



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

Progetto Preliminare

Il Sindaco
Luigi Tedeschi

Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Sara Angius

Responsabile dell'Ufficio Tecnico
Ing. Alessandro Naitana

GRUPPO DI LAVORO



Criteria Srl (Mandataria)

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

Arch. Paolo Falqui – *direttore tecnico*

Geol. Maurizio Costa – *direttore tecnico*

Ing. Francesca Etzi



PRIMA INGEGNERIA STP S.S. (mandante)

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

Ing. Maurizio Verzoni

Ing. Pietro Chiavaccini

Ing. Nicola Buchignani

Ing. Nicola Verzoni

Progettazione

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

Geologia e Geotecnica

Geol. Maurizio Costa
Geol. Antonio Pitzalis
Geol. Giuseppe Serventi

Aspetti ambientali e naturalistici

Biol. Patrizia Carla Sechi
Biol. Francesca Frau
Nat. Riccardo Frau

Analisi meteomarine
Ing. Pietro Chiavaccini

Sicurezza
Ing. Nicola Buchignani

GIS e Cartografia
Cinzia Marcella Orrù

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

1.5.2 STUDIO GEOTECNICO

1. PREMESSA	2
1.1. Normativa di riferimento	2
1.2. Inquadramento geografico	3
1.3. Obiettivi e metodi.....	5
2. DEFINIZIONE E ANALISI DEL MODELLO GEOTECNICO	5
2.1. Premessa allo studio geotecnico	5
2.2. Pericolosità sismica.....	6
2.2.1. Parametri sismici riferiti all'area compresa fra "Punta De S'Incòdina" e "Punta S'Archittu"	7
2.2.2. Parametri sismici relativi al settore dunale di "Su Pallosu"	9
2.2.3. Parametri sismici riferiti al litorale di "Su Pallosu", area prospiciente l'abitato.....	11
2.3. Dati geognostici.....	13
2.4. Litologia del substrato.....	13
2.5. Modello geotecnico	15
2.5.1. Classificazione dell'ammasso roccioso della falesia di S'Arena Scoada	16
2.5.2. Considerazioni geotecniche sulla zona di "Su Pallosu"	22
2.6. Indagine geognostica di approfondimento.....	26
2.6.1. Area di Su Pallosu	26
2.6.2. Area S'Arena Scoada	30
3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	37
4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	39

1. PREMESSA

Lo studio geotecnico sviluppato in questa fase preliminare, condotto prevalentemente sulla base di elaborazioni di dati disponibili in letteratura, è finalizzato a fornire il supporto conoscitivo di base alle ipotesi di intervento avanzate per la 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 Su Pallosu. Le condizioni di instabilità osservate sono riferite a fenomeni di erosione costiera a carico di un tratto di costa alta e rocciosa per S'Arena Scoada e ad un tratto di costa prevalentemente sabbiosa per Su Pallosu, caratterizzati rispettivamente da fenomeni di scalzamento al piede della falesia con frane per crollo, e avanzati processi di regressione della linea di riva con erosione al piede delle formazioni dunari sabbiose retrostanti.

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 Stralcio dell'ortofoto del 2008 con l'ubicazione delle aree di intervento di Su Pallosu



Figura 2 - Stralcio dell'ortofoto del 2008 con l'ubicazione delle aree di intervento di S' Arena Scoada

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

L'area è individuata dalla seguente cartografia ufficiale:

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

1.3. Obiettivi e metodi

Esistono essenzialmente due tipologie di dissesto differenti per i due settori costieri. La prima a carico della costa alta lungo "S'Arena Scoada" e fino a "Punta S'Archittu". In generale si tratta di elementi di instabilità da crollo per erosione al piede, localizzati e di lieve entità nel settore centrale di S'Arena Scoada e di entità più rilevante, con pareti strapiombanti fino a 10-15 metri, verso "Punta S'Archittu" a nord e "Punta de S'Incòdina" a Sud. La seconda tipologia che riguarda Su Pallosu è una situazione di instabilità a carico della costa sabbiosa per erosione e arretramento della linea di riva che gradualmente si è spostata in tempi relativamente brevi quasi a lambire le abitazioni retrostanti.

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.

2. DEFINIZIONE E ANALISI DEL MODELLO GEOTECNICO

2.1. Premessa allo studio geotecnico

Le opere dovranno contenere, da un lato, la condizione di franosità imminente a carico delle pareti rocciose dell'area di compresa fra "Punta De S'Incòdina" fino a "Punta S'Archittu", la cui instabilità è causata da fenomeni di erosione al piede con conseguente

innesco di fenomeni franosi di crollo e conseguente arretramento delle pareti rocciose, dall'altro dovranno mitigare il fenomeno di erosione molto accentuato che interessa la zona di "Su Pallosu", il progressivo arretramento della linea di costa sia a carico dell'area prospiciente l'abitato che, più a Ovest, il piede della duna.

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.

I calcoli sulla portanza sono stati eseguiti 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 il metodo di verifica alle tensioni ammissibili in luogo del calcolo agli stati limite, solo ed esclusivamente 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*. La **vita nominale di 50 anni**, indica il numero di anni durante i quali una struttura deve poter essere usata per lo scopo per cui è stata progettata.

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. Pericolosità 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. In particolare ci si riferisce alla categoria di sottosuolo A, indicante amassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m, per le pareti rocciose subverticali, categoria del sottosuolo E, riferita a terreni dei sottosuoli di tipo C o D, caratterizzati da Vs inferiori a 360 m/s, per spessori non superiori a 20 m posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s), riferita alla zona di "Su Pallosu", e alle condizioni topografiche T2, riferite a pendii con inclinazioni superiori ai 15° e T1 per il settore subpianeggiante prospiciente il centro abitato.

2.2.1. Parametri sismici riferiti all'area compresa fra "Punta De S'Incòdina" e "Punta S'Archittu"

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.

Sardegna

Classe intervento: II

Vita nominale: 50

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A

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:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,004
Kv:	0,002
Amax:	0,219
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,006
Kv:	0,003
Amax:	0,277
Beta:	0,200

SLV:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0,588
Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,710
Beta: 0,200

2.2.2. Parametri sismici relativi al settore dunale di "Su Pallosu"

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.

Sardegna

Classe d'opera: II

Vita nominale: 50

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

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:	1,600
Cc:	1,930
St:	1,200
Kh:	0,007
Kv:	0,004
Amax:	0,350
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,600
Cc:	1,870
St:	1,200
Kh:	0,009
Kv:	0,005
Amax:	0,442
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,600
Cc:	1,770
St:	1,200

Kh:	0,019
Kv:	0,010
Amax:	0,941
Beta:	0,200
SLC:	
Ss:	1,600
Cc:	1,710
St:	1,200
Kh:	0,023
Kv:	0,012
Amax:	1,135
Beta:	0,200

2.2.3. Parametri sismici riferiti al litorale di "Su Pallosu", area prospiciente l'abitato.

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.

