



Il Commissario Straordinario del Governo
per il recupero e la valorizzazione dell'ex carcere borbonico
dell'isola di Santo Stefano - Ventotene

MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo



Comune di Ventotene
REGIONE LAZIO

CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO

RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE EX CARCERE BORBONICO DELL'ISOLA DI SANTO STEFANO VENTOTENE



STAZIONE APPALTANTE



Agenzia nazionale per l'attrazione
degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA

Funzione Servizi di Ingegneria

ATTIVITA' TECNICHE
Beni Culturali e Architettura
Arch. Rosa di NUZZO

INVITALIA S.p.a.: Soggetto Attuatore in ottemperanza agli artt. 3 e 8 del Contratto Istituzionale di Sviluppo
"Recupero e rifunionalizzazione ex carcere borbonico dell'isola di Santo Stefano Ventotene"

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. ENRICO FUSCO

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE: Dott. Arch. Rosa di NUZZO

PROGETTAZIONE STRUTTURALE E GEOTECNICA
Dott. Ing. Letterio SONNESSA

GRUPPO DI LAVORO INTERNO

SUPPORTO TECNICO OPERATIVO

RELAZIONE GEOLOGICA
Dott. Geol. Vincenzo GUIDO

Dott. Ing. Francesco DI LAURO
Dott. Arch. Ahmed ELGAZZAR

PROGETTAZIONE GEOTECNICA:
STUDIO TECNICO ASSOCIATO - SINTESI
Dott. Ing. Germano GUIDUCCI

COMPUTI E STIME
Geom. Luigino D'ANGELANTONIO

DIRETTORE DEI LAVORI
Dott. Ing. Letterio SONNESSA

COORDINATORE DELLA SICUREZZA
IN FASE DI ESECUZIONE
Dott. Ing. Daniele BENOTTI

DIRETTORE OPERATIVO
Dott. Geol. Vincenzo GUIDO
Dott. Ing. Daniele FASANO

IMPRESA ESECUTRICE



PELLEGRINI CONSOLIDAMENTI S.r.l.
05035 Narni (TR)
Str. del Tiro a Segno, 2
Tel +39 0744 751294
fa.pellegrini@libero.it

LAVORI DI SOMMA URGENZA FALESIE APPRODO SCALO n. 4

ELABORATO			DATA	NOME	FIRMA
Studio di compatibilità geomorfologica degli interventi Relazione geologica Studio di compatibilità geomorfologica			REDATTO	V. GUIDO	
			VERIFICATO	L. SONNESSA	
			APPROVATO	Rosa di NUZZO	
			DATA ottobre-2023	CODICE BREVE	
			SCALA ----		
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	CODICE ELABORATO 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT01 G0-ASB-RT01		
Rev. 1-....-....	----			
Rev. 2-....-....	----			
Rev. 3-....-....	----			
			CODICE FILE 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT.dwg		

Sommario

1	<i>Premesse</i>	3
2	<i>Inquadramento geologico generale</i>	6
2.1	<i>Fondali e morfostrutture collegate a fuoriuscite di fluidi (pokmark)</i>	7
3	<i>Unità stratigrafiche Isola di Santo Stefano</i>	7
4	<i>Osservazioni sullo stato del dissesto presso lo scalo n.4</i>	13
5	<i>Interventi di messa in sicurezza in somma urgenza dello scalo n.4</i>	17
5.1	<i>Descrizione degli interventi eseguiti</i>	24
5.1.1	<i>Zone di intervento</i>	24
5.1.2	<i>Tipologie degli interventi</i>	26
5.1.2.1	<i>Intervento 1: Ispezione e pulizia della parete rocciosa</i>	27
5.1.2.2	<i>Intervento 2: Demolizione di porzioni rocciose in precarie condizioni di stabilità</i>	27
5.1.2.3	<i>Intervento 3: Rafforzamento e protezione della parete rocciosa mediante chiodature con barre metalliche, reti e funi in acciaio</i>	28
6	<i>Indicazione del Livello di Rischio Sismico dell'Opera ai sensi del R.R.n.26/2020 – Allegato C – Regione Lazio.</i>	29
6.1	<i>Classificazione sismica</i>	31
6.2	<i>Indagini geofisiche per la definizione della classe di suolo di fondazione ai fini del calcolo dell'amplificazione sismica ed indagini geofisiche a mare</i>	33
7	<i>Campagna di indagini geognostiche</i>	34
8	<i>Caratterizzazione geotecnica</i>	35
9	<i>Inquadramento geomorfologico, rischio idrogeologico</i>	37
10	<i>Indagini integrative - rilievo geomeccanico da remoto e classico</i>	38
10.1	<i>Caratterizzazione ammasso roccioso</i>	39
10.2	<i>Indici di pericolosità generico (GKI) e specifico per ogni cinematismo individuato</i>	44
10.3	<i>Rilievo geomeccanico tradizionale scalo n.4</i>	51
10.4	<i>Famiglie rilevate e sintesi RMR</i>	52
10.5	<i>Rilievo geomeccanico da remoto scalo n.4 e pericolosità geomorfologiche e sintesi dei dissesti presso lo scalo n.4</i>	53

10.6	<i>Pericolosità geomorfologiche e sintesi dei dissesti presso lo scalo n.4.....</i>	55
11	<i>Rilievo geostrutturale prima campagna.....</i>	56
12	<i>Sintesi delle verifiche di stabilità del pendio.....</i>	57
12.1	<i>Generalità Verifica di stabilità scalo n.4</i>	58
12.2	<i>Verifica di stabilità scalo n.4 – Sezione A-A'</i>	59
12.3	<i>Verifica di stabilità scalo n.4– Sezione B-B'</i>	65
12.4	<i>Verifica di stabilità scalo n.4 – Sezione C-C'</i>	70
13	<i>Inquadramento ed osservazioni idrogeologiche.</i>	75
14	<i>Conclusioni.....</i>	76

Allegato 1 Carta geologica – codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-TAV01

Allegato 2 Sezioni geologiche – codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-TAV02

Allegato 3 Carta geomorfologica – codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-TAV03

Allegato 4 Report analisi di stabilità del pendio SSAP2010 – codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT02

Allegato 5 Rilievi geomeccanici integrativi da remoto – codice elaborato codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT03

Allegato 6 Rilievi geomeccanici prima campagna – codice elaborato codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT04

1 Premesse

La presente relazione è parte integrante del progetto as built dei “lavori in somma urgenza di mitigazione del rischio crolli della falesia presso lo scalo n.4”. Si tratta, in particolare, di quegli interventi individuati a seguito delle osservazioni condotte sulle falesie dello scalo n.4 dell’Isola di Santo Stefano e, più in dettaglio, sui dissesti geo-idrologici che ne minacciano la stabilità, previsti a tutela della sicurezza delle maestranze attualmente impegnate sull’isola nell’ambito dei lavori di “Recupero e rifunzionalizzazione ex carcere Borbonico dell’isola di Santo Stefano Ventotene - Intervento n. 1 Messa in sicurezza degli edifici”, di cui al relativo Contratto Istituzionale di Sviluppo (di seguito CIS) (fig.1). Il presente progetto è da intendersi come parte di un più ampio intervento denominato **n. 3 - Realizzazione/adequamento degli approdi all’Isola di Santo Stefano** sul quale l’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Centrale ha espresso il parere prot n. 12714/2022 del 23-11-2022 e per il quale la scrivente Stazione Appaltante sta provvedendo ad ottemperare alle richieste di integrazioni.

L’intervento ha previsto la mitigazione del rischio crolli della falesia prospiciente lo scalo n.4, visti gli eventi, descritti nella Relazione Tecnica del presente progetto, che hanno contribuito al peggioramento dello stato di equilibrio di alcune zone della falesia e vista la perimetrazione delle aree a pericolosità A e rischio R4 di frana secondo l’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Centrale. Il presente studio è stato sviluppato quindi con l’obiettivo di:

- eseguire uno studio di compatibilità geomorfologica delle opere di mitigazione eseguite in somma urgenza del rischio crollo della falesia in funzione del fenomeno di dissesto presente grazie anche ad un rilievo geomeccanico classico e da remoto eseguito in corrispondenza della falesia.

In ottemperanza all’Allegato 7 del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità dei Bacini Regionali del Lazio “LINEE GUIDA PER GLI STUDI FINALIZZATI ALLE VALUTAZIONI DI STABILITÀ DEI VERSANTI”, il presente studio è corredato da:

- carta geologica in scala 1:300;
- sezioni geologiche in scala 1:200;
- carta geomorfologica in scala 1:300;
- report analisi di stabilità del pendio;

- rilievo geomeccanico – prima campagna;
- rilievo geomeccanico integrativo da remoto

L'isola è interessata da diversi vincoli sia di natura ambientale-paesaggistica sia di natura idrogeologica. Di seguito si evidenziano le diverse disposizioni normative:

- Decreto del Ministero dell'Ambiente del 11 maggio 1999, *Istituzione della riserva naturale statale denominata Isole di Ventotene e Santo Stefano*;
- Decreto del Ministero dell'Ambiente del 12 dicembre 1997, *istituzione dell'Area Naturale Marina Protetta denominata "Isole di Ventotene e S. Stefano"*;
- *L.R.24/98, Pianificazione paesistica e la tutela dei beni e delle aree sottoposte a vincolo paesistico*;
- DCR n.5 del 02/08/2019, *Piano Territoriale Paesistico Regione Lazio*;
- DGR n. 49 del 13 febbraio 2020, *variante di integrazione del Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR), ai sensi dell'articolo 23 della L.R. n. 24 del 6 luglio 1998 ed in ottemperanza degli artt. 135, 143 e 156 del D.Lgs. n. 42/2004, inerente alla rettifica e all'ampliamento dei beni paesaggistici di cui all'articolo 134, comma 1, lettere a), b) e c), del medesimo D.Lgs. n. 42/2004, contenuti negli elaborati del PTPR approvato con DCR n. 5 del 2 agosto 2019*;
- *Piano di Emergenza comunale di Protezione Civile del comune di Ventotene, approvato con DCS n°5 del 01/12/2016*;
- *Piano di Zonizzazione Acustica adottato con DCC n°15 del 29/08/2014*.
- *Deliberazione del Consiglio Regionale n. 17 del 04/04/2012, Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) aree sottoposte a tutela per dissesto idrogeologico ex Autorità dei Bacini Regionali del Lazio, oggi Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale*;
- *DPR n° 1746 del 18/03/2008, l'ex carcere di Santo Stefano diventa Monumento Nazionale*;
- *Decreto di apposizione del vincolo di tutela per particolare interesse storico artistico ai sensi della legge 1089/39, del 14 maggio 1987, Ministero Beni Culturali e Ambientali*;

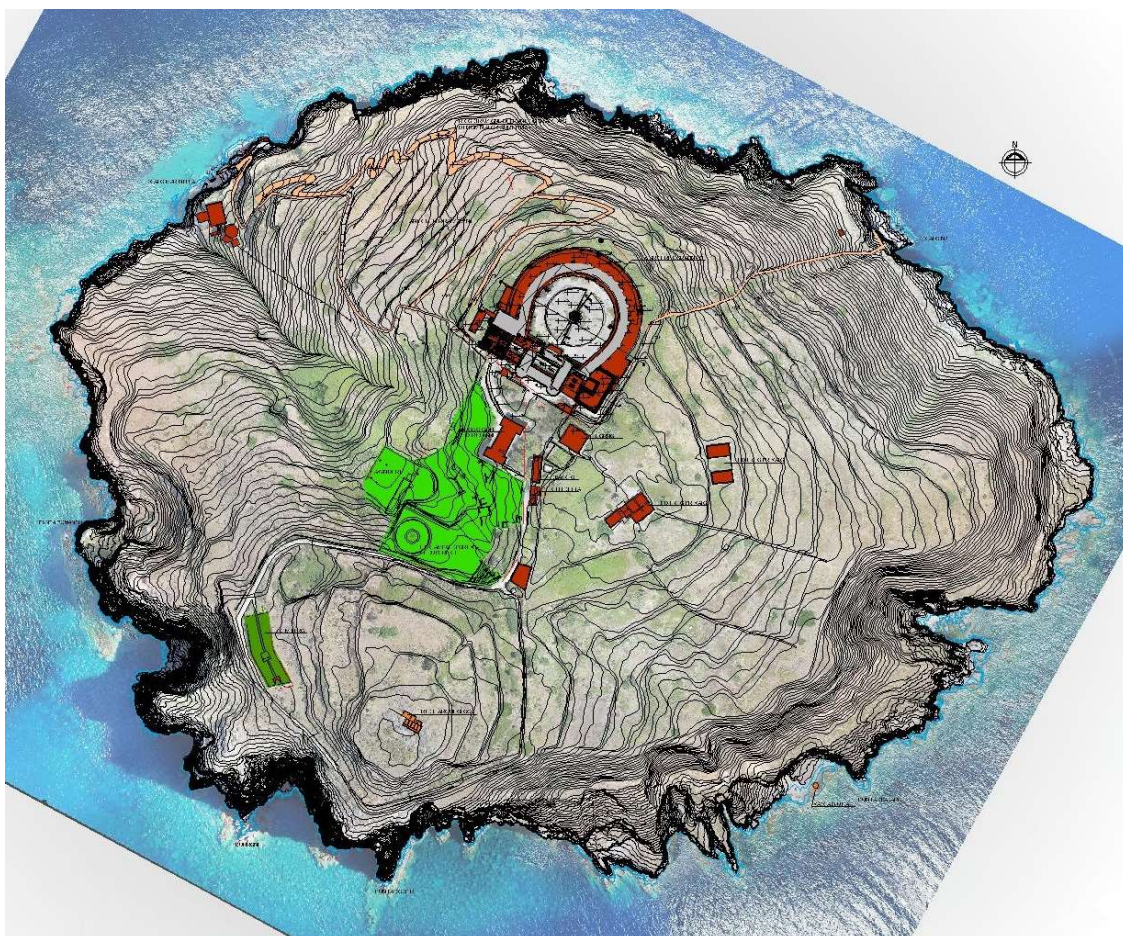


Fig.1 stralcio planimetrico con ubicazioni delle strutture presenti sull'isola

Altre norme di riferimento

- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 CSLL.PP.;*
- *NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA REGIONE LAZIO - DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE n. 387 del 22.05.2009 (BUR Lazio n. 24 del 27.06.2009 - Supplemento Ordinario 106) e s.m.i.;*
- *Regolamento Regionale 26 ottobre 2020 n. 26;*
- *Delibera n.493 del 23 luglio 2019 “Modifica deliberazione di Giunta regionale 22 maggio 2009 n. 387 concernente “Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03;*
- *Norme di Attuazione del P.A.I. (ex autorità dei Bacini Regionali del Lazio) Autorità di Bacino Distretto Idrografico Centrale;*
- *Relazione Tecnica del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dei Bacini Regionali Lazio*

2 Inquadramento geologico generale

Ventotene è quel che resta di un grande vulcano, in parte collassato in mare. Non si conosce l'età esatta del vulcano ma è probabilmente stato attivo insieme al domo di Monte La Guardia di Ponza e la sua attività è proseguita fino a circa 400-300.000 anni fa. L'attività di Ventotene è stata essenzialmente esplosiva anche se non mancano le colate di lava. L'ultima eruzione potrebbe aver causato il collasso della parte terminale dell'edificio. Un dato interessante che merita attenzione per l'isola di Ponza è la bella superficie di terrazzamento marino ben visibile in cima alla falesia di Chiaia di Luna. Questa superficie testimonia il livello del mare circa 90.000 anni fa. La superficie è stata innalzata poi alla quota attuale per problemi di variazione del livello del mare, isostasia e forse anche tettonica.

Ventotene e Santo Stefano rappresentano la parte sommitale di un antico vulcano, che si stima raggiungesse un'altezza di circa 1000 metri e un diametro di una ventina di chilometri (fig.2). Dal punto di vista vulcanologico le due isole appartengono alla cosiddetta provincia campana, assieme al vulcano di Roccamonfina, ai Campi Flegrei, a Ischia e al Vesuvio. Ventotene rappresenta probabilmente il residuo di uno strato-vulcano; nella porzione conservata si distinguono una zona inferiore con livelli piroclastici e lave trachi-basaltiche datate 1,7 milioni di anni, una zona intermedia formata tutta da tufo e una zona superiore con depositi tuffitici (Bergomi et alii, 1969). Nell'isola di Santo Stefano, invece, le vulcaniti più antiche sono lave risalenti a 1,2 milioni di anni fa.

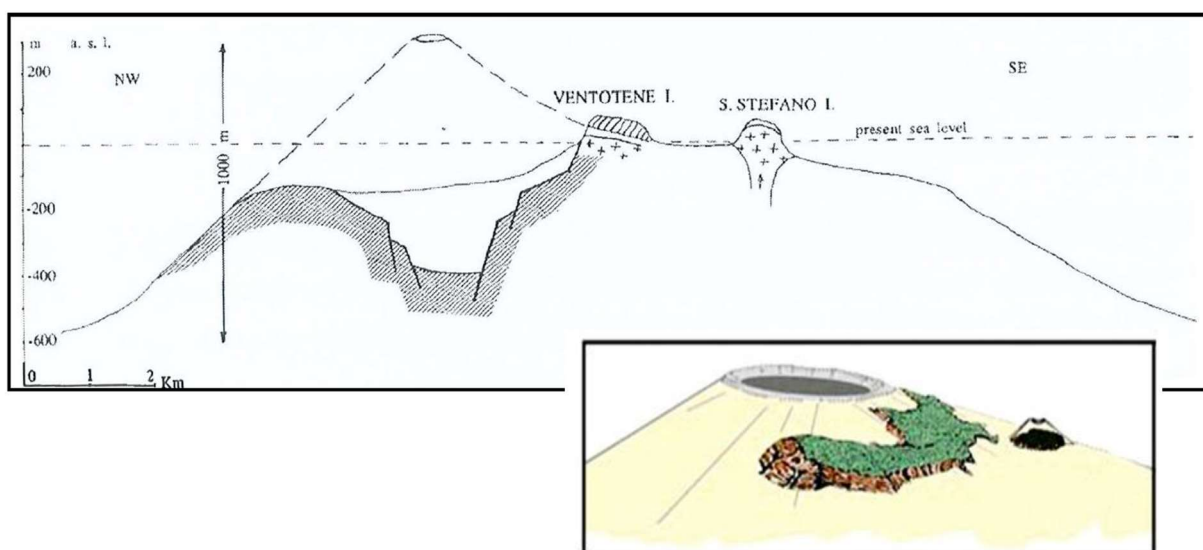


Fig.2 schema geologico esemplificativo delle isole di Ventotene e S. Stefano – da Bergomi et alii, 1969

2.1 Fondali e morfostrutture collegate a fuoriuscite di fluidi (pockmark)

Delle Isole pontine orientali quella principale è l'Isola di Ventotene che corrisponde ad uno strato-vulcano in parte collassato, con diametro basale di circa 15-20 km, che in passato doveva raggiungere un'altezza di circa 800 m (De Rita et al., 1984). L'isola di Ventotene si è formata in diverse fasi effusive, con formazione di colate e duomi lavici, alternatesi a fasi esplosive, con depositi da caduta, flussi piroclastici e surge. I prodotti più antichi sono trachibasalti formati in ambiente sottomarino e datati ad 1.7 milioni di anni (Bergomi et al., 1969), l'attività vulcanica è cessata intorno a 0.15 – 0.30 Ma di anni fa (Perrotta et al., 1996). L'intero apparato vulcanico è localizzato al centro di un'area fortemente subsidente, il bacino di Ventotene, la cui formazione è imputabile ai movimenti tettonici distensivi avvenuti nel Pliocene inferiore correlati all'apertura del Tirreno (Zitellini et al., 1984).

I fianchi sommersi dell'edificio vulcanico di Ventotene sono caratterizzati da numerose forme vulcaniche (coni, colate) e morfologie legate a fenomeni riconducibili ad instabilità gravitativa, quali nicchie di frana e canali erosivi. Nei fondali del Bacino di Ventotene, a profondità comprese tra i -700 e i -750 m, sono presenti numerose depressioni riconducibili a fuoriuscite di fluidi (pockmark), diffusamente distribuiti nel bacino ad eccezione del settore orientale. Risultano anche presenti ridge isolati al di sopra dei quali sono presenti numerose piccole depressioni riconducibili a pockmark.

3 Unità stratigrafiche Isola di Santo Stefano

L'isola di Santo Stefano appartiene all'arcipelago delle isole pontine, è situata 30 Km a sud del Golfo di Gaeta sul bordo della piattaforma continentale (fig.3). Con Ventotene appartiene alle Isole Pontine Orientali. Anche se le due isole oggi sono nettamente separate rappresentano i resti di un grande edificio vulcanico chiamato "Vulcano Ventotene", che è stato attivo tra 0,92 Ma e 0,33 Ma in accordo con la datazione isotopica K/Ar (Metrich et al. 1988; Bellucci et al. 1999a, 1999b). In una recente



Fig. 3 stralcio foto satellitare dell'arcipelago delle isole pontine

cartografia geologica (Bellucci et al., 1999) dell'Isola di Santo Stefano (fig. 4), sono state riconosciute tre differenti unità litostatigrafiche nominate:

- Formazione di Santo Stefano
- Unità di Villa Giulia
- Depositi eolici

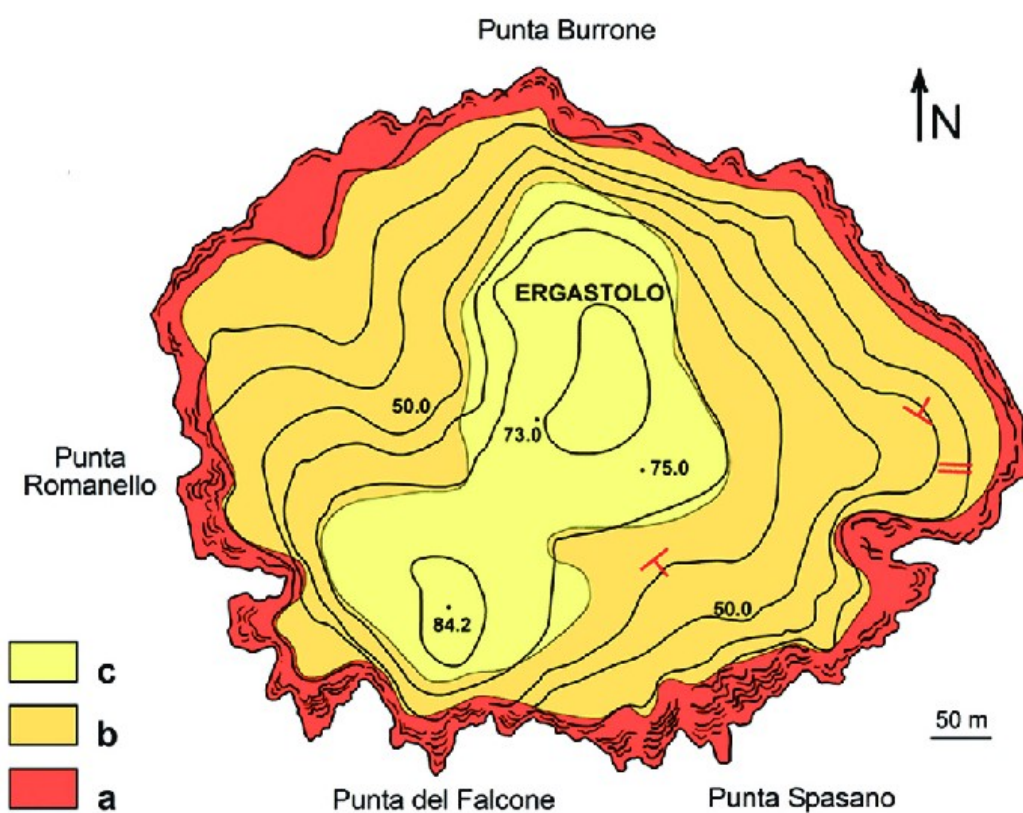


Fig. 4 Carta geologica dell'Isola di Santo Stefano da Bellucci et. al. 1999. a)lave e scorie; b)piroclastiti e pomici; c) piroclastiti e depositi eolici

L'unità basale (Formazione di Santo Stefano) è suddivisa in due membri. Il primo costituito da lave con fratture colonnari e strutture a rampa che passano verso l'alto a livelli scoriacei. Questi depositi sono sovrastati dal secondo membro composto da depositi piroclastici massivi composti principalmente da frammenti di pomice sovrastate da livelli di scorie nere.



Fig. 5 Unità Santo Stefano. Ben distinguibili i membri SS1 e SS2. Il membro SS1 è interessato da una discontinuità dovuta con molta probabilità a due colate separate da un modesto episodio piroclastico (tratteggio giallo).

La Formazione di Santo Stefano è rimpiazzata verso l'alto da depositi piroclastici (Unità di Villa Giulia) attraverso una superficie irregolare. Questi depositi immergono radialmente e sono costituiti da un'alternanza di letti di pomice bianche da caduta e paleosuoli di origine piroclastica.

Nella parte più alta dell'isola sono stati segnalati depositi eolici (Bellucci et al. 1999b) anche se oggi non sono riconoscibili a causa della copertura vegetale e della presenza degli edifici dell'Ergastolo e relative pertinenze.



Fig. 6 piroclastiti, pomici e paleosuoli– Unità di Villa Giulia – affioramento lungo il percorso dello scalo n.4

Nella foto (fig. 6 precedente si può osservare l'alternanza di paleosuoli piroclastici e sottili livelli biancastri di pomice – unità di Villa Giulia. Tali depositi si presentano con giacitura a franapoggio inferiore al pendio nell'area compresa tra l'ergastolo e lo scalo 4. Dalla parte opposta dell'isola, grossomodo in corrispondenza dell'area a valle del cimitero si possono osservare i contatti tra la formazione di Santo Stefano e l'unità di villa Giulia (fig. 7).



Fig. 7 Contatto stratigrafico tra la formazione di Santo Stefano e la sovrastante unità di Villa Giulia

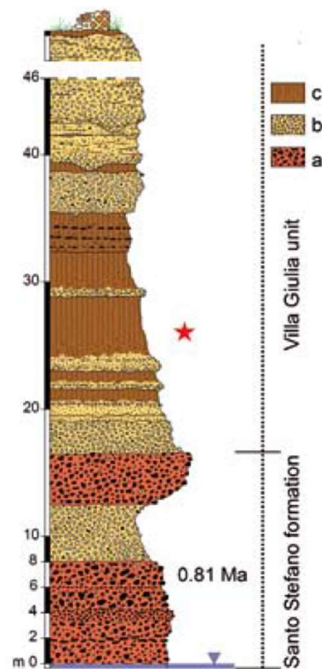


Fig. 8 Successione stratigrafica dell'Isola di Santo Stefano – a)lave e scorie; b) piroclastiti cementate sovrastanti le lave; c) piroclastici e livelli di pomici, paleosuoli (da Sacchi & Petti, 2008)

4 Osservazioni sullo stato del dissesto presso lo scalo n.4

Lo scalo n.4 potrebbe essere utilizzato per sbarchi di emergenza da e per Santo Stefano quando le condizioni meteomarine sono particolarmente severe e non consentono sbarchi a Marinella. Come viene spiegato più dettagliatamente nel paragrafo 7 della presente relazione, il sito è stato oggetto di due rilievi geomeccanici con la finalità di restituire lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso e la successiva elaborazione di verifiche di stabilità globale del pendio. Il sito è infatti interessato da una perimetrazione a pericolo A e rischio R4 di frana da parte dell'ex Autorità dei bacini regionali del Lazio. Il rilievo integrativo geomeccanico è stato eseguito da remoto tramite drone e laser scanner come meglio dettagliato nei paragrafi successivi.

