IGS srl a socio unico
Geotechnics & Geophysics
Azienda certificata
ISO 90001:2015

www.igs-geo.com
info@igs-geo.com
0435 700191

Trieste (TS) Riva Tommaso Gulli, 12 | Santo Stefano di Cadore (BL) Via Don Angelo Arnoldo,18 | Bolzano (BZ) Via Marie Curie, 17

REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DI IMPERIA
COMUNE DI CERVO

ANALISI GEOMECCANICA E ANALISI DELLA PROPENSIONE AL DISSESTO - Fg.4, Mapp. 538, 75, 76

2024 139 GT REL 02 R0
RELAZIONE TECNICA

Il Progettista

Dott. Ing. Matteo Comis Da Ronco

Il Geologo
Dott. Geol. David Pomaré Montin

Il Committente
CONDOMINIO GROTTA DEI COLOMBI

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
R0	Ottobre 2024	Emissione	LB	MCDR - DP	MCDR - DP

Riproduzione vietata. Tutti i diritti riservati

Relazione tecnica

2024

Analisi geomeccanica e analisi del rischio da frana – Fg.4 Mapp.538, 75, 76

PROVINCIA DI IMPERIA

COMUNE DI CERVO

Elaborato da

Dott. Geol. David Pomarè Montin

David.pomare@igs-geo.com

+39 3409644172

Ing. Matteo Comis Da Ronco

Matteo.comis@igs-geo.com

+39 3470973570

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
R0	05/12/2024	Emissione	LB-FB	DPM	DPM-MC

COMMITTENTE

Sig.a PORCHIETTO CLAUDIA

Sig.a RATTI BRUNA

Sig.a COLOMBO ANGELA

Sig. RUBATTO MARCO

Sig. BARZAGHI RUGGERO

SOMMARIO

1. PREMESSA 3
2. MODELLO GEOLOGICO 4
2.1 Riferimenti geografici e vincoli 4
2.2 Cenni geomorfologici e condizioni di stabilità 7
2.3 Aspetti litologici e strutturali 10
2.4 Idrografia ed idrogeologia 12
3. RILIEVI GEOMECCANICI 13
3.1 Metodologia di raccolta ed elaborazione dei dati 13
3.2 Indagini sclerometriche (IS) 17
3.3 Risultati 18
3.3.1 Modello litotipo 19
3.3.2 Modello discontinuità 19
3.3.3 Modello ammasso roccioso 22
4. SINTESI DELL'ASSETTO GEOSTRUTTURALE DEL VERSANTE 24
4.1 Giaciture medie delle discontinuità su ciascun settore identificato 24
4.2 Resistenza delle discontinuità (Criterio di resistenza di Barton-Bandis) 25
5. CARATTERIZZAZIONE DELLE INSTABILITÀ RILEVATE 26
6. RILIEVO TOPOGRAFICO LiDAR 32
6.1 Cenni metodologici 32
6.2 Elaborazione 33
6.3 Risultati 33
7. ANALISI CINEMATICA E MODALITA' DI INSTABILITA' DEI PENDII IN ROCCIA 35
7.1 Cenni teorici 35
7.1.1 Scivolamento in condizione piane 36
7.1.2 Scivolamento di un cuneo di forma tetraedrica 38
7.1.3 Ribaltamento flessionale 38
7.1.4 Ribaltamento a blocchi 40
7.2 Analisi cinematica del pendio 41
7.2.1 Parete SG1 - Scivolamento in condizioni piane 43
7.2.2 Parete SG1 - Scivolamento di un cuneo 43
7.2.3 Parete SG1 - Ribaltamento flessionale 44

INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM

7.2.4 Parete SG1 - Ribaltamento a blocchi 44
7.2.5 Parete SG2-1 - Scivolamento in condizioni piane 45
7.2.6 Parete SG2-1 - Scivolamento di un cuneo 45
7.2.7 Parete SG2-1 - Ribaltamento flessionale 46
7.2.8 Parete SG2-1 - Ribaltamento a blocchi 46
7.2.9 Parete SG2-2 - Scivolamento in condizioni piane 47
7.2.10 Parete SG2-2 - Scivolamento di un cuneo 47
7.2.11 Parete SG2-2 - Ribaltamento flessionale 48
7.2.12 Parete SG2-2 - Ribaltamento a blocchi 48
7.3 Sintesi analisi cinematiche 49
8. PROPENSIONE AL DISSESTO 51
9. INDIRIZZI ALLA PROGETTAZIONE 52
9.1 Scelte progettuali 52
9.1.1 Disgaggio - Interventi 1, 2, 4, 5 e 6 54
9.1.2 Rafforzamento corticale - Interventi 2, 4, 5 e 6 54
9.1.3 Soil Nailing – Intervento 3 55
9.1.4 Passerella pedonale – Intervento 4 55
9.1.5 Rifacimento muro – Intervento 7 55
9.1.6 Consolidamento sentieri – Intervento 8 55
9.2 Cantieramento e sicurezza 56
9.3 Iter autorizzativo 57
9.4 Stime economiche 58
10. CONCLUSIONI 58

ALLEGATI				
N°	1	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO	SCALA	1 : 10 000

INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM

I. PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di sintetizzare gli approfondimenti svolti da IGS srl, su incarico della proprietà, su una porzione di versante assoggettata recentemente (a partire da ottobre 2023) a dissesti idrogeologici, allo scopo di individuare le criticità residue, con particolare riguardo a possibili evoluzioni retrogressive dei fenomeni, con particolare riferimento all'incolumità del Condominio di proprietà e le sue pertinenze.

Nell'ottobre 2023 è stato registrato un dissesto piuttosto superficiale, che ha divelto parte del sentiero che porta a mare, a Sud del fabbricato, ed ha coinvolto alcune decine di metri cubi di roccia e detrito. Qualche tempo dopo è stato registrato un ingente crollo a valle dell'edificio, che ha comportato il riversamento a mare di 1300 mc di roccia.

Si è ritenuto opportuno approfondire l'assetto geostatico dei luoghi con un approccio multidisciplinare, costituito dai seguenti approfondimenti successivi:

1. Rilievi ad indirizzo geomorfologico eseguiti presso le aree in dissesto e per un intorno significativo, con individuazione di evidenze di instabilità.
2. Rilievi geomeccanici integrati con misure strumentali (sclerometro, profilografo, ecc) eseguiti sia presso le aree di dissesto che per un intorno significativo; le operazioni soo state condotte in parete da personale addetto ai lavori su fune (D.Lgs. 81/08) previa formazione ancoraggi e linee vita.
3. Rilievo Lidar 3D da drone (circa 2 ha) del versante indagato, classificazione e filtraggio nuvola di punti, restituzione dei seguenti elaborati:
    - DTM.
    - Ortofoto.
    - Curve di livello.
    - Vettorializzazione elementi principali (CAD 2D).
    - Point-cloud classificata e filtrata.
4. Analisi dei possibili cinematismi, in considerazione dell'orientazione delle discontinuità rilevate e della geometria del profilo del pendio, mediante ricorso a software dedicati, atta ad individuare la dinamica più probabile e le future pericolosità.
5. Zonazione del versante in relazione alla propensione al dissesto ed individuazione delle priorità di intervento.
6. Individuazione delle soluzioni progettuali di massima per il consolidamento, analisi di fattibilità rispetto al contesto vincolistico ed al cantieramento, stima economica.

Il presente studio costituisce pertanto:

- Un'analisi geomeccanica dell'ammasso roccioso;
- Un'analisi di suscettività da frana;
- Un documento di indirizzo alla progettazione.

2. MODELLO GEOLOGICO

2.1 Riferimenti geografici e vincoli

L'area oggetto di intervento è rappresentata da un complesso residenziale in località Capo Mimosa, a valle della S.S.1 Aurelia nel comune di Cervo, provincia di Imperia.

Il sito è stato interessato da importati crolli in roccia nelle scogliere a valle dei fabbricati. I dissesti non hanno coinvolto direttamente i fabbricati bensì i terreni di proprietà ed i sentieri di accesso al mare. L'analisi geologica si estende all'intera proprietà, censita catastalmente al Fg.4 Mpp.538, 75, 76.

Riferimenti geografici del sito

quota	coordinate	latitudine	longitudine
0-60 m	Geografiche (ED 50)	43.938386°	8.135124°
s.l.m.	Geografiche (WGS 84)	43.937405°	8.134069°





Figura 1: *Ubicazione del sito di intervento su base ortofoto e catastale.*

L'area interessata dai fenomeni oggetto di studio e le zone adiacenti sono interne a perimetrazioni del PAI[1] (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.) per pericolosità elevata P3b, "*aree potenzialmente instabili interessate da suscettibilità da dissesti di natura geomorfologica elevata*". In accordo con le perimetrazioni del PAI riportate sul portale IdroGeo del Progetto IFFI[2] (**Figura 3**). Lo stesso progetto, nell'Inventario Frane IFFI, per l'area non riporta perimetrazioni di fenomeni franosi catalogati e conosciuti.

[1]PAI – Piano di Assetto Idrogeologico, Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Adottato il 28 marzo 2024, con la pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale n.82 del 8 aprile 2024.

[2] Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.



***Figura 2**. Estratto fuori scala delle mappe PAI Dissesti - Pericolosità dell' Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale*



***Figura 3**. Estratto fuori scala delle mappe PAI portale IdroGeo, progetto IFFI.*

Per quanto riguarda, la perimetrazioni P3b, le NTA del piano riportano:

"Art. 10 – Aree a pericolosità elevata (P3b) – Norme

1. Nelle aree P3b, per le finalità di cui all'art. 1, sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio senza aggravare le condizioni di stabilità delle aree contermini.

2. Nelle aree P3b l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle misure di protezione che determinano la riduzione della classe di pericolosità con conseguente modifica delle mappe del PAI dissesti.

3. Nel rispetto delle finalità di cui all'art.1, le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica nelle aree P3b emanando a tal fine le disposizioni concernenti l'attuazione del Piano nelle materie di propria competenza, con la possibilità di adottare, ove necessario, disposizioni più restrittive rispetto a quanto previsto dal presente articolo ai sensi del disposto dell'art. 3- quinquies, comma 2 del decreto legislativo n. 152/2006.

Art. 11 – Aree a pericolosità elevata (P3) – Indirizzi per gli strumenti di governo del territorio

1. Fermo restando quanto previsto agli artt. 9 e 10, nelle aree P3 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Città metropolitane, le Province e i Comuni nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio si attengono ai seguenti indirizzi:

a) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero e al mantenimento della naturale evoluzione morfodinamica dei rilievi, del paesaggio e del reticolo idrografico;

b) sono da privilegiare le trasformazioni dell'uso del suolo volte a ridurre le condizioni propedeutiche al dissesto e a favorire il contenimento dell'erosione;

c) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica le previsioni e realizzazioni di interventi di trasformazione urbanistica."

2.2 Cenni geomorfologici e condizioni di stabilità

L'area di studio è ubicata nella costa Ligure, tra Capo Cervo e Marina di Andora, nel comune di Cervo (IM), alla base del versante orientale del Colle di Cervo, nella fascia costiera tra la SS1 Aurelia, posta a 65m s.l.m., e il mare.

Le morfologie dei luoghi sono caratterizzate per lo più da forme dolci, inserendosi in un versante a medie pendenze, in cui risaltano le importanti scogliere e falesie rocciose presenti a bordo mare. Qui affiorano le rocce del substrato roccioso flysciode, che propenso a crolli e fenomeni di caduta massi (anche importanti), forma e caratterizza per intero questa porzione della linea di costa. Il condominio sorge su un accumulo di antica frana a grossi blocchi inattiva, che caratterizza la morfologia dei luoghi per la caratteristica caoticità del deposito.

Nello specifico del sito di studio, la proprietà comprende, come detto, la porzione di versante compresa tra la viabilità stradale nazionale e la linea di costa, per un dislivello totale di circa 65 m. Il fabbricato è ubicato a 50 m s.l.m., accessibile da una rampa stradale in discesa che taglia la scarpata con un tornante. Nell'intorno della struttura e verso mare sono poi presenti, oltre alla piscina posta a Nord-Est, diversi sentieri e camminamenti, spesso delimitati da muretti in sassi, spesso a secco, di altezze variabili che tagliano e scendono lungo il versante per accedere al mare e alla ex ferrovia, ora pista ciclabile. Le forme del versante sono dominate dagli affioramenti rocciosi che compongono la linea di costa, organizzati in pareti rocciose alte fino a 25m, scogliere a grandi blocchi derivanti dal crollo delle pareti e da sporgenze dell'ammasso che si spingono verso il mare. Tutti questi elementi naturalmente proteggono il versante dalla potenti mareggiate invernali del Mar Ligure; il restante versante che compone la proprietà si caratterizza da forme dolci, con la tipica macchia mediterranea e ridotte balze morfologiche dovute ai diversi muretti e camminamenti presenti.



***Figura 4**. Vista panoramica della proprietà e della porzione di versante oggetto di studio.*



***Figura 5**. Porzione della proprietà in cui sono presenti in superficie depositi a grandi blocchi legati a antiche dinamiche di frana.*

L'irregolarità del substrato, resa evidente presso la falesia fronte mare dall'azione erosiva delle onde e legata ad effetti tettonici, comporta una certa variabilità locale nei depositi di copertura soprastati. Questa difformità si ripercuote nell'assetto idrogeologico dell'area con canalizzazioni differenziali delle acque di scorrimento superficiali e sub-superficiali, e quindi nella morfologia locale, segnando il versante con vallecole più o meno incise e fenomeni di *creep* (movimento lento, continuo e impercettibile) localizzati, che spesso evolvono in piccoli scivolamenti rotazionali superficiali. Si ha evidenza di piccoli orli di scarpata riferibili ad antiche frane superficiali in terra, solitamente su fianchi o in testa a vallecole.

Tali fenomeni portano a deformazioni e cedimenti spesso differenziali che sono in grado di coinvolgere le strutture presenti e causare danni e locali rotture. Ne sono un esempio la crepa presente sul muro di sostegno di un terrazzamento laterale del fabbricato e il cedimento parziale della piscina, oltre ai numerosi ammaloramenti e deformazioni dei muretti e dei sentieri che attraversano la proprietà.



***Figura 6**. Esempi di rotture e ammaloramenti delle strutture per deformazioni e cedimenti dei terreni.*

I fenomeni franosi caratterizzanti il sito sono legati ai crolli di masse rocciose dalle pareti e dalle scogliere, che, sotto l'azione degli agenti esogeni, sono in continua evoluzione, come testimoniato dalle recenti frane avvenute. In nessun caso l'immobile di proprietà o le sue pertinenze sono direttamente esposti al rischio da crolli, bensì, in relazione alle volumetrie caratterizzanti i fenomeni nell'area, potrebbero essere indirettamente esposti a danni per retrogressione delle nicchie di distacco.



***Figura 7**. Vista area delle pareti presenti lungo la linea di costa. In rosso sono evidenziati i principali fenomeni franosi recentemente avvenuti.*

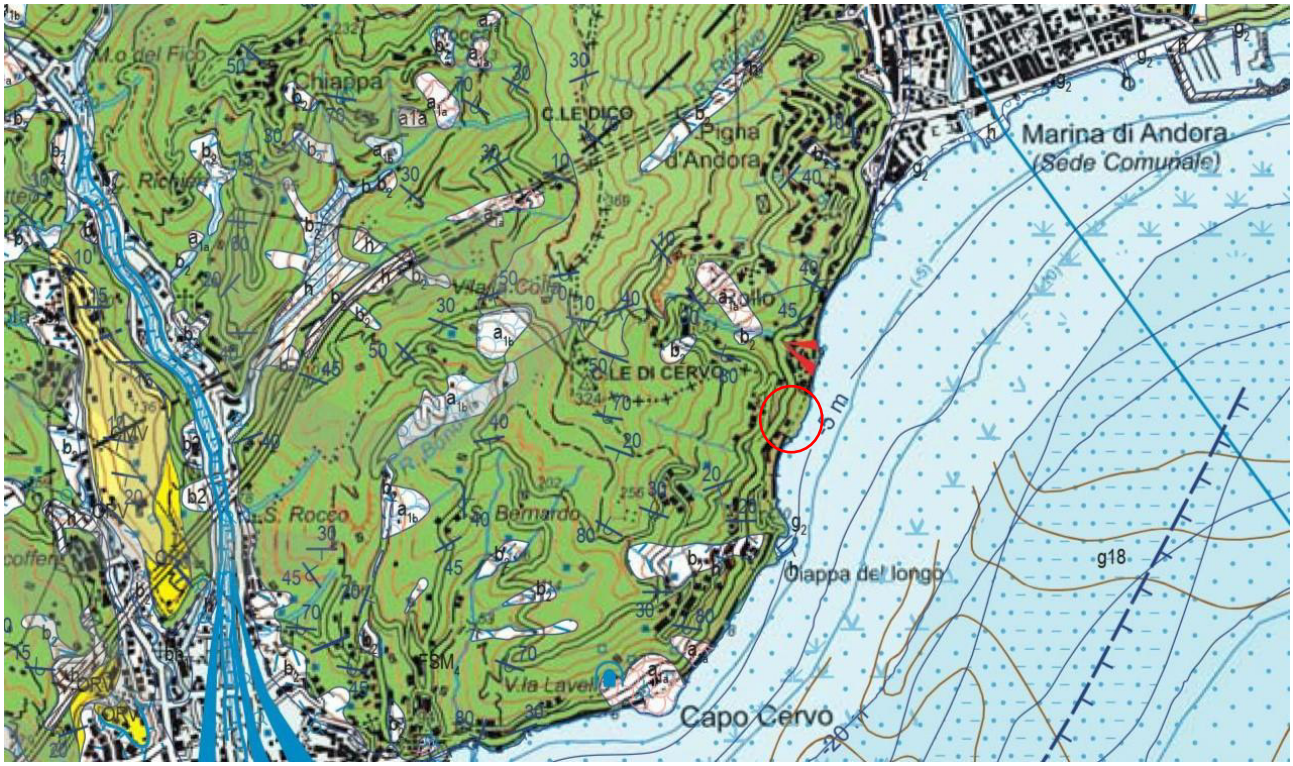
INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM

In quest'ottica fondamentale risulta l'analisi gomeccanica e cinematica, al fine di individuare la propensione al dissesto dei diversi settori e quindi gli interventi di mitigazione e prevenzione.

Nell'ottobre 2023 è stato registrato un dissesto piuttosto superficiale, che ha divelto parte del sentiero che port a mare, a Sud del fabbricato, ed ha coinvolto alcune decine di metri cubi di roccia e detrito. Qualche tempo dopo è stato registrato un ingente crollo a valle dell'edificio, che ha comportato il riversamento a mare di 1300 mc di roccia.

2.3 Aspetti litologici e strutturali

Dal punto di vista geologico, come riportato dalla cartografia ufficiale del CARG – 1:50'000, Foglio 259 Imperia – il substrato roccioso presente è costituito dalla formazione del Flysch di San Remo, membro San Lorenzo, affiorante in larga scala su tutte le scogliere e falesie a bordo mare e ricoperto lungo il versante e nell'area del fabbricato da depositi di copertura.



FLYSCH DI SAN REMO

Strati arenaceo-argillitico-marnosi, con rare intercalazioni di calcilutiti e rari strati marnoso-arenacei (FSM_4; membro "San Lorenzo" – Foglio 258-271 "San Remo"); spessore massimo di circa 600 m;
marne ed arenarie calcaree costituenti strati torbiditici, con spessori inferiori a quelli del membro basale sottostante (FSM_1); presenti inoltre livelli calcilutitici passanti a strati marnoso-arenacei e arenaceo-argillitici (FSM_2; membro "Villa Faraldi"); tale membro presenta uno spessore massimo stimato in circa 1500 m;
marne e arenarie calcaree costituenti potenti strati torbiditici, organizzati in sequenze positive, con porzione sommitale calcilutitica; presenza di rari strati arenaceo-argillitici; spessore di circa 80 m (FSM_1; membro "Capo Mele").
L'intera formazione è costituita da torbiditi depositatesi in ambiente pelagico profondo, al disopra della sottostante Formazione di San Bartolomeo. Lo spessore massimo totale della formazione può raggiunge i 2200 m.
FSM_4 è attribuito al *MAASTRICHTIANO SUP.* (Zone CC25 pp. - CC26).
FSM_2 al *CAMPANIANO SUP. p.p.-MAASTRICHTIANO SUP. p.p.* (Zone CC22 - CC25)
FSM_1 al *CAMPANIANO SUP.-MAASTRICHTIANO INF.* (Zone CC22-CC23)

***Figura 8**. Estratto fuori scala della Carta Geologica del CARG al 50'000 - foglio 259 Imperia.*

Il fabbricato, ubicato a 40-45 m s.l.m., poggia su una porzione di versante in cui il substrato rocciosa non è affiorante. In superficie sono presenti depositi di copertura di origine mista caratterizzati, al di sotto

di un primo orizzonte superficiale centimetrico di terreno vegetale, da sabbie e ghiaie immerse in una matrice limosa derivanti dall'alterazione diretta del sottostante ammasso roccioso. Essi mostrano modeste caratteristiche geotecniche con un certo grado di suscettibilità all'erosione meteorica e, laddove le pendenze son maggiori, alla propensione a fenomeni di cedimento lenti, *creep*. Nell'area dello spigolo NE del fabbricato poi, si rileva la presenza di depositi a grandi blocchi rocciosi plurimetrici, tali da poter sembrare affioramenti di roccia in posto. L'origine di tale morfologia è riferibile ad antichi crolli inattivi.

Le rocce del substrato affiorano largamente lungo l'intera costa, in scogliere e falesie rocciose a picco sul mare (**Figura 9**) e in importati affioramenti rocciosi presenti sul lato SO della proprietà, al di sopra dell'imbocco della galleria dell'ex-ferrovia. Sono costituite da una potente successione di flysch, formazioni torbiditiche di ambiente pelagico profondo, caratterizzate da alternanze ritmiche di strati arenaceo-argillitico-marnosi di spessori assai variabili (da centimetrici a plurimetrici), in cui sono presenti rare intercalazioni di calcilutiti. Nello specifico del sito di interesse, le porzioni di scogliere alle quote più prossime al mare, poggiano su strati di colore nerastro più prettamente arenacei caratterizzata da schemi fratturativi pervasivi subverticali interamente riempiti da vene di calcite di spessore anche centimetrico (**Figura 10**).



