OGGETTO:

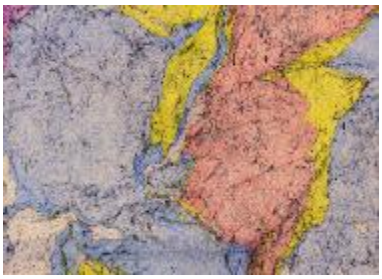
Progetto di coltivazione della cava Fantastico, Comune di Stazzema

ai sensi della L.R.35/2015, Disciplina del PIT e L.R.10/2010
in conformità al PABE Scheda 8 – Bacino Monte Macina

COMMITTENTE: ***Fantastico cava Arni s.r.l.***	***PROGETTISTA:*** ***Eurogeologo Vinicio Lorenzoni*** ***Geologo Giacomo Verona***
TITOLO DELL' ELABORATO:	***Analisi delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e di stabilità dell'area di intervento.*** (Art.17 comma primo lettera a)

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

Geol. Vinicio Lorenzoni
Studio di geologia tecnica ambientale e mineraria



Sommario

Premessa **4**
1.1 Elenco degli elaborati di progetto 4
2 Inquadramento geografico del sito di intervento **5**
2.1 Inquadramento catastale (Tav.nr.2 – Catastale) 6
2.2 Scheda informativa della cava Fantastico 7
3 Descrizione dei caratteri geologici dell'area **8**
3.1 Inquadramento geologico regionale 8
3.2 Tettonica 9
3.3 Assetto strutturale del giacimento 11
3.3.1 Prima fase deformativa D1 11
3.3.2 Seconda fase deformativa D2 14
3.3.3 Terza fase deformativa D3 15
3.3.4 Sintesi dell'evoluzione tettonica della Zona di Arni 15
3.3.5 Deformazione fragile 16
3.4 Stratigrafia 18
3.4.1 Autoctono 18
3.4.3 Formazioni della Copertura mesozoico-terziaria 18
3.4.1 3.4.4 Depositi Quaternari 20
4 Caratteristiche tecniche del materiale lapideo **20**
5 Geomorfologia **22**
5.1.1 Carsismo 23
6 Pericolosità dell'area di estrazione **24**
6.1 Pericolosità geomorfologica e sismica 24
6.2 Pericolosità sismica 26
6.3 Pericolosità idraulica 26
6.4 Fattibilità 26
7 Sismicità dell'area **26**
8 Idrogeologia **28**
8.1 Vulnerabilità dell'acquifero 30
9 Verifiche dell'interferenza con il sistema idrogeologico **31**
10 Classificazione dell'ammasso roccioso **32**
10.1 Caratteristiche del materiale roccioso 35
10.2 Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso RMR Bieniawski 1989 35
10.3 Criterio di Hoek e Brown stima dei parametri geomeccanici 37
10.4 Angolo di attrito e coesione dell'ammasso – criterio di Mohr e Coulomb 39
10.5 Resistenza al taglio 39
11 Analisi cinematica **42**
11.1 Cinematismi sui fronti di lavoro esistenti e di progetto 44

11.2 Interventi e criticità 50
12 Interventi di messa in sicurezza 52
13 Conclusioni e prescrizioni 56

Premessa

Il presente Piano di coltivazione della cava Fantastico è stato redatto in conformità al PABE approvato dal Comune di Stazzema per il Bacino Monte Macina della Scheda 8 del PIT/PPR.
Il Piano di coltivazione della validità di 9 anni è composto, oltre che dalla presente relazione dagli elaborati di seguito elencati.

1.1 Elenco degli elaborati di progetto

Elaborato A - Analisi delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche e di stabilità dell'area di intervento
Elaborato B - Relazione tecnico illustrativa
Elaborato C – Progetto di coltivazione e progetto di risistemazione del sito estrattivo
Elaborato D – Documento di gestione acque meteoriche dilavanti (cartografie allegate AMD)
Elaborato E – Documento di gestione dei derivati di estrazione
Elaborato F - Documento di gestione dei rifiuti di estrazione ai sensi del D.lgs.117/2008
Elaborato G – Progetto di monitoraggio ambientale (PMA)
Elaborato H - Perizia di Stima
Elaborati I – Relazione paesaggistica
Elaborato L – Interventi di ripristino ambientale
Elaborato M – Opere di mitigazione e compensazione
Elaborato N – Studio di Impatto Ambientale
Elaborato N1- Sintesi non tecnica
Elaborato O – Studio di incidenza
Elaborato P- Schema DSS e nomina Direttore Responsabile
Elaborato Q – Documentazione fotografica
Elaborato R - Valutazione impatto acustico
Elaborato T _ valutazione delle emissioni di polveri in atmosfera
Elaborato S – Progetto di monitoraggio ambientale (PMA)
Tavole di progetto
Tav.1 - Corografia di inquadramento
Tav.2 - Inquadramento Catastale
Tav.3 - Carta dei Vincoli sovraordinati e delle componenti paesaggistiche, storiche e ambientali
Tav.4 - Carta dei vincoli del P.I.T.
Tav.5a- Carta Pericolosità geomorfologica e sismica
Tav.5b- Carta di revisione della pericolosità idraulica
Tav.6- Carta geologica e giacimentologica
Tav.7a- Carta geomorfologica
Tav.7b- Carta di ravaneti
Tav.7c – Carta dei ravaneti esistenti ed asportabili
Tav.8 - Carta Idrogeologica
Tav.9 – Carta delle fratture
Tav.10 - Stato attuale
Tav.11 – Stato attuale articolazione del PABE
Tav.12a- Stato prima fase sottofase a
Tav.12b – Stato fine prima fase sottofase b
Tav.13 – Stato fine seconda fase con articolazione del PABE
Tav.14 – Stato fine seconda fase

Tav.15 – Sovrapposto attuale stato fine prima fase
Tav.16 – Stato fine prima fase sovrapposto fine seconda fase
Tav.17 – Ripristino ambientale fine prima fase
Tav.18 – Ripristino ambientale fine seconda fase
Tav.19- sezioni
Tav.20 – progetto fine seconda fase e interferenze con reticolo demaniale
Tav.1amd – Ambiti
Tav.2amd – Impianti trattamento e superfici scolanti
Tav.1Ems – emissioni sonore
Tav.8.1 Intervisibilità- individuazione dei view points
Tav.8.2 Intervisibilità teorica in scala 1:50.000
Tav 8.3 Intervisibilità teorica in scala 1:25.000

2 Inquadramento geografico del sito di intervento

La cava denominata Fantastico si trova nel comune di Stazzema in località Tombaccio ed è compresa nel Foglio CTR nr.249110. Nella Tavola nr.1 – Corografia di inquadramento è riportata la posizione della cava sulla carta tecnica regionale. La cava è localizzabile con le seguenti coordinate geografiche:

Latitudine : 44° 4'31.41"N
Longitudine: 10°14'43.34"E

Fig.1 – Foto aerea della zona di progetto

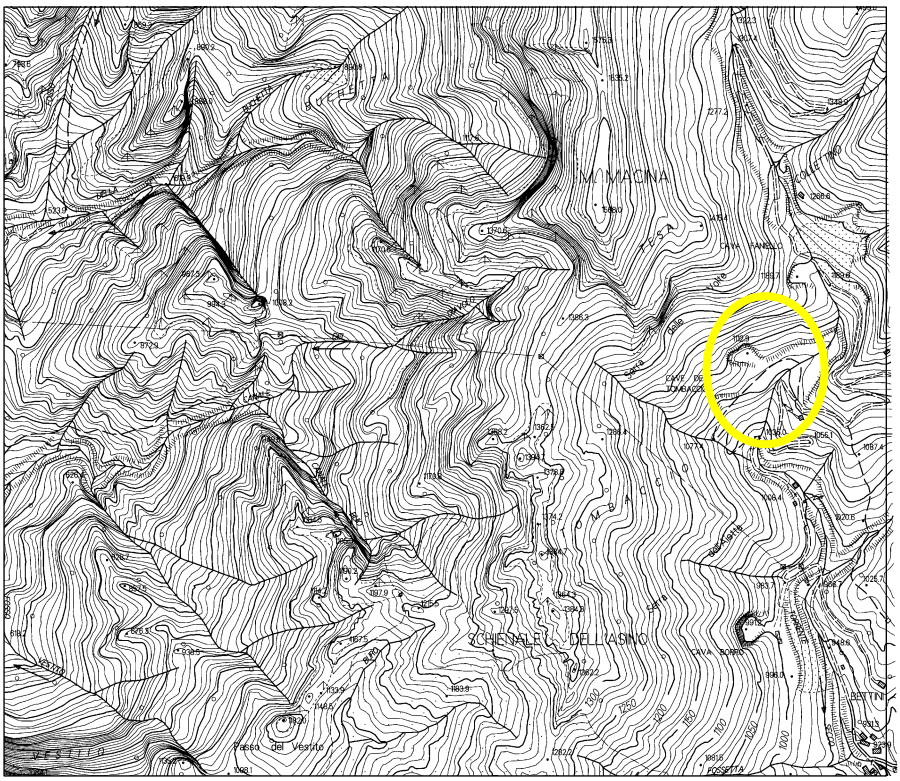


Fig.2 – Corografia del sito di intervento – Estratto CTR 249110

2.1 Inquadramento catastale (Tav.nr.2 – Catastale)

Il cantiere Fantastico nel Catasto dei Terreni del Comune di Stazzema ricade nel Foglio 1, mappali nr.8 e 10 tutti in disponibilità della Società Fantastico cava Arni s.r.l. L'inquadramento catastale è indicato nella Tav. nr.2 in cui l'area di progetto ricade completamente all' interno dei mappali 8 e 10 in disponibilità alla suddetta società.

2.2 Scheda informativa della cava Fantastico

SCHEDA INFORMATIVA	
Denominazione cava	Cava Fantastico
Anagrafica dell'azienda Titolare richiedente	Fantastico cava Arni s.r.l. via Barsanti, nr.9-55045 Pietrasanta (LU) Amministratori : Barsi Lorenzo, Pocai Giuliano email : fantasticocavaarnisrl@pecimprese.it
Titolo di disponibilità dell'area di coltivazione	Disponibilità per proprietà nel comune di Stazzema
Inquadramento geografico	CTR 1:10.000 nr 249110
Inquadramento catastale	Comune di Stazzema: Foglio 1 mappali 8 e 10
Durata della coltivazione	9 anni
Perimetro dell'area autorizzabile dal PABE a cielo aperto	15.961 mq
Perimetro destinato alla coltivazione Attiva incluse gallerie	10.085mq
Perimetro oggetto del ripristino ambientale Perimetro aree non modificate dal progetto	7.0221mq 5.786 mq circa
Tipologia dei materiali estratti	Fantastico, Arabescato e marmo Bardiglio
Volume totale estratto	**mc 108.584**
Volumi dei materiali ornamentali estratti	**mc 31.730***
Volume di derivati dei materiali da taglio	**mc 53430***
Volume dei rifiuti di estrazione	**mc 23.430***
Volumi annui dei materiali estratti (ops)	**mc 9.462 * di cui 3.525 di blocchi ornamentali (37%)**

*arrotondato

3 Descrizione dei caratteri geologici dell'area

3.1 Inquadramento geologico regionale

L' area estrattiva si trova all' interno del Complesso Metamorfico delle Alpi Apuane, che rappresenta la maggiore culminazione assiale dell'Appennino Settentrionale, dove le formazioni metamorfiche più profonde affiorano in "finestra tettonica" sotto le coltri tettoniche non metamorfiche di copertura.
L'appennino Settentrionale viene interpretato come una catena a thrust e pieghe formatesi durante il Terziario in conseguenza dell'accavallamento da W verso E delle unità liguri sui domini esterni toscani e umbro marchigiani, e sottoposto ad un'inversione tettonica regionale negativa (da regime compressivo si passa a regime distensivo), formatosi tra il Cretaceo e l'Eocene, durante la subduzione della crosta oceanica della Tetide sotto la micro placca sardo-corsa (fig.3).

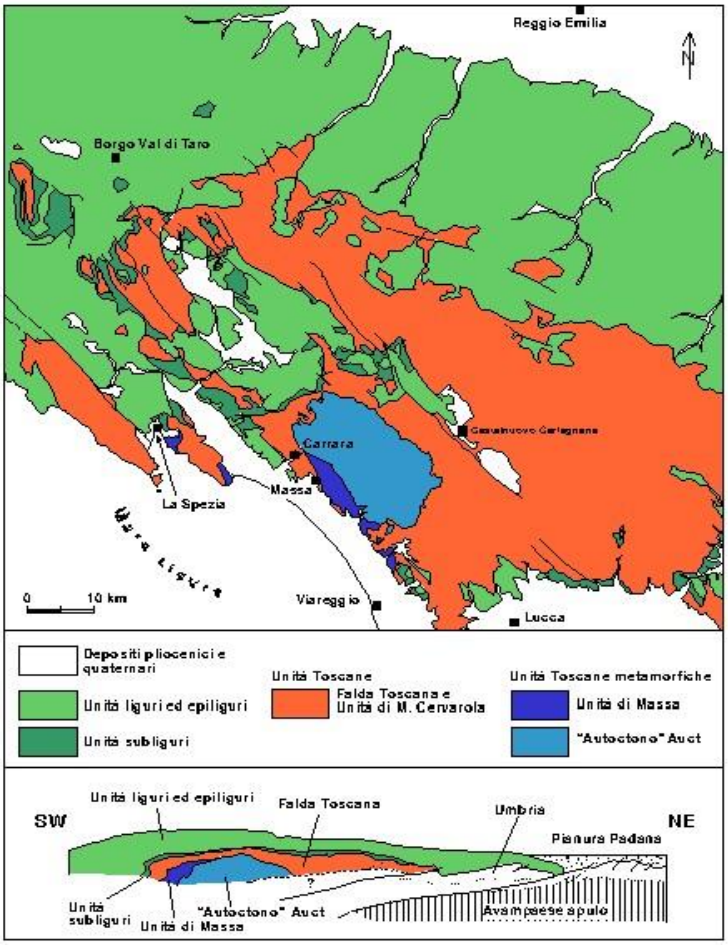


Fig.3 schema tettonico appennino settentrionale

Nell' Eocene Medio Sup. cessata la subduzione, inizia la collisione fra la microplacca sardo-corsa e la microplacca adriatica che coinvolge il Dominio Toscano con lo sviluppo di una fascia di taglio ensialica entro la quale si generano le strutture compressive (Fase D1), che caratterizzano tutto il complesso metamorfico (Carmignani & Kligfield, 1990). In questa fase tettonica si ha un forte raccorciamento crostale ed un generale regime compressivo che, tra l'Oligocene Sup. e il Miocene Inf., porta alla formazione di strutture a duplex compressivi in regime metamorfico di basso grado (zona degli "scisti verdi"), i quali in seguito evolvono in una megastruttura da geometria di tipo *antiformal stack*. Nel Miocene Inferiore cambiano le dinamiche all'interno del nucleo di accrezione ispessito, tanto che nelle zone geometricamente più alte si attivano i primi movimenti distensivi, mentre nelle zone profonde permane il regime compressivo. Nel Miocene Inf. e Medio si attiva l'inversione tettonica (Carmignani et alii 1993, 2002, Decandia et Alii 1993) e le strutture del Dominio Toscano iniziano a sollevarsi e a subire deformazioni di tipo estensionale, con lo sviluppo di faglie normali lungo i bordi dell'antiformal stack. In questo periodo si sviluppano le così dette serie ridotte, un assetto tettonico che in diverse aree vede il contatto tra le unità

liguri a diretto contatto con il calcare cavernoso alla base della Falda Toscana. Questo fenomeno viene attribuito alla formazione di faglie normali a basso angolo (low angle normal fault). Successivamente, nel Tortoniano, la prosecuzione della fase distensiva determina lo sviluppo di faglie ad alto angolo, probabilmente associato al rifting di tutto l'Appennino Settentrionale e l'inizio dell'apertura del mar Ligure e del Tirreno. La formazione della faglia ad alto angolo (high grade normal fault) determina la creazione dei numerosi graben che contornano il nucleo metamorfico apuano ed in cui si depositano le successioni neogeniche toscane, vedi figura 4.

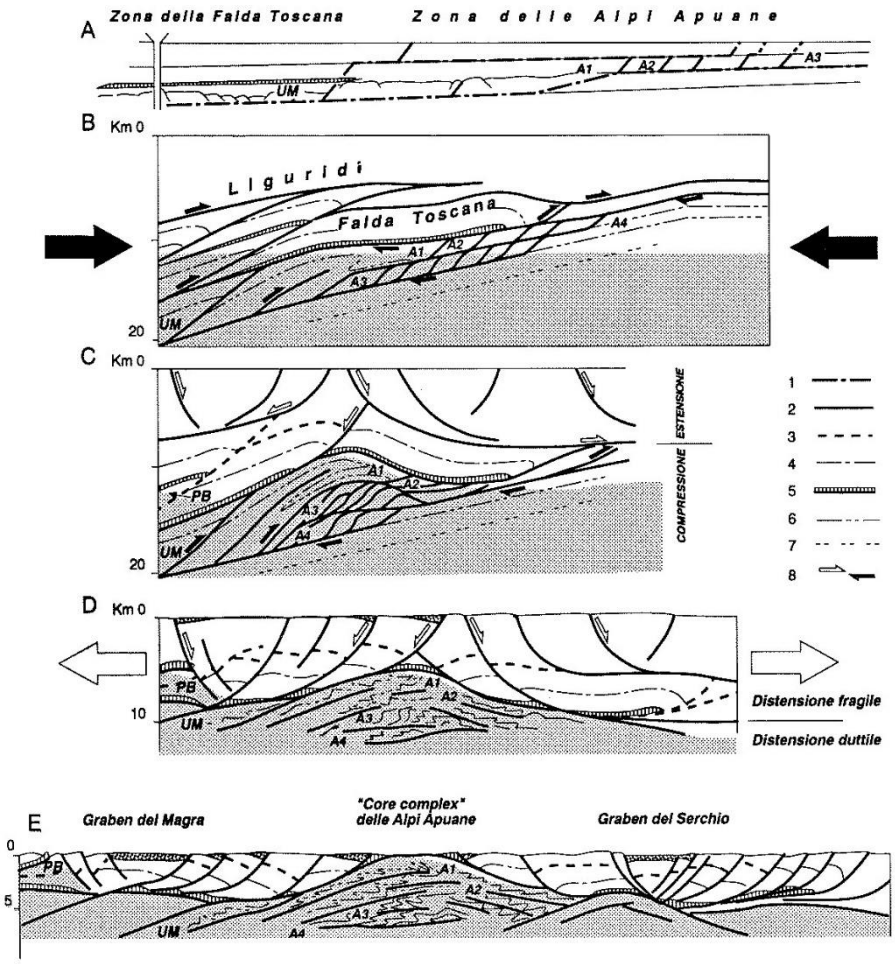


Fig.4 Schema dell'evoluzione tettonica compressiva ed estensionale delle Alpi Apuane (Carmignani et Alii 1994) a- Fase pre-collisionale b- Sviluppo delle strutture *duplex* c- sviluppo dell'*antiformal stack* d- inizio fase distensiva; e- esposizione del complesso metamorfico delle Alpi Apuane

3.2 Tettonica

Come visto in precedenza le Alpi Apuane sono il risultato di un'importante fase tettonica compressiva (Fase D1) che in regime metamorfico ha portato allo sviluppo di pieghe isoclinali a tutte le scale, Adriatico vergenti, a basso angolo a cui è associata una scistosità di piano assiale molto penetrativa, cha ha quasi completamente obliterato gli originari caratteri sedimentari.
La D1 è caratterizzata da una scistosità di piano assiale S1 a cui è associata una lineazione di estensione L1, orientata circa NE-SW, sviluppata in quasi tutte le formazioni metamorfiche.
La scistosità come detto è di piano assiale alle pieghe isoclinali di prima fase in genere non cilindriche, spesso a guaina, *sheath fold*, i cui assi sono subparalleli alla lineazione di estensione, a causa della forte deformazione in pieghe non cilindriche. La deformazione (strain) è molto pronunciata in tutte le formazioni ad eccezione dei Grezzoni che hanno avuto un comportamento rigido, mantenendo gli originali caratteri sedimentari e compensando la deformazione con "boudinage" alla scala di tutta la formazione.

Il raccorciamento progressivo del nucleo apuano ha portato alla citata formazione dell'antiformal stack, con a tetto il contatto tettonico della Falda Toscana che è quindi coinvolta nella deformazione di prima fase, ed a letto un contatto non affiorante che scolla la copertura esterna delle Alpi Apuane dal suo basamento. Si ritiene possibile che a nucleo dell'antiformal stack siano impilate delle formazioni di flysh terziari (unità di M.te Cervarola), come indicato alla sezione C della fig. 4. Il sottoscorrimento verso SW e l'impilamento di queste formazioni, sotto il nucleo apuano, potrebbe aver portato alla distensione della parte superiore del cuneo orogenico già nel Miocene inf.
La scistosità di prima fase D1 dell'unità metamorfica e la stratificazione della Falda Toscana, sovrapposta alla precedente risultano entrambe deformate da un'ulteriore fase tettonica connessa con la distensione crostale. La distensione si realizza mediante zone di taglio duttili inclinate a SW, lungo il fianco sud occidentale del core complex e NE lungo quello nord orientale. A livello regionale determina una estensione orizzontale accompagnata da un assottigliamento crostale. Queste zone di taglio distensive si sovrappongono alle precedenti strutture compressive, il cui sviluppo è controllato dalla scistosità S1 e dagli accavallamenti della antiformal stack, per cui le zone di taglio inclinate a SW si sviluppano principalmente dove la scistosità S1 era inclinata a SW, versante tirrenico del Complesso Metamorfico, mentre il sistema inclinato a NE si sviluppa principalmente nel versante nord orientale ove questa scistosità era inclinata a NE. L'opposto senso di movimento delle zone di taglio sui due versanti del nucleo apuano determina la sovrapposizione di pieghe sin-D2 SW vergenti su pieghe sinD1 NE vergenti lungo il versante sudoccidentale e pieghe sin-D2 su pieghe sin-D1 con stessa vergenza verso NE sul versante orientale.

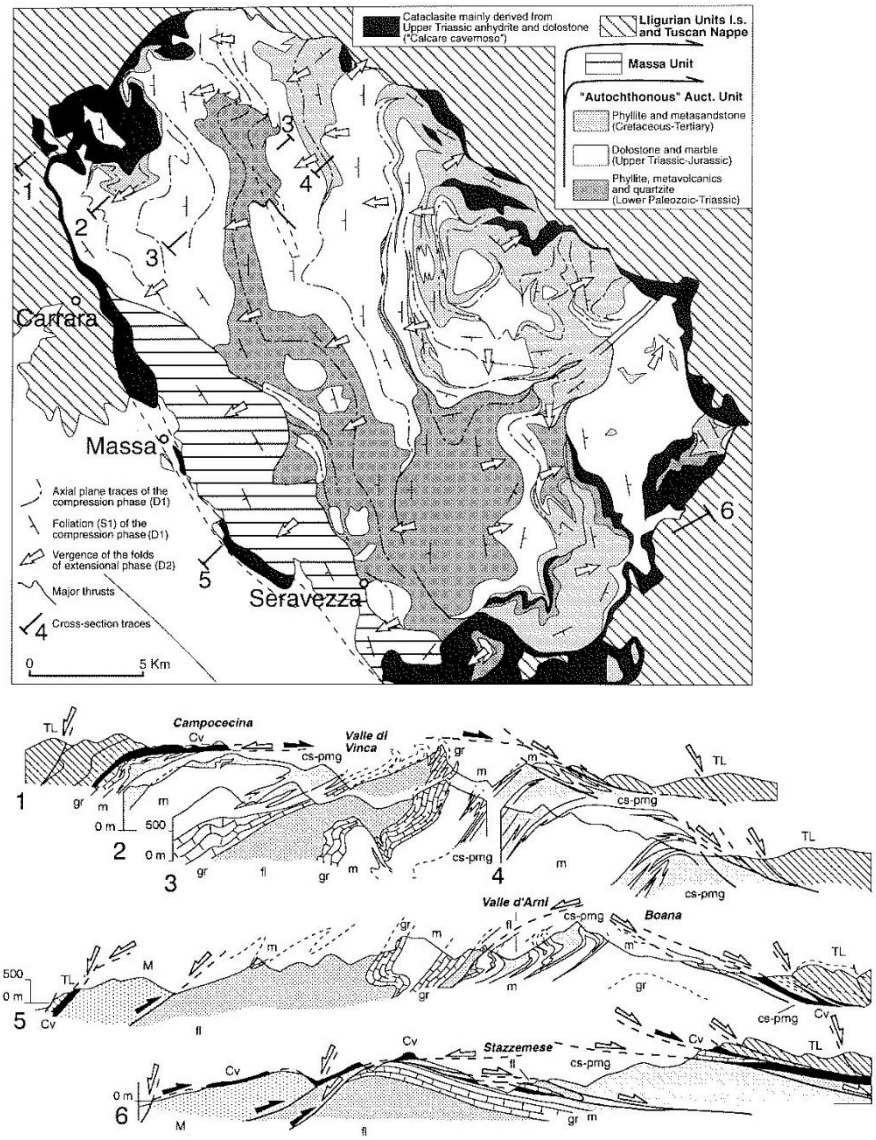


Fig.5 schema tettonico delle Alpi Apuane e vergenza delle pieghe di prima e seconda fase.

3.3 Assetto strutturale del giacimento

La cava Fantstico si trova sul fianco rovesciato della sinclinale di Arni, struttura principale della prima fase D1, compresa tra l'Anticlinale della Tambura ad ovest e quella del Monte Sella ad est. La struttura di prima fase è ripiegata dalla fase tardiva D2 che forma in questa zona una antiforme con senso di rovesciamento delle pieghe verso ovest, formatasi a seguito del sollevamento del duomo tardivo, che ha il suo culmine sul Monte Sumbra. La cava si trova quindi sul fianco rovesciato di una struttura plicativa chilometrica aperta, asimmetrica, con asimmetria rivolta verso W-SW. In queste strutture la scistosità di piano assiale delle pieghe tardive è data dal clivaggio nelle formazioni filladiche e da pieghe di taglio nelle formazioni calcaree, marmi e calcari selciferi. La struttura è completamente compresa sul fianco occidentale del duomo di scistosità di cui costituisce una piega di primo ordine. Le pieghe di questa fase sono ben evidenti nella cava stessa dove le strutture minori delle prima fase risultano piegate e rovesciate.

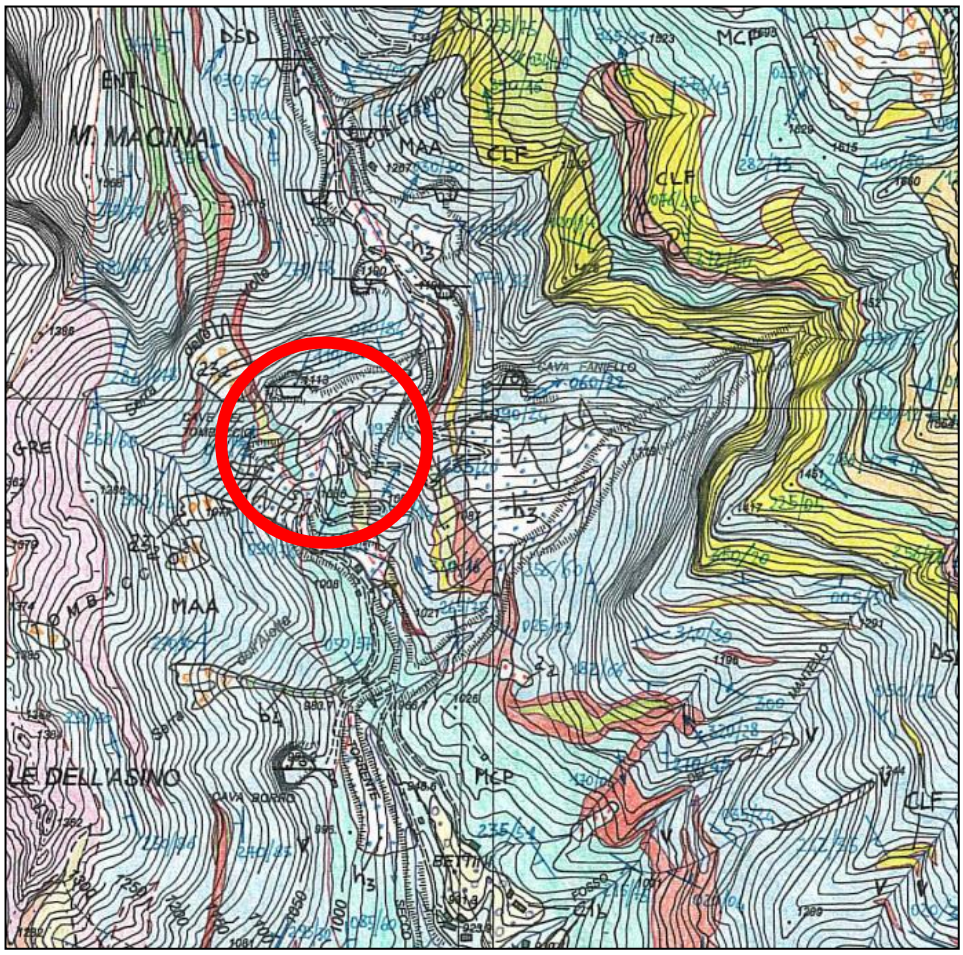


Fig.6 Dettaglio della Carta geologica della sinclinale di Arni

3.3.1 Prima fase deformativa D1

La fase deformativa D1 ha formato alla scala dell'intero massiccio accavallamenti e pieghe isoclinali di dimensioni chilometriche con piani assiali sub orizzontali, a cui è associata una scistosità sin metamorfica (S1) di piano assiale molto penetrativa che ha obliterato quasi completamente l'originaria stratificazione (S0). La superfice di stratificazione forma con la scistosità un forte angolo solo nelle zone di cerniera, dove le pieghe isoclinali di prima fase sono ispessite, mentre i fianchi risultano stirati e più sottili. Le pieghe di prima fase sono generalmente non cilindriche con assi ruotati in direzione sub parallela alla direzione di estensione (sheath folds). Le pieghe formatesi nella prima fase sono da ovest verso est, l'antiforme del Monte Tambura, la sinclinale di Arni, L'antiforme del Passo Sella e la sinclinale del Monte Fiocca, sono sinclinali a nucleo di macigno metamorfico e anticlinali a nucleo di marmo, che si richiudono ad anello

sull'apice principale delle linee di cresta del duomo di scistosità, sul rilievo compreso tra la valle della Turrite Secca e dell'Edron. La deformazione di prima fase si manifesta con una scistosità penetrativa che traspone quasi completamente l'originaria stratificazione, formando una foliazione penetrativa e pervasiva di tipo slaty cleavage nelle filladi e data dall'appiattimento degli elementi brecciati dei marmi arabescati. La prima fase ha sviluppato una lineazione di estensione L1 bene evidente anche nei marmi, e da lineazione di intersezione A1, particolarmente visibile nelle rocce più filladiche. La giacitura della scistosità di prima fase nella zona della cava Fantastico è generalmente orientata tra 170°N e 150°N con una inclinazione variabile da 38 a 55 gradi, mentre le lineazioni L1 variano da direzione appenninica a antiappeninica evidenziando la presenza di pieghe non cilindriche di tipo sheat folds.

Fig.7 scistosità di prima fase, in rosso, con lineazioni A1 di intersezione in giallo , fianco rovesciato della antiforme del Passo Sella

Fig.8 Lineazioni di estensione L1

Fig.9 sinforme di prima fase a nucleo di scisti sericitici, deformata da pieghe tardive, visibili nella cava Serra delle Volte

3.3.2 Seconda fase deformativa D2

La successiva fase di deformazione tardiva D2 è evidenziata pieghe con assi poco inclinati e scistosità di piano assiale poco sviluppata o evidenziata da *strain slip scistosity* nei livelli più competenti, divenendo invece nelle Filladi Inferiori l'elemento strutturale più evidente ed importante e caratterizzata da una intensa e pervasivo clivaggio di crenulazione.
La foliazione di seconda fase immerge verso ovest, con inclinazioni media di 25 – 30° ed assi di direzione variabile tra 170°N e 30°N in conseguenza della successiva deformazione D3.
Nella figura che segue viene evidenziata la scistosità di seconda fase che si presenta come strain slip cleavage nella porzione marmorea grigia più omogenea e compatta, evidenziata dal successivo riempimento di calcite biancastra. Le pieghe di seconda fase in questa porzione del massiccio apuano sono molto evidenti e caratterizzano la formazione marmorea con pieghe importanti a tutte le scale.

Fig.10 Scistosità di prima fase in rosso ripiegata da pieghe di seconda fase in giallo , nei tagli del cantiere Le Conche

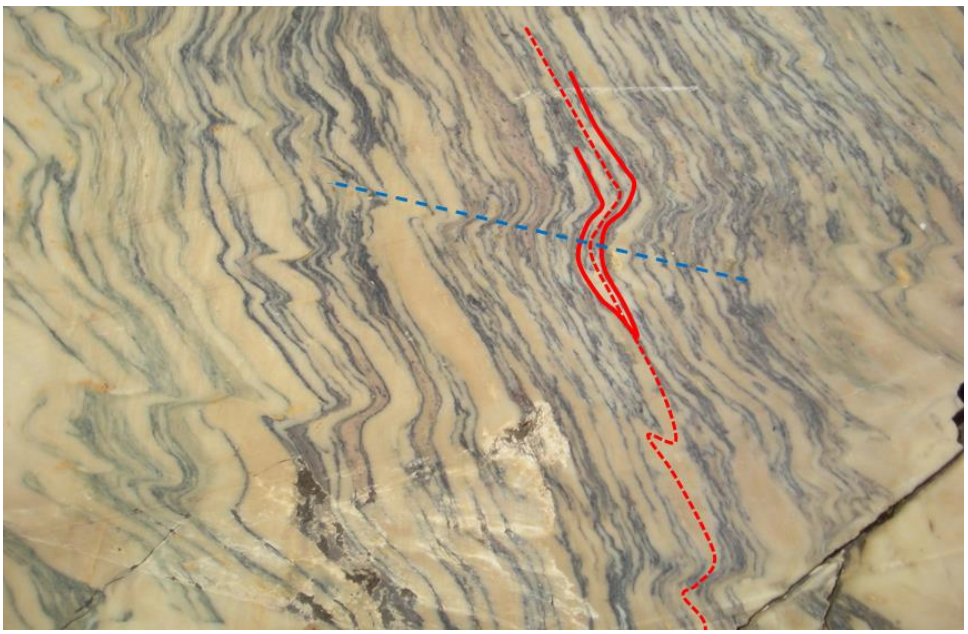


Fig.11 Dettaglio di pieghe e scistosità di prima fase in rosso ripiegata da pieghe di seconda fase in azzurro, nei tagli del cantiere Le Conche

Fig.12 Passo Sella Scistosità di prima fase in blu ripiegata da strutture di seconda fase in giallo

3.3.3 Terza fase deformativa D3

Successivamente all'evento deformativo D2 si sono sviluppate pieghe ampie a ginocchio legate al collasso della struttura formatasi durante la Fase D1, e legate ad un regime di distensione regionale con pieghe rovesciate dal centro dell'*antiformal stack* verso i fianchi della stessa.
La scistosità associata a queste pieghe S3 e si presenta come un clivaggio di crenulazione molto spaziato, di piano assiale delle pieghe a ginocchio che risultano coassiali con le strutture precedenti, come già ampiamente descritto negli studi di Carmignani e Giglia, 1975. L'andamento di questa scistosità varia da sub-orizzontale a debolmente inclinata verso W-SW. Le pieghe mostrano assi sub orizzontali orientati mediamente verso est-ovest. Le strutture di terza fase hanno fianchi dissimmetrici talvolta rovesciati per alcune decine di metri dando luogo a superfici di discontinuità a franapoggio, che formano dei piani verticali, di scivolamento creando non pochi problemi di stabilità di alcuni fronti cava. Sempre alla terza fase viene attribuita la formazione di kink bands e fratture di taglio, spesso coniugate, che rimaneggiano le superfici precedenti.

3.3.4 Sintesi dell'evoluzione tettonica della Zona di Arni

I dati rilevati nella campagna geologica possono essere inquadrati nel modello proposto da Carmignani e Kligfield (1990) e successivamente raffinato dagli studi di Carmignani et alii (2004). La zona di Arni è ben conosciuta ai geologi soprattutto perché presa ad esempio negli studi di inizio del secolo scorso per interpretare le Alpi Apuane strutturate in una doppia vergenza centripeta, ben rappresentata nelle sezioni geologiche di Lotti e Zaccagna. La nota di Carmignani e Giglia (1983) "Il problema della doppia vergenza sulle Alpi Apuane e la struttura del Monet Corchia", definisce in chiave moderna la geologia di questa area, in cui la vergenza opposta delle strutture presenti nella zona di Arni sono dovute alla deformazione polifasica in particolare alla seconda fase deformativa che crea pieghe ovest vergenti in cascata dal nucleo del duomo di scistosità tardiva che ha il sui culmine nella zona di Monte Sumbra Monte Croce. Le strutture della prima fase di deformazione sono hanno una forma frammentaria che dipende dalla distanza tra gli apici delle strutture sui piani di scistosità, in sostanza si hanno pieghe a guaina molto più schiacciate, rispetto a quelle dell'Altissimo. L'evidenza delle pieghe a guani a data dalla identica orientazione in direzione NE o SW delle lineazioni di intersezione e delle lineazioni di estensione. "*Tutti gli elementi di prima fase sono ripiegati intorno ad un asse di direzione media N170°. La piega tardiva è una struttura chilometrica aperta asimmetrica, con asimmetria rivolta verso W-SW.*

Il ribaltamento della scistosità S1 in un breve fianco inverso è molto accentuato nella parte orientale dell'area; a W le superfici S1 si presentano molto più distese" La cava Faniello e le adiacenti cave del Tombaccio si trovano nella zona in cui la deformazione tardiva formano delle evidenti pieghe aperte in rovesciamento verso W-SW, dando luogo ad antiformi e sinformi in cascata verso occidente. Queste pieghe sono ben evidenziate nella figura 12 relativa al Passo Sella in cui nella foto panoramica si vede chiaramente il ripiegamento della scistosità di prima fase. Queste strutture sono state interpretate da altri autori come dovute ad un evento deformativo post D1 di Carmignani e Giglia ma pre-D2 ossia come fase intermedia D1b. Le geometrie ed i rapporti tra le diverse fasi sono ben visibili nella foto di dettaglio di fig.12.
Indipendentemente dalla cronologia la cava Fantastico si trova sul fianco rovesciato della Sinclinale di Arni a Nucleo di Scisti Sericiti e Cipollini che viene ribaltato da diritto in rovescio a causa del piegamento, ben evidenziata nella sezione tratta dalla pubblicazione di Molli e Vaselli e riportata nella figura 13.

