Studio di Geologia-Tecnica
Dott. Fiorenzo Dumas
Via Codena 2
54033 – Carrara
Tel. 0585/776919
Fax 0585/841969
fiorenzodumas@virgilio.it

VARIANTE AL PIANO DI COLTIVAZIONE AI SENSI DELL'ART. 23 COMMA 1 L.R. 35/15, CAVA N. 11 "FAGGETTA", BACINO N° 1 PESCINA-BOCCANAGLIA – SCHEDA PIT/PPR N. 14 – COMUNE DI CARRARA

STUDIO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO-GIACIMENTOLOGICO, GEOMECCANICO, IDROGEOLOGICO

Committente: LAV S.r.l.s.

Il Geologo

Dott. Fiorenzo DUMAS

- Aprile 2022 -

INDICE

INDICE **2**

1. PREMESSA **3**

2. LOCALIZZAZIONE, DISPONIBILITA' **4**

2.1. LOCALIZZAZIONE 4
2.2. DISPONIBILITÀ 4

3. CENNI SULLA DESTINAZIONE D'USO DELL'AREA E REGIME VINCOLISTICO **4**

4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE AMBIENTALI GENERALI **5**

5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE **8**

5.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALI 8
5.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA INDAGATA 12

6. CARATTERI GIACIMENTOLOGICI **14**

6.1. IL SITO 14
6.2. IL SUBGIACIMENTO 14
6.3. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE E MINERALOGICHE DEI MATERIALI 17
6.4. LA DISCARICA E LA GESTIONE DEL DETRITO 20

7. CARATTERI IDROGEOLOGICI E IDROGRAFICI GENERALI **20**

8. CARATTERI GENERALI DEL SERBATOIO IDRICO CARRARESE **21**

8.1. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SERBATOIO IDRICO SOTTERRANEO CHE SOTTENDE LE SORGENTI DI COSTA 22
8.1.1. Rocce con permeabilità primaria o per porosità *23*
8.1.2. Rocce con permeabilità secondaria o acquisita, ... *23*
8.1.2.1. Le formazioni permeabili per fratturazione decrescente e per limitati fenomeni carsici Psd: 23
8.1.2.2. Le formazioni permeabili per fratturazione crescente e sviluppo di fenomeni carsici Ppc: 24
8.1.3. Rocce impermeabili *24*
8.2. PERMEABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN ESAME 24
8.3. VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI 25
8.4. DETERMINAZIONE DELLE LINEE DI DEFLUSSO SOTTERRANEE 26
8.5. IL RETICOLO IDROGRAFICO LOCALE 30

9. ORIENTAZIONE FRONTI **30**

10. RILEVO STRUTTURALE **31**

10.1. ELABORAZIONE DEI DATI RACCOLTI 31

11. CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI (1989) **32**

12. DEFINIZIONE DEL GSI (1997) **34**

1. PREMESSA

Per incarico della Società LAV S.r.l.s., con sede Via Dorsale a Massa, è stata redatta la presente relazione al fine di trattare gli aspetti geomorfologici, geologico-giacimentologico, geo meccanico ed idrogeologico della cava n. 11 "Faggetta" e di un suo intorno significativo.

Lo studio geologico S.l. rappresenta uno degli elaborati tecnici del Progetto di Variante Sostanziale redatto dal Dott. Ing. Giacomo Del Nero, la cui durata prevista è di 5 anni.

Al fine di redigere lo studio sono state analizzate le caratteristiche geologiche in S.l. del giacimento marmifero in cui è aperta la cava e di un suo intorno significativo, in ottemperanza a: 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, exL.R. 10/2010-L.R. 17/2016 e al PABE Pescina-Piscinicchi-Boccanaglia Alta del Comune di Carrara ed alla Scheda PIT/PPR n. 14.

La Cava è attualmente in esercizio ai sensi dei seguenti atti:

- Autorizzazione Estrattiva Det.Dir. n.72 del 31.05.2018 Settore Servizi Ambientali/Marmo – Comune di Carrara (MS);
- Autorizzazione Paesaggistica n.26 del 30.05.2018 Settore Opere Pubbliche/Urbanistica U.O. Tutela del Paesaggio– Comune di Carrara (MS);
- Pronuncia di Compatibilità Ambientale, Pronuncia di Valutazione d'Incidenza, Nulla Osta n.9 del 29.05.2018 Settore Uffici Tecnici – Parco Regionale delle Alpi Apuane;
- Trasmissione efficacia della Variante Non Sostanziale ai sensi dell'Art.23 Comma 2 della L.R. 35/15 mediante SCIA ai sensi dell'Art.19bis della L.241/90 del 07.05.2021 – Settore Servizi Ambientali/Marmo – Comune di Carrara (MS);
- Nulla Osta n.4 del 05.05.2021 Settore Uffici Tecnici – Parco Regionale delle Alpi Apuane;
- Autorizzazione Paesaggistica n.15 del 04.05.2021 Settore Opere Pubbliche/Urbanistica U.O. Tutela del Paesaggio– Comune di Carrara (MS);
- Pratica n.2206 Settore Genio Civile Toscana Nord – Regione Toscana: Richiesta di concessione idraulica per i lavori relativi ad attraversamento esistente del Canale Porcinacchia – identificato nel Reticolo Idrografico L.R. 79/2012 con il Cod. TN437653, realizzato allo scopo di raggiungere la Cava n.11 Faggeta e l'utilizzo dell'area demaniale allo scopo di area stoccaggio temporaneo di materiale lapideo da taglio in Loc. Porcinacchia nel Comune di Carrara (MS).

L'inquadramento topografico dell'area è stato fornito dalla Società che ha rimesso mandato al Dott. Ing. Francesco VEZZOSI di rilevare il sito.

2. LOCALIZZAZIONE, DISPONIBILITA'

2.1. LOCALIZZAZIONE

La cava n. 11 è ubicata nel Bacino n. 1 Pescina-Boccanaglia e rimane localizzata a circa q. 488m s.l.m. all'interno del versante sinistro del Fosso Curtana o Boccanaglia. L'accesso avviene percorrendo la strada comunale di Pulcinacchia fino alla q. 288.50m s.l.m., da cui inizia una strada sterrata d'arroccamento che conduce alla cava.

L'unità estrattiva, nonostante sia di dimensioni ridotte, rimane costituita da un cantiere a cielo aperto ed uno in sotterraneo; ambedue interessati dalla variante sostanziale.

2.2. DISPONIBILITÀ

L'unità estrattiva è identificata al n°11 "FAGGETA" del Catasto Cave del Comune di Carrara e ricade nella frazione di Bene Estimato del Mappale N. 74p del Foglio 19 del NCT del Comune di Carrara, indicato in Tav.2: Carta Catastale in scala 1:1'000.

L'area in disponibilità, coincidente con il perimetro estrattivo, corrisponde alle particelle n.916p e 917 censite al Vecchio Catasto 1823, ascritte ai beni estimati.

Il progetto di coltivazione della Cava n.11 "Faggeta", in ottemperanza a quanto chiesto dal Comune di Carrara durante la Conferenza dei Servizi del 27.04.2018, iter amministrativo di Istruttoria VIA, non è stato esteso alle frazioni di mappale di Agro Marmifero Comunale, ma è rimasto contenuto solo nella parte di Bene Estimato del Mappale 74 di proprietà SAM e in locazione alla LAV S.r.l.s.; nonostante ciò l'indagine geologico-tecnica è stata estesa andando ad interessare un intorno significativo molto più ampio dello stesso mappale 74.

3. CENNI SULLA DESTINAZIONE D'USO DELL'AREA E REGIME VINCOLISTICO

La cava ricade all'interno di un'area industriale classificata dal P.R.G. comunale come "Zona D3, bacino estrattivo", e disciplinata dall'art. 19 che ne prevede l'attività estrattiva, oltre che rimanere contenuta all'interno delle Aree Contigue di Cava del Parco Regionale delle Alpi Apuane.

Per maggiori dettagli circa la destinazione d'uso urbanistico e sulla vincolistica ivi gravante si rimanda alla "Relazione tecnica illustrativa" redatta dal Dott. Ing. Giacomo DEL NERO.

4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE AMBIENTALI GENERALI

Il Comprensorio Estrattivo Carrarese, ed in particolare il bacino di Pescina-Boccanaglia è caratterizzato da una morfologica di tipo pluvio-fluviale che ha completamente obliterato gli originari caratteri di morfologia glaciale.

L'esposizione meridionale e la soggiacenza dei versanti carraresi all'influenza marina hanno fatto sì che l'ultima glaciazione del Wurn, terminata tra 16.000 e 14.000 anni a.c., non modellasse il territorio carrarese con una in intensità ed estensione della morfologia glaciale come si è esplicata nella vicina Garfagnana, dove sono ancora presenti evidenti e diffusi segni di glacialismo.

Molto spesso i caratteri geomorfologici di un'area sono direttamente influenzati dalle locali strutture geologico-tettoniche. Tale aspetto è ben evidente nel Bacino di Pescina-Boccanaglia dove nel fondovalle, subaparallelamente al fosso Curtana o Boccanaglia, affiora il Contatto di Sovrascorrimento Tettonico della Falda Toscana, affiorante in destra orografica, sulle Formazioni Metamorfiche Apuane, affioranti in sinistra.

