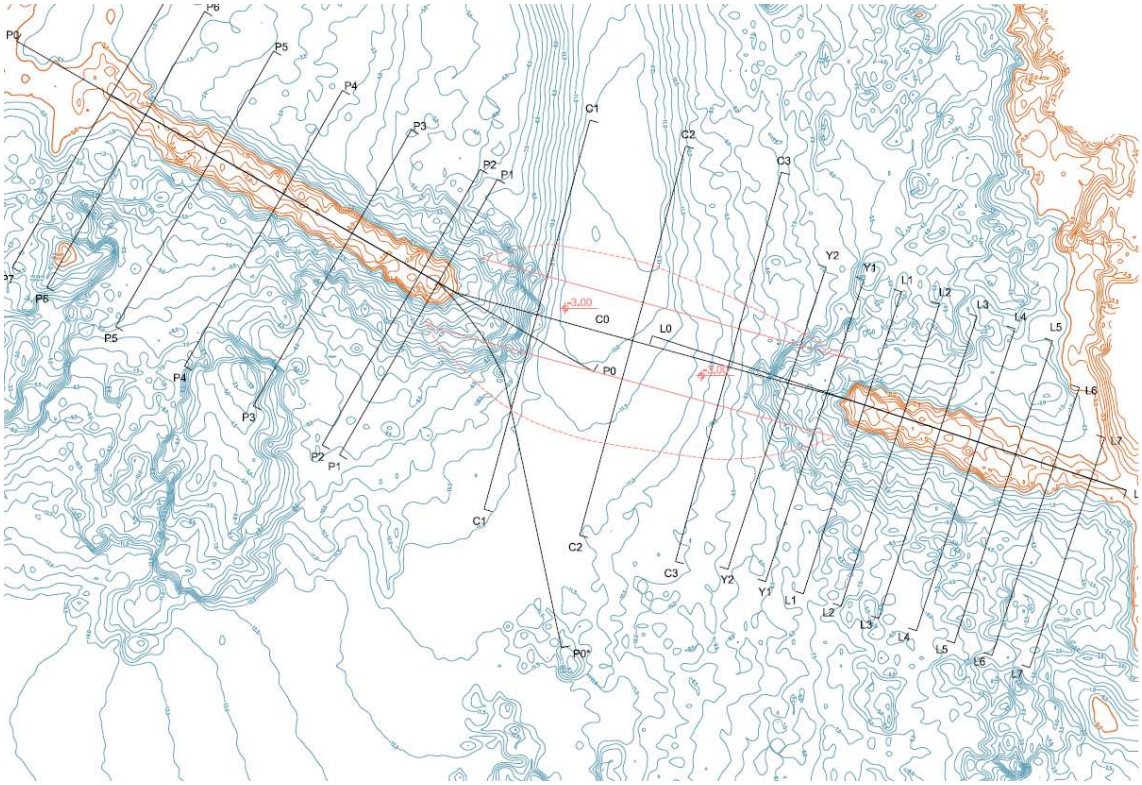


Figura 8.13: pianta barriera sommersa

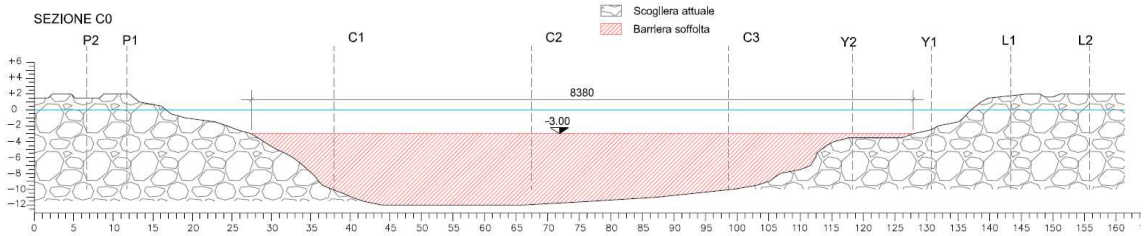


Figura 8.14: sezione longitudinale barriera sommersa

Scopo ed efficacia potenziale dell'intervento: ridurre la penetrazione del moto ondoso e delle correnti in uscita mediante riduzione della sezione dell'imboccatura; stabilizzare il fondale nei pressi del varco di ingresso, caratterizzato da fondali molto elevati

Esigenza di nuovi quantitativi di massi: alta

Tempi di intervento: elevati (12 mesi)

Stima dei costi (lavori, oneri sicurezza e somme a disposizione) : circa 3.950.000 €

9. SINTESI E VALUTAZIONI FINALI PROPEDEUTICHE ALL'APPROFONDIMENTO DELLA PROGETTAZIONE

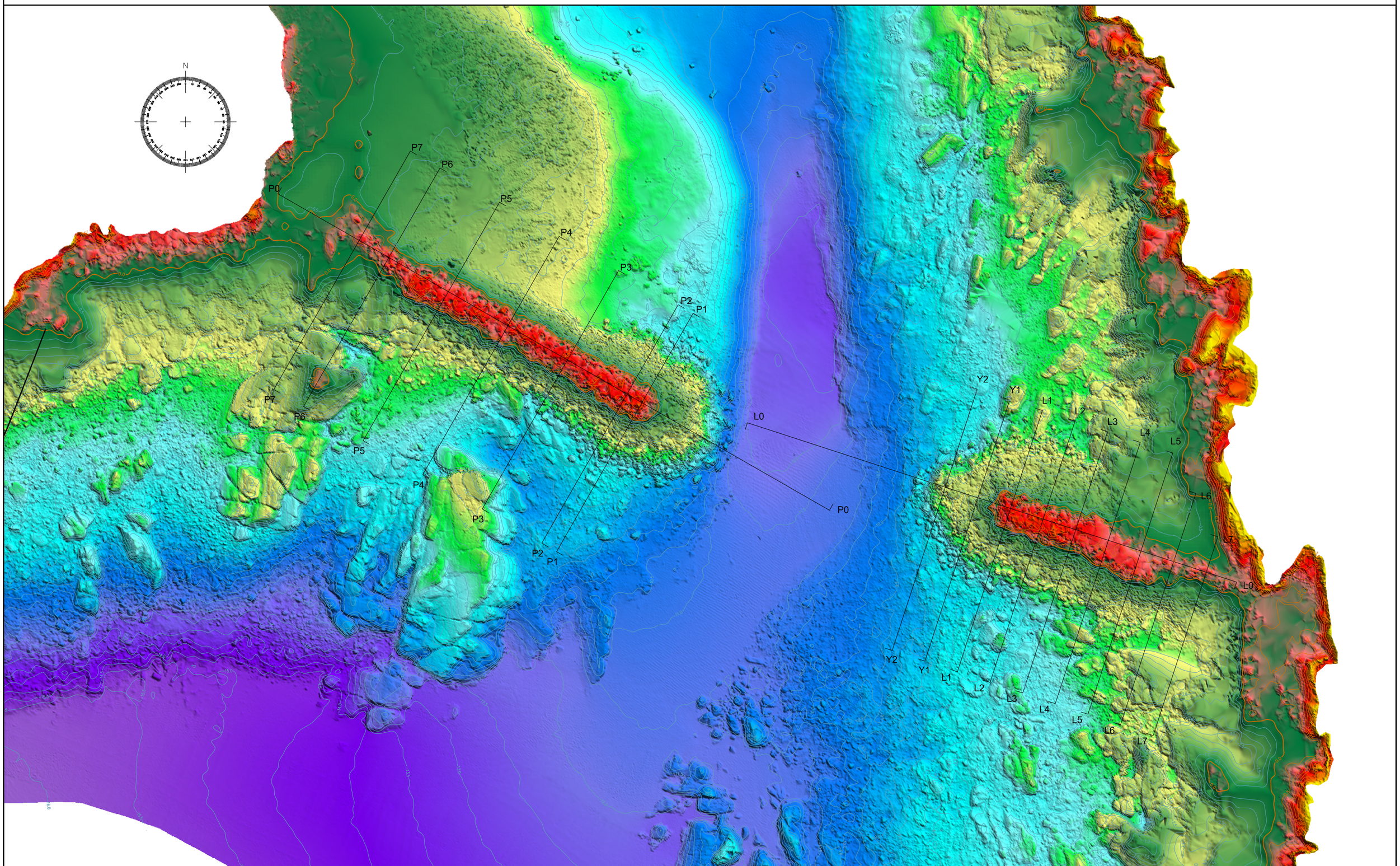
Sulla base di quanto riportato nel capitolo precedente, è possibile evidenziare i seguenti elementi maggiormente rilevanti:

- viste le condizioni delle scogliere e nell'ottica di un intervento di medio-lungo periodo, l'intervento di rifiorimento di cui all'ipotesi A risulta importante per garantire un'adeguata configurazione delle scogliere, e dovrà quindi essere realizzato, anche per lotti successivi ed eventualmente in accoppiamento con altre opere;
- la realizzazione di un'ulteriore berma sommersa a tergo delle scogliere (ipotesi B) appare importante per l'ulteriore consolidamento delle scogliere esistenti; la sua efficacia in termini di protezione delle aree a tergo dovrà essere verificata con specifica modellazione, anche in rapporto ai costi, visto che il rischio maggiore delle aree all'interno della baia appare dovuto alla penetrazione del moto ondoso nel varco tra le due scogliere;
- vista la collocazione delle scogliere e l'esposizione del paraggio, per la riduzione della penetrazione del moto ondoso all'interno della baia appare efficace il prolungamento della scogliera di ponente, la cui configurazione allungata può schermare in maniera migliore le aree della baia rispetto ad un eventuale allungamento della scogliera di levante: naturalmente tale ipotesi, unitamente all'opportunità di eseguire il prolungamento previsto nell'ipotesi C o quello parziale di cui all'ipotesi C2, dovranno essere puntualmente modellate mediante simulazioni di moto ondoso e di circolazione idrica;
- il prolungamento delle scogliere dovrà essere anche attentamente valutato dal punto di vista paesaggistico, poiché, nonostante l'obiettivo sia sempre quello di mantenere l'assetto di massima delle opere esistenti, per garantire difese efficaci è necessario approvvigionare rilevanti quantitativi di massi, con evidenti effetti sulla configurazione delle scogliere stesse e della baia nel suo insieme;
- la chiusura dell'imboccatura mediante una scogliera sommersa (ipotesi E) comporta l'esigenza di rilevanti quantitativi di massi, pur considerando che potrebbe essere affiancata ad un riallineamento delle scogliere esistenti, con riduzione della sagoma fuori acqua delle stesse e conseguente recupero di massi; tale ipotesi, certamente positiva per quanto riguarda il ridotto impatto paesaggistico, si ritiene che possa avere un'efficacia piuttosto ridotta nei confronti della difesa delle aree all'interno della baia;
- in generale, a seguito di una serie di confronti con tutti i soggetti interessati sulla base del presente documento, le ipotesi ritenute più idonee dovranno essere simulate nella

modellazione dello stato di progetto, per valutare, anche in termini di confronto costi/benefici, l'efficacia tecnica ed ambientale complessiva dell'intervento;

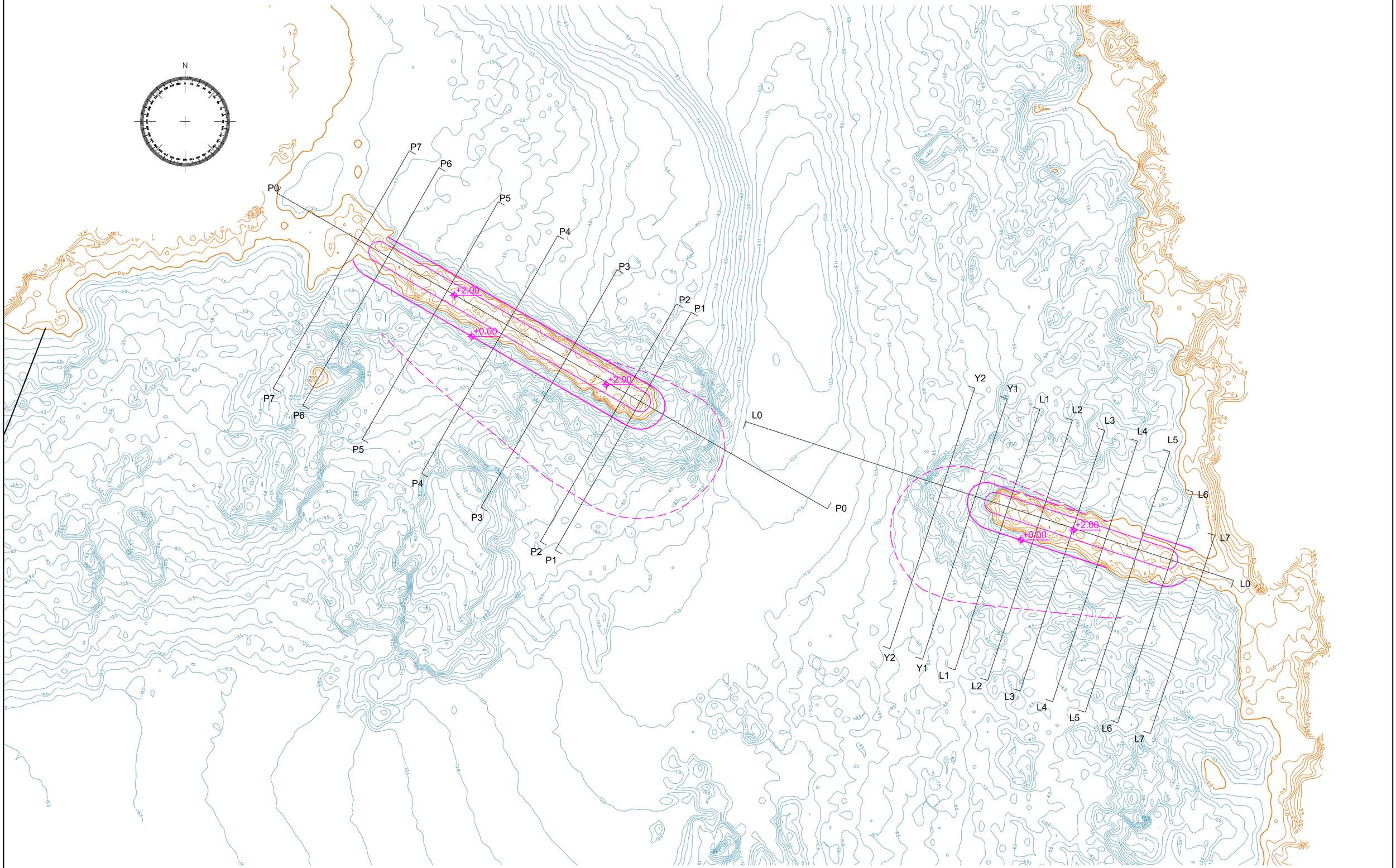
- come già accennato nei paragrafi precedenti, oltre alle simulazioni modellistiche dovranno essere eseguite indagini bionaturalistiche puntuali, per valutare la possibilità di intervenire in prossimità della prateria di posidonia e i potenziali effetti delle opere sulla prateria stessa;
- le configurazioni progettuali prescelte dovranno essere inoltre rappresentate in simulazioni fotografiche dai punti di vista più sensibili (dall'interno della baia e da tutti i percorsi cornice ai margini della stessa);
- per quanto riguarda i materiali per la realizzazione delle opere di difesa, per le parti sommerse potrà essere valutata l'opportunità di approvvigionamento di massi artificiali, da posizionare al di sotto del livello del mare e nelle parti interne delle scogliere, al fine di ridurre l'impatto sulle cave dell'ambito locale e extra regionale;
- gli interventi, specie quelli più rilevanti dal punto di vista economico, potranno essere realizzati per lotti funzionali successivi, con l'accortezza di valutare nel progetto anche le eventuali configurazioni intermedie delle opere al termine dei singoli lotti funzionali.

