



INTERVENTI URGENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEI TRATTI DI MAGGIOR RISCHIO E ALLA MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE DINAMICHE EROSIVE NEI PUNTI DI MAGGIOR INTENSITÀ E INCIDENZA NELLA LINEA COSTIERA

Progetto Preliminare

Il Sindaco
Luigi Tedeschi

Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Sara Angius

Responsabile dell'Ufficio Tecnico
Ing. Alessandro Naitana

GRUPPO DI LAVORO


CRITERIA

Criteria Srl (Mandataria)

Città:Ricerche:TERritorio:Innovazione:Ambiente
via Cugia, 14 09129 Cagliari (Italy)
tel. +39 070303583 - fax +39 070301180
E-mail: criteriaweb.com;
www.criteriaweb.com

Arch. Paolo Falqui – *direttore tecnico*

Geol. Maurizio Costa – *direttore tecnico*

Ing. Francesca Etzi



PRIMA INGEGNERIA STP S.S.(mandante)

Via G. Civinini, 8 – 57128 Livorno
p.iva 01530730496
Tel/Fax 0586 372660
E-mail: info@primaingegneria.it;
www.primaingegneria.it

Ing. Maurizio Verzoni

Ing. Pietro Chiavaccini

Ing. Nicola Buchignani

Ing. Nicola Verzoni

Progettazione

Ing. Nicola Buchignani

Ing. Pietro Chiavaccini

Geol. Maurizio Costa

Ing. Francesca Etzi

Arch. Paolo Falqui

Ing. Silvia Putzolu

Ing. Maurizio Verzoni

Ing. Nicola Verzoni

Geologia e Geotecnica

Geol. Maurizio Costa

Geol. Antonio Pitzalis

Geol. Giuseppe Serventi

Aspetti ambientali e naturalistici

Biol. Patrizia Carla Sechi

Biol. Francesca Frau

Nat. Riccardo Frau

Analisi meteomarine

Ing. Pietro Chiavaccini

Sicurezza

Ing. Nicola Buchignani

GIS e Cartografia

Cinzia Marcella Orrù

CONSULENZE ESTERNE

Arch. Enrica Campus

Arch. Giuseppe Loche

Arch. Alberto Loche

Dott. Archeo. Alfonso Stiglitz

1.2 RELAZIONE TECNICA

Indice

1. QUADRO TERRITORIALE E CONTESTO DELL'INTERVENTO	2
1.1. Inquadramento territoriale dell'intervento	2
1.2. Caratterizzazione del contesto di intervento S'Arena Scoada	2
1.2.1. Sintesi aspetti geomorfologici	2
1.2.2. Sintesi aspetti geotecnici	2
1.2.3. Sintesi caratterizzazioni delle biocenosi marino-costiere	3
1.2.4. Sintesi aspetti meteomarini.....	3
1.2.5. Esigenze conoscitive per il progetto e per eventuali lotti funzionali successivi	3
1.3. Caratterizzazione del contesto di intervento Su Pallosu	4
1.3.1. Sintesi aspetti geomorfologici	4
1.3.2. Sintesi aspetti geotecnici	4
1.3.3. Sintesi caratterizzazioni delle biocenosi marino-costiere	5
1.3.4. Sintesi aspetti meteomarini.....	5
1.3.5. Esigenze conoscitive per la progettazione e per eventuali lotti funzionali successivi	5
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	7
2.1. S'ARENA SCOADA	9
2.1.1. Disgaggi.....	9
2.1.2. Scogliere di protezione al piede.....	9
2.1.3. Consolidamenti e tamponature della scarpata costiera	10
2.1.4. Sigillatura del muro esistente	10
2.1.5. Interventi per il miglioramento dell'accessibilità e la fruizione in sicurezza. Opere di dissuasione e cartellonistica.....	11
2.2. SU PALLOSU	14
2.2.1. Palificata doppia e geocontenitori di protezione della ripa costiera	14
2.2.2. Opere di ingegneria naturalistica per la mitigazione dell'erosione dunare ..	17
2.2.3. Interventi per il miglioramento dell'accessibilità. Opere di dissuasione, accessibilità alla spiaggia e cartellonistica	22
2.2.4. Intervento di ripascimento e monitoraggio ambientale	24

1. QUADRO TERRITORIALE E CONTESTO DELL'INTERVENTO

1.1. Inquadramento territoriale dell'intervento

Il settore di intervento comprende il tratto di costa rocciosa e sabbiosa di S'Arena Scoada, che va da Punta de S'Incòdina a sud fino a Putzu Idu a nord, esteso per circa 1300 metri ed esposto a est.

L'altro settore di intervento è situato a nord del promontorio di Capo Mannu, in prossimità della borgata di Su Pallosu, che sorge sul cordone litoraneo che ha isolato dal mare lo stagno di Sa Marigosa.

1.2. Caratterizzazione del contesto di intervento S'Arena Scoada

Di seguito si riportano i quadri riassuntivi delle analisi conoscitive fin qui condotte, per i cui approfondimenti si rimanda alla rispettive relazioni specialistiche di settore.

1.2.1. Sintesi aspetti geomorfologici

Il contesto morfologico è rappresentato da una costa rocciosa a falesia e ripe d'erosione in roccia, in progressiva evoluzione per spontanei fenomeni di arretramento del fronte roccioso. Lungo l'intero tratto di costa è possibile riconoscere differenti fasi di evoluzione morfologica della falesia, alcune marcatamente attive, su cui il mare e l'energia del moto ondoso agiscono in maniera diretta alla base della scarpata, come a Punta S'Archittu e a Punta S'Iscoquina, altre quiescenti, in cui la formazioni di depositi sabbiosi e accumuli di massi litoidi franati dal fronte della falesia, determinano una dissipazione dell'energia incidente al piede della scarpata ed un rallentamento dei processi evolutivi, come in gran parte del tratto di costa di Is Arena Scoada.

La sequenza stratigrafica che costituisce l'ossatura litologica su cui è impostata la falesia, è rappresentata dalla successione sedimentaria messiniana del Sinis, caratterizzata da depositi per lo più arenaceo-calcarei, strutturalmente disposti con geometrie deposizionali ad andamento prevalentemente planare.

1.2.2. Sintesi aspetti geotecnici

Gli elementi litologici relativi alla costa alta in corrispondenza "S'Arena Scoada" si possono sintetizzare da un punto di vista geomeccanico secondo il criterio di Mohr Coulomb come:

Arenarie	$\varphi'=53,61^\circ$	$c'=60,96$ KPa	$\gamma=17,90$ KN/m ³
Calcari brecciati	$\varphi'=43,41^\circ$	$c'=31,41$ KPa	$\gamma=18,00$ KN/m ³
Calcari marnosi laminati	$\varphi'=43,69^\circ$	$c'=36,58$ KPa	$\gamma=19,70$ KN/m ³

Si consideri che il profilo della costa rocciosa può presentare una discreta variabilità; alcuni termini possono non essere sempre presenti, come le arenarie al tetto, o essere di spessore e condizioni molto diverse, come le formazioni carbonatiche. Le sezioni presenti nella relazione geologica indicano alcuni esempi di questa variabilità laterale nelle litologie costiere.

1.2.3. Sintesi caratterizzazioni delle biocenosi marino-costiere

In linea generale i fondali antistanti le aree di intervento sono caratterizzati, nei primi metri di profondità, prevalentemente da fondi duri, sabbia e depositi di foglie morte di *Posidonia oceanica* che spesso formano *banquette* di dimensione variabile lungo la costa (habitat prioritari I.2.1.5 – Facies delle fanerogame spiaggiate (parte superiore) – e II.3.1.1 – facies degli ammassi spiaggiate di foglie morte di *Posidonia oceanica* (parte inferiore) – ai sensi del protocollo SPA/BIO).

A partire da circa 5-7 metri di profondità si profila l'habitat prioritario (secondo la Direttiva Habitat) 1120* Prateria di *Posidonia* (*Posidonia oceanica*) con morfologia discontinua dove *Posidonia oceanica* è presente in forma di cespugli isolati di dimensioni variabili prevalentemente su roccia.