Nonostante che la composizione chimica delle formazioni appartenenti alle due Serie Geologiche sia simile (calcari in s.l.), se non uguale, i due versanti vallivi sono caratterizzati da morfologie nettamente differenti:

1) nel versante orografico sinistro, dove generalmente affiora la nuda roccia ascrivibile alle formazioni metamorfiche apuane, la morfologia risulta alquanto complessa in quanto profondamente incisa dalla dissoluzione della roccia prodotta dalle acque meteoriche ruscellanti, per cui rimane contrassegnata dalla presenza :
   a) una rete idrografica molto semplice e lineare, rimanendo costituita dal Fosso principale di Curtana o Boccanaglia orientato circa NW-SE e subparallello al Contatto Tettonico nel tratto del suo corso di fondovalle, si innestano affluenti provenienti solo dal versante sinistro quali: Canale Calacata e Fosso Pescina e una serie di impluvi secondari. Questi impluvi, assieme al tratto montano del Canale Bocanaglia, hanno direzione all'incirca NE-SW, mantenendola subparallela al sistema di Fratturazione che in cava è denominato come "Secondo". I loro alvei hanno andamento sub-rettilineo e rimangono ben incassati nella roccia, generando la classica forma "V" molto pronunciata caratteristica delle valle pluviali delle zone medio-temperate. In particolare, le valli erose dal Canale Calata e Fosso Pescina penetrano per oltre 1.0Km all'interno del versante;
   b) i vari impluvi componenti la rete idrografica subiscono la contemporanea azione erosiva meccanica delle acque meteoriche ruscellanti e la dissoluzione della roccia, responsabili sia dell'erosione di fondo sia dell'erosione regressiva dell'alveo;

c) ripidi versanti, dove, spesso, i valori d'acclività sono superiori all'intervallo 45-50°, molte volte associati a locali balze subverticali, che in alcuni casi sono molto estense ed alte;
d) isolate guglie e torrioni associati a sottili creste, tutti generati dalla dissoluzione superficiale del calcare;

2) nel versante orografico destro costituito da un ammasso roccioso prevalentemente attribuibile al Calcare a Rhaetavicula Contorta ed al Calcare Massiccio, gli affioramenti rocciosi rimangono localizzati nei pressi del contatto tra queste due formazioni, nelle aree di maggior quota, mentre la parte basale e mediana del versante rimane ricoperta da uno spesso stato di coltre eluvio-colluviale dove vegeta un fitto bosco di latifoglie. La presenza di questa coltre detritica ha fatto si che le acque meteoriche non defluiscano velocemente, come nel caso del versante opposto, ma che si infiltrino all'interno del livello per poi percolare nel substrato calcareo, così da non sviluppare alcuna rete idrica superficiale, per cui su tutto il versante sono assenti tutti quei caratteri geomorfologici che fanno rilevare l'istaurarsi dei fenomeni di erosione superficiale, di fondo e progressiva che si è innestata nel versante opposto.

La cava "Faggetta" rimane ubicata, all'interno di un dosso secondario in sponda sinistra della valle erosa dal Canale Calata. Questa è una unità estrattiva riattivata per le ottime qualità merceologiche ivi affioranti.

La vicinanza al paese di Torano e l'ottima varietà merceologica ivi affiorante ha fatto sì che l'unità estrattiva sia stata sempre coltivata, salvo il breve periodo compreso tra la fine degli anni '80 e il momento dell'attuale attivazione.

L'intervento antropico nell'area di cava e nel suo intorno significativo si è concentrato maggiormente all'interno del dosso e del tratto di versante sinistro del Canale Calacata, dove, all'interno di quest'ultimo, si sviluppa l'ampio ravaneto su cui è stata costruita la strada d'arroccamento di accesso al sito.

La realizzazione del vasto conoide detritico è avvenuta tra la metà dell'800 e la metà del'900, quando le cave erano escavate con l'impiego del filo elicoidale ed in subordine di esplosivo. A quel momento l'impossibilità di disporre di una viabilità che permettesse di trasportare il detrito prodotto dai vari siti estrattivi all'esterno del bacino, la strada è stata realizzata tra la metà e la 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".

La presenza di un livello di coltre eluvio-colluviale che ricopre quasi in continuità gli affioramenti di Calcare Selcifero

nell'introno significativo della cava fa sì che si sia sviluppato un bosco di caducifoglio, elemento vegetazionale che nelle aree di affioramento del marmo si concentra maggiormente rimane lungo gli allineamenti tettonici orientati circa NW-SE, corrispondenti alle intersezioni tra la morfologia e le fratture pervasive subparallele al sistema del "verso di macchia".

L'indagine di campagna ha consentito di redigere la Carta Geomorfologica di Tav. 4, dove sono stati censiti i differenti domini affioranti nell'area e nel suo intorno significativo:

- dominio di cava o antropico permanete (Dap): 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 detritico o dominio antropico temporaneo (Dat): 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 (Dnpf): corrisponde alle zone rimaste integre e modellate dalla erosione pluvio-fluviale, i cui principali caratteri geomorfo-paesaggistici sono quelli sopra descritti.

La possibilità di indagare direttamente i fronti residui presenti in cava e l'intorno significativo ha consentito, per il momento, di escludere la presenza di forme carsiche principali sia di tipo superficiale (epigeo) quali: doline, poljie, inghiottitoi, pozzi o campi carreggiati, sia di tipo profondo (ipogeo): grotte, sifoni, risorgive, fiumi sotterranei; ma sono state rilevate solo forme carsiche secondarie tipiche di erosione carsica di rocce carbonatiche:

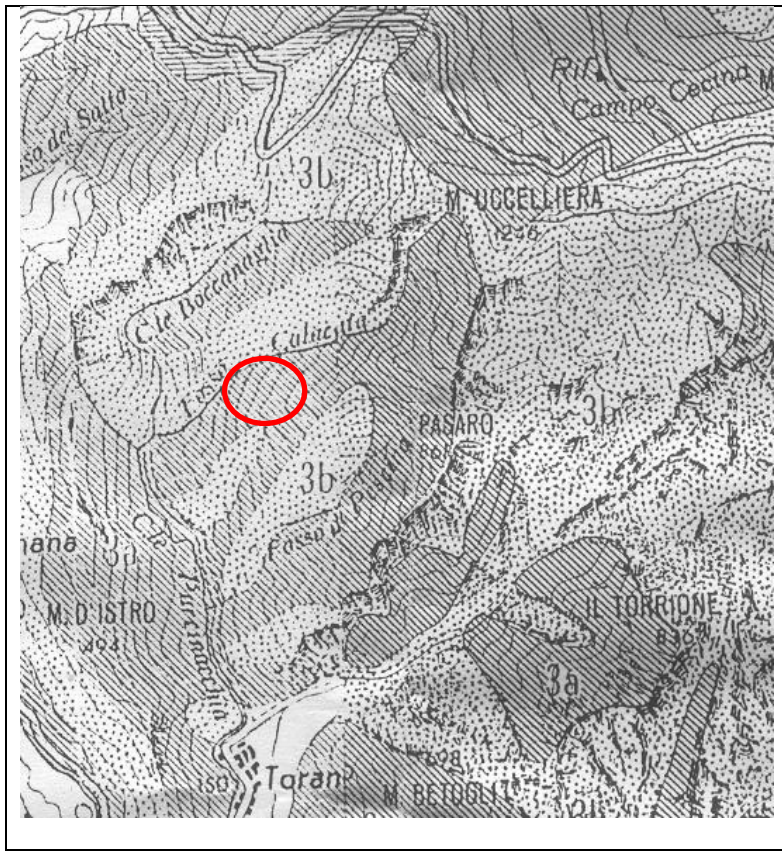
- piccoli inghiottitoi ed altre forme carsiche minori, localizzate nelle vicinanza della morfologia;
- fratture "beanti" più o meno carsificate;
- fratture parzialmente riempite da "argille residuali" e/o con "spalmature di argille rosse" sulle superfici di frattura.

Dai sopralluoghi condotti all'interno del Bacino di Boccanaglia, ed in particolar modo nell'area del Canale Calacata dove rimane ubicata la cava, emerge che il Dominio Antropico (Dap) è quello dominante, almeno fino a q. 450.00/500m s.l.m., 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, e in subordine da aree ricoperto da bosco caducifoglio.

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 l'intorno significativo la cava è classificato come: 2a) "macchia o bosco di sclerofille". Queste vegetazione rimane essenzialmente radicata nelle aree di copertura eluvio-colluviale ed all'interno dei lineamenti tettonici rappresentati dalle fratture più aperte dove si è raccolto un residuo di suolo.

Una maggiore presenza di queste essenze vegetali rimane confinata nelle aree di affioramento della Formazione dei Calcari Selciferi, che rimangono localizzate all'incirca nel tratto di versante soprastante la cava.



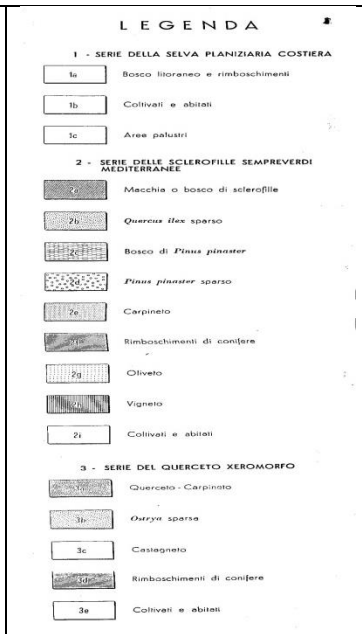


Figura 1Stralcio non in scala della Legenda e Carta della Vegetazione del Prof. Ferrarini.

Ubicazione area

5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

5.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALI

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

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

entro una fascia di taglio ensialica, NE-vergente, e suo metamorfismo in facies scisti verdi.

Il risultato di questa fase è la sovrapposizione delle unità tettoniche Liguri s.l. e della Falda Toscana che costituiscono attualmente l'Appennino Settentrionale. Nell'area apuana il sovrascorrimento e il conseguente impilamento delle varie unità tettoniche ha portato alla 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 Sl 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 o fissilosilacati in genere, 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 nuovamente deformate dalla terza fase "A_3", con sviluppo di un nuovo sistema di pieghe, osservabili a tutte le scale, e sviluppo di una nuova scistosità che si sovrappone alle precedenti. La geometria di queste strutture è fortemente influenzata dalla giacitura della fase compressiva "A_2" 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 apuana e la conseguente emersione del Complesso metamorfico apuano.

Le interferenze tra le fasi "A_1" "A_2" "A_3", 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.

Nel Comprensorio Carrarese l'intensa attività tettonica connessa con lo sviluppo della fase A_2 ha generato 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), 2) e 8) hanno estensione chilometrica, le altre molto più contenuta, con la 5) che ha superficie massima ettometrica.

