



Dott. Ing. Franco Vigna

Comune di Pula (CA) Santa Margherita  
FORTE VILLAGE RESORT - OPERE DI PROTEZIONE E STABILIZZAZIONE MORFOLOGICA DELLA SPIAGGIA



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Comune di Pula  
Santa Margherita

## FORTE VILLAGE RESORT - OPERE DI PROTEZIONE E STABILIZZAZIONE MORFOLOGICA DELLA SPIAGGIA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ (Definitivo)

### A - RELAZIONE TECNICA

**Novembre 2022**

COMMITTENTE:

*“Progetto Esmeralda S.r.l.”*

IL PROGETTISTA:

*Ing. Franco Vigna*

PROGETTISTI E CONSULENTI:

Dott.Ing. Franco Vigna

(coordinatore e responsabile delle progettazioni)

Dott.Ing. Andrea Ritossa

DHI s.r.l. Ing. Andrea Crosta

Dott.Geol.Giovanni Tilocca

---

Dott.Ing. Franco Vigna - Viale Regina Elena, 23 - 09124 Cagliari

CF.: VGNFNC52T24F979B – P.IVA: 01014230922

Tel.mobile: +39 338 99 58 701 - e.mail: [frankvigna@tiscali.it](mailto:frankvigna@tiscali.it) - PEC: [franco.vigna@ingpec.eu](mailto:franco.vigna@ingpec.eu)

## OPERE DI PROTEZIONE DELLA SPIAGGIA ANTISTANTE IL “FORTE VILLAGE RESORT”

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ (Definitivo)

#### SOMMARIO

##### PREMESSA

##### INTRODUZIONE

##### 1 - FINALITÀ DEL PROGETTO

##### 2 - FONDAMENTI GENERALI DEL PROGETTO

*Fig.1 - Vista aerea della spiaggia del Forte Village agosto 2021*

###### 2.1 - Caratteristiche del paraggio e definizione dell'Unità fisiografica

*Fig.2 - Localizzazione del paraggio, Unità fisiografica e le due "Sub Unità Gestionali" individuate*

###### 2.2 - Regime anemologico e di moto ondoso

*Fig.3 - Settore di traversia*

*Fig.4 - Regime anemologico (Sn) e di moto ondoso (Dx)*

###### 2.3 - Dinamiche geomorfologiche

*2.3.1 - Trasporto solido costiero*

*2.3.2 - Evoluzione della linea di riva;*

*Fig.5 - Evoluzione della linea di riva 1943 ÷ 2018 (stralcio progetto 2019).*

*Fig.6 - Tendenze evolutive di medio periodo (10÷15 anni) e breve periodo (3÷4anni set\_2021)*

*2.3.3 - Caratteristiche dei sedimenti sabbiosi*

*2.3.4 - Interventi pregressi effettuati sul tratto di spiaggia del Forte Village*

*Fig.7 - Fondali antistanti il Forte Village (assetto tipico estate 2018)*

*Fig.8 - Fondali antistanti il Forte Village dopo le mareggiate invernali (inverno 2021-2022)*

##### 3 - OPERE DI PROTEZIONE DEL LITORALE

###### 3.1 - Tipologie di interventi presi in considerazione

*3.1.1 - Scogliere "distaccate" dalla riva*

*3.1.2 - Pennelli trasversali alla riva*

*3.1.3 - Opere di riconfigurazione dei fondali:*

*3.1.4 - Interventi di correzione granulometrica della sabbia*

*3.1.5 - Sistemi attivi di gestione della spiaggia (Beach Management System):*

###### 3.2 - Scelte progettuali

*Fig.9 - Esempio di analisi degli effetti delle opere con impiego di modello numerico*

###### 3.3 - Descrizione delle opere

*3.3.1 - Barriere di protezione (isolotti artificiali)*

*3.3.2 - Ricarica e riassetto morfologico della spiaggia.*

*3.3.3 - Pennello semitrasparente complementare.*

*Fig.10- Simulazione delle opere in progetto su foto zenitale*

*Fig.11 - Opere in progetto e stima accrescimento della spiaggia*

*(A-B-C: Scogliere/isolotti di protezione; D: pennello semipermeabile)*

*Fig.12 - Schema Opere in progetto*

*Fig.13 - Opere in progetto e accrescimento della spiaggia*

*Fig.14 - Sezione tipo trasversale, centrale dell'isolotto A*

*Fig.15 - Sezione tipo trasversale delle estremità laterali dell'isolotto A*

*Fig.16 - Sezione tipo trasversale, centrale degli isolotti artificiali B e C*

*Fig.17 - Sezione tipo trasversale delle estremità laterali degli isolotti artificiali B e C*

*3.3.4 - Scheda riepilogativa delle opere in progetto*

##### 4 - MODALITÀ COSTRUTTIVE E MATERIALI NECESSARI

##### 5 - STIMA DEL COSTO DELLE OPERE

###### 5.1 - Elenco prezzi

###### 5.2 - Riepilogo computo metrico estimativo

###### 5.3 - Quadro economico

##### APPENDICE

---

## OPERE DI PROTEZIONE DELLA SPIAGGIA ANTISTANTE IL “FORTE VILLAGE RESORT”

### PROGETTO PRELIMINARE

#### Studio di fattibilità tecnica ed economica

#### PREMESSA

Il Forte Village Resort rappresenta una delle più importanti strutture turistico-ricettive del sud Sardegna. Molto noto nel contesto internazionale per la peculiarità dell'offerta, genera ricadute sul territorio di alta valenza economica e occupazionale.

La spiaggia antistante il Forte Village è un elemento iconico fondamentale e centrale dell'immagine del resort.

La spiaggia del Forte Village fa parte del litorale di Santa Margherita di Pula e in particolare del tratto di litorale sabbioso che si estende in direzione SW - NE per circa 2,9Km, da Cala Bernardini a Cala Verde.

Questo tratto di costa è caratterizzato da una fascia costiera pianeggiante debolmente digradante verso mare protetta a NW da una orografia che offre riparo ai venti occidentali prevalenti che gli conferiscono un particolare microclima mite con connotazioni quasi sub-tropicali.

La piana costiera negli ultimi sessant'anni è stata caratterizzata da un processo di antropizzazione a carattere prevalentemente turistico ricettivo e residenziale.

Nella spiaggia in esame si è registrata nel corso del tempo una generale diminuzione del volume dei sedimenti sabbiosi con l'arretramento della linea di riva.

Le caratteristiche principali della spiaggia sono in sintesi le seguenti:

- si affaccia a Sud Est sul Golfo sul Canale di Sardegna tra l'isola e l'Africa;
- è situata in un tratto di litorale riprodotto dai venti dominanti di maestrale;
- è esposta alle mareggiate del secondo quadrante;
- è soggetta a variazioni geomorfologiche stagionali e pluriennali a prevalente componente erosiva.

Nel tratto di spiaggia situato di fronte al Forte Village si è evidenziata negli ultimi anni una scarsa resilienza dell'arenile che anche con le modeste mareggiate estive subisce riduzioni significative della superficie della spiaggia emersa.

In particolare la naturale variabilità stagionale della spiaggia, ha fatto registrare negli ultimi anni situazioni di criticità per il permanere anche d'estate di un assetto dell'arenile caratterizzato da volumi di sabbia insufficienti, affioramenti di ciottoli e scogli del substrato roccioso e una notevole riduzione dell'estensione superficiale dell'arenile.

Tale situazione ha provocato notevoli disagi nella fruizione turistico balneare della spiaggia e un impatto negativo sul pregio paesaggistico e ambientale della spiaggia e sull'immagine del resort.

#### Cosa è stato fatto.

Per mitigare le intense erosioni sono stati eseguiti recentemente interventi di ricarica della spiaggia emersa con prelievo di sabbia sottomarina dai fondali antistanti.

Questi interventi, sono stati ripetuti annualmente dal 2018 al 2021, con spostamento di volumi di sabbia via via crescenti, che tuttavia hanno sempre avuto una durata effimera e limitata alla sola stagione di esecuzione.

#### Opzioni di gestione e strategie di intervento possibili.

Le possibili scelte gestionali che si presentano, possono ricondursi alle seguenti opzioni:

- a) Pianificare la manutenzione programmata pluriennale definendo i criteri da adottare e le caratteristiche qualitative, quantitative e temporali delle attività di manutentive efficaci, stabilendo le caratteristiche dimensionali della spiaggia, la posizione media della linea di riva e i volumi di sabbia al di sotto dei quali l'attuazione degli interventi risarcitori e di ripristino, possano essere effettuati con la necessaria prontezza. (opere manutentive di ricarica della spiaggia e/o di ripascimenti periodici non protetti).
- b) Predisporre un progetto di difesa del tratto di litorale, idoneo a favorire la stabilizzazione dell'arenile con caratteristiche dimensionali idonee alla fruizione turistico-balneare e a far assumere al tratto di litorale una configurazione e un assetto geomorfologico di maggior resilienza.
- c) La terza opzione, contemplata solo per doverosa analisi di confronto, è quella di non attuare alcun intervento di prevenzione (opzione zero) limitando gli interventi a quelli necessari "ex post" per i ripristini e i risarcimenti.

Fino ad oggi si è proceduto con le opzioni (a) e (c) intervenendo annualmente con opere di ricarica e riprofilatura della spiaggia, proporzionate alle insufficienze di sabbia rilevate o intervenendo "ex post" a rimediare alle criticità.

Tuttavia questo approccio si è rivelato poco efficace, soprattutto per la durata piuttosto effimera degli interventi, e in particolare delle opere di ampliamento della superficie della spiaggia che, come già detto, anche con mareggiate estive di modesta entità subisce spesso riduzioni significative.

L'approccio ha inoltre evidenziato ulteriori criticità quali: la necessità di eseguire gli interventi risarcitori e manutentivi dopo le mareggiate invernali, che spesso si manifestano con violenza fino a tarda primavera, con la difficoltà di conciliare i tempi dei lavori con l'imminenza della stagione.

La conseguenza è stata quella di trovarsi ad eseguire lavori a stagione iniziata, di dover operare in orari notturni e con le ulteriori difficoltà legate alle tempistiche burocratico-autorizzative. È inoltre da evidenziare, non ultima, la criticità dovuta agli alti costi degli interventi, sproporzionata rispetto alla loro efficacia e effimera durata.

Il presente progetto preliminare si propone di sviluppare la scelta gestionale di tipo (b), pertanto si propone di individuare le possibili opere di protezione della spiaggia, idonee a favorirne l'espansione e a conferire al litorale nel suo complesso una configurazione geomorfologica di maggior stabilità stagionale e pluriennale.

Le opere di protezione idonee a incidere sull'assetto idraulico-marittimo e sedimentario della spiaggia, sono costituite tipicamente da barriere e/o pennelli diversamente conformati e orientati.

Nel caso in progetto, in considerazione della valenza turistica del paraggio, le opere individuate in via preliminare quali "efficaci", sono state anche opportunamente "disegnate" in funzione dell'aspetto estetico e dell'inserimento nel contesto del paesaggio e dell'ambiente in modo da essere percepite come scogli e scogliere "naturali".

## **INTRODUZIONE**

### **a – Esito della procedura di assoggettabilità a VIA**

Il presente progetto è la riproposizione del Progetto dell'intervento denominato “Opere di protezione e stabilizzazione morfologica della spiaggia antistante il Forte Village resort” già sottoposto a procedura di “Verifica di assoggettabilità alla V.I.A.” in esito alla quale la Giunta regionale DGR N. 30/44 DEL 30.09.2022 ha deliberato di sottoporre a ulteriore procedura di V.I.A l'intervento proposto.

Nella Deliberazione 30/44 la RAS riferisce sui seguenti punti evidenziati dal Servizio V.I.A a conclusione dell'istruttoria, circa la possibilità di escludere impatti ambientali negativi e significativi dell'intervento.

