



Regione Autonoma della Sardegna  
Ass.to della Difesa dell' Ambiente



Comune di San Vero Millis  
Area Tecnica

# 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: TERitorio: Innovazione: Ambiente  
via Cugia, 14 09129 Cagliari (Italy)  
tel. +39 070303583 - fax +39 070301180  
E-mail: [criteria@criteriaweb.com](mailto:criteria@criteriaweb.com);  
[www.criteriaweb.com](http://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](mailto:info@primaingegneria.it);  
[www.primaingegneria.it](http://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  
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

## 1.3.4 CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE TERRE E ROCCE DA SCAVO

1. CARATTERIZZAZIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO .....	2
1.1. Premessa .....	2
1.2. Normativa di riferimento .....	2
1.3. Inquadramento geografico degli interventi di S'Arena Scoada .....	4
1.4. Inquadramento geologico .....	5
1.5. Inquadramento geomorfologico .....	10
1.6. Inquadramento idrogeologico .....	10
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA E GEOMORFOLOGICA DEL SETTORE COSTIERO DI S'ARENA SCOADA .....	12
2.1. Settore centro-settentrionale di S'Arena Scoada .....	15
2.2. Punta S'Archittu .....	19
3. INDAGINE AMBIENTALE .....	23

## 1. CARATTERIZZAZIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO

### 1.1. Premessa

Il progetto, denominato “Interventi di messa in sicurezza della spiaggia in località S'Arena Scoada” prevede, tra gli altri, anche il disgaggio di corpi rocciosi dal ciglio della falesia interessata dalla messa a dimora della scogliera di protezione al piede e tratti immediatamente limitrofi. Il disgaggio è finalizzato al distacco di quelle parti di roccia che dalla falesia sporgono pericolosamente a sbalzo verso la sottostante spiaggia.

In particolare si prevede il disgaggio nelle tre zone dove si realizzano le scogliere: due a nord di S'Arena Scoada e una nel settore sud. Nel primo caso il disgaggio è finalizzato soprattutto alla messa in sicurezza dell'area per gli addetti ai lavori che costruiscono le scogliere, ma anche per diminuire il rischio di futuri cedimenti/frane nonostante la costruzione delle scogliere. Il disgaggio nella zona delle spiagge, dove gli sbalzi sono generalmente dell'ordine di poche decimetri, è effettuato soprattutto per preservare l'incolumità pubblica (zone ad elevato flusso turistico). Il materiale disgaggiato nella zona delle spiagge rimarrà sul posto al piede della falesia, e consentirà di preservare per un periodo maggiore la falesia stessa dalla formazione di nuovi possibili meccanismi di franamento dovuti all'azione del mare.

I volumi di roccia interessati dai disgaggi sono inferiori ai 10 m<sup>3</sup>.

La tipologia di intervento, dovrà prevedere la verifica di idoneità al riutilizzo delle terre che saranno scavate nelle aree in oggetto ai sensi del DPR 120 del 13/06/2017 e dell'art. 185 del D.Lgs. 152/06.

### 1.2. Normativa di riferimento

Il Decreto del Presidente della Repubblica n. 120/2017 ha superato tutte le precedenti disposizioni normative inerenti la gestione delle terre e rocce da scavo qualificate come sottoprodotti ai sensi dell'art. 184 bis del D.Lgs. 152/06 nei cantieri di ogni dimensione e sia nel caso di riutilizzo all'interno dello stesso sito di produzione che nel caso di riutilizzo esternamente al sito di produzione, chiarendo anche le modalità di esecuzione dell'indagine di caratterizzazione delle terre da scavo. Detto DPR costituisce pertanto, a partire dalla sua data di entrata in vigore (22/08/2017), l'unico riferimento tecnico-normativo in materia, fatto salvo quanto disposto dall'art. 185 del D.Lgs. 152/06.

Nello specifico, l'art. 4 del DPR n. 120/2017, stabilisce i requisiti generali da soddisfare affinché le terre e rocce da scavo generate in cantieri di piccole dimensioni (cantiere in cui sono prodotte terre e rocce da scavo in quantità non superiori a seimila metri cubi), siano qualificati come sottoprodotti e non come rifiuti.

Nel progetto in esame, nella gran parte dei casi, si tratta di materiale roccioso di natura arenacea e calcarenitica, localmente con presenza nelle parti sommitali di depositi terrigeni pedogenizzati.

