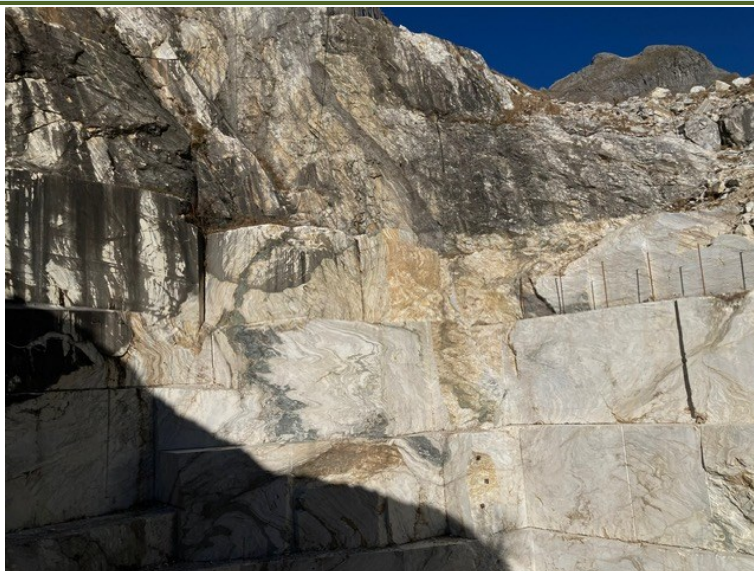


OGGETTO:

Variante al Progetto di coltivazione della cava Serra delle Volte, Comune di Stazzema

**ai sensi della L.R.35/2014, Disciplina del PIT e L.R.10/2010
in conformità al PABE Scheda 8 – Bacino Monte Macina**

**COMMITTENTE:**

Carrara Marmi Unipersonale s.r.l. - Massa

PROGETTISTA:

Eurogeologo Vinicio Lorenzoni

TITOLO DELL' ELABORATO:

*Analisi delle caratteristiche geologiche,
geomorfologiche, idrogeologiche e di
stabilità dell'area di intervento.
(Art.17 comma primo lettera a)*



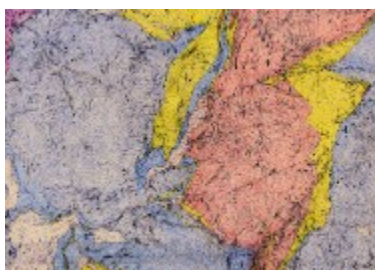
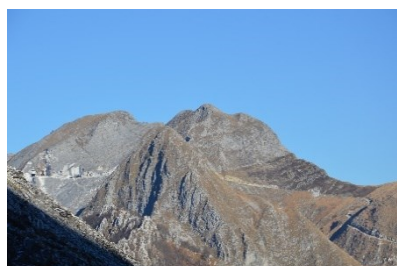
*Data e luogo di
emissione*

Querceta, Marzo 2026

*Riferimento
Elaborato*

A

*Geol. Vinicio Lorenzoni
Studio di geologia tecnica ambientale e mineraria*



Sommario

1	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
3	Descrizione dei caratteri geologici dell'area	6
3.1	Inquadramento geologico regionale	6
3.2	Tettonica	8
3.3	Assetto strutturale del giacimento	9
3.3.1	Prima fase deformativa D1	10
3.3.2	Seconda fase deformativa D2	13
3.3.3	Terza fase deformativa D3	14
3.3.4	Sintesi dell'evoluzione tettonica della Zona di Arni	14
3.3.5	Deformazione fragile	16
3.4	Stratigrafia	17
3.4.1	Autoctono	17
3.4.3	Formazioni della Copertura mesozoico-terziaria	17
3.4.1 3.4.4	Depositi Quaternari	19
4	Caratteristiche tecniche del materiale lapideo	19
5	Geomorfologia	21
5.1.1	Carsismo	23
6	Pericolosità dell'area di estrazione	24
6.1	Pericolosità geomorfologica e sismica (tav.5)	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	34
10.2	Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso RMR Bieniawski 1989	34
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
10.6	RMI di Palmstrom	42
10.6.1	Stima delle dimensioni medie dei blocchi Vb	42

11	Analisi cinematica.....	45
11.1	Cinematismi sui fronti di lavoro esistenti e di progetto.....	47
12	Interventi di messa in sicurezza.....	51
13	Conclusioni e prescrizioni	56

1 Premessa

La presente Variante al progetto di coltivazione della cava Serra delle Volte è stata redatto in conformità al PABE approvato dal Comune di Stazzema per il Bacino Monte Macina della Scheda 8 del PIT/PPR. La variante ha validità di 5 anni è composto, oltre che dalla presente relazione dagli elaborati di seguito elencati, a cui si aggiungono lo Studio di Impatto Ambientale e di Incidenza redatti dalla Dott.ssa Fregosi Alessandra. Rispetto al progetto approvato la variante non comporta modifiche geometriche dell'area di scavo bensì un approfondimento delle quote. Lo stato attuale è derivato dal rilievo eseguito da Ing. Remedi per conto della società Carrara Marmi unipersonale s.r.l. a dicembre 2025 in ottemperanza a art.25 della L.R. 35/2015. La variante si rende necessaria in quanto con il progetto autorizzato, in attesa del nuovo PABE la società La metodologia di coltivazione e il numero e tipo di macchinari non cambiano e quindi non vi è alcuna modifica dell'impatto derivante dal rumore causato dai mezzi meccanici utilizzati dall'azienda. Viene pertanto ripresentata la Valutazione dell'impatto acustico redatto per questa cava dalla società TecnoAmbiente s.r.l. L'aumento dei volumi modifica invece l'impatto complessivo causato dalle polveri diffuse, rimanendo valida l'autorizzazione vigente. Non si ha invece alcuna modifica relativa agli aspetti di impatto ambientale svolgendosi la variante come ulteriore abbassamento del piazzale principale già autorizzato. La variante si svolge all'interno del perimetro già autorizzato, comportando un abbassamento di 9 metri rispetto alla quota già autorizzata, quindi senza alcuna modifica di impatto sia sulle diverse componenti, ad eccezione del suolo, implicando un diverso volume di scavo. Per tale motivazioni la variante non comporta la modifica di diversi documenti facenti parte di quelli autorizzati che conseguentemente verranno non modificati e non modifica l'orientazione dei fronti di taglio rispetto a quelli valutati nella precedente variante del PAUR n.1/2025 e quindi non viene modificata l'analisi di stabilità del sito.

1.1 Elenco degli elaborati di progetto

- Elaborato A - Analisi delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche e di stabilità dell'area di intervento, Marzo 2026;
- Elaborato B - Relazione tecnico illustrativa, Marzo 2026;
- Elaborato C – Progetto di coltivazione e progetto di risistemazione del sito estrattivo, marzo 2026;
- Elaborato D – Documento di gestione acque meteoriche dilavanti (cartografie allegate AMD) ,Marzo 2026;
- Elaborato E – Documento di gestione dei rifiuti di estrazione ai sensi del D.lgs.117/2008, Marzo 2026;
- Elaborato F – Documentazione fotografica ,Marzo 2026;
- Elaborato G – Progetto di monitoraggio ambientale (PMA) , Marzo 2023;
- Elaborato H1 - Perizia di Stima, Marzo 2023;
- Elaborati I – Relazione paesaggistica, Marzo 2023;
- Elaborato L – Interventi di ripristino ambientale , Marzo 2023;
- Elaborato M – Opere di mitigazione e compensazione, Marzo 2023;
- Elaborato N – Studio di Impatto Ambientale ,Marzo 2026;
- Elaborato N1- Sintesi non tecnica, Marzo 2026;
- Elaborato O – Studio di incidenza , Marzo 2026;
- Elaborato P- Schema DSS e nomina Direttore Responsabile, Marzo 2023;
- Elaborato Q – gestione delle emergenze, Marzo 2023;
- Elaborato R - Valutazione emissioni di polveri in atmosfera, Marzo 2026;
- Valutazione impatto acustico 2016 (TecnoAmbiente s.r.l.)

Tavole di progetto non modificate :

Tav.1 - Corografia di inquadramento
Tav.2 - Inquadramento Catastale
Tav.3 - Carta dei Vincoli sovraordinati
Tav.4 - Carta dei vincoli del P.I.T.
Tav.5- Carta geomorfologica, della franosità Fiume Serchio, della pericolosità geomorfologica PAI Appennino Settentrionale
Tav.5b- Carta della pericolosità idraulica PABE
Tav.5b1- Carta topografica con area di coltivazione a cielo aperto e sovrapposte Aree PGRA e PGA acque superficiali e sotterranee
Tav.6- Carta geologica e giacimentologica
Tav.7a- Carta geomorfologica
Tav.7b – Carta dei ravaneti esistenti ed asportabili
Tav.8 - Carta Idrogeologica
Tav.9 – Carta delle fratture
Tav.13 – Ripristino ambientale finale e sezioni
Tav.1amd – Ambiti
Tav.2amd – Impianti trattamento e ciclo acque

Tavole di progetto modificate

Tav.10 - Rilievo 31 dicembre 2025 con ortofoto, Marzo 2026;
Tav.11 – Stato Attuale , sovrapposto attuale con articolazione PABE, sovrapposto attuale progetto autorizzato, Marzo 2026;
Tav.12- Stato finale, sovrapposto stato finale a progetto autorizzato, area di rinuncia e area di nuova escavazione e sezioni Marzo 2026;

2 Inquadramento geografico del sito di intervento

La cava denominata Serra delle Volte si trova nel comune di Stazzema in località Caprone-Collettino 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°4'36,92''N

Longitudine: 10°14'48,68''E



Fig.1 – Foto aerea della zona di progetto

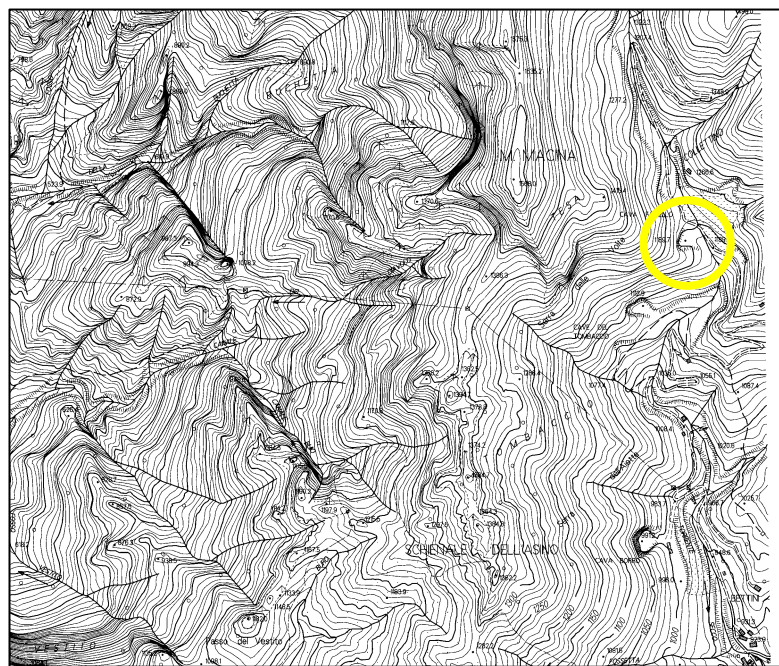


Fig.2 – Corografia del sito di intervento – Estratto CTR 249110

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

Il cantiere Serra delle Volte nel Catasto dei Terreni del Comune di Stazzema ricade nel Foglio 1, mappali nr.2,3 e 7 tutti in disponibilità della Società Carrara Marmi unipersonale s.r.l. che ha acquistato i suddetti terreni dalla società Universal G.T. s.r.l. L' inquadramento catastale è indicato nella Tav. nr.2 in cui l'area di progetto Serra delle Volte ricade completamente all' interno dei mappali 2 e 3 in disponibilità alle suddette società a seguito del contratto di acquisto.

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).

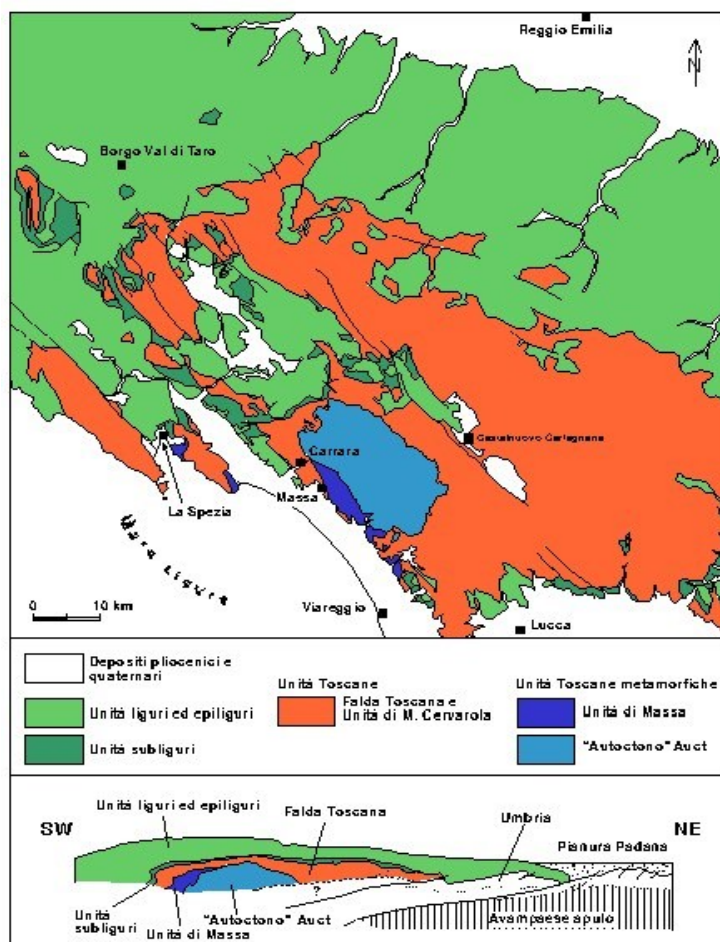


Fig.3 schema tettonico appennino settentrionale

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.

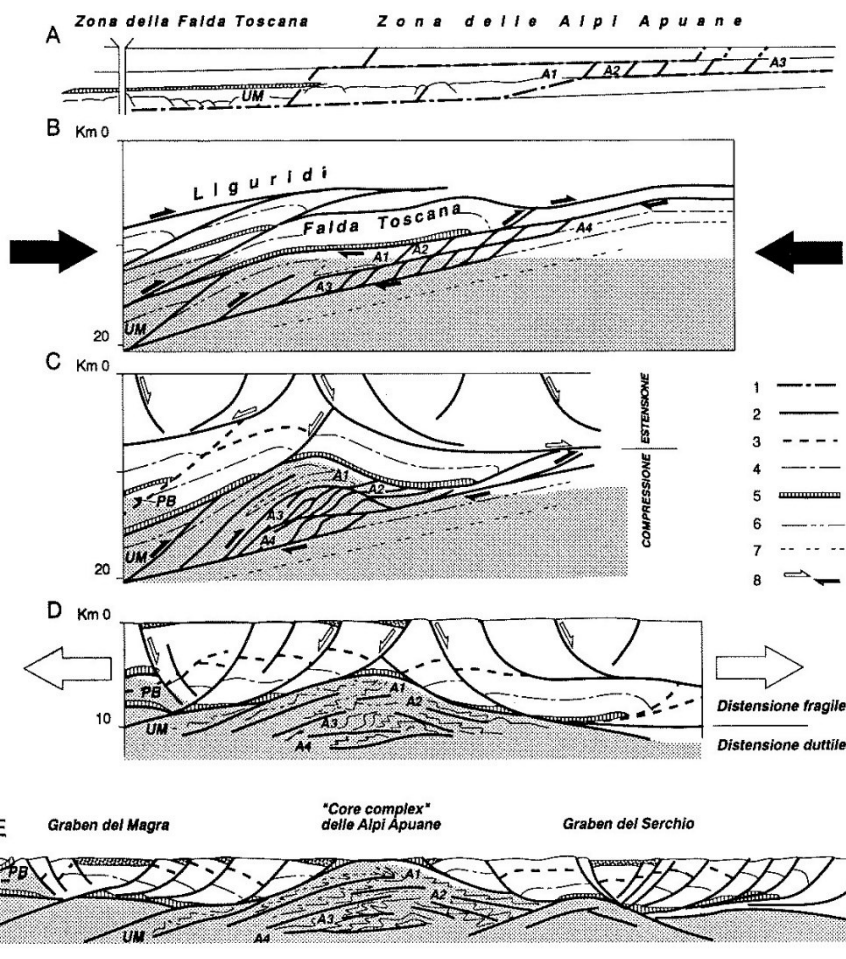


Fig.4 Schema dell'evoluzione tettonica compressiva ed estensionale delle Alpi Apuane (Carmignani et Alii 1994) a- Fase pre-collisionale b- Sviluppo delle strutture *duplex* c- sviluppo dell'*antiformal stack* d- inizio fase distensiva; e- esposizione del complesso metamorfico delle Alpi Apuane

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, che ha quasi completamente obliterato gli originali 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.

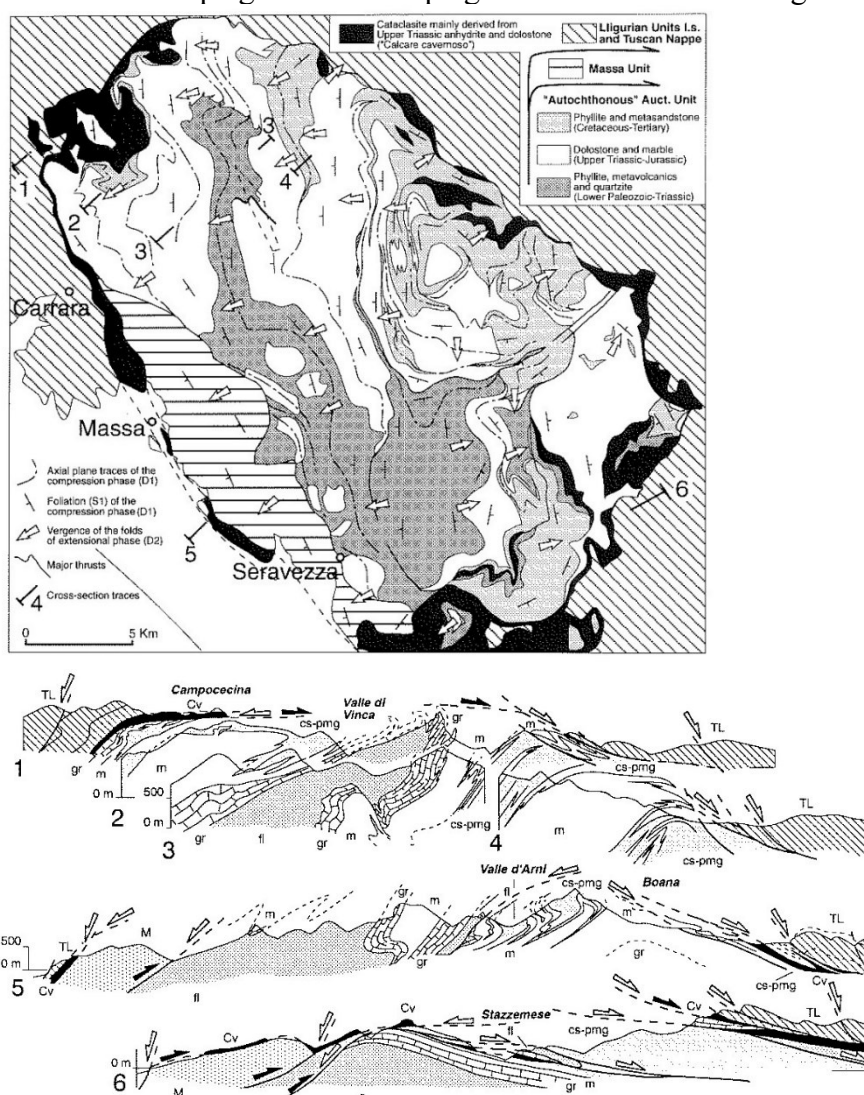


Fig.5 schema tettonico delle Alpi Apuane e vergenza delle pieghe di prima e seconda fase.