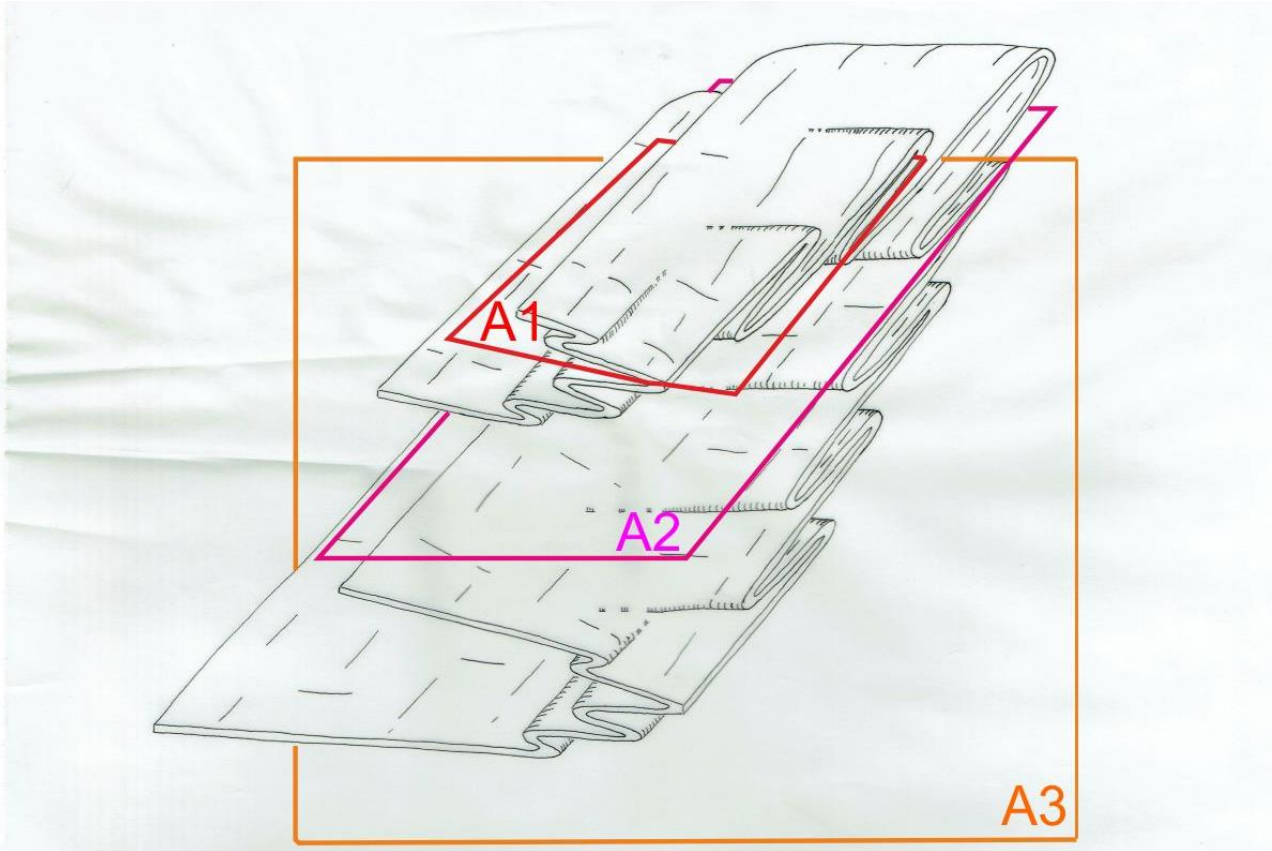
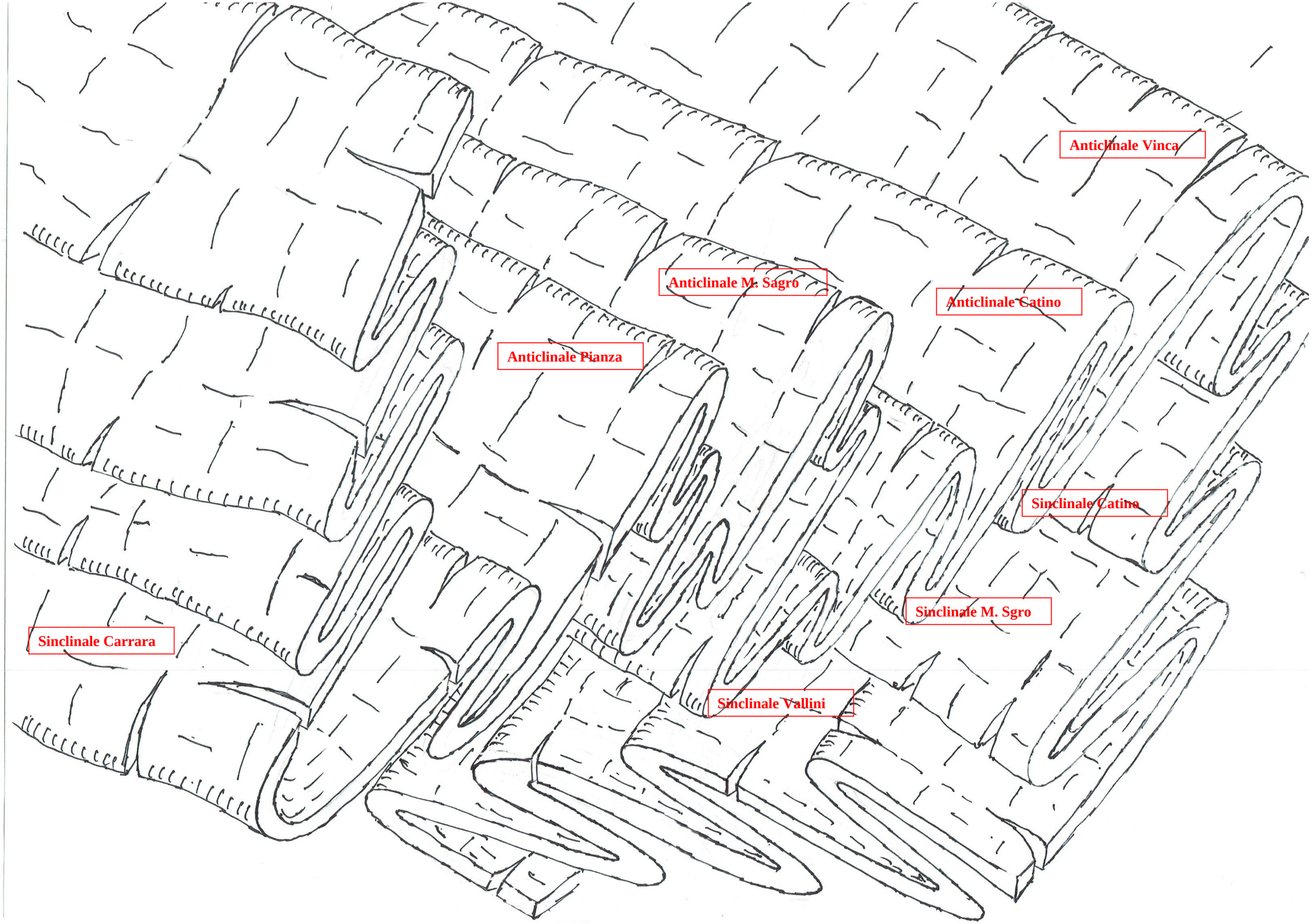


Figura 2: Schema del modello geo-strutturale inerente le interferenze tra le fasi "A_1" "A_2" "A_3"


Anticlinale Vinca
Anticlinale M. Sagro
Anticlinale Catino
Anticlinale Pianza
Sinclinale Catino
Sinclinale M. Sgro
Sinclinale Carrara
Sinclinale Vallini

5.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA INDAGATA

A prima indagine la locale struttura geologica, a scala ettometrica, appare molto semplice, rimanendo rappresentata dal fianco rovesciato Sinclinale di Carrara, struttura di fase "A2", dove affiorano le Formazioni del Grezzoni e di Marmi s.s.; i cui livelli rimangono spesso laminati ed localmente anche "boudinati".

Tale struttura geologica forma tutto il versante orografico sinistro della valle e rimane separata dal fianco diritto della Sinclinale dal suo nucleo di Calcare Selcifero.

La struttura geologica, oltre ad essere riportata nella Carta Geologica di Tav. G2, è stata schematizzata nella mappa satellitare ricavata da Google, nello stralcio di Fig. 3, non in scala.