Sintetizzando i risultati del rilievo integrativo, sono stati individuati i principali cinematismi di dissesto possibili mediante l'attribuzione di un indice di probabilità di accadimento. Si rimanda al paragrafo 10 per il dettaglio dei risultati. Si sottolinea inoltre che lo scalo n.4 è stato interessato, nel periodo intercorso tra l'esecuzione dei rilievi integrativi e la restituzione risultati, da un crollo di un blocco la cui volumetria è valutabile in circa 10 m³. Per questo motivo è stato necessario intervenire in somma urgenza con la finalità di rimuovere un ulteriore blocco in condizioni metastabili ed ulteriori interventi di disgiungimento, chiodature ed installazione di reti aderenti soprattutto nelle parti in aggetto della falesia.

In seguito all'evento di distacco di materiale roccioso dalla parete a sud della scalinata, sopra l'insenatura naturale presente a sud della zona di approdo dello scalo n.4 (fig.9), verificatosi successivamente ai rilievi, nella seconda parte di febbraio 2023, è stato eseguito un approfondimento di dettaglio nell'area interessata per analizzare la natura del crollo.



Fig. 9 - Foto della zona di distacco post evento (tratteggio bianco) avvenuto presso lo Scalo n.4.

L'evento può essere usato per una calibrazione degli indici cinematici al fine di individuare un valore critico nella zonazione delle zone a maggiore propensione al dissesto nei due scali analizzati.

È possibile, infatti, definire un valore degli indici cinematici da considerarsi come soglia critica; questo permette nelle altre aree di identificare quali sono le aree più critiche, non basandosi esclusivamente sui valori relativi dell'indice di pericolosità, ma anche su un valore assoluto. Analizzando i valori degli indici di pericolosità nella zona di distacco si ottiene un valore medio di GKI pari a 37.7% ed un valore massimo pari a 59.1% (fig.10).

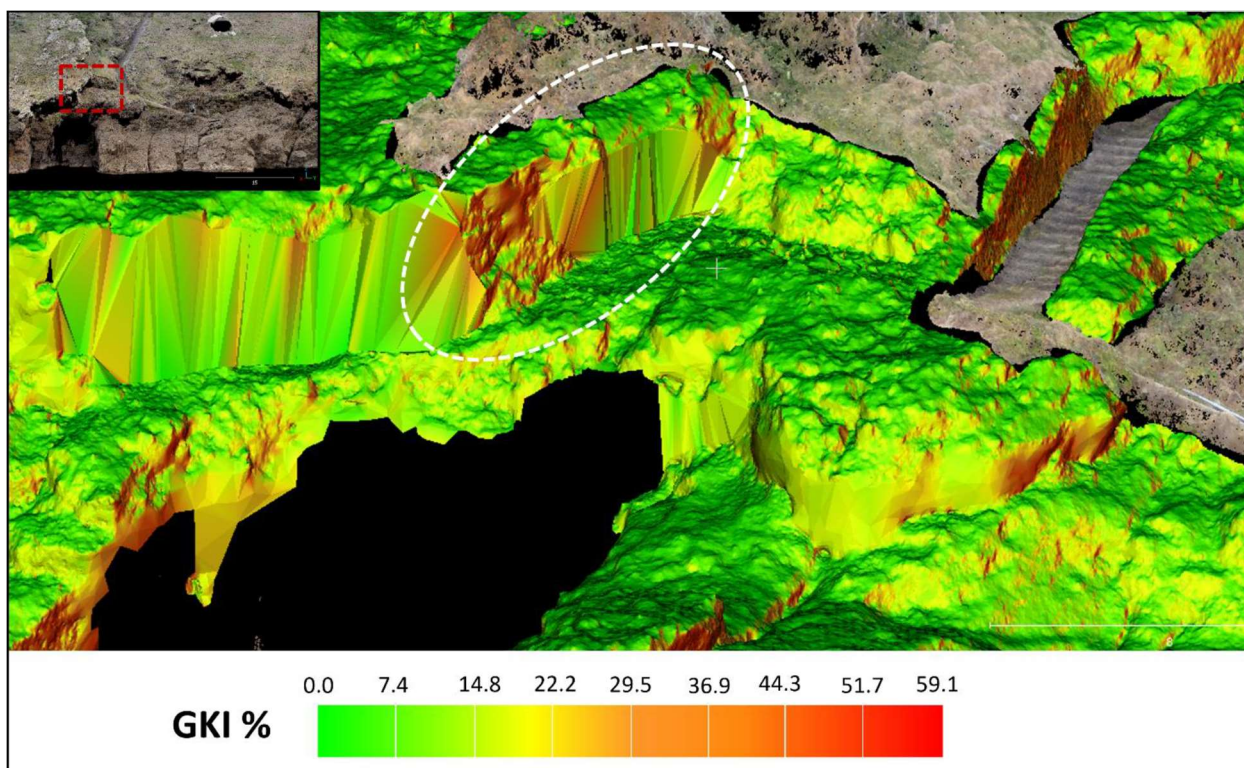


Fig. 10 - Indice di pericolosità cinematica globale della zona di dettaglio crollo presso lo Scalo n.4 con individuazione dell'incide di pericolosità presente pre-evento nell'area di distacco (tratteggio bianco).

Come si può notare dalla Figura 18, la zona da cui si è originato il crollo è caratterizzata da valori elevati di indice di pericolosità cinematica. Gli alti valori riscontrati sono dovuti principalmente a ribaltamento flessurale (FT, flexural toppling) e caduta libera (FF, free fall) che risultano essere probabilmente i meccanismi responsabili del crollo, e in secondo luogo da scivolamento planare (PF, planar failure) e da ribaltamento di cunei (WF, wedge failure) che presentano valori relativi medi.



Fig. 11 muro in avanzato stato di degrado

Nella parte opposta dell'insenatura dello scalo, la falesia è sormontata da una parte alterata della roccia lavica a causa della presenza di vegetazione e degli agenti atmosferici. È inoltre presente un muro in mattoni in stato di degrado. Anche queste aree sono state oggetto dell'intervento di somma urgenza.



Fig. 12 aree sommitali della falesia costituite da fasce di alterazione

Gli interventi progettati in quest'area hanno il solo scopo di mitigare i rischi per l'incolumità delle persone che, solo nei casi di emergenza, abbiano l'esigenza di utilizzare l'approdo ed il percorso già esistente in luogo del realizzando approdo in località Marinella.

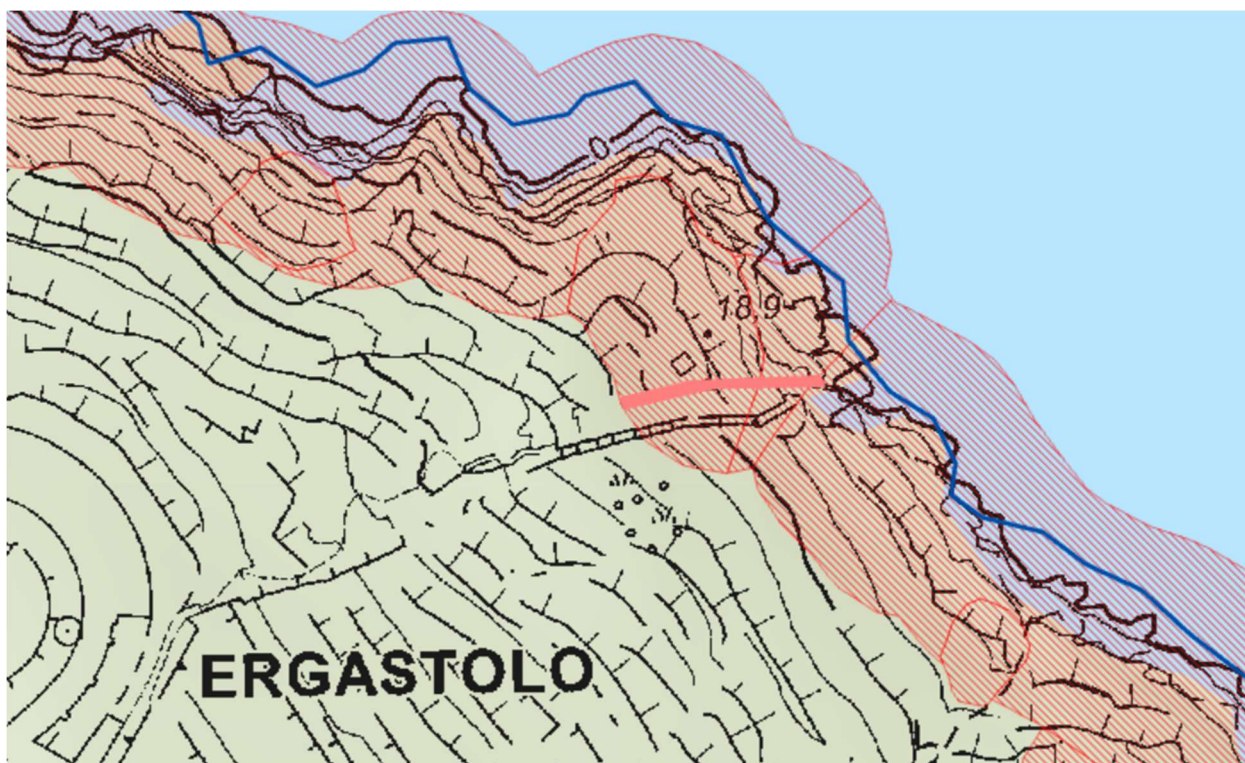


Fig. 13 stralcio delle aree a pericolo A (campitura trasparente) e rischio R4 (rosso intenso riferito alle scale scavate in roccia) – da webgis Autorità di Bacino dell'Appennino Centrale Nazionale

<https://webgis.abdac.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=b4f5f37d97e9427c9c2e4ce7e30928f9>

Per una migliore comprensione si rimanda al paragrafo 10 sulle indagini integrative. Gli interventi in somma urgenza sono invece sintetizzati al paragrafo 5 “Esiti esecuzione del progetto di messa in sicurezza in somma urgenza dello scalo n.4

5 Interventi di messa in sicurezza in somma urgenza dello scalo n.4

Al fine di rendere fruibile lo scalo n.4 alle maestranze impegnate sull'isola per i lavori di Messa in Sicurezza dell'ex Carcere Borbonico di utilizzate lo scalo solo nei casi di emergenza, sono stati necessari dei lavori in somma urgenza di mitigazione del rischio crolli della falesia presso lo scalo n.4.

L'insenatura naturale che ospita lo scalo n.4 (approdo costituito da scalini scavati nella roccia lavica) presentava, nella parte sommitale della falesia esposta verso N-NE, un blocco di roccia fratturato prossimo al crollo e che, come riportato nel precedente paragrafo, è stato recentemente interessato dalla caduta di una porzione di dimensioni considerevoli. La frattura principale, infatti, presentava una immersione a franapoggio, come il fronte della falesia interessata, e poteva

essere classificata come giunto di trazione (figg.15,16 e 17).

In una prima fase conoscitiva, la geometria del blocco sembrava avere una dimensione stimata di circa 10 m³. Si notavano, inoltre, nella parte frontale dell'elemento, le superfici fresche lasciate dal precedente blocco crollato, valutato in circa 8 m³ (fig 15).

Il disgaggio finale di quest'area, avvenuto nel corso dei lavori realizzati, ha riguardato un volume totale di circa 20 m³ (figg. 19,20,21); procedendo, infatti, con l'ispezione in corso d'opera; dopo un primo disgaggio, è stato necessario effettuare la demolizione di un secondo blocco che presentava una frattura aperta nella zona di valle (fig. 20).

Dopo il disgaggio è stato eseguito un intervento di rinforzo corticale tramite pannelli di rete e funi e chiodature da 3,00 m e da 4,50 m di lunghezza, come meglio specificato nei paragrafi successivi,

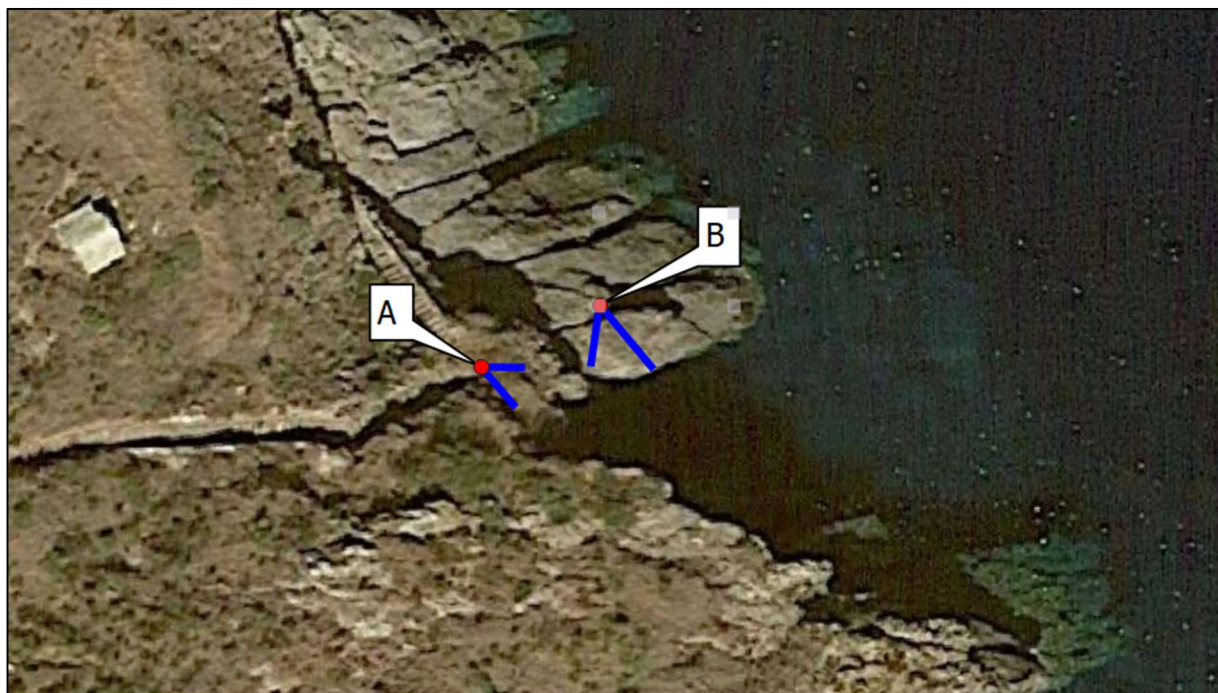


Fig. 14 - Vista aerea dello scalo con indicazione dei coni ottici di cui alle foto seguenti



Fig. 15 - Ante operam - Vista B del blocco a rischio crollo



Fig. 16 - Ante operam - Vista A del blocco a rischio crollo



Fig. 17 - Ante operam - Vista A con evidenza delle fratture



Fig. 18 - Ante operam - Vista B con evidenza delle fratture (blu) e della superficie di un precedente distacco (rosso)



Fig. 19 - Post operam - Vista A dopo il primo disaggio effettuato con malte espansive



Fig. 20- Particolare della frattura residua dopo il primo disaggio



Fig.21 - Post operam - Vista dopo il disaggio del grande blocco individuato come instabile
Sul muro che si presenta in stato di degrado si è eseguita la demolizione delle porzioni distaccate e poco cementate e, successivamente, si è applicata la rete in acciaio e barre di chiodatura.



Fig. 22 -: Post operam: Intervento di mitigazione sul paramento murario con reti, funi e chiodi

In questa stessa area la falesia si presentava sormontata da una parte alterata delle lave e scorie (membro stratigraficamente più alto della Formazione di Santo Stefano), per la presenza di vegetazione e per le azioni indotte dagli agenti atmosferici; queste porzioni di roccia erano caratterizzate da aggetti che avrebbero potuto causare il crollo di elementi lapidei, aventi dimensioni da piccole a medie (dell'ordine di qualche decimetro).

In questo caso l'intervento di messa in sicurezza si è concretizzato con la eliminazione delle cause dei potenziali crolli, scivolamenti, distacchi con cadute di detriti o massi, mediante una riprofilatura del versante (disgaggi), finalizzata alla eliminazione degli aggetti esistenti.

Su tutte le superfici trattate si è proceduto, quindi, con un intervento di rafforzamento e protezione mediante l'installazione di reti metalliche aderenti, ad alta resistenza, e funi d'acciaio diagonali per contenere la caduta di elementi lapidei di piccole dimensioni (decimetri). Il sistema delle reti e funi è stato fissato con barre di 3.0 m di lunghezza. L'intervento è stato esteso sul paramento in muratura di pietrame su richiamato.



Fig. 23 - Post operam disgaggi aggetti in roccia – vista laterale



Foto 24 - Post operam – vista frontale ripresa dal basso

5.1 Descrizione degli interventi eseguiti

5.1.1 Zone di intervento

I lavori di mitigazione dei rischi di instabilità locale dell'area dello scalo n.4, di cui alla presente relazione, hanno riguardato quattro settori o zone, come indicato negli stralci di planimetria, prospetto e sezioni seguenti (Figure 25- 30). Per i dettagli esecutivi si rimanda alle tavole allegate alla documentazione del progetto realizzato (As built).

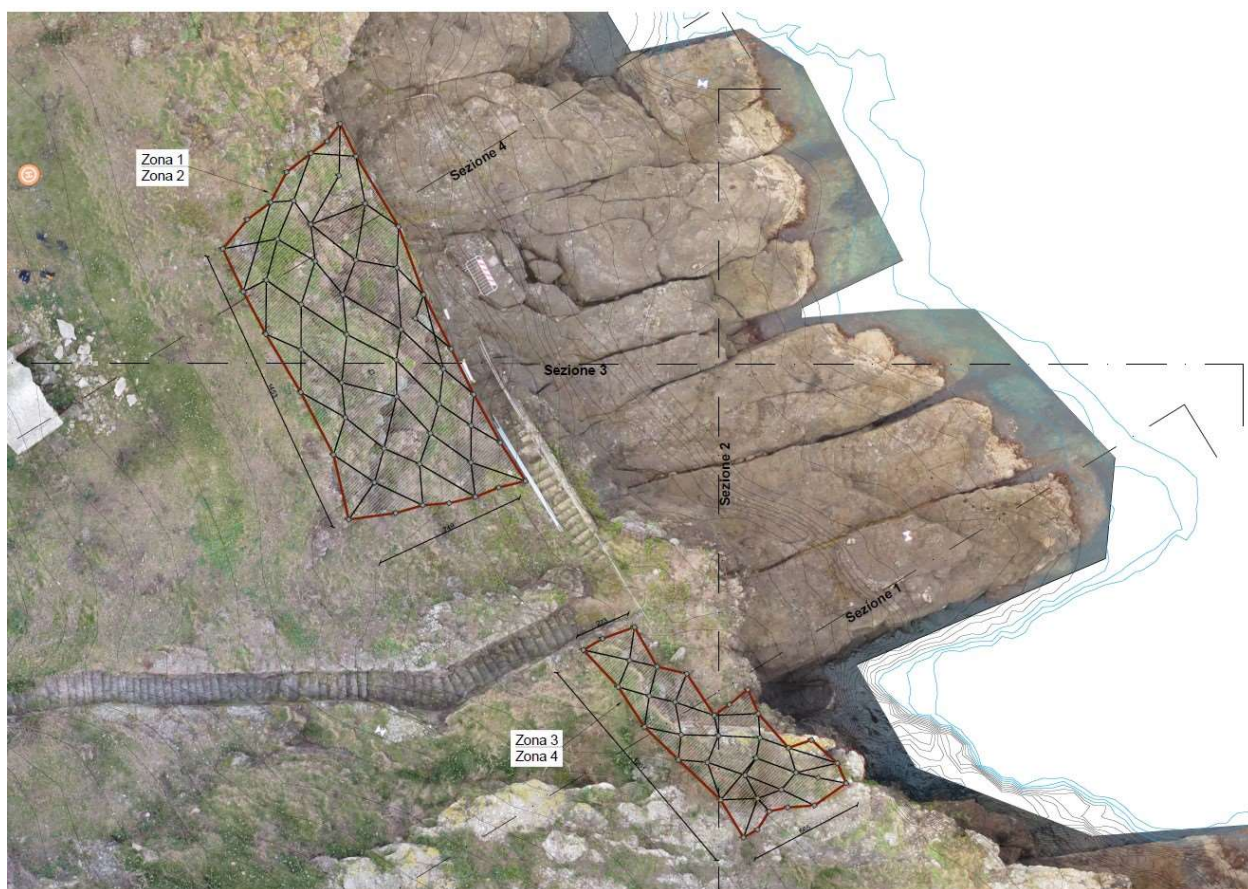


Figura 25: Zone di intervento – vista aerea con schematizzazione degli interventi

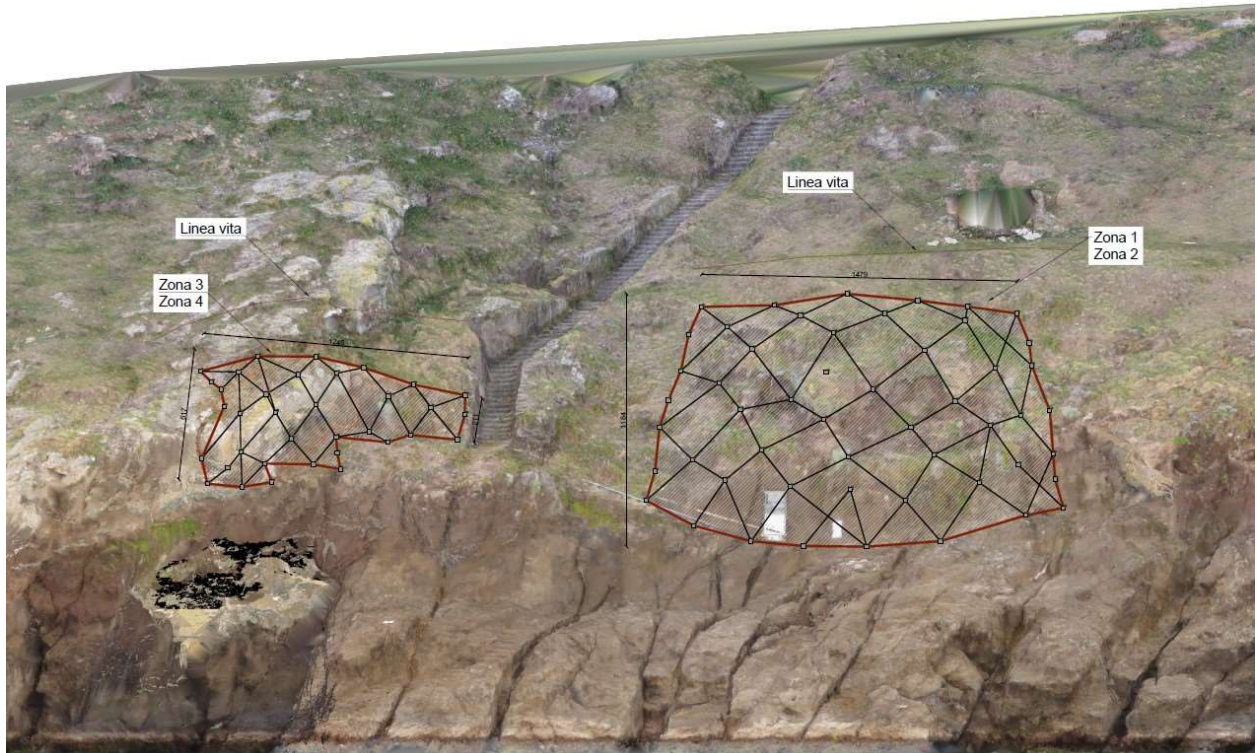


Figura 26: Zone di intervento – vista prospettica con schematizzazione degli interventi

