



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

Progetto Preliminare

Il Sindaco
Luigi Tedeschi

Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Sara Angius

Responsabile dell'Ufficio Tecnico
Ing. Alessandro Naitana

GRUPPO DI LAVORO

CRITERIA

Criteria Srl (Mandataria)

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

Arch. Paolo Falqui – *direttore tecnico*

Geol. Maurizio Costa – *direttore tecnico*

Ing. Francesca Etzi



PRIMA INGEGNERIA STP S.S. (mandante)

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

Ing. Maurizio Verzoni

Ing. Pietro Chiavaccini

Ing. Nicola Buchignani

Ing. Nicola Verzoni

Progettazione
Ing. Nicola Buchignani
Ing. Pietro Chiavaccini
Geol. Maurizio Costa
Ing. Francesca Etzi
Arch. Paolo Falqui
Ing. Silvia Putzolu
Ing. Maurizio Verzoni
Ing. Nicola Verzoni

Geologia e Geotecnica
Geol. Maurizio Costa
Geol. Antonio Pitzalis
Geol. Giuseppe Serventi

Aspetti ambientali e naturalistici
Biol. Patrizia Carla Sechi
Biol. Francesca Frau
Nat. Riccardo Frau

Analisi meteomarine
Ing. Pietro Chiavaccini

Sicurezza
Ing. Nicola Buchignani

GIS e Cartografia
Cinzia Marcella Orrù

CONSULENZE ESTERNE
Arch. Enrica Campus
Arch. Giuseppe Loche
Arch. Alberto Loche
Dott. Archeo. Alfonso Stiglitz

1.5.1 STUDIO GEOLOGICO

INDICE

1. PREMESSA	2
1.1. Normativa di riferimento	2
1.2. Inquadramento geografico	3
1.3. Obiettivi e metodi	5
1.4. Inquadramento geologico	6
1.5. Inquadramento geomorfologico	9
1.6. Inquadramento idrogeologico	11
2. ASSETTO GEOLOGICO E DINAMICHE EVOLUTIVE DEL PARAGGIO COSTIERO DI S'ARENA SCOADA	12
2.1. Punta de S'Incodina	14
2.2. Margine centro-meridionale di S'Arena Scoada	17
2.3. Margine centro-settentrionale di S'Arena Scoada	20
2.4. Punta S'Architeddu	23
3. ASSETTO GEOLOGICO E DINAMICHE EVOLUTIVE DEL PARAGGIO COSTIERO DI SU PALLOSU	26
4. DISPONIBILITÀ DEI MATERIALI LAPIDEI	32
5. INQUADRAMENTO DELLE AREE DI INTERVENTO NEI PIANI STRALCIO DI BACINO	34
5.1. Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni	34
5.2. Il Piano di Assetto Idrogeologico	37
6. CONCLUSIONI	40
7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	42

1. PREMESSA

Il presente studio preliminare è finalizzato all'inquadramento geologico delle aree di interesse, fondato prevalentemente, in questa fase, sull'analisi dei dati disponibili in letteratura e derivati da indagini pregresse condotte nei medesimi siti di intervento. L'obiettivo è la ricostruzione dei caratteri litostratigrafici, strutturali, geomorfologici ed idrogeologici dell'ambito di potenziale relazione con le opere in progetto. A tal fine le fasi propedeutiche allo sviluppo dello studio, analizzato il contesto geologico e individuate le potenziali interferenze con gli interventi, riguardano la definizione del programma geognostico, geofisco e delle prove geotecniche da eseguire nei siti di intervento, condiviso tra i progettisti. In questi termini, potrà essere definito nella fase progettuale definitiva il modello geologico del sottosuolo e dell'ambito fisiografico di intervento, attraverso la caratterizzazione stratigrafica, strutturale, idrogeologica, geomorfologica e fisico meccanica delle litologie interessate. Il modello geologico dovrà quindi consentire la previsione e la prevenzione degli elementi di criticità che possono manifestarsi in relazione alle caratteristiche delle opere in progetto, anche in riferimento ai processi di evoluzione spontanea dei versanti, della superficie del suolo e delle coste.

1.1. Normativa di riferimento

La normativa d'interesse per il presente documento è sintetizzata di seguito:

- Decreto Legge 18 maggio 1989 n° 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- Legge del 3 agosto 1998 n° 267, "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico e a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania";
- Regione Autonoma della Sardegna, Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI), "interventi sulla rete idrografica e sui versanti, norme di attuazione";
- Decreto del Presidente della Regione Sardegna del 21 marzo 2008 n° 35, "Aggiornamento e attuazione delle norme del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)";
- Decreto ministeriale (Ministero dei lavori pubblici) 11 marzo 1988, "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 9 gennaio 1996, n. 218/24/3, "Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Decreto del Ministero dei lavori pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica";
- Decreto ministeriale (infrastrutture) 14 gennaio 2008, "approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";

- Circolare 2 febbraio 2009 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008.

1.2. Inquadramento geografico

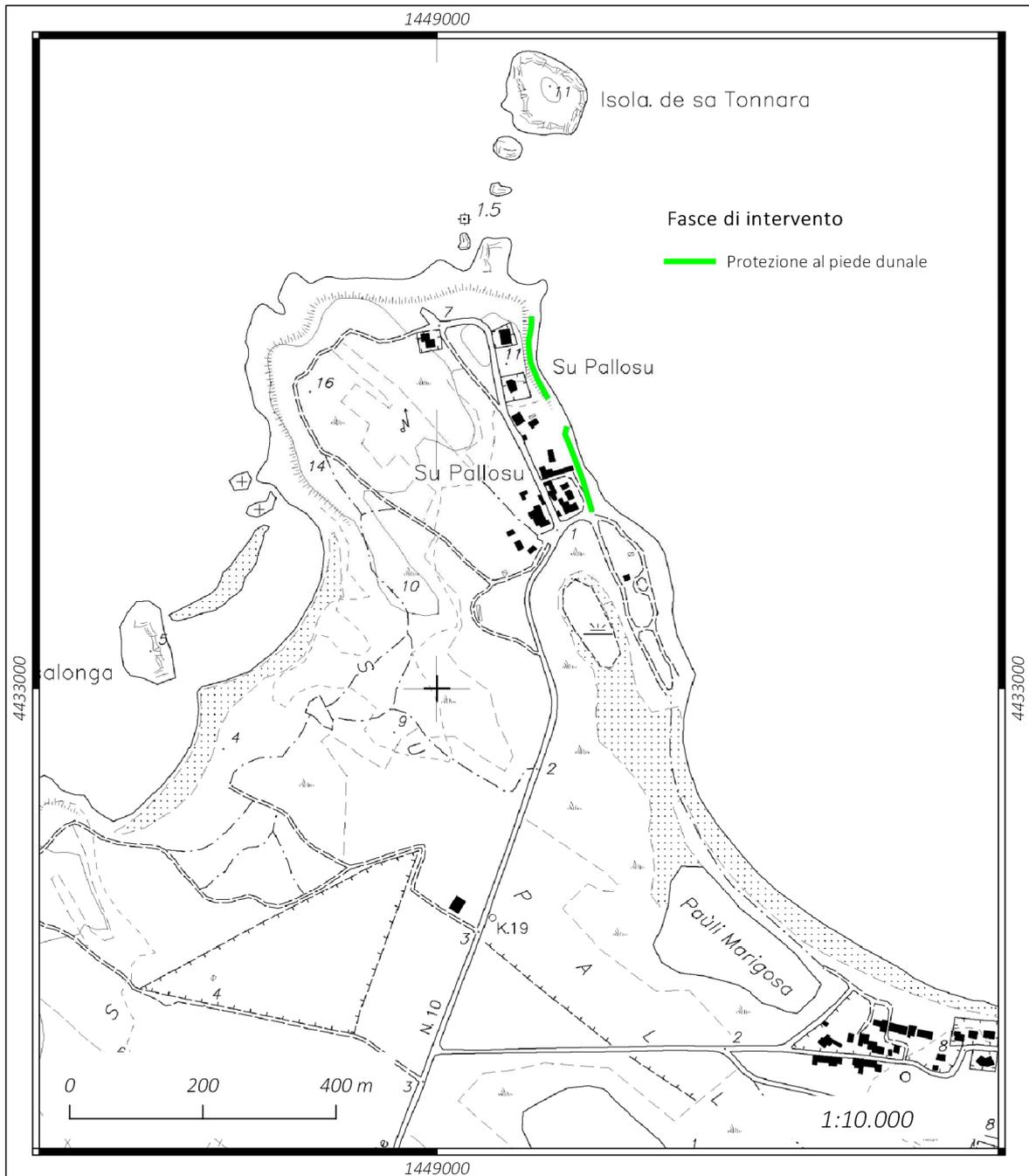


Figura 1 Stralcio corografico, carta tecnica regionale in scala 1:10000 delle fasce di intervento

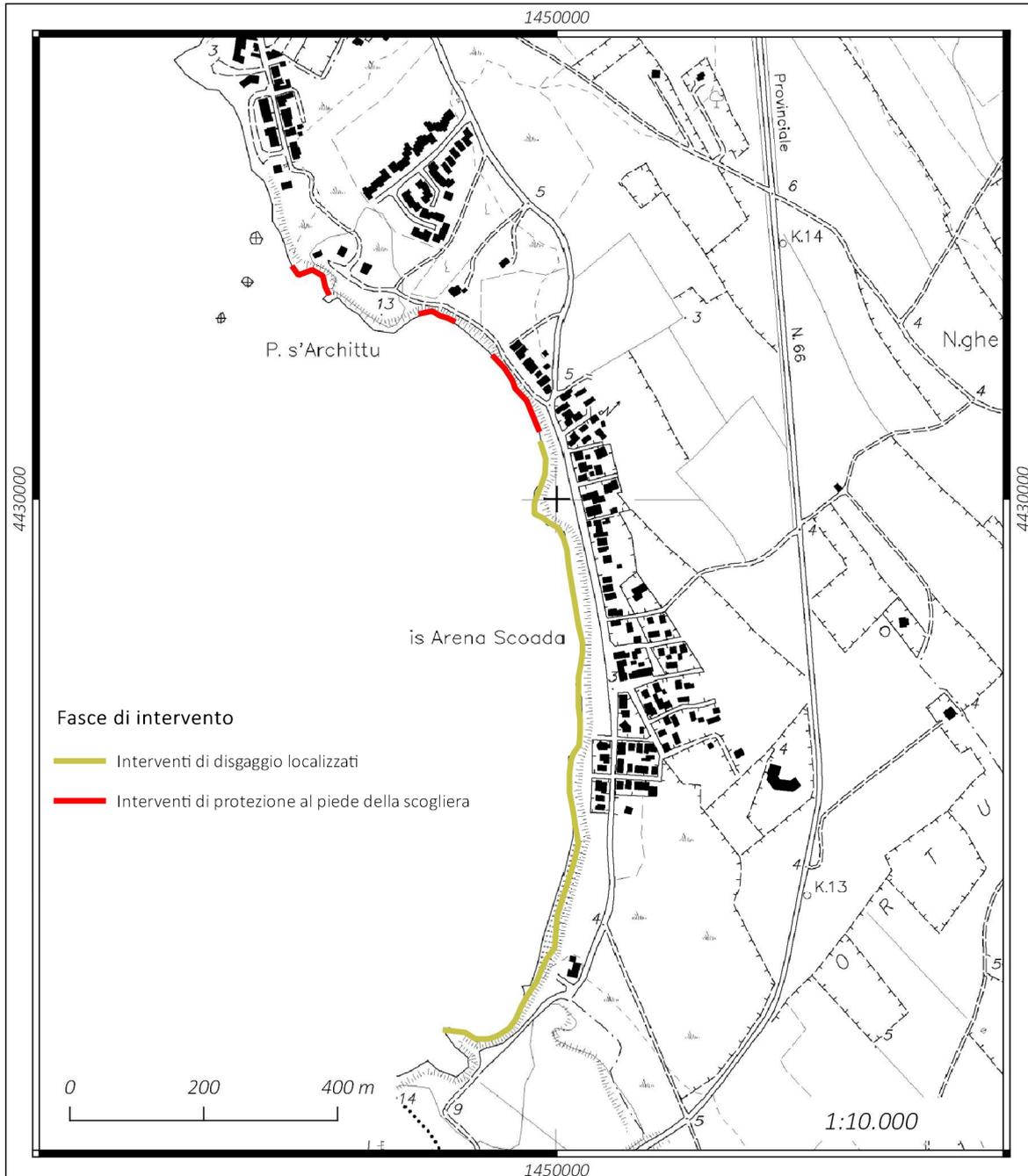


Figura 2 Stralcio corografico, carta tecnica regionale in scala 1:10000 delle fasce di intervento

L'area di studio si trova nel territorio comunale di San Vero Milis, in provincia di Oristano. La prima area si trova nella fascia costiera lungo il litorale di "S'Arena Scoada" fra i toponimi di "Punta S'Archittu", a Nord, e Punta de S'Incòdina", a Sud, la seconda, nel settore più Nord Orientale, comprende il toponimo di "Su Pallosu".

L'area è individuata dalla seguente cartografia ufficiale:

- Carta topografica d'Italia (IGMI), scala 1:50000 Foglio 514, codice M792, Cuglieri.
- Carta topografica d'Italia (IGMI), scala 1:25000 Foglio 514 sezione III, serie 25, Capo Mannu.
- Carta Tecnica Regionale (CTR), scala 1:10000 sezione 514090, Isola De Sa Tonnara.
- Carta Tecnica Regionale (CTR), scala 1:10000 sezione 514130, Capo Mannu.

Il contesto territoriale di interesse è articolato in due unità fisiografiche riconducibili a:

- ambito costiero a Nord di Capo Mannu, su cui insiste l'area di intervento di Su Pallosu;
- ambito costiero a Sud di Capo Mannu, che comprende l'ambito di intervento di S'Anea Scoada (o S'Arena Scoada).

Nel primo ambito il sistema marino-costiero è coinvolto in un intenso processo di erosione regressiva, in cui lo smantellamento delle falesie e dei corpi sabbiosi olocenici fornisce un importante contributo nel bilancio sedimentario all'interno dell'unità, con arricchimento dei sedimenti di spiaggia o il loro allontanamento nel settore sommerso. Verso Capo Mannu, sono presenti vasti sistemi dunali olocenici. Qui la successione sedimentaria plio-pleistocenica (in facies continentale) costituisce la piattaforma di abrasione litoide su cui sono deposti cunei sabbiosi di spiagge poco profonde e superficiali, soggette ad una dinamica litoranea attiva. La ciclicità dei fenomeni erosivi e di accumulo deposizionale può essere molto rapida e generare profonde modificazioni del profilo della linea di riva, osservabili anche negli ultimi 30-40 anni.

