



INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DELLA SPIAGGIA IN LOCALITA' S'ARENA SCOADA

Progetto esecutivo

Il Sindaco
Luigi Tedeschi

Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Sara Angius



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

Arch. Paolo Falqui – *direttore tecnico*

Geol. Maurizio Costa – *direttore tecnico*

Ing. Silvia Putzolu – *coordinamento operativo*



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

GRUPPO DI LAVORO

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
Nat. Riccardo Frau

Analisi meteomarine
Ing. Pietro Chiavaccini

Sicurezza
Ing. Nicola Buchignani

Rilievi, GIS e Cartografia
Cinzia Marcella Orrù

1.3.1 STUDIO GEOLOGICO

1. PREMESSA.....	2
1.1. Normativa di riferimento.....	2
1.2. Inquadramento geografico degli interventi	3
1.3. Obiettivi e metodi.....	4
1.4. Inquadramento geologico	4
1.5. Inquadramento geomorfologico	9
1.6. Inquadramento idrogeologico	9
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA E GEOMORFOLOGICA DEL SETTORE COSTIERO DI S'ARENA SCOADA.....	11
2.1. Punta de S'Incodina.....	14
2.2. Punta S'Archittu.....	17
3. DISPONIBILITÀ DEI MATERIALI LAPIDEI.....	21
3.1. Approvvigionamento materiali di cava.....	23
3.1.1. Localizzazione delle cave.....	25
4. INQUADRAMENTO DELLE AREE DI INTERVENTO NEI PIANI STRALCIO DI BACINO.....	26
4.1. Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni	26
4.2. Il Piano di Assetto Idrogeologico	28
5. CONCLUSIONI	30
6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	31

1. PREMESSA

Il presente studio è finalizzato alla caratterizzazione geologica e geomorfologica delle aree di interesse, a partire dall'analisi dei dati disponibili in letteratura, integrati e approfonditi per le finalità e gli obiettivi del Progetto Preliminare-Definitivo da specifiche indagini geognostiche e di rilevamento geologico e geomorfologico diretto. La ricostruzione dei caratteri litostratigrafici, strutturali, geomorfologici ed idrogeologici dell'ambito di potenziale relazione con le opere in progetto, derivano dall'interpretazione derivante dalle analisi geognostiche e geofisiche e dalle relative prove geotecniche condotte in aree limitrofe e affini da un punto di vista geologico-stratigrafico all'area in progetto. In questi termini, è definito nella fase progettuale 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 degli interventi



Figura 1 - Inquadramento territoriale

L'area di studio si trova nel territorio comunale di San Vero Milis, in provincia di Oristano. Il progetto prevede due interventi ubicati nel margine costiero lungo il litorale di S' Arena Scoada, il primo, più a nord, località Punta S'Archittu, l'altro a sud, presso Punta de S'Incòdina.

Il contesto territoriale di interesse è fisiograficamente costituito da un sistema costiero 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 diretta 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-quaternaria, 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 obliterati 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.

Localmente, non si osservano evidenze degli eventi tettonici sopra descritti, infatti i litotipi non presentano fratture sistemiche con gli orientamenti descritti, né in generale sistemi riconoscibili. Si individuano in generale fratturazioni dovute a tensioni a carattere locale, in genere post diagenetici.

Alla scala di progetto non si sono individuati elementi riferibili a schemi tettonici particolari anche per la risposta duttile dei depositi, vista la caratteristica presenza di argille nei litotipi che conferiscono ai depositi un comportamento prevalentemente plastico. Inoltre si tratta di depositi sintettonici la cui diagenesi è in generale successiva agli eventi tettonici principali.

I litotipi tipici sono di tipo carbonatico, spesso marnosi con importanti componenti argillose o limo argillose. Lungo la costa di S'arena Scoada, tratto meridionale fino alla fine del tratto litoraneo della SP66, le falesie mostrano litotipi maggiormente resistenti nel complesso. La

maggiore tenacia permette lo sviluppo di morfologie aggettanti, anche di piccola estensione dai 30 ai 50 cm, raramente superiori. Il settore settentrionale de S'Arena Scoada mostra litotipi decisamente più alterati e destrutturati, litologie marnoso conglomeratiche limose e argillose, seguite, verso il basso, da calcari e marne laminate bianche con argille verdi molto plastiche, in generale abbastanza tenaci nei livelli carbonatici, e termina la successione un litotipo marnoso arenitico color nocciola intercalato da livelli calcareo micritici sottili. Il livello maggiormente alterato risulta essere quello superiore che, come osservato, ha più l'aspetto di una terra addensata che di una roccia, risulta infatti facilmente scalfibile anche senza utensili.

Il secondo livello dall'altro, come già detto, risulta abbastanza tenace almeno nelle componenti carbonatiche, così come il litotipo sottostante, le laminazioni centimetriche e sub centimetriche, abbastanza regolari conferiscono alla roccia una particolare tendenza alla fratturazione lungo la stratificazione sub orizzontale che si manifesta col distacco di elementi poliedrici appiatti dello spessore di pochi centimetri. Il materiale argilloso intercalato fra i livelli carbonatici si presenta di colore verde acqua particolarmente plastico e di facile asportazione. Il livello alla base della successione visibile sulla falesia, risulta il più esposto all'azione del moto ondoso, quasi ovunque è possibile osservare i profondi solchi di battente alla base. L'erosione avviene a piani sub orizzontali conformi alla stratificazione o alla laminazione. Al tatto si presenta untuoso quando bagnato per lungo tempo, chiaro segno della presenza di argille. I livelli intercalanti non hanno una distribuzione netta come nel litotipo superiore quindi la fratturazione, benché si manifesti in generale a livelli non ha un andamento planare marcato come nel livello laminato superiore.

Laddove al tetto della successione affiorano arenarie eoliche, il litotipo più resistente, le cornici possono essere localmente superiori ai 50 cm e si riscontrano accumuli di depositi di versante alla base delle falesie, che resistono all'azione del mare, proteggendo la falesia. Le arenarie si presentano fratturate con fessure sub millimetriche calcificate ai bordi di forma quasi esagonale e dimensioni intorno al metro. Le fratturazioni avvengono preferenzialmente lungo giunti verticali che risultano calcificati ma non saldati. Le fratture non sembrano seguire uno schema ricorrente, si tratta di giunti non sistemici generati da tensioni locali a carico dell'ammasso roccioso post diagenesi.

