OGGETTO:

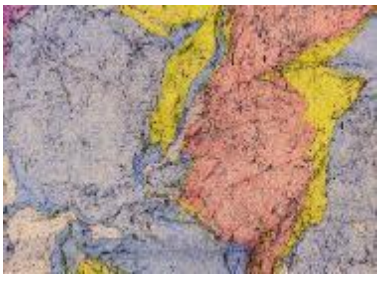
Progetto di coltivazione della cava Piastranera, Comune di Stazzemaai sensi della L.R.35/2014, Disciplina del PIT e L.R.10/2010

in conformità al PABE Scheda 21 – Bacino Ficaio

COMMITTENTE: ***Da.Vi. s.r.l*** ***Via Fusco, 39*** ***55047 Seravezza (LU)***	***PROGETTISTA:*** ***Eurogeologo Vinicio Lorenzoni*** ***Geologo Emanuele Michelucci –***
TITOLO DELL' ELABORATO:	***Analisi di stabilità galleria di progetto*** (Art.17 comma primo lettera a)

Data e luogo di emissione	*Aprile 2022, Querceta,*
Riferimento Elaborato	***A1***

Geol. Vinicio Lorenzoni
Studio di geologia tecnica ambientale e mineraria



Sommario

Premessa 3
1. Analisi cinematica 3
2. Cinematismi sui fronti di lavoro esistenti e di progetto 5
2.1 Analisi cinematiche 7
b- Scavi in galleria 9
Conclusioni e prescrizioni 10
3. Galleria di progetto 15

Premessa

Essendo il progetto di fatto una variante di quello approvato nel 2020 con DD 106/2020 e PCA nr.5 del 29 maggio 2020, si rimanda all'Elaborato A per quanto riguarda le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area. Si riportano le caratteristiche dell'ammasso roccioso riprese dall'elaborato citato e si analizzeranno le condizioni di stabilità della galleria di progetto utilizzando le caratteristiche delle famiglie di frattura individuate.
Di seguito si analizzerà solamente la

1. Analisi cinematica

Alla luce dei dati raccolti è possibile ricostruire i cinematismi che possono verificarsi nel versante a causadell'azione, o dell'interazione, dei vari sistemi di discontinuità con i fronti di scavo. Una necessaria considerazione deve essere fatta circa la valenza dei risultati dell'analisi cinematica la quale verifica la stabilità di un fronte solo rispetto alle condizioni geometriche senza includere nel calcolo le forze in gioco.L' analisi di stabilità cinematica dei fronti in esame è stata realizzata mediante proiezioni stereografiche utilizzando il reticolo equiangolare di Wulff.
I cinematismi dell'area di lavorazione sono stati valutati secondo le tre principali modalità di cedimento (scivolamento su piano, cuneo e ribaltamento).
L'analisi viene eseguita per tutte le orientazioni dei fronti previsti nel progetto, indipendentemente dalla loro lunghezza e per quelli già esistenti. I fronti di coltivazione hanno un'altezza massima di 6 o 12 metri, mentre quelli finali potranno avere anche altezza superiore.
Inizialmente si eseguirà l'analisi probabilistica utilizzando il test di Markland che definisce i cinematismi possibili che si innescano tra il sistema di fratturazione e i fronti di coltivazione, poi si eseguirà un'analisi deterministica per valutare il fattore di sicurezza dei cunei o piani in scivolamento sui fronti cava,utilizzando specifici software che tengono conto delle caratteristiche fisiche dei giunti, coesione ed angolodi attrito, della sismicità specifica del sito e delle condizioni idrauliche dei giunti. Per le valutazionideterministiche abbiamo preso in esame i volumi massimi dei prismi che sono stati individuati nel corsodel rilievo sui fronti esistenti, per i fronti di escavazione di progetto, viene invece preso in esame il cuneomassimo che si origina dall'incrocio dei sistemi con i fronti di taglio, che seppure meno realistico del precedente ci permette di valutare le dimensioni dei cunei che si formeranno nel proseguo delle attività. In applicazione delle Norme tecniche delle Costruzioni (NTC 2018) vigenti la definizione del fattore disicurezza viene eseguita con sistema semi-probabilistico. Tale norma recepisce i criteri di progettazione contenuta negli Eurocodici e si basa sull' applicazione del concetto di "Stato limite", quindi le verifiche verranno eseguite allo Stato Limite Ultimo, (SLU) secondo l'approccio A2.

Le equazioni corrispondenti a questa metodologia sono le seguenti:
$Ed \leq Rd$
dove le azioni *E* sono definite da
$Ed = E\ (\gamma F\ .Fk;\ ;\ Xk/\ \gamma m\ ;\ ad)$
dove $\gamma F\ .Fk;\ ;\ Xk/\ \gamma m\ ;$ sono parametri di progetto mentre a_d è un coefficiente che definisce la geometria diprogetto.
Analogamente per le resistenze R
$Rd = 1/\ \gamma R\ R\ (\ \gamma F\ .Fk;\ ;\ Xk/\ \gamma R\ ;\ ad)$
In cui γR è un coefficiente di riduzione del parametro

Il suddetto metodo detto anche dei "coefficienti parziali" i cui indici sono riportati nelle tabelle seguenti, icui indici sono riduttivi o maggiorativi a seconda dell' azione presa in considerazione.
I coefficienti servono per tenere conto delle incertezze del modello e dei dati sperimentali a favore disicurezza.