In dettaglio la cava n. 11 rimane ubicata al tetto della formazione marmifera, nei pressi del contatto con la Formazione del Calcare Selcifero, Tavv. G2 e G3 dove affiorano le seguenti formazioni litologiche:

- *Litotipi riferibili al Quaternario:*
  - Depositi Detritici Artificiali o "Ravaneti": generati dall'accumulo degli inerti prodotti con le vecchie coltivazioni e sui quali, almeno in parte, sono state aperte le strade d'accesso ai comparti e alle singole cave. Le scaglie hanno spigoli vivi e volumetria variabile, con le più antiche che difficilmente superano il peso di 25/30Kg, essendo state prodotte manualmente. I detriti prodotti con le odierne escavazioni giacciono temporaneamente all'interno dei piazzali per essere giornalmente lavorati e trasportati al frantoio della Piastra.
- *Formazioni dell'"Auctotono-Autt.":*
  - Formazione dei Grezzoni: Dolomie ricristallizate grigio scure, con limitate modificazioni tessiturali metamorfiche. Nei livelli basali, prossimi alla strada comunale e al fosso di Curtana, la formazione rimane costituita da brecce metamorfiche a elementi più o meno angolosi di dolomia, mentre nei livelli a tetto della formazione, livelli prossimi alla cava, la formazione rimane caratterizzata da dolomie a patina d'alterazione giallastra con tracce di filladi lungo i giunti di strato, Età: Norico.
  - Formazione dei Marmi in s.s.: sotto il profilo strutturale il livello si presenta molto laminato, per cui rimane caratterizzato da variazioni locali della sua potenza. Questa laminazione si ripercuote anche in ambito merceologico, dove il singolo affioramento merceologico rimane limitato in estensione e potenza. L'insieme di questi ambiti merceologici originano le varie qualità merceologiche componenti il livello marmifero, le quali saranno affrontate nel paragrafo della giacimentologia, Età: Lias Inf.;

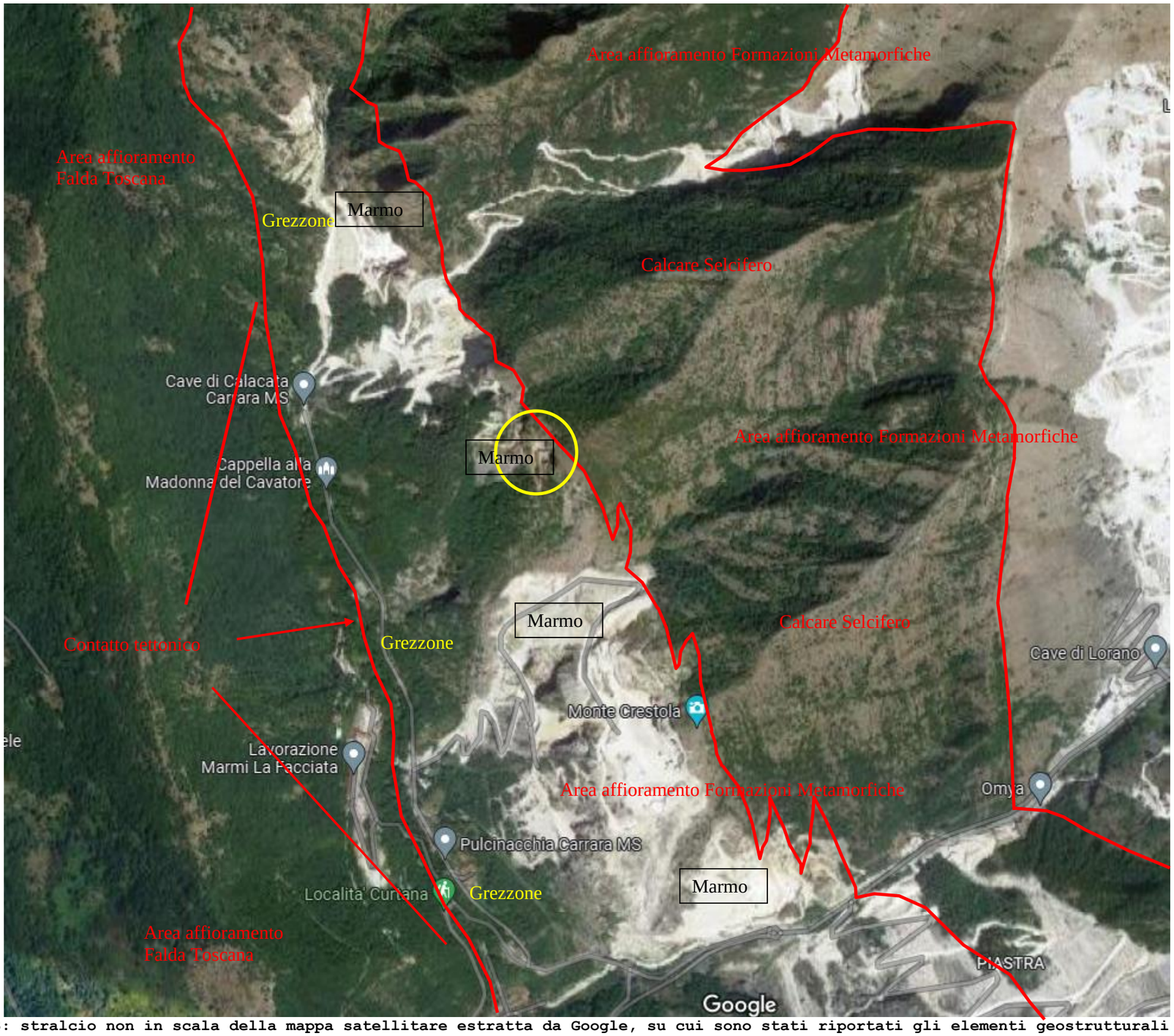


Figura 3: stralcio non in scala della mappa satellitare estratta da Google, su cui sono stati riportati gli elementi geostrutturali dell'area

- *Formazione dei Calcari Selciferi*: metacalcilutiti grigio scure, localmente nere, con liste e noduli di selce, in strati di potenza variabile, spesso alternati con strati più sottili di calcescisti e filladi carbonatiche grigio scure. I livelli basali della formazione e prossimi alla formazione marmifera rimangono meno ricchi in selce, per cui in passato sono stati coltivati al fine di produrre il "Marmo Nero di Torano", utilizzato sia nella costruzione del Duomo sia per scolpire il "Cavallino" ed il "Cinghiale" locati all'interno della centrale Piazza Matteotti, Età: Lias medio-sup.

6. CARATTERI GIACIMENTOLOGICI

6.1. IL SITO

L'accesso avviene percorrendo la viabilità d'arroccamento che si diparte da q. 288.5m s.l.m. e che rimane costruita all'interno del canale di Calacata, per poi utilizzare la diramazione costruita in sinistra e che termina a q 487.76m s.l.m.

6.2. IL SUBGIACIMENTO

L'unità estrattiva è una piccola cava poco fratturata, come si vedrà nel paragrafo geomeccanico, condizione strutturale che determina una resa dell'escavato maggiore rispetto alla media del Comprensorio Carrarese.

Il subgiacimento all'interno del quale è aperta la cava "Faggetta" è contenuto nel giacimento di Calacata, rimanendone localizzato nella sua parte di Sud-Est, col principale che è parte integrante del livello marmoreo affiorante nel fianco rovesciato della Sinclinale Carrara.

Il fianco di questa struttura è stato soggetto ad intensa attività tettonica, che:

1) a livello strutturale si è esplicitata attraverso la laminazione e conseguente asportazione di parte del fianco rovesciato dovuta all'azione di Sovrascorrimento della Falda Toscana sul Metamorfico. Indizi di tale evento tettonico sono le "nocciole di grezzone" che rimangono "sradicate" e disseminate lungo il Contatto Tettonico in località Campocecina;
2) a livello del locale fianco rovesciato affiorante si è esplicata attraverso:
   a) le laminazioni della potenza che caratterizza i differenti livelli formazionali ivi affioranti;
   b) gli affioramenti di marmi brecciati, varietà merceologiche Venato, Arabescato e Calacata, che sono indizi di notevoli strain e stress subiti dalla formazione marmifera;
   c) la locale variazione cromatica e di potenza dei livelli interni alla formazione marmifera, che genera, appunto, le differenti varietà merceologiche in ristretti areali geografici e strutturali.

La cromaticità o tonalità del marmo, oltre ad essere dovuta alle motivazioni strutturali sopra affrontate, può variare anche in relazione alla origine stratigrafica ed in particolare alla distribuzione e/o contenuto delle "impurità minerali"e, che nel caso del Bianco di Carrara consiste nella presenza e diffusione essenzialmente di miche s.l., pirite microcristallina, da residui carboniosi e da accessori vari.

Dal punto di visita:

- geografico l'area in esame rimane localizzata nella parte sud-occidentale del vasto Comprensorio Marmifero Carrarese, rimanendo localizzata nel Bacino di Boccanaglia-Pescina;
- geologico-strutturale l'area in esame ricade al tetto della formazione marmifera, a diretto contatto con il Calcare Selcifero, rimanendo parte integrale del giacimento marmifero di Boccanaglia-Pescina, questo coincide in massima parte col livello marmoreo del fianco rovesciato della Sinclinale Carrara, anche se le cave aperte a maggior quota, cave n. 2 Boccanaglia A, n. 5 Piastriccioni B e n. 6 Piastriccioni C, sono attive nel fianco diritto della struttura, pur rimanendo collocate sempre nei pressi del contatto Calcare Selcifero-Marmo.

Nonostante il sito estrattivo sia una cava con piccola estensione, sui fronti coltivati, sia a cielo aperto sia in sotterraneo, affiorano diverse merceologie:

➢ "Venato D", è la varietà più diffusa, vi è ascritto un materiale ricco in vene e venette di colore grigio-chiaro, la cui diffusione determina una pasta di fondo del medesimo colore che racchiude "ovuli" di colore bianco-sporco; ➢ "Venato C/D" varietà simile alla precedente ma vene più chiare, che danno alla pasta di fondo un colore biancastro.	
➢ Nuvolato, metacalcare grigio a grana medio-fine, forma isolate lenti, prossime al contatto con la Formazione Grezzone, ricco in inclusioni dolomitiche di colore giallastra.	

"Arabescato": marmo brecciato di origine tettonica(?), i cui "ovuli o bercce" di colore bianco sono racchiusi in vene e venette di colore grigio;	
"Calacatoide": varietà simile alla precedente, con vene e venette di colore giallastro per la diffusa presenza di mica bianca.	
➢ "Zebrino", nuova varietà di ridotto interesse commerciale per la ridottissima potenza del livello p<3.0m. Affiora in un piccolo orizzonte, molto fratturato, interno al modesto sotterraneo, a diretto contato col Calcare Selcifero, costituito da una regolare alternanza di livelli decimetrici di colore bianco avorio, a volte con sfumature giallognole, a livelli grigio-verdi per la diffusa presenza di cloriti.	

6.3. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE E MINERALOGICHE DEI MATERIALI

Nonostante che, per il marmo di Carrara sia conclamata una struttura tipicamente "granoblastica" o "saccaroide", ossia con minerali di forma granulare e all'incirca equidimensionali, in realtà all'interno del Comprensorio Estrattivo Carrarese esiste una variazione granulometrica dovuta sia alla dimensione granulometrica che alla forma dei singoli grani.