PIANTA
scala 1:1000



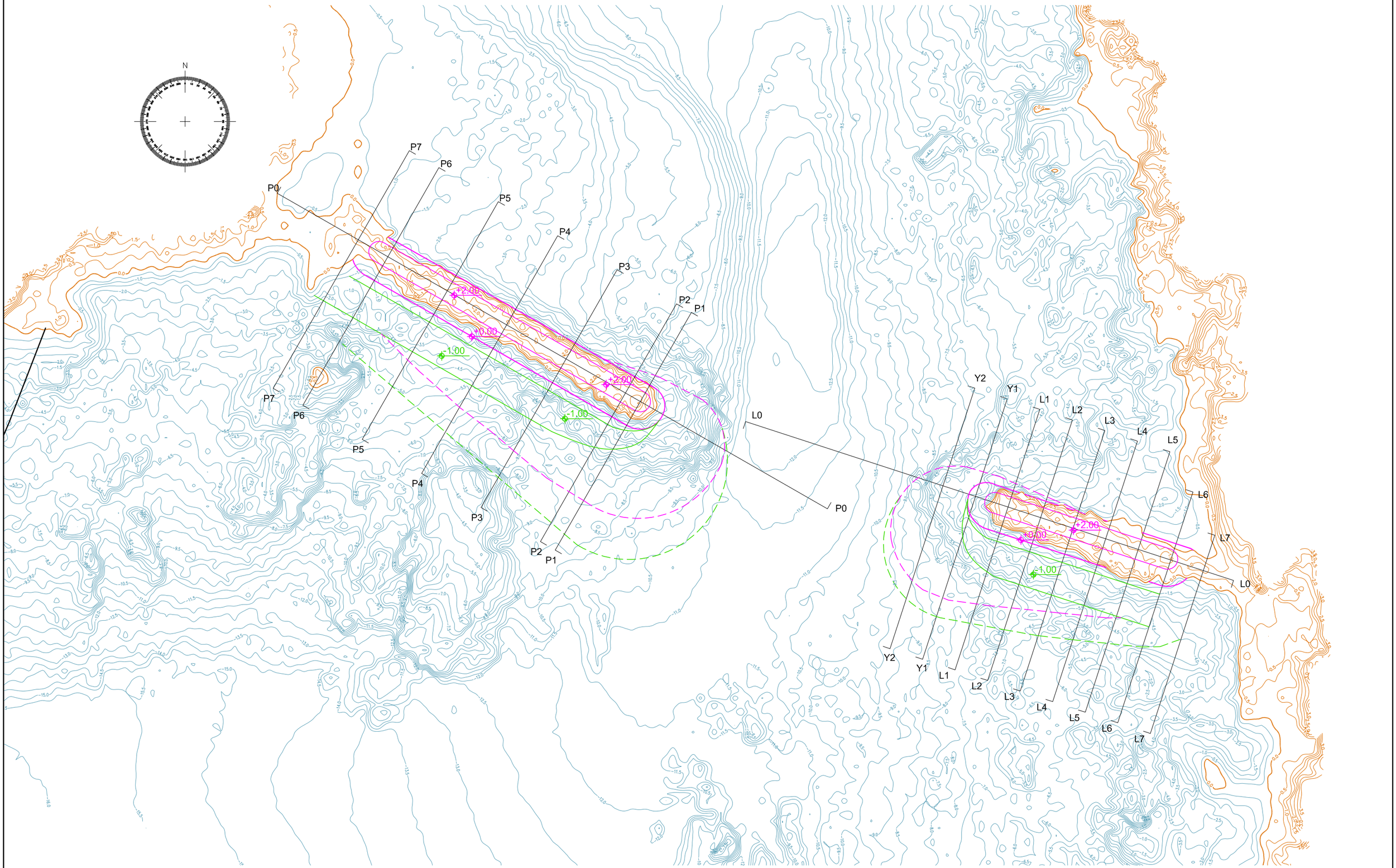
STATO ATTUALE

PIANTA
scala 1:1000



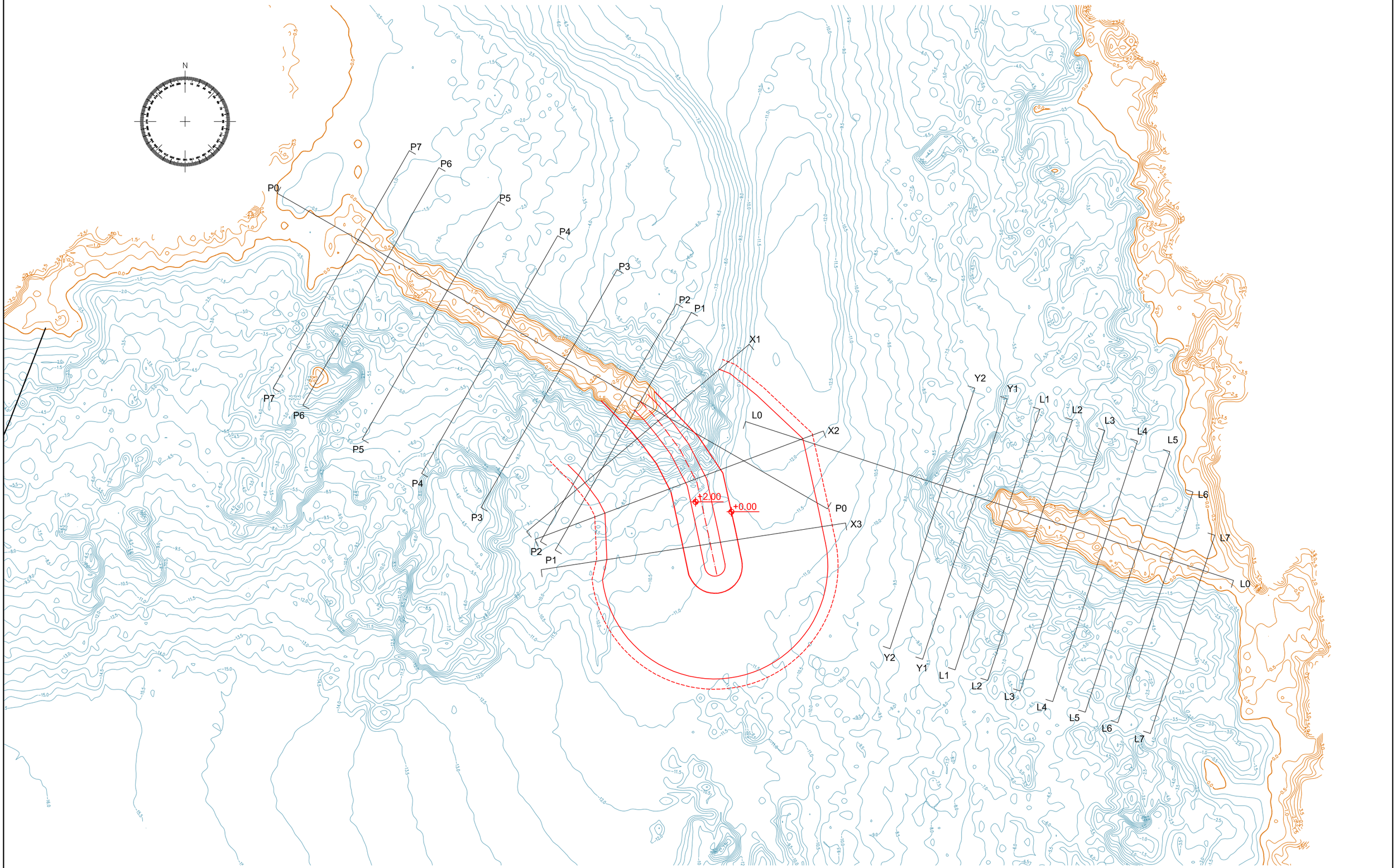
IPOTESI A - RIFIORIMENTO SCOGLIERE

PIANTA
scala 1:1000



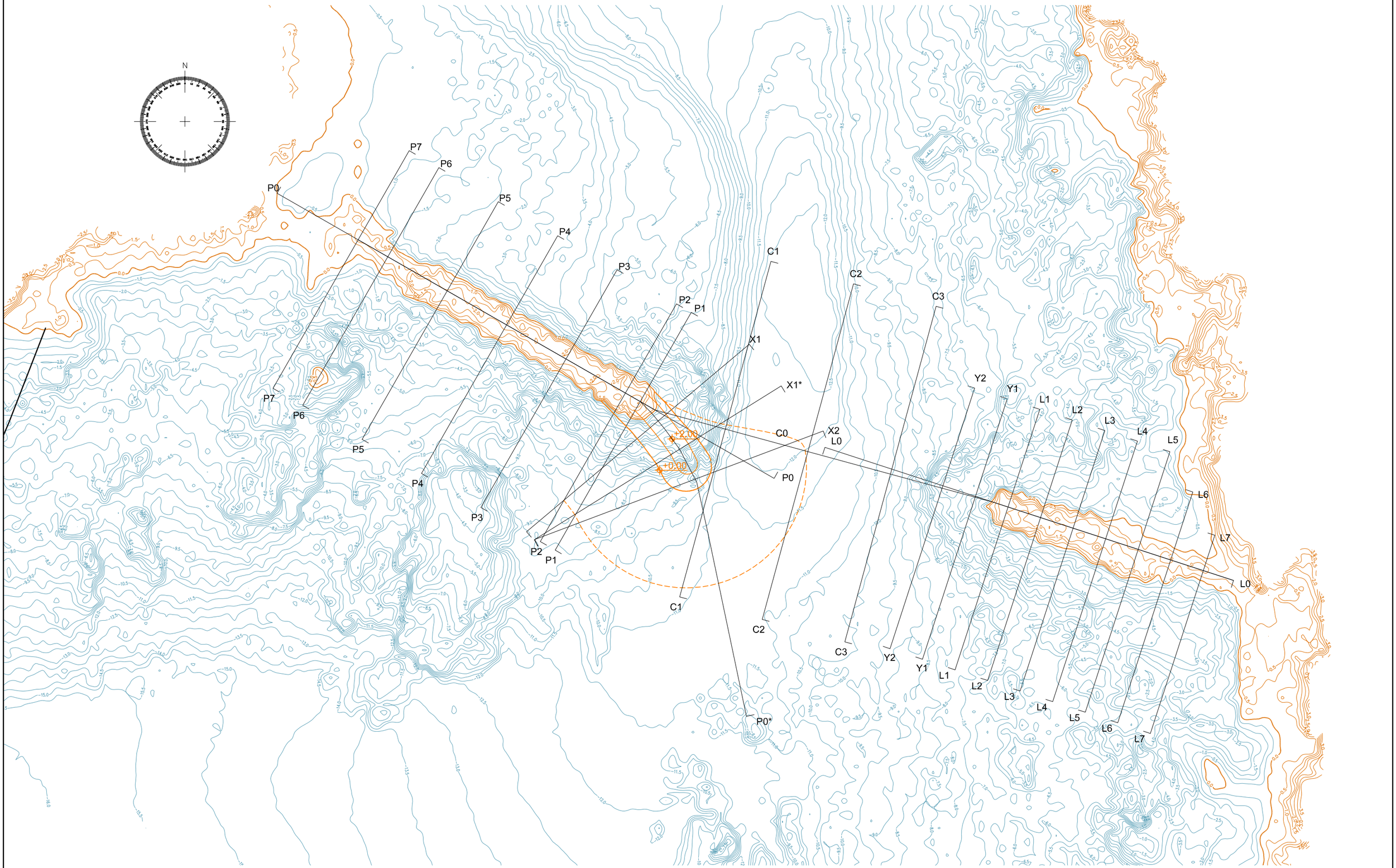
IPOTESI B - RIFIORIMENTO SCOGLIERE E BERMA ESTERNA

PIANTA
scala 1:1000



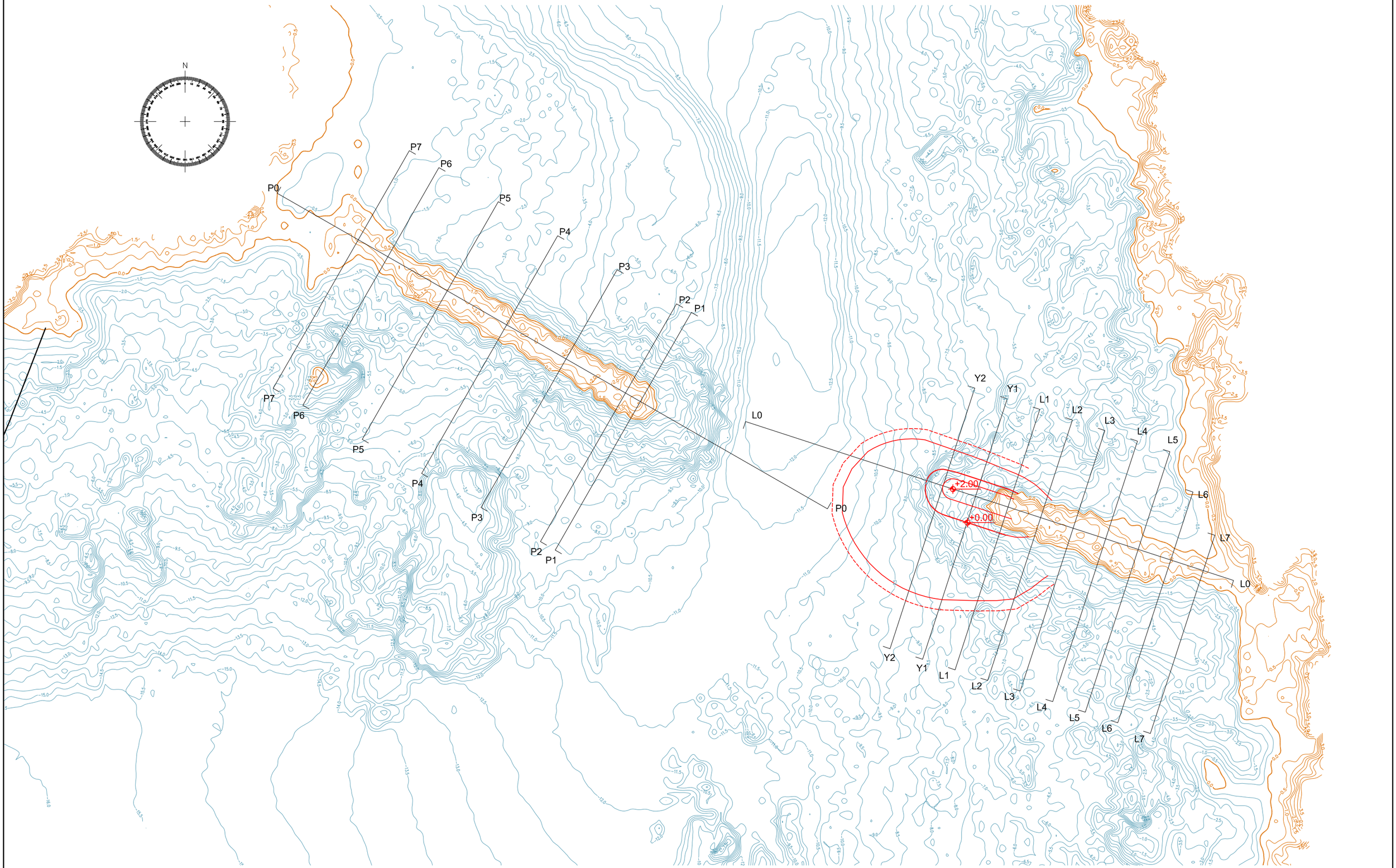
IPOTESI C - ALLUNGAMENTO SCOGLIERA PONENTE

PIANTA
scala 1:1000



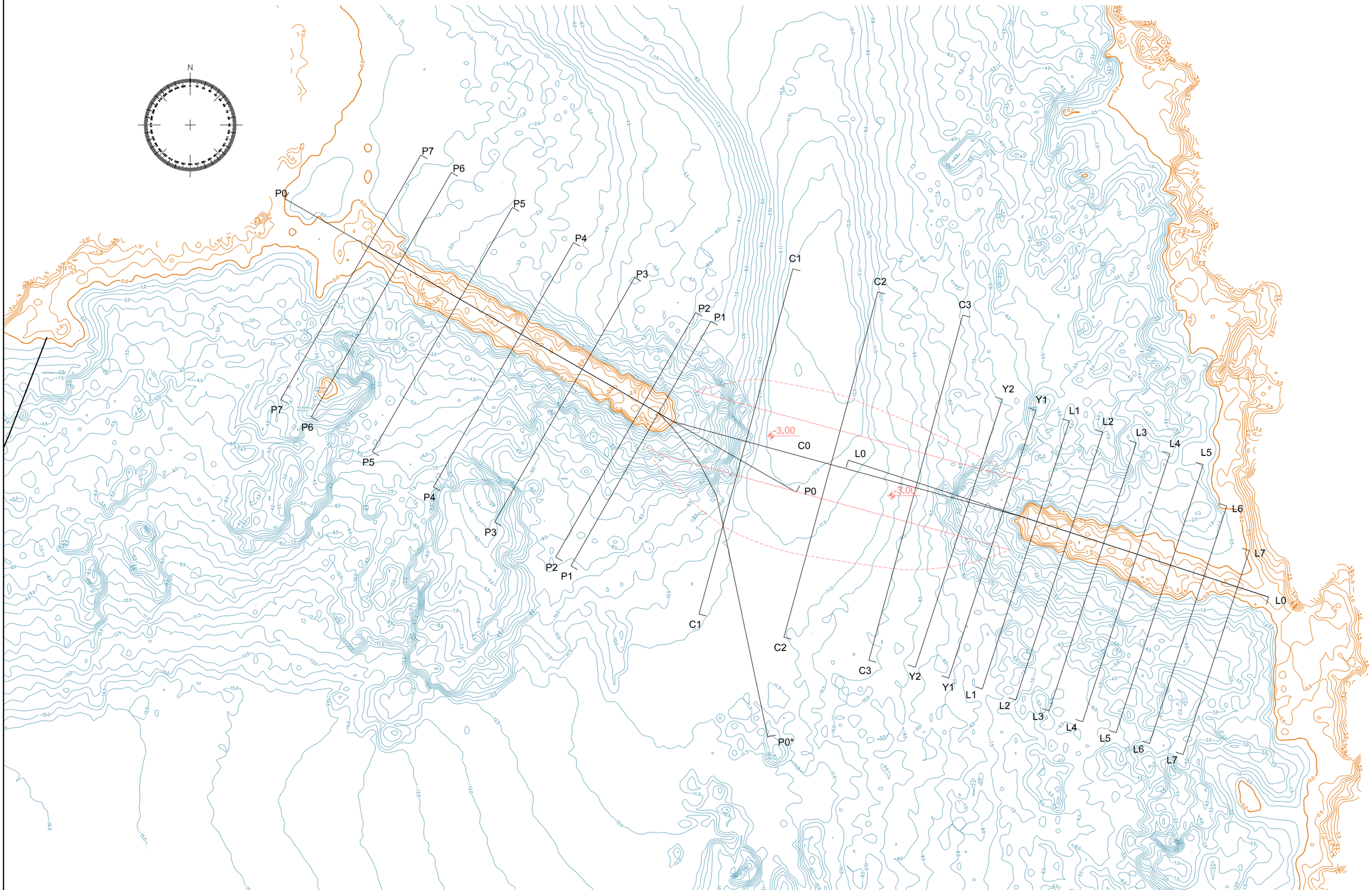
IPOTESI C2 - ALLUNGAMENTO PARZIALE SCOGLIERA PONENTE

PIANTA
scala 1:1000



IPOTESI D - ALLUNGAMENTO SCOGLIERA LEVANTE

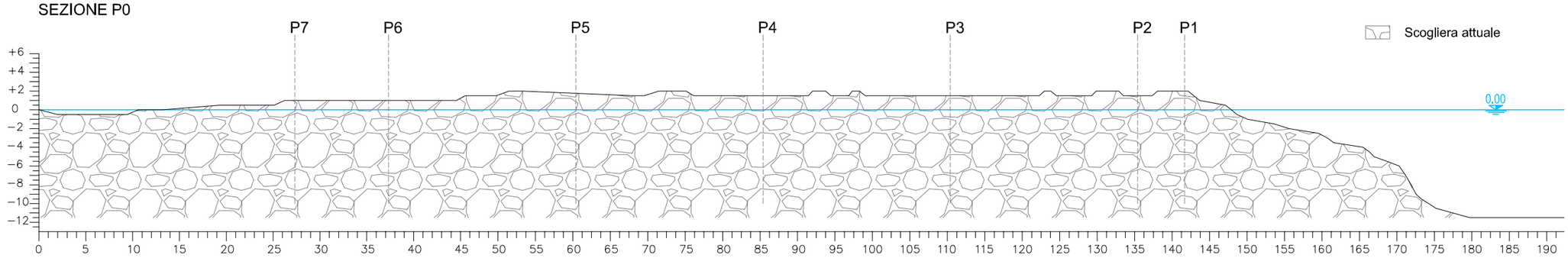
PIANTA
scala 1:1000



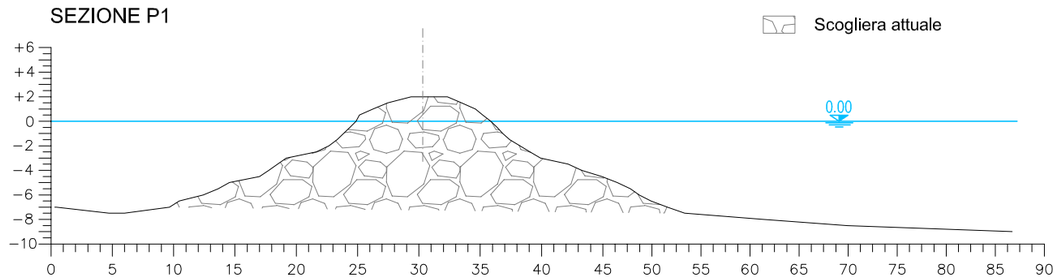
IPOTESI E - BARRIERA SOMMERSA

SEZIONI
scala 1:500

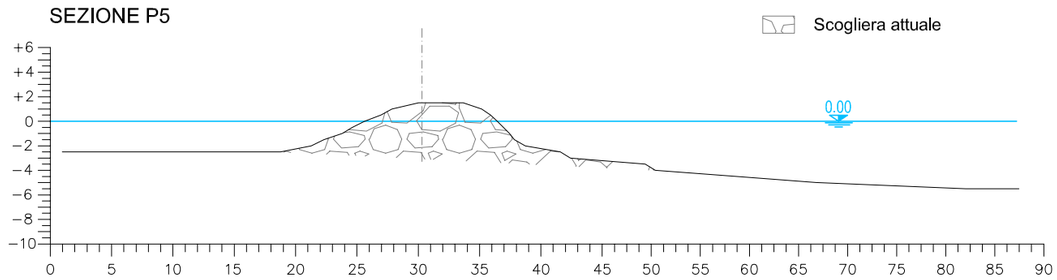
SEZIONE P0



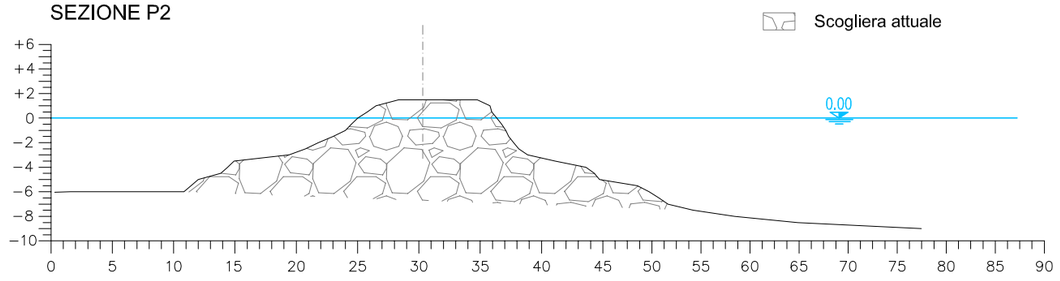
SEZIONE P1



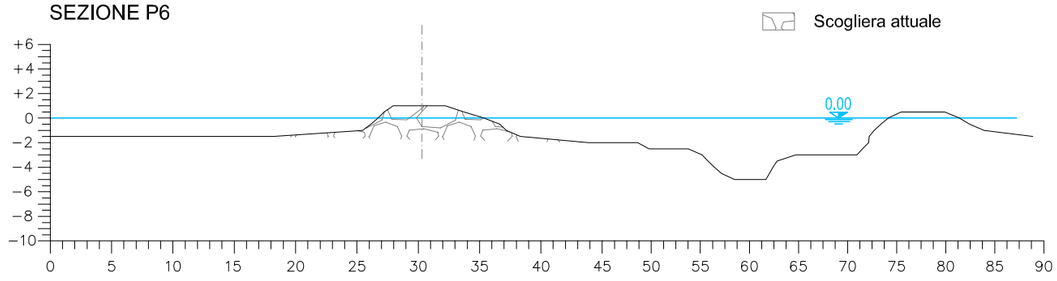
SEZIONE P5



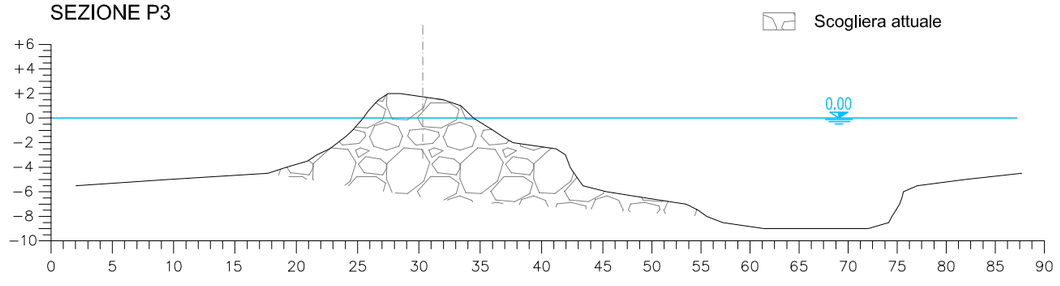
SEZIONE P2



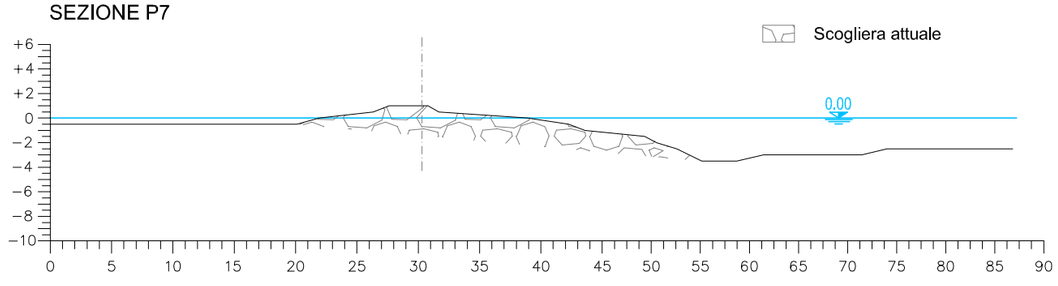
SEZIONE P6



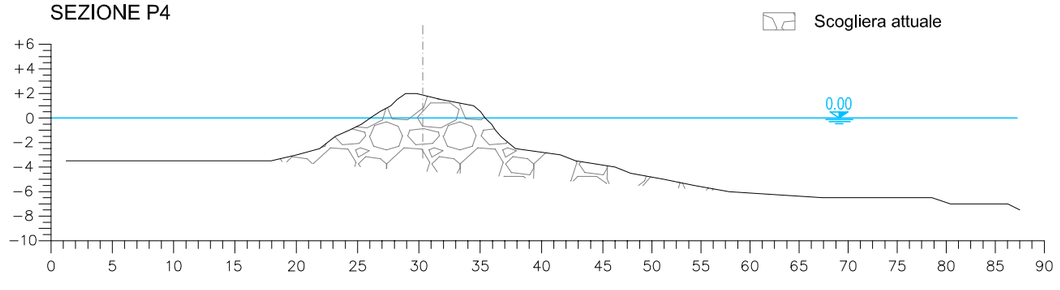
SEZIONE P3



SEZIONE P7



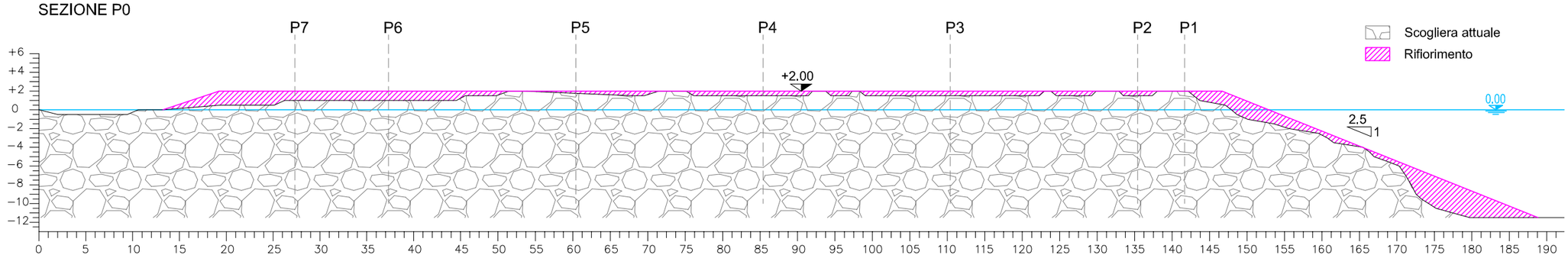
SEZIONE P4



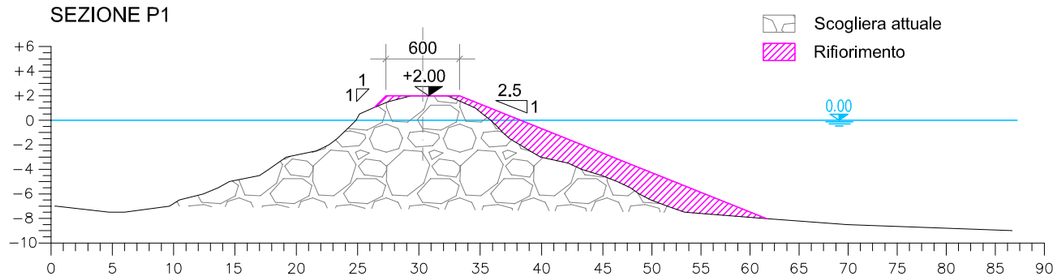
STATO ATTUALE - PONENTE

SEZIONI
scala 1:500

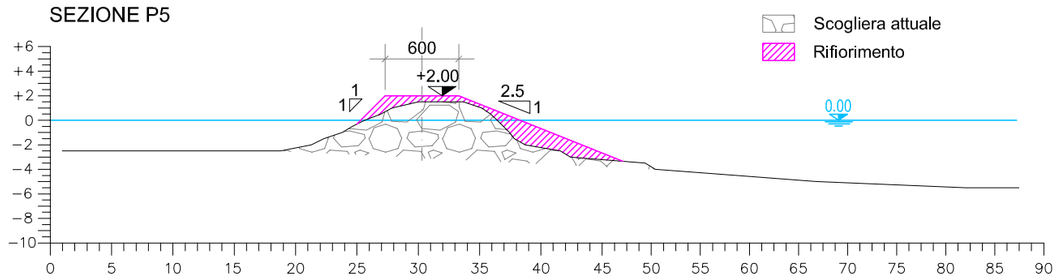
SEZIONE P0



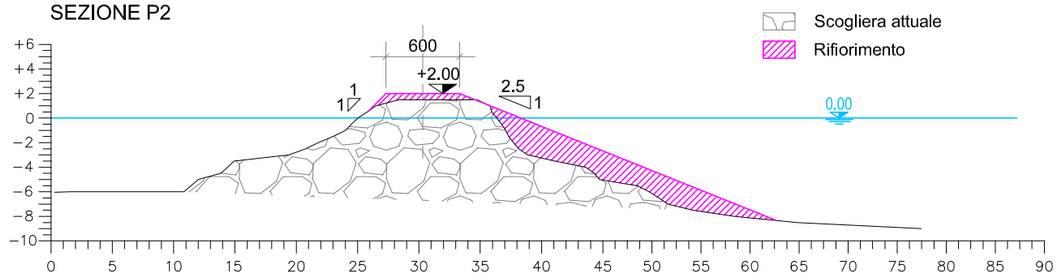
SEZIONE P1



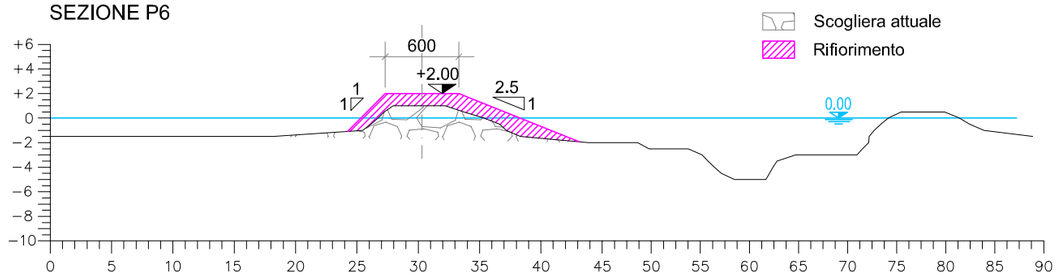
SEZIONE P5



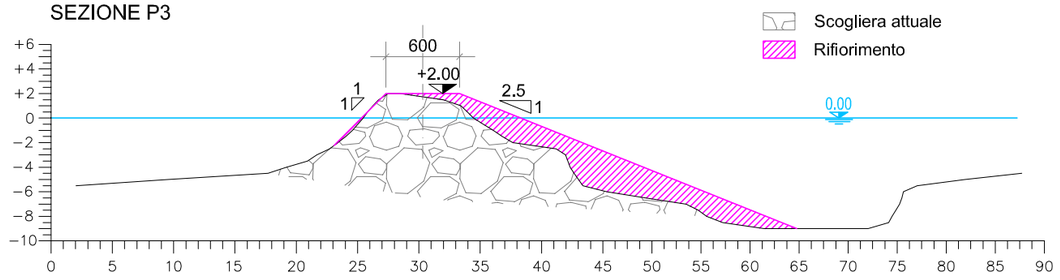
SEZIONE P2



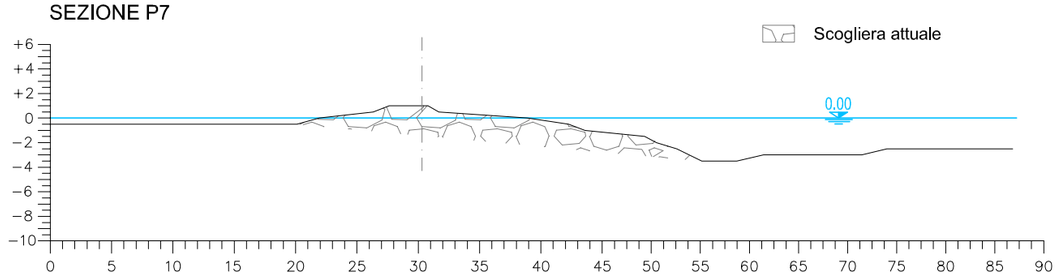
SEZIONE P6



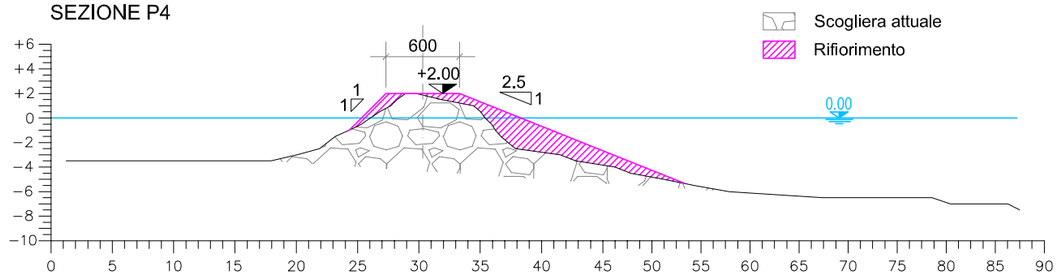
SEZIONE P3



SEZIONE P7



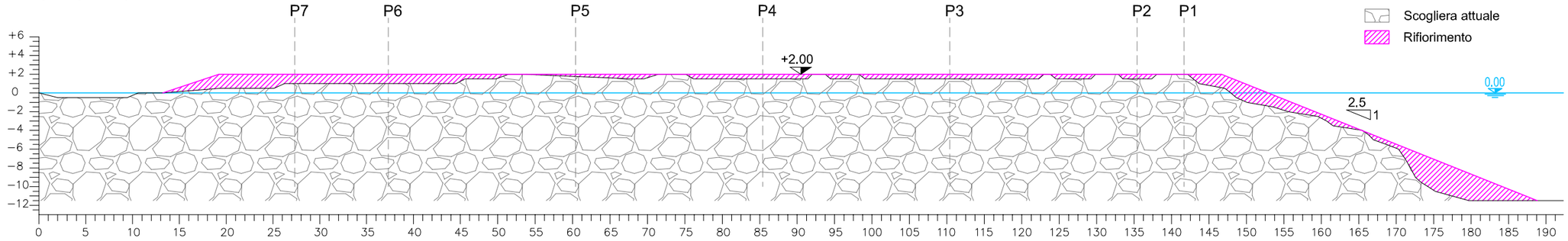
SEZIONE P4



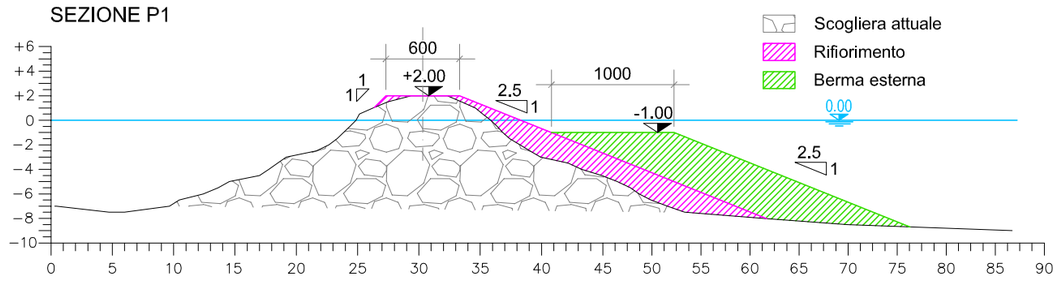
IPOTESI A - RIFIORIMENTO SCOGLIERE - PONENTE

SEZIONI
scala 1:500

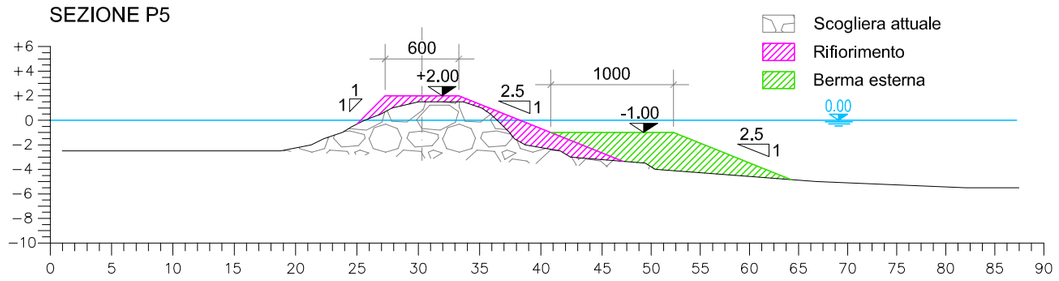
SEZIONE P0



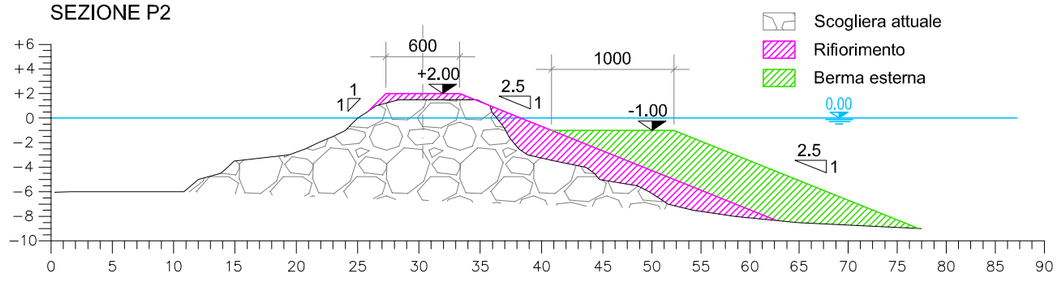
SEZIONE P1



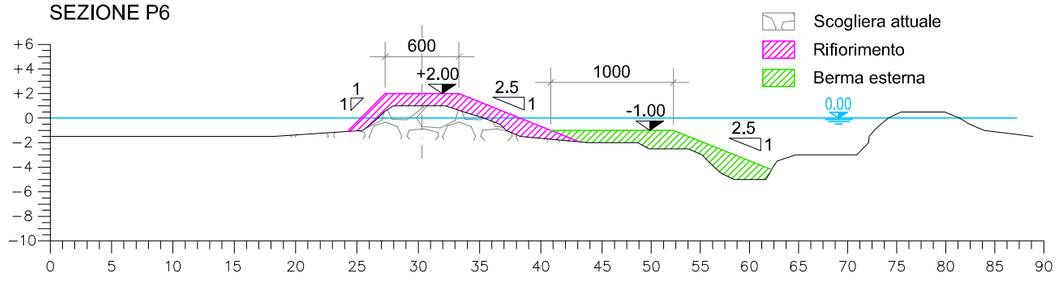
SEZIONE P5



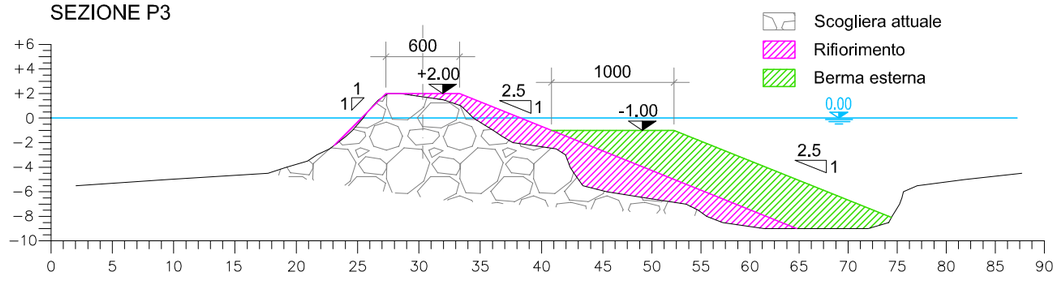
SEZIONE P2



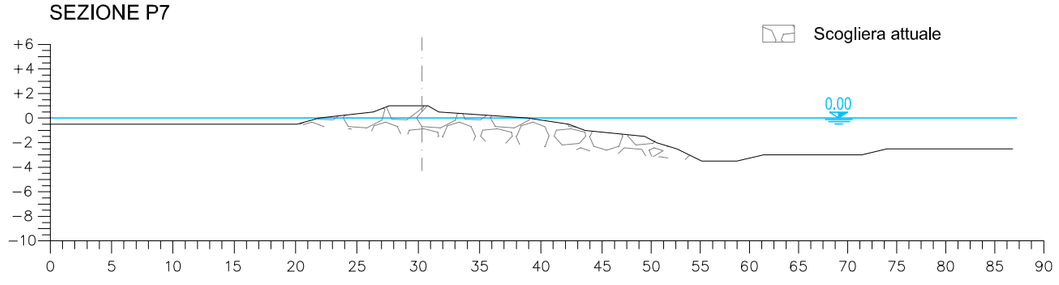
SEZIONE P6



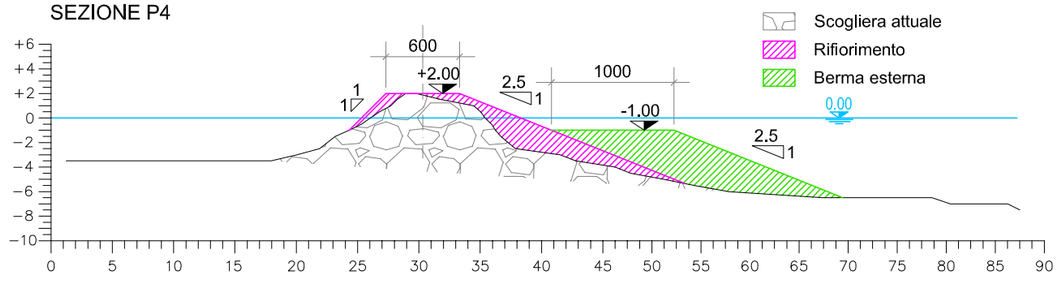
SEZIONE P3



SEZIONE P7

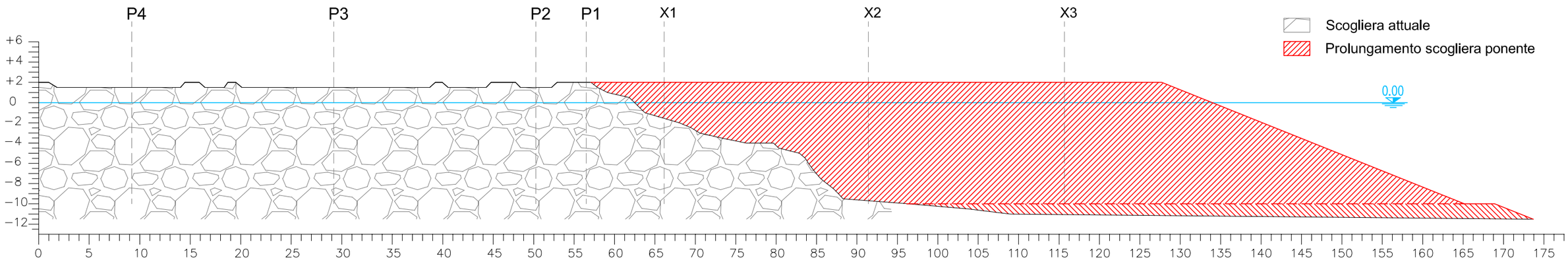


SEZIONE P4

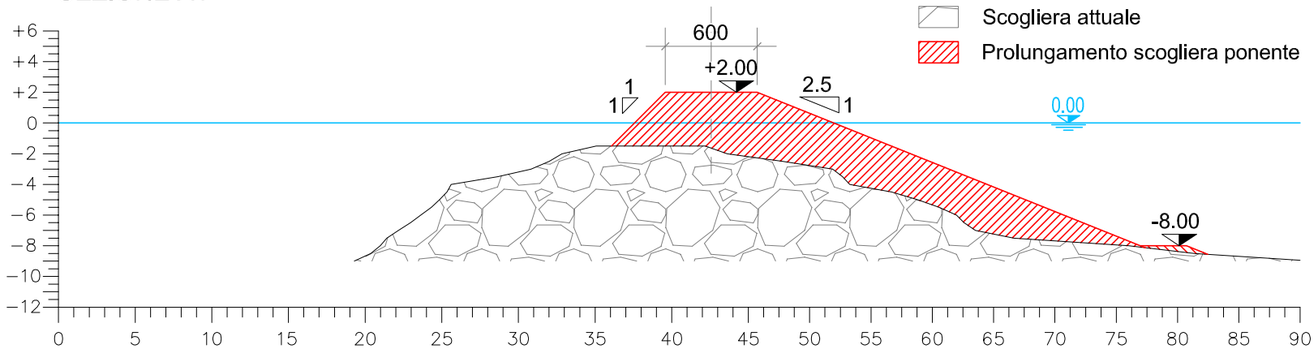


IPOTESI B - RIFIORIMENTO SCOGLIERE E BERMA ESTERNA - PONENTE

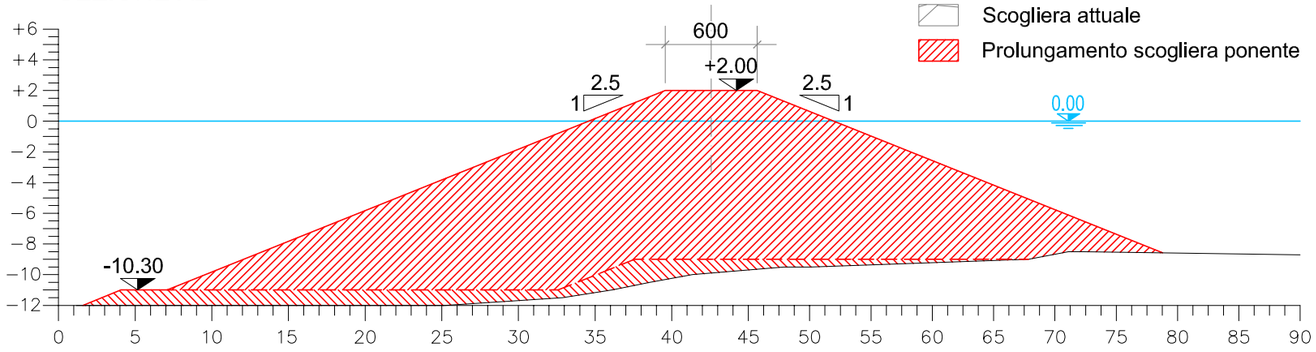
SEZIONI
scala 1:400



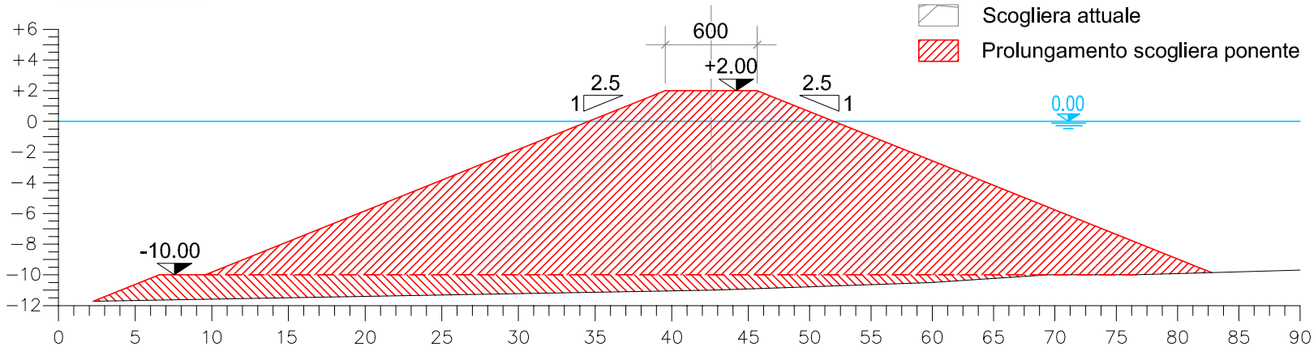
SEZIONE X1



SEZIONE X2



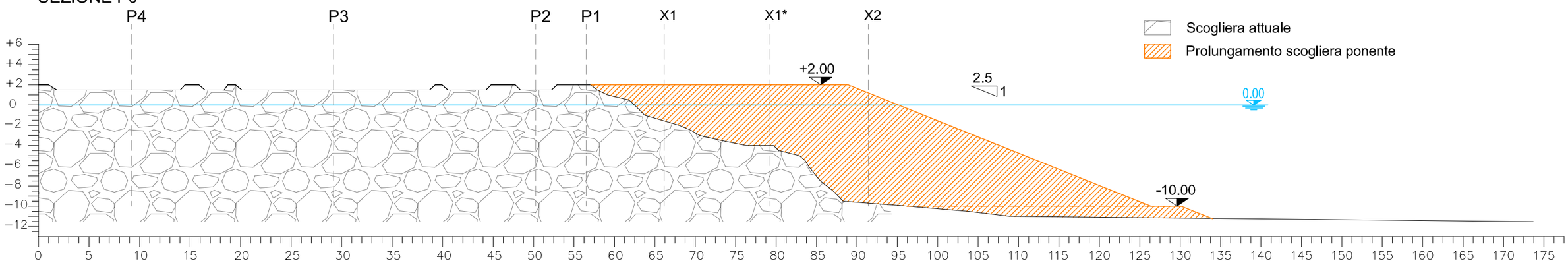
SEZIONE X3



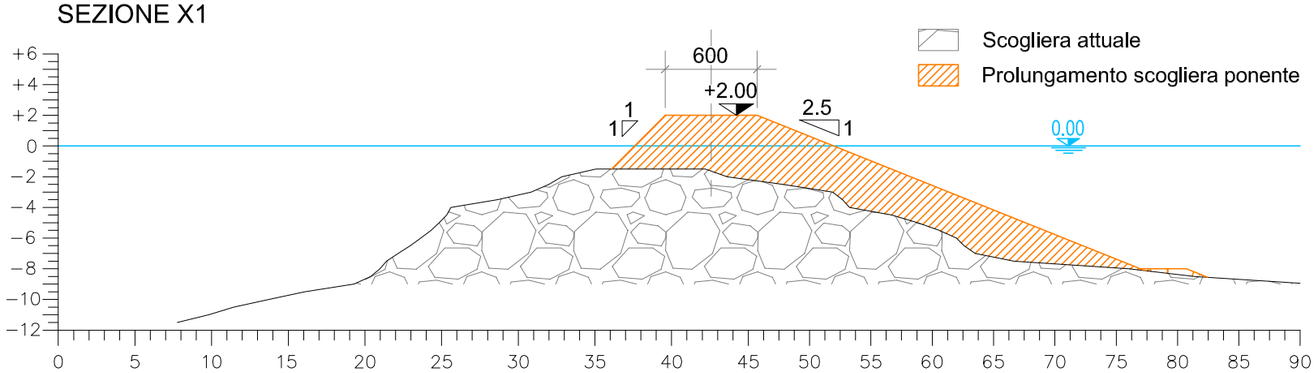
IPOTESI C - ALLUNGAMENTO SCOGLIERA PONENTE

SEZIONI
scala 1:400

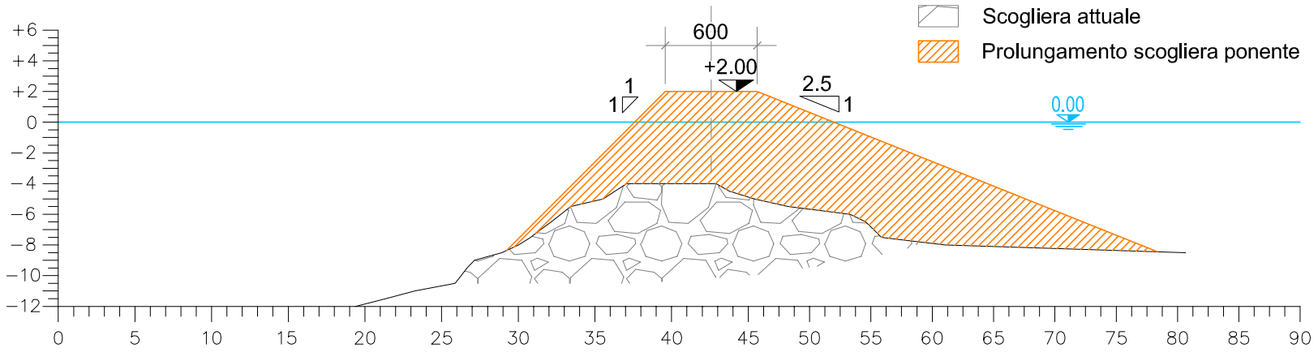
SEZIONE P0*



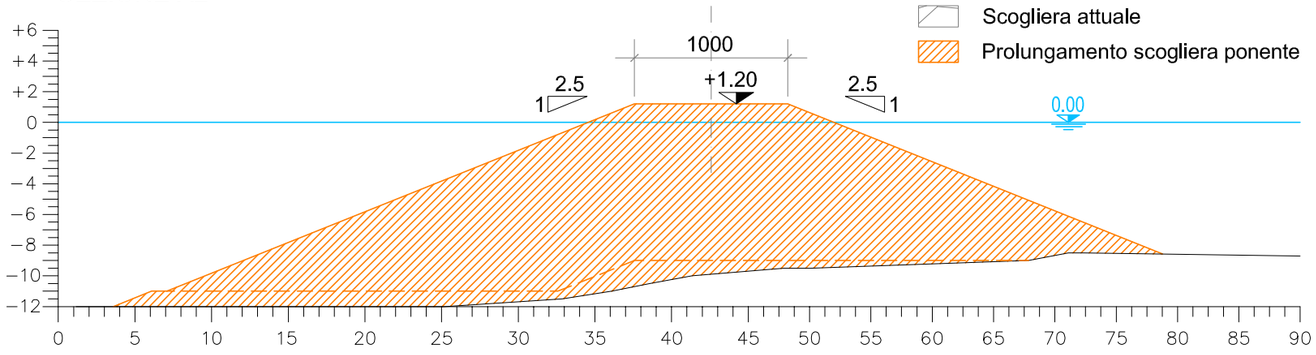
SEZIONE X1



SEZIONE X1*



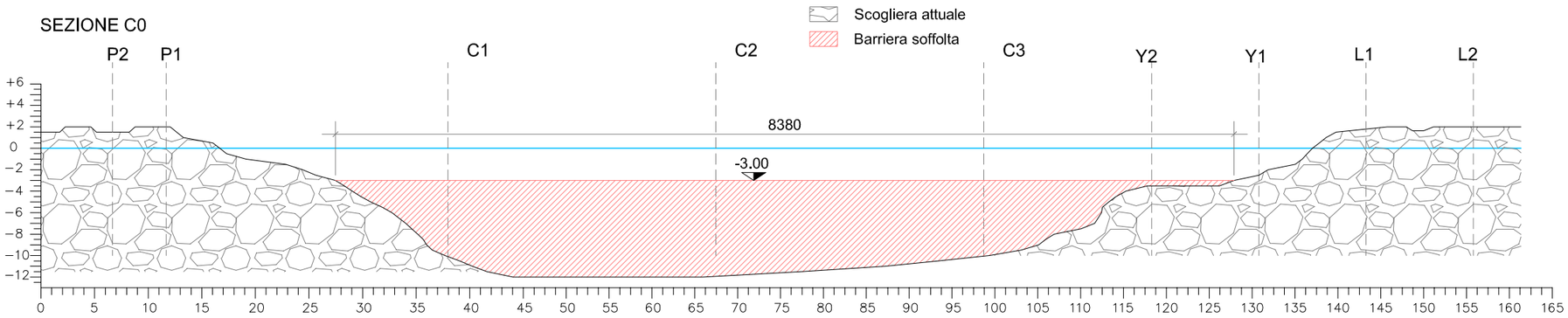
SEZIONE X2



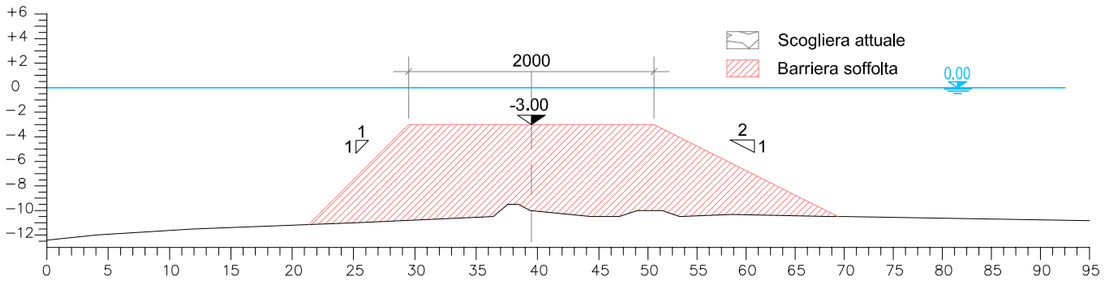
IPOTESI C2 - ALLUNGAMENTO PARZIALE SCOGLIERA PONENTE

SEZIONI
scala 1:500

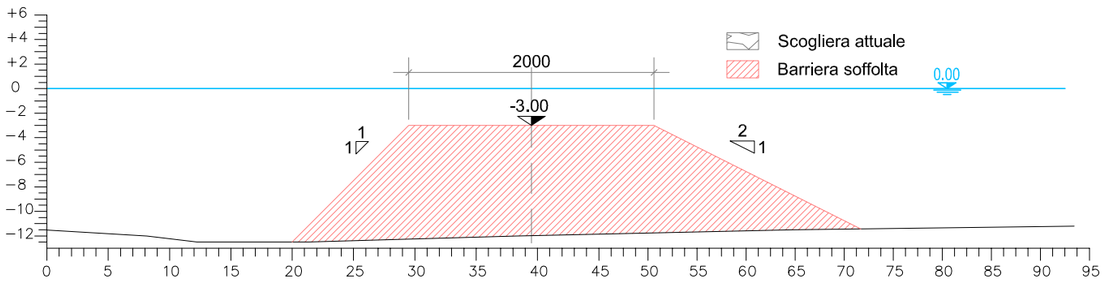
SEZIONE C0



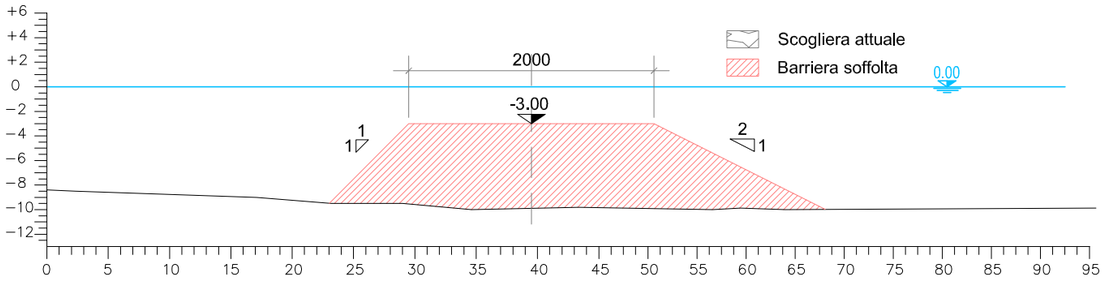
SEZIONE C1



SEZIONE C2



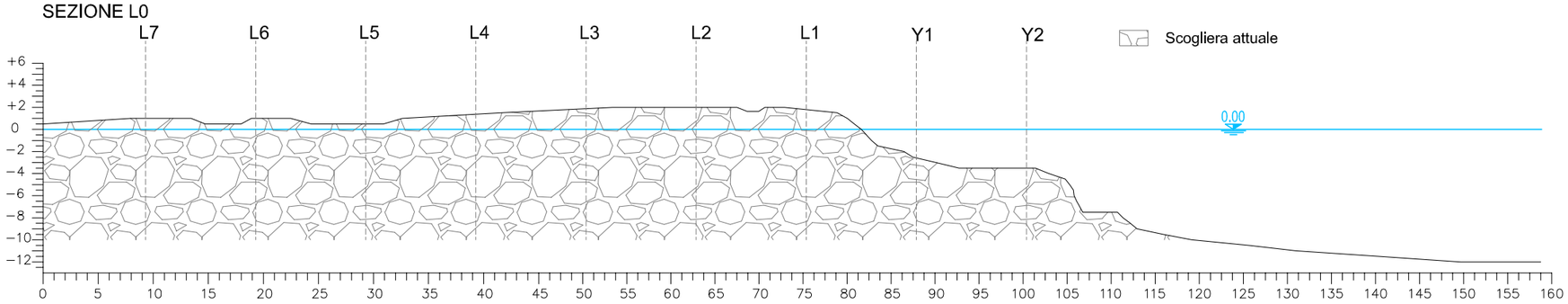
SEZIONE C3



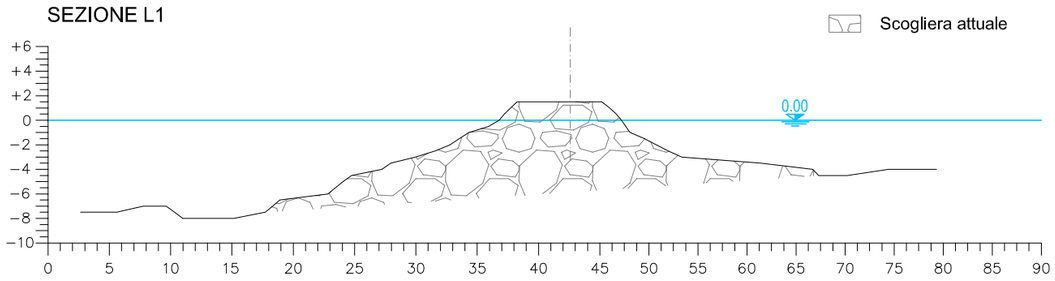
IPOTESI E - BARRIERA SOMMERSA

SEZIONI
scala 1:500

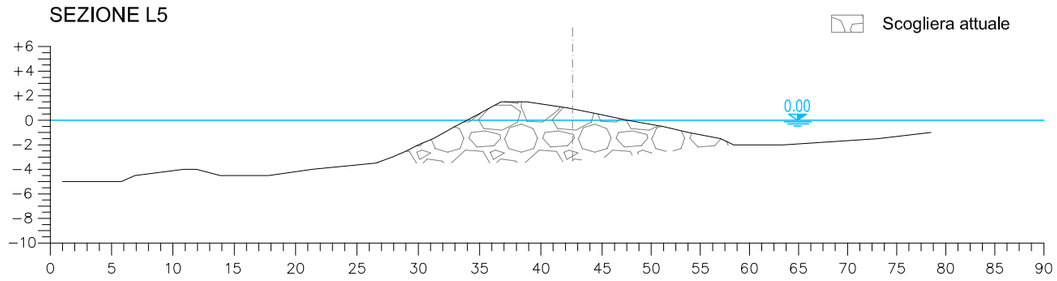
SEZIONE L0



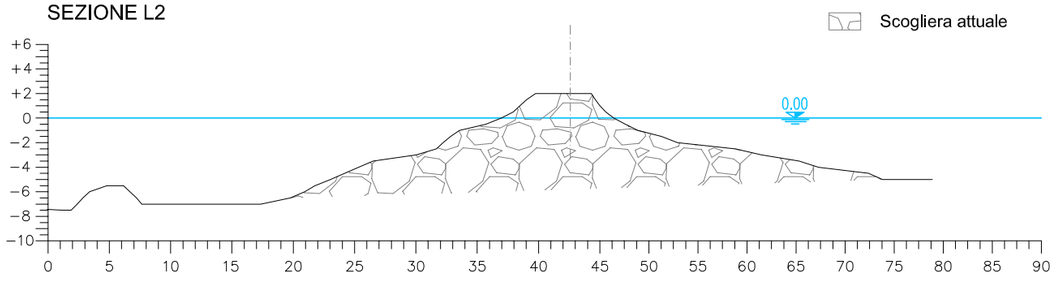
SEZIONE L1



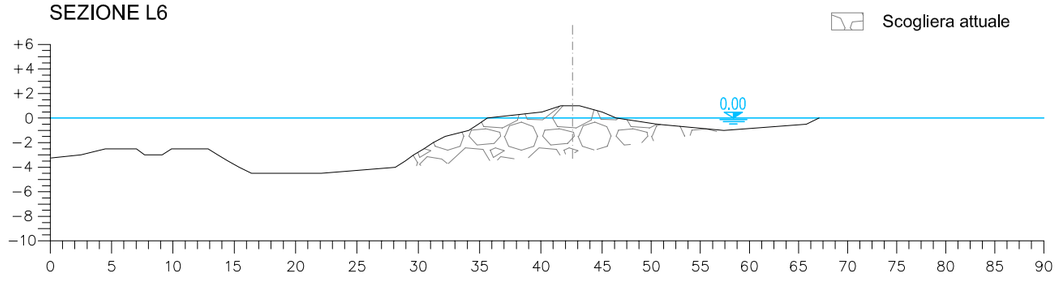
SEZIONE L5



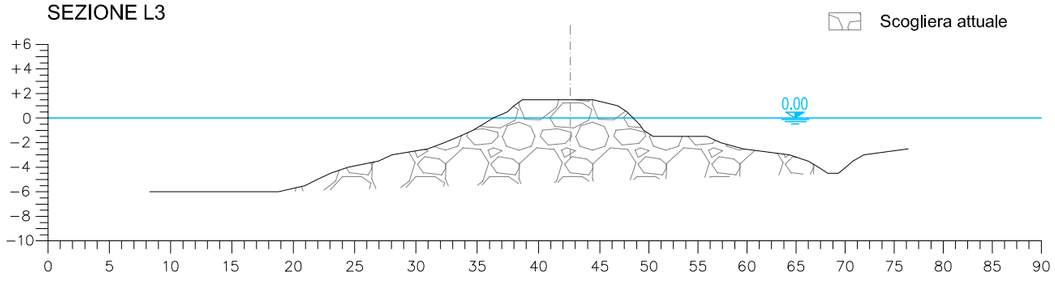
SEZIONE L2



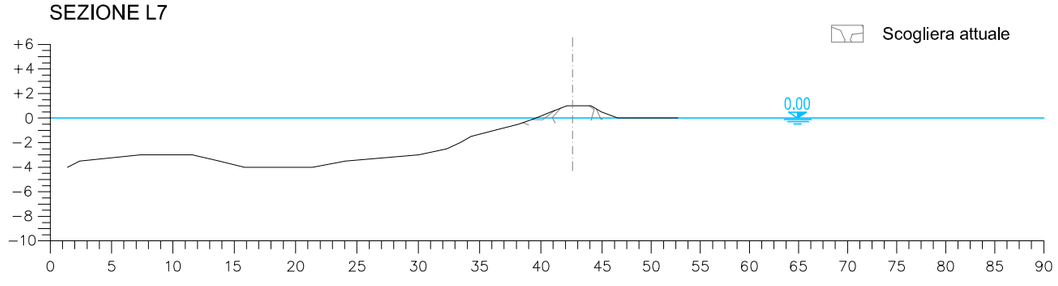
SEZIONE L6



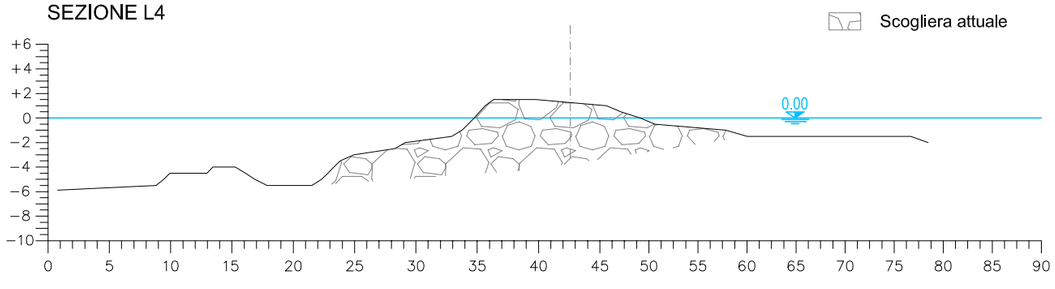
SEZIONE L3



SEZIONE L7



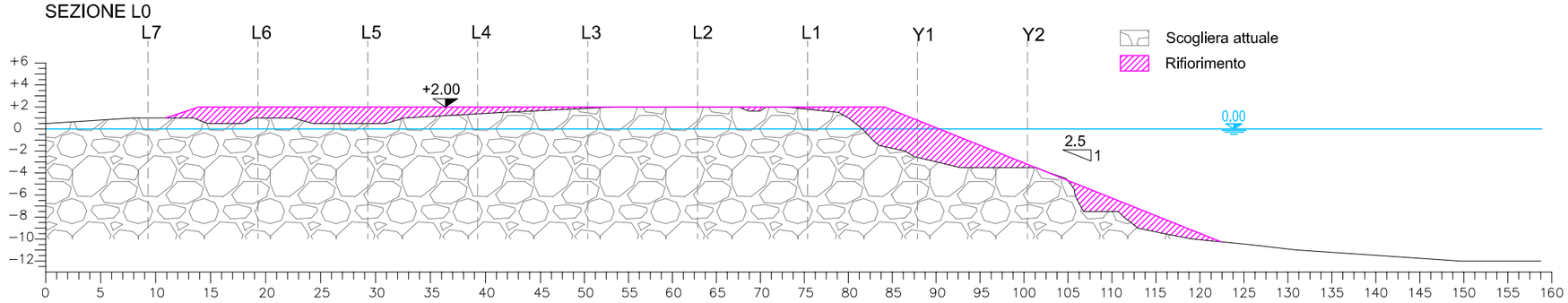
SEZIONE L4



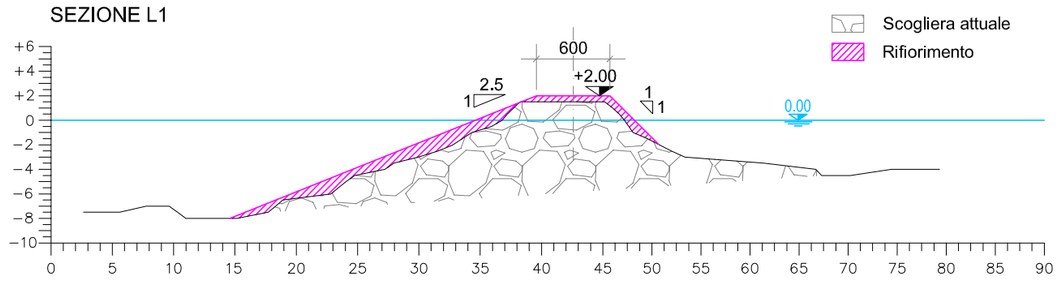
STATO ATTUALE - LEVANTE

SEZIONI
scala 1:500

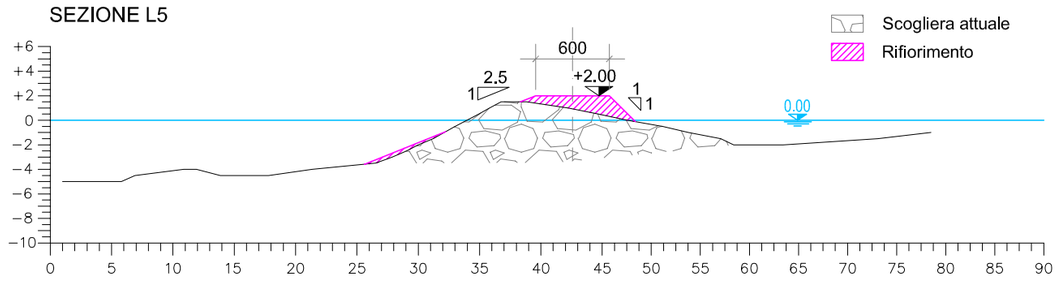
SEZIONE L0



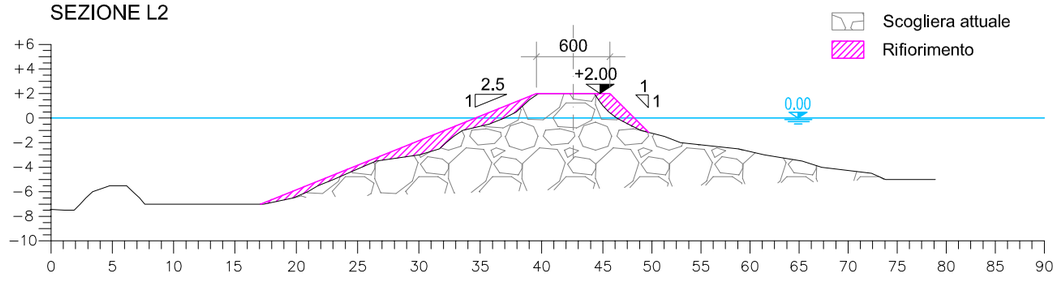
SEZIONE L1



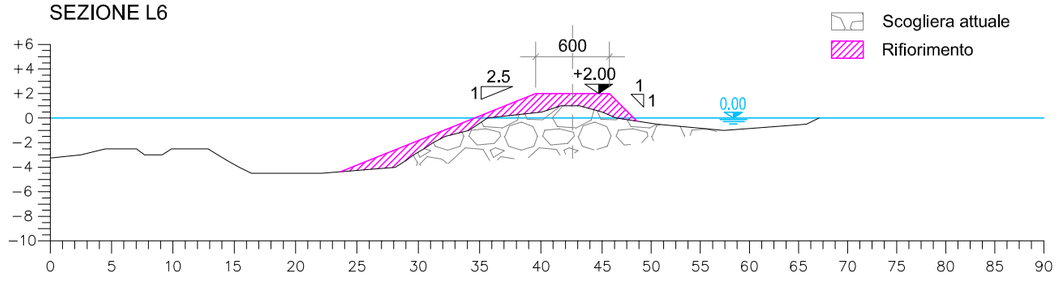
SEZIONE L5



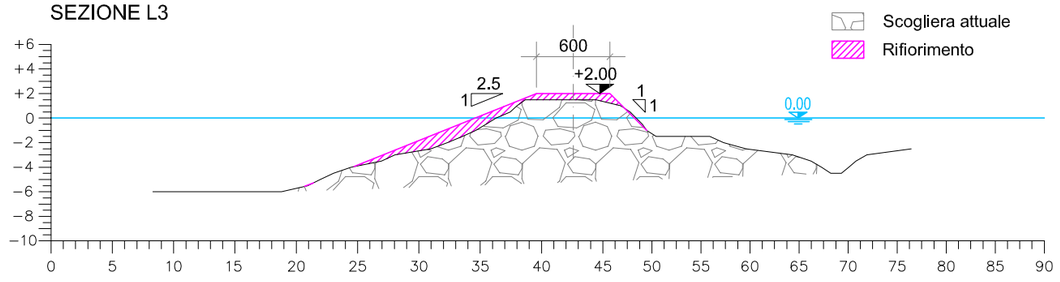
SEZIONE L2



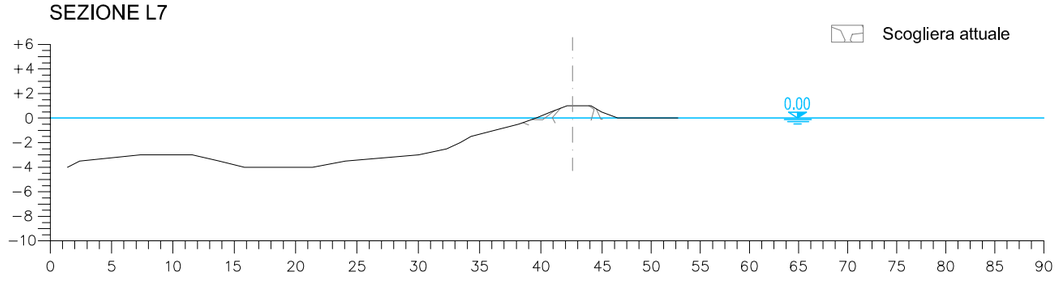
SEZIONE L6



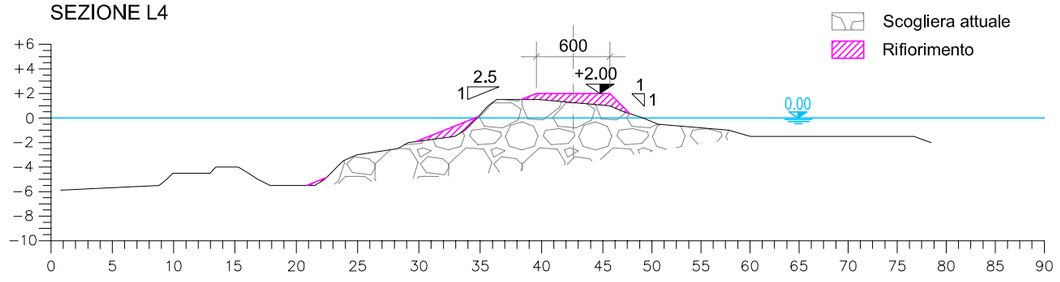
SEZIONE L3



SEZIONE L7



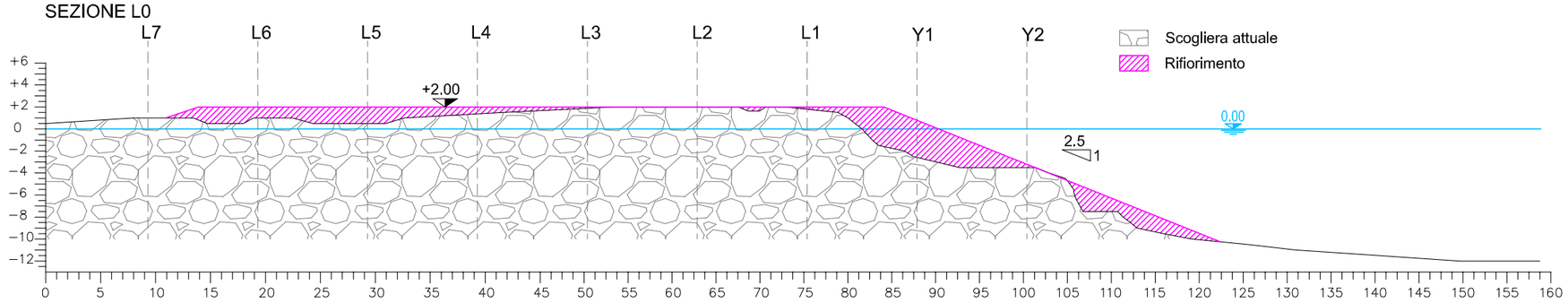
SEZIONE L4



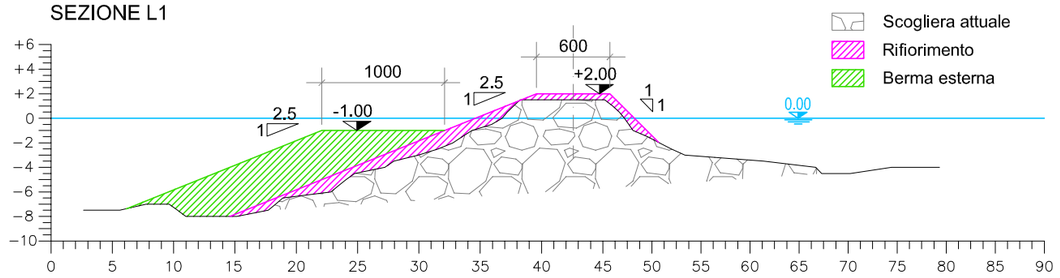
IPOTESI A - RIFIORIMENTO SCOGLIERE - LEVANTE

SEZIONI
scala 1:500

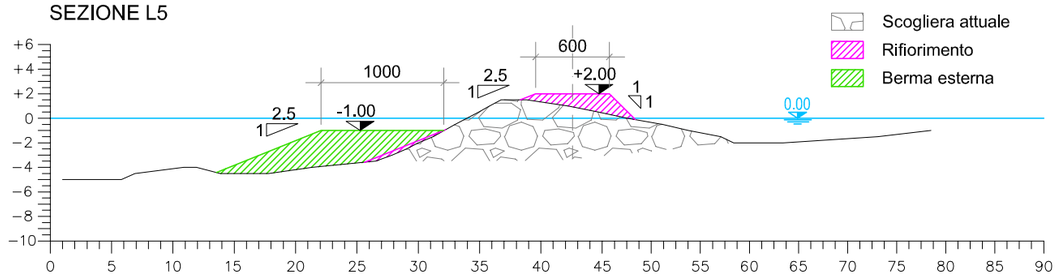
SEZIONE L0



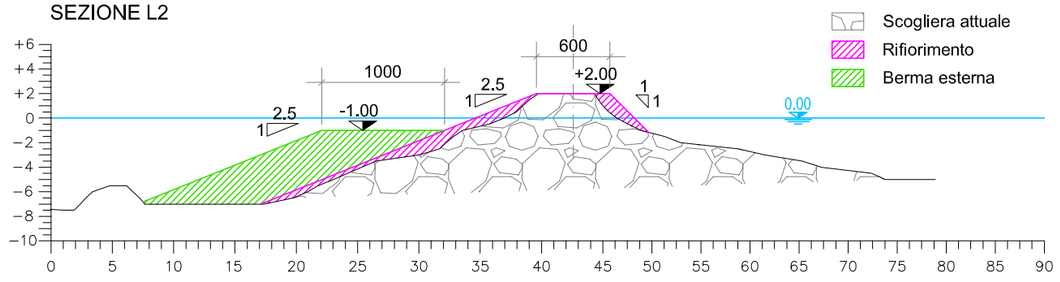
SEZIONE L1



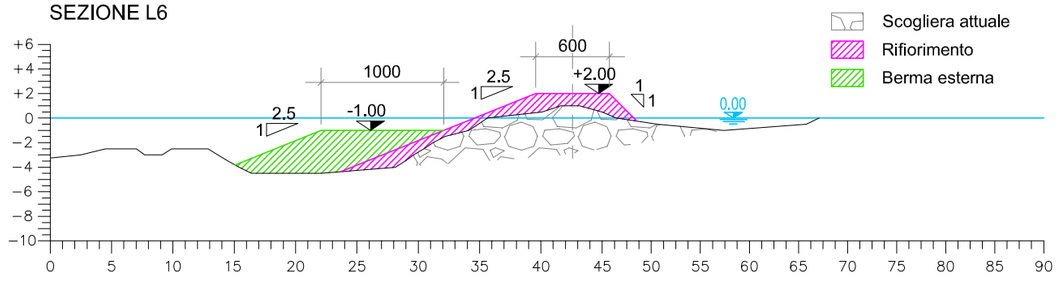
SEZIONE L5



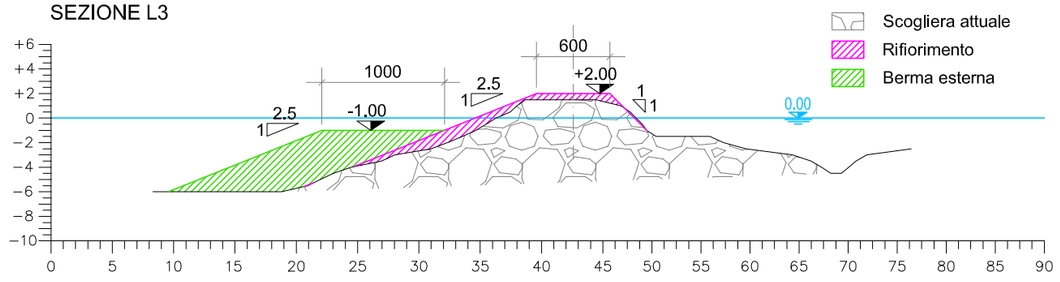
SEZIONE L2



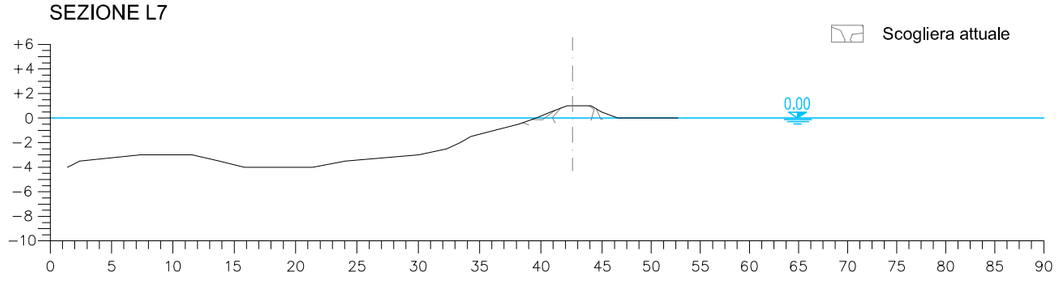
SEZIONE L6



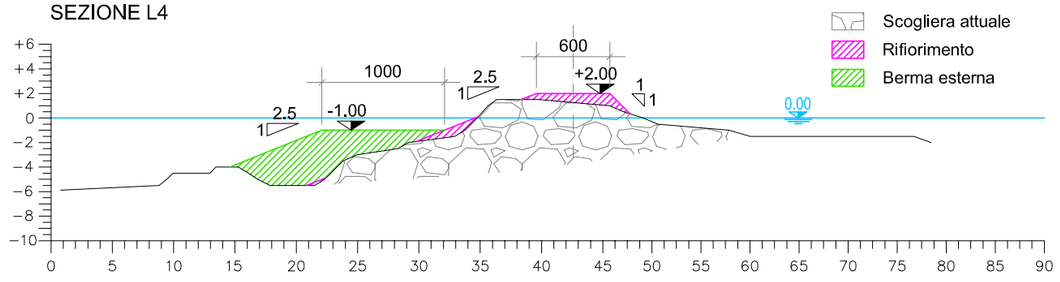
SEZIONE L3



SEZIONE L7



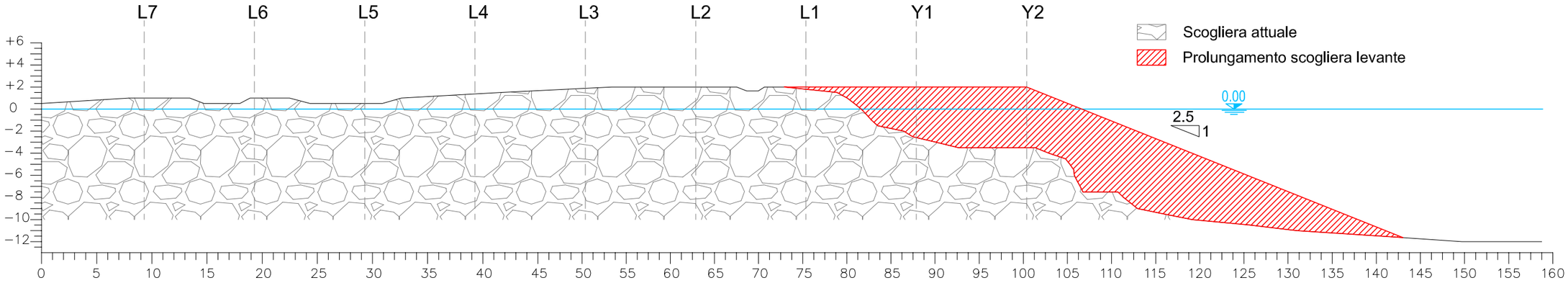
SEZIONE L4



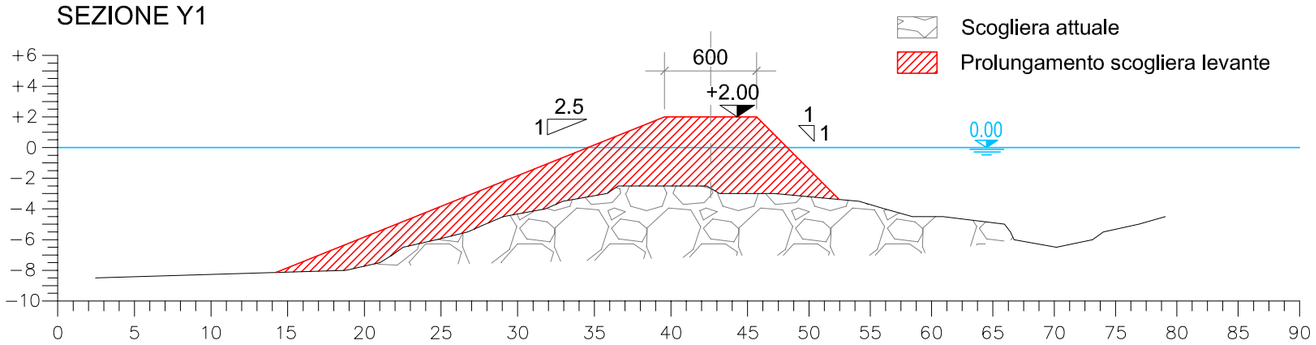
IPOTESI B - RIFIORIMENTO SCOGLIERE E BERMA ESTERNA - LEVANTE

SEZIONI
scala 1:400

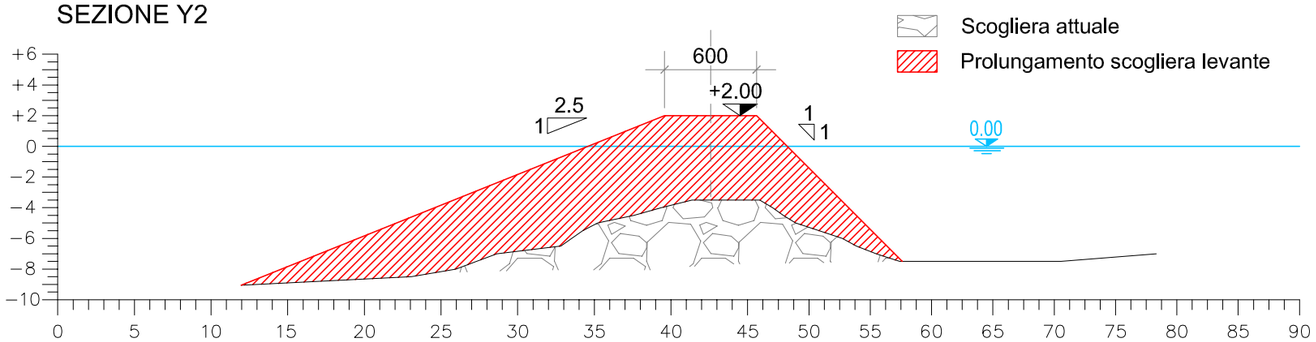
SEZIONE L0



SEZIONE Y1



SEZIONE Y2



IPOTESI D - ALLUNGAMENTO SCOGLIERA LEVANTE

ALLEGATO 2

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale
(DICCA)



Modellazione numerica della circolazione costiera e valutazione di ricadute in termine di protezione civile all'interno della Baia di Sestri Levante

Relazione Finale - 0005063/2020
(Gennaio 2020)

Committente: Comune di Sestri Levante

Relatori:
Prof. Ing. Giovanni Besio
Ing. Francesco Enrile, Ph.D.
Ing. Francesco De Leo

Premessa

Il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova (di seguito DICCA), ha stipulato in data 7 maggio 2019 una convenzione di collaborazione scientifica con il Comune di Sestri Levante, dal titolo *"Modellazione numerica della circolazione costiera e valutazione di ricadute in termine di protezione civile all'interno della Baia di Sestri Levante"*. Nell'ambito di tale convenzione, la presente relazione rappresenta il rapporto tecnico conclusivo all'interno del quale vengono illustrati i diversi aspetti dell'analisi e in particolare l'approccio metodologico, i dati utilizzati e i risultati ottenuti.

Lo scopo della collaborazione scientifica consiste nello studio della circolazione costiera all'interno della Baia del Silenzio e la verifica delle condizioni degli agenti meteomarini all'interno della baia ai fini di protezione civile (sia per quanto riguarda le caratteristiche della risalita del moto ondoso sull'arenile della baia, sia per quanto riguarda l'intensità del moto ondoso nella zona centrale della baia adibita ad area ormeggio per le barche da diporto), alla luce di quanto verificatosi durante la mareggiata del 29 ottobre 2018. Per lo studio specifico della dinamica della circolazione costiera e della dinamica del moto ondoso all'interno della baia si utilizzano specifici modelli numerici in grado di riprodurre i processi fisici coinvolti; tali modelli, inoltre, devono avvalersi di dati batimetrici e dati ondametrici per poter simulare le condizioni meteo-marine di interesse. Nel caso dei dati batimetrici ci si è avvalsi di specifici rilievi eseguiti appositamente per poter riprodurre al meglio lo stato attuale, mentre nel caso delle condizioni meteo-marine di riferimento (onde e vento) si è fatto riferimento alle ricostruzioni storiche (1979-2018) realizzate dal DICCA (www3.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html).

Sommario

1 Caratterizzazione del sito **7**

2 Dati utilizzati **7**
2.1 Dati batimetrici 7