Nel caso della Unità a sud di Capo Mannu, il morfotipo più diffuso è quello classico a falesia con basso fondale marino al piede, talora con spiaggia antistante. Le falesie si attestano su quote variabili che oscillano tra i 10 ed i 50 m., e sono il risultato di un processo morfoevolutivo di tipo retrogrado fortemente condizionato dalla natura litologica, stratigrafica e strutturale delle formazioni geologiche affioranti. Il tratto presso S'Arena Scoada è caratterizzato da spiagge spesso poco profonde, costituite da sabbie fini quarzose. Costituiscono sistemi chiusi, non alimentati da apporti fluviali, delimitati da una falesia/ripa di erosione verticale impostata sulla formazione dei Calcari Laminati del Sinis e sui Calcari di Torre del Sevo, calcari dolomitici, generalmente brecciati (Miocene Sup.).

1.3. Obiettivi e metodi

Il metodo di analisi nella presente fase preliminare si è articolato nello studio delle caratteristiche geologiche derivanti da fonti bibliografiche disponibili e da studi pregressi condotti per

l'adeguamento degli strumenti urbanistici locali. L'analisi conoscitiva condotta sui dati esistenti è stata completata con l'osservazione diretta in sito e con l'analisi diacronica delle foto aeree, in particolare per il riconoscimento, rispettivamente, delle successioni litostratigrafiche costitutive dell'area e delle dinamiche evolutive delle principali componenti geomorfologiche costiere.

Le principali attività condotte riguardano:

- Ricerca e analisi bibliografica;
- Sopralluoghi nei siti di intervento e nelle aree circostanti;
- Osservazioni dirette in sito con particolare riferimento alle successioni litostratigrafiche esposte e completamento dei profili litostratigrafici laddove non presenti in letteratura;
- analisi fotointerpretativa su immagini aeree e comparazione diacronica delle foto storiche e recenti;
- analisi degli elaborati cartografici geotematici esistenti quali:
 - Regione Autonoma della Sardegna, progetto "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000";
 - Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000;
 - Note Illustrative della Carta Geologica in scala 1:200.000 - Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia;
 - Altre Carte geotematiche locali a scala comunale;

La sintesi delle informazioni acquisite costituisce un corpus conoscitivo ragionevolmente completo per l'interpretazione preliminare del modello geologico di riferimento, definibile nella porzione di territorio che, in modo diretto o indiretto, ha un'influenza sensibile sugli interventi.

1.4. Inquadramento geologico

L'assetto geologico del territorio è caratterizzato dalla presenza di formazioni di diversa origine riferibili sia al Terziario che al Quaternario. L'assetto di queste formazioni è condizionato da motivi tettonici di età oligo-miocenica e plio-quadernaria, che in questo settore si sovrappongono ed interferiscono tra loro, e che, in generale, conferiscono alle formazioni sedimentarie una generale debole vergenza verso nord-ovest. I suddetti disturbi tettonici hanno direzioni preferenziali, come a scala regionale, NE-SW e N-S. Il primo di questi lineamenti è riferibile principalmente ad una tettonica di tipo trasforme oligo-miocenica, mentre le lineazioni N-S, di tipo estensionale, hanno età plio-quadernaria e sono correlate alla fossa tettonica del Campidano che, proprio in questo settore, tende a chiudersi.

Le formazioni più antiche, costituite da due piccoli lembi di lave andesiti che oligo-mioceniche, affiorano in località sa Serra 'e Attori e Perda Murtigiada, secondo un asse con direzione NE-SW, e formano l'ossatura di una debole dorsale, con la medesima direzione, posta nell'estremo settore sud-orientale del territorio dell'isola amministrativa esterna di San vero Milis. Su questi affioramenti lavici poggiano, con contatti talora visibili ed osservabili e talora oblitterati da

formazioni più recenti, sedimenti marini miocenici, costituiti da una successione di arenarie, marne arenacee e formazioni carbonatiche calcaree fortemente fossilifere a foraminiferi, resti di bivalvi, o a coralli; la giacitura di questi sedimenti varia da suborizzontale a debolmente inclinata verso NW. Unitamente alle formazioni vulcaniche oligo-mioceniche, anche questi sedimenti vanno a costituire la sopra citata dorsale nel settore sud-orientale di questa porzione di territorio. Seguono in successione stratigrafica, senza un contatto visibile con le formazioni sottostanti, ed affioranti soprattutto nelle zone costiere (Putzu Idu, Porto Mandriola, Scala 'e Sale) altri sedimenti più recenti miocenici-pliocenici costituiti da calcari cavernosi e brecciati e marne argillose, anche in facies deposizionale di ambiente lagunare.

Verso il promontorio di Capo Mannu ed in misura minore in località Isaieddus, affiorano vari depositi di sabbie dunari antiche, cementate e fossili di età plio-pleistocenica. Circa coevi con le dune fossili sono gli ampi ed estesi crostoni calcarei di ambiente palustre che ricoprono le formazioni più antiche per buona parte del territorio dell'isola amministrativa. Seguono: il complesso sabbioso eolico del Pliocene sup. - Pleistocene sup., costituito in parte dal rimaneggiamento delle precedenti Unità dunali antiche, sedimenti marini e coperture continentali del Tirreniano, a quote variabili comprese tra 0 e 8 m.s.l.m., ed infine i sedimenti di spiaggia (sabbioso-ghiaiosi) attuali, ampi cordoni di retrospiaggia e limi carbonatici di ambiente palustre.

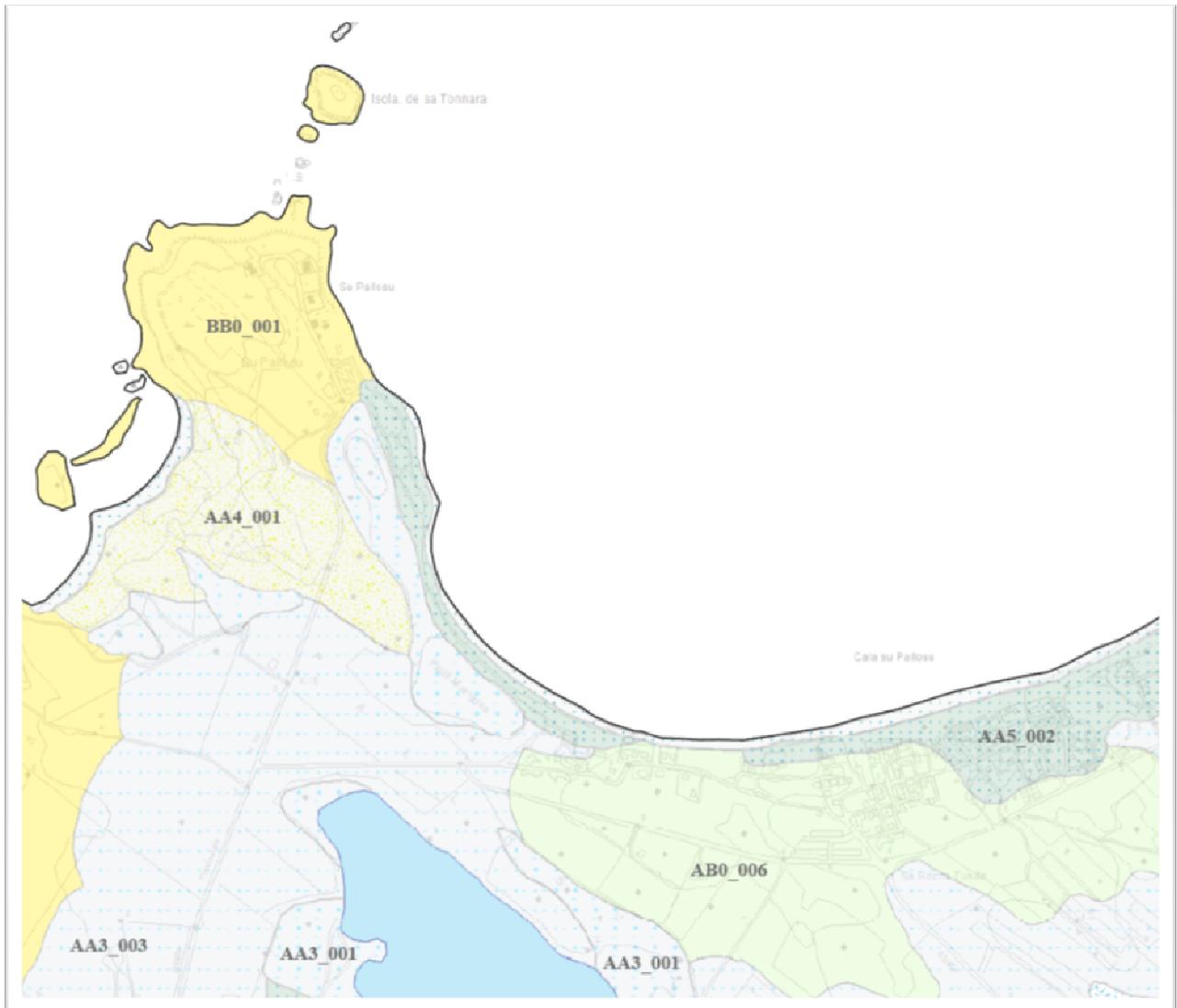


Figura 3 - Stralcio cartografico estratto dalla tavola geologica del PUC (2014) relativa all'ambito a Nord di Capo Mannu - paraggio costiero di Su Pallosu. (AA3_001 Depositi palustri: Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi OLOCENE; AA3_003 Depositi lacustri: Calcari lacustri talvolta con gasteropodi polmonati OLOCENE; AA4_001 Depositi eolici: Sabbie di duna ben classate OLOCENE; AA5_002 Depositi di spiaggia antichi, sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero, spessore fino a 3-4 m? OLOCENE- PLEISTOCENE SUP.?.; AB0_006 Litofacies nel Substema di Portoscuso - SINTEMA DI PORTOVESME - Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali PLEISTOCENE SUP.; BB0_001 FORMAZIONE DI CAPO MANNU. Arenarie eoliche con paleosuoli intercalati ricchi in resti di vertebrati e microfossili rimaneggiati PLIOCENE SUP.)

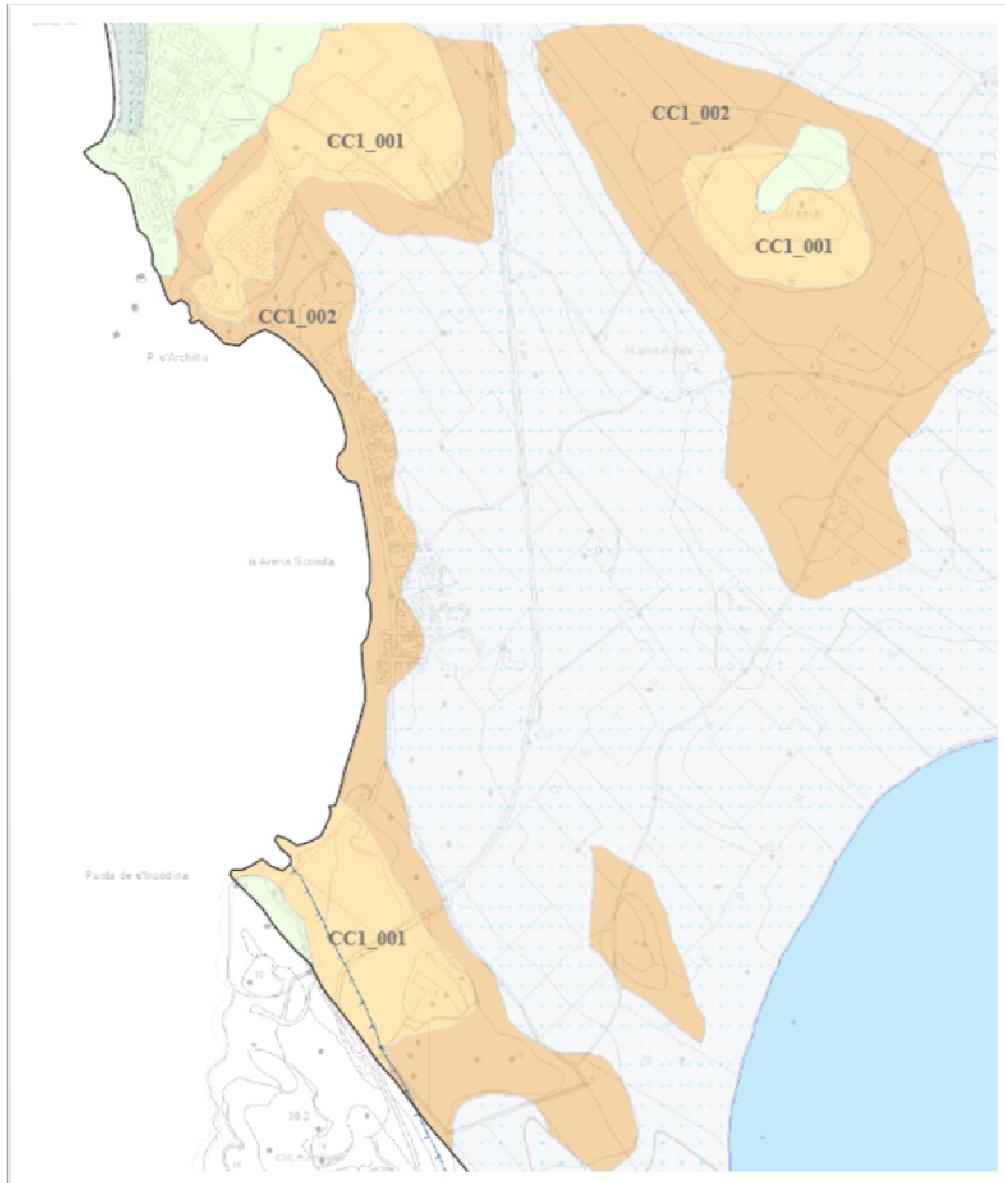


Figura 4 - stralcio cartografico estratto dalla tavola geologica del PUC (2014) relativa all'ambito a Sud di Capo Mannu - paraggio costiero di S'Anea Scoada.(CC1_001 CALCARI DI TORRE DEL SEVO: Calcari e calcari dolomitici residuali, generalmente brecciati; biocalcareni fossilifere con bivalvi MESSINIANO; CC1_002, CALCARI LAMINATI DEL SINIS: Calcari microcristallini e marne calcaree, con rari fossili di bivalvi MESSINIANO)

1.5. Inquadramento geomorfologico

L'assetto geomorfologico è stato condizionato dall'azione dei movimenti tettonici plio-pleistocenici che hanno dato origine al graben del Campidano e dalle variazioni climatiche pleistoceniche. Sono infatti presenti piccoli rilievi residuali di rocce carbonatiche e di vulcaniti del terziario verso le aree interne. Depositi prevalentemente eolici, fortemente cementati con crostoni calcarei occupano gran parte del settore centrale di "Marina" e dell'isola

amministrativa di San Vero Millis. Dune eoliche del Pliocene sovrastano i depositi di spiaggia e lagunari dell'area di Capo Mannu, la cui fascia costiera è caratterizzata da alte falesie scolpite nelle eolianiti plioceniche e da ripe di erosione sui sedimenti del Terziario. A Sud ed a Nord, queste falesie sono delimitate da due golfi naturali dove si estendono spiagge sabbiose: Cala su Pallosu e Cala Saline. In quest'ultima un cordone litorale impostato nell'olocene, ha originato lo stagno di Sa Salina Manna. Altri stagni sono presenti nel settore centrale, il principale dei quali è quello de Is Benas, la cui genesi è da ricondurre allo sbarramento operato dalle dune de Is Arenas, originatesi durante le fasi aride del Pleistocene superiore e dell'Olocene.

