



# 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: [criteriaweb.com](mailto: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  
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

## 1.3.2 STUDIO GEOTECNICO

## Sommario

Sommario .....	1
1. PREMESSA .....	2
1.1. Normativa di riferimento .....	2
1.2. Inquadramento geografico .....	4
1 Obiettivi e metodi .....	5
2 DEFINIZIONE E ANALISI DEL MODELLO GEOTECNICO .....	6
2.1 Premessa allo studio geotecnico .....	6
2.2 Caratterizzazione sismica .....	7
2.2.1 Categoria di sottosuolo .....	7
2.2.2 Condizioni topografiche .....	8
2.2.3 Pericolosità sismica .....	8
2.2.4 Azione sismica locale e spettro di risposta elastico dell'area di studio .....	9
2.2.5 Suscettibilità alla liquefazione .....	11
2.2.6 Parametri sismici riferibili all'area compresa fra "S'Arena Scoada" e "Punta S'Archittu" .....	11
2.3 Indagine geognostica .....	13
2.4 Sondaggi geognostici e prove in situ .....	13
2.4.1 Indagine geofisica .....	15
1.3. Modello litologico .....	16
1.4. Modello geotecnico .....	17
1.4.1. Classificazione dell'ammasso roccioso della falesia fra Punta S'Archittu e S'Arena Scoada .....	18
2. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	26
3. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	28

## 1. PREMESSA

Il progetto, denominato *"Interventi urgenti per la messa in sicurezza dei tratti di maggior rischio e per la mitigazione degli effetti delle dinamiche erosive nei punti di maggior intensità e incidenza nella linea costiera in territorio del comune di San Vero Milis"*, riguarda due ambiti fisiografici dell'isola amministrativa esterna di San Vero Milis, facenti parte del più vasto sistema marino-costiero di Capo Mannu:

- ambito costiero a Sud di Capo Mannu, che comprende l'ambito di intervento di S'Anea Scoada (o S'Arena Scoada) e Punta S'Archittu.

Lo studio geotecnico sviluppato condotto attraverso la sintesi e l'elaborazione di dati disponibili in letteratura, i risultati delle indagini geognostiche, geofisiche e rilievo in situ, è finalizzato a fornire il supporto conoscitivo di base alla progettazione degli interventi di mitigazione dei fenomeni di dissesto geomorfologico, individuati lungo due tratti della costa occidentale del territorio comunale di San Vero Milis. I paraggi costieri interessati riguardano S'Arena Scoada e Punta S'Archittu. Le condizioni di instabilità osservate sono riferite a fenomeni di erosione costiera a carico di un tratto di costa alta, i tratti costieri citati sono caratterizzati da fenomeni di scalzamento alla base della falesia rocciosa, con conseguente recessione per crolli consecutivi delle morfologie che via via assumono profili aggettanti verso mare.

### 1.1. Normativa di riferimento

La normativa di interesse per il presente documento è illustrata nel prospetto seguente:

- 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 ed 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 - 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.).

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.

## 1 Obiettivi e metodi

La tipologia di dissesto prevalente a carico della costa alta lungo "S'Arena Scoada" e fino a "Punta S'Archittu è caratterizzata da instabilità da crollo per erosione al piede, identificata diffusamente nel settore centrale di S'Arena Scoada e, con pareti strapiombanti fino a 10 metri, verso "Punta S'Archittu

L'analisi delle caratteristiche litotecniche delle formazioni geologiche interessate è finalizzata al supporto tecnico progettuale degli interventi di mitigazione dell'erosione costiera.

Per lo studio dell'area sono state consultati i seguenti documenti bibliografici:

- consultazione archivi di dati storici su eventi franosi o condizioni di instabilità geologica registrate;
- 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 Vol. LX (2001);
- 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). S. Carboni, G. Tilocca, L. Lecca.

Al fine di meglio definire le caratteristiche dell'area di studio, dal punto di vista geotecnico si è rilevata in situ la condizione degli ammassi rocciosi e dei sedimenti litoranei sia con rilievi



diretti di tipo geologico tecnico sia con indagini dirette e indirette. In particolare l'indagine si è rivolta alla caratterizzazione delle litologie interessate dai crolli sia lungo il tratto costiero di S'Arena Scoada, con indagini geognostiche dirette e indagini sismiche.

## 2 DEFINIZIONE E ANALISI DEL MODELLO GEOTECNICO

### 2.1 Premessa allo studio geotecnico

Le opere dovranno mitigare la condizione di franosità imminente a carico delle pareti rocciose dell'area presenti lungo il tratto costiero di S'Arena Scoada, verso "Punta S'Archittu", la cui instabilità è causata, come premesso, da fenomeni di erosione al piede con conseguente innesco di crolli e arretramento delle falesie.

L'opera si inquadra nella definizione *costruzione semplice*, come indicato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (paragrafi 4.5.6.4, 7.8.1.9 delle NTC - 2008), rientrano in questa categoria infatti strutture iperstatiche regolari sia in pianta che in elevazione e con numero di piani non superiore a tre. Per tali tipologie di strutture, limitatamente alla zona sismica 4, possono applicarsi le regole valide per strutture non soggette ad azione sismica assumendo l'accelerazione di picco sul terreno  $A_g$  pari a 0,07g.

Le verifiche geotecniche analitiche sono state eseguite nel rispetto del Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (DM 14 gennaio 2008), Circolare sulle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008, Decreto Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988 e Circolare Ministero dei Lavori Pubblici del 24 settembre 1988 n. 30483. In particolare secondo quanto prescritto dalle NTC 2008, al paragrafo 2.7, è consentito, oltre il metodo agli stati limite, anche l'uso del metodo di verifica alle tensioni ammissibili in aree, come l'intero territorio regionale, ricadenti in zona sismica 4, limitatamente alle costruzioni che rispettino i seguenti requisiti: opere di tipo 1 o 2, nella fattispecie la classe è 2, opere ordinarie con vita nominale compresa fra 50 e 100 anni, e per le quali le classi d'uso siano I o II, nel caso in esame si tratta della classe II, con previsione di normali affollamenti senza funzioni pubbliche e sociali essenziali.

In riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14.01.08 (NTC) si valutano i parametri sismici, elaborati mediante l'algoritmo di calcolo "GeostruPS". Suddetti parametri sono riferiti ad un'opera di **Classe d'uso II**, che indica *normali costruzioni viarie o ferroviarie la cui eventuale interruzione non provoca situazioni di emergenza, le costruzioni per industrie con attività non pericolose, edifici e costruzioni con normali affollamenti, costruzioni senza funzioni pubbliche e sociali di rilevante importanza. E una vita nominale maggiore o uguale a 50 anni*

La verifica alla liquefazione può essere sempre omessa, qualora, come previsto dall'art. 7.11.4.2 al punto 2, le accelerazioni massime al piano di campagna in assenza di manufatti siano minori di 0,1g.

## 2.2 Caratterizzazione sismica

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3 delle NTC. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento e alle caratteristiche topografiche, con riferimento alle tabelle delle NTC nei capitoli 3.2.II 3.2.III.

La classificazione sismica del territorio nazionale è articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro  $a_g$ , accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di  $a_g$  espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. In particolare i comuni del territorio regionale si trovano tutti in Zona 4 cui corrisponde un'accelerazione di 0,05g

### 2.2.1 Categoria di sottosuolo

La categoria del suolo di fondazione è stata definita, secondo quanto specificato al punto 3.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni", sulla base del valore di  $V_{s30}$  (velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo) determinabile con prove geofisiche e con i valori di NSPT ricavati da prove eseguite in sondaggi geognostici. Per il presente lavoro non sono state eseguite indagini con metodi specifici finalizzati all'individuazione della  $V_{s30}$ , ma sono state eseguite prove sismiche e sondaggi geognostici che permettono di definire comunque in modo ragionevolmente preciso la stratigrafia e il tipo di sottosuolo ai sensi del NTC 2008.

Categorie di sottosuolo associate ai substrati riscontrati: categoria di **sottosuolo B**, indicante "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)", per le falesie rocciose di S'Arena Scoada e Punta S'Archittu; Le falesie sono composte da rocce particolarmente alterate, con caratteristiche meccaniche scadenti, tali da essere paragonabili, localmente a terreni molto consistenti.



### 2.2.2 Condizioni topografiche

Per quanto riguarda invece la categoria topografica, le aree sono caratterizzate da falesie con pendenze generalmente sub verticali. Le categorie topografiche, riferite a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, possono essere riassunte come segue: **T2**, pendii con inclinazioni superiori ai 15°.

### 2.2.3 Pericolosità sismica

Nella OPCM 3274, si assume come pericolosità di riferimento il valore dell'accelerazione orizzontale su suolo rigido (PGA) che ha probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (cioè con periodo di ritorno di 475 anni). Il rischio sismico è legato alla probabilità che si verifichi un evento sismico di date caratteristiche, e al danno che tale evento può arrecare. Per effetto di questa definizione, il rischio è cumulativo, ossia mette in conto le perdite complessive generate da terremoti diversi, eventualmente riportate su base annua.

Il danno va distinto fra persone e strutture. Come condizione per la salvaguardia della vita umana, le strutture devono possedere sufficienti riserve di resistenza, oltre il limite elastico, per sopportare le azioni di un terremoto di grande intensità senza giungere al collasso. Come condizione per limitare i danni alle costruzioni, le strutture devono essere progettate in modo da poter sopportare, in regime elastico, le sollecitazioni indotte da terremoti la cui intensità corrisponde, con riferimento alle caratteristiche sismiche della zona in esame, ad un periodo di ritorno dell'ordine della vita nominale della struttura (si assume in generale per gli edifici normali per abitazioni un tempo di ritorno dell'ordine di 100 anni), quindi di intensità minore rispetto a quanto indicato al punto precedente.

Il Rischio Sismico è definibile come la possibilità di perdita di proprietà o di funzionalità degli edifici e delle strutture in genere a causa di un terremoto. La stima quantitativa del rischio sismico può essere definita con la seguente relazione:

$$\text{Rischio Sismico} = \text{Pericolosità Sismica} * \text{Vulnerabilità} * \text{Esposizione}$$

Come specificato in precedenza, la zonazione sismica individua 4 zone:

- La Zona 1 - È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
- La Zona 2 - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- La Zona 3 - I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- La Zona 4 - È la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

I due indicatori di pericolosità che si utilizzano per la definizione di sismicità rappresentano due aspetti diversi dello stesso fenomeno e sono:

L'accelerazione orizzontale di picco, che illustra l'aspetto più propriamente fisico. Si tratta di una grandezza di interesse ingegneristico che viene utilizzata nella progettazione in quanto definisce le caratteristiche costruttive richieste agli edifici in zona sismica.

L'intensità macrosismica che invece rappresenta, in un certo senso, le conseguenze socioeconomiche. Essa descrive il grado di danneggiamento causato dai terremoti. Una carta di pericolosità di intensità macrosismica si avvicina, con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, al concetto di rischio sismico.

Secondo quanto riportato nelle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC-2008) per le zone collocate in Classe 4 non si prevedono particolari problematiche dal punto di vista sismico.

#### **2.2.4 Azione sismica locale e spettro di risposta elastico dell'area di studio**

La valutazione della pericolosità sismica locale è stata effettuata utilizzando la procedura indicata nelle NTC/2008 e nella successiva Circolare n°617/2009. La stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nell'All. B delle NTC/2008.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in tale sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Questo lasso di tempo è denominato "periodo di riferimento" VR, mentre la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR. Il periodo di riferimento VR è dato per ciascun tipo di costruzione dalla seguente relazione:

$$VR = VN \cdot CU$$

Dove:

VN = vita nominale della costruzione

CU = coefficiente d'uso dipendente dalla classe d'uso dell'opera

La vita nominale di una costruzione VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo alla quale è destinata.

La vita nominale, deve essere precisata nei documenti di progetto:

Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	VN≥10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	VN≥50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	VN≥100

La Classe d'uso nella quale sono suddivise le opere:

I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore del coefficiente d'uso  $C_u$  è definito, al variare della classe d'uso:

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_u$	0.7	1.0	1.5	2.0

Sulla base di quanto indicato nelle normative per le opere in progetto si assume cautelativamente,  **$VN \geq 50$  anni** e **classe d'uso II** a cui corrisponde un valore di  **$C_u$  pari a 1**.