1.2.4. Sintesi aspetti meteomarini

Il paraggio di S'Arena Scoada risulta esposto alle direzioni dominanti e regnanti (III e IV quadrante) e la propagazione da largo verso riva risulta poco influenzata da fenomeni di diffrazione o riflessione. Le direzioni più significative sono risultate 270° N e 315°N dove a largo si registrano altezze d'onda che per Tr=50 anni sono superiori a 10m. Sotto costa la direzione più critica risulta quella di 270°N, in quanto il maestrale subisce un'attenuazione per la presenza del promontorio di Capo Mannu. Il fondale presenta una pendenza media del 2%, condizione che favorisce la formazione di frangenti sotto costa. Di conseguenza sono attesi significativi fenomeni di stormsurge e set up di moto ondoso che sono stimati superiori a 1 m. Questo conferma l'aggreibilità del piede della falesia che in pratica in tutte le condizioni di mareggiate intense viene sommersa e subisce la risalita del moto ondoso. Le valutazioni fatte sono comunque da considerare di massima in quanto fortemente influenzate dalla morfologia dei fondali che è stata ricavata da carta nautica e non da rilievi specifici.

1.2.5. Esigenze conoscitive per il progetto e per eventuali lotti funzionali successivi

La costa di S'Arena Scoada è in pratica una costa alta, in cui le principali criticità non sono imputabili al trasporto litoraneo ma a fenomeni di risalita del moto ondoso. Diventa pertanto fondamentale, per il proseguo delle attività di progettazione avere informazioni precise sulla morfologia dei fondali fino a profondità di circa 10 m alla quale si innescano i primi fenomeni di frangimento. La batimetria dovrà essere poi raccordata ai dati topografici della parte emersa, quest'ultima finalizzata alla definizione del run up. Dovranno essere poi eseguiti approfondimenti

specifici di tipo geologico sia per definire le caratteristiche geomeccaniche dei basamenti su cui vanno impostate le scogliere sia per individuare cavità o fratture dell'ammasso roccioso della falesia retrostante. In questo ambito potranno essere usati metodi geofisici o georadar.

1.3. Caratterizzazione del contesto di intervento Su Pallosu

Di seguito si riportano i quadri riassuntivi delle analisi conoscitive fin qui condotte, per i cui approfondimenti si rimanda alla rispettive relazioni specialistiche di settore.

1.3.1. Sintesi aspetti geomorfologici

Il margine costiero di riferimento costituisce la risultante di complesse fasi evolutive connesse con i fenomeni di regressione e di trasgressione marina avvenuti a partire dal Pliocene sup.-Pleistocene. In particolare l'ambito costiero conserva le testimonianze geomorfologiche e litologiche delle oscillazioni climatiche ed eustatiche plio-quadernarie su cui l'attuale assetto fisiografico costiero si è impostato. La sequenza lito-stratigrafica e la distribuzione spaziale dei depositi, suggerisce una grande variabilità di ambienti deposizionali, ora di ambiente continentale, ora di ambiente stagnale, fino a condizioni di ambiente marino-litorale, che si alternano e si sovrappongono ciclicamente. La sequenza stratigrafica riassume i principali eventi paleoclimatici e paleogeografici:

- Depositi palustri: Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi OLOCENE;
- Depositi lacustri: Calcari lacustri talvolta con gasteropodi polmonati OLOCENE;
- Depositi eolici: Sabbie di duna ben classate OLOCENE;
- Depositi di spiaggia antichi, sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero, spessore fino a 3-4 m? OLOCENE- PLEISTOCENE SUP.?
- Litofacies nel Subsistema di Portoscuso - SINTEMA DI PORTOVESME - Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali PLEISTOCENE SUP.;
- FORMAZIONE DI CAPO MANNU. Arenarie eoliche con paleosuoli intercalati ricchi in resti di vertebrati e microfossili rimaneggiati PLIOCENE SUP.)

1.3.2. Sintesi aspetti geotecnici

L'area di Su Pallosu è caratterizzata da depositi di natura terrigena prevalente. In particolare possiamo distinguere due aree principali. In generale i depositi sono sabbie limose con rara ghiaia di dimensioni medie, di colore rosso bruno, risultano più chiare quando asciutte. Gli spessori sono variabili nella maggior parte dei casi comunque entro i due metri, crescenti verso la zona delle costruzioni, verso Nord. Il basamento, individuato già sotto uno spessore decimetrico o centimetrico di sabbie litorali, discontinue in estensione e spessori, è di natura carbonatica, si tratta di calciruditi, brecce calcaree, e conglomerati litoranei.

1.3.3. Sintesi caratterizzazioni delle biocenosi marino-costiere

In linea generale i fondali antistanti la spiaggia di Su Pallosu sono caratterizzati, nei primi metri di profondità, da fondi mobili e substrati rocciosi prevalenti nel settore nord-occidentale dell'area. Sul fondale roccioso è presente un affioramento superficiale di *Posidonia oceanica*, identificabile come ecomorfosi a barriera del posidonieto (habitat III.5.1.2 del protocollo SPA/BIO), apparentemente ben conservato.

La prateria di *Posidonia oceanica*, sebbene frastagliata, inizia ad una distanza dalla costa di circa 600 m soprattutto nel settore più a sud della spiaggia. A partire da una profondità di 5 metri la prateria si sviluppa con continuità via via crescente con la profondità e si estende fino a circa 30 metri, in corrispondenza dell'interruzione del ripiano costiero roccioso cui segue la piana sedimentaria; in tutta l'area la prateria di *Posidonia oceanica* è impostata prevalentemente su roccia e matte che, data la forte eterogeneità del fondale, risulta abbastanza frammentata.

1.3.4. Sintesi aspetti meteomarini

Il paraggio di Su Pallosu è prevalentemente esposto al IV quadrante dove le lunghezze di fecht non raggiungono valori elevati. Le mareggiate provenienti dal III e IV quadrante subiscono una notevole attenuazione sia per effetto dei fondali a bassa pendenza (0.7%) sia per i fenomeni di rotazione e diffrazione dovuti all'Isolotto di Sa Tonnara. Questo rende Su Pallosu un paraggio abbastanza protetto e ben ridossato su cui pertanto predominano fenomeni di trasporto longitudinale. L'evoluzione della linea di riva nel tempo suggerisce una prevalenza delle correnti da ovest verso est. La mancanza di una batimetria di dettaglio nella zona (che risulta estremamente variabile con alternanza di fondali rocciosi e sabbiosi) non ha consentito di fare valutazioni sulla dinamica sedimentaria ma solo di fare stime sull'altezza d'onda residua e sulle quote raggiunte dal moto ondoso lungo battigia. In particolare è stato stimato un valore di sovrizzo di circa 0.7-0.8 m per $T_r=50$ anni valore che rende il piede della duna esposto all'erosione marina.

1.3.5. Esigenze conoscitive per la progettazione e per eventuali lotti funzionali successivi

L'ambito di Su Pallosu deve essere meglio dettagliato dal punto di vista della dinamica sedimentaria anche per definire interventi di protezione di più lunga durata, quale un ripascimento eventualmente protetto, così come indicato dalla scheda progettuale della RAS (Programma d'Azione Coste, interventi urgenti di prima fase, Luglio 2012).

Questo presuppone di definire:

- analisi batimetrica di dettaglio almeno fino a fondali di 5-7 m (valore di occorrenza dei primi frangenti sotto costa);
- analisi morfologica dei fondali per differenziare suoli rocciosi/sabbiosi;

- analisi granulometrica dei sedimenti per definire le caratteristiche del materiale trasportato;
- studio correntometrico in particolare per gli eventi estremi, preferibilmente con taratura con correntometro installato sul posto (preferibilmente più di uno e lungo lo stesso profilo trasversale).
- Studio del moto ondoso di propagazione nella zona di dinamica attiva, con taratura con ondometro installato in sito;

La definizione topo-batimetrica di dettaglio consente anche di definire con maggiore precisione la dinamica di risalita di moto ondoso sulla spiaggia.

