

Studio di Geologia-Tecnica

Dott. Fiorenzo Dumas

Via Codena 2

54033 – Carrara

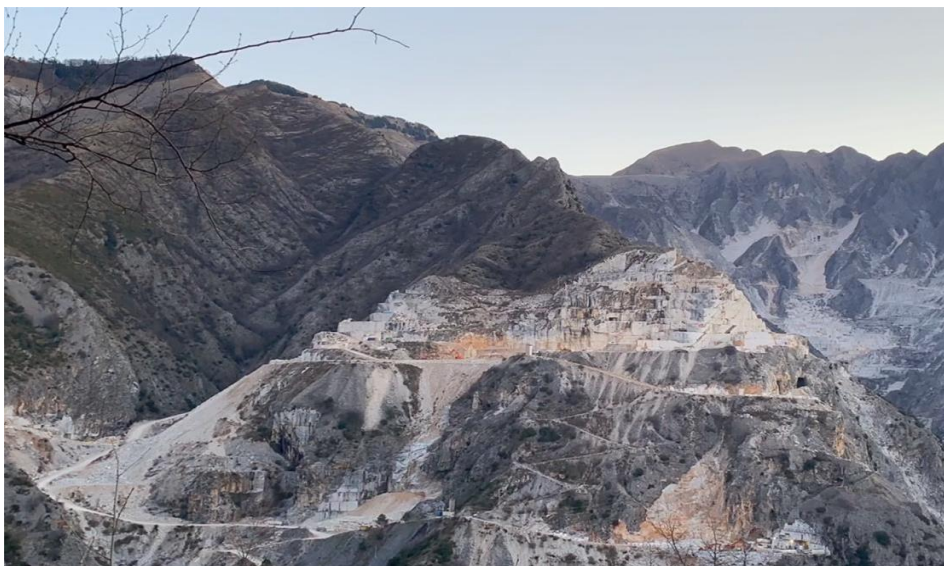
Tel. 0585/776919

Fax 0585/841969

fiorenzodumas@virgilio.it

**PIANO DI COLTIVAZIONE AI SENSI DELL'ART.23 COMMA 1
L.R.35/15 E S.M.I. CAVA N.17 RUGGETTA A - BACINO N°2 TORANO
-SCHEDA PIT/PPR N.15 - COMUNE DI CARRARA (MS)**

***STUDIO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO-GIACIMENTOLOGICO,
GEOMECCANICO E IDROGEOLOGICO***



COMMITTENTE: Calacata Crestola SRL

Il Geologo
Dott. Fiorenzo DUMAS

- LUGLIO 2025 -

INDICE

1.PREMESSA.....	4
2. STATO AUTORIZZATIVO.....	4
3.LOCALIZZAZIONE, DISPONIBILITA'	5
3.1. Localizzazione	5
3.2. Aree in disponibilità	6
4. CENNI SULLA DESTINAZIONE D'USO DELL'AREA E REGIME VINCOLISTICO	8
4.1. Destinazione d'uso.	8
4.2. Vincoli	10
5. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE GENERALI.....	15
6. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE.....	21
Inquadramento Geologico generali	21
6.1. Inquadramento Geologico dell'area indagata	24
7. CARATTERI GIACIMENTOLOGICI.....	26
7.1. Il sito	26
7.2. Il subgiacimento	27
7.3. Caratteristiche mineralogiche dei materiali	30
7.4. Caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali	32
7.5. La gestione del detrito	33
8. CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI	34
9. CARATTERI GENERALI DEL SERBATOIO IDRICO CARRARESE	35
9.1. Caratteristiche idrogeologiche del serbatoio idrico sotterraneo che sottende le sorgenti di costa	36
3ª classe - Rocce impermeabili	38
9.2. Permeabilità dell'ammasso roccioso in esame	38
9.3. Vulnerabilità degli acquiferi	39
9.4. Determinazione delle linee di deflusso sotterranee	41
9.5. Il reticolo idrografico locale	43
10. ORIENTAZIONE FRONTI.....	43
11. AGGIORNAMENTO RILIEVO STRUTTURALE	44
12.caratterizzazione geostrutturale dell'ammasso roccioso	44
12.1. Cantiere sotterraneo	46
12.2. Cantiere a cielo aperto	
13. classificazione geomeccanica	50
13.1. Classificazione di Bieniawski (1989).....	50
13.1.1. Indice RMR cantiere sotterraneo	50
13.1.2. Indice RMR cantiere a cielo aperto	51
13.2. Resistenza ammasso roccioso	52
14. aspetti sismici	53
14.1. Valutazione degli effetti sismici locali	53
14.2. Classificazione sismica	55
15. FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI.....	58

ALLEGATI:

- Scheda 17 del PABE del Bacino estrattivo di Torano – Cava Ruggetta A
- TAV G1 - Carta geologica
- TAV G2 - Carta sezioni geologiche
- TAV G3 - Carta geomorfologica
- TAV G4 - Sezioni geomorfologiche
- TAV G5 - Carta merceologica
- TAV G6 - Carta idrogeologica
- TAV G7 - Sezioni idrogeologiche
- TAV G8 - Carta della fratturazione
- TAV G9 - Carta della pericolosità geomorfologica
- TAV G10 – Qualità dei corpi idrici
- TAV G11 – Carta della pericolosità idraulica

1 . PREMESSA

Per incarico della CALACATA CRESTOLA SRL, con sede legale in Via Carriona 230, Carrara (MS), è stato redatto il progetto di coltivazione della Cava n.17, ai sensi dell'Art. 4 DPGR 72/R e Art.17 Comma 1 lett.C L.R. 35/15 e tenendo conto dei disposti del Piano Attuativo di Bacino Estrattivo (di seguito denominato PABE) di Torano - Scheda 15 del PIT/PPR, approvato con Del.C.C. n.71 del 03.11.2020.

La presente relazione è parte integrante del nuovo piano di coltivazione quinquennale (2025-2030) ed ha lo scopo di illustrare gli aspetti geomorfologico, geologico-giacimentologico, geomeccanico ed idrogeologico della cava n. 17 "Ruggetta A" e di un suo intorno significativo.

Gli altri elaborati tecnici del piano, che prevede il proseguo della coltivazione sia a cielo aperto che in sotterraneo, sono a firma dell'Ing. Giacomo Del Nero.

Al fine di redigere il presente 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, ex L.R. 10/2010-L.R. 17/2016 e al PABE del Bacino Estrattivo n°2 di Torano - Scheda n.15 PIT/PPR, Comune di Carrara (MS), Regione Toscana.

Allo scopo di rappresentare graficamente il nuovo piano di coltivazione, la Società ha provveduto a far eseguire un aggiornamento dello stato dei luoghi, mediante rilievo plano-altimetrico di dettaglio realizzato in ottemperanza degli OBBLIGHI INFORMATIVI CONNESSI ALL'ESERCIZIO DELL'ATTIVITÀ DI CAVA: Specifiche Tecniche degli Elaborati di Rilievo Tridimensionale ai sensi dell'Art.25 Comma 2bis L.R. 35/15 e s.m.i. (D.G.R. n.260 del 02.03.2020).

2 . STATO AUTORIZZATIVO

La Cava n.17 Ruggetta A risulta autorizzata con:

- DET.DIR.n.2422 del 11.06.2021 Settore Ambientali/Marmo - Comune di Carrara AUTORIZZAZIONE ATTIVITA' ESTRATTIVA EX LR35/15 PROGETTO DI COLTIVAZIONE CAVA N°17 "RUGGETTA A" BACINO N°2 TORANO - SOC. CALACATA CRESTOLA SRL avente scadenza il 31.10.2023;
- Det.Dir.n.14 del 03.05.2021 Settore Urbanistica e SUAP AUTORIZZAZIONE PAESAGGISTICA PROGETTO DI COLTIVAZIONE CAVA N°17 "RUGGETTA A" BACINO N°2 TORANO - SOC. CALACATA CRESTOLA SRL, avente scadenza il 31.10.2023;
- Pratica n.2781 SIDIT n.2866/2021 Settore Genio Civile Toscana Nord - Regione Toscana CONCESSIONE DEMANIALE FOSSO DI PESCHINA - COMUNE DI CARRARA (MS) USI/OPERE 2.2/4.2 area stoccaggio materiale/attraversamenti a raso con strada di cava, avente scadenza il 12.05.2031.

- COMUNICAZIONE CHIUSURA CDS E TRASMISSIONE PARERI/AUTORIZZAZIONI/ATTI DI ASSENSO VARIANTE AUTORIZZAZIONE CAVA N.17 RUGGETTA A AI SENSI DELL'ART.23 COMMA 2 DELLA L.R. 35/2015 (Prot.n.0074846/2022 del 22.09.2022 Settore Servizi Ambientali/Marmo);
- DET.DIR.N.4650 del 28.09.2023 Settore 8 Ambiente e Marmo: ESTENSIONE DEL TERMINE DI SCADENZA DELL'AUTORIZZAZIONE ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA EX ART.20 COMMA 5 DELLA L.R.T. 35/2015 PER SOC. CALACATA CRESTOLA SRL REGISTRATA AI SENSI DEL REG.(CE) 1221/2009 (EMAS) - CAVA N.17 RUGGETTA A - BACINO DI TORANO - SCHEDA 15 DEL PIT/PPR avente scadenza il 31.10.2025;
- COMUNICAZIONE CHIUSURA CDS E TRASMISSIONE PARERI/AUTORIZZAZIONI/ATTI DI ASSENSO VARIANTE AUTORIZZAZIONE CAVA N.17 RUGGETTA A AI SENSI DELL'ART.23 COMMA 2 DELLA L.R. 35/2015 (Prot.n.0092299/2024 del 07.11.2024 Settore Servizi Ambientali/Marmo).

3. LOCALIZZAZIONE, DISPONIBILITA'

3.1. Localizzazione

Nell'ambito dei PABE di Carrara e Massa, la cava n.17 "Ruggetta A" è ricompresa nel Bacino estrattivo n°2 - Torano, Comune di Carrara, Scheda n.15 PIT/PPR.

Essa è ubicata sul versante sud-occidentale delle Alpi Apuane in località Crestola (Fig. 1 A - B) ed affaccia sulla valle del Canale di Porcinacchia, nome che lo individua nel Reticolo idrografico ex LR 79/2012 (Fig. 7), denominato Fosso Curtana nella Carta catastale (Fig. 2A).



Fig. 1 A – Panoramica dei bacini marmiferi del Comprensorio di Carrara con localizzazione della Cava Ruggetta A sulle immagini satellitari di Google Earth.



Fig. 1 B – Dettaglio della localizzazione della Cava Ruggetta A sulle immagini satellitari di Google Earth.

Più precisamente, l'unità estrattiva è localizzata in sinistra idrografica del bacino imbrifero del Fosso di Pescina, affluente del corso d'acqua di cui sopra, al termine dello spartiacque sud-orientale compreso tra il M.Uccelliera, il M.Pesaro e Crestola.

Il perimetro dell'area in disponibilità (Fig. 1B - 1C)), di circa 195'000mq, si colloca ad una quota compresa tra 226.0-635.0 m s.l.m. e nella cartografia tecnica regionale è ricompresa:

- nei fogli 249060 e 249100 della CTR scala 1:10'000;
- nel foglio 22D19-2000 della CTR in scala 1:2'000.

Per il dettaglio si rimanda a Tav.1 in scala 1:2'000-1:50'000 del Progettista.

3.2. Aree in disponibilità

L'unità estrattiva è identificata al n°17 "RUGGETTA A" del Catasto Cave del Comune di Carrara ed è distinta ai mappali n. 1, 2, 3, 4f, 5, 6, 7p, 8p, 9, 10, 11, 12, 13p, 14p, 30, 31, 32, 33, 34, 40f, 44f del Foglio 26, mappali nn. 17, 18, 19 del Foglio 20 e mappali nn. 137, 138 e 139f del Foglio 19 del NCT del medesimo comune (Fig. 2A e 2B).

Inoltre, in ottemperanza della prescrizione C1 contenuta nella Determina autorizzativa, a servizio della cava è stata concessa anche porzione del bene demaniale Fosso di Pescina (SIDIT n.2866/2021 del **12.05.2021**) per attraversamenti a raso di via di cava e come area per lo stoccaggio di materiale derivato.

