



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

## Progetto Preliminare

*Il Sindaco*  
Luigi Tedeschi

*Il Responsabile Unico del Procedimento*  
Ing. Sara Angius

*Responsabile dell'Ufficio Tecnico*  
Ing. Alessandro Naitana

### GRUPPO DI LAVORO

#### CRITERIA

*Criteria Srl (Mandataria)*

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

## 1.5.7 STUDIO DI COMPATIBILITÀ' GEOLOGICA E GEOTECNICA

## Sommario

1. PREMESSA .....	2
1.1. Normativa di riferimento .....	2
1.2. Inquadramento geografico delle aree di intervento .....	3
2. SINTESI DESCRITTIVA DELL'INTERVENTO PROGETTUALE .....	4
2.1. Obiettivi del progetto .....	4
2.2. Sintesi del progetto .....	4
3. STATO DI PERICOLOSITÀ E DI RISCHIO NELLE AREE INTERESSATE DAL PROGETTO .....	5
3.1. Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) .....	5
3.2. Analisi di coerenza delle opere rispetto al PAI .....	8
4. CONDIZIONI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE .....	9
4.1. Modello geologico .....	9
4.2. Modello geotecnico.....	11
4.2.1. Caratteristiche geotecniche S'Arena Scoada.....	11
4.2.2. Caratteristiche dell'area di Su Pallosu.....	12
5. VALUTAZIONI SULLA STABILITÀ DELLA FALESIA .....	14
5.1. Valutazione Ex Ante .....	14
5.2. Valutazione Ex Post .....	18
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	25

## **1. PREMESSA**

All'interno dello Studio Geologico allegato al Progetto Preliminare, l'analisi delle relazioni tra aree di intervento e disciplina del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico, ha verificato che parte degli interventi previsti ricadono in aree di pericolosità da frana elevata Hg3 e media Hg2. Tali aree sono state individuate attraverso lo Studio di Compatibilità Geologica e Geotecnica, redatto ai sensi dell'Art. 8 comma 2 delle NdA del PAI, approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna mediante Deliberazione n. 16 del 07 maggio 2014.

Da qui la necessità di integrare la documentazione del progetto preliminare con lo Studio di Compatibilità geologica e geotecnica, redatto secondo le disposizioni delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna. Infatti in applicazione dell'articolo 23, comma 6, lettera b, nei casi in cui è espressamente richiesto dalle NtA del PAI, i progetti proposti per l'approvazione nelle aree di pericolosità molto elevata, elevata e media da frana sono accompagnati da uno studio di compatibilità geologica e geotecnica predisposto secondo i criteri indicati nell'art. 25.

La competenza per l'approvazione dello Studio così predisposto sono attribuite dalla L.R. 15 dicembre 2014, n. 33.

In ogni caso, ai sensi dell'art. 23 comma 9, gli interventi previsti non devono aggravare le situazioni di pericolosità e di rischio esistenti e devono essere tali da soddisfare i requisiti elencati dalla lettera a. alla lettera o. del medesimo comma.

### **1.1. Normativa di riferimento**

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

Decreto Legge 18 maggio 1989 n° 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo".

- Legge del 3 agosto 1998 n° 267, "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico e a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania"
- Regione Autonoma della Sardegna, Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI), "interventi sulla rete idrografica e sui versanti, norme di attuazione".
- Decreto del Presidente della Regione Sardegna del 21 marzo 2008 n° 35, "Aggiornamento e attuazione delle norme del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)".
- Decreto ministeriale (Ministero dei lavori pubblici) 11 marzo 1988, "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

- Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 9 gennaio 1996, n. 218/24/3, “Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Decreto del Ministero dei lavori pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica”.
- Decreto ministeriale (infrastrutture) 14 gennaio 2008, “approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 2 febbraio 2009 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14 gennaio 2008.

## **1.2. Inquadramento geografico delle aree di intervento**

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

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

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

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

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

## **2. SINTESI DESCRITTIVA DELL'INTERVENTO PROGETTUALE**

### **2.1. Obiettivi del progetto**

Gli interventi previsti sono espressamente finalizzati a mitigare il fenomeno di erosione costiera del paraggio di S'Arena Scoada e di Su Pallosu. Gli ambiti sono identificati come aree a pericolosità da frana elevato Hg3 e media Hg2, in quanto interessata da potenziali fenomeni di instabilità gravitativa, indotta prevalentemente dalle dinamiche meteomarine del paraggio di riferimento. Gli interventi ipotizzati, finalizzati a contrastare il fenomeno di erosione costiera, sono previsti in particolare nelle situazioni di rischio più elevato per le infrastrutture e gli insediamenti retrostanti, agendo sulla protezione dall'incidenza del moto ondoso. Le opere previste contribuiscono, inoltre, anche ad un leggero miglioramento delle condizioni di stabilità statica delle scarpate costiere.

### **2.2. Sintesi del progetto**

La costa di S'Arena Scoada presenta falesie più o meno estese, nella maggior parte dei casi a ridosso di un esiguo deposito di sabbie litorali. L'intervento prevede una leggera riprofilatura del ciglio della falesia, attraverso localizzate opere di disaggancio, in particolare per le morfologie aggettanti, quali forme residuali delle azioni di scalzamento a carico del materiale sottostante meno resistente. In aggiunta alla rimozione dei frammenti litoidi in equilibrio precario, limitatamente ai tratti di falesia di S'Arena Scoada a maggior rischio per le infrastrutture e gli insediamenti retrostanti, sono previste opere di protezione del piede della falesia mediante barriere aderenti in massi litoidi disposti su due livelli. Un livello inferiore composto da pietrame di medie dimensioni, con blocchi del peso 50 – 100 Kg, fino ad una altezza massima di circa 2 metri, sormontati da blocchi di grandi dimensioni del peso di circa 3 tonnellate, che costituiscono il livello superiore della scogliera e la scarpa del fronte. Il livello superiore ha uno spessore variabile da 1,5 a 2,5 metri, in funzione delle caratteristiche ed estensioni del settore da preservare dall'erosione marina.

