

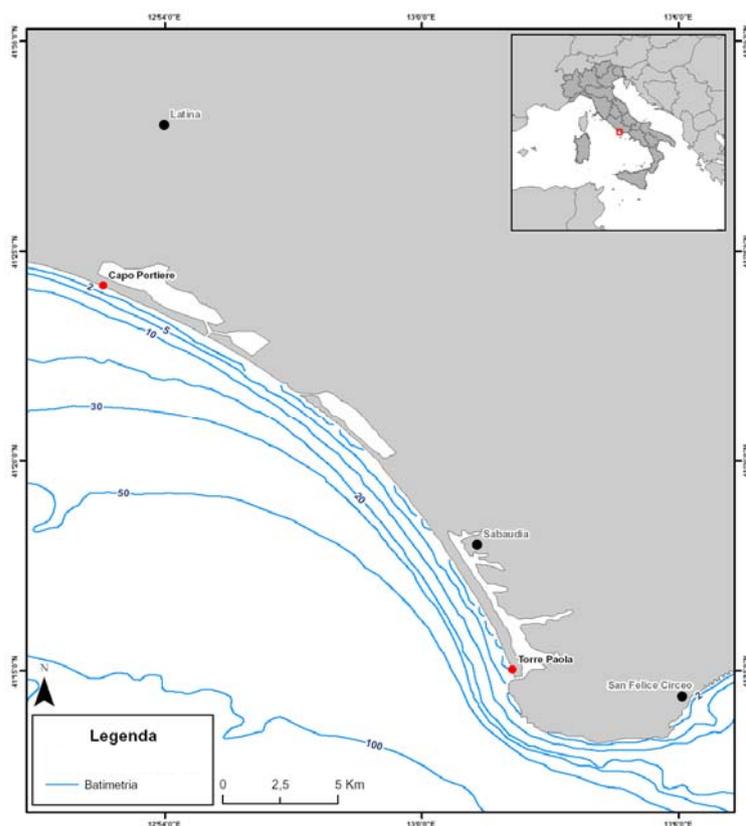


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

PREDISPOSIZIONE DI UNO STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE RELATIVO AGLI INTERVENTI DI DIFESA DELLA COSTA IN AREE PROTETTE, PER LA RICOSTRUZIONE E LA DIFESA DEL LITORALE COSTIERO TRA CAPO PORTIERE E TORRE PAOLA NELLA PROVINCIA DI LATINA

Attività C2: Dinamica litoranea dell'area



Relazione relativa alla simulazione degli scenari evolutivi con diverse
tipologie di intervento

Novembre 2009

Responsabile del Programma:
Dr. Luisa Nicoletti

Hanno collaborato per Hydrosol S.r.l.:

- Ing. Massimo Tondello
- Ing. Silvia Beriotto
- Ing. Nicola Sguotti

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | <u>PREMESSA</u> | 6 |
| 2 | <u>DEFINIZIONE DELLE ESIGENZE</u> | 7 |
| 3 | <u>DEFINIZIONE DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO</u> | 8 |
| 3.1 | CONSIDERAZIONI GENERALI SULLE SOLUZIONI PROGETTUALI | 9 |
| 3.2 | SCENARIO 0: OPZIONE ZERO | 15 |
| 3.3 | SCENARIO 1: INTERVENTO MORBIDO CON SOLO RIPASCIMENTO | 15 |
| 3.4 | SCENARIO 2: INTERVENTO CON RIPASCIMENTO PROTETTO DA PENNELLI | 16 |
| 3.5 | SCENARIO 3: INTERVENTO CON RIPASCIMENTO PROTETTO DA BARRIERA SOMMERSA | 18 |
| 4 | <u>PREVEDIBILE EVOLUZIONE DEL LITORALE</u> | 20 |
| 4.1 | PREMESSA ALLA MODELLAZIONE | 21 |
| 4.2 | PARAMETRI UTILIZZATI NEL MODELLO | 21 |
| 4.3 | EVOLUZIONE SCENARIO 0 | 24 |
| 4.4 | EVOLUZIONE SCENARIO 1 | 25 |
| 4.5 | EVOLUZIONE SCENARIO 2 | 26 |
| 4.6 | EVOLUZIONE SCENARIO 3 | 27 |
| 4.7 | CONFRONTO TRA GLI SCENARI | 29 |
| 5 | <u>STRATEGIE DI MANUTENZIONE</u> | 30 |
| 5.1 | CONSIDERAZIONI GENERALI SULLA MANUTENZIONE DEL LITORALE PONTINO | 30 |
| 5.1.1 | Dragaggio e manutenzione delle foci | 30 |
| 5.1.1.1 | <i>Foci di canali a marea</i> | 30 |
| 5.1.1.2 | <i>Foci di corsi d'acqua e scarico di idrovore</i> | 32 |
| 5.1.2 | Ripristino artificiale di erosioni localizzate della duna | 32 |
| 5.1.3 | Fenomeni causati da effetti localizzati | 34 |
| 5.2 | CRITERI DI VALUTAZIONE | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3 | MANUTENZIONE SCENARIO 1 | 38 |
| 5.4 | MANUTENZIONE SCENARIO 2 | 40 |
| 5.5 | MANUTENZIONE SCENARIO 3 | 42 |
| 6 | <u>ANALISI ECONOMICA COMPARATIVA</u> | 44 |
| 6.1 | GENERALITÀ | 44 |
| 6.2 | ATTUALIZZAZIONE DEI COSTI DI INVESTIMENTO | 45 |
| 6.3 | ANALISI DEI COSTI E PARAMETRI DI CALCOLO | 46 |
| 6.3.1 | Prezzo elementare sabbia da ripascimento | 47 |
| 6.3.2 | Prezzi elementari dei materiali diversi | 49 |
| 6.3.3 | Quadro riepilogativo dei parametri di dimensionamento e di costo | 51 |
| 6.4 | QUADRO DEI COSTI DI REALIZZAZIONE E DI MANUTENZIONE DELLE SOLUZIONI INDIVIDUATE | 53 |
| 6.5 | ANALISI COMPARATIVA DEL VALORE ATTUALE NETTO | 54 |
| 6.5.1 | Calcolo V.A.N. degli scenari | 54 |
| 6.5.2 | Analisi di sensitività | 55 |
| 6.6 | CONCLUSIONI ANALISI COMPARATIVA ECONOMICA | 57 |
| 7 | <u>RICOSTRUZIONE DELLA DUNA</u> | 58 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Fig. 3.1 – Rappresentazione schematica degli interventi | 8 |
| Fig. 3.2 – Schema tipo di reef artificiale | 10 |
| Fig. 3.3 – Unità tipo Reefball® | 10 |
| Fig. 3.4 – Spiaggia prima e dopo l'installazione di reef artificiale con unità Reefball® (Repubblica Dominicana) | 10 |
| Fig. 3.5 – Unità tipo Reefball® (Antigua) | 11 |
| Fig. 3.6 – Unità tipo Tecnoreef® (Dubai) | 11 |
| Fig. 3.7 – Unità tipo Reefmaker “Florida Special” (Sirotkin Reef, Florida) | 12 |
| Fig. 3.8 – Litorale di Foce Verde | 13 |
| Fig. 3.9 – Litorale di Foce Verde, particolari della zona a Sud della difesa a celle | 14 |
| Fig. 3.10 – Configurazione di progetto scenario 1 | 15 |
| Fig. 3.11 – Configurazione di progetto scenario 2 | 16 |
| Fig. 3.12 – Aggiramento della radice del pennello (foto Progetto Coastview, 2005) | 17 |
| Fig. 3.13 – Configurazione di progetto scenario 3 | 19 |
| Fig. 4.1 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 0 | 24 |
| Fig. 4.2 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 1 | 25 |
| Fig. 4.3 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 2 | 26 |
| Fig. 4.4 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 3 | 28 |
| Fig. 4.5 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 3 (confronto tra le due tipologie di barriera) | 28 |
| Fig. 4.6 – Confronto trasporto solido | 29 |
| Fig. 5.1 – Interrimento della foce nuova di Fogliano | 31 |
| Fig. 5.2 – Ripristino del piede della duna con massi naturali | 33 |
| Fig. 5.3 – Bagno a Sud di foce Caterattino | 34 |
| Fig. 5.4 – Bagno a Nord di foce Caterattino in condizioni “normali” e dopo una mareggiata | 35 |
| Fig. 5.5 – Trasporto solido per i diversi scenari | 36 |
| Fig. 5.6 – “Manutenzione necessaria” – Scenario 1 | 38 |
| Fig. 5.7 – “Manutenzione necessaria” – Scenario 2 | 40 |
| Fig. 5.8 – “Manutenzione necessaria” – Scenario 3 | 42 |
| Fig. 6.1 – Prezzo della sabbia da ripascimento in funzione del quantitativo richiesto (espresso in migliaia di metri cubi) | 48 |
| Fig. 6.2 – Confronto degli investimenti corrispondenti ai tre diversi scenari | 55 |
| Fig. 6.3 -- Variazione del V.A.N. in funzione del tasso di interesse | 56 |
| Fig. 6.4 -- Variazione del V.A.N. in funzione del costo della sabbia | 56 |
| Fig. 7.1 – Schema tipo di ricostruzione dell'apparato dunale | 59 |
| Fig. 7.2 – Installazione di rete frangivento sulla prima fascia di antiduna | 60 |
| Fig. 7.3 – Installazione di schermo frangivento a scacchiera | 60 |
| Fig. 7.4 – Realizzazione di passerelle sopraelevate per l'accesso alla spiaggia | 61 |
| Fig. 7.5 – Realizzazione di passerelle sopraelevate per il superamento della duna | 61 |
| Fig. 7.6 – Installazione di recinzione per la protezione della duna dal calpestio incontrollato e per la riduzione del trasporto eolico verso le aree restrostanti | 62 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tab. 4.1 - Parametri impiegati nel modello | 22 |
| Tab. 5.1 – Volumi di apporto scenario 1 – Litorale all'interno dell'area di interesse | 39 |
| Tab. 5.2 – Volumi di apporto scenario 1 – Litorale esterno all'area di interesse | 39 |
| Tab. 5.3 – Volumi di apporto scenario 2 – Litorale all'interno dell'area di interesse | 41 |
| Tab. 5.4 – Volumi di apporto scenario 2 – Litorale esterno all'area di interesse | 41 |
| Tab. 5.5 – Volumi di apporto scenario 3 – Litorale all'interno dell'area di interesse | 43 |
| Tab. 5.6 – Volumi di apporto scenario 3 – Litorale esterno all'area di interesse | 43 |
| Tab. 6.1 – Prezzi della sabbia da ripascimento | 47 |
| Tab. 6.2 – Prezzi elementari | 50 |
| Tab. 6.3 – Volumi di erosione prevedibile nei prossimi 10 anni | 51 |
| Tab. 6.4 – Quadro riepilogativo dei parametri di dimensionamento e di costo | 52 |
| Tab. 6.5 – Costi di realizzazione e manutenzione (scenario 1) | 53 |
| Tab. 6.6– Costi di realizzazione e manutenzione (scenario 2) | 53 |
| Tab. 6.7– Costi di realizzazione e manutenzione (scenario 3) | 53 |
| Tab. 6.8 – Confronto dei tre scenari: cash flow sulla base di 25 anni di esercizio | 54 |
| Tab. 7.1 – Costi relativi ai vari interventi previsti (Bovina et al., POSIDUNE 2008) | 63 |
| Tab. 7.2 – Computo sommario delle lavorazioni per le ricostruzioni dell'apparato dunale | 64 |

ELENCO DEGLI ALLEGATI:

| | |
|------------|-----------------------------------|
| Allegato A | Descrizione dei codici di calcolo |
|------------|-----------------------------------|

ELENCO DELLE TAVOLE:

| | |
|----------|--|
| Tavola 1 | Scenari evolutivi (Trasporto solido) |
| Tavola 2 | Evoluzione Scenario 0 (Configurazione attuale) |
| Tavola 3 | Evoluzione Scenario 1 (Configurazione con ripascimento) |
| Tavola 4 | Evoluzione Scenario 2 (Configurazione con ripascimento e pennelli) |
| Tavola 5 | Evoluzione Scenario 3 (Configurazione con ripascimento e barriera) |

1 PREMESSA

L'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), già ICRAM, nell'ambito della Convenzione di Ricerca per la salvaguardia del tratto di costa della Provincia di Latina compreso tra Capo Portiere e Torre Paola (lettera del 20 giugno 2008, prot. ICRAM n. 6413/08), è stato incaricato di predisporre uno "Studio Preliminare Ambientale relativo agli interventi di difesa della costa in aree protette, per la ricostruzione e la difesa del litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola nella Provincia di Latina".

Tale convenzione prevede l'esecuzione di diverse attività che hanno per oggetto l'individuazione delle criticità ambientali e la valutazione della fattibilità di diversi scenari di intervento di difesa costiera. Queste attività sono articolate in diversi studi di seguito descritti:

- ❖ Caratterizzazione ambientale (analisi critica dei dati bibliografici relativamente ai principali parametri ambientali - ATTIVITÀ A1);
- ❖ Campagne operative in mare per la verifica dei molluschi bivalvi di interesse commerciale presenti sulla fascia costiera (ATTIVITÀ A2);
- ❖ Caratterizzazione dell'apparato dunale (ATTIVITÀ B);
- ❖ Climatologia, morfologia e dinamica litoranea, completa di simulazione degli scenari evolutivi con diverse tipologie di intervento e valutazione economica comparativa (ATTIVITÀ C1 e C2);
- ❖ Predisposizione di documentazione per lo Studio Preliminare Ambientale (ATTIVITÀ C3).

La presente relazione costituisce la versione aggiornata della relazione relativa all'Attività C2 consegnata in data 1 Ottobre 2009 con lettera prot. ISPRA num. 041486. Si fa presente che le valutazioni contenute nel presente elaborato non tengono conto degli aspetti ambientali, che oggetto della successiva fase C3 (Studio Preliminare Ambientale).

DEFINIZIONE DELLE ESIGENZE

Le esigenze sono state definite in seguito ad una serie di riunioni tra tutti gli enti interessati: Provincia di Latina, ISPRA, Regione Lazio e Ente Parco Nazionale del Circeo.

La Provincia di Latina, con fax del 10 giugno 2009, ha comunicato a ISPRA di provvedere alla definizione di tre scenari d'intervento finalizzati alla predisposizione dello Studio Preliminare Ambientale.

In particolare, nel fax di giugno 2009, si comunica che la Regione Lazio ha concordato con quanto indicato da ISPRA. Ne consegue che: *per il lago dei Monaci si prospetta uno studio di carattere generale ed applicazione di modellistiche, mentre per foce Caterattino sono prefigurabili solo "linee guida" o "indicazioni" per contemperare l'esercizio delle due concessioni con l'equilibrio della zona e, soprattutto, per evitare ulteriori interventi dannosi (quali sacchi sommersi e scogli radenti).*

Va infatti evidenziato che è necessario valutare preliminarmente l'impatto locale e generale di qualsiasi intervento, onde evitare conseguenze impreviste e potenzialmente dannose.

L'Ente Parco Nazionale del Circeo ha fatto rilevare che gli interventi nell'area della "strada interrotta" del Lago dei Monaci, area che il Piano del Parco individua a "massima naturalità", pur essendo urgenti dovrebbero essere progettati utilizzando il più possibile metodi di ingegneria naturalistica di difesa della duna, secondo le modalità ripetutamente sperimentate con diversi progetti nel corso degli anni.

In base a quanto prospettato ed indicato dalla Provincia di Latina, ISPRA ha provveduto con la consulenza degli scriventi a definire i tre scenari d'intervento, descritti in dettaglio nel successivo paragrafo 2.

2 DEFINIZIONE DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO

In base a quanto deliberato dalla Provincia di Latina, il tratto di litorale in cui si prevede di intervenire è quello di fronte al lago dei Monaci ed è compreso tra le foci di Idrovora Lavorazione, a Sud-Est, e Rio Martino, a Nord-Ovest.

Sono state analizzate differenti soluzioni progettuali, ipotizzando di eseguire sia interventi di tipo morbido (ripascimento) che interventi di tipo misto (ripascimento protetto da opere rigide).

Tra gli scenari evolutivi simulati con il modello GENESIS, è stato considerato, come base di riferimento, quello relativo all'evoluzione in configurazione attuale (in assenza di interventi).

Tutti gli scenari previsti, ad eccezione di quello base in assenza di interventi, prevedono che venga ricostruita la duna e che venga eseguito un ripascimento a protezione della stessa. In Fig. 2.1 si rappresenta un dettaglio delle tipologie di intervento analizzate, con riferimento al tratto di litorale immediatamente a Sud di Rio Martino.

Nei successivi paragrafi si descrivono in dettaglio gli scenari evolutivi considerati nelle analisi. Si ricorda che, in futuro, l'evoluzione del litorale potrebbe essere condizionata anche dagli effetti delle opere realizzate tra Foce Verde e Capo Portiere, nonché dalle modalità di manutenzione (ripascimenti) di tale tratto di litorale (cfr. "Addendum relazione generale", datato gennaio 2009).



Fig. 2.1 – Rappresentazione schematica degli interventi

2.1 Considerazioni generali sulle soluzioni progettuali

Le applicazioni di massi artificiali con specifica funzione di creare, o ricreare, un habitat favorevole alla proliferazione della fauna marina sono in rapida crescita a livello internazionale. Esistono, infatti, numerose società e organizzazioni che promuovono differenti tipologie di elementi caratterizzati da materiali, forme e dimensioni atte a creare gli habitat sottomarini desiderati; tra le tipologie proposte ve ne sono alcune che vengono dichiarate idonee anche per l'impiego nella difesa dei litorali.

Le prerogative caratterizzanti degli elementi di calcestruzzo sono di norma le seguenti:

- impiego di calcestruzzo caratterizzato da pH compatibile con quello dell'ambiente marino;
- utilizzo di forme simili a quelle tipiche del fondale in cui saranno collocati gli elementi;
- ottenimento di superfici facilmente colonizzabili dagli organismi marini;
- forme e pesi tali da garantire la stabilità degli elementi sotto l'azione del moto ondoso;
- dimensioni e porosità tali da permettere una significativa dissipazione del moto ondoso.

Per alcuni degli elementi commercialmente disponibili sono stati sviluppati anche fondamenti teorici, sia per quanto riguarda le problematiche relative alla stabilità che le effettive "prestazioni" del reef artificiale relativamente alla capacità di ridurre l'energia del moto ondoso incidente. A tale proposito si citano ad esempio gli studi svolti dalla Reefball® Foundation, i cui risultati sono presentati in oltre 800 articoli scientifici, e che affrontano tutte le tematiche legate alla progettazione, installazione e gestione di reef artificiali.

In generale, le prestazioni delle barriere sommerse sono influenzate dalle caratteristiche locali del moto ondoso, dalla batimetria, dalla geometria e dall'ubicazione della struttura stessa.

Il dimensionamento dei reef artificiali, con riferimento alla loro funzione di protezione del litorale, può essere condotto con approcci simili a quelli normalmente utilizzati per le strutture tradizionali.

I criteri di dimensionamento, per alcuni elementi commercialmente disponibili, sono esplicitati attraverso formule matematiche o abachi, ma, in via del tutto generale, è possibile ricorrere a studi su modello fisico in scala ridotta in similitudine di Froude per valutare la stabilità della struttura nelle condizioni particolari del sito di intervento. I criteri di dimensionamento per gli elementi commerciali non sono di norma pubblicati in forma completa per garantire l'esclusiva degli studi alla società o all'organizzazione che commercializza le casseforme per la realizzazione degli elementi.

Si riportano, a titolo di esempio, alcuni casi applicativi di interventi realizzati utilizzando elementi tipo Reefball® (Fig. 2.3). In particolare, in Fig. 2.4, si riportano due immagini (prima e dopo l'intervento) relative ad un tratto di litorale della Repubblica Dominicana: si osserva come la realizzazione della barriera artificiale, riducendo l'impatto del moto ondoso incidente, abbia decisamente migliorato le condizioni della spiaggia retrostante. In Fig. 2.5 è rappresentata una foto aerea della difesa in Reefball® realizzata in Antigua. Altri esempi di installazione di unità tipo Tecnoreef® e Reefmaker sono riportati rispettivamente in Fig. 2.6 (Dubai) e Fig. 2.7 (Florida).