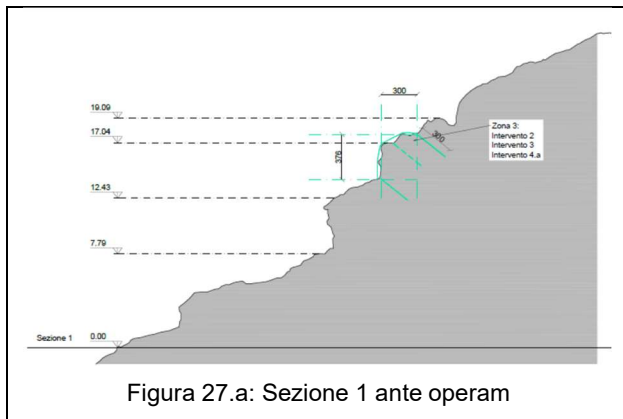


Figura 27.a: Sezione 1 ante operam

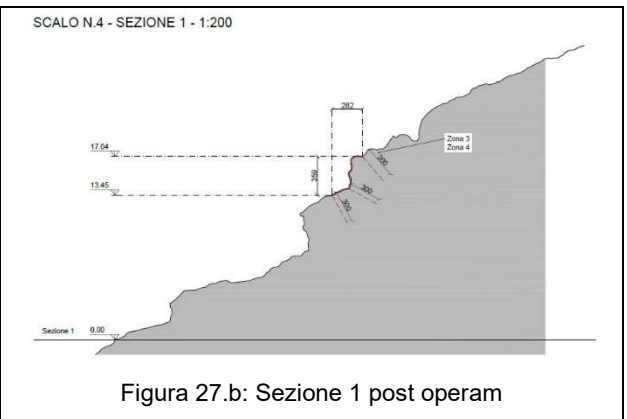


Figura 27.b: Sezione 1 post operam

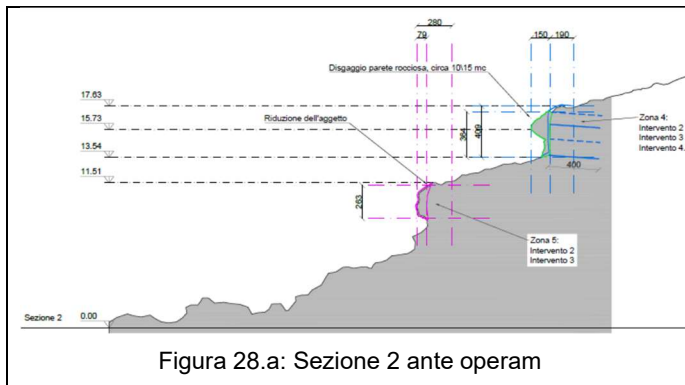


Figura 28.a: Sezione 2 ante operam

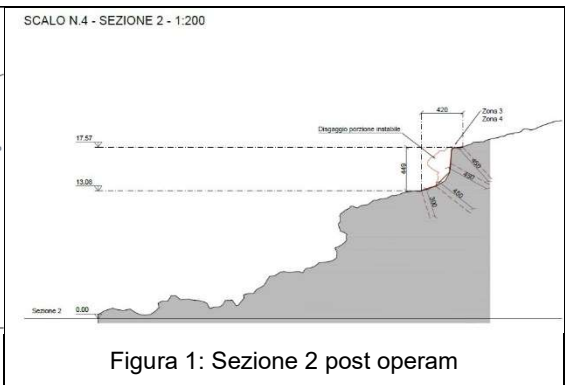
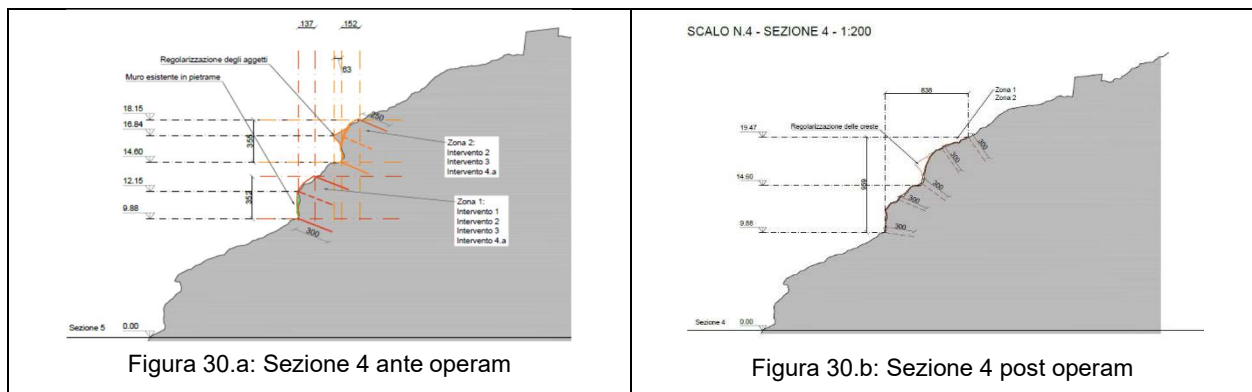
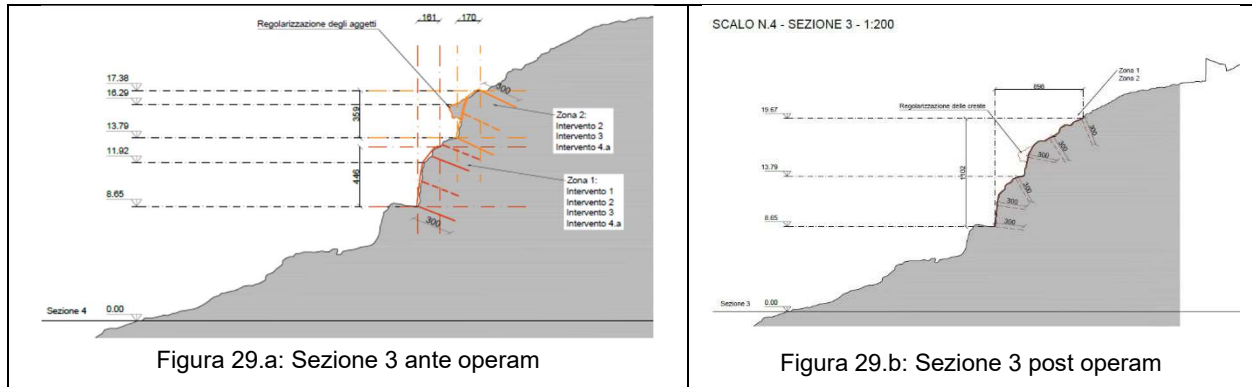


Figura 1: Sezione 2 post operam



Le zone di intervento sono state individuate sulla base delle criticità riscontrate nel corso delle ricognizioni e dai rilievi effettuati, come su documentato.

5.1.2 Tipologie degli interventi

Sulle zone individuate sono state applicate tre diverse tipologie di intervento, definite sulla base delle criticità osservate, di cui all'elenco seguente:

- **Intervento 1:** Ispezione e pulizia della parete rocciosa;
- **Intervento 2:** Demolizione di porzioni rocciose in precarie condizioni di stabilità;
- **Intervento 3:** Rafforzamento e protezione della parete rocciosa mediante chiodature con barre metalliche, reti e funi in acciaio.

Nella figura seguente si riportano le tipologie degli interventi applicati sulle quattro zone (le zone 1 e 2 e le zone 3 e 4 sono da ritenersi contigue).

ZONE	INTERVENTI ESEGUITI
<p>Zona 1</p> <p>Zona 2</p>	<p>Demolizione e regolarizzazione delle creste superiori aggettanti. Perforazione ed installazione di barre d'acciaio DYWIDAG 1050 Ø26,5 mm cementate con CEM II/A-LL 42,5 R, piastre in acciaio 200*200*10 mm e dado conico scanalato chiuso con calotta plastica protettiva - 52 barre L = 3000mm. Installazione di rete in filo d'acciaio ad alte prestazioni aderenti a maglia romboidale - 4 moduli 4*h15 m. Installazione di funi d'acciaio diagonali Ø12 mm disposti a serpentina. Installazione di fune d'acciaio perimetrale Ø16 mm disposto a serpentina.</p>
<p>Zona 3</p> <p>Zona 4</p>	<p>Disgaggio chimico e meccanico della porzione instabile. Perforazione ed installazione di barre d'acciaio DYWIDAG 1050 Ø26,5 mm cementate con CEM II/A-LL 42,5 R, piastre in acciaio 200*200*10 mm e dado conico scanalato chiuso con calotta plastica protettiva - 15 barre L = 3000mm e 20 barre L = 4500mm. Installazione di rete in filo d'acciaio ad alte prestazioni aderenti a maglia romboidale - 2 moduli 4*h10 m e 2 moduli 4*h5 m. Installazione di funi d'acciaio diagonali Ø12 mm disposti a serpentina. Installazione di fune d'acciaio perimetrale Ø16 mm disposto a serpentina.</p>

Figura 2: Legenda esplicativa delle zone e delle tipologie di intervento

5.1.2.1 Intervento 1: Ispezione e pulizia della parete rocciosa

L'intervento di pulizia ha previsto la rimozione della vegetazione ed il disgaggio delle porzioni instabili per mezzo di piccole attrezzature meccaniche manuali. In fase preliminare e in corso d'opera è stata effettuata un'accurata ispezione con l'obiettivo principale di:

- verificare il contesto ai fini dell'applicabilità degli interventi di progetto;
- rilevare eventuali condizioni impreviste al momento del progetto;
- definire le soluzioni di ottimizzazione per la messa in opera degli interventi di progetto, degli apprestamenti di cantiere e delle misure di sicurezza a seguito degli approfondimenti fatti dalla Direzione dei Lavori.

5.1.2.2 Intervento 2: Demolizione di porzioni rocciose in precarie condizioni di stabilità

La demolizione (disgaggio) di porzioni rocciose in precarie condizioni di stabilità è stata effettuata per un blocco di dimensioni medio-grandi, nella zona 4, e per creste aggettanti, nelle altre zone. La demolizione dell'ammasso roccioso, soprattutto nella zona 4, è stata effettuata per via chimica e completata per via meccanica.

Nella demolizione chimica si è proceduto a realizzare una serie di fori tramite perforatrice di ridotte dimensioni, ad inserire le miscele espansive nelle perforazioni preliminarmente eseguite e nelle fessure presenti allo scopo di aumentare, in maniera controllata, lo stato di fratturazione fino a completa rottura, dislocazione e distacco.

Successivamente si è proceduto a sagomare la porzione di roccia con leve e martelli demolitori portatili.

Il volume di roccia demolito con entrambe le metodologie, nella zona 3 e 4, è stato di circa 25 m³ di cui 20 m³ ascrivibili alla massa instabile principale e 5 m³ alle creste presenti sul ciglio di valle delle due aree.

In corso d'opera si è previsto un approfondimento di indagine del quadro fessurativo per definire le zone da disaggiare.

Per le porzioni aggettanti della zona 2, i volumi di demolizione sono risultati minori rispetto alle zone 3-4; il totale di roccia disaggiata è stato pari a circa 8 m³.



Figura 3: zona 1-2: Creste aggettanti zona 1-2 ante opera

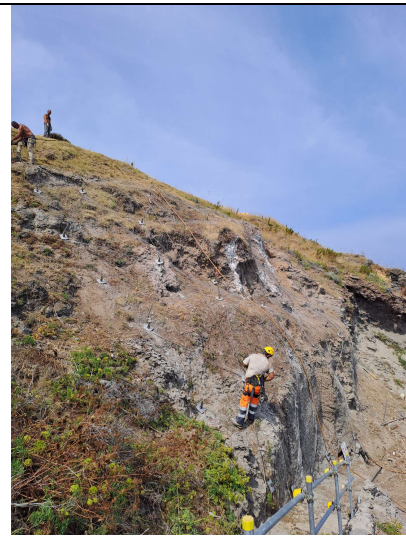


Figura 32: Creste aggettanti post opera

5.1.2.3 Intervento 3: Rafforzamento e protezione della parete rocciosa mediante chiodature con barre metalliche, reti e funi in acciaio

L'intervento 3 è consistito nell'applicazione delle misure di rafforzamento e protezione della porzione di parete rocciosa interessata dagli interventi 1 e 2, mediante chiodature con barre metalliche, reti e funi in acciaio. L'intervento si prefigge i seguenti scopi principali:

- le chiodature consentono di aumentare la resistenza media dell'ammasso roccioso nella porzione superficiale, per effetto della ricucitura delle fessure principali e del parziale intasamento delle stesse indotto dalle iniezioni cementizie;
- le funi e la rete metallica consentono un confinamento superficiale della parete ed una protezione passiva dalla caduta dei massi.

Le fasi esecutive si sono susseguite come di seguito indicato:

- perforazioni ed installazione delle barre metalliche di chiodatura tipo Dywidag Ø 26.5, di lunghezza 3.0 m (intervento zona 1, 2, 3 e 4) e 4.5 m (intervento zona 3 e 4), legate con miscele cementizie, con disposizione a maglia rombica, con densità di almeno 1 barra

ogni 6mq. La geometria dei chiodi, come rappresentato negli elaborati grafici, ha previsto uno schema di una maglia 3 m x 2 m, nelle zone 1-2; nelle zone 3-4 la densità delle barre è stata di circa 1 barra ogni 3,5 mq, dovendo adeguare la geometria alla morfologia non regolare della parete rocciosa.

- Messa in opera delle reti metalliche aderenti e delle funi metalliche Ø 12 mm diagonali; in zona 1 e 2 sono stati installati 4 pannelli di rete in filo d'acciaio ad alta resistenza DELTAX G82/2 STAINLESS della GEOBRUGG di dimensione 4 mx15 m, per un totale di 240 mq. Nella zona 3 la rete ha dimensioni 8 m x 5 m, mentre nella zona 4 ha dimensioni 8 m x 10 m, per un totale di 120 mq.
- Fissaggio superiore e inferiore e perimetrale delle reti per mezzo di funi metalliche Ø 16. Le funi sono state direttamente ancorate alle barre di chiodatura; per quanto riguarda le funi diagonali si precisa che le stesse sono state bloccate al di sotto delle piastre di contrasto delle barre di chiodatura, successivamente bullonate e serrate.
- Serraggio dei bulloni sulla testa dei chiodi;
- Messa in opera di calotte di protezione in materiale plastico sulla testata delle barre di ancoraggio, per garantire la durabilità dell'intervento, tenuto conto delle particolari condizioni ambientali del sito.

Per l'efficacia dell'intervento le reti e le funi sono state installate in aderenza alla parete rocciosa. Il sistema è, infatti, sufficientemente flessibile per adattarsi a morfologie non piane.

6 Indicazione del Livello di Rischio Sismico dell'Opera ai sensi del R.R.n.26/2020 – Allegato C – Regione Lazio.

Ai consolidamenti in progetto è stata attribuita la classe d'uso III con riferimento alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17 gennaio 2018. Il Livello di Rischio Sismico dell'Opera, vista la classificazione sismica del Comune di Ventotene "in zona sismica 3b" NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA REGIONE LAZIO - DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE n. 387 del 22.05.2009 (BUR Lazio n. 24 del 27.06.2009 - Supplemento Ordinario 106) e s.m.i., in accordo con il Regolamento 26 ottobre 2020 n. 26, secondo la matrice dell'Allegato C risulterebbe, vista la classe d'uso III, di livello "Medio"

		PERICOLOSITA'				
		Zona Sismica				
PROGETTI		1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II		MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
→ classe d'uso III		ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV		ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Per il livello di Vulnerabilità dell'Opera Medio il R.R. fornisce un elenco di indagini e prove minime; nel caso in questione, come si chiarirà più avanti, si ricade nella casista "Su roccia affiorante o sepolte o con substrato roccioso entro i primi 3 mt di profondità dovranno eseguirsi":

- Almeno 1 Prova Penetrometrica Statica (CPT, CPTE, CPTU), dinamica (DPSH) o dilatometrica DMT, che attraversino i terreni di copertura, coesivi e granulari, nel caso di ammassi rocciosi sepolti.; (*non si rientra in questa casistica*)
- Almeno 1 prova geofisica in sito attive (MASW, SASW, MFT, FTAN, ecc.) o passive (REMI, SPAC, ESAC, f-k), MAAM, ecc.) possibilmente perpendicolari tra di loro per la definizione del profilo di velocità dell'onda S;
- Analisi delle Risposta Sismica Locale, per tutte le classi d'uso III o IV come previsto dalla DGR 493/19 ed in tutti i casi in cui (es. inversione di velocità, bruschi passaggi di rigidità, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui alla Tabella 3.2.II delle NTC'18, eseguita tramite: codice di calcolo 1D unicamente per sottosuoli costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica piana; codice di calcolo 2D da eseguire per sottosuoli non costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica non pianeggiante;

La delibera n.493 del 23 luglio 2019 "Modifica deliberazione di Giunta regionale 22 maggio 2009

n. 387 concernente "Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03", come modificata dalla deliberazione di Giunta regionale 17 ottobre 2012, n. 489" al punto 3. stabilisce "di prevedere la possibilità di avviare allo studio di RSL per le opere di Classe d'uso III, eccetto le Strutture per l'Istruzione, laddove dalle indagini di cui all'Allegato C del regolamento regionale n. 14/2016 scaturiscano indicazioni tecniche evidenti e inconfutabili dell'appartenenza del sottosuolo a una delle Categorie di sottosuolo di fondazione indicate nella Tabella 3.2.II del DM. 17.01.2018, utilizzando in questi casi l'approccio semplificato previsto dallo stesso DM". Nel caso in esame, sebbene sia stato possibile associare una classe di suolo ai fini sismici semplificata, è stata effettuata un'analisi numerica che ha comunque ricondotto ad una classe di sottosuolo semplificata prevista dal DM. Trovandoci su roccia affiorante ed avendo a disposizione il profilo di Vs di un'indagine M.A.S.W. eseguita sulla roccia lavica si può evincere che la classe di suolo di fondazione può essere cautelativamente classificata in **B**.

6.1 Classificazione sismica

Secondo la classificazione sismica della Regione Lazio DGR_387_22_05_2009 il Comune di Ventotene è classificato in zona 3b.

Per le NTC18 il reticolo per il calcolo dei parametri che definiscono l'azione sismica di progetto, quindi l'accelerazione massima a_g nel periodo di ritorno considerato, hanno parametri univoci che non variano per coordinate (Allegato B NTC). Di seguito si mostra la tabella valida per le isole italiane:

TABELLA 2: Valori di a_g , F_o , T_C per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_o	T_C	a_g	F_o	T_C	a_g	F_o	T_C	a_g	F_o	T_C	a_g	F_o	T_C	a_g	F_o	T_C	a_g	F_o	T_C	a_g	F_o	T_C	a_g	F_o	T_C
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,352	2,70	0,400	0,554	2,70	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	2,200	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

Seppur classificata con rischio sismico basso, è importante segnalare che in uno studio sui "MATERIALI PER UN CATALOGO DEI TERREMOTI ITALIANI: REVISIONE DELLA SISMICITÀ MINORE DEL TERRITORIO NAZIONALE" D. Molin¹, F. Bernardini², R. Camassi², C. H.

Caracciolo², V. Castelli², E. Ercolani², L. Postpischl del 1 Dipartimento della Protezione Civile - Roma - 2 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Bologna, in merito alla sismicità storica di Ventotene, Mercalli (1893) riporta integralmente, stralciandola dal “manoscritto Ranieri continuato da Ferdinando Patalano, una breve nota datata “Ventotene, 12 luglio 1848”, nella quale vengono descritti gli effetti del terremoto nell’isola; sulla base delle informazioni contenute in questo documento sono state compilate tab. 1 ed app. A. Trasformando l’ora in cui si è avvertita la scossa in Ventotene dal sistema all’italiana a quello attuale si ottengono le ore ore 23 (GMT) circa.

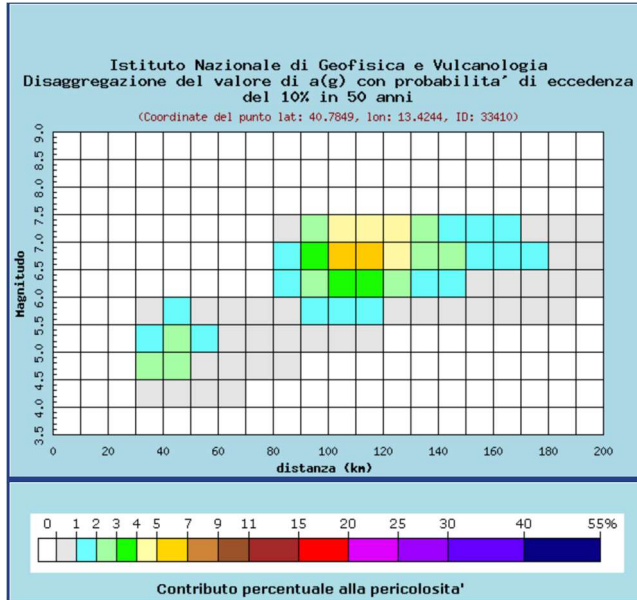
La nota è la seguente:

“1848 – Luglio 5, verso le 5 ital. – Scossa fortissima in Ventotene, che svegliò tutti e lesionò le case. ... Il ms. Ranieri, continuato da Ferdinando Patalano racconta questo terremoto di Ventotene nei seguenti termini: ... mentre eravamo tutti nel più profondo sonno, fece una tremenda scossa di terremoto, che fece risvegliare tutti gli abitanti di quest’isola ... Tutte le fabbriche furono lesionate non escluso il castello della piazza; ma sia gloria a Dio e a S. Candida nostra che nessuno pericolò della vita. ...”.

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano						
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia						
Data	1848 luglio 05 23					
Area epicentrale	Isola di Ventotene					
EqID	18480705 2300 000					
Studio di provenienza MDP	Molin et al., 2008					
Numero di MDP	2					
Massima intensità	7 MCS					
CPTI15	4.63 ± 0.46 [40.797, 13.431] lo 6					
Macro	4.63 ± 0.46 [40.797, 13.431] lo 6					
PlaceID	Place name	Sc	Lat	Lon	Int	Country
IT_54748	Ventotene	MS	40,797	13,431	7	IT
IT_54623	Ponza		40,892	12,965	4-5	IT

È stato inoltre eseguito, tramite il sito dell’Istituto di Geofisica e Vulcanologia <http://esse1gis.mi.ingv.it/>, uno studio di disaggregazione sismica. Lo studio ha confermato la

bassa sismicità dell'area, tenendo conto del parametro di scuotimento in termini di ag, probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. Di seguito si mostrano i grafici e le tabelle del risultato.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 40.7849, lon: 13.4244, ID: 33410)									
	Magnitudo									
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5
0-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.769	2.110	1.880	0.979	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.600	2.120	2.310	1.380	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.115	0.834	1.200	0.823	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.001	0.238	0.565	0.453	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.046	0.281	0.251	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.005	0.442	0.861	1.040	1.120	0.698	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.468	1.790	2.950	3.740	2.690	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.205	1.720	3.580	5.290	4.290	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.038	1.240	3.240	5.320	4.640	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.779	2.730	4.910	4.520	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.337	1.580	2.930	2.610	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	1.080	2.150	1.890	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.062	0.762	1.660	1.410	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.536	1.330	1.090	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.348	1.020	0.843	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.209	0.764	0.651	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.608	0.557	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
6.420	109.000	1.710

Si può notare come la ricerca di coppie Magnitudo-Distanza Epicentrale in grado di generare un'eccedenza del 10% di ag in 50 anni mostri una distanza media pari a 109 km dall'ipotetica sorgente sismogenetica ed una magnitudo media di 6,4. Inoltre, si nota anche la forte dispersione del contributo percentuale che ogni coppia di dati mostra.

6.2 Indagini geofisiche per la definizione della classe di suolo di fondazione ai fini del calcolo dell'amplificazione sismica ed indagini geofisiche a mare

Ai sensi del paragrafo 3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

delle NTC18, per definire la categoria di sottosuolo ai fini del calcolo dell'amplificazione sismica così come definita in tabella Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato, sono state eseguite n.2 prospezione sismica di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves). Le stesa sismiche, come indicato nella planimetria ubicazione indagini 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT04, sono state eseguite, in funzione dello spazio disponibile, sull'approdo Marinella (MASW1) parallelamente alla linea di costa e in corrispondenza dell'ex carcere (MASW2).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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 e 180 m/s.</i>
E	<i>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 30 m.</i>

Dalla prova M.A.S.W.1, si evince che la V_s (V_{seq}) è pari a 594,00 m/s corrispondente ad una **classe di suolo B**. Il calcolo è stato ottenuto fissando a -5,00 m dal piano campagna il bedrock sismico ovvero dove la V_s supera 800 m/s, nel caso specifico 811 m/s. è evidente che seppur ubicata direttamente sul substrato lapideo la prova nei primi 5 m evidenzia lo strato di fratturazione ed alterazione dell'ammasso roccioso, con riferimento alla falesia.

Tutto ciò premesso anche per lo scalon.4, si consiglia l'attribuzione della **classe di suolo di tipo B** e la **categoria T4** per la configurazione topografica.

7 Campagna di indagini geognostiche.

Nel novembre del 2020, la ditta Geodes Laboratori di Bevilacqua M. Gabriella, aggiudicataria del Servizi di indagine geognostica a mare a supporto della progettazione nell'ambito del "Contratto Istituzionale di Sviluppo - Recupero e rifunzionalizzazione ex Carcere Borbonico dell'isola di Santo Stefano Ventotene" - Intervento n. 3 Realizzazione/adequamento degli approdi all'isola di Santo Stefano, ha eseguito, il piano di indagini geognostiche e geofisiche per il progetto dell'approdo (2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT04). In particolare, per le finalità della presente relazione, Geodes ha eseguito:

1. un rilievo geomeccanico anche in prossimità dello scalo n.4 (anche presso approdo Marinella).

Nel febbraio 2023 sono state eseguite indagini integrative (codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT03). per estendere la caratterizzazione geomeccanica ad un intorno più esteso con la finalità di valutare l'estensione dei dissesti in atto; le indagini sono state eseguite da GEOAPP s.r.l. ed hanno riguardato:

2. Rilievo geomeccanico integrativo da remoto con drone e laser scanner in corrispondenza delle aree dello Scalo Marinella e Scalo n.4; rilievo geomeccanico tradizionale nelle stesse aree

8 Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione della parte emersa dell'isola e comunque dell'ammasso roccioso costituente la falesia è stata ricavata dalle due campagne di indagini e rilievi geomeccanici eseguiti in corrispondenza dei due approdi. In particolare, nel corso della prima campagna sono state eseguite n.2 serie x 20 misure con martello di Schimdt in corrispondenza dell'approdo Marinella (stazioni di misura SG1-SG2A/B) e scalo n.4. Il risultato delle prove ed i parametri ricavati dal valore RMRb (Rock Mass Rating che verrà discusso nei prossimi paragrafi) sono di seguito mostrati:

stazione	RMRb	RMRs	RMRc	Φ (°)	Coesione (Kpa)	Deformabilità (Mpa)
SG1	63	56	38	36,5	315	26
SG2A	62	52	37	36	310	24
SG2B	61	51	36	35,5	305	22
SG3	67	60	42	38,5	335	34

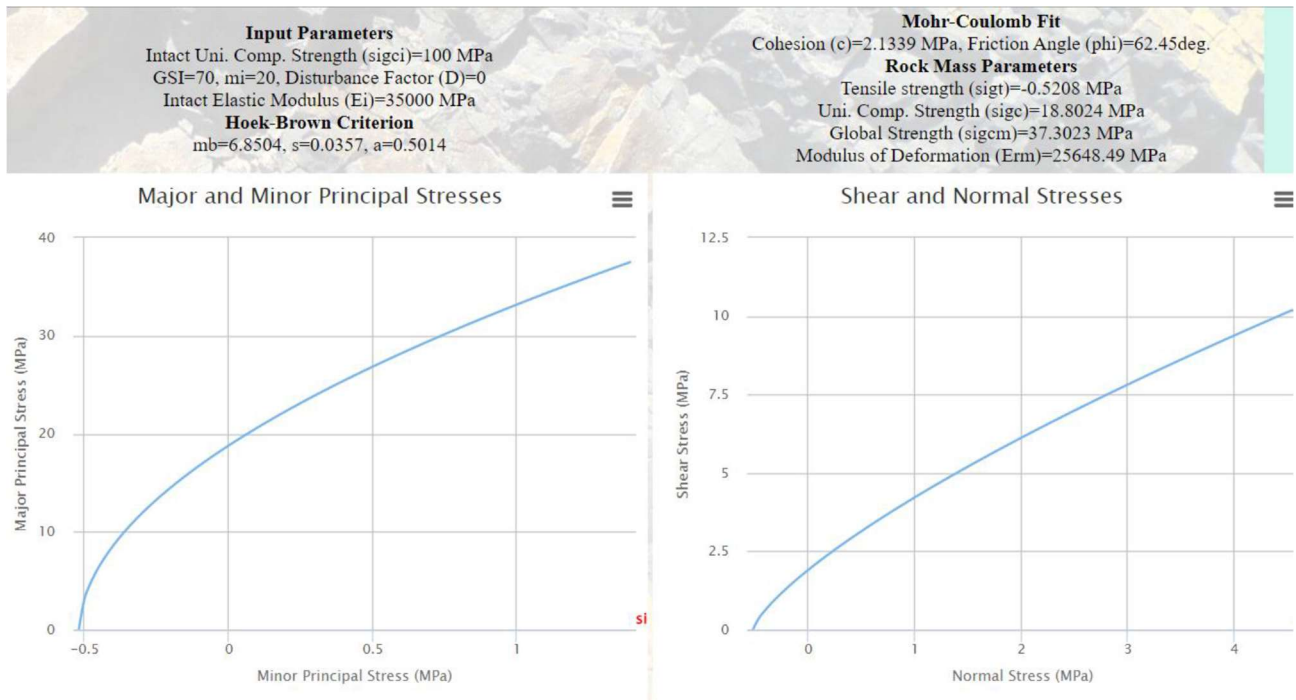
Si sottolinea che i risultati sopra riportati si riferiscono alla superficie delle fratture e non all'ammasso roccioso.