Un'altra tipologia di intervento, prevista in corrispondenza della ripa costiera e del piede dunale di Su Pallosu, è caratterizzata dalla messa in opera di geocontenitori in fibra naturale e riempiti di inerti di cava, inseriti all'interno di una palificata in castagno autoportante, del tipo a "palificata doppia", con funzioni di sostegno e protezione del piede dunale e della ripa di erosione interessata dai frangenti. La palificata svolge, inoltre, un'azione protettiva nei confronti dei geocontenitori stessi rispetto alle mareggiate e all'azione di abrasione da parte dei detriti trasportati dal moto ondoso incidente. In questi termini, l'opera, svolge un'azione protettiva a breve-medio termine, contenendo il fenomeno di scalzamento delle formazioni detritiche presenti, senza innescare pericolosi processi di riflessione dei frangenti, portando all'allontanamento degli esigui depositi sabbiosi di spiaggia. Si tratta di un intervento di tipo

“morbido”, costituito da manufatti di facile rimozione e a basso impatto ambientale che non influiscono sulla stabilità globale delle scarpate.

### **3. STATO DI PERICOLOSITÀ E DI RISCHIO NELLE AREE INTERESSATE DAL PROGETTO**

#### **3.1. Il Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI)**

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

Lo Studio di Compatibilità Geologico e Geotecnico, redatto per conto del Comune di San Vero Milis ai sensi dell’Art. 8 comma 2 delle NdA del PAI, è stato approvato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Regione Sardegna mediante Deliberazione n. 16 del 07 maggio 2014.

Le zone d’intervento sono perimetrare in aree di pericolosità Hg3 e Hg2, indicanti rispettivamente aree di pericolosità elevata e aree di pericolosità media. Sono definite Hg3 aree “in cui sono presenti frane quiescenti per la cui riattivazione ci si aspetta tempi pluriennali o pluridecennali; zone in cui sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti e in cui possono verificarsi frane di neoformazione in tempi decennali e pluridecennali”.

Il codice Hg2 indica aree in cui “sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici, assetti di equilibrio raggiunti naturalmente o mediante interventi di consolidamento, zone in cui esistono condizioni sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi “.

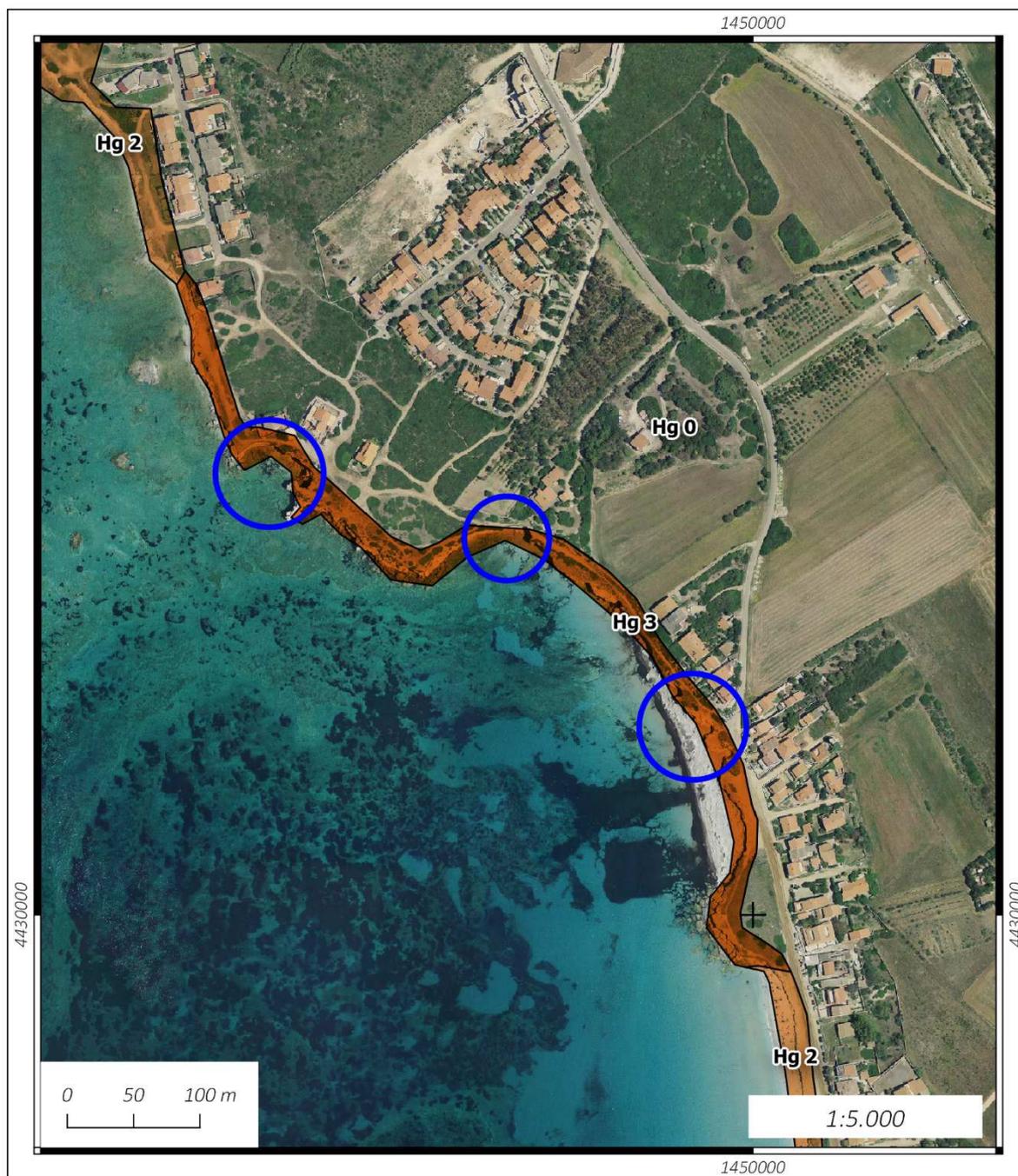


Figura 1 - Perimetrazione nel settore a nord di S'Arena Scoada, fino a Punta S'Archittu, in blu sono indicate le aree con gli interventi più rilevanti, disaggi di porzioni di roccia aggettanti, riprofilatura della falesia e costruzione di barriera di protezione a mare



Figura 2 - Perimetrazione nel settore meridionale della costa, S'Arena Scoada. Per questa area gli interventi sono limitati al locale disaggio di elementi aggettanti e riprofilatura del ciglio della falesia.

