

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
Dott. Fiorenzo DUMAS
Via Codena, 2
54033 – CARRARA (MS)
Tel. 0585/776919
Fax. 0585/841969
fiorenzodumas@virgilio.it

**VARIANTE AL PIANO DI COLTIVAZIONE AI SENSI
DELL'ART.23 COMMA 1 L.R. 35/15 E S.M.I. CAVA PALLERINA
SCHEDE PITT/PPR BACINO N. 7 BACINO MONTE PALLERINA–
COMUNE DI VAGLI DI SOTTO PROVINCIA LUCCA – REGIONE
TOSCANA**

Studio geologico, geomeccanico, geomorfologico, idrogeologico e giacimentologico

Committente: Dal Torrione S.r.l.

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

Sig.ra Marina FATEYEVA

IL GEOLOGO

Dott. Fiorenzo DUMAS



Sommario

PREMESSA.....	3
LOCALIZZAZIONE, DISPONIBILITÀ E DESTINAZIONE D'USO DELL'AREA	3
<i>Localizzazione</i>	3
<i>Disponibilità dell'area</i>	3
<i>Destinazione d'uso dell'area</i>	4
Piano Regionale Cava	4
Piano del Parco - Aree Contigua di cava (ACC)	5
Pabe Comune di Vagli Sopra	6
CARATTERI GEOMORFOLOGICI	7
CARATTERI GEOLOGICI	9
<i>Inquadramento Tettonico dell'area</i>	9
<i>Inquadramento Geologico dell'area e dell'intorno significativo</i>	10
ANALISI GIACIMENTOLOGICA DELLA VALLE DI ARNETOLA	12
<i>Caratteri Strutturali</i>	12
<i>Caratteri giacimentologici</i>	14
Il Sito Campo Dell'Indo.....	14
Scopo della Variante	15
La Discarica e la gestione del derivato da taglio	15
CARATTERI IDROGEOLOGICI EDROGRAFICI.....	16
Caratteri Idrogeologici	16
➤ Rocce Incoerenti	16
➤ <i>Rocce Coerenti</i>	17
❑ Rocce con permeabilità secondaria o acquisita	17
Caratteri Idrografici.....	18
VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI.....	19
CENNI SUL CICLO DELLE ACQUE DI LAVORAZIONE.....	22
CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA ROCCIA.....	23
IL RILIEVO STRUTTURALE	24
Raccolta dati gesotutturale.....	24
Elaborazione dei dati raccolti.....	24
CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO.....	28
Classificazione di Bieniawski (after 1989):.....	28
<i>Correzione</i>	29
<i>Indice BMR</i>	29
Classificazione di Sonmez e Ulusay (1999)	31
<i>Definizione del GSI</i>	31

PREMESSA

Per incarico della Società DAL TORRIONE S.r.l., con sede legale in via Massa Avenza 38b a MASSA (MS), è stato eseguito lo studio geologico, geologico-tecnico, geomorfologico, idrografico-idrogeologico e strutturale della Cava "Pallerina", a compendio della Variante dell'attuale piano di coltivazione autorizzato.

L'unità estrattiva è sita nel Bacino Estrattivo del Monte Pallerina, Scheda PITT/PPR n. 7 in Comune di Vagli di Sotto (LU).

Scopo dello studio è ottemperare alla seguente legislazione: R.D.L. n. 3267/1923, R.D.L. 1497/39 ex Art. 7, L.R. 35/15 Art. 17 comma i lettera a, L.R. 10/2010 e D.P.G.R. 72/R Art. 3.

L'inquadramento geologico è stato realizzato su stralci della cartografia digitale realizzata per la stesura del PABE.

La base topografica necessaria alla stesura delle carte tematiche redatte componenti questo studio è stata rilevata dal Dott. In. Francesco VEZZOSI mediante rilievo fotogrammetrico con drone per il cantiere a cielo aperto e con laser scanner per il sotterraneo.

LOCALIZZAZIONE, DISPONIBILITÀ E DESTINAZIONE D'USO DELL'AREA

Localizzazione

La cava è ubicata in località Fossa dei Tomei della Valle di Arnetola, Bacino Monte Pallerina Scheda 7 del PITT/PPR, Provincia di Lucca, Regione Toscana.

L'unità estrattiva è attiva all'incirca nella parte basale della dorsale M. Tamburra - M. Alto di Sella - Cresta di Sella - M. Fiocca - M. Croce - M. Pallerina, rimanendo compresa tra q. 1111.93 e 1.121.16m s.l.m..

L'accesso al sito avviene tramite la strada sterrata a servizio di tutte le cave attive nella parte sud e sud-est del Bacino M. Pallerina.

Disponibilità dell'area

La Società dispone delle particelle catastali censite al NCT del comune di Vagli Sotto al Foglio 48 sezione D mappale 5684, 5720p, 5721, 5722p, 5738p, 5740, 5741, 5926p.

Destinazione d'uso dell'area

La cava Pallerina ricade all'interno di una zona riconosciuta a destinazione estrattiva dal Piano Regionale Cave (PRC), strumento urbanistico che programma l'estensione e l'ubicazione delle aree estrattive all'interno del territorio regionale, oltre che a livello comprensoriale dal Piano del Parco in cui sono definite le Aree Contigue di Cava (ACC) e a livello comunale dai Piani Attuativi PABE.

Piano Regionale Cava

Il Piano Regionale Cave (PRC) classifica il territorio estrattivo del Comune di Vagli come Comprensorio 10, suddividendolo in vari giacimenti estrattivi definiti da un codice numerico, che per il caso in esame corrisponde al n. 090460310610, il cui stralcio non in scala è la Fig. 1.

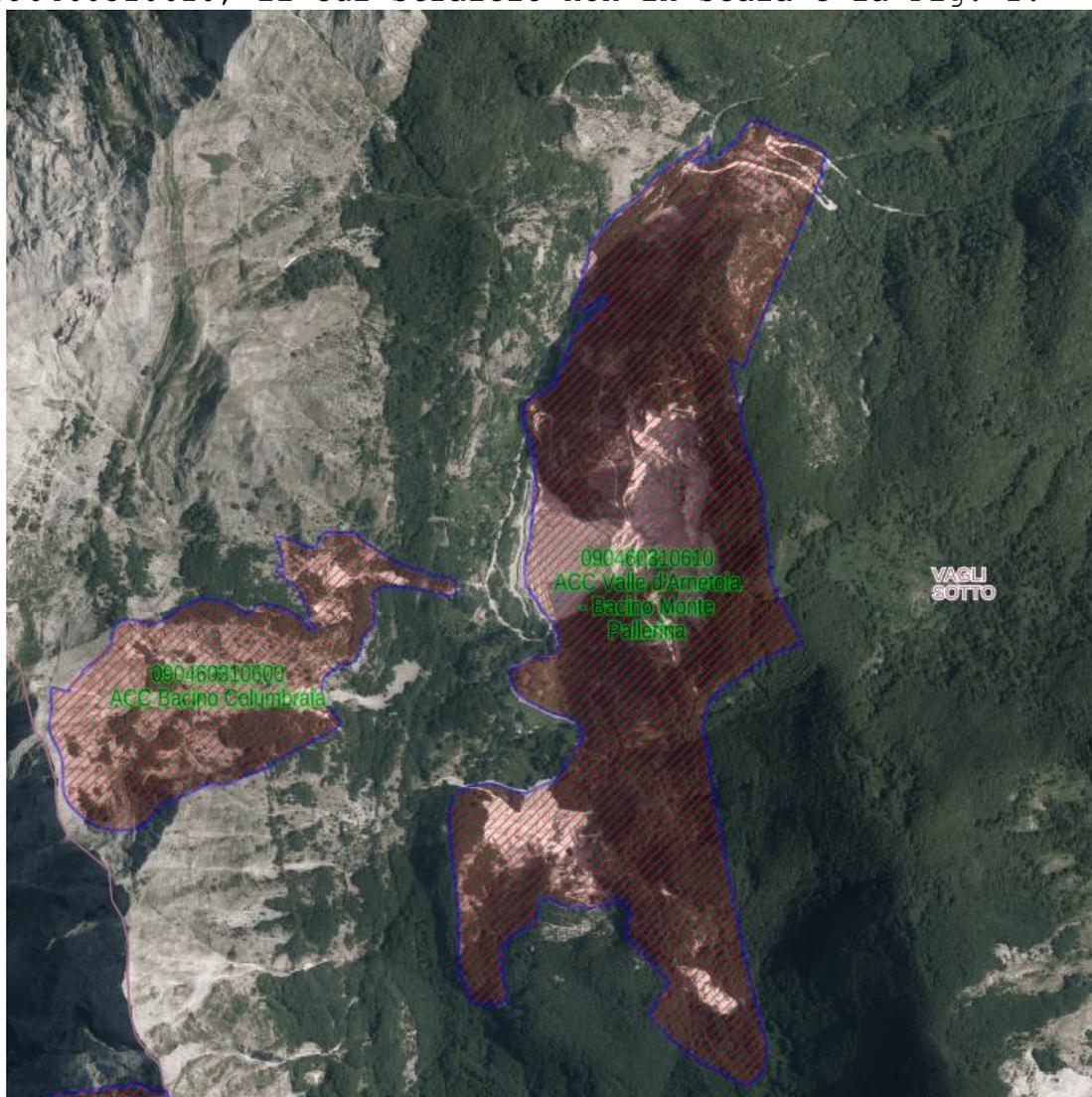


Fig. 1: stralcio non in scala della del Giacimento 090460310610 dalla cartografia QC01 - Aree di Risorsa – Provincia di Luca- QC01_LU.

Piano del Parco - Aree Contigua di cava (ACC)

Dall'analisi della cartografia del Piano del Parco redatta dal Parco delle Alpi Apuane risulta che la cava ricade all'interno di Area Contigua di Cava (ACC), identifica con l'areale in rigato blu nel sottostante stralcio non in scala di Fig. 2, rappresentante l'unione dei Fogli Arni - Sezione 249120 Vagli Sopra - Sezione n. 249080.