#### **1 – Motivazioni dell'intervento**

*1.1 - Il cambio di strategia rispetto al progetto assoggettato a VIA nel 2009 non è sufficientemente motivato; non è sufficientemente sviluppata una attenta disamina dei dati di monitoraggio raccolti in oltre un decennio e la valutazione sull'efficacia delle opere proposte e realizzate.*

*1.2 – Risulta necessario esaminare più soluzioni alternative valutando anche, per quanto possibile, interventi volti alla rinaturalizzazione dei luoghi; la inefficacia del riallineamento gestito (arretramento di infrastrutture ed edifici) a causa dell'assetto geomorfologico della scarpata non è sufficientemente motivato.*

#### **2 – Caratteristiche del progetto.**

*Si richiedono chiarimenti e approfondimenti relativi alle seguenti caratteristiche progettuali:*

*2.1 – approfondimento sui materiali di costruzione delle scogliere; ...caratteristiche cromatiche e proprietà tecniche degli scogli naturali e compatibilità col contesto ambientale... valutazione sul grado di alterazione del paesaggio dell'area d'intervento... indicazioni univoche e specifiche sulla scelta dei materiali;*

*2.2 – prelievo di sabbia dalla spiaggia sommersa; ... quantificazione del “ripascimento” e stime aggiornate dei quantitativi necessari e disamina dei potenziali impatti derivanti dalla sovrapposizione della zona di prelievo nelle due distinte progettazioni... descrizione attestante la parziale o totale ricostituzione della risorsa disponibile in relazione alla fine lavori in corso;*

*2.3 – potenziali pericoli per la balneazione dovuti alle scogliere;*

*2.4 – manca un adeguato piano di monitoraggio degli effetti e la descrizione delle eventuali opere correttive prevedibili; manca un adeguato piano di monitoraggio degli habitat marini; manca un adeguato piano di monitoraggio degli effetti delle opere, esteso a tutta l'unità fisiografica;*

*2.5 – manca la valutazione degli impatti durante la fase di cantiere (viabilità, occupazione suolo, disagi per la popolazione)*

#### **3 – Potenziali impatti ambientali**

*Si richiedono approfondimenti relativi ai seguenti impatti:*

*3.1 – impatto sul paesaggio e “rendering” (cromatismi, e punti di vista)*

*3.2 – impatto sulla morfologia costiera (approfondimenti relativi a tutta l'unità fisiografica)... emergono incoerenze di valutazione degli effetti su alcuni tratti del litorale sabbioso, a fronte dell'incertezza dei risultati attesi sugli equilibri costieri delle spiagge emerse, in particolare di quelle poste a sud ovest della suddetta proposta d'intervento sino a Cala Bernardini, si ritiene indispensabile un approfondimento dello*

*studio, che permetta di valutare, con ragionevole certezza, se l'intervento possa produrre od escludere eventuali effetti negativi e permanenti nella Sub Unità Gestionale 2 (SUG2);*

*3.3 – impatto sul posidonieto esistente e in generale sulla componente biotica (caratterizzazione puntuale del fondale e tracciamento subacqueo delle opere sul fondale) opere di compensazione-mitigazione degli impatti.*

Nel segnalare tali criticità indica che il progetto da sottoporre a VIA dovrà essere corredato dei seguenti approfondimenti:

- 1 - Studio meteomarinario completo con ottimizzazione degli interventi, volumi dei sedimenti da movimentare e impatti sul litorale non protetto al contorno.
- 2 – Valutare la compatibilità del progetto (con riferimento al quadro programmatico) con i vari dispositivi di Variante al Piano Urbanistico Provinciale (P.U.P) in adeguamento al Piano Paesaggistico Regionale (P.P.R.).
- 3 – Contemplare soluzioni alternative basate sulla disamina dei dati di monitoraggio raccolti, prendendo in considerazione anche ipotesi di rinaturalizzazione dei luoghi e individuando quella che mitiga gli impatti tra le diverse matrici ambientali e basate su analisi costi-benefici;
- 4 - analisi costi-benefici sulla base della quale la Proponente ha individuato la soluzione proposta (tra cui la “alternativa zero”) evidenziando ricadute socio-economiche in termini produttivi e occupazionali.
- 5 – Approfondire le osservazioni della Capitaneria di Porto in merito agli aspetti di sicurezza per la balneazione.
- 6 – Includere:
  - lo Studio previsionale di impatto acustico.
  - il Piano di monitoraggio ambientale (P.M.A.), ai sensi delle Linee Guida I.S.P.R.A.
  - il Piano di gestione delle terre e rocce da scavo, (contenuti condivisi con ARPA.S dip.Cagliari e Medio Campidano).
- 7 – Contenere il Piano di Cantierizzazione e valutazione dei relativi impatti.
- 8 – Individuare univocamente i siti di approvvigionamento dei materiali di cava e predisposizione di un protocollo di controllo in fase esecutiva (in concerto con ARPA.S e Città Metropolitana).
- 9 – Individuare univocamente le zone di prelievo dei sedimenti dalla spiaggia sommersa specificando se trattasi di prelievi “una tantum” o di ricariche periodiche (modalità, quantità e frequenza) e analisi dei relativi impatti.
- 10 – Impatto potenziale sul traffico derivante dal trasporto dei massi su ruota.

#### **b – Aggiornamenti e approfondimenti progettuali effettuati**

La presente riproposizione del Progetto dell'intervento: “Opere di protezione e stabilizzazione morfologica della spiaggia antistante il Forte Village resort” in recepimento delle indicazioni della RAS è stata oggetto di una attenta revisione che ha comportato un ulteriore affinamento innanzitutto dello Studio idraulico marittimo e delle dinamiche di trasporto solido litoraneo.

In particolare è stata ottimizzata e ridefinita la posizione planimetrica e l'orientamento della barriera/isola centrale anche per evitare ogni sovrapposizione con il posidonieto esistente e con le matte isolate. Lo studio meteomarinario è stato pertanto radicalmente rielaborato con le simulazioni relative alla nuova configurazione e completato.



Dott. Ing. Franco Vigna

OPERE DI PROTEZIONE E STABILIZZAZIONE MORFOLOGICA DELLA SPIAGGIA DEL FORTE VILLAGE  
RELAZIONE TECNICA – NOV\_2022  
Pag. 6 di 31

Gli altri approfondimenti richiesti dalla RAS sono stati raccolti in Appendice alla presente relazione, organizzati in Paragrafi che seguono lo stesso ordine delle richieste di approfondimento evidenziate nella DGR 30/44.

## **1 - FINALITÀ DEL PROGETTO**

Il presente progetto preliminare riguarda il litorale di Santa Margherita di Pula e in particolare la spiaggia antistante il Forte Village resort che si intende proteggere con opere di difesa idonee a favorire configurazioni dimensionali idonee alla fruizione turistico-balneare (approccio "b" in premessa) e di maggior resilienza.

Le finalità e gli obiettivi del progetto sono in sintesi i seguenti:

### **Finalità:**

- Proteggere il tratto di spiaggia antistante il "Forte Village resort".
- Dare al tratto di spiaggia di circa 500m un assetto geomorfologico di maggior stabilità e resilienza con una superficie idonea alla gestione/fruizione della spiaggia nel periodo estivo, valutata<sup>1</sup> in via preliminare pari a circa 12.000m<sup>2</sup>. [(Superficie attuale della spiaggia  $\approx$  min. 6.000m<sup>2</sup>; Media estiva 8.000 Max 9.000m<sup>2</sup>(Maggio 2020)].
- Realizzare opere di protezione artificiali del tratto di litorale, idonee a favorire la stabilizzazione della linea di battigia e massimizzare la superficie della spiaggia, favorendo l'avanzamento della linea di riva e/o la formazione di salienti o tomboli (*realizzazione di scogliere artificiali emerse/sommerse, tipo barriere e/o pennelli*).
- Rimodellare l'assetto topografico e batimetrico della spiaggia con apporto di sabbie prelevate da cave sommerse compatibili (*opere di ripascimento*).

## **2 - FONDAMENTI GENERALI DEL PROGETTO**

La spiaggia di Santa Margherita di Pula, come già detto, rappresenta una notevole risorsa di alta valenza turistica e ricreativa.

Lo sviluppo di un progetto di difesa costiera efficace, rappresenta un tema complesso per gli aspetti critici che caratterizzano gli interventi che si propongono di incidere sulle dinamiche morfologiche del litorale e necessita di un approccio progettuale rigoroso e multidisciplinare che integri i temi di geomorfologia e sedimentologia, di idraulica marittima e ingegneria costiera, gli aspetti ambientali e paesaggistici, le esigenze di fruizione turistico ambientale del litorale.

Le esperienze condotte in ambito nazionale e internazionale offrono una ampia gamma di esperienze testimoniata da molteplici progetti realizzati e da numerosi studi di ricerca in ambito accademico, che forniscono sempre maggiori elementi nella conoscenza dei fenomeni di dinamica e di difesa delle coste e dei metodi di adattamento e mitigazione dei danni.

Gli studi e le esperienze pregresse hanno evidenziato la criticità della spiaggia in cui, l'azione di una mareggiata anche in un breve intervallo temporale, può produrre un'accentuata erosione e la perdita di un patrimonio ambientale ed economico di notevole pregio.

---

<sup>1</sup> Configurazione analoga alle condizioni di massima estensione rilevate nel corso del tempo e ritenuta soddisfacente e ottimale per le finalità del progetto. La gestione del resort ha registrato in passato, nelle numerose stagioni in cui l'arenile ha assunto la sua miglior estensione, una larghezza media di circa 28m che consentiva la installazione lungo i 450m lineari di concessione di oltre 1.500 postazioni di ombrelloni lasciando libera la fascia di rispetto della battigia (5m) e le vie di accesso al mare con una superficie complessiva stimabile in circa 13.000m<sup>2</sup>.



Gli interventi di “*managed realignment*” eseguiti finora con ricarica di sabbia sottomarina si sono regolarmente vanificati nell'arco di pochi mesi e si è reso necessario un cambio di strategia, più adeguato al contesto e alla gestione e conservazione della risorsa sabbiosa del litorale.

L'esigenza di pervenire ad una soluzione più duratura di stabilizzazione dell'arenile ha ispirato la predisposizione di un progetto di protezione della spiaggia volta a ridurre l'energia ondosa che raggiunge la battigia.

Il presente progetto preliminare è stato sviluppato tenendo conto degli studi pregressi nei quali sono state analizzate le caratteristiche fisiche e i regimi morfodinamici e idrodinamici del paraggio, con l'ausilio di modellistica numerica mediante il modello Delft3D (FLOW e WAVE)<sup>2</sup>, e dalla osservazione attenta delle caratteristiche dello specifico ambito.

Per lo sviluppo del presente progetto lo studio idraulico marittimo e l'analisi del trasporto solido litoraneo sono state totalmente rielaborate con l'ausilio di modellistica numerica, utilizzando i software sviluppati da DHI<sup>3</sup>.

In particolare, per la simulazione delle dinamiche costiere nel paraggio in esame sono stati utilizzati modelli di trasporto solido litoraneo (LITPACK); per la simulazione bidimensionale dei campi d'onda, dell'idrodinamica locale e della capacità di trasporto sedimentario i moduli MIKE 21. Per la caratterizzazione meteomarina al largo del sito di studio si è fatto riferimento a un database di vento ed onda ad elevata risoluzione disponibile sull'intero bacino del Mar Mediterraneo, [Mediterranean Wind Wave Model (MWM)]<sup>4</sup>

La soluzione prescelta prevede interventi di tipo "rigido" e "morbido" con una combinazione di opere di difesa e apporto di sedimenti.

Il volume di sedimenti da movimentare è stato proporzionato alla quantità necessaria all'ottenimento della superficie di spiaggia che il progetto si propone di stabilizzare in modo che il bilancio sedimentario di accrescimento non avvenga a "spese" dell'arenile al contorno.

La configurazione delle opere è stata studiata per stabilizzare il tratto di litorale e per la conservazione della spiaggia e per la mitigazione degli effetti critici delle opere rigide sia nell'ambito dell'intervento che sul litorale al contorno.

Le opere di protezione e in particolare le tre barriere-isolotti artificiali sono stati inoltre "disegnati" tenendo conto della morfologia dei fondali con la presenza di scogli naturali sommersi e affioranti in modo di dare luogo a un disegno irregolare delle barriere in modo da far assumere agli "isolotti" un aspetto naturale integrato con il paesaggio e con l'ambiente.

Le zone di prelievo dei sedimenti di ricarica della spiaggia hanno tenuto anche conto dell'effetto sinergico della modellazione dei fondali antistanti le opere (reconfiguration dredging).

La sintesi dei principali elementi che caratterizzano il contesto litoraneo<sup>5</sup> sono riportati di seguito.

---

<sup>2</sup> Software prodotto da Deltares (Netherlands) utilizzato nel Progetto 2019 assoggettato a VIA (VEDI NOTA 1)

<sup>3</sup> DHI group Agern Allé 5 DK-2970 Hørsholm Denmark - DHI Italia - [www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com)

<sup>4</sup> Database prodotto da DHI in collaborazione con HyMOLab (Hydrodynamics and Met-Ocean Laboratory), struttura del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università di Trieste.

<sup>5</sup> Rif. Progetto 2019 assoggettato a VIA (VEDI NOTA 1)



**Fig.1 - Vista aerea della spiaggia del Forte Village agosto 2021**

## **2.1 - Caratteristiche del paraggio e definizione dell'Unità fisiografica**

Il tratto di litorale preso in considerazione fa parte del tratto di costa orientato secondo una linea SW-NE che chiude verso Ovest il Golfo di Cagliari e che si estende da Capo Spartivento a Capo di Pula (Nora).

All'interno di questa porzione di litorale è stato individuato un sistema che appare sostanzialmente "chiuso" in termini di trasporto longitudinale dei sedimenti che ha portato a individuare l'Unità Fisiografica del progetto nel tratto di litorale sabbioso che si estende da SW verso NE, da Cala Bernardini all'imboccatura del porticciolo di Cala Verde.

L'unità fisiografica individuata è suddivisa in due Sub-unità gestionali (o micro-celle) caratterizzate da un diverso assetto geomorfologico dei fondali antistanti con differenti caratteristiche di vulnerabilità rispetto ai fenomeni erosivi.