Tale differenza nella tessitura del materiale si manifesta anche all'interno del Fianco Rovesciato della Sinclinale, dove è possibile riscontrare una granulometria medio-fine nei suoi affioramenti di NW (località Crestola, Carbonera, Calacata) ed una granulometria medio-grossa nelle rimanente parte del livello di SE (Betogli, Piana)

Nelle sottostanti Tab. 1, 2 e 3 sono riportate le caratteristiche fisico-meccaniche e mineralogiche delle singole merceologie, fornite dall'Azienda.

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE

COMPOSIZIONE MINERALOGICA			% in peso
Magnesio nella calcite			1.8
Residuo			0.20
Minerali	*principali*	calcite	99.80
		dolomite	0.0
	minori	muscovite	
		albite	
		pirite	
		clorite	

ANALISI CHIMICHE	% in peso
CO_2	44.05
MgO	1.16
Al_2O_3	0.07
SiO_2	0.14
K_2O	0.03
CaO	54.54
TiO_2	0.00
MnO	0.01
Fe_2O_3	0.00

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE		
1. Carico di rottura a compressione	kg/cm^2	1457
2. Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività	kg/cm^2	1258
3. Carico unitario di rottura a flessione	kg/cm^2	223
4. Dilatazione lineare termica	10^{-6} per °C	4.2
5. Coefficiente d'imbibizione d'acqua	% in peso	0.13
6. Peso per unità di volume	kg/m^3	2683
7. Resistenza all'urto	cm	51.3
8. Modulo di elasticità lineare	kg/cm^2	738000
9. Resistenza all'abrasione	mm	4.53

Tabella 1: :Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Venato D e C/D".

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE					
COMPOSIZIONE MINERALOGICA			% in peso	ANALISI CHIMICHE	% in peso
Magnesio nella calcite			1.7	CO_2	43.90
Residuo			0.3	MgO	0.92
Minerali	*principali*	calcite	97.7	Al_2O_3	0.10
		dolomite	2.0	SiO_2	0.20
	minori	muscovite		K_2O	0.03
		albite		CaO	54.81
		pirite		TiO_2	0.01

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE		
CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE		
1. Carico di rottura a compressione	*kg/cm²*	1355
2. Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività	*kg/cm²*	1378
3. Carico unitario di rottura a flessione	*kg/cm²*	204
4. Dilatazione lineare termica	*10^{-6} per °C*	2.4
5. Coefficiente d'imbibizione d'acqua	*% in peso*	0.22
6. Peso per unità di volume	*kg/m³*	2683
7. Resistenza all'urto	*cm*	46.3
8. Modulo di elasticità lineare	*kg/cm²*	609000
9. Resistenza all'abrasione	*mm*	3.74

Tabella 2: Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Nuvolato".

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE					
COMPOSIZIONE MINERALOGICA			% in peso	ANALISI CHIMICHE	% in peso
Magnesio nella calcite			1.2	CO_2	44.05
Residuo			0.79	MgO	1.08
Minerali	*principali*	calcite	96.71	Al_2O_3	0.16
		dolomite	2.5	SiO_2	0.28
	minori	muscovite		K_2O	0.05
		quarzo		CaO	54.05
		pirite		TiO_2	0.01
		albite		MnO	0.06
				Fe_2O_3	0.16

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE		
CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE		
1. Carico di rottura a compressione	*kg/cm²*	1209
2. Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività	*kg/cm²*	1227
3. Carico unitario di rottura a flessione	*kg/cm²*	110
4. Dilatazione lineare termica	*10^{-6} per °C*	9.2
5. Coefficiente d'imbibizione d'acqua	*% in peso*	0.18
6. Peso per unità di volume	*kg/m³*	2697
7. Resistenza all'urto	*cm*	56.3
8. Modulo di elasticità lineare	*kg/cm²*	533000
9. Resistenza all'abrasione	*mm*	5.07

Tabella 3: Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Arabescato ".

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE					
COMPOSIZIONE MINERALOGICA			% in peso	ANALISI CHIMICHE	% in peso
Magnesio nella calcite			3.5	CO_2	44.00
Residuo			0.87	MgO	1.79
Minerali	*principali*	calcite	99.13	Al_2O_3	0.13
		dolomite	0.0	SiO_2	0.32
	minori	muscovite		K_2O	0.06
		albite		CaO	53.60
		quarzo		TiO_2	0.01
		tormalina		MnO	0.00
				Fe_2O_3	0.07

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE		
CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE		
1. Carico di rottura a compressione	*kg/cm²*	1105
2. Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività	*kg/cm²*	1082
3. Carico unitario di rottura a flessione	*kg/cm²*	146
4. Dilatazione lineare termica	*10^{-6} per °C*	6.7
5. Coefficiente d'imbibizione d'acqua	*% in peso*	0.13
6. Peso per unità di volume	*kg/m³*	2696
7. Resistenza all'urto	*cm*	22.5
8. Modulo di elasticità lineare	*kg/cm²*	635000
9. Resistenza all'abrasione	*mm*	9.84

Tabella 4: Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Calcacatoide".

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE					
COMPOSIZIONE MINERALOGICA			% in peso	ANALISI CHIMICHE	% in peso
Magnesio nella calcite			2.60	CO_2	42.50
Residuo			3.80	MgO	1.15
Minerali	*principali*	calcite	96.20	Al_2O_3	1.06
		dolomite	0.0	SiO_2	2.24
	minori	muscovite		K_2O	0.41
		quarzo		CaO	52.18
		albite		TiO_2	0.04
				MnO	0.01
				Fe_2O_3	0.38

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE		
1. Carico di rottura a compressione	*kg/cm²*	1238
2. Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività	*kg/cm²*	1230
3. Carico unitario di rottura a flessione	*kg/cm²*	231
4. Dilatazione lineare termica	*10^{-6} per °C*	5.4
5. Coefficiente d'imbibizione d'acqua	*% in peso*	0.16
6. Peso per unità di volume	*kg/m³*	2702
7. Resistenza all'urto	*cm*	26.3
8. Modulo di elasticità lineare	*kg/cm²*	710000
9. Resistenza all'abrasione	*mm*	4.34

Tabella 5: Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Zebrino".

6.4. La Discarica e la gestione del detrito

L'argomento è stato trattato dal Progettista 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.

7. 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.

Il Bacino Estrattivo n. 2 Torano, anticamente denominato "Comunello di Torano" è parte integrante di questo comprensorio carrarese.

I Marmi e i Grezzoni sono rocce molto permeabili per fratturazione e carsismo, mentre il Calcare Selcifero ricco in silice, sottoforma di intestarti, moduli e lenti, è caratterizzato da una permeabilità di fratturazione decrescente con la profondità, condizione che si viene a generare per accumulo dei prodotti di alterazione della roccia che si depositano all'interno della frattura. Lo sviluppo del carsismo, proprio per la diffusa presenza della silice rimane molto limitato, sviluppando al massimo secondarie forme carsiche epigee.

L'intensità e la distribuzione areale della deformazione rigida all'interno del Comprensorio Estrattivo Carrarese rappresenta la principale via d'infiltrazione delle acque meteoriche nel substrato; in quanto il fenomeno del carsismo locale si manifesta mediante forme minori, quali:

1) forme superficiali o epigee:
   a) superfici morfologiche "rugose", causate da una differenziata azione di dissoluzione sulla superficie morfologica e/o di frattura;
   b) fratture del cappellaccio leggermente 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 parzialmente 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 ipogeo 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, anche durante intensi eventi piovosi i deflussi superficiali all'interno di questi depositi incoerenti sono assenti; in quanto l'elevata permeabilità associata all'elevato spessore facilita l'infiltrazione delle acque che vi cadono sopra evitandone il deflusso superficiale.

8. CARATTERI GENERALI DEL SERBATOIO IDRICO CARRARESE

Al contrario della struttura geologica che è costituita da una serie pieghe isoclinali caratterizzate da differente estensione di 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 alle Dolomie di Vinca, litotipi soprastanti il substrato impermeabile rappresentato essenzialmente dalle formazioni: Filladi Inferiori, Porfiroidi-Scisti Porfirici ascrivibili al Basamento Paleozoico Apuano e/o alle Filladi Muscovitiche dell'Unità di Massa, con quest'ultime che affiorano lungo il lato di SW della catena montuosa e svolgono principalmente la funzione di "tampone idrogeologico".

A grande scala, le acque che si infiltrano nel "materasso permeabile" 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 che presentato le 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 appunto 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 faglia collegata allo Sovrascorrimento Falda Toscana/Metamorfico fa sì che l'effetto drenante dello allineamento tettonico inneschi una rapida risalita delle acque sulfuree profonde con loro venuta a giorno, così che le stesse subiscano un "limitato rimescolamento" con le acque soprastanti di falda "meno salate" e più "fredde".

I due "serbatoi idrici sotterranei" di Equi e di Carrara sono in continuità geologica attraverso le formazioni carbonatiche; nonostante ciò le due strutture idrogeologiche sono separate dall'"alto idrogeologico" del basamento paleozoico, così da alimentare 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 sotterraneo, mentre il maggior o minore grado locale di la fratturazione determina un differente grado di infiltrazione delle acque meteoriche.

Nonostante ciò, esiste il caso di una "cattura idrogeologica di serbatoio sotterraneo" rappresentata dagli apporti sotterranei provenienti dall'area carbonatica meridionale del Monte Sagro che alimentano il serbatoio idrico carrarese, quest'area rimane esterna la bacino imbrifero del Torrente Carrione.

Una conferma di una circolazione idrica profonda all'interno del Comprensorio Estrattivo Carrarese è l'assenza di emergenze idriche nel suo interno, nonostante che abbia una estensione >10Kmq e variazioni altimetriche di circa 800m s.l.m..

Le sorgenti alimentate da questo areale scaturiscono lungo il perimetro SW, nelle località Torano e Canalie; rimanendo allineate sul Contatto Tettonico Unità di Massa - Metamorfico Apuano. La prima unità essendo costituita da formazioni impermeabili funziona da "Tampone idrogeologico", interrompendo il deflusso e favorendo la venuta a giorno delle acque sotterranee defluenti all'interno del metamorfico apuano.

