

Studio di Geologia-Tecnica

Dott. Fiorenzo Dumas

Via Codena 2

54033 – Carrara

Tel. 0585/776919

Fax 0585/841969

[fiorenzodumas@virgilio.it](mailto:fiorenzodumas@virgilio.it)

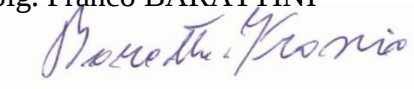
**PROGETTO DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA N. 26 “FOSSA DEL LUPO” REDATTO AI SENSI DELL’ART. 17 L.R. 35/15, SITA NEL BACINO INDUSTRIALE N.° 2 TORANO – SCHEDA PIT/PPR N. 15 – PABE COMUNE DI CARRARA**

STUDIO GEOLOGICO-GEOMECCANICO, GEOMORFOLOGICO,  
GIACIMENTOLOGICO, IDROGEOLOGICO CAVA 26

Committente: Cave Amministrazione S.r.l.

Il Legale Rappresentante.

Sig. Franco BARATTINI



Il Geologo  
Dott. Fiorenzo DUMAS

- Giugno 2025 -

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1) PREMESSA .....</b>                                                                                   | <b>3</b>  |
| <b>2) SCOPO DEL PROGETTO .....</b>                                                                         | <b>3</b>  |
| <b>3) LOCALIZZAZIONE E DISPONIBILITÀ DELL'AREA.....</b>                                                    | <b>3</b>  |
| <b>4) CENNI SULLA DESTINAZIONE D'USO DELL'AREA E REGIME VINCOLISTICO .....</b>                             | <b>3</b>  |
| <b>5) CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE AMBIENTALI GENERALI .....</b>                                        | <b>4</b>  |
| <b>6) LA DEFORMAZIONE TETTONICA DEL COMPENSORIO.....</b>                                                   | <b>8</b>  |
| 6B) INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA INDAGATA.....                                                        | 10        |
| <b>7) CARATTERI GIACIMENTOLOGICI .....</b>                                                                 | <b>10</b> |
| 7A) IL SITO ESTRATTIVO .....                                                                               | 11        |
| 7B) IL MATERIALE.....                                                                                      | 12        |
| 7C) IL RESIDUO DI FRANA .....                                                                              | 13        |
| 7D) LA DISCARICA E LA GESTIONE DEL DETRITO .....                                                           | 17        |
| <b>8) CARATTERI IDROGEOLOGICI E IDROGRAFICI GENERALI.....</b>                                              | <b>17</b> |
| <b>9) CARATTERI GENERALI DEL SERBATOIO IDRICO CARRARESE .....</b>                                          | <b>18</b> |
| 9A) CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SERBATOIO IDRICO SOTTERRANEO CHE SOTTENDE LE SORGENTI DI COSTA..... | 19        |
| 9B) ROCCE CON PERMEABILITÀ PRIMARIA O PER POROSITÀ .....                                                   | 20        |
| 9b1) Rocce incoerenti .....                                                                                | 20        |
| 10C) ROCCE CON PERMEABILITÀ SECONDARIA O ACQUISITA, .....                                                  | 21        |
| 9b2) Rocce coerenti .....                                                                                  | 21        |
| 9b2a) Formazioni permeabili per fratturazione decrescente e limitati fenomeni carsici Psd: .....           | 21        |
| 9b2b) Formazioni permeabili per fratturazione crescente e sviluppo di fenomeni carsici Psc: .....          | 21        |
| 9C) ROCCE IMPERMEABILI.....                                                                                | 22        |
| <b>10) PERMEABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN ESAME .....</b>                                               | <b>22</b> |
| <b>11) VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI .....</b>                                                             | <b>23</b> |
| <b>12) DETERMINAZIONE DELLE LINEE DI DEFLUSSO SOTTERRANEE.....</b>                                         | <b>24</b> |
| <b>13) LOCALIZZAZIONE IDROGEOLOGICA CAVA N. 26 FOSSA DEL LUPO.....</b>                                     | <b>27</b> |
| <b>14) IL RETICOLO IDROGRAFICO LOCALE .....</b>                                                            | <b>27</b> |
| <b>15) ORIENTAZIONE FRONTI.....</b>                                                                        | <b>28</b> |
| <b>16) RILEVO STRUTTURALE.....</b>                                                                         | <b>30</b> |
| 16.1 ELABORAZIONE DEI DATI RACCOLTI.....                                                                   | 30        |
| <b>17) CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....</b>                                                     | <b>34</b> |
| 17A) CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI (INDICE RMR, 1989) .....                                                | 34        |
| 17B) CORREZIONE .....                                                                                      | 36        |
| 17C) INDICE BRMR E RMR .....                                                                               | 36        |

## **1) PREMESSA**

Per incarico della Società Cave Amministrazione S.r.l., con sede in Via Roma 17 a Carrara (MS), è stato redatto il Progetto di Coltivazione della nuova cava n. 26 Fossa del Lupo, sita in località Conca del Bacino Industriale n. 2 Torano - Scheda PIT/PPR n. 15 - PABE Comune di Carrara.

Il progetto è stato redatto in ottemperanza all' art. 17 L.R. 35/15 ed avrà durata di circa 10 anni.

A tal fine sono state studiate le caratteristiche geomorfologiche, geologiche, giacimentologiche, idrogeologiche, paesaggistiche e ambientali dell'area, in ottemperanza a quanto previsto: R.D.L. n. 3267/1923, ex Art. 7 R.D.L. 1497/39, L.R. 39/2000, L.R. 21/2002, D.Lgs 42/2004, D.Lgs 152/2006, D.C.R. 37/2015 e exL.R. 10/2010-L.R. 17/2016; oltre che ottemperare al PABE del Comune di Carrara approvato con Delibera n. 71 del 03.11.2020, agli art. 3, 4 e 5 del DPGR n. 72/R "Regolamento di attuazione dell'articolo 5 della L.R. 35/15.

## **2) SCOPO DEL PROGETTO**

Va premesso che, la nuova cava n. 26 Fossa del Lupo rappresenta la ristrutturazione della vecchia unità estrattiva chiusa, perché la cui coltivazione è stata sospesa a causa dell'eccessivo approfondimento dei piazzali.

Il progetto ha durata di 10 anni e programma:

- 1) la coltivazione del sito previa realizzazione di nuova viabilità d'accesso che si distacca da q. 934.48m s.l.m. dell'esistente strada d'arroccamento;
- 2) la messa in sicurezza del versante meridionale, interessato da una frana di scivolamento planare, anche se con piano composito, causata dallo scalzamento della base del versante da parte della ex-cava n. 32 Canalbiano B.

Al fine di contenere l'apertura di nuove strade a servizio dei vari ribassi, il progetto prevede la realizzazione di una viabilità su roccia interna alla cava che si sviluppa lungo il suo limite settentrionale.

## **3) LOCALIZZAZIONE E DISPONIBILITÀ DELL'AREA**

## **4) CENNI SULLA DESTINAZIONE D'USO DELL'AREA E REGIME VINCOLISTICO**

La cava, come del resto la maggior parte del bacino Torano è un territorio destinato ad attività estrattiva, che trova la sua regolamentazione nella normativa regionale e nei sotto elencati atti urbanistici:

- 1) L.R. n. 52/94 - "Istituzione del Bacino Marmifero Industriale dei Comuni di Carrara e di Massa";
- 2) L.R. 35/15 - "Disposizioni in materia di cave";
- 3) PRG - "Zona D3, bacino estrattivo" disciplinato dall'art. 19 che ne prevede l'attività estrattiva;
- 4) Pabe - Scheda 15 - Bacini di Torano, Miseglia e Colonnata, adottato con Delibera n. 71 del 03.11.2020; dove tra gli altri vincoli previsti dallo strumento urbanistico l'area è ulteriormente gravata dalla "Zona di tutela ZPS/ZSC" (art. 8 comma 4) - fascia posta tutela della dell'Are del Parco delle Alpi Apuane.

Inoltre, il territorio dei bacini estrattivi, come del resto tutta la parte montana e collinare del comune, rimane sottoposto al Vincolo Idrogeologico, salvaguardia prevista dal R.d.L. n° 3267 del 30/12/1923; per le altre norme vincolistiche che sovraintendono sull'area indagata si rimanda alla consultazione della Relazione Tecnica Illustrativa redatta ai sensi dell'Art. 3 DPGR 72/R.

## **5) CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE AMBIENTALI GENERALI**

Il Comprensorio Estrattivo Carrarese, ed in particolare il bacino di Torano, è caratterizzato da una morfologia di tipo pluvio-fluviale sovrainposta ad un'originaria morfologia glaciale; i cui caratteri sono stati completamente obliterati dai secondi.

Tale effetto erosivo è indubbiamente connesso sia con l'esposizione a meridione dei versanti sia alla loro soggiacenza all'influenza marina. Questi due fattori hanno fatto sì che l'ultima glaciazione Wurn, terminata tra 16.000 e 14.000a.c., non sviluppasse una morfologia glaciale ben significativa come è avvenuto nelle valli della Garfagnana, dove ancora oggi permangono significativi esempi.

Un inconfondibile esempio di morfologia residua di tipo glaciale è rappresentato dal modesto deposito morenico sottostante il M. Borla, mentre nella vallata del M. Sagro rimane incerta l'ascrizione ad una morfologia di tipo a "Gradini di sbocco" della località "pozzi", nonostante presenti bassi valori di acclività, 28°, e sia delimitata verso NE da ripidi salti morfologici dovuti a repentine variazioni di pendenza.

La morfologia pluvio-fluviale, sovrainposta alla precedente mediante l'instaurarsi di fenomeni di erosione meccanica e dissoluzione chimica superficiale, ha generato nuovi caratteri geomorfologici quali:

- stretti e profondi impluvi, con forma a "V" molto pronunciata, carattere che si riscontra principalmente nei secondari;
- ripidi versanti, dove, i valori d'acclività sono spesso superiori ai 45-50°, molte volte associati a locali balze subverticali, che in alcuni casi hanno notevoli estensioni ed altezze;

- isolate guglie e torrioni associati a sottili creste, tutti generati dalla dissoluzione superficiale del calcare;
- una rete idrografica molto semplice e lineare, dove il fosso di fondovalle ed i suoi affluenti tendono ad avere alvei sub-rettilinei e ben incassati nel substrato roccioso, rimanendo ben distanziati tra loro. Il primo aspetto sta ad indicare una elevata velocità di deflusso superficiale delle acque meteoriche all'interno dell'impluvio, che lo sottopone ad una rapida ed intensa erosione di fondo e regressiva, mentre il secondo sta ad indicare un elevato grado di drenaggio del versante carbonatico.

La cava Fossa del Lupo è aperta nella zona SE del "Poggio della Dovizia o Poggio della Piazzola", con accesso del Canale di Conca.

In considerazione dell'ottima varietà merceologica affiorante nella zona, in passato la stessa è stata interessata dall'apertura di numerosi saggi di scavo e di modeste cave, l'unica veramente importante rimane la cava Paolina, non più attiva, sita nei pressi del confine del parco a circa q. 983.50m s.l.m..

L'intensa attività estrattiva intrapresa in passato ha generato vasti ravaneti che hanno completamente ricoperto i versanti, il fondo valle e sui quali sono state realizzate le strade d'arroccamento di comparto e d'accesso ai singoli siti estrattivi.

Nel Bacino di Torano, la vicinanza al paese e l'intensa fatturazione, che permetteva l'estrazione di ottimi volumi merceologici facilmente movimentabili con le tecniche primitive, hanno fatto sì che l'escavazione si sviluppasse fin da tempi remoti, con conseguente apertura di numerosi siti estrattivi fin ad elevata quota.

L'originario aspetto geomorfo-paesaggistico del bacino fu obliterato non solo attraverso la vera e propria escavazione, ma soprattutto attraverso la messa in opera dei ravaneti, che, nel tempo, hanno ricoperto, con spessori notevoli, fossi e ampi tratti di versante.

I pendii ricoperti dai "ravaneti" hanno assunto pendenze più dolci rispetto alle nude aree in roccia; infatti i primi sono caratterizzati da valori d'acclività compresi tra 35°-45°, valori corrispondenti all'angolo di riposo del materiale, mentre le aree scoperte hanno valori  $\geq 45^\circ$ .

L'origine di questi vasti accumuli detritici e collegata all'impossibilità di disporre di viabilità che permettessero di asportarli all'esterno, le prime strade furono realizzate tra metà e fine degli anni sessanta, imponeva la necessità di disporre di un'area dove accumularli. È appunto fin dai tempi del Granducato di Modena che i Sovrani dispongono l'uso di "fosse dove aggettare l'espurgo, che debbono avere estensione da valle a monte come le concessioni".

Questa modificazione morfologica dovuta all'intervento antropico ha interessato anche l'interno della cava 26, variando sia la locale altimetria sia l'acclività dei versanti costituenti i ravaneti.

Le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche della formazione affiorante (Marmi) sono tali che lo sviluppo di una copertura vegetale rimane essenzialmente rappresentata da essenze vegetali e forme cespugliose localizzate prevalentemente nei ravaneti antichi e nelle aree intensamente fratturate del substrato roccioso.

L'indagine di campagna ha consentito di redigere la Carta Geomorfologica di Tav. 7, dove sono stati censiti i differenti domini affioranti nell'area e nel suo intorno significativo:

- dominio antropico permanente: corrisponde ai siti di cava e alle viabilità di servizio costruite su roccia, dove l'intervento estrattivo ha modificato l'originaria morfologia comportando la realizzazione di pareti subverticali e piazzali suborizzontali, aree che a fine coltivazione saranno oggetto di ripristino ambientale da parte dei conduttori della singola cava;
- dominio antropico temporaneo: corrisponde agli accumuli detritici o ravaneti, che, salvo quelli su cui è stata costruita la viabilità, saranno rimossi al termine del periodo di coltivazione della singola cava;
- dominio naturale o pluvio-fluviale: corrisponde alle zone rimaste integre e modellate dalla erosione pluvio-fluviale, i cui principali caratteri geomorfo-paesaggistici sono quelli sopra descritti.

L'indagine di campagna ha permesso di escludere la presenza di forme carsiche principali sia di tipo superficiale (epigeo) quali: doline, poljie, inghiottitoi consentendo il rilevamento solo di forme carsiche secondarie tipiche delle carbonatiche, quali:

- piccoli inghiottitoi ed altre forme carsiche minori, concrezioni sulle superfici di frattura, spalmature di calcite ed ecc., localizzati nelle vicinanze della morfologia;
- fratture "beanti" più o meno carsificate;
- fratture parzialmente riempite da "argille residuali" e/o con "spalmature di argille rosse" sulle superfici di frattura.