S'ARENA SCOADA (DA P.TA S'INCODINA A P.TA S'ARCHITTEDDU).

Il tratto costiero in esame si sviluppa per circa 1500 m, da P.ta S'Incodina a P.ta S'Archittuddu, ed è costituito da una falesia rocciosa interessata da un processo evolutivo di tipo regressivo.

I processi morfogenetici sono sostanzialmente guidati dai caratteri litologico strutturali delle formazioni affioranti le quali, sotto la pressione meccanica del moto ondoso, sono ulteriormente sollecitate e soggette a crolli ripetuti e frequenti. I fenomeni, che pur si manifestano con continuità sull'intero elemento morfologico, agiscono con maggiore aggressività in corrispondenza di discontinuità strutturali locali determinando locali situazioni ad elevata pericolosità.

Tutto il tratto di costa è interessato da un'intensa frequentazione di tipo turistico-balneare estiva e ciò determina, in presenza di elementi geomorfologici e strutturali pericolosi, l'instaurarsi di condizioni di rischio.

MANDRIOLA (CALA DELLE SALINE) E SU PALLOSU (CALA SI PALLOSU): i siti si inseriscono nell'attuale area stagnale di Capo Mannu, originatesi in seguito alla costruzione del tombolo che ha raccordato Capo Mannu al piccolo horst del Sinis. In quest'area i processi morfodinamici marini ed eolici, hanno portato all'accrescimento dei due cordoni litoranei di Su Pallosu e di Cala Saline, sormontati da dune, che hanno isolato e racchiuso le aree stagnali retrodunali di Salina Manna, Pauli Sa Marigosa e Sa Mesa Longa. Si tratta di un sistema costiero di recente evoluzione, estremamente dinamico e sensibile anche a piccole modificazioni. Le aree stagnali a carattere temporaneo sono poco profonde ed alimentate esclusivamente da apporti meteorici diretti, mentre le spiagge emerse e le dune, costituite da sabbie ben classate, sono soggette all'azione congiunta marina ed eolica che si manifestano con energie molto elevate quando proveniente dai quadranti occidentali. Le relazioni naturali di scambio reciproco tra le zone umide e le spiagge antistanti emerse e sommerse, sono alla base delle continue modificazioni indotte sulle delicate ed effimere condizioni di equilibrio del sistema.

1.6. Inquadramento idrogeologico

L'elemento dominante nel paesaggio del Sinis, dal punto di vista idrogeologico, è la presenza di numerose zone umide, stagni e lagune costiere che ancora occupano gran parte della superficie della penisola; vaste aree umide infatti sono state recentemente bonificate. L'origine di questi specchi d'acqua è da ricercarsi nella continua subsidenza dell'area e nelle ingressioni marine verificatesi nel Miocene. I terreni detritici superficiali, molto estesi in quest'area, consentono un notevole drenaggio, di conseguenza il reticolo idrografico risulta scarsamente sviluppato. In alcune località, come "Is Arenas", si ha assenza completa di tracciati fluviali a causa dell'elevata permeabilità dei terreni sabbiosi.

Nel'ambito territoriale di interesse, si rilevano diversi gradi e tipi di permeabilità correlati alle differenti litologie. Di seguito si descrivono le unità idrogeologiche e la classe di permeabilità a loro associata:

Unità detritico-carbonatica quaternaria - Permeabilità alta per porosità e, nelle facies carbonatiche, anche per fessurazione;

Unità delle alluvioni plio-quaternarie - Permeabilità per porosità complessiva medio bassa; localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana;

Unità detritica pliocenica – permeabilità per porosità complessiva bassa; localmente media in corrispondenza dei livelli a matrice più grossolana;

Unità detritico-carbonatica miocenica superiore – Permeabilità complessiva medio-alta; da medio bassa a medio alta per porosità nei termini detritici, medio alta per fessurazione e/o carsismo.

2. ASSETTO GEOLOGICO E DINAMICHE EVOLUTIVE DEL PARAGGIO COSTIERO DI S'ARENA SCOADA

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

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

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

L'analisi multi temporale del tratto di costa in esame, pur nelle limitazioni interpretative legate all'individuazione della scarpata rocciosa e della linea di riva, evidenziano un arretramento della falesia variabile da zona a zona, con valori intorno ai 10 metri nel settore nord ed in quello meridionale. Questo processo costituisce la naturale tendenza evolutiva del tratto costiero in esame, che prevede il ripetersi ciclico di fasi evolutive legate lo scalzamento ad opera del moto ondoso sul piede della falesia con formazione di un solco di battente via via più profondo, fino al distacco di masse rocciose più o meno significative. Il materiale prodotto dai fenomeni franosi si adagia al piede della scarpata e protegge per un certo periodo il piede della stessa dall'azione del moto ondoso, finché il materiale viene elaborato ed allontanato dal mare e riprende il ciclo evolutivo. Le spiagge presenti alla base della scarpata rocciosa, costituiscono appunto il risultato dell'elaborazione di depositi franosi avvenuti lungo la falesia.

È stato osservato che i fenomeni prevalenti sono costituiti da crolli di masse litoidi più o meno voluminose che avvengono dalla parete della falesia o all'interno di nicchie o grotte che si sviluppano lungo il margine costiero ad opera del mare. I crolli costituiscono un fenomeno frequente e, pur non interessando generalmente eccessivi volumi di roccia, rappresentano tuttavia un elevato carattere di pericolosità per la frequenza degli eventi, costituendo pertanto un elemento di rischio, soprattutto a motivo dell'elevato carico antropico stagionale.

I differenti caratteri geomorfologici, stratigrafici e altimetrici riscontrabili lungo il margine costiero, determinano forme e processi evolutivi differenti, con differenti problematiche connesse con

l'arretramento della scarpata e le condizioni di rischio geologico. Si riconoscono quattro principali ambiti fisiografici di seguito descritti.



Figura 5: tratto di costa a falesia attiva nel settore nord del margine costiero in esame. Si noti l'azione diretta dei frangenti d'onda al piede della scarpata rocciosa.

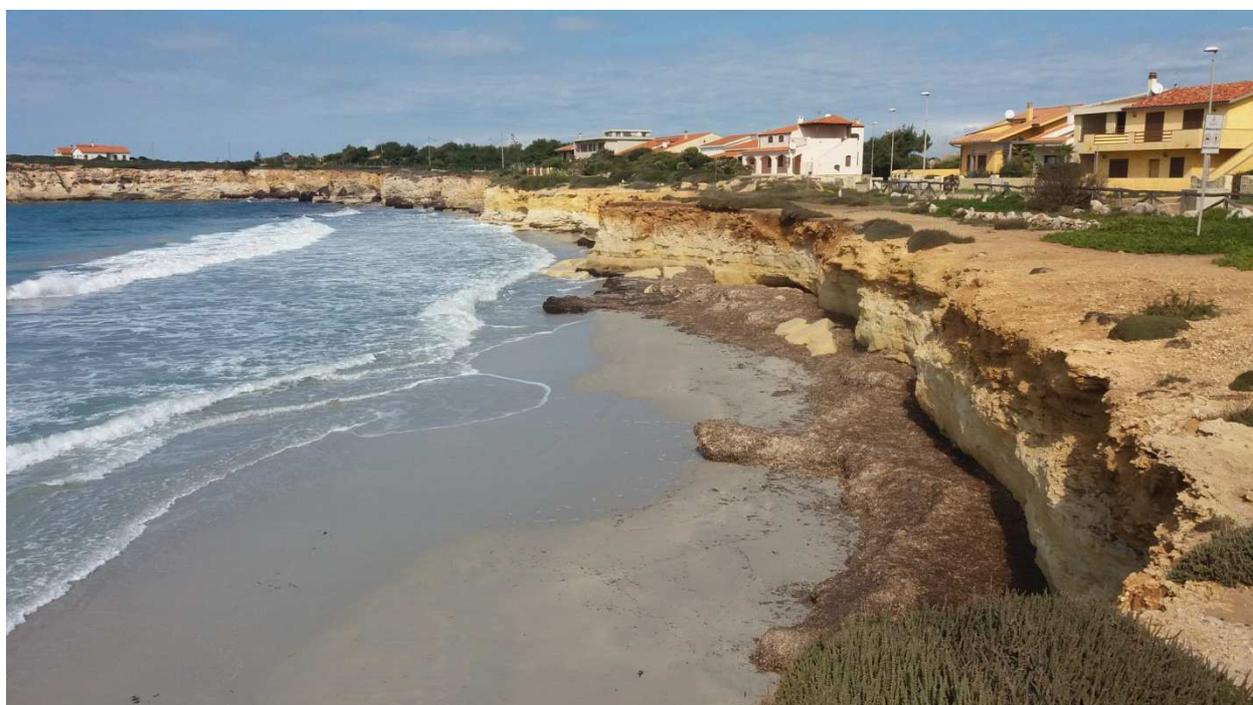


Figura 6: settore centrale della spiaggia di Is Arena Scoada. Si noti la presenza di un deposito sabbioso alla base della scarpata che limita l'azione dei frangenti d'onda al piede della scarpata.



Figura 7: tratto di costa interessato da recenti movimenti franosi di crollo di lastre di roccia.

2.1. Punta de S'Incodina

All'estremità meridionale del tratto costiero di S'Arena Scoada, in località Punta de S'Incodina, il tratto di falesia alta 8 -11 m, conosciuta anche con il nome di S'Architeddu, è costituita, dall'alto verso il basso da:

- colluvio arenaceo-detritico arrossato, con noduli carbonatici, ricoperto dal suolo olocenico;
- alternanza di calcari e marne con livelli di spessore decimetrici di argille e, nella parte alta, calcari micritici (Fm. Calcari Laminati del Sinis);
- arenarie e marne arenacee quarzose marnose, fossilifere.

In questo settore, oltre le condizioni di diffusa fratturazione dei Calcari Laminati, anche il carattere di intensa brecciatura e di forte alterazione per dissoluzione e ricircolazione di carbonati nell'unità di Torre del Sevo induce e accentua la morfogenesi per crollo.

Si riconosce un tratto più meridionale caratterizzato dalla presenza di una falesia attiva con fenomeni di crollo avvenuti in tempi recenti su cui il mare agisce in maniera diretta. Più a nord, un deposito sabbioso protegge solo parzialmente il piede della falesia, che comunque viene raggiunto durante le mareggiate estreme. Sono evidenti solchi di battente più o meno evoluti e nicchie di degradazione selettiva lungo il fronte stesso della falesia.