Per quanto riguarda le probabilità PVR di superamento nel periodo di riferimento VR esse variano al variare dello stato limite considerato. I valori di riferimento per individuare l'azione sismica sono riportati nella tabella sottostante:

Stati Limite		PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Dove:

SLO è lo Stato Limite di Operatività;

SLD è lo Stato Limite di Danno;

SLV è lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita;

SLC è lo Stato Limite di prevenzione del Collasso.

Il periodo di ritorno TR, una volta fissato il periodo di riferimento VR e la probabilità di superamento PVR, si ricava mediante l'espressione:

$$TR = -VR / \ln(1 - PVR)$$

### 2.2.5 Suscettibilità alla liquefazione

Secondo le prescrizioni delle N.T.C., (Paragrafo 7.11.3.4.2), la verifica a liquefazione può essere omessa in quanto gli eventi sismici attesi di magnitudo M risultano inferiori a 5.

I valori superiori a 0,1g si raggiungono per tempi di ritorno di 2475 anni corrispondenti allo stato limite ultimo SLC.

### 2.2.6 Parametri sismici riferibili all'area compresa fra "S'Arena Scoada" e "Punta S'Archittu"

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.

Sardegna

Classe d'opera: II

Vita nominale: 50

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,019 g

Fo: 2,610

Tc\*: 0,273 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,024 g

Fo: 2,670

Tc\*: 0,296 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,050	g
Fo:	2,880	
Tc*:	0,340	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,060	g
Fo:	2,980	
Tc*:	0,372	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,430
St:	1,200
Kh:	0,005
Kv:	0,003
Amax:	0,263
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,400
St:	1,200
Kh:	0,007
Kv:	0,003
Amax:	0,332
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,360
St:	1,200
Kh:	0,014

Kv: 0,007  
Amax: 0,706  
Beta: 0,200  
SLC:  
Ss: 1,200  
Cc: 1,340  
St: 1,200  
Kh: 0,017  
Kv: 0,009  
Amax: 0,852  
Beta: 0,200

### 2.3 Indagine geognostica

L'indagine geognostica si è stata potata a termine nel mese di dicembre del 2017 con l'esecuzione di 2 sondaggi geognostici, con relative 2 prove SPT, una per sondaggio, entro il primo metro di profondità dal piano di campagna, e 2 stendimenti sismici finalizzati alla ricostruzione dell'andamento del substrato litoide nell'area prospiciente la falesia, fra S'Arena Scoada e Punta S'Archittu.

### 2.4 Sondaggi geognostici e prove in situ

La successione stratigrafica risulta abbastanza regolare, salvo locali variazioni, ad ogni modo si riconoscono tre litotipi caratterizzanti: dal basso abbiamo i calcari laminati marnosi, livelleti calcarei alternati a livelleti essenzialmente argillosi, al centro i calcari brecciati, al tetto le arenarie, non sempre presenti lungo il tratto di falesia analizzato. Localmente si riconoscono paleosuoli sotto le arenarie, le litologie carbonatiche presentano caratteri abbastanza diversificati. La caratterizzazione geotecnica comporta il riconoscimento delle caratteristiche meccaniche in particolare nelle aree di intervento e la ricostruzione della successione stratigrafica puntuale. Le perforazioni di sondaggio hanno lo scopo di ricostruire il profilo stratigrafico mediante esame dei campioni estratti, consentire il prelievo dei campioni per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche, valutare i livelli delle acque sotterranee, inoltre permettono di eseguire prove geotecniche in situ alle diverse profondità. Oltre gli indubbi vantaggi, di poter raggiungere le profondità di interesse per la definizione del modello geotecnico e la possibilità di estrarre campioni più o meno significativi del sottosuolo, hanno anche alcuni svantaggi, specialmente in terreni sciolti sabbiosi grossolani, come quelli del sito di interesse, svantaggi che possono essere la difficoltà di riconoscere livelli di piccolo spessore, la difficile attribuzione di una quota univoca ai materiali, che



inevitabilmente sono rimaneggiati dal movimento delle aste di sondaggio, così come la difficoltà e/o impossibilità di ottenere campioni indisturbati in terreni a grana grossa e infine l'alterazione delle caratteristiche tessiturali dei materiali prelevati, causata dal dilavamento ad opera delle acque presenti nel terreno o utilizzate dal sistema di perforazione. L'indagine geognostica effettuata, con due sondaggi a carotaggio continuo, fino a 5 metri di profondità dal piano di campagna, si vedano gli allegati, e due prove penetrometriche dinamiche entro il primo metro, nel livello carbonatico conglomeratico alterato, ha permesso di valutare le condizioni fisiche e stratigrafiche della falesia. I profili stratigrafici ottenuti durante la campagna di sondaggi geognostici sono stati utili per ricostruire la giacitura dei depositi e meglio definire le ipotesi geologiche sull'andamento delle stratificazioni. In particolare si è potuto valutare quanto la presenza di materiali argillosi caratterizzi l'ammasso roccioso, tanto da farlo apparire come una argilla limo-sabbiosa, ciò ha confermato quanto osservabile anche lungo le porzioni maggiormente alterate della falesia.

All'interno dei sondaggi geognostici sono state fatte due prove penetrometriche dinamiche, nello strato superiore più sabbioso e conglomeratico di quelli inferiori e maggiormente alterato. La prova consiste nell'infissione a percussione di uno speciale campionatore, di forma e dimensioni normalizzate, che penetrando nel terreno ne consente la classificazione in funzione della resistenza meccanica opposta alla penetrazione, valutata con il conteggio del numero di colpi necessari all'infissione di suddetto campionatore per 3 tratti di 15cm di lunghezza ciascuno. La prova è stata eseguita a fondo foro. Si tratta di una prova indicata per terreni sabbiosi. I risultati della prova consentono valutazioni *orientative* sui parametri di addensamento e, attraverso correlazioni, sui parametri meccanici delle terre analizzate.