Per quanto riguarda l'ammasso roccioso invece la caratterizzazione è stata ottenuta attraverso il criterio di Hoek & Brown (1981). Partendo dal valore GSI (Geological Strength Index) ottenuta nella seconda campagna e comunque in linea con il valore GSI indicato nei risultati della prima campagna di indagini, attribuendo la costante litologica m_i , il fattore di disturbo D ed avendo a disposizione i valori di compressione uniassiali tramite prove sclerometriche, è stato possibile definire i parametri medi c' e ϕ' utilizzando il software ORMAS V.1.0 basato sul criterio di Hoek &

Brown generalizzato (www.roozbehgm.com/); i risultati sono stati ottenuti considerando per il campo tensoriale quello caratteristico di affioramenti su pendii.

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

Attribuzione indice GSI



Valutazione dei parametri dell'ammasso sulla base del criterio Hoek-Brown generalizzato

Infine, per quanto riguarda il calcolo del modulo di deformazione dell'ammasso, è stata applicata la relazione di Hoek (1999), valida per $\sigma_{ci} < 100$ Mpa.

Riassumendo, i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso sono risultati i seguenti (Tabella xxx):

Parametri geomeccanici	
GSI	70
m_i (roccia intatta)	20
σ_c (roccia intatta) [MPa]	100
m_b	6.9
s	0.04
a	0.5
c [MPa]	2.1
phi	62
sigt [MPa]	-0.52
sigcm [MPa]	37.3
E [GPa]	2.6

Indici di pericolosità generico (GKI) e specifico per ogni cinematisma individuato

Per quanto riguarda i parametri geotecnici relativi alla coltre regolitica-colluviale e alle piroclastiti sovrastanti le lave e scorie dell'Unità Santo Stefano, si è fatto riferimento alla letteratura a disposizione su depositi della stessa natura ed età (tufo giallo napoletano e/o piroclastiti dell'area dei campi flegrei). Si è scelto di utilizzare i risultati relativi alla fonte "CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI TERRENI PIROCLASTICI DI UN SITO DELLA CAMPANIA Aldo Evangelista; Marco Valerio Nicotera; Raffaele Papa; Gianfranco Urciuoli Dipartimento di Ingegneria Geotecnica, Università degli Studi di Napoli Federico II - Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2006 - IARG 2006 Pisa, 26 – 28 giugno 2006. Bisogna inoltre sottolineare che i risultati dello studio sopra riportato si riferiscono a materiali prevalentemente sciolti a differenza delle piroclastiti presenti sull'isola che hanno aspetto litoide, per questo è stata attribuito un valore di coesione pari a 10 Kpa. In sintesi, per le verifiche si sono utilizzati i seguenti valori:

Litologia	Φ' (°)	C' (Kpa)
*Piroclastiti (Villa Giulia)	35	10
Coltre regolitica-colluviale	24	5

*non affioranti in zona scalo n.4

9 Inquadramento geomorfologico, rischio idrogeologico

La geomorfologia dell'isola è legata ai processi vulcanici che hanno portato alla formazione dell'isola stessa. Abbiamo già detto che Santo Stefano rappresenta un cono laterale relitto dell'antico edificio del vulcano Ventotene. La forma dell'isola è circolare con la zona centrale che si presenta più o meno pianeggiante e che degrada con pendenza sempre più accentuate man mano che si procede verso mare. Le falesie sono condizionate dalla litologia di tipo lavico e si presentano subverticali. Tutto il perimetro dell'isola in corrispondenza delle falesie è cartografato dal piano stralcio per l'assetto idrogeologico a pericolo frana "Aree a Pericolo A (c. 2 art. 6 e art. 16)" EX AUTORITA' DEI BACINI REGIONALI DEL LAZIO-PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) - AREE SOTTOPOSTE A TUTELA PER DISSESTO IDROGEOLOGICO. Sono classificati a rischio R4 alcuni tratti del sentiero che conduce dall'approdo Marinella e dallo Scalo n.4 (fig. 33) al carcere.

La fenomenologia del dissesto presente sulle falesie dell'isola è da identificare principalmente in crolli di cunei, caduta libera e ribaltamenti planari. Il rilievo geomeccanico integrativo, illustrato nei paragrafi successivi, ha consentito un'approfondita mappatura del pericolo in funzione di ogni singolo cinematismo individuato ed assegnando una percentuale di probabilità di accadimento.

AREE SOTTOPOSTE A TUTELA PER DISSESTO IDROGEOLOGICO



Fig. 33 stralcio carta P.A.I del rischio e pericolo frane

10 Indagini integrative - rilievo geomeccanico da remoto e classico

L'obiettivo delle attività svolte è stato quello di acquisire un rilievo ad alta risoluzione delle aree

oggetto delle indagini, per la creazione di un modello digitale del terreno di dettaglio dell'area e per l'integrazione del rilievo geomeccanico tradizionale, con informazioni estratte dalle nuvole di punti prodotte dal laser scanner e dai dati fotogrammetrici. Nella fattispecie, la tipologia dei fronti rocciosi oggetto di indagine e le connesse difficoltà di accesso agli stessi, a causa del mare hanno reso necessario l'impiego di tecnologie avanzate di rilevamento da remoto che, nel caso dei laser scanner terrestri e dei drone fotogrammetrici, possono raggiungere accuratezze millimetriche nella determinazione della posizione dei singoli punti, anche da centinaia di metri di distanza. L'elevata risoluzione spaziale (migliaia di punti al m²) e le notevoli prestazioni in acquisizione (superiori alle decine di migliaia di punti al secondo) hanno consentito di disporre, in tempi estremamente rapidi, di modelli 3D di dettaglio della scena investigata, in modo da poter apprezzare anche i minimi particolari.

L'analisi che effettuata elaborando i dati acquisiti dal laser scanner e dai rilievi fotogrammetrici da drone è stata integrata effettuando degli stendimenti geomeccanici classici (utilizzando il metodo della scanline survey) in corrispondenza dei settori della scogliera accessibili da terra. I risultati delle analisi geomeccaniche così ottenute sono stati combinati con i risultati dell'analisi delle nuvole di punti acquisiti dai sistemi remoti.

Successivamente alla caratterizzazione geomeccanica della roccia intatta, dei sistemi di discontinuità e dell'ammasso i dati ottenuti sono stati utilizzati per effettuare un'analisi di stabilità cinematica 3D dell'ammasso roccioso. Questa tipologia di analisi applicata ai versanti, pur con le sue inevitabili semplificazioni, costituisce un efficace strumento per la comprensione del comportamento dell'ammasso roccioso consentendo una valutazione della propensione al dissesto per i diversi meccanismi di rottura plausibili nei settori dei versanti analizzati. Rispetto all'analisi cinematica tradizionale, normalmente risolta graficamente, è stata utilizzata un'analisi cinematica quantitativa definendo, per ogni meccanismo, un "indice di instabilità cinematica" che esprime la probabilità relativa di occorrenza di un determinato meccanismo di rottura in base alle condizioni strutturali e geomeccaniche dell'ammasso.

A partire dai rilievi fotogrammetrici da drone è stata anche effettuata un'interpretazione geomorfologica delle forme del rilievo nella zona a monte della falesia ubicata in corrispondenza dell'approdo Marinella e dello Scalo 4, finalizzata all'identificazione di potenziali fenomeni di instabilità nella parte del versante coperta da vegetazione. Tali valutazioni sono state integrate con le risultanze dei rilievi geomorfologici svolti a terra.

10.1 Caratterizzazione ammasso roccioso

I parametri per la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso sono stati ottenuti attraverso il

criterio di rottura empirico di Hoek & Brown (1981):

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Per l'applicazione del criterio di Hoek & Brown sono necessari quattro parametri:

1) La resistenza a compressione uniassiale σ_{ci} degli elementi di roccia intatta che costituiscono l'ammasso, ottenibile da prove di Point Load o di compressione uniassiale.

Tale valore è stato valutato in relazione alle caratteristiche litotecniche dell'ammasso basandosi su dati di letteratura Hoek et al. (2002).

2) La costante litologica m_i , che definisce le caratteristiche frizionali dei componenti minerali degli elementi di roccia intatta, approssimabile al rapporto fra resistenza a compressione e resistenza a trazione uniassiale della roccia intatta (σ_{ci}/σ_{ti}), ricavabile sperimentalmente da prove triassiali oppure seguendo le tabelle proposte da Hoek (1999) e Hoek et al. (2002). Davarpanahet et al. (2022), forniscono una serie di correlazioni sperimentali per la valutazione della costante in relazione alla tipologia della roccia (Tabella seguente).

Tipo di roccia	Equazione
Ignea	$m_i = \frac{\sigma_c}{ \sigma_t } - 0.179$
Sedimentaria	$m_i = \frac{\sigma_c}{ \sigma_t } - 0.188$
Metamorfica	$m_i = \frac{\sigma_c}{ \sigma_t } - 0.379$
Tutti i tipi	$m_i = \frac{\sigma_c}{ \sigma_t } - 0.21$

Tabella xxx. Relazioni per la valutazione della costante m_i , Davarpanahet et al. (2022)

Si dispone di valori resistenza compressione uniassiale per la roccia in sito ottenute tramite il martello di Schmidt confrontati con dati di letteratura (Hoek et al., 2002) per la valutazione della costante m_i .

3) L'indice geologico di resistenza GSI (Geological Strength Index), che relaziona le proprietà degli elementi di roccia intatta a quelle dell'intero ammasso, è stato introdotto da Hoek et al., (1995) e fornisce un sistema per stimare la riduzione della resistenza dell'ammasso in differenti condizioni geologiche (Hoek, 1999). Il valore di GSI si può ricavare da tabelle che prendono in considerazione la struttura generale dell'ammasso e le condizioni delle superfici di discontinuità

(Hoek, 1999), oppure in base ai più comuni sistemi di classificazione geomeccanica, secondo le relazioni Hoek et al. (2002):

$$GSI = RMR' - 5$$

$$GSI = 9 \ln Q' + 44$$

Per le analisi integrative l'indice GSI è stato valutato secondo l'approccio visivo di fig.xxx, come indicato da Hoek et al. (2002) sulla base delle tabelle di comparazione proposta da Marinou et al. (2001) in relazione alle caratteristiche dell'ammasso.

4) Il fattore di disturbo, D, dell'ammasso, che dipende dalla tecnica di scavo o da rilascio tensionale. Per l'ammasso in questione tale parametro è stato assunto pari a 0 (ammasso in condizioni naturali non disturbato).

Noti GSI, D ed m_i , D ed m_i , i parametri m_b , s ed a possono essere determinati in base alle seguenti relazioni empiriche (Hoek et al., 2002):


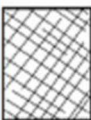



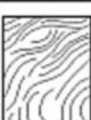
$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{GSI/15} - e^{20/3} \right)$$

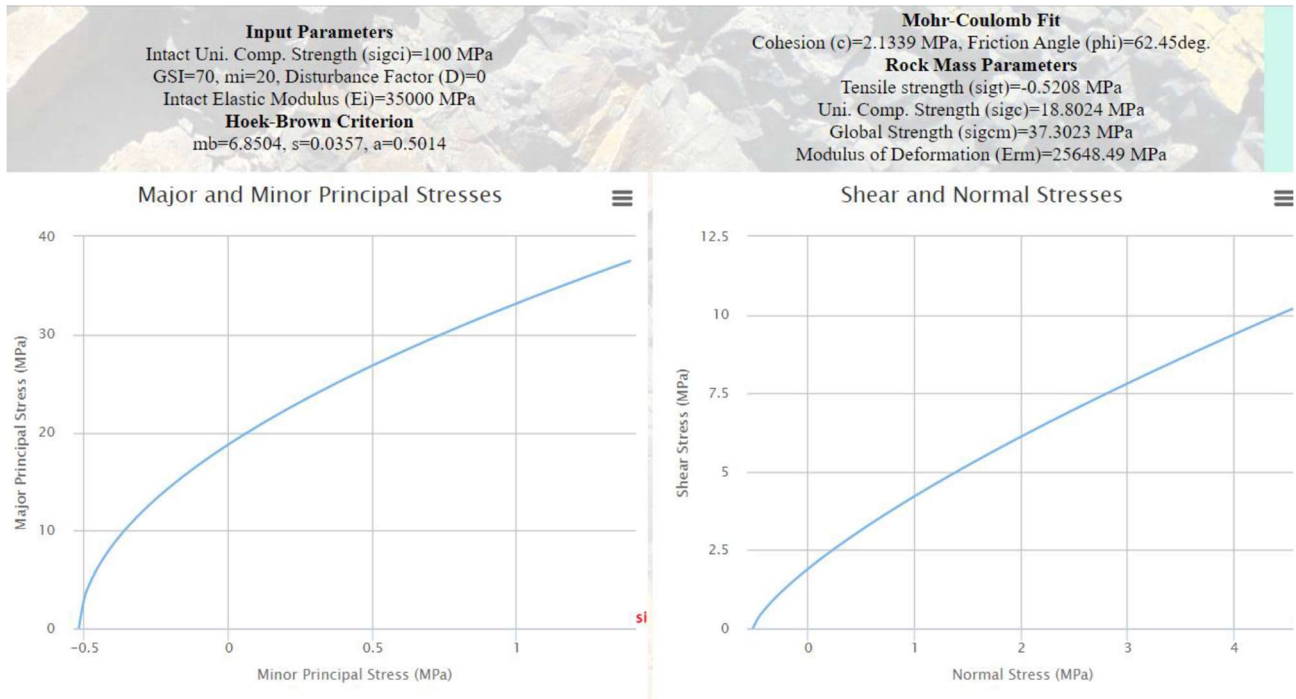
Spesso, al fine di simulare il comportamento meccanico dell'ammasso, è necessario esprimerne la resistenza in termini di coesione c' e angolo d'attrito ϕ' .

I parametri medi c' e ϕ' sono stati determinati utilizzando il software ORMAS V.1.0 basato sul criterio di Hoek & Brown generalizzato (www.roozbehgm.com/) (Figura 34); i risultati sono stati ottenuti considerando per il campo tensionale quello caratteristico di affioramenti su pendii.

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

↓ DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES

Figura 34 – Valutazione indice GSI



Valutazione dei parametri dell'ammasso sulla base del criterio Hoek-Brown generalizzato

Infine, per quanto riguarda il calcolo del modulo di deformazione dell'ammasso, è stata applicata la relazione di Hoek (1999), valida per $\sigma_{ci} < 100$ Mpa.

Riassumendo, i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso sono risultati i seguenti:

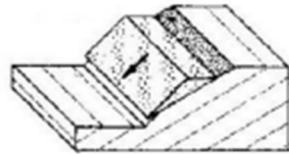
Parametri geomeccanici	
GSI	70
m_i (roccia intatta)	20
σ_c (roccia intatta) [MPa]	100
m_b	6.9
s	0.04
a	0.5
c [MPa]	2.1
phi	62
sigt [MPa]	-0.52
sigcm [MPa]	37.3
E [GPa]	2.6

10.2 Indici di pericolosità generico (GKI) e specifico per ogni cinematismo individuato

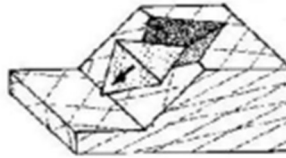
La propensione al dissesto dell'area è stata valutata, in un modello 3D, tramite analisi cinematica come comportamento di blocchi di roccia sotto il proprio peso e con resistenza allo scorrimento puramente attritiva lungo le superfici di discontinuità. I meccanismi di rottura più frequenti, considerati in questo tipo di analisi, sono (fig. 35):

- scorrimento planare (plane failure - Hoek & Bray, 1981);
- scorrimento di cunei (wedge failure - Hoek & Bray, 1981);
- ribaltamento diretto (block toppling - Goodman & Bray, 1976);
- ribaltamento diretto con scivolamento (block toppling and sliding);
- ribaltamento di flessura (flexural toppling - Goodman & Bray, 1976).

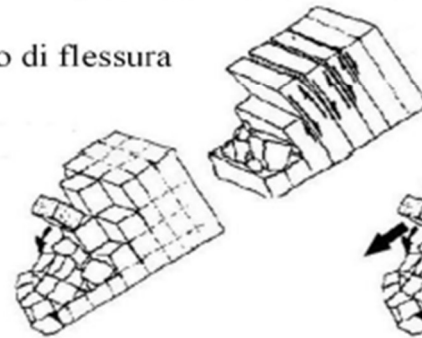
Scorrimento planare



Scorrimento di cunei



Ribaltamento di flessura



Ribaltamento diretto
+ scivolamento



Ribaltamento diretto

Fig.35 - principali meccanismi di instabilità in roccia

Le analisi descritte possono assumere un carattere quantitativo se per ogni meccanismo viene definito un indice di pericolosità cinematica (Casagli & Pini, 1993), analogo al potenziale di rottura definito da Matheson (1989), il quale esprime la probabilità relativa che un determinato meccanismo di rottura possa avvenire in base alle condizioni strutturali e geomeccaniche dell'ammasso. Tali indici possono essere calcolati effettuando il conteggio delle seguenti quantità:

- N_{pf} numero dei poli delle discontinuità che soddisfano le condizioni per lo scivolamento planare;
- N_{wf} numero dei poli delle discontinuità che soddisfano le condizioni per lo scivolamento di cunei;
- N_{bt} numero dei poli delle discontinuità che soddisfano le condizioni per il ribaltamento diretto;
- I_{bt} numero delle linee di intersezione che soddisfano le condizioni per il ribaltamento diretto;
- I_{ft} numero delle linee di intersezione che soddisfano le condizioni per il ribaltamento di flessura.

Indicando con N il numero totale di discontinuità campionate nel dominio e con I=0.5(N²-N) il numero di tutte le possibili intersezioni, è possibile calcolare i seguenti "indici di pericolosità o suscettibilità cinematica":

- Spf = N_{pf}/N (%) per scivolamento planare;
- Swf = I_{wf}/I (%) per scivolamento di cunei;
- S_{btf} = N_{btf}/N x I_{btf}/I (%) per ribaltamento di blocchi;

- $S_{ftf} = N_{ftf}/N$ (%) per ribaltamento di flessura.

L'utilizzo del computer, rispetto all'analisi grafica sulla proiezione stereografica, consente di lavorare contestualmente su tutti i dati a disposizione, sia poli che intersezioni, e di utilizzare angoli di attrito diversi per discontinuità differenti.

Considerando la morfologia locale delle pareti in oggetto, le analisi cinematiche sono state effettuate applicando una nuova metodologia (Gigli et al. 2022) basata sugli indici definiti da Casagli e Pini (1993), ma che estende la validità dei concetti dell'analisi cinematica classica anche ai versanti aggettanti introducendo il meccanismo di caduta libera ed un indice cinematico globale (GKI), che esprime la probabilità che si verifichi almeno uno dei meccanismi di dissesto investigati.

- $S_{fff} = 1 - (1 - S_{pfff}) \times (1 - S_{wfff})$ per caduta libera,

dove $S_{pfff} = N_{pfff}/N$ e $S_{wfff} = I_{fff}/I$

- $GKI = 1 - (1 - S_{pff} - N_{fff} - S_{ftf})(1 - S_{wf} - I_{fff})(1 - S_{btf})$

Il primo termine in parentesi definisce il contributo alla suscettibilità cinematica da parte di piani di discontinuità con orientazione sfavorevole (scivolamento planare, caduta libera planare e ribaltamento di flessura), il secondo termine definisce il contributo di linee di intersezioni di discontinuità con orientazione sfavorevole (scivolamento di cunei e caduta libera di cuneo) ed il terzo termine definisce il contributo del ribaltamento di blocchi o diretto che è l'unico controllato sia piani che intersezioni. Il GKI definisce la probabilità relativa che almeno uno tra tutti i possibili meccanismi sia cinematicamente possibile.

Nella Figura 36, Figura 37, Figura 38 e Figura 39 vengono mostrate delle illustrazioni schematiche che descrivono i diversi meccanismi di instabilità e la loro analisi cinematica su proiezione stereografica.

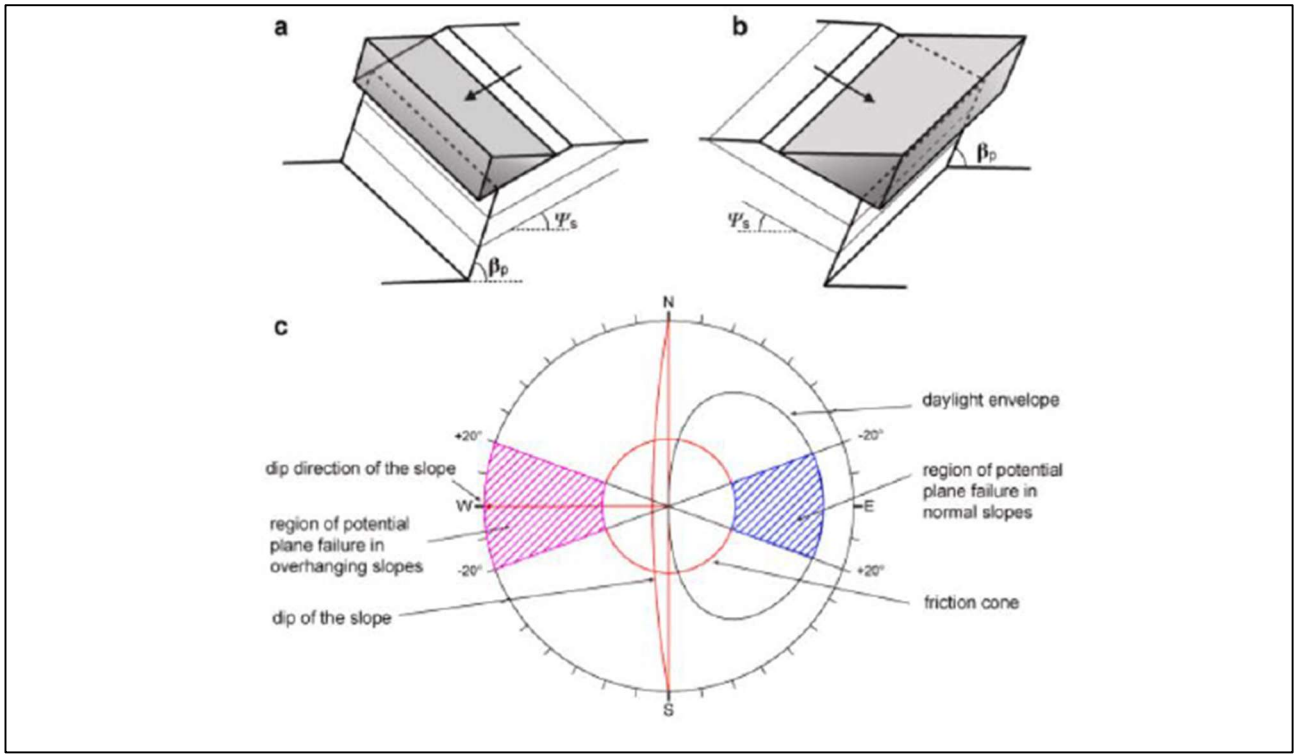


Fig. 36 illustrazione schematica del meccanismo di scivolamento planare per versanti normali (a) e versanti in aggetto (b) e relativa analisi cinematica su proiezione stereografica (c) (Gigli et al., 2022)

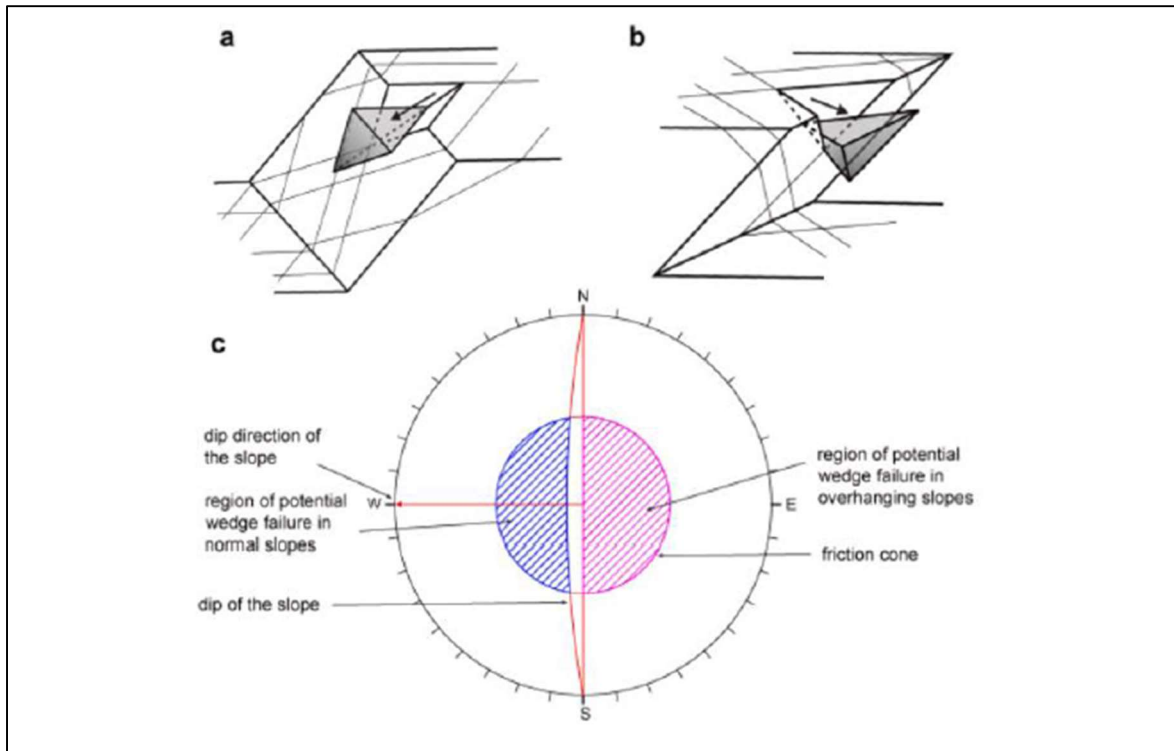


Fig. 37 illustrazione schematica del meccanismo di scivolamento di cunei per versanti normali (a) e versanti in aggetto (b) e relativa analisi cinematica su proiezione stereografica (c) (Gigli et al., 2022)

