piroddi
marco
mario
21.01.2025
17:57:10
GMT+02:00

PIRODDI
GIULIA
28.01.2025
12:20:35
GMT+02:00

PROGETTO ESECUTIVO

- DECRETO LEGISLATIVO 31 MARZO 2023 N. 36 -
- Articolo 41 - Comma 8 -

COMUNE DI SORSO

- PROVINCIA DI SASSARI -

STUDIO TECNICO

R. T. P.

Ing. M.M. Piroddi
Ing. V.G. Piroddi
Geol. G. Piroddi
Geol. M. Pirarba

VIA GARIBALDI N° 7
08044 - JERZU -NU-

C.F. PRDMCM59C14E387Z
P.I. 00769670910

PROGETTO :

INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E DIFESA COSTIERA
DEL LITORALE DI MARRITZA.
OPERE DI COMPLETAMENTO TRATTO C.

CUP: I48H23000360002 - CIG: B1F06E7262

TAVOLA K

Relazione Geologica & Geotecnica

SCALA ----

DATA *Gennaio 2025*

COMMITTENTE

Comune di Sorso
R.d.P. Geom. Gabriele Falchi

PROGETTISTA

R.T.P. Piroddi(3) - Pirarba
Capogruppo: Ing. Marco M. Piroddi

COMUNE DI SORSO

Provincia di Sassari

COMMITTENTE

COMUNE DI SORSO

Piazza Giuseppe Garibaldi, 1 – 07037 Sorso (SS)

PROGETTO

«Intervento PR FESR Sardegna 2021-2027 – Azione 3.4.1 Interventi di Messa in Sicurezza e Difesa Costiera del Litorale di Marritza. Opere di Completamento Tratto C"»

ELABORATI

Studio geologico e geotecnico

Gennaio 2025

Dott.ssa Giulia Piroddi
Via Garibaldi n°9 – 08044 Jerzu

ORDINE DEI GEOLOGI
REGIONE SARDEGNA
SEZIONE A
N. 809 Dott. Geol. GIULIA PIRODDI

Sommario

COMMITTENTE DEI LAVORI *4*
PREMESSA e scopo del lavoro *4*
RIFERIMENTI NORMATIVI DI LEGGE *5*
UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO *7*
PROGRAMMA DEI LAVORI D'INDAGINE GEOGNOSTICA *8*
LAVORI IN PROGETTO *9*
Analisi del quadro vincolistico derivante dal Piano di Assetto Idrologico (PAI) Sardegna *11*
Scheda d'intervento prevista dal PAI Sardegna *15*
Matrice di calcolo del Rischio di frana (Rg) per il settore in esame *15*
Considerazioni conclusive relative allo stato attuale (Ante Operam) *16*
STUDIO GEOLOGICO DELL'AREA **17**
INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DEL TERRITORIO DI SORSO *18*
Assetto Geologico *18*
Definizione del modello geologico concettuale *20*
Definizione dei complessi idrogeologici *21*
SCHEMA STRATIGRAFICO DI DETTAGLIO DEL SETTORE D'INTERVENTO (AREACRITICA C) *22*
Lineamenti geomorfologici dell'area *24*
Inquadramento degli elementi ambientali e territoriali e descrizione delle criticità costiere nel litorale di Sorso in località "Marritza" *26*
INQUADRAMENTO SISMICO DEL TERRITORIO PER LA DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ EDEL RISCHIO SISMICO *27*
Considerazioni generali sulla sismicità e sul pericolo sismico dell'Isola *27*
Caratterizzazione sismica dell'area d'intervento *29*
STUDIO GEOTECNICO SULLE INDAGINI ***32***
PREMESSA ALL'ANALISI GEOTECNICA DEI TERRENI *33*
MODELLAZIONE GEOTECNICA dei terreni d'intervento *33*

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE *39*

COMMITTENTE DEI LAVORI

Comune di Sorso – Piazza Giuseppe Garibaldi n°1 – 07037 Sorso (SS)

PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Su incarico della Pregiatissima Committenza e stato redatto il presente studio geologico e geotecnico dell'area di completamento del tratto C.

L'intervento risulta ricompreso nella programmazione degli interventi costieri che presentano una certa criticità. Attualmente è stato assegnato al Comune di Sorso un finanziamento RAS, con Delibera G.R. RAS n. 41/49 del 1/12/2023, di €. 1.100.000,00 per il completamento appunto dell'intervento C. Il gruppo di progettazione incaricato dell'espletamento del servizio è il RTP Piroddi-Piroddi-Piroddi-Pirarba.

La **relazione geologica**, in accordo con quanto previsto nel D.M. 17.01.2018 (Aggiornamento NTC 2008) e nel D.M. LL.PP. n°47 del 11.03.1988, contiene le indicazioni relative a verificare:

- l'assetto geologico d'inquadramento del territorio;
- la situazione litostratigraficalocale;
- la definizione dell'origine e natura dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilita ;
- i lineamenti geomorfologici della zona, gli eventuali processi morfologici nonche i dissesti in atto e potenziali che possono interferire con l'opera da realizzare e la loro tendenza evolutiva;
- i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuita ;
- lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

La **relazione geotecnica sulle indagini pregresse nella medesima area**, verifica:

- la localizzazione dell'area interessata dall'intervento;
- i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate con motivato giudizio sulla affidabilita dei risultati ottenuti;
- la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche dell'opera;
- la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in relazione alle finalita da raggiungere con il progetto, effettuata sulla base dei dati raccolti con le indagini eseguite;
- il dimensionamento del manufatto o dell'intervento;
- i risultati dei calcoli geotecnici (determinazione del carico ammissibile e, se necessario, dei cedimenti) realizzati sulla base dei procedimenti della meccanica delle terre e della Ingegneria delle fondazioni.

[1] (2024)_Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica

RIFERIMENTI NORMATIVI DI LEGGE

Per la redazione dello studio geologico e geotecnico si e fatto riferimento alla seguente base normativa:

- 2019. Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n.7 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al D.M. 17/01/2018. (G.U. n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ordinario n. 5).
- 2018. Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (G.U. n. 42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8).
- 2015. Regione Autonoma della Sardegna Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) -Interventi sulla rete idrografica e sui versanti Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6 ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni. - Norme di Attuazione del P.A.I. aggiornate con Decreto del Presidente della Regione n. 35 del 27/04/2018 BURAS n. 23 – Parte I e II del 03/05/2018
- Autorità di Bacino Regionale Comitato Istituzionale Deliberazione N. 2 del 27.10.2015 Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 "Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni
- – Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna: - Rettifica alla "Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei canali tombati esistenti"; - Rettifica alla "Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei canali di guardia esistenti"; - Rettifica alla "Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna nonchè delle altre opere interferenti".
- 2013. Delibera n. 1 del 20/06/2013, Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, PSFF;
- 2008. Decreto del Ministero delle infrastrutture 14 gennaio 2008 Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni. (G.U. n. 29 del 04/02/2008 - Suppl. Ordinario n. 30).
- 2006. Ordinanza n. 3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006. Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. (G.U. n. 108 del 11/05/2006).
- 2006. D. Lgs. 152/06 "Testo unico per l'Ambiente";

- 2005. *Raccomandazioni per la redazione della "relazione geologica" ai sensi delle norme tecniche sulle costruzioni.* In: Collana di studi e ricerche a cura della fondazione "centro studi" del Consiglio Nazionale dei Geologi.
- 2005. Decreto Assessore LL.PP. della Regione Autonoma della Sardegna del 21/02/2005 n. 3;
- 2004. Deliberazione del 30/03/2004 (15/31) della Regione Autonoma della Sardegna *Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.03.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".*
- 2003. *Ordinanza n. 3316 del Presidente del Consiglio dei Ministri 02 ottobre 2003. Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".* (G.U. n. 236 del 10-10-2003)
- 2003. *Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.* (G.U. n. 72 del 08/05/2003 – Suppl. Ordinario n. 105).
- 2001. Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380 *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia* (G.U. n. 245 del 20/10/2001) e sue ss.mm. ii.
- DPCM 29/09/98 - Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n.180;
- Legge 267 del 03/08/1998 "Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia";
- D.M. LL.PP. n°47 del 11/03/1988 recante "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilita dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- LEGGE n°64 del 02.02.1974 recante «Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche».
- Da bibliografia:
  - Piano urbanistico comunale adeguamento al P.P.R e al P.A.I Relazione di compatibilità geologica generale
  - Adeguamento al P.A.I e al P.U.C ai sensi degli art. 4, 8 comma 2, 26 delle NA del PAI

Inoltre, le indagini geologiche e geognostiche sono state programmate con diretto riferimento alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977) e "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio" (1994) della Associazione Geotecnica Italiana.

UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO

L'area interessata dal progetto è ubicata lungo la fascia costiera in località "Marritza" nel settore Est del territorio comunale di Sorso (SS).
Topograficamente l'area d'intervento è racchiusa all'interno del foglio 441 "Sorso" sez. II della carta I.G.M. edita in scala 1:25.000 (fig. 1).