Nella prova standard, secondo le indicazioni AGI, il campionatore deve avere aste di infissione di dimensione non inferiore a 50 mm e peso non superiore a  $7 \pm 0,5$  kg/m. Il maglio di battuta deve pesare  $63,5 \pm 0,5$  kg, e deve essere munito di un dispositivo di sgancio automatico che assicuri una caduta libera da  $76 \pm 2$  cm. Il foro deve essere ragionevolmente pulito al fine di eseguire la prova in terreno col minimo disturbo possibile. Nel caso di materiali sciolti nei quali le pareti non si autosostengano, possono essere protette con aste di rivestimento. Come premesso la prova consiste nel far calare il maglio sulle aste del campionatore al fine di ottenere la penetrazione dello stesso per tratti successivi di 15 cm, registrando per ogni tratto il numero di colpi necessari all'infissione. Il primo tratto è detto di avviamento e il numero di colpi indicato con la sigla N1, si considera rifiuto l'avanzamento su N1 con più di 50 colpi del maglio, il tratto successivo diviso in due porzioni uguali di 15 cm è la prova vera e propria i colpi necessari ai due avanzamenti dei primi 15 e dei secondi 15 sono indicati come N2 ed N3, il valore  $N2+N3$  è il dato della prova penetrometrica, indicato come

$N_{spt}$ , si noti che deve essere  $\leq 100$  perché la prova non sia considerata sospesa per rifiuto. Il ritmo di percussione è variabile fra 10 e 25 colpi al minuto.

In particolare nel sito di studio sono state effettuate 2 prove penetrometriche, una nel sondaggio S1 e una nel sondaggio S2, rispettivamente alla profondità di 1,05-1,5 metri dal piano di campagna e 0,85-1,3 metri dal piano di campagna, con i seguenti risultati:

Sondaggio	Profondità	N1	N2	N3	$N_{spt}$
S1	1,05-1,5	13	11	10	<b>21</b>
S2	0,85-1,3	2	4	5	<b>9</b>

In particolare in S1 su limi argillo-sabbiosi giallastri con frammenti arenacei e in S2 su sabbie tenere giallastre limo-argillose. I materiali testati sono risultati formalmente coesivi in entrambi i casi seppur con una componente arenacea, in questi casi le prove penetrometriche dinamiche risultano meno risolutive e esistono poche correlazioni e anche su queste ultime è necessaria una certa cautela.

#### 2.4.1 Indagine geofisica

I metodi geofisici sono in grado di fornire una rappresentazione globale dei volumi sepolti in termini di distribuzione verticale e laterale dei parametri fisici che caratterizzano le aree da investigare. In tal modo il numero delle indagini geognostiche può essere notevolmente ridotto e concentrato in aree indicate dall'indagine geofisica o laddove è necessario acquisire informazioni di maggior dettaglio.

Nell'area fra punta S'Archittu e S'Arena Scoada è stata realizzata una campagna di indagini geofisiche con il metodo della tomografia sismica a rifrazione allo scopo di definire le caratteristiche stratigrafiche del substrato roccioso e valutare se fossero presenti zone di debolezza lungo allineamenti preferenziali o in punti localizzati. In particolare sono state eseguite due stese sismiche con i geofoni posti con un passo di 2 m, e con sovrapposizione di circa il 50% delle stese sismiche, ottenendo in questo modo un dettaglio adeguato per gli scopi della ricerca.

La sezione sismica complessiva ha una lunghezza di circa 76 m e ha investigato fino ad una profondità di 12-13 m circa. L'analisi del profilo sismico evidenzia la presenza, fino alla profondità di circa 2 metri di un probabile copertura terrigena con un andamento tabulare, strato riferibile alle marne arenacee limo argillose giallastre più superficiali. L'analisi dei profili sismici mostra inoltre l'andamento irregolare dei valori di qualità dell'ammasso roccioso, correlabili a probabili zone di rilassamento, canali colmati o cedimenti a carico dei livelli inferiori sotto le spinte del carico litostatico, con conseguente deformazione delle condizioni giaciture. Ad ogni modo si rileva una netta disomogeneità nelle caratteristiche

meccaniche, anche in piccole distanze. Si rilevano Valori di RQD sempre inferiori al 5% per i primi 3 metri, compresi fra 5% e 10% fino a 4 metri, per arrivare a valori intorno al 30% fino a circa 5 - 6 metri e aumentare poi in modo netto fino al 40%-50% intorno agli 8 metri, mostrando maggiore regolarità. Le profondità di interesse si attestano entro i 5 - 6 metri, ragionevolmente rappresentativi del volume significativo.

### **1.3. Modello litologico**

A seguito di studi e analisi specifiche, effettuati sull'area d'interesse è stato possibile ricostruire con ragionevole precisione il modello litologico.

La fascia di costa compresa fra "S'Arena Scoada" e "Punta S'Archittu" ha morfologia pianeggiante con una brusca rottura di pendio sulla costa in corrispondenza delle falesie. Queste ultime sono di entità molto variabile da piccoli salti di altezza metrica e submetrica nel settore centrale di "S'Arena Scoada" fino ad altezze di 10 -13 metri nella zona di "Punta S'Archittu". Le falesie sono costituite prevalentemente da litologie carbonatiche e marnose laminate, alla base, con locali intercalazioni di livelli argillosi. Le pareti hanno basso grado di cementazione nei litotipi carbonatici e marnosi, le caratteristiche fratturazioni sono molto variabili e di ridotta persistenza, la frequente presenza di sottili livelli di argille e la debole resistenza alla compressione infine indicano come l'ammasso roccioso delle falesie sia particolarmente vulnerabile nei confronti dell'erosione costiera, mostrando un rapido processo di alterazione e arretramento. I calcari brecciatati dell'unità stratigrafica più alta, spesso protetti da un crostone arenitico di origine eolica risultano profondamente alterati e brecciatati per dissoluzione e inducono una forte variazione nel grado di competenza del corpo litoide nel suo complesso, con consistente indebolimento dell'ammasso roccioso. Al tetto si osserva una successione composta da paleosuoli, non sempre presenti e in genere di potenze limitate, evolutisi su depositi eluvio – colluviali, sormontati da livelli arenitici. I livelli arenitici, quando presenti, si trovano al tetto della successione e formano un crostone rigido dello spessore variabile da pochi decimetri al metro, localmente possono essere di poco superiori. Si fratturano in lastre di spessore variabili compatibili con la potenza dello strato, di estensione generalmente intorno al metro o poco più. In superficie, dove la copertura del suolo è assente, si osserva un sistema di fratture di apertura sub millimetrica riempite di materiale fine cementato, più resistente dell'arenaria stessa. Le fratture sulle arenarie e si presentano sempre verticali e orientate in modo disorganizzato, si tratta di giunti non sistemici che isolano porzioni o lastre di arenari di dimensioni in genere intorno al metro di forma grossomodo prismatica. Si stima comunque una estensione dei blocchi non interessati da giunti, di forma circa poliedrica regolare, variabile fra 1,5 m – 2,0 m, localmente di dimensioni superiori. questo permette l'instaurarsi di fenomeni di morfologie aggettanti molto evidenti,