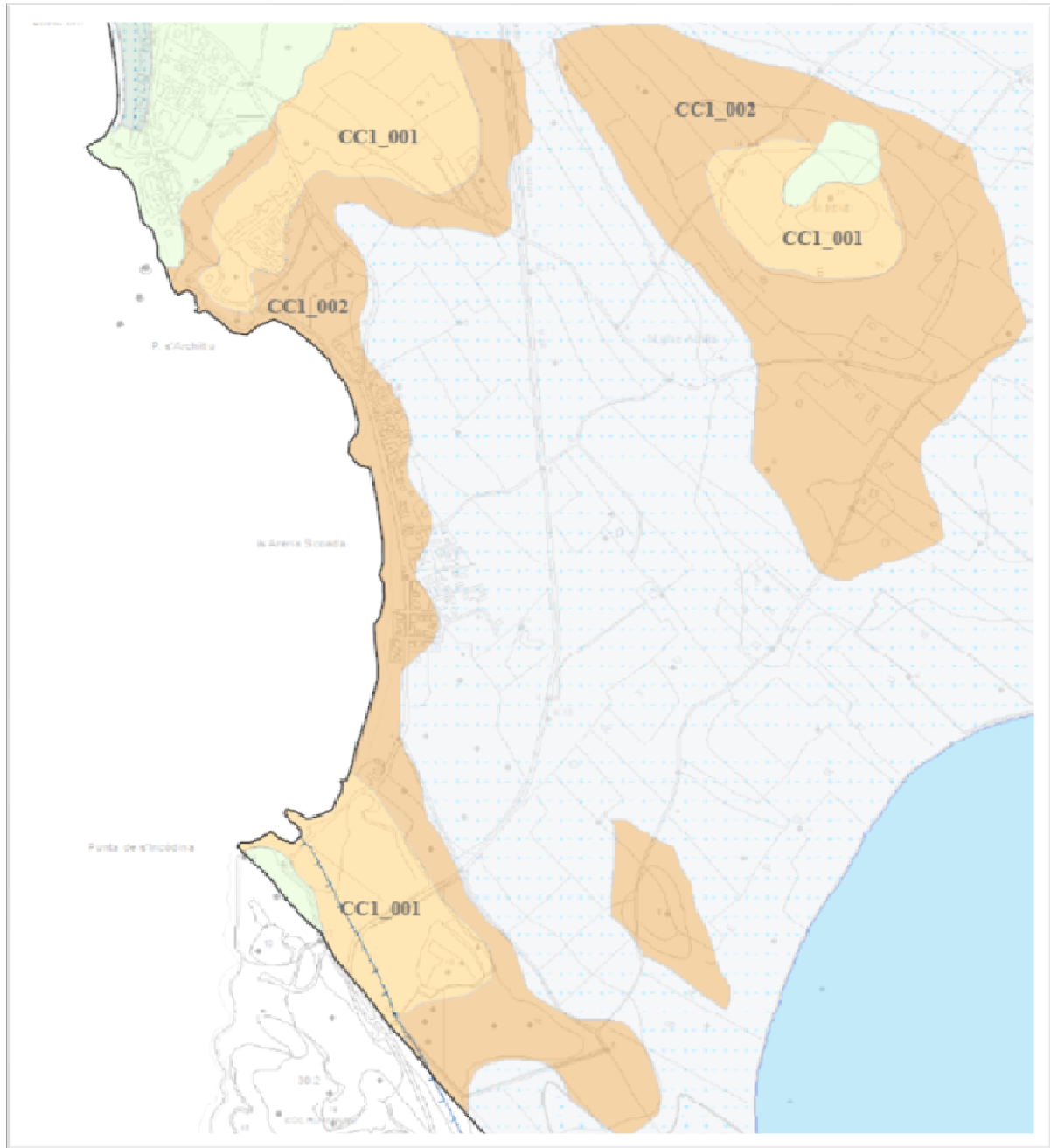


Figura 2 - stralcio cartografico estratto dalla tavola geologica del PUC (2014) relativa all'ambito a Sud di Capo Mannu - paraggio costiero di S'Anea Scoada.(CC1_001 CALCARI DI TORRE DEL SEVO: Calcari e calcari dolomitici residuali, generalmente brecciati; biocalcareni fossiliferi con bivalvi MESSINIANO; CC1_002, CALCARI LAMINATI DEL SINIS: Calcari microcristallini e marne calcaree, con rari fossili di bivalvi MESSINIANO)

