



T3.2.2 Piano degli interventi

Area pilota di Torre delle Stelle - Solanas,
Sardegna, Italia

REGIONE SARDEGNA – Assessorato della difesa dell'ambiente
ARPA SARDEGNA – Dipartimento geologico
UNICA – Dipartimento di scienze chimiche e geologiche

Luglio 2020

Gruppo di Lavoro

COORDINAMENTO GENERALE E REFERENTI TECNICI DEL PROGETTO

Dott. Ing. Mario Deriu – RAS – Ass.to Difesa Ambiente - Servizio Tutela della natura e politiche forestali.
Dott. Geol. Riccardo Dessi – ARPA SARDEGNA – Dipartimento Geologico
Prof. Antonio Funedda – UNICA – Dipartimento Science Chimiche e Geologiche

RAS - ASS.TO DIFESA AMBIENTE - SERVIZIO TUTELA DELLA NATURA E POLITICHE FORESTALI:

Direttore del Servizio: Dott. Agr. Giovanni Piras
Responsabile del progetto e coordinamento:
Dott. Ing. Mario Deriu
Collaborazioni: Dott.ssa Geol. Maria Bonaria Careddu
Dott. Geol. Mauro Farris
Habitat/Ecosistemi – Valutazione Pressioni Impatti:
MARTECH S.r.l. - Dott. Biologo Piero Panzalis (servizio esterno)
Assistenza elaborazione testi: Dott.ssa Loredana Mulas (consulente)
Comunicazione: Marcello Cabras (consulente)

ARPAS - DIPARTIMENTO GEOLOGICO COSTE BASSE E BACINI IDROGRAFICI

Direttore del Dipartimento Geologico: Dott. Geol. Marino Boi
dal 1 Settembre 2019 Ing. Mauro Iacuzzi
Coordinamento: Dott. Geol. Riccardo Dessi
Direzione tecnico scientifica: Dott. Giovanni Tilocca (Consulente)
Geologia e Geomorfologia: Dott. ssa Egidia Bruna Melis
Dott. ssa Geol. Danila Elisabetta Patta (consulente)
Dott. Geol. Giuseppe Pisanu (consulente)
Idrogeologia: Dott. ssa Egidia Bruna Melis
Dott. ssa Geol. Maria Luisa Fercia
Uso e copertura del suolo: Dott.ssa Geol. Elisabetta Benedetti
Dott. Geol. Francesco Muntoni
Idrologia e aspetti climatici: Dott. Ing. Domenico Caracciolo
Sedimentologia e mineropetrografia:
Dott. Geol. Roberto Lonis
Dott. ssa Geol. Maria Luisa Fercia
Dott. ssa Egidia Bruna Melis
Dott.ssa Chim. Carla Denotti
Dott.ssa Chim. Gabriella Podda
PETROLAB S.R.L (servizio esterno)
Rilievi ed elaborazioni immagini da satellite:
Dott. Geol. Francesco Muntoni
PLANETEK S.R.L (servizio esterno)
Bilancio sedimentario – Stima trasporto solido fluviale:

Dott. Geol. Francesco Muntoni
Geom. Andrea Lai
Prof. Rocco Dominici *Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra, Università della Calabria*
Dott. Salvatore Larosa *Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra, Università della Calabria*

Bilancio sedimentario - Tendenze evolutive delle spiagge - Rischio Costiero:

Dott. Geol. Riccardo Dessi
Dott.ssa Geol. Elisabetta Benedetti
Dott. Geol. Francesco Muntoni
Dott. Geol. Giovanni Tilocca (Consulente)

Rilievi aerofotogrammetrici - morfobatimetrici - misure ondometriche/correntometriche:

RTI MARTECH S.R.L & SARLAND S.R.L (servizio esterno)

Analisi meteomarine e morfodinamica sedimentaria:

CRITERIA S.R.L (servizio esterno)

Elaborazioni dati e cartografia digitale - Ufficio Cartografico Dip. Geologico:

Geom. Andrea Lai
Geom. Antonio Lavena
Sig. Pinuccio Manca
Dott. Geol. Francesco Muntoni

Elaborazioni testi e grafica:

Geom. Ornella Pilloni

UNICA - DIPARTIMENTO SCIENZE CHIMICHE E GEOLOGICHE

COSTE ALTE

Coordinamento: Prof. Antonio Funedda

Geologia e Geomorfologia: Dott. Geol. Giacomo Deiana,
Prof. Antonio Funedda,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,
Prof. Paolo Orrù,

Geologia applicata, analisi geotecniche e geomeccaniche:

Prof.ssa Stefania Da Pelo,
Dott. Ivan Erbi,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,

Rilievi ed elaborazioni immagini da remote e proximal sensing:

Dott. Geol. Giacomo Deiana,
Dott. Marco Loche,
Dott.ssa Geol. Maria T. Melis,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,
Dott. Geol. Riccardo Salvini (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*),
Dott. Geol. Claudio Vanneschi (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*)
Dott. Geol. Paolo Conti (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*),
Dott. Geol. Gianluca Cornamusini (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*),

Elaborazione dati e cartografia digitale:

Dott. Geol. Francesco Dessì,
Dott.ssa Geol. Maria T. Melis,
Dott. Geol. Luca Naitza,
Dott. Geol. Riccardo Salvini (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*)
Dott. Geol. Claudio Vanneschi (*Centro di GeoTecnologie – Università di Siena*)

Rilievi geofisici e geomorfologici e restituzione cartografica del sistema sommerso:

Dott. Geol. Giacomo Deiana,
Dott. Geol. Valentino Demurtas,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,
Prof. Paolo Orrù.

Analisi clima meteomarinico e moto ondoso:

Dott. Ing. Andrea Sulis,

Zonazione della suscettività, Pericolosità e Rischio costiero, Monitoraggio:

Prof.ssa Stefania Da Pelo,
Dott. Geol. Giacomo Deiana,
Dott. Geol. Francesco Dessì,
Prof. Antonio Funedda,
Dott. Ing. Paolo Loddo,
Dott.ssa Geol. Maria T. Melis,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,
Prof. Paolo Orrù,

Elaborazione testi/immagini e Divulgazione:

Prof.ssa Stefania Da Pelo,
Dott. Geol. Giacomo Deiana,
Dott. Geol. Francesco Dessì,
Prof. Antonio Funedda,
Dott.ssa Geol. Maria Irene Marras,
Dott.ssa Geol. Maria T. Melis,
Dott. Geol. Mattia A. Meloni,
Prof. Paolo Orrù,
Dott. Ing. Andrea Sulis.

INDICE

INTRODUZIONE	3
1 DIAGNOSI.....	5
1.1 RISULTATI DEL MONITORAGGIO E SINTESI DELLE CRITICITA' AMBIENTALI NELLE AREA PILOTA.....	5
<i>Inquadramento geografico dell'Area Pilota</i>	<i>5</i>
<i>Criticità ambientali.....</i>	<i>7</i>
Spiaggia di Cann'e Sisa (Comune di Maracalagonis)	7
Promontorio roccioso di Torre delle Stelle (Comune di Sinnai).....	10
Spiaggia di Genn'e Mari (Comune di Sinnai)	12
Spiaggia di Solanas (Comune di Sinnai).....	15
I Bacini idrografici del Rio Solanas, del Rio Gavoi e la rete minore	21
1.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO COSTIERO IN RELAZIONE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI	24
2 PROPOSTE DI MISURE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO	28
2.1 INDIVIDUAZIONE DELLE TIPOLOGIE POTENZIALI DI INTERVENTO PIÙ IDONEE PER IL SITO SPECIFICO E/O AREE SIMILI	28
<i>Identificazione delle tipologie di intervento appropriate</i>	<i>28</i>
<i>Le misure di mitigazione per le coste basse e bacini idrografici sottesi</i>	<i>30</i>
Il sistema Rio Gavoi - spiaggia di Cann'e Sisa.....	30
Il sistema spiaggia di Genn'e Mari e Porto Perdosu	33
Il sistema Rio Solanas – spiaggia di Solanas.....	36
<i>Le misure di mitigazione per le coste alte</i>	<i>39</i>
Selezione e scala di priorità delle misure per la riduzione del Rischio e delle azioni destinate al miglioramento e alla salvaguardia ambientale	41
2.2 SCELTA E SCALA DELLE PRIORITA' DELLE MISURE DI RIDUZIONE DEI RISCHI E DELLE AZIONI FINALIZZATE A MIGLIORARE ED A PRESERVARE L'AMBIENTE.....	51
3 PROPOSTA DI AZIONI PER LA VALUTAZIONE DELLE MISURE ADOTTATE	52
3.1 PROGRAMMA DI MONITORAGGIO POST-INTERVENTI PER VALUTARE L'EFFICACIA E L'IMPATTO POTENZIALE DEGLI INTERVENTI NELLE ZONE COSTIERE VICINE	52
3.2 PROGRAMMA DI GESTIONE DEGLI INTERVENTI.....	52
3.3 PIANIFICAZIONE E MESSA IN OPERA DELLE AZIONI DI COMUNICAZIONE E DI PARTECIPAZIONE	52
<i>Premessa</i>	<i>52</i>
<i>Rafforzamento della Governance</i>	<i>53</i>
<i>Proposte di capitalizzazione.....</i>	<i>53</i>

INTRODUZIONE

Nell'ambito della Component di Progetto T2 sono stati identificati i siti pilota nei quali applicare le metodologie elaborate per ciascun tema trattato, (bilancio sedimentario delle spiagge, clima meteo-marino e rischio costiero a breve e lungo termine, instabilità delle coste alte, habitat ed ecosistemi) seguendo un approccio integrato tra i vari temi.

Nella stessa fase progettuale è stata inoltre richiamata e adottata la strategia transfrontaliera già riconosciuta e adottata in Italia ed in Francia, con la firma a Madrid nel 2008, del "Protocollo sulla Gestione Integrata delle Zone Costiere del Mediterraneo" (GIZC), evidenziando le reciproche interazioni e i principi comuni fra i due paesi transfrontalieri.

Il riconoscimento dei principi generali e l'adozione di tale strategia congiunta e transfrontaliera ha indirizzato, in ultimo, la stesura della proposta metodologica per la redazione dei piani degli interventi di difesa costiera alla scala di Unità Fisiografica Principale o Sub unità (Secondaria o Gestionale) basata sullo schema logico concettuale a cui si rimanda per una lettura completa http://interreg-maritime.eu/documents/428470/891881/OUTPUT_T2_IT.pdf/d65b7afe-8c38-4fdf-b283-4ca63b2010c9 e che viene sintetizzato nel seguito :

- a) identificare i problemi e le criticità presenti a livello di unità fisiografica secondo una logica di priorità (acquisizione delle conoscenze attraverso studi e monitoraggi specifici);
- b) comprendere i processi alla base delle fenomenologie individuate e quindi prevedere gli scenari evolutivi ad essi associati (metodologie di analisi dei fenomeni legati al bilancio sedimentario, all'evoluzione delle coste alte, alla valutazione delle pressioni su habitat ed ecosistemi costieri); definire la scelta strategica integrata individuando l'opzione strategica di gestione, o una combinazione di esse, del tratto costiero considerato:

i contenuti, riproposti in figura 1, hanno lo scopo di rappresentare, seppur in modo sintetico le opzioni da considerarsi nel processo decisionale e nei ragionamenti a monte di qualsiasi pianificazione, strategia di gestione e adattamento costiero o programma di interventi. A tal fine, partendo dall'obiettivo primario di privilegiare interventi capaci di adattarsi agli eventi ed a preservare la capacità naturale della costa di adattarsi ai cambiamenti climatici, la scelta deve essere condotta secondo lo schema proposto dal protocollo GIZC e adottato nella strategia transfrontaliera MAREGOT e dalla loro combinazione:

- nessun intervento;
- riallineamento gestito;
- delocalizzazione;
- mantenimento della linea di difesa;
- avanzamento della linea di difesa.

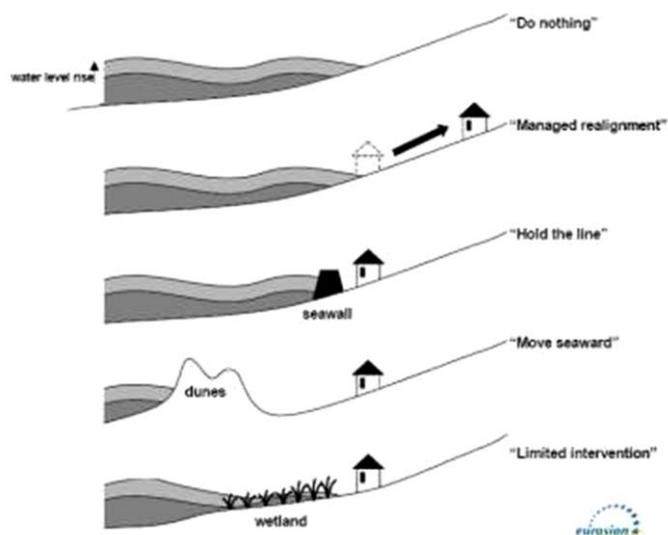


Figura 1 – Schema GIZC

Le scelte possono essere una o più di una tra le soluzioni sopra evidenziate e proposte in più fasi nel tempo e nello spazio accompagnate da continue attività di monitoraggio che consentano nel tempo di modificare le scelte in relazione alla risposta della costa.

- c) definire le possibili tipologie di intervento, i vantaggi e gli svantaggi di ognuna anche in termini di impatti ambientali e costi di realizzazione e manutenzione, indirizzando le scelte, o combinazioni di scelte e le priorità d'intervento tra le possibili soluzioni (Redazione dei piani);
- d) definire scenari di gestione del rischio, con l'obiettivo di offrire ai "decisioni politici" indicazioni di buone pratiche sia a livello pianificatorio sia a livello di gestione degli eventi calamitosi

Il documento, partendo dalla sintesi delle criticità riscontrate nell'Area Pilota, identifica e propone misure ed interventi, strutturali e non strutturali, finalizzati alla prevenzione, mitigazione e adattamento ed intesi a far fronte alle conseguenze degli eventi naturali di vasta portata e con effetti negativi sull'ambiente in termini di danno grave, in particolare a quelli connessi ai cambiamenti climatici.

L'articolazione del documento prevede inoltre la definizione di una proposta di **azioni** per la valutazione delle misure adottate, di un programma di **monitoraggio** post - interventi per valutare l'efficacia e l'impatto potenziale degli interventi nelle zone costiere limitrofe ed una proposta di **pianificazione** e messa in opera delle azioni di **comunicazione** e di **partecipazione**.

1 DIAGNOSI

1.1 RISULTATI DEL MONITORAGGIO E SINTESI DELLE CRITICITA' AMBIENTALI NELL'AREA PILOTA

Inquadramento geografico dell'Area Pilota

L'area pilota è situata nella Sardegna Sud Orientale, ricade nei Comuni di Maracalagonis e Sinnai ed è compresa entro un'ampia fascia costiera a prevalente composizione granitica, caratterizzata dalla presenza di scogliere e promontori che ospitano spiagge "a tasca", in genere sabbiose e ghiaiose, quando sottendenti limitati bacini idrografici, ciottolose o a grossi blocchi, ai piedi delle falesie.

Il sistema costiero, all'interno del più ampio Golfo di Cagliari, è compreso fra Capo Boi ad Est e il promontorio di Baccu Mandara ad Ovest e sottende i due principali bacini idrografici del Riu Gavoi e del Riu Solanas da cui provengono i principali apporti sedimentari che alimentano le spiagge rispettivamente di Cann'e Sisa, Genn'e Mari e Solanas. Il sistema idrografico è inoltre caratterizzato da un reticolo minore complementare (Genn'e Mari e Portu Perdosu) a configurazione essenzialmente montana ed a bassa gerarchizzazione (figura2).



Figura 2 - Inquadramento geografico dell'area pilota e dei bacini costieri, in blu sono indicati i limiti dei bacini idrografici principali, in giallo le spiagge.

Sulla base delle conoscenze acquisite e dei risultati delle attività ad oggi realizzate, è riconoscibile, all'interno dell'Unità Fisiografia Secondaria, una **"Unità Gestionale Costiera"** (UGC), ossia un tratto di costa, sottendente ai due bacini idrografici principali (Rio Gavoi, Rio Solanas), identificato in base a specificità morfologiche, idrografiche che la contraddistinguono rispetto ai tratti contigui. Tale unità UGC è costituita da tre **"Sub-unità Gestionali Costiere"** (UGC1 Cann'e Sisa, UGC2 Genn'e Mari, UGC3 Solanas) identificabili, anch'esse, in base a specifiche caratteristiche geomorfologiche, sedimentologiche e idrodinamiche, i cui limiti sono costituiti, oltre che da elementi morfologici naturali (Promontori di Baccu Mandara, Torre de Su Fenugu Torre delle Stelle, Promontorio di Punta Cabudi e Capo Boi), anche da punti singolari di trasporto solido riconosciuti e fissi (foce fluviale del Rio Gavoi e del Rio Solanas), punti di convergenza, punti di divergenza, punti di perdita dei sedimenti.

Il bacino idrografico del Rio Gavoi trova nel promontorio centrale di Torre delle Stelle l'importante alto morfologico sul quale è sorto il villaggio omonimo (Figura 3). Il promontorio ha un'altezza di circa 85 metri s.l.m. con una superficie ondulata modellata secondo l'orientazione delle resistenti intrusioni filoniane e delle componenti strutturali, che hanno guidato l'evoluzione delle incisioni sino alla costa. In questo tratto, oggetto dello studio in questo progetto, la costa è rocciosa e articolata e si alternano piccole calette, di cui la più ampia è quella di Cala Delfino, e tratti di versanti con acclività molto elevate (> 60°) con evidenti fenomeni di instabilità, come già ampiamente descritto nella relazione specialistica del sito. Anche la piccola baia di Cala Delfino si apre alla base di un versante attivo per processi di crollo e la presenza di canali di materiale sciolto messo in movimento dalle precipitazioni (colate di detrito).