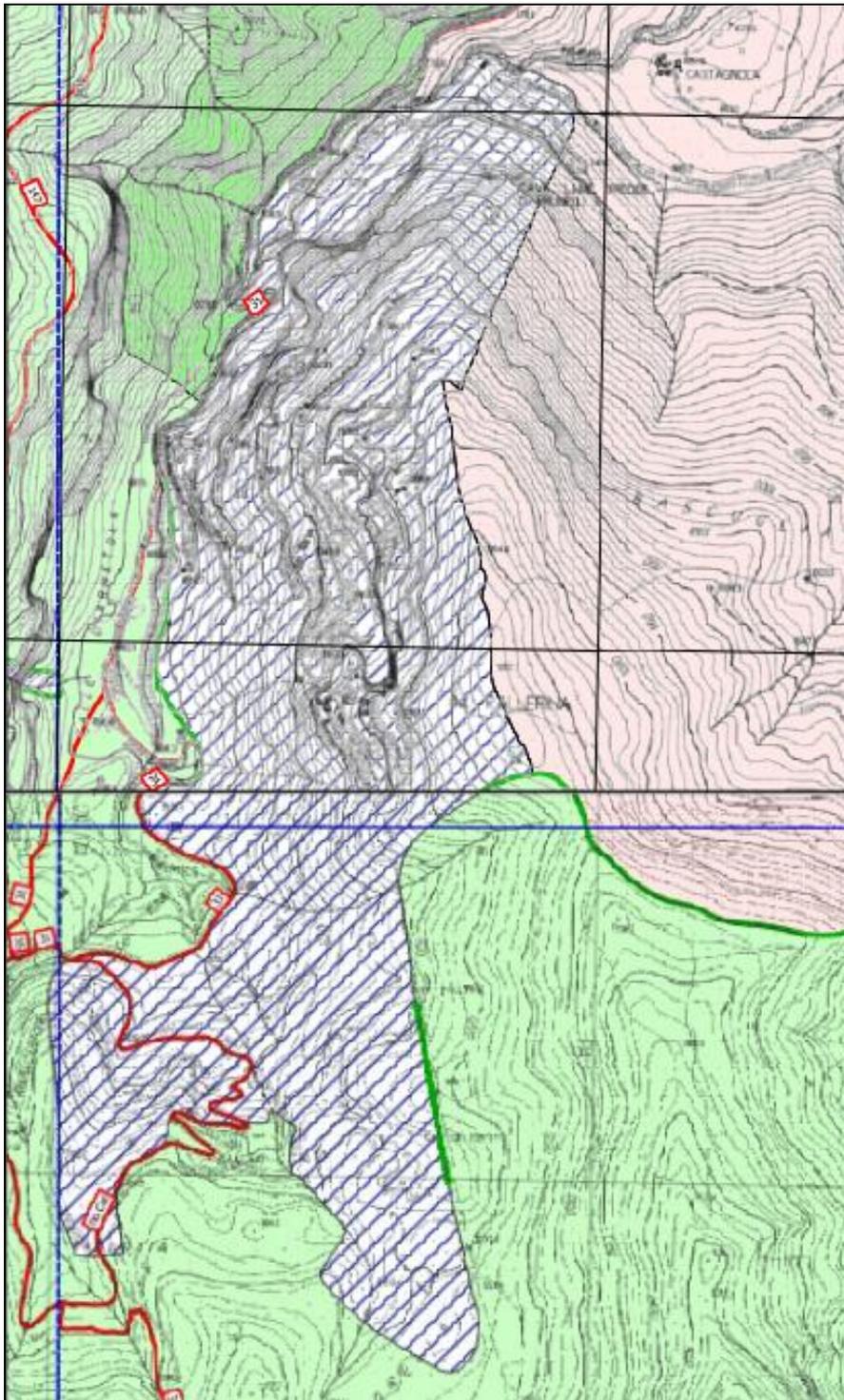


Fig. 2 Stralcio non in scala fogli Arni e Vagli Sopra del Piano del Parco, con definita l'Area Contigua di Cava (ACC) in cui ricada la cava Pallerina.

CARATTERI GEOMORFOLOGICI

La valle di Arnetola è una delle residue valli glaciali interne alle Alpi Apuane che caratterizzano il Comprensorio della Garfagnana rispetto agli altri comprensori apuani.

Elementi geomorfologici residui della natura glaciale sono la classica forma ad "U", seppur dissimmetrica, il caratteristico pianoro che forma la base valliva e il salto morfologico sempre posizionato al termine della stessa.

Alla primitiva morfologia glaciale si è sovrainposta una morfologia di tipo pluvio-fluviale, che nonostante abbia svolto un'intensa erosione asportando quasi completamente tutti i depositi morenici della valle, non è riuscita ad obliterare i primitivi caratteri glaciali impressi nei versanti rocciosi.

Carattere saliente dello sviluppo della dissimmetria valliva è rappresentato dai diversi valori d'acclività che caratterizzano i versanti, a cui è associato una differente:

- estensione degli affioramenti rocciosi;
- distribuzione e intensità di copertura vegetale;
- altitudine raggiunta dai rilievi della catena imbrifero;

tutti elementi geomorfologici direttamente e/o indirettamente dipendenti dal grado di competenza della roccia affiorante.

La competenza è la caratteristica della roccia a reagire alle sollecitazioni tettoniche frantumandosi più o meno rigidamente, proprietà dipendente dalle caratteristiche chimico-mineralogiche, a cui sono legate le caratteristiche geomeccaniche.

La dissimmetria che si osserva nella Vallata di Arnetola dipende proprio dal differente grado di competenza che caratterizza gli affioramenti dei due versanti. Infatti:

- nel fianco orografico sinistro affiora prevalentemente la formazione dei Marmi s.s. caratterizzata da un elevato grado di competenza ed in subordine: Marmi Dolomitici, Calcarea Selcifera, Diaspri con grado di competenza medio, e Scisti Sericitici, con basso grado;
- nel versante destro e centrale affiorano prevalentemente rocce con grado di competenza medio quali i Cipollini e Diaspri, p basso quali gli Scisti Sericitici e Pseudomacigno. Gli affioramenti di Marmi S.r.l. e Calcarea Selcifera, rocce ad elevato grado di competenza, interessano al parte basale dei versanti.

Sulla base del grado di competenza posseduta:

- 1) nel versante sinistro si possono riconoscere due differenti domini geomorfologici:

- a) il dominio superiore, dove affiorano i Marmi s.s., è caratterizzato da vette molto frastagliate, versanti coincidenti con discontinuità persistenti ascrivibili ai sistemi principali, caratterizzati da valori d'acclività $>45^\circ$, fino raggiungere tratti sub-verticali, attraversati da fossi secondari incisi più o meno profondamente nella roccia circostante;
- b) il dominio inferiore, che interessa la parte basale del versante, è possibile suddividerlo in due sub-dominii:
- I. il sub-dominio di affioramento delle rocce con medio grado di competenza quali: Calcarea Selcifera, Cipollini, Calcari a Entrochi e Diaspri dove i valori di acclività rimangono compresi nel range $35-45^\circ$, anche se localmente i Diaspri possano sviluppare brevi pareti sub-verticali, ed i versanti sono incisi da fossi più larghi ma meno profondi rispetto al tratto sovrastante;
 - II. il sub-dominio di affioramento delle rocce di basso grado di competenza, Scisti Sericitici, dove l'acclività ha valori minori dei precedenti. Alla base di questo dominio si riconoscono accumuli detritici di falda distaccatisi dagli ammassi rocciosi soprastanti per l'azione combinata del gelo e della gravità.
- 2) nel versanti centrale e destro si riconosce un unico dominio geomorfologico, dove i versanti hanno valori di acclività $\leq 35^\circ$ e risultano ricoperti, in continuità, da coltre eluvio-colluviale, con ampie aree di plaghe di detrito di falda. Le formazioni ivi affiorante hanno grado di competenza compreso variabile da alto: Marmo s.s., a medio: Calcarea Selcifera, Cipollini, Diaspri. Ai relativi bassi valori di acclività corrispondono forme morfologiche molto arrotondate, ricoperte in continuità da una fitta vegetazione ad alto fusto, con ampi fossi e profondi fossi.

La Valle di Arnetola è interessata da uno sviluppo importante di fenomeni carsici quali: "abissi" e "pozzi", che però non ricadono nell'interno della cava.

Localmente l'azione antropica si è esplicata essenzialmente nelle aree basali dei versanti, dove gli affioramenti dei Marmi erano facilmente raggiungibili. In questa zona oltre alle cave attive è possibile riscontrare diverse cave inattive e saggi di ricerca, a cui sono associati vecchi ravaneti più o meno vasti.

L'elemento saliente della escavazione è rappresentato dal vasto complesso estrattivo della Cooperativa Apuana, in subordine dal gruppo di cave della Fossa Tomei/Campodellindo e a seguire tutte le tre attività estrattive.

CARATTERI GEOLOGICI

La cava è ubicata in una delle aree apuane più intensamente tettonizzate del Complesso Metamorfico Apuano, Tavola G.2, Carta e Sezione Geologica; dove la struttura principale è costituita da pieghe isoclinali molto allenate allungate all'incirca NW-SE, con assi immergenti circa SW, ripiegate in fase tardiva da assi immergenti all'incirca verso NE.

Inquadramento Tettonico dell'area

Ad iniziare dall'Oligocene superiore-Miocene, il Dominio Toscano, di cui fa parte la zona Apuana, è coinvolto nella tettonica compressiva conseguente alla collisione tra il blocco sardo-corso ed il margine apuo-versiliese.

Durante tale fase compressiva, indicata nella letteratura Pisana-Senese come "Fase D₁", ma che in realtà corrisponde a una seconda fase "A₂" che ripiega una precedente fase "A₁" quasi complanare, vedi schema di Fig. 4, si verifica, in un primo momento, il sovrascorrimento dell'Unità Sub-ligure e poi delle Unità Liguri sul Dominio Toscano Interno; successivamente si ha l'individuazione della Falda Toscana e del suo sovrascorrimento sul Dominio Toscano Esterno (Complesso Metamorfico Apuano), con tettonizzazione di quest'ultimo entro una fascia di taglio ensialica, NE-vergente, e suo metamorfismo in facies scisti verdi.

Il risultato di questa fase è la sovrapposizione delle unità tettoniche Liguri s.l. e della Falda Toscana che costituiscono attualmente l'Appennino Settentrionale, e il tutto, localmente, sovrapposto alla Serie Metamorfica Toscana.