Sardegna

Classe d'opera: II

Vita nominale: 50

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T1

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: 1,600
Cc: 1,930
St: 1,000
Kh: 0,006
Kv: 0,003
Amax: 0,292
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,600
Cc: 1,870
St: 1,000
Kh: 0,008
Kv: 0,004
Amax: 0,369
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,600
Cc: 1,770
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,785
Beta: 0,200

SLC:

Ss:	1,600
Cc:	1,710
St:	1,000
Kh:	0,019
Kv:	0,010
Amax:	0,946
Beta:	0,200

2.3. Dati geognostici

Trattandosi della fase di progettazione preliminare l'indagine si è rivolta specificatamente all'analisi qualitativa delle caratteristiche della porzione di roccia costituente il volume significativo, valutato, tenendo conto delle condizioni litologiche, degli interventi poco invasivi e delle indicazioni AGI in 2 o 3 metri di profondità rispetto alla base delle falesie.

L'indagine, trattandosi di un substrato prevalentemente lapideo, bedrock affiorante o sub affiorante, sotto una coltre di copertura composta prevalentemente da terreno vegetale sabbioso poco consistente, si è concentrata sull'osservazione delle caratteristiche geometriche dell'ammasso roccioso. I dati geomeccanici derivano dallo studio intitolato *"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) di S. Carboni, G. Tilocca, L. Lecca."* In particolare in accordo con i dati di letteratura si è potuto ricostruire il quadro delle caratteristiche meccaniche dei litotipi con ragionevole affidabilità.

Quindi il modello geotecnico, è stata ricostruito, a partire dalle evidenze geologiche dell'area, dalle notizie bibliografiche e osservazioni su elementi locali, limitrofi e compatibili, e in riferimento alle indagini geologiche di lavori simili o comunque compatibili con lo studio in oggetto. I profili stratigrafici sono stati elaborati a partire dallo studio delle conoscenze bibliografiche pregresse e dall'analisi durante i sopralluoghi sul sito.

2.4. Litologia del substrato

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

In riferimento all'area di Su Pallosu le morfologie sono in generale subpianeggianti, per quanto riguarda l'area prossima all'abitato, procedendo verso Nord le acclività aumentano in modo considerevole fino a raggiungere acclività dell'ordine dei 45° - 50° sulle dune. Il substrato roccioso è costituito principalmente da brecce calcaree, calciruditi e conglomerati litoranei sul substrato roccioso si osserva un sottile strato arenaceo litoraneo attuale, limitato

ad una fascia di ampiezza generalmente inferiore ai 2 metri, localmente più estesa ma sempre entro i 4. In contatto col bedrock si trovano depositi di natura terrigena pedogenizzati in epoche precedenti (Paleosuoli, si tratta prevalentemente di depositi eluvio-colluviali addensati di composizione arenaceo limosa di colore bruno rossastro e di spessore variabile da poche decine di centimetri a circa 2 metri, in corrispondenza dell'abitato. Il settore dunale, più a Nord, presenta alla base un livello potente circa un metro di arenarie eoliche pleistoceniche, quindi un livello di materiali terrigeni di origine eluvio-colluviali con presenza di una potenziale paleosuolo all'apice, quindi un livello dello spessore di circa 1,5 metri di sabbie eoliche rimaneggiate, ancora una intercalazione di un paleosuoli di spessore submetrico, quindi una copertura potente alcuni metri di sabbie eoliche attuali ben classate con intercalati livelli o blocchi di arenarie debolmente cementate. La granulometria delle sabbie è generalmente medio-fine con locali livelli di granulometria maggiore.

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 brecciati dell'unità stratigrafica più alta, spesso protetti da un crostone arenitico risultano profondamente alterati e brecciati 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 submillimetrica riempite di materiale fine cementato, più resistente dell'arenaria stessa. Le fratture sulle arenarie non sono facilmente classificabili secondo le famiglie di giunti per la forte irregolarità relativa all'andamento dei giunti, in genere subverticali. Si stima comunque una estensione dei blocchi non interessati

da giunti, di forma circa poliedrica regolare, variabile fra 1,5m – 3,0 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.

2.5. 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 dai dati delle pubblicazioni consultate e da osservazioni e misurazioni dirette nei siti di intervento.

Sulla morfologia subpianeggiante 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.

2.5.1. Classificazione dell'ammasso roccioso della falesia di 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", alle arenarie a 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:

Arenarie	Calcari marnosi stratificati
<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: General OK		SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: 0		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 3 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.

I risultati delle analisi sono riassunti nella seguente tabella riassuntiva, nelle Figura 4 e Figura 5.

Arenarie

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

c	0.0609615	MPa
phi	53.6131	degrees

Rock Mass Parameters

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

Calcari marnosi stratificati

Hoek Brown Classification

sigci	21.52	MPa
GSI	31	
mi	9	
D	0.7	
Ei	17216	

Hoek Brown Criterion

mb	0.203115	
s	4.53999e-005	
a	0.520889	

Failure Envelope Range

Application	Slopes	
sig3max	0.104383	MPa
Unit Weight	0.0197	MN/m3
Slope Height	6	m

Mohr-Coulomb Fit

c	0.036576	MPa
phi	43.6897	degrees

Rock Mass Parameters

sigt	-0.00481012	MPa
sigc	0.117666	MPa
sigcm	1.14268	MPa
Erm	644.596	MPa

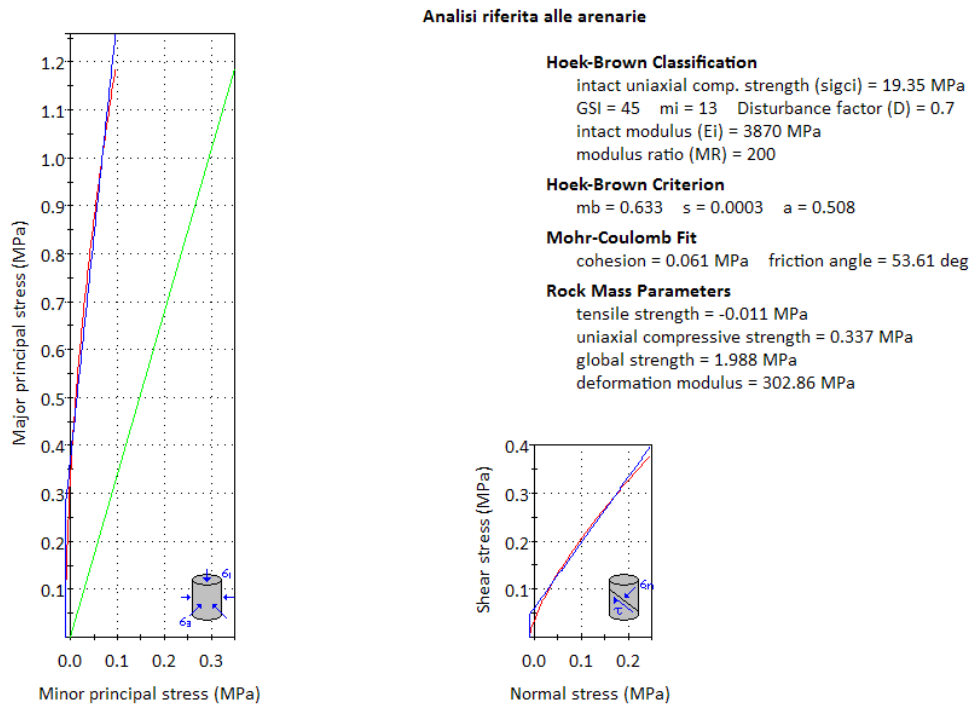


Figura 4 - Analisi con il criterio di rottura di Hoek, riferito alle arenarie, in blu la linea di inviluppo di Mohr Coulomb.