In questi termini, l'individuazione e la caratterizzazione del paraggio costiero di riferimento presuppone indagini propedeutiche utili alla valutazione della morfologia dei fondali ed alla caratterizzazione sedimentologica. Dovranno essere effettuati campionamenti utili per la caratterizzazione chimica e fisica dei sedimenti emersi e sommersi. In sintesi, la successione delle azioni di indagine dovrà prevedere:

- rilievi batimetrici tramite ecoscandaglio *single beam*;
- rilievi morfologici tramite *Side Scan Sonar*;
- rilievi magnetometrici per l'individuazione di anomalie magnetiche;
- rilievi correntometrici della colonna d'acqua e rilievi ondometrici nella zona di dinamica attiva del paraggio costiero;
- esecuzione di carotaggi e/o prelievo di sedimento superficiale e profondo tramite vibro carotaggi o carotaggi manuali entro i primi metri di profondità;
- analisi chimico-fisiche, granulometriche e biologiche dei sedimenti.

Per la determinazione dell'idoneità o meno dei sedimenti all'uso nel ripascimento, dovranno essere verificate le seguenti condizioni:

- compatibilità granulometriche, tessiturali e composizionali dei sedimenti;
- compatibilità cromatica fra i sedimenti presenti;
- assenza di componenti chimiche e batteriologiche, coerentemente con la normativa vigente in materia e con le indicazioni del Manuale ICRAM-APAT.

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto ha come obiettivo principale la mitigazione dei processi di erosione costiera e di rischio di dissesto nei due ambiti di intervento, in particolare nei siti in cui esistono incipienti fenomeni di arretramento delle scarpate costiere, attraverso fenomeni gravitativi di massa e di scalzamento al piede, che interessano in particolare zone a rischio molto elevato per il coinvolgimento di infrastrutture e di insediamenti retrostanti. In questi termini il progetto è stato orientato alla individuazione delle opere di protezione e di mitigazione dei rischi per i due ambiti di intervento di S'Arena Scoada e Su Pallosu, con lo scopo rispettivamente di:

- rallentare il processo di regressione della falesia, mettere in sicurezza la scarpata rocciosa da fenomeni di crollo e caduta di frammenti litoidi sulla spiaggia sottostante e mitigare i rischi per la fruizione e l'accesso al litorale;
- controllare il fenomeno di arretramento della linea di riva di riva, di erosione del corpo dunare e delle formazioni detritiche plio-pleistoceniche.

Le problematiche di erosione e arretramento della linea costiera che interessano i litorali del Comune di San Vero Milis sono intrinsecamente connesse alla struttura e composizione geolitologica delle formazioni presenti, sulle quali agisce l'intensa dinamica meteo-marina dei quadranti occidentali. Le differenti caratterizzazioni dei tratti di S'Arena Scoada e Su Pallosu comportano punti di alta concentrazione di condizioni di pericolosità e rischio per persone e insediamenti, perdita irreversibile di sistemi costieri dunali di alto pregio.

Le ipotesi di intervento definite sono quindi tese alla messa in sicurezza dei tratti a maggior rischio e alla mitigazione degli effetti delle dinamiche erosive nei punti di maggiore intensità e incidenza, laddove l'intervento sia ritenuto indispensabile, commisurato al contesto ambientale e valutata positivamente la sua fattibilità a breve termine (lotto A) e medio termine (lotto B) in relazione alla disponibilità economica e alle conoscenze tecnico-scientifiche acquisite nel paraggio costiero di riferimento.

La proposta progettuale è articolata in più lotti funzionali, lotto A e Lotto B, comprendenti rispettivamente:

- interventi il cui costo stimato complessivo ammonta a circa 530.000,00 euro, che per S'Arena Scoada prevedono scogliere di protezione alla base della falesia, disgaggi e infrastrutture per la sicurezza della fruizione, ritenuti prioritari e immediatamente attuabili per i siti a maggior rischio.

Per il sito di Su Pallosu sono previsti interventi di tipo "morbido" orientati a proteggere da un lato il processo di erosione della ripa costiera (palificata lignea con l'inserimento di gecontenitori in fibra naturale riempiti di inerti da cava) e dall'altro lato a proteggere il sistema dunare dai fenomeni di dilavamento e di deflazione eolica indotti dalla fruizione incontrollata;

- interventi il cui costo stimato complessivo ammonta a circa 1.650.000,00, comprendenti: il completamento delle scogliere di protezione al piede per i rimanenti siti a rischio di S'Arena Scoada, un intervento per il sito di Su Pallosu, complementare al precedente, che prevede l'apporto esterno di materiale sedimentario sulla spiaggia ed eventuali opere di protezione a mare, ma solo a seguito di un corretto inquadramento idrodinamico del paraggio costiero e dell'unità fisiografica di riferimento, che si dovrà avvalere di misurazioni a mare, di caratterizzazioni morfo-batimetriche e delle necessarie classificazioni sedimentologiche condotte attraverso una campagna di monitoraggio almeno della durata di 1 o 2 anni.

Il lotto A prevede l'utilizzo delle risorse economiche attualmente disponibili, mediante la realizzazione delle opere che consentono di arginare le situazioni più critiche e più accessibili per il sito di S'Arena Scoada, e permettono di controllare il fenomeno di erosione costiera e di arretramento della linea di riva a Su Pallosu, almeno per il tempo necessario alla esecuzione del monitoraggio e alla realizzazione di ulteriori opere di difesa, come il ripascimento e barriere di frangimento.

2.1. S'ARENA SCOADA

2.1.1. Disgaggi

Le operazioni di disgaggio devono essere eseguite per rimuovere condizioni di instabilità di parti di falesia anticipandone il loro crollo naturale. La sporgenza in molti casi a sbalzo rende infatti estremamente pericoloso l'avvicinamento sia dall'alto che dal basso. Le operazioni potranno essere eseguite con escavatore dotato di martello demolitore e braccio sufficientemente lungo per poter operare a distanza minima di 5/8 m dal ciglio stabile della falesia in funzione delle specifiche caratteristiche del luogo. Le operazioni devono essere assistite da personale che da luogo sicuro (anche da natante) dovrà indicare le zone di disgaggio. Il profilo di progetto, che non ha obiettivi di messa in sicurezza stabile, ma solo di rimozione delle criticità presenti, non dovrà presentare parti a sbalzo. Il materiale derivato dal disgaggio sarà lasciato sul posto e, in particolare nel tratto 2 e 3, è previsto anche il posizionamento di alcuni massi con l'obiettivo di preservare per un periodo maggiore la falesia stessa dalla formazione di nuovi possibili meccanismi di franamento dovuti all'azione del mare.

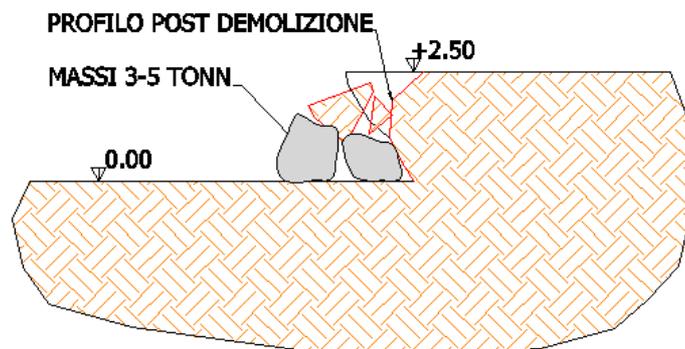


Figura 1. Disgaggio e sistemazione tipica massi tratto 2

2.1.2. Scogliere di protezione al piede

Le scogliere hanno l'obiettivo di ridurre l'intensità di azione del moto sulla falesia, che viene scalzata alla base con una duplice azione (chimica e meccanica). Le scogliere sono realizzate con un nucleo che ha funzione di filtro e da una mantellata con massi da 3-5t di peso. La quota raggiunta dalla sommità è di circa 3.5 m in modo da limitare i fenomeni di run-up solo ad eventi rari ($T_r > 50$ anni). La pendenza della scarpa è prevista 1:2 per ridurre la riflessione al piede. Il nucleo è previsto in pietrame per le due scogliere poste maggiormente vicino alla strada (tratto 4) rivestito con geotessuto. Negli altri casi, per semplificare le operazioni ed evitare l'intervento

diretto dell'operatore nella zona di costruzione della scogliera, si prevede l'utilizzo di massi di I^a categoria che non necessitano del geotessuto.

La difficile accessibilità dei luoghi cautele di sicurezza di cantiere impongono l'impiego di escavatori a fune poste a distanza dal ciglio che effettuano la posa dei massi dall'alto. Sistemi di tracciamento e posizionamento con funzionamento a GPS dovranno essere utilizzati per disporre i massi nelle sagome di progetto con l'ausilio di personale a terra od mare (in luogo sicuro che supervisioni le lavorazioni). La presenza della scogliera protegge la falesia dall'azione meccanica da moto ondoso. Niente può sull'azione chimica responsabile anch'essa di fenomeni erosivi.