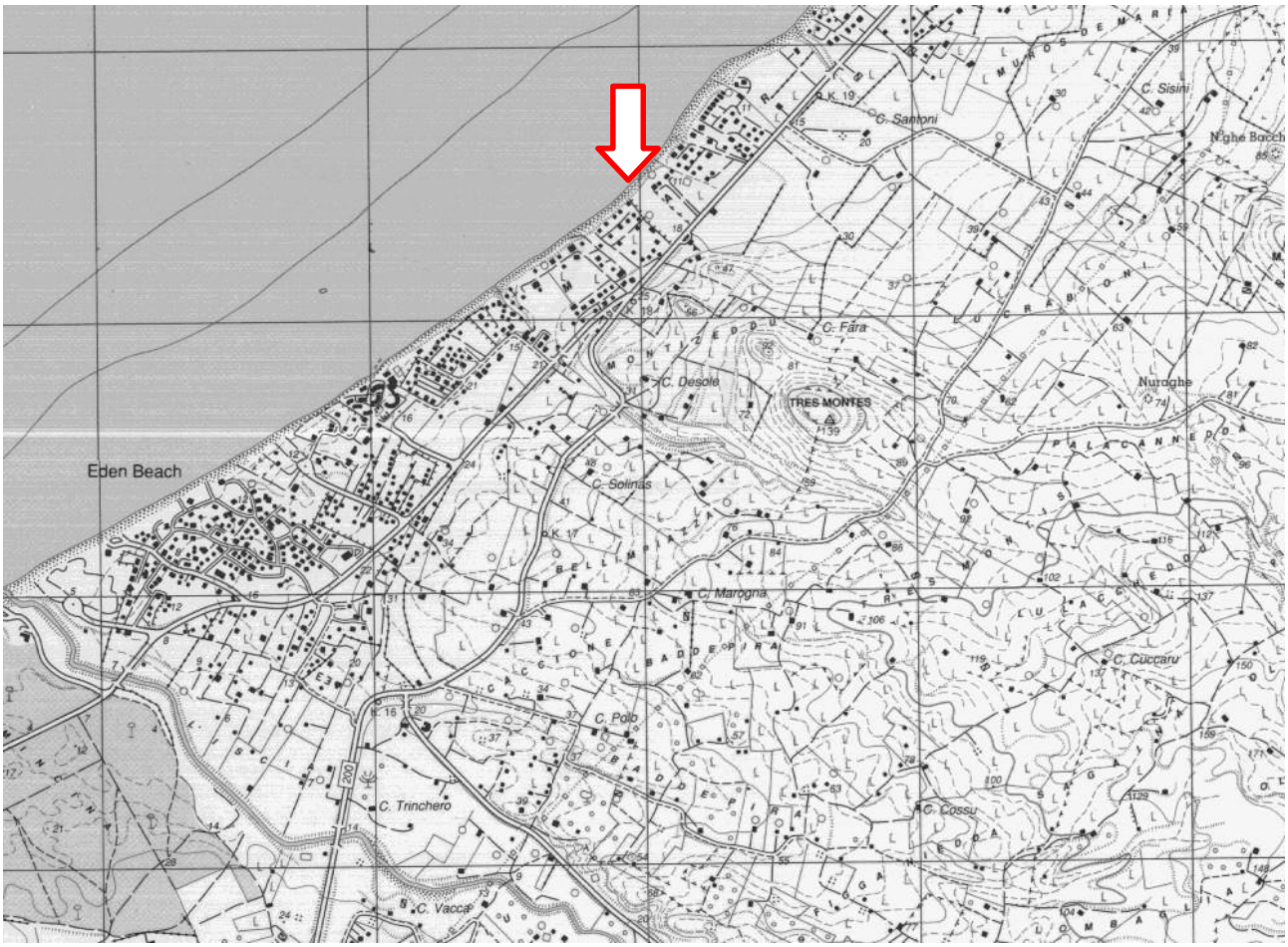


Figura 1 – Ubicazione dell'area interessata dagli interventi in progetto
(stralcio del foglio 441 "Sorso" sez. II, edito dall'I.G.M. – scala 1:25.000)

Per la restituzione dei dati e per le elaborazioni cartografiche è stata utilizzata la base topografica della tavola 441120 "Sorso", in scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale (fig. 2).

Lo stralcio cartografico ricavato dal Geoportale RAS (fig. 3) consente di evidenziare nel dettaglio l'area oggetto di ampliamento (area interna al cerchio rosso).

Per la georeferenziazione dell'area d'intervento si riportano le coordinate chilometriche per il baricentro dell'area, riferite al sistema Gauss-Boaga:

Coordinate area d'intervento Long= 8.60808 Lat= 40.85030

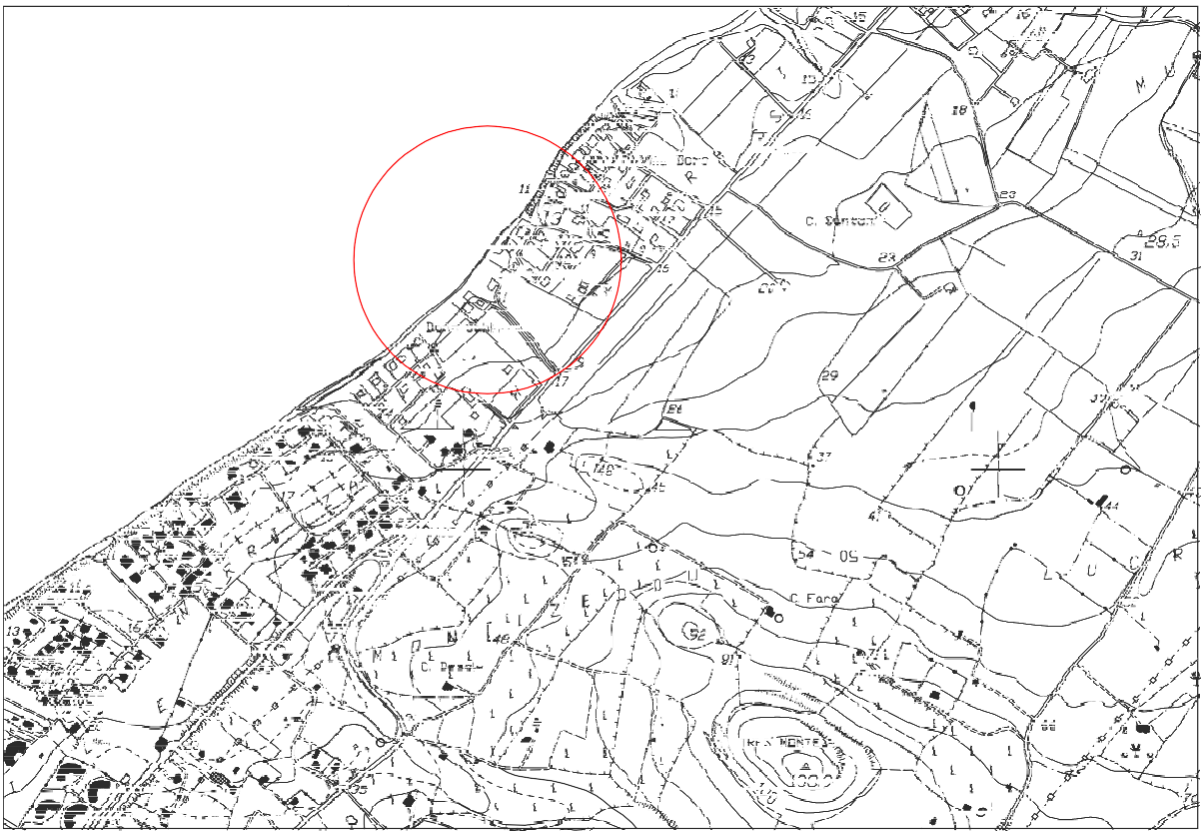


Figura 2 – Ubicazione di dettaglio dell’area in esame
(da stralcio della C.T.R. 441120 – Edita in scala 1:10.000)



Figura 3 – Ubicazione di dettaglio su base catastale degli interventi in progetto

PROGRAMMA DEI LAVORI D’INDAGINE GEOGNOSTICA

Per quanto riguarda le campagne geognostiche si fa riferimento al progetto generale, eseguito nel 2017.

LAVORI IN PROGETTO

I lavori in progetto riguardano la realizzazione di «Intervento PR FESR Sardegna 2021-2027 – Azione 3.4.1 Interventi di Messa in Sicurezza e Difesa Costiera del Litorale di Marritza. Opere di Completamento Tratto C”». Gli interventi riguardano:

- Opere di consolidamento delle fondazioni e del versante,
- Stabilizzazione del piede e risagomatura della falesia,
- Demolizione dei manufatti ammalorati e pericolanti,
- Eventuali opere di difesa costiera, distaccate e/o aderenti, anche a carattere temporaneo,
- Opere di captazione e regimentazione delle acque superficiali.

Il progetto di completamento prevede sommariamente e non esaustivamente la realizzazione di un muro in c.a. di consolidamento del piede di falesia con aggetto sommitale ricurvo al fine di favorire il rovescio dell'onda incidente. Il muro in progetto sarà protetto fronte mare da una scogliera litoide ciclopica; tale scogliera è prevista anche in sommità al muro e come taglione di chiusura al traverso. La struttura in c.a. di progetto, con funzione frangiflutti, avrà altezza tale da superare i mt. 2.00 circa pari alla cosiddetta altezza di interesse del moto ondoso attualmente frangente in falesia. Il muro sarà protetto da pitture colorate con i cromatismi dei luoghi. La protezione del fronte di scarpata/falesia sarà con rinverdimenti con il sistema dei prati armati, mediante seminagioni erbacee specifiche, con apparati radicali diffusi, per ambienti ad elevata salinità. Si prevedono altresì, in sommità di muro, rinverdimenti mascherativi con piantumazione con essenze autoctone a cespuglio/cadenti. In talune situazioni peculiari il progetto prevede la realizzazione di viminate eseguite con strutture verticali principali in castagno (od altro legno duro), opportunamente trattato in autoclave e verniciato mediante impregnanti nautici e marini. La disposizione delle viminate sarà a creazione di aiuole poi ricolmate con terra vegetale. Per la corretta gestione delle acque corrivanti sommitali verrà realizzato un sistema costituito da:

cunette in terra,

cunicoli drenenti tipo gabbiondren con pozzetti di linea,

cordolo sommitale di delimitazione falesia,

embrici in versante,

pozzetti centrati plurimi affiancati (c/o la sezione 7) di intercettazione, accompagnamento delle acque sommitali fino alla spiaggia sottostante.

Nel dettaglio i lavori riguardano:

- Varchi di collegamento tra la sommità di falesia e la SS 200 "Strada Statale dell'Anglona", appunto per il collegamento della sommità di falesia con la vicina strada statale. È previsto n. 1 varco di accesso alle proprietà Dessole – Guidi.

Le previsioni progettuali prevedono sulle viabilità campestri private esistenti le seguenti lavorazioni: pulizie vegetative, configurazioni e livellazioni, ricariche in mac-adam e compattazioni. Le larghezze di intervento sono di mt. 4.00; mentre gli sviluppi stradali risultano pari a ml. 220 circa.

- Pista d'accesso alla spiaggia di retroriva del litorale di Marrittza da realizzarsi mediante piccoli sbancamenti e riporti c/o l'attuale impluvio proprietà Dessole (c/o sezione 7). Stante la particolare configurazione planoaltimetrica dei luoghi, si rende occorrente il consolidamento del presidio al piede della rampa mediante l'installazione di blocchi ciclopici in cls (mc/cad. 1.00) che consentono alla discesa a mare di avere delle rampe di collegamento alla battigia in retroriva. Il progetto prevede la rimozione della rampa già dettagliatamente narrata in apposito precedente capitolo descrittivo.
- Pista di servizio sulla spiaggia di retroriva del litorale di Marrittza occorrente al transito dei mezzi d'opera ed all'effettuazione delle lavorazioni progettuali presso la base di falesia, per la realizzazione appunto delle opere di presidio al piede di versante. La pista avrà estensione pari all'intera area d'opera; ovvero si estenderà dalla sezione progettuale 1 (c/o confine Morittu - Dessole) fino alla sezione 11 (confine proprietà Guidi), per circa ml. 100. Per la realizzazione della pista si procederà al confinamento dell'area d'opera verso la battigia mediante l'installazione di blocchi ciclopici in cls (da mc/cad. 1.00) aggiuntivi a quelli della rampa. Definito il limite verso il mare si procederà ad una semplice e lieve livellazione

traversa della spiaggia per la realizzazione della pista d'opera di circa mt. 6.00 di ampiezza al traverso. Il sedime pista sarà opportunamente impermeabilizzato con la stesa di un telo impermeabile autoprotetto con geotessile, dotato di risvoltini longitudinali e protetto all'estradosso con uno strato spesso di materiale arido fino. Il tutto con funzione contenitiva relativamente a percolati inquinanti di cantiere. Successivamente si provvederà alla rimozione dei blocchi con riconsegna degli stessi all'impresa; nonché alla rimozione e smaltimento degli strati aridi precedentemente disposti al disopra dell'impermeabilizzante ed altresì alla rimozione dello stesso telo; tutto secondo narrazione dettagliatamente descritta in apposito e precedente capitolo. Infine, è prevista la sistemazione finale dei luoghi allo stato ante operam.

