

REGIONE TOSCANA
SETTORE GENIO CIVILE TOSCANA DEL NORD



Interventi di "Ottimizzazione della cella nord e della cella sud del fosso Magliano" e "Ripascimento del litorale di Ronchi-Poveromo individuato nelle due celle a nord del fosso di Poveromo" nell'ambito dell'intervento cod. MS089A/10 "Completamento intervento di difesa abitato Marina di Massa"
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

PROGETTISTA:

ing. Marco Pittori



COLLABORAZIONI:
STUDI AMBIENTALI:

Ing. V. Balata Ing. A. Di Gialleonardo Arch. M. Landolfi
Arch. F. R. Monass

R1	RELAZIONE GENERALE	SCALA		
		DATA OTT. 2022		
Doc. 11313				
Rev. n°	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	APPROVATO
00	Emissione	Ott.22	ing. A. Di Gialleonardo	ing. M. Pittori
01	Revisione	Nov.22	ing. A. Di Gialleonardo	ing. M. Pittori
Società certificata ISO 9001 : 2015 Certificato N. 177501	 INTERPROGETTI S.r.l. Via Luigi Lilio, 62 - 00142 ROMA - Tel./fax: 0686200298 Tel.0686200297 E-mail: info@interprogetti.net			Società certificata ISO 14001 ISO 45001
QUESTO DOCUMENTO NON PUÓ ESSERE RIPRODOTTO NÉ COMUNICATO A TERZI SENZA L'APPROVAZIONE DI QUESTA SOCIETÁ				

REGIONE TOSCANA



Giunta Regionale

Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile

Settore Genio Civile Toscana Nord

Interventi di *“Ottimizzazione della cella nord e della cella sud del fosso Magliano” e *“Ripascimento del litorale di Ronchi-Poveromo individuato nelle due celle a nord del fosso di Poveromo”**
nell’ambito dell’intervento cod. MS089A/10 *“Completamento intervento di difesa abitato Marina di Massa”*

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

Relazione generale

Indice

1. INTRODUZIONE	5
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E QUADRO CONOSCITIVO	7
2.1. <i>Evoluzione storica del litorale</i>	9
3. STUDI E ANALISI A SUPPORTO DEL PROGETTO	14
3.1. <i>Sopralluoghi sull'area</i>	14
3.2. <i>Rilievi topo-batimetrici.....</i>	14
3.2.1. Rilievo area A.....	14
3.2.2. Rilievo area B.....	15
3.3. <i>Dati di riferimento.....</i>	15
3.3.1. Dati di moto ondoso.....	15
3.3.2. Dati anemometrici.....	15
3.3.3. Linee di riva storiche	15
3.3.4. Dati sedimentologici.....	16
3.4. <i>Consultazione di studi meteomarini, morfodinamici e di dinamica litoranea effettuati nella zona di interesse.....</i>	16
3.5. <i>Studio meteomarino</i>	16
3.6. <i>Studio morfodinamico.....</i>	20
3.6.1. Analisi delle alternative di progetto.....	20
4. STATO DEI LUOGHI	23
5. DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	27
5.1.1. Area A.....	27
5.1.2. Area B.....	29
5.2. <i>Verifica di stabilità delle opere di progetto.....</i>	35
5.3. <i>Descrizione del cantiere</i>	37
6. STIMA DEI TEMPI E DEI COSTI	39
7. Bibliografia	40

Indice delle figure

Figura 1 – Inquadramento geografico	7
Figura 2 – Individuazione dell'area di intervento.....	8
Figura 3 – Individuazione dell'unità fisiografica	9
Figura 4 - Assetto della costa della Provincia di Massa Carrara dal Porto di Carrara alla foce del Frigido nel 1954 (Ortofoto RT)	10
Figura 5 – Variazione della linea di costa per settori - LaMMA.....	11
Figura 6 - Dettaglio dell'andamento della linea di riva nel settore 05	11
Figura 7 - Confronto delle variazioni della linea di riva - settore 04	12
Figura 8 - Confronto variazioni linea di riva - settore 05.....	13
Figura 9 - Composizione morfologica dell'area in esame.....	14
Figura 10 - Fetch geografico	17
Figura 11 - Confronto fetch geografico ed efficace.....	17
Figura 12 - Rosa dei venti	18
Figura 13 – Rosa del moto ondoso.....	19
Figura 14 - Altezza d'onda in funzione del tempo di ritorno.....	19
Figura 15 - Pennello e barriera soffolta presente nella Zona A.....	23
Figura 16 - Individuazione planimetrica del lavarone	24
Figura 17 – Lavarone	24
Figura 18 - Opere di difesa nell'area A nel 2004 (Google Earth).....	25
Figura 19 - Foce del fosso Poveromo (marzo 2022).....	25
Figura 20 – Posizione della foce del fosso Poveromo (Google Earth 2016).....	26
Figura 21 - Planimetria di progetto area A	28
Figura 22 - Sezione tipologica della foce del fosso Magliano.....	28
Figura 23 - Sezione tipologica pennello a sud della foce	28
Figura 24 - Zoom dell'intervento dell'area A.....	29
Figura 25 - Spostamento del pennello	30
Figura 26 - Sezione trasversale del pennello.....	30
Figura 27 – Planimetria di progetto area B	33
Figura 28 - Zoom dell'intervento nell'area B.....	34
Figura 29 - Valori del coefficiente di non danneggiamento	36

Figura 30 Planimetria cantierizzazione AREA A Fosso Magliano..... 38
Figura 31 Planimetria cantierizzazione AREA B FOSSO POVEROMO..... 38

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata sviluppata dalla Interprogetti S.r.l. nell'ambito del progetto di fattibilità tecnico-economica, comprensivo dello studio preliminare ambientale, relativamente agli interventi di "Ottimizzazione della cella nord e della cella sud del fosso Magliano" e "Ripascimento del litorale di Ronchi-Poveromo individuato nelle due celle a nord del fosso Poveromo" nell'ambito dell'intervento cod. MS089A/10. La relazione è redatta ai sensi dell'art. 18 del Dpr 207/2010: *"La relazione illustrativa, secondo la tipologia, la categoria e la entità dell'intervento, salva diversa motivata determinazione del responsabile del procedimento, si articola nei seguenti punti: scelta delle alternative: riepiloga tutti i dati e le considerazioni sulla base dei quali si è giunti alla determinazione della soluzione progettuale migliore (soluzione selezionata) riportando altresì, tramite elaborati grafici, le soluzioni progettuali alternative prese in esame; descrizione puntuale del progetto della soluzione selezionata e indicazioni per la prosecuzione dell'iter progettuale; riepilogo degli aspetti economici e finanziari del progetto."*

In data 22 dicembre 2021, con lettera di invito prot. N 0495508, l'Appaltatore è stato invitato a presentare formale offerta per l'affidamento del servizio attinente all'architettura e ingegneria di progettazione di fattibilità tecnico-economica, comprensivo dello studio preliminare ambientale relativamente agli interventi di "Ottimizzazione della cella nord e della cella sud del fosso Magliano" e "Ripascimento del litorale di Ronchi-Poveromo individuato nelle due celle a nord del fosso Poveromo" nell'ambito dell'intervento cod. MS089A/10.

Con ordinanza commissariale n. 21 del 04/03/2022, ai sensi dell'art. 1 del D.L. n.76 del 16/07/2020, convertito con legge n. 120/2020, come modificato dal D.L. n. 77/2021, convertito in Legge n. 108/2021, a seguito dell'esito positivo dei controlli sulle dichiarazioni rese in sede di gara ai sensi del D.P.R. n. 445/2000, viene affidato il servizio ed approvato il Capitolato speciale descrittivo e prestazionale e lo Schema di contratto.

L'appaltatore, così come previsto dall'art. 24, comma 4, del D.Lgs. n. 50/2016 e dalle Linee Guida ANAC n. 1/2016, ha presentato polizza di responsabilità civile professionale che copre anche i rischi derivanti da errori o omissioni nella redazione del progetto esecutivo o definitivo che abbiano determinato a carico del Commissario di Governo nuove spese di progettazione e/o maggiori costi e ha costituito garanzia definitiva a garanzia degli obblighi assunti con contratto.

Il sito oggetto dello studio si trova a Marina di Massa, una frazione del comune italiano di Massa, nella provincia di Massa-Carrara, in Toscana. L'analisi riguarda in particolare due aree (Figura 2 – Individuazione dell'area di intervento) l'area A identifica le celle a sud ed a nord della foce del fosso Magliano; l'area B (area Ronchi) identifica le due celle a nord della foce del fosso Poveromo. L'area A è caratterizzata da un complesso e disorganizzato sistema di strutture a scogliera e soffre di fenomeni di deposito di materiale organico galleggiante, la cui origine è ancora sconosciuta sebbene se ne ipotizza la provenienza dal fosso Magliano. In questa zona l'obiettivo dello studio consiste nella valutazione dell'efficacia del sistema difensivo allo stato attuale ed in presenza di alternative di ottimizzazione delle scogliere esistenti. Tale ottimizzazione deve essere mirata a favorire lo sviluppo di dinamiche litoranee tali da limitare i fenomeni di deposito di materiale all'interno delle celle. Per l'area B è prevista la progettazione di un intervento di ripascimento atto a contrastare la tendenza erosiva

che ha caratterizzato recentemente il litorale. Inoltre, deve essere valutata la possibilità di ottimizzare la foce del fosso Poveromo al fine di rendere più stabile il corso d'acqua allo sbocco che avviene in corrispondenza del pennello, prevedendo, ove necessario, un suo adeguamento.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E QUADRO CONOSCITIVO

Il tratto di costa oggetto dello studio si trova in Toscana, in provincia di Massa Carrara e affaccia sul Mar Tirreno (Figura 1). In particolare, l'area di intervento, descritta in Figura 2, è compresa tra la foce di fosso Magliano e quella di fosso di Poveromo, nel comune di Massa. Tale tratto di costa è lungo complessivamente 1500 m ed è caratterizzato da lunghe falcate sabbiose. La spiaggia emersa è costituita da sabbie da medie a grossolane, con lenti di ciottoletti e subordinati ciottoli concentrati nella berma ordinaria e di tempesta. Il rifornimento dei sedimenti è da riferirsi principalmente al F. Magra. Nelle porzioni più riparate dagli apporti detritici il sedimento passa a sabbie fini e molto fini, mentre nei pressi della foce del F. Frigido e del F. Carrione è caratteristica l'abbondanza dei prodotti della lavorazione del marmo ("marmettola") [1].

La spiaggia di Marina di Massa sta subendo una forte erosione dalla costruzione del porto di Marina di Carrara (1920) e, nonostante le diverse tipologie di strutture realizzate in quest'area per limitare l'arretramento della linea di riva, tale fenomeno sta avendo delle ripercussioni sull'aspetto turistico della zona [2].

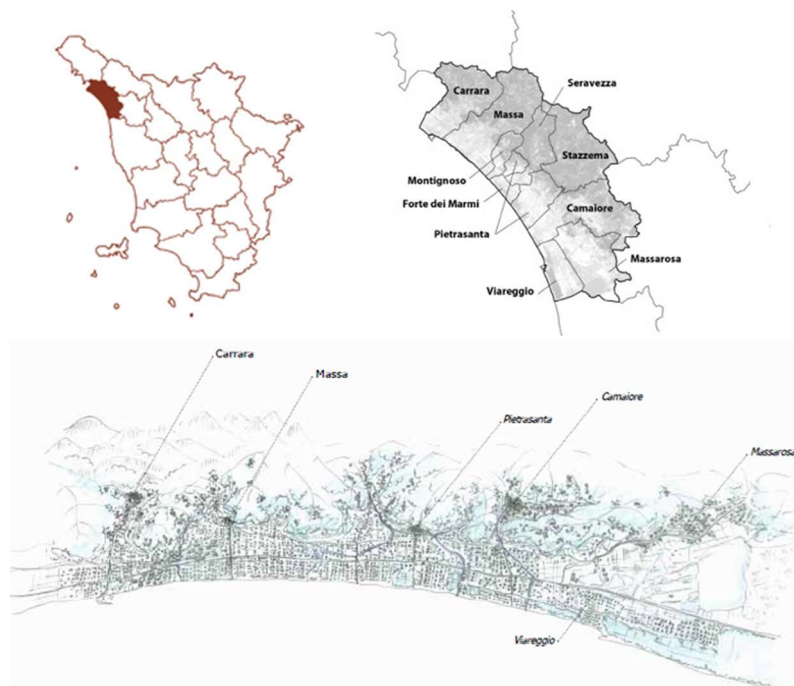


Figura 1 – Inquadramento geografico



Figura 2 – Individuazione dell'area di intervento

Il litorale di Marina di Massa appartiene all'unità fisiografica della Toscana settentrionale (Figura 3), che si estende, per 65 km, da Punta Bianca a Livorno. L'unità fisiografica è divisa amministrativamente fra la Regione Toscana, nel cui territorio ricadono ben 60,9 km, e la Regione Liguria, ove ricadono solo i 2,6 km più settentrionali.

Il tratto centro-meridionale dell'unità è alimentato dagli apporti sedimentari del Fiume Arno (e subordinatamente, da quelli del Fiume Serchio), mentre la parte settentrionale, ove si trova il litorale di Marina di Massa, deve la sua alimentazione ai sedimenti immessi nel sistema costiero dal Fiume Magra. La costa varia la propria esposizione passando da una direzione NE-SW, all'estremità settentrionale, ad una N-S, nel tratto meridionale e, se non fosse per l'aggetto naturale del delta dell'Arno e per quelli artificiali dei porti di Marina di Carrara e Viareggio, costituirebbe una falcatura con raggio di curvatura progressivamente crescente tale da farla assimilare alle spiagge a forma di spirale logaritmica [3]. Questo tratto di litorale rappresenta il limite naturale tra la pianura alluvionale dei fiumi Magra, Serchio ed Arno e la porzione di piattaforma continentale, una delle più vaste dei Mari Ligure e Tirreno. L'intera unità fisiografica è interessata da un deficit sedimentario, provocato in buona parte dalla presenza del Porto di Marina di Carrara, il quale ostacola l'apporto solido del fiume Magra. In passato quest'ultimo costituiva un elemento positivo per l'equilibrio dell'intera unità poiché, distribuito dal moto ondoso, favoriva l'avanzamento della linea di costa.

