

Mappa "faglie capaci" dal Progetto ITHACA (Italy Hazard from Capable faults), dal portale del Servizio Geologico d'Italia, ISPRA: nella zona di interesse non sono segnalate faglie di questa categoria.

Dall'insieme delle informazioni geologiche riportate, e facendo riferimento ai nodi della rete sismica così come definita a livello nazionale, si possono anche definire i parametri della pericolosità sismica di base riferiti alla parete rocciosa di interesse:

Via: _____ n°: _____
Comune: _____ Cap: _____
Provincia: _____
Cerca

WGS84 (°)
Latitudine: _____
Longitudine: _____
Cerca

Isole: -- Selezione --

(1)* Coordinate WGS84 (°)
Latitudine: 46.068539 Longitudine: 11.110508
(1)* Coordinate ED50 (°)
Latitudine: 46.069440 Longitudine: 11.111534

Classe dell'edificio
III. Affollamento significativo...

Cu = 1.5
Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)
Interpolazione
Media ponderata
Calcola

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	T _c [s]
Operatività (SLO)	90	0.041	2.525	0.264
Danno (SLD)	151	0.050	2.511	0.294
Salvaguardia vita (SLV)	1424	0.103	2.655	0.346
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.125	2.584	0.356

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 150

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

☐ Muri di sostegno ☐ Paratie
☒ Stabilità dei pendii e fondazioni
☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 1
us (m) 0.1

Categoria sottosuolo A
Categoria topografica T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss *	1.00	1.00	1.00	1.00
Amplificazione stratigrafica	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc *	1.00	1.00	1.00	1.00
Coeff. funz. categoria	1.00	1.00	1.00	1.00
St *	1.20	1.20	1.20	1.20
Amplificazione topografica	1.20	1.20	1.20	1.20
Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]	0.6			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k _h	0.010	0.012	0.033	0.041
k _v	0.005	0.006	0.017	0.020
A _{max} [m/s²]	0.487	0.587	1.215	1.476
Beta	0.200	0.200	0.270	0.270

* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

Calcola

Esempio di calcolo dei coeff. sismici (Geostru) riferibili alla parete rocciosa.



3. LA PARETE ROCCIOSA

3.1. Assetto tensionale

La parete rocciosa, spostandosi in senso meridiano, è inizialmente orientata NNW-SSE (azimuth 340°), cioè è parallela alla linea tettonica Trento - Cles: circa 42 m a sud delle torri-ciminiera, la parete cambia orientazione, passando a direzione NNE-SSW (azimuth 020°), parallelamente all'orientazione principale del fascio giudicariense.

La parete ha altezza crescente verso S, passando da 30 m fino ad oltre 70 m in corrispondenza dei limiti della zona di studio: la sommità della parete presenta alcuni terrazzamenti irregolari, sui quali si notano anche piccoli relitti di interventi antropici, quali muretti, basamenti, ecc.

Sopra la parete vi è un ampio terrazzamento sub pianeggiante, chiaramente modellato in epoca quaternaria dalle varie fasi glaciali succedutesi.

La parte basale della parete mostra in varie zone l'intervento antropico: evidentemente per far posto agli impianti del cementificio, la parete è stata intaccata e presenta zone con fratturazioni "fresche" e con evidenza di lavori di scavo.

Sono anche presenti dei piccoli muretti di sostegno, sempre nella parte scavata, zona in cui più evidenti sono i fenomeni di decompressione della roccia; in vari altri punti basali della parete si notano interventi puntuali, quali mensole di appoggio in cls, piccole cavità, ecc. che dimostrano come vi fossero collegamenti fra l'impianto del cementificio e la parete.

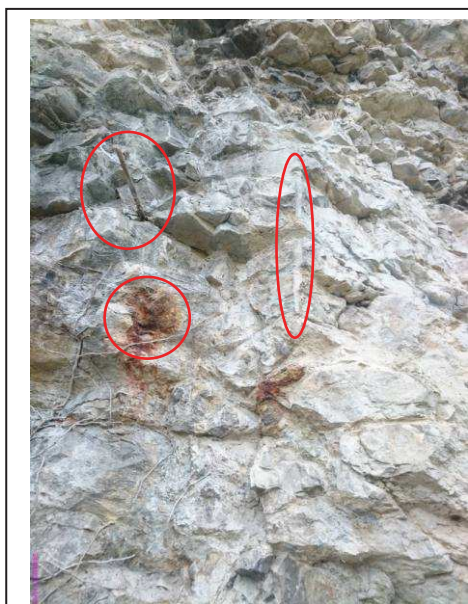




Foto precedenti: Visibili delle barre metalliche infisse nella parete ed anche i segni della perforazione di carica dell'esplosivo utilizzato per rimodellare la parete.

Foto sopra: Si vedono alcuni dei manufatti (muretti/barbacane) utilizzati per sostenere singoli settori decompressi a seguito del rimodellamento della parete.

Una delle caratteristiche salienti della parete è l'evidente stratificazione della roccia, sottolineata dalle intercalazioni terrigene fini (sedimentarie e vulcaniche) maggiormente erodibili e più scure che si alternano alle bancate più carbonatiche e di colore chiaro.

La giacitura della stratificazione complessivamente può definirsi $SS = \text{sub orizzontale}$: nel dettaglio la giacitura degli strati mostra piccole ondulazioni: sulla zona del limite meridionale di studio, spostandosi verso l'asse (dislocato dalla faglia transpressiva) della sinclinale di Sardagna che ancora più a S verticalizza la giacitura degli strati troviamo delle giaciture $330-350/0-10$.

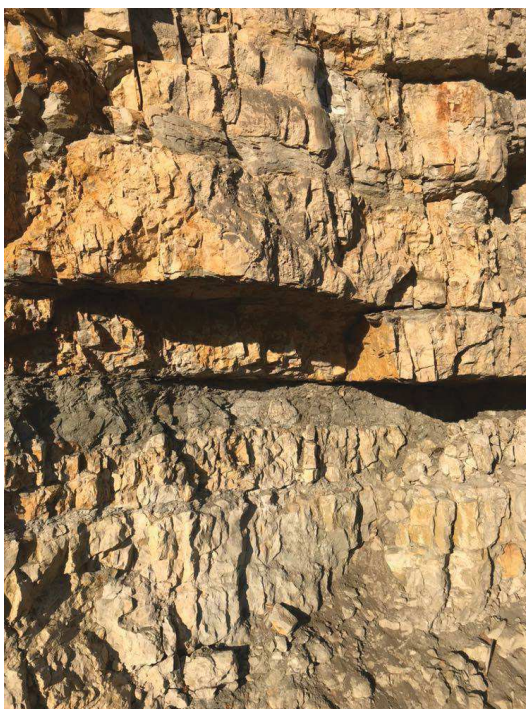
Nella parte centrale della parete (zona imbocco galleria mineraria) vi è un accenno di ondulazione a leggero reggipoggio, con giacitura attorno a $260/12$: praticamente orizzontale è la giacitura del settore nord.

Lo stato tensionale della parete varia sia in senso verticale, in dipendenza della variazione litologica e sia in senso orizzontale, a seguito del diverso contesto geomorfologico.

In senso verticale si è trovato che la parete del settore Nord è più compatta nella zona basale rispetto alla zona sommitale, ove le più rigide rocce calcaree della F. di Nago presentano, viceversa, ampia evidenza di intensa fratturazione lungo i giunti NNW-SSE e quelli NNE-SSW.

Nel settore centrale e meridionale della parete la parte alta si presenta meno fratturata: i giunti ad alto angolo, qui riferibili alla direttrice Trento – Roncogno, sono più spaziosi e con minor decompressione, mentre aumenta l'evidenza di decompressione sulla parte basale, sicuramente anche per via degli interventi di scavo antropici.

In generale la parte bassa è più ricca di interstrati marnosi e argillitici, per cui la persistenza visibile dei giunti è meno evidente: lo stato tensionale fratturato, in questo settore, si percepisce meglio a piccola scala, negli orizzonti calcarei rigidi intercalati a quelli terrigeni a grana fine.



L'intensa fratturazione della roccia è evidente, alla base della parte, negli interstrati calcarei, rigidi e quindi con deformazione clastica, rigida.

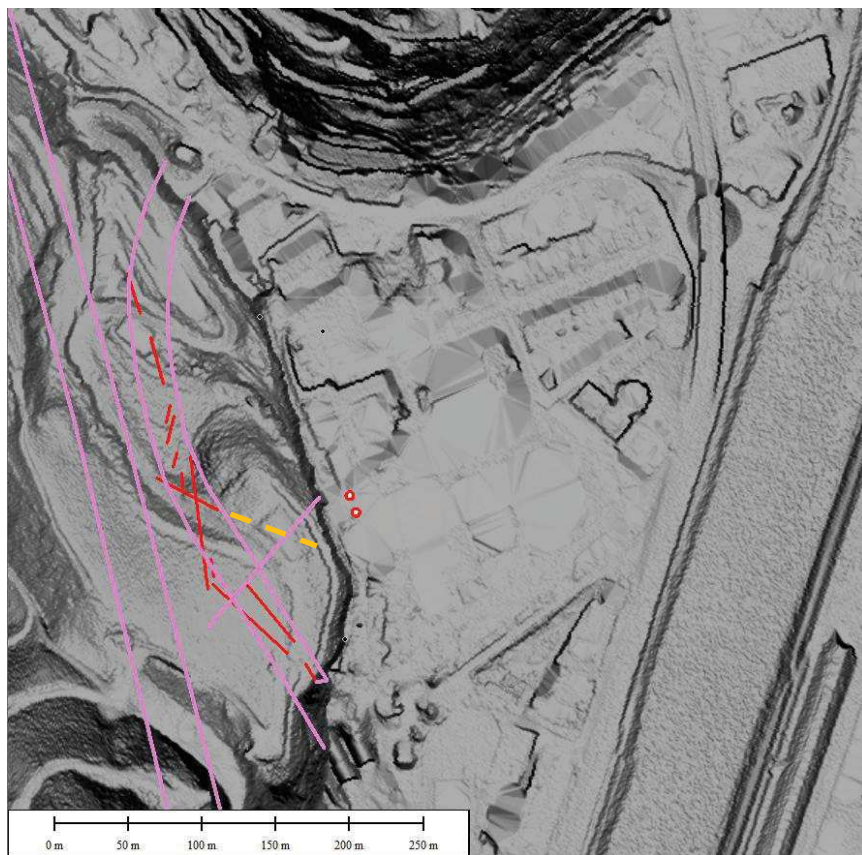
Meno evidente è negli interstrati terrigeni marnosi, argillitici e siltitici, a comportamento plastico.

Questo comporta che la persistenza continua osservabile dei giunti della parte inferiore della parete (foto a sinistra) è minore rispetto alla parte superiore, calcarea, ove la persistenza dei giunti risulta molto evidente (foto a destra).

Per quanto riguarda la parte alta della parete, F. di Nago, la risposta dei litotipi più rigidi alle sollecitazioni tettoniche risulta nell'evidente fratturazione fragile, clastica, con giunti ad elevata spaziatura.

In questa Formazione, spostandosi da S->N, è evidente la maggior apertura dei giunti, che si presentano detensionati e beanti; questo accade ovviamente anche per il mancante confinamento tensionale laterale verso N, dove i fenomeni di erosione e di esarazione glaciale hanno determinato lo smantellamento dell'intero settore superiore della parete.

Una conferma relativa alla circostanza che la zona di interesse funge da snodo per i sistemi tettonici citati in precedenza e che si ritrovano evidenziati dall'andamento delle varie famiglie di giunti presenti in parete, deriva anche dai dati tettonici raccolti durante la costruzione della tangenziale di Trento, opera che passa proprio in corrispondenza del sito.



Indicate in magenta le principali gallerie che intersecano l'ammasso roccioso di interesse:

- a W passa l'autostrada (linee rette),

- al centro le gallerie della tangenziale (linee curve) con riportate, in rosso, le faglie incontrate lungo il tracciato,

- a E vi è una galleria mineraria che dall'esterno (zona delle ciminiere) si addentra per circa 110 m con direzione SW (az. 234°).

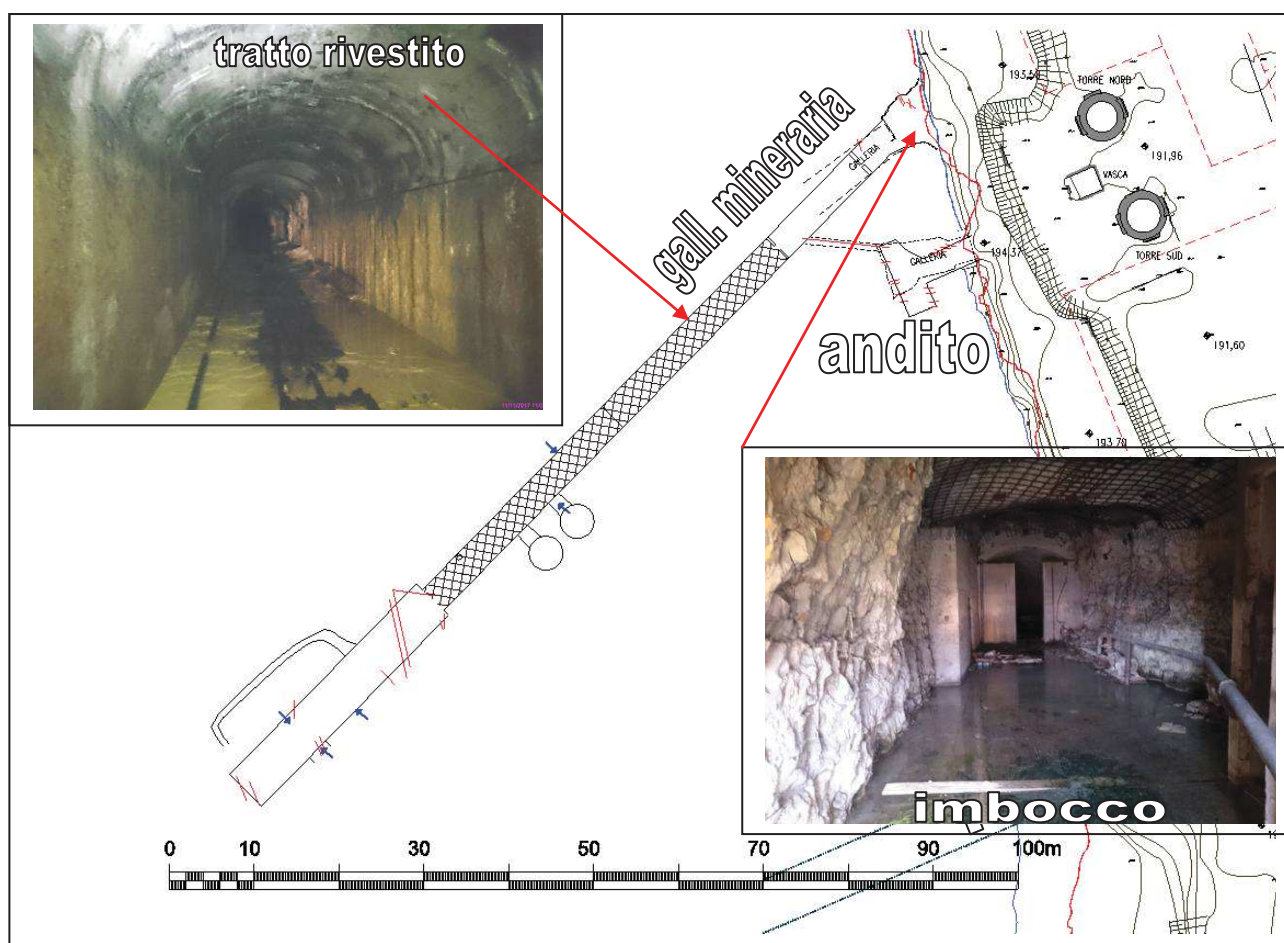
A tratteggio giallo è indicata la prosecuzione di una faglia incontrata in galleria, la cui direzione ben si accorda con una famiglia principale di giunti (dip dir. / dip imm. = 10-30/75-90), ad alta persistenza, che tagliano la parete rocciosa, la quale a sua volta è orientata sub parallelamente alle faglie scledensi (NW e NNW) incontrate dalle gallerie.

- I dati raccolti in fase di scavo delle gallerie per la tangenziale registrano la presenza di alcune faglie (linee rosse nella figura precedente) che hanno proprio l'andamento riferibile alla linea Trento – Cles (circa N-S) e, nella parte meridionale della galleria, alla direzione scledense NW- SE; a nord sono presenti pure alcune piccole lineazioni NNE-SSW.

- Non si sono reperiti dati sulle faglie incontrate durante lo scavo delle gallerie dell'autostrada.

- Entro la galleria mineraria che parte dalle ciminiere si è riscontrato che vi sono settori completamente rivestiti, altri con rivestimento "spriz" in calotta e solo brevi tratti a roccia non rivestita: è verosimile che i tratti rivestiti in calotta siano da ascrivere alle zone maggiormente instabili (quindi le zone con le faglie), mentre quelli non rivestiti siano quelli più stabili. Si rileva che la galleria mineraria interseca il tracciato dello scavo della tangenziale: in corrispondenza delle faglie rilevate nella gallerie della tangenziale la galleria mineraria è rivestita, a conferma della buona correlazione e delle conclusioni che si tratte da tale circostanza.

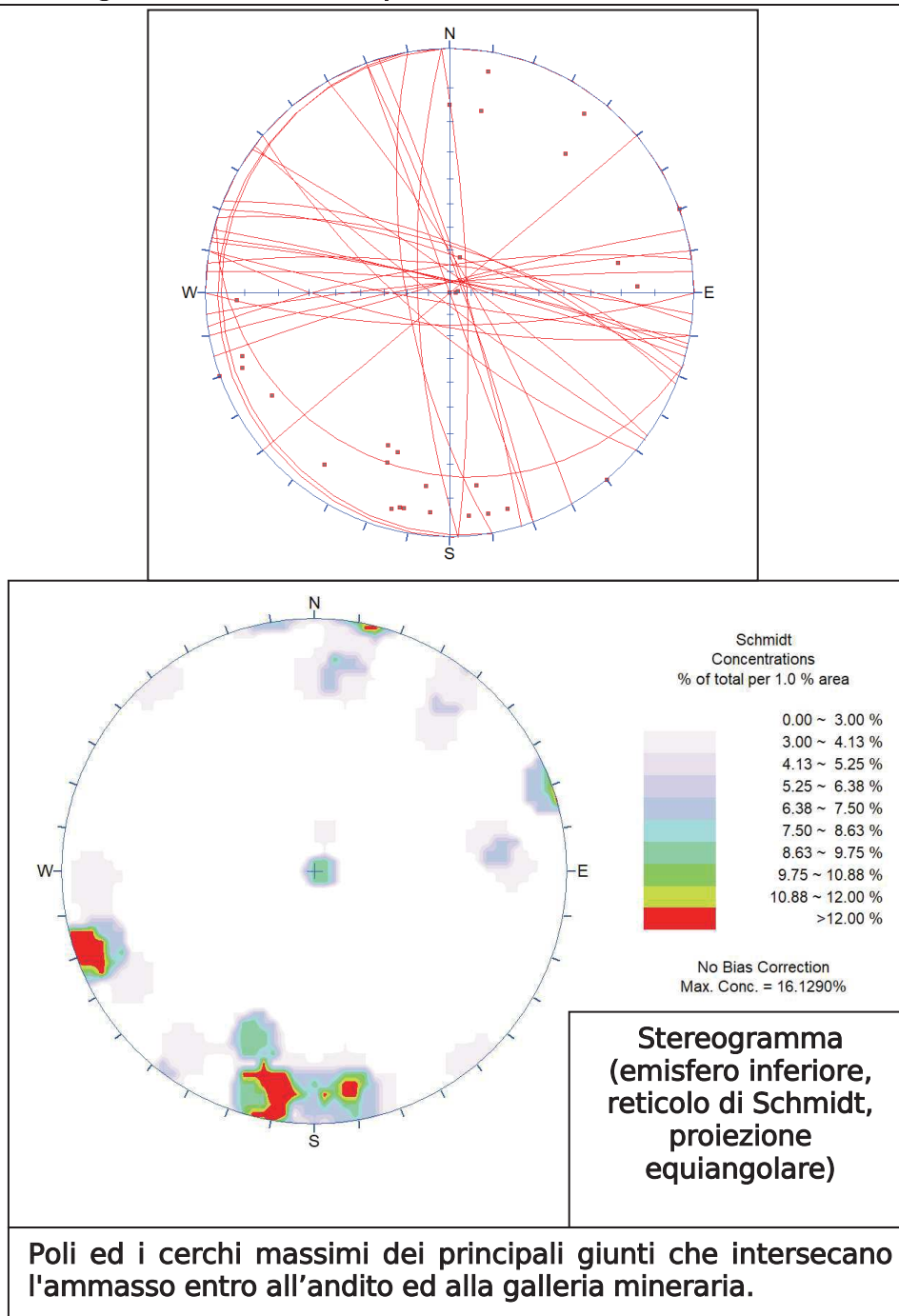
A seguire è una figura che riporta l'esito dei rilevamenti eseguiti entro alla galleria mineraria ed anche entro ad un andito parallelo, che si spinge per circa 10 m di profondità nella parete partendo circa 10 m a sud dell'imbocco della galleria principale.



Sovrapposizione, sulla planimetria del rilievo "RILIEVO_rev.2017.dwg" modificato, dei rilevamenti della e nella galleria mineraria, che nel tratto retinato si presenta rivestita in cls. Le linee rosse mostrano l'orientazione dei principali giunti misurati. Le frecce blu indicano gli ingressi d'acqua in galleria. Sotto sono le foto degli imbocchi e l'evidenza della fuoriuscita di acqua dalla galleria mineraria.



Presso l'imbocco della galleria mineraria vi sono tratti non rivestiti ed altri con spritz leggero e chiodi: si sono potute eseguire delle osservazioni geomeccaniche. Qui ben evidenti alcuni dei giunti sub paralleli alla parete, a maggior persistenza (dip dir. / dip imm. = 10-30/80-90, JCS = 80-60 MPa, JRC =6, talora beanti, con superficie di giunto a patine alterate ed ossidate di colore rossastro, privi di circolazione idrica). Visibili anche i giunti coniugati ortogonali 170-180/80-90. Lo scavo dell'imbocco ha reso possibile l'osservazione del letto di un piano di strato con le relative strutture sin-sedimentarie, quali impronte di carico e fessurazioni pre diagenetiche.

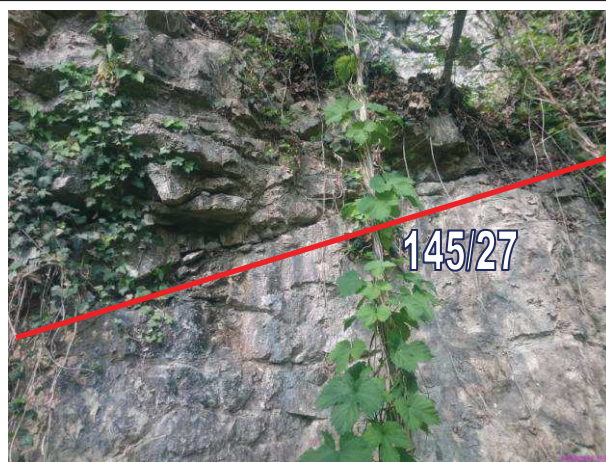


Sulla parete rocciosa sono poi anche visibili alcuni giunti a basso angolo che risultano del tutto compatibili con gli allineamenti dei sovrascorrimenti frontali che, nella zona di Trento - Pergine, vengono ripresi sulle faglie dirette distensive permiane e mesozoiche (riattivate in epoca alpina spesso però invertendone il senso) e presentano direttrici giudicariensi.



Sinistra: anche sulla parete del Doss Trento risaltano, oltre ai piani di strato evidenziati dal livello vulcanico VUB1 (rosso), giunti a basso angolo quale quello evidenziato con linea bianca ed orientato 090/15.

Dei giunti a basso angolo ed elevata continuità (decametrica nel sito) ne sono stati osservati due principali alla base della parete: quello sulla parte S della parete (011/26) ed uno nella parte N della stessa (da 145/27 a 130/35) che si immerge sotto la parete in corrispondenza della zona centrale. Si tratta di un giunto a grande scala, peraltro con una fascia cataclastica solamente decimetrica, la cui prosecuzione si può con facilità osservare anche sulle pareti del Doss Trento, mentre rimane meno distinguibile sulla prosecuzione della parete di interesse, anche perchè, su questa, vi è dapprima un edificio e poi un piano di faglia che la movimentata.



Giunti a basso angolo rilevati alla base della parete: 011/26 e 145/27.

La faglia, di cui si è in precedenza riportata un'immagine del piano di scorrimento verticale, è di tipo transpressivo, riferibile per orientazione al sistema di svincolo scledense.