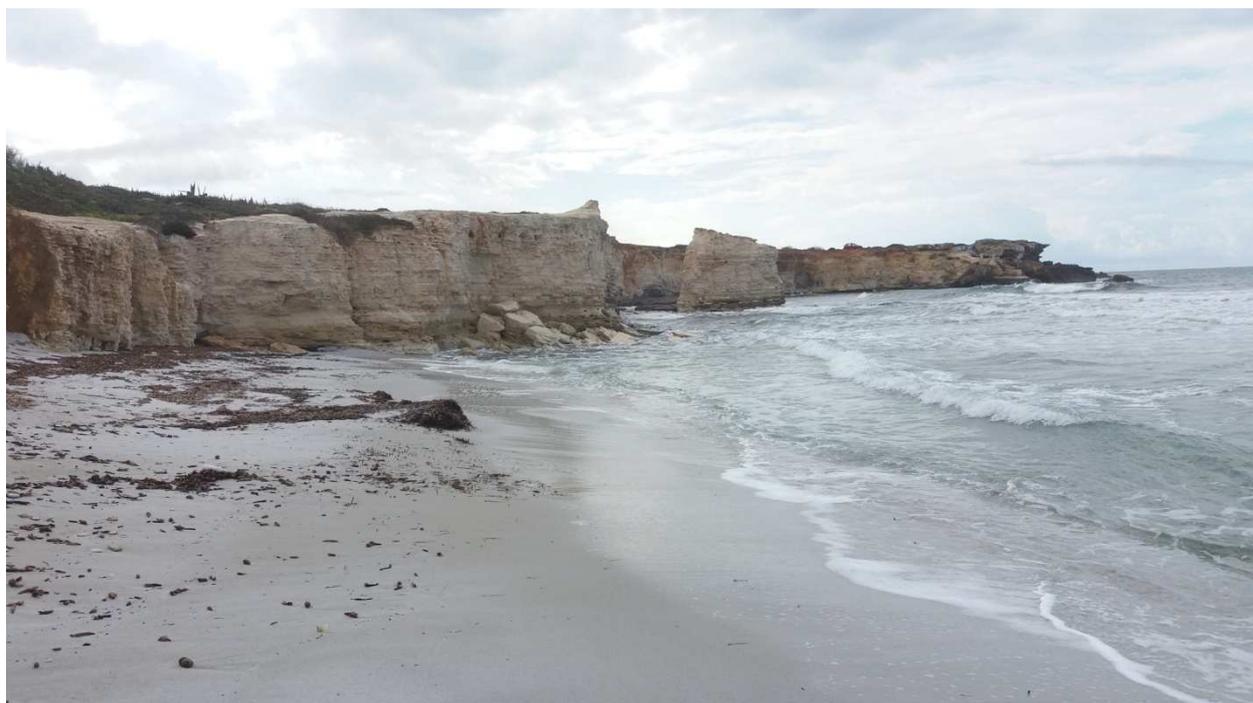
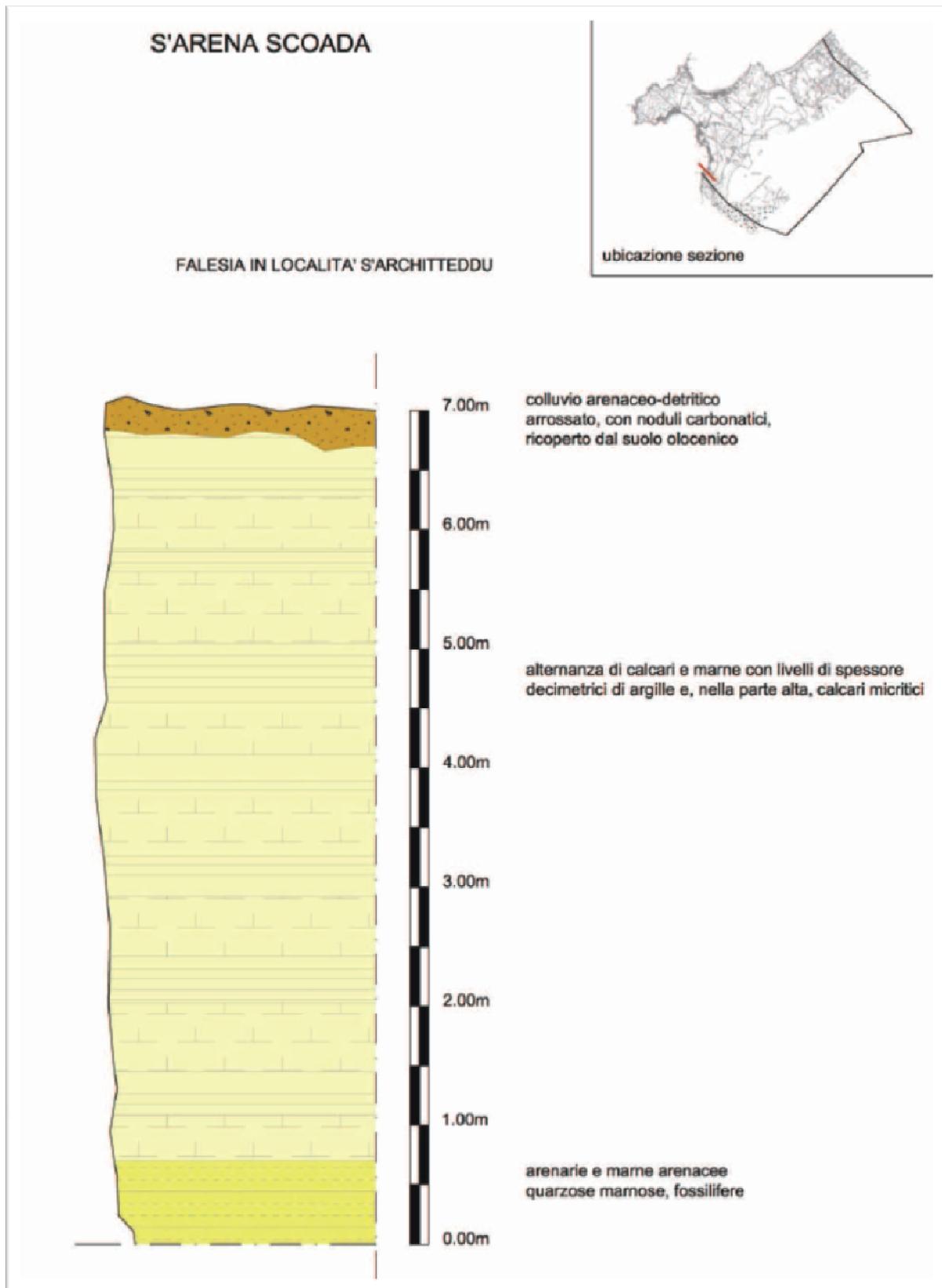


Figura 8: tratto meridionale di S’Arena Scoada in corrispondenza di Punta de S’Incodina.



Figura 9: particolare della scarpata rocciosa con nicchie e solchi di erosione selettiva che contribuiscono all’instabilità dell’ammasso roccioso.



2.2. Margine centro-meridionale di S'Arena Scoada

Il tratto compreso tra S'Architeddu a sud e il margine centrale di S'Arena Scoada è caratterizzato dalla presenza, alle spalle del corpo di spiaggia, di una ripa di erosione dell'altezza media di 2 m, incisa sui litotipi calcarei e marnoso-argillosi messiniani ed in parte sulle arenarie di spiaggia del Pleistocene superiore.

Una sezione-tipo mostra, dall'alto verso il basso, la seguente successione stratigrafica:

- colluvi detritici carbonatici e suolo sabbioso attuale, sviluppato sulle sabbie eoliche oloceniche, di colore bruno – rossiccio;
- arenarie a laminazione piano-parallela ed andamento sub-orizzontale, in facies eolica, con impronte di apparati radicali ad andamento sub orizzontale sulla superficie e strutture di ripple-marks eolici, del Pleistocene superiore. I set laminari variano granulometricamente in grossolani e sottili, questi ultimi tessituralmente molto omogenei per via di una efficace selezione eolica. Sulla superficie delle lastre di arenaria si osservano delle fratture ad andamento irregolare, ricolmate e suture da ricircolazione di carbonati, che testimoniano pregressi fenomeni di flessione, con appoggio sul substrato messiniano a comportamento plastico;
- alternanze centimetriche di calcari e argille verdastre, con convoluzioni inglobanti frammenti arenacei e noduli carbonatici;
- marne sottilmente listate color grigio chiaro e giallo ocra e argille marnose, con frazione sabbiosa di natura quarzosa e noduli carbonatici;
- arenarie quarzoso-litiche, in sottili livelli a differente granulometrica, con abbondanti pectinidi e localmente di ichnofacies su superficie di strato. Nella parte più bassa sono presenti intercalazioni di livelli di argille e silt nelle arenarie;
- arenarie finemente listate con intercalazioni di argilla.

In tutto il tratto costiero in esame è presente un deposito sabbioso di profondità media di circa 15 metri che protegge solo parzialmente il piede della falesia, che comunque viene raggiunto durante le mareggiate estreme. Sono evidenti solchi di battente più o meno evoluti e nicchie di degradazione selettiva lungo il fronte stesso della falesia.

L'erosione sul fronte della ripa e il comportamento plastico dei livelli sedimentari messiniani determinano il ribaltamento delle lastre di arenaria pleistocenica fino al loro crollo sulla spiaggia, costituendo queste, in tale posizione, una protezione da ulteriore erosione per dinamica marina.

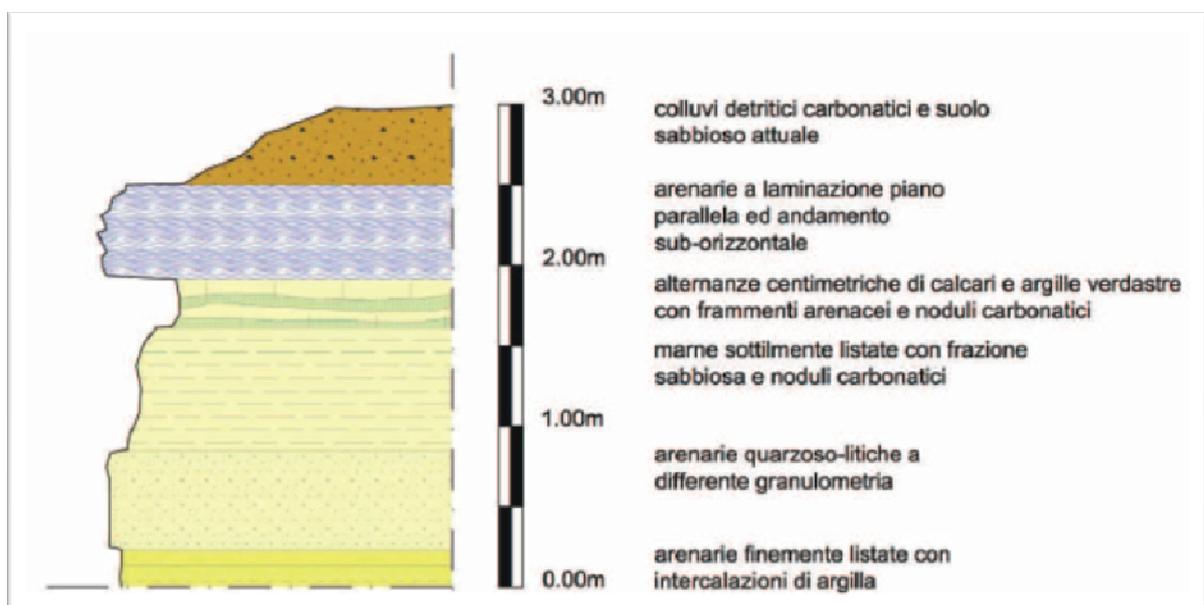


Figura 10: settore centrale della spiaggia con ammassi rocciosi nastriformi franati dalla scarpata a seguito dei fenomeni di escavazione delle formazioni marnoso-arenacee ad opera dei frangenti d'onda.



Figura 11: particolare della ripa d'erosione: si notino i colluvi pedogenizzati sommitali e i livelli arenacei aggettanti sulle sottostanti formazioni marnose.

Settore centro meridionale



2.3. Margine centro-settentrionale di S'Arena Scoada

Nel tratto centro-settentrionale della costa di S'Arena Scoada, dove la ripa di erosione di circa 2 m di altezza evolve progressivamente in falesia di circa 6 m, ricompare la parte alta della successione messiniana, con spessori ridotti rispetto alla successione affiorante a Su Tingiosu – S'Architteddu. In sezione affiorano, dall'alto verso il basso:

- crostoni arenacei con patine e croste carbonatiche polifasiche da disseccamento, con tracce di apparati radicali, del Pleistocene superiore;
- arenaria marina ad alto tenore in quarzo, fossilifera con gusci di bivalvi e gasteropodi, con variazioni laterali lentiformi a differente granulometria;
- alternanze di spessore centimetriche e/o decimetrico di livelli di calcari micritici teneri, con livelli centimetrico e/o decimetrico di argille plastiche colore verde intenso e con delle convoluzioni che interessano sia le argille sia i calcari;
- alternanze tra marne arenacee fini e argillose e calcari micritici teneri.

L'elemento di maggiore rilievo come fattore predisponente l'instabilità del fronte della falesia è rappresentato dal livello di alternanze tra argille e calcari micritici, fortemente convoluti. Un simile livello, continuo lateralmente, talora si ripete verticalmente nella successione. La struttura di queste alternanze può essere dovuta a eventi tettonici sinsedimentari, capaci di produrre sui sedimenti inconsolidati tali deformazioni; tuttavia simili strutture possono subire l'effetto determinato dal carico litostatico, soprattutto in considerazione dell'elevata plasticità delle argille e dei suoi processi di dissoluzione e ricircolazione carbonatica osservati sui calcari, rivelati dalla presenza di noduli irregolari pluricentimetrici di carbonati da precipitazione.

L'unità delle arenarie marine fossilifere mostra una notevole fragilità, evidenziata da fessure e giunti ad andamento verticale, a causa dell'alternanza tra livelli a composizione detritica quarzosa sabbioso-ghiaiosa, con scarsa matrice carbonatica, cementazione debole e livelli a composizione sabbiosa medio-fine con abbondante matrice carbonatica e buon grado di cementazione.

Oltre che a causa di questi fattori, la criticità nell'equilibrio del fronte della falesia è accentuato dalla costante presenza, alla base, dei livelli convoluti di calcari micritici e argille, dotate di particolare plasticità e deformabilità (strizioni).

In questo tratto di costa si riconoscono porzioni di falesia attiva particolarmente esposti all'azione del moto ondoso, generalmente in corrispondenza di piccolo promontori, con attivazione di fenomeni di crollo che interessano ammassi rocciosi anche di notevoli dimensioni. Localmente, un deposito sabbioso protegge solo parzialmente il piede della falesia, che comunque viene raggiunto durante le mareggiate estreme. Sono evidenti solchi di battente più o meno evoluti e nicchie di degradazione selettiva lungo il fronte stesso della falesia.

Un carattere morfoevolutivo dominante, è rappresentato dalla formazione di cavità e grotte che il mare tende via via ad approfondire. Frequenti sono i casi in cui la volta delle cavità collassa, come evidente nell'estremo settore nord.

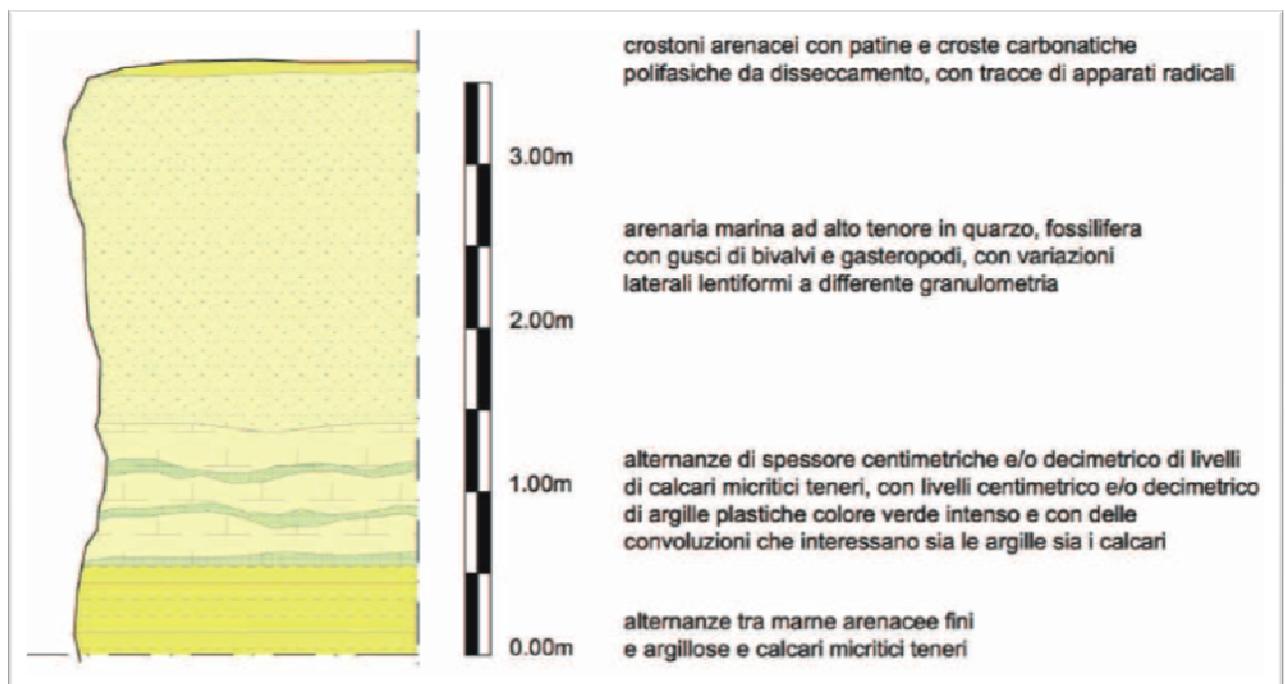
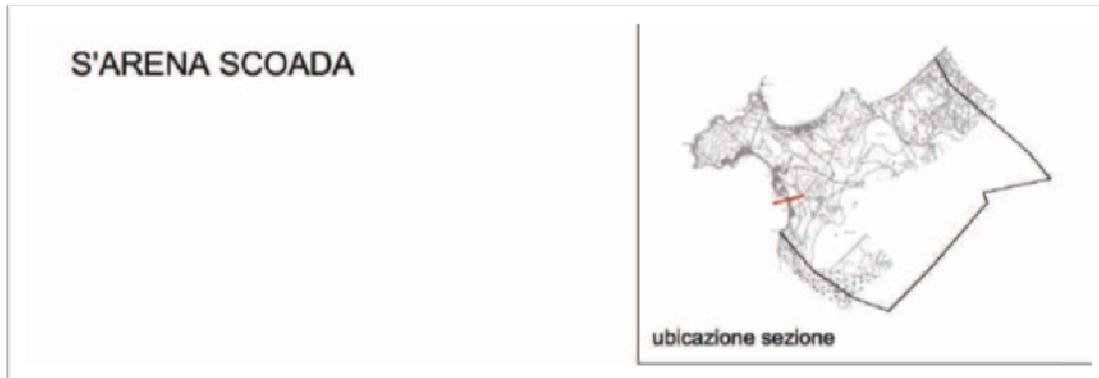


Figura 12: tratto di falesia protetto al piede dalla spiaggia e da accumuli di banquette di posidonia.



