

FIUMICINO WATERFRONT

RICOSTRUZIONE DEGLI ARENILI DI FREGENE E RINATURALIZZAZIONE DELLA RISERVA DI MACCHIAGRANDE

PROGETTISTA:

ing. Marco Pittori



COLLABORAZIONI:

ing. Anna Di Gialleonardo, ing. Stefano Miliani

R1	RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA				SCALA
	Doc. 12321				DATA LUGLIO 2023
Rev. n°	DESCRIZIONE	DATA	REDATTORE	APPROVATO	
00	Emissione	Lug. 23	ing. S. Miliani	ing. M. Pittori	
Società certificata ISO 9001 : 2015 Certificato N. 50 100 9408/3	 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					

FIUMICINO WATERFRONT

RICOSTRUZIONE DEGLI ARENILI DI FREGENE E RINATURALIZZAZIONE DELLA RISERVA DI
MACCHIAGRANDE

RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CONOSCITIVO	5
2.1 Evoluzione storica del litorale	6
3. STATO DEI LUOGHI	12
4. STUDI E ANALISI A SUPPORTO DELL'INTERVENTO	15
4.1 Batimetria.....	15
4.2 Caratterizzazione dei sedimenti	15
4.3 Studio meteomarino.....	16
4.3.1 Fetch geografici ed efficaci	16
4.3.2 Regime anemometrico	18
4.3.3 Regime ondometrico	18
4.3.4 Analisi statistica degli estremi	19
4.4 Analisi morfodinamica	20
5. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	23
5.1 Ripascimento	24
5.2 Barra sommersa.....	24
5.3 Pennelli	25
5.3.1 Dimensionamento delle opere di difesa	26
5.4 Adeguamento delle opere esistenti	27
6. CONSIDERAZIONI SULLA MODALITÀ DI REALIZZAZIONE	28
7. STIMA DEI COSTI.....	28

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento generale dell'unità fisiografica in cui ricade il litorale oggetto di analisi.	5
Figura 2 - Vista aerea del delta del Tevere da Passoscuro (nord-ovest) a Castel Porziano (sud-est).	6
Figura 3 - Vista aerea della costa dal canale di Fiumicino fino alla foce del fiume Arrone; in rosso l'area di intervento.	6
Figura 4 - Vista aerea della costa a nord di Fiumicino in località Focene (1994); in rosso l'area soggetta ad erosione.	7
Figura 5 - Vista aerea della costa a Fregene (1994).	7
Figura 6 - Litorale di Focene (2003); realizzazione dei pennelli a protezione.	7
Figura 7 - Litorale di Focene (2007).	8
Figura 8 - Litorale di Focene (2010).	8
Figura 9 - Litorale di Focene (2012); configurazione definitiva delle opere di difesa costiera.	8
Figura 10 - Litorale di Fregene (2007).	9
Figura 11 - Litorale di Fregene (2011).	9
Figura 12 - Litorale a Fregene (2014).	9
Figura 13 - Litorale di Fregene (2018).	9
Figura 14 - Litorale di Fregene (2020); in rosso la foce del fosso, migrata a sud rispetto alla situazione originaria.	10
Figura 15 - Foto aerea 2018; opere di difesa in sacchi di polipropilene.	10

Figura 16 - Opera di difesa in massi naturali eseguita nel luglio 2020 a Fregene.	10
Figura 17 - Lavori di ripascimento a Fregene, luglio 2020.	11
Figura 18 - Litorale di Fregene nel 2022: apprezzabile il forte arretramento della linea di riva a causa delle forti mareggiate.	11
Figura 19 - Area di intervento localizzata in prossimità della riserva naturale di Macchiagrande.	12
Figura 20 - Crollo delle cabine de La Nave a seguito delle mareggiate dell'inverno 2022; foto n. 1.	12
Figura 21 - Crollo delle cabine de La Nave a seguito delle mareggiate dell'inverno 2022; foto n. 2.	13
Figura 22 - Planimetria del Progetto Unitario a Fregene.	13
Figura 23 - Foto aerea dell'intervento di difesa costiera finanziato dal Comune di Fiumicino; stato di realizzazione a maggio 2023.	14
Figura 24 - Foto aerea dell'intervento di difesa costiera finanziato dal Comune di Fiumicino: stato alla sospensione dei lavori per l'inizio della stagione balneare 2023.	14
Figura 25 - Fetch geografico a largo dell'area di intervento.	17
Figura 26 - Confronto fra fetch geografico ed efficace.	17
Figura 27 - Rosa dei venti.	18
Figura 28 - Rosa del moto ondoso.	19
Figura 29 - Altezza d'onda in funzione del tempo di ritorno.	20
Figura 30 - Confronto tra le alternative a Fregene	21
Figura 31 - Confronto alternative a Macchiagrande	22
Figura 32 - Planimetria di progetto.	23
Figura 33 - Sezione trasversale tipologica del ripascimento: sopra, sezione sull'arenile di Macchiagrande; sotto, sezione sull'arenile di Fregene.	24
Figura 34 - Sezione tipologica barra soffolta.	25
Figura 35 - Sezione trasversale tipologica dei pennelli.	25
Figura 36 - Sezione tipologica di adeguamento delle opere in fase di realizzazione pubblica.	27
Figura 37 - Sezioni trasversali dell'adeguamento.	27

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Tabella riepilogativa volumi di sedimento di classe A ottenibili dal dragaggio come da risultato della caratterizzazione.....	15
Tabella 2 - Valori d'altezza d'onda relativa ad alcuni tempi di ritorno.....	20
Tabella 3 - Tabella di riepilogo del materiale lapideo necessario per la realizzazione dei pennelli.....	26

1. PREMESSA

La presente relazione è stata sviluppata da Interprogetti S.r.l. nell'ambito del progetto di fattibilità tecnico economica, relativa agli interventi di ricostruzione e rinaturalizzazione degli arenili da realizzarsi sul litorale di Fregene e di Macchiagrande, all'interno del comune di Fiumicino.

Tale progetto nasce a seguito di quello per la realizzazione del nuovo Waterfront di Fiumicino, in località Lido del Faro e sviluppato da RINA, al fine di trovare una destinazione per il materiale ottenuto dal dragaggio del nuovo bacino portuale e definire le opere di compensazione necessarie per permettere la realizzazione di tale intervento.

Il sito di progetto è situato interamente sulla costa di Fregene, da diversi anni flagellata da un imponente fenomeno erosivo, che ha ridotto di diverse centinaia di metri l'estensione dell'arenile. Per tale zona l'obiettivo dello studio è quindi la valutazione della tendenza erosiva che ha caratterizzato la costa e la definizione di un sistema di difesa costiera adeguatamente dimensionato al fine di limitarne gli impatti.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CONOSCITIVO

L'ambito litoraneo di Fregene Sud (Comune Fiumicino) ricade nello specifico nella Unità Fisiografica (UF) "Ostia" che per localizzazione e conformazione geografica è classificata Piana Alluvionale ovvero "Pianura costiera generatasi in corrispondenza di foci fluviali (Tevere)". Come visibile in Figura 1, l'UF si estende da Capo Linaro fino a Capo Anzio, per una lunghezza complessiva di circa 100 km.



Figura 1 - Inquadramento generale dell'unità fisiografica in cui ricade il litorale oggetto di analisi.

La conformazione planimetrica di questa UF risente costantemente dell'equilibrio tra gli apporti solidi fluviali del Fiume Tevere ed il trasporto solido litoraneo a sua volta interagenti con il moto ondoso incidente. Tutta la fascia costiera intorno al delta del Tevere (Figura 2) presenta un arretramento della linea di riva pesantemente condizionato dalla antropizzazione del territorio non solo lungo il bacino imbrifero, che ha comportato una netta riduzione degli apporti solidi fluviali (sbarramenti, stabilizzazione dei pendii, prelievi in alveo, ecc...), ma anche lungo lo stesso litorale (armatura delle foci e difese litoranee). Gli unici tratti di litorale in avanzamento sono quelli di estremità (Passoscuro a nord-ovest e Castel Porziano a sud-est) che beneficiano degli apporti solidi provenienti dai tratti in marcata erosione della prominenza deltizia. Tale comportamento è facilmente spiegabile da un punto di vista idraulico: quando gli apporti solidi fluviali sono superiori a quelli dovuti al trasporto solido litoraneo, associato al moto ondoso incidente, si ha un avanzamento della foce, con conseguente avanzamento della linea di riva della costa limitrofa; quando però, come nel caso del litorale in oggetto, tale apporto fluviale è interrotto a causa di interventi sull'alveo e/o antropizzazioni costiere, il processo si inverte comportando una perdita di estensione degli arenili.

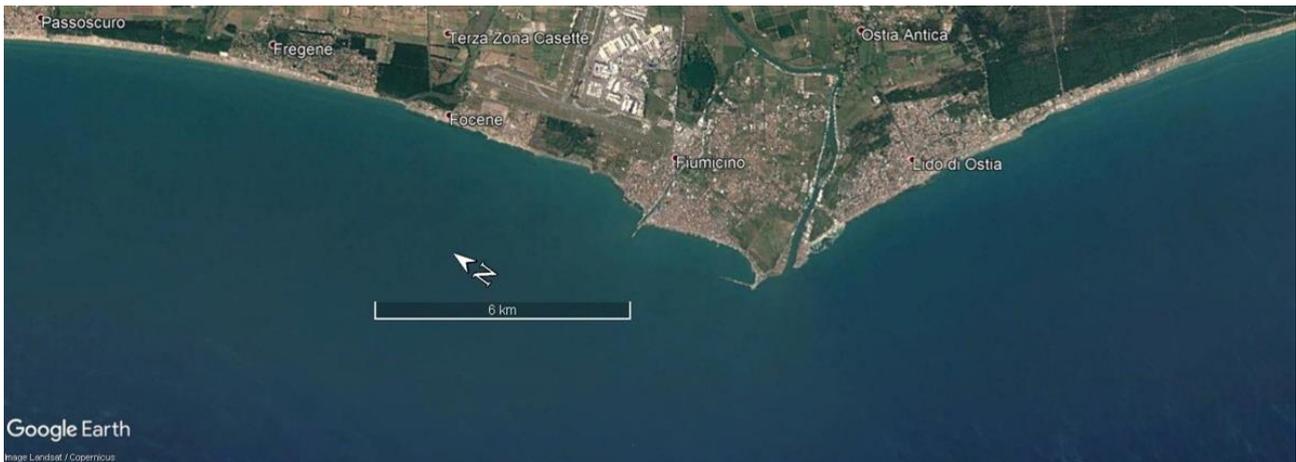


Figura 2 - Vista aerea del delta del Tevere da Passoscuro (nord-ovest) a Castel Porziano (sud-est).