In particolare la Sub-unità gestionale (o micro-cella) che comprende il tratto litoraneo fra Cala Verde e la zona del Forte Village, è caratterizzata dalla influenza del substrato roccioso sommerso che si estende su profondità inferiori alla profondità di chiusura media della spiaggia con una serie di strutture rocciose a banchi che impediscono di fatto la formazione della barra sommersa.

L'Unità fisiografica individuata risulta ben ridossata dai venti di Maestrale da un massiccio montuoso (Is Cannoneris) e dalle colline retrostanti la pianura litoranea che a meno di due chilometri dalla costa raggiungono altezze di oltre 450m sul livello del mare.

Il regime di moto ondoso evidenzia che gli eventi più frequenti sono concentrati nei settori da Scirocco/Levante e Mezzogiorno/Libeccio.

In particolare le mareggiate più intense provengono tutte dal settore di Scirocco.

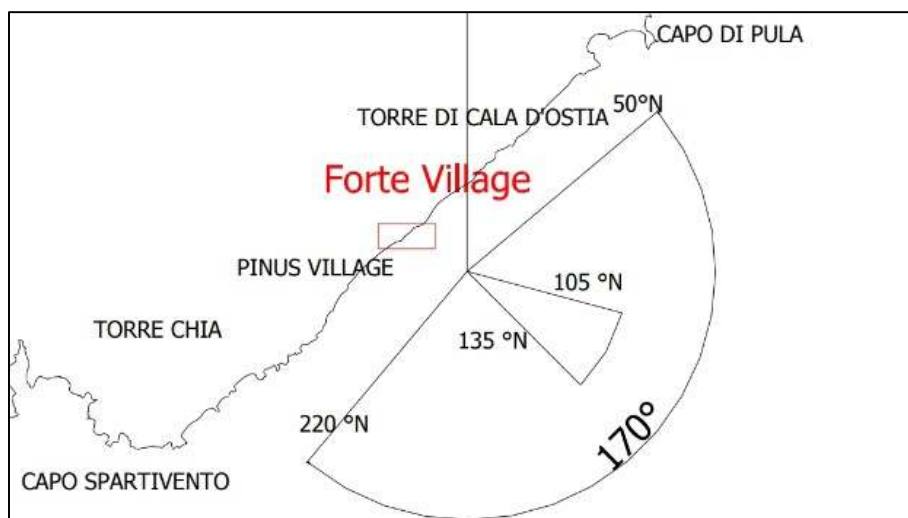
La risultante della direzione media energetica annua è stata individuata tra i 127° ed i 133°.



**Fig.2 - Localizzazione del paraggio, Unità fisiografica e le due "Sub Unità Gestionali" individuate**

## 2.2 - Regime anemologico e di moto ondoso

Il tratto di costa è esposto ad un settore di traversia di circa 170° (da 50° a 220°).



**Fig.3 - Settore di traversia**

Il regime anemologico pone in evidenza il vento di Maestrale come vento regnante e dominante; i venti provenienti dal secondo quadrante (traversia) hanno tuttavia una frequenza significativa con netta prevalenza di Scirocco.

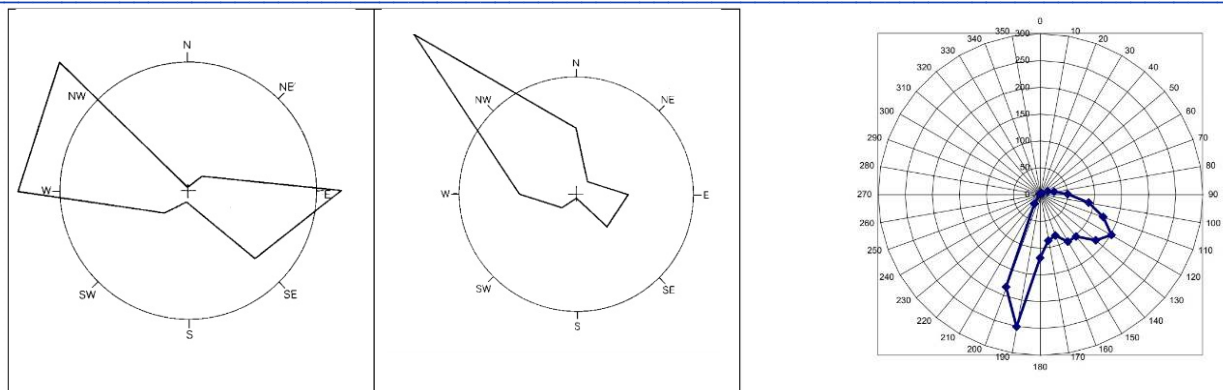


Fig.4 - Regime anemologico (Sn) e di moto ondoso (Dx)

### 2.3 - Dinamiche geomorfologiche

La valutazione delle dinamiche di trasporto e dei processi fisici utilizzati nel presente progetto preliminare sono basati: sugli studi pregressi, sulle osservazioni pluriennali della tendenza evolutive del litorale rilevate nel corso del tempo e in particolare negli ultimi anni, sulla più recente modellazione numerica eseguita da DHI.

La profondità di chiusura ( $P_c$ ) della spiaggia<sup>6</sup>, valutata con la seguente relazione<sup>7</sup>:

$$P_c = 1.6 \times H_{0.12}$$

dove  $H_{0.12}$  rappresenta il valore dell'altezza significativa delle onde corrispondente ad una durata di 12 ore/anno. Nel nostro caso con  $H_{0.12} = 3,2m$  la profondità di chiusura della spiaggia è di circa 5,00m (analiticamente 5,12m)

Esprimendo la pendenza trasversale con la seguente relazione<sup>8</sup> che lega la profondità  $D$  alla distanza dalla linea di riva  $Y$  in funzione del parametro  $A$  (*semiempirico*) che tiene conto del diametro caratteristico dei sedimenti che costituiscono la spiaggia attiva  $D_{50}$ <sup>9</sup>:

$$P = A \cdot Y^{2/3}$$

Nel nostro caso con  $A = 0,13245$  ponendo  $P = P_c = 5,00m$  la distanza dalla costa della isobata dovrebbe essere:

$$Y = (P/A)^{3/2} ; Y = 232m$$

Tale valore corrisponde a quello rilevato nella Sub Unità Gestionale 2 (parte dell'unità fisiografica verso SW), mentre nella Sub Unità Gestionale 1 che comprende il tratto di spiaggia di fronte al Forte Village i fondali con profondità -5,00m si estendono fino a 400m dalla riva per la presenza di affioramenti rocciosi (media distanza della isobata -5,00m circa 350m dalla riva) che evidenzia le diverse caratteristiche geomorfologiche delle due sub celle individuate.

#### 2.3.1 - Trasporto solido costiero

<sup>6</sup> Profondità limite al di sotto della quale il profilo trasversale non subisce cambiamenti significativi ad opera del moto ondoso nel periodo in esame.

<sup>7</sup> Relazione di Hallermaier (1983).

<sup>8</sup> Bruun (1954) e Dean (1977).

<sup>9</sup> Moore 1982; Formule di Larson e Kraus (1992),  $A = 0,2275 (D_{50})^{0,496}$



L'evoluzione del litorale in base al trasporto dei sedimenti si può schematizzare nelle due componenti trasversale (ortogonale) alla linea di riva e longitudinale (parallelo) alla linea di riva.

La prima (trasversale) è causa principale dell'evoluzione a breve termine che produce le variazioni locali del profilo, mentre la seconda (longitudinale) influenza l'evoluzione della morfologia del litorale a medio/lungo termine.

Gli studi effettuati e le analisi delle dinamiche di trasporto nell'unità fisiografica individuata (da Cala Bernardini a Cala Verde) hanno evidenziato che le mareggiate da Scirocco determinano l'insorgenza di correnti litoranee parallele alla linea di costa dirette da est verso ovest; mentre gli eventi estremi da libeccio generano correnti litoranee inverse, con direzione da ovest verso est.

Le analisi pregresse hanno altresì evidenziato che le variazioni locali della batimetria e nella distribuzione dei sedimenti (stagionali e pluriennali) non hanno determinato variazioni sostanziali sull'andamento generale delle correnti litoranee.

In termini di correnti longitudinali è stato sostanzialmente confermato quanto pubblicato nel Programma Azione Coste, ovvero che la spiaggia è caratterizzata da un trasporto longitudinale sostanzialmente in equilibrio (con bilancio sedimentario nullo).

Per quanto riguarda le dinamiche di trasporto trasversali (perpendicolari alla linea di riva), il regime che si instaura durante le mareggiate invernali ha evidenziato che i sedimenti sabbiosi possono essere trasportati sino a centinaia di metri dalla linea di riva; durante il regime estivo il lento movimento trasversale dei sedimenti è più marcato dove le "barre" alimentano maggiormente gli scambi trasversali di accrescimento della linea di riva.

La dinamica trasversale presenta inoltre caratteristiche differenti nelle due "sub-unità gestionali" individuate nell'unità fisiografica, con un comportamento di alternanza stagionale più tipico e meno vulnerabile nella parte di spiaggia SW (da Cala Bernardini alla spiaggia di fronte a Abamar).

La parte di spiaggia a NE (da Abamar a Cala Verde) che comprende il tratto antistante il Forte Village, è caratterizzata da un assetto geomorfologico diverso, con il substrato roccioso a quote meno profonde che determinano un generale minor spessore del giacimento sabbioso litoraneo, con minor spessore del giacimento sedimentario litoraneo (spiaggia più "povera") e la presenza di consistenti affioramenti rocciosi nei fondali antistante la spiaggia anche a breve distanza dalla riva.

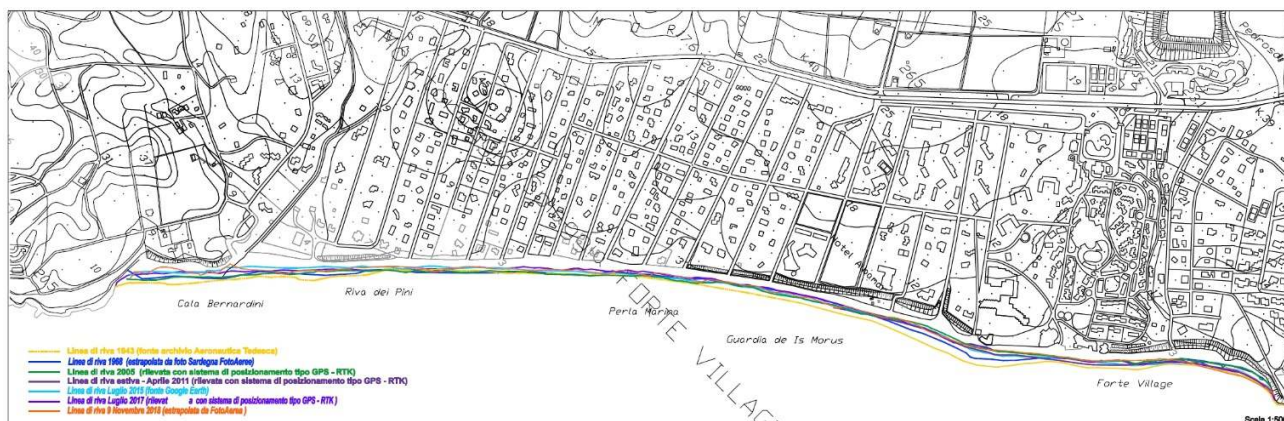
Tale aspetto geomorfologico interferisce con la dinamica stagionale della spiaggia, impedendo di fatto la formazione di vere e proprie barre sommerse, sia in configurazione estiva che invernale.

La spiaggia emersa presenta maggiori difficoltà a riformarsi e riprendere l'assetto estivo, sia per i minori volumi di sabbia disponibili ma anche per le difficoltà di rimobilitazione della sabbia sottratta d'inverno e "intrappolata" nelle anse del fondale roccioso. Inoltre negli ultimi anni il minor spessore dell'arenile, durante le mareggiate, fa assumere al tratto di litorale caratteristiche di maggior "rigidità" (con maggior componente riflettente) con un aumento della tendenza dissipativa trasversale dei sedimenti.

### 2.3.2 - Evoluzione della linea di riva;

L'analisi della evoluzione della linea di riva dell'intera spiaggia di Santa Margherita ha evidenziato nel lungo periodo una generale tendenza erosiva con il progressivo lento depauperamento del giacimento sabbioso litoraneo nel suo complesso.

La evoluzione della linea di riva nel corso del tempo e nel lungo periodo è schematizzata nella figura 4.<sup>10</sup>



**Fig.5 - Evoluzione della linea di riva 1943 ÷ 2018 (stralcio progetto 2019).**

Nel medio periodo, il confronto delle linee di riva a disposizione e i rilevamenti puntuali più recenti evidenziano, piuttosto che il fenomeno erosivo, la notevole instabilità longitudinale della spiaggia, con alternanza di fenomeni di accrescimento e arretramento della linea di riva lungo tutto lo sviluppo dell'unità fisiografica.