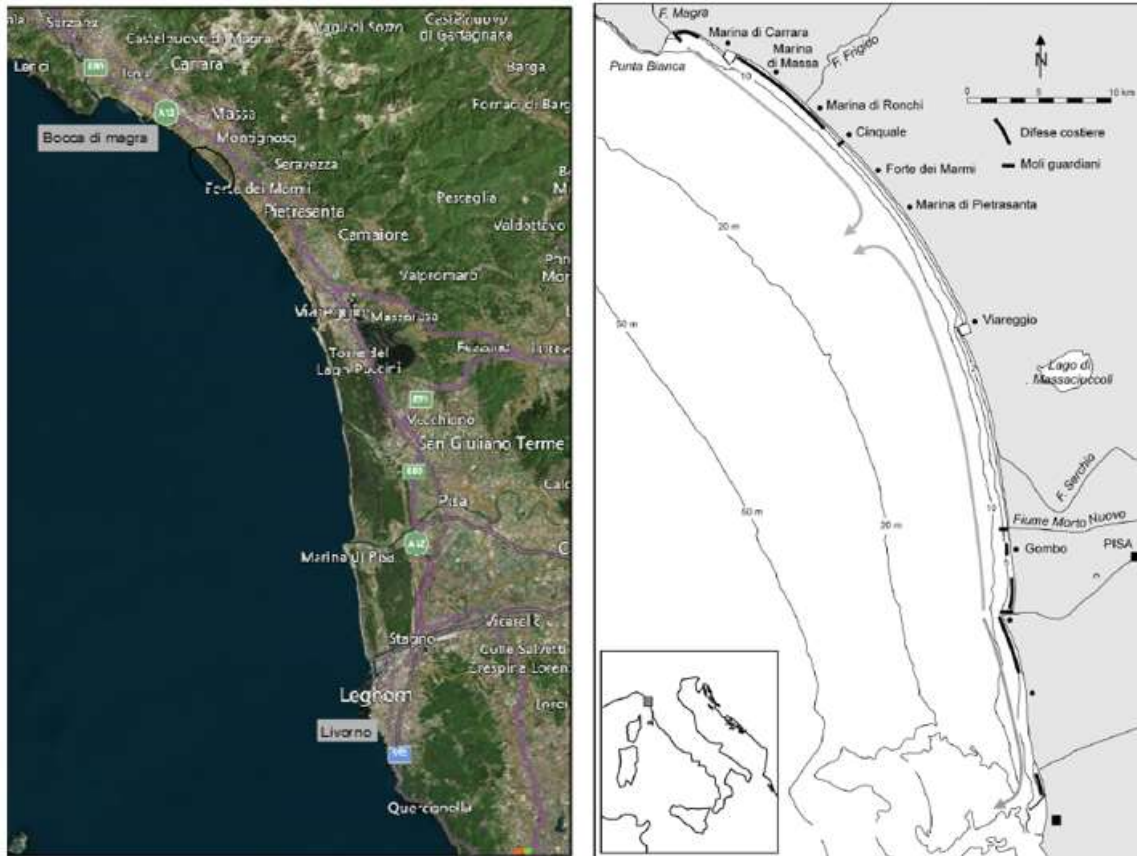


Figura 3 – Individuazione dell'unità fisiografica

2.1. Evoluzione storica del litorale

Al fine di comprendere le tendenze di evoluzione della linea di riva descritte per il lungo, medio e breve periodo è necessario tener conto dell'evoluzione del complesso sistema difensivo che caratterizza questo tratto di litorale.

La realizzazione del porto di Carrara nei primi anni '50 ha condannato il litorale ad una tendenza erosiva, poiché il molo portuale, che si estende sino ad una batimetrica di $4 \div 5 m$, intercetta il materiale solido proveniente dal bacino del Magra. In particolare, nel 1954 (Figura 4) la costa compresa tra il Porto di Carrara e la foce del Frigido risultava sostanzialmente priva di opere di difesa, ad eccezione di alcuni tratti di scogliere parallele alla Partaccia e nei pressi della colonia Ugo Pisa. È infatti negli anni seguenti che compare il complesso di scogliere emerse e distaccate che ancora oggi contraddistingue il litorale che va dalla Partaccia fino alla Colonia Torino ed i quattro pennelli più a sud, realizzati prima di arrivare alla foce del Brugiano.



Figura 4 - Assetto della costa della Provincia di Massa Carrara dal Porto di Carrara alla foce del Frigido nel 1954 (Ortofotografia RT)

Le opere rigide di difesa hanno certamente contenuto gli effetti dell'erosione ma non hanno arrestato l'arretramento della linea di riva. D'altra parte, tali opere hanno avuto l'effetto di traslare il gradiente di trasporto solido sulle spiagge più a sud e/o sui fondali antistati.

Al fine di comprendere il trend evolutivo della linea di riva negli ultimi anni si riportano i risultati ottenuti nell'ambito del monitoraggio effettuato dal Consorzio LaMMA con i dati derivanti dal tracciamento della linea di riva tramite diretta digitalizzazione utilizzando il contenuto radiometrico delle immagini satellitari appositamente acquisite su tutta la costa regionale. Il monitoraggio è stato effettuato negli anni 2017-2018-2019-2020 ed è stato confrontato con i dati a disposizione risalenti al 2005 per un'analisi a medio termine.

L'analisi è stata effettuata su tutta la costa settentrionale della Toscana, i cui tassi annuali dal 2005 al 2020 sono riportati in Figura 5. Il presente studio interessa i settori 04 e 05. In Figura 5 si può notare un'evoluzione erosiva a nord della foce del fiume Arno, in particolare a Marina di Massa in cui la tendenza del litorale, seppur erosiva, non risulta omogenea sul settore. Infatti, il settore 4 mostra delle variazioni contenute rispetto al 2005 con una tendenza alla stabilità negli ultimi quattro anni mentre il settore 5, relativo all'area di Marina dei Ronchi, presenta nella maggior parte delle celle delimitate dai pennelli, un arretramento costante sebbene in presenza di oscillazioni annuali anche in senso positivo.

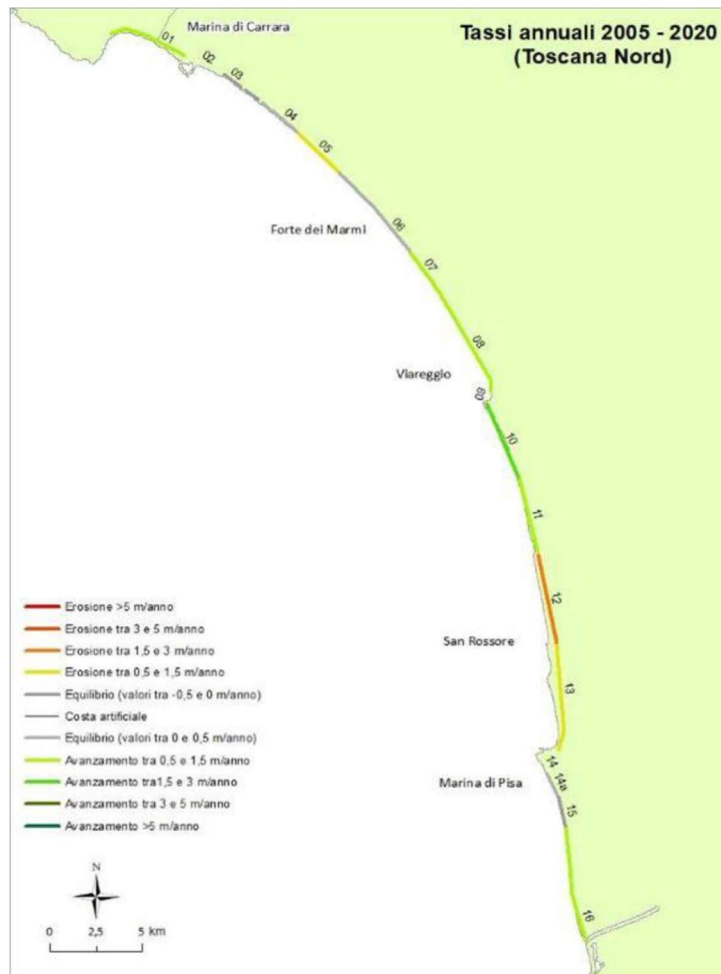


Figura 5 – Variazione della linea di costa per settori - LaMMA

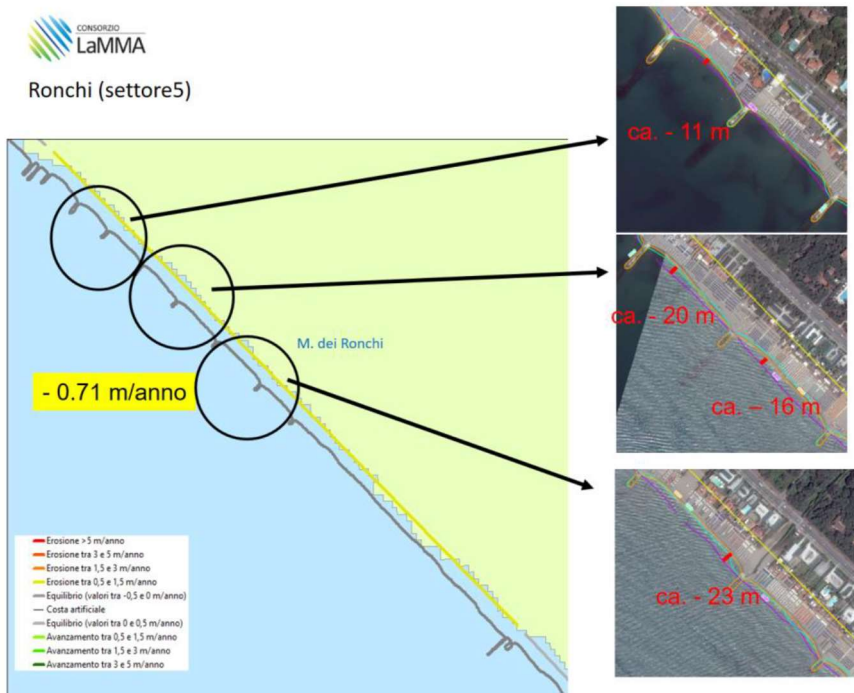


Figura 6 - Dettaglio dell'andamento della linea di riva nel settore 05

In Figura 6 sono riportati in dettaglio gli andamenti di alcuni tratti, in cui è rappresentata in viola la linea di riva del 2005, in verde quella del 2019 e in giallo la più recente (2020).

Le variazioni di linea di riva sono calcolate su transetti posti ogni 50 m, i cui scostamenti vengono mostrati nelle figure seguenti sia rispetto al 2005 sia confrontando anni consecutivi più recenti. Questo dettaglio fa apprezzare le differenze locali all'interno del singolo settore; sono ben evidenti i transetti che all'interno hanno oscillazioni maggiori rispetto ad altri che invece si mostrano decisamente più stabili, anche nei periodi lunghi.