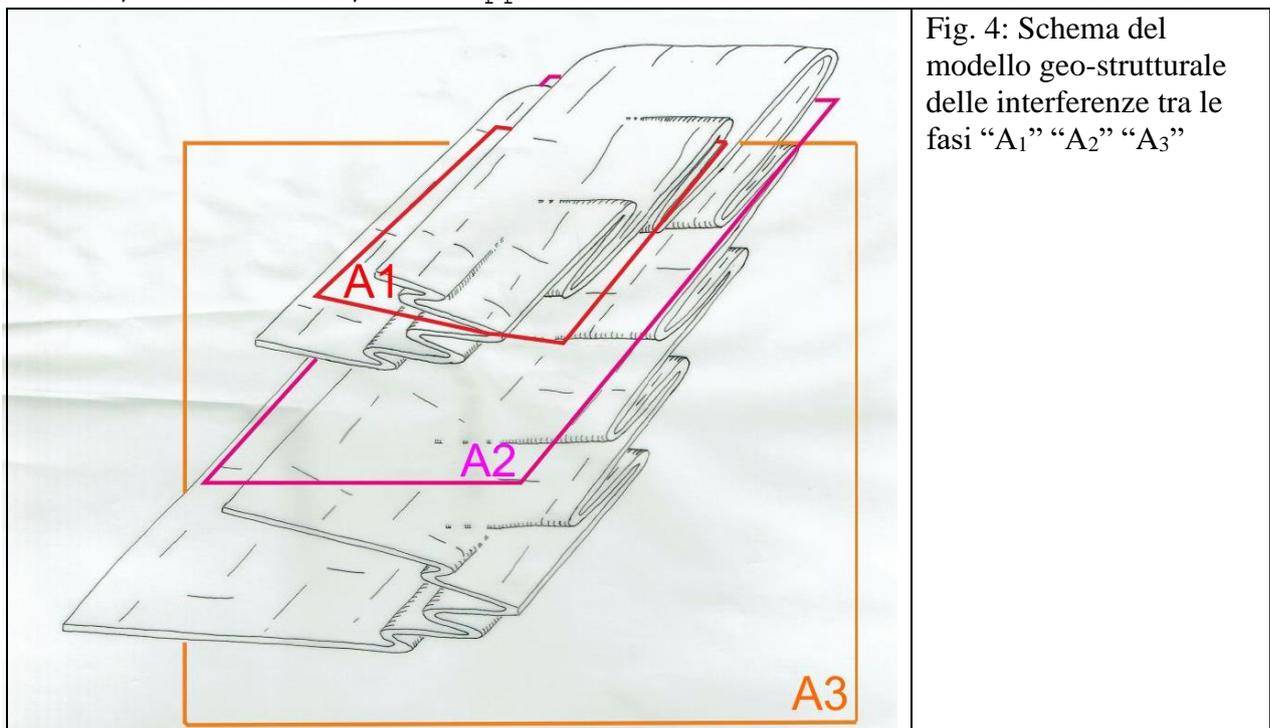


Fig. 4: Schema del modello geo-strutturale delle interferenze tra le fasi "A₁" "A₂" "A₃"

Nell'area apuana il sovrascorrimento e il conseguente impilamento delle varie unità tettoniche hanno portato alla formazione di nuove strette pieghe isoclinali che si sovrimpongono sulle esistenti pieghe isoclinali di fase "A₁"; il tutto è ben osservabile alla scala della sezione sottile, dell'affioramento di cava e dell'intera finestra tettonica.

Associata alla fase di deformazione "A₂" si rileva una scistosità sin-metamorfica "S₁" subparallela al piano assiale delle pieghe isoclinali "A₂" variamente non cilindriche.

Nel Garfagnino le pieghe isoclinali di prima fase "A₁" sono registrate in livelli particolarmente "sensibili" perché ricchi in miche, come appunto quello dello "Zebrino-Cremo Delicato" e dei "Cipollini", dove le pieghe di fase "A₁" si trovano associate a quelle di seconda fase "A₂". Nella restante parte degli affioramenti marmiferi dove predomina il bianco ordinario e/o il venato e/o l'arabescato, materiali poco "sensibili", la registrazione delle pieghe di prima fase "A₁" è mascherata e sovrapposta da quella di seconda fase "A₂", che hanno sviluppato e definito una scistosità di piano assiale che nei marmi rappresenta quello che i cavatori chiamano "**verso di macchia**".

A iniziare dal Miocene inferiore, tutte le Unità del Dominio Toscano e le Liguridi soprastanti subiscono gli effetti dell'inversione tettonica passando da un regime compressivo ad uno di tipo distensivo, terza fase "A₃", con lo sviluppo di zone di taglio distensive duttili interne al complesso Metamorfico e faglie dirette a basso angolo nelle Unità Toscane Non Metamorfiche. Tutte le strutture primarie e quelle acquisite nella fase compressiva "A₂", sono deformate nuovamente dalla terza fase "A₃", con sviluppo di un nuovo sistema di pieghe, osservabili a tutte le scale e con sviluppo di una nuova scistosità che si sovrappone alle precedenti. La geometria di queste strutture è fortemente influenzata dalla giacitura della fase compressiva "A₂" e dagli accavallamenti nella generale struttura d'antiforme (*antiformal stack*) di seconda fase, tanto da disporsi secondo un pattern centrifugo rispetto alla zona di culminazione assiale della finestra tettonica delle Apuane (Duomo di Ruosina e Duomo di Boana). Questa cinematica, unita all'erosione, ha determinato il denudamento tettonico dell'area e la conseguente emersione del Complesso metamorfico.

Inquadramento Geologico dell'area e dei un ampio intorno significativo

Dall'esame della cartografia geologica emerge che nell'area indagata e nel suo intorno significativo si rileva l'esistenza di un sovrascorrimento tettonico, confermato anche dal con il rilevamento in loco, Tav. G2 Carta Geologica e G3 Sezioni Geologiche, che pone a diretto contatto:

- 1) verso Nord e verso Est la Formazione dei Marmi s.s. (Lias Inferiore) con la Formazione degli Scisti Sericitici, come conseguenza della laminazione tettonica che ha obliterato tutta la sequenza stratigrafica rappresentata da: Calcari Selciferi (Lias medio-Sup.), Calcescisti (Lias Sup.), Diaspri o Metaradiolariti (Malm), Metacalcari a Entrochi (Titoniano Sup.-Cretacico In.);
- 2) verso sud invece la medesima lineazione tettonica pone a diretto contatto la Formazione dei Marmi con la Formazione dei Cipollini, per cui alla precedente sequenza di laminazione tettonica c'è da aggiungere la Formazione degli Scisti Sericitici; Tav. G2 Carta Geologica e Tav. G3 Sezioni Geologiche.

I rilievi condotti hanno permesso di rilevare i seguenti:

- 1) Litotipi ascrivibili alle Formazioni dell'"Auctotono-Autt.:

- I. Formazione dei Marmi in s.s. (m), (Lias Inf.): metacalcare a grana da media a fine, con colore della pasta di fondo e disegno molto varia bile, a tal punto da generare le
- II. Formazione del Calcare Selcifero (Lias Medio-Sup.): metacalcilutiti di colore grigio scure, con tonalità tendenti al bluastro, contenenti liste e noduli di selce, con potenza variabile, a volte alternati a sottili strati di calcescisti e filladi carboniose grigio scure.,
Formazione dei Diaspri (Malm): metaradilariti di colore da rosse, a violacee e verdastre, sottilmente fissili, contenenti interstrati di filladi quarzitiche.
- III. Formazione dei Calcari a Entrochi (Titoniano Sup. Cretaceo-Inf): Metacalcilutiuti grigio chiare, stratificate contenenti liste e noduli di selce.
Formazione degli Scisti Sericitici (Cretacico In.-Paleocene): Filladi a muscovite di colore verdestare o rosse-violacee, molto fissili, facilmente sfaldabili.
- IV. Formazione dei Cipollini (Cretaceo Inf.-Oligocene): Calcescisti ascrivibili alla varietà dei "marmi policromi", contenente epidoto e clorite (marmi a clorite), le cui sfumature cromatiche sono variabili dal rosso-violaceo al verde-grigiastro e sono da mettersi in relazione alle intercalazioni sia di filladi a muscovite di colore verde e/o rosso-violaceo, contententi liste e/o noduli di quarzite bianca sia filladi carboniose.
- V. Formazione dello Pseudomacigno (Oligocene Sup): Metarenarie quarzoso-feldspatico-micacee, di colore grigio, alternate a livelli di filladi più o meno quarzitiche di colore grigio-scure.

2) Litotipi riferibili al quaternario sono rappresentati da:

- I. Depositi Detritici di Versante o di Falda: sono conoidi detritici accumulati ai piedi dei versanti, originati per disgregazione meccanica (gelo, piogge, vento, etc.) del soprastante ammasso roccioso dei versanti.
- II. Depositi Detritici Artificiali o "Ravaneti": generati dall'accumulo degli scarti prodotti durante l'escavazione. Gli elementi marmorei hanno spigoli vivi e volumetria variabile, immersi in matrice sabbiosa i più antichi e in matrice sabbioso-limosa i recenti.

La distribuzione areale dei principali elementi e la loro disposizione geometrica è riportata nella Carta Geologica di Tav. G.2.

ANALISI GIACIMENTOLOGICA DELLA VALLE DI ARNETOLA

Caratteri Strutturali

La valle di Arnetola ed il suo circondario è un'area ben rappresentativa della struttura polifasica che caratterizza il Duomo Apuano ed in particolare il Comprensorio Garfagnino, già discussa nel paragrafo precedente.

Infatti, la locale struttura geologica è costituita da una serie di antiforimi e sinforimi di differente estensione e condizione tettonico-strutturale. Tra le strutture principali si riconoscono le antiforimi: (1)Anticlinale M. Tamburra - 2)Anticlinale di Passo Sella - 3)Anticlinale San Viviano - 4) Anticlinale di M. Pallerina - 5)Anticlinale M. Sumbra) separate dalla serie di sinforimi, più o meno laminate ed estese: Sinclinale Arni, divide le strutture 1-2; Sinclinale San Viviano, divide le strutture 2-3; Sinclinale Piastra Tonda, divide le strutture 4-5).

Tutte queste strutture sono caratterizzate da fianchi laminati, che nelle strutture antiforimi, generalmente, interessa il fianco orientale, mentre nelle strutture sinforimi la laminazione dei fianchi si accentua fino a determinare isolati nuclei boudinati.

La struttura polifasica, in particolare la sovrapposizione dei piani assiali delle fasi "A1" e "A2", ha generato la ripetizione di strette pieghe isoclinali antiforimi, a nucleo di marmo e di strette pieghe isoclinali sinforimi, il cui nucleo può essere costituito di volta in volta dai Cipollini, Diaspri o Calcare Selcifero.

La ripetizione delle strutture antiforimi a nucleo di marmi ha determinato l'ispessimento del livello marmifero per ripetizione strutturale delle pieghe parassite ascrivibili

presenti lungo i lati delle strutture principali quali le Anticlinali M. Tamburra, San Viviano e M. Pallerina.