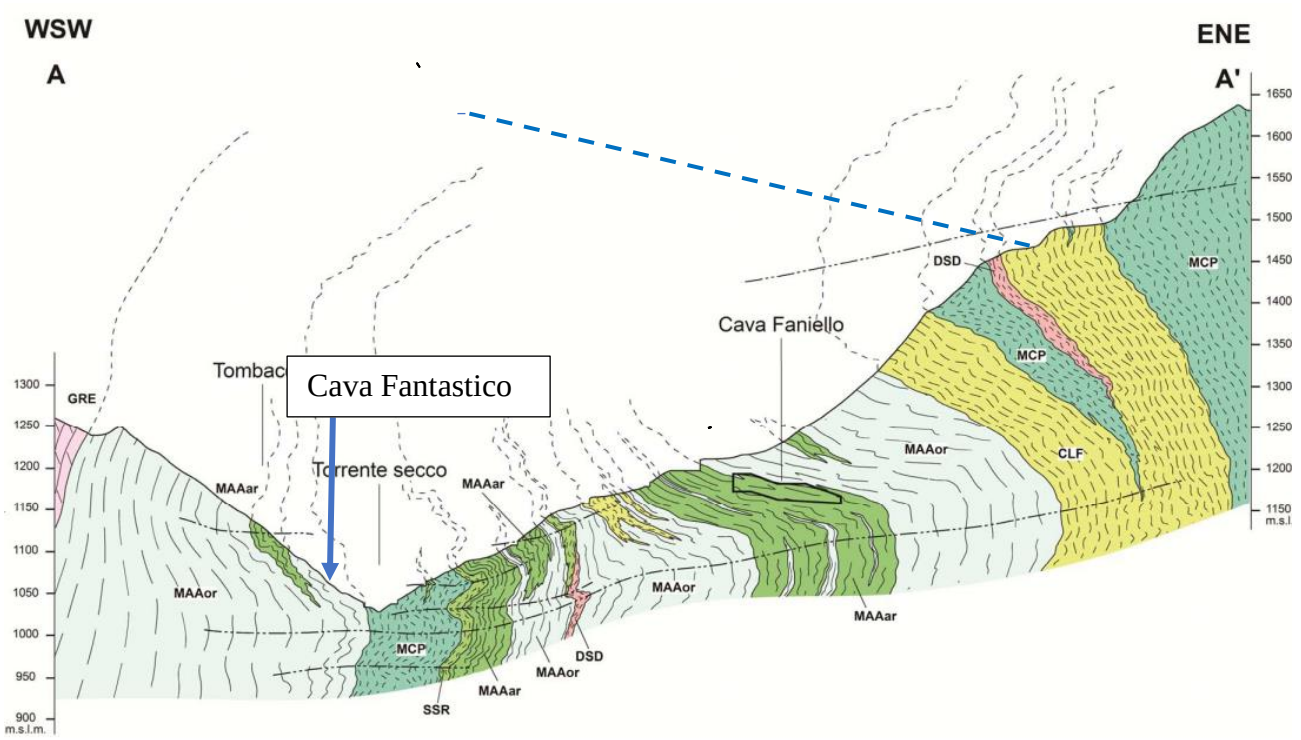


Fig.13 sezione attraverso la valle del torrente secco e Monte Fiocca (Molli e Vaselli), con indicazione della cava Fantastico

3.3.5 Deformazione fragile

La fase distensiva si realizza nell' Autoctono prevalentemente mediante zone di taglio duttili in conseguenza del collasso della *Antiformal stack* divenendo successivamente di tipo esclusivamente fragile con sviluppo di giunti e fratture. A partire dagli anni '70 le ricerche di tipo geologico-strutturale si sono concentrate principalmente sulla descrizione e comprensione delle strutture sinmetamorfiche (foliazioni, pieghe e sistemi di interferenza) e sulla loro evoluzione spazio-temporale (Carmignani & Giglia, 1975a, 1975b; Boccaletti & Gosso,1980). Al contrario, le strutture fragili originatesi durante gli stadi più recenti dell'evoluzione geologica delle Alpi Apuane, rappresentano l'aspetto meno studiato. Strutture fragili sono riportate in Coli (1989) e Molli & Meccheri (2000), ma solo negli ultimi anni è stato affrontato organicamente lo studio dei sistemi di faglie ad alto angolo, la cui analisi geometrica e

cinematica ha fornito una prima ricostruzione del campo di deformazione fragile nelle Alpi Apuane (Ottria & Molli, 2000).
La definizione del campo di deformazione e della possibile orientazione dell'ellissoide dello stress a cui le strutture possono essere associate può rivestire un ruolo fondamentale nella pianificazione e nell'operatività delle attività estrattive, in particolare per quello che riguarda la comprensione dello stato tensionale residuo degli ammassi marmorei.
In generale la deformazione "naturale" fragile di un volume di roccia, interessato da un campo di stress, si manifesta in modo discontinuo secondo sistemi di fratturazione. L'analisi di questi sistemi può consentire, attraverso metodi grafici o numerici conosciuti come metodi d'inversione (Angelier, 1990), di ottenere il tensore dello stress a cui le strutture possono essere collegate. Questo tipo di analisi (conosciuta con il nome di analisi dinamica) è basato su diverse assunzioni, di seguito riportate:

- ✓ lo scivolamento sulle faglie analizzate avviene secondo direzioni parallele allo sforzo di taglio massimo sul piano di movimento (criterio di Wallace-Bott). Questo assunto richiede come corollario che, al fine di definire il carattere del paleostress, siano presenti in una certa area strutture con orientazione variabile;
- ✓ le strutture analizzate devono essere state attivate in risposta ad uno stesso campo di stress, cioè, in altre parole, il campo di stress regionale deve esser rimasto invariato durante lo sviluppo delle strutture;
- ✓ l'attività di una certa struttura analizzata deve risultare libera ed indipendente rispetto alla deformazione in strutture adiacenti.

Nel quadro geologico dell'Appennino Settentrionale, le Alpi Apuane rappresentano per storia di deformazione fragile un domino omogeneo di bassa deformazione relativa, delimitato ad ovest e ad est da faglie principali (border faults), che separano le stesse Apuane dalle antistanti depressioni tettoniche della bassa Lunigiana/Versilia e della Garfagnana (Ottria & Molli, 2000).
Questo quadro strutturale è classicamente accettato [Federici, 1973; Raggi, 1985] e recentemente ben documentato da:

- ✓ dati termocronometrici (tracce di fissione su Zr, Ap, He, Zr e He, Ap) omogenei alla scala di tutte le Alpi Apuane (Abbate *et alii*, 1994, Fellin *et alii*, 2004; Molli, 2006; Molli & Vaselli, 2006);
- ✓ organizzazione poco evoluta dei sistemi di faglie all'interno del massiccio che mostra un grado di interconnessione molto basso tra le singole strutture;
- ✓ rigetto limitato (da metrico a pluridecametrico) delle singole strutture (ragione per la quale nella maggioranza delle carte geologiche pubblicate le strutture fragili sono trascurate o non cartografate). In queste condizioni regionali di contorno, i criteri d'impiego dei metodi d'inversione, rivolti a definire il campo di stress associabile ad un campo di deformazione fragile (campo di deformazione finita), risultano appropriati, in particolare, per stabilire se esista oppure no una relazione tra il campo di deformazione fragile e lo stato di stress in situ.

In un ammasso roccioso, lo stato di stress in situ è il risultato di varie componenti collegabili a:

- ✓ forze di gravità;
- ✓ stress termoelastici e residuali;
- ✓ stress d'origine tettonica.

Gli stress residuali e quelli d'origine tettonica sono associabili sia a fattori intrinseci del volume di roccia investigato (tipo di roccia analizzato e caratteristiche microstrutturali), sia agli assetti deformativi fragili (entità e distribuzione della fratturazione); da qui deriva la necessità di effettuare uno studio geologico strutturale del campo di deformazione fragile, il quale analizzi geometria, distribuzione spaziale e cinematica delle discontinuità. La deformazione fragile verrà ampiamente illustrata nella parte dedicata all' analisi geomeccanica del giacimento a cui si rimanda.

3.4 Stratigrafia

L'unità metamorfica delle Alpi Apuane appartiene al Dominio Toscano esterno "Autoctono" ed è strutturalmente compresa tra l'Unità di Massa ed il substrato di un dominio più esterno non affiorante (Unità Monte Cervarola? Dominio Ligure?).

3.4.1 Autoctono

L' Autoctono viene suddiviso in:

- Basamento ercinico composto da formazioni paleozoiche interessate anche da metamorfismo e deformazione erciniche
- Copertura alpina mesozoico- terziaria discordante sulle precedenti formazioni paleozoiche

Nell'area estrattiva affiorano solo le formazioni della copertura mesozoica terziaria, di cui descriveremo le caratteristiche più salienti, delle solo formazioni affioranti nell' immediato intorno dell'area di progetto, rimandando alla copiosa letteratura per il dettaglio delle caratteristiche delle formazioni apuane.

3.4.3 Formazioni della Copertura mesozoico-terziaria

Le formazioni della copertura sono ben rappresentate nella zona del Passo Sella, come riportate nelle note illustrative del Foglio geologico Massa e evidenziate nella figura seguente.

Fig.14 ripresa da "Note Illustrative Foglio nr.249 Massa

- ✓ Grezzoni – età Norico

I Grezzoni affiorano a sud ovest del Monte Macina dove formano una piega parassita di prima fase con piano assiale N170, sottostante l'anticlinale del Monte Tambura. Si tratta di dolomie grigio chiare o grigio scure in cui sono preservati gli originari caratteri stratigrafici, compatte o grossolanamente stratificate con patine di alterazione cineree. Nella parte bassa della formazione sono presenti delle brecce monogeniche con cemento dolomitico di colore grigio scuro e sottili livelli di peliti che si intercalano in banchi di dolomia compatta e di colore grigio chiaro o biancastro. La formazione risulta fortemente deformata e ridotta formando una sheath fold che si apre verso NW con piano assile immergente verso questa direzione.

- ✓ Marmi s.s.- età Lias inf.

La formazione dei marmi è composita e oggetto di continue revisioni soprattutto per la definizione delle varietà merceologiche in essa contenute. Verranno quindi descritte le varietà merceologiche più rappresentative dell'area di progetto, tralasciando l'interpretazione, spesso controversa e non ancora risolta della attribuzione della varietà "Marmo Fantastico" a volte associata ai marmi altre volte a formazioni più giovani, fino a farle rientrare tra quelle dei Calcari Selciferi ad Entrochi.

Nell'area in oggetto abbiamo le seguenti varietà merceologiche:

- Bardigli

I Bardigli sono marmi di colore grigio scuro in livelli di spessore metrico, al massimo decametrica, in alternanza ai livelli di arabescato o marmo bianco. Non hanno quindi una collocazione stratigrafica precisa e ben definibile. La grana e simile a quella dei marmi bianchi con struttura granoblastica.

- Arabescati

I marmi arabescati sono particolarmente abbondanti nella zona della cava Faniello e in quelle delle cave del Tombaccio. Sono costituiti da brecce monogeniche eterometriche di colore bianco o leggermente avorio con matrice sottile di colore grigio chiaro, talvolta verdastra, formata in prevalenza da carbonato di calcio con subordinate livelli filladici formati da muscovite e clorite. Gli elementi delle brecce denotano una forte deformazione con notevole allungamento dei clasti e perdita della continuità della matrice che risulta in diversi tagli di cava discontinua e sfrangiata attorno agli clasti marmorei.

- Calacatta

Questa varietà prevale nelle piccole cave a nord ovest della cava Faniello, come nella cava Serra delle Volte in cui gli arabescati sono associati ad una varietà non brecciata di colore bianco avorio o leggermente giallognola con venture di colore verde chiaro o grigie simili come colore alla varietà del Calacatta Carrara, ma diversa per venatura e struttura.

- ✓ Metacalcari con selce, età- Lias med- inf.

Metacalcilutiti grigio scure con liste e noduli di selce e livelli di metacalcareniti in strati e potenze variabili. Le liste di selce sono abbondanti con spessore variabile da pochi mm a alcuni centimetri. Localmente sono presenti delle brecce debritiche, come si osserva lungo la strada per la cava Borella, nel Comune di Vagli. Sono alternate nella parte superiore alla formazione dei calcescisti, che nell'area non ha spessori cartografabili.

- ✓ Metaradiolariti – (Diaspri) - età Malm

Metaradiolariti rosse o violacee talvolta verdastre o grigio chiare, sottilmente stratificate, con intercalazioni di filladici quarzitiche di colore rosso violaceo. Nella parte superiore sono costituite da calcarei silicei metamorfici e filladi carbonatiche.

- ✓ Calcari selciferi ad Entrochi – età Titonico sup.- Cretaceo Inf.

Calcari selciferi metamorfici, formati da calcilutiti grigio chiare o color avorio ben stratificate e con liste e noduli di selce spesse, 2-3 cm, di colore bianco avorio. La parte superiore della formazione è formata da metacalcareniti grigie con strati di selci potenti con spessori di diversi centimetri.

- ✓ Scisti sericiti – età Cretaceo inf.- Oligocene

Metapeliti verdi o violacee con intercalazioni di metacalcareniti di colore verde scuro. Nella valle di Arni alla base della formazione sono presenti delle metabrecce calcaree policrome contenenti blocchi di marmo di colore biancastro e meta-calcilutiti di colore rossastro e metacalcari di colore rossastro o

giallognolo con abbondanti resti di crinoidi. La matrice delle brecce è costituita da metapeliti e scisti marnosi di colore violaceo o rossiccio. A valle della zona di progetto sono abbondanti le metacalcareniti torbiditiche verdastre con venature di calcite biancastra, note come Cipollino che costituiscono un membro della formazione degli scisti sericitici. Questo membro è caratterizzato da alternanze di calcareniti e livelli pelitici di colore verde o grigio chiaro.

- ✓ Pseudomacigno – età Oligocene sup.- Miocene inf.

Si tratta di metarenarie feldspatiche a grana medio grossa, in banchi da metrici a decametrici poco mature di colore grigio plumbeo, che nella parte superiore della formazione diventano meno spessi e alternati a livelli di metapeliti e metasiltiti di colore nero antracite che prendono il nome di Ardesie Apuane. Sono presenti nei pressi dell'abitato di Campagrina.

3.4.1 3.4.4 Depositi Quaternari

- ✓ Detriti eluvio colluviali- età Quaternario
- ✓

Questi lembi detritici derivano dai processi di alterazione e disgregazione delle rocce della copertura mesozoico terziaria con spessori ed estensioni molto variabili che si sono accumulati lungo i versanti dei rilievi o incanalati dei displuvi naturali.
Le coperture più importanti sono costituite da un'abbondante matrice prevalentemente pelitica di colore grigio scura, formando delle spesse coltri su cui si è sviluppato un suolo prevalentemente argilloso con clasti filladici. Gli accumuli maggiori sono presenti negli intorni dell'abitato di Arni, dove in passato sono stati terrazzati ed utilizzati a fini agricolo. Questo accumuli non hanno alcuna diretta influenza con il sito di estrazione.

- ✓ Detriti di falda età Quaternario – Attuale

Sono accumuli di materiale prevalentemente calcareo di colore grigio scuro al piede dei rilievi principali, originato dalla frantumazione delle pareti rocciose e privo praticamente di matrice. Questi accumuli naturali costituiti prevalentemente in era post glaciale, ma alimentati anche in epoca recente, hanno assunto nel tempo un angolo di riposo che li rende stabili ed una colorazione grigia scura, indipendentemente dalla roccia madre di origine.

- ✓ Detriti antropici (ravaneto) età recente

Sono costituiti dall'accumulo di materiali di scarto provenienti dalla passata escavazione delle cave. I detriti sono stati accumulati a valle della cava Fantastico e lungo il Torrente Secco a monte della stessa cava. Non hanno diretta influenza con l'area destinata all'attività di scavo in quanto sono stati accumulati, nella zona di proprietà a valle della zona adibita dal PABE ad area estrattiva.

4 Caratteristiche tecniche del materiale lapideo

Le caratteristiche tecniche del marmo Arabescato sono contenute nel volume "The Tuscan Marble Identities" edito dalla Regione Toscana di cui si riprotano le caratteristiche fisico meccaniche e una foto tipica del materiale.

UGO D ORIGINE
ACE OF ORIGIN

AZZEMA (LUCCA)

MACROSCOPIC DESCRIPTION

LITOTIPO A GRANA FINE, VENATO, CON VENATURE RETTILINEE O CONVOLUTE COSTITUITE DA LAMINE DA MICROMETRICHE A MILLIMETRICHE DI COLORE VERDE, GRIGIO, NERO, LOCALMENTE ROSSASTRO, ALTERNATE A STRATI FINO A PLURICENTIMETRICI DI COLORE BIANCO LOCALMENTE TENDENTE AL BIANCO AVORIO. IL MATERIALE È COMPATTO.
A FINE-GRAINED, VEINED LITHOTYPE WITH STRAIGHT OR CONVOLUTED VEINS COMPOSED OF MICROMETRIC TO MILLIMETRIC LAMINAS THAT ARE GREEN, GREY, BLACK AND IN PLACES REDDISH IN COLOUR, ALTERNATING WITH LAYERS UP TO PLURICENTIMETRIC IN THICKNESS AND WHITE IN COLOUR, IN PLACES VERGING ON IVORY WHITE. THE MATERIAL IS COMPACT.

FANTASTICO ARNI

CARATTERISTICHE DEI BLOCCHI E DELLE LASTRE
BLOCK AND SLAB CHARACTERISTICS

I BLOCCHI HANNO DIMENSIONI MEDIE DI 2,30 X 1,30 X 1,30m
LA DIREZIONE DI TAGLIO PREFERENZIALE È AL CONTRO O AL SECONDO.
AVERAGE SIZE OF BLOCKS: 2,30 X 1,30 X 1,30m.
SLABS ARE PREFERABLY CUT AGAINST THE GRAIN OR PERPENDICULAR TO THE GRAIN, I.E. THE HARD WAY OR THE EASY WAY.

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE
PHYSICAL MECHANICAL CHARACTERISTCS

NORMA		U.M.	VAL.MEDIO	DEV. ST
EN 13755-08	ASSORBIMENTO D'ACQUA A PRESSIONE ATMOSFERICA	%	0,23	0,03
EN 1936- 07	MASSA VOLUMICA APPARENTE	Kg/M³	2710	5,2
EN 1936-07	POROSITÀ APERTA	%	0,6	0,05
EN 12372-07	RESISTENZA A FLESSIONE CON CARICO CONCENTRATO			
	(ALLO STATO NATURALE)	MPa	10,8	2,7
	(EN 12371-03 DOPO 48 CICLI DI GELO)	MPa	10,3	2,8
EN 1926-07	RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE	MPa	91,8	12,3
EN 14231-04	RESISTENZA ALLO SCIVOLAMENTO:			
	FINITURA LEVIGATA (SECCO)	USRV	60	2
	FINITURA LEVIGATA (BAGNATO)	USRV	23	2
STANDARD		U.M.	MEAN VALUE	ST.DEV.

Fig.15- caratteristiche meccaniche del marmo Fantastico (The Tuscan Marble identities)

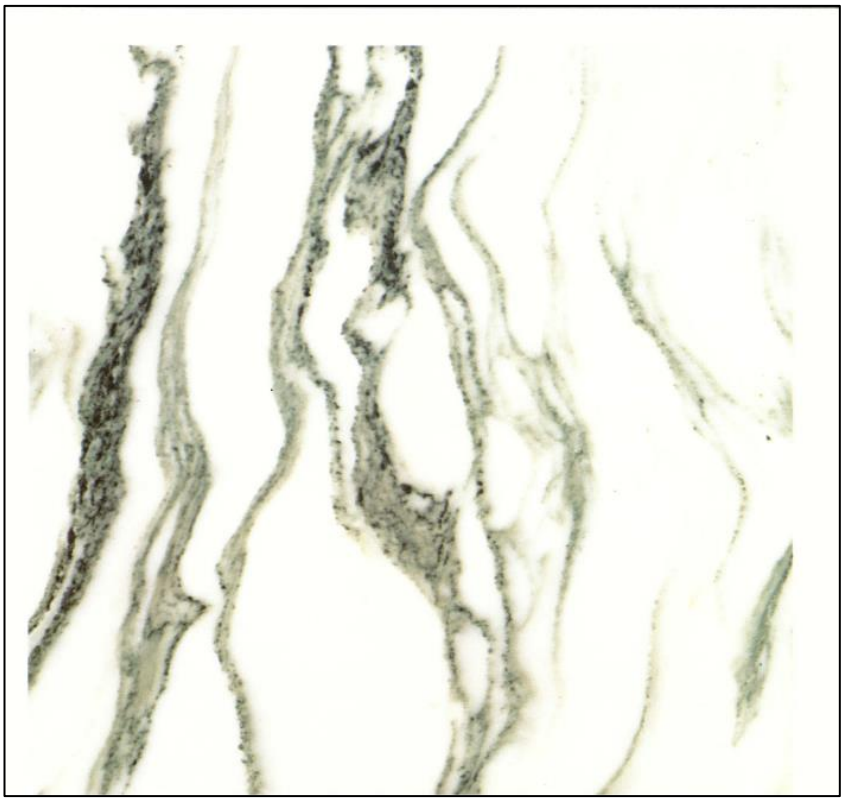


Fig.16- caratteristiche cromatiche del marmo Fantastico

Dalle analisi riportate risulta che il Fantastico ha ottime caratteristiche in termini di compressione, con valore di 91,80 MPa e di flessione 10,8 MPa, possiede una ridotta riduzione della flessione dopo cicli di gelività scendendo a 10.3 MPa, questo significa che l'utilizzo in ambienti esterni freddi, non comporta fenomeni di rottura legati ai cicli di gelo/disgelo.

5 Geomorfologia

L' area estrattiva del Bacino Monte Macina è localizzata lungo il Canale Torrente Secco ad una quota altimetrica tra 1230 e 1000 m, la Cava Fantastico lungo le pendici sud orientali del Monte Macina si trova ad una quota altimetrica variabile da 1090 e 1140 m s.l.m, mentre la cava Faniello si sviluppa a cielo aperto tra le quote 1078 e 1094 m e la cava Tombaccio sul lato opposto della valle a quota 1120 m circa. La morfologia dell'area è caratterizzata da versanti acclivi con pareti rocciose aspre e strapiombanti quasi del tutto prive di vegetazione o ricoperte da una rada vegetazione prevalentemente erbacea. Le pendenze dei versanti e dei torrenti è molto elevata tendenti in molti tratti alla verticalità. Le aste torrentizie sono molto ripide sul versante orientale, dove sono presenti gole e forre molto strette con pendenze elevate.
Dalle cartografie è ben evidente la forma glaciale della valle da cui nasce la Turrite Secca con asse nord sud e dalla tipica forma a goccia racchiusa tra il Monte Sella a nord, il Monte Macina ad ovest ed il Monte Fiocca ad est con ghiacciai minori nel Canale di Nicola e del Fosso del Burrone e Fosso del Mantello sul lato orientale. La valle della Turrite Secca ha una forma dissimmetrica con canali molto ripidi e pronunciati sul lato orientale che suddividono lo spartiacque del Monte Fiocca Sella in valli profonde e strette, e canali meno pronunciati ed una morfologia più regolare e continua sul lato opposto dello spartiacque M. Macina-Schienale dell'Asino.
La presenza dei ghiacciai è ben documentata dagli spessi affioramenti di morena che orlano tutta la valle su cui sorge l'abitato di Arni, dove terminava il ghiacciaio del monte Sella. La forma ed estensione dei ghiacciali è indicata nella "Ricostruzione degli antichi ghiacciai sulle Alpi Apuane "S.Braschi et alii, 1987", che viene riportata nella figura seguente.

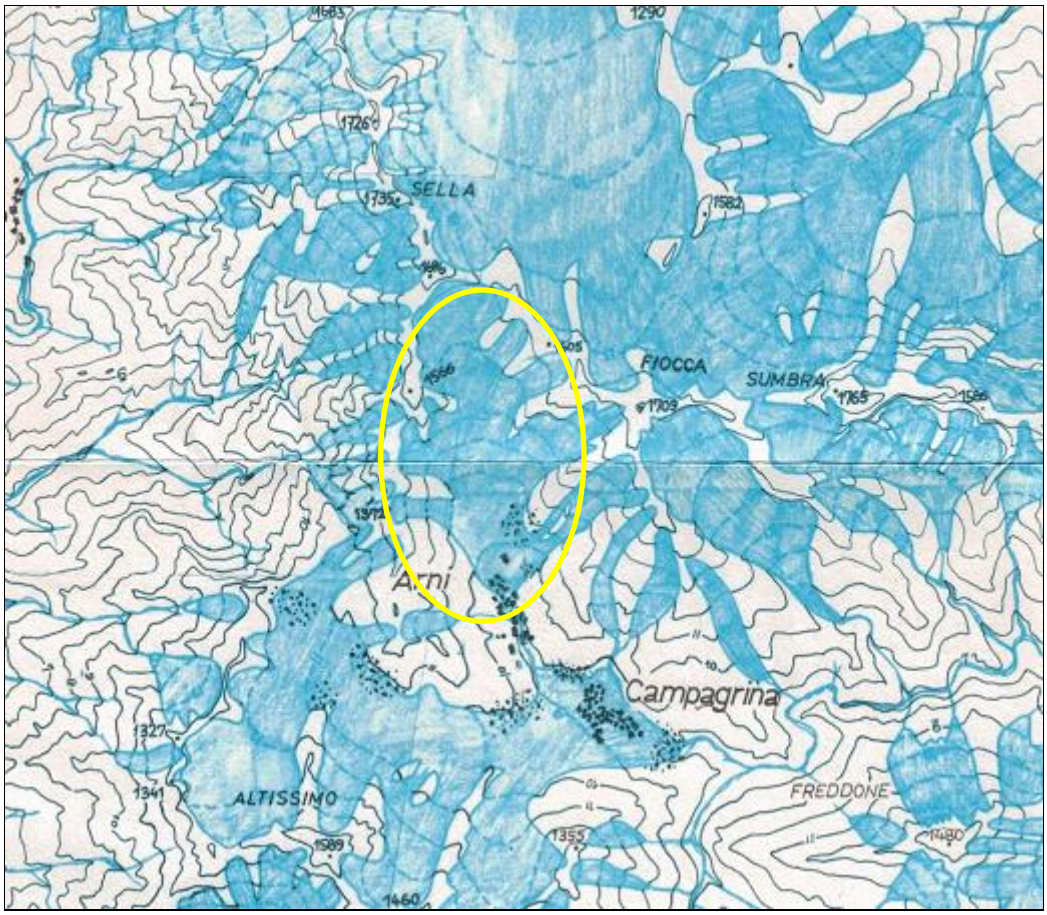


Fig.17 – Carta dei ghiacciai delle Alpi Apuane (Braschi et Alii) evidenziato il ghiacciaio di Arni

La morfologia glaciale è in parte stata erosa da quella fluviale conseguente al cambiamento climatico ed al progressivo sollevamento della catena montuosa, dovuto al riassetto litostatico che ha caratterizzato la fase tardiva della deformazione tettonica.

La valle del Torrente Secco in cui si trova la cava Fantastico ha subito importanti cambiamenti in conseguenza della apertura di diversi cantieri estrattivi, tra cui quelli in oggetto, che oltre a modificare l'aspetto generale hanno lasciato importanti accumuli di materiali inerti sia nella valle principale che in quelle laterali. Buona parte di questi ravaneti sono stati rimossi con interventi di recupero che però non si sono conclusi in ripristini adeguati avendo lasciato in molti punti accumuli di materiale detritico fine, e non provvedendo in alcun caso alla riprofilatura dei vecchi fronti, che in molti casi presentano pareti strapiombanti instabili e pericolose. Nella parte bassa del canale in prossimità del centro abitato sono ancora presenti spessi accumuli di materiali detritico fine, che con l'alta energia torrentizia, tipica di questi versanti, possono dar luogo a colate di tipo debris flow.

Nella Tavola QG8.9 – geomorfologia della scheda 8 Bacino Monte Macina è riportata la geomorfologia dell'area di bacino, in cui vengono riportati i perimetri dei ravaneti con una suddivisione per classi granulometriche. Oltre ai ravaneti in questa carta vengono indicate le pareti di cava e le aree di gestione dei derivati lapidei di estrazione. Il torrente Turrite secca o Torrente Secco ha una circolazione idrica solo stagionale e legata alle precipitazioni piovose, risultando quindi asciutto quasi tutto l'anno, mancando anche una sorgente di alimentazione a monte dello stesso. Il canale ha una circolazione prevalentemente torrentizia con scorrimento veloci dati dalla pendenza e dalla abbondanza delle precipitazioni concentrate in un lasso di tempo limitato.

5.1.1 Carsismo

La Valle della Turrite Secca è prevalentemente ricavata in rocce carbonatiche, prevalendo gli affioramenti di marmo nella parte sommitale per passare poi ai cipollini poco sotto la cava Tombaccio e Fantastico, quindi formata in rocce permeabili per fessurazione e carsismo. Tuttavia il carsismo, tenuto

conto anche delle acclività non è così sviluppato come nel versante opposto della Valle di Arnetola e del tutto assente quando affiorano i cipollini e più a sud lo Pseudomacigno. Il carsismo dell'area è testimoniato più che da grotte ed abissi da campi carreggiati e piccole doline nelle zone meno acclivi Le cavità rilevate ed esplorate sono solo due con estensione e sviluppo verticale modesto, se paragonate alle grotte della zona di Vagli, nel catasto regionale sono infatti riportate solo le cavità Collettino e Lilliput che non si trovano nelle vicinanze delle cave oggetto del progetto. La cavità Collettino si trova a monte dell'area Serra delle Volte ad una quota 1555 m e sul versante opposto del canale, mentre La Buca Lilliput è ubicata a quota di 1300 m, in uno dei canali laterali che si aprono nello spartiacque principale risultando molto lontana dalla zona di estrazione. La grotta Buca del Collettino si sviluppa in un unico pozzo verticale con un modesto sviluppo in pianta seguendo la scistosità di prima fase che in questa zona è sub-verticale. La Grotta Lilliput ha uno sviluppo più complesso con rami laterali paralleli ed uno sviluppo spaziale di circa 450 m, che ne fanno una cavità più articolata, ma comunque modesta. Entrambe le cavità terminano a quote molto superiori a quella della cava Fantastico ed i loro ingressi sono molto lontani dalla zona di scavo prevista nel presente progetto.

N° Catastale	Nome	Località	Morfologia	Geologia	Idrog.	Profondità
826	Buca del Collettino	Turrite Secca	Pozzo vert.	Marmi s.s.	Assorb.	130
1033	Grotta Lilliput	Canale di Nicola	Pozzo vert.	Marmi s.s.	Assorb.	127

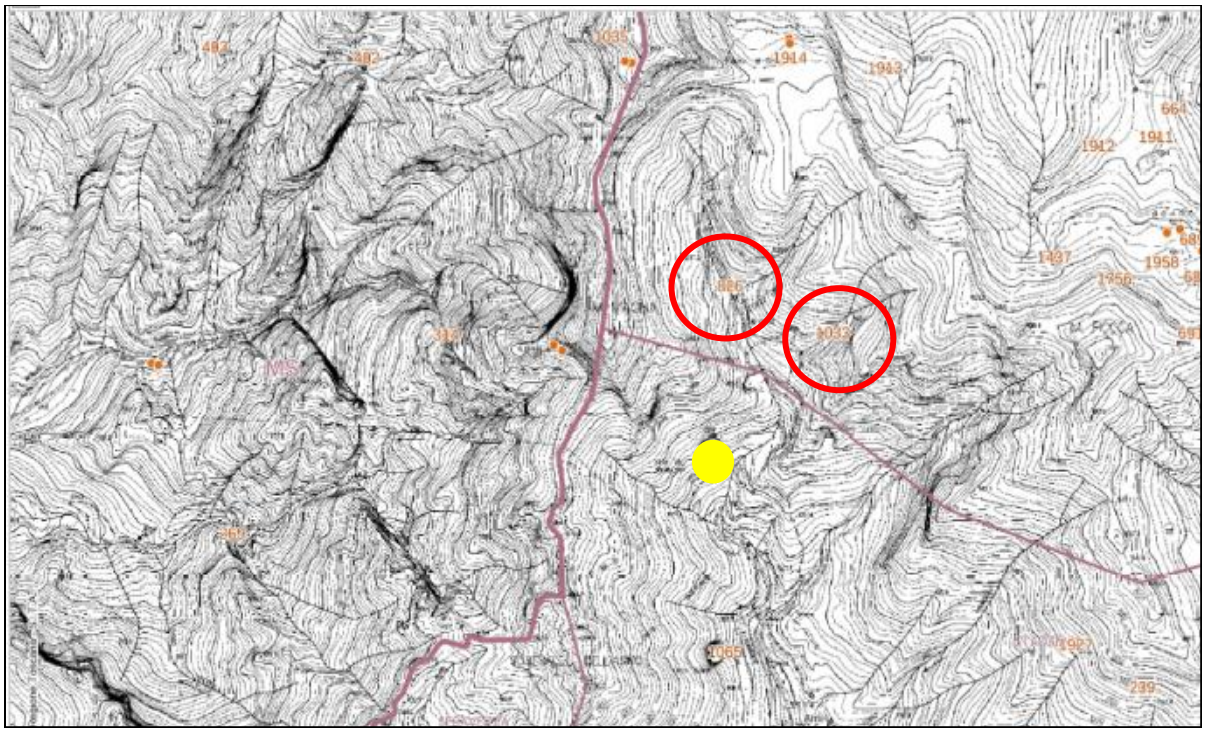


Fig. 18– localizzazione delle grotte rilevate da Catasto Federazione speleologica Toscana in rosso, posizione della cava in giallo

6 Pericolosità dell'area di estrazione

La pericolosità dell'area di progetto viene valutata sulla base del PABE del Comune di Stazzema e e del PAI dell'Autorità di Bacino Appennino Settentrionale.

6.1 Pericolosità geomorfologica e sismica

Nelle cartografie dell'Autorità di Bacino Fiume Serchio la zona di progetto risulta in area priva di pericolosità geomorfologica e in parte ricoperta da ravaneto (indicato con Rv). Nella cartografia del PABE la cava viene indicata con i nomi Tombaccio Nocellaio e Prunetti. La cava Prunetti è priva di

pericolosità geomorfologica, mentre quella del Nocellaio per la presenza del detrito viene inserita in classe di pericolosità G3. Nella cartografia del PAI Fiume Serchio il cantiere Prunetti è privo di pericolosità, in quello del Nocellaio viene riportata la presenza della formazione degli Scisti Sericitici "Sc", con potenzialità franose per caratteristiche litologiche. Non sono presenti aree di frana quiescenti o attive.