- Muro di consolidamento al piede della scarpa di falesia, da realizzarsi previa esecuzione dei relativi scavi di sbancamento, impianto e riconfigurazione dell'intera pendice. Gli scavi di impianto, oltre a riallineare sommariamente le linee di retro spiaggia, dovranno consentire anche il posizionamento del nuovo muro senza limitare le minimali larghezze di spiaggia. Il muro in c.a. sarà eseguito mediante getti di cls con classe di esposizione XS3 (per ambienti marini). Detta opera contenitiva avrà il paramento di estradosso visto fronte mare opportunamente sagomato ad iperbole incava al fine di favorire il rovescio dell'onda incidente, peraltro così come riportato nell'Atlante delle Opere di Sistemazione Costiera. Il muro di contenimento sarà opportunamente fondato su pali e tiranti. La struttura di progetto, con funzione frangiflutti, avrà altezza tale da superare i mt. 2.00 circa della cosiddetta altezza di interesse del moto ondoso attualmente frangente in falesia. Tutte le superfici viste di getto saranno opportunamente trattate con pitture colorate protettive anticarbonatazione, con tonalità nella cromaticità delle terre di falesia. Il muro sarà protetto verso il fronte mare mediante una scogliera di base in massi ciclopici allo scopo di favorire la dissipazione energetica del moto ondoso. Anche in sommità al muro sarà disposto un corso di elementi litoidi di grosse dimensioni allo scopo di meglio proteggere l'aliquota di falesia non tutelata dal sopraddetto muro di contenimento. Sono ulteriormente previste tutte le opere di rinterro e rilevato occorrenti per l'esatto inserimento dell'opera nello stato al contorno e per la ricostruzione e risagomatura in equilibrio delle pendici di falesia soprastanti la predetta opera di contenimento. In proposito per le colmature in tergo ai muri e per le risagome di scarpa sarà impiegato il materiale più grossolano proveniente dagli scavi, capace di un angolo di natural declivio >34°; questo al fine di garantire angoli di pendenza in scarpa così come previsti in progetto. Il muro avrà uno sviluppo di ml. 100 circa dalla sezione 1 alla sezione 11.In corrispondenza della sezione 11 verrà realizzato un taglione di chiusura in scogliera litoide ciclopica.
- Consolidamento della pendice di falesia (al di sopra del nuovo muro) e rinverdimenti con idrosemina relativamente all'aliquota di versante posta al disopra di scogliere e muri di contenimento, si provvederà con una idrosemina a tutta superficie, a creazione di prati consolidanti tipo prati armati, mediante seminagioni erbacee specifiche, con apparati radicali diffusi, per ambienti ad elevata salinità. Stante la carenza di risorse economiche a disposizione dell'amministrazione questa lavorazione verrà realizzata con le economie d'asta che si potessero ravvisare dall'appalto e/o con ulteriori fondi in disponibilità.
- Rinverdimenti mascherativi del muro, con essenze arboree/arbustive, in sommità dell'opera di consolidamento e viminate eseguite con strutture verticali principali in castagno (od altro legno duro), opportunamente trattato in autoclave e verniciato mediante impregnanti nautici e marini. La disposizione delle viminate sarà a creazione di aiuole poi ricolmate con terra vegetale emendata e sottoposte a piantumazione mediante essenze autoctone quali: giunco comune, euforbia arborea, lentischio, ginestra di corsica, erica scoparia, cipressina, elicriso e più; con particolare esclusione del carpobrotus acinaciformis (essendo una specie non autoctona ed altamente infestante). I rinverdimenti mascherativi in sommità del muro avverranno impiegando essenze tipiche dei luoghi e soprattutto dell'ambiente marino (carota selvatica, elicriso, euforbia, salicornia), resistenti agli aerosol. Stante la carenza di risorse economiche a disposizione dell'amministrazione questa lavorazione verrà realizzata con le economie d'asta che si potessero ravvisare dall'appalto e/o con ulteriori fondi in disponibilità.
- Intercetto delle acque corrivanti spaiate sommitali in falesia (c/o proprietà Dessole-Guidi)

mediante:

1. realizzazione preventiva di piste sterrate *alla francese* per l'intercettazione delle acque spaiate corrivanti ed il convogliamento delle medesime in appositi pozzetti di cui sarà meglio detto più avanti,
2. integrazione dell'intercetto di cui al punto precedente realizzazione di apposite cunette trapezie in terra,
3. realizzazione di cunicoli interrati drenati, attrezzati di tubi in pvc micro fessurato, colmati con scampoli di poliuretano espanso rigido; tutto in inviluppato entro reti metalliche tipo gabbione ed entro appositi teli geotessili perimetrali (sistema *gabbion-dren*),
4. piccolo cordolo sommitale da eseguirsi sulla scarpata di versante, del tipo in c.a. (anche finalizzato alla posa della recinzione metallica di sicurezza), leggermente emergente dal pdc allo scopo di intercettare e direzionare le acque meteo corrivanti verso i nuovi pozzetti di *gabbion-dren* e/o verso alcuni nuovi embrici di collettazione previsti in versante. Embrici del tipo prefabbricato in c.a. vibrato con tipologia *a coda di rondine*.

- Allontanamento acque meteo impluvio c/o proprietà Dessole (sezione 7) mediante la realizzazione di pozzetti plurimi affiancati a caduta, allo scopo di regolare e ridurre l'energia cinetica delle acque raccolte e convogliare le stesse verso la sottostante spiaggia. Detti pozzetti saranno attrezzati di apposite griglie di deflusso in ghisa (sui pozzetti di testa) e chiusino in ghisa (sul solo pozzetto intermedio), tutto con dimensioni nette a passo d'uomo. I pozzetti saranno collegati tra loro mediante relativa conduttura interna in pvc di grande diametro e/o mediante aperture in breccia. Il tutto per l'allontanamento delle acque di intercetto. Tali condutture sverseranno direttamente sulla spiaggia di retroriva fuoriuscendo dal paramento esterno del muro. I deflussi finali avverranno su una scogliera litoide di base allo scopo di dissipare energia cinetica ed evitare erosioni sulla spiaggia. Il pozzetti sopraddetti avranno il perimetro opportunamente rinfiancato in c.a.. Il pozzetto di testa sarà rifinito superiormente al contorno mediante una piattaforma rigida in cls armato (mq. 15.00 circa dello spessore di cm. 25); piattaforma corredata di sottofondazione in materiale arido costipato (cm. 25 di spessore).
- Allontanamento delle acque di pendice presenti in falesia. Le poche acque eventualmente corrivanti in pendice di falesia, anche grazie alla realizzazione degli interventi di cui ai punti precedenti, saranno notevolmente contenute e limitate. Le eventuali e poche ancora residue saranno gestite mediante il dreno di tergo all'opera di contenimento.
- Scogliera litoide ciclopica da realizzarsi a partire dalla sezione 11 per ml. 25.00 circa per il consolidamento del fronte di falesia. Il cambio tipologico, come già asserito nei paragrafi precedenti, è stato possibile perché a partire dalla sezione 11 le altezze e le pendenze del fronte di falesia sono più contenute parimenti per l'azione esercitata dal moto ondoso. Infatti in questa aliquota di litorale la spiaggia ha uno sviluppo maggiore. Stante la carenza di risorse economiche a disposizione dell'amministrazione questa lavorazione verrà realizzata con le economie d'asta che si potessero ravvisare dall'appalto e/o con ulteriori fondi in disponibilità
- Prestazioni particolari di cui al D.Lgs. 81/2008 ss.mm.ii. tutto secondo quanto già riportato nel paragrafo *"Problematiche correlate alla messa in sicurezza del cantiere temporaneo mobile".*

ANALISI DEL QUADRO VINCOLISTICO DERIVANTE DAL PIANO DI ASSETTO IDROLOGICO (PAI) SARDEGNA

Relativamente alla zona in esame, si è proceduto alla verifica dell'eventuale esistenza di limitazioni nell'uso del territorio riferibili alla presenza di vincoli derivanti dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) Sardegna o da evidenze scaturite nell'ambito della redazione del Progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia).
La verifica di compatibilità geologica e geotecnica ai sensi del P.A.I. Sardegna, come previsto dalle Norme di Attuazione (NdA) agli articoli 23 e 25 e dall'Allegato F deve verificare la compatibilità del progetto in esame con le prescrizioni riportate nelle Norme di Attuazione del Piano.

PER QUESTO INTERVENTO SI RIMANDA AL VECCHIO STUDIO CHE HA RICEVUTO IL NULLAOSTA DELL'ADIS.

L'area in esame è compresa, nella cartografia del PAI, all'interno di una fascia di terreni inclusi nella classe con pericolosità per frana da elevata (Hg3) come rappresentato nello stralcio cartografico seguente della tavola 15 dello "Studio di dettaglio della pericolosità geomorfologica per il sub-bacino 3" (Anno 2015).

La tabella seguente (fig. 5) riporta, per ciascun grado di pericolosità rilevato nel settore d'intervento, la definizione proposta nelle Linee Guida (LG) del PAI Sardegna, con il relativo fattore ponderale:

Pericolosità (Hg)			Descrizione
Classe	Intensità	Valore	
H_g2	Media	0,50	Zone 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 geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi
H_g3	Elevata	0,75	Zone in cui sono presenti frane quiescenti per la cui riattivazione ci si aspettano presumibilmente tempi pluriennali o pluridecennali; zone di possibile espansione areale delle frane attualmente quiescenti; zone in cui sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti e in cui si possono verificare frane di neoformazione presumibilmente in un; intervallo di tempo pluriennale o pluridecennali

Figura 5 - Classi di pericolosita (Hg) esistenti nell'area di intervento

Nel settore in esame il PAI individua la presenza di Elementi di Rischio (E) riferibili alle classi E4 e E3, la cui descrizione è riportata nella tabella seguente (fig. 6).

Classi	Elementi	Peso
E2	Aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane, poco abitate; edifici sparsi. Zona agricola generica (con possibilità di edificazione); zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato; Parchi, verde pubblico non edificato; infrastrutture secondarie	0.50
E4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20% della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di	1.00
	completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche); zona discarica speciali o tossico nocivi; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici; beni	

Figura 6 - Classificazione degli elementi a rischio (E_g)

La determinazione della Pericolosità di frana (Hg) e degli Elementi di Rischio (E) consente di valutare il Rischio di frana del settore in esame (Rg), derivante dal prodotto dei suddetti fattori moltiplicati per la Vulnerabilità (V), secondo la formula seguente:

$$R_g = H_g \times E \times V$$

Anche per il rischio geologico totale Rg il PAI opera una classificazione distinguendo 4 classi. Di queste, nella tabella seguente (fig. 7) si riassumono quelle presenti nell'area d'intervento.