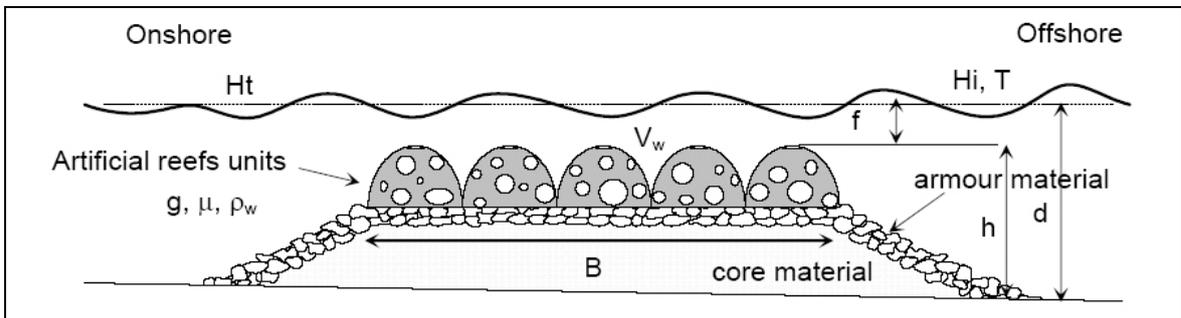


Fig. 2.2 – Schema tipo di reef artificiale



Fig. 2.3 – Unità tipo Reefball®

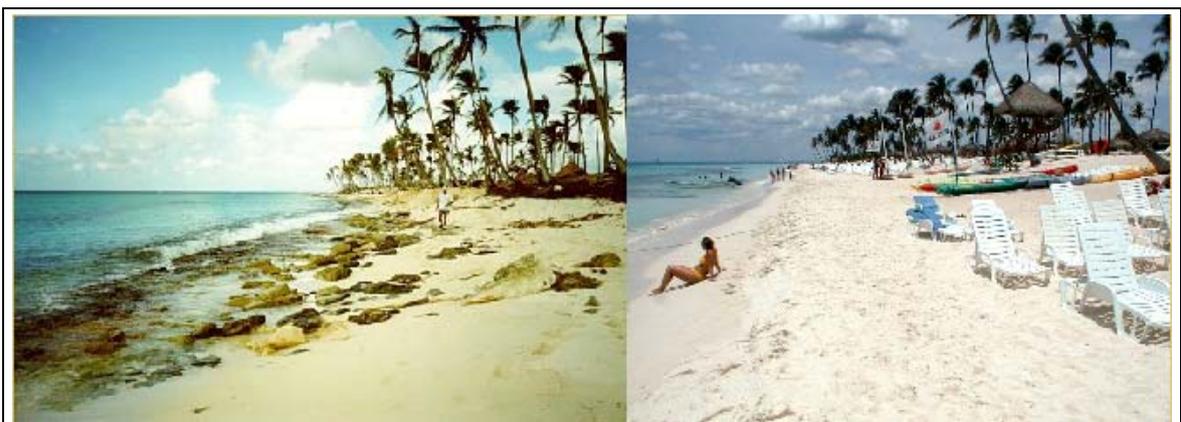


Fig. 2.4 – Spiaggia prima e dopo l'installazione di reef artificiale con unità Reefball® (Repubblica Dominicana)



Fig. 2.5 – Unità tipo Reefball® (Antigua)

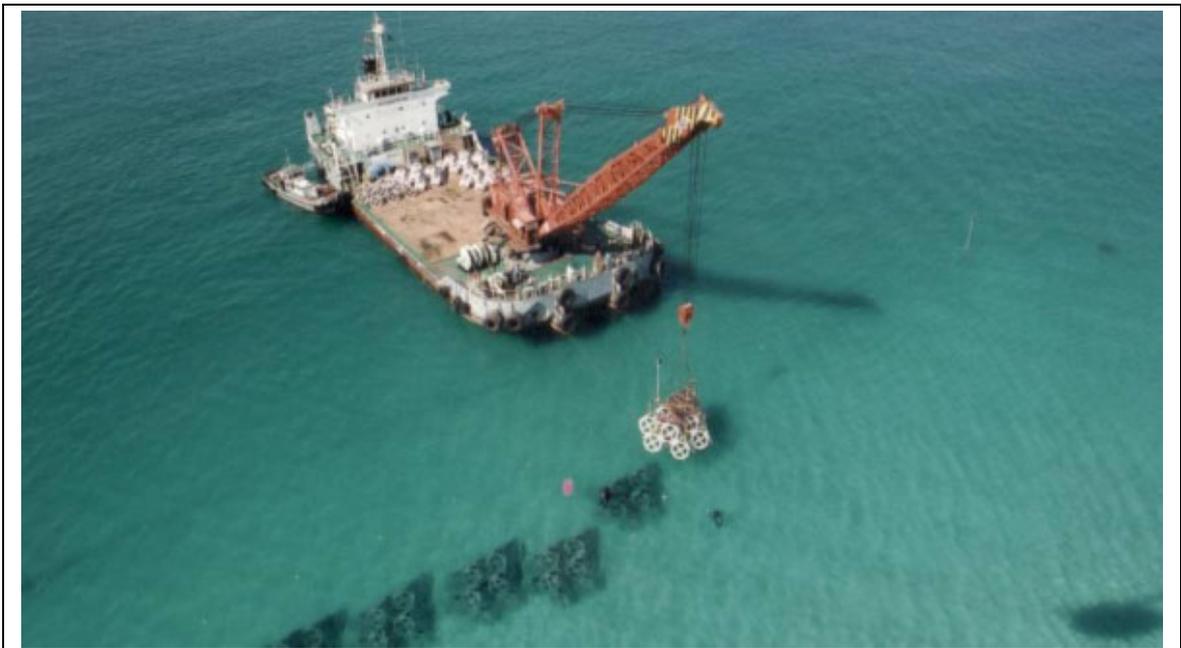


Fig. 2.6 – Unità tipo Tecnoreef® (Dubai)



Fig. 2.7 – Unità tipo Reefmaker “Florida Special” (Sirotkin Reef, Florida)

A prescindere dal tipo di elemento, la funzionalità antiersiva è legata alla capacità dell'elemento, o della struttura risultante dalla combinazione di più elementi, di dissipare l'energia del moto ondoso, riducendo di conseguenza il trasporto solido litoraneo.

Quindi, prescindendo dall'efficienza del sistema o da ulteriori valutazioni legate all'impatto ambientale della struttura, il funzionamento è assimilabile a quello di una tradizionale barriera sommersa. Rispetto a quest'ultima, tuttavia, l'impiego di elementi non convenzionali richiede, a livello progettuale, una serie di approfondimenti legati alla generale mancanza di dati tecnici sulle prestazioni e sulle modalità di impiego dei diversi elementi.

Un progetto che preveda l'impiego di questi elementi non convenzionali non potrebbe quindi che essere basato sul presupposto dell'impiego di un particolare tipo di elemento (commerciale o no), che dovrebbe essere preliminarmente caratterizzato in maniera compiuta dal punto di vista tecnico. Ai fini del presente studio preliminare ambientale, non si è ritenuto di procedere in questo senso, ma di assimilare qualitativamente l'ipotesi di impiego di elementi non convenzionali all'impiego di una barriera sommersa.

Per quanto riguarda l'eventuale impiego di una difesa a celle, non si è ritenuto di inserire una siffatta soluzione progettuale negli scenari studiati, in quanto uno degli obiettivi prioritari nella programmazione degli interventi nella zona del lago dei Monaci è quella di prevenire una totale interruzione del trasporto solido. Le recenti esperienze sul litorale a Nord di Capo Portiere (Fig. 2.8 e Fig. 2.9) hanno infatti dimostrato come l'efficienza di un tale sistema di difesa sia tale da garantire la

stabilità a medio termine della zona protetta, ma anche come, in assenza di periodici e frequenti interventi di manutenzione (pure previsti in progetto), la pressochè completa interruzione del trasporto solido determini sottoflutto l'insorgere di fenomeni erosivi con rapida evoluzione. Una simile situazione di arretramento localizzato, in un tratto di litorale in cui i laghi costieri sono separati dal mare da una sottile striscia di dune, non è chiaramente accettabile, né si può pensare di legare la sopravvivenza del cordone dunale alla periodica esecuzione degli interventi di ripascimento manutentivo, soprattutto quando la frequenza della loro esecuzione deve essere elevata.



Fig. 2.8 – Litorale di Foce Verde



Fig. 2.9 – Litorale di Foce Verde, particolari della zona a Sud della difesa a celle

2.2 Scenario 0: opzione zero

Il primo scenario evolutivo considerato è quello corrispondente al caso in cui il litorale rimanga nell'assetto attuale e non venga realizzato alcun intervento (scenario 0).

2.3 Scenario 1: intervento morbido con solo ripascimento

Lo scenario 1 prevede, invece, che nel tratto di litorale di Lago dei Monaci, tra Idrovora Lavorazione e Rio Martino, venga eseguito un ripascimento a protezione della duna retrostante che verrà a sua volta ricostruita (Fig. 2.10).

Il ripascimento considerato nelle simulazioni comporta un avanzamento di circa 20 m della linea di riva rispetto alla posizione rilevata a ottobre 2008; tale spostamento porta la linea di riva in posizione più avanzata di quella rilevabile dalle aerofoto del 1944.

La larghezza della spiaggia emersa verrà mantenuta approssimativamente uguale a quella attuale, avanzando la duna ricostruita verso la nuova linea di riva.

La disposizione di un volume di sabbia a protezione del piede della duna appare come una scelta obbligata per garantire una maggiore sicurezza rispetto al rischio di collasso della duna ed inondazione della piana retrostante. Il materiale posto in opera subirà delle graduali perdite a vantaggio dei fondali antistanti o delle spiagge adiacenti.

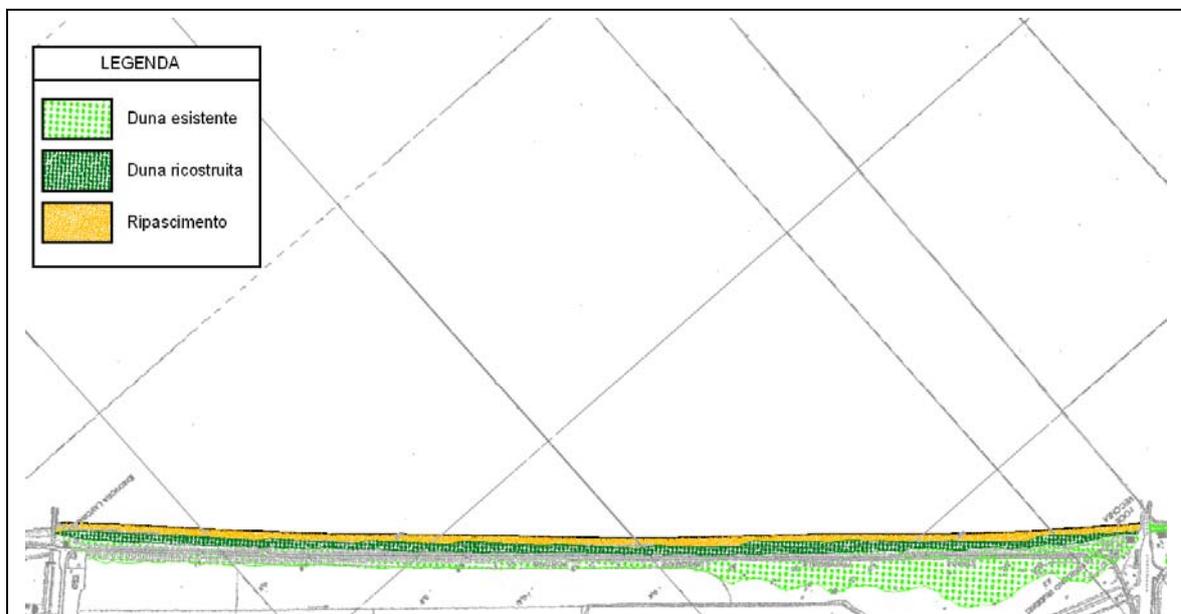


Fig. 2.10 – Configurazione di progetto scenario 1

2.4 Scenario 2: intervento con ripascimento protetto da pennelli

Oltre ad un intervento di tipo morbido (ripascimento – scenario 1) sono state valutate le possibili conseguenze sul litorale della realizzazione di interventi di tipo misto.

Lo scenario 2 prevede, infatti, che il ripascimento sia protetto da 10 pennelli emersi posti ad un interasse di circa 300 m, che si estendono verso il largo per circa 100 m (Fig. 2.11).

I pennelli dovranno essere intestati nella duna esistente e andranno parzialmente ricoperti dalla duna ricostruita. In questo modo si potrà garantire una maggiore stabilità al sistema di difesa e prevenire, nei limiti del possibile, eventuali aggiramenti alla radice (Fig. 2.12) o scalzamenti del piede della duna dovuti all'azione delle mareggiate che colpiscono frequentemente il litorale.

L'obiettivo dei pennelli sarà quello di “modulare” il trasporto longitudinale del sedimento, trattenendo parte del materiale di apporto versato con il ripascimento, senza bloccare totalmente il trasporto solido (in fase progettuale, se necessario, le lunghezze potrebbero essere ottimizzate)

Nelle applicazioni modellistiche che seguono si è adottata una configurazione semplificata per valutare il grado di efficacia generale del tipo di opera prospettata, senza arrivare all'ottimizzazione della configurazione progettuale.

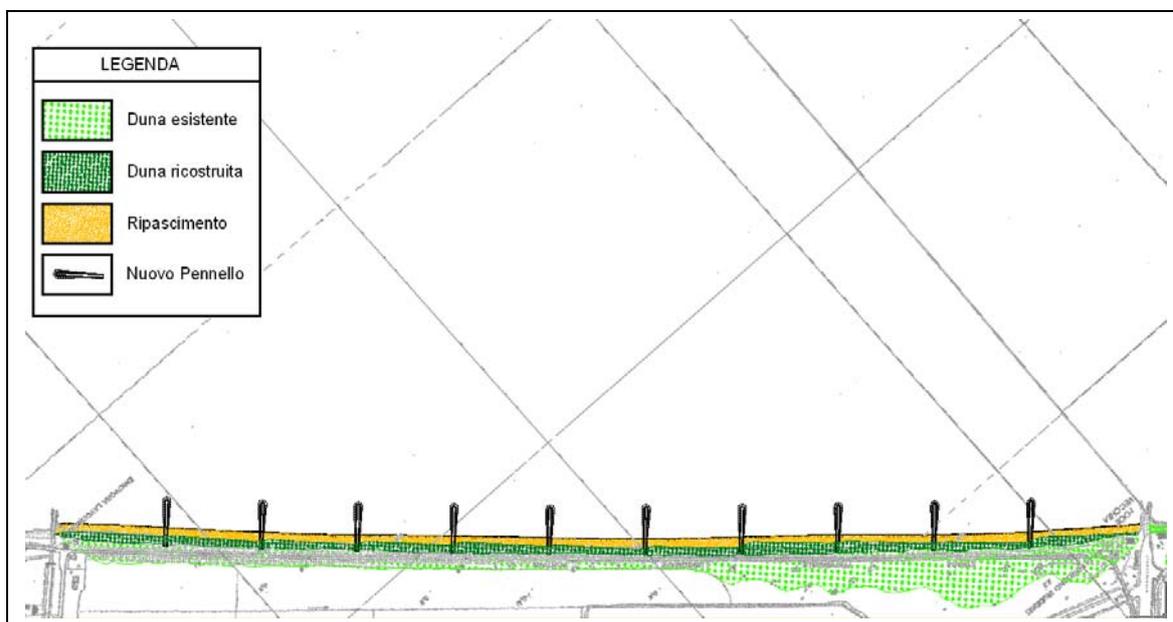


Fig. 2.11 – Configurazione di progetto scenario 2



Fig. 2.12 – Aggiramento della radice del pennello (foto Progetto Coastview, 2005)

2.5 Scenario 3: intervento con ripascimento protetto da barriera sommersa

Per quanto riguarda lo scenario 3, si tratta anche in questo caso di un intervento misto: ripascimento protetto da una barriera soffolta (Fig. 2.13).

La barriera che si sviluppa parallela alla costa per una lunghezza di circa 3400 m, si trova su fondali compresi tra -3.0 e -4.0 m. Il coronamento è largo 20 m, la pendenza della mantellata è pari a 1:2 e la sommergenza è di 1.0 m.

Questo tipo di opera deriva da una concezione totalmente diversa da quelle precedenti in quanto non si tende più a rispettare e sostenere il flusso sedimentario esistente nell'intera falcata litoranea, bensì a proteggere in modo totale un ripascimento effettuato in una determinata località.

Tuttavia la conseguenza della realizzazione di questo genere di opera (oltre agli ingenti costi capitali) è quello di uno sconvolgimento totale della dinamica del trasporto sedimentario che, in linea di massima, comporterà un accumulo di sabbia sopraflutto all'intervento ed una forte erosione sottoflutto allo stesso. Tale circostanza, perfettamente nota in letteratura, ha un significativo riscontro con quanto già detto a proposito dell'intervento a Foce Verde che attualmente richiede continui interventi sottoflutto.

Si rimarca, infatti, che l'interruzione o comunque la radicale modifica della dinamica sedimentaria ha come conseguenza la modifica dell'assetto della linea di riva, con tutte le ovvie conseguenze in termini di impatto sulla duna e sulle infrastrutture litoranee. Non è ragionevole, né possibile, affrontare il tema dell'erosione isolando un tratto di litorale dal contesto generale.

Soluzioni come quella adottata a Foce Verde hanno una grande efficacia locale, e sono adatte nel caso in cui la salvaguardia di un ben determinato tratto di costa è prioritaria rispetto al resto, avendo come conseguenza il sacrificio dei tratti di costa adiacente.

L'eventuale introduzione di barriere sommerse con elementi di particolari caratteristiche idrauliche non modifica il principio di funzionamento della barriera; la barriera riduce il trasporto solido agendo sull'attenuazione della forzante (moto ondoso incidente). L'attenuazione dipende dal tipo di elemento (forma, dimensioni, peso, ecc.) e dalle caratteristiche della barriera che con i singoli elementi viene formata. Per la maggior parte degli elementi in commercio, tuttavia, non esistono informazioni tecniche sufficienti ad una progettazione, limitandosi il normale utilizzo ad un livello più o meno empirico, con risultati diversamente soddisfacenti.

Nell'ambito di un progetto potrebbe essere giustificato un approfondimento della documentazione sui singoli elementi, in base al quale procedere con studi di dettaglio; in questa fase tuttavia non ha senso distinguere le peculiarità dei diversi tipi di barriera, caratterizzati comunque dallo stesso principio di funzionamento.

A titolo comparativo, per ridimensionare il problema e considerare gli effetti di un intervento "fattibile" è stato considerato anche il caso, sicuramente più realistico e meno impattante sul litorale, in cui la barriera venga interrotta da varchi (lunghi 50 m) ogni 250 m circa.

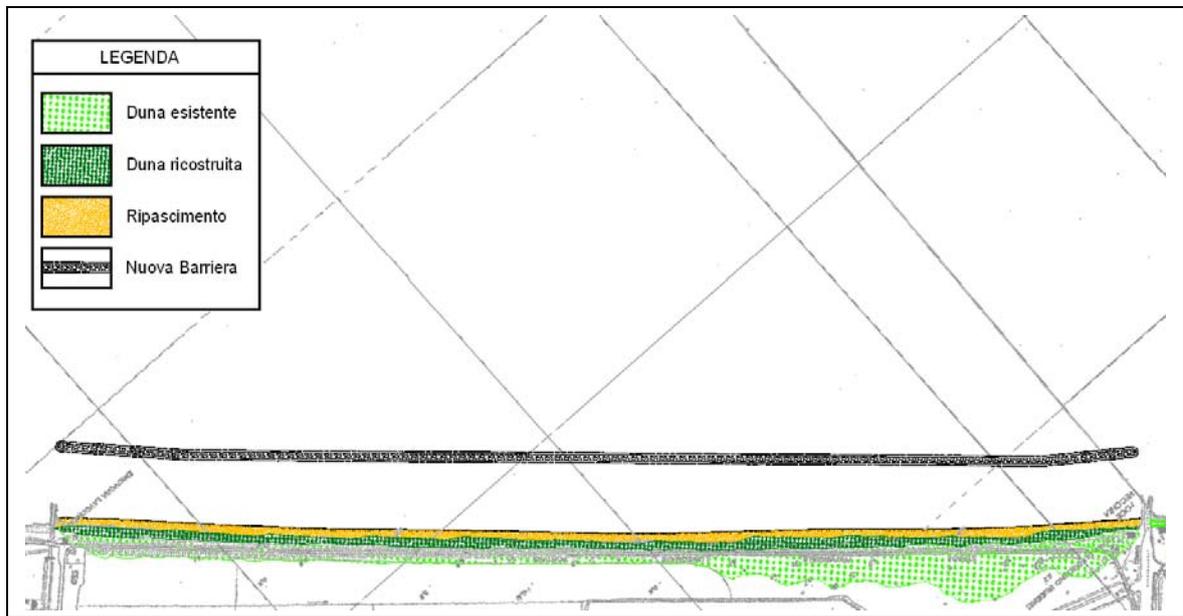


Fig. 2.13 – Configurazione di progetto scenario 3

3 PREVEDIBILE EVOLUZIONE DEL LITORALE

Lo studio dell'evoluzione morfologica del litorale è stato condotto per mezzo del codice di calcolo GENESIS, descritto in dettaglio nell'allegato A.