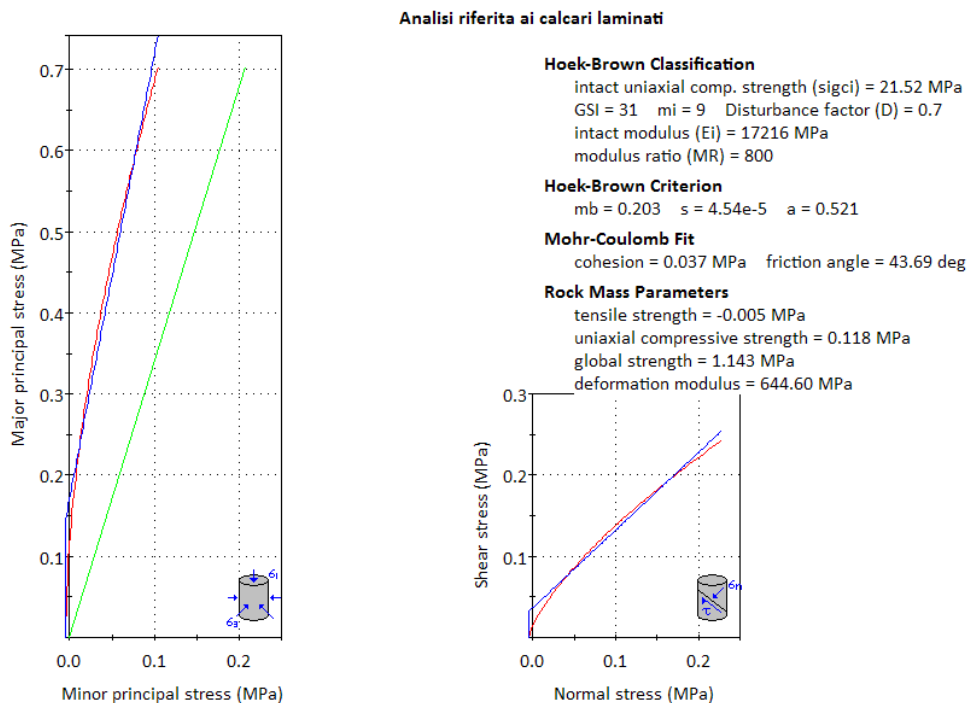


Figura 5 - Analisi con il criterio di rottura di Hoek, riferito ai calcari, in blu la linea di inviluppo di Mohr Coulomb

Non sono state oggetto di uno studio particolare le altre litologie, calcari brecciati, e i materiali sciolti, di natura eluvio-colluviale e le sabbie dunali. I primi rivestono una importanza particolare nello studio delle condizioni geomeccaniche della falesia essendo il litotipo intermedio fra quelli classificati. I secondi sono invece caratteristici della zona di "Su Pallosu", dove l'erosione marina genera una dinamica regressiva della linea di costa a spese delle dune e del deposito eluvio-colluviale. Al fine di meglio definire, preliminarmente, un modello geotecnico quanto più attendibile possibile si forniranno valori, ragionevolmente cautelativi, che si ritiene possano rappresentare le condizioni locali. Ad un'analisi visiva i calcari brecciati si presentano particolarmente alterati per dissoluzione e fratturati con giunti aperti subverticali o ad andamento irregolare. Ad un'analisi qualitativa si può associare ai calcari brecciati un valore di GSI di 30 compatibile con un ammasso roccioso che presenta una discreta fratturazione con più di 4 sistemi di fratture e condizioni di alterazione, anche per decarbonatazione importante. Il valore della resistenza a compressione monoassiale in accordo ai metodi speditivi di valutazione proposti dall'ISRM e da osservazioni dirette e confronti con le altre litologie limitrofe, di cui si conoscono dati geomeccanici, si può stimare in 18 - 20 MPa da cui si preferisce il valore di 18MPa a favore di cautela. Il peso di volume stimato è di 18 KPa, il 10% inferiore al calcare marnoso laminare per la maggiore porosità osservata. Ne segue in termini di analisi:

Calcare brecciato

Hoek Brown Classification

sigci	18	MPa
GSI	30	
mi	10	
D	0.7	
Ei	5220	

Hoek Brown Criterion

mb	0.213617	
s	3.92748e-005	
a	0.522344	

Failure Envelope Range

Application	Slopes	
sig3max	0.0947629	MPa
Unit Weight	0.018	MN/m3
Slope Height	6	m

Mohr-Coulomb Fit

c	0.0314115	MPa
phi	43.4115	degrees

Rock Mass Parameters

sigt	-0.0033094	MPa
sigc	0.089926	MPa

sigcm 0.972011 MPa
Erm 187.728 Mpa

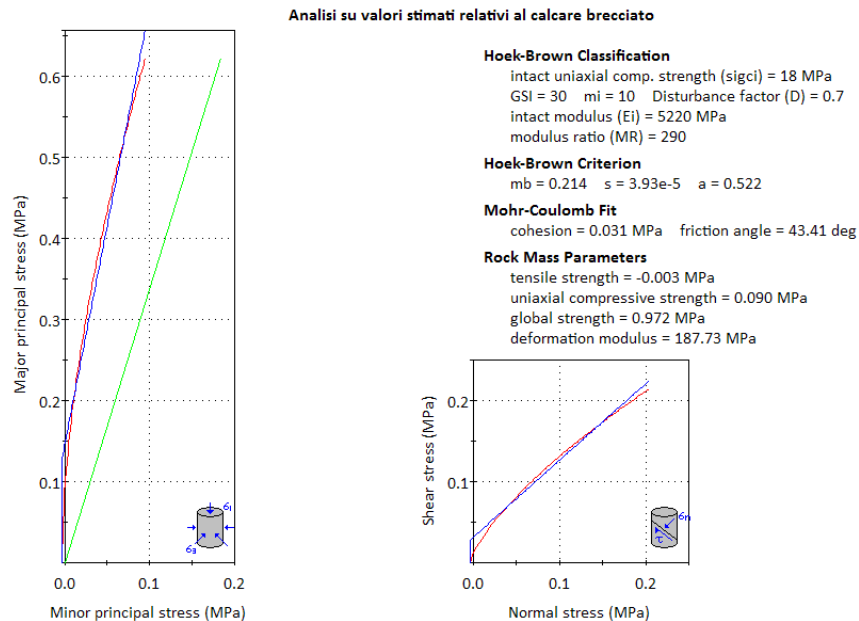


Figura 6 - Analisi con il criterio di rottura di Hoek, riferita ai calcari brecciati, in blu la linea di inviluppo di Mohr Coulomb