Rischio geologico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	valore	
Rg1	Moderato	≤ 0.25	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
Rg2	Medio	≤ 0,50	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
Rg3	Elevato	≤ 0,75	sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale

Figura 7 – Classi del Rischio di frana (Rg) determinate per il settore in esame

Gli stralci cartografici seguenti (figg. 8÷10) evidenziano la condizione relativa allo stato attuale dei luoghi per quanto riguarda le verifiche riportate nel PAI Sardegna.



Figura 8 – Classi della Pericolosita di frana (Hg) determinata per il settore in esame

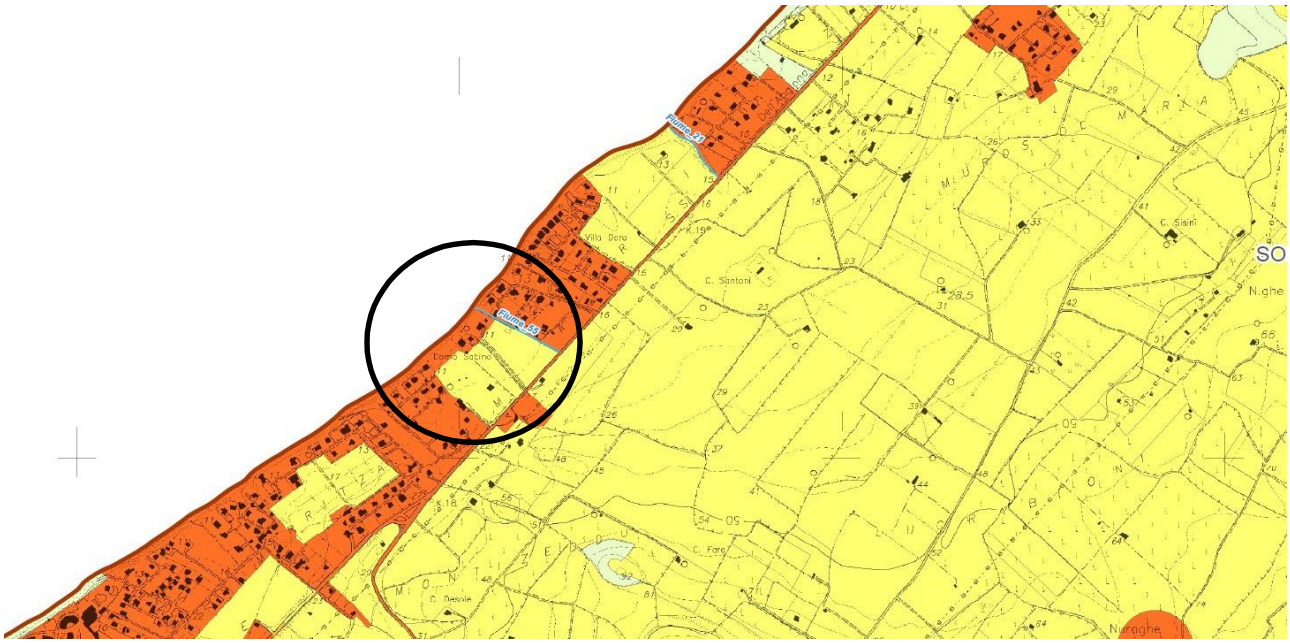


Figura 9 – Carta degli Elementi di Rischio (Eg) determinati per il settore in esame



Figura 10 – Classi del Rischio di frana (Rg) determinato per il settore in esame

SCHEDA D'INTERVENTO PREVISTA DAL PAI SARDEGNA

Per l'area in esame il PAI Sardegna riporta le seguenti indicazioni relativamente alla descrizione del dissesto, della presenza di elementi di rischio, degli interventi da realizzare e di quelli proposti con relativa quantificazione dei costi. Tali indicazioni sono rappresentate schematicamente di seguito.

DESCRIZIONE DISSESTO

Tipologia	Crollo/Ribaltamento
Stato	*Attivo*
Descrizione	La falesia costiera presso le località Marritza e Villadoro, impostata su depositi arenacei di origine eolica (eolinaniti pleistoceniche) è in fase di arretramento conseguente, in prevalenza, all'erosione marina al piede e all'azione delle acque correnti lungo la falesia. Per tali motivi si sviluppano ricorrenti e diffuse frane per crollo con caduta di massi di volume superiore al metro cubo.

ELEMENTI A RISCHIO

Tipologia	Tessuto residenziale rado e nucleiforme
Classe	E4
Descrizione	I dissesti oltre a minacciare i bagnanti che eventualmente dovessero sostare al di sotto dei tratti di falesia instabili, possono coinvolgere progressivamente i manufatti e fabbricati per lo più ad uso residenziale (ville e strutture ricettive) posti nei pressi dell'orlo delle scarpate.

MATRICE DI CALCOLO DEL RISCHIO DI FRANA (RG) PER IL SETTORE IN ESAME

Nella matrice di calcolo seguente (fig. 11) si evidenziano le possibili combinazioni che scaturiscono dall'intreccio delle differenti classi di pericolosità di frana (Hg), degli elementi di Rischio (E) e del Rischio di frana (Rg).

In rosso si riportano le differenti classi di Rischio di Frana (Rg1 – Rg2 – Rg3) rappresentate nella relativa cartografia (fig. 9).

Classe	Hg4	Hg3	Hg2	Hg1
E1	Rg1	Rg1	Rg1	Rg1
E2	Rg2	Rg2	Rg1	Rg1
E3	Rg3	Rg3	Rg2	Rg1
E4	Rg4	Rg3	Rg2	Rg1

Figura 11 – Matrice di calcolo del grado di rischio geomorfologico nello stato attuale (ante operam)

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE RELATIVE ALLO STATO ATTUALE (ANTE OPERAM)

Le valutazioni eseguite in condizioni *ante operam* per la definizione della pericolosità geomorfologica e del rischio geomorfologico hanno evidenziato che:

l'area considerata è caratterizzata da pericolosità geomorfologica da elevata (Hg3), con presenza di Elementi di Rischio di classe E4 ed E2, tali da determinare un Rischio di frana variabile da elevato (Rg3) a moderato (Rg1).

Parte Prima

STUDIO GEOLOGICO DELL'AREA

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DEL TERRITORIO DI SORSO

ASSETTO GEOLOGICO

L'assetto geologico del Comune di Sorso è costituito da affioramenti riconducibili a unità vulcaniche ologo-mioceniche, alle formazioni marine della prima sequenza sedimentaria del Bacino di Porto Torres e soprattutto depositi quaternari.
Dal punto di vista geologico-strutturale il territorio comunale di Sorso ricade all'interno del Bacino di Porto Torres, un semi-graben orientato NNW di età terziaria il cui riempimento è costituito da due sequenze stratigrafiche principali (Thomas &Gennesseaux, 1986; Funedda et al., 2000).
La sequenza più antica è data da calcari litorali e arenarie (formazione dei Calcari di Mores, Burdigaliano sup.) che poggiano sul substrato costituito da vulcaniti del ciclo calcalcalino oligo-miocenico, seguiti da marne tipiche di ambiente marino più profondo (formazione delle Marne di Borutta, Langhiano); la sequenza deposizionale più recente, che arriva al Tortoniano-Messiniano, è costituita da sabbie fluvio-marine alla base (formazione delle Sabbie di Florinas, Langhiano sup. - Serravalliano inf.) e calcari di piattaforma interna (formazione dei Calcari di Monte Santo, Tortoniano-Messiniano inf.) (Funedda et al., 2000). Le formazioni terziarie sono localmente ricoperte da sedimenti riferiti al Quaternario, di varia origine ma soprattutto eolica (Federici et al.,1987).
L'attività vulcanica che nel Terziario e nel Quaternario ha interessato la Sardegna è riferibile a due cicli nettamente distinti: il primo di età oligo-miocenica, il secondo di età plioquaternaria. Il primo ciclo, tipico delle aree di convergenza di placche litosferiche, presenta carattere prevalentemente calcoalcalino: i prodotti di questo vulcanismo sono rappresentati per lo più da lave e/o ignimbriti di composizione andesitica, riolitica e dacitica, più raramente basaltica. Esso ha inizio nell'Oligocene ma non è coevo in tutte le zone della Sardegna (28–30 milioni di anni nella valle del Cixerri, 22-24 milioni di anni a Capo Marargiu e Castelsardo), mentre le età assolute più giovani, corrispondenti a 13-14 milioni di anni, sono state misurate nel Logudoro. L'esistenza di lave subacquee di età Langhiana (15 milioni di anni) intercalate a sedimenti marini nella zona del M. Arci indica che l'attività vulcanica di questo ciclo è perdurata durante l'episodio trasgressivo miocenico e che in tale area essa si è protratta probabilmente fino alla fine del ciclo trasgressivo come indicato dalla presenza di brecce vulcaniche di mare poco profondo al tetto della formazione sedimentaria miocenica. In Sardegna le serie andesitiche mostrano, in generale, un regolare e progressivo arricchimento in K, Li, Rb, Sr e Ba procedendo da Sud verso Nord. Ciò sembrerebbe indicare un'origine più profonda delle lave a tenori più elevati di tali elementi. Questo fatto, oltre all'osservazione che l'età del vulcanismo calcoalcalino in Sardegna non sembra essere particolarmente legata alla posizione geografica, fa supporre l'esistenza, in età oligo-miocenica, di una zona di subduzione sempre più profonda procedendo via via dalla parte meridionale a quella settentrionale dell'isola.
Il secondo ciclo di età plio-quaternaria, di età assoluta compresa tra i 5,5 milioni di anni della zona di M. Arci e i 2 milioni di anni dell'area di Dorgali, Orosei e Montiferru, si è verificato all'interno di una placca continentale coinvolta da fenomeni distensivi e presenta abbondanti prodotti vulcanici, sia di tipo basico che alcalino, di colate laviche che formano estesi corpi tabulari (altipiani, giare, struvine), mentre meno rappresentati sono i duomi di lava (Montiferru) e le piroclastiti. La maggior parte delle manifestazioni vulcaniche, che hanno interessato la Sardegna dall'Oligocene, sono localizzate all'interno della grande fossa tettonica che attraversa l'isola da Nord a Sud, i cui bordi sono costituiti dai massicci paleozoici della Nurra e della Gallura a Nord, del Gennargentu a Est, dell'Iglesiente, del Sulcis e del Sarrabus a Sud, fatta esclusione delle vulcaniti medio-mioceniche di San Pietro, Sant'Antioco e Portoscuso e di quelle tardo-plioceniche di Dorgali ed Orosei.