Utilizzando il dominio di calcolo costruito durante la prima fase di studi (cfr. Relazione di ottobre 2008), sono stati simulati gli scenari descritti al precedente paragrafo 2.

Rispetto alle simulazioni eseguite nel gennaio 2009 (addendum), è stata inserita nel modello la linea di riva rilevata a ottobre 2008, opportunamente integrata nella parte settentrionale del dominio con un rilievo della linea di riva eseguito nel marzo 2009. Entrambi i rilievi sono stati eseguiti da Hydrosol S.r.l..

Per quanto riguarda la linea di riva rilevata a ottobre 2008, il rilievo copre l'intero tratto di costa oggetto del presente studio (da Capo Portiere a Torre Paola); per completezza, il rilievo è stato esteso anche per circa 3 km a Nord di Capo Portiere.

In seguito all'elaborazione grafica del rilievo di ottobre 2008 e alle informazioni ricevute sui recenti interventi eseguiti tra Foce Verde e Capo Portiere, si è reso necessario integrare la linea di riva di ottobre 2008 rilevando anche il tratto mancante fino a foce Verde (rilievo marzo 2009).

Infatti, come già accennato in premessa, lo studio dell'evoluzione morfologica del tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola, non può prescindere dall'evoluzione del litorale sopraflutto.

Il nuovo rilievo di marzo 2009 ha permesso agli scriventi di aggiornare la posizione della linea di riva nel tratto sopraflutto e di posizionare in maniera più accurata i nuovi pennelli realizzati a Sud della barriera soffolta di Foce Verde. Tali opere erano infatti già state inserite nelle simulazioni di gennaio 2009 (Addendum Relazione Generale), sulla base di alcune sommarie indicazioni fornite dalla Committenza su richiesta degli scriventi.

3.1 Premessa alla modellazione

I modelli matematici costituiscono un valido strumento per l'analisi e la previsione dell'evoluzione della morfologia costiera. Il principale vantaggio dei modelli matematici risiede nella possibilità, una volta implementati, di studiare in tempi ragionevolmente brevi diverse soluzioni progettuali ovvero l'effetto di forzanti di natura diversa (mareggiate eccezionali, variazioni del clima, ecc.).

La modellazione dell'evoluzione morfologica di un litorale coinvolge fenomeni di natura diversa quali il moto ondoso incidente il litorale stesso, la presenza di correnti costiere, il trasporto solido longitudinale (in direzione parallela alla linea di riva), il trasporto solido trasversale (perpendicolare alla linea di riva), l'influenza di strutture collocate all'interno della zona attiva della spiaggia (quella cioè interessata da fenomeni di migrazione dei sedimenti per azione del moto ondoso) e di eventuali interventi di dragaggio o ripascimento artificiale.

In primo luogo è fondamentale la determinazione delle forzanti del sistema, cioè del clima meteomarinico locale. Sulla base di questi dati è possibile quindi valutare il trasporto solido nelle diverse direzioni nelle diverse celle che compongono il modello matematico. Una volta determinate le forzanti, si passa quindi alla valutazione del trasporto solido nelle diverse direzioni, valutazione che si basa su criteri semiempirici che legano le caratteristiche del moto ondoso alla geometria della spiaggia ed alle caratteristiche dei sedimenti che la costituiscono.

Va quindi analizzata l'influenza delle strutture collocate all'interno della zona attiva, sia in termini di modificazione della propagazione locale del moto ondoso che di interazione con il regime di trasporto solido, cioè di valutazione della variazione indotta localmente sulle forzanti del sistema dalla presenza di opere e della capacità di queste ultime di intercettare, totalmente o in una parte da quantificare, il trasporto solido. Alla stregua delle opere in zona attiva vanno considerati gli interventi di dragaggio e ripascimento, che modificano localmente il campo di moto delle onde incidenti e alterano in alcune zone il budget di sedimenti passibile di migrazione per effetto delle forzanti già determinate. Si rimanda all'allegato A per una descrizione del codice di calcolo GENESIS.

3.2 Parametri utilizzati nel modello

La griglia di calcolo GENESIS comprende il tratto di costa tra il promontorio di Torre Astura (a Nord) e il promontorio del Circeo (a Sud); è stata costruita suddividendo il litorale in 820 celle della lunghezza di 50 m ciascuna, per un totale di 41000 m.

L'estensione del dominio di calcolo è stata determinata in base alla conformazione del litorale e delle opere presenti, che ha consentito di porre gli estremi in corrispondenza di punti notevoli dove fissare univocamente le condizioni al contorno.

L'estremo destro del dominio di calcolo è stato fissato oltre il promontorio di Torre Astura, mentre quello sinistro è stato posto oltre il promontorio del Circeo. In entrambi i casi, i promontori, la cui linea di riva è costituita da scogliere a picco sul mare, sono stati schematizzati come punti fissi ("pinned").

Per quanto riguarda la costruzione del modello, la propagazione del clima sottocosta al limite della fascia attiva (codice di calcolo STWAVE) e la schematizzazione delle opere attualmente presenti sul litorale si rimanda alle relazioni di ottobre 2008 e all'addendum di gennaio 2009.

Sulla base delle indagini granulometriche disponibili e del best-fit dei profili di spiaggia, il diametro mediano dei sedimenti che costituiscono la fascia attiva è stato assunto pari a 0.2 mm.

I parametri impiegati nel modello sono riassunti nella seguente Tab. 3.1. In particolare, si riportano i valori dei coefficienti di taratura-calibrazione K_1 e K_2 , le caratteristiche della griglia di calcolo (dimensioni e spaziatura), il periodo individuato per la simulazione, lo step temporale di calcolo, le caratteristiche della climatologia fornita in input al modello (profondità della fascia attiva, ubicazione delle "stations") e le condizioni al contorno.

La linea di riva iniziale, come accennato in precedenza, è quella rilevata a ottobre 2008 e gennaio 2009, opportunamente integrata, ove mancante (tratto di litorale immediatamente a Nord di Foce Verde), con quella del 1990, ricavata dalla CTR.

In tutti gli scenari analizzati, nel tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola è stata cautelativamente presa in considerazione anche una perdita uniformemente distribuita diretta verso il largo e stimata sulla base del confronto delle linee di riva utilizzate per la taratura del modello di evoluzione morfologica (1992 e 2005). In base a tale confronto, pur non esente da indeterminazioni implicite nella modalità di calcolo, la perdita è di circa 42000 m³/anno.

Al fine di valutare l'attendibilità della perdita così stimata, si è proceduto anche ad un confronto tra la linea di riva del 1944 e quella del 1992; tale confronto porta ad una stima dell'ordine dei 17000 m³/anno, cui vanno sommati i numerosi interventi estemporanei di ripascimento, purtroppo scarsamente documentati, ma che comunque non possono aver avuto una rilevanza significativa.

Una stima ragionevole delle perdite si colloca quindi tra i 20000 e i 40000 m³/anno; appare comunque più prudente scegliere il valore più elevato in relazione ai diversi fattori che contribuiscono a far ritenere più critico il trend evolutivo recente.

| PARAMETRO | VALORE | U.M. |
|---|-----------------------|------|
| Coefficiente di calibrazione K_1 | 0.07 | |
| Coefficiente di calibrazione K_2 | 0.035 | |
| Numero di celle totali | 820 | |
| Dimensioni di ogni cella | 50 | m |
| Data inizio simulazione | 01/01/2009 | |
| Data di fine simulazione | 01/01/2019 | |
| Dimensione step temporale di calcolo | 3 | h |
| Profondità a cui sono ubicate le stations | -10.0 | m |
| Profondità di chiusura | -6.7 | m |
| Altezza di swash | +1.5 | m |
| Estremo destro | Aperto (Pinned Beach) | |
| Estremo sinistro | Aperto (Pinned Beach) | |

Tab. 3.1 - Parametri impiegati nel modello

L'esistenza di tale perdita è stata ipotizzata sulla base di una serie di motivazioni:

- il trasporto solido calcolato tende ad annullarsi in corrispondenza di Torre Paola;
- in seguito alla realizzazione del porto di S. Felice Circeo si sono verificati significative riduzioni dei fondali antistanti le opere portuali ed importanti fenomeni erosivi del litorale da S. Felice Circeo a Terracina, quindi è assai probabile che esistesse un certo bypass oltre il promontorio, alimentato appunto dalle perdite del litorale a Nord del Circeo.

Non disponendo di maggiori informazioni, si è poi ipotizzato che tale perdita avesse un andamento uniformemente distribuito nell'arcata litoranea tra Capo Portiere e Torre Paola.

Alla perdita ricavata dal confronto delle linee di riva (42000 m³/anno), è stata sommata la differenza tra il trasporto solido in ingresso nella sezione di Capo Portiere (stimato dal modello in circa 23000 m³/anno) e quello in uscita in corrispondenza di Torre Paola.

Per quanto riguarda, infine, le opere previste negli scenari di intervento, esse sono state opportunamente schematizzate nel modello.

Il ripascimento (inserito negli scenari 1, 2 e 3) è stato rappresentato con un avanzamento di 20 m della linea di riva nel tratto compreso tra Idrovora Lavorazione e Rio Martino.

I pennelli, rappresentati nello scenario 2, sono stati schematizzati con strutture impermeabili di tipo "non diffracting" di idonea lunghezza.

La barriera sommersa è stata schematizzata nel modello secondo l'approccio di Seabrook&Hall, descritto in dettaglio nell'allegato A. I parametri utilizzati sono i seguenti:

- diametro medio dei massi 0.5 m,
- pendenza delle scarpate 1:2,
- lunghezza del coronamento 3400 m,
- larghezza del coronamento 20 m,
- quota di coronamento -1.0 m s.m.m.
- profondità al piede dell'opera -3.0 m s.m.m..

3.3 Evoluzione scenario 0

Nel presente paragrafo si descrivono i risultati della simulazione di evoluzione morfologica a 10 anni in assenza di interventi (scenario 0).

Vista la notevole estensione del tratto di litorale schematizzato nel modello, i risultati vengono rappresentati nel dettaglio negli elaborati grafici allegati alla presente relazione, sia in termini di andamento del trasporto solido (Tavola 1) che di evoluzione della linea di riva (Tavola 2).

I risultati sono stati rappresentati per il tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola, tra la progressiva GENESIS 6500 e 29000 m.

L'evoluzione morfologica in assenza di interventi (scenario 0) mostra una sostanziale stabilità del tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola, sia in termini di variazioni della linea di riva che in termini di andamento del trasporto solido. Il trend erosivo resta prevalentemente legato alla perdita verso il largo, che però nei 23 km di spiaggia compresi tra Capo Portiere e Torre Paola si traduce in un arretramento medio abbastanza contenuto (dell'ordine di 0.3 m/anno).

L'andamento della linea di riva è confrontabile con quello ricavato dalle simulazioni di taratura condotte durante la prima fase di studio. Anche l'andamento del trasporto solido mette in evidenza la sostanziale stabilità del tratto di costa oggetto di interesse (Fig. 3.1).

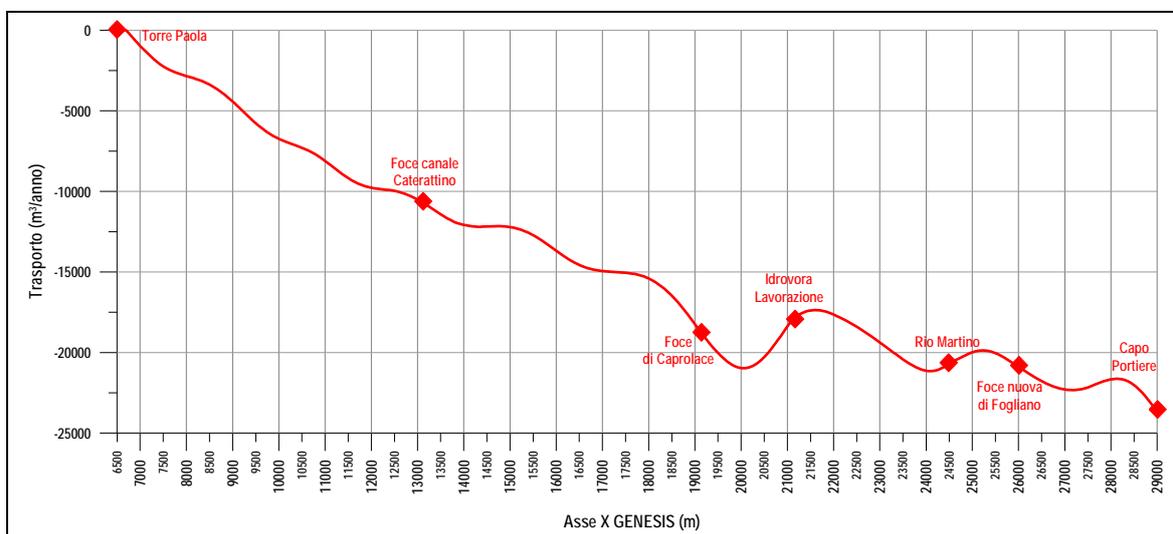


Fig. 3.1 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 0

3.4 Evoluzione scenario 1

Nel presente paragrafo si descrivono i risultati della simulazione di evoluzione morfologica a 10 anni relativa allo scenario 1, che prevede la realizzazione di un ripascimento morbido.

I risultati sono rappresentati in dettaglio negli elaborati grafici allegati alla presente relazione, sia in termini di andamento del trasporto solido (Tavola 1) che di evoluzione della linea di riva (Tavola 3).

L'evoluzione morfologica del litorale in seguito alla realizzazione del ripascimento mostra ancora una sostanziale stabilità del tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola, sia in termini di variazioni della linea di riva che in termini di andamento del trasporto solido. Non si riscontrano sostanziali variazioni nella dinamica litoranea rispetto alla simulazione precedente (scenario 0 – in assenza di interventi).

Il tratto di litorale di lago dei Monaci beneficia del ripascimento anche nel medio termine (10 anni): la linea di riva finale risulta infatti stabilmente più avanzata di quella rilevata nel 2008. L'avanzamento della linea di riva e la sua stabilità nel tempo garantiscono una maggiore protezione delle dune retrostanti nei confronti delle mareggiate incidenti sul litorale.

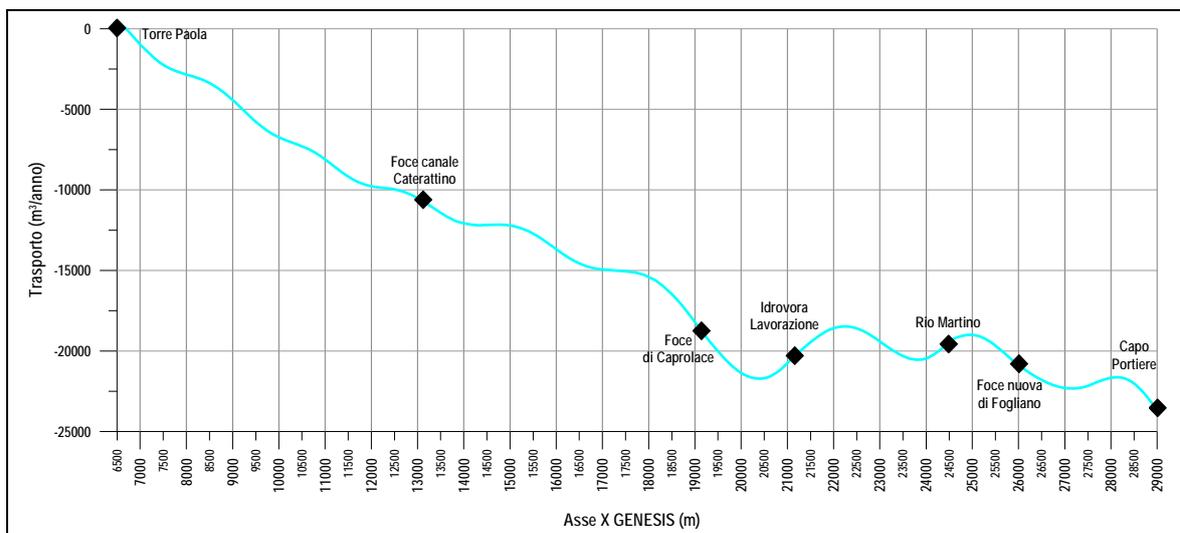


Fig. 3.2 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 1

3.5 Evoluzione scenario 2

Nel presente paragrafo si descrivono i risultati della simulazione di evoluzione morfologica a 10 anni relativa allo scenario 2, che prevede la realizzazione di un ripascimento protetto da una batteria di pennelli.

I risultati sono rappresentati in dettaglio negli elaborati grafici allegati alla presente relazione, sia in termini di andamento del trasporto solido (Tavola 1) che di evoluzione della linea di riva (Tavola 4).

Si osserva come la realizzazione dei pennelli modifichi il regime litoraneo nel tratto di litorale oggetto di intervento, sia con riferimento all'andamento del trasporto solido che per quanto riguarda l'evoluzione della linea di riva.

Il tratto di litorale sottoflutto alle opere di difesa (a Sud di Idrovora Lavorazione) presenta una tendenza all'arretramento, dovuta alla riduzione dell'apporto solido proveniente dal tratto sopraflutto.

In generale, lo scenario 1 (ripascimento morbido) è un intervento compatibile con la "naturalità" della zona di interesse, mentre l'intervento misto (scenario 2) oltre ad essere più oneroso comporta sicuramente un maggior impatto sul litorale.

Ciò che viene modificato non è infatti il bilancio globale del litorale, ma la distribuzione dei sedimenti al suo interno, con benefici nel tratto protetto accompagnata da una contestuale accelerazione della crisi sottoflutto alle opere rigide. Situazioni di questo tipo, che implicano fenomeni in rapida evoluzione, risultano spesso difficili da gestire in relazione alla frequenza degli interventi correttivi richiesti.

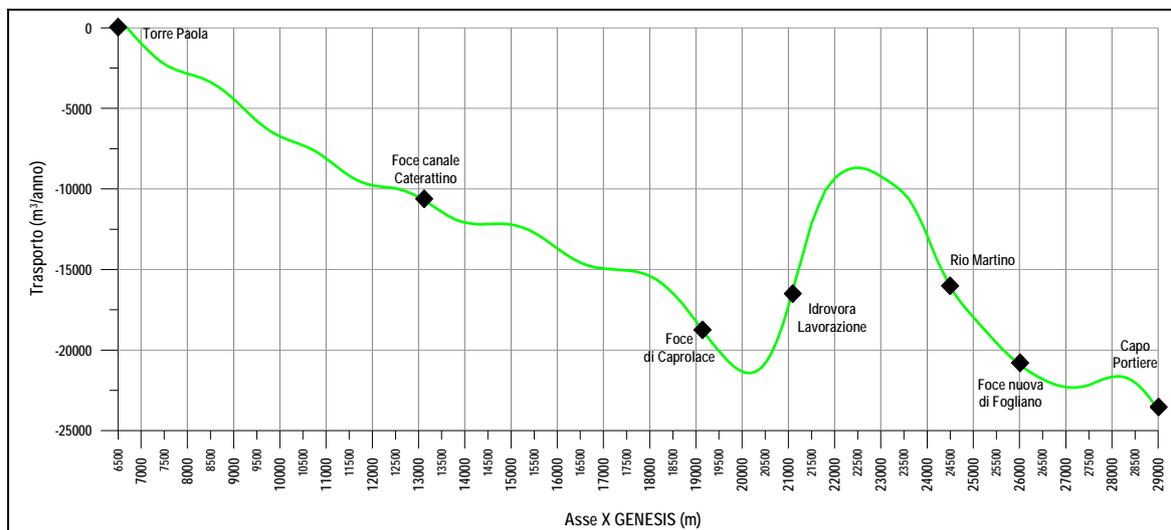


Fig. 3.3 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 2

3.6 Evoluzione scenario 3

Nel presente paragrafo si descrivono i risultati della simulazione di evoluzione morfologica a 10 anni relativa allo scenario 3, che prevede la realizzazione di un ripascimento protetto da una barriera soffolta parallela alla linea di riva.