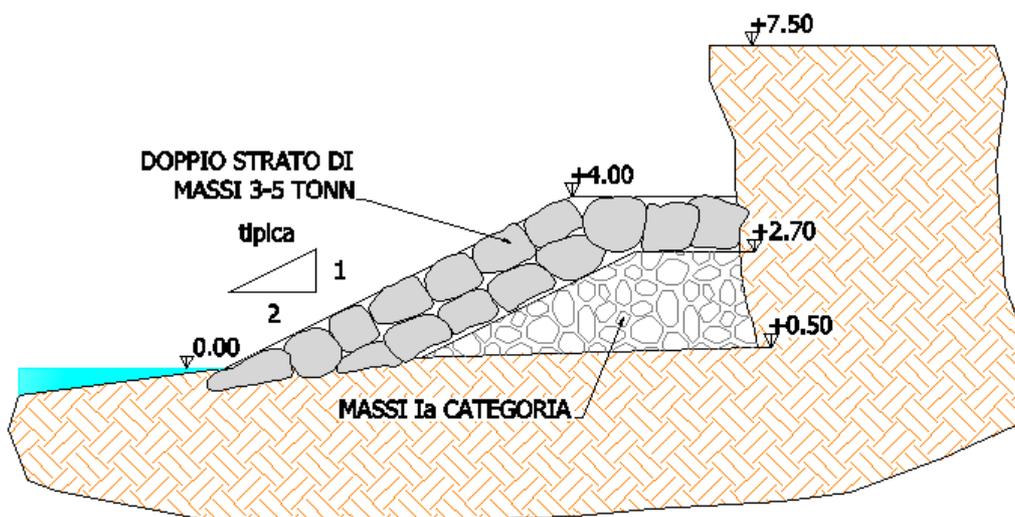


Figura 2. Esempio di scogliera di protezione del piede della falesia

2.1.3. Consolidamenti e tamponature della scarpata costiera

La presenza di fratture e cavità presenti nelle aree retrostanti la falesia saranno saturate con iniezioni di malta cementizia ad alta fluidità, da effettuare attraverso fori eseguiti con carotatrice (eventualmente dotati di camice metalliche per evitare il franamento delle pareti). La malta viene posta attraverso apposita cannula fino a rifiuto a bocca foro. Si tratta di una iniezione a gravità (bassissima pressione) in modo da evitare fuoriuscite da fessure presenti sul fronte della falesia.

2.1.4. Sigillatura del muro esistente

La sigillatura del muro esistente è effettuata con blocchi di muratura analoghi a quelli già presenti. Per migliorare il grado di collegamento con la zona a monte, i blocchi saranno disposti anche in senso trasversale allo sviluppo della sigillatura. A monte si procede con il riempimento delle cavità presenti con calcestruzzo e pietrame. La sigillatura ha il solo scopo di rallentare il processo erosivo che si manifesta intorno alle ali del muro. Non ha alcuno scopo strutturale.

Nella zona si prevede anche la demolizione delle scale di accesso alla battigia. Infatti la zona antistante il muro, come le altre, è interdetta all'accesso.

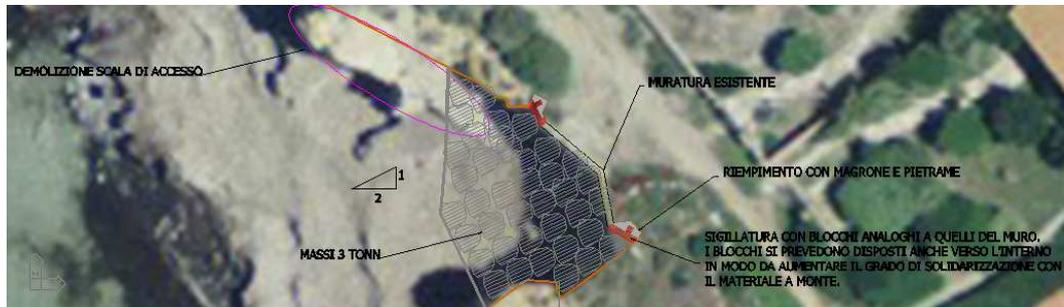


Figura 3. Planimetria della sigillatura del muro esistente con scogliera antistante

2.1.5. Interventi per il miglioramento dell'accessibilità e la fruizione in sicurezza. Opere di dissuasione e cartellonistica.

I problemi di erosione della costa, i crolli della parete rocciosa in atto e quelli potenziali nelle aree a rischio, impongono l'attuazione di alcune opere che mettano in sicurezza l'area per quanto attiene la fruizione.

Come descritto nella relazione generale tutta la costa di San Vero Milis è caratterizzata da una fruizione turistica che si concentra, con grandi numeri, in pochi periodi, ma che vede una frequentazione durante tutto l'anno, per passeggiate lungo il mare, percorsi di trekking, tracciati di mountain bike e la presenza di alcuni residenti. Le situazioni di pericolo non dipendono dal numero di persone che frequentano e fruiscono della costa, ma con il numero delle presenze fanno i rischi chiaramente crescono.

Nello specifico S' Arena Scoada è caratterizzata da un turismo stagionale di seconde case, ma anche dalla fruizione giornaliera della costa per la balneazione. Si hanno così dei giorni estivi di maggior affollamento e dei giorni invernali di assenza totale di presenze. È proprio questa fruizione giornaliera che incide maggiormente su un uso scorretto del limite costiero. L'assenza di aree di sosta organizzate e di sentieri segnati, inducono ad un uso indiscriminato delle aree libere ai margini della borgata marina, con la realizzazione di punti di sosta delle auto irregolari, che spesso si spingono sino ai margini della scogliera; all'apertura di piste e sentieri che percorrono longitudinalmente la costa, anche sul ciglio della scogliera, e trasversalmente consentono l'accesso alle spiagge sottostanti. Questi ultimi spesso anche molto ravvicinati.

Emerge quindi la necessità di limitare l'accesso ad alcune aree, di impedire la percorrenza di alcuni percorsi, di ostacolare l'avvicinamento alla scogliera.

Porre un limite invalicabile lungo tutta la scogliera sarebbe l'intervento che maggiormente garantirebbe la massima riduzione del pericolo, ma chiaramente questo tipo di intervento è di difficile attuazione, sia per i costi eccessivi che avrebbe, sia per l'elevato impatto paesaggistico.

Una fattiva riduzione del rischio per la fruizione è data principalmente da una consapevolezza delle persone dei pericoli in cui si incorre, pertanto l'attività di informazione deve essere considerata superiore a qualsiasi altra opera che possa essere messa in atto.

Per questo motivo gli interventi previsti lungo il tratto di costa di S'Arena Scoada saranno principalmente legati alla realizzazione di una cartellonistica informativa.

I cartelli saranno realizzati in multilingua (italiano e inglese) e avranno un linguaggio sintetico associato a simboli e icone che consentano una facile interpretazione in particolare dei divieti. La comunicazione mediante icone e simboli consente infatti di raggiungere un maggior numero di fruitori, turisti stranieri ma anche bambini o persone con incapacità di lettura.

Oltre a questa l'Amministrazione potrà prevedere un'adeguata campagna di comunicazione e l'emanazione di ordinanze specifiche.

L'erosione in atto nei tratti individuati di maggiore pericolo impone necessariamente la messa in campo di interventi che impediscano l'accesso ad alcune aree e ne limitino quello ad altre.

Accanto a questi interventi sono previsti quelli che consentano un miglioramento dell'accessibilità alla spiaggia nei punti di discesa consentiti, mediante la realizzazione di scale o discese in legno.

Si possono individuare tre ambiti di intervento principali, come indicato nell'immagine seguente: il primo (ambito A) , a sud verso Punta s'Incodina, dove la scogliera è più alta; il secondo (ambito B) lungo il fronte della; il terzo (ambito C) infine relativo al tratto più a nord, con una scogliera più alta, e con percorsi al limite del ciglio.