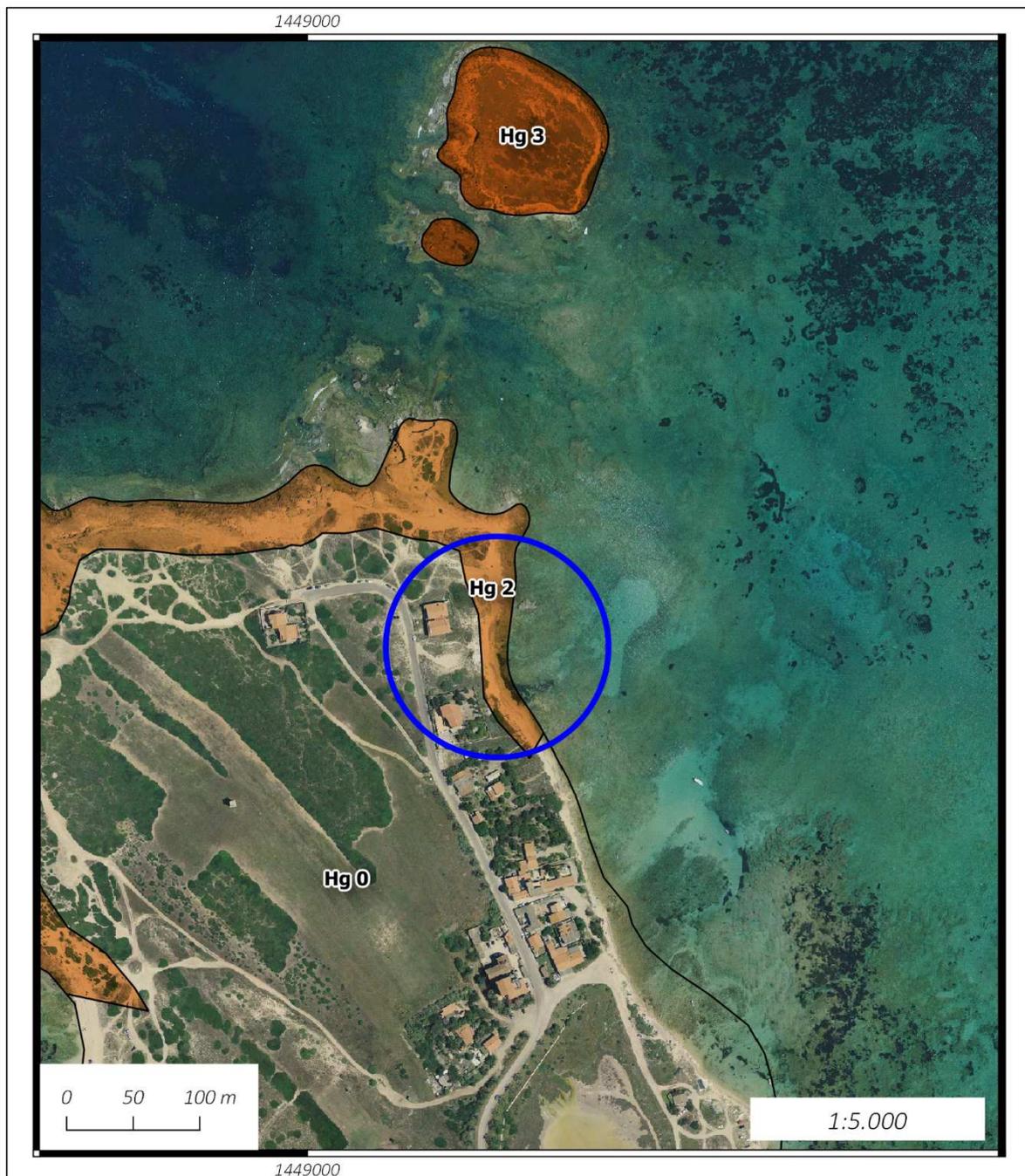


Figura 3 - Perimetrazione del settore di Su Pallosu, la perimetrazione indica aree di pericolo limitatamente al settore settentrionale, legate al sistema dunale in erosione. L'intervento in quest'area sarà essenzialmente il posizionamento di una barriera a protezione del piede della duna in palificata doppia e geocontenitori in fibra naturale riempiti di inerti.

### 3.2. Analisi di coerenza delle opere rispetto al PAI

Gli interventi possono considerarsi **ammissibili e coerenti** con le prescrizioni del PAI. Infatti secondo quanto stabilito dall'Art. 31, comma 1 delle NdA del PAI, sono interventi ammissibili, tra gli altri, quelli riconducibili a (lett. a.) "opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di

manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli” per i quali è richiesto lo studio di Compatibilità Geologica e Geotecnica così come stabilito dall'Art. 31, comma 6, lettera a.

Per quanto riguarda gli interventi in oggetto valgono le indicazioni di cui all'art. 19 comma 4 delle NdA del PAI, che recita: “nelle aree di pericolosità idrogeologica perimetrata dal PAI, gli scavi, gli sbancamenti, i riporti e i movimenti di terra necessari per gli interventi consentiti, garantiscono che non venga aumentato il grado di pericolosità o di rischio presente nell'area interessata, con speciale riferimento alle pareti rocciose ed a tutte le opere che comportino importanti variazioni nella geometria del pendio. Tali condizioni sono espressamente verificate nello studio di compatibilità geologica e geotecnica di cui all'articolo 25, ove richiesto”.