Nell'area estrattiva di Arnetola, costituita dai due Bacini M. Pallerina e Colubraia, affiorano le diverse varietà merceologiche dei marmi caratterizzati da differente colore e disegno, che originano le sottoelencate varietà merceologiche:

- a) Bianco Ordinario: varietà a granulometria da fine a media, di colore variabile dal bianco perlaceo al grigio chiaro, piuttosto omogenei nel disegno di fondo che rimane attraversato da venette e macchie di colore grigio scuro per la presenza di pirite microcristallina.
- b) Venatino: varietà a grana media, con colore della pasta di fondo variabile dal bianco al bianco perlaceo, con vene e venette di colore grigio scuro che la attraversano;
- c) Venato/Nuvolato: varietà a grana da medio a fine, con fondo di colore da bianco sporco a grigio chiaro, fino al grigio scuro. Le varietà a fondo più chiaro sono attraversate da venature grigio-blu non uniformi nello spessore, ma subparallele alla scistosità principale così da definire il "verso di macchia". Le varietà con fondo da grigio chiaro a grigio scuro hanno granulometria fine, il disegno può risultare anche omogeneo, ma spesso risulta variegato per l'alternanza di livelli di colore variabile dal grigio-bluastro al grigio scuro. Il colore grigio scuro è dato dalla diffusa presenza di pirite microcristallina e da parti carboniose.
- d) Marmo Arabescato: varietà costituita da una metabreccia, con clasti eterometrici di marmo di colore da bianco perlaceo a bianco, racchiusi all'interno di una matrice di colore grigio scuro, per la pirite microcristallina, con possibili sfumature di colore verde chiaro per la presenza di fillosilicati. In relazione alla dimensione dei clasti il valore del materiale varia, infatti, quando nell'aspetto generale predomina la matrice su questi, la varietà ha minore valore economico, viceversa quando i clasti hanno sono all'incirca equidimensionali e predominano sulla matrice. Essendo i clasti delle metabrecce allungate secondo la scistosità principale la loro dimensione dipende direttamente dalla direzione di taglio della lastra, quando questa risulta orientata con angolo di circa 45° rispetto alla direzione della scistosità principale il clasto, oltre a raggiungere la massima dimensione, assume un aspetto più tondeggiante, commercialmente riconosciuto con la dizione "che ovula bene".
- e) Calacata Vagli: varietà di metabreccia a clasti marmorei di colore bianco perlaceo come la precedente, racchiusi in matrice fillosilicatica di colore prevalentemente giallo-ocra ed in subordine verde. Le varie tonalità di colore che può assumere la matrice generano differenti varietà merceologiche.

f) Breccia Rossa: varietà di metabreccia poligenica, dove i clasti marmorei prevalgono sui clasti di selce, il tutto immerso in matrice fillosilicatica di colore variabile dal verde scuro al rosso violaceo, al viola scuro. Il colore dei clasti può variare dal bianco perlaceo, al bianco, al rosato, spesso ricchi in frammenti di fossili marini.

Caratteri giacimentologici

Il giacimento è ubicato nel nucleo marmoreo della Anticlinale del M. Pallerina, struttura contigua alla Sinclinale di Arnetola a nucleo di Scisti Sericitici, Tav. G.2. In particolare, l'area è caratterizzata:

- 1) da una ripetizione di antiformali e sinformali molto allungate e ripiegate con assi aventi direzione all'incirca NW-SE. Le antiformali sono a nucleo di marmo, mentre le sinformali hanno a nucleo il calcare selcifero;
- 2) dal sovrascorrimento tettonico che ponendo a diretto contatto la formazione marmifera con gli Scisti Sericitici e col Cippolino;
- 3) una antiformali parassita che verso nord e est pone i marmi a contatto con gli scisti sericitici, mentre verso sud li pone a contatto con i cipollini.

Dal punto di vista della fatturazione il giacimento risulta, per usare un termine generale piuttosto "sano", con spaziatura dei vari sistemi di discontinuità metrica o anche superiore, tale comunque da garantire una buona produzione di blocchi commerciabili con conseguente ottimo valore in resa sull'escavato.

Il Sito Pallerina

La cava Pallerina rimane ubicata all'estremità est del fianco diritto della Anticlinale M. Pallerina, all'interno di una antiformali parassita a diretto contatto con la formazione degli Scisti sericitici.

La cava è lavorata con il metodo del gradone unico discendente.

Le varietà merceologiche affioranti nella cava consistono:

- *Arabescato a vena grigia*: varietà costituita da una metabreccia, con clasti eterometrici di marmo di colore da bianco perlaceo a bianco, racchiusi all'interno di una matrice di colore da grigio scuro, per la pirite microcristallina, con possibili sfumature di colore verde chiaro per la presenza di cloriti. In relazione alla dimensione dei clasti varia il valore economico del materiale, quando nell'aspetto generale la matrice

predomina su questi la varietà è di minor pregio, viceversa quando i clasti sono all'incirca equidimensionali e predominano sulla matrice. Essendo i clasti delle metabrecce allungate secondo la scistosità principale la loro dimensione dipende direttamente dalla direzione di taglio della lastra, quando questa risulta orientata con angolo di circa 45° rispetto alla direzione della scistosità principale il clasto oltre a raggiungere la massima dimensione assume un aspetto più tondeggiante, commercialmente riconosciuto con la dizione "che ovula bene".

- *Arabescato a vena violetta*: varietà di metabreccia poligenica il tutto immerso in matrice fillosilicatica di colore variabile dal verde scuro al rosso violaceo, al viola scuro. Il colore dei clasti può variare dal bianco perlaceo, al bianco, al rosato.
- *Nuvolato*: materiale e grana fine, di colore variabile dal grigio al grigio-bluastro, fino ad assumere tonalità nere, contenute vene e venette di calcite neogenica(?) di colore bianco

Scopo della Variante

Con questa variante la Società si prefigge lo scopo di proseguire la lavorazione del sito mediante:

- 1) la coltivazione dell'attuale cantiere a cielo aperto di q. 1120.00/1127.47m s.l.m. fino al raggiungimento di q. 1108.50m s.l.m., mantenendo inalterata la zona servizi;
- 2) l'apertura di un sotterraneo caratterizzato da camere che si sviluppano sia in direzione circa NW-SE e Ne-SW. Nella prima camera, orientata circa a NE, si prevede il raggiungimento di q. 1115.50m s.l.m., dislivello tetto pavimento circa 19.0m, mentre nella rimanente parte del sotterraneo si raggiungerà la q. 112.00m s.l.m., dislivello tetto pavimento 12.00m.

La Discarica e la gestione del derivato da taglio

Il derivato da taglio prodotto giornalmente è spaccato e caricato direttamente su camion, senza creare stoccaggi stabili. L'eventuale minimo stoccaggio, mantenuto sempre all'interno dell'area di cava, può dipendere da cause accidentali, quali la rottura del camion, e che comunque rimarrà sempre come evento temporaneo ed eccezionale.

CARATTERI IDROGEOLOGICI EDROGRAFICI

Caratteri Idrogeologici

L'area indagata è soggetta a vincolo Idrogeologico (R.D.L. n° 3267 del 1923).

In base al tipo di permeabilità posseduta, i litotipi affioranti possono essere suddivisi in (Tav. G.3):

1) Rocce Incoerenti

Alla classe appartengono tutti i depositi e conoidi detritici naturali o artificiali, quest'ultimi costituiti da scaglie marmoree, mentre i primi rimangono costituiti da elementi provenienti dalla disgregazione e alterazione delle rocce affioranti nella valle di Arnetola.

Rocce con permeabilità primaria o per porosità

- Depositi detritici artificiali - Ravaneti: sono gli accumuli detritici incoerenti composti da scaglie eterogranulari a spigoli vivi, caratterizzati da grado di permeabilità variabile da medio a alto, in relazione alla quantità di materiale terrigeno inglobato all'interno del conoide. Il suo grado di permeabilità, pur rimanendo elevato, tende a diminuire entrando nel suo interno dove aumenta la frazione terrigena. I ravaneti, generalmente, non sono sede di acquiferi nonostante posseggano un elevato grado di permeabilità che facilita l'infiltrazione delle acque meteoriche. Queste infiltratesi e circolanti nel loro interno subiscono l'azione di drenaggio da parte del sottostante bedrock marmifero, caratterizzato da un maggiore grado di permeabilità. L'assenza di scaturigini idriche alla base dei ravaneti conferma la mancanza di una falda freatica interna ai conoidi che altrimenti ci sarebbe se non esistesse l'effetto "drenante del substrato marmoreo".
- Depositi detritici naturali - conoidi e falde di versante: sono i depositi detritici naturali di limitata estensione e potenza che si formano alla base di balze subverticali o lungo aree concave del versante. Generalmente sono costituiti da elementi eterogranulari a spigoli vivi, con scarsa o assente frazione terrigena. La permeabilità è generalmente di alto grado, anche se la presenza di frazione terrigena nel suo interno la può ridurre fino al medio grado. La limitata estensione areale dei depositi fa sì che non si generino serbatoi idrici nel loro interno.
- Depositi e coperture eluvio-colluviali: sono depositi costituiti dall'accumulo dei prodotti di alterazione e disfacimento della roccia in posto, che tendono a formare

strati di coperture detritiche lungo il versante e/o nelle sue aree depresse. Il loro grado di permeabilità varia da basso a medio e dipende dalla maggiore o minore diffusione dei prodotti di alterazione (limi, argille rosse ed ecc..). Nell'interno della Valle di Arnetola ricoprono quasi in continuità i rilievi orografici destri e centrali, dove affiorano i litotipi: Calcarea Selcifera, Diaspri, Scisti Sericitici, Cipollini e Pseudomacigno;

2) Rocce Coerenti

Alla classe appartengono tutte le formazioni metamorfiche affioranti nella Valle di Arnetola indipendentemente dal grado di permeabilità posseduto.

□ Rocce con permeabilità secondaria o acquisita

A questa tipologia di rocce appartengono tutte le formazioni metamorfiche fratturate e/o carbonatico-dolomitiche, la permeabilità per fratturazione è tipica delle prime, quella per carsismo e per fratturazione si riscontra nelle rocce solubili quali: Gessi, Carbonatiche, Dolomitiche ed i tipi intermedi.

Nell'area esaminata e nel suo intorno significativo le rocce affioranti permeabili per fratturazione e carsismo sono rappresentate:

Formazioni permeabili per fratturazione crescente e sviluppo di fenomeni carsici:

Marmi, Marmi Dolomitici, Grezzone: i litotipi formazionali variano da un "calcarea puro" (Marmi) a un "calcarea dolomitico" (Marmi Dolomitici) a una "dolomia pura" (Formazione di Vinca e Grezzoni). I litotipi sono caratterizzati da elevato grado di permeabilità per fratturazione, la quale, in determinate condizioni di pressione e temperatura delle acque, tende ad ampliarsi per dissoluzione del carbonato, così da sviluppare fenomeni carsici. Le formazioni di questo tipo sono caratterizzate da un alto grado di permeabilità dovuto a una rete di fratture costituite:

- da fratture principali molto aperte, i cosiddetti "condotti carsici" responsabili della veloce circolazione delle acque sotterranee, quindi della repentina ricarica delle sorgenti;
- da fratture secondarie, caratterizzate da differente estensione e apertura, nelle quali la circolazione sotterranea avviene più lentamente, rimanendo responsabili della costanza nella portata delle sorgenti. La rete secondaria di fratture alimenta la rete primaria.

Formazioni permeabili per fratturazione decrescente e per limitati fenomeni carsici:

Formazione del Calcarea Selcifera Metamorfo: l'infiltrazione all'interno del litotipo avviene essenzialmente per fratturazione, in quanto lo sviluppo dei fenomeni carsici è molto limitato a

causa della composizione chimico-mineralogica ricca in silice. La formazione è caratterizzata da una permeabilità medio-bassa decrescente con la profondità, perché le fratture tendono a ostruirsi per accumulo dei prodotti limo-argillosi derivanti dall'alterazione della roccia. La formazione possiede un medio-basso grado di permeabilità.