Figura 4 - Individuazione degli ambiti di intervento per le opere per la fruizione in sicurezza della costa

Ambito A: il progetto prevede la chiusura dell'area utilizzata nel periodo estivo come parcheggio mediante il posizionamento di dissuasori che impediscano l'accesso fisico delle auto e delle persone (a piedi o in bici). Alla barriera di dissuasori è associato il posizionamento di cartelli, posti in corrispondenza degli accessi pedonali di discesa al mare individuati e alla fine delle strade carrabili di accesso alla costa.

Ambito B: in questo ambito gli interventi previsti completano e migliorano parte delle opere già realizzate di delimitazione della strada lungomare. In particolare si prevede il miglioramento delle discese con la realizzazione di scale e scivoli e il posizionamento dei cartelli di informazione e di pericolo.

Alcuni tratti di questo ambito saranno interdetti al passaggio anche pedonale. La necessità di agire su aree molto ampie è dettata dalla non disponibilità di dati relativamente all'erosione sotterranea dei sistemi a grotta, che potrebbero determinare dei cedimenti e delle frane anche in punti distanti dal ciglio della scogliera.

Il tratto a nord della strada lungomare è presente uno dei pericoli in atto maggiori, l'erosione ha raggiunto infatti il bordo della strada. Saranno pertanto previsti idonei cartelli informativi e di pericolo.

Ambito C: l'ambito più a nord è quello considerato a maggior rischio per la fruizione, i sentieri stretti lungo la scogliera saranno interdetti anche al passaggio pedonale e ciclabile, così come aree estese. Anche qui nei periodi di maggiore affluenza si aprono aree di parcheggio e di passaggio delle auto in zone a forte rischio. È quindi necessario delimitare tutta la costa con delle barriere invalicabili e associare a queste il posizionamento di cartelli di divieto e informazione e avviso di pericolo.

In questo ambito si dovrà far fronte inoltre al problema delle uscite private sul mare. Queste dovranno essere chiuse, ad opera dei proprietari, e dovranno essere poste in atto apposite ordinanze di divieto di passaggio e di uscita sul fronte mare.

Quando possibile la chiusura di alcuni percorsi sarà messa in atto prevedendo degli interventi che favoriscano e accelerino la rinaturalizzazione o di chiusura con piantumazione di arbusti.

In taluni casi infatti il pericolo è talmente elevato da doversi rendere necessari interventi che abbiamo risultanti contrastanti e che non si affidino al solo rispetto di un divieto o di un avviso di pericolo.

2.2. SU PALLOSU

2.2.1. Palificata doppia e geocontenitori di protezione della ripa costiera

La struttura progettata per la protezione dalla erosione costiera è una struttura la cui durata, stimata in alcuni anni, permetterà di proteggere il piede della duna dallo scalzamento cui attualmente è soggetta. Alla realizzazione di tale opera dovrà seguire un intervento strutturale di difesa costiera che attualmente risulta di difficile definizione, vista la mancanza di studi approfonditi sull'area di intervento.

Lungo tutto il piede della duna, così come indicato nelle tavole progettuali, verrà posizionata una palificata doppia, la cui struttura è costituita da legname incrociato a formare "camere" nelle quali vengono inseriti i geocontenitori in fibra di cocco e juta, riempiti di inerti di cava. La struttura sarà alta circa 150 cm e larga circa 120 cm, comunque variabile in funzione della morfologia del piede e avrà uno sviluppo longitudinale parallelo al piede della duna.



Figura 5 - Esempio di struttura della palificata doppia

I materiali necessari per la sua realizzazione saranno tronchi di castagno o resinose scortecciati diam. 10-15 cm, posti con interasse di circa 100 cm sia nel senso longitudinale che nel senso trasversale; i tronchi saranno ancorati tramite chiodature metalliche diam. 12-14 mm.

La camera interna della palificata doppia verrà realizzato attraverso il posizionamento di geocontenitori in georete riempiti di inerti di cava, compatibili composizionalmente con le sabbie litoranee presenti in loco. L'opera, posta alla base del corpo dunale e lungo la ripa di erosione delle formazioni detritiche, è completata con il riempimento di inerti di cava all'interno

di contenitori in fibra naturale (geocontenitori), che ne garantiscono la permeabilità e proteggono la struttura da eventuali svuotamenti dovuti all'azione dei frangenti.

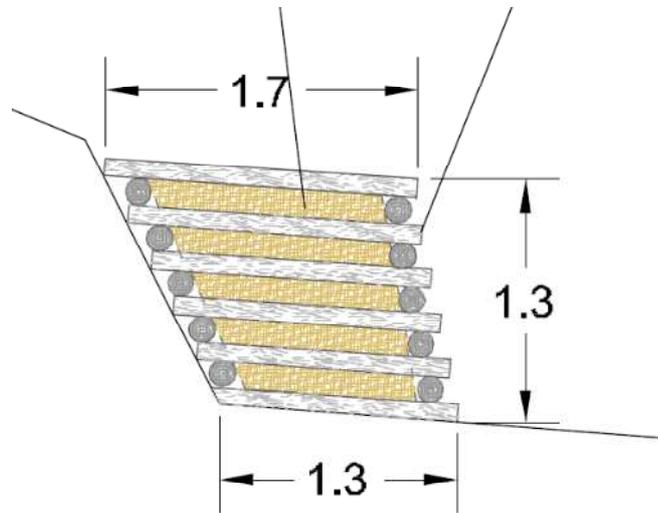


Figura 6 - Sezione trasversale della palificata doppia

I geocontenitori sono costituiti da doppio strato di tessuto in fibra naturale: uno interno in **tessuto di juta filato doppio**, a maglie chiuse e grammatura non inferiore a 420 g/m², uno strato esterno in **georete di fibra in cocco**, con peso di 900 g/m², che data la sua resistenza meccanica rappresenta l'elemento strutturale di contenimento delle sabbie e di protezione della scarpata. I tessuti dovranno essere precuciti e presagomati in sede di fornitura, secondo le dimensioni finali di progetto, con cuciture di fabbrica nei due lati minori, tale che la resistenza della cucitura sia almeno pari a quella del tessuto integro, mentre le cuciture di chiusura del contenitore per il tessuto in juta e quelle del tessuto esterno in fibra di cocco dovranno essere eseguite manualmente in sito, a seguito del riempimento di inerti, mediante l'utilizzo di **corda naturale in sisal 100%** avente diametro finito di circa 5-10 mm. I due strati sono adatti a prevenire eventuali "svuotamenti" del manufatto anche sotto occasionali sollecitazioni da parte dei flutti montanti. I geocontenitori dovranno essere riempiti con inerti grossolani di cava, lavati, quali sabbie grossolane e/o ghiaie fini, compatibili dal punto di vista chimico e mineralogico con le sabbie litoranee presenti in loco.

La fibra della georete dei geocontenitori deve essere tale da garantire la tenuta delle sabbie all'interno e favorire il drenaggio delle acque qualora sormontati dalla risalita dell'onda.

I geocontenitori hanno dimensione standard, circa 1x1 metri ma verranno assemblati direttamente in sito, tramite operazioni manuali.

Il metodo studiato per la realizzazione dei geocontenitori drenanti è il seguente:

- stendimento delle georeti previa cucitura dei lembi interni su parti sovrapposte almeno per 10 cm;
- posizionamento del sacco di juta precucito, all'interno dello strato di cocco;

- posizionamento degli inerti di cava nella parte centrale della georete;
- sistemazione degli inerti e formazione del geocontenitore che secondo le dimensioni prestabilite;
- risolto e cucitura della georete lungo gli angoli dei geocontenitori con corda di sisal.
- Il materasso così formato avrà un volume di circa 1 m^3 e un peso totale di circa 1,4 tonnellate considerando un peso specifico della sabbia di cava pari $1,4 \text{ t/m}^3$.