Si conferma il sostanziale equilibrio complessivo del trasporto longitudinale nel medio periodo; la progressiva riduzione del corpo sabbioso mette tuttavia in maggior evidenza soprattutto le variazioni di arretramento che danno luogo a criticità nei punti di maggior vulnerabilità.

Le osservazioni sul breve periodo hanno confermato lo stato di criticità del tratto di spiaggia antistante il Forte Village, dovuto alle peculiari caratteristiche geomorfologiche e alla maggiore tendenza dissipativa trasversale.

Tale criticità si è acuita negli ultimi anni con il progressivo maggior affioramento del substrato roccioso durante le mareggiate invernali che ha determinato l'instaurarsi di una più marcata variabilità stagionale in cui la maggior componente riflettente in inverno sembra influire in modo significativo sui tempi di rigenerazione della spiaggia e sull'entità dei volumi di accrescimento nel periodo estivo.

Si è rilevata la tendenza evolutiva di accrescimento della spiaggia nella estremità verso NE, in particolare alla radice del molo sud dell'imboccatura del porticciolo di Calaverde, evidentemente dovuta all'instaurarsi di nuovi equilibri (tipici) dopo la costruzione delle opere aggettanti.

Negli ultimi anni (2019÷2021) si è inoltre rilevato anche un accrescimento estivo significativo della spiaggia all'estremità SW verso Cala Bernardini, correlato con buona evidenza alla prevalenza della componente da scirocco del clima meteomarinario negli anni recenti.

Con riferimento alla suddivisione dell'unità fisiografica nei quattro tratti A, B, C, D come schematizzati nella seguente figura 5, l'analisi dell'evoluzione della linea di costa nel medio periodo di circa 10 ÷ 15 anni è sintetizzata come segue:

A - B: In queste parti del litorale si è registrata stagionalmente e su scala pluriennale una alternanza di tratti di spiaggia con linea di riva in avanzamento e tratti con linea di riva in arretramento con un sostanziale

<sup>10</sup> Stralcio Progetto 2019 assoggettato a VIA (VEDI NOTA 1)

equilibrio complessivo pluriennale (nel medio periodo la componente prevalentemente erosiva registrata nel lungo periodo è meno evidente).

- C: In questo tratto di spiaggia si è registrata una prevalenza dei fenomeni di arretramento con avanzamenti stagionali estivi generalmente insufficienti a ripristinare le condizioni degli anni precedenti, (la tendenza erosiva è evidente).
- D: In questo tratto di spiaggia si è registrata una tendenza evolutiva di accrescimento evidentemente dovuta all'instaurarsi di nuovi equilibri dopo la costruzione delle opere aggettanti del porticciolo di Calaverde.

L'evoluzione della linea di costa nel breve periodo 4 ÷ 5 anni è sintetizzata come segue:

- A: In questo tratto, recentemente si è registrata una prevalenza dell'accrescimento della spiaggia.
- B: Questo tratto anche nel breve termine si conferma un comportamento di alternanza di tratti di spiaggia con linea di riva in avanzamento e tratti con linea di riva in arretramento e con formazione invernale di alternanza di sporgenze e arretramenti e andamento estivo tendente a ripristinare l'andamento ad ampia arcata.
- C: In questo tratto di spiaggia i fenomeni di arretramento invernali si sono rilevati più marcati con modifica della risposta modale del litorale all'azione del moto ondoso (aumento di "rigidità" con maggior effetto riflettente e avanzamenti estivi generalmente insufficienti a ripristinare le condizioni degli anni precedenti) che hanno necessitato interventi di ricarica della spiaggia eseguiti negli anni 2018, 2019, 2020, 2021<sup>11</sup>.
- D: In questo tratto di spiaggia si è registrata una tendenza evolutiva di accrescimento evidentemente dovuta all'instaurarsi di un nuovo equilibrio dopo la costruzione dei moli aggettanti del porticciolo di Calaverde, con l'evidente accrescimento della spiaggia a ridosso del molo sud.



**Fig.6 - Tendenze evolutive di medio periodo (10÷15 anni) e breve periodo (3÷4anni set\_2021)**

### 2.3.3 - Caratteristiche dei sedimenti sabbiosi<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Vedi descrizione sintetica degli interventi nel successivo punto 2.3.4.

<sup>12</sup> I dati basati sui campionamenti delle sabbie sono contenuti nel Progetto 2019 assoggettato a VIA (VEDI NOTA 1)

La sabbia della spiaggia del Forte Village ha una composizione mineralogica costituita prevalentemente da Quarzo (57%) e Feldspati (28%) con una componente di Bioclasti (9%) e Frammenti litici (3%) e altri (3%); la composizione mineralogica ne caratterizza il colore chiaro con tonalità tipica.

Le caratteristiche petrografiche mostrano prevalenza di grani con grado di arrotondamento "subangolare" e in minor misura "subarrotondato".

La composizione granulometrica evidenzia una prevalenza di sabbia media-fine [*granulometria media: 3% (0,5mm); 32% (0,35mm); 57% (0,25mm); 8% (0,18mm); limi e argille assenti (0,19%)* ].

La composizione granulometrica, mineralogica e petrografica non presenta differenze rilevabili tra la spiaggia emersa e la spiaggia sommersa come è prevedibile data la notevole mobilità stagionale dell'arenile.

Il diametro caratteristico<sup>13</sup> della spiaggia attiva è  $D_{50} = 0,3236\text{mm}$ .

#### 2.3.4 - Interventi pregressi effettuati sul tratto di spiaggia del Forte Village

Si riporta di seguito una breve descrizione degli interventi effettuati negli ultimi anni, finalizzati a conservare l'aspetto e le dimensioni funzionali della spiaggia e a contrastare gli effetti dell'erosione.

2009 - E' stato realizzato un ripascimento della spiaggia di fronte al Forte Village (*progetto 2003 che prevedeva l'apporto di 15.000m<sup>3</sup> di sabbia di cava*). Nel mese di aprile furono sversati 1.491m<sup>3</sup> di sabbia proveniente da cave a terra (Badesi SS). L'intervento ha determinato il ricoprimento delle fondazioni delle opere di delimitazione della struttura alberghiera che risultavano totalmente scoperte. Nello stesso anno fu realizzato un progetto di "messa in sicurezza del litorale antistante il Forte Village (progetto 2006) e fu installata una barriera composta da 7 geotubi riempiti di sabbia di cava.

2014 ÷ 2017 - in seguito a una importante mareggiata (2013) che aveva irrimediabilmente compromesso le barriere queste furono rimosse riversando sulla spiaggia emersa i circa 1.400m<sup>3</sup> di sabbia di riempimento dei geotubi (800m<sup>3</sup> nel 2015 e 600m<sup>3</sup> nel 2017).

2018 - nei mesi di giugno e luglio è stato effettuato un intervento di "Ricarica" della spiaggia mediante la movimentazione di circa 1.000m<sup>3</sup> di sedimenti sabbiosi nello stesso ambito, prelevati dalla spiaggia sommersa e depositati sulla spiaggia emersa, mediante pompe draganti.

2019 - nel mese di giugno si è riproposto l'intervento dell'anno precedente, con modalità e quantità analoghe. Tuttavia le misurazioni effettuate a maggio hanno evidenziato un maggior deficit sedimentario dovuto alla formazione di solchi di erosione pluviale sulla spiaggia (*stagione particolarmente piovosa*) nonché da una eccezionale violenta mareggiata di scirocco a fine aprile 2019. Complessivamente sono stati pertanto movimentati circa 5.000m<sup>3</sup>.

2020 - nei mesi di luglio/agosto sono stati avviati i lavori di "Ripristino morfologico del tratto di litorale antistante il Forte Village" secondo il progetto assogettato a VIA e approvato nel dicembre 2019 che prevedeva la "ricarica" della spiaggia mediante la movimentazione di circa 26.000m<sup>3</sup> di sedimenti sabbiosi con le modalità analoghe a quelle degli anni precedenti.

In corso d'opera è stata disposta una variante per la realizzazione di una barriera provvisoria di geotubi, finalizzata a limitare la dispersione verso il largo dei sedimenti durante le operazioni di ricarica della spiaggia.

È stata installata la barriera provvisoria (19 geotubi di lunghezza 20m riempiti ciascuno con circa 60m<sup>3</sup> di sabbia; per la ricarica della spiaggia sono stati movimentati circa 6.850m<sup>3</sup>. I lavori sono stati sospesi il 12 agosto (totale sabbia movimentata ≈ 8.000m<sup>3</sup>).

<sup>13</sup>  $D_{50}$  = diametro in mm del vaglio che trattiene il 50% in peso del materiale.



2021 - nei mesi di luglio/agosto i lavori sono stati ripresi; sono stati movimentati circa 13.900m<sup>3</sup>. I lavori sono stati sospesi il 20 agosto.

2022 - nei mesi di giugno/luglio/agosto i lavori sono stati ripresi; sono stati movimentati circa 5.000m<sup>3</sup>. I lavori sono stati sospesi il 10 agosto.

Con gli interventi di ricarica della spiaggia, eseguiti negli ultimi cinque anni (2018 ÷ 2022), consistiti sostanzialmente nel riporto a terra di sabbia prelevata dalla spiaggia sommersa, si è in parte sopperito al depauperamento dimensionale e volumetrico dell'arenile nella stagione estiva.

Tuttavia questo approccio si è rivelato poco efficace, soprattutto per la durata piuttosto effimera degli interventi, e in particolare delle opere di ampliamento della superficie della spiaggia che, come già detto, anche con mareggiate estive di modesta entità subisce spesso riduzioni significative.

L'approccio ha inoltre evidenziato ulteriori criticità quali: la necessità di eseguire gli interventi risarcitori e manutentivi dopo le mareggiate invernali, che spesso si manifestano con violenza fino a tarda primavera, con la difficoltà di conciliare i tempi dei lavori con l'imminenza della stagione.

La conseguenza è stata quella di trovarsi ad eseguire lavori a stagione iniziata, di dover operare in orari notturni e con le ulteriori difficoltà legate alle tempistiche burocratico-autorizzative. È inoltre da evidenziare, non ultima, la criticità dovuta agli alti costi degli interventi, sproporzionata rispetto alla loro efficacia e effimera durata.



**Fig.7 - Fondali antistanti il Forte Village (assetto tipico estate 2018)**





**Fig.8 - Fondali antistanti il Forte Village dopo le mareggiate invernali (inverno 2021-2022)**  
 Si evidenzia la totale pressochè totale asportazione della sabbia dai fondali  
 con affioramento generalizzato del substrato roccioso

### **3 - OPERE DI PROTEZIONE DEL LITORALE**

Gli interventi di difesa costiera, che condizionano i processi di evoluzione morfologica del litorale in direzione degli obiettivi di progetto, presenta come noto diversi aspetti critici in quanto le opere artificiali oltre agli effetti primari per il raggiungimento delle finalità del progetto, sono sempre accompagnati da una serie di conseguenze che si manifestano a scale diverse sia sullo specifico ambito di intervento che sul il litorale al contorno e più in generale sull'intera unità fisiografica.

Il presente progetto è stato redatto per approssimazioni successive, valutando in via preliminare diverse ipotesi, verificandone efficacia e conseguenze con la modellazione numerica fino a definire infine a una configurazione ottimale delle opere di protezione del tratto di litorale e di efficace attenuazione dei fenomeni di instabilità del tratto di spiaggia e di minimo impatto al contorno.

Il progetto prevede inoltre, dopo la realizzazione delle opere "rigide" di protezione un intervento di ricarica dell'arenile, con movimentazione di sedimenti nello stesso ambito, con lo scopo di assegnare al tratto di litorale e ai fondali antistanti una configurazione quanto più simile possibile a quella di equilibrio "post opera", con la espansione della spiaggia emersa verso mare e con la formazione di ondulazioni dovute alla formazione di salienti e con caratteristiche dimensionali e qualitative della spiaggia emersa idonee alle finalità del progetto.