2.1 Evoluzione storica del litorale

L'areale di intervento, ovvero il litorale di Fregene e di Macchiagrande, ha uno sviluppo di circa 5 km e si estende a 7 km a nord del canale di Fiumicino a partire dalla fine del litorale di Focene fino alla foce del fiume Arrone (Figura 3).



Figura 3 - Vista aerea della costa dal canale di Fiumicino fino alla foce del fiume Arrone; in rosso l'area di intervento. Come precedentemente detto, negli ultimi decenni (in particolare a partire dagli anni '80) l'apporto di sedimenti trasportati dal fiume Tevere è andato diminuendo sul tratto di litorale a nord.

Questo fatto ha provocato nei primi anni '90 l'arretramento del tratto di costa immediatamente a nord del porto canale: infatti, tra il 1992 e il 1996 si è registrata una forte erosione tra Focene e Fiumicino, con valori di arretramento della linea di costa compresi tra i -40 e -20 m. In Figura 4 è mostrata la costa di Focene nel 1994: come si può vedere il litorale risulta essere molto compromesso, con una linea di riva molto prossima agli edifici (come evidenziato in rosso). Contemporaneamente invece, come visibile in Figura 5, a Fregene l'arenile aveva una estensione di diverse decine di metri.

Tra il 1996 e il 2013 sono stati quindi realizzati diversi interventi di difesa costiera presso Focene al fine di contenere la tendenza erosiva in atto (da Figura 6 a Figura 9): tali interventi si sono rivelati efficaci nel ridurre questo fenomeno solo localmente, andando di fatto ad "esportare" la problematica più a nord (sottoflutto), proprio a Fregene.



Figura 4 - Vista aerea della costa a nord di Fiumicino in località Focene (1994); in rosso l'area soggetta ad erosione.



Figura 5 - Vista aerea della costa a Fregene (1994).



Figura 6 - Litorale di Focene (2003); realizzazione dei pennelli a protezione.



Figura 7 - Litorale di Focene (2007).



Figura 8 - Litorale di Focene (2010).

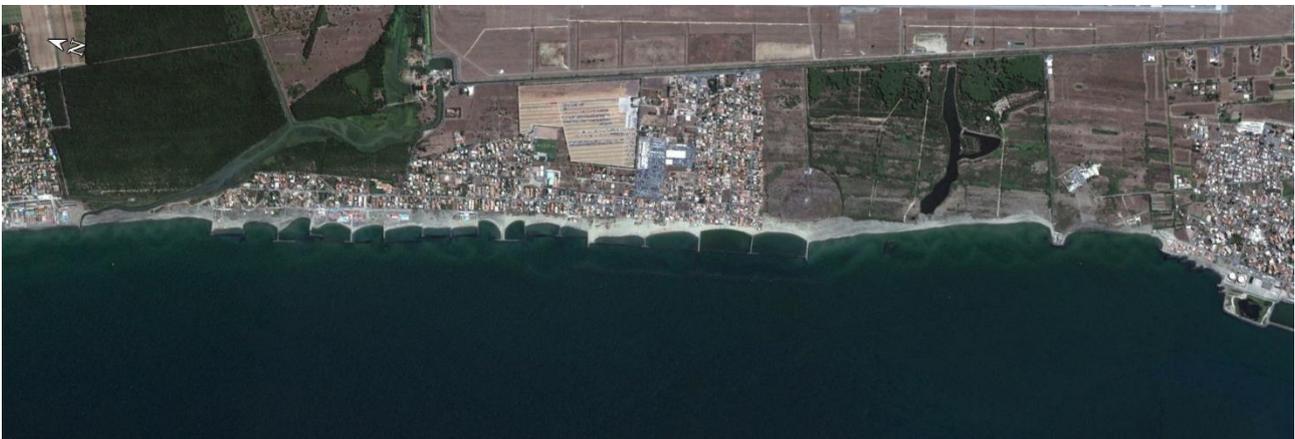


Figura 9 - Litorale di Focene (2012); configurazione definitiva delle opere di difesa costiera.

Dal 2007, infatti, l'estensione dell'arenile nella riserva naturale di Macchiagrande e a Fregene è andato progressivamente a ridursi (vedi da Figura 10 a Figura 14); la tendenza erosiva si è però particolarmente acuita a partire dal 2010.

Nel periodo compreso tra il 2013 e il 2020 si assiste in particolare a una profonda trasformazione di questo tratto di litorale, con un arretramento della linea di riva di anche 100 m, inducendo per altro la migrazione verso sud della foce del fosso, denominato Collettore Generale delle Acque Alte, a una distanza di circa 350 m rispetto alla posizione originale.

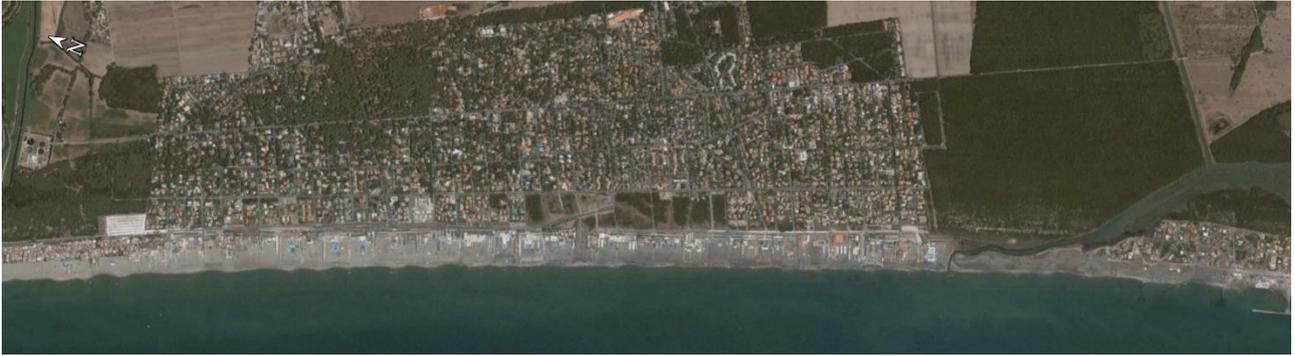


Figura 10 - Litorale di Fregene (2007).



Figura 11 - Litorale di Fregene (2011).

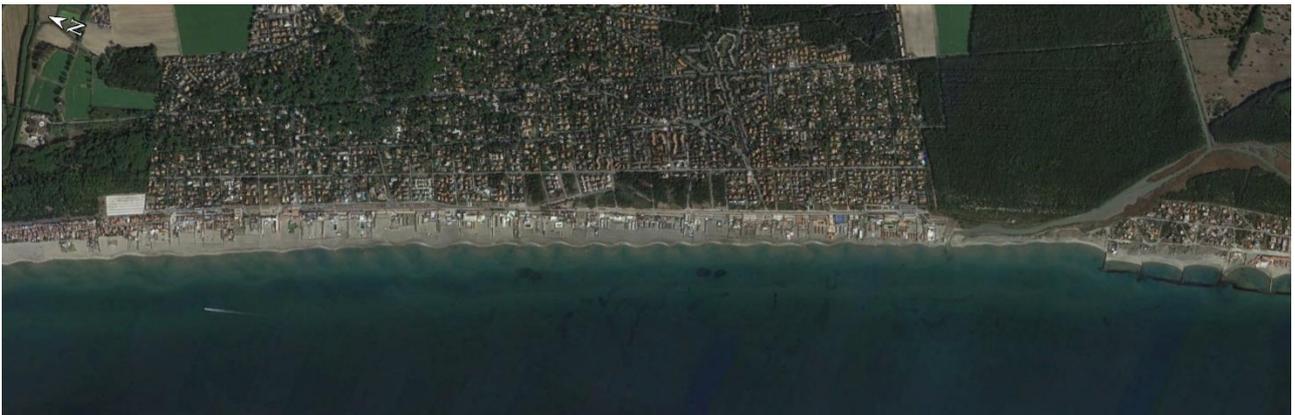


Figura 12 - Litorale a Fregene (2014).

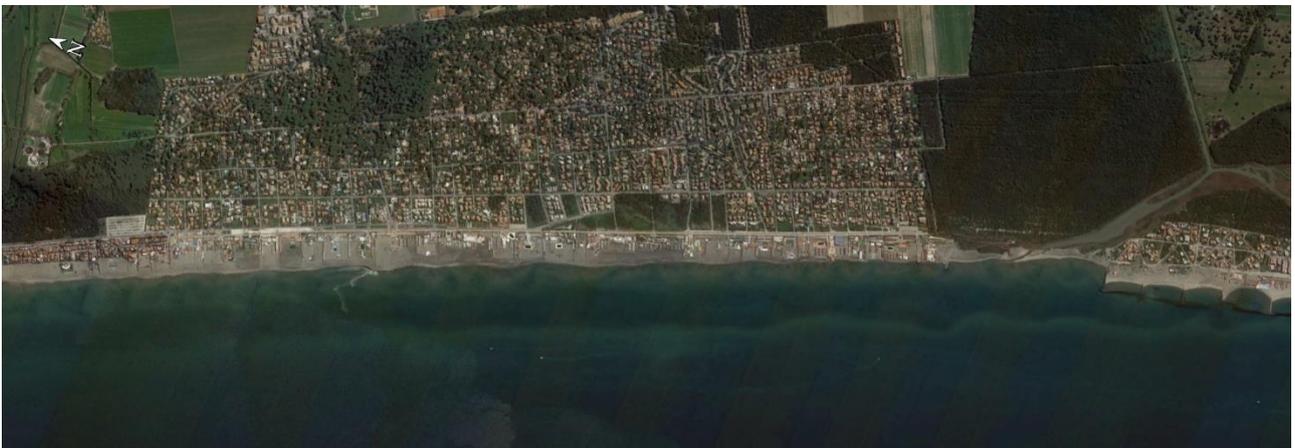


Figura 13 - Litorale di Fregene (2018).



