



COMUNE DI GRESSONEY SAINT-JEAN

COMUNE DI GRESSONEY LA TRINITE'

COMMUNE DE GRESSONEY SAINT-JEAN

COMMUNE DE GRESSONEY LA TRINITE'

**CAVA ECKO**  
**Località Obro Ecko**  
**Comune di Gressoney Saint Jeanne**

Committente:

**PROFESSIONAL MARBLE S.R.L.**  
**Sede Legale Carrara (MS)**  
**Via Capitan Fiorillo n. 1**  
**Cap 50033**

Oggetto:

**ISTANZA DI ATTIVAZIONE DELLA PROCEDURA DI VERIFICA DI ASSOGETTABILITA' A V.I.A.**  
**PIANO DI COLTIVAZIONE CAVA ECKO**  
**P.R.A.E. REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA**  
**PIANO DEI GIACIMENTI DI MARMO E DELLE PIETRE AFFINI AD USO ORNAMENTALE**

ai sensi della L.R. 11/1998, L.R. 13/1998  
DGR 2939/2008, L.R. 12/2009, art. 17, all. G  
DCR 2898/2013, DGR 1067/2022  
DLgs 152/2006

**RELAZIONE GEOMECCANICA E GEOSTRUTTURALE**

Data:

**Gennaio 2024**

**REL: 4**

Professional Marble S.R.L.  
Legale Rappresentante  
**Sig. Brigato Stefano**

Il Tecnico

**Dott. Geol. Chiara Taponecco**

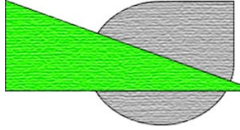
Il Direttore Lavori

**Sig. Brigato Stefano**

Collaboratori

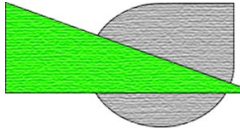
**Dott. Geol. Davide Bolognini**  
**Dott. Arch. Michele Ceccarelli**  
**Dott. Ing. Daniele Valentino**  
**Dott. For. Roberta Benetti**  
**Dott. Giovanni Gatti**  
**Geom. Natalino Iamonte**

**STUDIO RASENNA Sas**  
Sviluppo Sostenibile del Paesaggio



## Sommario

1. PREMESSA .....	3
2. INTRODUZIONE .....	3
3. RILIEVO GEOMECCANICO .....	5
4. ANALISI DI STABILITÀ .....	10
4.1 LA DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI DI CARICO SISMICO SECONDO LE NTC 18 (DM 17/01/18) .....	10
4.2 ANALISI DI STABILITÀ STATISTICA SUI FRONTI A CIELO APERTO (TEORIA DEL BLOCCO CHIAVE) .....	12
4.3 ANALISI DI STABILITÀ STATISTICA SUI FRONTI IN SOTTERRANEO .....	21
4.4 ANALISI DI STABILITÀ DEL VERSANTE MEDIANTE MODELLAZIONE NUMERICA AGLI ELEMENTI FINITI (FEM) .....	25
5. INTERVENTI DI MITIGAZIONE E DI CONSOLIDAMENTO PREVENTIVO .....	39
6. CONCLUSIONI .....	41
7. ALLEGATO A .....	43
8. ALLEGATO B .....	76



## 1. Premessa

Nel documento si riporta la valutazione di stabilità dei fronti probabilistica, aggiornata a febbraio 2024, relativamente alla cava Ecko, che si trova in località Obro Ecko presso il Comune di Gressoney Saint Jean (AO). Attualmente la zona oggetto di studio è interessata da una coltivazione a cielo aperto non più attiva, dalla quale si estraeva il materiale lapideo col termine commerciale Verde Alpi.

Si vorrebbe procedere alla ripresa della coltivazione del giacimento in modo sicuro, pertanto l'obiettivo di questo rapporto è quello di valutare l'assetto statico della situazione attuale e di quello a progetto, partendo dalla stima delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso in loco.

In particolare, si vuole individuare la possibilità di formazione di blocchi, cinematicamente ammissibili, generati dall'intersezione delle discontinuità naturali dell'ammasso roccioso con le superfici libere esistenti e quelle generate dalle future lavorazioni.

Per quei blocchi individuati dal metodo di calcolo e che cinematicamente sono rimuovibili dalla loro sede, si calcolerà il fattore di sicurezza sulla base della stima dei parametri geomeccanici caratteristici dell'ammasso roccioso e delle discontinuità esistenti, secondo i metodi classici della meccanica delle rocce.

## 2. Introduzione

La zona interessata dalla passata coltivazione si trova sul versante orografico sinistro della valle, presso il Comune di Gressoney Saint Jean, dal quale procedendo verso la località Obro Ecko si giunge fino al sito in esame. La figura 1A mostra un estratto della cartografia ufficiale de PRAE della Regione Autonoma Valle d'Aosta. Per maggiori dettagli si rimanda alle relazioni tecniche inerenti il progetto di coltivazione predisposto dalla committenza e alla relazione dello stato dei luoghi redatto dal Geol. Chiara Taponecco.

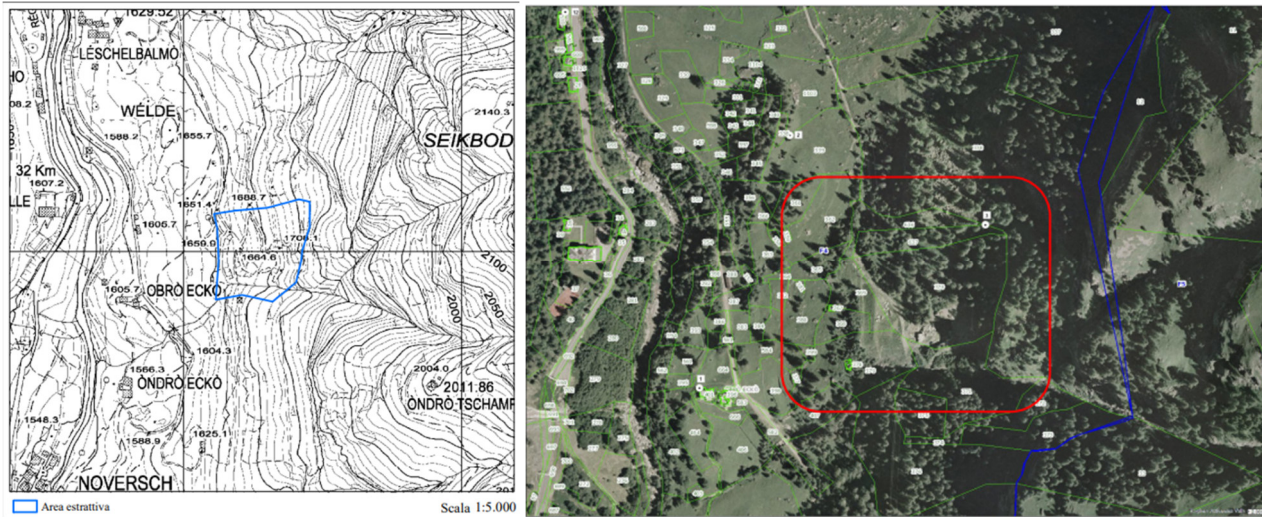
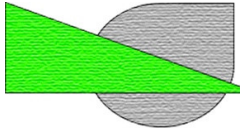
La figura 1B mostra una ripresa fotogrammetrica di inquadramento sulla quale si mette in evidenza la zona attualmente interessata dalla vecchia coltivazione. La figura 2 mostra una ripresa della zona interessata con drone e fotocamera ad alta definizione.

Di seguito un rapido inquadramento geologico del contesto, per una maggiore completezza si rimanda alla relazione del Geol. Taponecco sopra citata.

La cava sinora coltivata si trova a circa 1743 m slm (quota del piazzale). Si tratta di una coltivazione a mezzacosta su due gradoni. Sulla parete ovest si trova un accenno di scavo in galleria ma di dimensioni ridotte e con un avanzamento di circa 3- 4 m.

La passata coltivazione è avvenuta in una zona poco acclive, giustamente per facilità di accesso al giacimento, e sul lato ovest troviamo il versante naturale che sale rapidamente sino a quota circa 1785 m slm.





A)

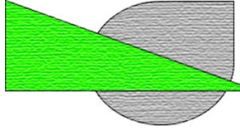
B)

Fig. 1: estratto cartografico della zona di interesse della cava (fonte PRAE)



Fig. 2: ripresa con drone e fotocamera ad alta definizione della zona interessata dalla vecchia cava.





Secondo il progetto in fase di presentazione si vorrebbe procedere alla realizzazione di un escavo del materiale lapideo procedendo per fasi. La prima prevede di ripristinare la circolazione sino all'attuale piazzale di cava e di proseguire verso ovest sino ad accedere al livello superiore dell'attuale livello in coltivazione per creare l'opportuno spazio per la ripresa delle lavorazioni.

La seconda fase prevede di rimuovere una porzione di bancata sul lato nord, per allineare il fronte lungo il lato nord.

Successivamente si prevede di procedere con la coltivazione del piazzale fino al livello 1733. Inoltre, è prevista la realizzazione di gallerie in sotterraneo lasciando in posto due strutture in roccia aventi funzione di pilastri.

Per un maggior dettaglio della sequenza di scavo e le dimensioni con relative volumetria si rimanda al progetto specifico.

### 3. Rilievo geomeccanico

I dati sperimentali utilizzati per le valutazioni riportate in questo documento provengono da relazioni tecniche redatte dai professionisti incaricati dall'azienda e da rilievi condotti dallo scrivente nel mese di novembre 2023. Inoltre si è fatta anche una ricerca bibliografica e sono stati utilizzati tali parametri come benchmark.

I rilievi sono stati condotti in modo puntuale su alcune zone delle pareti accessibili il giorno del sopralluogo e hanno comunque fornito risultati attendibili e in linea con le attese.

La figura 3 riporta la planimetria della cava Ekco con evidenza dei punti lungo i quali sono state condotte le misure speditive.

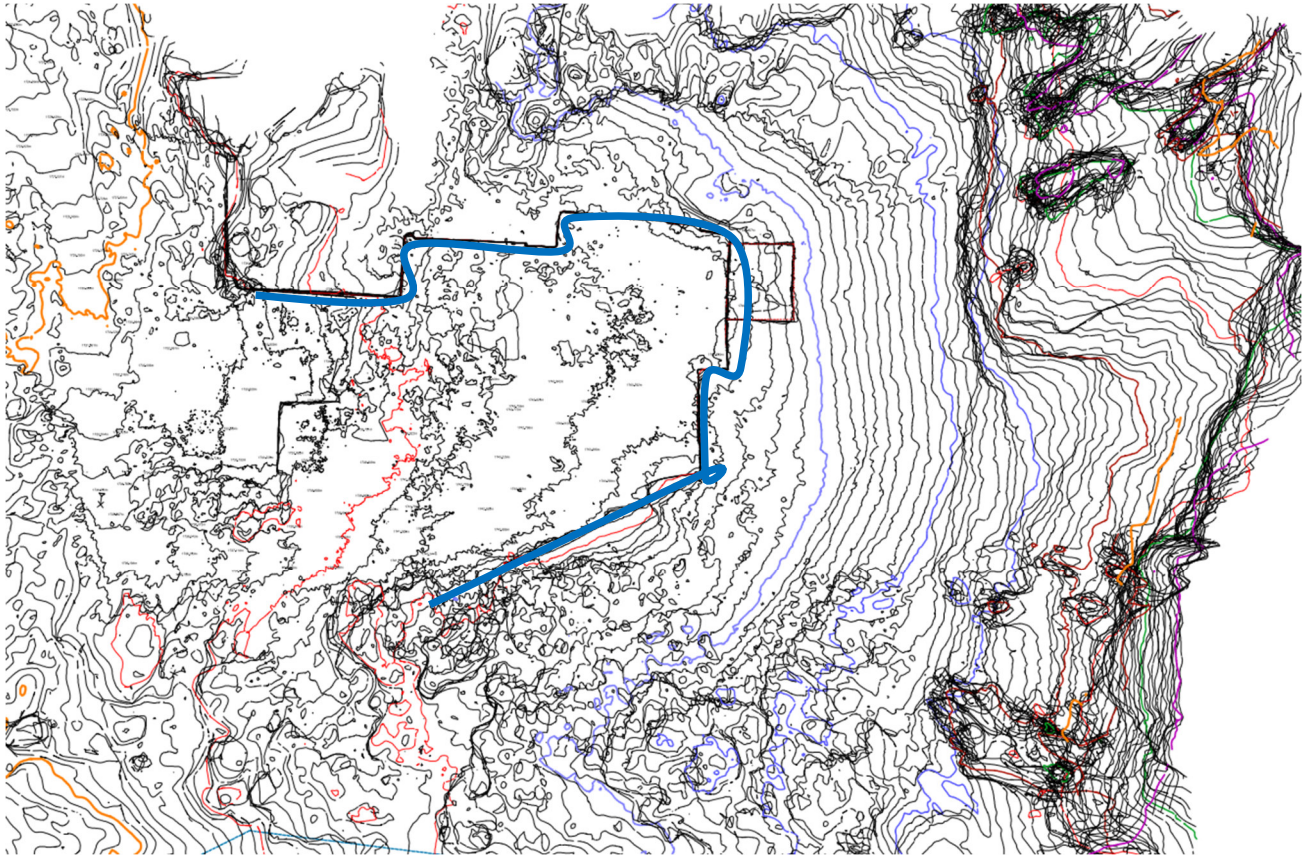
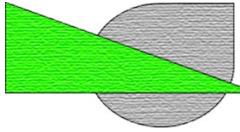
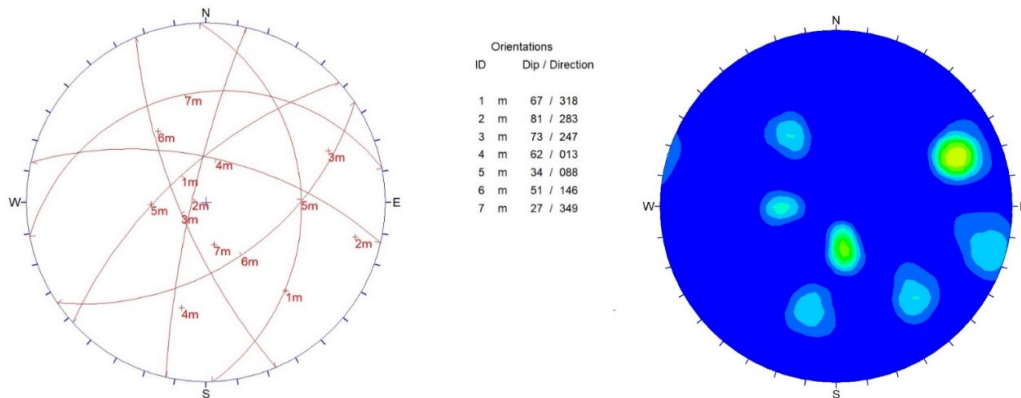


Fig. 3: situazione topografica allo stato di fatto del novembre 2023. Le misurazioni, stime dei parametri e valutazioni sono state condotte su questa configurazione e conformemente alle normative standardizzate ISRM Suggested Methods. La linea in blu rappresenta le zone interessate dalle misure geomeccaniche di dettaglio.

La figura successiva mostra gli stereogrammi di Schmidt delle fratture interessanti l'ammasso roccioso dalle quali è possibile valutare le principali famiglie di discontinuità che lo interessano.



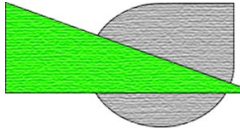


Fig 4: stereogrammi di Schmidt con la rappresentazione dei poli registrati durante la campagna di misure sperimentali in sito.

Oltre alle valutazioni sulle discontinuità, che costituiscono la variabile geometrica del problema, è necessario stimare le caratteristiche geomeccaniche e soprattutto le resistenze mobilitabili sui giunti.

Per svolgere questa stima si utilizza il metodo suggerito dal Prof. Barton secondo il quale la stima dell'angolo di attrito mobilitabile sulla discontinuità si può ottenere mediante la conoscenza dello stesso, ma solo in condizioni cosiddette "di base" ottenibili in laboratorio, e a seguito della valutazione dei due parametri empirici denominati JCS (Joint Compressive Strength) e JRC (Joint Roughness Coefficient).

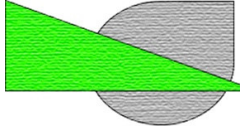
La tabella 1 riporta i dati sperimentali dei saggi condotti mediante il pettine di Barton su alcune discontinuità individuate durante il rilievo e ritenute più importanti da un punto di vista statico.

La tabella 2 invece raccoglie i dati relativi al JCS.

Tabella 1: Profili discontinuità rilevati mediante pettine di Barton.

Rilievo del profilo JRC (Joint Roughness Coefficient)		
# ID	Traccia	JRC
1		10-12
2		8-10
3		6-8
4		8-10
5		4-6
6		6-8
7		8-10
8		6-8
		10 cm





Il valore delle JRC misurato sulle fratture indicate in tabella è stato reso possibile mediante un pettine di Barton con lunghezza 30 cm. Si considera questo strumento più rappresentativo dei normali strumenti di lunghezza standard. **In base alle misure registrate, il JRC medio registrato è pari a JRC 6-8.**

Il parametro JCS si ottiene dalle letture effettuate mediante sclerometro, opportunamente corrette in base alla posizione del martello durante l'esecuzione della prova, e poi inserite nell'equazione 1 di seguito riportata.

$$\log(JCS) = 8.8 \times 10^{-4} \times \gamma \times R + 1.01 \quad \text{eq.1}$$

Una volta ottenuti i parametri JRC e JCS è possibile determinare l'angolo di attrito medio su una discontinuità partendo da quello di base e considerando il contributo dell'ondulazione della discontinuità e della relativa resistenza. A tal fine, possiamo sfruttare l'equazione suggerita da Barton e riportata di seguito:

$$\phi = \phi_{base} + JRC \cdot \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \quad \text{eq.2}$$

dove i parametri JRC e JCS sono quelli appena descritti, l'angolo di attrito di base per materiali simili a quello in esame può essere assunto pari a 31°, mentre il valore di  $\sigma_n$  (cioè la pressione ortogonale media agente sulla discontinuità), pertanto in questo caso è variabile ma è possibile considerarlo costante, ovviamente con un'approssimazione cautelativa che prevede di considerare un carico litostatico proporzionale a 15 m di copertura ( $\sigma = 0,40$  MPa).

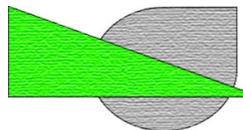
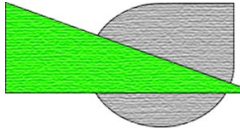


Tabella 2: misure impulsive su discontinuità rilevate mediante sclerometro. Per ogni test è riportato **il valore della risposta dello strumento e l'angolo di incidenza**. Il valore medio indicato è già corretto.

Famiglia	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	media	Dev. St
K1	44.3 11	46.4 11	47.3 12	43.6 24	46.6 26	52.2 16	50.9 21	47.8 22	44.8 20	44 17	46.8	2.9
	47.5 8	41.5 8	51.1 18	34.5 7	41.2 12	45.3 12	48.9 20	46.8 22	36 14	46.1 15	45.4	3
K2	44 0	42.6 6	35.7 4	12.1 -2	26.7 3	17.3 7	35.6 6	32.5 6	37.7 4	27.2 9	31.6	4.4
	44 -1	35.5 7	16.1 -1	28.1 -1	33.8 2	29.6 5	25.2 -4	17.9 1	23.5 6	30.4 7	28.5	3.7
K3	38.7 4	21.7 3	37.2 11	29.6 5	37.9 1	33.4 8	39.3 11	31.3 9	39.9 2	19.1 -2	34.7	3.8
	40 -1	37.9 2	36.3 -6	27.3 -6	27.1 -2	44.3 -8	16.7 3	45.8 3	21.3 -5	41.3 -7	37.1	1.1
Scist	42.9 1	41.9 2	38.5 7	44.1 -3	47.7 -18	44.8 3	41.6 6	38.4 9	36.9 2	34.6 5	41.9	3.5
	34.3 -6	31.2 -4	37.5 7	47.2 -6	43.1 -3	26.1 -1	34.8 2	46.5 8	45.4 -10	46.1 -2	39.1	5
K4	46.7 5	39.3 -6	14.5 -7	48.9 1	42 -1	42.2 -5	41.7 5	42.2 -5	51.9 1	39.7 4	41.2	1.3
	39.3 -7	48.3 -7	51.3 -9	41.9 2	49 0	46.3 -8	47.5 -13	37.2 -4	46.2 -5	40.1 -2	44.8	3.8
	49.7 6	24.6 5	50.7 5	50 -1	55 0	47.9 2	50.8 4	47.4 -10	50.7 6	53.9 3	50.2	2
K5	42.6 -13	50.1 -3	46.9 2	51.6 8	45.6 6	48.6 7	46.1 -2	51 -1	54.5 -14	60.9 3	49.4	3.1
	51.2 -6	46 -1	43.5 -11	42.3 -7	53.1 -4	50.1 -4	41.3 -6	44.3 -8	40.9 1	50.8 3	45.6	4.1
K6	24 -17	46.4 -11	50.3 -8	53.3 -8	52.5 -14	31.7 4	44.5 -13	44.3 -6	38.3 -7	48.3 -8	44.4	3.8
	60.4 -14	52.5 -13	46.4 -10	58.4 -12	51.4 -10	57.4 -14	56.6 -18	43.8 -19	53.4 -12	30.8 2	52	3.7
	52.6 -18	49.9 -24	53 -29	51.5 -13	47.7 -19	52.2 -6	43.7 -17	51.7 -20	48.4 -11	48.7 -17	50.6	2

Il valore dell'angolo di attrito mobilitabile sulle discontinuità è pari a 45°.



#### 4. Analisi di stabilità

Sulla base dei dati sperimentali ottenuti mediante i rilievi appena descritti è stata condotta l'analisi di stabilità statistica e se ne descrive di seguito la metodologia di calcolo.

Nel caso specifico si procederà dapprima alla valutazione dei parametri sismici del sito secondo la normativa vigente (si rimanda al paragrafo seguente).

Si procederà quindi alla valutazione statica sulle pareti a cielo aperto nella configurazione attuale e in quella a progetto, secondo la teoria del blocco chiave (Goodmah & Shi, 1985) e per i cinematismi individuati si procederà al calcolo dei relativi fattori di sicurezza sulla base dei parametri geomeccanici stimati.

Lo stesso tipo di valutazione verrà effettuata per quei cinematismi potenzialmente generabili nella porzione di coltivazione in sotterraneo e utilizzando dei software specifici basati sull'equilibrio limite sarà possibile calcolare il fattore di sicurezza dei cinematismi.

Infine, sarà implementato un modello numerico agli elementi finiti (FEM), per valutare alla scala del sito l'andamento delle sollecitazioni nelle configurazioni attuali e in quelle a progetto, con l'obiettivo di stimare le sollecitazioni indotte sull'ammasso roccioso e valutarne la situazione.

##### 4.1 La determinazione delle condizioni di carico sismico secondo le NTC 18 (DM 17/01/18)

L'area del sito in esame è classificata come zona sismica di classe 4 ovvero il livello più basso e dove sono rari i forti terremoti. In ambito minerario vengono comunque utilizzate le normative specifiche del settore delle costruzioni, in particolare le Norme Tecniche riferibili al DM 14/1/08 e DM 17/1/08.

I parametri caratteristici ottenuti dalle campagne di rilevamento sperimentale, con le quali si stimano i parametri geomeccanici, subiscono una riduzione secondo il coefficiente pari a 1,25, portando quindi l'analisi alle condizioni allo Stato Limite Ultimo (SLU).