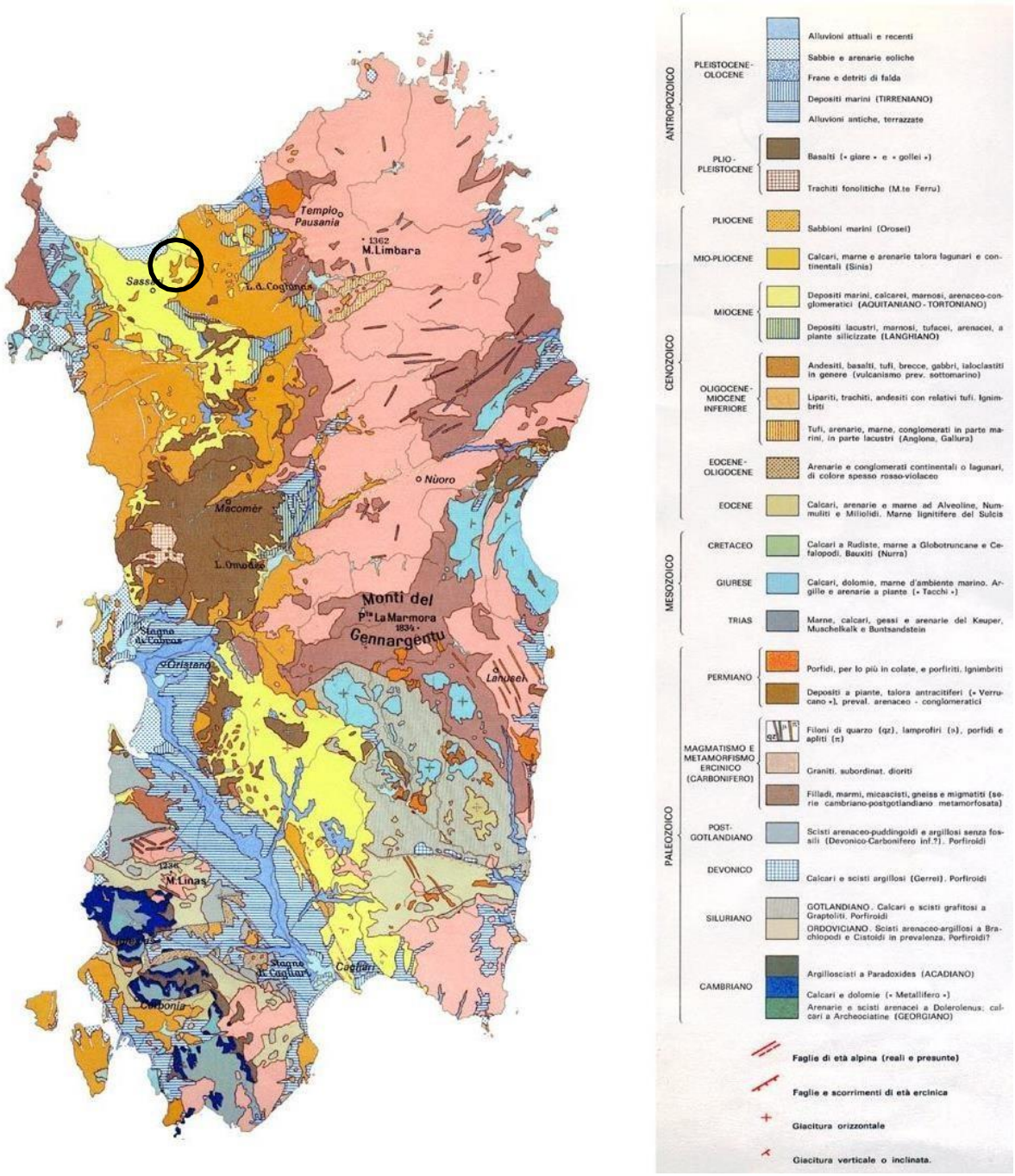


Figura 12: Carta Geologica della Sardegna

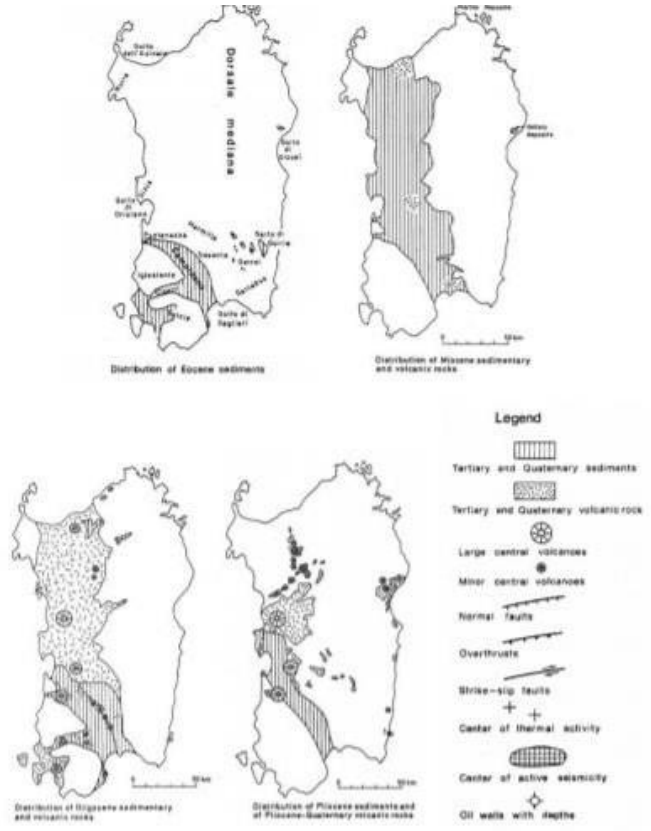


Figura 13: Distribuzione (in Senso Orario da Sinistra in Alto) dei Depositi Sedimentari nell'Eocene, delle Rocce Vulcaniche e dei Depositi Sedimentari nel Miocene, delle Rocce Vulcaniche e dei Depositi Sedimentari nell'Oligocene e delle Rocce Vulcaniche e dei Depositi Sedimentari nel Pliocene e Quaternario

DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO CONCETTUALE

Ai fini della valutazione della compatibilità geologica e geotecnica è stato eseguito un rilevamento geologico diretto di dettaglio nell'area in esame. La definizione dei diversi tematismi è basata su criteri di distinzione litologica, differenziando cioè unità dotate di caratteristiche litologiche, petrografiche e/o mineralogiche, sedimentologiche ecc. riconoscibili sul terreno e distinguibili da quelle adiacenti. Dallo studio si osserva che l'ossatura geologica del territorio è rappresentata da successione stratigrafica di terreni quaternari.
Nello specifico, le principali formazioni geologiche osservate in fase di rilevamento sono di seguito riportate:

A - DEPOSITI DELL'OLOCENE

A.1 - Depositi eolici, depositi di spiaggia, depositi alluvionali
Tali depositi hanno origine da marina a continentale. I depositi più estesi sono quelli che formano l'attuale sistema dunale di Platamona- Marina del Comune di Sorso costituite da sabbie prevalentemente quarzose di color biancastro.
Tali depositi sono sabbiosi con componente ghiaiosa a clasti ben elaborati di quarzo, calcari e vulcaniti, nell'area di Marritza la spiaggia è costituita da ciottoli e blocchi prevalenti da rocce vulcaniche.
I depositi alluvionali olocenici degli alvei attuali si caratterizzano per una granulometria grossolana per i corsi d'acqua del settore orientale e per una granulometria più fine in quelli del settore

occidentale. Infatti il rio Silis e il rio Pedras de Fogu hanno sedimenti costituiti prevalentemente da ciottoli e blocchi di vulcaniti in quanto il loro bacino è costituito in forte misura da affioramenti di vulcaniti oligo-mioceniche, mentre i corsi d'acqua a ovest dell'abitato di Sorso, la cui rete di drenaggio interessa le litologie marnose mioceniche e le eoleaniti pleistoceniche hanno depositi a granulometria prevalentemente sabbioso-limosa.

B - COMPLESSO DELLE SABBIE EOLICHE

Si tratta di depositi di svariate decine di metri. Il grado di addensamento varia da sciolto a fortemente addensato. Si tratta di depositi mono granulari, debolmente stratificate a composizione sabbiosa. A queste formazioni è associata una forte erosione sia eolica che idraulica.



Figura 14: Affioramento delle sabbie e arenarie eoliche

DEFINIZIONE DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Il complesso di studi ed osservazioni di natura geo-litologica, geomorfologica, geopedologica, idrologica ed idrogeologica effettuate nell'area in esame hanno consentito di definire i seguenti complessi idrogeologici:

Denominazione	Sabbie del complesso dunale olo-pleistocenico e detriti di falda
Composizione	sabbie sciolte o poco cementate
Permeabilità	Alta per porosità
Caratteristiche	Lo spessore è fortemente variabile, talora oltre i 50 metri. Deposito mono granulare con l'alta vulnerabilità del sistema acquifero sabbioso dovuta alla buona conducibilità idraulica e alle caratteristiche granulometriche dei sedimenti componenti l'acquifero

Denominazione	Alluvioni oloceniche
Composizione	Sabbie e ghiaie sciolte o con matrice argilloso-limosa
Permeabilità	Alta per porosità
Caratteristiche	Lo spessore è fortemente variabile, talora oltre i 50 metri. Deposito

	mono granulare con l'alta vulnerabilità del sistema acquifero sabbioso dovuta alla buona conducibilità idraulica e alle caratteristiche granulometriche dei sedimenti componenti l'acquifero

Denominazione	Marne della Formazione delle Marne di Borutta del Miocene inferiore
Composizione	Marne ed argille marnose, talora debolmente sabbiose
Permeabilità	Bassa per porosità – Media per fratturazione
Caratteristiche	Lo spessore del complesso marnoso è pluridecametrico, talora superiore a 100 metri. La permeabilità legata al grado di fratturazione consente un tipo di circolazione incanalata ma difficilmente strutturata in rete, pertanto pur non escludendo la presenza di circuiti idrici talvolta importanti non può definirsi come un acquifero produttivo ne è possibile parlare di presenza di falda. Piuttosto la formazione marnosa rappresenta il limite (acquifuge) inferiore e laterale della falda presente all'interno dei depositi sabbiosi

SCHEMA STRATIGRAFICO DI DETTAGLIO DEL SETTORE D'INTERVENTO (AREA CRITICA C)

Per la ricostruzione dello schema stratigrafico di dettaglio si e fatto riferimento ai sondaggi C1 e C2 eseguiti nel settore dell'Area Critica C nel primo progetto (2017) secondo un allineamento nord-sud, trasversale alla linea di costa ed alla falesia.

Il sondaggio C1 e stato approfondito fino a 3 metri dal piano di calpestio della spiaggia ciottolosa presente al piede della falesia rocciosa.

Il primo livello intercettato è costituito da depositi di spiaggia con blocchi e ciottoli poligenici ed eteromorfici ed ha uno spessore di 0.80 metri.

Alla base e presente il substrato marnoso lapideo che e stato intercettato per uno spessore di 2.20 metri circa, come illustrato dalla foto seguente riferita alla cassetta portacampioni (fig. 15).