In base all'art. 20 del DPR n. 120/2017, le terre e rocce da scavo prodotte in cantieri di piccole dimensioni, possono essere destinate a recuperi, ripristini, rimodellamenti, riempimenti ambientali o altri utilizzi sul suolo, solo nel caso in cui non sono superati i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione, e non costituiscono fonte diretta o indiretta di contaminazione per le acque sotterranee, fatti salvi i valori di fondo naturale.

La caratterizzazione ambientale deve presentare un grado di approfondimento conoscitivo calibrato in relazione alla complessità del progetto e alla dimensione del cantiere, esplicitando le informazioni necessarie, estrapolate anche accertamenti documentali esistenti, per poter valutare i caratteri ambientali e poterne verificare l'utilizzo in sito dei materiali di disaggio.

Nel caso in questione, l'intervento risulta di piccole dimensioni e immediatamente limitrofo a settori geologicamente analoghi, interessati da medesime lavorazioni. Per questi ultimi sono già previsti una serie di campionamenti finalizzati ad accertare l'idoneità in riferimento alle concentrazioni soglia di cui alla DPR 152/2006. Pertanto, considerata l'omogeneità geolitolitologica dei litotipi interessati dalle operazioni di disaggio, affioranti, inoltre, nel medesimo ambito fisiografico costiero di S' Arena Scoada, si ritiene ragionevole fare riferimento, ai fini dei requisiti di cui al DPR 120/2017, alle analisi chimico-fisiche dei campioni previsti per il precedente progetto (*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*).

### 1.3. Inquadramento geografico degli interventi di S'Arena Scoada



Figura 1 Stralcio orto fotografico rappresentativo dei siti di intervento di S'Arena Scoada

L'area di studio si trova nel territorio comunale di San Vero Millis, in provincia di Oristano, nel settore Nord di "S'Arena Scoada" in prossimità di "Punta S'Archittu".



Il sistema marino-costiero è coinvolto in un intenso processo di erosione regressiva, in cui lo smantellamento delle arenarie 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.

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.).

#### **1.4. 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-quaternaria 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 Millis. 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.

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 di 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.