L'area possiede un elevato valore ambientale e paesaggistico ed è sede ormai da tempo di un villaggio turistico particolarmente frequentato nel periodo estivo. Complessivamente il centro conta centinaia di unità abitative con migliaia di residenti durante la stagione estiva. L'urbanizzazione è iniziata negli anni '60, ed è proseguita sino a quando i vincoli paesaggistici sono diventati più stringenti lungo le coste. L'alta densità abitativa incide sul fenomeno della impermeabilizzazione del suolo e della conseguente modifica della circolazione delle acque superficiali. Le acque, trovando terreni impermeabilizzati e sbarramenti da parte dei muri di cinta delle abitazioni, tendono scorrere lungo la rete viaria creando flussi di acque e fango incanalati altamente erosivi.

Osservando il promontorio, si nota che alcune costruzioni sono state edificate prospicienti alle falesie e ai versanti instabili o nelle loro immediate vicinanze e questo potrebbe comportare in futuro un loro coinvolgimento da parte dei processi di erosione regressiva della costa e dissesto.



Figura 3 - Inquadramento geografico del tratto costiero dell'area pilota (immagine da Google Earth).

Criticità ambientali

L'ambiente costiero è un ecosistema molto dinamico in cui i processi che lo costituiscono interagiscono tra loro modificandone le caratteristiche geomorfologiche e fisiche; i litorali sabbiosi sono sicuramente i più vulnerabili e soggetti a modifiche nel breve periodo, al contrario delle coste rocciose che presentano una resilienza marcatamente più elevata. L'estrema dinamicità dei sedimenti movimentati dall'azione del mare espone la linea di riva a continue variazioni riscontrabili anche nell'arco di una stagione; al contrario l'azione erosiva lungo le coste rocciose ha degli effetti meno marcati e non apprezzabili nel breve periodo. L'elevata resilienza delle coste rocciose è legata a fattori fisici e morfologici che si traducono in una poca disponibilità di spazio conferendo una certa rigidità al sistema, specialmente nel breve periodo.

L'applicazione della strategia transfrontaliera adottata da MAREGOT nell'area pilota Torre delle Stelle – Solanas ha messo in luce numerose criticità che si esercitano su questo settore e di cui si dovrà tenere conto nei differenti scenari di gestione.

Tali criticità vengono descritte ed evidenziate, facendo riferimento a sei settori geografici compresi nell'Unità Fisiografica Gestionale (UFG) e corrispondenti alle tre spiagge, al promontorio roccioso di Torre delle Stelle e ai due distinti bacini idrografici ed al settore delle coste alte e ripe rocciose. Di seguito la descrizione da nordovest verso sudest.

Spiaggia di Cann'e Sisa (Comune di Maracalagonis)

Il confronto diacronico ha messo in evidenza come la spiaggia registri consistenti retrocessioni della linea di riva su base sessantennale, testimonianza di un apporto sedimentario deficitario e di un relativo importante arretramento della linea di riva, come risultato di condizionamenti ed usi antropici, più che di una mera evoluzione naturale. Tale arretramento, mediamente superiore ai 20m, si rivela particolarmente evidente sul lato Sud, dove la retrocessione della linea di riva varia dai 35m ai 40m.

Nella sostanza si è trattato di un riadattamento del profilo con nuovo equilibrio morfodinamico, a valle del decremento di budget sedimentario. Dal confronto delle immagini e della cartografia storica (1870-2019) emergono le modificazioni antropiche del reticolo idrografico e la scomparsa di una buona parte di un esteso sistema dunale retrostante che collegava le due spiagge di Cann'è Sisa e di Genn'e Mari (valutabile in diverse decine di migliaia di metri cubi di sabbia), a cui si lega l'evidente arretramento della linea di riva di entrambe. Dato il contesto idrografico e la sostanziale obliterazione del Riu Gavoi, tale concomitanza di condizioni pregiudica la stabilità della spiaggia. Gli stessi scampoli del sistema dunale, oggigiorno letteralmente relitti in relazione al sistema originario, pur presentandosi in uno stato particolarmente degradato, debbono tuttora considerarsi la principale garanzia di sopravvivenza della spiaggia emersa.

Le analisi diacroniche in foto aerea oltre ad evidenziare la drastica retrocessione della linea di riva, evidenziano anche un abbattimento dello spessore dei profili di spiaggia, sia emerso che sommerso. Quest'ultimo appare variabile da uno a due decimetri nei primi metri di profondità, dove le sabbie sono evidentemente sovrapposte alla *beachrock* olocenica, con 1,5m-2m al massimo nel settore assiale e centrale (è probabile che il contatto al letto sia contrassegnato anche da ciottoli derivanti dallo smantellamento della *beachrock*).

Ciò malgrado, la spiaggia deve considerarsi decisamente poco vulnerabile in termini naturali ed il suo assetto complessivo ne rimarca la robustezza sedimentaria, a fronte del gravissimo quanto riconosciuto dissesto subito.

Entrambi i fenomeni sono quindi da ritenersi spiegabili solo se si ammette anche una ridefinizione del profilo modale della spiaggia, conseguente alla pressoché totale distruzione del sistema dunale che collegava fino agli anni'70 questa spiaggia con quella più orientale di Genn'e Mari e col degrado d'uso di quello residuo.

Le principali pressioni attuali di questa spiaggia sono dovute alla presenza di attività antropiche turistico-balneari e ad una trascurata gestione della spiaggia stessa. La componente vegetale delle dune è estremamente vulnerabile dall'eccessivo calpestio, il che comporta la regressione della

copertura vegetale e la frammentazione dell'habitat. L'alterazione della morfologia delle dune embrionali e delle dune mobili, legata all'utilizzo della spiaggia, espongono l'habitat a svariate pressioni. La vulnerabilità del sistema dunale è da imputare, in generale, allo sfruttamento turistico, comportante alterazioni della micro-morfologia dunale.

La formazione delle dune embrionali e la mobilità delle stesse sono drasticamente inibite in tutte le spiagge di questo tipo, oggetto di intensa frequentazione concentrata prevalentemente nei mesi estivi.



Figura 4 - Spiaggia di Cann'e Sisa – Ripa d'erosione.

Nella parte nordovest della spiaggia, nella fascia di battigia antistante la *beachcock* a mare, si osserva un tratto di costa che evidenzia uno stato erosivo legato ad un evento di mareggiata con T tempo di ritorno probabilmente non annuale. In questo tratto di spiaggia il suolo è direttamente in contatto con la spiaggia senza presenza di duna. La perdita di suolo è causata principalmente dall'assenza di una vegetazione con un apparato radicale sviluppato. Nella figura 4 si può notare una ripa di erosione di circa 1 metro.



Figura 5 - Spiaggia di Cann'e Sisa – Settore centrale e agropireto su corpo dunale

Nella parte centrale della spiaggia (figura 5) si sviluppa un importante agropireto, in passato delimitato con paletti e corde, il cui sistema di protezione, ad oggi, risulta danneggiato e pertanto inefficace. **Cdm)** Concessione demaniale marittima; **Pd)** Piede della duna; **Cd)** Cresta della duna.



Figura 6 - Spiaggia di Cann'e Sisa – chiosco (Cdm)

Nella parte ovest della spiaggia è presente un chiosco (figura 6) in legno posizionato sul corpo dunale. La concessione fa parte di due strutture balneari entrambe posizionate nel pieno dell'habitat 2110. **Bt)** Berma di tempesta; **Bo)** berma ordinaria; **Cdm)** concessione posizionata sul cordone dunale



Figura 7 - Spiaggia di Cann'e Sisa – chiosco (Cdm)

Nella parte est della spiaggia è presente un secondo chiosco in legno (figura 7), il quale, come il precedente, può determinare la frammentazione dell'habitat. Si può notare infatti la presenza di un ripiano artificiale (che modifica il profilo originario della duna verso mare e della spiaggia emersa antistante) realizzato come piano di fondazione del chiosco soprastante. **Cd)** Creste delle dune; **Cdm)** concessione posizionata sul cordone dunale; **A)** Assi di transito pedonale non gestito sul fronte dunale; **Pd)** Piede della duna, scalzato con il caratteristico fenomeno detto zappatura; **a)** Ripa d'erosione impostatasi al piede della duna con innesco di frammentazione della zona dunale; tale criticità, pur

tuttavia, favorisce nell'ambito delle dinamiche geomorfologiche della spiaggia un contributo alla sua alimentazione.



Figura 8 - Spiaggia di Cann'e Sisa – cumuli di sabbia (C)

Nella zona retrodunale è presente una zona umida ed è ipotizzabile che, per facilitare l'allontanamento dell'acqua dolce sia stato aperto un canale (figura 8) e che la sabbia rimossa sia stata posizionata in cumuli sulle dune (C), compromettendo la funzionalità della duna e soffocando tutta la vegetazione presente sulla cresta della duna stessa. r) erosioni spondali alla foce entro il sistema dunale; Bt) Berma di tempesta; Cd) Creste delle dune; A) Assi di transito pedonale non gestito sul fronte dunale.

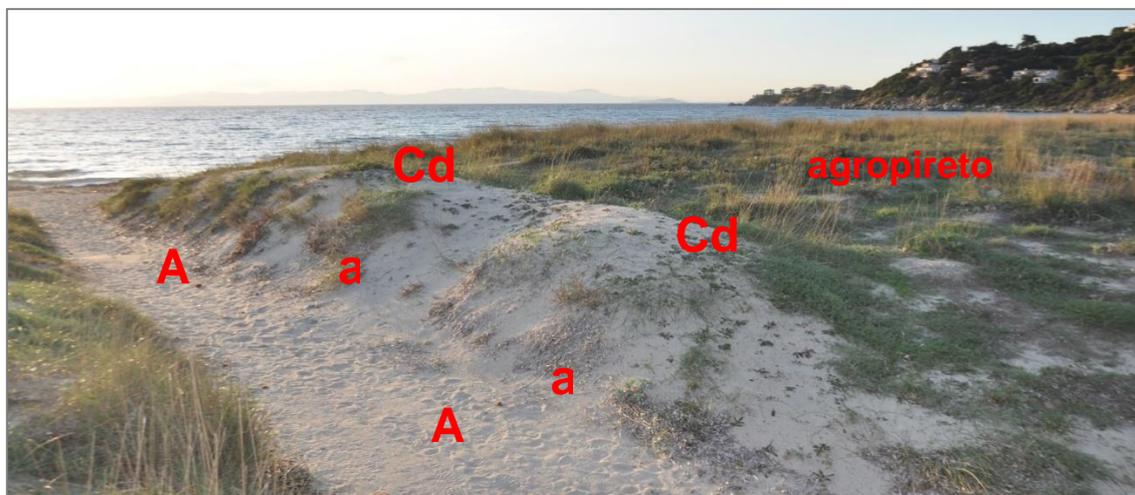


Figura 9 - Spiaggia di Cann'e Sisa

Le principali modificazioni indotte dalla fruizione creano varchi e aperture che facilitano la deflazione (evolvendo in conche e canali). Le incisioni, innescate dal transito pedonale continuo, ampliate dalla deflazione e approfondite dal dilavamento, possono essere individuate lungo il tratto di duna che collega la spiaggia emersa con il chioschetto. Queste tipologie di vie di accesso alla spiaggia (figura 9) tagliano il cordone dunale in modo disordinato, distruggendo la vegetazione e esponendo gli apparati radicali delle piante.

Promontorio roccioso di Torre delle Stelle (Comune di Maracalagonis)

Le principali criticità che interessano il tratto costiero roccioso del promontorio di Torre delle Stelle sono legate a processi di dissesto geomorfologico come crolli e colate di detrito. Queste dinamiche sono attive lungo i versanti sino al mare e coinvolgono anche le piccole cale, frequentate in gran parte nel periodo estivo.

Il tratto costiero esaminato mostra localizzati e ripetuti processi di dissesto, concentrati prevalentemente nei settori esterni rispetto alla fascia di wave run-up (distanza tra il livello medio del mare ed altezza massima raggiunta dalla cresta dell'onda); in particolare si rinvennero nei settori più acclivi dei versanti e negli ammassi rocciosi fratturati e alterati. In questi settori gli agenti morfogenetici (dilavamento, alterazione chimico-fisica della roccia, ecc.), asportano i prodotti dell'alterazione e isolano ed espongono i blocchi a successivi processi gravitativi di crollo, crollo/ribaltamento e scivolamenti.



Figura 10 - Il tratto di costa di Cala Delfino (Torre delle Stelle), da ricostruzione fotogrammetrica ad alta risoluzione.

Del litorale roccioso esposto nell'area pilota è stato studiato con maggior dettaglio il settore di Cala Delfino in quanto paradigmatico dell'assetto geologico e delle condizioni di dissesto tipiche dell'intera area nonché, durante la stagione estiva, molto frequentato sia dai residenti che dai turisti che arrivano anche dal mare, poiché la baia offre riparo per i piccoli natanti.

Cala Delfino è una piccola baia che si estende per circa 200 metri ed è situata nel settore sud-orientale del promontorio di Torre delle Stelle (Figura 10). La baia chiude una spiaggia ciottolosa, la cui parte emersa è profonda circa 15 m e che può essere distinta in due settori con diverse caratteristiche geomorfologiche ben individuabili sia nella spiaggia emersa che in quella sommersa, come riportato nella Carta geomorfologica (Tav 15 allegata alla relazione specialistica dell'area pilota). Il settore orientale della spiaggia, che si estende per una lunghezza di circa 60 metri, è composto prevalentemente da ciottoli arrotondati eterometrici con dimensione da 2 fino a 20 centimetri, alimentati dal versante emerso; il settore occidentale della spiaggia è composto da depositi di crollo spigolosi e grossi blocchi eterometrici con volumi da 0,1 a 3 m³. Questi grossi blocchi sono ben evidenti anche nel settore della spiaggia sommersa e la loro bassa elaborazione testimonia il persistere dell'attività di crollo.

Lungo il versante che chiude Cala Delfino sono presenti una serie di impluvi nei quali, durante le precipitazioni, si sono messi in movimento depositi detritici e in alcuni tratti materiali di risulta delle costruzioni realizzate in prossimità del ciglio della falesia. Un importante deposito di recente formazione (marzo 2015) costituisce una colata di detrito in cui ancora è evidente la conoide al piede, in parte erosa dal moto ondoso.

Un altro settore particolarmente instabile è quello della Torre di Su Fenugu, che sorge sul settore sud-occidentale del promontorio di Torre delle Stelle, caratterizzato da falesie e versanti acclivi. Anche questi versanti sono molto attivi, sono evidenti le colate di detrito e, alla base, i depositi di crollo in grossi blocchi frammentati. Anche sotto la Torre di Su Fenugu è presente una piccola cala costituita da ciottoli arrotondati e frammenti dei depositi di crollo, lunga circa 80 metri, frequentata principalmente nel periodo estivo.

Si devono ancora segnalare criticità in corrispondenza delle vie di accesso alle calette: si tratta perlopiù di sentieri frequentati durante il periodo estivo che hanno vie di accesso privato o in comune tra le abitazioni circostanti o si dipartono dalle strade comunali. Questi tratti attraversano le zone con i

fenomeni di instabilità che sono stati descritti e pertanto, possono essere soggetti a sporadici processi gravitativi.

Spiaggia di Genn'e Mari (Comune di Maracalagonis)

La linea di riva, dalle correlazioni multi temporali a partire dal 1954, appare strutturalmente arretrata, con deficit variabili da poco più di 30m sul transetto centrale, ai 25 m circa sul terminale occidentale, ai 20m del settore orientale. L'arretramento appare piuttosto sensibile dal 2005 ad oggi, con evidenza in media di circa 9-10m praticamente in ognuna delle tre ripartizioni trasversali, lievemente più accentuata nella parte centrale della falcata. Qui l'erosione ha via via denudato una parte della *beachrock* che, tende persino ad affiorare in ambiente di battigia.

Dalle immagini aeree si ricava anche in questo caso come in quello precedente di Cann'e Sisa, che il bilancio sedimentario storico della spiaggia è stato drammaticamente alterato dalla drastica distruzione dell'imponente sistema dunale orientato NW-SE che fino agli anni '70 connetteva tale paraggio con quello di Cann'e Sisa. Ne consegue che per questa spiaggia valgono le medesime considerazioni di Cann'e Sisa, circa il riadattamento del profilo emerso e sommerso ad un nuovo equilibrio in funzione della riduzione dell'apporto sedimentario. E' per questo che oltre ad un'accentuata retrocessione, ben evidente come detto nel settore centrale, si deve ammettere che siano diminuiti gli spessori sia della berma che della barra sommersa.

L'habitat dunale della spiaggia di Genn'e Mari è molto ridotto ed in evidente stadio regressivo. La piccola spiaggia, costellata da svariate abitazione turistiche, strade e vialetti ha un evidente carenza di sedimento per ripascere la spiaggia. La mancanza di una fascia retrodunale, e la carenza sia di dune embrionali che di dune stabilizzate fa sì che la spiaggia sia in una fase di sofferenza da un punto di vista sedimentario. Inoltre la presenza di diverse specie alloctone, nelle dune residue, fa sì che le piante endemiche della duna stessa faticano a reimpiantarsi ed a svilupparsi per mantenere la duna stabile. La componente vegetale delle dune risulta estremamente vulnerabile all'eccessivo calpestio, specialmente negli accessi alla spiaggia.



Figura 11 - Spiaggia di Genn'e Mari – Vegetazione arborea e arbustiva.

La spiaggia di Genn'e Mari è interessata da forti mareggiate che hanno determinato lo scalzamento delle dune e la perdita delle dune embrionali. La vegetazione che segue immediatamente la zona afitoica è rappresentata da specie a portamento arbustivo (*Pistacia lentiscus*) e da specie arboree aliene (*Acacia saligna*) (**Sa**) (figura 11) probabilmente introdotte con i rimboschimenti per il consolidamento delle sabbie litoranee nel secolo scorso. La presenza di chioschi non stagionali rallenta inoltre tutti i processi naturali in corso nella spiaggia e un conseguente disfacimento e perdita dell'habitat residuo.

r): solchi di ruscellamento. **a)** Ripa d'erosione impostatasi al piede della duna con innesco di frammentazione della duna. **Cdm)** concessione demaniale marittima.



Figura 12 - Spiaggia di Genn'e Mari – Frammentazione del corpo dunale

Nella figura sopra si può notare come il transito dei fruitori della spiaggia, abbia dato origine a frammentazione dell'habitat dunale, alla creazione di varchi e aperture che diventano facile preda della deflazione (evolvendo in conche e canali) e del ruscellamento per deflusso concentrato (figura 12). **a)** Ripa d'erosione impostatasi al piede della duna con innesco di frammentazione della duna stessa; **A)** Assi di transito pedonale; **r)**: solchi di ruscellamento; **Pd)** Piede della duna; **Cd)** Creste delle dune; **Sa)** Specie alloctone.