8.1. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SERBATOIO IDRICO SOTTERRANEO CHE SOTTENDE LE SORGENTI DI COSTA

Nella Carta Idrogeologica e Sezioni, **Tav.G4 e G6** in scala 1:2000, sono state censite le locali formazioni idrogeologiche metamorfiche, che rappresentano solo alcune tra le formazioni permeabili affioranti sulle Apuane. In particolare, nell'area affiorano: Formazione dei Grezzoni, Formazione dei Marmi s.s., Formazione del Calcare Selcifero ed i depositi detritici artificiali o "Ravaneti".

Nel Comprensorio Estrattivo Carrarese in base alla tipologia e grado di permeabilità si possono distinguere le seguenti classi di permeabilità:

1ª classe: Permeabilità primaria
- a) litotipi permeabili per porosità

2ª 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;

3ª classe: Impermeabili
- a) rocce impermeabili o poco permeabili nei primi livelli superficiali.

8.1.1. *ROCCE CON PERMEABILITÀ PRIMARIA O PER POROSITÀ*

- 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 del conoide. Il suo grado di permeabilità, pur rimanendo elevato, tende a diminuire entrando nel suo interno dove aumenta la frazione terrigena. I ravaneti, generalmente, non sono sede di acquiferi nonostante posseggano un elevato grado di permeabilità che 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 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 e coperture eluvio-colluviali Ppb: sono depositi generalmente presenti nelle aree di affioramento del Calcare Selcifero ed in subordine in alcune aree marmifere, praticamente 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 dipendendo dalla maggiore o minore diffusione dei prodotti di alterazione (limi, argille rosse ed ecc..). Nell'interno del Bacino Boccanaglia-Pescina lo strato eluvio-colluviale assume maggiore diffusione a monte delle unità estrattive, dove appunto affiora il Calcare Selcifero che costituisce il nucleo della struttura geologica.

8.1.2. *ROCCE CON PERMEABILITÀ SECONDARIA O ACQUISITA,*

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:

8.1.2.1. LE FORMAZIONI PERMEABILI PER FRATTURAZIONE DECRESCENTE E PER LIMITATI FENOMENI CARSICI PSD:

- Formazione dei Calcari Selciferi Metamorfici: in generale l'infiltrazione all'interno del litotipo avviene essenzialmente per fratturazione, in quanto lo sviluppo dei fenomeni carsici è molto limitato a causa della composizione chimico-mineralogica ricca in silice. La formazione è caratterizzata da una permeabilità decrescente con la profondità, perché le fratture tendono a ostruirsi a seguito dell'accumulo dei prodotti limo-argillosi derivanti dall'alterazione della roccia. Nonostante nella zona in esame le inclusioni silicee abbiano limitata potenza ed estensione lo sviluppo del carsismo è poco pronunciato, in quanto la presenza dello strato di copertura eluvio-colluviale occlude le fratture già in superficie impedendo l'infiltrazione della acque. La formazione

possiede un medio-basso grado di permeabilità ed e nel bacino affiora a monte dell'unità estrattiva.

8.1.2.2. LE FORMAZIONI PERMEABILI PER FRATTURAZIONE CRESCENTE E SVILUPPO DI FENOMENI CARSICI PPC:

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

8.1.3. *ROCCE IMPERMEABILI*

Alla classe appartengono le rocce che sono di natura impermeabile e che nonostante siano più o meno fratturate non sviluppano una circolazione idrica sotterranea, perché le fratture sono occluse dai loro prodotti eluvio-colluviali. A Questa classe appartengono:

- Porfiroidi, Scisti Porfirici, Filladi Inferiori, Scisti Sericitici: i litotipi sono generalmente rocce di natura silicea, chimismo non solubile dall'acqua, e che nonostante possano essere, anche localmente, molto fratturate sono di fatto rese impermeabili per ostruzione delle fratture dai prodotti di alterazione già in prossimità della superficie morfologica. Nell'area e nel suo intorno significativo non affiorano, ma la presenza delle Filladi Quarzitico-muscovitiche dell'Unità di Massa è confermata da alcuni affioramenti interni al bacino e localizzati nel nei pressi del fondovalle, oltre che dalle emergenze idriche.

8.2. PERMEABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN ESAME

La permeabilità di un ammasso roccioso è in funzione della intensità e delle caratteristiche di fratturazione presenti, oltre che, per gli ammassi di natura calcarea, del carsismo. Come è ovvio,

la permeabilità risulterà maggiore in corrispondenza delle fratture che presentano maggior apertura e delle 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 definite per lo stesso , in particolare è stata impiegata la seguente formula:

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

dove:
K_i= permeabilità del sistema iesimo;
g = accelerazione di gravità (981 cm/sec^2);
e = apertura media del sistema iesimo (cm);
v = viscosità cinematica H_20 a T. di 20°C pari a 0.0101 cm^2/sec;
b = spaziatura media del sistema iesimo (cm);

che permette di stimare la permeabilità dei sistemi di discontinuità dell'ammasso roccioso riscontrati nel cantiere utilizzando i valori i valori minimi e massimi dei parametri geomeccanici riportati nella sottostante tabella.

DETERMINAZIONE COEFFICIENTE INFILTRAZIONE MINIMO AMMASSO ROCCIOSO		
SISTEMA DI DISCONTINUITA'	**COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' K in cm/sec**	Sulla base di questa stima si può asserire che l'ammasso costituente i cantieri AS1 e ha permeabilità secondaria di bassissimo grado.
K1	1.35E-05	
K2	1.35E-05	
K3	0.0000	
K4	1.35E-05	
K5	0.0000	
Kt Ammasso	**2.69937E-05**	

DETERMINAZIONE COEFFICIENTE INFILTRAZIONE MASSIMO AMMASSO ROCCIOSO		
SISTEMA DI DISCONTINUITA'	**COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' K in cm/sec**	Sulla base di questa stima si può asserire che l'ammasso costituente il cantiere ha permeabilità di basso grado.
K1	0.0017	
K2	0.0017	
K3	0.0000	
K4	1.35E-05	
K5	0.0000	
Kt Ammasso	**0.973795**	

8.3. VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

Il problema della vulnerabilità degli acquiferi sulle Apuane è piuttosto rilevante, in quanto le aree carbonatiche, proprio per le loro caratteristiche di elevata permeabilità 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 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 a alta vulnerabilità (Range: valori sintacs 50-70 e 35-50) nella "Carta della Vulnerabilità degli acquiferi delle Alpi Apuane", Civita et ali 1991, il cui stralcio non in scala è la Figura 4.

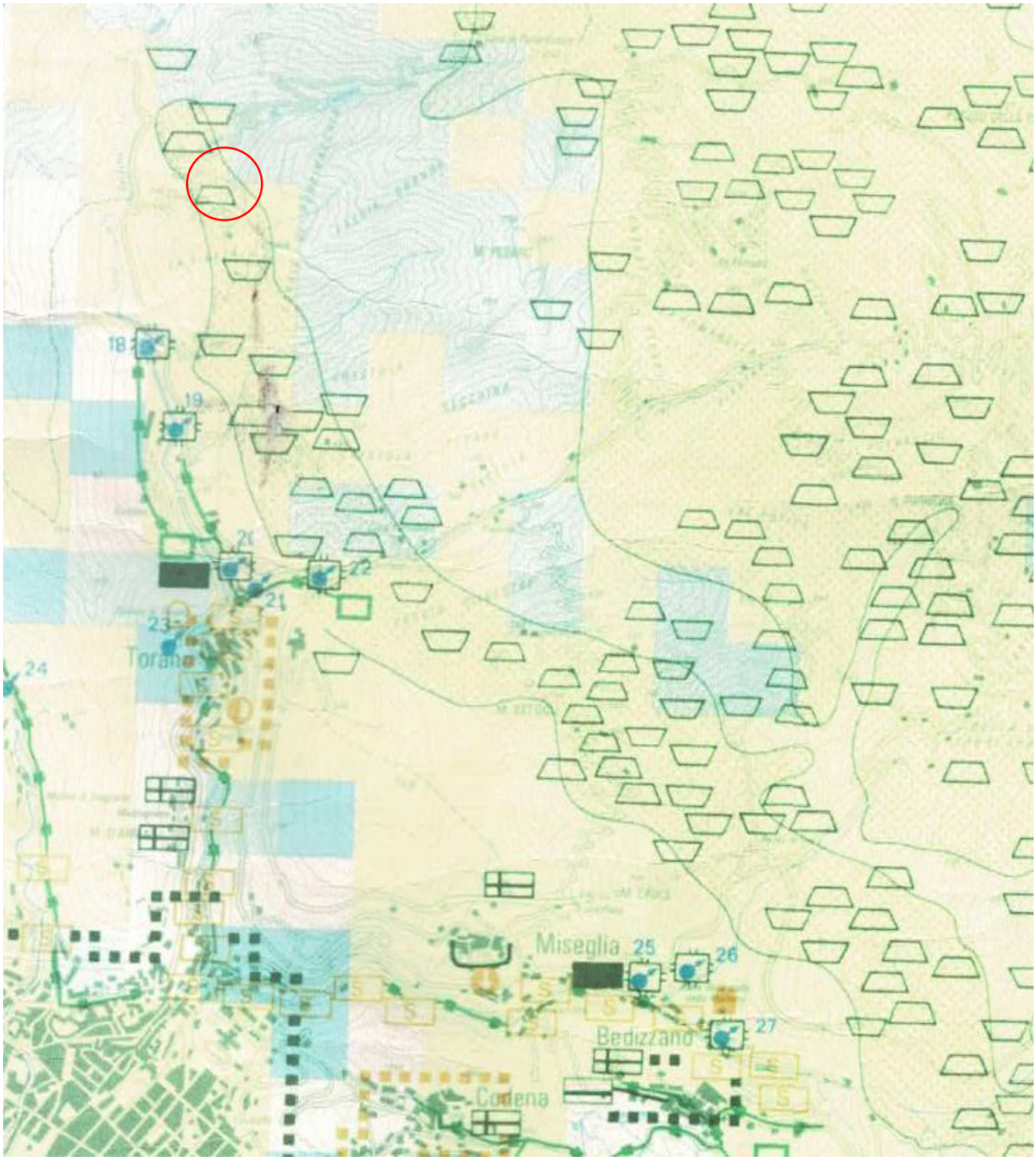
Al fine di contenere al minimo il rischio di inquinamento dell'acquifero sopra definito, nella cava:

1. i mezzi sono manutenzionati in apposita area impermeabilizzata presente all'interno del sito;
2. gli olii vergini ed esausti sono stoccati all'interno di fusti metallici contenuti in armadio chiuso con sottostante vasca di pari capacità rispetto allo stoccato;
3. gli olii, i filtri in genere e quant'altro venga usato per la manutenzione dei mezzi sia ordinaria che straordinaria è regolarmente smaltito come rifiuto speciale;
4. il carburante è contenuto in serbatoio certificato con capacità ≥110%, posto all'interno d'area con basamento cementato, pozzetto di raccolta sversamenti ascendentali, impianto di depurazione e tettoia più ampia della base cementata;
5. il pulverulento secco che si produce durante i tagli con le tagliatrici, a catena e/o filo diamantato, operanti durante la fase di lavoro sono direttamente impalati, se la granulometria lo permette, o aspirati con appositi aspiratori ed insaccato, in ottemperanza a quanto previsto nella prescrizione autorizzativa.