I risultati sono rappresentati in dettaglio negli elaborati grafici allegati alla presente relazione, sia in termini di andamento del trasporto solido (Tavola 1) che di evoluzione della linea di riva (Tavola 5).

In questo caso si osservano sostanziali differenze nell'andamento del trasporto solido e nell'evoluzione della linea di riva rispetto alle simulazioni precedenti.

In corrispondenza del tratto centrale della difesa il trasporto cambia addirittura verso; ciò è dovuto alla tendenza della barriera a "catturare" i sedimenti in movimento nei due versi lungo il litorale, con il risultato di avere un flusso netto diretto sia sopraflutto che sottoflutto verso la zona protetta dalla barriera frangiflutti.

In termini di variazioni della linea di riva si riscontra un notevole accrescimento della spiaggia nel tratto protetto dalla barriera, mentre il tratto di litorale sottoflutto al sistema di difesa si presenta molto arretrato, come pure le zone in prossimità delle foci di Idrovora Lavorazione e Rio Martino.

A titolo di esempio, è stata eseguita una simulazione "più realistica", con la barriera soffolta interrotta ogni 250 m da dei varchi lunghi 50 m; tale configurazione riduce l'impatto della barriera sul trasporto solido e, probabilmente, migliora la circolazione e la qualità delle acque nello specchio acqueo protetto.

Di seguito, in Fig. 3.5, si riporta un confronto, per il solo tratto di intervento, tra il trasporto solido relativo alla simulazione con barriera continua e quello relativo alla simulazione con barriera interrotta da varchi. In quest'ultimo caso si ottiene per il trasporto un andamento intermedio tra quello dello scenario 2 (ripascimento con pennelli) e quello della barriera continua.

Pur trattandosi di un risultato più ragionevole rispetto a quello della simulazione senza varchi, anche in questo caso si peggiora la situazione sia del litorale sottoflutto alla barriera che, parzialmente, di quello sopraflutto.

Sembra quindi sconsigliabile attuare gli interventi previsti nello scenario 3.

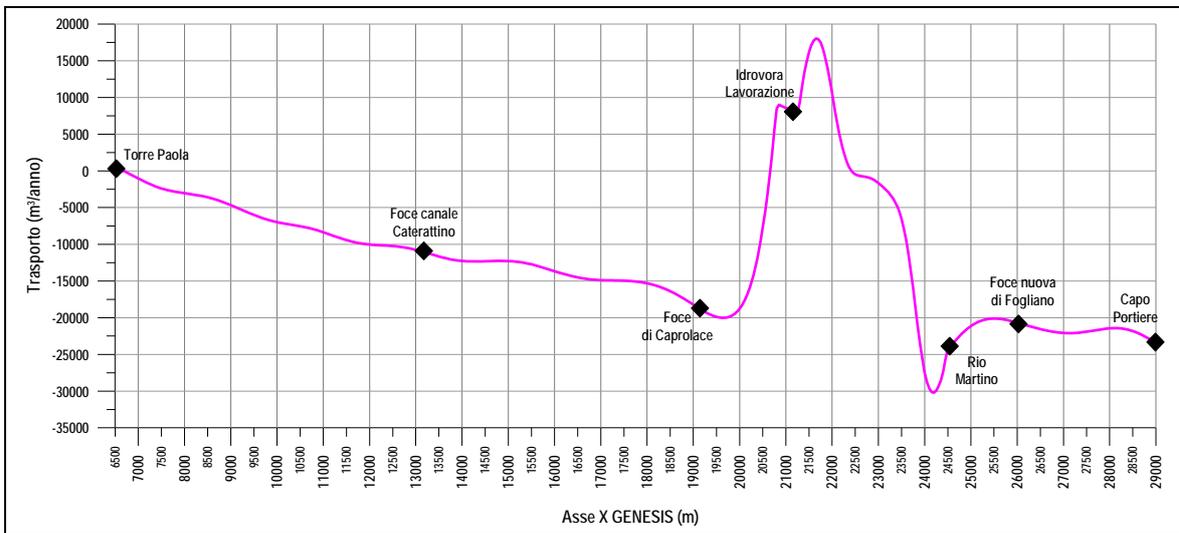


Fig. 3.4 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 3

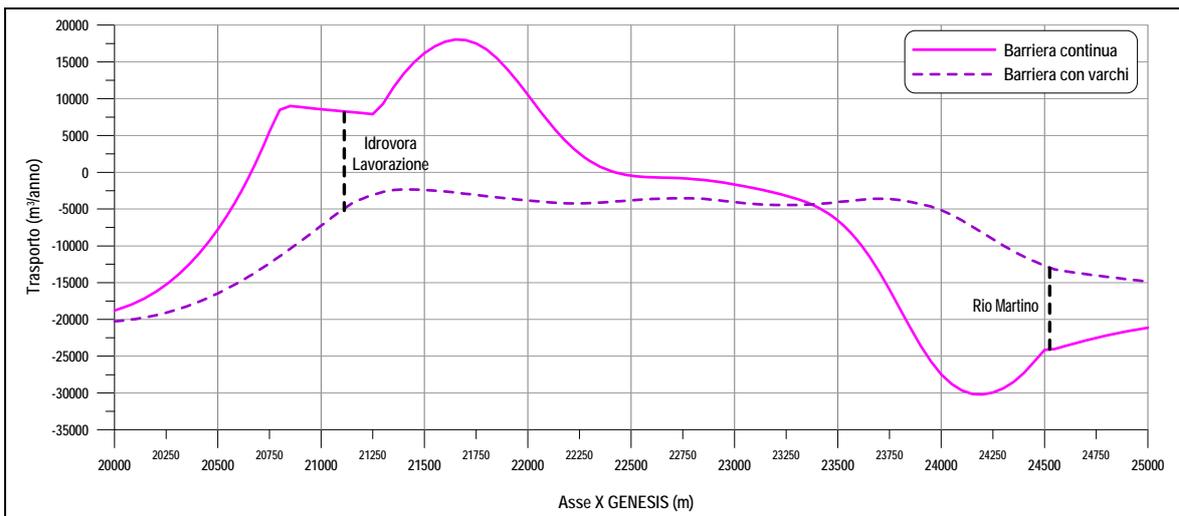


Fig. 3.5 – Trasporto solido 10° anno - Scenario 3 (confronto tra le due tipologie di barriera)

3.7 Confronto tra gli scenari

Nell'affrontare il confronto tra i diversi scenari è necessario premettere che esistono degli aspetti comuni e, in particolare, ribadire che, indipendentemente dagli scenari locali, la stabilità del tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola è strettamente correlata all'esistenza e alla modalità di gestione delle spiagge sopraflutto (tra Foce Verde e Capo Portiere).

Pertanto, bisognerà comunque provvedere periodici interventi di ripascimento, che garantiscano la sopravvivenza della spiaggia nella zona di Capo Portiere e la conseguente alimentazione del trasporto solido lungo tutta la falcata, fino a Torre Paola.

Per quanto riguarda, invece, il confronto tra gli scenari evolutivi analizzati (Fig. 3.6), si osserva come solamente due soluzioni sembrano percorribili senza alterare sostanzialmente la dinamica litoranea in termini di trasporto solido (non si può dimenticare che le conseguenze dello scenario 3 sulla circolazione e sulla qualità delle acque sarebbero radicali): lo scenario 1 e lo scenario 2.

Ne consegue che la realizzazione di una barriera soffolta (continua o con varchi) è sicuramente da escludere, mentre la soluzione del ripascimento con pennelli (scenario 2) comporterebbe un vantaggio per il solo tratto di litorale protetto.

Inoltre, lo scenario 2 non offre, nel contesto generale, particolari vantaggi rispetto alla soluzione del solo ripascimento; al contrario, oltre a risultare sicuramente più oneroso dal punto di vista economico, compromette la stabilità delle spiagge sottoflutto al tratto protetto.

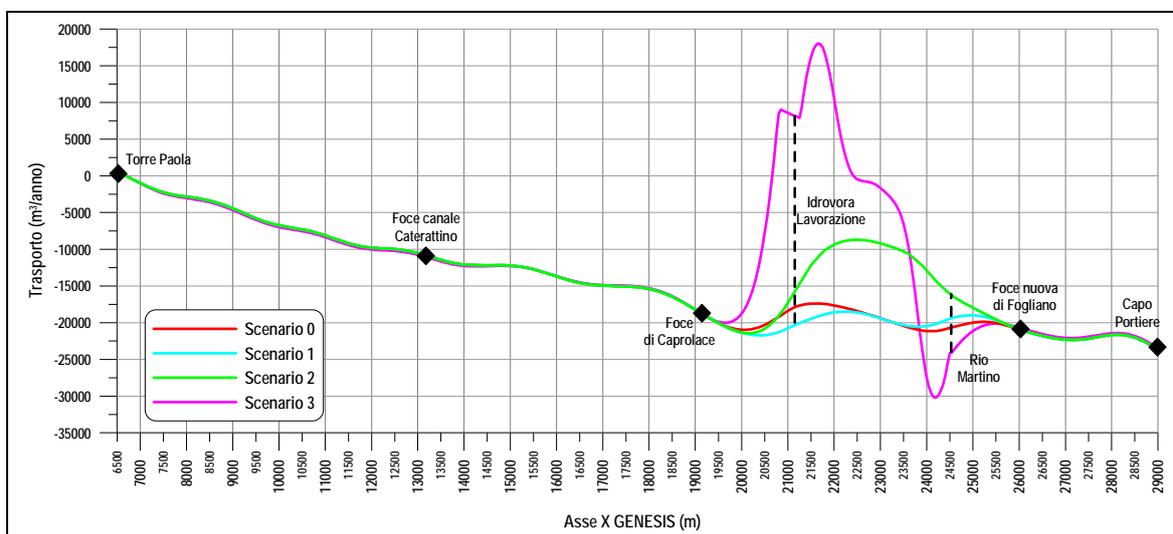


Fig. 3.6 – Confronto trasporto solido

4 STRATEGIE DI MANUTENZIONE

4.1 Considerazioni generali sulla manutenzione del litorale pontino

La manutenzione del litorale pontino, affrontata in questa sede con riferimento al solo tratto di litorale compreso tra Capo Portiere e Torre Paola, andrebbe pianificata in un ambito più esteso.

Il regime del trasporto solido litoraneo è stato modificato nel recente passato dai diversi interventi antropici avvenuti sul territorio (bonifica, regimazione dei corsi d'acqua, realizzazione di sbarramenti di ritenuta, porti, opere di difesa costiera, ecc.); gli ordini di grandezza del deficit sedimentario sono tali da rendere necessaria la massima efficienza degli interventi e quindi da ricercare la massima sinergia tra questi ultimi.

Il controllo dell'erosione non può infatti prescindere dal razionale sfruttamento delle risorse sedimentarie disponibili. La salvaguardia del tratto di litorale qui analizzato, per esempio, potrebbe comportare significativi benefici anche per il litorale da S. Felice a Terracina se venisse ricollocato sulle spiagge più a Sud il sedimento che si deposita oltre la testata del molo di S. Felice, rendendo tra l'altro parzialmente inefficiente uno dei porti più frequentati della penisola.

4.1.1 *Dragaggio e manutenzione delle foci*

Il litorale pontino, nel tratto compreso tra Capo Portiere e Torre Paola, è caratterizzato dalla presenza di una serie di foci armate, in corrispondenza dello sbocco di corsi d'acqua e di canali mareali che permettono lo scambio delle acque tra il mare e i laghi costieri (Fogliano, Monaci, Caprolace e Sabaudia).

La limitata lunghezza delle armature di foce permette la continuità del trasporto solido litoraneo, ma espone le imboccature stesse a fenomeni di interrimento da parte dei sedimenti di spiaggia.

La soluzione ottimale del problema dell'interrimento è la periodica manutenzione, che permette di evitare la realizzazione di più impattanti opere rigide e può fornire materiale di apporto utile per far fronte ad eventuali fenomeni di crisi localizzata.

4.1.1.1 *Foci di canali a marea*

Le foci dei canali mareali (foce nuova di Fogliano, foce di Caprolace, Torre Paola), che per la limitata escursione di marea stentano a rimanere aperte per il solo effetto della corrente mareale, necessitano di manutenzione continua per evitare l'occlusione.

La deposizione dei sedimenti (di provenienza litoranea) avviene sia nelle imboccature che nello sbocco lagunare del canale, dove precipitano i sedimenti trasportati dal flusso entrante.

La manutenzione delle imboccature dei laghi costieri è necessaria per permettere il ricambio delle acque e dovrebbe essere attuata con costanza e prevedendo opportuna destinazione per i sedimenti dragati; la soluzione più logica è la collocazione immediatamente a Sud (sottoflutto) della foce stessa.



Fig. 4.1 – Interrimento della foce nuova di Fogliano

4.1.1.2 *Foci di corsi d'acqua e scarico di idrovore*

Le foci di corsi d'acqua (Rio Martino) e, in misura anche maggiore, gli scarichi delle idrovore (Idrovora Lavorazione, Caterattino) sono caratterizzati da un prevalente flusso uscente, che riduce il rischio di insabbiamento; essendo tuttavia le foci caratterizzate da portate di deflusso ridotte ed incostanti, si verificano comunque periodici insabbiamenti.

Le esigenze di sicurezza idraulica del territorio e l'utilizzo delle foci a scopo diportistico, per piccoli natanti, determinano poi la necessità, o quanto meno l'opportunità, che le profondità alle foci vengano mantenute sufficientemente elevate, richiedendo anche in questo caso periodici interventi di dragaggio. L'ubicazione ottimale per lo scarico dei sedimenti dragati in foce (compatibili quindi con quelli della spiaggia) è ancora la spiaggia di sottoflutto.

4.1.2 *Ripristino artificiale di erosioni localizzate della duna*

Il litorale pontino, in particolare nel tratto che si affaccia verso Levante, risulta particolarmente esposto ai mari dominanti (le onde di altezza maggiore provengono infatti da Levante).

Durante le mareggiate più intense può avvenire che, a causa della dinamica delle barre e delle correnti costiere, si verifichino erosioni più o meno localizzate del cordone dunale; la spiaggia emersa, nel litorale pontino, risulta inoltre relativamente stretta, quindi il piede della duna diventa spesso parte attiva nei fenomeni di modificazione del profilo trasversale di spiaggia.

Lo scambio di sedimenti tra spiaggia e duna fa parte della normale dinamica delle spiagge sabbiose orlate di dune e, normalmente, è un fenomeno reversibile.

L'antropizzazione della duna ha portato invece a percepire l'erosione del piede della duna come un incremento della vulnerabilità delle infrastrutture antropiche, cui far fronte con opere che nell'intendimento del pianificatore dovrebbero ridurre il rischio e garantire maggiore tranquillità per il futuro. Un esempio emblematico è riportato nella foto in Fig. 4.2, dove si possono osservare gli interventi di ripristino con massi naturali della duna a Nord di foce Caterattino.

Un intervento di questo tipo, tuttavia, è scarsamente efficiente per una serie di motivi che sommariamente si elencano: aumento dell'erosione al piede per effetto della riflessione dell'onda incidente, irreversibilità dei fenomeni evolutivi del profilo trasversale, cedimento della mantellata in massi per mancanza di un filtro di base, riduzione della fruibilità della spiaggia e del suo valore paesaggistico, ecc.

Una soluzione ottimale per interventi di questo tipo dovrebbe prevedere, da un lato, il ripristino della duna con opportuni volumi di apporto di sabbia compatibile con quella esistente in sito e l'utilizzo di adeguati sistemi per la stabilizzazione della sabbia apportata (graticci, fascinate, ecc.); d'altro lato si dovrebbe cercare di modificare le strutture esistenti adeguandole al fatto di trovarsi nel mezzo di un sistema in evoluzione continua (per esempio, adottando strutture snelle su pali).

In contesti particolari, dove le erosioni localizzate sono ricorrenti, si dovrebbe approfondire lo studio della dinamica litoranea per individuare le cause del fenomeno ed i possibili interventi correttivi, da attuare sempre seguendo il principio del minimo impatto sulla dinamica litoranea globale.

In condizioni di somma urgenza, dovrebbe essere prioritariamente valutata la possibilità di intervento con sacchi o geocontainer, di facile rimozione o riposizionamento una volta superata l'emergenza.



Fig. 4.2 – Ripristino del piede della duna con massi naturali

4.1.3 *Fenomeni causati da effetti localizzati*

Anche in questo caso, il riferimento principale è a foce Caterattino: a parere degli scriventi, la principale causa di quanto avviene in prossimità della foce va attribuita alle concentrazioni di flusso che si generano quando la corrente litoranea, confinata tra la riva e la prima barra, viene bruscamente deviata dall'armatura di foce. In tali circostanze si producono scavi localizzati, del resto ben visibili anche dai pennelli, che provocano l'arretramento di tutto il profilo trasversale di spiaggia, mettendo a rischio i bagni che, del resto, si trovano sul piede della duna e quindi inevitabilmente coinvolti nei fenomeni evolutivi del profilo.

Il fenomeno si produce sia a Nord che Sud della foce, a seconda che la mareggiata di Levante o Libeccio spinga la corrente litoranea da Nord verso Sud o viceversa. È anche possibile che i bagni a Sud della foce risentano dell'erosione sottoflutto all'armatura di foce, ma la ricostruzione storica non dà chiara evidenza di questo.

Alla scala utilizzata per questo studio, e con i limiti del modello impiegato, la valutazione di questi fenomeni è impossibile; l'analisi più approfondita di cause e soluzioni progettuali andrebbe ricercata con un modello di dettaglio che prenda in considerazione l'interazione tra onde, correnti e trasporto solido. Va peraltro rimarcato che qualsiasi soluzione dovrebbe trovare una efficace sinergia con le soluzioni tecniche adottate per la ricostruzione delle parti "vulnerabili" degli stabilimenti balneari.



Fig. 4.3 – Bagno a Sud di foce Caterattino



Fig. 4.4 – Bagno a Nord di foce Caterattino in condizioni “normali” e dopo una mareggiata

4.2 Criteri di valutazione

Le modalità di manutenzione della spiaggia e della duna, in termini di intervalli temporali e volumi di apporto, sono connesse all'obiettivo progettuale e quindi, nel contesto sempre morfologicamente dinamico di una spiaggia, ai "range" temporali/geometrici entro i quali considerare soddisfatto lo stesso obiettivo progettuale.

In primo luogo, con riferimento al tratto di litorale oggetto di intervento (litorale del Lago dei Monaci, da Idrovora Lavorazione a Rio Martino), si è scelto di individuare come "condizione di manutenzione necessaria" un arretramento della linea di riva superiore ai 10 m rispetto alla posizione che la linea di riva stessa assume a fine ripascimento.

Al fine di stabilire un metodo univoco di confronto per tutti gli scenari, la posizione della linea di riva a fine ripascimento (che permette di definire l'esigenza di intervenire con la manutenzione) è stata scelta corrispondente alla linea di riva estratta dopo il primo anno della simulazione relativa allo scenario 1 (solo ripascimento).

Questa scelta consente di semplificare il confronto tra i diversi scenari ed eliminare le incertezze che si avrebbero basando il confronto su una linea di riva rilevata (ad esempio quella di ottobre 2008), che presenta una serie di singolarità dovute alla presenza discontinua di barre e rip-currents. Il modello non tiene conto di tali fenomeni, quindi introdurre questi dati nel confronto dei risultati delle simulazioni porterebbe a risultati meno chiari.

Per quanto riguarda il tratto di litorale analizzato con il procedimento sopra descritto, si è scelto di considerare un'area più estesa rispetto a quella in cui si prevede di intervenire. Infatti, dalle simulazioni GENESIS risulta evidente che la realizzazione delle nuove opere influenza la dinamica litoranea sia del litorale sopraflutto che sottoflutto all'area di intervento (vedi grafico del trasporto riportato in Fig. 4.5). Ne consegue la necessità di considerare l'intero tratto di litorale compreso tra la foce di Caprolace e la foce nuova di Fogliano.