Figura 13 - Spiaggia di Genn'e Mari – **a)** Ripa d'erosione che ha interessato sia il corpo dunale che il suolo; **r)**: solchi di ruscellamento.



Figura 14 - Spiaggia di Genn'e Mari – Vegetazione arborea e arbustiva.

L'eccessiva antropizzazione, la costruzione di edifici in corrispondenza dell'apparato dunale e la presenza di specie aliene (*Carpobrotus*, *Acacia saligna* e *Agave americana* (**Sa**), introdotte nell'ambiente in maniera volontaria o accidentale, contribuiscono a un'ulteriore perdita dell'habitat e della biodiversità. In figura 14 e 15, **Pde) Piede della duna embrionale in corrispondenza della Bt o berma di tempesta, Cde)** Cresta della duna embrionale.

Nella stessa figura si può notare una duna embrionale completamente ricoperta da specie alloctone. La duna è in evidente stadio di erosione. Tutte le specie alloctone hanno predominato sulla vegetazione tipica di questo habitat sostituendola in toto.



Figura 15 - Spiaggia di Genn'e Mari – **Pd)** Piede della duna; **Cd)** Cresta della duna; **a)** Ripa d'erosione impostatasi al piede della duna; **A)** Vie d'accesso alla spiaggia, tagliano il cordone dunale in modo disordinato, distruggendo la vegetazione ed esponendo gli apparati radicali delle piante.



Figura 16 - Spiaggia di Genn'e Mari – Infrastrutture antropiche.

Nell'immagine in figura 16 risulta evidente la presenza di numerose case e terreni privati, nella parte retrodunale che ha portato alla costruzione di diverse strutture in cemento ed in pietra. I terreni in seguito recintati hanno portato alla costruzione di muretti cementati che corrono parallelamente alla duna. La costruzione di questi muretti ha portato all'interruzione delle dinamiche fisico ambientali che interrompono gli scambi tra il retro spiaggia e la spiaggia stessa. La presenza massiccia di diverse specie alloctone può aver contribuito alla obliterazione della quasi totalità del sistema dunale che tuttavia è da mettere in relazione prevalentemente ad azioni antropiche oltre che, com'è ovvio in un contesto deprivato di volumi, al mancato riequilibrio per effetto delle mareggiate di tempesta.

Spiaggia di Solanas (Comune di Sinnai)

Periodiche alluvioni del torrente determinano allagamenti e dissesti non strutturali sulla spiaggia che si accompagnano ad un certo dinamismo della foce, attualmente traslata a Sud Est rispetto al passato, a conferma di una prevalente corrente longitudinale orientata verso Est (Kalb, 2008; Demuro et al., 2015). In termini di bilancio sedimentario occorre sottolineare anche in questo caso il pesante abbattimento volumetrico subito dal sistema dunale, letteralmente fagocitato a beneficio della realizzazione di spazi destinati al parcheggio delle auto. Ciò ha evidentemente rideterminato l'equilibrio della spiaggia che, in ogni caso, non manifesta un particolare dinamismo sia in senso spaziale che temporale, al di là delle periodiche oscillazioni della linea di riva riscontrabili con più evidenza sulle porzioni laterali della falcata.

Da notare che nella porzione terminale Ovest della spiaggia, esattamente al limite della concessione Demaniale marittima lì ubicata, si attiva periodicamente la foce di un sistema idrografico locale, amplificato da impermeabilizzazioni ed edificazioni a monte e da opere viarie a valle che, in caso di piogge concentrate, tende a convogliare sulla berma di spiaggia, ghiaie e fanghi da ruscellamento del versante estremamente acclive. Il fenomeno è stato osservato anche nell'Agosto del 2019 all'indomani di piogge del 28/08/2019 come rappresentato nella foto sottostante.



Figura 17 - Spiaggia di Solanas – Habitat dunale e infrastrutture antropiche

L'habitat dunale della spiaggia di Solanas (vedi figura 17) è molto localizzato ed anch'esso, come le altre spiagge, è in regressione. La componente vegetale delle dune risulta estremamente vulnerabile all'eccessivo calpestio, che porta alla regressione della copertura vegetale e a frammentazione dell'habitat.

L'alterazione della morfologia delle dune embrionali e delle dune mobili, legate agli impatti della spiaggia, espone l'habitat ad una costante degradazione. La vulnerabilità del sistema dunale è da imputare, in generale, ad una mancante strutturazione della vegetazione della duna stessa.

Un altro fattore di minaccia che può causare l'ulteriore frammentazione e/o degradazione delle dune è rappresentato dagli impatti meccanici derivanti da un utilizzo improprio della spiaggia. Il transito motorizzato, che è stato riscontrato sulla spiaggia nel momento dell'analisi in campo rappresenta una minaccia che mina l'integrità del sistema dunale già fortemente frammentato.

Inoltre, anche con la finalità di una fruizione controllata degli spazi, è auspicabile mettere in atto degli interventi non strutturali mirati per informare e per segnalare i diversi ambienti attraverso l'installazione di delimitazione delle aree sensibili.



Figura 18 - Spiaggia di Solanas - Settore centrale.

Nella figura 18 si può notare che il piede duna embrionale (**Pde**) è in fase regressiva, infatti la vegetazione è discontinua. I vialetti delle abitazioni che portano alla spiaggia creano dei solchi nella duna stessa. Queste vie d'accesso alla spiaggia tagliano il cordone dunale in modo disordinato, distruggendo la vegetazione e esponendo gli apparati radicali delle piante. (**A**) Sentiero perpendicolare alla cresta della duna; **Pde**) Piede della duna embrionale, in avanzato stato di demolizione; **Cde**) Cresta della duna embrionale.



Figura 19 - Spiaggia di Solanas – Settore centrale

E' utile evidenziare che l'utilizzo sistematico nelle didascalie del termine assegnato alle dune Pde/Pd può essere oggetto anche di altra interpretazione ed essere assimilato ad un "apparente piede della duna" dato che l'involuppo delle intercette del *run up* sulla spiaggia, su cui si stabilizza secondo l'angolo di riposo della sabbia, genera una scarpa di berma di tempesta (stagionale o pluristagionale). Si tratta quindi della più recente traccia del fronte massimo di tempesta ed è soprattutto una forma di erosione e non di accumulo. (vedi figura 19)

Particolare della berma di tempesta (**Bt**) nel tratto centrale della spiaggia, alta circa 50 cm e coni di deiezione della berma (**D**).



Figura 20 - Spiaggia di Solanas – Settore centrale

Modificazioni significative riguardano gli assetti delle zone umide (spostamento di canali, urbanizzazione, usi storici): in figura 20 è ben visibile l'interruzione dell'apparato dunale da parte di un canale di erosione (**Ce**) dovuto a probabile deviazione del bacino imbrifero, a seguito dell'edificazione del territorio. Le acque di precipitazione, a seguito della cementificazione e impermeabilizzazione della strada (**C**), vengono convogliate in questa zona della spiaggia andando a creare dei profondi solchi. E' possibile notare la presenza di sedimento fine nel letto del fondo del solco, il quale provoca un'importante alterazione di tipo fisico della sedimentologia originaria della spiaggia (granulometria). Il materiale terrigeno, di varia granulometria, arrivando in mare potrebbe creare delle alterazioni alle biocenosi bentoniche e a *Posidonia oceanica* dato che il sedimento fangoso è una delle principali cause di regressione della prateria a *P. oceanica*. Questo materiale potrebbe causare un aumento della torbidità delle acque e depositarsi sulle foglie inibendo la fotosintesi. Oltre agli impatti sulle biocenosi, potrebbero crearsi delle variazioni del fondale marino cambiando la colorazione del sedimento della spiaggia sommersa e creando delle alterazioni visive e cambiare in questo modo la percezione del paesaggio stesso.



Figura 21 - Spiaggia di Solanas – Settore centrale

Un'altra conseguenza derivata dai processi di ruscellamento è rappresentata dalla perdita della vegetazione psammofila dovuta all'erosione dell'apparato dunale, evidente nella figura 21, e quindi dall'allontanamento entro la cella di grandi quantitativi di sabbia che, pur tuttavia, rimangono a disposizione del budget complessivo della spiaggia.



Figura 22 - Spiaggia di Solanas – Settore sud-orientale

Nella figura 22 è possibile osservare la presenza di sporadiche dune embrionali (**De**) caratterizzate da discontinuità e solchi di erosione (**Se**) in cui si nota l'assenza di vegetazione. L'habitat dunale è fortemente frammentato a causa del transito continuo e dello stazionamento sulle dune.



Figura 23 - Spiaggia di Solanas – Settore sud-orientale

Nella spiaggia, evidenti in figura 23 e 24, sono presenti tracce di solchi da pneumatico; (**P**) solchi di (fuoristrada) paralleli alle creste delle dune, insistono su una zona che dovrebbe essere di dominio dunale; **Cd**) Creste delle dune; **Pd**) Piede della duna, scalzato con il caratteristico fenomeno detto zappatura; **A**) Attraversamenti perpendicolari alla linea di cresta, interessano l'intera duna; Il passaggio dei mezzi sulle dune ne determina il disfacimento e la rottura degli equilibri che caratterizzano la naturale dinamica sedimentaria della spiaggia. **S**) sabbie di spiaggia

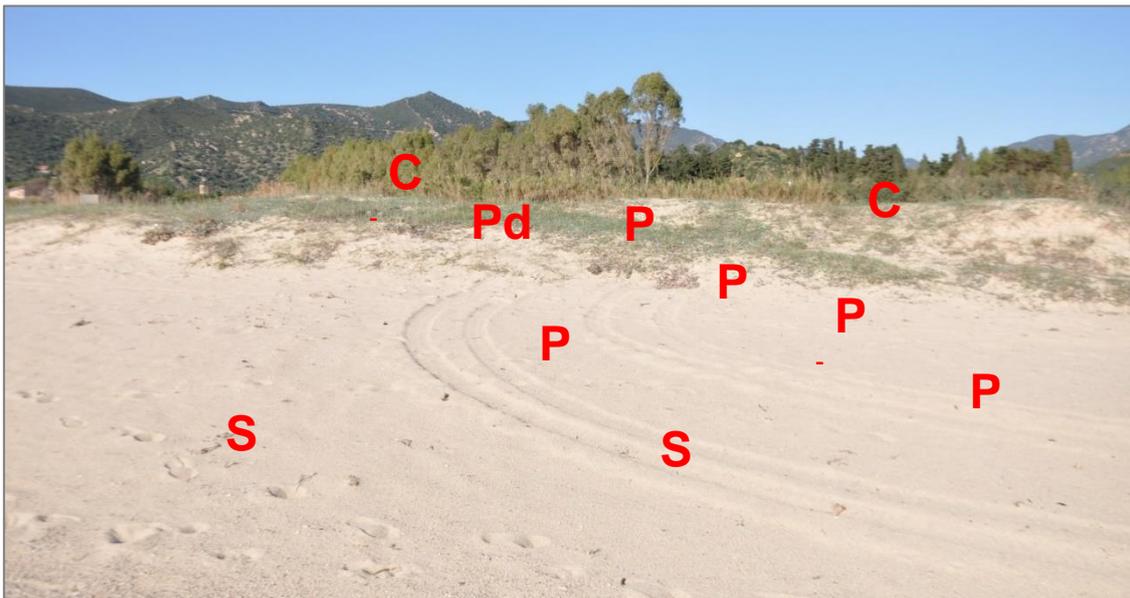


Figura 24 - Spiaggia di Solanas – Settore sud-orientale



Figura 25 - Spiaggia di Solanas – Settore sud-orientale

Manufatti che delimitano il parcheggio ricavato a partire dal sistema dunale e retrodunale. Sullo sfondo in figura 25 la concessione posizionata sull'attuale superficie dunale.



Figura 26 - Spiaggia di Solanas – Settore sud-orientale

Nella parte sud orientale della spiaggia, in prossimità del parcheggio in cemento sussiste un'ulteriore superficie in terra battuta, evidente in figura 26, ricavata all'interno del sistema dunale e fociivo, utilizzato come parcheggio addizionale. Questo ulteriore spazio non governato crea un ulteriore deterioramento della naturalità della spiaggia. A causa dell'elevata frammentazione dell'habitat si riscontra la presenza di specie che non fanno parte del corredo vegetazionale tipico delle dune ma che si sono stabilizzate a seguito della dispersione accidentale dei loro semi ad opera del vento (es. specie utilizzate per prati all'inglese).

I Bacini idrografici del Rio Solanas, del Rio Gavoi e la rete minore

Vengono definite le criticità ed i problemi idraulico-morfologici, ambientali e antropici, connessi al corso d'acqua oggetto della pianificazione degli interventi ed agli effetti riferibili al tema dell'approvvigionamento di sedimenti alle foci e quindi alle spiagge sottese.

L'elenco seguente sintetizza le principali problematiche e criticità connesse alle varie tipologie di rischio riscontrate ed allo stato di qualità idromorfologica:

- **Rischio da esondazione**, connesso alle aree vulnerabili alle inondazioni; entrambi i corsi d'acqua sono soggetti a periodici **fenomeni e processi di alluvionamento ed esondazione** nei fondovalle che interessano le aree antropizzate (zone residenziali, infrastrutture, ecc.). (figura 27).
- **Erosione diffusa e concentrata** per ruscellamento areale e lineare dei versanti del bacino imbrifero del Rio di Solanas e nella piana costiera antistante.



Figura 27 - Solanas - Zona di retrospiaggia - Effetti dell'alluvione del 2015

- Potenziali **interferenze sulle dinamiche di deflusso incanalato** del Rio Solanas alle intersezioni con le principali infrastrutture viarie (S.P. 20 - S.P. 17) e all' intersezione con i nuclei insediativi della frazione omonima e, relativamente al Rio Gavoi con il nucleo insediativo di Torre delle Stelle/Cann'e Sisa.
- **Rischio da dinamica morfologica**, connesso alle aree vulnerabili ai processi di evoluzione morfologica del corso d'acqua; in entrambi i corsi d'acqua sono evidenti **necessità di manutenzione** delle opere idrauliche e di altre infrastrutture interferenti con la dinamica fluviale (figure 28-29-30).
- **Ridotta funzionalità idraulica** causate dalla densità della vegetazione in alveo e occupazione della sezione principale e secondaria da parte della vegetazione rigida e semirigida;
- **Sovralluvionamento** (figure 31-32) di tratti del tronco principale e tendenziale riduzione degli apporti sedimentari alle spiagge.



Figure 28 - 29 - 30 - Alveo del Rio Solanas - Effetti dell'alluvione del 2015 sulle infrastrutture



Figure 31 - 32 - Rio Solanas - Sovralluvionamento di tratti del tronco principale



Figura 33 - Obliterazione e totale artificializzazione del canale principale del Rio Gavoi in prossimità della foce e del villaggio di torre delle stelle



Figura 34 - Il Ponticello sul Rio Gavoi all'interno del villaggio di Torre delle Stelle - Ostruzione

- **Qualità idromorfologica moderata-sufficiente**, connessa alla naturalità del regime idrologico, alle forme ed ai processi idromorfologici e, pertanto, non in linea con gli obiettivi di qualità dei corpi
- idrici superficiali; l'applicazione della metodologia IDRAIM e la valutazione Idromorfologica (Indice di Qualità Morfologica) applicata ai tratti semiconfinati dei due corsi d'acqua ha evidenziato che i valori degli indicatori di "funzionalità morfologica" "continuità", "morfologia" e "vegetazione nella fascia perifluviale" ed i relativi sub-attributi **risultano medio-bassi** (continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso; presenza di piana inondabile; connessione tra versanti e corso d'acqua; processi di arretramento delle sponde; fascia potenzialmente erodibile; forme e processi tipici della configurazione morfologica; forme tipiche di pianura; variabilità della sezione; ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale; estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde).

1.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO COSTIERO IN RELAZIONE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Le conseguenze dei cambiamenti climatici previste per le zone costiere sono legate principalmente nell'innalzamento del livello del mare e delle temperature, e a un aumento della frequenza di eventi estremi. Nelle coste mediterranee, i danni causati dall'innalzamento del livello eustatico, rafforzati da movimenti di subsidenza o tettonici, possono rendere più incisivi gli impatti causati dalle mareggiate e generare, lungo le coste basse una migrazione verso l'interno, in particolare in quelle aree costiere con scarsa escursione di marea.

L'attuale innalzamento eustatico è un fenomeno ormai accertato da tempo; la causa principale è asseribile allo scioglimento delle calotte continentali (Groenlandia e Antartide in particolare) e in parte anche il riscaldamento della superficie degli oceani, che dilata la massa d'acqua. Lo scioglimento delle calotte è riconducibile, a sua volta, all'aumento di temperatura media del pianeta (il cosiddetto riscaldamento globale).

La magnitudo del processo di innalzamento livello marino è oggetto nell'ultimo decennio di un ampio dibattito che ha coinvolto tutta la comunità scientifica mondiale; il grande impatto che un livello marino progressivamente più alto può avere su fasce costiere spesso densamente popolate ha indotto le Nazioni Unite a promuovere una sede propria per la discussione e validazione delle diverse ipotesi scientifiche istituendo il IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) the United Nations body for assessing the science related to climate change*); secondo gli ultimi rapporti IPCC l'opinione più consolidata prevede una risalita del livello marino su scala globale di circa 1 metro nell'ultimo secolo. (figura 35), con un trend di risalita attualmente di circa 2 mm/anno che passerebbe a circa 5 mm/anno nel 2050 e a circa 7 mm/anno nel 2100.

Mentre per il bacino del Mediterraneo è previsto un innalzamento ridotto dal 10 fino al 30% (+0,9-0,7 m al 2100) tenendo conto di evaporazione più spinta e riduzione degli apporti dei grandi fiumi.