Tabella coefficienti parziali azioni:

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2 (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella coefficienti parziali resistenze

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Pertanto dopo aver corretto le azioni ed i parametri di resistenza delle equazioni precedenti il fattore diSicurezza Fs dovrà essere espresso da:

$Fs \geq 1$

I parametri che andremo ad utilizzare nei calcoli saranno i seguenti:

Tabella dei coefficienti geomeccanici applicabili al modello secondo il metodo dei coefficienti parziali edin condizioni di Stato Limite Ultimo.

Parametro geotecnico	Dato ottenuto con i sistemi di classificazione dell'ammasso	Coeff. Correttivo	Valore con il metodo SLU
Coesione c	0,35	1.25	0,28
Angolo di attrito	40°	1.25	32°

I suddetti parametri saranno utilizzati in tutte le verifiche sia probabilistiche che deterministiche ed incondizioni sismiche.

I fronti da analizzare saranno pertanto i seguenti:

F1: 85/205
F2: 85/290
F2:85/110

Sul fronte principale sono significative, vedi fig.4, le fratture della famiglia K3 e la scistosità S1 e potenziali fratture K5, non visibili al momento, ma che potrebbero essere presenti avanzando verso nord. Sul fronte E vanno considerate anche le fratture K4 al momento non visibili, mentre su quello opposto vanno prese in esame anche le fratture K2, che risulterebbero se presenti a franapoggio.
Non si hanno condizioni di instabilità per ribaltamento non avendo fratture che possono dare movimenti flessurali ne toppling nelle attuali condizioni di orientazione dei fronti e con le fratture misurate. Nell'analisi cinematica considereremo pertanto le fratture misurate e non i piani medi

rappresentativi, per ogni fronte in esame e per la galleria di prospezione. Dovremo quindi verificare le condizioni cinematiche dell'ammasso con le seguenti fratture:

K3:10/200
K3: 25/220
K4: 70/260
S1: 53/150
K2: 25/130
S1: 18/145
K5: 80/160

2. Cinematismi sui fronti di lavoro esistenti e di progetto

Per la definizione delle fratture presenti nella zona di progetto si riportano due immagini significative in cui sono evidenziate i sistemi principali sia nel fronte superiore, già autorizzato, che in quello inferiore che dovrà essere arretrato rispetto a quello della foto, ma che avrà identiche famiglie di frattura. Il Fronte superiore è caratterizzato dalle seguenti fratture:

- K3 (colore giallo) : 200/10 con variazioni a 220/25°, fratture con spaziatura variabile da 0,90 a 3,00 m
- K4 (colore verde) : 260/70 fratture con spaziatura tra 1,30 e 3 m con persistenza inferiore a 3 m. Queste fratture si interrompono sulle K3
- S1 scistosità 150/53 presenta variazioni sia in immersione che inclinazione, nella parte sotto strada la scistosità ha una inclinazione variabile da 25 a 31°E con direzione di immersione prevalente verso N45-50°, ossia 135/140-25-31°, che si rovescia verso W sul lato opposto del rilievo a causa di una piega aperta di seconda fase;
- K5 fratture poco rappresentate che formano dei cunei con la famiglia K4 con direzione di immersione 160/80°

Nella porzione superiore del giacimento sono poco significative le fratture della famiglia K2 , che sono invece presenti sotto la strada di accesso, dove però hanno una scarsa persistenza ed una spaziatura ampia superiore a 5/10 m .