Scala 1 : 5.000

588.904,6

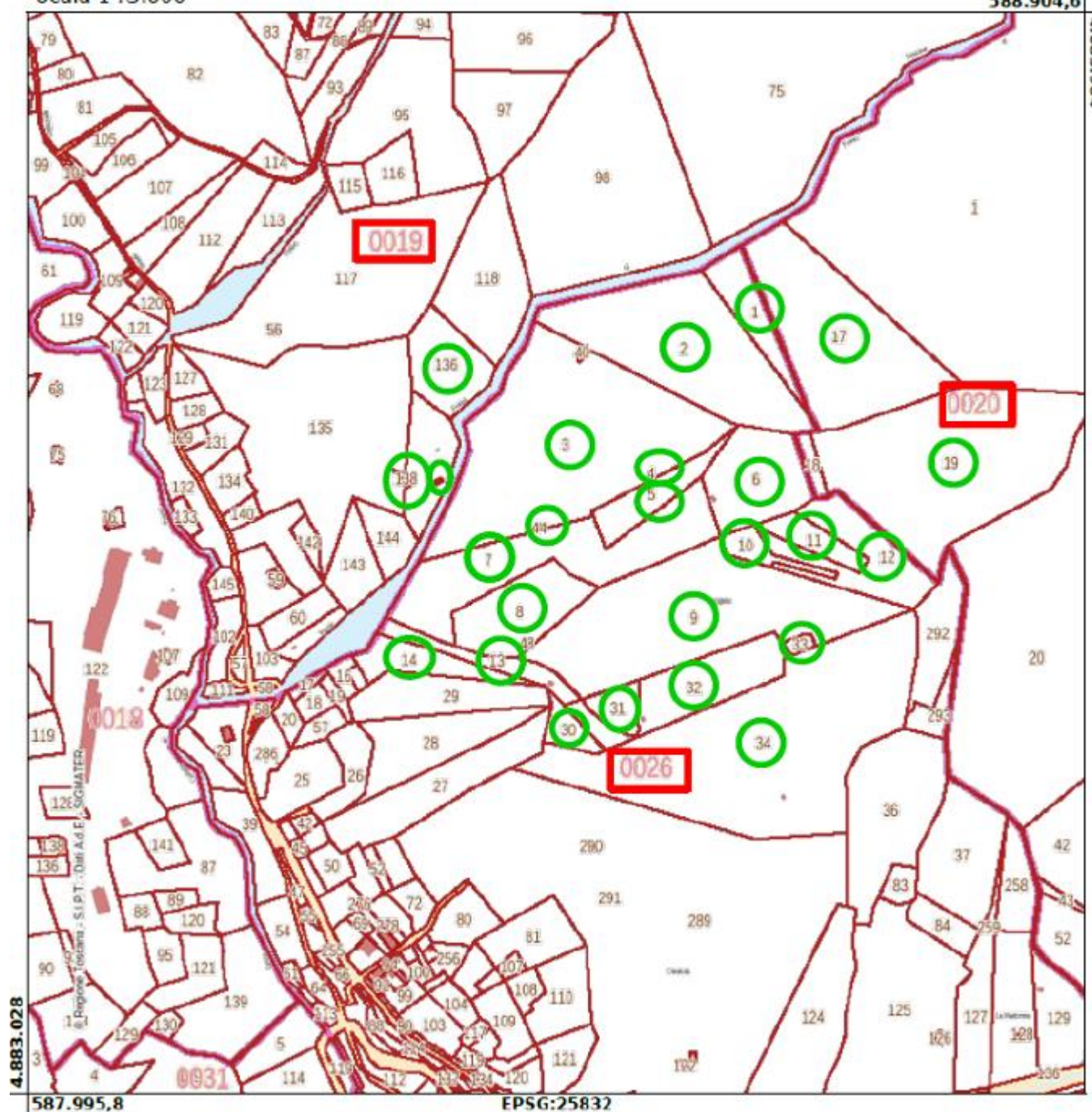
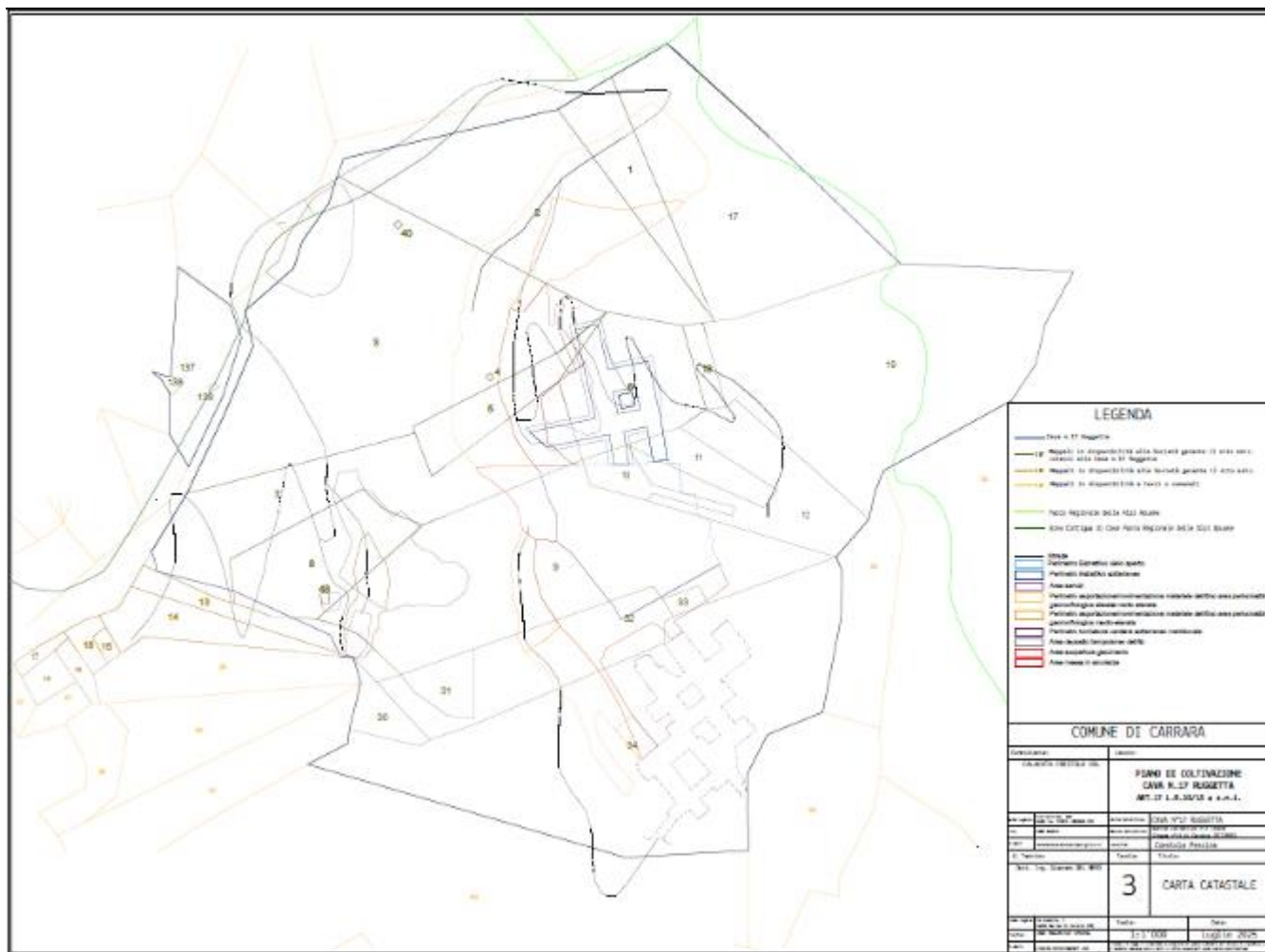


FIG. 2A - Cerchiati in verde i mappali in disponibilità:

- Foglio 26, nn. 1, 2, 3, 4f, 5, 6, 7p, 8p, 9, 10, 11, 12, 13p, 14p, 30, 31, 32, 33, 34, 40f, 44f;
- Foglio 20, nn. 17, 18, 19;
- Foglio 19, nn. 137, 138 e 139f.



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

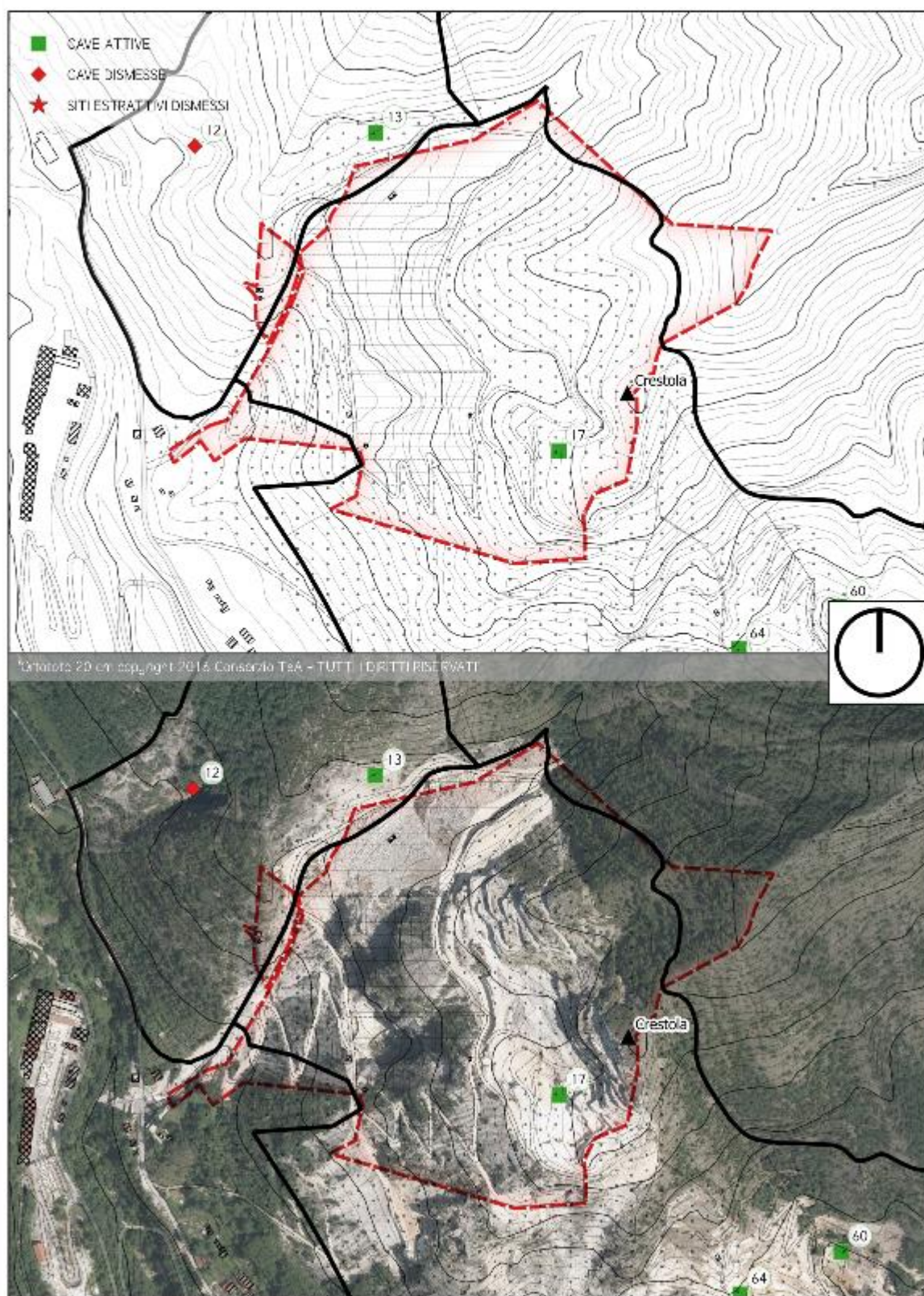
L'area in disponibilità della Cava n. 17 RUGGETTA A (Figg. 2B-2C, Fig. 3) ricade:

- ai sensi della L.R. 52/94, ad eccezione dell'estremità nord-orientale, è posta all'esterno del perimetro estrattivo del Parco Regionale delle Alpi Apuane;
- nella Scheda 17 del PABE di Torano sono sinteticamente riportate tutte le informazioni sulla cava Ruggetta A (Allegato 1).