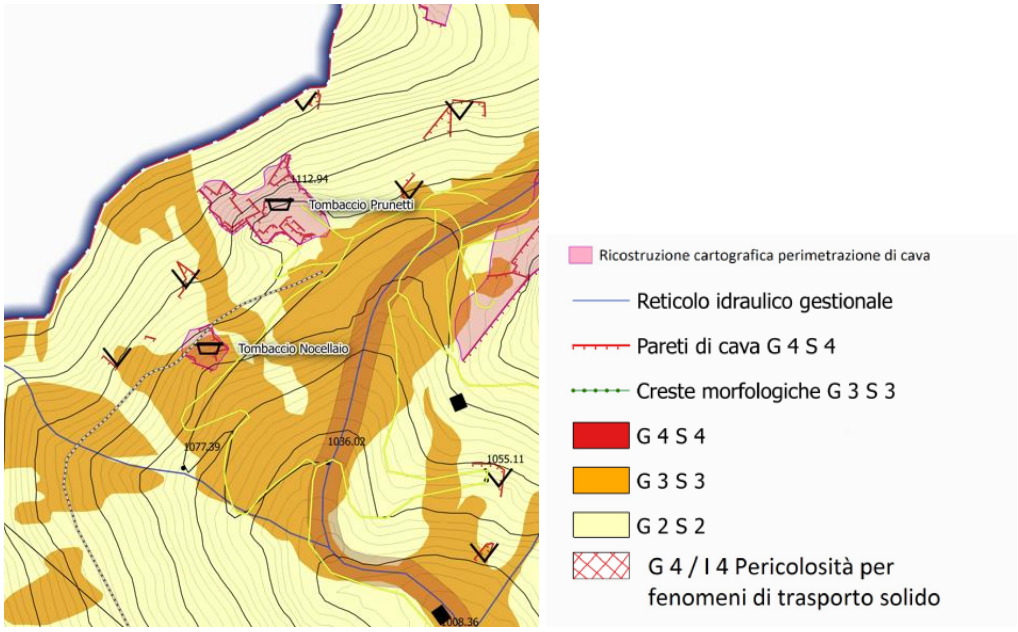


Fig.19 -estratto da QG8.11 PABE del Bacino M. Macina comune di Stazzema, in rosa perimetro dell'area di cava, che si sovrappone all'area G3S3 risultando di colore ocra scuro

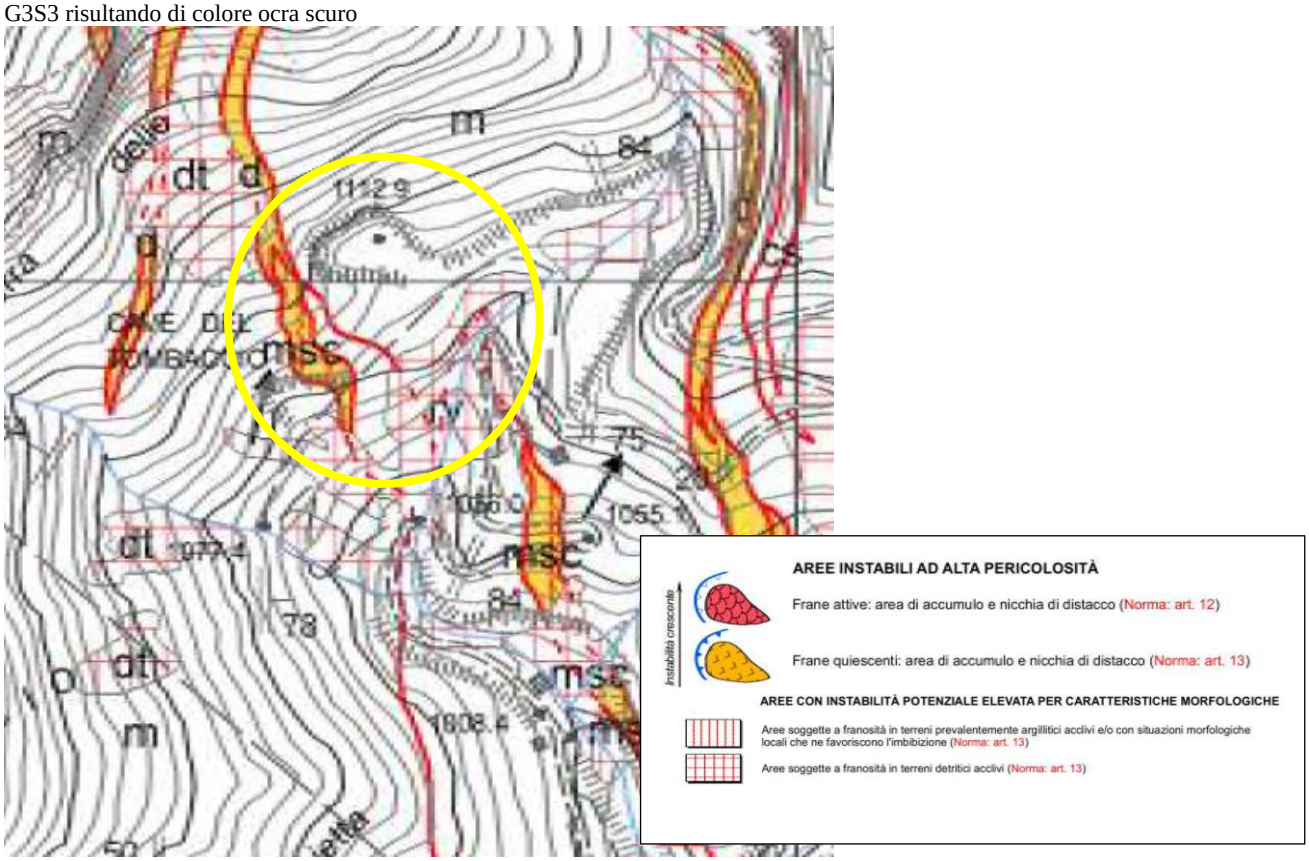


Fig.20-estratto da PAI Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale

L'area di progetto dovrebbe quindi essere classificata in classe G2S3 essendo di fatto priva di pericolosità geomorfologica poiché il poco detrito ancora presente sul piazzale accumulato su un'area pianeggiante. Tutta l'area di scavo risulterebbe su affioramento roccioso privo di pericolosità come correttamente

indicato nelle cartografie del PAI Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale. Per l'inquadramento della pericolosità dell'area di progetto si rimanda alla Tav.5 - Pericolosità geomorfologica, in cui viene riportata la cartografia del PAI Fiume Serchio.

6.2 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica viene riportata nella tavola QG8.11- Carta della pericolosità geomorfologica e sismica e corrisponde per l'area di progetto alla classe del PAI S3 - Elevata Pericolosità.

6.3 Pericolosità idraulica

L'area è priva di pericolosità idraulica quindi inquadrabile nella classe I1, in quanto l'area di progetto non interferisce con il reticolo idraulico del Torrente Secco. Si rimanda comunque alla Tavola 5b- Carta della pericolosità idraulica per il corretto inquadramento dell'area di progetto.

6.4 Fattibilità

In base alle classi di pericolosità dell'area ed alla tipologia degli interventi è possibile definire le condizioni di Fattibilità utilizzando gli abachi presenti nel PABE, redatti dalla Regione Toscana.
La fattibilità di tutti gli interventi previsti verrà dettagliata nell'allegato fuori testo riportato a fine relazione.
Di seguito si indicano gli interventi principali previsti nel progetto di coltivazione.

PERICOLOSITA'		Pericolosità geologica			Pericolosità idraulica (tra parentesi le pericolosità del Distretto Appennino Settentrionale)				Pericolosità sismica (desunta da Carta degli elementi generali con rilevanza sismica)			
Tipologia interventi		2	G3	G4	I1	I2 (I1) Tr >500	I3 (I2) Tr 200	I4 (I3) Tr 30	S1	S2	S3	S4
1) piazzali di cava	FATTIBILITA'	FG3	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI2	FS1	FS1	FS1	FS1
2) nuovi fronti di coltivazione a cielo aperto e scarpate naturali connesse		FG3	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI2	FS1	FS2	FS3	FS3
3) nuovi ingressi in galleria		FG3	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI2	FS1	FS2	FS3	FS3
4) escavazione in sotterraneo		FG3	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI2	FS1	FS2	FS3	FS3
5) area di stoccaggio temporaneo di materiali da taglio per uso ornamentale[1], come definiti dall'art. 2, comma 1, lett. c, punto 2.1 della LR 35/2015)		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS1	FS1	FS1
6) area di stoccaggio temporaneo di derivati dei materiale da taglio per uso ornamentale[2], come definiti all'art.2, comma 1, lett. c, punto 2.2 della LR 35/2015.		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS1	FS1	FS1
7) area di stoccaggio temporaneo di materiale secondario di lavorazione utilizzabili in altri cicli produttivi, ovvero "sottoprodotti"[3] da destinare al mercato, dichiarati tali nelle autorizzazioni rilasciate ai sensi della LR 78/98		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS1	FS1	FS1

Fig.21 Tabella delle condizioni di Fattibilità degli interventi

7 Sismicità dell'area

Il Comune di Stazzema risulta inserito in zona sismica 3, ovvero a bassa sismicità, della classificazione sismica nazionale di cui all' OPCM 3274/03, ed alla Delibera G.R.T del 19.06.2006 nr 431, che recependo la PRCM 3519/06, ha riclassificato i comuni a maggior rischio sismico, a cui corrisponde una

PGA= 0,150g. Nella cartografie del PABE, che riprende senza alcuna modifica la classificazione del PAI, la zona di progetto è stata interamente inquadrata tra le aree con pericolosità sismica elevata Classe S3. Per quanto riguarda l'aspetto legato all'amplificazione dei terreni in relazione all'azione sismica, le caratteristiche litologiche del suolo nell'area di intervento, (substrato roccioso continuo sub-affiorante), consentono di classificare il terreno di fondazione nella categoria "A" *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*, trattandosi nelle aree di scavo, di ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di *vs* superiori a 800 m/s (vd. Classificazione dei suoli secondo D.M. NTC 2018). Tenendo conto delle caratteristiche morfologiche dei rilievi con inclinazione media>30°, l'area di progetto ricade nella categoria T4 (vd.Tab.1), considerando la morfologia prevalentemente bidimensionale.

Tabella 1

Categoria	Caratteristica della superficie topografica (tab.1)
T1	Superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazioni media i <15°
T2	Pendii con inclinazione media > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°>i>30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i>30°

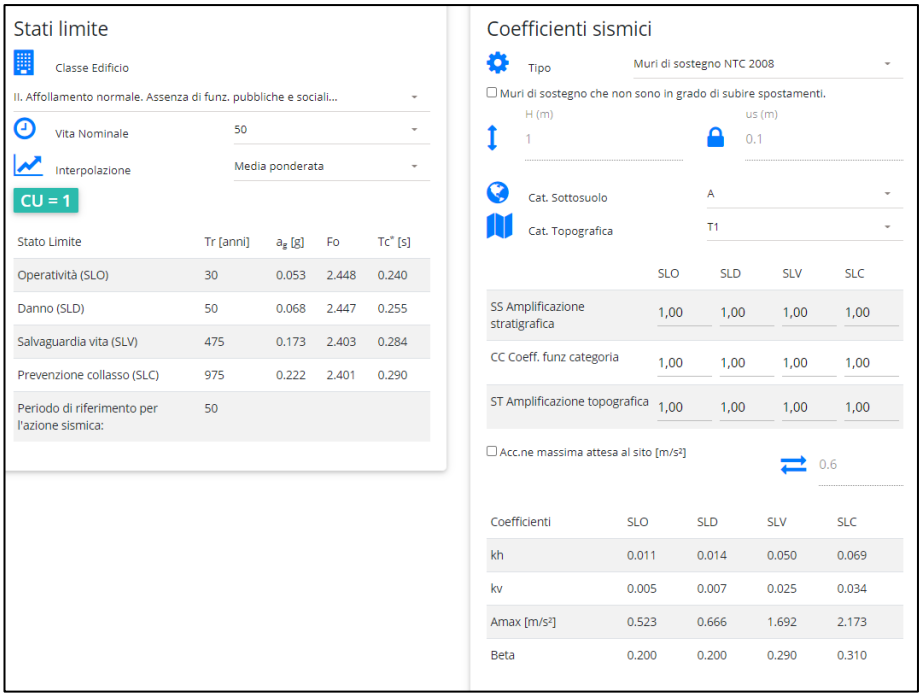
Inoltre per tener conto delle condizioni topografiche ed in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S*T*, riportati nella tabella 2, in funzione delle categorie topografiche indicate nella tabella precedente e dell'ubicazione dell'opera di progetto.

Tabella 2

Categoria	Ubicazione dell'opera di progetto (tab.2)	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

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografico è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio, dalla sommità fino alla base dove S*T* assume valore unitario. Il fattore di correzione per l'area di progetto è quindi ***1.4***. Con l'entrata in vigore del D.M 14.01.2008 e dell'aggiornamento NTC 2018, la stima della pericolosità sismica deve essere valutata mediante un approccio definito "sito indipendente", attraverso la definizione dei parametri e coefficienti simici propri dell'area di intervento. Come definito nell' Allegato A del suddetto decreto si riportano nella Tabella 3 i parametri e coefficienti sismici utili per ricostruire lo spettro di risposta elastico ed eseguire le verifiche SLU e SLE in condizioni simiche, ovvero SLV, SLC e SLO e SLD. Questi parametri dovranno essere utilizzati per il calcolo e le verifiche degli eventuali interventi di stabilizzazione dei fronti o dei rilevati previsti nel sito di estrazione. Non è prevista la costruzione di alcuna fondazione in quanto si utilizzeranno solo strutture provvisorie per le necessità correnti di cantiere.

Tabella 3 - coefficienti simici dell'area di progetto



Stati limite

Classe Edificio: II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.053	2.448	0.240
Danno (SLD)	50	0.068	2.447	0.255
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.173	2.403	0.284
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.222	2.401	0.290
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Muri di sostegno NTC 2008

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 — us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: A

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.014	0.050	0.069
kv	0.005	0.007	0.025	0.034
Amax [m/s²]	0.523	0.666	1.692	2.173
Beta	0.200	0.200	0.290	0.310

8 Idrogeologia

Il bacino idrogeologico del Canale della Turrite Secca, analogamente a tanti altri bacini delle Alpi Apuane, è caratterizzato da formazioni calcaree, prevalentemente marmi, con un'alta permeabilità per fratturazione e carsismo, la presenza di rocce impermeabili proprio sullo spartiacque favorisce lo scorrimento delle acque nel bacino, che data l'acclività dello stesso, hanno un'alta velocità di scorrimento durante gli eventi maggiori.
Lo schema idrogeologico è stato studiato da molti Autori che hanno rilevato l'importanza della risorsa idrica contenuta e della fragilità idraulica, (Civita et al. (1990), Forti P. et al. (1993), Piccini et al. (1997), Pranzini (1999)). Più recentemente è stato eseguito nel 2007 dal Centro di Geotecnologie dell'Università di Siena lo "Studio idrogeologico prototipale del corpo idrico sotterraneo significativo dell'acquifero carbonatico delle Alpi Apuane, Monti d'oltre Serchio e Santa Maria del Giudice", in cui risulta che l'area di progetto fa parte del sistema idrogeologico della sorgente del Fiume frigido.
Le litofacies carbonatiche sono caratterizzate da un'alta permeabilità per fatturazione e carsismo quindi da un elevato coefficiente d'infiltrazione. La circolazione profonda, avviene lungo condotti carsici e fratture allargate dalla dissoluzione dei carbonati. Le acque meteoriche si infiltrano sino ad incontrare la zona satura in corrispondenza della sorgente di Renara (Piccini et al.1989). Le acque che invece non si infiltrano e scorrono in superficie alimentano in parte la sorgente che si trova nei pressi della diga di Isola Santa in parte quella della Polla sul lato opposte di monte Altissimo.
Le sorgenti sono assenti nella parte alta del bacino o con portate inferiori a 5l/s divenendo più significative ed importanti dove aumentano gli spessori sia dei depositi fluvio - morenici che dei Cipollini, che essendo meno permeabili raccolgono e concentrano le acque piovane nei sistemi di frattura per poi fuoriuscire con sorgenti alle quote più basse. Si tratta comunque di sorgenti con portate inferiori a 10 l/s.
Nella figura 21- Carta idrogeologica vengono indicate le linee di deflusso superficiali ed i vari litotipi caratterizzati da diversa permeabilità, nella zona di cava sono presenti i seguenti litotipi:

a- Litotipi ad alta permeabilità (classe V): sono costituiti dai marmi. che sono rocce permeabili per fratturazione e carsismo.

b- Litotipi a media permeabilità (classe III): per fratturazione e carsismo, risultano meno permeabili dei marmi e sono costituiti da rocce carbonatiche con abbondanti livelli scistosi (calcescisti), formazione dei Cipollini con intercalazioni di livelli propriamente scistosi, occupano tutta la parte centrale della

valle di Arni e nella zona di cava affiorano su entrambi i lati della valle, dove hanno per uno spessore ridotto (10/15 m).

c- Litotipi a permeabilità bassa (classe I e II): Sono costituiti dagli Scisti Sericiti ed i Diaspri che affiorano a nucleo delle sinclinali. Sono affioramenti ridotti stirati e discontinui che marcano ed evidenziano la presenza di pieghe multiple di prima fase.

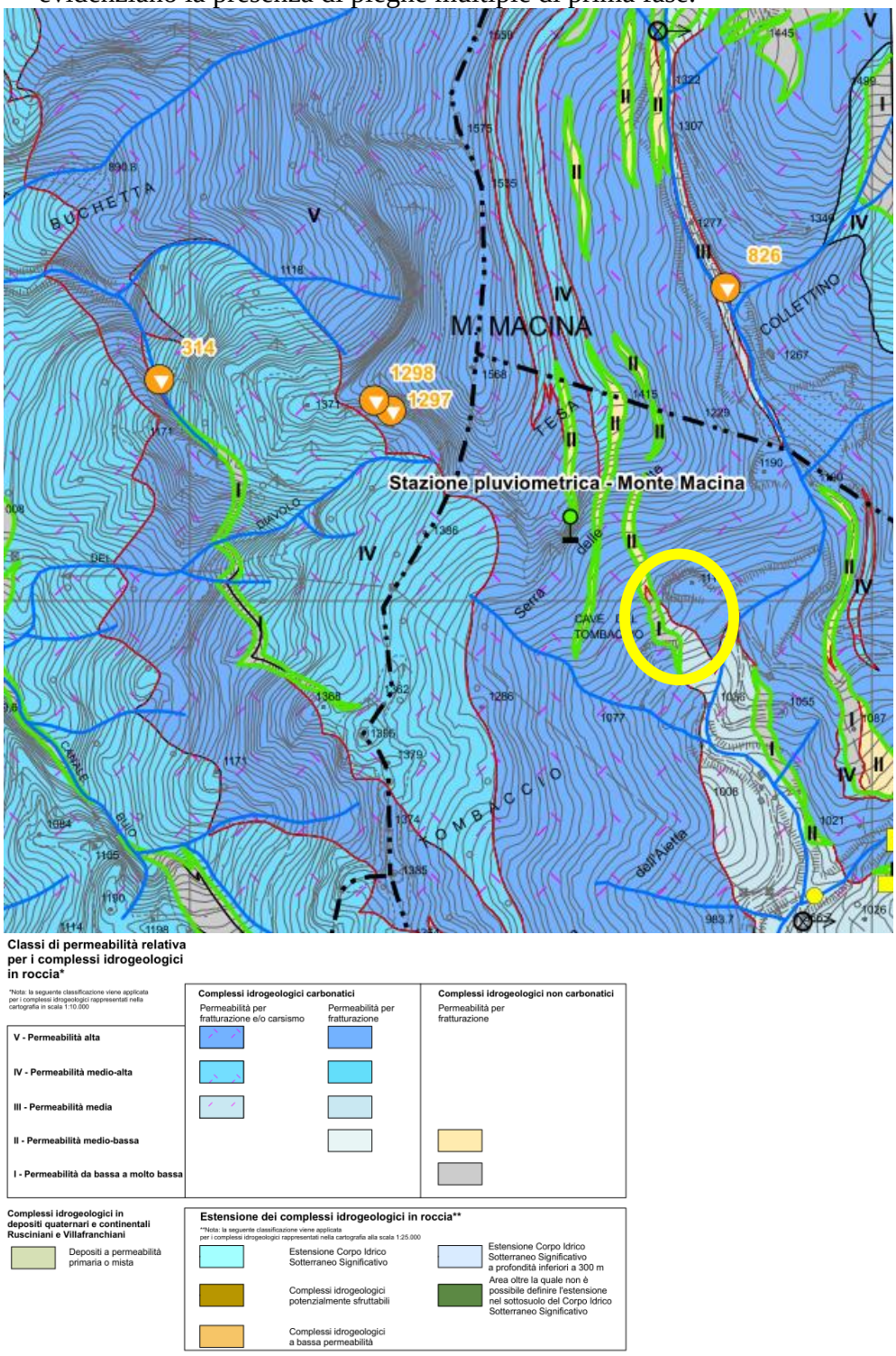


Fig.22 Carta idrogeologica e classi di permeabilità, in giallo area di intervento

Nella pubblicazione "Le risorse idriche dei complesso carbonatici del comprensorio apuo-versiliese" L.Piccini, G.Pranzini, L.Tredici e P. Forti (1999) viene riportato il bilancio annuo dei sistemi idrogeologici tra cui quello della Pollaccia in cui ricade l'area in esame (vd. Tabella seguente) e per il quale gli Autori

non escludono interferenze anche con il lago di Vagli, data la complessità della situazione geologico strutturale, quindi un bacino molto ampio ed importante secondo solo a quello del Frigido.

Tabella 3. Bilancio annuo dei sistemi idrogeologici. S = superficie, H = quota media, P = precipitazione media, T = temperatura media, E = evapotraspirazione media, Cie = coefficiente d'infiltrazione efficace, I = infiltrazione media, RID = risorsa idrica dinamica, RIC = risorsa idrica captata, RS = risorsa idrica ulteriormente sfruttabile, QS = portata complessiva delle sorgenti (da misure inedite e dati bibliografici).

Sistema idrogeologico	*Formaz. affioranti*	*S km²*	*H xm*	*P mm*	*T °C*	*E mm*	*P-E mm*	*Cie %*	*I mm*	***RID l/s***	*RIC l/s*	*RS l/s*	*QS l/s*
Torano	m, gr	4,50	546	1711	11,9	639	1072	75	804	**115**	*40*	*75*	*105*
Carrara	m, gr	19,06	742	1794	10,7	598	1196	75	897	**542**	*220*	*322*	*545*
Cartaro	m, gr	9,43	838	1924	10,2	581	1343	75	1007	**301**	*160*	*141*	*400*
Frigido	m, gr	34,48	1146	2886	8,3	528	2358	60	1415	**1547**	*15*	*1532*	*1550*
Bergiola	br	4,25	400	1400	12,8	652	748	65	486	**66**	*40*	*26*	*40*
Renara	m, gr	7,62	1010	3064	9,1	557	2507	65	1629	**394**	*0*	*394*	*200*
Altissimo	m, gr	3,20	1104	2827	8,5	536	2291	60	1375	**139**	*5*	*134*	*90*
Antona	gr	1,14	650	2298	11,3	632	1666	60	999	**36**	*0*	*36*	*9*
Focoraccia	m, gr	0,74	850	2547	10,1	589	1958	60	1175	**28**	*0*	*28*	*5*
Madielle	m, gr	2,47	731	2142	10,8	610	1532	70	1072	**84**	*0*	*84*	*60*
Pollaccia	m, gr	25,82	1108	3081	8,5	537	2544	55	1399	**1146**	*0*	*1146*	*800*
Corchia	m, gr	8,31	938	2650	9,6	570	2080	55	1144	**301**	*2*	*299*	*150*
Panie	m, gr	10,50	1054	2877	8,9	547	2330	60	1398	**465**	*10*	*455*	*250*
Porta	br	2,25	130	1311	14,5	701	610	65	397	**28**	*35*	*-7*	*70*
Costa	m	1,82	250	1420	13,7	687	733	70	513	**30**	*2*	*28*	*7*
Fontane	gr	1,50	660	1867	11,2	619	1248	70	873	**42**	*10*	*32*	*30*
Sant'Anna	br	2,75	700	1920	11,0	612	1308	65	850	**74**	*15*	*59*	*50*
Camaiore	br, cma	26,25	580	2075	11,7	644	1431	50	715	**595**	*500*	*95*	*220*
Stiava	cR, cm	11,68	650	2100	11,3	628	1472	50	736	**273**	*90*	*183*	*125*
Monte Quiesa	cma	8,02	277	1368	13,6	675	693	50	346	**88**	*50*	*38*	*220*

Fig.23 _ bilancio annuo dei sistemi idrogeologici

Data l'importanza del bacino le attività estrattive dovranno essere condotte avendo particolare cura nella gestione delle acque di lavorazione, al fine di evitare dispersioni nel sistema idrogeologico profondo.

8.1 Vulnerabilità dell'acquifero

La presenza di un estesa copertura carbonatica ed uno sviluppato carsismo superficiale e profondo rendono le Alpi Apuane, ad alta vulnerabilità degli acquiferi, per possibili infiltrazioni degli inquinanti di varia natura che si utilizzano nelle cave di marmo. L' area della cava Faniello nella "Carta della vulnerabilità degli acquiferi delle Alpi Apuane "(Civita et Alii, 1991) viene classificata ad elevata – alta vulnerabilità (50-70 valori sintacs) degli acquiferi, (vd. Fig.20 Vulnerabilità acquiferi). È necessario quindi adottare un adeguato sistema di regimazione delle acque di lavorazione e specifiche precauzioni per limitare e ridurre il rischio di inquinamento delle falde acquifere profonde.
Si rileva comunque che nelle vicinanze dell'area estrattiva non sono presenti cavità carsiche e quelle più prossime hanno uno sviluppo modesto o trascurabile e comunque ubicate in pozione altimetrica molto superiore a quella dell'area di progetto. Per tenere conto della potenziale vulnerabilità dell'acquifero nella cava verranno prese le seguenti misure di prevenzione, controllo e monitoraggio:

- Le acque di lavorazione saranno distribuite, raccolte e trattate con un sistema a circuito chiuso che prevede la separazione dei fanghi di lavorazione e successivo smaltimento come rifiuti. Il ciclo delle acque viene definito nel documento "Gestione delle AMD";
- Si impiegheranno oli biodegradabili nei tagli con catena diamantata;
- I carburanti ed oli lubrificanti dei mezzi meccanici saranno conservati all' interno del magazzino e distribuiti tramite un impianto di erogazione;
- Le manutenzioni avverranno su una piazzola in roccia su sui viene steso un telo impermeabile;
- I materiali esausti saranno conservati in contenitori idonei ed all' interno del magazzino;
- I residui ferrosi saranno sistemati in cassoni scarrabili;

- Saranno presenti in magazzino materiali oleoassorbenti e contenitori per il loro stoccaggio dopo l'impiego;
- Si eseguiranno controlli periodici almeno una volta all' anno sulle acque delle sorgenti a valle della zona di estrazione.

Oltre alle misure indicate per la gestione delle acque e della potenziale infiltrazione nelle fessure, dovranno essere adottate anche le misure seguenti nel caso vengano intercettate delle cavità nel corso dell'attività estrattiva:

- ✓ Segnalazione del rinvenimento della cavità al Parco delle Alpi Apuane;
- ✓ Interruzione delle attività nella zona in cui è stata rinvenuta la cavità;
- ✓ Affidamento dell'incarico a personale esperto per valutare le effettive caratteristiche della cavità sia dal punto di vista speleologico che idrogeologico;
- ✓ Definizione in base allo studio condotto dall'esperto delle misure di salvaguardia della cavità;
- ✓ Eventuale modifica del piano di coltivazione.

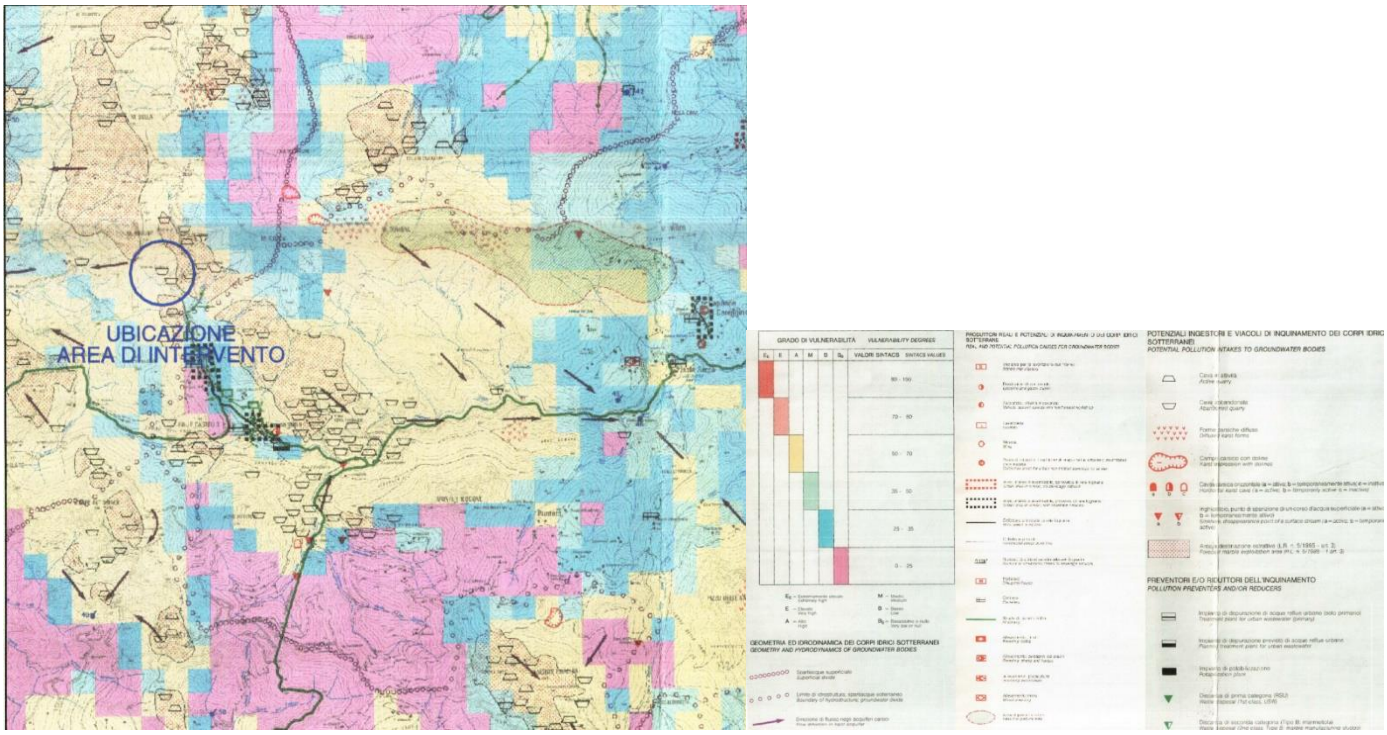


Fig.24 stralcio "Carta della Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero delle Alpi Apuane" fuori scala

9 Verifiche dell'interferenza con il sistema idrogeologico

Per l'approvazione del progetto delle cave Tombaccio e Serra delle Volte nel giugno del 2016 venne condotta una campagna di monitoraggio delle potenziali interconnessione tra la zona di cava Tombaccio e Serra delle Volte con la sorgente denominata Rondonaio nr. 381, presente a valle della zona di cava, potendo escludere anche semplicemente per la posizione morfologica o idrogeologica quelle poste più a valle, in quanto sia la 382 che la 384 sono a quote superiori della precedente e le altre sorgenti sono separate dalla zona di cava dal torrente del Burrone o Faniello, che eventualmente intercetterebbe le acque provenienti dalla zona delle cave, impedendo che queste arrivino alle sorgenti a valle di questo impluvio. Le indagini condotte hanno evidenziato che non vi è una connessione diretta tra la cava e la suddetta sorgente. Stando alla definizione dei bacini idrogeologici del CISS la cava Fantastico(Tombaccio) farebbe parte del sistema idrogeologico del Fiume Frigido , conseguentemente sarà attivato, a seguito dell'approvazione del progetto, una campagna di monitoraggio della sorgente del Frigido per verificare se effettivamente le acque infiltrandosi nella zona della cava arrivano o meno alla suddetta sorgente.

10 Classificazione dell'ammasso roccioso

Il rilievo strutturale ha interessato tutti i vecchi fronti di lavorazione agibili e l'area della futura coltivazione, mentre gli stendimenti sono stati eseguiti sia parallelamente che ortogonalmente alla direzione di avanzamento dei fronti di taglio principali. Le fratture rilevate non hanno una grande dispersione e sono abbastanza omogenee con quelle rilevate nel corso della campagna di rilevamento eseguita nel 2014.
Per definire le caratteristiche dell'ammasso roccioso è stata condotta una campagna di rilevamento dei principali sistemi di frattura sia sui fronti di cava che nell' area non ancora interessata da attività estrattiva. La raccolta dei dati sul terreno è stata preceduta da uno studio fotogeologico utilizzando le foto aeree, eseguite dal Centro di Geotecnologie ed eseguite con voli con elicottero.
Dalle foto aeree è stato possibile definire tutti i sistemi di fratturazione principali rilevando le direzioni ed estensioni delle fratture e dei reciproci rapporti spaziali e generazionali. L' area è stata anche oggetto di pubblicazioni da parte dei ricercatori di Pisa, Vaselli et Alii (2008), che evidenziano un sistema di fratture NNE-SSW con modesti rigetti che caratterizzano tutto questo settore e il Monte Altissimo. In campagna vengono rilevati dei sistemi di faglia con rigetto poco significativo, che pur avendo una evidente estensione non portano a grandi movimenti in dip. Nella figura seguente si riporta la foto di piccole faglie tardive con rigetto trascurabile e con riempimento dei vuoti da calcite di colore bianco.

Fig.

Nella *Tav.9 Carta delle Fratture* si riportano le direzioni dei sistemi e famiglie di fratture rilevate in campagna e gli stendimenti su cui è stato eseguito un rilievo di dettaglio.
In campagna oltre alle fratture sono sempre ben rappresentate la scistosità di prima e seconda fase S1 e S2 , che costituiscono le superfici più evidenti e pervasive a tutte le scale. I numerosi tagli di cava hanno permesso di eseguire rilievi anche in aree esterne a quelle di interesse che sostanzialmente confermano quanto andremo ad illustrare.
La fratturazione dell'ammasso diminuisce in profondità, come chiaramente visibile dal confronto tra il cantiere in oggetto e quello della cava Tombaccio, sul lato opposto della valle, in cui è presente una parete tagliata di oltre 40 m che consente di apprezzare la diminuzione della fratturazione con la profondità, legata alla alterazione superficiale delle rocce, avvenuta soprattutto ad opera del glacialismo che ha interessato tutta la valle.
I dati ricavati sono stati analizzati statisticamente per poter definire i parametri tipici e le caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso.
I rilievi strutturali sui fronti di cava hanno permesso di definire la spaziatura media, quindi le dimensioni dei blocchi rocciosi che implicitamente permettono di definire la resa in blocchi commerciali, prescindendo ovviamente dalla qualità estetiche della roccia. In assenza di carotaggi è stata utilizzata la spaziatura delle fratture sui vecchi fronti per calcolare l'Indice RQD. La cava non ha subito grandi variazioni dagli ultimi

piani di coltivazione presentati dall'azienda nel 2005, a completamento dei rilievi originali sono stati utilizzati i dati contenuti in tali progetti come informazioni bibliografiche e di controllo con quanto da noi rilevato.

Dal plottaggio delle fratture rilevate si individuano le seguenti 5 famiglie di discontinuità rappresentate dai seguenti piani rappresentativi:

Famiglia (Raggruppamento medio)	*Immersione media*	*Inclinazione media*
K1	61	54
K2	322	86
K3	150	64
K4	238	87
K5	259	45

Famiglia K1(61/54)

È il sistema più frequente e pervasivo sia a piccola che grande scala essendo costituito dalla scistosità di prima fase S1e presenta forte ondulazioni e cambi di immersione a piccola scala, dato da una fase successiva di ripiegamento. Va quindi analizzato alla mesoscala per avere minori dispersioni e maggiore significato. Nella formazione del marmo Fantastico sono diffusi livelli di materiale scistoso di colore verde o rosso quindi la fratturazione diventa molto più significativa e pervasiva in tali livelli con apertura dei giunti compresa tra 0,5 e 5-6 mm e riempimento di natura hard filling. I giunti risultano in genere asciutti anche se lungo alcune fratture maggiori si notano colorazioni nerastre segno di una circolazione idrica più diffusa. I giunti sono in genere scalettati a grande scala, risultando a piccola scala mediamente rugosi. La roccia risulta alterata solo nella parte superficiale dell'affioramento, ma dopo i primi 2/4 metri di cappellaccio i giunti risultano poco o niente alterati. Normalmente le fratture presentano valori di JCS buoni e superiori a 50. Il JRC varia da ondulato a scalini con valori tra 6-8 massimo 12-14.

Famiglia K2 (322/86)

Rappresenta la famiglia dei giunti del "secondo" che è stata suddivisa in due famiglie vista la variabilità di inclinazione. Sono fratture abbastanza pervasive tra 3/10 m in genere aperte e leggermente alterate o dove maggiormente aperte alterate con riempimento di soft filling, in genere argille residuali. L' apertura varia da 1 a 5 mm. La morfologia delle fratture è planare a grande scala e da rugosa a molto rugosa a piccola scala. Il JCS è in genere compreso tra 40 e 46mentre il JRC misurabile a piccola presenta valori tra 6-8.

Famiglia K2a (142/88)

Rappresenta la famiglia del secondo con discontinuità ribaltate rispetto alle precedenti, le caratteristiche di questi giunti sono le stesse della famiglia K2.

Famiglia K3 (150/64)

Sono fratture associate a quelle del secondo ma a angolo più basso rispetto a quest'ultime, in genere sono asciutte e poco rugose con JRC medio 10-12 e JSC compreso tra 50 e 56. Fratture chiuse e ben spaziate con andamento linear e con persistenza in strike 3/10 m.

Famiglia K4 (238/87)

Sono discontinuità con persistenza molto variabile da poco meno di un metro fino a 10 metri in alcuni fronti con andamento di traverso poggio nel fronte principale. In genere sono molto serrate chiuse o con un' apertura di 0,5-1 mm, asciutte e prive di riempimento o con sottili livelli di argille di colore ocra o arancio.

Le discontinuità sono rugose con andamento rettilineo o leggermente ondulate. Non risultano alterate e hanno un JSC compreso tra 50 e 56, mentre il JRC a piccola scala ha valori variabili da 6-8 a 12-14.

Famiglia K5 (259/45)

È il sistema a più basso angolo e probabilmente legato agli scarichi litostatici dell'ammasso ed in parte legato alla deformazione di seconda fase che forma pieghe a basso angolo con immersioni verso il culmine del duomo di scistosità di Monte Sumbra.