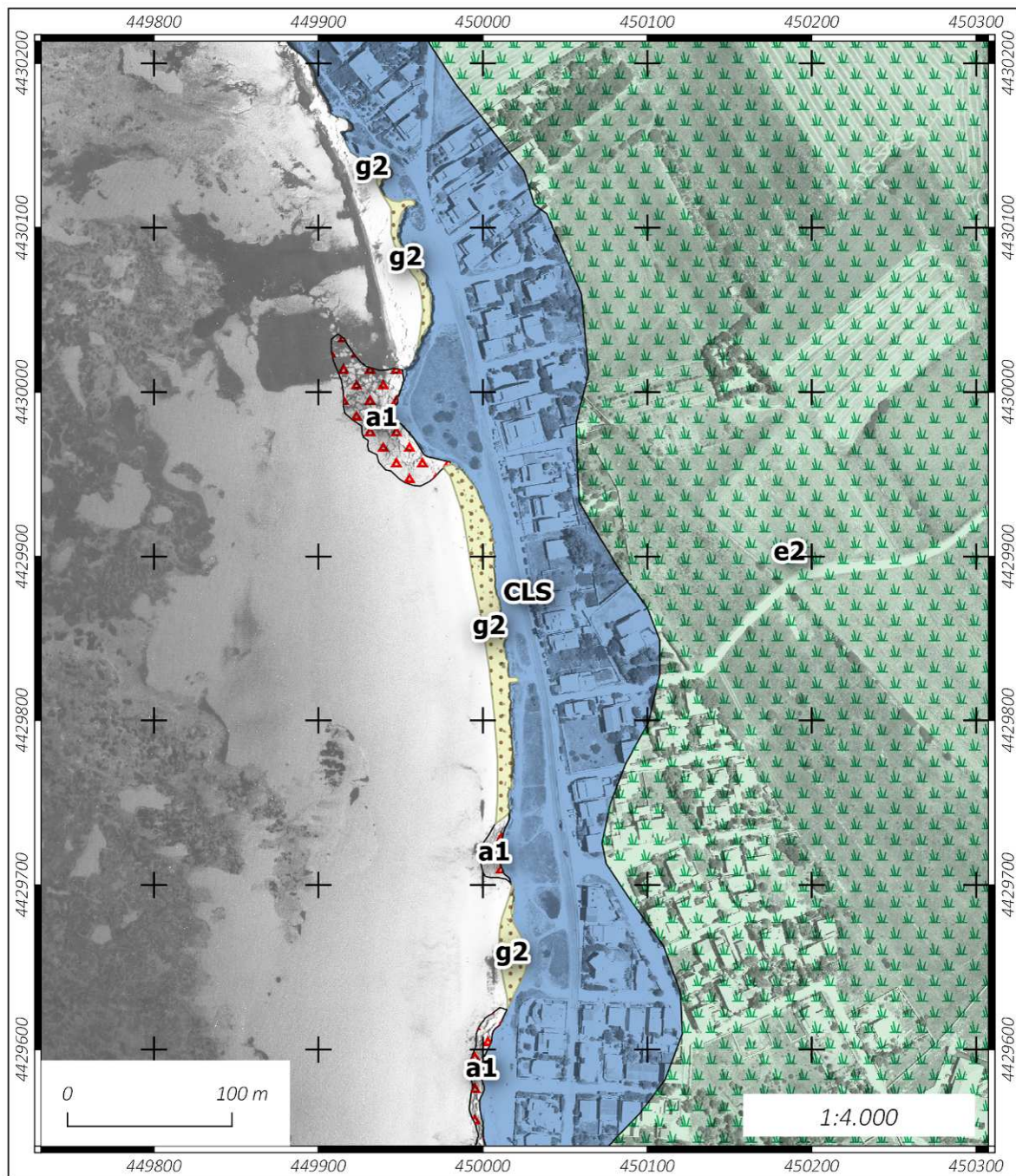


Figura 3 Carta geologica di dettaglio del tratto di costa interessato dagli interventi nella zona di “S’arena scoada”. CLS) CALCARI LAMINATI DEL SINIS. Calcari microcristallini e marne calcaree, con rari fossili di bivalvi. MESSINIANO. g2) Depositi di spiaggia. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, etc. OLOCENE. e2) Depositi lacustri. Calcari lacustri talvolta con gasteropodi polmonati. OLOCENE. a1) Depositi di frana. Corpi di frana di crollo alla base delle falesie. OLOCENE

1.5. Inquadramento geomorfologico

L'assetto geomorfologico del territorio in esame rappresenta il risultato del susseguirsi di eventi deposizionali e di evoluzione geomorfologica del rilievo in ambiente continentale, a partire dalla fase di emersione delle formazioni sedimentarie del Miocene superiore. Pertanto l'area è il risultato degli eventi morfoclimatici e neotettonici plio-pleistocenici che hanno agito sulle formazioni mioceniche del substrato. Le testimonianze litologiche in affioramento e nelle sezioni stratigrafiche, costituiscono la sintesi di tali eventi quaternari. In particolare queste rappresentano il risultato delle diverse fasi paleo climatiche, le cui principali evidenze sono rappresentate dalla grande diffusione di eolianiti e depositi dunari fossili riferibili a fasi climatiche fredde e asciutte spesso con intercalazioni di paleosuoli attribuibili a periodi più caldi e umidi.

Depositi prevalentemente eolici, fortemente cementati con crostoni calcarei occupano gran parte del settore centrale di "Marina" e dell'isola amministrativa di San Vero Milis. Paleo dune 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.

L'evoluzione attuale del margine costiero è dominata dall'azione di marcato arretramento delle falesie aggettanti scolpite sulle formazioni marine mioceniche di S'Arena Scoada e dalla presenza di più o meno estesi ambiti di spiaggia che, specie nel settore di Su Pallosu, manifestano un marcato fenomeni di erosione e arretramento della linea di riva di cui nei seguenti paragrafi si cercherà di analizzarne le possibili cause e gli attuali effetti sul settore costiero oggetto degli interventi.

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 media nei livelli a matrice più grossolana meno cementati;

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 media o medio bassa; bassa per porosità nei termini detritico marnosi, per l'abbondante presenza di argille e fini in genere, media per fratturazione, fratture localizzate in alcuni settori del tratto costiero alternati a settori più marcatamente argillosi.

2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA E GEOMORFOLOGICA DEL SETTORE COSTIERO DI S'ARENA SCOADA

Il tratto costiero compreso tra P.ta S'incodina a sud e P.ta S'Architteddu a nord, si sviluppa per circa 1500 m, ed è costituito da un tratto di costa prevalentemente rocciosa scolpita sulle formazioni sedimentarie calcarenitiche e marnose mioceniche, con sviluppo di falesie e ripe d'erosione attive interessate da processi evolutivi di tipo regressivo. Il tratto più meridionale è caratterizzato dalla presenza di un deposito di spiaggia che si sviluppa ai piedi della ripa d'erosione che limita e mitiga i processi di azione diretta del moto ondoso sul piede della stessa. Tuttavia questo fenomeno è solo in parte mitigato, e negli eventi meteo marini importanti, si assiste all'azione diretta del frangente d'onda al piede della ripa d'erosione con conseguente attivazione di processi di arretramento della stessa con attivazione di fenomeni gravitativi di crollo che si adagiano sulla spiaggia sottostante e costituiscono pertanto condizioni di pericolosità e di rischio geologico.