Dai sopralluoghi condotti all'interno del Bacino di Torano, ed in particolar modo nell'area circostante la cava e del suo intorno significativo, emerge che il dominio geomorfo-paesaggistico dominante dal fondovalle fino a circa 1000m s.l.m. è quello caratteristico del Dominio Antropico, con punte massime fino al oltre 1040m s.l.m. in coincidenza della ex-cava n. 27 Paolina; mentre a quote superiori predomina il Dominio Naturale o Pluvio-Fluviale costituito dagli ampi affioramenti di substrato roccioso, che dona al paesaggio l'aspetto brullo ed arso tipico degli ambienti alpestri.

L'osservazione in loco ha confermato quanto emergeva dalla Carta della Vegetazione delle Apuane del Professore Erminio Ferrarini, il cui stralcio non in scala è la Fig. 1; ossia che nel Bacino di Torano, ed in particolar modo nell'area circostante la cava e nel suo intorno significativo, le scarse essenze arboree, rappresentate prevalentemente da individui con forma cespugliosa, sono

ascrivibili alla serie del Querceto Xeromorfo, ascrivibile all'orizzonte *Ostrya* Sparsa. Queste rimangono generalmente radicate nelle coperture detritiche od all'interno di fratture più aperte dove si è raccolto un residuo di suolo.

Una maggiore presenza di essenze vegetali, anche di alto fusto, è confinata nelle aree di affioramento della Formazione dei Calcari Selciferi, che rimangono localizzate nei pressi dell'allineamento morfo-tettonico Pesaro-Piastra-Bettogli, corrispondente alla zona d'ingresso del Bacino Torano.

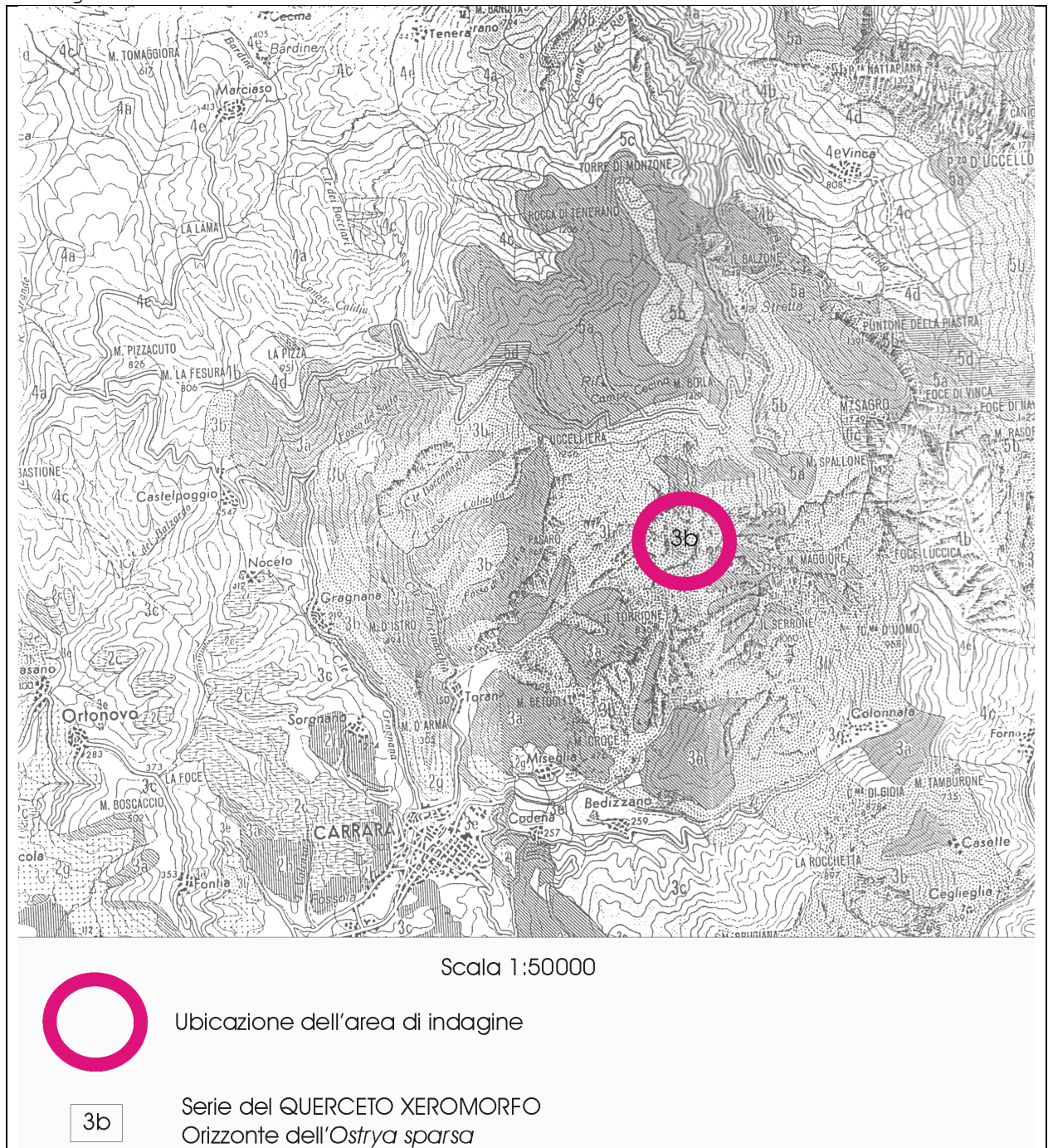


Fig. 1 Stralcio non in scala della Carta della Vegetazione del Prof. Ferranini

Altro carattere geomorfologico importante è rappresentato dal residuo di frana di scivolamento localizzato a valle del dosso di q. 972.2 m s.l.m. ed i cui detriti sono ancora in parte disseminati

lungo la superficie di discontinuità che ha permesso il cinematismo, (la discussione dell'evento sarà affrontata in seguito).

## 6) LA DEFORMAZIONE TETTONICA DEL COMPENSORIO

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-versiliense.

Durante tale fase compressiva, indicata nella letteratura Pisana-Senese come "Fase  $D_1$ ", ma da altri centri di studio considerata come una seconda fase " $A_2$ " che ripiega una precedente fase " $A_1$ " quasi complanare, vedi schema di Fig. 2, in un primo momento si verifica il sovrascorrimento dell'Unità Sub-ligure e poi delle Unità Liguri sul Dominio Toscano Interno; successivamente si ha l'individuazione della Falda Toscana e sovrascorrimento sul Dominio Toscano Esterno (Complesso Metamorfico Apuano), con tettonizzazione di quest'ultimo entro una fascia di taglio ensialica, vergente NE 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.

Nell'area apuana il sovrascorrimento e il conseguente impilamento delle varie unità tettoniche ha generato la formazione di nuove strette pieghe isoclinali che si sovrimpongono sulle esistenti pieghe isoclinali di fase " $A_1$ "; il tutto è ben osservabile alla scala della sezione sottile, dell'affioramento di cava e dell'intera finestra tettonica.

Associata alla fase di deformazione " $A_2$ " si rileva una scistosità sin-metamorfica " $S_1$ " subparallela al piano assiale delle pieghe isoclinali " $A_2$ " variamente non cilindriche.

Nel Carrarese le pieghe isoclinali di prima fase " $A_1$ " sono registrate in livelli particolarmente "sensibili" perché ricchi in miche, come appunto quello dello "Zebrino-Cremo Delicato", dove le pieghe di fase " $A_1$ " sono associate a quelle di seconda fase " $A_2$ ". Nella restante parte del giacimento marmifero, dove predomina il bianco ordinario e/o il venato, materiali poco "sensibili", la registrazione delle pieghe di prima fase " $A_1$ " è mascherata e sovrapposta da quella di seconda fase " $A_2$ ", che hanno sviluppato e definito una scistosità di piano assiale che nei marmi rappresenta quello che i cavatori chiamano "**verso di macchia**".

A partire 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 " $A_3$ ", con lo sviluppo di zone di taglio distensive duttili nel complesso Metamorfico e faglie dirette a basso angolo nelle Unità Toscane Non Metamorfiche. Tutte le strutture primarie e quelle acquisite nella fase compressiva " $A_2$ ", sono deformate nuovamente dalla terza fase " $A_3$ ", con sviluppo di un nuovo sistema di pieghe, osservabili a tutte le scale, con sviluppo di una nuova scistosità che si sovrappone alle precedenti.

La geometria di queste strutture è fortemente influenzata dalla giacitura della fase compressiva "A<sub>2</sub>" 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.

Le interferenze tra le fasi "A<sub>1</sub>" "A<sub>2</sub>" "A<sub>3</sub>", schema di Fig. 2, risultano ben osservabili in Garfagnana all'interno del vasto areale dei marmi policromi, come ad esempio i "Cipollini", dove lo sviluppo di pieghe secondarie dovute alle fasi cronologicamente più recenti hanno agito sulle strutture geologiche precedenti.

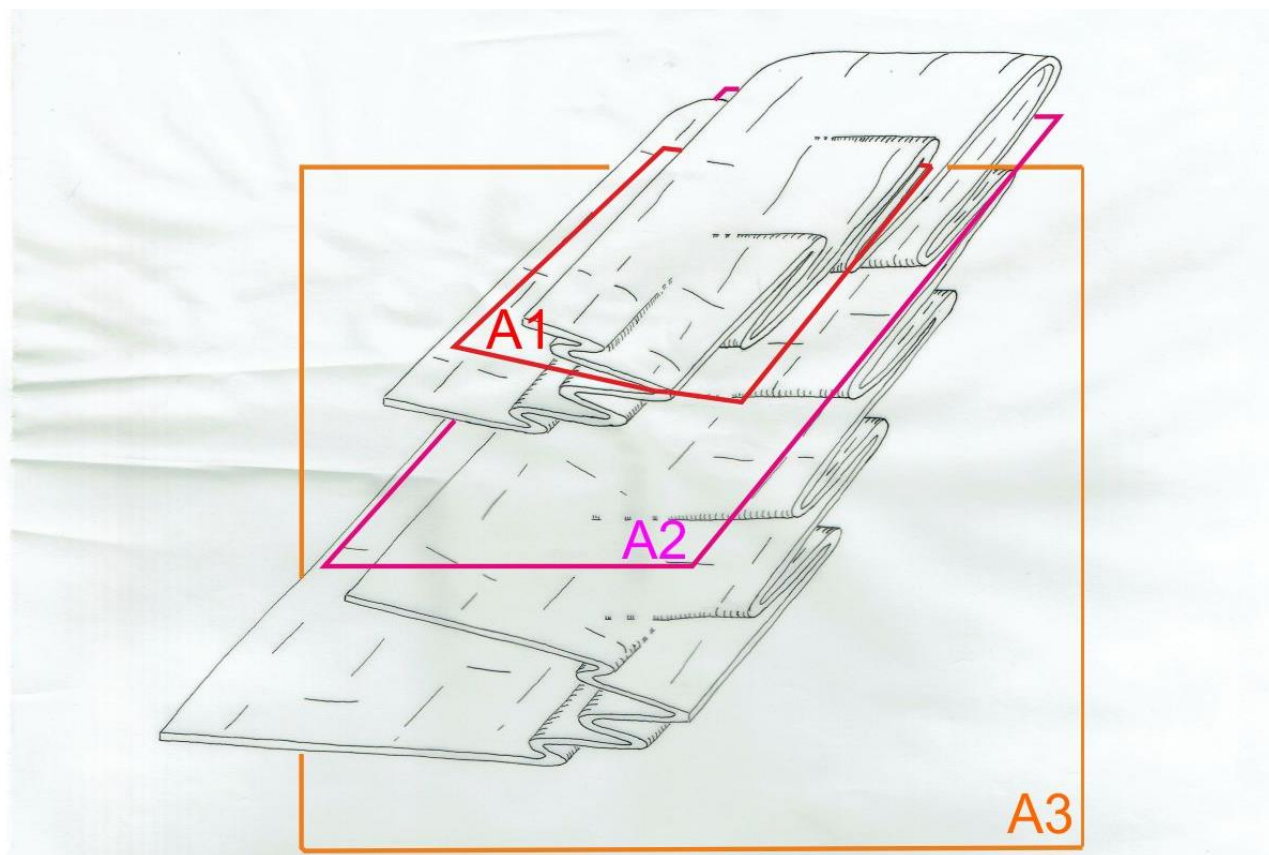


Fig. 2: Schema del modello geo-strutturale inerente le interferenze tra le fasi "A<sub>1</sub>" "A<sub>2</sub>" "A<sub>3</sub>"

#### **6a) Cenni sulla struttura geologica del comprensorio marmifero carrarese e suo intorno significativo**

L'intensa attività tettonica connessa con lo sviluppo della fase A<sub>2</sub> ha generato nel Comprensorio Carrarese una importante sequenza strutturale così rappresentata da W verso Est:

- 1) Sinforme di Carrara, a nucleo affiorante di Calcare Selcifero;
- 2) Antiforme di Pianza, a nucleo affiorante di Marmo;
- 3) Sinforme dei Vallini, a nucleo affiorante di Calcare Selcifero;
- 4) Antiforme M. Sagro, a nucleo affiorante di Marmo;
- 5) Sinforme M. Sagro, a nucleo affiorante di Calcare Selcifero;
- 6) Antiforme Catino, a nucleo affiorante di Marmo Dolomitico;
- 7) Sinforme Catino, a nucleo affiorante di Calcare Selcifero;
- 8) Antiforme di Vinca, a nucleo affiorante di Filladi Inferiori.

Le strutture dei punti 1) e 2), pur non avendo l'estensione della struttura del punto 8), hanno estensione chilometrica, le altre sono molto più contenute, con la 4) che ha superficie massima ettometrica.

#### **6b) Inquadramento Geologico dell'area indagata**

A scala ettometrica e chilometrica la complessità della locale struttura geologica, Sinclinale di Carrara e Anticlinale di Pianza, non è ben visualizzata nell'area della cava n. 26 Fossa del Lupo e nel suo intorno significativo; in quanto vi affiora solo la Formazione dei Marmi s.s., la quale tende a non registrare le 3 fasi deformative Tavv.8-9 Carta Geologica e Sezioni Geologiche.

In dettaglio la cava n. 26 rimane ubicata in corrispondenza del fianco diritto dell'ampia struttura nota come Anticlinale di Pianza, dove affiorano le seguenti formazioni litologiche:

- *Litotipi riferibili al Quaternario:*

Depositi Detritici Artificiali o "Ravaneti": generati dall'accumulo degli inerti prodotti dalle vecchie coltivazioni e sui quali è aperta la strada di fondovalle di comparto. Le scaglie hanno spigoli vivi e volumetria variabile, con le più antiche che difficilmente superano il peso di 25/30Kg, essendo state frantumate manualmente e trasportate nel ravaneto mediante carriola e/o vagoncino minerario. I detriti che saranno prodotti con le escavazioni di progetto ghiacceranno temporaneamente all'interno dei piazzali per essere giornalmente lavorati e trasportati al frantoio della Piastra.;

- *Formazioni dell'"Auctotono-Autt.":*

Formazione dei Marmi in s.s.: rappresenta la sola formazione localmente affiorante tra tutte quelle che compongono la Serie Metamorfica. Le loro caratteristiche merceologiche e fisico-meccaniche sono discusse nel paragrafo "Il materiale". La formazione dei marmi è costituita da calcari metamorfici, di colore variabile dal bianco al grigio, con struttura saccaroide, anche se esistono variazioni della granulometria all'interno del giacimento carrarese. Età: Lias Inf.