3.3 Assetto strutturale del giacimento

La cava Serra delle Volte si trova sul fianco rovesciato della sinforme del Passo Sella, struttura minore della prima fase D1, compresa tra la Sinclinale di Arni ad Est e quella del Monte Macina ad Ovest della Tambura ad ovest. 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 parassita di secondo ordine. Le pieghe di questa fase sono ben evidenti nella cava stessa dove le strutture minori della prima fase risultano piegate e rovesciate.

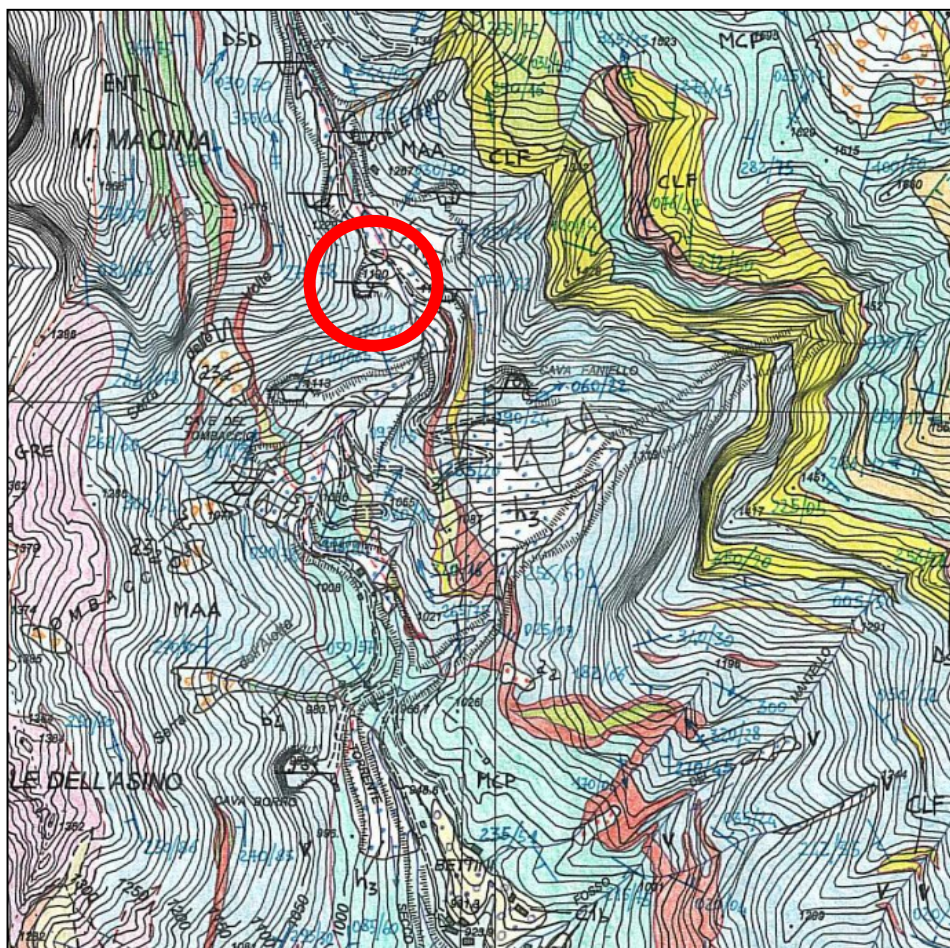


Fig.6 Dettaglio della Carta geologica della sinclinale di Arni

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 superficie 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 Serra delle volte è generalmente orientata tra 170°N e 150°N con una inclinazione variabile da 38 a 55 gradi, mentre le lineazioni L1 varano da direzione appenninica a antiappenninica 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 all'interno della cava

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 $25 - 30^\circ$ 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.

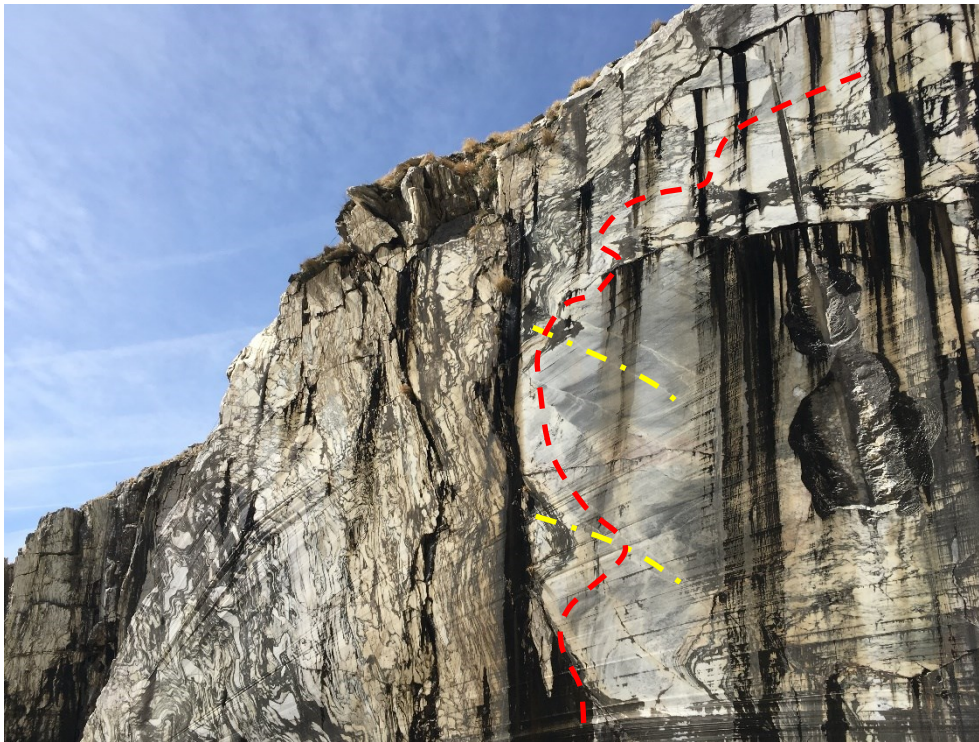


Fig.10 Pieghe di prima fase in rosso ripiegata da strutture di seconda fase in giallo , nei tagli di cava

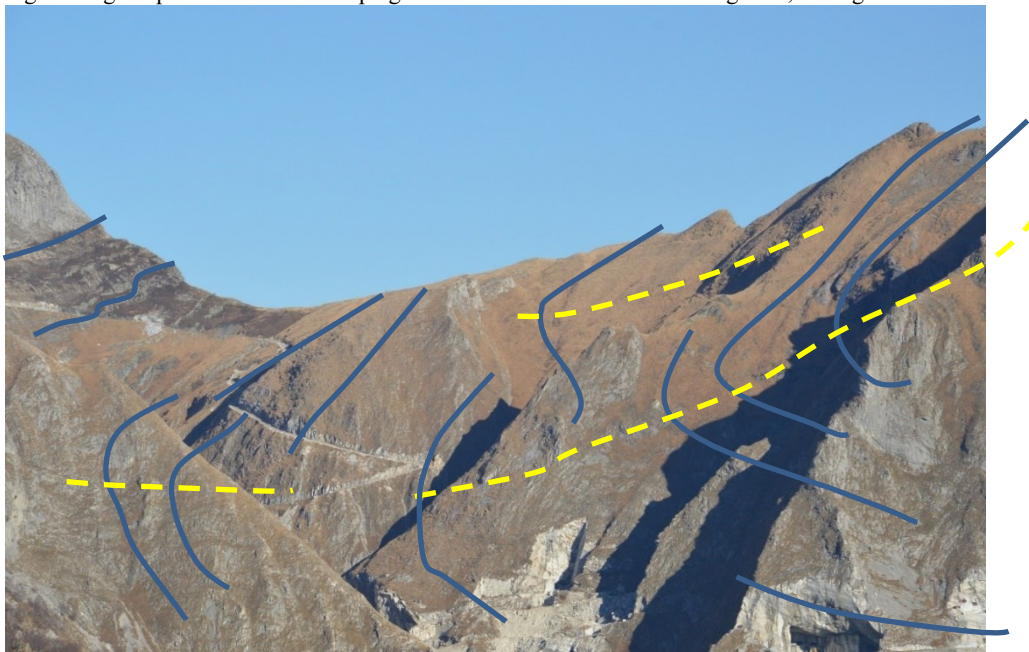


Fig.11 Passo Sella Scistosità di prima fase in blu ripiegata da strutture di seconda fase in giallo

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 suo 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 guaina 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 11 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 Serra delle Volte si trova sul fianco rovesciato della antiforme del Passo Sella 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. 12 Over Printing delle pieghe tardive (piano assiale in blu) su quelle di prima fase isoclinal piano assiale in rosso

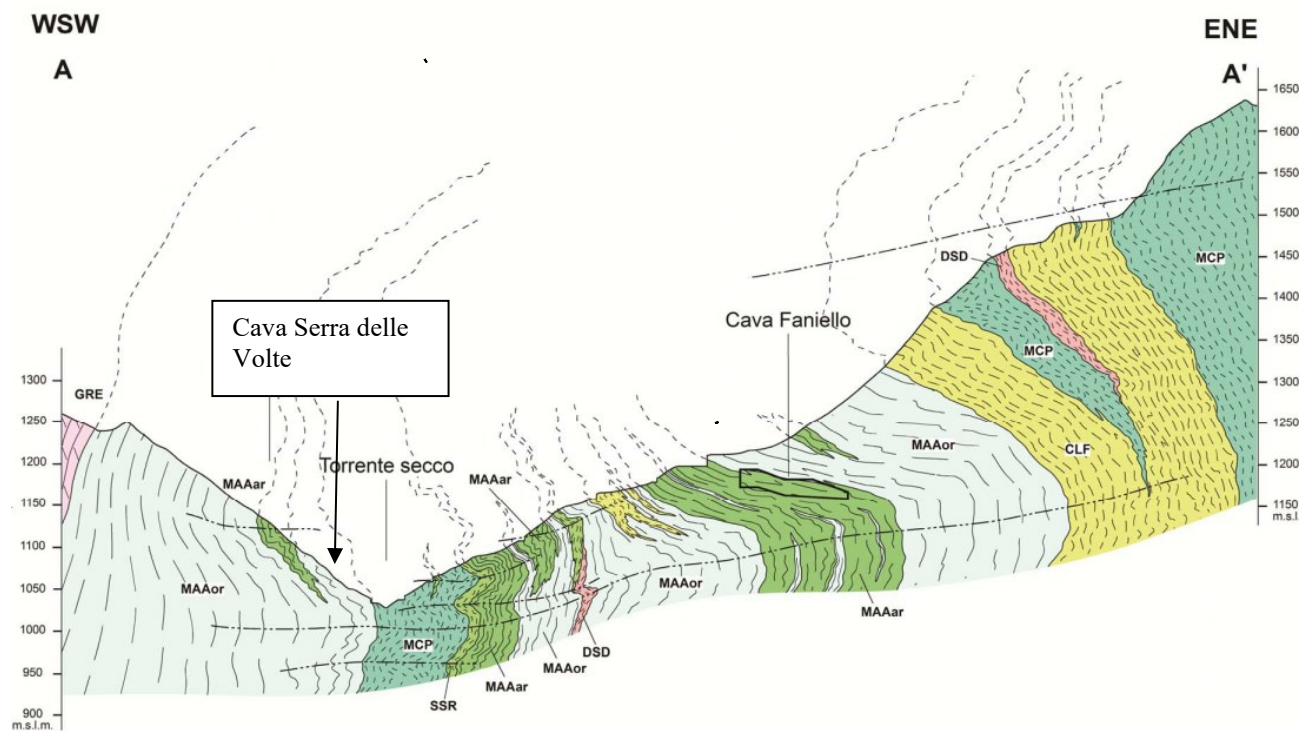


Fig.13 sezione attraverso la valle del torrente secco e Monte Fiocca (Molli e Vaselli), con indicazione della cava Serra delle Volte

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 pluridecamentrico) 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 sole 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 scuro 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 è 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. 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-calculiti di colore rossastro e metacalcari di colore rossastro o giallognolo con abbondanti resti di crinoidi. La matrice delle breccie 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.

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 mesozoica terziaria con spessori ed estensioni molto variabili che si sono accumulati lungo i versanti dei rilievi o incanalati nei dislivelli naturali.

Le coperture più importanti sono costituite da un'abbondante matrice prevalentemente pelitica di colore grigio scuro, 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 accumulo non ha 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 Serra delle Volte 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 o Calacata di Serra delle Volte non sono contenute nel volume "I Marmi Apuani" edito da Ertag nel 1980 di cui si riportano le caratteristiche fisico meccaniche e una foto tipica del materiale.

<i>denominazione</i>	FANTASTICO
<i>giacimento</i>	ARNI
<i>località</i>	ZONA A NORD DI ARNI

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E SITUAZIONE GEOLOGICA

Marmo costituito da un fondo di colore bianco-avorio con venature di colore variabile dal verde al viola. La tonalità avorio è dovuta alla presenza di muscovite mentre il colore delle venature a clorite ed ematite. Età geologica: Lias inferiore. Il giacimento affiora nella struttura complessa di Arni, a Nord del paese.

PROPRIETÀ CARATTERISTICHE DEI BLOCCHI E DELLE LASTRE

I blocchi hanno in genere dimensioni utili per i telai diamantati (2.50 x 1.50 x 1.30 m).

Il tipo di taglio dipende dall'ornamentazione voluta e dalla maggiore o minore regolarità delle venature: normalmente sono al verso di macchia.

Le lastre hanno in genere spessore di 2 o 3 cm; per particolari usi possono essere tagliate con spessore minimo di 1 cm.

L'effetto ornamentale migliore per questo materiale reso in lastre si ottiene con la lucidatura; di bell'effetto è anche la superficie levigata con il trattamento a « pelle d'uovo ».

Il materiale, per le sue caratteristiche mineralogiche, pur essendo utilizzato in esterni, trova i migliori impieghi in interni.

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

1. Carico di rottura a compressione	kg/cm ²	1201
2. Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività	kg/cm ²	1140
3. Carico unitario di rottura a flessione	kg/cm ²	117
4. Dilatazione lineare termica	10 ⁻⁴ per °C	4.8
5. Coefficiente d'imbibizione d'acqua	% in peso	0.11
6. Peso per unità di volume	kg/m ³	2704
7. Resistenza all'urto	cm	35.0
8. Modulo di elasticità lineare	kg/cm ²	1212000
9. Resistenza all'abrasione	mm	5.57

Fig.15- caratteristiche meccaniche del marmo Fantastico (Catalogo I Marmi Apuani - Ertag)

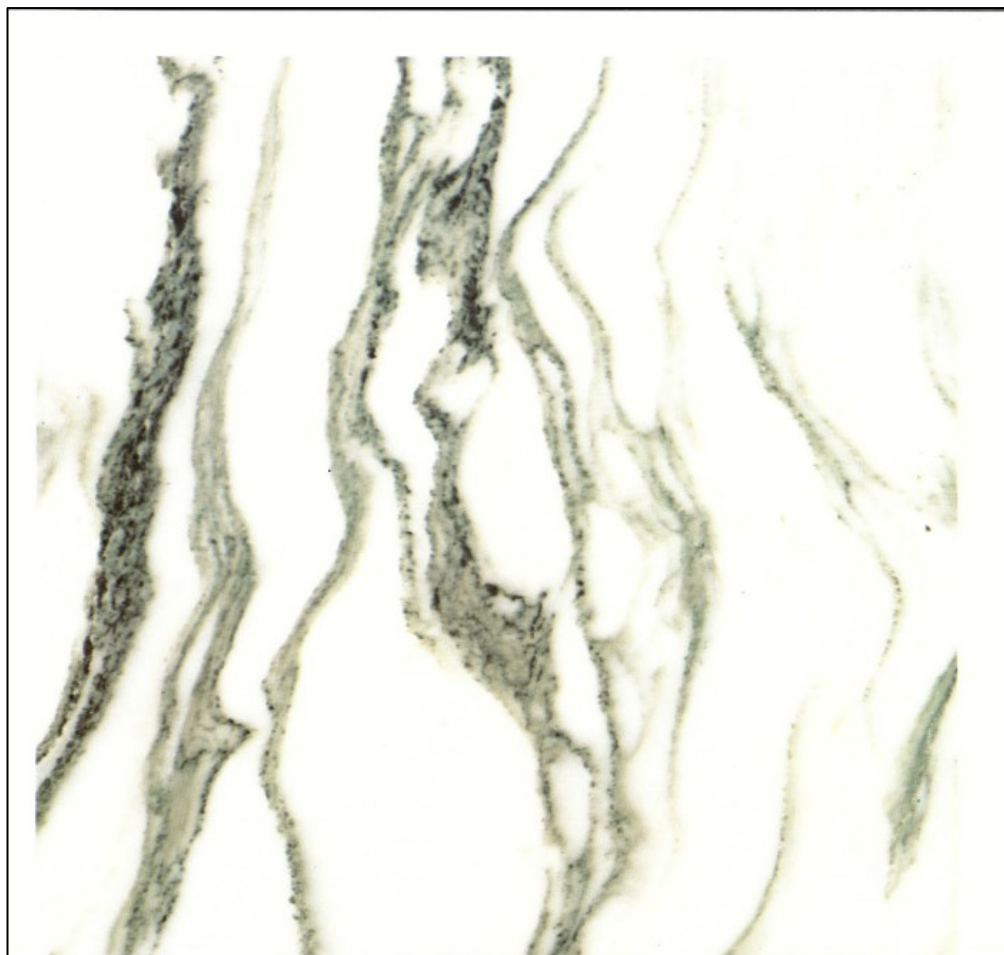


Fig.16- caratteristiche cromatiche del marmo Fantastico

Dalle analisi riportate risulta che il Fantastico ha ottime caratteristiche in termini di compressione, con valore di 1201 kg/cm^2 e di flessione 1140 kg/cm^2 , possiede una ridotta riduzione della flessione dopo cicli di gelività forte, 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 Serra delle Volte lungo le pendici sud orientali del Monte Macina si trova in prossimità o poco al di sopra della quota 1200 m, mentre la cava Faniello si sviluppa a cielo aperto tra le quote 1078 e 1094 m. 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 Turrte 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 Turrte 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.