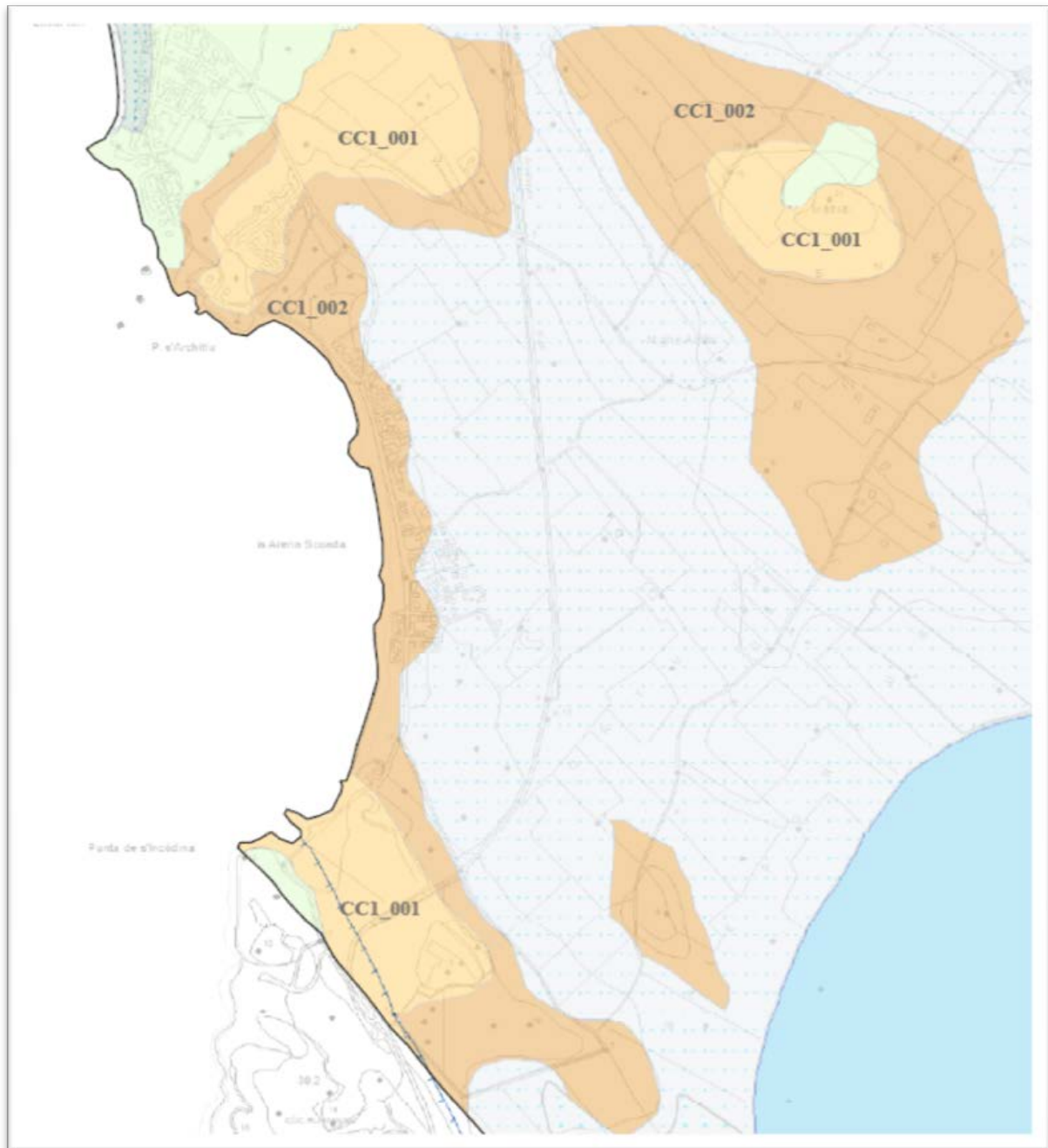


Figura 2 - stralcio cartografico estratto dalla tavola geologica del PUC (2014) relativa all'ambito a Sud di Capo Mannu - paraggio costiero di S'Anea Scoada.(CC1\_001 CALCARI DI TORRE DEL SEVO: Calcari e calcari dolomitici residuali, generalmente brecciati; biocalcareni fossilifere con bivalvi MESSINIANO; CC1\_002, CALCARI LAMINATI DEL SINIS: Calcari microcristallini e marne calcaree, con rari fossili di bivalvi MESSINIANO)