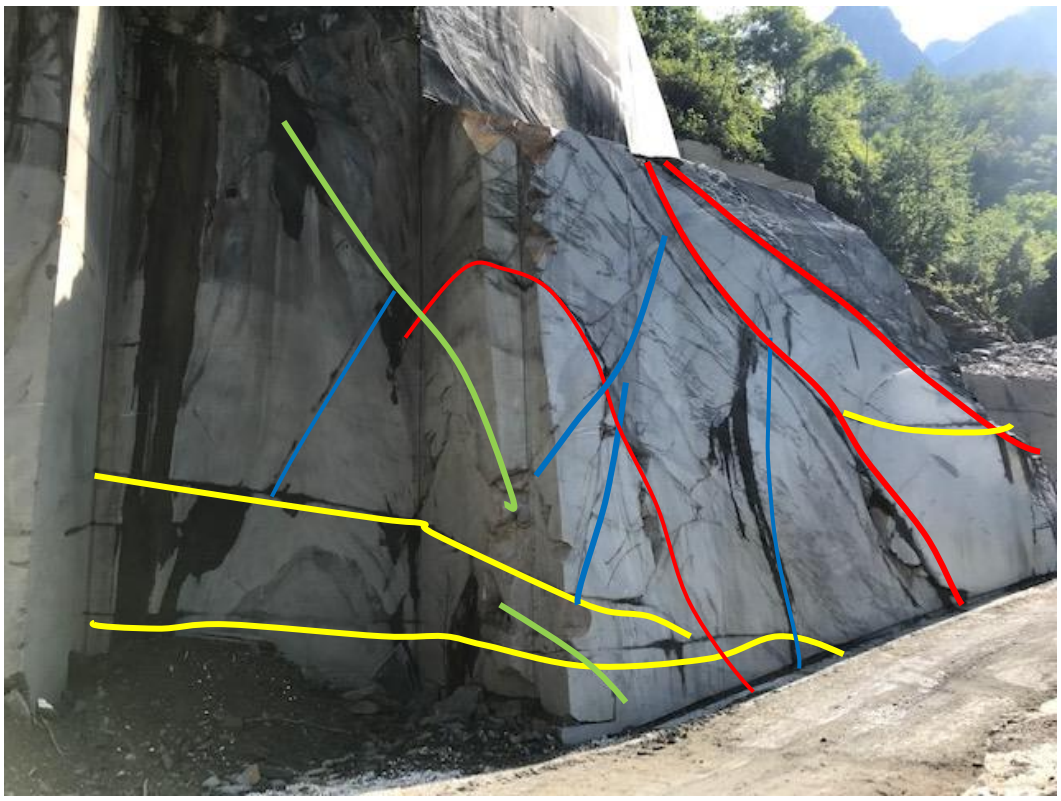


Fig.3. fronte superiore con sistemi di frattura prevalenti

Fig.4. fronte inferiore con sistemi di frattura prevalenti

Sul fronte inferiore predominano le fratture della famiglia K3 e dove presenti i livelli di ardesia il sistema delle scistosità crea delle discontinuità significative. Il sistema K3 mantiene bassi angoli e talvolta continua lungo le superfici di scistosità. Quest'ultima superfice varia sia in immersione che in inclinazione a causa della presenza di una cerniera di piega di terza fase.
L'avanzamento dei fronti cava sarà identico all'attuale sino ad arrivare alla base della strada di accesso posta sul lato superiore, sotto la quale verrà aperta una galleria esplorativa con le stesse direzioni di avanzamento dei fronti attuali.
I fronti da analizzare saranno pertanto i seguenti:

F1: 85/205
F2: 85/290
F2:85/110

Sul fronte principale sono significative, vedi fig.4, le fratture della famiglia K3 e la scistosità S1 e potenziali fratture K5, non visibili al momento, ma che potrebbero essere presenti avanzando verso nord. Sul fronte E vanno considerate anche le fratture K4 al momento non visibili, mentre su quello opposto vanno prese in esame anche le fratture K2, che risulterebbero se presenti a franapoggio.
Non si hanno condizioni di instabilità per ribaltamento non avendo fratture che possono dare movimenti flessurali ne toppling nelle attuali condizioni di orientazione dei fronti e con le fratture misurate. Nell'analisi cinematica considereremo pertanto le fratture misurate e non i piani medi rappresentativi, per ogni fronte in esame e per la galleria di prospezione. Dovremo quindi verificare le condizioni cinematiche dell'ammasso con le seguenti fratture:

K3:10/200
K3: 25/220
K4: 70/260
S1: 53/150
K2: 25/130
S1: 18/145
K5: 80/160

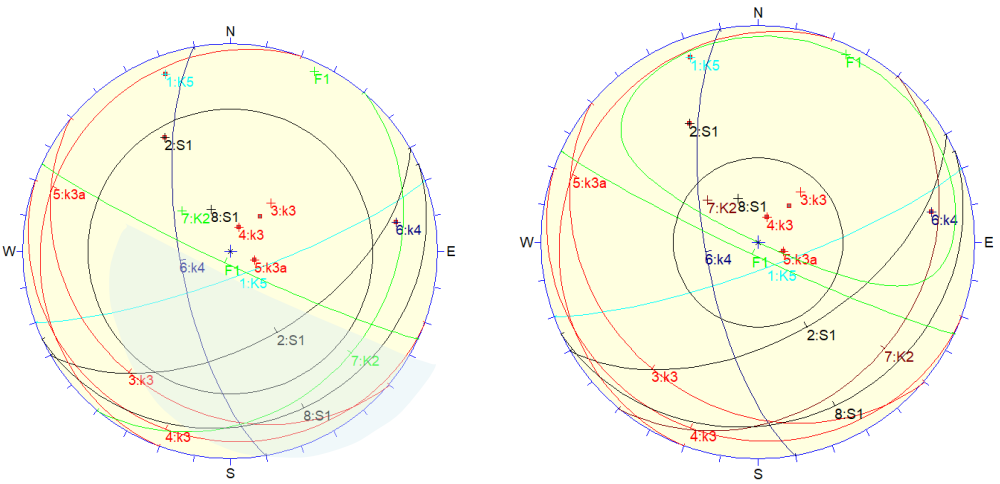
2.1 Analisi cinematiche

a- scavi a cielo aperto

Per ogni fronte di progetto vengono verificate le condizioni di scivolamento planare e per cunei considerando le fratture rilevate sui fronti attuali, riportate in precedenza