Sono le discontinuità maggiormente rappresentate assieme alla K1 che però non sempre dà luogo a vere e proprie discontinuità, in genere la loro apertura è ridotta e mai superiore a 5 mm e poiché spesso sono associate alla scistosità di seconda fase hanno un riempimento di tipo soft filling (filladi rossicce e verdi). In genere la loro persistenza è compresa tra 3 e 10 metri, ma in alcune aree supera i 20 m. La morfologia a grande scala è ondulata mentre a piccola scala sono molto rugose con JRC pari a 12-14. Risultano asciutte, ma dato il basso angolo possono essere veicolo di diffusione dell'acqua che scivola sulle superfici delle pareti, ma non sembrano costituire aree di infiltrazione significative. Il JSC è in genere superiore a 52.

4.2. Stereogrammi delle fratture

Lo stereogramma seguente riporta il plottaggio dei dati raccolti in campagna e l'individuazione delle famiglie di discontinuità principali ed i loro piani medi. Per l'elaborazione dei dati abbiamo utilizzato il software della Rocscience inc. Dip.

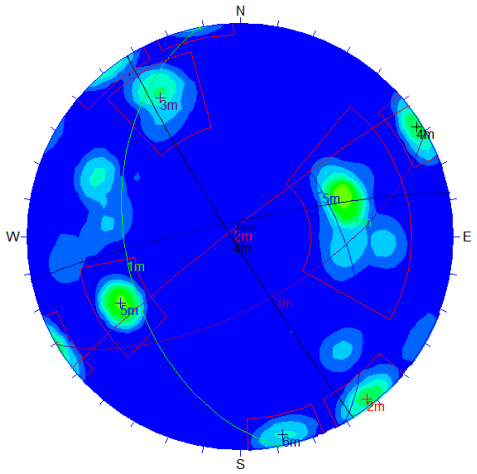
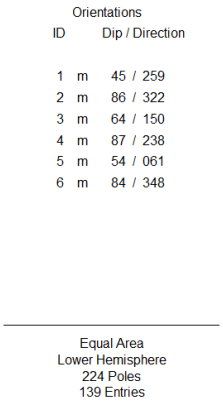


Fig.24- stereonet delle fratture Cava Fantastico



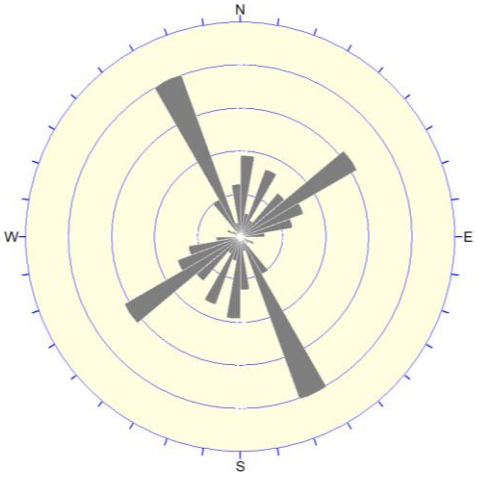


Fig.25- diagramma a rosetta delle fratture rilevate Cava Fantastico

Tabella riepilogativa delle caratteristiche medie dei sistemi di frattura rilevati – cantiere Tombaccio											
Famiglia	*Immers. Inclinaz.*	*Apertura mm*	*Riem*	*Persist m*	*Spaziat. m*	*Morfologia Picc. scala*	*Morfologia g. scala*	*JRC p.scala*	*JRC g. scala*	*JCS*	*H_2O*
K1	61/54	0.5-5 mm	Hf	3-10	0.6-2	r	P	6-8		50	A
K2	322/86	1-5 mm	Sf	3-10	0.6-2	r	P	6-8		40	A
K2 A	148/88	1-5 mm	Sf	3-10	0.6-2	r	P	6-8		40	A
K3	150/64	0.5-1mm	Sf-A	1-10	0.6-2	r	U	10-12		50	U
K4	238/87	0.8-10 mm	Sf	10-20	>2	r	U	6-8		50	U
K5	259/45	chiuse	0	3-10	0,1-0,6	r	U	12-14		52	U

legenda A = assente ; r rugoso, sm smooth, S scalettato ; P planare; U umido; A asciuto, Hf hard filling

10.1 Caratteristiche del materiale roccioso

I dati della roccia intatta sono contenuti nella scheda riepilogativa delle prove eseguite dalla Regione Toscana per la redazione del libro "The Tuscan Marble identities" da cui risulta che la roccia ha le seguenti caratteristiche fisico meccaniche:

- Resistenza a compressione uniassiale: 91,80 MPa
- Resistenza a flessione: 10,80 Mpa
- Peso specifico: 2710 Kg/mc
- Assorbimento d'acqua: 0,23 %

10.2 Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso RMR Bieniawski 1989

L' elaborazione dei dati delle fratture ci permette di giungere alla classificazione dell'ammasso roccioso secondo l'indice RMRc (Bieniawski), tale valore è ottenuto attraverso la sommatoria di sei indici

- RQD
- resistenza a compressione semplice
- spaziatura delle discontinuità
- condizioni idrauliche
- condizioni delle discontinuità
- indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Il valore della resistenza a compressione è stato calcolato utilizzando l' indice di rimbalzo del martello di Schmidt, attraverso la formula generale Irfan e Dearman (1978) :

$$\sigma c = 0{,}775\ R + 21{,}3$$

Il valore va corretto a seconda dell'angolo di incidenza dello schelometro.
Per la classificazione dell'ammasso abbiamo utilizzato il programma Rock Mechanics della Geostru srl, che permette di velocizzare i calcoli dei vari indici per ogni sistema di frattura. Per il calcolo di RQD è stata presa la spaziatura apparente delle discontinuità.
Di seguito si riporta la sintesi dei parametri ottenuti per ogni singolo sistema:

Parametro		K1	K2	K3	K4	K5
A1	Resistenza a compressione monoassiale	7	7	7	7	7
A2	RQD	18,68	19,21	18,07	18,68	19,21
A3	Spaziatura delle discontinuità	17,39	15,57	14,35	13,71	15,57
A4	Condizioni dei giunti	18	15	15	20	19
A5	Condizioni dell'acqua	15	10	10	10	10
RMRb		76,07	66,78	64,42	69,39	70,78

Dalla Tabella precedente risulta per l'ammasso roccioso Fantastico un RMRc medio pari a 69,48 che rientra quindi in classe II o Buono.

Per il calcolo della correzione dell'orientamento delle discontinuità applichiamo un valore sfavorevole con riduzione -10 ala valrore di RMRb calcolato in precedenza pertanto avremo che il valore di RMRc = 59,48 con classificazione dell'ammasso Mediocre in classe III.

Parametro		K1	K2	K3	K4	K5
A1	Resistenza a compressione monoassiale	7	7	7	7	7
A2	RQD	18,68	19,21	18,07	18,68	19,21
A3	Spaziatura delle discontinuità	17,39	15,57	14,35	13,71	15,57
A4	Condizioni dei giunti	18	15	15	20	19
A5	Condizioni dell'acqua	15	10	10	10	10
A6		-10	-10	-10	-10	-10
RMRc		66,07	56,78	54,42	59,39	60,78

Conoscendo il valore di RMRb è possibile calcolare l'angolo di attrito, la coesione ed il modulo di deformazione, utilizzando le formule seguenti:

- coesione c (kPa) = 5 RMRb;
- angolo di attrito ϕ = 0,5 RMRb +5;
- modulo di deformazione E (GPa) = 2 RMRb-100.

Sistemi	RMRb	Angolo di attrito residuo	Angolo di attrito φ medio	Coesione(MPa)
K1	76,07	43,0	39,74	0,380
K2	66,78	38.3		0,333
K3	64,42	37,2		0, 322
K4	69,39	39,7		0,346
K5	70,78	40,3		0,353
medio			E(Gpa) = 2*69,48-100 = 38,86	

partendo dai valoro di RMR si può valutare il valore di GSI della classificazione Hoek-Brown che si ottiene partendo dal valore RMR89 (formula revisionata nel 1989) mediante le seguenti correzioni:

- considerare il valore delle caratteristiche idriche pari a 15 (assenza di acqua)
- non tenere conto del coefficiente dell'orientamento delle discontinuità

questo valore prende il nome di BMR89.

Dal valore BMR89 si ottiene GSI attraverso la formula:

$$GSI = BMR_{89}-5$$

Pertanto avremo:

Indici caratteristici cava Fantastico		
RMR89	BRM^{89}	GSI
69,48	73,48	68,48

Il Valore di GSI può essere ottenuto anche dall'analisi diretta della roccia in sito, basandoci su criteri strettamente geologici e di qualità dell'ammasso roccioso in termini di fratturazione della roccia. Hoek ha

proposto la quantificazione del GSI in condizioni di roccia fratturata utilizzando lo schema seguente (Hoek.et al.2013), che può essere utilizzato sia attraverso il valore di RQD e condizione dei giunti J, o semplicemente dall'analisi della roccia in sito. La classificazione con il metodo proposto da Hoek, pur avendo dei limiti per stessa ammissione dell'autore consente comunque una classificazione iniziale dell'ammasso in rocce con una fratturazione non troppo elevata o tettonizzate GSI<25. La classificazione con GSI deve tenere conto della scala di analisi del problema come chiaramente riportato nella pubblicazione di Hoek et al.2013. Per la cava Fantastico il GSI, secondo lo schema proposto dall'autore avrebbe un valore variabile tra 58 e 68 ricadendo nella zona indicata nella figura successiva, e quindi analogo a quello derivante dalla classificazione di RMR.

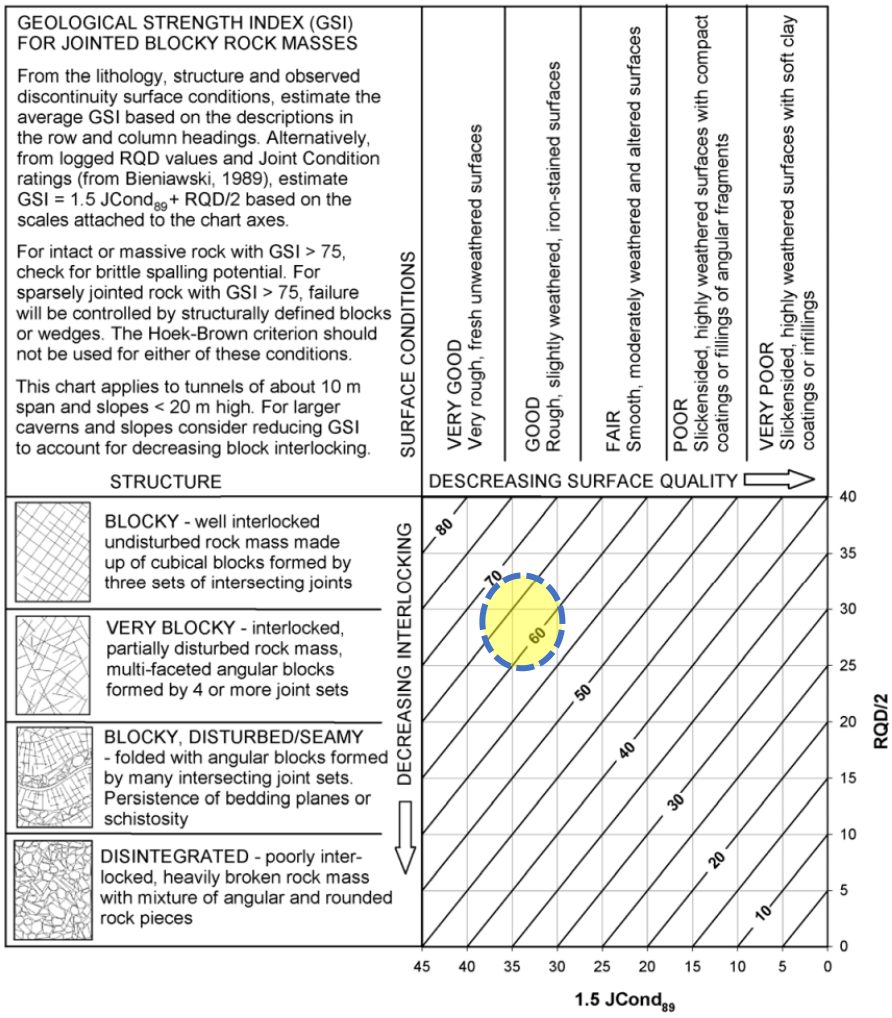


Fig.26- Classificazione di Hoek et al. 2013

10.3 Criterio di Hoek e Brown stima dei parametri geomeccanici

Il valore di GSI si utilizza per calcolare i parametri m ed s da introdurre nella legge modificata di Hoek Brown:

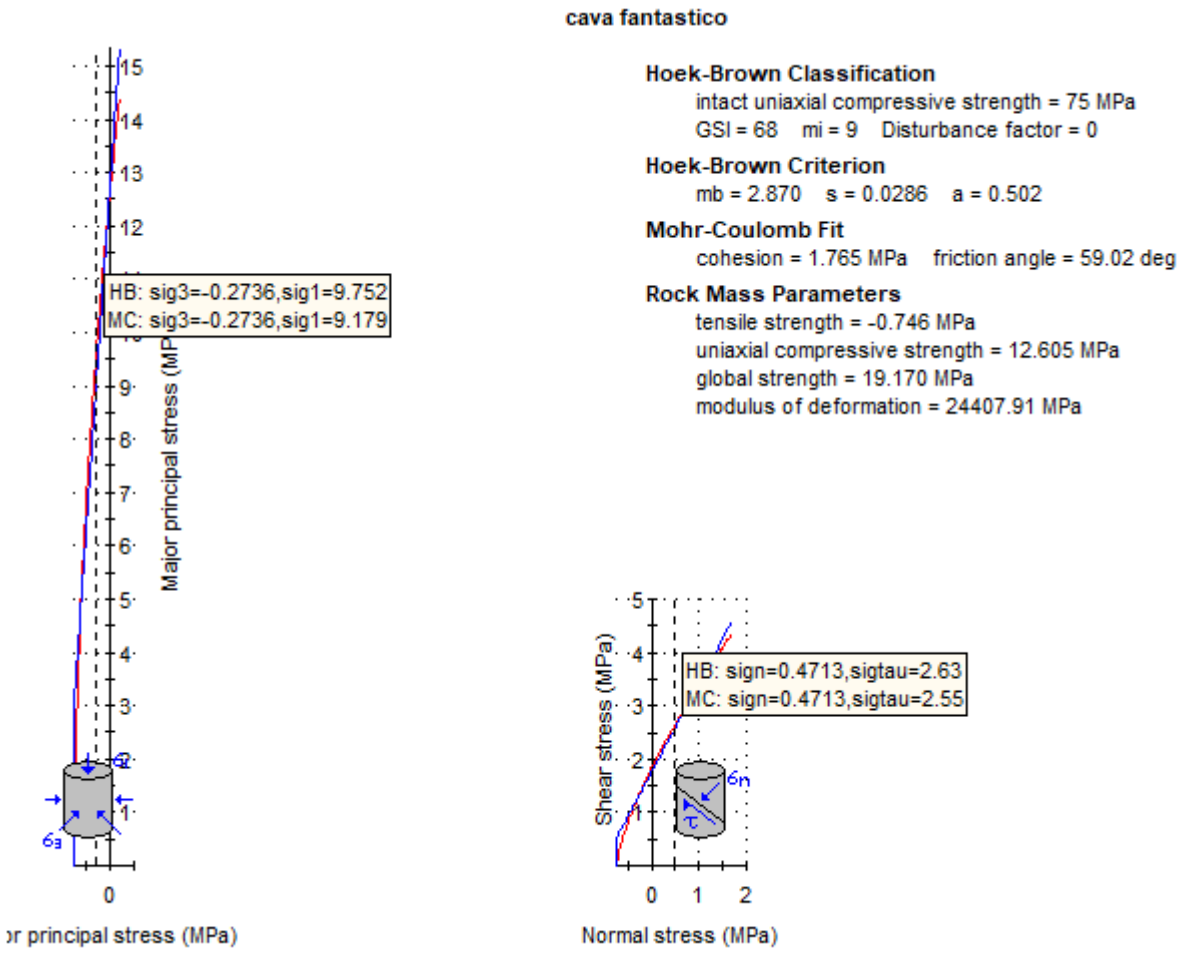
$$\sigma_1=\sigma_3+\sigma_{ci}\,(m_b \times \sigma_3/\sigma_{ci} + s)^a$$

dove σ_1 e σ_3 rappresentano le tensioni massime e minime e per valori di GSI > 1 mb= mi; e $_{(GSI-100)/(28-14D)}$; S=e $_{GSI-100/9-3D)}$; a= 0,5+1/6(e $_{-GSI/15}$-e-$_{20/3}$) ; (da Hoek e Brown).

D è un fattore di disturbo che tiene conto del disturbo subito dall' ammasso variabile da 0 a 1.

Utilizzando il programma RocLab I della Rocscience e impiegando i valori definiti nel programma con m_i pari a 9 ed s che vale 0,02 per rocce intatte, con GSI pari a 68 e con valore di σ_{ci} uguale a 75 MPa, si ottiene, per i fronti cava attuali e quelli di progetto con altezze di 7 metri i seguenti valori:

- Cava Fantastico fronti di progetto altezza 7 m
  Cava Fantastico *mb* =2,870; *s* = 0,0286; a = 0,502;



Angolo di attrito: 59°
Coesione: 1,765 MPa

Fig.27 - inviluppi di rottura dell'ammasso roccioso e valori di σ_{tm} e σ_{cm} (Roclab)

Possiamo inoltre ricavare il valore della resistenza globale dell'ammasso a compressione, attraverso la ricostruzione della curva intrinseca e di inviluppo di Mohr –Coulomb equivalente a:

$$\tau = A\ \sigma_{ci}(\sigma_n - \sigma_m\ /\ \sigma_{ci})^B$$

A e B sono costanti determinate dalla regressione e dipendenti dalla roccia, σ_{tm} è la resistenza a trazione dell' ammasso roccioso data dalla formula:

$$\sigma_{tm} = \sigma_{ci}/2\ (m_b - \sqrt{m_{b2}+4s}) = -0{,}746\ \text{MPa}$$

determinando i valori di **ϕ** e **c** si ricava il valore di σ_{cm} (valore della compressione uniassiale), che risulta:

$$\sigma_{cm}o = 12{,}6\ \text{MPa}$$

Riepilogando per la cava Fantastico con GSI = 64 avremo i seguenti parametri caratteristici dell'ammasso:

- ✓ Resistenza a compressione uniassiale σ_{cm} : 12,6MPa
- ✓ Resistenza globale : 19,17MPa
- ✓ Resistenza a trazione : - 0,746 MPa
- ✓ Modulo di deformazione : 24407 MPa

10.4 Angolo di attrito e coesione dell'ammasso – criterio di Mohr e Coulomb

Per la definizione di questi due parametri abbiamo utilizzato il programma Roc.Lab, già visto in precedenza valutandolo per diverse altezze dei fronti di taglio, 7 m che vengono riepilogati nella seguente tabella

Altezza del fronte m	Angolo di attrito °	Coesione MPa
7	59	1,765

10.5 Resistenza al taglio

Nel paragrafo precedente abbiamo definito le caratteristiche di resistenza della roccia intatta e dell'ammasso roccioso, ma negli ammassi naturali la resistenza è controllata da una o più discontinuità e dalle loro caratteristiche di resistenza, pertanto è necessario definire quest'ultime per applicarle ai casi reali. Per la definizione della resistenza al taglio utilizziamo la formula di Barton e Bandis (1973):

$$\zeta = \sigma_n \mathrm{tg}\theta_p,$$

calcolando l'angolo di picco alla rottura :

$$\theta_p = (Ø_r + \mathrm{JRC} \log JSC/\sigma)$$

Per cui la resistenza al taglio può essere espressa nel modo seguente:

$$\zeta = \sigma_{tan} [(Ø_r + \mathrm{JRC} \log (JSC/ \sigma n)]$$

in cui :
$Ø_r$ = angolo di attrito residuo
Dove $Ø_r = (Ø_{b-20°}) + 20\ r/R)$
JRC = valore della rugosità a piccola scala
JSC = valore della resistenza delle pareti delle discontinuità
σ = carico agente sulla parete

Il valore di $Ø_b$ è stato ottenuto dai dati ricavati con le analisi condotte in sito sulla fratturazione della roccia mentre i valori di JSC sono stati ottenuti utilizzando uno schelometro per rocce marca DCR, misurando per ogni superfice 10 rimbalzi e scartando i due valori estremi. Eseguita la media e corretto il valore in funzione dell'angolo tra il martello e la superfice misurata come prescritto, è stata definitia definendo la resistenza media dei giunti esaminati. I dati delle misure schelometriche eseguite sulle superfici delle fratture più significative e in condizioni generalmente asciutte sono riepilogati nella tabella successiva.
Per i giunti di cui non è stato possibile misurare il JSC si utilizzeranno i dati delle prove eseguite sulle altre discontinuità utilizzando i valori più bassi e quindi cautelativi.

Tabelle misure schelometriche

Resistenza a compressione roccia intatta, martello di Schmidt st 1															
Litologia	Giunto	Pos. Mar*	Valore del Rimbalzo												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	M	corr	M corretta
Marmo	K1	1	48	52	50	52	48	54	46	48	50	52	50	0	50
Marmo	K1	1	48	46	46	54	52	56	50	52	50	48	50,2	0	50,2
Marmo	K1	1	48	46	52	54	50	48	52	50	48	50	49,8	0	49,8
Marmo	K2	1	40	54	56	56	48	50	50	56	48	50	50,8	0	50,8
Marmo	K2	2	38	38	42	44	46	44	44	48	48	50	44,2	-0,6	43,6
Marmo	K2	2	40	42	44	46	42	40	58	58	42	44	45,6	-0,6	45
Marmo	K3	3	50	52	54	48	56	48	48	56	56	58	52,6	-2,2	50,4
Marmo	K3	1	60	54	54	56	58	52	52	53	54	54	54,7	0	54,7
Marmo	K3	2	48	52	54	56	58	54	52	54	48	56	53,2	-0,6	52,6
Marmo	K4	2	52	48	56	50	52	54	52	54	48	56	52,2	-0,6	51,6
Marmo	K4	3	54	56	56	60	58	52	54	54	58	52	55,4	-2,2	53,2
Marmo	K5	3	58	56	48	50	50	56	58	54	52	52	53,4	-2,2	51,2
Marmo	K5	3	50	48	48	54	54	56	48	52	54	56	52	-2,2	49,8
Marmo	K5	3	58	58	56	54	52	50	54	50	52	54	53,8	-2,2	51,6
									Valore medio corretto JCS						50,30

Posizione martello 1 2 3 4 5

Per la stima del JRC sono stati impiegati dei profilometri da 10 cm rilevando il profilo dei giunti lungo la direzione di scivolamento. I profili sono poi stati confrontati con i profili di scabrezza standard di Barton per ottenere il range caratteristico delle singole fratture, assumendo come valore caratteristico il valore medio di ciascuna famiglia di discontinuità. I valori di JRC ricavati con il pettine sono stati corretti secondo la tabella proposta da Barton, rapportandoli ad una rugosità a grande scala utilizzando il valore medio della tabella.
Nella tabella seguente si riportano alcuni profili di rugosità con JRC stimato dal confronto con i profili standard di Barton.

Tabella profili caratteristici

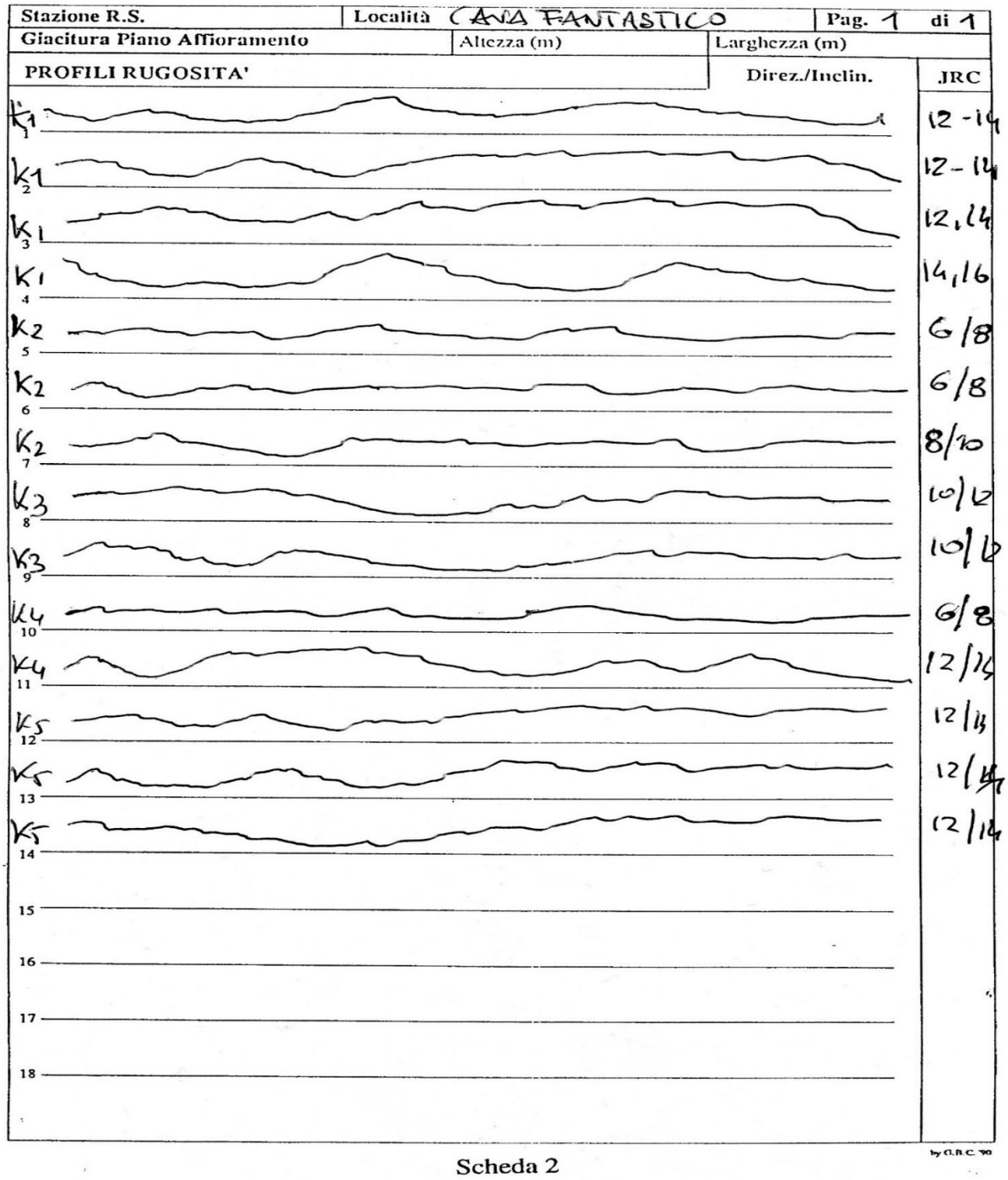


Fig.28 JRC rappresentativi delle fratture misurate

Noti questi dati è possibile calcolare l'angolo di attrito di picco che deriva dalla seguente formula:

$$Ø_p = Ø_b + JRC \log JSC/\sigma$$

Utilizzando i valori di JRC e JSC rilevati in sito e considerando fronti con altezza di 7 metri si ottengono con la formula precedente i seguenti valori di $Ø_p$, da cui si ottiene il valore di ζ con la formula di Barton e Bandis con cui è possibile ricavare il valore della coesione con la formula di Mohr- Coulomb:

$$c = \zeta - \sigma \tan\theta$$

Per semplificare i calcoli si utilizza un foglio di calcolo in cui si inseriscono i valori di JR, JSC, tensione, espressa come peso litostatico della colonna di roccia e angolo di attrito di base. Dall'elaborazione dei dati si ottengono i risultati riportati nella seguente tabella:

famiglia fratture	JRC Min/max	JSC med	Θ_b Min max	Altezza fronte m	Θ_p		Cp kPa		$Ø_K$	C_k
					min	max	min	max	carat.	carat.
K1	12-14	50	39,7	7	56	59	0,10	0,26	56	0,10
K2	6-8	44	39,7	7	46	50	0,21	0,36	46	0,21
K3	19-12	50	39,7	7	53	56	0,06	0,106	53	0,06
K4	6-8	51	39,7	7	47	50	0,21	0,37	47	0,21
K5	12-14	49,8	39,7	7	56	59	0,10	0,18	56	0,10
Valori minimi									46	0,06

Per i valori caratteristici dell'ammasso sono stati considerati i valori minimi.

11 Analisi cinematica

Alla luce dei dati raccolti è possibile ricostruire i cinematismi che possono verificarsi nel versante a causa dell'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 che 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 7 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 angolo di attrito, della sismicità specifica del sito e delle condizioni idrauliche dei giunti. Per le valutazioni deterministiche abbiamo preso in esame i volumi massimi dei prismi che sono stati individuati nel corso del rilievo sui fronti esistenti, per i fronti di escavazione di progetto, viene invece preso in esame il cuneo massimo 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 potrebbero formare nel proseguo delle attività. In applicazione delle Norme tecniche delle Costruzioni (NTC 2018) vigenti la definizione del fattore di sicurezza 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:

$$E_d \leq R_d$$

dove le azioni E sono definite da

$$E_d = E\ (\gamma_F . F_{k;}\ ;\ Xk/\gamma_m\ ;\ a_d)$$

dove $\gamma_F . F_{k;}$; Xk/γ_m ; sono parametri di progetto mentre a_d è un coefficiente che definisce la geometria di progetto.
Analogamente per le resistenze R

$$R_d = 1/\gamma_R \, R\,(\gamma_F . F_{k;}\,;\, Xk/\gamma_R\,;\, a_d)$$

In cui γ_R è un coefficiente di riduzione del parametro

Il suddetto metodo detto anche dei "coefficienti parziali" e i rispettivi indici sono riportati nelle tabelle seguenti, e che 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 di sicurezza.

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 di Sicurezza 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 ed in 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	0,06	1.25	0,04
Angolo di attrito	46	1.25	36

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

Orientazione fronti:

Orientazione dei fronti esistenti e di progetto		
Fronte	Dip	Dip Direction
F1	85	30
F2	85	131
F3	85	41
F4	85	145
F5	85	52
F6	85	318

Di seguito vengono analizzati tutti possibili cinematismi che possono verificarsi tra le famiglie di discontinuità ed i fronti di taglio residui e di progetto.

Tabella di riepilogo direzione dei fronti di taglio e sistemi di frattura principali.

fronte	sistemi	giaciture prevalenti	angolo di attrito
F1	K1	65/54	36°
F2	K2	322/86	
F3	K2a	148/88	
F4	K3	150/87	
F5	K4	238/87	
F6	K5	259/45	

11.1 Cinematismi sui fronti di lavoro esistenti e di progetto

Il seguente approccio ha carattere solamente probabilistico e di previsione dei possibili cinematismi che possono innescarsi sui fronti di coltivazione con le fratture riscontrate nella zona di progetto a condizione che non vi siano ponti di roccia, ossia che i piani di discontinuità si estendano indefinitamente.
Il direttore responsabile deve comunque valutare prima di ogni taglio la situazione specifica delle discontinuità e i meccanismi che possono innescarsi durante e dopo la fase di taglio, redigendo una scheda ad ogni avanzamento. Le seguenti descrizioni ed analisi hanno quindi carattere di previsione e debbono essere rivalutate dal Direttore Responsabile ad ogni nuovo avanzamento, intervenendo quando necessario con disgaggi o chiodature.

Fronti di progetto

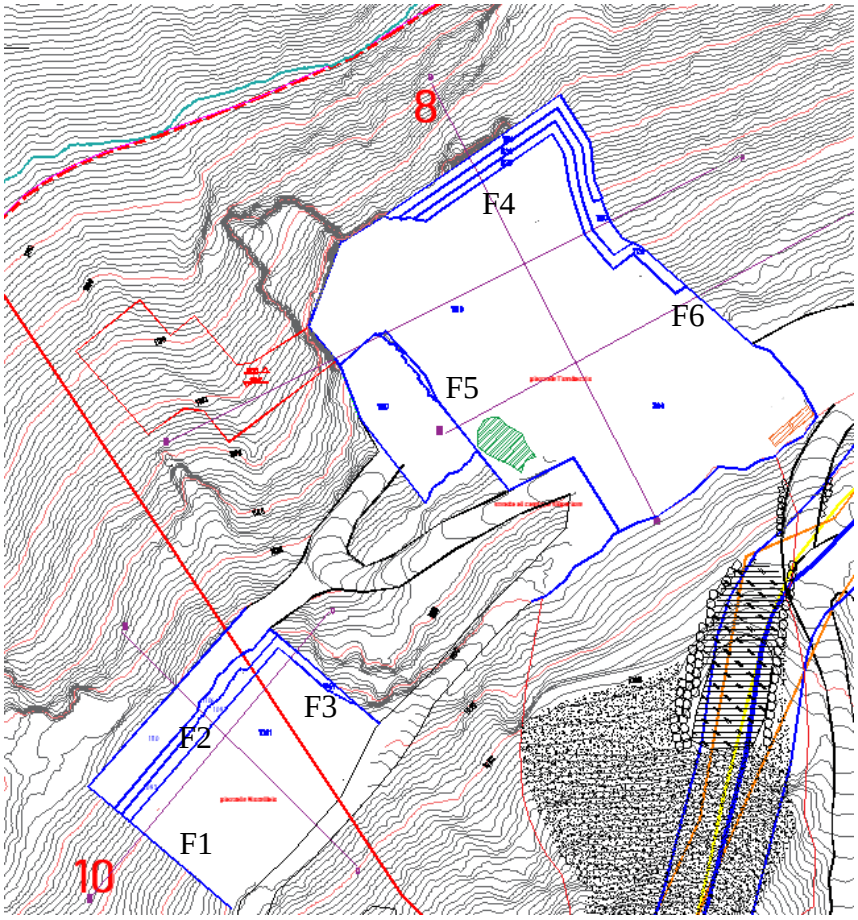
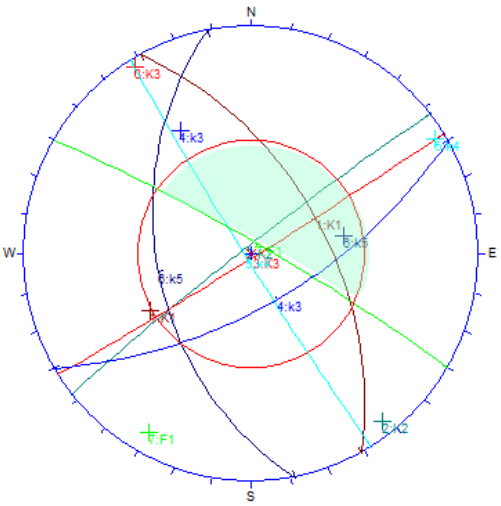