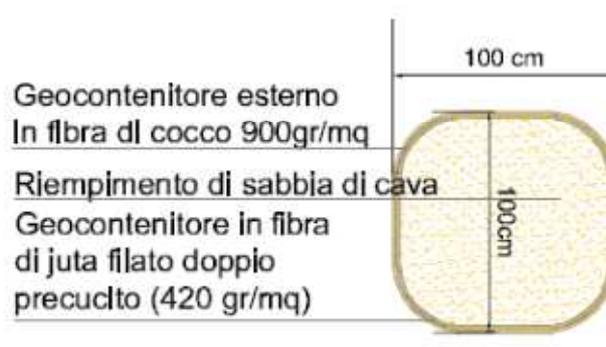


Figura 7 - Sezione trasversale del geocontenitore



Figura 8 - Esempio di geocontenitori posizionati al piede della duna ricostruita (Progetto Netco), in questo caso senza protezione della palificata

Lo sviluppo della palificata, con all'interno i geocontenitori sopra descritti, a protezione della scarpa dunale si stima dovrà essere di circa 300 metri lineari, in alcuni tratti, vista l'altezza della scarpa dunale sarà necessario crescere in altezza, posizionando due o tre gradoni totali, che avranno un'altezza del singolo elemento contenuta entro il metro.

Precedentemente al posizionamento della palificata doppia si dovrà procedere con la riprofilatura del punto di appoggio della palificata, le operazioni di riprofilatura dovranno realizzarsi con apposite macchine di cantiere che permettano di creare una conformazione del profilo tendente ad una condizione di stabilità complessiva del versante.

2.2.2. Opere di ingegneria naturalistica per la mitigazione dell'erosione dunare

La rinaturalizzazione del sistema dunale dovrà attuarsi con opere di ingegneria naturalistica che migliorino il rendimento dell'intervento. Le opere previste sono:

- Copertura delle superfici del fronte dunare con georeti di protezione;
- barriere frangivento con moduli a scacchiera lungo il piede dunare;
- barriere verticali con palificata in legno;
- nuclei di innesco in canne;
- impianti e semine di specie autoctone e geneticamente compatibili.

Ricopertura con georeti di protezione

Le georeti sono teli in fibre vegetali, intessute con filo anch'esso naturale, come il filo di juta o di cocco, di notevole resistenza. Normalmente la posa in opera delle georeti è accompagnata dalla semina o dalla messa a dimora di impianti vegetali.

Le georeti sono utilizzate per la ricopertura di zone a forte sensibilità, come apparati radicali esumati di ginepri, zone in cui si è svolta un'attività di eradicazione di specie aliene, zone in cui sono in corso fenomeni erosivi di tipo eolico o di dilavamento meteorico. In ogni caso vanno poste in opera in aree a bassa pendenza se si utilizzano le stuoie di juta, mentre le bioreti tessute in fibra di cocco possono essere utilizzate anche in aree a maggiore pendenza.

La tecnica è finalizzata alla protezione delle superfici soggette a deflazione eolica e vengono inoltre favoriti i processi di deposizione di materiale sabbioso al di sopra delle bioreti.

L'intervento consiste nel posizionamento di georeti in fibra naturale, come le fibre di cocco, lungo una superficie in pendenza. Le georeti in fibra di cocco sono stese perpendicolarmente alla direzione di massima pendenza e adagate al fine di ricoprire le irregolarità superficiali e i vuoti del terreno. Successivamente, si procederà al suo ancoraggio al suolo mediante picchetti in legno e legatura incrociata con corde in canapa. Lo stendimento delle georeti avviene secondo le linee di massima pendenza delle superfici, con una sovrapposizione laterale minima di 10 cm, al fine di ottenere tendenzialmente un effetto finale di rivestimento sovrapposto ed in modo che le varie parti si comportino come un unico telo.

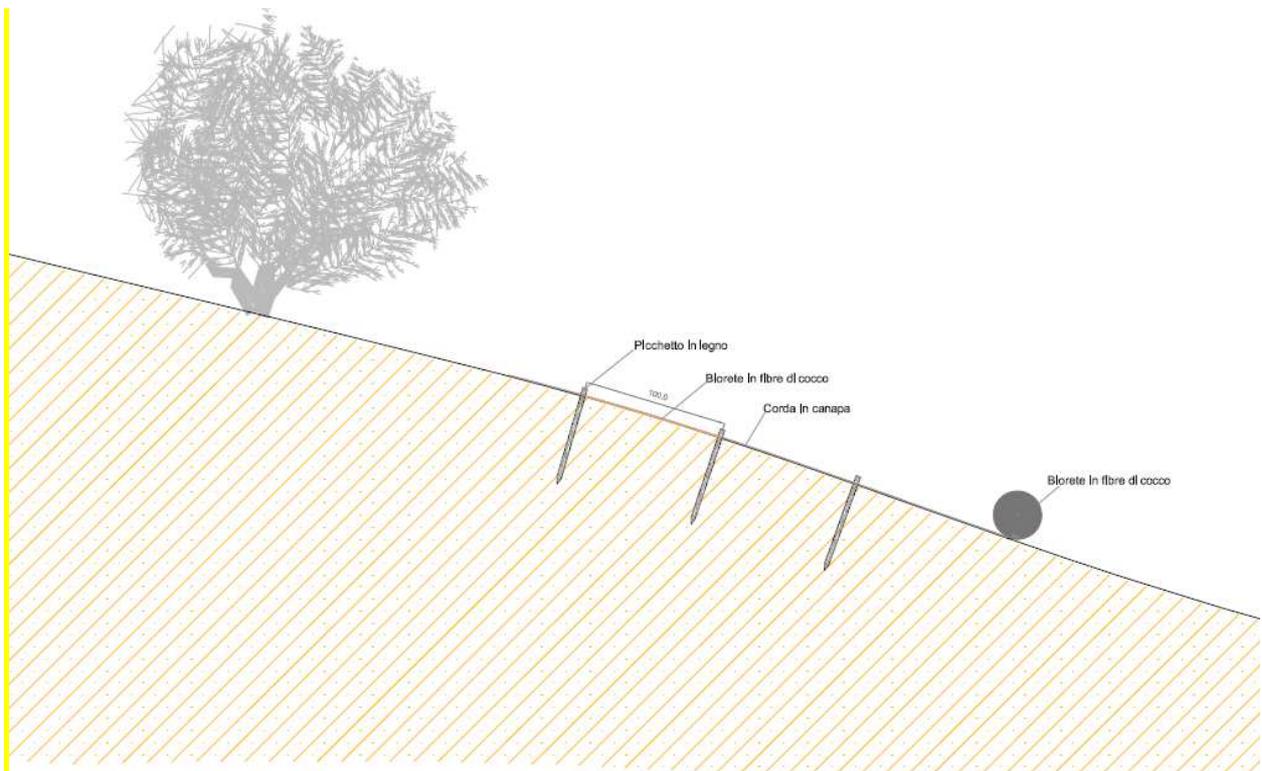


Figura 9- Schema della procedura di stendimento della georete



Figura 10 - Georeti poste in opera a protezione della superficie della duna

Barriere frangivento con schemi a scacchiera:

L'utilizzo di barriere frangivento disposte con schemi a scacchiere è finalizzato all'intrappolamento delle sabbie e all'innescio dei processi di accrescimento dei nuclei embrionali di duna. Vengono posizionate celle quadrangolari, con modulo singolo di lato pari a 2 metri, in stuoie in canne e pali di castagno, il cui scopo è quello di favorire la cattura e

La tecnica consiste nel posizionamento di barriere verticali in verghe e pali, di altezza fuori terra minima di 60/70 cm, aventi lo scopo di limitare il processo di scalzamento della duna e allo stesso tempo di contenere l'accumulo del materiale al piede della stessa. La struttura, inoltre, nei confronti dei venti incidenti esercita una schermatura nei confronti dei processi di trasporto ed erosione con un conseguente effetto di deposizione frontale di materiale eolico che consolida ulteriormente il piede della duna.

Le barriere verticali hanno il vantaggio della riduzione dell'acclività dei fianchi dunari, facilitare i fenomeni immediati di accumulo sia per gravità che per sbarramento eolico del fronte ed una volta esaurita la sua funzione non rimane alcun rifiuto (biodegradabilità totale) e la duna procede per una evoluzione spontanea.

La struttura modulare portante viene realizzata con 3 paletti di castagno (h=120/140 cm, d = 10 cm), interrati per circa 60/70 cm, distanti 1 m l'uno dall'altro; gli schermi sono costituiti da verghe in legno, legate mediante cordicelle in fibra naturale in modo da risultare permeabile al vento, semi-interrata (circa 30 cm) e fissata ai pali in legno mediante una verga, il tirafondo e doppio corso di corda di canapa.