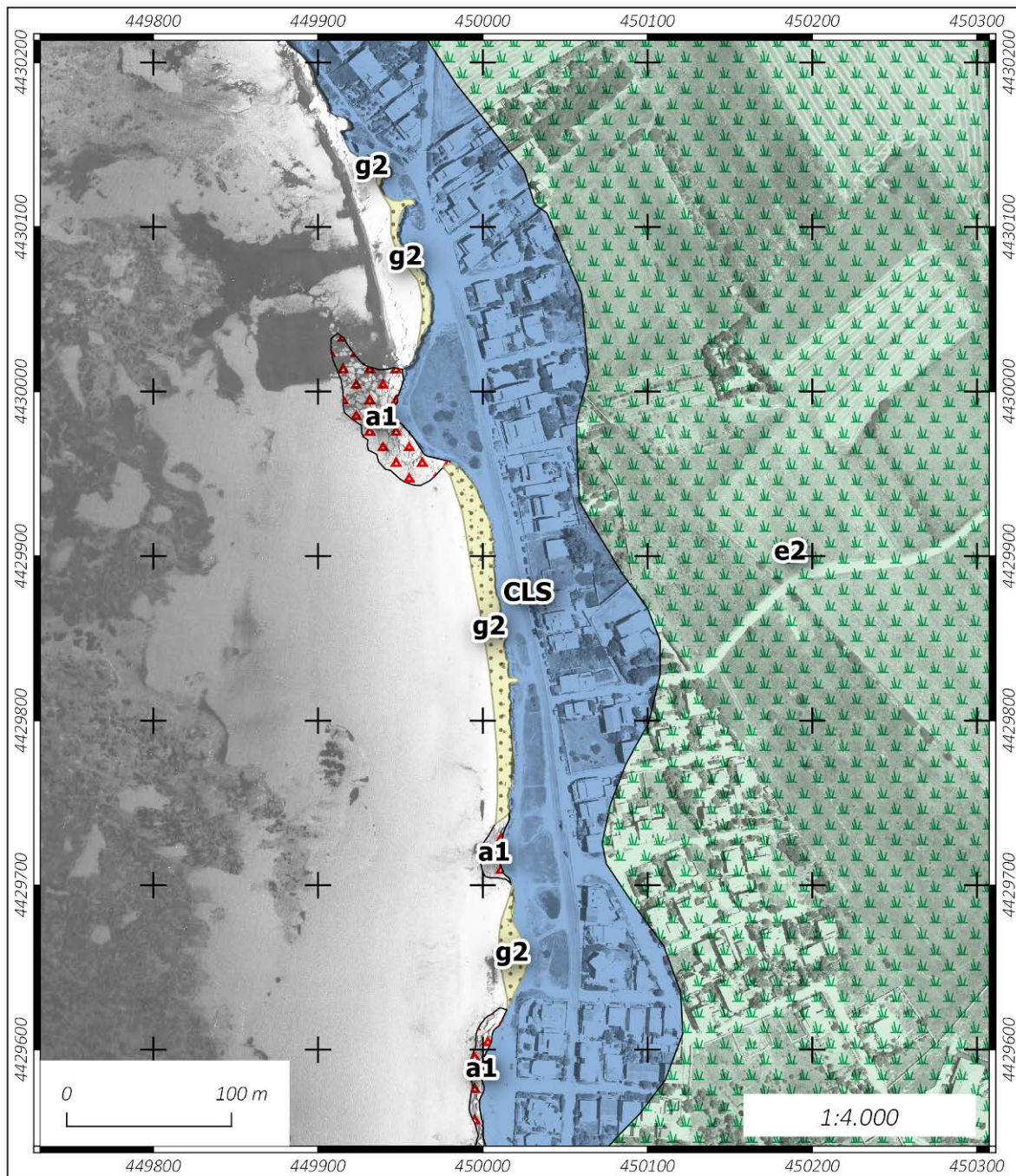


Figura 3 Carta geologica di dettaglio del tratto di costa interessato dagli interventi nella zona di "S'arena scoada". CLS) CALCARI LAMINATI DEL SINIS. Calcari microcristallini e marne calcaree, con rari fossili di bivalvi. MESSINIANO. g2) Depositi di spiaggia. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, 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 fenomeno 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