COROGRAFIA: le aree in disponibilità della cava

Cava
17

- ▬ Limite bacino estrattivo
- ▬ Area in disponibilità della cava ex art. 38 della L.R.T. 35/2015



17 - Ruggetta A

Fig. 3 - Corografia della cava Ruggetta estratta dalla Scheda 17 del PABE del Bacino di Torano.

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

4.2. Vincoli

Si rappresentano a seguire i principali vincoli connessi con gli aspetti geologici: Vincolo idrogeologico, Pericolosità geomorfologica, idraulica, vincoli sui corsi d'acqua ex RD 523/1904 e LR79/2012.

▪ Vincolo Idrogeologico

Tutta l'unità estrattiva è interessata dal **Vincolo Idrogeologico ex L. 3267/23**, come peraltro lo è tutto il territorio montano e collinare del Comune di Carrara e più in generale delle Alpi Apuane.

▪ Pericolosità geomorfologica

La pericolosità geomorfologica è definita dal Piano di Assetto Idrogeologico PAI Dissesti dell'Autorità di Bacino distrettuale Appennino Settentrionale e dall'aggiornamento del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale del Comune di Carrara redatto ai sensi del DPGR 53/R del 25.10.2011" redatto dai Geologi Andrea Piccinini e Alberto Tomei (2017). Le perimetrazioni del PS comunale e del PAI dissesti dell'Autorità distrettuale coincidono.

Nella Tavola G9, in scala 1 : 1'000, le pericolosità geomorfologiche estratte dalla Tav. 1-2pg "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA del PS - Aggiornamento QC", il cui stralcio non in scala è la Fig. 4., sono state sovrapposte alla planimetria dello stato attuale. Le aree analizzate rimangono suddivise in:

- **"G3a-Pericolosità geomorfologica medio-elevata"**: interessa gli affioramenti di ammasso roccioso che possono potenzialmente manifestare instabilità connesse alle condizioni geostrutturali locali.
- **"G3a-Pericolosità geomorfologica elevata"**: interessa il settore orientale del ravaneto a ricoprimento della ex Cava Pescina B, ed il corpo detritico ove è ubicata la viabilità a servizio delle cave 13, 16, 17;
- **"G4- PFE pericolosità molto elevata"**: interessa una fascia corrispondente all'impluvio del Fosso di Pescina ed un'ulteriore fascia corrispondente al tratto di versante compreso tra il piazzale di q. 437.0m, la ex Cava n.187 Ruggetta B ed i tornanti della via di comparto fino alla strada comunale.

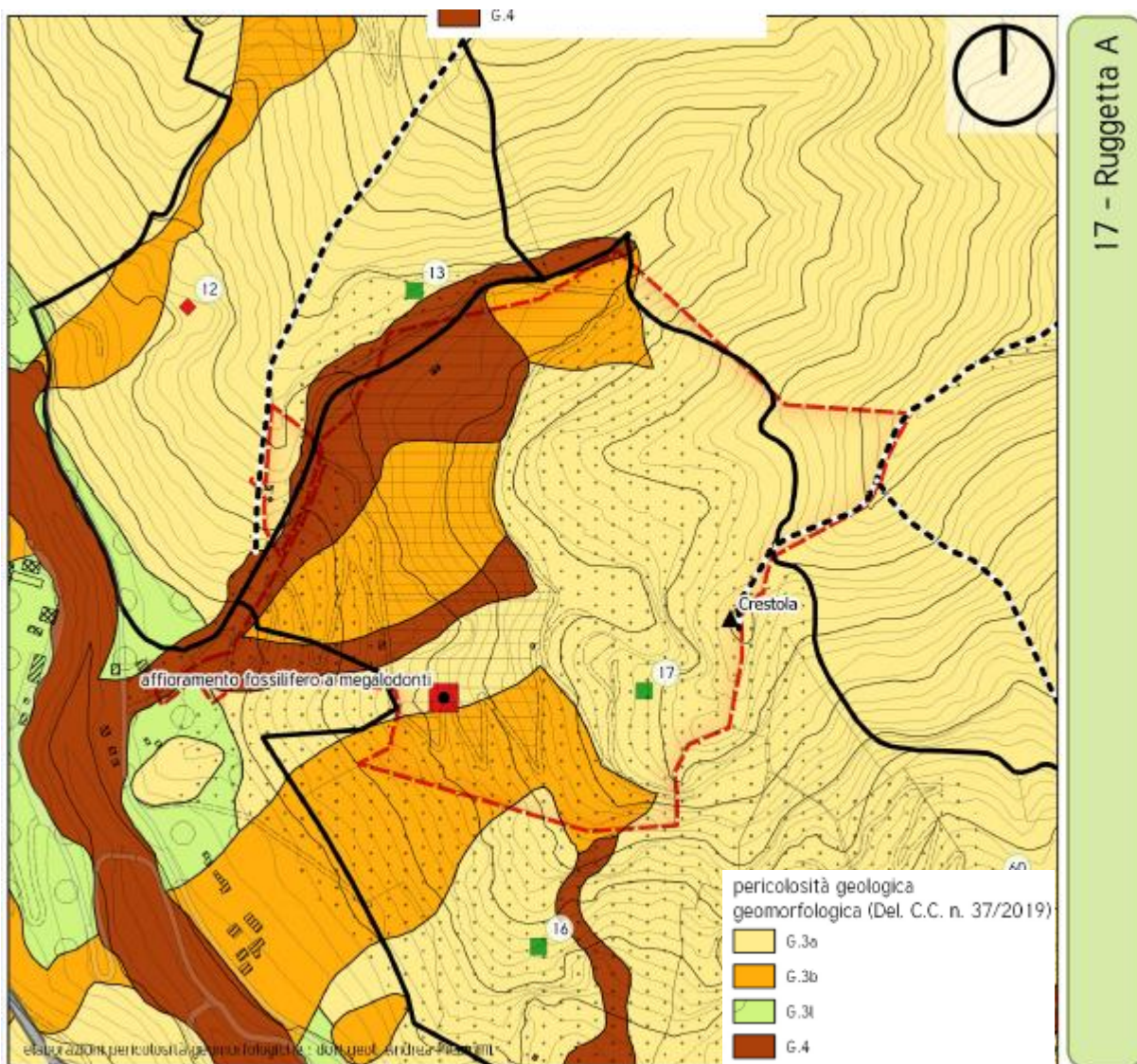


Figura 4 - Stralcio non in scala della Tav2.gm Carta della Pericolosità Geologica: Aggiornamento del quadro conoscitivo geologico del Piano Strutturale ai sensi del DPGR 53/R del 25.10.2011.

Dallo stralcio di Tavola F1: Disciplina dei suoli delle attività estrattive e degli insediamenti (quadranti 1 e 4) del **PABE** scheda n.15 Bacini di Carrara si evince che i **depositi detritici** oltre ad essere ascritti alle classi di pericolosità geomorfologica elevata e molto elevata, vengono distinti nelle seguenti **categorie** (Fig. 5):

- **R1 (5a) RAVANETO DELLE CAVE CRESTOLA:** per un conoide detritico nel settore sud-occidentale dell'area in disponibilità ricompreso tra le q.336.0 e 420.0m s.l.m, sottostante la viabilità che conduce all'attuale cantiere sotterraneo e corrispondente a quattro tornanti della vecchia viabilità di arroccamento oggi abbandonata e non più accessibile;
- **R2** nei seguenti casi:
 - o **RAVANETO SUPERIORE (7):** interessa un impluvio ricompreso tra le tecchie della Cava Ruggetta A e della ex-Cava Pescina B ove è ubicata la viabilità di arroccamento impiegata per raggiungere la

- sommità del versante ed utilizzata per interventi sui gradoni residuali da parte del personale specializzato (tecchiaioli);
- **RAVANETO DELLE CAVE CRESTOLA (5b):** è ubicato nel settore sud-occidentale dell'area in disponibilità, nella zona soprastante l'area ascritta alla classe R1 e coincide con il deposito ricompreso tra il piazzale di q.445.0, la cabina elettrica di q.441.0m s.l.m. e la strada di accesso all'attuale cantiere sotterraneo fino al tornante della vecchia viabilità abbandonata sottostante.
 - **RAVANETO DELLE CAVE RUGGETTA (4),** interessa la porzione superiore del conoide detritico che dal piazzale di q.429.0m s.l.m. e dalla strada di q.437.0m s.l.m. arrivano fino alla ex-cava Ruggetta B;
 - **RAVANETO DELLE CAVE PEScina (1)** interessa la porzione centrale ed inferiore del grande conoide che occupa l'impluvio del Fosso di Pescina;
 - **RAVANETO DEL TRATTO TERMINALE (6)** è ubicato tra il tratto rettilineo della viabilità che costeggia la ex-Cava Ruggetta B e il limite sud-occidentale dell'area in disponibilità all'interno dell'impluvio del Fosso di Pescina dove è collocata la viabilità di arroccamento.

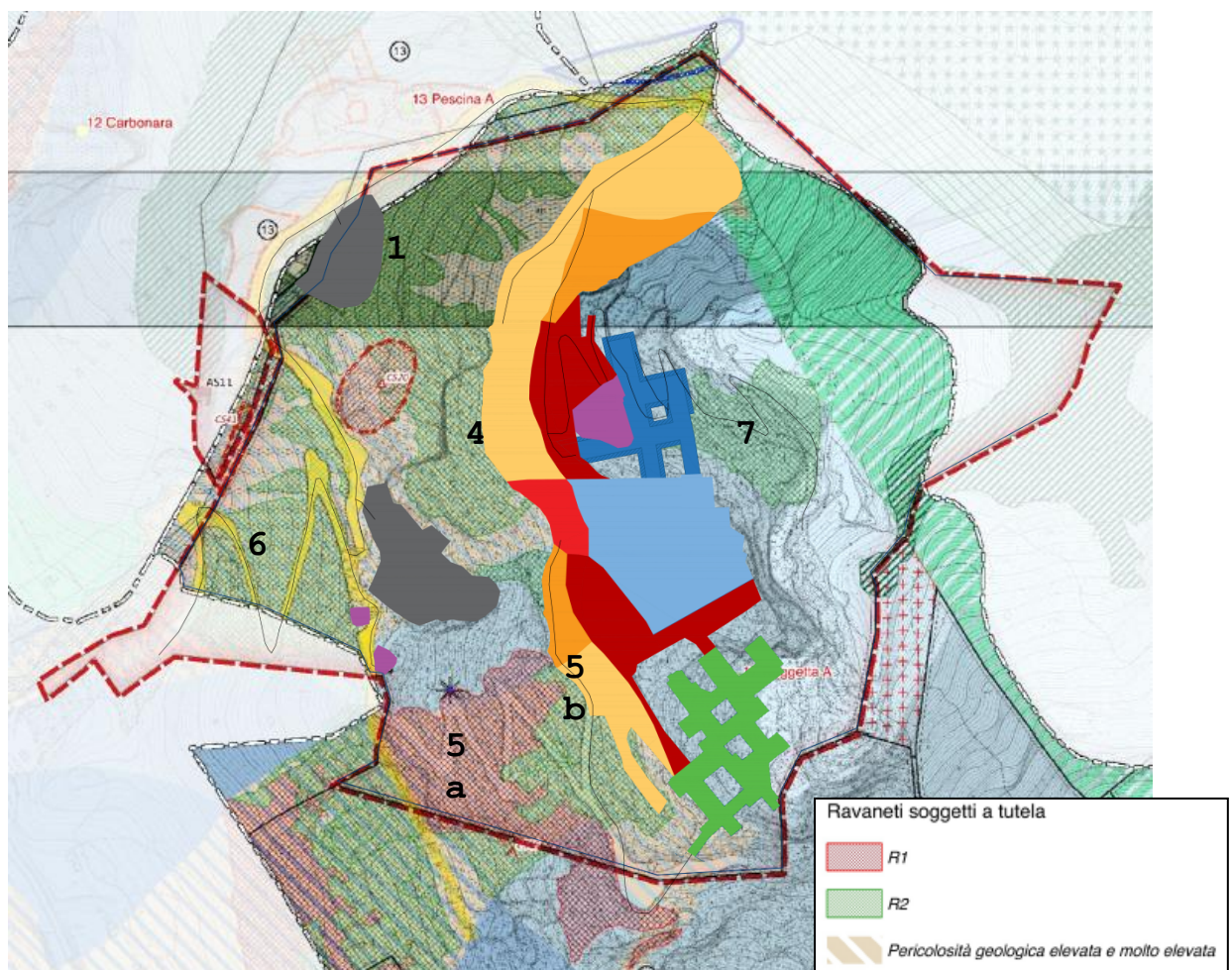


Figura 5: Stralcio di Tav.F1.1-F1.4: Disciplina dei suoli delle attività estrattive e degli insediamenti (quadranti 1 e 4) del PABE scheda n.15 Bacini di Carrara e definizione dei depositi detritici con indicata AREA IN DISPONIBILITA' (ROSSO), PERIMETRO ESTRATTIVO (BLU-AZZURRO), ASPORTAZIONE DETRITO (ARANCIO), AREE SERVIZI (VERDE).