#### **7) CARATTERI GIACIMENTOLOGICI**

Dal punto di visita geografico l'area in esame è parte integrante del vasto e potenziale giacimento marmifero di Canalbianco-Amministrazione-Conca, esteso per circa 887.000 mq, che ricopre la parte nord-orientale del Giacimento Industriale di Torano e che risulta delimitato:

- verso Est dalla Fossa di Conca;
- verso Ovest dal dosso posto a occidente della Fossa di Canalbianco o del Serrone;
- verso Nord dalla strada che collega il Piazzale Uccelliera alla Foce di Pianza;

➤ verso Sud dalla strada privata di bacino asfaltata di Ravaccione;

Sotto il profilo geologico-strutturale il giacimento marmifero coincide col livello di marmo a nucleo della Anticlinale di Pianza, dove affiora esclusivamente la Formazione dei Marmi s.s., con netta predominanza della varietà merceologica "Bianco Ordinario", nella categoria C e in subordine C-D", sulle qualità: "Statuario Michelangelo" limitato ad alcuni affioramenti di sinformi interni alla cava 42, "Nuvolato" e "Venato" affioranti lungo la strada per la cava 25 Canalbianco A, settore di NE del vasto giacimento.

Gli studi condotti nel giacimento per la redazione dei vari progetti di coltivazione delle cave "Canalbianco A", "Fosso del Lupo" e "Amministrazione" hanno consentito di rilevare una omogenea distribuzione sia della deformazione rigida sia della varietà merceologica "marmo Bianco Ordinario"; mentre la varietà "Statuario Michelangelo" rimane localizzata all'interno dell'areale della cava n. 42 Amministrazione. La possibilità di poter disporre di un vasto deposito da cui ricavare un Bianco Ordinario Carrara molto omogeneo nella sua qualità merceologica è un fattore molto importante, perché consente di poter fornire in continuità materiale per poter realizzare nuovi ampi progetti di varia natura.

Dallo studio della deformazione rigida eseguito su tutta l'area dell'ampio giacimento Amministrazione-Conca-Canalbianco risulta che la stessa è distribuita omogeneamente su tutta la superficie, seppur l'intensità e numero delle discontinuità ascrivibili al singolo sistema può variare localmente.

Come si vedrà in seguito, l'applicazione della classificazione di Bieniawski all'ammasso roccioso costituente il sito genera un valore di RMR= 51, ascrivendolo alla classe III "discreta".

#### **7a) Il Sito Estrattivo**

I vecchi gradoni esistenti ricadono all'interno della zonazione, ampia 50.0m esterna al perimetro del Parco Apuane, definita art. 8 comma 4 delle NTA di Pabe e destinata "a tutela degli habitat e delle specie nelle aree esterne in prossimità delle ZPS e ZSC ricadenti all'interno dei Siti Natura 2000"; per cui sarà oggetto di progetto di recupero/risistemazione paesaggistica/ambientale di compendio a questo progetto di coltivazione.

In considerazione di questa destinazione, si è impossibilitati ad utilizzare detta area ai fini estrattivi, per cui il progetto prevede che la coltivazione si sviluppi all'esterno di questa, mediante l'apertura di una serie di ribassi compresi tra q. 950.00 e 894.00m s.l.m., serviti da nuovo accesso che si distacca da q. 934.48m s.l. della attuale viabilità d'arroccamento. Nel progetto è programmata anche la messa in sicurezza della superficie residua della frana avvenuta agli inizi degli anni '80, mediante l'asportazione di questa e del detrito residuo ivi giacente.

Il progetto si sviluppa mantenendo i fronti in coltivazione e residui subparalleli e subperpendicolari ai sistemi di fratturazione principali  $K_1$ ,  $K_3$  e  $K_4$ .

### 7b) Il materiale

La cava è aperta all'interno del già citato livello lito-strutturale dei marmi in s.s., dove, dal punto di vista merceologico, predomina la varietà di marmo "Ordinario C", i cui caratteri strutturali e tessiturali sono di seguito riportati:

- ORDINARIO: marmo con fondo di colore da bianco latte a bianco sporco, con piccole macchie scure e limitata venatura di colore da grigio scuro a nero. A seconda del colore della massa di fondo sono riconoscibili le qualità merceologiche "C", "C/D" e "D", con interesse commerciale decrescente. Nell'area predomina la qualità merceologica "C", che come detto sopra permette di collocare sul mercato volumetrie minime rispetto alle cubature del classico blocco. L'"Ordinario C" è caratterizzato da una massa di fondo di colore bianco-latte, con scarsissima venatura e limitate macchie grigio-nere dovute alla concentrazione di pirite microcristallina;

| ▪ CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE                         |            |                         |           |
|-----------------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-----------|
| COMPOSIZIONE MINERALOGICA                                       |            |                         | % IN PESO |
| Magnesio nella Calcite                                          |            |                         | 1.0       |
| Residuo                                                         |            |                         | 0.06      |
| MINERALI                                                        | Principali | Calcite                 | 99.94     |
|                                                                 |            | Dolomite                | 0.0       |
|                                                                 | Minori     | Muscovite               |           |
|                                                                 |            | Albite                  |           |
|                                                                 |            | Pirite                  |           |
|                                                                 |            | Quarzo                  |           |
|                                                                 |            | Adularia                |           |
| ANALISI CHIMICHE                                                |            | % in peso               |           |
| CO <sub>2</sub>                                                 |            | 44.00                   |           |
| MgO                                                             |            | 0.47                    |           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                  |            | 0.02                    |           |
| SiO <sub>2</sub>                                                |            | 0.05                    |           |
| K <sub>2</sub> O                                                |            | 0.01                    |           |
| CaO                                                             |            | 54.99                   |           |
| TiO <sub>2</sub>                                                |            | 0.00                    |           |
| MnO                                                             |            | 0.06                    |           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                  |            | 0.07                    |           |
| CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE                               |            |                         |           |
| 1.0 CARICO DI ROTTURA A COMPRESSIONE                            |            | Kg/cmq                  | 1316      |
| 2.0 CARICO DI ROTTURA A COMPRESSIONE<br>DOPO CICLI DI GELIVITA' |            | Kg/cmq                  | 1287      |
| 3.0 CARICO DI ROTTURA A FLESSIONE                               |            | Kg/cmq                  | 224       |
| 4.0 DILATAZIONE LINEARE TERMICA                                 |            | 10 <sup>-6</sup> per °C | 6.7       |
| 5.0 COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE D'ACQUA                         |            | % in peso               | 0.12      |
| 6.0 PESO PER UNITA' DI VOLUME                                   |            |                         | 2696      |
| 7.0 RESISTENZA ALL'URTO                                         |            | cm                      | 66.3      |
| 8.0 MODULO DI ELASTICITA' LINEARE                               |            | Kg/cmq                  | 734000    |
| 9.0 RESISTENZA ALL'ABRASIONE                                    |            | mm                      | 4.38      |

Tab. 1: Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Bianco Ordinario".

### **7c) Il residuo di frana**

Premesso che, il progetto oltre a prevedere la coltivazione del sito, mira anche a porre in sicurezza la superficie residua della frana di scivolamento rimuovendo, mediante la coltivazione, il detrito ricoprente la superficie di frana stessa. Di seguito si analizzerà l'origine del movimento franoso.

L'intervento di messa in sicurezza consisterà nella rimozione della superficie morfologica coincidente con il piano di scivolamento della frana, intervento che avverrà mediante l'asportazione di un volume roccioso prismatico triangolare, avente altezza e larghezza pari a quella del ribasso, 7\*7m, e lunghezza in relazione alle condizioni morfologiche locali.

Nella Tav. 7 Carta Geomorfologica e nelle Tav. 21/23 Piano di coltivazione con linea arancione è definita all'incirca la superficie residua di frana composta dell'ammasso roccioso che costituiva la tecchia della vecchia cava n.32 "Canalbiano B" o exNicoli. Questa è sita a circa q. 764.1m s.l.m., inattiva dall'inizio degli anni ottanta proprio a causa del movimento franoso che ha interessato un'area di circa 6.438 mq, a cui corrisponde una volumetria di circa 130.000 mc, Foto 1 e 2.

La frana si è verificata per scalzamento basale del versante a seguito dell'approfondimento dei piazzali della ex-cava n.32 Canalbiano B, condizione che ha determinato lo scalzamento di una frattura composta ascrivibile al sistema K5 con conseguente scivolamento dell'ammasso roccioso componente la tecchia, Foto 1.

In prima approssimazione il movimento ha interessato due superfici, Foto 1, di cui le prime due principali rappresentate:

➤ dal piano di scivolamento basale, costituito da una discontinuità composta ascrivibile al sistema K<sub>5</sub>, con range: immersione 200-238°, inclinazione 45-67°, che nell'insieme formano una superficie composta a "scalini" discendenti verso Sud. L'involuppo di questa superficie di fratturazione è indicata nella Tav. 7 Carta Geomorfologica e nella Tav. 5 Carta Fratturazione,. Nella foto il piano basale è stato suddiviso in 3 ampi scalini, a loro volta composti da più discontinuità ascrivibili al sistema;

➤ dal piano laterale, ascrivibile al sottosistema K<sub>4b</sub> (range sistema: immersione 108-144°, inclinazione 57-90°), piano in colore verde nelle foto, costituito 3 discontinuità principali ascrivibili al sistema che delimitano 3 "corsi marmorei" aventi immersione verso SE ed inclinazione variabile tra 50-62°; la cui direzione della giacitura non si oppone allo scivolamento, anzi lo facilita;

e da una superficie di minore importanza rappresentata dal piano ascrivibile al sottosistema K<sub>1a</sub> (range sistema: immersione 181-231°, inclinazione 65-90°), piano di colore celeste Foto 2, che delimitava verso nord i 2 "corsi marmorei" coinvolti nel movimento.

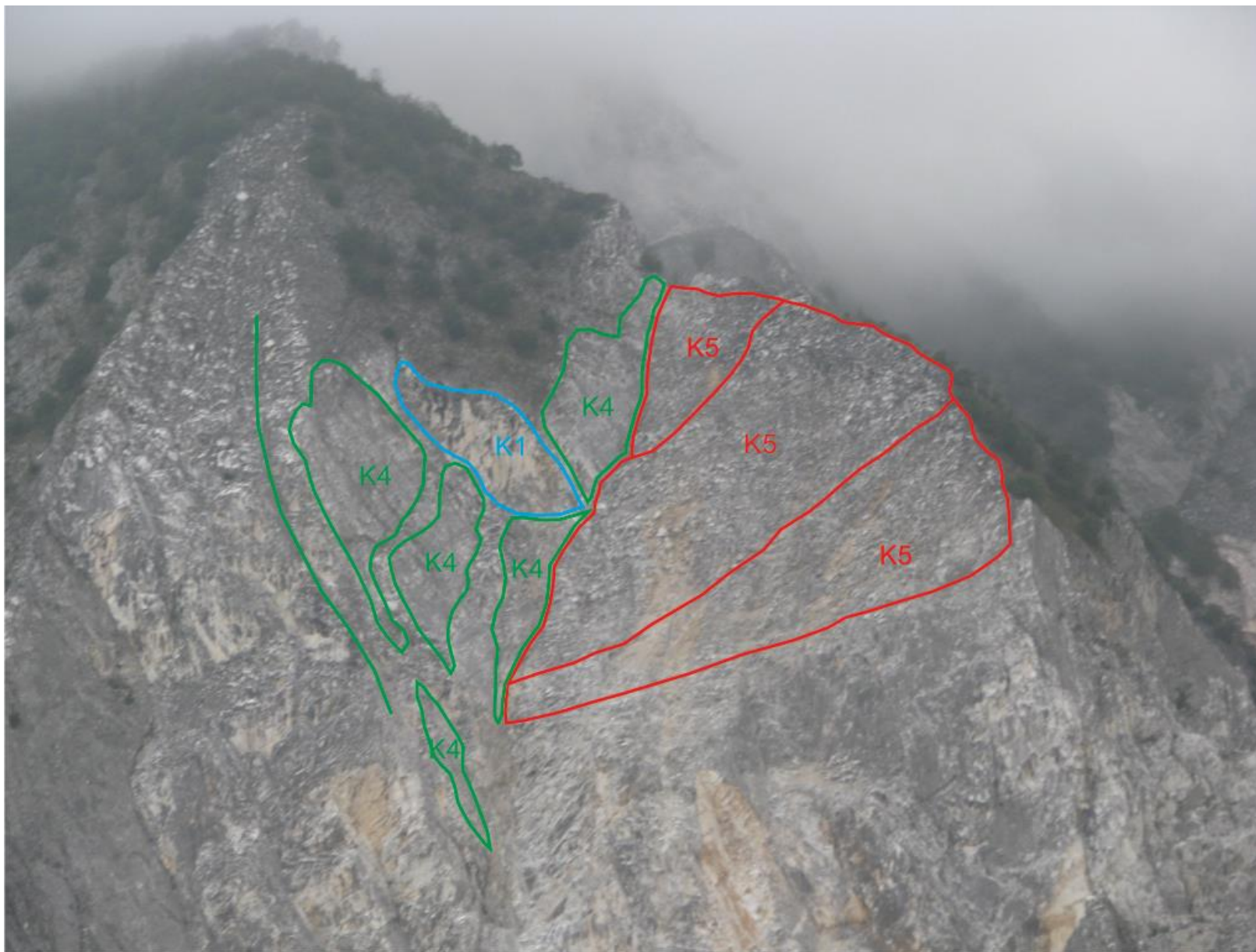


Foto 1: Movimento franoso con indicate le superfici coinvolte nel cinematismo.