In conclusione gli elementi litologici relativi alla costa alta in corrispondenza "S'Area Scoada" si possono sintetizzare da un punto di vista geomeccanico secondo il criterio di Mohr Coulomb come:

Arenarie	$\phi'=53,61^\circ$	$c'=60,96$ KPa	$\gamma=17,90$ KN/m ³
Calcari brecciati	$\phi'=43,41^\circ$	$c'=31,41$ KPa	$\gamma=18,00$ KN/m ³
Calcari marnosi laminati	$\phi'=43,69^\circ$	$c'=36,58$ KPa	$\gamma=19,70$ KN/m ³

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, probabilmente un paleosuolo, all'interfaccia fra calcari brecciati e arenarie 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.

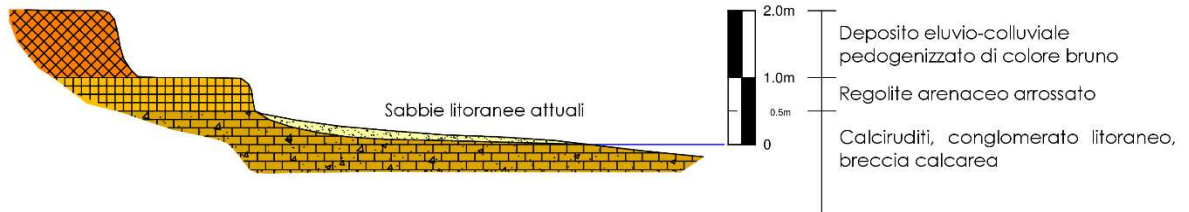


Figura 7 Punta S'Archittu, particolare dell'importante sistema regressivo costiero a carico della falesia. Dall'alto verso il basso: arenaria con morfologie localmente aggettanti, calcari braccati e calcari laminati alla base

2.5.2. Considerazioni geotecniche sulla zona di “Su Pallosu”

L'area di Su Pallosu è caratterizzata da depositi di natura terrigena prevalente. In particolare possiamo distinguere due aree principali. In generale i depositi sono sabbie limose con rara ghiaia di dimensioni medie, di colore rosso bruno, risultano più chiare quando asciutte. Gli spessori sono variabili nella maggior parte dei casi comunque entro i due metri, crescenti verso la zona delle costruzioni, verso Nord. Il basamento, individuato già sotto uno spessore decimetrico o centimetrico di sabbie litorali, discontinue in estensione e spessori, è di natura carbonatica, si tratta di calciruditi, brecce calcaree, e conglomerati litoranei.

Su Pallosu - Fronte borgata



Su Pallosu

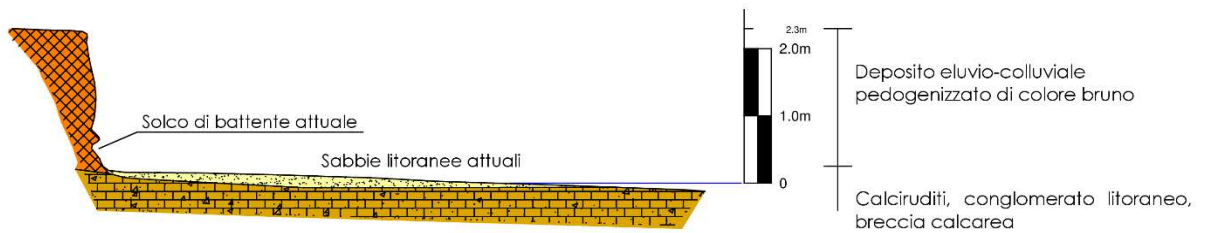


Figura 8 Modello geologico della costa bassa di "Su Pallosu", tratto meridionale fino al borgo.

I parametri geotecnici che al meglio descrivono le caratteristiche dei depositi eluvio colluviali sono una coesione valutabile dalle osservazioni e da dati di letteratura in 20 ± 2 KPa e angoli di attrito interno variabili nell'intervallo $32^\circ \pm 3^\circ$ mentre i pesi di volume secco possono variare nell'intervallo 20 ± 2 KN/m³. Detti valori sono indicativi e andrebbero valutati con indagini geognostiche.



Figura 9 Su Pallosu, area costiera corrispondente ai fabbricati della borgata, si notino il sottile livello di sabbie litorali sul bedrock e il deposito di origine eluvio-colluviale pedogenizzato

Il settore settentrionale di “Su Pallosu” è un tratto di costa in erosione a spese del sistema dunale. La stratigrafia comprende alla base arenarie pleistoceniche. Cui seguono livelli di spessore abbastanza regolare intorno ai 1,5 metri composti da depositi di natura eluvio colluviale, sabbio limoso molto addensato molto simile a quello osservato nel settore più meridionale in corrispondenza del borgo. Presentano caratteristiche simili anche dal punto di vista geotecnico condividendone in linea di massima i parametri: coesione valutabile in 20 ± 2 KPa e angoli di attrito interno variabili nell'intervallo $32^\circ \pm 3^\circ$ e pesi di volume secco nell'intervallo 20 ± 2 KN/m³. Sopra i depositi terrigeni un livello di poco meno di 2 metri di depositi sabbiosi rimaneggiati, composti da sabbie eoliche ben classate. Sono depositi privi di una coesione vera e propria e con angoli di attrito interno che oscillano nell'intervallo dei $30^\circ \pm 3^\circ$. Superiormente una piccola intercalazione, di circa 50 cm di spessore, composta da sabbie limose addensate (paleosuolo) di colore bruno scuro, per la probabile componente organica, costituisce la base dell'arenaria eoliche attuali, si presentano come depositi ben classati di sabbie medie, localmente interrotta da livelli di arenarie debolmente cementate. I

livelli superiori, apicali, sono protetti da una vegetazione; nei settori più meridionali del settore dunale si può osservare un principio di pedogenesi su sabbie eoliche con substrati organici in evoluzione. Le sabbie eoliche risultano in generale minimamente addensate e di coesione nulla, gli angoli di attrito interno possono essere valutati come i precedenti con angoli variabili nell'intervallo $30^\circ \pm 3^\circ$. Si consideri che l'intervallo di variazione per gli angoli di attrito interno indicato, corrispondente al 10% in più e in meno, sarà da valutare in termini cautelativi qualora ci si riferisca alle sabbie sciolte dei livelli superiori mentre è ragionevolmente più indicativo per i depositi che hanno subito maggiore compattazione. I livelli intercalati di depositi di natura eluvio colluviale compattati permettono al versante sabbioso di sostenersi su pendenze molto superiori a quelle che potrebbero permettere le sabbie eoliche di cui è costituito in prevalenza; le acclività osservate superano infatti, in alcune zone i $45^\circ - 50^\circ$.