#### **3.1 - Tipologie di interventi presi in considerazione**

##### 3.1.1 - Scogliere "distaccate" dalla riva<sup>14</sup>

*Queste opere di difesa, generalmente realizzate con strutture longitudinali parallele alla riva, molto utilizzate in particolare nel litorale Adriatico, possono avere svariate caratteristiche relative a: distanza dalla riva; dimensioni; orientamenti paralleli o angolati; completamente o parzialmente emerse, trascinabili, sommerse; con berme di pendenza diversa o a doppia berma; realizzate con scogli naturali o elementi artificiali con diverse caratteristiche di porosità.*

*Offrono protezione al litorale riducendo l'energia del moto ondoso incidente; per diffrazione alle estremità inducono flussi convergenti che possono generare un saliente o un tombolo.*

*Le principali criticità riguardano le possibili erosioni al contorno (la sabbia trattenuta dalla zona protetta viene a mancare nell'arenile ai lati); l'accelerazione delle correnti longitudinali tra la barriera e la spiaggia con aumento dell'azione erosiva; le correnti di ritorno che si possono generano ai lati (o nei varchi in caso di barriere in serie) che favoriscono la dispersione di sedimenti verso il largo "spostando" il fenomeno erosivo che si voleva contrastare; come pure la "riflessione" delle onde nel lato verso il largo che può generare uno scalzamento della base di fondazione (possibili problemi di stabilità e di allontanando i sedimenti del fondale con sostanziale deficit sedimentario e modifica della pendenza della spiaggia sommersa); non ultime le criticità legate ad aspetti ambientali (qualità dell'acqua per minor ricambio e possibili fenomeni di accumulo di posidonia spiaggiata) e paesaggistici; la formazione di un saliente o un tombolo inoltre intercetta le correnti di trasporto lungo riva e determina un accrescimento sopraflutto e una più intensa erosione sottoflutto.*

*Tra le opere distaccate dalla riva sono state tenute in debito conto anche le scogliera a "isola" che possono essere di forma pressoché circolare o ellittica; la forma convessa verso il largo riduce gli effetti di riflessione delle onde verso il largo rispetto alla barriera lineare e risultano in genere più idonee alla formazione di salienti e tomboli per l'azione sinergica di rifrazione e di diffrazione.*

<sup>14</sup> Per ovvi motivi non sono state prese in considerazione opere di difesa "aderenti".

### 3.1.2 - Pennelli trasversali alla riva

*Come le barriere queste opere di difesa, possono avere svariate caratteristiche: dimensioni; orientamento, possono essere emersi, sommersi, tracimabili, di diverse forme (a I, a Y, a L) o ancora pennelli permeabili o semipermeabili; una particolare "famiglia" di pennelli trasversali è costituita dai setti trasversali emersi e/o soffolti e/o semipermeabili.*

*Offrono protezione principalmente riducendo il trasporto longitudinale, intercettando i sedimenti sul lato sopraflutto; Una delle maggiori criticità è dei pennelli oltre quelle in comune con le barriere distaccate è dovuta alla erosione alla testata che può determinare l'approfondimento del fondale (deficit sedimentario nella spiaggia sommersa e variazione delle pendenze); i pennelli tipicamente inducono un accrescimento della spiaggia sopraflutto e erosione sull'arenile sottoflutto.*

### 3.1.3 - Opere di riconfigurazione dei fondali:

*Alle opere di protezione del litorale possono essere associate tecniche cosiddette di "reconfiguration dredging", ossia interventi di dragaggio finalizzati alla riconfigurazione del fondale tendenti a modificare la formazione e direzione delle onde per rifrazione in modo da favorire una determinata configurazione della linea di riva; con la formazione di avvallamenti si modifica localmente la direzione delle onde spingendo la sabbia verso il tratto di litorale che si vuol preservare; la sabbia dragata potrà essere refluita all'interno della zona protetta dalle opere di difesa aumentando l'efficacia del sistema. Le criticità risiedono principalmente nella durata dell'intervento in quanto gli avvallamenti tendono a colmarsi nel corso del tempo.*

### 3.1.4 - Interventi di correzione granulometrica della sabbia

*La stabilità di un'opera di ripascimento dipende anche dalle caratteristiche granulometriche della sabbia, in generale aumentando le dimensioni del materiale utilizzato si ottiene una maggior stabilità e una maggior pendenza della spiaggia e un rapporto più favorevole tra il volume di sabbia versato e l'estensione della superficie dell'arenile; il miglioramento della permeabilità della sabbia corrisponde inoltre a una diminuzione dell'azione erosiva trasversale dovuta al "run-up"; le maggiori criticità sono dovute alla difficoltà di reperire sabbie con caratteristiche mineralogiche e petrografiche compatibili, nella maggior ripidità che assume la pendenza della battigia, e nel minor "comfort" della spiaggia.*

### 3.1.5 - Sistemi attivi di gestione della spiaggia (Beach Management System):

*Si tratta di impianti attivi che determinano un abbassamento della superficie freatica in modo da aumentare la stabilità del terreno granulare e eliminare/ridurre la tendenza a muoversi.*

*L'abbassamento mirato della superficie freatica in spiaggia crea una zona non satura al di sotto della fascia di battigia riducendo l'azione erosiva trasversale determinata dal fenomeno di "run-up" delle onde; l'acqua portata dall'onda viene in parte eliminata per drenaggio e il materiale solido presente nell'acqua tende a depositarsi sulla spiaggia; il processo continua sino a che l'avanzamento della linea di riva non raggiunge una nuova posizione di equilibrio.*

*In particolare durante le mareggiate più intense il sistema, favorendo la dissipazione per drenaggio delle acque spinte sulla spiaggia diminuisce il reflusso che trasportando verso il largo la sabbia rimossa dalla battigia provoca l'erosione della battigia, si ricostituiscono in parte, le condizioni di accrescimento della spiaggia che si verificano durante l'estate in cui il moto ondoso meno energetico e le conseguenti minori pendenze della berma risultano compatibili con i tempi di drenaggio della fascia di battigia favorendo il deposito.*



---

*L'efficacia di questa tecnica dipende dalla posizione planimetrica, dalla profondità di posa e dalla portata di drenaggio in funzione della permeabilità della spiaggia e una accurata posa dei tubi drenaggio; nella spiaggia in esame a causa della presenza del substrato roccioso irregolare e localizzato a modeste profondità questi sistemi non appaiono particolarmente idonei.*

### **3.2 - Scelte progettuali**

Dopo aver definito le finalità e le caratteristiche funzionali delle opere<sup>15</sup>, per redigere il presente progetto preliminare sono state ragionatamente esaminate e discusse le diverse e molteplici possibili opzioni di intervento individuando in via preliminare gli effetti prevedibili e gli aspetti critici.

L'esame delle opzioni possibili non ha trascurato le ipotesi di "riallineamento gestito" (*arretramento di infrastrutture ed edifici*) e di ripristino, (*interventi tendenti a ripristinare e preservare lo standard "originario"*). Tuttavia, in questo tratto di litorale, caratterizzato da un assetto geomorfologico tipizzato in una scarpata litoranea (retrospiaggia) piuttosto alta e ripida (da 1,50m fino a 3,00m), tali interventi non porterebbero alcun beneficio alla spiaggia.

Si è infine approdati alla presente proposta progettuale che prevede un intervento con opere di difesa del litorale e di avanzamento della linea di riva (*move seaward*).

Come già detto, le attività sono state predisposte con l'ausilio di opportuna modellistica numerica, utilizzando i software sviluppati da DHI e largamente impiegati a scala nazionale ed internazionale a supporto della progettazione di interventi di difesa costiera.

Per la simulazione delle dinamiche costiere nel paraggio in esame è stato impiegato il modello monodimensionale di trasporto solido litoraneo LITDRIFT, del pacchetto LITPACK, ed i moduli bidimensionali MIKE 21 SW – Spectral Waves, MIKE 21 HD – Hydrodynamics e MIKE 21 ST – Sand Transport, (simulazione bidimensionale rispettivamente dei campi d'onda, dell'idrodinamica locale e della capacità di trasporto sedimentario).

Per la caratterizzazione meteomarina al largo del sito di studio si è fatto riferimento al database Mediterranean Wind Wave Model (MWM), un complesso dataset di vento ed onda ad elevata risoluzione disponibile sull'intero bacino del Mar Mediterraneo, prodotto da DHI in collaborazione con HyMOLab (Hydrodynamics and Met-Ocean Laboratory), struttura del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università di Trieste.

La serie storica di 42 anni di dati di moto ondoso al largo, ricavata dal database MWM, è stata utilizzata come condizione al contorno di un modello dedicato, predisposto con lo scopo di propagare il moto ondoso fino a costa, tenendo conto delle principali trasformazioni che l'onda subisce nella sua propagazione verso riva (rifrazione, shoaling, attrito col fondo, frangimento).

I dati di onda propagati sottocosta, analizzati in alcuni punti significativi per il paraggio in esame, unitamente all'acquisizione ed analisi dei dati sedimentologici, hanno permesso di stimare il trasporto litoraneo in termini di direzioni del trasporto prevalente ed identificare la profondità di chiusura del sistema, ossia la profondità oltre la quale il trasporto di sedimenti si può considerare trascurabile.

Sulla base dei risultati della propagazione della serie ultra-quarantennale di moto ondoso, sono stati inoltre selezionati alcuni eventi rappresentativi, in termini di altezza d'onda significativa e direzione media di propagazione, finalizzati a ricostruire con elevato dettaglio le correnti litoranee tipiche dell'area e la distribuzione del trasporto sedimentario potenziale.

---

<sup>15</sup> Vedi Paragrafo 1

I risultati di questo sistema modellistico bidimensionale integrato onde-correnti-trasporto, predisposto per la configurazione attuale, hanno permesso di interpretare le dinamiche di trasporto sedimentario e di testare diverse configurazioni fino a pervenire allo schema di progetto.

La soluzione prescelta prevede la realizzazione di alcune strutture di tipo "rigido" di difesa della costa integrate con operazioni di avanzamento della linea di riva con ricarica dell'arenile.

La protezione della spiaggia sarà ottenuta mediante la realizzazione di barriere-isole frangiflutto emergenti (*detached breakwaters*), l'avanzamento della linea di riva fino a un assetto prossimo allo stato di equilibrio "post opera" sarà ottenuta mediante la movimentazione di sedimenti nello stesso ambito.

Le zone di prelievo dei sedimenti di ricarica dell'arenile, sono stati individuati nella spiaggia sommersa, a distanza di oltre 150m dalla attuale linea di riva tenendo conto anche conto dell'effetto sinergico della modellazione dei fondali antistanti le opere (*reconfiguration dredging*).

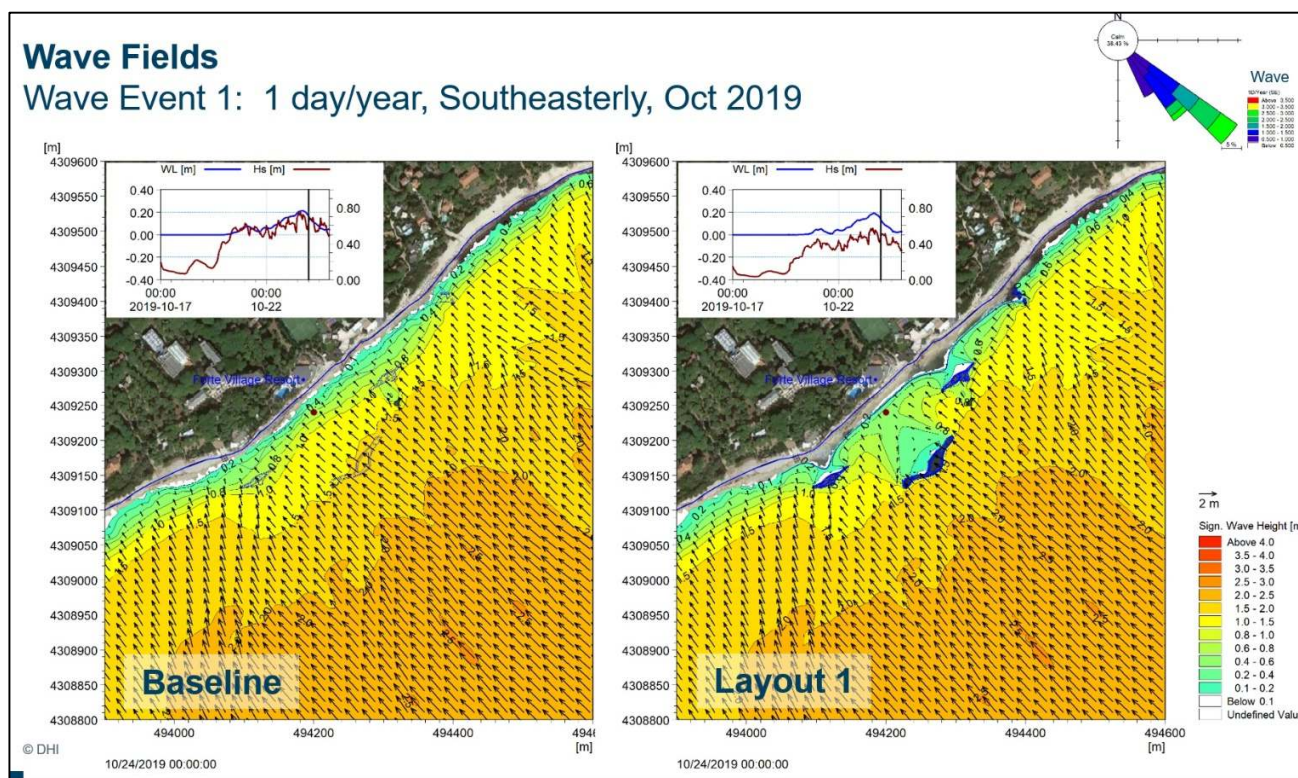


Fig.9 - Esempio di analisi degli effetti delle opere con impiego di modello numerico

### 3.3 - Descrizione delle opere

#### 3.3.1 - Barriera di protezione (isolotti artificiali)

Le tre barriere/isole in progetto sono state progettate dimensionate e posizionate in modo da assolvere a funzioni differenti.