I processi evolutivi della scarpata sono sostanzialmente guidati dai caratteri litologico-strutturali delle formazioni affioranti le quali presentano significative alternanze di livelli più o meno tenaci che determinano fenomeni di erosione selettiva con sviluppo di cornici rocciose aggettanti che sotto l'azione meccanica del moto ondoso sulle formazioni tenere sottostanti, danno origine ai fenomeni di crollo. I fenomeni, che pur si manifestano con continuità sull'intero elemento morfologico, appaiono più marcati e significativi in alcuni settori specifici in cui si riconosce l'imminente attivazione del fenomeno di crollo. Questo aspetto costituisce una evidente condizione di rischio in relazione alla fruizione della spiaggia sottostante, per il quale il presente progetto interviene attraverso limitate operazioni di disgaggio.

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 litologia 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 strutturale dei fronti rocciosi non evidenzia discontinuità strutturali riconducibili alle fasi tettoniche tardo-mioceniche e plio-quadernarie. Questa assenza è probabilmente da ricercare nella deposizione sin tettonica delle formazioni mioceniche e nel carattere non coesivo dei depositi soggetti alle sollecitazioni tettoniche.

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:

1. Punta S'Incodina
2. Margine centro-meridionale di S'Arena Scoada
3. Margine centro-settentrionale di S'Arena Scoada
4. P. ta S'Archittu

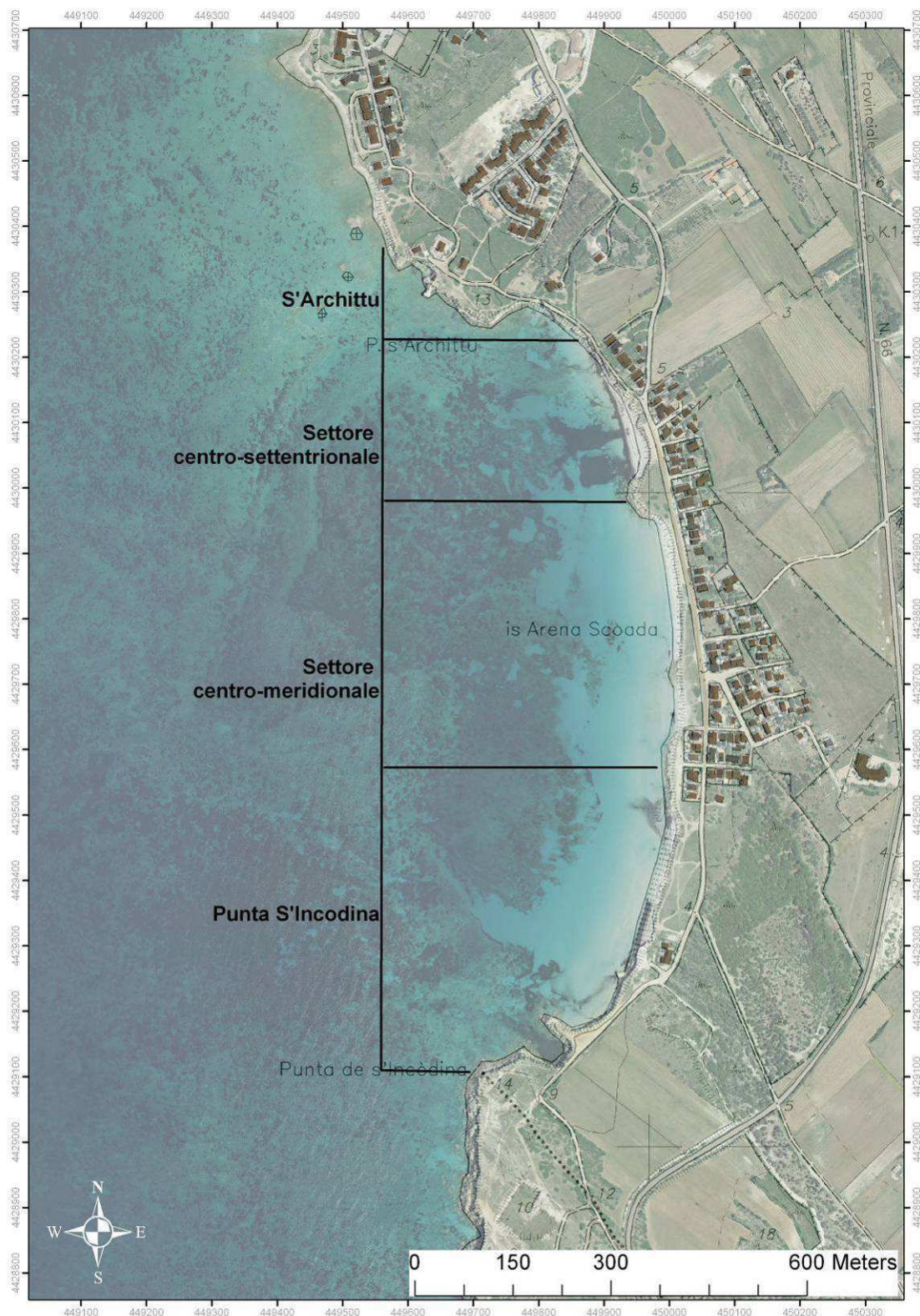


Figura 4: inquadramento dei differenti settori morfo-stratigrafici in cui è stato suddiviso il tratto costiero in esame. Il progetto in esame prevede interventi nel tratto nord di S'Archittu ed in quello meridionale di Punta S'Incodina.

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. Calcarei Laminati del Sinis);
- arenarie e marne arenacee quarzose marnose, fossilifere.

In questo settore, oltre le condizioni di diffusa fratturazione dei Calcarei 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.

La scarpata rocciosa che delimita internamente la spiaggia ha un'altezza variabile da pochi metri, definendo pertanto una ripa d'erosione, a circa 8-11 metri delle falesie del settore meridionale. In particolare nel tratto dove è presente la spiaggia, la ripa d'erosione evidenzia numerosi settori in marcata instabilità geomorfologica che rendono insicura la fruibilità balneare della spiaggia. Questo settore del margine costiero, per le implicazioni connesse con la fruibilità della spiaggia costituisce un settore di intervento prioritario finalizzato alla mitigazione dei fenomeni di crollo preferibilmente attraverso interventi localizzati di disgaggio degli strati rocciosi aggettanti.