F1-85/205

Cunei **scivolamenti planari**

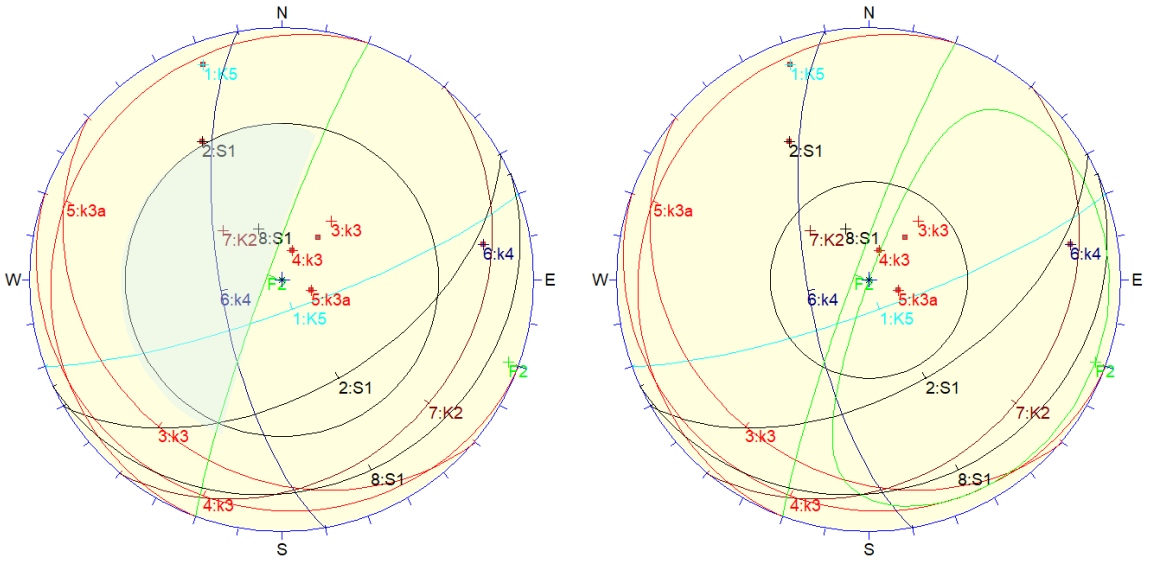


Sul fronte principale si possono formare cunei instabili tra la scistosità quando questa presenta valori di inclinazione superiore a 32° in combinazione con le fratture K4 del contro, con scivolamento lungo il la

direzione della scistosità. Cunei instabili si possono formare come visibile nel fronte superiore tra le fratture K4 e K5 , tuttavia nel fronte attuale queste cunei non sono presenti per l'assenza di fratture del set K4. Su questo fronte non si hanno invece scivolamenti planari, come visibile dalla figura precedente.