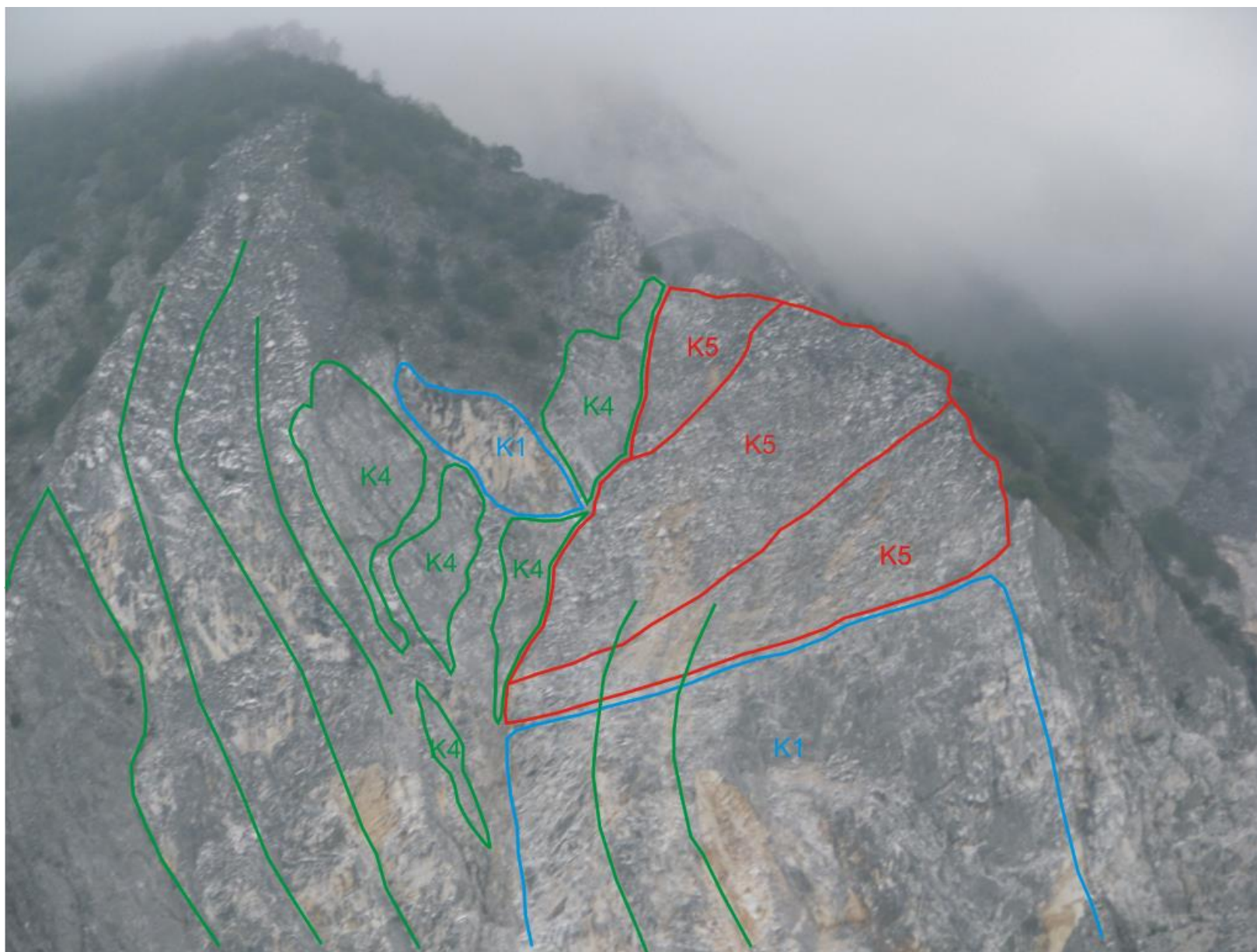


Foto 2: Rappresentazione delle superfici di discontinuità dell'area di frana e della zona limitrofa.



Foto 3: panoramica agli inizi del 900 del Poggio della Piazzola e del versante sottostante.

Dall'osservazione della Foto 3, in cui è rappresentata l'attività estrattiva all'inizio del 900, risulta evidente l'esistenza di una tecchia di considerevole altezza, della quale però non si riesce a stabilirne le condizioni di stabilità in relazione alla escavazione intrapresa lungo il versante.

Sulla base dell'osservazione delle Foto 1, 2 e 3 si può provare, in back analisi, a ricostruire il cinematismo dell'evento, che si è manifestato nel momento in cui i ponti di roccia esistenti nell'ammasso roccioso sono stati tagliati, per trazione, dall'azione del peso dell'ammasso stesso. In particolare lo scivolamento può essersi manifestato:

- secondo un cinematismo tridimensionale avvenuto lungo la linea d'intersezione tra le discontinuità ascrivibili ai sistemi K<sub>4</sub> e K<sub>5</sub>, più o meno coincidente con la doppia linea rosso e verde. Il movimento, coinvolgendo contemporaneamente tutto l'ammasso roccioso delimitato dalle discontinuità K<sub>5</sub> e K<sub>4</sub>, avrebbe "trascinato" anche i "3 volumi o corsi laterali";
- attraverso un movimento differenziato che coinvolgeva inizialmente solo la massa soprastante alle discontinuità K<sub>5</sub> e successivamente i "3 volumi o corsi laterali"; in questo caso si dovrebbe spiegare la dinamica e la direzione del cinematismo di quest'ultimi, dato che la giacitura delle fratture K<sub>4</sub> si opporrebbe al cinematismo sia in direzione Sud che Sud-est.

#### **7d) La Discarica e la gestione del detrito**

Il detrito prodotto troverà temporaneo stoccaggio all'interno dei piazzali di cava, dove verrà frantumato per essere asportato. L'argomento è stato trattato all'interno del "Piano di Gestione dei rifiuti, del materiale derivato e del materiale da taglio, Art. 2 DPGR 72/R (Art. 17 comma 1 lett. C) L.R. 35/15.

### **8) CARATTERI IDROGEOLOGICI E IDROGRAFICI GENERALI**

Il Comprensorio Estrattivo Carrarese occupa la parte nord-occidentale del vastissimo affioramento carbonatico metamorfico apuano, dove le principali formazioni carbonatiche sono rappresentate dai: Grezzoni, Marmi e Calcare Selcifero. Come tutte le aree carbonatiche è anch'esso permeabile per fratturazione e carsismo, anche se il grado di permeabilità e lo sviluppo del carsismo all'interno di ciascun complesso carbonatico varia d'intensità in relazione alla natura chimico-mineralogica del litotipo formazionale e alle condizioni di apertura delle discontinuità.

I Marmi e i Grezzoni sono rocce molto permeabili per fratturazione e carsismo, mentre il Calcare Selcifero ricco in silice, sotto forma di intestarti, moduli e lenti, è caratterizzato da un minor grado e da una permeabilità per fratturazione decrescente con la profondità, condizione che si genera per deposizione e accumulo dei prodotti di alterazione della roccia

all'interno della frattura. Lo sviluppo del carsismo, proprio per la diffusa presenza della silice rimane molto limitato agli strati calcarei e, generalmente, si manifesta sotto forma di forme carsiche epigee secondarie.

L'intensità e la distribuzione areale della deformazione rigida nei bacini Marmiferi Carraresi rappresenta la principale via d'infiltrazione delle acque meteoriche nel substrato; in quanto il locale fenomeno del carsismo si manifesta con forme minori, quali:

- 1) forme superficiali o epigee:
  - a) superfici morfologiche "rugose", causate da una differenziata dissoluzione della superficie morfologica e/o di frattura;
  - b) fratture interne al cappellaccio più o meno ampliate dal processo di dissoluzione;
  - c) piccoli inghiottitoi riempiti da "argille rosse residuali";
- 2) forme profonde o ipogee:
  - a) fratture "beanti" più o meno carsificate;
  - b) fratture più o meno riempite da "argille residuali";
  - c) superfici di frattura ricoperte da "spalmature" di argille rosse.

Dalla indagine condotta sui fronti interni al sito non si è riscontrata la presenza di forme carsiche epigee o ipogee di maggiore importanza quali: campi carreggiati, cavità carsiche, camini, grotte ed ecc., che influiscono notevolmente sulla circolazione sotterranea.

L'elevato grado di permeabilità per fratturazione posseduto dalla formazione marmifera, 70-75%, fa sì che la circolazione idrica sia essenzialmente di tipo sotterraneo, alimentata anche dalle acque meteoriche che si infiltrano all'interno dei ravaneti. Infatti, in questi accumuli, anche con intense piogge i deflussi superficiali sono assenti, l'elevata permeabilità e potenza dell'accumulo facilita l'infiltrazione delle acque che vi cadono.

## **9) CARATTERI GENERALI DEL SERBATOIO IDRICO CARRARESE**

Al contrario della struttura geologica che è costituita da una serie di pieghe isoclinali caratterizzate da differente estensione d'affioramento, il Serbatoio Idrico metamorfico è invece una struttura molto semplice, rappresentata da un "contenitore carbonatico", delimitato verso il basso, da un substrato di natura impermeabile su cui scorre una falda freatica profonda.

I serbatoi sotterranei apuani sono costituiti dallo spesso strato di formazioni carbonatiche ascrivibili ai: Calcari Selciferi, Marmi s.s., Marmi Dolomitici, Grezzoni e localmente Dolomie di Vinca, soprastanti all'impermeabile rappresentato essenzialmente dalle formazioni del basamento paleozoico: Filladi Inferiori, Porfiroidi-Scisti Porfirici ascrivibili e/o dell'Unità di Massa: Filladi Muscovitiche. Quest'ultima formazione svolge anche la funzione di "tampone idrogeologico" lungo il lato di SW della catena montuosa, contribuendo alla venuta a giorno di importanti sorgenti.

A grande scala, le acque si infiltrano nel "materasso permeabile" e tendono a percolare nel suo interno fino a raggiungere le zone profonde, dove poi scorrono lungo la discontinuità permeabile - impermeabile. Le direzioni di flusso sotterraneo coincidono all'incirca con le locali immersioni delle strutture geologiche principali.

Lungo il margine di SW della finestra tettonica, dove l'Unità di Massa si incunea tra il Metamorfico e la Falda Toscana, esistono importanti sorgenti idriche che vengono a giorno grazie all'effetto tampone svolto dalle formazioni impermeabili dell'Unità di Massa (Filladi s.l.); mentre lungo il margine settentrionale della catena le sorgenti idropotabili e termali di Equi vengono a giorno a causa del "tampone idrogeologico" rappresentato dalla Formazione del Macigno. In quest'area, la presenza della faglia collegata allo Sovrascorrimento Falda Toscana/Metamorfico fa sì che l'effetto drenante della struttura inneschi una rapida risalita delle acque sulfuree profonde con venuta a giorno delle stesse, limitando il rimescolamento con le acque soprastanti di falda di differente temperatura e chimismo.

I due "serbatoi idrici sotterranei" di Equi e di Carrara pur essendo in affioramento in continuità geologica attraverso le formazioni carbonatiche, le due strutture idrogeologiche sono separate dal nucleo filladico e impermeabile della Anticlinale di Vinca, alimentano due differenti e ben distanziate gruppi di sorgenti idriche. In ambedue i casi è l'immersione della struttura geologica il parametro che definisce principalmente la direzione di deflusso sotterranea.

Un caso di "cattura idrogeologica di serbatoio sotterraneo" è rappresentato dagli apporti sotterranei provenienti dall'area marmifera del Monte Sagro, apporti che alimentano il serbatoio idrico carrarese, pur rimanendo esterna al bacino imbrifero del Torrente Carrione.

La circolazione profonda all'interno dei Bacini Marmiferi carraresi trova conferma l'assenza di emergenze idriche nel suo interno, nonostante che abbia una estensione >10Kmq e variazioni altimetriche nel suo interno di circa 800m.

Le sorgenti alimentate da questo areale sono quelle di Torano e Canale, che trovano la loro ubicazione lungo il Contatto Tettonico Unità di Massa - Metamorfico Apuano; mentre la sorgente Cartaro di Massa trova la sua alimentazione nei Bacini di Colonnata e in parte di Fantiscritti. Il contatto tettonico funzionando da "Tampone idrogeologico", interrompe il deflusso e favorisce la venuta a giorno delle acque sotterranee, così da alimentare questi 3 gruppi di sorgenti.

#### **9a) Caratteristiche idrogeologiche del serbatoio idrico sotterraneo che sottende le sorgenti di costa**

Nella Carta Idrogeologica e Sezioni, Tavv. 12 e 13 in scala 1:2000, sono state censite le locali formazioni idrogeologiche, i cui affioramenti rappresentano solo una minima parte tra le formazioni permeabili delle Apuane.

In particolare, nell'area affiora la Formazione dei Marmi ed i depositi detritici artificiali o "Ravaneti".

Ne Bacino Industriale Torano in base alla tipologia e grado di permeabilità si possono distinguere le classi di permeabilità:

1<sup>a</sup> classe: Permeabilità primaria

a) litotipi permeabili per porosità

2<sup>a</sup> classe: Permeabilità secondaria o acquisita

a) rocce permeabili per fratturazione decrescente e sviluppo di limitati fenomeni carsici;

b) rocce permeabili per fratturazione crescente e sviluppo di fenomeni carsici;

3<sup>a</sup> classe: Impermeabili

a) rocce impermeabili o poco permeabili nei primi livelli superficiali.

### **9b) Rocce con permeabilità primaria o per porosità**

#### 9b1) Rocce incoerenti

➤ Depositi detritici artificiali Ppm1: 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 dell'accumulo. Il 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 faciliti 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 uguale o maggiore grado di permeabilità. L'assenza di una falda freatica interna al ravaneto è confermata dall'assenza di scaturigini lungo il suo piede, che altrimenti ci sarebbero se non esistesse l'effetto "drenante del substrato marmoreo". Tale deposito affiora nell'intorno della cava.

➤ Depositi detritici di falda Ppm2: sono 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 terrosa 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. Nell'area in esame non si riscontrano.

➤ Depositi e coperture eluvio-colluviali Ppb: sono depositi e/o coperture generalmente presenti nelle aree di affioramento del Calcere Selcifero, rimanendo 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 dipendendo dalla maggiore o minore diffusione dei prodotti di alterazione (limi, argille rosse ed ecc..).

Nell'interno del Bacino di Torano lo strato eluvio-colluviale assume maggiore diffusione e potenza lungo l'allineamento Pesaro-Piastra-Bettoli. Nell'area in esame non si riscontrano.

**10c) Rocce con permeabilità secondaria o acquisita,**  
**9b2) Rocce coerenti**

La permeabilità per fratturazione è tipica delle rocce coerenti, quella per carsismo si riscontra nelle rocce solubili, quali i carbonati e le dolomie. A questa classe appartengono:

**9b2a) Formazioni permeabili per fratturazione decrescente e limitati fenomeni carsici Psd:**

➤ Formazione dei Calcari Selciferi Metamorfici: dove l'infiltrazione all'interno del litotipo avviene prevalentemente per fratturazione, perché lo sviluppo dei fenomeni carsici è molto limitato a causa della composizione chimico-mineralogica ricca in silice, insolubile. La formazione è caratterizzata da una permeabilità decrescente con la profondità, le fratture tendono a chiudersi perché ostruite dall'accumulo dei prodotti limo-argillosi derivanti dal disfacimento e alterazione della roccia. Nel bacino Torano le inclusioni silicee hanno limitata diffusione e potenza, nonostante ciò lo sviluppo del carsismo è poco pronunciato per la presenza di uno strato eluvio-colluviale che ricopre in continuità il substrato, occludendo le fratture già a livello superficiale. La formazione possiede un medio-basso grado di permeabilità e nel bacino affiora lungo l'allineamento morfologico Pesaro-Piastra-Bettogli. Nell'area in esame la formazione non affiora.