Figura 14 - Litorale di Fregene (2020); in rosso la foce del fosso, migrata a sud rispetto alla situazione originaria. Per contrastare questi fenomeni erosivi i gestori degli stabilimenti balneari hanno provveduto inizialmente ponendo in opera sistemi di difesa, quali sacchi in polipropilene riempiti di sabbia (Figura 15).



Figura 15 - Foto aerea 2018; opere di difesa in sacchi di polipropilene.

A seguito della mareggiata dell'inverno 2018 la spiaggia era già fortemente arretrata ed il mare ha aggredito le strutture degli edifici degli stabilimenti balneari, dovendo ricorrere per un tratto di circa 300 m alla realizzazione in somma urgenza di una barriera di protezione radente in scogli (Figura 9) in due tratti, di lunghezza rispettivamente pari a 50 e 250 m; recenti rilievi della linea di riva hanno però mostrato l'enfatizzarsi dei fenomeni erosivi subito a nord di tale scogliera.



Figura 16 - Opera di difesa in massi naturali eseguita nel luglio 2020 a Fregene.

Nel maggio del 2020 lo stabilimento “La Perla” è stato completamente smantellato a causa dei danni subiti e nel luglio del 2020 al fine di garantire lo svolgimento della stagione turistico balneare è stato attuato un ulteriore intervento di ripascimento (Figura 17).



Figura 17 - Lavori di ripascimento a Fregene, luglio 2020.

La mancanza di interventi rigidi di stabilizzazione della spiaggia ha però comportato molto velocemente un ritorno alla situazione di partenza (Figura 18), anche a causa delle forti mareggiate avvenute durante la primavera del 2022.



Figura 18 - Litorale di Fregene nel 2022: apprezzabile il forte arretramento della linea di riva a causa delle forti mareggiate.

3. STATO DEI LUOGHI

L'area oggetto di studio può essere distinta in due zone con caratteristiche differenti:

1. la prima area (Figura 19), lunga circa 720 m, corrisponde al tratto di costa adiacente alla riserva naturale di Macchiagrande;
2. la seconda zona invece è l'arenile di Fregene, per la restante lunghezza di circa 4.3 km.



Figura 19 - Area di intervento localizzata in prossimità della riserva naturale di Macchiagrande.

La prima area è fortemente naturalizzata e non presenta alcuna struttura, se non per un piccolo edificio di servizio; essa è compresa fra l'ultimo pennello realizzato a Focene e quella che all'inizio doveva essere una sponda armata della foce del Collettore Generale delle Acque Alte ma che nel tempo si è ingrandito diventando in un vero e proprio pennello. Data la sua posizione, questa zona è quella che ha risentito maggiormente dello spostamento del fenomeno erosivo a nord a causa degli effetti sottoflutto dei pennelli installati a Focene. L'arretramento della linea di riva ha comportato anche l'esposizione della riserva retrostante all'azione del moto ondoso causando anche un parziale arretramento della vegetazione dunale. La seconda area, come visibile dalle precedenti immagini, è densamente antropizzata ed è caratterizzata dalla presenza di diverse strutture ricettive, anche sull'arenile, e di diverse concessioni balneari. Come precedentemente detto, l'intenso fenomeno erosivo in atto e i recenti eventi di mare estremi hanno portato alla compromissione di diversi stabilimenti balneari, le cui strutture sono state in parte, o del tutto come nel caso de "La Perla", distrutte e/o demolite (si veda per esempio Figura 20 e Figura 21).



Figura 20 - Crollo delle cabine de La Nave a seguito delle mareggiate dell'inverno 2022; foto n. 1.

L'intervento finanziato dal Comune di Fiumicino è attualmente in fase di esecuzione, con la consegna dei lavori che è avvenuta a fine dicembre 2022. Come è possibile apprezzare anche da Figura 23, si è proceduto alla realizzazione della prima delle due celle, individuate dai tre pennelli e dalla barriera soffolta.



Figura 23 - Foto aerea dell'intervento di difesa costiera finanziato dal Comune di Fiumicino; stato di realizzazione a maggio 2023.

A fine giugno 2023, alla sospensione dei lavori dovuti alla stagione balneare, sia i due pennelli sia la barriera soffolta fra di essi erano completati. La sospensione ha impedito la completa sagomatura delle opere che attualmente risultano totalmente emerse per l'intera lunghezza; per evitare ristagno d'acqua sono state quindi previste tre aperture a quota di progetto, come si può vedere dalla Figura 24.

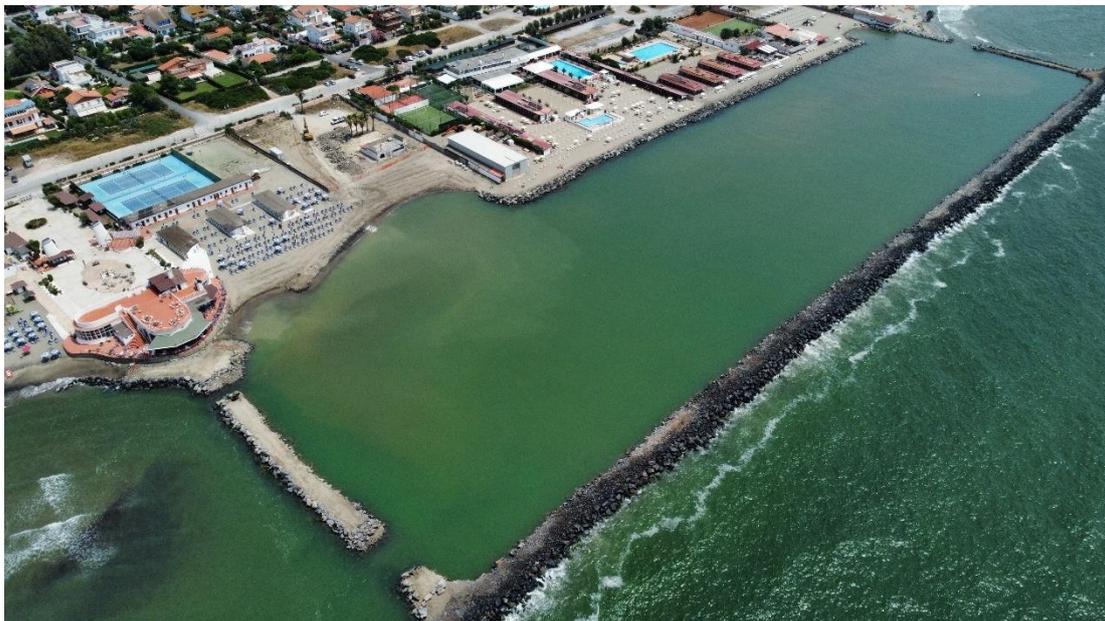


Figura 24 - Foto aerea dell'intervento di difesa costiera finanziato dal Comune di Fiumicino: stato alla sospensione dei lavori per l'inizio della stagione balneare 2023.

4. STUDI E ANALISI A SUPPORTO DELL'INTERVENTO

Si riportano di seguito i dati e le analisi che sono stati adoperati come supporto per la definizione delle caratteristiche dell'intervento.

4.1 Batimetria

La batimetria d'insieme è stata ricavata facendo riferimento alle carte nautiche presenti sul sito di NAVIONICS; dalle mappe è stata estratta la batimetria fino alla fascia di profondità dei 10 m con un passo di 0.5 m.

Questa è stata integrata da batimetrie più dettagliate ricavate da rilievi recenti (aprile 2023) effettuati per gli interventi attualmente in fase di esecuzione; tali rilievi sono stati adoperati, dove possibile, per una valutazione migliore dei volumi di materiale necessari per il ripascimento emerso e sommerso, ma a causa della loro limitata estensione non sono stati considerati per la valutazione della dinamica costiera sull'areale di intervento.

4.2 Caratterizzazione dei sedimenti

In aprile 2023 è stata eseguita una campagna di caratterizzazione riguardante i sedimenti oggetto di dragaggio. Tale campagna ha interessato una superficie di circa 93 ettari per un totale di 31 punti di campionamento e complessivamente 115 livelli indagati.

Secondo quanto stabilito dal DM 173/2016, da tali analisi è risultato che:

- 86 livelli sono di classe A;
- 20 livelli in classe B;
- 6 livelli in classe C;
- 3 livelli in classe D.

Gli 86 livelli in classe A possono essere ulteriormente ripartiti a seconda della percentuale di pelite che contengono in:

- 20 livelli con pelite $\leq 10\%$ utilizzabili per il ripascimento della spiaggia emersa;
- 46 livelli con frazione sabbiosa prevalente, utilizzabili per il ripascimento della spiaggia sommersa;
- 20 livelli con frazione pelitica prevalente.

In Tabella 1 si riporta un totale dei volumi disponibili di classe A considerando tutta l'area di dragaggio; si specifica che non tutto questo volume sarà adoperato per le opere riportate in questa relazione e previste in località Fregene, in quanto parte di esso avrà altri destini non oggetto della presente relazione (e.g. riempimento vasche di colmata).

Tabella 1 - Tabella riepilogativa volumi di sedimento di classe A ottenibili dal dragaggio come da risultato della caratterizzazione.

TOTALE VOLUMI DI SEDIMENTO DI CLASSE A OTTENIBILI DAL DRAGAGGIO		
Sedimento di classe A con pelite <10% per ripascimento emerso	503'091.00	m ³
Sedimento di classe A con % pelite compresa fra il 10 e il 35% per ripascimento sommerso	1'430'558.10	m ³
Sedimento di classe A con % pelite compresa fra il 35 e il 50% per ripascimento sommerso	170'750.00	m ³
TOTALE	2'104'399.1	m³

I risultati di tali analisi sono coerenti con quelli delle caratterizzazioni già effettuate da ARPAL negli scorsi anni (2019, 2020 e 2022) al fine di individuare aree idonee al dragaggio di sedimenti per il ripascimento sia lungo il litorale di intervento sia nel bacino di quello che sarà il Waterfront di Fiumicino.

Dall'analisi delle curve granulometriche dei campioni è stato anche possibile valutare un diametro medio D_{50} dei sedimenti di classe A che è pari a circa 0.23 mm, rientrando così nella categoria delle sabbie fini.

Fra maggio e giugno 2023 è stata inoltre compiuta una campagna di caratterizzazione del paraggio di Fregene oggetto dell'intervento di ripascimento descritto nella presente relazione; tale campagna è stata effettuata considerando un punto di campionamento ogni 500 m circa sia a terra che a largo, intorno alla batimetrica dei -5.0 m, per un totale di 20 punti di campionamento. La relazione coi risultati di tale campagna è visionabile come allegato all'elaborato **R3 Analisi morfodinamica**.