F1-85/290

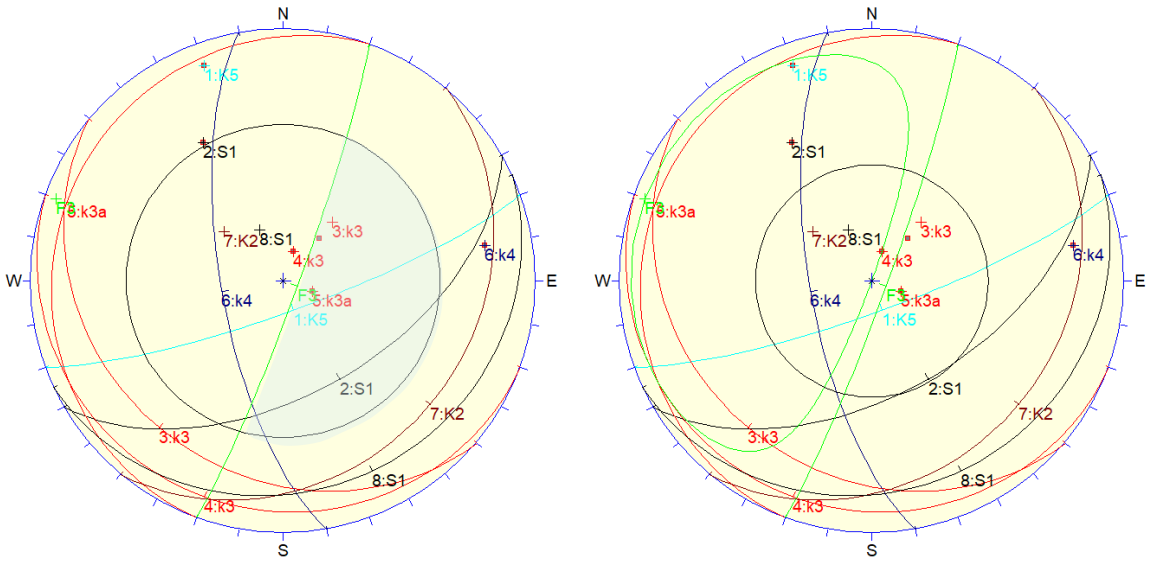
Cunei **scivolamenti planari**



Sono possibili scivolamenti lungo le fratture del set K4, che può risultare a franapoggio su questo lato dei fronti laterali, mentre possono dare luogo a cunei instabili l'intersezione dei piai K4/K5. Dalle verifiche fatte sui fronti questi cunei non sono di grandi dimensioni (<2 m3) e possono essere gestiti con semplici disgaggio durante le operazioni di ribaltamento, ma debbono essere monitorati in fase di taglio per evitare cadute sul piano di lavoro.

F1-85/110

Cunei **scivolamenti planari**



Su questo fronte opposto al precedente non si formano cunei instabili ne piani in scivolamento.

Riassumendo le criticità potenziali sui fronti orientati come gli attuali e con i set di fratturazione rilevata, sono le seguenti

F1 : cunei instabili tra : S1/K4; K4/K5
I cunei K4/K5 sono di modeste dimensioni (<3 mc) e possono essere gestiti con disgaggi con escavatore appena dopo il taglio del banco, la S1 al momento non determina questo tipo di cunei che dovranno comunque essere valutati dal Direttore nella organizzazione dei tagli, non si ravvisano situazioni di instabilità che necessitino delle chiodature preventive.
F2 : scivolamenti lungo K4 ; cunei instabili tra K4 e K5 , non sono necessari interventi preventivi per l'avanzamento lungo questa direzione.
F3 : nessuna criticità rilevata.

b- Scavi in galleria

Come indicato verrà eseguita una galleria di coltivazione con una luce 11x10 m (larghezza/altezza) aperta nello spesso banco di arenaria presente sul fronte principale che avrà una lunghezza massima di 34,5 m. La galleria avrà un asse di sviluppo, vedi Tav. 2var, con trend N 14° con andamento orizzontale (plung 0°), che si allargherà ortogonalmente a questo asse in entrambe le direzioni.
Per la verifica dei cinematismi potenziali si utilizza il programma della Rocscience Unwedge, utilizzando i parametri caratteristici dell'ammasso ottenuti negli studi eseguiti in precedenza e considerando una forma scatolare 11x10 m con lunghezza massima 35 m , l'analisi è stata condotta scegliendo per la deformazione di taglio il metodo Mohr- Coulomb, con coesione 0 Mpa, per i giunti meno rugosi come la scistosità e K3 e 0,28 MPa per i giunti più rugosi, mentre l'angolo di attrito è stato considerato per tutti i giunti uguale a 32°. Il programma consente di analizzare la formazione di cunei all'intorno della galleria considerando 3 o più set di giunti per volta, quindi debbono essere analizzate tutte le possibili combinazioni derivanti dalle fratture indicate in precedenza, prendendo come caratteristica la scistosità più inclinata, essendo questa maggiormente rappresentativa nella zona della galleria. Le fratture da prendere in considerazione nell'analisi sono dunque le seguenti :

K3: 25/220
K4: 70/260
S1: 53/150
K2: 25/130
K5: 80/160

Le combinazioni che verranno analizzate sono le seguenti : K3/K4/S1; K3/K4/K2;K3/K5/K2;K4/S1/K2; K4/S1/K5;K4/S1/K3;K5/S1/K2.
Il programma calcola il cuneo massimo che potrebbe formarsi attorno allo scavo e restituisce per ognuno di essi sia il peso che il fattore di sicurezza.

Analisi dei cunei lungo la direzione di avanzamento N14 °

Combinazione	Cuneo a tetto Peso ton	Fs	bonifica	Fs	Cuneo dx Peso	Fs	bonifica	Fs	Cuneo sx Peso	Fs	bonifica	Fs
K3-K4-S1	269	1,61	no		2,79	1,44	no		2,789	0,848	disgaggio	
K3-K4-K2	no				25349	stabile	No		25349	1,83	no	
K3/K5/K2	71,58	0,66	4 barre da 4 m	1,018	328	2,02	no		328	2,00	no	
K4/S1/K2	160,93	1,49	no		No				no			
K4/S1/K5	51,14	2,02	no		2,218	0,37	2 barre da 3 m	1,38	2,216	0,65	2 barre da 3 m	2,03
K4/S1/K3	269	1,62	no		2,789	1,44			2,789	0,84	Due barre da 2 m	1,759
K5/S1/K2	No				10.600	stabile			10.600	4,194		

Dall'analisi con questo programma risulta che potrebbero essere instabili i cunei che si formano a tetto solo

per la combinazione K3/K5/K2 con un cuneo da 71,58 tonnellate che si può rendere stabile con 4 barre da 4 m di lunghezza. Si potrebbero formare anche altri cunei instabili lungo le pareti nelle combinazioni K4/S1/K5, su entrambi i lati che si stabilizzano con 2 barre da 3 metri su ogni lato e nella combinazione K4/S1/K3 con cuneo instabile lungo il lato sinistro che si stabilizza con due barre da 2 metri.
In conclusione l'avanzamento della galleria in questa direzione non crea problemi di stabilità richiedendo un normale controllo e chiodature in avanzamento qualora si individuino le combinazioni indicate. In ogni caso le direzioni delle fratture dovranno essere verificate ad ogni avanzamento, procedendo cautelativamente alle chiodature specie a tetto della volta.