**Le opere, inoltre, rispondono ai requisiti richiesti dall'art. 23**, riguardante le prescrizioni generali degli interventi ammessi nelle aree di pericolosità idrogeologica. In particolare gli interventi sono coerenti con quanto espressamente prescritto al comma 9. che, allo scopo di impedire l'aggravarsi delle situazioni di pericolosità e rischio esistenti nelle aree di pericolosità idrogeologica, impone che tutti i nuovi interventi consentiti dalle stesse Norme siano tali da migliorare in modo significativo, o comunque non peggiorare, le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli. In particolare le opere e gli interventi proposti in progetto ben si allineano con questa direttiva, in quanto finalizzati proprio al contenimento delle condizioni di pericolo innescate dall'erosione costiera.

## 4. CONDIZIONI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

### 4.1. Modello geologico

Il modello geologico è un modello concettuale che descrive le caratteristiche litologiche, stratigrafiche dell'area nella quale dovrà essere costruita l'opera. Tale modello deve estendersi per un'area tale da includere al suo interno tutte le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche che abbiano un'influenza diretta o indiretta sull'opera in progetto.

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

Le formazioni più antiche, costituite da due piccoli lembi di lave andesiti che oligo-mioceniche, affiorano in località sa Serra 'e Attori e Perda Murtigiada, secondo un asse con direzione NE-SW,

e formano l'ossatura di una debole dorsale, con la medesima direzione, posta nell'estremo settore sud-orientale del territorio dell'isola amministrativa esterna di San vero Milis. Su questi affioramenti lavici poggiano, con contatti talora visibili ed osservabili e talora oblitterati da formazioni più recenti, sedimenti marini miocenici, costituiti da una successione di arenarie, marne arenacee e formazioni carbonatiche calcaree fortemente fossilifere a foraminiferi, resti di bivalvi, o a coralli; la giacitura di questi sedimenti varia da suborizzontale a debolmente inclinata verso NW. Unitamente alle formazioni vulcaniche oligo-mioceniche, anche questi sedimenti vanno a costituire la sopra citata dorsale nel settore sud-orientale di questa porzione di territorio. Seguono in successione stratigrafica, senza un contatto visibile con le formazioni sottostanti, ed affioranti soprattutto nelle zone costiere (Putzu Idu, Porto Mandriola, Scala 'e Sale) altri sedimenti più recenti miocenici-pliocenici costituiti da calcari cavernosi e brecciati e marne argillose, anche in facies deposizionale di ambiente lagunare.

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

L'assetto geomorfologico è stato condizionato dall'azione dei movimenti tettonici plio-pleistocenici che hanno dato origine al graben del Campidano e dalle variazioni climatiche pleistoceniche. Sono infatti presenti piccoli rilievi residuali di rocce carbonatiche e di vulcaniti del terziario verso le aree interne. Depositi prevalentemente eolici, fortemente cementati con crostoni calcarei occupano gran parte del settore centrale di "Marina" e dell'isola amministrativa di San Vero Milis. Dune eoliche del Pliocene sovrastano i depositi di spiaggia e lagunari dell'area di Capo Mannu, la cui fascia costiera è caratterizzata da alte falesie scolpite nelle eolianiti plioceniche e da ripe di erosione sui sedimenti del Terziario. A Sud ed a Nord, queste falesie sono delimitate da due golfi naturali dove si estendono spiagge sabbiose: Cala su Pallosu e Cala Saline. In quest'ultima un cordone litorale impostato nell'olocene, ha originato lo stagno di Sa Salina Manna. Altri stagni sono presenti nel settore centrale, il principale dei quali è quello de Is Benas, la cui genesi è da ricondurre allo sbarramento operato dalle dune de Is Arenas, originatesi durante le fasi aride del Pleistocene superiore e dell'Olocene.

## **4.2. Modello geotecnico**

Il modello geologico indica le caratteristiche dei terreni e delle rocce per come si presentano in natura, le loro dinamiche evolutive e il loro l'assetto morfologico, 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 mane 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 Calcarei 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.

### **4.2.1. Caratteristiche geotecniche 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 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 calcari laminati (Formazione dei Calcarei 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. 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 ÷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. 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 e di 18KPa, il 10% inferiore al calcare marnoso laminare per la maggiore porosità osservata. In conclusione gli elementi litologici relativi alla costa alta in corrispondenza "S'Arena Scoada" si possono sintetizzare da un punto di vista geomeccanico secondo il criterio di Mohr Coulomb come:

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

#### 4.2.2. Caratteristiche dell'area 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. 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  $20 \pm 2$  Kpa e angoli di attrito interno variabili nell'intervallo  $32^\circ \pm 3^\circ$  mentre i pesi di volume secco possono variare nell'intervallo  $20 \pm 2$  KN/m<sup>3</sup>. Detti valori sono indicativi e andrebbero valutati con ulteriori indagini geognostiche.

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  $20 \pm 2$  Kpa e angoli di attrito interno variabili nell'intervallo  $32^\circ \pm 3^\circ$  e pesi di volume secco nell'intervallo  $20 \pm 2$  KN/m<sup>3</sup>. 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  $45^\circ - 50^\circ$ .

## 5. VALUTAZIONI SULLA STABILITÀ DELLA FALESIA

Sulla base della modellazione geotecnica sopra eseguita, si sono sviluppate alcune valutazioni di stabilità della falesia prima e dopo gli interventi previsti nel presente progetto. I parametri geotecnici sono stati comunque ridotti con i coefficienti parziali M2 (tab. 6.2.II) e R2 (tab. 6.8.I) delle NTC. Vista la zona e la sua destinazione, non si applicano carichi agenti sulla falesia.

In particolare si è fatto riferimento alla falesia in zona P. S'Archittu che presenta la maggiore quota rispetto al livello medio mare. Per gli altri siti le valutazioni sono comunque del tutto analoghe al caso in esame.

Ciò che maggiormente interessa osservare da queste valutazioni è il non peggioramento della stabilità della falesia a seguito degli interventi previsti.

Ai fini del calcolo della stabilità, si è utilizzato il software Slope della Geostru.

### 5.1. Valutazione Ex Ante

Nelle condizioni pre-intervento si ottiene come superficie critica di scorrimento quella rappresentata in Figura 6 che mostra un coefficiente di sicurezza pari a 0,97 (< 1). Segue il calcolo della superficie critica con evidenziati i principali dati e risultati ottenuti.