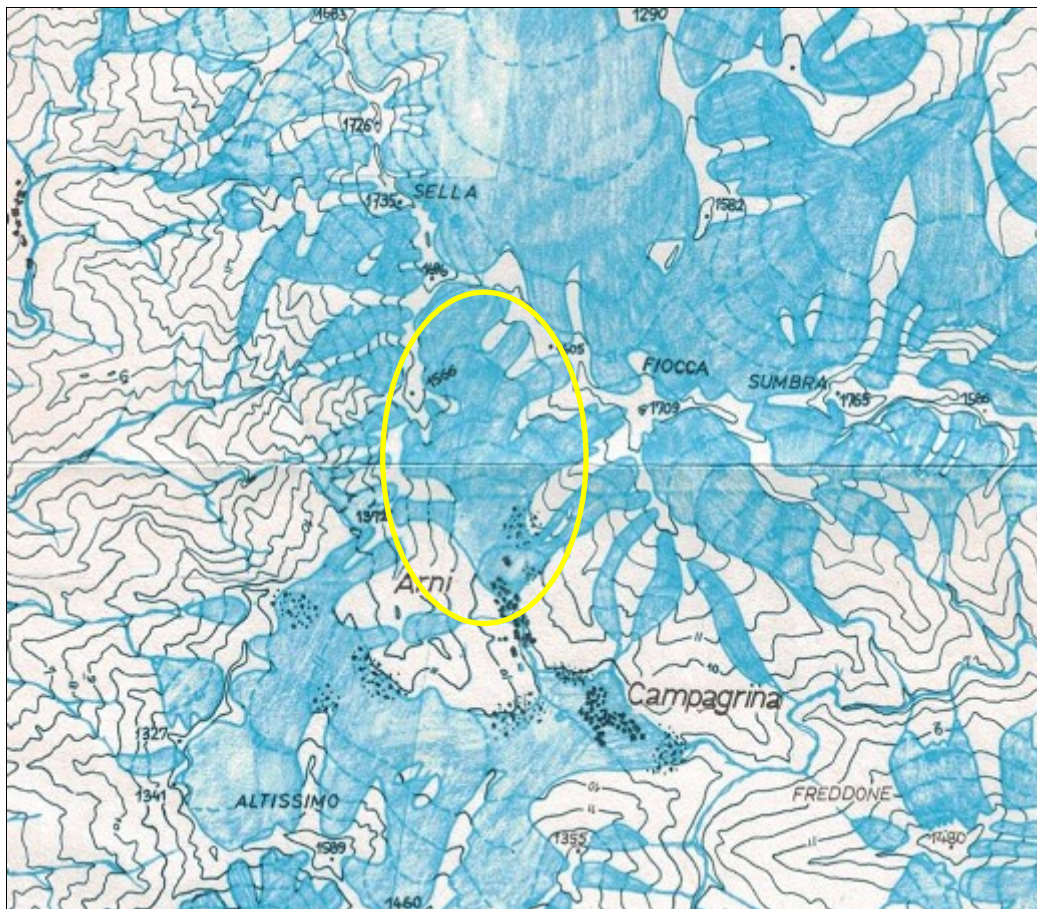


Fig.17 – Carta dei ghiacciai delle Alpi Apuane (Braschi et Alii) evidenziato il ghiacciaio di Arni

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 Canale Secco in cui si trova la cava Serra delle Volte 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 carta geomorfologica dell'area di bacino, in cui vengono riportati i perimetri dei ravaneti con una suddivisione per classi granulometriche. Oltre ai ravaneti in questa carta geomorfologica vengono indicate le pareti di cava e le aree di gestione dei derivati lapidei di estrazione. Il torrente Turrice 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 Turrîte 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, 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 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 1355 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 sono lontane dalla zona di scavo prevista nel presente progetto, mentre le loro quote finali sono più bassa di quella del progetto di coltivazione, Tuttavia anche guardando le planimetrie delle grotte e la direzione di deflusso delle acque, dirette verso ovest, non si dovrebbero avere interferenze tra l'attività di coltivazione e le cavità.

N° Catastale	Nome	Località	Morfologia	Geologia	Idrog.	Profondità
826	Buca del Collettino	Turrîte Secca	Pozzo vert.	Marmi s.s.	Assorb.	130
1033	Grotta Lilliput	Canale di Nicola	Pozzo vert.	Marmi s.s.	Assorb.	135

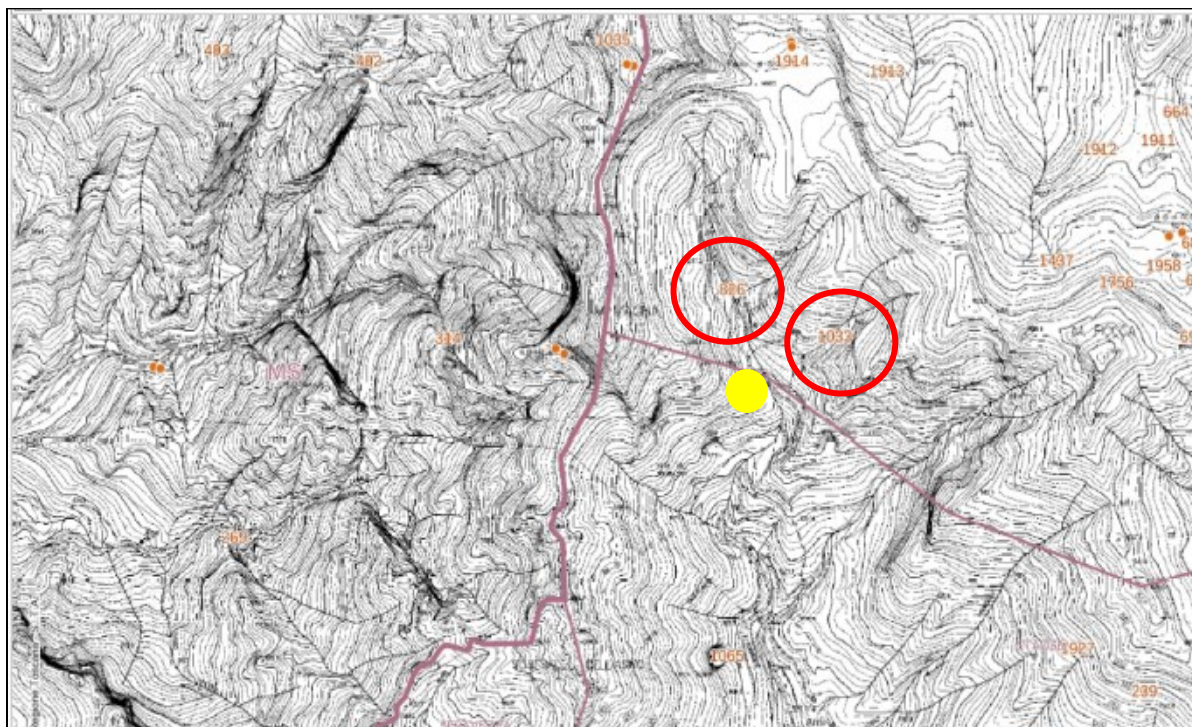


Fig. 18– localizzazione delle grotte rilevate da Catasto Federazione speleologica Toscana in rosso, posizione della cava in giallo

6 Pericolosità dell'area di estrazione

La pericolosità dell'area di progetto valuta nel PABE del Comune di Stazzema viene valutata con quelle del PAI dell'Autorità di Bacino Appennino Settentrionale.

6.1 Pericolosità geomorfologica e sismica (tav.5)

Nelle cartografie dell'Autorità di Bacino Fiume Serchio la zona di progetto risulta in *area soggetta a franosità in terreni detritici acclivi* (Norma art.13) essendo in parte ricoperta da ravaneto (indicato con Rv), oggi completamente rimosso nella zona di scavo. La perimetrazione del PABE non ha valutato che nella cava, attiva al momento della redazione dello stesso, era stato rimosso completamente il detrito presente in precedenza all'interno del piazzale e quindi non ha eseguito alcuna revisione, dato l'utilizzo di una cartografia di maggiore dettaglio ed inoltre ha inserito il ravaneto in classe G3S3, pur essendo quello presente nella cava su superficie piana e quindi privo di tale pericolosità. Si veda il confronto tra la cartografia del PABE e quella dell'Autorità Fiume Serchio riportata nella fig.20 successiva. A maggiore chiarezza della pericolosità dell'area di progetto viene redatta la *Tavola 5 - Carta geomorfologica, della franosità fiume Serchio, carta della pericolosità geomorfologica PAI Appennino Settentrionale*, in cui vengono riportate tutte le carte della pericolosità. Nella Cartografia dell'Autorità di Bacino Appennino Settentrionale l'area di cava viene inserita in classe P3a (pericolosità elevate), in quanto in essa viene riportato la delimitazione dell'accumulo detritico presente al momento della redazione di tale carta, che attualmente per lo meno nella zona di scavo è stato eliminato.

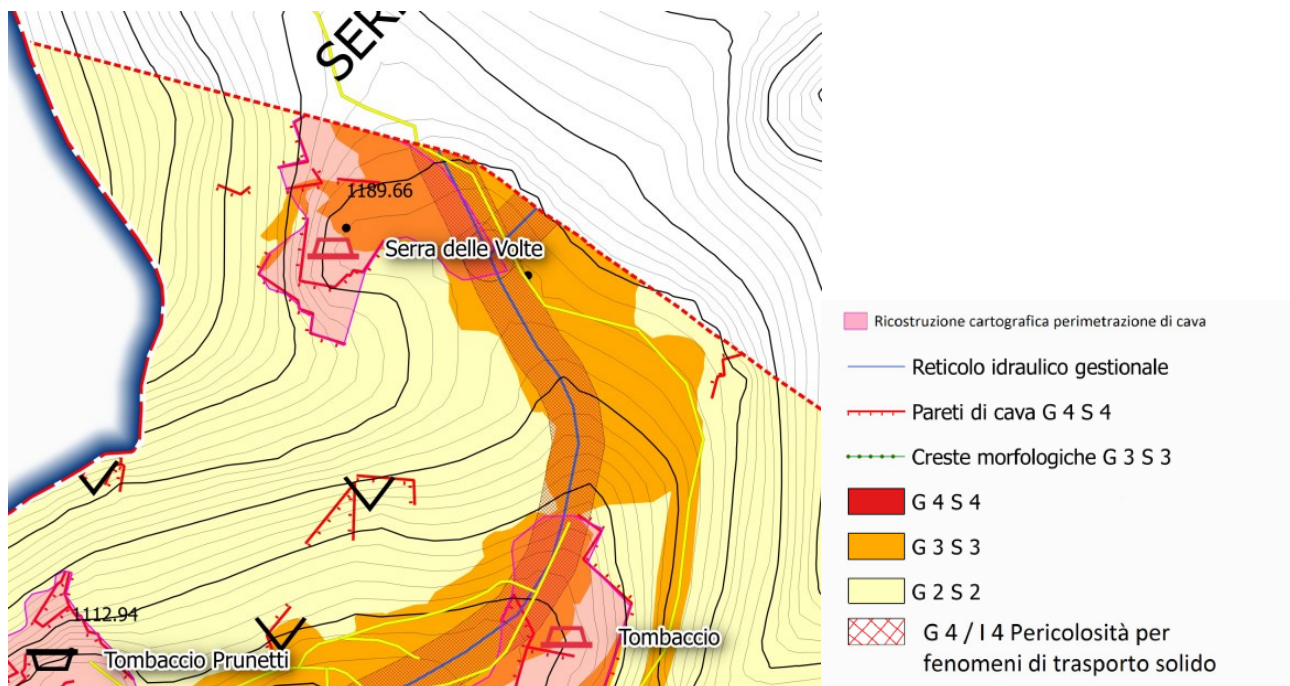


Fig.19 -estratto da QG8.11 PABE del Bacino M. Macina comune di Stazzema, in rosa perimetro dell'area di cava, che si sovrappone all'area G3S3 risultando di colore ocra scuro

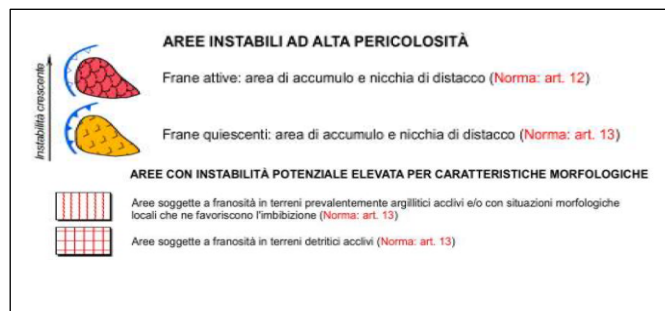
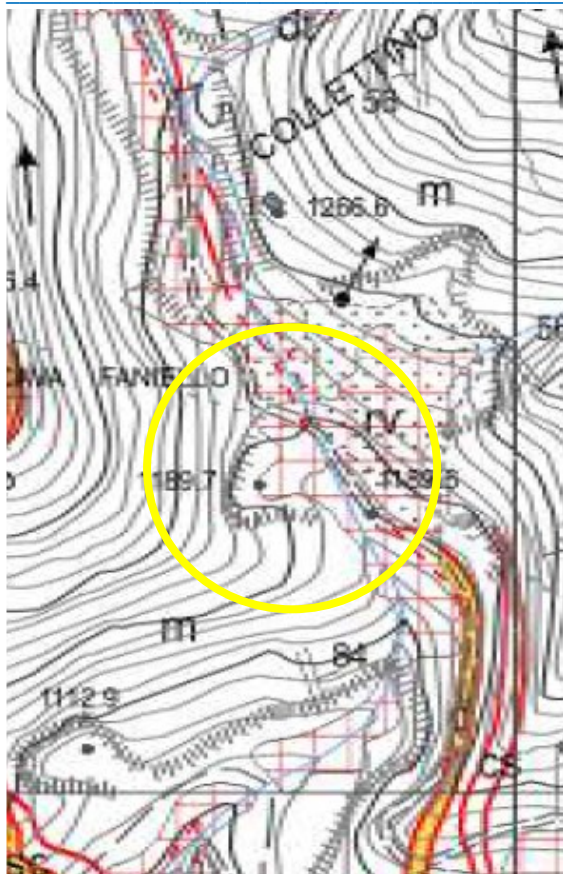


Fig.20-estratto da Carta delle Franosità Fiume Serchio
Mappa PAI "Dissesti geomorfologici"

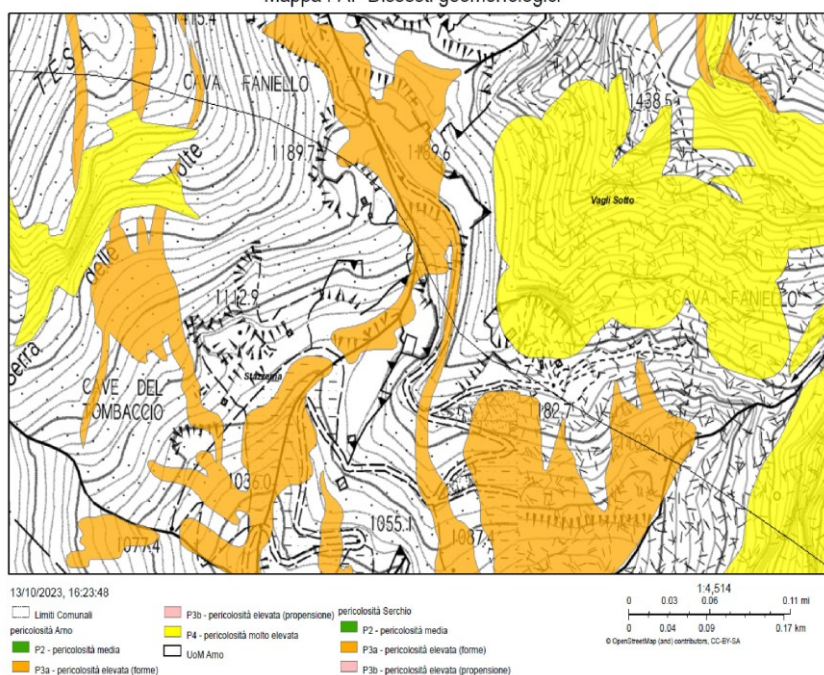


Fig.21-estratto da Carta Pericolosità geomorfologica Autorità di Bacino Appennino Settentrionale

L'area di progetto dovrebbe quindi essere classificata in classe G2S3 essendo di fatto priva di pericolosità geomorfologica essendo il poco detrito ancora presente sul piazzale accumulato su un'area pianeggiante. Tutta l'area di scavo risulta su affioramento roccioso privo di pericolosità e quindi andrebbe modificata la cartografia di riferimento. Per l'inquadramento della pericolosità dell'area di progetto si rimanda alla Tav.5 di progetto.

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 *Tav. 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
FATTIBILITA'	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 del 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.22 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 ree di scavo, di ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s (vd. Classificazione dei suoli secondo D.M. NTC 2018).

Tenendo conto delle caratteristiche morfologiche dei rilievi con inclinazione media $>30^\circ$, l'area di progetto ricade nella categoria T4 (vd.Tab.1), potendosi a ragione considerare la morfologia prevalentemente bidimensionale.

Tabella 1

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

Inoltre per tener conto delle condizioni topografiche ed in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST , 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)	ST
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 ST 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 sismici 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 sismiche, 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]	F _o	T _c * [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 Turrîte Secca, analogamente a tanti altri bacini delle Alpi Apuane, è formato 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".