Figura 5: tratto meridionale di S'Arena Scoada in corrispondenza di Punta de S'Incodina.



Figura 6: particolare della scarpata rocciosa con nicchie e solchi di erosione selettiva che contribuiscono all'instabilità dell'ammasso roccioso.

Settore di Punta S'Incodina

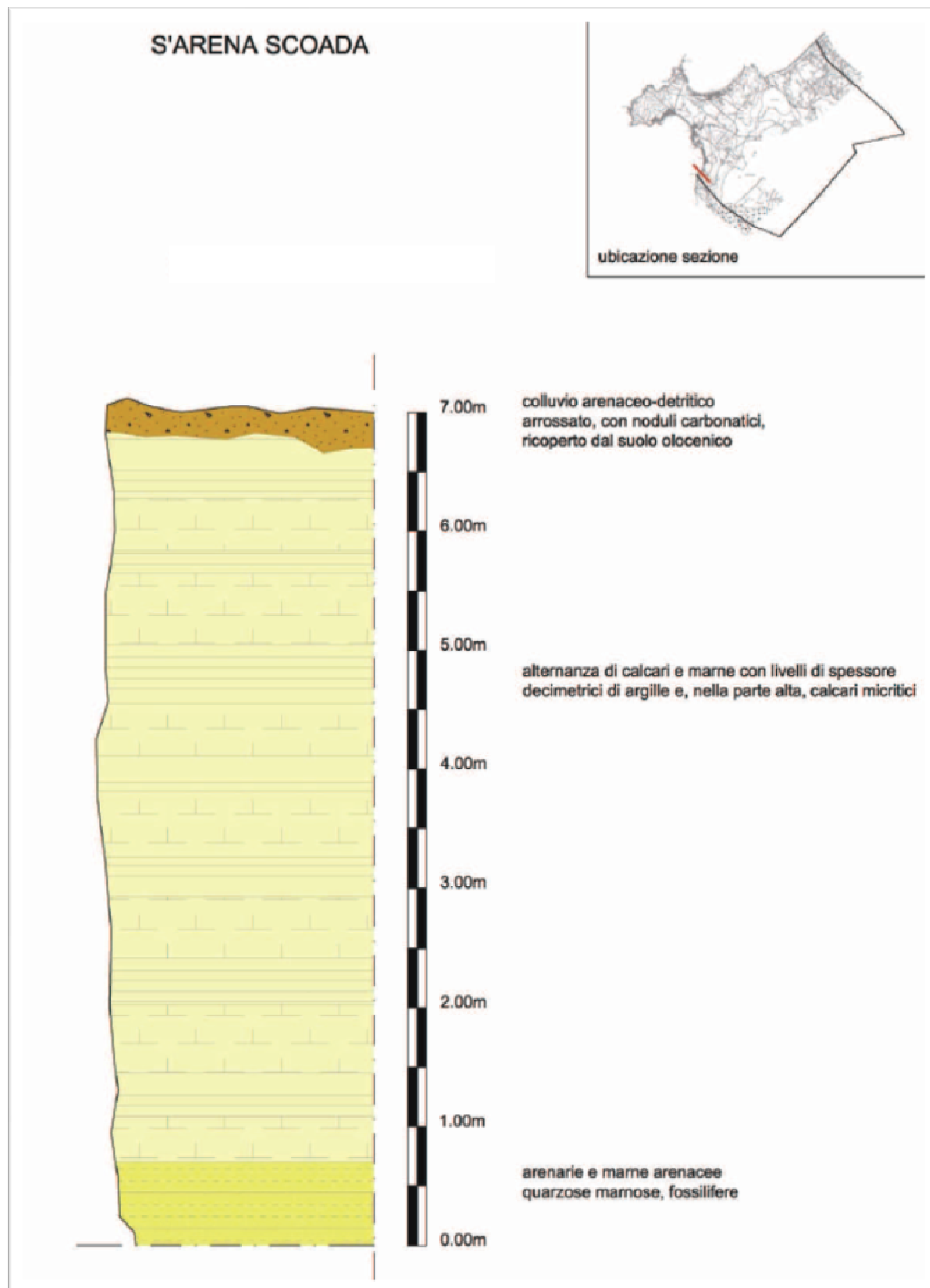


Figura 7: sequenza stratigrafica tipo nel settore di Punta S'Incodina.

2.2. Punta S'Archittu

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.