quando le litologie sottostanti, carbonatiche marnose e argillose, vengono demolite e asportate. Si potrebbe affermare che le fratture nello strato arenitico superficiale siano in buona parte dovute alle condizioni delle rocce sottostanti, si osservano infatti fratture più sviluppate con aperture maggiori e riempite solo da materiali terrigeni come limi sabbiosi con frequente componente organica, via via che ci si avvicina alla parte maggiormente alterata sull'orlo della falesia. Si precisa però che tale livello arenitico non risulta sempre presente, talvolta la successione termina con un suolo poco evoluto al tetto di poche decine di centimetri al contatto con i calcari brecciati di Torre del Sevo.

#### **1.4. Modello geotecnico**

Il modello litologico indica le caratteristiche dei terreni e delle rocce per come si presentano in natura, il modello geotecnico deve tradurre tali considerazioni in funzione di un modello matematico che rappresenti al meglio il comportamento del sottosuolo indipendentemente o rispetto ad eventuali opere ingegneristiche. Al fine di individuare i meccanismi di comportamento più probabili si sono fatte assunzioni che ne hanno semplificato il modello, fornendo al contempo un carattere ragionevolmente cautelativo pur restando attendibile dal punto di vista delle analisi numeriche.

Le considerazioni di carattere stratigrafico sono ricavate principalmente da osservazioni e misurazioni dirette nei siti di intervento e da dati disponibili in bibliografia.

Sulla morfologia sub pianeggiante l'alimentazione delle falde superficiali è interamente a carico delle acque meteoriche, la cui infiltrazione è favorita dalla morfologia tabulare e dalla prevalente tessitura sabbiosa dei suoli. All'interno della massa rocciosa, così come si può osservare sulla parete della falesia, sono particolarmente attivi i processi di dissoluzione dei litotipi a composizione più francamente carbonatica. Questi processi innescano importanti fenomeni di dissoluzione, spesso fino al raggiungimento del livello stratigrafico delle masse argillose. In tal modo si innescano fenomeni di tipo sinkhole (depressione per dissoluzioni interne ai corpi rocciosi carbonatici, con drenaggio sotterraneo), con dei collassi di livelli superiori dei Calcari Laminati, che assumono una struttura brecciata in adattamento al progressivo riempimento dei vuoti da dissoluzione. Queste strutture espresse sulla parete della falesia individuano delle aree particolarmente critiche agli effetti della stabilità, con interessamento anche dell'unità stratigraficamente più alta, costituita dai calcari detritici e gessosi della Formazione di Torre del Sevo per via della sua struttura interna intensamente brecciata, di origine deposizionale o diagenetica, deformata e, solo in subordine, alterata dal carsismo. Per quanto non sia semplice osservare venute d'acqua nelle falesie esse sono comunque indicate in letteratura al contatto con i livelli più argillosi, che costituiscono una efficace barriera impermeabile.

#### 1.4.1. Classificazione dell'ammasso roccioso della falesia fra Punta S'Archittu e S'Arena Scoada

L'osservazione e l'analisi delle note bibliografiche su lavori compatibili a carico della costa in oggetto hanno permesso di fare alcune correlazioni, ragionevolmente attendibili per uno studio a carattere preliminare, sulle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti. In particolare i valori ricavabili dalla letteratura sono riferiti a litologie del tratto di costa "S'Arena Scoada" – "Punta S'Archittu" in particolare alle arenarie e ai calcari marnosi stratificati. I valori presi in considerazione possono con le dovute cautele essere di riferimento per i litotipi del tratto di costa di interesse.

I valori delle prove sclerometriche riportate in letteratura hanno fornito i seguenti valori:

<b>Arenarie</b>	<b>Calcari marnosi stratificati</b>
<i>Indice di rimbalzo 18,8</i>	<i>Indice di rimbalzo 21,8</i>

Tali valori, insieme con le densità apparenti, sono stati utilizzati per valutare graficamente la resistenza a compressione monoassiale dei litotipi in esame (Hoek 2000 modificato).

I calcari laminati (Formazione dei Calcari laminati del Sinis) si mostrano molto fratturati, possiedono dei giunti lisci, l'ammasso roccioso nel suo complesso (raccomandazioni IRSM) può definirsi alterato con riempimento mediamente compatto e il riempimento dei giunti è costituito principalmente da argilla e/o marna. Lo studio citato conclude che l'ammasso roccioso nel suo complesso ha un GSI = 30 ÷ 40. Nell'elaborazione col criterio di rottura di Hoek-Brown per i calcari usa un GSI = 31 che considera quello più rispondente alla realtà considerata) e il valore di  $\sigma_c = 21,52$  MPa (ridotto del 10% rispetto al valore di 23,91 MPa) per eseguire un calcolo cautelativo.