Figura 15 – Sondaggio C1 – Cassetta portacampioni

Il sondaggio C2 è stato approfondito fino a 10 metri dal piano di calpestio della spiaggia ciottolosa presente al piede della falesia rocciosa.
Il primo livello intercettato, al di sotto della pavimentazione del piazzale e del relativo sottofondo

(spessore complessivo di 40 cm) è costituito da depositi sabbiosi eolici, con sabbie equigranulari, talora con livelletti debolmente cementati, di colore nocciola-arancio, aventi uno spessore pari a circa 10 metri.
Il sondaggio, eseguito in posizione arretrata rispetto alla falesia non ha intercettato il substrato marnoso litoide, come illustrato dalla foto seguente riferita alla cassetta portacampioni (fig. 16).



Figura 16 – Sondaggio C2 – Cassetta portacampioni

LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

Nel settore comprendente l'area di studio, come già accennato, i litotipi che maggiormente influenzano le forme del rilievo sono depositi quaternari. In generale nell'area indagata è stato possibile differenziare due domini geomorfologici che possono essere distinti in **zona costiera** e **zona di rilievi interni**.
La zona costiera rappresenta il 55 % del territorio del comune di Sorso. Caratterizzata da depositi durali e di sabbie. I primi si trovano nella parte più prossimale al mare e sono molto soggetti all'erosione eolica e idraulica.
L'intero sistema dunale ha inoltre agito come barriera a protezione delle aree più interne alle quali deve essere riconosciuta e garantita la forte valenza naturalistica.
In questa zona è presente pure lo stagno di Platamona che si sviluppa parallelamente alla linea di costa e separato dalla spiaggia proprio dal complesso dunale. Si tratta di uno stagno retrodunale il quale nel corso degli anni è stato oggetto di svariati interventi antropici. In origine presentava caratteristiche lagunari con apporto di acqua dolce direttamente dal rio Buddi Buddi e collegamento a mare garantito da un'efficace canalizzazione naturale.
In prossimità di Marritza il passaggio tra le dune recenti e le dune fossili pleistoceniche è marcato dalla variazione del paesaggio costiero, si passa infatti da una costa bassa, caratterizzata da spiagge a composizione sabbiosa (Marina di Sorso) ad una costa a falesia dove la spiaggia emersa e composta

di ciottoli del basamento vulcanico.
In questa porzione di costa, che si sviluppa da Marritza sin oltre il territorio comunale, **è evidente una forte azione erosiva da parte del mare il quale arriva a lambire la base delle falesie**.
La seconda zona presenta delle colline, ne fanno parte le **scarpate in evoluzione** che vengono associate alle falesie e ai rilievi di Tre Montes. Anche in questa zona è presente erosione per dilavamento diffuso e sono forme persistenti in tutta l'area.

INQUADRAMENTO DEGLI ELEMENTI AMBIENTALI E TERRITORIALI E DESCRIZIONE DELLE CRITICITÀ COSTIERE NEL LITORALE DI SORSO IN LOCALITÀ "MARRITZA"

Il tratto costiero in esame, denominato Litorale Marritza, nel Comune di Sorso, è ricompreso nell'Unità Fisiografica (UF) n°18, chiamata "P.ta di li Francesi-Stintino", così come espressamente individuata nel Programma Azione Coste. La sua ubicazione è baricentrica all'interno della costa del Golfo dell'Asinara, ove si affaccia con esposizione N-NW.
Nel suo complesso, in generale, il litorale di Sorso è caratterizzato al settore S/W (Marina di Sorso) da un esteso sistema dunale olocenico, artificialmente in parte già stabilizzato; mentre il settore N/E (litorale Marritza) è caratterizzato da una tipologia di costa alta, contraddistinta dalla presenza di alte falesie; queste interessate da processi morfodinamici evolutivi naturali e da processi erosivi correlati anche a fattori antropici.
Le alte falesie di Marritza risultano interessate da smottamenti localizzati, in atto e potenziali, e da una diffusa franosità attiva e potenzialmente attiva che di fatto interessa le strette lingue di spiaggia sottese dai versanti stessi e di cui detto, con effettivo rischio per l'incolumità di persone e cose.
Le strette *lingue* di spiaggia del litorale di Marritza sono caratterizzate dalla presenza al *calpestio* di elementi clastici grossolani misti a prevalente componente ciottolosa, poggianti a loro volta su un substrato roccioso.
La stretta spiaggia risulta chiusa verso la *terraferma* da una ripa/falesia di retro spiaggia in arenaria eolica wurmiana, interessata più o meno diffusamente da smottamenti e frane che apportano nella sottostante spiaggia del materiale sabbioso di disfacimento arenarico, prontamente asportato dal run-up dell'onda e ridistribuito nella spiaggia sommersa dalle correnti di sottocosta in direzione E-W.
L'ampiezza delle strette spiagge di Marritza varia fino a ridursi a pochi metri (di ampiezza) in funzione degli antistanti fondali. In condizione di basso fondale antistante la battigia, con presenza di banchi rocciosi a limitata batimetrica, le strette spiagge hanno una ampiezza più grande; mentre ove presenti fondali più profondi, senza possibilità alcuna che le onde frangano in mare dissipando a largo la loro energia, l'ampiezza traversa delle strette spiagge è pressoché nulla.
L'evoluzione delle linee di riva ha determinato negli ultimi 50 anni degli arretramenti valutati nell'ordine di mt. 30 circa; mentre i paralleli arretramenti della falesia risultano negli ultimi 30 anni di circa mt. 10-15.
La regressione della falesia ha proceduto per crolli e ribaltamenti fino ad interessare le abitazioni e relative pertinenze, nonché i manufatti presenti in prossimità dei cigli.
Questo aspetto ha determinato condizioni di rischio per le case ed i relativi giardini, nonché per la frequentazione della stretta spiaggia sottostante.
La falesia risulta in genere costituita da depositi eolici pleistocenici cementati semincoerenti, debolmente addensati e di elevata permeabilità.
Tali caratteristiche geologiche determinano scarse capacità geotecniche e parametri di stabilità molto bassi, con *"coefficienti di sicurezza globale/locale"* in diminuzione anche per piccole variazioni di carico e/o di contenuto d'acqua (piogge e percolazioni varie).
Anche l'azione meccanica del moto ondoso (idrodinamica marina), per la scarsa consistenza geotecnica del fronte di falesia, induce erosioni diffuse e costanti delle pareti fronte litorale.

Inoltre, tutto il fronte risulta sottoposto ad ulteriori azioni erosive generate dai contrasti di salinità e da un'ampia dispersione degli areosol marini correlati all'azione dei venti battenti (maestrale e grecale).
In aggiunta alle problematiche strettamente legate a elementi "naturali", si evidenzia che la presenza di manufatti di vario tipo, collocati nelle pendici di falesia (muri, rampe di accesso, recinzioni e più), accentua le problematiche connesse agli eventi intensificandone le situazioni di criticità specie in prossimità degli stessi manufatti, amplificando ulteriormente i fenomeni di crollo e cedimento presso i medesimi.
Il sistema idrografico superficiale è costituito da impluvi minori ortogonali alla costa che si attivano in concomitanza ad eventi pluviometrici significativi aventi caratteristiche prettamente torrentizie.
L'urbanizzazione della fascia costiera ha circoscritto i tracciati degli impluvi, ha cementato gli sbocchi (anche per realizzarvi le discese a mare), ha alterato i coefficienti di deflusso dell'originario piano topografico prossimo alla falesia; quanto detto, anche a seguito di cementificazioni dei normali piani di campagna per la realizzazione di: fabbricati, strade, percorsi, piazzali, marciapiedi, costruzioni varie e più. Il tutto ha determinato alterazioni dei normali deflussi superficiali.
Altresì, sempre relativamente all'idrologia locale, un aspetto di aggravio è costituito dal corpo stradale della SS 200 "Strada Statale dell'Anglona", che corre parallelamente alla linea di costa ad una distanza da questa di circa ml. 250. Tale circostanza non aiuta il regolare deflusso delle acque corrivanti che vengono spaiate. Infatti, il corpo stradale le intercetta e le concentra puntualmente su gore esistenti aggravandone l'efficienza ed intensificandone i fenomeni negativi a quest'aspetto correlati.
Anche il regime anemometrico contribuisce all'evoluzione del sistema condizionando il clima ondoso e l'andamento delle correnti marine superficiali. La particolare conformazione orografica del paraggio, isola dell'Asinara a N/W e la costa settentrionale della Sardegna ad Est, determina un clima anemometrico riparato relativamente all'azione del maestrale, mentre i venti da nord costituiscono quelli battenti con più energia.
Il fetch efficace all'interno del golfo dell'Asinara indica sommariamente un'esposizione del sito ai venti del IV quadrante, da cui provengono gli eventi estremi di moto ondoso. Pertanto è il vento grecale, e non il maestrale, quello che impone gli accadimenti ondametrici più gravosi, anche in considerazione dell'azione pressoché perpendicolare del grecale rispetto alla linea di costa, senza nessun abbattimento nell'azione del medesimo. Tutte le considerazioni sopraesposte delineano uno scenario critico di erosione costiera, determinato dalla concorrenza sinergica negativa di fattori naturali e fattori antropici, che sommatesi concorrono all'amplificazione dei dissesti sopraddetti, con ricadute negative sul piano ambientale e paesaggistico, nonché sulle potenzialità turistiche del territorio.

INQUADRAMENTO SISMICO DEL TERRITORIO PER LA DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO SISMICO

CONSIDERAZIONI GENERALI SULLA SISMICITÀ E SUL PERICOLO SISMICO DELL'ISOLA

Numerose considerazioni attribuiscono all'Isola un carattere di bassa sismicita , come peraltro confermato anche dall'ultima edizione della Classificazione sismica nazionale al 2012 di cui si riporta lo stralcio cartografico (fig. 18) predisposto dal Dipartimento della Protezione Civile - Ufficio Rischio simico e vulcanico.
Diverse ricostruzioni dell'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale confermano che il Blocco Sardo-Corso e stabile da circa 7 milioni di anni e, il catalogo storico dei terremoti riporta solo due eventi nel Nord Sardegna, entrambi di magnitudo inferiore a 5 (datati 1838 e 1948).
Il catalogo strumentale (sismicita degli ultimi 25 anni registrata dalla rete nazionale) riporta solo

alcuni eventi nel Tirreno e pochissimi eventi a Sud della Sardegna (vedi gli ultimi eventi del 2006) e nel Nord Sardegna l'evento del 5 febbraio 2009, verificatosi in mare alla profondita di circa 20 km, con magnitudo inferiore a 3.5.
Si tratta, comunque, di eventi caratterizzati da energia molto bassa, rari, che vengono registrati frequentemente un po' ovunque e che, dal punto di vista della pericolosita sismica, cio della probabilita di occorrenza di tali eventi, sono di livello così basso da non riuscire a valutarlo in maniera adeguata e affidabile.
Per tale motivo e stato proposto, per tutta l'Isola, un valore di default di pericolo sismico basso, con pericolosita sismica di livello 4.
Il documento "Task 1 - Completamento delle elaborazioni relative a MPS04 - Deliverable D1 Valutazione standard (10%, 475 anni) di a_{max} (16_{mo}, 50_{mo}, e 84_{mo} percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04" redatto a cura di M.Stucchi, C. Meletti, V. Montaldo et alii dell'INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, riporta la mappatura del parametro "a_{max}" ovvero dell'accelerazione sismica massima.
La Sardegna e indicata come un caso a se stante per la quale, tenendo conto che la sismicita e bassa, anche a livello strumentale, e che i dati storici non segnalano danni significativi, si ritiene ragionevole assumere per l'intero territorio un valore di default a_{max} = 0.050 g.
Mediante l'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 sono stati emanati i criteri per la nuova classificazione sismica del territorio nazionale e tutti i comuni della Sardegna sono classificati in zona 4 (a sismicita bassa).