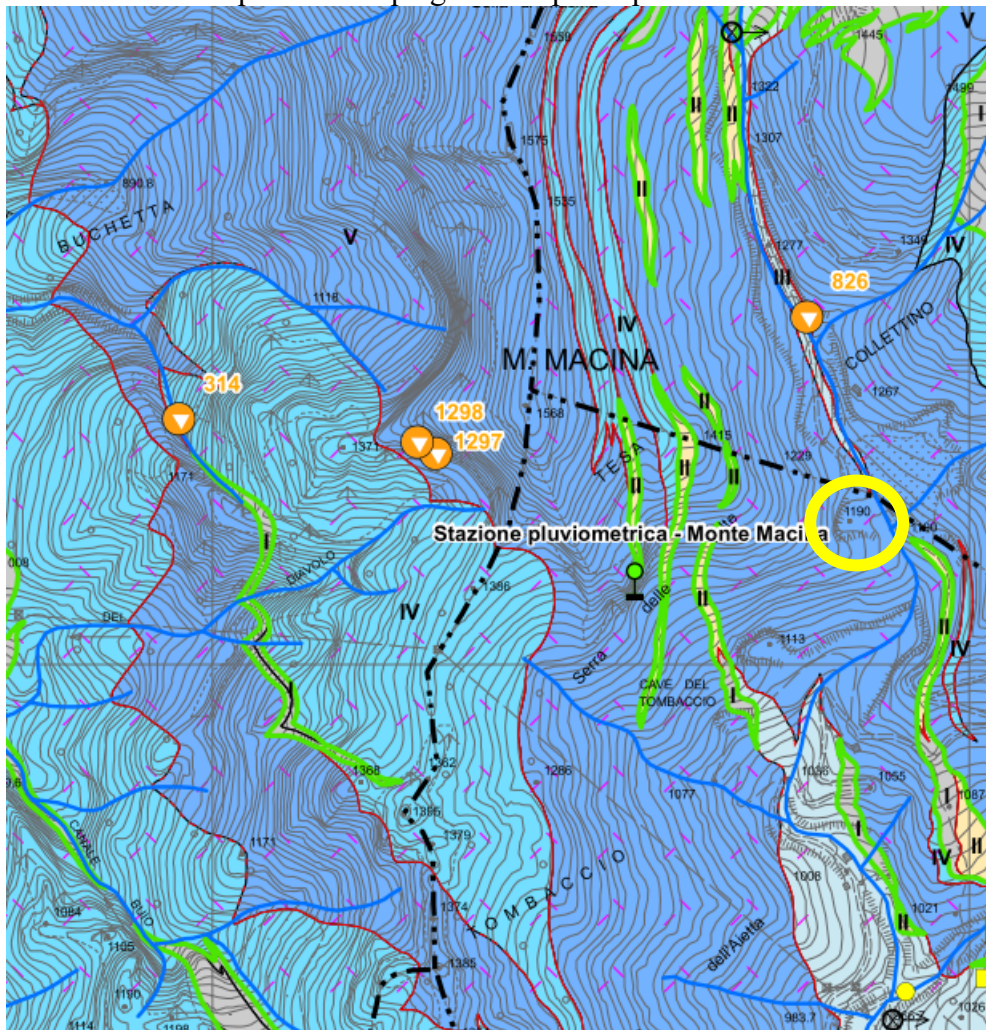
Le litofacies carbonatiche sono caratterizzate da un'alta permeabilità per fatturazione e carsismo quindi da un elevato coefficiente d'infiltrazione. La circolazione profonda, avviene lungo condotti carsici e fratture allargate dalla dissoluzione dei carbonati. Le acque meteoriche si infiltrano sino 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 opposto 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 lo spessore 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 fuoriuscendo dalle fratture maggiori, si tratta comunque di sorgenti con portate inferiori a 10 l/s.

Nella figura 23- Carta idrogeologica vengono indicate le linee di deflusso superficiale 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 però uno spessore ridotto (10/15 m).
- c- Litotipi a permeabilità bassa (classe I e II): Sono costituite 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.



Classi di permeabilità relativa per i complessi idrogeologici in roccia*

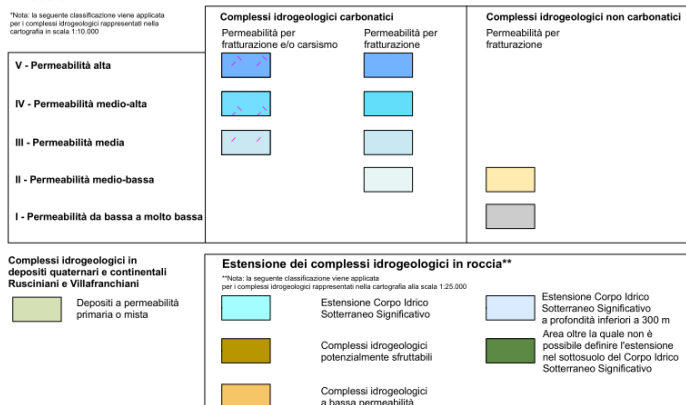


Fig.23 Carta idrogeologica e classi di permeabilità, in giallo area di intervento

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 km ²	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
Camaione	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

Data l’importanza del bacino le attività estrattive dovranno essere condotte avendo particolare cura nella gestione delle acque di lavorazione, per 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 nell’ allegato 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 cui 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.

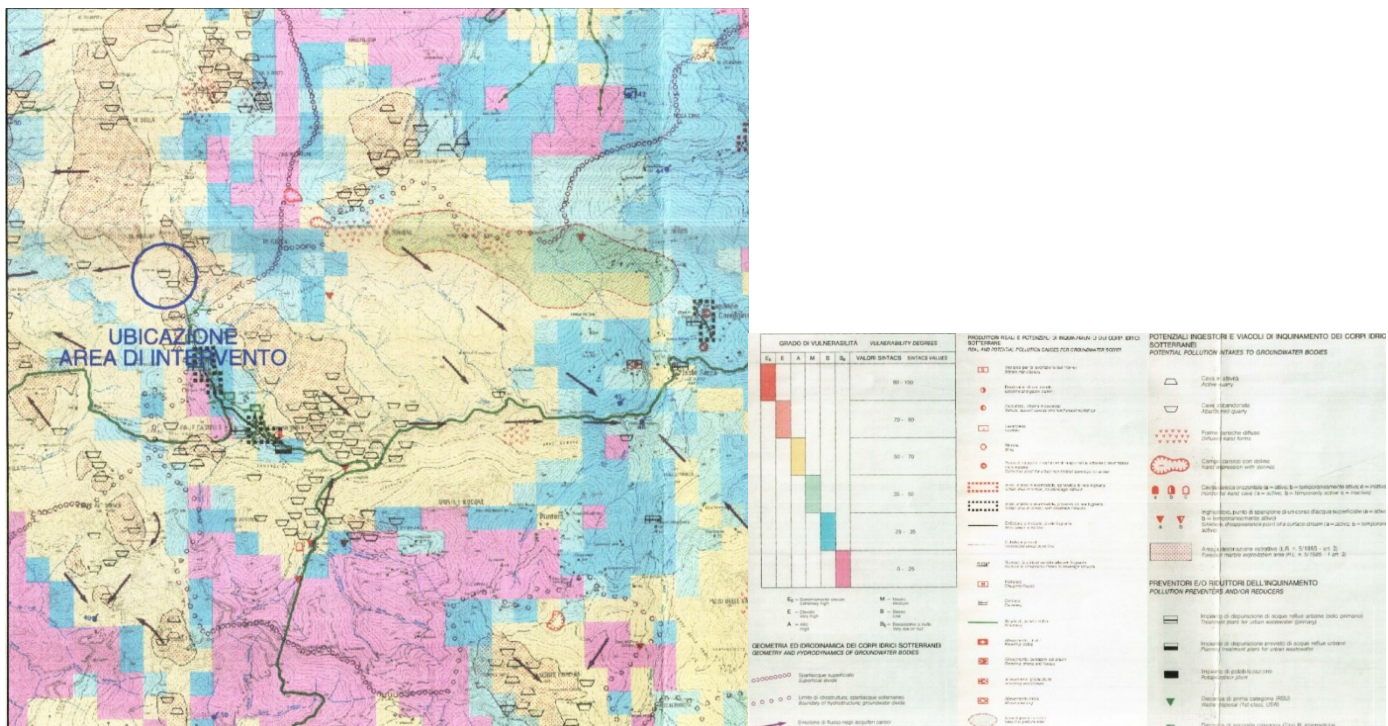


Fig.24 stralcio "Carta della Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero delle Alpi Apuane" fuori scala

9 Verifiche dell'interferenza con il sistema idrogeologico

Per l'approvazione del progetto attualmente autorizzato 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 della cava Serra delle Volte, impedendo che queste arrivino alle sorgenti a valle di questo impluvio. I risultati di questa indagine eseguita con l'immissione di spore in un anfratto sufficientemente aperto nei pressi del Torrente Secco o Turrite Secca. Le indagini condotte hanno evidenziato che non vi è una connessione diretta tra la cava e la suddetta sorgente. Nell'allegato A, a fine testo, si riportano i dati dell'indagine idrogeologica condotta con l'immissione delle spore del 2017.

10 Classificazione dell'ammasso roccioso

Il rilievo strutturale ha interessato tutti i vecchi fronti di lavorazione agibili e l'area della futura coltivazione, 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 delle precedenti campagne di rilevamento.

Predomina un sistema di frattura, costituito da famiglia di faglie prive di rigetto con strie di movimento che indicano una componente sinistra a cui sono associate faglie coniugate di minore estensione. In campagna oltre a questa famiglia è sempre ben rappresentata la scistosità di prima e seconda fase S1 ed 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 Serra delle Volte, essendo strettamente legato alla alterazione superficiale delle rocce, avvenuto soprattutto ad opera del glacialismo che ha interessato tutta la valle, e quella della cava Tombaccio dove la fratturazione nell'ammasso è decisamente più contenuta. Non viene fatta alcuna trattazione dell'ammasso roccioso superficiale e quindi più fratturato che essendo appunto il cappellaccio deve essere rimosso, non sono invece presenti aree o zone con caratteristiche più scadenti di quelle di seguito illustrate, come zone di finimento o aree ad alta fratturazione per presenza di faglie o fratturazioni regionali.

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

Tabella riepilogo famiglie di discontinuità

<i>Famiglia (Raggruppamento medio)</i>	<i>Immersione media</i>	<i>Inclinazione media</i>
K1	2	40
K2	325	78
K2 a	141	78
K3	230	30
K4	278	71
K5	48	62

Famiglia K1 (2/40)

È il sistema più frequente e pervasivo sia a piccola che grande scala essendo costituito dalla scistosità di prima fase S1, che essendo ripiegata dalla fase successiva presenta forte ondulazioni e cambi di immersione a piccola scala, 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 una significativa apertura dei giunti che invece è serrata nelle parti marmoree rimanendo invece con una apertura di 0,5-0,8 mm nelle parti corticali dell'ammasso, indipendentemente dalla composizione della roccia. Nei fronti cava questo sistema è generalmente serrato. I giunti risultano prevalentemente asciutti sulle pareti tagliate mentre nell'ammasso vergine, quando la scistosità è molto inclinata sono evidenti segni di scorrimento idrico seppur superficiale. La rugosità dei giunti è in genere scalettata grande scala, risultando a piccola scala mediamente rugosi. La roccia risulta alterata solo nella parte superficiale dell'affioramento, ma poco o niente alterati in profondità. Normalmente le fratture risultano con valori di JCS buono 55. Il JRC varia da ondulato a scalini con valori tra 6-8. La spaziatura è molto variabile da 0,6 a 0,8 m mentre la persistenza è compresa tra 3- 15 metri.

Famiglia K2 (325/78) e Famiglia K2a (141/78)

Rappresenta la famiglia dei giunti del "secondo" che è stata suddivisa in due famiglie vista la variabilità di inclinazione. Sono fratture abbastanza pervasive tra 3/20m in genere poco aperte con valori variabili da 1 a 5 mm leggermente alterate o dove maggiormente aperte alterate con riempimento di soft filling, in genere

argille residuali. La morfologia delle fratture è planare a grande scala e da rugosa a molto rugosa a piccola scala. Il JCS medio di 51 mentre il JRC misurabile a piccola scala ha valori tra 8-10 e 12-14, con valore medio 10-12.

Famiglia K3 (230/30)

Sono discontinuità planari con una persistenza media da 6-15 metri ed un'apertura da 0.1- 0.5 mm, e spesso serrati. Non presentano segni di circolazioni idrica risultando asciutti con superfici non alterate. Il riempimento quando presente è di tipo soft filling e costituito da argille residuali o scisti verdastrì. Le discontinuità sono rugose con andamento rettilineo o leggermente ondulate. Non risultano alterate e hanno un JSC di 51, mentre il JRC a piccola scala ha valori variabili da 6-8 a 12-14, con valore medio 8-10.

Famiglia K4 (278/71)

Queste discontinuità sono in genere più aperte delle altre e risultano riempite da hard filling, in genere calcite e soft filling, argille marroni dove le aperture sono maggiori, hanno una persistenza superiore a 10 metri con condizioni idrauliche asciutte. La morfologia è scalettata a grande scala e rugosa a piccola scala con JRC 14-16, mentre il JSC considerato è 46.

Famiglia K5 (48/62)

Le fratture di questa famiglia sono meno persistenti ed in genere inferiore a 3 metri, sono serrate e prive di scorrimento idraulico. Dove più aperte risultano leggermente ossidate, ma in genere sono non alterate. Sono fratture ondulate a grande scala e rugose a piccola scala.

4.2. Stereogrammi delle fratture

Lo stereogramma seguente riporta il plottaggio dei dati raccolti in campagna e l'individuazione delle faglie di discontinuità principali ed i loro piani medi. Per l'elaborazione dei dati abbiamo utilizzato il software della Rocscience inc. Dip, nel documento di analisi della stabilità si riporta il rapporto della elaborazione dei dati eseguito dal programma.

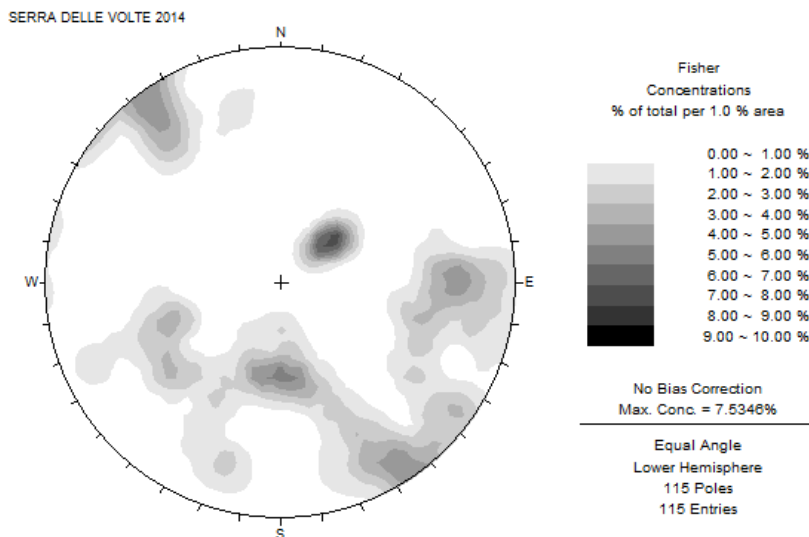


Fig.25- stereonet delle fratture Serra delle Volte

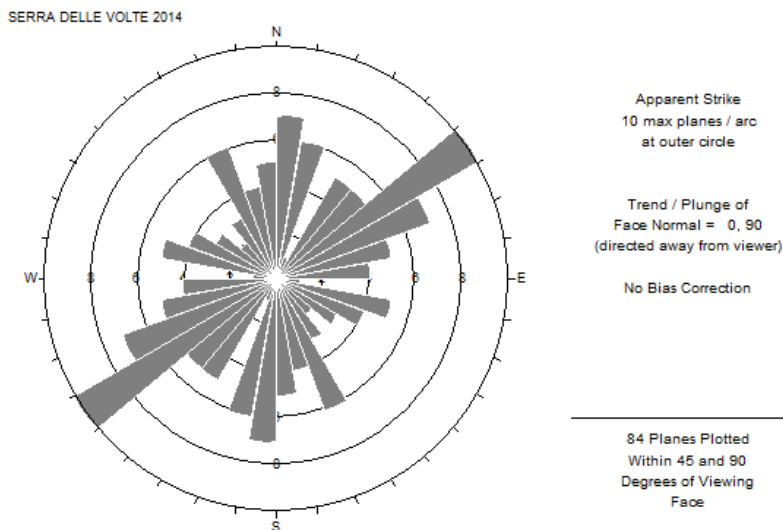


Fig.26- diagramma a rosetta delle fratture rilevate Serra delle Volte

Tabella riepilogativa delle caratteristiche medie dei sistemi di frattura rilevati – cantiere Serra delle Volte											
Famiglia	Immers. Inclinaz.	Apertura mm	Riem	Persist m	Spaziat. m	Morfologia Picc. scala	Morfologia a g. scala	JRC p. scala	JRC g. scala	JCS	H2 O
K1	2/40	0.5-0.8mm	Hf-Sf	1-10 m	0.6-0.8m	r	S	6--8		52	U
K2	325/78	1-.5mm	A/Sf	31-10m	0.8-1.2m	r	P	10-12		51	U
K2a	141/78	1-5 mm	Sf	10-20m	0.5-0.8m	r	U-P	10-12		51	U
K3	230/30	0.1-0.5mm	Sf	1-10 m	0.6-0.8m	r	P	8-10		51	U
K4	278/71	5-8 mm	Sf	10-30 m	1.2-08m	r	S-U	14-16		46	U
K5	48/62	0.1-0.5	A	1-10 m	0.5-0.8m	r	S-U	14-16		---	U

legenda A = assente ; r rugoso, sm smooth, S scalettato ; P planare; U umido; A asciutto, 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 “I Marmi Apuani – Ertag1980” da cui risulta che la roccia ha le seguenti caratteristiche fisico meccaniche:

- Resistenza a compressione uniassiale: 118,07 Mpa
- Resistenza a flessione: 11,47 Mpa
- Peso specifico: 2704 Kg/mc
- Assorbimento d'acqua: 0,11 %

Valori molto simili a quelli indicati sono riportati nella documentazione aziendale su prove eseguite dal laboratorio Erica.

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 di Miller (1965) :

$$\text{Log}(\text{Su}) = 0,00088Y(\sigma_c) + 1,01$$

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	K2a	K3	K4
A1	Resistenza a compressione mono assiale	5,10	5,55	5,74	6,11	5,55
A2	RQD	18,68	18,07	17,39	19,21	17,39
A3	Spaziatura delle discontinuità	13,00	15,57	13,71	15,75	10,55
A4	Condizioni dei giunti	17	18	14	13	24
A5	Condizioni dell'acqua	10	10	10	7	7
A6	Correzione giacitura discontinuità	-8,22	-8,22	-8,22	-8,22	-8,22
RMRc		55,74	58,96	52,48	52,95	56,27

Dalla Tabella precedente risulta per l'ammasso roccioso di Serra delle volte un RMRc medio pari a 55,28 che rientra quindi in classe III o Mediocre, tuttavia va fatto notare che il rilievo ha riguardato essenzialmente la superficie del giacimento essendo i fronti cava limitati e comunque superficiali, quindi preso in esame la parte sicuramente meno consistente dell'ammasso.

Per il calcolo dell'orientazione dei fronti abbiamo considerato le diverse combinazioni con un rating ponderato in funzione della frequenza delle discontinuità

Orientamento fronti:

F1 : 85/204

F2 : 85/66

F3 : 85/126

F4 : 85/172

Famiglia	Peso	F1	F2	F3	F4
K1	0,22	-25	-5	0	-5
K1a	0,15	0	-25	-25	-25
K2	0,16	-5	0	0	0
K3	0,12	0	0	-25	0
K4	0,17	0	0	0	0
K5	0,19	-25	-5	0	-25
media	-8,22	11,12	5,70	6,55	9,5

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	63,96	32,87	32,75	0,318
K1a	67,19	34,48		0,335
K2	60,70	31,24		0,303
K3	61,17	31,47		0,305
K4	64,46	33,12		0,322
medio	63,49		$E(\text{Gpa}) = 2 \cdot 63,49 - 100 = 26,98$	0,316

partendo dai valore 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:

$$\text{GSI} = \text{BMR}_{89} - 5$$

Pertanto avremo:

Indici caratteristici cava Serra delle volte		
RMR89	BRM ⁸⁹	GSI
63,49	69,69	64,69

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 utilizzando 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 $\text{GSI} < 25$. 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 Serra delle Volte il GSI, secondo lo schema proposto dall'autore avrebbe un valore variabile tra 60 e 70 ricadendo nella zona indicata nella figura successiva, essendo quindi analogo a quello derivante dalla classificazione di RMR.