La galleria si allarga ortogonalmente all'asse di sviluppo sia a destra che sinistra , pertanto debbono essere verificate le condizioni di avanzamento rispetto alle fratture riscontrate all'ingresso, pur tenendo presente che queste possono variare, cambiando così le condizioni di stabilità della galleria.

Analisi dei cunei lungo la direzione di avanzamento N104 °

Combinazione	Cuneo a tetto Peso ton	Fs	bonifica	Fs	Cuneo dx Peso	Fs	bonifica	Fs	Cuneo sx Peso	Fs	bonifica	Fs
K3-K4-S1					2457	2,3			2457	stabile		
K3-K4-K2	no				89812	stabile			89812	1,813		
K3/K5/K2	86,49	0,63	6 barre da 4 m	1,31	575	2,35			575	2,22		
K4/S1/K2	38,56	1,23			219	2,94			219	2,201		
K4/S1/K5					72,42	stabile			72,42	2,404		
K4/S1/K3	no				2475	stabile			2475	2,301		
K5/S1/K2	no		no		10.600	stabile	no		10600	4.194	no	

Nell'avanzamento con direzione N104 ° si ha un cuneo instabile a tetto nella combinazione K3/K5/K2 che si stabilizza con 6 barre in acciaio da 4 metri con fs 1,31.

Nell'allegato a fine relazione sono riportati tutti i cinematismi che si possono formare nella galleria di progetto eseguiti con il programma Unwedge.

Conclusioni e prescrizioni

La variante non significativa interessa terreni già modificati dalle precedenti attività e quindi non riguarda terreni vergini, boscati o comunque integri, la parte a cielo aperto interessa terreni già inclusi nel perimetro autorizzato, mentre al galleria dal perimetro già autorizzato, con ingresso a quota 431 m , a livello della quota finale della prima fase di progetto.

La variante comporta un incremento 6.616 m3 rispetto a quelli consentiti dalle autorizzazioni vigenti, dai quali sono stati detratti quelli già escavati.
Non si hanno variazioni nelle macchine in uso né del personale e delle tecniche di lavorazione, per quanto riguarda gli impatti del rumore e delle polveri emesse questi non subiranno alcuna modifica, così come il sistema di trattamento delle AMD non subirà modifiche rispetto a quello già in uso, fatta eccezione per la posizione delle cisterne che saranno più prossime alla zona di raccolte delle acque per meglio gestire il loro recupero e trattamento. La variante non comporta a cielo aperto un incremento delle superfici e quindi la necessità di modificare il piano di gestione delle AMD e la dimensione delle vasche. La variante prevede la creazione di una galleria di coltivazione che si amplia dopo 12 metri circa dall'ingresso, per rendere più agevoli le manovre delle macchine operatrici. Per definire la stabilità della galleria è stato eseguito un rilievo delle fratture presenti sui fronti in lavorazione e un'analisi dei cinematismi che si possono creare con il proseguo delle attività e con l'apertura della galleria. La galleria di coltivazione viene posizionata in un banco di arenaria e distante dalle sovrastanti ardesie ed ad una profondità dal superfice esterna idonea per non creare problemi nella volta. Questa dovrà essere chiodata , così come le pareti laterali, verificando dopo ogni avanzamento direzione delle fratture e potenziali cinematismi. Sarà cura del Direttore Responsabile la verifica degli avanzamenti e la necessità di chiodature non previste nella presente relazione

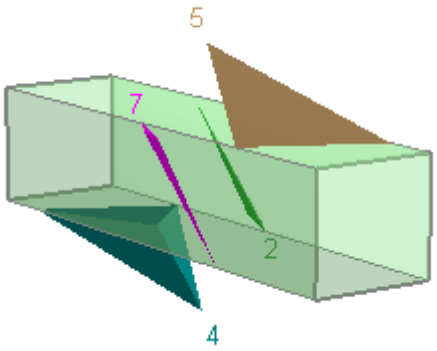
Querceta, Aprile 2022

Dott. Geologo Vinicio Lorenzoni - Eurogeologo

Verifica con Unwedge delle condizioni di stabilità della galleria

Galleria di progetto Direzione N14° inclinazione 0°

K3/K4/S1



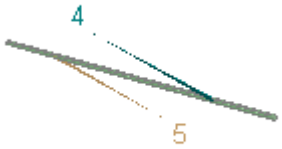
Lower Right wedge [2]
FS: 1.440
Weight: 2.789 tonnes