Profilo duna Capo Mannu - Su pallosu

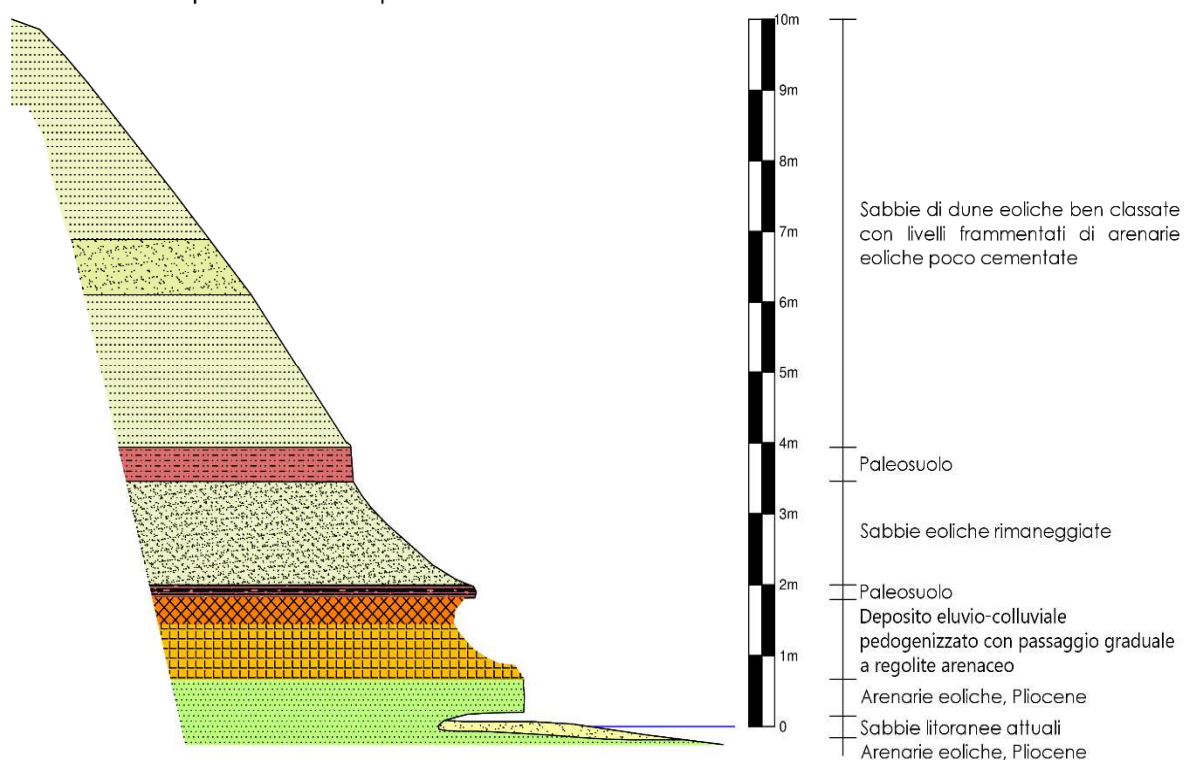


Figura 10 - Profilo tipo della duna nel tratto costiero più settentrionale di Su Pallosu



Figura 11 - Settore settentrionale di Su Pallosu, in corrispondenza delle dune. Si notino i livelli intercalari di depositi eluvio colluviali, coesivi, e alla base le arenarie eoliche plioceniche in parte pedogenizzate

2.6. Indagine geognostica di approfondimento

Le informazioni fornite nel presente studio, per quanto siano frutto di valutazioni delle caratteristiche delle terre e delle rocce, dedotte dall'analisi dei dati presenti in bibliografia e con l'osservazione qualitativa delle caratteristiche del sito, non possono considerarsi esaustive per la definizione puntuale dei caratteri geotecnici dell'area di studio.

2.6.1. Area di Su Pallosu

Sarà necessario caratterizzare i terreni sciolti e le formazioni litoidi. I terreni sciolti, i depositi eluvio-colluviali, paleosuoli e depositi eolici dunali, dovranno essere classificati al fine di poterne valutare l'effettiva natura e le potenziali correlazioni, in particolare saranno valutabili le curve granulometriche e le caratteristiche composizionali mineralogiche. Per quanto riguarda la componente litoide, sarà necessario analizzarne le discontinuità e le

caratteristiche di resistenza meccanica, anche con test di compressione monoassiale, eseguiti su provini o campioni di roccia i primi prelevati con sondaggi geognostici i secondi collezionati direttamente dal bedrock superficiale. Gli eventuali sondaggi geognostici potrebbero spingersi, vista la piccola entità dei carichi previsti dalle opere proposte a profondità non superiori ai 2 - 3 metri sotto il livello del mare. In Particolare si prevede un'indagine articolata nell'ordine seguente:

- Campionamento di materiali sciolti per caratterizzazioni e classificazioni a carico dei depositi eluvio-colluviali localmente pedogenizzati e delle sabbie dunali attuali.
- Classificazione secondo standard USCA comprensivi di analisi granulometrica, per vagliatura e sedimentazione, e limiti di Atterberg su almeno 4 campioni di materiale dello strato eluvio-colluviale.
- Classificazione secondo standard USCA comprensivi di analisi granulometrica su almeno 2 campioni di sabbie dunali.
- Un sondaggio geognostico in corrispondenza del borgo di Su Pallosu fino alla profondità di 5 metri dal piano di campagna.
- Prelievo di campioni dei litotipi costituenti il bedrock.
- Test di resistenza delle componenti litoidi, prova di punzonamento o di compressione monoassiale, valutazione del peso di volume e delle caratteristiche dell'ammasso roccioso, valutazione dell'RQD.