2.2 Dati ondametrici e anemometrici 9

3 Approccio Metodologico **10**
3.1 Selezione degli eventi significativi per i diversi settori di interesse 10
3.2 Previsioni a lungo termine 11
3.3 L'idrodinamica all'interno della Baia 12
3.4 Agitazione Ondosa all'interno della Baia 13

4 Risultati **14**
4.1 Scenario di Bonaccia 14
4.2 Analisi di mareggiate nel lungo termine 19
4.2.1 Settore di libeccio 19
4.2.2 Settore di scirocco 23
4.2.3 Mareggiate triangolari 26
4.2.4 Definizione dei campi vento associate alle mareggiate triangolari . . . 26
4.3 Scenari di Libeccio 28
4.3.1 Senario di Libeccio - tempo di ritorno di 5 anni 28
4.3.2 Scenario di Libeccio - tempo di ritorno di 25 anni 32
4.4 Scenari di Scirocco 36
4.4.1 Scenario di Scirocco - tempo di ritorno di 5 anni 36
4.4.2 Scenario di Scirocco - tempo di ritorno di 25 anni 40
4.5 Agitazione Ondosa all'interno della Baia del Silenzio 44
4.5.1 Mareggiata 27 ottobre - 2 novembre 2008 45
4.5.2 Mareggiata 30 dicembre 2009 - 5 gennaio 2010 51
4.5.3 Mareggiata 27 ottobre - 2 novembre 2018 56

5 Conclusioni **61**

1 Caratterizzazione del sito

Il sito di interesse per il presente studio è la Baia del Silenzio, una delle due insenature (assieme alla Baia delle Favole) su cui si affaccia il centro storico di Sestri Levante, comune facente parte della Città Metropolitana di Genova (Liguria, Italia). In Figura 1 si riportano due fotografie satellitari atte ad identificare la posizione di Sestri Levante rispetto alla Liguria, nel pannello di sinistra, e un ingrandimento dell'area interessata dal presente studio, nel pannello di destra.

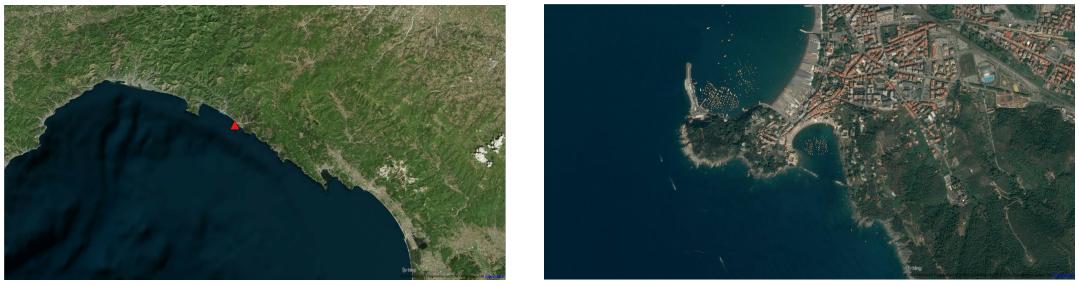


Figura 1: Localizzazione della Baia del Silenzio tramite un triangolo rosso rispetto alla Liguria, sulla sinistra, e ingrandimento della zona di studio, sulla destra.

La baia in esame, denominata "Baia del Silenzio", presenta un elevato valore paesaggistico e, nel 2018, è stata inserita tra le 10 spiagge più belle in Italia secondo la classifica "TripAdvisor Travelers' Choice Beaches Awards 2018". La conformazione della baia, assieme alle infrastrutture che vi si affacciano, la rendono tuttavia particolarmente vulnerabile a mareggiate di elevata intensità. Il pannello di sinistra di Figura 2 mostra un esempio di come il fenomeno di run-up, ovvero la risalita delle onde sulla spiaggia emersa, possa costituire situazione di estremo pericolo per le abitazioni prospicenti la battigia e le infrastrutture e i beni presenti sulla battigia stessa. L'esempio più lampante di quanto si afferma è legato alla mareggiata verificatasi in data 29 Ottobre 2018, durante la quale un albergo e diversi altri edifici sono stati invasi dalle onde ed un considerevole numero di piccole imbarcazioni da diporto sono andate distrutte.

Meritevoli di particolare attenzione per l'area in esame sono anche quei fenomeni che possano inficiare la qualità delle acque all'interno della baia stessa e quindi pregiudicarne temporaneamente il valore turistico in termini di balneazione e di utilizzo dell'arenile. Tra questi, merita particolare rilievo il fenomeno dell'infiorescenza algale (si veda il pannello di destra di Figura 2) che può avvenire durante la stagione estiva ed in condizioni meteomarine particolarmente stabili (persistenza di condizioni di calma per onde e vento con conseguente innalzamento della temperatura dell'acqua).

2 Dati utilizzati

Al fine di poter analizzare il comportamento della baia sia in termini di circolazione che in termini di agitazione ondosa sono necessarie le batimetrie e le serie storiche di dati meteomarini per l'area in esame. Nella presente sezione viene descritto come e dove sono stati reperiti i dati utilizzati per lo svolgimento del presente studio.

2.1 Dati batimetrici

I dati batimetrici utilizzati sono stati appositamente rilevati dalla società Drafinsub s.r.l. con rilievo multibeam, in seguito all'incarico per la realizzazione di tale servizio da parte del Comune di Sestri Levante. La precisione di tali dati è tale da superare in alcuni punti la griglia

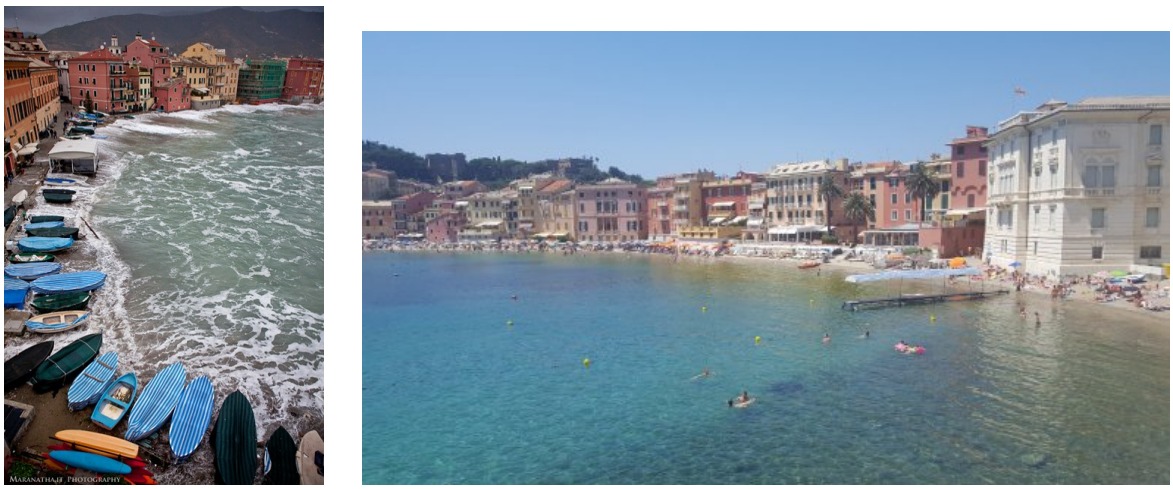


Figura 2: La Baia del Silenzio. Nel pannello di sinistra, risalita del moto ondoso (run-up) indotto dalle onde a seguito di mareggiata intensa. Nel pannello di destra, fenomeno di infiorescenza algale all'interno dello specchio acqueo della baia.

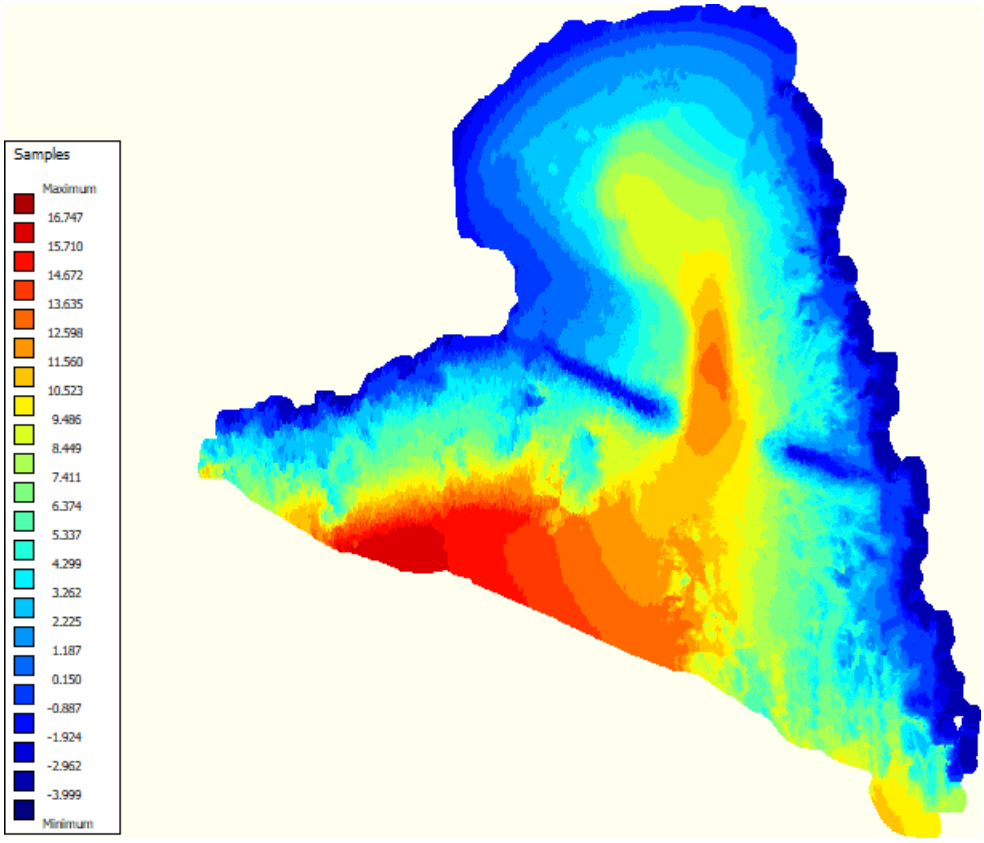


Figura 3: Nuvola di punti costituente la batimetria della baia ottenuta tramite rilievo eseguito da Drafinsub.

di calcolo utilizzata dal modello numerico. Per la zona esterna alla baia si è fatto riferimento alla batimetria digitalizzata di carte nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina Militare. In Figura 3 è possibile visualizzare la nuvola di punti costituente il rilievo. Tale rilievo è stato consegnato agli scriventi dal Comune di Sestri Levante in formato elettronico.

2.2 Dati ondametrici e anemometrici

I dati climatici di interesse sono quelli caratterizzanti i regimi di onde e vento che insistono nell'area di studio. Le serie di dati storici sono state ricostruite tramite simulazioni numeriche della fisica dell'atmosfera e dei processi di generazione e propagazione del moto ondoso (simulazioni in modalità hindcast) e costituiscono la base su cui poggiano le analisi statistiche successivamente sviluppate e riportate nel paragrafo 3.2. In particolare, sono stati impiegati i dati anemometrici e ondametrici ricostruiti numericamente dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova [www3.dicca.unige.it/meteocean/hindcast] (Mentaschi et al., 2013b,a, 2015).

Le serie di dati sono state ricostruite dal DICCA sulla base dei dati di re-analisi atmosferica del NCEP 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 compreso tra il primo gennaio 2011 e il 31 dicembre 2018. Le forzanti atmosferiche sono state quindi risolte su una maglia di calcolo con una risoluzione di circa 0.1° sia in longitudine che in latitudine con il modello meteorologico WRF-ARW versione 3.3.1 (Skamarock et al., 2008), mentre le simulazioni della generazione e propagazione del moto ondoso sono state realizzate con il modello d'onda WavewatchIII v3.18 (Tolman, 2009; Tolman et al., 2013) implementato con la stessa risoluzione del modello meteorologico all'interno del Mediterraneo. Il modello meteorologico e quello del moto ondoso sono stati ottimizzati e validati in maniera estensiva e opportuna per la simulazione dei processi all'interno del bacino del Mediterraneo (Cassola et al., 2015, 2016; Mentaschi et al., 2013b,a, 2015).

Le uscite del modello della dinamica del moto ondoso sono state salvate su tutti i punti della maglia di calcolo a cadenza oraria per tutto il periodo della simulazione (1979-2018), e contengono i valori di altezza d'onda significativa (H_s), periodo medio e di picco (T_m e T_p), direzione di propagazione media e di picco (θ_m e θ_p), velocità del vento (u_w e v_w, componente zonale e meridionale rispettivamente), oltre a parametri di secondaria importanza per le successive analisi. In particolare, per il presente studio, sono stati utilizzati i dati salvati nel punto maglia Point_000264 (cfr. Figura 4).