***Figura 9**. Falesie e scogliere presenti a bordo mare in affiora il substrato roccioso che funge da basamento per l'intero versante.*



***Figura 10**. Porzione basale delle scogliere e falesie presenti a bordo mare in cui si può apprezzare la presenta di strati più prettamente arenacei di colore nerastro, fittamente attraversanti da schemi di frattura riempite da vene di calcite.*

Dal punto di vista strutturale, l'area mostra indizi di dinamiche tettoniche a scala regionale. Gli affioramenti rocciosi mostrano in più porzioni la successione torbiditica piegata, con gli strati che formano grotte (area del crollo) o risultano con giaciture subverticali (paretine al di sopra dell'imbocco della galleria). Tali configurazioni stratigrafiche sono un chiaro segno di disturbi tettonici che hanno interessato la regione (non riportate alla scala della cartografia geologica ufficiale del CARG).

2.4 Idrografia ed idrogeologia

Nell'area oggetto di studio, la circolazione idrica superficiale non è influenzata da una definita rete di deflussi. Sono presenti avvallamenti e ridotte vallecole che possono convogliare le acque superficiali in caso di eventi piovosi estremi. Sono altresì presenti poi scarichi di origine antropica che in modo disorganizzato rilasciano lungo il versante le acque provenienti dal fabbricato. Ciò porta a condizioni di instabilità dei terreni che mostrano cedimenti differenziali lenti, tipo *creep* (spigolo Sud-ESt del fabbricato).

L'elemento idrologico cardine del sito risulta il mare. L'azione marina sulle scogliere e le pareti, rappresenta un importate elemento di erosione e disturbo per l'ammasso roccioso che si mostra propeso a crolli in roccia (confermato dalle recenti frane e dall'abbondanza di scogliere naturali a grossi blocchi presenti lungo la costa) sotto l'azione potente delle mareggiate che caratterizzano questa porzione di Mar Ligure.

Dal punto di vista idrogeologico, i terreni risultano essere, nel loro insieme, da mediamente a poco permeabili (10^{-5} m/s), comunque tali da favorire l'infiltrazione delle precipitazioni piovose. Il substrato roccioso risulta invece poco permeabile caratterizzato dalla sola permeabilità per fessurazione/fratturazione. In ogni caso non ci si può riferire ad una vera a propria falda, bensì alla presenza di scorrimenti idrici puntuali lungo vie preferenziali, specie al contatto tra i depositi di copertura e il substrato roccioso, caratterizzati da diversi livelli di permeabilità.

Risulta quindi indispensabile prevedere un adeguata e corretta gestione delle acque di scorrimento superficiale, sia di origine naturale che di origine antropica (vedesi scarichi a perdere sulla porzione di

versante a valle dello spigolo Sud-Est del fabbricato), evitando così che la canalizzazione e diffusione disorganizzata delle stesse lungo i versanti possa generare ulteriori condizioni di instabilità.

3. RILIEVI GEOMECCANICI

Al fine di valutare le caratteristiche e lo stato di fratturazione delle rocce affioranti, le caratteristiche della roccia intatta e dell'ammasso roccioso e le conseguenti dinamiche in atto o future e pericolosità, si sono eseguiti una serie di rilievi geomeccanici lungo il fronte roccioso. Nel corso dei rilievi geomeccanici sono anche state effettuate misure sclerometriche atte a stimare la resistenza a compressione uniassiale della roccia.

Si è operato pertanto mediante rilievi a scala di dettaglio presso le pareti oggetto di intervento, atti a classificare l'ammasso roccioso nel rispetto della metodologia proposta dall'ISRM (1978) e da Priest (1993) e mappare in modo puntuale le instabilità quantificandone, se presenti, l'entità sia in termini assoluti (volumi coinvolti) che relativi (volumi rocciosi unitari, forma dei blocchi, ecc.).

3.1 Metodologia di raccolta ed elaborazione dei dati

L'analisi geomeccanica è stata sviluppata sotto tre differenti aspetti, nel rispetto della metodologia proposta dall'ISRM (1978) e da Priest (1993):

- analisi del litotipo: sono state descritte le principali caratteristiche ai fini delle successive analisi, e definite le proprietà della roccia dal punto di vista litologico, anche sulla base della precedente ricerca bibliografica. Le principali proprietà sono: il peso di volume, la costante mi, la resistenza a compressione semplice uniassiale, la coesione e l'angolo di attrito. Le principali caratteristiche visibili sono il colore, il tipo di rottura, ecc.

- analisi delle discontinuità: la stabilità dell'ammasso roccioso è legata per lo più alla presenza di discontinuità che suddividono lo stesso in conci più o meno isolati. Queste sono descrivibili secondo molteplici caratteristiche: la giacitura, la spaziatura, la persistenza, la rugosità, l'apertura, l'alterazione, la presenza di acqua, la resistenza a compressione semplice, ecc. Sono state rilevate, parametrizzate e descritte le principali famiglie di discontinuità, analizzando anche la dispersione dei dati raccolta (analisi statistica).

- analisi dell'ammasso roccioso: per ammasso roccioso si intende l'insieme di roccia intatta e piani di discontinuità, dove il termine discontinuità indica semplicemente un'interruzione nella continuità della roccia intatta; nel termine non vi è quindi nessun accenno al meccanismo genetico della frattura, che può essere sia di natura primaria (stratificazione, piani di strutture sedimentarie, ecc.) che secondaria (discontinuità tettoniche, di alterazione, di detensionamento, di raffreddamento, ecc.). Le caratteristiche dell'ammasso roccioso sono quindi frutto della combinazione di quelle riferite al litotipo ed alle discontinuità.

Per quanto riguarda la classificazione dell'ammasso roccioso si è utilizzata la classificazione RMR di Bieniawski (1989):

Indice	Descrizione
R1	Resistenza a compressione uniassiale
R2	Rock Quality Designation Index (Indice RQD)
R3	Spaziatura delle discontinuità
R4	Condizioni delle discontinuità
R5	Condizioni idrauliche

RMR base = R1 + R2 + R3 + R4 +R5

Il *Rock Quality Designation* (RQD) è stato proposto da Deere (1969) al fine di classificare l'ammasso roccioso in funzione dello stato di fratturazione su carote o *scanline*. Il valore di RQD è definito dal quoziente:

$$RQD\% = 100 \cdot \sum_{1}^{n} Xi / L$$

Dove

Xi: sono le lunghezze degli spezzoni maggiori di 10 cm.

L: è la lunghezza totale della scanline.

In assenza di dati diretti il parametro RQD è stato stimato sulla base della seguente relazione proposta da Palmstrom (1982):

RQD = (115 – 3.3 x Jv)

dove Jv = numero di discontinuità per unità di volume

La qualità dell'ammasso roccioso è stata inoltre ricavata mediante l'indice GSI (**Figura 11**), correlato al valore RMR di Bieniawski. L'applicabilità del metodo è legata ad un diagramma nel quale sono riportate le caratteristiche strutturali della roccia, quali la condizione e alterazione dei giunti e il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.

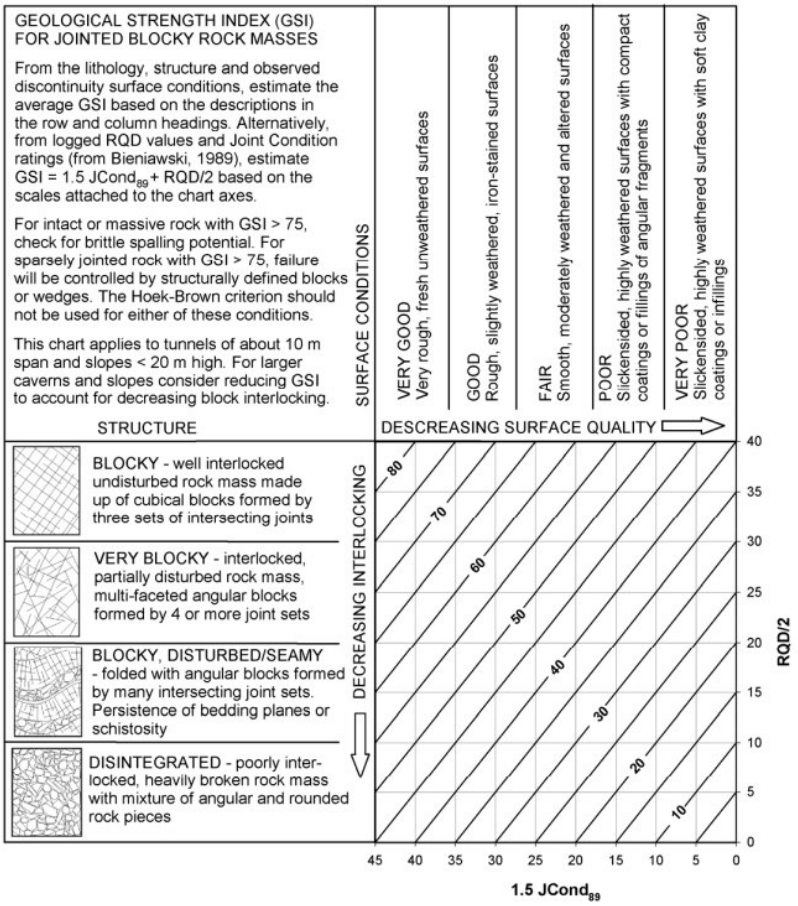


Figura 11: *Schema per il calcolo del GSI (Hoek, Carter, Diederichs 2013).*

Criteri di rottura

Il criterio di rottura adottato per l'ammasso roccioso è quello di Hoek-Brown (1980) che, supponendo un ammasso isotropo, viene espresso come segue:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \cdot (mi \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1)^{0,5}$$

Dove

mi si ricava da prove triassiali e dipende dal tipo di roccia e dalla struttura della stessa. In alternativa, è possibile riferirsi ad abachi;

σc è la resistenza a compressione semplice della roccia intatta.

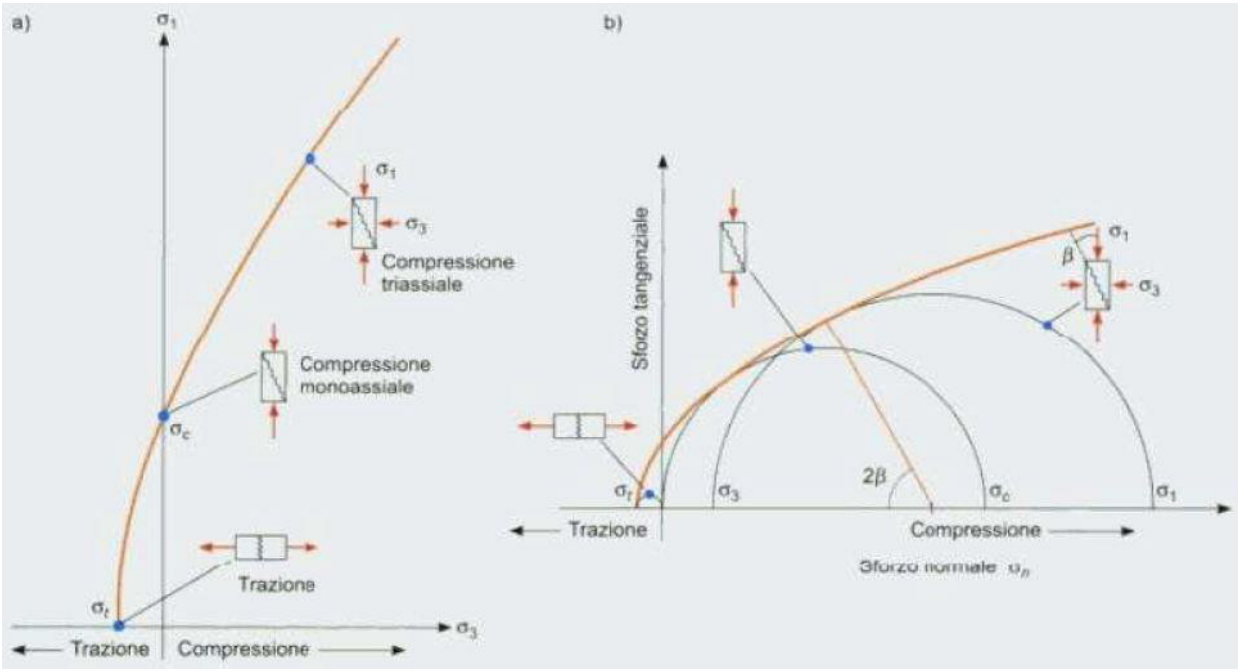


Figura 12: *Inviluppo a rottura del criterio di Hoke-Brown: a) in funzione degli sforzi principali; b) in funzione degli sforzi normali e tangenziali.*

La relazione indicata può essere espressa anche graficamente in funzione di σ1/σ3 e τ/σn.

La roccia intatta sottoposta a tali sforzi si rompe secondo un piano ben definito; il comportamento a rottura per carico verticale può essere spiegato introducendo coesione ed angolo di attrito riferiti a tale piano. L'idea di base è che la rottura in un ammasso roccioso sia controllata dallo spostamento e dalla rotazione dei singoli blocchi di roccia, separati da fratture, aventi un assetto caotico e non orientato (ipotesi di ammasso isotropo).

Secondo il modello di Patton, presso il piano di giunto scabro, soggetto a forze di taglio, il meccanismo che si instaura è descrivibile con il criterio di Mohr-Coulomb:

$$= c + \quad \times tg$$

Dove:

Ţ è la resistenza al taglio in KN/mq;

c è la coesione in KN/mq;

σ è lo sforzo normale al giunto in KN/mq;

è la resistenza al taglio in gradi (angolo di attrito).

Data la difficoltà di misurare l'angolo delle rugosità, parametro su cui si basa la teoria di Patton, Barton (1973) ha introdotto il parametro JRC (Joint Roughness Coefficient) giungendo al modello di Barton-Bendis:

$$\tau = \sigma_n \cdot tg(\varphi_b + JRC \log_{10}(\frac{JCS}{\sigma_n}))$$

INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM

Una volta parametrizzato l'ammasso roccioso secondo i riferimenti teorici sopra riportati e appropriati al contesto, mediante l'utilizzo del software "RocLab" della Rocscience, sono stati ricavati per correlazione i parametri geotecnici così come definiti dal Criterio di Mohr-Coulomb (coesione ed angolo di attrito).

3.2 Indagini sclerometriche (IS)

Nel corso nei rilievi geomeccanici, presso le stazioni di misura, sono state effettuate misure sclerometriche atte a stimare la resistenza a compressione uniassiale della roccia.

L'utilizzo dello sclerometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalla norma UNI EN 12504 -2 [UNI 2001]. L'indicazione più completa sulla valutazione della durezza superficiale delle pietre naturali è attualmente nella ASTM D 5873-00 "*Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method" American Society for Testing and Materials*.

Cenni teorici

Le indagini sclerometriche permettono, attraverso una taratura dello strumento, di ottenere una stima della resistenza a compressione del materiale. Esse sono finalizzate alla determinazione della resistenza dell'ammasso roccioso tramite misura della durezza superficiale, mediante valutazione del rimbalzo di una sfera metallica contenuta in apposito cilindro cavo. Come indicato nelle norme di riferimento, l'indice di rimbalzo deve essere valutato come la media di una serie di misure eseguite nella stessa area di indagine (e non sullo stesso identico punto fisico). Su ogni faccia delle superfici di materiale indagate vanno eseguite almeno n°10 misurazioni (o battute) non sovrapposte e distanti non meno di 25 mm tra loro o dal bordo di eventuali difetti superficiali presenti, preventivamente localizzati. Successivamente può essere individuato un valore medio o selezionati dei valori rappresentativi. Il risultato della prova è fornito dall'indice che compare sulla scala graduata dello sclerometro, il quale si riferisce al massimo valore del rimbalzo della massa, e corrisponde all'indice "**r**" se la misura è condotta su roccia allo stato naturale o all'indice "**R**" (rebound number o rebound strength) se la misura è stata eseguita su superficie levigata e ripulita dall'alterazione superficiale con una pietra abrasiva.

La determinazione della resistenza a compressione del materiale si basa sull'utilizzo di curve di correlazione, emanate dal costruttore dello strumento, le quali mettono in relazione l'indice di rimbalzo (**r** o **R**) letto sullo sclerometro con la resistenza a compressione. Le curve sono diverse e vanno scelte a seconda dell'orientazione (rispetto al piano orizzontale) dello e di conseguenza del giunto su cui si è svolta la misura (durante la prova lo strumento va sempre spinto perpendicolarmente alla superficie).

Modalità esecutive

Lo strumento utilizzato è lo sclerometro per roccia della GeoHammer, realizzato in accordo con tutti i principali standard mondiali (ISO/DIS 8045, EN 12 504-2, ASTM D5873-14). Di seguito se ne riportano le specifiche tecniche:

- Dimensioni: 300x70x70 mm
- Peso:1.3 kg
- Range di misura: 10-200 N/mm2
- Energia impatto: 0.735Nm
- Limite utilizzo: Spessore > 60 mm

- Corpo Esterno: Alluminio lega 6060-11S
- Organi interni d'impatto: Acciaio al carbonio
- Trattamento termico: Crabo nitrurazione chimica NIT-OX
- Organi di scorrimento: Acciaio INOX 303
- Impugnatura: Nylon caricato vetro



Figura 13: *Sclerometro utilizzato durante la campagna di indagine.*

Di seguito, le relazioni utilizzate per correlare le misure degli in dici di rimbalzo ottenuti con lo sclerometro ai valori di resistenza a compressione semplice espressi in N/mm2.

Orientazione sclerometro	0°	90°	-90°
Correlazione utilizzata	0.0232*(R)^2.2637	0.0074*(R)^2.5172	0.0775*(R^1.9823)

Le correlazione utilizzata è stata sviluppata dall'Università delle Marche (G.Menditto, S.Buffarini, V.Daria (Univ.Marche), 2013).

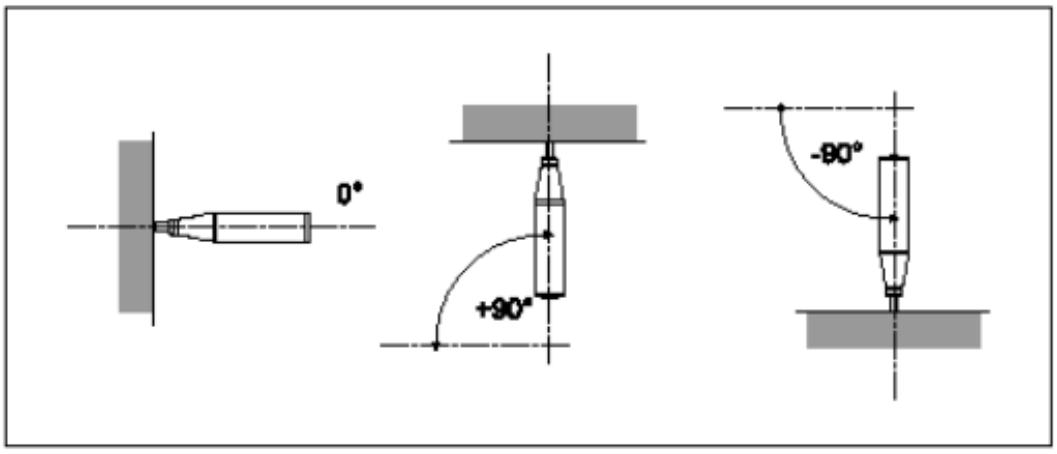


Figura 14: *Indicazione orientamento sclerometro.*

La prova sclerometrica non va intesa come un'alternativa per la determinazione della resistenza a compressione del materiale roccioso ma, con una opportuna correlazione, può fornire una stima della resistenza in sito. Si ravvisa che negli ammassi rocciosi lo stato di sollecitazione locale è quello di "elementi confinati" e quindi pluriassiali, sicché per una corretta interpretazione degli indici sclerometrici, occorre, in generale, disporre di ulteriori curve di correlazione tra gli stati tensionali mono e pluriassiali.

3.3 Risultati

Di seguito vengono riportati i risultati dei rilievi eseguiti. In relazione allo scopo del lavoro, il modello geomeccanico viene riferito a 2 delle stazioni geomaccaniche eseguite, ritenute le più rappresentative.

Ulteriori stazioni di misura hanno permesso di estendere a tua l'area gli esiti delle analisi geomeccaniche di seguito riportate.

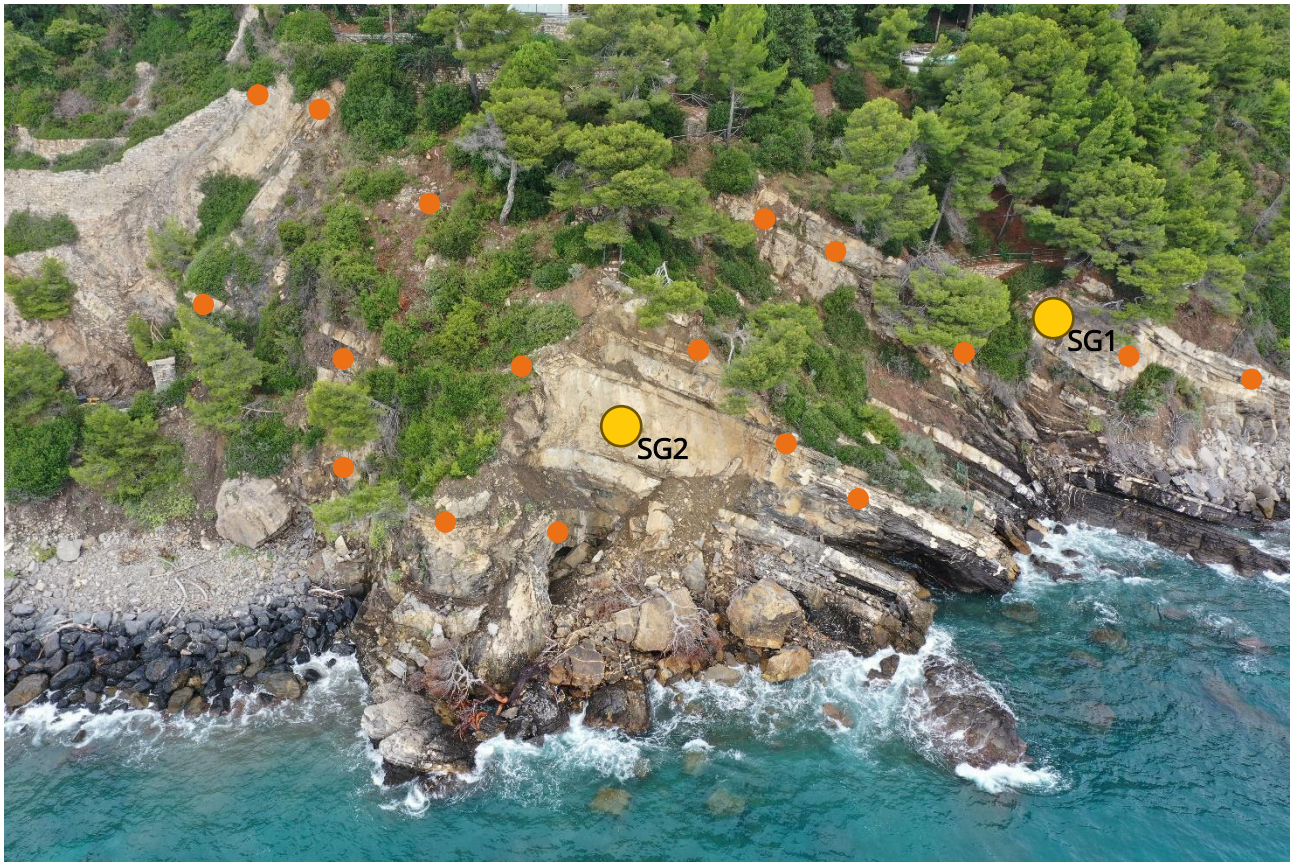


***Figura 15**. Ubicazione stazioni geomeccaniche SG1, SG2 e stazioni ulteriori*

3.3.1 Modello litotipo

Le rocce affioranti appartengo alla formazione del Flysch di San Remo del Cretacico. Come riporta la cartografia geologica ufficiale del CARG 259 Imperia, la formazione, nello specifico il membro di San Lorenzo qui presente, è caratterizzata alternanze ritmiche di strati da decimetrici a plurimetrici arenaceo-argillitico-marnosi. Raramente sono presenti intercalazioni di calcilutiti e sono invece qui presenti alla base degli affioramenti, strati più prettamente arenacei grigio scuri con fratturazione pervasiva riempita da consistenti vene di calcite. Sono riconoscibili strutture di piega e di disturbo della stratificazione legati a strutture tettoniche regionali non di chiara individuazione.