Figura 13: nicchie scavate dal mare lungo il fronte della falesia. L'evoluzione e approfondimento della cavità determinerà il collassamento della volta.

Settore centro settentrionale



2.4. Punta S'Architeddu

Nell'estremità settentrionale dell'area di S'Arena Scoada, le unità stratigrafiche esposte in falesia rappresentano le medesime criticità riscontrate nel tratto più meridionale, in ragione dei simili rapporti di giacitura e, soprattutto, delle accentuate condizioni di alterazione dei loro caratteri primari e quindi del loro deterioramento chimico-fisico. La successione stratigrafica è costituita, dall'alto verso il basso da:

- suolo attuale bruno scuro;
- arenaria eolica a laminazioni deposizionali ad alto angolo, con patine e croste carbonatiche frammentate sulla superficie superiore;
- colluvio detritico sabbioso-limoso, con noduli carbonatici, fortemente arrossato;
- calcari brecciati (Fm. Torre del Sevo), interessati da intensa decarbonatazione per dissoluzione;
- calcari Laminati micritici, con livelli decimetrici di sottili alternanze con argille verdastre.



Figura 14: falesia attiva nel tratto nord di S'Architeddu.

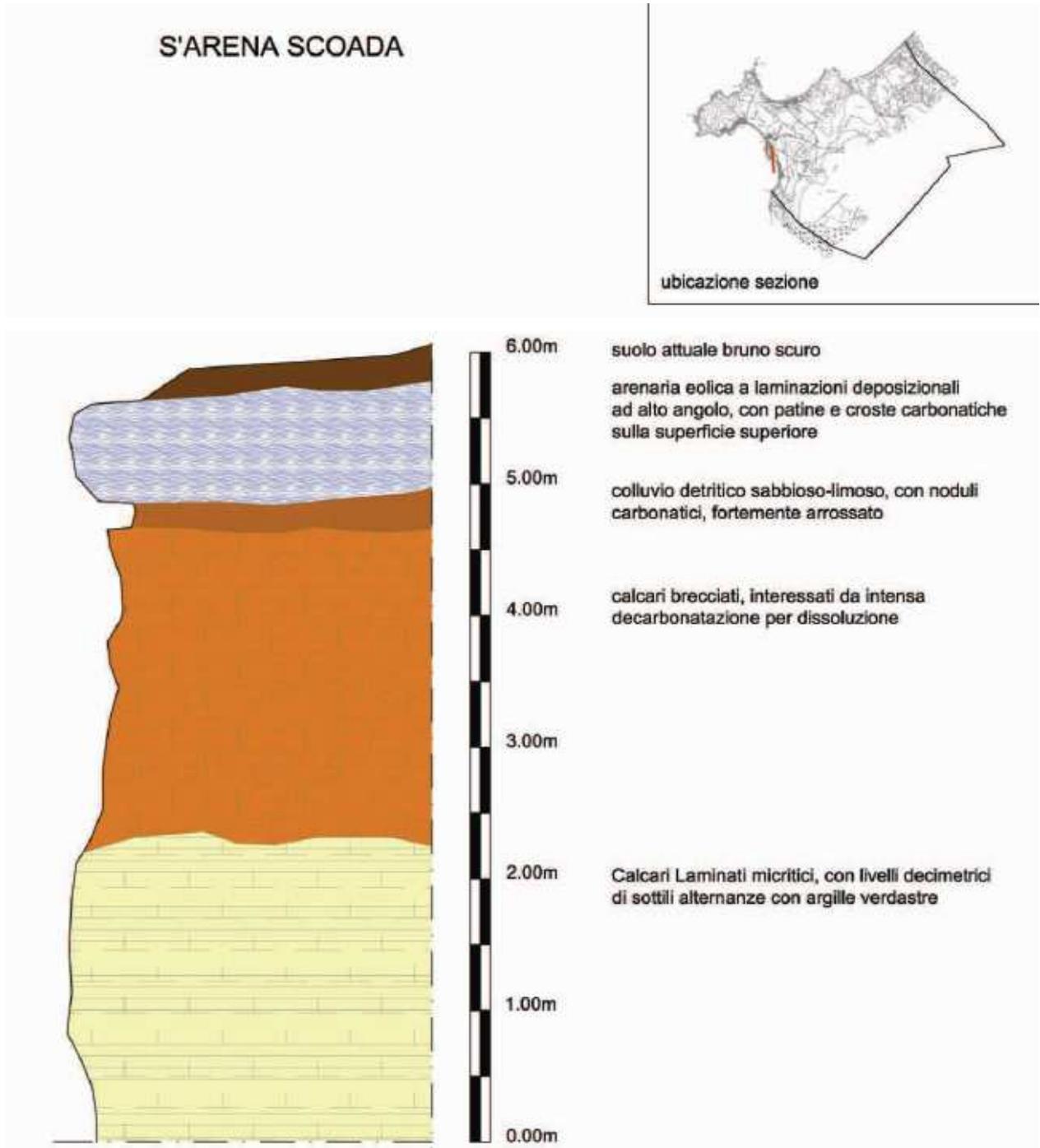


Figura 15: settore di S'Architeddu. Sulla sinistra è evidente una paleogrotta interessata dal collassamento della volta.

L'unità dei Calcari Laminati si mostra intensamente fratturata a livello dei singoli pacchi di strato, deformata nei livelli ad alternanze con le argille ad accentuate convoluzioni e, nella parte alta affiorante, incisa da profonde cavità per dissoluzione dei carbonati innescate sull'unità superiore. L'unità dei calcari brecciati appare fortemente interessata da processi di decarbonatazione che la rende particolarmente soggetta ad instabilità sul fronte della parete, anche a causa delle ampie cavità da dissoluzione (karst) che la caratterizzano. Sul livello colluviale detritico sabbioso-limoso, caratterizzato dalla presenza dei noduli carbonatici e dall'intenso arrossamento per forte alterazione pedogenetica, il grado di addensamento poco elevato determina dei cedimenti a causa del carico litostatico esercitato da sovrastante banco di arenarie eoliche. Il sistema di fratture che ne deriva determina la flessione ed il crollo di grosse lastre di arenaria, unitamente allo scollamento che talora si manifesta lungo le lamine deposizionali nelle lastre aggettanti, con il collasso per caduta semplice di porzioni degli stessi blocchi.

Il tratto in esame rappresenta il settore più attivo rispetto alle dinamiche di arretramento della falesia. L'altezza della scarpata e la scarsa qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso, determinano condizioni di pericolosità geologica molto elevata. Anche in questo settore si riconosce come carattere morfoevolutivo dominante, la formazione di cavità e grotte che il mare tende via via ad approfondire fino al collassamento della volta.

Margine settentrionale (Punta S'Architeddu)

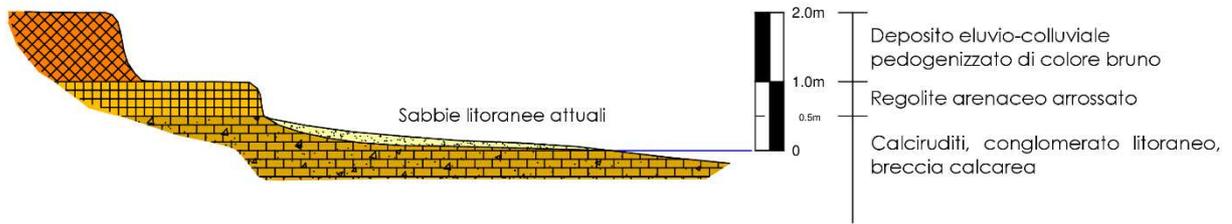


3. ASSETTO GEOLOGICO E DINAMICHE EVOLUTIVE DEL PARAGGIO COSTIERO DI SU PALLOSU

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

1. AA3_001 Depositi palustri: Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi OLOCENE;
2. AA3_003 Depositi lacustri: Calcari lacustri talvolta con gasteropodi polmonati OLOCENE;
3. AA4_001 Depositi eolici: Sabbie di duna ben classate OLOCENE;
4. AA5_002 Depositi di spiaggia antichi, sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero, spessore fino a 3-4 m? OLOCENE- PLEISTOCENE SUP.?
5. AB0_006 Litofacies nel Subsistema di Portoscuso - SINTEMA DI PORTOVESME - Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali PLEISTOCENE SUP.;
6. BB0_001 FORMAZIONE DI CAPO MANNU. Arenarie eoliche con paleosuoli intercalati ricchi in resti di vertebrati e microfossili rimaneggiati PLIOCENE SUP.)

Su Pallosu - Fronte borgata



Su Pallosu

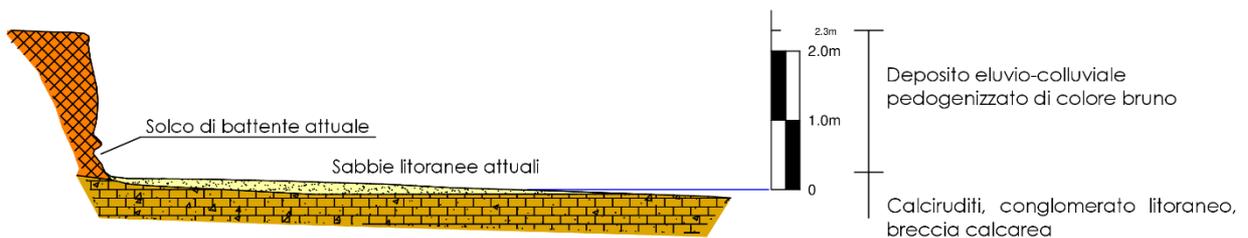


Figura 16 - Profili morfo-stratigrafici del settore occidentale di Su Pallosu.

I depositi Palustri e Lacustri olocenici, occupano un ampio settore interno attualmente interessato in parte da attività agricole, e sono geneticamente legati a recenti fasi di parziale sommersione marina riferibile al massimo trasgressivo post-wurmiano. Questi depositi, così come le sabbie attuali delle dune e delle spiagge, si adagiano sulle formazioni eoliche wurmiane, sui depositi interglaciali marino-litorali e alluvionali probabilmente tirreniani, e sulle arenarie eoliche antiche riferibili alle fasi di continentalità regressiva del Pliocene sup. e del Pleistocene inf.

Questa configurazione geomorfologica e sedimentaria porta a considerare l'attuale sistema litoraneo sabbioso, come la risultante di processi di rielaborazione detritica di materiali sedimentari antichi, e di riconoscere in questi ultimi, il principale bacino di alimentazione detritica della spiaggia attuale.

La prima importante caratteristica da rilevare è dunque la grande dinamicità evolutiva del margine costiero in esame nella lunga scala temporale; dinamicità legata alle pulsazioni climatiche ed alle variazioni eustatiche di natura climatica e tettonica. Tale dinamicità si registra pure nelle modificazioni storiche del sistema sabbioso le cui cause sono però da ricercare prevalentemente nelle modificazioni cicliche dei parametri meteo-marini e nel sistema delle correnti marine sottocosta all'interno comunque di un generale regime trasgressivo.

Il paraggio è esposto a forti sollecitazioni meteomarine, venti e mareggiate provenienti dai quadranti occidentali, che subiscono i fenomeni di rifrazione da parte del promontorio e delle isole minori antistanti, per poi incidere più o meno obliquamente, sul litorale sabbioso. Il sito di Su Pallosu risulta sufficiente protetto dal promontorio di Capo Mannu, restando soggetto a fenomeni più intensi per la direzione di 0°N.

Profilo duna Capo Mannu - Su pallosu

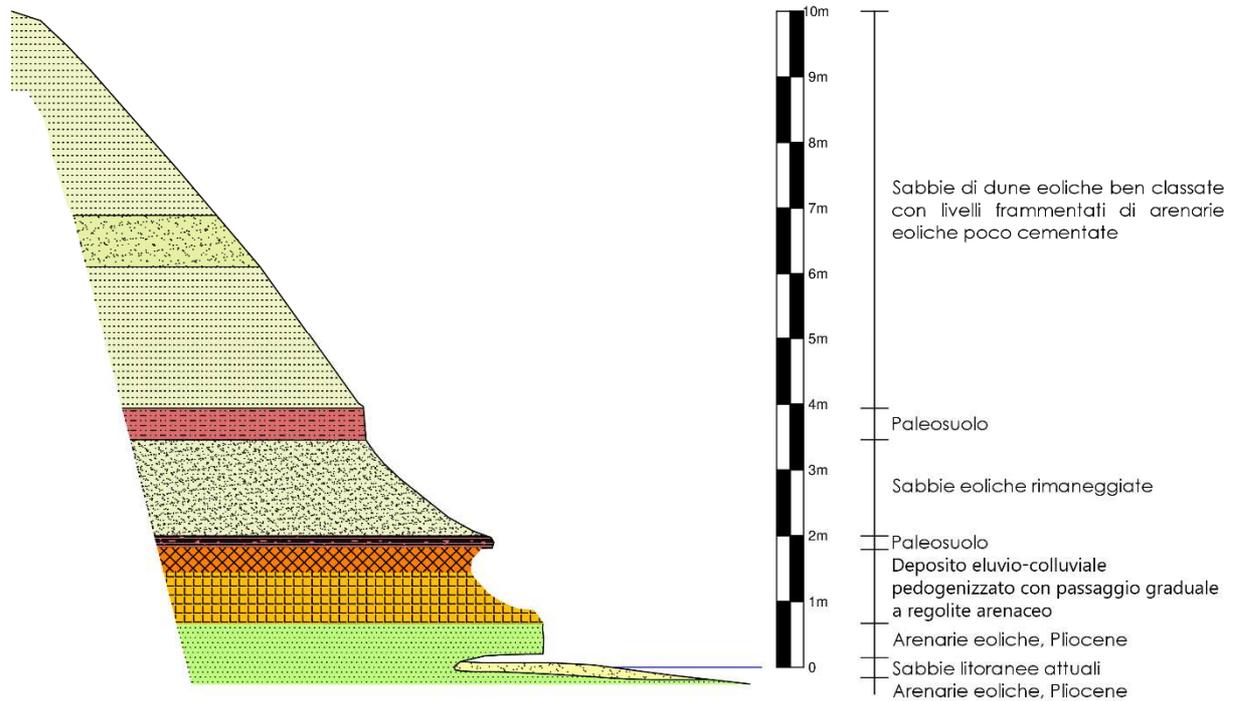


Figura 17 - Profilo morfostratigrafico tipo di Su Pallosu nord.