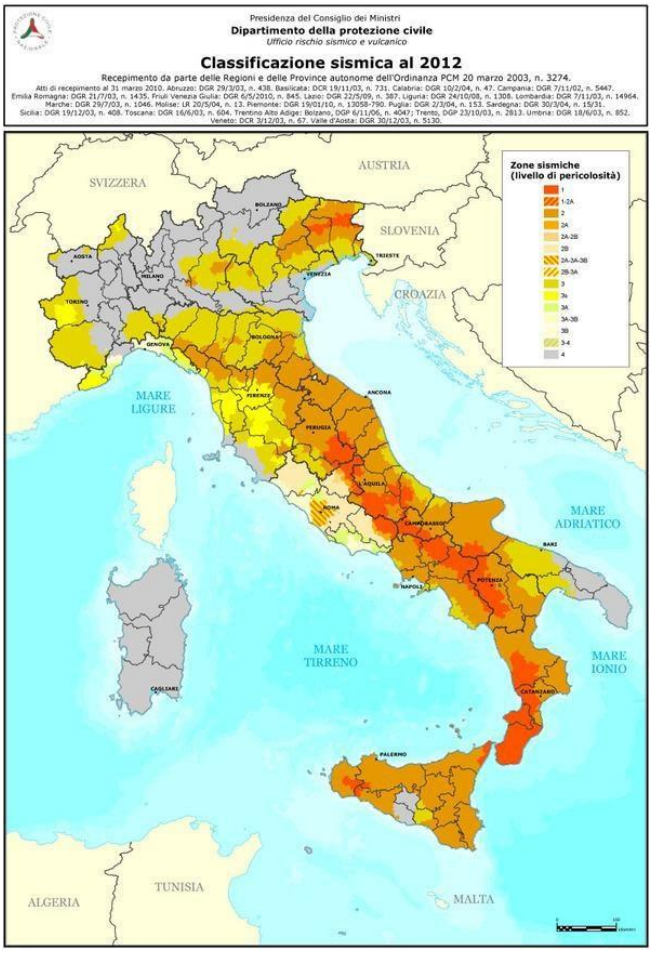


Figura 17 - Carta del Rischio sismico e vulcanico d'Italia (al 2012)

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA D'INTERVENTO

La classificazione in aree sismiche si deve all'introduzione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.03.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", recepita dalla RAS con la deliberazione 15/31 del 30.3.2004, che classifica tutti i comuni della Sardegna in Zona 4, la zona meno pericolosa dove i terremoti sono rari.
L' O.P.C.M. 3519 del 28.04.2006 recante "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", aggiorna lo studio di pericolosità introducendo gli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da Vs_{30} > 800 m/s secondo lo schema riportato in Figura 18.

zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g]	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g]
1	0,25 < a_g ≤0,35 g	0,35 g
2	0,15 < a_g ≤0,25 g	0,25 g
3	0,05 < a_g ≤0,15 g	0,15 g
4	≤0,05 g	0,05 g

Figura 18 - Zonazione sismica e parametri ai sensi dell'O.P.C.M. 3519/2006

L'area studiata ricade nel comune di Sorso classificato, come tutti i comuni dell'Isola, come Zona 4.
I valori convenzionali di ag espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g, da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.
La vita nominale di progetto VN di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I.
Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Circa i requisiti e le prestazioni richieste, visto l'ambito strategico relativo alla funzionalità dell'intervento in progetto, comporta un'identificazione tra quelle costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità, e con vita nominale di almeno 100 anni.
Pertanto, in relazione alla classe e alla vita nominale, il periodo di riferimento VR da considerarsi per le azioni sismiche risulta di 200 anni. Vista l'importanza dell'intervento in oggetto, sono stati considerati cautelativamente i parametri:

• Vita nominale (VN): 50 anni;

• Classe d'uso: II (Cu = 1);
• Periodo di riferimento azione sismica (VR = VN * Cu): 50 anni.

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (Tr) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (PVr) nel periodo di riferimento dell'opera (Vr).Il periodo di riferimento dell'opera (Vr) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (Vn), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (Cu), funzione della Classe d'uso della costruzione. Per la definizione della categoria di sottosuolo in riferimento alle condizioni topografiche, nell'ambito dell'approccio semplificato alla definizione delle Vs, si può fare riferimento alla tabella 3.2.II delle N.T.C. 2018.
Le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17.01.2018) consentono per alcuni casi specifici, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, di fare riferimento a un approccio semplificato, con riferimento alle Tabelle 3.2.II e 3.2.III.
Con riferimento alla classificazione riportata dalla tabella seguente (fig. 19), in accordo con quanto previsto dall'aggiornamento 2018 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, il terreno di fondazione eriferibile alla **categoria sismica E**.

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO DECRETO MINISTRIALE LL.PP. DEL 17 GENNAIO 2018 (AGGIORNAMENTO NTC 2008)
Categoria A
Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
Categoria B
Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
Categoria C
Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
Categoria D
Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
Categoria E
Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

Figura 19 – Categorie di sottosuolo da D.M. 17.01.2018 (Aggiornamento NTC 08)

Per quanto riguarda le categorie topografiche, vista la conformazione orografica del sito ed in riferimento alla tabella 3.2 III delle NTC 2018 e viene utilizzata la categoria T1 per entrambe le formazioni soggette ad intervento.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso CU:

$$VR = VN*CU$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso* C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Nel caso in esame viene selezionata la classe d'uso II in considerazione di quanto esposto al paragrafo relativo alla determinazione della vita nominale dell'opera.

Parte Seconda

STUDIO GEOTECNICO SULLE INDAGINI

PREMESSA ALL'ANALISI GEOTECNICA DEI TERRENI

L'analisi geotecnica e finalizzata alla determinazione delle proprietà geotecniche e geomeccaniche dei terreni in corrispondenza dell'area d'intervento, sono stati eseguiti ed elaborati nel progetto generale del 2017.
Considerata la tipologia dell'intervento progettuale proposto si e reso necessario procedere alla modellazione geotecnica dell'area mediante la definizione di una sezione geotecnica tipo da utilizzare nelle verifiche di stabilita della falesia costiera. Ciò al fine di verificare la risposta attesa rispetto al quadro delle sollecitazioni indotte dal nuovo stato tensionale gravante sui terreni oggetto dell'intervento di messa in sicurezza.

MODELLAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI D'INTERVENTO

Sulla base delle verifiche stratigrafiche e litologiche riportate nella prima sezione del presente elaborato, relativa allo studio geologico dell'area del settore e stata rilevata una condizione di elevata omogeneita nella distribuzione in senso verticale (spessori) delle unita litologiche distinte.
Il modello geotecnico individuato, pertanto, e del tipo "a due unita litologiche", costituito da un ammasso roccioso marnoso di base ad un deposito di eolianiti sabbioso-arenacee che si sviluppano con uno spessore superiore a 10 metri (massima profondita di indagine del sondaggio C2).
sabbioso-arenaceo con alternanza di livelli calcarenitici e di calcari arenaceo-marnosi, che si sviluppa per profondita decametriche, notevolmente superiori alla profondita di sviluppo del "cuneo di rottura" del terreno sottostante la fondazione.
Pertanto la sezione geotecnica tipo ricavata dall'interpolazione dei dati ottenuti dai sondaggi eseguiti definisce un'UNITA' LITOLOGICA B alla base e un'UNITA' LITOLOGICA A più superficiale:

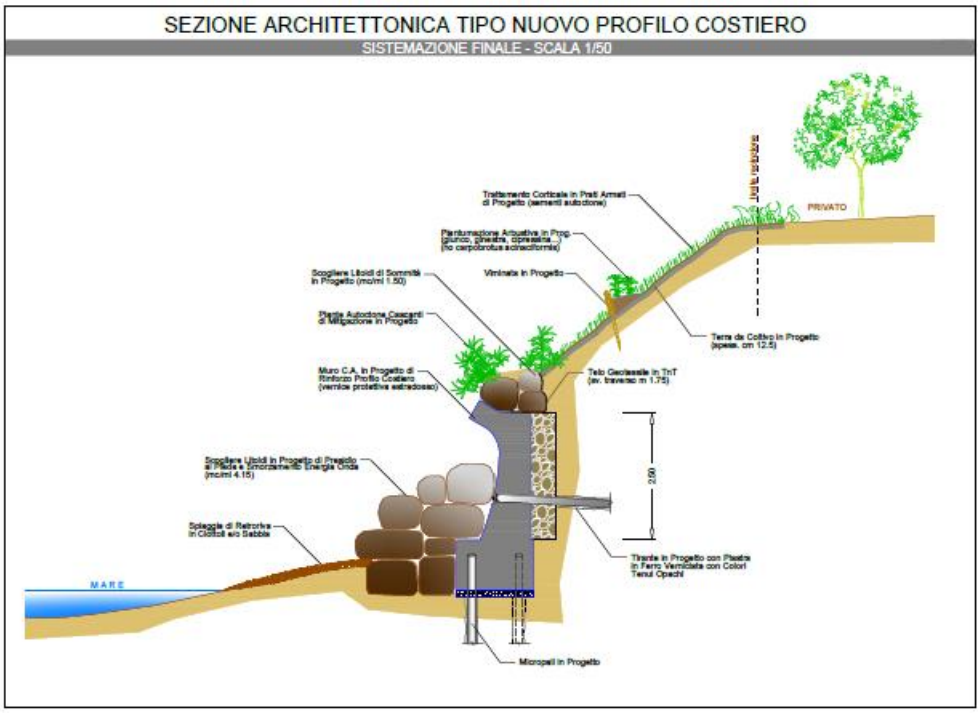


Figura 20 – Sezione stratigrafica tipo dell'area d'intervento con ipotesi di sistemazione finale

ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROVE IN SITU E DI LABORATORIO

C1	U.L. B - Marna	SPT1	1.50-1.95	5-10-10	20
	U.L. B - Marna	SPT2	2.20-2.33	Rif.	Rif.
C2	U.L. A – Sabbia arenacea	SPT1	1.20-1.65	20-18-21	39
	U.L. A – Sabbia arenacea	SPT2	3.50-3.95	16-16-11	27
	U.L. A – Sabbia arenacea	SPT3	8.00-8.25	30-Rif.	Rif.