Dai risultati di tale caratterizzazione è emerso che l'arenile oggetto di intervento è costituito in prevalenza da sabbia; in particolare l'analisi granulometrica dei campioni ha mostrato un diametro medio D_{50} dei sedimenti di 0.25 mm. I sedimenti di dragaggio sono quindi compatibili in termini granulometrici con quelli in sito.

È stata inoltre verificata la compatibilità mineralogica fra i sedimenti di dragaggio e quelli del sito di destinazione; per ulteriori informazioni si rimanda all'apposito paragrafo dell'elaborato **R3**.

4.3 Studio meteomarinario

Lo studio meteomarinario è riportato nell'elaborato **R2 Studio meteomarinario** a cui si rimanda per una trattazione più dettagliata delle informazioni ricavate per l'areale d'intervento.

4.3.1 Fetch geografici ed efficaci

Una prima valutazione delle condizioni "potenziali" di esposizione del paraggio in esame è stata effettuata considerando i settori di traversia che possono contribuire alla generazione del moto ondoso (*fetch*).

Il fetch *geografico* tracciato con un passo di 10° calcolato di fronte all'arenile oggetto di intervento a circa 9 miglia dalla costa è mostrato in Figura 25: come si può vedere, il paraggio risulta esposto al mare aperto per il settore di traversia compreso tra le direzioni 130°N e 320°N.

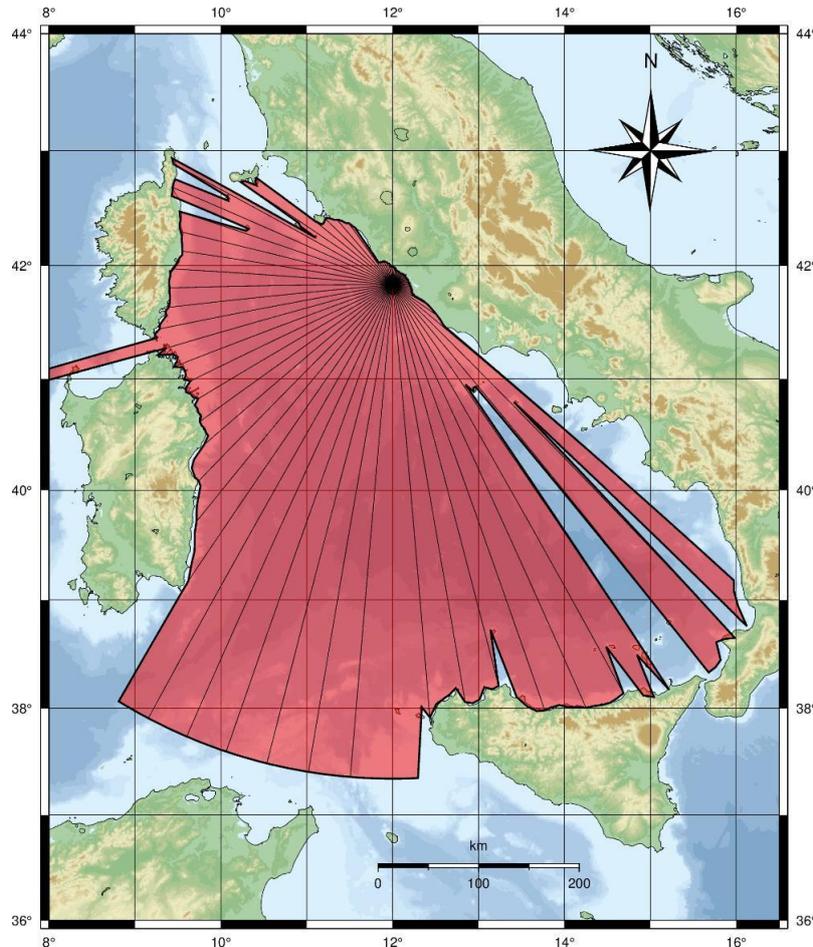


Figura 25 - Fetch geografico a largo dell'area di intervento.

Il fetch geografico differisce da quello *efficace* in quanto quest'ultimo tiene conto dell'effettiva porzione di mare su cui si esplica l'azione del vento responsabile della generazione del moto ondoso; ciò è possibile tenendo conto anche dei settori contigui a quello inerente alla direzione media del vento.

Un confronto fra le due grandezze è visibile in Figura 26: come si può vedere il fetch efficace ha un andamento continuo mediato rispetto a quello geografico, con un valore massimo raggiunto in prossimità del settore di traversia sud.

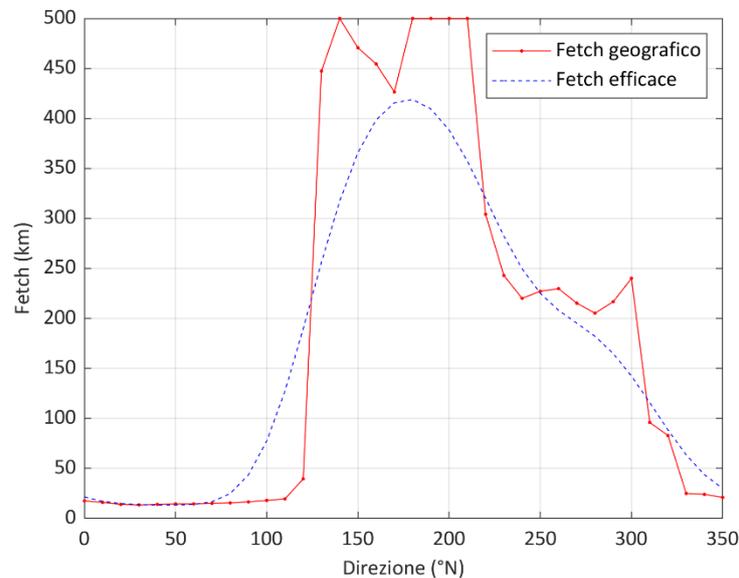


Figura 26 - Confronto fra fetch geografico ed efficace.

4.3.2 Regime anemometrico

Per il regime anemometrico si è fatto riferimento ai dati di vento ricostruiti presenti nel database WAM/ERA5. I dati coprono un periodo temporale compreso fra il 1990 e il 2023 e fanno riferimento al punto di coordinate 41.75 °N e 12 °E a largo del paraggio di riferimento.

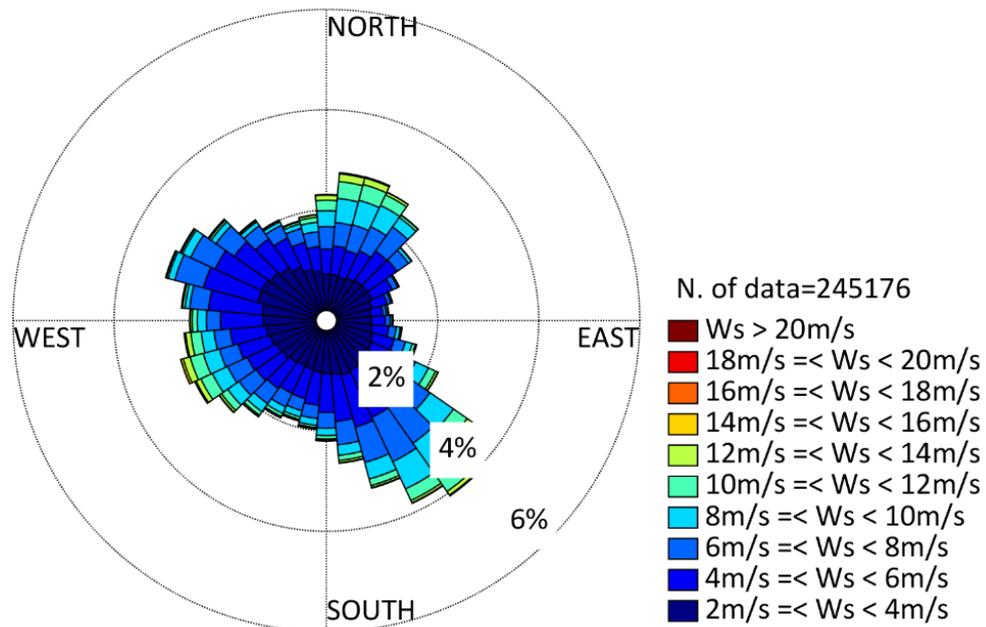


Figura 27 - Rosa dei venti.

La rosa dei venti del sito in esame è mostrata in Figura 27: i venti regnanti, ovvero più frequenti, provengono da tre settori distinti: tramontana (350 – 30 °N), scirocco (120 – 160 °N) e ponente (230 – 310 °N).

I venti dominanti, ovvero più intensi cioè con velocità maggiore di 16 m/s, sono concentrati soprattutto nei settori di scirocco e di ponente.

Non si considerano nella rosa gli stati di calma (velocità del vento inferiore ai 2 m/s) perché di scarso interesse ai fini della generazione del vento ma essi hanno una frequenza di accadimento di circa il 16%.

4.3.3 Regime ondometrico

Il regime ondometrico a largo del paraggio di riferimento è stato valutato sulla base del database ricostruito di stati di mare CMEMS MED-Wav, estraendo i dati dal punto di coordinate 41.81 °N e 12.00 °E per il periodo temporale a partire dal 1993.