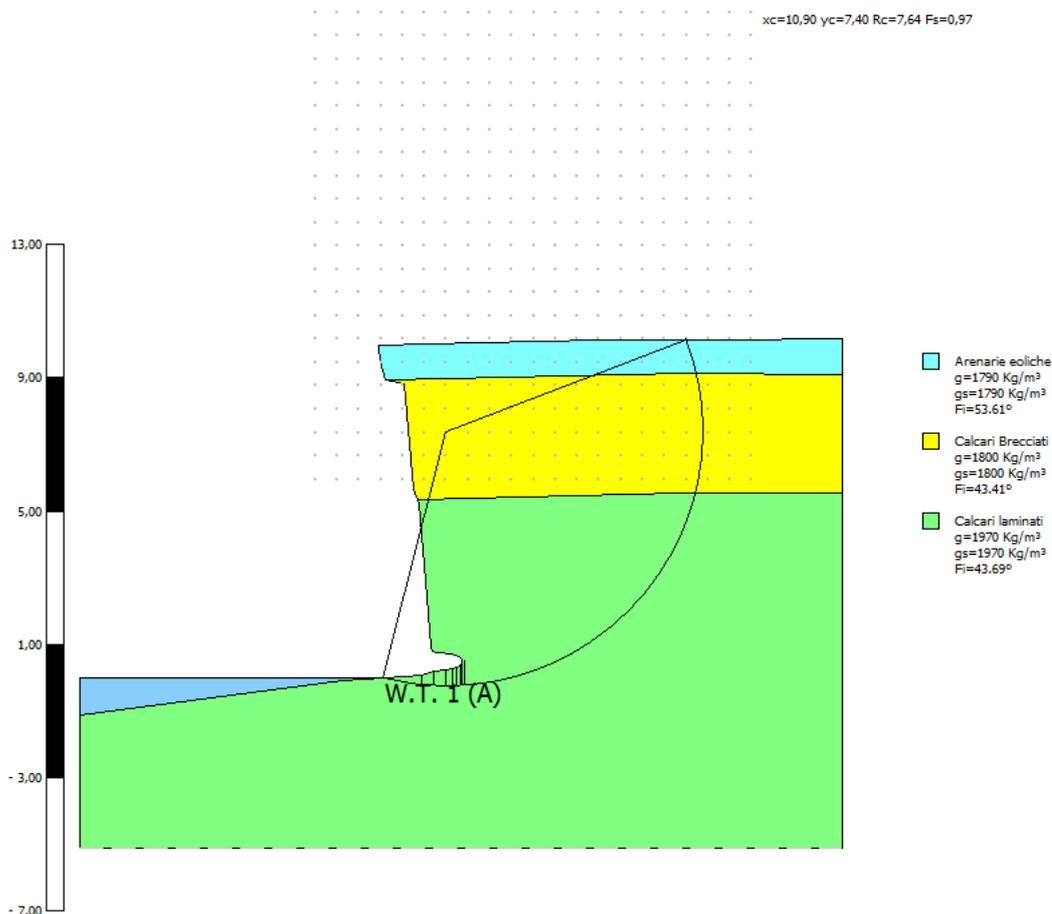


Figura 4 - Superficie critica di scorrimento nella situazione pre-interventi

### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	7,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	6,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	20,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	20,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,12
2	7,8	-0,09
3	9,08	0,0
4	10,15	0,09
5	10,51	0,2
6	10,88	0,23
7	11,08	0,26
8	11,22	0,3
9	11,32	0,35
10	11,37	0,42
11	11,37	0,5
12	11,35	0,57
13	11,29	0,62
14	11,16	0,69
15	11,03	0,73
16	10,93	0,73
17	10,76	0,74
18	10,6	0,75
19	10,5	0,79
20	10,43	0,9
21	10,31	2,41
22	10,1	5,24
23	9,94	5,67
24	9,63	8,82
25	9,09	8,94
26	8,91	9,51
27	8,9	9,96
28	11,87	10,04
29	15,48	10,13
30	19,08	10,15
31	22,68	10,17

**Falda**

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	9,09	0,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,12
2	7,8	-0,09
3	9,08	0,0
4	10,15	0,09
5	10,51	0,2
6	10,88	0,23
7	11,08	0,26
8	11,22	0,3
9	11,32	0,35
10	11,37	0,42
11	11,37	0,5
12	11,35	0,57
13	11,29	0,62
14	11,16	0,69
15	11,03	0,73
16	10,93	0,73
17	10,76	0,74
18	10,6	0,75
19	10,5	0,79
20	10,43	0,9
21	10,31	2,41
22	10,1	5,24
23	9,94	5,67
24	9,63	8,82
25	9,09	8,94
26	9,09	8,94
27	18,03	9,15
28	22,68	9,1

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,12
2	7,8	-0,09
3	9,08	0,0
4	10,15	0,09
5	10,51	0,2
6	10,88	0,23
7	11,08	0,26
8	11,22	0,3
9	11,32	0,35
10	11,37	0,42
11	11,37	0,5
12	11,35	0,57
13	11,29	0,62
14	11,16	0,69
15	11,03	0,73
16	10,93	0,73

N	X (m)	y (m)
17	10,76	0,74
18	10,6	0,75
19	10,5	0,79
20	10,43	0,9
21	10,31	2,41
22	10,1	5,24
23	10,06	5,36
24	17,85	5,55
25	22,68	5,55

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0.61		53.61	1790	1790	Arenarie eoliche
2	0.31		43.41	1800	1800	Calcari Brecciati
3	0.36		43.69	1970	1970	Calcari laminati

### Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	0,97
Ascissa centro superficie	10,9 m
Ordinata centro superficie	7,4 m
Raggio superficie	7,64 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 10,90 \quad yc = 7,40 \quad Rc = 7,644 \quad Fs=0,969$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,08	-14,1	0,08	1,87	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	67,6	262,2
2	1,07	-9,7	1,09	476,09	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	1122,2	3738,7
3	0,36	-4,3	0,36	612,43	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	726,1	1496,4
4	0,37	-1,5	0,37	689,9	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	731,1	1524,7
5	0,2	0,6	0,2	384,83	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	376,4	810,5
6	0,14	1,9	0,14	277,24	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	258,9	564,3
7	0,1	2,8	0,1	205,18	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	185,8	403,9
8	0,05	3,3	0,05	107,58	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	95,9	204,1
9	0,05	3,7	0,05	114,0	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	100,8	207,7
10	6,61	57,5	12,31	16279,0	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	77247,4	88647,5

## 5.2. Valutazione Ex Post

La valutazione ex-post si è effettuata in due steep: il primo steep si riferisce alla fase in cui si è effettuato il solo disgiungimento del materiale a sbalzo, il secondo e ultimo steep comprende invece anche la realizzazione della scogliera alla base della falesia.