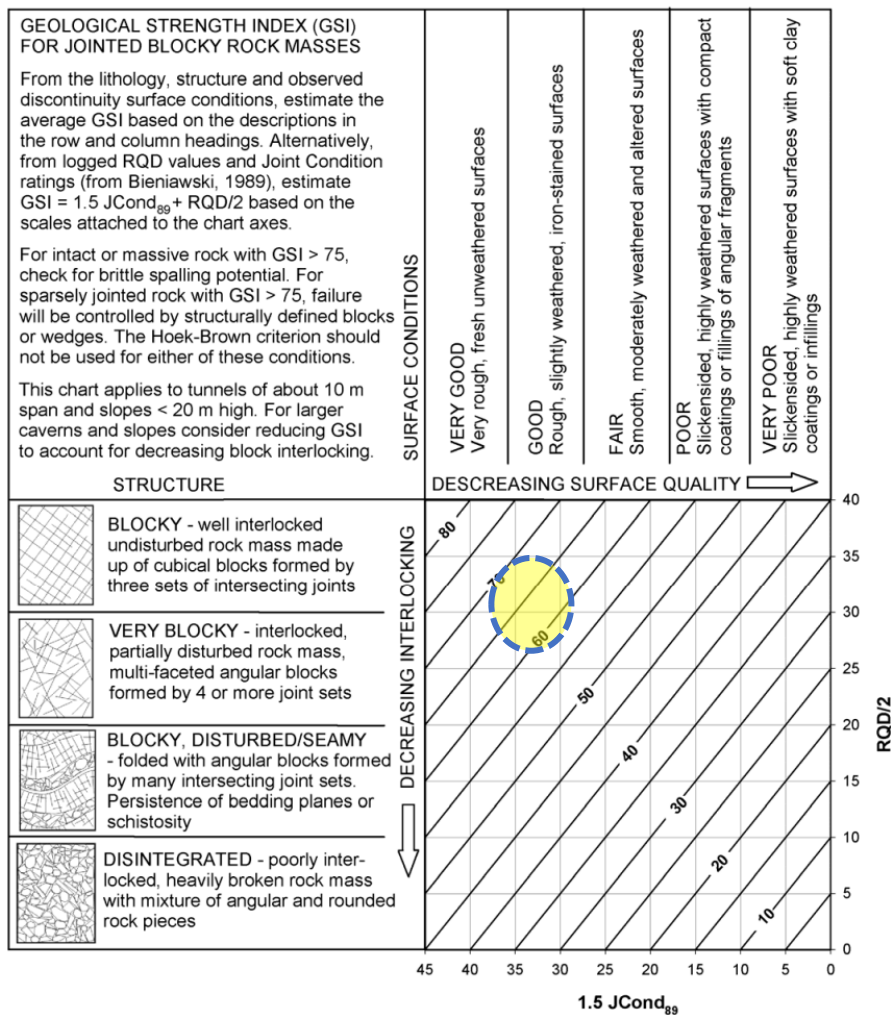


Fig.27- Classificazione di Hoek et al. 2013

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 $GSI > 1$ $m_b = m_i$; $e = (GSI - 100) / (28 - 14D)$; $S = e^{GSI - 100 / 9 - 3D}$; $a = 0,5 + 1/6(e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$; (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 64 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 Serra delle volte fronti di progetto altezza 7 m
Cava Serra delle Volte o $m_b = 1,245$; $s = 0,0054$; $a = 0,502$;

Angolo di attrito: 57°

Coesione: 0,777 MPa

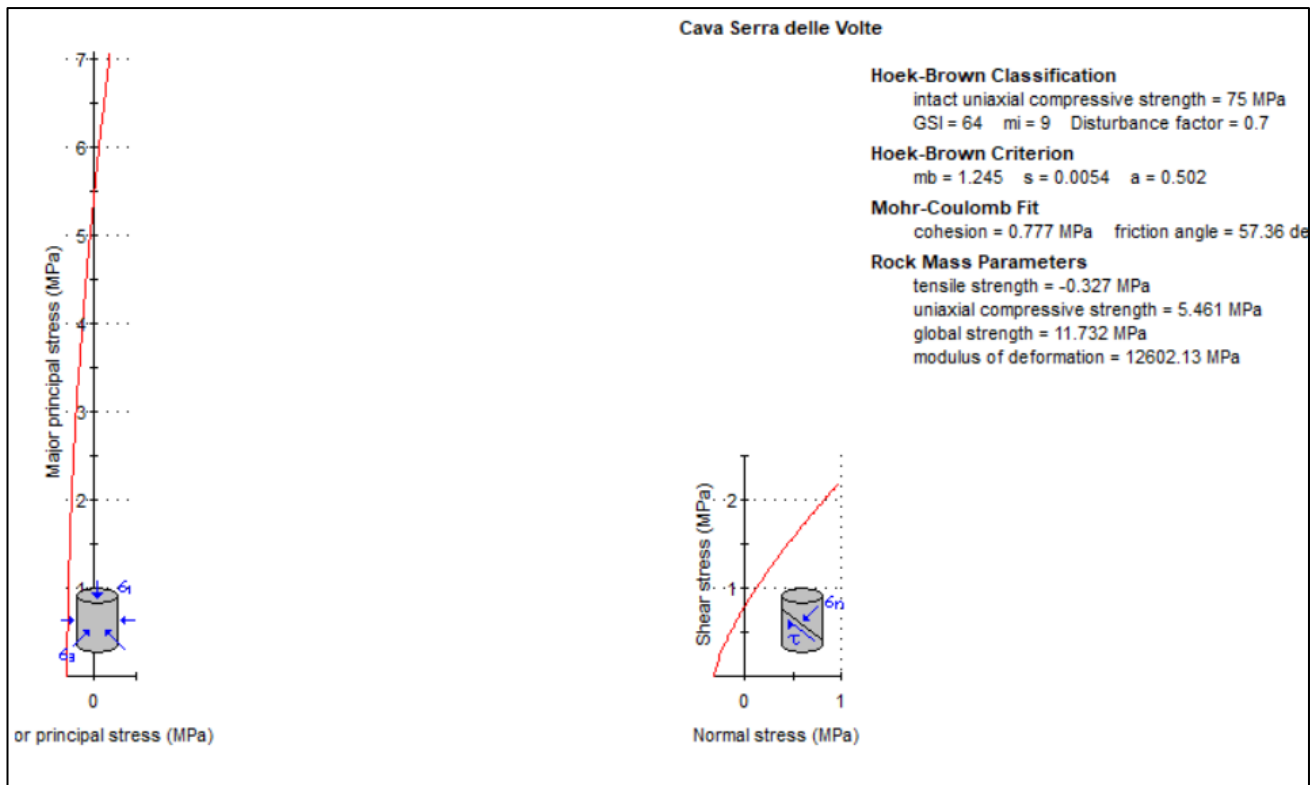


Fig.28 - inviluppi di rottura dell'ammasso roccioso e valori di σ_{tm} e σ_{cm} (Roclab)

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:

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

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:

$$\sigma_{tm} = \sigma_{ci} / 2 (m_b - \sqrt{m_b^2 + 4s}) = -0,327 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_{cm0} = 5,46 \text{ MPa}$$

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

- ✓ Resistenza a compressione uniassiale σ_{cm} : 5,46MPa
- ✓ Resistenza globale : 11,72 MPa
- ✓ Resistenza a trazione : - 0,327MPa
- ✓ Modulo di deformazione : 12602 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	57	0,777

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):

$$\zeta = \sigma_n \tan \theta_p,$$

calcolando l'angolo di picco alla rottura :

$$\theta_p = (\theta_r + JRC \log JSC/\sigma)$$

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

$$\zeta = \sigma_{\tan} [(\theta_r + JRC \log (JSC/\sigma_n))]$$

in cui :

θ_r = angolo di attrito residuo

Dove $\theta_r = (\theta_{b-20^\circ}) + 20 r/R$

JRC = valore della rugosità a piccola scala

JSC = valore della resistenza delle pareti delle discontinuità

σ = carico agente sulla parete

Il valore di θ_b è stato ricavato 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 superficie 10 rimbalzi e scartando i due valori estremi. Eseguita la media e corretto il valore in funzione dell'angolo tra il martello e la superficie misurata come prescritto, 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	52	60	55	62	58	58	54	54	60	52	56,5	0	56,5
Marmo	K1	1	48	60	58	54	58	60	48	48	54	54	54,2	0	54,2
Marmo	K1	1	50	52	58	48	54	60	52	50	48	52	52,4	0	52,4
Marmo	K1	1	52	58	60	62	58	52	54	50	48	54	54,8	0	54,8
Marmo	K2	2	54	56	58	58	60	56	58	60	48	50	55,8	-0,6	55,2
Marmo	K2	2	50	52	52	54	54	64	50	52	52	50	53	-0,6	52,4
Marmo	K2	3	48	52	54	60	48	50	52	54	60	54	53,2	-2,2	51
Marmo	K3	1	54	56	58	48	50	52	50	54	56	58	53,6	0	53,6
Marmo	K3	2	60	62	58	56	54	56	58	60	64	64	59,1	-0,6	58,5
Marmo	K3	2	46	48	52	54	54	56	58	50	50	50	51,8	-0,6	51,2
Marmo	K3	3	48	50	52	54	56	58	56	50	58	56	53,8	-2,2	51,6
Marmo	K4	3	52	54	56	60	54	52	56	50	50	48	53,2	-2,2	51
Marmo	K4	3	44	48	46	50	48	52	48	48	50	52	48,6	-2,2	46,4
Marmo	K4	3	54	56	50	54	56	58	50	52	52	54	53,6	-2,2	51,4
Valore medio corretto JCS															52,87

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

RILIEVO GEOMECCANICO JRC CAVA SERRA DELLE VOLTE 2020		
Giunto	PROFILO	Classe
K ₁		8-10
K ₁		8-10
K ₁		6-8
K ₁		6-8
K ₂		14-16
K ₂		10-12
K ₂		12-14
K ₂		12-14
K ₃		12-14
K ₃		8-10
K ₃		10-12
K ₄		16-18
K ₄		14-16
K ₄		16-18

Fig.28 JRC rappresentativi delle fratture misurate

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

$$\phi_p = \phi_b + JRC \log JSC/\sigma$$

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 Θ_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/m ax	JSC med	Θ_b Min max	Altezza fronte m	Θ_p		Cp kPa		Θ_K	C _k
					min	max	min	max	carat.	caratt.
K1	6--8	52	31-34	7	43	50	17,00	31,80	43	17
K2	10-12	52	31-34	7	50,60	57,40	42,90	82,40	50	43
K3	8--10	52	31-34	7	27,40	52,10	46,80	54,10	27	46
K4	14-16	52	31-34	7	56,90	61,70	105,30	263,0	56	105
Valori medi									44	52,75

I valori caratteristici dell'ammasso sono stati considerati i valori medi.

10.6 RMI di Palmstrom

Il sistema di classificazione di Palmstrom (1995) è basato sulla combinazione di due parametri principali, la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, che ricaviamo dalle prove di laboratorio disponibili ed un parametro di giunto che rappresenta la riduzione della compressione monoassiale dovuta alla presenza di discontinuità. Il valore di RMI è dato dalla seguente formula:

$$RMI = \sigma_c JP$$

Dove JP è il parametro dei giunti che si ottiene dalla seguente formula :

$$JP = 0,2 \sqrt{jC V_b^D}$$

In cui $D = 0,37 jC^{-0,2}$

La valutazione del parametro globale jC avviene tramite la formula

$$jC = jL/jR/jA$$

In cui i valori jL, jA e jR si ottengono dalle caratteristiche dei giunti utilizzando delle tabelle proposte dall'Autore.

Il volume dei blocchi per la parte più superficiale, quindi in forma cautelativa, dell'ammasso è stato valutato nella porzione superiore dello stesso, più fratturata e quindi il suo utilizzo porta a valori più cautelativi.

10.6.1 Stima delle dimensioni medie dei blocchi Vb

Per la definizione di questo parametro si è fatto riferimento al metodo di Palmstrom A. (2001) "Measurement and characterization of rock mass jointing", prendendo a riferimento le dimensioni di un blocco misurato in sito e riportando in scala su autocad le foto scattate su due scansioni. Non essendo la superficie regolare si sono introdotti dei difetti di calcolo nelle dimensioni del volume minimo, utilizzando la scansione superiore, per questo motivo si è corretta la dimensione dei blocchi minimi togliendo le spaziature minori, così che le dimensioni dei blocchi risultino per eccesso e quindi più cautelative.

Dall'analisi delle due sezioni si rileva quanto segue:

- ✓ le fratture della superficie K1 sono tagliate dalla K3 che in parte creano dei ribassamenti di queste superfici;
- ✓ le fratture k3 si interrompono in corrispondenza della K1 quando la roccia non presenta intercalazioni filladiche;
- ✓ Le K2 coniugate sono molto pervasive e tagliano quasi con continuità l'ammasso formando dei prismi allungati (long block), come risulta dalla relazione tra le spaziature (con fattore di forma $\beta=52$);
- ✓ La forma predominante dei blocchi è definibile come : prismi allungati;
- ✓ Sono presenti fratture casuali che in alcune zone danno luogo a blocchi poliedrici, mentre in genere questi hanno una forma prismatica allungata;
- ✓ Il rilievo ha interessato un volume di roccia si circa 101 m³, sufficiente a definire l'intero ammasso

Nelle figure che seguono si riportano le due line di scansione utilizzate per definire le dimensioni e forma dei blocchi che formano questa porzione di ammasso.

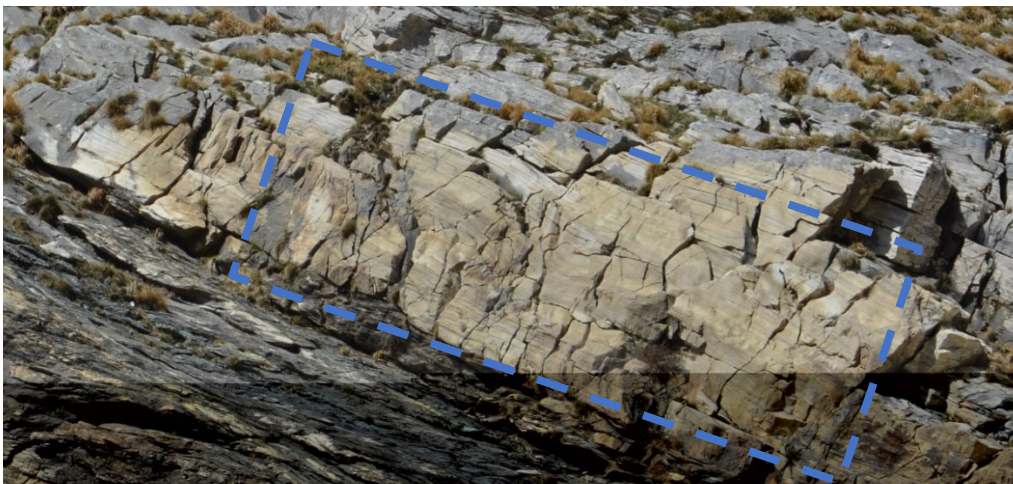


Fig. 29 scansione 1

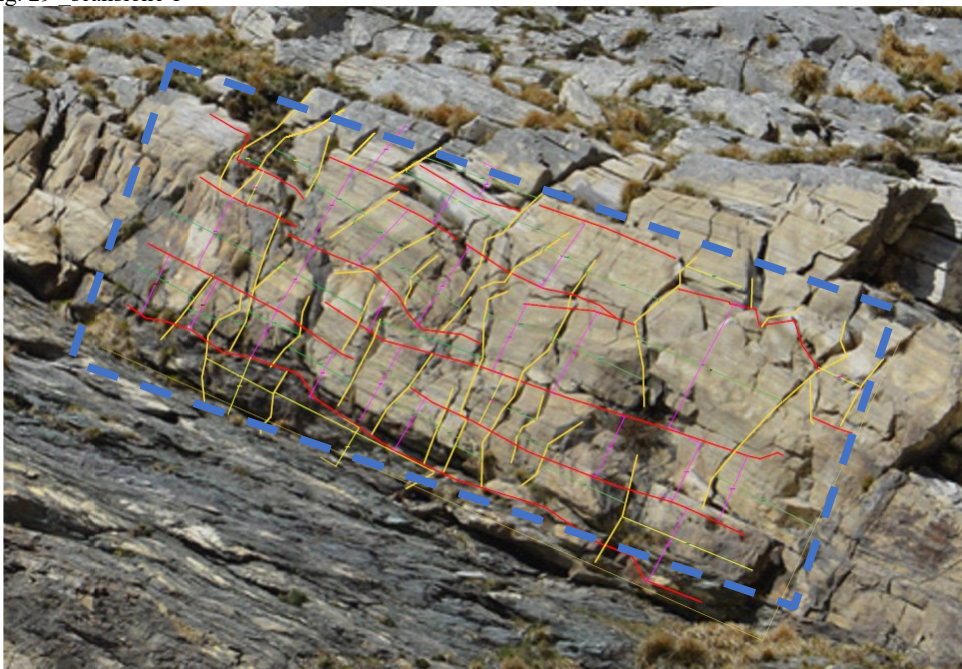


Fig.30 _scansione 1 con sistemi di frattura K1 in rosso e K3 in giallo in viola e verde spaziatura delle fratture



Fig.31 scansione 2



Fig.32 _scansione 2 in rosso le fratture K1, in blu le K2 ed in Giallo le K2 , in viola la spaziatura tra le fratture

Utilizzando il metodo di Palmstrom nelle due aree di scansione possiamo ottenere la spaziatura massima, minimi a media di ciascuna famiglia e conseguentemente il volume massimo, medio e minimo dei blocchi facenti parte dell'ammasso, che vengono riassunti nella tabella seguente:

Tabella riepilogo Vb Palmstrom

misurati	Superficie verticale		Superficie orizzontale	
	min	max	min	max
Spaziatura k1	0,45	0,83	0,42	0,85
Spaziatura K2			0,52	1,80
Spaziatura k3	0,50	1,52	0,45	0,90
Numero di giunti casuali	2 joints		2 joints	
calcolati	high	low	high	low
Jv (numero giunti per m3)	4,62	2,25	6,92	3,23
Fattore forma blocchi β	36	46	39	44
Volume dei blocchi	min	max	min	max
- In base alla spaziatura (senza tenere conto delle fratture casuali)	0.50	5,20	0,10	1,40
	0.36	4,03	0,11	1,30

In sostanza potremmo incontrare blocchi con un volume massimo di circa 5 m³ ed un volume minimo di 0,11 m³. Il fattore di forma dei blocchi indica che avremo prevalentemente blocchi prismatici allungati, peraltro già definibili con un'analisi diretta essendo predominante in questo settore la fratturazione K2 che viene spezzata dalla K3 formando appunto prismi allungati, visibili anche nella figura nr.32 precedente. Definito il parametro Vb, per l'ammasso superficiale, che risulta ugual a 1,30 da cui deriva :

$$Db = \sqrt[3]{Vb}$$

Da cui deriva che Db è : 1,09 m

Calcolando jC con la formula riportata in precedenza otteniamo jC = 0,67 quindi

$$JP = 0,2 \sqrt[3]{0,67 Vb^D}$$

$$JP = 0,2 \times 0,81 \times 1,33 \text{ ossia } = 0,21$$

Da cui RM1 = 75 x 0,21 = 16,17 Mpa

Il valore di RMi calcolato porta ad una classificazione dell'ammasso Molto Alto .