Il settore sommerso è caratterizzato da bassi fondali misti sabbiosi e rocciosi, con presenza di estese piattaforme d'abrasione marina scolpite sulle formazioni arenacee e carbonatiche. Questo assetto del settore sommerso determina la mitigazione dell'energia dei frangenti, così come si desume anche dallo studio meteo marino allegato al progetto preliminare.

Il tratto di litorale prospiciente la borgata di Su Pallosu, è soggetto ad un intenso processo erosivo che ha determinato profonde modificazioni morfologiche ed un rapido ed intenso fenomeno di arretramento della linea di riva. L'analisi dell'evoluzione storica della linea di riva, effettuata sulle ortofoto disponibili (1954-1968-1977-1994-1996-2006-2008-2010) e su documentazione fotografica locale, hanno consentito, infatti, di riscontrare la progressiva scomparsa del saliente sabbioso sul quale fino agli anni '90 erano presenti i capanni dei pescatori, con un arretramento misurato di ben 100 m. Il processo di arretramento della linea di riva sembra essere ancora in atto: l'azione del moto ondoso e il gioco delle correnti litoranee, dopo aver eroso il cuneo sabbioso emerso, sono giunti ad intaccare il deposito sabbioso incoerente retrostante che costituisce una ripa alta fino a 2 m, ed il piede di un corpo dunale presente poco più a Nord verso P.ta Su Pallosu.

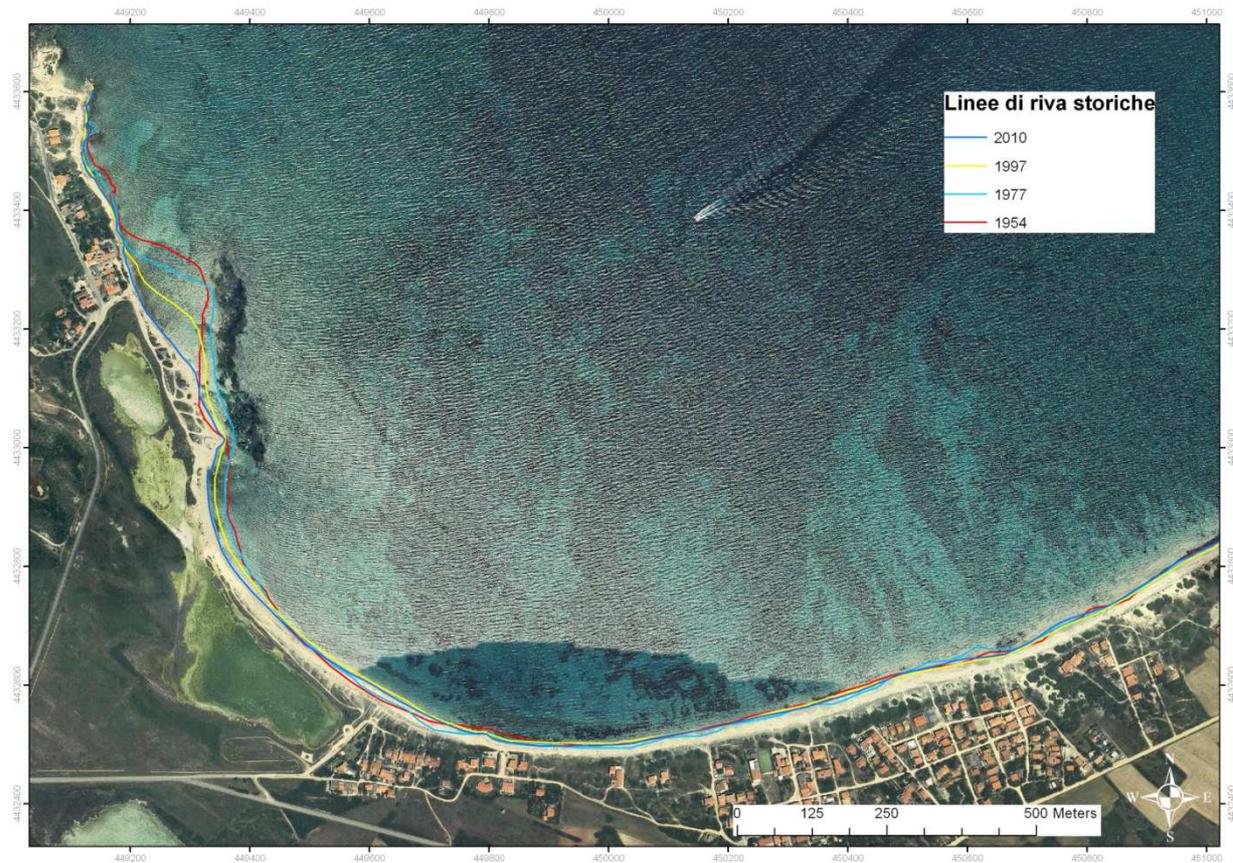


Figura 18 - Evoluzione storica della linea di riva a Su Pallosu. Si noti il progressivo arretramento della spiaggia nel settore occidentale e la generale stabilità in quello orientale.

L'analisi dell'intero arco di spiaggia di Su Pallosu, esteso poco meno di 3 km, evidenzia come il fenomeno erosivo sia attivo e manifesto solo nel tratto più occidentale dell'arco sabbioso, circa 900 m di costa inseriti in un contesto di rilevante valore ambientale e paesaggistico, in corrispondenza della cuspide sabbiosa ed immediatamente a est di quest'ultima. Tutto il resto del litorale mostra una sostanziale stabilità a partire dai primi anni 50 del secolo scorso fino ad oggi. Questa erosione differenziale del litorale sabbioso, suggerisce come causa determinante, l'alterazione del regime energetico sottocosta.



Figura 19 - Settore occidentale della spiaggia di Su Pallosu in marcato arretramento con conseguente erosione al piede delle formazioni dunari ad opera delle mareggiate.

L'analisi delle correnti sottocosta, ed in particolare delle correnti di deriva litorale, evidenziano la presenza di un drift litoraneo riferibile alle due direzioni principali, destra-sinistra e sinistra-destra. La genesi delle cuspidi sabbiose, come noto, è legata da un punto di vista energetico, ad una condizione di equilibrio tra due correnti di direzione opposta. Ne consegue che la stabilità, accrescimento o erosione, dipendono pertanto dal regime energetico sotto costa e dalla dominanza o meno di una direzione piuttosto che un'altra. Nel caso specifico della cuspidi di Su Pallosu pertanto, sembra non sussistano più le condizioni di risultante energetica utili per il mantenimento del deposito sabbioso.

L'analisi multi temporale ha permesso di stimare la variazione della superficie di spiaggia dal 1954 al 2010. Nel complesso si stima una perdita complessiva di spiaggia emersa di circa 27.000 m², cui corrispondono circa 13.500 m³ di sabbia, considerando uno spessore medio del cuneo sedimentario di circa 0,5 metro.

Un aspetto rilevante da considerare anche in fase di definizione delle azioni progettuali, è il fatto che il regime energetico sottocosta, costituendo espressione delle condizioni meteomarine del paraggio costiero di riferimento, segue l'andamento ciclico delle pulsazioni climatiche e dei suoi parametri costitutivi, con particolare riferimento al regime dei venti, specie per quanto attiene la direzione di provenienza. Questo aspetto assume rilevanza non tanto in chiave statistica, quanto piuttosto in termini evolutivi, in quanto la ciclicità dei fenomeni meteorologici e da relazionare con la ciclicità dei processi geomorfologici e sedimentari della spiaggia. Questo significa che il fenomeno erosivo che da alcuni decenni si riscontra nel margine costiero

di Su Pallosu, possa invertire la sua tendenza, e si possano ristabilire condizioni energetiche e morfosedimentarie favorevoli alla stabilità o alla ricostruzione spontanea della cuspidè sabbiosa.

Nelle fasi successive della progettazione appare pertanto significativa, in un'ottica di comprensione dei processi di evoluzione del tratto litorale in esame, la conoscenza dei meccanismi di propagazione del moto ondoso sotto costa, attraverso opportune attività di monitoraggio delle correnti marine e del regime ondometrico.

Ai fenomeni di erosione ad opera del mare al piede dei sistemi dunari residui, la cui genesi è imputabile alla rielaborazione di antiche coperture sabbiose, si aggiungono i processi di degrado ed erosione indotta dalla frequentazione antropica, con apertura di canali di deflazione generati lungo i camminamenti e con la frammentazione della copertura vegetale psammofila. Questi processi, pur marginali rispetto ai fenomeni che avvengono nel settore sommerso, contribuiscono all'instabilità delle coperture sabbiose ed all'accelerazione del processo di erosione del litorale sabbioso.

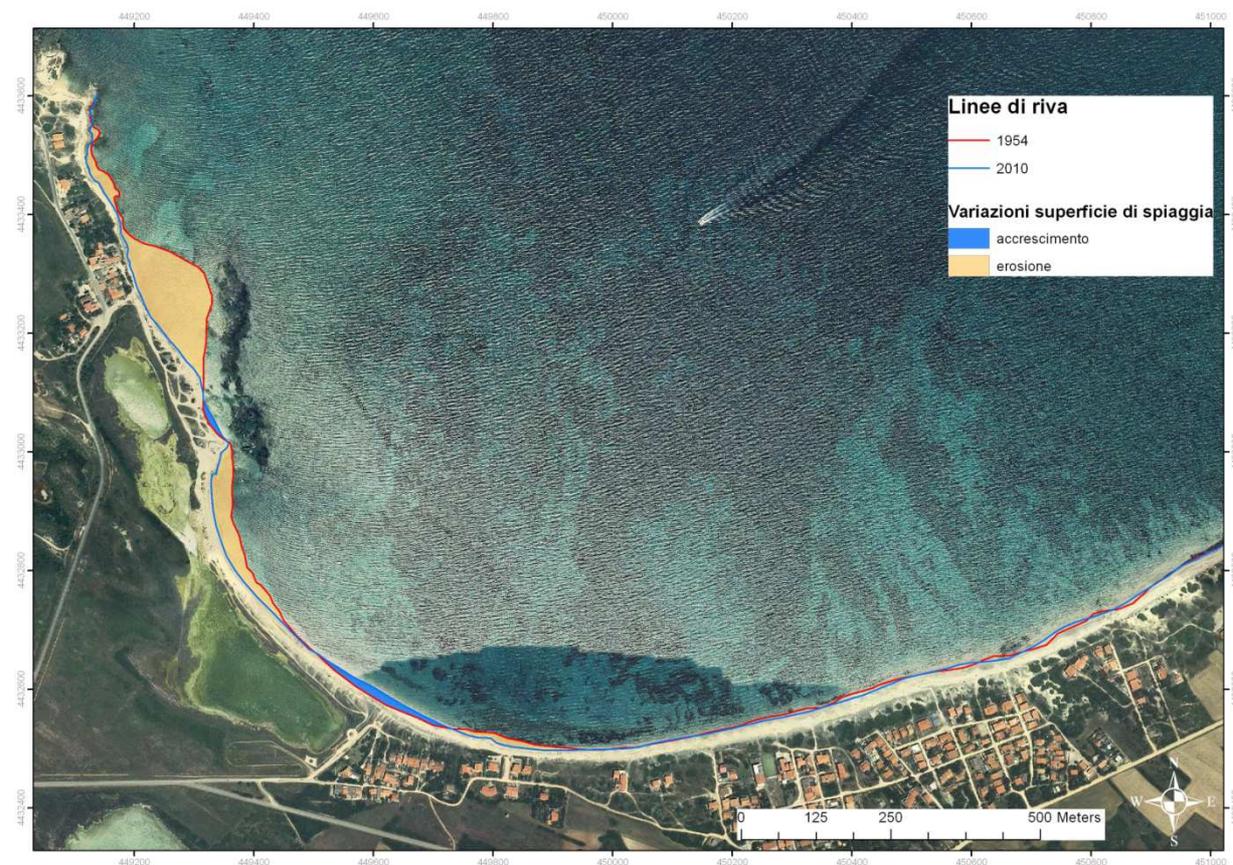


Figura 20 - Variazioni della superficie di spiaggia dal 1954 al 2010. Nel complesso si stima una perdita di spiaggia emersa di circa 27.000 m², cui corrispondono circa 13.500 m³ di sabbia, considerando una profondità media di circa 0,5 metri.

4. DISPONIBILITÀ DEI MATERIALI LAPIDEI

Tra le opere del progetto in questione è previsto, in alcuni tratti della falesia di S'Arena Scoada, l'allestimento di una barriera aderente costituita da due livelli di elementi lapidei, in particolare uno strato inferiore, di volume, composto da elementi del peso di circa 50 - 100 Kg coperto da un telo in geotessuto a grammatura pesante e uno strato superiore, di protezione, con massi del peso di almeno 3 tonnellate. Il litotipo dei massi a vista deve avere buone caratteristiche di resistenza meccanica e deve essere, al fine di minimizzare l'impatto estetico-percettivo, compatibile con i litotipi presenti in sito. L'impalcato geologico delle falesie è di natura prevalentemente carbonatica, trattandosi di calcari dolomitici, calcari brecciati residuali nella parte alta e calcari laminati, marne calcaree alla base. La scelta del litotipo ricade quindi su rocce carbonatiche, preferibilmente calcaree, che offrono al contempo buone caratteristiche meccaniche e buona compatibilità paesaggistica. In particolare tali requisiti sarebbero meglio rispettati dai calcari mesozoici o paleozoici in quanto presentano, in generale, migliori caratteristiche di resistenza rispetto ai calcari terziari.