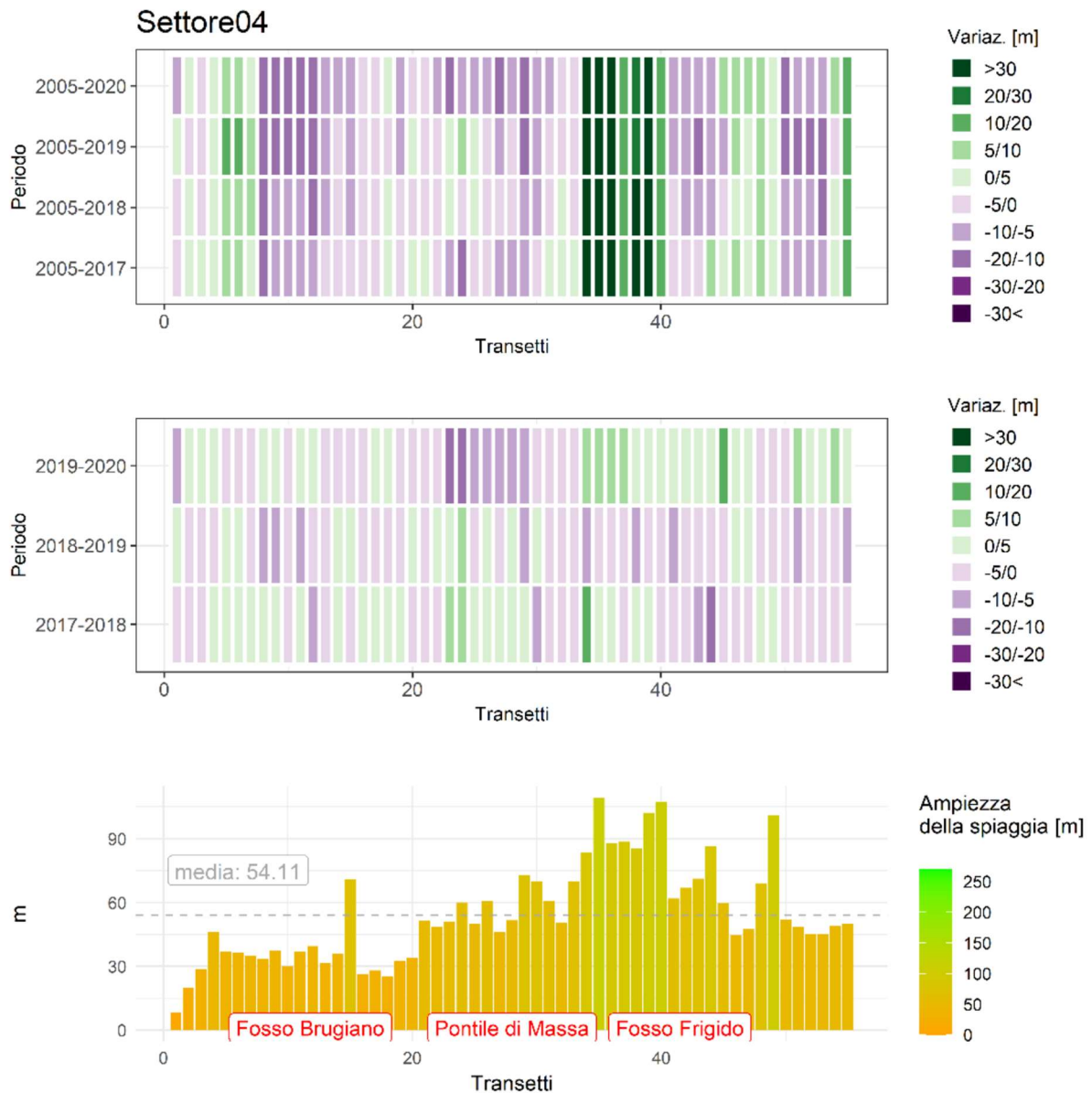


Figura 7 - Confronto delle variazioni della linea di riva - settore 04

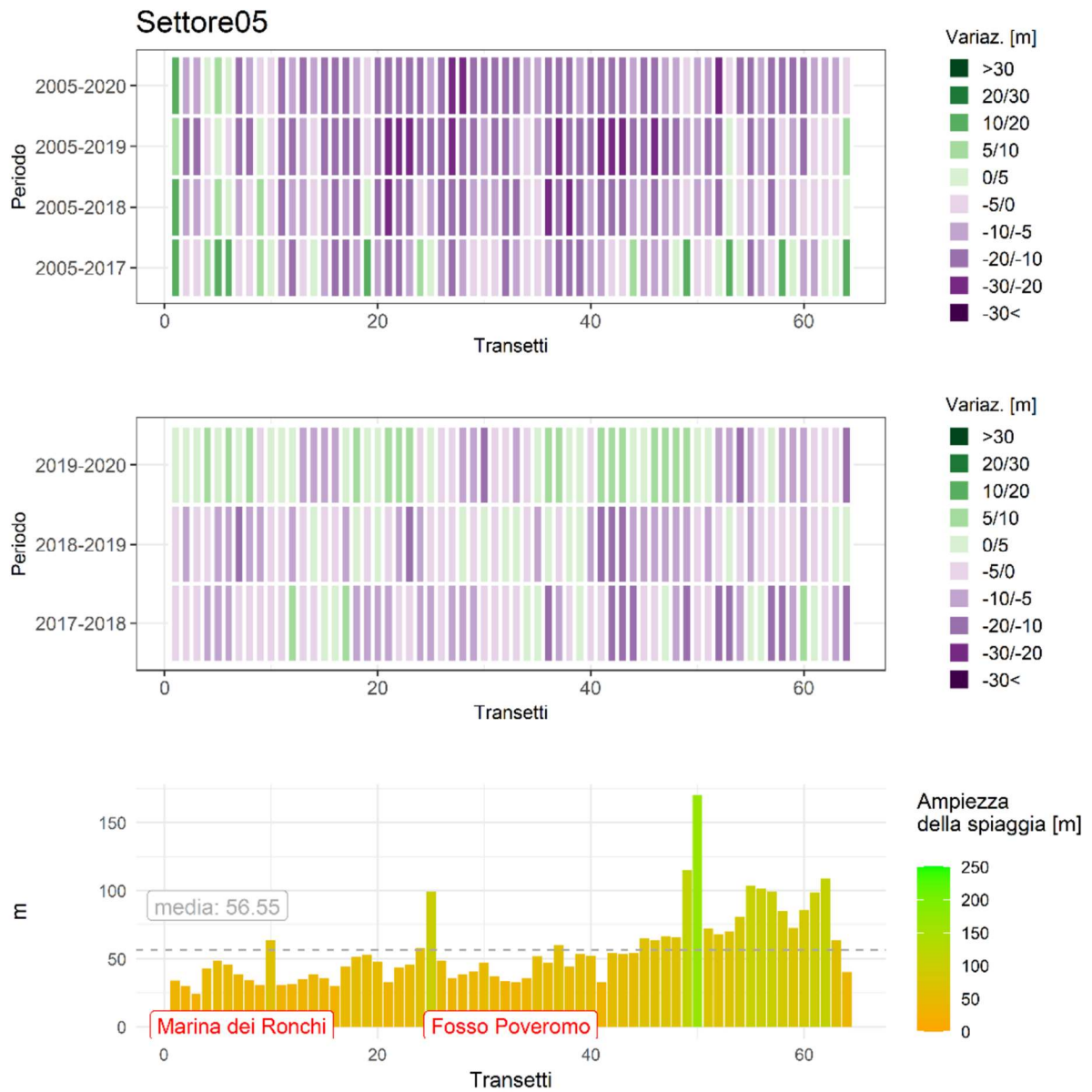


Figura 8 - Confronto variazioni linea di riva - settore 05

3. STUDI E ANALISI A SUPPORTO DEL PROGETTO

3.1. Sopralluoghi sull'area

Sulla base delle informazioni fornite dal committente si è proceduto all'effettuazione di sopralluoghi tendenti alla ricostruzione dello stato attuale e all'individuazione delle possibili alternative progettuali. L'area interessata si presenta morfologicamente molto varia (Figura 9) per la presenza di sabbia, ghiaia e di massi naturali che costituiscono le opere di difesa costiera. È caratterizzata da numerosi pennelli emersi o parzialmente sommersi e da alcune barriere soffolte; tali opere di difesa sono disposte in maniera tale da suddividere il litorale in celle.

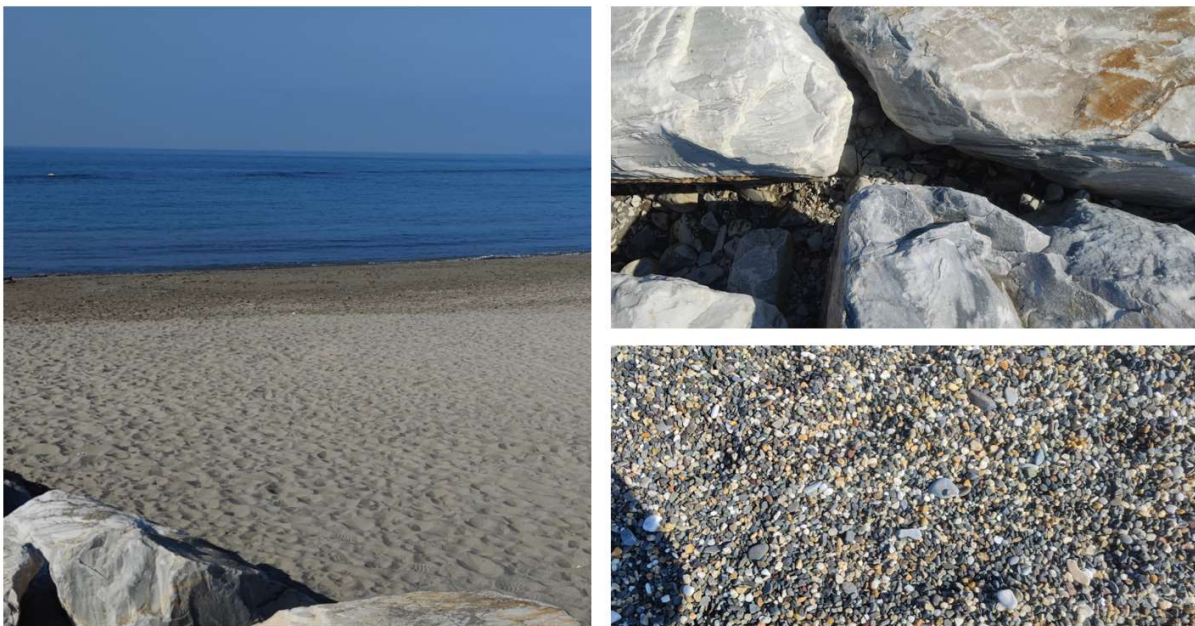


Figura 9 - Composizione morfologica dell'area in esame

3.2. Rilievi topo-batimetrici

Sono state effettuate delle indagini topo-batimetriche al fine di rilevare al meglio il complesso sistema di opere di difesa presenti e per un'accurata comprensione dello stato attuale. Queste informazioni risultano essenziali per le finalità dello studio, ed hanno permesso la previsione dello scenario zero, ovvero quello di non intervento, e l'individuazione delle relative criticità ad esso correlate, requisito necessario ai fini di un'attenta progettazione. Per la visualizzazione grafica del rilievo si rimanda all'elaborato T2 – *Planimetria stato dei luoghi e rilievo batimetrico*.

3.2.1. Rilievo area A

Il rilevamento topo batimetrico, morfologico e aerofotogrammetrico dell'area in corrispondenza della foce del fosso Magliano è stato effettuato da Geo Coste nel 2022, a seguito dell'incarico dal Genio Civile della Toscana del Nord. È stato effettuato un rilievo Multi Beam sui fondali maggiori, al largo delle scogliere soffolte fino alla batimetrica dei 6 m, un rilievo batimetrico Single beam sui fondali minori interessati anche dalla presenza di opere soffolte ed il rilievo aereofotogrammetrico a mezzo

SAPR delle aree emerse e delle scogliere soffolte; oltre al rilievo topografico a mezzo gps della parte emersa, utile per tarare e controllare il rilievo aerofotogrammetrico.

3.2.2. Rilievo area B

Il rilevamento dell'area B è stato fornito dal committente perché già disponibile nell'ambito del monitoraggio costiero per il 2020, in cui la Regione Toscana e il Consorzio LaMMA hanno concordato la programmazione dei rilievi di dettaglio della spiaggia emersa e sommersa nell'area Ronchi presso Marina di Massa, per una lunghezza di 1,5 km. La caratterizzazione è realizzata tramite integrazione di un rilievo a mezzo SAPR della spiaggia emersa e di uno da natante per la spiaggia sommersa, integrati con un rilievo dGPS effettuato direttamente da un operatore tra la quota di -0.5 m e la battigia (fascia non raggiungibile con natante). Il rilievo batimetrico è svolto con strumentazione multibeam dalla profondità massima del rilievo, a circa -10 m , a quella minima consentita dall'imbarcazione (tra la -2 m e la -3 m), per poi procedere in modalità single beam fino alla sovrapposizione col rilievo dGPS manuale. Tramite interpolazione dei dati derivanti dalle diverse metodologie di acquisizione si rende poi possibile la restituzione cartografica d.e.m. (Digital Elevation Model) dell'intera area indagata, oltre ad ortofoto ottenute dalla fotogrammetria da drone, per l'individuazione delle caratteristiche morfologiche della spiaggia e delle opere a mare.

3.3. Dati di riferimento

3.3.1. Dati di moto ondoso

Per il regime di moto ondoso sono stati utilizzati i dati della rete RON (Rete Nazionale Ondametrica) della boa presenti a largo di La Spezia (La Spezia Buoy), i quali forniscono 25 anni di registrazioni (dal 1989 al 2014).

3.3.2. Dati anemometrici

Nel caso specifico dei dati di vento si è fatto riferimento alla serie dei dati ricostruiti in rianalisi mediante il modello meteorologico WAM/ERA5. I dati di vento coprono un periodo che va da gennaio 1988 a dicembre 2021 e fanno riferimento ad una posizione di coordinate 44.00° N e 10.00° E .

3.3.3. Linee di riva storiche

Preliminarmente si sono georeferenziate e digitalizzate, su CAD, le linee di riva storiche riferibili al periodo compreso tra il 1938 e l'anno corrente, desunte da foto aeree/satellitari, dallo "Studio dell'evoluzione morfologica della linea di riva" condotto dal R.T.I. TEI S.p.A. (capogruppo) ed altri nel 2006 nell'ambito dello Studio e ricerca per l'implementazione del quadro conoscitivo della costa toscana nell'ambito del Piano Regionale di Gestione Integrata della Costa, dalla "Relazione tecnica finale nell'ambito del monitoraggio a scala regionale dell'evoluzione della linea di riva da remoto" redatta dal consorzio LAMMA nel novembre 2017 con restituzione grafica della linea di riva nello stesso anno.

3.3.4. Dati sedimentologici

La granulometria del sito in esame è stata dedotta da alcuni studi, forniti dalla Regione Toscana, redatti nell'ambito del Monitoraggio del litorale di Marina di Ronchi effettuato dal Dipartimento di Scienza della terra dell'Università di Firenze su incarico della Provincia di Massa-Carrara. Il monitoraggio ha condotto lo studio dell'evoluzione morfologica e sedimentologica del litorale in oggetto a seguito dell'intervento di riequilibrio costiero realizzato nel 2010.