Palmstrom propone di correlare JP ai parametri di Hoek- Brown per l'ammasso con Jp con le seguenti formule:

$$s = JP^2 = 0,004$$

$$mb = mi JP^{0,64} = 3,31$$

$$mb = mi JP^{0,857} = 2,36.$$

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 la quale verifica la stabilità di un fronte solo rispetto alle condizioni geometriche senza includere nel calcolo le forze in gioco. L'analisi di stabilità cinematica dei fronti in esame è stata realizzata mediante proiezioni stereografiche utilizzando il reticolo equiangolare di Wulff.

I cinematismi dell'area di lavorazione sono stati valutati secondo le tre principali modalità di cedimento (scivolamento su piano, cuneo e ribaltamento).

L'analisi viene eseguita per tutte le orientazioni dei fronti previsti nel progetto, indipendentemente dalla loro lunghezza e per quelli già esistenti. I fronti di coltivazione hanno un'altezza massima di 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 formeranno 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

$$E_d = E (\gamma_F \cdot F_k; X_k / \gamma_m; a_d)$$

dove $\gamma_F \cdot F_k; X_k / \gamma_m;$ sono parametri di progetto mentre a_d è un coefficiente che definisce la geometria di progetto.

Analogamente per le resistenze R

$$R_d = 1 / \gamma_R R (\gamma_F \cdot F_k; X_k / \gamma_R; a_d)$$

In cui γ_R è un coefficiente di riduzione del parametro

Il suddetto metodo detto anche dei "coefficienti parziali" i cui indici sono riportati nelle tabelle seguenti, i cui indici sono riduttivi o maggiorativi a seconda dell'azione presa in considerazione.

I coefficienti servono per tenere conto delle incertezze del modello e dei dati sperimentali a favore 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_{Q1}	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 F_s dovrà essere espresso da:

$$F_s \geq 1$$

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	0,52	1.25	0,42
Angolo di attrito	44	1.25	35,2°

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	204
F2	85	66
F3	85	126
F4	85	172

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 N 114°-85 SSE	K1	77/144	35°
F2 N156°/85 NE	K1a	74/320	
F3 N36°/85 E	K2	78/235	
F4 N 82°/85 S	K2a	80/79	
	K3	55/274	
	K4	34/100	

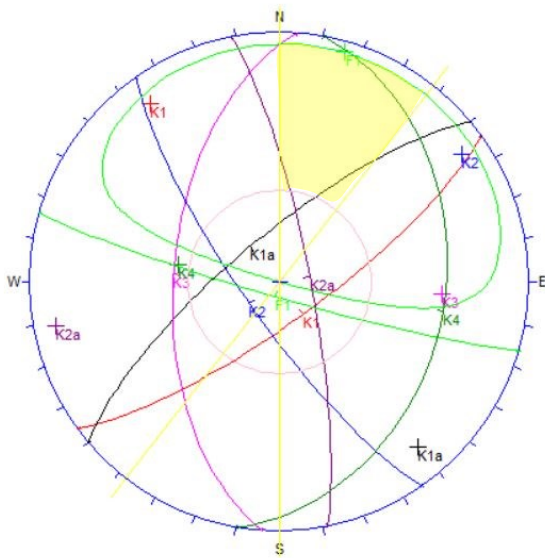
11.1 Cinematismi sui fronti di lavoro esistenti e di progetto

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.

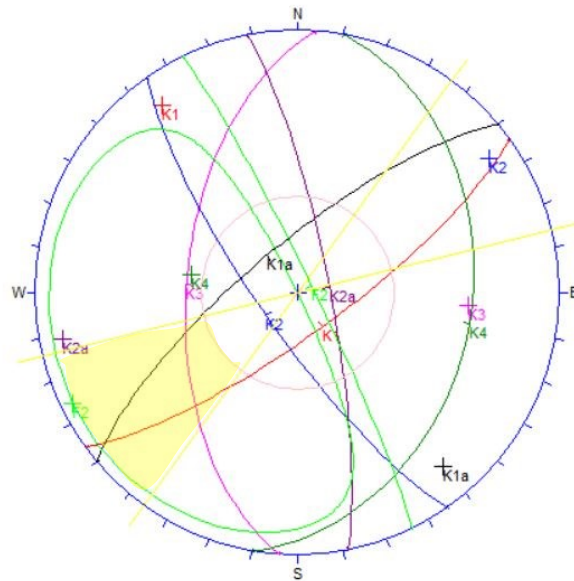
Il direttore responsabile deve comunque valutare prima di ogni taglio la situazione specifica delle discontinuità e i meccanismi che possono innescarsi durante e dopo la fase di taglio, redigendo una scheda ad ogni avanzamento. Le seguenti descrizioni ed analisi hanno quindi carattere di previsione e debbono essere rivalutate dal Direttore Responsabile ad ogni nuovo avanzamento, intervenendo quando necessario con disaggi o chiodature.

a- Scivolamenti planari

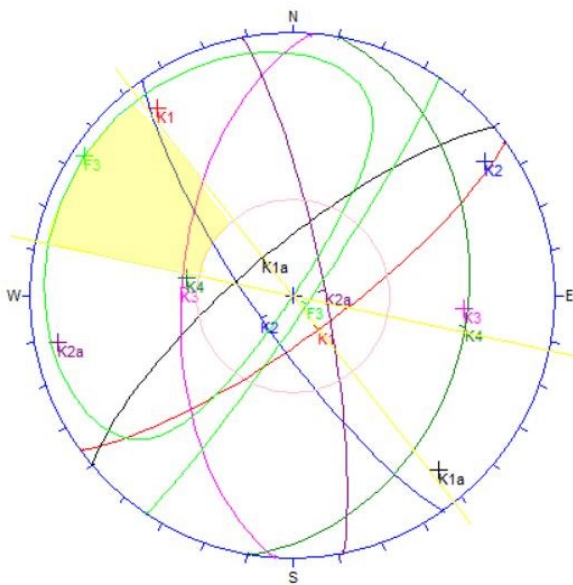
Fronte F1



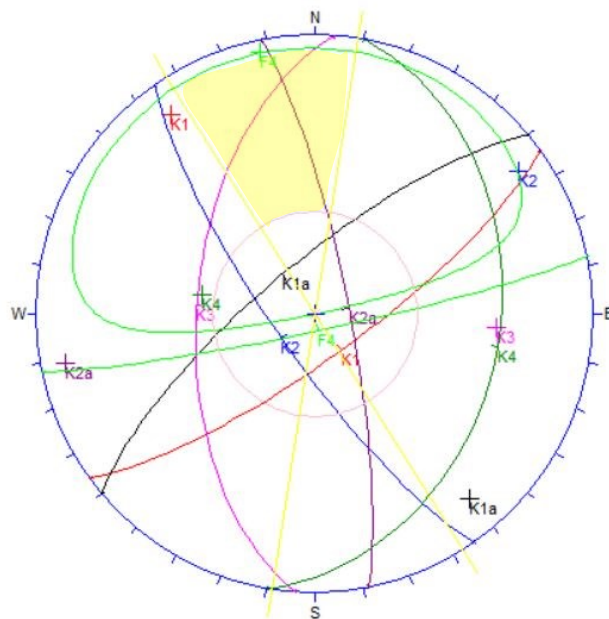
Fronte F2



Fronte F3



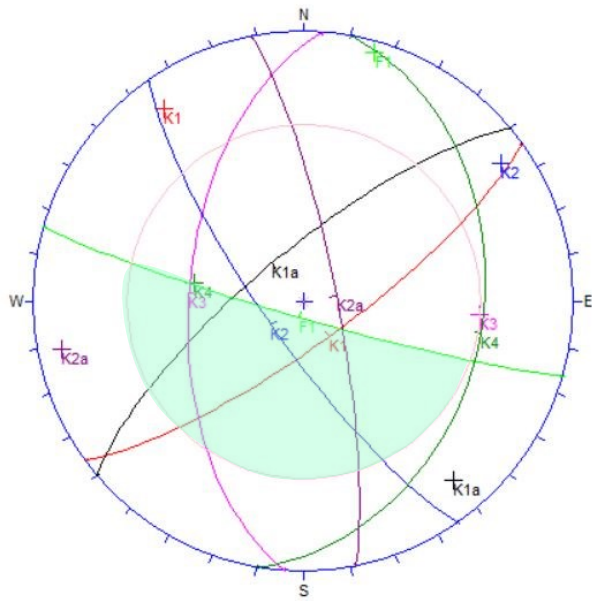
Fronte F4



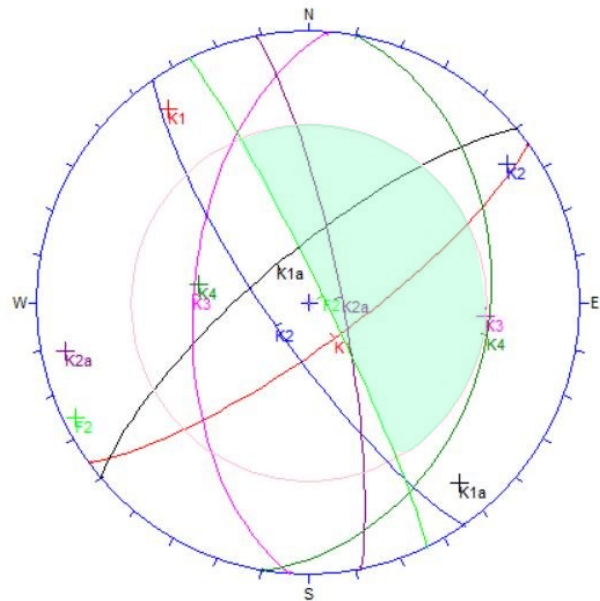
Si hanno scivolamenti solo sul Fronte F3 lungo le fratture della famiglia K4.

b- Cunei in scivolamento

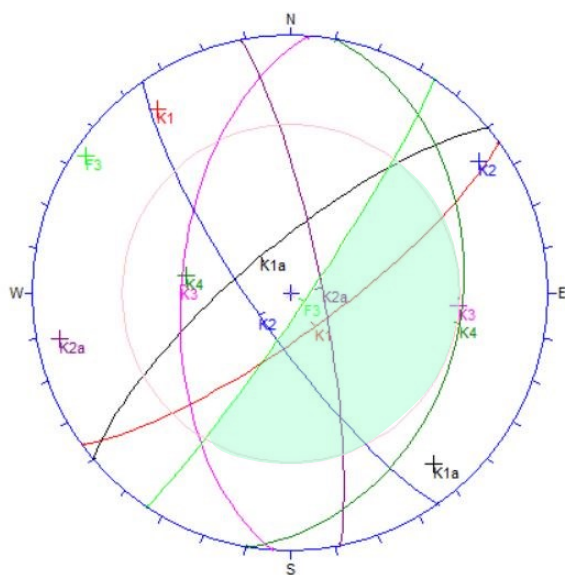
Fronte F1



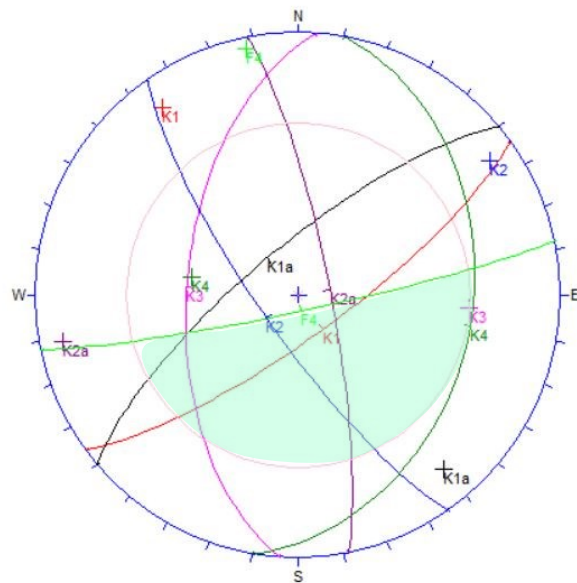
Fronte F2



Fronte F3



Fronte F4



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

Fronte F1 - scivolamento per cuneo tra : $K1/k_2$; $K1/K3$; $K1a/K3$; $K2a/k_2$;

Fronte F2 - scivolamento per cuneo tra : $K1a/K2a$; $K1/K2a$;

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

Fronte F4 – scivolamento per cuneo tra: $K1/K2$; $K2/K2a$; $K1/K3$;

L'analisi probabilistica ci 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 rilevati anche in campagna, dopo l'analisi probabilistica.

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 di scivolamento	Orientazione inclinazione	Caratteristiche parametri	
Dip dir-dip			Dip dir- dip	θ°	C (MPa)
F1 N 114°-85 SSE	Cuneo	K1/K2	77/144-78/235	35	0,42
	Cuneo	K1/K3	55/274-77/144	35	0,42
	Cuneo	K1a/K3	55/274-75/320	35	0,42
	Cuneo	K2a/K2	78/235-80/79	35	0,42
F2 N156°/85 NE	Cuneo	K1a/K2a	75/320-80/79	35	0,42
	Cuneo	K1/K2a	77/144-80/79	35	0,42
F3 N36°/85 E	Scivolamento planare	K4	34/100	35	0,42
	Cuneo	K1/K2	77/144-78/235	35	0,42
	Cuneo	K1/K2a	77/144-80/79	35	0,42
F4 N 82°/85 S	Cuneo	K1/K2	77/144-78/235	35	0,42
	Cuneo	K2a/K2	80/79-78/235	35	0,42
	Cuneo	K3/K1	55/274-77/144	35	0,42
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 di scivolamento	Piano / linea di scivolamento	Orientazione inclinazione	Fs
Dip dir-dip			Dip dir- dip	
F1 N 114°-85 SSE	Cuneo	K1/K2	77/144-78/235	4,3
	Cuneo	K1/K3	55/274-77/144	4,12
	Cuneo	K1a/K3	55/274-75/320	7,01
	Cuneo	K2a/K2	78/235-80/79	7,56
F2 N156°/85 NE	Cuneo	K1a/K2a	75/320-80/79	5,63
	Cuneo	K1/K2a	77/144-80/79	17,56
F3 N36°/85 E	Scivolamento planare	K4	34/100	12,53
	Cuneo	K1/K2	77/144-78/235	10,73
	Cuneo	K1/K2a	77/144-80/79	4,78
F4 N 82°/85 S	Cuneo	K1/K2	77/144-78/235	4,37
	Cuneo	K2a/K2	80/79-78/235	7,49
	Cuneo	K3/K1	55/274-77/144	4,65

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.

12 Interventi di messa in sicurezza

Le pareti sovrastanti l'area di progetto sono state oggetto di diversi interventi di messa in sicurezza che vengono di seguito riepilogati:

- Disgaggio e copertura con rete settore nord

Tutta la parete a nord e nord ovest della zona di scavo è stata oggetto di un accurato disgaggio e di una successiva copertura con rete in aderenza come visibile nella figura successiva .



Fig.33 _copertura con rete in aderenza parete nord

- Parte ovest-nord ovest

- a) In continuità con la parete precedente sono state eseguiti disgaggi in tutto l'ammasso infisse 4 barre in acciaio, due da tre metri, due da 6 metri a consolidamento delle massa più importanti non disaggiabili. Tutta la parete è stata coperta con una rete in aderenza



- b) Rinuncia tagli di roccia per allargamento della base

La base della parete è stata volontariamente allargata rinunciando a eseguire dei tagli allargando quindi la base con dei gradoni, eliminando la parte più esterna con tagli trasversali dove la roccia era più frantumata, sia sulla parete nord che su quella nord ovest



Fig.34 _allargamento base con gradoni lato ovest nord-ovest



Gradone di
sicurezza

Fig.35 _allargamento base con gradoni lato nord

- Paret ovest inferiore

a) Colonna non coltivata

Sul lato ovest è stata lasciata una colonna di roccia arretrando quindi l'area di scavo , ritenendo che questa potesse dare maggiore solidità alla parete sovrastante.



Colonna non coltivata
per dare maggiore
stabilità alle pareti
sovrstanti

Fig.36 _colonna di roccia no tagliata

b) Chiusura porzione fratturata con rete armata

La parte superiore della parete ovest è stata oggetto di disgreggio e chiusura della parte più fratturata con rete armata.



Rete armata a
copertura canale con
finimento

Fig.37 _rete armata in canale con finimento

- Rete verticale a protezione di caduta massi dai cigli superiori dei fronti cava

Lungo le pareti aggettanti che sovrastano la zona di scavo sono state posizionate delle reti verticali trattenute da paletti di acciaio con una altezza di due metri.



Rete di protezione
lungo la parete lato
nord



Rete di protezione
lungo la parete lato
ovest

- Consolidamento colonna lato est sudest della zona di scavo



Oltre all'ampliamento della base della colonna sul lato sud-sudest della zona di scavo, lasciando dei gradoni alla base, sono state eseguiti sei tiranti da 8 e 9 metri, diametro 40 mm, per il consolidamento della colonna presente nella parte sud dell'area di scavo.

13 Conclusioni e prescrizioni

Le indagini hanno permesso di definire le condizioni dell'ammasso roccioso e dei cinematismi che agiscono su di esso. Dalla valutazione con software che tengono conto delle caratteristiche geometriche e fisiche dei giunti, in condizioni sismiche e applicando i valori di riduzione imposti dalle NTC 2018, non riscontrando situazioni di instabilità, tuttavia le immersioni dei giunti possono cambiare portando a situazioni locali di instabilità, che dovranno essere valutate nel corso delle attività di scavo. Sono state eseguite diverse opere di consolidamento ed è in corso l'istallazione di una sonda estensimetrica multibase e un inclinometro di lunghezza 6 metri che verrà posizionato nella parte superiore dell'ammasso. La strumentazione è stata scelta da Ing. Valentino, mentre l'istallazione e la successiva fase di monitoraggio saranno seguite dall'Ing. Berlinghieri.