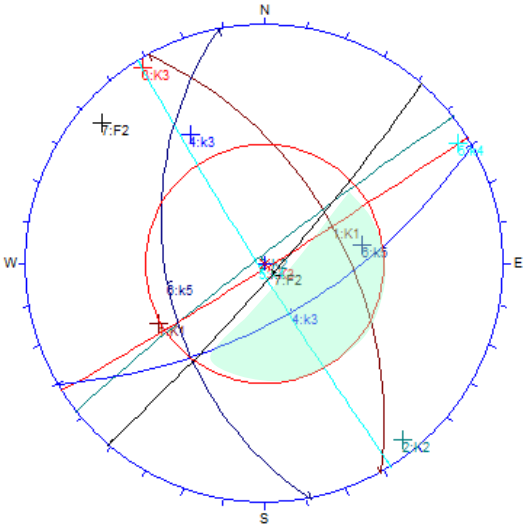
Fig.29 indicazione dei fronti di progetto

a- Scivolamenti cuneo

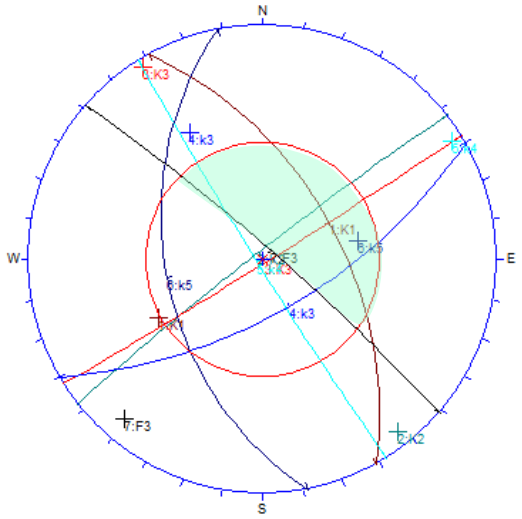
Fronte F1



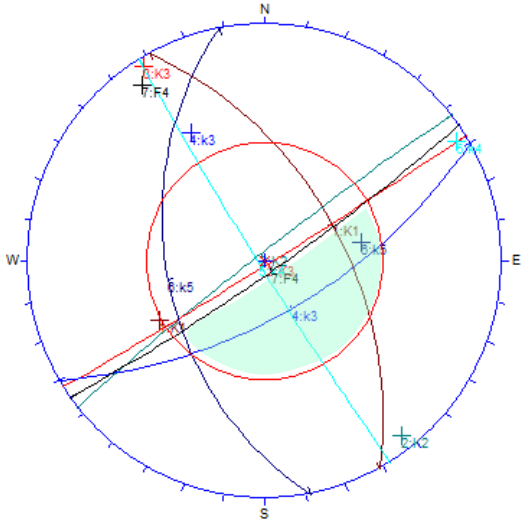
Fronte F2



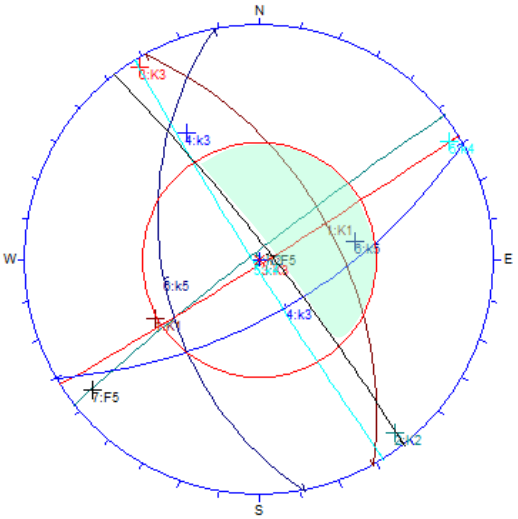
Fronte F3



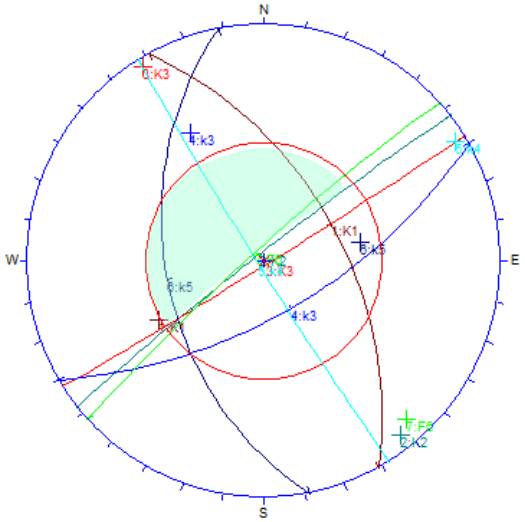
Fronte F4



Fronte F5

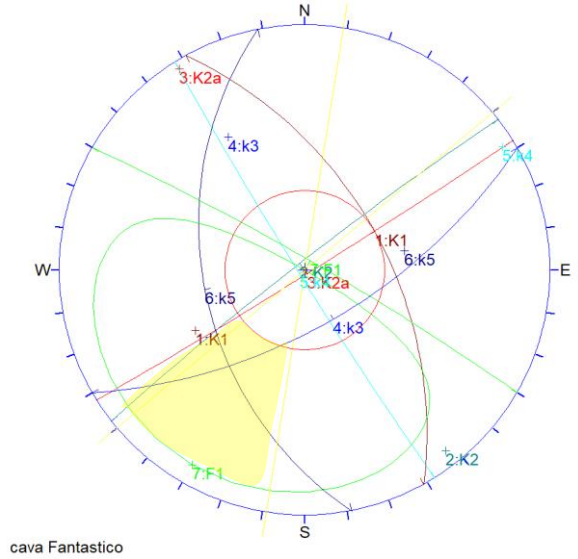


Fronte F6

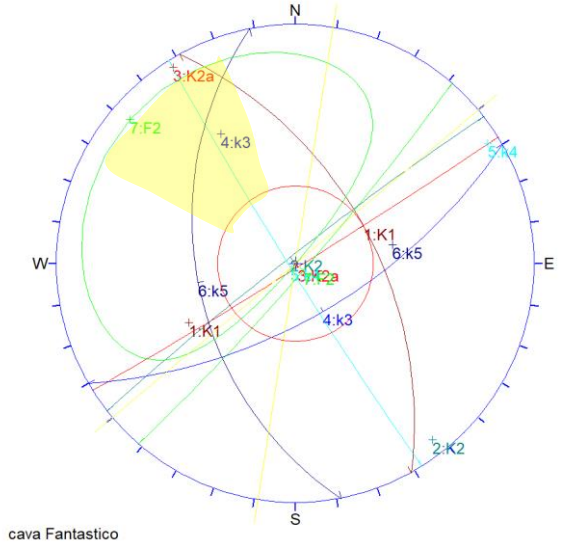


b- Scivolamento Planare

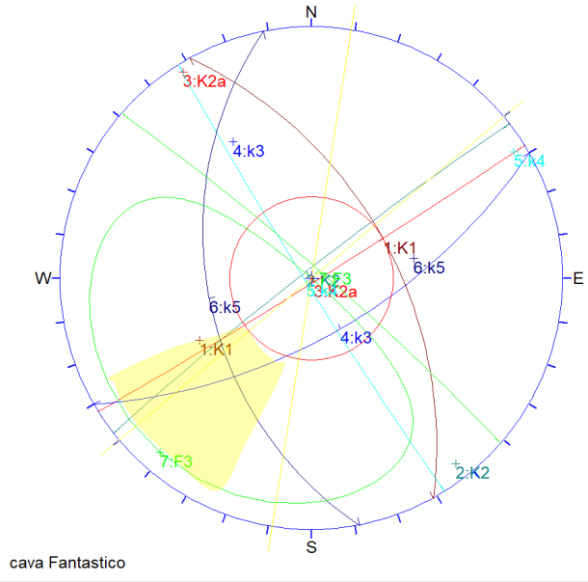
Fronte F1



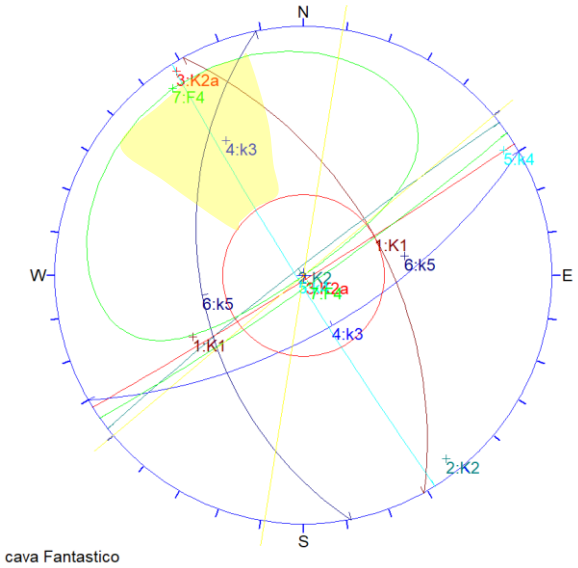
Fronte F2



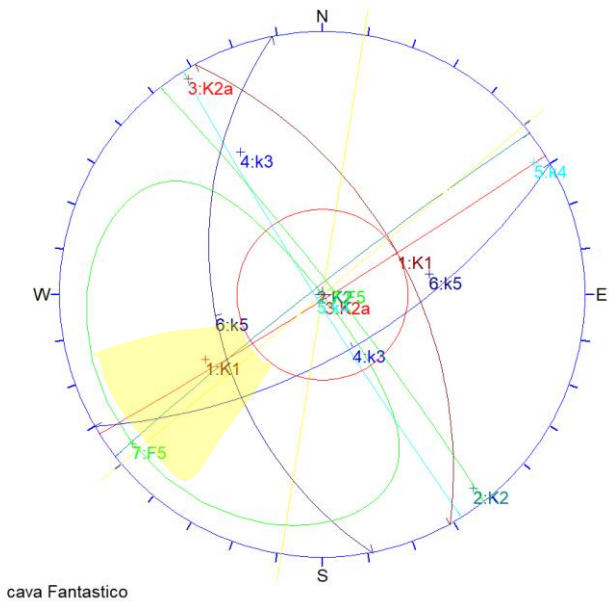
Fronte F3



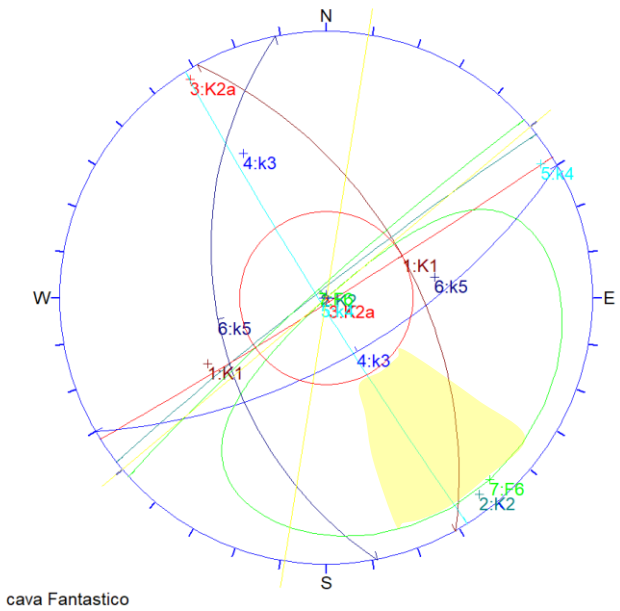
Fronte F4



Fronte F5



Fronte F6



I cinematismi che si possono creare per scivolamento per cunei sono i seguenti;

Fronte F1 - scivolamento per cuneo tra : K1/K2; K3/K1;K2a/K1

Fronte F2 - scivolamento per cuneo tra : K2a/K1;K1/K3;

Fronte F3 – scivolamento per cuneo tra: K1/K3; K1/K2a;K2/K1

Fronte F4 – scivolamento per cuneo tra: K3/K1

Fronte F5 – scivolamento per cuneo: K1/K3;K1/K2a;K1/K2

Fronte F6- scivolamento per cuneo : K5/K2a

I cinematismi che si creano per scivolamento planare sono i seguenti :

Fronte F1 - scivolamento piani : K3;K5

Fronte F2 - scivolamento piani: K4

Fronte F3 – scivolamento piani: K3;K5;K2a;K2

Fronte F4 – scivolamento piani:K4

Fronte F5 – scivolamento piani: K5;K2;K2a

Fronte F6 – scivolamento piani: K4

L'analisi probabilistica serve per definire anche visivamente tutti i cinematismi che si innescano sui fronti residui e di lavorazione e ci permette di individuare in campagna i cunei che potrebbero risultare instabili, non tenendo conto di eventuali ponti di roccia, ma analizzando l'ammasso come discontinuo. Bisogna inoltre rimarcare che i metodi di classificazione adottati tendono a essere cautelativi dando parametri dell'ammasso generalmente bassi. Fatta questa premessa analizzeremo con software della Rocscience Swedge e Rocplane, tutte le situazioni che portano a condizioni di instabilità, considerando il volume massimo dei blocchi.

I cinematismi individuati per ogni settore e fronte di lavorazione vengono riepilogati nella tabella seguente:

Tabella riepilogativa cinematismi

Fronte cava	**Tipo di scivolamento**	**Piano / linea d scivolamento**		**Orientazione inclinzione**	**Caratteristiche parametri**	
Dip dir-dip				Dip dir- dip	θ °	C (MPa)
F1 85/30	Cuneo	K1/K2		54/61-86/322	36	0,06
	Cuneo	K1/K3		54/61-64/150	36	0,06
	Cuneo	K2a/K5		88/148-45/259	36	0,06
	Scivolamento planare	K3		64/150	36	0,06
	Scivolamento planare	K5		45/259	36	0,06
F2 85/131	Cuneo	K1/K2a		54/61-88/148	36	0,06
	Cuneo	K1/K3		54/61-64/150	36	0,06
	Scivolamento planare	K4		87/238	36	0,06
F3 85/41	Cuneo	K1/K3		54/61-64/150	36	0,06
	Cuneo	K1/K2		54/61-86/322	36	0,06
	Cuneo	K1/K2a		54/61-88/148	36	0,06
	Scivolamento planare	K3		64/150	36	0,06
	Scivolamento planare	K5, K2a;K2		45/259	36	0,06
F4 85/145	Cuneo	K3/K1		54/61-64/150	36	0,06
	Scivolamento planare	K4		87/238	36	0,06
F5 85/52	Cuneo	K1/K3		54/61-64/150	36	0,06
	Cuneo	K1/K2a		54/61-88/148	36	0,06
	Cuneo	K1/K2		54/61-86/322	36	0,06
	Scivolamento planare	K5		45/259	36	0,06
	Scivolamento planare	K2		86/322	36	0,06
	Scivolamento planare	K2a		88/148	36	0,06
F6 85/318	Cuneo	K5/K2a		88/148-45/259	36	0,06
	Scivolamento planare	K4		87/238	36	0,06
Classe della zona		**2**				
Vita nominale opera		**50 anni**				
Categoria sottosuolo		**A**				
categoria topografica T4		**T4**				
Ss 1	Cc 1	St 1,4	Kh 0,014	Amax 0,693	Beta 0,200	

Definiti i cinematismi possibili si andranno ad analizzare i valori di Fs per ogni singola tipologia, con i software della società Rocscience, basati sull' equilibrio limite, ma che tengano conto delle componenti sisma, angolo di attrito e coesioni caratteristiche. Le analisi sono state condotte in condizioni peggiorative assumendo una pressione di acqua nei giunti, anche se questi sono privi o quasi di riempimento e prevalentemente asciutti, ma non esenti da circolazione idrica, durante gli eventi meteorici. Nella tabella seguente si riportano i valori di Fs ottenuti per ogni singolo blocco considerato e in allegato sono riportati gli output dei programmi di calcolo in cui sono specificate le condizioni di calcolo ed i parametri utilizzati.

Tabella riepilogo Fs singoli blocchi

Fronte cava	Tipo scivolamento	Piano / linea di scivolamento	Orientazione inclinzion	Fs	Fs stabilizzato	Peso cuneo ton	Tipo intervento
Dip dir-dip			Dip dir- dip				
F1 85/30	Cuneo	K1/K2	54/61-86/322	0,48	1,23	35	1 barra da 3 m
	Cuneo	K1/K3	54/61-64/150	0,39	1,10	28	1 barra da 3 m
	Cuneo	K2a/K5	88/148-45/259	0,39	1,71	47	2 barre da 3 m
	Scivolamento	K3	64/150	0,15	2,53	26,47	2 barre da 4 m
	Scivolamento	K5	45/259	2,00	---	53,25	----------
F2 85/131	Cuneo	K1/K2a	54/61-88/148	0,41	2,03	13	1 barra da 3 m
	Cuneo	K1/K3	54/61-64/150	0,60	1,47	62	2 barre da 3 m
F3 85/41	Cuneo	K1/K3	54/61-64/150	0,42	1,205	83	3 barre da 4 m
	Cuneo	K1/K2	54/61-86/322	0,42	1,38	59	2 barre da 4 m
	Cuneo	K1/K2a	54/61-88/148	0,52	1,00	52	1 barra da 4 m
	Scivolamento	K3	64/150	0,15	2,53	26,47	2 barre da 4 m
	Scivolamento	K5	45/259	2,00	---	53,25	----------
F4 85/145	Cuneo	K3/K1	54/61-64/150	0,60	1,15	292	8 barre da 4 n
F5 85/52	Cuneo	K1/K3	54/61-64/150	0,42	1,28	135	5 barre da 4 n
	Cuneo	K1/K2a	54/61-88/148	0,42	1,17	126	4 barre da 4 m
	Cuneo	K1/K2	54/61-86/322	0,52	1,18	112	3 barre da 4 m
	Scivolamento	K5	45/259	2,00	---	53,25	----------
F6 85/318	Cuneo	K5/K2a	88/148-45/259	0,56	6,38	4	1 barra da 2 m

I programmi utilizzati consentono di scalare le dimensioni dei prismi adattandoli al caso reale, per cui quando si dispone dei dati dei prismi massimi si utilizzeranno questi valori, in caso contrario si eseguirà l'analisi sul volume massimo ottenuto dalla semplice intersezione dei piani.

11.2 Interventi e criticità

Dall'analisi dei cinematismi si desume che diverse sono le situazioni che creano instabilità ma molte sono facilmente controllabili in fase operativa poichè i cunei dimensioni tali da potere essere abbattuti a fine taglio con escavatore. Ovviamente sui fronti residui le combinazioni che danno valori del fattore di sicurezza inferiore a 1 vanno stabilizzati con chiodature con barre in acciaio. Pertanto quanto dedotto dall'analisi va applicato ai fronti residui, che rimarranno tali a fine attività. Le situazioni che invece vanno

gestite durante l'attività estrattiva riguardano il fronte 4 e 5 in cui si formano cunei di grandi dimensioni che vanno stabilizzati durante le attività. In particolare sui fronti 4 si creano cunei di grosse dimensioni che vanno stabilizzati ogni qualvolta saranno presenti le fratture che danno luogo ai cunei instabili. Per quanto riguarda gli scivolamenti planari solo le fratture K3 danno masse in scivolamento, ma di limitate dimensioni che possono essere facilmente stabilizzate. Le fratture K5 invece pur dando luogo a scivolamenti planari hanno un fattore di sicurezza molto superiore a 1. Le analisi sono state condotte con coesione praticamente uguale a o ed angolo di attrito di 36° in condizioni sismiche. Per una maggiore sicurezza tutte le analisi sono state fatte con pressione d'acqua del 30% pur essendo questa una condizione improbabile, in quanto il riempimento delle fratture è praticamente assente e quindi non si creano pressioni in presenza di acqua. Quando le fratture sono aperte danno scorrimento idrico e di conseguenza non si creano condizioni di pressione.

12 Interventi di messa in sicurezza

Le attività di coltivazione potranno essere eseguite dopo avere fatto i necessari interventi di messa in sicurezza che verranno di seguito descritti.

a- Disgaggio manuale

Tutte le pareti sovrastanti l'area di intervento dovranno essere verificate da disgaggiatori, i quali dovranno abbattere tutte le masse che risultino instabili, sia con disgaggio manuale che con l'utilizzo di cuscini.
Da una analisi delle parti sovrastanti i tagli in roccia non si sono ravvisate condizioni di particolare criticità se non per il fatto che le pareti naturali sovrastanti sono molto ripide e quindi la caduta di massi potrebbe interessare la zona di lavoro. Conseguentemente i disgaggi dovranno essere estesi a tutto il versante sovrastante le aree di lavoro.
Nel dettaglio oltre al predetto disgaggio dovranno essere eseguiti questi interventi :

- Cantiere Nocellaio

Fig.30 cantiere Nocellaio , rete verticale

Messa in opera di una rete verticale in acciaio per una altezza di due metri nella parte superiore del cantiere in corrispondenza della vecchia viabilità per la cava superiore, supportata da paletti in ferro infissi nella roccia, con alla base lamiera di ferro di altezza 30 cm.

- Cantiere Prunetti

Taglio in roccia sul lato ovest di massa rocciosa, già previsto nel progetto di coltivazione per eliminare porzione a franapoggio sino ad incontrare la frattura naturale data dalla presenza di scisti viola nella parte a monte, evidenziato nella figura successiva. Il taglio dovrà creare una parete verticale in cui dovranno

essere successivamente verificati gli interventi di consolidamento necessari. L'intervento avviene a quote inferiori a 1.200 m, ed è stato comunque già previsto nel progetto di coltivazione.

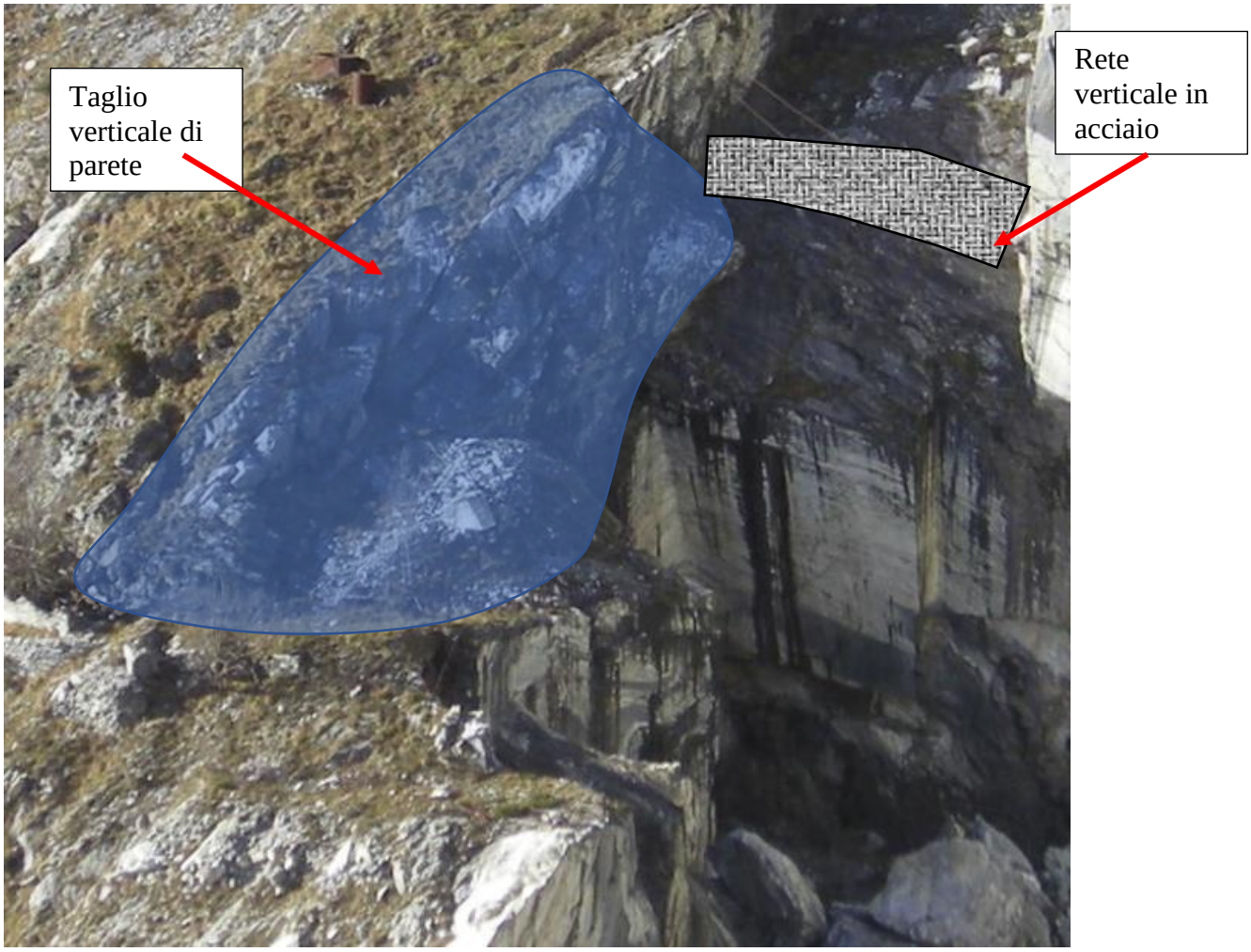


Fig.31 cantiere Prunetti zona da tagliare e rete verticale

Nella parte centrale sarà posizionata una rete verticale in acciaio con le stesse caratteristiche di quella prevista nel cantiere Nocellaio.

- Eliminazione con taglio verticale di massa aggettante

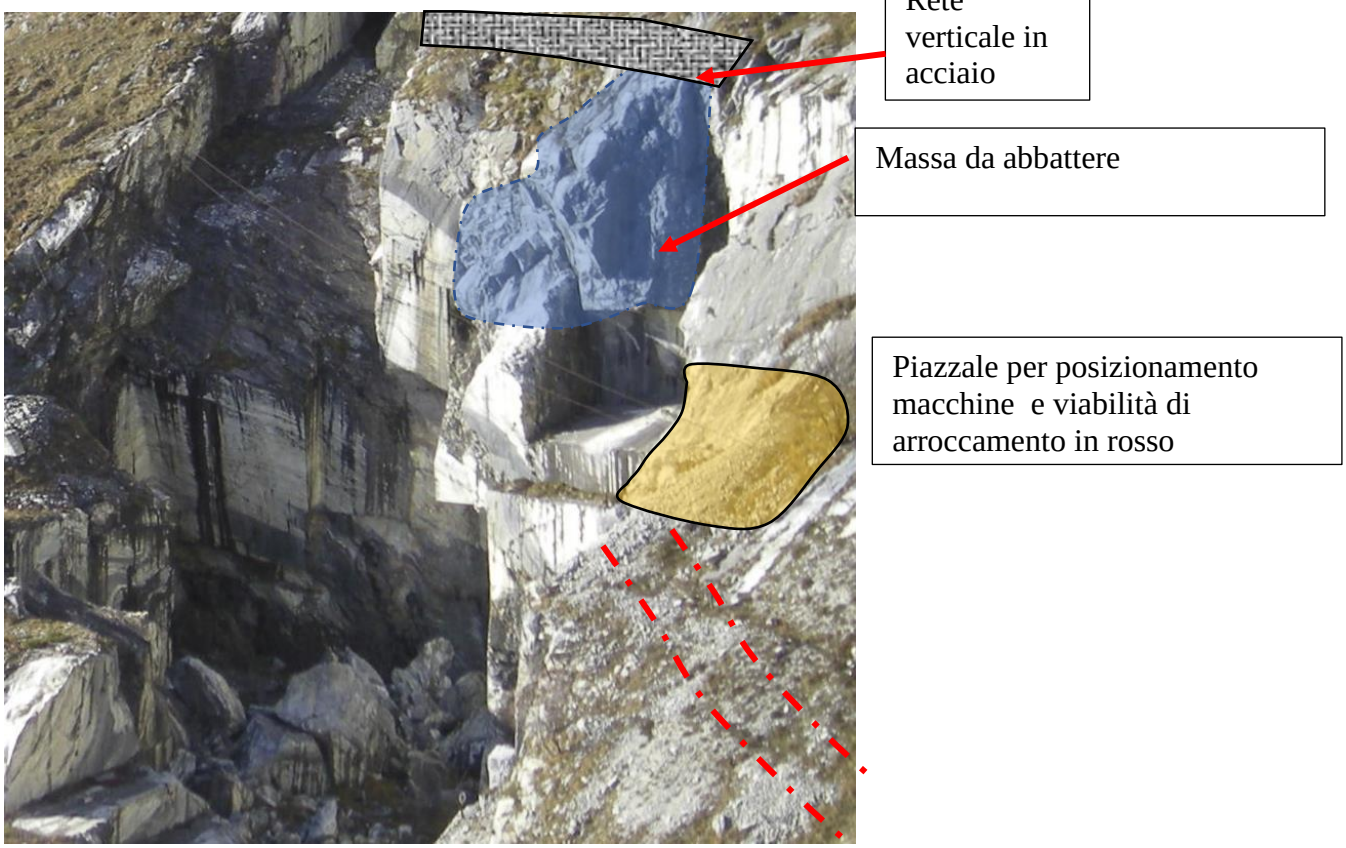


Fig.32 cantiere Prunetti zona da tagliare e rete verticale e piazzale per taglio parete

L'intervento è previsto nel progetto di coltivazione, ma come il precedente, riguarda masse improduttive, che quindi non sono state computate nei volumi di estrazione per il calcolo della resa, essendo opere di messa in sicurezza che prevedono abbattimento di masse instabili superficiali. L'intervento sarà possibile dopo che si sarà raggiunta la quota 1139 m con una strada di arroccamento e sarà creata una piazzola a questa quota. Con macchine operatrici poste nella piazzola sarà possibile procedere al taglio della massa utilizzando volanetti di rinvio per eseguire il taglio verticale posteriore. La massa, costituita da un tetto sovrastante un bando di roccia, verrà fatto precipitare sul piazzale sottostante, senza l'utilizzo e la presenza di uomini e mezzi meccanici.

Preliminarmente verrà posizionata dai disgaggiatori nella parte sovrastante del versante una rete verticale di 2 metri, con le stesse caratteristiche di quella prevista nel cantiere Nocellaio La porzione di roccia a valle della rete verticale verrà solo pulita dai disgaggiatori, in quanto è previsto entro la fine della prima fase di tagliarla per creare una sola parete verticale.

- Apertura delle gallerie

Le due gallerie hanno analoghe direzioni di sviluppo e quindi si analizzano per entrambe i potenziali cinematismi con il programma Unwedge della Rocscience. Saranno pertanto analizzate le seguenti combinazioni :

K1/k2/k3;K1/k2/k4;K1/K2/k5; K1/k4/K5;K1/K3/K4;K2/K3/K4;K2/K3/K5;K4/K5/K2; K3/K4/K5

Dall'analisi con questo programma risulta che non vi sono situazioni di instabilità.

a- Direzione N140°

combinazione	Cuneo instabile	Volume	Fs minimo	F2 dopo stabilizzazione	Tipo di intervento
K1/k2/k3	nessuno		30	nessuno	nessuno
K1/k2/k4	nessuno		16	nessuno	nessuno
K1/K2/k5	nessuno		27	nessuno	nessuno
K1/k4/K5	nessuno		23	nessuno	nessuno
K1/K3/K4	nessuno		12	nessuno	nessuno
K1/k3/k5	nessuno		24	nessuno	nessuno
K2/K3/K4	nessuno		28	nessuno	nessuno
K2/K3/K5	nessuno		11	nessuno	nessuno
K4/K5/K2	nessuno		12	nessuno	nessuno
K3/K4/K5	nessuno		11	nessuno	nessuno

b- direzione N°58°

combinazione	Cuneo instabile	Volume	Fs minimo	F2 dopo stabilizzazione	Tipo di intervento
K1/k2/k3	nessuno		5	nessuno	nessuno
K1/k2/k4	nessuno		15	nessuno	nessuno
K1/K2/k5	nessuno		24	nessuno	nessuno
K1/k4/K5	nessuno		36	nessuno	nessuno
K1/K3/K4	nessuno		15	nessuno	nessuno
K1/k3/k5	nessuno		16	nessuno	nessuno
K2/K3/K4	nessuno		4	nessuno	nessuno
K2/K3/K5	nessuno		4	nessuno	nessuno
K4/K5/K2	nessuno		18	nessuno	nessuno
K3/K4/K5	nessuno		28	nessuno	nessuno

Le attività di creazione dei portali saranno precedute da opere di stabilizzazione della volta come descritto di seguito.

a- Galleria cantiere Prunetti

La galleria Prunetti verrà aperta nella prima fase, dopo che sarà stata messa in sicurezza la parete verticale indicata nella fig. 31. Il portale di ingresso sarà consolidato con barre in acciaio da 6 metri disposte su due file con interasse 1 m e tra loro sbalzate di un metro . Le barre avranno un diametro di 40 mm.

b- Galleria Cantiere Le Conche

Questa galleria costituita da due ingressi verrà preceduta dalla creazione di una parete verticale, in continuazione con quella esistente. La creazione degli ingressi verrà preceduta dal consolidamento della volta con barre in acciaio da 40 mm di diametro e lunghezza 6 m, infisse con boiacca cementizie e tirate a 20 ton per costituire una trave. A seguito del primo avanzamento si valuteranno gli interventi di messa in sicurezza delle pareti.

13 Conclusioni e prescrizioni

La cava necessita per la sua riattivazione di una fase preliminare di disgaggio, che interessa tutta la parete sovrastante la zona di lavoro del cantiere Prunetti e di quello della cava Nocellaio. Quest'ultima presenta il residuo di una viabilità e di un piano orizzontale di una cava superiore in cui è possibile istallare una rete verticale in acciaio di altezza 2 m sostenuta da pali in ferro infissi nella roccia. Si ritine necessario istallare una rete verticale anche al di sopra delle pareti del cantiere Prunetti, una rete verticale analoga a quella del cantiere Nocellaio, ritenendo che non vi siano masse importanti e non disgaggiabili che richiedano di mettere una rete paramassi. Sempre nel cantiere Nocellaio è necessario mettere una rete verticale nella zona laterale al di sopra della porzione caratterizzata dalla presenza di scisti viola , dopo ripulitura della parte retrostante.

In questo cantiere dopo il disgaggio e la posa delle reti verticali è necessario intervenire nella parete ovest con un taglio in roccia per eliminare residui di materiale aggettante in potenziale scivolamento verso l'interno del piazzale, come evidenziato in fig.31. Queste operazioni sono necessarie per rendere sicura ogni attività all'interno del piazzale esistente. Dopo il raggiungimento della quota 1139 m è necessario provvedere al taglio della parete aggettante che forma un sottotetto, come indicato nella fig.32.

Eventuali consolidamenti delle porzioni residue verranno valutate durante la fase del disgaggio , sottoponendo gli interventi alla AUSL nordovest. Si ritiene che questi interventi non richiedano tagli in roccia, ma qualora questi si rendessero necessari, prima di procedere si invierà la documentazione al Parco delle Alpi Apuane ed al Comune di Stazzema per l'eventuale rilascio di NO e modifica della PCA.

Per quanto riguarda le gallerie di progetto l'apertura dei portali di ingresso verrà preceduta dal consolidamento della soletta sovrastante il tetto con barre in acciaio da 40 mm, disposte su due file a distanza di 1 m e con interasse delle barre di 1,3m. Le barre di consolidamento avranno una lunghezza di 6 m, interessando i primi due avanzamenti e a partire dal terzo si valuteranno i necessari interventi a tetto

o sulle pareti, disponendo di un quadro della fratturazione specifico della galleria che comporterà una revisione delle previsioni eseguite con Unwedge.