3.3.2 Modello discontinuità

L'elaborazione statistica delle giaciture è sintetizzata nella tabella e nello stereogramma di seguito riportate. Oltre agli orientamenti delle discontinuità (giaciture) rilevate presso la stazione di misura sono elencati i parametri che concorrono alla classificazione dell'ammasso roccioso. Per l'elaborazione è stato utilizzato il software DIPS della Rocscience, che permette di proiettare poli e piani delle varie discontinuità all'interno del reticolo stereografico di Wulff e di analizzare i diagrammi di isodensità.

INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM

Stazione: SG1	**Località:** Capo Mimosa Rollo	**GSI: 68**	**Note:** strati con spessori da decimetrici a plurimetrici ammasso fratturato e roccia competente
Versante Est	Comune di Cervo(IM)		
	Dimensione blocchi a terra: volume indicativo: tra 0.5 e 6 m^3		

TIPO	IMMERSIONE (°)	INCLINAZIONE (°)	Persistenza (m)	Spaziatura (m)	Apertura (mm)	Riempimento	JRC Barton
strato	340	40	-	1.0 - 1.9	60 - 80	-	7
strato	353	45	-	0.8 - 1.5	50 - 70	-	9
strato	347	38	-	1.2 – 2.1	100 - 110	terriccio	7
K1	055	80	2 - 3	1.9	40 - 50	-	14
K1	060	78	3 - 4	0.8	30 - 40	terriccio	16
K1	068	84	2 - 4	1.2	05 - 15	-	9
K2	160	60	1 - 3	3.0	20 - 30	-	9
K2	172	55	1 - 3	1.2	40 - 50	terriccio	11
K2	165	62	1 - 3	2.7	10 - 30	terriccio	13





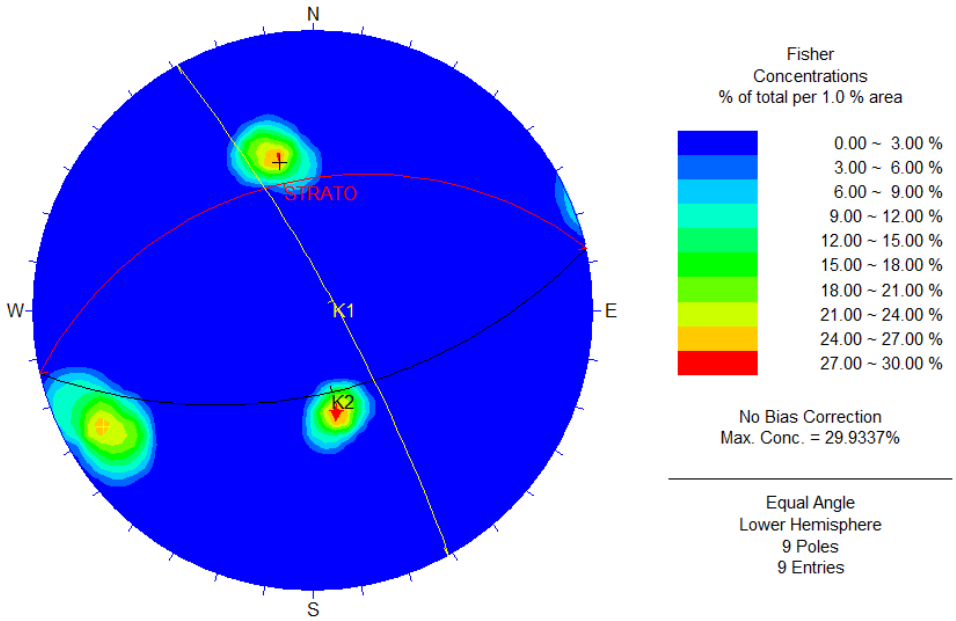


Figura 16. Ammasso roccioso presso SG1.

Stazione: SG2	Località: Capo Mimosa Rollo	GSI: 68	Note: strati con spessori da decimetrici a plurimetrici ammasso fratturato e roccia competente
Versante Est	Comune di Cervo(IM)		
	Dimensione blocchi a terra: volume indicativo: tra 0.5 e 10 m^3		

TIPO	IMMERSIONE (°)	INCLINAZIONE (°)	Persistenza (m)	Spaziatura (m)	Apertura (mm)	Riempimento	JRC Barton
strato	005	40	-	1.0 - 1.2	60 - 80	terriccio	11
strato	012	45	-	0.6 - 1.8	50 - 70	calcite	9
strato	356	40	-	5.2 - 5.4	100 - 110	-	9
K1	100	60	1 - 3	0.8	20 - 30	-	9
K1	095	85	2 - 4	2.2	40 - 50	-	7
K1	105	75	2 - 5	1.6	10 - 30	terriccio	4
K2	178	87	0.5 - 2	2.8	40 - 50	-	7
K2	195	65	3 - 4	0.6	30 - 40	terriccio	11
K2	185	75	1 - 3	1.2	05 - 15	calcite	9



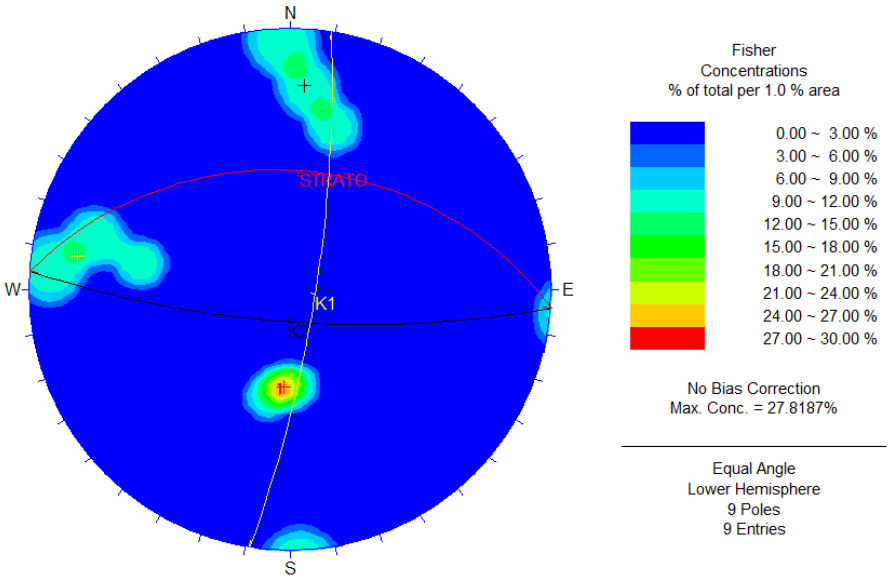


***Figura 17**. Ammasso roccioso presso SG1.*

Di seguito vengono riassunti in formato tabulare i valori di resistenza a compressione, ricavati tramite le correlazioni esposte nei precedenti capitoli. È stato ricavato un valore medio per l'ammasso roccioso. Utilizzando l'indice **r** è stata ottenuta la resistenza a compressione del giunto alterato (JCS), mentre con l'indice **R** si è ricavata la resistenza a compressione della roccia (UCS). I dati sono riferiti alla porzione più superficiale dell'ammasso roccioso.

Discontinuità	Indici di rimbalzo (valore medio)		Resistenza a compressione su cubo N/mm²
Flysch di San Remo	r	36	JCS = 77
	R	40	USC = 98

3.3.3 Modello ammasso roccioso

Viene di seguito classificato l'ammasso roccioso sulla base dalla rielaborazione dei dati rilevati. I dati sono riferiti alla porzione più superficiale dell'ammasso roccioso (porzione più alterata).

Classificazione RMR

Indice*	Valore attribuito	Descrizione
R1	7	Resistenza matrice rocciosa (MPa) 50 - 100
R2	13	RQD 50 - 75%
R3	15	Spaziatura delle discontinuità 0.6 - 2 m
R4	2 + 0 + 3 + 2 + 3	Lunghezza delle discontinuità 3 -10 m; Apertura > 5 mm; JRC 10 – 12; Riempimento soffice < 5 mm; Alterazione moderatamente alterato
R5	10	Umido
Classificazione RMR base		55 – Classe III Discreta

*per il significato degli indici si veda sopra o i riferimenti bibliografici

Classificazione GSI

Indice	Valore medio attribuito	Indice GSI
RQD/2	≈ 35	50
1.5 $JCond_{89}$	15	

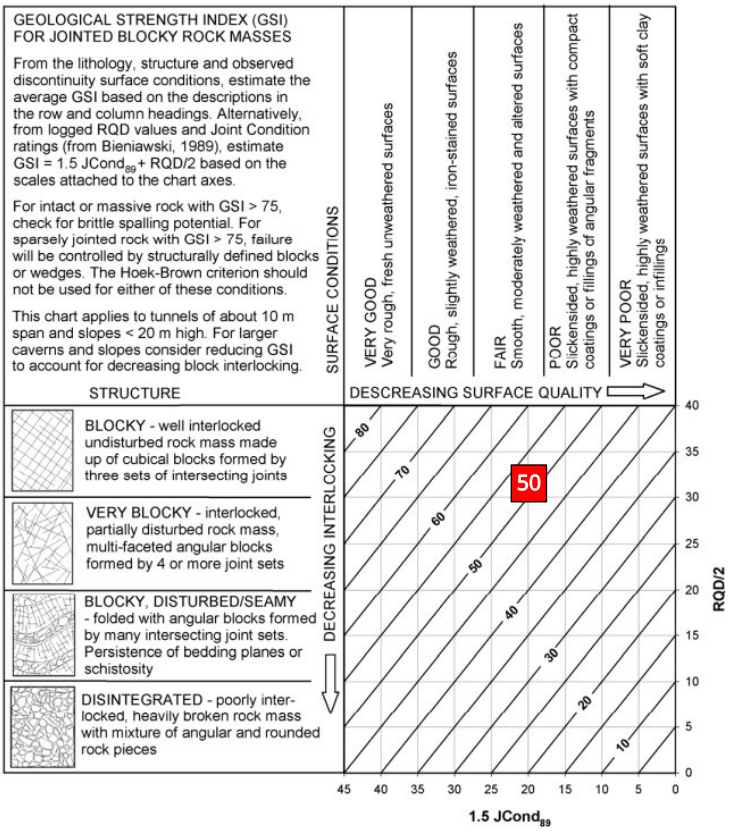


Figura 18: Classificazione GSI – Stazione geomeccanica GM1.

4. SINTESI DELL'ASSETTO GEOSTRUTTURALE DEL VERSANTE

L'area di studio, comprendete il versante e le pertinenze del fabbricato, si inserisce nella fascia costiera a valle della S.S.1 Aurelia al confine nordorientale del comune di Cervo (IM). Si tratta della porzione basale del versante orientale del Colle di Cervo, caratterizzato da pendenze medie e una fascia marina caratterizzata da scogliere e falesie di altezze variabili fino a 25 m.

Sulla base dei rilievi svolti gli affioramenti rocciosi formano le scogliere a bordo mare, articolate pareti rocciose esposte a Est e organizzate in bancate rocciose con giacitura immergente verso N-NE; a queste si aggiunge un'altra importante fascia rocciosa ubicata al disopra dell'imbocco della galleria dell'ex-ferrovia, esposta quindi verso Sud, in cui l'ammasso roccioso è presente fino a quote maggiori (55m s.l.m.) e in cui le strutture tettoniche di disturbo hanno portato ad avere la stratificazione qui piegata e in verticale.

L'ammasso è costituito da flysch marnoso-arenaceo-argillitico organizzato in bancate e strati dagli spessori variabili in base alle aree e fratturato da 2 famiglie di giunti principali (più le locali famiglie random di difficile individuazione). Gli affioramenti direttamente aggettanti verso mare (esposti a Est) mostrano tutta la potenza della successione torbiditica, con bancate rocciose da spessore plurimetrici (nell'area del crollo principale, strato arenaceo da 5 m di spessore) in cui le famiglie di giunti in combinazione con la stratificazione isolano volumi rocciosi dalle dimensioni importanti (1-10 m^3). Questo è dovuto alla spaziatura importante (da decimetrica a plurimetrica) che caratterizzata le famiglie di giunti ma anche la stratificazione stessa, e da un generale detensionamento superficiale dell'ammasso, in cui le fratture si presentano spesso beanti di diversi centimetri. Per quanto riguarda il terzo affioramento roccioso, ubicato al di sopra dell'imbocco dell'galleria, la stratigrafia risulta qui piegata in verticale e intersecata da 2 famiglie di giunti caratterizzate da spaziature metriche (0.2 – 3m) che sono in grado di isolare blocchi dalle volumetrie fino a 6 m^3.

4.1 Giaciture medie delle discontinuità su ciascun settore identificato

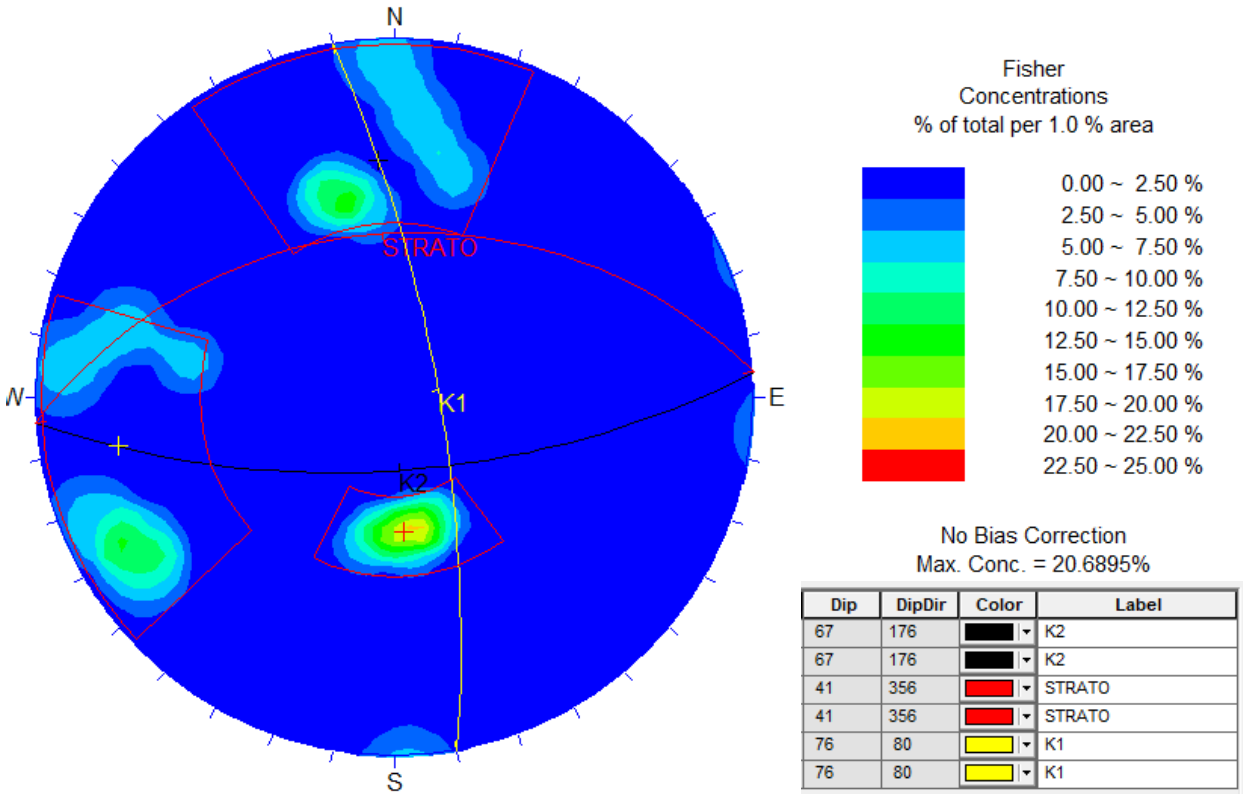
Nella rappresentazione stereografica seguente sono state analizzate globalmente le giaciture di tutte le discontinuità rilevate nelle 2 stazioni (SG1 e SG2) da cui si individuano le seguenti 3 famiglie principali di giunto:

- giunti di strato: S;
- giunti di discontinuità: K1;
- giunti di discontinuità: K2;

la cui orientazione media è riportata nella tabella seguente.

ID Giunti	Immersione (°)	Inclinazione (°)
Strato	356	41
K1	080	76

K2	176	67



Dip	DipDir	Color	Label
67	176		K2
67	176		K2
41	356		STRATO
41	356		STRATO
76	80		K1
76	80		K1

Figura 19: *Rappresentazione stereografica delle discontinuità.*

4.2 Resistenza delle discontinuità (Criterio di resistenza di Barton-Bandis)

In assenza di una coesione vera dovuta a ponti di roccia la curva di resistenza passa per l'origine. Il criterio proposto da Barton (1973) per discontinuità naturali scabre continue fornisce la seguente relazione:

$$\tau_p = \sigma_n \tan\left(\varphi_r + i_{eff}\left(\sigma_n\right)\right) = \sigma_n \tan\left[\varphi_r + JRC \log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)\right]$$

Il parametro JRC (Joint Roughness Coefficient) quantifica la scabrezza della discontinuità, il parametro JCS (Joint Wall Compressive Strength) rappresenta la resistenza delle asperità e il parametro φ_r la resistenza residua.

Il parametro JCS è assimilato alla resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso che costituisce le pareti delle discontinuità. Tale resistenza è ricavabile dalla prova di rimbalzo con il martello di Schmidt.

Per quanto riguarda il valore dell'angolo di attrito residuo φ_r si rileva che se la discontinuità non è alterata esso corrisponde all'angolo di attrito di base φ_b caratteristico di due superfici lisce ottenuto per segagione.

INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM

I parametri JRC e JCS derivano dall'elaborazione dei rilievi in sito, mentre il valore dell'angolo di attrito residuo φr deriva da letteratura. E' stato assunto da bibliografia (Barton e Choubey, 1977) un valore di angolo di attrito pari a 30°.

ID Giunti	JRC	JCS [Mpa]	φ_r [°]
Strato	7-10	60-80	30
K1	9-11	55-65	30
K2	8-12	60-75	30

5. CARATTERIZZAZIONE DELLE INSTABILITÀ RILEVATE

Alla luce di quanto detto, le maggiori instabilità sono legate alle dinamiche di crollo dagli affioramenti rocciosi ma sono al contempo accompagnate a dinamiche di cedimento lento, tipo *creep*, dei terreni di copertura presenti sul versante.

Il modello morfologico e cinematico necessariamente semplificato, pertanto vengono distinti 6 settori omogenei per caratteristiche, in termini di propensione al dissesto, some riportato nella seguente immagine e descritto oltre. Tali settori vengono numerati concordemente agli interventi proposti al **Cap.10** per facilità di lettura.