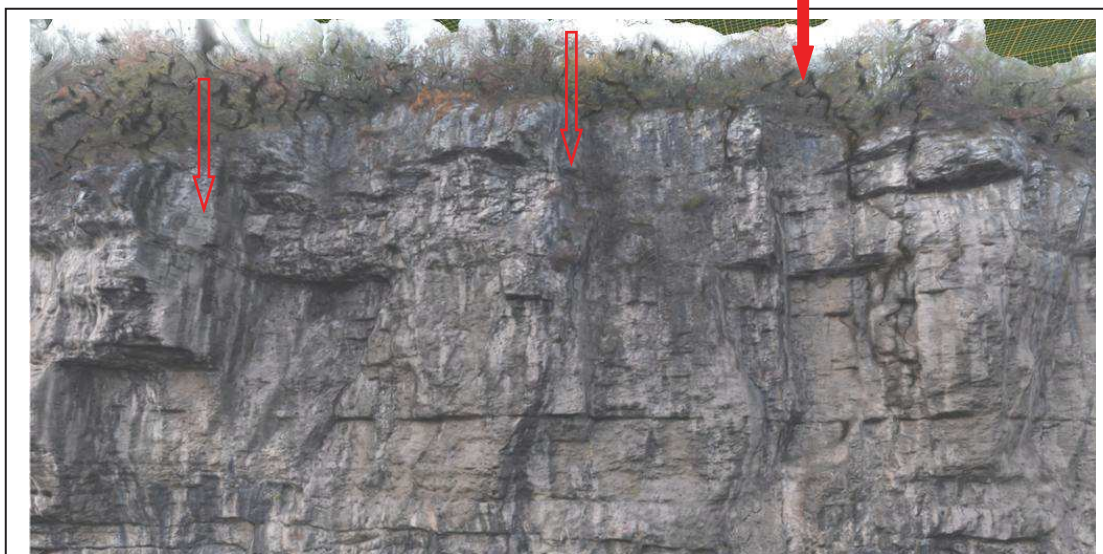
Altri giunti a basso angolo sono presenti sulla parete superiore della parete:



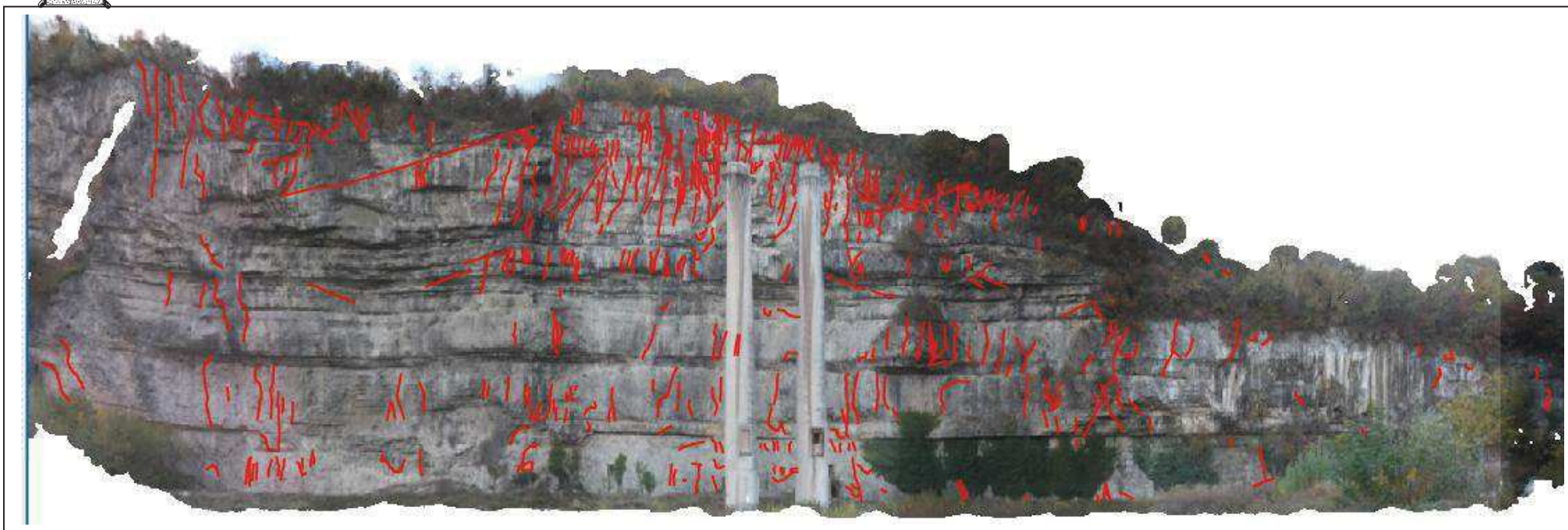
Giunto molto persistente e a basso angolo rilevato sulla parte alta della parete: 250/30.

La figura della pagina a seguire riporta, sulla fotografia di base della fotogrammetria, l'evidenziazione dei giunti a maggior persistenza rilevabili sulla parete rocciosa.

Nella zona sommitale delle ciminiere e più a S, la Formazione dei Calcari di Nago viene intersecata da evidenti giunti 175-185/80-90 e fino a vergenza invertita 355-15/85-90 che formano anche delle ampie superfici. Proprio a tergo delle due ciminiere esiste una rientranza verticale (freccia piena) della parete delimitata da giunti a grande scala riferibili a questa famiglia, e che anche lateralmente (frecce vuote) formano grandi superfici.



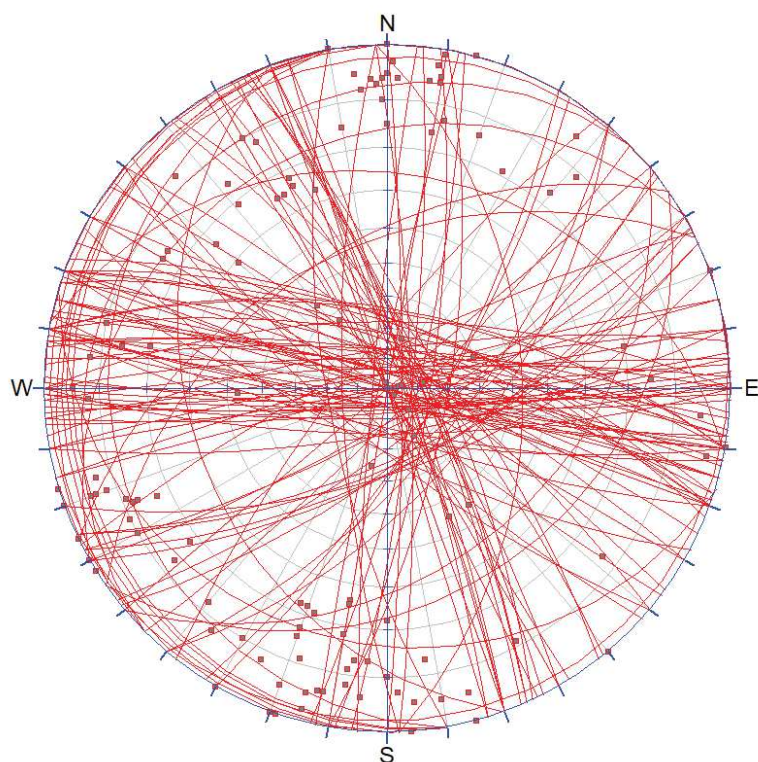
Evidente la rientranza verticale (freccia piena) della parete posta a tergo delle due ciminiere. I giunti laterali che delimitano la rientranza sono riferibili alla famiglia 175-180/80-90 e fino a vergenza invertita 355-15/85-90 che forma anche altre superfici (frecce vuote). Tale orientazione, che coincide con la Linea Trento – Roncogno, si ritiene rappresenti qui lo svincolo coniugato alla direttrice NS della continuazione meridionale della Linea Trento – Cles.



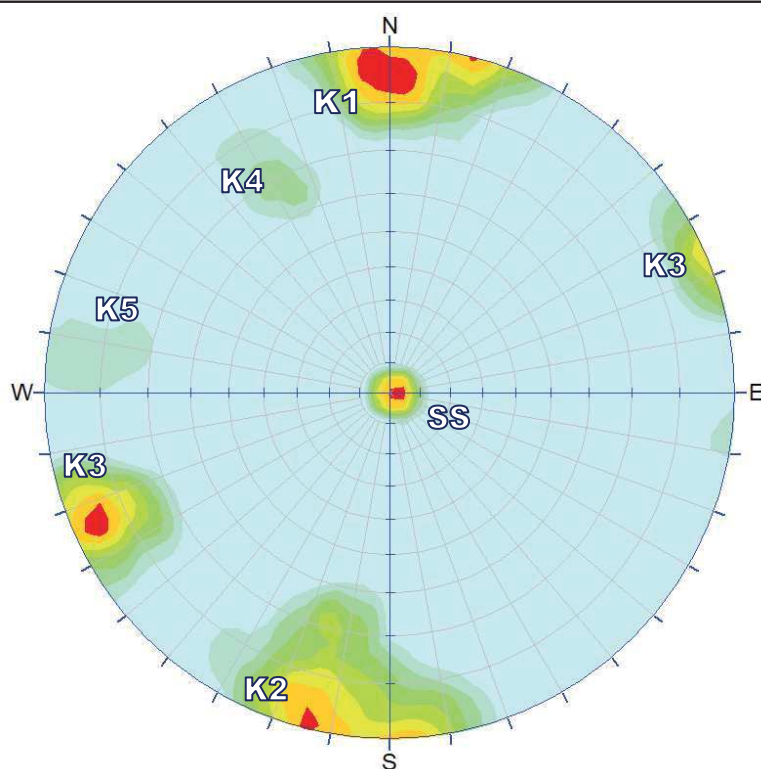
Sopra: sulla fotografia di base della fotogrammetria vengono evidenziati i giunti a maggior persistenza intersecanti la parete rocciosa. Notare che ampie plaghe di parete sono completamente ricoperte di patine calcitiche deposte dalle filtrazioni costrette a venir a giorno per la presenza dei livelli a grana fine (VUb2, ecc.), che mascherano le strutture della roccia ed anche i giunti.

A sinistra: frattura beante 035/82 sulla parete rivolta a Sud presente presso il terrazzamento sul limite settentrionale della parete.

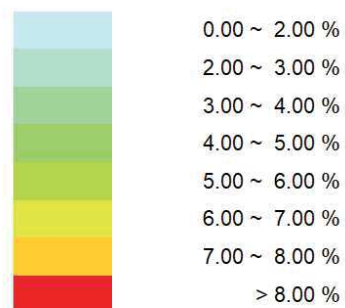
A destra: giunto beante 015/74 nella parte centrale della parete.



Stereogramma
emisfero inferiore,
proiezione equiangolare



Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area



No Bias Correction
Max. Conc. = 8.8717%

Stereogramma
emisfero inferiore,
proiezione equiangolare

Sopra: poli e cerchi massimi dei principali giunti intersecanti la parete rocciosa.
Sotto: classi di concentrazione dei poli rappresentanti i giunti a maggior persistenza che intersecano l'ammasso della parete.



Dunque la parete rocciosa risulta suddivisa dai seguenti principali pattern di giunti:

SS = piani di strato a giacitura sub orizzontale

K1 = giunti 175-185/75-85

K2 = giunti 010-015/80-90

K3 = giunti 60-70/80-90

K4 = giunti 145-155/60-70

K5 = giunti 80-90/70-85

Si è detto che K1 + K2 possono essere riferiti, quali svincolo della direttrice Trento – Cles, alla direttrice Trento – Roncagno, mentre K3 va ascritto alla direttrice scledense ed infine K4 e K5 alla direttrice giudicariense.

La relativa minor abbondanza dei giunti K4 e K5 viene ascritta alla circostanza che, essendo i giunti paralleli alla parete rocciosa, essi risaltano con minor evidenza, ad eccezione delle zone con decompressione, e sono comunque esposti con minor frequenza rispetto a giunti aventi alto angolo azimutale rispetto alla parete stessa.

Tuttavia, anche considerando le osservazioni eseguite entro all'andito ed alla parte non rivestita della galleria mineraria ed anche le informazioni derivanti dai rilevamenti entro alle gallerie della tangenziale, zone lungo le quali tali giunti sono più facilmente rilevabili, si osserva che essi sono meno frequenti rispetto alle altre direttrici tettoniche.

3. 2. Classificazione dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski (indice RMR - Rock Mass Rating). (da BIENIAWSKI Z.T. (1989) Engineering Rock Mass Classification)

E' un metodo di classificazione degli ammassi rocciosi che, dalla sua formulazione originale (1973), ha subito numerosi aggiustamenti, apportati sia dal suo stesso Autore (1979) che da altri: di seguito si riporta lo schema generale di valutazione dei diversi parametri che contribuiscono a tale classificazione nella versione del 1989.

Classificazione RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6

in cui i vari indici R rappresentano:

R1 = caratteristiche di resistenza alla compressione della roccia,

R2 = grado di fratturazione (espresso come RQD) della roccia,

R3 = spaziatura delle discontinuità della roccia,

R4 = caratteristiche delle discontinuità della roccia,

R5 = condizioni idriche dell'ammasso,

R6 = correzione per l'orientazione delle discontinuità rispetto al verso dello scavo.

La somma dei vari parametri numerici relativi ai diversi indici permette la classificazione della roccia in 5 classi per le quali Bieniawski propone anche la derivazione di alcuni parametri geomeccanici della stessa.

Vengono poi spesso definiti:

- BRMR (o RMR di base) che è la somma dei soli primi 5 parametri:

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

- RMRd (o RMR asciutto) = RMRd = R1 + R2 + R3 + R4 + 15

Il valore numerico dei vari indici sopra ricordati è identificabile grazie a delle classi di valori (o punteggio) che sono riassunte nel seguente schema:



The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)*

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter			Ranges of Values						
1	Strength of intact rock material	Point load strength index (MPa)	>10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core quality RQD (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25			
	Rating	20	17	13	8	3			
3	Spacing of discontinuities	>2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	<60 mm			
	Rating	20	15	10	8	5			
4	Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Stickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous			
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10 – 25	25 – 125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing			
		Rating	15	10	7	4	0		

B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS

Strike and Dip Orientations of Discontinuities		Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable
Ratings	Tunnels and mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS

Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	<20
Class no.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock *	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

D. MEANING OF ROCK MASS CLASSES

Class no.	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	20 yr for 15-m span	1 yr for 10-m span	1 wk for 5-m span	10 h for 2.5-m span	30 min for 1-m span
Cohesion of the rock mass (kPa)	>400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	<100
Friction angle of the rock mass (deg)	>45	35 – 45	25 – 35	15 – 25	<15

Schema riassuntivo dei valori dei vari indici che concorrono alla definizione RMR.

Più nel dettaglio, per raccogliere le informazioni necessarie a definire i vari indici si sono utilizzati i seguenti metodi.

R1: Resistenza alla compressione

La resistenza alla compressione è stata ottenuta elaborando i risultati di battute sclerometriche sull'ammasso: si è utilizzato uno sclerometro da rocce tipo "L" della Ditta Controls definito anche come "Martello di Schmidt".

Per ciascuna misurazione sono state eseguite 10 misurazioni del rimbalzo R annotando l'inclinazione dello sclerometro rispetto alla roccia: l'elaborazione è stata eseguita scartando i 5 valori inferiori.

Per passare dal valore del rimbalzo R a quello della resistenza a compressione si sono inizialmente apportate delle correzioni al valore misurato per tener conto dell'inclinazione dello strumento.

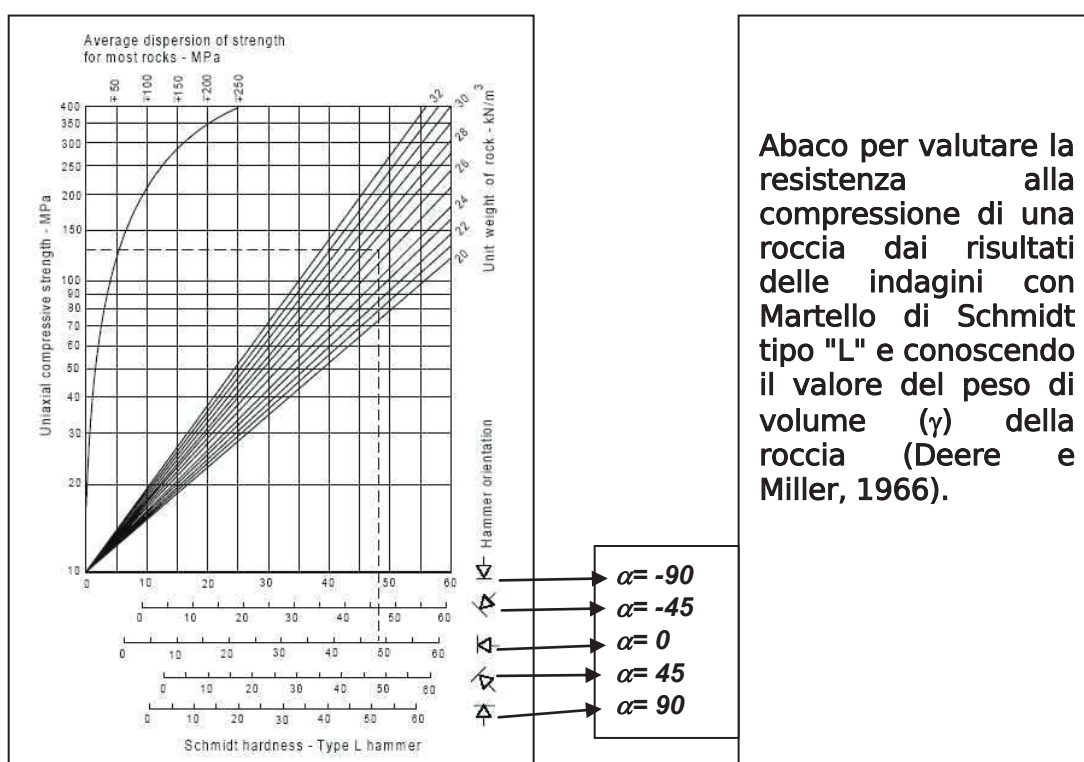


R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 90$	$\alpha = 45$	$\alpha = 0$
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4	-3.3	-1.7

Valori correttivi per l'angolo di inclinazione di percussione α

Dal valore corretto del rimbalzo si passa a definire il valore della resistenza a compressione (σ):

- un metodo speditivo, di campagna, è quello di applicare l'abaco sotto riportato:



- per via numerica si possono poi applicare varie proposte di correlazione:

$$\log \sigma = 0.00088 \gamma * R + 1.01 \text{ (Miller, 1965)}$$

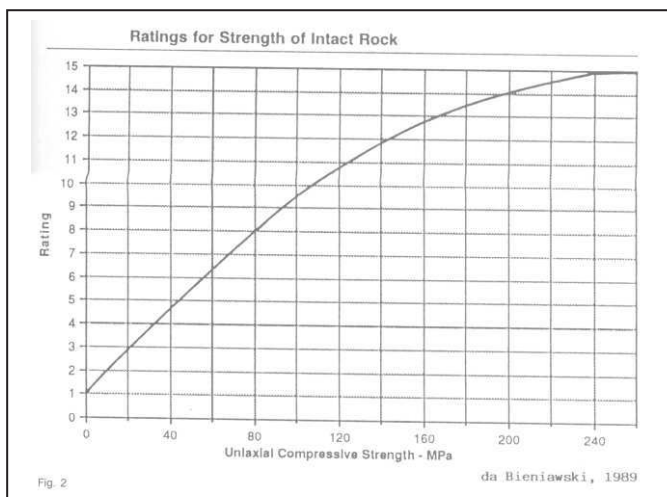
$$\log \sigma = 0.0165 * R + 1.13 \text{ (Nat. Japan. C.)}$$

$$\sigma = 0.775 * R + 21.3 \text{ (Irfan e Dearman, 1978)}$$

$$\sigma = 0.1146 * R^{1.687} \text{ (Bruschi, 2004)}$$

Il valore utilizzato nella presente relazione è la media fra i valori ottenuti applicando i metodi di Miller e Irfan; da tale valore medio, grazie all'uso dell'abaco sottostante, si deriva il valore numerico dell'indice di resistenza.

Si sono ottenuti valori medi attorno 90-120 MPa per i calcari della F. di Nago, mentre per la F. di Malcesine e livelli vulcano detritici i valori variano dai 50 MPa dei calcari a valori nulli per gli interstrati argillosi.



Abaco per la valutazione dell'indice di resistenza R1, derivante dal valore di resistenza uniassiale della roccia.

R2: Fratturazione dell'ammasso

La fratturazione dell'ammasso viene definita per mezzo dell'indice RQD (Rock Designation Index) introdotto da Deere nel 1964, inizialmente proposto solo per i sondaggi a carotaggio.

Per le misure sugli affioramenti rocciosi sono in seguito state definite le seguenti correlazioni:

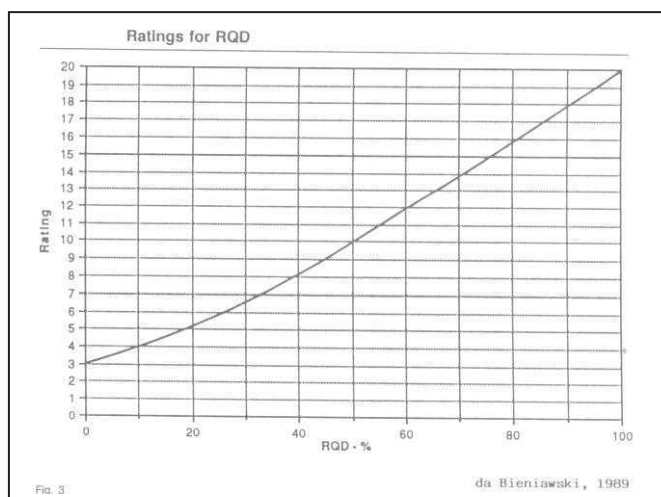
$$RQD = 115 - 3.3 * j_v \text{ (Palmstrom 1982)}$$

$$RQD = 100 * e^{-(N\lambda)} * (N\lambda + 1) \text{ (Priest e Hudson 1981)}$$

dove:

- j_v = il numero medio di fratture per m^3 dell'ammasso roccioso,
- N = valore di soglia = 0.1,
- λ = numero di giunti per metro.

Dal valore di RQD si passa, per mezzo dell'abaco sotto riportato, a definire il valore numerico del parametro di fratturazione.



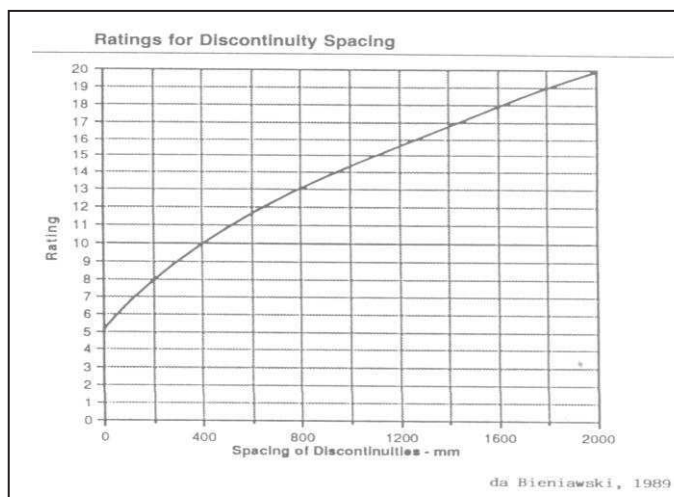
Abaco per la valutazione dell'indice R2, derivante dal valore di fratturazione della roccia.

Si sono ottenuti valori molto dispersi nei vari settori di parete, passando da RQD 60 nei calcari della F. di Nago a RQD da nulli a 30 per la F. di Malcesine e livelli vulcano detritici.



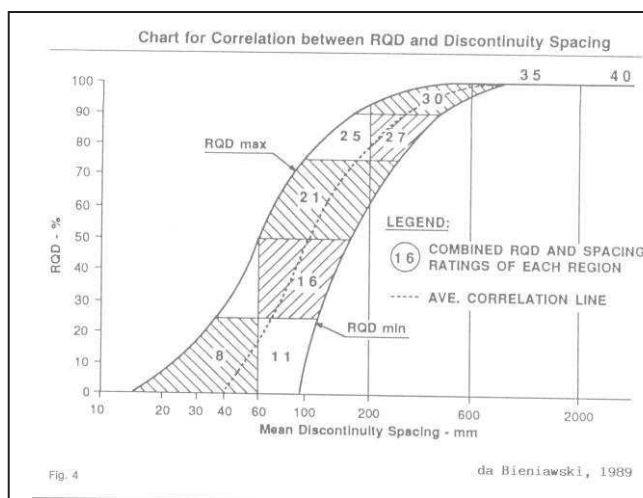
R3: Spaziatura delle discontinuità

Viene misurata, con nastro centimetrato rigido, la spaziatura fra le varie famiglie di giunti considerando la distanza ortogonale ai piani stessi: dal valore di spaziatura si passa, per mezzo dell'abaco sotto riportato, a definire il valore numerico del parametro indice.



Abaco per la valutazione dell'indice R3, derivante dal valore di spaziatura delle discontinuità dell'ammasso roccioso.

Si tenga poi presente il suggerimento proposto da Bieniawski relativo al rapporto fra spaziatura e fratturazione:



Abaco di correlazione fra spaziatura delle discontinuità e RQD (rock quality designation).

Anche in questo caso si sono ottenuti valori variabili nei vari settori della parete, passando da spaziature metriche per i giunti 180-210/80-90 entro alla F. di Nago a misure centimetriche in alcuni settori dei livelli calcarei della F. di Malcesine, specialmente per la famiglia dei giunti 010-020/85-90.