**9b2b) Formazioni permeabili per fratturazione crescente e sviluppo di fenomeni carsici Psc:**

➤ Marmi, Marmi-Dolomitici, Grezzoni: i litotipi formazionali variano da un "calcare puro" (Marmi) a un "calcare dolomitico" (Marmi Dolomitici) a una "dolomia pura" Grezzoni. I litotipi sono caratterizzati da elevato grado di permeabilità per fratturazione, che tende, in determinate condizioni di pressione e temperatura delle acque, ad aumentare come conseguenza della dissoluzione della roccia. 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.

Le formazioni di questo tipo sono caratterizzate da un grado di permeabilità medio-alto. Nell'area d'indagine, tra le formazioni sopraelencate, affiora solo la Formazione dei Marmi in s.s..

### 9c) Rocce impermeabili

Alla classe appartengono le rocce le rocce silicee in s.l., che nonostante siano più o meno fratturate non sviluppano una circolazione idrica sotterranea, perché le fratture, quando sono fratture, sono occluse dai loro prodotti eluvio-colluviali. A Questa classe appartengono:

➤ Porfiroidi, Scisti Porfirici, Filladi Inferiori del Basamento Paleozoico; Filladi Muscovitiche dell'Unità di Massa e Scisti Sericitici del Metamorfico Apuano: tutte sono rocce di natura silicea con chimismo insolubile in acqua e che nonostante possano essere, anche localmente, molto fratturate sono di fatto rese impermeabili per ostruzione delle fratture dai prodotti di alterazione e disfacimento già in prossimità della superficie morfologica. Nell'area e nel suo intorno significativo la classe è rappresentata dagli Scisti Sericitici che affiorano in località Campocecina e dal substrato profondo della falda freatica, non affiorante.

### 10) PERMEABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN ESAME

La permeabilità di un ammasso roccioso è in funzione della intensità e delle caratteristiche di fratturazione ivi presenti, oltre che, per gli ammassi di natura calcarea, dello sviluppo del carsismo. Come è ovvio, la permeabilità risulterà maggiore in corrispondenza delle fratture che presentano maggior apertura e nelle aree cataclastiche, dove si ha una concentrazione della fratturazione (aree di finimento). Nel caso in esame, il carsismo è poco sviluppato, pertanto, per addivenire ad una valutazione del valore medio della permeabilità dell'ammasso, si utilizzeranno le caratteristiche geomeccaniche dello stesso (Tab. 1), inserendole i valori di spaziatura nella sottostante:

$$K_i = ge^3/12vb$$

dove:

$K_i$  = permeabilità del sistema iesimo;

$g$  = accelerazione di gravità (981 cm/sec<sup>2</sup>);

$e$  = apertura media del sistema iesimo (cm);

$v$  = viscosità cinematica H<sub>2</sub>O a T. di 20°C pari a 0.0101 cm<sup>2</sup>/sec;

$b$  = spaziatura media del sistema iesimo (cm);

che permette di stimare la permeabilità dei sistemi di discontinuità dell'ammasso roccioso riscontrati nei due cantieri interessati dal progetto.

| SISTEMA DI DISCONTINUITA' AS1+AS2 | COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' K in cm/sec | Tab. 1 Sulla base di questa stima si può asserire che l'ammasso costituente il nuovo cantiere Fossa del Lupo ha permeabilità secondaria di basso grado. |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| K1a                               | 0.011972                                  |                                                                                                                                                         |
| K2a                               | 6.15E-07                                  |                                                                                                                                                         |
| K3a                               | 0.000421                                  |                                                                                                                                                         |
| K4a                               | 0.023348                                  |                                                                                                                                                         |
| K5                                | 0.000735                                  |                                                                                                                                                         |
| K6                                | 0.011057                                  |                                                                                                                                                         |
| Kt Ammasso                        | 0.047533                                  |                                                                                                                                                         |

Di seguito vengono fatte alcune considerazioni che partecipano a ridurre il fenomeno dell'infiltrazione: le caratteristiche rilevate sono riferite ai fronti INDAGTI SIA estrattivi che morfologici, dove è presente un rilascio della roccia, quindi, all'interno dell'ammasso, dove non esiste questo fenomeno, la stessa frattura è sicuramente meno aperta (confinamento laterale).

Sulla base di quanto sopra esposto i piazzali di cantiere possono essere considerati aree impermeabili, dove viene recuperata l'acqua che vi scorre sopra ad eccezione di quella che si perde per evaporazione.

## **11) VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI**

Il problema della vulnerabilità degli acquiferi sulle Apuane è piuttosto rilevante, in quanto le aree carbonatiche e/o dolomitiche, proprio per le loro caratteristiche di elevata permeabilità primaria e/o acquisita, possono rappresentare aree di facile infiltrazione per inquinanti di varia natura.

Infatti, le fratture associate al carsismo, con particolare riferimento ai "condotti carsici", sono vie di potenziale e facile infiltrazione d'inquinanti all'interno degli ammassi rocciosi carbonatici. Il problema è particolarmente sentito nelle aree a vocazione estrattiva, dove l'attività svolta, se non organizzata, può essere fonte di potenziale inquinamento a causa della dispersione, anche fortuita, di oli minerali e idrocarburi sul terreno.

Quanto sopra esposto sono considerazioni generali connesse alle caratteristiche possedute da qualsiasi complesso carbonatico (Apuane, Carso, Montagnola Senese, Colli Berici ed ecc...), per cui ogni complesso carbonatico e/o dolomitico rappresenta una potenziale via d'infiltrazione d'inquinanti verso le falde acquifere.

Definito il concetto, riveste particolare importanza l'analisi geostrutturale della zona d'indagine, in quanto volta a definire le locali caratteristiche fisico-meccaniche possedute dall'ammasso roccioso.

L'area in esame, come del resto tutto il dominio carbonatico metamorfico delle Alpi Apuane, è classificata ad alta vulnerabilità (Range: valori sintacs 50-70 e 35-50) nella "Carta della Vulnerabilità degli acquiferi delle Alpi Apuane", Civita et alii 1991, il cui stralcio non in scala è la Fig. 3.

Al fine di contenere al minimo il rischio di inquinamento dell'acquifero sopra definito, la Società si impegna a intraprendere le medesime metodologie di gestione dei mezzi, del carburante e dell'olio minerale che ha messo in uso nella cava n.42Amministrazione, in particolare:

1. i mezzi saranno di manutenzione all'esterno della cava portandoli nella vicina officina della 3D Service della Piastra, distante circa 2.0Km,; per cui non vengono stoccati oli minerali vergini od esausti in cava. Nel caso che si esegua una manutenzione

straordinaria in cava gli olii vengono trasportati dalla 3D Service S.r.l. poco prima della manutenzione e la stessa provvede direttamente al loro smaltimento;

2. il deposito contenete il carburante è collocato all'interno di serbatoio con capacità >110%, collocato su basamento cementato, munito di pozzetto di raccolta sversamenti ascendentali e disoleatore;
3. tutte le tagliatrici operanti durante la fase di lavoro saranno delimitate da cordoli terrosi impermeabili atti a contenere le acque di lavorazione, impedendone la loro diffusione sui piazzali di cava;
4. la marmettola più grossolana, proveniente dai tagli della tagliatrice a catena, anche se poco utilizzata, è direttamente impalata nel sacco filtrante tenuto nelle adiacenze della macchina ed all'interno dell'area delimitata da cordoli;
5. la marmettola fine prodotta coi tagli a filo diamantato è pompata assieme alle acque di lavorazione all'interno dei sacchi filtranti dove è separata, così da poter riciclare l'acqua depurata avviando un ciclo chiuso di recupero delle stesse.

Per ulteriori dettagli inerenti alla gestione delle acque di lavorazione e delle acque meteoriche cadenti all'interno del sito, si rimanda al Progetto di Gestione delle Acque.

## **12) DETERMINAZIONE DELLE LINEE DI DEFLUSSO SOTTERRANEE**

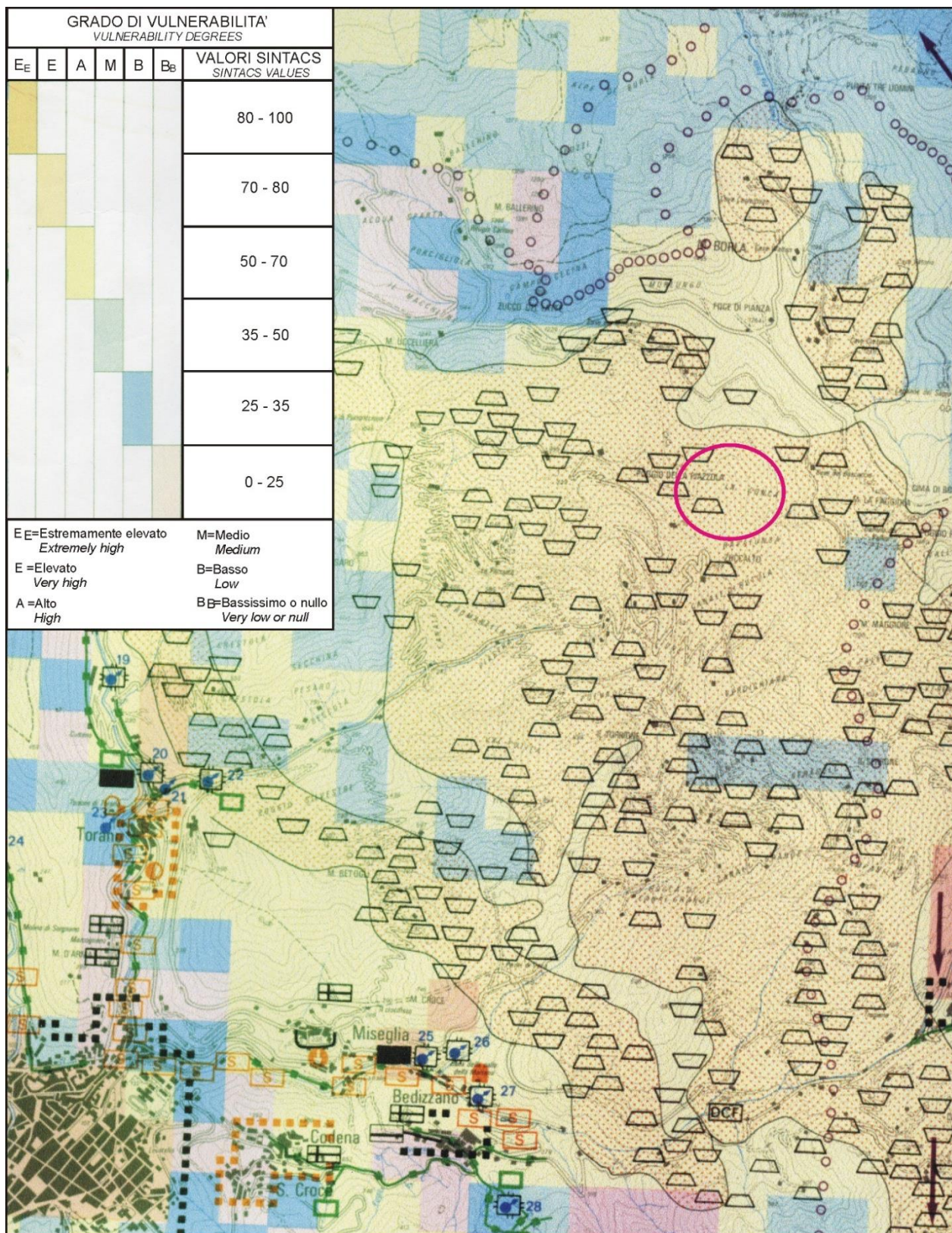
In una struttura geologica le direzioni di deflusso sotterraneo delle acque infiltratesi nel sottosuolo, generalmente, dipendono dalla struttura a grande scala, anche se l'andamento di quella locale può, almeno, inizialmente influenzarle, con particolare riferimento alla deformazione rigida.

Alla struttura geologica sono di fatto collegati i limiti idrogeologici, quindi il grado e la differenza di permeabilità tra le varie formazioni, andando a definire il substrato impermeabile su cui scorre la falda e, conseguentemente, l'andamento delle linee di deflusso sotterranee principali.

Le strutture locali, con particolare riferimento alla deformazione rigida, sono quelle che influenzano nel dettaglio l'infiltrazione ed i prime direzioni sotterranee del deflusso, potendo anche variare rispetto alla struttura a grande scala.

In linea di massima, l'infiltrazione delle acque all'interno di un ammasso roccioso carbonatico avviene tramite:

- le fratture beanti più o meno diffuse;
- le zone a maggior intensità di fatturazione, finimenti.
- i fenomeni carsici più o meno sviluppati quali "condotti carsici" e ecc...



**- CARTA DELLA VULNERABILITA' ALL'INQUINAMENTO  
DEGLI ACQUIFERI DELLE ALPI APUANE**  
 (M. CIVITA, P. FORTI, P. MARINI, M. MECCHERI, L. MICHELI, L. PICCINI, G. PRANZINI)  
**1:25000**



Ubicazione dell'area d'indagine

Fig. 3 Carta della Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi apuani

A grande scala la sequenza della struttura geologica, lungo la direttrice Carrara-Vinca, è rappresentata da una serie di pieghe isoclinali di fase "A<sub>2</sub>" quali:

|                      |                     |                     |                       |
|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 1) Sinforme Carrara  | 2) Antiforme Pianza | 3) Sinforme Vallini | 4) Antiforme M. Sagro |
| 5) Sinforme M. Sagro | 6) Antiforme Catino | 7) Sinforme Catino  | 8) Antiforme Vinca    |

con le strutture 1) 2) e 8) aventi estensione chilometrica, mentre le strutture 3), 4), 5) 6) e 7) arealmente alquanto modeste.

A questa complessa impalcatura geologica corrisponde una più semplice struttura idrogeologica, dove un vastissimo serbatoio carbonatico costituito dalle strutture comprese tra 1 e 7 poggia su un substrato impermeabile che affiora a nucleo della Antiforme Vinca. L'immersione di questa struttura fa sì che le acque contenute nel serbatoio sotterraneo defluiscano, seguendo il contatto permeabile/impermeabile, verso SW nel carrarese e verso S nel massese. Questa direzione di deflusso sotterraneo trova conferma nello: "Studio Idrogeologico Prototipale del Corpo Idrico Significativo dell'Acquifero Carbonatico delle Alpi Apuane, Monti d'Oltre Serchio e S. Maria del Giudice", pubblicato dalla Regione Toscana e redatto dal CGT dell'Università di Siena. Dall'analisi della "Carta delle aree di alimentazione dei Sistemi Idrogeologici - Corpo Idrico Sotterraneo Significativo delle Alpi Apuane" (Allegato 9a), il cui stralcio non in scala è la Fig. 4, si evince che l'area di progetto è interna al bacino di alimentazione delle Sorgenti di Carrara, bacino che travalica quello imbrifero, in quanto ingloba, tramite cattura idrogeologica, il bacino M. Sagro.