▪ Pericolosità idraulica

La pericolosità idraulica è definita dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale e dall'aggiornamento del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale del Comune di Carrara, redatto ai sensi del DPGR 53/R del 25.10.2011" dai Geologi Andrea Piccinini e Alberto Tomei (2017). Le perimetrazioni di pericolosità fatte dai due Enti coincidono.

Nella Tav. G.2a "Carta delle aree a pericolosità idraulica del PS, l'area è sostanzialmente ascritta alla classe **"I1-Pericolosità idraulica bassa"**, D.P.G.R. n. 26R - 2007, Figura 6, salvo che per l'alveo del Fosso di Pescina ascritto alla classe **"I3- Pericolosità idraulica elevata"** - PIE.

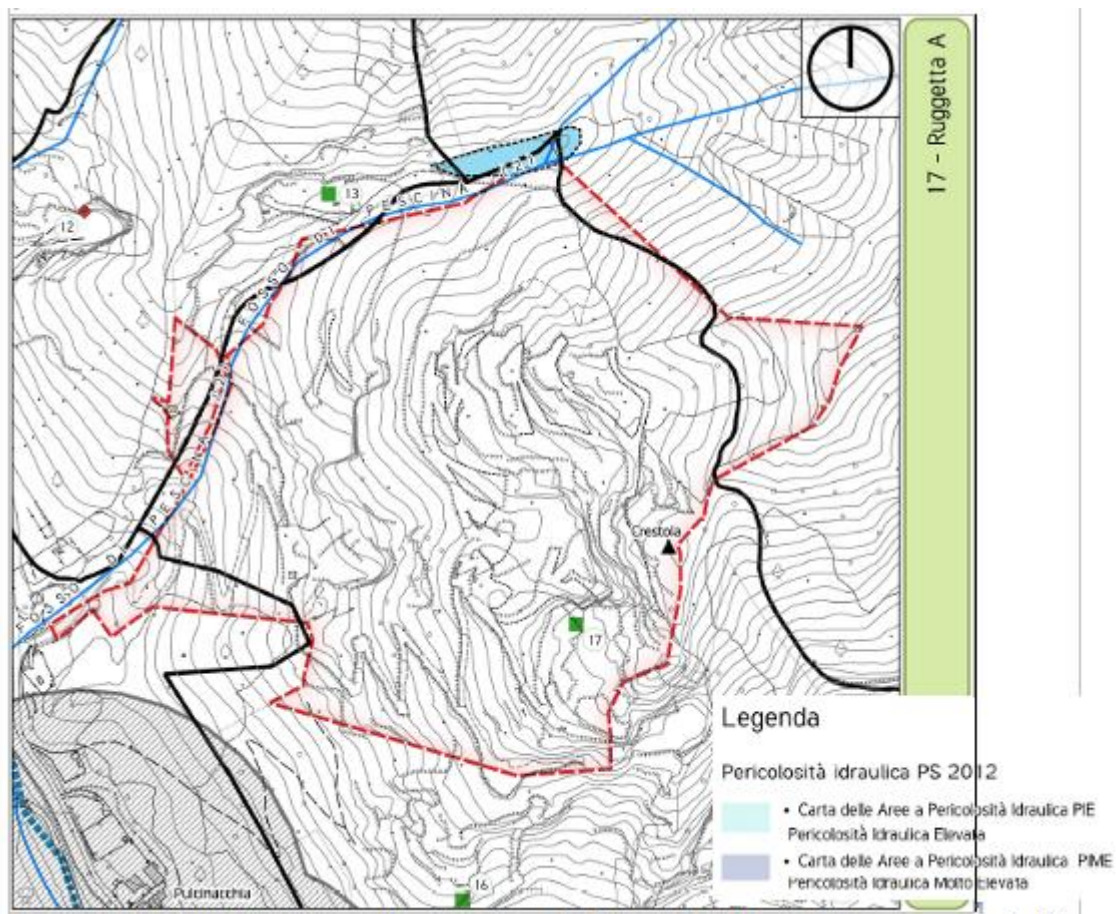


Figura 6 - Stralcio della Cartografia e della Legenda di Tav. G.2a "Carta delle aree a pericolosità idraulica Tav. G.2a" con indicata l'area in disponibilità della Cava 17, DPGR. n. 26R/07.

▪ Vincoli corsi d'acqua

Il Fosso Di Pescina è:

- inserito nel Reticolo idrografico e di gestione della Regione Toscana, per cui sullo stesso si applicano i disposti di cui alla LR 79/2012;
- catastalmente ascritto al Demanio idrico indisponibile dello Stato e dunque normato dal RD 523/1904.

Come visualizzabile nello stralcio della Carta del reticolo idrografico e di gestione della Regione Toscana (Fig. 7), il Fosso di

Pescina è rappresentato con il grafo azzurro nei tratti "naturali" e con quello giallo nel "tratto virtuale".



Fig. 7 – Stralcio della Carta del Reticolo idrografico e di gestione della Regione Toscana.

A tal proposito si rappresenta che la Regione Toscana nella DCRT 24/2025 scrive che "i tratti virtuali" sono "residuali impluvi non perfettamente localizzabili dal punto di vista geografico e geometrico data l'assenza di acqua causata dall'attività estrattiva in atto e definiti tali in via temporanea, nelle more della sistemazione finale di ripristino del perimetro della cava".

Nella DCRT 24/2025, inoltre, si è "ritenuto di confermare, inoltre, sempre in riferimento alle aree a destinazione estrattiva, quanto già riportato nella Del.C.R. 25/2024, ovvero che, ai fini del mantenimento del buon regime delle acque e compatibilmente con le esigenze di tutela della sicurezza sui luoghi di lavoro, in tali aree i progetti di coltivazione delle cave, prevedano, nelle varie fasi di lavorazione intermedie, la valutazione di tutti gli elementi atti a mantenere la continuità del reticolo, prevedendo inoltre la necessaria coerenza con la risistemazione di cui all'articolo 17, comma 1, lettera d), della L.R. 35/2015 e che queste previsioni dovranno tener conto anche degli elementi di "tratto virtuale" sopra descritti, pertanto nel rilasciare l'autorizzazione all'esercizio dell'attività estrattiva ai sensi della L.R. 35/2015 è necessario verificare la sussistenza degli elementi di cui sopra e disporre specifiche prescrizioni per la salvaguardia delle aree afferenti al demanio idrico".

Nel Reticolo idrografico regionale il Fosso di Pescina è individuato con il codice TN437709 nel "tratto virtuale" e con il codice TN438577 nel tratto a valle (grafo blu). Esso non è inserito nel Reticolo di gestione.

Il Fosso di Pescina è catastalmente ascrivito al Demanio idrico indisponibile dello Stato, come visualizzabile nella Fig. 1A, ove è

colorato in azzurro), ed è perciò soggetto ai disposti di cui al RD 523/1904.

Poiché la viabilità e le pertinenze autorizzate interessano elementi del reticolo regionale di cui alla L.R. 79/2012 e/o del demanio idrico dello Stato, la Società aveva presentato istanza al Genio Civile e ottenuto la concessione per gli attraversamenti a raso e per la realizzazione di un'area di stoccaggio temporaneo dei derivati sull'area del demanio statale del Fosso di Pescina (Pratica n.2781 SIDIT n.2866/2021 Settore Genio Civile Toscana Nord - Regione Toscana CONCESSIONE DEMANIALE FOSSO DI PESCHINA - COMUNE DI CARRARA (MS) USI/OPERE 2.2/4.2 area stoccaggio materiale/attraversamenti a raso con strada di cava, avente scadenza il 12.05.2031).

Per quanto riguarda in dettaglio l'**ulteriore vincolistica** gravante sull'area in disponibilità, si rimanda alla "Relazione tecnica illustrativa" e a quella Paesaggistica redatte dal Dott. Ing. Giacomo DEL NERO.

5. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE 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 esplicitata 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, subapallelamente 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 dei seguenti caratteri geomorfologici:
 - a) una rete idrografica molto semplice e lineare, rimanendo costituita dal Fosso principale di Curtana o Boccanaglia

orientato circa NW-SE e subparallelo al Contatto Tettonico nel tratto del suo corso di fondovalle; sul questo fosso 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 Boccanaglia, hanno direzione all'incirca NE-SW, mantenendola subparallela al sistema di fratturazione che in cava è denominato come "Secondo". I loro alvei hanno andamento subrettilineo e rimangono ben incassati nella roccia, generando la classica forma "V" molto pronunciata caratteristica delle valli pluviali delle zone medio-temperate. In particolare, le valli erose dal Canale Calata e dal Fosso Pescina penetrano per oltre 1.0Km all'interno del versante;

- b) vari impluvi, componenti la rete idrografica, che 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 estese 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 e fa sì 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 "Ruggetta A" è ubicata all'interno di un piccolo bacino morfologico secondario, che ha la sua parte apicale nel Monte Pesaro (Figg.7-8) ed è delimitato da due dossi, che dallo stesso si dipartono raggiungendo, con direzione circa NE-SW, il fondovalle del Canale di Boccanaglia. La cresta più meridionale funge anche da

[illegible]

Fig. 8 - Stralcio della cartografia DDTM, nella quale è visualizzabile il piccolo bacino morfologico del Fosso di Pescina nel quale è localizzata la cava Ruggetta A.

La valle del Fosso Pescina, con uno sviluppo longitudinale di circa 1700m, non presenta deflusso superficiale se non in caso di precipitazioni di una certa entità e ovviamente solo nella parte naturale.

La vicinanza al paese di Torano e la diffusa disponibilità di subgiacimenti marmiferi di elevata qualità merceologica, ha fatto sì che la coltivazione del deposito marmifero di Crestola iniziasse già prima dell'epoca romana. Nell'area e nel limitrofo sub-bacino di Ravaccione fu sviluppata un'intesa attività estrattiva che ha prodotto l'apertura di numerosi siti con la formazione di vasti depositi detritici che coprono, pressoché in continuità, i vari versanti.

L'attività nella Cava "Ruzeta" (l'attuale Ruggetta) è proseguita anche nel post-medioevo come testimoniato dal contratto d'acquisto del marmo per Michelangelo, 6 marzo 1517, Archivio di Stato di Massa, notaro Galvano Parlanciotto

"Si impegnano al prefato Maestro Michelangiolo di farle (le colonne, n.d.r.) del marmoro della loro cava posta nella alpa de Carrara in loco dicto a Ruzeta" cioè Cava Ruggetta in località Crestola, nel cuore delle Alpi Apuane

Al momento attuale, oltre alla cava n. 17, sono attive nel subgiacimento di Crestola-Pescina altre 2 cave (Figg. 3 - 9):

- a SE la cava n. 16 "Crestola C" in sotterraneo gestita dalla S.A.M. srl;
- a NW la cava n. 13 "Pescina" in sotterraneo gestita dalla Escavazione la Gioia s.r.l..