8.1. DETERMINAZIONE DELLE LINEE DI DEFLUSSO SOTTERRANEE

In una struttura geologica le direzioni di deflusso sotterraneo delle acque infiltratesi nel sottosuolo dipendono generalmente dalla struttura a grande scala, anche se l'andamento di quella locale può, 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.



Ubicazione area

Figura 4: Stralcio non in scala della Carta Vulnerabilità degli acquiferi delle Apuane (Civita Et A.li 1991)

Le strutture locali, con particolare riferimento alla deformazione rigida, sono quelle che influenzano nel dettaglio l'infiltrazione e il primo andamento sotterraneo delle direzioni di deflusso, con eventuale variazione di queste ultime rispetto a quanto ci si aspetterebbe dall'analisi della struttura a grande scala.

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

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

Come già detto, a grande scala la sequenza della struttura geologica, lungo la direttrice Carrara-Vinca, è rappresentata da una serie di pieghe isoclinali di fase "A_2" quali:

1)Sinclinale Carrara	2) Anticlinale Pianza	3) Sinclinale Vallini	4) Anticlinale M. Sagro
5) Sinclinale M. Sagro	6) Anticlinale Catino	7) Sinclinale Catino	8) Anticlinale 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 1-7 poggia su un substrato impermeabile costituito dall'Anticlinale di Vinca. L'immersione della Anticlinale di Vinca fa si 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, l'analisi della "Carta delle aree di alimentazione dei Sistemi Idrogeologici – Corpo Idrico Sotterraneo Significativo delle Alpi Apuane" (Allegato 9a, tav. A), il cui stralcio non in scala è la **Fig. 4)**, dal quale si evince che l'area di progetto risulta inserita nel bacino di alimentazione delle Sorgenti di Carrara, bacino che travalica quello imbrifero, in quanto ingloba anche quello del M. Sagro.

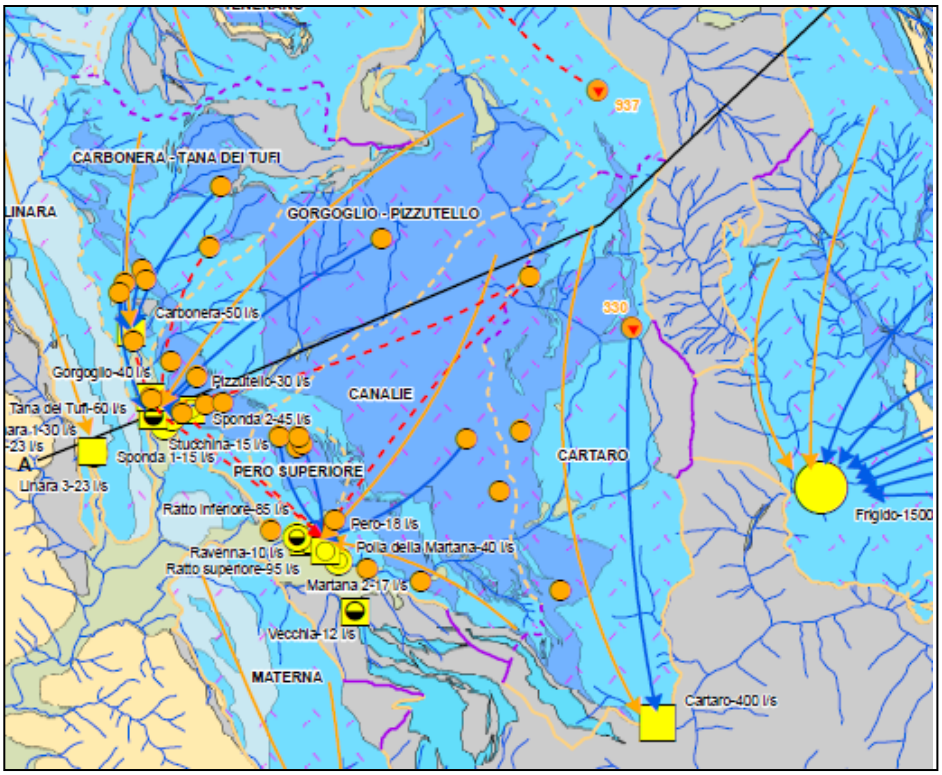


Figura 5: Stralcio *Carta delle aree di alimentazione dei Sistemi Idrogeologici – Corpo Idrico Sotterraneo Significativo delle Alpi Apuane.*
Allegato 9a, Tav. A dello *Studio idrogeologico prototipale del corpo idrico significativo dell'acquifero carbonatico delle Alpi Apuane, Monti d'Oltre Serchio e S. Maria del Giudice della Regione Toscana*

Ubicazione cava 115

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 Formazioni dell'Unità di Massa, originando, lungo il contatto tettonico, le sorgenti di Torano e delle Canalie, **Fig. 5;**
- 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. 5.**

Le acque meteoriche che cadono sui piazzali di cava non si infiltrano nel substrato; in quanto le particelle terrose prodotte durante l'escavazione ostruiscono le fratture rendendo di fatto impermeabili i piazzali.

In considerazione delle osservazioni fatte in campagna e della loro elebarozione si può ritenere che non ci sia infiltrazione sui piazzali di cava; anche se in relazione all'assetto gestrutturale del sito, a scala locale,

8.2. IL RETICOLO IDROGRAFICO LOCALE

Nel complesso il reticolo idrografico del bacino di Boccanaglia-Pescina rimane costituito dall'impluvio di fondovalle denominato "Canale di Curtana", pressoché coincidente col Contato tettonico. A questo affluiscono solo impluvi presenti in sponda sinistra, tra cui i principali sono il Canale Calacata, il Fosso Pescina e il Fosso Carbonera, i cui alvei sono incisi nella roccia pressoché rettilinei, caratterizzati dall'assenza dei deflussi superficiali.

Anche nel locale Canale di Calacata, asse idrico principale del locale subgiacimento, i deflussi sono sempre assenti, rimanendo concentrati solo durante eventi piovosi particolarmente intensi.

Sulla base di quanto sopra asserito, si può affermare che la coltivazione dell'unità estrattiva non influisce sia sull'andamento dei deflussi superficiali sia della falda freatica e che tale situazione idrogeologica non subirà alcuna modifica con il procedere dei lavori di coltivazione come da progetto

9. ORIENTAZIONE FRONTI

Nonostante che l'unità estrattiva sia da considerare una entità medio-piccola, rimane costituita da un cantiere a cielo aperto e da un cantiere in sotterraneo. La direzione e l'esposizione dei fronti attuali e di progetto per i 2 cantieri indagati è riportata nella sottostante tabella.

Di seguito si riporta l'orientazione dei fronti nelle condizioni attuali e di progetto.

CANTIERE SOTTERRANEO	TRACCIAMENTI 5.5-6.0m	N 55 subverticale esp. NW
		N 55 subverticale esp. SE
		N 115 subverticale esp. NE
		N 145 subverticale esp. NE
		N 145 subverticale esp. SW
		N 165 subverticale esp. NE
	FRONTI 3.0-6.0 m	N 55 subverticale esp. NW
		N 55 subverticale esp. SE
		N 115 subverticale esp. NE
		N 145 subverticale esp. NE
		N 145 subverticale esp. SW
		N 165 subverticale esp. NE
CANTIERE A CIELO APERTO	TECCHIE	N 025/85 NW 20.00-30.00m-
		N 030/70-75 NW 60.00m
		N 070/89 SE 20.00-30.00m
		N 020/85 SE 20.00 m
		N 130/80-85 SW 60.00m
		N 155/75-80 SW 60.00-75.00m
		N 150/89 SW 20.0m
	FRONTI 3.0-6.0m	N 45 subverticale esp. NW
		N 45 subverticale esp. SE
		N 135 subverticale esp. NE

Tabella 6: Elenco delle orientazione di fronti e delle tecchie allo stato attuale e di progetto nei cantieri della Cava

I bassi valori di inclinazione posseduti dalle fratture del sistema K1 "verso di macchia", piano rappresentativo 229/36°, e del sistema K4, piano rappresentativo 02/43°, possono rappresentare potenziali piani di scivolamento di masse rocciose, così da causare condizioni di potenziale instabilità di masse rocciose dovute alla loro interazione con i fronti di lavoro subverticali. Nel caso che si verifichino tali condizioni si dovrà procedere all'abbattimento della massa potenzialmente instabile, con conseguente arretramento del fronte stesso rispetto alla posizione progettuale.