Per l'individuazione delle fonti di approvvigionamento del materiale litoide, individuato in blocchi di calcare di 3-4 tonnellate quindi del volume di circa 1,5 – 2 metri cubi per elemento, considerando una massa volumica media di $2,2 \div 2,4 \text{ t/m}^3$ si è fatto uso del Piano Regionale delle Attività Estrattive (PRAE) e delle informazioni geolitologiche disponibili a scala regionale.

La pianificazione delle attività estrattive è stata introdotta nella normativa regionale dalla Legge Regionale n. 30 del 7 giugno 1989, che le attribuisce le finalità di strumento di programmazione del settore e di preciso riferimento operativo. La legge richiede al piano regionale delle attività estrattive, PRAE, di indicare gli obiettivi e le strategie del settore, i mezzi per il loro conseguimento, nonché l'individuazione delle aree da destinare ad attività estrattiva, in armonia ed in coordinazione con la tutela dell'ambiente e nel rispetto della pianificazione paesistica regionale. In particolare il piano cave contiene il catasto delle attività minerarie attive nel territorio regionale. Le attività estrattive sono ordinate per comune, per macro categoria litologica e per finalità di utilizzo. Nel nostro caso avendo scelto come litologia preferenziale i calcari mesozoici e paleozoici è stato necessario valutare anche la carta geolitologica, per isolare solo litotipi di interesse. Sono stati localizzate 10 amministrazioni comunali regionali con all'interno attività estrattiva di potenziale interesse per le necessità dell'opera in progetto. In questa fase non è stata eseguita una indagine commerciale sulla disponibilità effettiva della tipologia litologica nelle cave individuate. Aspetto che potrà essere valutata nella fase definitiva del progetto congiuntamente alla verifica dei requisiti tecnici dei prodotti estratti.

I comuni con attività estrattiva in giacimenti costituiti da calcari mesozoici e paleozoici sono di seguito elencati. In riferimento agli aspetti economici di approvvigionamento del materiale, rispetto alla distanza dal sito di destinazione, risultano privilegiate le cave situate nei comuni

della Sardegna nord occidentale (Nurra) oppure nella Sardegna sud occidentale (Iglesiente e Sulcis).

Comune	Litotipo
ALGHERO	CALCARE
BAUNEI	CALCARE
CARBONIA	CALCARE
LACONI	DOLOMIA
NARCAO	CALCARE
NUXIS	CALCARE
ORROLI	CALCARE
SASSARI	CALCARE
SINISCOLA	CALCARE
TONARA	DOLOMIA
ULASSAI	CALCARE
VILLAGRANDE STRISAILI	CALCARE

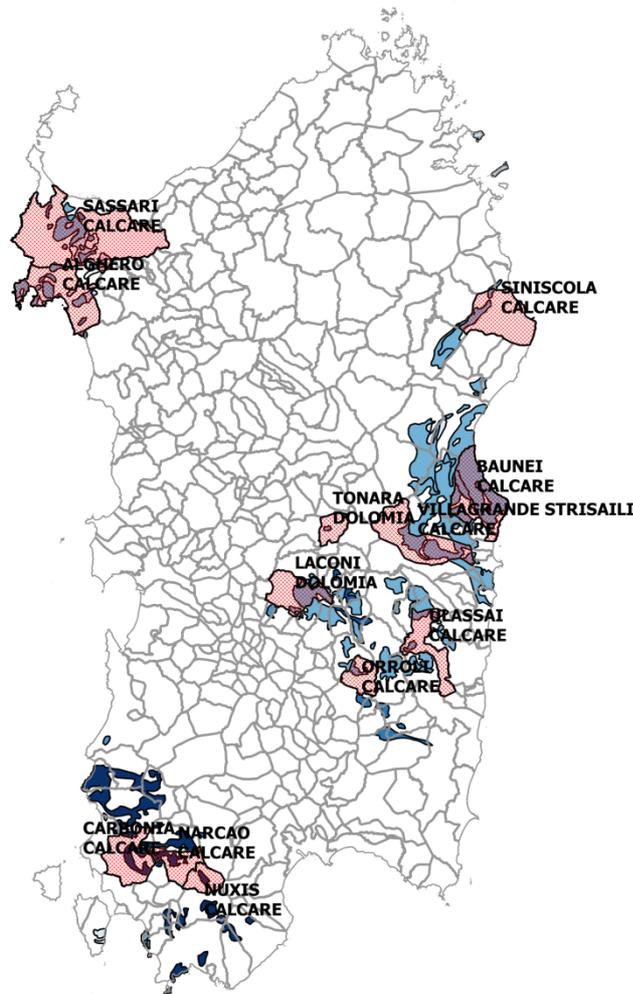


Figura 21 - Mappa delle attività estrattive, in gradazioni di Blu sono indicati i litotipi calcarei di età da mesozoica a paleozoica, colori più scuri corrispondono a litotipi più antichi, in rosso i territori comunali che ospitano attività minerarie sulle litologie carbonatiche di interesse.

5. INQUADRAMENTO DELLE AREE DI INTERVENTO NEI PIANI STRALCIO DI BACINO

5.1. Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni

In attuazione delle previsioni dell'art. 7 del D.Lgs. 49/2010 e dell'art. 13 del D.Lgs. 152/2006, con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 30/07/2015 è stata adottata la "Proposta di Piano di gestione del rischio di alluvioni" e la relativa documentazione per la Valutazione Ambientale Strategica.

Lo studio dei processi ambientali e l'individuazione degli elementi di vulnerabilità sono contenuti nel "Quadro conoscitivo propedeutico allo studio delle inondazioni costiere" del PGRA, in cui sono individuate e descritte le aree costiere a maggiore criticità, nelle due distinte categorie "spiagge" e "coste rocciose", prioritarie rispetto a scenari di indirizzo programmatico, catalogate in schede di approfondimento.

Comune	Sviluppo costiero comun. [m]	n° tratti franosi	Sviluppo tratti franosi [m]	% costa franosa	n° tratti ad alta criticità	Toponimi tratti alta criticità	Sviluppo tratti alta criticità [m]
SAN VERO MILIS	21.786	5	11.354	52%	8	Punta S'Incodina; S'Arena Scoada - S'Archittu; S'Arena Scoada; Mandriola; Torre di Capo Mannu; Torre Sa Mora; Torre di Scala 'e Sale; Su Pallosu	2.839

ELENCO SPIAGGE CRITICITA' ELEVATA		
	Nome spiaggia	Comune
17	Su Pallosu - Sa Rocca Tunda	San Vero Milis
18	Putzu Idu	San Vero Milis

Figura 22 - Estratto dalla relazione "Quadro conoscitivo propedeutico allo studio delle inondazioni costiere" del PGRA per le aree di intervento

In funzione degli effetti principali dei processi erosivi in atto, le spiagge altamente critiche sono state raggruppate per analogia di criticità riscontrata in 4 gruppi. Quelle interessate dal progetto, in particolare Su Pallosu, appartengono al Gruppo 1, "composto da 10 spiagge caratterizzate da un avanzato processo erosivo tale da determinare, oltre alla scomparsa o alla significativa riduzione della spiaggia emersa, il danneggiamento e l'instabilità delle strutture che si trovano in prossimità della linea di riva."

Evoluzione Storica della Linea di Riva



Figura 3. Evoluzione storica della linea di riva da fotointerpretazione

Figura 23 - Su Pallosu: Stralcio scheda delle spiagge ad alta criticità (PAC): variazioni della linea di riva

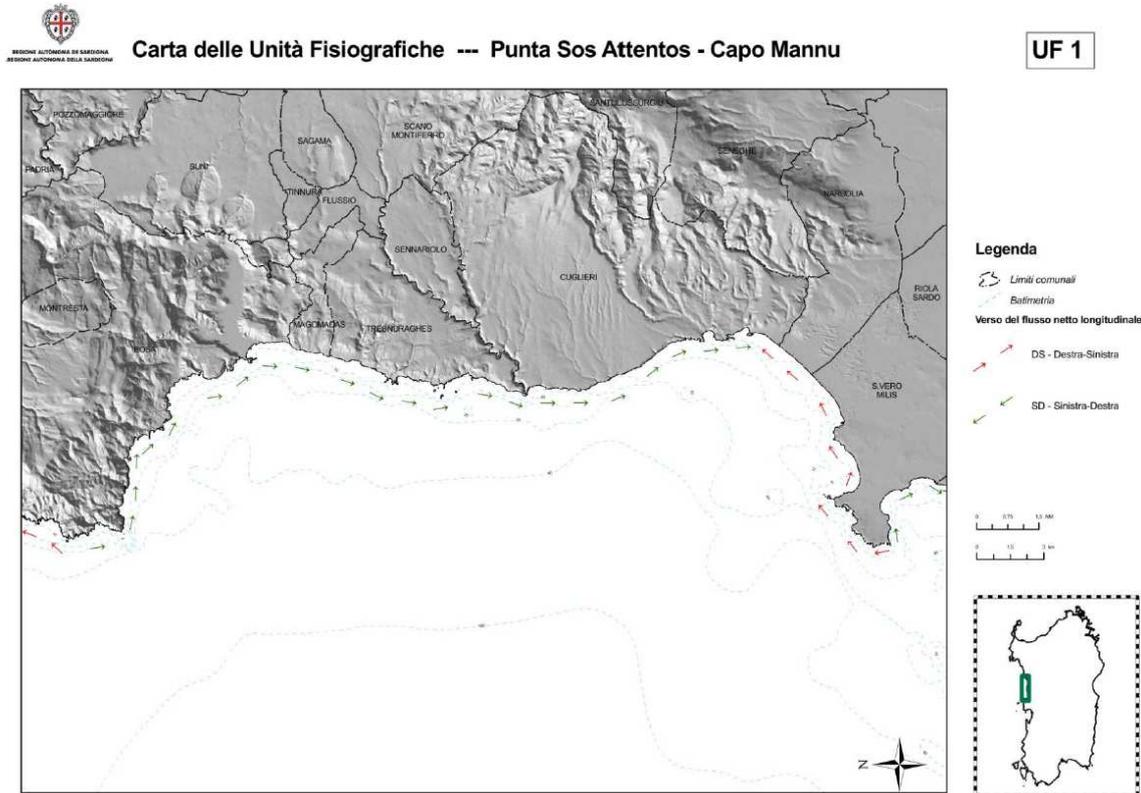


Figura 24 - da “Quadro conoscitivo propedeutico allo studio delle inondazioni costiere - Schede di classificazione delle spiagge”: verso del flusso netto della corrente longitudinale

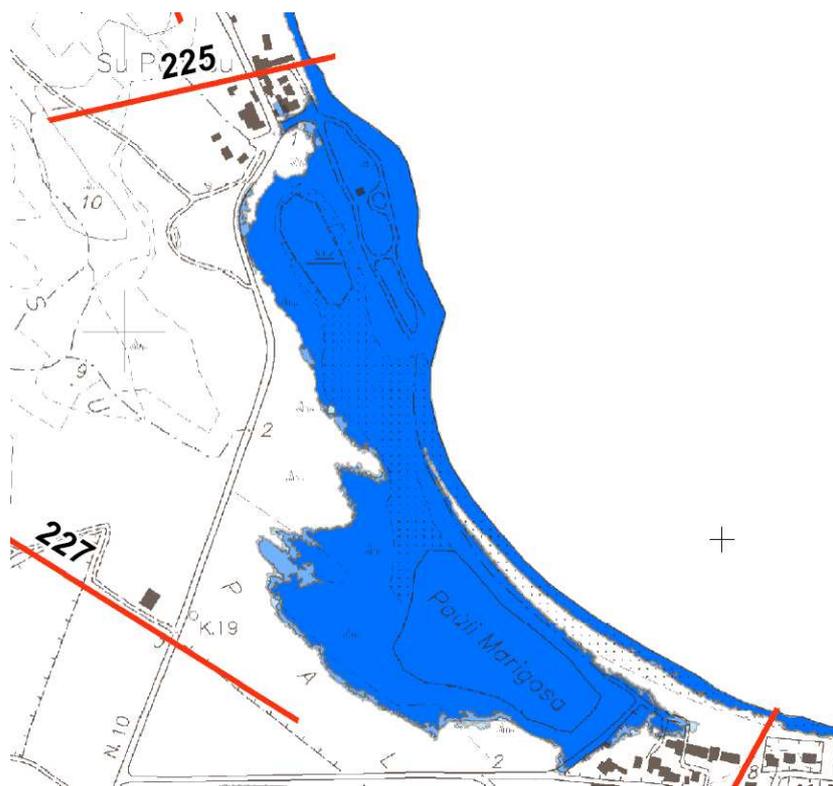


Figura 25 - Su Pallosu - Stralcio della mappa della pericolosità di inondazione costiera



Figura 26 - S'Arena Scoada - Stralcio della mappa della pericolosità di inondazione costiera

5.2. Il Piano di Assetto Idrogeologico

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, e approvato con decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 del 10/07/2006, rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo finalizzato alla pianificazione e programmazione delle azioni e delle norme d'uso per la conservazione, la difesa e la valorizzazione del suolo e la prevenzione del rischio idrogeologico, individuato sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio regionale. Le perimetrazioni individuate nell'ambito del P.A.I. delimitano le aree caratterizzate da elementi di pericolosità idrogeologica, dovute a instabilità di tipo geomorfologico o a problematiche di tipo idraulico, sulle quali si applicano le norme di salvaguardia contenute nelle Norme di Attuazione del Piano. Queste ultime si applicano anche alle aree a pericolosità idrogeologica le cui perimetrazioni derivano da studi di compatibilità geologica-geotecnica e idraulica, predisposti ai sensi dell'art.8 comma 2 delle suddette Norme di Attuazione, e rappresentate su strati informativi specifici.

Per il Comune di San vero Milis, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna mediante Deliberazione n. 16 del 07 maggio 2014 ha approvato lo Studio di compatibilità idraulica e di compatibilità geologica e geotecnica del territorio comunale redatti ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del PAI.

Le zone d'intervento sono perimetrata in aree di pericolosità indicate con le sigle Hg3 e Hg2, indicanti rispettivamente aree di pericolosità elevata e aree di pericolosità media. Sono definite Hg3 aree "in cui sono presenti frane quiescenti per la cui riattivazione ci sia spetta tempi pluriennali o pluridecennali; zone in cui sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti e in cui possono verificarsi frane di neoformazione in tempi decennali e pluridecennali". Il codice Hg2 indica aree in cui "sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici, assetti di equilibrio raggiunti naturalmente o mediante interventi di consolidamento, zone in cui esistono condizioni sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi".