Rock Type: <input type="text" value="General"/> GSI Selection: <input type="text" value="0"/> <input type="button" value="OK"/>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	60	50
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Figura 2 schema per l'identificazione grafica del GSI (geological strength index, Hoek 2004)

Le arenarie eoliche si mostrano molto fratturate, possiedono dei giunti lisci, l'ammasso roccioso nel suo complesso (raccomandazioni IRSM) Viene definito moderatamente alterato, il riempimento dei giunti è generalmente assente. Lo studio citato conclude che l'ammasso roccioso nel suo complesso ha un  $GSI = 40 \div 50$ . Nello studio citato si è preferito usare un  $GSI = 45$ , giudicato più rispondente alla realtà considerata, e il valore di  $\sigma_c = 17,41$  MPa (ridotto del 10% rispetto al valore di 19,35 MPa) per eseguire un calcolo cautelativo.

Alla luce degli studi di dettaglio e delle osservazioni sui litotipi del tratto di costa di S'Arena Scoada – Punta S' Archittu si è rilevata una condizione meno favorevole di quella descritta, se non per le arenarie, che rispondo alla descrizione in modo abbastanza fedele, per i litotipi carbonatici e marnoso arenacei. Essi si presentano particolarmente alterati, in particolar modo nei livelli superiori, conglomeratici, e nelle superfici delle falesie. Le argille si presentano plastiche e i litotipi estremamente degradati. Per valutare la durezza dei livelli conglomeratici si può considerare che, secondo quanto indicato dalle raccomandazioni ISRM su valutazioni speditive su litotipi in campagna, una roccia che si incide con l'unghia o si sbriciola alla pressione delle mani può essere può avere una resistenza a compressione monoassiale compresa fra 0,25 – 1 MPa, tendenzialmente si ritiene che il di **1 MPa** possa rappresentare la



resistenza caratteristica della roccia, fatta salva la crosta di alterazione superficiale esposta, nelle condizioni di alterazione così come osservata nelle aree maggiormente soggette a erosioni e crolli, mentre nei livelli maggiormente consistenti, in particolar modo lungo la spiaggia di S'Arena Scoada essa si presenta più tenace e marginalmente più resistente ma in ogni caso, sempre con riferimento alle indicazioni ISRM, si osserva che La punta lascia deboli buchi, lastre sottili si rompono con forti pressioni delle mani, condizioni cui sono associabili range di resistenza a compressione monoassiale nell'ordine di 5 – 25 MPa da cui ne deriva una resistenza a compressione monoassiale che si ritiene ragionevolmente rappresentata dal valore di **15 MPa**, valore associabile anche ai livelli di calcare laminato alla base. Il valore di GSI, riferibili ai depositi più superficiali marnosi conglomeratici limo-argillosi senza evidenti linee di frattura o con fratturazioni non sistemiche mediamente diffuse, possono essere valutati in un range fra **15 e 20**, anche considerando le condizioni di alterazione in cui si presenta il litotipo. I calcari laminati per la presenza di livelli di intercalazione francamente argillosi si stima possano avere valori di GSI nell'ordine dei **20 – 30** punti.

Dalle indagini geognostiche e sismiche si può notare come la componente limo argillosa sia preponderante nel deposito e di come il grado di alterazione si riduca sensibilmente in funzione della distanza dalla costa, pur mantenendo la roccia proprietà meccaniche di scarso rilievo. In particolare da prove SPT nei due fori di sondaggio è possibile con le dovute cautele, vista la forte variabilità deducibile dalle indagini sismiche, trattandosi di materiali argillosi apparentemente coesivi, correlare valori della **coesione non drenata Cu**:

Autore	Relazione	Stima Cu su S1 (kg/cm <sup>2</sup> )	Stima Cu su S2 (kg/cm <sup>2</sup> )
Terzaghi (argille di media plasticità)	$Cu=0.067N_{spt}$	0.603	1.407
DM-7 (Argille di media plasticità)	$Cu=0.074N_{spt}$	0.666	1.554
Sanglerat (Argille limo-sabbiose)	$Cu=0.067N_{spt}$	0.603	1.407

Come già detto i valori non devono essere presi in considerazione come assoluti, sono comunque indicativi del diverso stato di alterazione del substrato marnoso conglomeratico molto vicino alla costa in un'area fortemente alterata il primo e marginalmente più interno e protetto il secondo.

I risultati delle analisi sui litotipi di interesse sono riassunti nella seguente tabella riassuntiva:

#### Arenarie eoliche

##### Hoek Brown Classification

sigci	19.35	MPa
GSI	45	
mi	13	
D	0.7	
Ei	3870	

##### Hoek Brown Criterion

mb	0.633162	
s	0.000345328	
a	0.508086	

##### Failure Envelope Range

Application	Slopes	
sig3max	0.095945	MPa
Unit Weight	0.017	MN/m3
Slope Height	6	m

#### Mohr-Coulomb Fit

<b>c</b>	<b>0.0609615</b>	<b>MPa</b>
<b>phi</b>	<b>53.6131</b>	<b>degrees</b>

##### Rock Mass Parameters

sigt	-0.0105535	MPa
sigc	0.337137	MPa
sigcm	1.98832	MPa
Erm	302.86	MPa

#### Calcarei marnosi massivi conglomeratici limo argillosi

##### Hoek Brown Classification

sigci	1	MPa
GSI	17	
mi	7	
D	0	
Ei	100	

##### Hoek Brown Criterion

mb	0.361181	
s	9.88188e-005	
a	0.553448	

##### Failure Envelope Range

Application	Slopes	
sig3max	0.0392372	MPa
Unit Weight	0.018	MN/m3
Slope Height	3	m

#### Mohr-Coulomb Fit

<b>c</b>	<b>0.00632839</b>	<b>MPa</b>
<b>phi</b>	<b>30.1387</b>	<b>degrees</b>

##### Rock Mass Parameters

sigt	-0.000273599	MPa
sigc	0.00607231	MPa
sigcm	0.0597749	MPa
Erm	3.96643	MPa

**Calcari laminati con intercalazioni argillose di spessore  
da centimetrico a millimetrico**

Hoek Brown Classification

sigci	15	MPa
GSI	20	
mi	7	
D	0	
Ei	1500	

Hoek Brown Criterion

mb	0.402028	
s	0.000137913	
a	0.543721	

Failure Envelope Range

Application	Slopes	
sig3max	0.0805182	MPa
Unit Weight	0.018	MN/m3
Slope Height	5	m