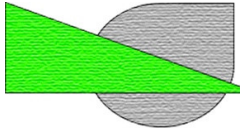
Il decreto ministeriale richiede inoltre di effettuare la verifica nelle condizioni in cui si applica un'accelerazione orizzontale massima (caratteristica per ogni sito) che vuole simulare l'effetto di un sisma. Questo metodo denominato pseudostatico, seppur semplificato, consente di ottenere dei risultati attendibili e risulta di più agevole applicazione.

Si parte dall'espressione dell'accelerazione massima orizzontale (AGO) riassunta dalla seguente equazione:

$$AGO = S_s S_t a_g$$

Dove  $a_g$  è l'accelerazione sismica orizzontale definita nell'allegato al DM relativo alla pericolosità della zona.





Il parametro di accelerazione sismica deve essere corretto da due fattori di cui il primo è legato agli aspetti più geologici (o stratigrafici)  $S_s$ , mentre l'altro dalla forma o fattore topografico della superficie  $S_t$ .

Per il primo coefficiente intervengono 5 classi e la tabella seguente riporta gli intervalli definiti dal DM.

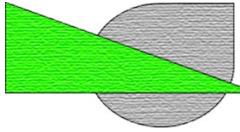
Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Passando dalla classe A => E l'amplificazione sismica diventa più accentuata.

La tabella seguente riporta invece le caratteristiche salienti per la classificazione in base alla topografia dell'area d'interesse, la tabella successiva invece il coefficiente di amplificazione topografica  $S_t$  corrispondente.

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

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4



Per quel che riguarda la legislazione italiana in merito, la normativa “Ord. P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274” dispone la classificazione sismica del territorio nazionale e le normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Di seguito, si riportano i parametri caratteristici desunti dal sito GEOSTRU che si basa sulla classificazione sismica del territorio nazionale, nello specifico sono state riportate le coordinate della cava Ecko oggetto di studio.

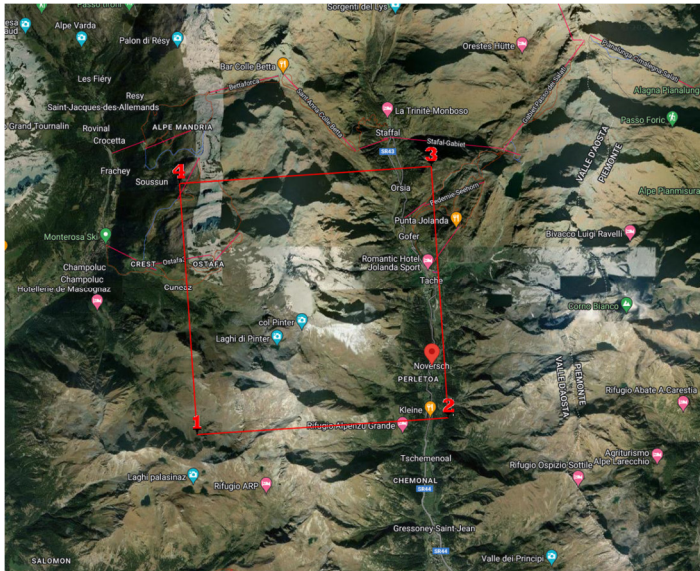


Figura 5: stralcio della zona di cava per la valutazione dei coefficienti sismici.

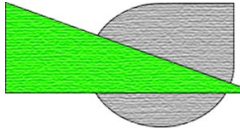
Di seguito il risultato della valutazione relativa al sito oggetto di studio:

Tabella 3: sintesi dei coefficienti sismici relativi al sito in oggetto.

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,000	1,000	1,400	0,007	0,004	0,356	0,200
SLD	1,000	1,000	1,400	0,009	0,005	0,443	0,200
SLV	1,000	1,000	1,400	0,019	0,010	0,948	0,200
SLC	1,000	1,000	1,400	<b>0,024</b>	0,012	1,158	0,200

In questa sede, per il sito in oggetto si è considerato il coefficiente di accelerazione orizzontale a  $C_h = 0,024$  [a<sub>g</sub>/g] che è stato inserito nel modello di calcolo per la stabilità del muro a blocchi.

#### 4.2 analisi di stabilità statistica sui fronti a cielo aperto (teoria del blocco chiave)



Per la valutazione delle condizioni di stabilità, in questo elaborato si fa riferimento alle disposizioni imposte dal Legislatore che prevedono l'applicazione delle "norme tecniche per le costruzioni", nelle quali un capitolo è dedicato alla progettazione geotecnica. Tali disposizioni definiscono l'uso di un metodo semi-probabilistico per la definizione del fattore di sicurezza.

Come noto, tale normativa recepisce i criteri di progettazione contenuti negli Eurocodici e sostanzialmente si basa sull'applicazione del concetto di "stato limite" e non più di "tensione ammissibile".

Le equazioni corrispondenti alla metodologia di calcolo introdotta sono:

$$E_d \leq R_d \quad \text{eq.3}$$

dove

$$E_d = E \cdot \left( \gamma_F \cdot F_K; \frac{X_K}{\gamma_m}; a_d \right) \quad \text{eq5}$$

dove  $\gamma_F \cdot F_K; \frac{X_K}{\gamma_m}; a_d$  sono parametri di progetto mentre  $a_d$  è un coefficiente che definisce la geometria di progetto.

Lo stesso principio può essere applicato alle "resistenze" ovvero:

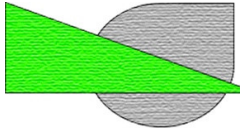
$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \cdot \left( \gamma_F \cdot F_K; \frac{X_K}{\gamma_R}; a_d \right) \quad \text{eq.6}$$

dove in questo caso  $\gamma_R$  è un coefficiente di riduzione del parametro.

Il suddetto metodo è anche detto "dei coefficienti parziali"; i relativi indici sono riportati nelle tabelle successive. Tali indici sono riduttivi o maggiorativi a seconda dell'azione presa in considerazione. Questi coefficienti vanno in pratica a "coprire" parte delle incertezze sul modello e sui parametri sperimentali adottati durante il calcolo. Di seguito si riportano alcune tabelle con i valori (cfr. D.M. 14/1/08 - cap. 6, pg. 193) e successive modifiche.

Tabella 4: Coefficienti parziali per le azioni





**Tabella 6.2.1 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q3}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 5: Coefficienti parziali per le resistenze (in questo caso parametri geotecnici o geomeccanici)

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Pertanto, dopo aver opportunamente corretto i carichi o i parametri di resistenza dall'equazione 3 oppure 4, si evince l'espressione del F.S., che sarà espresso come segue:

$$F_s \geq 1 \quad \text{eq. 7}$$

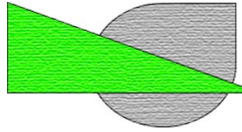
Il metodo di calcolo appena descritto è più cautelativo di quello basato sul metodo delle tensioni ammissibili. Per tale motivo si vuole procedere alla verifica di stabilità deterministica di alcune porzioni di roccia potenzialmente rimuovibili e valutarne la condizione statica nelle condizioni di Stato Limite Ultimo (SLU), tenendo conto anche degli effetti dinamici dovuti all'eventuale azione di un sisma. Questi ultimi parametri sono stati desunti dalla specifica normativa e da siti WEB (cfr. geostru.it).

Alla luce di quanto è stato sopra esposto, possiamo riassumere in una tabella i parametri che andremo ad utilizzare nei calcoli riportati di seguito.

Riepilogo dei coefficienti geomeccanici applicabili al modello secondo il metodo dei coefficienti parziali e in condizioni di Stato Limite Ultimo (SLU).

Tabella 6: parametri geomeccanici stimati presso la cava Ecko

Riepilogo dei parametri geomeccanici utilizzabili nel caso di analisi SLU			
Parametro geotecnico	Secondo metodo delle TA	Coeff. Correttivo Parziale	Secondo metodo delle SLU



Coesione c	0,2 MPa	1,25	<b>0,16 MPa</b>
$\Phi$ medio del sito	$\tan 45^\circ = 1$	1,25	<b><math>\tan 38,6^\circ = 0.8</math></b>

Andremo inoltre a definire il contesto geostrutturale in cui è inserita la cava, valutando in base al metodo di calcolo denominato del blocco chiave, sviluppato da Goodman & Shi (1985), quali potrebbero essere le tipologie di cinematismi generabili dall'intersezione tra le famiglie di discontinuità desunte dall'analisi statistica e i fronti artificiali generati dalla coltivazione del giacimento. Dopodiché valuteremo singolarmente le condizioni di quei cunei ritenuti potenzialmente rimuovibili dalla loro sede in base ai sopralluoghi congiunti tra la D.L. e il personale sorvegliante.

Si riporta di seguito una breve introduzione al metodo di calcolo citato e sviluppato da Goodman & Shi nel 1985. Tale teoria, formulata in termini esclusivamente topologici e di giaciture, permette una valutazione delle condizioni di stabilità dei blocchi in accordo a cinematismi semplici di scivolamento.

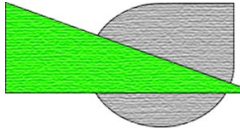
L'analisi è basata su ipotesi semplificative di discontinuità ubiquitarie e totalmente persistenti all'interno dell'ammasso roccioso, prive di coesione e con giacitura corrispondente a quella media della famiglia cui appartengono. I risultati ottenuti rappresentano quindi una previsione pessimistica del potenziale grado di instabilità e potranno essere messi in rapporto con la struttura effettiva locale della massa rocciosa in grado di configurare, o meno, blocchi potenzialmente instabili nei fronti.

La teoria dei blocchi opera per mezzo di uno strumento grafico in grado di contemplare sia le giaciture dei sistemi di discontinuità presenti in un dato settore di massa rocciosa sia le giaciture delle pareti libere realizzate dalle operazioni di coltivazione del giacimento.

I piani rappresentativi di ogni sistema di discontinuità e di ogni superficie libera, una volta traslati idealmente nell'origine di una sfera di riferimento, sono proiettati su un piano equatoriale mediante una proiezione equiangola usando come fuoco, generalmente e in questo caso, il vertice inferiore della sfera di riferimento (lower focal point), ma è possibile anche la proiezione con il fuoco nel vertice superiore della sfera di riferimento (upper focal point).

Il meccanismo di proiezione equiangola proietta le intersezioni sulla sfera dei sistemi di discontinuità e delle superfici libere in circonferenze sul piano equatoriale. I punti della semisfera inferiore proiettano fuori dal cerchio di riferimento sul piano equatoriale mentre tutte le direzioni volte verso l'alto o "sopra" proiettano all'interno del cerchio di riferimento.

In base a queste ipotesi, considerando la proiezione di una circonferenza *i*-sima, avremo che i punti interni al cerchio rappresentano tutte quelle direzioni che stanno sopra il piano i mentre quelli esterni le direzioni che



stanno sotto il piano  $i$ , è intuitivo che il cerchio rappresenta tutte le direzioni sul piano di discontinuità (o della superficie libera).

Si adotta come regola quella di assegnare il codice 0 per indicare il “sopra” o la parte interna del cerchio, mentre il codice 1 sta ad indicare le zone fuori dal cerchio. Tale codifica permette di attribuire facilmente delle sigle alle regioni risultanti dalle intersezioni dei piani di discontinuità denominate JP (Joint Pyramid).

Affinché un blocco possa muoversi dalla massa rocciosa non può che farlo entro l’insieme delle direzioni libere, che viene definito come spazio della piramide SP (Space Pyramid). Ne deriva la seguente assunzione di rilievo generale: **“Un blocco è rimovibile se la sua JP è interamente contenuta nella SP”**.

Tra i blocchi di tipo rimovibile solo quelli in grado di sviluppare una direzione  $\hat{s}$  compatibile, ossia compresa nella JP del blocco in esame (a sua volta contenuta interamente nella SP), e configurante la minore apertura angolare  $0 \leq \theta = \cos^{-1}(\hat{s} \cdot \hat{f}) < 90$  con il versore  $\hat{f}$  della risultante delle forze attive, possono eventualmente lasciare la loro sede, o staccandosi da tutti i piani ( $\hat{s}$  è interna alla JP) o scivolando su uno o su due piani ( $\hat{s}$  appartiene alla superficie della JP). Il verso di possibile eventuale movimento è detto modo e per il potenziale scivolamento di un blocco possono sussistere due tipi di modi: lo scivolamento su un piano (modo i) o quello lungo la linea di intersezione di due piani (modo ij). Il caso in cui  $\hat{s}$  sia contenuto nella JP configura il modo 0

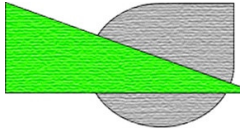
che implica  $\hat{f} \equiv \hat{s}$  e  $\theta=0$ , questo modo è tipico dei blocchi che possono staccarsi dal tetto di un vuoto

Una volta evidenziate tutte le JP di blocco rimovibile e originanti modi per un eventuale scivolamento planare i o a cuneo ij, definite come KB (key block), mediante valutazioni statiche all’equilibrio limite, assumendo un modello lineare di resistenza a taglio lungo discontinuità, solo attritivo, e ipotizzando l’assenza di carichi idraulici sulle discontinuità (drenaggio ideale), si distingue tra i blocchi che rappresentano KB “potenziali” e KB “reali” (secondo la terminologia utilizzata nella teoria) in funzione del fattore di sicurezza  $F_s$  rispettivamente  $>1$  o  $<1$ .

Pertanto, gli obiettivi perseguibili mediante l’applicazione della teoria suddetta sono sintetizzabili in:

- 1) Identificazione di tutte le tipologie di blocchi sviluppabili dall’intersezione delle discontinuità naturali e i fronti di cava;
- 2) Individuazione dei blocchi rimuovibili e le relative funzioni dei modi;
- 3) Dato il versore  $\hat{f}$  della forza instabilizzante, determinazione dei blocchi eventualmente instabili;

Nel corso dell’analisi, così come indica la stessa teoria, si sono individuati dapprima i blocchi rimovibili e in funzione dei modi i KB e successivamente, sulla base di considerazioni sull’equilibrio limite, si sono distinti i KB potenziali da quelli reali.



Le valutazioni successive prendono in considerazione come superfici libere quella generata dai tagli di coltivazione.

La figura 6 riporta uno stralcio della planimetria allo stato di fatto attuale e sono messi in evidenza i fronti utilizzati per le successive valutazioni di calcolo.

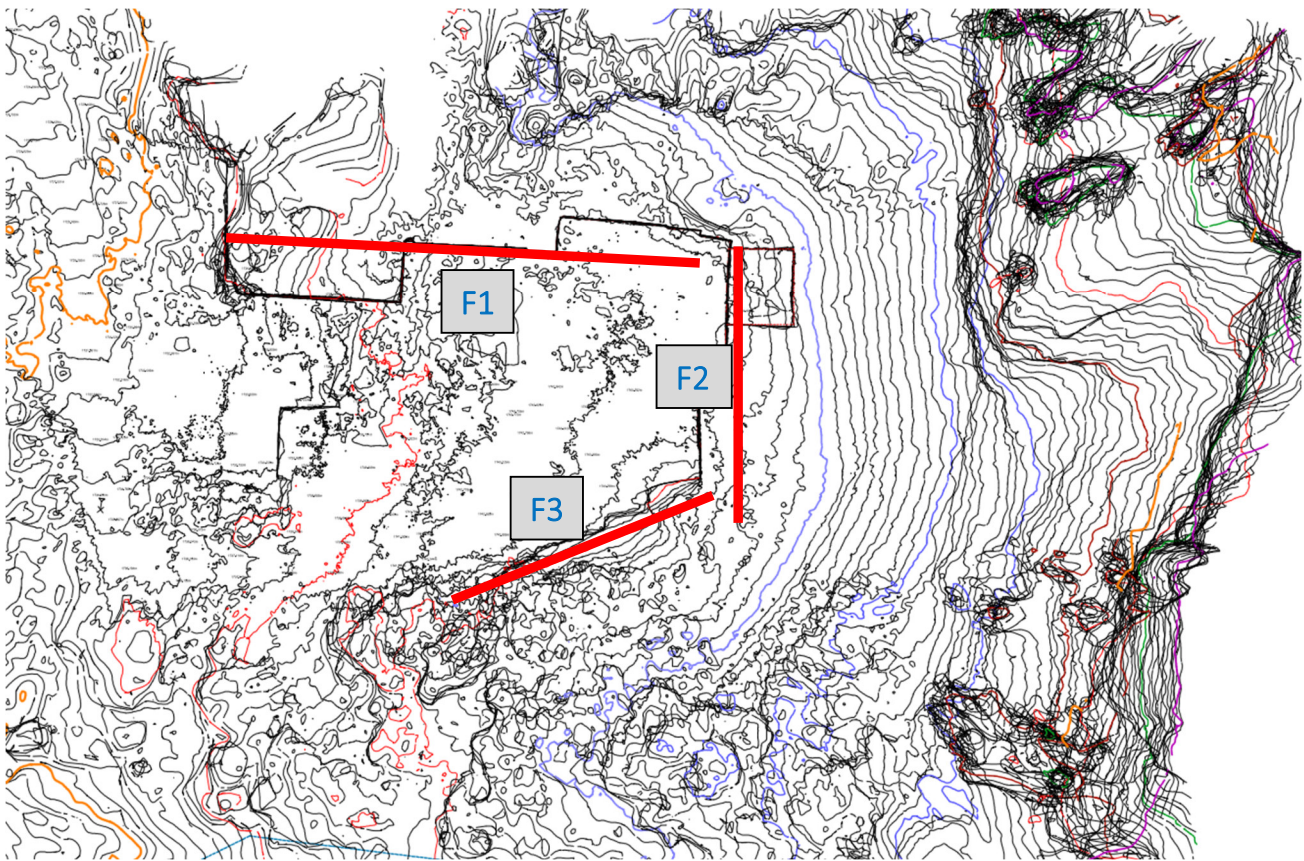
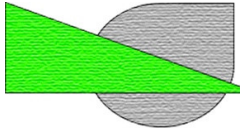


Fig 6: situazione topografica allo stato di fatto del novembre 2023, con evidenza dei fronti utilizzati per l'analisi di stabilità descritta di seguito.

Tabella 7: sintesi dei fronti presi in esame per l'analisi di stabilità deterministica.

Angolo	F1	F2	F3
DIP DIR°	005	218	320
DIP°	88	88	75





Nella figura seguente si riportano gli stereogrammi dei cinematismi individuati sui principali fronti di coltivazione.

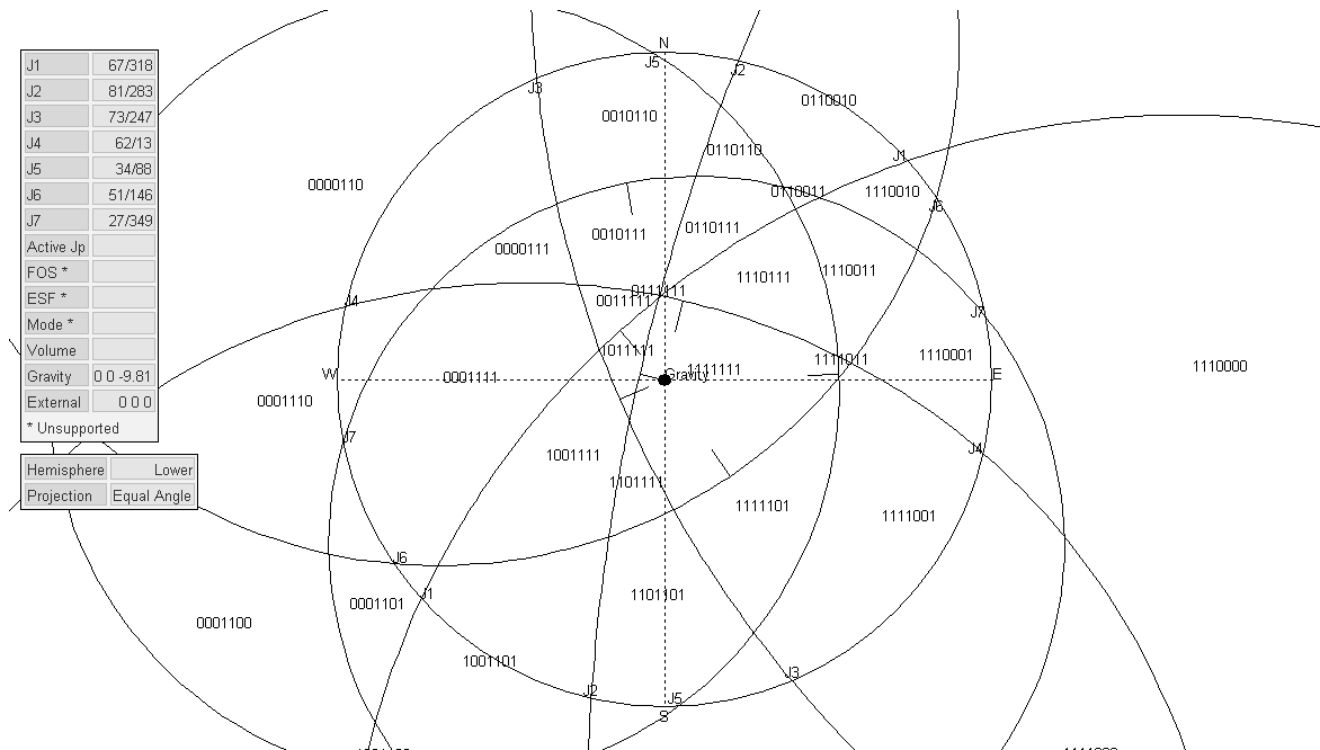


Fig. 7: Stereogramma delle famiglie di discontinuità secondo il metodo di calcolo del blocco chiave di Goodman & Shi (1985).