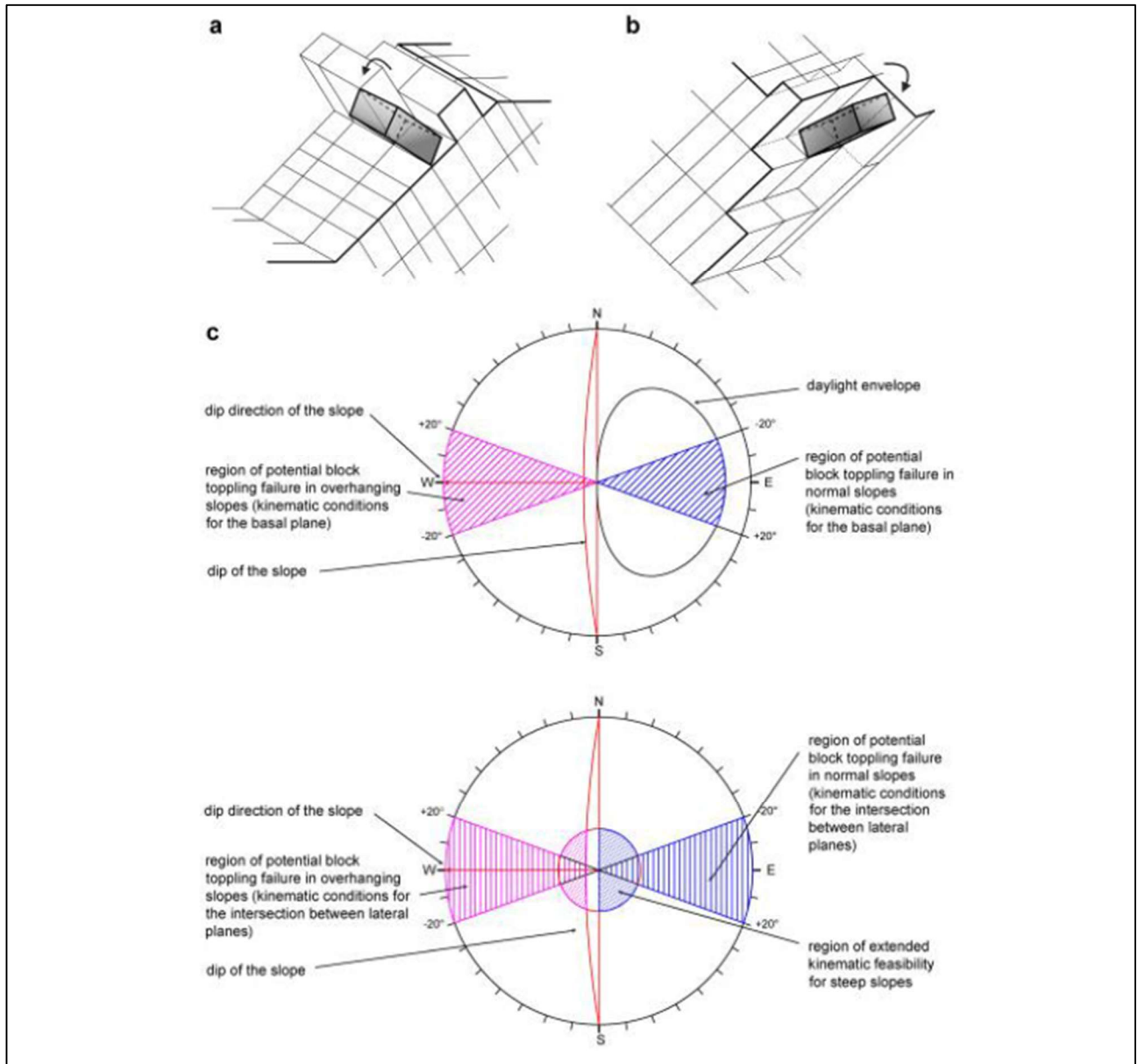


Fig. 38 illustrazione schematica del meccanismo di ribaltamento di blocch per versanti normali (a) e versanti in aggetto (b) e relativa analisi cinematica su proiezione stereografica (c) (Gigli et al., 2022)

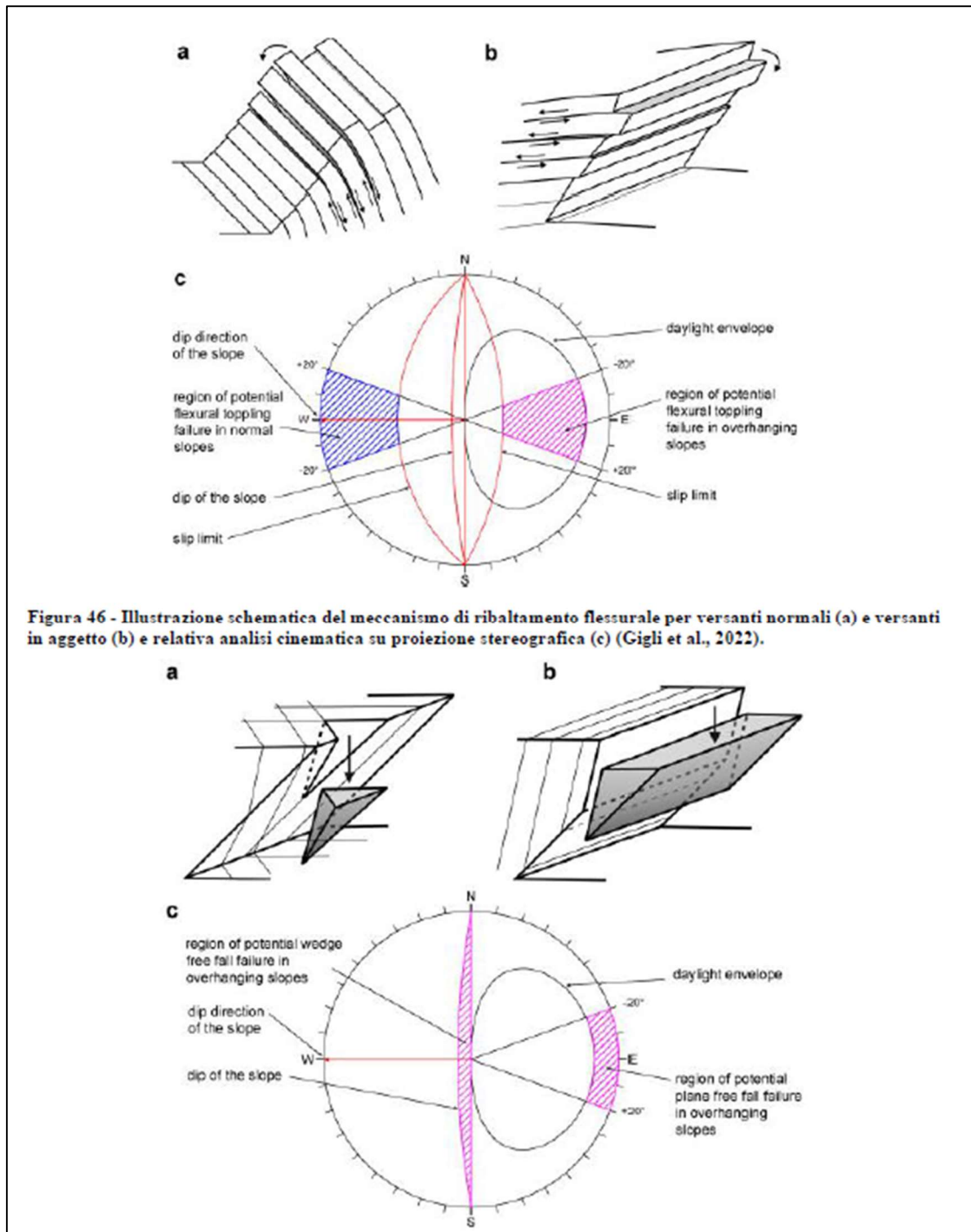


Fig. 39 illustrazione schematica del meccanismo di scivolamento di ribaltamento flessurale per versanti normali (a) e versanti in aggetto (b) e relativa analisi cinematica su proiezione stereografica (c) (Gigli et al., 2022) e in basso, illustrazione schematica del meccanismo di scaduta libero di cuneo per versanti normali (a) e versanti in aggetto (b) e relativa analisi cinematica su proiezione stereografica (c) (Gigli et al., 2022)

Il valore di angolo di attrito per tali analisi è stato ricavato dalla relazione $\phi = \phi_b + 2JRC$ valida per bassi stati tensionali (Maksimovic, 1996).

A scopo cautelativo al posto di ϕ_b è stato utilizzato l'angolo di attrito residuo ricavato mediante la relazione di Barton e Choubey (1977) e come valore di JRC quello scalato sulla dimensione media dei blocchi tramite la relazione di Barton & Bandis (1982).

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20(r/R)$$

$$JRC_n = JRC_0 * \left(\frac{L_n}{L_0}\right)^{-0.02JRC_0}$$

Considerando un angolo di attrito di base di 33° (ottenuto cautelativamente da valori di letteratura e confrontato con le correlazioni ottenute dalla prova con martello di Schmidt), come valori di JRC0 i valori più bassi tra quelli medi di ogni singola famiglia di discontinuità e come lunghezza media significativa $L_n = 2m$ (sulla base delle osservazioni in sito e delle dimensioni medie dei blocchi rilevate) è stato considerato per tutte le analisi un valore cautelativo di angolo di attrito pari a 39° .

Il modello 3D su cui sono state effettuate le analisi è un mesh creata a partire dalle point clouds ottenute dall'integrazione delle nuvole del laser scanner e della fotogrammetria da drone.

Per la valutazione degli indici di instabilità cinematica sono stati determinati sui suddetti mesh i valori di direzione di immersione e di inclinazione di immersione che servono per il calcolo dei diversi indici.

10.3 Rilievo geomeccanico tradizionale scalo n.4

Presso lo scalo n.4 è stata eseguita una linea di scansione denominata GM1 ed ubicata come mostrato in fig.40

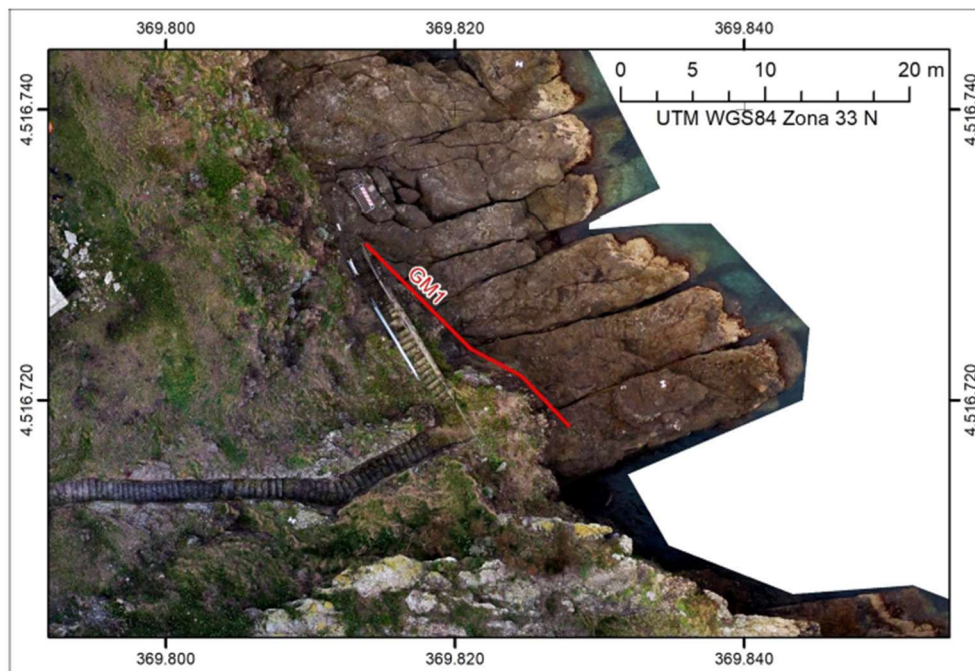


Fig. 40 - Ubicazione linea di scansione rilievo geomeccanico classico GM1

La stazione consiste di uno stendimento (scan line) di lunghezza pari a 19,3 m su una parete di altezza compresa da 4 a 6 m, avente giacitura variabile (come da scheda di rilevamento), espressa in valori di angolo di immersione e angolo di inclinazione, da 38°/67° a 20°/75° a 43°/70° da sudest verso nordovest.

Alla stazione GM1 sono stati osservati nelle rocce vulcaniche affioranti, appartenenti al membro SS1 della Formazione di Santo Stefano, essenzialmente giunti di raffreddamento, raggruppabili in due famiglie principali e tre occasionali.

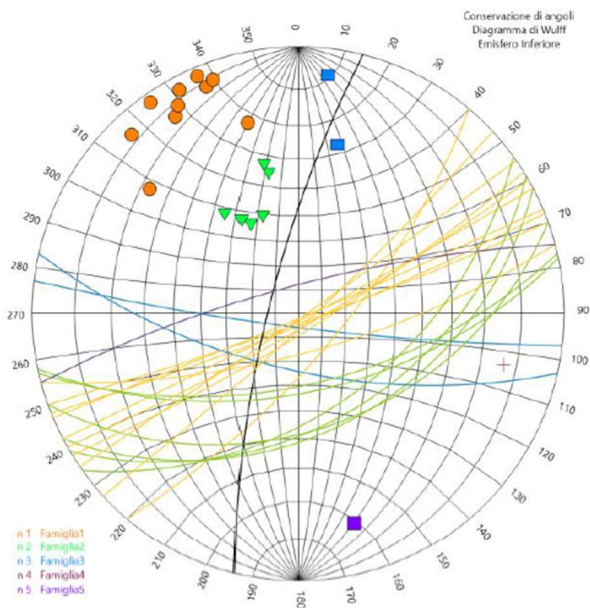


Fig. 41 – diagramma di Wulff con ciclografiche ed i poli delle discontinuità misurate alla stazione GM1

10.4 Famiglie rilevate e sintesi RMR

Come si può osservare in Figura 41, la famiglia più rappresentata, denominata Famiglia 1 (10 occorrenze), è quella avente giacitura media a $150^{\circ}/83^{\circ}$, mentre seconda in termini di numero di discontinuità (Famiglia 2, con 6 occorrenze) è quella avente immersione simile alla precedente, ossia a 157° ma con inclinazione inferiore, mediamente intorno a 50° . Costituiscono famiglie occasionali quelle con giacitura media $190^{\circ}/75^{\circ}$ (Famiglia 3, con 2 occorrenze), $284^{\circ}/77^{\circ}$ (Famiglia 4, con 1 occorrenza) e $345^{\circ}/78^{\circ}$ (Famiglia 5, con 1 occorrenza).

Analizzando statisticamente le proprietà di apertura, spaziatura e persistenza delle due principali famiglie di discontinuità, si possono fare le seguenti osservazioni.

Le discontinuità della Famiglia 1 si presentano generalmente piuttosto aperte, in prevalenza fra 10 e 100 mm, con una spaziatura media di circa 1,70 m ed una persistenza con valori relativamente alti, soprattutto compresa fra 1 e 3 m.

La Famiglia 2 presenta invece aperture prevalentemente più strette, fra 0,25 e 2,5 mm, con spaziatura media di 0,90 m, ma con persistenza ugualmente rappresentata dagli intervalli di valori di 1-3 m e 3-10 m.

10.5 Rilievo geomeccanico da remoto scalo n.4 e pericolosità geomorfologiche e sintesi dei dissesti presso lo scalo n.4

Dalle figure seguenti e dai valori della tabella sotto riportata si evince che i meccanismi di dissesto con indice più alto siano quelli di caduta libera con valori massimi di 43.5%, scivolamento planare e ribaltamento di flessura, entrambi con valori massimi di 40.6%. Gli altri meccanismi mostrano indici nettamente più bassi con valori massimi rispettivamente pari a 17.9% per lo scivolamento di cunei ed 1.8% per il ribaltamento di blocchi (praticamente assente). Analizzando però i valori medi dei tre meccanismi con indice più alto si nota come il meccanismo di caduta libera è quello meno diffuso nonostante registri il valore di picco più alto in quanto presente solo nelle porzioni di aggetto. Il meccanismo più probabile è invece il ribaltamento per flessura, che ha un valore medio maggiore e una deviazione standard minore, indice di una diffusione più omogenea nell'area. Ai meccanismi citati in precedenza si aggiunge anche il meccanismo di scivolamento di cunei (WF, wedge failure) che, presenta un valore di picco nettamente inferiore rispetto ai meccanismi citati in precedenza e un valore medio abbastanza ridotto, sintomo di una diffusione limitata nell'area. Il meccanismo di ribaltamento di blocchi (BT, block toppling) risulta invece essere quasi assente, con valori ridotti sia per il massimo che per la media. I valori massimi dell'indice cinematico globale sono pari a 59.1%.

	PF (%)	WF (%)	BT (%)	FF (%)	FT (%)	GKI (%)
max	40.6	17.9	1.8	43.5	40.6	59.1
media	1.8	1.6	0.4	0.6	4.6	8.6
dev std	3.9	3.0	0.5	2.9	7.5	11.7

Valori massimi, minimi e deviazione standard degli indici di instabilità cinematica per lo Scalo n.4

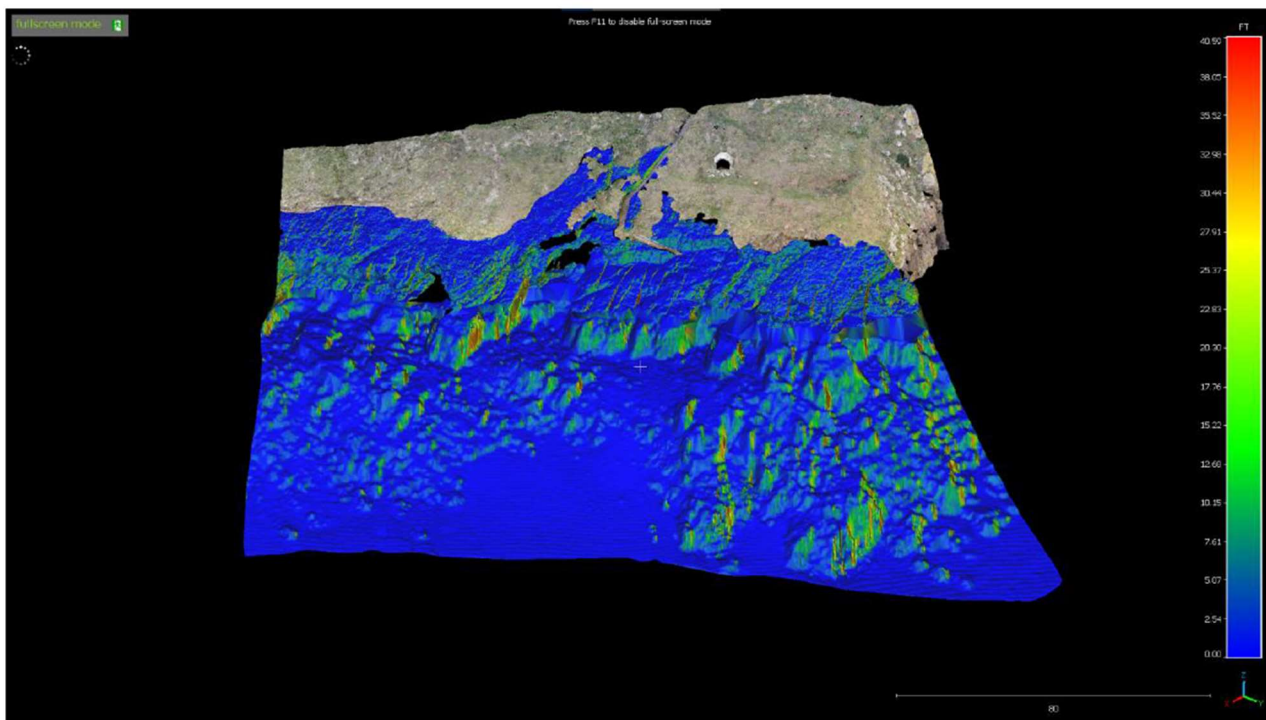


Fig. 42 – Mappa dell'indice di pericolosità cinematica per il meccanismo di ribaltamento flessurale (Scalo 4)

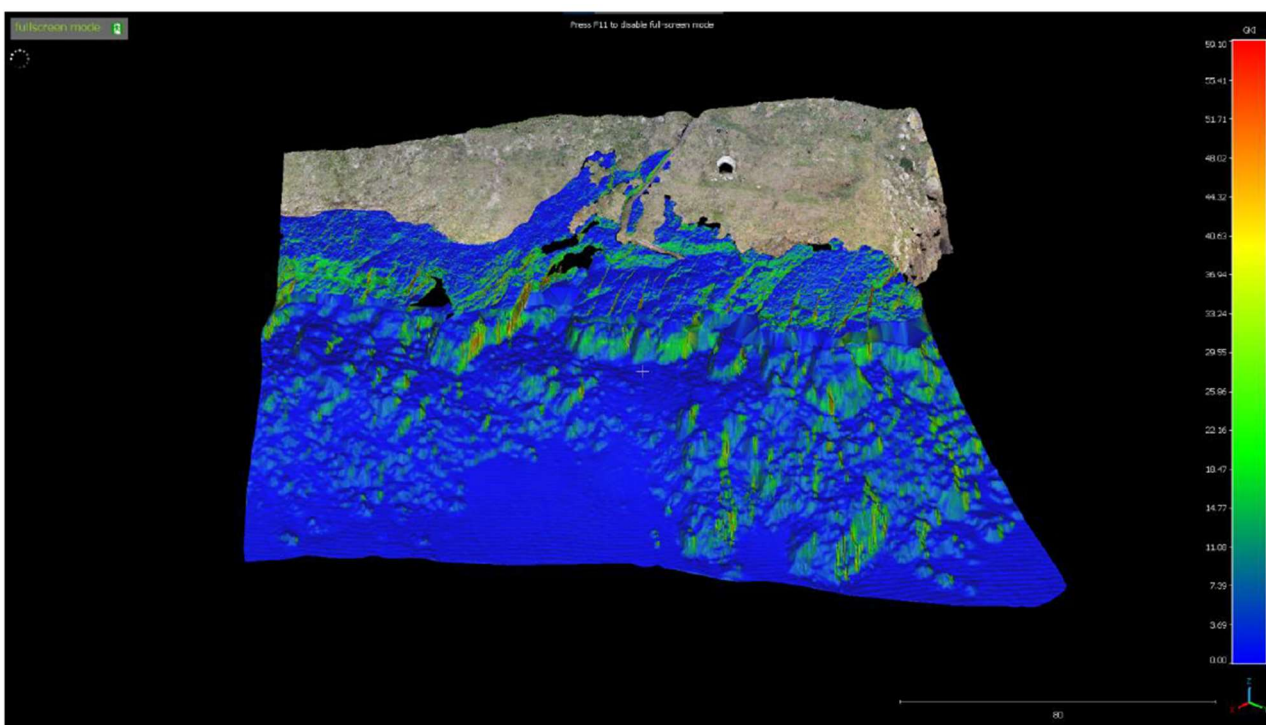


Fig. 43 – Mappa dell'indice di pericolosità cinematica globale per i meccanismi esaminati (Scalo 4)

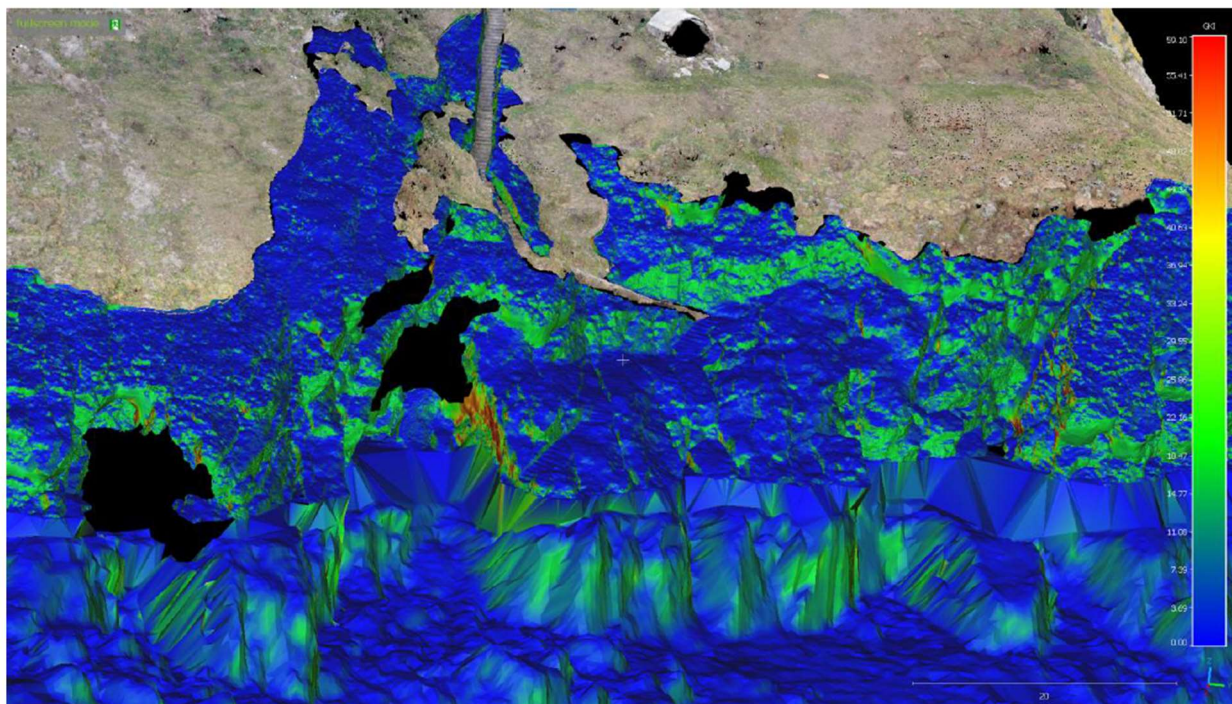


Fig. 44 – Dettaglio dello scalo n.4 dell'indice di pericolosità cinematica globale per i meccanismi di dissesto esaminati

10.6 Pericolosità geomorfologiche e sintesi dei dissesti presso lo scalo n.4

Come per lo scalo Marinella, anche lo scalo n.4 presenta delle potenziali instabilità secondarie dovute ad aree caratterizzata dalla presenza di materiale regolitico-colluviale soprattutto in corrispondenza dei cigli delle falesie. Tali aree sono segnalate come aree in erosione idrica diffusa e sono molto mitigate nella parte alta del versante dai terrazzamenti antropici presenti. Il principale dissesto potenziale resta il crollo di elementi lapidei soprattutto nelle aree in aggetto per i cinematismi descritti nei paragrafi precedenti.