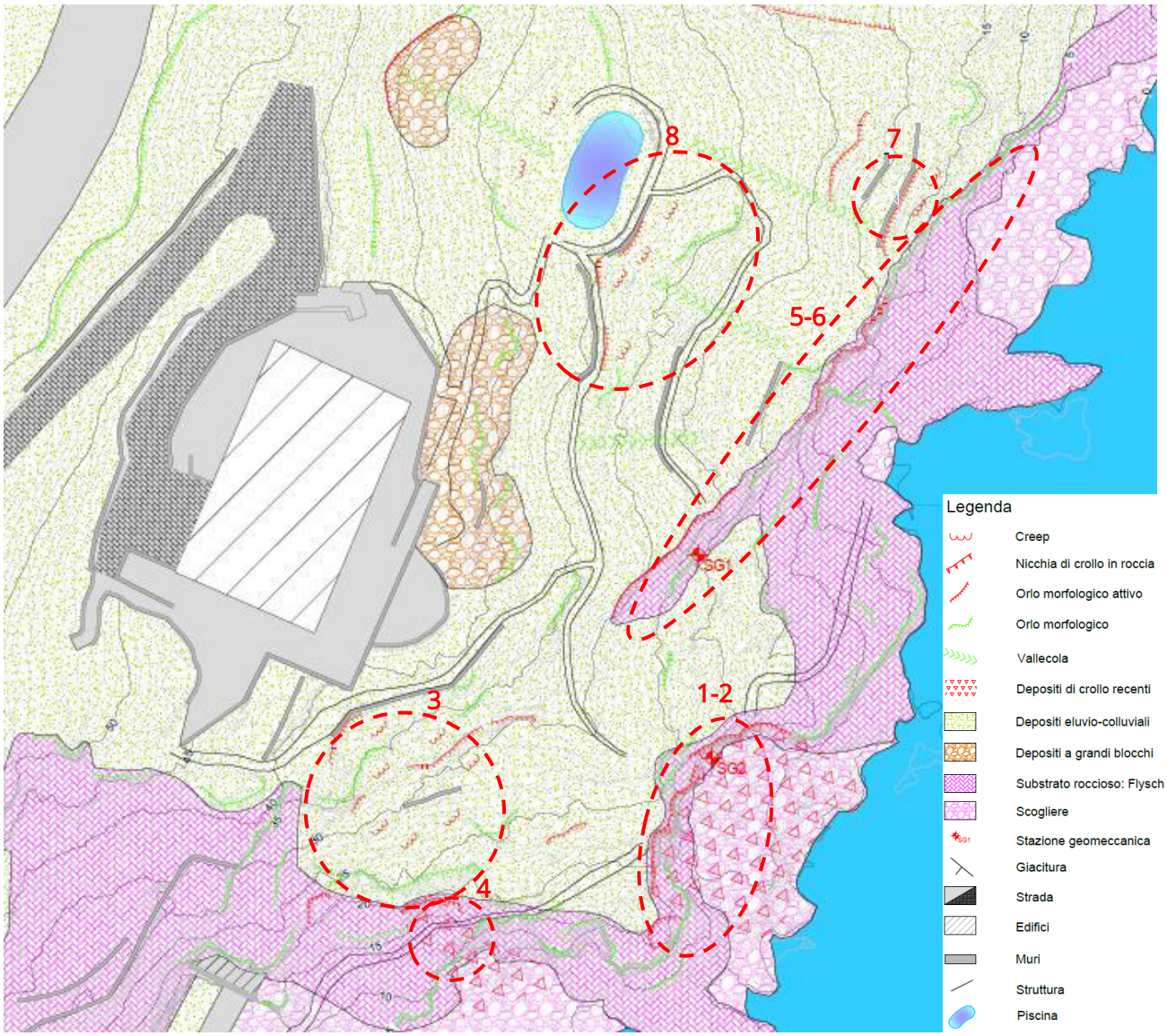


Figura 20: *Principali aree che suddividono il versante oggetto di intervento. Evidenziate per punti le principali instabilità.*

SETTORE 1-2: La fascia di roccia affiorante nell'area del crollo in roccia principale (SG2), risulta caratterizzata da stratificazione in bancate con spessore da decimetrico fino a 5 m e 2 famiglie di giunti (K1 e K2) spesso beanti e spaziati da 0.6 a quasi 3 m. Tale configurazione porta ad avere volumi unitari assai variabili ma capaci di raggiungere da 1 a 10 m^3, come mostrano i blocchi rocciosi che formano i depositi della recente frana. Qui il fenomeno di crollo in roccia ha interessato un volume di roccia stimabile in 1300 m^3, larghezza 17m e altezza di 16m, portando al crollo di una grotta (accessibile dal mare) e a porzione di alcuni di sentieri e camminamenti.

Permangono nell'area instabilità di volumetrie con le dimensioni sopra indicate, ed un'instabilità importante presso una prominenza scalzata basalmente ed isolata da fratture beanti con volumetria stimata i 50 mc. Tale volume risulta prossimo al collasso, come altre masse esposte epr assenza di sostegno basale.



Figura 21. Affioramento roccioso interessato dalla frana principale.

SETTORE 3: La proprietà è caratterizzata da depositi di copertura di origine mista (eluvio-colluviale), caratterizzati al più da sabbie e ghiaie in matrice limosa derivanti dall'alterazione diretta del substrato flyscioide. Questi terreni posseggono proprietà geotecniche medie, molto suscettibili all'azione destabilizzanti delle acque di infiltrazione che portano alla formazione di instabilità descrivibile come cedimenti lenti del terreno, tipo *creep*, che portano a deformazioni e abbassamenti dei sentieri e delle strutture presenti. Nella porzione a valle dello spigolo a Sud-Est del fabbricato, il versante mostra segni di deformazioni lente e cedimenti, legati all'acclività di questa porzione di proprietà e alla disorganizzata dispersione dell'acque provenienti dal sovrastante fabbricato. Anche le fratture presenti su un muro perimetrale del fabbricato ed evidenze di dissesto lugo il sentiero sarebbero da ascrivere a tale problematica: non sono da attendersi evoluzioni repentine, in relazione al tipo di fenomeno, ma va tenuto in considerazione che tali fenomeni tengono ad evolvere fino al collasso, pertanto sono fortemente auspicabili interventi volti alla prevenzione.

INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM



Figura 22. Vista della porzione di versante a valle dello spigolo sudest del fabbricato. Qui i terreni sono interessati da fenomeni di cedimento lenti, tipo creep, che portano a deformazioni delle strutture presenti a monte.

SETTORE 4: La porzione di scarpata rocciosa a valle del settore 3 è stata interessata, nel corso dell'ottobre 2023, da una frana, di larghezza 8.5 m, che ha coinvolto il sottostante sentiero di accesso alla pista ciclabile lungo mare. L'ammasso roccioso si mostra qui maggiormente alterato e meno compente; l'assetto strutturale invece rimane similare a quello degli affioramenti posti più a Nord-Est, con bancate rocciose di spessore 0.8-1.6m che sono in grado di produrre crolli con volumi unitari di circa 1-2 m^3. Permangono in questo settore indici di instabilità che fanno presagire crolli e piccole frane in detrito.



Figura 23. Affioramento roccioso interessato da un altro fenomeno franoso che ha coinvolto il sentiero di accesso alla ciclabile lungo mare. Qui la frana, larga circa 8.5 m, ha portato con chiarezza alla luce una porzione di ammasso roccioso maggiormente alterato.

SETTORE 5-6: La fascia di roccia affiorante sempre nella fascia costiera posta a Nord-Est (SG1), mostra la stessa configurazione strutturale del settore 1-2, con 2 famiglie di giunti (K1 e K2) spesso beanti dalla spaziatura compresa tra circa 1e 3 m ma con la stratificazione caratterizzata da spessori inferiori, 1-2 m. Questo porta all'isolamento di blocchi dal volume roccioso unitario massimo di 6m^3, che in caso di distacco sono in grado di raggiungere con facilità il mare e uno degli accessi pedonali alla linea di costa.

Il rischio in questo caso risulta inferiore data la lontananza dal fabbricato ed altezze leggermente più contenute, ma possono essere riconosciuti tutti i fattori predisponenti.



***Figura 24**. Bancata rocciosa che delimita la porzione nord occidentale della proprietà.*

SETTORE 7: Il muro in sassi, che forma l'ultimo terrazzo al di sopra della scogliera sul mare a valle della piscina, mostra segni di deformazioni anche importanti con la base della struttura (caratterizzata da un'altezza non indifferente, circa 1.8 m) interessata da cedimento dei terreni, anche di tipo parossistico con lo scucchiaiamento dei materiali più superficiali. Ciò sarebbe dovuto alla vetustà dell'opera e la tipologia costruttiva (a secco) in rapporto al contesto (elevate pendenza, terreni spingenti per *creep*), ma non fa presagire ad evoluzioni a scala di versante.



***Figura 25**. Vista aerea e di dettaglio del muro interessato da importarti deformazioni dovute a smottamenti superficiali e cedimenti dei terreni di fondazione.*

SETTORE 8: L'area della piscina risulta anch'essa interessata da *creep* e cedimenti differenziali dei terreni di fondazione che si sospetta abbiano portato alla deformazione rigida della struttura, con assestamenti

nell'ordine di 10-15 cm. Gli stessi effetti sarebbero la causa principale di danni alla rete sentieristica di questo settore, specie in attraversamento a zone avvallate. Una concausa può essere riferita anche all'azione che il vento ha sulle piante, considerata la distribuzione superficiale degli apparati radicali.

Questo settore, rispetto al resto del versante, si distingue per la presenza di vallecole al cui contorno sono riconoscibili dinamiche di versante attive o quiescente, seppur di entità limitata. Tale assetto favorisce il convogliamento delle acque meteoriche che infiltrandosi interferiscono negativamente con l'assetto statico dei lughi, secondo una sorta di effetto a catena. Ciò si ripercuote sull'integrità della rete sentieristica, le relative opere di contenimento, e le strutture ivi presenti (piscina, vani accessori).



***Figura 26**. I sentieri di accesso all'area della piscina. Mostrano indizi di cedimenti lenti dei terreni che hanno portato negli anni a cedimenti di circa 15cm della struttura della piscina.*

Oltre alle criticità rilevate nei 6 settori omogenei, va rilevata una generale propensione al dissesto che si esplica sull'intera area, con particolare riguardo alle pareti rocciose aggettati, proprio i virtù della loro verticalità, la presenza di discontinuità intersecantisi ad alo angolo, la presenza di azioni scatenanti (mareggiate). Le dinamiche in questi settori ulteriori sono ad una distanza tale dall'edificio che in relazione allo scopo del lavoro non si ritiene siano degne di approfondimenti specifici, assodato che il modello geomeccanico resta il medesimo e le dimensioni dei potenziali crolli no possono in nessun modo lambire le pertinenze dell'immobile. Merita una nota la fascia di roccia sovrastante l'imbocco della galleria, caratterizzata da stratificazione piegata e subverticale e da giunti K1 e K2 con spaziature che possono arrivare fino a 3 m, tali da isolare blocchi con volumi unitari massimi di 6 m^3. L'affioramento risulta qui però ricoperto e consolidato con reti in aderenza a doppia torsione e, localmente, da rafforzamenti corticali con chiodature e incrocio di funi, il che riduco la propensione a fenomeni di crollo.



Figura 27. Affioramento roccioso presente al disopra dell'imbocco della galleria. Qui l'ammasso è ricoperto da reti e funi con porzioni sostenute da muri, che nel contesto generale riduco la propensione a fenomeni di crollo.

Tali criticità puntuali rilevate, a valle delle modellazioni di seguito riportate ed in rapporto all'esposizione al rischio (assunto che rischio è la probabilità per cui un pericolo crei un danno e l'entità del danno stesso → R = P x D), concorrono alla definizione della suscettività da frana, ovvero la propensione dell'area a dissesto, da cui si può desumere una scala di priorità di intervento.
Per tale approfondimento si rimanda all'elaborato DIS-02, "Carta della propensione al dissesto" ed al Cap.8.

6. RILIEVO TOPOGRAFICO LIDAR

A supporto dell'analisi morfologica e geomeccanica, nonché delle scelte progettuali e di cantieramento, è stato condotto un rilievo georiferito dell'intera proprietà e delle aree perimetrali ad essa. E' stato fatto ricorso alla tecnologia LiDAR allo scopo di ricavare il modello digitale del terreno 3D, grazie alle potenzialità di tale tecnologia.

L'acronimo LiDAR (Light Detection And Ranging) identifica la tecnologia che misura la distanza da un oggetto illuminandolo con una luce laser e che al contempo è in grado di restituire informazioni tridimensionali ad alta risoluzione sull'ambiente circostante. Tale misura è detta multi eco: in termini di ricezione tale comportamento si traduce in un segnale che a diverse distanze evidenzia un impulso. L'ampiezza dell'impulso è funzione della quantità di segnale riflesso. Lungo la verticale quindi, lungo il percorso che il singolo raggio compie, è possibile individuare più di un segnale di ritorno. Tutti questi segnali vengono "registrati" dal sensore, che quindi ad una singola coordinata associa la possibilità che vi siano più superfici e quindi più distanze da misurare. I diversi echi permettono di discernere il terreno dalla vegetazione soprastante (ad alto fusto o a basso fusto), ovvero di epurare l rilievo da queste ultime, con grandi vantaggi per le applicazioni geologiche – geomorfologiche.

6.1 Cenni metodologici

I rilievi topografici di dettaglio sono stati effettuati tramite tecniche LiDAR da UAV (aeromobile a pilotaggio remoto) registrato ENAC con l'utilizzo del sensore DJI Zenmuse L1 montato su drone DJI Matrice 300 RTK.

Per una corretta georeferenziazione del modello 3D, il rilievo è stato appoggiato su un acquisizione di inquadramento a terra tramite GPS in modalità RTK - Real Time Kinematic con collegamento alla rete di stazioni permanenti Smartnet/Italpos (media su 4 letture). In questa specifica fase del lavoro sono stati acquisiti caposaldi di appoggio posizionati in punti stabili. Essi sono stati poi successivamente trasformati tramite software Verto 3k e grigliati .gk2 entrambi dell'IGMI.

Il rilievo è stato così georiferito con quote geodetiche del modello del geoide ITALGEO05 e restituito in coordinate piane RDN2008/UTM zone 32N (m) (EPSG: 7791) con quote sul livello medio mare m s.l.m..



Figura 28: *immagini di esempio della strumentazione utilizzata.*

6.2 Elaborazione

L'elaborazione dei rilievi è stata poi suddivisa in diverse fasi/passaggi di calcolo utili per ricavare dal dato grezzo misurato dal sensore LiDAR agli output finali restituiti all'interno di un progetto CAD.

La prima fase è consistita nella prima elaborazione di base tramite il software dji Terra, che ha permetto di effettuare:

- il primo controllo dati dati acquisiti;
- la colorazione della nuvola di punti tramite le foto aeree scattate durante il rilievo;
- l'esportazione della primo cloud grezzo in formato .las/laz.

Nella seconda fase invece, grazie all'utilizzo del software Lidar360 di GreenValleyIntl, la nuvola di punti grezza è stata elaborata in maniera definitiva secondo i seguenti passaggi:

- georeferenziazione della nuvola di punti in coordinate e quote geoidiche assolute, precedentemente riportate;
- pulizia del rumore e il sotto campionamento;
- classificazione della nuvola di punti con estrazione del Ground;
- elaborazione delle curve di livello del terreno con passo opportuno;
- estrazione punti di dettaglio secondo maglia con passo opportuno.

6.3 Risultati

I risultati del rilievo LiDAR da UAV sono stati restituiti in un progetto CAD nel quale sono stati caricati e riportati i diversi output dell'elaborazione.



Figura 29. *Output dell'elaborazione del rilievo LiDAR eseguito nell'area di interesse.*



Figura 30. *Estratto 3D della nuvola di punti.*

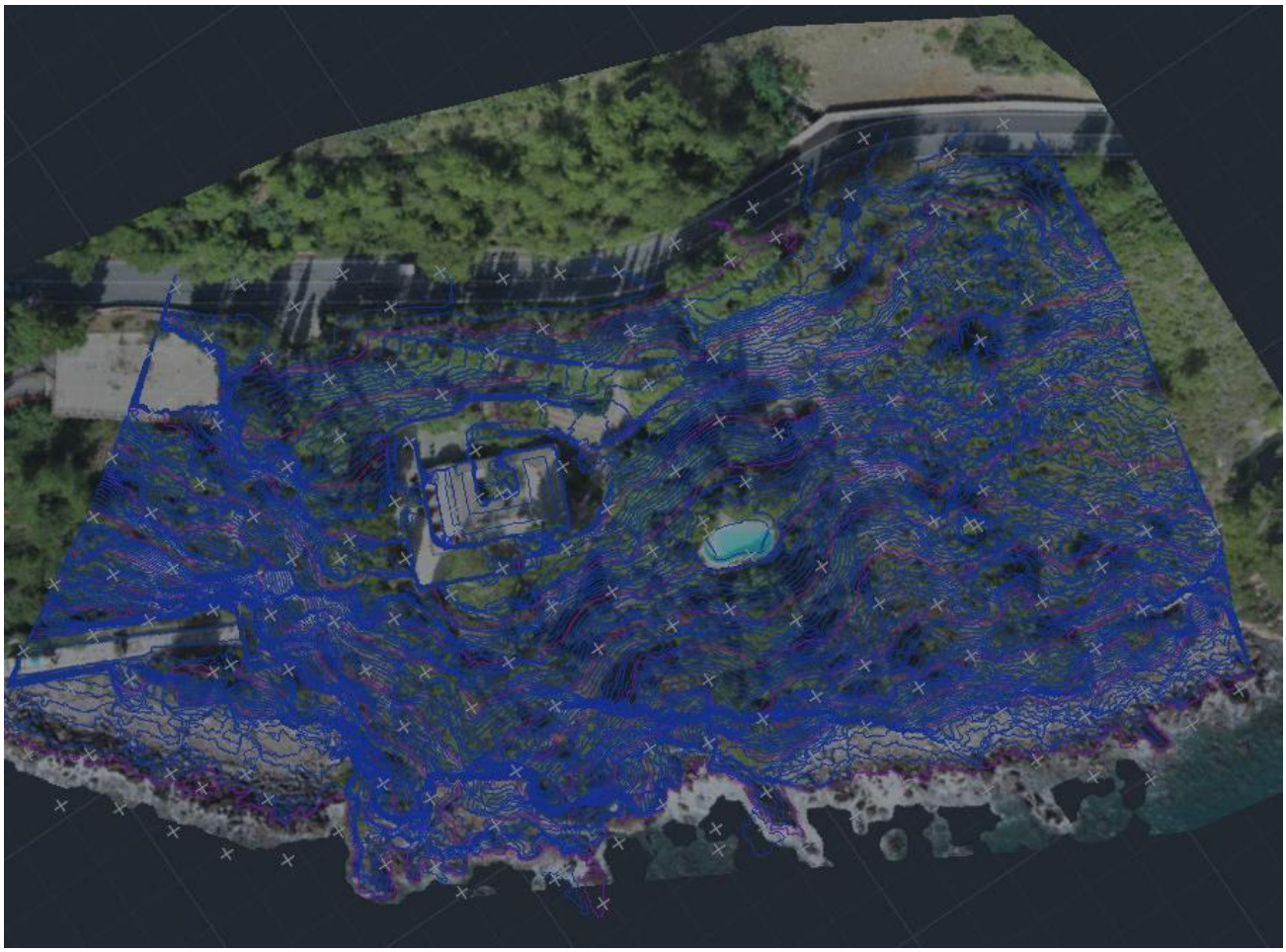


Figura 31. *Output dell'elaborazione del rilievo LiDAR eseguito nell'area di interesse.*

7. ANALISI CINEMATICA E MODALITA' DI INSTABILITA' DEI PENDII IN ROCCIA

A supporto delle scelte di indirizzo alla progettazione sono state sviluppate delle analisi cinematiche, dalle quali è possibile desumere dei dati quantitativi e dimensionali che regolano la progettazione delle opere.

7.1 Cenni teorici

L'analisi cinematica riguarda lo studio del moto dei corpi senza tenere conto delle forze che ne determinano il movimento, ma considerando solamente l'orientazione dei piani di discontinuità rispetto all'orientazione del pendio.

Le rocce hanno generalmente una resistenza al taglio così elevata che l'instabilità sotto la sola forza di gravità è possibili solo se le discontinuità permettono il movimento di blocchi discreti. In rocce regolarmente stratificate e tagliate da giunti, ci sono molte possibilità di movimenti di blocchi. L'analisi cinematica permette di individuare il più probabile modo di instabilità del pendio. I principali meccanismi di rottura sono (Figura 31):

a) scivolamento su un piano;
b) scivolamento di un cuneo;
c) ribaltamento flessionale e a blocchi.

Le assunzioni alla base del metodo cinematico sono piuttosto conservative e riguardano le caratteristiche geomeccaniche delle discontinuità che agiscono da piano di scorrimento:

- le discontinuità sono piane ed infinitamente estese;
- le resistenze disponibili lungo i piani di discontinuità sono puramente attrattive.

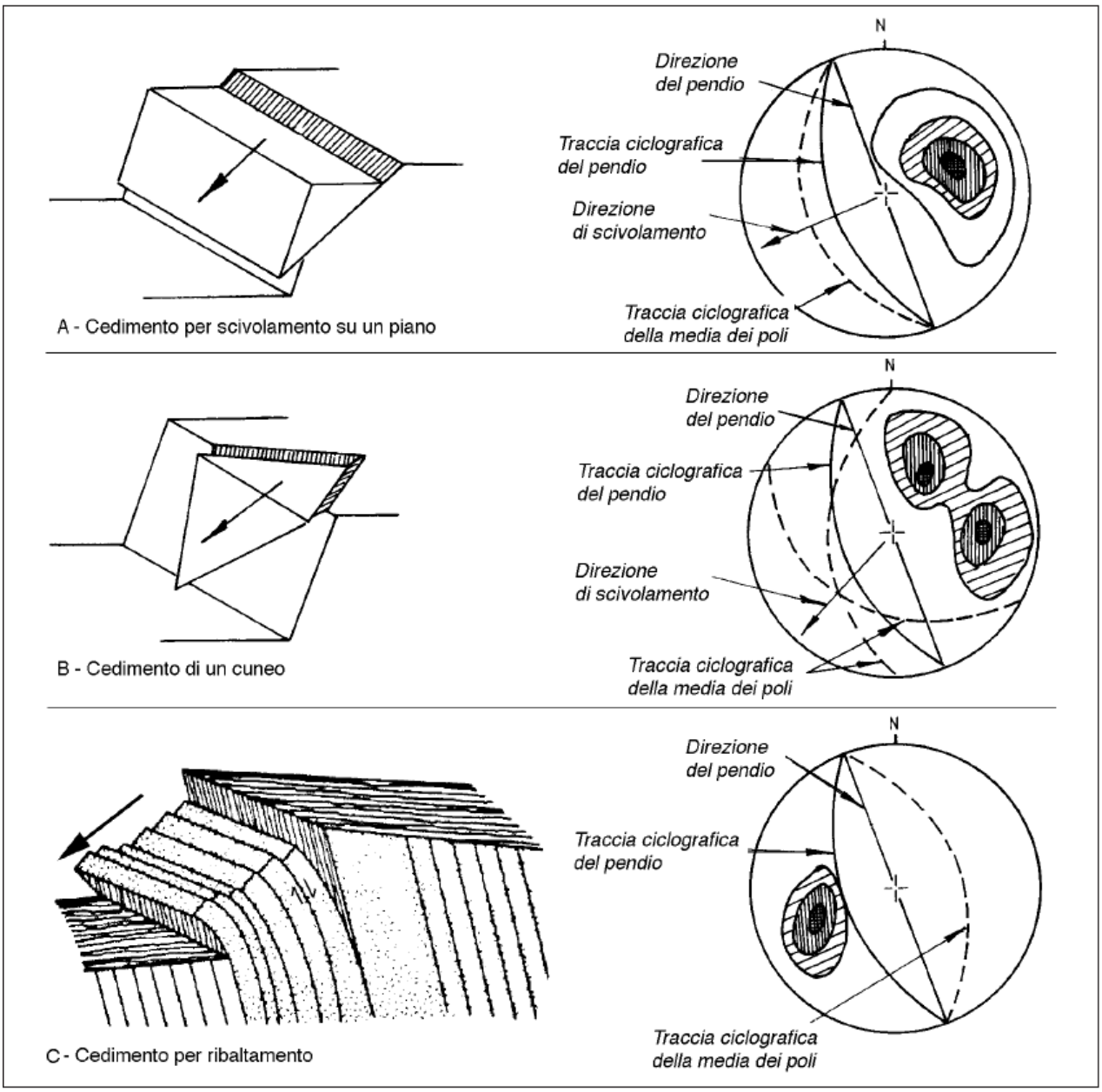


Figura 32: *Tipologie di cedimenti in roccia e proiezioni stereografiche delle condizioni strutturali che danno luogo a questi cedimenti.*

7.1.1 Scivolamento in condizione piane

Il più semplice meccanismo di instabilità è rappresentato dallo scivolamento di cunei di roccia lungo un piano, con direzione di scorrimento parallela all'immersione del fronte (situazione piana).