Il coefficiente di sicurezza della curva critica post disgiungimento, come era logico attendersi, è di 0.97 pari a quello dello stato attuale. Seguono i calcoli con principali dati e risultati.

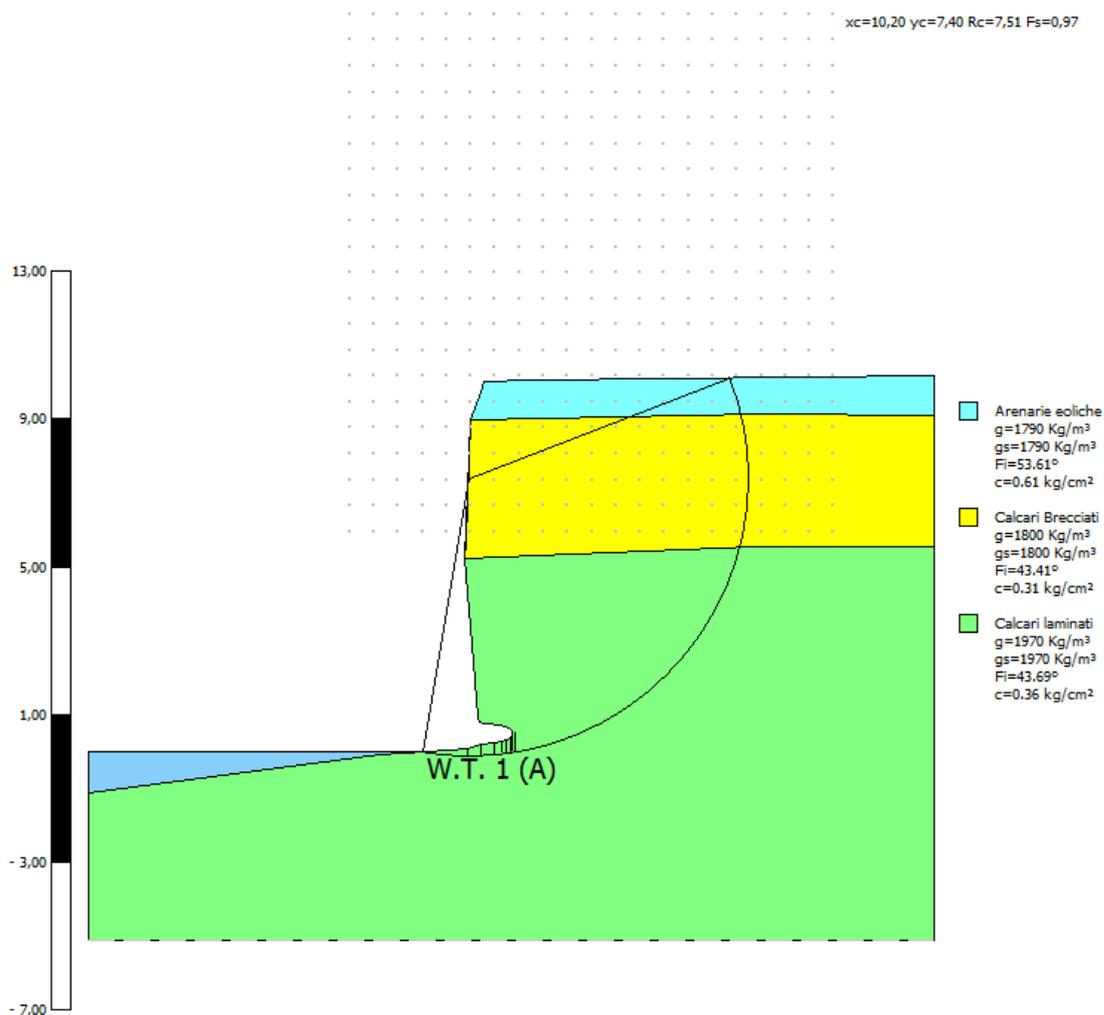


Figura 5 - Superficie critica di scorrimento nella situazione post-disgiungimento

### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	7,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	6,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	20,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	20,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,12
2	7,8	-0,09
3	9,08	0,0
4	10,15	0,09
5	10,51	0,2
6	10,88	0,23
7	11,08	0,26
8	11,22	0,3
9	11,32	0,35
10	11,37	0,42
11	11,37	0,5
12	11,35	0,57
13	11,29	0,62
14	11,16	0,69
15	11,03	0,73
16	10,93	0,73
17	10,76	0,74
18	10,6	0,75
19	10,5	0,79
20	10,43	0,9
21	10,31	2,41
22	10,1	5,24
23	10,12	5,68
24	10,24	8,96
25	10,35	9,3
26	10,51	9,75
27	10,6	10,0
28	11,87	10,04
29	22,68	10,17

### Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	9,09	0,0

### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,12
2	7,8	-0,09
3	9,08	0,0

N	X (m)	y (m)
4	10,15	0,09
5	10,51	0,2
6	10,88	0,23
7	11,08	0,26
8	11,22	0,3
9	11,32	0,35
10	11,37	0,42
11	11,37	0,5
12	11,35	0,57
13	11,29	0,62
14	11,16	0,69
15	11,03	0,73
16	10,93	0,73
17	10,76	0,74
18	10,6	0,75
19	10,5	0,79
20	10,43	0,9
21	10,31	2,41
22	10,1	5,24
23	10,24	8,97
24	18,03	9,15
25	22,68	9,1