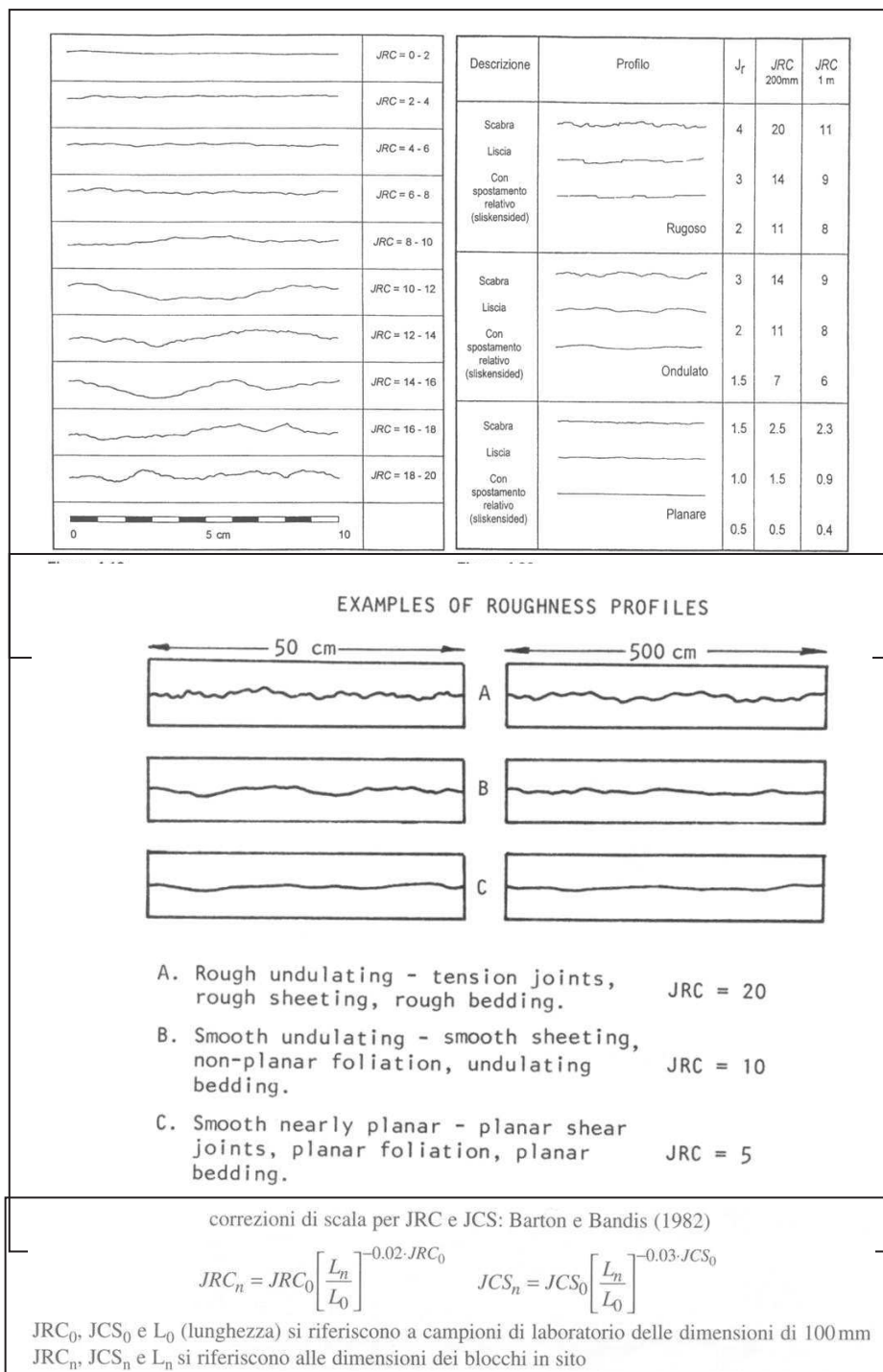
R4: Caratteristiche delle discontinuità

Vengono eseguite osservazioni e misurazioni sulle varie famiglie di giunti che servono a definire:

- la persistenza o estensione e la terminazione dei giunti (nastro centimetrato),
- l'apertura (eventuale) dei giunti (nastro centimetrato),
- il tipo di riempimento (eventuale) delle aperture dei giunti,
- il grado di alterazione (eventuale) dei giunti,



- la rugosità o scabrezza del giunto. Questo parametro viene valutato anche con l'ausilio di profilometro, detto anche "pettine di Barton" (mod. Controls da 15 cm) e successiva comparazione con dei profili tipo messi a punto da Barton. La misurazione viene eseguita a scala decimetrica e pertanto, per passare a definire la rugosità a livello della parete in esame si applicano delle correzioni per tener conto dell'effetto scala, sia in forma numerica che comparativa.



Profili di scabrezza o rugosità proposti da Barton e Choubey 1977, da Bieniawski 1976 e Hoek e Bray 1989. Correzione numerica per effetto scala proposta da Barton e Bandis 1982.



Il contributo di ciascuna caratteristica che descrive le condizioni dei giunti per la determinazione del valore dell'indice complessivo finale viene così determinato:

Guidelines for Classification of Discontinuity Conditions ^a					
Parameter	Ratings				
Discontinuity length (persistence/continuity)	<1 m 6	1–3 m 4	3–10 m 2	10–20 m 1	>20 m 0
Separation (aperture)	None 6	<0.1 mm 5	0.1–1.0 mm 4	1–5 mm 1	>5 mm 0
Roughness	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0
Infilling (gouge)	None 6	<5 mm 4	Hard filling >5 mm 2	Soft filling <5 mm 2	>5 mm 0
Weathering	Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Highly weathered 1	Decomposed 0

^aNote: Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, it is irrelevant what the roughness may be, since its effect will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases, use Table 1 directly.

Indici parametrici delle varie caratteristiche geomeccaniche dei giunti che suddividono l'ammasso roccioso.

Circa la percezione della persistenza si è già detto precedentemente della differenziazione fra le rocce della F di Nago rispetto a quelle sottostanti; i giunti delle varie famiglie si presentano sovente beanti, generalmente di pochi mm e senza riempimento di materiale ma in alcuni casi fino oltre i 10 cm e con terriccio. La scabrezza dei giunti è solitamente definibile come elevata, anche se specialmente per i giunti 070-060/80-90 vi sono superfici lisce, correlabili ai piani coniugati della faglia transpressiva interna al versante.

R5: Condizioni idriche dell'ammasso

Vengono eseguite osservazioni sulla presenza, distribuzione ed entità delle eventuali filtrazioni che circolano nei vari giunti dell'ammasso roccioso.

Verosimilmente anche per via del periodo particolarmente siccitoso, le evidenze della circolazione idrica sono risultate sporadiche e nella maggior parte dei casi correlate ai cambiamenti litologici di interstrato.

R6: Disposizione spaziale dei giunti rispetto al fronte


Bieniawski ha aggiunto, per le gallerie, un fattore riduttivo per tener conto se la giacitura reciproca fra i giunti ed il fronte sia più o meno penalizzante ai fini della stabilità.

E' questa, dunque, non una caratteristica intrinseca dell'ammasso ma una caratteristica specifica dell'ammasso roccioso in rapporto all'apertura della cavità.

Per meglio identificare le giaciture che costituiscono più o meno situazioni favorevoli rispetto alle altre si riporta uno schema che visualizza le correzioni proposte da Bieniawski.



Galleria in posizione A (Fig.1.17)			
pendenza β			
Concorde con il verso di avanzamento		Discorde con il verso di avanzamento	
45°-90°	20°- 45°	20°- 45°	45°-90°
molto favorevole	favorevole	sfavorevole	mediocre
Galleria in posizione B (Fig.1.17)			
pendenza β			
20°- 45°		45°-90°	
mediocre		molto sfavorevole	
N.B. Per una pendenza $= 0^{\circ}$ -20°, l'effetto è "sfavorevole " qualunque sia la direzione;			



Correzione che tiene conto del verso di avanzamento dello scavo rispetto ai piani di discontinuità dell'ammasso roccioso.

Nel presente lavoro non viene definito il valore correttivo R6.

Tali parametri sono poi stati anche integrati da altri Autori (es. **Romana SRM**) per meglio adattare il metodo allo studio della stabilità di versanti naturali.

Per ottenere SRM si parte dal BRMR e si aggiungono dei valori F1÷F4 correttivi: **SRM = BRMR + (F1 * F2 * F3) + F4**

- F1 = parallelismo fra immersione fronte e giunti = $F1 = (1 - \sin A)^2$ con A = Angolo fra direzione giunti e versante
- F2 = inclinazione giunti = $F2 = (\tan B)^2$ con B = inclinazione giunti
- F3 = come R6 Bieniawski

ROTTURA	CINEMATISMO	CONDIZIONE				
		Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Planare	$\alpha_j - \alpha_f$					
Toppling	$\alpha_j - \alpha_f - 180^\circ$					
Cuneo	$\alpha_i - \alpha_f$					
	F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Planare	β_j					
Cuneo	β_i					
	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Toppling	F2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Planare	$\beta_j - \beta_f$					
Cuneo	$\beta_i - \beta_f$					
Toppling	$\beta_j - \beta_f$					
	F3	0	-6	-25	-50	-60

dove:

α_j = immersione del giunto

α_i = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo

α_f = immersione del fronte del versante

β_j = inclinazione del giunto

β_i = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo

β_f = inclinazione del fronte



- F4 = dipende dal metodo di scavo:

metodo di scavo	F4
scarpata naturale	15
abbattimento con pretaglio	10
abbattimento controllato	8
abbattimento normale	0
abbattimento non controllato	- 8

Una volta ottenuto il valore SRM si possono fornire valutazioni sulla stabilità e sugli interventi di stabilizzazione:

SMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buona	Buona	Mediocre	Scadente	Molto scadente
STABILITA'	Sicuramente stabile	Stabile	Parzialmente stabile	Instabile	Sicuramente instabile
MODO DI ROTTURA	Assente	Possibili blocchi	Lungo piani o per cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Su grandi piani o rototraslazionali
STABILIZZAZIONE	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata

Tornando alla classificazione di Bieniawski, per il caso in esame, riferendosi alla porzione esterna e decompressa della parete, si è ottenuto:







F. di Nago: $65 < \text{BRMR} < 55$ con zona a BRMR 45 nel settore N

F. di Malcesine $50 < \text{BRMR} < 40$ con BRMR calante a 20 nelle zone con le più frequenti intercalazioni argillose e tufitiche.



3.3 Classificazione dell'ammasso roccioso secondo HOEK E. (Geological Strength Index S.G.I.) (da HOEK E. et al. (1995) Support of underground Excavation in Hard Rock)

E' questo un sistema di classificazione dell'ammasso roccioso sviluppato da HOEK et al.: l'Autore ha proposto dei grafici che aiutano ad identificare l'appropriato range del valore di GSI.

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

Abaco
orientativo per
la valutazione
dell'indice GSI
degli ammassi
rocciosi.

Marinos e Hoek (2002) hanno anche proposto l'utilizzo di alcuni grafici che sono specifici per le principali tipologie di roccia.

E' poi pratica molto diffusa il convertire direttamente il valore BRMR89 di Bieniawski '89 nel corrispondente valore di GSI secondo un'equazione il cui campo di applicazione prevede che per $BRMR89 > 23$, il valore del $GSI = BRMR89 (con A5 = 15) - 5 = GSI$.

per $BRMR'89 > 23$ si ha $GSI = BRMR'89 - 5$
per $BRMR'89 < 23$ il metodo non è applicabile.

Per il caso in esame, riferendosi alla porzione esterna e decompressa della parete, si è ottenuto:

F. di Nago: $60 < GSI < 50$ con zona a BRMR 35 nel settore N

F. di Malcesine $50 < GSI < 40$ con BRMR calante a 20 nelle zone con le più frequenti intercalazioni argillose e tufitiche.

Entro alle cavità minerarie, superati gli imbocchi decompressi, l'ammasso della F. di Malcesine in transizione quasi completa con la F. di Chiusole si presenta con un BRMR elevato, attorno a 55-60.



3.4 Dalla classificazione dell'ammasso roccioso alla valutazione dei parametri di resistenza intesi come continuo equivalente

Partendo dalle varie classificazioni dell'ammasso si può poi passare alla determinazione delle caratteristiche di resistenza dello stesso, che, date le condizioni al contorno e la tipologia di problematica da affrontare, vanno espresse in termini di continuo equivalente (es. alla Mohr - Coulomb o alla Hoek - Brown), piuttosto che riferirsi alla resistenza di un singolo giunto (analisi che meglio si applica ai casi di valutazioni di stabilità di specifiche, singole e ben definite porzioni fratturate in pareti rocciose, es. con il metodo alla Barton - Bandis):

Criterio di rottura alla Mohr - Coulomb :

$$\tau = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi'$$

(si dà per noto il significato dei termini)

I valori parametrici di tale criterio sono stati calcolati applicando diverse metodologie:

Metodologia 1: Dai dati della classificazione della roccia secondo Bieniawski (BRMR89), si può passare ai parametri geotecnici (Mohr - Coulomb) medi dell'ammasso roccioso come continuo equivalente secondo le seguenti formule:

- coesione c (MPa) = $0,005 * BRMR89$
- angolo attrito $\phi = 5 + (BRMR89/2)$
- modulo di deformazione E (GPa) = $2 * RMR - 100$.

Quindi si è ottenuto:

F. di Nago: $60 < GSI < 50$ con zona a BRMR 35 nel settore N
F. di Malcesine $50 < GSI < 40$ con BRMR calante a 20 nelle zone con le più frequenti intercalazioni argillose e tufitiche.

Entro alle cavità minerarie, superati gli imbocchi decompressi, l'ammasso della F. di Malcesine in transizione quasi completa con la F. di Chiusole si presenta con un BRMR elevato, attorno a 55-60.

Tipo	Phi (°)	c (KN/m2)
Nago	32.5 (22.5)	275 (175)
Malcesine	27.5 (15)	225 (100)

Metodologia 2: Anche elaborando i dati derivati dal criterio alla Barton si possono ottenere dei valori di coesione e attrito "istantanei", cioè validi per date condizioni di tensione normale agente.

Criterio di rottura alla Barton:

$$\tau_f = \sigma'_n \cdot \tan \left[\phi_b + JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma'_n} \right) \right] \longrightarrow \phi_e = \phi_b + JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma'_n} \right)$$

dove



τ_f = resistenza al taglio dei giunti (allo stato tensionale effettivo),
 ϕ_e = angolo di attrito effettivo,
 σ'_n = tensione normale effettiva,
 ϕ_b = angolo di attrito di base.

Stanti le condizioni di spiccata anisotropia derivanti dalle osservazioni relative alle condizioni dei giunti, si è preferito non utilizzare questa metodologia per il continuo equivalente, mentre è stata utilizzata per le verifiche di stabilità locali.

Metodologia 3: Anche elaborando i dati derivati dal criterio di rottura alla Hoek - Brown, si possono ottenere dei valori dei parametri di resistenza relativi al criterio Mohr - Coulomb e cioè dei valori di coesione e attrito "istantanei", come sopra definiti.

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

dove:

σ_1 e σ_2 = sforzi principali rispettivamente maggiore e minore alla rottura,
 σ_{ci} = compressione uniassiale della roccia intatta,
 m_b , s , a = costanti del materiale "roccia" così determinabili.

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

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right)$$
$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

L'indice GSI è stato calcolato dalla sopra riportata classificazione dell'ammasso roccioso e comunque controllato su appositi abachi elaborati da Hoek e relativi alla litologia in esame; D è un parametro che tiene conto del disturbo causato alla roccia, nel caso di lavori: per scarpate naturali $D = 0$.

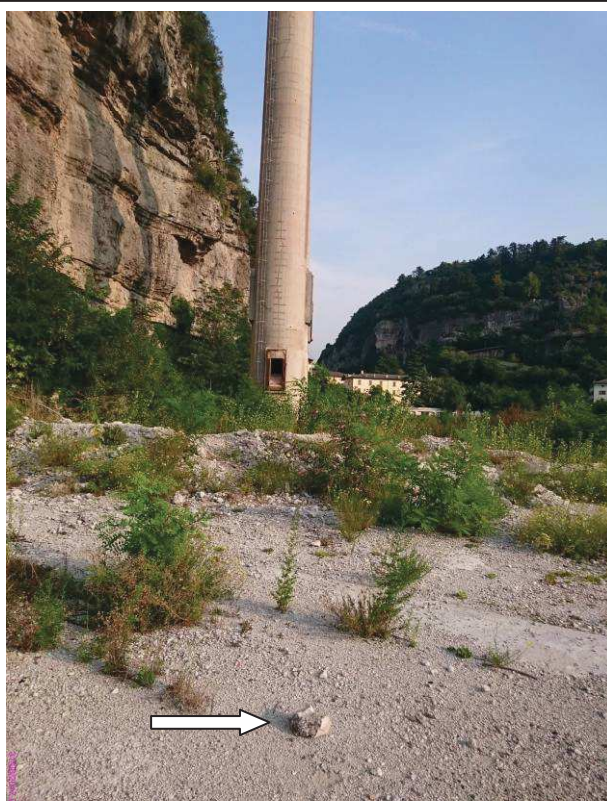
Tipo	σ_{ci} UCS (MPa)	m_b	s	a
Nago	100	1.341	0.003860	0.5057
Malcesine e transizione con F. di Chiusole	50	0.821	0.001276	0.5114
Interstrati	3	0.230	0.000137	0.5437



4. IDENTIFICAZIONE DELLE TIPOLOGIE DI INSTABILITA'

Venendo agli aspetti applicativi dello studio, si sono riconosciute sulla parete, specialmente nella zona di passaggio sommitale verso i terrazzi superiori, numerose situazioni di instabilità che possono generare crolli.

Sul piazzale basale si sono osservate evidenze, già prima che fossero iniziate le ispezioni in parete, relative alla spontanea caduta di frammenti rocciosi, evidentemente avvenuta dopo la demolizione degli edifici ex Italcementi.



Evidenza di crolli recenti, avvenuti dopo la demolizione dello stabilimento e prima delle ispezioni in parete.

Si tratta di crolli di frammenti di piccole dimensioni, pochi decimetri cubi, tali frammenti sono rotolati fino a 25 m di distanza dal piede della parete; altri crolli di dimensioni fino a circa 1 metro cubo sono presenti immediatamente alla base della parete, zona dove è più frequente il fenomeno dell'arresto dei crolli.



Evidenza di crolli recenti, avvenuti dopo la demolizione dello stabilimento e prima delle ispezioni in parete.

L'evidente pericolosità per crollo aveva già nel passato indotto a prendere misure mitigative, ma che risultano evidentemente oramai non adeguate.



Sulla sommità della parete si sono trovate delle artigianali opere di mitigazione del rischio da crollo: a sinistra una fune di "sostegno" di una porzione fratturata; a destra un dettaglio di una fune "ancorata" ad una pianta.



Durante i lavori di ispezione della parete, per motivi di sicurezza ed adottando le dovute cautele, si sono smossi dei frammenti rocciosi particolarmente pericolanti e che sono precipitati, frantumandosi ed arrestandosi presso la base della scarpata, con delle proiezioni che si sono allontanate dal piede, espandendosi per circa 20-25 m.



Per motivi di sicurezza, ove indispensabile, prima delle ispezioni in parete si sono disgiunti alcuni frammenti oramai pericolanti.

A seguire, in **ALLEGATO 1**, si riportano delle schede relative alle più rappresentative situazioni di instabilità riconosciute durante le ispezioni in parete; ovviamente non si sono potute riportare nelle schede tutte le situazioni di instabilità, per cui si sono elaborate le schede solo per le principali e le più rappresentative delle diverse condizioni di campagna.



ALLEGATO 1 Schede descrittive delle situazioni di instabilità più
rappresentative



PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 1 + 2

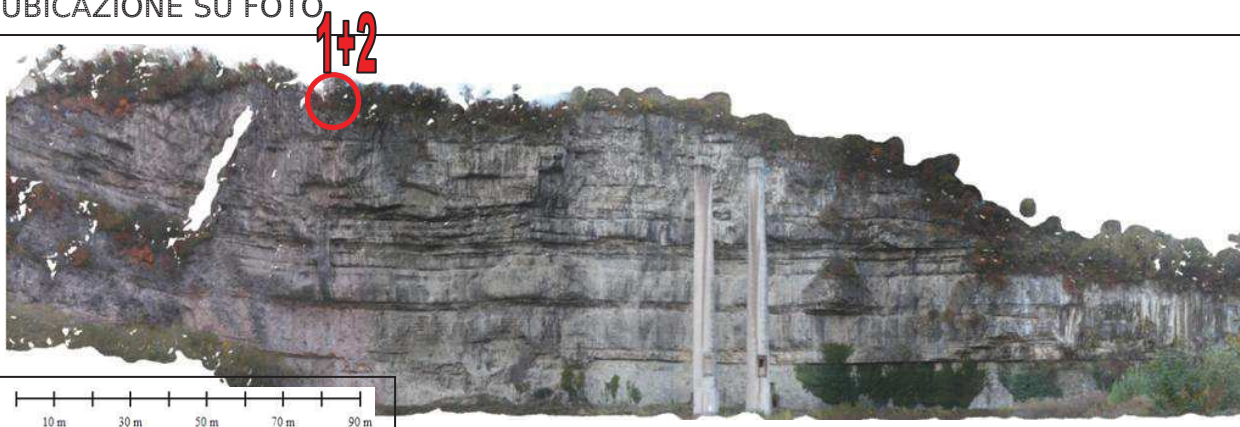
DESCRIZIONE: lastra isolata da frattura K5 beante e labbro altra frattura K3 con massi decimetrici instabili

VOLUME TOTALE (m³): 8 m³

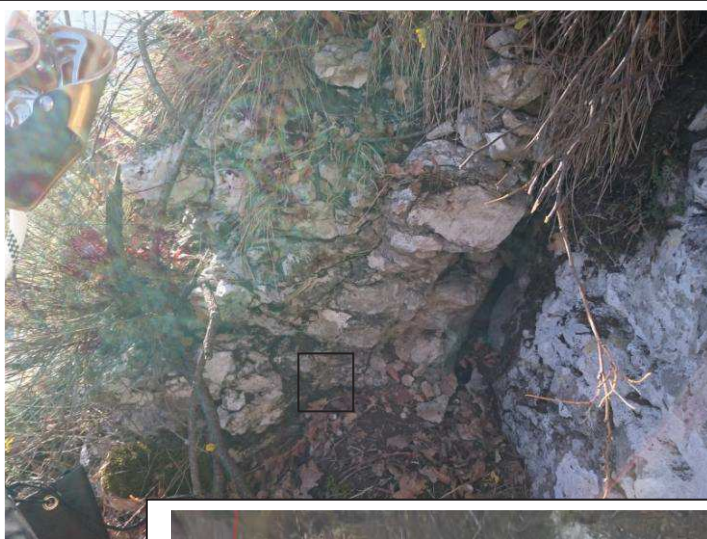
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 1 x 0.8 x 1.5 = 1.2 m³

NOTE: 1+2= crollo per azione radici e gelo. Per 2 possibile anche scalzamento del piede per erosione




UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 3	
DESCRIZIONE:	prisma individuato da K2 + K3 scollegato da frattura sub parallela parete K1 e con piede scalzato da SS
VOLUME TOTALE (m ³):	30 m3
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	prisma 2 x 1 x 2 = 4 m3
NOTE:	crollo per azione radici e per gelività
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	



PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 4

DESCRIZIONE: lastra isolata da frattura K5 sub parallela alla parete

VOLUME TOTALE (m³): 2 m³

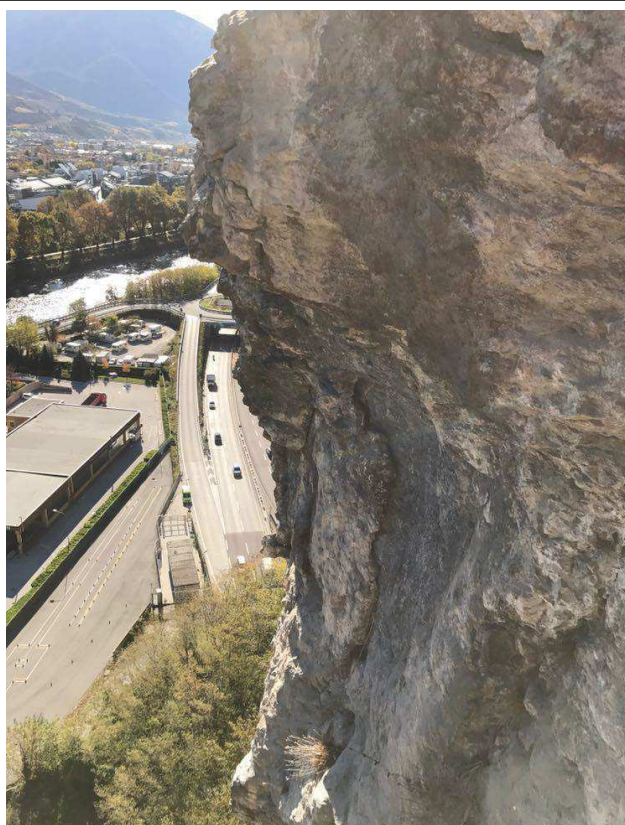
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 1,5 x 0.4 x 1 = 0.6 m³