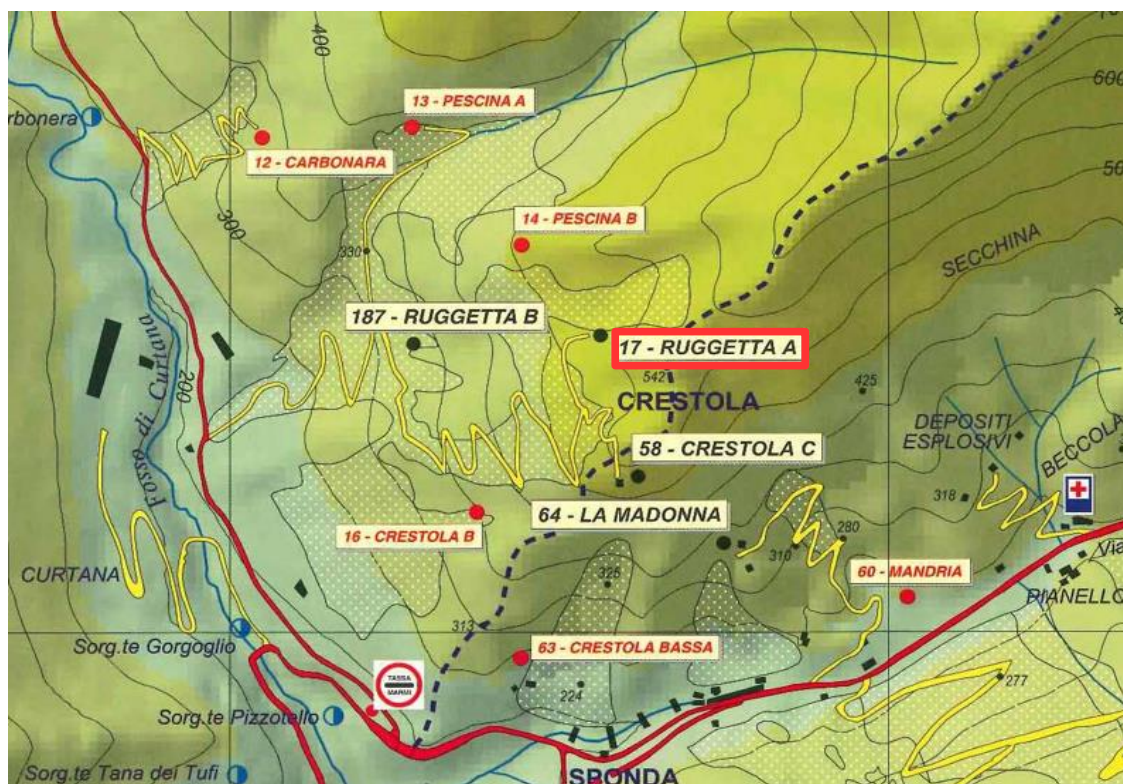


Fig. 9 - Stralcio della Carta dell'ubicazione delle cave del Comune di Carrara (Politecnico Torino, 2.000).

Il carattere idrografico locale saliente è il Fosso di Curtana/Porcinacchia, dove i deflussi idrici sono essenzialmente stagionali e per la maggior parte rappresentati dal surplus scaricato dalle sorgenti captate.

Nel complesso il reticolo idrografico locale rimane poco sviluppato, in quanto caratterizzato da impluvi pressoché rettilinei, poco incisi nella roccia, dove l'assenza dei deflussi superficiali e la scarsa incisione sono indizi di elevato drenaggio del substrato; per cui le acque meteoriche defluenti all'esterno dell'area di cava tendono ad infiltrarsi all'interno del substrato calcareo andando ad alimentare la falda freatica profonda.

Lo scorrimento superficiale lungo gli impluvi avviene solo durante intensi eventi meteorici.

L'intervento antropico legato alla coltivazione dell'unità estrattiva in argomento è sostanzialmente concentrato nella porzione medio-inferiore del piccolo bacino morfologico del Fosso di Pescina, in buona parte ricoperta da detriti di origine antropica, i cosiddetti ravaneti (Tavv. G1 - G3).

Sull'ampio ravaneto è stata costruita la strada d'arroccamento di accesso al sito. La coltivazione della pietra ornamentale si sviluppa maggiormente sulla destra idrografica della valle del fosso sopra citato (Tavv. G1 - G3).

La messa a dimora degli scarti della lavorazione lapidea (ravaneti) è avvenuta soprattutto 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 Calcere Selcifero nell'intorno significativo della cava fa sì che si sia sviluppato un bosco di caducifoglio, elemento vegetazionale che nelle aree di affioramento del marmo è assente, e che si concentra maggiormente 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".

Nella Carta Geomorfologica di Tav. G3, in scala 1 : 1'000, è possibile visualizzare i differenti domini affioranti nell'area e nel suo intorno significativo:

- ammasso roccioso (Marmi s.s.), riconducibile al dominio di cava o 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;

- depositi detritici e ravaneti, ovvero dominio detritico o dominio antropico temporaneo.
- zone rimaste integre e modellate dalla erosione pluvio-fluviale, ovvero dominio naturale o pluvio-fluviale.

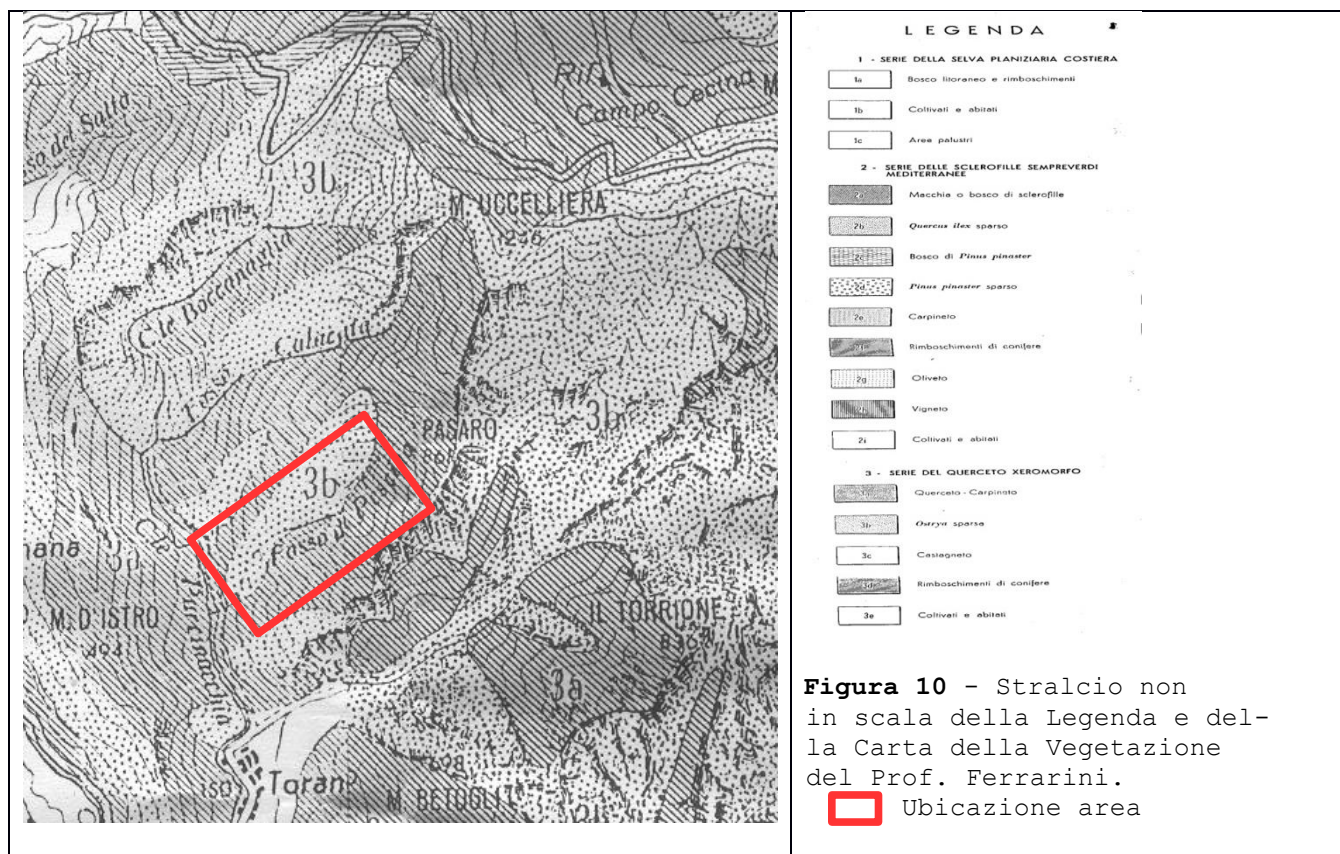
La possibilità di indagare direttamente i fronti residui presenti in cava e l'intorno significativo ha consentito, per il momento, di escludere la presenza di forme carsiche principali sia di tipo superficiale (epigeo), quali doline, poljie, inghiottitoi, pozzi o campi carreggiati, sia di tipo profondo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

- piccoli inghiottitoi ed altre forme carsiche minori, localizzati nelle vicinanze;
- 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 Fosso di Pescina ove rimane ubicata la cava, emerge che il Dominio Antropico è quello dominante, almeno fino a circa 450m s.l.m.. A quote superiori predomina invece 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 ricoperte 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.10, ossia che l'intorno significativo la cava è classificato come: 2a) "macchia o bosco di sclerofille". Questa 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.



6. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

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 D₁", ma che in realtà corrisponde a una seconda fase "A₂" che ripiega una precedente fase "A₁" quasi complanare, vedi schema di Fig. 11, 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.

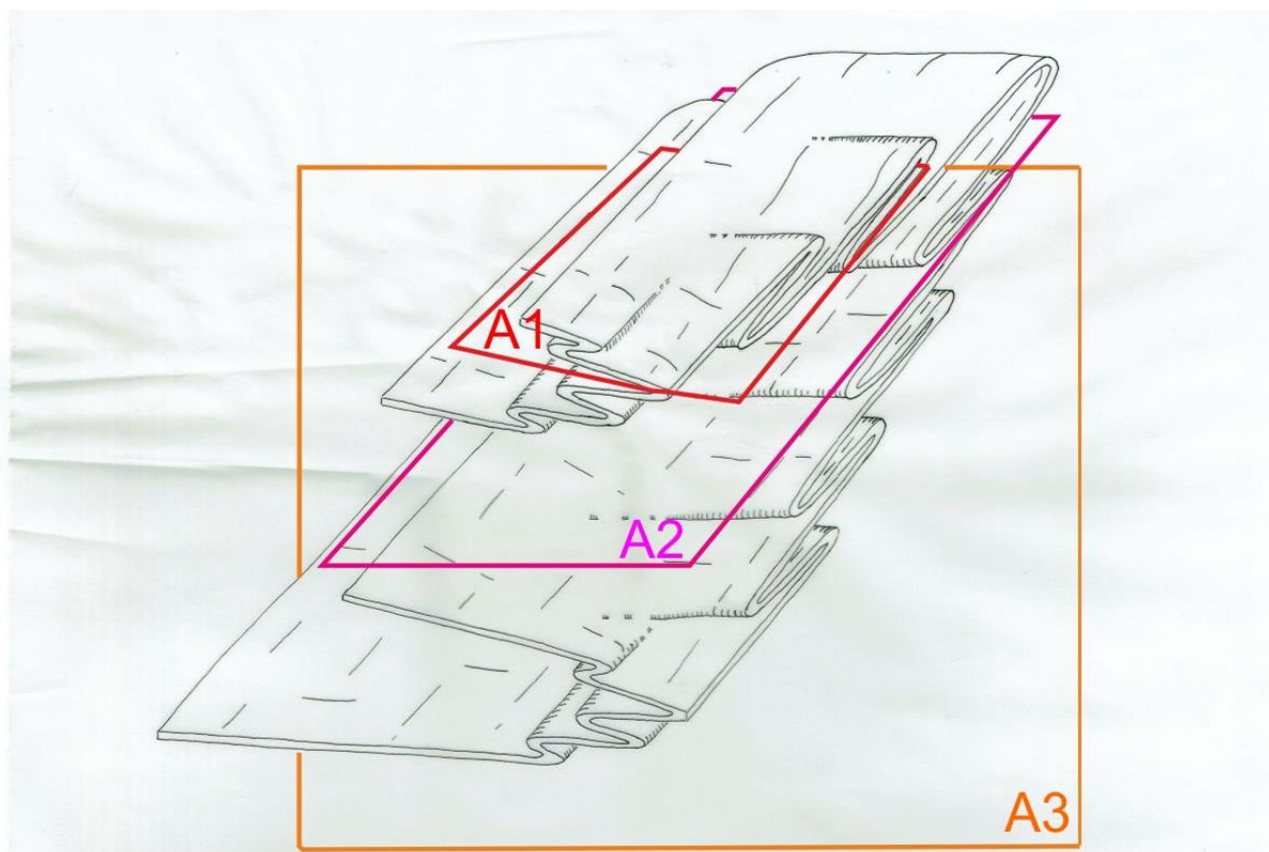


Figura 11 - Schema del modello geo-strutturale inerente le interferenze tra le fasi "A₁" "A₂" "A₃"

Il risultato di questa fase è la sovrapposizione delle unità tettoniche Liguri s.l. e della Falda Toscana che costituiscono attualmente l'Appennino Settentrionale. Quest'ultimo sovrascorrimento è ben osservabile nel bacino di Boccanaglia, in quanto, come già detto, le formazioni ascrivibili al Dominio della Falda Toscana costituiscono il versante orografico destro, mentre le formazioni ascrivibili al dominio metamorfico formano tutto il complesso roccioso affiorante nella parte sinistra della valle.