Formazione dei Cipollini: l'infiltrazione all'interno del litotipo avviene essenzialmente per fratturazione, in quanto possiede caratteristiche composizionali piuttosto eterogenee. Lo sviluppo di fenomeni carsici, anche in intensità molto limitata, avviene dove maggiore è la componente carbonatica. L'alternanza di livelli filladici con livelli carbonatici e/o silicei conferisce a questa litologia una permeabilità medio-bassa decrescente con la profondità, limitando l'infiltrazione ai livelli più superficiali, pur rimanendo condizionata dalla stessa composizione chimico-mineralogica.

Formazioni permeabili per fratturazione decrescente:

Formazione dei Diaspri: sono rocce silicee compatte dove il grado di permeabilità varia da medio-basso a basso, dipendendo direttamente dal grado di fratturazione dell'ammasso. La permeabilità varia quindi in funzione delle condizioni deformative della roccia, risultando di regola medio-bassa nei livelli superficiali dove sono concentrate le fratture, per decrescere con l'approfondirsi per occlusione delle stesse a seguito della deposizione dei prodotti di alterazione nell'interno.

Formazione dello Pseudomacigno: metarenaria quarzoso-feldspatica costituita da una alternanza di livelli arenacei e siltosi, quest'ultimi strutturalmente siti al tetto dei livelli a maggiore granulometria. La fine granulometria posseduta dai livelli siltosi riduce fortemente la permeabilità dei litotipi, che avviene essenzialmente per fratturazione, rimanendo limitata alla parte più superficiali dell'ammasso roccioso, in quanto nel suo interno le fratture tendono ad ostruirsi per accumulo dei prodotti di alterazione.

Formazioni impermeabili:

Formazione degli Scisti Sericitici: è una roccia di natura silicea, che nonostante possa essere anche intensamente fratturata, specialmente con discontinuità parallele alla scistosità principale, si comporta come impermeabile, perché i prodotti derivanti dalla sua alterazione, costituiti da minerali argillosi, occludono le fratture impedendone l'infiltrazione.

Caratteri Idrografici

L'area in studio, come tutta la valle d'Arnetola, è parte integrante del vasto Bacino idrografico del Fiume Serchio.

Lo sviluppo della locale rete idrografica dipende dalla composizione chimico-mineralogica delle formazioni geologiche affioranti nella valle, differenziandosi tra le aree di affioramento carbonatiche da quelle silicee e arenaceo-silicee.

Nei versanti occidentali e settentrionali dove affiorano le rocce carbonatiche, la locale rete idrografica rimane composta da piccoli fossi pressoché rettilinei, ben incisi nella roccia e ben distanziati tra loro, completamente obliterati nelle aree di accumulo dei ravaneti. L'elevata acclività dei versanti consente alle acque meteoriche di defluire velocemente nei tratti rocciosi, innescando fenomeni di erosione regressiva, mentre nelle aree dei ravaneti, generalmente, non si osservano segni di deflussi superficiali, perché le acque si infiltrano nel loro interno.

Una rete idrografica, anche ben sviluppata, rimane localizzata nelle aree di affioramento delle rocce silicee, calcareo-silicee, ed arenaceo-silicee, versanti meridionali e di SE, che scendono dalle pendici del M. Fiocca e del Passo Sella, affluendo nel Fosso Tamburra di fondovalle, quasi sempre asciutto o con portate piuttosto limitate anche in occasione di eventi piovosi particolarmente intensi.

Alla scala locale dell'unità estrattiva sono presenti due fossi posti a sx e dx orografica di questa, con deflussi superficiali solo a durante forti precipitazioni.

VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI

Il problema della vulnerabilità degli acquiferi sulle Apuane è piuttosto rilevante, in quanto le estese aree carbonatiche, proprio per le loro caratteristiche di elevata permeabilità, possono rappresentare delle aree di facile infiltrazione per inquinanti di varia natura. Infatti, le fratture, associate al carsismo, sono mezzi di potenziale e diretta infiltrazione di inquinanti all'interno degli ammassi rocciosi.

In particolare il problema è sentito nelle aree a vocazione estrattiva, dove l'attività svolta, se non organizzata, può essere fonte di inquinamento a causa della dispersione degli oli minerali sul terreno.

Nella Carta della Vulnerabilità degli acquiferi di (Civita et alii, 1991), Fig.5 stralcio non in scala, l'area è classificata nella classe ad alta vulnerabilità (valori sintacs 50/70).

Si mette in evidenza che dall'analisi della suddetta cartografia, l'area non risulta interessata direttamente da presenza di fenomeni carsici importanti.

Al fine di contenere al minimo il rischio di inquinamento dell'acquifero sopra definito, nei cantieri della cava in oggetto:

- i quantitativi di olio minerale sono stoccati in contenitori posti al coperto e protetti dagli agenti atmosferici;
- i carburanti sono contenuti in appositi doppi serbatoi, a norma di legge, muniti di pistola erogatrice così da evitare dispersioni durante il rifornimento dei mezzi;

- gli oli esausti sono contenuti in area coperta, in apposito contenitore, per essere poi smaltiti secondo le normative vigenti (consegna a Ditte specializzate nella raccolta e recupero);
- la marmettola di maggiore granulometria prodotta con i tagli delle tagliatrici a catena viene direttamente insaccata al momento del taglio;
- la marmettola di granulometria fine proveniente dai tagli a filo diamantato viene pompata, assieme alle acque reflue, nella vasca metalliche di decantazione munite di sacchi filtranti, all'interno dei quali viene raccolta, fatta essiccare nella e successivamente trasportata in discarica da Ditte specializzate.

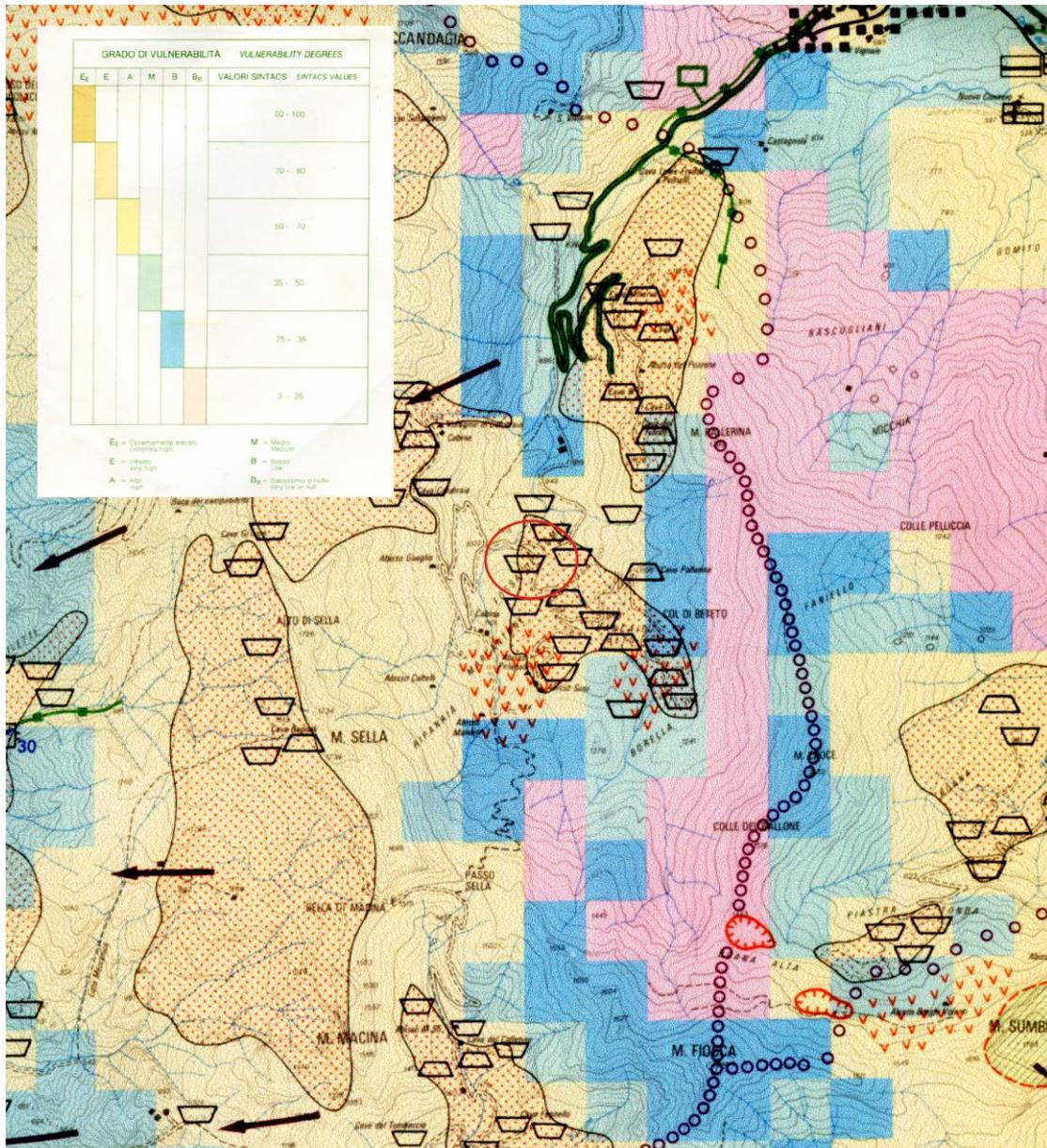


Fig. 5: Stralcio non in scala “Carta della Vulnerabilità degli acquiferi all’Inquinamento degli Acquiferi delle AlpiApuane” – M. Civita-M. Meccheri et A.li

DETERMINAZIONE DELLE LINEE DI FLUSSO IDRICO SOTTERRANEO

In una struttura geologica le direzioni di deflusso sotterraneo delle acque infiltratesi nel sottosuolo dipendono generalmente dalla struttura a grande scala, anche se l'andamento di quella locale può influenzarle, con particolare riferimento alla condizione strutturale della deformazione rigida.

Alla struttura geologica sono di fatto collegati i limiti idrogeologici, quindi il grado e la differenza di permeabilità tra le varie formazioni, che consentono di definire il substrato impermeabile ed il serbatoio idrico che contiene la falda e, conseguentemente, l'andamento delle linee di deflusso sotterranee principali; mentre l'infiltrazione locale delle acque all'interno dell'ammasso roccioso seguono di fatto le linee di massima pendenza dei sistemi più aperti, generalmente coincidenti con i sistemi principali di frattura.

Le strutture locali, con particolare riferimento alla deformazione rigida, sono quelle che influenzano l'infiltrazione e il primo andamento sotterraneo delle direzioni di deflusso, con eventuale variazione di queste in relazione alla struttura geologica a grande scala.