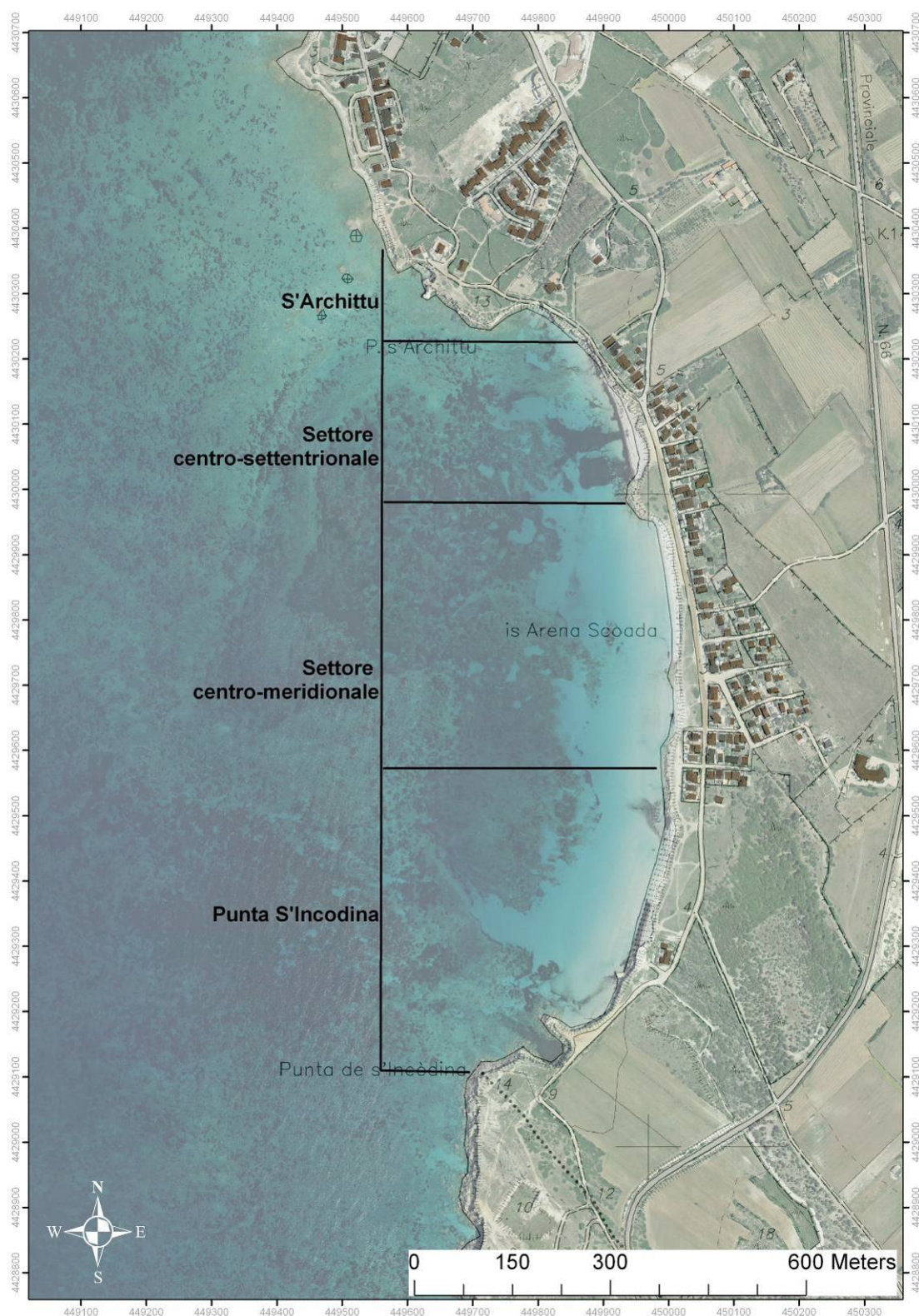


Figura 4: inquadramento dei differenti settori morfo-stratigrafici in cui è stato suddiviso il tratto costiero in esame.

## 2.1. Settore 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.

La genesi ed evoluzione di queste cavità appare in generale connessa con l'azione diretta del moto ondoso sul fronte roccioso. Tale azione appare più efficace in settori di maggior fragilità meccanica presenti nell'ammasso roccioso e corrispondenti, più che a lineazioni tettonico-strutturali di cui non si riconosce una significativa presenza, a livelli e tasche di materiale brecciato riconoscibile nella sequenza sedimentaria. Questa genesi delle cavità suggerisce un limitato sviluppo delle cavità verso l'entroterra, che pertanto, non dovrebbero interessare il settore stradale retrostante. Questo aspetto è confermato anche dall'esito delle indagini geofisiche, a cui si rimanda, che evidenziano delle aree di allentamento in corrispondenza delle sacche e dei livelli brecciati e alterati. Dall'elaborazione dei dati sismici ottenuti si è potuto constatare infatti la presenza di una copertura terrigena o di calcari con  $V_p$  comprese tra 250 m/s e 700 m/s, quindi con grado di compattezza da sciolta a moderatamente addensata, distribuita lungo la superficie di tutto il profilo geofisico fino alla profondità di -6 dal piano di campagna.

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



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



Figura 7: nicchie scavate dal moto ondoso incidente sul fronte della falesia. L'evoluzione e approfondimento della cavità determinerà il collassamento della volta.