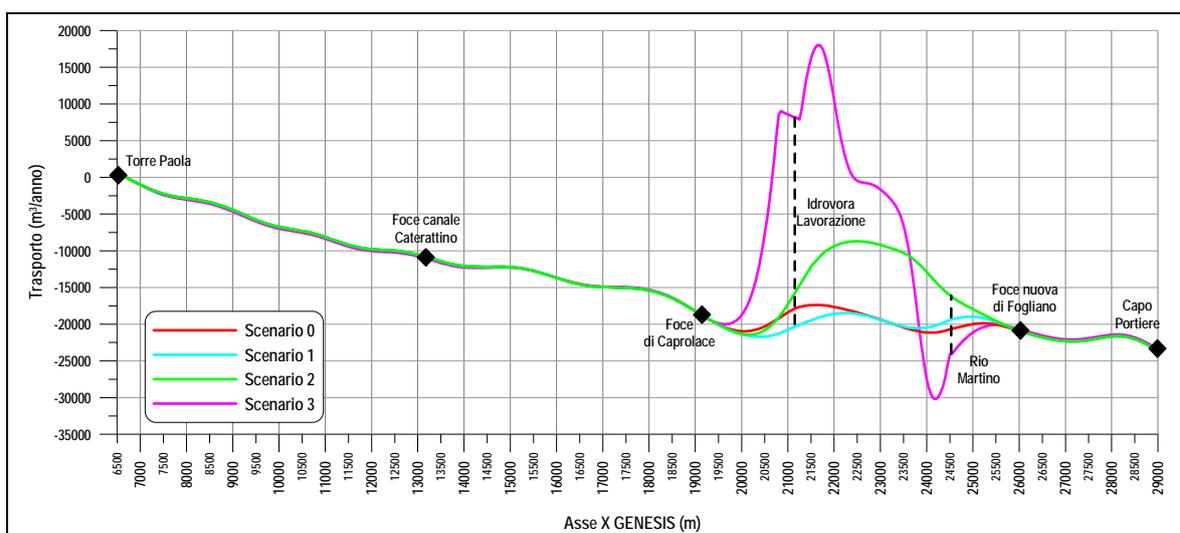


Fig. 4.5 – Trasporto solido per i diversi scenari

Una volta definita la “condizione di manutenzione necessaria”, è stato possibile individuare, per ciascuno scenario, il prevedibile intervallo temporale dopo il quale l’intervento iniziale di ripascimento richiede un intervento di manutenzione.

Come si potrà notare chiaramente nei paragrafi successivi, l’insorgere della “condizione di manutenzione necessaria” negli scenari considerati è più spesso legata alla presenza di situazioni singolari determinate dalla presenza delle nuove opere rigide (ad esempio a ridosso dei pennelli o in prossimità delle testate della barriera soffolta).

Invece, nel caso dello scenario 1 (ripascimento senza l’inserimento di opere rigide) la tendenza all’arretramento della linea di riva è più progressiva e distribuita. Questa tendenza ripete in buona sostanza la situazione che, con poche eccezioni, si verifica oggi lungo il litorale pontino a Sud di Capo Portiere.

Una volta individuati i tratti di litorale dove è necessario intervenire in modo tale da garantire la sopravvivenza e la stabilità della nuova duna ricostruita, si è proceduto alla stima dei volumi necessari per le manutenzioni.

Per semplificare l’analisi, si è scelto di prescindere in questa fase dalle scadenze degli interventi di manutenzione determinate con l’approccio precedentemente descritto.

Per tutti gli scenari, infatti, si è ipotizzato di valutare le esigenze di manutenzione su base decennale; seguendo questa logica sono stati calcolati i volumi che sarebbero necessari a ripristinare la situazione post-ripascimento (anche in questo caso definita come la linea di riva estratta dopo 1 anno dalla simulazione relativa allo scenario 1). Il risultato è stato poi corretto per ragguagliare la stima ai 10 anni.

Ovviamente ciò non impedisce di provvedere alla “ricarica” del ripascimento con intervalli di tempo più ravvicinati e con quantitativi proporzionalmente minori; anzi, per alcuni scenari ciò è indispensabile per salvaguardare la duna ricostruita e le infrastrutture retrostanti la spiaggia.

La stima dei volumi necessari per le manutenzioni è stata valutata sia all’interno del tratto di litorale direttamente influenzato dagli interventi (tra la foce di Caprolace e la foce nuova di Fogliano) che negli altri tratti (a Sud, tra Torre Paola e la foce di Caprolace, e a Nord, tra la foce nuova di Fogliano e Capo Portiere).

Per quanto riguarda il litorale tra la foce di Caprolace e la foce nuova di Fogliano, è stato stimato il volume di sabbia necessario a ripristinare ovunque l’avanzamento post-ripascimento, indipendentemente dal fatto che localmente l’evoluzione decennale possa portare ad avanzamenti anche superiori.

Invece, negli altri tratti, dove il trasporto solido non subisce sostanziali variazioni rispetto all’evoluzione in configurazione attuale (scenario 0), è stato calcolato il volume necessario per le manutenzioni come differenza tra le perdite (zone in erosione) e gli accrescimenti (zone in avanzamento).

È evidente che, nel caso in cui la manutenzione si renda necessaria dopo 1 anno (quindi con quantitativi modesti), il materiale di apporto non potrà che provenire da cave a terra o comunque da cave di prestito disponibili a breve distanza dalla zona di interesse, accessibili con mezzi convenzionali (accumuli litoranei, dragaggi di imboccature portuali, ecc.).

Nel caso di interventi di manutenzione pianificabili su intervalli temporali di più ampio respiro (con quantitativi indicativamente superiori ai 500.000 m³), sarà invece possibile utilizzare anche cave a mare, con costi di fornitura più bassi e mezzi più efficienti, realizzando notevoli economie di scala e, prevedibilmente, interventi a minore impatto ambientale (basti pensare al numero di passaggi di mezzi pesanti necessario per realizzare un intervento da terra).

4.3 Manutenzione scenario 1

Le considerazioni sulla manutenzione del litorale, ipotizzando lo scenario 1, sono basate sui risultati delle simulazioni dell'evoluzione del litorale descritte al paragrafo 3.4.

In primo luogo, si è cercato di individuare l'intervallo temporale che intercorre tra l'esecuzione del ripascimento e l'insorgere di una "condizione di manutenzione necessaria" (cfr. par. 4.2).

Nel caso dello scenario 1, la posizione della linea di riva raggiunge solo dopo 10 anni (Fig. 4.6) un arretramento superiore ai 10 m, richiedendo così l'intervento manutentivo con un nuovo ripascimento. I tratti in crisi si trovano a cavallo di Rio Martino (circa 350 m) e immediatamente a Nord di Idrovora Lavorazione (circa 100 m).

L'arretramento è relativamente distribuito; la linea di riva evolve infatti mantenendo il medesimo orientamento. Nella realtà questa sarà una tendenza, ma localmente la presenza di barre discontinue e rip-currents potrà determinare oscillazioni della linea di riva rispetto alla tendenza prevista.

L'omogeneità del trend evolutivo e il considerevole intervallo temporale prevedibile tra successivi interventi di manutenzione consentono di prevedere gli interventi con ampio margine di anticipo e di pianificare ogni volta interventi con volumi piuttosto elevati, realizzabili con cave a mare e mezzi marittimi.

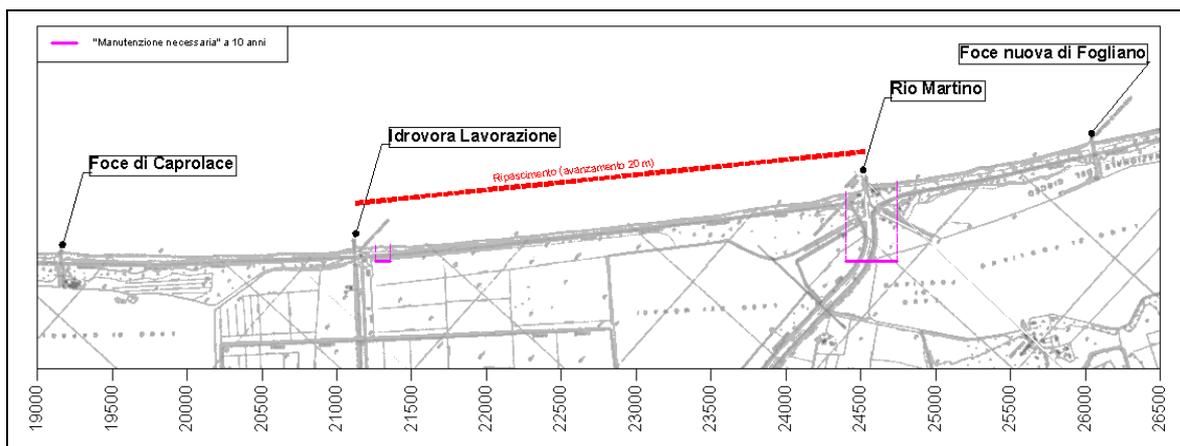


Fig. 4.6 – "Manutenzione necessaria" – Scenario 1

Nella valutazione del volume di apporto necessario per la manutenzione è stato considerato l'intervallo temporale di 10 anni, che in questo caso (scenario 1) coincide con l'effettivo intervallo di manutenzione prevedibile.

Anche se l'interesse è focalizzato sul tratto di litorale compreso tra Rio Martino e Idrovora Lavorazione, la valutazione dei volumi necessari alla manutenzione, come accennato al precedente paragrafo 4.2, è stata estesa all'intera arcata compresa tra Capo Portiere e Torre Paola.

Di seguito, in Tab. 4.1 e Tab. 4.2, si riportano i volumi calcolati dal confronto delle linee di riva ricavate dalle simulazioni GENESIS relative allo scenario 1. Per quanto riguarda il metodo di calcolo utilizzato valgono le considerazioni riportate al precedente paragrafo 4.2.

Si osserva come, nel caso in cui venga realizzato l'intervento proposto nello scenario 1 (solo ripascimento), per ripristinare la situazione post-ripascimento è necessario versare circa 200'000 m³ di sabbia tra la foce Nuova di Fogliano e la foce di Caprolace, di cui il 60% circa all'interno del litorale del Lago dei Monaci (tra Rio Martino e Idrovora Lavorazione).

Per quanto riguarda, invece, il rimanente litorale (Tab. 4.2), gli apporti stimati (complessivamente circa 241'000 m³) sono riconducibili come ordine di grandezza alla perdita verso il largo.

| TRATTO DI LITORALE | Volume (m ³) | % |
|--|--------------------------|------|
| Foce Nuova di Fogliano – Rio Martino | 42'300 | 20.6 |
| Rio Martino – Idrovora Lavorazione | 118'700 | 58.5 |
| Idrovora Lavorazione – Foce di Caprolace | 41'800 | 20.9 |
| <i>Totale</i> | <i>202'800</i> | |

Tab. 4.1 – Volumi di apporto scenario 1 – Litorale all'interno dell'area di interesse

| TRATTO DI LITORALE | Volume (m ³) | % |
|--|--------------------------|------|
| Capo Portiere – Foce Nuova di Fogliano | 68'600 | 28.5 |
| Foce di Caprolace – Foce Caterattino | 95'800 | 39.8 |
| Foce Caterattino – Torre Paola | 76'100 | 31.7 |
| <i>Totale</i> | <i>240'500</i> | |

Tab. 4.2 – Volumi di apporto scenario 1 – Litorale esterno all'area di interesse

4.4 Manutenzione scenario 2

Le considerazioni sulla manutenzione del litorale, ipotizzando lo scenario 2 (ripascimento protetto da pennelli), sono basate sui risultati delle simulazioni dell'evoluzione del litorale descritte al paragrafo 3.5.

Anche in questo caso, come per lo scenario 1, si è cercato di individuare l'intervallo temporale che intercorre tra l'esecuzione del ripascimento e l'insorgere di una "condizione di manutenzione necessaria".

Nello scenario 2, la "condizione di manutenzione necessaria" viene raggiunta già dopo 5 anni; il tratto di litorale in crisi è quello a Nord dell'armatura di foce di Idrovora Lavorazione (circa 350 m). Dopo 10 anni il fenomeno si estende verso Nord e anche a Sud dell'Idrovora, interessando un tratto di litorale dello sviluppo complessivo di circa 900 m (Fig. 4.7).

A differenza dello scenario 1, la zona di Rio Martino non necessita in questo caso di interventi di ripascimento, in quanto l'effetto dei pennelli è quello di garantire un accumulo di materiale nei tratti sovralfutto al sistema di difesa.

Nello scenario 2 l'arretramento risulta localizzato nella zona sottoflutto alla batteria di pennelli. Questa situazione è analoga a quella riscontrata nel tratto di litorale a Nord di Capo Portiere, dove la realizzazione della barriera soffolta di Foce Verde e dei pennelli ha comportato una situazione di crisi nel litorale a Sud della difesa.

Nel caso dello scenario 1, sarebbe opportuno intervenire già dopo il 5° anno, al fine di garantire la sopravvivenza delle spiagge e, di conseguenza, la stabilità della duna nei pressi di Idrovora Lavorazione. Ne consegue la necessità di programmare interventi manutentivi con scadenze più ravvicinate rispetto a quelle dello scenario 1.

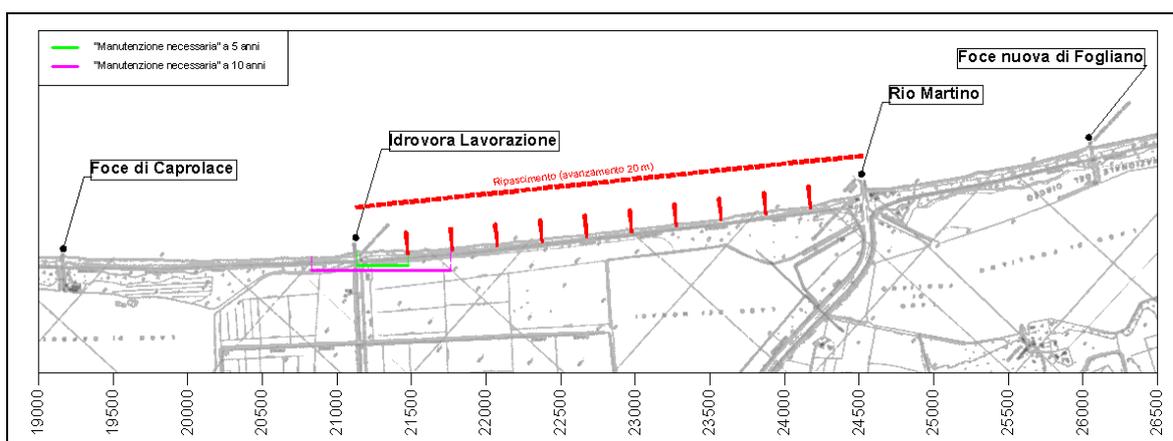


Fig. 4.7 – "Manutenzione necessaria" – Scenario 2

A fini comparativi, nella valutazione del volume di apporto necessario per la manutenzione è stato considerato l'intervallo temporale di 10 anni, anche se in questo caso (a differenza dello scenario 1) esso non coincide con l'effettivo intervallo di manutenzione prevedibile.

Di seguito, in Tab. 4.3 e Tab. 4.4, si riportano i volumi calcolati dal confronto delle linee di riva ricavate dalle simulazioni GENESIS relative allo scenario 2.

Si osserva come, nel caso in cui venga realizzato l'intervento proposto nello scenario 2 (ripascimento protetto da pennelli), per ripristinare la situazione post-ripascimento è necessario versare, tra la foce Nuova di Fogliano e la foce di Caprolace, un quantitativo di sabbia maggiore rispetto a quello previsto per lo scenario 1 (circa 260'000 m³). Anche in questo caso la maggior parte del quantitativo (circa il 64%) andrà a ripristinare la spiaggia compresa tra Idrovora Lavorazione e Rio Martino. Come accennato in precedenza, il litorale sopraflutto alle opere di difesa non necessita di grandi quantitativi di sabbia (circa il 6%), mentre il tratto sottoflutto risulta più penalizzato (circa il 30 %).

Per quanto riguarda, invece, il rimanente litorale (Tab. 4.4), gli apporti stimati (complessivamente circa 241'000 m³) sono gli stessi stimati per lo scenario 1, in quanto la dinamica litoranea in questi tratti non risulta influenzata dagli interventi realizzati.

| TRATTO DI LITORALE | Volume (m ³) | % |
|--|--------------------------|------|
| Foce Nuova di Fogliano – Rio Martino | 15'000 | 5.8 |
| Rio Martino – Idrovora Lavorazione | 165'200 | 64.3 |
| Idrovora Lavorazione – Foce di Caprolace | 76'800 | 29.9 |
| <i>Totale</i> | <i>257'000</i> | |

Tab. 4.3 – Volumi di apporto scenario 2 – Litorale all'interno dell'area di interesse

| TRATTO DI LITORALE | Volume (m ³) | % |
|--|--------------------------|------|
| Capo Portiere – Foce Nuova di Fogliano | 68'800 | 28.6 |
| Foce di Caprolace – Foce Caterattino | 95'800 | 39.8 |
| Foce Caterattino – Torre Paola | 76'100 | 31.6 |
| <i>Totale</i> | <i>240'700</i> | |

Tab. 4.4 – Volumi di apporto scenario 2 – Litorale esterno all'area di interesse

4.5 Manutenzione scenario 3

Le considerazioni sulla manutenzione del litorale, ipotizzando lo scenario 3 (ripascimento protetto da barriera soffolta), sono basate sui risultati delle simulazioni dell'evoluzione del litorale descritte al paragrafo 3.6.

Analogamente a quanto eseguito per gli scenari 1 e 2, si è cercato di individuare l'intervallo temporale che intercorre tra l'esecuzione del ripascimento e l'insorgere di una "condizione di manutenzione necessaria".

Nello scenario 3, la "condizione di manutenzione necessaria" viene raggiunta già dopo il primo anno, sia in corrispondenza di Idrovora Lavorazione che a ridosso della foce di Rio Martino.

Il fenomeno, dapprima molto localizzato e contenuto, si estende col passare degli anni, interessando nel lungo termine tratti di litorale piuttosto estesi (circa 730 m a Rio Martino e circa 1300 m nei pressi di Idrovora Lavorazione). In questo caso, rispetto agli altri due scenari, le spiagge in corrispondenza delle due estremità della barriera si presentano notevolmente arretrate e l'erosione va ad interessare anche la duna retrostante.

Risulterebbe pertanto necessario procedere con interventi di ripascimento localizzati nelle zone più critiche; tali interventi dovrebbero essere eseguiti con cadenza annuale o al massimo biennale per evitare di mettere a repentaglio la stabilità dell'apparato dunale retrostante.

Ne consegue che l'intervento proposto risulta economicamente svantaggioso sia dal punto di vista realizzativo che gestionale.

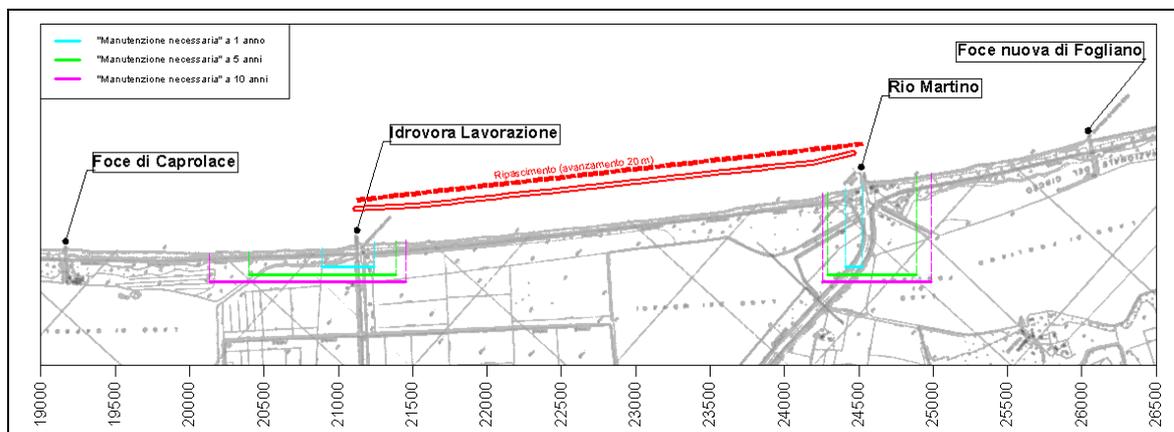


Fig. 4.8 – "Manutenzione necessaria" – Scenario 3

Anche in questo caso, per adottare un metodo di analisi univoco, nella valutazione del volume di apporto necessario per la manutenzione è stato considerato l'intervallo temporale di 10 anni.