La disposizione planimetrica delle barriere verticali prevede che siano poste linearmente lungo il piede della duna in posizione arretrata rispetto alle barriere frangivento con moduli a scacchiera.

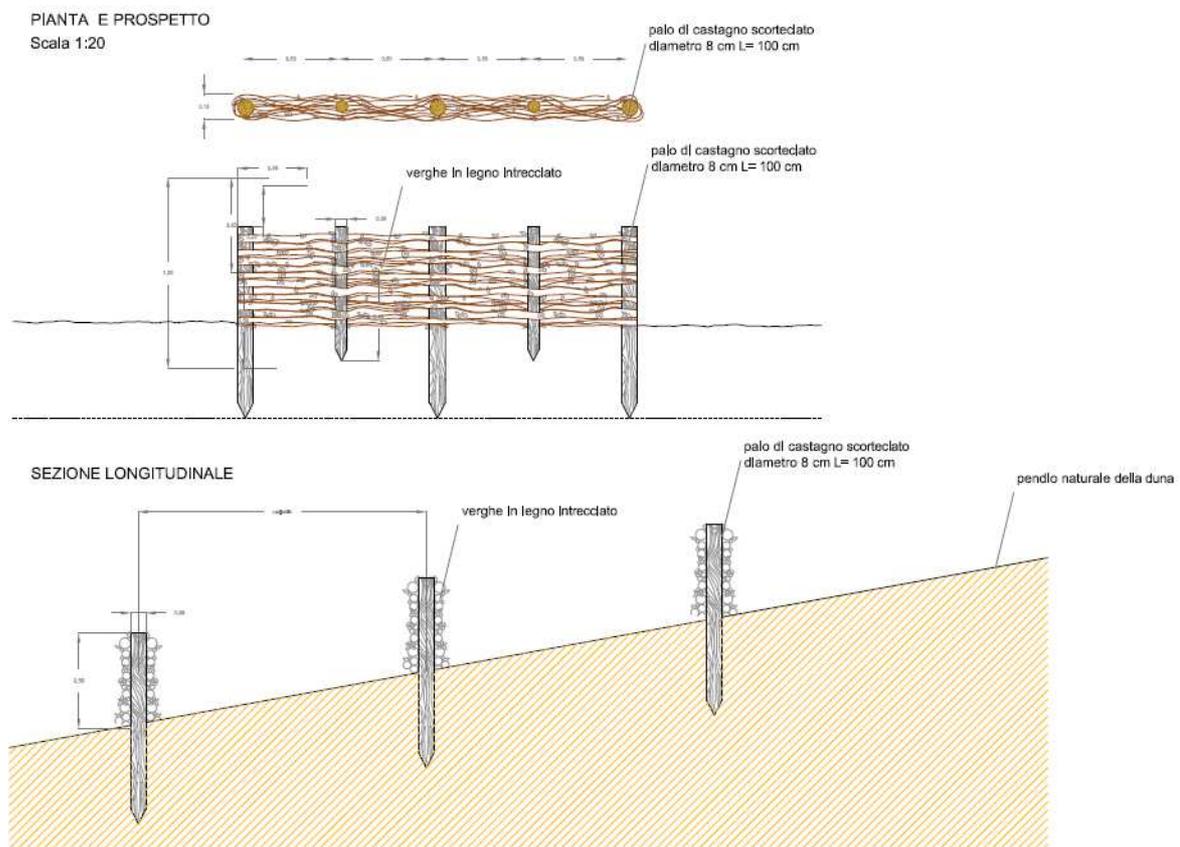


Figura 12 - Schema tipo barriera verticale

Nuclei di innesco

I nuclei di innesco sono finalizzati alla ricostruzione e al recupero delle formazioni dunari embrionali, tramite l'utilizzo di queste strutture (realizzate in materiale rigido ma permeabili al vento) si favorisce l'accumulo della sabbia trasportata dai processi eolici, innescando pertanto l'evoluzione spontanea delle dune embrionali e di avanduna.

I nuclei di innesco sono costituiti da celle triangolari in materiale rigido (legno e canne) hanno lo scopo di favorire l'accumulo della sabbia e attivare il processo di creazione di dune embrionali e l'eventuale accrescimento di specie vegetali pioniere. Sono costituiti da materiali naturali e degradabili spontaneamente quando l'intervento avrà terminato il suo ciclo funzionale.

PIANTA MODULO NUCLEO DI INNESCO
Scala 1:20

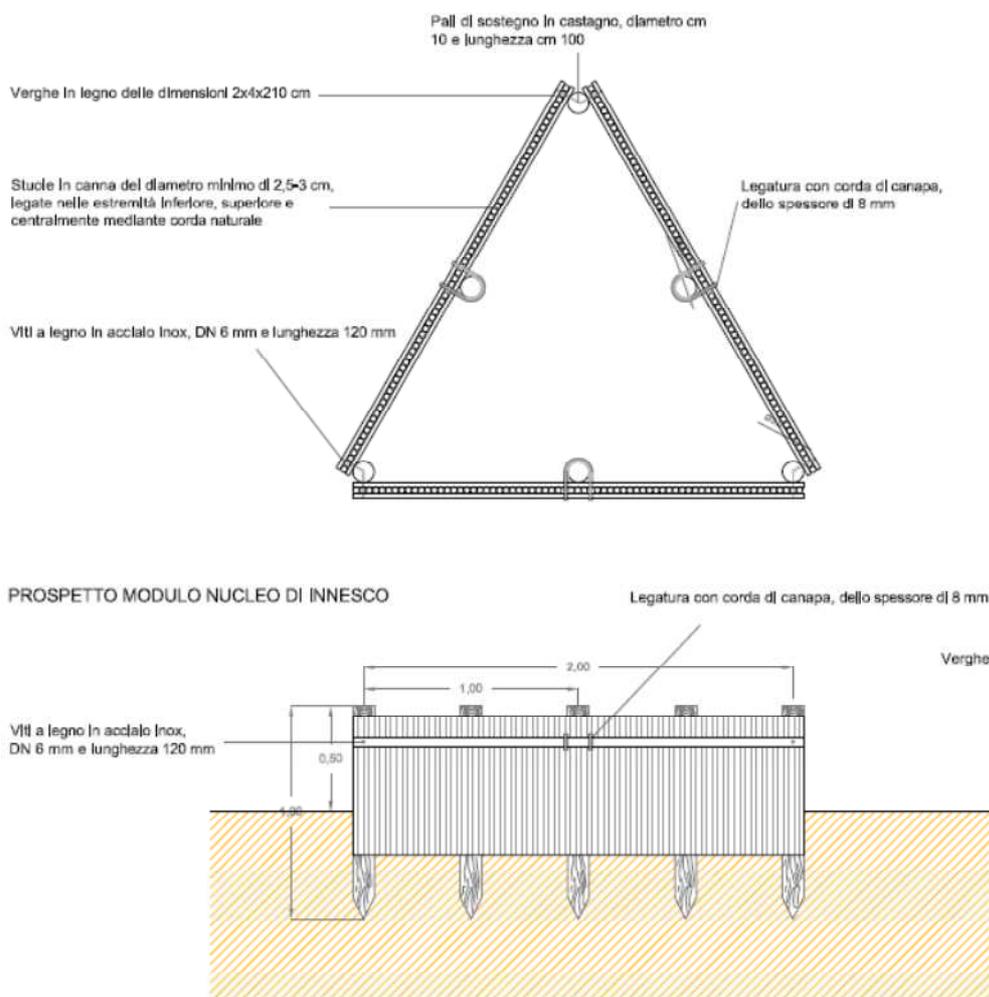


Figura 13 - nucleo di innesco in canne e pali di castagno

Impianti e semine di specie autoctone

Nelle aree interessate dalle opere di ingegneria naturalistica ed in particolare dove è previsto il posizionamento di georeti di copertura, il progetto prevede la semina a spaglio ed impianti di specie vegetali autoctone e proprio del corredo floristico del compendio dunale in questione.

L'obiettivo di questo intervento è di rafforzare le popolazioni delle specie autoctone, limitare la frammentazione degli habitat e permettere nel tempo una ricostruzione della seriazione vegetazionale tipica di questo sistema. I semi saranno disseminati a spaglio sulle superfici, nella misura di 50 gr/m².

La semina dovrà essere eseguita esclusivamente durante il periodo autunnale o invernale.