L'esame delle condizioni di stabilità di un versante in condizioni piane comporta nella maggior parte dei casi una idealizzazione più o meno spinta del problema reale; in molti casi, tuttavia, tale semplice schema di analisi consente utili valutazioni preliminari che possono essere poi approfondite con analisi tridimensionali.

Anche quando la rottura si sviluppa lungo una discontinuità avente immersione uguale a quella del fronte, per applicare il modello piano è necessario che le superfici laterali offrano una resistenza trascurabile rispetto a quella disponibile lungo il piano di scorrimento. Si osserva perciò che dissesti in condizioni almeno approssimativamente piane si verificano più frequentemente in alti fronti di scavo, mentre dissesti di cunei di roccia in condizioni tridimensionali interessano per lo più porzioni limitate del fronte di scavo, laddove le forze in gioco sono modeste ed è rilevante la loro orientazione.

Affinché uno scorrimento planare si possa verificare, devono essere verificate quattro condizioni (Hudson & Harrison, 1997):

1) l'inclinazione del versante deve essere maggiore dell'inclinazione del potenziale piano di scivolamento, ovvero il piano di discontinuità deve essere a franapoggio rispetto al pendio;

2) il potenziale piano di scivolamento deve emergere al piede del versante, ovvero il blocco roccioso deve essere in grado di muoversi;

3) l'immersione del piano di scivolamento deve giacere approssimativamente entro ± 20° rispetto all'immersione del versante;

4) l'inclinazione del potenziale piano di scivolamento deve essere uguale o maggiore dell'angolo di attrito φ'.

La verifica delle quattro condizioni necessarie perché avvenga uno scorrimento planare può essere fatta in proiezione stereografica e consiste nel verificare graficamente se uno o più poli di discontinuità cade all'interno della "zona di instabilità" per scorrimento piano rappresentata in proiezione equiareale sull'emisfero inferiore (Figura 32).

La zona di instabilità è limitata da due archi di cerchio e da due linee radiali. L'arco di cerchio più esterno rappresenta l'inclinazione del versante (condizione 1); le due linee radiali servono a limitare la ricerca dell'instabilità entro il campo di ± 20° rispetto alla direzione del versante (condizione 3); l'arco di cerchio più interno l'angolo di attrito del piano di discontinuità (cono di attrito; condizione 4).

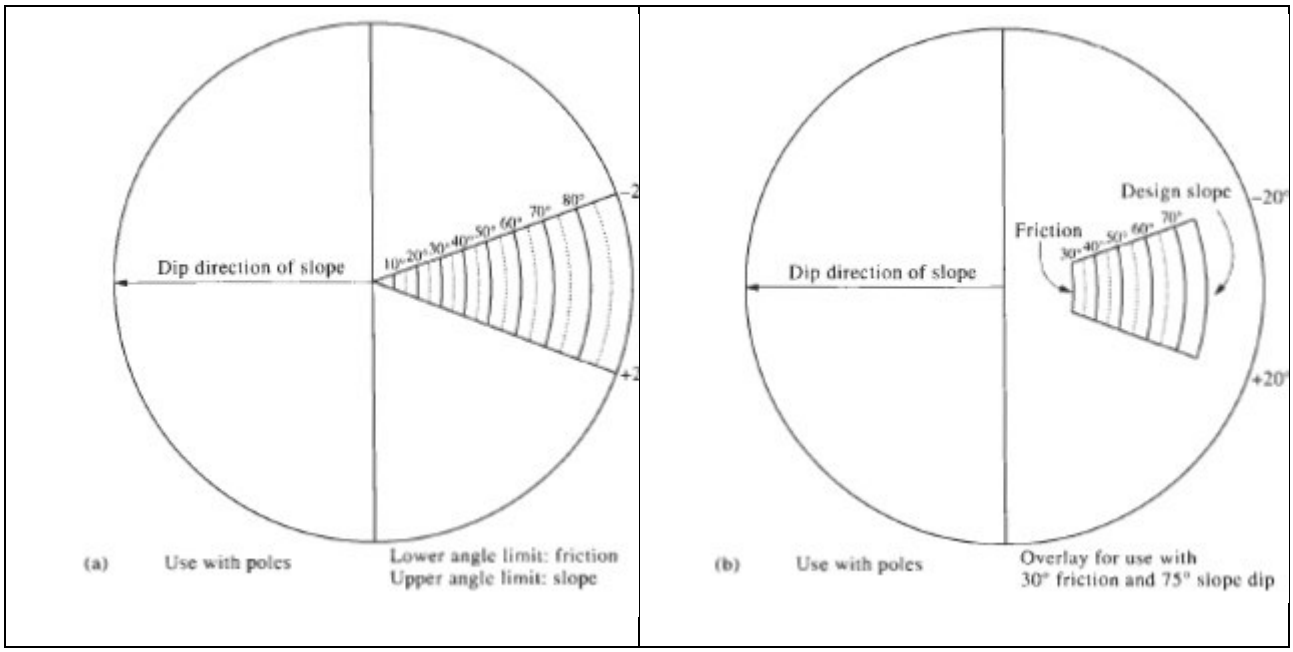


Figura 33: Definizione della zona di instabilità per l'analisi cinematica di scorrimento planare (da Hudson & Harrison, 1997).

7.1.2 Scivolamento di un cuneo di forma tetraedrica

Scivolamenti di cunei si hanno quando due superfici di discontinuità e la loro linea di intersezione vengono a giorno sul pendio, individuando così volumi di roccia di forma tetraedrica. Il cuneo può scivolare verso il basso sulle due superfici di discontinuità lungo la loro linea di intersezione, oppure su una sola delle due discontinuità lungo la sua direzione di massima pendenza.

Lo scivolamento su due discontinuità è il caso più frequente di cedimento di un cuneo. L'analisi cinematica di un cuneo che scivola sulle due superfici che lo delimitano si basa sullo studio dell'orientazione della linea intersezione di queste due superfici. Analogamente a quanto già visto per lo scivolamento su un piano, per avere scivolamento di un cuneo su due discontinuità bisogna che:

1) la linea di intersezione tra le due superfici di discontinuità sia sufficientemente inclinata, cioè sia inclinata di un angolo maggiore dell'angolo di attrito φ;
2) la linea di intersezione immerga nella direzione del versante e abbia un'inclinazione minore dell'inclinazione del versante, cioè che "venga a giorno" sul versante.

La Figura 33 sintetizza in proiezione stereografiche le condizioni che si devono verificare per si possa avere lo scivolamento di un cuneo.

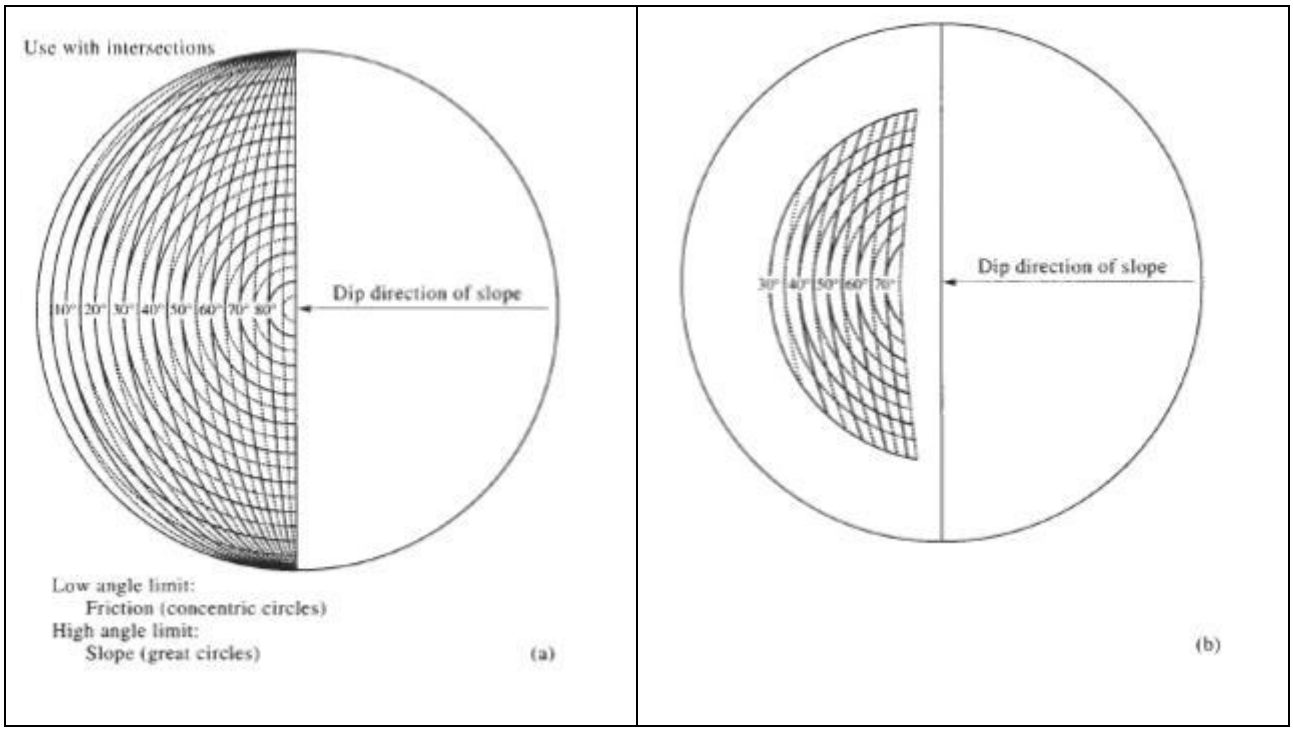


Figura 34: Definizione della zona di instabilità per l'analisi cinematica di scivolamento di un cuneo.

7.1.3 Ribaltamento flessionale

Il ribaltamento flessionale si verifica quando un sistema di discontinuità subverticale separa in modo continuo lastre di roccia che, se sollecitate dalla parte di monte, o facilitate dall'effetto del peso proprio nel caso di leggera inclinazione a reggipoggio delle discontinuità, tendono a flettere fino a raggiungere le condizioni di rottura. In questo caso, sono spesso osservabili accumuli detritici nella parte inferiore

del pendio che derivano dal distacco dalle porzioni sovrastanti del pendio e che rendono più problematico il riconoscimento del tipo di cinematismo già di per sé poco visibile dato che il sistema di discontinuità sul quale avviene è subparallelo al pendio.

Le condizioni affinché possa verificarsi il ribaltamento flessionale vengono generalmente ricavate sulla base di alcune assunzioni semplificative che partono dal presupposto che il ribaltamento inizi da un movimento di scorrimento che si sviluppa lungo le discontinuità nella direzione di immersione. Assumendo che lo sforzo principale sia parallelo al versante la condizione perché si abbia scorrimento è (Figura 34):

$\beta \geq \varphi+(90-\Psi)$,

dove ψ è l'inclinazione della discontinuità, φ l'angolo d'attrito lungo la discontinuità e β l'inclinazione del pendio.

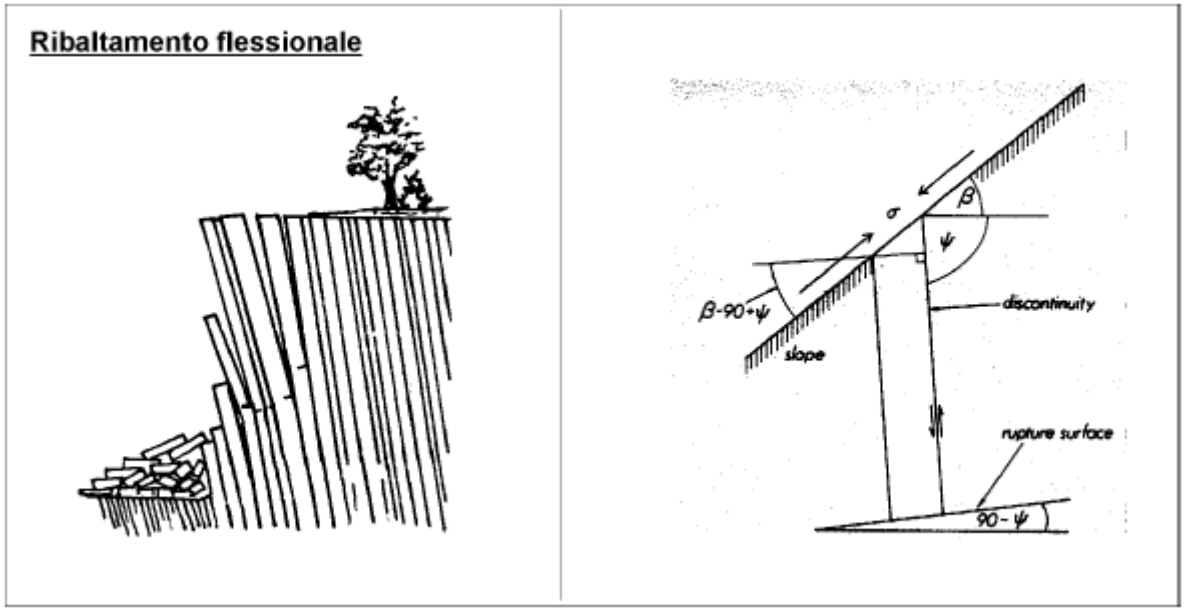


Figura 35: *Schema esemplificativo e sezione longitudinale di un caso di ribaltamento flessionale (da Giani 1988; Cruden, 1989).*

Siccome l'equazione che descrive la condizione di scorrimento sul giunto include solamente angoli, può agevolmente essere rappresentata graficamente in uno stereodiagramma che include i poli delle discontinuità e la ciclografica del versante. Secondo il metodo proposto da Hudson & Harrison (1997), inoltre, la direzione di immersione del piano di movimento dovrebbe giacere entro un intervallo di ± 20° rispetto alla direzione di immersione del versante. Quest'ultimo rappresenta un criterio empirico derivante dall'osservazione di casi reali e il range può anche essere cautelativamente esteso (Cruden, 1989; Goodman, 1980).

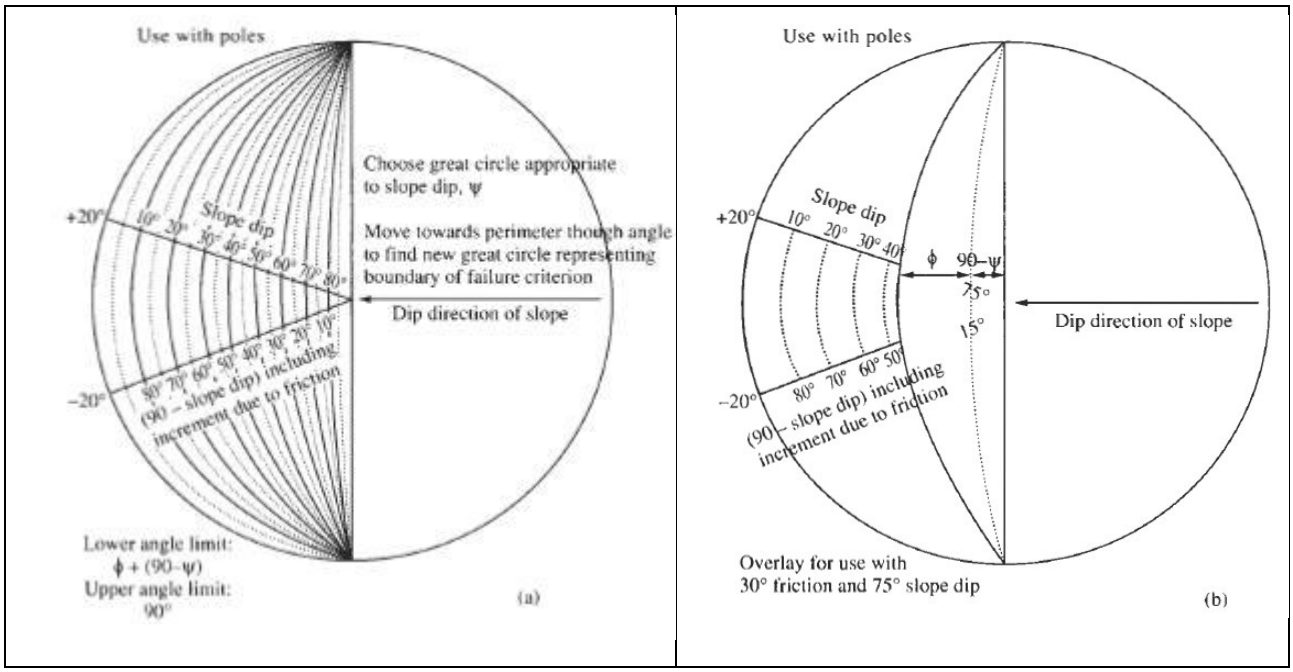


Figura 36: Definizione della zona di instabilità per l'analisi cinematica di ribaltamento flessionale.

7.1.4 Ribaltamento a blocchi

Il ribaltamento a blocchi o ribaltamento diretto avviene quando singole colonne o lastre di roccia sono separate da giunti ortogonali ai piani che le separano. La spaziatura delle discontinuità ad alto angolo che immergono all'interno del pendio deve essere minore o uguale a quella delle discontinuità suborizzontali affinché i blocchi esercitino una spinta diretta verso valle. Generalmente le colonne che costituiscono il piede del pendio hanno altezza minore di quelle della parte alta. Queste ultime tendono a ribaltare e, con la loro spinta, inducono lo scivolamento dei blocchi frontali; il fenomeno procede così verso monte partendo dal piede (Giani, 1989).

La verifica cinematica della possibilità del ribaltamento a blocchi (Figura 36) deve soddisfare due criteri che si riferiscono al solo assetto strutturale del versante in relazione alla sua inclinazione senza considerare il contributo della resistenza. Le due condizioni (Hudson & Harrison, 1997) sono (vedasi Figura 37):

1. debbono esistere due set di discontinuità piani la cui intersezione immerga verso l'interno del versante in modo da produrre le colonne di roccia;

2. deve esistere un set di discontinuità che costituisca la base dei blocchi ribaltanti. Le discontinuità basali delle colonne/blocchi ribaltanti possono avere immersione a franapoggio favorendo così il movimento ma ciò non costituisce necessariamente una limitazione.

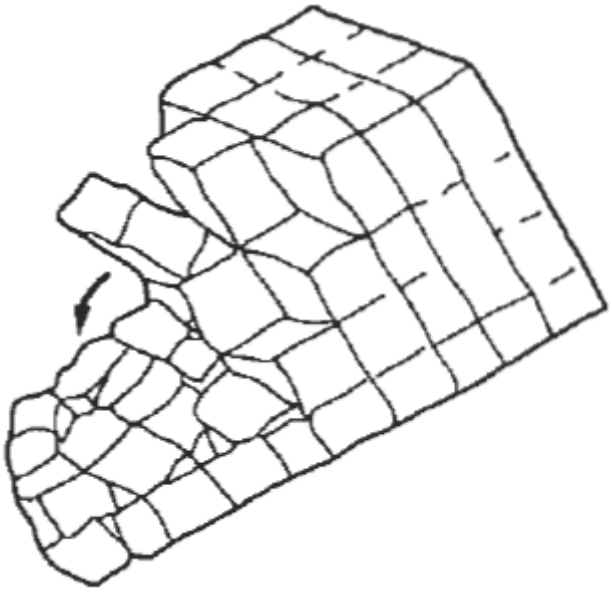


Figura 37: Ribaltamento diretto.

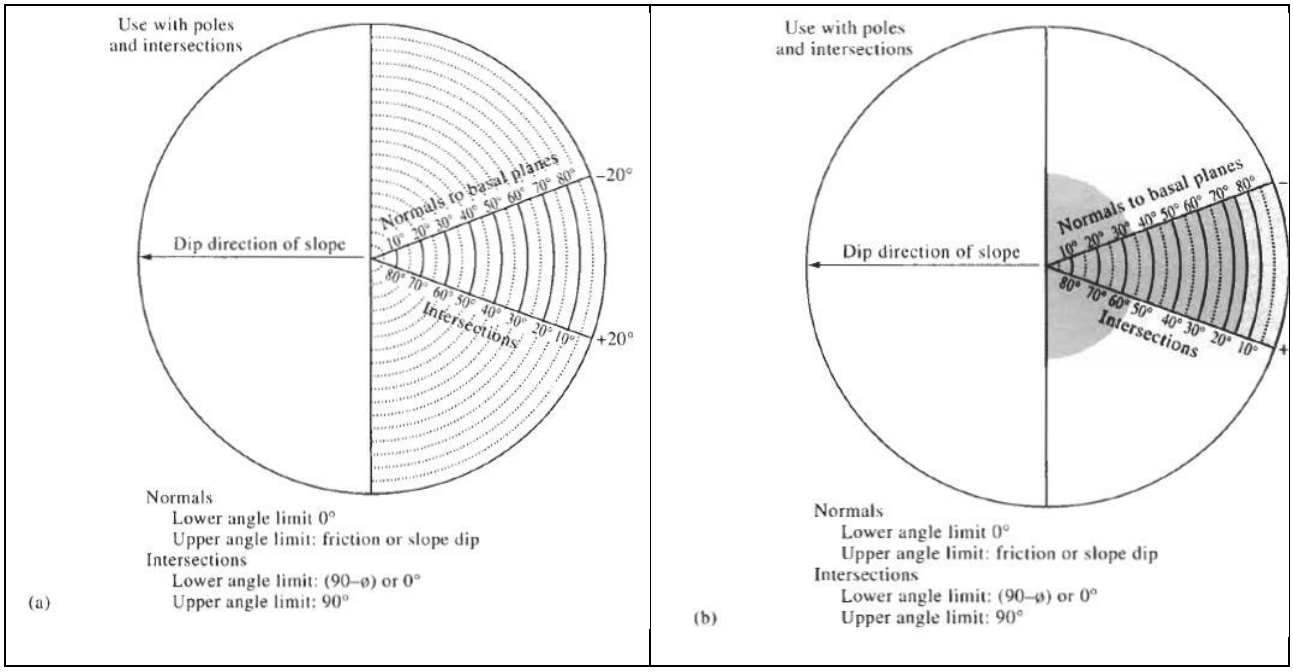


Figura 38: Costruzione dello stereodiagramma per la verifica della possibilità cinematica di ribaltamento a blocchi (da Hudson & Harrison, 1993).