Di seguito, in Tab. 4.5 e Tab. 4.6, si riportano i volumi calcolati dal confronto delle linee di riva ricavate dalle simulazioni GENESIS relative allo scenario 3.

Si osserva come nel caso in cui venga realizzato l'intervento proposto nello scenario 2 (ripascimento protetto da barriera soffolta), per ripristinare la situazione post-ripascimento è necessario versare, tra la foce Nuova di Fogliano e la foce di Caprolace, un quantitativo di sabbia di gran lunga maggiore rispetto a quelli previsti per gli altri due scenari (circa 850'000 m³).

Come nel caso dei pennelli (scenario 2) il tratto maggiormente in crisi risulta essere quello tra Idrovora Lavorazione e la foce di Caprolace, sottoflutto al sistema di difesa, dove andranno versati circa 400'000 m³ di materiale, quasi il 50% dell'intero quantitativo previsto.

Per quanto riguarda, invece, il rimanente litorale (Tab. 4.6), gli apporti stimati (complessivamente circa 241'000 m³) sono gli stessi stimati per gli scenari 1 e 2. in quanto, come accennato in precedenza, la dinamica litoranea in questi tratti non risulta influenzata dagli interventi realizzati.

| TRATTO DI LITORALE | Volume (m ³) | % |
|--|--------------------------|------|
| Foce Nuova di Fogliano – Rio Martino | 114'100 | 13.4 |
| Rio Martino – Idrovora Lavorazione | 337'400 | 39.5 |
| Idrovora Lavorazione – Foce di Caprolace | 402'300 | 47.1 |
| <i>Totale</i> | <i>853'800</i> | |

Tab. 4.5 – Volumi di apporto scenario 3 – Litorale all'interno dell'area di interesse

| TRATTO DI LITORALE | Volume (m ³) | % |
|--|--------------------------|------|
| Capo Portiere – Foce Nuova di Fogliano | 68'200 | 28.3 |
| Foce di Caprolace – Foce Caterattino | 99'000 | 41.1 |
| Foce Caterattino – Torre Paola | 73'500 | 30.6 |
| <i>Totale</i> | <i>240'700</i> | |

Tab. 4.6 – Volumi di apporto scenario 3 – Litorale esterno all'area di interesse

5 ANALISI ECONOMICA COMPARATIVA

5.1 Generalità

L'inserimento di un sistema di difesa costiera comporta un'analisi di tutti gli aspetti che rendono tale intervento ottimale rispetto alla collettività nel suo insieme.

Le autorità competenti sono chiamate a scegliere, tra le diverse tipologie di intervento prospettate, quella che soddisfa contemporaneamente requisiti di efficacia, efficienza, economicità, velocità di intervento e minor impatto ambientale.

Spesso tali requisiti non possono essere soddisfatti contemporaneamente ed il raggiungimento di uno di essi comporta una soluzione meno soddisfacente per gli altri.

Un esempio è costituito dalla necessità di costruire opere di difesa costiera in grado di garantire la massima resistenza al moto ondoso, con relativa diminuzione dell'erosione delle spiagge, per periodi di tempo elevati (efficienza).

Questi requisiti possono essere soddisfatti da opere di difesa di tipo rigido (es. barriera soffolta, pennelli, ecc.), che comportano un inevitabile aumento dei costi e dei tempi di costruzione. Infatti, tra la scelta di una difesa di tipo morbido (ripascimento) e una di tipo rigido, o meglio misto (ripascimento protetto da strutture rigide), l'aspetto economico assume in genere caratteristiche piuttosto differenti: mentre la prima necessita di un impiego di risorse iniziali relativamente limitate e maggiori costi di manutenzione, la seconda è generalmente caratterizzata da un impegno monetario iniziale molto più consistente a fronte di minori oneri di manutenzione per quel che riguarda le perdite di sabbia.

Questo studio ha l'obiettivo di confrontare i costi d'intervento di tre diverse tipologie di opere di difesa costiera proposte: ripascimento semplice e ripascimento protetto da una serie di pennelli o da una barriera soffolta.

L'esito di alcuni confronti è risultato tuttavia sotto certi aspetti scontato, soprattutto quando nella valutazione è stato preso in considerazione anche il litorale esterno all'area di intervento (da Rio Martino a Idrovora Lavorazione).

Lo studio comparativo è stato preceduto da un'analisi dei costi elementari, condotta sulla base di riferimenti ufficiali o precedenti esperienze su litorali laziali.

Considerato l'obiettivo di una comparazione economica di carattere necessariamente generale, il computo delle opere è stato effettuato a livello di massima ed in forma approssimata.

L'ottimizzazione delle soluzioni, da raggiungere nella progettazione vera e propria delle opere, potrà presumibilmente portare a valori differenti, senza tuttavia modificare sostanzialmente l'esito del confronto, né dal punto di vista tecnico-economico, che da quello ambientale.

5.2 Attualizzazione dei Costi di Investimento

I costi relativi ad un investimento si manifestano in periodi di tempo differenti. Da ciò deriva che anche le relative uscite finanziarie si manifestano in periodi di tempo differenti. Per rendere possibile un confronto, ai fini della definizione della convenienza ad investire, è necessario rendere omogenei tali valori.

Il costo dell'investimento si manifesta nel momento della decisione di investire, mentre i flussi monetari necessari al mantenimento dell'opera realizzata, si manifestano in periodi successivi di tempo, cioè durante la vita dell'investimento. L'omogeneizzazione dei valori avviene riportando i valori finanziati che si manifesteranno in futuro al presunto valore che avrebbero al momento dell'investimento. Questo procedimento di *attualizzazione*, effettuato mediante l'operazione di *sconto*, si basa sul presupposto che il valore di una somma di denaro cambi a seconda del periodo di tempo in cui tale somma è disponibile.

Per calcolare il *valore attuale netto (VAN)* di una serie di costi che saranno affrontati nel futuro, si introduce il concetto di *tasso di sconto*, il cui valore è generalmente dato dal tasso di interesse sui prestiti concessi dagli istituti di credito primari a medio lungo termine. Il VA (Valore Attuale) del costo relativo all'anno generico "t" viene così calcolato:

$$VA_t = C_t / (1+s)^t$$

dove "C_t" è il costo relativo all'anno t ed "s" è il tasso di sconto.

La somma di tutti i valori attualizzati relativi all'intero periodo di vita dell'investimento è un valido strumento per definire la convenienza ad investire per diverse tipologie di interventi di difesa costiera. Una volta fissati i parametri vita media di un'opera di difesa costiera e tasso di sconto, la valutazione della somma dei costi attualizzati è legata alla stima dei costi di costruzione e di manutenzione delle diverse tipologie di opere.

I primi sono legati alla geometria delle strutture rigide e ai volumi di sabbia di ripascimento, i secondi sono dipendenti dalla valutazione delle perdite annue di sabbia e al danno subito dalle scogliere, entrambi dipendenti dall'entità dell'azione del moto ondoso locale e dalle caratteristiche costruttive.

Come descritto nei paragrafi precedenti, i valori di manutenzione vengono dedotti da interpretazioni modellistiche o dall'analisi di esperienze pregresse.

5.3 Analisi dei Costi e Parametri di calcolo

Una valutazione della convenienza economica tra le tre tipologie d'intervento descritte è data dal confronto tra le somme dei Valori Attualizzati dei costi sostenuti durante l'intera vita dell'opera.

Una particolare attenzione si è posta nella definizione dei costi di realizzazione e dei costi di manutenzione. I primi sono legati ai costi unitari della fornitura e della posa in opera dei materiali ed ai tempi di realizzazione, i secondi sono legati al funzionamento e alla efficacia delle diverse opere, misurabili in funzione delle perdite annuali di sabbia.

I costi unitari della sabbia sono determinati dal costo di prelievo, di trasporto e di versamento. In ambito Europeo, i costi unitari di dragaggio assumono valori piuttosto differenti in funzione della destinazione geografica dell'intervento di ripascimento, delle disponibilità di cave e di mezzi, delle metodologie di posa in opera. Nei paesi scandinavi un metro cubo di sabbia dragata può costare anche meno di 2 euro, mentre in Italia tale valore, a base d'asta, oscilla tra i 6,58 €/m³ (Regione Lazio 2003) ed i 14 €/m³ (Regione Abruzzo 2004), ma in circostanze particolari può superare abbondantemente tali valori. I motivi di questa disomogeneità sono da imputare ai notevoli costi di trasferimento delle imbarcazioni ed alla distanza fra cava e spiaggia di intervento. La scelta dell'intervallo di valori per lo studio di sensitività del VAN rispetto al costo unitario della sabbia deve necessariamente tenere conto di questo aspetto.

Per quanto riguarda i tempi di realizzazione, si è tenuto conto che l'esecuzione di un ripascimento protetto di dimensioni paragonabili a quelle del progetto in esame, potrebbe richiedere un tempo complessivo superiore ad un anno (costruzione della scogliera e versamento di sabbia prelevata da cave marine), mentre sia il ripascimento puro che quello protetto con pennelli, hanno tempistiche di realizzazione minori, dell'ordine di alcuni mesi, e comunque comprese nel primo anno di costruzione.

È più complessa la definizione delle perdite annuali di sabbia alle quali inevitabilmente i litorali sono soggetti, sia in presenza di strutture di protezione di grandi dimensioni che in presenza di strutture aventi impatti minori. I costi di manutenzione delle opere sono in genere differenziati tra il primo anno dopo il versamento e gli anni successivi. Lo stesso concetto di perdita, nel caso in cui il tratto di intervento si inserisca all'interno di un contesto più generale (cioè quando sono in crisi anche i litorali adiacenti), assume un significato relativo.

L'utilizzo di un foglio di calcolo ha permesso l'inserimento dei parametri geometrici, economici e di funzionamento delle opere in base ai quali sono stati computati i costi relativi ad ogni anno di vita dell'opera. Successivamente tali costi, distribuiti nel tempo, sono stati attualizzati grazie alla formula già descritta del Valore Attuale. La somma dei costi rappresenta l'impegno economico necessario alla realizzazione e mantenimento dell'opera di difesa.

5.3.1 Prezzo elementare sabbia da ripascimento

Il prezzo della sabbia costituisce una delle variabili principali nella scelta degli scenari progettuali in quanto elemento unitario di una delle lavorazioni più importanti.

La prima distinzione da effettuare è in termini di quantità da gestire in quanto se si parla di una fornitura di svariate centinaia di migliaia di m³ (ad esempio per il ripascimento ricostitutivo previsto in circa 500.000 m³), si può far riferimento all'impiego di sabbia marina prelevata con mezzi draganti (aspiranti e refluenti) di media-grande capacità che permettono di ridurre i costi unitari.

In tal caso si può senz'altro far riferimento alle statistiche effettuate dalla Regione Lazio in relazione agli interventi di ripascimento eseguiti sulla costa laziale dal 1999 al 2007. I prezzi riportati Tab. 5.1 sono riferiti a prezzi offerti (già ribassati) IVA esclusa.

| Fonte | Anno esecuzione | m ³ x1000 | €/m ³ |
|--------------------------|-----------------|----------------------|------------------|
| Ostia 1999 | 1999 | 1000 | 8,88 |
| Anzio 2001 | 2001 | 450 | 8,21 |
| Lazio Centro 2003 | 2003 | 2450 | 7,29 |
| Tarquinia 2004 | 2004 | 500 | 7,46 |
| Ostia 2005 | 2005 | 400 | 7,24 |
| Pontino 2007 | 2007 | 2800 | 6,52 |
| Prezziario 2007 (rib 5%) | | | 14,12 |

Tab. 5.1 – Prezzi della sabbia da ripascimento

Il calcolo a base d'asta di tali prezzi è stato fatto sulla base di analisi di costo specifiche fondate sui costi di ammortamento dei mezzi impiegati che vengono forniti sottoforma di tabelle da strutture specializzate.

Tuttavia anche per questo genere di sabbia i prezzi possono subire sensibili oscillazioni in relazione principalmente ai quantitativi ed alla distanza delle cave.

Ai fini di una valutazione di massima riferita alle tecnologie disponibili e all'individuazione di una serie di zone di prelievo sottomarine piuttosto vicine alle zone di interesse, si può stimare in modo del tutto attendibile un prezzo della sabbia compreso tra 7,00 €/m³ e 8,00 €/m³ (IVA esclusa). A tale cifra va aggiunto il costo di stesa sulla spiaggia della sabbia dragata che va incluso nelle altre lavorazioni di cui in seguito.

Per quanto riguarda il dragaggio e la movimentazione di sabbia per attività di manutenzione (dragaggio foci dei canali di bonifica, compensazione di volumi a cavallo di opere come pennelli o foci armate, ecc.) riferibili a quantitativi dell'ordine di poche decine di migliaia di metri cubi, i costi possono essere desunti in prima analisi sempre dalle ultime esperienze della Regione Lazio per i lavori di ripascimento del litorale Pontino (2005-2007), ovvero dal prezziario della Regione Lazio 2007 che indica un importo unitario di 14,86 €/m³.

Per le movimentazioni locali di sabbia il prezzo indicativo assume quindi una variabilità ancora più marcata e può essere verosimilmente stimato tra 10,00 €/m³ e 14,00 €/m³ (IVA esclusa). Per rendere il confronto omogeneo, si è applicato un ribasso indicativo del 5% al prezzo di elenco Regione Lazio 2007.

Volendo esprimere in forma globale la variabilità del prezzo della sabbia per il ripascimento, si può, in prima analisi, ricorrere ad una linea di tendenza che comprenda tutti i casi esaminati.

La linea di tendenza (riportata in Fig. 5.1) mette in evidenza una variazione di prezzo unitario molto netta in corrispondenza dell'intervallo tra 100.000 m³ e 500.000 m³, che in effetti corrisponde al passaggio dai movimenti di sabbia con mezzi terrestri o comunque con mezzi a bassa resa, a mezzi con caratteristiche più industriali e performanti.

E' evidente quindi che una buona programmazione dei lavori di manutenzione per il litorale in questione, opportunamente estesa anche agli altri litorali che lungo la costa laziale necessitano di interventi analoghi, porterebbe ad una notevole riduzione dei costi di manutenzione, facendo assumere alla sabbia costi unitari paragonabili a quelli dei lavori in grande scala.

Pertanto, analisi più dettagliate del costo della sabbia possono essere fatte solo in relazione ad un approfondimento progettuale, integrato con eventuali programmi di manutenzione; tali attività esulano dalla presente trattazione.

A scopo semplificativo e per una più immediata comparazione tra gli scenari, le analisi che seguono vengono effettuate assumendo quindi un unico costo unitario di riferimento per la sabbia di ripascimento pari a 7,5 €/m³. In linea del tutto generale, si può comunque affermare che a livello progettuale risulteranno ulteriormente penalizzate le soluzioni progettuali che prevedono manutenzioni più frequenti e con quantitativi modesti.

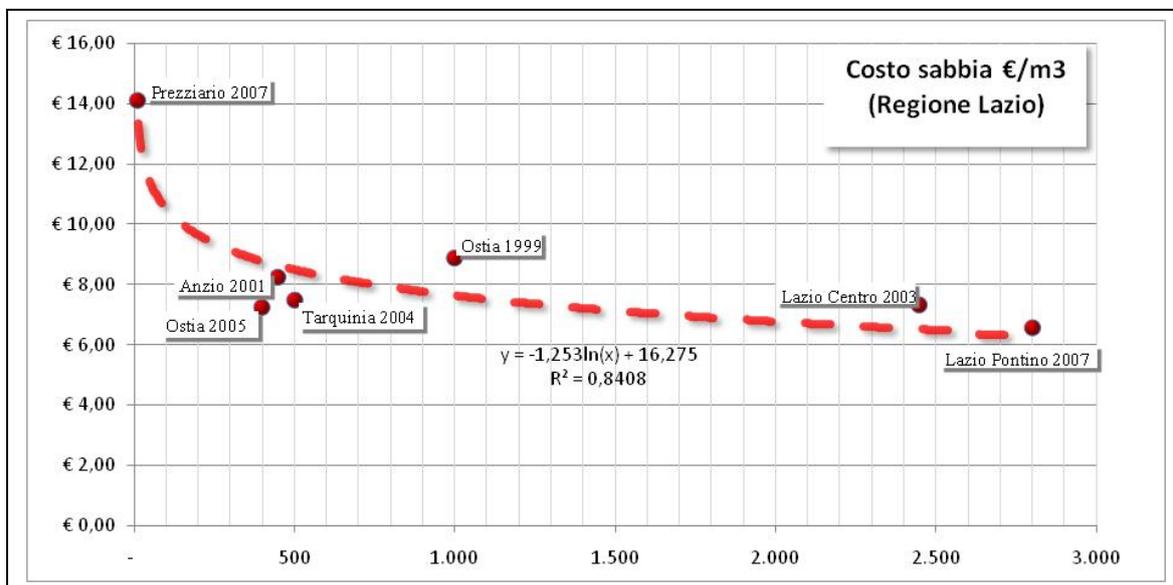


Fig. 5.1 – Prezzo della sabbia da ripascimento in funzione del quantitativo richiesto (espresso in migliaia di metri cubi)

5.3.2 Prezzi elementari dei materiali diversi

Per materiali e lavorazioni si fa riferimento al prezziario Regionale 2007, attualmente in vigore e quindi riferimento ufficiale per gli appalti pubblici.

Di seguito si riporta un estratto dello stesso per le voci che sono di interesse per l'intervento in questione.