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

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

Nel Carrarese le pieghe isoclinali di prima fase "A₁" sono registrate in livelli particolarmente "sensibili" perché ricchi in miche o fillosilicati in genere, come appunto quello dello "Zebrino-Cremo Delicato", dove le pieghe di fase "A₁" sono associate a quelle di seconda fase "A₂". 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 "A₁" è

mascherata e sovrapposta da quella di seconda fase "A₂", che hanno sviluppato e definito una scistosità di piano assiale che nei marmi rappresenta quello che i cavatori chiamano **"verso di macchia"**.

A 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 "A₃", 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 "A₂", sono nuovamente deformate dalla terza fase "A₃", 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 "A₂" e dagli accavallamenti nella generale struttura d'antiforme (*antiformal stack*) di seconda fase, tanto da disporsi secondo un pattern centrifugo rispetto alla zona di culminazione assiale della finestra tettonica delle Apuane (Duomo di Ruosina e Duomo di Boana). Questa cinematica, unita all'erosione, ha determinato il denudamento tettonico dell'area apuana e la conseguente emersione del Complesso metamorfico apuano.

Le interferenze tra le fasi "A₁" "A₂" "A₃", schema di Fig. 11, 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 A₂ ha generato una importante sequenza strutturale così rappresentata da W verso Est (Fig. 12):

- 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.

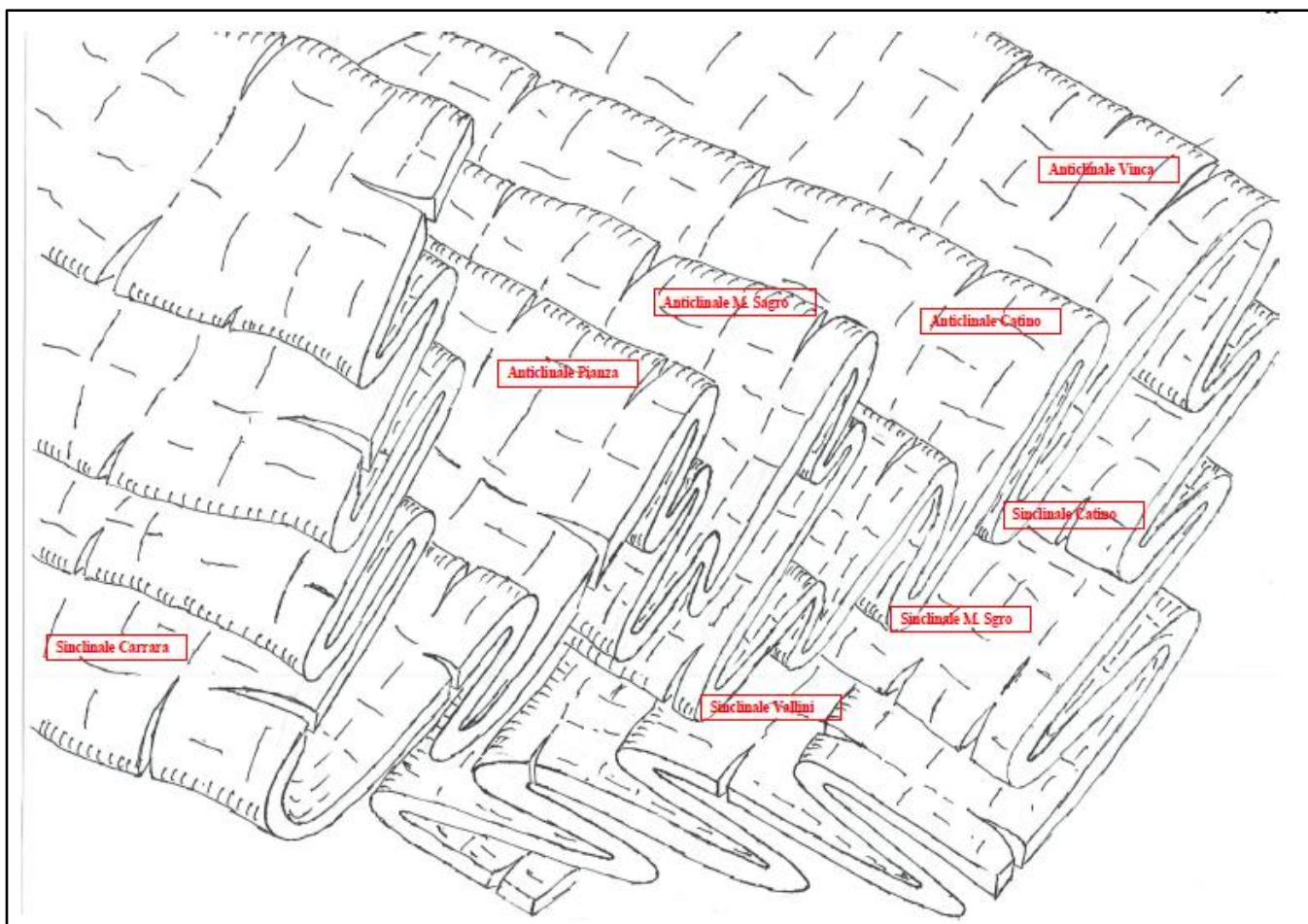


Fig. 12 - Sequenza strutturale Comprensorio Carrarese, da W verso Est, generata dall'intensa attività tettonica connessa con lo sviluppo della fase A₂.

6.1. Inquadramento Geologico dell'area indagata

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

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

La struttura geologica, oltre ad essere visualizzabile nella Carta Geologica di Tav. G1, è stata schematizzata nella mappa satellitare ricavata da Google, nello stralcio di Fig. 13, non in scala.

In dettaglio la cava n. 17 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.

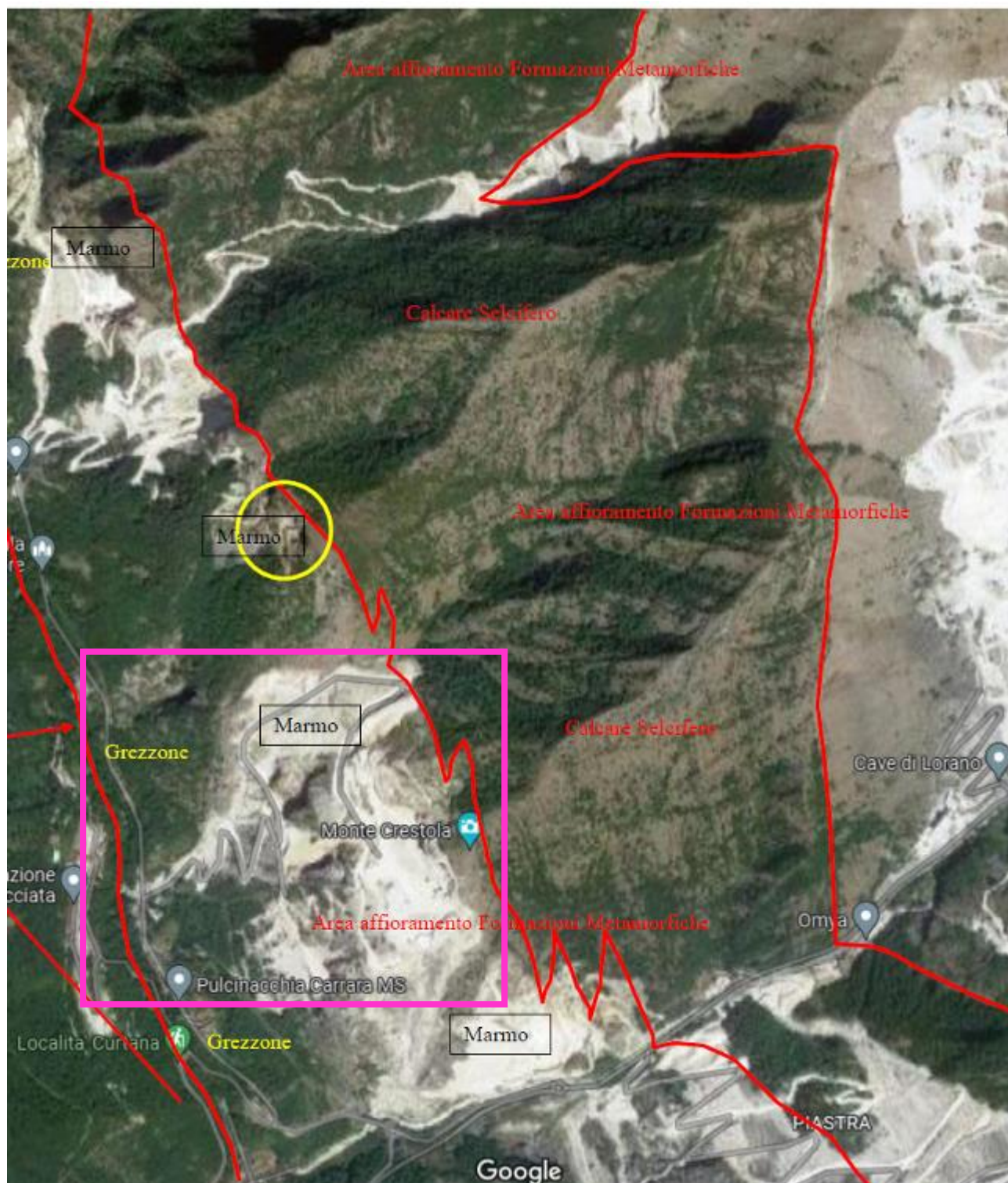


Figura 13 - Stralcio non in scala della mappa satellitare estratta da Google, su cui sono stati riportati gli elementi geostutturali dell'area. Nel quadrato magenta l'area in cui insiste la cava 17 Ruggetta A.

➤ **Formazioni dell'"Auctotono-Auct.":**

- **Formazione dei Grezzoni:** Dolomie ricristallizzate 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.;
- **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.

7. CARATTERI GIACIMENTOLOGICI

7.1. Il sito

L'area in disponibilità è delimitata:

- a Nord dall'impianto del Fosso di Pescina e dall'area in disponibilità alla Cava N.13 Pescina A, da poco tempo riattivata;
- ad Ovest dal Fosso di Curtana/Pulcinaccia;
- a Sud dalla Cave attive n.16 Crestola e Madonna e dal ramo di Torano del Carrione, principale corso d'acqua a livello comunale;
- ad Est dal crinale sud-occidentale del Monte Pesaro.

L'accesso al sito avviene tramite un'unica via di arroccamento, costituita di diversi tornanti, che raggiunge l'unità estrattiva da NW seguendo il corso naturale del Fosso di Pescina, mentre l'unica via pubblica per raggiungere l'area risulta Via di Boccanaglia che si sviluppa in direzione settentrionale dall'abitato di Torano (MS) Fig. 7).

Il sito estrattivo è suddiviso in un cantiere a cielo aperto e due cantieri sotterranei denominati "attuale" o "Crestola" e "nuovo" o "Pescina" (Fig. 2 B, Tavola 1 di progetto).

Il cantiere sotterraneo "Crestola" è accessibile da un ingresso nel settore SW e si sviluppa lungo due direttrici ortogonali che hanno prodotto la formazione di tre corridoi di asse SE-NO e tre corridoi di asse SO-NE separati da 3 pilastri (P1, P2, P3) e tre diaframmi isolati per 3/4 dei lati (D1, D2, D3). Il cantiere sotterraneo si sviluppa su livelli sub-orizzontali aventi piano di calpestio alle quote 404.5m, 401.0m, 397.7m e 394.0 m s.l.m. e tetto alle quote di 425.3m s.l.m. nel corridoio occidentale e 428.20m s.l.m. nelle restanti porzioni di scavo. La calotta presenta spessore mediamente compreso tra 16.0-19.0 m ad eccezione dell'estremità orientale (43.0m) e dell'estremità meridionale (29.5m).