Querceta Aprile 2022

Dott. Geologo Vinicio Lorenzoni

ALLEGATI – caratteristiche giunti - Report Analisi cinematiche e di stabilità gallerie

a- Caratteristiche dei giunti

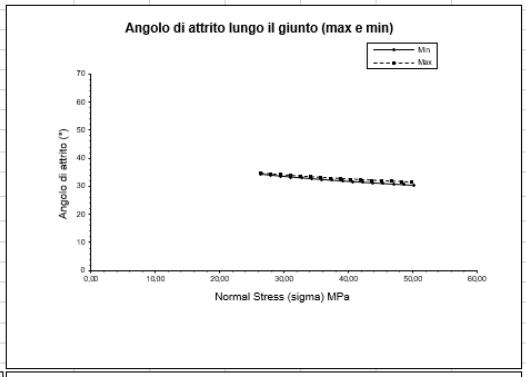
Famiglia K1

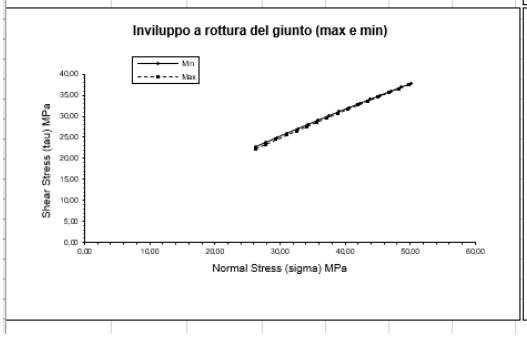
Caratterizzazione del giunto

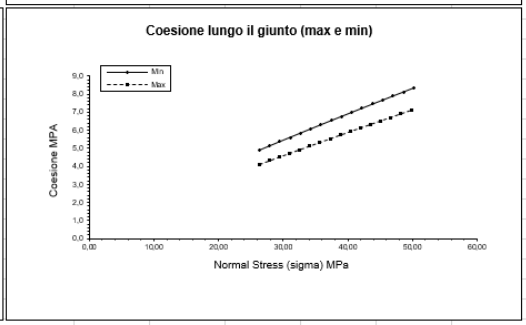
secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso		Min	Max	
Angolo di attrito di base		37,0	37,0	[°]
Joint Roughness Coefficient		12,0	15,0	[1]
Joint Compressive Strenght		49,8	50,2	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso		26,3		[kN/m³]
Campo di applicabilità	$\sigma_{n\ min}$	26,3	26,3	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n\ max}$	49,8	50,2	MPa

Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	7,00	0,184	102,7	260,5	59,7	63,1
prof. max	14,00	0,368	157,8	326,4	56,3	59,8







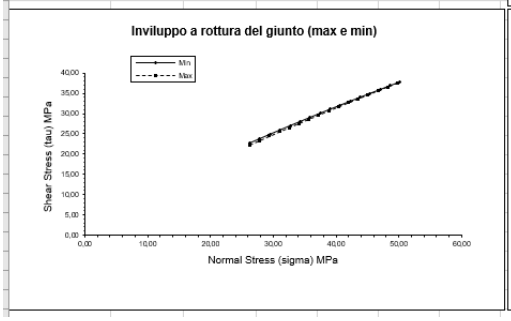
Famiglia K2

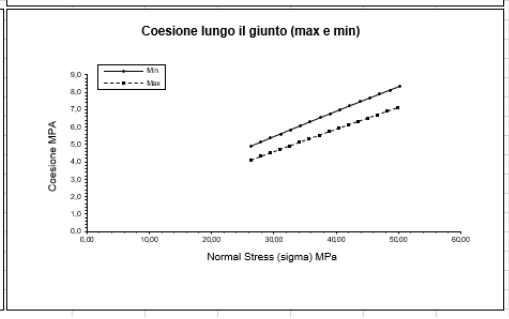
Caratterizzazione del giunto

secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso		Min	Max	
Angolo di attrito di base		37,0	37,0	[°]
Joint Roughness Coefficient		6,0	8,0	[1]
Joint Compressive Strenght		43,6	50,8	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso		26,3		[kN/m³]
Campo di applicabilità	$\sigma_{n\ min}$	26,3	26,3	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n\ max}$	43,6	50,8	MPa

Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	7,00	0,184	21,4	36,7	48,5	52,7
prof. max	14,00	0,368	39,6	65,0	46,7	50,3





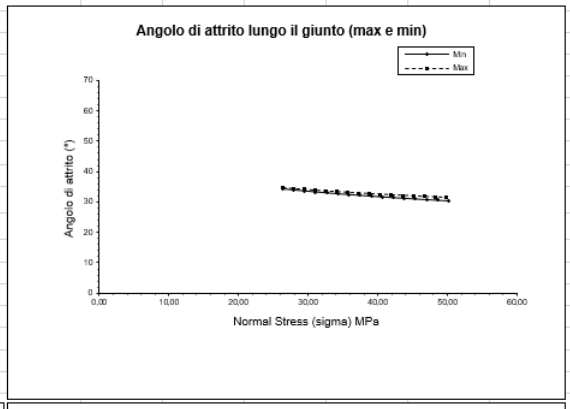
Famiglia K3

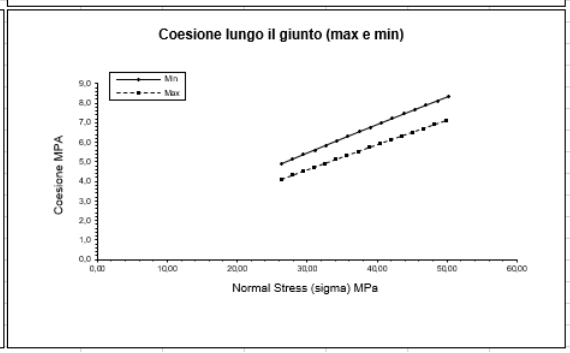
Caratterizzazione del giunto

secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso		Min	Max	
Angolo di attrito di base		37,0	37,0	[°]
Joint Roughness Coefficient		10,0	12,0	[1]
Joint Compressive Strenght		50,4	54,7	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso		26,3		[kN/m^3]
Campo di applicabilità	$\sigma_{n\ min}$	26,3	26,3	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n\ max}$	50,4	54,7	MPa

Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	7,00	0,184	60,8	106,8	56,3	60,1
prof. max	14,00	0,368	101,4	163,1	53,4	56,7





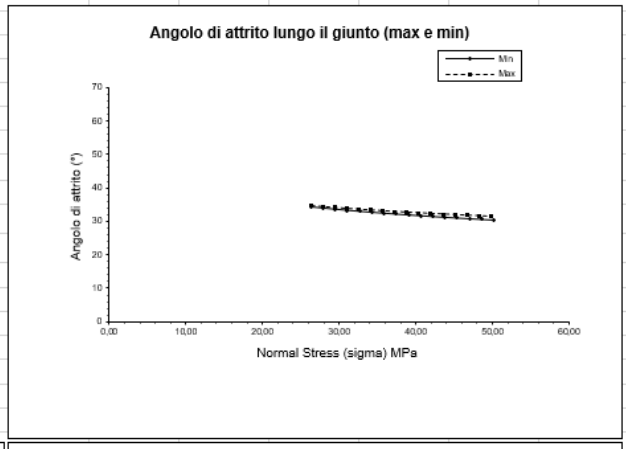
Famiglia K4

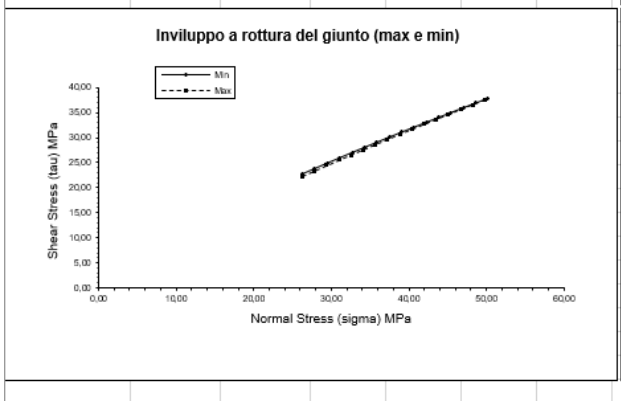
Caratterizzazione del giunto

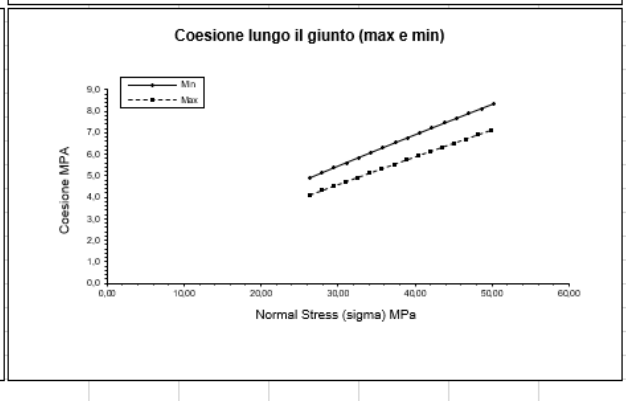
secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso		Min	Max	
Angolo di attrito di base		37,0	37,0	[°]
Joint Roughness Coefficient		6,0	8,0	[1]
Joint Compressive Strenght		51,6	53,2	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso		26,3		[kN/m^3]
Campo di applicabilità	$\sigma_{n\ min}$	26,3	26,3	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n\ max}$	51,6	53,2	MPa

Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	7,00	0,184	21,8	37,0	48,9	52,9
prof. max	14,00	0,368	40,3	65,5	47,1	50,5







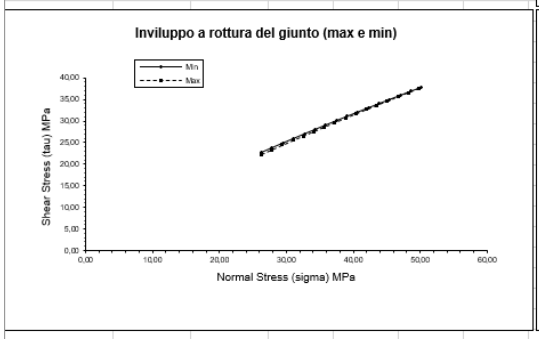
Famiglia K5

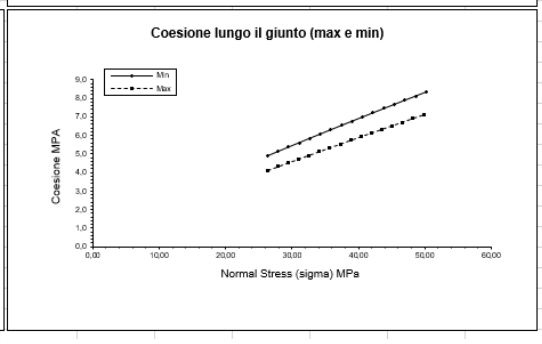
Caratterizzazione del giunto

secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso		Min	Max	
Angolo di attrito di base		37,0	37,0	[°]
Joint Roughness Coefficient		12,0	14,0	[1]
Joint Compressive Strenght		49,8	51,6	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso		26,3		[kN/m^3]
Campo di applicabilità	$\sigma_{n\ min}$	26,3	26,3	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n\ max}$	49,8	51,6	MPa

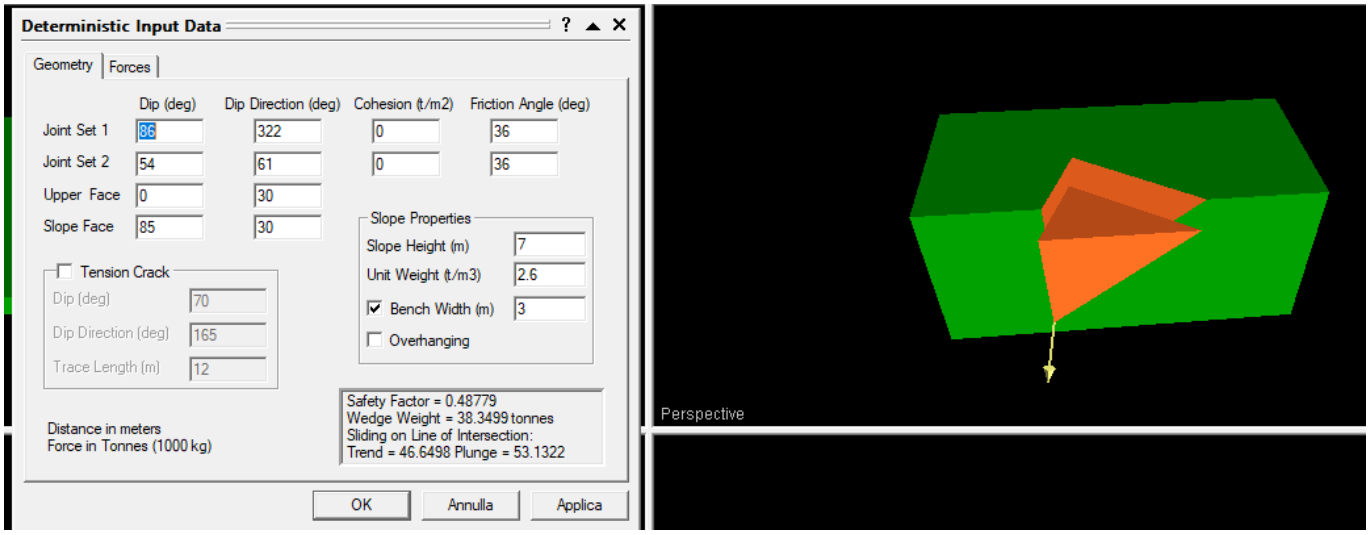
Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	7,00	0,184	102,7	189,3	59,7	62,5
prof. max	14,00	0,368	157,8	256,9	56,3	59,0





Analisi cinematismi - Cunei in scivolamento

Fronte F1
Cuneo K1/K2



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.23932
Wedge height(on slope)=4.75428 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=14.7499 m3
Wedge weight=38.3499 tonnes
Wedge area (joint1)=7.71026 m2
Wedge area (joint2)=17.1151 m2
Wedge area (slope)=14.8063 m2
Wedge area (upper face)=9.30738 m2
Normal force (joint1)=13.3623 tonnes
Normal force (joint2)=38.1696 tonnes
Driving force=30.2102 tonnes
Resisting force=37.4401 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0213942 tonnes/m2
Water force on joint1=0.164955 tonnes
Water force on joint2=0.366164 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=9.58747 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=53.1322 deg, trend=46.6498 deg
length=5.94268 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=4.77624 m
Joint2 on slope face=7.67784 m
Joint1 on upper face=3.2356 m
Joint2 on upper face=5.82481 m

Maximum Persistence:
Joint1=5.94268 m
Joint2=7.67784 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 53.8539 deg
J1&Crest on slope face = 87.7141 deg
J1&Crest on upper face = 68 deg
J2&Crest on slope face = 38.432 deg
J2&Crest on upper face = 31 deg
J1&2 on upper face = 81 deg

Joint Set 1 Data:

dip=86 deg, dip direction=322 deg
cohesion=0 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=30 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=30 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=46.6498 deg, plunge=53.1322 deg

Bolt Data:

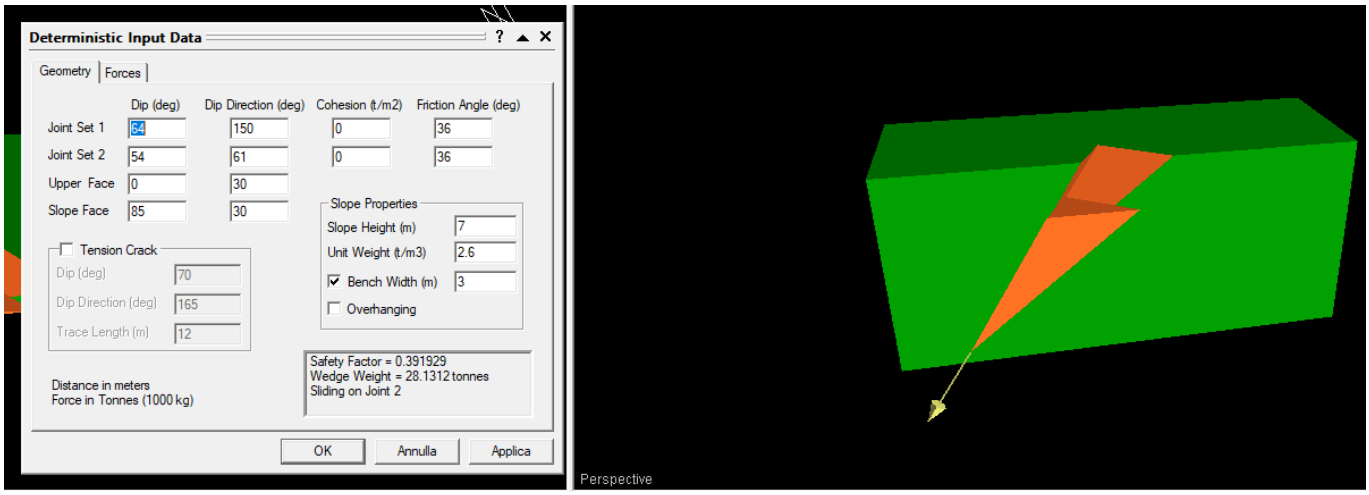
Number of bolts=1

Bolt #1
bolt model=active
trend=210 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.47369 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -0.043, -0.455, 4.75
Point 234: -5.42, 2.65, 4.75
Point 123: -2.59, -2.45, 4.75

Fronte F1 cuneo K3/K1



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.10933
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=2.03401 m
Wedge volume=10.8197 m3
Wedge weight=28.1312 tonnes
Wedge area (joint1)=9.14597 m2
Wedge area (joint2)=17.0853 m2
Wedge area (slope)=16.0192 m2
Wedge area (upper face)=4.63702 m2
Normal force (joint1)=4.39469 tonnes
Normal force (joint2)=32.104 tonnes
Driving force=23.9043 tonnes
Resisting force=26.5179 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0315 tonnes/m2
Water force on joint1=0.288098 tonnes
Water force on joint2=0.538188 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=7.03281 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=49.0386 deg, trend=94.1828 deg
length=9.26967 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=8.23587 m
Joint2 on slope face=11.3045 m
Joint1 on upper face=2.34867 m
Joint2 on upper face=3.94924 m

Maximum Persistence:
Joint1=9.26967 m
Joint2=11.3045 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 20.128 deg
J1&Crest on slope face = 121.44 deg
J1&Crest on upper face = 60 deg
J2&Crest on slope face = 38.432 deg
J2&Crest on upper face = 31 deg
J1&2 on upper face = 89 deg

Joint Set 1 Data:

dip=64 deg, dip direction=150 deg
cohesion=0 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=30 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=30 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=94.1828 deg, plunge=49.0386 deg

Bolt Data:

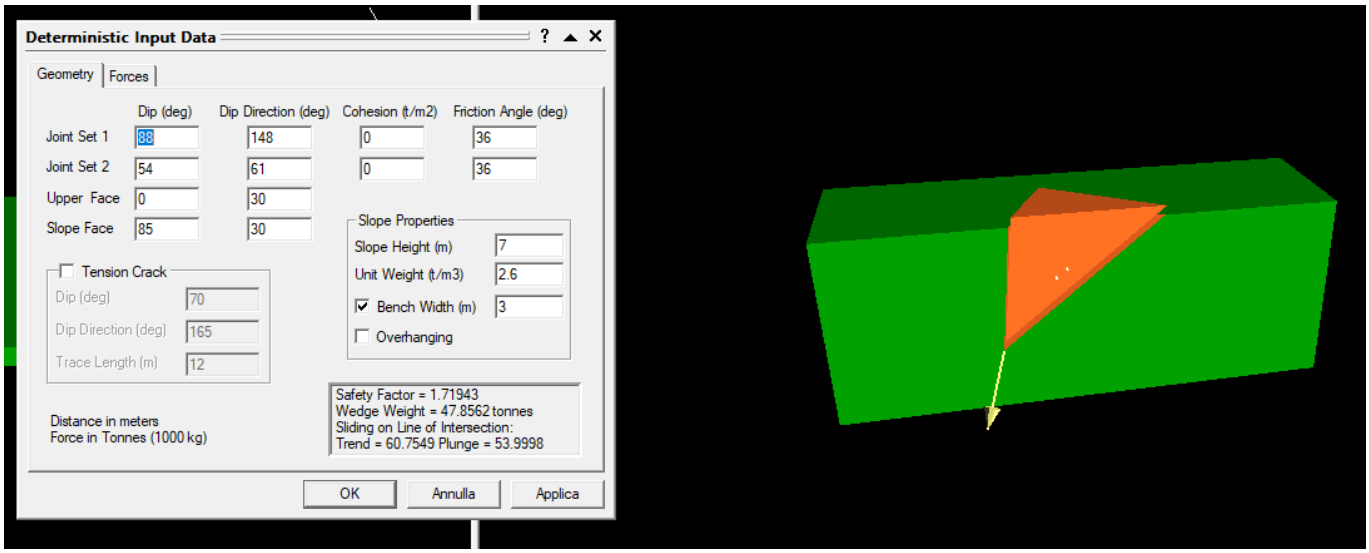
Number of bolts=1

Bolt #1
bolt model=active
trend=210 deg, plunge=5 deg
length=3 meters
anchored length=1.93305 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -4.03, 1.62, 7
Point 234: -7.98, 3.9, 7
Point 123: -6.06, 0.443, 7

F1 K2a/K1



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.71943
Wedge height(on slope)=5.58784 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=18.4062 m3
Wedge weight=47.8562 tonnes
Wedge area (joint1)=9.49871 m2
Wedge area (joint2)=20.1158 m2
Wedge area (slope)=18.4765 m2
Wedge area (upper face)=9.88195 m2
Normal force (joint1)=20.3789 tonnes
Normal force (joint2)=58.6009 tonnes
Driving force=33.3728 tonnes
Resisting force=57.3822 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0251453 tonnes/m2
Water force on joint1=0.238848 tonnes
Water force on joint2=0.505818 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=11.9641 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=53.9998 deg, trend=60.7549 deg
length=6.90697 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=5.62976 m
Joint2 on slope face=9.02399 m
Joint1 on upper face=3.39771 m
Joint2 on upper face=5.82481 m

Maximum Persistence:
Joint1=6.90697 m
Joint2=9.02399 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 46.6674 deg
J1&Crest on slope face = 94.9006 deg
J1&Crest on upper face = 62 deg
J2&Crest on slope face = 38.432 deg
J2&Crest on upper face = 31 deg
J1&2 on upper face = 87 deg

Joint Set 1 Data:

dip=88 deg, dip direction=148 deg
cohesion=0 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=30 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=30 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=60.7549 deg, plunge=53.9998 deg

Bolt Data:

Number of bolts=2

Bolt #1
bolt model=active
trend=210 deg, plunge=5 deg
length=3 meters
anchored length=2.06677 meters
capacity=20 tonnes

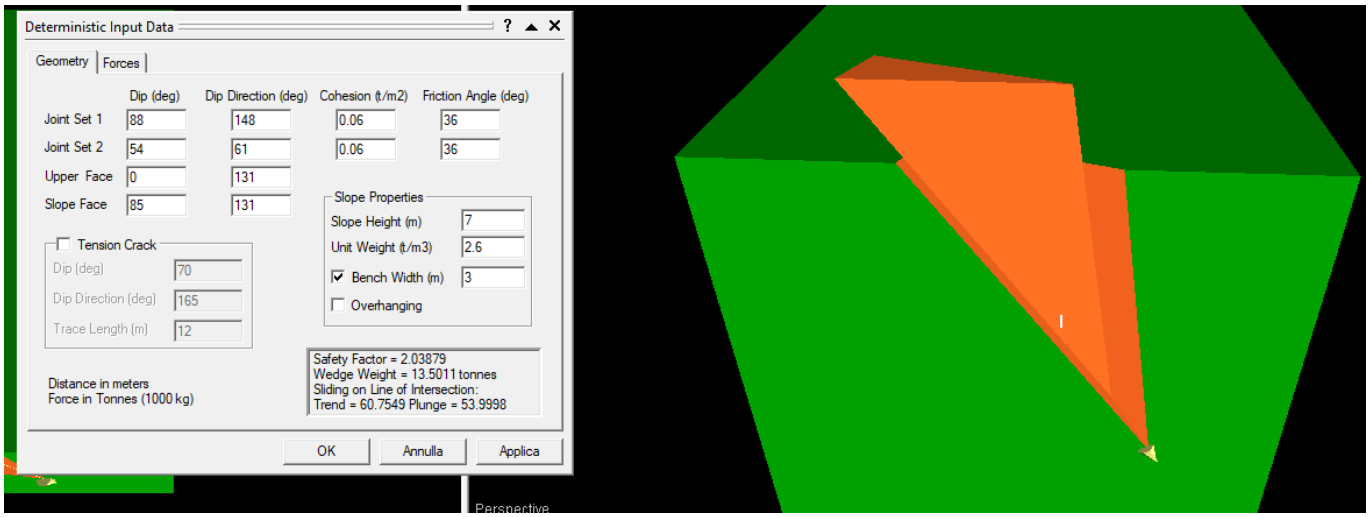
Bolt #2
bolt model=active
trend=210 deg, plunge=5 deg
length=3 meters
anchored length=2.09718 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format

1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -0.661, -0.183, 5.59
Point 234: -6.37, 3.11, 5.59
Point 123: -3.54, -1.98, 5.59

F2- K2a/K1



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=2.03879
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=1.10658 m
Wedge volume=5.19275 m3
Wedge weight=13.5011 tonnes
Wedge area (joint1)=13.255 m2
Wedge area (joint2)=5.09458 m2
Wedge area (slope)=14.1316 m2
Wedge area (upper face)=2.22546 m2
Normal force (joint1)=18.3208 tonnes
Normal force (joint2)=13.1355 tonnes
Driving force=11.7498 tonnes
Resisting force=23.9553 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0315 tonnes/m2
Water force on joint1=0.417534 tonnes
Water force on joint2=0.160479 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=3.37529 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=53.9998 deg, trend=60.7549 deg
length=8.6525 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.123 m
Joint2 on slope face=8.7352 m
Joint1 on upper face=3.78485 m
Joint2 on upper face=1.1776 m

Maximum Persistence:
Joint1=8.6525 m
Joint2=8.7352 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 27.016 deg
J1&Crest on slope face = 99.4301 deg
J1&Crest on upper face = 17 deg
J2&Crest on slope face = 53.5539 deg
J2&Crest on upper face = 70 deg
J1&2 on upper face = 93 deg

Joint Set 1 Data:

dip=88 deg, dip direction=148 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=131 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=131 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=60.7549 deg, plunge=53.9998 deg

Bolt Data:

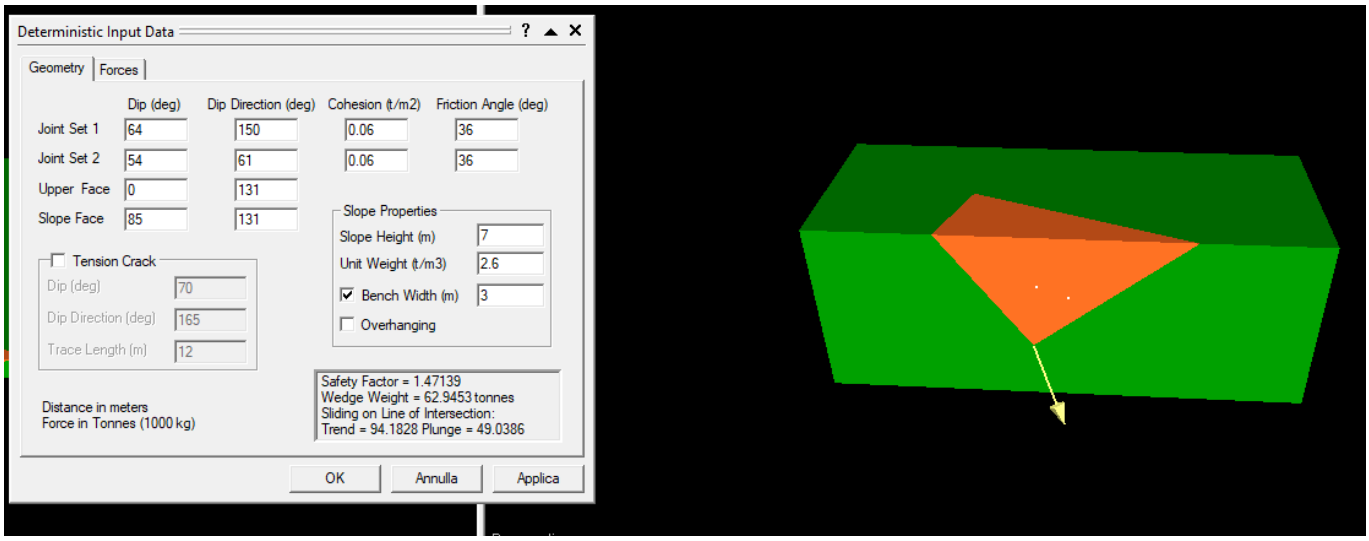
Number of bolts=1

Bolt #1
bolt model=active
trend=311 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.68702 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -1.23, -0.479, 7
Point 234: -3.87, -3.51, 7
Point 123: -4.44, -2.48, 7

F2 K1-K3



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.47139
Wedge height(on slope)=4.93847 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=24.2097 m3
Wedge weight=62.9453 tonnes
Wedge area (joint1)=25.3152 m2
Wedge area (joint2)=9.74408 m2
Wedge area (slope)=24.3022 m2
Wedge area (upper face)=14.7068 m2
Normal force (joint1)=52.7844 tonnes
Normal force (joint2)=35.434 tonnes
Driving force=44.99 tonnes
Resisting force=66.198 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0222231 tonnes/m2
Water force on joint1=0.562584 tonnes
Water force on joint2=0.216544 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=15.7363 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=49.0386 deg, trend=94.1828 deg
length=6.53972 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.89418 m
Joint2 on slope face=6.16265 m
Joint1 on upper face=9.21466 m
Joint2 on upper face=3.19253 m

Maximum Persistence:
Joint1=9.21466 m
Joint2=6.53972 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 87.5453 deg
J1&Crest on slope face = 38.9008 deg
J1&Crest on upper face = 19 deg
J2&Crest on slope face = 53.5539 deg
J2&Crest on upper face = 70 deg
J1&2 on upper face = 91 deg

1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 3.7, 4.92, 4.94
Point 234: -2.73, -2.48, 4.94
Point 123: -4.28, 0.313, 4.94

Joint Set 1 Data:

dip=64 deg, dip direction=150 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=131 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=131 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=94.1828 deg, plunge=49.0386 deg

Bolt Data:

Number of bolts=2

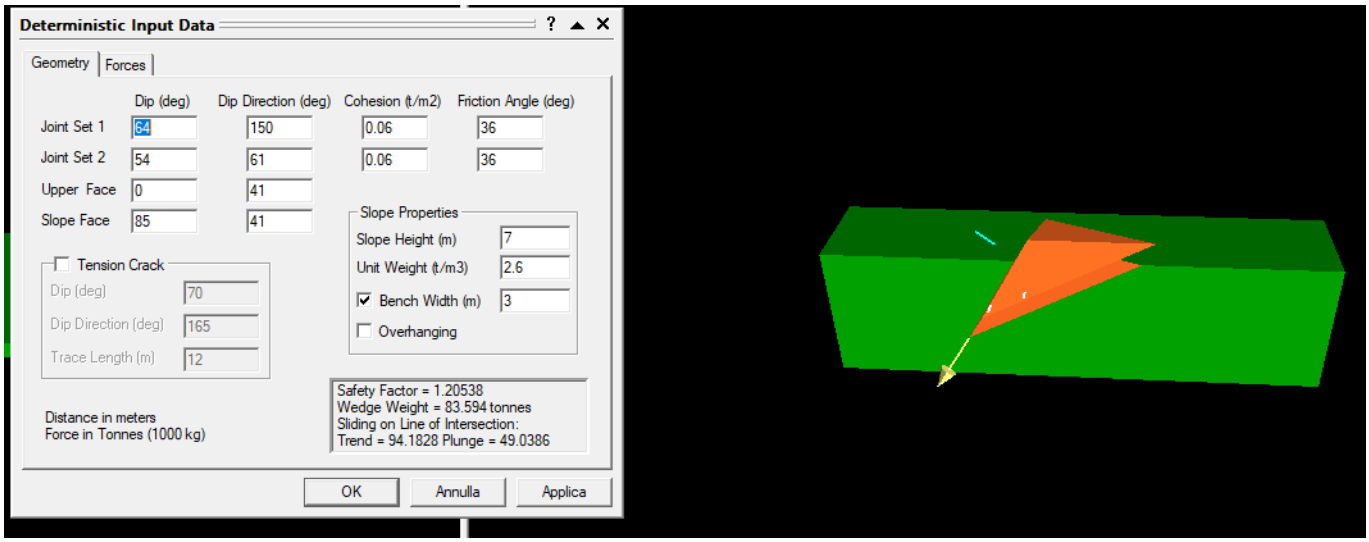
Bolt #1
bolt model=active
trend=311 deg, plunge=5 deg
length=3 meters
anchored length=2.4571 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #2
bolt model=active
trend=311 deg, plunge=5 deg
length=3 meters
anchored length=1.89043 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format

F3- K1-K3



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.20538
Wedge height(on slope)=6.93264 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=32.1516 m3
Wedge weight=83.594 tonnes
Wedge area (joint1)=12.2366 m2
Wedge area (joint2)=37.5821 m2
Wedge area (slope)=32.2744 m2
Wedge area (upper face)=13.9131 m2
Normal force (joint1)=4.96181 tonnes
Normal force (joint2)=97.9214 tonnes
Driving force=64.4924 tonnes
Resisting force=77.7381 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0311969 tonnes/m2
Water force on joint1=0.381743 tonnes
Water force on joint2=1.17244 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=20.8985 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=49.0386 deg, trend=94.1828 deg
length=9.18047 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.92182 m
Joint2 on slope face=14.7987 m
Joint1 on upper face=3.17286 m
Joint2 on upper face=8.77141 m

Maximum Persistence:
Joint1=9.18047 m
Joint2=14.7987 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 33.4084 deg
J1&Crest on slope face = 118.541 deg
J1&Crest on upper face = 71 deg
J2&Crest on slope face = 28.0506 deg
J2&Crest on upper face = 20 deg
J1&2 on upper face = 89 deg

Joint Set 1 Data:

dip=64 deg, dip direction=150 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=41 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=41 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=94.1828 deg, plunge=49.0386 deg

Bolt Data:

Number of bolts=3

Bolt #1
bolt model=active
trend=221 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.18713 meters
capacity=20 tonnes

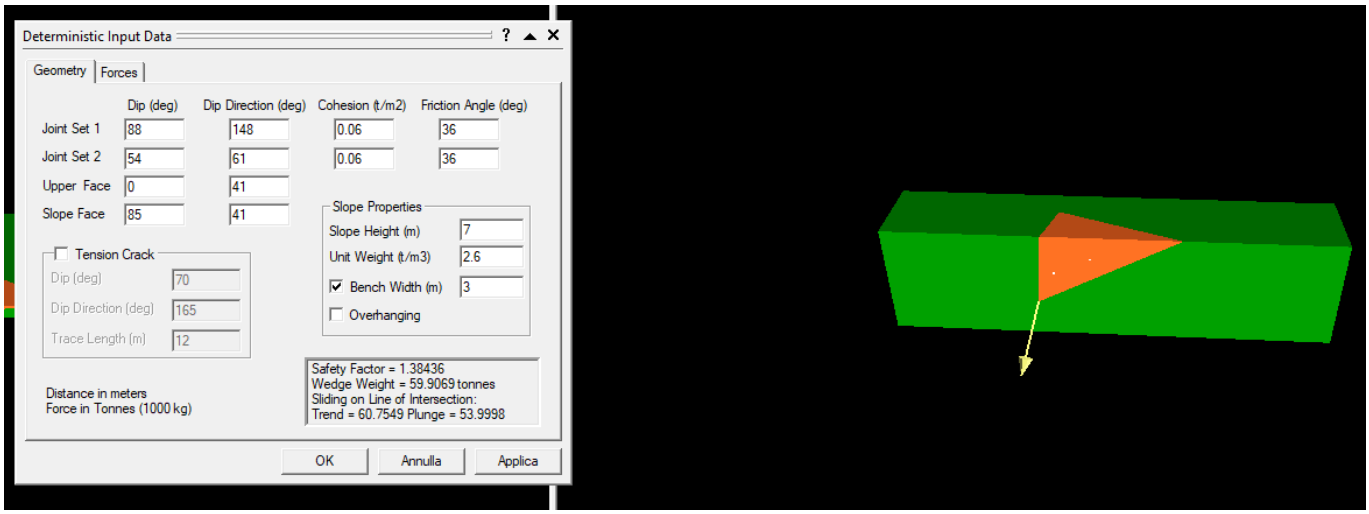
Bolt #2
bolt model=active
trend=221 deg, plunge=5 deg
length=6 meters
anchored length=4.94366 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #3
bolt model=active
trend=221 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.01625 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -3.25, 2.03, 6.93
Point 234: -10.3, 8.11, 6.93
Point 123: -6, 0.439, 6.93

F3 K1-K2a



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.38436
Wedge height(on slope)=5.03102 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=23.0411 m3
Wedge weight=59.9069 tonnes
Wedge area (joint1)=7.89615 m2
Wedge area (joint2)=27.2733 m2
Wedge area (slope)=23.1291 m2
Wedge area (upper face)=13.7394 m2
Normal force (joint1)=13.5507 tonnes
Normal force (joint2)=67.8001 tonnes
Driving force=44.2191 tonnes
Resisting force=61.2149 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0226396 tonnes/m2
Water force on joint1=0.178765 tonnes
Water force on joint2=0.617456 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=14.9767 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=53.9998 deg, trend=60.7549 deg
length=6.2187 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=5.06025 m
Joint2 on slope face=10.7394 m
Joint1 on upper face=3.13708 m
Joint2 on upper face=8.77141 m

Maximum Persistence:
Joint1=6.2187 m
Joint2=10.7394 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 58.3432 deg
J1&Crest on slope face = 93.6062 deg
J1&Crest on upper face = 73 deg
J2&Crest on slope face = 28.0506 deg
J2&Crest on upper face = 20 deg
J1&2 on upper face = 87 deg

Joint Set 1 Data:

dip=88 deg, dip direction=148 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=41 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=41 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=60.7549 deg, plunge=53.9998 deg

Bolt Data:

Number of bolts=2

Bolt #1
bolt model=active
trend=221 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.93816 meters
capacity=20 tonnes

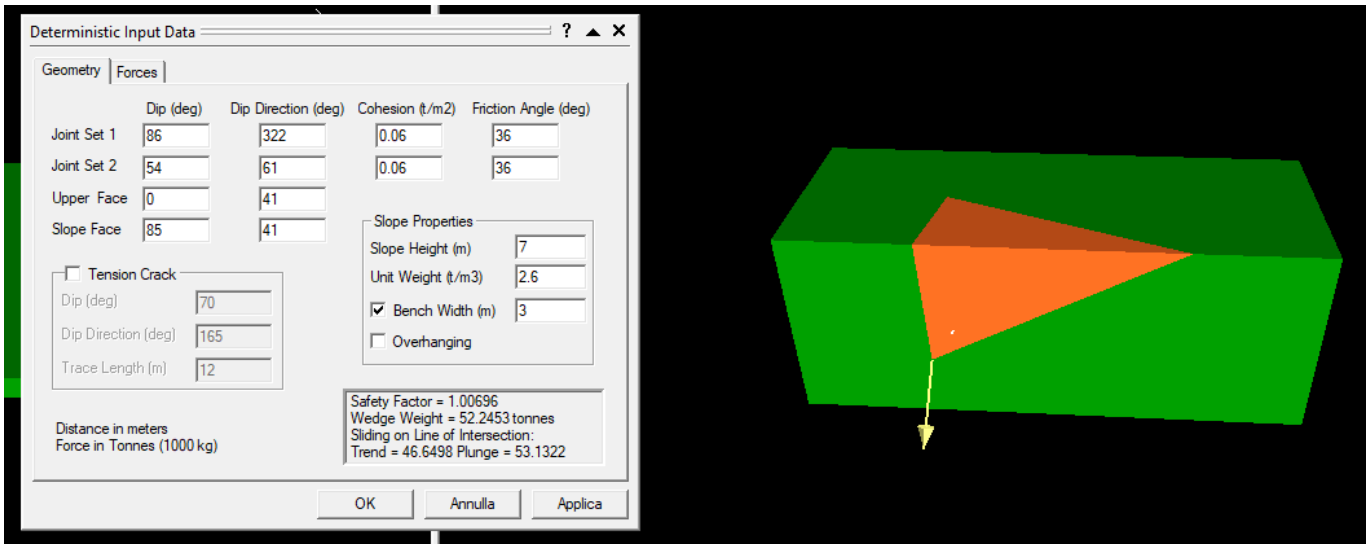
Bolt #2
bolt model=active
trend=221 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.84992 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format

1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -0.529, -0.123, 5.03
Point 234: -7.44, 5.89, 5.03
Point 123: -3.19, -1.79, 5.03

F3/ K2-K1



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.00696
Wedge height(on slope)=4.55367 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=20.0944 m3
Wedge weight=52.2453 tonnes
Wedge area (joint1)=6.97534 m2
Wedge area (joint2)=24.6856 m2
Wedge area (slope)=20.1711 m2
Wedge area (upper face)=13.2384 m2
Normal force (joint1)=11.4965 tonnes
Normal force (joint2)=47.3667 tonnes
Driving force=44.3576 tonnes
Resisting force=44.6663 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0204915 tonnes/m2
Water force on joint1=0.142935 tonnes
Water force on joint2=0.505844 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=13.0613 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=53.1322 deg, trend=46.6498 deg
length=5.69192 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=4.57773 m
Joint2 on slope face=9.72047 m
Joint1 on upper face=3.05615 m
Joint2 on upper face=8.77141 m

Maximum Persistence:
Joint1=5.69192 m
Joint2=9.72047 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 65.0417 deg
J1&Crest on slope face = 86.9077 deg
J1&Crest on upper face = 79 deg
J2&Crest on slope face = 28.0506 deg
J2&Crest on upper face = 20 deg
J1&2 on upper face = 81 deg

Joint Set 1 Data:

dip=86 deg, dip direction=322 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=41 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=41 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=46.6498 deg, plunge=53.1322 deg

Bolt Data:

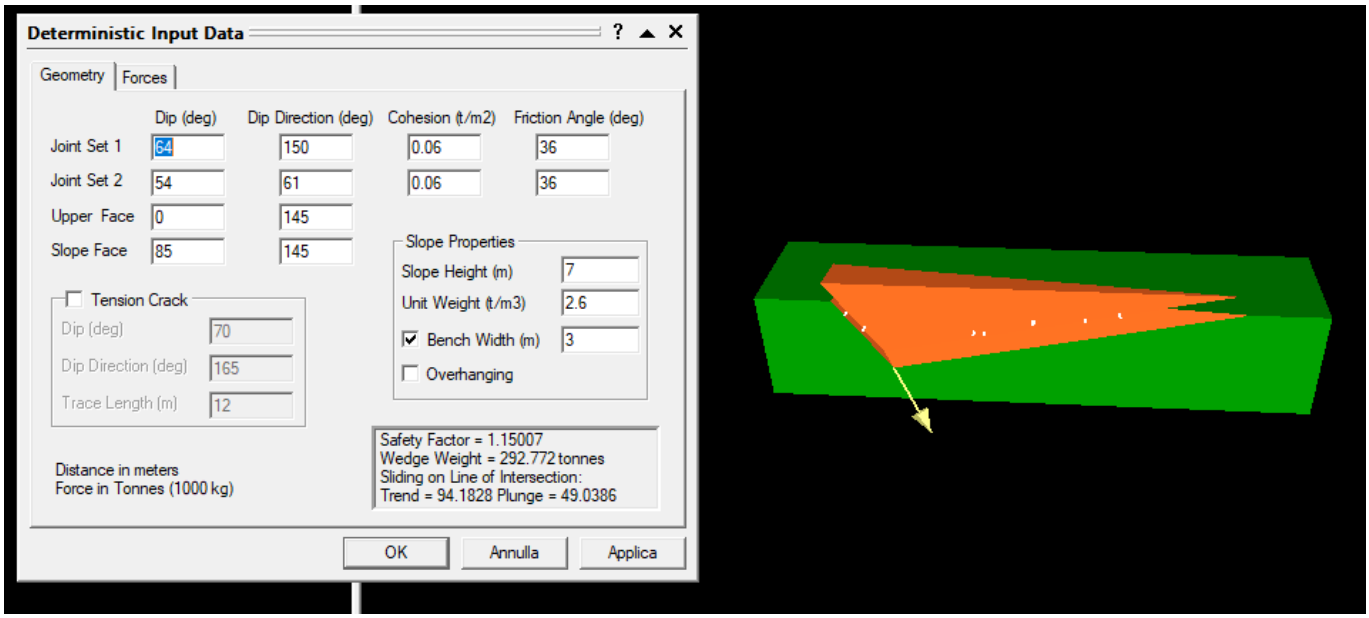
Number of bolts=1

Bolt #1
bolt model=active
trend=221 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.45353 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -0.075, -0.463, 4.55
Point 234: -6.74, 5.33, 4.55
Point 123: -2.48, -2.34, 4.55

F4 K3-K1



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.15007
Wedge height(on slope)=6.5079 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=112.605 m3
Wedge weight=292.772 tonnes
Wedge area (joint1)=124.617 m2
Wedge area (joint2)=12.1328 m2
Wedge area (slope)=113.035 m2
Wedge area (upper face)=51.9082 m2
Normal force (joint1)=238.862 tonnes
Normal force (joint2)=127.842 tonnes
Driving force=238.794 tonnes
Resisting force=274.631 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0292856 tonnes/m2
Water force on joint1=3.64947 tonnes
Water force on joint2=0.355315 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=73.1929 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=49.0386 deg, trend=94.1828 deg
length=8.61802 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=30.6161 m
Joint2 on slope face=8.04457 m
Joint1 on upper face=34.4211 m
Joint2 on upper face=3.01652 m

Maximum Persistence:
Joint1=34.4211 m
Joint2=8.61802 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 113.381 deg
J1&Crest on slope face = 12.3203 deg
J1&Crest on upper face = 5 deg
J2&Crest on slope face = 54.2988 deg
J2&Crest on upper face = 84 deg
J1&2 on upper face = 91 deg

Joint Set 1 Data:

dip=64 deg, dip direction=150 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=145 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=145 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=94.1828 deg, plunge=49.0386 deg

Bolt Data:

Number of bolts=8

Bolt #1
bolt model=active
trend=325 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.15969 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #2
bolt model=active
trend=325 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.11627 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #3
bolt model=active
trend=325 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.32899 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #4
bolt model=active
trend=325 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.33566 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #5
bolt model=active
trend=325 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.23552 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #6
bolt model=active
trend=325 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.33209 meters
capacity=20 tonnes

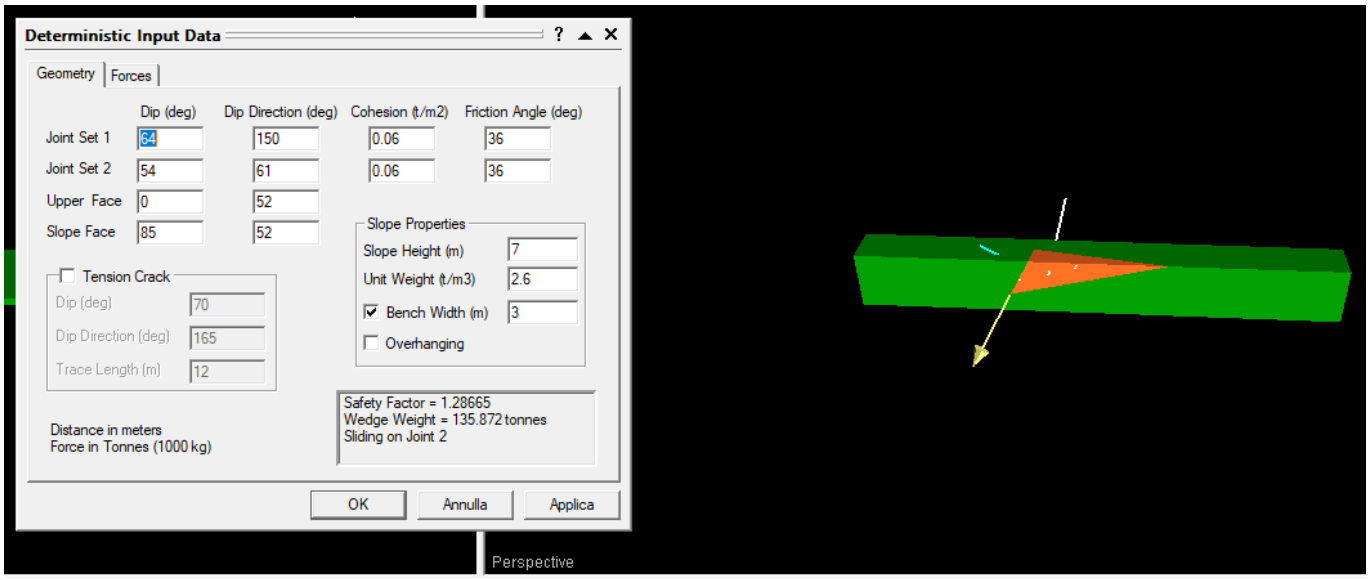
Bolt #7
bolt model=active
trend=325 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.08598 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #8
bolt model=active
trend=325 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.27165 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 24.2, 17.6, 6.51
Point 234: -4.17, -2.23, 6.51
Point 123: -5.63, 0.412, 6.51

F5 K1-K3



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.28665
Wedge height(on slope)=5.39779 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=52.2584 m3
Wedge weight=135.872 tonnes
Wedge area (joint1)=9.09692 m2
Wedge area (joint2)=63.976 m2
Wedge area (slope)=52.458 m2
Wedge area (upper face)=29.0443 m2
Normal force (joint1)=-7.15154 tonnes
Normal force (joint2)=161.16 tonnes
Driving force=95.0112 tonnes
Resisting force=122.246 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0242901 tonnes/m2
Water force on joint1=0.220965 tonnes
Water force on joint2=1.55398 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=33.9679 tonnes

Failure Mode:
Sliding on joint2

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=49.0386 deg, trend=94.1828 deg
length=7.14796 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=6.06501 m
Joint2 on slope face=22.7427 m
Joint1 on upper face=3.02948 m
Joint2 on upper face=19.1774 m

Maximum Persistence:
Joint1=7.14796 m
Joint2=22.7427 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 49.519 deg
J1&Crest on slope face = 116.698 deg
J1&Crest on upper face = 82 deg
J2&Crest on slope face = 13.7832 deg
J2&Crest on upper face = 9 deg
J1&2 on upper face = 89 deg

Joint Set 1 Data:

dip=64 deg, dip direction=150 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=52 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=52 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=94.1828 deg, plunge=49.0386 deg

Bolt Data:

Number of bolts=5

Bolt #1
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.30098 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #2
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.70617 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #3
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.54145 meters
capacity=20 tonnes

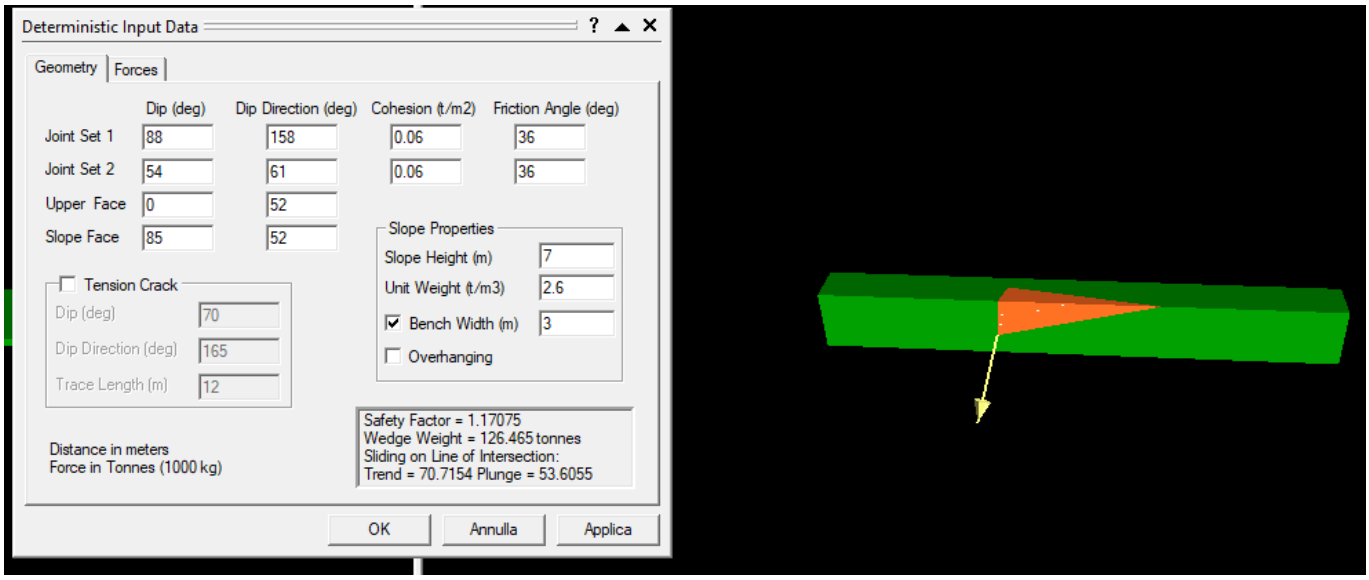
Bolt #4
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.69884 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #5
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=22 meters
anchored length=20.3574 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -2.05, 1.86, 5.4
Point 234: -14, 17.1, 5.4
Point 123: -4.67, 0.342, 5.4

F5- K1/K2a



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.17075
Wedge height(on slope)=4.9128 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=48.6404 m3
Wedge weight=126.465 tonnes
Wedge area (joint1)=7.67085 m2
Wedge area (joint2)=58.2278 m2
Wedge area (slope)=48.8262 m2
Wedge area (upper face)=29.7022 m2
Normal force (joint1)=6.07739 tonnes
Normal force (joint2)=140.339 tonnes
Driving force=94.2405 tonnes
Resisting force=110.332 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0221076 tonnes/m2
Water force on joint1=0.169584 tonnes
Water force on joint2=1.28728 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=31.6162 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=53.6055 deg, trend=70.7154 deg
length=6.10323 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=4.94079 m
Joint2 on slope face=20.6993 m
Joint1 on upper face=3.1209 m
Joint2 on upper face=19.1774 m

Maximum Persistence:
Joint1=6.10323 m
Joint2=20.6993 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 72.7158 deg
J1&Crest on slope face = 93.5011 deg
J1&Crest on upper face = 74 deg
J2&Crest on slope face = 13.7832 deg
J2&Crest on upper face = 9 deg
J1&2 on upper face = 97 deg

Joint Set 1 Data:

dip=88 deg, dip direction=158 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=52 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=52 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=70.7154 deg, plunge=53.6055 deg

Bolt Data:

Number of bolts=4

Bolt #1
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.45757 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #2
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.06985 meters
capacity=20 tonnes

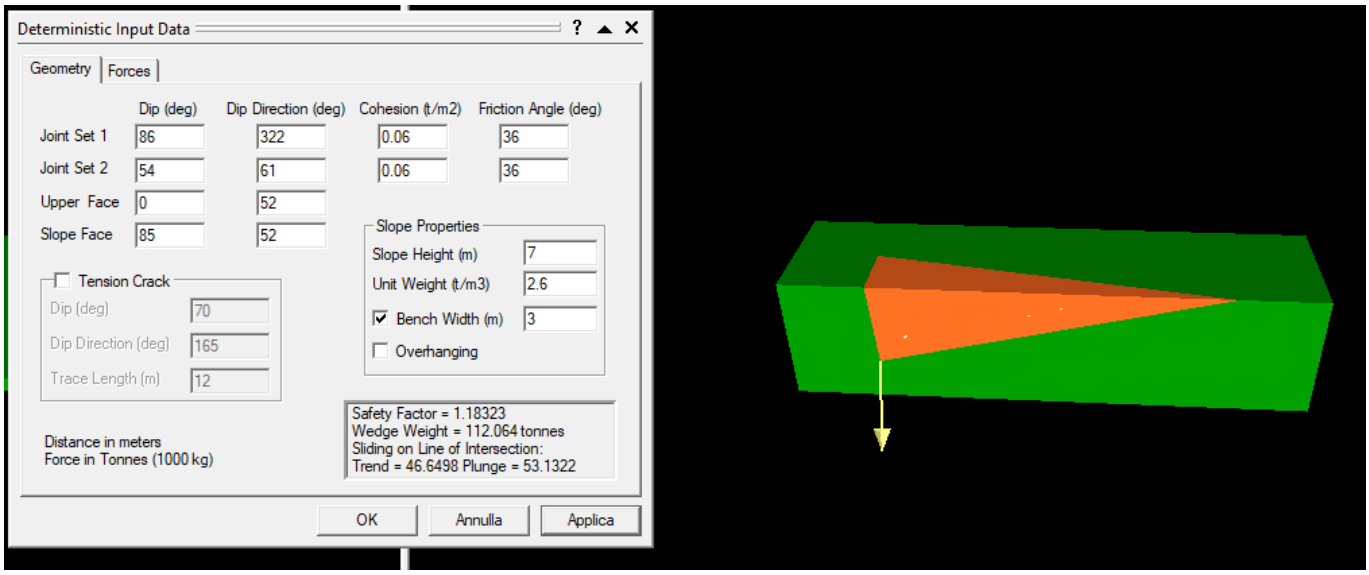
Bolt #3
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.2257 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #4
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=2.32407 meters
capacity=20 tonnes

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -0.524, -0.0269, 4.91
Point 234: -12.7, 15.6, 4.91
Point 123: -3.42, -1.2, 4.91

F5 K1-K2



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=1.18323
Wedge height(on slope)=4.55107 m
Wedge width(on upper face)=3 m
Wedge volume=43.1015 m3
Wedge weight=112.064 tonnes
Wedge area (joint1)=6.84328 m2
Wedge area (joint2)=53.9405 m2
Wedge area (slope)=43.2661 m2
Wedge area (upper face)=28.4119 m2
Normal force (joint1)=18.1233 tonnes
Normal force (joint2)=117.156 tonnes
Driving force=86.1482 tonnes
Resisting force=101.934 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0204798 tonnes/m2
Water force on joint1=0.140149 tonnes
Water force on joint2=1.10469 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=28.016 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=53.1322 deg, trend=46.6498 deg
length=5.68868 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=4.57953 m
Joint2 on slope face=19.1752 m
Joint1 on upper face=3 m
Joint2 on upper face=19.1774 m

Maximum Persistence:
Joint1=5.68868 m
Joint2=19.1774 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 80.2016 deg
J1&Crest on slope face = 86.0152 deg
J1&Crest on upper face = 90 deg
J2&Crest on slope face = 13.7832 deg
J2&Crest on upper face = 9 deg
J1&2 on upper face = 81 deg

Joint Set 1 Data:

dip=86 deg, dip direction=322 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=54 deg, dip direction=61 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=52 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=52 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=46.6498 deg, plunge=53.1322 deg

Bolt Data:

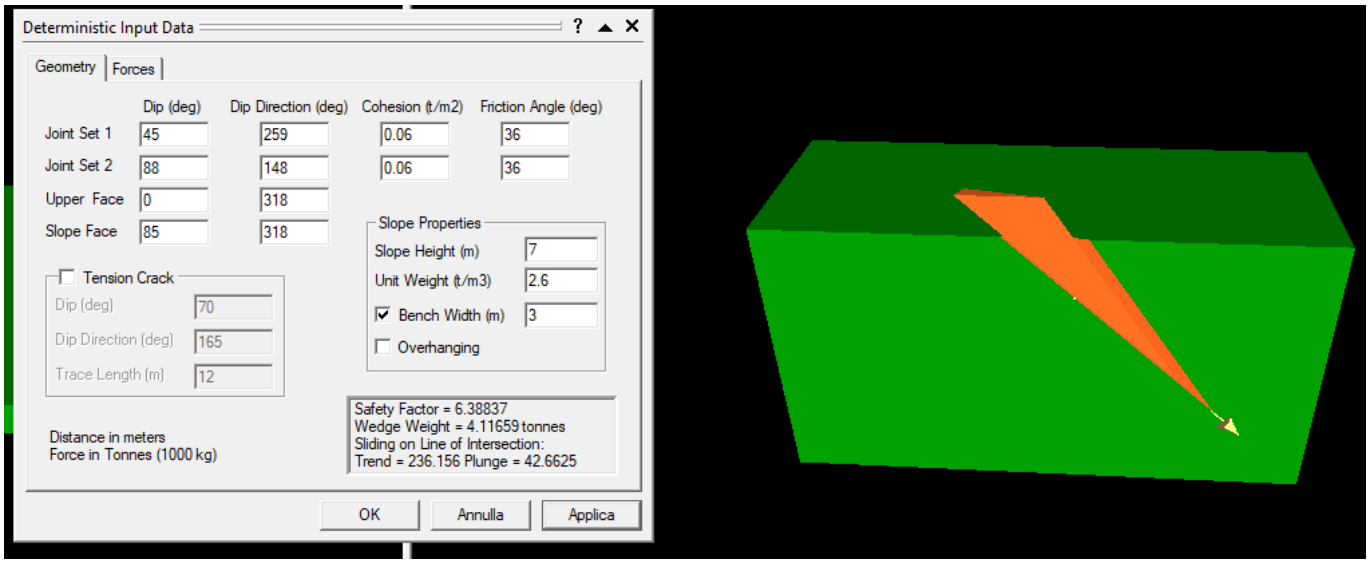
Number of bolts=3

Bolt #1
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.17079 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #2
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg
length=4 meters
anchored length=3.18072 meters
capacity=20 tonnes

Bolt #3
bolt model=active
trend=232 deg, plunge=5 deg

F6 -K5/K2a



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
cava Tombaccio

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=6.38837
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=0.465158 m
Wedge volume=1.5833 m3
Wedge weight=4.11659 tonnes
Wedge area (joint1)=2.68608 m2
Wedge area (joint2)=9.38131 m2
Wedge area (slope)=10.2504 m2
Wedge area (upper face)=0.678559 m2
Normal force (joint1)=7.26335 tonnes
Normal force (joint2)=17.4297 tonnes
Driving force=2.92165 tonnes
Resisting force=18.6646 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.0315 tonnes/m2
Water force on joint1=0.0846114 tonnes
Water force on joint2=0.295511 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=1.02915 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=42.6625 deg, trend=236.156 deg
length=10.3294 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=10.4972 m
Joint2 on slope face=8.55561 m
Joint1 on upper face=0.542669 m
Joint2 on upper face=2.67874 m

Maximum Persistence:
Joint1=10.4972 m
Joint2=10.3294 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 13.1952 deg
J1&Crest on slope face = 42.0202 deg
J1&Crest on upper face = 59 deg
J2&Crest on slope face = 124.785 deg
J2&Crest on upper face = 10 deg
J1&2 on upper face = 111 deg

Joint Set 1 Data:

dip=45 deg, dip direction=259 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Joint Set 2 Data:

dip=88 deg, dip direction=148 deg
cohesion=0.06 tonnes/m2, friction angle=36 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=318 deg
slope height=7 meters
bench width=3 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=318 deg

Water Pressure Data:

Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:

Seismic coefficient=0.25
Direction=line of interesection J1&J2
trend=236.156 deg, plunge=42.6625 deg

Bolt Data:

Number of bolts=1

Bolt #1
bolt model=active
trend=138 deg, plunge=5 deg
length=2 meters
anchored length=1.96297 meters
capacity=20 tonnes

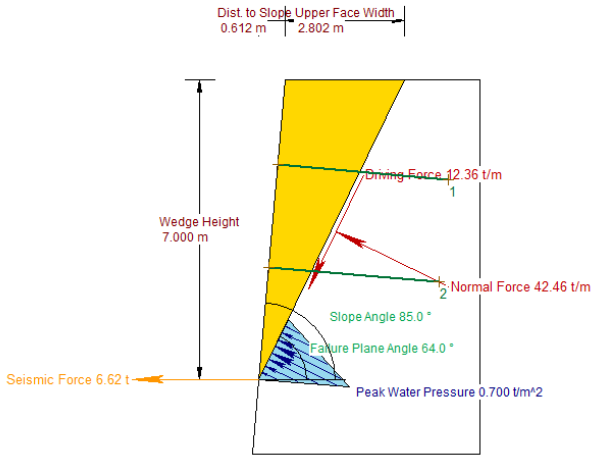
Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 6.21, 4.76, 7
Point 234: 4.04, 2.81, 7
Point 123: 6.31, 4.23, 7

SCIVOLAMENTI PLANARI

K3

Filename: RocPlane1
Project Title: Cava Fantastico



Factor of Safety	2.53
Driving Force	12.36t/m
Resisting Force	31.31t/m
Wedge Weight	26.48t/m
Wedge Volume	9.81m^3/m
Shear Strength	31.31t/m^2
Normal Force	42.46t/m
Seismic Force	6.62t
Plane Waviness	0.0°
Active Bolt Force	40.00t
Active Bolt Angle	355.0°
Passive Bolt Force	0.00t
Passive Bolt Angle	0.0°
Water Force on Failure Plane	0.55t/m

Bolt Properties:

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	5.0 °	20.00t/m	4.000 m	2.065 m
2	5.0 °	20.00t/m	4.000 m	2.987 m

RocPlane Analysis Information

Document Name:
RocPlane1

Job Title:
Cava Fantastico

Analysis Results:

Analysis type = Deterministic
Normal Force = 42.4553 t/m
Resisting Force = 31.3129 t/m
Driving Force = 12.3635 t/m
Factor of Safety = 2.53269

Geometry:

Slope Height = 7 m
Wedge Weight = 26.4761 t/m
Wedge Volume = 9.80598 m^3/m
Rock Unit Weight = 2.7 t/m^3
Slope Angle = 85 °
Failure Plane Angle = 64 °
Upper Face Angle = 0 °
Bench Width = 6 m
Wedge Height = 7 m
Waviness = 0 °

Intersection Point (B) of slope and upper face = (0.612421 , 7)
Intersection point (C) of failure plane and upper face = (3.41413 , 7)
Upper face length (B --> C) = 2.80171 m
Failure plane length (Origin --> C) = 7.78821 m
Wedge Slope length (Origin --> B) = 7.02674 m

Tension Crack : Not Present

Strength:

Shear Strength Model : Mohr-Coulomb
Friction Angle = 36 °
Cohesion = 0.06 t/m^2
Shear Strength: 31.3129 t/m^2

Water Pressure:

Water Unit Weight = 1 t/m^3
Pressure Distribution Model : Peak Pressure - Mid Height
Percent Filled : 20 %
Water Force on Failure Plane = 0.545175 t/m

Seismic Force:

Direction : Horizontal
Seismic Coefficient : 0.25
Seismic Force : 6.61903 t/m

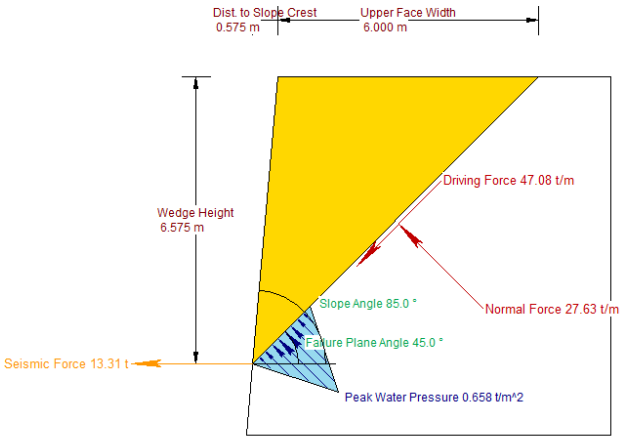
External Forces : Not Present

Bolt Force

Resultant Active Bolt Force = 40 t/m
Active Bolt Angle = 5 °
Resultant Passive Bolt Force = 0 t/m
#1 Bolt Capacity = 20 tonnes, Angle = 5 °, length = 4 m, Anchored Length = 2.06534 m, Active type
#2 Bolt Capacity = 20 tonnes, Angle = 5 °, length = 4 m, Anchored Length = 2.98722 m, Active type

K5

Filename: RocPlane1
Project Title: Cava Fantastico



Factor of Safety	0.44
Driving Force	47.08t/m
Resisting Force	20.64t/m
Wedge Weight	53.26t/m
Wedge Volume	19.73m^3/m
Shear Strength	20.64t/m^2
Normal Force	27.63t/m
Seismic Force	13.31t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	0.61t/m

RocPlane Analysis Information

Document Name:
RocPlane1

Job Title:
Cava Fantastico

Analysis Results:

Analysis type = Deterministic
Normal Force = 27.6338 t/m
Resisting Force = 20.635 t/m
Driving Force = 47.0753 t/m
Factor of Safety = 0.438341

Geometry:

Slope Height = 7 m
Wedge Weight = 53.2596 t/m
Wedge Volume = 19.7258 m^3/m
Rock Unit Weight = 2.7 t/m^3
Slope Angle = 85 °
Failure Plane Angle = 45 °
Upper Face Angle = 0 °
Bench Width = 6 m
Wedge Height = 6.57526 m
Waviness = 0 °

Intersection Point (B) of slope and upper face = (0.575261 , 6.57526)
Intersection point (C) of failure plane and upper face = (6.57526 , 6.57526)
Upper face length (B --> C) = 6 m
Failure plane length (Origin --> C) = 9.29882 m
Wedge Slope length (Origin --> B) = 6.60038 m

Tension Crack : Not Present

Strength:

Shear Strength Model : Mohr-Coulomb
Friction Angle = 36 °
Cohesion = 0.06 t/m^2
Shear Strength: 20.635 t/m^2

Water Pressure:

Water Unit Weight = 1 t/m^3
Pressure Distribution Model : Peak Pressure - Mid Height
Percent Filled : 20 %
Water Force on Failure Plane = 0.611422 t/m

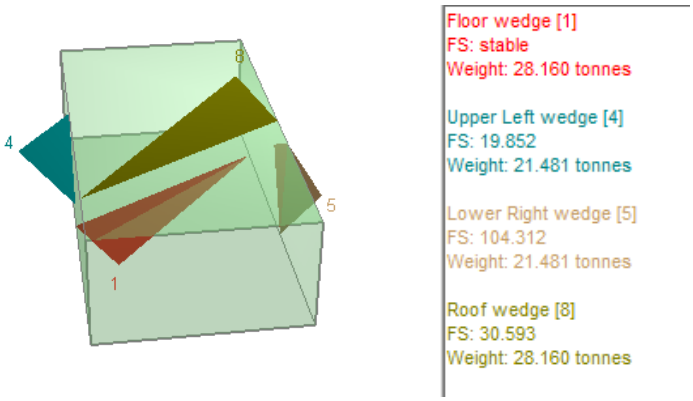
Seismic Force:

Direction : Horizontal
Seismic Coefficient : 0.25
Seismic Force : 13.3149 t/m

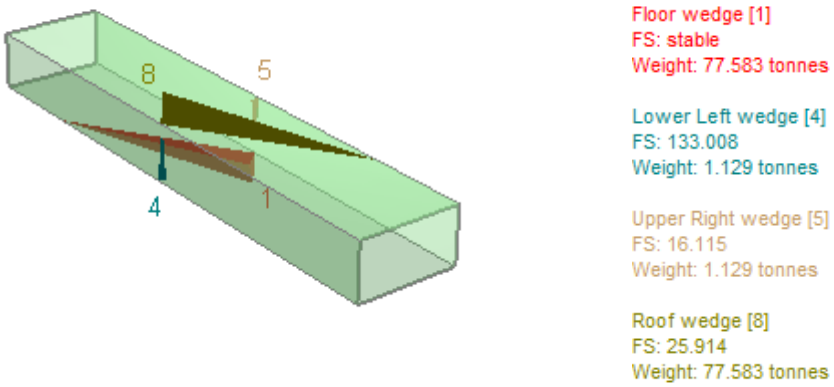
ANALISI GALLERIE

A- Direzione N140

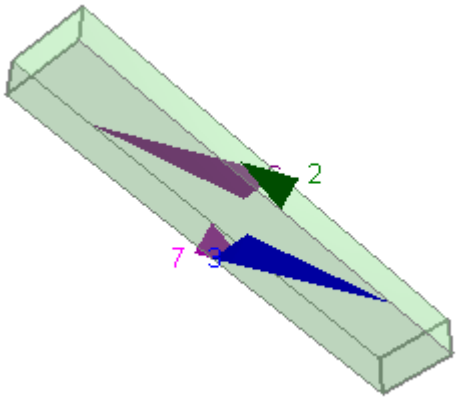
Combinazione K1/K2/K3



Combianzione K1/K2/K4



Combionazione K1/K2/K5



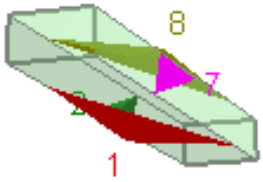
Lower Right wedge [2]
FS: 24.377
Weight: 51.266 tonnes

Floor wedge [3]
FS: stable
Weight: 156.186 tonnes

Roof wedge [6]
FS: 27.581
Weight: 156.186 tonnes

Upper Left wedge [7]
FS: 34.659
Weight: 51.266 tonnes

Combinazione K1/K4/K5



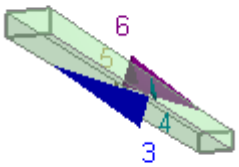
Floor wedge [1]
FS: stable
Weight: 212.181 tonnes

Lower Left wedge [2]
FS: 68.789
Weight: 25.433 tonnes

Upper Right wedge [7]
FS: 23.287
Weight: 25.433 tonnes

Roof wedge [8]
FS: 26.253
Weight: 212.181 tonnes

Combinazione K1/K3/K4



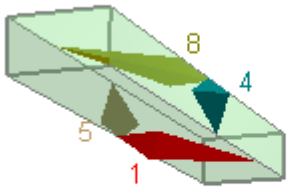
Floor wedge [3]
FS: stable
Weight: 708.752 tonnes

Lower Right wedge [4]
FS: 98.485
Weight: 6.120 tonnes

Upper Left wedge [5]
FS: 17.187
Weight: 6.120 tonnes

Roof wedge [6]
FS: 12.547
Weight: 708.752 tonnes

Combinazione K1/K3/K5



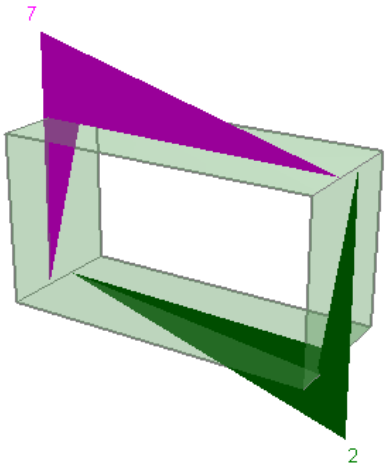
Floor wedge [1]
FS: stable
Weight: 153.276 tonnes

Upper Right wedge [4]
FS: 24.551
Weight: 47.889 tonnes

Lower Left wedge [5]
FS: 45.435
Weight: 47.889 tonnes

Roof wedge [8]
FS: 28.894
Weight: 153.276 tonnes

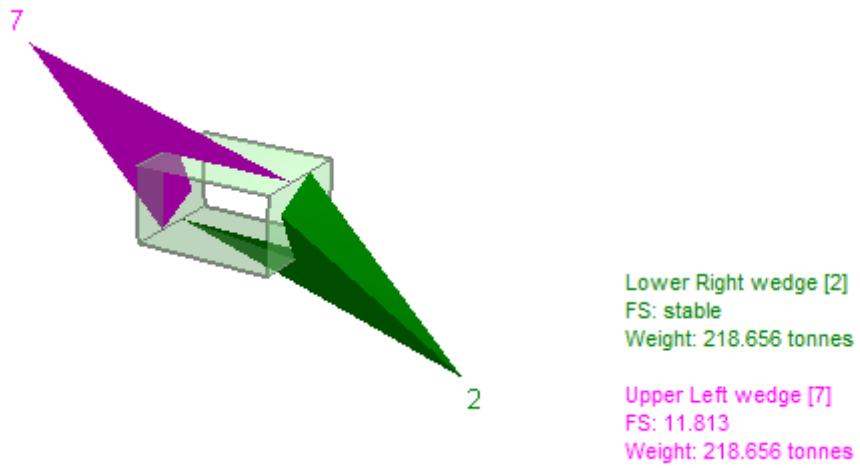
Combinazione K2/K3/K4



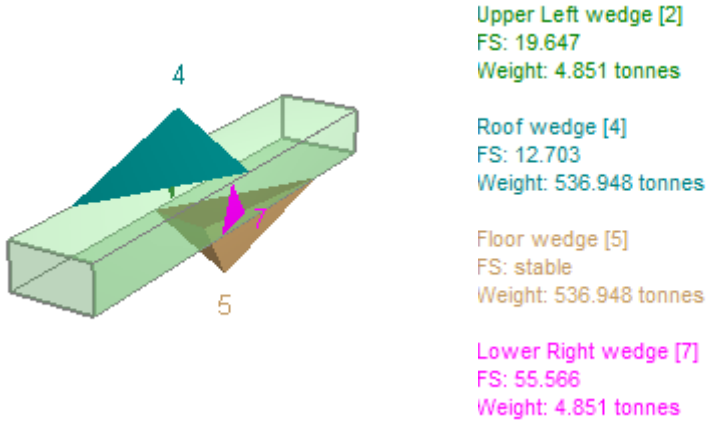
Lower Right wedge [2]
FS: stable
Weight: 23.788 tonnes

Upper Left wedge [7]
FS: 28.198
Weight: 23.788 tonnes

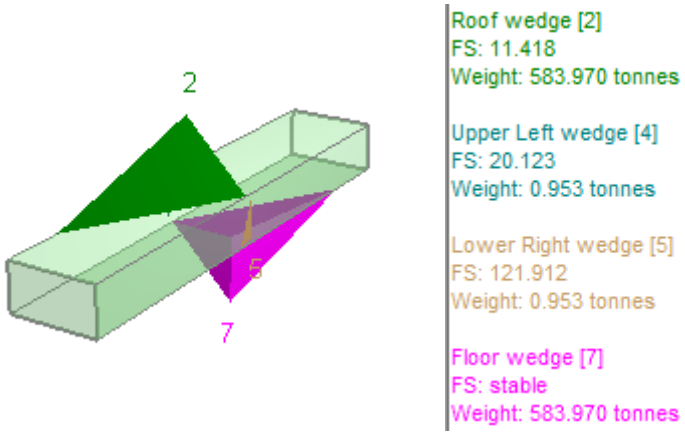
Combinazione K2/K3/k5



Combinazione K3/K4/K5

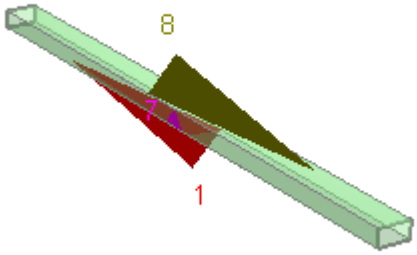


Combinazione K4/K5/K2



Orientazione galleria N58°

Combinazione K1/K2/K3



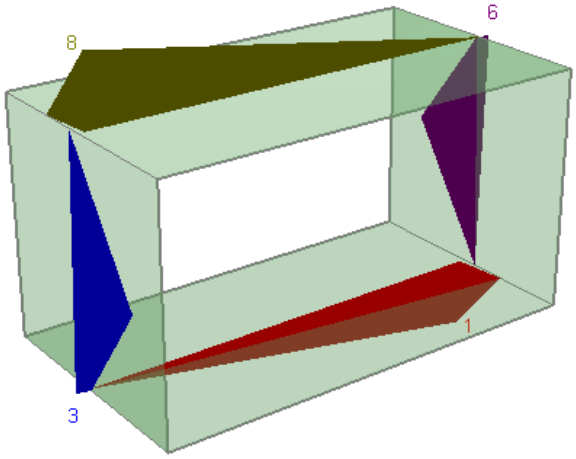
Floor wedge [1]
FS: stable
Weight: 6419.210 tonnes