I prezzi in grassetto sono i prezzi originali del prezziario Regione Lazio 2007, mentre gli altri sono stati desunti da analisi specifiche (vedi sabbia) o da prezziari precedenti in quanto voci non più presenti o non idonee alle reali condizioni di intervento.

| N. | Codice | LAVORAZIONI | U.M. | Prezzo unitario |
|----|-----------|---|------|-----------------|
| 1 | P1 | Escavo subacqueo eseguito in terreni costituiti da materiali sciolti posti con superficie fino alla profondità di mt 100 sotto il l.m.m., eseguito con mezzi aspiranti, trasportato con mezzi idonei e posto a ripascimento costiero nelle zone indicate nel progetto con sistemi refluenti, esclusi oneri di spandimento e messa in sagoma a riva. Compresi altresì tutti gli oneri di regolarizzazione delle sponde della cava, asportazione della copertura pelitica da refluire direttamente sul fondo con mezzi idonei, entro una distanza di 2 miglia dalla zona di cava e preventivo rilevamento ordigni bellici salvo bonifica . Per m3 netto reso a ripascimento. | m3 | € 6,48 |
| 2 | P2 | Spianamento e livellamento dei cumuli sabbiosi depositati sugli arenili, eseguito con mezzi meccanici e raccordato con l'arenile esistente secondo le livellette di progetto, eseguito a regola d'arte compreso ogni onere e magistero. Per m ³ netto reso a ripascimento. | m3 | € 0,82 |
| 3 | F2.05.5 | Filtro geotessile in poliestere del tipo «Trevira Spunbond» o similare del peso di 500 g/m ² e spessore di 4,0 mm dato in opera sott'acqua a mezzo di palombaro, comprese le sovrapposizioni non inferiore a 200 mm, gli sfridi, i mezzi d'opera , compresa altresì la fornitura ed ogni altro onere e magistero per dare il lavoro compiuto a regola d'arte. | m2 | € 7,70 |
| 4 | A2.01.1.a | Scavo a sezione aperta per sbancamento e splateamento in rocce di qualsiasi natura e consistenza con resistenza inferiore a 8 N/mm ² (argille sciolte e compatte, sabbie, ghiaie, pozzolane, lapilli, tufi ecc.) compreso il taglio e la rimozione di radici, ceppaie, pietre e trovanti di roccia e muratura di volume fino a 0,50 m ³ sia in asciutto che in bagnato, anche in presenza di acqua stabilizzantesi nel cavo fino all'altezza di 0,20 m esclusa l'acqua proveniente da falda, compreso e compensato l'onere per il rispetto di costruzioni sotterranee preesistenti da mantenere quali fogne, condutture in genere, cavi, ecc., inoltre, lo spianamento e la configurazione del fondo, anche se a gradoni, l'eventuale profilatura di pareti, scarpate e cigli, l'eventuale tiro in alto sull'orlo del cavo e comunque in posizione di sicurezza, eseguito con mezzi meccanici, senza il carico sui mezzi di trasporto | m3 | € 2,38 |
| 5 | F2.03.2 | Pietrame di natura calcarea, granitica o basaltica, in elementi del peso singolo da 5 a 100Kg, proveniente da cave idonee, dato in opera fino alla profondità di 10 metri s.l.m.m. per formazione di scanni di imbasamento di infrastrutture marittime, costruzione di scogliere (nuclei, basamenti, fondazioni, ecc), compreso l'onere della fornitura e posa in opera di scogli di pezzatura non inferiore a 50Kg per eventuale protezione della berma di imbasamento, secondo quanto indicato dalla D.L., compreso operai, mezzi d'opera terrestri e navali, attrezzi e magisteri vari, nonchè l'ausilio del palombaro, inclusi ogni altro onere, fornitura e magistero per dare il lavoro compiuto a regola d'arte. | m3 | € 33,50 |

| N. | Codice | LAVORAZIONI | U.M. | Prezzo unitario |
|----|-----------|---|------|-----------------|
| 6 | F2.03.5.b | Massi naturali di peso dell'unità di volume non inferiore a 2600 Kg/m ³ , con resistenza a compressione non inferiore a 500 kg/cm ² ; coefficiente di usura μ 2.0 mm, perdita di peso alla prova Los Angeles (ASTM C 131 - AASHTO T 96) μ 30%, coefficiente di imbibizione μ 5%, resistenza chimica (ASTM-88 - 5 cicli solfato di sodio): μ 10%, gelività (R.D. 16.11.1939 art.8) μ 5%, per la realizzazione di nuclei, scogliere e simili, forniti e posti in opera a strati intermedi e/o mantellate di protezione di scogliere e per scanni d'imbasamento provenienti, di forma tale da garantire che il rapporto tra dimensione minore e la dimensione maggiore del singolo elemento non sia inferiore a 0.5 (zero virgola cinque), provenienti, a cura e spese dell'impresa, da cave accettate dalla D. L., dati in opera a qualsiasi altezza o profondità secondo sagoma di progetto compreso l'onere del trasporto, il versamento in opera con idoneo mezzo terrestre, la regolarizzazione anche con l'ausilio del palombaro, compresi gli oneri per la formazione delle piste di accesso alle aree di lavoro, da realizzare con tout-venant e/o pietrame, la loro manutenzione durante il corso dei lavori e la loro completa asportazione dopo l'ultimazione dei lavori così da ripristinare le condizioni preesistenti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte. Massi del peso singolo da 1001 a 3000 Kg (2° cat.). | t | € 20,40 |
| 7 | F2.03.5.c | Massi naturali di peso dell'unità di volume non inferiore a 2600 Kg/m ³ , con resistenza a compressione non inferiore a 500 kg/cm ² ; coefficiente di usura μ 2.0 mm, perdita di peso alla prova Los Angeles (ASTM C 131 - AASHTO T 96) μ 30%, coefficiente di imbibizione μ 5%, resistenza chimica (ASTM-88 - 5 cicli solfato di sodio): μ 10%, gelività (R.D. 16.11.1939 art.8) μ 5%, per la realizzazione di nuclei, scogliere e simili, forniti e posti in opera a strati intermedi e/o mantellate di protezione di scogliere e per scanni d'imbasamento provenienti, di forma tale da garantire che il rapporto tra dimensione minore e la dimensione maggiore del singolo elemento non sia inferiore a 0.5 (zero virgola cinque), provenienti, a cura e spese dell'impresa, da cave accettate dalla D. L., dati in opera a qualsiasi altezza o profondità secondo sagoma di progetto compreso l'onere del trasporto, il versamento in opera con idoneo mezzo terrestre, la regolarizzazione anche con l'ausilio del palombaro, compresi gli oneri per la formazione delle piste di accesso alle aree di lavoro, da realizzare con tout-venant e/o pietrame, la loro manutenzione durante il corso dei lavori e la loro completa asportazione dopo l'ultimazione dei lavori così da ripristinare le condizioni preesistenti e quanto altro occorre per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte. Massi del peso singolo da 3001 a 7000 Kg (3° cat.). | t | € 22,20 |
| 8 | F2.03.6 | Compenso addizionale al prezzo di cui all'art. F2.03.5 e per ogni Km di distanza in più dalle cave di provenienza oltre i primi 20 Km. | t*km | € 0,17 |
| 9 | F2.03.1. | Compenso per salpamenti di massi artificiali, scogli naturali e relitti di muratura di qualsiasi volume e peso, eseguito con mezzi idonei sino alla profondità di 12 m sotto il l.m.m. anche con l'ausilio di palombaro compresa la fornitura di mezzi d'opera, compreso il collocamento in opera in sagoma di scogliera entro l'ambito del cantiere o il carico, il trasporto a rifiuto, entro 10 km dal punto di raccolta incluso ogni onere e magistero per dare il lavoro a regola d'arte eseguito con mezzi terrestri. | m3 | € 19,99 |

Tab. 5.2 – Prezzi elementari

5.3.3 Quadro riepilogativo dei parametri di dimensionamento e di costo

Come specificato in premessa, i computi sono stati semplificati in quanto le variazioni dimensionali delle opere previste in sede di progetto definitivo ed esecutivo (basti pensare alle reali condizioni della batimetria) rendono del tutto inutile un computo di dettaglio.

Le principali semplificazioni adottate sono comunque le seguenti:

1. per le opere in massi, sono state adottate sezioni omogenee (unico materiale massi di 3° cat.) e mediate sulla loro lunghezza (per i pennelli è stata adottata la sezione intermedia);
2. a fronte del costo unitario maggiore dell'unico materiale adottato come riferimento, si è effettuata una compensazione omettendo l'inserimento di altri materiali e lavorazioni (geotessile, scavi di sbancamento, ecc.).

Nel seguito si riepiloga sotto forma di tabella il computo delle diverse lavorazioni sulla base delle dimensioni geometriche di massima già indicate o riportate negli elaborati grafici allegati.

Si specifica quanto segue:

- per il prezzo della sabbia si è fatto riferimento ad un prezzo medio di 7,5 €/m³, cui è stata sommata la lavorazione di stendimento;
- come onere di manutenzione delle opere in massi si è assunto l'1% annuo del costo di realizzazione (valutazione cautelativa a favore dell'opera in scogli);
- per erosione media annua si intende il quantitativo stimato dal modello per lo scenario 1 (solo ripascimento) divisa per l'estensione del tratto di interesse e per gli anni di osservazione secondo lo schema che segue (Tab. 5.3);
- non si tiene conto di fenomeni transitori di forte assestamento del ripascimento con movimentazioni particolarmente intense durante il primo anno;
- nel caso dello scenario 2 con i pennelli, si è ipotizzato un recupero sulle perdite stimate (pari a 497.700 m³ x 10 anni) mediante la movimentazione della sabbia che si accumula in avanzamento sopraflutto ai pennelli (nelle celle in cui l'evoluzione della linea di riva comporta ovunque un avanzamento rispetto alla linea di riva iniziale) per una quantità valutata complessivamente in circa 55.000 m³. Di fatto si ritorna al trend erosivo dello scenario 1; l'effetto dei pennelli è sostanzialmente quello di modificare la distribuzione dei sedimenti.

| TRATTO DI LITORALE | Volume eroso m ³ /10 anni | Km |
|--|---|------------|
| Foce Nuova di Fogliano – Rio Martino | 42.300 | 1.5 |
| Rio Martino – Idrovora Lavorazione | 118.700 | 3.4 |
| Idrovora Lavorazione – Foce di Caprolace | 41.800 | 2.0 |
| Totale | 202.800 | 6.9 |
| Erosione specifica media annua (m ³ /km/anno) | 2.939 | |

Tab. 5.3 – Volumi di erosione prevedibile nei prossimi 10 anni

PARAMETRI

| | | |
|---|---------|--------------------|
| Tasso di interesse convenzionale | 1,0% | |
| Costo lordo sabbia da cava marina posta in opera (IVA esclusa) | 8,32 | €/m ³ |
| Costo lordo massi 3° cat - cava a 40 Km- 2,1 t/m ³ vpp (IVA esclusa) | 53,76 | €/m ³ |
| Tratto di litorale in esame | 6,9 | km |
| Ripascimento per km | 164.000 | m ³ /km |
| Lunghezza ripascimento | 3.4 | km |
| Lunghezza litorale in manutenzione | 6.9 | km |
| Lunghezza barriera | 3.4 | km |
| Profondità media base barriera soffolta | 3,00 | m s.m.m. |
| Profondità coronamento | 1,00 | m s.m.m. |
| Larghezza coronamento | 20,00 | m |
| Pendenza barriera lato mare | 2,00 | /1 |
| Pendenza barriera lato terra | 2,00 | /1 |
| Interasse pennelli | 300 | m |
| Numero pennelli | 10 | |
| Sezione media pennelli (oltre linea di riva) | 56.0 | m ² |
| Sezione media pennelli (radicamento a terra) | 27.5 | m ² |
| Lunghezza media pennelli (oltre linea di riva) | 100 | m |
| Lunghezza media pennelli (radicamento a terra) | 50 | m |
| Perdite decennali con scenario 1 (solo ripascimento) | 202.800 | m ³ |
| Perdite decennali con scenario 2 (pennelli e ripascimento)* | 202.000 | m ³ |
| Perdite decennali con scenario 2 (barriera e ripascimento) | 853.800 | m ³ |

*: considerando la movimentazione da spiaggia a spiaggia di 55.000 m³

Tab. 5.4 - Quadro riepilogativo dei parametri di dimensionamento e di costo

5.4 Quadro dei costi di realizzazione e di manutenzione delle soluzioni individuate

Nelle tabelle che seguono vengono riportati i computi per le soluzioni individuate, evidenziando i costi di realizzazione (costo capitale) ed i costi di manutenzione annua.

| Scenario 1: opera ripascimento morbido | u.m. | Quantità | Prezzo Un. | Importo totale |
|--|----------------|----------|------------|-----------------------|
| Ripascimento iniziale | m ³ | 557.600 | € 8,32 | € 4.639.232,00 |
| Ripascimento manutentivo per perdite annuali | m ³ | 20.280 | € 8,32 | € 168.729,60 |
| TOTALE COSTO INTERVENTO | | | | € 4.639.232,00 |
| TOTALE COSTO MANUTENZIONE ANNUA | | | | € 168.729,60 |

Tab. 5.5 – Costi di realizzazione e manutenzione (scenario 1)

| Scenario 2: opera con pennelli | u.m. | Quantità | Prezzo Un. | Importo totale |
|--|----------------|----------|------------|-----------------------|
| Ripascimento iniziale | m ³ | 557.600 | € 8,32 | € 4.639.232,00 |
| Realizzazione pennelli | m ³ | 69.750 | € 53,76 | € 3.749.760,00 |
| Ripascimento manutentivo annuo | m ³ | 20.200 | € 8,32 | € 168.064,00 |
| Manutenzione pennelli annua | | | | € 37.497,60 |
| TOTALE COSTO INTERVENTO | | | | € 8.388.992,00 |
| TOTALE COSTO MANUTENZIONE ANNUA | | | | € 205.561,60 |

Tab. 5.6– Costi di realizzazione e manutenzione (scenario 2)

| Scenario 3 : opera barriera soffolta | u.m. | Quantità | Prezzo Un. | Importo totale |
|--|----------------|----------|------------|------------------------|
| Ripascimento iniziale | m ³ | 557.600 | € 8,32 | € 4.639.232,00 |
| Realizzazione barriera soffolta | m ³ | 163.200 | € 53,76 | € 8.773.632,00 |
| Ripascimento manutentivo annuo | m ³ | 85.380 | € 8,32 | € 710.361,60 |
| Manutenzione barriera annua | | | | € 87.736,32 |
| TOTALE COSTO INTERVENTO | | | | € 13.412.864,00 |
| TOTALE COSTO MANUTENZIONE ANNUA | | | | € 798.097,92 |

Tab. 5.7– Costi di realizzazione e manutenzione (scenario 3)

5.5 Analisi comparativa del Valore Attuale Netto

5.5.1 Calcolo V.A.N. degli scenari

Sulla base dei dati di costo, è stato sviluppato il Cash-Flow di 25 anni di esercizio per i tre scenari identificati secondo la tabella sotto riportata (Tab. 5.8).

L'orizzonte temporale di 25 anni è stato preso in relazione ad un periodo di vita utile riferibile alle opere rigide (pennelli e barriera soffolta). Sotto questo punto di vista l'onere manutentivo di tali opere si sarebbe dovuto quindi rapportare al corrispondente periodo di ammortamento ($1/25 = 4\%$ annuo) ma, per le incertezze intrinseche nella gestione di tali opere (e per non inserire ulteriori fattori di non convenienza), si è scelto di limitare tale costo annuo all'1% annuo.

In forma grafica l'analisi comparativa porta alla rappresentazione di Fig. 5.2.

| anni | Ipotesi solo ripascimento | | | Ipotesi pennelli + ripascimento | | | Ipotesi barriera + ripascimento | | |
|------|---------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|---------------------------------|----------------------|---|
| | Uscite annue (M€) | Uscite cumulate (M€) | Ripascimento e Manutenzione (VAN) | Uscite annue (M€) | Uscite cumulate (M€) | Pennelli, Ripascimento e Manutenzione (VAN) | Uscite annue (M€) | Uscite cumulate (M€) | Barriera Soffolta, Ripascimento, Manutenzione (VAN) |
| 0 | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| 1 | € 4.64 | € 4.64 | € 4.64 | € 8.39 | € 8.39 | € 8.39 | € 6.71 | € 6.71 | € 6.71 |
| 2 | € 0.17 | € 4.81 | € 4.81 | € 0.21 | € 8.59 | € 8.59 | € 6.71 | € 13.41 | € 13.35 |
| 3 | € 0.17 | € 4.98 | € 4.97 | € 0.21 | € 8.80 | € 8.79 | € 0.80 | € 14.21 | € 14.13 |
| 4 | € 0.17 | € 5.15 | € 5.14 | € 0.21 | € 9.01 | € 8.99 | € 0.80 | € 15.01 | € 14.90 |
| 5 | € 0.17 | € 5.31 | € 5.30 | € 0.21 | € 9.21 | € 9.19 | € 0.80 | € 15.81 | € 15.67 |
| 6 | € 0.17 | € 5.48 | € 5.46 | € 0.21 | € 9.42 | € 9.39 | € 0.80 | € 16.61 | € 16.43 |
| 7 | € 0.17 | € 5.65 | € 5.62 | € 0.21 | € 9.62 | € 9.58 | € 0.80 | € 17.40 | € 17.18 |
| 8 | € 0.17 | € 5.82 | € 5.77 | € 0.21 | € 9.83 | € 9.77 | € 0.80 | € 18.20 | € 17.93 |
| 9 | € 0.17 | € 5.99 | € 5.93 | € 0.21 | € 10.03 | € 9.96 | € 0.80 | € 19.00 | € 18.66 |
| 10 | € 0.17 | € 6.16 | € 6.08 | € 0.21 | € 10.24 | € 10.15 | € 0.80 | € 19.80 | € 19.39 |
| 11 | € 0.17 | € 6.33 | € 6.24 | € 0.21 | € 10.44 | € 10.34 | € 0.80 | € 20.60 | € 20.12 |
| 12 | € 0.17 | € 6.50 | € 6.39 | € 0.21 | € 10.65 | € 10.52 | € 0.80 | € 21.39 | € 20.83 |
| 13 | € 0.17 | € 6.66 | € 6.54 | € 0.21 | € 10.86 | € 10.70 | € 0.80 | € 22.19 | € 21.54 |
| 14 | € 0.17 | € 6.83 | € 6.69 | € 0.21 | € 11.06 | € 10.88 | € 0.80 | € 22.99 | € 22.24 |
| 15 | € 0.17 | € 7.00 | € 6.83 | € 0.21 | € 11.27 | € 11.06 | € 0.80 | € 23.79 | € 22.93 |
| 16 | € 0.17 | € 7.17 | € 6.98 | € 0.21 | € 11.47 | € 11.24 | € 0.80 | € 24.59 | € 23.62 |
| 17 | € 0.17 | € 7.34 | € 7.12 | € 0.21 | € 11.68 | € 11.41 | € 0.80 | € 25.38 | € 24.30 |
| 18 | € 0.17 | € 7.51 | € 7.27 | € 0.21 | € 11.88 | € 11.59 | € 0.80 | € 26.18 | € 24.98 |
| 19 | € 0.17 | € 7.68 | € 7.41 | € 0.21 | € 12.09 | € 11.76 | € 0.80 | € 26.98 | € 25.64 |
| 20 | € 0.17 | € 7.85 | € 7.55 | € 0.21 | € 12.29 | € 11.93 | € 0.80 | € 27.78 | € 26.30 |
| 21 | € 0.17 | € 8.01 | € 7.68 | € 0.21 | € 12.50 | € 12.10 | € 0.80 | € 28.58 | € 26.96 |
| 22 | € 0.17 | € 8.18 | € 7.82 | € 0.21 | € 12.71 | € 12.27 | € 0.80 | € 29.37 | € 27.61 |
| 23 | € 0.17 | € 8.35 | € 7.96 | € 0.21 | € 12.91 | € 12.43 | € 0.80 | € 30.17 | € 28.25 |
| 24 | € 0.17 | € 8.52 | € 8.09 | € 0.21 | € 13.12 | € 12.59 | € 0.80 | € 30.97 | € 28.88 |
| 25 | € 0.17 | € 8.69 | € 8.22 | € 0.21 | € 13.32 | € 12.76 | € 0.80 | € 31.77 | € 29.51 |

Tab. 5.8 – Confronto dei tre scenari: cash flow sulla base di 25 anni di esercizio

Come preannunciato, gli scenari prescelti hanno condotto ad un risultato di fatto scontato per quanto riguarda l'analisi comparata dei VAN.

In effetti quando le opere che con un costo di realizzazione superiore richiedono anche dei costi di manutenzioni superiori, inevitabilmente hanno dei VAN superiori.

In definitiva la convenienza economica risulta di gran lunga per il ripascimento puro dove il $VAN_{25} = 8.22$ M€ contro 13.32 M€ e 29.51 M€ rispettivamente della soluzione con pennelli e con barriera soffolta.

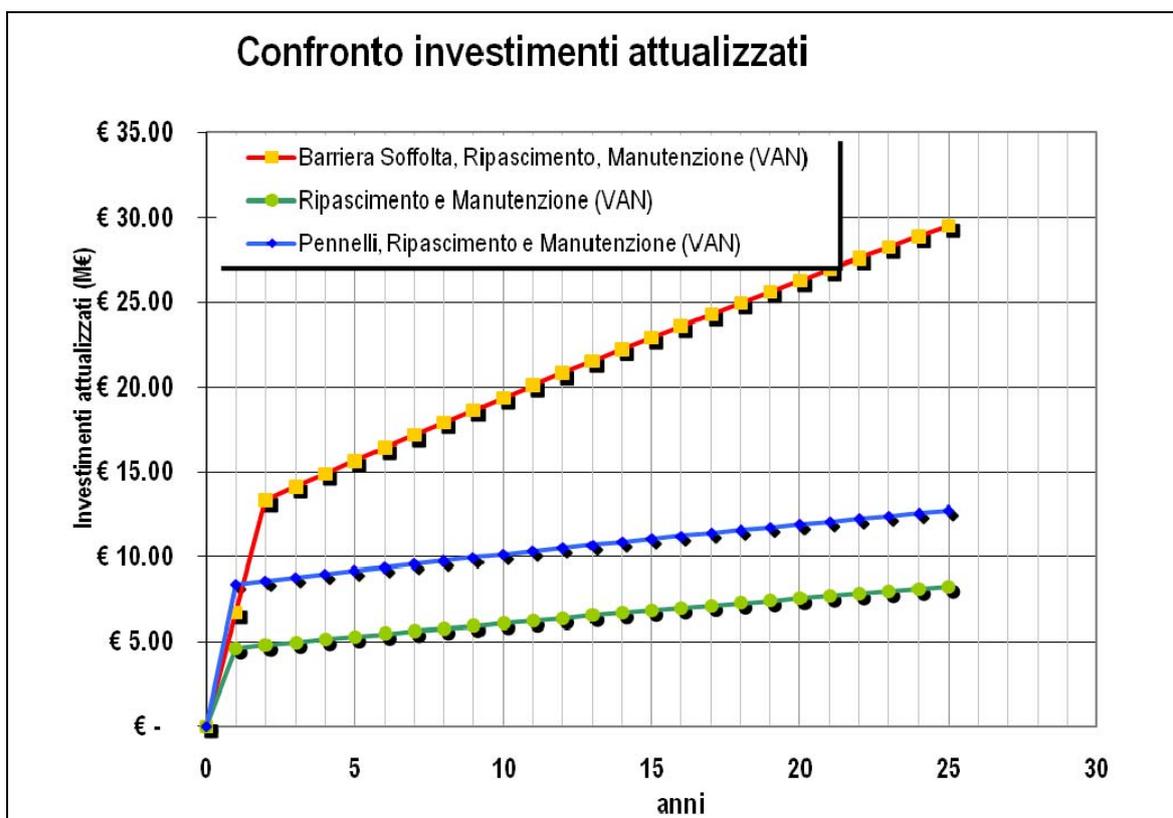


Fig. 5.2 – Confronto degli investimenti corrispondenti ai tre diversi scenari

5.5.2 Analisi di sensitività

Il costo unitario della sabbia di ripascimento subisce notevoli variazioni in base alla tipologia della sabbia, alla sua provenienza e al metodo di prelievo, trasporto e posa in opera. Ad un aumento del costo unitario, corrisponde un aumento dei costi di investimento attualizzati.