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,12
2	7,8	-0,09
3	9,08	0,0
4	10,15	0,09
5	10,51	0,2
6	10,88	0,23
7	11,08	0,26
8	11,22	0,3
9	11,32	0,35
10	11,37	0,42
11	11,37	0,5
12	11,35	0,57
13	11,29	0,62
14	11,16	0,69
15	11,03	0,73
16	10,93	0,73
17	10,76	0,74
18	10,6	0,75
19	10,5	0,79
20	10,43	0,9
21	10,31	2,41
22	10,1	5,24
23	17,85	5,55
24	22,68	5,55

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.61		53.61	1790	1790	Arenarie eoliche	
2	0.31		43.41	1800	1800	Calcari Brecciati	
3	0.36		43.69	1970	1970	Calcari laminati	

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	0,97
Ascissa centro superficie	10,2 m
Ordinata centro superficie	7,4 m
Raggio superficie	7,51 m

B: Larghezza del conccio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conccio; Li: Lunghezza della base del conccio; Wi: Peso del conccio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 10,20 yc = 7,40 Rc = 7,513 Fs=0,97**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,13	-9,1	0,13	3,62	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	65,8	389,5
2	1,07	-4,5	1,07	284,39	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	542,6	3286,1
3	0,36	1,0	0,36	526,14	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	503,1	1332,5
4	0,37	3,8	0,37	576,98	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	489,0	1351,3
5	0,2	6,0	0,2	313,46	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	240,5	715,1
6	0,14	7,3	0,14	222,92	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	161,4	496,6
7	0,1	8,2	0,1	164,16	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	114,8	355,0
8	0,05	8,8	0,05	86,38	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	59,7	179,4
9	0,05	9,2	0,05	92,33	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	64,1	182,6
10	5,79	60,2	11,66	97485,65	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	62742,9	76414,9

Segue la valutazione che tiene di conto anche della presenza della scogliera. In questo caso il coefficiente di sicurezza della curva critica aumenta 1.66 (maggiore dello stato attuale). Seguono i calcoli con principali dati e risultati.

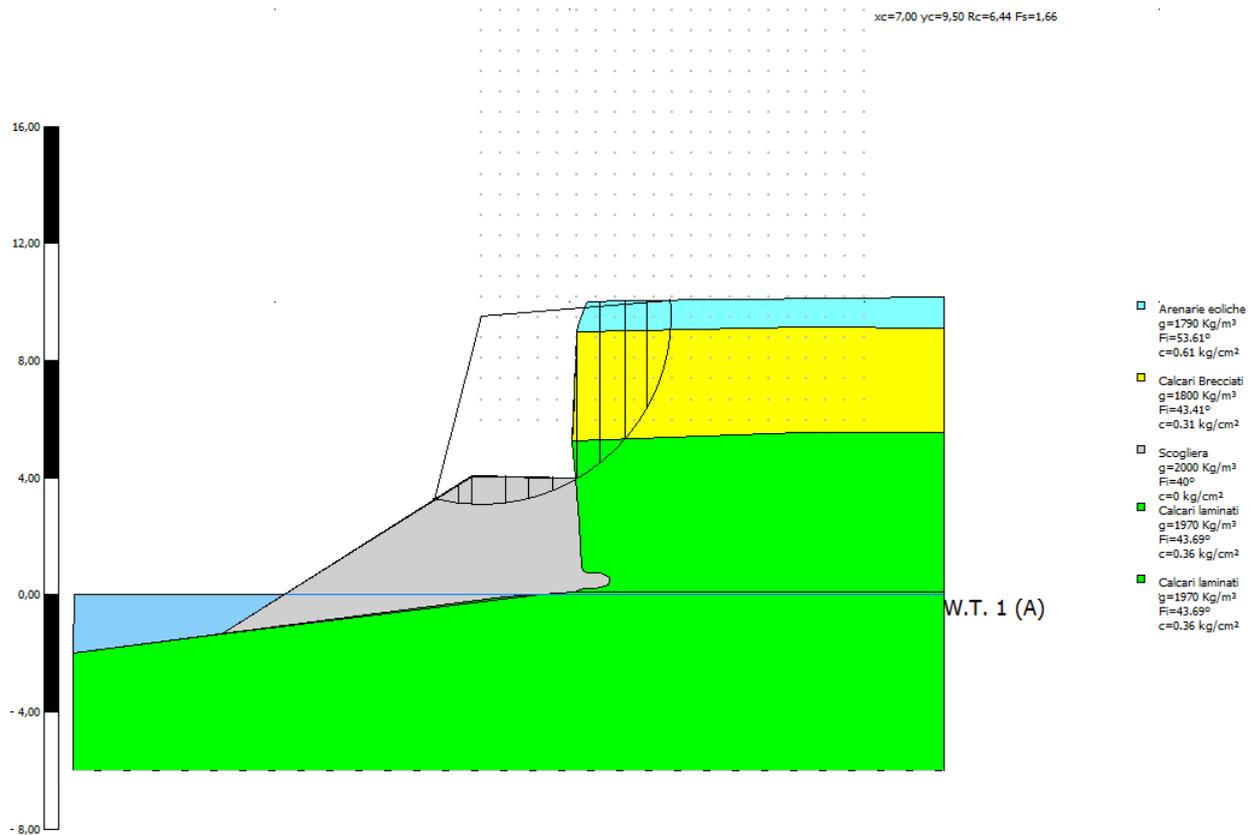


Figura 6 - Superficie critica di scorrimento nella situazione post-disgaggio e scogliera

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Normativa	NTC 2008
Numero di strati	5,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

#### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	7,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	6,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	20,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	20,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	-6,81	-2,02
2	-1,81	-1,36
3	6,69	4,07
4	10,19	4,0
5	10,1	5,24
6	10,12	5,68
7	10,24	8,96
8	10,35	9,3
9	10,51	9,75
10	10,6	10,0
11	11,87	10,04
12	22,68	10,17