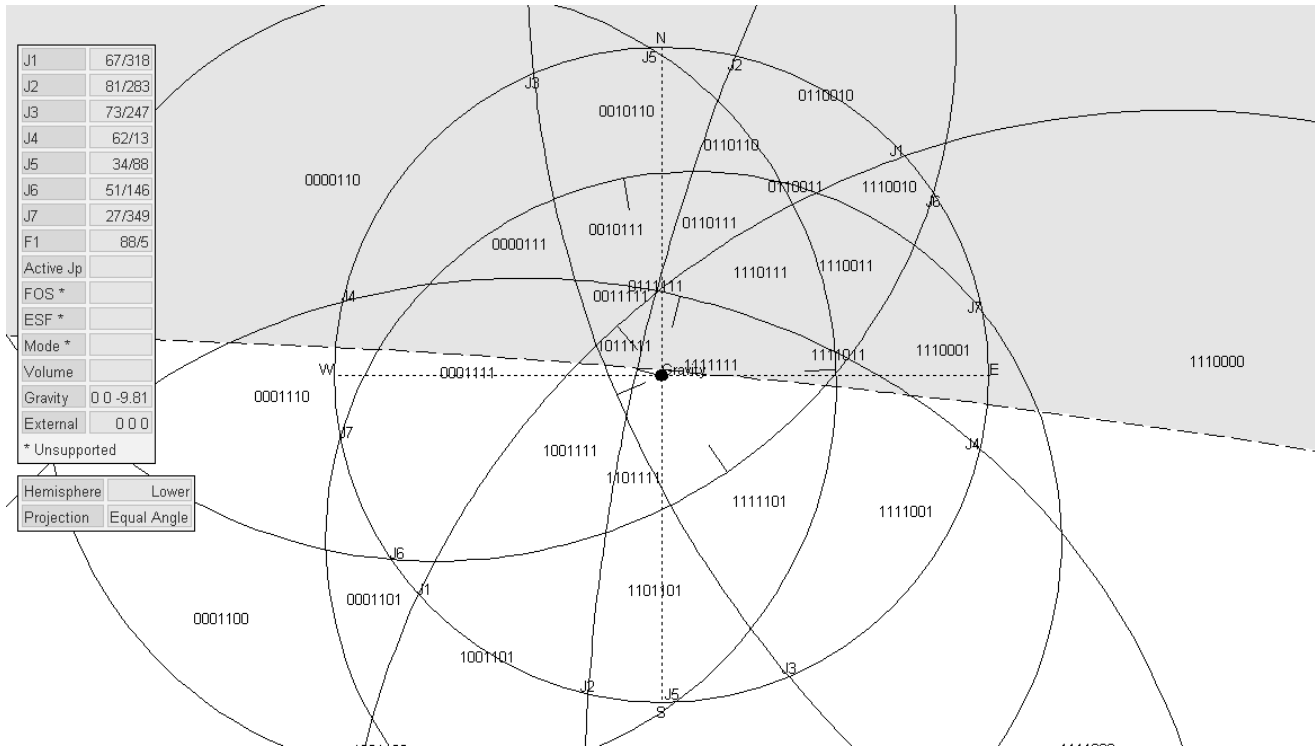
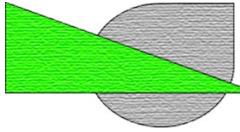


Fig. 8: Stereogramma delle famiglie di discontinuità secondo il metodo di calcolo del blocco chiave di Goodman & Shi (1985) e sovrapposizione del fronte F1

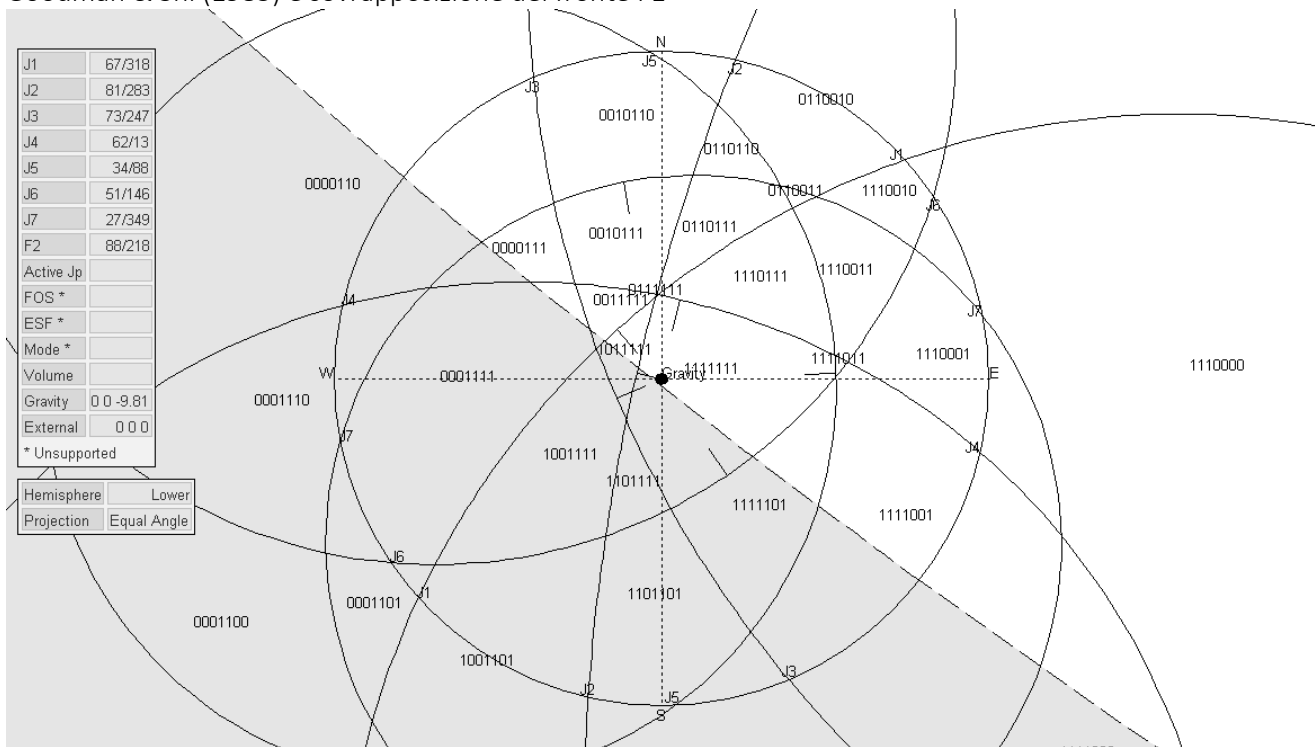


Fig. 9: Stereogramma delle famiglie di discontinuità secondo il metodo di calcolo del blocco chiave di Goodman & Shi (1985) e sovrapposizione del fronte F2

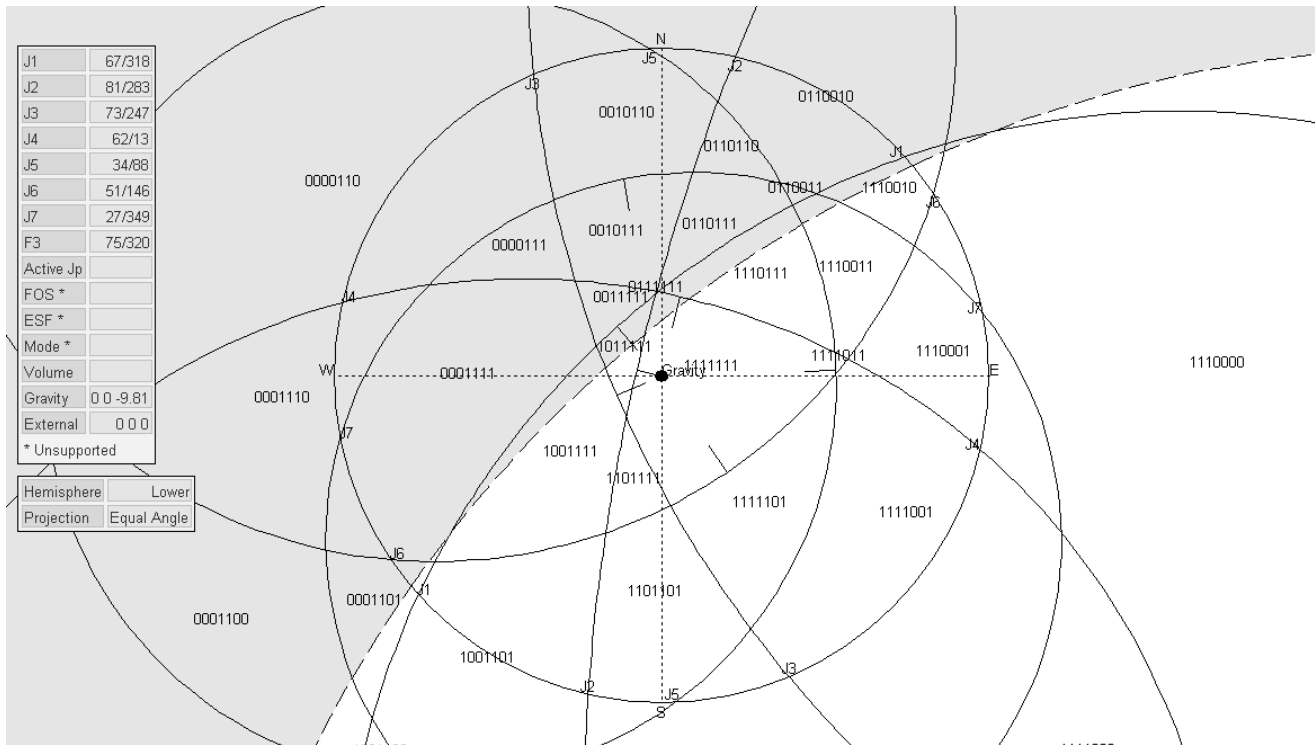
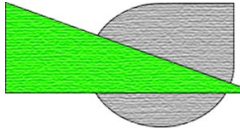
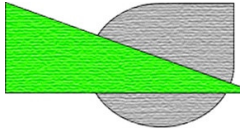


Fig. 10: Stereogramma delle famiglie di discontinuità secondo il metodo di calcolo del blocco chiave di Goodman & Shi (1985) e sovrapposizione del fronte F3

Di seguito l'elenco dei blocchi individuati con la tecnica appena descritta e il calcolo del fattore di sicurezza relativo ad ogni blocco potenzialmente instabile

Tabella 8: riepilogo dei cinematismi individuati e i relativi fattori di sicurezza calcolati

Riepilogo analisi cinematica secondo teoria dei blocchi di Goodman & Shi, 1985				
Fronte in esame	N° progressivo cinematismo	Tipo di scivolamento	Piano/linea di scivolamento	Fattore di sicurezza (F.S.)
Fronte #1 (005°/88°)	01	Lungo linea di intersezione	$K_2/K_5$	>10
	02	Lungo linea di intersezione	$K_5/K_7$	8.47
	03	Lungo linea di intersezione	$K_1/K_7$	>10
	04	Scivolamento planare	$K_7$	4.32
	05	Lungo linea di intersezione	$K_2/K_7$	7.81
	06	Lungo linea di intersezione	$K_1/K_5$	>10
	07	Lungo linea di intersezione	$K_4/K_5$	9.34
	08	Scivolamento planare	$K_5$	3.65
	09	Lungo linea di intersezione	$K_3/K_4$	7.68
	10	Lungo linea di intersezione	$K_2/K_4$	6.13
	11	Lungo linea di intersezione	$K_1/K_4$	5.78
	12	Scivolamento planare	$K_4$	3.44
	13	Scivolamento planare	$K_1$	3.87



	14	Lungo linea di intersezione	$K_1/K_2$	>10
Fronte #2 (218°/88°)	15	Lungo linea di intersezione	$K_4/K_7$	>10
	16	Lungo linea di intersezione	$K_3/K_5$	>10
	17	Lungo linea di intersezione	$K_1/K_6$	>10
	18	Lungo linea di intersezione	$K_2/K_6$	>10
	19	Lungo linea di intersezione	$K_3/K_6$	7.71
	20	Scivolamento planare	$K_3$	4.97
	21	Lungo linea di intersezione	$K_2/K_3$	>10
Fronte #3 (320°/75°)	22	Lungo linea di intersezione	$K_2/K_5$	>10
	23	Lungo linea di intersezione	$K_5/K_7$	>10
	24	Lungo linea di intersezione	$K_3/K_7$	9.29
	25	Scivolamento planare	$K_7$	4.32
	26	Lungo linea di intersezione	$K_2/K_7$	7.82
	27	Lungo linea di intersezione	$K_4/K_7$	>10
	28	Lungo linea di intersezione	$K_1/K_5$	>10
	29	Lungo linea di intersezione	$K_3/K_4$	>10
	30	Lungo linea di intersezione	$K_2/K_4$	>10
	31	Lungo linea di intersezione	$K_1/K_4$	>10
	32	Scivolamento planare	$K_1$	3.87
	33	Lungo linea di intersezione	$K_1/K_2$	>10

#### 4.3 analisi di stabilità statistica sui fronti in sotterraneo

Si esaminano in questo paragrafo le condizioni statiche dei fronti di escavo previsti a sotterraneo. In particolare la condizione statica dei cunei di roccia potenzialmente rimuovibili dalla loro sede che si potrebbero generare nelle camere in sotterraneo.

L'analisi di stabilità statistica dei suddetti cinematismi è stata effettuata mediante uno specifico software basato sul metodo all'equilibrio limite. Tale metodo di calcolo prevede di esaminare lungo la direzione dell'asse della galleria (Trend & Plunge) la combinazione possibile di fratture che generano dei blocchi rimuovibili. Il metodo di calcolo prevede di esaminare tre famiglie di discontinuità alla volta, e quindi in caso di un numero di famiglie superiore, si applicheranno le regole del calcolo combinatorio per individuare tutte le possibili soluzioni.

La figura seguente mostra le due direzioni principali prese in esame nel calcolo.



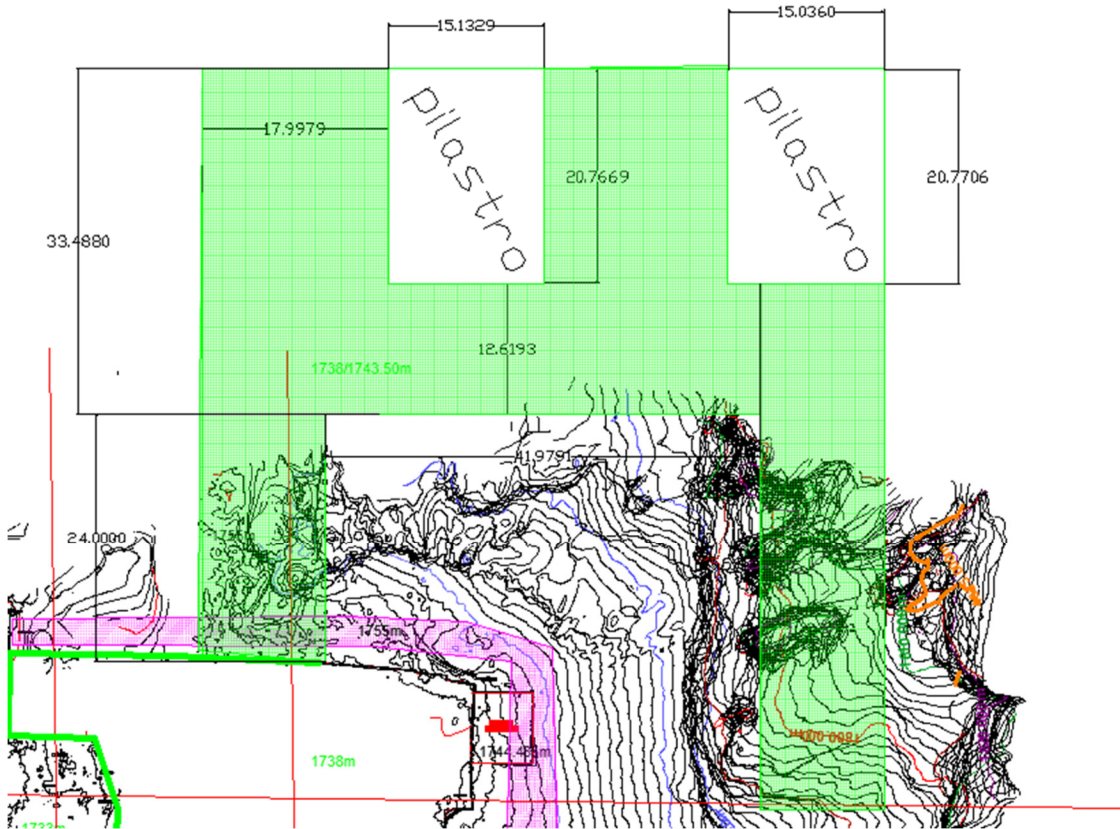
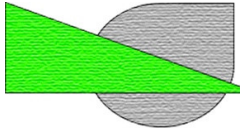


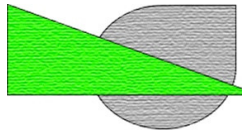
Fig. 11: stralcio del progetto in sotterraneo con evidenza delle due direzioni prese in esame per le analisi galleria 1 (direzione 000°/00°) e galleria 2 (direzione 090°/00°)

In questo caso avremo quindi 35 combinazioni diverse, ciascuna di n° 3 famiglie di discontinuità, per ciascuna delle quali sono stati individuati i blocchi generabili e calcolato il relativo fattore di sicurezza.

Applicando i dati geomeccanici desunti dai rilievi, si è notato che non sussistono situazioni riconducibili a potenziali pericoli di instabilità dei blocchi, sia sul tetto che sulle pareti laterali delle camere.

Esaminando più approfonditamente la situazione si è notato che la coesione è un parametro molto influente sulla valutazione, soprattutto perchè il software cerca di massimizzare l'involuppo dei blocchi generabili, ciò significa ampie superfici laterali del blocco e da qui la forte influenza della coesione.

Si precisa inoltre che il parametro di coesione è quello maggiormente difficile da determinare in situ pertanto, ai fini puramente cautelativi, si è scelto di optare per un abbattimento di tale parametro a valori prossimi allo zero, con lo scopo di individuare quali sono le geometrie di blocchi potenzialmente più sensibili a questo



parametro. Per lo stesso motivo anche la resistenza a trazione del materiale, che può aggirarsi intorno a 4-5 MPa, ai fini cautelativi è stata ridotta a 0 Mpa.

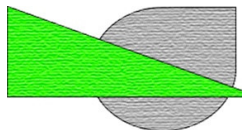
A titolo di esempio si vuole comunque nell'allegato B riportare l'immagine di qualche cinematismo individuato al fine di illustrare al committente e al personale sorvegliante quale genere di cinematismo si potrà creare nella coltivazione sotterranea in fase di progetto.

Le tabelle seguenti riportano i risultati ottenuti dalle analisi lungo la direzione della galleria 1, quella di accesso sull'asse N-S e della galleria 2 lungo l'asse E-O.

Si riportano nelle tabelle seguenti di seguito dei blocchi "tipo" generabili sulle pareti o sul tetto della galleria 1 e della galleria 2.

Tabella 9: riepilogo dei cinematismi individuati nelle camere sotterranee lungo la direzione 1.

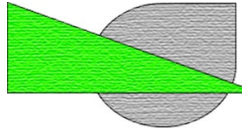
Riepilogo analisi cinematica nella coltivazione in sotterraneo				
Fronte in esame	N° progressivo cinematismo	Tipo di scivolamento	Piano/linea di scivolamento	Fattore di sicurezza (F.S.)
Galleria 1 (000°/00°)	01	Lungo linea di intersezione	2/3/5	1.57
	02	Lungo linea di intersezione	1/3/5	1.57
	03	Lungo linea di intersezione	3/5/7	1.71
	04	Lungo linea di intersezione	2/5/6	1.79
	05	Lungo linea di intersezione	3/4/5	1.80
	06	Lungo linea di intersezione	2/4/5	2.06
	07	Lungo linea di intersezione	2/4/6	2.15
	08	Lungo linea di intersezione	2/3/7	2.15



09	Lungo linea di intersezione	3/4/6	2.18
10	Lungo linea di intersezione	2/6/7	2.44
11	Lungo linea di intersezione	1/2/5	2.61
12	Lungo linea di intersezione	3/6/7	2.64
13	Lungo linea di intersezione	3/5/6	2.68
14	Lungo linea di intersezione	1/2/3	2.75
15	Lungo linea di intersezione	2/3/4	2.82
16	Lungo linea di intersezione	1/4/5	3.04
17	Lungo linea di intersezione	2/3/6	3.16
18	Lungo linea di intersezione	2/4/7	3.25
19	Lungo linea di intersezione	1/2/4	3.26
20	Lungo linea di intersezione	1/5/6	3.34
21	Lungo linea di intersezione	1/3/4	3.74
22	Lungo linea di intersezione	1/3/6	3.84
23	Lungo linea di intersezione	1/3/7	4.06
24	Lungo linea di intersezione	1/2/6	4.26
25	Lungo linea di intersezione	5/6/7	4.29
26	Lungo linea di intersezione	4/5/6	4.46
27	Lungo linea di intersezione	1/4/6	4.56
28	Lungo linea di intersezione	1/4/7	4.59
29	Lungo linea di intersezione	3/4/7	4.93
30	Lungo linea di intersezione	4/5/7	4.96
31	Lungo linea di intersezione	1/2/7	5.34
32	Lungo linea di intersezione	2/5/7	5.74
33	Lungo linea di intersezione	1/6/7	6.11
34	Lungo linea di intersezione	4/6/7	7.19
35	Lungo linea di intersezione	1/5/7	7.55

Tabella 10: riepilogo dei cinematismi individuati nelle camere sotterranee lungo la direzione 2.

Riepilogo analisi cinematica nella coltivazione in sottterraneo				
Fronte in esame	N° progressivo cinematismo	Tipo di scivolamento	Piano/linea di scivolamento	Fattore di sicurezza (F.S.)
Galleria 2 (090°/00°)	01	Lungo linea di intersezione	3/4/6	1.80
	02	Lungo linea di intersezione	3/6/7	1.99
	03	Lungo linea di intersezione	2/4/6	2.00
	04	Lungo linea di intersezione	2/3/7	2.15
	05	Lungo linea di intersezione	2/3/5	2.15
	06	Lungo linea di intersezione	1/4/6	2.45
	07	Lungo linea di intersezione	2/6/7	2.46



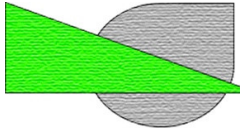
08	Lungo linea di intersezione	4/6/7	2.47
09	Lungo linea di intersezione	4/5/7	2.55
10	Lungo linea di intersezione	3/4/5	2.75
11	Lungo linea di intersezione	1/4/7	2.75
12	Lungo linea di intersezione	2/4/7	2.77
13	Lungo linea di intersezione	1/2/4	2.89
14	Lungo linea di intersezione	1/3/4	3.04
15	Lungo linea di intersezione	1/4/5	3.07
16	Lungo linea di intersezione	1/3/6	3.10
17	Lungo linea di intersezione	1/3/7	3.13
18	Lungo linea di intersezione	3/5/7	3.21
19	Lungo linea di intersezione	2/4/5	3.37
20	Lungo linea di intersezione	1/3/5	3.37
21	Lungo linea di intersezione	4/5/6	3.42
22	Lungo linea di intersezione	1/5/6	3.42
23	Lungo linea di intersezione	2/5/6	3.43
24	Lungo linea di intersezione	2/3/4	3.49
25	Lungo linea di intersezione	3/4/7	3.63
26	Lungo linea di intersezione	1/2/6	3.99
27	Lungo linea di intersezione	1/6/7	4.12
28	Lungo linea di intersezione	3/5/6	4.27
29	Lungo linea di intersezione	1/2/7	4.36
30	Lungo linea di intersezione	1/2/3	4.82
31	Lungo linea di intersezione	2/3/6	4.91
32	Lungo linea di intersezione	5/6/7	5.23
33	Lungo linea di intersezione	1/2/5	5.94
34	Lungo linea di intersezione	2/5/7	7.34
35	Lungo linea di intersezione	1/5/7	7.84

#### 4.4 Analisi di stabilità del versante mediante modellazione numerica agli elementi finiti (FEM)

Come anticipato nella premessa, l'analisi in oggetto vuole valutare l'andamento dello stato tensionale al contorno dello scavo sia nella configurazione attuale che quella relativa al nuovo progetto, ovvero alla documentazione prodotta dal Geol. Chiara Taponecco.

Data la situazione geometrica dello scavo e considerata la prossimità della coltivazione al versante soprastrante, si è proceduto all'analisi lungo due sezioni ritenute le più rappresentative per la valutazione delle condizioni tensionali e deformative al contorno dello scavo.





La figura 12 riporta uno stralcio della topografia aggiornata dalla quale si evince la coltivazione in sotterraneo sulla quale sono state messe in evidenza le sezioni rappresentative per il modello numerico FEM.