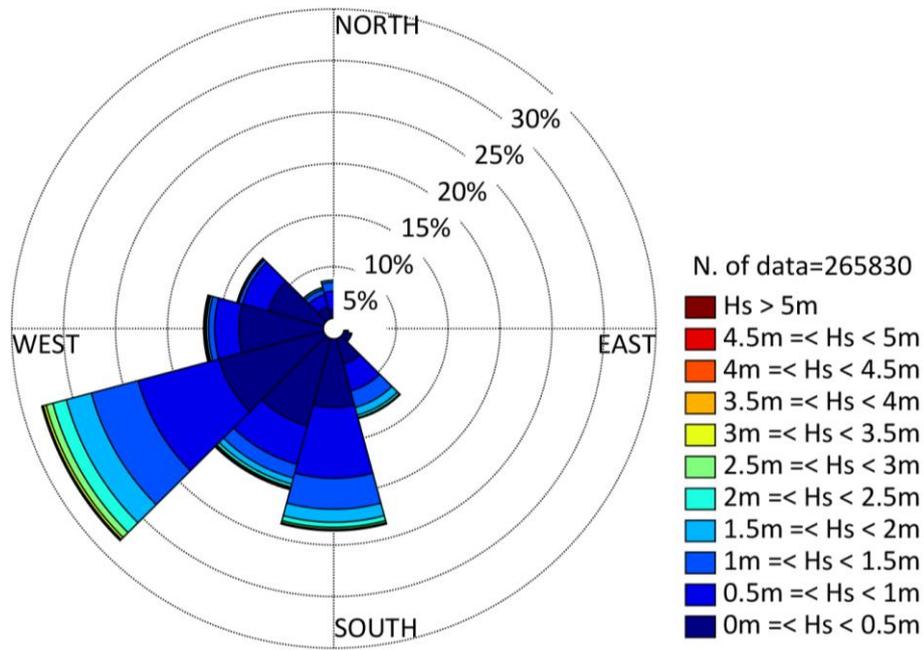


Figura 28 - Rosa del moto ondoso.

La rosa del moto ondoso (vedi Figura 28) mostra una prevalenza di onde provenienti principalmente dal terzo quadrante, in particolare dal settore di libeccio. Gli stati di calma ($H_s < 0.5 m$) rappresentano circa il 45% del campione registrato, mentre gli stati di mare superiore al molto mosso ($H_s > 2.5 m$) corrispondono a poco meno del 2% del totale degli eventi.

4.3.4 Analisi statistica degli estremi

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.

I dati usati per l'analisi del regime ondometrico sono stati campionati al fine di individuare un numero di elementi omogenei e indipendenti adeguato a poter adattare su di essi una distribuzione statistica. Sono state analizzate cinque diverse distribuzioni (Gumbel, Weibull, normale, log-normale e GEV) e quella che approssima meglio il campione è la GEV, ovvero la distribuzione generalizzata degli eventi estremi (*Generalized Extreme Values distribution*).

L'andamento dell'altezza d'onda in funzione del tempo di ritorno è mostrato in Figura 29 e Tabella 2.

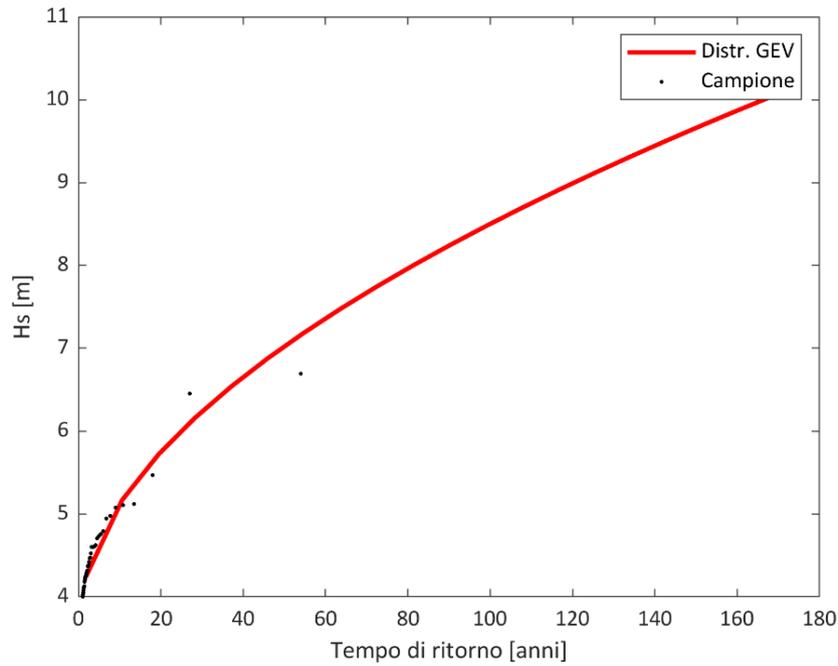


Figura 29 - Altezza d'onda in funzione del tempo di ritorno.

Tabella 2 - Valori d'altezza d'onda relativa ad alcuni tempi di ritorno.

T_r [anni]	10	25	50	100
$H_s(T_r)$ [m]	5.12	6.00	7.02	8.50
$T(H_s)$ [s]	9.63	10.11	10.61	11.26

4.4 Analisi morfodinamica

Lo studio morfodinamico, redatto dalla Interprogetti S.r.l. nell'ambito del presente progetto, riportato nell'elaborato **R3 Analisi morfodinamica**, 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.

Innanzitutto, è stato effettuato un inquadramento del sito di intervento che si estende tra la foce del fiume Tevere ed il litorale di Fregene in prossimità della foce del Fiume Arrone e si trova all'interno dell'Unità Fisiografica che va da Capo Lınaro a Capo d'Anzio. Si è proceduto in seguito ad un'analisi dello stato dei luoghi ed un'analisi dell'evoluzione storica delle linee di riva e dei fattori che ne hanno condizionato l'evoluzione. Dopo aver definito le condizioni d'onda significative per la dinamica litoranea e aver effettuato una loro propagazione da largo verso riva si è proceduto effettuando uno studio morfologico del litorale tramite individuazione dei principali parametri fisico-morfologici che contribuiscono a regolare l'equilibrio di un tratto di costa, analisi diacronica delle linee di riva storiche e caratterizzazione dei sedimenti dell'area di dragaggio e di quella di destinazione.

Queste considerazioni hanno permesso di analizzare e valutare i possibili scenari di intervento relativi al progetto. Le configurazioni delle opere nelle varie alternative nel tratto di Fregene vengono descritte in seguito:

Alternativa 0: prevede lo scenario in assenza di opere di difesa di tipo rigido ma in presenza del ripascimento;

Alternativa 1: prevede la realizzazione di 13 pennelli, di cui sette lunghi 150 m e disposti con un interasse di circa 300 m e cinque pennelli con lunghezze e distanze progressivamente degradanti;

Alternativa 2: è uguale all'Alternativa 1 in termini di lunghezza e spaziatura dei pennelli ma tutti i pennelli si trovano in una posizione traslata verso Focene;

Alternativa 3: prevede la realizzazione di 13 pennelli con la stessa posizione e distanza dell'alternativa 2; la differenza sta nella lunghezza del primo pennello che risulta di 120 m piuttosto che 150 m;

Alternativa 4: prevede la realizzazione di 14 pennelli totali, di cui dieci lunghi 120 m disposti con un interasse di circa 230 m e quattro pennelli con lunghezze e distanze progressivamente degradanti;

Alternativa 5: prevede la realizzazione di 17 pennelli totali, di cui tredici lunghi 110 m disposti con un interasse di circa 180 m e quattro pennelli con lunghezze e distanze progressivamente degradanti.

Dal confronto dell'andamento della linea di riva, riportato in Figura 30, si può dedurre che lo scenario 3 rappresenta il miglior compromesso in termini di contenimento dei fenomeni erosivi del tratto di Fregene e di costi per la realizzazione.

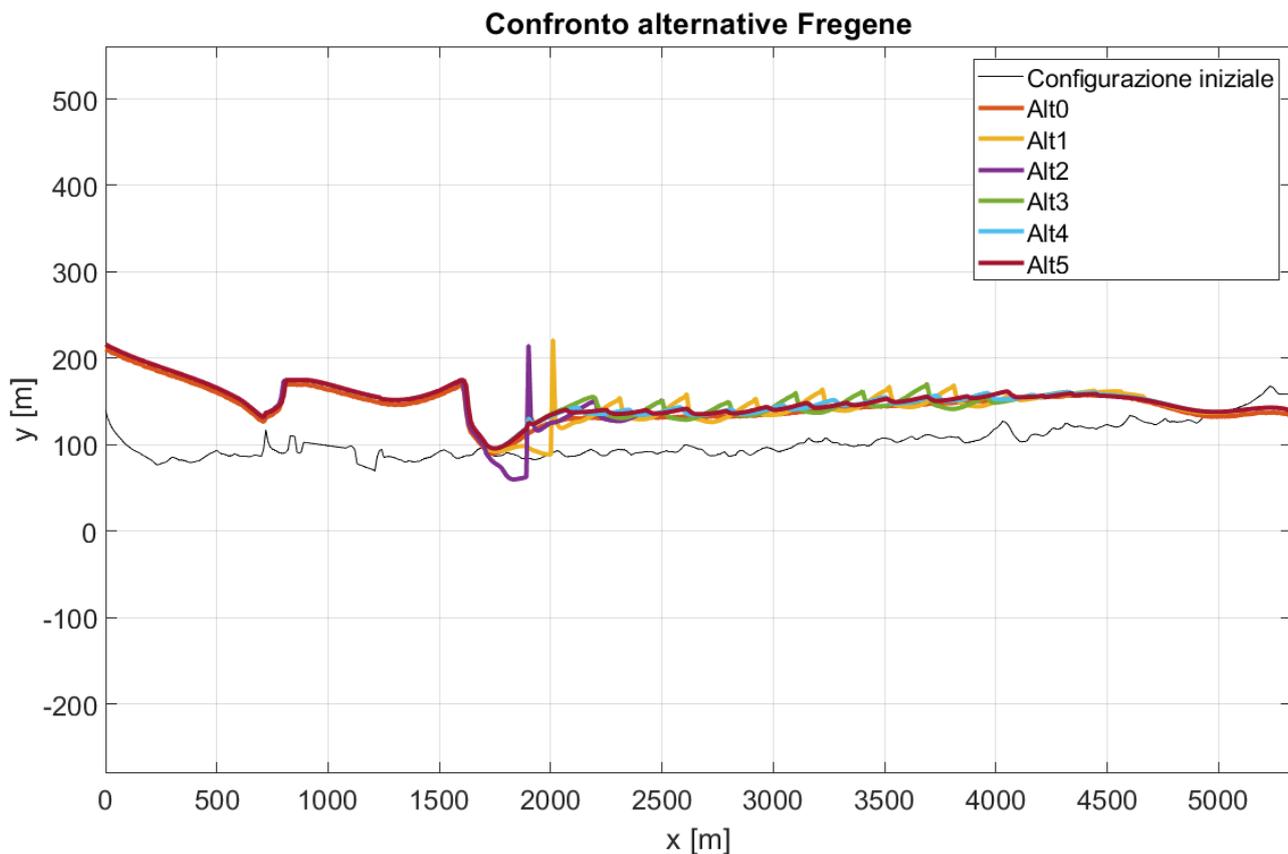


Figura 30 - Confronto tra le alternative a Fregene

Alternativa 1 Macchiagrande: prevede la realizzazione di due pennelli, lunghi circa 200 m, disposti circa al centro della falcata, rispettivamente ad una progressiva di 240 m e di 480 m rispetto all'origine della griglia;

Alternativa 2 Macchiagrande: prevede la realizzazione di un solo pennello, posizionato al centro della falcata, ad una progressiva di 350 m rispetto all'origine della griglia.