2.6.1.1. Programma indagine geognostica Su Pallosu

Nr. Ord.	TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	MISURAZIONI:				Quantità	IMPORTI	
			Par.ug	Lung.	Larg.	H/peso		unitario	TOTALE
1	D.0002.0001.0001	IMPIANTO DI CANTIERE PER INDAGINI GEOGNOSTICHE, compreso l'approntamento in deposito delle attrezzature, degli accessori, dei ricambi e dei consumi; compreso il carico su automezzo, lo scarico in cantiere, il montaggio, lo smontaggio a lavori ultimati, il carico su automezzo e lo scarico in deposito; compreso il trasporto dal deposito al cantiere di lavoro, compreso il ritorno a vuoto; o trasporto delle stesse da cantiere a deposito, compresa l'andata a vuoto; compreso il trasferimento del personale; a corpo MISURAZIONI: Impianto cantiere Su Pallosu	1,00				1,00		
		SOMMANO cad					1,00	830,57	830,57
2	D.0002.0001.0002	INSTALLAZIONE DI ATTREZZATURA PER SONDAGGIO in ciascuna postazione di perforazione, su aree pianeggianti accessibili ai normali mezzi di trasporto, compreso l'onere del trasporto da una postazione alla successiva, il carico e lo scarico, il							

Nr. Ord.	TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	MISURAZIONI:				Quantità	IMPORTI	
			Par.ug	Lung.	Larg.	H/peso		unitario	TOTALE
		tracciamento e la picchettazione							
		MISURAZIONI: 1 posizione	1,00				1,00		
		SOMMANO cad					1,00	242,91	242,91
3	D.0002.0001.0004	PERFORAZIONE ad andamento verticale o con inclinazione fino ad un massimo di 15° dalla verticale, eseguita a rotazione a carotaggio continuo, con carotieri di diametro fino a 85 mm, in terreno a granulometria fine quali argille, limi sabbiosi e rocce tenere; compreso l'onere dell'estrazione delle carote e la loro conservazione in apposite cassette catalogatrici queste escluse e compensate a parte; compresa la tubazione di rivestimento del foro; compresa la redazione di una planimetria generale con l'ubicazione delle perforazioni e della stratigrafia di ogni singolo sondaggio; per le seguenti profondità, misurate a partire dal piano campagna, comprese tra: m 0,00 e m 20,00 MISURAZIONI: Metri totali di perforazione	5,00				5,00		
		SOMMANO m					5,00	63,77	318,85
4	D.0002.0001.0029	SOVRAPPREZZO ALLE PERFORAZIONI, sia a carotaggio continuo sia a distruzione di nucleo, eseguite in rocce dure che richiedono l'impiego di corone diamantate; per profondità fino a m 60,00 e per i seguenti diametri della corona diametro fino a mm 85 MISURAZIONI: Valutazione per metri 2 per ogni sondaggio	4,00				4,00		
		SOMMANO m					4,00	44,63	178,52
5	D.0002.0001.0032	FORNITURA DI CASSETTA CATALOGATRICE, avente dimensioni interne di m 1,07x0,98x0,15 a 5 scomparti; atta alla conservazione di carote e campioni; compreso l'onere della loro custodia e della loro consegna nel luogo indicato dalla committente MISURAZIONI: Una ogni 5 metri di perforazione	1,00				1,00		
		SOMMANO cad					1,00	32,83	32,83
6	EX.01	Campionamento di materiale sciolto, in busta o per mezzo di campionatore cilindrico, per analisi granulometriche e classificazioni. Documentazione fotografica del punto di prelievo. MISURAZIONI:							

Nr. Ord.	TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	MISURAZIONE I:				Quantità	IMPORTI	
			Par.ug	Lung.	Larg.	H/peso		unitario	TOTALE
7	D.0002.0001.0075	Campioni di deposito di natura eluvio-colluviale	4,00				4,00		
		Campioni di sabbie dunali	2,00				2,00		
		SOMMANO cadauno					6,00	30,00	180,00
8	D.0002.0001.0074	Determinazione dei limiti di Atterberg e indice di plasticità MISURAZIONI: Su campioni del deposito eluvio colluviale	4,00				4,00		
		SOMMANO cad					4,00	33,52	134,08
		Analisi granulometrica completa su campioni indisturbati. Per sedimentazione MISURAZIONI: Su campioni del deposito eluvio colluviale	4,00				4,00		
9	D.0002.0001.0073	SOMMANO cad					4,00	33,52	134,08
		Analisi granulometrica completa su campioni indisturbati. Per vagliatura MISURAZIONI: Campioni di deposito eluvio colluviale collezionati in punti diversi del settore di Su Pallosu	4,00				4,00		
		Campioni di sabbie dunali collezionate nel settore settentrionale di Su Pallosu	2,00				2,00		
10	D.0002.0001.0081	SOMMANO cad					6,00	38,71	232,26
		Calcolo degli indici e classificazione di una terra secondo la normativa UNI 10006 o U.S.C.S. Per ogni valutazione MISURAZIONI: Deposito eluvio colluviale	4,00				4,00		
		Sabbie eoliche	2,00				2,00		
11	D.0002.0001.0082	SOMMANO cad					6,00	7,21	43,26
		Determinazione del peso di volume naturale (misura geometrica) MISURAZIONI: Litotipo carbonatico	1,00				1,00		
		SOMMANO cad					1,00	28,46	28,46
12	EX.02	Prova Tipo Point Load su campioni di roccia indisturbati conforme alla norma ASTM D5731 o comunque secondo le raccomandazioni ISRM MISURAZIONI: litotipo carbonatico	1,00				1,00		
		SOMMANO cad					1,00	90,00	90,00
		TOTALE euro							2445,82