3.4. Consultazione di studi meteomarini, morfodinamici e di dinamica litoranea effettuati nella zona di interesse

Sono stati consultati diversi studi e progetti riguardanti l'area in esame al fine di recepire un quadro conoscitivo completo. In particolare, sono stati consultati i seguenti studi:

- Lo studio morfodinamico realizzato nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del *Ripascimento del litorale di Massa a sud del fosso Poveromo*;
- Lo studio della dinamica della costa nell'ambito del Piano Regolatore Portuale di Marina di Carrara;
- Il monitoraggio della costa della Toscana settentrionale condotto dal consorzio LaMMA;
- Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale [3];
- Elementi di gestione costiera – Tipi morfo sedimentologici dei litorali italiani [4];
- Note illustrative della carta geologica d'Italia, foglio 249 Massa Carrara [5].

3.5. Studio meteomarino

Lo studio specialistico idraulico marittimo denominato "Studio Meteomarino" (All.R2 studio meteomarino) è stato condotto dalla Interprogetti S.r.l. nell'ambito del presente progetto.

FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI

Una prima valutazione delle condizioni "potenziali" di esposizione al moto ondoso del sito in esame è stata effettuata sulla base dei settori di traversia geografica, rappresentativi dell'estensione della superficie marina che può contribuire alla generazione del moto ondoso ("fetch").

In Figura 10 è mostrato il fetch geografico (tracciato con passo angolare di 10 °) per il punto di coordinate 43.93° N, 9.83° E, posizionato di fronte all'area di interesse a circa 11,88 miglia nautiche dalla costa in prossimità della boa ondometrica di La Spezia.

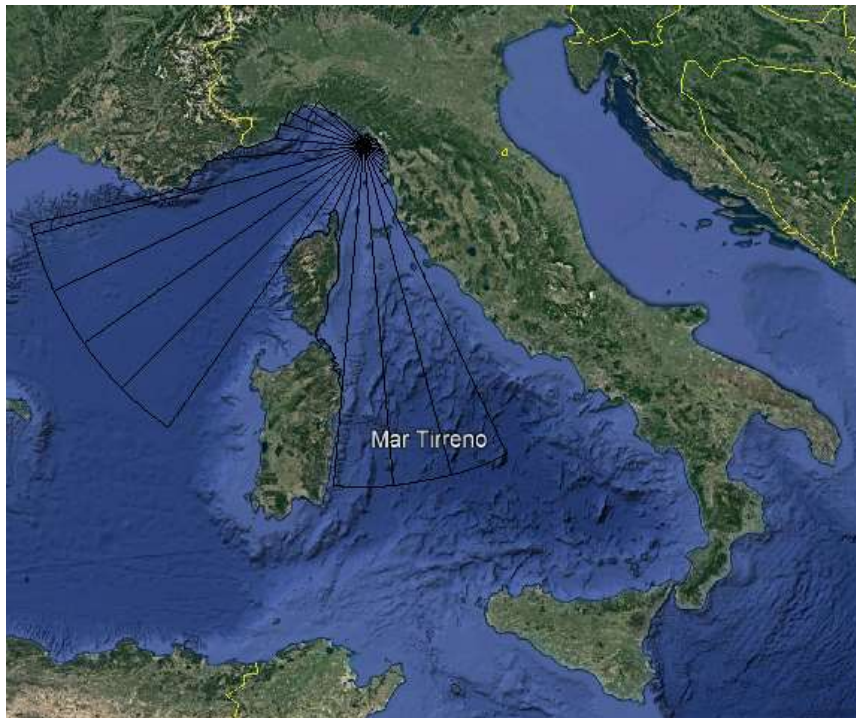


Figura 10 - Fetch geografico

Il fetch efficace è la porzione di mare sulla quale ha effetto l'azione del vento, responsabile della generazione del moto ondoso. Esso è funzione dei fetch geografici associati alle direzioni prossime a quella considerata, in maniera tale da tenere in considerazione che alla generazione del moto ondoso, oltre la superficie marina individuata nella direzione media ϕ_w lungo la quale spira il vento, contribuiscono anche le porzioni di mare delle direzioni comprese in un settore di traversia $\pm \theta$ rispetto alla direzione media di azione del vento. In Figura 11 viene riportato il confronto tra fetch geografico ed efficace per il punto in corrispondenza della boa al largo della costa di La Spezia, da cui si può notare che il fetch efficace risulta maggiore di quello geografico quando quest'ultimo è piccolo e viceversa.

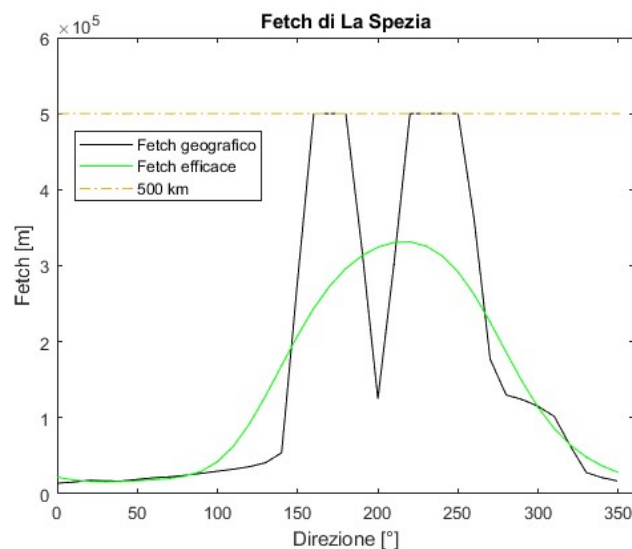


Figura 11 - Confronto fetch geografico ed efficace

REGIME DEI VENTI

Per la definizione del regime dei venti che caratterizzano il sito in esame si è fatto riferimento alla serie dei dati ricostruiti in rianalisi mediante il modello meteorologico WAM/ERA5. I dati di vento coprono un periodo che va da gennaio 1988 a dicembre 2021 e fanno riferimento ad una posizione di coordinate 44.00° N e 10.00° E.

In Figura 12 viene raffigurata la rosa dei venti del sito in esame, da cui si può notare che i venti regnanti, ovvero i più frequenti, provengono prevalentemente dal settore di grecale (30-60° N) e in misura minore dai settori di levante (60-120°N) e scirocco (120-150°N), con una frequenza complessiva rispettivamente pari al 22,60%, 25,59% e il 7,44%. Le calme, ovvero stati di vento con velocità inferiore ai 2 m/s, si verificano con una frequenza molto alta (63,40 %), ma risultano di scarsa influenza ai fini dello studio.

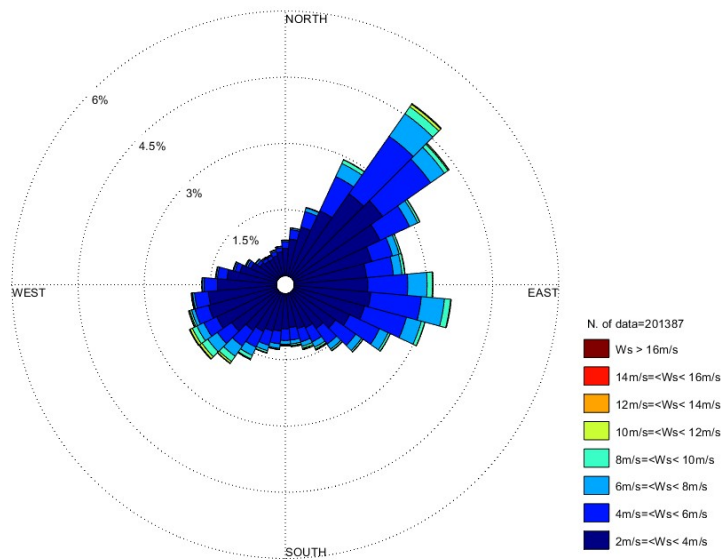


Figura 12 - Rosa dei venti

CLIMA DI MODO ONDOSO

Per la definizione del regime di moto ondoso sono stati utilizzati i dati della rete RON (Rete Nazionale Ondametrica) della boa presenti a largo di La Spezia (La Spezia Buoy), di coordinate 43.929° N, 9.828° E, i quali forniscono 22 anni di registrazioni (dal 1989 al 2014, esclusi 2001 2007 e 2008).

La rosa del moto ondoso, riportata in Figura 13, mostra la direzione prevalente, la frequenza e le varie intensità delle onde.

La rosa delle onde evidenzia una prevalenza di onde provenienti da sud-ovest, con particolare riferimento alle direzioni 210° N e 240° N (43.43 % degli eventi). Le brezze ($H < 0.5 m$) rappresentano il 39.55 % del campione registrato, mentre valori di altezza d'onda superiori ai 2 m hanno una frequenza solo del 6 %.

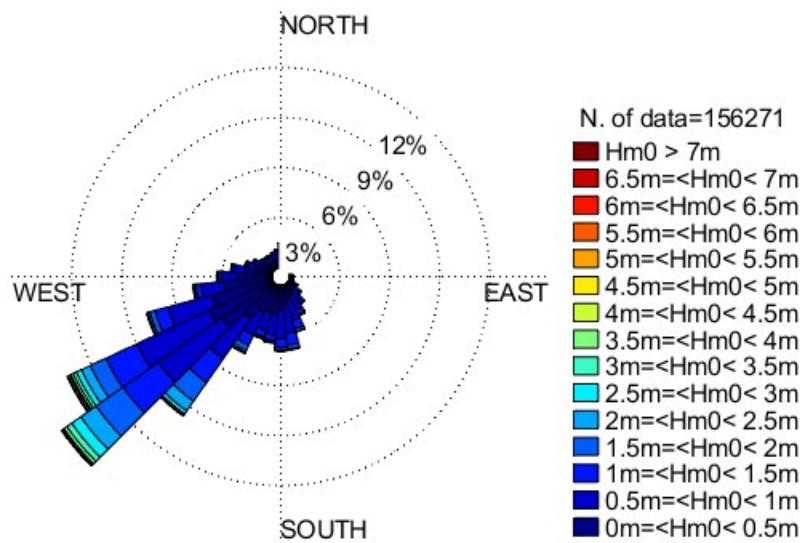


Figura 13 – Rosa del moto ondoso

ANALISI STATISTICA

L’analisi statistica del regime di moto ondoso è uno strumento indispensabile in fase progettuale poiché consente di definire altezze d’onda relative a tempi di ritorno maggiori rispetto all’orizzonte temporale ricoperto dai dati disponibili.

La stima degli estremi prevede la definizione dei parametri caratteristici della distribuzione statistica dei valori campionati. Tali caratteristiche risultano, in prima istanza, ignote sia per quanto riguarda la forma del modello sia per quanto riguarda i parametri dello stesso. Sono state analizzate diverse distribuzioni di probabilità: Gumbel, Weibull, Log-Normale e GEV. La distribuzione di Gumbel è quella che approssima meglio i dati campionari. L’andamento delle altezze d’onda in funzione del tempo di ritorno e i relativi valori vengono riportati rispettivamente in Figura 14 e in Tabella 1.

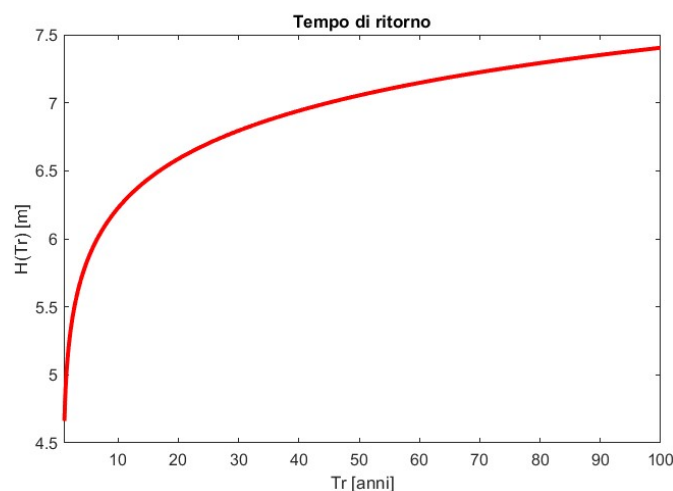


Figura 14 - Altezza d’onda in funzione del tempo di ritorno

Tabella 1 - Valori di altezza d'onda in relazione al tempo di ritorno

T_R	10	25	50	100
$H(T_R)$	6.2272	6.7022	7.0546	7.4044

3.6. Studio morfodinamico

Lo studio morfodinamico (All. R3 Studio morfodinamico), redatto dalla Interprogetti S.r.l. nell'ambito del presente progetto, tratta lo studio specialistico di morfodinamica litoranea condotto per analizzare, attraverso modellazione numerica, le tendenze evolutive della linea di riva e l'idrodinamica costiera del sito in esame.

Nello studio vengono introdotti ed analizzati i possibili scenari di intervento relativi al progetto.

3.6.1. Analisi delle alternative di progetto

Come descritto dettagliatamente nel Paragrafo 2.1, il litorale di Marina di Massa soffre di fenomeni erosivi dalla realizzazione del porto di Massa Carrara, avvenuta circa negli anni '50. Per tentare di limitare questo trend negli anni successivi si è proceduto con la messa in opera di diverse opere di difesa costiera, realizzate in varie fasi e senza una specifica programmazione d'insieme. Questo approccio ha condotto al complesso e disorganizzato sistema di strutture a scogliera che caratterizza ad oggi il litorale.

L'area A soffre di fenomeni di deposito di materiale organico galleggiante, detto "Lavarone", proveniente dal fosso Magliano, che influenzano negativamente la fruibilità della spiaggia, l'attività turistica e la balneazione. In questa zona l'obiettivo dello studio consiste nella valutazione di un sistema di ottimizzazione delle opere esistenti mirato a favorire lo sviluppo di dinamiche litoranee tali da limitare i fenomeni di deposito di materiale all'interno delle celle. A causa della sua conformazione morfologica, la cella presenta una velocità della corrente modesta, dovuta alla presenza di diversi confinamenti laterali costituiti dalle parti terminali dei pennelli soffici e della barriera sommersa che la delimitano. Inoltre, nell'area in questione sono presenti dei residui di massi naturali che costituivano un'opera di difesa costiera presente fino al 2004; tale opera nella sua sostituzione non è stata salpata completamente e ad oggi provoca un ulteriore ostacolo alla corrente.