NOTE: crollo per azione gelo


UBICAZIONE SU FOTO

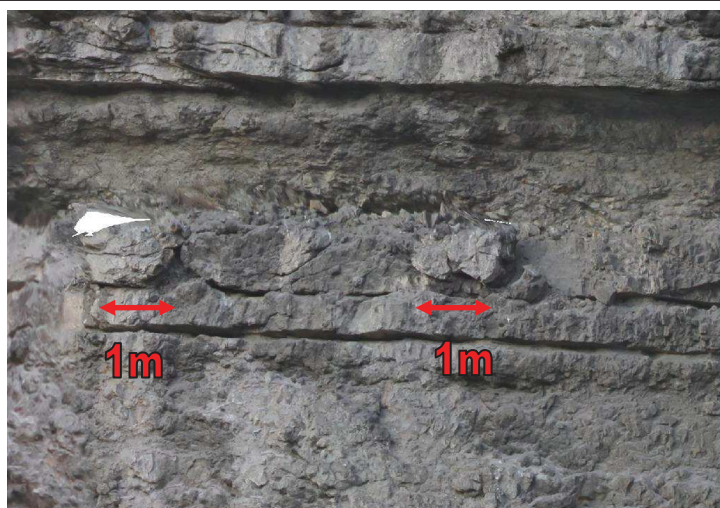


PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 5	
DESCRIZIONE:	serie di massi calcarei scalzati da erosione ed appoggiati su cengia SS
VOLUME TOTALE (m ³):	3 m ³
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	prisma 1 x 0.5 x 0.8 = 0.4 m ³
NOTE:	crollo per erosione piede
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

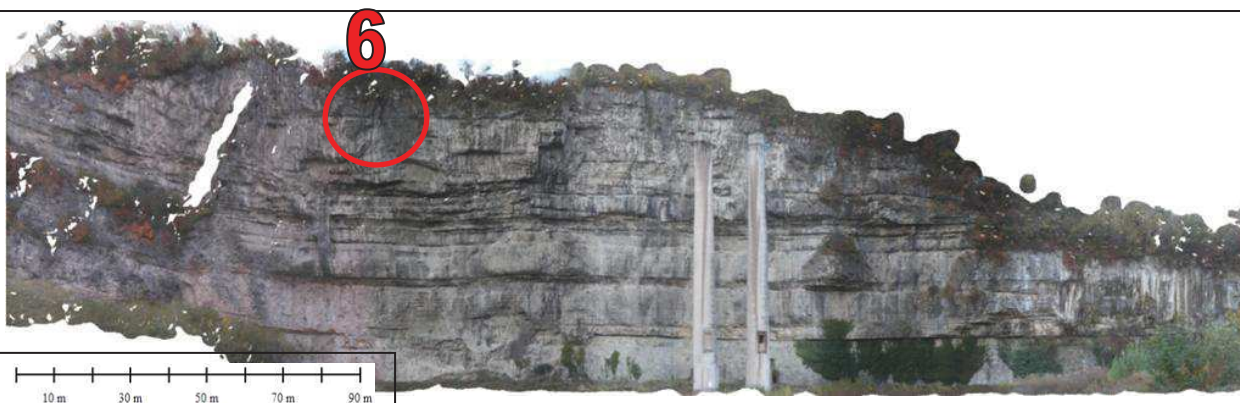
SCHEMA N°: 6

DESCRIZIONE: diedro, intensamente tettonizzato K3 e K5 e con piede scalzato SS. Fratture beanti e parzialmente riempite da terriccio e vegetazione. Poco sopra ci sono alcuni massi completamente scalzati

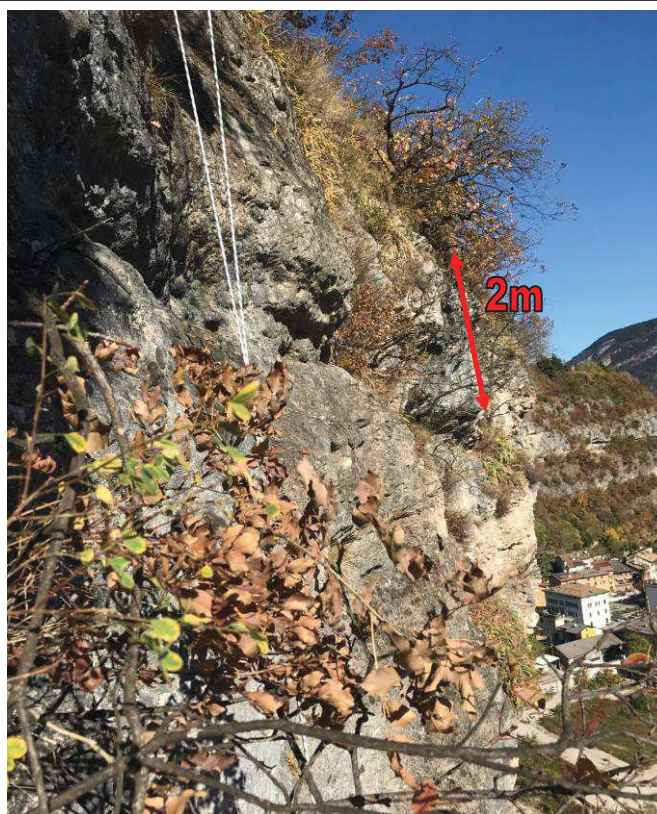
VOLUME TOTALE (m³): 6 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): diedro 1 x 1.8 x 0.8 = 1.4 m³

NOTE: crollo per azione radici e gelo

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

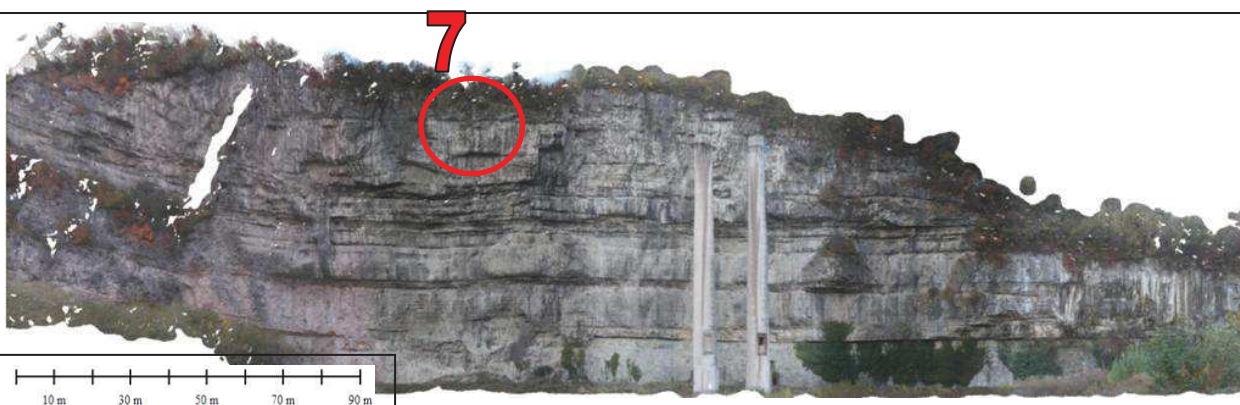
SCHEMA N°: 7

DESCRIZIONE: prisma isolato da frattura beante K1 di anche 10 cm, riempita da terriccio e con radici: base attualmente compatta ma con evidenze di degrado in atto

VOLUME TOTALE (m³): 40 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): 2 x 2.5 x 3 = 15 m³

NOTE: crollo per azione radici e gelo in dipendenza del progredire della disaggregazione ed alterazione del piede




UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA	
Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 8	
DESCRIZIONE:	placca detensionata K1 + K4 ed isolata da fratture K5 sub parallele alla parete
VOLUME TOTALE (m ³):	9 m3
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	prisma 1.8 x 0.6 x 1 = 1 m3
NOTE:	crollo per azione gelività
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	



PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 9

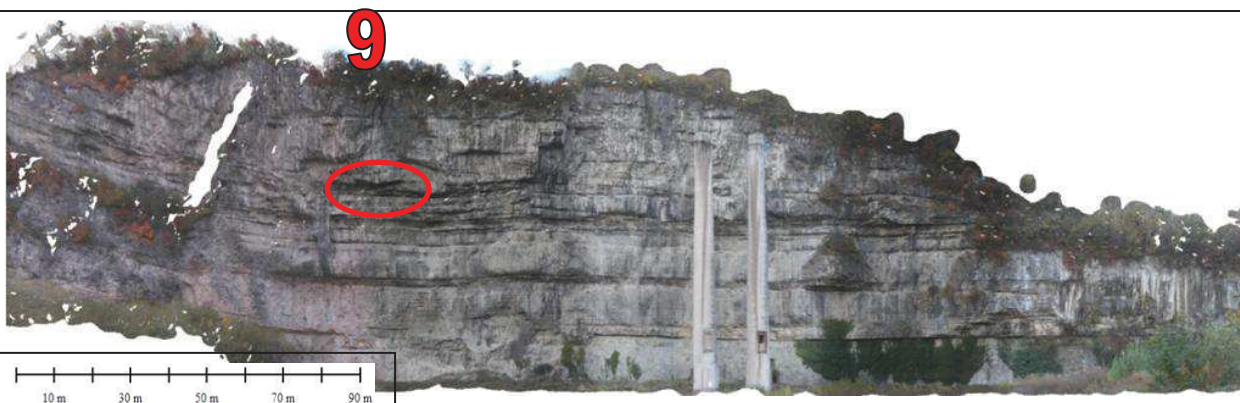
DESCRIZIONE: serie di massi facenti parte di uno strato calcareo ed ora scalzati da erosione ed appoggiati su cengia SS di un livello marnoso friabile

VOLUME TOTALE (m³): 2.5 m3

DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): lastra 2 x 0.8 x 0.5 = 0.8 m3

NOTE: crollo per erosione base appoggio

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

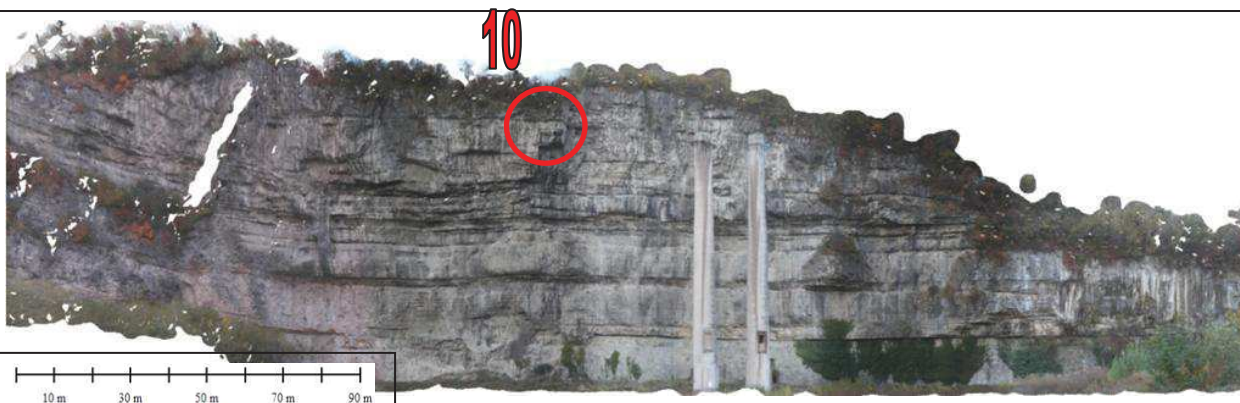
SCHEMA N°: 10

DESCRIZIONE: diedro isolato da K1, molto aggettante, intersecato da fratture passanti K3 + K5, sub parallele a parete e con parziale riempimento di terriccio

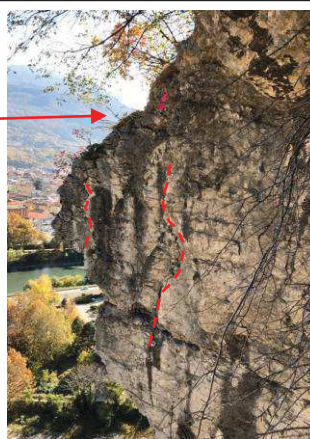
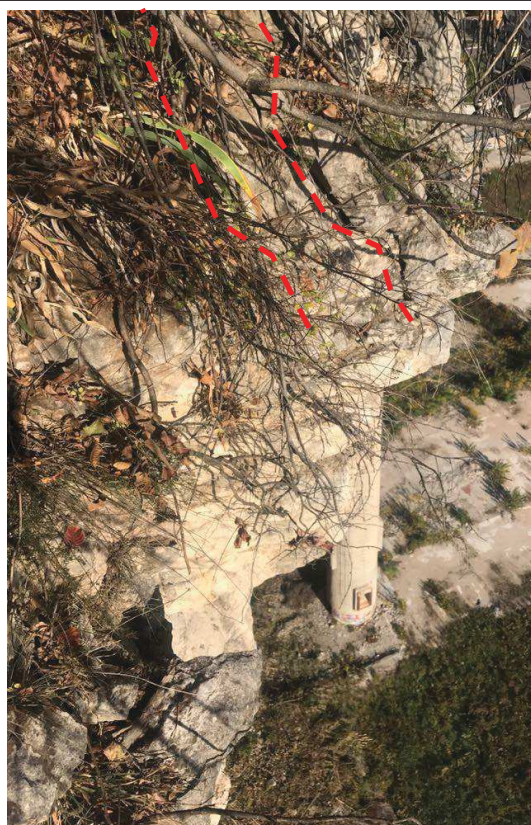
VOLUME TOTALE (m³): 20 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 2.5 x 1 x 1.6 = 3.8 m³

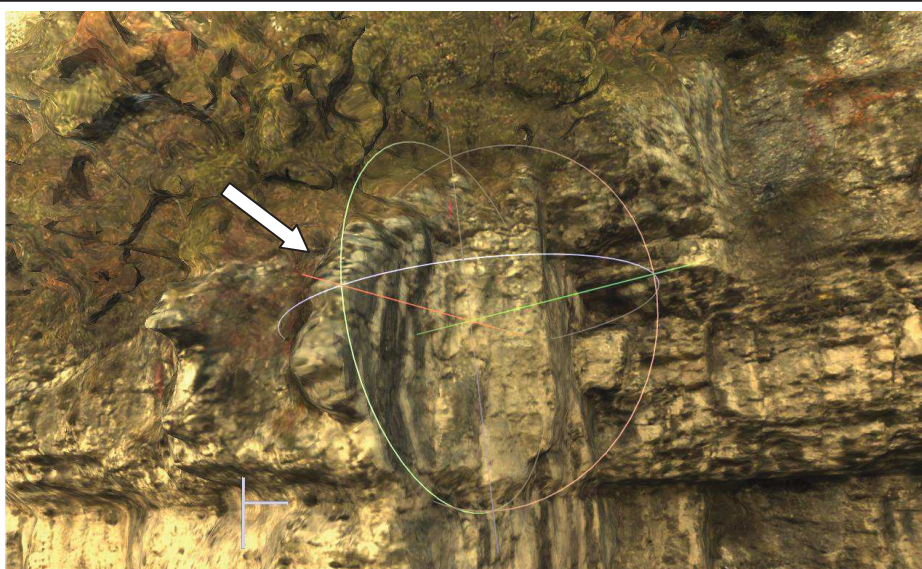
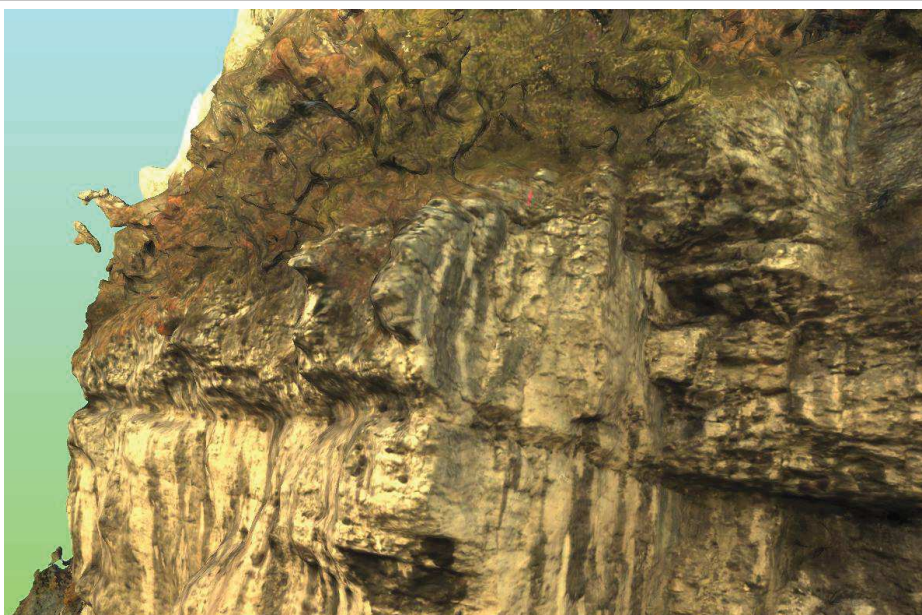
NOTE: crollo per semplice azione gravità e/o per azione radici e gelo.

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO







PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 11

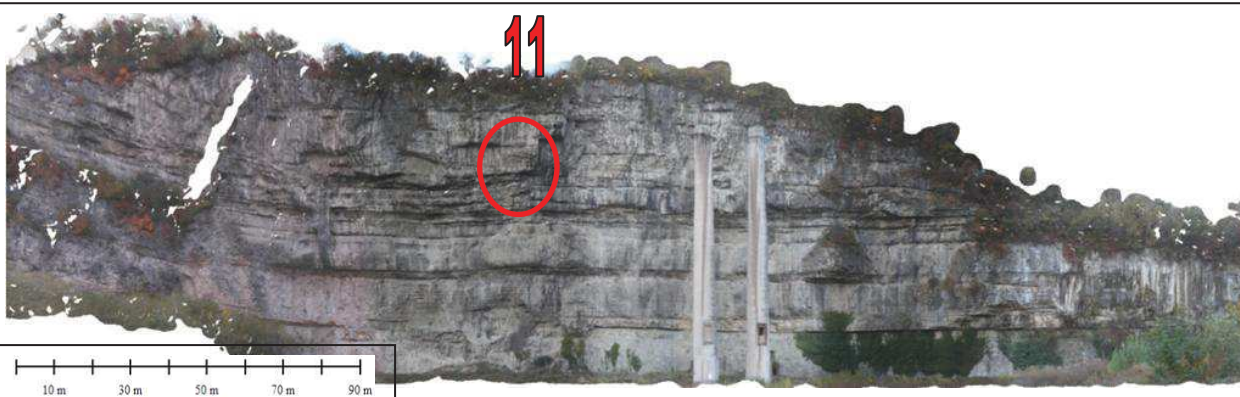
DESCRIZIONE: lastre molto detensionate, con frattura principale K5 sub parallela a parete e numerosi frammenti oramai isolati da fratture beanti

VOLUME TOTALE (m³): 10 m³

DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): lastra 1 x 2 x 0.7 = 1.4 m³

NOTE: crollo per azione gravità e gelività

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

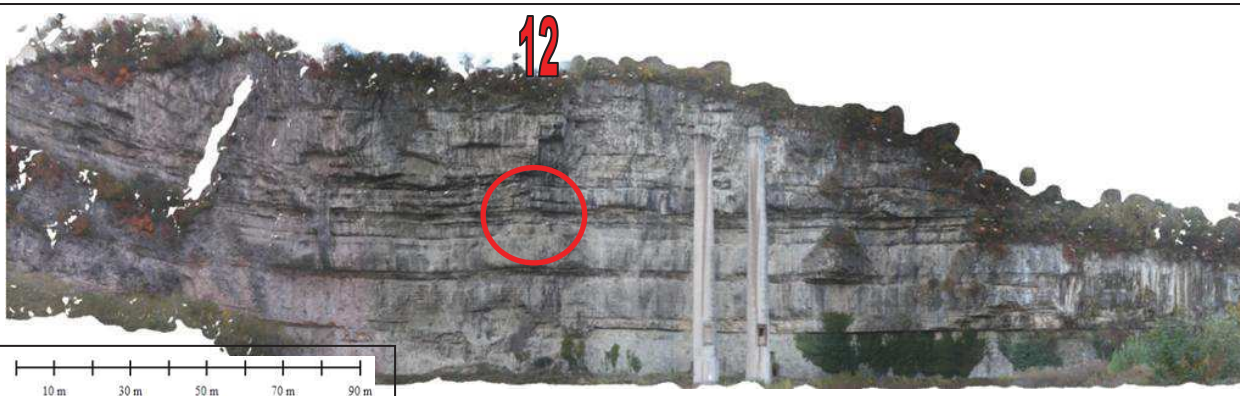
SCHEMA N°: 12

DESCRIZIONE: massi scalzati da erosione del piede ed interessati da fratturazioni K1 + K2, ortogonali a parete. Un masso appoggiato a cengia SS in erosione

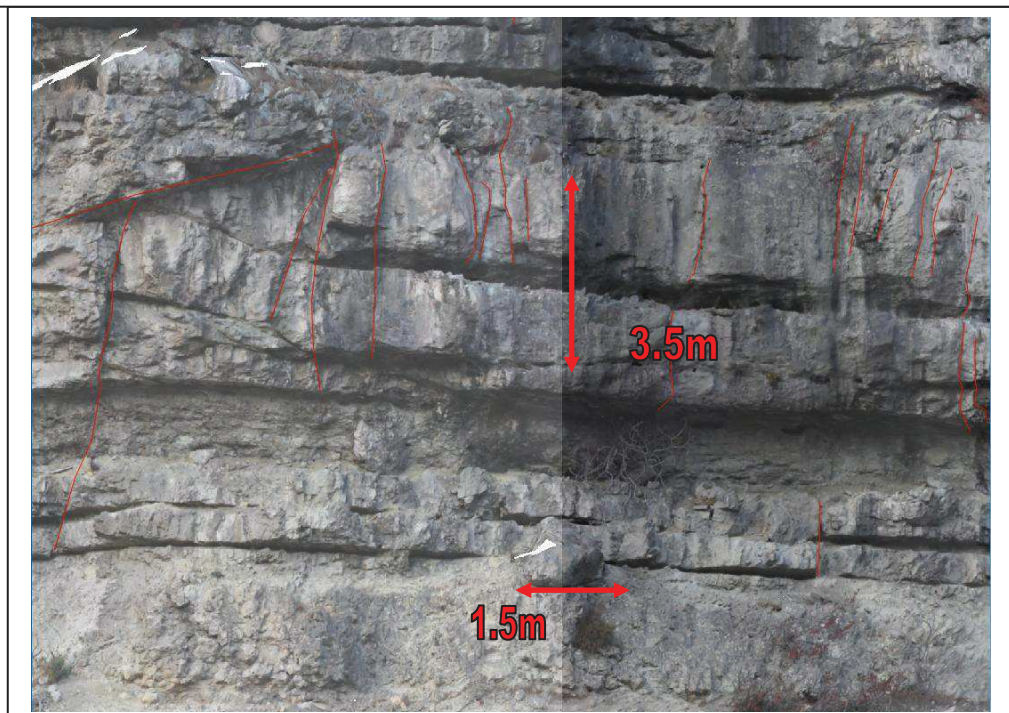
VOLUME TOTALE (m³): 15 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 1.5 x 1 x 1.8 = 2.7 m³

NOTE: crollo per gravità e per erosione appoggio

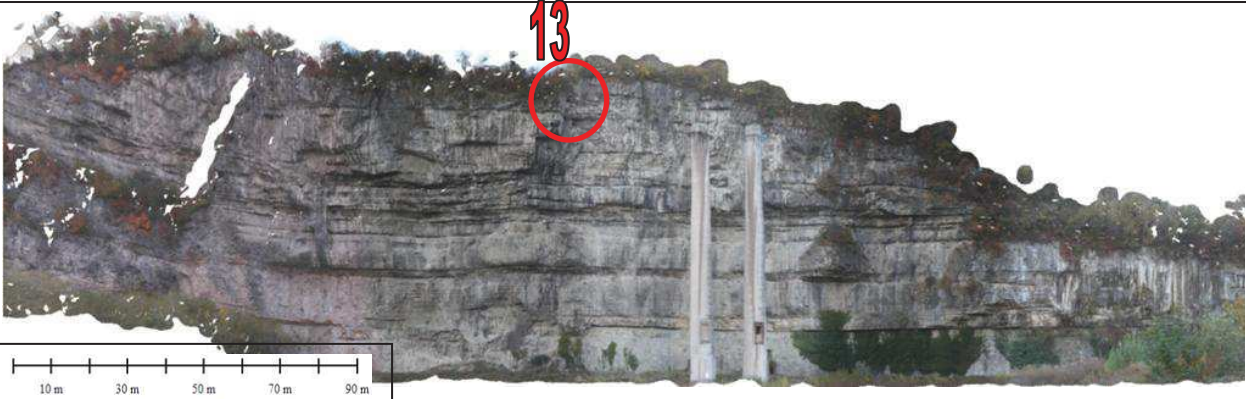
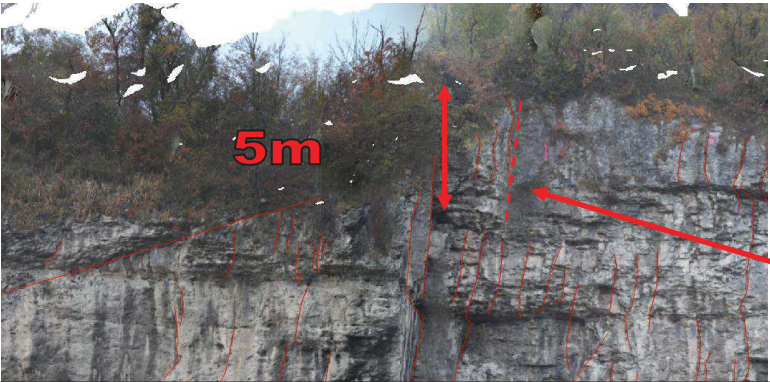