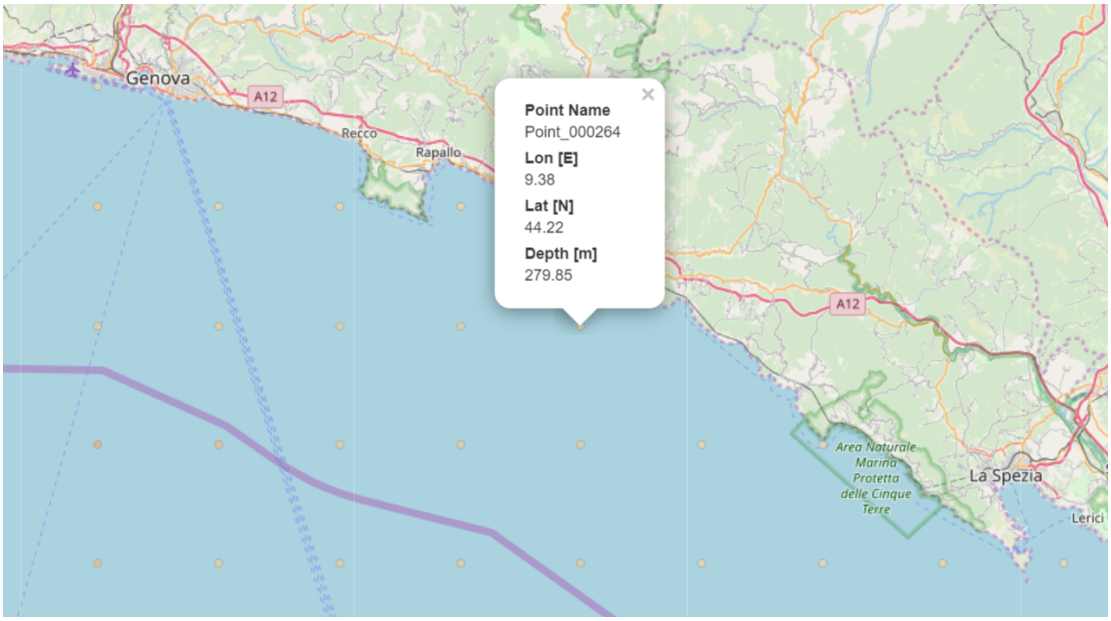


Figura 4: Punto hindcast 000264 utilizzato per le analisi dei dati di onde e vento.

3 Approccio metodologico alle analisi di circolazione costiera

Le analisi di circolazione costiera sono volte, nello specifico, a calcolare le correnti indotte all'interno della baia dalla propagazione del moto ondoso e dalla oscillazione della superficie libera del mare rispetto al livello medio, quest'ultima legata ai cicli mareali. È tuttavia doveroso precisare che quest'ultimo aspetta occupa un ruolo marginale nelle dinamiche di circolazione costiera in quanto le oscillazioni di marea nell'alto Tirreno sono dell'ordine di poche decine di centimetri, rappresentando quindi una forzante di limitata entità. Pertanto, maggior rilievo viene dato alle onde di mare, essendo quest'ultime le forzanti principali delle correnti indotte all'interno della baia. In particolare, si fa riferimento a stati di mare ritenuti significativi in termini delle rispettive probabilità di accadimento, in funzione di settori direzionali ritenuti di interesse specifico in virtù del particolare orientamento della baia.

3.1 Selezione degli eventi significativi per i diversi settori di interesse

La definizione di stati di mare significativi richiede, in prima analisi, la selezione di un dataset di riferimento su cui sviluppare in seguito le cosiddette *analisi ai valori estremi (EVA)*. Nello specifico, i dati ondametrici di partenza devono essere filtrati al fine di selezionare esclusivamente gli stati di mare più intensi. Tale selezione può essere eseguita in due modi differenti:

- considerando i valori eccedenti una soglia prefissata;
- considerando i valori massimi annuali.

Nel presente studio si è deciso di riferirsi al secondo approccio, di seguito denominato "POT" (da Peak Over Threshold, dicitura mutuata dalla letteratura di settore anglosassone e largamente utilizzata), che permette di selezionare un maggior numero di eventi significativi rispetto al primo approccio, mediante il quale viene identificato un solo evento per anno. Un'analisi POT richiede innanzitutto di fissare un valore di soglia sulla variabile da analizzare. In secondo luogo, si identificano i dati che eccedano la soglia suddetta. Questi dati sono quindi raggruppati in funzione del cosiddetto *tempo di interarrivo*, definito come il tempo minimo necessario affinché distinti gruppi di dati sopra-soglia (detti "eccedenze") siano identificati come eventi isolati. Qualora l'ultima eccedenza di un gruppo di dati sopra-soglia e la prima eccedenza del gruppo successivo siano separate da un tempo superiore al tempo di interarrivo, i due gruppi vengono considerati come fenomeni distinti, viceversa si intendono come facenti parte del medesimo evento (in questo caso, della medesima mareggiata, Lang et al., 1999).

Nel caso degli stati di mare, la variabile principale sui cui effettuare le analisi ai valori estremi è l'altezza d'onda significativa H_s, definita come la media del terzo di onde più alto all'interno di un dato stato di mare. Per la presente analisi, la serie di H_s è quella definita nel punto hindcast 000264. La soglia è stata fissata pari al novantaseiesimo percentile della distribuzione iniziale di H_s, mentre il tempo di interarrivo è stato posto pari a 24 ore (ovvero, mareggiate distinte si verificano a distanza di almeno un giorno l'una dall'altra). Una volta selezionate le singole mareggiate, le stesse sono state caratterizzate tramite l'altezza d'onda massima, il periodo (medio e di picco) e la velocità del vento (modulo e direzione) ad essa associati. Infine, è stata registrata la durata totale della mareggiata D_s, definita come il tempo intercorso tra la prima e l'ultima eccedenza del gruppo di dati caratterizzanti la mareggiata stessa.

Una volta definito il dataset di mareggiate di riferimento, si è provveduto a separare gli eventi in funzione della loro direzionalità, al fine di poter valutare i fenomeni indotti da marosi caratterizzati da diverse direzioni di incidenza, caratteristiche del paraggio dell'area

di Sestri Levante. Il suddetto raggruppamento di dati è stato realizzato avvalendosi di una tecnica automatica di selezione denominata *k-means*, un algoritmo di clustering partizionale che permette di suddividere un insieme di oggetti (o vettori) in un dato numero di gruppi sulla base dei loro attributi. L'obiettivo è quello di minimizzare la varianza all'interno di ciascun gruppo, ognuno identificato con un centroide o punto medio della stessa dimensione dei dati originali (MacQueen et al., 1967) Nel caso specifico, le caratteristiche utilizzate per il raggruppamento delle mareggiate sono θ_m e H_s, al fine di riconoscere e ripartire quelle con caratteristiche tipiche degli eventi di scirocco (onde provenienti da Sud-Est) e libeccio (onde provenienti da Sud-Ovest).

3.2 Previsioni a lungo termine

Le previsioni a lungo termine permettono di ovviare all'impredicibilità che da sempre caratterizza i fenomeni naturali, mitigandone l'impatto grazie al calcolo delle loro probabilità di accadimento (e, nel caso della progettazione di opere civili, agli accorgimenti adottati di conseguenza). La conoscenza del clima ondoso all'interno della Baia del Silenzio per diversi tempi di ritorno risulta quindi di cruciale importanza per la valutazione della sua fruibilità e della salute ecologica della medesima.

A partire dalle serie storiche dei dati di H_s, è possibile stimare i rispettivi valori che ricorrano mediamente ogni T_r anni, detto T_r "tempo di ritorno" (o "periodo di ritorno"): esso è definito come l'intervallo medio di tempo in cui il valore di una variabile aleatoria (come per l'appunto H_s) sia uguagliato o superato almeno una volta.

La previsione a lungo termine ha lo scopo di valutare la probabilità che una variabile aleatoria si manifesti con determinate intensità, ossia, determinarne la frequenza di accadimento tramite l'impiego di opportune distribuzioni di probabilità. La suddetta probabilità è correlata al tempo di ritorno tramite la relazione:

$$F_x(X_i) = 1 - \frac{m}{T_r} \tag{1}$$

dove $F_x(X_i)$ viene definita come la probabilità che la variabile aleatoria X si verifichi con valori superiori ad un preciso valore x_i e m rappresenta l'intervallo di campionamento degli eventi X_i selezionati. L'ipotesi alla base di questo tipo di analisi è che i dati da cui si estraggono le suddette distribuzioni siano tra loro indipendenti, e siano pertanto rappresentativi di un campione estratto casualmente da una ipotetica popolazione di infiniti elementi. Fatta questa assunzione, è ragionevole ipotizzare che il comportamento statistico del campione sia rappresentativo di quello della popolazione. I valori associati alla probabilità $F_X(x_i)$ sono infine calcolati sulle distribuzioni modellate a partire dall'analisi statistica dei dati empirici.

Nel presente studio, le analisi suddette sono state effettuate in relazione ai dati di altezza d'onda e durata delle mareggiate estratte tramite metodo POT. Per quanto concerne H_s, per la modellazione dei dati si è fatto riferimento ad una distribuzione Generalized Pareto (GPD), definita come segue:

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

essendo ξ, σ e μ i parametri di forma, scala e posizione della distribuzione. La durata delle mareggiate è stata invece modellata da una distribuzione di tipo Weibull:

$$F_x = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)^k \tag{3}$$

dove λ e k sono i parametri di scala e forma della distribuzione. In ambedue i casi, le distribuzioni sono state verificate tramite confronto grafico tra i quantili dei dati selezionati

e i quantili teorici delle distribuzioni selezionate (dunque un confronto grafico sui cosiddetti "qq-plots").

In un secondo momento, i dati di H_s e D_s sono stati posti in correlazione tramite una funzione copula (Salvadori et al., 2007), che ha permesso di modellarne la dipendenza congiunta (i.e. mareggiate più intense sono a loro volta caratterizzate da maggiori durate). La copula scelta è una copula Frank:

$$c_\alpha(u,v) = -\frac{1}{\alpha}\log\left[1 + \frac{\left(e^{-\alpha u}-1\right)\left(e^{-\alpha v}-1\right)}{e^{-\alpha}-1}\right] \tag{4}$$

dove $c_\alpha(u,v)$ può essere correlata al tempo di ritorno calcolando dunque i valori associati alla probabilità $F_X(x_i)$. u e v sono le pseudo-osservazioni legate ai valori di H_s e D_s. L'utilizzo delle funzioni copule permette di calcolare la probabilità di accadimento *congiunta* delle variabili in esame (in questo caso, H_s e D_s), a prescindere dalle distribuzioni mono-variate che meglio si prestino a modellare le medesime.

Un'analisi congiunta è stata dunque effettuata anche per caratterizzare la struttura di dipendenza esistente tra H_s e T_p. In questo caso, ci si è avvalsi della nota teoria delle cosiddette "environmental contour lines", che permettono di definire i periodi d'onda sulla base della probabilità condizionata che lega questi ultimi alle altezze d'onda (Haver and Winterstein, 2009). In prima analisi, si definiscono media e varianza (μ e σ) di T_p in funzione di H_s:

$$\begin{cases} \mu_{T_p|H_s} = a_1 + a_2\log(H_s + a_3) \\ \sigma_{T_p|H_s} = b_1 + b_2\exp\left[b_3\left(H_s^{b_4}\right)\right] \end{cases} \tag{5}$$

Infine, i periodi legati a tempi di ritorno elevati sono calcolati in funzione delle statistiche precedentemente calcolate:

$$T_p = \exp\left(\mu_{T_p|H_s} + \sigma_{T_p|H_s} T_p^*\right); \tag{6}$$

dove T_p^* si riferisce al periodo di picco nello spazio Gaussiano in funzione di una particolare probabilità F_x.

Per quanto riguarda le direzioni di incidenza al picco, si è scelto di effettuare un'interpolazione lineare sui dati facenti parte i singoli settori direzionali identificati (identificativi dei settori di scirocco e libeccio).

Infine, una volta calcolati i parametri progettuali H_s, T_p e θ_p, sono state simulate delle mareggiate a sviluppo temporale triangolare, in analogia con quanto suggerito da Boccotti (1997).

3.3 L'idrodinamica all'interno della Baia

Lo studio dell'idrodinamica all'interno della baia è stato condotto mediante l'uso del codice di calcolo Delft3D-Flow. Tale codice di calcolo Open Source è ampiamente utilizzato all'interno della comunità scientifica grazie alla sua affidabilità comprovata da studi pubblicati su riviste internazionali (si veda per esempio Elias et al., 2000). Tale codice di calcolo risolve le Reynolds Averaged Navier Stokes Equations (RANS):

$$\nabla \cdot \boldsymbol{U} = 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t} + (\boldsymbol{U}\cdot\nabla)\boldsymbol{U} = -\frac{1}{\rho_0}\nabla P + \boldsymbol{g} + \nu\nabla^2\boldsymbol{U} + \nabla\cdot\boldsymbol{T^R} \tag{8}$$

dove $\boldsymbol{U}$ è la velocitá media del fluido in esame, $\boldsymbol{U} = (U,V,W)$, P la pressione, ρ_0 la densità di riferimento del fluido, $\boldsymbol{g}$ l'accelarazione di gravità $\boldsymbol{g} = (0,0,-g)$, ν la viscosità cinematica e $\boldsymbol{T^R}$ il tensore di Reynolds che descrive le fluttuazione di velocità all'interno del fluido stesso.

Sulla base della soluzione idrodinamica di cui all'equazione (8), è anche possibile valutare il trasporto di un tracciante passivo atto a descrivere possibili inquinanti. Tale dinamica viene descritta risolvendo l'equazione di convezione diffusione, ovvero:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \boldsymbol{U} \cdot \nabla C = D\nabla^2 C \tag{9}$$

dove C rappresenta la concentrazione del tracciante passivo che vogliamo simulare e D rappresenta il coefficiente di dispersione, assunto isotropo nel presente studio. Delft3D permette la soluzione accoppiata delle due precedenti equazioni e, dunque, uno studio completo dei problemi all'interno della zona di interesse.

In particolare, la zona in oggetto presenta una forzante mareale che può ritenersi del tutto modesta. Nel seguito dello studio si considerano uno scenario di bonaccia, dove la sola forzante del sistema è costituita dall'escursione di marea, due scenari di libeccio, con mareggiate aventi tempo di ritorno di 5 e 25 anni, e due scenari di scirocco, aventi anch'essi mareggiate con tempi di ritorno di 5 e 25 anni. Nel caso di bonaccia, le velocità prodotte a seguito dell'escursione mareale risultano essere dell'ordine di pochi centimetri al secondo. Pertanto, la forzante principale risulta essere la corrente lungocosta che si instaura nella zona prospiciente la linea di riva, generata da un moto ondoso con attacco non ortogonale alla costa, tipica degli scenari di libeccio e scirocco. Questo tipo di fenomeno può essere studiato approfonditamente con Delft3D nel momento in cui si accoppia ad esso un modello di propagazione del moto ondoso. Il modello utilizzato è SWAN (Simulating Waves Nearshore Booij et al., 2003). Tale codice di calcolo è di tipo "spettrale" e risolve l'evoluzione dello spettro di energia del moto ondoso nello spazio e nel tempo, risolvendo la cosiddetta "wave-action equation":

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \tag{10}$$

dove N rappresenta la "action density", ovvero la densità di energia divisa dalla relativa frequenza $N = \frac{E}{\sigma}$, σ la frequenza relativa, θ la direzione e c_x e c_y le rispettive velocità di propagazione nelle due direzioni.

L'accoppiamento delle tre equazioni precedenti permette lo studio completo della dinamica dell'area di interesse.

3.4 Agitazione Ondosa all'interno della Baia

Al fine di valutare l'agitazione ondosa all'interno della Baia del Silenzio non si è potuto utilizzare il codice numerico SWAN principalmente per due motivi: innanzitutto l'equazione (10) non risolve esplicitamente il fenomeno della diffrazione all'interno della baia, ma può essere solamente parametrizzata. Dal momento che tale fenomeno è preponderante, è stato deciso di utilizzare un modello numerico in cui fosse possibile avere una soluzione coerente della propagazione del moto ondoso comprensiva anche dei fenomeni di diffrazione. Infatti, le onde che attraversano la bocca della baia tendono a "diffondere" all'interno della baia stessa a causa di questo processo. Inoltre la natura delle equazioni risolte tramite SWAN non permette di risolvere l'andamento della superficie libera durante il periodo d'onda e quindi di ottenere un'informazione adeguata sia per quanto riguarda le quote di risalita delle onde sulla spiaggia (fenomeno del run-up) sia per quanto riguarda i massimi di altezza d'onda che si vanno a realizzare all'interno della baia. La Figura 5 mostra il fenomeno del frangimento e del run-up sulla costa. Al fine di tenere in considerazione questi due aspetti di vitale importanza per la valutazione dell'agitazione ondosa all'interno della baia è quindi necessario utilizzare un codice di calcolo diverso. In particolare, la scelta è ricaduta per il modello numerico XBeach utilizzato prevalentemente per simulare i processi costieri. XBeach è stato utilizzato in modalità non idrostatica, ovvero risolvendo le non-linear shallow water equations accoppiate ad un termine di correzione della pressione idrostatica. Le equazioni

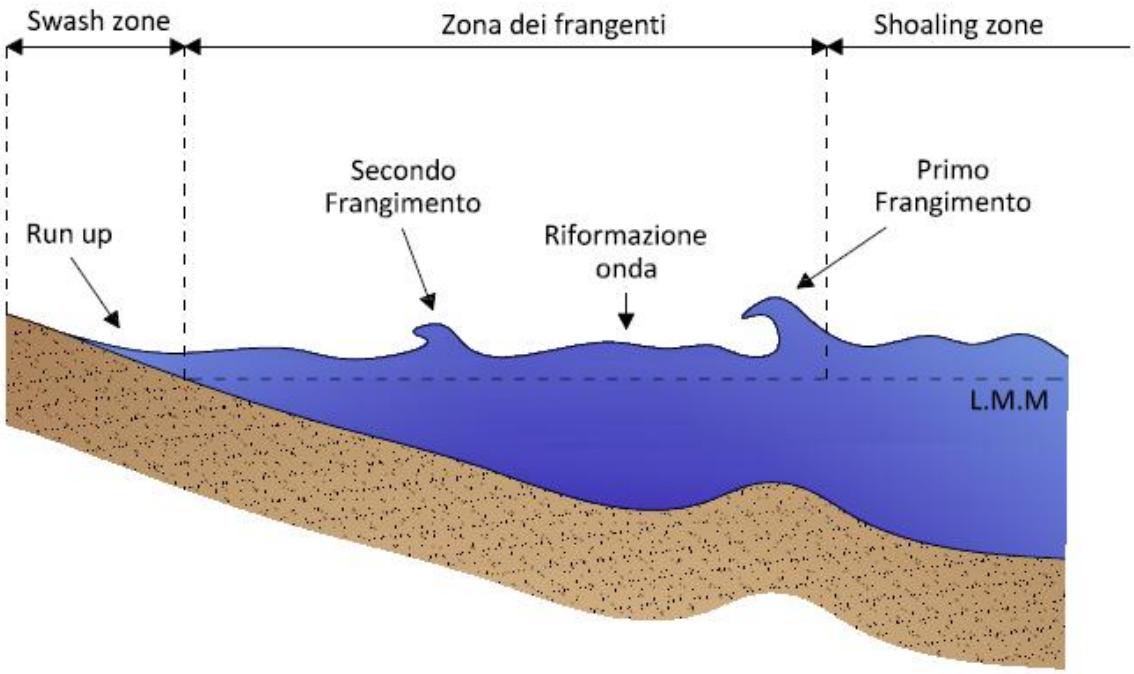


Figura 5: Schema del fenomeno di frangimento dell'onda e conseguente run-up sulla costa.

shallow-water sono risolte prendendo in considerazione velocità Lagrangiane delle particelle fluide, ovvero sommando alla velocità Euleriana del campo la velocità dello Stokes drift.

Il modello viene forzato con tre mareggiate storiche ricostruite dall'hindcast DICCA che rappresentano eventi significativi anche per l'impatto che hanno avuto sulle costruzioni prospicienti la baia stessa. Queste mareggiate sono quelle avvenute dal 27 ottobre al 2 novembre 2008, dal 30 dicembre al 5 gennaio 2010 e dal 27 ottobre al 2 novembre 2018. Al fine di valutare l'agitazione ondosa per scopi di protezione civile, si fornisco in output due tipi di dato. Il primo riguarda la valutazione dell'inviluppo dei massimi di altezza d'onda, ovvero i valori massimi di elevazione della superficie libera che si hanno durante l'intera estensione della mareggiata. Il secondo dato riguarda invece il valore di run-up, ovvero di risalita dell'onda sulla spiaggia durante l'evento. In questo modo è possibile valutare sia l'azione a cui natanti posti all'interno della baia sono soggetti, sia la pericolosità delle mareggiate che impattano sulla costa.

4 Risultati

Nel presente paragrafo si intendono analizzare i risultati dei modelli descritti nei paragrafi precedenti e applicati alla Baia del Silenzio. In particolare, sono esaminati gli scenari di bonaccia, libeccio e scirocco. Lo scenario di bonaccia non prevede né la presenza di un'onda incidente né di un vento. Esso fa riferimento ad una condizione di stabilità meto-marina tipica delle condizioni estive. Al contrario, gli scenari di libeccio e scirocco fanno riferimento a condizioni in cui sono presenti sia un'altezza d'onda incidente che un vento.

4.1 Scenario di Bonaccia

Il primo scenario che si analizza viene denominato di "bonaccia". Esso non presenta vento né onda incidente ma solamente un'escursione mareale tipica del periodo estivo. L'obiettivo di questo scenario consiste nel simulare una situazione ricorrente della stagione estiva in cui vi è

grande stabilità atmosferica ed assenza di mareggiate. In questo caso, le velocità all'interno della baia sono generate unicamente dalla marea e pertanto risultano estremamente ridotte. Nel caso di marea montante o marea calante si ottengono delle velocità aventi direzione opposta, con una massa d'acqua entrante o uscente dalla baia, sebbene vi sia un leggero ritardo dovuto alla propagazione dell'onda di marea dal largo verso riva.

La Figura 6 mostra le tipiche velocità che si ottengono nel caso in esame e la dinamica ricorsiva della massa d'acqua entrante e uscente dalla Baia. Tale dinamica lenta si riflette significativamente sullo scambio di acqua tra mare aperto e baia. Tale scambio può essere studiato simulando una concentrazione di inquinante unitaria distribuita uniformemente all'interno della baia che tende a diluirsi con il passare del tempo. Una rappresentazione del risultato ottenuto al variare del tempo viene riportata nella Figura 7. In particolare, nella figura sono riportati i valori della concentrazione in due istanti temporali successivi della simulazione. È possibile osservare come al passare del tempo, la concentrazione diminuisca lentamente all'interno della baia, presentando zone di maggiore persistenza (vicino al bagnasciuga) e altre di maggiore ricambio d'acqua (zone prossime all'imboccatura in corrispondenza delle strutture di protezione).

Per avere una rappresentazione sintetica ed esaustiva del processo di dispersione all'interno della baia ci si è avvalsi dell'analisi del cosìdetto tempo di residenza, rappresentativo di un tempo scala necessario per il ricambio dell'acqua di una zona della baia. Si consideri infatti che la concentrazione iniziale decada esponenzialmente, ovvero che il rapporto tra la concentrazione iniziale e quella finale sia pari a $\frac{C(t)}{C(0)} = e^{-kt}$. Il tempo di residenza viene definito come $T_r = 1/k$, ovvero il tempo necessario affinchè la concentrazione decada di circa il 63%. Questo tipo di indicatore ha lo scopo di identificare il tempo necessario al ricambio di un significativo volume d'acqua. Questo ricambio è importante al fine di evitare possibili fenomeni di eutrofizzazione o di infiorescenza algale. Maggiore risulta essere il tempo di residenza, maggiore sarà il rischio di avere fenomeni di questo tipo in quanto aumenterà il tempo di ristagno dell'acqua in una certa zona.

Come è possibile apprezzare dalla Figura 8, il tempo di residenza massimo all'interno della baia raggiunge circa i venti giorni (20 gg * 24 ore = 480 ore). Viceversa, nei casi che contemplano le mareggiate di scirocco o libeccio, sarà lecito aspettarsi tempi di residenza inferiori, in quanto l'agitazione ondosa induce una corrente longitudinale alla costa che accelera la dinamica della zona costiera in esame.

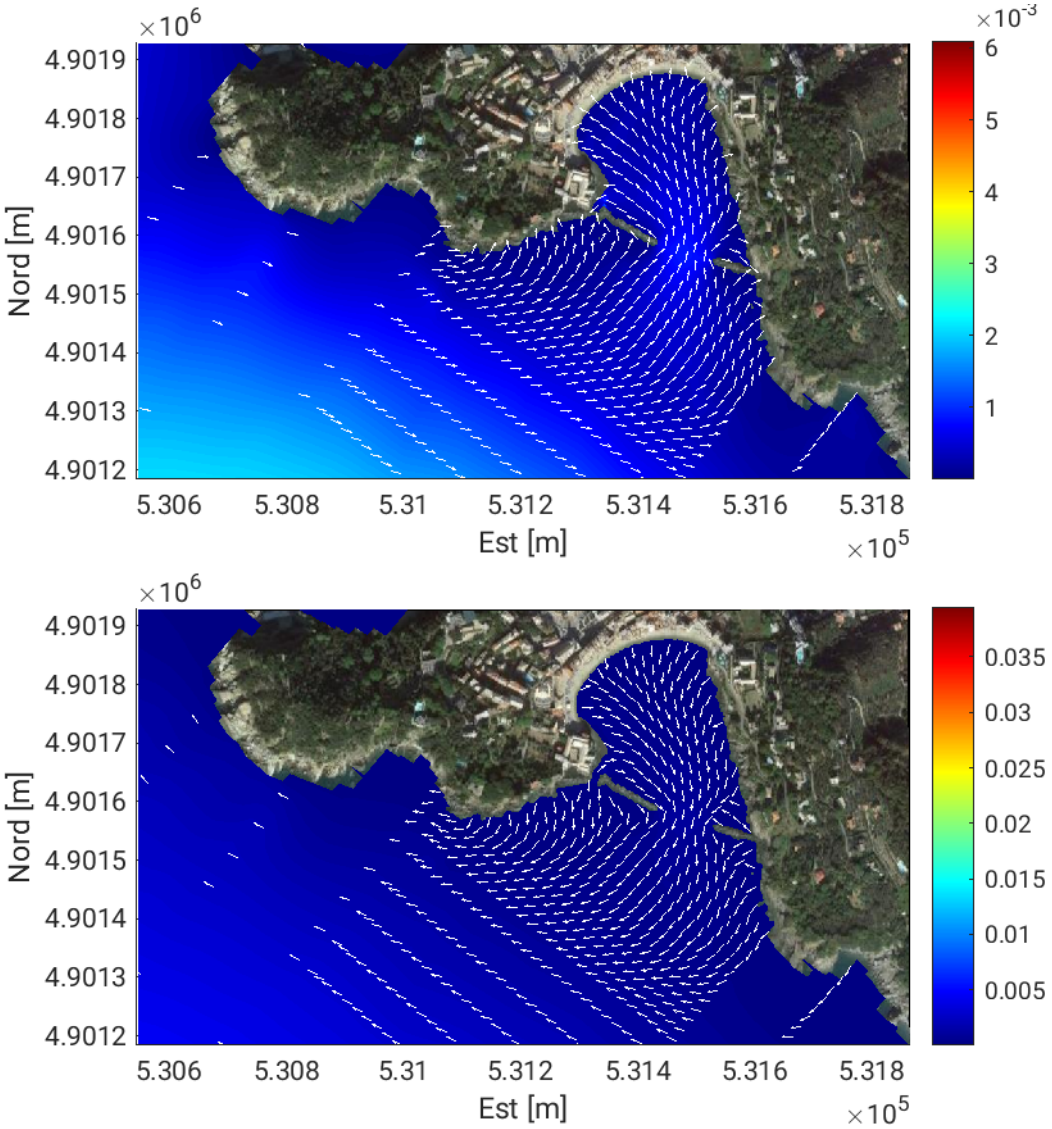


Figura 6: Velocità nella bai nel caso dello scenario di bonaccia. Le velocità risultano essere molto ridotte e praticamente nulle all'interno della baia.

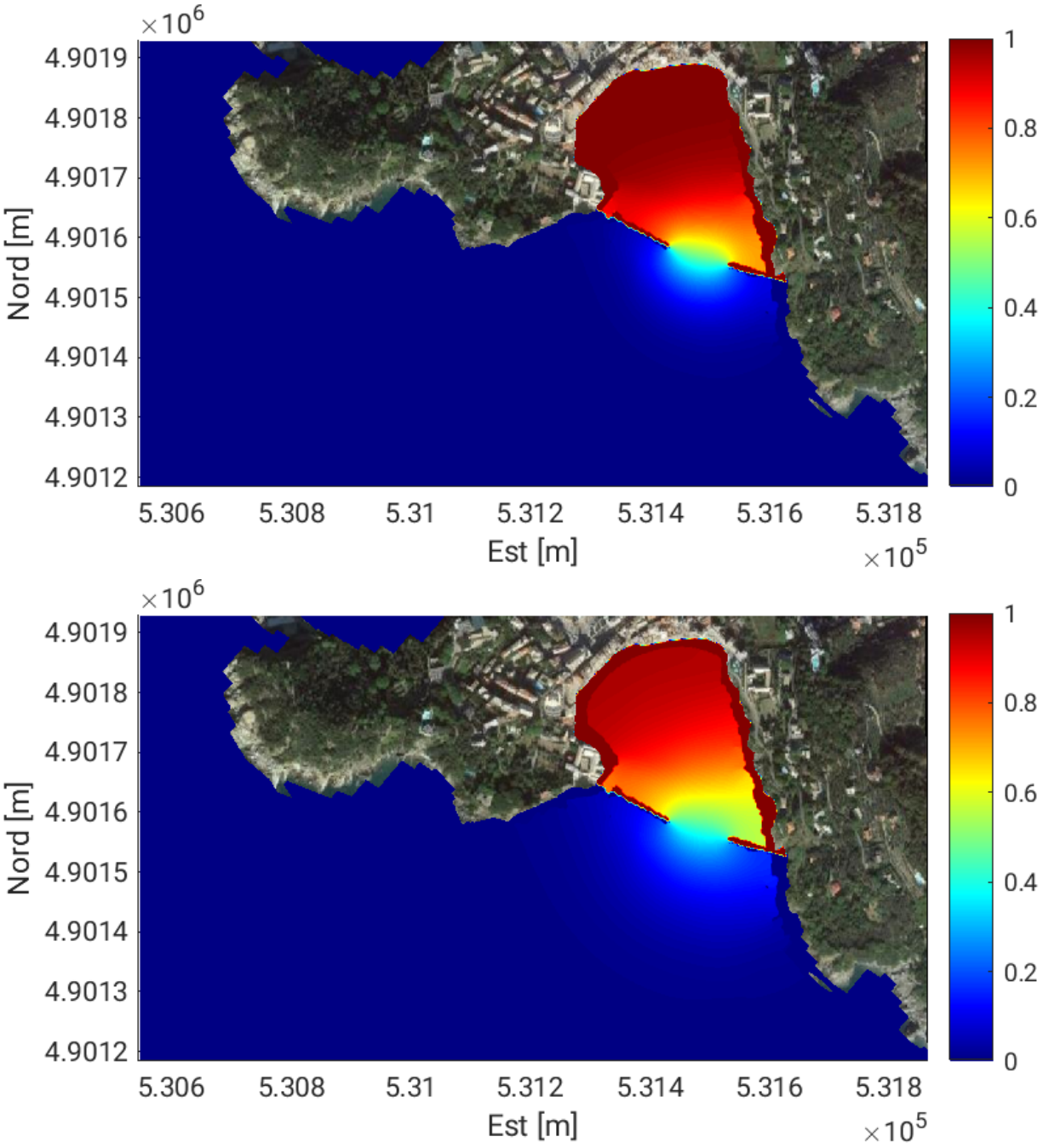


Figura 7: Diluizione di una concentrazione inizialmente unitaria col passare del tempo al fine di valutare il tempo di residenza. Le due figure si riferiscono a due istanti di tempo diversi in cui la concentrazione iniziale è già decaduta. Entrambe le immagini si riferiscono allo scenario di bonaccia.

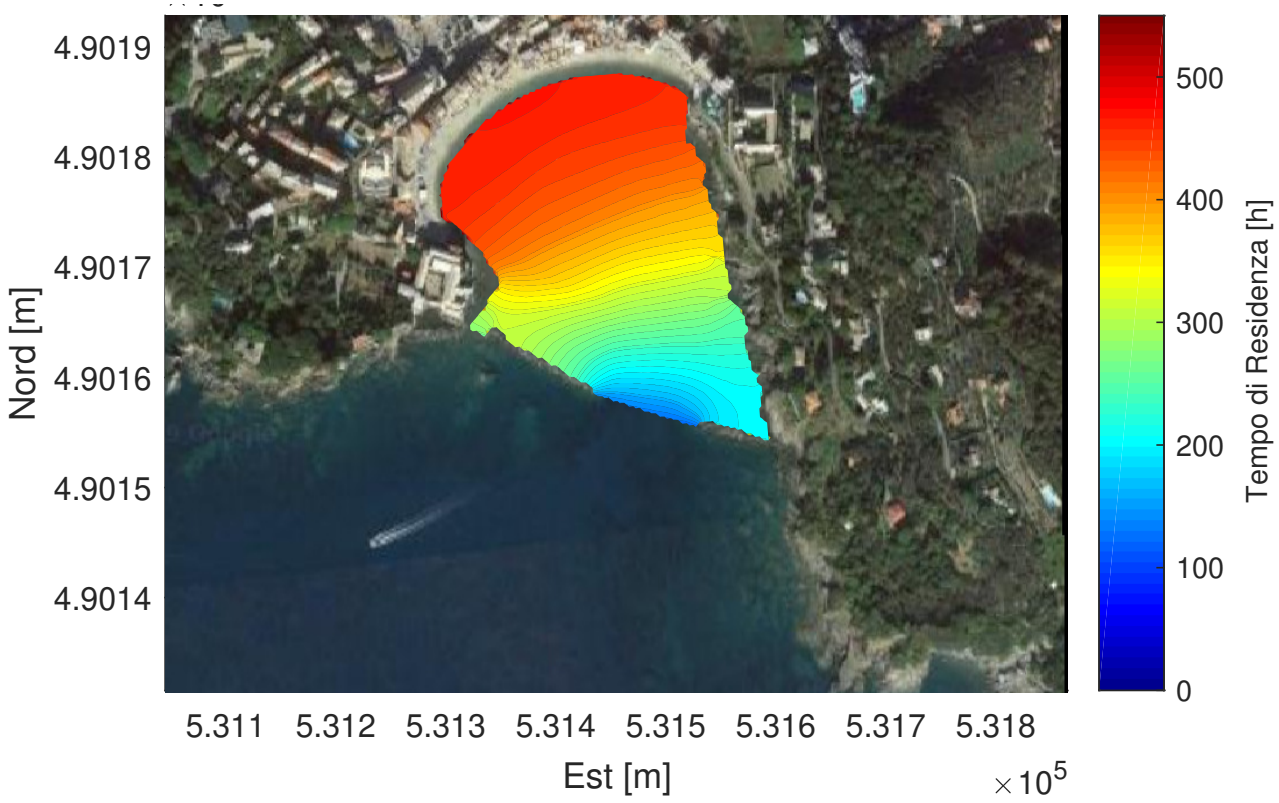


Figura 8: Tempo di residenza nelle condizioni di bonaccia. Si noti che il valore massimo raggiunge all'incirca le 500 ore per la zona più interna, ovvero al massimo i 20 giorni.

4.2 Analisi di mareggiate nel lungo termine

I casi che verranno affrontati nei prossimi paragrafi, ovvero di libeccio e scirocco, sono caratterizzati da un'onda incidente. Per questo motivo, si va qui ad affrontare dettagliatamente l'analisi statistica delle mareggiate in modo da caratterizzarle in funzione del tempo di ritorno.

Si riportano di seguito i risultati inerenti la caratterizzazione di mareggiate assegnate ai periodi di ritorno progettuali. In particolare, essendo interessati ad eventi significativi, si è scelto di riferirsi a due differenti periodi di ritorno: il primo, pari a 5 anni, indicativo di eventi di intensità non trascurabile e tuttavia tale da non presentare carattere di eccezionalità; il secondo, pari a 25 anni, associato invece ad eventi più infrequenti ma non catastrofici. In Figura 9 si riporta il risultato della classificazione delle mareggiate selezionate nei settori di libeccio (punti grigi) e scirocco (punti neri).

Di seguito, i risultati delle analisi ai valori estremi sono presentate per i due settori separatamente.

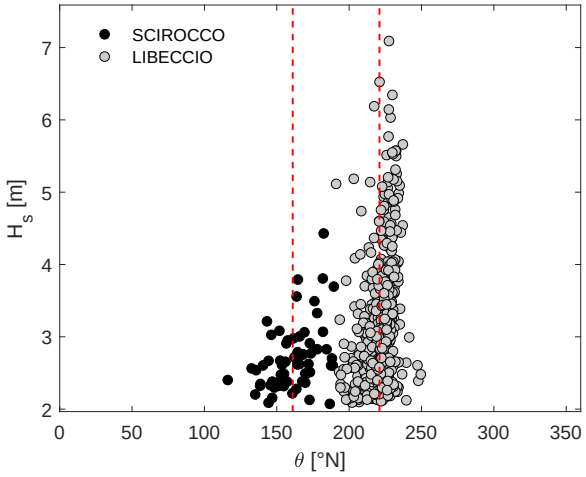


Figura 9: Caratteristiche delle mareggiate estratte tramite POT e raggruppate in funzione dell'algoritmo k-means.

4.2.1 Settore di libeccio

Le Figure 10 e 11 mostrano i risultati relativi alle condizioni di indipendenza e uniformità delle mareggiate selezionate per il settore di libeccio. Si può notare come gli eventi siano caratterizzati da assenza di autocorrelazione (cfr. Figura 10), essendo la funzione di autocorrelazione stessa contenuta all'interno degli intervalli di confidenza (evidenziati in colore blu). Inoltre, Figura 11 mostra come il confronto grafico sui quantili teorici ed empirici per le serie di H_s e D_s fornisca risultati ottimali, dimostrando l'attendibilità delle distribuzioni adottate. Le Figure dalla 12 alla 15) riportano i risultati delle analisi ai valori estremi monovariate e bi-variate.

In primo luogo, sono riportati i risultati relativi alle analisi ai valori estremi monovariate, ossia condotte sulle singole serie di H_s e D_s. Si osserva come i dati empirici (le croci in Figura 12) siano contenuti all'interno degli intervalli di confidenza calcolati per le analisi a lungo termine, sia nel caso di H_s che nel caso di D_s. Inoltre, le curve, calcolate accoppiando le equazioni (1)-(2) (nel caso di H_s) e (1)-(3) (per D_s), rappresentano in modo efficacie i dati osservati. Questi ultimi dati, in un secondo momento, sono stati utilizzati per valutare la mutua dipendenza tra i parametri $H_s - D_s$ e $H_s - T_p$, secondo i modelli esplicitati con le equazioni (4) e (5), rispettivamente. I risultati sono mostrati nelle Figure 13 e 14.

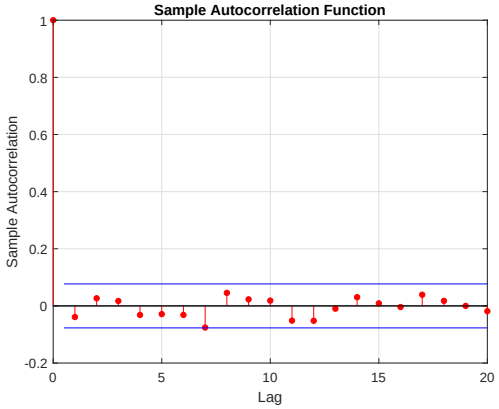


Figura 10: Settore di libeccio: funzione di auto-correlazione sugli eventi selezionati.

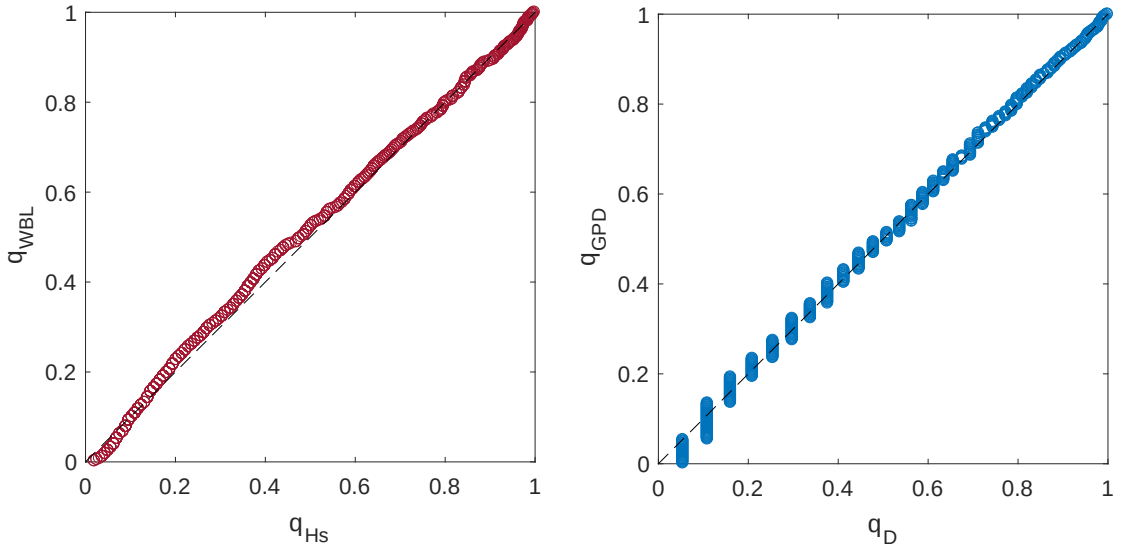


Figura 11: Settore di libeccio: qq-plots per l'analisi delle distribuzioni selezionate. Pannello di sinistra: H_s (GPD); pannello di destra: D_s (Weibull).