Querceta, Marzo 2023

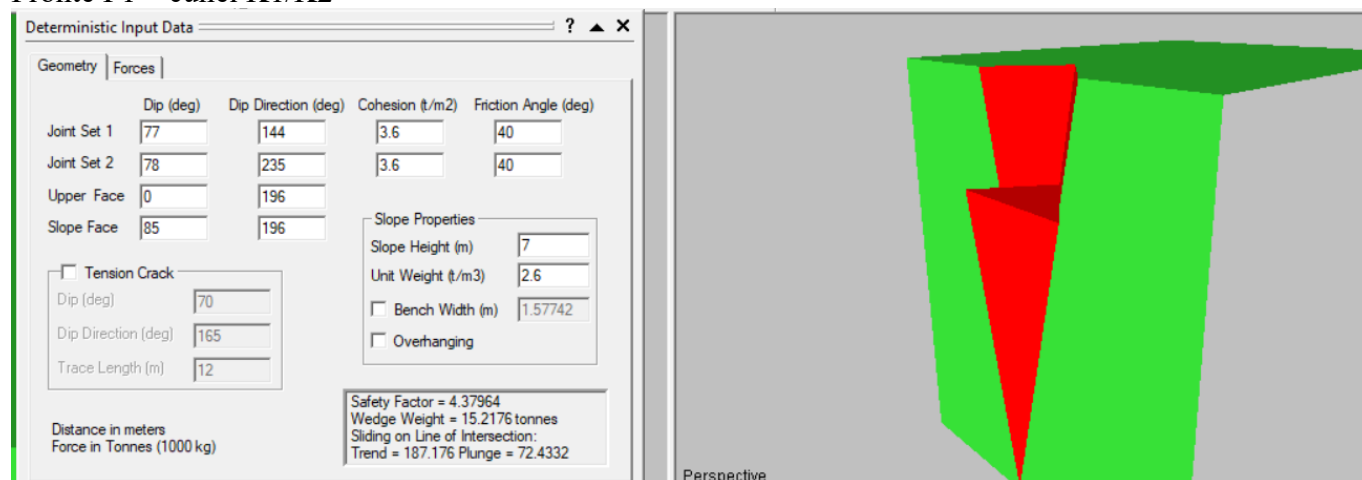
Dott. Geologo Vinicio Lorenzoni



ALLEGATI – Report Analisi cinematiche - Abaco di fattibilità

A- Cinematismi

Fronte F1 – cunei K1/K2



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=4.37964
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=1.57742 m
Wedge volume=5.85291 m³
Wedge weight=15.2176 tonnes
Wedge area (joint1)=7.19051 m²
Wedge area (joint2)=8.96891 m²
Wedge area (slope)=11.1738 m²
Wedge area (upper face)=2.50839 m²
Normal force (joint1)=3.33089 tonnes
Normal force (joint2)=3.06353 tonnes
Driving force=14.5079 tonnes
Resisting force=63.5395 tonnes

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

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=72.4332 deg, trend=187.176 deg
length=7.34241 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.20051 m
Joint2 on slope face=7.20838 m
Joint1 on upper face=2.00178 m
Joint2 on upper face=2.50655 m

Maximum Persistence:
Joint1=7.34241 m
Joint2=7.34241 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 25.5029 deg
J1&Crest on slope face = 77.3868 deg
J1&Crest on upper face = 52 deg
J2&Crest on slope face = 77.1103 deg
J2&Crest on upper face = 39 deg
J1&2 on upper face = 89 deg

Joint Set 1 Data:

dip=77 deg, dip direction=144 deg
cohesion=3.6 tonnes/m², friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=78 deg, dip direction=235 deg

cohesion=3.6 tonnes/m², friction angle=40 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=196 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m³
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=196 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -1.34, 1.02, 7
Point 234: 1.71, 0.145, 7
Point 123: 0.277, 2.2, 7

K1/K3

Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=4.12184
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=6.49312 m
Wedge volume=48.8845 m³
Wedge weight=127.1 tonnes
Wedge area (joint1)=29.5982 m²
Wedge area (joint2)=28.363 m²
Wedge area (slope)=22.6723 m²
Wedge area (upper face)=20.9505 m²
Normal force (joint1)=66.3751 tonnes
Normal force (joint2)=98.3907 tonnes
Driving force=84.1651 tonnes
Resisting force=346.915 tonnes

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

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=41.4677 deg, trend=222.228 deg
length=10.5709 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.20051 m
Joint2 on slope face=8.55553 m
Joint1 on upper face=8.23989 m
Joint2 on upper face=6.63818 m

Maximum Persistence:
Joint1=10.5709 m
Joint2=10.5709 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 47.397 deg
J1&Crest on slope face = 77.3868 deg
J1&Crest on upper face = 52 deg
J2&Crest on slope face = 55.2161 deg
J2&Crest on upper face = 78 deg
J1&2 on upper face = 50 deg

Joint Set 1 Data:

dip=77 deg, dip direction=144 deg
cohesion=3.6 tonnes/m², friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=55 deg, dip direction=274 deg

cohesion=3.6 tonnes/m², friction angle=40 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=196 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m³
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

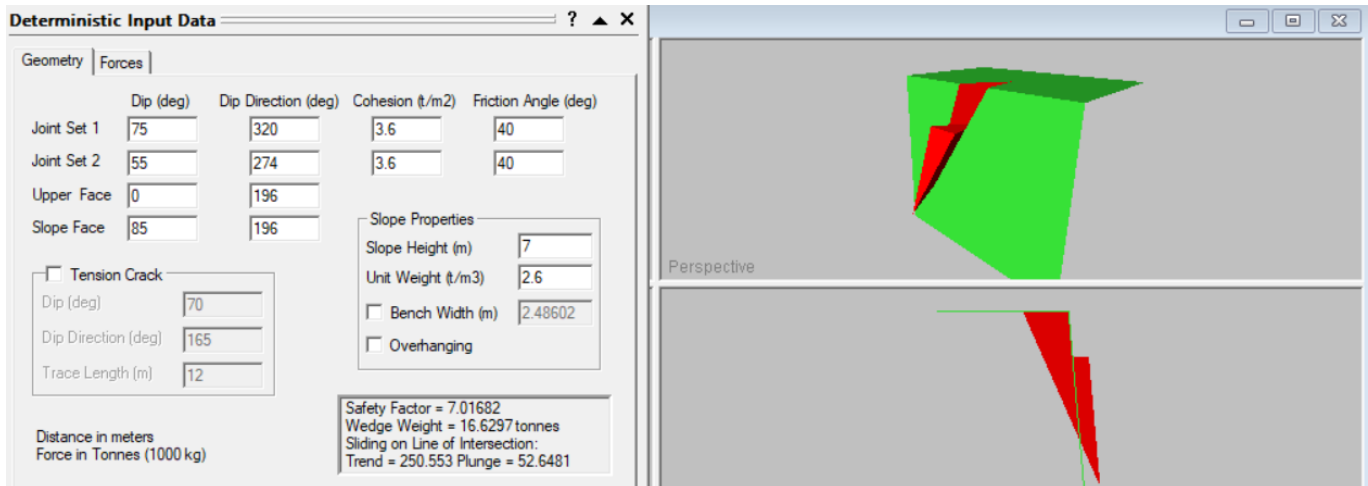
Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=196 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -1.34, 1.02, 7
Point 234: 4.86, -0.757, 7
Point 123: 5.32, 5.87, 7

K1a/K3



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=7.01682
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=2.48602 m
Wedge volume=6.39604 m3
Wedge weight=16.6297 tonnes
Wedge area (joint1)=10.8656 m2
Wedge area (joint2)=10.8593 m2
Wedge area (slope)=7.7479 m2
Wedge area (upper face)=2.74116 m2
Normal force (joint1)=4.59291 tonnes
Normal force (joint2)=12.7447 tonnes
Driving force=13.2194 tonnes
Resisting force=92.7579 tonnes

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

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=52.6481 deg, trend=250.553 deg
length=8.80587 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.51887 m
Joint2 on slope face=8.55553 m
Joint1 on upper face=2.99868 m
Joint2 on upper face=2.54156 m

Maximum Persistence:
Joint1=8.80587 m
Joint2=8.80587 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 13.9389 deg
J1&Crest on slope face = 110.845 deg
J1&Crest on upper face = 56 deg
J2&Crest on slope face = 55.2161 deg
J2&Crest on upper face = 78 deg
J1&2 on upper face = 46 deg

Joint Set 1 Data:

dip=75 deg, dip direction=320 deg
cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=55 deg, dip direction=274 deg

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=196 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

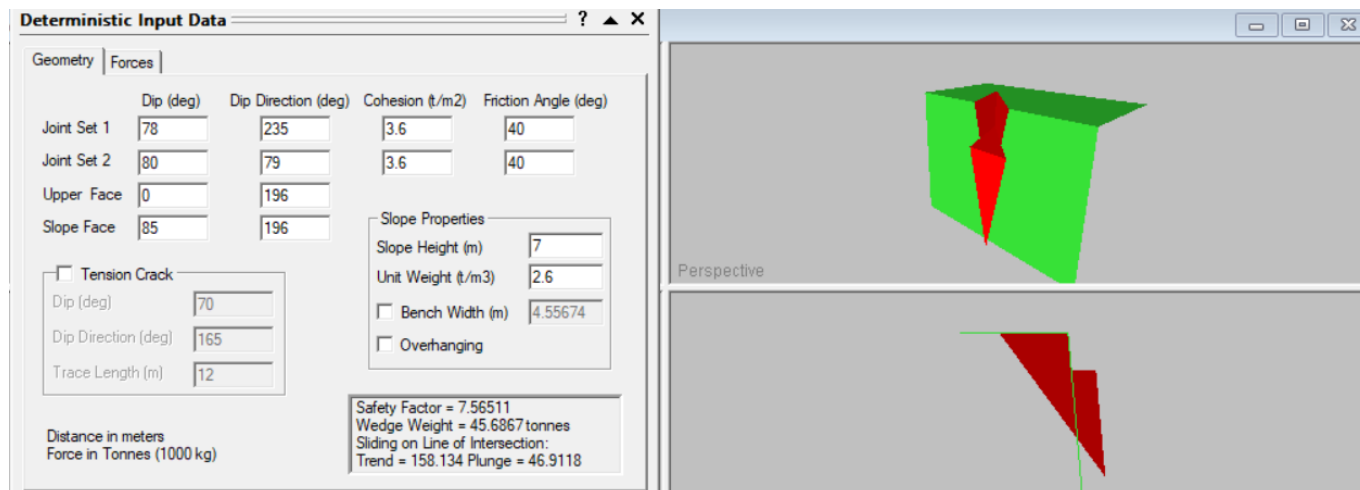
Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=196 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 2.74, -0.149, 7
Point 234: 4.86, -0.757, 7
Point 123: 5.04, 1.78, 7

K2a/K2



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=7.56511
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=4.55674 m
Wedge volume=17.5718 m3
Wedge weight=45.6867 tonnes
Wedge area (joint1)=25.9087 m2
Wedge area (joint2)=18.1757 m2
Wedge area (slope)=11.6129 m2
Wedge area (upper face)=7.53077 m2
Normal force (joint1)=56.2623 tonnes
Normal force (joint2)=55.4134 tonnes
Driving force=33.3651 tonnes
Resisting force=252.411 tonnes

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

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=46.9118 deg, trend=158.134 deg
length=9.58506 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.20838 m
Joint2 on slope face=7.22883 m
Joint1 on upper face=7.24074 m
Joint2 on upper face=5.11415 m

Maximum Persistence:
Joint1=9.58506 m
Joint2=9.58506 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 26.4695 deg
J1&Crest on slope face = 77.1103 deg
J1&Crest on upper face = 39 deg
J2&Crest on slope face = 76.4202 deg
J2&Crest on upper face = 117 deg
J1&2 on upper face = 24 deg

Joint Set 1 Data:

dip=78 deg, dip direction=235 deg
cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=80 deg, dip direction=79 deg

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=196 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

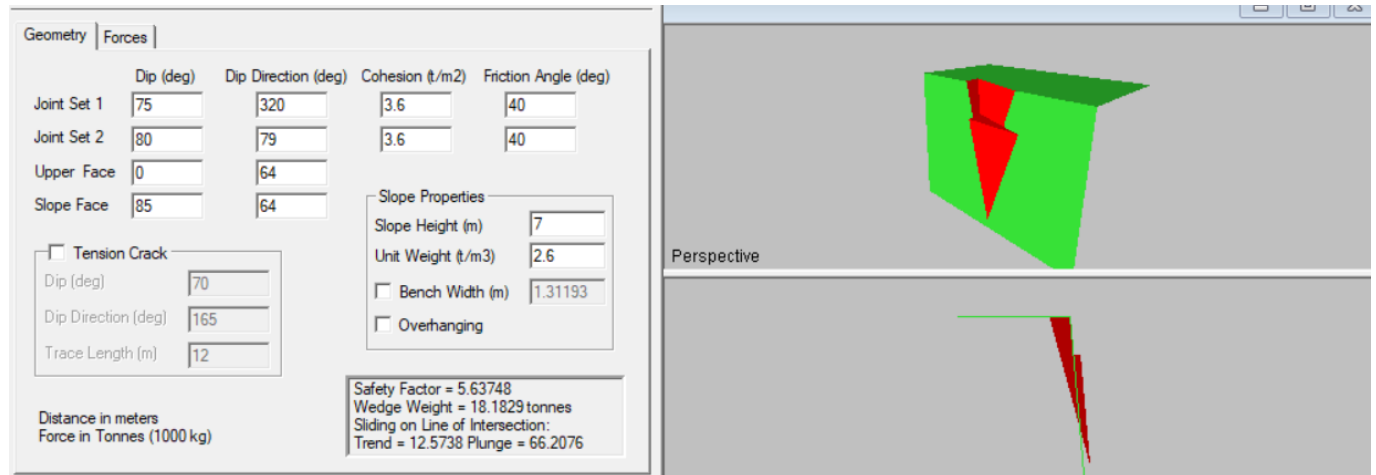
Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=196 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 1.71, 0.145, 7
Point 234: -1.46, 1.06, 7
Point 123: -2.44, 6.08, 7

Fronte F2 K1a-K2a



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=5.63748
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=1.31193 m
Wedge volume=6.99341 m3
Wedge weight=18.1829 tonnes
Wedge area (joint1)=4.89928 m2
Wedge area (joint2)=18.0149 m2
Wedge area (slope)=16.0529 m2
Wedge area (upper face)=2.99718 m2
Normal force (joint1)=7.28187 tonnes
Normal force (joint2)=6.18837 tonnes
Driving force=16.6376 tonnes
Resisting force=93.7939 tonnes

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

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=66.2076 deg, trend=12.5738 deg
length=7.65017 m

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=64 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.32976 m
Joint2 on slope face=7.45265 m
Joint1 on upper face=1.3521 m
Joint2 on upper face=5.06892 m

Maximum Persistence:
Joint1=7.65017 m
Joint2=7.65017 m

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=64 deg

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 35.9966 deg
J1&Crest on slope face = 73.4674 deg
J1&Crest on upper face = 104 deg
J2&Crest on slope face = 70.5359 deg
J2&Crest on upper face = 15 deg
J1&2 on upper face = 61 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 0.364, -2.14, 7
Point 234: -1.64, 1.96, 7
Point 123: -0.672, -3.01, 7

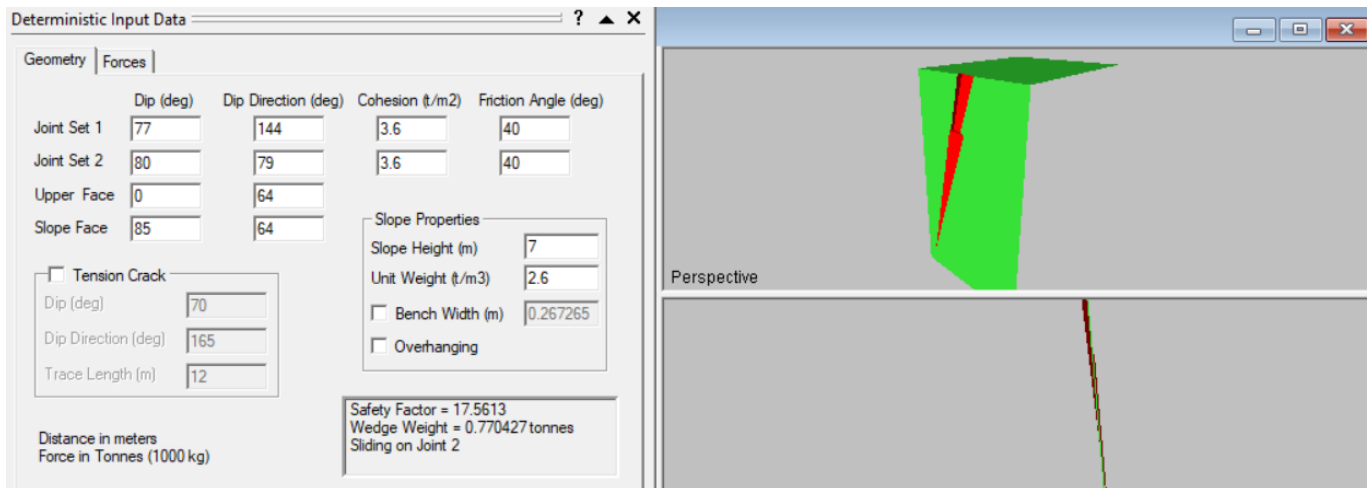
Joint Set 1 Data:

dip=75 deg, dip direction=320 deg
cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=80 deg, dip direction=79 deg

K1/K2a



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=17.5613
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=0.267265 m
Wedge volume=0.296318 m3
Wedge weight=0.770427 tonnes
Wedge area (joint1)=0.974842 m2
Wedge area (joint2)=3.66996 m2
Wedge area (slope)=3.33882 m2
Wedge area (upper face)=0.126993 m2
Normal force (joint1)=-0.141872 tonnes
Normal force (joint2)=0.0707079 tonnes
Driving force=0.758722 tonnes
Resisting force=13.3241 tonnes

Failure Mode:
Sliding on joint2

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=76.1429 deg, trend=123.373 deg
length=7.20984 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.19202 m
Joint2 on slope face=7.45265 m
Joint1 on upper face=0.271388 m
Joint2 on upper face=1.03263 m

Maximum Persistence:
Joint1=7.20984 m
Joint2=7.45265 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 7.15672 deg
J1&Crest on slope face = 102.307 deg
J1&Crest on upper face = 100 deg
J2&Crest on slope face = 70.5359 deg
J2&Crest on upper face = 15 deg
J1&2 on upper face = 65 deg

Joint Set 1 Data:

dip=77 deg, dip direction=144 deg
cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=80 deg, dip direction=79 deg

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=64 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

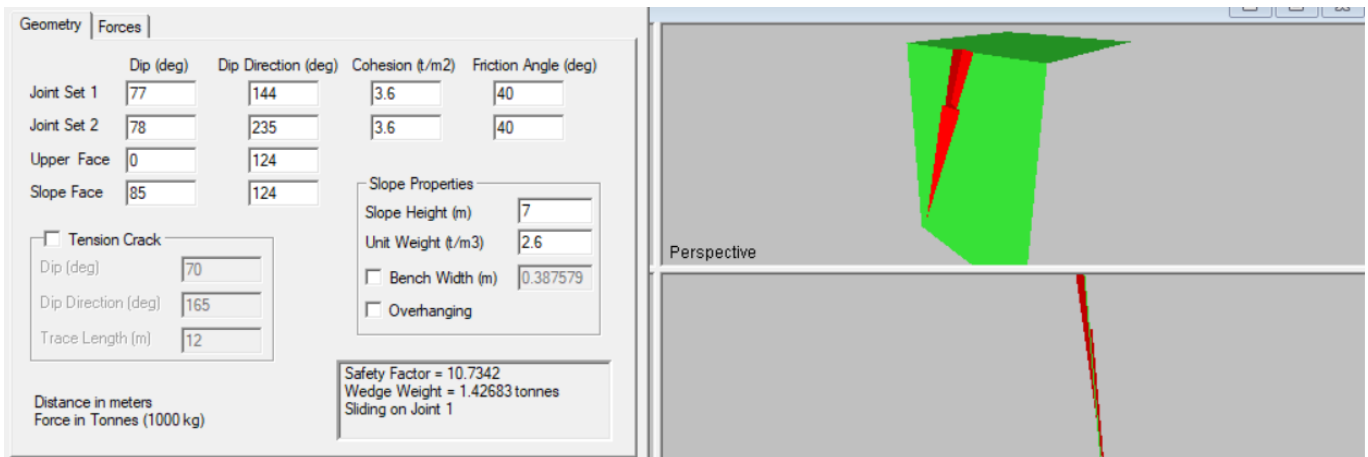
Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=64 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: -1.22, 1.11, 7
Point 234: -1.64, 1.96, 7
Point 123: -1.44, 0.95, 7