A grande scala la sequenza della struttura geologica, lungo la direttrice Massa-Arni Vagli è rappresentata da una serie di pieghe isoclinali di fase "A₂" le rappresentate:

1) Anticlinale Vinca	2) Sinclinale M. Altissimo	3) Anticlinale M. Tamburra	4) Sinclinale Chiesa del Diavolo
5) Anticlinale Chiesa del Diavolo	6) Sinclinale di Arni	7) Anticlinale di Passo Sella	8) Sinclinale San Viviano
9) Anticlinale San Viviano	10) Sinclinale di Arnetola	11) Anticlinale M. Pallerina	

con le struttura geologiche 1), 2) e 3) d'estensione chilometrica, le 6), 7) 10) e 11) ettometrica e le 4), 5), 8) e 9) di entità minore.

A questa complessa impalcatura geologica corrisponde una più semplice struttura idrogeologica, costituita da un vastissimo serbatoio idrico sotterraneo confinato all'interno dei livelli carbonatici s.l. delle strutture menzionate e che determina una direzione di deflusso delle acque verso W e SW, come indicato nella sottostante Fig. 6, stralcio non in scala della Carta "Aree di alimentazione dei sistemi idrogeologici del CISS delle Alpi Apuane" Addendum - Allegato 9a.

Questo serbatoio idrico sotterraneo è pressoché in continuità lungo tutta questa direzione strutturale, infatti i nuclei delle sinclinali non sono sufficientemente profondi da interromperne il deflusso nelle direzioni W e SW. I nuclei più profondi di queste sinformi possono al massimo funzionare da "semitampone

idrogeologico”, cioè rappresentare una struttura che svolge una funzione di semi-barriera rallenta al deflusso senza fermarlo.

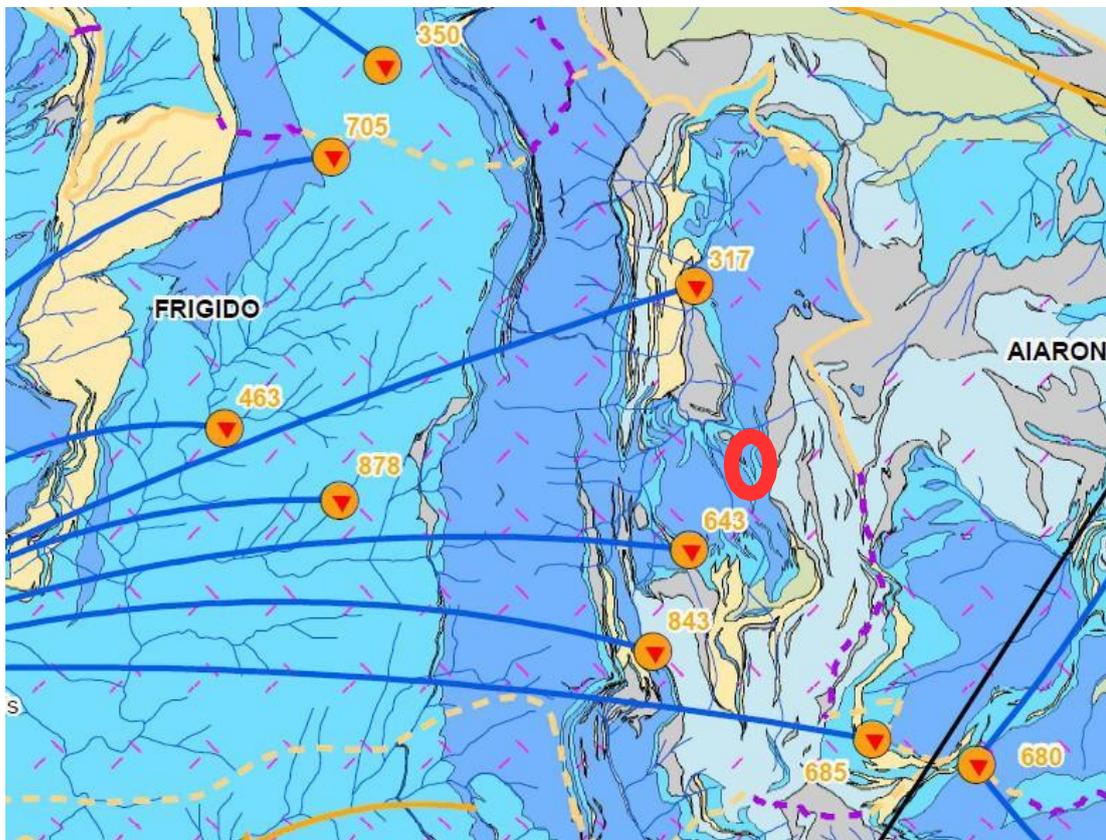


Figura 12: stralcio carta “Aree di alimentazione dei sistemi idrogeologici del CISS delle Alpi Apuane” – Addendum – Allegato 9a.

Una struttura di questo tipo genera di fatto una carenza di sorgenti locali, in quanto le acque che si infiltrano negli affioramenti carbonatici s.l. vanno ad alimentare la falda freatica profonda.

Questa condizione idrogeologica trova conferma anche nella Valle di Arnetola, dove non si registrano sorgenti in sinistra orografica, mentre quelle riscontrabili in destra ed al centro della valle hanno limitata portata e sono ascrivibili alla categoria delle “Sorgenti di Versante”, cioè scaturigini le cui acque vengono a giorno lungo il contatto rocce impermeabili/rocce permeabili, quest’ultime sedi di limitati serbatoi idrici sotterranei alimentati dalle piogge stagionali.

CENNI SUL CICLO DELLE ACQUE DI LAVORAZIONE

L’argomento è trattato con maggior dettaglio nel Progetto di Gestione delle Acque all’interno della cava.

ORIENTAZIONE DEI FRONTI

Di seguito si riporta l'orientazione e le dimensioni che i fronti e le tecchie andranno ad acquisire nel corso del progetto.

CAVA CAMPO DELL' INDO		PROGETTO 2023- 2028			
CANTIERE		FRONTI		TECCHIE	
		di r/i ncl	H (m)	di r/i ncl	H (m)
CIELO APERTO	BONIFICA TECCHIA	N 015/ 89 SE	4.0	N 015/ 85 SE	12.0-35.0
		N 140/ 65 NE	4.0	N 140/ 65-80 NE	25.0-45.0
		N 140/ 89 NE	4.0		
	SUPER ORE	N 055/ 89 NW	4.0		
		N 145/ 89 NE	4.0		
		N 145/ 89 SW	4.0		
	INFER ORE	N 060/ 89 SE	3.0-6.5	N 045/ 88 NW	40.0
		N 060/ 89 NW	3.0-6.5	N 055/ 80 SE	35.0
		N 145/ 89 SW	3.0-6.5	N 065/ 70 NW	40.0
		N 145/ 89 NE	3.0-6.5	N 140/ 75 SW	30.0
				N 140/ 72 NE	40.0-60.0

Tabella 1: Elenco delle orientazione di fronti, tecchie, tracciamenti allo stato attuale e di progetto della Cava Campo dell'Indo.

CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA ROCCIA

I parametri di resistenza della roccia intatta sono stati ottenuti attraverso la consultazione del "Catalogo delle varietà merceologiche dei marmi apuani (ERTAG, 1980)" ed in particolare riferendosi alle caratteristiche meccaniche della varietà merceologica "ORDINARIO Vagli" ed "ARABESCATO Arnetola", litologie dominanti in sito.

Per quei parametri non disponibili è stato invece sfruttato l'intervallo di esistenza dei parametri medi della matrice rocciosa del Bacino Marmifero Apuano (Pierotti et al, 2014), come riportato in Tabella 2.

CARATTERISTICHE MECCANICHE		ARABESCATO	ORDINARIO	MEDIA	DEV. ST.	VALORE CALCOLO
RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE	MPa	126.0	119.4	122.7	4.7	118.0
RESISTENZA A TRAZIONE	MPa	1.9	3.4	2.7	1.1	1.6
RESISTENZA A TAGLIO ROCCIA INTATTA	MPa	7.5	15.1	11.3	5.4	5.9
MODULO DI ELASTICITA'	MPa	40'600	64'900	52'750	17'183	35'567
ANGOLO DI ATTRITO INTERNO	°	36.5	38.5	37.5	1.4	36.1
COESIONE INTERNA	MPa	9.7	11.5	10.6	1.3	9.3

Tabella 1: Caratteristiche meccaniche del materiale costituente l'ammasso roccioso.

Dalle caratteristiche riportate in Tabella 2 si evince che sussistono comunque differenze in termini di resistenze meccaniche tra i due materiali ed a scopo cautelativo saranno pertanto usati i parametri peggiorativi.

IL RILIEVO STRUTTURALE

Raccolta dati gesotrutture

In considerazione dello scarso stato di fratturazione che caratterizza l'ammasso oggetto di escavazione, per il riconoscimento delle principali caratteristiche fisico-meccaniche dei sistemi di discontinuità si è proceduto all'esecuzione di stendimenti strutturali in corrispondenza dei soli fronti della cava attiva, integrandoli con una serie di dati raccolti in stazioni di misura puntuali in corrispondenza delle due unità di venato e in aree limitrofe.

La realizzazione del rilievo strutturale ha permesso il riconoscimento dei caratteri fisico-meccanici e geometrici delle singole discontinuità, ha come fine:

- ◆ l'individuazione del numero dei sistemi di discontinuità presenti e le loro caratteristiche geometriche e fisico-meccaniche;
- ◆ la definizione dei parametri utili per la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.

Il rilievo strutturale è stato realizzato in accordo con il metodo normalizzato per la descrizione delle discontinuità elaborato dall'I.S.R.M. (International Society of Rocks Mechanics, 1978).

Di ogni discontinuità individuata sono state rilevate le seguenti caratteristiche:

- .Geometriche:
 - ◆ orientazione
 - ◆ spaziatura
 - ◆ persistenza
- .Fisiche:
 - ◆ scabrezza
 - ◆ rugosità
 - ◆ alterazione
 - ◆ apertura
 - ◆ riempimento
 - ◆ presenza d'acqua

Elaborazione dei dati raccolti

Il rilievo geostrutturale, (Tav.G7: Carta della Fratturazione in scala 1:500), ha permesso di identificare le discontinuità

affioranti e di caratterizzarle attraverso il metodo normalizzato dell'I.S.R.M. (International Society of Rocks Mechanics, 1978).

Tutti dati raccolti, al fine di migliorare l'affidabilità della trattazione statistica, sono stati elaborati insieme con l'ausilio del programma Dips della Rocscience®, unendo anche i dati delle campagne a supporto del progetto di riattivazione (2020) che ha consentito di definire le famiglie di discontinuità ed i loro piani rappresentativi nonché di trattare dal punto di vista statistico le relative caratteristiche fisico-meccaniche. L'analisi delle 161 discontinuità rilevate ha evidenziato la presenza di un sistema principale K1 (del verso di macchia) e quattro sistemi secondari K2, K3, K4, e K5.

Il sistema principale è stato a sua volta suddiviso in due sottosistemi omologhi K1a e K1b a loro volta risuddivisi in sottogruppi reciproci K1a1-K1a2, K1b1-K1b2.