Upper Right wedge [2]
FS: 20.640
Weight: 12.873 tonnes

Lower Left wedge [7]
FS: 65.147
Weight: 12.873 tonnes

Roof wedge [8]
FS: 5.008
Weight: 6419.210 tonnes

Combinazione K1/K2/K4



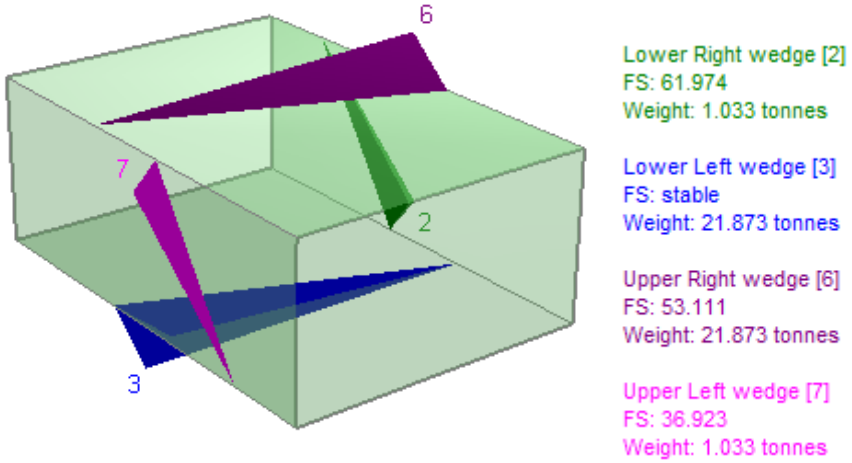
Lower Right wedge [1]
FS: stable
Weight: 11.104 tonnes

Lower Left wedge [3]
FS: 1394.121
Weight: 2.153 tonnes

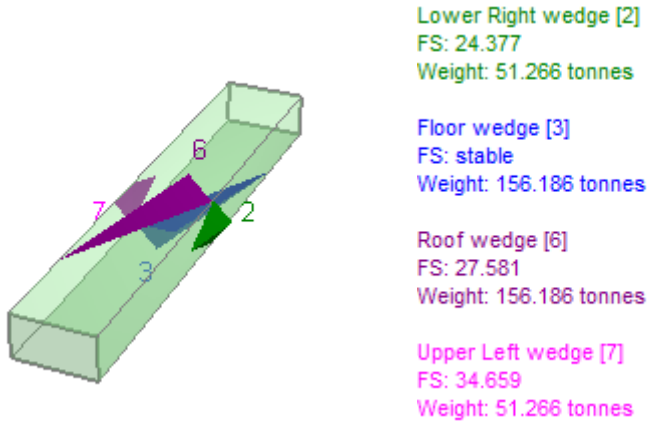
Upper Right wedge [6]
FS: 15.298
Weight: 2.153 tonnes

Upper Left wedge [8]
FS: 49.541
Weight: 11.104 tonnes

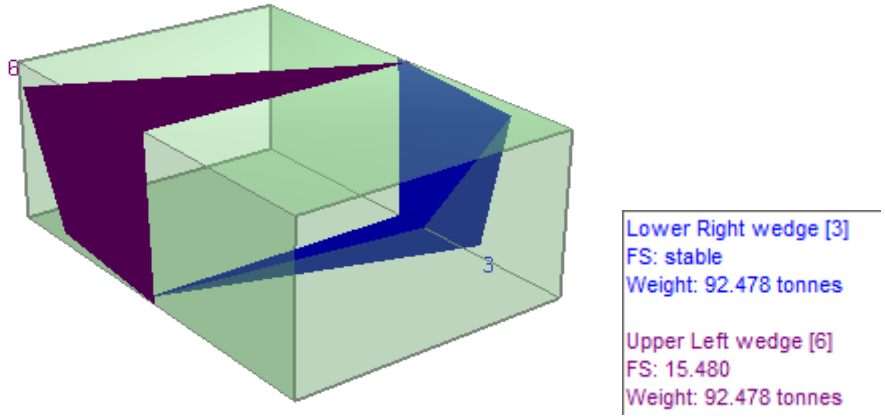
Combinazione K1/K4/K5



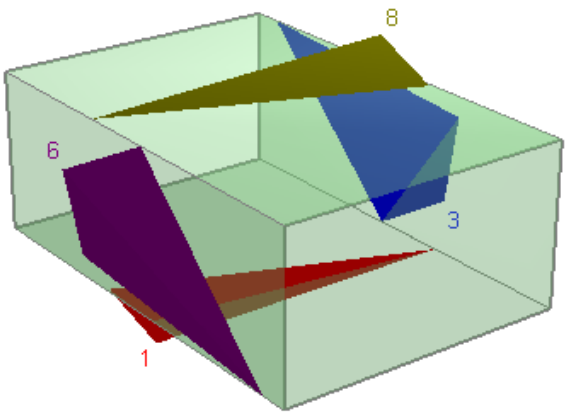
Combinazione K1/K2/K5



Combinazione K1/K3/k4



Combinazione K1/K3/K5



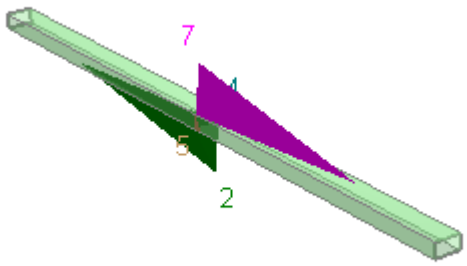
Lower Left wedge [1]
FS: stable
Weight: 20.891 tonnes

Lower Right wedge [3]
FS: 237.204
Weight: 64.243 tonnes

Upper Left wedge [6]
FS: 16.575
Weight: 64.243 tonnes

Upper Right wedge [8]
FS: 56.146
Weight: 20.891 tonnes

Combinazione K2/K3/K4



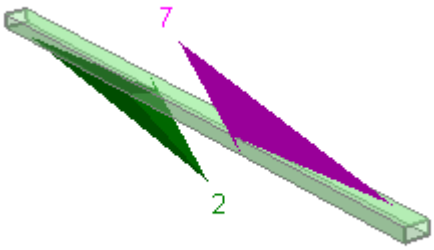
Floor wedge [2]
FS: stable
Weight: 7763.019 tonnes

Upper Right wedge [4]
FS: 17.914
Weight: 3.130 tonnes

Lower Left wedge [5]
FS: 123.935
Weight: 3.130 tonnes

Roof wedge [7]
FS: 4.222
Weight: 7763.019 tonnes

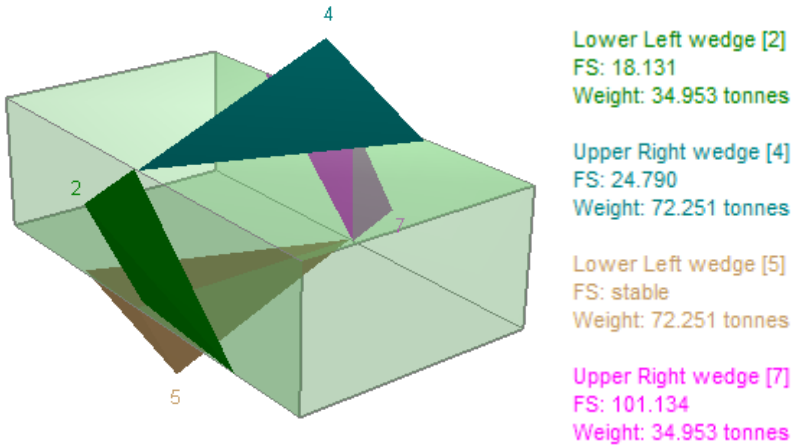
Combinazione K2/K3/K5



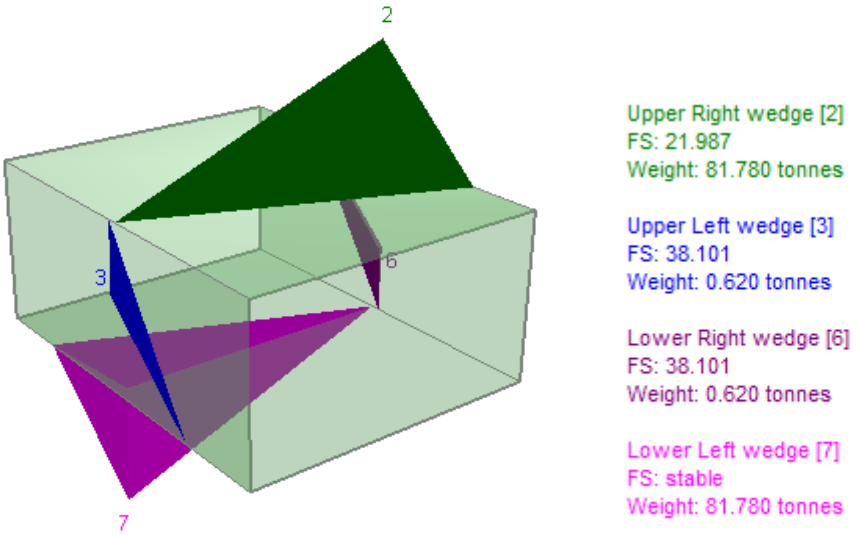
Floor wedge [2]
FS: stable
Weight: 11152.003 tonnes

Roof wedge [7]
FS: 4.100
Weight: 11152.003 tonnes

Combinazione K2/K4/K5



Combinazione K4/K5/K3



B- Indagine idrogeologica

ALBERTO DAZZI
agronomo

Dott. Agronomo Alberto Dazzi
Via Campo d'Appio 142/A
54033 Carrara
P. IVA: 01026220457
Tel. 0585 859622
a.dazzi@epap.conafpec.it
dazzialberto@tiscali.it

REGIONE TOSCANA
COMUNE DI STAZZEMA (LU)

PROGRAMMA DI RICERCA E STUDIO SULLA SITUAZIONE IDROGEOLOGICA E SULLE POSSIBILI CONNESSIONI TRA LA CAVA TOMBACCIO-SERRA DELLE VOLTE E LE SORGENTI

RISULTATI DEL MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO

Società:

Universal GT srl
Via del Greco, 73 55047
Seravezza (LU)

Il Professionista

Dott. Agronomo Alberto Dazzi

Stazzema, giugno 2017

INDICE

1 INTRODUZIONE 2

2 PIANIFICAZIONE DEL MONITORAGGIO 3

2.1 Identificazione cartografica dei siti di iniezione e delle opere di captazione 3

2.2 Materiali e metodi 6

3 MODALITA' ESECUTIVE DEL MONITORAGGIO 7

4 ANALISI ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI 9

ALLEGATO 1 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 10

1 INTRODUZIONE

Il sottoscritto Dott. Agronomo Alberto Dazzi, a seguito dell'incarico ricevuto dalla Società Universal GT Srl, ha realizzato la presente indagine idrogeologica presso il Bacino Marmifero di Arni, tra i Comuni di Stazzema e Vagli Sotto (LU).

Tale indagine è stata effettuata per identificare la possibile connessione idraulica tra la **cava Tombaccio Serra delle Volte** e la sorgente di Arni San'Agostino identificata con il numero catastale **381**, attraverso l'immissione di spore di *Lycopodium clavatum* L. all'interno del sito di cava.

Di seguito verranno analizzati i risultati parziali del monitoraggio iniziato in data 30/05/2017; alla luce dell'andamento meteorologico dal momento dell'inizio del monitoraggio, particolarmente asciutto e scarsamente piovoso, vista la vicinanza tra la sorgente e la cava, si è deciso di protrarre il campionamento oltre i quindici giorni che si erano previsti in considerazione della vicinanza delle emergenze e comunque, in ogni caso, fino ad un evento meteorico che possa ritenersi significativo per durata ed intensità delle precipitazioni.

2 PIANIFICAZIONE DEL MONITORAGGIO

2.1 Identificazione cartografica dei siti di iniezione e delle opere di captazione

Va premesso che allo stato attuale la cava Tombaccio Serra delle Volte risulta inattiva per cui non è oggetto di alcuna lavorazione di cava. Particolarmente complicata è stata quindi la ricerca del punto di immissione in quanto alcune zone della cava sono presenti accumuli di detrito che ostacolano la ricerca di fratture beanti.

Al fine di localizzare il sito di iniezione delle spore all'interno del sito estrattivo, i punti di immissione sono stati rilevati con la strumentazione GPS che ha permesso una buona precisione di rilevamento (4-5 metri) delle coordinate geografiche (Tabella 1 – Figura 3).

Successivamente i dati rilevati sono stati scaricati sulla base cartografica georeferenziata (CTR 1:10000).

Inoltre, rilevando anche l'ubicazione delle sorgenti oggetto di monitoraggio, è stato possibile rilevare la distanza e l'orientazione geografica di queste con i siti di immissione (Tabella 2).

TABELLA 1 – IDENTIFICAZIONE PUNTO DI IMMISSIONE SPORE

N° immissione	quota (m s.l.m.)	coordinate GPS	descrizione	colore spore	acqua immessa (litri)	data immissione	Ora	riferimenti cartografici e foto
1	1.115	N 44° 4' 33,06" E 10° 14' 50,68"	frattura a cielo aperto orientata 150/160	ARANCIO	3.000	30.06.2017	10.30	Figura 3 Foto 3 - 4

TABELLA 2 – IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI

SORGENTE	COORDINATE GPS (UTM)		QUOTA (M S.L.M.)	DISTANZA CAVA-SORGENTE (m)	RIFERIMENTI CARTOGRAFICI
381	N	4.880.700	961	300	Figura 1
	E	1.600.022			Foto 5 - 6

Per quanto riguarda i punti di immissione, si sono ricercate fratture o sistemi di frattura, che avessero per orientazione e condizioni geometrico/fisiche potenziale interazione con la sorgente da studiare. A tal fine si è scelto una frattura caratterizzata da idonea apertura ad una agevole immissione delle spore e dell'acqua necessaria a veicolarle, e soprattutto caratterizzate da alterazione dei lembi delle stesse quali patine di alterazione e carsificazione, indicazione di una circolazione dell'acqua al loro interno.

Si è quindi identificato un punto di immissione nel cantiere estrattivo accessibile in sicurezza e rappresentativo dell'intera area di cava.

La frattura scelta per immissione dei traccianti fa parte della famiglia orientata 150/160 con inclinazione 60-80° è una famiglia di fratture con piani di scivolamenti verso il piazzale interno della cava e pertanto la circolazione idrica di queste fratture riguarderà gli sbancamenti e le riduzioni di quota che avverranno nel piazzale principale. È una famiglia con fratture aperte e carsificate quindi adatta per la prova a differenza delle altre fratture che seppur pervasive risultano serrate, non carsificate e quindi con minore possibilità che vi circoli acqua in profondità.

I traccianti sono stati immessi nella frattura della cava Tombaccio che si trova ad una quota inferiore rispetto alla cava Serra delle volte ed immesse in una famiglia di fratture presenti anche in questa cava.

La posizione del punto di immissione e della frattura utilizzata, è riportata nella figura 1 e nella figura 3.

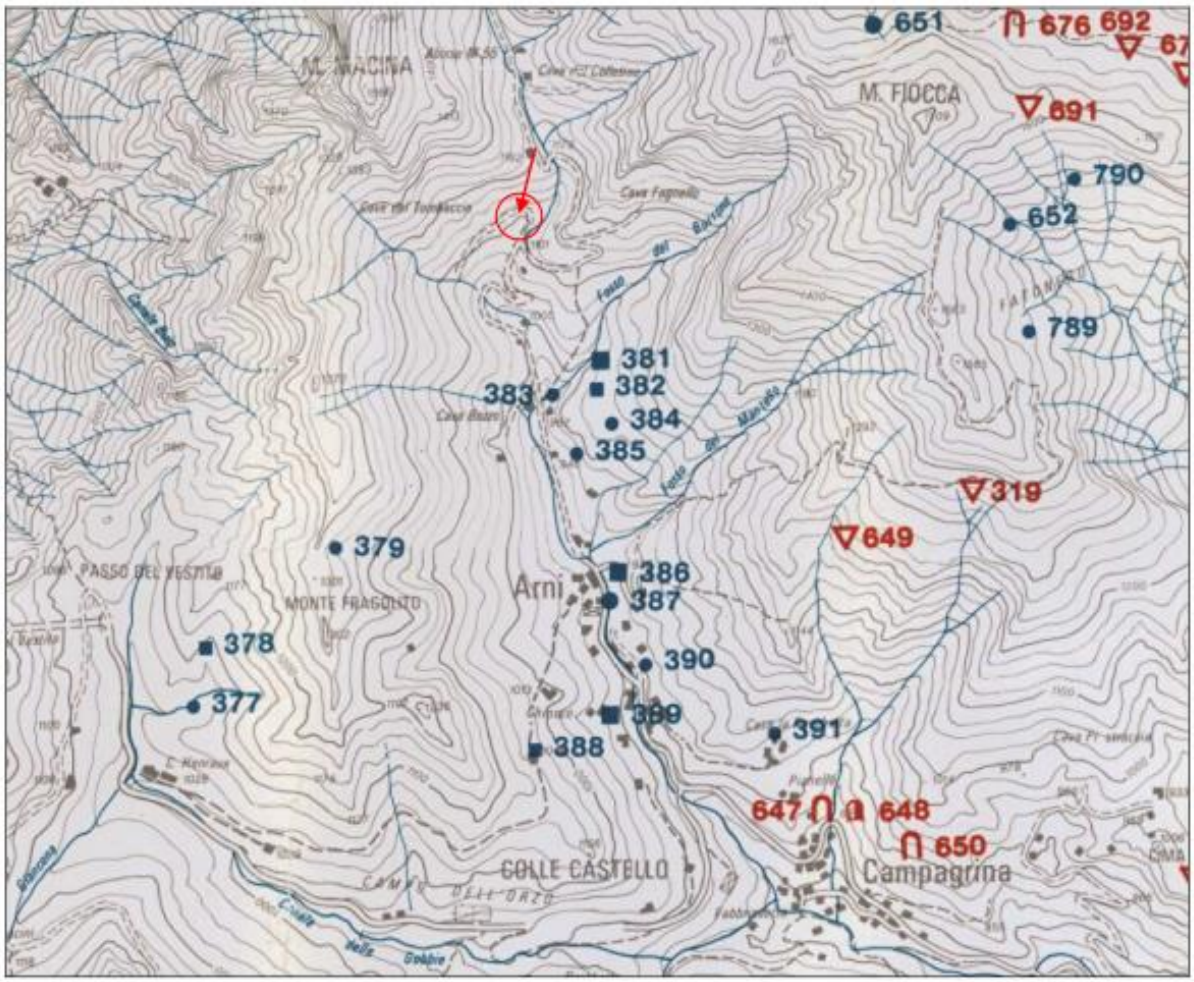


Figura 1 – Stralcio della Carta delle Sorgenti delle Alpi Apuane nell'intorno di cava Tombaccio con indicazione del sito di immissione e della sorgente 381 oggetto di monitoraggio.

2.2 Materiali e metodi

Al fine di valutare la possibile connessione idraulica tra la cava Tombaccio Serra delle volte e la sorgente 381 prossima alla cava in esame, si procederà all'immissione di spore di *Lycopodium clavatum* L., opportunamente colorate, in fessure o cavità presenti all'interno della cava.

Il Lycopdio funzionerà quindi da tracciante in quanto, attraverso opportune trappole, le spore verranno catturate all'interno delle opere di captazione delle sorgenti. A questo proposito verranno utilizzati filtri da 22,5 micron, diametro sufficientemente piccolo per trattenere le spore (diametro 28 micron).

Considerate le dimensione del sito estrattivo e la fatturazione in essa presente verranno fatte due immissioni con colore differente in modo da verificare eventualmente l'area di potenziale connessione.

Al fine di garantire le massime condizioni igienico-sanitarie, per marcare le spore, saranno utilizzati coloranti di origine naturale, di quelli ampiamente impiegati nell'industria alimentare per la preparazione dei cibi e quindi completamente atossici.

I supporti per i filtri che saranno installati nelle opere di captazione delle sorgenti al fine di catturare le spore, sono costruiti in acciaio inossidabile per non pregiudicare la qualità delle acque.

Al fine di non alterare l'equilibrio ecologico della flora apuana le spore di *Lycopodium clavatum L.* saranno sottoposte a temperature di 100/150 °C per circa 30 minuti al fine di assicurarne la completa disidratazione e quindi la perdita della capacità germinativa. Tale indicazione sono ottenute contattando Dott.ssa Cecchi del Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università di Firenze. Inoltre essendo le spore provenienti esclusivamente da protalli maschili la capacità di formare piante adulte è pressoché nulla.

E' stato dimostrato che tale trattamento inibisce completamente la germinazione delle spore e quindi la propagazione della specie nell'ambiente.

3 MODALITA' ESECUTIVE DEL MONITORAGGIO

In data 30/05/2017, alle ore 10.30 è iniziata la fase di immissione delle spore in una frattura del cantiere esterno con spore di colore ARANCIO.

Terminata la fase di immissione delle spore si proceduto alla fase di campionamento presso la sorgente in cui è stata installata la trappola.

Il monitoraggio a cui si riferisce la presente relazione si è protratto dal 30/05/2017 al 19/06/2017.

Dall'analisi dei dati pluviometrici del Servizio Idrologico Regionale è stato possibile analizzare l'andamento pluviometrico durante il periodo del monitoraggio (Figura 1).

Durante l'arco temporale oggetto del monitoraggio (dal 30/05/2017 al 19/06/2017) non si sono registrate piogge significative ed eventi meteorici di particolare intensità.

Nel periodo oggetto di monitoraggio sono piovuti un totale di **25,2 mm di pioggia con 4 giorni piovosi (*giorni piovosi* = con precipitazione >1mm)**.

Tali eventi meteorici non possono considerarsi significativi sia per quantità di pioggia caduta che per intensità.

Nella Tabella 3 vengono esposti i risultati del campionamento oggetto della presente indagine.

Non avendo ritrovato alcuna connessione durante il primo periodo utile di monitoraggio e non avendo registrato piogge significative in tale periodo si è deciso di prolungare il monitoraggio per ulteriori 15gg di campionamento ed almeno fino ad una precipitazione di tipo significativo.

TABELLA 3 – RISULTATI ANALISI CAMPIONI SORGENTE 381

N° Campione	Sorgente	Ora	Data	Spore rinvenute	Precipitazioni giorni precedenti (mm)	N° Giorni piovosi
1	381	10:00	31-05-2017	Negativo	0	0
2	381	11:45	05-06-2017	Negativo	7,6	2
3	381	10:35	07-06-2017	Negativo	17,2	2
4	381	9:30	12-06-2017	Negativo	0	0
4	381	15:00	19-06-2017	Negativo	0	0

» 2017 - Anno PRE-VALIDATO

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
1	-	150.4	28.8	-	-	-						
2	6.0	9.8	40.8	1.0	13.4	-						
3	95.2	63.2	28.8	-	41.2	5.0						
4	0.2	61.0	0.4	-	10.8	2.6						
5	-	81.8	105.8	-	7.2	11.4						
6	-	95.6	47.6	10.8	0.2	5.8						
7	-	1.0	64.6	0.8	59.6	-						
8	-	-	-	-	3.0	-						
9	-	-	-	-	0.4	-						
10	-	-	-	-	0.2	-						
11	-	-	-	-	-	-						
12	0.6	-	-	-	-	-						
13	128.0	-	-	-	5.0	-						
14	0.6	-	-	-	-	-						
15	-	-	-	0.2	-	-						
16	-	-	-	5.4	-	7.0						
17	-	2.6	-	-	-	-						
18	-	40.0	0.6	-	-	-						
19	-	0.2	0.4	14.6	-	-						
20	-	-	-	-	13.0	-						
21	-	-	-	-	24.8	-						
22	-	-	1.2	-	-	-						
23	-	-	9.8	0.8	-							
24	-	5.0	5.0	0.4	-							
25	-	34.8	-	0.2	-							
26	-	-	5.8	4.6	-							
27	0.2	-	2.0	94.4	-							
28	0.2	5.4	-	20.2	-							
29	-		-	11.8	-							
30	0.2		-	-	-							
31	39.0		-		-							
tot	270.2	550.8	341.6	165.2	178.8	31.8	0	0	0	0	0	0
gg	4	12	11	8	9	5	0	0	0	0	0	0

Cumulata annuale 1538.4
Totale giorni piovosi 49

Legenda:
- Precipitazione nulla
» Dato mancante
[ ] Dato ricostruito
tot Cumulata mensile
gg Totale dei giorni piovosi (giorni con precipitazione uguale o superiore ad 1mm)

Figura 2 – Andamento pluviometrico durante il periodo del monitoraggio.

4 ANALISI ED ELABORAZIONE DEI RISULTATI

Dai risultati delle analisi di laboratorio (Tabella 3) dei campioni prelevati **non è stato possibile evidenziare**, con la metodologia di monitoraggio sopra descritta, la presenza di una connessione idraulica tra la cava Tombaccio e la sorgente 381 oggetto del monitoraggio.

E' necessario comunque evidenziare che le condizioni ambientali in cui sono state realizzate le prove, sono state caratterizzate da eventi piovosi poco significativi nei giorni successivi all'immissione.

Considerando la natura carsica degli acquiferi che alimentano tali sorgenti e le possibili variazioni della piezometrica legata all'acquifero a seguito di eventi meteorici importanti, ritenendo questa condizione ambientale non ottimale per i risultati finali (nonostante l'immissione diretta di circa 3.000 lt di acqua all'interno della frattura per veicolare le spore), si è deciso, per avere una valutazione finale il più oggettiva possibile, di protrarre il monitoraggio per ulteriori 15gg e comunque fino ad un evento meteorico significativo.

Si resta a disposizione per eventuali chiarimenti o integrazioni.

Carrara li, 23/06/2017

Dott. Agronomo Alberto Dazzi

ALLEGATO 1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1 – Panoramica della cava Tombaccio con ubicazione della frattura oggetto di immissione

Foto 2 - Particolare della frattura oggetto di immissione

Foto 3 - Particolare dell'immissione di spore di colore ARANCIO.

Foto 4 – Particolare della fase di immissione delle spore nella frattura.

Foto 5 – Ubicazione della sorgente 381 oggetto del monitoraggio.

Foto 6 – Particolare della trappola installata nella sorgente 381.

BIBLIOGRAFIA

C. WOLKERSDORFER, I. TREBUSAK, N. FELDTNER (1997) - Development of a Tracer Test in a flooded Uranium Mine using *Lycopodium clavatum Tracer Hydrology 97 (Balkema 1997).*

FELTER H.W., LLOYD J.U. (2000) – *Lycopodium (U:S:P:)* – *Lycopodium.* King's American Dispensatrory.

MORGAVI A. (1998) – *L'uso dei sistemi informativi geografici (GIS) per la gestione delle risorse idriche* Atti del Convegno "Le acque di Montagna" 12-13 Settembre 1998 Ceresole Reale – Club Alpino Italiano Comitato scientifico Ligure. Piemontese, Valdostano.

PEANO G. (1998) – *Le acque carsiche: studio, utilizzazione e tutela.* Atti del Convegno "Le acque di Montagna" 12-13 Settembre 1998 Ceresole Reale – Club Alpino Italiano Comitato scientifico Ligure. Piemontese, Valdostano.

UNIVERSITA' DI FIRENZE SIENA E POLITECENICO DI TORINO (2002) – Studi conoscitivi sui bacini marmiferi industriali di Carrara: un contributo per la gestione pianificata dell'attività. GEAM Associazione Georisorse e Ambiente.

UNIVERSITA' DI SIENA – REGIONE TOSCANA (1997) - "Studio idrogeologico prototipale del corpo idrico significativo dell'acquifero carbonatico delle Alpi Apuane, Monti d'Oltre Serchio e S. Maria del Giudice".

CNR – CIVITA et Al (1991) – Carta della vulnerabilità all'inquinamneto degli acquiferi delle alpi apuane (toscana – italia).

Dott. Agronomo Alberto Dazzi

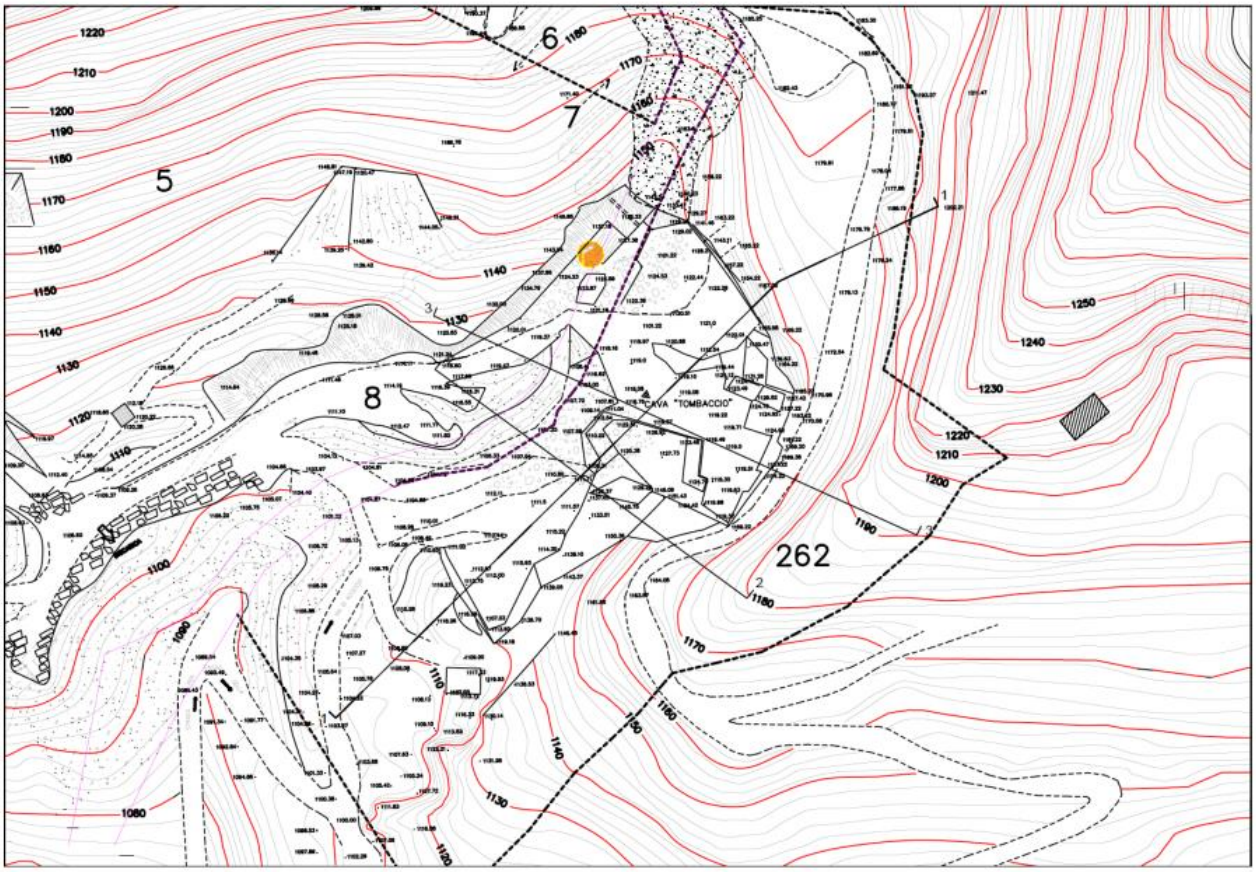


Figura 3 - Indicazione del punto di immissione delle spore ARANCIO

A- Abaco di Fattibilità cava Fanbtastico

PERICOLOSITA'		**Pericolosità geologica**			**Pericolosità idraulica** *(tra parentesi le pericolosità del Distretto Appennino Settentrionale)*				**Pericolosità sismica** *(desunta da Carta degli elementi generali con rilevanza sismica)*			
Tipologia interventi		**G2**	**G3**	**G4**	**I1**	**I2 (I1) Tr >500**	**I3 (I2) Tr 200**	**I4 (I3) r 30**	S1	**S2**	**S3**	**S4**
1) piazzali di cava		FG3	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI2	FS1	FS1	FS1	FS1
2) nuovi fronti di coltivazione a cielo aperto e scarpate naturali connesse		FG3	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI2	FS1	FS2	FS3	FS3
3) nuovi ingressi in galleria		FG3	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI2	FS1	FS2	FS3	FS3
4) escavazione in sotterraneo		FG3	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI2	FS1	FS2	FS3	FS3
5) area di stoccaggio temporaneo di materiali da taglio per uso ornamentale[1], come definiti dall'art. 2, comma 1, lett. c, punto 2.1 della LR 35/2015)		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS1	FS1	FS1
6) area di stoccaggio temporaneo di derivati dei materiale da taglio per uso ornamentale[2], come definiti all'art.2, comma 1, lett. c, punto 2.2 della LR 35/2015.		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS1	FS1	FS1
7) area di stoccaggio temporaneo di materiale secondario di lavorazione utilizzabili in altri cicli produttivi, ovvero "sottoprodotti"[3] da destinare al mercato, dichiarati tali nelle autorizzazioni rilasciate ai sensi della LR 78/98		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS1	FS1	FS1

PERICOLOSITA'		Pericolosità geologica			Pericolosità idraulica *(tra parentesi le pericolosità del Distretto Appennino Settentrionale)*				Pericolosità sismica *(desunta da Carta degli elementi generali con rilevanza sismica)*			
Tipologia interventi	**FATTIBILITA'**	**G2**	**G3**	**G4**	**I1**	**I2 (I1) Tr >500**	**I3 (I2) Tr 200**	**I4 (I3) Tr 30**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**
8) aree di stoccaggio temporaneo di rifiuti/scarti di lavorazione di cava per uso ornamentale utilizzati temporaneamente in cava (D.Lgs.117/2008)		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS2	FS3	FS3
9) aree di stoccaggio temporaneo di rifiuti di lavorazione di cave per uso ornamentale da inviare ad impianti di recupero o smaltimento (D.Lgs.152/2006)		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS2	FS3	FS3
10) aree per installazione strutture mobili di servizio all'attività estrattiva		FG2	FG2	FG4	FI1	FI1	FI3	FI4	FS1	FS1	FS1	FS2
12) aree da destinarsi a bacini raccolta acque		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1			FS1	FS1	FS1	FS2
13) manutenzione straordinaria e/o nuova viabilità di arroccamento su roccia		FG2	FG3	FG3/FG4	FI1	FI1	FI2	FI3	FS1	FS2	FS3	FS3
14) manutenzione straordinaria e/o nuova viabilità o di arroccamento su detriti di escavazione o su coperture eluvio-colluviali		FG2	FG 3	FG 3/FG4	FI1	FI1	FI2	FI3	FS1	FS2	FS3	FS3

PERICOLOSITA'		Pericolosità geologica			Pericolosità idraulica *(tra parentesi le pericolosità del Distretto Appennino Settentrionale)*				Pericolosità sismica *(desunta da Carta degli elementi generali con rilevanza sismica)*			
Tipologia interventi		**G2**	**G3**	**G4**	**I1**	**I2 (I1) Tr >500**	**I3 (I2) Tr 200**	**I4 (I3) Tr 30**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**
15) sistemazione vie di arroccamento in disuso		FG 2	FG 2	FG 3	FI1	FI1	FI1	FI1	FS1	FS1	FS1	FS1
16) aree per rinverdimento "naturale"		FG 1	FG 2	FG 2	FI1	FI1	FI1	FI1	FS1	FS1	FS1	FS1
17) messa in sicurezza pareti rocciose "residuali" (tecchie)		FG 1	FG 3	FG 3	FI1	FI1	FI1	FI1	FS1	FS1	FS1	FS1
18) bonifica e messa in sicurezza dei depositi detritici di escavazione (ravaneti)		FG 2	FG 3	FG 3	FI1	FI1	FI3	FI3	FS1	FS1	FS1	FS1
19) modellazioni morfologiche di risistemazione in roccia e/o detrito		FG 2	FG 2	FG 3	FI1	FI1	FI3	FI3	FS1	FS1	FS1	FS1
20) manutenzione straordinaria di edifici a servizio		FG 2	FG 3	FG3/FG4	FI1	FI1	FI3	FI3	FS1	FS1	FS1	FS1
21) ristrutturazione di edifici a servizio		FG2	FG3	FG4	FI1	FI1	FI2	FI3	FS1	FS2	FS2	FS2
22) impianti di derivazione idrica		FG2	FG2	FG3	FI1	FI1	FI3	FI3	FS1	FS1	FS1	FS1

NOTE

1.materiali ornamentali destinati alla produzione di blocchi, lastre e affini;

2.(materiali sciolti in pezzatura varia da piccoli blocchi a frammenti centimetrici in cicli produttivi (es. granulati) e destinati alla commercializzazione in base al progetto di coltivazione);

3. materiali sciolti provenienti da cave per uso ornamentale, utilizzabili in altri cicli produttivi, tecnicamente molto simili ai derivati da taglio ma provenienti da cave con autorizzazione ai sensi della previgente LR 78/98;

4.“Rifiuti di estrazione” la cui gestione deve essere descritta nel Piano di Gestione dei Rifiuti di Estrazione approvato contestualmente al Progetto di coltivazione ai sensi della LR 35/15. Si tratta dunque di materiali non vendibili e non utilizzabili in altri cicli produttivi, utilizzati temporaneamente all'interno delle cave per la realizzazione delle piste interne al sito e come cuscino di inerti nelle fasi di abbattimento delle bancate;

5.sono ricompresi: “marmettola”, rifiuti speciali pericolosi (oli usati, stracci imbevuti, filtri oli, batterie, ecc.) e non pericolosi (rottami metallici, filtri aria, plastiche, indumenti da lavoro, ecc.).