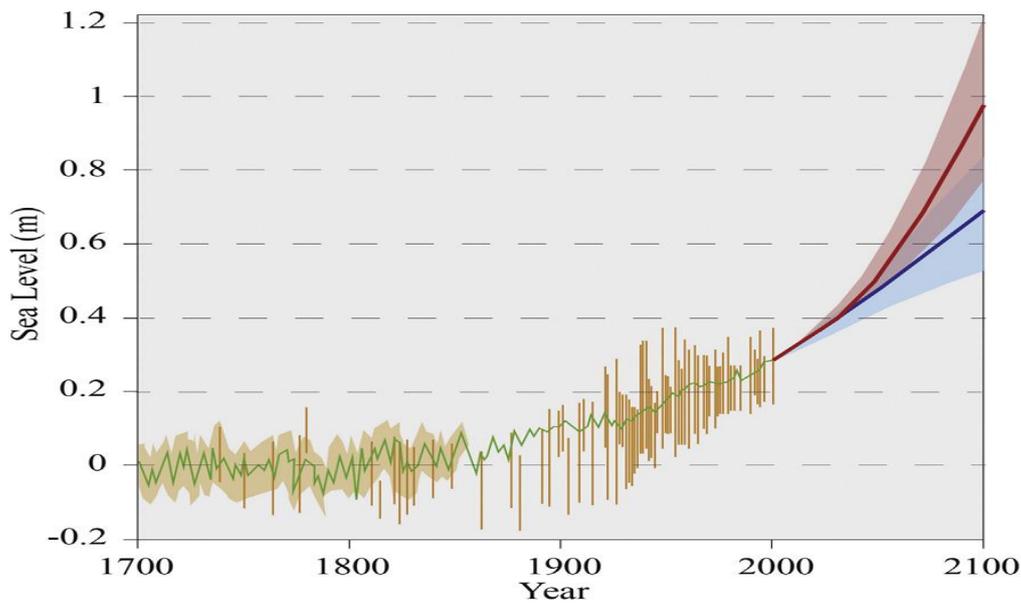


Figura 35 - Proiezioni previsionali dell'innalzamento del livello marino analizzando i dati dal 1700 ai nostri giorni, sulla base di tutti i lavori validati in banca dati IPCC. La linea azzurra rapporto IPCC AR5 IPCC (2013); la linea rossa IPCC RPC8 (2016) (da Antonioli et al., 2017)

Per considerare gli effetti dei cambiamenti climatici sull'area costiera è necessario tener conto della risalita del livello marino relativo, che tenga conto insieme alla risalita del livello medio mare su base climatica anche la mobilità tettonica della fascia costiera (subsidenza tettonica o *uplift*), la eventuale subsidenza di origine sedimentaria (assestamento sedimenti compressibili, rilascio di fluidi sa sedimenti) e la mobilità idro-isostatica della piattaforma continentale, che spesso coinvolge la fascia costiera.

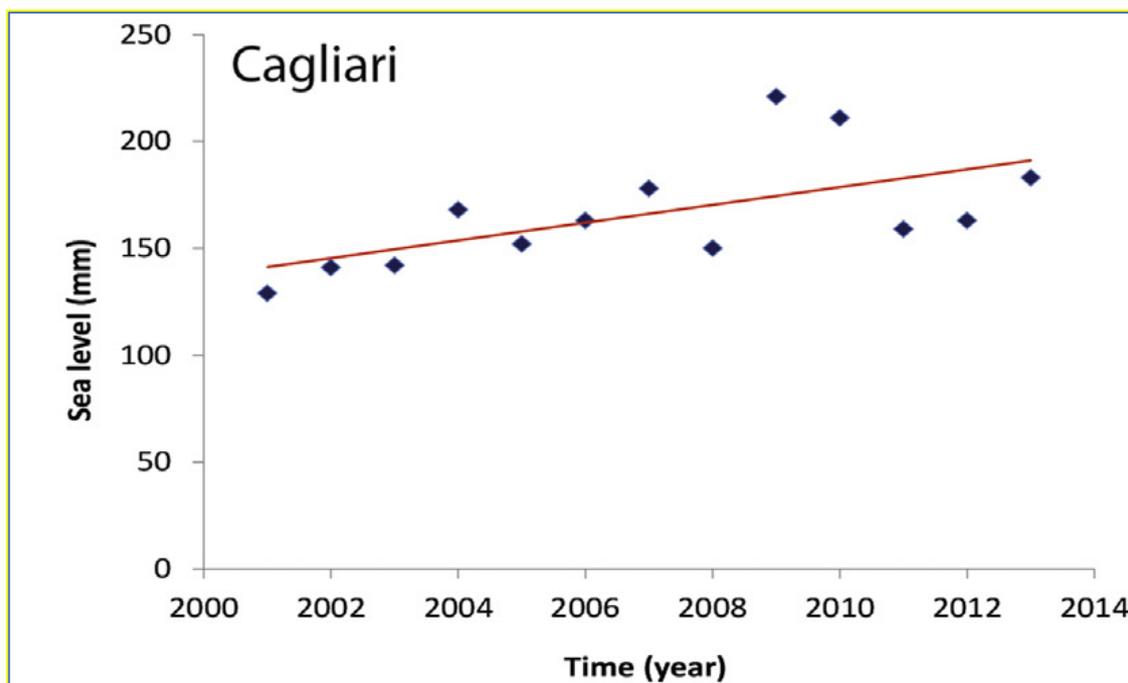


Figura 36 - Tendenza di risalita del livello medio mare registrato dal mareometro di Cagliari nel periodo 2001 – 2014 (dati RMN Rete Mareometrica Nazionale – ISPRA) .

Riferendoci al Golfo di Cagliari possiamo esaminare, ad esempio, i dati del mareometro sito nel Porto di Cagliari, posizionato su fondazione in roccia, calcari organogeni (Form. della Pietraforte – Miocene medio-superiore), ha registrato un innalzamento di circa 50 mm in circa 13 anni (figura. 36) pari a 3,8 mm annui; dato che in Mediterraneo la risalita climatica è pari a 1,5 – 2,0 mm/anno la il mareometro registra un abbassamento tettonico da 1,8 a 2,3 mm/a, abbassamento eccessivo per un movimento tettonico ma giustificabile con subsidenza sedimentaria (roccia su cui fondazione del mareometro non in posto).

Area: Cagliari - Sardegna								
Anno	Scenari SLR			Movimenti verticali		Glacio-idro-isostasia		RSLR
	Scenario	mm/anno	totale previsione SLR	mm/anno	totale tettonica	mm/anno	totale isostasia	mm max
2050	IPCC 2007 A1FI ma	5,9	295	0,4	20	0,6	30	345
2100	IPCC 2007 A1FI ma	5,9	590	0,4	40	0,6	60	690
2100	Rahmstorf 2007 ma	14	1400	0,4	40	0,6	60	1500

Tabella 1 - riassunto delle ipotesi innalzamento del livello marino relativo per la piana costiera di Cagliari per gli scenari 2050 e 2100 (Antonioli et al. 2017) .

Quindi per l'area costiera del golfo orientale di Cagliari, in particolare Torre del Finocchio – Cala Delfino, area che non mostra alcuna evidenza di abbassamento tettonico recente, l'innalzamento climatico relativo sarà influenzato dalla sola componente idro-isostatica, con una ipotesi al 2050 di +0,3 m al 2050 e compresa tra +0,6 – 0,7 metri al 2010 (Antonioli et al 2017).

All'incidenza relativamente modesta per la sola risalita del livello marino attesa per i prossimi decenni corrisponde un maggior impatto relativo all'incremento dell'altezza d'onda massima significativa su base climatica (vedi par. 4.2.4, T3.1.1) con conseguente incremento dell'energia incidente (Sunamura 1992).

Sempre in un quadro di *Global change* all'incremento energetico per innalzamento delle onde massime significative è associata l'intensificazione (in frequenza) degli eventi meteomari estremi, che

aumenteranno i tempi di esposizione della costa rocciosa alta all'azione delle onde estreme. (Sunamura 1977).

Quindi l'incremento del rischio costiero alla luce dei cambiamenti climatici (SRACC) sarà rappresentato per l'area in esame dalle seguenti condizioni:

Processi legati alla risalita del livello marino e all'incremento delle energie del moto ondoso:

- incremento dei processi di alterazione chimico-fisica dell'ammasso roccioso iperfratturato ad opera dello *spry* marino;
- intensificazione dei processi meccanici di aloclastismo entro frattura e conseguente aumento dei crolli isolati in falesia degli apporti clastici dei canali con scariche di detrito;
- incremento dei processi di esumazione della roccia cristallina dalla coltre di alterazione per altezze crescenti con produzione di crolli isolati;
- innalzamento e approfondimento del solco di runup di massima ondazione (Baia di Cala Delfino), con scalzamento alla base dei versanti, sia erosivi (in roccia) che deposizionali (deposito di pendio e conoide di colata rapida);

Processi legati all'incremento degli eventi pluviometrici estremi:

- aumento dei processi di erosione accelerata con evoluzione di aree di denudamento calanchiforme;
- aumento dei processi di erosione lineare nei canali con scariche di detrito e conseguente accelerazione della erosione retrogressiva delle testate sommitali;
- incremento sia in frequenza che in magnitudo dei processi di colata rapida di blocchi e detrito.

2 PROPOSTE DI MISURE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO

2.1 INDIVIDUAZIONE DELLE TIPOLOGIE POTENZIALI DI INTERVENTO PIÙ IDONEE PER IL SITO SPECIFICO E/O AREE SIMILI

Partendo dai principi generali introdotti precedentemente, il tema dell'erosione costiera è stato affrontato adottando alternative strategiche di gestione del tratto costiero e per definire, a breve e medio termine, l'evoluzione della costa tenendo conto dei fenomeni erosivi di origine marittimo-costiera e di quelli connessi all'immersione marina.

Per fare ciò, sono state riportate tutte le scelte di azioni, misure e interventi che potrebbero essere implementati nell'area pilota, sulla base delle diverse strategie generalmente utilizzate per questi approcci.

Parallelamente, e nella fase propedeutica di *governance* del progetto, si è tenuto conto di un lavoro di ricerca, raccolta e ricognizione degli atti di pianificazione e progettazione, passata ed in essere, che interessa l'area pilota, in maniera tale da avere il quadro più completo possibile della conoscenza.

Tra questi si è tenuto conto ed assumono rilevanza per le finalità del progetto:

- 1) Progetto esecutivo per la realizzazione di "Interventi di riassetto idraulico del Rio Solanas" (2009), aventi l'obiettivo di riconfigurare un tratto dell'alveo del Rio Solanas per migliorarne le condizioni di deflusso ed al fine di ridurre il rischio idraulico. Gli interventi, volti a conservare la stabilità delle sponde e a provvedere al mantenimento della sezione di progetto si articolano essenzialmente nelle seguenti tipologie:
 - Riprofilamento dell'alveo (allargamento della sezione e approfondimento delle livellette attuali);
 - Difese spondali in materassi metallici tipo Reno;
 - Difese spondali con gabbioni cilindrici al piede della sponda e rivestimento esteso con biostuoia e rete metallica a doppia torsione;
 - Interventi di ingegneria naturalistica consistenti principalmente in idrosemina e piantumazione di talee ed arbusti, finalizzati al contenimento dell'erosione del suolo e delle difese spondali messe in opera;
 - Demolizione e ripristino del guado di attraversamento in località Piscina Bertula;
 - Pulizia dalla vegetazione infestante ed ostruente e potatura di arbusti e alberi che non costituiscono ostacoli rilevanti al deflusso delle acque il recente progetto (Luglio 2019)
- 2) "Interventi di manutenzione ordinaria e pulizia nei corsi d'acqua ricadenti nel territorio comunale di Sinnai" tra i quali rientra il Rio Solanas, che prevede la pulizia dell'asta fluviale a monte del ponte sulla S.P.17 e per uno sviluppo di circa 500 metri.
- 3) Progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione delle reti di drenaggio in area urbana – Canale di guardia a difesa dell'abitato di Solanas (2019);
- 4) Interventi di messa in sicurezza del versante di retrospiaggia nel settore orientale della spiaggia di Solanas

Identificazione delle tipologie di intervento appropriate

Nell'area pilota, delle cinque opzioni identificate dalla strategia transfrontaliera adottata, e citate nell'introduzione, ne sono state individuate tre prevalenti:

- opzione "**hold the line**", si prevede il "**mantenimento della linea di difesa**" e di costa,
- Opzione "**limited intervention**", si prevede di procedere con "**interventi limitati**",

- Opzione “do nothing”, o anche “opzione zero”,

Ovviamente, le decisioni sulle opzioni adottabili dovranno far parte di un processo consapevole di tutti i fattori in gioco e “partecipato” da parte dei diversi portatori d’interesse.

La valutazione delle potenziali misure di intervento più idonee per l’area pilota in studio è stata attuata attraverso l’analisi della propensione al dissesto e l’analisi qualitativa delle componenti interessate (umane, ambientali e socioeconomiche).

Tale approccio ha consentito di individuare un ventaglio di possibili alternative, la scelta definitiva delle quali dovrà necessariamente essere preceduta da un’analisi quantitativa delle componenti interessate, da un’analisi costi-benefici e multi-criterio che tenga conto della vulnerabilità o resilienza del sistema, dalla valutazione della fattibilità delle misure di intervento e gestione proposte e dalla valutazione dell’accettazione del rischio (Eurosion, 2004; DEFRA, 2006; CORIMAT, 2017).

Il contesto decisionale a cui è stato fatto riferimento prevede le alternative elencate in Tabella 2 (CORIMAT, 2017)

Politica di intervento	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
Protezione a tutti i costi	Solitamente utilizzata quando le componenti interessate sono significative. Prevede l’esecuzione di opere di difesa con tecniche “hard” e “soft”.	Ha effetti essenzialmente sugli interessi socioeconomici	Artificializzazione del litorale, possibile erosione nelle zone vicine, necessità di regolare manutenzione e perdita di funzionalità naturali.
Interventi limitati	Solitamente prevista quando le componenti interessate richiedono un intervento, ma non sono esposte ad alto rischio. Prevede interventi con tecniche “soft” che accompagnano i processi naturali del litorale e la redazione di piani di comunicazione per informare sui fenomeni di erosione e sui pericoli che potrebbero interessare la popolazione.	Interventi deboli (reversibili), conservazione delle funzionalità naturali esistenti, possibilità di gestire la presenza di persone, limitazione e prevenzione dei rischi per le persone e le proprietà	Erosione e rischio residuo.
Gestire il riallineamento	Previsto quando l’analisi costi / benefici non giustifica un intervento difensivo o se questa è l’unica opzione per garantire la protezione della popolazione. Possono essere prese in considerazione anche strutture di difesa naturale o limitate. Possono essere previste misure di evacuazione della proprietà privata temporanea o permanente ed eventualmente misure di delocalizzazione nei territori di retrospiaggia.	Mantenimento delle infrastrutture naturali e consentire la naturale funzionalità dei processi costieri.	Implementazione complessa, lunga e costosa. Necessità di importanti azioni di comunicazioni con la popolazione e utenti interessati.
Nessun intervento	Non prevede alcuna azione per fermare o limitare l’erosione. Applicabile in caso di rischi limitati che non giustificano interventi. Questa è la soluzione migliore quando l’erosione non costituisce sempre un rischio. Limitare l’uso del territorio nelle pianificazioni future vicino alle zone che	Nessuna spesa e conservazione delle esistenti funzionalità naturali.	Rischi per eventuali proprietà presenti nelle aree soggette all’erosione o a fenomeni gravitativi; necessita di azioni di comunicazione significative con la

	<p>presentano rischi e lasciare che la natura faccia il suo corso.</p> <p>Classificare le zona come spazio verde con alto valore turistico aggiunto (in questo caso, dovranno essere installati appositi cartelli per informare gli utenti del probabile rischio e limitare l'accesso). Per la gestione della proprietà privata devono essere comunque previste misure di monitoraggio per valutare l'evoluzione del fenomeno di erosione e adattare le strategie di gestione.</p>		popolazione e gli utenti interessati.
--	--	--	---------------------------------------

Tabella 2: Possibili politiche di intervento e vantaggi e svantaggi connessi (da CORIMAT, 2017)

Le misure di mitigazione per le coste basse e bacini idrografici sottesi

Per quanto riguarda le spiagge, va considerato che interventi eccessivamente rigidi modificano in maniera definitiva la dinamica e creano effetti che si ripercuotono in altri contesti o spostano più a valle il problema. Pertanto, è fondamentale ragionare sempre in termini di sistema in primis considerando anche il bacino idrografico sotteso, di unità fisiografica o di sub unità gestionale qualora queste ultime possano considerarsi composte da celle sedimentarie ben definite e distinte la cui influenza con quelle analoghe sia trascurabile.

In tutti i sistemi analizzati, una particolare attenzione è stata rivolta alla valutazione e allo stato delle praterie di posidonia oceanica, rilevando in tutti i casi la necessità di adottare misure di salvaguardia e tutela delle Praterie di Posidonia Oceanica e una gestione dei depositi di resti di Posidonia sulle spiagge.

Il sistema Rio Gavoi - spiaggia di Cann'e Sisa

Il sistema può essere a ragione considerato in equilibrio con la piccola spiaggia di Cann'e Sisa che ha uno sviluppo di circa 400 m, inserita entro una cella sedimentaria sottesa dal bacino torrentizio del rio Gavoi, con planimetria a trapezio rettangolo di dimensione massima lungo il limite superiore della Posidonia oceanica di circa 600 m ed un'estensione verso il largo superiore ai 400 m.

L'analisi morfodinamica, specie durante gli eventi estremi, ha evidenziato una generale lieve tendenza evolutiva all'erosione. Tale processo evolutivo potrebbe tuttavia essere compensato nel medio-lungo termine, raggiungendo un sostanziale equilibrio sedimentario, da altri serbatoi naturali delle componenti ambientali esterne, quali la prateria di Posidonia e il sistema dunare, sempreché risultino integri e ben conservati, avendo la capacità con le mareggiate estreme di alimentare spontaneamente la spiaggia.

Inoltre, il potenziale deficit sedimentario, dati i modesti volumi sedimentari mobilitati nell'evoluzione morfologica della spiaggia (stimabile in una perdita annuale netta di circa 600 mc su un totale movimentato di circa il doppio), potrebbe essere in ogni caso compensato dal trasporto solido veicolato attraverso il Rio Gavoi, stimato nell'ordine dei 3.200 mc/anno.