La barriera o isolotto centrale situato a una distanza di circa 100m dalla attuale linea di riva ha la funzione principale di protezione generale del tratto di spiaggia provocando il frangimento del moto ondoso prima che possa giungere sulla spiaggia stessa, riducendo così drasticamente l'energia ondosa (isolotto "frangiflutti").

È costituita da una gettata di scogli naturali, conformata in modo irregolare in modo da farle assumere un aspetto di isolotto "naturale"; ha uno sviluppo in direzione SO-NE (parallela alla spiaggia) di circa 100m (misurata alla superficie del mare), una larghezza massima di circa 20m nella parte centrale che si rastrema verso le due estremità in modo irregolare fino a circa 5m; la profondità del fondale nel punto di realizzazione è compreso tra -2,00m e -2,50m; l'altezza sul livello del mare è irregolare (mediamente 0,80m) con altezze massime localizzate di 2,50m.

Le altre due barriere/isolotti frangiflutti sono posizionate a circa 40m dalla riva, hanno pertanto maggiori funzioni "modellanti" sulla spiaggia e sono state studiate con caratteristiche fisiche, dimensionali e posizionali, in modo che l'azione di protezione della spiaggia ne favorisca l'accrescimento con la formazione di salienti.

Le due barriere sono disposte a una distanza tra loro in modo da renderle pressochè "indipendenti"; sono costituite ciascuna da una struttura in scogli naturali con caratteristiche di impermeabilità e non tracimabilità nella parte centrale che si attenuano verso le due estremità<sup>16</sup> (*maggior passaggio di acqua*)

Tutte le barriere hanno una forma in pianta ellittica con parte foranea maggiormente arcuata (convessa) verso il largo<sup>17</sup>; le scogliere hanno una bassa pendenza verso il largo ( $i < 1/4 \approx 14^\circ$ ).

La distanza dalla linea di riva (attuale) è stata assunta in funzione del raggiungimento della configurazione di progetto ritenuta ottimale (*formazione di una superficie di arenile fruibile di circa 12.000m<sup>3</sup> con formazione di due tomboli o salienti*); la distanza del baricentro delle barriere è stata pertanto posizionata a circa 40m di distanza dalla linea di battigia media attuale (*rilievi 8/2020 ÷ 2/2021*) corrispondente a una profondità del fondale nel punto di realizzazione compreso tra -1,00m e -1,50m<sup>18</sup>.

Per quanto concerne la predizione della formazione di salienti o tomboli occorre precisare che la "risposta del litorale" (*shoreline response*) alle barriere di difesa è funzione di numerosi parametri: ( $L_b$ =Lunghezza della barriera;  $L_g$ =larghezza dei varchi;  $P_b$ =Profondità dei fondali di posa della barriera;  $Y_b$ = Distanza dalla costa;  $H$ =altezza onda incidente;  $T$ =periodo dell'onda;  $K_t$ =coefficiente di trasmissione;  $\vartheta$ =angolo di attacco ondos;  $D_{50}$ =diametro caratteristico dei sedimenti... etc.).

Nel dimensionamento si è fatto riferimento a diverse formule empiriche proposte in letteratura che mettono in relazione i parametri dimensionali.

In base al rapporto  $L_b/Y_b$  si può in via preliminare stabilire la formazione di tomboli, salienti; statisticamente infatti si è rilevato:

$L_b/Y_b < 0.2$	nessuna modifica significativa
$0.2 < L_b/Y_b < 1.5$	formazione di salienti
$1.5 \div 2 < L_b/Y_b$	formazione di tomboli

Un indicazione sulla tendenza alla formazione di un saliente è il seguente<sup>19</sup>:

$$I_s = e^{[1,72 - 0,41 (L_b/Y_b)]}$$

$I_s = 1$  formazione permanente di tomboli -  $I_s = 2$  formazione periodica di tomboli -  $I_s = 3$  Saliente ben sviluppato  $I_s = 4$  Saliente debole  $I_s = 5$  Nessuna sinuosità

<sup>16</sup> Le crescenti proprietà filtranti verso le estremità hanno lo scopo di ridurre i fenomeni erosivi alle estremità e migliorare il ricambio idrico nella zona protetta.

<sup>17</sup> La forma foranea convessa e la bassa pendenza diminuiscono la riflessione e inducono la rifrazione delle onde.

<sup>18</sup> Alla distanza di 40m secondo il profilo naturale della spiaggia (*vedi nota 5*) la profondità dovrebbe essere circa  $P = A \cdot Y^{2/3} = 1,54m$ .

<sup>19</sup> Indice di Ahrens & Cox 1990

Assegnando alla barriera larghezze  $B_b$  e lunghezze  $L_b$  in diverse combinazioni sono state assegnate le seguenti caratteristiche dimensionali:

$L_b = 60\text{m}$                       lunghezza della barriera  
 $B_b = 8\text{m}$                       larghezza media della barriera  
 $Y_b = 40 - (B_b/2) = 36\text{m}$     distanza dalla riva della barriera

La distanza tra le due barriere ( $L_G$ ) è stata assunta pari a due volte la dimensione delle barriere in modo da rendere il comportamento delle due strutture pressochè indipendente<sup>20</sup>.

$$L_G = 120\text{m}$$

Con questi parametri dimensionali si ha:

$$L_b / Y_b = 1,67 > 1,5$$

$$I_s = 2,82$$

Valori che indicano la formazione di un saliente ben sviluppato tendente alla formazione periodica di un tombolo.

Una prima valutazione sull'estensione del saliente ( $Y_s$ ) ha con la seguente relazione<sup>21</sup>

$$Y_s / Y_b = 1 - 0.678 (Y_b / L_b)^{0,215}$$

Nel nostro caso

$$Y_s = 14,36\text{m}$$

Considerando le due barriere e la distanza tra esse ( $L_G$ ) per la formazione di un tombolo o saliente dovrà essere:

$$(L_G \times Y_b) / L_b^2 > 0.5 (1 - K_t)$$

*( $K_t$  = coefficiente di trasmissione del moto ondoso<sup>22</sup>)*

Nel nostro caso, poiché le barriere hanno una distanza superiore al loro sviluppo ai fini della formazione dei salienti o tomboli presentano un comportamento sostanzialmente indipendente.

Le analisi della configurazione con i modelli numerici DHI hanno sostanzialmente confermato la tendenza alla conformazione della spiaggia ipotizzata in via preliminare. Si sta predisponendo una modellazione a scala ridotta, per calibrare e ottimizzare in fase esecutiva le opere e l'accrescimento della spiaggia.

Le barriere saranno realizzate in scogli naturali e come già accennato saranno costituite da una parte centrale, della lunghezza di circa 30m, di maggior larghezza, con nucleo non filtrante e con caratteristiche dimensionali (pendenze, larghezza e altezza sul livello del mare) che la rendano non tracimabile.

<sup>20</sup> La elevata distanza tra le due barriere pur rendendo sostanzialmente indipendente il funzionamento delle difese, presenta la criticità dovuta al possibile sommarsi degli effetti erosivi al termine delle due barriere accentuate dalle "rip current" che possono determinarsi nel "varco" nonostante la sua ampiezza.

<sup>21</sup> Hsu & Dilvester 1990

<sup>22</sup>  $K_t$  è il coefficiente di trasmissione del moto ondoso oltre la struttura di difesa; dipende da diverse variabili intrinseche e fattori estrinseci alle opere di difesa ed è espresso come rapporto tra l'onda incidente e quella trasmessa. In caso di strutture complesse è di difficile valutazione e può variare tra 0,075 (bassa trasmissione) e 0,80 (alta trasmissione). Nel caso in esame in considerazione della variabilità delle caratteristiche di permeabilità e tracimabilità che si intendono assegnare alle opere può essere assunto un valore pari a 0,3÷0,4 che corrisponde a un grado di trasmissione medio-basso.



Le due estremità laterali della scogliera, ciascuna di lunghezza circa 15m andranno a rastremarsi, in larghezza e altezza sul livello del mare, verso le estremità e avranno caratteristiche filtranti ottenute realizzando le estremità senza nucleo ma con l'impiego di soli scogli naturali di grandi dimensioni.

Le due barriere sono state disposte a una distanza di circa 120m l'una dall'altra in modo da renderle pressochè "indipendenti".

Per esigenze paesaggistiche le barriere saranno realizzate con sagome irregolari studiate/disegnate in modo da fargli assumere l'aspetto di un isolotto "naturale".

### 3.3.2 - Ricarica e riassetto morfologico della spiaggia.

Dopo la realizzazione delle opere di protezione, mediante apporto di sedimenti si darà alla spiaggia un assetto analogo allo stato di equilibrio che essa assumerebbe naturalmente nel corso del tempo per effetto delle opere di protezione realizzate. a la sarà ottenuta mediante la movimentazione di sedimenti nello stesso ambito.

Le zone di prelievo dei sedimenti di ricarica dell'arenile, sono stati individuati nella spiaggia sommersa, a distanza di oltre 150m dalla attuale linea di riva tenendo conto anche conto dell'effetto sinergico della modellazione dei fondali antistanti le opere (*reconfiguration dredging*).

### 3.3.3 - Pennello semitrasparente complementare.

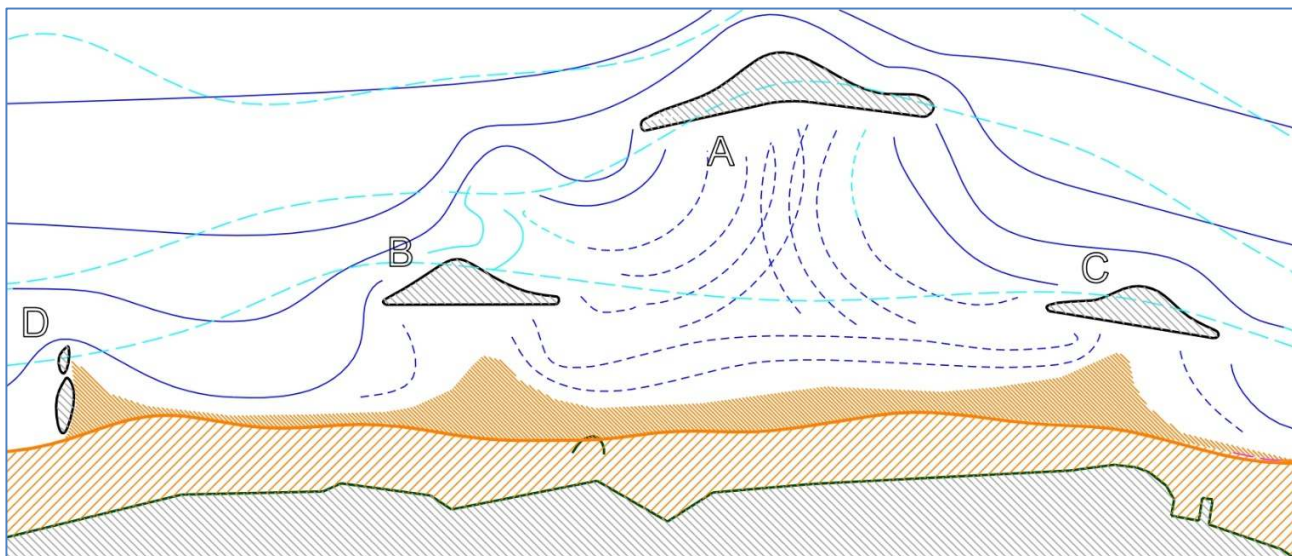
Oltre alle tre barriere/isolotti principali, è stata ipotizzata la realizzazione di un piccolo pennello "semitrasparente", posto a NE e della spiaggia protetta con lo scopo di intercettare il flusso longitudinale verso NE che si può innescare<sup>23</sup> in questa zona, durante le mareggiate più violente per il sopralzo di mare nella zona protetta. Il pennello è stato ubicato in corrispondenza di un affioramento roccioso già esistente, e ha una lunghezza di circa 25m e larghezza di 2,00m. Il pennello è realizzato con scogli naturali irregolari di diametro compreso tra 0,70m e 1,00m del peso singolo compreso tra 500 e 1500kg disposti in modo casuale. Con la modellazione a scala ridotta si calibreranno le caratteristiche dimensionali e di "trasparenza".