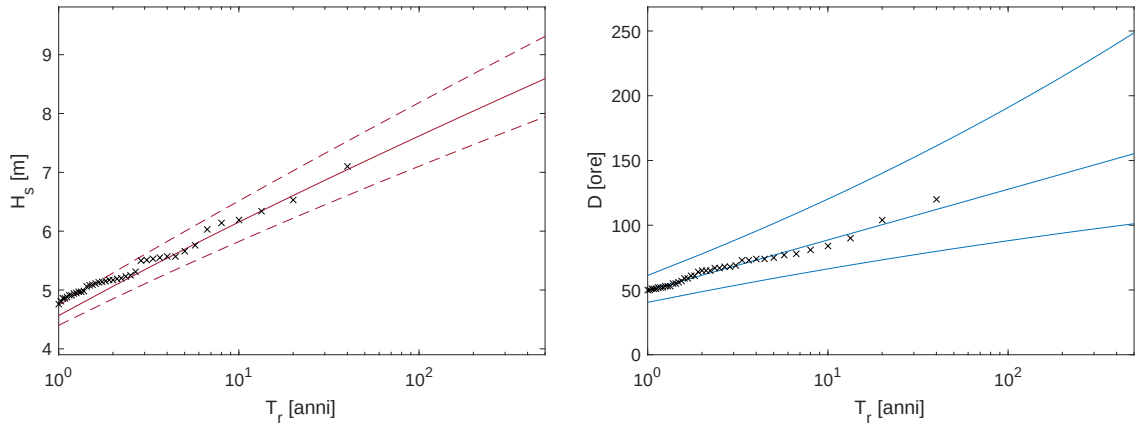


Figura 12: Settore di libeccio: curve delle variabili associate a diversi periodi di ritorno. Pannello di sinistra: H_s; pannello di destra: D_s.

Attraverso la combinazione delle distribuzioni nel lungo periodo dei singoli parametri, e dei modelli di dipendenza validi tra i medesimi, è infine possibile calcolarne le curve associate ai diversi tempi di ritorno per le distribuzioni congiunte. I risultati sono mostrati in Figura

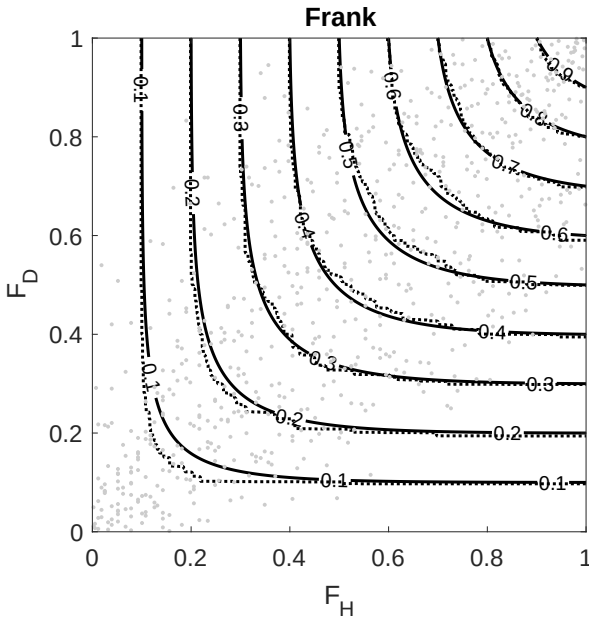


Figura 13: Settore di libeccio: Frank copula modellata sulla distribuzione congiunta di H_s e D_s.

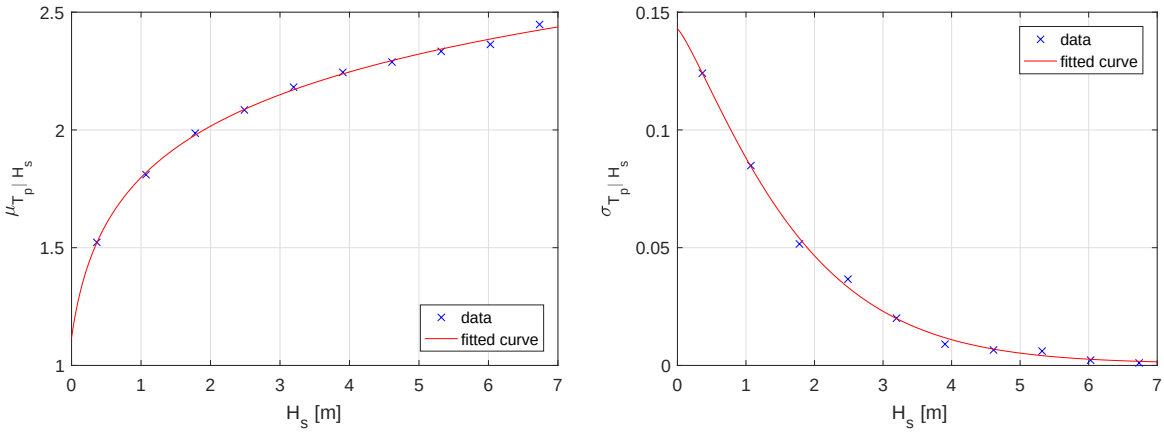


Figura 14: Settore di libeccio. Pannello di sinistra: media condizionata di T_p in funzione di H_s; pannello di destra: varianza condizionata di T_p in funzione di H_s

15, che mostra le curve costituite dalle coppie di valori associati al medesimo tempo di ritorno per i parametri $H_s - D_s$ (pannello di sinistra) e $H_s - T_p$ (pannello di destra). La scelta delle coppie per ciascun tempo di ritorno è stata fatta scegliendo le combinazioni che massimizzassero la probabilità di accadimento nel modello bivariato di altezza d'onda e durata della mareggiata (evidenziate con due stelle), essendo ritenuti i due parametri di maggior peso ai fini dello studio. Noto il valore di H_s per i due diversi tempi di ritorno, è stato sufficiente verificare dove il medesimo ricadesse lungo le curve equiprobabili nel modello bivariato $H_s - T_p$, al fine di ottenere i periodi d'onda associati ai diversi tempi di ritorno (anche in questo caso le coppie di valori risultanti sono evidenziate con due stelle).

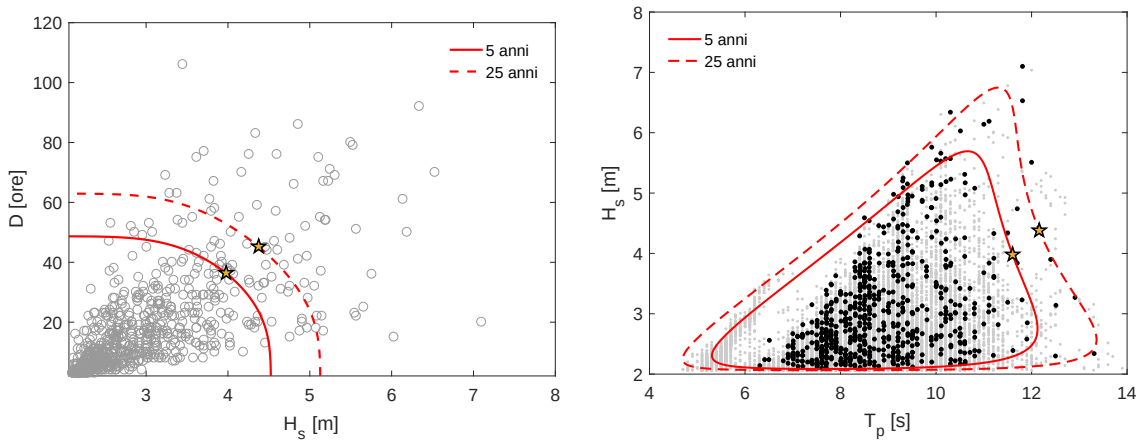


Figura 15: Settore di libeccio. Pannello di sinistra: curve di H_s e D_s associate a tempi di ritorno pari a 5 anni e 25 anni; pannello di destra: curve di H_s e T_p associate a tempi di ritorno pari a 5 anni e 25 anni.

4.2.2 Settore di scirocco

Analoghe considerazioni a quelle fatte per il settore di libeccio, possono essere estese agli eventi facenti parte del settore di scirocco. In questo caso, il numero di eventi a disposizione è ridotto in virtù dell'esposizione della costa, che non favorisce il verificarsi di eventi severi al pari del settore di libeccio. Questo si riflette in una maggior incertezza delle distribuzioni modellate, le quali tuttavia restituiscono confronti significativi per il prosieguo delle analisi. La metodologia seguita è quella in precedenza introdotta per la caratterizzazione degli eventi di libeccio, ed i risultati sono riportati nelle Figure dalla 16 alla 21 nello stesso ordine di quelle che si riferiscono al paragrafo precedente.

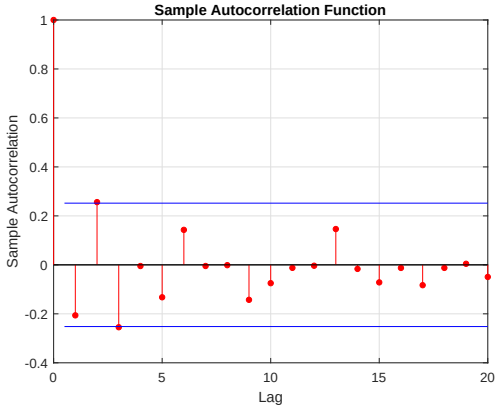


Figura 16: Settore di scirocco: funzione di auto-correlazione sugli eventi selezionati.

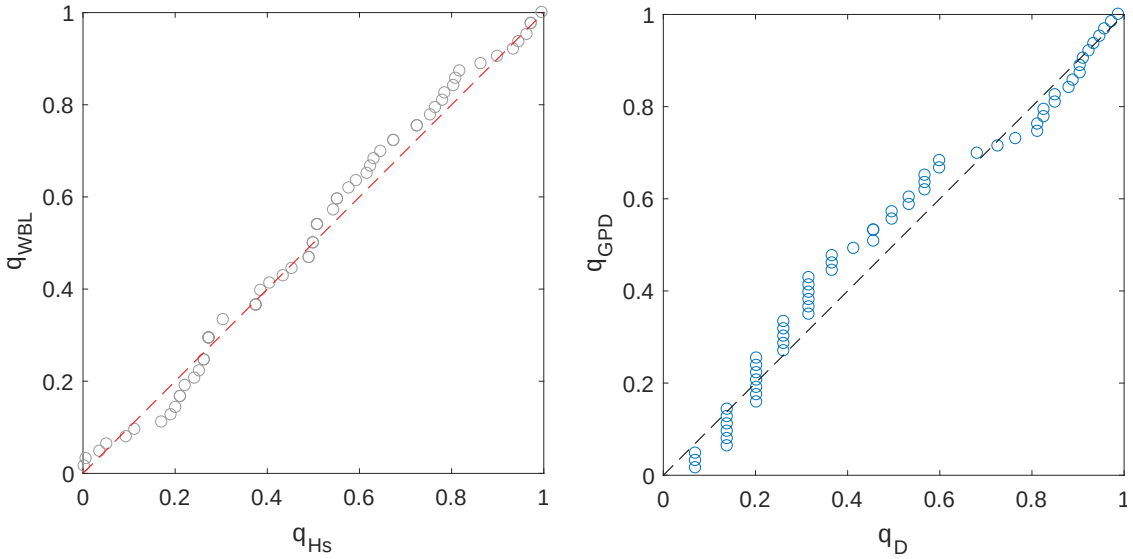


Figura 17: Settore di scirocco: qq-plots per l'analisi delle distribuzioni selezionate. Pannello di sinistra: H_s (GPD); pannello di destra: D_s (Weibull).

I parametri progettuali scelti in funzione delle analisi bivariate incrociate per i due settori di interesse sono dunque riportati in Tabella 1.

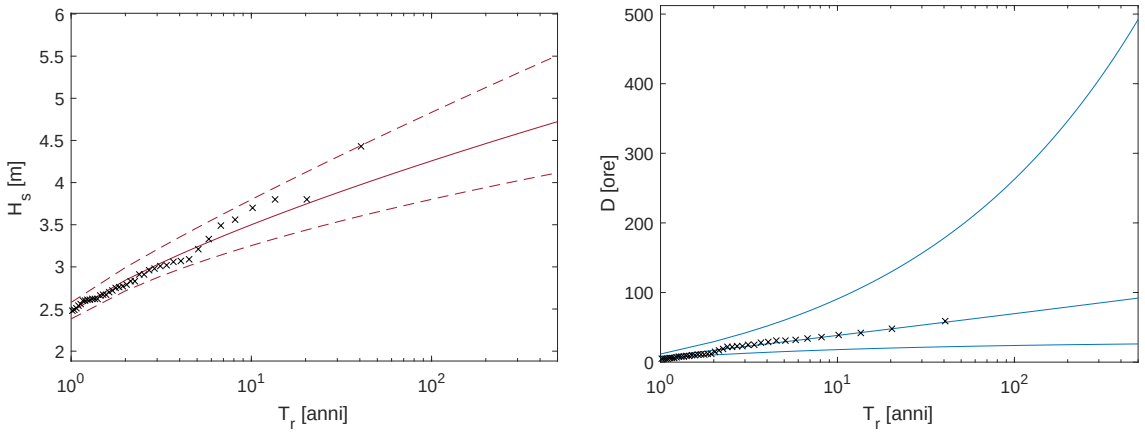


Figura 18: Settore di scirocco: curve delle variabili associate a diversi periodi di ritorno. Pannello di sinistra: H_s; pannello di destra: D_s.

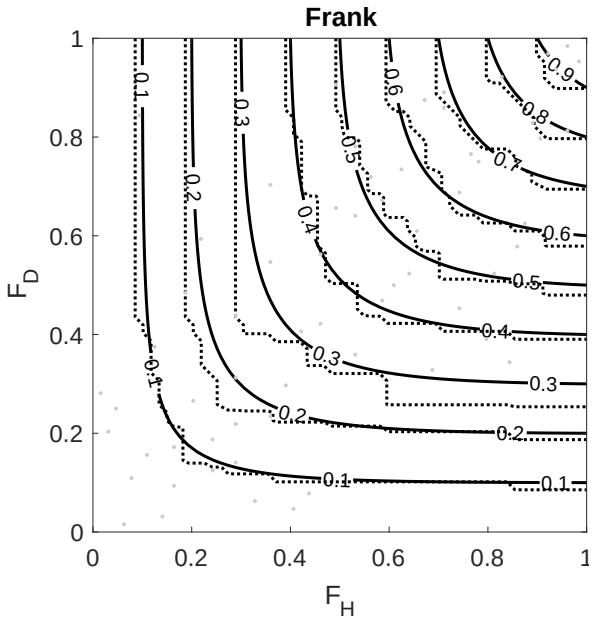


Figura 19: Settore di scirocco: Frank copula modellata sulla distribuzione congiunta di H_s e D_s.

	H_s [m]		T_p [s]		θ_p [°N]	
	5 anni	25 anni	5 anni	25 anni	5 anni	25 anni
libeccio	3.98	4.38	11.6	12.2	221	221
scirocco	2.79	10.0	3.1	11.2	156	156

Tabella 1: Parametri progettuali in funzione del tempo di ritorno e del settore di traversia considerati.

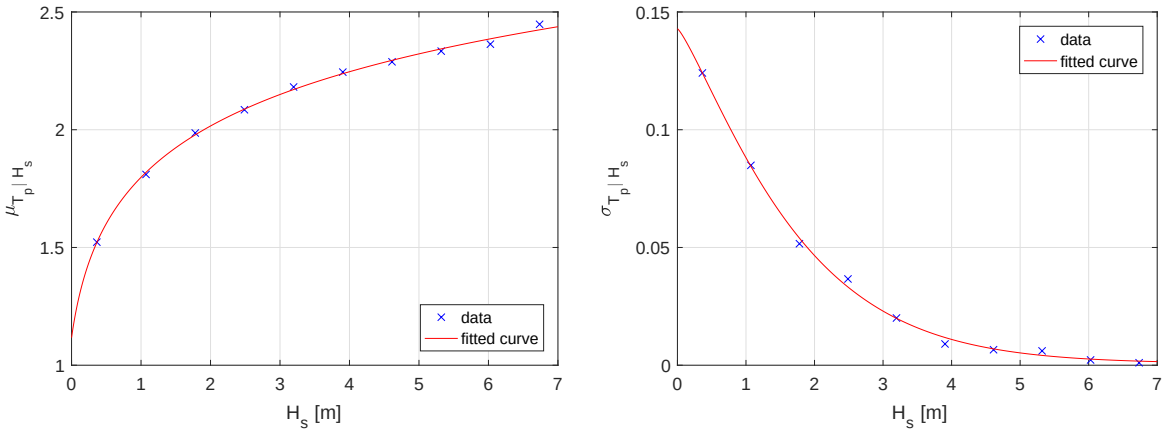


Figura 20: Settore di scirocco. Pannello di sinistra: media condizionata di T_p in funzione di H_s; pannello di destra: varianza condizionata di T_p in funzione di H_s.

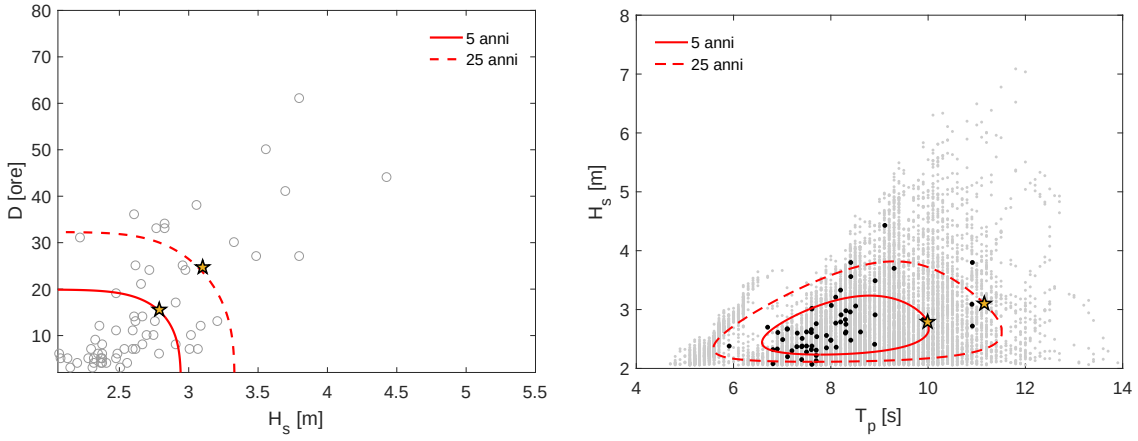


Figura 21: Settore di scirocco. Pannello di sinistra: curve di H_s e D_s associate a tempi di ritorno pari a 5 anni e 25 anni; pannello di destra: curve di H_s e T_p associate a tempi di ritorno pari a 5 anni e 25 anni.

4.2.3 Mareggiate triangolari

In un secondo momento, noti i parametri di H_s, D_s e T_p delle mareggiate significative associate ai due diversi tempi di ritorno per ciascuno dei settori direzionali considerati, si sono modellate le evoluzioni temporali delle medesime tramite il modello di mareggiata triangolare equivalente (Boccotti, 1997). Il modello suddetto assume che la fase di sviluppo ed esaurimento di una mareggiata siano simmetriche rispetto al picco della stessa. Rifacendosi a questa teoria, i valori calcolati per H_s e T_p rappresentano le altezze di triangoli la cui base altro non è che la durata corrispondente. Al fine di non far decorrere le successive simulazioni da uno stato di mare a forzanti nulle (condizione non realistica nella realtà dei fatti), si è provveduto ad aggiungere degli stati di calma ad altezza e periodo d'onda non nulli nelle fasi iniziale e finale delle mareggiate.

I profili risultanti sono riportati nelle Figure dalla 22 alla 23.

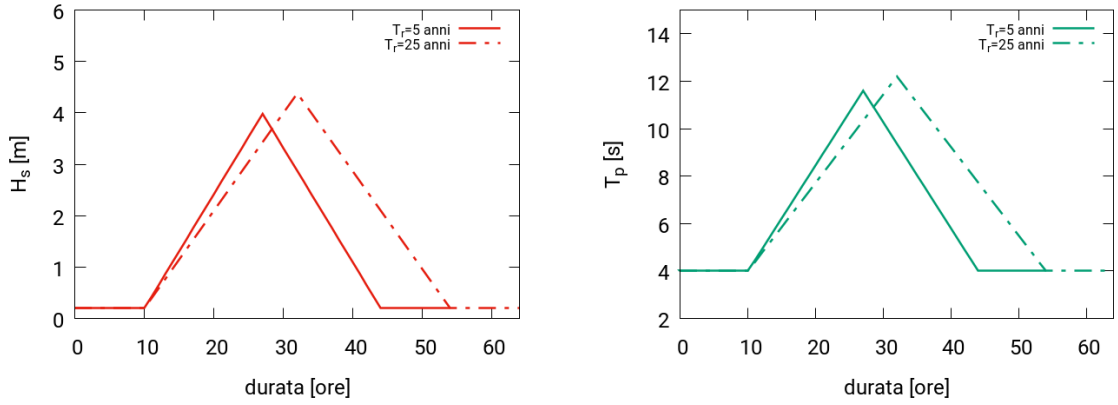


Figura 22: Mareggiata triangolare per il settore di libeccio. Pannello di sinistra: H_s; pannello di destra: T_p

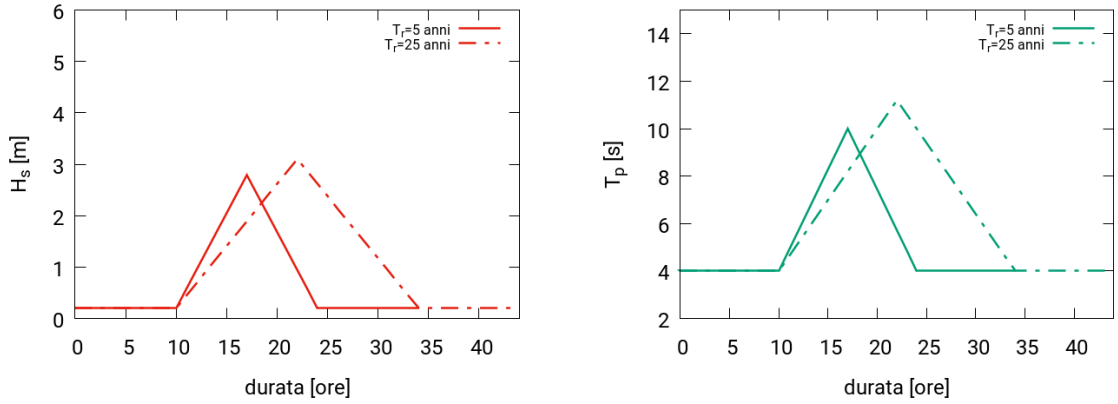


Figura 23: Mareggiata triangolare per il settore di scirocco. Pannello di sinistra: H_s; pannello di destra: T_p

4.2.4 Definizione dei campi vento associate alle mareggiate triangolari

Come anticipato nel paragrafo 3.3, le correnti litoranee sono principalmente generate per effetto del moto ondoso che insiste lungo costa, essendo l'escursione mareale componente non rilevante nell'area in esame in virtù delle ridotte oscillazioni del livello medio del mare. Tuttavia, un'altra componente non trascurabile è legata all'effetto del vento che spira sullo

specchio acqueo della baia. L'azione del vento è in effetti duplice: da un lato, contribuisce ad alimentare o ridurre l'energia del moto ondoso, condizionando dunque l'intensità delle correnti da esso indotte, dall'altro, può alimentare correnti secondarie nei primi strati immediatamente al di sotto delle superficie del mare. Pertanto, si è resa necessaria la definizione dei campi di vento in concomitanza delle mareggiate con tempo di ritorno di 5 e 25 anni, per ambedue i settori direzionali considerati.

In questo caso, la definizione dei valori di velocità del vento non si è avvalsa di analisi a lungo termine specifiche; infatti, analisi preliminari sui dati del punto hindcast non hanno evidenziato correlazioni tali da giustificare l'utilizzo di analisi multivariate, come fatto invece per i parametri delle mareggiate. Si è invece proceduto in maniera alternativa. Una volta noti i valori progettuali di H_s e T_p nei quattro casi esaminati (due settori direzionali, due tempi di ritorno), si è provveduto a identificare le date durante le quali le caratteristiche del moto ondoso approssimassero al meglio quelli derivanti dai modelli statistici utilizzati. Noti gli istanti temporali, si sono dunque ritenuti i dati di velocità del vento corrispondenti, su finestre temporali di estensione pari alla durate D_s dei casi esaminati (ed esplicati nel paragrafo 4.2).

Le serie temporali di vento risultanti sono riportate nelle Figure 24 e 25.

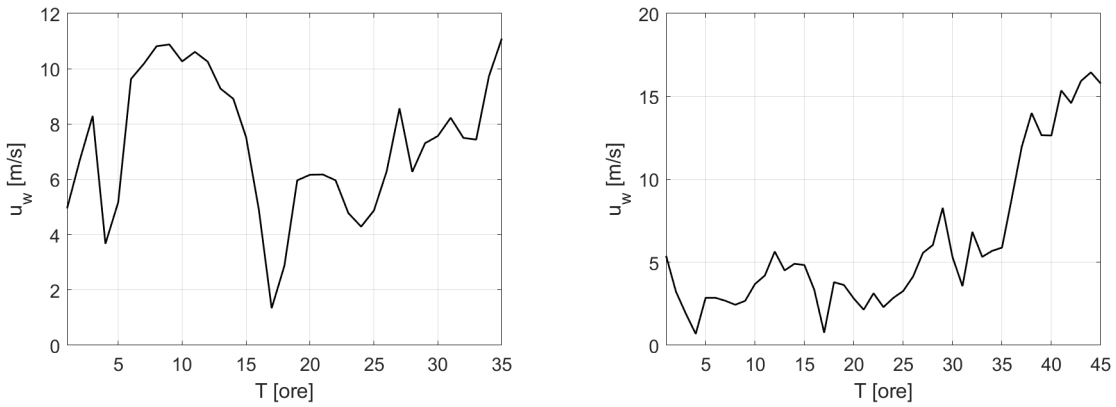


Figura 24: Evoluzione temporale delle velocità del vento per il settore di libeccio. Il pannello di sinistra mostra i risultati per un tempo di ritorno T_r pari a 5 anni. Il pannello di destra mostra i risultati per un tempo di ritorno T_r pari a 25 anni.

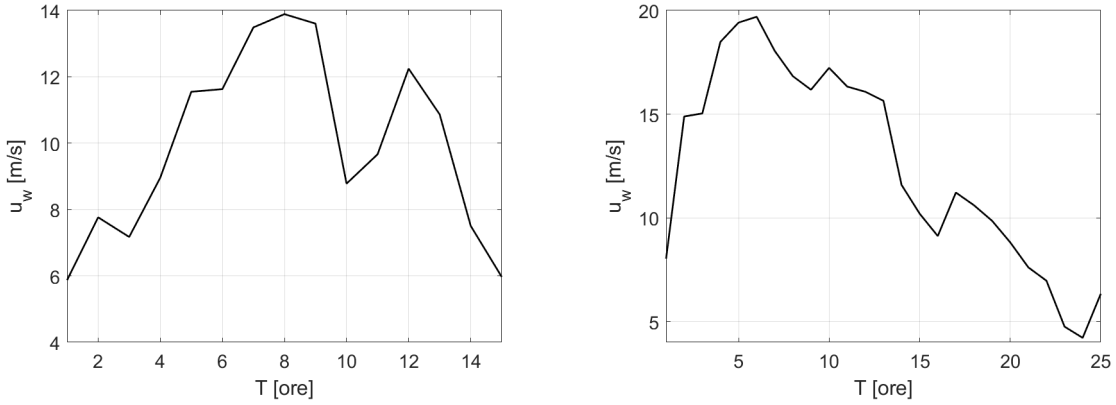


Figura 25: Evoluzione temporale delle velocità del vento per il settore di scirocco. Il pannello di sinistra mostra i risultati per un tempo di ritorno T_r pari a 5 anni. Il pannello di destra mostra i risultati per un tempo di ritorno T_r pari a 25 anni.

Nei paragrafi successivi verranno quindi descritti e analizzati i risultati ottenuti per i diversi scenari di libeccio e di scirocco nel caso di tempi di ritorno pari a 5 e 25 anni. Lo scopo è quello di identificare la dinamica della circolazione e quindi in secondo luogo della dispersione di una qualsiasi sostanza contaminante presente all'interno della baia. Tale analisi risulta di grande importanza nel caso in cui si voglia realizzare dei lavori si sistemazione del litorale e/o delle opere di protezione costiera, in quanto in seguito a un confronto quantitativo tra lo stato attuale e una eventuale configurazione di progetto sarà possibile valutare le eventuali variazioni della dinamica interna della baia. Il confronto tra diverse soluzioni progettuali potrà quindi rendere più agevole la scelta della configurazione ottimale in termini di protezione del litorale e di mantenimento della qualità dell'acqua.

4.3 Scenari di Libeccio

4.3.1 Senario di Libeccio - tempo di ritorno di 5 anni

In questo paragrafo si valutano le condizioni di circolazione dovute ad un'onda incidente di di libeccio avente tempo di ritorno pari a 5 anni. L'attacco non frontale alla costa dovuto a un'onda incidente determina una corrente lungocosta che tende a cambiare significativamente la dinamica all'interno della baia. In particolare, all'interno della baia nasce un vortice la cui intensità può variare in funzione dell'intensità del vento che spira sull'area in esame. Anche l'intensità della corrente lungocosta che si genera può subire delle variazioni in funzione dell'intesità del vento che lì agisce. La Figura 26 mostra chiaramente la presenza di una corrente lungocosta diretta verso est: la sua intensità può variare in funzione del tempo a causa dell'azione del vento.

La presenza del vortice all'interno della baia è resa più evidente dell'analisi della Figura 27 che mostra l'evolvere di una concentrazione inizialmente unitaria nel tempo. Si può apprezzare come la concentrazione non decresca uniformemente ma tenda a presentare un andamento fortemente asimmetrico causato dalla presenza del vortice. Si noti anche che, mentre nel caso di bonaccia la concentrazione fuoriuscita dalla baia tenda a diluirsi uniformemente nell'area prospiciente la bocca, nel presente caso la concentrazione tende ad essere immediatamente trasportata dalla corrente in direzione est.

Il tempo di residenza riflette ulteriormente la dinamica più complessa. Infatti, sebbene il tempo di residenza sia molto minore rispetto al caso di bonaccia, il picco lo si può apprezzare in corrispondenza del centro del vortice stesso, con valori massimi che sono prossimi alle 70 ore. I risultati sono mostrati in Figura 28.

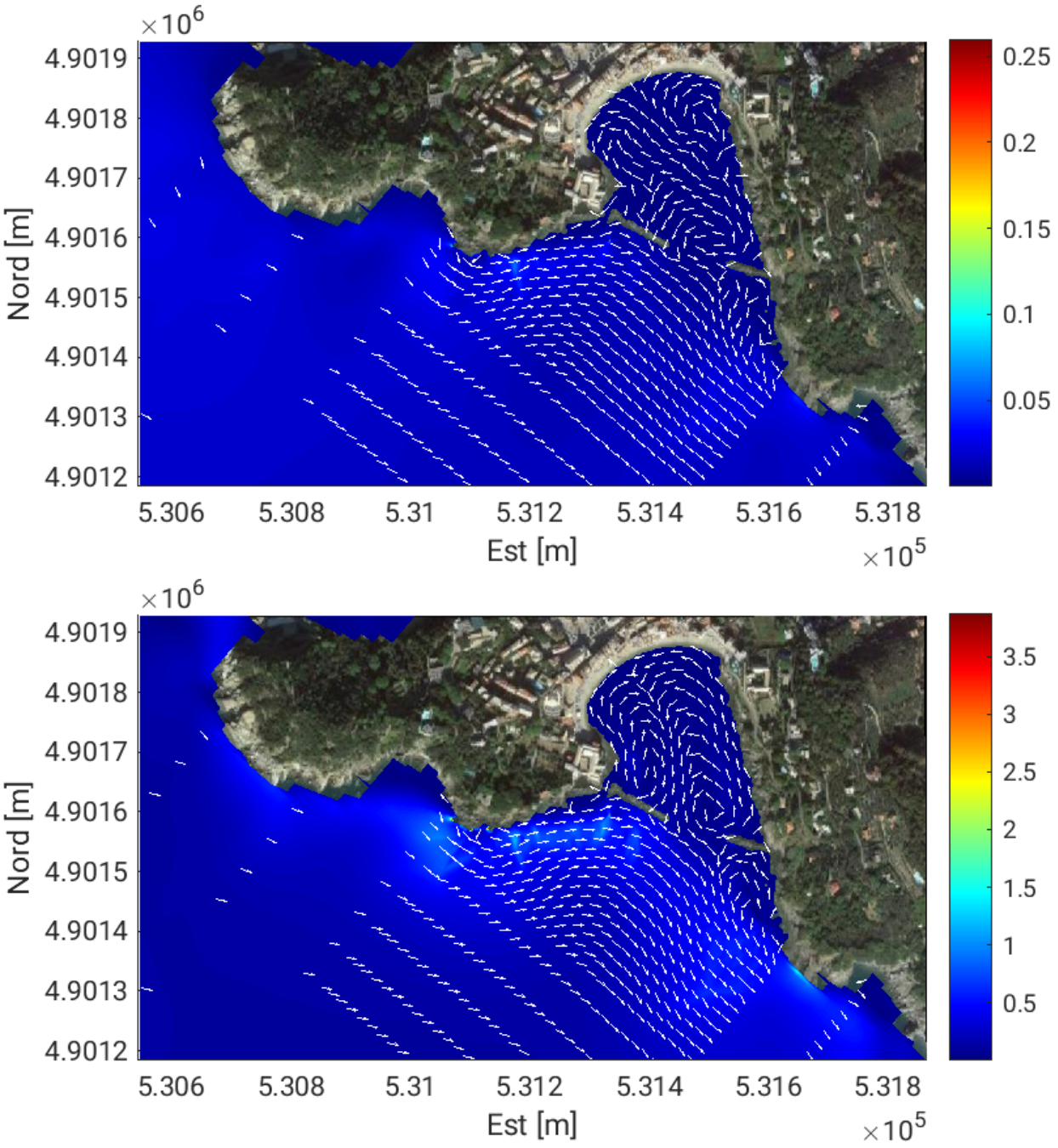


Figura 26: Velocità nel caso dello scenario di libeccio con tempo di ritorno di 5 anni. La dinamica è sensibilmente cambiata rispetto alle condizioni di bonaccia a causa della presenza di una corrente lungocosta che genera un vortice all'interno della baia stessa.

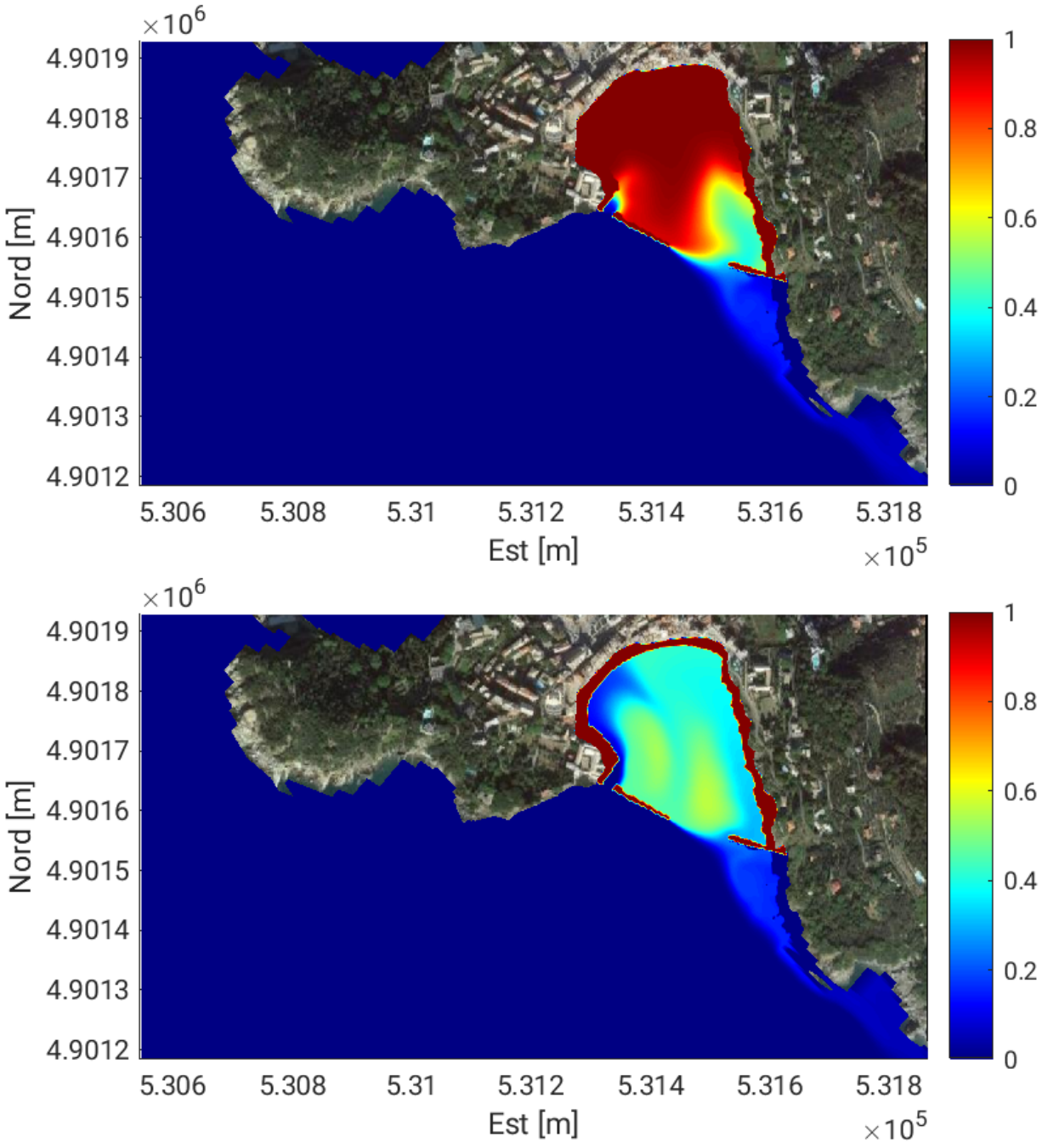


Figura 27: Diluizione di una concentrazione inizialmente unitaria col passare del tempo al fine di valutare il tempo di residenza. Le due figure si riferiscono a due istanti di tempo diversi il cui la concentrazione iniziale è già decaduta. Si noti come il decadimento della concentrazione iniziale sia particolarmente asimmetrico a causa di una dinamica all'interno della baia più complessa rispetto alla condizione di bonaccia precedentemente studiata. Le immagini si riferiscono allo scenario di libeccio con tempo di ritorno di 5 anni.