Settore centro settentrionale

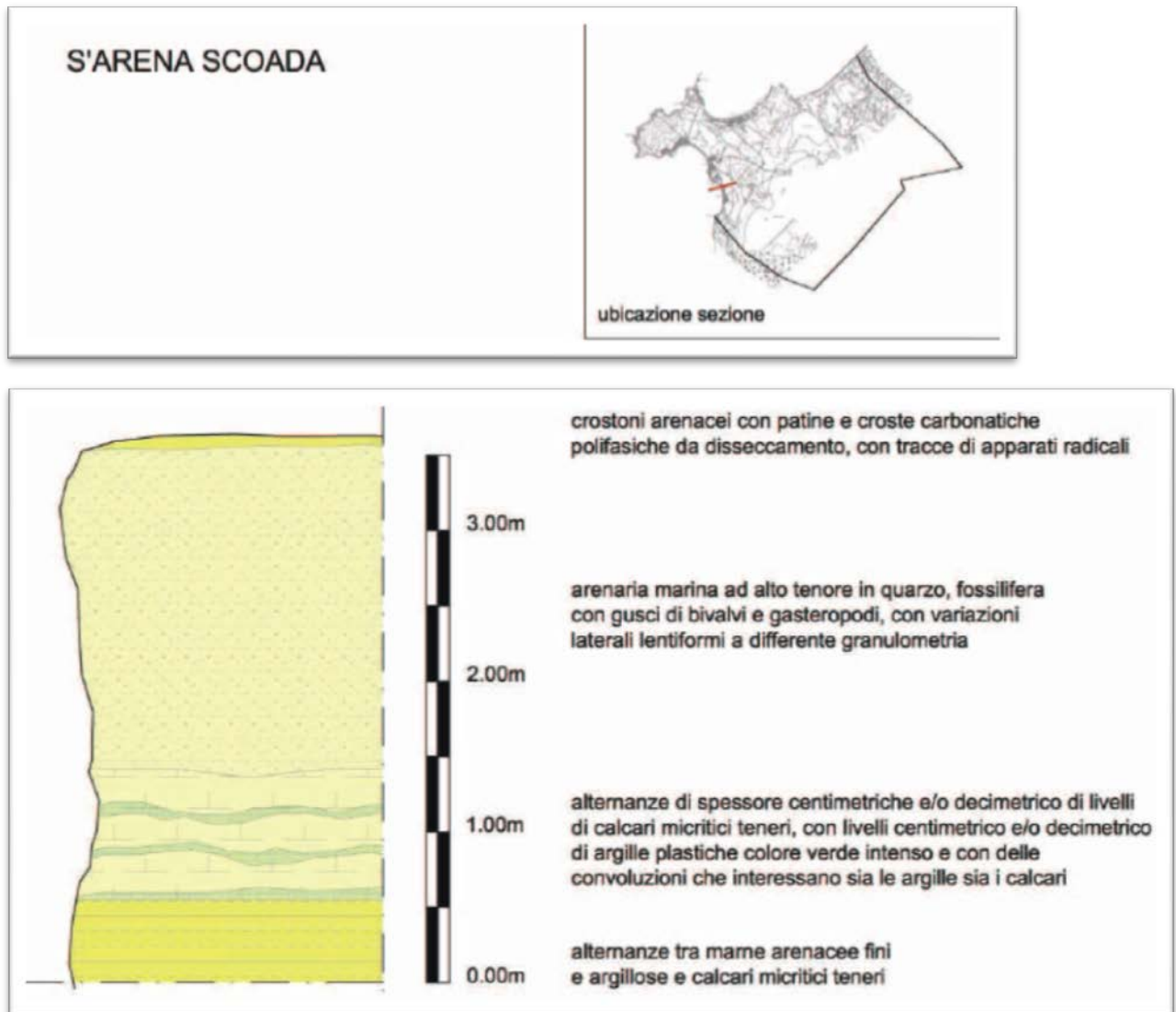


Figura 8: sequenza stratigrafica tipo nel settore centro settentrionale

## 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 9: falesia attiva nel tratto nord di S'Architeddu.





**Figura 10: settore di S'Archittu. Sulla sinistra è evidente una paleogrotta interessata dal collasso della volta.**

L'unità dei Calcari 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 dal 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)