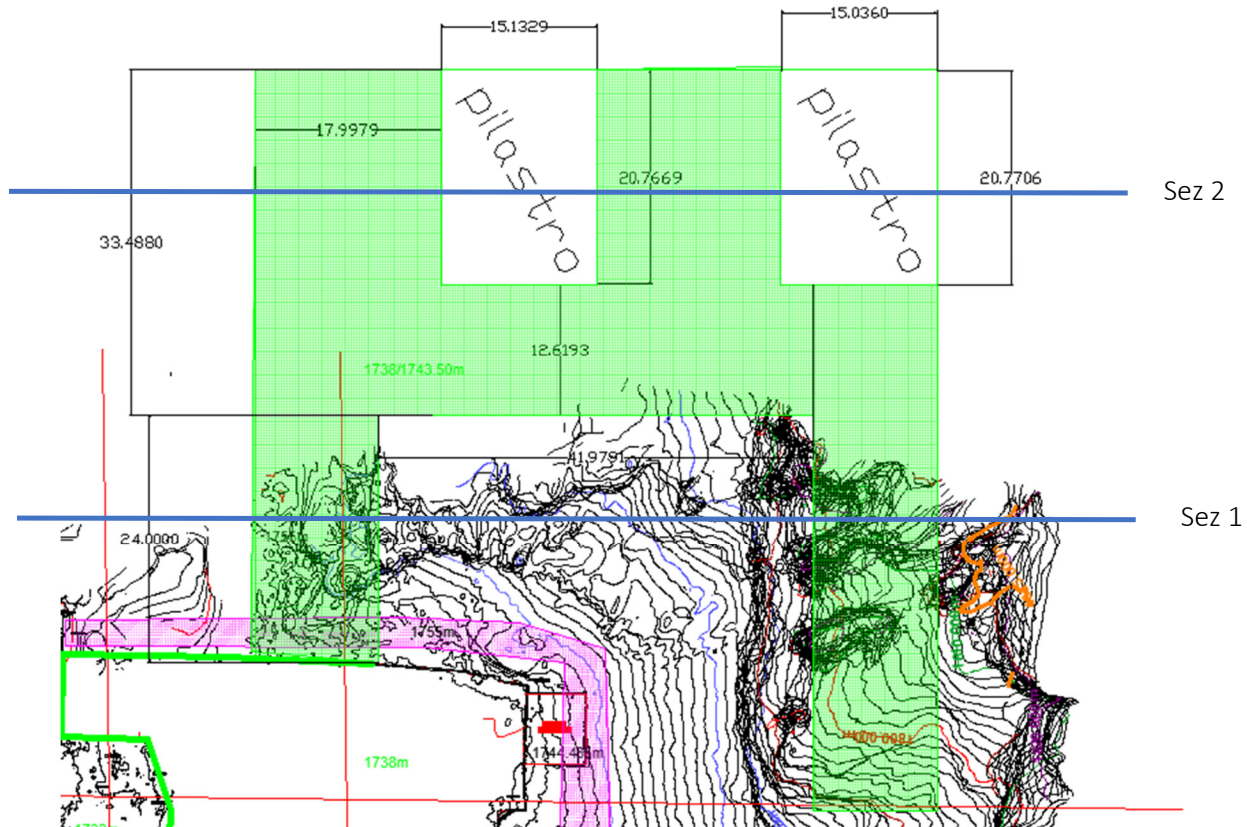


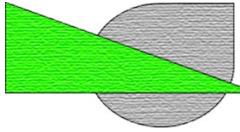
Fig. 12: stralcio del progetto delle camere sotterranee, con sovrapposizione delle due sezioni prese in esame nell'analisi della modellazione numerica.

#### *Introduzione al metodo degli elementi finiti (FEM) e definizione dei parametri di progetto.*

La situazione geometrica della porzione di ammasso roccioso in esame si presenta articolata data la sovrapposizione tra la geometria naturale del versante, dove nella parte sommitale è anche piuttosto acclive, e la geometria dello scavo esistente e di quello a progetto.

L'ammasso roccioso è fondamentalmente composto da marmi alterati ("verde Alpi") intercalati ad uno strato di materiale scistoso, stratificato a più forte alterazione di colore brunastro ("ammasso alterato").

Nel caso specifico si può fare riferimento a valori di resistenza meccanica provenienti da materiali simili e



paragonabili in tessitura e geologia. La tabella seguente riporta i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso e di deformabilità, il criterio di resistenza utilizzato per la modellazione in esame è quello di Mohr-Coulomb.

Tabella 11: parametri di resistenza caratteristica dell'ammasso roccioso e utilizzati per la modellazione FEM.

Descrizione	Coesione [MPa]	Angolo di attrito [°]	Trazione [Mpa]	Modulo elastico E [GPA]	Coeff. Poisson
Ammasso "Verde Alpi"	0,3	35°	1	90	0.2
Ammasso alterato	0,2	35°	0	50	0.2

Come anticipato e per la quasi totalità dei problemi di ingegneria delle rocce, quando è necessario stimare il regime tensio-deformativo, non sono disponibili soluzioni analitiche delle equazioni che regolano i modelli comportamentali dell'ammasso roccioso.

Questo può accadere sia per le condizioni al contorno del modello sia per il comportamento stesso dell'ammasso roccioso. In queste situazioni il ricorso a tecniche numeriche per la soluzione delle equazioni differenziali risulta d'obbligo, da qui la necessità di ricorrere a codici di calcolo.

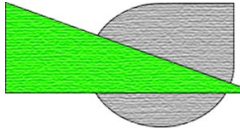
I metodi di calcolo numerici impiegati nell'ambito della meccanica delle rocce presentano la caratteristica che ogni equazione differenziale che governa il problema in esame è descritta da espressioni algebriche in termini di variabili di campo in punti discreti dello spazio. Ciascun elemento di calcolo in cui è suddiviso l'ammasso roccioso in studio riproduce, in modo approssimato, il comportamento fisico e meccanico della corrispondente regione nella struttura, ricucendosi e semplificandosi nei nodi dell'elemento le infinite connessioni presenti nel mezzo continuo reale.

L'elemento numerico è quindi una sottoregione in cui si descrivono in modo semplice le funzioni incognite rappresentate dagli spostamenti.

Il metodo del dominio impiegato in questa sede è il metodo agli elementi finiti (FEM). Come detto, il dominio del problema è suddiviso in elementi discreti che forniscono una forma approssimata della continuità tensionale e deformativa dell'ammasso roccioso. Le equazioni sono scritte relativamente ai nodi della discretizzazione e sui quali gli elementi fanno perno.

Le equazioni relazionano gli spostamenti nodali a forze ottenute per intersezione sugli elementi delle forze di massa attraverso la cosiddetta matrice di rigidezza.

In estrema sintesi le due espressioni algebriche riportate di seguito riportano l'essenza del metodo di calcolo:



$$\sigma = D\varepsilon \quad (\text{eq 8})$$

da questa espressione si evince che lo stato tensionale si ricava tramite la relazione tensioni-deformazioni, dove  $D$  è la matrice di rigidità che, per il caso di deformazione piana per un mezzo isotropo lineare elastico (ILE), è pari a:

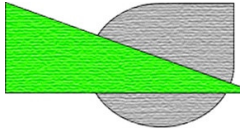
$$D = \frac{E(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1 - \nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1 - \nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)} \end{bmatrix} \quad (\text{eq 9})$$

con  $E$ ,  $\nu$  le costanti elastiche del materiale.

L'applicazione di questi metodi numerici consente anche di tenere in considerazione la presenza di giunti o fratture. Ovviamente sarà necessario inserire i parametri di rigidità della discontinuità e rimodulare l'espressione della matrice riportata nell'equazione 2 e in particolare, nel caso in esame, è un aspetto di fondamentale importanza vista la persistenza di alcuni giunti presenti nell'ammasso roccioso della cava Ecko Larga.

Nelle pagine seguenti si riportano le sezioni dei modelli FEM utilizzate per l'analisi tensio-deformativa della sezione rappresentativa della cava Ecko.

Nelle mesh del modello sono riportati i vuoti delle camere sotterranee, in parte esistenti e quindi che rappresentano la situazione attuale e le altre che rappresentano la situazione a progetto. Inoltre, sono state inserite anche le discontinuità rilevate in situ ed estese, cautelativamente, su dimensioni maggiori rispetto a ciò che è stato riscontrato in situ.



### Analisi dei risultati lungo la sezione 1

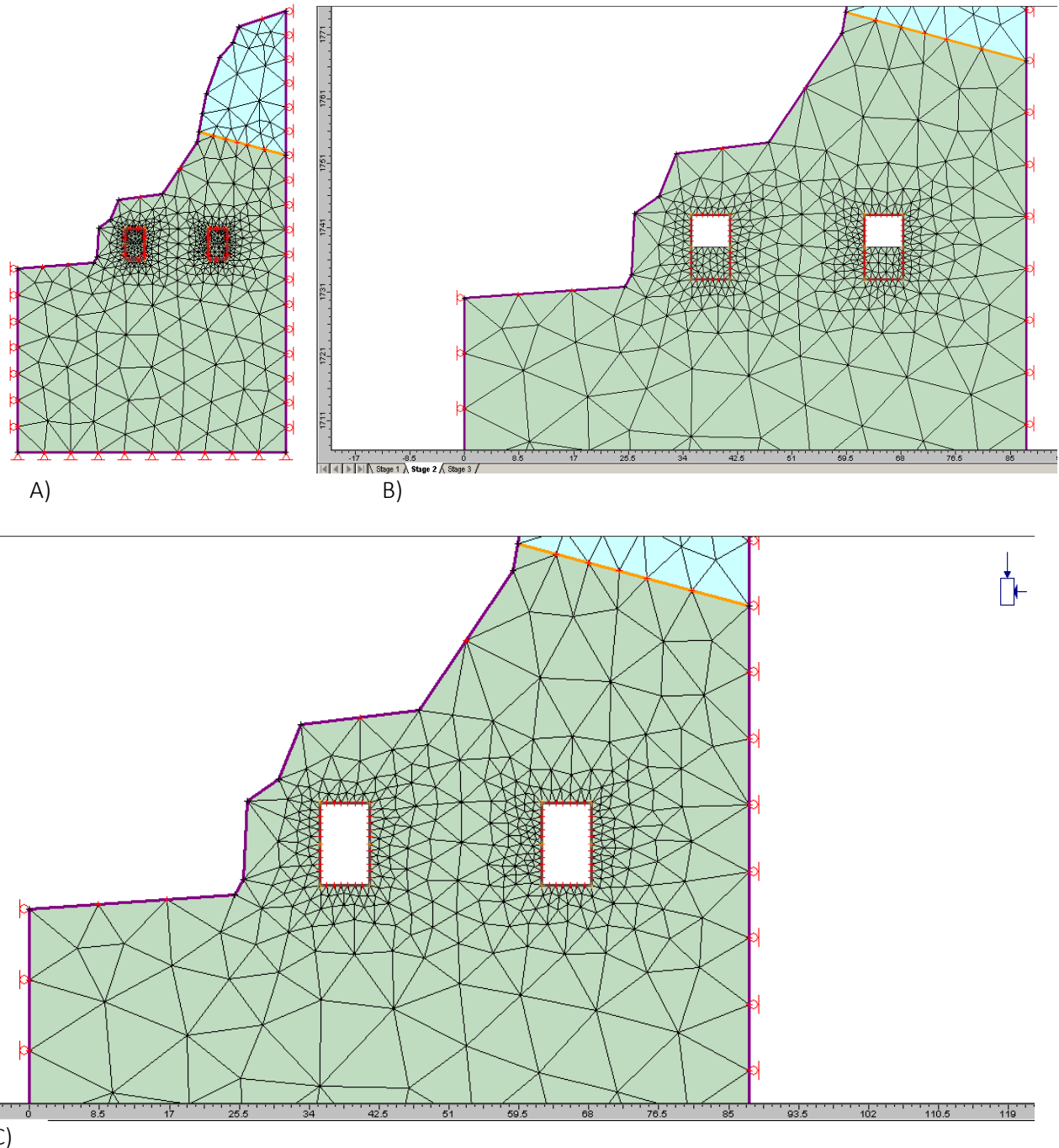
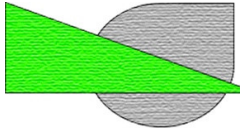


Fig. 13: sezione 1 del modello agli elementi finiti relaiizzato presso la cava Ecko. A) situazione precavo, B) fase intermedia C) fase finale del progetto presentato





Di seguito i risultati della modellizzazione numerica con i relativi commenti nella discascalia della figura.

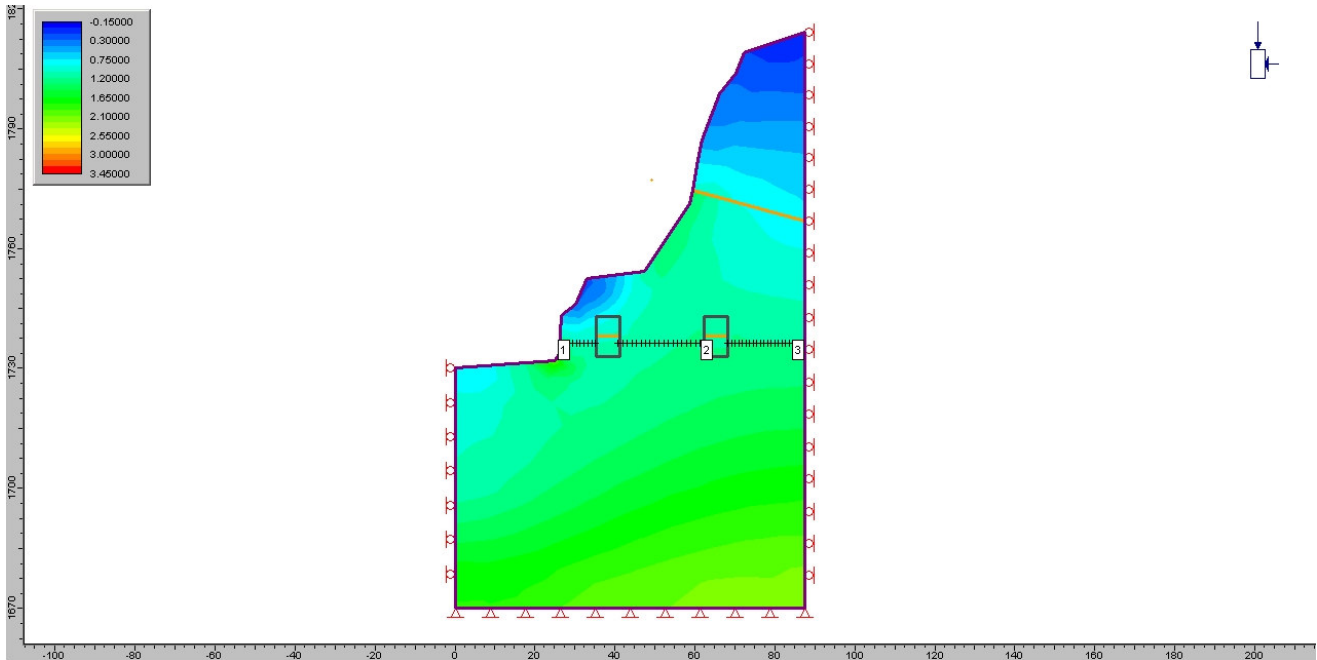


Fig. 14: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  nel versante nella configurazione prescavo

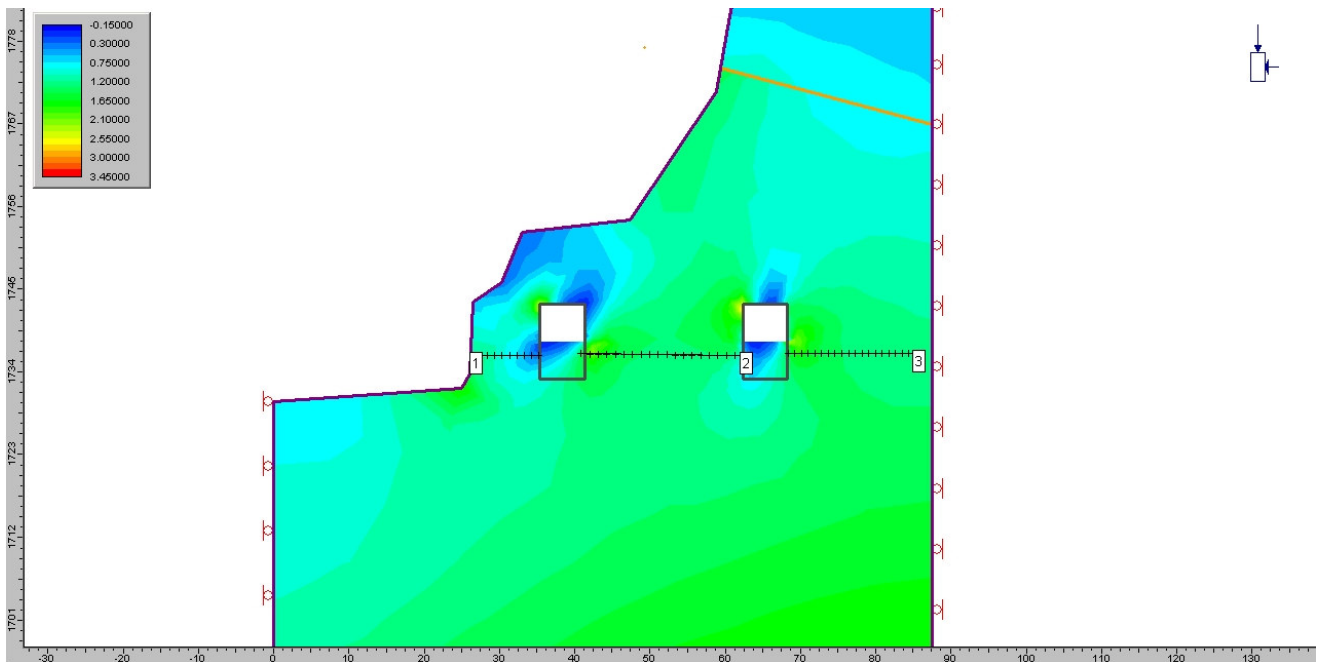


Fig. 15: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  nel versante nella configurazione intermedia corrispondente alla realizzazione di una galleria di accesso con H= 5m.

Sono in evidenza anche gli allineamenti 1, 2, 3 lungo i quali è stata fatta un'analisi di dettaglio riportata di seguito.

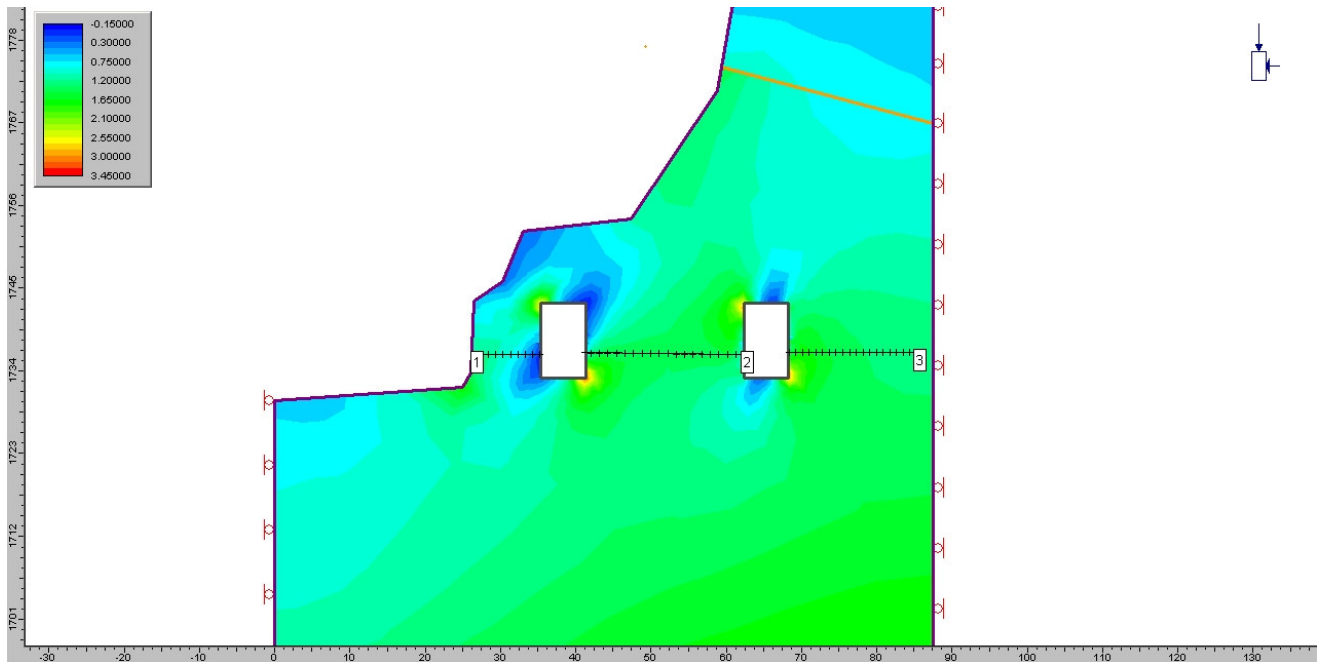
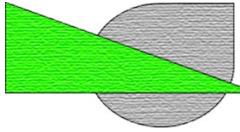


Fig. 16: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  nel versante nella configurazione finale del progetto in fase di approvazione, realizzazione di una galleria di accesso con  $H=10$  m.

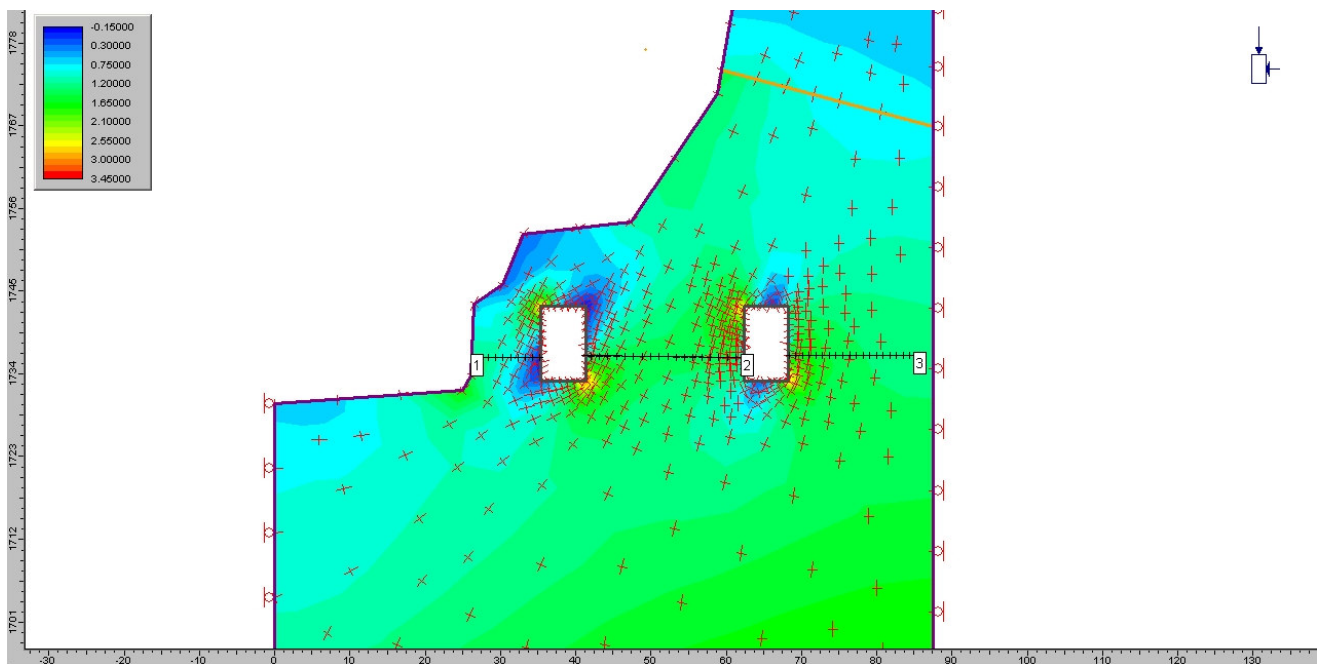


Fig. 17: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  nel versante nella configurazione finale e sovrapposizione dei vettori relativi alle direzioni delle sollecitazioni principali. Si può notare l'interferenza tra gli effetti legati alla superficie del versante e a quello dello scavo. I risultati ottenuti sono in linea con la teoria dell'elasticità e non si evidenziano criticità a seguito dello scavo a progetto.