**Mohr-Coulomb Fit**

<b>c</b>	<b>0.0308801</b>	<b>MPa</b>
<b>phi</b>	<b>46.692</b>	<b>degrees</b>

Rock Mass Parameters

sigt	-0.00514564	MPa
sigc	0.11943	MPa
sigcm	1.00516	MPa
Erm	68.5074	MPa

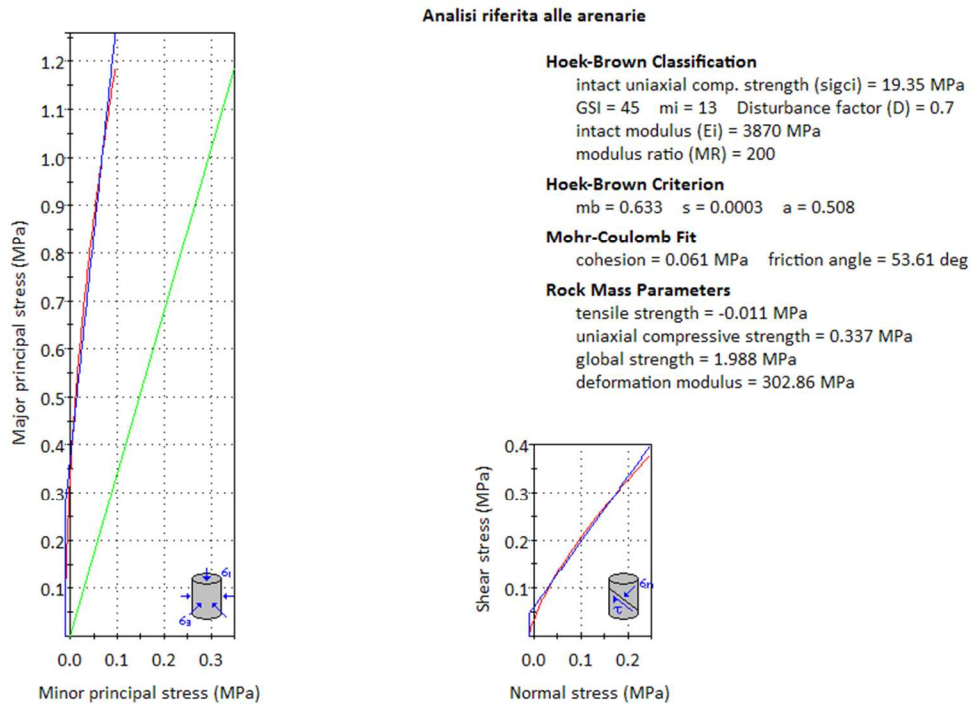


Figura 3 - Analisi con il criterio di rottura di Hoek, riferito alle arenarie eoliche, in blu la linea di involucro di Mohr Coulomb.

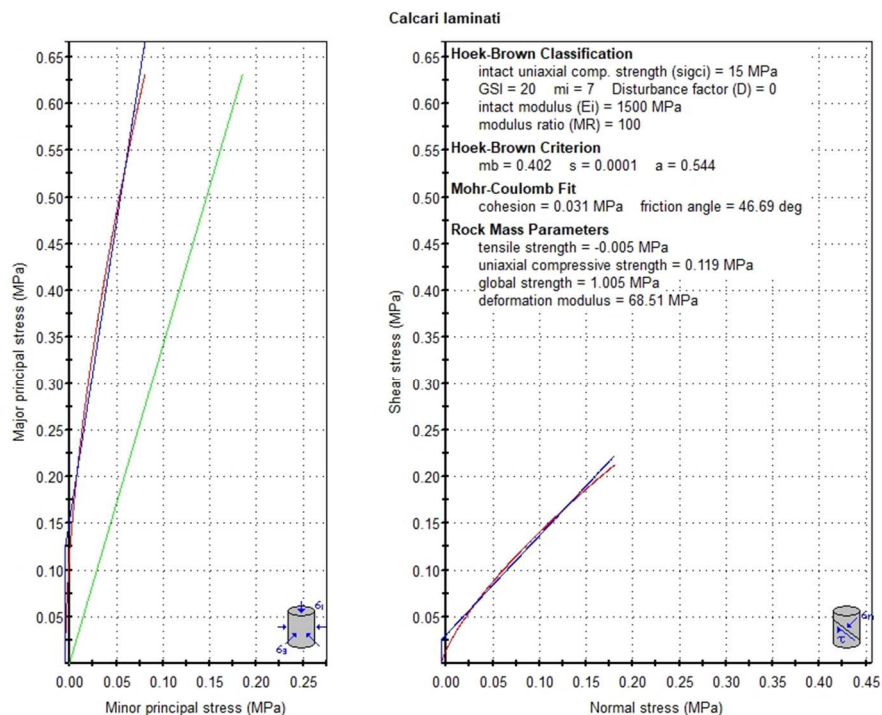


Figura 4 - Analisi con il criterio di rottura di Hoek, riferito ai calcari laminati, in blu la linea di involucro di Mohr Coulomb