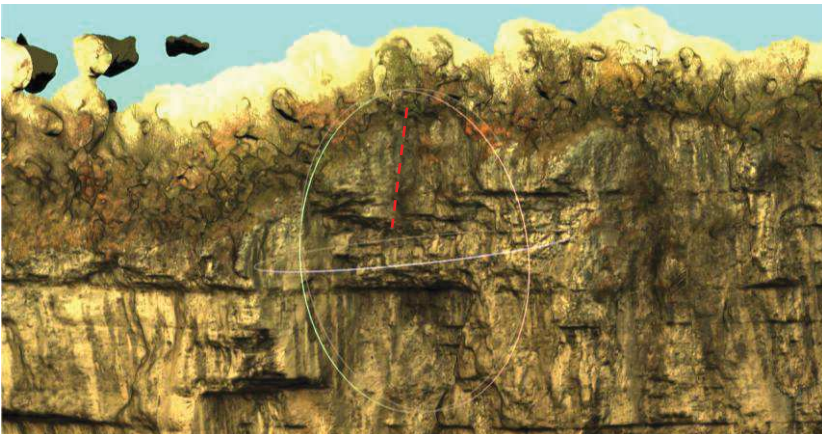

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA	
Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 13	
DESCRIZIONE:	porzione di parete aggettante – lati K1- e con importante frattura K3 aperta, parallela a parete, anche con materiale di riempimento
VOLUME TOTALE (m ³):	50 m ³
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	prisma 3 x 2 x 1.8 = 11 m ³
NOTE:	crollo per azione radici e gelo.
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	
	



PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 14

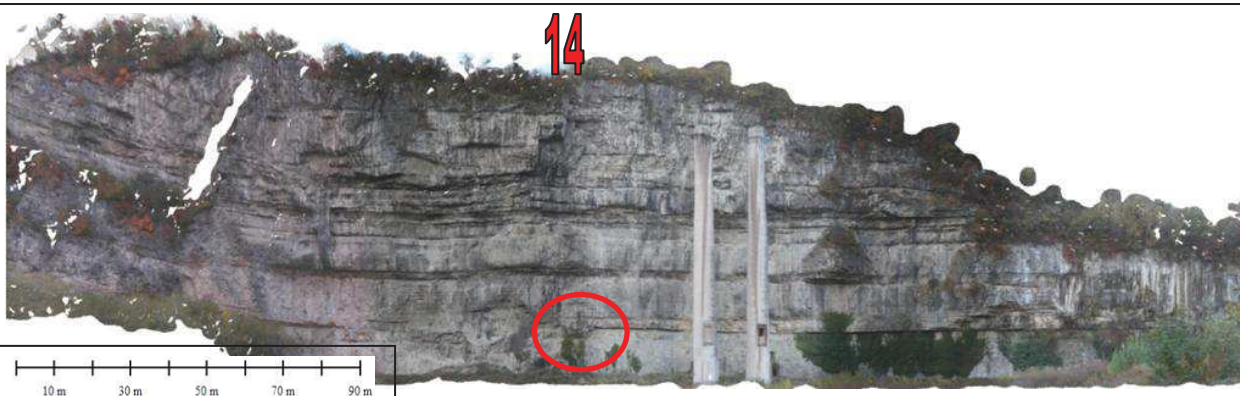
DESCRIZIONE: piastra di concrezione da deposito calcitico e con massi poco cementati

VOLUME TOTALE (m³): 3 m3

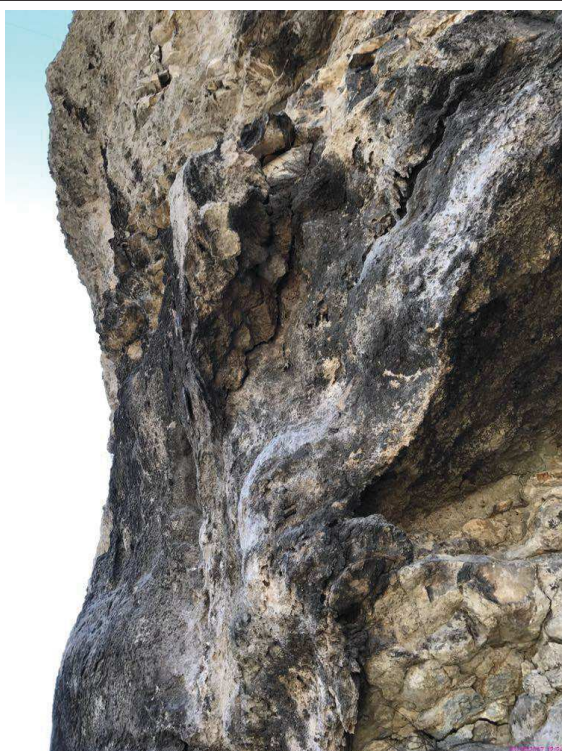
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 0.4 x 1.6 x 2.2 = 1.4 m3

NOTE: crollo per gelività ed alterazione appoggio




UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 15	
DESCRIZIONE:	lastra aggettante, lateralmente isolata da fratture K1 ortogonali a parete e con fratture correnti fino al piede scalzato da SS
VOLUME TOTALE (m³): 3.5 m3	
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 2 x 1.5 x 0.9 = 2.7 m3	
NOTE:	crollo per gelività e alterazione con decompressione delle fratture
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	

**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

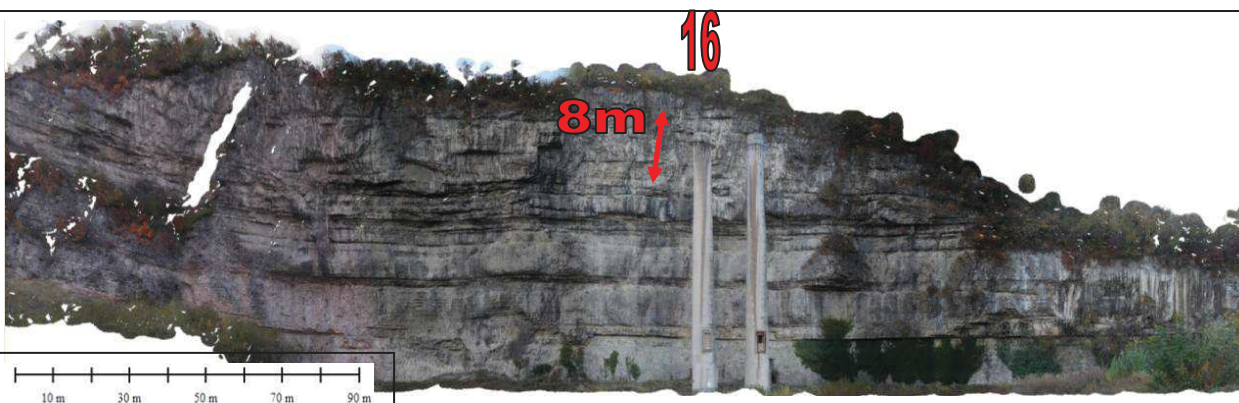
SCHEMA N°: 16

DESCRIZIONE: Instabilità diffusa di un'ampia placca a pareti K1, fessurata su più piani K3 disposti parallelamente a parete, anche con singoli blocchi pericolanti per presenza frattura K4

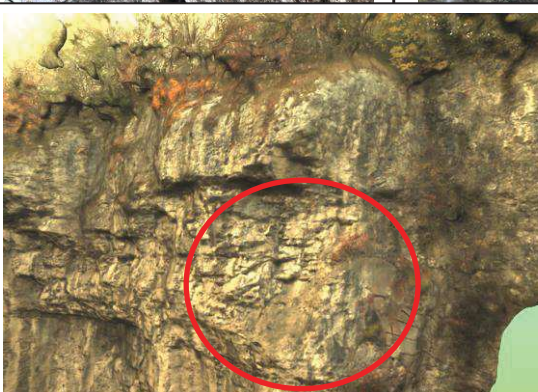
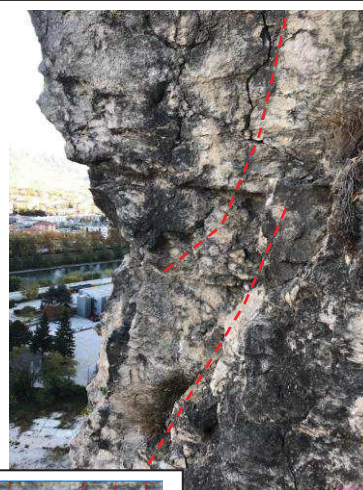
VOLUME TOTALE (m³): 40 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 2.3 x 1.1 x 2.4 = 6 m³

NOTE: crollo per gravità e gelività

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

SCHEMA N°: 17

DESCRIZIONE: due lastre, una isolata fra frattura beante K3 e il labbro di altra frattura K1 su cui fa perno, con rotazione esterna; la seconda ha forma di cuneo rovesciato

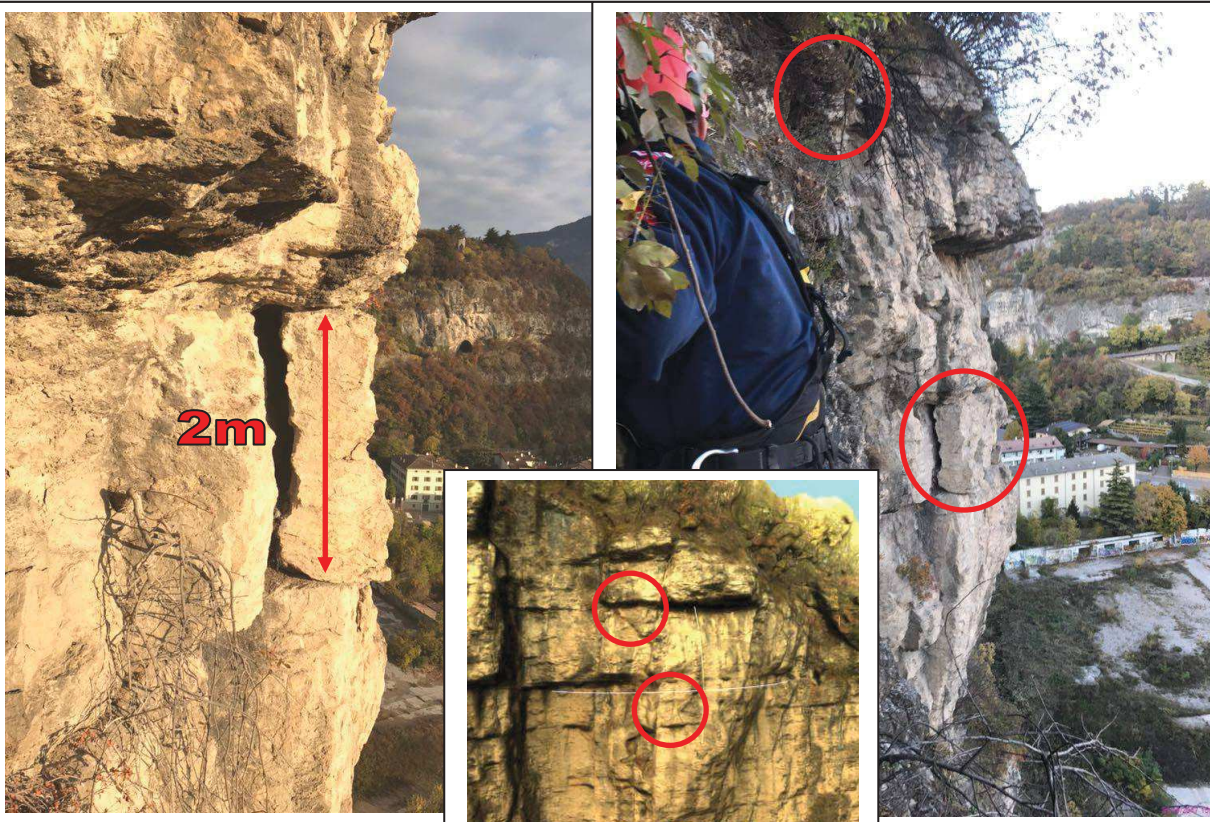
VOLUME TOTALE (m³): 5 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 2 x 0.6 x 1 = 1.2 m³

NOTE: crollo per gelività e, per la seconda, per erosione piede. Il loro crollo andrà a destabilizzare più ampie porzioni rocciose soprastanti

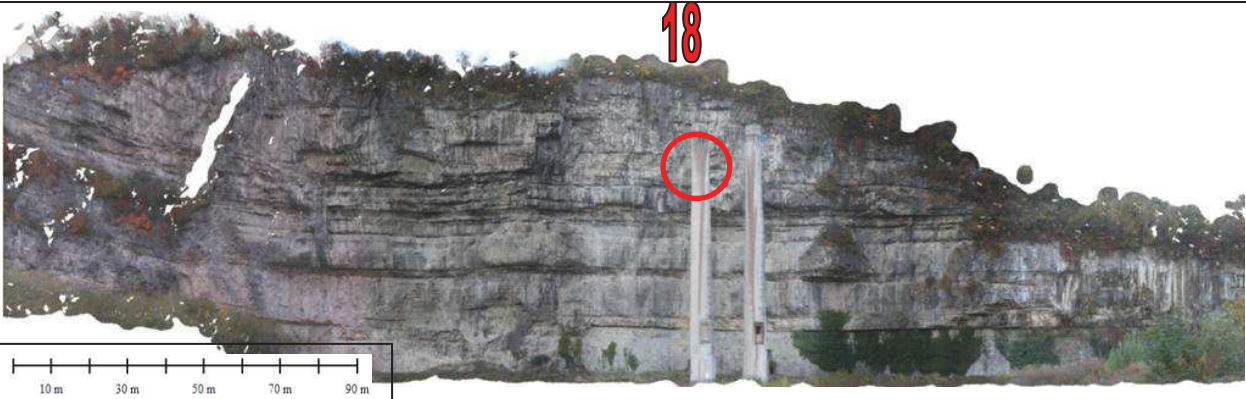


UBICAZIONE SU FOTO





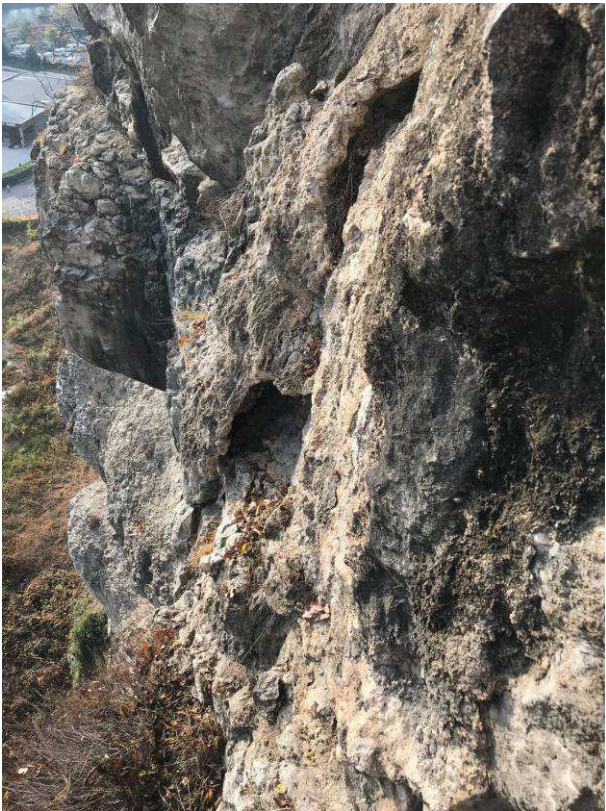
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO




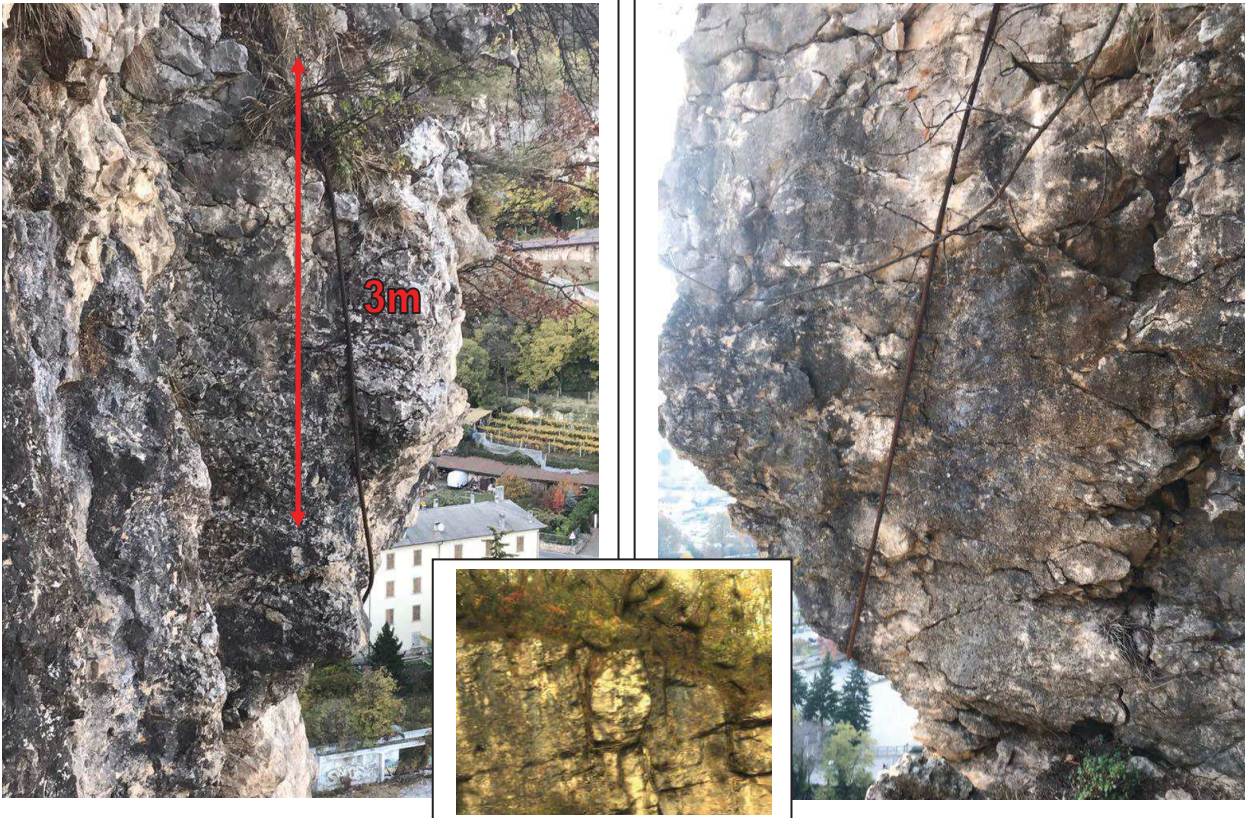


PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 18	
DESCRIZIONE:	lastra di decompressione K3 sub parallela a parete
VOLUME TOTALE (m ³):	2.5 m3
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	prisma 1.5 x 1.8 x 0.4 = 1 m3
NOTE:	crollo per gelività e decompressione piede
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	



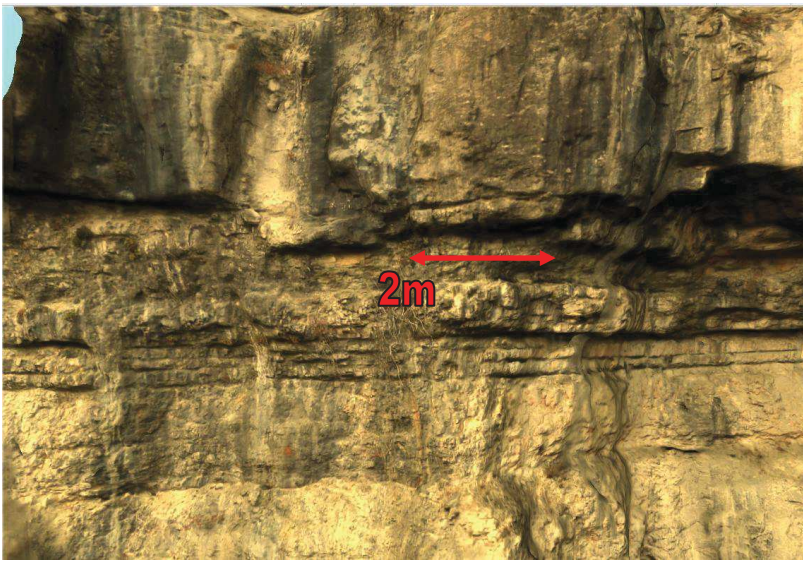


PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 19	
DESCRIZIONE:	Piastra di concrezioni calcitiche, separate da parete da fratture beanti K1 + K5
VOLUME TOTALE (m³): 0.5 m3	
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 1.2 x 0.6 x 0.3 = 0.2 m3	
NOTE:	crollo per gelività e decompressione piede
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	



PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA	
Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 20	
DESCRIZIONE:	blocco con lati K1, aggettante, e con fratture K3 con vecchia fune per imbrago piede, poco efficace e malamente ancorata
VOLUME TOTALE (m ³):	35 m3
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	prisma 3 x 2 x 3 = 18 m3
NOTE:	crollo per gravità e per gelività
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	



PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 21	
DESCRIZIONE:	strato calcareo fratturato e scalzato su SS, anche con sassi appoggiati sulla sottostante cengia
VOLUME TOTALE (m ³):	3 m3
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	prisma 2 x 0.4 x 0.8 = 0.6 m3
NOTE:	crollo per erosione e gravità, da scalzamento
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	

**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

SCHEDA N°: 22

DESCRIZIONE: serie di prismi isolati da fratture K1 + K4 ad alto angolo rispetto a parete e decompressi verso l'esterno, anche con scalzamento, possibile ribaltamento "toppling"

VOLUME TOTALE (m³): 10 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 2 x 1 x 2 = 4 m³

NOTE: crollo per decompressione e per gelività

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

SCHEMA N°: 23

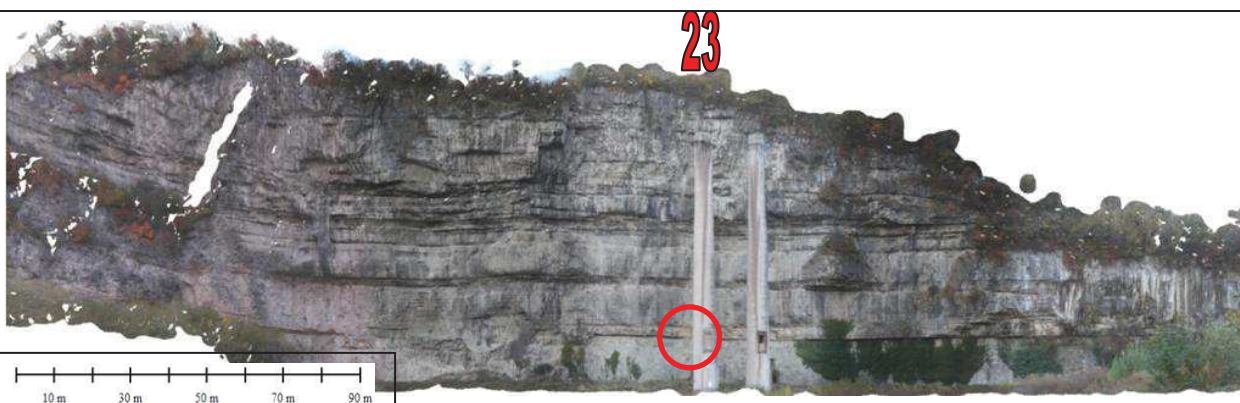
DESCRIZIONE: ampia zona intensamente tettonizzata da K1 poco spaziate e con frequenti alternanze di calcari a livelli siltitici ed argillitici che isolano livelli sottoescavati su SS da erosione

VOLUME TOTALE (m³): 5 m3

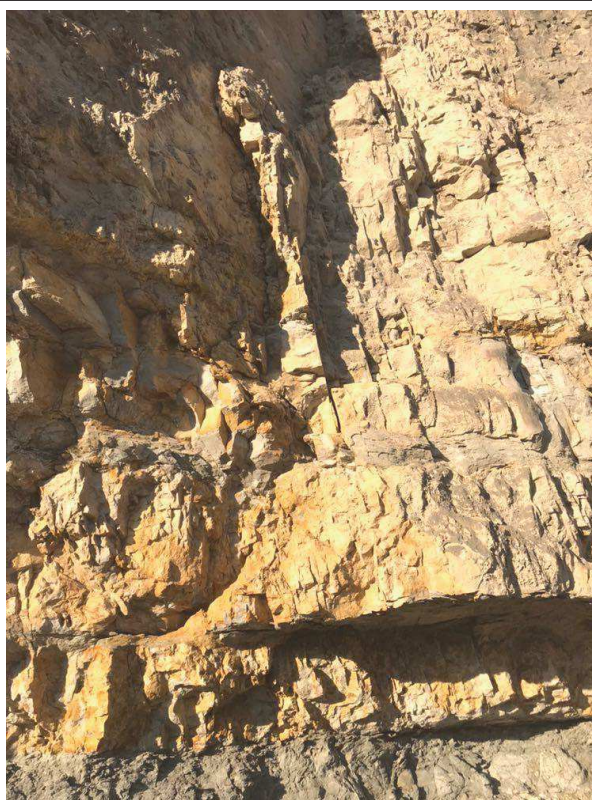
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 0.5 x 0.4 x 0.6 = 0.1 m3