Allo scopo di evidenziare la giacitura preferenziale delle discontinuità rilevate nell'unità estrattiva e nell'intero sito si riportano di seguito:

- le Tabelle dei ranges di immersione ed inclinazione dei sistemi nonché le caratteristiche fisico-meccaniche (Tabella 3 e Tabella 4);
- le Figure delle proiezioni su reticolo equatoriale di Wulf dei poli delle discontinuità, dei massimi in frequenza, delle rose di frequenza dei sistemi e delle proiezioni equatoriali dei piani rappresentativi (Figure da 1 a 4).

SI STEMA	RANGE		PI ANO RAPPRESENTATI VO	FREQUENZA	
	I MMERSI ONE	I NCL I NAZI ONE			
K1a1	040- 110	55- 90	062/ 73	39. 13%	47. 83%
K1a2	229- 291	55- 90	260/ 75	8. 70%	
K1b1	000- 040	55- 90	027- 74	11. 80%	14. 29%
K1b2	180- 220	76- 90	197/ 79	2. 48%	
K2	139- 178	48- 80	163/ 64	6. 83%	
K3	309- 017	20- 55	345/ 36	8. 07%	
K4	237- 292	12- 50	267/ 31	7. 45%	
K5	020- 072	30- 55	049/ 44	9. 94%	
di sper se				5. 59%	

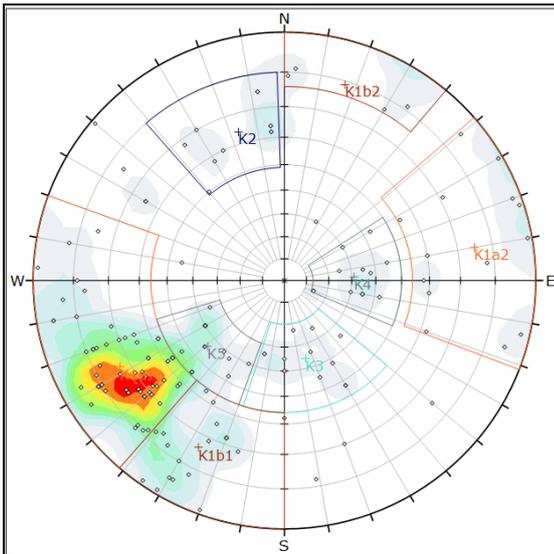


Figura 1: Proiezioni equatoriali su reticolo di Wulf dei poli e delle frequenze (rilievi 2020-2022)

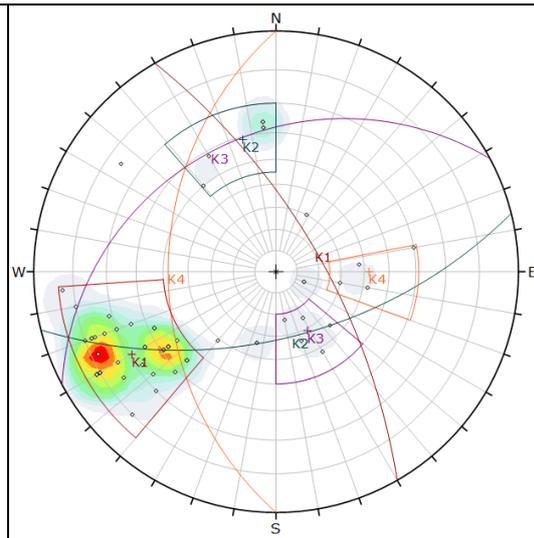


Figura 2: Proiezione equatoriale su reticolo di Wulf dei poli, dei piani e delle frequenze (rilievo 2020)

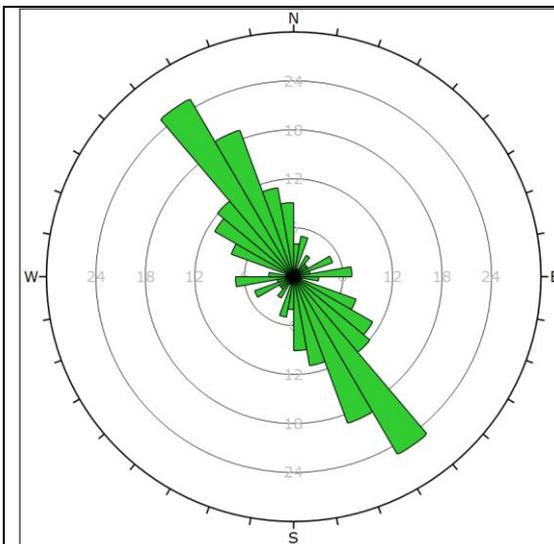


Figura 3: Proiezioni equatoriali su reticolo di Wulf delle rose di frequenza (rilievi 2020-2022).

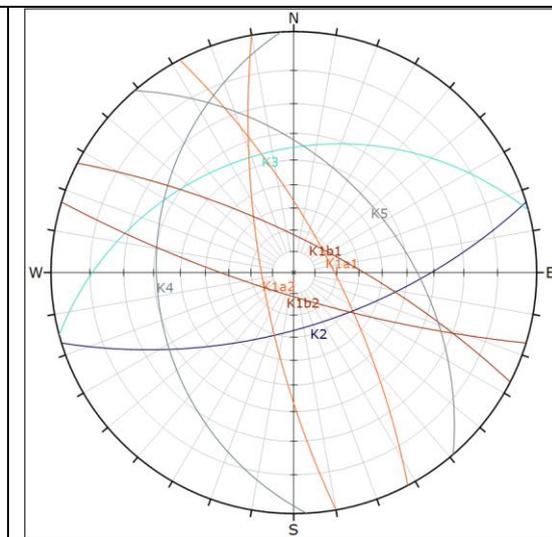


Figura 4: Proiezione equatoriale su reticolo di Wulf dei piani (rilievi 2020-2022)

CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

In questo paragrafo si procede alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso secondo varie metodologie, sulla base dei dati geostrutturali rilevati durante la campagna d'indagine.

A tal fine sono stati applicati i metodi di Bieniawski (1989) e di Sonmez Ulusay (1999) al fine di classificare l'ammasso roccioso e determinare il range di esistenza del GSI (Geological Strength Index - Hoek & Brown, 2002) e definire i parametri di resistenza meccanica.

Classificazione di Bieniawski (after 1989):

La classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, secondo il metodo di Bieniawski (indice RMR), è stata ottenuta impiegando i parametri fisico-meccanici:

- RQD (Rock Quality Design);
- Resistenza a compressione del materiale intatto;
- Spaziatura delle discontinuità;
- Persistenza delle discontinuità;
- Condizioni di persistenza, riempimento, e rugosità delle discontinuità;
- Condizioni idrauliche;

Per le analisi è stata ipotizzata un'omogeneità geo-strutturale dell'ammasso roccioso della cava e definito un univoco bRMR per tutti i cantieri sia allo stato attuale che di progetto. Tale assunzione è stata confermata dalle osservazioni di campagna.

Per definire il valore del RQD, in assenza di carotaggi diretti è stata utilizzata la formula di Palmstrom (1982) che mette in relazione il Rock Quality Design con l'indice di fratturazione (J_v) indicativo del numero di discontinuità presenti in un metro cubo di roccia.

$$\mathbf{RQD = (115 - 3.3J_v)\% \quad per \quad J_v \geq 4.5 \quad \quad RQD = 100 \% \quad \quad per \quad J_v < 4.5}$$

Dove J_v viene calcolato attraverso la sommatoria dell'inverso delle medie modali delle spaziature dei sistemi precedentemente definiti trascurando, per la ridotta valenza statistica, le fratture che non rientrano in alcun sistema.

$$J_v = \sum_{N=1}^{i=1} \frac{1}{s_i} = \mathbf{5.57}$$

In base a quanto rilevato in sito è stato possibile calcolare:

$$RQD = 96.6 \%$$

Nella successiva classificazione, per ragioni cautelative, verrà utilizzato il valore minimo di RQD appartenente all'intervallo **75-100%**.

Per quanto riguarda la resistenza a compressione della roccia intatta è stato considerato il valore caratteristico ricavato dalla trattazione dei dati ERTAG, ovvero un valore di 118 MPa.

L'indice bRMR è stato ottenuto preparando un foglio di calcolo in formato Excel® attraverso il quale, per ogni sub-sistema di discontinuità riconosciuto, è stato possibile definire un valore pesato dei parametri caratterizzanti.

Correzione

La correzione tiene in considerazione l'angolo compreso tra i fronti di avanzamento ed il piano rappresentativo dei sistemi di discontinuità, visti in precedenza.

In funzione dell'angolo compreso tra il fronte di coltivazione e la direzione di immersione delle famiglie di fratturazione sono stati definiti, per ciascun sistema, un valore correttivo compreso tra 0 e -60 come proposto da Romana (SISTEMA SMR 1985).

I valori di correzioni sono stati pesati in funzione della frequenza dei singoli sistemi e successivamente sommati in modo da definire un univoco valore di correzione mediato.

CAVA CAMPO DELL' INDO VARI ANTE 2023- 2028										
	FAM GLI A	K1a1	K1a2	K1b1	K1b2	K2	K3	K4	K5	Fattore di correzione
	PESO SISTEMA	0.41	0.10	0.13	0.03	0.07	0.09	0.08	0.10	1.00
Fronti	N 015/ 89° SE	-9	-10	-9	-4	-9	-4	-4	-8	-7.95
	N 060/ 89 SE	-9	-4	-4	-4	-42	-18	-1	-4	-9.58
	N 060/ 89 NW	-4	-9	-9	-4	-18	-36	-6	-8	-9.19
	N 140/ 65 NE	-4	-4	-2	-4	-4	-8	0	-51	-8.46
	N 145/ 89 SW	-21	-24	-10	-8	-4	-4	-6	-21	-15.68
	N 145/ 89 NE	-60	-10	-9	-4	-4	-8	-2	-36	-31.54
	TOTALE MEDIATO									-13.7

Tabella 2: Valore correttivo (Romana, 1985 Bieniawski, 1989) per i fronti della Cava Campo dell'Indo.

Indice BMR

I dati ottenuti dagli stendimenti sono stati tutti raggruppati al fine di migliorarne la trattazione statistica e pertanto è stato definito un unico bRMR per tutti i cantieri della Cava Campo dell'Indo.

Per l'unità estrattiva risulta, come illustrato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, un valore bRMR = 75.4 che permette di classificare l'ammasso roccioso in classe II "BUONA".

A seguito della correzione imposta dalle direzioni di avanzamento dei fronti (-13.7) viene ridotto fino al valore RMRC = 61.7, con conseguente permanenza dell'ammasso roccioso nel in II classe "BUONA", valore che conferma i precedenti studi.