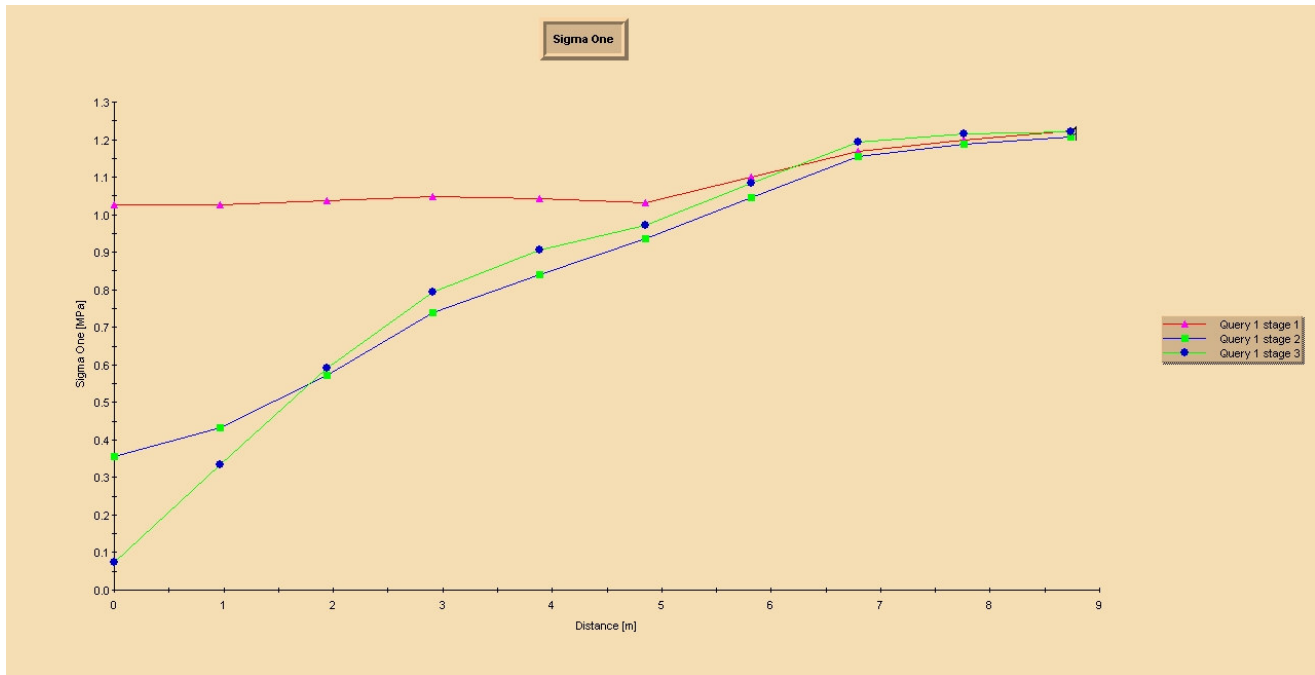
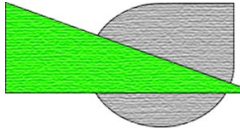


Fig. 18: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  lungo l'allineamento 1 nelle tre fasi del progetto. Si evidenzia il sovraccarico dovuto alla realizzazione dello scavo ma non si registrano criticità in termini di sollecitazioni sia di compressione che di trazione.

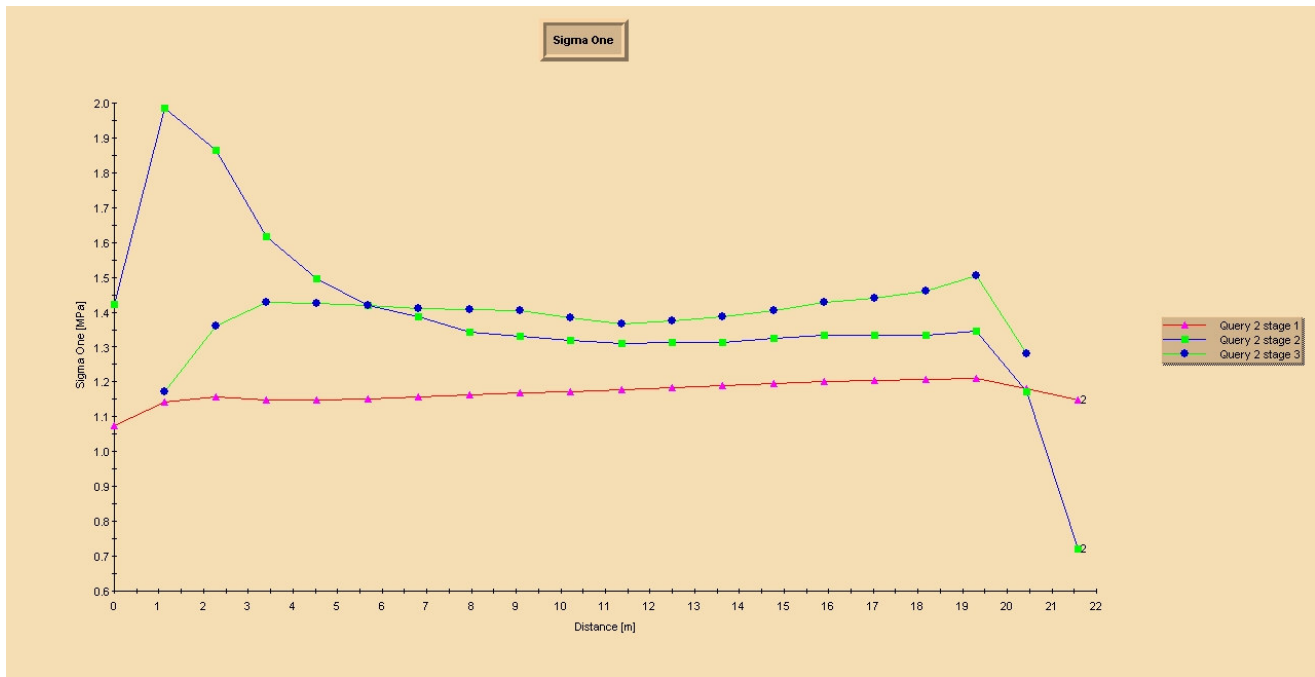


Fig. 19: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  lungo l'allineamento 2 nelle tre fasi del progetto. Si evidenzia il sovraccarico dovuto alla realizzazione dello scavo ma non si registrano criticità in termini di sollecitazioni sia di compressione che di trazione.

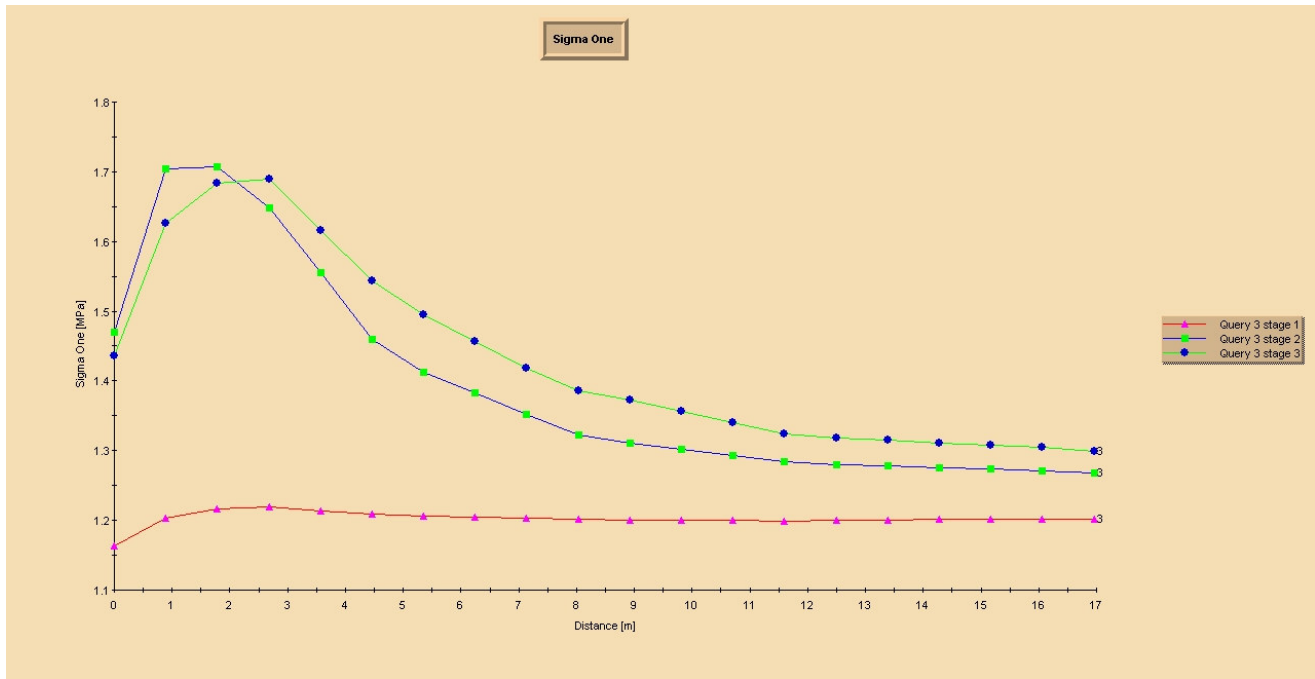
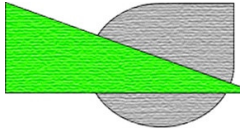
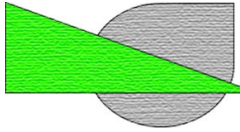
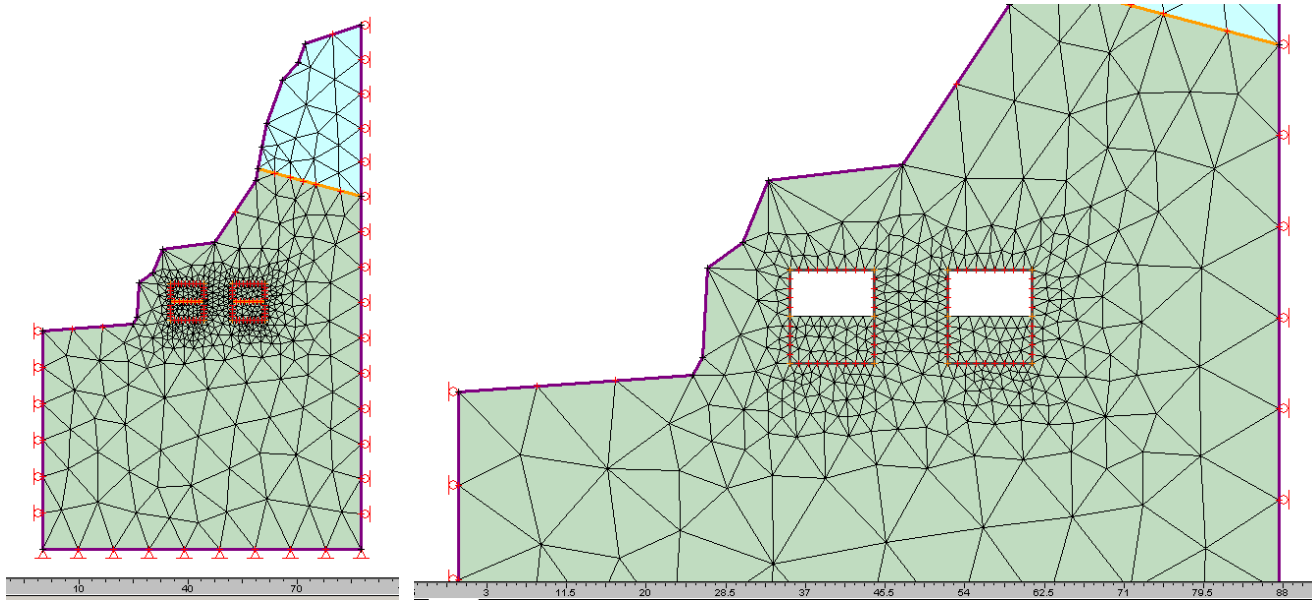


Fig. 20: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  lungo l'allineamento 3 nelle tre fasi del progetto. Si evidenzia il sovraccarico dovuto alla realizzazione dello scavo ma non si registrano criticità in termini di sollecitazioni sia di compressione che di trazione.

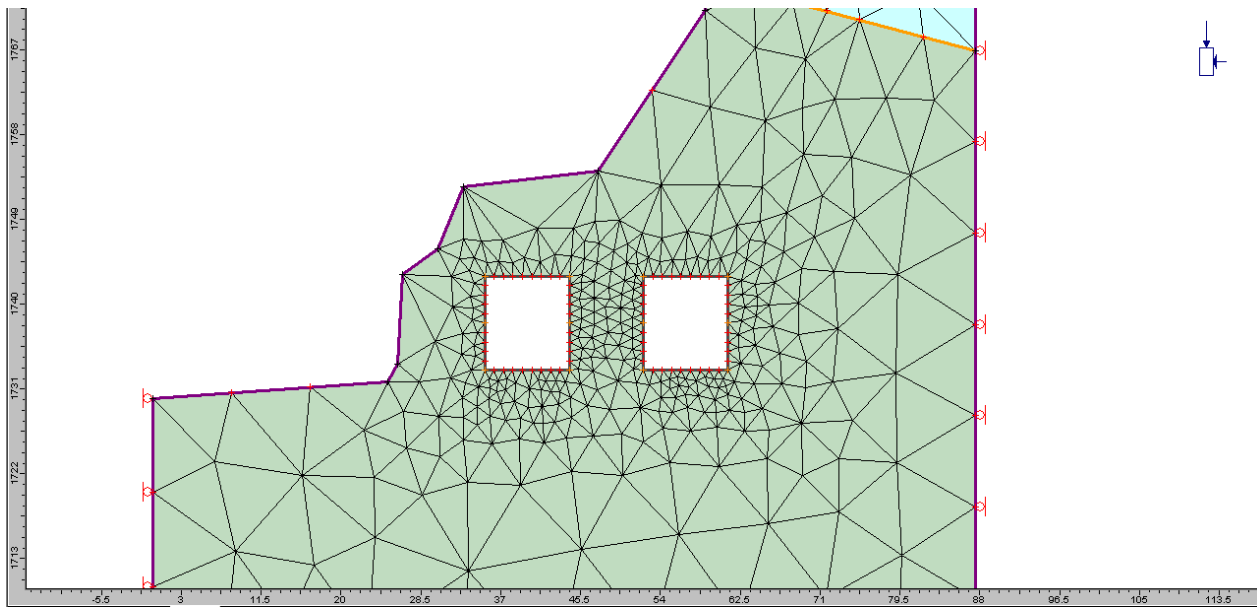


### Analisi dei risultati lungo la sezione 2



A)

B)



C)

Fig. 21: sezione 2 del modello agli elementi finiti realizzato presso la cava Ecko. A) situazione prescavo, B) fase intermedia C) fase finale del progetto presentato



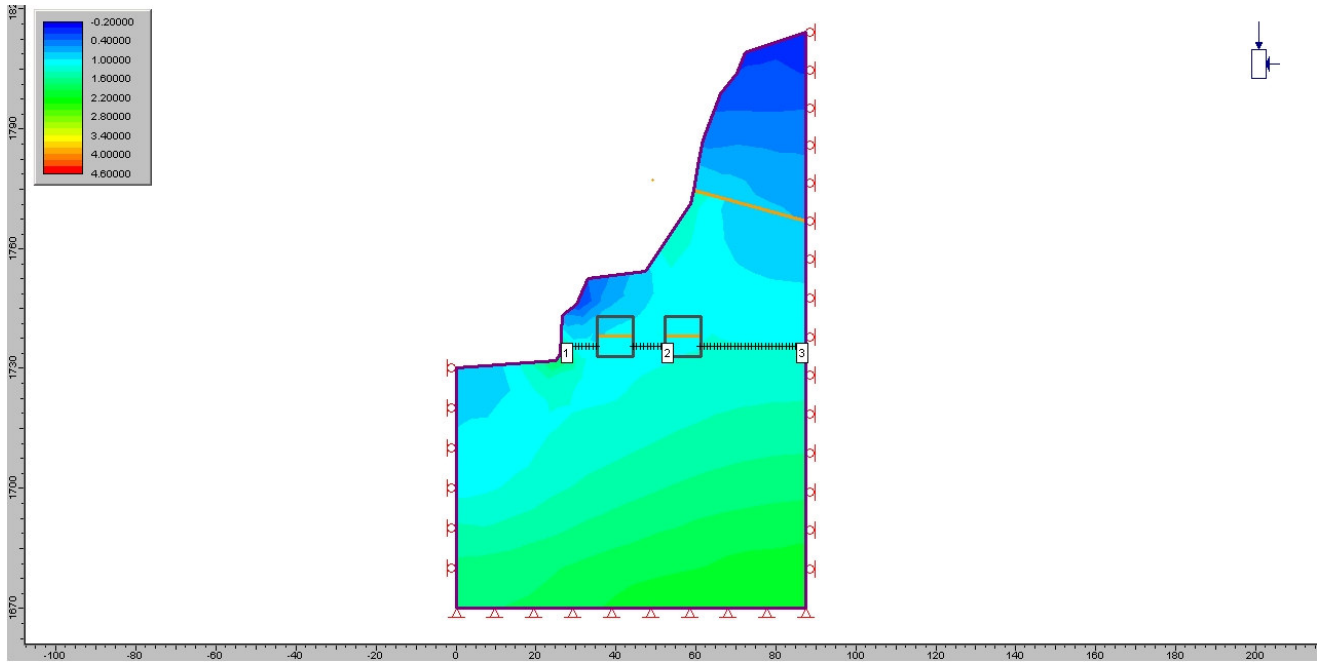
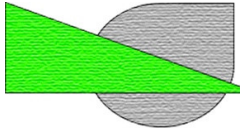


Fig 22: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  nel versante nella configurazione precavo

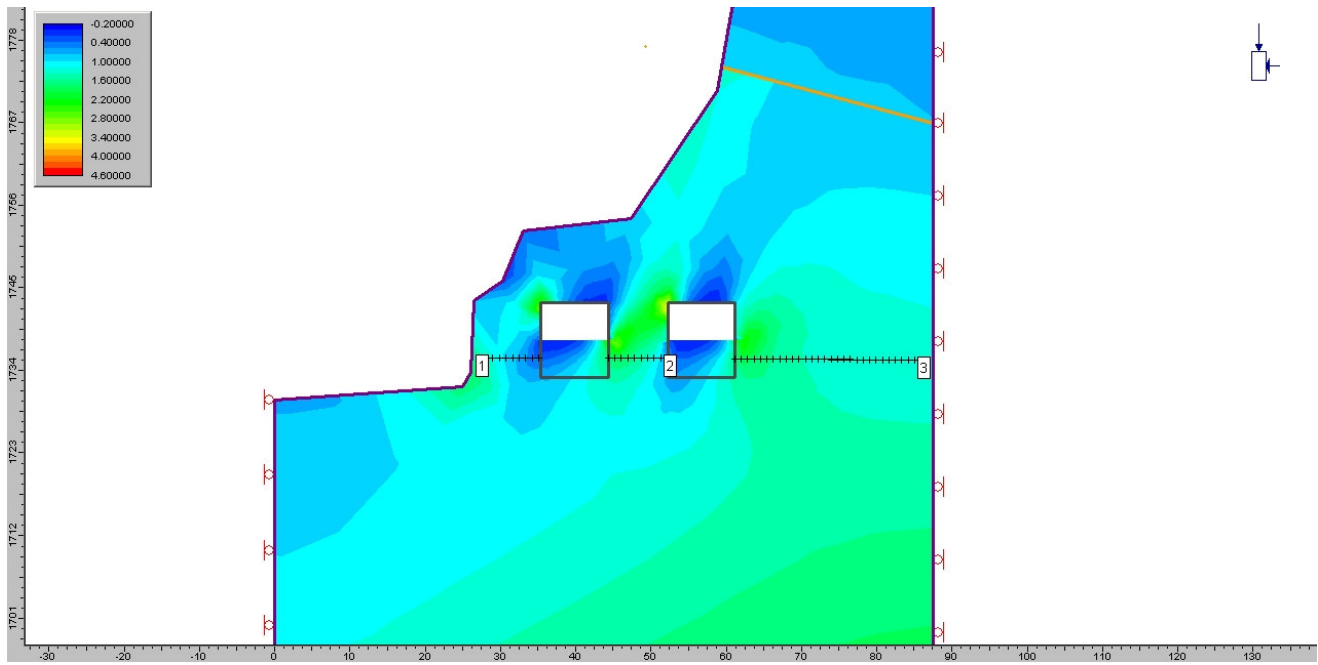


Fig. 23: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  nel versante nella configurazione intermedia corrispondente alla realizzazione di una galleria di accesso con H= 5m.

Sono in evidenza anche gli allineamenti 1, 2, 3 lungo i quali è stata fatta un'analisi di dettaglio riportata di seguito.

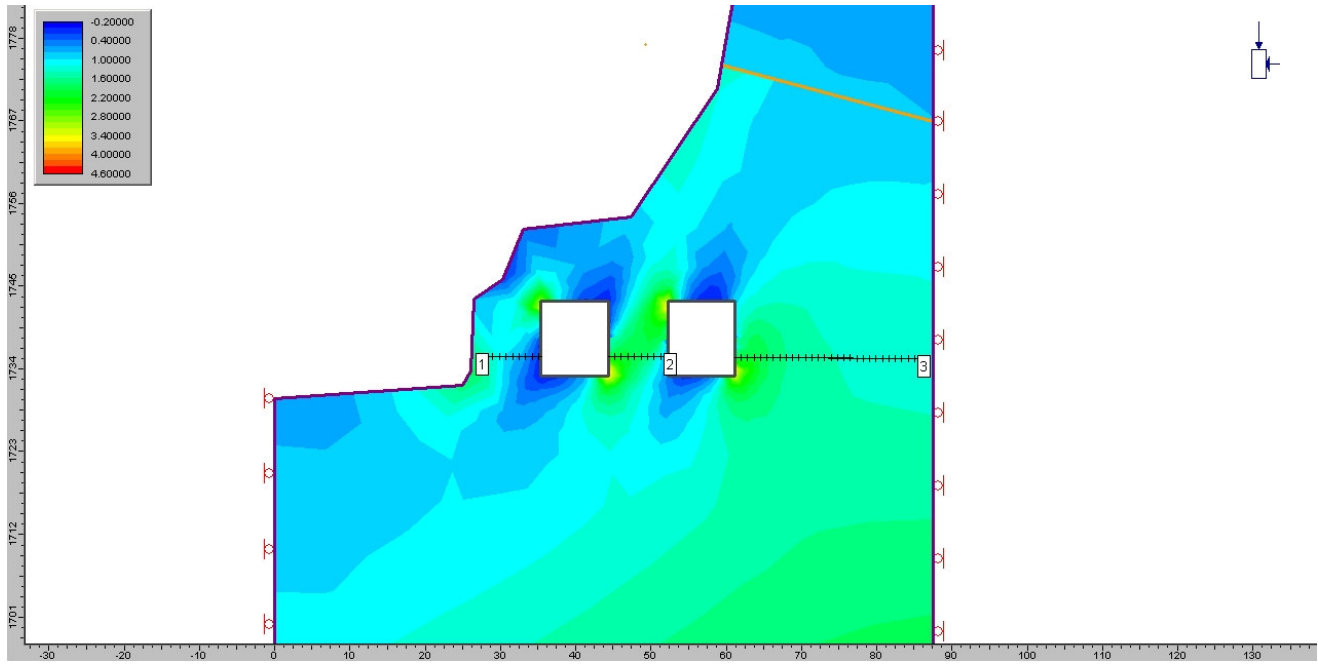
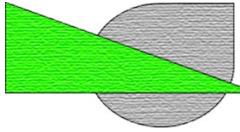


Fig. 24: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  nel versante nella configurazione finale del progetto in fase di approvazione, realizzazione di una galleria di accesso con H= 10 m.