7.2 Analisi cinematica del pendio

Le analisi cinematiche di stabilità sono state sviluppate considerando l'insieme di tutte le discontinuità rilevate nelle varie stazioni geomeccaniche e considerando l'orientazione delle pareti rocciose rappresentative delle varie porzioni del pendio.

Le sezioni di verifica, da un punto di vista topografico, sono realizzate sulla base del rilievo topografico di dettaglio del versante eseguito con le modalità sopra descritte.

Orientazione parete rocciosa		
Parete SG1	**Parete SG2-1**	**Parete SG2-2**
Immersione / inclinazione	Immersione / inclinazione	Immersione / inclinazione
140/85*	120/85*	190/85*

**giacitura e inclinazione media delle pareti rocciose*

Di seguito si riportano i risultati delle analisi cinematiche ottenute utilizzando il software Dips della Rocscience assumendo un angolo d'attrito φ'=30°. In Figura 39 si riportano i valori di angolo di attrito tipici proposti da Barton e Choubey (1977), per rocce sedimentarie tipo "sandstone", "shale" e "siltstone" variano da 26° a 35°.

A. Sedimentary Rocks

Sandstone	Dry	26—35	Patton, 1966
Sandstone	Wet	25—33	Patton, 1966
Sandstone	Wet	29	Ripley & Lee, 1962
Sandstone	Dry	31—33	Krsmanović, 1967
Sandstone	Dry	32—34	Coulson, 1972
Sandstone	Wet	31—34	Coulson, 1972
Sandstone	Wet	33	Richards, 1975
Shale	Wet	27	Ripley & Lee, 1962
Siltstone	Wet	31	Ripley & Lee, 1962
Siltstone	Dry	31—33	Coulson, 1972
Siltstone	Wet	27—31	Coulson, 1972
Conglomerate	Dry	35	Krsmanović, 1967
Chalk	Wet	30	Hutchinson, 1972
Limestone	Dry	31—37	Coulson, 1972
Limestone	Wet	27—35	Coulson, 1972

B. Igneous Rocks

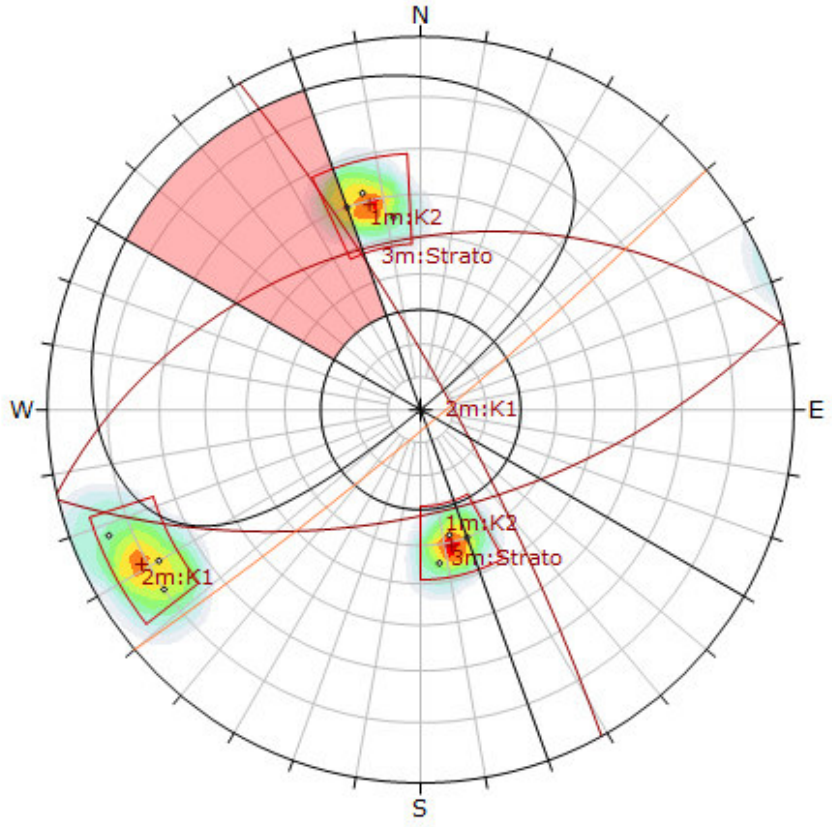
Basalt	Dry	35—38	Coulson, 1972
Basalt	Wet	31—36	Coulson, 1972
Fine-grained granite	Dry	31—35	Coulson, 1972
Fine-grained granite	Wet	29—31	Coulson, 1972
Coarse-grained granite	Dry	31—35	Coulson, 1972
Coarse-grained granite	Wet	31—33	Coulson, 1972
Porphyry	Dry	31	Barton, 1971b
Porphyry	Wet	31	Barton, 1971b
Dolerite	Dry	36	Richards, 1975
Dolerite	Wet	32	Richards, 1975

C. Metamorphic Rocks

Amphibolite	Dry	32	Wallace et al., 1970
Gneiss	Dry	26—29	Coulson, 1972
Gneiss	Wet	23—26	Coulson, 1972
Slate	Dry	25—30	Barton, 1971b
Slate	Dry	30	Richards, 1975
Slate	Wet	21	Richards, 1975

Figura 39: *Valori tipici dell'angolo di attrito (Barton e Choubey, 1977).*

7.2.1 Parete SG1 - Scivolamento in condizioni piane



Symbol	Feature
◆	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	29.93%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

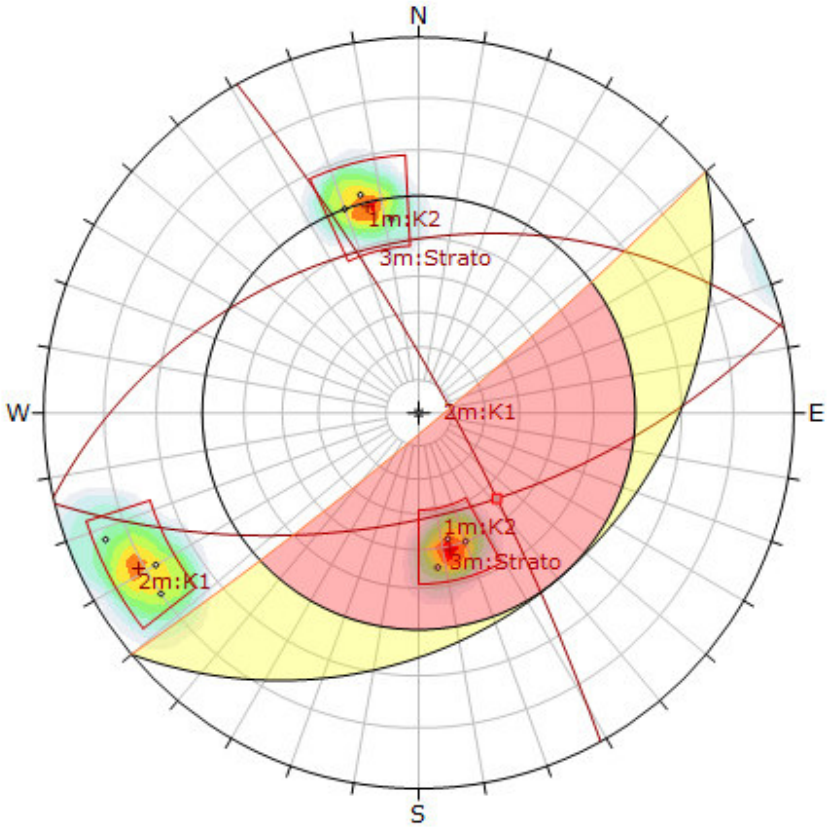
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	140
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	1	9	11.11%
Planar Sliding (Set 1: K2)	1	3	33.33%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		59	166	K2
2m		81	61	K1
3m		41	347	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.2 Parete SG1 - Scivolamento di un cuneo



Symbol	Feature
◆	Pole Vectors
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	29.93%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

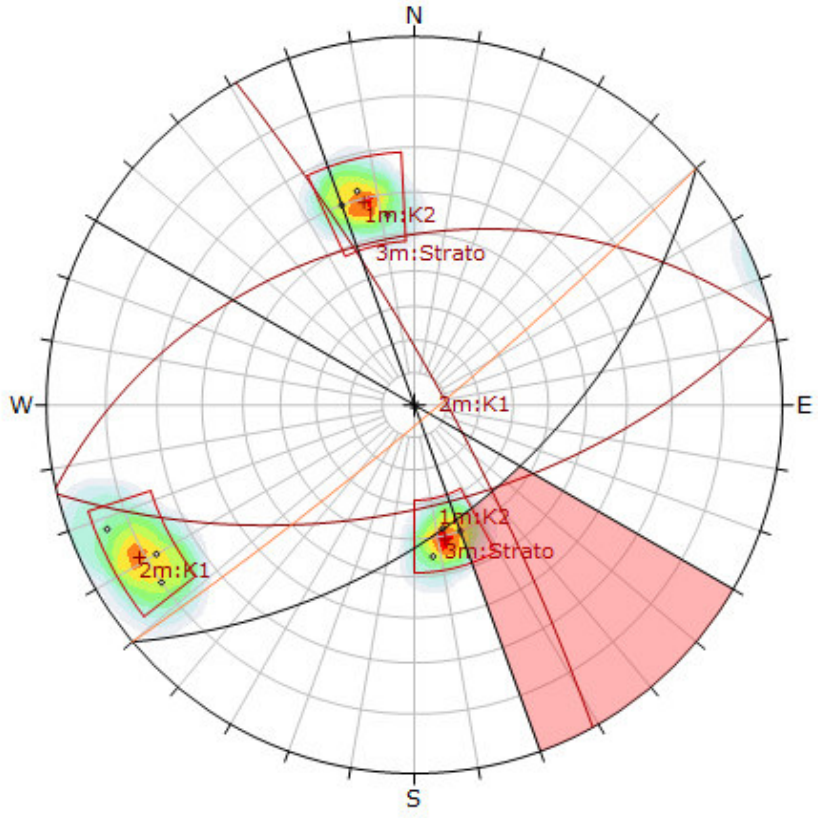
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	140
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1	3	33.33%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		59	166	K2
2m		81	61	K1
3m		41	347	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Intersection Mode	Mean Set Planes
Intersections Count	3
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.3 Parete SG1 - Ribaltamento flessionale



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	29.93%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

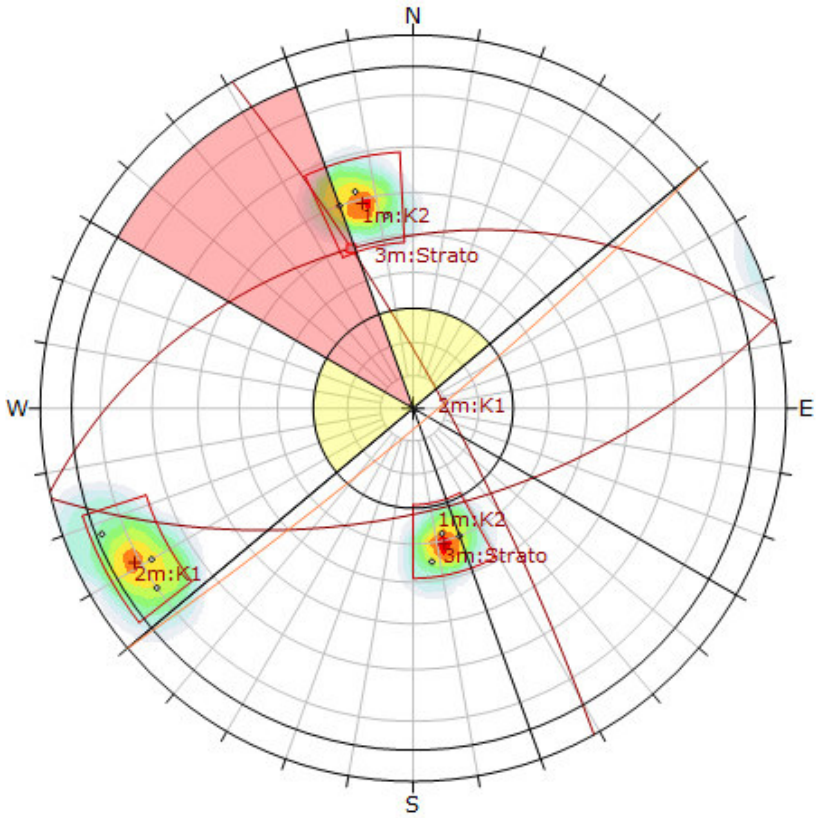
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	140
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	1	9	11.11%
Flexural Toppling (Set 3: Strato)	1	3	33.33%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		59	166	K2
2m		81	61	K1
3m		41	347	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.4 Parete SG1 - Ribaltamento a blocchi



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors
▢	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	29.93%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

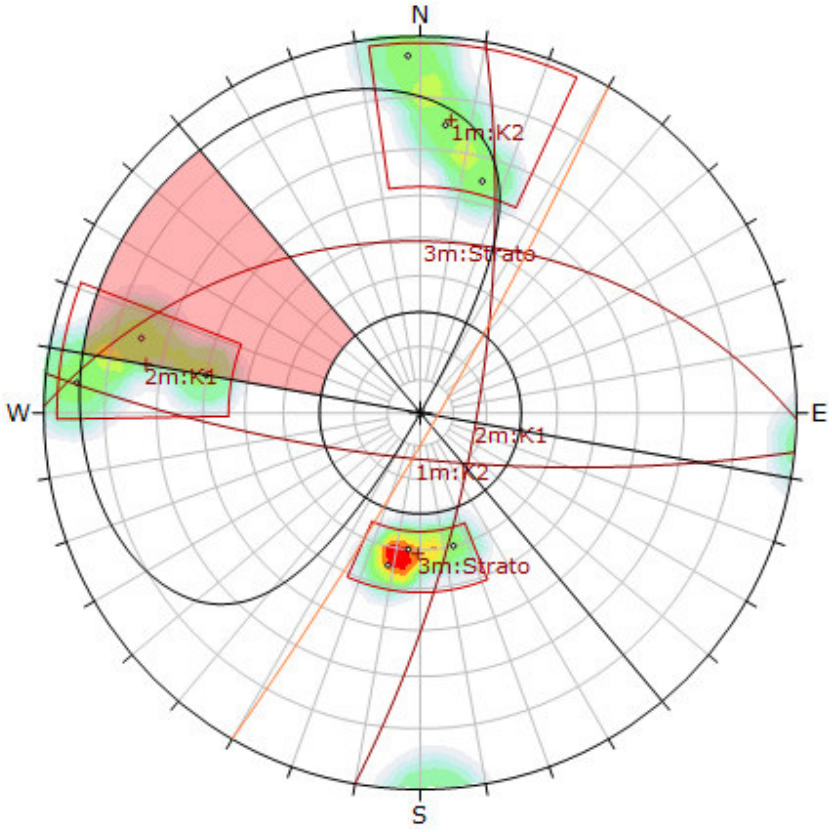
Kinematic Analysis	Direct Toppling
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	140
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	1	3	33.33%
Oblique Toppling (Intersection)	0	3	0.00%
Base Plane (All)	1	9	11.11%
Base Plane (Set 1: K2)	1	3	33.33%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		59	166	K2
2m		81	61	K1
3m		41	347	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Intersection Mode	Mean Set Planes
Intersections Count	3
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.5 Parete SG2-1 - Scivolamento in condizioni piane



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

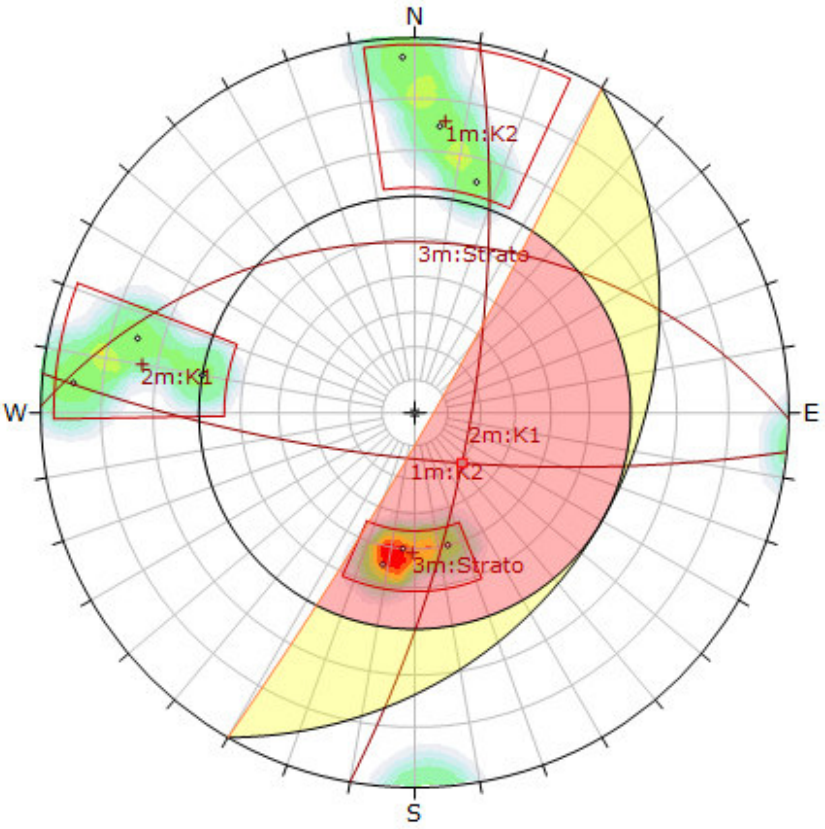
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	120
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	2	9	22.22%
Planar Sliding (Set 2: K1)	2	3	66.67%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	186	K2
2m		73	100	K1
3m		41	1	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.6 Parete SG2-1 - Scivolamento di un cuneo



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors
▢	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

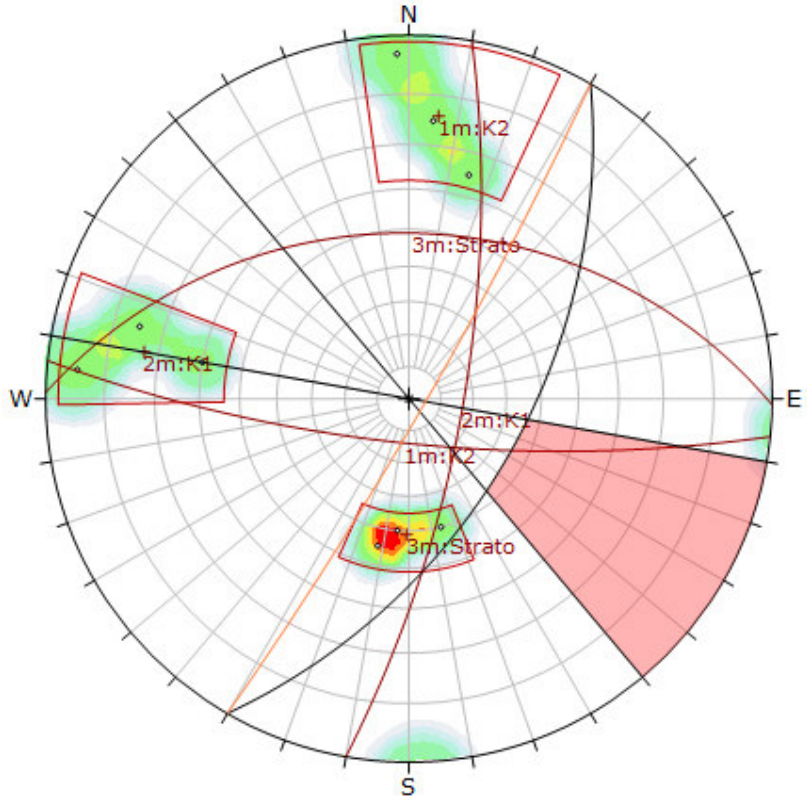
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	120
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1	3	33.33%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	186	K2
2m		73	100	K1
3m		41	1	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Intersection Mode	Mean Set Planes
Intersections Count	3
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.7 Parete SG2-1 - Ribaltamento flessionale



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

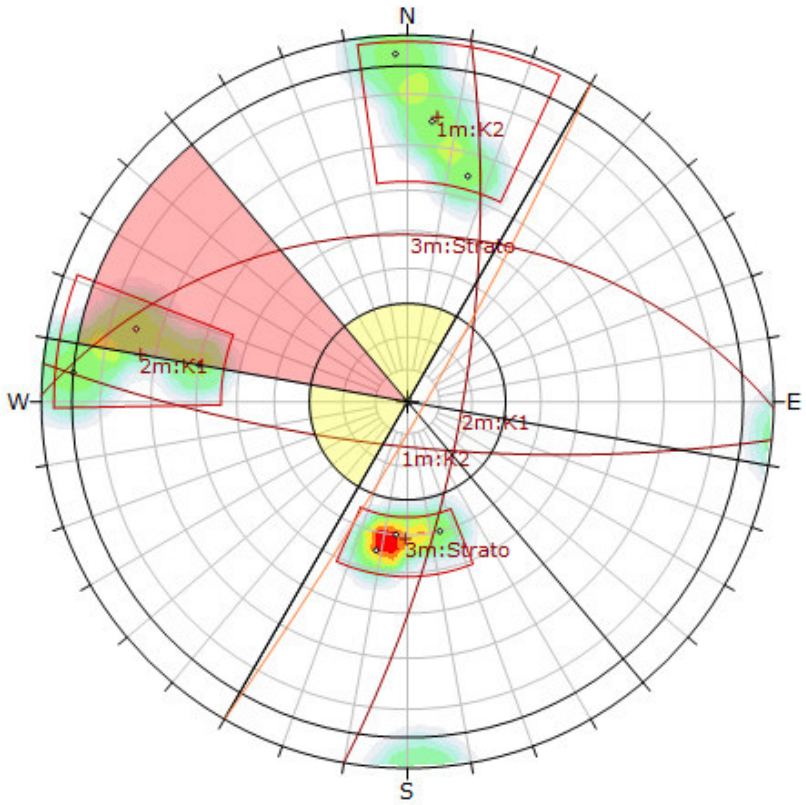
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	120
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	9	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	186	K2
2m		73	100	K1
3m		41	1	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.8 Parete SG2-1 - Ribaltamento a blocchi