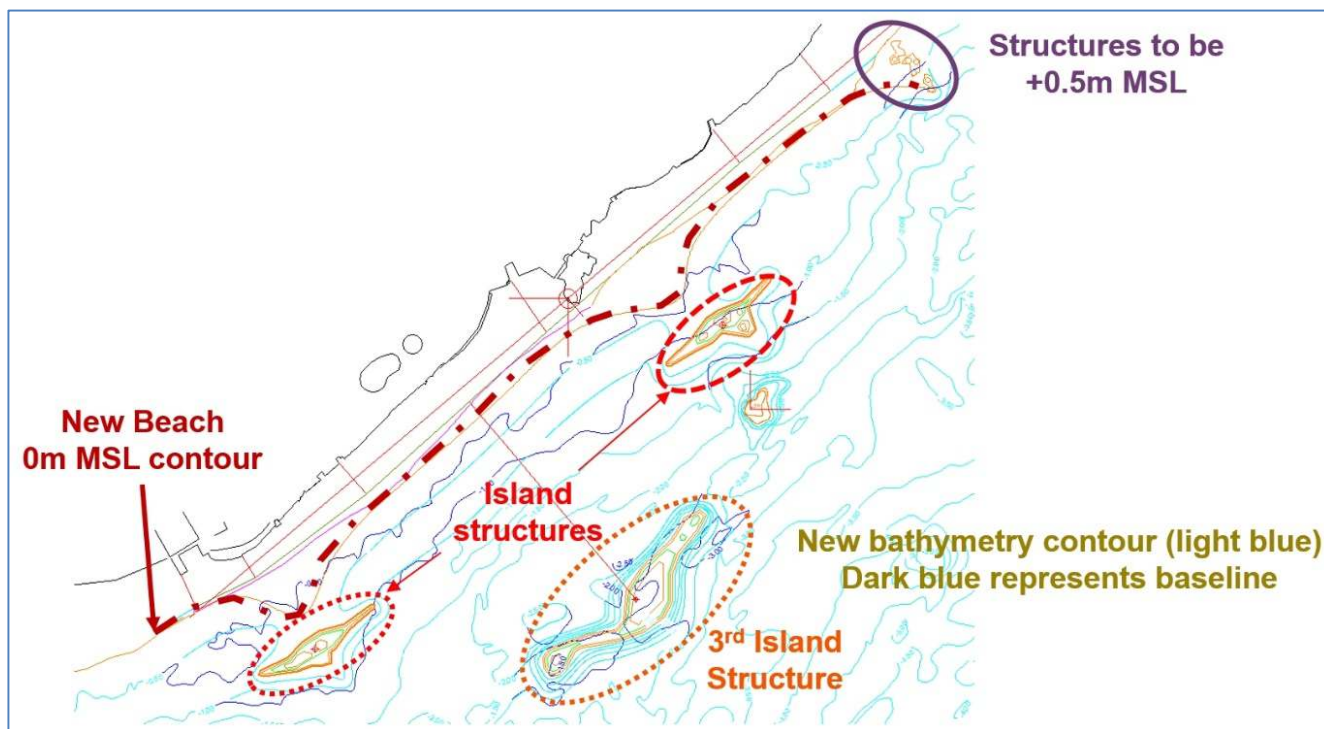
**Fig.10 - Simulazione delle opere in progetto su foto zenitale**

<sup>23</sup> Il substrato roccioso in questa zona è più profondo e costituisce una via preferenziale di uscita delle correnti alle estremità della zona protetta.

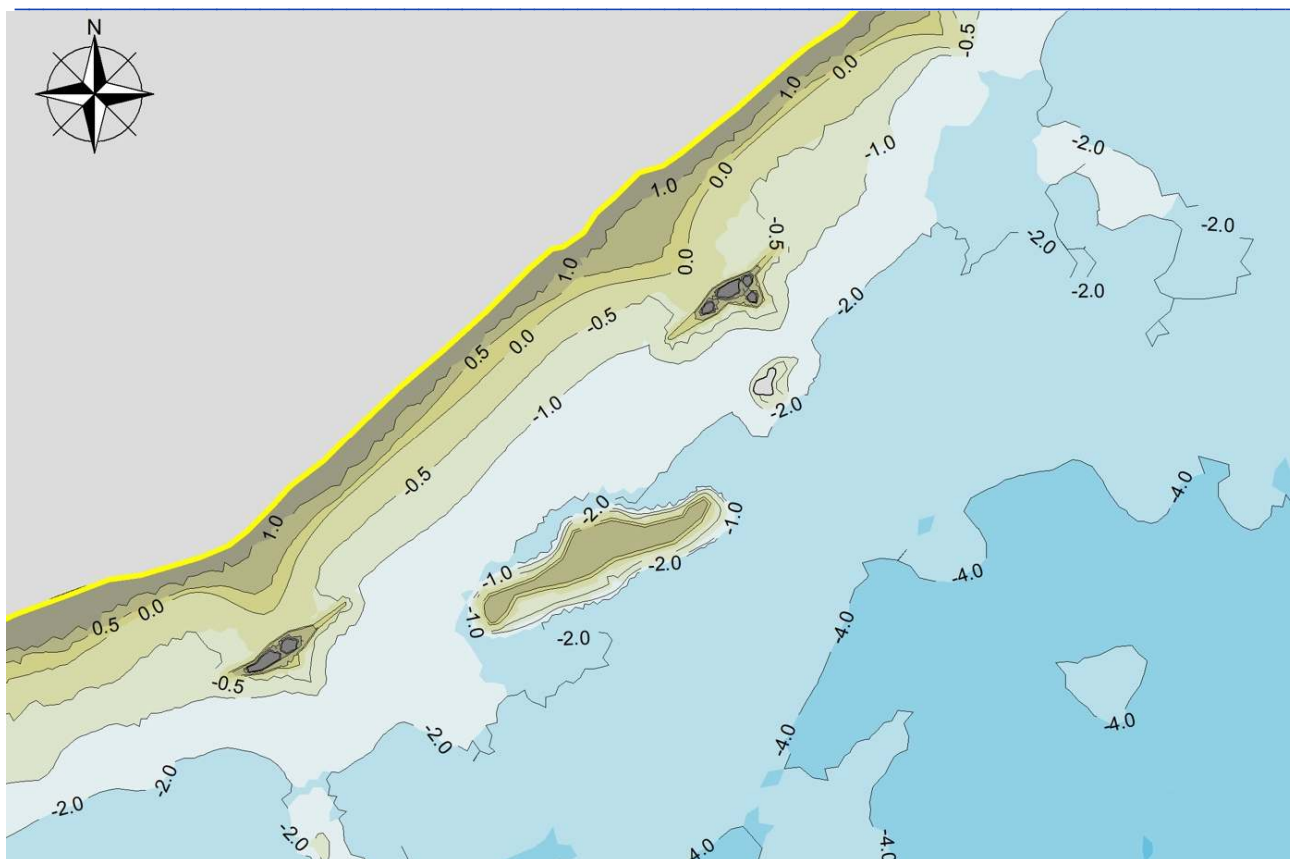
La rappresentazione schematica delle opere è riportata nelle figure seguenti:



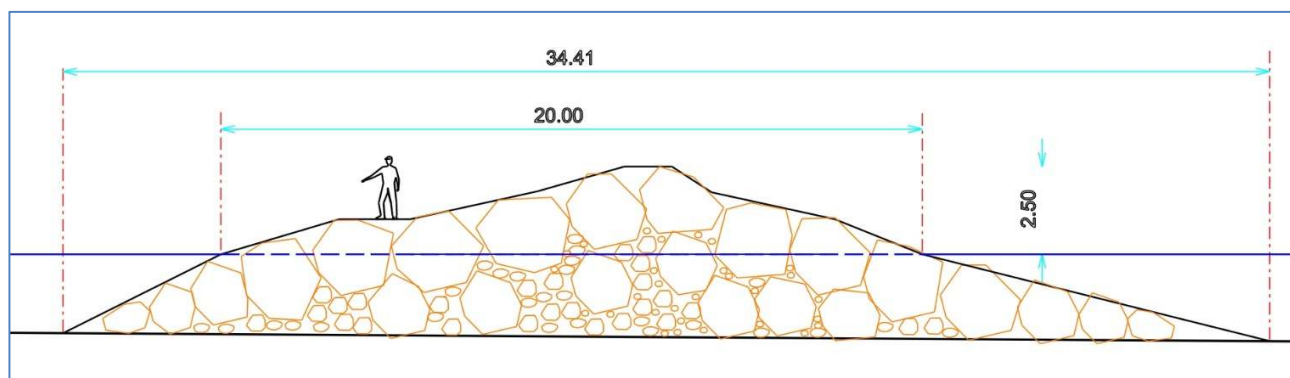
**Fig.11 - Opere in progetto e stima accrescimento della spiaggia**  
 (A-B-C: Scogliere/isolotti di protezione; D: pennello semipermeabile)



**Fig.12 - Schema Opere in progetto**

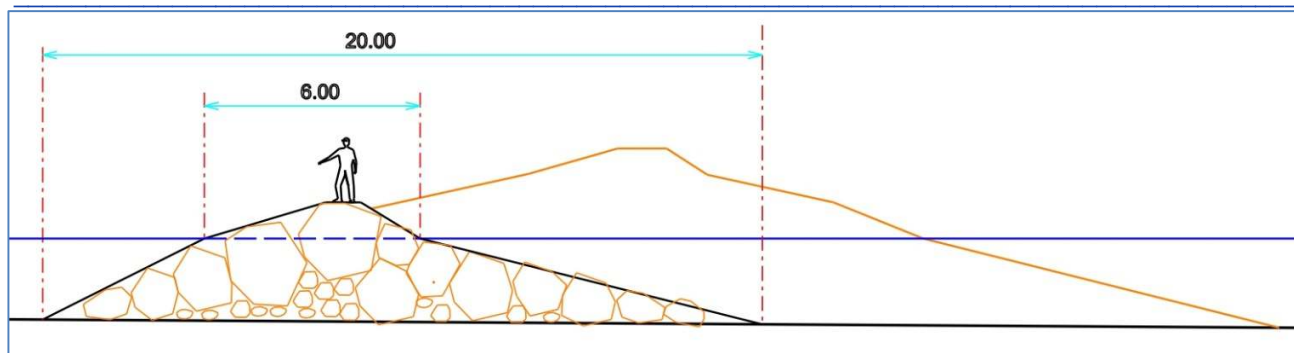


**Fig.13 - Opere in progetto e accrescimento della spiaggia (layout finale ottimizzato)**

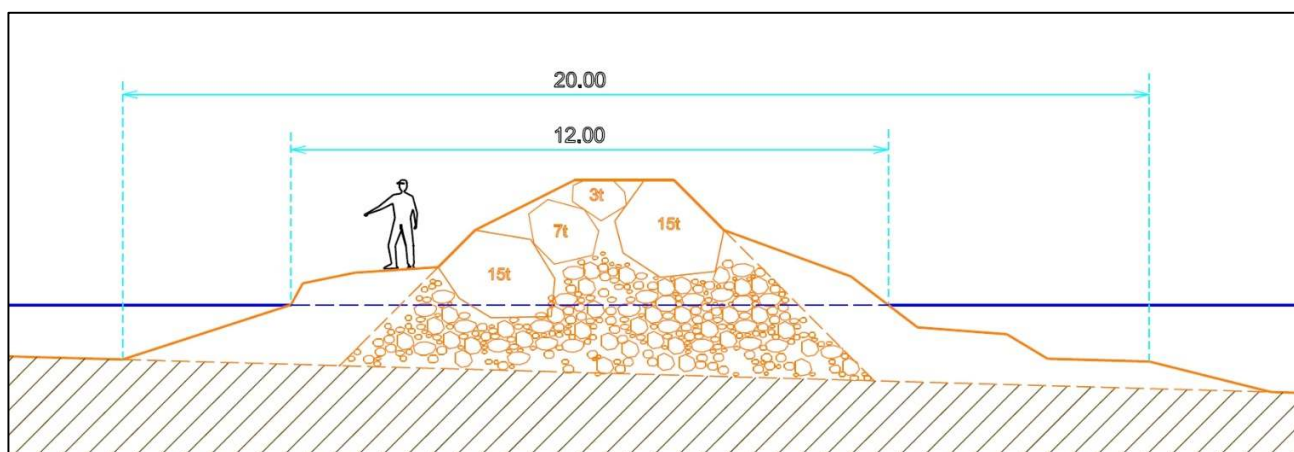


**Fig.14 - Sezione tipo trasversale, isolotto A**

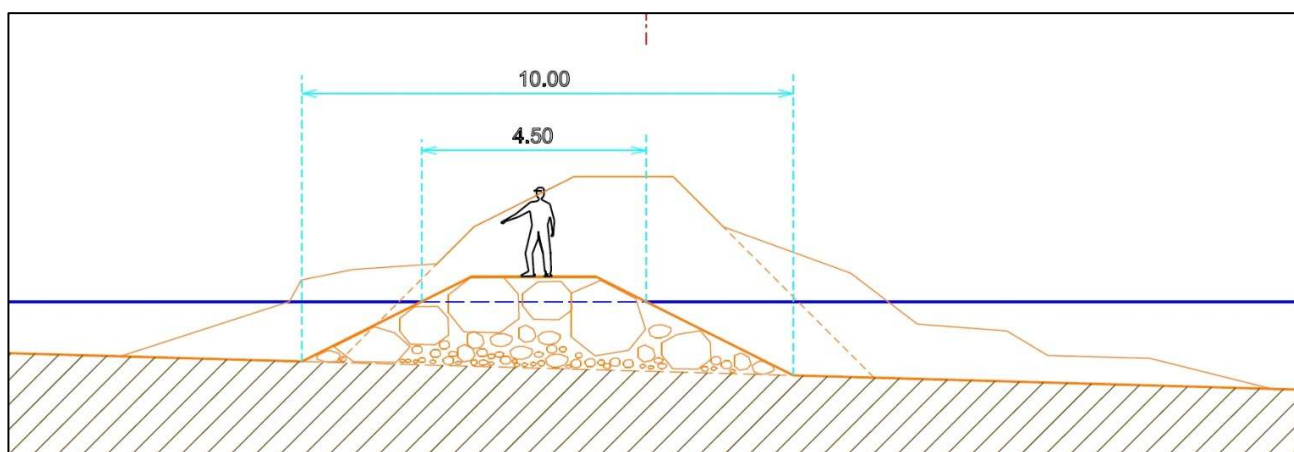




**Fig.15 - Sezione tipo trasversale delle estremità laterali dell'isolotto A**



**Fig.16 - Sezione tipo trasversale, centrale degli isolotti artificiali B e C**



**Fig.17 - Sezione tipo trasversale delle estremità laterali degli isolotti artificiali B e C**

### 3.3.4 - Scheda riepilogativa delle opere in progetto

OPERE DI DIFESA DEL LITORALE								
Descrizione	Materiali	Caratteristiche dimensionali						
		Distanza dalla riva (rif. 5/2020) min - max (m)		Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Altezza max sul l.m.m. (m)	Superficie emersa (+0,50 s.l.m.) (mq)	Volume (mc)
Isolotto A	Granito Basalto Trachite	90	110	100	20	2,5	1100	4.860
Isolotto B	Granito Basalto Trachite	32	48	60	16	2,5	450	1.274
Isolotto C	Granito Basalto Trachite	32	48	60	16	2,5	450	1.274
Pennello D	Granito Basalto Trachite	0	25	25	2	0,8	35	60