Le problematiche rilevate così come già descritte nei paragrafi precedenti, sono riconducibili alla elevata antropizzazione ed all'eccessivo irrigidimento del tratto terminale del rio Gavoi e del reticolo idrografico minore che interferiscono negativamente con le dinamiche idrauliche ed i flussi sedimentari necessari all'alimentazione della spiaggia.

In tale contesto il sistema viario del villaggio turistico di Torre delle Stelle e la zona di retro spiaggia sono soggetti ad un ruscellamento diffuso, concentrato e incontrollato delle acque zenitali che causa processi erosivi e dissesti al sistema viario, nonché fenomeni di erosione concentrata nella spiaggia. A tale problematica va aggiunto il trasporto ed il deposito in spiaggia, ed in particolare sul sistema dunale, di materiali, utilizzati per la realizzazione e manutenzione della stessa viabilità, qualitativamente non compatibili con quelli della spiaggia, nonché potenzialmente contaminati.

Come già descritto precedentemente, per quanto riguarda la spiaggia, le principali pressioni sono dovute alla presenza di attività antropiche turistico-balneari e ad una trascurata gestione della spiaggia stessa. La componente vegetale delle dune risulta estremamente vulnerabile dall'eccessivo calpestio, che porta alla regressione della copertura vegetale e alla frammentazione dell'habitat.

Nell'immagine riportata in figura 37 e nella scheda successiva, tabella 3, vengono descritti e localizzati gli indirizzi d' intervento prevedibili per il sistema in accordo con le opzioni previste dalla strategia di pianificazione degli interventi.



Figura 37 – Spiaggia di Cann'e Sisa

SubUnità Gestionale Costiera					
Rio Gavoi - Spiaggia Cann'e Sisa					
	Sintesi delle criticità		Proposte e indirizzi d'intervento		
			Interventi strutturali		Interventi non strutturali e misure di prevenzione e mitigazione
Settore 1		Tipologia	<i>hold the line (mantenimento della linea di difesa)</i>	Tipologia	<i>limited intervention</i>
RIO GAVOI E RETICOLO IDROGRAFICO MINORE	Ridotta funzionalità idraulica per obliterazione e artificializzazione del tratto finale e della foce del Rio Gavoi	1a	Delocalizzazione edifici e infrastrutture non compatibili con le dinamiche fluviali naturali (idrauliche e geomorfologiche)	1d	Interventi di manutenzione idrografica e riqualificazione del corridoio fluviale nel suo tratto terminale e focifero
	Processi erosivi e dissesti al sistema viario del villaggio turistico di Torre delle Stelle e della zona di retrospiaggia causati da ruscellamento diffuso, concentrato e incontrollato, da parte delle acque zenitali	1b	Eliminazione delle potenziali interferenze sulle dinamiche di deflusso libero e incanalato del Rio Gavoi e dei compluvi minori all' intersezione con i nuclei insediativi della zona residenziale di Torre delle Stelle		
		1c	Riqualificazione della rete idrografica minore e interventi di sistemazione della rete di drenaggio interna al villaggio	1e	Interventi di manutenzione della rete idrografica minore
Settore 2		Tipologia	<i>hold the line (mantenimento della linea di difesa)</i>	Tipologia	<i>limited intervention</i>
SPIAGGIA DI CANN'E SISA	Processi di trasporto e deposito in spiaggia, ed in particolare sul sistema dunale, di materiali, utilizzati per la realizzazione e manutenzione della rete viaria interna al villaggio, qualitativamente non compatibili con quelli della spiaggia, nonchè potenzialmente contaminati.	2a	Riqualificazione della rete idrografica minore e interventi di sistemazione della rete di drenaggio interna al villaggio		
	Processi erosivi per eccessivo calpestio, regressione e frammentazione dell'habitat dunale.	2b	Interventi per favorire il mantenimento/ripristino naturale della duna e manutenzione ordinaria (ricostruzione morfologica, restauro e consolidamento mediante la vegetazione, barriere frangivento, etc.)	2c	Gestione degli accessi in spiaggia; divieto di calpestio e limitazione del carico turistico-balneare; gestione e regolamentazione delle attività turistico ricreative; divieto di inserimento di manufatti estranei al contesto morfodinamico del sistema
				2d	Divieto di rimozione dei depositi in spiaggia emersa di resti di Posidonia Oceanica
				2e	Misure di tutela e salvaguardia della Prateria di Posidonia Oceanica

Tabella 3 – interventi e misure a breve-medio termine per il sistema Rio Gavoi – spiaggia di Cann'e Sisa

Il sistema spiaggia di Genn'e Mari e Porto Perdosu

Si tratta di due compendi tanto prossimi quanto differenti sul piano geomorfologico: la spiaggia di Porto Perdosu è un compendio piuttosto esposto ai piedi di un versante in roccia costituito dai sedimenti ciottolosi e massi misti a sabbie grossolane che non evidenzia particolari criticità; la spiaggia di Genn'e Mari, invece, è una spiaggia sabbiosa originariamente e strettamente connessa alla spiaggia di Cann'e Sisa tramite un cordone dunale che, nonostante l'urbanizzazione della residenza di Torre delle Stelle che ha completamente obliterato il sistema dunale, conserva un discreto equilibrio.

Anche in questo caso, come per la spiaggia di Cann'e Sisa, l'analisi morfodinamica ha messo in evidenza che le velocità medie di corrente, sono modeste, da cui discendono movimentazioni volumetriche dei sedimenti complessivamente dell'ordine di poche migliaia di metri cubi, stimabile in una perdita annuale netta di circa 1.800 mc su un totale movimentato di circa 3.800 mc, deficit che potrebbe essere tuttavia compensato da "serbatoi" esterni al paraggio, determinando un sostanziale equilibrio sedimentario in entrata e in uscita.

In sostanza le risultanze modellistiche denotano anche in questo caso una generale tendenza all'erosione, ammettendo le medesime considerazioni fatte per Cann'e Sisa anche se la spiaggia denota una generale vulnerabilità relativa, in quanto la tendenza erosiva è potenzialmente più accentuata rispetto a Cann'e Sisa anche in ragione del fatto che tale spiaggia non riceve apporti sedimentari significativi diretti dal sistema idrografico.

L'habitat dunale della spiaggia risulta discontinuo e frammentato ed in evidente stadio regressivo anche perché delimitato da abitazioni, strade e vialetti che non favoriscono il naturale apporto sedimentario nella spiaggia. Inoltre la mancanza di una fascia retrodunale e la carenza sia di dune embrionali che di dune stabilizzate, fa sì che la spiaggia emersa sia esposta maggiormente all'intensità delle mareggiate ed ai fenomeni di scalzamento e perdita delle dune.

Anche in questo caso, come per la spiaggia di Cann'e Sisa, il sistema viario del villaggio turistico di Torre delle Stelle e la zona di retro spiaggia sono soggetti ad un ruscellamento diffuso, concentrato e incontrollato delle acque che causa processi erosivi e dissesti al sistema viario nonché fenomeni di erosione concentrata nella spiaggia. A tale problematica va aggiunto il trasporto ed il deposito in spiaggia, ed in particolare sul sistema dunale, di materiali, utilizzati per la realizzazione e manutenzione della stessa viabilità, qualitativamente non compatibili con quelli della spiaggia, nonché potenzialmente contaminati.

Nell'immagine di figura 38 e nella scheda successiva, tabella 4, vengono descritti e localizzati gli indirizzi d' intervento prevedibili per il sistema in accordo con le opzioni previste dalla strategia di pianificazione degli interventi.

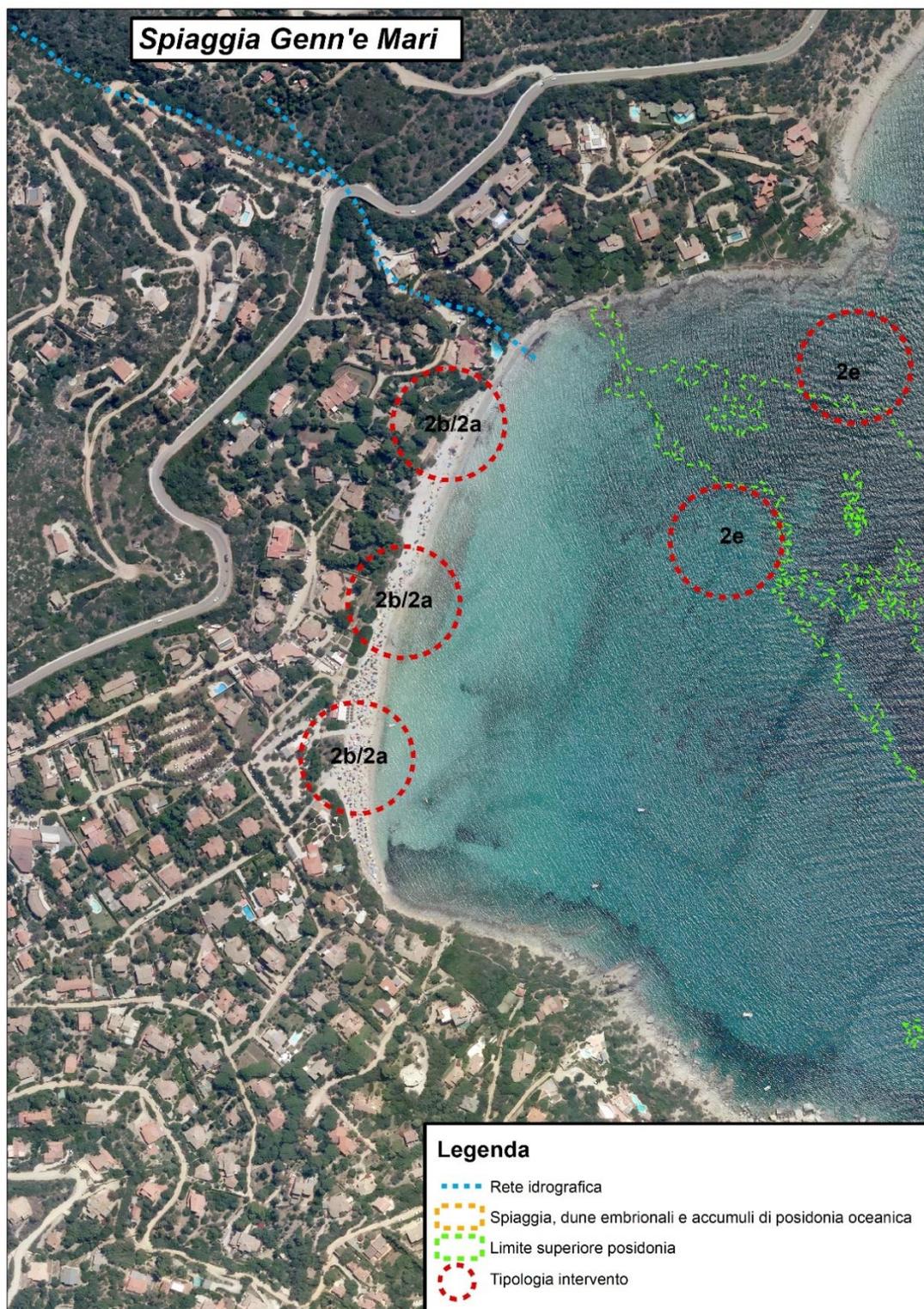


Figura 38 – Spiaggia di Genn'e Mari

SubUnità Gestionale Costiera					
Spiaggia Genn'e Mari					
	Sintesi delle criticità		Proposte e indirizzi d'intervento		
			Interventi strutturali		Interventi non strutturali e misure di prevenzione e mitigazione
Settore 1		Tipologia	<i>hold the line (mantenimento della linea di difesa)</i>	Tipologia	<i>limited intervention</i>
RETICOLO IDROGRAFICO MINORE	Processi erosivi e dissesti al sistema viario del villaggio turistico di Torre delle Stelle e della zona di retrospiaggia causati da ruscellamento diffuso, concentrato e incontrollato, da parte delle acque zenitali	1a	Riqualificazione della rete idrografica minore e interventi di sistemazione della rete di drenaggio interna al villaggio	1b	Interventi di manutenzione della rete idrografica minore
Settore 2		Tipologia	<i>hold the line (mantenimento della linea di difesa)</i>	Tipologia	<i>limited intervention</i>
SPIAGGIA DI GENNEMARI	Processi di trasporto e deposito in spiaggia, ed in particolare sul sistema dunale, di materiali, utilizzati per la realizzazione e manutenzione della rete viaria interna al villaggio, qualitativamente non compatibili con quelli della spiaggia, nonché potenzialmente contaminati.	2a	Riqualificazione della rete idrografica minore e interventi di sistemazione della rete di drenaggio interna al villaggio		
	Processi erosivi per eccessivo calpestio, regressione e frammentazione dell'habitat dunale.	2b	Interventi per favorire il mantenimento/ripristino naturale della duna e manutenzione ordinaria (ricostruzione morfologica, restauro e consolidamento mediante la vegetazione, barriere frangivento, etc.)	2c	Gestione degli accessi in spiaggia; divieto di calpestio e limitazione del carico turistico-balneare; gestione e regolamentazione delle attività turistico ricreative; divieto di inserimento di manufatti estranei al contesto morfodinamico del sistema
				2d	Divieto di rimozione dei depositi in spiaggia emersa di resti di Posidonia Oceanica
				2e	Misure di tutela e salvaguardia della Prateria di Posidonia Oceanica

Tabella 4 – interventi e misure a breve-medio termine per il sistema spiaggia di Genn'e Mari

Il sistema Rio Solanas – spiaggia di Solanas

Il sistema può essere a ragione considerato in equilibrio con la spiaggia di Solanas che ha uno sviluppo di circa 935m, inserita entro una cella sedimentaria sottesa dal bacino torrentizio del rio Solanas, con planimetria a trapezio rettangolo di dimensione massima lungo il limite superiore della Posidonia oceanica di circa 600 m ed un'estensione verso il largo superiore ai 400 m.

Anche in questo caso le velocità medie di corrente sono modeste, generalmente inferiori a 0,01 m/s, da cui derivano movimentazioni volumetriche dei sedimenti complessivamente dell'ordine di una ventina di migliaia di metri cubi, stimando una perdita annuale netta di circa 4.000 mc su un totale movimentato di circa 18.000 mc. Deficit che, anche in questo caso, potrebbe essere compensato da "serbatoi" e "sorgenti" esterni al paraggio, determinando un sostanziale equilibrio sedimentario in entrata e in uscita; tra questi il principale è rappresentato dall' importante apporto sedimentario dal bacino idrografico del Rio Solanas valutato nell'ordine dei 10.800 mc/ anno.

In sostanza le risultanze modellistiche denotano anche in questo caso una generale vulnerabilità all'erosione, ammettendo le medesime considerazioni fatte per i paraggi di Genn'e Mari e Cann'e Sisa, anche se la spiaggia in questione manifesta una maggior equilibrio dinamico, in cui la tendenza erosiva sembrerebbe meno accentuata.

Il corso d'acqua ha subito nel corso degli ultimi 50 anni importanti variazioni morfologiche dell'alveo soprattutto nel suo tratto semiconfinato, alternando un andamento sinuoso a barre alternate e un andamento rettilineo, configurazione più evidente nel settore vallivo pedemontano, dove l'alveo si espande entro una vasta area alluvionale di ampiezza variabile di circa 1 km anche se, talvolta, obliterato dalla viabilità ed insediamenti che subiscono fenomeni di allagamento in occasione delle piene non ordinarie. E' presente in alveo una piccola briglia fluviale che potenzialmente, qualora non oggetto di manutenzione periodica, potrebbe interferire con i flussi sedimentari.

L'habitat dunale della spiaggia di Solanas è molto discontinuo ed anch'esso in regressione. La componente vegetale delle dune risulta estremamente vulnerabile all'eccessivo calpestio, che porta alla regressione della copertura vegetale e a frammentazione dell'habitat.

Un altro fattore di minaccia che può causare l'ulteriore degradazione delle dune è rappresentato dagli impatti meccanici derivanti da un utilizzo improprio della spiaggia e dal transito motorizzato, che è stato riscontrato nel momento dell'analisi in campo e che rappresenta una minaccia, unitamente alla presenza dell'ampio parcheggio nell'area retrodunale all'integrità dell'habitat e della spiaggia.

Nell'immagine di figura 39 e nella scheda successiva, tabella 5, vengono descritti e localizzati gli indirizzi d' intervento prevedibili per il sistema in accordo con le opzioni previste dalla strategia di pianificazione degli interventi.