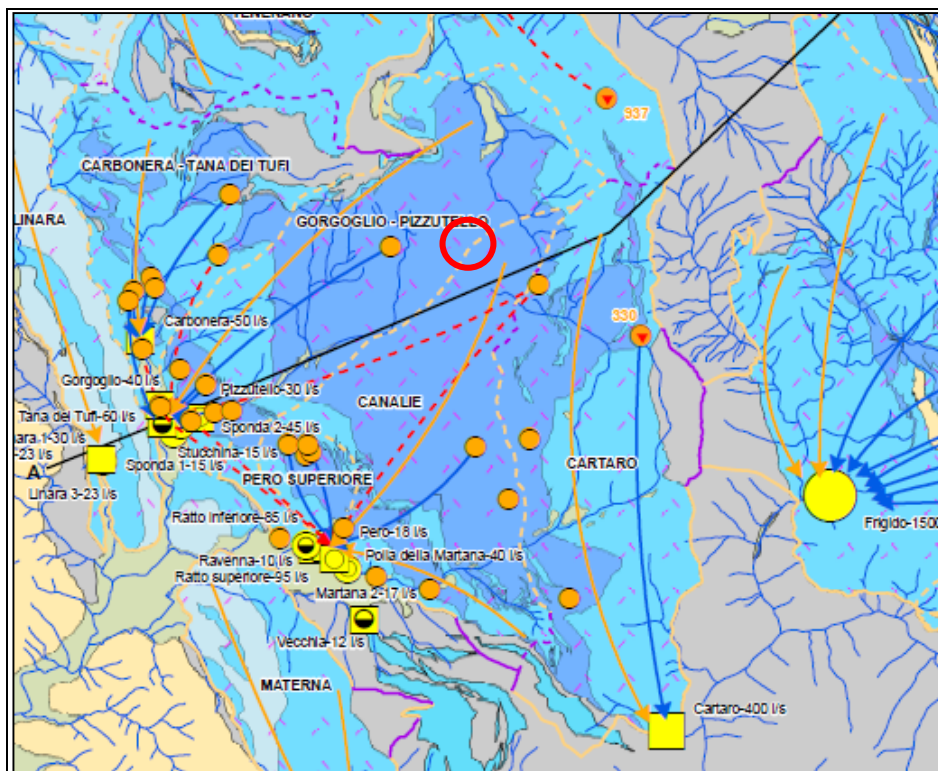


Fig. 4: Stralcio Carta delle aree di alimentazione dei Sistemi Idrogeologici - Corpo Idrico Sotterraneo Significativo delle Alpi Apuane. Allegato 9a, Tav. A dello Studio idrogeologico prototipale del corpo idrico significativo dell'acquifero carbonatico delle Alpi Apuane, Monti d'Oltre Serchio e S. Maria del Giudice della Regione Toscana

Ubicazione cava 42

In particolare si ha che le acque che si infiltrano all'interno del serbatoio idrogeologico carrarese penetrano in profondità e defluiscono sul livello impermeabile delle Filladi Inferiori del Basamento Paleozoico verso:

- SW scaturendo a giorno quando incontrano il "tampone idrogeologico" delle Filladi Muscovitiche dell'Unità di Massa, originando, lungo il contatto tettonico, le sorgenti di Torano e delle Canale, Fig. 4, in Comune di Carrara;
- S scaturendo a giorno quando incontrano il "tampone idrogeologico" rappresentato dal punto di contatto tra le Filladi dell'Unità di Massa e le Filladi Inferiori del Basamento Paleozoico costituente l'Anticlinale di Vinca, originando, nei pressi del contatto tettonico, la sorgente del Cartaro, Fig. 4, in Comune di Massa.

Le acque meteoriche che cadono sui piazzali di cava non si infiltrano nel substrato; in quanto raccolte attraverso vasche poste ai margini dei piazzali.

In considerazione delle osservazioni fatte in campagna e della loro elebarozione si può ritenere che non ci sarà infiltrazione attraverso i piazzali di cava. Un'ulteriore conferma della profondità della falda la si deduce dall'assenza di sorgenti e/o risorgive significative in località La Piastra, dove affiora il nucleo della Sinclinale di Carrara costituito dal Calcare Selcifero, caratterizzato da un minor grado di permeabilità rispetto alle formazioni dei Marmi S.S. e dei Grezzoni.

### **13) LOCALIZZAZIONE IDROGEOLOGICA CAVA N. 26 FOSSA DEL LUPO**

L'unità estrattiva, rimanendo sotto il profilo geologico-strutturale ubicata nella zona di flesso tra la Sinclinale Carrara e l'Anticlinale Pianza, quindi ben lontana dal nucleo semimpermeabile di Calcare Selcifero della è sinclinale, è sita nella parte centro-orientale del bacino idrogeologico carrarese, in zona esterna e molto lontana rispetto alle "Aree di tutela delle sorgenti e dei pozzi captati per uso potabile" e regolamentate all'Art. 27 PABE, zonazioni definite nella Cartografia di PABE: "F Disciplina\_dei\_suoli\_delle\_attività\_estrattive\_e\_degli\_insediamenti". A tal fine si allega lo stralcio del "Quadro Propositivo di dettaglio" della Scheda "all\_h\_num\_cava\_26\_Foosa del Lupo", a sua volta parte integrante dell'"Allegato\_A\_Schede\_Sintetiche\_H1", Fig. 5.

### **14) IL RETICOLO IDROGRAFICO LOCALE**

Nel complesso il reticolo idrografico locale rimane poco sviluppato, in quanto costituito da impluvi pressoché rettilinei, profondi e percorsi dalle acque solo durante significativi eventi piovosi. Questi caratteri stanno ad indicare una elevata erosione

di fondo e regressiva, unitamente ad un elevato grado di drenaggio del substrato. L'assenza di stabili deflussi superficiali è un ulteriore indizio della profondità della circolazione idrica sotterranea. Anche nel locale Fosso di Conca i deflussi sono sempre assenti, comparendo solo durante eccezionali eventi piovosi. Per quanto sopra asserito, si può affermare che la coltivazione della cava non altera l'andamento della falda e che tale condizione non subirà modifiche con i lavori di coltivazione come da progetto.

## 15) ORIENTAZIONE FRONTI

Si sottolinea che i fronti orientati N50° subverticale esposto SE e N101° subverticale esposto S, costituiscono la parte del sito ricadente nella zonazione, ampia 50.0m, di tutela prevista dal PABE per le ZPS e ZSC di Natura 2000, per cui non interessata dal progetto di coltivazione.

Infatti, nel progetto l'escavazione è stata programmata mantenendo i fronti orientati subparallelamente ai sistemi K1a e K4b, in subordine K3b che sono quelli più rappresentati all'N40° subverticale esposto SE e N 125° subverticali esposti SW; ambedue con altezza di circa 7.0m.

In considerazione della posizione morfologica all'interno di un dosso ben pronunciato e dell'esistenza della fascia di rispetto, le tecchie sono state ubicate e orientate come descritto nella sottostante tabella.

| CANTIERE<br>CIELO | STRUTTURA                    | STATO DI PROGETTO                       |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| FOSSA DEL LUPO    | FRONTI PRINCIPALI            | N040° subverticale SE – h=7.0m          |
|                   |                              | N125° subverticale. SW– h=7.0m          |
|                   | FRONTI SECONDARI             | N070° subverticale SSE– h=7.0m          |
|                   |                              | N124° subverticale SW– h=7.0m           |
|                   | TECCHIA versante orientale H | N020° subverticale esposto ENE– h=14.0m |
|                   |                              | N040° subverticale. SE– h=14.0m         |
|                   |                              | N080° subverticale. S– h=37.0m          |
|                   | TECCHIA versante orientale   | N124° subverticale SW h= 42.0m          |

Tab.2: Elenco della orientazione di fronti e delle tecchie allo stato di progetto nella Cava

La variazione dei valori di inclinazione posseduti dalle fratture dei vari sistemi rilevati, con particolare riferimento al sistema K3 del "contro", possono determinare, durante la coltivazione, un posizionamento del fronte diverso rispetto da quello previsto nel progetto.

Al tal fine, per ciascun sistema, si è cercato di calcolare quale potrebbe essere la variazione considerando una bancata alta 7.0m: K1a= 1.23; K1b= 0.98m; K2a= 1.23m; K2b= 2.27m K3a= 1.74m, K3b= 2,27m; K4a= 1.23m; K4b= 2.14m; K5 4.90m; K6= 10.46m.

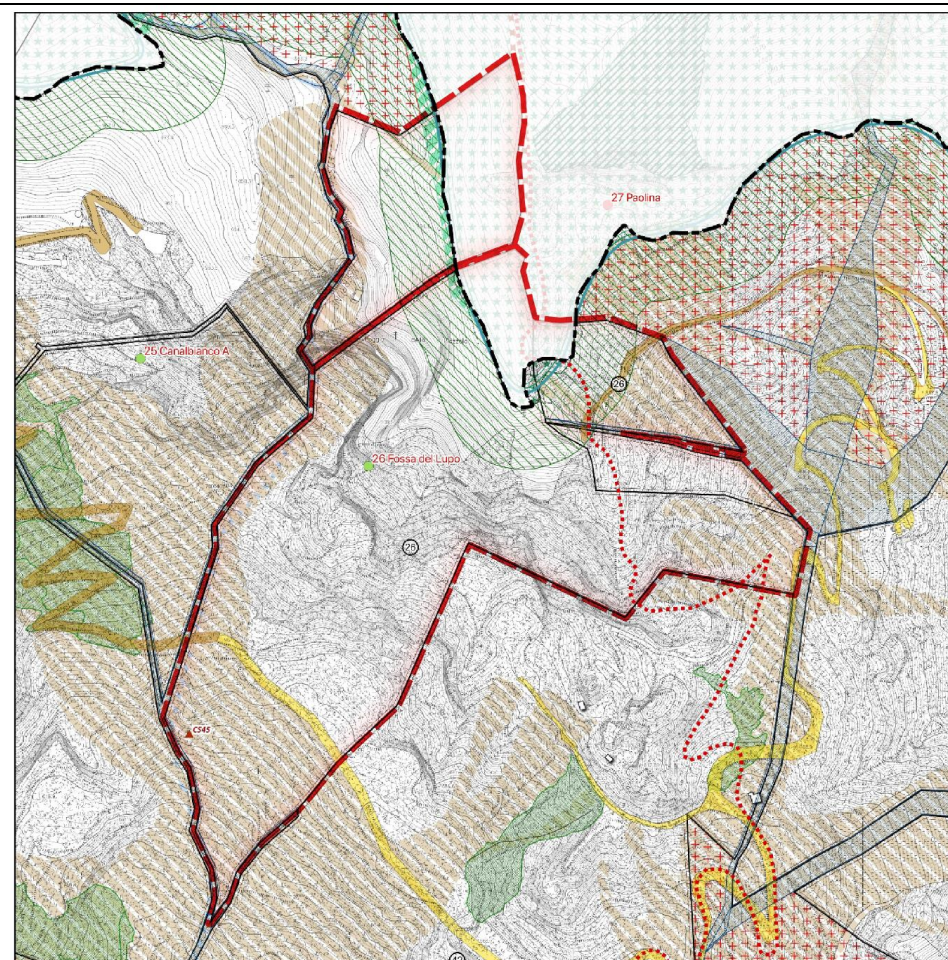


Fig. 5 Stralcio non in scala del “Quadro conoscitivo di dettaglio scheda cava n. 26 Fossa del Lupo.

## Legenda

Limiti amministrativi comunali

Perimetro Bacino Estrattivo

Localizzazione Cave e stato di attività (art.1 c.7)

CAVE ATTIVE

CAVE DISMESSE

SITI ESTRATTIVI DISMESSI

Aree in disponibilità

Fosse Demaniali

Aree di ricerca (art.33 c.1)

Zone di protezione speciale ZPS/ZSC (art.8 c.1,2)

Zona di tutela ZPS/ZSC (art.8 c.4)

Crinidi da tutelare (art.8 c.7 lett.c)

Aree di elevato valore conservazionistico (art.6 c.4)

Circo glaciale (art.6 c.3)

Morfotipo Dorsale Carbonatica DOC (art.33 c.4)

Aree di margine (art.33 c.2)

Emergenze geologiche (art.8 c.7 lett.a1)

Grotte (art.8 c.7 lett.a2)

Cave storiche (art.8 c.7 lett.b1)

invarianti strutturali Piano Strutturale

Antiche vie di lizza (art. 8 c.7 lett.b2)

Piani inclinati (art.8 c.7 lett. b2)

RET Senteristica C.A.I. (art. 8 c.7 lett. b5)

Tracciato ferrovia Marmifera (art.8 c.7 lett.b4)

in superficie

in galleria

Viabilità e Parcheggi (art.26)

Parcheggio

Strade di arroccamento comprensoriali

Strada di arroccamento singola cava

Viabilità pubblica

classificazione edifici (art.11)

Edifici privi di valore - c3a (art.15)

Edifici coerenti con il contesto - c2b (art.14)

Edifici di valore architettonico - c2a (art.13)

Edifici di valore storico-testimoniale - c1 (art.12)

+ Postazioni primo soccorso (art.25 c.1))

H Piazzole per soccorso elicotteri (art.25 c.2)

Disciplina dei suoli

Br - Zone residenziali esistenti (art.19)

Dc - Zone Espositive - Laboratori - Commerciali (art.20)

Fm - Zona Mercatale di progetto (art.22)

Di - Zone industriali/artigianali (art.21)

Fc - Zone per attività didattico/culturali (art.23)

As - Zone di interesse storico testimoniale (art.24)

Ravaneti soggetti a tutela (art.31)

R1 (art.31 c.3)

R2 (art.31 c.4)

Pericolosità geologica elevata e molto elevata (art.32)

Corsi d'acqua

Aree immagazzinamento idrico (art.30 c.2)

Masterplan sicurezza idraulica bacini a monte (art.30 c.3)

Sorgenti (art.8 c.7. lett.a3 - art. 27))

Tutela delle sorgenti e dei pozzi idrop.

A1 - zone di rispetto (art.27 c.2)

A2 - vulnerabilità elevata (art.27 c.3)

A3 - Vulnerabilità medio alta (art.27 c.4,5,6)

A4 - Vulnerabilità media (art.27 c.7)

SCHEDA 10

## 16) RILEVO STRUTTURALE

Il rilievo geologico-strutturale ha evidenziato nel cantiere la presenza di alcuni settori con differenti caratteristiche, elemento dominante per la definizione delle "zone di omogeneità" è stato il parametro "spaziatura" tra le discontinuità. Sulla base di questo parametro sono state distinte 3 classi di omogeneità, anche se la prima e la seconda hanno caratteristiche molto simili:

- ❑ **"FINIMENTI"**: vi è ascritta la fascia cataclastica presente nel cantiere inferiore. In questa la spaziatura tra le discontinuità è decimetrica, la loro posizione è indicata nella Carta della Fratturazione, Tav. 14 in scala 1:500.
- ❑ **"CAPPELLACCIO"**: vi è ascritto lo strato roccioso prossimo alla superficie morfologica che ricopre in discontinuità il cantiere superiore. La spaziatura tra le discontinuità è molto ridotta, variando da centimetrica a poco più che decimetrica. Lo strato ha potenza massima, circa 5-6 m nelle tecchie laterali del cantiere, per azzerarsi nella parte di tecchia centrale. L'ubicazione, con opportuno segno grafico, è riportata nella Tav. 14 in scala 1:500.
- ❑ **"AREA ESTRATTIVA"**: rappresenta la parte rimanente ed è caratterizzata da una spaziatura prossima al metro e superiore, valori che definiscono volumi rocciosi con buone volumetrie.