B_Prove in laboratorio_ Sono state effettuate alcune prove di laboratorio finalizzate alla classificazione fisica e meccanica dei litotipi attraversati durante il carotaggio dei terreni. In particolare sono state effettuate le seguenti determinazioni: peso di volume, classificazione CNR-UNI 10006, prove di taglio diretto. Nella tabella seguente si riportano i risultaticonseguiti.

Campione	U.L.	Profondita (m)	Peso di volume (kN/mc)	CNR-UNI 10006	Angolo di attrito (°)	Coesione (kPa)
C2	A	7.50-7.80	1.9	A1-b	24.3	30

PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La parametrizzazione delle unita litoidi rinvenute all'interno della sezione geotecnica tipo per la falesia costiera presente nel tratto costiero individuato come Area Critica C e stata effettuata utilizzando i dati ricavati dalle prove in situ e di laboratorio.
Relativamente alle prove S.P.T. e stato possibile definire, per correlazione, i valori geotecnici per le unita litologiche presenti in corrispondenza della profondita di prova.
Nella tabella seguente si riassumono i valori dei principali parametri geotecnici determinati.

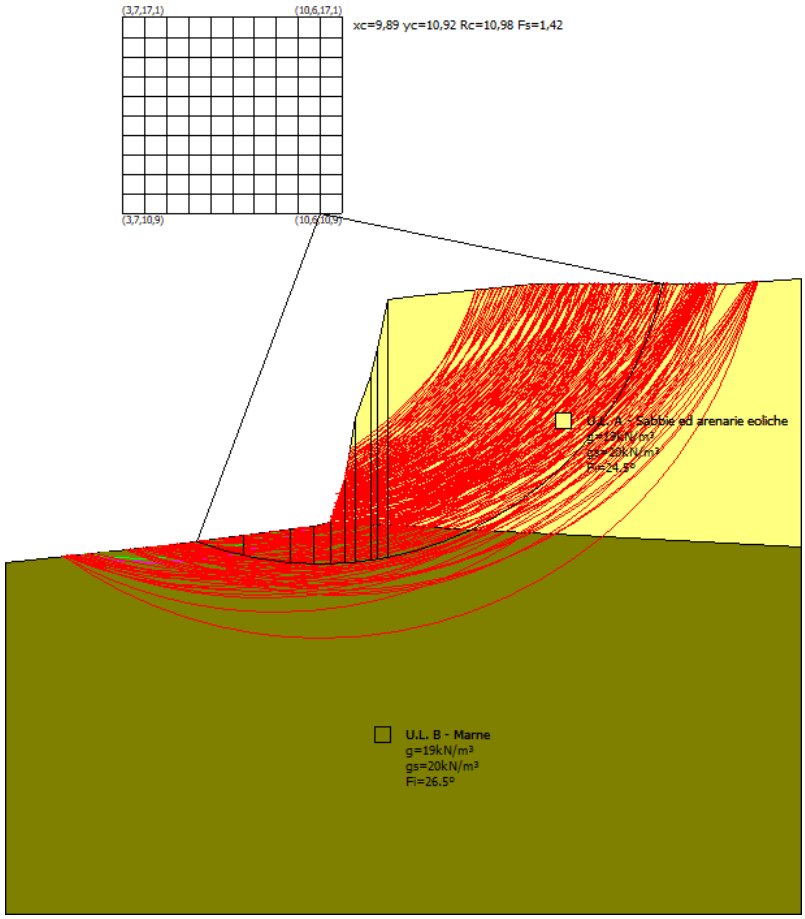
U.L.	Litotipo	Prova riferimento	Peso di volume (kN/mc)	Nspt	Angolo di attrito (°)	Coesione (kPa)
A	Sabbie eoliche	Laboratorio	1.9	A1-b	24.3	30
B	Marne	Laboratorio	1.9	A2-4	26.8	50

VERIFICA DI STABILITÀ DELLA FALESIA COSTIERA

Per la verifica di stabilita della falesia si eproceduto secondo due differenti configurazioni temporali: allo stato attuale (*ante operam*) ed allo stato di progetto (*post operam*). Lo sviluppo completo dei calcoli eseguiti eriportato nel rapporto allegato (all. 3).

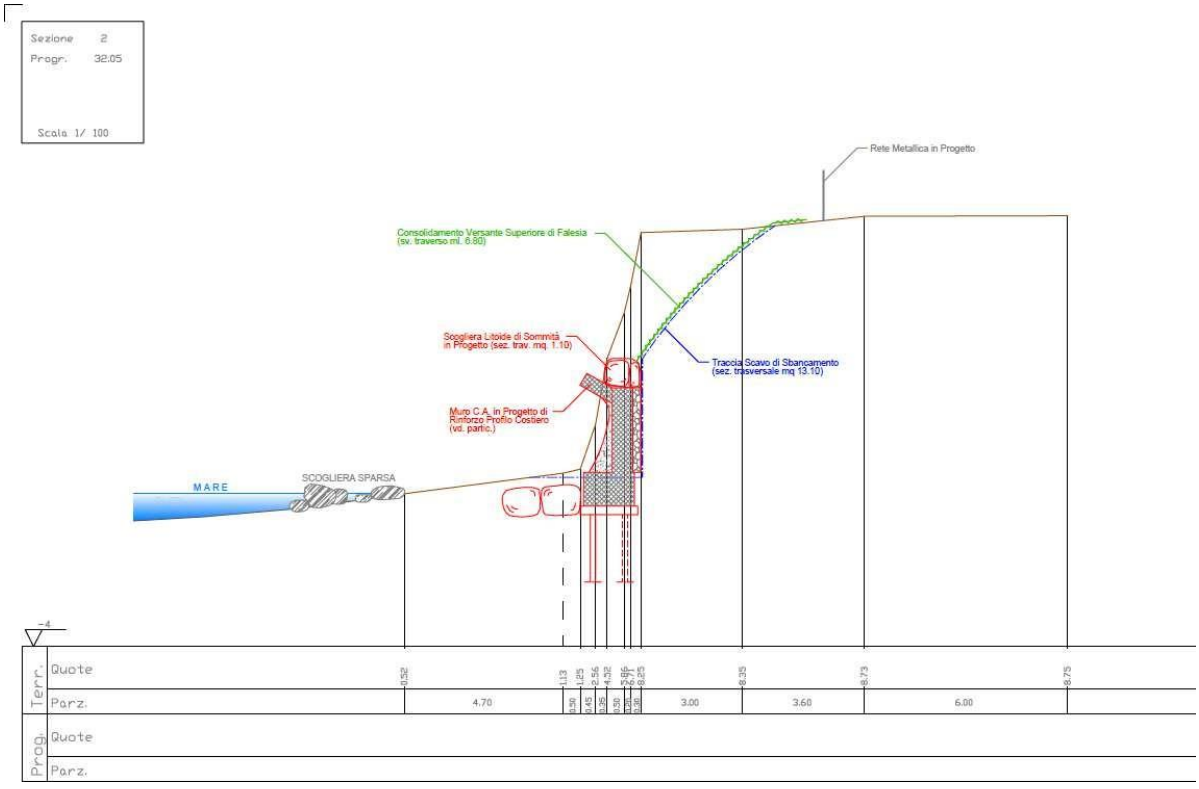
A_ANALISI DI STABILITÀ DELLA FALESIA ALLO STATO ATTUALE (ANTE OPERAM)

In allegato si riporta lo sviluppo dei calcoli di stabilita eseguiti nella configurazione attuale dei luoghi. Il valore ottenuto per il Fattore di sicurezza del pendio, pari a 1.42, testimonia che allo stato attuale la scarpata non e interessata da frane riconducibili a modeste proprieta geotecniche dei terreni che costituiscono il pendio.



B_ANALISI DI STABILITÀ DELLA FALESIA ALLO STATO DI PROGETTO (POST OPERAM)

La verifica *post operam* e stata sviluppata al fine di poter quantificare il contributo in favore della stabilita che verra apportato dalla realizzazione degli interventi in progetto.
Partendo dal valore Fs_{minimo}=1.42 ottenuto per il fattore di sicurezza del pendio nella verifica di stabilita della falesia allo stato attuale dei luoghi e considerato che l'intervento in progetto non comportera modifiche tali da determinare un aumento dei fattori destabilizzanti sulla scarpata della falesia, ne consegue che la verifica di stabilita risultera positiva anche in condizioni post operam.
L'intervento in progetto in realta si prefigge come scopo principale la realizzazione di un sistema di messa in sicurezza della falesia costiera al fine di poterla proteggere dall'azione dei fattori erosivi morfodinamici analizzati nel dettaglio nei precedenti paragrafi.
Tale messa in sicurezza della falesia costiera dovra essere capace di produrre nel tempo il mantenimento delle proprieta geotecniche dei terreni rilevate allo stato attuale dei luoghi attraverso un sistema di protezione della falesia dall'azione erosiva operata dalla dinamica costiera e dalle acque di ruscellamento e deflusso superficiale.
Di seguito si riporta la sezione 2 esaminata in corrispondenza della proprietà Sabino in cui si evidenzia lo stato finale dei luoghi a seguito della realizzazione degli interventi previsti in progetto.



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato è stato redatto dalla Dott.ssa Geol. Giulia Piroddi su incarico del Comune di Sorso e riguarda il progetto di «*"Intervento PR FESR Sardegna 2021-2027 – Azione 3.4.1 Interventi di Messa in Sicurezza e Difesa Costiera del Litorale di Marritza. Opere di Completamento Tratto C"*».
Per quanto attiene alla pericolosità ed al rischio di FRANA, nella Variante al P.A.I. approvata con delibera n.39/2016, l'area in esame ricade prevalentemente in zona ad elevata pericolosità Hg3.
Il P.A.I. – Parte Idraulica - non individua nell'area indagata zone di possibile esondazione e, pertanto, non è presente alcune rischio di PIENA.
La tipologia di opere di consolidamento in progetto sono idonee a contrastare le tipologie di dissesto presenti nell'area in studio e sono dunque verificate positivamente dal punto di vista geologico.
La valutazione della situazione locale, delle litologie presenti, delle caratteristiche idrologiche e idrogeologiche, della conformazione geomorfologica e delle pendenze dell'area in esame, consentono di concludere che le opere in progetto non vanno a incrementare il livello di pericolosità e rischio presenti nel nuovo P.A.I. vigente, ovvero non andranno a determinare un aggiornamento delle situazioni di dissesto idrogeologico e non causeranno in alcun modo l'incremento o il trasferimento a monte o a valle del livello di pericolosità e rischio da frana riconosciuti.
Al contrario la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza della falesia in progetto saranno capaci di minimizzare le azioni erosive e morfodinamiche evolutive che attualmente stanno determinando le condizioni di criticità rilevate in diverse aree del settore litoraneo di "Marritza", nel comune di Sorso.
Le risultanze degli studi geologici consentono di attestare la compatibilità delle opere in progetto con le condizioni geomorfologiche del territorio.



Dott.ssa
Giulia Piroddi