In Figura 31 si può osservare che l'andamento della linea di riva in relazione alle alternative relative alle opere disposte di fronte all'Oasi di Macchiagrande non risulta molto diverso rispetto all'alternativa di non intervento rigido. Per tale ragione si è scelto di progettare tre pennelli, di lunghezza 70 m, totalmente coperti

dal ripascimento in maniera tale da non avere alcun impatto visivo nel primo periodo e divenire funzionali solo in caso di necessità, impendendo alla linea di riva di arretrare oltre una certa soglia.

Confronto alternative

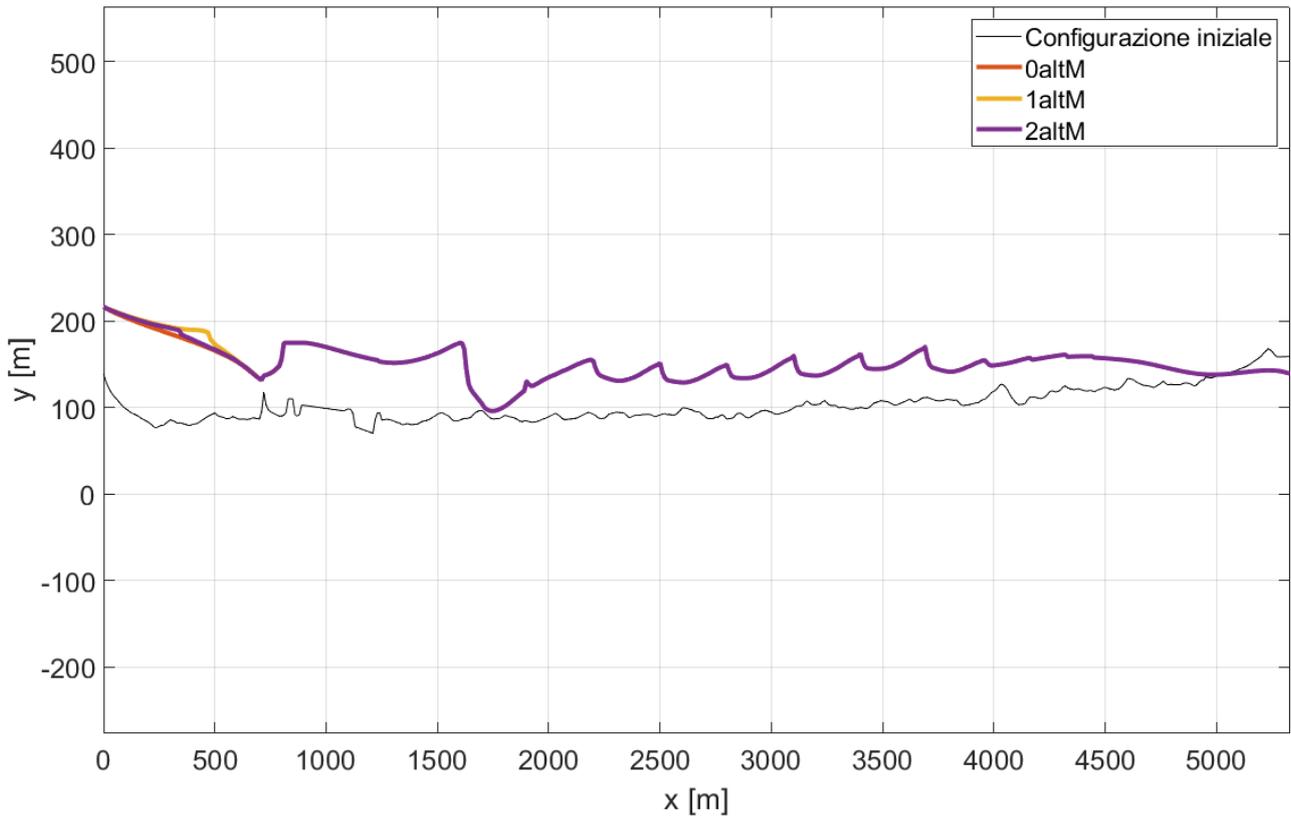


Figura 31 - Confronto alternative a Macchiagrande

5. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Sulla base dello stato dei luoghi e degli studi e delle analisi condotte, l'intervento in oggetto prevede un importante intervento di ripascimento lungo circa 5 km, andando ad utilizzare la quota parte idonea dei sedimenti ottenuti dal dragaggio del bacino per il nuovo Waterfront di Fiumicino. A tale intervento si aggiunge la realizzazione di una serie di pennelli semisoffolti, atti a trattenere il sedimento così riportato, e la realizzazione di una barra sommersa in sabbia, sempre realizzata utilizzando il sedimento di dragaggio.

Si preme specificare ulteriormente che non tutto il volume di sedimento riportato in Tabella 1 sarà adoperato per la realizzazione di queste opere di compensazione in quanto parte di esso avrà altri destini: complessivamente fra ripascimento e barra sommersa ne verranno quindi utilizzati circa 1'656'464 m³.

La planimetria di intervento, mostrata in Figura 32, è desumibile dall'elaborato grafico **T2 Planimetria di progetto**. In planimetria è visibile anche l'intervento finanziato dal Comune di Fiumicino e dalla Regione in fase di attuazione.

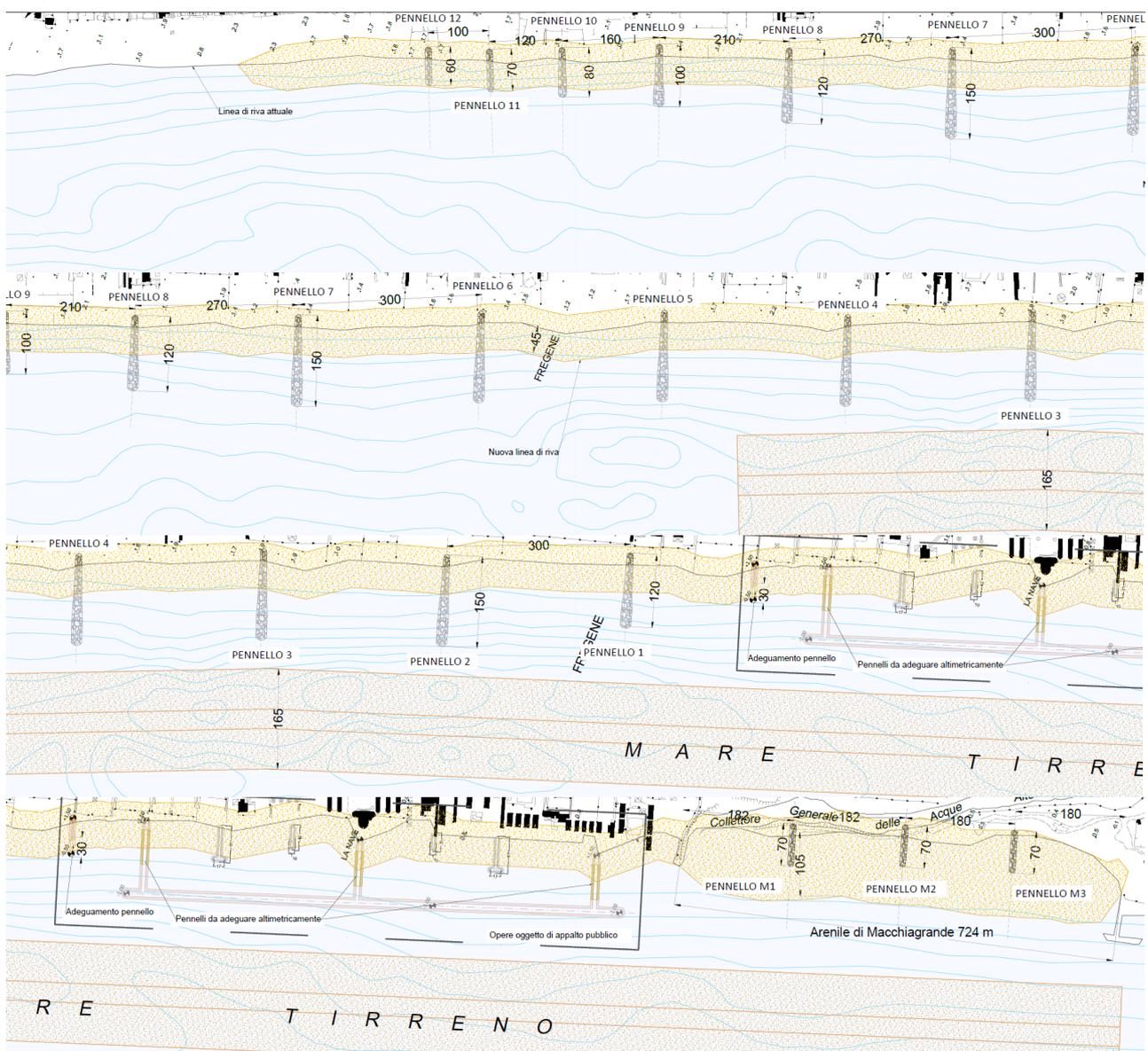


Figura 32 - Planimetria di progetto.

5.1 Ripascimento

Il ripascimento si estende per una lunghezza di 4.9 km a partire dall'ultimo pennello situato in località Focene. L'intervento comporta lo spandimento di circa 1'044'764 m³; tale volume può essere distinto in 503'088 m³, utilizzati per il ripascimento emerso, e circa 541'676 m³ per quello sommerso.

Per l'intervento sarà utilizzato unicamente parte del sedimento idoneo, secondo i risultati della caratterizzazione, ricavato dal dragaggio del bacino del nuovo Waterfront di Fiumicino; tale sedimento risulta coerente con quello in loco in termini granulometrici in quanto si parla di sabbie ($D_{50} \sim 1/4$ mm).