F3 K1/K2



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=10.7342
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=0.387579 m
Wedge volume=0.548781 m3
Wedge weight=1.42683 tonnes
Wedge area (joint1)=4.07055 m2
Wedge area (joint2)=1.4855 m2
Wedge area (slope)=4.26398 m2
Wedge area (upper face)=0.235192 m2
Normal force (joint1)=0.31231 tonnes
Normal force (joint2)=0.287243 tonnes
Driving force=1.39026 tonnes
Resisting force=14.9233 tonnes

Failure Mode:
Sliding on joint1

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=72.4332 deg, trend=187.176 deg
length=7.34241 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.65714 m
Joint2 on slope face=7.26083 m
Joint1 on upper face=1.13321 m
Joint2 on upper face=0.415154 m

Maximum Persistence:
Joint1=7.65714 m
Joint2=7.34241 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 8.82333 deg
J1&Crest on slope face = 66.588 deg
J1&Crest on upper face = 20 deg
J2&Crest on slope face = 104.589 deg
J2&Crest on upper face = 69 deg
J1&2 on upper face = 91 deg

Joint Set 1 Data:

dip=77 deg, dip direction=144 deg
cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=78 deg, dip direction=235 deg

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=124 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

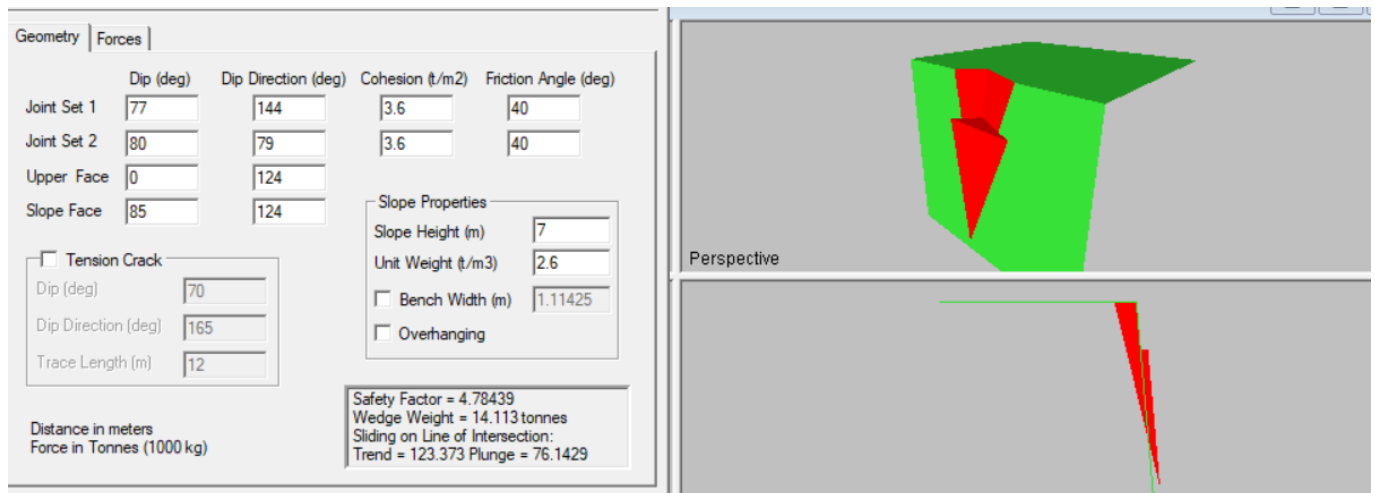
Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=124 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 1.19, 2.86, 7
Point 234: 0.515, 1.86, 7
Point 123: 0.277, 2.2, 7

K1/K2a



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=4.78439
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=1.11425 m
Wedge volume=5.4281 m3
Wedge weight=14.113 tonnes
Wedge area (joint1)=11.7024 m2
Wedge area (joint2)=5.60031 m2
Wedge area (slope)=14.6705 m2
Wedge area (upper face)=2.32633 m2
Normal force (joint1)=2.59888 tonnes
Normal force (joint2)=1.29526 tonnes
Driving force=13.7023 tonnes
Resisting force=65.5572 tonnes

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

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=76.1429 deg, trend=123.373 deg
length=7.20984 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.65714 m
Joint2 on slope face=7.11752 m
Joint1 on upper face=3.25784 m
Joint2 on upper face=1.57578 m

Maximum Persistence:
Joint1=7.65714 m
Joint2=7.20984 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 32.5726 deg
J1&Crest on slope face = 66.588 deg
J1&Crest on upper face = 20 deg
J2&Crest on slope face = 80.8394 deg
J2&Crest on upper face = 45 deg
J1&2 on upper face = 115 deg

Joint Set 1 Data:

dip=77 deg, dip direction=144 deg
cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=80 deg, dip direction=79 deg

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=124 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=124 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 1.19, 2.86, 7
Point 234: -1.14, -0.597, 7
Point 123: -1.44, 0.95, 7

Fronte 4

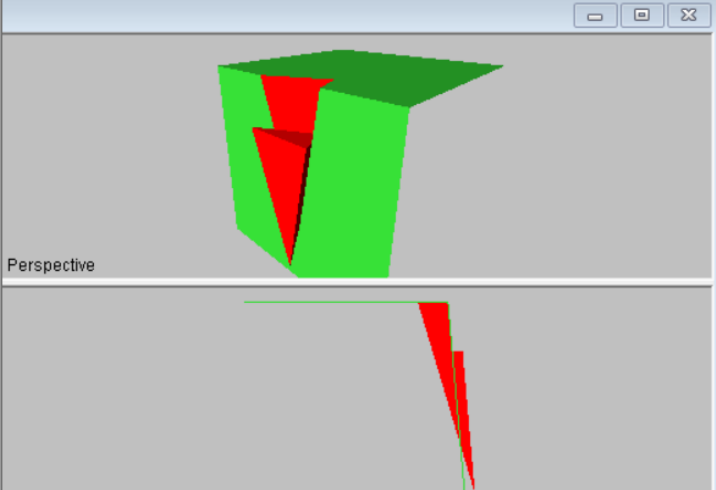
K1/K2

Geometry		Forces		
	Dip (deg)	Dip Direction (deg)	Cohesion (t/m2)	Friction Angle (deg)
Joint Set 1	77	144	3.6	40
Joint Set 2	78	235	3.6	40
Upper Face	0	168		
Slope Face	85	168		

<input type="checkbox"/> Tension Crack Dip (deg) 70 Dip Direction (deg) 165 Trace Length (m) 12		Slope Properties Slope Height (m) 7 Unit Weight (t/m3) 2.6 <input type="checkbox"/> Bench Width (m) 1.48069 <input type="checkbox"/> Overhanging
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Distance in meters Force in Tonnes (1000 kg)	Safety Factor = 4.37394 Wedge Weight = 17.7599 tonnes Sliding on Line of Intersection: Trend = 187.176 Plunge = 72.4332
-------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

OK Annulla Applica



Swedge Analysis Information

Document Name:

Swedge1

Job Title:

Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
 Safety Factor=4.37394
 Wedge height(on slope)=7 m
 Wedge width(on upper face)=1.48069 m
 Wedge volume=6.83074 m3
 Wedge weight=17.7599 tonnes
 Wedge area (joint1)=13.0766 m2
 Wedge area (joint2)=5.75574 m2
 Wedge area (slope)=13.8925 m2
 Wedge area (upper face)=2.92746 m2
 Normal force (joint1)=3.88737 tonnes
 Normal force (joint2)=3.57534 tonnes
 Driving force=16.9317 tonnes
 Resisting force=74.0583 tonnes

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Failure Mode:

Sliding on intersection line (joints 1&2)

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=168 deg
 slope height=7 meters
 rock unit weight=2.6 tonnes/m3
 Water pressures in the slope=NO
 Overhanging slope face=NO
 Externally applied force=NO
 Tension crack=NO

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

plunge=72.4332 deg, trend=187.176 deg
 length=7.34241 m

Trace Lengths:

Joint1 on slope face=7.49156 m
 Joint2 on slope face=7.15646 m
 Joint1 on upper face=3.64041 m
 Joint2 on upper face=1.60856 m

Maximum Persistence:

Joint1=7.49156 m
 Joint2=7.34241 m

Intersection Angles:

J1&J2 on slope face = 31.2151 deg
 J1&Crest on slope face = 69.7108 deg
 J1&Crest on upper face = 24 deg
 J2&Crest on slope face = 79.0741 deg
 J2&Crest on upper face = 67 deg
 J1&2 on upper face = 89 deg

Joint Set 1 Data:

dip=77 deg, dip direction=144 deg
 cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=78 deg, dip direction=235 deg

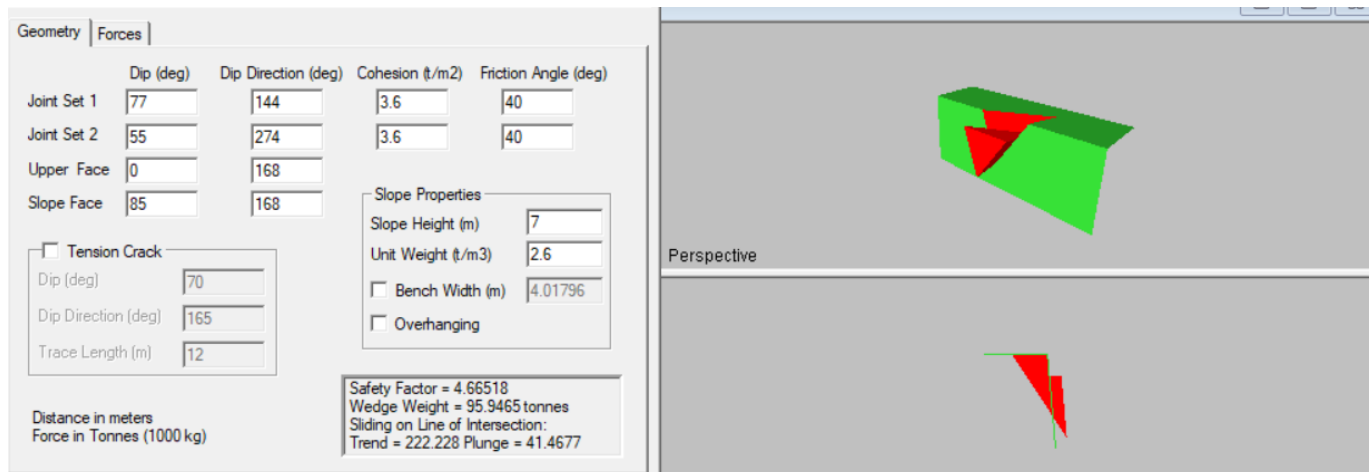
Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=168 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
 1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
 Point 124: 0, 0, 0
 Point 134: -2.67, 0.0589, 7
 Point 234: 1.2, 0.881, 7
 Point 123: 0.277, 2.2, 7

K1/K3



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
 Safety Factor=4.66518
 Wedge height(on slope)=7 m
 Wedge width(on upper face)=4.01796 m
 Wedge volume=36.9025 m3
 Wedge weight=95.9465 tonnes
 Wedge area (joint1)=35.4843 m2
 Wedge area (joint2)=17.8594 m2
 Wedge area (slope)=27.6585 m2
 Wedge area (upper face)=15.8154 m2
 Normal force (joint1)=50.106 tonnes
 Normal force (joint2)=74.2743 tonnes
 Driving force=63.5356 tonnes
 Resisting force=296.405 tonnes

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

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

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
 plunge=41.4677 deg, trend=222.228 deg
 length=10.5709 m

Trace Lengths:
 Joint1 on slope face=7.49156 m
 Joint2 on slope face=8.78614 m
 Joint1 on upper face=9.87852 m
 Joint2 on upper face=4.17988 m

Maximum Persistence:
 Joint1=10.5709 m
 Joint2=10.5709 m

Intersection Angles:
 J1&J2 on slope face = 57.1827 deg
 J1&Crest on slope face = 69.7108 deg
 J1&Crest on upper face = 24 deg
 J2&Crest on slope face = 53.1065 deg
 J2&Crest on upper face = 106 deg
 J1&2 on upper face = 50 deg

Joint Set 1 Data:

dip=77 deg, dip direction=144 deg
 cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=55 deg, dip direction=274 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=168 deg
 slope height=7 meters
 rock unit weight=2.6 tonnes/m3
 Water pressures in the slope=NO
 Overhanging slope face=NO
 Externally applied force=NO
 Tension crack=NO

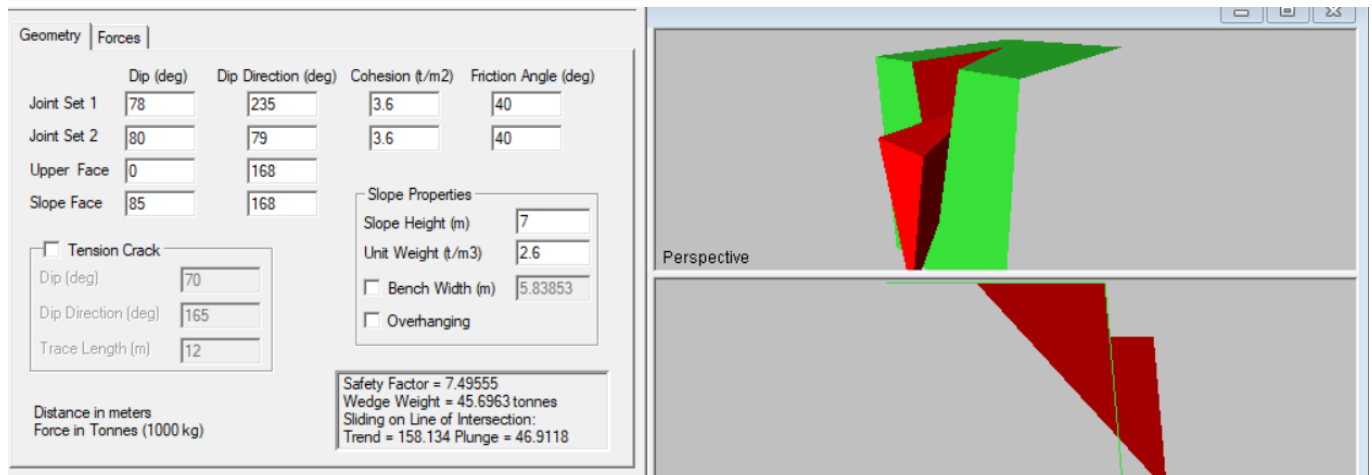
Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=168 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
 1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
 Point 124: 0, 0, 0
 Point 134: -2.67, 0.0589, 7
 Point 234: 5.03, 1.7, 7
 Point 123: 5.32, 5.87, 7

K2a/k2



Swedge Analysis Information

Document Name:
Swedge1

Job Title:
Cava Faniello

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=7.49555
Wedge height(on slope)=7 m
Wedge width(on upper face)=5.83853 m
Wedge volume=17.5755 m3
Wedge weight=45.6963 tonnes
Wedge area (joint1)=22.6956 m2
Wedge area (joint2)=20.7533 m2
Wedge area (slope)=9.06527 m2
Wedge area (upper face)=7.53235 m2
Normal force (joint1)=56.2741 tonnes
Normal force (joint2)=55.425 tonnes
Driving force=33.3721 tonnes
Resisting force=250.142 tonnes

cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

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

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=46.9118 deg, trend=158.134 deg
length=9.58506 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=7.15646 m
Joint2 on slope face=7.13251 m
Joint1 on upper face=6.34275 m
Joint2 on upper face=5.83942 m

Maximum Persistence:
Joint1=9.58506 m
Joint2=9.58506 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 20.8055 deg
J1&Crest on slope face = 79.0741 deg
J1&Crest on upper face = 67 deg
J2&Crest on slope face = 80.1204 deg
J2&Crest on upper face = 89 deg
J1&2 on upper face = 24 deg

Joint Set 1 Data:

dip=78 deg, dip direction=235 deg
cohesion=3.6 tonnes/m2, friction angle=40 deg

Joint Set 2 Data:

dip=80 deg, dip direction=79 deg

Slope Data:

dip=85 deg, dip direction=168 deg
slope height=7 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=NO
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=NO

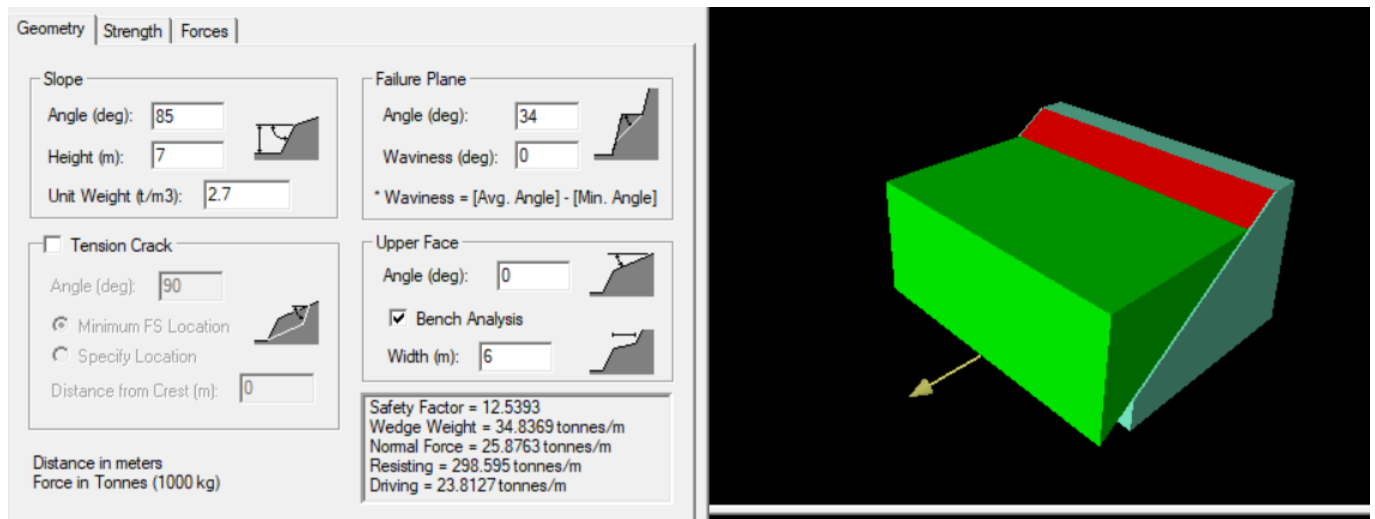
Upper Face Data:

dip=0 deg, dip direction=168 deg

Wedge Vertices:

Coordinates in Easting,Northing,Up Format
1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope
Point 124: 0, 0, 0
Point 134: 1.2, 0.881, 7
Point 234: -1.32, 0.345, 7
Point 123: -2.44, 6.08, 7

Scivolamento Planare Fronte F3 piano K4



B- Abaco di Fattibilit

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.).