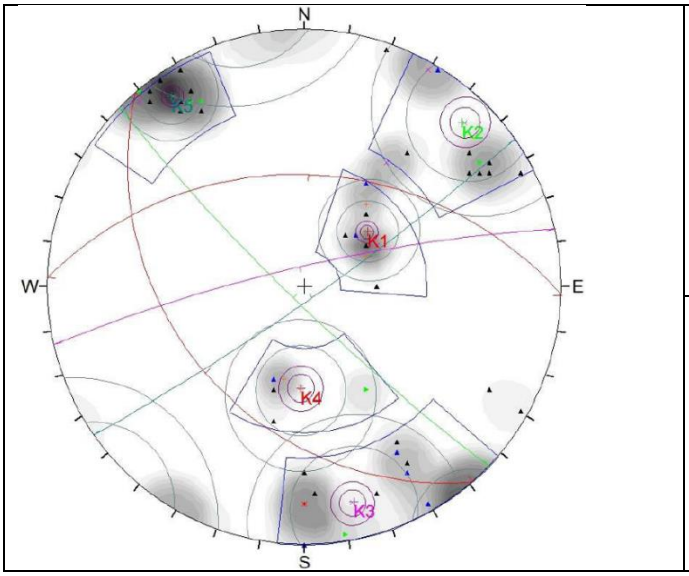
10. RILEVO STRUTTURALE

10.1. ELABORAZIONE DEI DATI RACCOLTI

I rilievi geostrutturali hanno evidenziato nell'unità estrattiva la presenza di due settori con differenti caratteristiche, elemento dominante per la definizione delle "zone di omogeneità" FINIMENTO ed AREA ESTRATTIVA è stato il parametro "spaziatura" tra le discontinuità.

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. Al fine di caratterizzare l'ammasso roccioso in esame oltre a tenere in considerazione i dati rilevati nella campagna del 2018 condotta per la redazione del progetto di coltivazione dell'Ing. Gardenato, si è ritenuto di eseguire rilievi di aggiornamento nel 2020 e nel 2022.

Nella sottostante proiezione di Wulf sono riportati i dati rilevati al momento della progettazione dall'Ing. Gardenato, mentre l'elaborazione condotta dal progettista gli ha permesso di redigere **la Tab. 6,** piani rappresentativi dei sistemi individuati, e la **Tab. 7**, Caratteristiche dei principali sistemi di discontinuità..



	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		41	230	K1
2m		78	322	K5a
3m		81	148	K5b
6m		65	47	K2b
7m		78	1	K3b
8m		78	182	K3a
9m		76	220	K2a
10m		37	1	K4

Figura 6: Rappresentazione su diagramma di Wulf dei poli e delle frequenze delle discontinuità rilevate a supporto del piano di coltivazione autorizzato (Ing. Gardenato, 2018)

Tabella 1			
Famiglia	*Immersione (°)*	*Inclinazione (°)*	*Limite variabilità (2σ)*
K1	229	36	20.33
K2	224	83	25.57
K3	347	81	26.55
K4	2	43	28,25
K5	145	84	11,70

Tabella 7: piani rappresentativi delle discontinuità rilevate a supporto del piano di coltivazione a sinistra (Ing. Gardenato, 2018) e successivo aggiornamento

Famiglia	Imm. – Inc.	Apertura	Riemp.	Persistenza	Spaziatura	Morf. G.S.	Morf. P. S.	JRC_0	Acqua
K1	229°/36°	1 – 5 mm	Ass-Sf	10 - 20 m	0.6 - 2 m	U-P	dr	8.2	W
K2	224°/83°	1 – 5 mm	Assente	3 - 10 m	0.6 - 2 m	U-P	Smooth-dr	8.1	Dy
K3	347°/81°	esp	Sf-Hd	10 - 20 m	0.6 - 2 m	U-P	Smooth-dr	7.3	Dy
K4	2°/43°	0,1 - 1 mm	Sf	3 - 10 m	0.6 - 2 m	U-P	dr	7.8	Dy
K5	145°/84°	chiusa	Assente	>20 m	0.6 - 2 m	P	Smooth-dr	5.2	Dy

Tabella 8: Caratteristiche dei principali sistemi di discontinuità..

Il cumulo dei dati rilevati durante le campagne del 2020/2022 con quelli rilevati i sede di progetto ha consentito di ottenere la sottostante proiezione stereografica:

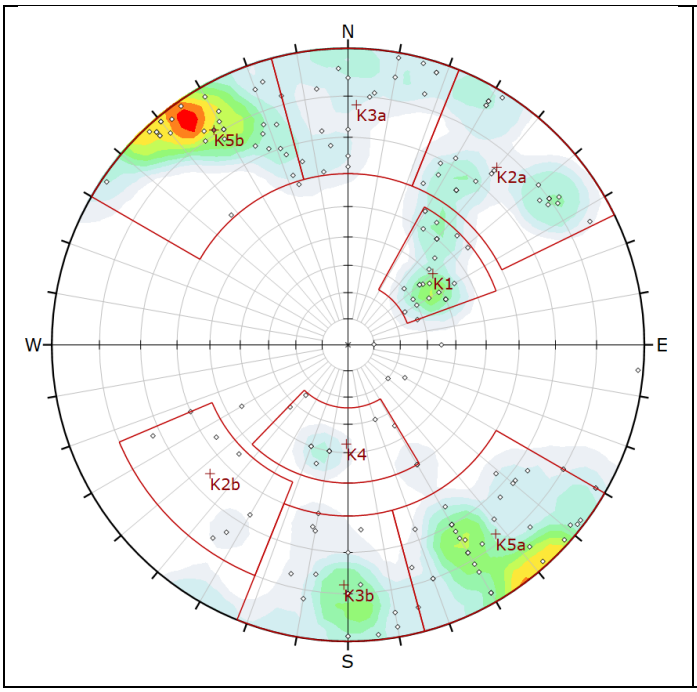


Figura 7: Rappresentazione su diagramma di Wulf dei poli e delle frequenze delle discontinuità rilevate nella campagna 2020/2022 e cumulate con quelle rilevate a supporto della progettazione (Ing. Gardenato, 2018).

11. AMMASSO ROCCIOSO:

11.1. CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI (1989)

Utilizzando i dati geostrutturali disponibili è stato possibile giungere ad una classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, secondo il metodo di Bieniawski (indice RMR).

I parametri utilizzati per la classificazione sono legati alle caratteristiche dell'ammasso roccioso:

- RQD;

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

Per quanto riguarda la resistenza a compressione della roccia intatta è stato considerato un valore compreso nell'intervallo 100-250 MPa, valore che viene confermato dalle tabelle ERTAG che riconoscono per il marmo ordinario presenti in sito un valore di circa 100 MPa.

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

L

a classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, confermando i precedenti studi, secondo il metodo di Bieniawski (indice RMR), ha permesso di classificare l'ammasso roccioso con: **RMR_b = 66.9**

RMR_c = 63.7

ARAMETRI		AMPO VALORI						
	esistenza	arico di punta	100 g/cmq	0-100 g/cmq	0-40 g/cmq	0-20 g/cmq	on applicabile	
	occia	ompressione uniassiale	2500 Kg/cmq	1000-2500 Kg/cmq	500-1000 Kg/cmq	50-500 g/cmq	0-250 g/cmq	0-50 g/cmq	10 g/cmq
	NDICE		5	2					
	QD		0-100%	5-90%	0-75%	5-50%	25%		
	NDICE		0	7	3				
	PAZIATURA		2 m	.6-2 m	00-600 mm	0-200mm	60 mm		
	NDICE		0	5	0				
	ONDIZIONE GIUNTI (Valore valutato in base alla sez. E)		uperfici olto cabre non ontinue. Pareti occia dura	uperfici scabre pertura <1 mm areti roccia ura	uperfici cabre pertura < 1mm areti roccia lterata	uperfici isce o laminate o iempimento <5mm apertura 1-5 mm iunti continui	rammentazione tenero spessore > 5 mm o iunti aperti > 5 mm iunti continui		
	INDICE		0	5	0	10			
	ONDIIONI DRAULICHE	fflusso per 10 m unghezza tunnel	Assente	10	0-25 litri/min	5-125 itri/min	125 litri/min		
		app.: tra Pressione cqua nei giunti su ol. Nat. In situ	0	0.1	.1-0.2	.2-0.5	0.5		
		ondizioni generali	omplet. sciutto	ebol. mido	olo umidità	cqua in debole ressione	everi problemi idraulici		
	INDICE		5	0					

Tabella 9: Parametri di classificazione degli ammassi rocciosi (After Bieniawski, 1989).

N = Σ 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/cmq	>1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	>4.0
φ	<15°	15°-25°	25°-35°	35°-45°	>45°
GIUDIZIO SULLE DIFFICOLTA' DELLO SCAV0	nessuna difficoltà	può essere scavato facilmente frammentazione notevole	discrete difficoltà	si cava con difficoltà frammenti di notevoli dimensioni	notevoli difficoltà di scavo
T L	30 min 1 m	10 ore 2.5 m	7 giorni 5 m	1 anno 10 m	20 anni 15 m

Tabella 10: Classificazione degli ammassi rocciosi (After Bienawski, 1989).

Dalla classificazione di Bieniawski l'ammasso roccioso risulta ascrivibile alla classe II-BUONA, a cui corrispondono i parametri geomeccanici indicati in tabella

11.2. DEFINIZIONE DEL GSI (1997)

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

Il BMR_{89}, viene definito considerando bRMR nella condizione di assenza di acqua nelle fratture (coefficiente idrico 15), **GSI = BMR_{89} – 5 = 69.5- 5.00 = 64.5**

Poiché la stima, come raccomandato dagli autori (Hoek, 2003), non deve essere troppo rigida è opportuno definire un intervallo di esistenza che descriva in maniera esaustiva lo stato effettivo dell'ammasso. Dai risultati ottenuti si ritiene che il GSI ricada con buona approssimazione all'interno dell'intervallo **60-70.**

Carrara 30.03.2022

IL GEOLOGO
Dott. Fiorenzo Dumas

Panoramica della cava n. 11 Faggetta vista dal versante orografico destra della vallata.