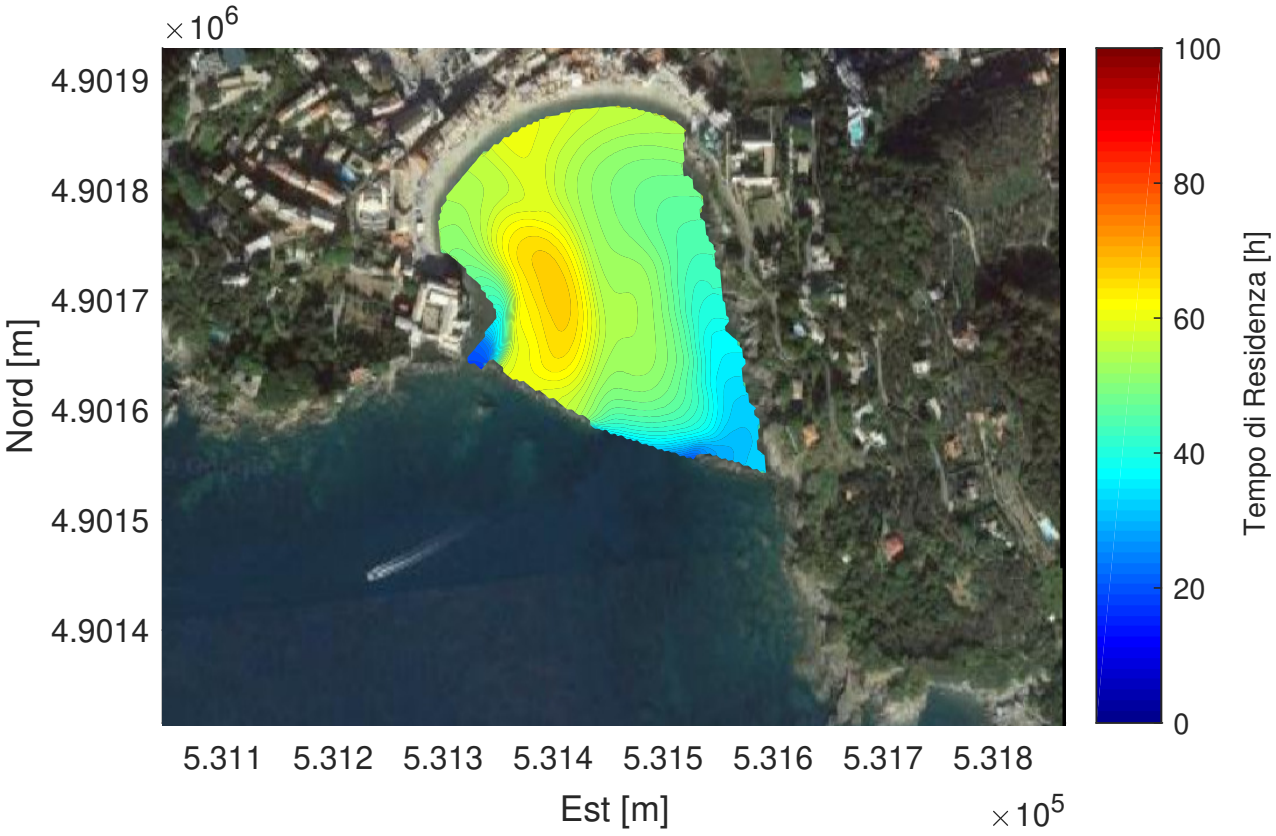


Figura 28: Tempo di residenza nelle condizioni di libeccio con un tempo di ritorno di 5 anni. Si noti che il tempo massimo raggiunge valori prossimi alle 70 ore in corrispondenza del centro del vortice.

4.3.2 Scenario di Libeccio - tempo di ritorno di 25 anni

In questo paragrafo si valutano le condizioni di circolazione dovute ad un'onda incidente di di libeccio avente tempo di ritorno pari a 25 anni. Le condizioni risultano essere analoghe a quelle precedenti aventi tempo di ritorno di 5 anni. La dinamica della circolazione risulta però più intensa rispetto al caso precedente in quanto la forzante dovuta al moto risulta maggiormente energetica rispetto all'evento con cinque anni di periodo di ritorno. In particolare le velocità che si sviluppano all'interno della baia e lungo la costa all'esterno della baia risultano essere maggiori rispetto a quelle del caso precedente, come è mostrato in Figura 29. In conseguenza di ciò, la diluizione della concentrazione visibile in Figura 30 risulta essere più rapida e il tempo di residenza, sebbene presenti una distribuzione all'interno della baia simile a quella del caso precedente, raggiunge valori minori e non superiori alle 60 ore, come è apprezzabile dalla Figura 31. Anche in questo caso la presenza di un vortice può ben essere determinata dal picco del tempo di residenza.

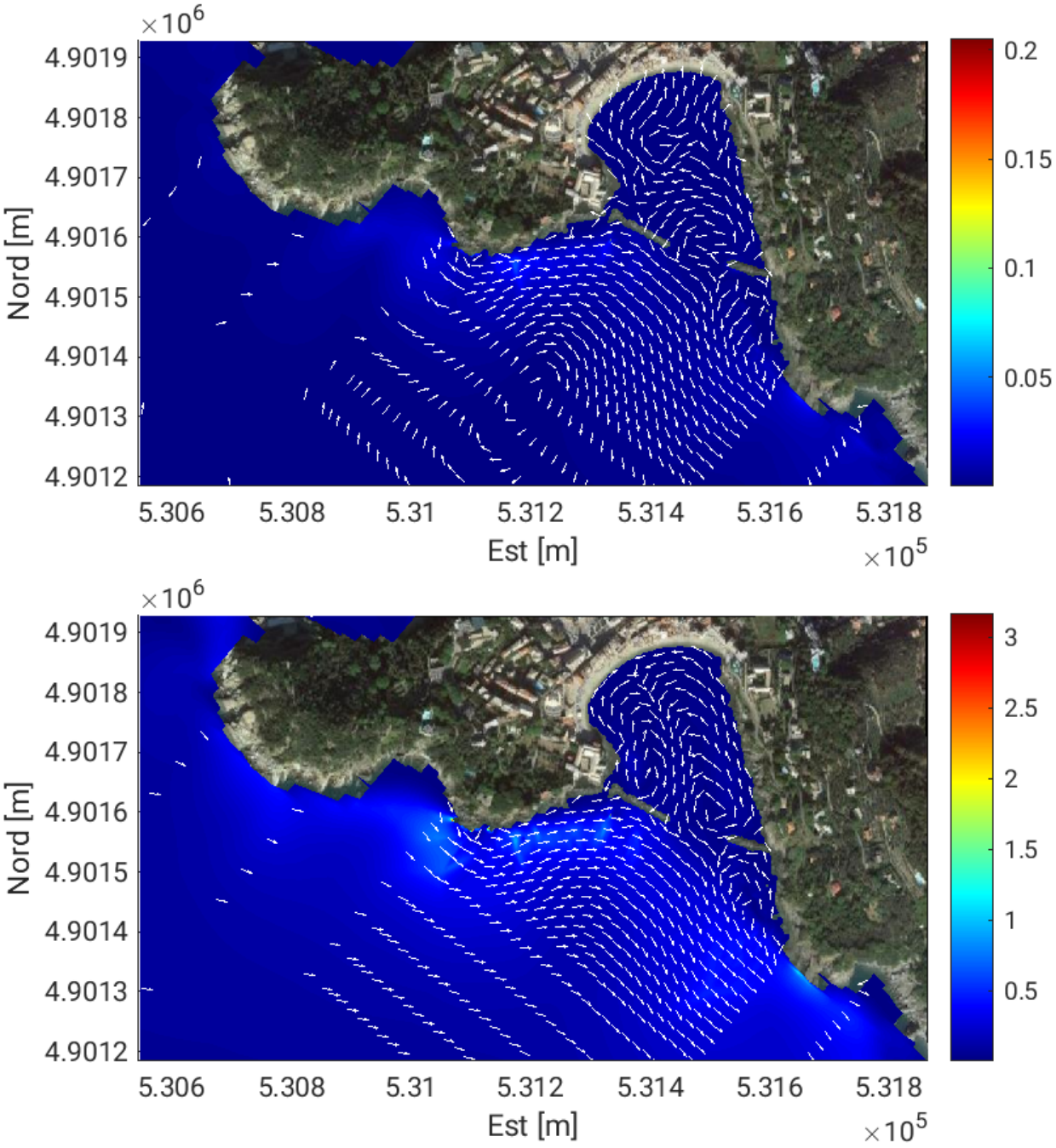


Figura 29: Velocità nel caso dello scenario di libeccio con tempo di ritorno di 25 anni. La dinamica è sensibilmente cambiata rispetto al caso di bonaccia a causa della presenza di una corrente lungocosta che genera un vortice all'interno della baia stessa. Inoltre, le velocità raggiunte risultano essere maggiori rispetto a quelle dello scenario di libeccio con tempo di ritorno di 5 anni perchè la mareggiata simulata risulta essere più energetica.

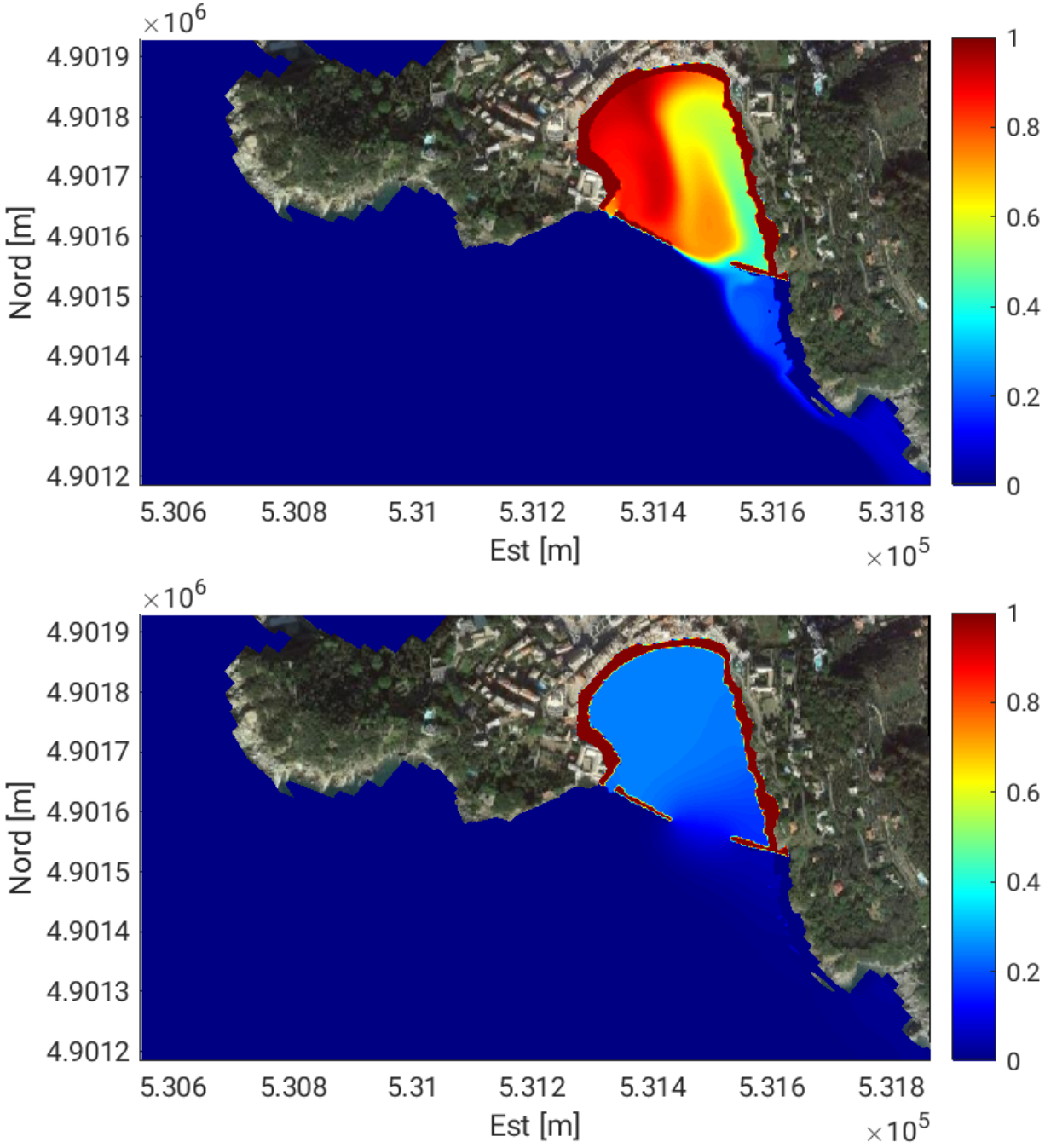


Figura 30: Diluizione di una concentrazione inizialmente unitaria col passare del tempo al fine di valutare il tempo di residenza. Le due figure si riferiscono a due istanti di tempo diversi il cui la concentrazione iniziale è già decaduta. Si noti come il decadimento della concentrazione iniziale sia particolarmente asimmetrico a causa di una dinamica all'interno della baia più complessa rispetto alla condizione di bonaccia precedentemente studiata. Inoltre, la dinamica risulta accelerata rispetto al caso con un tempo di ritorno di 5 anni.

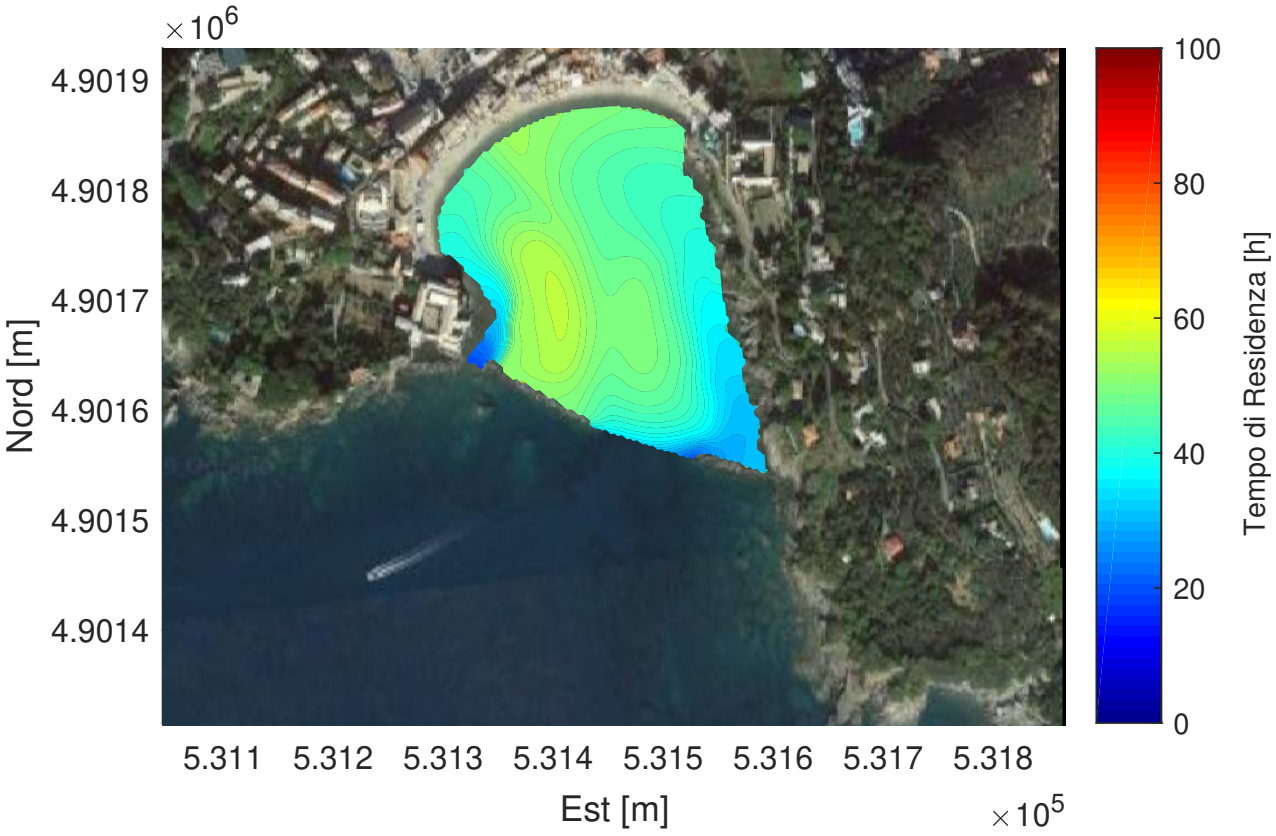


Figura 31: Tempo di residenza nelle condizioni di libeccio con un tempo di ritorno di 25 anni. Si noti che il valore massimo raggiunge valori prossimi alle 60 ore in corrispondenza del centro del vortice.

4.4 Scenari di Scirocco

4.4.1 Scenario di Scirocco - tempo di ritorno di 5 anni

In questo paragrafo si valutano le condizioni di circolazione dovute ad un'onda incidente di scirocco avente tempo di ritorno pari a 5 anni. La baia, per la sua configurazione geografica, risulta essere particolarmente esposta agli eventi provenienti da scirocco in quanto la bocca compresa tra i moli di protezioni e orientata verso sud e le onde provenienti dal settore Sud-Est non sono schermate da elementi geografici come nel caso degli eventi provenienti da Sud-Ovest (libeccio). A causa di queste condizioni particolari di esposizione della baia, le correnti, e quindi la dinamica della circolazione, risultano pi intense e maggiormente dinamiche rispetto alle condizioni di libeccio. Inoltre anche l'evoluzione spazio-temporale della dispersione di eventuali traccianti passivi risulta maggiormente complessa rispetto ai casi precedenti forzati da libeccio. L'interazione del moto ondoso e della corrente litorale generata dal moto ondoso stesso e le strutture di protezione della baia provoca infatti la generazione di strutture vorticose localizzate a valle delle strutture stesse. In particolare stazionano due vortici in corrispondenza delle estremità delle barriere di massi all'interno della baia; il vortice di ponente risulta essere più persistente e il suo effetto risulta in un "intrappolamento" maggiore rispetto al vortice di levante. La presenza di tali vortici risulta essere molto più estesa rispetto al caso di libeccio con correnti che possono variare non solo di intensità ma anche di direzione come mostrato in Figura 32. In conseguenza di ciò, la diluizione della concentrazione visibile in Figura 33 risulta essere più rapida e il tempo di residenza, sebbene mantenga una conformazione simile a quella dei casi precedenti, raggiunge valori minori e non superiori alle 40 ore, come è apprezzabile dalla Figura 34. Anche in questo caso la presenza di un vortice può ben essere determinata dal picco del tempo di residenza.

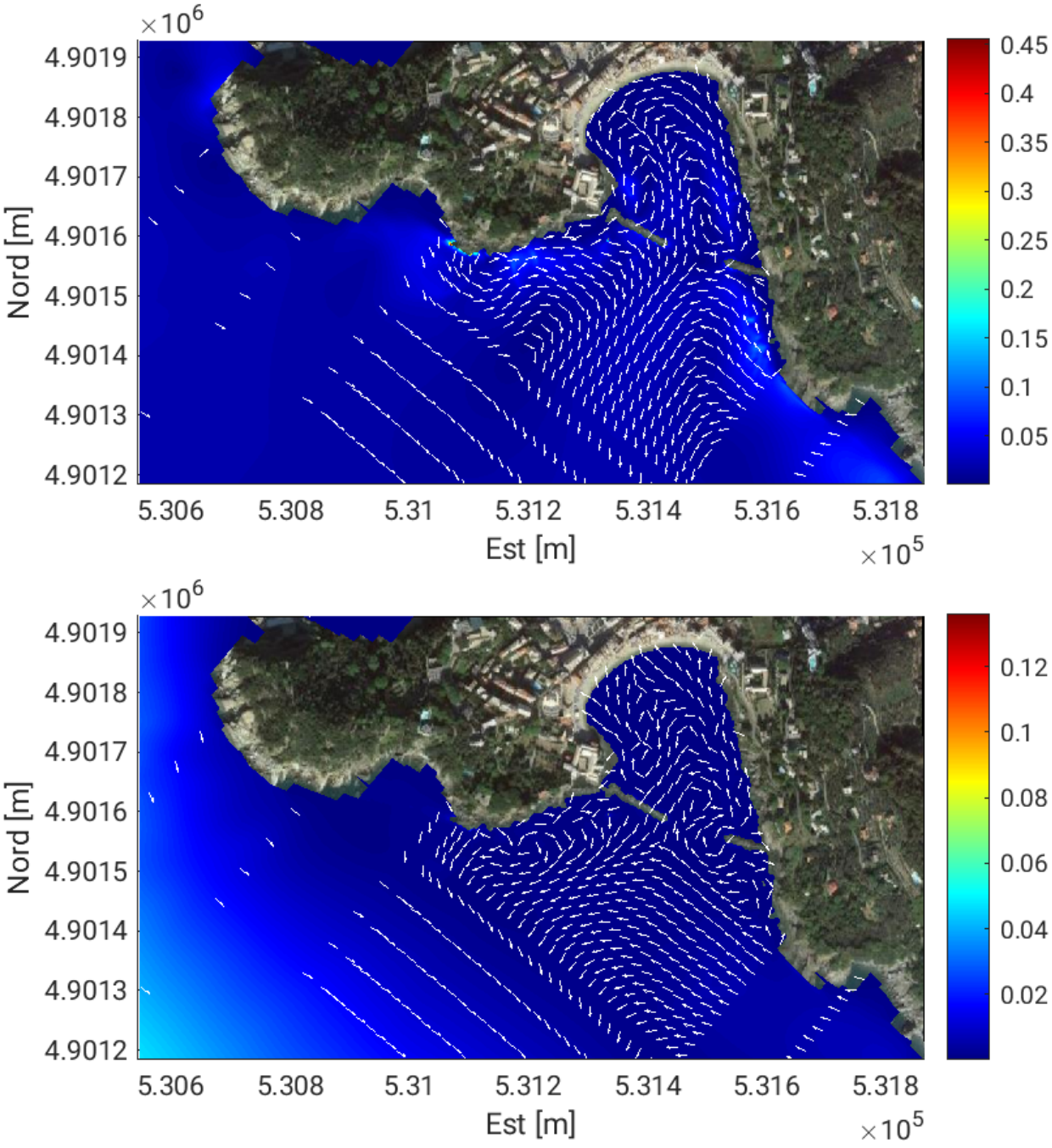


Figura 32: Velocità nel caso dello scenario di scirocco con tempo di ritorno di 5 anni. La dinamica è sensibilmente cambiata a causa del fatto che la baia risulta particolarmente esposta a scirocco. Il risultato è una dinamica caratterizzata anche da variazioni di direzione della corrente.

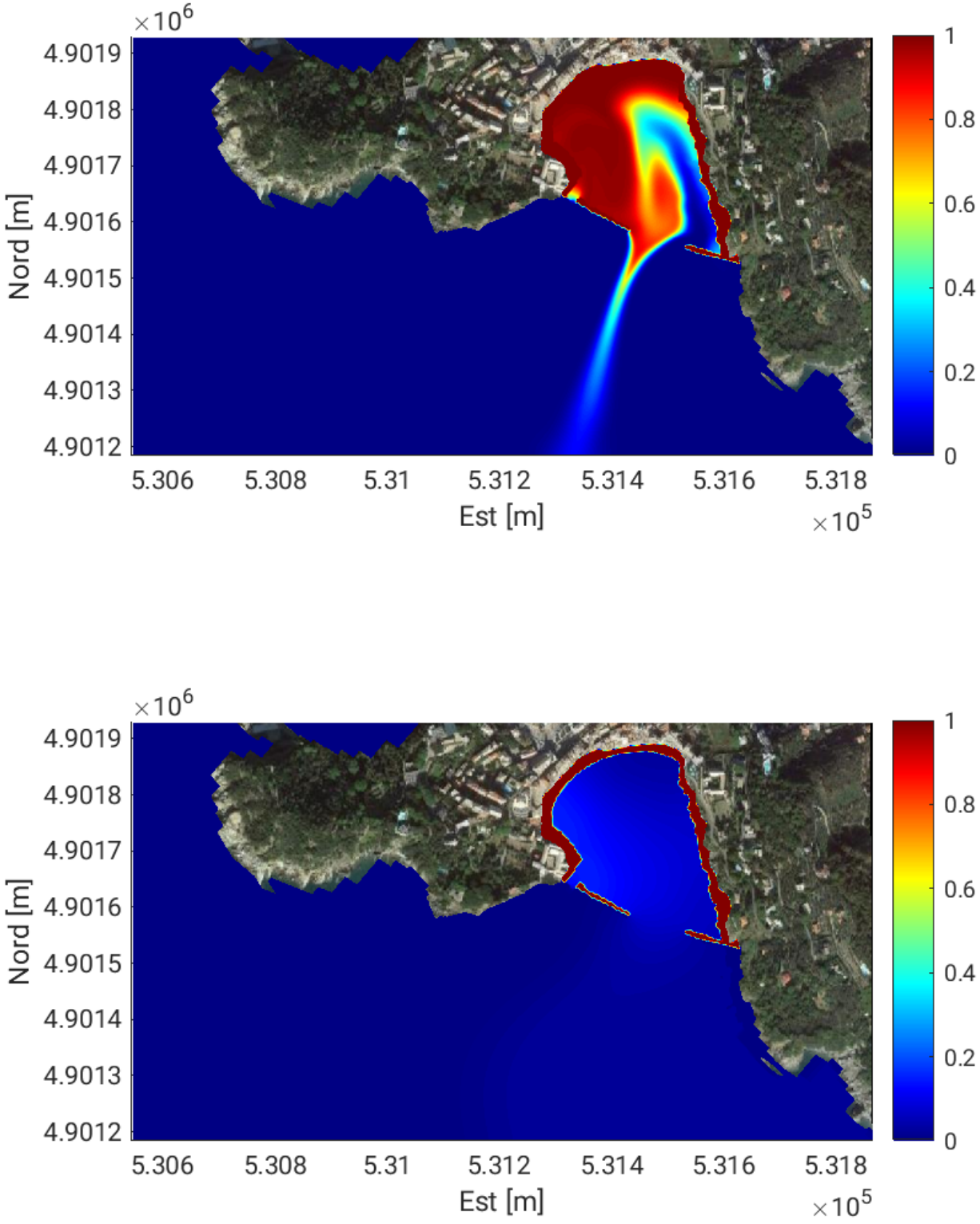


Figura 33: Diluizione di una concentrazione inizialmente unitaria col passare del tempo al fine di valutare il tempo di residenza. Le due figure si riferiscono a due istanti di tempo diversi il cui la concentrazione iniziale è già decaduta. Si noti come il decadimento della concentrazione iniziale sia particolarmente asimmetrico a causa di una dinamica all'interno della baia più complessa rispetto alla condizione di bonaccia precedentemente studiata. Inoltre, nasce un flusso uscente dalla baia e ben visibile a partire dalla bocca. Le condizioni si riferiscono allo scenario di libeccio con tempo di ritorno di 5 anni.

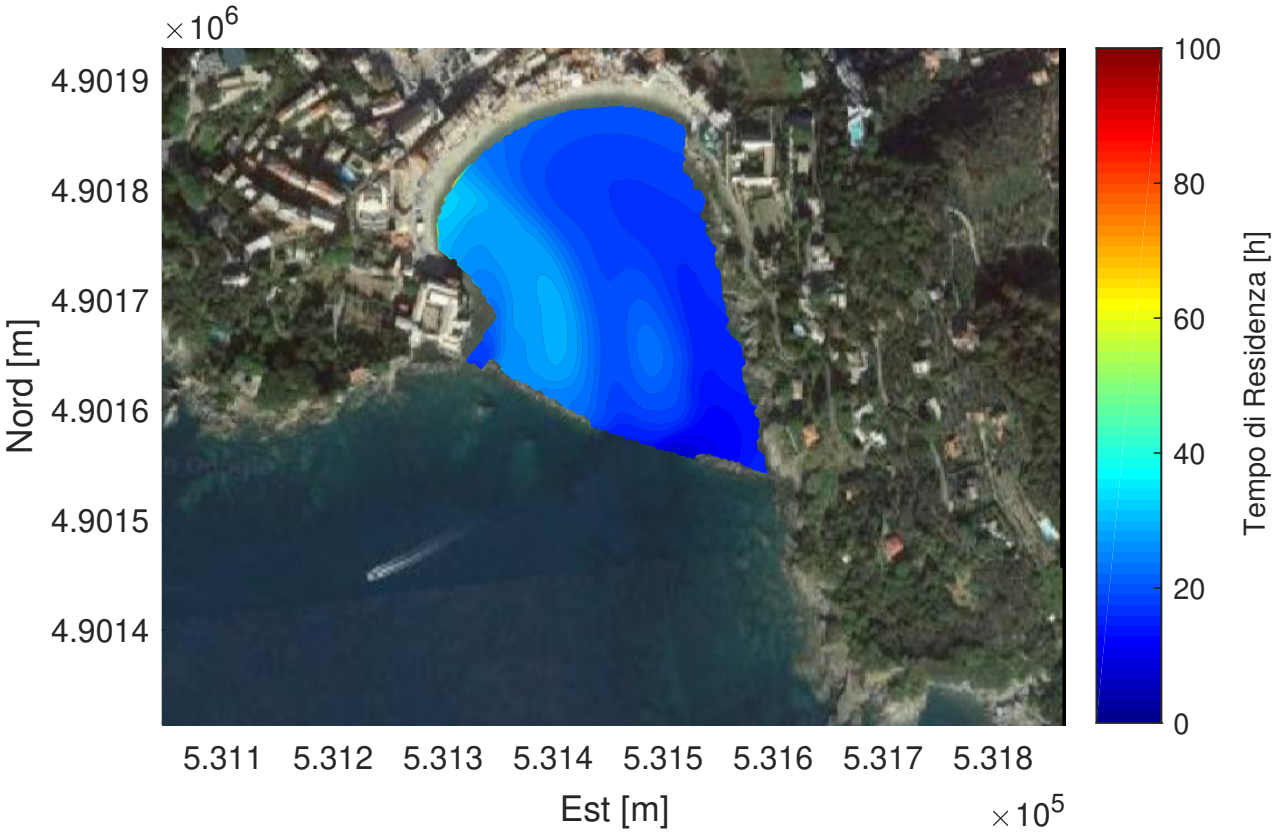


Figura 34: Tempo di residenza nelle condizioni di scirocco con un tempo di ritorno di 5 anni. Si noti che il valore massimo raggiunge valori prossimi alle 40 ore in corrispondenza del centro del vortice.

4.4.2 Scenario di Scirocco - tempo di ritorno di 25 anni

In questo paragrafo si valutano le condizioni di circolazione dovute ad un'onda incidente di scirocco avente tempo di ritorno pari a 25 anni. Le condizioni di circolazione risultano essere dinamicamente più complesse dal punto di vista dell'evoluzione spazio-temporale rispetto al caso analizzato precedentemente con un tempo di ritorno pari a 5 anni. La presenza di vortici risulta essere molto più estesa rispetto al caso di libeccio e con correnti più intense rispetto al caso precedente di scirocco. Il risultato è mostrato in Figura 35. In conseguenza di ciò, la diluizione della concentrazione visibile in Figura 36 risulta essere più rapida e il tempo di residenza, sebbene mantenga una conformazione planare simile a quella dei casi precedenti, raggiunge valori minori e non superiori alle 30 ore, come è apprezzabile dall Figura 37. Anche in questo caso la presenza di un vortice può ben essere determinata dal picco del tempo di residenza.

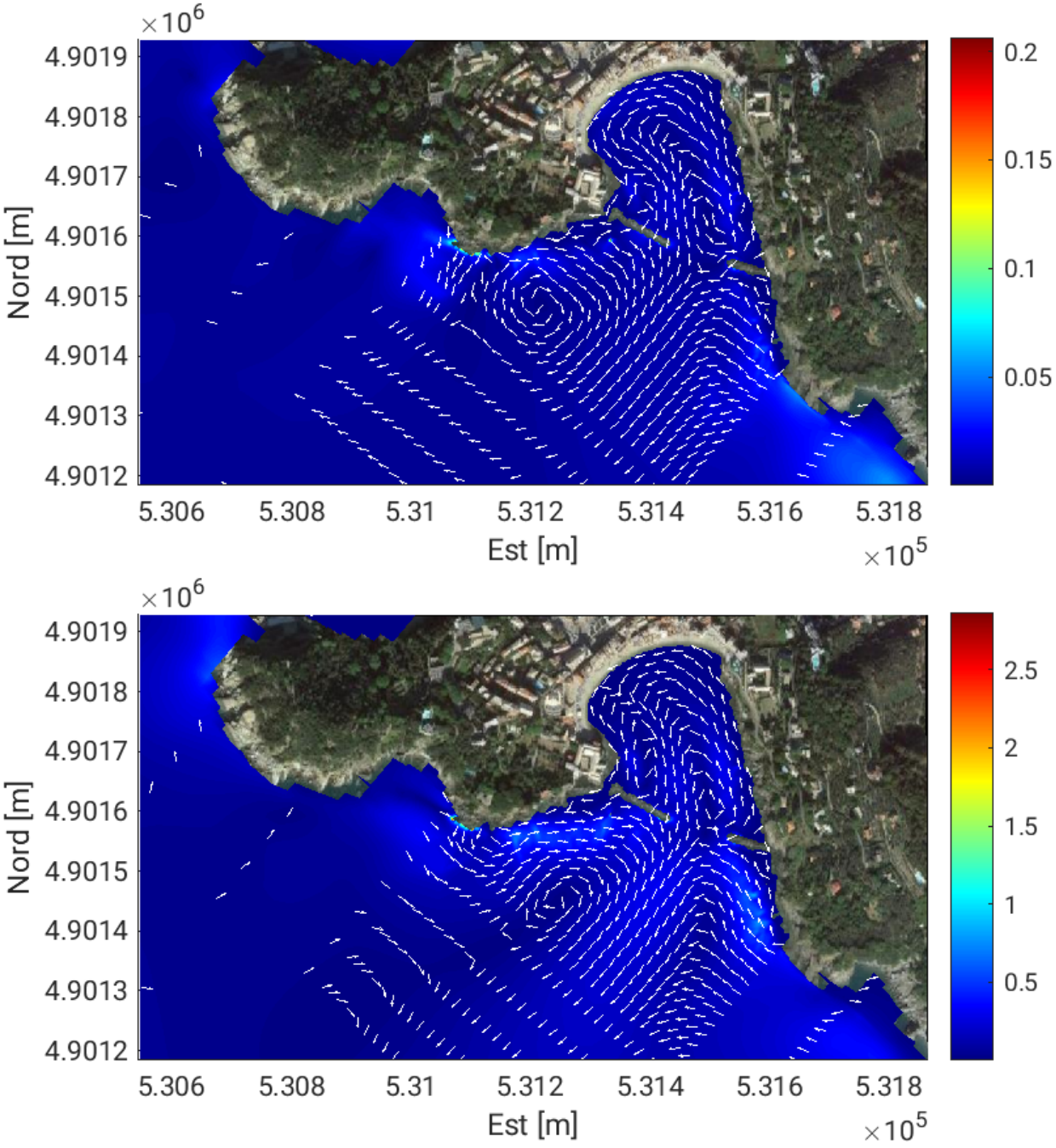


Figura 35: Velocità nel caso dello scenario di scirocco con tempo di ritorno di 25 anni. La dinamica risulta accelerata rispetto al caso con tempo di ritorno di 5 anni.

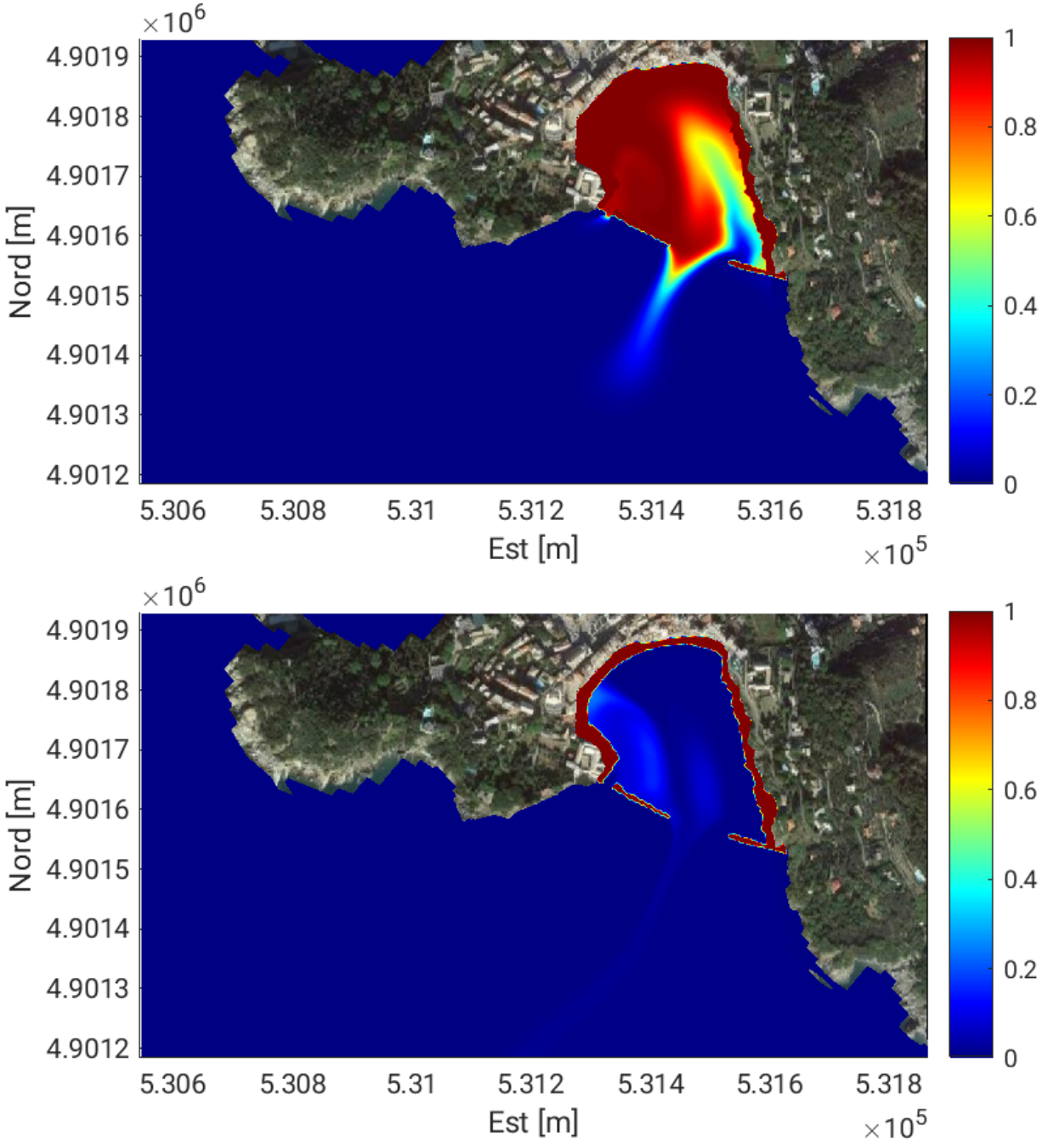


Figura 36: Diluizione di una concentrazione inizialmente unitaria col passare del tempo al fine di valutare il tempo di residenza. Le due figure si riferiscono a due istanti di tempo diversi il cui la concentrazione iniziale è già decaduta. Le figure si riferiscono allo scenario di scirocco con tempo di ritorno di 25 anni.



Figura 37: Tempo di residenza nelle condizioni di scirocco con un tempo di ritorno di 25 anni. Si noti che il valore massimo raggiunge valori prossimi alle 30 ore in corrispondenza del centro del vortice.

4.5 Agitazione Ondosa all'interno della Baia del Silenzio

Come illustrato in precedenza, per poter procedere all'analisi delle condizioni del moto ondoso all'interno della baia ai fini di gestione della fascia costiera e ai fini di protezione civile, risulta necessario poter descrivere l'evoluzione spazio-temporale della superficie del mare nella fase dell'onda, ovvero poter risolvere in maniera dettagliata l'evoluzione e l'interazione delle singole onde all'interno della Baia del Silenzio. L'utilizzo di un codice numerico in grado di risolvere questo tipo di dinamica ha permesso quindi di simulare la dinamica in corrispondenza della baia delle delle mareggiate avvenute dal 27 ottobre al 2 novembre 2008, dal 30 dicembre al 5 gennaio 2010 e dal 27 ottobre al 2 novembre 2018. Nel seguito vengono analizzati i risultati ottenuti per ogni mareggiata con una attenzione particolare agli aspetti legati alla risalita delle onde sulla spiaggia emersa (run-up) al fine di fornire delle stime della pericolosità di tali eventi per quanto riguarda l'inondazione costiera e del centro storico di Sestri Levante, e a quelli legati alle massime agitazioni ondose verificatesi all'interno della baia in corrispondenza del "campo boe" per poter fornire degli elementi quantitativi per una eventuale progettazione di dettaglio degli ormeggi per le imbarcazioni da diporto. In particolare, vengono fornite le serie temporali della massima risalita del moto ondoso sulla spiaggia emersa in una serie di punti distribuita lungo il litorale e viene calcolato l'inviluppo dei massimi livelli raggiunti dai picchi del moto ondoso all'interno della baia. I punti in cui è stata valutata la risalita del moto ondoso sono mostrati in Figura 38 con un cerchio rosso. Tali punti sono stati adottati per la simulazione di tutti e tre gli eventi selezionati per meglio poter realizzare un confronto delle conseguenze in termini di inondazione costiera tra le diverse forzanti meteorologiche.