CLASSIFICAZIONE di BIENANSKY CAVA CAMPO DELL'INDO 2023-2028											
FAM GLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESOSISTEMA	VALORE	FAM GLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESOSISTEMA	VALORE
dati	Resistenza	118.00 Mpa	12.00	1.00	12.00						
	RQD	96.00%	19.00	1.00	19.00						
K1a1	Per si senza	3.4m	4.00	39.13%	1.57	K1a2	Per si senza	3.8m	3.00	8.70%	0.26
	Spaziatura	0.33m	9.00	39.13%	3.52		Spaziatura	2.51m	20.00	8.70%	1.74
	Apertura	2.28mm	2.00	39.13%	0.78		Apertura	1.03mm	3.00	8.70%	0.26
	Altezzazione	25% cars	5.00	39.13%	1.96		Altezzazione	assente	6.00	8.70%	0.52
	Riempimento	90% assente	5.00	39.13%	1.96		Riempimento	85% assente	5.00	8.70%	0.44
	H2O	assente	15.00	39.13%	5.87		H2O	assente	15.00	8.70%	1.31
	JRC	4-6	1.00	39.13%	0.39		JRC	4-8	1.00	8.70%	0.09
	totale pesato						16.04	totale pesato			
K1b1	Per si senza	3.82m	3.00	11.80%	0.35	K1b2	Per si senza	1.23m	5.00	2.48%	0.12
	Spaziatura	2.67m	20.00	11.80%	2.36		Spaziatura	1.86m	19.00	2.48%	0.47
	Apertura	5.89mm	0.00	11.80%	0.00		Apertura	0.00	6.00	2.48%	0.15
	Altezzazione	assente	6.00	11.80%	0.71		Altezzazione	assente	6.00	2.48%	0.15
	Riempimento	85% assente	5.00	11.80%	0.59		Riempimento	50% assente	6.00	2.48%	0.15
	H2O	assente	15.00	11.80%	1.77		H2O	assente	15.00	2.48%	0.37
	JRC	4-8	1.00	11.80%	0.12		JRC	6-8	1.00	2.48%	0.02
	totale pesato						5.90	totale pesato			
K2	Per si senza	1.67m	4.00	6.83%	0.27	K3	Per si senza	4.40m	3.00	8.07%	0.24
	Spaziatura	7.66m	20.00	6.83%	1.37		Spaziatura	4.60m	20.00	8.07%	1.61
	Apertura	0.20mm	5.00	6.83%	0.34		Apertura	17.68mm	0.00	8.07%	0.00
	Altezzazione	assente	6.00	6.83%	0.41		Altezzazione	assente	6.00	8.07%	0.48
	Riempimento	assente	6.00	6.83%	0.41		Riempimento	65% assente	3.00	8.07%	0.24
	H2O	assente	15.00	6.83%	1.02		H2O	assente	15.00	8.07%	1.21
	JRC	4-10	2.00	6.83%	0.14		JRC	4-8	1.00	8.07%	0.08
	totale pesato						3.96	totale pesato			
K4	Per si senza	4.20m	3.00	7.45%	0.22	K5	Per si senza	4.61m	3.00	9.94%	0.30
	Spaziatura	7.07m	20.00	7.45%	1.49		Spaziatura	2.51m	20.00	9.94%	1.99
	Apertura	10.14mm	0.00	7.45%	0.00		Apertura	5.79mm	0.00	9.94%	0.00
	Altezzazione	assente	6.00	7.45%	0.45		Altezzazione	25% cars	4.00	9.94%	0.40
	Riempimento	assente	6.00	7.45%	0.45		Riempimento	90% assente	5.00	9.94%	0.50
	H2O	assente	15.00	7.45%	1.12		H2O	assente	15.00	9.94%	1.49
	JRC	4-8	1.00	7.45%	0.07		JRC	4-8	1.00	9.94%	0.10
	totale pesato						3.80	totale pesato			
RATING TOTALE PESATO											44.4
bRMR											75.4
correzione											-13.7
RMRc											61.7

Classificazione di Sonmez e Ulusay (1999)

Questa classificazione fornisce un sistema per valutare la riduzione della resistenza dell'ammasso in funzione delle differenti condizioni geologiche in cui si trova.

E' stata utilizzata la tabella modificata da Sonmez-Ulusay (1999), Tabella 5, che permette di dare un valore numerico ai parametri "condizione strutturale" "SR" e "condizione delle discontinuità" "SCR", in maniera meno soggettiva rispetto alla semplice descrizione basata sulle precedenti tabelle.

Al fine di stimare il valore di "SR" è stato ripreso l'indice di fratturazione volumetrico J_v (numero di discontinuità per mc) precedentemente calcolato per la stima dell'RQD (Palmstrom) $J_v = 5.57$.

Attraverso l'indice di fratturazione è stato stimato un indice strutturale $SR \approx 65$.

La determinazione del parametro SCR (surface condition rating) avviene attraverso la sommatoria ponderata dei tre coefficienti rappresentativi le condizioni di ciascun sistema di discontinuità precedentemente definito. e riportati nella sottostante formula:

	PESO SI STEMA	Rr	Rw	Rf	Val ore pesato
K1a1	0.39	1.00	5.00	5.00	4.30
K1a2	0.09	1.00	6.00	5.00	1.04
K1b1	0.12	1.00	6.00	5.00	1.42
K1b2	0.02	1.00	6.00	6.00	0.32
K2	0.07	2.00	6.00	6.00	0.96
K3	0.08	1.00	6.00	3.00	0.81
K4	0.07	1.00	6.00	6.00	0.97
K5	0.10	1.00	4.00	5.00	0.99
TOTALE					10.81

Tabella 3: Stima del valore SCR

$$SCR = Rr + Rw + Rf$$

dove: Rr= rugosità giunti

Rw= alterazione giunti

Rf = riempimento giunti

Come riportato in Tabella 7

$$SCR = 10.81 \approx 11$$

Inserendo i valori di SR e SRC all'interno della Tabella 5 si ricava un valore $GSI \approx 52.0$.

Definizione del GSI

I valori di $bRMR_c$, precedentemente ricavati attraverso la classificazione di Bieniawski, sono stati associati al Geological Strength Index (GSI, Hoek-Brown 1997) mediante una formulazione empirica che mettesse in correlazione il GSI con il BMR_{89} .

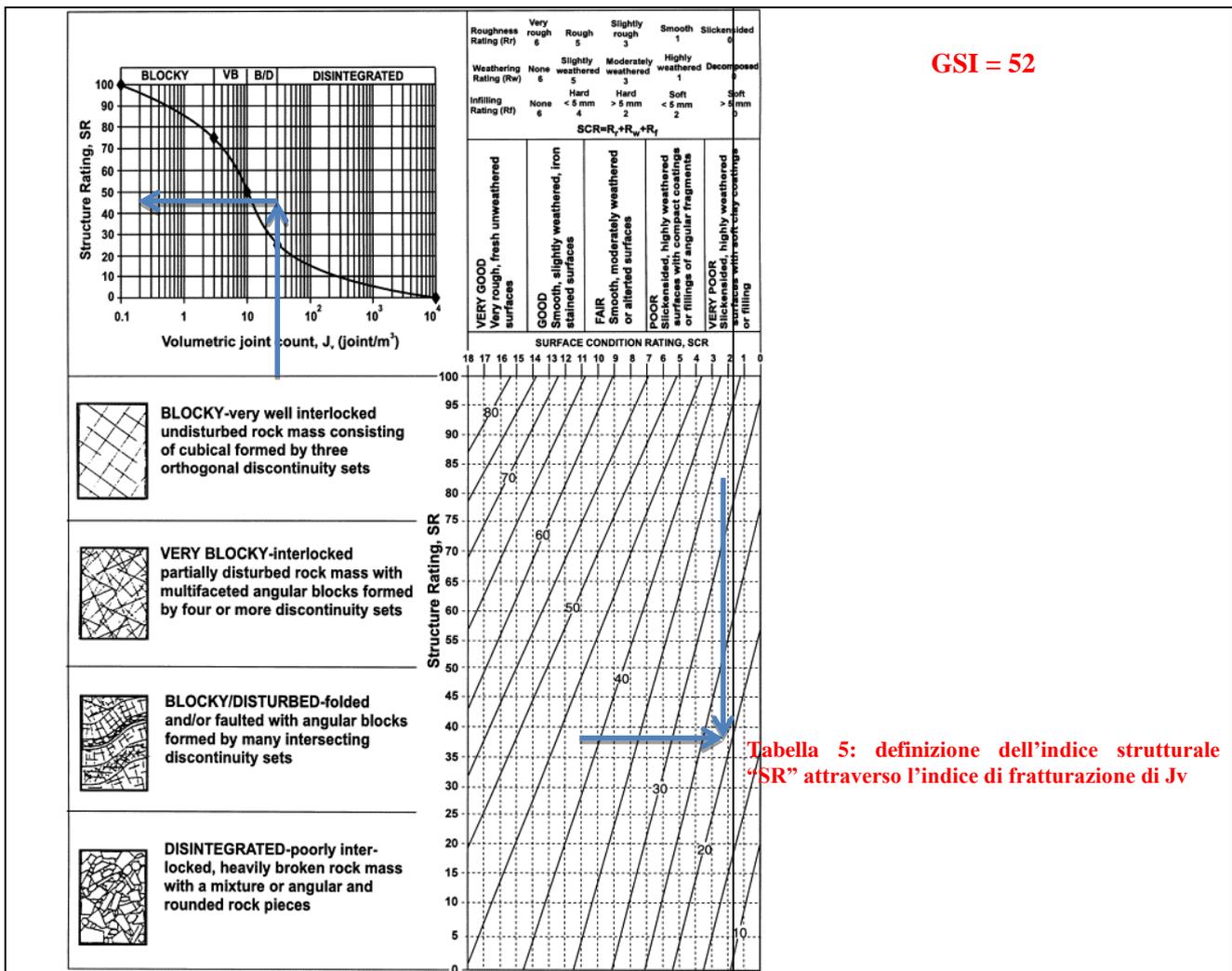
Il BMR_{89} , costante per tutti i cantieri, viene definito considerando $bRMR_c$ nella condizione di assenza di acqua nelle fratture (coefficiente idrico 15), come riportato in Tabella 4.

$$GSI = RMR_{89} - 5 = 75.4 - 5.00 = 70.4$$

INDICI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO CAVA CAMPO DELL'INDO			
CLASSIFICAZIONE	RMRc	EMR89	GSI
CLASSIFICAZIONE DI BIEN ANSA	61.70	75.40	70.40
CLASSIFICAZIONE DI SONNEZ ULISAY	-	-	52.00
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX MEDIO			61.20

Tabella 4: Valutazione del GSI relativo alla Cava Campo dell'Indo.

La stima, come raccomandato dagli autori (Hoek, 2003), non deve però essere troppo rigida ed è opportuno definire un intervallo di esistenza che descriva in maniera esaustiva lo stato effettivo dell'ammasso. Dai risultati ottenuti si ritiene che il GSI ricada con buona approssimazione all'interno dell'intervallo **52-71**; è quindi ragionevole, considerare per le successive trattazioni il valore medio dell'intervallo:



Carrara 22.12.2022

Il Geologo
 Dott. Fiorenzo DUMAS