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors
▭	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

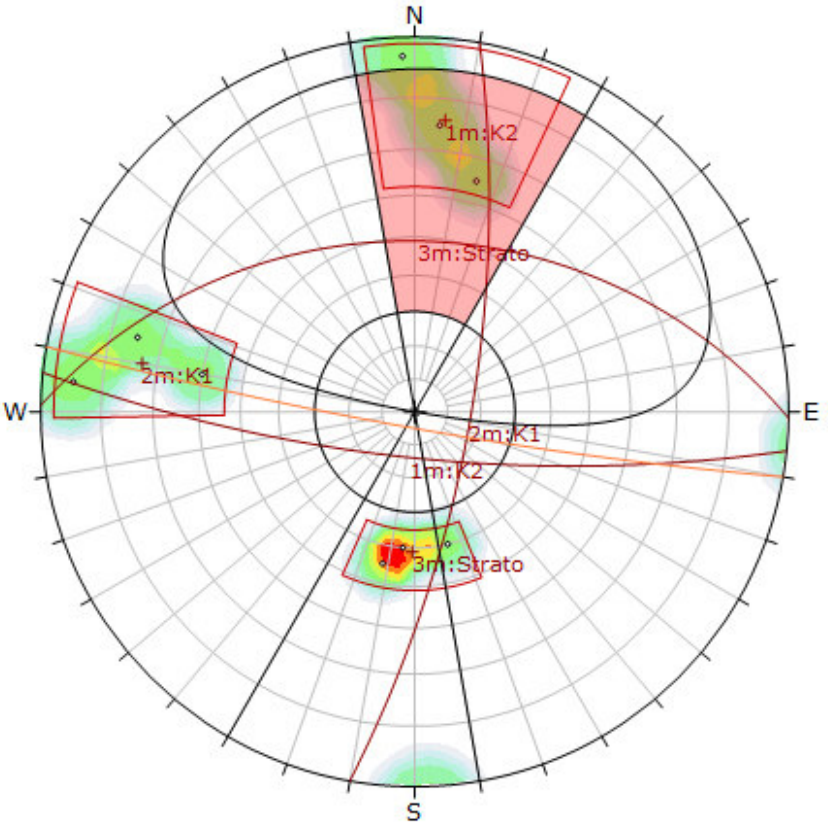
Kinematic Analysis	Direct Toppling
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	120
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	0	3	0.00%
Oblique Toppling (Intersection)	0	3	0.00%
Base Plane (All)	2	9	22.22%
Base Plane (Set 2: K1)	2	3	66.67%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	186	K2
2m		73	100	K1
3m		41	1	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Intersection Mode	Mean Set Planes
Intersections Count	3
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.9 Parete SG2-2 - Scivolamento in condizioni piane



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

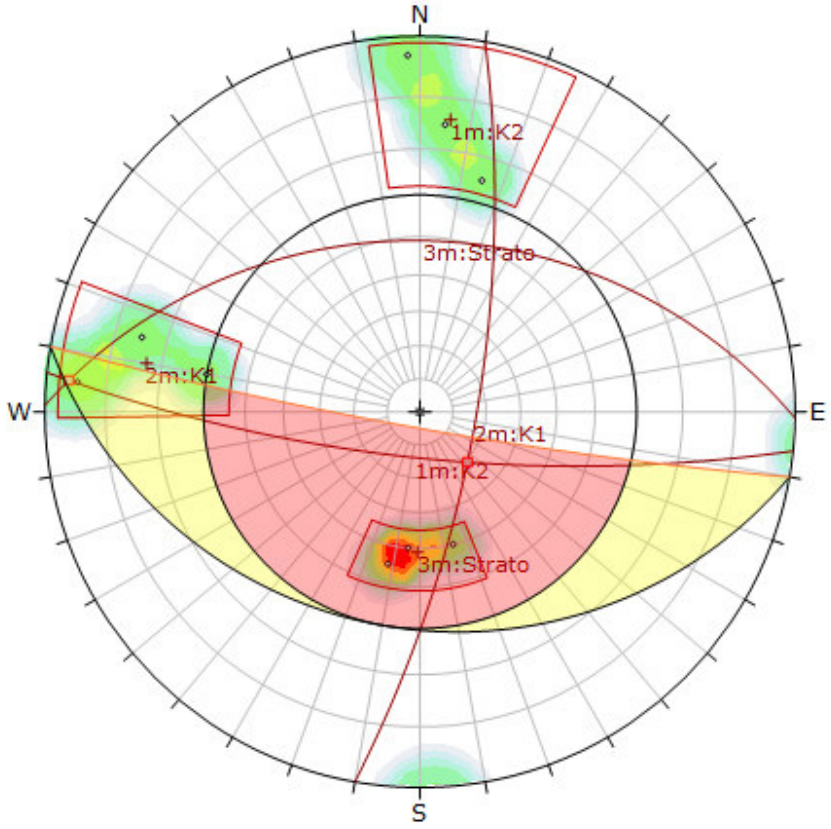
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	190
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	2	9	22.22%
Planar Sliding (Set 1: K2)	2	3	66.67%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	186	K2
2m		73	100	K1
3m		41	1	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.10 Parete SG2-2 - Scivolamento di un cuneo



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors
□	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

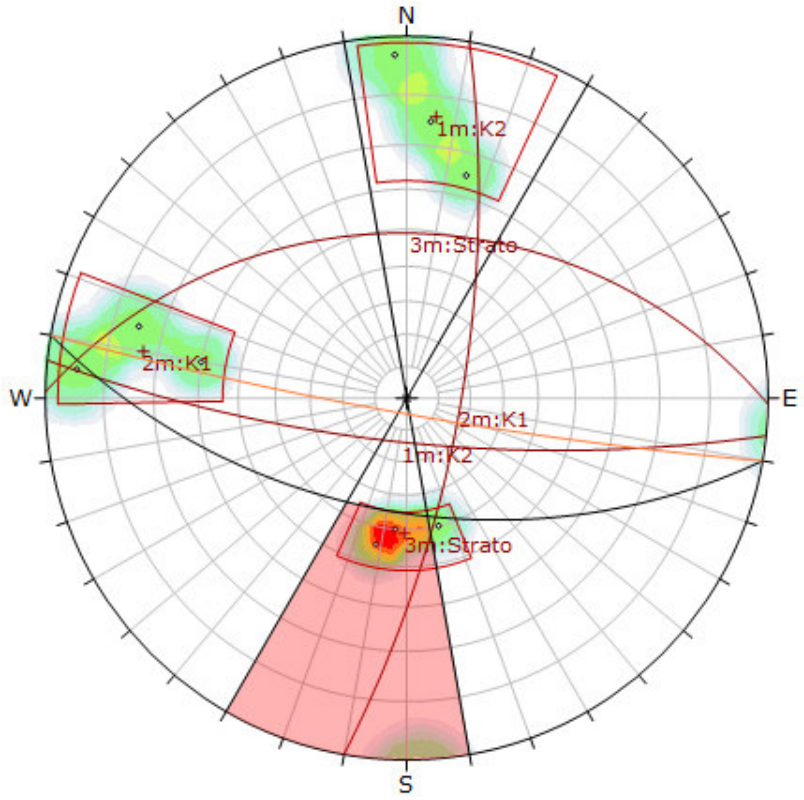
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	190
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	2	3	66.67%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	186	K2
2m		73	100	K1
3m		41	1	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Intersection Mode	Mean Set Planes
Intersections Count	3
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.11 Parete SG2-2 - Ribaltamento flessionale



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

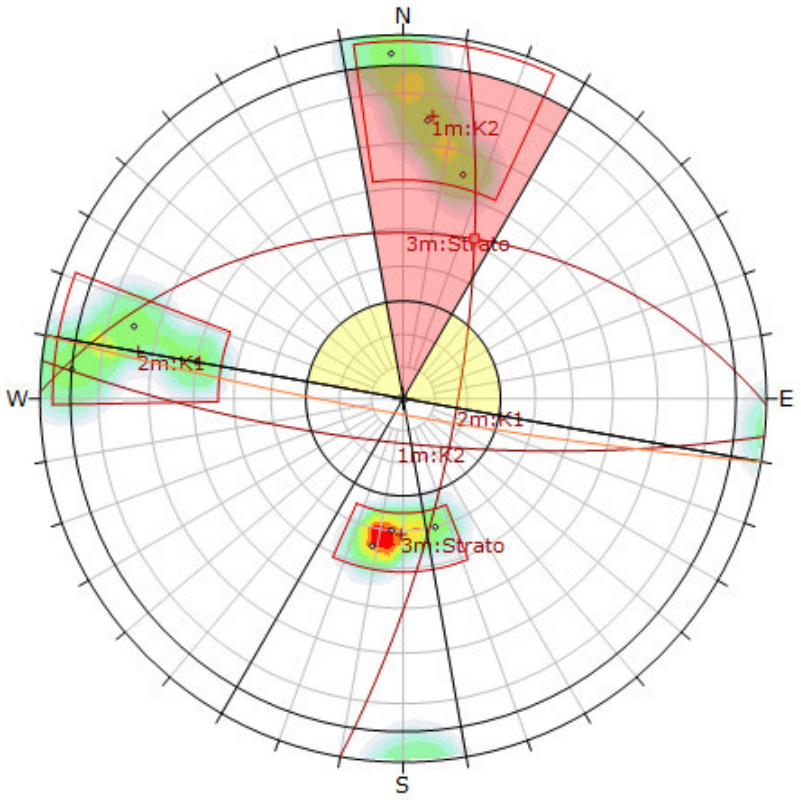
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	190
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	2	9	22.22%
Flexural Toppling (Set 3: Strato)	2	3	66.67%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	186	K2
2m		73	100	K1
3m		41	1	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.2.12 Parete SG2-2 - Ribaltamento a blocchi



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors
□	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.69%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Direct Toppling
Slope Dip	85
Slope Dip Direction	190
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	1	3	33.33%
Oblique Toppling (Intersection)	0	3	0.00%
Base Plane (All)	2	9	22.22%
Base Plane (Set 1: K2)	2	3	66.67%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		76	186	K2
2m		73	100	K1
3m		41	1	Strato

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Intersection Mode	Mean Set Planes
Intersections Count	3
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

7.3 Sintesi analisi cinematiche

Nelle figure seguenti sono sintetizzati i risultati delle analisi cinematiche in termini di possibili dinamiche e relativa probabilità. Dall'esame dei diagrammi risultano possibili sia scivolamenti piani, a cuneo e fenomeni di ribaltamento.

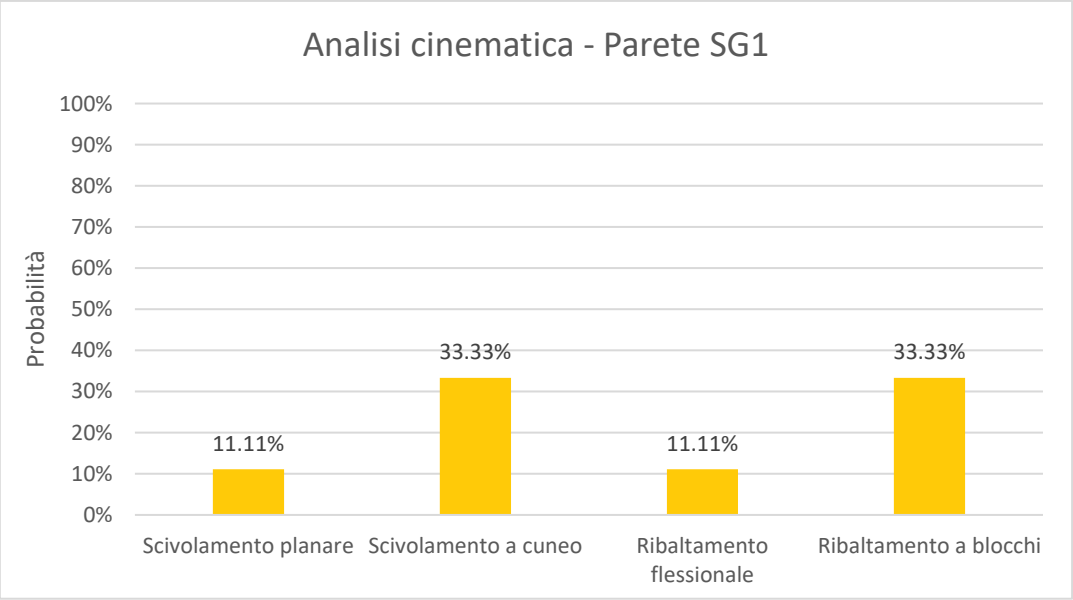


Figura 40: *Probabilità di accadimento dei possibili cinematismi – Parete SG1.*

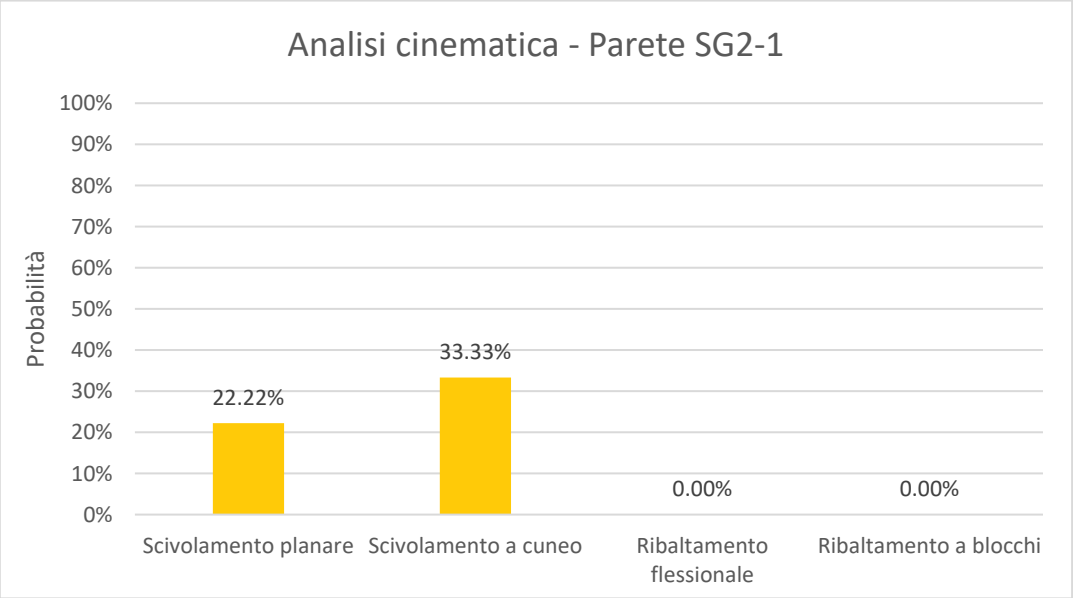


Figura 41: *Probabilità di accadimento dei possibili cinematismi – Parete SG2-1.*

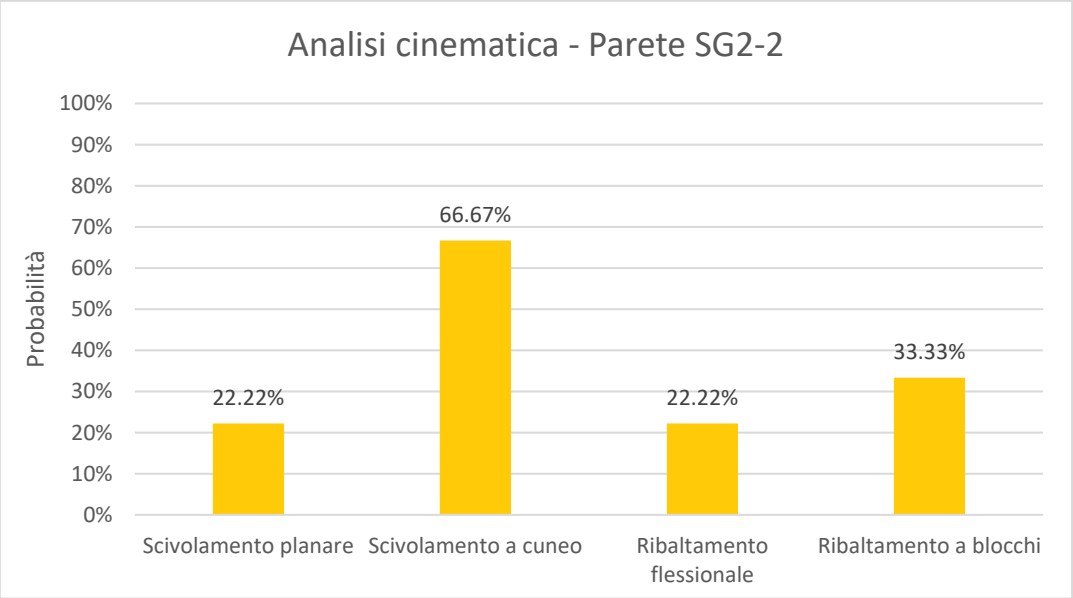


Figura 42: *Probabilità di accadimento dei possibili cinematismi – Parete SG2-2.*

E' da osservare che il ribaltamento a blocchi di Figura 43a si riscontra più spesso in rocce suddivise in blocchi da giunti di strato o in presenza di discontinuità sistematiche ben sviluppate.

Il ribaltamento flessionale Figura 41b ha luogo quando l'ammasso è suddiviso in lastre sottili da una famiglia di giunti ravvicinati immergenti verso monte. Lo stato di sforzo da luogo all'inflessione delle lastre, nelle quali insorgono tensioni di trazione che ne possono provocare la rottura ad una certa profondità.

Nel caso in esame la condizione di discontinuità sistematiche ben sviluppate è verificata per cui il meccanismo di ribaltamento è possibile.

Nonostante il ribaltamento flessionale risulti, in base all'analisi grafica, probabile nelle porzioni di versante considerate, la possibilità che avvenga risulta piuttosto bassa perché le lastre di roccia intatta hanno continuità verticale limitata dalla presenza della stratificazione.

Risulta invece possibile il ribaltamento a blocchi in quanto la presenza di discontinuità a franapoggio e la presenza di discontinuità immergenti verso monte (K2) favorisce la formazione di blocchi di roccia potenzialmente instabili.

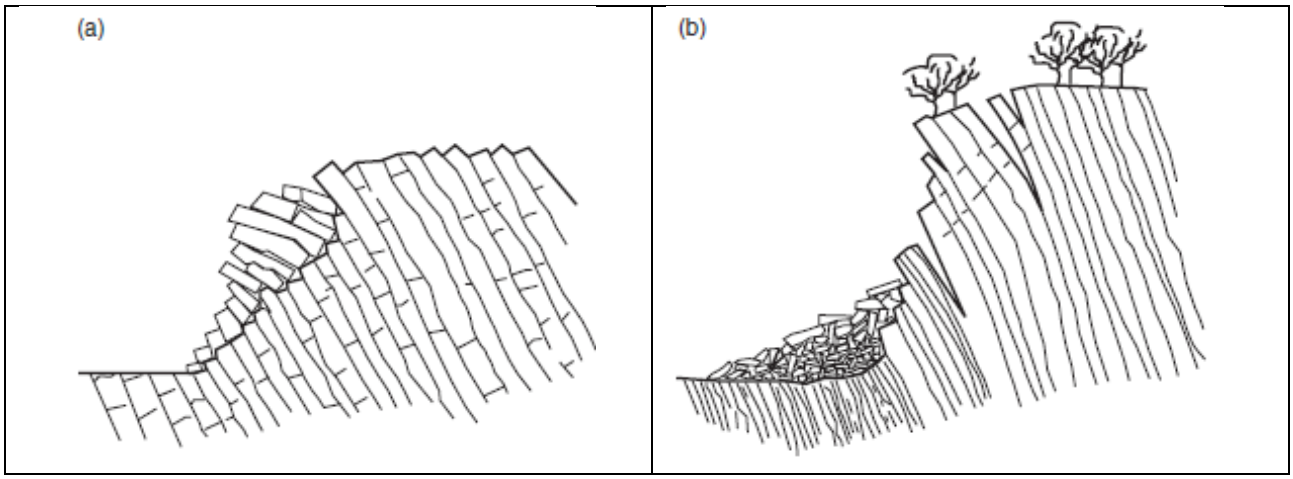


Figura 43: Tipi di ribaltamento.

Lo scivolamento planare, come si evince dall'analisi eseguita, risulta probabile in quanto esiste la presenza di un sistema di discontinuità a franapoggio (Strato e K1, a seconda dell'orientazione della parete) meno inclinato del versante, ma comunque ad alto angolo.

Dall'esame dell'andamento delle linee di intersezione delle discontinuità rilevate esiste anche la possibilità che si possano produrre scivolamenti di cunei tridimensionali di forma tetraedrica delimitati dalle famiglie K1 e K2.

8. PROPENSIONE AL DISSESTO

Riprendendo il concetto di rischio come esposto al **Cap.5** (R = P x D), e alla luce delle analisi cinematiche svolte sulla base dei rilievi geomeccanici, a ciascuno dei settori omogenei in termini di elementi predisponenti al dissesto è stato assegnato un grado di propensione al dissesto, su una scala che va da 1 (alta) a 3 (bassa). Vengono ritenuti di priorità 1 le situazioni che possono, direttamente o indirettamente, portare a interazioni negative con l'immobile di proprietà e le sue pertinenze, nonché con la rete sentieristica principale (più frequentata). Sono al contrario interventi di priorità 3 quelli che hanno scopo preventivo, a protezione di terreni e non di fabbricati. Ne deriva pertanto, consecutivamente, una scala di **priorità di intervento**.

Con riferimento quindi ai settori descritti al **Cap.5**, viene di seguito sintetizzata in forma tabulare la propensione al dissesto degli stessi, da cu è possibile desumere una priorità di intervento.

Si rimanda all'elaborato **DIS-02** "Cara della propensione al dissesto", per maggiori dettagli.