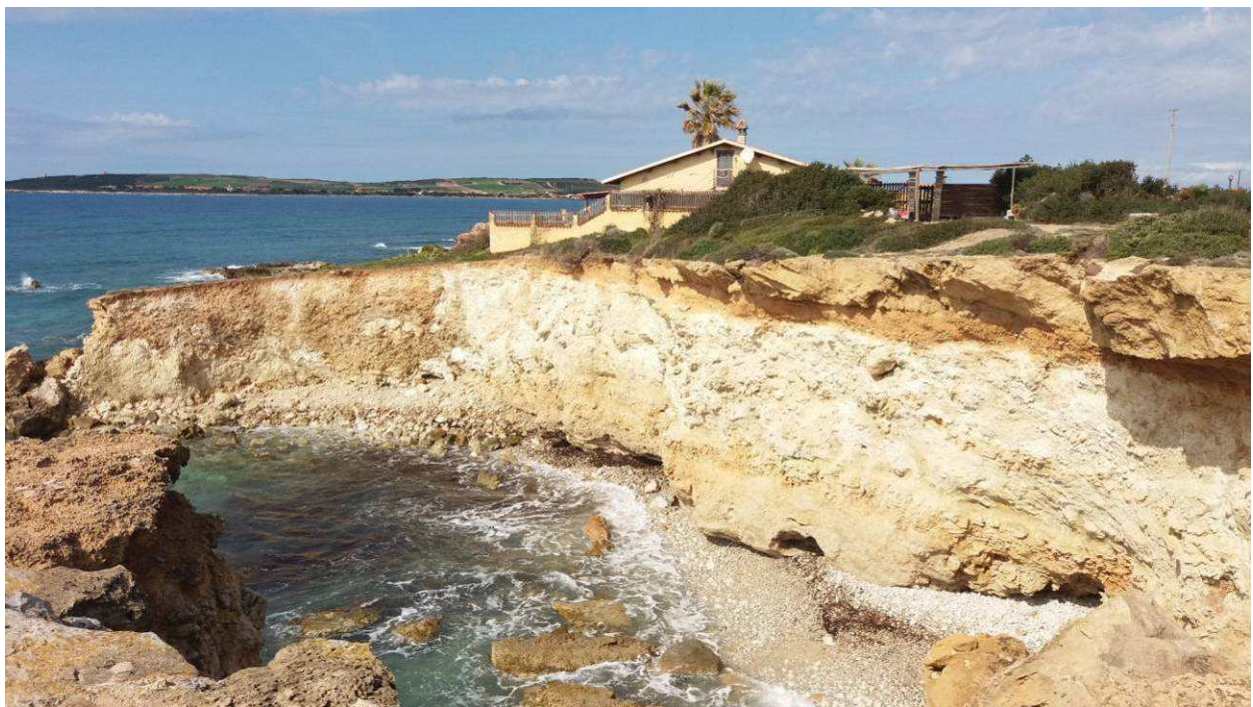


Figura 8: falesia attiva nel tratto nord di S'Architeddu.



Figura 9: settore di S'Archittu. Sulla sinistra è evidente una paleogrotta interessata dal collasso della volta.

L'unità dei Calcarei Laminati si mostra intensamente alterata a livello dei singoli pacchi di strato, deformata nei livelli più plastici delle alternanze argillose con accentuate convoluzioni e, nella parte alta affiorante, interessata da profonde cavità di dissoluzione dei carbonati innescate sull'unità superiore riempite di materiale di alterazione.

L'unità dei calcari brecciati appare profondamente interessata dai 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 collasso della volta.

Come nel caso del settore precedente, anche qui, genesi ed evoluzione delle cavità appare in generale connessa con l'azione diretta del moto ondoso sul fronte roccioso sui settori di

maggior fragilità meccanica presenti nell'ammasso roccioso e corrispondenti a livelli e tasche di materiale brecciato riconoscibile nella sequenza sedimentaria. Anche in questo caso la genesi delle cavità suggerisce un limitato sviluppo delle cavità verso l'entroterra, che pertanto, non dovrebbero interessare il settore stradale retrostante.

Questo settore del margine costiero, per le implicazioni connesse con il rischio geologico derivante dalla presenza delle abitazioni ubicate nel pianoro sommitale, costituisce un settore di intervento prioritario finalizzato alla mitigazione del processo di arretramento della falesia attraverso la riduzione dell'azione incidente del moto ondoso sul fronte roccioso.

Margine settentrionale (Punta S'Archittu)

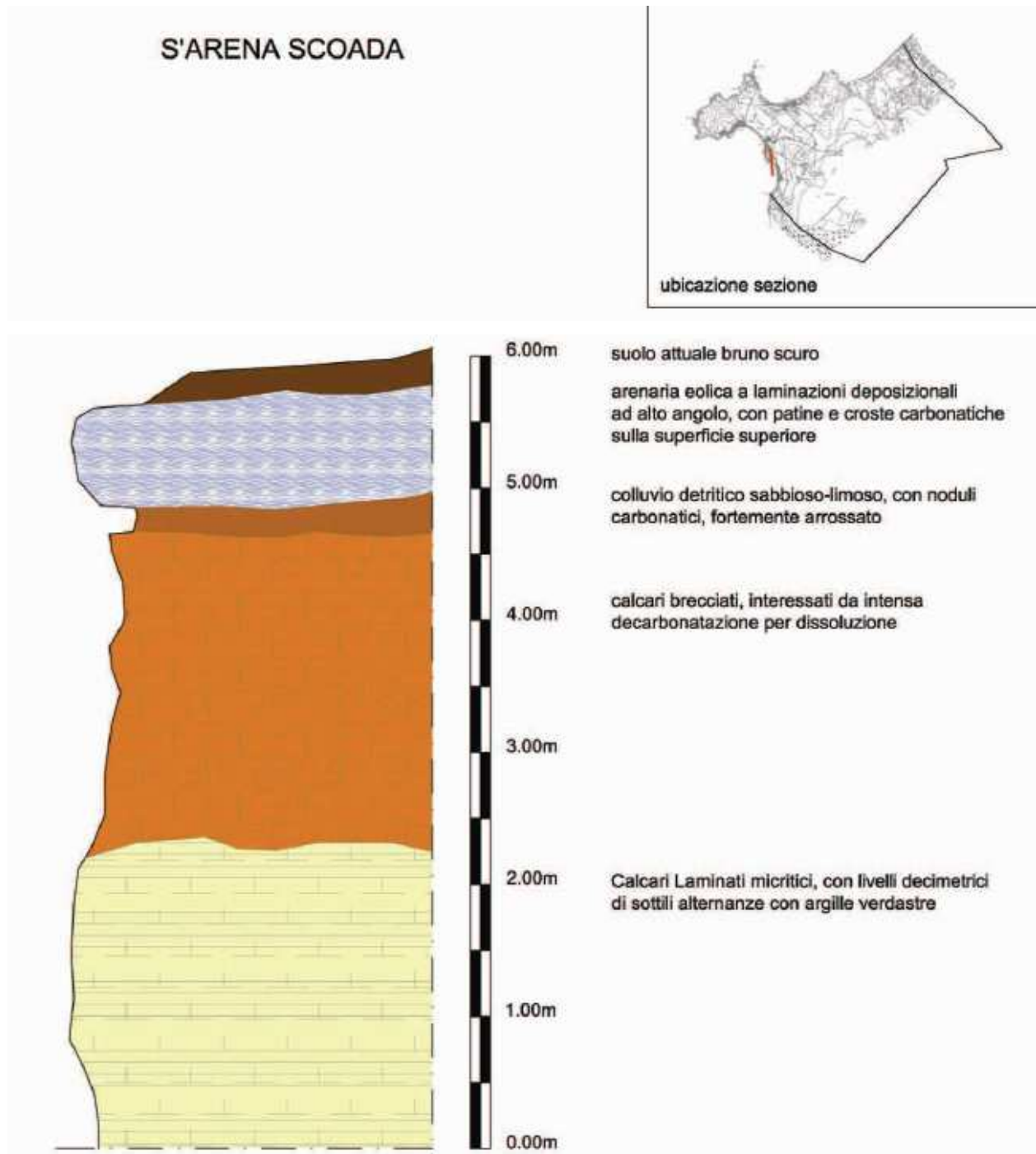


Figura 10: sequenza stratigrafica tipo nel settore di S'Archittu.