NOTE: crollo per gelività ed erosione che scalza livelli calcarei


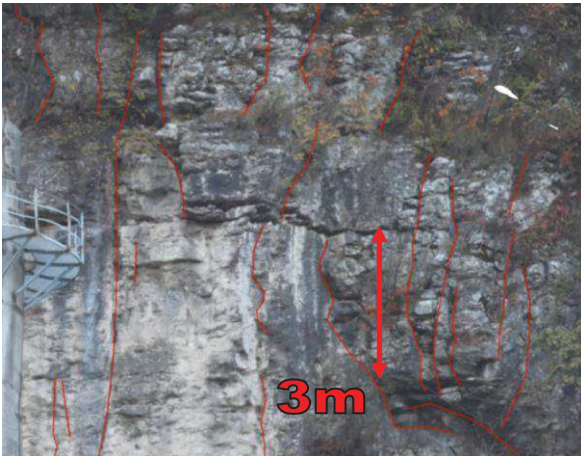


UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA	
Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 24	
DESCRIZIONE:	ampio settore fratturato da K3 + K1 e K4, con diffusa instabilità sia di singoli frammenti e sia, al crollo dei medesimi, per la destabilizzazione di porzioni più ampie
VOLUME TOTALE (m ³):	80 m3
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	8 m3
NOTE:	crollo per degrado e gelività
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	
	



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

SCHEDA N°: 25

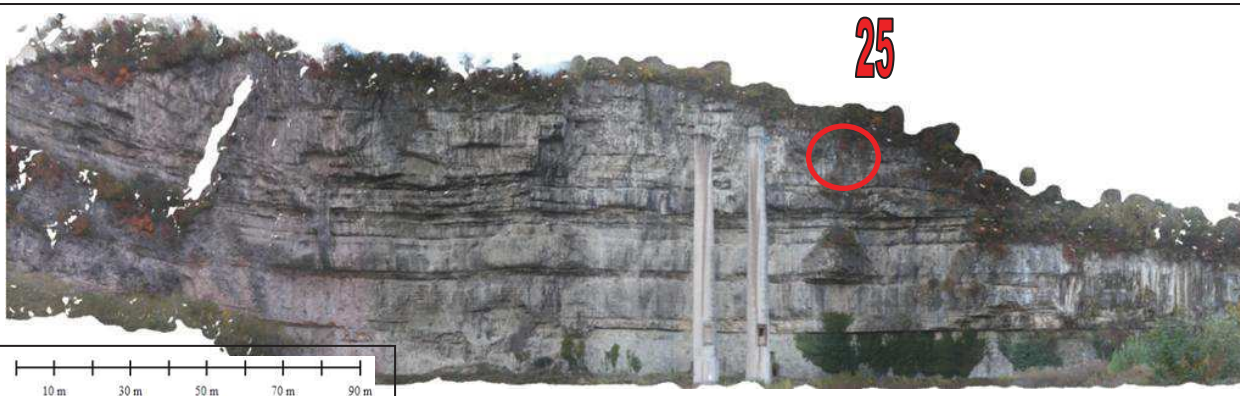
DESCRIZIONE: Masso, oramai completamente svincolato da K3 a basso angolo, che fa da cuneo a sostegno di volume più ampio K1 e K4, a sua volta svincolato superiormente su SS da ammasso

VOLUME TOTALE (m³): 15 m3

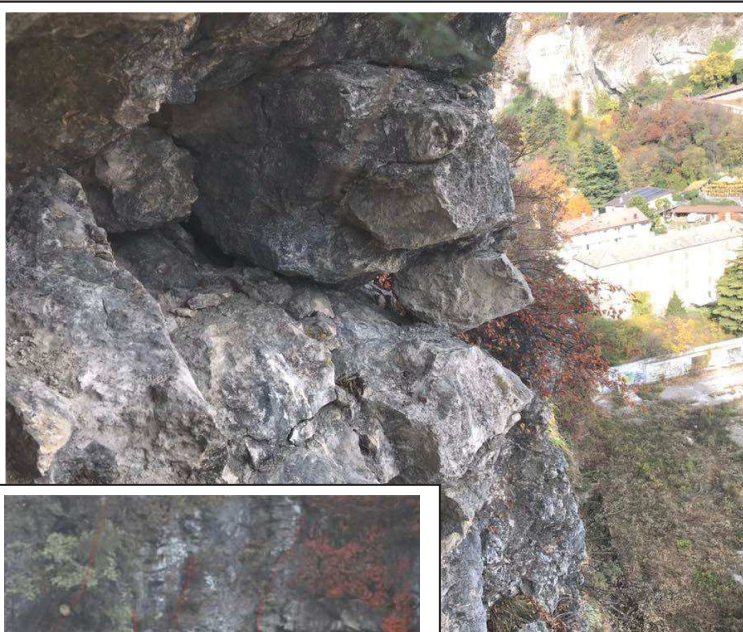
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 1 x 2 x 1.5 = 3 m3

NOTE: crollo per gelività o disgregazione derivante dal carico litostatico esercitato della massa soprastante

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

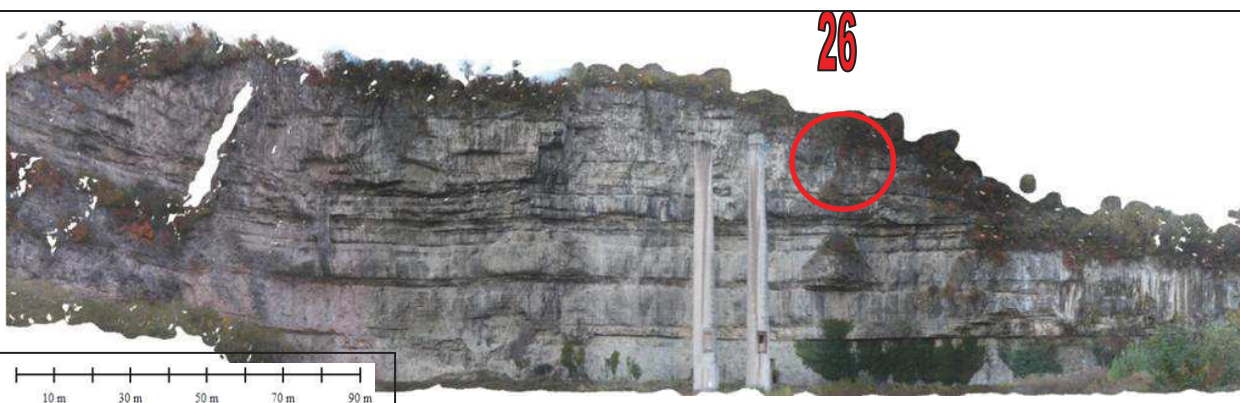
SCHEMA N°: 26

DESCRIZIONE: diedro K1 + K5 detensionato e separato da ammasso da frattura K3 sub parallela a parete

VOLUME TOTALE (m³): 4 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 1.6 x 0.6 x 1.2 = 1.1 m³

NOTE: crollo per azione radici e gelività

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 27

DESCRIZIONE: serie di lastroni isolati da fratture beanti (K3 inverse): possibile caduta per ribaltamento "toppling" o cedimento del piede

VOLUME TOTALE (m³): 11 m³

DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): prisma 2.2 x 0.5 x 2 = 2 m³

NOTE: crollo per azione diretta di gravità oltre che per radici e gelività

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 28

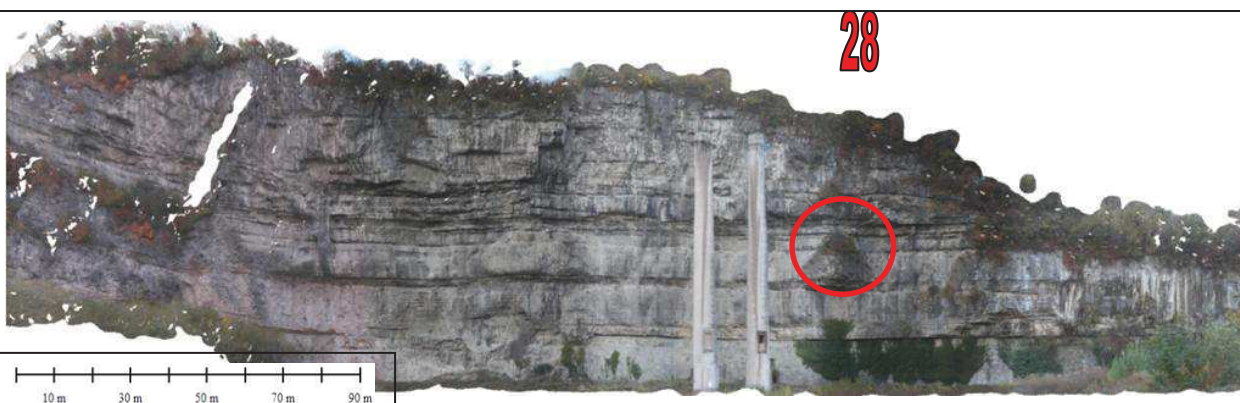
DESCRIZIONE: materiale detritico impilato a piramide ed appoggiato su oggetto in erosione

VOLUME TOTALE (m³): 2 m³

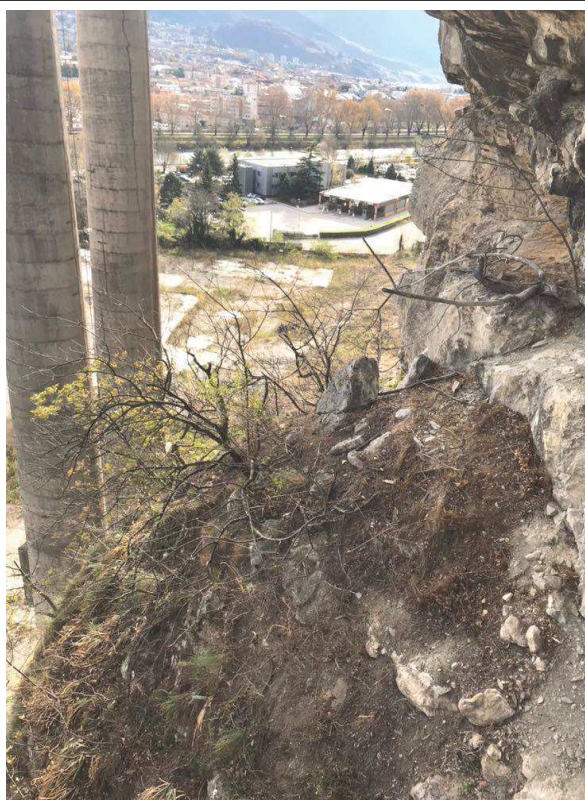
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): 0.3 x 0.4 x 0.4 = 0.05 m³

NOTE: crollo per erosione


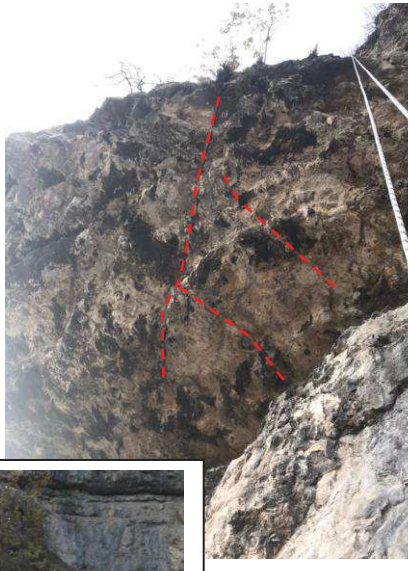
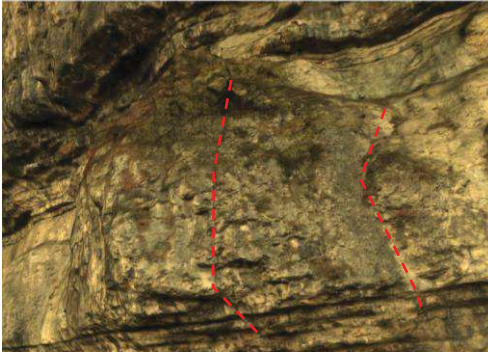
UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 29	
DESCRIZIONE:	semidiedro aggettante su SS e con fessurazioni K5 + K4 e anche sub parallele K3 a parete
VOLUME TOTALE (m ³):	40 m3
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m):	semidiedro 8 m3
NOTE:	crollo per gravità
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	
	

**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

SCHEMA N°: 30

DESCRIZIONE: placca separata da fessura K3 sub parallela a parte, piede più frantumato rispetto alla parte superiore

VOLUME TOTALE (m³): 5 m3

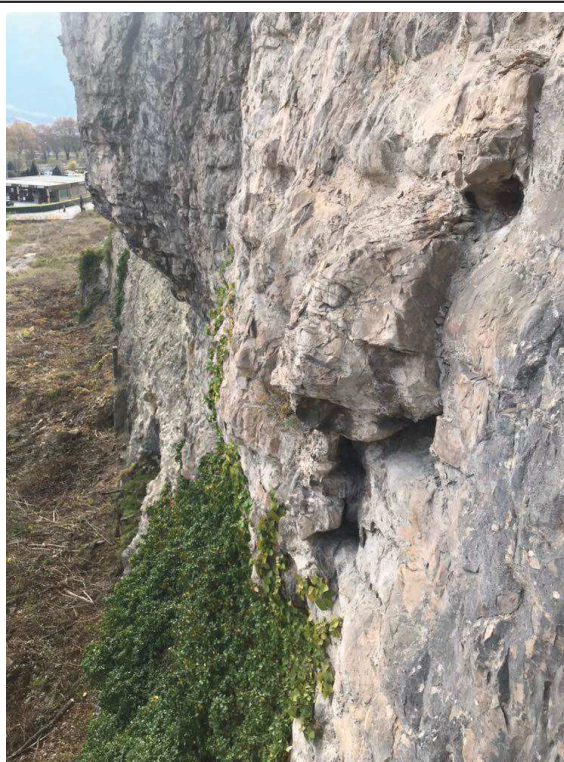
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): 1 m3

NOTE: crollo per degrado piede e per gelività

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 31

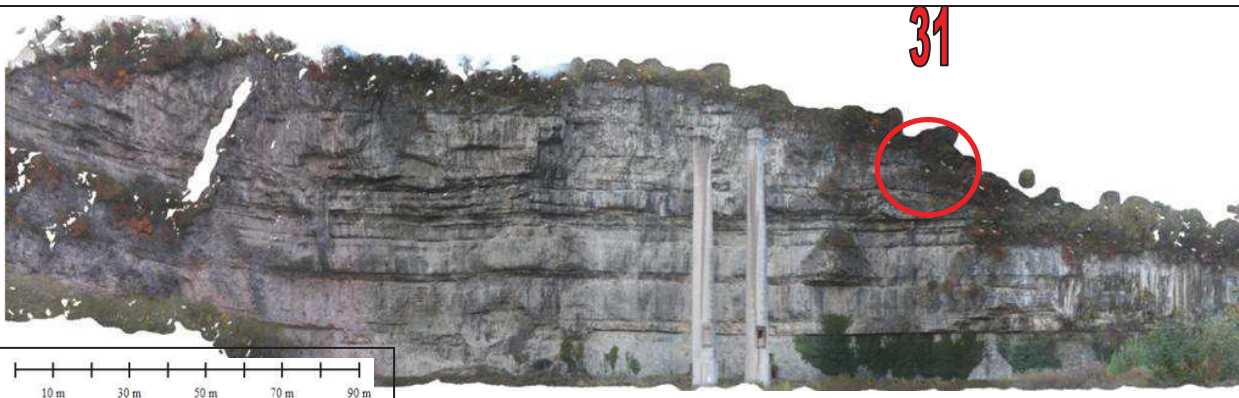
DESCRIZIONE: lastra in parte scalzata su SS e isolata da ammasso da fratture K3 sub parallele a parete

VOLUME TOTALE (m³): 6 m³

DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): lastra 1 x 1.8 x 0.8 = 1.4 m³

NOTE: crollo per gelività e disgregazione piede

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

SCHEDA N°: 32

DESCRIZIONE: serie di lastroni (lati su K1 e K4) molto tettonizzati e con fratture K3 sub parallele a parete: piede anche scalzato su SS

VOLUME TOTALE (m³): 35 m3

DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): 2 x 1.5 x 1 = 3 m3

NOTE: crollo per azione radici e gelività: possibile erosione piede di un diedro

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 33

DESCRIZIONE: strato calcareo tettonizzato ed isolato dall'erosione dei livelli marnosi sia soprastanti che sottostanti

VOLUME TOTALE (m³): 2 m3

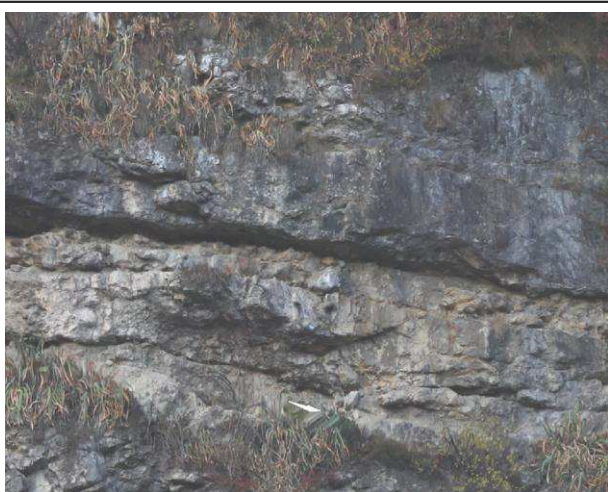
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): lastra 0.8 x 0.7 x 1.5 = 0.8 m3

NOTE: crollo per erosione e scalzamento del piede

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO



**PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA****Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento**

SCHEDA N°: 34

DESCRIZIONE: serie di diedri tettonizzati e decompressi, separati da ammasso da fratture K3 + K4, anche beanti, che si incrociano con K1: presente riempimento di terriccio

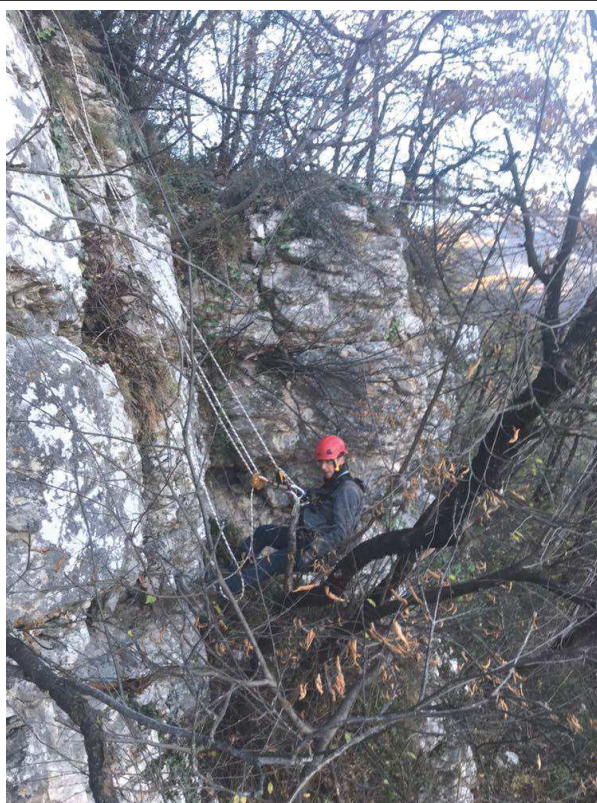
VOLUME TOTALE (m³): 10 + 20 m³DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): blocchi fino a 3 m³

NOTE: crollo per degrado ed azione radici e gelività

UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO





PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA

Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento

SCHEDA N°: 35

DESCRIZIONE: falesia che si allontana dal ciglio della parete: presenti numerosi pinnacoli intensamente tettonizzati e decompressi e separati da fratture sub verticali e variamente orientate: K1 + K2 + K3 + K4

VOLUME TOTALE (m³): vari pinnacoli (n° 6) di dimensioni fino a 25 m³

DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): 8 m³

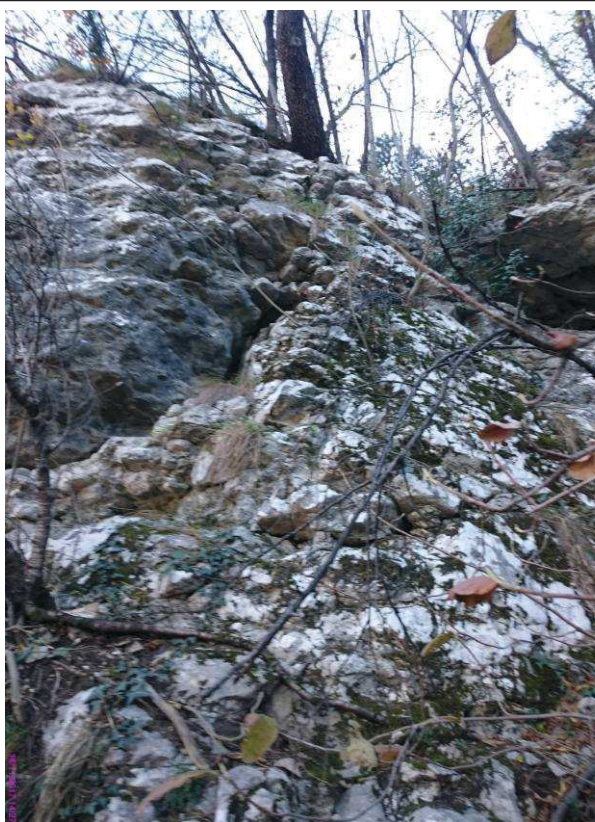
NOTE: crollo per degrado ed alterazione roccia, a luoghi anche per gelività e azione radici

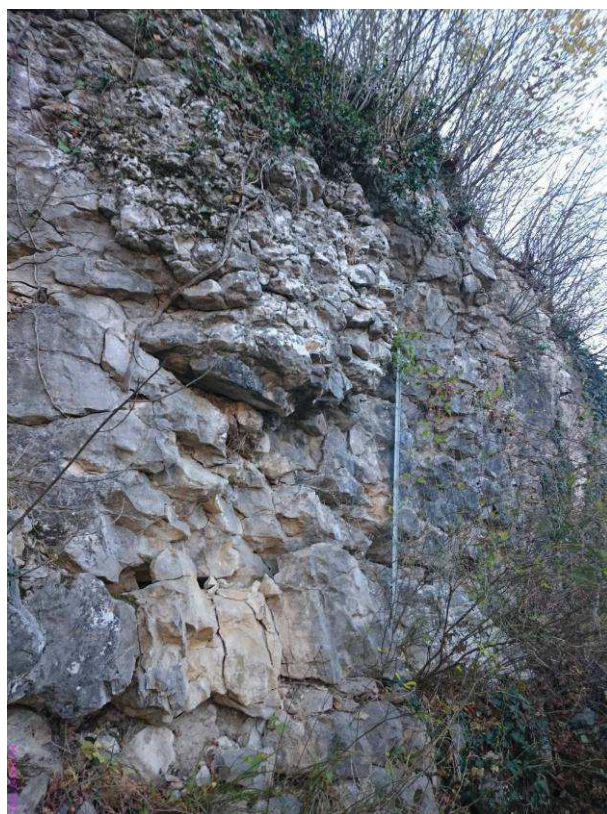
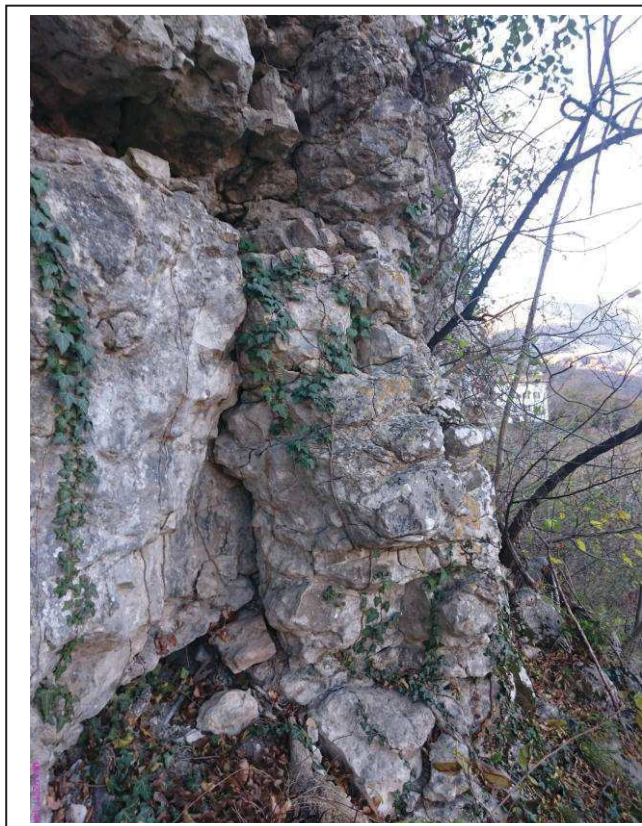
UBICAZIONE SU FOTO



PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO









PATRIMONIO DEL TRENTINO SPA Pericolosità geologica per crollo dalla parete ex – Italcementi a Trento	
SCHEDA N°: 36	
DESCRIZIONE:	muro a secco in parte già crollato ed in parte deformato
VOLUME TOTALE (m ³): 4 m3	
DIMENSIONI MASSO MAGGIORE (m): decimetri cubi	
NOTE:	crollo per ammaloramento statico, imbibizione e deformazione terreno
UBICAZIONE SU FOTO	
	
PORZIONE INSTABILE: VISTA DI DETTAGLIO	
	
	MURETTI A SECCO PIU' O MENO DEFORMATI E PRESENTI LUNGO TUTTO IL BORDO SUPERIORE DELLA PARETE



Una prima tipologia di instabilità osservata è quella che si forma quando le fratture sono parallele alla faccia della parete (giunti K4 e K5) e con spaziatura dell'ordine da 0,5 a 1 m: in questo caso si isolano delle lastre od anche delle plaghe distribuite che solitamente risultano pericolanti per fenomeni di toppling o per scalzamento del piede, come visibile nelle schede 7, 11, 17, 18, 27, 30 e 32.