Al fine di poter computare in maniera adeguata il ripascimento emerso e quello sommerso si è deciso di considerare sommerso tutto il quantitativo di materiale posto a -0.25 m dal l.m.m. ed emerso tutto quello posto al di sopra.

In Figura 33 sono mostrate due sezioni tipologiche del ripascimento: si è infatti deciso di variare l'entità dell'intervento a seconda del luogo.

Sull'arenile in prossimità di Macchiagrande (circa 720 m), vedi sezione T4, la linea di riva avanzerà di circa 105 m comportando uno sversamento di 352.9 m³/m, per un totale di circa 255'500 m³ (suddivisi in 160'656 m³ di ripascimento emerso e 94'844 m³ di ripascimento sommerso). La scelta di effettuare un intervento di questa entità qui localizzato è dovuto all'enorme arretramento che l'arenile ha subito nell'ultima decade che ha portato l'Oasi retrostante ad essere esposta all'azione del moto ondoso e delle intemperie. Il ripristino della vecchia linea di riva permetterà quindi di proteggere la vegetazione dell'Oasi dall'azione aggressiva dell'acqua marina. Si vuole specificare che il ripascimento sarà profilato in modo tale da garantire il corretto deflusso del Collettore delle Acque Alte e il suo sbocco a mare.

Sull'arenile di Fregene (sezione T3, per cui si sono adoperati i rilievi effettuati nell'aprile 2023) si prevede invece lo sversamento di circa 789'264 m³, suddivisi in 342'432 m³ per la spiaggia emersa e 446'832 m³ per la spiaggia sommersa. Si prevede quindi un avanzamento della linea di riva di circa 45 m.

In entrambi i casi si prevede un innalzamento della quota a +1.80 m l.m.m.

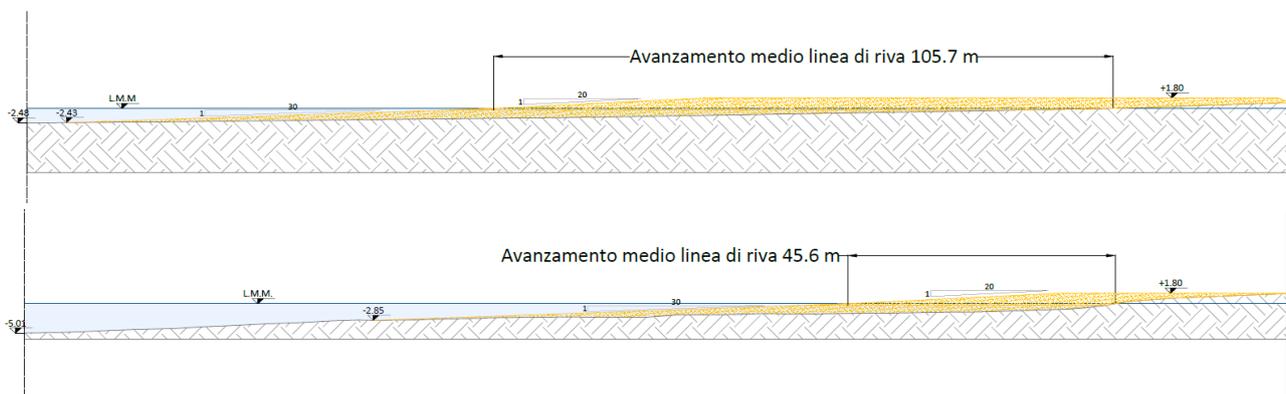


Figura 33 - Sezione trasversale tipologica del ripascimento: sopra, sezione sull'arenile di Macchiagrande; sotto, sezione sull'arenile di Fregene.

5.2 Barra sommersa

Dato l'enorme quantitativo di sedimento da dragaggio utilizzabile per il ripascimento sommerso, si è deciso di adoperare circa 611'700 m³ di esso per la realizzazione di una barra soffolta avente lunghezza di circa 3.0

¹ Il volume qui riportato è stato stimato come prodotto dell'area trasversale delle sezioni tipologiche (sezione T3 e T4) moltiplicate per la rispettiva lunghezza di riferimento; tale volume è stato quindi calcolato al fine di sfruttare il più possibile il sedimento di classe A con pelite <10%, riportato in Tabella 1, dal quale differisce di circa 3 m³.

km e posta a circa 200 m dalla riva. La sezione tipologica di tale opera è visibile in Figura 34: la barra sarà posta su un avvallamento del fondale presente in prossimità della batimetrica dei -3.0 m e che arriva fino alla quota di -4.0 m; essa avrà un ingombro in larghezza di circa 165 m e un coronamento largo 32 m posto alla profondità di -2.25 m rispetto al livello medio marino.

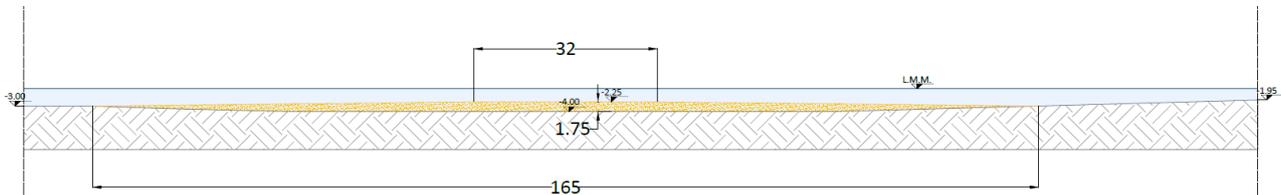


Figura 34 - Sezione tipologica barra soffolta.

Questo intervento morbido, ovvero in assenza di opere strutturali, avrà il duplice scopo di spostare la linea dei frangenti più a largo e di garantire un apporto solido di sedimento al litorale nel tempo.

In caso fosse disponibile ulteriore materiale per il ripascimento sommerso sarà possibile prolungare questo intervento senza comprometterne l'efficacia.

5.3 Pennelli

Al fine di trattenere i sedimenti così depositati lungo tutta l'area d'intervento e per prevenire i futuri fenomeni erosivi, all'intervento di ripascimento è stata affiancata la realizzazione di complessivi 15 pennelli semisoffolti.

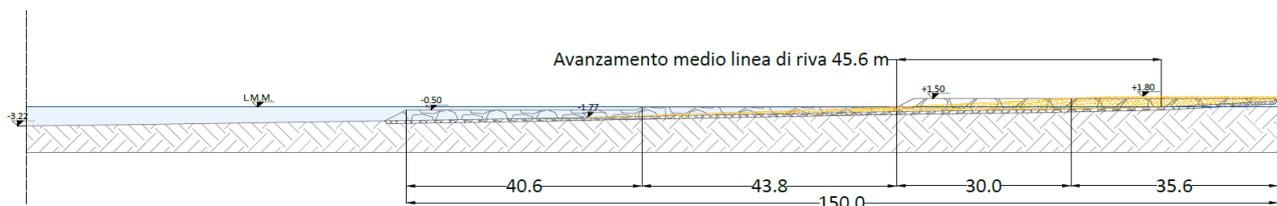


Figura 35 - Sezione trasversale tipologica dei pennelli.

I pennelli saranno radicati a riva per una lunghezza di circa 20 m e avranno uno sviluppo variabile in mare. L'interasse fra un pennello e l'altro è tale da mantenere costante il rapporto tra esso e la loro lunghezza a mare (è stato considerato un rapporto pari a 2.3 tranne che per i primi due pennelli per i quali tale rapporto è pari a 3). In particolare, il tratto terminale di questo intervento (circa 1 km) è realizzato mediante *tapering*: questa tecnica, che consiste nella realizzazione di un sistema di pennelli in cui la loro distanza reciproca e la loro lunghezza va diminuendo, consente di garantire un trasporto solido a valle degli ultimi pennelli e quindi un apporto per il restante litorale costiero limitando l'erosione a valle. Gli ultimi pennelli sono realizzati quindi con lunghezze che degradano in modo che la retta che unisce le loro teste forma un angolo di 6° con la linea di riva.

In termini matematici le lunghezze L_i e le distanze d_i reciproche tra due pennelli sono valutabili nel seguente modo:

$$d_i = \left[\frac{R}{1 + (R/2)\tan(6^\circ)} \right] L_{i-1}$$

$$L_i = \left[\frac{1 - (R/2)\tan(6^\circ)R}{1 + (R/2)\tan(6^\circ)} \right] L_{i-1}$$

Con $R = d_i/L_i$.

In totale a Fregene è prevista la realizzazione via terra di 6 pennelli aventi lunghezza complessiva di 150 m con interasse di 300 m; altri 6 pennelli avranno lunghezza decrescente fino a circa 60 m.

In Figura 35 è visibile la sezione trasversale tipologica dei pennelli aventi lunghezza 150 m; essi avranno una quota di coronamento di +1.50 m l.m.m. per tutta la lunghezza del radicamento fino alla nuova linea di riva,

successivamente essi raggiungeranno la quota di +0.00 m l.m.m. tranne per circa gli ultimi 40 m dove il coronamento è a quota -0.50 m rispetto al livello medio marino, di fatto limitandone l'impatto visivo. Si faccia riferimento all'elaborato **T4 Sezioni trasversali pennelli** per avere ulteriori informazioni riguardanti le sezioni trasversali. Per tutta la lunghezza del radicamento e per buona parte della lunghezza fino alla nuova linea di riva i pennelli saranno ricoperti dal ripascimento, al fine di ridurre al minimo l'impatto paesaggistico delle opere.

Per i pannelli di minor lunghezza si seguirà lo stesso pattern, sebbene il progressivo diminuire della lunghezza del pennello ne condiziona la quota a causa della batimetria: i pennelli avente lunghezza 120 m avranno solo circa 26 m a quota -0.50 m l.m.m., il pennello lungo 100 m solo 21 m, e così via. Si faccia riferimento alla Tabella 3 per ulteriori informazioni sulla lunghezza di riferimento delle differenti sezioni trasversali.

Sebbene dall'analisi morfodinamica si è verificato che la presenza o meno di opere strutturali sull'arenile di Macchiagrande non comporti variazioni significative nell'evoluzione della linea di riva (si veda l'elaborato **R3** per maggiori informazioni), si è deciso comunque di inserire 3 pennelli uguali aventi lunghezza complessiva di 70 m al fine di tutelare l'intervento di ripascimento; essi saranno totalmente coperti dal sedimento al fine di ridurre l'impatto paesaggistico e mantenere il più possibile la naturalità dei luoghi. Questo intervento di infrastrutturazione "nascosta" avrà quindi lo scopo, in assenza di interventi di manutenzione, di trattenere sul lungo periodo (quindi anche oltre l'orizzonte dei dieci anni considerati nelle simulazioni morfodinamiche) parte dei sedimenti depositati sull'arenile e limitare il fenomeno erosivo che ha flagellato questa parte della costa negli ultimi anni.