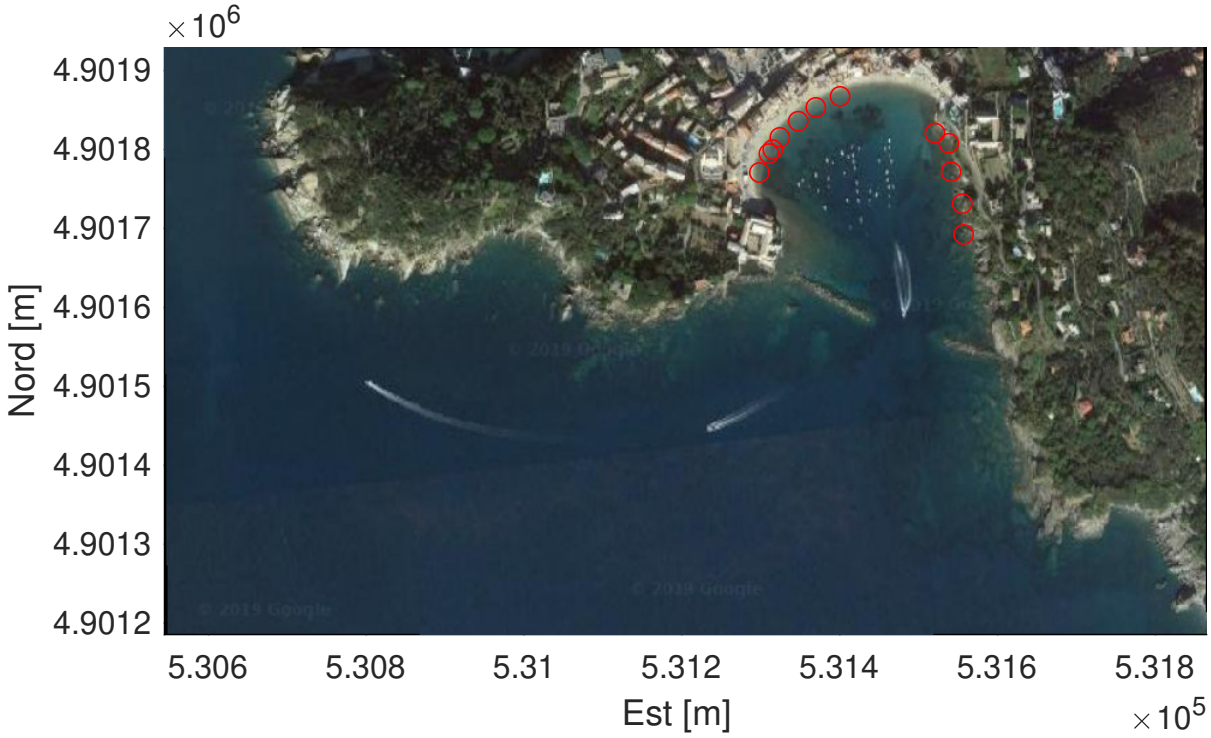


Figura 38: Disposizione dei punti su cui si è valutato il run-up per le tre mareggiate in esame.

4.5.1 Mareggiata 27 ottobre - 2 novembre 2008

La mareggiata del 2008 è insistita sulla costa ligure dal 27 ottobre 2008 al 2 novembre 2008. La Figura 39 mostra l'altezza d'onda significativa e la direzione di provenienza del moto ondoso nella zona prospiciente la Baia del Silenzio in seguito alla propagazione dei dati d'onda con il modello SWAN dal largo verso riva. In particolare, i valori del moto ondoso estratti in corrispondenza del punto hindcast DICCA 000264 (cfr. Figura 4) per le date relative alla mareggiata sono stati propagati sottocosta fino al contorno del dominio di calcolo del modello numerico della baia al fine di descrivere le eventuali trasformazioni delle onde dal largo a riva dovute all'interazione con la batimetria. In Figura 40 viene riportata ad esempio l'elevazione della superficie libera all'interno del dominio di calcolo. Valori massimi e minimi corrispondono all'oscillazione della superficie libera rispetto al livello di quiete. La distanza cresta cavo rappresenta l'altezza d'onda. È possibile osservare in maniera piuttosto chiara il susseguirsi delle creste e dei cavi d'onda, il processo di diffrazione all'interno della baia e l'interazione con la batimetria e la costa che porta alla concentrazione di energia nelle zone di basse profondità e alla riflessione quasi totale del moto ondoso nei tratti di costa ove sono presenti delle falesie a picco sul mare. L'inviluppo dei massimi è riportato in Figura 41 dove si riporta punto per punto il massimo valore di escursione della superficie libera che si raggiunge durante la mareggiata stessa. Nello stesso grafico è riportato anche la delimitazione del campo boe presente all'interno della baia.

Il run-up che si ottiene per i punti descritti in Figura 38 è riportato in Figura 40. I punti sono associati alle figure in senso orario. I valori massimi raggiunti superano il metro e mezzo, valori elevati in considerazione delle piccole dimensioni della baia e della piccola distanza che intercorre tra le costruzioni e la linea di riva. Il valore massimo di run-up è sintetizzato nella Figura 41 in cui la massima risalita è rappresentata con un colore corrispondente e nel punto spaziale della baia corrispondente.

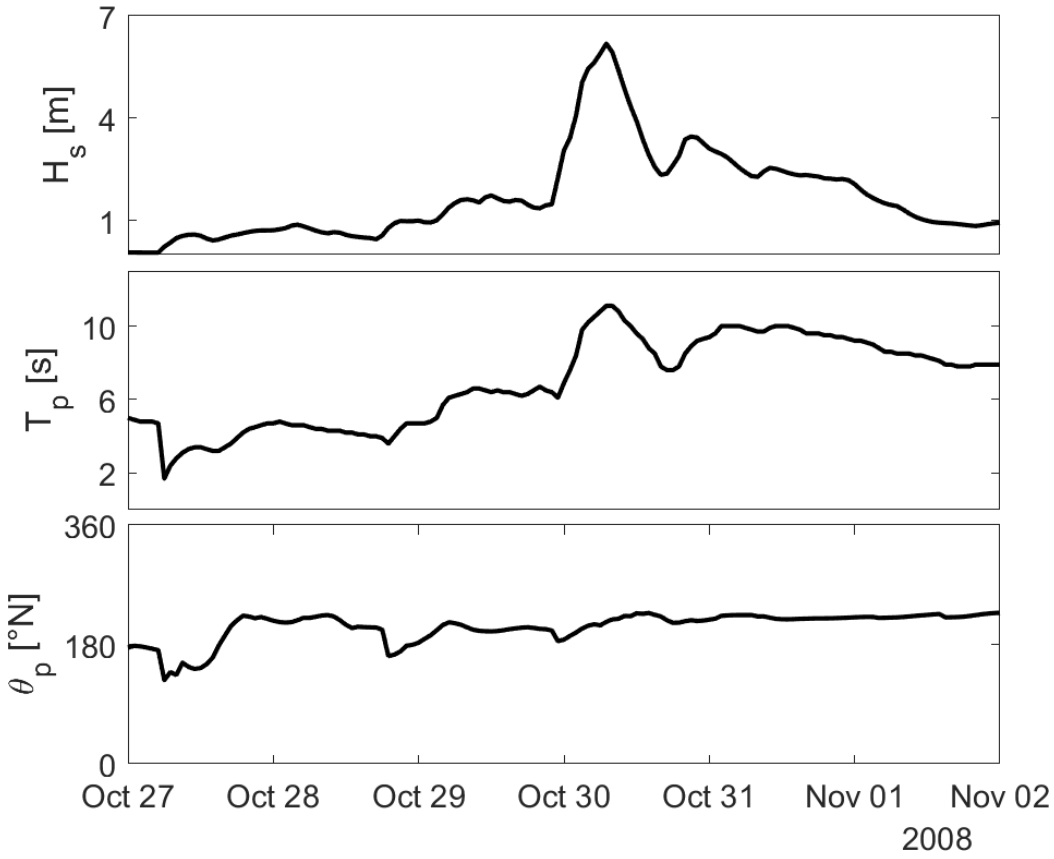


Figura 39: Altezza d'onda significativa H_s, periodo di picco T_p e direzione di picco θ_p nella zona prospiciente la baia per la mareggiata del 2008.

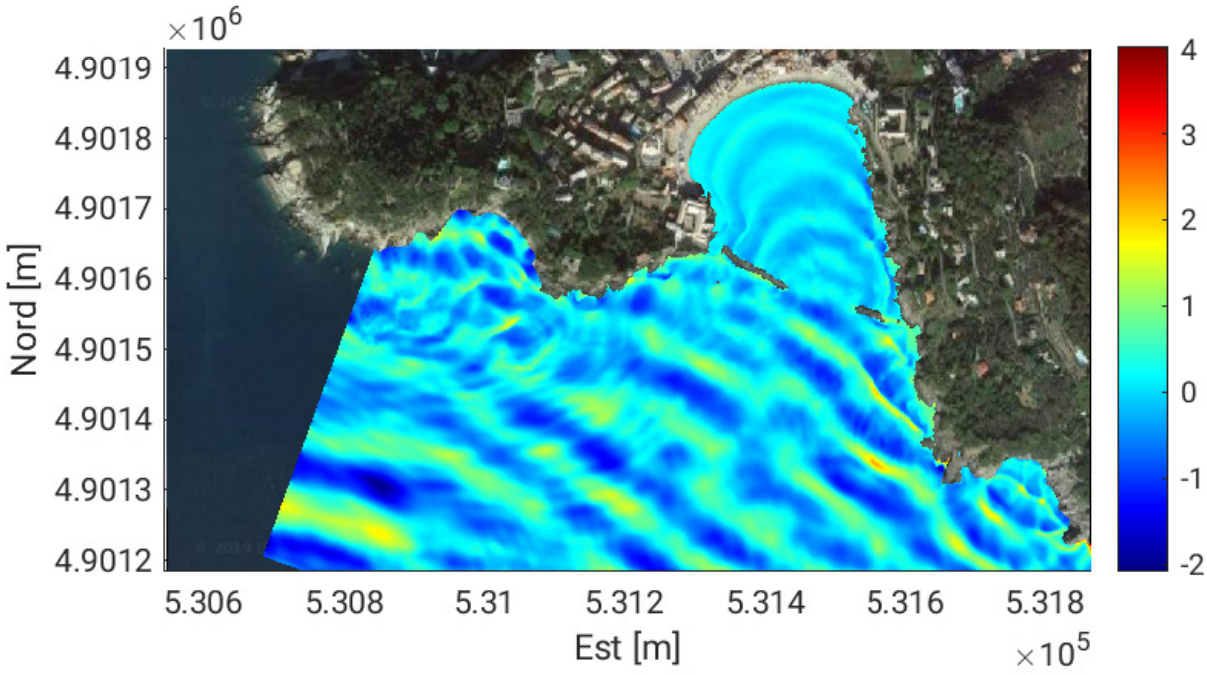


Figura 40: Superficie libera per un istante temporale della simulazione della mareggiata del 2008. Si noti l'effetto della diffrazione all'interno della baia stessa molto ben rappresentato dal modello numerico.

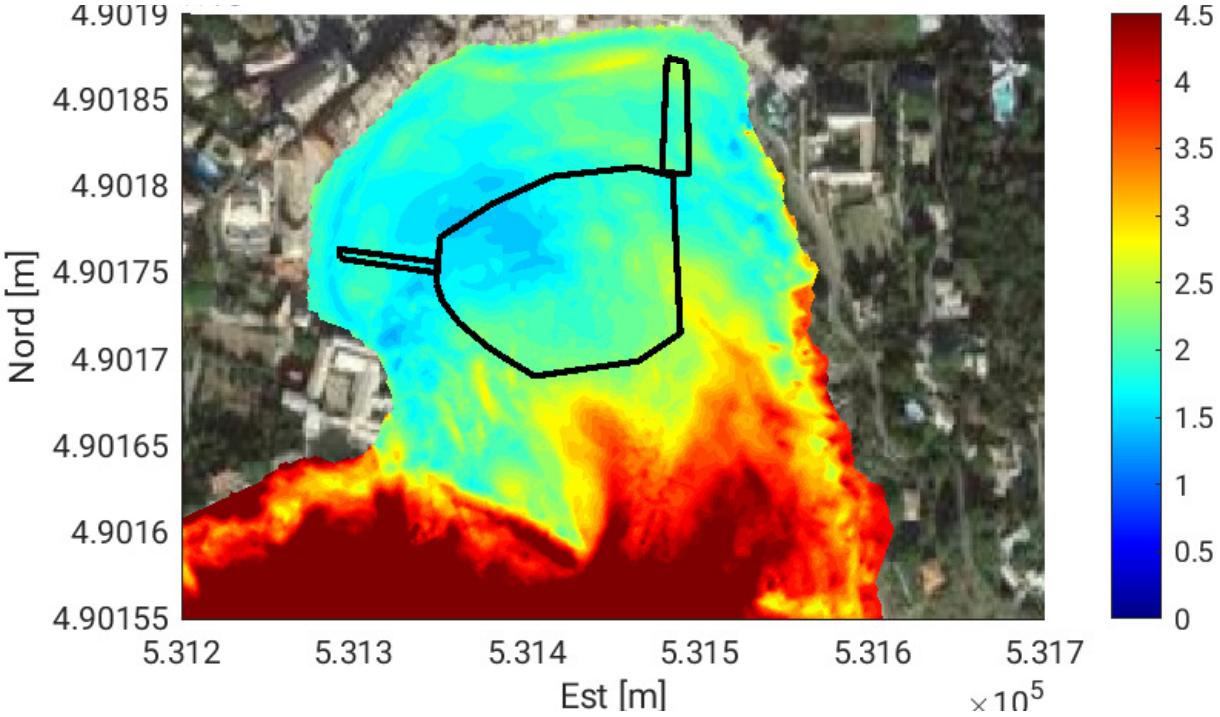
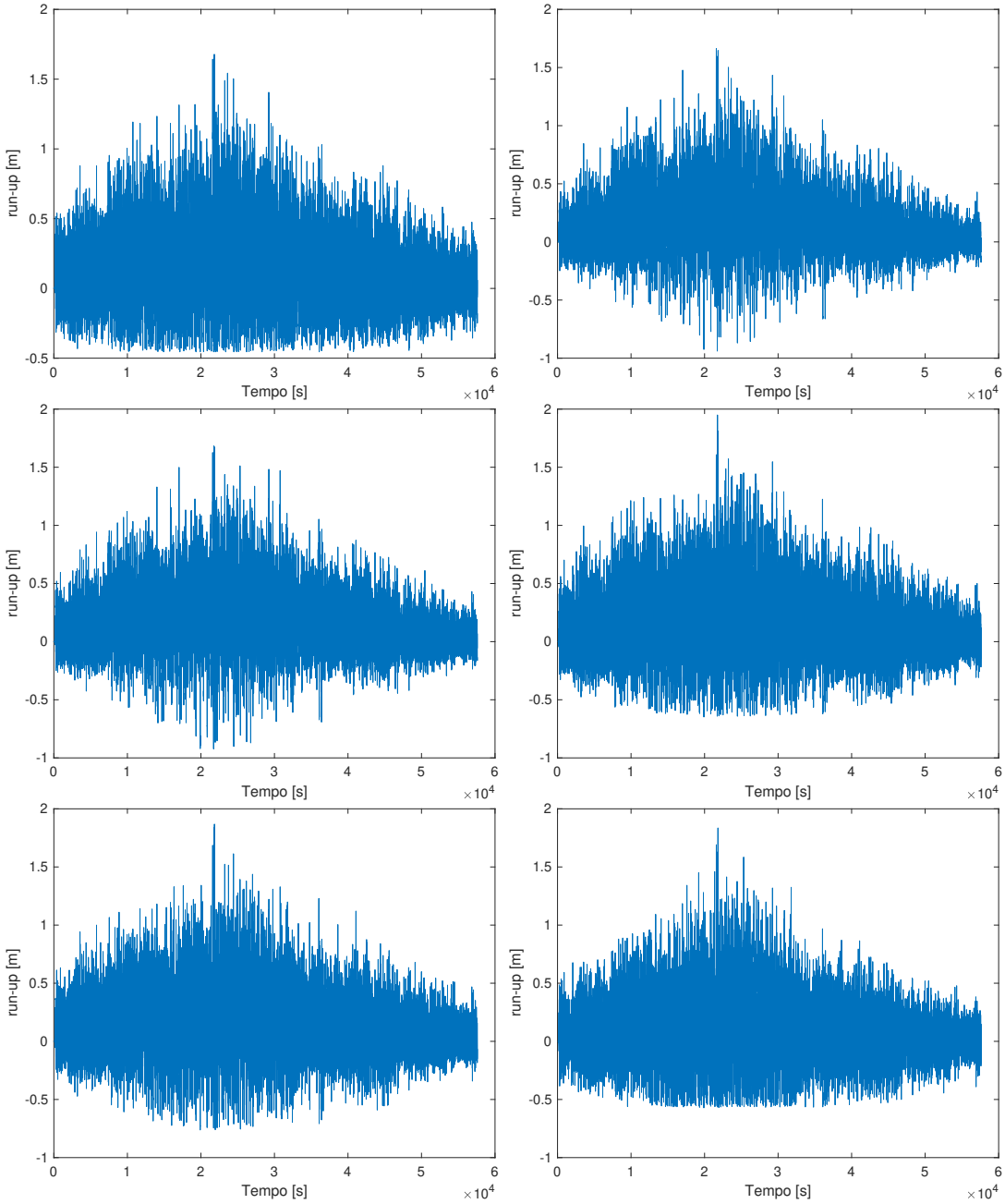


Figura 41: Inviluppo della massima escursione della superficie libera per la baia e la zona prospiciente per la mareggiata del 2008.


run-up [m]
Tempo [s]
×10^4

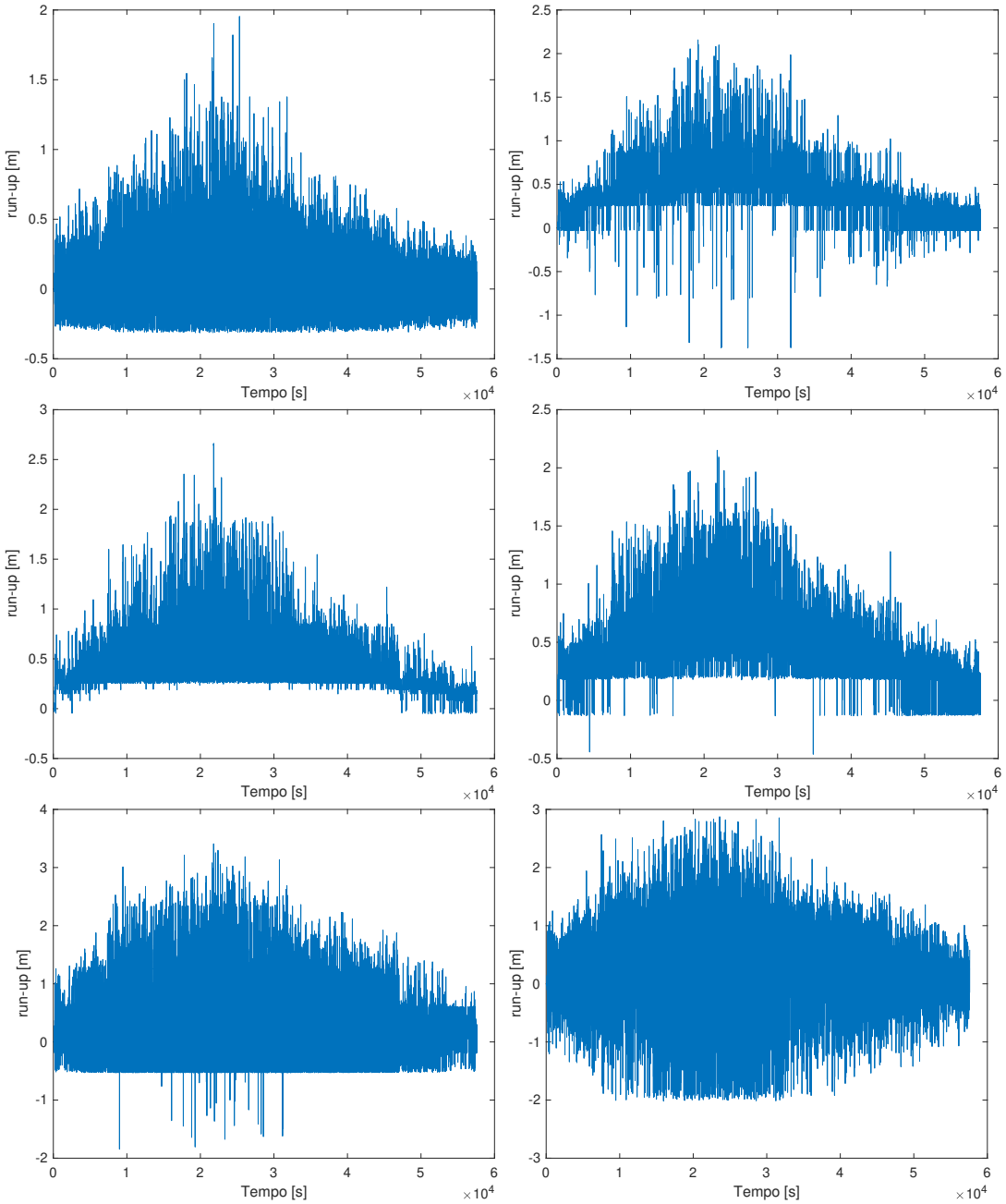


Figura 40: Run-up per i punti di Figura 38 associati alla mareggiata del 2008.

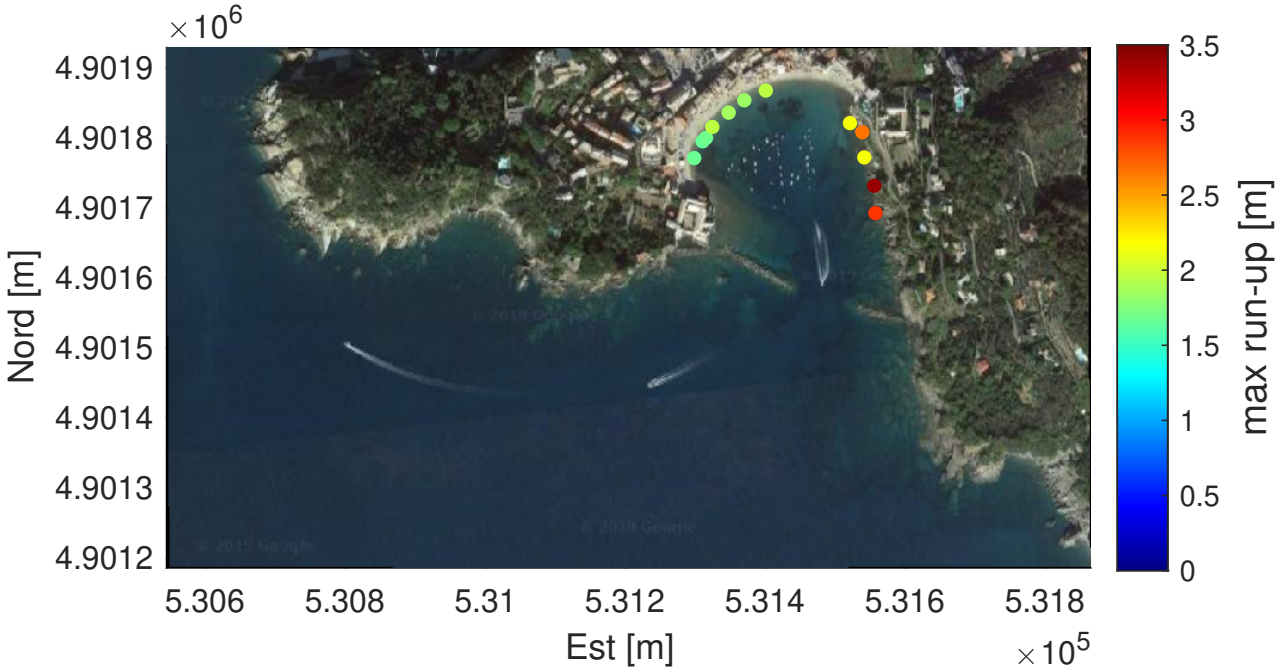


Figura 41: Massimo valore del run-up per i punti scelti per la mareggiata del 2008.

4.5.2 Mareggiata 30 dicembre 2009 - 5 gennaio 2010

La mareggiata del 2010 è insistita sulla costa ligure dal dal 30 dicembre 2009 al 5 gennaio 2010. La Figura 42 mostra l'altezza d'onda significativa e la direzione di provenienza del moto ondoso nella zona prospiciente la Baia del Silenzio in seguito alla propagazione dei dati d'onda con il modello SWAN dal largo verso riva. La Figura 43 mostra un istante temporale e la superficie libera con le onde che si propagano verso la baia. L'inviluppo dei massimi è riportato in Figura 44 dove si riporta punto per punto il massimo valore di escursione della superficie libera che si raggiunge durante la mareggiata stessa. Il run-up che si ottiene per i punti descritti in Figura 38 è riportato in Figura 43. I valori di run-up e di inviluppo massimo risultano essere più contenuti rispetto alla mareggiata del 2010. Il valore massimo di run-up è sintetizzato nella Figura 44 in cui la massima risalita è rappresentata con un colore corrispondente e nella punto spaziale della baia corrispondente. È possibile osservare come, nonostante la mareggiata del 2010 sia stata particolarmente significativa per la costa ligure, il paraggio della baia del silenzio sia stato colpito in maniera contenuta dai marosi della mareggiata stessa in quanto la direzione di provenienza era caratterizzata da una forte inclinazione da libeccio e inoltre le altezze d'onda erano minori rispetto al 2008. Gli effetti in termini di inviluppo di elevazione della superficie libera e di risalita del moto ondoso risultano quindi maggiormente contenuti rispetto all'evento dle 2008.

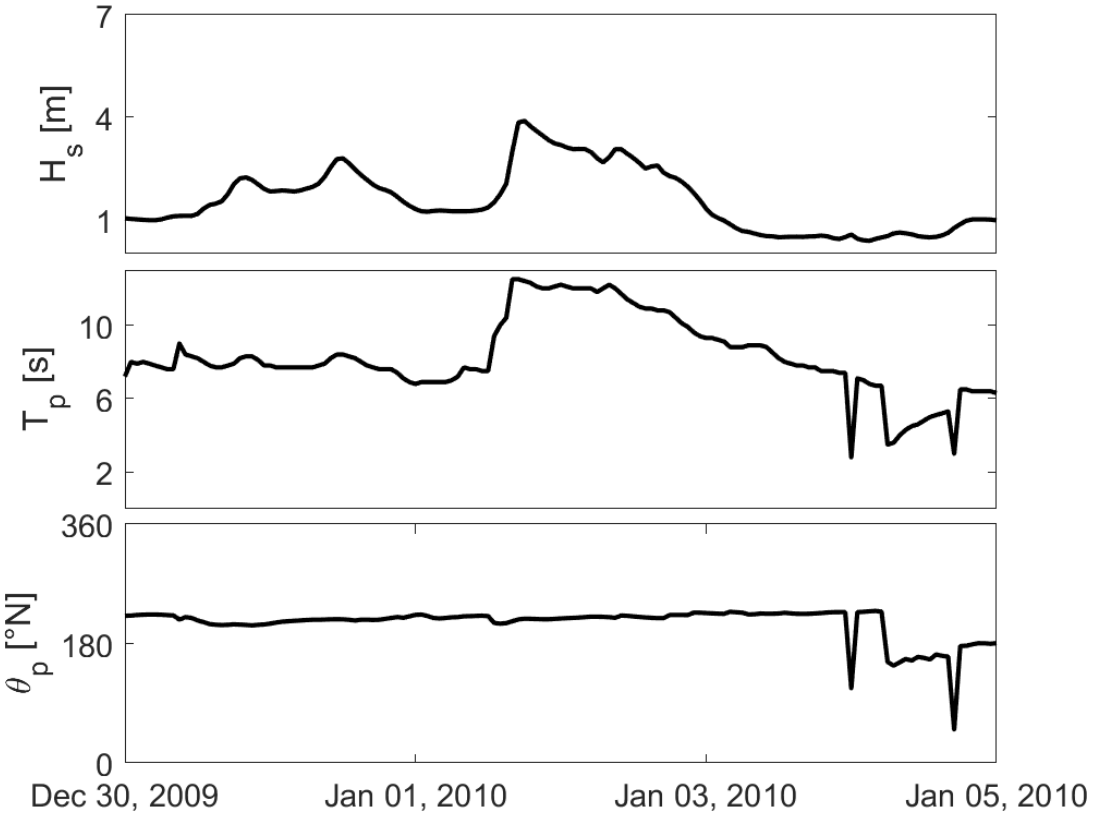


Figura 42: Altezza d'onda significativa H_s, periodo di picco T_p e direzione di picco θ_p nella zona prospiciente la baia per la mareggiata del 2010.

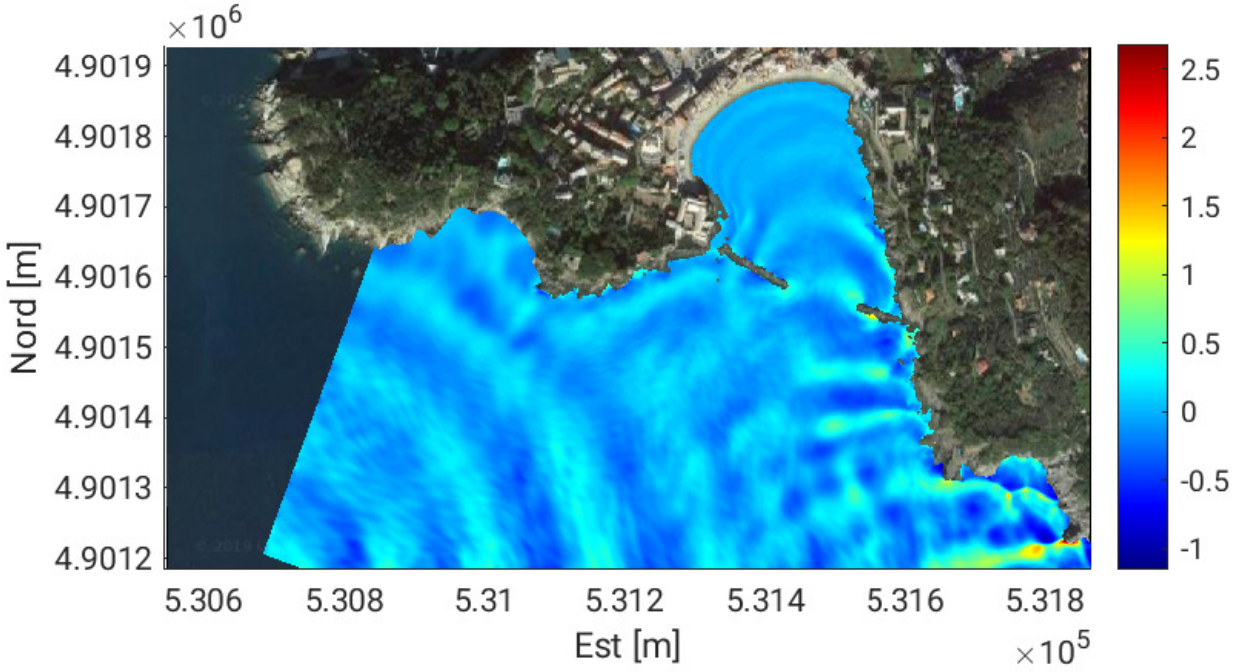


Figura 43: Superficie libera di un istante temporale della simulazione per la mareggiata del 2008.

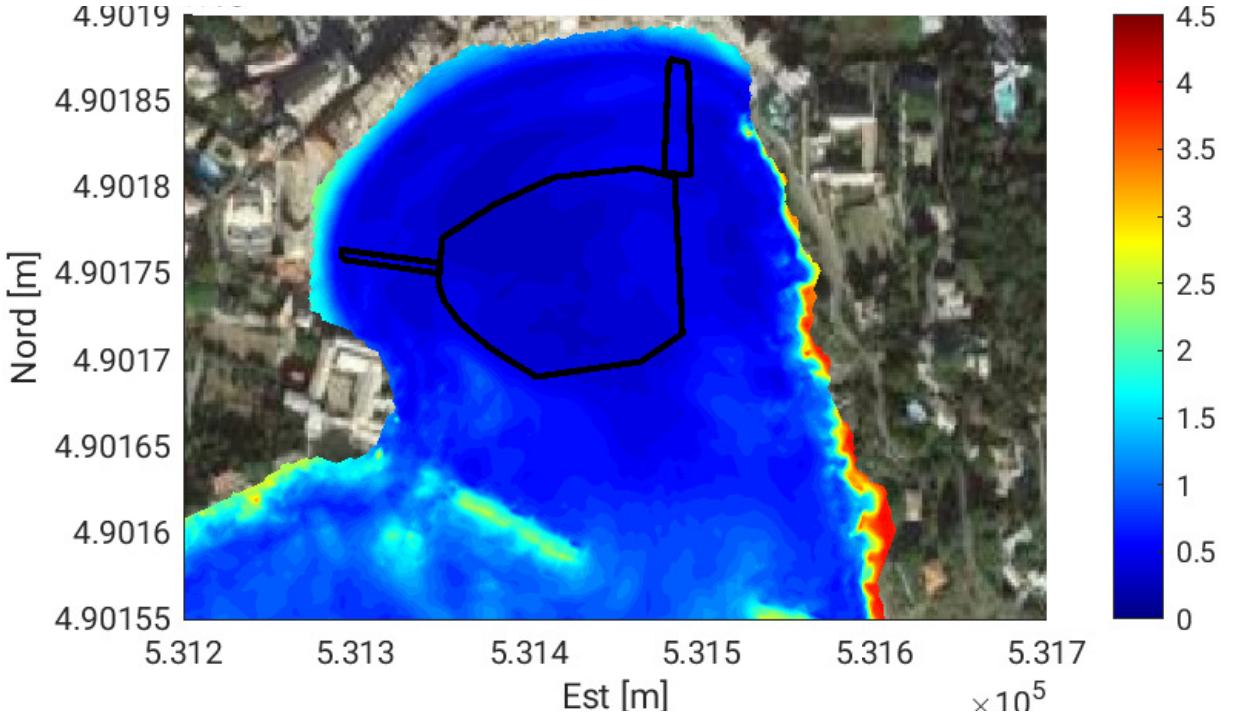
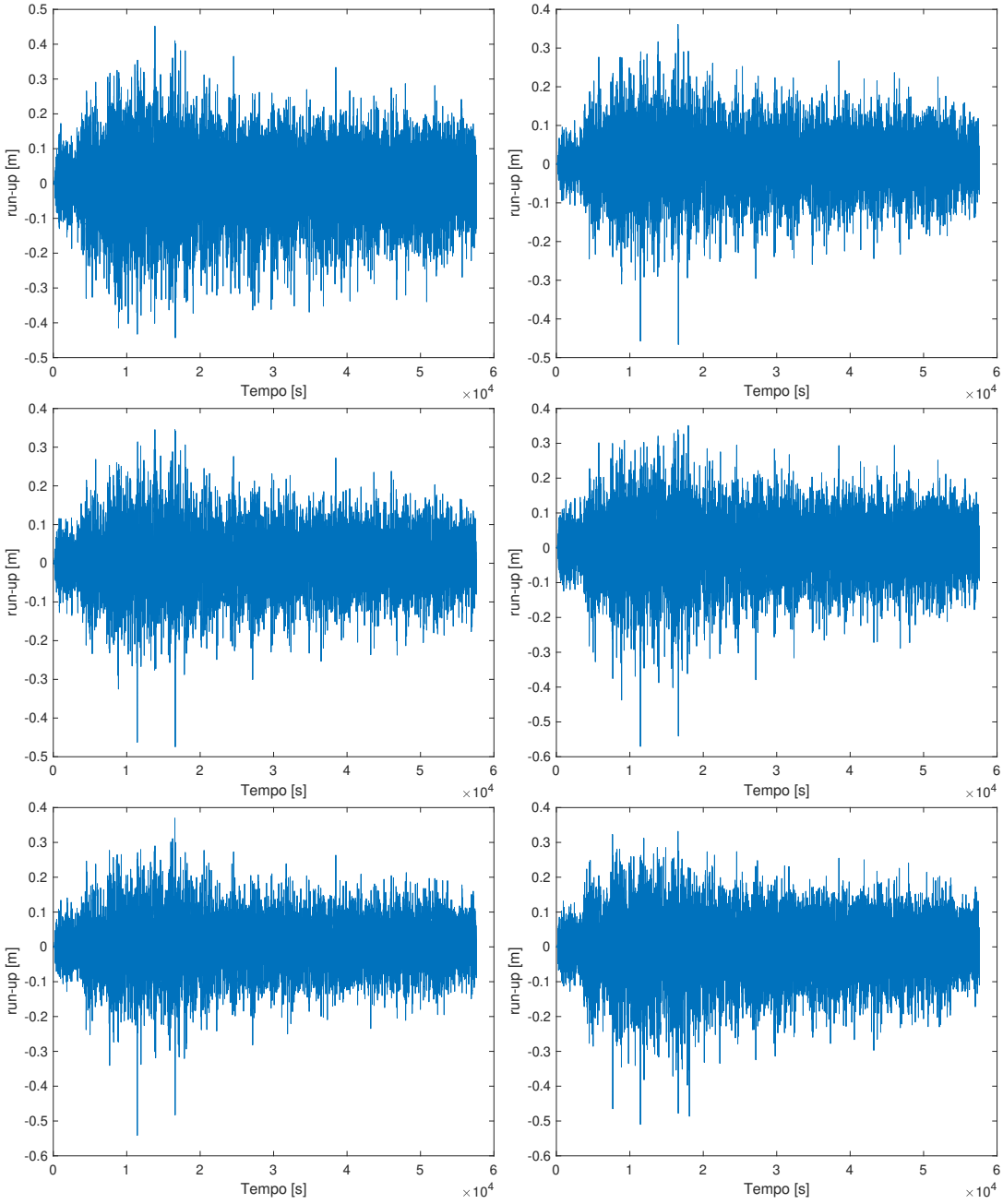


Figura 44: Inviluppo della massima escursione della superficie libera per la baia e la zona prospiciente per la mareggiata del 2010.


run-up [m]
Tempo [s]
×10^4

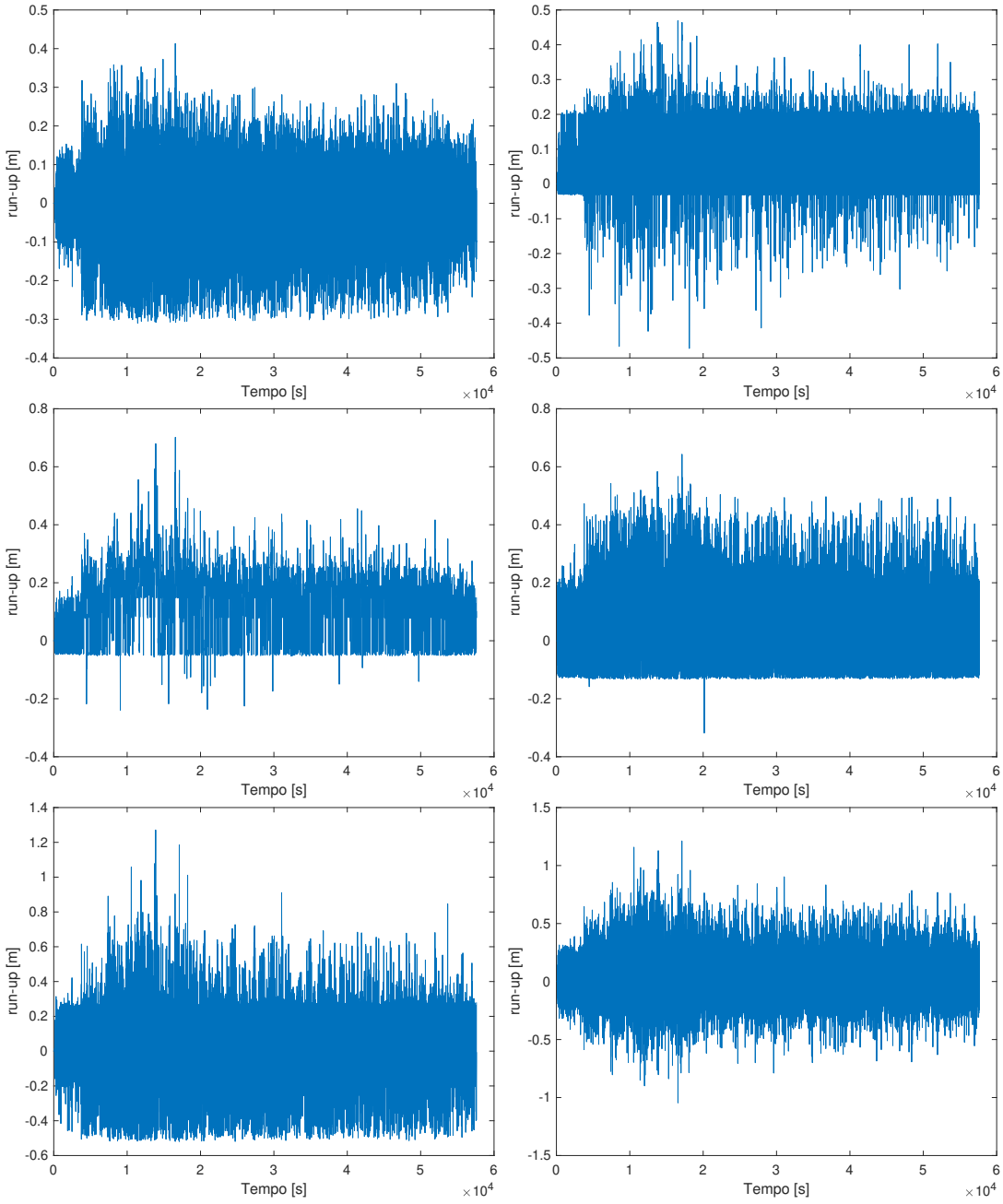


Figura 43: Run-up per i punti di Figura 38 riferiti alla mareggiata del 2010.