Per quanto riguarda i lavori di ricarica e riassetto morfologico della spiaggia che saranno eseguiti dopo la realizzazione delle opere di protezione i quantitativi di sabbia da movimentare saranno determinati alla data di esecuzione dei lavori in relazione all'assetto che avrà assunto la spiaggia in fase esecutiva.

Sulla base delle esperienze pregresse di ricarica eseguite negli anni 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e in relazione alle finalità del progetto si stima in via preliminare che sia necessario trasferire un volume di sabbia compreso tra 10.000 e 30.000m<sup>3</sup> (IL VOLUME SARÀ TUTTAVIA DETERMINATO IN FASE ESECUTIVA IN RELAZIONE ALL'AGGIORNAMENTO DEL RILIEVO DELLO STATO DEI LUOGHI)

Le zone di prelievo dei sedimenti sono ricomprese nelle aree già individuate e utilizzate per i lavori negli anni precedenti. In particolare sono state individuate tre aree di superficie pari a (7.900 + 10.600 + 22.500)= 40.700m<sup>2</sup> nelle quali è possibile prelevare sedimenti per spessori variabili tra 0,50m e 1,00m con un potenziale stimato di oltre 30.000m<sup>3</sup>.

#### 4 - MODALITÀ COSTRUTTIVE E MATERIALI NECESSARI

I lavori di costruzione delle scogliere/barriere/isolotti artificiali di difesa della spiaggia saranno eseguiti esclusivamente con mezzi marittimi. In particolare saranno impiegati uno o più pontoni semoventi muniti di gru idonei al trasporto e alla posa in opera di massi naturali del peso massimo di 20t.

I massi saranno approvvigionati nel porto di carico e trasportati mediante bettolina e/o pontone semovente fino al punto di posa in opera.

Complessivamente sono stati stimati necessari i seguenti quantitativi di massi:

Descrizione	U.M.	quantità
scogli prima cat (peso 50-1000kg)	t	1.448
scogli sec/terza cat (peso 1000-3000 kg)	t	1.930
scogli quarta cat (peso 3000 - 7000kg)	t	4.960
scogli speciali (peso 7000 - 2000kg e/o sagomati)	t	1.532
<b>totale massi naturali</b>	<b>t</b>	<b>9.870</b>

Le tre scogliere in massi per un volume totale di circa 7000mc sono strutture assimilabili a scogli naturali con un inserimento nel contesto a basso impatto sul paesaggio e con un impatto positivo sulle biocenosi dell'area in

quanto la parte rocciosa che emerge stabilmente dal deposito sedimentario costiero e le cavità delle scogliere costituiranno un incremento delle zone di "nursery" per specie che sfuggono alla luce e in generale sugli habitat in quanto le scogliere incrementano la capacità di ospitare comunità bentoniche algali e di specie animali nonché concrezioni coralligene.

Particolare attenzione è stata posta alla scelta dei materiali, in base alle loro caratteristiche geomeccaniche necessarie all'impiego in opere di ingegneria marittima e alle caratteristiche ambientali, cromatiche, paesaggistiche, di compatibilità geologica e di reperibilità.

Sono state individuate in via preliminare le caratteristiche compatibili e i siti di approvvigionamento delle rocce considerate più idonee al progetto.

Le rocce affioranti in ambito sommerso sono costituite<sup>24</sup> da banchi di roccia arenaria (*Formazione del Cixerri*), il colore è grigio scuro tendente al viola. Il campo cromatico di riferimento è quindi piuttosto particolare e la scelta delle cave dovrà in primo luogo soddisfare questo aspetto, a parità di altri elementi che garantiscano, durevolezza, resistenza, tenacia e limpidezza del mezzo idrico.

La scelta dei materiali deve essere inoltre basata su materiali che garantiscano un peso di volume adeguato alle sollecitazioni del moto ondoso.

Le locali cave di Andesite (*Sarroch*) non hanno caratteristiche tecniche e estetiche idonee e l'ambito di ricerca è stato esteso a tutto il territorio regionale esaminando le possibili fonti di approvvigionamento, comprendendo sia massi naturali provenienti da lavori di scavo e spietramento in corso, che massi provenienti da cave in esercizio. La scelta, soprattutto per le pezzature di maggiori dimensioni è ricaduta sulle seguenti tipologie:

- Trachiti
- Basalti
- Graniti

Le Trachiti più indicate sono, in particolare, quelle provenienti dai giacimenti logudoresi con colore rosso-violaceo e qualità tecniche compatibili con gli obiettivi di progetto e reperibili anche in geometrie naturali non deformate da tecniche estrattive.

I Basalti grigio-rossastri individuati nel settore di Paulilatino (Or) sono reperibili con fogge e contorni naturali arrotondati e con forme non squadrate.

I Graniti garantiscono una buona compatibilità cromatica con riferimento alla principali categorie merceologiche (Rosa Beta - Rosa Ferula - Rosa Ghiandone) reperibili nei diversi luoghi di produzione.

---

<sup>24</sup> Vedi: Relazione di consulenza geologica del Dott.Geol. Giovanni Tilocca.

## 5 - STIMA DEL COSTO DELLE OPERE

### 5.1 - Elenco prezzi

N° Rif	Prezziario Regionale	Descrizione	Unità di misura	Prezzo senza S. G. e Util.	Di cui oneri di sicurezza afferenti l'impresa %	Manodopera %	Prezzo
1	SAR19_PF.0005.0001.0001	ESCAVO SUBACQUEO, eseguito con draga stazionaria o altro mezzo idoneo, fino alla quota di m (-4,00) sotto il l.m.m. di materie sciolte di qualsiasi natura e consistenza, esclusa la roccia, ma compresi eventuali trovanti, pietrame, scagliami rocciosi, blocchi di muratura o simili, con cubatura fino a m³ 0,30 con l'obbligo del loro salpamento anche con pontone e con l'ausilio del sommozzatore, compreso lo scarico o rifluimento a colmata, oppure il carico su cassoni portafango, su bette o motobette delle materie non ritenute idonee per la colmata, escluso il trasporto a discarica in mare aperto o in terraferma, nonché gli oneri per tutte le necessarie autorizzazioni	m³	10,35	1,50%	7,64%	€_13,09
2	SAR19_PF.0005.0002.0004	SCOGLI NATURALI DI PRIMA CATEGORIA di natura cacarea, basaltica o granitica, del peso singolo compreso fra 51 kg e 1000 kg, dati in opera, in acqua o fuori acqua per qualsiasi altezza o profondità, per formazione o rifiorimento di scogliera, trasportati, versati e sistemati secondo la sagoma prescritta; compreso: la fornitura degli scogli provenienti da idonea cava, il nolo di mezzi terrestri e marittimi, nonché l'ausilio di barca di appoggio con guida e sommozzatore trasportati e versati con mezzi marittimi	t	23,86	1,50%	2,15%	€_30,18
3	SAR19_PF.0005.0002.0006	SCOGLI NATURALI DI SECONDA CATEGORIA di natura cacarea, basaltica o granitica, del peso singolo compreso fra 1001 e 1500 kg, dati in opera, in acqua o fuori acqua per qualsiasi altezza o profondità, per formazione o rifiorimento di scogliera, trasportati, versati e sistemati secondo la sagoma prescritta; compreso: la fornitura degli scogli provenienti da idonea cava, il nolo di mezzi terrestri e marittimi, nonché l'ausilio di barca di appoggio con guida e sommozzatore trasportati e versati con mezzi marittimi	t	24,69	1,50%	2,08%	€_31,23
4	SAR19_PF.0005.0002.0008	SCOGLI NATURALI DI TERZA CATEGORIA di natura cacarea, basaltica o granitica, del peso singolo compreso fra 1501 e 3000 kg, dati in opera, in acqua o fuori acqua per qualsiasi altezza o profondità, per formazione o rifiorimento di scogliera, trasportati, versati e sistemati secondo la sagoma prescritta; compreso: la fornitura degli scogli provenienti da idonea cava, il nolo di mezzi terrestri e marittimi, nonché l'ausilio di barca di appoggio con guida e sommozzatore trasportati e versati con mezzi marittimi	t	24,69	1,50%	2,08%	€_31,23
5	SAR19_PF.0005.0002.0010	SCOGLI NATURALI DI QUARTA CATEGORIA di natura cacarea, basaltica o granitica, del peso singolo compreso fra 3001 e 7000 kg, dati in opera, in acqua o fuori acqua per qualsiasi altezza o profondità, per formazione o rifiorimento di scogliera, trasportati, versati e sistemati secondo la sagoma prescritta; compreso: la fornitura degli scogli provenienti da idonea cava, il nolo di mezzi terrestri e marittimi, nonché l'ausilio di barca di appoggio con guida e sommozzatore trasportati e versati con mezzi marittimi	t	26,46	1,50%	1,94%	€_33,47
6	Analisi 2	SCOGLI NATURALI DI CATEGORIA SPECIALE di natura cacarea, basaltica o granitica, del peso singolo compreso fra 7001 e 20000 kg, dati in opera, in acqua o fuori acqua per qualsiasi altezza o profondità, per formazione o rifiorimento di scogliera, trasportati, versati e sistemati secondo la sagoma prescritta; compreso: la fornitura degli scogli provenienti da idonea cava, il nolo di mezzi terrestri e marittimi, nonché l'ausilio di barca di appoggio con guida e sommozzatore trasportati e versati con mezzi marittimi	t	#####	1,50%	5,00%	€_80,00

## 5.2 - Riepilogo computo metrico estimativo

N	Descrizione	UM	Quantità	Prezzo	Importo
1	Dragaggio sabbia	mc	15.000,00 (*)	13,09	€ 196.350,00
	isola B				€ 67.911,21
2	scogli prima	t	234,2	30,18	€ 7.069,37
3-4	scogli sec/terza	t	312,3	31,23	€ 9.753,76
5	scogli quarta	t	749,6	33,47	€ 25.088,07
6	scogli speciali	t	325,0	80,00	€ 26.000,00
	isola C				€ 67.911,21
2	scogli prima	t	234,2	30,18	€ 7.069,37
3-4	scogli sec/terza	t	312,3	31,23	€ 9.753,76
5	scogli quarta	t	749,6	33,47	€ 25.088,07
6	scogli speciali	t	325,0	80,00	€ 26.000,00
	isola A				€ 256.774,07
2	scogli prima	t	979,6	30,18	€ 29.564,27
3-4	scogli sec/terza	t	1.306,1	31,23	€ 40.790,46
5	scogli quarta	t	3.461,2	33,47	€ 115.847,91
6	scogli speciali	t	882,1	80,00	€ 70.571,43

(\*) Il valore indicato si riferisce alla stima preliminare (Nov. 2022); il volume ai fini autorizzativi del progetto è quello massimo previsto per a 30.000m<sup>3</sup> corrispondente al potenziale stimato delle zone di prelievo individuate nel progetto (il volume effettivo sarà tuttavia determinato in fase esecutiva in relazione all'aggiornamento del rilievo dello stato dei luoghi)

## 5.3 - Quadro economico

DESCRIZIONE	IMPORTO
Lavori	€ 910.000,00
Sicurezza (non soggetti a ribasso)	€ 11.830,00
<b>SOMMANO LAVORI E SICUREZZA</b>	<b>€ 921.830,00</b>
Iva 20%	€ 184.366,00
<b>TOTALE</b>	<b>€ 1.106.196,00</b>

/