La ricostruzione dal punto di vista botanico/vegetazionale dell'ambito dunale da riqualificare, verrà accompagnata da impianti di specie arbustive.

2.2.3. Interventi per il miglioramento dell'accessibilità. Opere di dissuasione, accessibilità alla spiaggia e cartellonistica

Il progetto per l'ambito di Su Pallosu è relativo al miglioramento della fruizione ai fini di una adeguata salvaguardia del sistema dunale. In questi caso infatti non sono in atto pericoli per la fruizione, ma la fruizione è una delle criticità che contribuiscono ad incrementare l'erosione di questo tratto di litorale.

Il progetto connesso alla fruizione si concentra in due parti, una a sud e una a nord delle case. A sud gli interventi riguardano l'interdizione del passaggio delle auto nei percorsi lungo la costa, mediante il posizionamento di cartelli e la realizzazione di una linea di dissuasori e la piantumazione di questa area di limite.

A nord invece è prevista la chiusura dei sentieri su duna e la realizzazione di una passerella in legno che consenta l'accesso al mare.

Alcuni dei sentieri su duna sono oggi percorsi dalle auto e conducono a aree fortemente degradate, utilizzate come parcheggio. Si prevede quindi il posizionamento di opportune barriere che impediscano il passaggio delle auto sulle dune e la possibilità di apertura di nuovi sentieri. A questi interventi è associato il posizionamento di cartelli informativi e di divieto.

I cartelli saranno realizzati in multilingua (italiano e inglese) e avranno un linguaggio sintetico associato a simboli e icone che consentano una facile interpretazione in particolare dei divieti. La comunicazione mediante icone e simboli consente infatti di raggiungere un maggior numero di fruitori, turisti stranieri ma anche bambini o persone con incapacità di lettura.

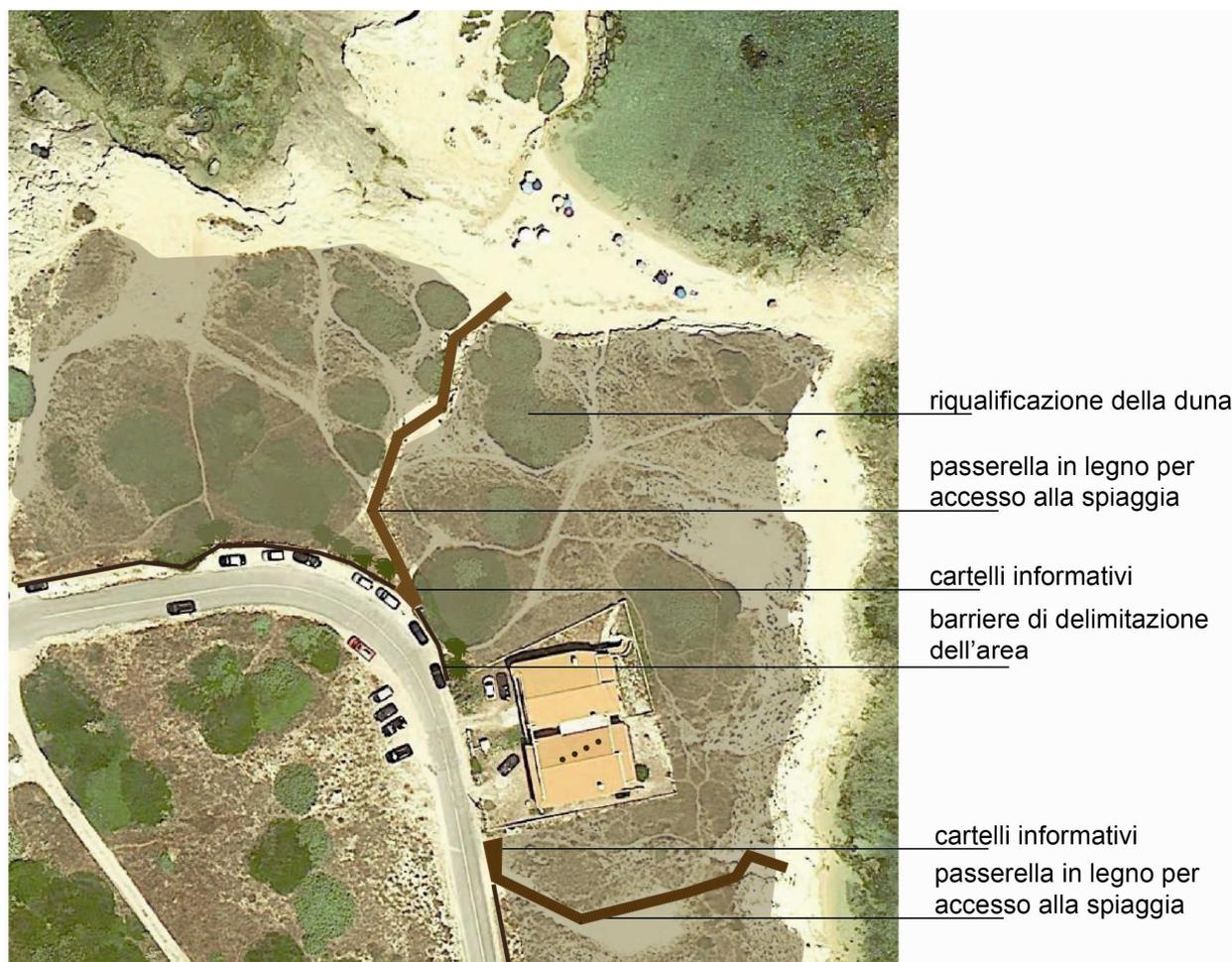


Figura 14 - riqualificazione della duna e miglioramento degli accessi al mare

2.2.4. Intervento di ripascimento e monitoraggio ambientale

Per migliorare la difesa della costa si ritiene che un intervento di ripascimento possa ben completare l'intervento previsto di palificata in legno. Le palificate, in assenza del ripascimento, sono certamente soggette a frequenti sollecitazioni da parte del moto ondoso e con il passare del tempo perdono gradualmente e naturalmente parte della loro funzione. Le palificate sono inoltre interventi posti in aderenza alla costa da proteggere, non c'è margine, non c'è zona di attenuazione fra l'opera di difesa e la zona da difendere. In una situazione ideale a cui tendere le palificate sono quindi inquadrabili come opere che esplicano la loro funzione solo nel caso di eventi estremi e nel breve periodo. Una soluzione di maggiore durata nell'ambito di interesse è raggiungibile prevedendo appunto un ripascimento protetto con pennelli trasversali alla linea di riva, eventualmente con l'attuazione del Lotto B.



Figura 15 - Esempio di un intervento di ripascimento con opere di protezione

L'apporto di materiale sedimentario idoneo determina un rialzamento e un avanzamento verso mare dell'attuale spiaggia, allontanando quindi l'azione del moto ondoso dalla costa. I pennelli stabilizzano maggiormente la sabbia versata all'interno delle celle ed evitano che venga velocemente dispersa dall'azione del moto ondoso. La testa dei pennelli, oltre a trattenere maggiormente la sabbia, effettua anche la protezione diretta del litorale dall'azione del moto ondoso.

I pennelli possono essere previsti emersi a +50/100 cm rispetto al livello medio mare. Molto dipende dall'effettive profondità in gioco (i massi hanno una dimensione che si aggira intorno al metro, l'emersione è quindi anche una necessità costruttiva). Lo sversamento di sabbia può essere valutato in 10/20 mc per metro lineare di litorale: tale valore è modesto rispetto ai normali ripascimenti che vengono eseguiti ed ha la sola funzione di proteggere la costa senza quindi previsioni di aumento della fruibilità turistica dell'area.

Come già più volte sottolineato, tale intervento anche con apporti volumetrici contenuti di sedimento, in un contesto di elevata dinamica meteomarina come il paraggio di Su Pallosu, si ritiene possa essere preso in considerazione solo a seguito di uno studio approfondito e ad un corretto inquadramento idrodinamico del paraggio costiero e dell'unità fisiografica di riferimento, fondato su misurazioni correntometriche ed ondometriche dirette, caratterizzazioni morfo-batimetriche e classificazioni sedimentologiche condotte attraverso una campagna di monitoraggio della durata almeno di 1 o 2 anni.