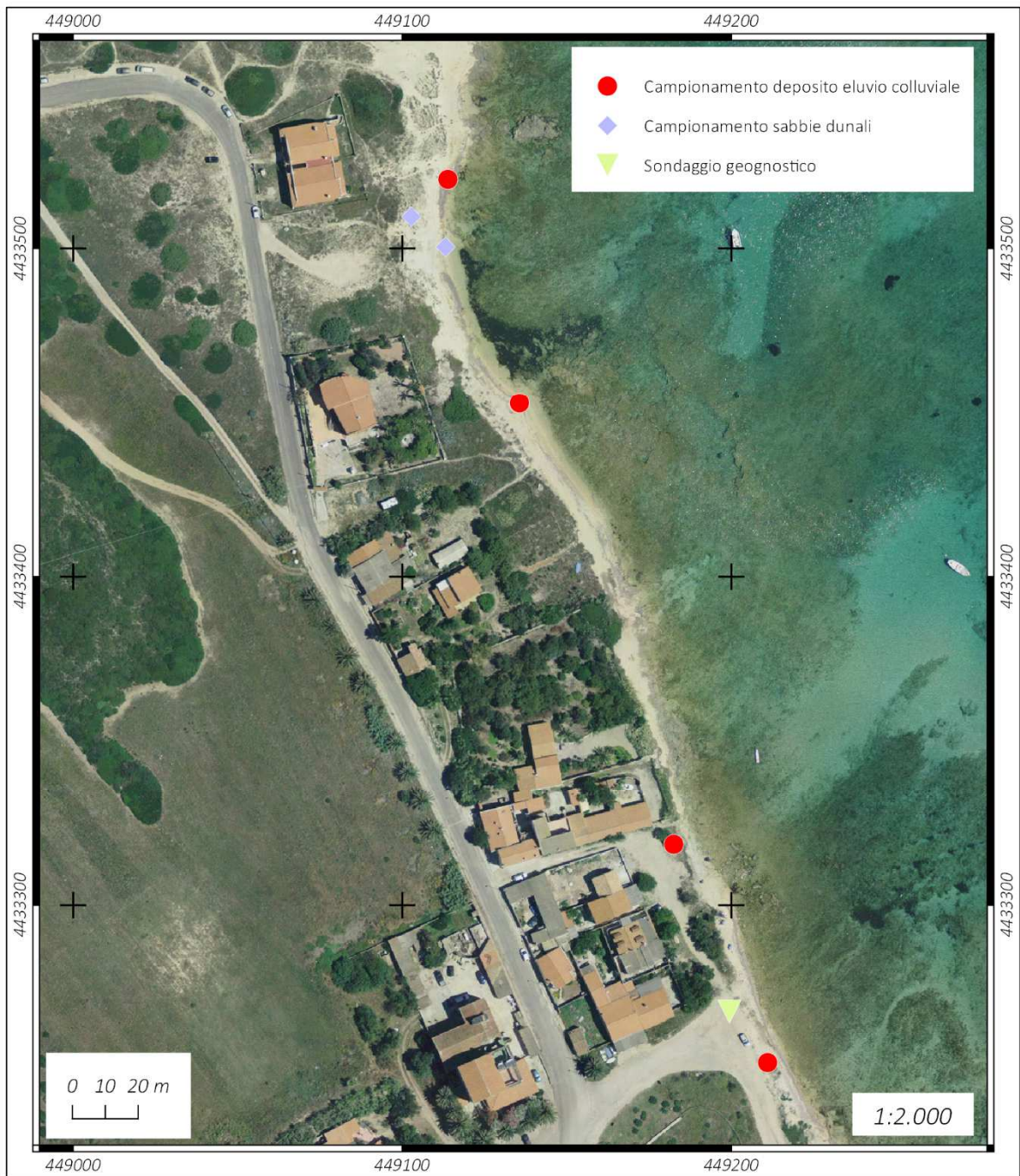


Figura 12 - Localizzazione dei punti di indagine nell'area di Su Pallosu

2.6.2. Area S'Areana Scoada

Si tratta di materiali litoidi da indagare per profondità variabili fra i 5 e i 15 metri a seconda del tratto di falesia interessato. La successione stratigrafica risulta abbastanza regolare, salvo locali variazioni, ad ogni modo si riconoscono tre lito tipi caratterizzanti: dal basso abbiamo i calcari laminati marnosi, al centro i calcari brecciati, al tetto le arenarie. Localmente si

riconoscono paleosuoli sotto le arenarie, le litologie carbonatiche presentano caratteri abbastanza variabili. La caratterizzazione geotecnica comporta il riconoscimento delle caratteristiche meccaniche in particolare nelle aree di intervento e la ricostruzione precisa della successione stratigrafica puntuale. L'indagine sarà mirata quindi all'esplorazione e identificazione del volume geotecnico significativo per gli interventi in progetto, valutabile come detto in precedenza in 2 - 3 metri dalla base della falesia. Le indagini, quindi, saranno mirate anche a verificare le condizioni litotecniche delle formazioni e la presenza di eventuali vuoti di origine carsica presenti nel sottosuolo, riempiti o meno, ciò al fine di valutare eventuali interventi di consolidamento e/o di tamponatura della scarpata.

In particolare saranno necessari almeno 4 sondaggi, corrispondenti alle tre aree di maggiore interesse: due nella zona di Punta S'Archittu due lungo il tratto di falesia corrispondente al settore più settentrionale di S'Arena Scoada lungo la SP66. I sondaggi geognostici permetteranno di ricostruire la stratigrafia con precisione e di collezionare campioni da sottoporre a prove di laboratorio per determinare la resistenza dei litotipi e la loro condizione meccanica. Sarà necessario predisporre test per valutare la resistenza a compressione monoassiale, come "point load" o test di compressione monoassiale veri e propri. Inoltre dovranno essere definiti i pesi di volume dei litotipi per definire i carichi litostatici sulla falesia. Al fine di valutare la presenza di vuoti a carico dei calcari, nei quali si possono riscontrare morfologie ipogee, sarà necessaria una indagine sismica, con i metodi della sismica a rifrazione e/o della geoelettrica e/o georadar. L'indagine indiretta, effettuata con metodi geofisici, permetterà di valutare la presenza di cavità e discontinuità nella massa litoide, fornendo al contempo informazioni circa le caratteristiche elastiche delle rocce. In Particolare si prevede un'indagine articolata nell'ordine seguente:

- Esecuzione delle indagini indirette, valutazioni sulla continuità del bedrock e delle caratteristiche elastiche dei litotipi.
- Esecuzione di 4 sondaggi geognostici finalizzati alla ricostruzione stratigrafica a tergo della falesia e al prelievo di campioni di roccia per la caratterizzazione meccanica.
- Caratterizzazione meccanica dei litotipi con prove di punzonamento e valutazione dei pesi di volume.

2.6.2.1. Programma indagine geognostica S'Arena Scoada

Nr. Ord.	TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	MISURAZIONI:				Quantità	IMPORTI	
			Par.ug	Lung.	Larg.	H/peso		unitario	TOTALE
1	D.0002.0001.0001	IMPIANTO DI CANTIERE PER INDAGINI GEOGNOSTICHE, compreso l'approntamento in deposito delle attrezzature, degli accessori, dei ricambi e dei consumi; compreso il carico su automezzo, lo scarico in cantiere, il montaggio, lo smontaggio a lavori ultimati, il carico su automezzo e lo scarico in deposito; compreso il trasporto dal deposito al cantiere di lavoro, compreso il ritorno a vuoto; o trasporto delle stesse da cantiere a deposito, compresa l'andata a vuoto; compreso il trasferimento del personale; a corpo MISURAZIONI: Impianto cantiere S'Arena Scoada	1,00				1,00		
		SOMMANO cad					1,00	830,57	830,57
2	D.0002.0001.0002	INSTALLAZIONE DI ATTREZZATURA PER SONDAGGIO in ciascuna postazione di perforazione, su aree pianeggianti accessibili ai normali mezzi di trasporto, compreso l'onere del trasporto da una postazione alla successiva, il carico e lo scarico, il tracciamento e la picchettazione MISURAZIONI: Numero di sondaggi pari a 4	4,00				4,00		
		SOMMANO cad					4,00	242,91	971,64
3	D.0002.0001.0005	PERFORAZIONE ad andamento verticale o con inclinazione fino ad un massimo di 15° dalla verticale, eseguita a rotazione a carotaggio continuo, con carotieri di diametro fino a 85 mm, in terreno a granulometria media quali sabbie ghiaiose con qualche ciottolo e rocce di durezza media, esclusi quelli che richiedono l'impiego di corone diamantate; compreso l'onere dell'estrazione delle carote e la loro conservazione in apposite cassette catalogatrici queste escluse e compensate a parte; compresa la tubazione di rivestimento del foro; compresa la redazione di una planimetria generale con l'ubicazione							