**Falda**

Nr.	X (m)	y (m)
1	-6,8	0,0
2	22,68	0,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	-6,81	-2,02
2	-1,81	-1,36
3	6,69	4,07
4	10,19	4,0
5	10,1	5,24
6	10,24	8,97
7	18,03	9,15
8	22,68	9,1

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	-6,81	-2,02
2	-1,81	-1,36
3	6,69	4,04
4	10,19	4,0
5	10,1	5,24
6	17,85	5,55
7	22,68	5,55

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	-6,81	-2,02
2	-1,81	-1,36
3	-1,81	-1,36
4	-1,81	-1,36
5	6,69	4,07
6	10,19	4,0
7	10,31	2,41
8	10,43	0,9
9	10,5	0,79
10	10,6	0,75
11	10,76	0,74
12	10,93	0,73
13	11,03	0,73
14	11,16	0,69

N	X (m)	y (m)
15	11,29	0,62
16	11,35	0,57
17	11,37	0,5
18	11,37	0,42
19	11,32	0,35
20	11,22	0,3
21	11,08	0,26
22	10,88	0,23
23	10,51	0,2
24	10,15	0,09
25	9,08	0,0
26	-1,81	-1,36
27	6,69	4,04
28	10,19	4,0
29	10,1	5,24
30	17,85	5,55
31	22,68	5,55

**Vertici strato .....4**

N	X (m)	y (m)
1	-6,81	-2,02
2	7,8	-0,09
3	7,8	-0,09
4	7,8	-0,09
5	9,08	0,0
6	10,15	0,09
7	22,68	0,09
8	22,68	0,09

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.61		53.61	1790	1790	Arenarie eoliche	
2	0.31		43.41	1800	1800	Calcari Brecciati	
3	0		40	2000	2000	Scogliera	
4	0.36		43.69	1970	1970	Calcari laminati	
5	0.36		43.69	1970	1970	Calcari laminati	

### Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,66
Ascissa centro superficie	7,0 m
Ordinata centro superficie	9,5 m
Raggio superficie	6,44 m

**xc = 7,00 yc = 9,50 Rc = 6,44 Fs=1,655**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,8	-10,6	0,81	537,3	0,0	0,0	0,0	33,9	0,0	587,1	216,5
2	0,47	-4,9	0,47	775,14	0,0	0,0	0,0	33,9	0,0	803,2	296,1
3	1,13	2,3	1,13	2201,76	0,0	0,0	0,0	33,9	0,0	2171,8	800,7
4	0,8	10,9	0,81	1357,73	0,0	0,0	0,0	33,9	0,0	1291,0	475,9
5	0,8	18,3	0,84	1005,87	0,0	0,0	0,0	33,9	0,0	944,3	348,1
6	0,82	26,1	0,92	474,24	0,0	0,0	0,0	33,9	0,0	447,3	164,9
7	0,78	34,4	0,94	8269,66	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	6993,7	4423,4
8	0,85	43,9	1,18	8029,35	0,0	0,0	0,29	37,4	0,0	6653,0	4664,9
9	0,75	54,9	1,3	5743,52	0,0	0,0	0,25	37,1	0,0	4697,1	3719,5
10	0,8	77,8	3,8	4097,8	0,0	0,0	0,25	37,1	0,0	-1549,1	4525,8

## 6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La costa del comune di San Vero Milis è caratterizzata da condizioni di intensa regressione costiera. Le aree 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", in particolare a nord e sud dell'intero ambito.

La zona di Su Pallosu è un sistema di costa mista sabbioso-rocciosa in cui l'erosione si manifesta ai danni dei depositi litorali ed eolici, con processi di erosione al piede dei corpi dunari residuali e delle coltri detritiche quaternarie, con ripe di erosione marcate e alte al massimo qualche metro. 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 dei depositi detritici litoranei. Il secondo tratto, più settentrionale, coinvolge le formazioni dunali oloceniche con processi di erosione al piede da parte del moto ondoso incidente e fenomeni di deflazione superficiale indotti soprattutto da cause antropiche. Le opere previste per quest'area sono di minimo impatto e non influenzano il profilo del versante. La sola funzione a breve-medio termine è quella protettiva nei confronti del moto ondoso. Lo scopo, infatti, è quello di rallentare il processo regressivo della ripa di erosione, evitando di creare fenomeni di riflessione dei frangenti che creerebbero ulteriori criticità. Tale intervento avrebbe comunque una funzionalità ed efficacia limitata nel tempo, circa 2-3 anni, e sarebbe propedeutico alla realizzazione di un ripascimento della spiaggia antistante, da realizzarsi a seguito degli esiti di un monitoraggio ambientale e meteomarinario nel paraggio di riferimento.

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 i 10 metri, con locali depositi sabbiosi litorali alla base. La regressione costiera, a spese delle falesie citate si sviluppa per erosione al piede e successivi crolli delle pareti sub verticali. Laddove le litologie arenitiche, al tetto della successione, sono più potenti si riscontrano profili dalla morfologia aggettante. Tali forme risultano particolarmente pericolose per la possibilità di movimenti parossistici per crollo di masse rocciose di volumi rilevanti. I metodi individuati per la protezione costiera e mitigazione della pericolosità intrinseca sono le protezioni al piede con scogliere in blocchi rocciosi del peso approssimativo di 3 – 5 ton a copertura di un nucleo in massi dal peso di 50-100 Kg. Il manufatto ha la duplice funzione di contribuire ad una maggiore stabilizzazione del piede della falesia e al contempo mitigare il fenomeno di erosione costiera ad opera del moto ondoso incidente.

Gli interventi possono considerarsi **ammissibili e coerenti** con quanto stabilito dall’Art. 31, comma 1 delle NdA del PAI, in quanto riconducibili (lett. a.) ad “opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli”. **Le opere, inoltre, rispondono ai requisiti richiesti dall’art. 23**, riguardante le prescrizioni generali degli interventi ammessi nelle aree di pericolosità idrogeologica. In particolare gli interventi sono coerenti con quanto espressamente prescritto al comma 9., in quanto non peggiorano le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli e non compromettono la eventuale riduzione o l’eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale esistente.