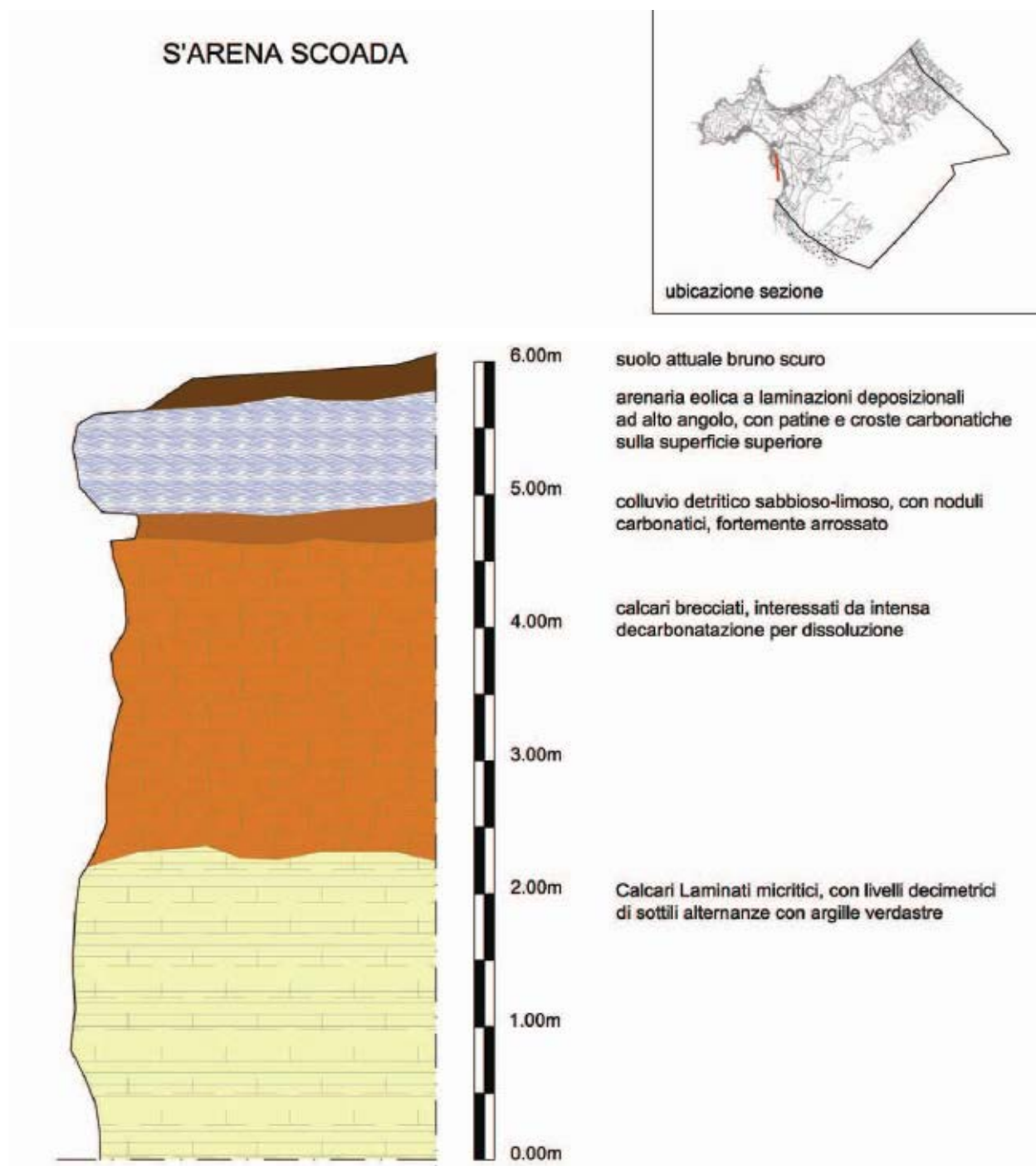


Figura 11: sequenza stratigrafica tipo nel settore di S'Archittu.

### 3. INDAGINE AMBIENTALE

L'indagine ambientale segue gli "Indirizzi operativi per l'accertamento del superamento dei valori delle concentrazioni soglia di contaminazione [.....], con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica – DPR 120/2017, artt. 20-22". E' stata dunque prevista un'indagine preliminare sull'area dove avverrà la produzione di terre da scavo, allo scopo di determinarne le caratteristiche ambientali e la possibilità di riutilizzarle in sito come sottoprodotto.

In particolare, si ritiene che gli interventi in esame possano essere assimilati a opere lineari, per i quali la normativa prevede la realizzazione di **1 punto di prelievo almeno ogni 500 m di tracciato**.

Tali indagini, come previsto nell'Allegato 1 del DPR 120/2017, dovranno essere eseguite prima dell'inizio dei lavori e nel rispetto di quanto riportato negli allegati 2 e 4 del medesimo DPR, per quanto riguarda le procedure di campionamento e di caratterizzazione chimico-fisiche e accertamento delle qualità ambientali a cui si rimanda per le specifiche.

La caratterizzazione ambientale deve presentare un grado di approfondimento conoscitivo calibrato in relazione alla complessità del progetto e alla dimensione del cantiere, esplicitando le informazioni necessarie, estrapolate anche accertamenti documentali esistenti, per poter valutare i caratteri ambientali e poterne verificare l'utilizzo in sito dei materiali di disaggio.