Per tale area sono state studiate molteplici soluzioni alternative di intervento combinandone i risultati in funzione dell'efficienza e dell'obiettivo progettuale.

- Rimozione strutture residue delle opere di difesa degli anni 70 ancora giacenti sul fondale
- Innalzamento di quota della parte terminale dei pennelli di armatura della foce, ad oggi soffici
- corretta risagomatura dei pennelli di armatura che ad oggi presentano cedimenti e scoscendimenti tali da occludere la sezione di deflusso del fosso;
- Riduzione di quota o completo salpamento del primo pennello in sinistra idraulica della foce:

Per le suddette ragioni la prima analisi valutata per incrementare il campo di velocità ha riguardato il salpamento dei massi appartenenti alla precedente configurazione difensiva.

I risultati del modello morfodinamico hanno evidenziato che, seppur presente, la miglioria apportata dal salpamento dei massi appartenenti alla precedente configurazione difensiva in termini di circolazione idrodinamica è molto modesta, tanto da escludere questa alternativa. Tale scenario, infatti, risulta senz'altro sostenibile ma poco utile in relazione agli obiettivi del progetto sebbene avrebbe dei vantaggi dal punto di vista paesaggistico e dell'uso ricreativo della spiaggia.

Si è optato allora per l'innalzamento di quota dei pennelli di foce che allo stato attuale sono in parte emersi e in parte sommersi. Non è dunque prevista alcuna nuova struttura, poiché il progetto non modifica l'impronta delle scogliere esistenti ma ne incrementa la quota di cresta portandola a +1 m per tutta la sua estensione. Rimangono tuttavia sommerse le strutture disposte parallelamente alla spiaggia, ovvero la soffolta che rende chiusa la cella a nord del fosso e quella che conferisce la forma ad "L" della cella a sud.

Tale scenario modifica l'assetto della corrente, rendendolo più simile a quello che caratterizza le celle limitrofe. In particolare, per quanto riguarda la cella a nord del fosso l'andamento circolatorio subisce dei cambi di direzione rispetto allo stato attuale in cui è presente un trasporto diretto fortemente verso sud. L'aumento di curvatura della corrente comporta una maggiore circolazione e quindi uno scambio più significativo tra l'interno e l'esterno della cella, fenomeno assolutamente gradito per evitare il ristagno delle acque di balneazione e conseguentemente la qualità di queste ultime. Inoltre, si manifesta un leggero aumento della velocità che si traduce in una minore capacità di sedimentazione del "lavarone".

Al fine di limitare l'impatto visivo e paesaggistico del litorale si è valutata anche la possibilità di rendere soffolto il pennello a sud rispetto alla foce del fosso Magliano. L'andamento idrodinamico e morfologico in questo caso non presenta variazioni significative, consente un maggiore bypass e aumenta la circolazione all'interno della cella. Dalle simulazioni morfologiche non è emerso alcun effetto collaterale dovuto alla variazione di quota della struttura. Il vantaggio di questa alternativa è prettamente ambientale, paesaggistico e migliorativo per gli usi ricreativi e turistici della spiaggia.

Per l'area B è prevista la progettazione di un intervento di ripascimento atto a contrastare la tendenza erosiva che ha caratterizzato recentemente il litorale. Inoltre, deve essere valutata la possibilità di ottimizzare la foce del fosso Poveromo al fine di rendere più stabile il corso d'acqua allo sbocco che avviene in corrispondenza del pennello, prevedendo, ove necessario, un suo adeguamento.

Al fine di rendere più stabile la foce del fosso Poveromo e di evitare il trascinarsi dei massi che costituiscono il pennello ivi presente, si è ritenuto necessario effettuare uno spostamento del suddetto pennello ed incrementare la lunghezza di radicamento a terra. Il radicamento a terra serve a vincolare il percorso del fosso a sfociare in sinistra idraulica del pennello. Questa soluzione consente di vincolare il percorso del fosso Poveromo a sfociare a sud rispetto al pennello, conferendo a quest'ultimo oltre che la funzione di opera di difesa anche quella di armatura della parte terminale del corso d'acqua. In termini morfodinamici non si sono evidenziate differenze sostanziali a lungo termine, vi è solo un riassetto della configurazione batimetrica nel breve periodo.

Per il ripascimento dell'arenile della zona B sono previsti circa 130 000 m^3 di sedimenti, in parte di provenienza marina e in parte terrestre. Le analisi morfodinamiche hanno dimostrato l'efficacia del ripascimento, il quale risulta contenuto per via della presenza dei pennelli che delimitano le celle in esame. Per ulteriori approfondimenti riguardo le alternative progettuali si faccia riferimento all'elaborato R3 – Studio morfodinamico.

4. STATO DEI LUOGHI

L'intera unità fisiografica è oggi interessata da un deficit sedimentario che determina un arretramento generalizzato della linea di riva, con fortissime variazioni locali. L'erosione del litorale posto a nord di Bocca d'Arno dimostra l'importanza dei fattori regionali, naturali e antropici, nei bacini idrografici sul bilancio dei sedimenti, mentre l'accrescimento della spiaggia a nord del porto di Marina di Carrara e l'erosione di quella meridionale costituiscono un caso emblematico dell'influenza dei fattori locali.

La porzione di litorale oggetto dello studio è caratterizzata da un elevato grado di antropizzazione, dovuto inizialmente alle attività portuali di Carrara e Viareggio e, successivamente allo sviluppo dell'attività turistica che vede in Marina di Massa, Forte dei Marmi e nella stessa Viareggio i centri principali. Il tratto più settentrionale è interessato da numerosissime opere di difesa che influenzano ulteriormente la dinamica dei sedimenti.

In particolare, la zona A (si veda Figura 2) è caratterizzata da numerosi pennelli emersi o parzialmente sommersi e da alcune barriere soffolte (Figura 15); tali opere di difesa sono disposte in maniera tale da suddividere il litorale in celle. La zona B pur caratterizzata da una serie di pennelli disposti parallelamente l'uno all'altro in analogia con l'area A, non presenta alcuna barriera.



Figura 15 - Pennello e barriera soffolta presente nella Zona A

L'area oggetto di studio è caratterizzata anche da evidenti fenomeni di deposito di materiale organico galleggiante, che interessa prevalentemente la cella a nord della foce del fosso Magliano. Tale materiale, di cui si riportano delle foto in Figura 17, è chiamato "Lavarone" e ha origine ad oggi ignota, anche se si ipotizza che sia trasportato dal fosso Magliano. Uno degli obiettivi dello studio risulta essere l'individuazione di dinamiche litoranee atte ad evitare un eccessivo deposito all'interno delle celle del materiale in sospensione. Le aree di maggior deposito allo stato attuale del Lavarone sono evidenziate in magenta nella Figura 16.

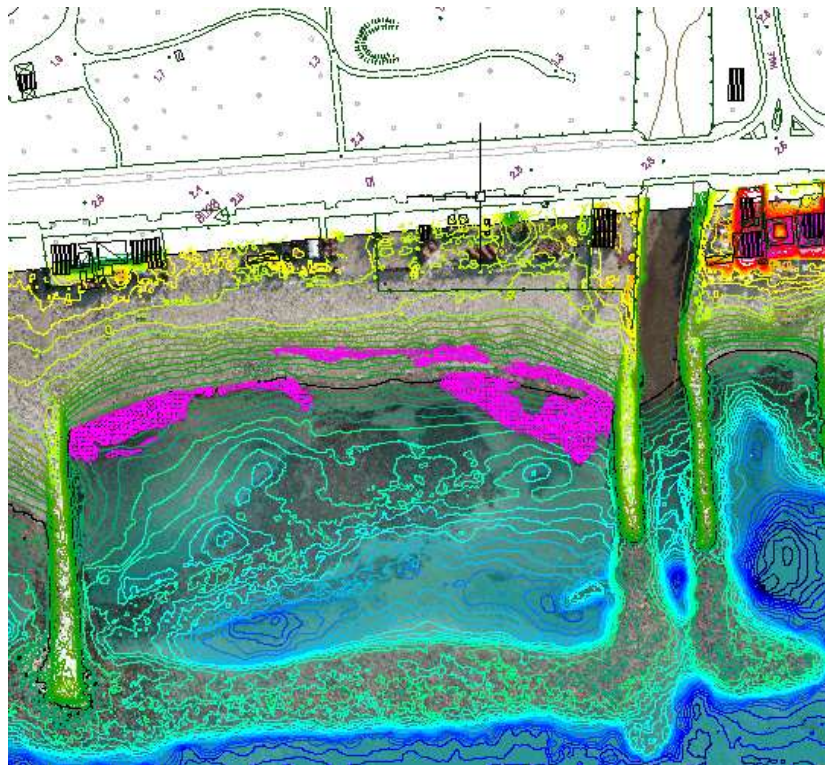


Figura 16 - Individuazione planimetrica del lavarone



Figura 17 – Lavarone

La cella in questione, infatti, è caratterizzata da una velocità della corrente modesta, dovuta alla presenza dei diversi confinamenti laterali costituiti dalle parti terminali dei pennelli soffolti e della barriera sommersa. Inoltre, la porzione di litorale in oggetto ha modificato la configurazione delle opere di difesa recentemente; in Figura 18 è riportata la barriera soffolta presente nel 2004, che non è stata salpata completamente e dunque provoca un ulteriore ostacolo alla corrente. La presenza della barriera, seppur non nella configurazione originale è confermata anche dal rilievo di dettaglio eseguito ai fini dello studio, di cui è riportato uno stralcio in Figura 16.



Figura 18 - Opere di difesa nell'area A nel 2004 (Google Earth)

Nell'area dei Ronchi (Area B), dato l'andamento erosivo che caratterizza il litorale, deve essere fornita alla spiaggia una nuova alimentazione di sabbia. I sedimenti necessari al ripascimento saranno prevalentemente di origine marina, provenienti dall'accumulo presente in prossimità del porto di Viareggio e in parte provenienti da cava terrestre. Inoltre, in corrispondenza della foce del fosso Poveromo è situato un pennello, come si può notare dalla Figura 19, la cui posizione è a rischio instabilità a causa del corso d'acqua.



Figura 19 - Foce del fosso Poveromo (marzo 2022)

Nella figura seguente (Figura 20) si può notare come nel 2016 il fosso sfociava alla destra del pennello, al contrario di quanto rappresentato nelle foto risalenti a marzo 2022. Tale configurazione risulta pericolosa perché può comportare uno scalzamento dei massi dell'opera di difesa costiera. Per tale ragione, uno degli obiettivi del presente studio risulta essere l'analisi delle dinamiche litoranee che caratterizzano questo punto critico e la valutazione di una possibile ottimizzazione della configurazione dei suddetti elementi.

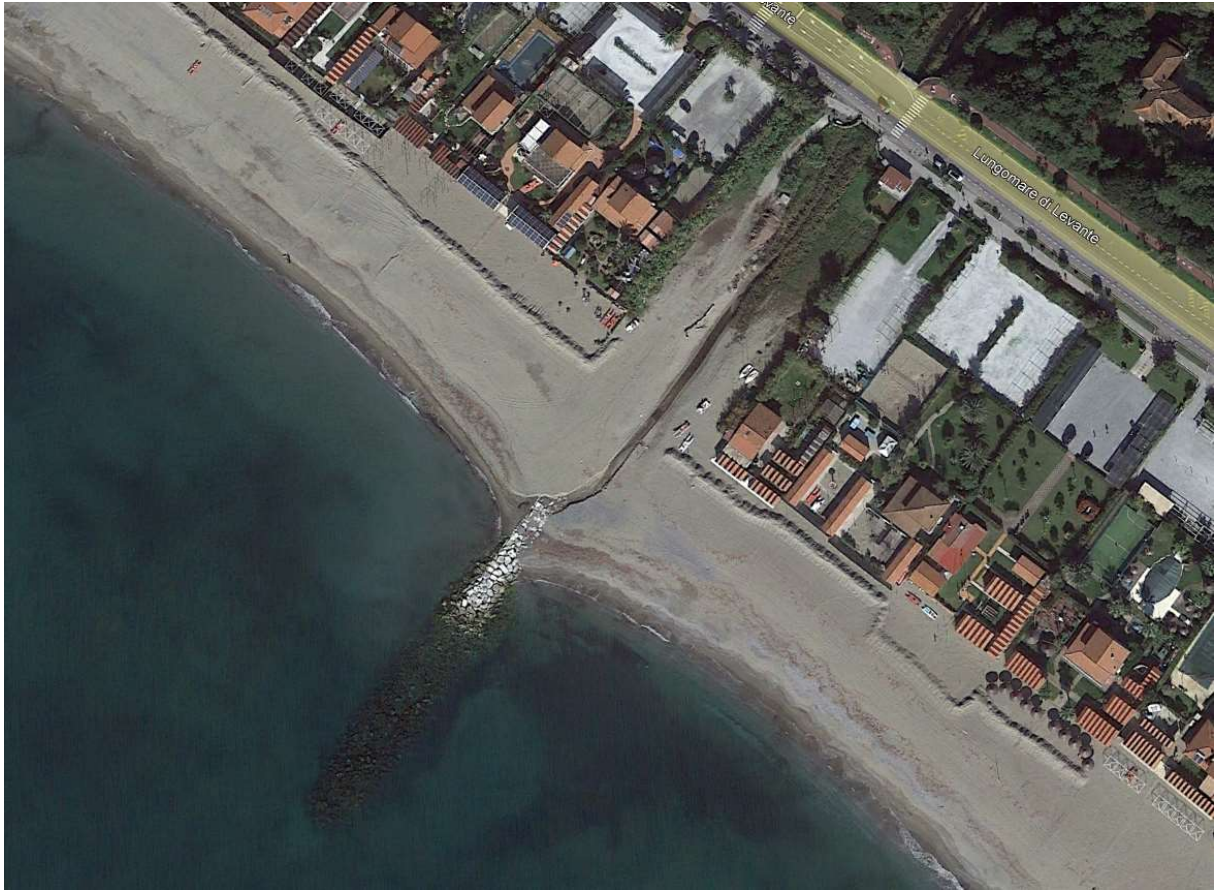


Figura 20 – Posizione della foce del fosso Poveromo (Google Earth 2016)

5. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Sulla base delle analisi morfodinamiche condotte e della valutazione dell'efficacia delle diverse alternative progettuali si è optato per le seguenti soluzioni:

- Area A: il progetto prevede il salpamento dei massi che ostruiscono la sezione di sbocco del fosso Magliano, l'innalzamento di quota dei pennelli che costituiscono la foce dello stesso fosso e l'abbassamento di quota, fino a renderlo soffolto, del pennello disposto a sud rispetto allo sbocco del corso d'acqua in mare;
- Area B: il progetto prevede lo spostamento di 10 m verso nord del pennello in corrispondenza della foce del fosso Poveromo, in maniera tale da conferire alla suddetta scogliera la funzione anche di armatura di foce, oltre a quella di opera di difesa della costa. Inoltre, a causa dell'andamento erosivo che caratterizza la zona in esame (vedasi Paragrafo 2.1 - Evoluzione storica del litorale, Figura 6 e Figura 7), è previsto anche un importante intervento di ripascimento la cui estensione e il conseguente avanzamento della linea di riva sono stati condizionati dalla quantità di materiale disponibile.