Nella Carta della Fratturazione Tav. 14, è indicata la posizione degli stendimenti eseguiti.

### 16.1 Elaborazione dei dati raccolti

Le fratture rilevate sono state caratterizzate attraverso il metodo normalizzato elaborato dall'I.S.R.M. (International Society of Rocks Mechanics, 1978), nonché elaborate con l'ausilio del programma Dips della Rocscience® al fine di definire le famiglie di discontinuità ed i loro piani rappresentativi nonché di trattare dal punto di vista statistico le relative caratteristiche fisico-meccaniche.

Allo scopo di evidenziare la giacitura preferenziale delle discontinuità rilevate nell'area si riportano di seguito le proiezioni su reticolo polare di Wulf dei poli delle discontinuità, Fig. 6, dei massimi in frequenza Fig. 7, delle rose di frequenza, Fig. 8 e delle proiezioni equatoriali dei piani rappresentativi, Fig. 9, oltre che la Tab. 3 dei ranges di immersione ed inclinazione e la Tab. 4 dei parametri fisico meccanici caratterizzanti l'ammasso roccioso.

Le proiezioni stereografiche, confermando le osservazioni dei rilievi geologico-strutturali di dettaglio, hanno evidenziato la presenza di 4 sistemi di discontinuità principali, non tutti della stessa importanza statistica, e 3 secondari, anche se il sistema K7 nel sito è rappresentato solo da n° 7 fratture su un totale di 519.

L'esiguo numero delle discontinuità ascrivibili al sistema non ha permesso un trattamento statistico delle stesse.

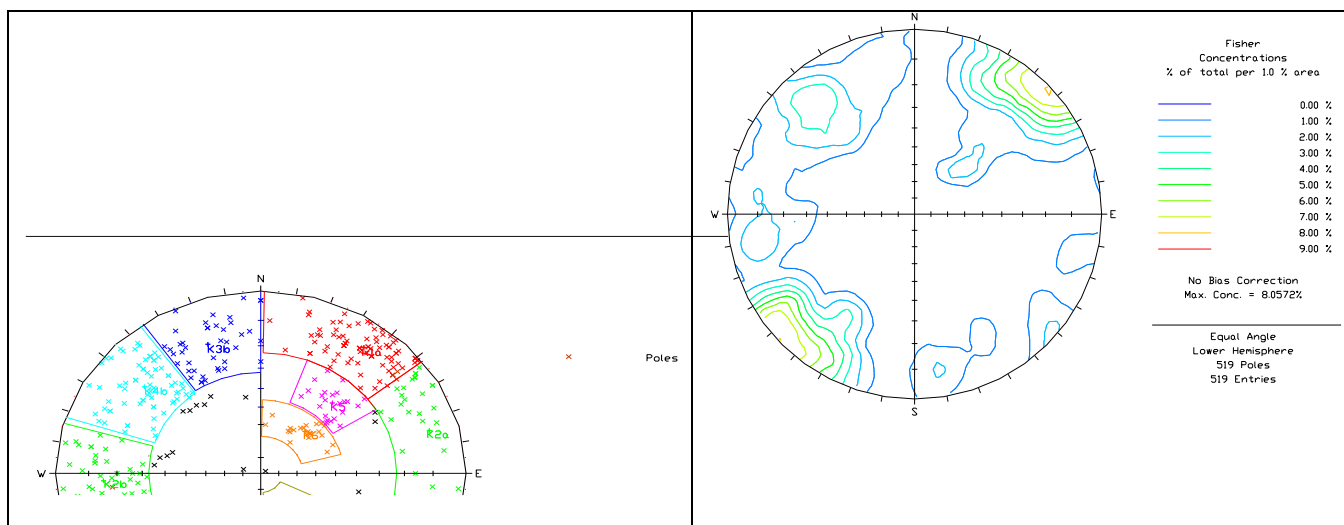


Fig. 6: Proiezione polare su diagramma di Wulff dei poli delle discontinuità rilevate nel sito.

Fig. 7: Definizione dei massimi di frequenza su diagramma di Wulff dei poli delle discontinuità rilevate nel sito.

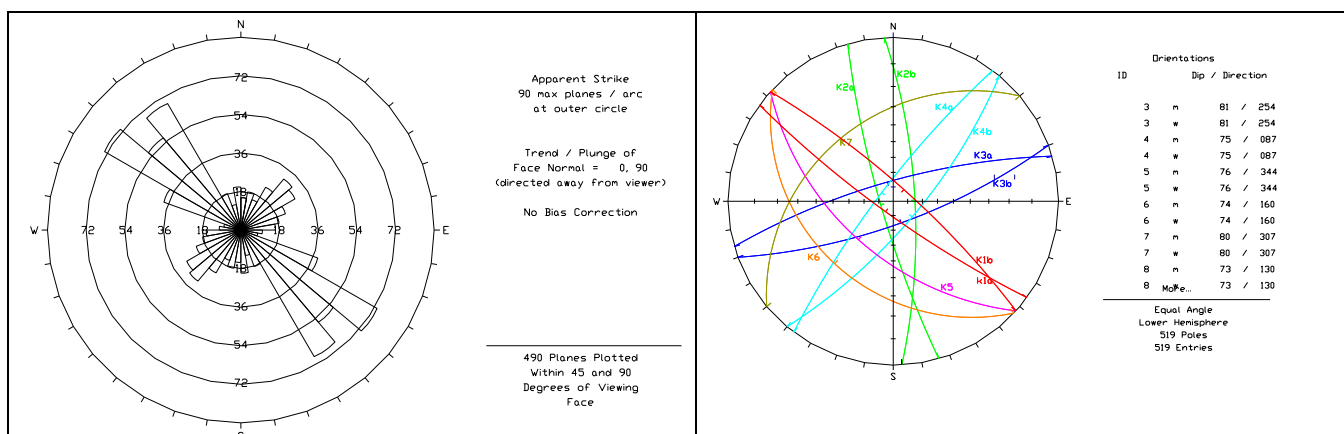


Fig. 8: Diagramma a rose su reticolo polare di Wulff della frequenza dei sistemi di discontinuità rilevati nel sito.

Fig. 9: Proiezione equatoriale su reticolo di Wulff dei piani rappresentativi dei sistemi di discontinuità riconosciuti nel sito.

| Sistema                      | K1      |       | K2      |        | K3      |         | K4      |         | K5      | K6      | K7      |
|------------------------------|---------|-------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                              | K1a     | K1b   | K2a     | K2b    | K3a     | K3b     | K4a     | K4b     |         |         |         |
| <b>Ranges Immersione</b>     | 181-232 | 6-66  | 230-292 | 72-106 | 321-360 | 145-180 | 295-316 | 108-144 | 200-238 | 181-225 | 296-354 |
| <b>Ranges Inclinazione</b>   | 67-90   | 66-90 | 66-90   | 58-90  | 61-90   | 58-90   | 63-90   | 57-90   | 45-67   | 23-44   | 12-48   |
| <b>Piano Rappresentativo</b> | 215-80  | 46-82 | 253-80  | 89-72  | 344-76  | 161-72  | 306-80  | 130-73  | 224-55  | 221-34  | 320-37  |

Tab. 3: Range e Piano Rappresentativo dei sistemi rilevati nel cantiere

| SISTEMA             |                                                                               | disperse | K1                                                         | K2                                                         | K3                                                         | K4                                                     | K5                                               | K6                                                        |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| peso fratture       |                                                                               | 3.66%    | 42.0%                                                      | 15.22%                                                     | 13.49%                                                     | 15.80%                                                 | 4.43%                                            | 4.24%                                                     |
| PERSISTENZA<br>tipo | non pers.<br>subpers.<br>pers.                                                |          | 17.10 %<br>13.67%<br>69.23%                                | 15.38 %<br>15.39 %<br>69.23 %                              | 24.24 %<br>3.03 %<br>72.73 %                               | 18.18 %<br>21.21 %<br>60.61 %                          | 40.0 %<br>20.0 %<br>40.0 %                       | 66.67 %<br>8.33 %<br>25.00 %                              |
| PERSISTENZA<br>m    | min<br>media modale o media<br>max                                            |          | 0.2<br>17.22<br>20                                         | 0.4<br>14.56<br>20                                         | 1<br>10.04<br>20                                           | 0.20<br>10.90<br>20                                    | 1.15<br>1.06<br>43                               | 1.42<br>2.04<br>20                                        |
| PERSISTENZA<br>m    | 0-1<br>1-3<br>3-10<br>10-20<br>>20                                            |          | 6.60 %<br>25.60 %<br>35.65 %<br>15.65 %<br>1.74 %          | 9.52 %<br>19.05 %<br>61.90 %<br>/<br>9.52 %                | 16.13 %<br>6.45 %<br>9.68 %<br>41.94 %<br>25.81 %          | 41.38 %<br>3.45 %<br>34.48 %<br>13.79 %<br>6.901 %     | 50.0 %<br>/<br>12.50 %<br>37.50 %<br>/           | /<br>27.27 %<br>9.09 %<br>18.18 %<br>45.45 %              |
| SPAZIATURA<br>cm    | 0-2<br>2-6<br>6-20<br>20-60<br>60-200<br>200-600<br>>600                      |          | /<br>/<br>29.82%<br>43.85%<br>22.81%<br>3.51%<br>/         | /<br>/<br>15.79%<br>26.32%<br>26.32%<br>15.79%<br>15.79%   | /<br>/<br>/<br>18.18%<br>72.73%<br>/<br>9.09%              | /<br>/<br>9.09%<br>40.91%<br>22.73%<br>22.73%<br>4.55% | /<br>/<br>20.0%<br>20.0%<br>20.0%<br>40.0%<br>/  | /<br>/<br>16.67%<br>16.67%<br>33.33%<br>33.33%<br>/       |
| SPAZIATURA<br>cm    | min<br>media modale<br>max                                                    |          | 10.56<br>90.20<br>420                                      | 13.12<br>186.18<br>979.83                                  | 45.98<br>96.83<br>848.73                                   | 9.99<br>119.07<br>770                                  | 15.10<br>251.73<br>430                           | 6.56<br>136.38<br>280                                     |
| SCABREZZA<br>tipo   | I<br>II<br>III<br>IV<br>V<br>VI<br>VII<br>VIII                                |          | /<br>2.56 %<br>/<br>/<br>64.96 %<br>/<br>/<br>32.48 %      | /<br>3.85 %<br>/<br>/<br>88.46 %<br>/<br>/<br>7.69 %       | /<br>6.06%<br>/<br>/<br>63.44%<br>/<br>/<br>30.30 %        | /<br>/<br>/<br>/<br>33.3%<br>/<br>/<br>66.7%           | /<br>/<br>/<br>/<br>100.0 %<br>/<br>/<br>/       | /<br>/<br>/<br>/<br>91.67 %<br>/<br>/<br>8.33 %           |
| APERTURA<br>mm      | 0.0-0.5<br>0.5-2.5<br>2.5-10<br>>10                                           |          | 81.90 %<br>3.45 %<br>10.34 %<br>4.31 %                     | 80.00 %<br>4.00 %<br>12.00 %<br>4.00 %                     | 90.63 %<br>/<br>9.38 %<br>/                                | 68.75 %<br>9.38 %<br>21.88 %<br>/                      | 75.00 %<br>/<br>25.00 %<br>/                     | 62.50 %<br>/<br>37.50%<br>/                               |
| APERTURA<br>mm      | min<br>med. modale<br>max                                                     |          | 0<br>1.47<br>50                                            | 0<br>0.65<br>20                                            | 0<br>0.33<br>10                                            | 0<br>1.20<br>5                                         | 0<br>0.83<br>5                                   | 0<br>1.67<br>5                                            |
| ALTERAZIONE         | non alterata<br>pars. carsificata<br>patina ox                                |          | 94.87 %<br>0.86%<br>4.27%                                  | 96.15 %<br>/<br>3.85%                                      | 100.0 %<br>/<br>/                                          | 87.88 %<br>/<br>12.12                                  | 100.0 %<br>/<br>/                                | 91.67 %<br>8.33%<br>/                                     |
| RIEMPIMENTO         | assente<br>argilla<br>terra + sassi<br>arg. + calc. o cars.                   |          | 93.15 %<br>5.13 %<br>0.86 %<br>0.86 %                      | 100.00 %<br>/<br>/<br>/                                    | 100.00 %<br>/<br>/<br>/                                    | 90.91 %<br>9.09 %<br>/<br>/                            | 100.0 %<br>/<br>/<br>/                           | 100.0%<br>/<br>/<br>/                                     |
| ACQUA               | assente<br>umidità<br>stillicidio                                             |          | 100.0 %<br>/<br>/                                          | 100.0%<br>/<br>/                                           | 100.0 %<br>/<br>/                                          | 100.0 %<br>/<br>/                                      | 100.0 %<br>/<br>/                                | 100.0%<br>/<br>/                                          |
| JRC                 | 0-2<br>2-4<br>4-6<br>6-8<br>8-10<br>10-12<br>12-14<br>14-16<br>16-18<br>18-20 |          | /<br>/<br>/<br>89.74 %<br>10.26 %<br>/<br>/<br>/<br>/<br>/ | /<br>/<br>/<br>88.46 %<br>11.54 %<br>/<br>/<br>/<br>/<br>/ | /<br>/<br>/<br>84.85 %<br>15.15 %<br>/<br>/<br>/<br>/<br>/ | /<br>/<br>/<br>100.00 %<br>/<br>/<br>/<br>/<br>/       | /<br>/<br>/<br>100.00 %<br>/<br>/<br>/<br>/<br>/ | /<br>/<br>/<br>75.00%<br>25.00 %<br>/<br>/<br>/<br>/<br>/ |

Tab. 4: Tabella dei parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità riconosciuti nel sito.

### **SISTEMA K1**

Rappresenta circa il 42% delle discontinuità rilevate, ha forma prevalentemente ondulata (V-64.96%) anche se ben rappresentata la forma "piana" (32.48%). Le fratture sono ascrivibili per il 69.23% alla tipologia "persistenti", con valori di persistenza media di circa 17.22 m, apertura ascrivibile per 82% alla classe "chiusa". Le discontinuità hanno valori del JRC nell'intervallo 6-8 per l'89.74% dei casi; l'alterazione è per il 94.87% assente, come lo è il riempimento per il 93.15%.

I valori di spaziatura sono decimetrico-centimetrici nelle zone di finimento e circa metrici nel resto del giacimento.