Fratture parallele alla parete e poco spaziate individuano delle porzioni instabili lastriformi.

Un secondo tipo di instabilità è data dall'intersezione, sulla faccia della parete, di due piani aventi angolo di incidenza azimutale poco inclinato rispetto alla parete stessa: si isolano delle porzioni instabili aventi forma lastriforme e con sezione svasata.



Esempi, nel Calcare di Malcesine, di lastre isolate da due famiglie di fratture sub parallele o comunque poco inclinate rispetto al fronte della parete. A destra dettaglio di una situazione particolarmente instabile appartenente a tale tipologia di dissesto.



Si passa poi a situazioni nelle quali le famiglie di giunti hanno angolo di incidenza azimutale con la parete via via più incidente: si formano porzioni instabili che assumono la forma di cunei e, quando le fratture arrivano ad intersecare la parete ortogonalmente, si arriva alla formazione di veri e propri diedri e prismi.



All'aumentare dell'angolo azimutale di incidenza rispetto all'andamento della parete, l'intersezione delle varie famiglie di giunti isolano porzioni rocciose che assumono forme passanti da cunei (Sn) a diedri e prismi (Dx).

Ovviamente esiste poi tutta una serie di casi intermedi, complicati inoltre dalla diversa resistenza e comportamento dei vari strati della roccia: si hanno così instabilità derivanti dalla sottoescavazione, fino allo scalzamento, dei livelli più rigidi e calcarei da parte dei più erodibili livelli marnosi, siltitici e vulcano detritici.

Si sono poi anche osservati dei casi di instabilità per ribaltamento, toppling: si tratta di un'instabilità riferibile alle porzioni di parete rocciosa interessata da giunti ad alto angolo che, pur essendo orientati a reggipoggio, non essendo confinati nella direzione di possibile crollo possono determinare instabilità per ribaltamento.



Tipico esempio di instabilità per ribaltamento (toppling) determinata dalla presenza di giunti a reggipoggio ma ad alto angolo di immersione e non confinati nella direzione ortogonale di immersione.

Nel caso illustrato nella foto la situazione è maggiormente compromessa per via dello scalzamento del piede del settore di roccia fratturato.



5. VERIFICHE DI STABILITA'

5.1. Verifica di stabilità globale

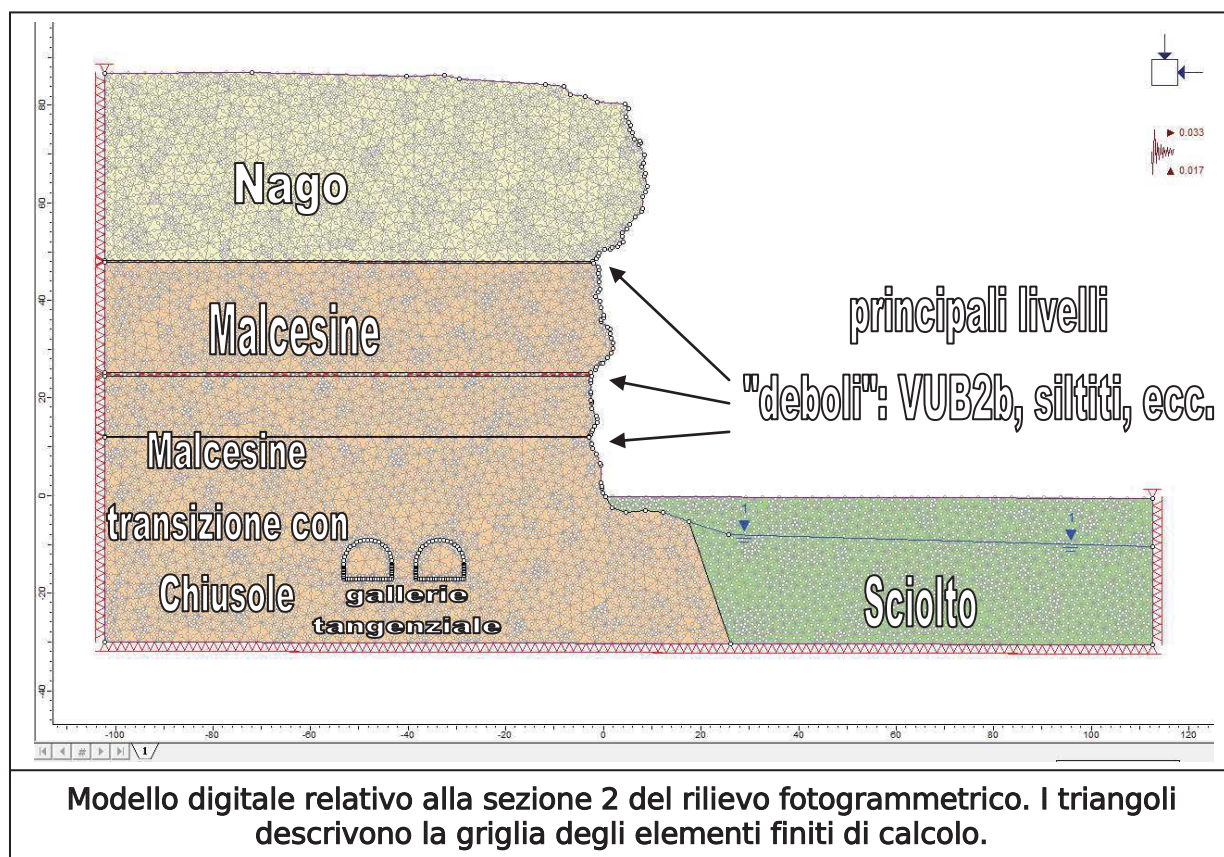
Si è voluto verificare se la parete nel suo insieme sia stabile o soggetta al pericolo di instabilità secondo meccanismi di rottura relativi al continuo equivalente, come sopra determinato.

Questo tipo di verifica è definibile come verifica globale, in quanto va a verificare non tanto le singole porzioni di roccia, quanto piuttosto l'ammasso roccioso nella sua interezza.

Il primo passo è consistito nel definire il modello numerico della parete: allo scopo si è deciso di utilizzare una sezione di parete caratterizzata dall'avere non solo altezza elevata (quindi relativa alla parte centro – meridionale della parete), ma che riportasse anche degli aggetti significativi.

Si è quindi deciso di utilizzare la sezione 2 riportata nel rilievo fotogrammetrico, inserendo poi le varie caratteristiche litologiche e geomeccaniche rilevate.

Si è utilizzato un modello numerico agli "elementi finiti" e che consentisse anche l'adozione di diversi approcci combinati dei parametri specifici per i diversi materiali.



- La parete è stata modellata considerandola costituita dai seguenti materiali:
- la parte alta con la Formazione di Nago
 - la parte centrale e basale con la formazione di Malcesine (passante in basso alla F. di Chiusole)
 - la presenza di alcuni principali livelli di materiali a minor resistenza (sono le intercalazioni dei livelli vulcano detritici, delle siltiti grigie, ecc.)
 - un generico materasso di materiale sciolto sul piazzale basale



Le gallerie autostradali, data la loro posizione decentrata, non sono state inserite nel modello mentre si sono indicate le gallerie della tangenziale. Queste, allo stato attuale, sono state completamente rivestite, a seconda della classe della roccia incontrata con gli usuali accorgimenti provvisori, tipo bulloni, spritz, centine metalliche; inoltre tutte le gallerie sono state poi interamente rivestite con getto in cls, anche sull'arco rovescio: pertanto si è deciso di inserirle nel modello ma scegliendo di non modellarle come una cavità deformabile.

Per il piazzale si è considerato un materiale "sciolto" generico, comprendente sia le macerie e sia le alluvioni: il contatto fra roccia e sciolto è stato modellato in base agli esiti dell'indagine geofisica con metodo sismico condotta nell'estate 2017. La posizione della falda rispecchia la misura nel Pz1, che in data 22/12/2107 aveva una profondità del tetto posta a 8.56 m da p.c.

A seguire si indicano i parametri di ingresso delle resistenze e rigidità utilizzati per i diversi litotipi: come per i valori delle resistenze, anche per i valori dei moduli della rigidità si è fatto riferimento alle sopra riportate correlazioni derivabili dalle classificazioni dell'ammasso roccioso.

In merito alle verifiche si noti che esse sono state eseguite secondo (NTC par. 6.8.2) l'Approccio 1, combinazione 2: (A2+M2+R2).

Quindi il calcolo è impostato con:

- le azioni permanenti del terreno e dell'acqua: $A2 = 1$ NTC tab. 6.2.1,
- i parametri di resistenza del terreno ridotti: $M2 = 1,25$ per c , $= 1$ per γ e $= 1,25$ per $\tan \Phi$, $= 1,6$ per res. uniassiale compress. NTC tab. 6.2.2,
- perchè un fronte di scavo risulti stabile si deve ottenere che il rapporto fra le forze e le azioni risulti uguale o superiore a 1,1, in quanto a tale valore va applicato un ulteriore fattore riduttivo parziale che, per fronti di scavo, vale: $R2 = 1,1$ tab. 6.8.1 NTC.

Tipo	Crit. rottura	Peso v. (kN/m3)	UCS (MPa)	mb	s	a	Young (GPa)	Poisson r
Nago	Hoeck- B.	24	100	1.341	0.003860	0.5057	40	0.25
Malcesine	Hoeck- B.	24	50	0.821	0.001276	0.5114	30	0.25
Interstrati	Hoeck- B.	24	3	0.230	0.000137	0.5437	2	0.20
							Phi (°)	c (Kn/m2)
Sciolto	Mohr-C.	20	-	-	-	-	35	5

Per il calcolo si è utilizzato il codice SR2 della Rocscience (Toronto) inserendo nella modellazione anche la condizione dinamica derivante dal sisma, con i parametri di accelerazione precedentemente presentati.

Il rapporto fra la resistenza di progetto ed il valore di progetto delle azioni (R_d/E_d) viene di seguito definito come "Fattore di Sicurezza (F_s)": quando tale rapporto è superiore a $F_s > 1,1$ allora la superficie di scivolamento è verificata, come sopra illustrato.

Il metodo di calcolo adottato è quello definito SRF cioè Strength Reduction Factor "fattore di riduzione delle resistenze": sintetizzando il metodo consiste nel ridurre progressivamente i parametri di resistenza iniziali, di ingresso, conferiti all'ammasso roccioso sulla base delle osservazioni di campagna: in questa



condizione iniziale il valore di riduzione della resistenza vale 1, cioè nessuna riduzione.

Oltre una certa soglia di riduzione delle resistenze (cioè per valori di riduzione crescenti) si osserva il collasso del modello: il valore di riduzione dei parametri delle resistenze che determina il collasso del modello va considerato come il Fattore di sicurezza F_s della parete rocciosa.

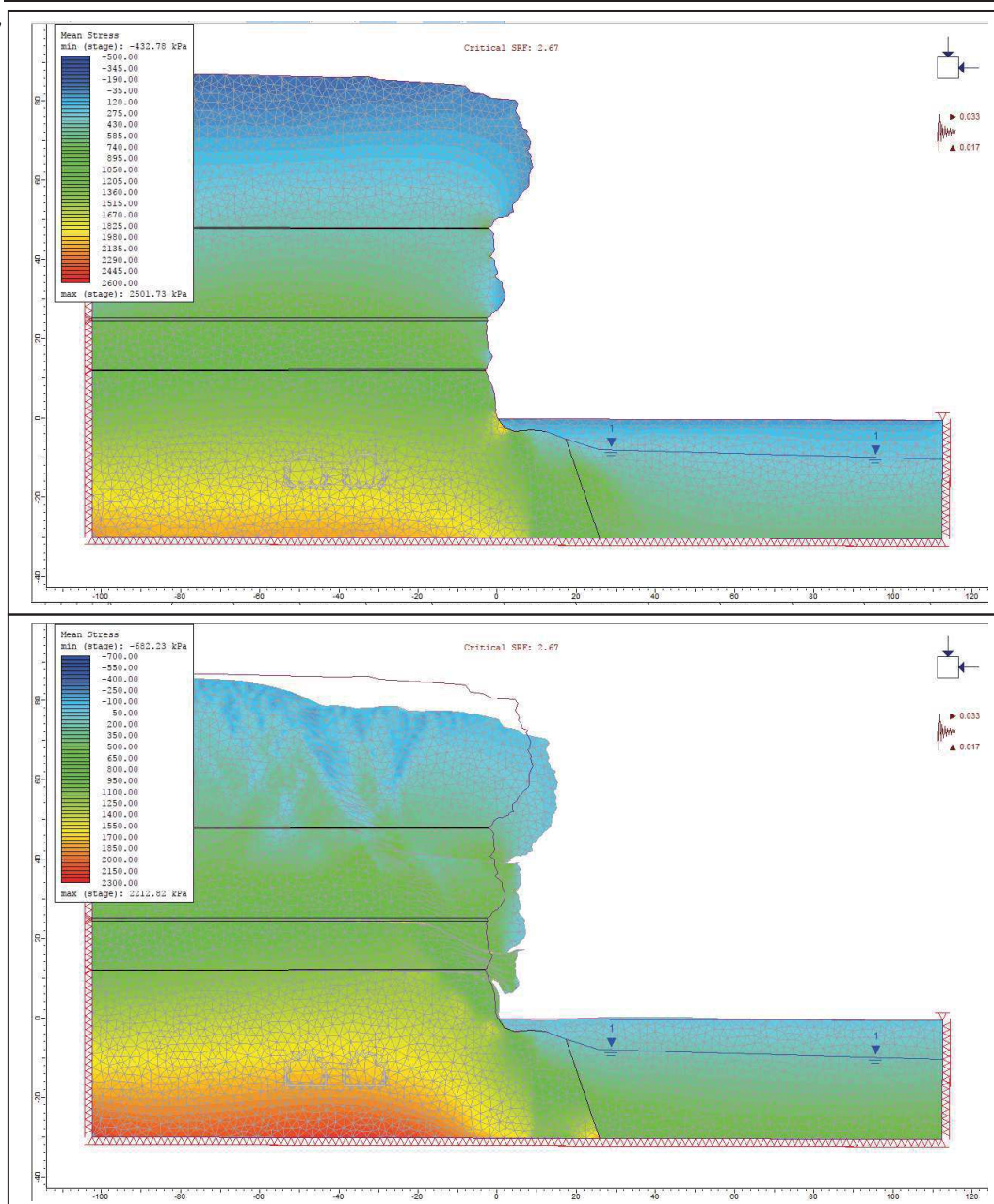
Come illustrato sotto, il fattore di sicurezza della parete rocciosa è risultato essere 2.67:

$$F_s (\text{metodo SRF}) = 2.67 > 1,1$$

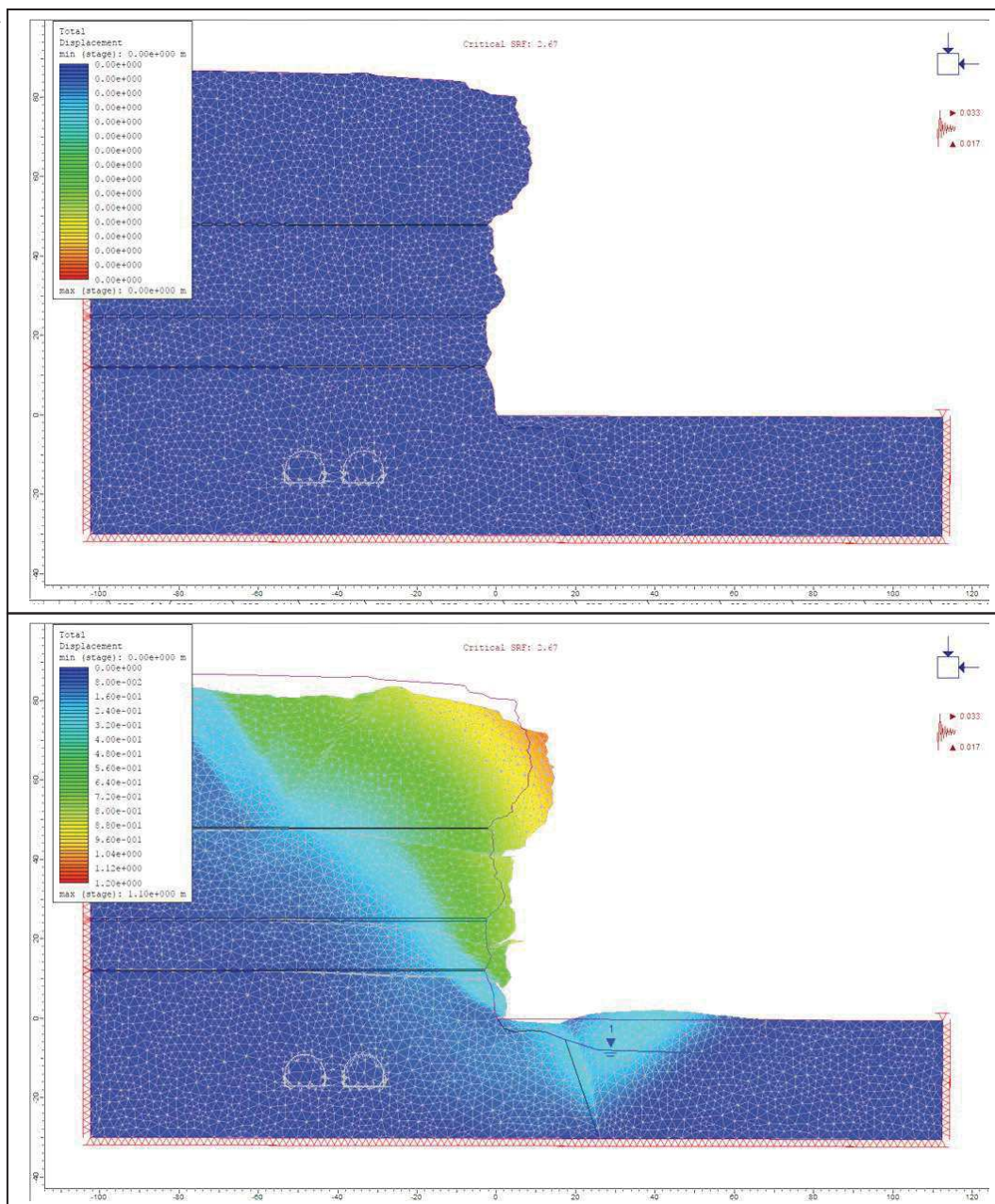
Questo valore significa che, per collassare, la resistenza dei parametri di resistenza dell'ammasso inteso come continuo equivalente vanno ridotti di un fattore 2.67.

Questo valore è superiore al valore minimo ($F_s = 1,1$) previsto dalla normativa e pertanto si conclude che risulta verificata la stabilità globale della parete, anche in condizioni sismiche.

A seguire si riportano alcune figure che illustrano le condizioni iniziali $SRF = 1$ e le condizioni alla rottura $SRF = 2.67$ ottenute tramite le verifiche numeriche.



Andamento delle tensioni: sopra = a riposo, sotto = al collasso.



Spostamento totale: : sopra = a riposo, sotto = al collasso.

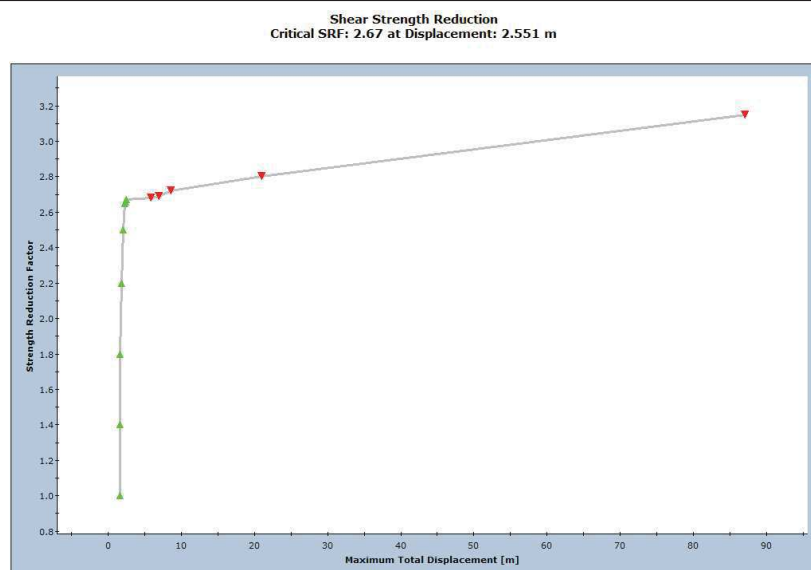


Grafico dello spostamento totale per vari step di *Strength Reduction Factor*. Al valore di SRF = 2,67 si determina la non convergenza e cioè il collasso del modello.



Interessante notare che gli interstrati “deboli” agiscano come una sorta di lubrificante nel fenomeno di deformazione (si veda l’andamento degli spostamenti), mentre il piede della scarpata, sebbene nelle condizioni iniziali maggiormente interessato dalla concentrazione delle tensioni, essendo costituito da roccia più resistente dei singoli interstrati deboli, partecipa meno al collasso.

Il risultato della verifica di stabilità globale era certamente atteso, dato il comportamento di sostanziale stabilità mostrato dall’insieme della parete, per cui pare superfluo addentrarsi in accademiche discussioni sui dettagli dei meccanismi visco – plastici di rottura dell’ammasso roccioso e sui processi che potrebbero determinare l’innesco della riduzione delle resistenze ed attivare il meccanismo di collasso.

In conclusione, il significato complessivo ed applicativo di questa verifica di stabilità globale dimostra e conferma che le dinamiche di instabilità della parete che costituiscono la pericolosità geologica per crollo non sono da riferirsi ad un meccanismo di rottura generale della parete (instabilità globale).

Viceversa, come precedentemente indicato, le dinamiche che concorrono a generare l’effettiva pericolosità della parete sono quelle riferibili al distacco e caduta di singoli massi o di porzioni limitate (zone decomprese) di ammasso, laddove fratturato.



5.1. Verifiche di stabilità locale

La stabilità locale della parete è principalmente governata dalla disposizione reciproca delle varie famiglie di piani di discontinuità (stratificazioni e giunti) che intersecano l'ammasso.

La situazione critica di stabilità si determina quando l'intersezione delle diverse discontinuità rispetto alla scarpata viene a determinare la possibilità di scivolamento delle porzioni rocciose comprese fra i diversi giunti.

In prima battuta si è applicato il metodo raccomandato da Hoek e Bray, ed attribuito a Markland: tale metodo verifica semplicemente se, da un punto di vista puramente geometrico, la disposizione spaziale delle discontinuità possano consentire instabilità locali in un ammasso roccioso.

A seguire si riprende lo stereogramma (emisfero inferiore) contenente le classi di concentrazione dei poli rappresentanti le principali famiglie di giunti (precedentemente identificate), identificati con i numeri 1÷5.