Le indagini integrative eseguite nell'aprile del 2023 hanno introdotto una nuova metodologia (Gigli et al. 2022) basata sugli indici definiti da Casagli e Pini (1993), ma che estende la validità dei concetti dell'analisi cinematica classica anche ai versanti aggettanti introducendo il meccanismo di caduta libera.

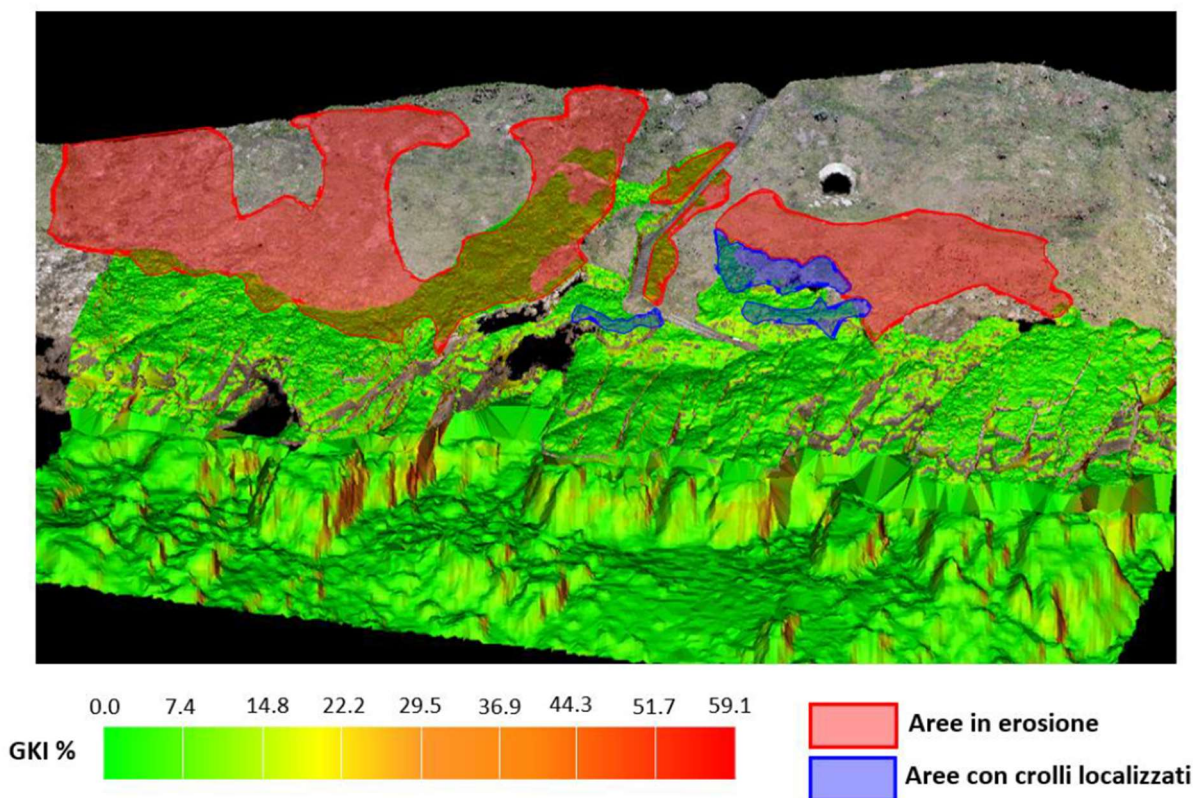


Fig.45-Mappa di sintesi dell'analisi geomorfologica e cinematica dello scalo n.4

11 Rilievo geostrutturale prima campagna

I rilievi integrativi sono stati confrontati con la prima campagna di indagini per verificare il riconoscimento delle principali fratture rinvenute in affioramento. Al di là di un comprensibile scostamento dei risultati dovuto alla soggettività di ogni singola misura acquisita tramite la classica bussola da geologo, i due rilievi sono da considerarsi concordanti. Inoltre, sono stati utilizzati i risultati delle prove eseguite nella prima fase di indagini tramite martello di schmidt per la definizione dei valori di resistenza a compressione monoassiale dei joints. Per una migliore comprensione si rimanda all'elaborato "2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT04".

12 Sintesi delle verifiche di stabilità del pendio

La presente disamina riguarda le verifiche di stabilità globale del pendio naturale presso lo scalo n.4 dell'Isola di Santo Stefano Ventotene effettuate *ex post* l'intervento in somma urgenza per la mitigazione del pericolo crolli.

Occorre premettere che le verifiche di stabilità globali effettuate con il metodo classico, che prevede la generazione di tutte le possibili superfici circolari lungo le quali è possibile il verificarsi di instabilità e la successiva verifica del fattore di sicurezza per ogni superficie generata con il metodo dei conci noto in letteratura secondo vari autori (Janbu, Morgenstain & Price, Spencer, etc.), per la maggior parte dei software disponibili in commercio vengono effettuate seguendo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb che ben rappresenta il comportamento meccanico dei terreni e non delle rocce. Visto che nel caso in questione i pendii sono costituiti da rocce laviche, è stato necessario l'utilizzo di un software che considerasse anche il criterio di rottura non lineare di Hoek et al. 2002. Si è quindi proceduto ad effettuare le analisi con il **software SSAP2010 (Slope Stability Analysis Program) versione 5.2 2023 del Prof. Lorenzo Borselli – Facoltà di Ingegneria, dipartimento di Geologia dell'Università Autonoma di San Luis Potosì – Messico.**

In SSAP2010 è stato introdotto il criterio di rottura pubblicato da Hoek et al. (2002) per la caratterizzazione della resistenza al taglio degli ammassi rocciosi fratturati. Questo criterio di rottura estende quello tradizionalmente utilizzato per i terreni sciolti (Mohr- Coulomb) e permette di utilizzare il metodo di verifica della stabilità mediante l'equilibrio limite anche in presenza di ammassi rocciosi fratturati, dove è necessario una metodologia che permetta di definire la resistenza al taglio dell'ammasso in termini dei parametri necessari per effettuare una verifica di stabilità dei pendii. La metodologia di Hoek che si è evoluta in oltre 25 anni di studi di meccanica e ingegneria delle rocce (Hoek & Bray. 1997; Marinos & Hoek, 2001, Hoek et al.; 2002) permette attraverso una caratterizzazione delle qualità meccaniche e strutturali dell'ammasso un percorso non ambiguo che porta alla valutazione dei parametri necessari per effettuare una verifica di stabilità dei pendii.

Il campo di applicazione della metodologia è limitato ai pendii in roccia dove non sono presenti instabilità e distacchi di natura strutturale (cunei o poliedri di roccia, topplig/ribaltamenti, e caduta di massi). Tuttavia, il metodo presenta una capacità di generalizzazione molto ampia, potendo spaziare dagli ammassi rocciosi in rocce consistenti, alle rocce deboli fino alle rocce tenere e agli ammassi in formazioni in facies di flysch (Marinos & Hoek; 2001, Marinos, 2017). Per tali ragioni

i risultati delle verifiche sono da ritenersi qualitativi e non quantitativi, visti i cinematismi attesi e messi in luce dalle indagini.

Anche se le indagini integrative hanno confermato che i dissesti in atto e potenziali sulle falesie sono dovuti a distacchi di natura strutturale (fratture che generano caduta libera di cunei, ribaltamenti, etc.), si è proceduto alle analisi di stabilità secondo il metodo sopra descritto grazie, inoltre, alla possibilità di inserire nel software la caratterizzazione geomeccanica con l'integrazione al criterio GSI di Hoek et al. (2002) per resistenza al taglio di discontinuità specifiche con il criterio JRC, Barton & Bandis (1990). Sia il valore GSI (Geological Strength Index) Cai et al. (2007) per il metodo Hoek et al. 2002 sia i parametri JRC per il metodo Barton & Bandis 1990 sono stati ricavati dai rilievi ed indagini integrative e dai rilievi ed indagini di prima fase. In più, il generatore di superfici del software consente l'individuazione di superfici di rottura non-circolari superando così i metodi classici.

12.1 Generalità Verifica di stabilità scalo n.4

Le verifiche sono state effettuate su n.3 sezioni presso lo scalo n.4 dell'Isola di Santo Stefano-Ventotene di cui n.2 disposte monte valle e n.1 disposta trasversalmente al pendio. Le sezioni includono le aree perimetrare a rischio frana A del PAI ed in particolare i poligoni TSAS4 e TSAS6 Per tutte le verifiche sono stati impostati i seguenti parametri:

Metodo di calcolo Borselli 2016: nuovo metodo di calcolo sviluppato come una evoluzione e generalizzazione del metodo di calcolo di *Chen-Morgestern* (1983), che a sua volta fu una evoluzione e generalizzazione di quello ben noto di *Morgestern –Price* (1965), secondo Duncan et al. (2014)

Metodo di ricerca delle superfici Sniff Random Search (Borselli 1997, 2021): consente di generare superfici di forma libera e quindi valorizzare il passaggio tra strati che evidenziano debolezze geomeccaniche

Condizioni Pseudostatiche secondo NTC2018 con utilizzo dei coefficienti sismici orizzontale K_h e verticale K_v

Opzione – effetto tension crack consente la ricerca di eventuali giunti di trazione in testa al pendio in terreni con presenza di coesione drenata e non drenata nonché in ammassi rocciosi fratturati

Nota bene: le quote delle sezioni sono relative e non espresse s.l.m. in quanto il software non riconosce quote negative; gli aggetti in roccia sono stati simulati dal punto di vista geotecnico come una "lente" con caratteristiche geotecniche prossime allo zero in quanto il software riconosce solo quote dell'ascissa crescenti.

12.2 Verifica di stabilità scalo n.4 – Sezione A-A'

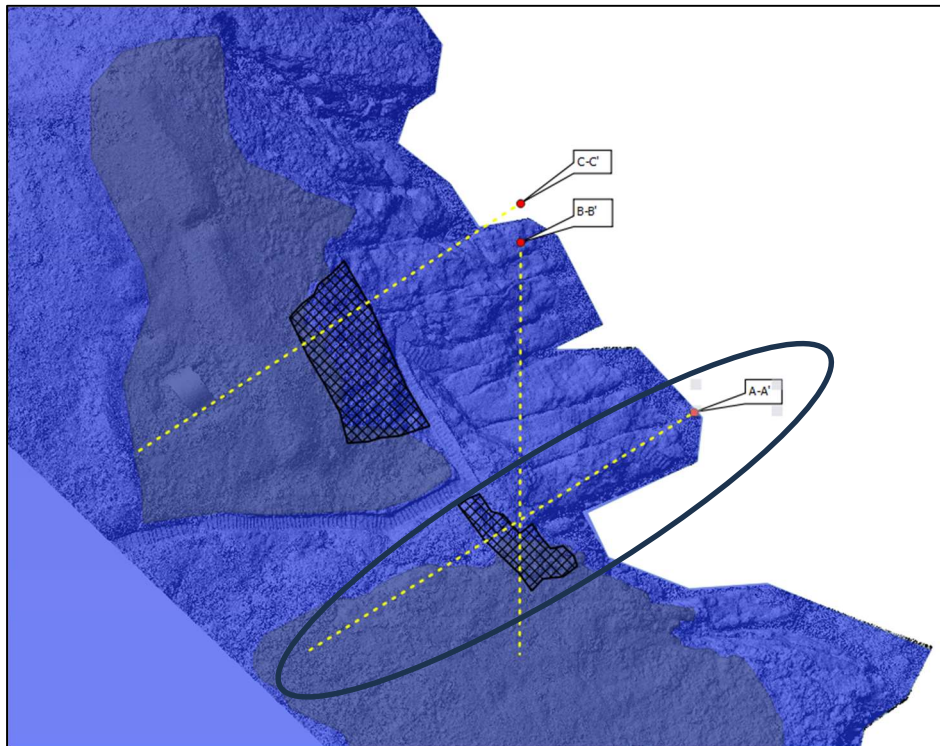


Fig.45 - Tracce delle sezioni per la verifica di stabilità globale del pendio – in evidenza la sezione A-A'

ANTE OPERAM (A-A')

L'analisi eseguita con i parametri sopra riportati, per la sezione A-A', ha fornito un fattore di sicurezza minimo $F_s=0,31$; tale superficie è riferibile ad una porzione di falesia sottostante l'area dove si è già intervenuti per la somma urgenza; sono presenti nella stessa area altre superfici analoghe alla prima in termini geometrici con $F_s < 1$; le altre superfici calcolate hanno un $F_s \geq 1,1$ considerato F_s da progetto (target da non considerare trattandosi di verifiche ex post).

Di seguito si mostra il risultato della verifica di stabilità globale A-A' elaborato con il metodo qFEM di Borselli, una mappa a colori di un campo scalare del fattore FS locale generato con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica, basato su sistemi FEM di Schofield & p. Worth(1968) e Griffith et al. (1999) con indicazione della superficie con F_s minimo:

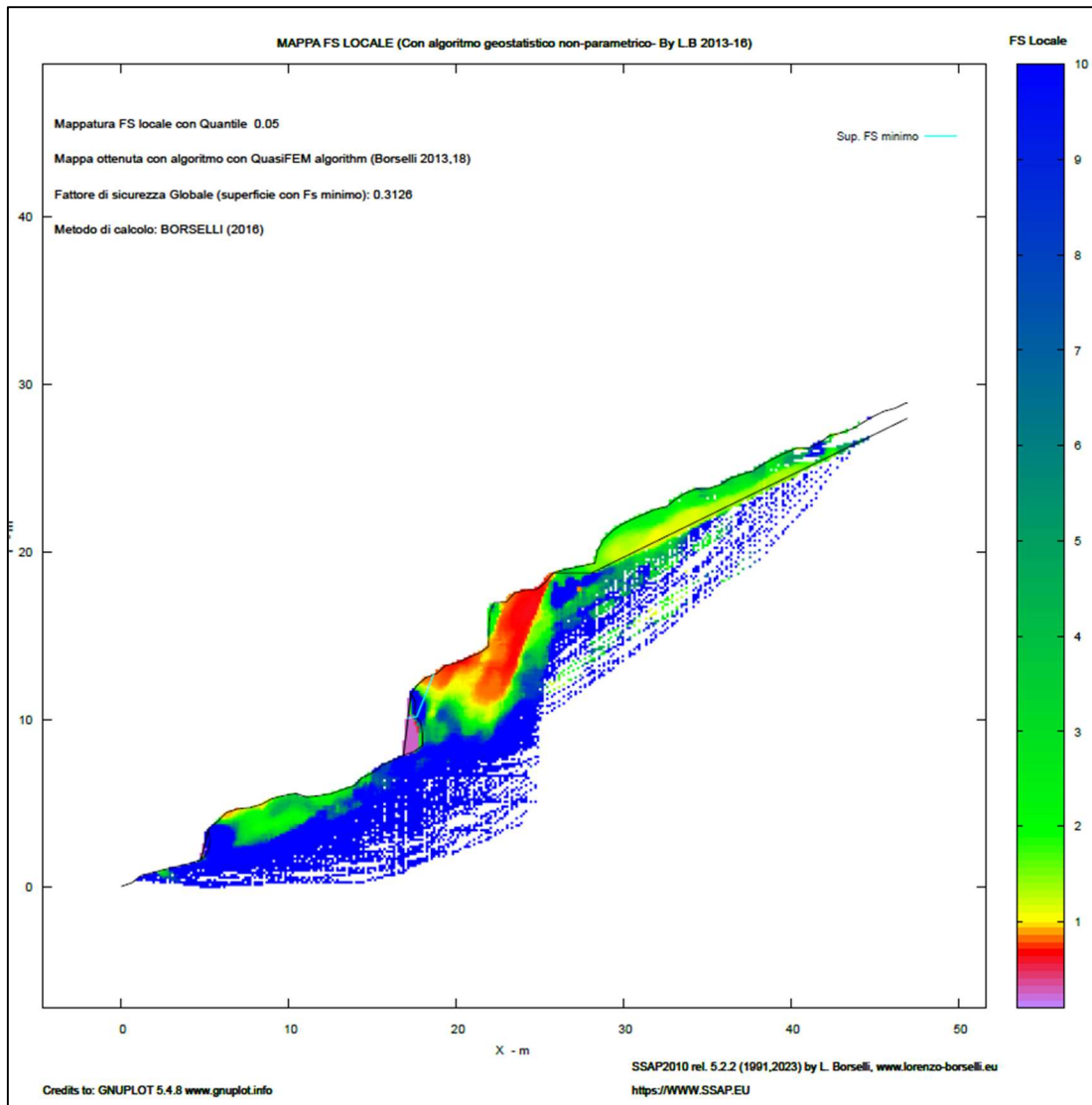


Fig.46 - Mappa a colori delle pressioni neutre – sezione A-A'

Per completare le informazioni, di seguito, il risultato della verifica di stabilità della sezione A-A' che mostra le 10 superfici con fattore minimo (concentrate nell'area a valle dell'intervento in somma urgenza); nella immagine seguente sono anche mostrati i parametri di input e di ricerca:

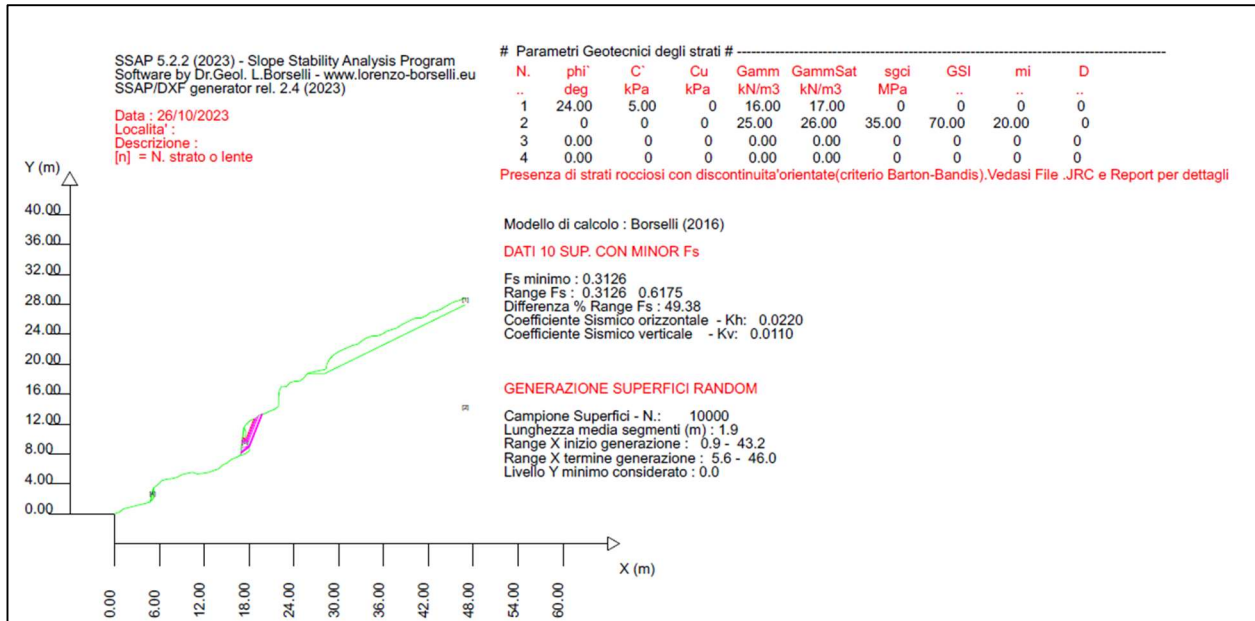
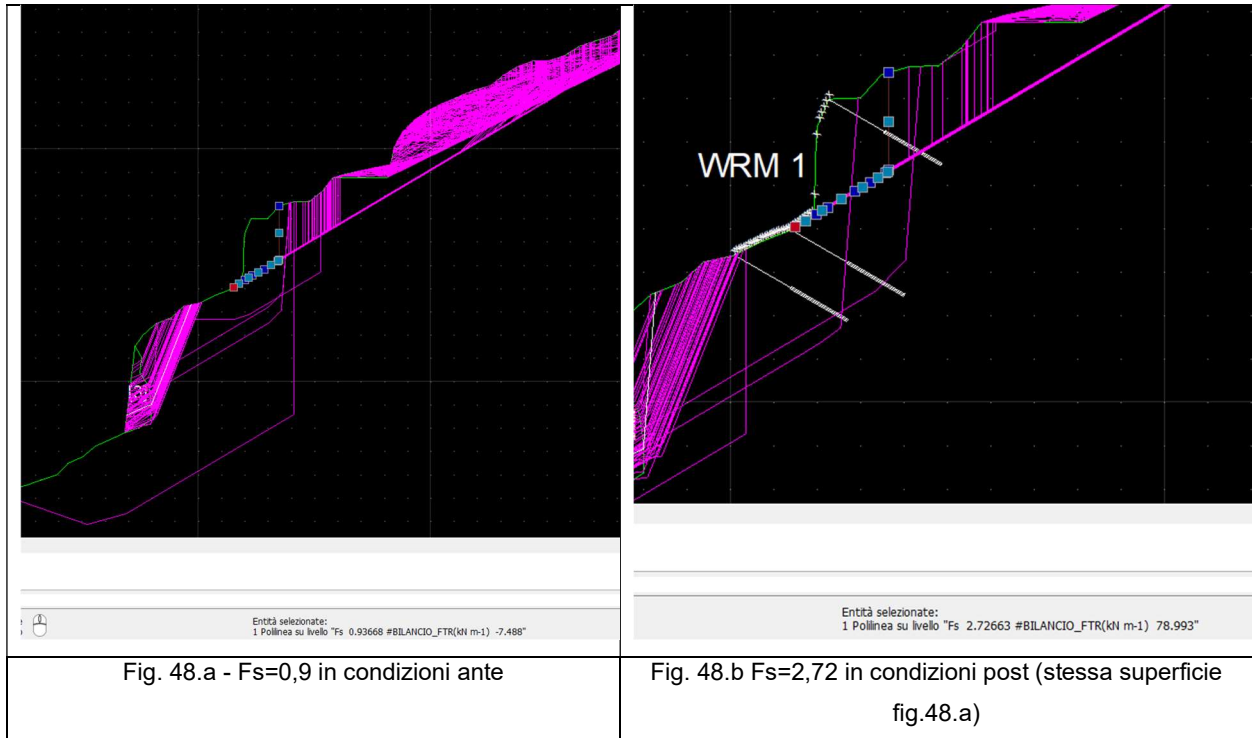


Fig. 47 – Esiti verifica di stabilità globale del pendio ante operam con evidenza delle n.10 superfici più critiche e parametri di input–sezione A-A’

POST OPERAM (A-A’)

L’analisi post operam è stata eseguita, per la sezione A-A’, considerando la messa in opera di rete paramassi e barre di chiodature, così come realizzate e rappresentate negli elaborati progettuali. Il risultato ha fornito fattori migliorativi del Fs in corrispondenza delle opere eseguite mentre permangono le criticità nelle aree immediatamente a valle con Fs minimo prossimo a 0,30. **È necessario sottolineare che gli interventi sono volti a mitigare fenomenologie di dissesto locali come più volte descritto nei paragrafi precedenti.**

Di seguito un confronto dell’ante e post in corrispondenza di una delle superfici in zona intervento:



Si noti l'aumento del F_s da 0,9 a 2,7 in corrispondenza dell'intervento in somma urgenza.

Di seguito si mostra il risultato della verifica di stabilità globale A-A' post operam con indicazione del fattore FS locale minimo:

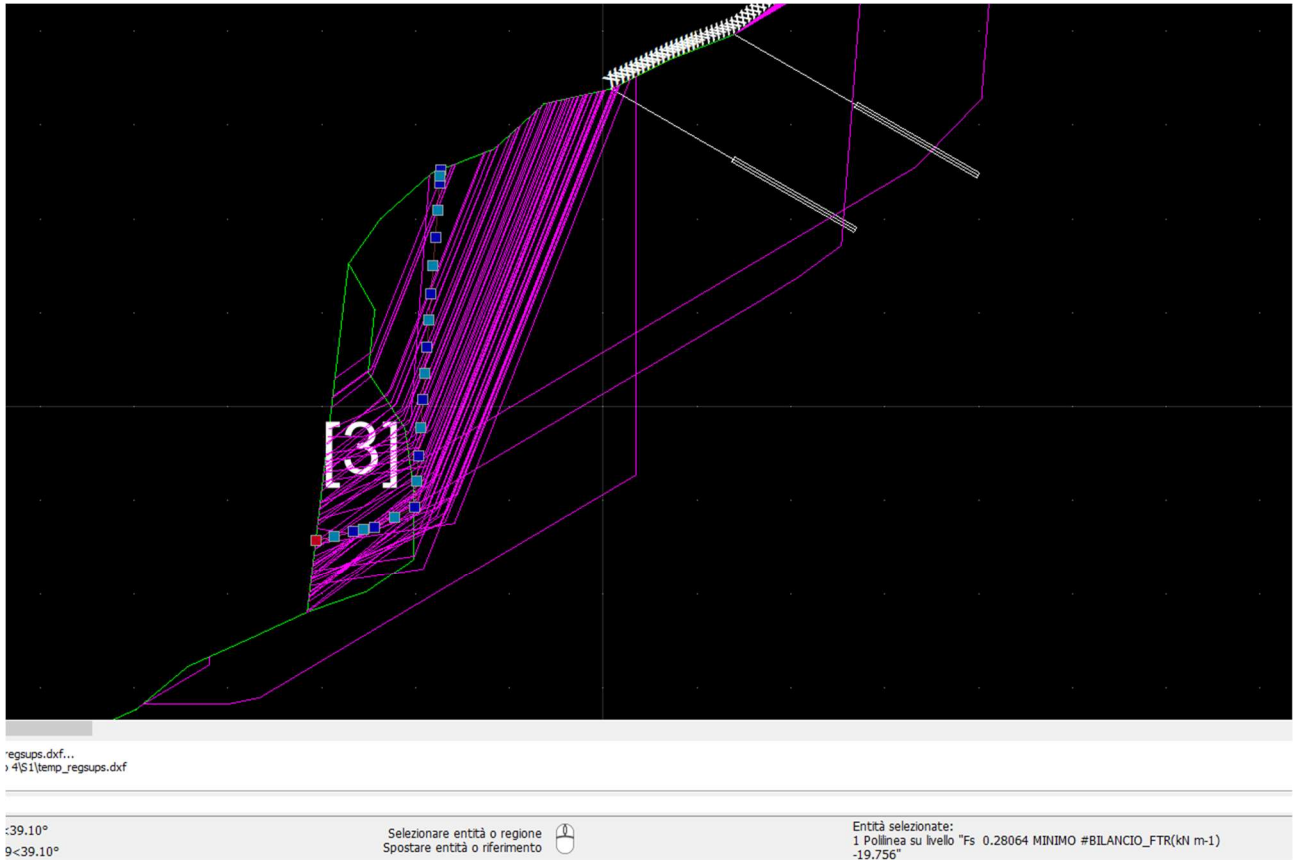


Fig.49 - Fs minimo – sezione A-A' post operam – si noti che la superficie appartiene ad aree di non intervento della somma urgenza

Come anticipato, a valle dell'intervento in somma urgenza permangono superfici con fattore di sicurezza critici (nell'immagine sopra riportata è evidenziata la superficie con Fs minimo pari a 0,30. Tali superfici hanno una profondità di circa 1,5 m dal p.c. Sarà necessario intervenire con ulteriori opere (chiodature) per aumentare Fs fino a valore ritenuto idoneo da progetto. Tali interventi come noto sono in fase di progettazione nell'ambito dell'intervento n.3 - Realizzazione/adequamento degli approdi all'Isola di Santo Stefano del CIS.