In totale si prevede quindi l'utilizzo di circa 32'175 m³ di massi di II categoria, provenienti possibilmente da cava locale, per la realizzazione dei pennelli, tenendo anche conto del volume aggiuntivo dovuto al fenomeno di ingozzamento, ovvero del cedimento del fondale a causa del carico esercitato dal peso dei massi. Complessivamente, quindi, si prevede un approvvigionamento di circa 67'000 t di massi di II categoria per la realizzazione di queste opere.

Si riporta di seguito la tabella di calcolo dei volumi e della massa per singola tipologia di pennello.

Tabella 3 - Tabella di riepilogo del materiale lapideo necessario per la realizzazione dei pennelli.

Tipo	N	Lunghezza di rif. sezione S1 [m]	Lunghezza di rif. sezione S2 [m]	Lunghezza di rif. sezione S3 [m]	Volume pennello [m ³]	Volume totale [m ³]	Massa totale [m ³]
L=150	6	65.6	43.8	40.6	3'106.03	18'636.16	38'763.20
L=120	2	65.6	28.4	26	2'375.87	4'751.74	9'883.61
L=100	1	65.6	13.4	21	1'951.72	1'951.72	4'059.57
L=80	1	65.6	16.4	-	1'351.69	1'351.69	2'811.51
L=70	4	70	-	-	1'129.10	4'516.40	9'394.11
L=60	1	60	-	-	967.80	967.80	2'013.02
					TOTALE	32'175.5	66'925.04

5.3.1 Dimensionamento delle opere di difesa

Il dimensionamento dei massi adoperati per i pennelli è stato effettuato utilizzando la nota formula empirica di Hudson, considerando come dato in ingresso l'altezza significativa propagata a riva, ricavata dagli studi meteomarini effettuati ($H_s = 2.5$ m):

$$M = \frac{\rho_r H_s^3}{\Delta^3 K_D \cot(\alpha)} \sim 1.93 \text{ t}$$

Con il coefficiente di stabilità $K_D = 2.9$, la densità dei massi $\rho_r = 2.6 \text{ t/m}^3$, α l'angolo della scarpata rispetto l'orizzontale e Δ densità relativa del masso rispetto l'acqua marina ($\rho_w = 1.025 \text{ t/m}^3$)

5.4 Adeguamento delle opere esistenti

Il ripascimento previsto in questo progetto è tale per cui vi è bisogno di adeguare le opere di difesa attualmente in fase di realizzazione: in particolare, le quote dei pennelli previsti dall'intervento finanziato dal Comune di Fiumicino sono state pensate per un avanzamento di circa 15 m, meno della metà di quello previsto con l'attuale intervento.

Si prevede quindi, al fine di poter trattenere il sedimento disposto all'interno delle celle (si vedano Figura 36 e Figura 37), di effettuare una risagomatura dei tre pennelli più lunghi per innalzarne la quota a:

- +1.50 m sul l.m.m. per ulteriori 40.4 m (comportando un volume aggiuntivo di circa 26 m³/m di massi naturali);
- +0.00 m sul l.m.m. per circa 17.4 m (aggiungendo quindi circa 5 m³/m di massi).

In totale saranno adoperati per questo adeguamento altimetrico circa 7'203.1 t di massi di II categoria.

Inoltre, il pennello corto, a nord delle due celle sarà prolungato di 30 m, utilizzando circa 936.7 t di massi di II categoria.

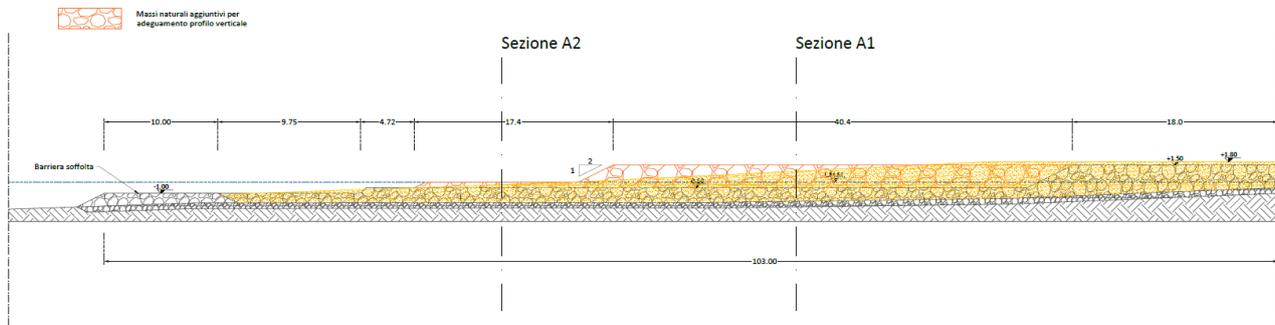


Figura 36 - Sezione tipologica di adeguamento delle opere in fase di realizzazione pubblica.

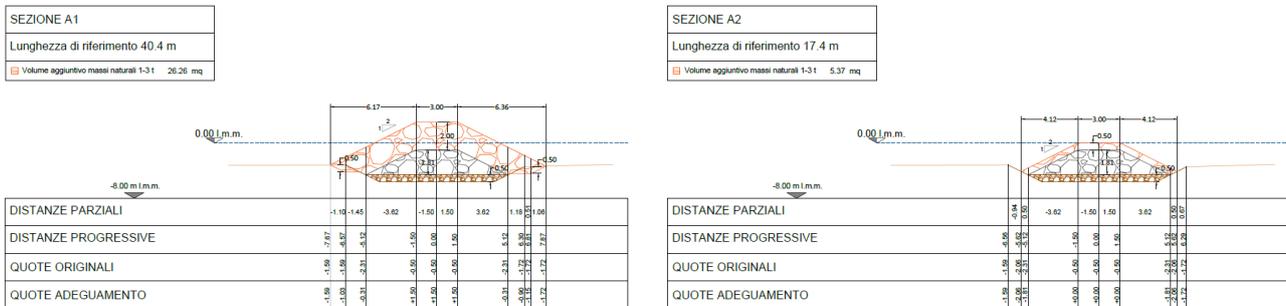


Figura 37 - Sezioni trasversali dell'adeguamento.

I pennelli interni, previsti nel progetto unitario ma attualmente non in fase di realizzazione, saranno lasciati invariati e coperti dal ripascimento con lo scopo di evitare una eccessiva curvatura della spiaggia.

Si prevede quindi l'utilizzo complessivo di ulteriori 8'139.78 t di massi di II categoria per effettuare queste opere di adeguamento.

6. CONSIDERAZIONI SULLA MODALITÀ DI REALIZZAZIONE

La fase di realizzazione delle opere in oggetto risulterà complessa a causa delle quantità dei materiali in gioco e dell'estensione dell'area di intervento; per una descrizione grafica di massima della fase di cantierizzazione si rimanda all'elaborato **T6 Planimetria di Cantierizzazione**.

In generale, si prevede la realizzazione di un cantiere mobile, che si sposterà da nord a sud e lavorerà per fasi in modo da non interdire l'intero arenile oggetto di intervento e di ridurre impatti ed interferenze. Indicativamente, ogni fase consisterà nella realizzazione di un certo numero di pennelli seguita, solo al completamento di questi, dalla realizzazione dell'annesso ripascimento; tale modalità limiterà in questo modo la perdita del sedimento così riportato sull'arenile.

L'accesso all'arenile avverrà da ingressi già esistenti (e già utilizzati per interventi di questo tipo) posti a Fregene, ed eventualmente, se necessario per Macchiagrande, da Focene.

L'arenile di intervento è un centro balneare della costa laziale popolato essenzialmente nella stagione estiva. In prossimità della zona dell'intervento vi è l'area protetta dell'Oasi di Macchiagrande. In generale, non si prevedono impatti diretti delle lavorazioni sull'Oasi: l'utilizzo di ingressi posti a distanza da essa e il fatto che le lavorazioni avverranno unicamente sull'arenile ridurranno il più possibile eventuali interferenze. Preme inoltre ricordare che l'intervento è stato ideato proprio per proteggere l'Oasi dall'azione del moto ondoso ed è quindi necessario per preservare tale habitat.

In totale si può stimare un tempo di esecuzione di circa dodici mesi continuativi necessario per portare a compimento le opere di progetto. Il materiale da approvvigionare per la realizzazione dei pennelli sarà trasportato sul luogo delle lavorazioni via terra e ottenuto da cava locale in modo da minimizzare gli impatti in termini di emissioni atmosferiche e acustiche; per limitare ulteriormente gli impatti e interferenze, le lavorazioni saranno effettuate unicamente al di fuori della stagione balneare. Considerando quindi l'utilizzo di mezzi in grado di trasportare circa 30 t di massi per viaggio, circa 130 giorni lavorativi per il trasporto complessivo di tutto il materiale lapideo (circa 75'065 t), una distanza massima dalla cava di circa 50 km e un turno lavorativo di 8 ore, si prevede un traffico di circa 19 viaggi/giorno, che possono essere effettuati quindi da 5 mezzi.

7. STIMA DEI COSTI

Per la determinazione dei prezzi delle lavorazioni del progetto in oggetto, si è utilizzato il prezzario regionale della Regione Lazio, edizione 2023, approvato con D.G.R. n. 101/2023, e pubblicato sul B.U.R.L. del 20 aprile 2023, n. 32.

Si fa presente che le voci inerenti alle operazioni di dragaggio e refluitamento sull'arenile sono computate nell'elaborato economico generale (elaborato *P0031150-D-0-MP00-GE-ECO-01_00*) sviluppato da RINA per il progetto del Waterfront di Fiumicino.

La stima sommaria dei costi è consultabile nell'elaborato **E2**; l'elenco dei prezzi adoperati invece è consultabile nell'elaborato **E1**. In totale si prevede per la realizzazione delle opere un costo di circa 3'537'732 €, di cui 2'798'193 € per la costruzione dei nuovi pennelli e 739'539 € per lo spianamento del ripascimento emerso sull'arenile.