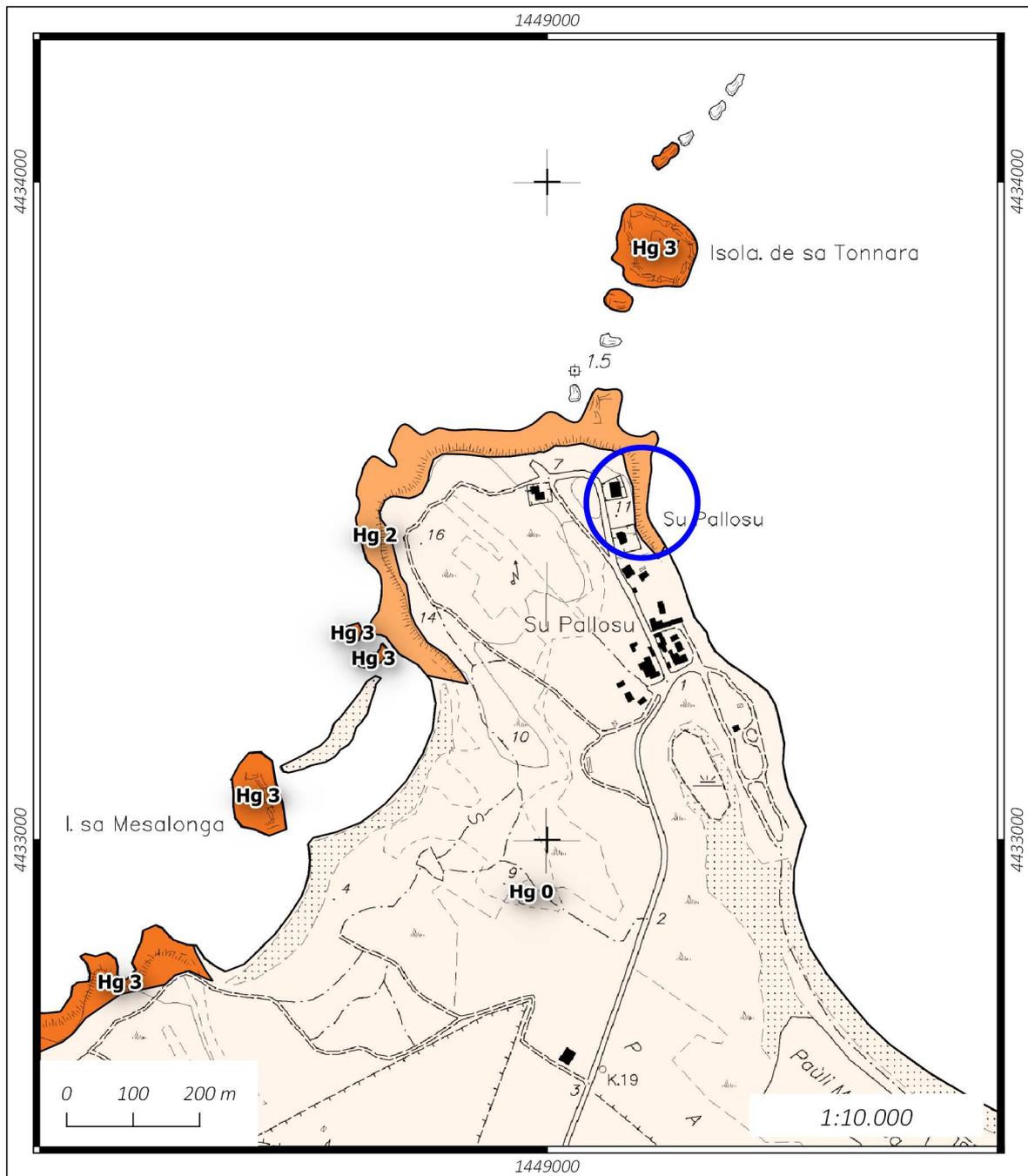


Figura 27 Perimetrazione del piano di assetto idrogeologico nell'area di Su Pallosu. Le aree di pericolosità definite indicano livelli di pericolo nullo (Hg0), medio (Hg2) e elevato (Hg3). L'area di intervento in blu.

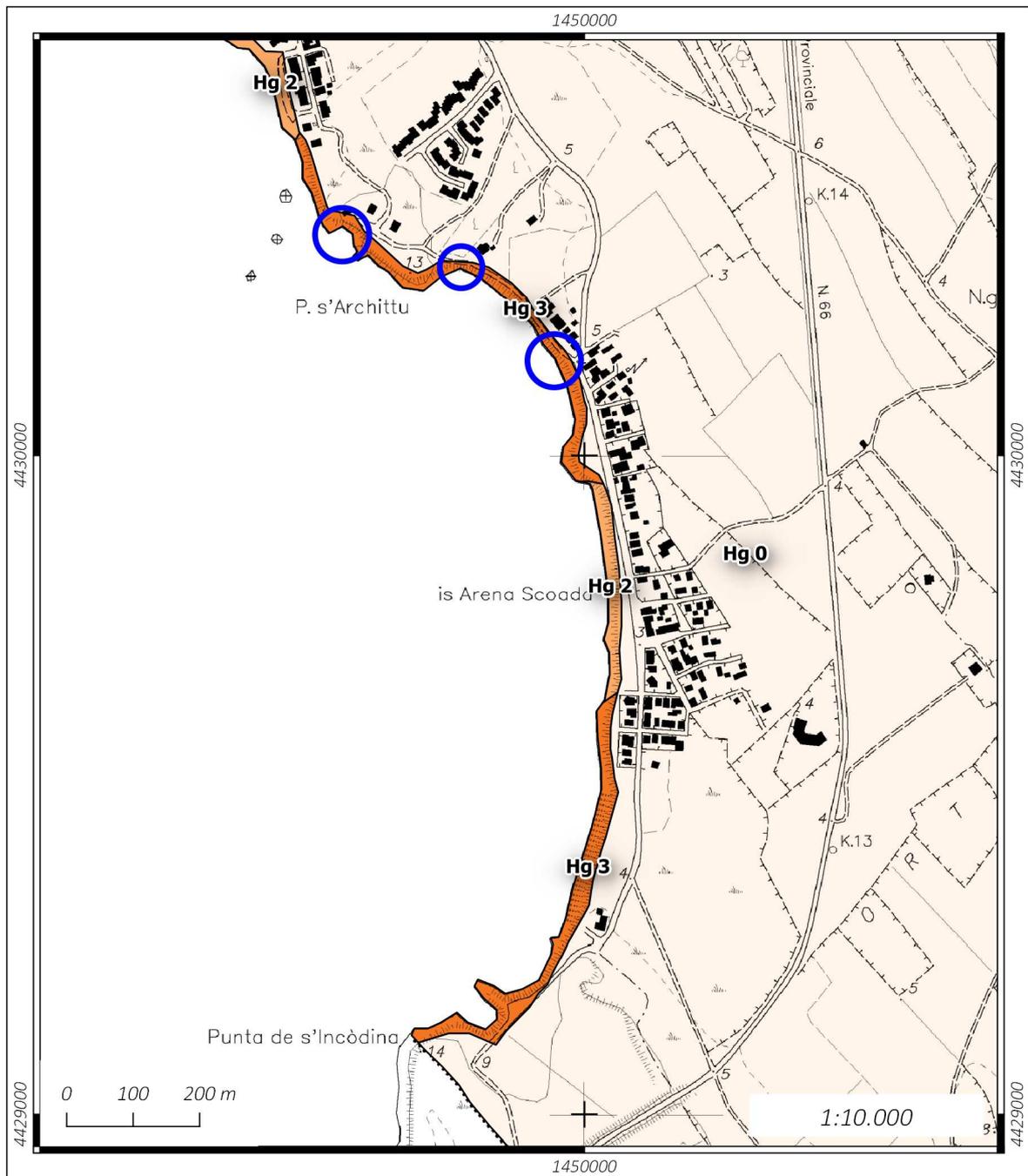


Figura 28 Perimetrazione del piano di assetto idrogeologico nell'area di S' Arena Scoada, fra i toponimi di Punta De S'Incòdina e Punta S'Archittu. Le aree di pericolosità definite indicano livelli di pericolo nullo (Hg0), medio (Hg2) e elevato (Hg3). Le aree di intervento più significative in blu.

6. CONCLUSIONI

Il progetto si articola all'interno di due aree costiere distinte, quella di Su Pallosu e quella di Is Arena Scoada, rispettivamente a nord e a sud di Capo Mannu.

Il settore di Is Arena Scoada comprende il tratto di costa rocciosa e sabbiosa che va da Punta de S'incòdina a sud fino a Putzu Idu a nord, esteso per circa 1300 metri ed esposto ai quadranti occidentali. L'analisi multi temporale evidenzia un arretramento della falesia variabile da zona a zona, con valori intorno ai 10 metri nel settore nord ed in quello meridionale. Questo processo costituisce la naturale tendenza evolutiva del tratto costiero in esame, che prevede il ripetersi ciclico di eventi franosi lungo la falesia. I fenomeni prevalenti sono costituiti da crolli di masse litoidi più o meno voluminose, che avvengono dalla parete della falesia o all'interno di nicchie o grotte che si sviluppano lungo il margine costiero, innescati dall'azione diretta ed indiretta del mare sulle scarpate. I crolli costituiscono un fenomeno frequente e rappresentano un elevato carattere di pericolosità e di rischio, soprattutto a motivo dell'elevato carico antropico stagionale. Un carattere morfoevolutivo dominante, è rappresentato dalla formazione di cavità e grotte che il mare tende via via ad approfondire. Frequenti sono i casi in cui la volta delle cavità collassa, interessando in alcuni casi le infrastrutture viarie retrostanti il margine costiero.

Le azioni progettuali per il settore costiero di Is Arena Scoada devono prevedere preliminarmente la compressione dei meccanismi evolutivi della falesia, congiuntamente ad analisi meteo marine ed alla caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi coinvolti.

Il margine costiero di **Su Pallosu** costituisce la risultante morfologica di complesse fasi evolutive connesse con i fenomeni di regressione e di trasgressione marina avvenuti a partire dal Pliocene sup.- Pleistocene.. Questa configurazione geomorfologica e sedimentaria porta a considerare l'attuale sistema litoraneo sabbioso, come la risultante di processi di rielaborazione detritica di materiali sedimentari antichi, e di riconoscere in questi ultimi, il principale bacino di alimentazione detritica della spiaggia attuale.

Un'importante caratteristica da rilevare è la grande dinamicità evolutiva del margine costiero in esame nella lunga scala temporale; dinamicità legata alle pulsazioni climatiche ed alle variazioni eustatiche di natura climatica e tettonica. Tale dinamicità si registra pure nelle modificazioni storiche del sistema sabbioso le cui cause sono però da ricercare prevalentemente nelle modificazioni cicliche dei parametri meteo-marini e nel sistema delle correnti marine sottocosta all'interno comunque di un generale regime trasgressivo. Il tratto di litorale prospiciente la borgata di Su Pallosu, è soggetto ad un intenso processo erosivo che ha determinato profonde modificazioni morfologiche ed un rapido ed intenso fenomeno di arretramento della linea di riva. L'analisi dell'intero arco di spiaggia di Su Pallosu, esteso poco meno di 3 km, evidenzia come il fenomeno erosivo sia attivo e manifesto solo nel tratto più occidentale dell'arco sabbioso, circa 900 m, in corrispondenza della cuspide sabbiosa ed immediatamente a est di quest'ultima. Tutto il resto del litorale mostra una sostanziale stabilità a

partire dai primi anni 50 del secolo scorso fino ad oggi. Questa erosione differenziale del litorale sabbioso suggerisce, come causa determinante, l'alterazione del regime energetico sottocosta. L'analisi multi temporale ha permesso di stimare la variazione della superficie di spiaggia dal 1954 al 2010. Nel complesso si stima una perdita complessiva di spiaggia emersa di circa 27.000 m², cui corrispondono circa 13.500 m³ di sabbia, considerando uno spessore medio del cuneo sedimentario di circa 0,5 metri. Un aspetto rilevante da considerare anche in fase di definizione delle azioni progettuali, è il fatto che il regime energetico sottocosta, costituendo espressione delle condizioni meteomarine del paraggio costiero di riferimento, segue l'andamento ciclico delle pulsazioni climatiche e dei suoi parametri costitutivi, con particolare riferimento al regime dei venti, specie per quanto attiene la direzione di provenienza. Questo aspetto assume rilevanza in termini evolutivi, in quanto la ciclicità dei fenomeni meteorologici e da relazionare con la ciclicità dei processi geomorfologici e sedimentari della spiaggia. Questo significa che il fenomeno erosivo che da alcuni decenni si riscontra nel margine costiero di Su Pallosu possa invertire la sua tendenza, e si possano ristabilire condizioni energetiche e morfosedimentarie favorevoli alla stabilità o alla ricostruzione spontanea della cuspidi sabbiosa.

Nelle fasi successive della progettazione appare pertanto significativa, per la definizione delle più idonee azioni progettuali ed in un'ottica di comprensione dei processi di evoluzione del tratto litorale in esame, la conoscenza dei meccanismi di propagazione del moto ondoso sotto costa, anche attraverso opportune attività di monitoraggio delle correnti marine e del regime ondometrico.

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Di seguito si elencano i principali riferimenti documentali da cui sono estratte alcune descrizioni dei caratteri geologici per le aree di interesse del presente studio preliminare.

Usai A. (2014) – *Relazione di compatibilità geologica e geotecnica*. A cura di: Comune di San Vero Milis. Allegato al Piano Urbanistico Comunale, Gennaio 2014

Usai A. (2012) – *Relazione geologica*. A cura di: Comune di San Vero Milis. Allegato al Piano Urbanistico Comunale

Liori A., Abis A., Careddu M.B., Deriu M. (2012) – *Erosione della costa in corrispondenza delle Borgate Marine*, a cura di: Regione Autonoma della Sardegna. Scheda intervento San Vero Milis - Programma d'Azione Coste, interventi urgenti di prima fase, Luglio 2012

Carboni S., Tilocca G., Lecca L. (2010) - *Analisi stratigrafico-morfologica e censimento dei processi franosi in atto sulle coste alte nel settore costiero compreso tra Capo San Marco e Capo Marrargiu (Sardegna centro-occidentale) – Parte 1*. Università degli Studi di Cagliari Dipartimento di Scienze della Terra – Provincia di Oristano, Luglio 2010

Carboni S., Tilocca G., Lecca L. (2010) - *Analisi stratigrafico-morfologica e censimento dei processi franosi in atto sulle coste alte nel settore costiero compreso tra Capo San Marco e Capo Marrargiu (Sardegna centro-occidentale) – Parte 2 Valutazione di un indice di pericolosità da frana (Sardu P.)*. Università degli Studi di Cagliari Dipartimento di Scienze della Terra – Provincia di Oristano, Luglio 2010