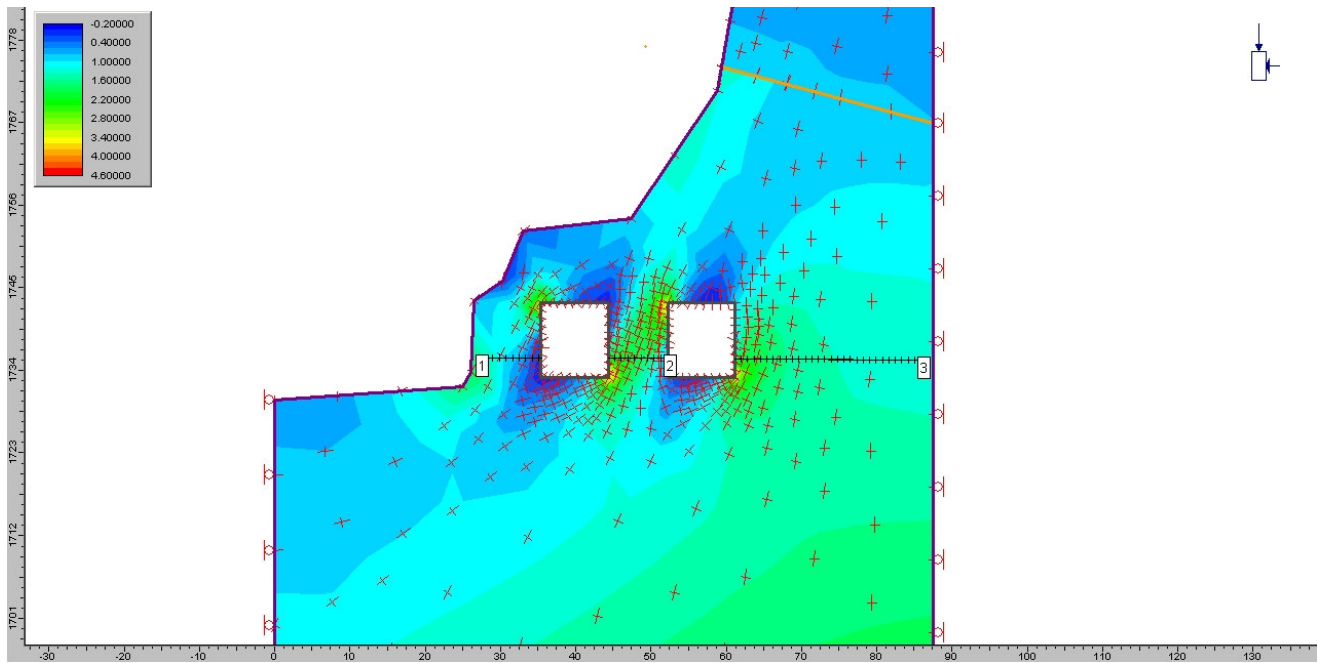


Fig. 25: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  nel versante nella configurazione finale e sovrapposizione dei vettori relativi alla direzioni delle sollecitazioni principali. Si può notare l'interferenza tra gli effetti legati alla superficie del versante e a quello dello scavo. I risultati ottenuti sono in linea con la teoria dell'elasticità e non si evidenziano criticità a seguito dello scavo a progetto.

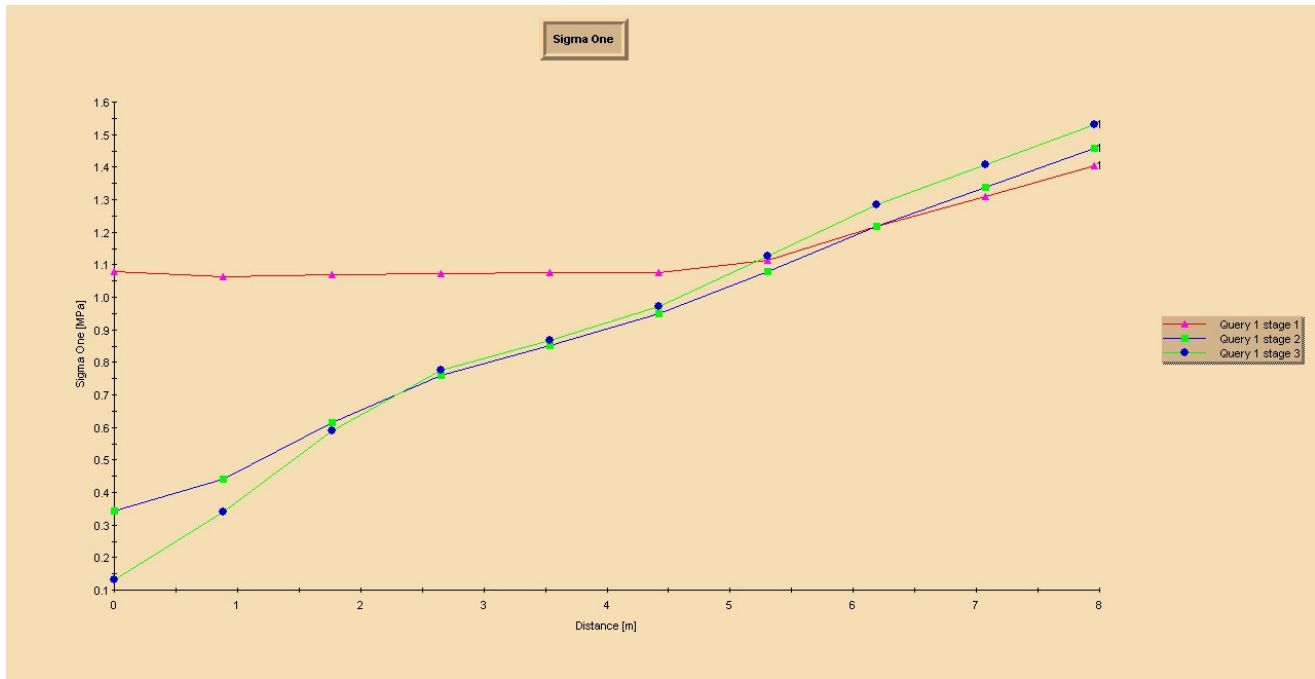
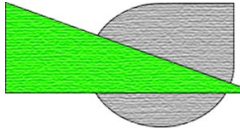


Fig. 26: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  lungo l'allineamento 1 nelle tre fasi del progetto. Si evidenzia il sovraccarico dovuto alla realizzazione dello scavo ma non si registrano criticità in termini di sollecitazioni sia di compressione che di trazione.

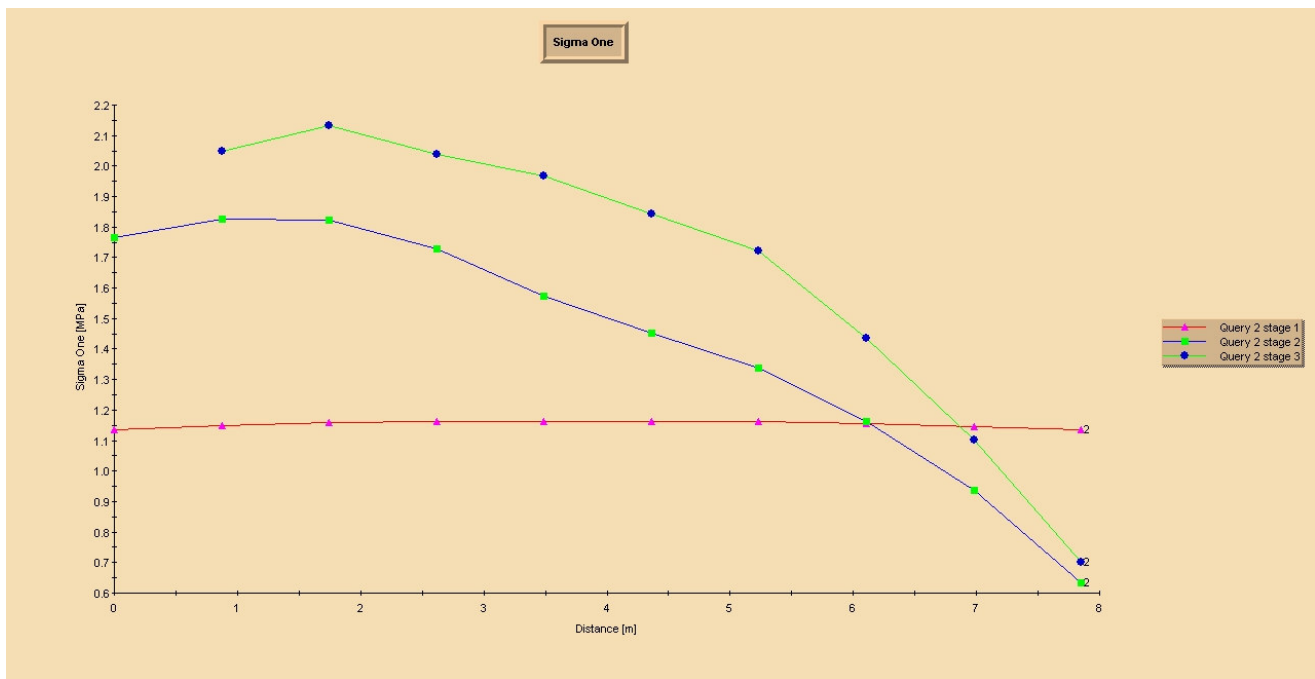


Fig. 27: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  lungo l'allineamento 2 nelle tre fasi del progetto. Si evidenzia il sovraccarico dovuto alla realizzazione dello scavo ma non si registrano criticità in termini di sollecitazioni sia di compressione che di trazione.

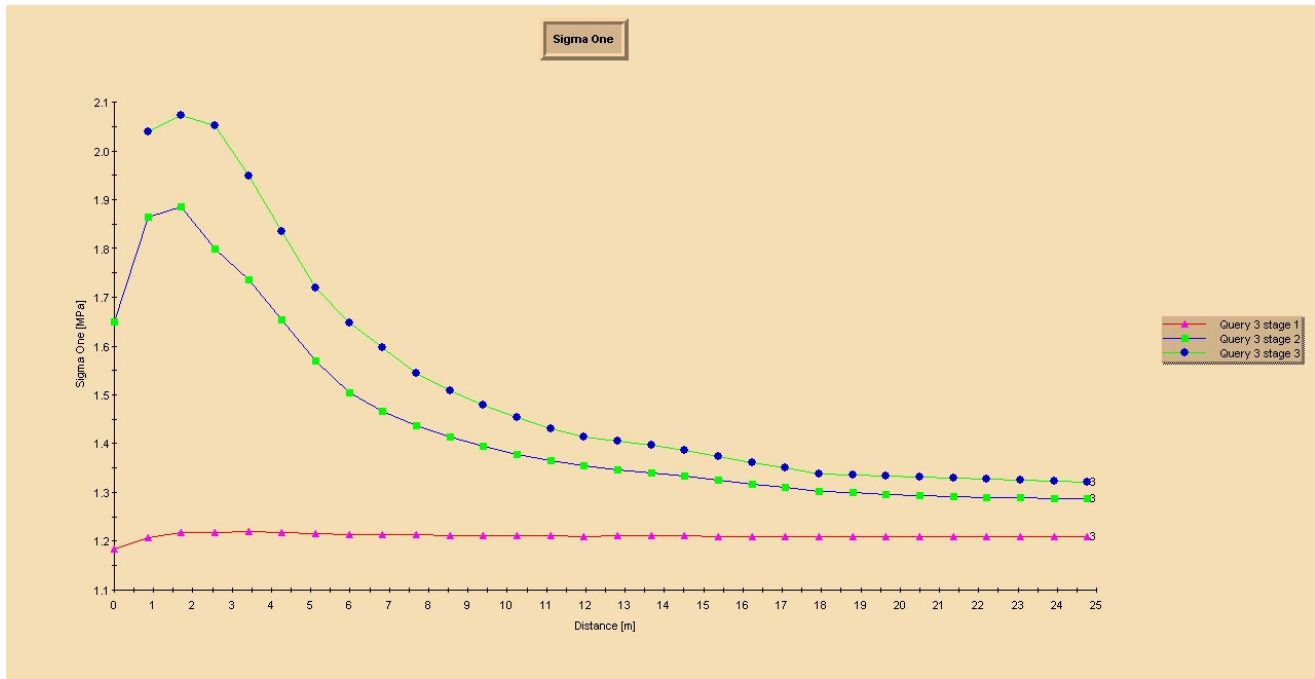
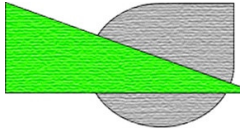
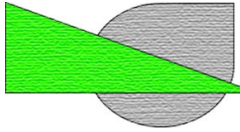


Fig. 28: andamento della sollecitazione principale massima  $\sigma_1$  lungo l'allineamento 3 nelle tre fasi del progetto. Si evidenzia il sovraccarico dovuto alla realizzazione dello scavo ma non si registrano criticità in termini di sollecitazioni sia di compressione che di trazione.



## 5. Interventi di mitigazione e di consolidamento preventivo

Nel presente paragrafo si descrivono gli interventi di mitigazione del rischio di caduta massi, all'interno dell'area di lavorazione prevista dal progetto in fase di approvazione.

In particolare, a seguito dei sopralluoghi effettuati, è stata valutata come potenziale rischio la possibilità di distacco dalla parete soprastante al futuro piazzale di lavorazione e accesso al sotterraneo. La frequenza di avvenimento di tale fenomeno di caduta è stata valutata molto bassa, date le condizioni, ma la possibilità di presenza di personale in questa zona invece è alta, da qui una valutazione del rischio tale da suggerire la posa in opera di interventi di consolidamento preventivo.

Nel corso dell'analisi sono state individuate due potenziali aree a maggior rischio di caduta massi. La prima è localizzata e nella parte sommitale del versante in corrispondenza di un cuneo di roccia, la seconda invece è diffusa nella parte bassa del versante, quella che porta alla zona che sarà in fase di lavorazione.

Per le due soluzioni sono state scelte due tecniche di intervento differenti, per quella localizzata si è optato per un intervento di fasciatura mediante rete metallica filo  $\Phi$  2.7 mm e maglia 80 x 100 mm.

La fasciatura della massa rocciosa viene realizzata mediante fune a trefoli di acciaio  $\Phi$  12 mm e ancorata su golfari fissati alla parete mediante chiodature di acciaio ad alta resistenza di lunghezza pari a  $L=2$  m e diametro almeno  $\Phi$  20 mm. La chiodatura sarà disposta su una maglia di circa 3 m X 3 m.

Al piede del crinale invece si trova una zona dove potenzialmente potrebbero liberarsi delle piccole masse che potrebbero, per rotolamento, giungere fino al piazzale.

L'energia sviluppata da queste masse non si stima di grande intensità, in ogni caso onde evitare il rischio potenziale correlato a questo evento che non si può escludere, si è deciso di predisporre un rilevato in materiale detritico  $H \cong 2$  m al piede del versante, in grado di intercettare la traiettoria di rotolamento e frenare la corsa dei suddetti sassi qualora dovessero dislocarsi. Per incrementare l'azione di intercettazione delle masse in caduta, si opterà per l'installazione sulla sommità del rilevato di una rete di contenimento, altezza circa 1.8- 2 m, fissata sul rilevato mediante barre di acciaio a loro volta collegate all'estremità a dei tiranti di fune di acciaio a trefoli  $\Phi$  12 mm fissati al suolo.



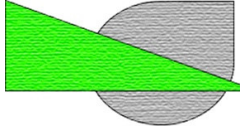
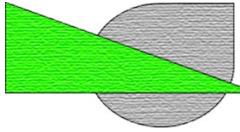


Fig. 29: la zona messa in evidenza dalla linea gialla mostra la zona di intervento di consolidamento preventivo sulla massa verso la sommità del crinale.



## 6. Conclusioni

L'elaborato descrive la tecnica utilizzata per la valutazioni statistica di stabilità della cava Ecko relativa allo stato di fatto e alla configurazione a progetto.

L'analisi è stata condotta con metodologie di calcolo specifiche della meccanica delle rocce, dapprima basate sul metodo dell'equilibrio limite per la valutazione delle condizioni di caduta di blocchi presso le pareti di scavo attuali e a progetto, basandosi sul metodo della teoria del blocco chiave per l'identificazione di tutti i possibili cinematismi generabili sulle superfici. Lo stesso approccio è stato utilizzato per la valutazione della situazione riscontrabile presso le future camere di coltivazione in sotterraneo, sulle due direzioni lungo le quali si realizzeranno gli scavi.

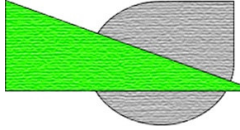
Per completare l'analisi è stato creato un modello agli elementi finiti in grado di simulare l'effetto dello scavo a progetto, sull'assetto statico della zona interessata dalla futura coltivazione. Sono state esaminate le sollecitazioni indotte, le direzioni, le intensità e l'eventuale presenza di zone plasticizzate.

I dati utilizzati per le valutazioni analitiche sono stati trattati secondo la vigente Normativa tecnica, e in condizioni dinamiche seguendo la normativa NTC imposta dal DM 17/1/18 seguendo l'approccio del "sito dipendente".

I valori di resistenza caratteristica degli ammassi sono stati ottenuti da dati bibliografici su materiali simili, le caratteristiche geometriche e di resistenza sono stati anche integrati da misure spedite condotte durante il sopralluogo di novembre 2023.

Le condizioni statiche delle porzioni di roccia prese in esame, allo stato attuale delle conoscenze attuali, mostrano adeguate condizioni di stabilità per i cinematismi individuati. Le sollecitazioni indotte dallo scavo e valutate con modello numerico, mostrano valori del tutto coerenti con la resistenza mobilitabile dall'ammasso roccioso in esame. Non si ravvisano pertanto situazioni di criticità dal punto di vista della stabilità della zona di estrazione da un punto di vista statico.

A titolo cautelativo, si predispone l'installazione da parte di una Ditta specializzata di un intervento di consolidamento preventivo su una porzione di roccia ubicata nella parte sommitale del versante secondo la modalità descritta in precedenza. Si prevede anche la realizzazione di un rilevato in materiale detritico sul quale sarà installata e fissata una rete di contenimento. Questo intervento ha lo scopo di intercettare eventuali piccole masse di roccia in caduta e/o rotolamento lungo il versante e che potrebbero terminare la loro traiettoria nella zona dove si potrebbe avere la presenza di personale.



Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

42

Per quel che riguarda le pareti residue delle precedenti lavorazioni si raccomanda, prima dell'avvio delle operazioni di estrazione, di procedere al disaggio meccanizzato delle pareti e, ove necessario, procedere all'asportazione dello strato di materiale corticale ritenuto instabile, secondo le predisposizioni del Direttore Lavori.

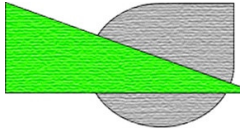
Sarà anche necessario procedere a controlli aggiuntivi nei periodi successivi a fenomeni meteorici di forte intensità o a seguito di eventi sismici di qualsiasi energia.

Si raccomanda il personale sorvegliante di segnalare alla D.L. qualsivoglia anomalia rinvenuta durante le suddette operazioni di controllo, al fine di organizzare un sopralluogo in sito e valutare congiuntamente la condizione constatata.