Floor wedge [4]
FS: stable
Weight: 269.419 tonnes

Roof wedge [5]
FS: 1.621
Weight: 269.419 tonnes

Upper Left wedge [7]
FS: 0.848
Weight: 2.789 tonnes

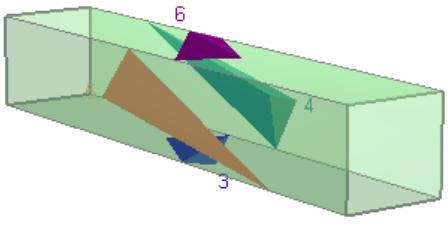
K3/K2/K4



Upper Left wedge [4]
FS: 1.837
Weight: 25369.324 tonnes

Lower Right wedge [5]
FS: stable
Weight: 25369.324 tonnes

K3/K45/K2



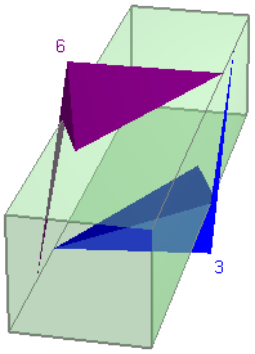
Floor wedge [3]
FS: stable
Weight: 71.589 tonnes

Lower Right wedge [4]
FS: 2.024
Weight: 338.441 tonnes

Upper Left wedge [5]
FS: 2.003
Weight: 338.441 tonnes

Roof wedge [6]
FS: 0.668
Weight: 71.589 tonnes

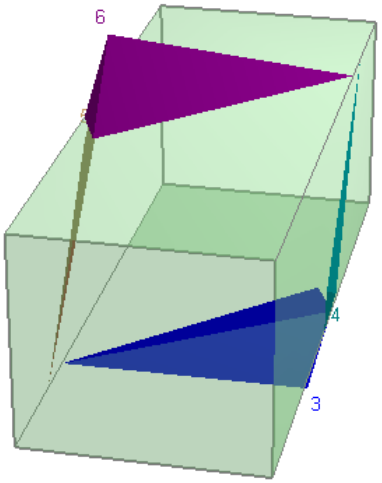
K4/S1/K2



Floor wedge [3]
FS: stable
Weight: 160.937 tonnes

Roof wedge [6]
FS: 1.489
Weight: 160.937 tonnes

K4/S1/K5



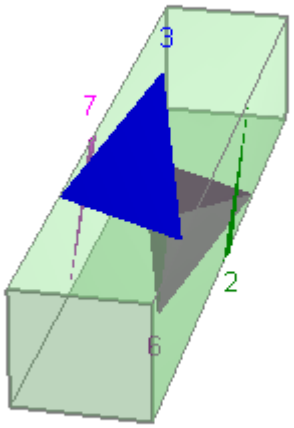
Floor wedge [3]
FS: stable
Weight: 51.145 tonnes

Lower Right wedge [4]
FS: 0.378
Weight: 2.218 tonnes

Upper Left wedge [5]
FS: 0.659
Weight: 2.218 tonnes

Roof wedge [6]
FS: 2.029
Weight: 51.145 tonnes

K4/S1/K3



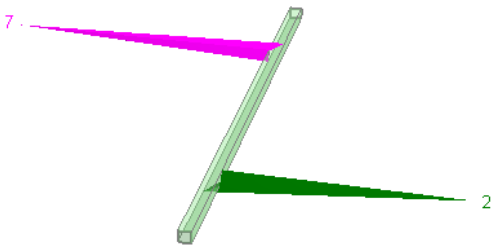
Lower Right wedge [2]
FS: 1.440
Weight: 2.789 tonnes

Roof wedge [3]
FS: 1.621
Weight: 269.419 tonnes

Floor wedge [6]
FS: stable
Weight: 269.419 tonnes

Upper Left wedge [7]
FS: 0.848
Weight: 2.789 tonnes

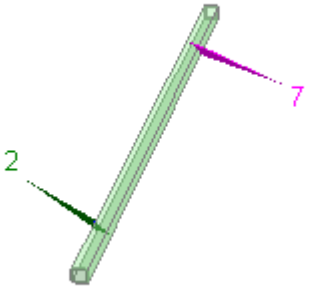
K5/S1/K2



Lower Right wedge [2]
FS: stable
Weight: 10600.143 tonnes

Upper Left wedge [7]
FS: 4.194
Weight: 10600.143 tonnes

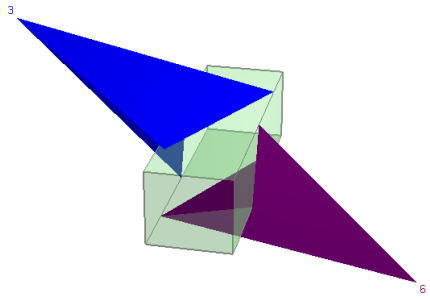
Galleria direzione N104 inclinazione 0°
K5/S1/K2