SETTORE	GRADO DI PROPEENSIONE AL DISSESTO	ELEMENTI ESPOSTII (DANNO)	GRADO DI PRIORITA'	ESTENSIONE
1-2	ALTO	FABBRICATI	1	370 mq
3	ALTO	FABBRICATI	1	450 mq
4	ALTO	FABBRICATI	1	100 mq
5-6	MEDIO	TERRENI	2	150+290 mq
7	MEDIO	TERRENI	2	13 ml
8	MEDIO	TERRENI	2	500 mq
9	BASSO	TERRENI	3	



Figura 44: *Estratto della Carta della suscettività al dissesto*

9. INDIRIZZI ALLA PROGETTAZIONE

Definita la priorità degli interventi nei rispettivi settori, nel seguente capitolo vengono definiti gli interventi ritenuti adeguati in rapporto alle condizioni al contorno ed alla finalità.

9.1 Scelte progettuali

Il rilievo delle aree, unitamente alla morfologia del pendio e alle difficoltà di accesso ha fatto propendere per interventi di disgaggio, rafforzamento corticale, soil nailing, rifacimento e/o consolidamento di sentieri, passerelle e muretti a secco mediante opere di ingegneria naturalistica.

Sono state valutate alternative progettuali sotto il profilo tecnico-economico e temporale, come brevemente riassunto di seguito:

Int.1-2: alternativamente al disgaggio del volume di 50mc, è ipotizzabile una stabilizzazione, che richiederebbe la realizzazione di ancoraggi lateralmente al volume e la cucitura mediante funi del masso, ad imbragarlo. Ciò per evitare perforazioni dirette sul volume instabile che ne provocherebbero la rottura. L'operazione comporta vibrazioni che potrebbero destabilizzarlo, mettendo a repentaglio anche l'incolumità degli operatori. I costi sarebbero superiori di un ordine di grandezza. Il vantaggio sarebbe l preservazione di un lembo di versante, che resterebbe comunque alterato paesaggisticamente dell'intervento. Altrove l'unica alternativa potrebbe riguardare la realizzazione di

contrafforti in cemento armato, che sarebbero alluvionati costantemente, e dovrebbero fondare sulle scogliere sottostanti, con tutte le problematiche tecniche e logistiche del caso. L'impatto ambientale sarebbe considerevole e i costi maggiori.

Int.3: alternativamente al soil-nailing è ipotizzabile un intervento con opere di ingegneria naturalistica (arce, palizzate, piantumazioni, ecc.), con il vantaggio di prediligere materiali naturali e di ridurre i costi, ma la cui efficacia non è paragonabile né in termini temporali (rapido degrado dei materiali) né in termini tecnici (si tratterebbe di opere a gravità, e non ancorate in profondità).

Int.4: in parete l'unica alternativa è non intervenire, o agire con reti/chiodi di tipo differente. Riguardo alla passerella, assodato che non risulta percorribile ricavare a monte mediante sterri e riporti un sentiero, si renderebbe necessario ricostruire il versante franato, con tutte le problematiche tecniche e logistiche del caso, o creare una via ferrata mediante funi e staffe d'acciaio, opera non percorribile in sicurezza senza adeguato equipaggiamento. In relazione alle prescrizioni degli enti piuttosto che ai gusti della committenza, può essere valutato un diverso materiale per la realizzazione della passerella.

Int.5-6: risulta difficile ipotizzare interventi alternativi, se non diverse configurazioni di ancoraggi e reti, che sono però correlati all'efficacia e la verifica statica dell'intervento.

Int.7: un'alternativa può essere il consolidamento del muro esistente, che andrebbe realizzato mediante chiodatura e, considerata l'inconsistenza dell'opera, una rete/spritz-beton di ricoprimento, con aggravio di costi e impatto paesaggistico notevole. In alternativa è valutabile l'elevazione di un muro in CA (invece che in massi) con paramento anteriore rivestito di massi. In tal caso le barre di fondazione verrebbero inglobate nell'elevazione.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle varie tipologie di intervento individuate e del grado di priorità attribuito.

GRADO PRIORITA'	DISSESTO	INT.	INTERVENTO PROPOSTO	QUANTITA'
1	Crolli in roccia di volumetrie unitarie comprese tra 1 e 10 mc, presenza di sperone pericolante, propensione alla retrogressione.	1	Disgaggio volume pericolante	50 mc
1		2	Disgaggio leggero, rafforzamento corticale, rinforzo sommitale (parte aggettante) mediante pannelli in fune e chiodature integrative	370 mq
1	Creep di versante in evoluzione, con evidenze di assestamenti e piccoli franamenti superficiali, propensione alla retrogressione	3	Soil nailing mediante rete a doppia torsione e antierosivo	450 mq

	(strutture secondarie già danneggiate)			
1	Crolli in roccia di volumetrie unitarie comprese tra 1 e 2 mc, piccoli franamenti superficiali in detrito, propensione alla retrogressione	4	Disgaggio leggero, rafforzamento corticale. Realizzazione passerella pedonale per il ripristino del tratto di sentiero interrotto	100 mq+ 10 ml passerella
2	Crolli in roccia di volumetrie unitarie comprese tra 1 e 6 mc	5	Disgaggio leggero, rafforzamento corticale	150 mq
2		6	Disgaggio leggero, rafforzamento corticale	290 mq
2	Dissesto superficiale in presenza di terreni spingenti e strutture non adeguate, muro pericolante	7	Rifacimento muro a secco (h=1.8m) ammalorato (completa ricostruzione) previa realizzazione di cordolo in cls fondato su ancoraggi	13 ml
2	Creep di versante in evoluzione, con evidenze di assestamenti e piccoli franamenti superficiali, propensione alla retrogressione (strutture secondarie già danneggiate)	8	Rifacimento e/o consolidamento di sentieri e muretti a secco mediante opere di ingegneria naturalistica, razionalizzazione rete di scolo delle acque, taglio piante selettivo	500 mq

9.1.1 Disgaggio - Interventi 1, 2, 4, 5 e 6

Con tale azione si intende prevedere la rimozione ed allontanamento sia di una porzione rocciosa instabile considerevole, ma anche delle parti o frammenti di roccia a rischio di distacco e caduta più superficiali. Le operazioni saranno eseguite con attrezzature manuali.

In corrispondenza del volume roccioso pericolante di circa 50 mc (intervento 1), per l'abbattimento, sarà necessario anche l'ausilio di attrezzature idrauliche ad alta pressione quali martinetti ed allargatori.

Le operazioni di disgaggio saranno preliminari alla realizzazione dei rafforzamenti corticali (interventi 1, 2, 4, 5 e 6).

9.1.2 Rafforzamento corticale - Interventi 2, 4, 5 e 6

Gli interventi di rafforzamento corticale saranno eseguiti sui versanti rocciosi mediante l'utilizzo di reti metalliche a doppia torsione o pannelli in fune associate alla chiodatura sistematica delle pareti rocciose, rinforzate con funi. I rivestimenti corticali avranno lo scopo di controllare il distacco di corpi rocciosi instabili, intersecando il potenziale piano di scivolamento.

Tali opere costituiranno gli interventi 2, 4, 5 e 6 e saranno realizzate mediante:

- Posa di rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale 8x10 cm.
- Realizzazione di chiodature in barre di acciaio zincate, lunghezza 6 m e maglia 2 x 2 m ancorate con malte cementizie.
- Rivestimento con funi in acciaio zincato di contenimento disposte a maglia romboidale.

Laddove le volumetrie instabili sono maggiori e sono presenti volumi aggettanti (porzione nord dell'intervento 2) saranno da prevedersi chiodature integrative e l'utilizzo di pannelli in fune al posto della rete metallica a doppia torsione.

9.1.3 Soil Nailing – Intervento 3

Tale intervento sarà eseguito sul pendio a valle dello spigolo sud del fabbricato e sarà funzionale al consolidamento di piccoli franamenti superficiali con indici di retrogressione (Intervento 3).

L'intervento prevederà la posa di una rete metallica a doppia torsione accoppiata con una geostuoia tridimensionale con funzione antierosiva, unitamente alla realizzazione di una maglia di chiodature in barre d'acciaio di lunghezza 6 m e maglia 2 x 2 m ancorate con malte cementizie. L'opera prevederà anche il rinforzo con funi in acciaio zincato di contenimento disposte a maglia romboidale.

9.1.4 Passerella pedonale – Intervento 4

In corrispondenza del franamento che ha coinvolto il sentiero che conduce alla spiaggia sul margine sud della proprietà, al fine di ripristinare il percorso pedonale, si propone di installare una passerella prefabbricata in acciaio adeguatamente fissata.

9.1.5 Rifacimento muro – Intervento 7

Il muro a secco ammalorato e disarticolato che forma l'ultimo terrazzo al di sopra della scogliera sul mare a valle della piscina dovrà essere demolito e successivamente ricostruito. Inoltre visti i cedimenti al piede sarà fondamentale anche realizzare un'adeguata fondazione in c.a. completa di ancoraggi profondi e solo successivamente provvedere alla ricostruzione dell'opera in elevazione.

9.1.6 Consolidamento sentieri – Intervento 8

L'area della piscina e la porzione a valle risulta interessata da diffusi fenomeni di *creep* e cedimenti differenziali, con danni alla struttura e alla rete sentieristica.

In questo settore sarà quindi indispensabile il rifacimento e/o consolidamento dei sentieri e dei muretti a secco presenti mediante opere di ingegneria naturalistica. A completamento, per garantire il mantenimento delle condizioni di stabilità, sarà però essenziale anche adeguare la rete di scolo delle acque meteoriche.

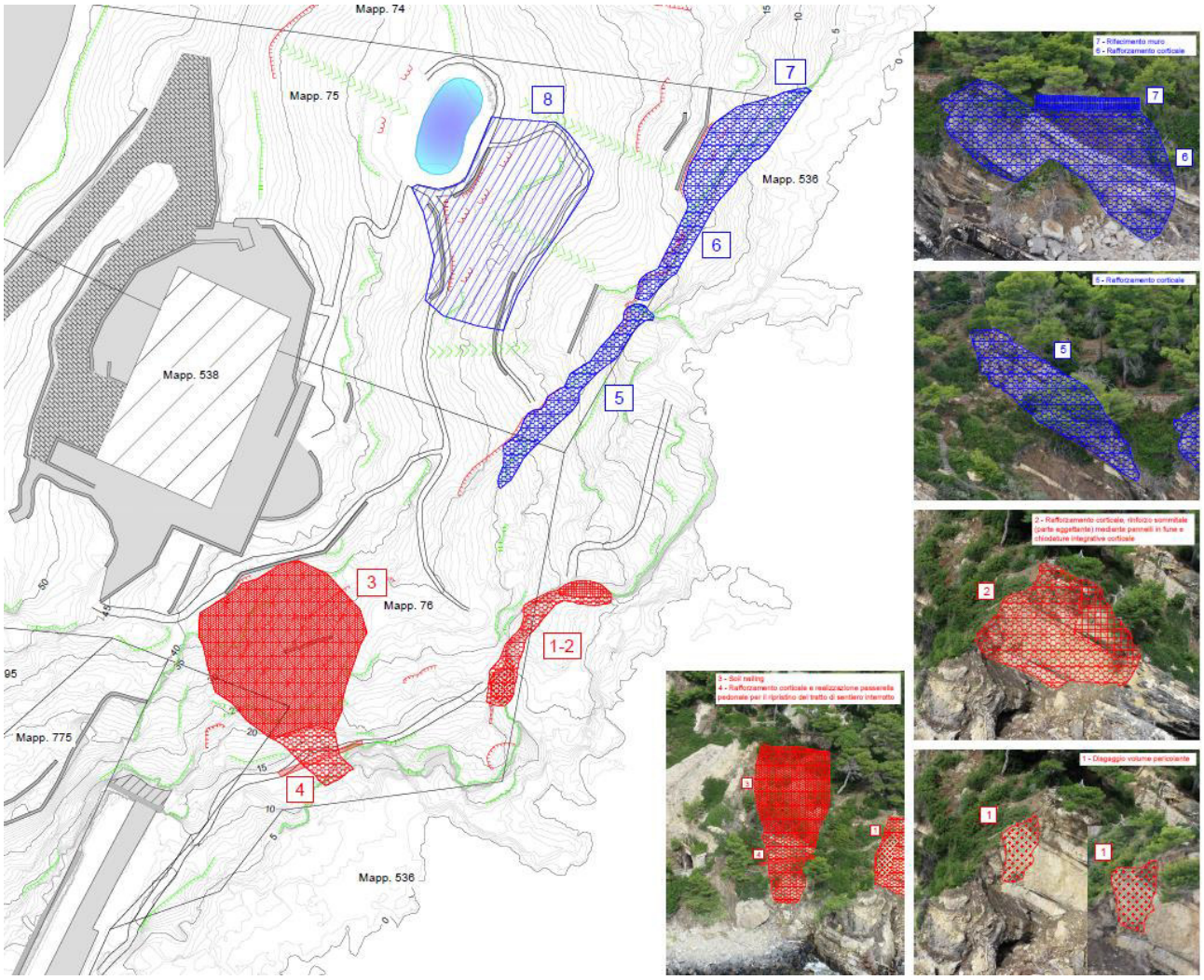


Figura 45: *Estratto della Carta degli indirizzi alla progettazione*

9.2 Cantieramento e sicurezza

Per tutti gli interventi il centramento è previsto va terra, al più con l'ausilio di elitrasporto di materiali per ridurre le tempistiche e l'impatto delle piste provvisorie.

Il disgaggio previsto nell'int.1 può essere eseguito manualmente, previa predisposizione di idonei approntamenti per il lavoro in quota. Per i rivestimenti in rete previsti dagli int. 2,3,4,5,6 sarà necessario portare i rotoli di rete sul ciglio superiore, fissarli e poi stenderli. Si rederà pertanto necessario ricavare degli spiazzi mediante taglio piante selettivo e livellamenti mediante escavatore. In relazione alla logistica, si renderà necessario ricorrere a mini-dumper, motocarriole, argani, paranchi a fune, ecc. oltre eventualmente a qualche rotazione di elicottero. Per la chiodatura in parete sarà invece necessario operare con attrezzature ad aria compressa montate su slitte da parete, opportunamente ancorate.



Figura 46: *Esempio di perforazioni in parete mediante slitta*

Si renderà necessario creare un piano di appoggio anche alla base della parete per garantire una via di fuga in discesa, oltre che in salita, e la possibilità di calare macchinari ed attrezzature. Per questo motivo, e per la posa della passerella prefabbricata di cui all'int.4, si ritiene necessario creare una pista di accesso provvisoria dalla ciclabile fino alla base dell'int.4, o comunque in modo che tale punto sia raggiungibile con lo sbraccio e si riescano a gettare le fondazioni (spalle).

Al fine di ottimizzare le operazioni di cantiere e ricavare delle economie di scala, è consigliabile raggruppare gli interventi dall'1 al 4.

9.3 Iter autorizzativo

Le aree oggetto di intervento non sono soggette a vincoli di interesse architettonico, archeologico, ma ricadono in aree denominate "bellezze di insieme", vincolate paesaggisticamente dall'Art.136 del D.lgs. 42 del 22/01/2004. In particolare, il sito si trova all'interno del territorio costiero compreso in una fascia di 300 m dalla linea di battigia, pertanto gli interventi dovranno essere sottoposti ad Autorizzazione Paesaggistica, quindi dovrà essere redatta unitamente al progetto una Relazione Paesaggistica completa di analisi paesaggistiche ed ambientali.

Il sito oggetto di intervento è esterno alle aree interessate dalla Rete Natura 2000.

Il sito ricade in aree sottoposte a vincolo idrogeologico, gli interventi proposti rientrano in quelli consentiti nell'Art 31 (opere di sostegno e consolidamento dei versanti, disgaggi di massi). Dovranno essere seguite le prescrizioni indicate dal Regolamento delle prescrizioni di massima e di polizia forestale 1/1999 (Art.48 legge regionale n.4 del 1999 e successive modificazioni) per il taglio di alberi e arbusti, la gestione delle acque di scolo, i movimenti terra e i muri a secco. In caso di movimenti terra di modesta rilevanza, inferiori a 100 mc, dovrà essere presentata una Denuncia movimenti terreno di modesta rilevanza ad inizio attività (art. 35 L.R. 4/1999); per movimenti terra maggiori dovrà essere richiesta l'Autorizzazione per movimenti di terreno, mutamento destinazione e trasformazione uso

INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM

boschi e terreni nudi e saldi (art. 36 L.R. 4/1999) a cui dovranno essere allegati tutti gli elaborati progettuali tra cui la Relazione Tecnica, la Relazione geologica, la Relazione Geotecnica, elaborati grafici di progetto, planimetrie, sezioni di dettaglio delle opere di regimazione delle acque.

Dovranno essere messi a conoscenza dell'intervento l'Autorità Portuale competente, per la competenza sulle aree a mare, e l'ente gestore della pista ciclabile lugo l'ex-ferrovia.

I lavori dovranno essere preceduti dal rilascio del permesso di costruire del Comune, previa acquisizione dei pareri.

9.4 Stime economiche

INT.	DESCRIZIONE	QUANTITA'	IIMP.LAVORI	SPESE TECNICHE	IVA 22% (LAVORI +SPESE TECNICHE)	IMPREVISTI, SOMME A DISPOSIZIONE	TOTALE
1	Disgaggio	50 mc	100 000,00 €	10 500,00 €	24 310,00 €	10 000,00 €	144 810,00 €
2	Rafforzamento corticale, rinforzo sommitale in pannelli	370 mq					
3	Soil nailing	450 mq	90 000,00 €	9 000,00 €	21 780,00 €	9 000,00 €	129 780,00 €
4	Rafforzamento corticale, passerella	100 mq+ 10 ml passerella	35 000,00 €	5 000,00 €	8 800,00 €	3 500,00 €	52 300,00 €
5	Rafforzamento corticale	150 mq	90 000,00 €	9 000,00 €	21 780,00 €	9 000,00 €	129 780,00 €
6	Rafforzamento corticale	290 mq					
7	Rifacimento muro	13 ml	20 000,00 €	5 000,00 €	5 280,00 €	3 000,00 €	33 280,00 €
8	Consolidamento di sentieri e muretti a secco, taglio piante	500 mq	50 000,00 €	5 000,00 €	11 880,00 €	5 000,00 €	71 880,00 €

10. CONCLUSIONI

Come riportato in premessa, scopo del presente lavoro è sintetizzare gli approfondimenti svolti su una porzione di versante assoggettata recentemente (a partire da ottobre 2023) a dissesti idrogeologici ed al contorno, al fine di individuare le criticità residue, con particolare riguardo a possibili evoluzioni retrogressive dei fenomeni, con particolare riferimento all'incolumità del Condominio di proprietà e le sue pertinenze.

Nell'ottobre 2023 è stato registrato un dissesto piuttosto superficiale, che ha divelto parte del sentiero che port a mare, a Sud del fabbricato, ed ha coinvolto alcune decine di metri cubi di roccia e detrito.

INFO@IGS-GEO.COM
+39 3409644172
WWW.IGS-GEO.COM

Qualche tempo dopo è stato registrato un ingente crollo a valle dell'edificio, che ha comportato il riversamento a mare di 1300 mc di roccia.

Gli approfondimenti condotti, sia sotto il profilo morfologico che geomeccanico, anche mediante ricorso a sistemi di posizionamento su fune, hanno permesso di localizzare singole instabilità residue e 6 settori omogenei in termini di fattori predisponenti ed assetto geostatico, per i quali, a valle di specifiche modellazioni cinematiche, sono stati proposti gli interventi, fornendo una priorità di intervento. Quest'ultima è stata definita pesando l'entità del potenziale dissesto con gli elementi esposti, direttamente o indirettamente, al rischio, nel rispetto del concetto letterale di rischio (R = P x D).

In estrema sintesi, al contorno della nicchia del crollo principale sono presenti criticità residue, ed in particolare un grosso volume, stimato in circa 50 mc, pericolante. La stabilizzazione dello stesso non è stata ritenuta la soluzione più logica, in relazione ai costi e gli spetti pratici di cantiere. Al contrario si ritiene più efficace provvedere alla demolizione del volume (INT.1), che metterà in luce un giunto orientato a reggipoggio rispetto al versante, ovvero favorevolmente.

Consecutivamente, previo disgaggio leggero per la regolarizzazione della parete, si propone il rafforzamento corticale della stessa (INT.2) mediate chiodature disposte secondo un raster idoneo, e locali rinforzi, in presenza di situazioni che richiedano un maggior impegno (porzioni aggettanti, in cresta).

Salendo a monte, nella porzione compresa tra l'abitazione e il ciglio, si ritiene opportuno intervenire con un'opera attiva (INT.3) allo scopo di stabilizzare il pendio che in questo settore appare soggetto a *creep*, ovvero lenti movimenti, che comportano nel tempo locali cedimenti, già presenti su tratti di sentiero e su opere pertinenziali all'abitazione. L'intervento sarà accompagnato da una razionalizzazione del reticolo delle acque meteoriche, chiarificate e di versante.

Alla base del Soil nailing descritto, si prevede la stabilizzazione della parete (INT.4) assoggettata a dissesto nell'ottobre 2023 con intervento d tipologia analoga all'intervento 2, e la realizzazione di una passerella pedonale di lunghezza pari a circa 10m allo scopo di ripristinare il transito in sicurezza del tratto di sentiero divelto.

Al fine di ottimizzare le operazioni di cantiere e ricavare delle economie di scala, è consigliabile raggruppare gli interventi dall'1 al 4.

Gli interventi dal 4 al 8 hanno una priorità inferiore in relazione alla distanza dall'edifico e le sue pertinenze, e l'entità delle dinamiche in atto. Si tratta di interventi sostanzialmente preventivi, atti alla salvaguardia della proprietà.

La presente relazione affronta anche gli aspetti relativi alla sicurezza ed il cantieramento, tenendone conto nella stima economica, e gli aspetti vincolistici, delineando l'iter di approvazione. Gl esito dei rilievi qui raccolti ed elaborati costituiscono una solida base per la progettazione delle opere di mitigazione del rischio qui descritte e verificate, anche mediante confronto con le alternative progettuali.

info@igs-geo.com
+39 3409644172
www.igs-geo.com

S. Stefano di Cadore, Dicembre 2024

Per IGS srl:

Dott. Ing. Matteo Comis Da Ronco



Dott. Geol. David Pomarè Montin



Allegato 1
Inquadramento Topografico

Base cartografica ortofoto e CTR Regione Liguria

Scala 1:10'000

0 50 100 150 200 m