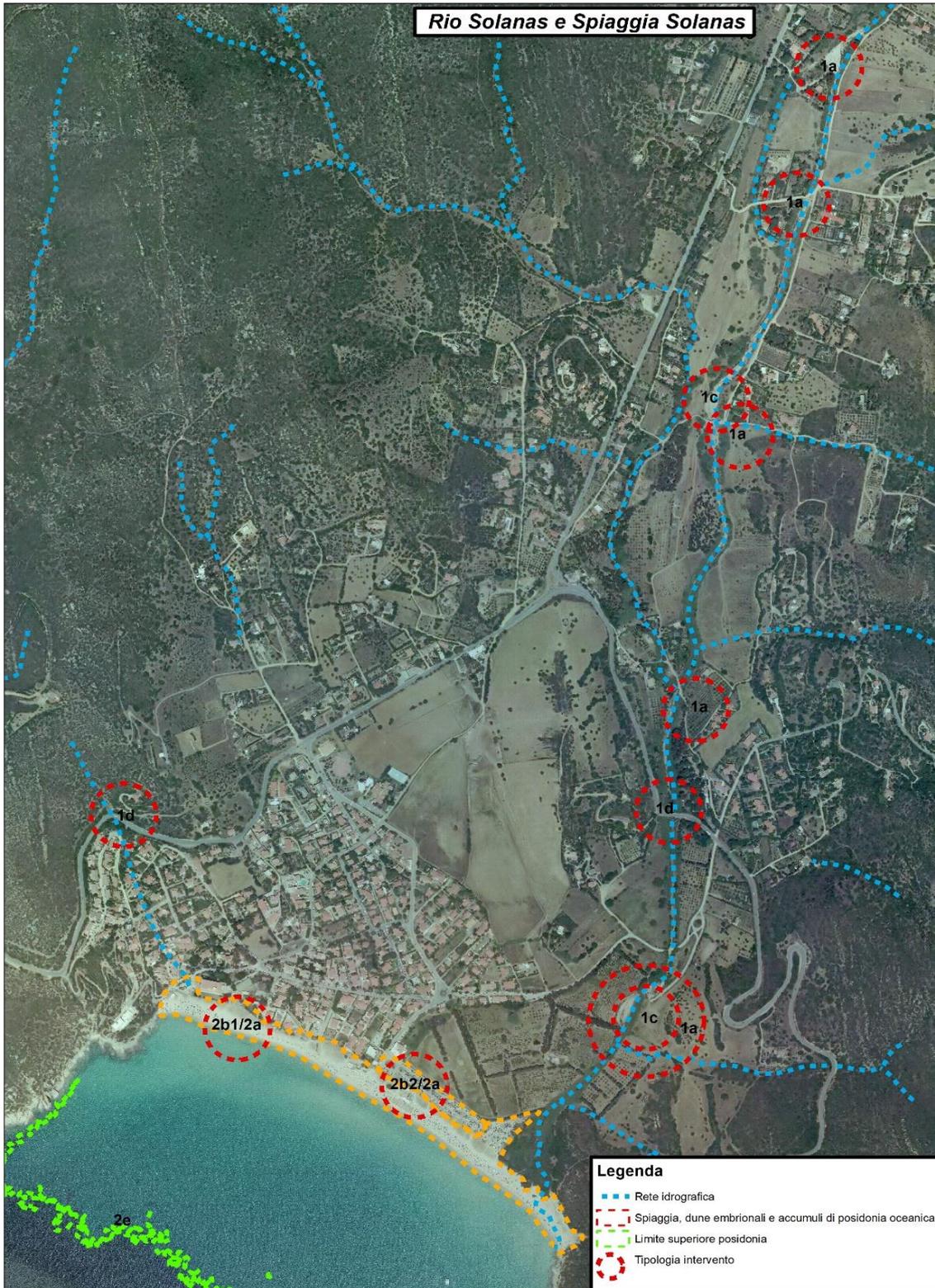


Figura 39 – Spiaggia di Solanas

SubUnità Gestionale Costiera					
Rio Solanas - Spiaggia Solanas					
	Sintesi delle criticità		Proposte e indirizzi d'intervento		
			Interventi strutturali		Interventi non strutturali e misure di prevenzione e mitigazione
Settore 1		Tipologia	<i>hold the line (mantenimento della linea di difesa)</i>	Tipologia	<i>limited intervention</i>
RIO SOLANAS E RETICOLO IDROGRAFICO MINORE	Ridotta funzionalità idraulica per interferenze del corridoio fluviale con opere infrastrutturali ed edilizia abitativa	1a	Delocalizzazione edifici e infrastrutture non compatibili con le dinamiche fluviali naturali (idrauliche e geomorfologiche)	1e	Interventi di manutenzione idrografica e riqualificazione del corridoio fluviale
	Ridotta funzionalità idraulica per interferenze del corridoio fluviale con la vegetazione	1b	Eliminazione delle potenziali interferenze sulle dinamiche di deflusso libero e incanalato del Rio Solanas e dei compluvi minori all' intersezione con i nuclei insediativi della zona residenziale di Solanas		Interventi di manutenzione della vegetazione fluviale
	Sovralluvionamento di tratti del tronco principale e tendenziale riduzione degli apporti sedimentari alla spiaggia.	1c	Interventi di manutenzione idrografica con gestione dei sedimenti nei tratti sovralluvionati del reticolo, ivi comprese le ostruzioni degli attraversamenti quando presenti, con eventuale possibilità di prelievo per by pass alla foce, delle granulometrie funzionali al mantenimento della spiaggia	1f	Interventi di manutenzione della rete idrografica minore
	Potenziali interferenze sulle dinamiche di deflusso incanalato del Rio alle intersezioni con le principali infrastrutture viarie (S.P. 20 - S.P. 17) e all' intersezione con i nuclei insediativi della frazione omonima	1d	Riqualificazione della rete idrografica minore e interventi di sistemazione della rete di drenaggio interna al villaggio		
Settore 2		Tipologia	<i>hold the line (mantenimento della linea di difesa)</i>	Tipologia	<i>limited intervention</i>
SPIAGGIA DI SOLANAS	Processi di trasporto e deposito in spiaggia, di materiali utilizzati per la realizzazione e manutenz. della rete viaria interna al villaggio, che potrebbero essere non compatibili con quelli della spiaggia, nonché potenzialmente contaminati.	2a	Riqualificazione della rete idrografica minore e interventi di sistemazione della rete di drenaggio interna al villaggio		
	Processi erosivi per eccessivo calpestio, regressione e frammentazione dell'habitat dunale.	2b1	Interventi per favorire il mantenimento/ripristino naturale della duna e manutenzione ordinaria (ricostruzione morfologica, restauro e consolidamento mediante la vegetazione, barriere frangivento, etc.)	2c	Gestione degli accessi in spiaggia; divieto di calpestio e limitazione del carico turistico-balneare; gestione e regolamentazione delle attività turistico ricreative; divieto di inserimento di manufatti estranei al contesto morfodinamico del sistema
		2b2	Rivalutazione dell'ubicazione dell'area di parcheggio posto nell'area retrodunale e sistemi di interdizione degli accessi alla spiaggia ai mezzi motorizzati	2d	Divieto di rimozione dei depositi in spiaggia emersa di resti di Posidonia Oceanica
				2e	Misure di tutela e salvaguardia della Prateria di Posidonia Oceanica

Tabella 5: interventi e misure a breve-medio termine per il sistema rio Solanas-spiaggia di Solanas

Le misure di mitigazione per le coste alte

È essenziale notare che le opere di stabilizzazione delle falesie ne impediscono la naturale evoluzione. I fenomeni di versante presenti nell'area di Torre delle Stelle, se da una parte costituiscono un possibile rischio per le costruzioni presenti sulla sommità delle falesie o per le persone che transitano o stazionano ai piedi delle stesse, dall'altra, con la deposizione del materiale nella parte inferiore della falesia, consentono una sua stabilizzazione al piede e la creazione di opere di difesa naturali, ad alta permeabilità, che riducono anche l'interazione diretta con il moto ondoso. Questo materiale, nel tempo, potrebbe inoltre costituire apporto di materiale per le celle sedimentarie del sistema costiero connesso.

È quindi preferibile prevedere interventi strutturali solo dove gli interessi socioeconomici sono elevati.

Le tipologie di intervento strutturale previste in ambito costiero possono essere di tipo "hard" e "soft". Questi ultimi sono preferiti per il minore impatto che hanno sull'aspetto ambientale e paesaggistico.

I metodi geotecnici non sono soluzioni "soft", tuttavia, il loro uso limitato e la loro combinazione con metodi "soft" (impianti di vegetazione) limita gli impatti negativi. (CORIMAT, 2017).

Gli interventi strutturali consentono di ridurre il rischio a livelli accettabili, compatibili con gli usi e le attività antropiche. È però importante sottolineare come sia fondamentale preservare tale condizione attraverso adeguati interventi di manutenzione e monitoraggio per garantire l'efficienza nel tempo delle opere realizzate, ma anche realizzando interventi non strutturali attraverso una pianificazione del territorio che consideri adeguatamente il rischio residuo e preveda una serie di misure e strategie. Tra queste: una corretta politica di informazione delle comunità che vivono nei territori a rischio, in modo da contribuire ad una riduzione della vulnerabilità con l'obiettivo di convivere consapevolmente con esso.

In figura 40 sono riportati i principali interventi strutturali e non strutturali utilizzati nella pratica comune per ridurre il rischio legato ai processi erosivi e gravitativi delle falesie costiere (CORIMAT, 2017) e in Tabella 6 i vantaggi e gli svantaggi legati all'applicazione delle tecniche "soft".

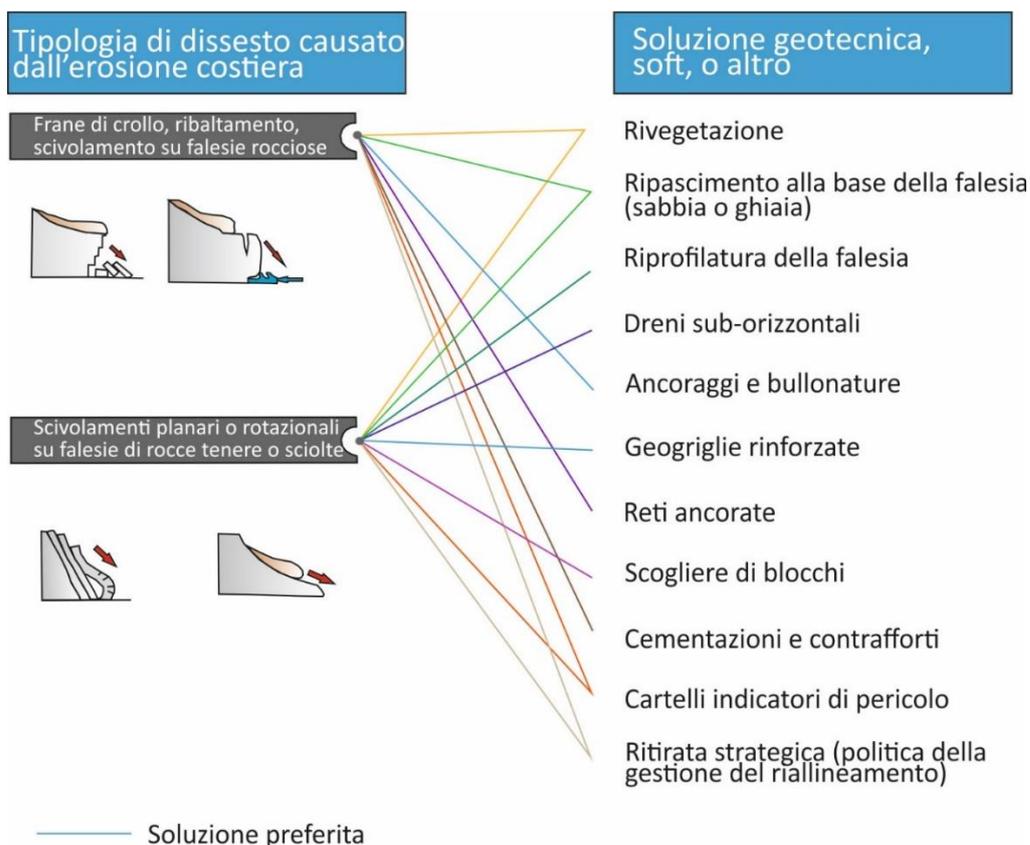


Figura 40 - Soluzioni tecniche previste in caso di frane di crollo o scivolamenti in falesia da CORIMAT, 2016) da CORIMAT, 2016).

Tipo di intervento	Vantaggi	Svantaggi
Rivegetazione	Diminuisce l'erosione areale e incanalata; ha basso impatto ambientale e paesaggistico e basso costo.	Non efficace per movimenti di versante profondi; deve essere effettuata su piccoli lotti e con specie non invasive; la crescita del sistema di radici può indurre effetti indesiderati come (stress nelle fratture degli ammassi rocciosi); manutenzione regolare.
Ripascimento alla base della falesia (con sabbie e ghiaie)	Compensa gli squilibri del litorale, nessun impatto sul paesaggio, ha effetto stabilizzante per la base della falesia.	Devono essere pianificate diverse operazioni di apporto di materiale con conseguente incremento dei costi, necessità di numerosi studi; manutenzione regolare.
Riprofilatura della falesia	Migliora la stabilità generale della falesia, la progettazione è relativamente semplice e sostenibile.	Non adatto alle aree urbanizzate, non adatta alle falesie rocciose perché difficilmente scavabili; manutenzione regolare; i costi dipendono dal tipo di rimodellamento; elevato impatto sul paesaggio e disturbi sulla biodiversità costiera.
Sistema di dreni sub-orizzontali	Elimina il deflusso superficiale e le infiltrazioni nella falesia verticale; per la progettazione sono semplici; soluzione sostenibile; basso impatto sul paesaggio.	Rischio di intasamento a lungo termine; regolare Manutenzione; in base alle caratteristiche geologiche, nella progettazione si deve tenere conto di una notevole riduzione delle prestazioni, ma non necessariamente di una completa perdita di efficienza.
Ancoraggi e bullonature	Migliora la stabilità della falesia; soluzione sostenibile; possibile stabilizzare sporgenze.	La messa in opera può essere complessa e quindi abbastanza costosa; regolare manutenzione, non può essere utilizzata su tutti i tipi di falesie (soprattutto rocciose); si possono stabilizzare volumi limitati.
Geogriglie rinforzate	Migliora la stabilità superficiale della falesia; la vegetazione può crescere attraverso la geogriglia; gli studi di progettazione sono semplici, soluzione sostenibile.	Non adatto per movimenti di versante profondi, ma solo per piccoli scivolamenti superficiali; sorveglianza regolare; i blocchi di grandi dimensioni devono essere eliminati.
Reti ancorate	Idonee al sostegno di blocchi instabili; soluzione sostenibile; in alcuni casi possono sostenere blocchi di roccia sporgenti.	La progettazione può essere complessa e la messa in opera richiede l'intervento di personale altamente specializzato, quindi i costi possono essere elevati; regolari ispezioni; l'impatto sul paesaggio è elevato; non risolve problemi di instabilità importanti.
Scogliere di blocchi	Migliora la stabilità della falesia; disperde l'energia delle onde, soluzione che richiede una progettazione semplice, quindi economica e sostenibile.	Non si adatta alle instabilità nella parte superiore della falesia; può ostacolare l'input sedimentario dovuto al processo di arretramento della falesia; sorveglianza regolare.

Cementazioni e contrafforti	Migliora la stabilità della falesia; è un intervento semplice e la tecnica è sostenibile.	Forte impatto sul paesaggio, nonostante l'intervento sia localizzato; applicabile a piccoli tratti; non adatto per rocce friabili; manutenzione regolare.
-----------------------------	---	---

Tabella 6 - Vantaggi e svantaggi delle tecniche di stabilizzazione delle falesie geotecniche e soft generalmente utilizzate in ambiente costiero (CORIMAT, 2017, modificato).

Selezione e scala di priorità delle misure per la riduzione del Rischio e delle azioni destinate al miglioramento e alla salvaguardia ambientale

L'analisi delle criticità geologiche presenti all'interno dell'area pilota è stata realizzata integrando i rilevamenti in situ con l'acquisizione di nuovi dati da drone e laser scanner, la restituzione fotogrammetrica dei modelli 3D, l'applicazione di un modello di calcolo per la zonazione della suscettività all'innescio di frane e la modellazione 3D dei crolli. I risultati ottenuti hanno permesso di individuare 5 aree sulle quali prevedere le politiche e gli eventuali interventi da adottare. La zonazione è avvenuta a partire dall'analisi dei seguenti tematismi:

- valori di pendenza del versante;
- caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso;
- distribuzione dei depositi incoerenti;
- condizioni di esposizione ai processi di *wave run up*;
- distribuzione e tipologia dei processi di frana.

Nella tabella 7 si riporta una descrizione di ciascun tematismo analizzato per i diversi settori.

SETTORE 1	
Pendenza del versante	Il versante ha una pendenza media di circa 39° con valori massimi fino a sub-verticale in corrispondenza delle nicchie di distacco delle frane di crollo e ribaltamento.
Caratteristiche ammasso roccioso	Unità geomeccaniche U2, U3, U5 e L6 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Depositati incoerenti	I depositi incoerenti sono del tipo UL1 e UL2 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Esposizione a processi di <i>wave run up</i>	Settore esposto agli eventi meteomarinari del 3° e 4° quadrante; il limite superiore della fascia di <i>wave run up</i> raggiunge la quota massima di +3.5 m s.l.m.
Distribuzione e tipologia dei processi di frana.	Diffusa presenza di frane di crollo, ribaltamento e scivolamenti a cuneo; processi di erosione accelerata di tipo lineare e areale.
SETTORE 2	
Pendenza del versante	Il versante ha una pendenza media di circa 45°.
Caratteristiche ammasso roccioso	Unità geomeccaniche U3 e U5 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Depositati incoerenti	I depositi incoerenti sono del tipo UL1 e UL2 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Esposizione a processi di <i>wave run up</i>	Settore esposto agli eventi meteomarinari del 2° e 3° quadrante; il limite superiore della fascia di <i>wave run up</i> raggiunge la quota massima di +9 m s.l.m.
Distribuzione e tipologia dei processi di frana.	Diffusa presenza di frane di crollo, ribaltamento e scivolamenti a cuneo; processi di erosione accelerata di tipo lineare e areale.

SETTORE 3	
Pendenza del versante	Il versante ha una pendenza media di circa 37°; i valori massimi di pendenza, sino a sub-verticale, si rilevano nelle aree in cui l'affioramento roccioso è interessato dalle frane di crollo, ribaltamento e scivolamenti a cuneo.
Caratteristiche ammasso roccioso	Unità geomeccaniche U2 e U6 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Depositi incoerenti	I depositi incoerenti sono del tipo UL1 e UL2 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Esposizione a processi di wave run up	Settore esposto a eventi meteomarini del 3° quadrante con limite superiore della fascia di wave run up a +9.0 metri s.l.m.
Distribuzione e tipologia dei processi di frana.	Diffusa presenza di frane di crollo, ribaltamento e processi di erosione accelerata su roccia alterata.
SETTORE 4	
Pendenza del versante	La pendenza media del versante è di circa 70°.
Caratteristiche ammasso roccioso	Unità geomeccaniche U1, U2 e U3 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Depositi incoerenti	I depositi incoerenti sono del tipo UL2 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Esposizione a processi di wave run up	Settore esposto a eventi meteomarini del 2° e 3° quadrante con limite superiore della fascia di wave run up a +9.5 metri s.l.m.
Distribuzione e tipologia dei processi di frana.	Frane di crollo, ribaltamento e processi di erosione accelerata nei compluvi che interessano la matrice alterata del substrato roccioso.
SETTORE 5	
Pendenza del versante	Pendenza media del versante circa 32°; localmente subverticale in corrispondenza degli affioramenti rocciosi.
Caratteristiche ammasso roccioso	Unità geomeccaniche U1, U3 e U4 (vedi § 4.2.4, T3.1.1)
Depositi incoerenti	Assenti
Esposizione a processi di wave run up	Settore esposto a eventi meteomarini del 3° quadrante con limite superiore della fascia di wave run up a +9.0 metri s.l.m.
Distribuzione e tipologia dei processi di frana.	Frane di crollo e ribaltamento.