Lower Right wedge [2]
FS: stable
Weight: 10600.143 tonnes

Upper Left wedge [7]
FS: 4.194
Weight: 10600.143 tonnes

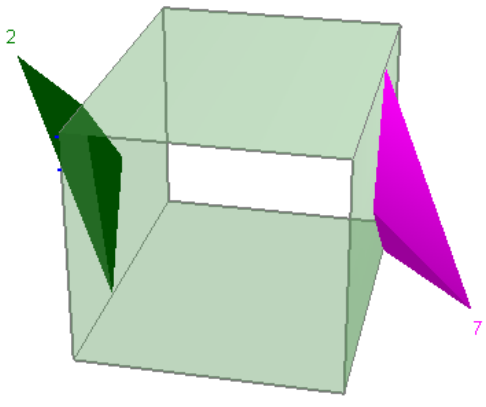
K4/S1/K2



Upper Left wedge [3]
FS: 2.301
Weight: 2457.992 tonnes

Lower Right wedge [6]
FS: stable
Weight: 2457.992 tonnes

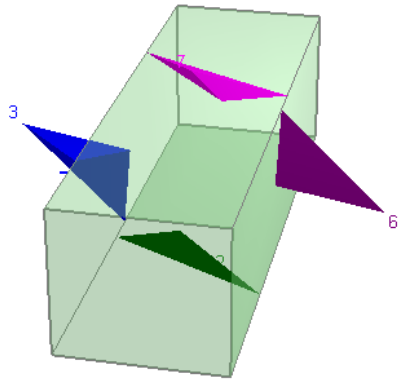
K4/S1/K5



Upper Left wedge [2]
FS: 2.404
Weight: 72.432 tonnes

Lower Right wedge [7]
FS: stable
Weight: 72.432 tonnes

K4/S1/K2



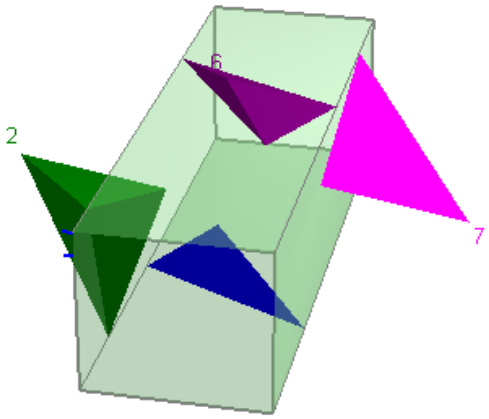
Floor wedge [2]
FS: stable
Weight: 38.569 tonnes

Upper Left wedge [3]
FS: 2.201
Weight: 219.753 tonnes

Lower Right wedge [6]
FS: 2.944
Weight: 219.753 tonnes

Roof wedge [7]
FS: 1.231
Weight: 38.569 tonnes

K3/K5/K2



Lower Left wedge [2]
FS: 2.221
Weight: 575.287 tonnes

Floor wedge [3]
FS: stable
Weight: 86.496 tonnes

Roof wedge [6]
FS: 0.631
Weight: 86.496 tonnes

Upper Right wedge [7]
FS: 2.355
Weight: 575.287 tonnes

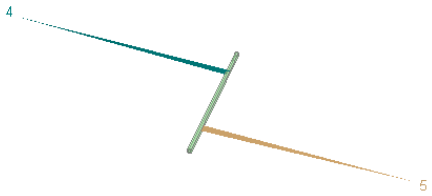
Lower Left wedge [2]
FS: 2.214
Weight: 575.287 tonnes

Floor wedge [3]
FS: stable
Weight: 86.496 tonnes

Roof wedge [6]
FS: 1.313
Weight: 86.496 tonnes

Upper Right wedge [7]
FS: 2.355
Weight: 575.287 tonnes

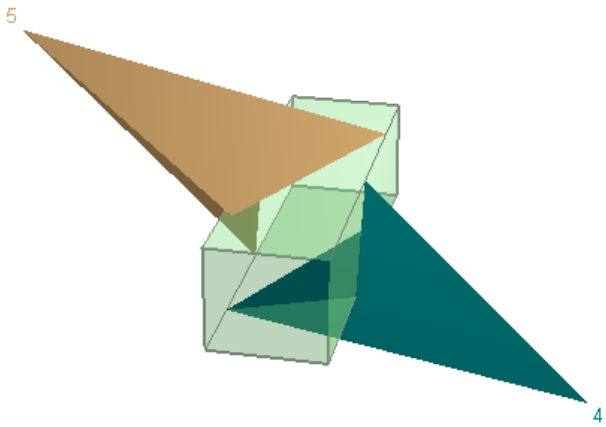
K3/K4/K2



Upper Left wedge [4]
FS: 1.813
Weight: 89812.401 tonnes

Lower Right wedge [5]
FS: stable
Weight: 89812.401 tonnes

K3/K4/S1



Lower Right wedge [4]
FS: stable
Weight: 2457.992 tonnes

Upper Left wedge [5]
FS: 2.300
Weight: 2457.992 tonnes

3. Galleria di progetto