Il cantiere a cielo aperto è costituito di un grande piazzale meridionale ricompreso tra q. 444.2-445.8m s.l.m. ed una serie di gradoni attivi a forma di anfiteatro ristretto a circa q. 436.0m, 431.9m, 427.5m, 424.5m s.l.m. ed ultimo ribasso a q.420.5m s.l.m..

Nel settore settentrionale sono presenti gradonature residuali a q. 435.5m e 448.9m s.l.m. sotto l'area servizi a q.454.0m s.l.m. e la viabilità di arroccamento che raggiunge la tecchia. Nell'estremità meridionale, a confine con la Cava n.16 Crestola, sono presenti gradoni residuali a q.452.1, 458.3 e 463.9m s.l.m.. Nel settore orientale è presente la tecchia che diparte dalla cima di Crestola a q. 552.7 m s.l.m. e raggiunge i piazzali con dislivelli compresi tra 105.00-125.00 m circa.

In sezione la struttura può essere suddivisa in tre parti uniformi:

- la parte sommitale compresa tra la vetta del pendio di q.552.7 m fino a circa 538.0 m s.l.m. ove permane la copertura verginale del versante con inclinazione media di 23°;
- la parte centrale costituita da sette bancate residuali tra le q. 538.0 m e 473.0 m s.l.m. di pedate comprese tra 1.65 m e 9.65 m ed alzate comprese tra 6.00 e 13.53 m che conferiscono al versante un'inclinazione media di 67°;
- la parte terminale costituita da quattro bancate comprese tra le q. 473.0 m e 451.9 m s.l.m. con fronti aventi alzata 6.00 m e pedata superiore ai 12.00 m che conferiscono al versante un'inclinazione di circa 34°.

Il cantiere sotterraneo "Pescina" è stato aperto al di sotto delle gradonature residuali nel settore settentrionale a cielo aperto. Al momento è costituito di un unico tracciamento esplorativo ricompreso tra q. 425.2m e 431.2m s.l.m. in direzione N-NW avente lunghezza circa 30.0m e luce libera circa 9.5m.

7.2. Il subgiacimento

Il subgiacimento all'interno del quale è aperta la cava "Ruggetta A" 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 Sinforme di 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 "noccioline di grezzone" che rimangono "sradicate" e disseminate lungo il Contatto Tettonico in località Campocecina;
- 2) a livello del locale fianco rovesciato affiorante si è esplicitata 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 vista:

- 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 Calcere Selcifero, rimanendo parte integrante del giacimento marmifero di Boccanaglia-Pescina, questo coincide in massima parte col livello marmoreo del fianco rovesciato della Sinforme 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 Calcere Selcifero-Marmo.

Sui fronti coltivati, sia a cielo aperto sia in sotterraneo, affiorano diverse merceologie: **"calacatta macchia oro"**, **"statuario venato"**, **"nuvolato"** e **"bardiglio"**.

La loro distribuzione è visualizzabile nella Carta delle Varietà merceologiche, Tav. G5, nella quale le varietà "Nuvolato" e "Bardiglio" sono accorpate come "Marmi grigi".

Le loro caratteristiche litologiche salienti sono riportate a seguire.

➤ **"Calacatta"**: Breccia a clasti di statuario, appiattiti sulle superfici di scistosità, in cemento calcare di colore giallo verde per la presenza di muscovite e pirite microcristallina, Età geologica: Lias inferiore.



➤ **"Statuario venato"**: marmo di colore bianco avorio, a grana grossa, con venature intersecantesi di colore grigio dovuto a quantità infinitesime di pirite microcristallina. Età geologica: Lias inferiore.



➤ **"Nuvolato"**, metacalcare grigio a grana medio-fine, forma isolate lenti, prossime al contatto con la Formazione Grezzone, ricco in inclusioni dolomitiche di colore giallastra. Età geologica: Lias inferiore.



➤ "Bardiglio": metacalcare di colore grigio non uniforme a grana fine. Il colore grigio è dovuto a quantità infinitesime di pirite microcristallina. Età geologica, nella foto cerchiato in rosso. Età geologica: Lias inferiore.	
➤ "Zebrino", nuova varietà di ridotto interesse commerciale per la ridottissima potenza del livello $p < 3.0m$. Affiora in un piccolo orizzonte (freccia rossa) nel sotterraneo. È 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. Età geologica_Lias inferiore	

7.3. Caratteristiche 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 Sinforme, dove è possibile riscontrare una granulometria medio-fine nei suoi affioramenti di NW (località **Crestola**, Carbonera, Calacata) ed una granulometria medio-grossa nella rimanente parte del livello di SE (Betogli, Piana)

Nelle sottostanti Tabelle da 1 a 5 sono riportate le caratteristiche mineralogiche delle varietà merceologiche affioranti nell'area in disponibilità.

Tabella 1 - Caratteristiche chimico-mineralogiche della qualità merceologica "Calacatta.

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE

COMPOSIZIONE MINERALOGICA

% in peso			
Magnesio nella calcite			1.3
Residuo			2.34
Minerali	<i>principali</i>	calcite	90.16
		dolomite	7.5
	<i>minori</i>	muscovite	
		pirite	
		quarzo	
		albite	

ANALISI CHIMICHE

% in peso	
CO ₂	43.86
MgO	2.18
Al ₂ O ₃	0.25
SiO ₂	0.47
K ₂ O	0.10
CaO	52.42
TiO ₂	0.02
MnO	0.07
Fe ₂ O ₃	0.44

Tabella 2 - Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Statuario venato.

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE

COMPOSIZIONE MINERALOGICA

% in peso			
Magnesio nella calcite			3.0
Residuo			0.14
Minerali	<i>principali</i>	calcite	99.86
		dolomite	0.0
	<i>minori</i>	muscovite	
		pirite	
		quarzo	

ANALISI CHIMICHE

% in peso	
CO ₂	44.00
MgO	1.58
Al ₂ O ₃	0.05
SiO ₂	0.08
K ₂ O	0.02
CaO	54.24
TiO ₂	0.01
MnO	0.00
Fe ₂ O ₃	0.02

Tabella 3 - Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Nuvolato", ricompresa nei MARMI GRIGI della Tavola G5.

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE

COMPOSIZIONE MINERALOGICA

			% in peso
Magnesio nella calcite			1.7
Residuo			0.3
Minerali	<i>principali</i>	calcite	97.7
		dolomite	2.0
	<i>minori</i>	muscovite	
		albite	
		pirite	
		quarzo	
		adularia	

ANALISI CHIMICHE

	% in peso
CO ₂	43.90
MgO	0.92
Al ₂ O ₃	0.10
SiO ₂	0.20
K ₂ O	0.03
CaO	54.81
TiO ₂	0.01
MnO	0.02
Fe ₂ O ₃	0.00

Tabella 4: Caratteristiche chimico-mineralogiche della qualità merceologica "Bardiglio"

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE

COMPOSIZIONE MINERALOGICA

			% in peso
Magnesio nella calcite			1.7
Residuo			0.15
Minerali	<i>principali</i>	calcite	97.85
		dolomite	2.0
	<i>minori</i>	muscovite	
		albite	
		pirite	
		adularia	
		quarzo	

ANALISI CHIMICHE

	% in peso
CO ₂	44.00
MgO	1.07
Al ₂ O ₃	0.06
SiO ₂	0.14
K ₂ O	0.02
CaO	54.69
TiO ₂	0.00
MnO	0.01
Fe ₂ O ₃	0.00

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

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE

COMPOSIZIONE MINERALOGICA

			% in peso
Magnesio nella calcite			2.60
Residuo			3.80
Minerali	<i>principali</i>	calcite	96.20
		dolomite	0.0
	<i>minori</i>	muscovite	
		quarzo	
		albite	

ANALISI CHIMICHE

	% in peso
CO ₂	42.50
MgO	1.15
Al ₂ O ₃	1.06
SiO ₂	2.24
K ₂ O	0.41
CaO	52.18
TiO ₂	0.04
MnO	0.01
Fe ₂ O ₃	0.38

7.4. Caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali

Le varietà merceologiche riscontrate (Bardiglio, Nuvolato, Venato, Calacata e Statuario venato) presentano un'elevata eterogeneità delle caratteristiche fisico-meccaniche. Pertanto, per ciascuna qualità

tipologica sono stati consultati dati di bibliografia (ERTAG) relativi alle caratteristiche geomeccaniche del materiale intatto.

Nella tabella che segue sono riassunte le caratteristiche geomeccaniche dei materiali intatti costituenti l'ammasso roccioso della Cava n°17 Ruggetta.

CARATTERISTICHE MECCANICHE		BARDIGLIO	NUVOLATO	VENATO	CALACATA	STATUARIO
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	155	135	129	108	121
Resistenza a trazione	MPa	10	9	10	6	10
Resistenza tangenziale roccia intatta	MPa	24	20	22	14	23
Modulo di Elasticità	MPa	88'400	60'900	73'400	63'500	76'600
Angolo di attrito interno	°	VALORE COMPRESO TRA 35° E 45°				

I parametri di resistenza della roccia intatta sono stati ottenuti attraverso la consultazione del testo "Marmi Italiani" (F.lli Vallardi Editore, 1980) ed in particolare riferendosi alle caratteristiche meccaniche dello "STATUARIO VENATO", del "BARDIGLIO", del "NUVOLATO" e del "CALACATTA MACCHIA ORO" proprie della litologia dominante in sito.

Per quei parametri non disponibili è stato invece sfruttato l'intervallo di esistenza dei valori caratteristici (approccio Baysiano) dei parametri medi della matrice rocciosa del Bacino Marmifero Apuano (Pierotti et al, 2014), come riportato nella tabella che segue.

CARATTERISTICHE MECCANICHE	VENATO	BARDIGLIO	NUVOLATO	CALACATTA	media	Dev. st.	VALORE
RESISTENZA · COMPREX UNIA · X (MPa)	130.9	155.9	133.0	108.5	132.1	16.8	118.3
RESISTENZA FLESSIONE · (MPa)	22.9	23.65	20.0	14.3	20.2	3.7	17.2
RESISTENZA TRAZIONE · (MPa)	8±3				8.0	3.0	5.5
RESISTENZA · TAGLIO (MPa)	20±5				20.0	5.0	15.9
PESO · SPECIFICO (ton/mc)	2'702	2'693	2.683	2.696	2'694	7	2'700
MODULO · DI ELASTICITA' · (MPa)	75'181	86'763	59'772	62'324	71'010	10'808	62'120
Coefficiente · di Poisson · medio	0.25				0.25	0.00	0.25
Angolo · di · Attrito interno · (°)	37±3				37.0	3.0	34.5

7.5. 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.

8. CARATTERI IDROGEOLOGICI 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, che influiscono notevolmente sulla circolazione idrica 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. Infatti, l'elevata

permeabilità associata all'elevato spessore facilita l'infiltrazione delle acque che vi cadono sopra evitandone il deflusso superficiale.

9. 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 presentano 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 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.

9.1. Caratteristiche idrogeologiche del serbatoio idrico sotterraneo che sottende le sorgenti di costa

Nelle Tavole G6 - Carta Idrogeologica e G7 - Sezioni, entrambe 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:

1^a classe: Permeabilità primaria

a) litotipi permeabili per porosità

2^a 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^a classe: Impermeabili

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

- **1^a classe: Permeabilità primaria**
- **a) Litotipi con permeabilità primaria o per porosità**
- Depositi detritici artificiali: 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: sono depositi generalmente presenti nelle aree di affioramento del Calcere 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 Calcere Selcifero che costituisce il nucleo della struttura geologica.
-
- **- 2ª classe - Permeabilità secondaria acquisita**
- La permeabilità per fratturazione è tipica delle rocce coerenti, quella per carsismo si riscontra nelle rocce solubili, quali i calcari e le dolomie. A questa classe appartengono:
-
- **a) le formazioni permeabili per fratturazione decrescente e per limitati fenomeni carsici**
- 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 delle acque. La formazione possiede un medio-basso grado di permeabilità ed e nel bacino affiora a monte dell'unità estrattiva.
-
- **b) le formazioni permeabili per fratturazione crescente e sviluppo di fenomeni carsici:**
- Marmi, Marmi Dolomitici, Formazione di Vinca e Grezzoni: i litotipi formazionali variano da un "calcere puro" (Marmi) a un "calcere dolomitico" (Marmi Dolomitici) a una "dolomia pura" (Formazione di Vinca e Grezzoni). I litotipi sono caratterizzati

da elevato grado di permeabilità per fratturazione, la quale, in determinate condizioni di pressione e temperatura delle acque, tende ad ampliarsi per dissoluzione del carbonato, così da sviluppare fenomeni carsici. Le formazioni di questo tipo sono caratterizzate da un alto grado di permeabilità dovuto a una rete di fratture costituite:

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

3ª classe - 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 Quarzítico-muscovitiche dell'Unità di Massa è confermata da alcuni affioramenti interni al bacino e localizzati nei pressi del fondovalle, oltre che dalle emergenze idriche.