L'intervento generale è desumibile dall'elaborato grafico *T3 - Planimetria generale e sezioni tipo – Fosso Magliano* e *T4 - Planimetria generale e sezioni tipo – Fosso Poveromo*.

5.1.1. Area A

Nell'area A la soluzione progettuale adottata, rappresentata planimetricamente in Figura 21, non prevede la realizzazione di alcuna nuova struttura, né la modifica dell'impronta di opere già presenti allo stato attuale. Viene solo modificato l'assetto l'altimetrico del sistema di difesa rendendo completamente emersi i pennelli di foce, ad una quota di +1.00 m (come si può vedere in Figura 22 - Sezione tipologica della foce del fosso Magliano, e in pianta nella Figura 24 dove viene raffigurata in rosso la parte di scogliera soggetta a variazione di quota), che ad oggi sono in parte emersi e in parte sommersi. Rimangono tuttavia sommerse le strutture disposte parallelamente alla spiaggia, ovvero la soffolta che rende chiusa la cella a nord del fosso e quella che conferisce la forma ad "L" della cella a sud.

Viene inoltre ripristinata la sezione di foce (Figura 22) mediante salpamento dei massi usciti fuori sagoma a causa dell'azione del moto ondoso. Tali massi infatti, allo stato attuale, modificano l'assetto batimetrico del canale che sfocia in mare. Tale salpamento consentirà di raccordare il letto della foce del fiume, ad una quota di circa -1.2 m, alla batimetria a valle dei pennelli di armatura, che si trova circa a -2.5 m.

Il progetto prevede anche l'abbassamento della quota, a circa -0,5 m, del pennello subito a sud rispetto alla foce, come è rappresentato planimetricamente dalla figura Figura 21 e la cui sezione è riportata in Figura 23. Questa soluzione viene proposta per mitigare l'impatto visivo e paesaggistico di un litorale contraddistinto da un complesso sistema di opere ingegneristiche, in linea con la politica di destrutturazione ingegneristica del committente.

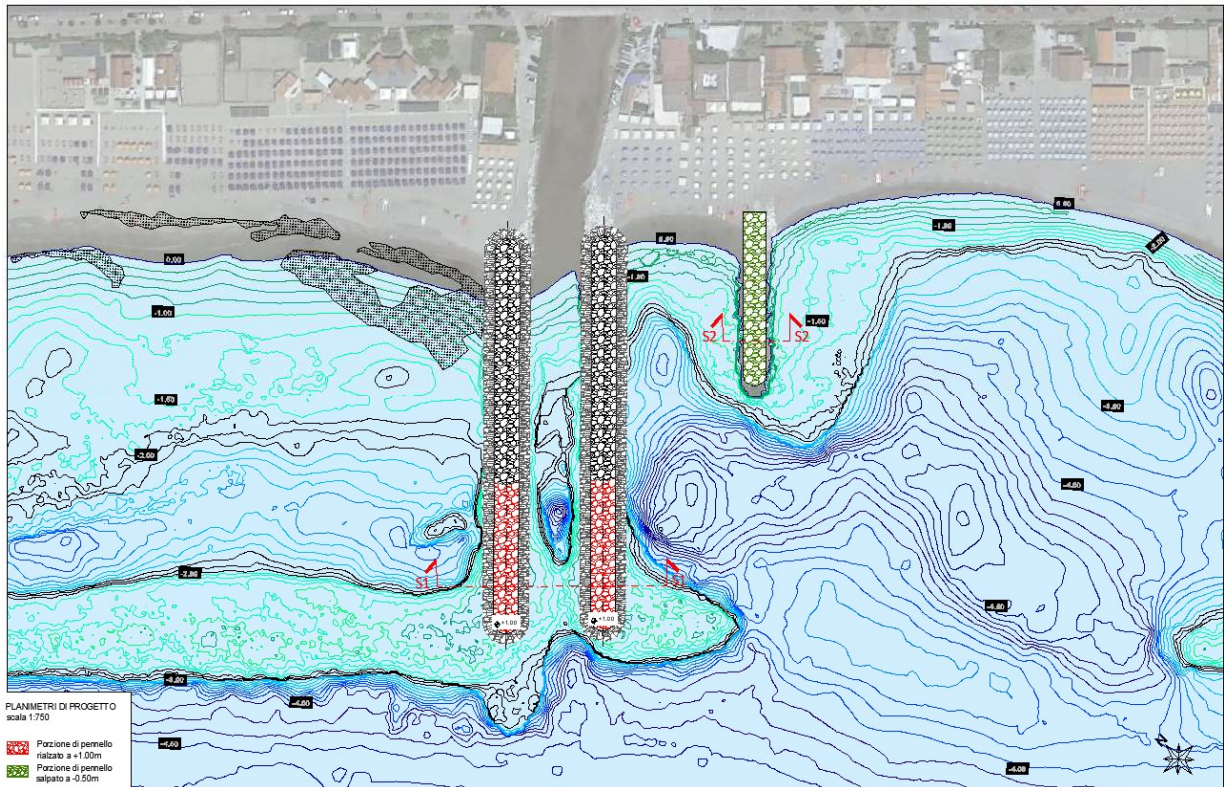


Figura 21 - Planimetria di progetto area A



Figura 22 - Sezione tipologica della foce del fosso Magliano

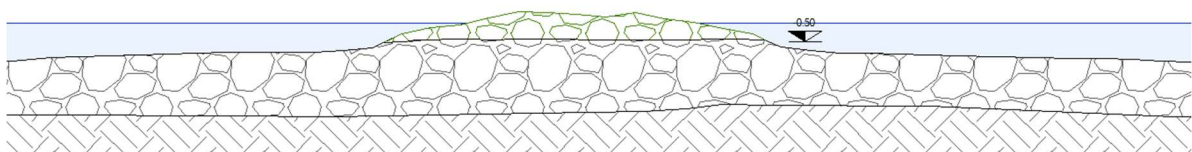


Figura 23 - Sezione tipologica pennello a sud della foce

L'incremento di quota dei pennelli modifica l'assetto della corrente, rendendolo più simile a quello che caratterizza le celle limitrofe. In particolare, per quanto riguarda la cella a nord del fosso l'andamento circolatorio subisce dei cambi di direzione rispetto allo stato attuale in cui è presente un trasporto diretto fortemente verso sud. L'aumento di curvatura della corrente comporta una maggiore circolazione e quindi uno scambio più significativo tra l'interno e l'esterno della cella, fenomeno assolutamente gradito per evitare il ristagno delle acque di balneazione e conseguentemente la qualità di queste ultime. Inoltre, si manifesta un leggero aumento della velocità che si traduce in una minore capacità di sedimentazione del Lavarone. Questa alternativa risulta quindi coerente con gli obiettivi

del progetto e in termini di cambiamento morfologico non si evidenziano significative variazioni rispetto allo scenario di non intervento.

Il pennello reso soffolto consente un maggiore bypass e aumenta la circolazione all'interno della cella. Dalle simulazioni morfologiche non è emerso alcun effetto collaterale dovuto alla variazione di quota della struttura, sebbene non vi siano nemmeno dei benefici significativi in termini di evoluzione idrodinamica. Il vantaggio di questa alternativa è prettamente ambientale, paesaggistico e migliorativo per gli usi ricreativi e turistici della spiaggia.

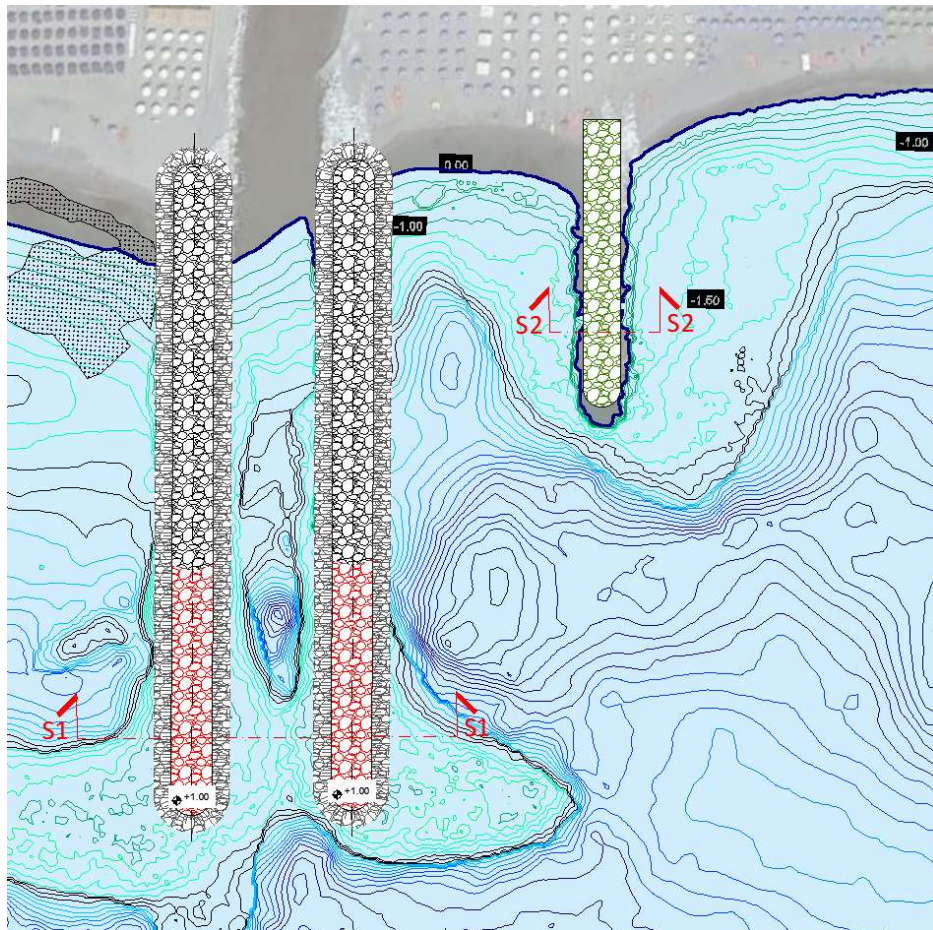


Figura 24 - Zoom dell'intervento dell'area A

5.1.2. Area B

Per quanto riguarda la zona B, al fine di rendere più stabile la foce del fosso Poveromo e di evitare il trascinarsi dei massi che costituiscono il pennello ivi presente, si è ritenuto necessario effettuare uno spostamento di circa 10 m verso nord del suddetto pennello ed incrementare di circa 50 m la lunghezza di radicamento a terra, come è mostrato in Figura 25. Il radicamento a terra serve a vincolare il percorso del fosso a sfociare in sinistra idraulica del pennello. Tale spostamento risulta piuttosto modesto, infatti comporta una traslazione per cui il confine più a sud del pennello di progetto coincide con l'estremità a nord dell'opera allo stato attuale.