3. 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

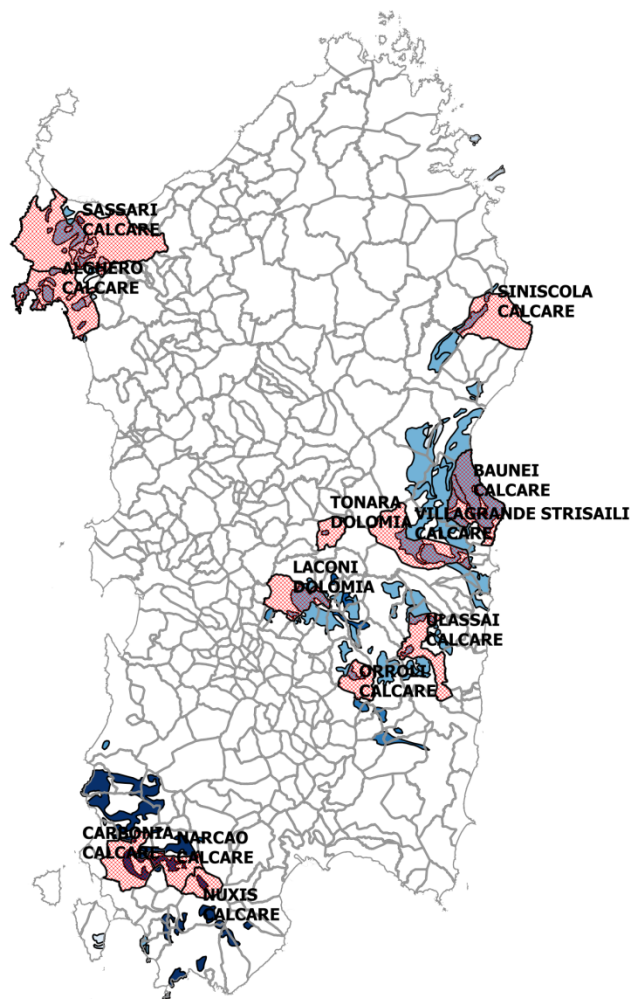


Figura 11 - Mappa delle attività estrattive, in gradazioni di Blu sono indicati i litotipi calcarei di età da mesozoica a paleozoica, colori più scuri corrispondono a litotipi più antichi, in rosso i territori comunali che ospitano attività minerarie sulle litologie carbonatiche di interesse.

3.1. Approvvigionamento materiali di cava

Da ricerche e sopralluoghi sul territorio regionale è stata individuata una cava di materiali inerti che potrebbero risultare particolarmente adatti alle necessità progettuali, previa conferma sulla base di specifica caratterizzazione fisica mineralogica.

La cava di materiali inerti, adatti alle opere di protezione della falesia, può fornire, su richiesta, con adeguato preavviso, in modo da modulare le volate per ottenere elementi di grandi dimensioni, massi da scogliera dalla prima alla terza categoria, probabilmente anche della quarta ma ad una prima analisi visto il sistema di giunti, non si ritiene poterne garantire la possibilità. Inoltre può fornire il pietrame per il nucleo delle opere. Il litotipo è un calcare mesozoico color nocciola (di diverse sfumature) di buone caratteristiche meccaniche e peso di volume stimabile in 24 – 26 kN/m³. Secondo la cartografia tematica ufficiale si tratta della Formazione di Capo Caccia, appartenente alle formazioni sedimentarie mesozoiche della Sardegna settentrionale, costituita da calcari bioclastici a rudiste.



Figura 12- Masso di cava in calcare color nocciola, Strada Vicinale La Crucca, Sassari



Figura 13 - masso di cava in calcare color nocciola, dettaglio, Strada Vicinale La Crucca, Sassari.

3.1.1. Localizzazione delle cave

DITTA	MATERIALE	REFERENTE	CONTATTI	DISTANZA
CAVE CANTIERI, Srl. <u>ufficio amministrativo:</u> Viale Umberto, 112, 07100, Sassari, SS <u>ufficio cava:</u> Strada Vicinale La Crucca, 07100, Sassari, SS	Massi da scogliera (Compreso trasporto)	Sig. Barria Enrico	<u>Uffici:</u> 079 278122 <u>Cava:</u> 079 300084 <u>mobile:</u> 3482804825	150 km

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

4.1. 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. 2 del 15/03/2016 è stato approvato il "Piano di gestione del Rischio di Alluvioni - PGRA". L'obiettivo generale del Piano è la riduzione delle conseguenze negative derivanti dalle alluvioni sulla salute umana, il territorio, i beni e il patrimonio culturale, l'ambiente e le attività economiche e sociali. Il Piano, predisposto dall'Autorità di Bacino per tutto il territorio regionale, si integra e si coordina con gli altri piani vigenti per la mitigazione del rischio idrogeologico (PAI e PSFF). Esso rappresenta la base conoscitiva e operativa di supporto alle attività di pianificazione locali attraverso l'individuazione di misure strutturali (realizzazione di opere di mitigazione del rischio) e misure non strutturali (prevenzione, protezione e preparazione). Relativamente alle opere infrastrutturali il PGRA prevede la realizzazione di opere già programmate, il completamento di quelle in corso di realizzazione, e può promuovere attività di progettazione di nuove opere infrastrutturali nei contesti territoriali di maggior criticità. In riferimento all'art. 6 del D.Lgs. n.49/2010, il PGRA individua le aree a pericolosità da alluvione, le aree a rischio di alluvioni e il danno potenziale.