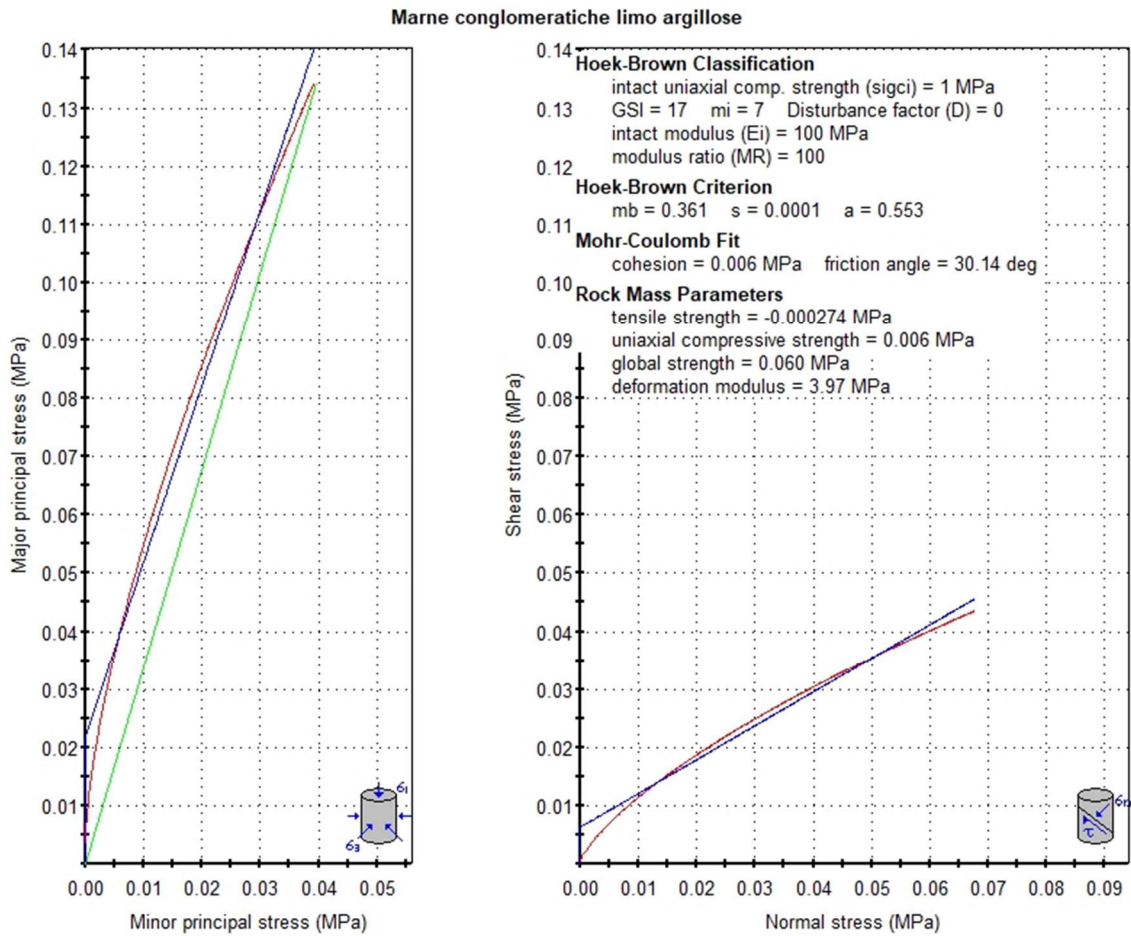


Figura 5 Analisi con il criterio di rottura di Hoek, riferito alle Marne conglomeratiche limo argillose del livello superiore, in blu la linea di involucro di Mohr Coulomb.

<b>Arenarie eoliche</b>	$\phi' = 53,61^\circ$	$c' = 60,96$ KPa	$\gamma = 17,90$ KN/m <sup>3</sup>
<b>Coltre eluvio colluviale</b>	$\phi' = 25^\circ$	$c' = 5$ KPa	$\gamma = 17,00$ KN/m <sup>3</sup>
<b>Marne conglomeratiche limo argillose</b>	$\phi' = 30,14^\circ$	$c' = 6$ KPa	$\gamma = 18,00$ KN/m <sup>3</sup>
<b>Calcarei marnosi laminati</b>	$\phi' = 46,7^\circ$	$c' = 31$ KPa	$\gamma = 18,00$ KN/m <sup>3</sup>

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

Si fa notare che esiste un livello terrigeno di piccolo spessore, pochi decimetri, di natura eluvio colluviale, probabilmente un paleosuolo, all'interfaccia fra calcari brecciati e arenarie



**Figura 6 : falesia attiva nel tratto nord di S'Architeddu.**

al tetto, non sempre presente ma interessante per il forte contrasto di caratteristiche meccaniche con le rocce incassanti che interrompe bruscamente la continuità verticale della falesia.





**Figura 7 settore di S'Archittu. Sulla sinistra è evidente una paleogrotta interessata dal collasso della volta**

## **2. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

La costa del comune di San Vero Milis è caratterizzata da condizioni di intensa regressione costiera.

La zona fra “Punta S'Archittu” e “S'Arena Scoada” è caratterizzata da falesie di altezza variabile fra i 4 e gli 8 metri circa, con rari ed effimeri depositi sabbiosi litorali alla base anche abbastanza importanti come nel tratto litoraneo, lungo la SP66. La regressione costiera, a spese delle falesie citate si opera per erosione al piede e successivo crollo delle pareti sub verticali. Laddove le locali litologie arenitiche, al tetto della successione, sono più potenti si riscontrano profili dalla morfologia aggettante, dovuti alla maggiore resistenza delle arenarie rispetto alle litologie carbonatiche e marnose sottostanti, non è raro comunque riscontrate tali morfologie anche laddove la copertura è costituita essenzialmente da marne conglomeratiche, si osservano infatti cavità anche abbastanza sviluppate, in genere intorno ai 2-4 metri al disotto di questi litotipi. Tali forme risultano particolarmente pericolose per la possibilità di movimenti parossistici per crollo di masse rocciose di volumi anche rilevanti, possono infatti essere considerate le condizioni a maggiore pericolosità. I metodi individuati per la protezione costiera e mitigazione della pericolosità intrinseca sono le protezioni al piede con materassi di massi del peso approssimativo di 3 – 5 ton su una copertura di pietrame protetta da un telo di geotessuto a grammatura pesante. Le opere indicate hanno la duplice funzione di stabilizzare la falesia e soprattutto bloccare l'erosione costiera ad

opera del moto ondoso. In questa fase sono state approfondite le conoscenze sulle caratteristiche meccaniche delle rocce e delle terre interessate dalle opere, attraverso lo studio delle caratteristiche fisiche, con rilievi, indagini dirette, indagini indirette e confronti con le pubblicazioni disponibili, con la finalità di definire un modello geotecnico ragionevolmente rappresentativo delle condizioni riscontrate in situ. Si può concludere infine che i dati rilevati forniscono in questa fase progettuale un quadro esaustivo delle caratteristiche meccaniche utili alla definizione del comportamento dei litotipi nelle condizioni attuali e in risposta agli interventi proposti.

### 3. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Di seguito sono elencati i principali riferimenti documentali da cui sono estratti alcune descrizioni dei caratteri geologici e geotecnici delle 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