#### **SISTEMA K2**

Rappresenta circa il 15% delle misure effettuate; le discontinuità sono per oltre il 69% di tipo "persistenti", con persistenza media di circa 14.56 m. La spaziatura è prossima o superiore al metro nelle aree in coltivazione, riducendosi a valori decimetrici in corrispondenza delle aree cataclastiche. L'apertura è generalmente per l'80% di tipo "chiuso" e per il 12% di tipo "larga", l'acqua è assente e la forma è per l'88% ascrivibile alla classe "ondulata". Il JRC è per oltre l'88.46% ascrivibile alla classe 6-8.

#### **SISTEMA K3**

Caratterizzato da persistenza media di 10 m, per oltre il 72% è ascrivibile alla classe "persistente". Rappresenta circa il 13.5% delle discontinuità rilevate. La forma per il 86.3% è di tipo "ondulata" e per il 30.30% "piana"; il valore di spaziatura media modale è circa metrico, l'apertura per il 90% ascrivibile al di tipo "chiuso", riempimento, alterazione e acqua assenti. Il JRC è per l'84.85% ascrivibile alla classe 6-8, per il rimanente 15.15% alla classe 8-10.

#### **SISTEMA K4**

Rappresenta l'15.80% delle misure rilevate. Il 60.61% delle discontinuità è di tipo "persistente" con valore medio di 10.90 m, la spaziatura media modale è 11.91 sebbene si riduca al decimetro nelle aree di finimento. La forma è per oltre l'66.7% di tipo "piano" e per il rimanente 33.3% "ondulato". Il JRC è per il 100% ascrivibile alla classe 6-8; l'apertura per il 68.75% è di tipo "chiuso" e per il 21.88% del tipo "larga", l'acqua così come alterazione sono assenti, mentre il 9.90% è presente argilla come riempimento.

#### **SISTEMA K5**

E' rappresentato dal 4.43% delle discontinuità rilevate in sito, dove il 40% delle discontinuità sono di tipo "non persistente" ed il 20% ascrivibili alla classe "sub persistente", con persistenza media di circa 1.06 m. La spaziatura media modale è di 1.51 m, l'apertura è per quasi il 100% di tipo "chiuso", la scabrezza a grande scala è per la totalità di tipo "ondulato". Il JRC è ascrivibile totalmente all'intervallo 6-8, sono assenti alterazioni, riempimento e acqua.

#### **SISTEMA K6**

E' rappresentato dal 4.24% delle discontinuità ascritte, dove il 66.67% sono del tipo "non persistente", con valore però di persistenza media di 2.04 m. La scabrezza a grande scala è per l'91.67% di tipo ondulato (V). L'apertura è chiusa nel 100% dei casi; il riempimento è assente così come l'acqua nel 100% dei casi. Le discontinuità sono alterate per il 91.67% e per l'8.33% carsificate.

Il JRC ricade per oltre il 75.0% delle discontinuità nella classe 6-8 e per il 25.5% nella classe 8-10.

#### **SISTEMA K7**

Pur riconoscendo il sistema nelle proiezioni stereografiche, il limitato numero delle fratture ascrivibili allo stesso ( $n=7$ ) e la loro distribuzione distribuita all'interno degli stendimenti e delle stazioni puntuali di misura non ha permesso una elaborazione statistica delle stesse.

#### **17) CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO**

Sulla base dei dati geostrutturali rilevati nei cantieri, sono stati applicati i metodi di Bieniawski (1989) e del GSI (Geological Strenght Index - Hoek & Brown, 2002), al fine di classificare l'ammasso roccioso.

Si ricorda che gli stendimenti e le stazioni puntuali di misura sono stati eseguiti su fronti attivi, residui e su aree vergini che saranno interessate dalla coltivazione, individuati precedentemente e rappresentanti le condizioni medie geostrutturali del deposito, in coerenza con quanto riportato nella letteratura specifica.

##### **17a) Classificazione di Bieniawski (indice RMR, 1989)**

Sulla base del rilievo strutturale è stato possibile giungere ad una classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, secondo il metodo di Bieniawski (indice RMR). I parametri utilizzati per la classificazione dipendono dai caratteri dell'ammasso roccioso:

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

|   | PARAMETRO                            | Valori riscontrati         | INDICE RMR    | Note                                                            |
|---|--------------------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1 | RESISTENZA<br>ROCCIA                 | 1000÷2500<br>Kg/cmq        | 10            | Valore stimato con tabelle<br>versione 1989                     |
| 2 | RQD                                  | 75÷90%                     | 15            | Situazione Cautelativa                                          |
| 3 | SPAZIATURE<br>GIUNTI                 |                            | Vedi<br>Tab.5 | Il range è riferito ai valori medi<br>di spaziatura dei sistemi |
| 4 | CONDIZIONE DEI<br>GIUNTI             |                            | Vedi<br>Tab.5 | Il range è riferito ai valori dei<br>sistemi persistenti        |
| 5 | CONDIZIONI<br>IDRAULICHE             |                            | Vedi<br>Tab.5 | Circolazione assente                                            |
|   |                                      | Totale somma<br>voci 3-4-5 | 44            | Risultato elaborazione Tab.5                                    |
|   |                                      | <b>Totale BRMR</b>         | <b>69</b>     |                                                                 |
|   | CORREZIONE<br>ORIENTAZIONE<br>GIUNTI |                            | -11           | Risultato elaborazione Tab. 6                                   |
|   | <b>RMR</b>                           | <b>Totale</b>              | <b>58</b>     |                                                                 |

Tabella 7: Valore di BMR: assegnazione dei parametri di BIENIAWSKI, 1989.

| <b>Tab. 5 - VALUTAZIONE PARAMETRI DI BIENIAWSKI PESATI</b><br><b>Condizioni delle discontinuità nel sito</b> |                    |                    |               |                      |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|----------------------|---------------|
| <b>FAMIGLIA</b>                                                                                              | <b>PARAMETRI</b>   | <b>DESCRIZIONE</b> | <b>VALORE</b> | <b>PESO SISTEMA</b>  | <b>VALORE</b> |
|                                                                                                              | <b>Persistenza</b> | 10-20 m            | 1             | 0,42                 | 0,42          |
|                                                                                                              | <b>Apertura</b>    | 1÷5 mm             | 1             | 0,42                 | 0,42          |
| <b>K1</b>                                                                                                    | <b>JRC</b>         | 6-8                | 1             | 0,42                 | 0,42          |
|                                                                                                              | <b>Riempimento</b> | assente            | 6             | 0,42                 | 2,52          |
|                                                                                                              | <b>Alterazione</b> | assente            | 6             | 0,42                 | 2,52          |
|                                                                                                              | <b>H2O</b>         | assente            | 15            | 0,42                 | 6,30          |
|                                                                                                              | <b>Spaziatura</b>  | 0,90 m             | 14            | 0,42                 | 5,88          |
|                                                                                                              |                    |                    |               | <b>Totale Pesato</b> | <b>18,48</b>  |
|                                                                                                              | <b>Persistenza</b> | 10-20 m            | 1             | 0,15                 | 0,15          |
|                                                                                                              | <b>Apertura</b>    | 0,1÷1 mm           | 4             | 0,15                 | 0,60          |
| <b>K2</b>                                                                                                    | <b>JRC</b>         | 6-8                | 1             | 0,15                 | 0,15          |
|                                                                                                              | <b>Riempimento</b> | assente            | 6             | 0,15                 | 0,90          |
|                                                                                                              | <b>Alterazione</b> | assente            | 6             | 0,15                 | 0,90          |
|                                                                                                              | <b>H2O</b>         | assente            | 15            | 0,15                 | 2,25          |
|                                                                                                              | <b>Spaziatura</b>  | 1,86 m             | 19            | 0,15                 | 2,85          |
|                                                                                                              |                    |                    |               | <b>Totale Pesato</b> | <b>7,80</b>   |
|                                                                                                              | <b>Persistenza</b> | 10-20 m            | 1             | 0,135                | 0,135         |
|                                                                                                              | <b>Apertura</b>    | 0,1÷1 mm           | 4             | 0,135                | 0,540         |
| <b>K3</b>                                                                                                    | <b>JRC</b>         | 6-8                | 1             | 0,135                | 0,135         |
|                                                                                                              | <b>Riempimento</b> | assente            | 6             | 0,135                | 0,81          |
|                                                                                                              | <b>Alterazione</b> | assente            | 6             | 0,135                | 0,81          |
|                                                                                                              | <b>H2O</b>         | assente            | 15            | 0,135                | 2,05          |
|                                                                                                              | <b>Spaziatura</b>  | 0,97 m             | 14            | 0,135                | 1,89          |
|                                                                                                              |                    |                    |               | <b>Totale Pesato</b> | <b>6,37</b>   |
|                                                                                                              | <b>Persistenza</b> | 10-20 m            | 1             | 0,158                | 0,16          |
|                                                                                                              | <b>Apertura</b>    | 1÷5 mm             | 1             | 0,158                | 0,16          |
| <b>K4</b>                                                                                                    | <b>JRC</b>         | 6-8                | 1             | 0,158                | 0,16          |
|                                                                                                              | <b>Riempimento</b> | assente            | 6             | 0,158                | 0,95          |
|                                                                                                              | <b>Alterazione</b> | assente            | 6             | 0,158                | 0,95          |
|                                                                                                              | <b>H2O</b>         | assente            | 15            | 0,158                | 2,37          |
|                                                                                                              | <b>Spaziatura</b>  | 1,19 m             | 16            | 0,158                | 2,53          |
|                                                                                                              |                    |                    |               | <b>Totale Pesato</b> | <b>7,28</b>   |
|                                                                                                              | <b>Persistenza</b> | 1-3 m              | 4             | 0,04                 | 0,16          |
|                                                                                                              | <b>Apertura</b>    | 0,1÷1 mm           | 4             | 0,04                 | 0,16          |
| <b>K5</b>                                                                                                    | <b>JRC</b>         | 6-8                | 1             | 0,04                 | 0,04          |
|                                                                                                              | <b>Riempimento</b> | assente            | 6             | 0,04                 | 0,24          |
|                                                                                                              | <b>Alterazione</b> | assente            | 6             | 0,04                 | 0,24          |
|                                                                                                              | <b>H2O</b>         | assente            | 15            | 0,04                 | 0,60          |
|                                                                                                              | <b>Spaziatura</b>  | 1,52 m             | 18            | 0,04                 | 0,72          |
|                                                                                                              |                    |                    |               | <b>Totale Pesato</b> | <b>2,16</b>   |
|                                                                                                              | <b>Persistenza</b> | 1-3 m              | 4             | 0,04                 | 0,16          |
|                                                                                                              | <b>Apertura</b>    | 1÷5 mm             | 1             | 0,04                 | 0,04          |
| <b>K6</b>                                                                                                    | <b>JRC</b>         | 6-8                | 1             | 0,04                 | 0,04          |
|                                                                                                              | <b>Riempimento</b> | assente            | 6             | 0,04                 | 0,24          |
|                                                                                                              | <b>Alterazione</b> | assente            | 6             | 0,04                 | 0,24          |
|                                                                                                              | <b>H2O</b>         | assente            | 15            | 0,04                 | 0,60          |
|                                                                                                              | <b>Spaziatura</b>  | 1,36 m             | 16            | 0,04                 | 0,64          |
|                                                                                                              |                    |                    |               | <b>Totale Pesato</b> | <b>1,96</b>   |
| <b>Rating Totale Pesato</b>                                                                                  |                    | <b>44.05</b>       |               |                      |               |

### 17b) Correzione

La correzione tiene in considerazione l'angolo compreso tra i fronti di avanzamento o i contorni residui (attuali e di progetto) ed il piano rappresentativo dei sistemi di discontinuità, visti in precedenza.

Per valutare la diversa influenza che l'orientazione dei fronti di coltivazione hanno sul comportamento dell'ammasso roccioso, si è scelto di determinare un valore di correzione così da determinare il valore finale RMR:

In funzione dell'angolo compreso tra fronte di coltivazione (residuo, attivo o futuro) e 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 (1985).

| Tab. 6 Valore correttivo (Romana, 1985 Bieniawski, 1989) Orientamento fronti-fratture |        |         |         |         |       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|-------|------------|
| FAMIGLIA                                                                              | PESO   | FR1     | FR2     | FR3     | FR4   | Fattore di |
|                                                                                       | SIST.  | N40°0SE | N125°SW | N71°SSE | N83°S | Correzione |
| K1                                                                                    | 0,4200 | 0       | -25     | 0       | 0     | -10.50     |
| K2                                                                                    | 0,1522 | 0       | -5      | 0       | 0     | 0.00       |
| K3                                                                                    | 0,1349 | 0       | 0       | 0       | 0     | 0.00       |
| K4                                                                                    | 0,1580 | 0       | 0       | 0       | 0     | 0.00       |
| K5                                                                                    | 0,0443 | 0       | -6      | 0       | 0     | -0.27      |
| K6                                                                                    | 0,0424 | 0       | -6      | 0       | 0     | -0.25      |
| Totale correzione                                                                     |        |         |         |         |       | -11.02     |

### 17c) Indice BRMR e RMR

I dati ottenuti dagli stendimenti sono stati tutti raggruppati al fine di migliorarne la trattazione statistica e per il cantiere è stato definito il rispettivo bRMR in relazione alle reali condizioni geostrukturali rilevati.

Per il cantiere è stato definito un indice bRMR= 69, che farebbe ricadere l'ammasso all'interno della classe "II o BUONA"; la successiva correzione di Romana ha prodotto un indice correttivo=-11.02, riducendo il valore RMR=58, con conseguente declassamento del dominio strutturale del cantiere in classe "III o MEDIOCRE" (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.8**).

| N = $\Sigma$ ni                       | 0-21               | 21-40                                                    | 41-60               | 61-80                                                      | 81-100                       |
|---------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------|
| CLASSE                                | V                  | IV                                                       | III                 | II                                                         | I                            |
| QUALITA' DELLO AMMASSO                | molto scadente     | scadente                                                 | discreta            | buona                                                      | ottima                       |
| c Kg/cm <sup>2</sup>                  | >1                 | 1.0-2.0                                                  | 2.0-3.0             | 3.0-4.0                                                    | >4.0                         |
| $\phi$                                | <15°               | 15°-25°                                                  | 25°-35°             | 35°-45°                                                    | >45°                         |
| GIUDIZIO SULLE DIFFICOLTÀ DELLO SCAVO | nessuna difficoltà | può essere scavato facilmente<br>frammentazione notevole | discrete difficoltà | si cava con difficoltà<br>frammenti di notevoli dimensioni | notevoli difficoltà di scavo |
| T                                     | 30 min             | 10 ore                                                   | 7 giorni            | 1 anno                                                     | 20 anni                      |
| L                                     | 1 m                | 2.5 m                                                    | 5 m                 | 10 m                                                       | 15 m                         |

Tab. 8: Parametri di classificazione degli ammassi rocciosi (After Bieniawski, 1989).

Carrara 19.06.2025

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

Sig. Franco BARATTINI

IL GEOLOGO

Dott. Fiorenzo Dumas