Con la presente analisi si vuole misurare in che modo tali investimenti risentono delle variazioni del costo unitario della sabbia e se la convenienza economica di un intervento di difesa morbido, che all'apparenza potrebbe sembrare scontato, in realtà per valori alti del costo della sabbia, potrebbe rivelarsi meno conveniente di un intervento di tipo rigido. Tale circostanza tuttavia può verificarsi solo ad una condizione: l'intervento con le opere rigide deve garantire una minore manutenzione ed

eventualmente anche una minore esigenza di ripascimento iniziale a parità di spiaggia rigenerata (ad esempio contenimento in celle del ripascimento).

Nel caso in esame tuttavia non è così ed anzi le soluzioni con opere rigide addirittura aumentano gli oneri di manutenzione, rendendo il confronto costantemente divergente.

Tuttavia in un'analisi di sensitività possono essere esaminati altri aspetti tra cui il costo delle altre lavorazioni (massi) ovvero la variazione del tasso di interesse.

A titolo di esempio vengono riportati nel seguito alcuni grafici che illustrano la variazione dei VAN per i tra scenari al variare dei due parametri esaminati (tasso di interesse e costo sabbia).

Per quanto detto prima le curve che rappresentano tali andamenti non si incrociano mai e quindi permangono sempre le condizioni di convenienza originali.

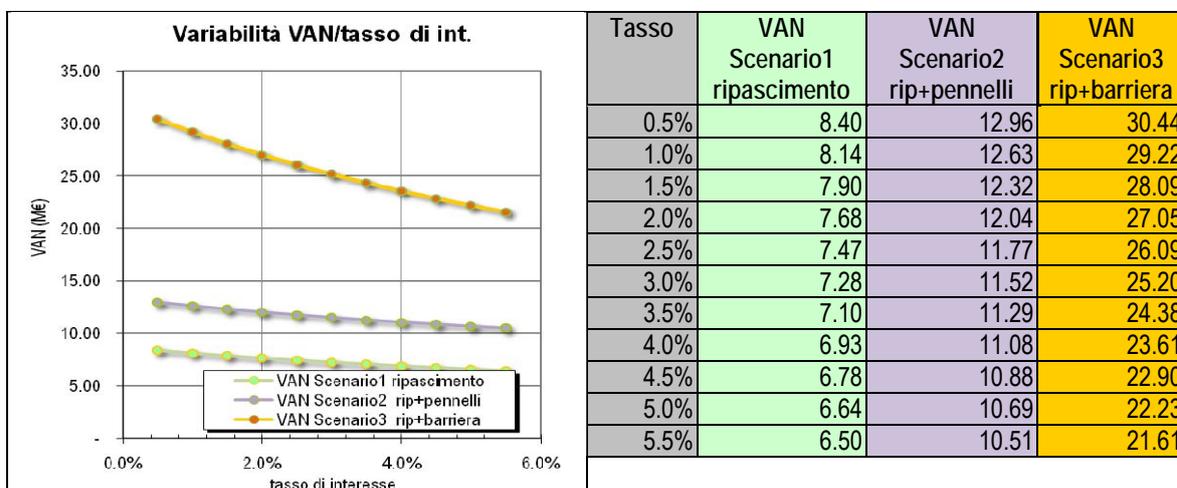


Fig. 5.3 - - Variazione del V.A.N. in funzione del tasso di interesse

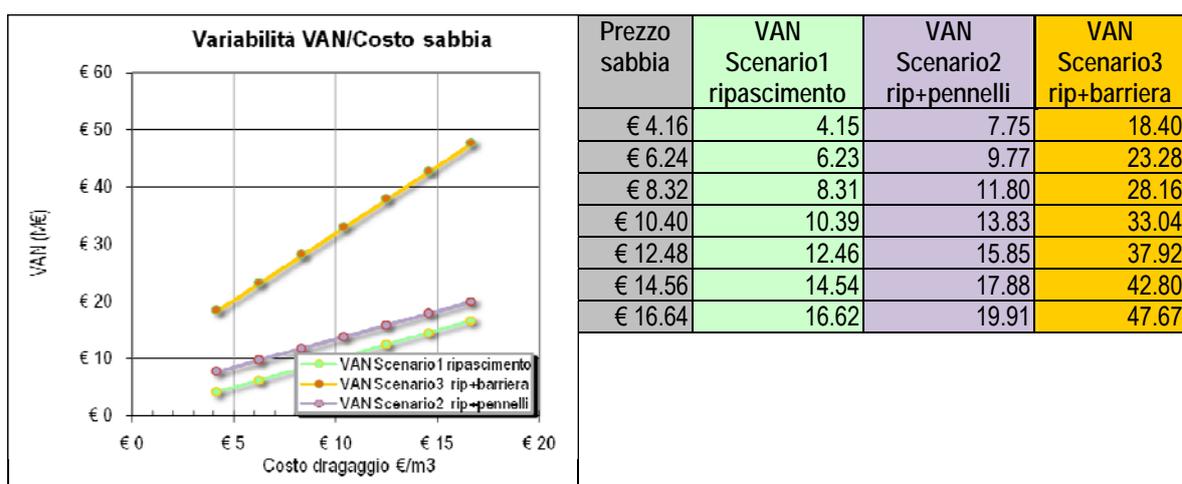


Fig. 5.4 - - Variazione del V.A.N. in funzione del costo della sabbia

5.6 Conclusioni analisi comparativa economica

Alla luce delle analisi eseguite ed in relazione solo all'aspetto della convenienza economica, i risultati indicano come ottimali gli interventi di solo ripascimento.

Considerazioni di natura ingegneristica e precauzionale, dovrebbero tuttavia a spingere verso l'analisi di soluzioni di dettaglio più differenziate e rese più aderenti alle condizioni locali al fine di rendere più competitive gli scenari proposti.

6 RICOSTRUZIONE DELLA DUNA

Nell'ambito di tutti i tre scenari ipotizzati, è prevista la ricostruzione della duna o antiduna.

Nonostante i dati bibliografici indichino che per la formazione della duna sia ottimale una larghezza della spiaggia emersa compresa tra i 30 e i 40 m, si è scelto in questo caso di mantenere invariata l'attuale distanza tra il piede della duna e la linea di riva, avanzando la duna verso mare parallelamente all'avanzamento della linea di riva ottenuto con il ripascimento artificiale.

Questa scelta potrà ovviamente essere ponderata e rivalutata in fase di progettazione, quando dovranno essere inserite anche tutte le particolari configurazioni locali che la duna dovrà assumere in corrispondenze delle infrastrutture presenti.

Per questa valutazione preliminare, è stato ipotizzato una schema tipo di ricostruzione (Fig. 6.1) dell'apparato dunale, che prevede quanto segue:

- ricostruzione dell'apparato dunale (antiduna) per un'ampiezza di circa 20 m a partire dal piede della duna esistente, operato con sabbie derivanti dall'intervento di ripascimento, con un innalzamento medio del piano di spiaggia emersa di 2.0 m (complessivamente 40 m³/m di litorale); il prezzo di riferimento è desunto dalle elaborazioni riportate nel paragrafo 5.3.1 (Tab. 5.4);
- installazione di rete frangivento sulla prima fascia di antiduna (primi 10 m verso la riva);
- installazione di schermo frangivento a scacchiera per la protezione della seconda fascia di antiduna (fascia di 10 m retrostante la precedente);
- installazione di recinzione per la protezione della duna dal calpestio incontrollato e per ridurre il trasporto eolico verso le aree retrostanti (perimetro interno della fascia dunale);
- preparazione alla vegetalizzazione del substrato e successiva vegetalizzazione con semi e talee (seconda fascia di antiduna);
- realizzazione di passerelle sopraelevate per l'accesso alla spiaggia, una ogni 300 m (10 accessi);
- realizzazione di accessi per i disabili alle due estremità dell'area di intervento raggiungibili con automezzi;
- realizzazione di accessi per la manutenzione alle due estremità dell'area di intervento raggiungibili dai mezzi.

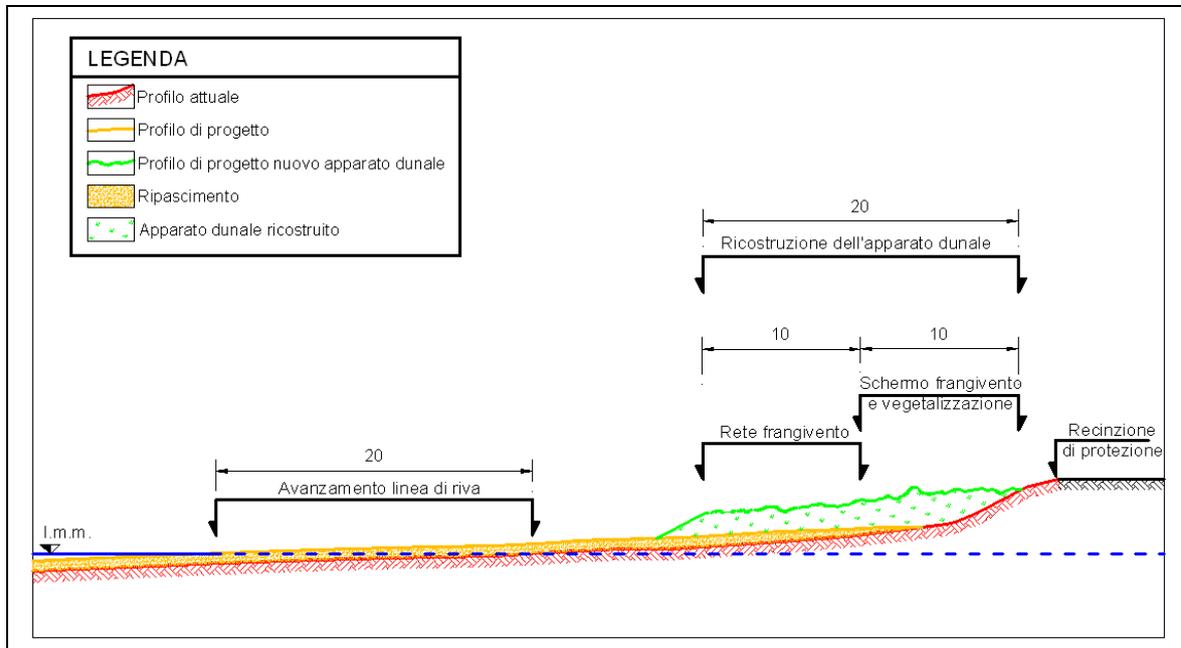


Fig. 6.1 – Schema tipo di ricostruzione dell'apparato dunale



Fig. 6.2 – Installazione di rete frangivento sulla prima fascia di antiduna



Fig. 6.3 – Installazione di schermo frangivento a scacchiera

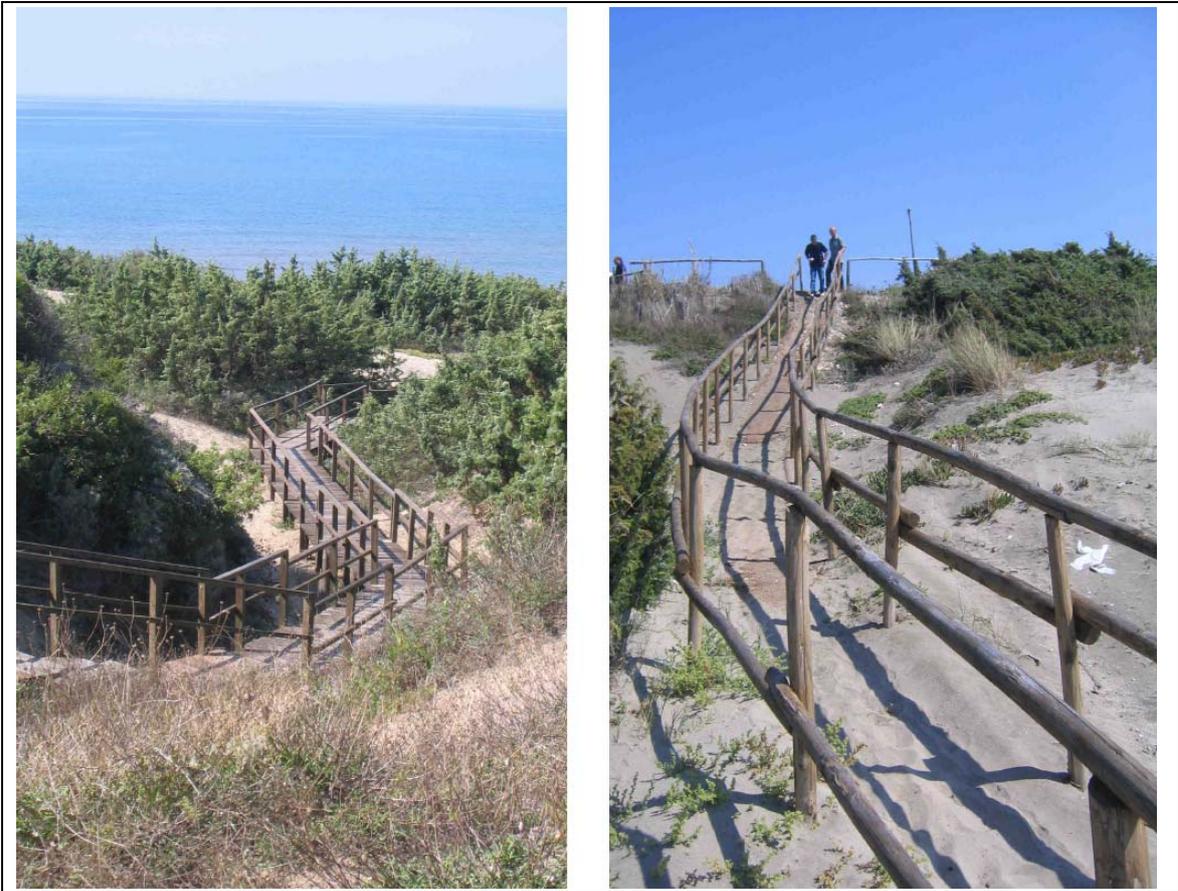


Fig. 6.4 – Realizzazione di passerelle sopraelevate per l'accesso alla spiaggia



Fig. 6.5 – Realizzazione di passerelle sopraelevate per il superamento della duna



Fig. 6.6 – Installazione di recinzione per la protezione della duna dal calpestio incontrollato e per la riduzione del trasporto eolico verso le aree restrostanti

| TIPOLOGIA DI OPERA | SCOPO E DESCRIZIONE SINTETICA | COSTO |
|--|---|--|
| Ricostruzione duna | Ricostruzione di un cordone dunale secondo criteri che ne permettano l'evoluzione naturale, operato con sabbie derivanti dall' intervento di ripascimento. | Il costo è di circa 8.32 €/m ³ |
| Recinzione frangivento | Recinzione che ha la funzione di proteggere la duna dagli effetti del calpestio incontrollato e, al medesimo tempo, di controllare i meccanismi di erosione eolica. | Il costo dell'opera è dell'ordine di 26 €/ml, dei quali circa il 40 % di materiali. |
| Schermi frangivento a scacchiera | Ricostruzione e protezione di depositi dunali embrionali mediante schermi frangivento disposti a scacchiera. | Il costo dell'opera è dell'ordine di 22,00 €/ml dei quali circa il 35 % di materiali. |
| Supporto alla ripresa della vegetazione spontanea | Supporto alla ripresa della vegetazione spontanea e preparazione del substrato. | Il costo dell'opera è dell'ordine di 3-5.5 €/m ² (ore di manodopera), variabile in funzione della tipologia di substrato. |
| Vegetalizzazione mediante semi | Vegetalizzazione e supporto alla vegetalizzazione mediante semi | Idrosemina convenzionale dell'ordine di 0.80 €/m ² (da prezzario Regione Toscana, 31/12/2008). |
| Vegetalizzazione mediante talee | Vegetalizzazione mediante talee. | Il costo dell'opera è dell'ordine di 11 €/m ² (ore di manodopera in Languedoc-Roussillon). |
| Passerelle radenti | Proteggere le dune dall'erosione da calpestio, in corrispondenza dei percorsi utilizzati dai bagnanti per accedere alle spiagge. | Il costo dell'opera è dell'ordine di 130 €/ml (per una larghezza del passaggio di circa 2 m) dei quali circa il 50 % di materiali. |
| Gestione della frequentazione | Controllo dell'accesso del pubblico alle spiagge per impedire e limitare i fenomeni di calpestio sulla vegetazione | Difese della duna: 24 € al metro lineare di recinzione (materiali e manodopera); Accesso pedonale: 100 € al metro lineare (materiali e manodopera); Accesso ai veicoli: tra i 500 e i 600 € al metro lineare (materiali e manodopera). |
| Accessi per persone disabili | Passerelle realizzate secondo le norme nazionali ed europee per l'accesso alla spiaggia alle persone disabili. | Il costo dell'opera è dell'ordine di circa 70 000 € (materiali e messa in posa), ed è funzione dei materiali scelti. |

Tab. 6.1 – Costi relativi ai vari interventi previsti (Bovina et al., POSIDUNE 2008)

| DESCRIZIONE SINTETICA LAVORAZIONE | PREZZO UNITARIO | QUANTITA' | PREZZO TOTALE |
|---|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Ricostruzione apparato dunale per un'ampiezza di 20 m, con sabbie derivanti dal ripascimento, con un'innalzamento medio del piano di spiaggia emersa di 2.0 m | 8.32 €/m ³ | 136'000 m ³ | € 1'131'520.00 |
| Installazione di rete frangivento sulla prima fascia di antiduna (primi 10 m verso la riva) | 26.00 €/m | 3'400 m | € 88'400.00 |
| Installazione di schermo frangivento a scacchiera per la protezione della seconda fascia di antiduna (fascia di 10 m retrostante la precedente) | 22.00 €/m | 3'400 m | € 74'800.00 |
| Installazione di recinzione per la protezione della duna dal calpestio incontrollato e per ridurre il trasporto eolico verso le aree restrostanti (perimetro interno della fascia dunale) | 24.00 €/m | 3'400 m | € 81'600.00 |
| Preparazione alla vegetalizzazione del substrato (90% della seconda fascia di antiduna) | 3.00 €/m ² | 61'200 m ² | € 183'600.00 |
| Vegetalizzazione con semi (100% della seconda fascia di antiduna) | 0.80 €/m ² | 68'000 m ² | € 54'400.00 |
| Vegetalizzazione con talee (10% della seconda fascia di antiduna) | 11.00 €/m ² | 6'800 m ² | € 74'800.00 |
| Accesso pedonale alla spiaggia, uno ogni 300 m, con opportuna segnaletica (10 accessi di larghezza pari a 2 m) | 100.00 €/m | 20 m | € 2'000.00 |
| Realizzazione di passerelle sopraelevate, di larghezza pari a 2 m, per l'accesso alla spiaggia, una ogni 300 m (10 passerelle di lunghezza pari a 30 m) | 130.00 €/m | 300 m | € 39'000.00 |
| Realizzazione di accessi per i disabili alle due estremità dell'area di intervento raggiungibili con automezzi (2 accessi) | 70'000.00 €/cad | 300 m | € 140'000.00 |
| Realizzazione di accessi per la manutenzione alle due estremità dell'area di intervento raggiungibili dai mezzi (2 accessi di lunghezza pari a 30 m) | 600.00 €/m | 60 m | € 36'000.00 |
| | | | € 1'906'120.00 |

Tab. 6.2 – Computo sommario delle lavorazioni per le ricostruzioni dell'apparato dunale.