Nel caso in questione, l'intervento risulta di piccole dimensioni e immediatamente limitrofo a settori geologicamente analoghi, interessati da medesime lavorazioni. Per questi ultimi sono già previsti una serie di campionamenti finalizzati ad accertare l'idoneità in riferimento alle concentrazioni soglia di cui alla DPR 152/2006. Pertanto, considerata l'omogeneità geololitologica dei litotipi interessati dalle operazioni di disaggio, affioranti, inoltre, nel medesimo ambito fisiografico costiero di S'Arena Scoada, **si ritiene ragionevole fare riferimento, ai fini dei requisiti di cui al DPR 120/2017, alle analisi chimico-fisiche dei campioni previsti per il progetto limitrofo: 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.**



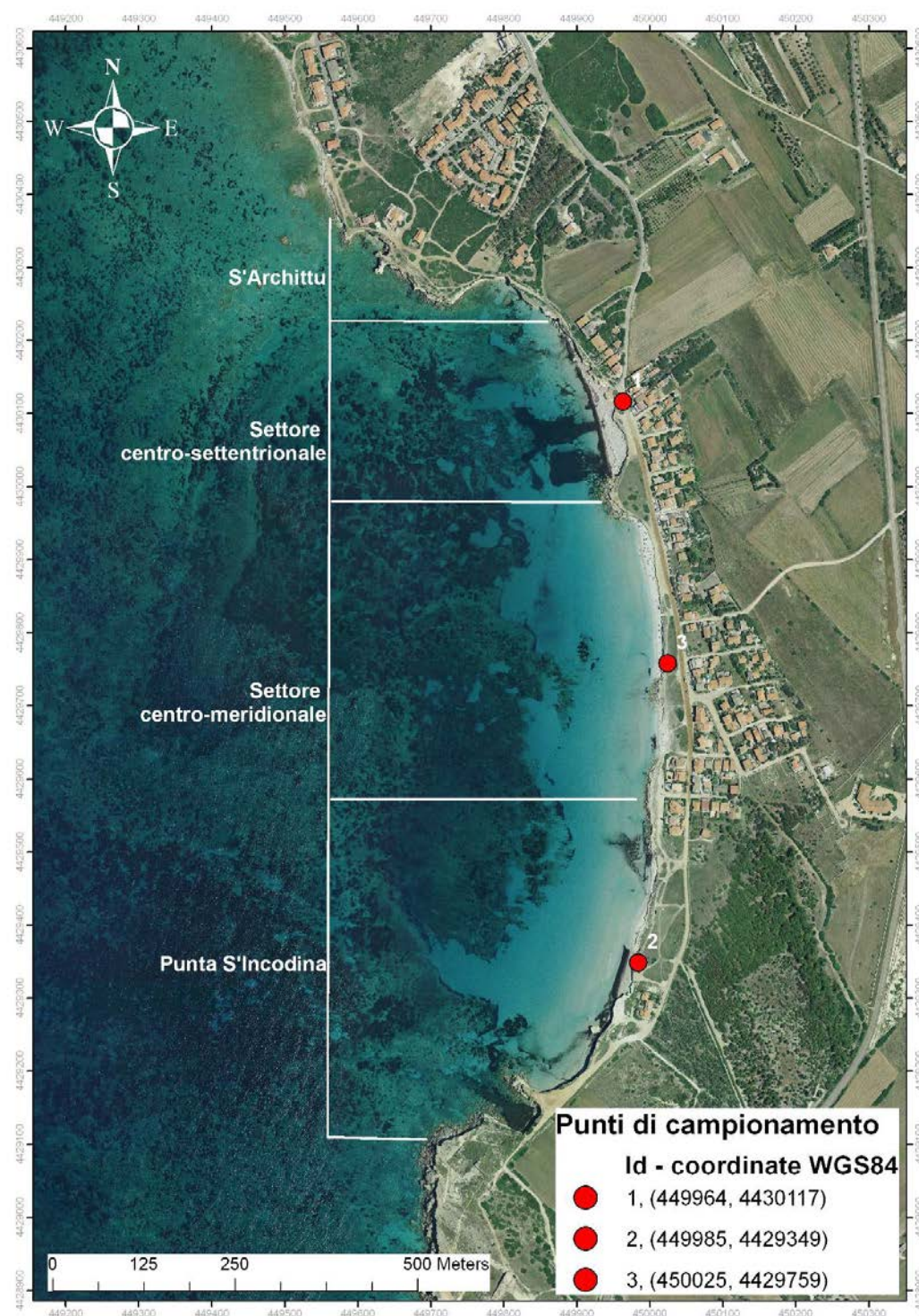


Figura 12: Stralcio planimetrico con l'ubicazione dei punti di prelievo dei campioni come previsto nel progetto "Interventi urgenti per la messa in sicurezza dei tratti di maggior rischio e alla mitigazione degli effetti delle dinamiche erosive nei punti di maggior intensità e incidenza nella linea costiera".