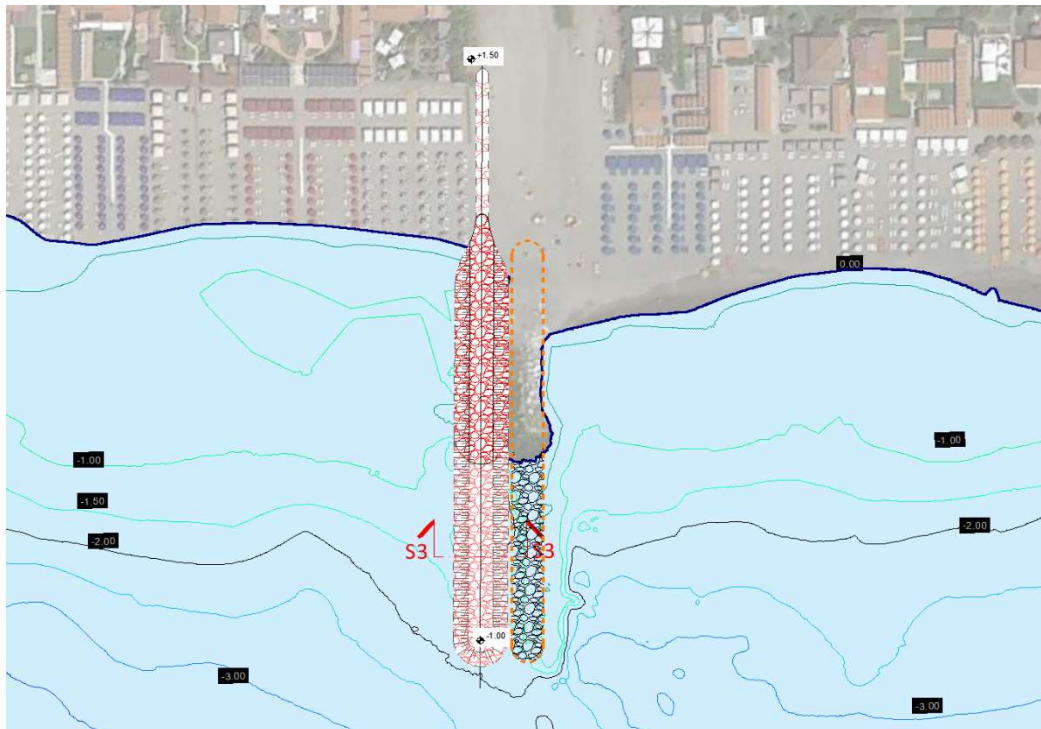


Figura 25 - Spostamento del pennello

I risultati del modulo idrodinamico dimostrano che non viene modificato l'assetto circolatorio ante-intervento. In termini morfologici non ci sono variazioni che modificano la conformazione batimetrica allo stato attuale. Si può notare semplicemente un riallineamento del profilo trasversale di spiaggia nei 20 m di ampiezza interessati dall'intervento.

In Figura 26 è mostrata la sezione del pennello di progetto e quella ante-operam. Il pennello risulta in parte emerso, partendo da una quota di +1 m s.l.m. e termina soffolto con la quota della cresta a -0.5 m s.l.m.

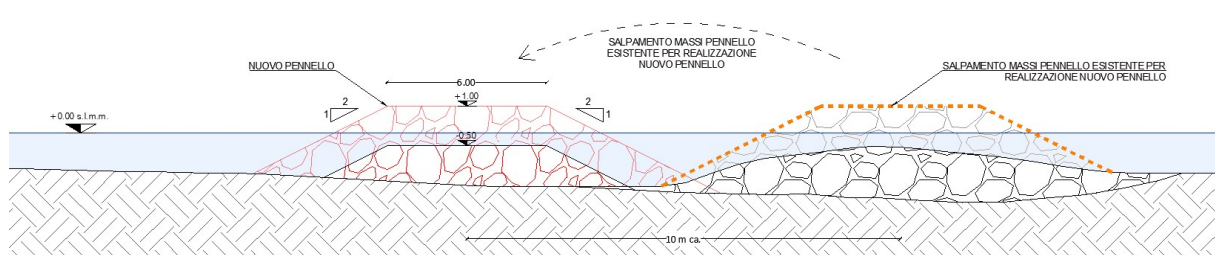


Figura 26 - Sezione trasversale del pennello

Questa soluzione consente di vincolare il percorso del fosso Poveromo a sfociare a sud rispetto al pennello, conferendo a quest'ultimo oltre che la funzione di opera di difesa anche quella di armatura della parte terminale del corso d'acqua. Come si può notare dalla Figura 27, la nuova configurazione planimetrica del pennello non interferisce con l'organizzazione commerciale dei due stabilimenti. Infine, si sottolinea che l'intervento non modifica la coerenza geometrica attinente all'ampiezza delle falcate limitrofe in quanto lo spostamento riduce solo del 5% la larghezza della cella.

Per l'area B è inoltre prevista anche un intervento di ripascimento atto a contrastare la tendenza erosiva che ha caratterizzato recentemente il litorale. Per il ripascimento dell'arenile sono previsti $100\,000\text{ m}^3$ di sedimenti provenienti dall'escavo dei fondali marini nei pressi dell'imboccatura del porto di Viareggio, i quali devono essere necessariamente dragati per evitare l'insabbiamento del porto, e $29\,000\text{ m}^3$ provenienti da cava terrestre, costituiti da $25\,000\text{ m}^3$ di sabbia grossolana e $4\,000\text{ m}^3$ di ghiaia. La fornitura di materiale proveniente da cava è dovuta alla necessità di compensare con granulometrie maggiori le minori dimensioni dei sedimenti caratterizzanti il porto di Viareggio rispetto a quelli dell'area di intervento.

Si considera inoltre la possibilità di attivare come lavori opzionali, di cui all'art. 106 c.1 lett. a, il dragaggio di ulteriori 60.000 mc di sedimenti da versare "a compensazione" lungo il litorale sottoflutto al porto di Viareggio, a cui si potrebbe decidere di fare ricorso in fase esecutiva (previa acquisizione delle relative autorizzazioni), nel caso fosse certa l'interruzione del dragaggio annuale di sedimenti da parte del soggetto gestore del porto.

La scelta di utilizzare le sabbie provenienti dal porto di Viareggio è dovuta ai problemi di insabbiamento dell'imboccatura portuale ed alla conseguente importante disponibilità di volumi di sabbia. L'intenso flusso solido litoraneo che si sviluppa in corrispondenza del litorale viareggino ha inevitabilmente condizionato il processo di sviluppo del porto e ne influenza ancora oggi l'operatività. I numerosi tentativi, effettuati in passato, di migliorare l'agibilità del porto, spingendo sempre più verso il largo le opere di difesa, non sono riusciti ad eliminare l'insabbiamento dell'imboccatura ed hanno finito solo con l'interferire in modo sempre più accentuato con il flusso dei sedimenti, innescando fenomeni erosivi sottoflutto alle opere stesse. L'incremento del tasso annuo di dragaggio degli ultimi anni costituisce un importante campanello d'allarme per la funzionalità della struttura portuale in relazione alle tendenze attuali di insabbiamento, problematica che viene evidenziata anche dalla recente evoluzione dei fondali nei pressi del porto. Classificato come porto di interesse regionale e interregionale, tra le sue priorità, per garantirne la funzionalità, vi è la realizzazione di interventi strutturali volti a risolvere il problema attraverso un sistema continuo di dragaggio. Di tale operazione di dragaggio beneficiano le coste vicine che soffrono di problematiche di erosione, per mezzo di interventi di ripascimento atti a contrastare questa tendenza.

Per quanto riguarda i sedimenti marini, in coerenza con le strategie regionali per la tutela della costa, è stato proposto di ricorrere ai sedimenti accumulati presso il porto di Viareggio, prevedendo di dragare un volume di 100 000 mc da riutilizzare a fini di ripascimento sulle spiagge di Massa, come già attuato con l'intervento 2018-DC-2 di Poveromo recentemente concluso. Gli studi condotti in fase di pianificazione a supporto della proposta del Masterplan per la tutela della costa toscana, hanno confermato (così come era già stato evidenziato dallo studio condotto a supporto della progettazione dell'intervento 2018-DC-2) l'importanza della movimentazione annuale dei sedimenti scavati in corrispondenza dell'imboccatura dal soggetto gestore del porto di Viareggio, il cui versamento sui fondali delle spiagge a nord del porto ha consentito (e consentirà) di mantenere l'attuale trend di accrescimento delle spiagge del litorale viareggino di ponente. L'ulteriore allontanamento di 100.000 mc da Viareggio verso Massa per le finalità di cui al presente progetto, nella peggiore delle ipotesi (nel caso cioè di necessaria interruzione della movimentazione attuata dall'Autorità portuale fino alla

ricostituzione del volume di 100.000 mc trasferito a Massa) provocherebbe nei primi anni l'arretramento di un tratto di circa 1 km del litorale a nord del porto di Viareggio con una perdita stimata di ampiezza della spiaggia fino al 10% del valore attuale, arretramento che è comunque destinato progressivamente a ridursi con il riprendere dell'attività di dragaggio e versamento annuale per il mantenimento dei fondali portuali. Al fine contenere tale arretramento, è stata prevista (in accordo con gli studi condotti a livello di pianificazione) la possibilità di dragare ulteriori 60.000 mc dall'area portuale di Viareggio da refluire direttamente sulle spiagge di ponente, in modo da mitigare le perdite di ampiezza di spiaggia che si potrebbero verificare sottoflutto al porto nei primi anni. In base a tali considerazioni, è pertanto possibile affermare che il prelievo di ulteriori 100.000 mc di sedimenti ipotizzato dai fondali antistanti l'imboccatura del porto ai fini di ripascimento del litorale di Massa può ritenersi sostenibile per la dinamica delle spiagge nei pressi di Viareggio. Resta evidente che qualora l'attività annuale di dragaggio dell'imboccatura e versamento sui fondali delle spiagge di ponente non venisse interrotta, il litorale a nord del porto di Viareggio continuerebbe ad avanzare anche dopo il prelievo dei sedimenti per Ronchi-Poveromo. Anche per tale motivazione, sarà fondamentale coordinarsi con l'attività dell'ente gestore del porto (Autorità Portuale Regionale), come di fondamentale importanza sarà effettuare un attento monitoraggio delle dinamiche post-intervento.

Per definire i limiti dell'area su cui attuare il ripascimento si è fatto riferimento alle analisi di monitoraggio condotte dal consorzio LaMMA. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione *R3 – Studio morfodinamico*. In virtù del materiale disponibile per il ripascimento ed a seguito di un'analisi condotta sulla base dati acquisiti per gli studi di monitoraggio dell'evoluzione litoranea della zona, si è determinata un'ampiezza di ripascimento di circa 1050 m a cui corrisponde una disponibilità di sedimenti di circa 123 m³/m di costa. Analizzando, attraverso la formulazione di Dean, il profilo trasversale della spiaggia, tale apporto sedimentario consente un avanzamento della linea di riva di 13 m. Uno stralcio della planimetria, a cui si rimanda per ulteriori dettagli (*T4 – Planimetria generale*), è riportato in Figura 27. Le analisi morfodinamiche hanno dimostrato l'efficacia del ripascimento, il quale risulta contenuto per via della presenza dei pennelli che delimitano le celle in esame. Inoltre, dato l'andamento della corrente litoranea con direzione prevalentemente verso sud, la perdita dei sedimenti che si verifica nella zona di intervento va ad arricchire la zona sottostante, la quale soffre di fenomeni erosivi importanti. Infatti, il progetto del ripascimento dell'area Ronchi risulta effettivamente di collegamento al medesimo intervento realizzato recentemente nell'area limitrofa.



Figura 27 – Planimetria di progetto area B

In seguito, si riporta uno zoom sul pennello spostato dell'intervento della zona B, che a differenza della Figura 25, è contestualizzato anche con l'intervento di ripascimento.

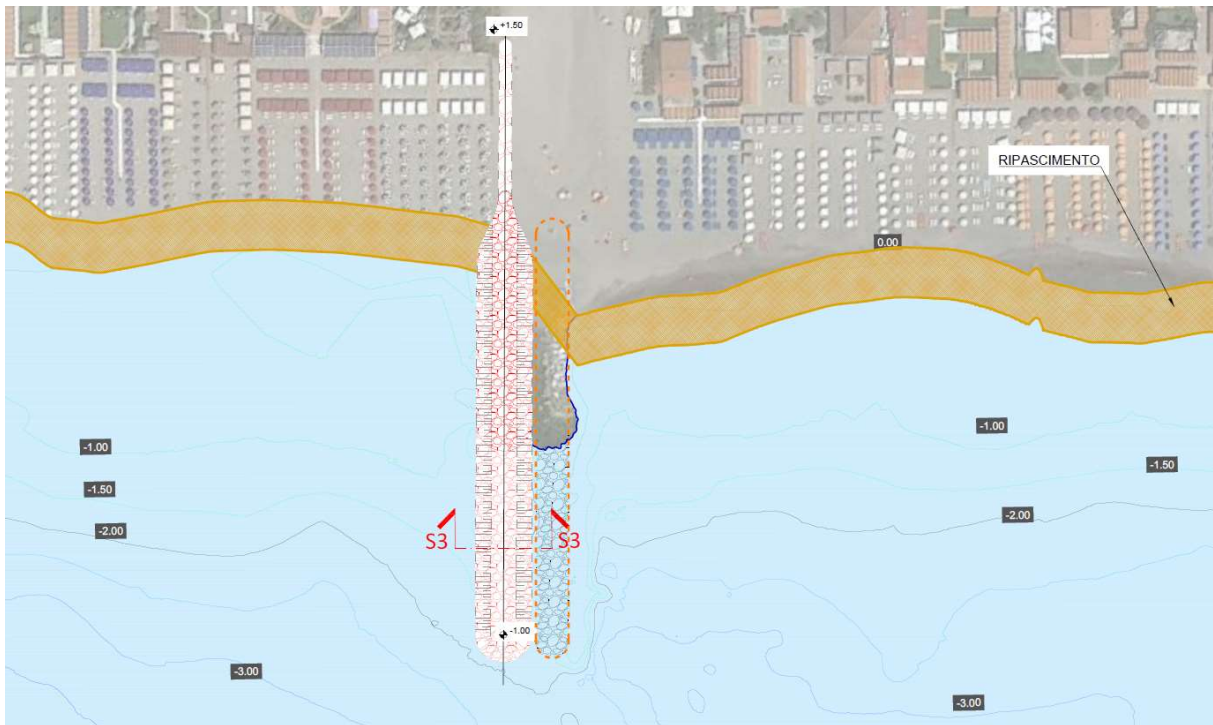


Figura 28 - Zoom dell'intervento nell'area B

5.2. Verifica di stabilità delle opere di progetto

Sebbene il progetto non prevedere la realizzazione di alcuna nuova struttura si è ritenuto opportuno effettuare una verifica di stabilità delle opere su cui si interviene, al fine di confermare il corretto dimensionamento di tali strutture in risposta all'azione del moto ondoso. La forzante meteomarina con cui si è condotta questa analisi è relativa ad un tempo di ritorno di 25 anni, la cui propagazione è riportata nell'elaborato R2 – Studio meteomarina.