Tabella 7 - Descrizione dei tematismi considerati i dei settori omogenei individuati

All'interno dei settori individuati sulla base delle caratteristiche fisiografiche, geomeccaniche e della tipologia e distribuzione dei processi di dissesto in atto, è stata fatta un'analisi della distribuzione dei potenziali elementi a rischio considerando i seguenti fattori:

- gli edificati e le infrastrutture che potrebbero essere coinvolti nei processi di erosione retrogressiva o da fenomeni di instabilità del versante;
- la presenza di aree frequentate da turisti, bagnanti o natanti.

In Figura 7 è riportata la carta dei settori omogenei individuati con la distribuzione identificazione degli elementi potenzialmente a rischio distinti in edifici ad uso privato residenziale, essenzialmente seconde case, edifici a valenza storico-culturale (Torre di Su Fenugu), le strade condominiali e le vie di accesso al litorale.

La gran parte delle abitazioni sono localizzate sul substrato granitico non alterato e non sono stati riscontrati evidenti fenomeni di instabilità degli edifici o delle strade legati alle frane di crollo ribaltamento. Sono invece possibili fenomeni erosivi e scalzamenti al piede dei muri di sostegno, laddove si verificano

fenomeni di erosione areale e concentrata sui depositi di versante e sul granito arenizzato, che sono stati descritti estesamente al § 3.1.3.3 della relazione T3.1.1.

Le maggiori criticità sono legate alla salute pubblica, ovvero ai possibili incidenti che si potrebbero verificare a carico delle persone in transito o in permanenza nelle aree del litorale soggette a fenomeni di crollo e ribaltamento e ai processi di mobilitazione dei sedimenti che si verificano soprattutto in occasione di apporti meteorici intensi. Le vie di accesso al litorale da terra sono presenti in tutti i settori. Tuttavia, nel settore 3 (figure 42 e 43) e nel settore 4 (figura 44) sono presenti accessi raggiungibili dalle strade condominiali, mentre nel settore 1 essi sono raggiungibili solo attraverso le case private (figura 41). Il settore 2 è raggiungibile dal settore 3, mentre il 5 dal settore 4 (figura 45). Pertanto, si suppone che i settori maggiormente frequentati siano il settore 3 e il settore 4 di Cala Delfino.

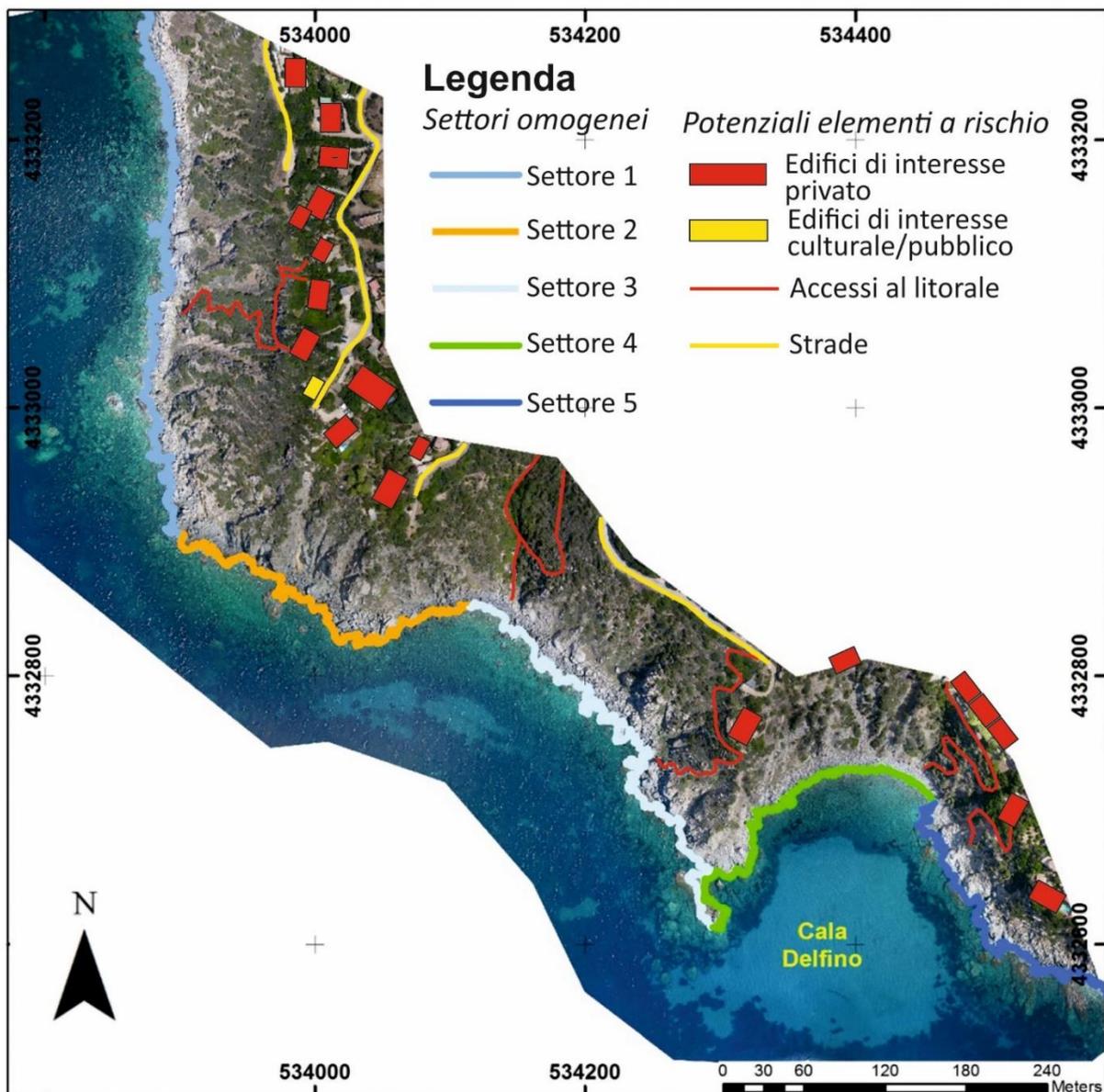


Figura 41 - Settori omogenei per i quali sono stati individuati i possibili interventi all'interno dell'area pilota e potenziali elementi a rischio



Figura 42 -: Settorre 3: la via di accesso al litorale è raggiungibile dalla strada comunale e dalle case private.



Figura 43 - Settori 2 e 3. Gli edifici presenti sono sufficientemente arretrati e non sembrano interessati da cedimenti determinati dai fenomeni di dissesto attivi.

Settore 4



Figura 44 - Settore 4 di Cala Delfino. Alcune costruzioni, nel tempo, potrebbero risentire dei processi di erosione retrogressiva dei versanti a carico del granito arenizzato o dei depositi di versante. La cala è accessibile dalla strada condominiale e frequentata anche da natanti.



Figura 45 - Settore 5, raggiungibile dall'area di Cala Delfino

Cala Delfino, anche in virtù del fatto che è una località molto frequentata soprattutto durante il periodo estivo, è una delle aree più fragili. L'analisi della suscettività da frana con la modellazione dei crolli (Figure 46-47) ha messo in evidenza una serie di aree sorgente nel versante soprastante la cala dalle quali si distaccano dei blocchi che potenzialmente possono raggiungere la spiaggia e la cui energia cinetica può superare i 500kJ (Figura 48). In quest'area, il rilevamento geologico e geomorfologico e l'analisi multi-temporale da foto aeree hanno evidenziato anche la presenza di una colata di detrito che in tempi recenti (2015) ha raggiunto la parte centrale della cala. Il distacco e la caduta di blocchi da pareti e versanti costituisce uno dei maggiori rischi geologici al quale sono esposte le persone a Cala Delfino.

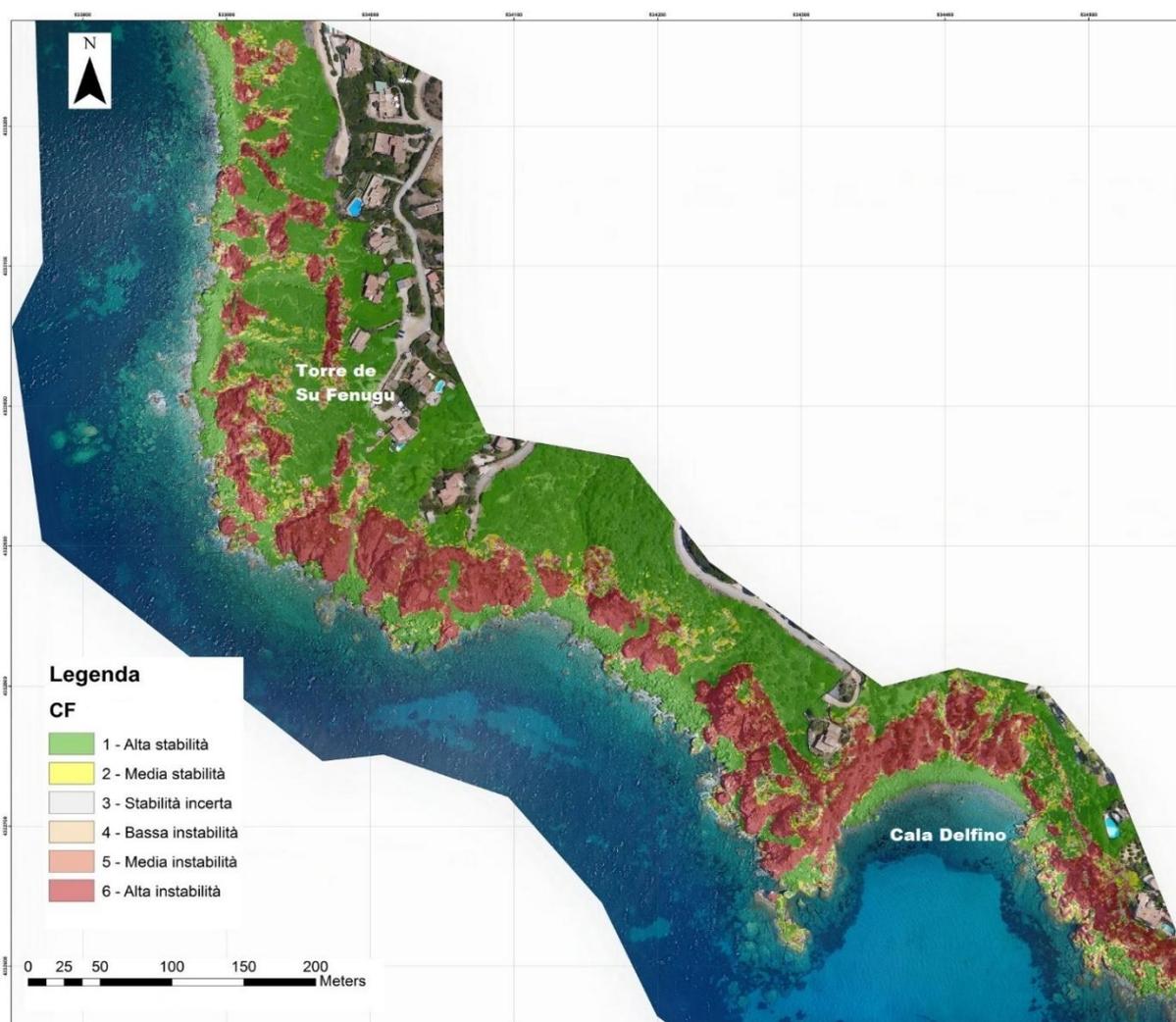


Figura 46- Carta della suscettività da frana calcolata per il sito pilota di Torre delle Stelle (vedi relazione specialistica T3.1.1 per descrizione dettagliata).

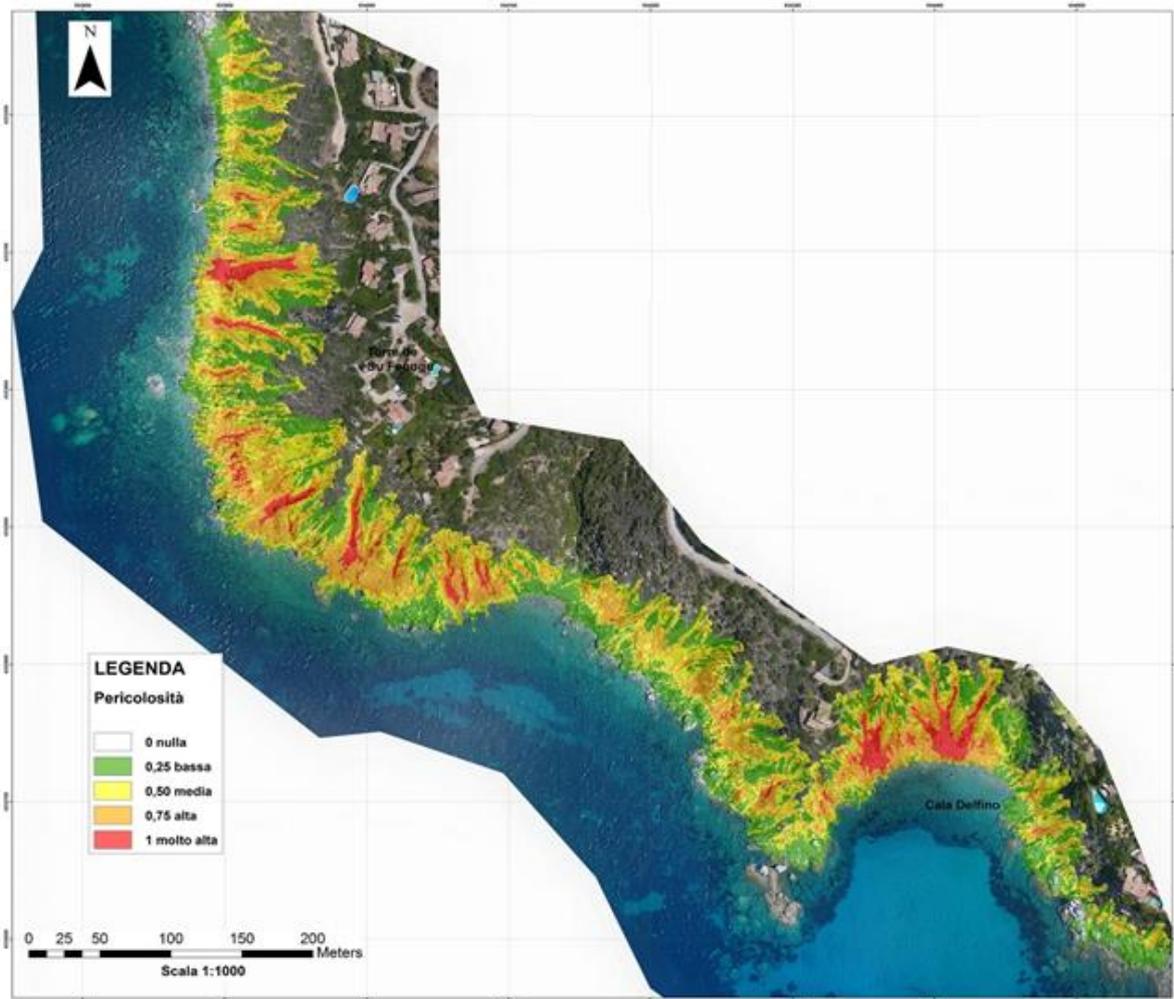


Figura 47 – Zonazione della pericolosità basata sulla modellazione dei crolli (vedi relazione specialistica T3.1.1 per descrizione dettagliata).

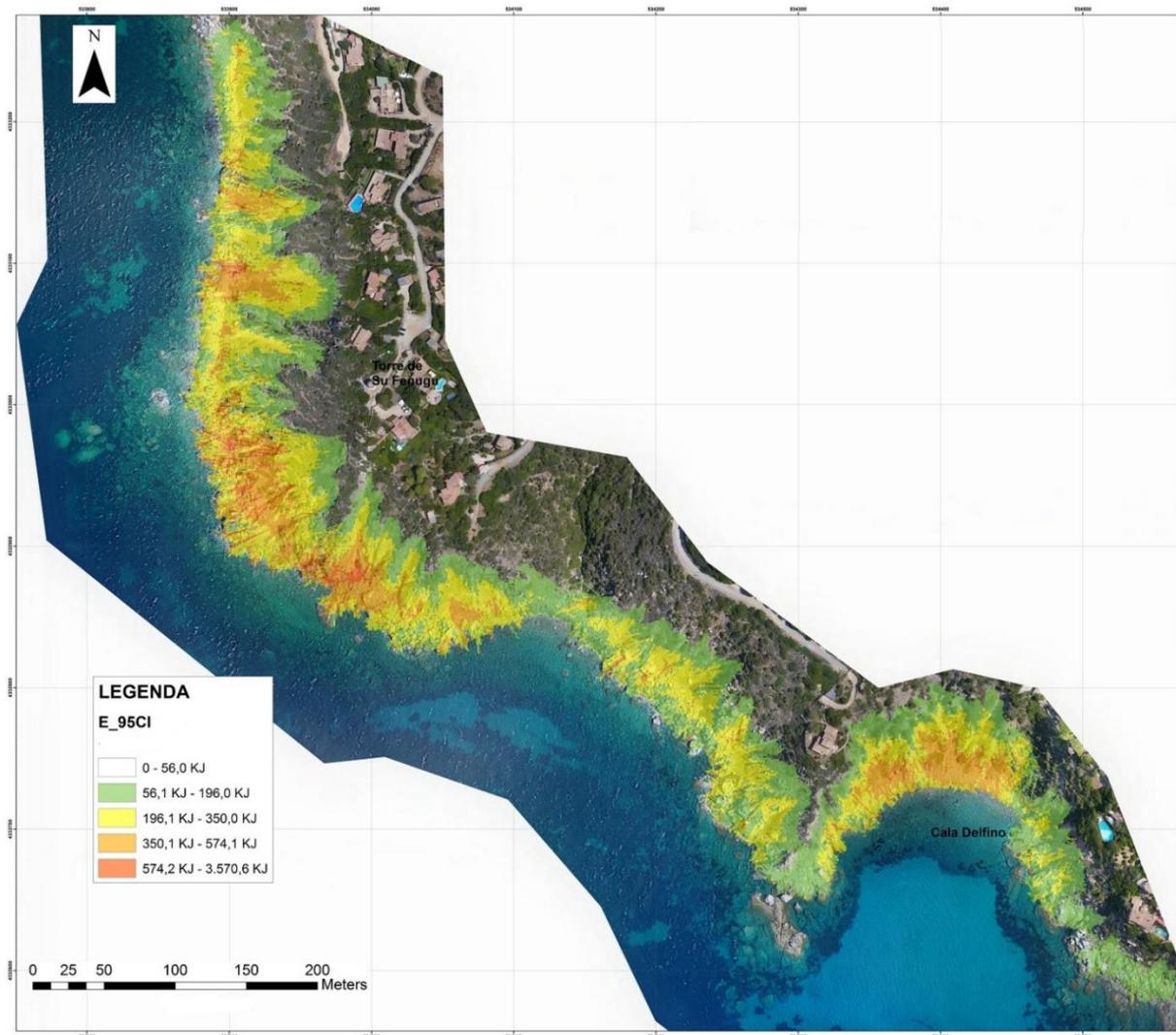


Figura 48– Carta dell’energia cinetica potenziale basata sulla modellazione dei crolli (vedi relazione specialistica T3.1.1 per descrizione dettagliata).