Il Piano di gestione del Rischio di Alluvione, comprende inoltre una sezione dedicata allo studio della pericolosità di alluvione derivante dalle inondazioni costiere, aggiornata con la DELIBERAZIONE N. 3 DEL 17.05.2017, costituito da numerose schede di analisi delle coste rocciose e delle spiagge del territorio regionale e da mappe che riportano la pericolosità da inondazione costiera suddivisa per tempi di ritorno di 2, 20 e 100 anni.

La metodologia seguita dal PGRA per la perimetrazione delle aree di pericolosità costiera, è indicata nella relazione metodologica sulle inondazioni costiere, allegata alla Deliberazione del Comitato istituzionale del PGRA.

Lo schema concettuale prevede l'applicazione dello schema sorgente-trasferimento-recettore del rischio indicato nelle FLOODsite Guidelines, che tiene conto della sorgente di Rischio (risk source), del trasferimento dell'evento meteo marino (risk pathway) e del recettore del rischio (risk receptor).

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.

Il tratto costiero di S'Arena Scoada rientra nei tratti censiti come franosi dal PGRA.

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



Figura 14 - S'Arena Scoada – Stralcio della mappa della pericolosità di inondazione costiera

4.2. 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 ".

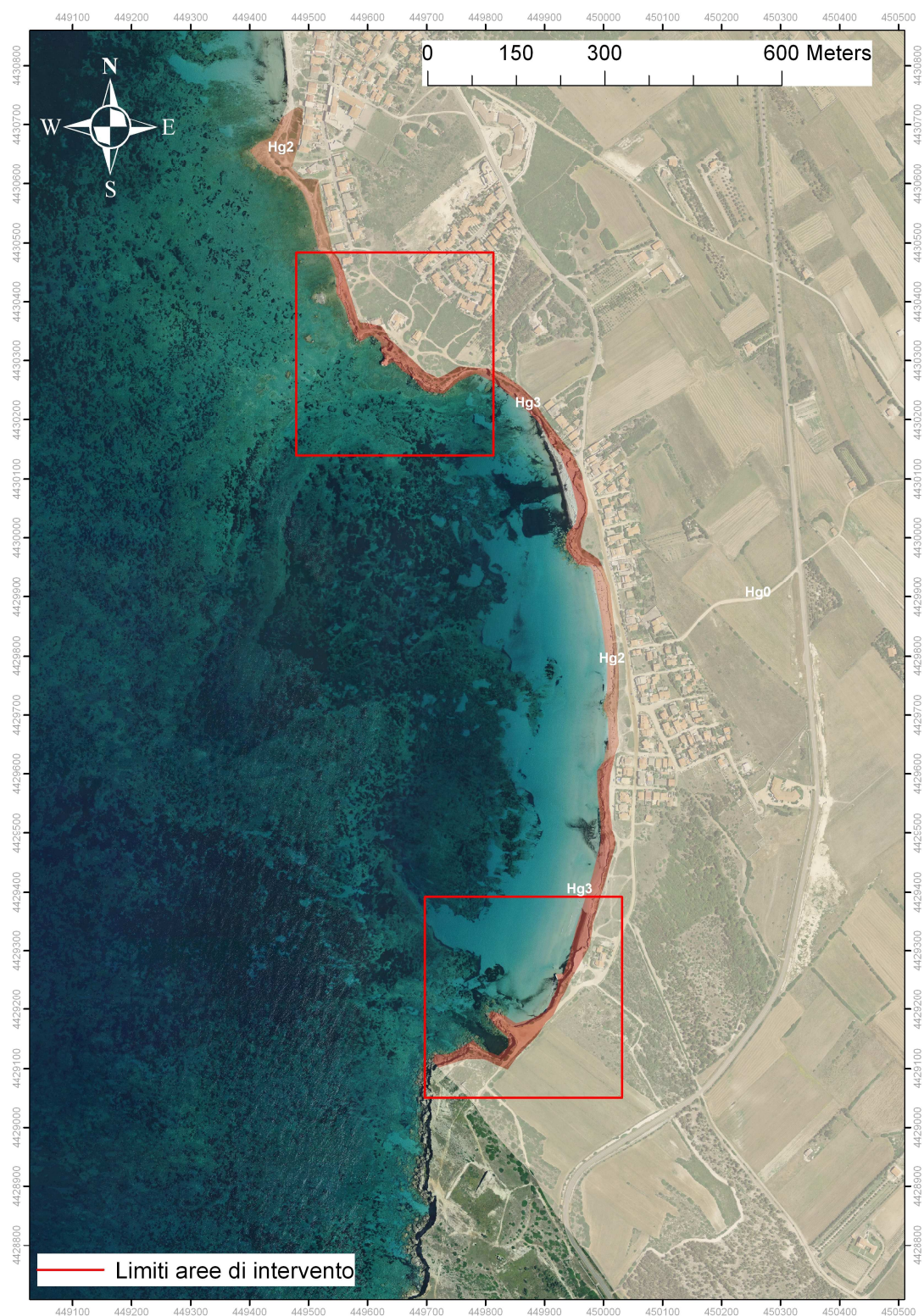


Figura 15 Perimetrazione del piano di assetto idrogeologico nell'area di S'Arena Scoada, fra Punta De S'Incodina e Punta S'Archittu. Le aree di pericolosità definite indicano livelli di pericolo nullo (Hg0), medio (Hg2) e elevato (Hg3).

5. CONCLUSIONI

Il progetto si sviluppa all'interno del settore costiero a Falesia di Is Arena Scoada, e prevede interventi nel tratto nord di S'Archittu, e in quello a sud di Punta De S'Incòdina.

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 pertanto le adeguate misure di mitigazione a protezione delle opere e dei manufatti presenti dai fenomeni di arretramento della falesia, coerentemente col quadro geologico e geomorfologico del sistema costiero in esame.

6. 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