Sono state verificate due condizioni, una relativa ai pennelli di foce dell'area A e una relativa allo spostamento del pennello dell'area B. I dati di input per la suddetta verifica sono riportati in Tabella 2 e in Tabella 3.

Tabella 2 - Dati di input zona A

Area A		
h [m]	Hs [m]	Ts [s]
4.07	2.18	6.28

Tabella 3 - Dati di input zona B

Area B		
h [m]	Hs [m]	Ts [s]
0.5	0.8	3.8

In primo luogo si verifica la condizione di frangimento, verificando che la ripidità dell'onda sia minore della pendenza limite fornita di Miche:

$$\left(\frac{H}{L}\right) = 0.142 \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad \text{Eq. (1)}$$

Dove L è la lunghezza d'onda ed h la profondità.

Per la verifica di stabilità si è utilizzata la formula di Hudson assumendo di utilizzare massi naturali di densità $\gamma_s = 2.6 \text{ t/m}^3$ e una pendenza del paramento esterno di 3/4.

$$P = \frac{\gamma_s H_s^3}{\Delta^3 K_D \cot \alpha} \quad \text{Eq. (2)}$$

Dove:

- H_s è l'altezza d'onda significativa al piede dell'opera [m];
- α è l'angolo formato dalla scarpata della mantellata con l'orizzontale [°];
- K_D è il coefficiente di non danneggiamento, corrispondente ad uno spostamento dei massi del 1 ÷ 2%;
- $\Delta = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_a} - 1\right)$, con $\gamma_a = 1.03 \text{ t/m}^3$ densità dell'acqua salata.

La verifica consiste nel constatare che i massi impiegati nella modifica delle strutture, ovvero i massi di seconda categoria (1 ÷ 3 t) coerentemente con il materiale già presente in loco, abbiano un peso maggiore uguale di quello risultante dalla relazione di Hudson (Eq. 2).

In Figura 29 vengono riportati i valori del coefficiente di non danneggiamento in relazione alla tipologia di elemento strutturale impiegato, alla condizione di frangimento e al tipo di sezione analizzata. In virtù della disposizione planimetrica delle opere in relazione all'azione del moto ondoso si è considerata una sezione di testata, in quanto l'opera subisce per quasi tutta la sua estensione un attacco di moto ondoso tangente. Si noti inoltre, che questa condizione risulta a favore di sicurezza.

Elemento	N. di strati	Coeff di forma K_{Δ} o di strato	Porosità %	Sezione corrente ^(a)		Testata		pendenza cotg α
				K_D		K_D		
				onda frangente	onda non frangente	onda frangente	onda non frangente	
Masso naturale (a spigoli vivi)	1	-	-	(b)	2,90	(b)	2,30	1,50 ÷ 3,00
Masso naturale (liscio e arrotondato)	2	-	38	1,20	2,40	1,20	1,90	1,50 ÷ 3,00
Masso naturale (a spigoli vivi)	2	1,00	37	2,00	4,00	1,90 - 1,60 - 1,30	3,20 - 2,80 - 2,30	1,50 - 2,00 - 3,00
Masso naturale (a spigoli vivi)	≥3	1,00	40	2,20	4,50	2,10	4,20	1,50 ÷ 3,00
Parallelepipedo	2	1,10	-	5,00	6,00	3,00	3,50	2,50 ÷ 3,00
Cubo Antifer	2	1,10	45	6,50	7,50	-	5,00	1,50 ÷ 2,50
Tetrapodo	2	1,04	50	7,00	8,00	5,00 - 4,50 - 3,50	6,00 - 5,50 - 4,00	1,50 - 2,00 - 3,00
Dolos	2	0,94	56	15,00 ^(c)	31,00 ^(c)	8,00 - 7,00	16,00 - 14,00	2,00 - 3,00
Accropodo II - Ecopodo	1	-	56	16,00 ^(d)	16,00	12,30 ^(d)	12,30	1,33
Core-Loc®	1	-	60	16,00 ^(d)	16,00	13,00 ^(d)	13,00	1,33

Figura 29 - Valori del coefficiente di non danneggiamento

Il peso e il conseguente diametro dei massi calcolato per le due aree di intervento vengono riportati nelle tabelle seguenti. Dai risultati appare evidente che la verifica è soddisfatta per l'utilizzo dei massi di seconda categoria.

Tabella 4 - Peso e diametro minimi della scogliera zona A

Area A

peso della mantellata: 1.9 t
 diametro della mantellata: 0.901 m

Tabella 5 - Peso e diametro minimi della scogliera zona B

Area B

peso della mantellata: 0.188 t
 diametro della mantellata: 0.417 m

5.3. Descrizione del cantiere

Il cantiere vede la compresenza di mezzi marittimi e terrestri. Il ripascimento verrà effettuato attraverso una draga aspirante/refluente autocaricante per la porzione di sedimenti marini derivanti dall'intervento di dragaggio del porto di Viareggio, e tramite mezzi terrestri per ciò che concerne la porzione di sedimenti approvvigionati da cava terrestre. Verranno conferiti direttamente in spiaggia emersa in base alle previsioni progettuali.

Attraverso un escavatore si provvederà allo spandimento secondo sagome di progetto.

I massi verranno approvvigionati e quindi varati da terra, grazie alla realizzazione di piste in tout venant da realizzarsi sui pennelli in progressivo avanzamento.

L'area cantieristica verrà predisposta nella parte retrostante degli stabilimenti ubicati lungo il Lungomare di Levante.

Per la zona A l'area di cantiere, raffigurata in Figura 30, ha inizio in corrispondenza del Bagno Il Fortino e procede verso sud fino al Bagno Ronchi di Levante, Caffè & Ristorante.

Per la zona B l'area di cantiere, mostrata in Figura 31, ha inizio in corrispondenza del Bagno Roma e procede verso sud fino allo stabilimento Bagno Bigini.

Gli accessi dei mezzi al cantiere saranno i seguenti:

- In corrispondenza degli stabilimenti Pescatori del Magliano e El Dorado Beach Club per l'area A;
- In corrispondenza dell'incrocio tra il Lungomare di Levante e Via delle Vigne per accedere tra la Spiaggia Tiro a Volo ed Essenza Lounge Bar.

I lavori verranno eseguiti al di fuori della stagione balneare per un periodo stimato in 4 mesi.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati *T5-T6 Planimetria di cantierizzazione*.

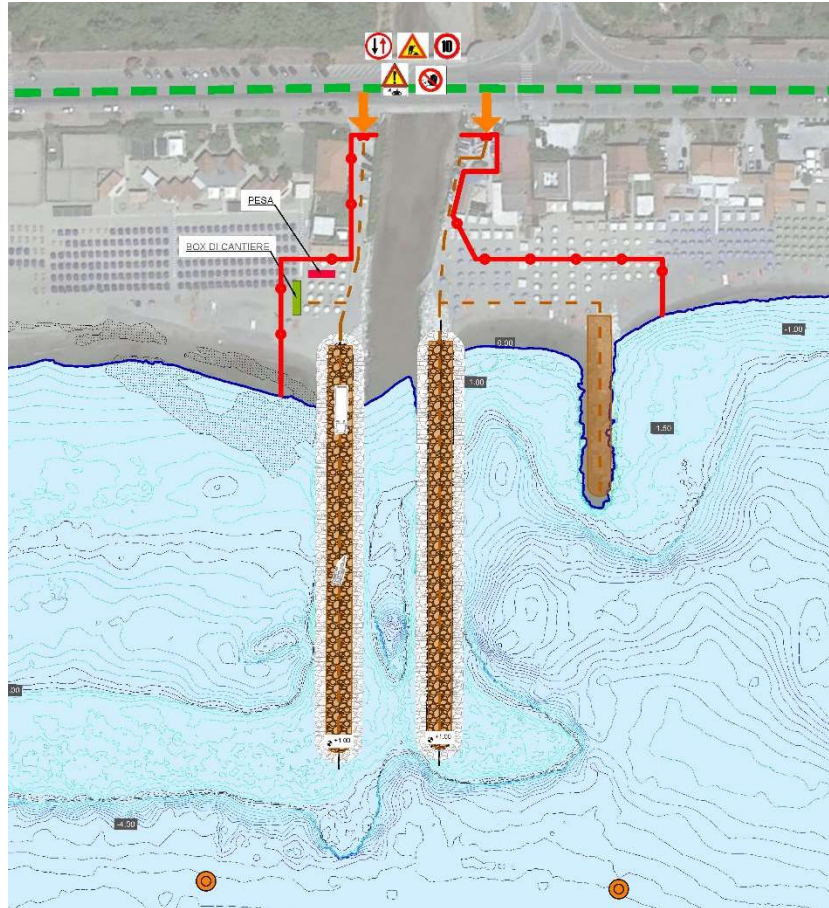


Figura 30 Planimetria cantierizzazione AREA A Fosso Magliano

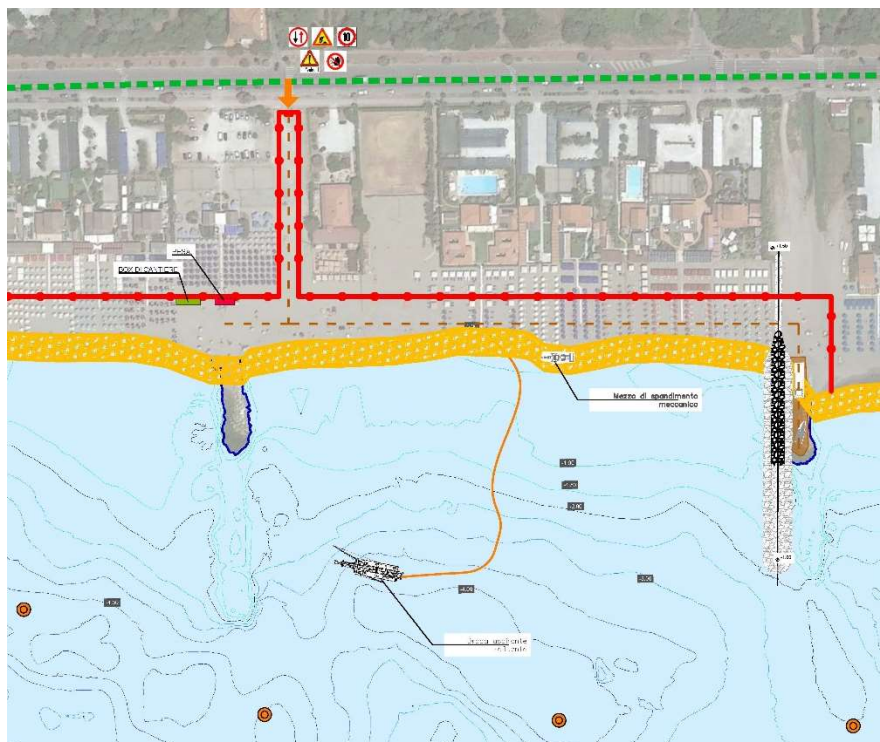


Figura 31 Planimetria cantierizzazione AREA B FOSSO POVEROMO

6. STIMA DEI TEMPI E DEI COSTI

Per l'esecuzione dei lavori di stima un tempo di circa quattro mesi di lavoro (120 giorni naturali e consecutivi), al di fuori della stagione balneare.

I prezzi applicati e riportati nell'elaborato E1 – Elenco prezzi sono stati ricavati utilizzando il prezzario regionale della Regione Toscana, edizione 2022, per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio, approvata con deliberazione della Giunta regionale n. 828 il 18 luglio 2022. In seconda istanza, in caso di impossibilità nella determinazione di lavorazioni, materiali o quant'altro per mancanza di voci assimilabili dal prezzario succitato, è stato utilizzato il Prezzario regionale Opere Pubbliche ed Impiantistiche – Lazio luglio 2022 approvato con delibera di Giunta n.640 del 26 luglio 2022.

Il computo è stato redatto per tutte le opere previste (elaborato E1 – Stima sommaria dei costi). Gli importi totali dei lavori, delle spese generali e tecniche e degli imprevisti sono riportati nell'elaborato E4 – Quadro economico. L'importo lavori risulta essere 4 547 663,99 € per un quadro economico di 7 136 326,01 €.

7. Bibliografia

- [1] P. Conti, L. Carmignani, G. Massa, M. Meccheri, E. Petacca, P. Scandone e D. Pieruccioni, «MASSA CARRARA». *Note illustrative della carta geologica d'Italia*.
- [2] L. E. Cipriani, S. Ferri, F. A. Pelliccia e E. Pranzini, «Stakeholders participation in ICZM at Marina di Massa».
- [3] L. E. Cipriani, S. Ferri, P. Iannotta, F. Paolieri e E. Pranzini, «Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale,» *Studi costieri*, 2001.
- [4] O. Ferretti, I. Delbono e S. Furia, «Tipi morfo-sedimentologici dei litorali italiani,» *Elementi di gestione costiera*, 2003.
- [5] P. Conti, L. Carmignani e G. Massa, «Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50 000,» *ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*, vol. folgio 249 MASSA CARRARA, 2019.