Per completare le informazioni, di seguito, il risultato della verifica di stabilità post operam della sezione A-A' che mostra le 10 superfici con fattore minimo; per ogni ulteriore informazione si rimanda al report sintetico delle verifiche in allegato (Allegato A); le caratteristiche tecniche della rete e dei chiodi sono sintetizzate in tabella:

TABELLA TIRANTI/ANCORAGGI

Beta(°)	: Inclinazione ancoraggio - Angolo con orizzontale(Gradi) 30.00
L(m)	: Lunghezza (m): 3.00
T(kN/m)	: Tensione di progetto 200.00

Lc(%) : % lunghezza cementata 50.00

TABELLA WIREMESH (RETI IN ADERENZA ANCORATE)

Tr(kN/m) : Resistenza limite a trazione rete 100.00

alpha(-) : Coefficiente di mobilitazione resistenza a trazione 0.10

epsilonR(-) : Coefficiente di deformazione limite a trazione 0.040

FsT(-) : Fs di progetto resistenza allo sfilamento dei rinforzi 1.00

nella immagine seguente sono anche mostrati i parametri di input e di ricerca,

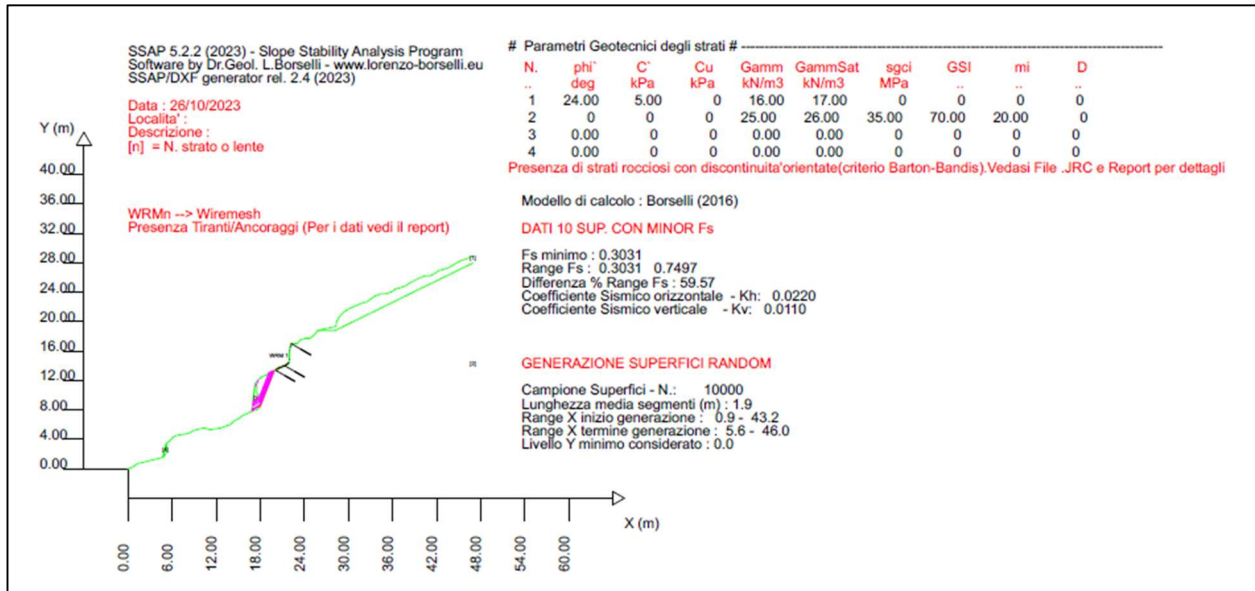


Fig. 50 – Esiti verifica di stabilità globale del pendio post operam con evidenza delle n.10 superfici più critiche e parametri di input–sezione A-A'

N.B. Per rappresentare gli aggetti in roccia la convenzione del software SSAP necessita l'inserimento di l' "lenti d'aria" con caratteristiche geotecniche pari a zero. Nella sezione A-A-' tali lenti corrispondono agli strati 3 e 4 .

12.3 Verifica di stabilità scalo n.4– Sezione B-B'

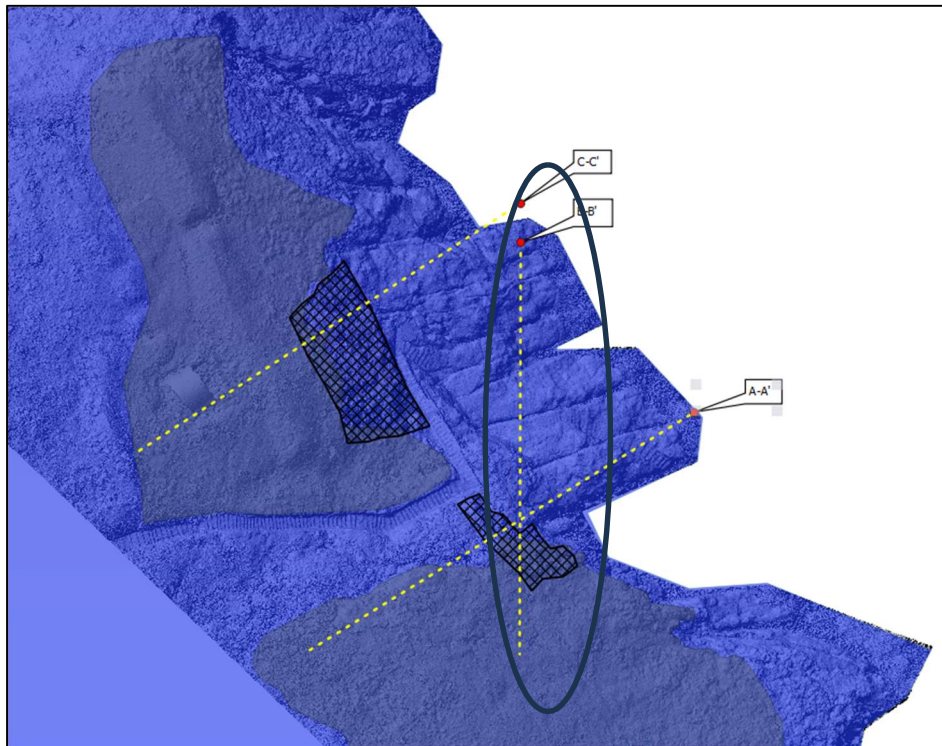


Fig.51 - Tracce delle sezioni per la verifica di stabilità globale del pendio – in evidenza la sezione B-B'

ANTE OPERAM (B-B')

L'analisi eseguita con i parametri sopra riportati, per la sezione B-B', ha fornito un fattore di sicurezza minimo $F_s=1,07$ quasi prossimo a $F_s=1,1$ considerato F_s da progetto (target da non considerare trattandosi di verifiche ex post).

Di seguito si mostra il risultato della verifica di stabilità globale B-B' elaborato con il metodo qFEM di Borselli:

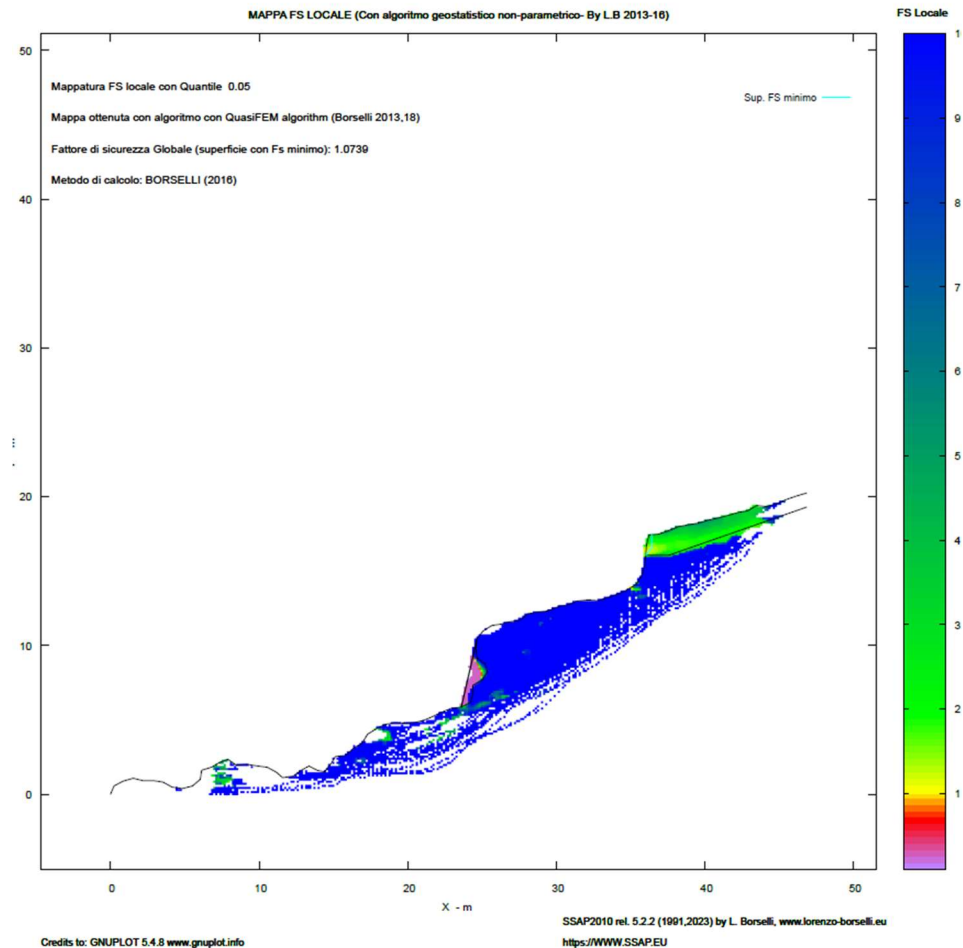


Fig.52 - Mappa Fs locale con individuazione della superficie con Fs minimo – sezione B-B'

Per completare le informazioni, di seguito, il risultato della verifica di stabilità della sezione B-B' che mostra le 10 superfici con fattore minimo (tutte prossime a $F_s=1,1$); nell'immagine seguente sono anche mostrati i parametri di input e di ricerca (si noti come le superfici interessino uno spessore esiguo in prossimità del ciglio superiore della sezione ed in presenza di coltri regolitiche):

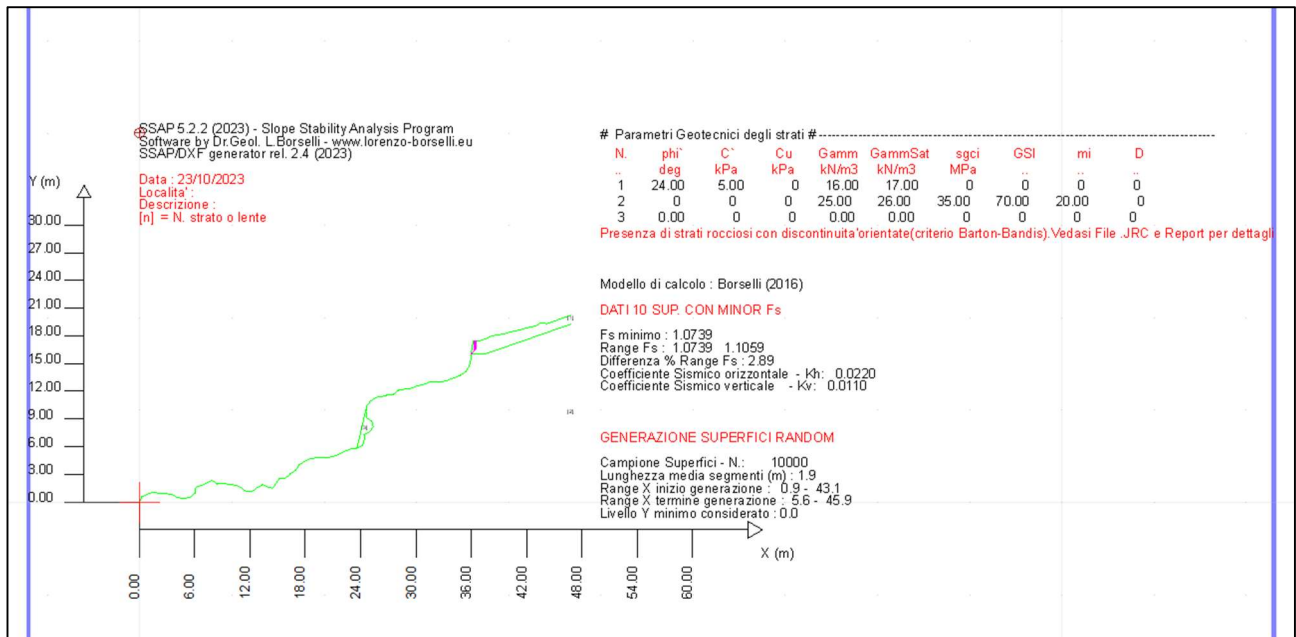


Fig. 53 – Esiti verifica di stabilità globale del pendio ante operam con evidenza delle n.10 superfici più critiche e parametri di input–sezione B-B’

POST OPERAM (B-B’)

L’analisi post operam è stata eseguita, anche per la sezione B-B’, considerando la messa in opera di rete paramassi e barre di chiodature così come realizzate in somma urgenza. Il risultato ha fornito un fattore di sicurezza minimo $F_s=1,44$ e quindi al di sopra di $F_s \geq 1,1$ considerato come obiettivo del progetto (target da non considerare trattandosi di verifiche ex post) nonché migliorativa rispetto a $F_s=1,07$ dell’ante operam. **È necessario sottolineare che gli interventi sono volti a mitigare fenomenologie di dissesto locali come più volte descritte nei paragrafi precedenti.**

Di seguito si mostra il risultato della verifica di stabilità globale B-B’ post operam elaborato con il metodo qFEM di Borselli, una mappa a colori di un campo scalare del fattore FS locale generato con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica, basato su sistemi FEM di Schofield & p. Worth(1968) e Griffith et al. (1999):

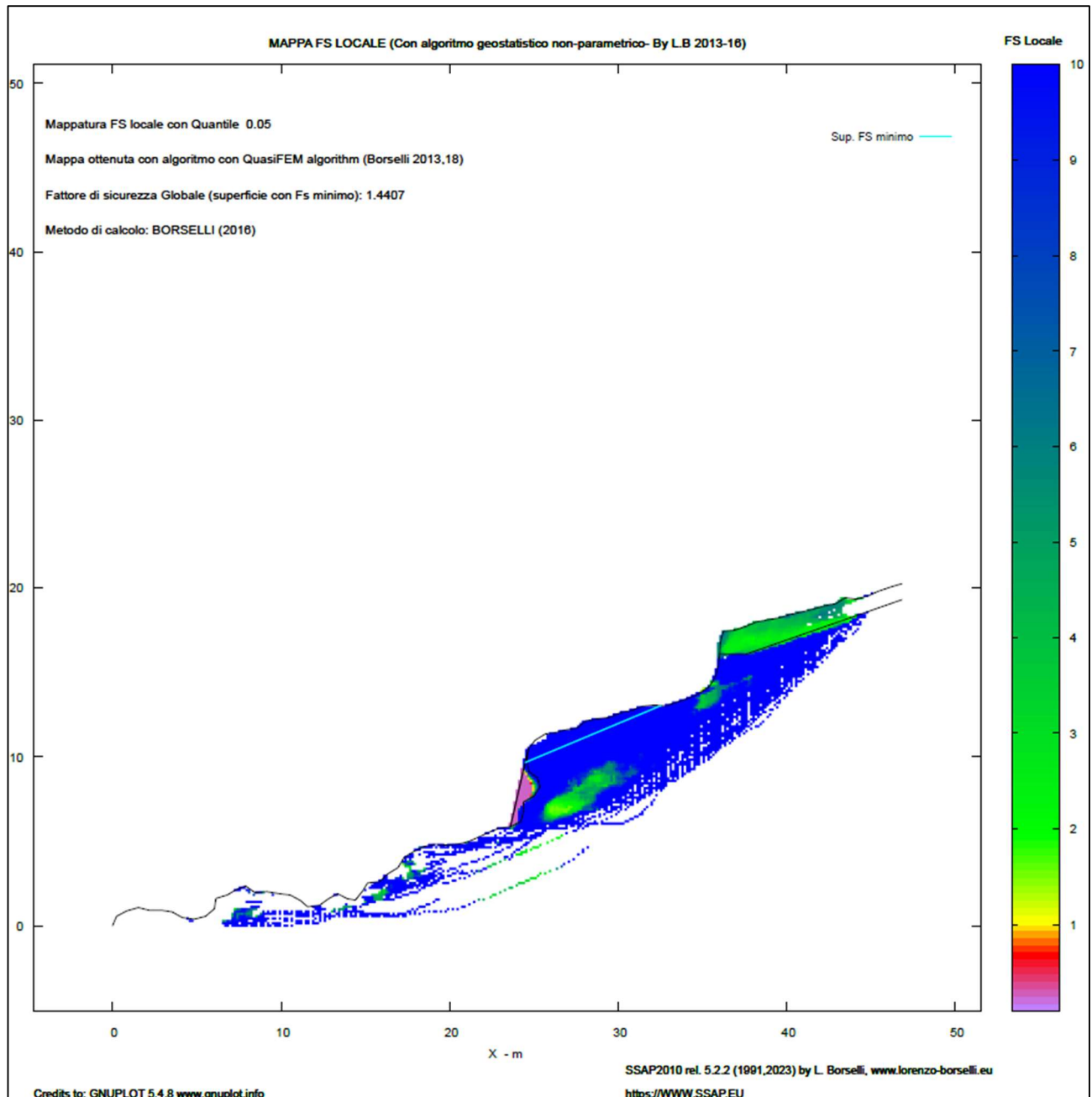


Fig.54 - Mappa Fs locale con individuazione delle superficie con Fs minimo – sezione B-B' post operam

Per completare le informazioni, di seguito, il risultato della verifica di stabilità post operam della sezione B-B' che mostra le 10 superfici con fattore minimo (tutte con $F_s \geq 1,44$); per ogni ulteriore informazione si rimanda al report sintetico delle verifiche(codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT02); le caratteristiche tecniche della rete e dei chiodi sono sintetizzate in tabella:

TABELLA TIRANTI/ANCORAGGI

Beta(°) : Inclinazione ancoraggio - Angolo con orizzontale(Gradi) 30.00

L(m) : Lunghezza (m): 3.00 e 4.50

T(kN/m) : Tensione di progetto 200.00

Lc(%) : % lunghezza cementata 50.00

TABELLA WIREMESH (RETI IN ADERENZA ANCORATE)

Tr(kN/m) : Resistenza limite a trazione rete 100.00

alpha(-) : Coefficiente di mobilitazione resistenza a trazione 0.10

epsilonR(-) : Coefficiente di deformazione limite a trazione 0.040

FsT(-) : Fs di progetto resistenza allo sfilamento dei rinforzi 1.00

nella immagine seguente sono anche mostrati i parametri di input e di ricerca,

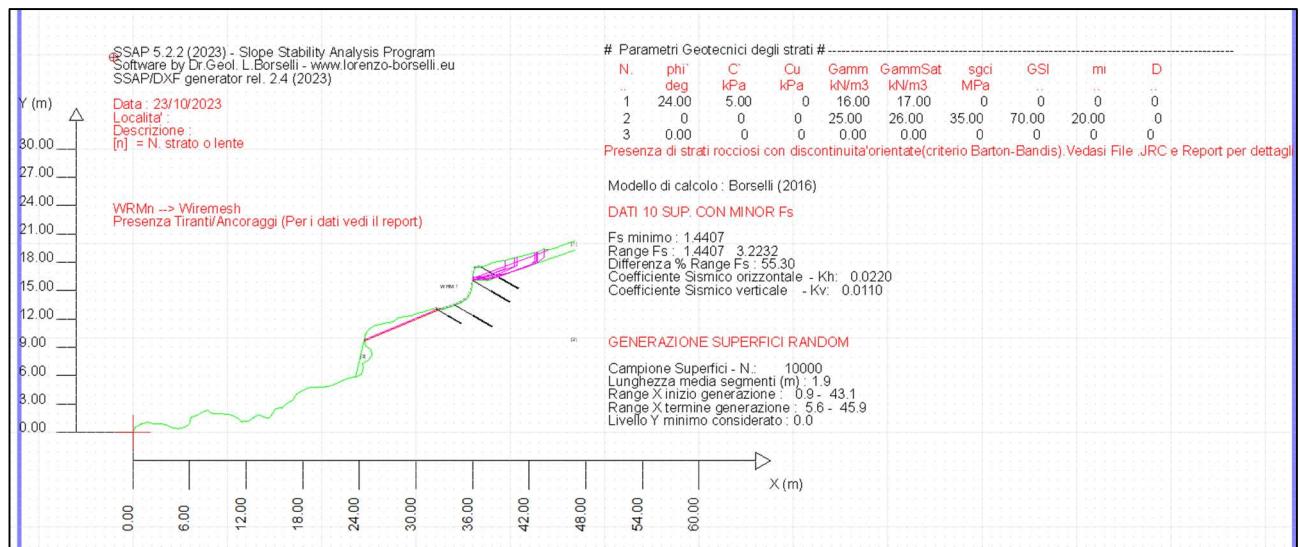


Fig. 55 – Esiti verifica di stabilità globale del pendio post operam con evidenza delle n.10 superfici più critiche e parametri di input–sezione B-B’

12.4 Verifica di stabilità scalo n.4 – Sezione C-C'

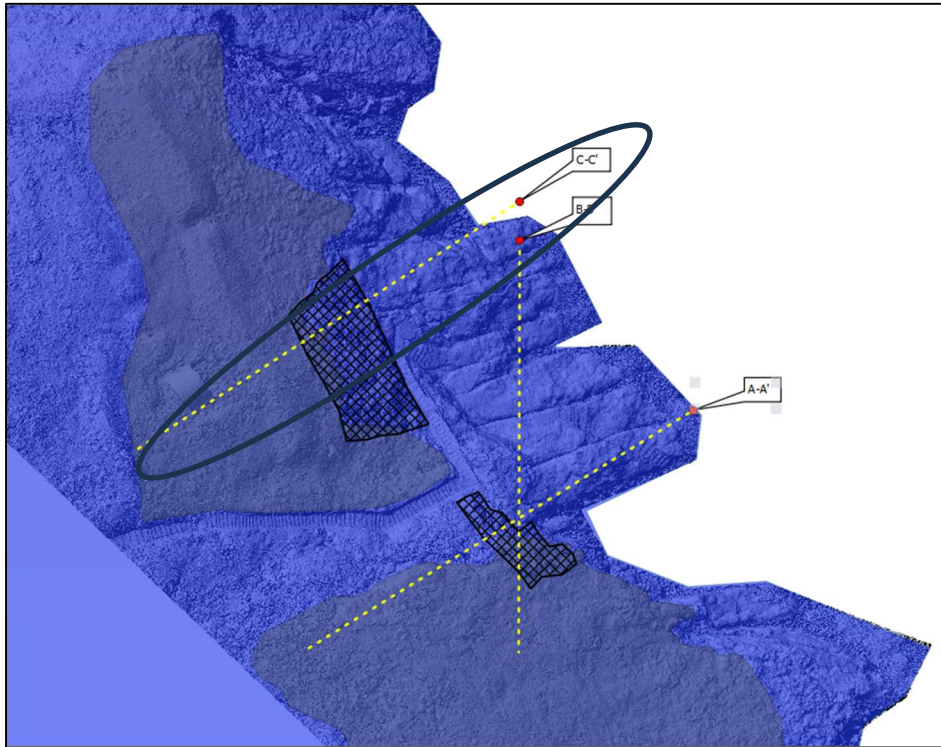


Fig.56 - Tracce delle sezioni per la verifica di stabilità globale del pendio – in evidenza la sezione C-C'

ANTE OPERAM (C-C')

L'analisi eseguita con i parametri sopra riportati, per la sezione B-B', ha fornito un fattore di sicurezza minimo $F_s=1,37$ pertanto superiore a $F_s \geq 1,1$ considerato F_s da progetto (target da raggiungere).