SS = piani di strato a giacitura sub orizzontale

K1 = giunti 175-185/75-85

K2 = giunti 010-015/80-90

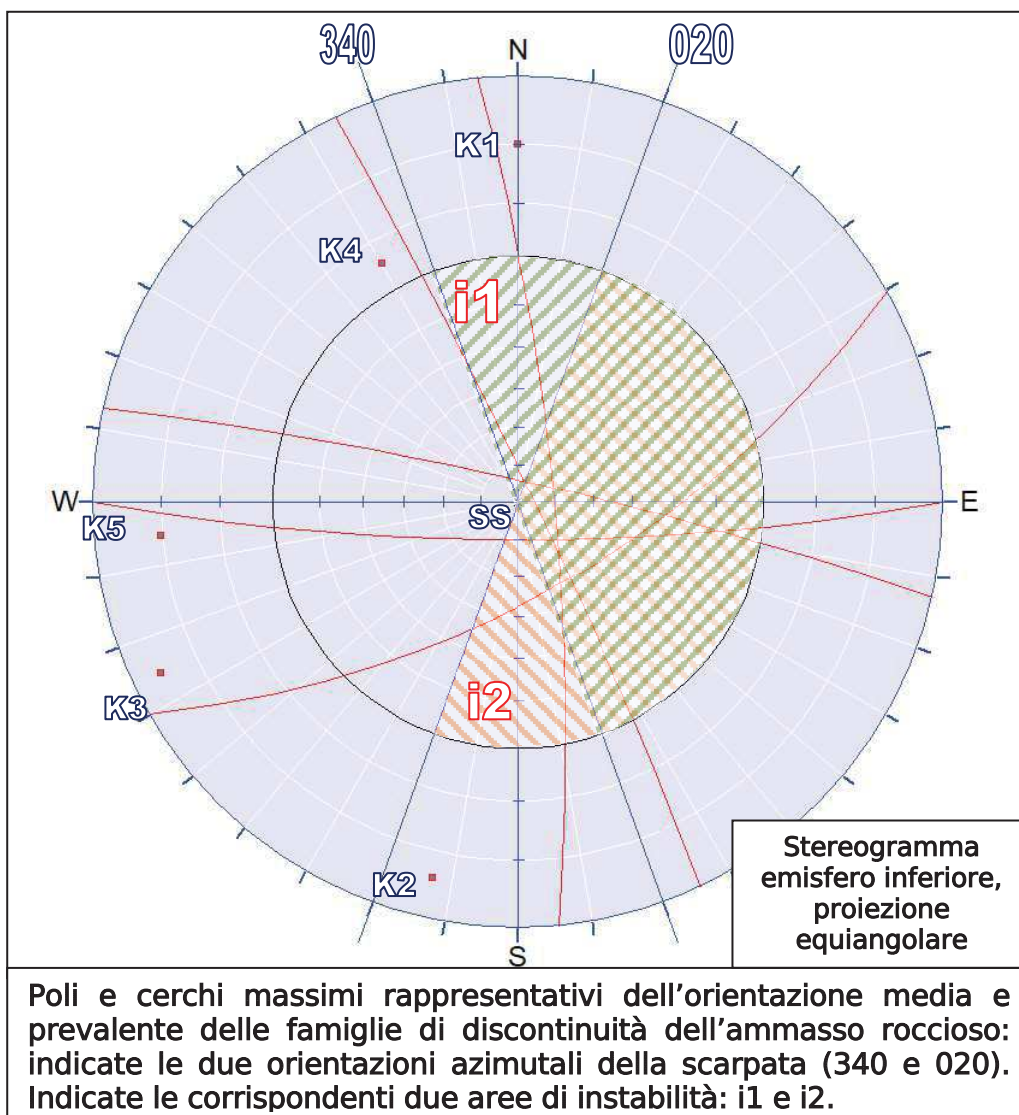
K3 = giunti 60-70/80-90

K4 = giunti 145-155/60-70

K5 = giunti 80-90/70-85

In tale figura è riportato anche il cerchio di attrito (30°) caratteristico per l'ammasso, derivante, oltre che dai dati di letteratura per i litotipi di riferimento, anche e specialmente da indagini in campagna sia sclerometriche e sia sulla rugosità dei giunti, del tipo "tilt test".

Le due rette di colore blu indicano le due direzioni azimutali (020° e 340°) che caratterizzano rispettivamente la faccia meridionale e quella centro settentrionale della parete: si identificano così due settori di instabilità: "i1" (tratteggio verde) e "i2" (tratteggio arancio) che si sovrappongono parzialmente.



I punti di incontro dei vari giunti che si proiettano entro alle due aree ombreggiate di instabilità i1 e/o i2 soddisfano contemporaneamente alla condizione di identificare una direzione di scivolamento meno inclinata della scarpata (che a tratti è anche aggettante) e più inclinata del valore dell'angolo di attrito (interna al cerchio di attrito).

Risulta così che per il settore settentrionale della parete (azimutalmente orientato 340°) entro all'area di instabilità i1 ricadono tutte le intersezioni delle principali famiglie di giunti, situazione non comune e che indica un'elevata possibilità di formazione di cunei o diedri instabili.

Per la faccia meridionale della parete (azimutalmente orientata 020°) entro all'area di instabilità i2 ricadono ancora tutte le intersezioni dei piani di discontinuità precedentemente indicati ma con l'eccezione di quella relativa ai piani di discontinuità K2-K3.

Il significato di questa prima verifica, speditiva ma rappresentativa, è che la situazione tensionale complessiva dell'ammasso è da considerarsi sfavorevole, in quanto, potenzialmente, praticamente tutte le discontinuità concorrono fra loro a formare porzioni di roccia che, se svincolate dall'ammasso per via dei fenomeni di decompressione dei giunti, sono dotate di un grado di libertà tale da consentire l'insorgere di crolli.

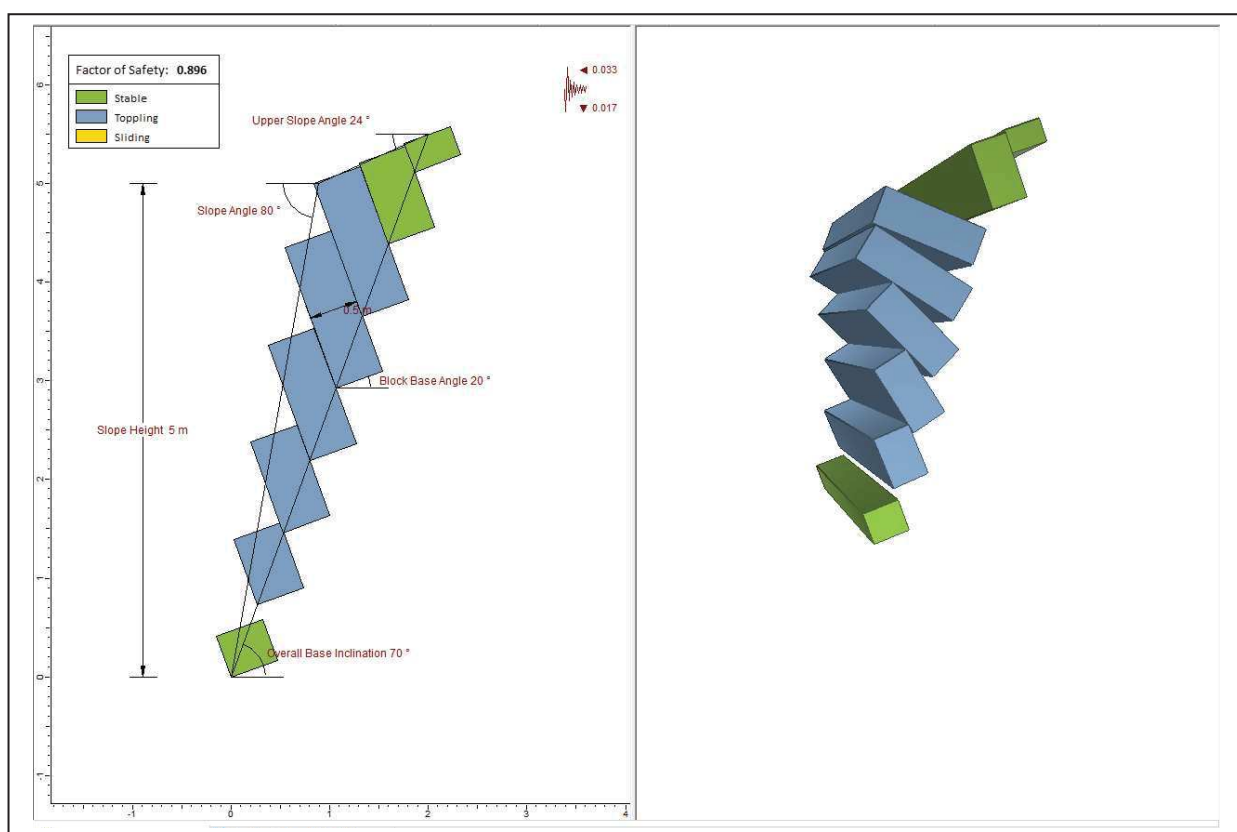


Su alcune delle situazioni tensionali più rappresentative e che visivamente apparivano essere particolarmente pericolanti, si è poi verificata la situazione locale, laddove le condizioni delle porzioni instabili dell'ammasso roccioso si sono prestate ad essere compiutamente modellate, per eseguire una verifica numerica.

Tale verifica locale è volta a definire se le porzioni di ammasso separate dalla parete da determinati set di giunti potessero o meno, anche in condizioni sismiche, essere effettivamente – cioè nelle reali condizioni tensionali - origine di crolli.

Si riportano brevemente degli esiti di tali verifiche, eseguite anche con metodo probabilistico, cioè facendo variare in modo statistico alcuni dei parametri di ingresso, quali la geometria del sistema, l'orientazione dei giunti, le forze di attrito, ecc.

Ad esempio si è eseguita una verifica di per l'instabilità di cui alla scheda n° 27: la verifica è stata eseguita costruendo il modello sotto riportato: il risultato della verifica dimostra che in condizioni sismiche si ha una situazione di instabilità anche se prossima all'equilibrio.



Come per l'instabilità di cui alla scheda 24, qui si mostra un'altra zona interessata da potenziali dissesti per "toppling" cioè ribaltamento di lastre di roccia isolate da giunti ad alto angolo ed a reggipoggio.

La verifica è stata eseguita adottando, per le interforze agenti fra i vari giunti concorrenti alla suddivisione della roccia, il criterio di rottura alla Barton – Bandis, di cui si è precedentemente dato conto.



Per la definizione dei parametri relativi al criterio si sono elaborati i dati derivabili dalle osservazioni di campagna mediante apposito codice Excel predisposto dallo scrivente e poi anche controllando tali parametri mediante il programma RocData.

Inserendo poi una possibile variabilità dei parametri di ingresso (metodo probabilistico di Montecarlo, distribuzione normale gaussiana) sia alla geometria e sia ai parametri di resistenza si è ottenuto che in condizioni sismiche la probabilità di collasso è massima.

Number of Samples	5000
Number of Valid Computations	5000
Number of Failed Slopes	5000
Number of Safe Slopes	0
Probability of Failure	1.00
Probability of Failure for Converged Samples	1.00
Upward Movement Probability	0.00
Upward Movement Probability for Converged Samples	0.00

Random Variables:

Block Details (Mean Input)

Index	Height (m)	Weight (kN)	Yn/x	Type	FS	Base Tension	Pn-1,t (kN)	Pn-1,s (kN)	Pn-1 (kN)	Pn,t (kN)	Pn,s (kN)	Pn (kN)	Qn (kN)	Rn (kN)	Sn (kN)	Sn/Rn	Mode
8	0.311	3.726	0.621	Group	-	No	-2.397	-7.868	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.519	1.412	0.4012	Stable
7	0.871	10.457	1.743	Group	-	No	-0.888	-16.305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.875	3.962	0.4012	Stable
6	1.432	17.188	2.865	Group	-	No	0.660	-23.382	0.660	0.000	0.000	0.000	0.000	15.120	5.852	0.3870	Toppling
5	1.514	18.163	3.027	Group	-	No	2.103	-25.274	2.103	0.660	-23.382	0.660	1.112	15.352	5.438	0.3542	Toppling
4	1.243	14.922	2.487	Group	-	No	3.045	-23.257	3.045	2.103	-25.274	2.103	2.914	13.237	4.711	0.3559	Toppling
3	0.973	11.680	1.947	Group	-	No	4.431	-20.325	4.431	3.045	-23.257	3.045	3.768	10.304	3.039	0.2949	Toppling
2	0.703	8.438	1.406	Toe	0.954	No	-0.000	-16.666	-0.000	4.431	-20.325	4.431	4.495	12.463	7.627	0.6120	Toppling
1	0.433	5.196	0.866	Individual	5.760	No	-1.849	-9.912	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.907	1.969	0.4012	Stable

Note: Index 2 is the toe of the slope.

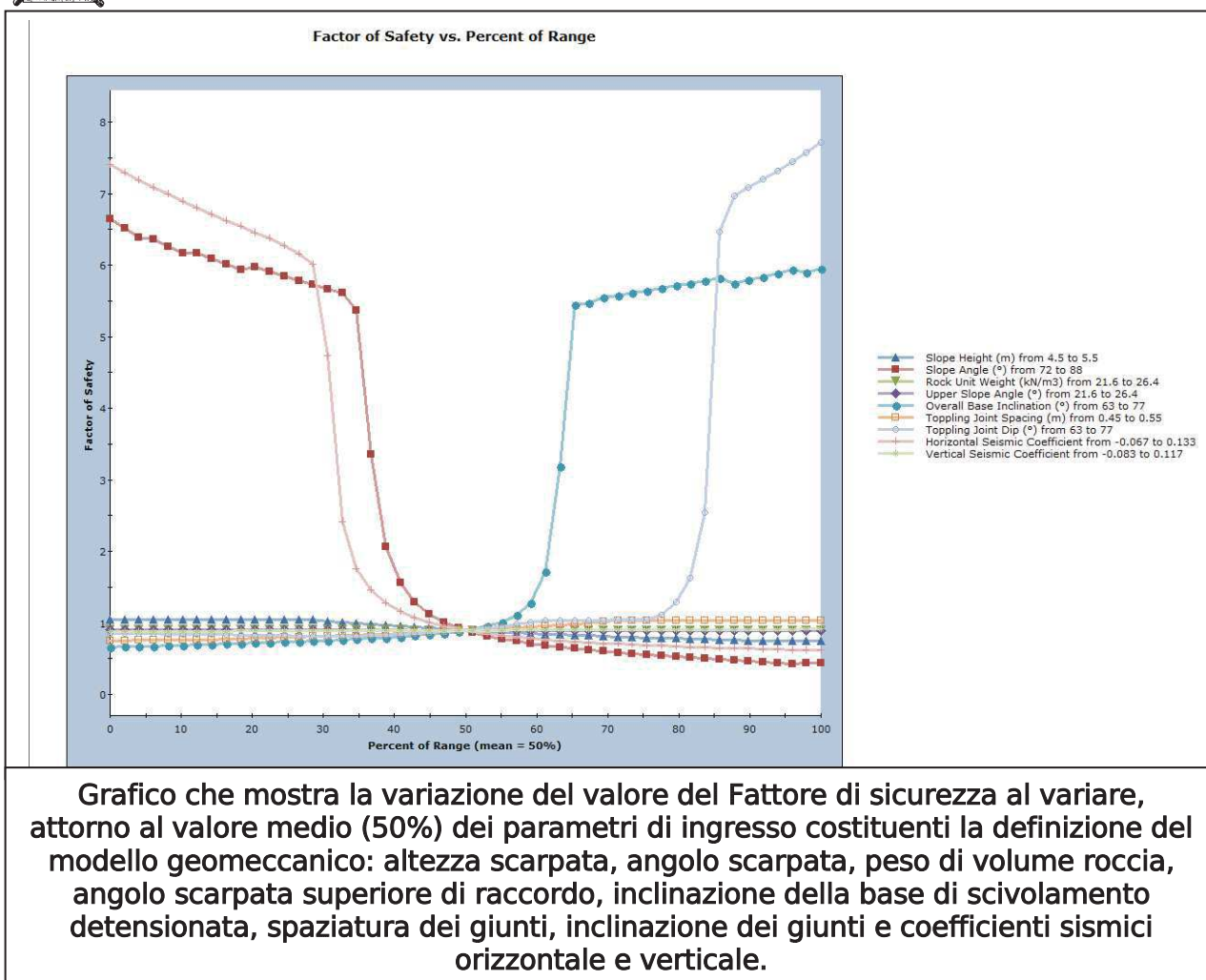
Slope Geometry

Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Rock Unit Weight	None	24			
Slope Height	None	5			
Slope Angle	None	80			
Upper Slope Angle	None	24			
Overall Base Inclination	Normal	70	0	0	0
Toppling Joint Spacing	Normal	0.5	0	0	0
Toppling Joint Dip	None	70			

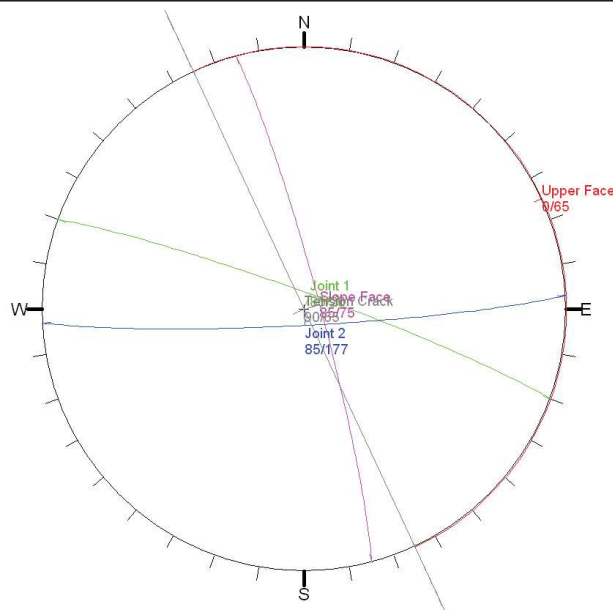
Rock Strength Parameters

Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Base Joint JRC	Normal	12	0	0	0
Base Joint JCS	Normal	10000	0	0	0
Base Joint Residual Friction Angle (PhiR)	Normal	30.5	0	0	0
Toppling Joint JRC	Normal	8	0	0	0
Toppling Joint JCS	Normal	10000	0	0	0
Toppling Joint Residual Friction Angle (PhiR)	Normal	25	0	0	0

Esito della verifica locale di stabilità; sotto lo stimolo sismico la probabilità di crollo del modello è massima: per rimanere nel campo di stabilità, il modello richiederebbe una variazione dei parametri di ingresso entro campo di esistenza non verosimile.

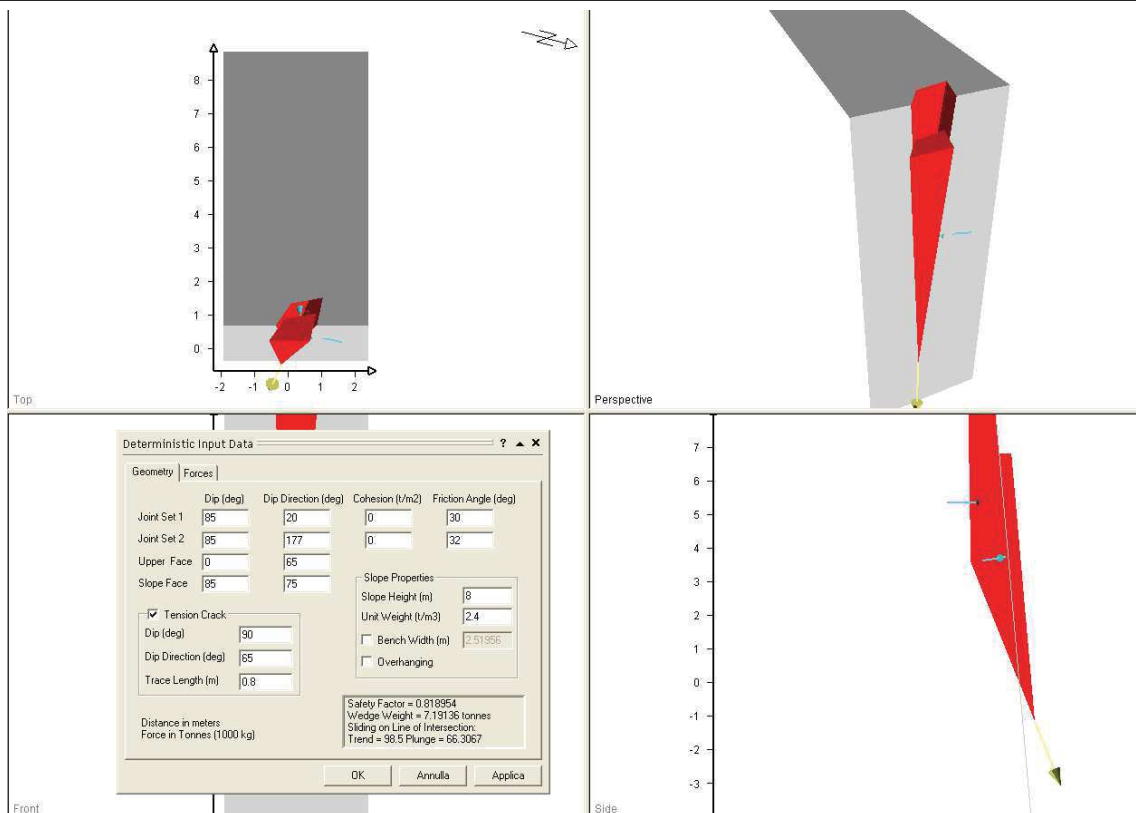


Un altro tipo di verifica locale è quella relativa alle instabilità a cuneo, determinate dall'intersezione, sulla faccia della parete, di due giunti: nel modello della verifica a seguire si sono utilizzate le due famiglie di giunti $K1 = 177/85$ e $K2 = 020/85$. Si tratta delle famiglie di giunti che sono caratterizzati non solo dall'aver la maggior frequenza sulla parete, ma che presentano l'evidenza di aver, nel passato, dato sicuramente origine a fenomeni di crollo a grande scala. A seguire si riporta un dettaglio della parete (zona retrostante alle ciminiere) in cui è palese come vi siano stati dei crolli determinati dalla descritta situazione tensionale.



Esempio reale della situazione tensionale modellata (zona ciminiera) e geometria della verifica su stereogramma (emisfero inferiore, proiezione equiangolare di Wulf). Definizione delle condizioni di verifica:

- faccia superiore del prisma roccioso orizzontale: nel nostro caso, quale piano superiore, si può assumere anche un giunto di strato, appunto orizzontale,
- parete orientata a NE (065/85)
- giunti orientati K1 = 177/85 e K2 = 020/85.



Esito della verifica locale di stabilità per un diedro - cuneo isolato da due delle famiglie di giunti ad alto angolo (177/85 e 020/85) osservate con maggior frequenza sulla parete.



Il risultato è stato ottenuto inserendo condizioni di stimolo sismico, ipotizzando che i giunti siano beanti, come a luoghi osservato in parete, e quindi senza coesione, con le superfici di giunto debolmente alterate e lisce ($JRC = 8-10$) e possibile formazione (od esistenza) di un tension crack, nel nostro caso costituito da uno dei frequentissimi giunti $K3 = 065/90$ appartenenti al sistema scledense e che sono riconoscibili anche nella foto precedente.

In tale configurazione, senza modellare la presenza di acqua entro alle fessure rappresentate dai giunti, il Fattore di Sicurezza allo scivolamento ($FS = 1.18$) è superiore all'unità, per cui il cuneo risulta stabile.

Inserendo però un riempimento delle fessure anche solo pari al 20%, circostanza che può verificarsi in occasione di scrosci intensi, anche in assenza dello stimolo sismico il Fattore di Sicurezza decade ben sotto all'unità ($FS = 0.81$, instabile).

Senza voler addentrarsi in particolari estrapolazioni di significato derivabili dalle riportate elaborazioni, appare confermato - sia dalle osservazioni e sia dai modelli di calcolo - che le osservazioni in parete hanno identificato delle condizioni geomeccaniche che sono predisponenti alla formazione di situazioni di instabilità locale.

Le instabilità di cui alle schede dell'Allegato 1 (ed alle altre numerose di minor entità non riportate con specifica scheda) sono in effetti talora potenziali, nel senso che per poter evolversi verso un crollo sono necessarie condizioni particolari, quali lo stimolo sismico o, dopo l'apertura di una frattura, il parziale riempimento d'acqua derivante da uno scroscio intenso, ecc.

Il progredire del degrado della roccia che porta a tali condizioni di innesco è solitamente un processo lento: tuttavia l'azione del gelo / disgelo, oltre che all'azione delle radici e al riempimento delle fessure con materiale fine dilavato, sono circostanze, certamente attive sulla parete in esame, che accelerano il degrado.

Va tuttavia anche ricordato, nella disamina dei dati relativi alla pericolosità da crollo della parete, che non vi è testimonianza né memoria di crolli significativi avvenuti dalla parete.

Inoltre, sotto alla parete e fino quasi al contatto con il piede della stessa, nel passato venne realizzato un cementificio, decisione che, nemmeno poi tanto implicitamente, significa l'aver allora ritenuta accettabile la situazione statica della parete ed anche ritenuta improbabile (o accettabile ?) la possibilità di incidente per crollo.

La presenza del cementificio sotto alla parete è complessivamente durata circa un secolo: per alcune decine di anni (circa 60 anni) il complesso si è anche espanso, prima dello smantellamento, fino a ridosso della parete, anche con la costruzione delle attuali due ciminiere, in sostituzione di strutture precedenti.

Durante questo intervallo di tempo non è giunta, o non è ricordata, notizia di incidenti per crollo.

L'approccio geologico, oltre alla dimostrazione della presenza delle condizioni predisponenti e necessarie alla formazione di crolli, porta però, applicando il criterio dell'attualismo, anche a valutare criticamente il significato delle "cicatrici" presenti in parete e rivelatrici dei crolli avvenuti nel passato.

Lo sono, ad esempio, gli interstrati aggettanti, cioè i tetti di roccia che si trovano sporgenti e scalzati per via del crollo ed erosione degli strati sottostanti: numerosi sono i massi crollati da tali interstrati che si trovano semplicemente appoggiati sui sottostanti livelli marnosi in erosione.

Anche le superfici fresche di roccia esposta rivelano che la roccia ha subito decompressione lungo tali superfici: la stessa circolazione idrica superficiale