In Tabella 8, per ogni settore omogeneo, sono riportate le criticità individuate e gli interventi proposti, tenuto conto delle caratteristiche dei processi in atto e degli aspetti ambientali. Per la maggior parte dei settori, per quanto tutta l’area sia interessata da importanti processi di evoluzione del versante, non sono state individuate importanti ed immediate criticità a carico degli edifici. Tuttavia, la presenza di persone e natanti ai piedi delle falesie costituisce un potenziale rischio per la salute pubblica. Per tale motivo, l’interdizione di alcuni tratti di costa e la gestione controllata degli accessi (verifica e manutenzione delle vie di accesso, interdizione in caso di pioggia) sarebbe auspicabile, tanto più qualora non sia possibile realizzare opere di mitigazione del rischio da frana, soprattutto nelle aree più a rischio quali Cala Delfino. È bene infatti ricordare che le coste alte rocciose, proprio in funzione dell’elevata energia potenziale e dell’esposizione particolare sono aree naturali sede di processi di degradazione difficilmente arginabili a meno di impegni di risorse rilevanti e ingenti investimenti. Si ritiene comunque opportuno limitare gli interventi di difesa “hard” alle aree in cui il rischio non sia riducibile con la sola inibizione all’attività antropica.

Le principali tipologie potenziali di intervento prese in esame in riferimento ai processi di frana dell’area di studio, descritte di seguito, sono prevalentemente opere di difesa dalla caduta massi di tipo attivo e passivo, combinati con interventi di tipo “soft”.

Difesa attiva:

- tiranti, chiodi, bulloni e legature;
- pannelli e reti aderenti, rivestimenti con reti metalliche e tasche vegetative e/o con geosintetici;
- interventi che modificano la circolazione idrica superficiale e sotterranea come opere di regimazione ed intercettazione delle acque meteoriche, sigillature ed intasature delle fratture con iniezioni di malta cementizia o di resine, drenaggi dell'ammasso roccioso.
- rivestimenti con rete metallica sull'ammasso roccioso, costituiti da opere di rivestimento e protezione dall'erosione come reti metalliche addossate, reticolo di funi metalliche.

L'efficacia dei diversi interventi di difesa attiva è da valutare in base alle caratteristiche geo meccaniche dell'ammasso roccioso ed alla tipologia di dissesto.

Difesa passiva:

- reti paramassi;
- barriere paramassi rigide o elastiche.

Queste ultime sono strutture con un elevato impatto visivo e costi elevati di installazione e manutenzione, pertanto il loro utilizzo dovrà essere valutato attentamente anche ai fini della fruibilità paesaggistica del tratto di costa.

Dove presenti blocchi giacenti in condizioni di equilibrio precario o potenzialmente instabili e dove possibile, potrà essere fatto ricorso a **disgaggi** o abbattimenti sistematici dei volumi rocciosi. Si tratta della rimozione mediante innesco artificiale dei processi gravitativi di crollo e ribaltamento. Trattandosi di interventi applicabili ad aree di ridotta estensione areale ed eseguiti manualmente da operatori specializzati, il volume massimo dei blocchi da disgiungere è di modesta entità.

Per il controllo dell'erosione superficiale saranno applicate le tecniche "soft" che creano le condizioni necessarie alla crescita della vegetazione sui versanti o in situazioni particolari di rocce molto alterate. La copertura vegetale consente un efficace controllo e mitigazione dei fenomeni d'erosione, proteggendo il terreno dall'azione aggressiva delle acque meteoriche e superficiali, del vento e delle escursioni termiche (effetto stabilizzante). Le opere per il controllo dell'erosione superficiale adeguate potranno essere le seguenti:

- rivestimenti antierosivi con materiali biodegradabili;
- rivestimenti antierosivi con materiali sintetici;
- inerbimenti.

SETTORE 1	
Criticità	I processi gravitativi e di dissesto sono correlati a frane di crollo, ribaltamento, scivolamenti a cuneo e processi di erosione accelerata nei compluvi che interessano la matrice alterata del substrato roccioso.
Interventi gestionali	Accessi controllati e sistemi di allerta. Segnalazione degli elementi di pericolosità mediante apposita cartellonistica ed eventuale interdizione di alcune aree. Monitoraggio.
Interventi strutturali	Reti aderenti, disgaggi, barriere paramassi e chiodature nei settori interessati da processi gravitati su substrato roccioso. Interventi di ingegneria naturalistica nei settori interessati da processi di erosione accelerata.
Aspetti ambientali	Trattandosi di un settore sensibile in relazione agli aspetti paesaggistici e ambientali sono da prediligere interventi a basso impatto come le chiodature per il substrato roccioso e gli interventi di ingegneria naturalistica per i settori in cui i processi di erosione mobilitano il detrito di falda.

SETTORE 2	
Criticità	Si tratta di un settore ad elevata pendenza (>70°) interessato da frane di crollo e crollo ribaltamento che interessano il substrato roccioso fratturato.
Interventi gestionali	Interdizione. Segnalazione degli elementi di pericolosità mediante apposita cartellonistica ed eventuale interdizione di alcune aree. Monitoraggio.
Interventi strutturali	Reti aderenti, disgaggi, e chiodature nei settori interessati da processi gravitati su substrato roccioso.
Aspetti ambientali	L'elevato gradiente di pendenza, l'assenza di suolo e le condizioni di esposizione al moto ondoso, con un limite di <i>wave run-up</i> fino a +9 metri rispetto al livello del mare, non consente interventi di ingegneria naturalistica per la stabilizzazione dei processi di frana. Sono da prediligere interventi a basso impatto ambientale come le chiodature per il substrato roccioso e limitare a poche aree la stabilizzazione mediante reti aderenti.
SETTORE 3	
Criticità	I processi gravitativi e di dissesto sono correlati a frane di crollo, frane di crollo/ribaltamento e processi di erosione accelerata nei compluvi che interessano la matrice alterata del substrato roccioso.
Interventi gestionali	Accessi controllati e sistemi di allerta. Segnalazione degli elementi di pericolosità mediante apposita cartellonistica ed eventuale interdizione di alcune aree.
Interventi strutturali	Reti aderenti, disgaggi e chiodature nei settori interessati da processi gravitati su substrato roccioso. Interventi di ingegneria naturalistica nei settori interessati da processi di erosione accelerata.
Aspetti ambientali	Trattandosi di un settore sensibile in relazione agli aspetti paesaggistici e ambientali sono da prediligere interventi a basso impatto ambientale come le chiodature per il substrato roccioso e gli interventi di ingegneria naturalistica per i settori in cui i processi di erosione mobilitano il detrito di falda.
SETTORE 4	
Criticità	Nel settore 4 ricade Cala Delfino, caratterizzata da processi gravitativi di tipo frane di crollo, crollo/ribaltamento, scivolamenti a cuneo, colamenti detritici, canali con scariche di detrito e processi di erosione accelerata.
Interventi gestionali	Interventi limitati. Accessi controllati e sistemi di allerta. Segnalazione degli elementi di pericolosità mediante apposita cartellonistica ed eventuale interdizione di alcune aree, inibizione della fruizione balneare.
Interventi strutturali	Reti aderenti, disgaggi e chiodature nei settori interessati da processi gravitati su substrato roccioso. Interventi di ingegneria naturalistica nei settori interessati da processi di erosione accelerata. Segnalazione degli elementi di pericolosità mediante apposita cartellonistica ed eventuale interdizione di alcune aree.
Aspetti ambientali	Trattandosi di un settore sensibile in relazione agli aspetti paesaggistici e ambientali sono da prediligere interventi a basso impatto come le chiodature per il substrato roccioso e gli interventi di ingegneria naturalistica per i settori in cui i processi di erosione mobilitano il detrito di falda.
SETTORE 5	
Criticità	Processi gravitativi a frane di crollo e crollo/ribaltamento.

Interventi gestionali	Segnalazione degli elementi di pericolosità mediante apposita cartellonistica ed eventuale interdizione di alcune aree. Monitoraggio.
Interventi strutturali	Chiodature, reti aderenti e disgaggi.
Aspetti ambientali	Sono da prediligere gli interventi a basso impatto ambientale come le chiodature e i disgaggi, limitando il più possibile l'utilizzo di reti aderenti.

Tabella 8 - Interventi possibili sulla base delle criticità e gli aspetti ambientali individuati per ciascun settore.

2.2 SCELTA E SCALA DELLE PRIORITA' DELLE MISURE DI RIDUZIONE DEI RISCHI E DELLE AZIONI FINALIZZATE A MIGLIORARE ED A PRESERVARE L'AMBIENTE.

Il Piano degli Interventi non individua delle priorità e basa la sua efficacia sulla gestione integrata dell'unità fisiografica e sulla realizzazione di tutte le misure proposte accompagnata da un'azione di monitoraggio continuo, sia in riferimento alle misure adottate sia in riferimento agli effetti connessi al cambiamento climatico, così come previsto dai protocolli adottati da MAREGOT.

3 PROPOSTA DI AZIONI PER LA VALUTAZIONE DELLE MISURE ADOTTATE

3.1 PROGRAMMA DI MONITORAGGIO POST-INTERVENTI PER VALUTARE L'EFFICACIA E L'IMPATTO POTENZIALE DEGLI INTERVENTI NELLE ZONE COSTIERE VICINE

Gli interventi e le misure proposte per la riqualificazione delle spiagge non hanno ricadute ed influenze sulle zone costiere limitrofe considerato che trattasi, prevalentemente, di misure atte a favorire la riqualificazione e rinaturalizzazione dell'Unità Costiera. Ciononostante, al fine di analizzare gli effetti a breve e medio termine è necessario programmare un monitoraggio continuo sia degli habitat sia delle morfologie fluviali e costiere secondo le linee guida ed i protocolli adottati da Maregot. Possono essere utilizzati sistemi di monitoraggio a basso costo quali l'installazione di impianti con videocamere, di uso comune che consentono molteplici utilizzi, quali controllo delle presenze, variazione della linea di riva, profondità del run-up, e, in taluni casi, consentono di individuare le correnti di ritorno, cosiddette Rip-current, pericolose per la balneazione. Tali impianti, associati a centraline meteo, consentono un monitoraggio sufficientemente completo, delle dinamiche costiere.

3.2 PROGRAMMA DI GESTIONE DEGLI INTERVENTI

In un contesto estremamente dinamico quale quello costiero, estrema rilevanza assume la gestione degli interventi, che deve essere predisposta in relazione all'intervento e adeguato a seguito dell'attività di monitoraggio di cui al paragrafo precedente. Dunque il programma di gestione deve anch'esso, come il contesto, uno strumento dinamico, poiché i reali effetti di un intervento costiero non sempre possono essere valutati nel breve periodo.

3.3 PIANIFICAZIONE E MESSA IN OPERA DELLE AZIONI DI COMUNICAZIONE E DI PARTECIPAZIONE

Premessa

È di seguito proposta una azioni di rafforzamento della *Governance territoriale* delineata per il recepimento del *Piano degli interventi di difesa costiera* nella precedente Component T2 del progetto MAREGOT, finalizzata al raggiungimento dei principali obiettivi in quella fase individuati:

- accrescere la consapevolezza sui rischi legati ai fenomeni di erosione costiera e sviluppare un linguaggio comune;
- assicurare la attuazione degli interventi e la loro sostenibilità attraverso il riconoscimento di un programma condiviso

A valle di questa importante esperienza condotta nel sito pilota, chiarito il quadro dei processi in atto e le dinamiche evolutive in gioco, è necessario discutere con i rappresentanti e i fruitori del territorio, le modificazioni che potrebbero condizionare gli attuali assetti morfologici nel breve e nel lungo periodo causati dall'erosione costiera e dai rischi di inondazione anche in relazione agli affetti dei cambiamenti climatici.

Il recepimento della strategia adottata anche in ambito MAREGOT, coerente con i principi fissati nel protocollo della Gestione Integrata delle Zona Costiere, vede come prioritari:

- a) un approccio alle problematiche alla scala di Unità Fisiografica Principale e di Sub-unità Gestionale;
- b) l'orientamento verso scelte che preservano o favoriscono la naturale capacità di adattamento delle coste agli effetti generati dai cambiamenti climatici;

- c) il coinvolgimento del “*territorio*” nel processo decisionale, ossia nella scelta delle opzioni di intervento che trovano maggiore consenso e sono più facilmente inserite negli strumenti di pianificazione di livello comunale (PUC – PUL) e sostenute nell’attuazione.

Rafforzamento della Governance

Come previsto nel percorso di comunicazione tracciato con il 1° evento di Governance tenutosi a Cagliari 13.02.2020 tra i partner di MAREGOT; Regione Sardegna, ARPA Sardegna e Università degli studi di Cagliari e gli Amministratori locali dei Comuni di Maracalagonis e Sinnai, è calendarizzato ancora in ambito MAREGOT, un nuovo incontro finalizzato al rafforzamento della Governance istituzionale che sarà realizzato con i rappresentanti delle Amministrazioni comunali e aperto alla partecipazione degli uffici amministrativi aventi un ruolo nel riparto delle competenze in materia di coste e gestione del demanio marittimo.

Ai partner di progetto il compito di comunicare lo stato di salute dei litorali e le valutazioni circa il livello di criticità nel breve e lungo periodo, scaturite dai risultati degli studi sul bilancio sedimentario nelle spiagge di Genn’è Mari, Cann’è sisa e Solanas integrati con lo studio esteso ai bacini idrografici costieri ad esse connessi. Sul fronte del rischio di frana, potranno essere identificati i settori costieri da attenzionare e sottoporre a misure di controllo della fruizione, o mettere insicurezza tramite adeguati interventi strutturali.

I risultati del lavoro appena concluso, contenuti nel presene elaborato, sono riorganizzati in *schede tecniche*, una per ciascun tratto costiero /unità gestionale, e proposte per una comunicazione non tecnica dei risultati.

Le schede rendono infatti possibile focalizzare i processi di interesse, dettagliare le fenomenologie, discutere le opzioni di intervento e delineare i possibili scenari evolutivi e la sostenibilità della loro attuazione; costituendo un efficace strumento per una immediata comunicazione.

L’incontro si propone di riguardare i seguenti obiettivi specifici:

- a) distinguere gli interventi di tipo strutturale da quelli di natura gestionale e contestualizzarli;
- b) chiarire ruoli e competenze dei soggetti istituzionali coinvolti nel processo di attuazione degli interventi: assunzione di responsabilità e partecipazione attiva;
- c) prevedere il coinvolgimento dei cittadini interessati nel processo decisionale, attraverso la calendarizzazione di incontri dedicati finalizzati alla condivisione delle problematiche e degli scenari evolutivi, individuazione delle priorità di intervento: sostenibilità degli interventi
- d) individuare gli strumenti di pianificazione più idonei per la programmazione delle diverse tipologie di interventi: eventuale implementazione della relazione specialistica e del piano degli interventi nei piani urbanistici, nei PUL
- e) individuare gli strumenti finanziari e valutazione di ipotesi di cofinanziamenti.

Proposte di capitalizzazione

La declinazione locale del progetto MAREGOT potrebbe rappresentare per la Regione Sardegna un primo caso di applicazione di pianificazione integrata della fascia costiera.

I litorali regionali da quanto emerge dai risultati del Programma di Azione Coste (PAC 2013), e in particolare per quanto emerso riguardo ai sistemi di spiaggia, conservano ancora condizioni di naturalità e sostanziale equilibrio, per quanto facilmente vulnerabile, indice di una sostanziale capacità di resilienza che è necessario in ogni modo preservare. Il PAC allo stato attuale manca, ancora oggi, di un appropriato quadro conoscitivo e di basi dati in grado di supportare la formulazione di adeguati piani di intervento.

La strategia transfrontaliera per la redazione dei piani di intervento basati sui protocolli metodologici per lo studio delle dinamiche costiere, rappresenta allo stato attuale delle conoscenze, un metodo efficace per la pianificazione delle coste, adattabile alle diverse condizioni di criticità e utilizzabile in modo versatile per affrontare fenomenologie evolutive di breve e lungo periodo. Protocolli metodologici e

strategie potrebbero essere proposti per una loro adozione regionale, che potrebbe definire i ruoli dei soggetti amministrativi coinvolti.

Potrebbe ipotizzarsi il superamento di una pianificazione regionale della fascia costiera, attraverso l'approvazione di linee guide regionali per lo studio sistematico delle unità fisiografiche principali, da affidarsi agli Enti intermedi (province e Città Metropolitana di Cagliari), applicando i protocolli metodologici e organizzando i risultati in piani di interventi redatti in coerenza con i principi della Gestione Integrata.

I piani di intervento dovrebbero essere recepiti sia a livello di pianificazione urbanistica, e quindi essere attuati dai Comuni come si auspica per il Sito Pilota Solanas Torre delle Stelle, sia a livello regionale, attraverso un processo di recepimento/integrazione dei risultati sia nelle pianificazioni sovraordinate (PPR – e Pianificazione di bacino idrografico) che nelle politiche di gestione del Demanio costiero.