Calcio, 22 febbraio '24

Dott. Ing. Daniele VALENTINO

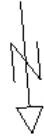




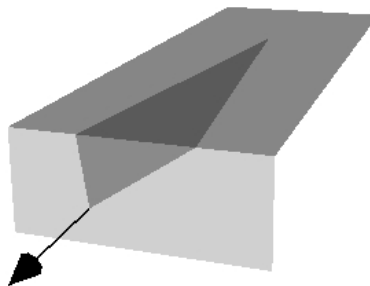
## 7. Allegato A

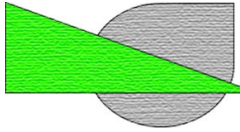
### Cinematismo 01

Top



Perspective

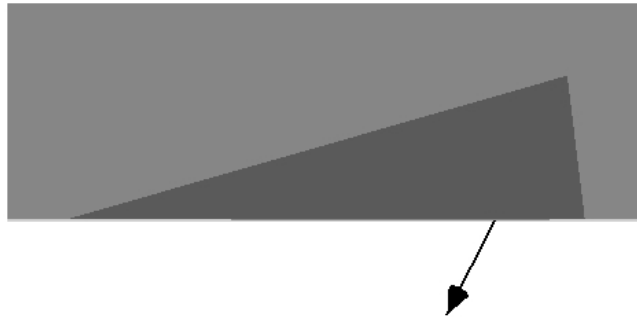
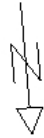




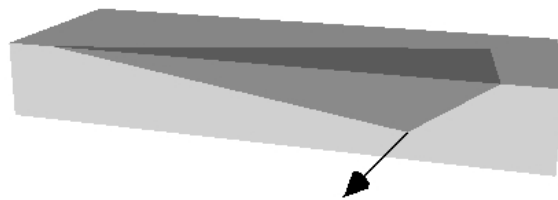
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

Cinematismo 02

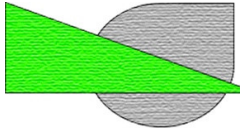


Top



Perspective

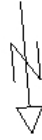




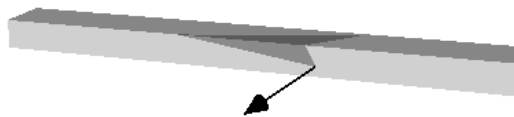
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

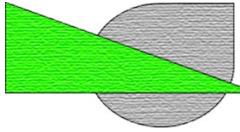
Cinematismo 03



Top



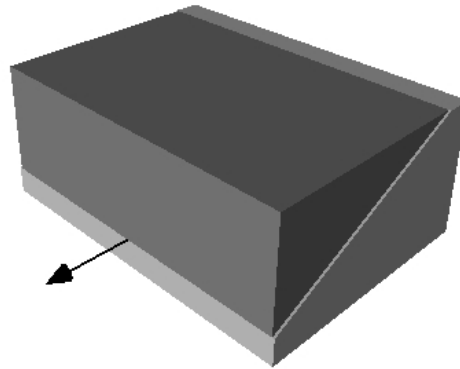
Perspective



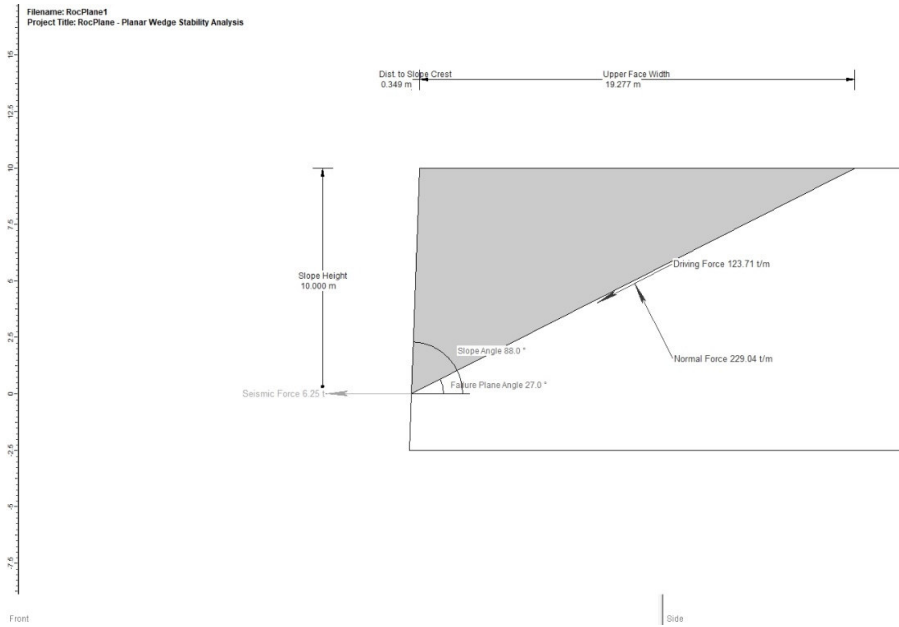
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

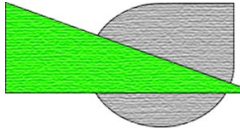
Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

### Cinematismo 04



### Perspective

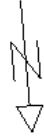




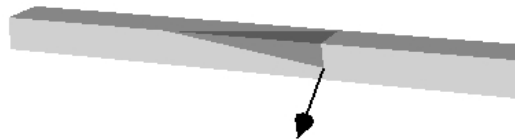
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

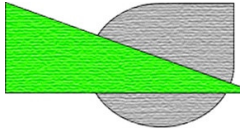
Cinematismo 05



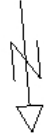
Top



Perspective



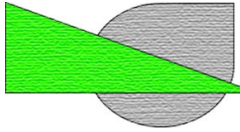
Cinematismo 06



Top



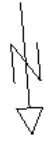
Perspective



Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

### Cinematismo 07

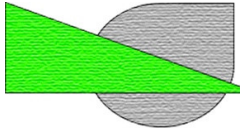


Top



Perspective

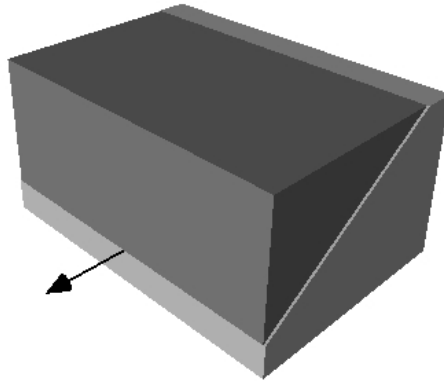




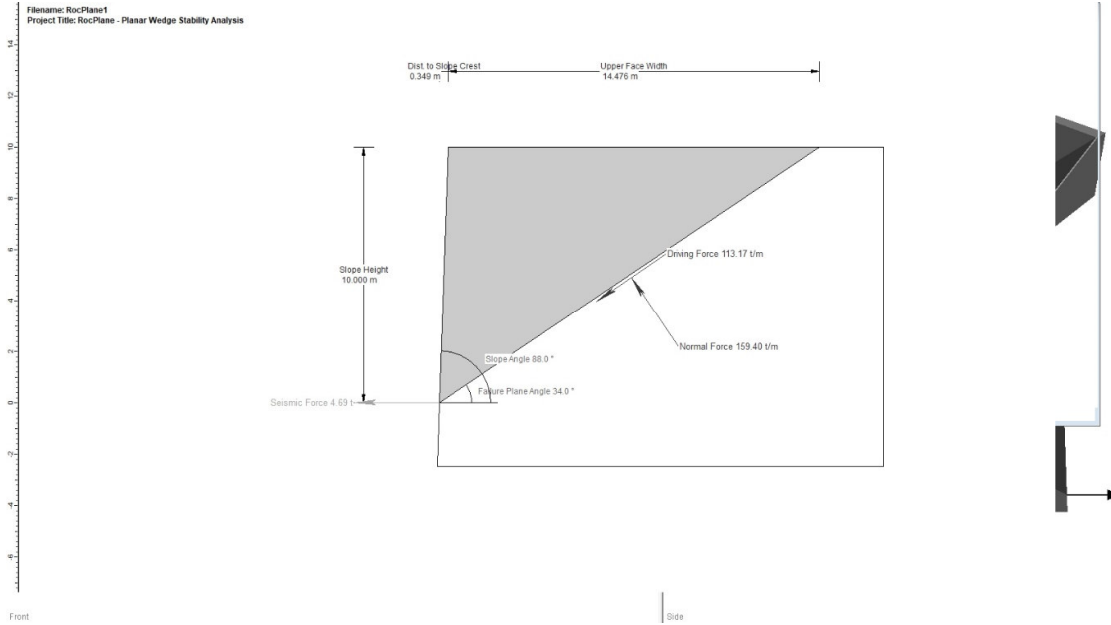
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
+39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

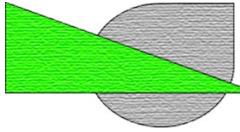
Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

Cinematismo 08



Perspective

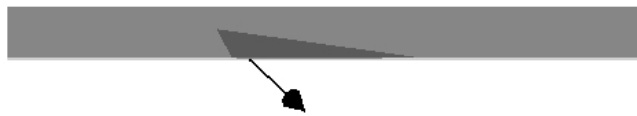
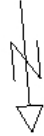




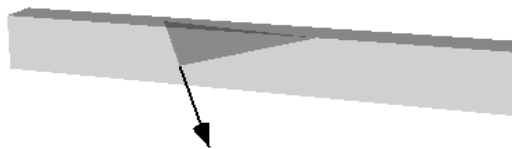
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

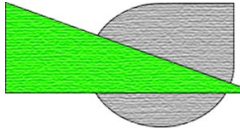
Cinematismo 09



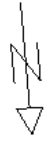
Top



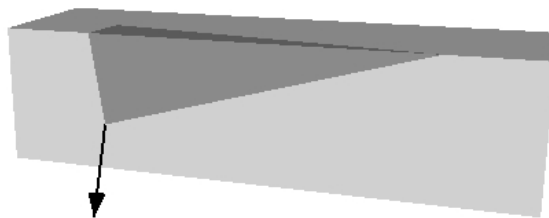
Perspective



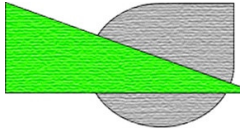
Cinematismo 10



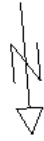
Top



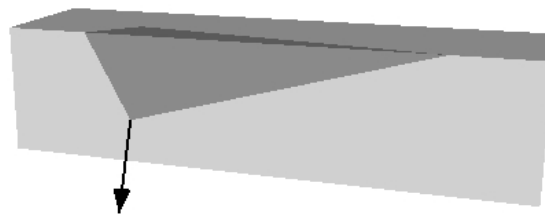
Perspective



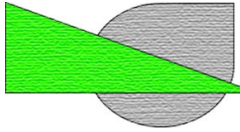
### Cinematismo 11



Top



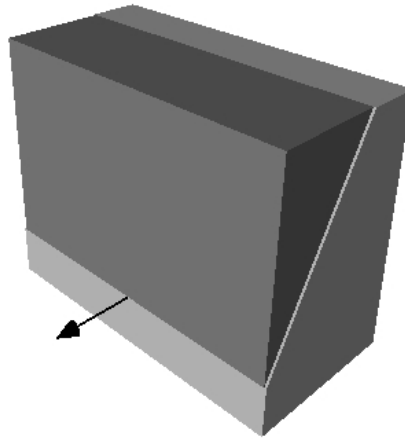
Perspective



Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
+39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

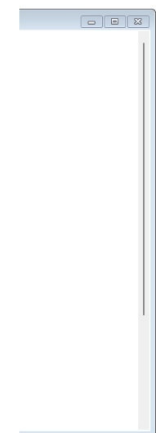
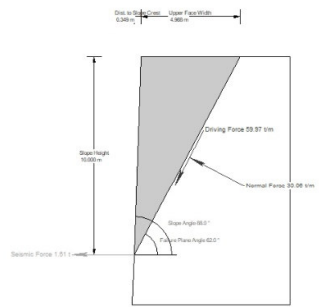
Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

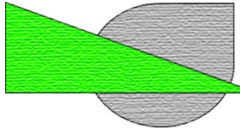
### Cinematismo 12



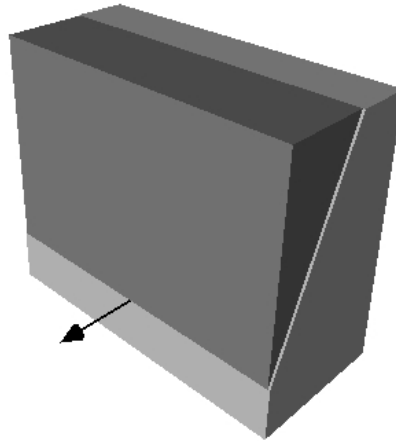
### Perspective

Filename: RocPlane1  
Project Title: RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis



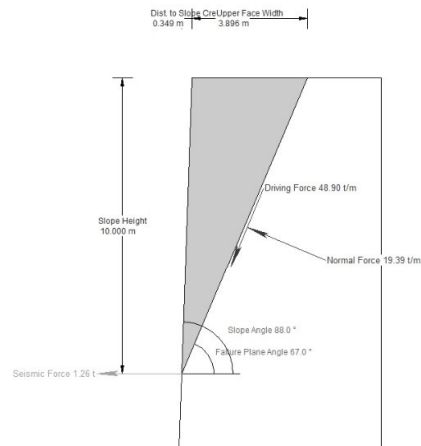


### Cinematismo 13

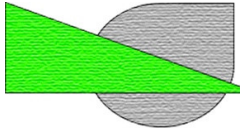


### Perspective

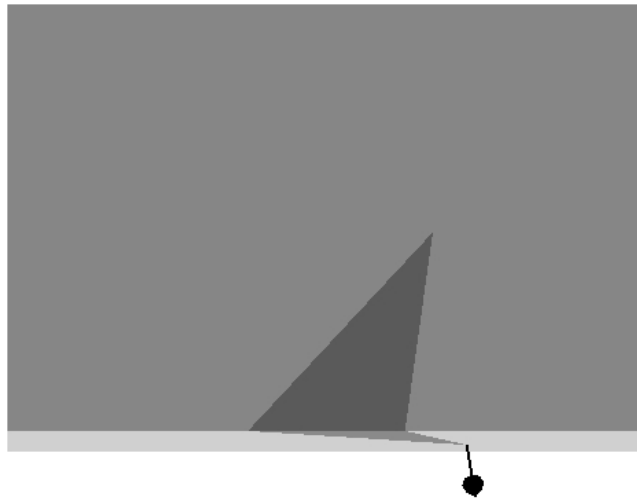
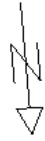
Filename: RocPlane1  
Project Title: RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis



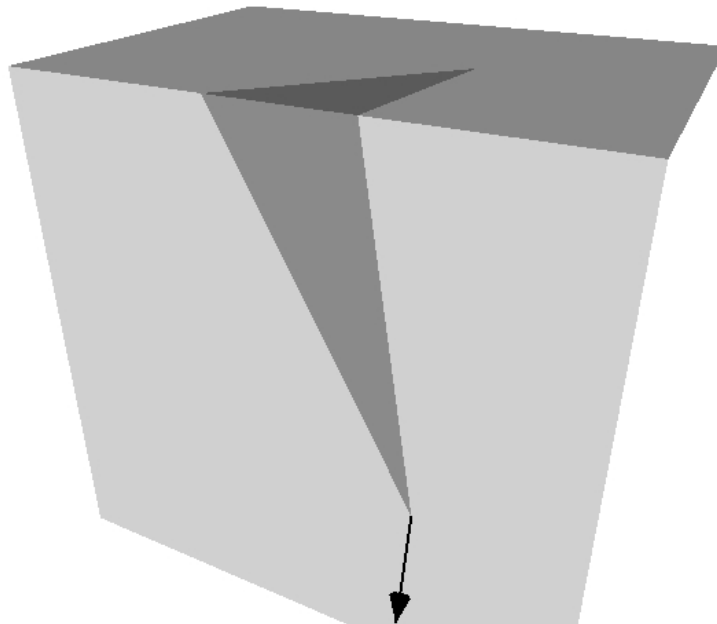




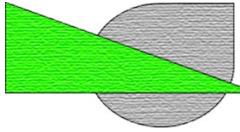
Cinematismo 14



Top



Perspective



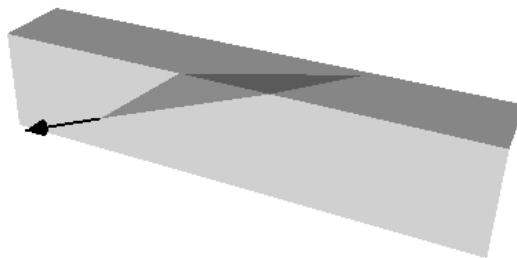
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

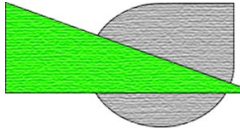
Cinematismo 15



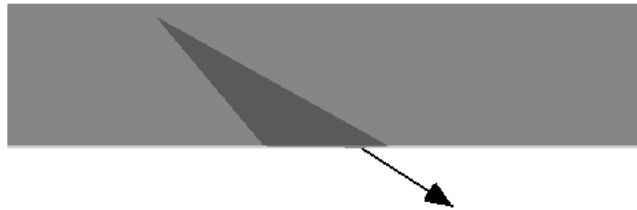
Top



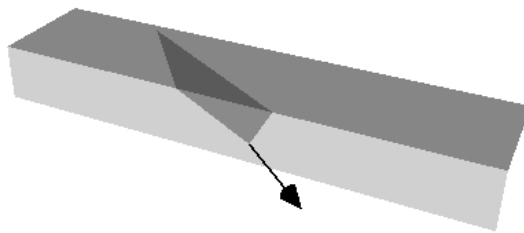
Perspective



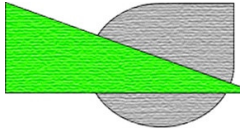
Cinematismo 16



Top



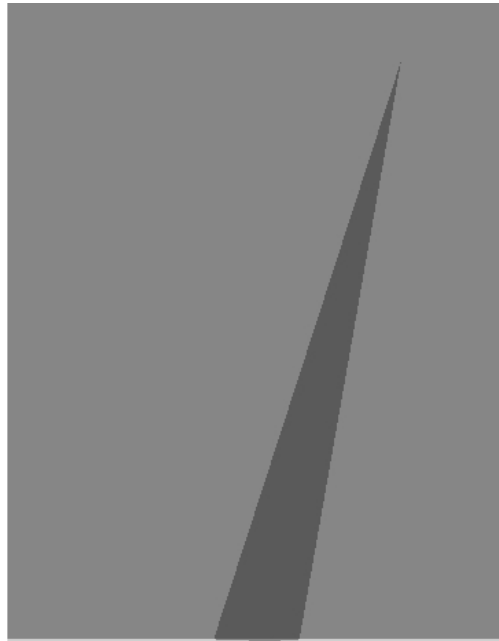
Perspective



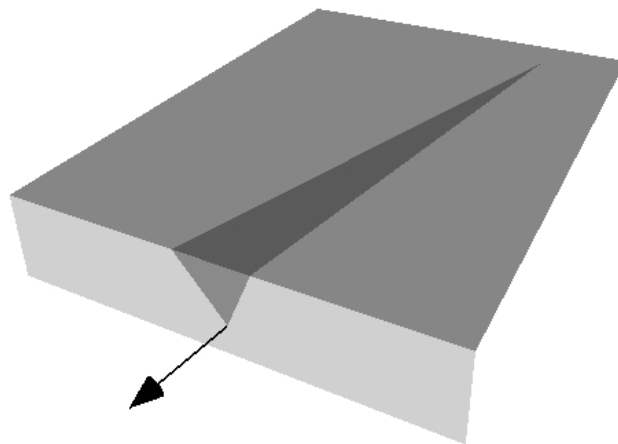
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

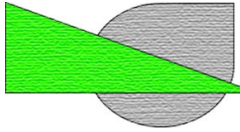
### Cinematismo 17



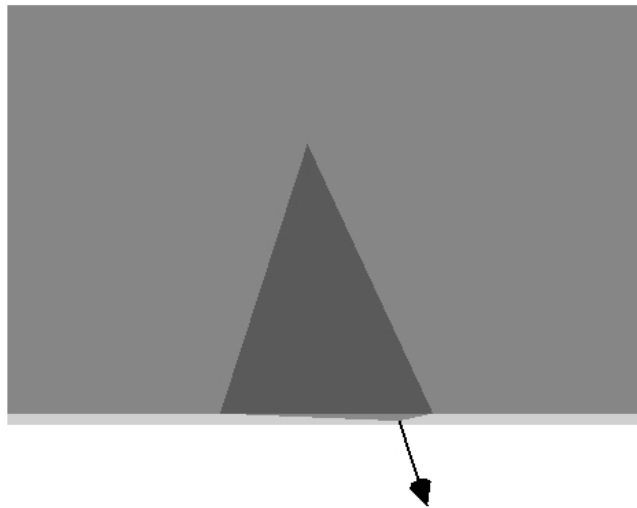
Top



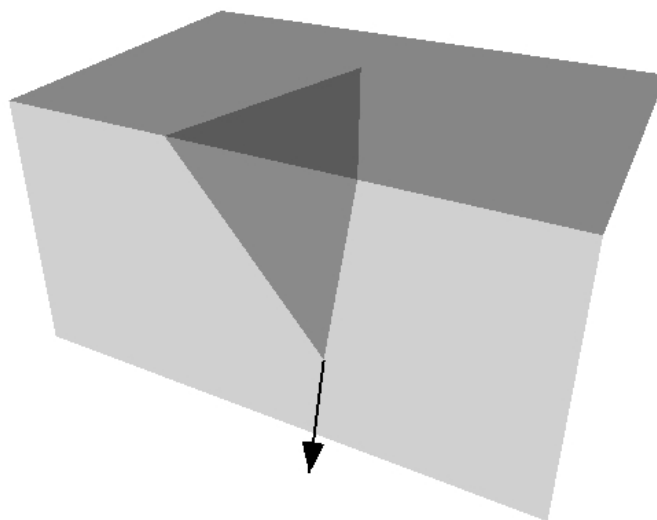
Perspective



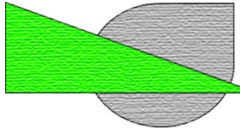
### Cinematismo 18



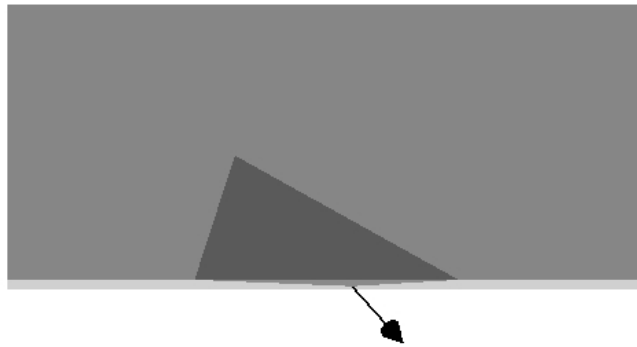
Top



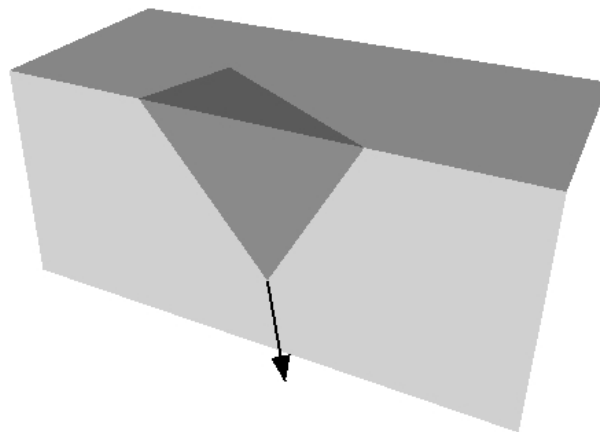
Perspective



Cinematismo 19

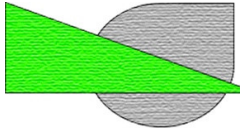


Top



Perspective

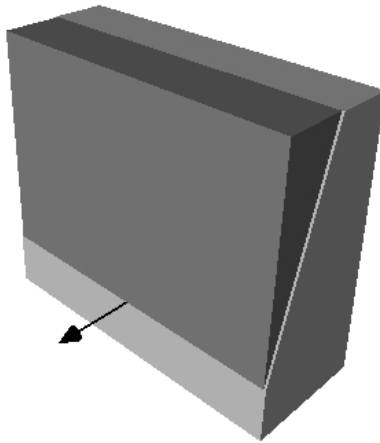




Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

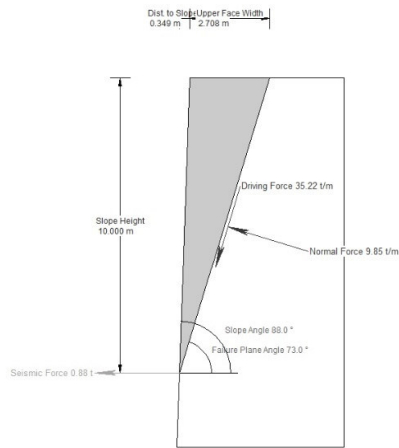
Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

### Cinematismo 20



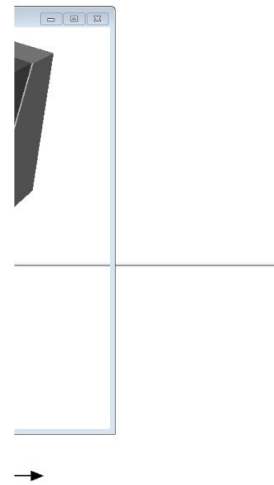
### Perspective

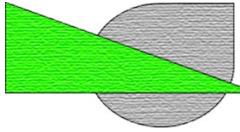
Filename: RocPlane1  
Project Title: RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis



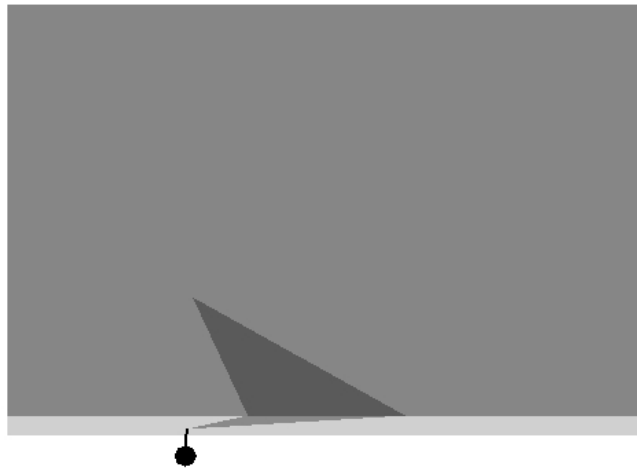
Front

Side

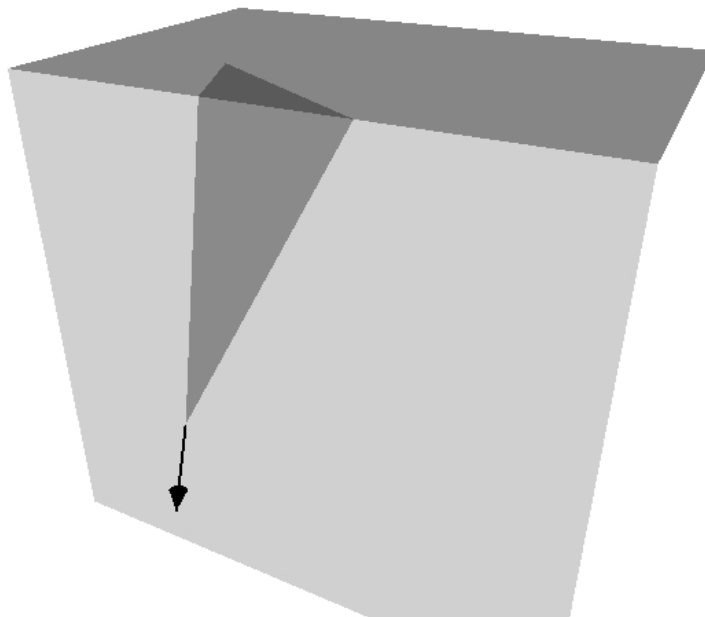




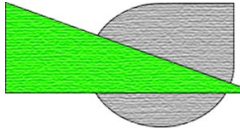
Cinematismo 21



Top



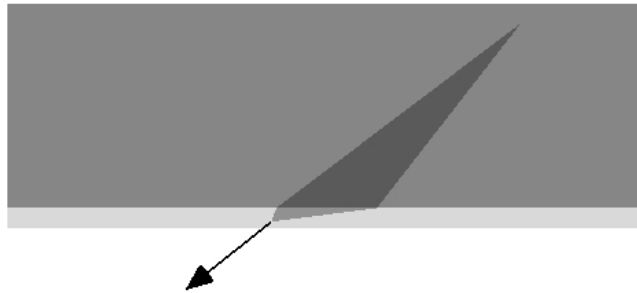
Perspective



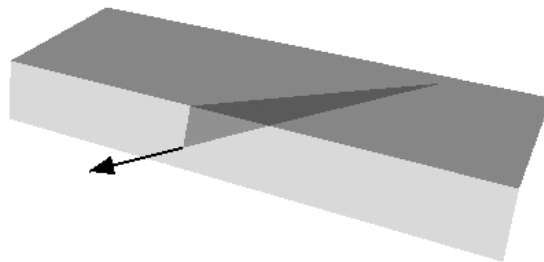
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

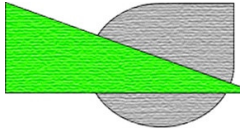
Cinematismo 22



Top



Perspective



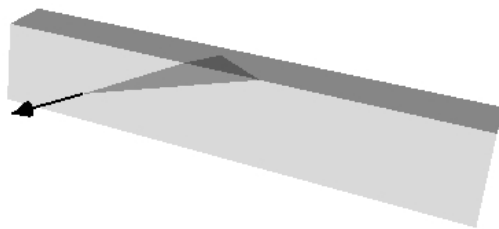
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

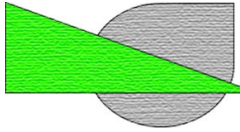
Cinematismo 23



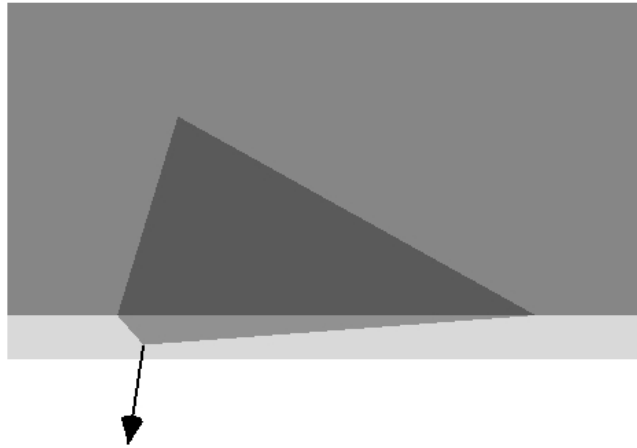
Top



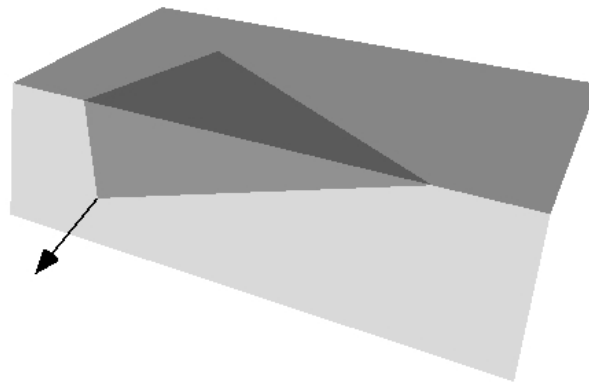
Perspective



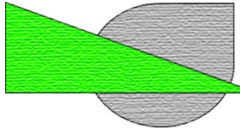
Cinematismo 24



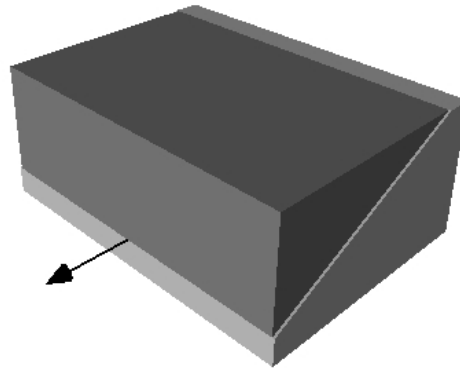
Top



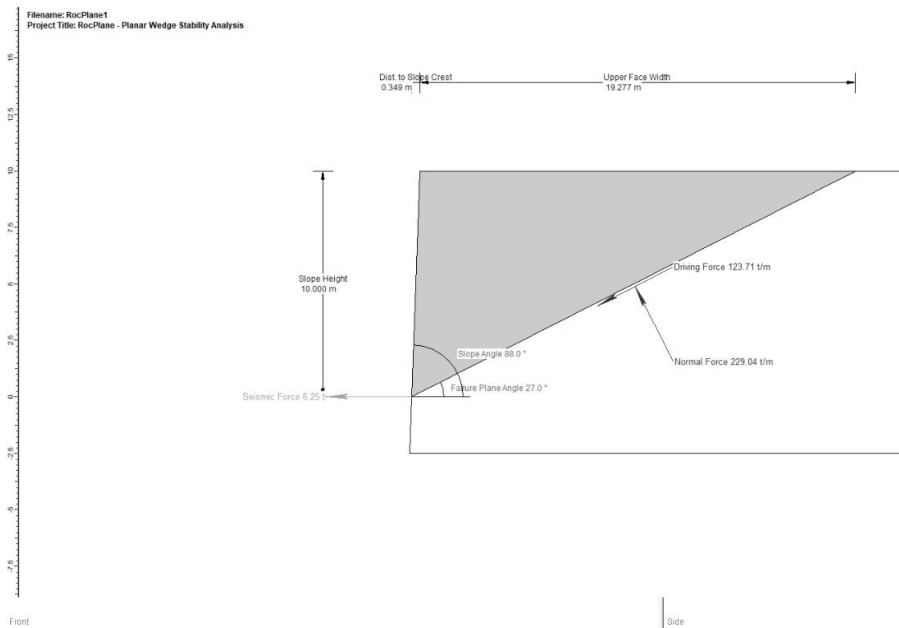
Perspective



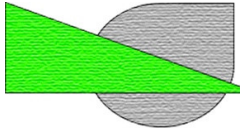
### Cinematismo 25



### Perspective



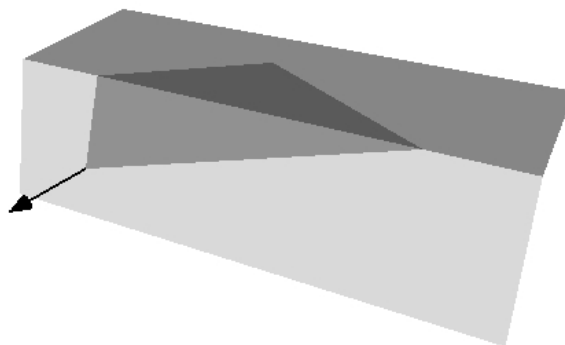




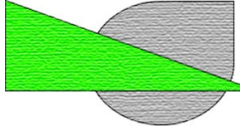
Cinematismo 26



Top



Perspective



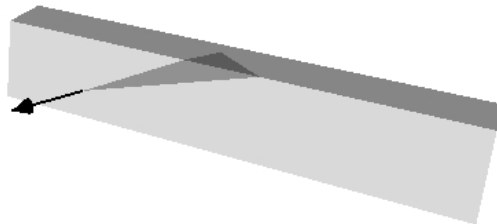
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

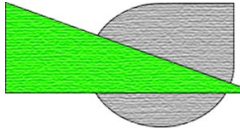
Cinematismo 27



Top



Perspective



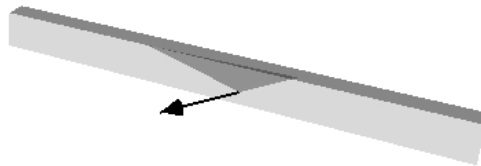
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

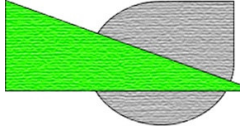
### Cinematismo 28



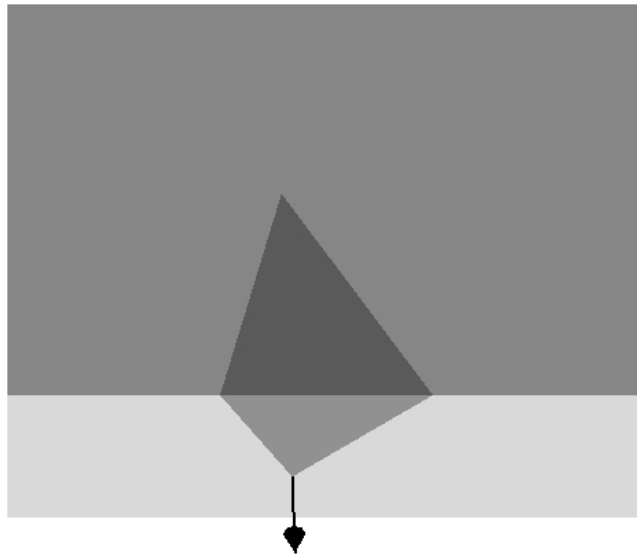
Top



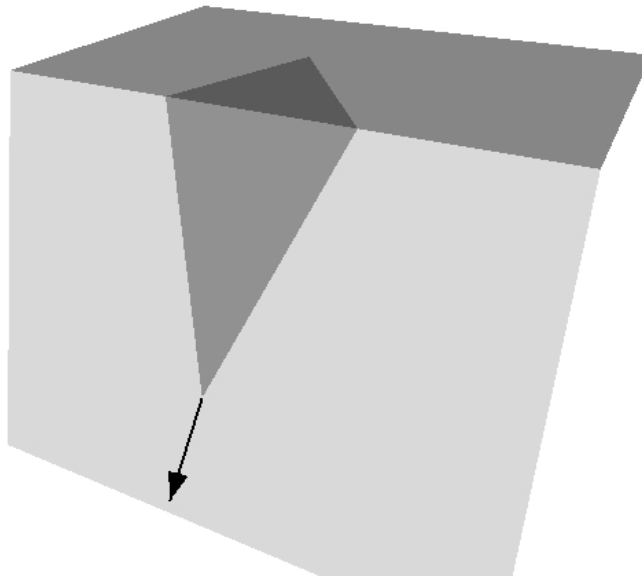
Perspective



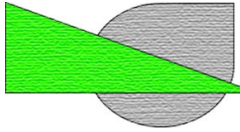
Cinematismo 29



Top



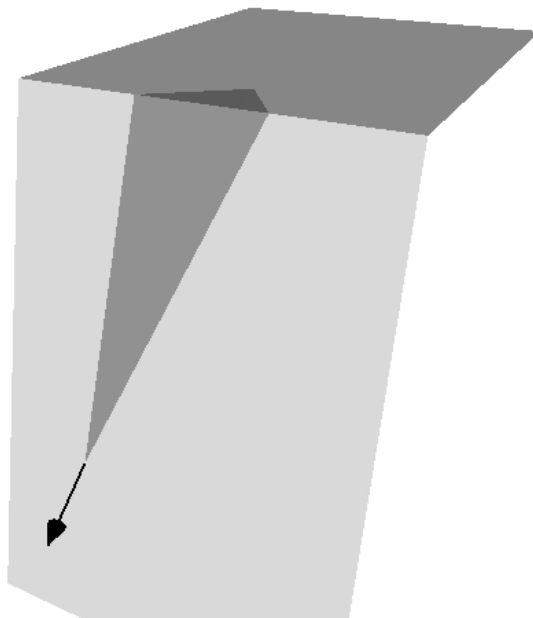
Perspective



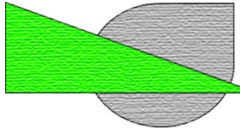
### Cinematismo 30



Top



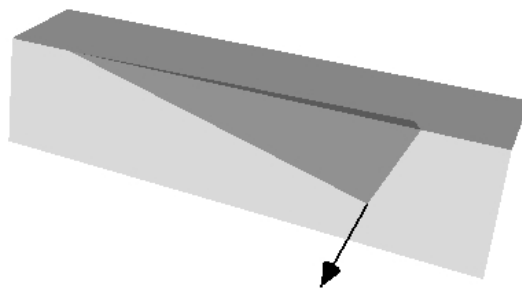
Perspective



Cinematismo 31

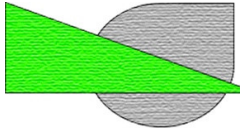


Top

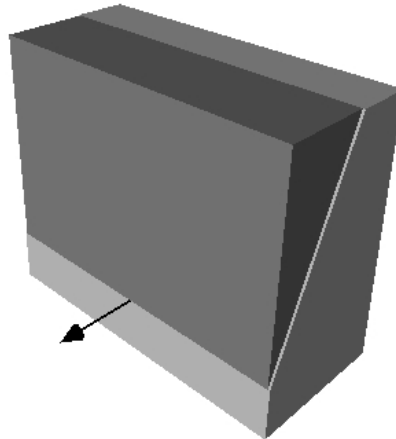


Perspective

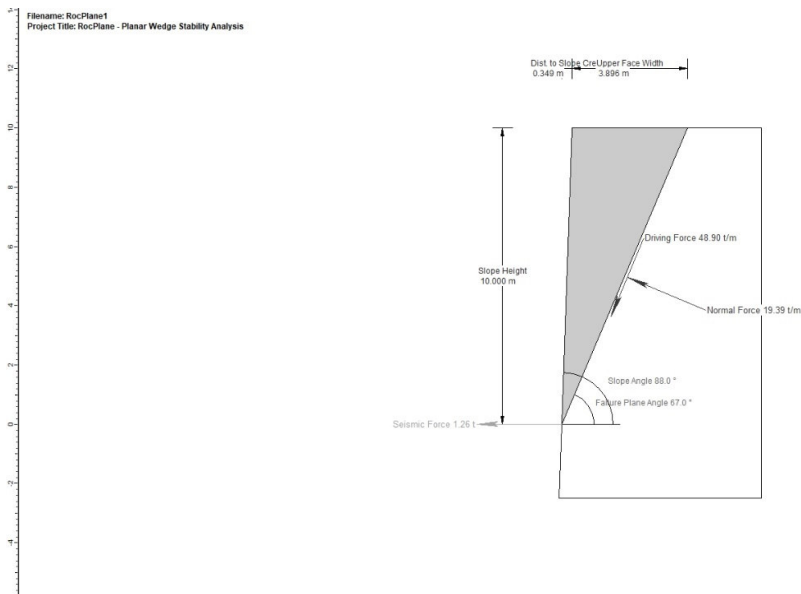


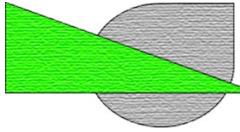


### Cinematismo 32



### Perspective

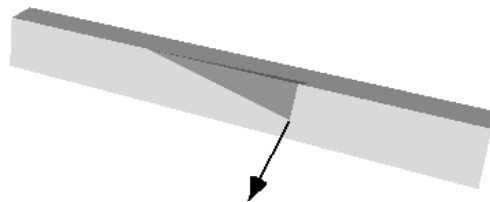




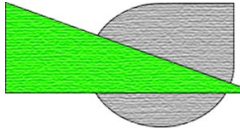
### Cinematismo 33



Top



Perspective



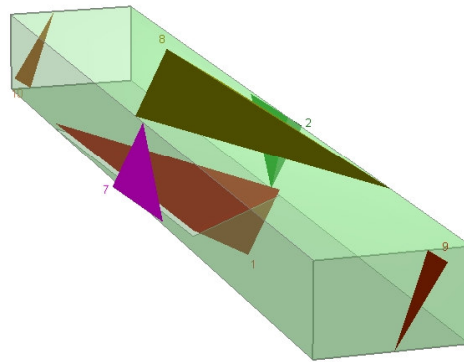
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

76

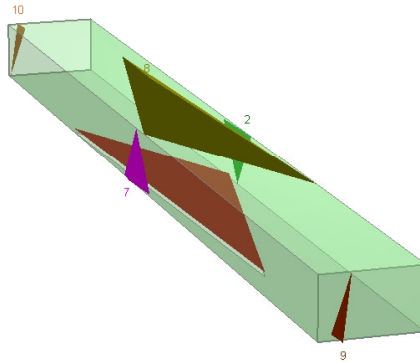
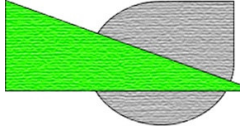
## 8. Allegato B

Cinematismo 01 della camera sotterranea lungo l'asse della galleria 1 (K1/K3/K5)



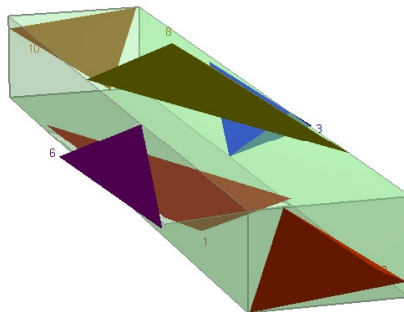
Perspective \*

Cinematismo 02 della camera sotterranea lungo l'asse della galleria 1 (K2/K3/K5)



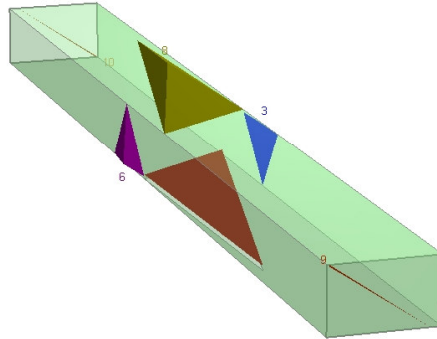
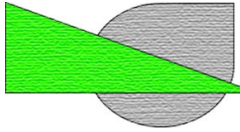
Perspective \*

Cinematismo 03 della camera sotterranea lungo l'asse della galleria 1 (K3/K5/K7)



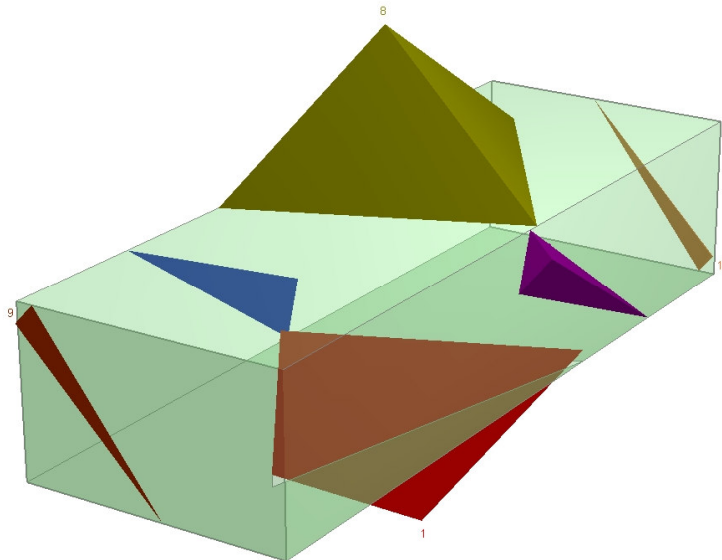
Perspective \*

Cinematismo 04 della camera sotterranea lungo l'asse della galleria 1 (K2/K5/K6)



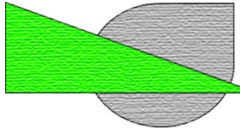
Perspective \*

Cinematismo 01 della camera sotterranea lungo l'asse della galleria 2 (K3/K4/K6)



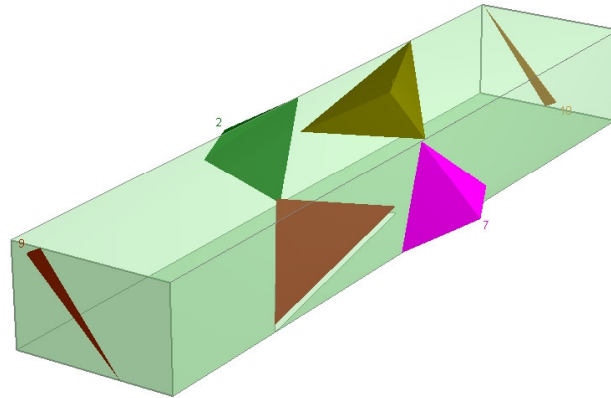
Perspective \*

Cinematismo 02 della camera sotterranea lungo l'asse della galleria 2 (K3/K6/K7)



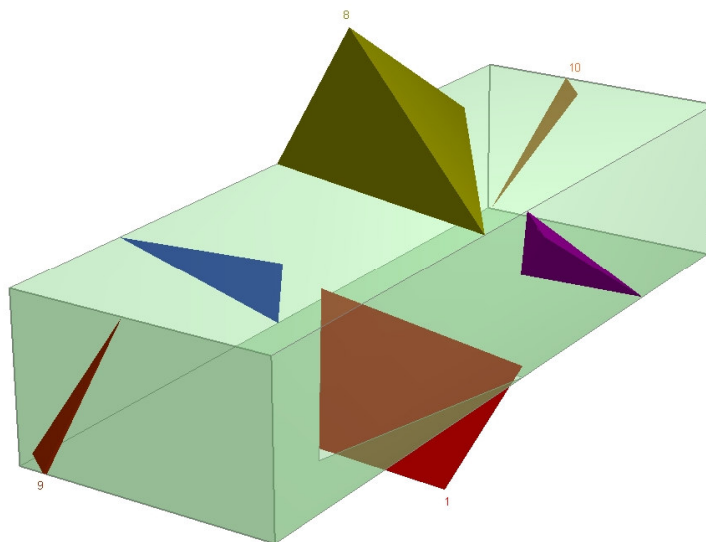
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
+39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

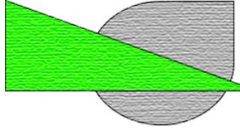


Perspective \*

Cinematismo 03 della camera sotterranea lungo l'asse della galleria 2 (K2/K4/K6)



Perspective \*



Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa, 8 - 24054 Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com

Relazione di stabilità dei fronti  
probabilistica  
Cava Ecko – Loc. Obro Ecko  
Comune di Gressoney Saint  
Jean

80

Cinematismo 04 della camera sotteranea lungo l'asse della galleria 2 (K2/K3/K7)