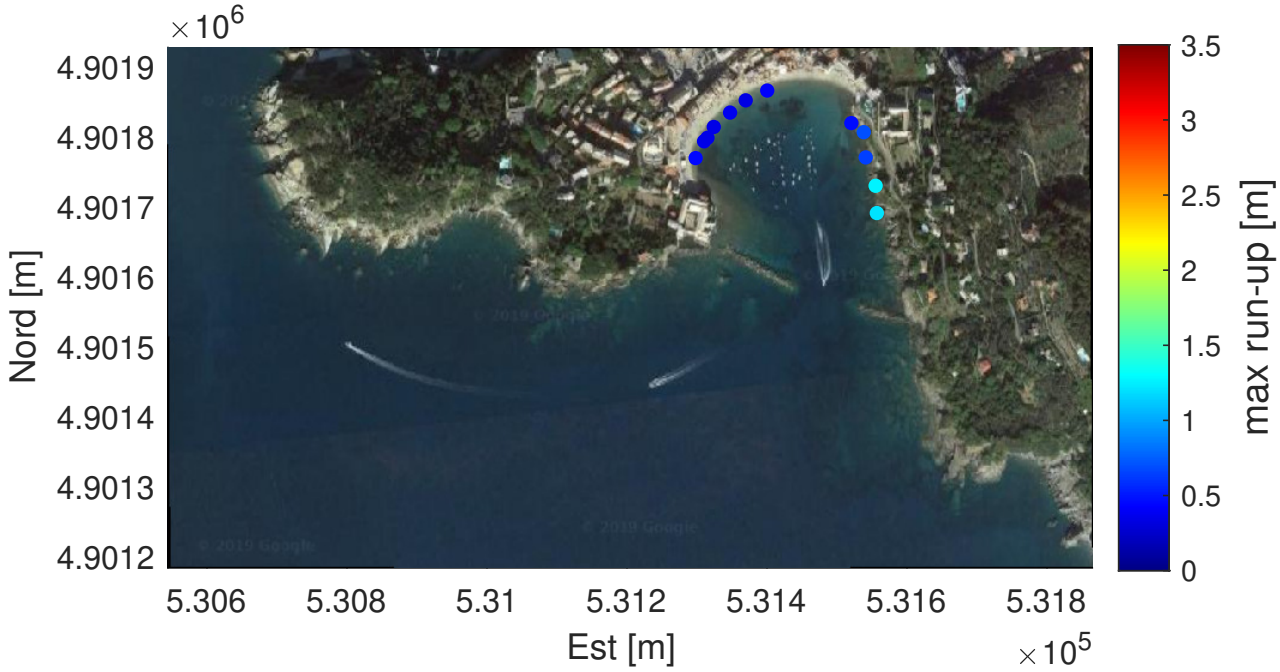


Figura 44: Massimo valore del run-up per i punti scelti per la mareggiata del 2010.

4.5.3 Mareggiata 27 ottobre - 2 novembre 2018

La mareggiata del 2018 è insistita sulla costa ligure dal dal 27 ottobre 2018 al 2 novembre 2018. La Figura 45 mostra l'altezza d'onda significativa e la direzione di provenienza del moto ondoso nella zona prospiciente la Baia del Silenzio in seguito alla propagazione dei dati d'onda con il modello SWAN dal largo verso riva. In particolare, sono stati adottati i valori del punto hindacst 000264 (cfr. Figura 4) per le date della mareggiata. La Figura 46 mostra un istante temporale e la superficie libera con le onde che si propagano verso la baia. L'inviluppo dei massimi è riportato in Figura 47 dove si riporta punto per punto il massimo valore di escursione della superficie libera che si raggiunge durante la mareggiata stessa. Il run-up che si ottiene per i punti descritti in Figura 38 è riportato in Figura 46. Il valore massimo di run-up è sintetizzato nella Figura 47 in cui la massima risalita è rappresentata con un colore corrispondente e nel punto spaziale della baia corrispondente. Durante l'evento del 29 ottobre 2018 si sono vericati diversi danni e una significativa inondazione del centro storico di Sestri Levante. Tali fenomeni sono stati provocati sia dalle caratteristiche particolari del moto ondoso verificatosi durante l'evento (altezze d'onda consistenti, direzione di provenienza del moto ondoso da Sud-Est con esposizione diretta della baia alla propagazione delle onde) sia in quanto si è verificato durante la mareggiata un innalzamento del livello medio mare significativo dovuto allo storm surge (stimato tra i 60 e i 75 cm).

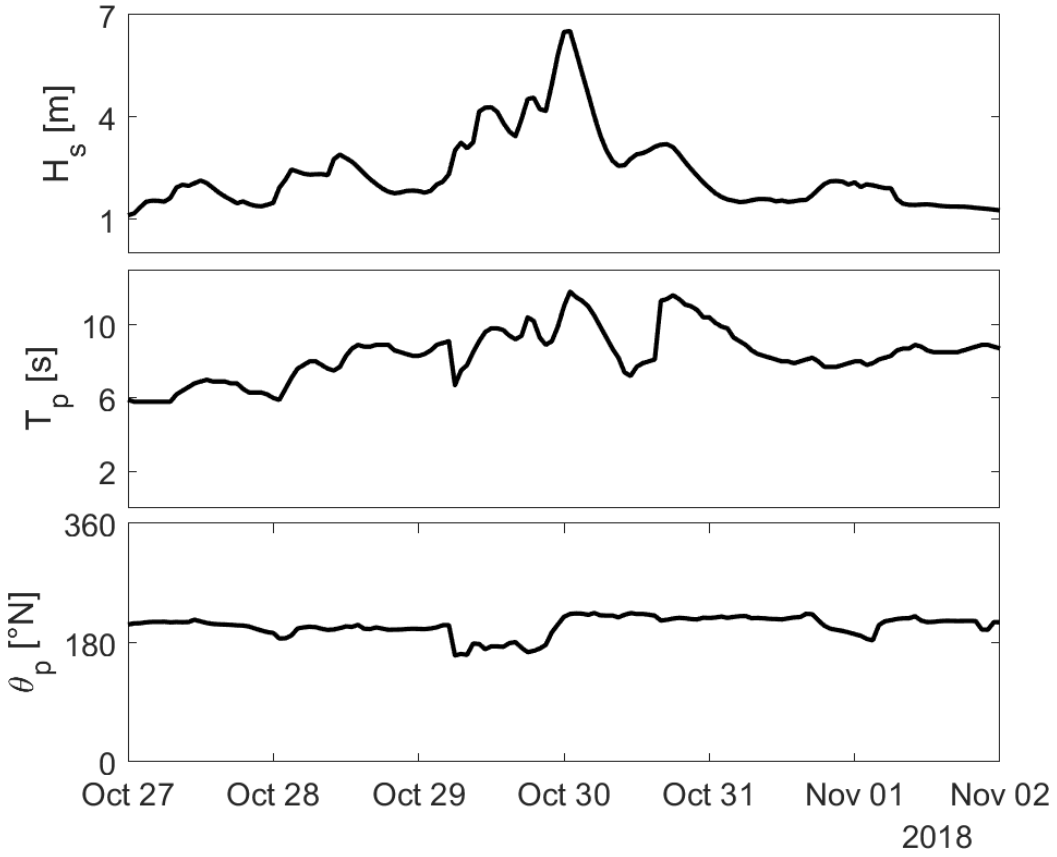


Figura 45: Altezza d'onda significativa H_s, periodo di picco T_p e direzione di picco θ_p nella zona prospiciente la baia per la mareggiata del 2018.

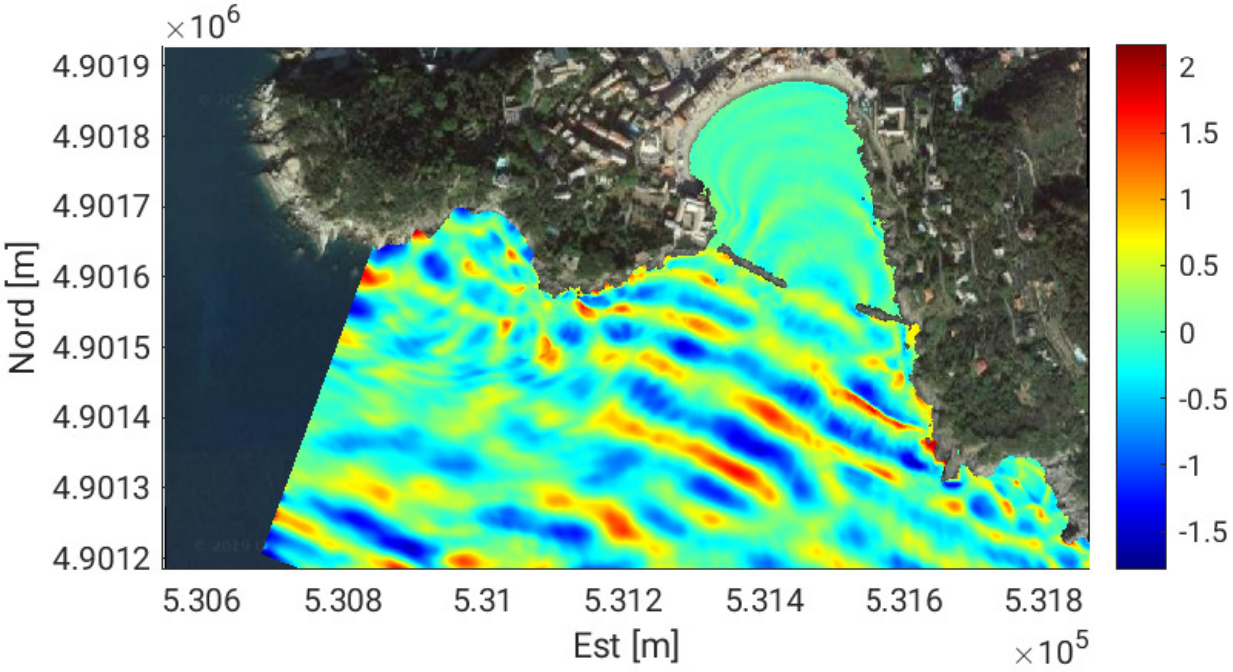


Figura 46: Superficie libera di un istante temporale della simulazione. Si noti l'effetto della diffrazione all'interno della baia stessa.

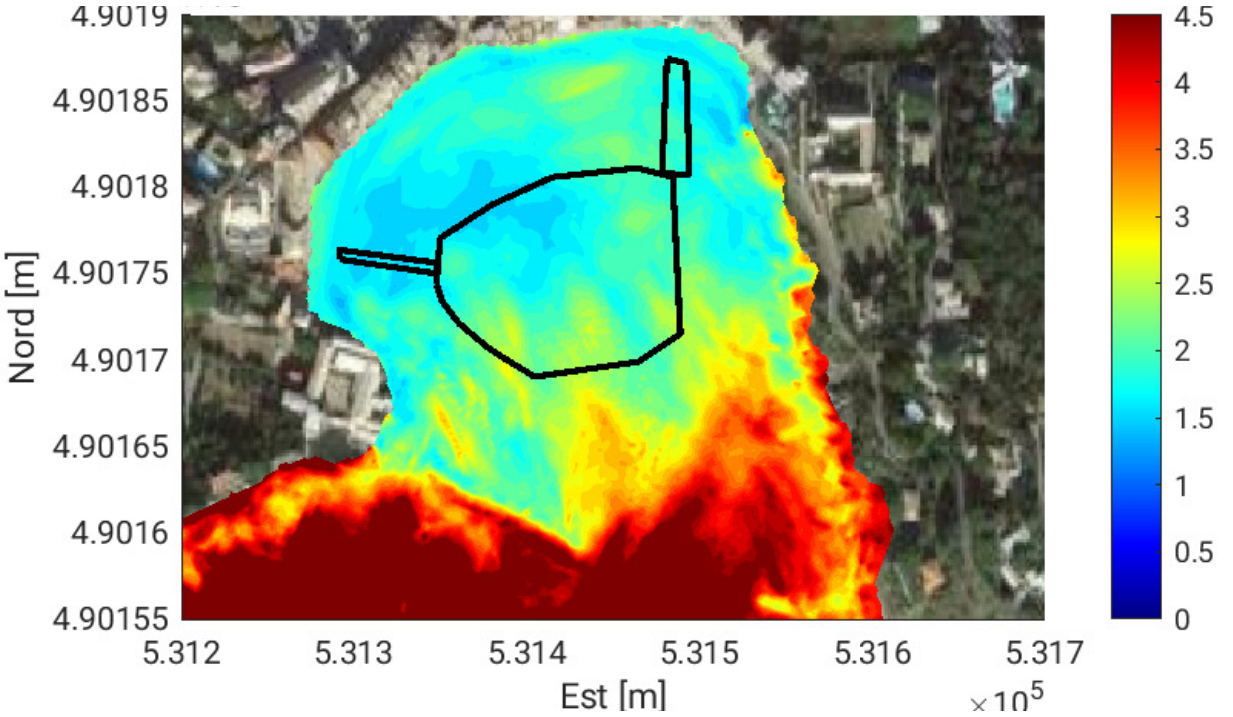
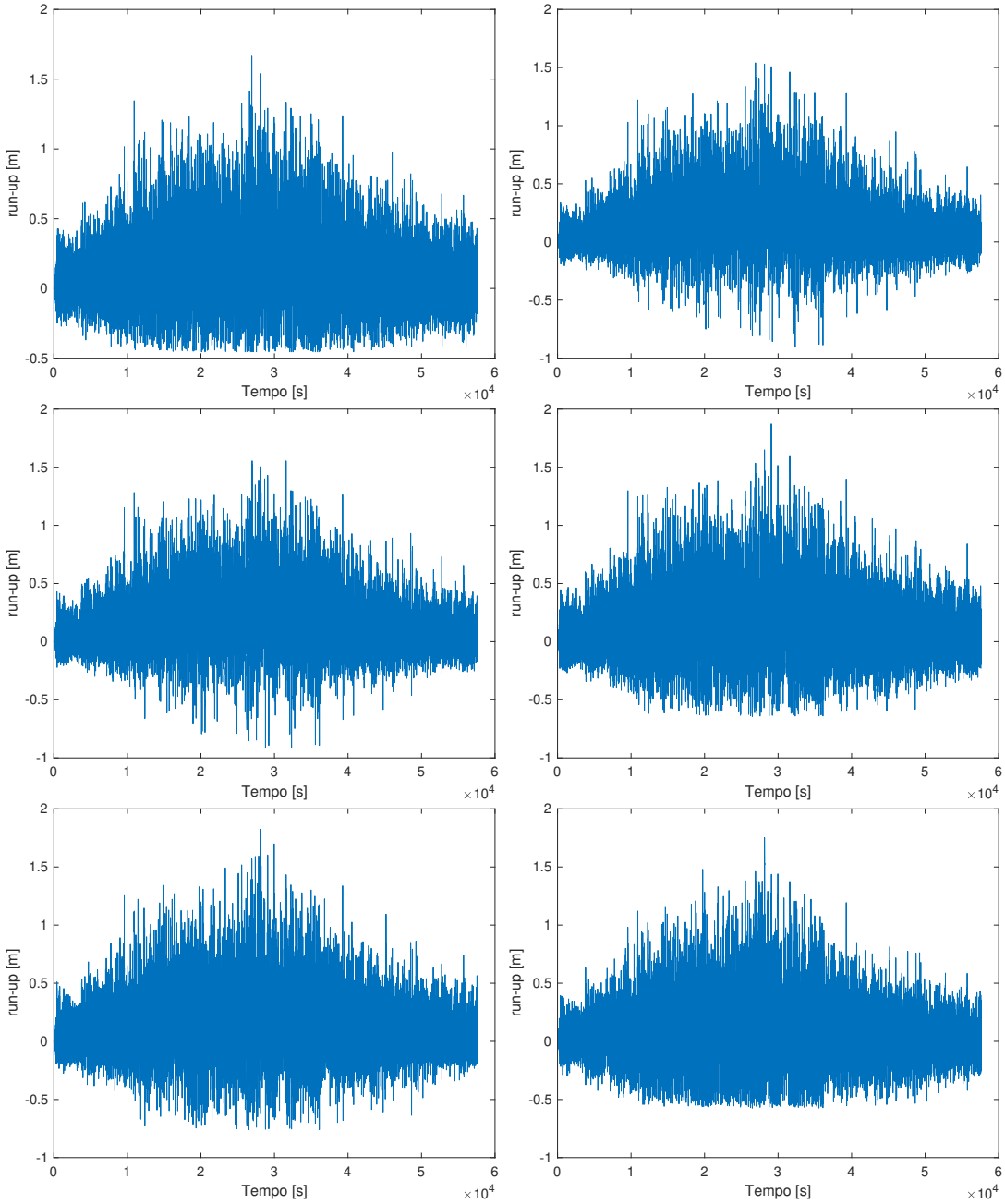


Figura 47: Inviluppo della massima escursione della superficie libera per la baia e la zona prospiciente.


run-up [m]
Tempo [s]
×10^4

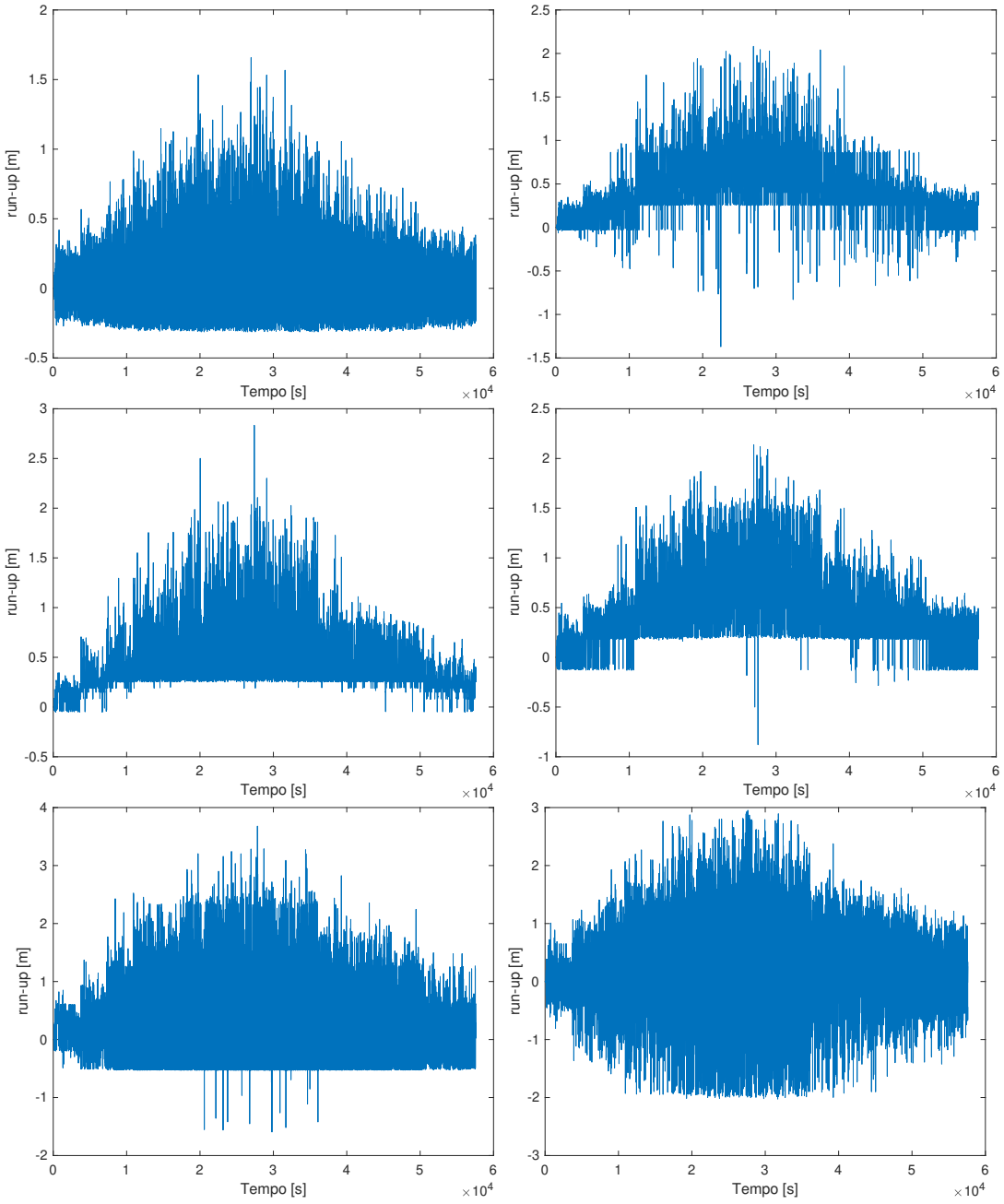


Figura 46: Run-up per i punti di Figura 38 riferiti alla mareggiata del 2018.

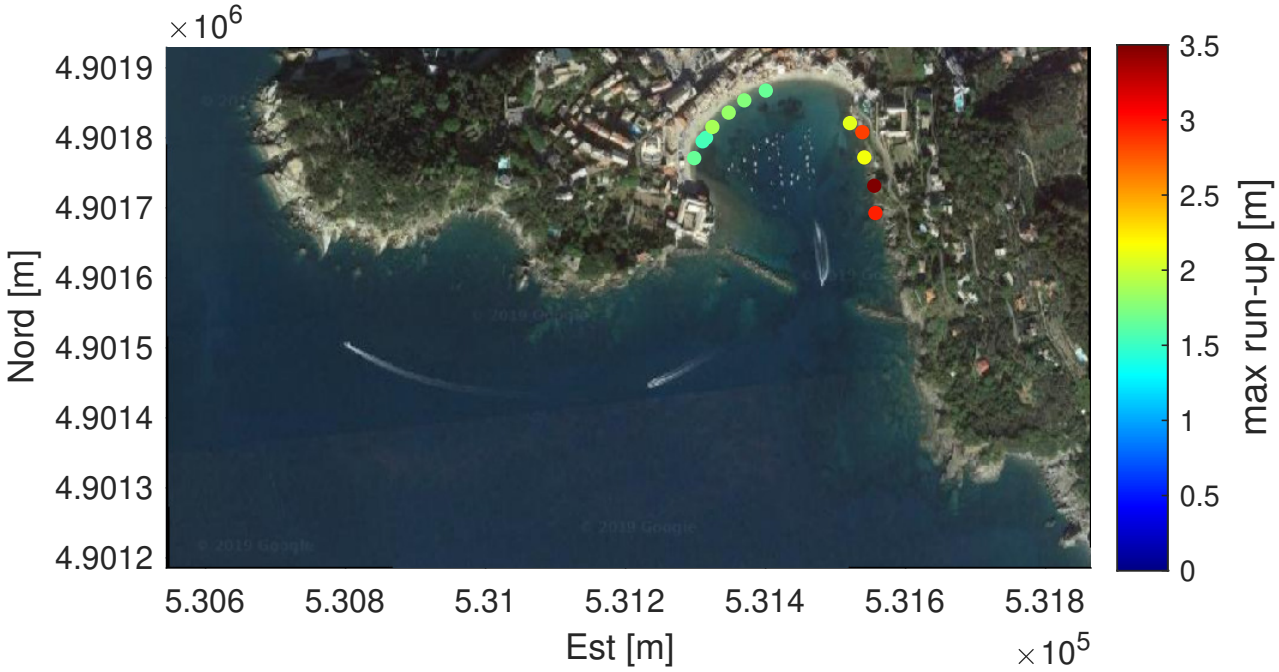


Figura 47: Massimo valore del run-up per i punti scelti per la mareggiata del 2018.

5 Conclusioni

Nell'ambito del presente studio sono stati implementati due differenti modelli numerici per lo studio e l'analisi delle caratteristiche della circolazione costiera e della propagazione del moto ondoso all'interno della Baia del Silenzio. La necessità di sviluppo di due diversi modelli numerici è dovuta al fatto che la generazione delle correnti litoranee e l'interazione delle singole onde con le strutture di protezione costiera e la specifica batimetria della baia non sono riproducibili in maniera accurata con un solo strumento di modellazione. I risultati così ottenuti con i due diversi approcci sono stati utilizzati per avere una stima della qualità delle acque all'interno della baia tramite l'analisi dell'evoluzione spazio-temporale di un ipotetico contaminante unitario uniformemente distribuito all'interno dello specchio acqueo racchiuso dalle strutture di protezione in massi. L'analisi dell'evoluzione nel tempo dei campi di corrente e la stima del tempo di residenza del bacino T_r (definito come tempo in cui si ha il rinnovo dell'acqua compresa in una certa zona della baia, ovvero il tempo che viene impiegato per abbattere del 60% la concentrazione di contaminante iniziale; tale quantità è variabile in ogni punto della maglia di calcolo) hanno quindi permesso di identificare dei vortici (strutture del moto) in grado di intrappolare in maniera più o meno efficace la sostanza contaminante e quindi di alterare la qualità dell'acqua in maniera sensibile sotto alcune condizioni. In particolare l'analisi è stata condotta tenendo in conto tre scenari di riferimento: il primo riguarda una condizione di bonaccia, in cui è presente unicamente una escursione di livello mareale tipica delle condizioni estive. La seconda riguarda un condizione di circolazione indotta da onde di libeccio aventi tempo di ritorno di 5 e 25 anni. La terza condizione riguarda una circolazione indotta da onde di scirocco aventi analogamente tempo di ritorno di 5 e 25 anni. DAi risultati ottenuti è possibile osservare come il tempo di residenza vari significativamente a seconda dei casi analizzati. In condizioni di bonaccia il tempo di residenza massimo per le zone più interne della baia raggiunge anche i 20 giorni. Nei casi di libeccio e scirocco, il tempo di residenza varia tra le 70 e le 40 ore massime a seconda del caso analizzato e il picco non viene più raggiunto nella zona più interna della baia in prossimità della linea di riva come avveniva nel caso di bonaccia, ma si ritrova localizzato subito a tergo delle strutture di protezione in massi in quanto l'interazione del moto ondoso e delle correnti litoranee provoca la formazione di una coppia di vortici in corrispondenza delle estremità dei pennelli che tendono a intrappolare eventuali contaminanti. Nel resto della baia invece la dinamica risulta maggiormente attiva rispetto al caso di bonaccia, presentando i valori minori del tempo di residenza nel caso degli eventi provenienti da scirocco, come riassunto in tabella 2.

Scenario	Tempo di residenza T_r [h]
Bonaccia	500
Libeccio - 5 anni	70
Libeccio - 25 anni	60
Scirocco - 5 anni	40
Scirocco - 25 anni	30

Tabella 2: Tempo di residenza per i vari scenari presi in esame.

Per quanto riguarda le condizioni di agitazione ondosa all'interno della baia, si sono prese in considerazione tre mareggiate storiche: quella del novembre 2008, quella del gennaio 2010 e quella dell'ottobre 2018. Tali eventi sono stati selezionati in quanto particolarmente onerosi da un punto di vista dell'azione del moto ondoso sulla costa ligure. Inoltre questi tre eventi sono stati caratterizzati da condizioni di clima ondoso simili, ma significativamente diversi per alcuni aspetti e in particolare per la provenienza del moto ondoso: mentre gli eventi del 2008 e del 2010 erano caratterizzati da onde provenienti da SW e da S-SW, la mareggiata

del 2018 ha presentato delle caratteristiche particolari per cui altezze d'onda consistenti sono provenute dal S-SE. Le simulazioni realizzate hanno permesso di risolvere l'evoluzione della superficie libera nella fase dell'onda, ovvero di risolvere il moto della superficie del mare per ogni singola onda e di descriverne la mutua interazione e l'interazione con la conformazione batimetrica e planimetrica della costa. Grazie a queste simulazioni sono stati valutati i valori di risalita dell'onda (run-up) lungo la spiaggia emersa all'interno della baia in dodici punti diversi ed è stato valutato l'inviluppo massimo dell'elevazione della superficie libera in modo da poter caratterizzare al meglio le caratteristiche del moto ondoso all'interno della baia nello specchio acqueo adibito a campo boe. La prima grandezza (run-up) è stata valutata ai fini di protezione civile in quanto la risalita dell'onda è una grandezza utilizzata per la stima dell'estensione dell'inondazione costiera provocata da eventi di mareggiata. La seconda grandezza è stata invece valutata per avere una stima quantitativa delle possibili azioni su eventuali imbarcazioni ormeggiate all'interno del campo boe e per una eventuale progettazione di dettaglio degli ancoraggi e del campo boe stesso. I risultati mostrano come la massima escursione del pelo libero sia circa pari a 5 m per l'imboccatura e circa pari a 1-2 metri per le zone prospicienti la spiaggia nel caso della mareggiata del 2008 e del 2018. L'altezza d'onda quindi può essere assunta pari fino a quasi il doppio dei valori testè citati. La risalita del moto ondoso sulla spiaggia emersa ha evidenzianto valori pari fino a 1.5-2.5m lungo l'estensione dell'arenile all'interno della baia. È da sottolineare infine come il livello raggiunto dalla risalita dell'onda e quindi di conseguenza l'area potenzialmente inondabile in seguito al verificarsi di un evento di mareggiata intensa, dipende in maniera significativa dalla posizione del livello medio mare: nel caso vi sia un innalzamento del livello medio mare ovviamente l'area inondabile in corrispondenza della zona attigua alla Baia del Silenzio del centro storico di Sestri Levante aumenterà singificativamente. Tale osservazione è dettata anche dall'esperienza maturata in seguito alla mareggiata del 29 ottobre 2018, durante la quale si è verificato per effetti di "storm surge" una sopraelevazione stimabile tra i 60 e i 70 cm (dati mareografo sito all'interno del porto di Genova). Tale evento ha così fatto risaltare come un eventuale innalzamento del livello medio mare possa comportare un aumento significativo della vulnerabilità da inondazione costiera per la baia e per il centro storico adiacente.

La complessità dei fenomeni fisici analizzati e della conformazione del luogo, i conflitti d'uso del poco spazio disponibile sull'arenile e la forte pressione antropica rendono la gestione della Baia del Silenzio un problema articolato e di non facile soluzione. Inoltre, le due problematiche che hanno ispirato questo studio, ovvero il miglioramento della qualità delle acque della baia soprattutto durante le calme estive e la protezione del litorale dagli eventi di mareggiata intensa, sono due aspetti che possono trovarsi in antitesi tra di loro. Una maggiore protezione da parte del moto ondoso implicherebbe infatti la costruzione di opere di difesa più imponenti e impattanti rispetto alle attuali. La diminuzione del flusso di energia del moto ondoso all'interno della baia ottenuto tramite una minore esposizione della baia stessa al mare aperto comporterebbe però una limitazione alla dinamica della circolazione della baia e allo scambio tra l'interno della baia e il mare aperto provocando quindi un maggior ristagno delle acque. Una maggior protezione dalla azione delle onde deve essere quindi perseguita cercando di non diminuire in nessun modo la circolazione interna della baia (i.e. non aumentare i tempi di residenza). La predisposizione dei modelli numerici per lo studio dello stato attuale della baia rappresenta uno strumento di indagine e di analisi per lo studio di eventuali soluzioni progettuali per possibili interventi di modifica delle strutture di protezione. Alcune strade percorribili per un eventuale studio preliminare di ri-sistemazione dei pennelli di protezione sono rappresentate da: i) la realizzazione di una struttura con nucleo impermeabile che limiti la trasmissione del moto ondoso attraverso l'ammasso poroso; ii) un irrobustimento delle strutture tramite una risagomatura per limitare la tracimazione ed eventualmente la realizzazione di una berma per dissipare localmente l'energia del moto ondoso; iii) una modifica dell'orientamento del molo di ponente verso sud al fine di occludere maggiormente

la bocca di entrata alla baia, permettendo comunque un facile accesso alle imbarcazioni da diporto. Nello studio di eventuali soluzioni progettuali per la miglioria delle strutture di protezione si ritiene che non si dovrebbero avere particolari benefici in seguito a modifiche della struttura di levante in quanto vista l'esposizione e le caratteristiche del clima ondoso incidente non si apporterebbero significative riduzioni dell'azione delle onde all'interno della baia. A detta degli scriventi risulta maggiormente efficace operare sulla struttura di ponente. Infine si ritiene necessario, che in seguito a qualsiasi riprofilatura/risagomatura/rifiorimento o riprogettazione della struttura di ponente, bisognerebbe cercare di non ostruire per nessun motivo il varco presente adesso alla radice del molo in quanto rappresenta una connessione idrodinamica tra l'interno della baia e il mare aperto, in grado quindi di scambiare acqua e favorire quindi la diluizione di eventuali contaminanti.

Riferimenti bibliografici

Boccotti, P. (1997). *Idraulica marittima*. UTET Università.

Booij, N., Ris, R., and Holthuijsen, L. (2003). A third-generation wave model for coastal regions. *J. Geophys. Res.*, 104:7649–7666.

Cassola, F., Ferrari, F., and Mazzino, A. (2015). Numerical simulations of Mediterranean heavy precipitation events with the WRF model: analysis of the sensitivity to resolution and microphysics parameterization schemes. *Atmospheric Research*, 164-165:210–225.

Cassola, F., Ferrari, F., Mazzino, A., and Miglietta, M. (2016). The role of the sea on the flash floods events over liguria (northwestern italy). *Geophysical Research Letters*, 43(7):3534–3542.

Elias, E. P. L., Walstra, D. J. R., Roelvink, J. A., Stive, M. J. F., and Klein, M. D. (2000). *Hydrodynamic Validation of Delft3D with Field Measurements at Egmond*, pages 2714–2727.

Haver, S. and Winterstein, S. R. (2009). Environmental contour lines: A method for estimating long term extremes by a short term analysis. *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 116:116–127.

Lang, M., Ouarda, T., and Bobée, B. (1999). Towards operational guidelines for over-threshold modeling. *Journal of hydrology*, 225(3-4):103–117.

MacQueen, J. et al. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, volume 1, pages 281–297. Oakland, CA, USA.

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

Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., and Mazzino, A. (2013b). Why NRMSE is not completely reliable for forecast/hindcast model test performances. In *Proc of: EGU General Assembly*, Wien, Austria.

Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., and Mazzino, A. (2015). Performance evaluation of WavewatchIII in the Mediterranean Sea. *Ocean Modelling*, 90:82–94.

Salvadori, G., De Michele, C., Kottegoda, N. T., and Rosso, R. (2007). *Extremes in nature: an approach using copulas*, volume 56. Springer Science & Business Media.

Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Wang, W., and Powers, J. (2008). A description of the advanced research wrf version 3. Technical note tn-468+str. 113 pp, NCAR.

Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. Technical report, NOAA/NWS/NCEP/MMAB.

Tolman, H. L., Banner, M. L., and Kaihatu, J. M. (2013). The NOPP operational wave model improvement project. *Ocean Modelling*, 70:2–10.

N. (1)	Art. (2)	Indicazione dei lavori e delle provviste (3)	u. di mis. (4)	Quantità (5)	Prezzo unitario netto [Euro] (6)	Importo lavori [Euro] (7=5x6)	Prezzo unitario sicurezza [Euro] (10)	Importo oneri sicurezza [Euro] (11=5x10)
1	05	Provvista e posa in opera di pietrame di cava da 5 a 50 kg per formazione scanni d'imbasamento versato da natante, pesato su autocarro e/o stazzato su natante. Per quantitativi non inferiori a 150 t., escluso il sommozzatore.						
		allungamento scogliera di ponente: 10% dei quantitativi previsti	t	2 186.25	30.04	65 674.94	0.18	393.53
2	03	Provvista e posa in opera di massi naturali di QUARTA CATEGORIA, oltre 7000 Kg, provenienti direttamente dalle cave dell' alto Piemonte, verificabili da documenti di trasporto, resi nella CITTÀ METROPOLITANA DI GENOVA, pesati su autocarro e posati a mezzo natante, per quantitativi giornalieri non inferiori a 300 t, posati entro 3 miglia dalla zona di carico, fuori ambito portuale.						
		allungamento scogliera di ponente: 30% dei quantitativi previsti		6 558.75				
		rifiorimento scogliera di ponente e di levante: 50% dei quantitativi		5 962.50				
		SOMMANO :	t	12 521.25	66.09	827 529.40	0.32	4 006.80
3	04	Provvista e posa in opera di massi naturali di QUARTA CATEGORIA, DA 12.000 A 15.000 Kg, provenienti direttamente dalle cave dell' alto Piemonte, verificabili da documenti di trasporto, resi nella CITTÀ METROPOLITANA DI GENOVA, pesati su autocarro e posati a mezzo natante, per quantitativi giornalieri non inferiori a 300 t, posati entro 3 miglia dalla zona di carico, fuori ambito portuale.						
		allungamento scogliera di ponente: 30% dei quantitativi previsti		6 558.75				
		rifiorimento scogliera di ponente e di levante: 50% dei quantitativi		5 962.50				
		SOMMANO :	t	12 521.25	74.32	930 556.76	0.32	4 006.80

N. (1)	Art. (2)	Indicazione dei lavori e delle provviste (3)	u. di mis. (4)	Quantità (5)	Prezzo unitario netto [Euro] (6)	Importo lavori [Euro] (7=5x6)	Prezzo unitario sicurezza [Euro] (10)	Importo oneri sicurezza [Euro] (11=5x10)
4	01	Provvista e posa in opera di massi naturali di SECONDA CATEGORIA, da 1001 a 3000 kg, provenienti direttamente da cave liguri, pesati su autocarro e posati a mezzo natante, per quantitativi giornalieri non inferiori a 300 t, posati entro 3 miglia dalla zona di carico, fuori ambito portuale.						
		allungamento scogliera di ponente: 15% dei quantitativi previsti	t	3 279.38	58.50	191 843.43	0.32	1 049.40
5	02	Provvista e posa in opera di massi naturali di TERZA CATEGORIA, da 3001 a 7000 Kg, provenienti direttamente dalle cave dell' alto Piemonte, resi nella CITTÀ METROPOLITANA DI GENOVA, verificabili da documenti di trasporto, pesati su autocarro e posati a mezzo natante, per quantitativi giornalieri non inferiori a 300 t, posati entro 3 miglia dalla zona di carico, fuori ambito portuale.						
		allungamento scogliera di ponente: 15% dei quantitativi previsti	t	3 279.38	66.09	216 733.89	0.32	1 049.40
6	06	Sovrapprezzo agli articoli 85.D10.D10.114/122/160/161/162/163 /180/181/182/183 per ogni miglio in più (oltre le tre miglia) di percorrenza dal punto di carico sino al punto di scarico.						
		- ipotesi di carico presso la radice del molo del porto di Chiavari ad una distanza dalla Baia del Silenzio di circa 4,5 miglia nautiche	t	50 681.25	1.74	88 185.38	0.02	1 013.63
7	07	Noleggio di escavatore del peso oltre 20 t fino a 30 t - preparazione area di carico e assistenza durante le operazioni di scarico da autocarro e di carico su mezzo marittimo dei massi naturali: 4 ore* 100 giorni	ora	400.00	109.79	43 916.00	2.04	816.00

N. (1)	Art. (2)	Indicazione dei lavori e delle provviste (3)	u. di mis. (4)	Quantità (5)	Prezzo unitario netto [Euro] (6)	Importo lavori [Euro] (7=5x6)	Prezzo unitario sicurezza [Euro] (10)	Importo oneri sicurezza [Euro] (11=5x10)
8	08	Salpamento di massi naturali o artificiali fino alla profondita' di 15 m dal l.m.m., compresa l'eventuale opera del sommozzatore utile all'individuazione e segnalazione della posizione dei massi sul fondale marino; i massi dovranno essere recuperati direttamente dal fondale marino, in prossimità delle dighe esistenti ove sono adagiati; i massi dovranno essere salpati, temporaneamente collocati su motopontone stabilizzato armato con gru da 100 t, e successivamente riposizionati nei punti particolarmente erosi dal moto ondoso e comunque secondo le indicazioni della D.L.. I massi dovranno essere recuperati, per quanto possibile, sia sul lato a mare che sul lato a terra delle dighe oggetto di intervento. - per salpamento e ricollocazione in sagoma elementi fuori sagoma	ore	120.00	637.11	76 453.42	12.89	1 546.80
9	09	Importo a corpo per attrezzamento aree di cantiere e punto di carico materiale lapideo su mezzo marittimo compreso noleggio di servizio igienico e baracca di cantiere, p.p.o. segnalazioni a terra (recizioni, cartelli di segnalazione, ecc...) presso area di carico e tratto di arenile oggetto di intervento come da indicazioni dell'autorità marittima e mantenimento delle stesse durante il periodo di lavoro stimato in 150 giorni.	ac	1.00	0.00	0.00	11 875.27	11 875.27
		Importo lavori:				2 440 893.22		
		Importo oneri per la sicurezza						*25 757.62*
		Importo complessivo lavori e oneri sicurezza				**2 466 650.84**		

QUADRO ECONOMICO

INDICAZIONE DEI LAVORI	IMPORTI [Euro]	
Titolo I: Lavori		
- Importo lavori	2 440 893.22	
- Importo oneri di sicurezza	25 757.62	
Totale complessivo lavori:	**2 466 650.84**	2 466 650.84
Titolo II: Somme a disposizione dell'Amministrazione		
- IVA 10% sui lavori (art.9 LR 41 del 2014):	246 665.08	
- Spese tecniche (rif. DM 2016) per progetto esecutivo, coordinamento sicurezza per la progettazione, compreso c.p. 4% e IVA 22% :	49 291.07	
- Spese tecniche (rif. DM 2016) per direzione lavori, coordinamento sicurezza in fase di esecuzione, compreso c.p. 4% e IVA 22% :	104 773.95	
- Spese tecniche (rif. DM 2016) per collaudo tecnico amministrativo, compreso c.p. 4% e IVA 22% :	11 597.90	
- Costo per progetto espianto e reimpianto posidonia e monitoraggio	61 000.00	
- Incentivo di progettazione (art. 113 del D. Lgs.50/2016)	24 666.51	
- Imprevisti, arrotondamenti, spese di gara, monitoraggi, ecc… (IVA compresa)	35 354.65	
Totale somme a disposizione dell'Amministrazione:	**533 349.16**	533 349.16
IMPORTO TOTALE PERIZIA:		**3 000 000.00**