Nr. Ord.	TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	MISURAZIONI:				Quantità	IMPORTI	
			Par.ug	Lung.	Larg.	H/peso		unitario	TOTALE
4	D.0002.0001.0029	delle perforazioni e della stratigrafia di ogni singolo sondaggio; per le seguenti profondità, misurate a partire dal piano campagna, comprese tra: m 0,00 e m 20,00							
		MISURAZIONI: Due sondaggi su falesia di altezza media di 10 - 12 metri, due sondaggi di 13 metri ciascuno	26,00				26,00		
		Due sondaggi su falesia di altezza media di 4 - 5 metri, due sondaggi di 7 metri ciascuno	14,00				14,00		
		SOMMANO m					40,00	67,20	2688,00
5	D.0002.0001.0032	SOVRAPPREZZO ALLE PERFORAZIONI, sia a carotaggio continuo sia a distruzione di nucleo, eseguite in rocce dure che richiedono l'impiego di corone diamantate; per profondità fino a m 60,00 e per i seguenti diametri della corona diametro fino a mm 85							
		MISURAZIONI: Valutazione per metri 2 per ogni sondaggio	8,00				8,00		
		SOMMANO m					8,00	44,63	357,04
		FORNITURA DI CASSETTA CATALOGATRICE, avente dimensioni interne di m 1,07x0,98x0,15 a 5 scomparti; atta alla conservazione di carote e campioni; compreso l'onere della loro custodia e della loro consegna nel luogo indicato dalla committente							
6	D.0002.0001.0082	MISURAZIONI: Sondaggi 2 di metri 13	6,00				6,00		
		Sondaggi 2 di metri 7	4,00				4,00		
		SOMMANO cad					10,00	32,83	328,30
		Determinazione del peso di volume naturale (misura geometrica)							
6	D.0002.0001.0082	MISURAZIONI: Arenarie	3,00				3,00		
		Calcari brecciati	3,00				3,00		
		Calcari marnosi laminati	4,00				4,00		
		SOMMANO cad					10,00	28,46	284,60

Nr. Ord.	TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	MISURAZIONI:				Quantità	IMPORTI	
			Par.ug	Lung.	Larg.	H/peso		unitario	TOTALE
7	EX.01	Prova Tipo Point Load su campioni di roccia indisturbati conforme alla norma ASTM D5731 o comunque secondo le raccomandazioni ISRM MISURAZIONI: Arenarie Calcari brecciati Calcari marnosi laminati SOMMANO cad	3,00 3,00 4,00				3,00 3,00 4,00 10,00		90,00 900,00
8	EX.02	Impianto cantiere indagini geofisiche, compreso trasporto allestimento e smontaggio strumenti MISURAZIONI: Cantieri per tipologia di indagine SOMMANO cadauno	2,00				2,00 2,00		500,00
9	EX.03	Indagine geofisica finalizzata alla individuazione delle caratteristiche elastiche dei litotipi ed all'individuazione di eventuali vuoti. indagine con i metodi della sismica a rifrazione e/o geoelettrica e/o georadar. MISURAZIONI: Indagine geofisica Punta S'Archittu, settore settentrionale Indagine geofisica Punta S'Archittu, settore meridionale Indagine geofisica S'Arena Scoada, lungo SP66, inizio costa alta settentrionale SOMMANO cadauno	1,00 1,00 1,00				1,00 1,00 1,00 3,00		4200,00
TOTALE euro									11060,15



Figura 13 - Localizzazione dei punti di indagine nell'area di Punta S'Archittu.



Figura 14 - Localizzazione dei punti di indagine nel settore compreso fra Punta S'Archittu e S'Arena Scoada.

3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La costa del comune di San Vero Milis è caratterizzata da condizioni di intensa regressione costiera. Le aree di in cui il fenomeno si manifesta con maggiore enfasi sono “Su Pallosu”, nel settore più settentrionale e, più Sud, il tratto di costa di “S'Arena Scoada”, verso “Punta S'Archittu”.

La zona di Su Pallosu è un sistema di costa bassa in cui l'erosione si manifesta prevalentemente ai danni dei depositi litorali ed eolici. In particolare l'area è interessata da una intensa erosione a carico dei terreni e in maniera localizzata della componente litoide, in particolare le arenarie eoliche. La zona di Su Pallosu può essere divisa in due settori principali di caratteristiche peculiari. Il primo tratto, più meridionale, in corrispondenza dell'omonimo borgo, ha subito in questi ultimi anni un'erosione marina importante a carico prevalentemente e di depositi eluvio colluviali pedogenizzati, ha morfologie sub pianeggianti e la regressione costiera rischia di coinvolgere l'abitato; la linea di costa si trova infatti a pochi metri dagli edifici più esterni, oltre una piccola scarpata di altezza variabile fra 1 metro e i 2 metri. Il secondo tratto, più settentrionale, si trova ai piedi del sistema dunale esso infatti è oggetto dell'erosione marina, la base del sistema dunale attuale poggia su arenarie eoliche e coltri eluvio colluviali con paleosuoli, le litologie arenitiche offrono maggiore resistenza all'erosione marina benché mostrino comunque profondi solchi di battente a livello di base. Le dune risultano abbastanza omogenee e ragionevolmente stabilizzate. Si osservano locali livelli maggiormente consistenti di paleosuoli e arenarie debolmente cementate che contribuiscono a dare alla struttura un maggiore resistenza generale che permette angoli di versante variabili fra i 45° e i 50°. In queste aree la protezione dall'azione marina è individuabile in barriere leggere al piede delle dune e delle scarpate posizionate sul bedrock affiorante e sul sottile livello di sabbie litorali.

La zona di “S'Arena Scoada” e delle falesie più alte in zona “Punta S'Archittu” sono caratterizzate da falesie di altezza variabile fra i 2 e 10 metri circa, quest'ultima prevalentemente nei dintorni di “Punta S'Archittu” e nella parte più meridionale di “S'Arena Scoada”, con locali depositi sabbiosi litorali alla base anche abbastanza importanti come nel tratto di costa di “S'Arena Scoada”. La regressione costiera, a spese delle falesie citate si opera per erosione al piede e successivo crollo delle pareti sub verticali. Laddove le 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. Tali forme risultano particolarmente pericolose per la possibilità di movimenti parossistici per crollo di masse rocciose di volumi rilevanti all'origine delle condizioni più pericolose. 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 bloccare l'erosione costiera ad opera del moto ondoso.

In questa fase sono state individuate le caratteristiche meccaniche delle rocce e delle terre interessate dalle opere attraverso lo studio delle conoscenze bibliografiche collezionate e l'osservazione diretta dei parametri geotecnici. Nella fase di progettazione successiva sarà svolta un'indagine geognostica di dettaglio mirata alla caratterizzazione puntuale delle caratteristiche geomeccaniche e stratigrafiche.

4. 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