Di seguito si mostra il risultato della verifica di stabilità globale B-B' elaborato con il metodo qFEM di Borselli:

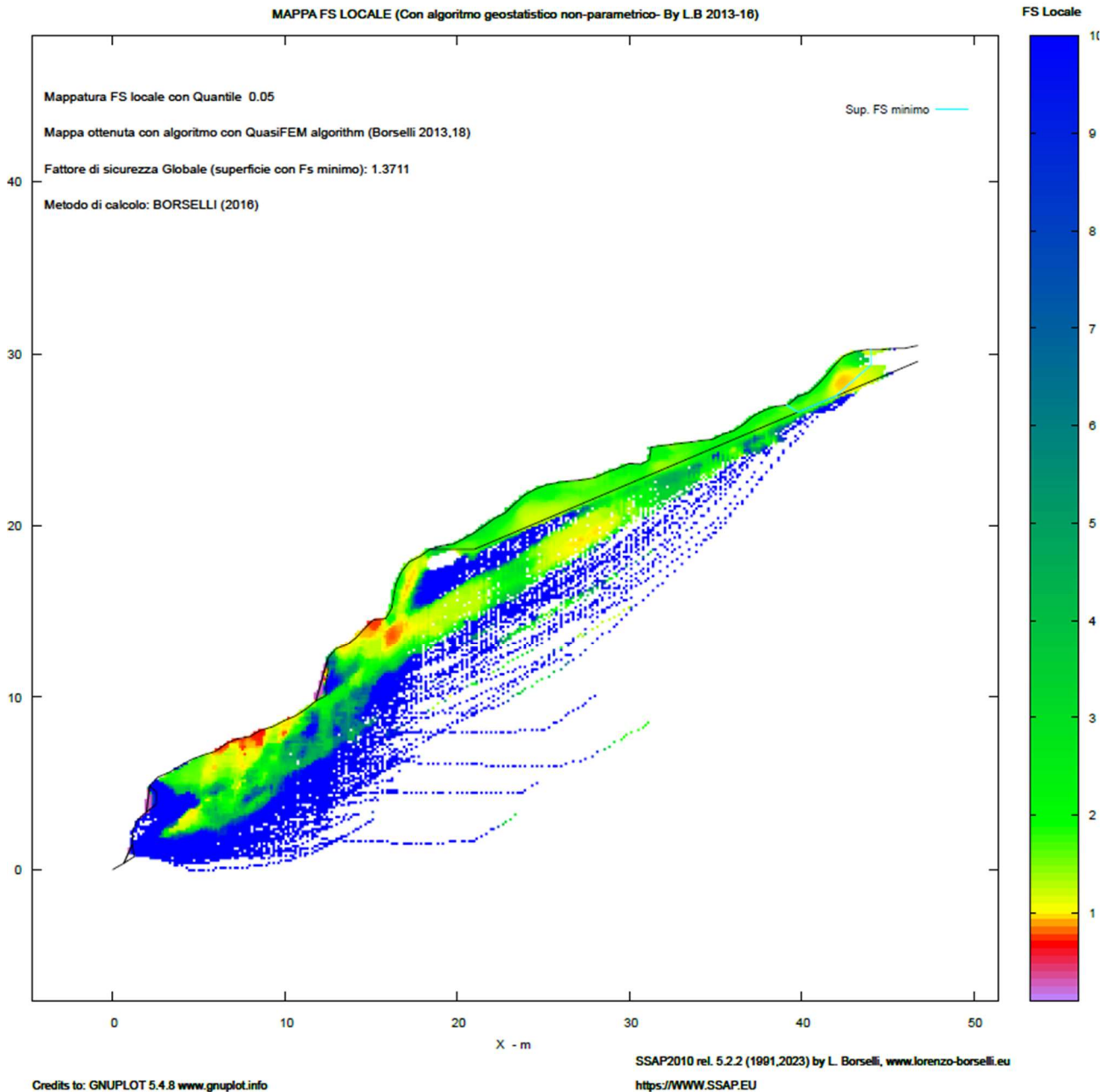


Fig. 57 - Mappa Fs locale con individuazione delle superficie con Fs minimo – sezione C-C' ante operam

Per completare le informazioni, di seguito, il risultato della verifica di stabilità della sezione C-C' che mostra le 10 superfici con fattore minimo (tutte con $Fs \geq 1,1$); nell'immagine seguente sono anche mostrati i parametri di input e di ricerca:

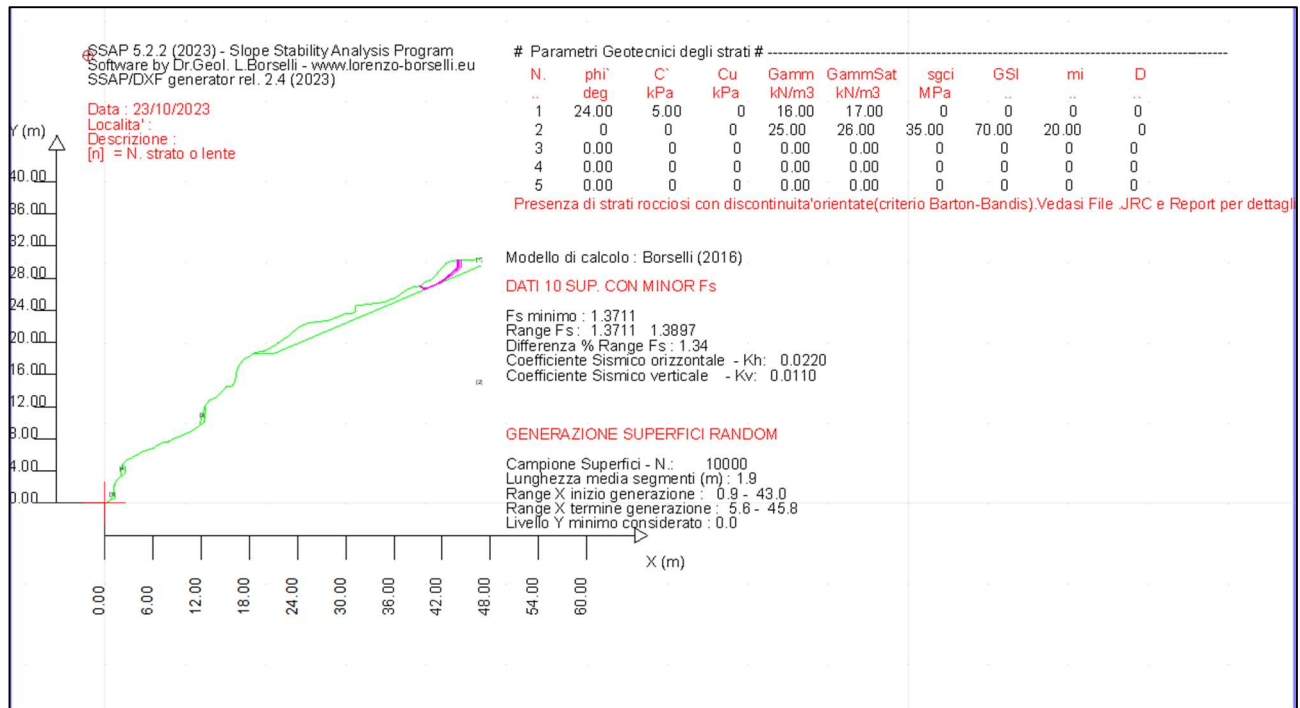


Fig. 58 – Esiti verifica di stabilità globale del pendio ante operam con evidenza delle n.10 superfici più critiche e parametri di input–sezione C-C’

Nell'immagine precedente si può notare che le superfici con Fs minimo, comunque con Fs superiori al target di progetto $Fs=1,1$, non riguardano le aree di intervento.

POST OPERAM (C-C')

L'analisi post operam è stata eseguita, anche per la sezione C-C', considerando la messa in opera di rete paramassi e barre di chiodature così come previste da progetto. Il risultato ha fornito un fattore di sicurezza minimo $Fs=1,37$ in funzione anche delle aree al di fuori dell'intervento in somma urgenza. Si può notare come nelle zone d'intervento della somma urgenza, pur essendo verificate con Fs molto alti si è comunque raggiunto un Fs superiori (vedi esempio immagine seguente da $Fs=3.9$ a $Fs=4.9$)

È necessario sottolineare che gli interventi sono volti a mitigare fenomenologie di dissesto locali come più volte descritte nei paragrafi precedenti.

Di seguito si mostra il risultato della verifica di stabilità globale C-C' post operam elaborato con il metodo qFEM di Borselli, una mappa a colori di un campo scalare del fattore FS locale generato con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica, basato su sistemi FEM di Schofield & p. Worth(1968) e Griffith et al. (1999):

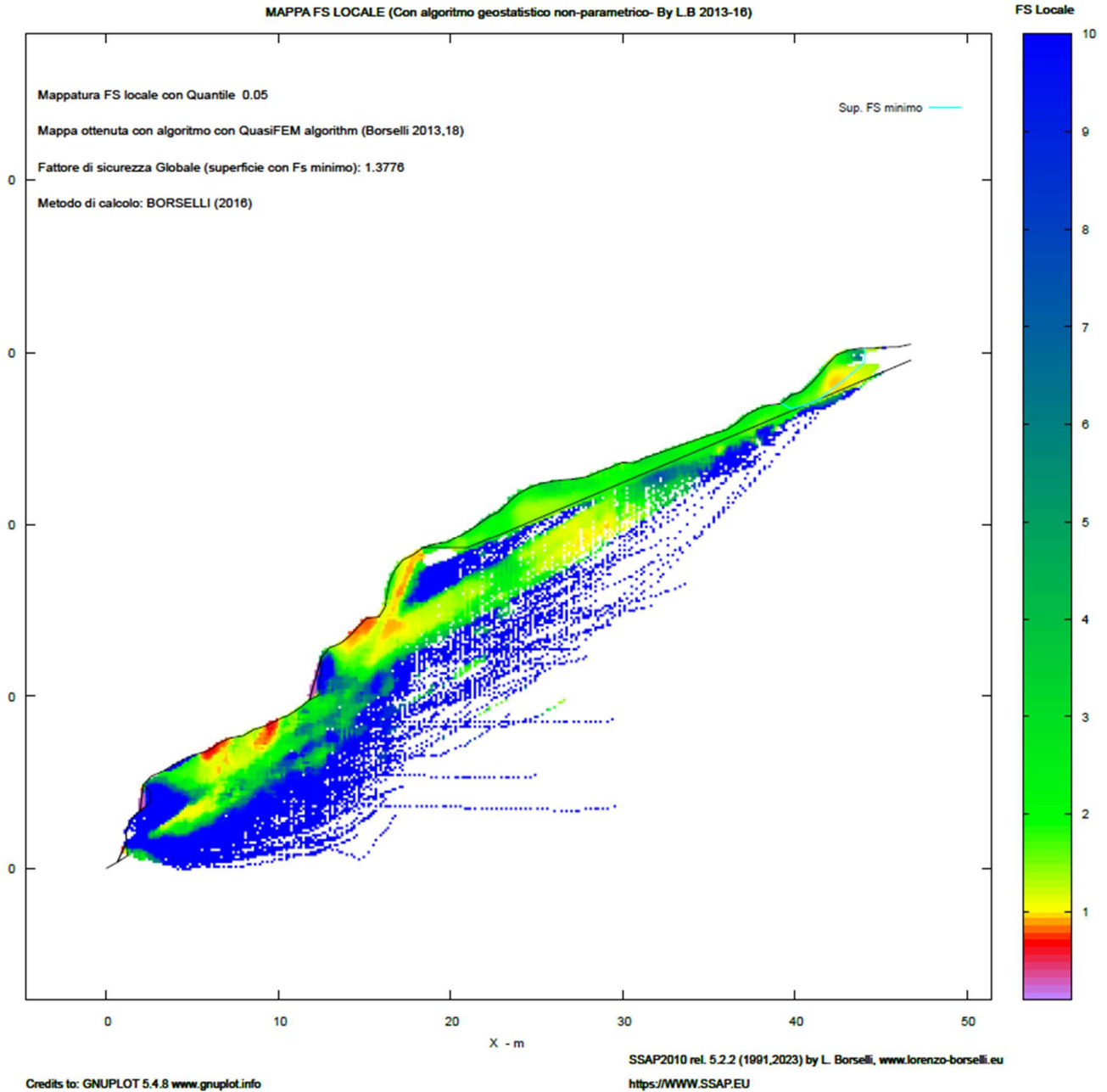
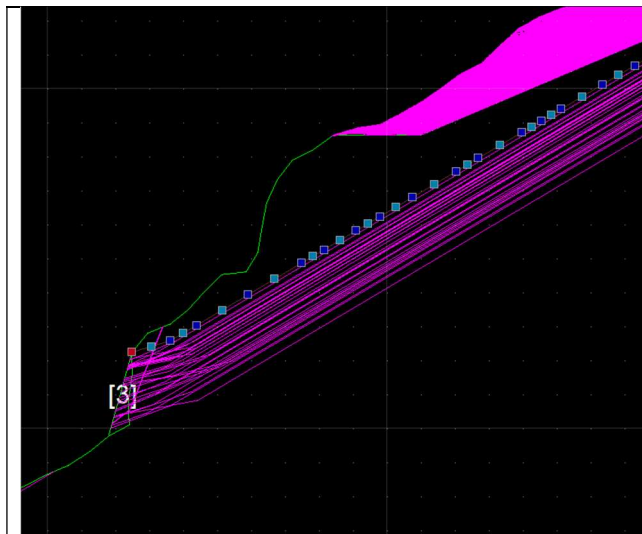


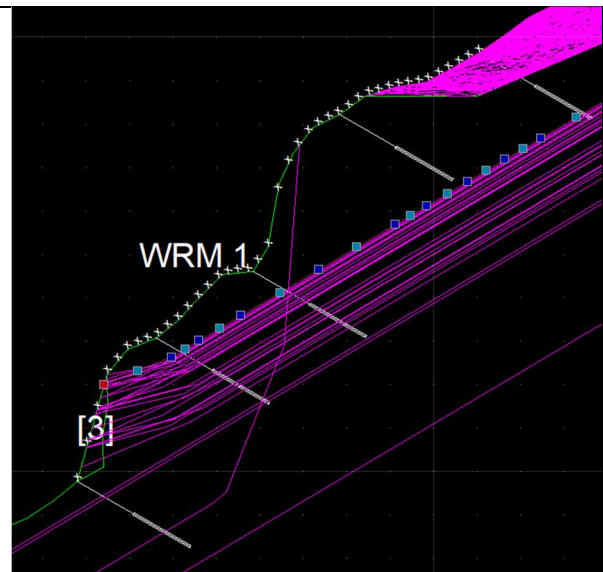
Fig. 59 - Mappa Fs locale con individuazione delle superficie con Fs minimo – sezione C-C' post operam

Di seguito un confronto dell'ante e post in corrispondenza di una delle superfici in zona intervento:



Entità selezionate:
1 Polilinea su livello "Fs 3.97458 #BILANCIO_FTR(MN m-1) 1321.668"

Fig.60.a - $F_s=3.9$ ante



Entità selezionate:
1 Polilinea su livello "Fs 4.94318 #BILANCIO_FTR(MN m-1) 1918.730"

Fig.60.b- $F_s=4.9$ post (stessa superficie della figura 60.a)

Per completare le informazioni, di seguito, il risultato della verifica di stabilità post operam della sezione C-C' che mostra le 10 superfici con fattore minimo (tutte con $F_s \geq 1,37$); per ogni ulteriore informazione si rimanda al report sintetico delle verifiche (codice elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT02); le caratteristiche tecniche della rete e dei chiodi sono sintetizzate in tabella:

TABELLA TIRANTI/ANCORAGGI

Beta(°) : Inclinazione ancoraggio - Angolo con orizzontale(Gradi) 30.00

L(m) : Lunghezza (m): 3.00

T(kN/m) : Tensione di progetto 200.00

Lc(%) : % lunghezza cementata 50.00

TABELLA WIREMESH (RETI IN ADERENZA ANCORATE)

Tr(kN/m) : Resistenza limite a trazione rete 100.00

alpha(-) : Coefficiente di mobilitazione resistenza a trazione 0.10

epsilonR(-) : Coefficiente di deformazione limite a trazione 0.040

FsT(-) : F_s di progetto resistenza allo sfilamento dei rinforzi 1.00

nella immagine seguente sono anche mostrati i parametri di input e di ricerca,

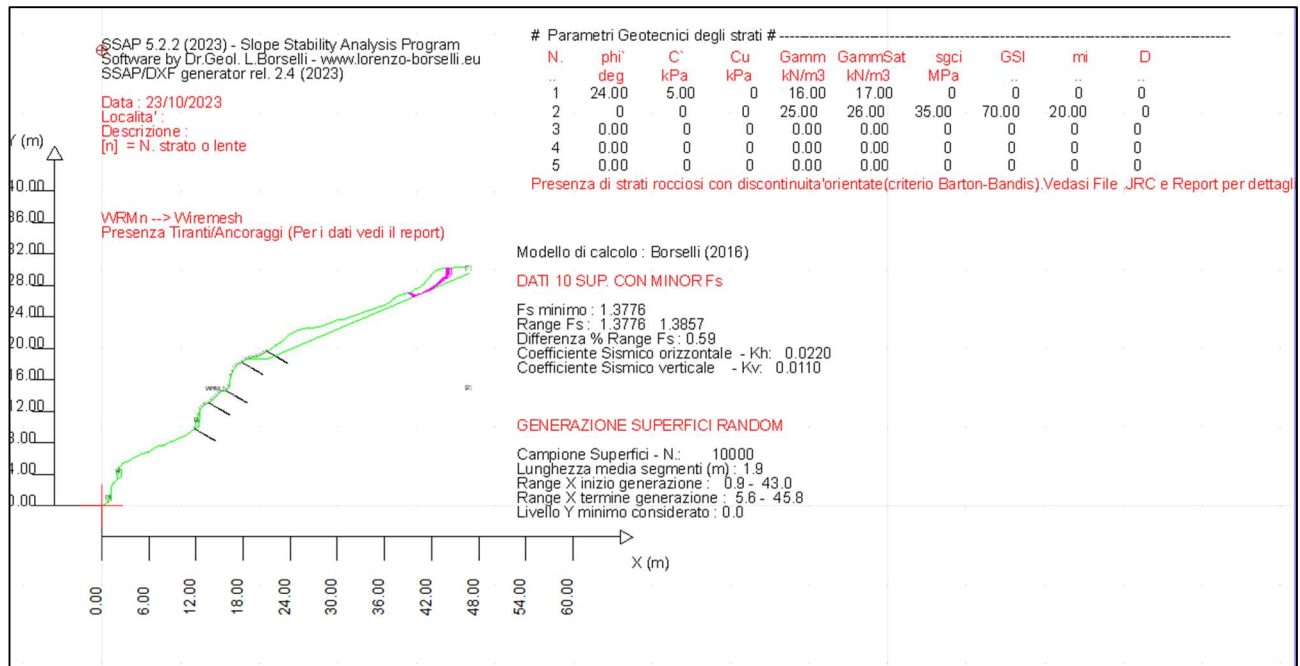


Fig. 58 – Esiti verifica di stabilità globale del pendio post operam con evidenza delle n.10 superfici più critiche e parametri di input–sezione C-C’

Si noti come le superfici critiche della sezione C-C’ ante e post riguardano aree al di fuori dell'intervento in somma urgenza e comunque fanno registrare fattori di sicurezza Fs che indicano stabilità della sezione analizzata.

13 Inquadramento ed osservazioni idrogeologiche.

Le terebrazioni sull'isola per altri interventi non hanno consentito di riconoscere la presenza di eventuale falda acquifera. Si può osservare che la presenza di tale falda è condizionata sia dalle litologie sia alla morfologia del sito. Dal punto di vista delle permeabilità i litotipi riconosciuti hanno caratteristiche differenti dall'alto verso il basso. Nell'area del carcere sono presenti depositi piroclastici e pomici che presentano generalmente una permeabilità primaria per porosità e secondaria per fratturazione. In questi depositi è possibile la formazione di falde stagionali non continue in funzione del grado di porosità e fratturazione. Alla base delle piroclastiti si rinvergono le scorie e le lave che hanno permeabilità primaria per fessurazione che potenzialmente potrebbero diventare il recapito delle acque provenienti dalla parte sommitale dell'isola. Dal punto di vista geomorfologico, infatti, le acque meteoriche potrebbero infiltrarsi nella parte sommitale dell'isola alla quota di circa 80 m sul livello del mare e formare una falda stagionale a seconda

dello stato di fessurazione e porosità delle piroclastiche. Viste le dimensioni dell'isola l'area di ricarica delle piogge è limitata alla parte più pianeggiante che coincide con l'edificio dell'ergastolo. Nell'area immediatamente ad ovest dell'approdo Marinella è presente un impluvio che costituisce l'elemento essenziale del reticolo idrico di quest'area dell'isola. Il recapito dell'impluvio, che verosimilmente accoglie le acque piovane nei periodi d'intense precipitazioni, sfocia direttamente in mare come evidenziato nella figura seguente.

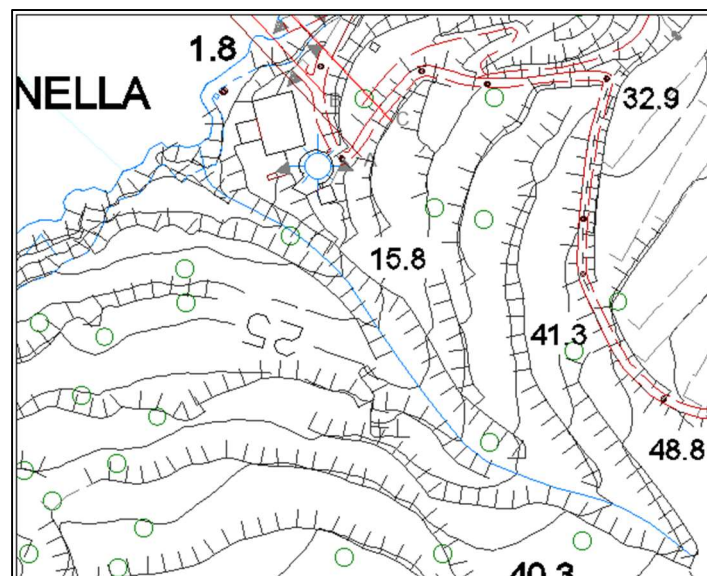


Fig. 45: reticolo idrografico

Il rilievo geomeccanico non ha evidenziato la presenza di acqua che scorre in maniera fluente all'interno delle diverse famiglie di frattura ma un certo grado di umidità.

14 Conclusioni

Il presente studio di compatibilità geomorfologica è relativo agli interventi in somma urgenza per la mitigazione locale dei rischi di crolli della falesia in corrispondenza dello scalo n. 4, presso l'isola di Santo Stefano, realizzati nel periodo luglio-settembre 2023.

Gli interventi eseguiti in urgenza si sono resi necessari a seguito del peggioramento delle condizioni di stabilità della falesia prospiciente l'insenatura di approdo dello scalo, evidenziato dal distacco di un volume di roccia verificatosi nel mese di marzo 2023. Si rappresenta che lo scalo n.4 è stato inibito all'accesso e che le lavorazioni sono state realizzate con lo scopo principale di consentire alle sole maestranze presenti sull'isola per i lavori di messa in sicurezza dell'ex carcere borbonico, di utilizzare tale scalo quale via di accesso e di esodo nei casi in cui, per le condizioni

meteo marine particolarmente avverse, l'approdo denominato Marinella non fosse idoneo.

Il progetto di somma urgenza di cui alla presente relazione fa parte di un progetto più ampio che include, tra l'altro, la mitigazione del rischio crolli presso l'approdo Marinella, denominato **Intervento n. 3 "Realizzazione/adequamento degli approdi all'Isola di Santo Stefano"**, sul quale l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale ha espresso il parere di cui al prot. n. 12714/2022 del 23-11-2022 e per il quale la scrivente Stazione Appaltante sta provvedendo ad ottemperare alle relative richieste di integrazioni.

Il rilievo geomeccanico integrativo, eseguito sia con metodo classico sia da remoto tramite drone e laser scanner, ha reso possibile definire la pericolosità geomorfologica dell'area esaminata attraverso un indice di probabilità di accadimento, per ogni cinematismo individuato. In particolare, sono stati individuati i seguenti potenziali cinematismi:

- Scivolamento planare;
- Ribaltamento di flessura;
- Scivolamento di cunei;
- Caduta libera;
- Ribaltamento di cunei;

Tra questi, il cinematismo con valori massimi più alti è quello relativo alla caduta libera, seguito dallo scivolamento planare e dal ribaltamento di flessura; gli altri meccanismi mostrano indici nettamente più bassi.

Per una disamina su ogni singola zona si rimanda all'elaborato 2017E037INV-03-SU-G0-ASB-RT03.

Si è, inoltre, proceduto alla verifica di stabilità globale del pendio su n.3 sezioni interessate dagli interventi di somma urgenza. Per la definizione del modello geomeccanico dell'ammasso roccioso si è utilizzato il criterio di rottura di Hoek et al. 2002; è necessario, tuttavia, sottolineare che il campo di applicazione della metodologia è limitato ai pendii in roccia dove non sono presenti instabilità e distacchi di natura strutturale (cunei o poliedri di roccia, topplig/ribaltamenti, e caduta di massi). Tuttavia, il metodo presenta una capacità di generalizzazione molto ampia, potendo spaziare dagli ammassi rocciosi in rocce consistenti, alle rocce deboli fino alle rocce tenere e agli ammassi in formazioni in facies di flysch (Marinos & Hoek; 2001, Marinos, 2017). Per tali ragioni i risultati delle verifiche sono da ritenersi qualitativi e non quantitativi, visti i cinematismi attesi e messi in luce dalle indagini. Le analisi numeriche hanno messo in evidenza, in corrispondenza degli interventi in somma urgenza, comunque valori del fattore di sicurezza *post operam* che indicano stabilità. Sono, tuttavia, presenti alcune zone, non interessate dagli interventi in somma urgenza, che presentano valori di F_s che rilevano instabilità e che saranno oggetto di un

intervento di mitigazione nell'ambito del progetto **dell'intervento n. 3** **"Realizzazione/adequamento degli approdi all'Isola di Santo Stefano"**, in fase di redazione.

Bibliografia

- M. Ingrassia - Studio di strutture geologiche prodotte da fuoriuscita di fluidi e possibili georischi associati. Applicazioni ai fondali circostanti l'Arcipelago Pontino (Tirreno Centrale). Progetto Dottorato di Ricerca – Università la Sapienza Roma;
- Bergomi C., Catenacci V., Cestari G., Manfredini M., Manganelli V. (1969) - Note illustrative del Foglio 171 Gaeta e vulcano di Roccamonfina. Servizio Geologico d'Italia;
- E. SACCHI1 & F.M.PETTI Insect pupation chambers from the Pleistocene paleosols of Santo Stefano Island (Pontine Archipelago, Central Italy) Studi Trent. Sci. Nat. Acta Geol., 83 (2008): 205-210;
- Bellucci F., Lirer L. & Munno R., 1999a - Geology of Ponza, Ventotene and Santo Stefano island (with a 1:15.000 scale geological map). Acta Vulcanologica, 11 (2): 197-222.
- Bellucci F., Lirer L. & Rolandi G., 1999b - Geological Map of Ponza, Ventotene and Santo Stefano Islands. Scale 1:15.000.;
- D. Molin¹, F. Bernardini², R. Camassi², C. H. Caracciolo², V. Castelli², E. Ercolani², L. Postpischl "MATERIALI PER UN CATALOGO DEI TERREMOTI ITALIANI: REVISIONE DELLA SISMICITÀ MINORE DEL TERRITORIO NAZIONALE". Dipartimento della Protezione Civile - Roma - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Bologna.;
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - A.G.I. 1977.;
- M. Pietrantoni, A. Tagliaferri, M. Petrangeli "Valutazione dell'affidabilità delle prove SPT per la caratterizzazione sismica dei terreni" – Rivista Geotecnica Italiana 2013
- Palmstrom "Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)" – Tunnels and Underground Space Technology 20 362-377 – 2005

- Luis I. Gonzalez De Vallejo – Geoingegneria – Pearson Prentie Hall -2005
- Casagli N., Pini G. “ANALISI CINEMATICA DELLA STABILITÀ DI VERSANTI NATURALI E DI FRONTI DI SCAVO IN ROCCIA - GEOLOGIA APPLICATA E IDROGEOLOGIA, Bari, 1993, vol. 28: pp. 223-232
- Gigli et al. 2022 “A method for full three-dimensional kinematic analysis of steep rock walls based on high-resolution point cloud data – International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 157 (2022) 105178;
- Borselli L. - SSAP2010 – Slope Stability Analysis Program – Reference Manual Versione 5.2 (2023)
- <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>
- https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/
- <https://webgis.abdac.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=b4f5f37d97e9427c9c2e4ce7e30928f9>