9.2. 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.

Nel caso in esame, il carsismo è poco sviluppato.

Nella Tavola G8 è possibile visualizzare le condizioni di fratturazione del sito. 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).

9.3. Vulnerabilità degli acquiferi

Il problema della vulnerabilità degli acquiferi sulle Apuane è piuttosto rilevante, in quanto le aree carbonatiche, proprio per la loro caratteristica 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 ben organizzata, può essere fonte di potenziale inquinamento a causa della dispersione, anche fortuita, di oli minerali e/o 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 alii 1991, il cui stralcio non in scala è la Figura 14.

Al fine di contenere al minimo il rischio di inquinamento nell'acquifero sopra definito, nella cava si opera mettendo in atto tutti gli accorgimenti previsti dalle vigenti normative o ritenute necessarie. A tal proposito si ricorda in particolare che:

1. tutti i tagli sono eseguiti a secco;
2. il pulverulento secco che si produce durante i tagli con le tagliatrici, a catena e/o filo diamantato, operanti durante la fase di lavoro, è direttamente impalato, se la granulometria lo permette, o aspirato con appositi aspiratori ed insaccato, in ottemperanza a quanto previsto nella prescrizione autorizzativa.
3. i piazzali vengono tenuti puliti anche con l'impiego di idonei mezzi meccanici;
4. i mezzi sono manutenzionati in apposita area impermeabilizzata presente all'interno del sito;
5. gli olii vergini e quelli esausti sono stoccati all'interno di fusti metallici contenuti in un armadio chiuso con sottostante vasca di capacità maggiore rispetto allo stoccato;

6. 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;
7. il carburante è contenuto in serbatoio certificato con capacità $\geq 110\%$, posto all'interno d'area con basamento cementato, pozzetto di raccolta sversamenti accidentali, impianto di depurazione e tettoia più ampia della base cementata;
8. le discontinuità beanti sono sigillate;
9. vengono realizzati una serie di cordoli impermeabili perimetrali ai vari piazzali;
10. si realizzano dei dossi sormontabili in corrispondenza delle rampe interne;
11. si allestiscono dei punti di presa **(P)** per le AMDC ricadenti nei punti morfologicamente più bassi dei piazzali attivi.

Per i dettagli si rimanda alla relazione sul "Piano di gestione delle acque meteoriche" a firma del progettista.



Figura 11: Stralcio non in scala della Carta Vulnerabilità degli acquiferi delle Apuane (Civita et Al., 1991).

9.4. 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.

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", ecc..
- le fratture beanti più o meno diffuse;
- le zone a maggior intensità di fratturazione, 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 "A₂" 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 1-7 poggia su un substrato impermeabile costituito dall'Anticlinale di Vinca. L'immersione della Antiforme di Vinca 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, 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. 14B, 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.

LEGENDA LEGEND

Classi di permeabilità relativa
per i complessi idrogeologici
in roccia
Hydrogeological Units

	Complessi idrogeologici carbonatati Carbonate Rocks	Complessi idrogeologici non carbonatati Non-carbonate Rocks
V - Permeabilità alta V - Highly Productive	Permeabilità per saturazione e/o carsismo Fluenced and Karst flow	Permeabilità per saturazione Fluenced flow
IV - Permeabilità medio-alta IV - Medium Productive		
III - Permeabilità media III - Moderately Productive		
II - Permeabilità medio-bassa II - Limited or Locally Productive		
I - Permeabilità da bassa a molto bassa I - Unproductive		

Complessi idrogeologici in
depositi quaternari e continentali
Rusciniani e Villanoviani
Hydrogeological Units (Quaternary,
Ruscinian and Villanovian deposits)

Depositi a permeabilità
primaria o mista
Superficial deposits -
Intergener flow

Principali direttrici di deflusso sotterraneo In sistema idrogeologico carbonatico Groundwater Flow Direction

certa *Certain* →
incerta *Uncertain* →
presunta *Inferred* →

Principali cavità
carsiche con indicazione
del numero di catasto F.S.T.
(sede di prova di tracciamento)
Dye lead (cave)

Punto di immissione di tracciante
idrogeologico naturale
Dye lead (fracture)

Sorgente libera senza informazione
sulla portata media
Untrapped spring
without mean discharge indication

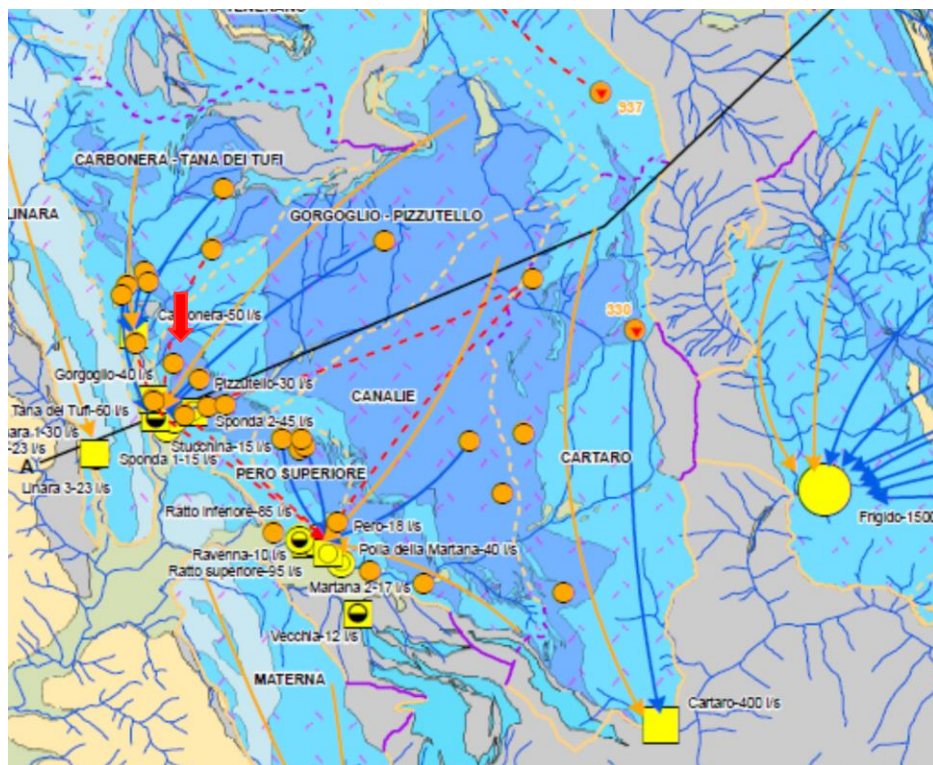
portata non definita
Undefined mean discharge

Sorgente libera con indicazione
della portata media
Untrapped spring
with mean discharge indication

da 0 a 1 l/s
< 1 l/s
da 1 a 5 l/s
1 to 5 l/s
da 5 a 10 l/s
5 to 10 l/s
da 10 a 100 l/s
10 to 100 l/s
da 100 a 500 l/s
100 to 500 l/s
da 500 a 1000 l/s
500 to 1000 l/s
da 1000 a 5000 l/s
1000 to 5000 l/s

**Figura 14 A: Legenda della
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



**Figura 14 B - 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 Ruggetta A

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. 14B**;
- 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. 14B**.

9.5. 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 Fosso di Pescina, 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

10. ORIENTAZIONE FRONTI

Come già detto, l'unità estrattiva è 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.

Nella Tabella 6 che segue si riporta l'orientazione dei fronti nelle condizioni attuali e di variante.

CANTIERE SOTTERRANEO SETTENTRIONALE	TRACCIAMENTI 6.0m	N 080 subverticale esp. SE	
		N 170 subverticale esp. NE	
	FRONTI 3.0-3.5 m	N 080 subverticale esp. SE	
		N 080 subverticale esp. NW	
		N 170 subverticale esp. SW	
		N 170 subverticale esp. NE	
CANTIERE A CIELO APERTO	TECCHIE	N 000 65+45° W 95.00+35.0 m	
		N 020 85°	SE 20.00 m
		N 060 85°	NW 25.00 m
		N 090 85°	S 30.00 m
		N 120 85°	NE 20.00 m
		N 160 65°	SW 90.00 m

CANTIERE A CIELO APERTO	FRONTI 3.0-7.5m	N 00 subverticale esp. W
		N 55 subverticale esp. NW
		N 090 subverticale esp. S
		N 145 subverticale esp. SW
		N 145 subverticale esp. NE
CANTIERE SOTTERRANEO MERIDIONALE	TRACCIAMENTI 6.0m	N 080 subverticale esp. SE
		N 170 subverticale esp. NE

Tabella 6 - Elenco delle orientazioni di fronti e delle tecchie allo stato attuale e di variante nei cantieri della Cava 17.

11. AGGIORNAMENTO RILIEVO STRUTTURALE

L'analisi statistica, in conformità con le precedenti, ha tenuto conto della presenza di due sistemi principali K1 e K2 (divisi a loro volta in quattro sottosistemi K1.1, K1.2, K2.1 e K2.2) e di due sistemi secondari K3 e K4, (quest'ultimo a sua volta suddiviso in K4.1 e K4.2 e rilevato solo nel cantiere sotterraneo).

I ranges di immersione ed inclinazione dei sistemi nonché le caratteristiche fisico-meccaniche sono illustrate nelle Tabelle 7 e 8 per il **cantiere sotterraneo** e nelle Tabelle 9 e 10 per quello a cielo aperto.

Di sicura rilevanza geostrutturale a grande scala sono le discontinuità molto persistenti ascrivibili al sistema del "verso di macchia" (V1, V2, V3) che della tecchia attraversano l'intero versante e pervadono il sotterraneo.

12. CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

I rilievi geostrutturali hanno evidenziato nei vari cantieri la presenza di alcuni 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.

Il rilievo strutturale, ha permesso di identificare le discontinuità affioranti e di caratterizzarle attraverso il metodo normalizzato elaborato dall'I.S.R.M. (International Society of Rocks Mechanics, 1978).

I dati raccolti sono stati suddivisi per cantiere ed elaborati con l'ausilio del programma Dips della Rocscience® che ha consentito di definire i sistemi di discontinuità ed i loro piani rappresentativi nonché di trattare dal punto di vista statistico le relative caratteristiche fisico-meccaniche.

La scelta di suddividere i dati per i diversi cantieri ha permesso di migliorare la precisione della trattazione effettuata.

Gli ultimi stendimenti effettuati hanno confermato la presenza dei sistemi precedentemente rilevati e più in generale, nel cantiere sotterraneo, con l'allontanamento dal piano campagna indisturbato, si può evincere un miglioramento geomeccanico dell'ammasso roccioso

attraverso la diminuzione dei sistemi mediamente/non persistenti e la scomparsa di discontinuità ascrivibili al sistema K4, in concordanza con quanto già rilevato nel cantiere a cielo aperto. Per entrambi i cantieri si è comunque ritenuto opportuno mantenere i dati riscontrati nei precedenti rilievi dal momento che presentano una maggior rilevanza statistica. L'analisi statistica, in conformità con le precedenti, ha tenuto conto della presenza di due sistemi principali K1 e K2 (divisi a loro volta in quattro sottosistemi K1.1, K1.2, K2.1 e K2.2) e di due sistemi secondari K3 e K4, (quest'ultimo a sua volta suddiviso in K4.1 e K4.2 e rilevato solo nel cantiere sotterraneo).

I ranges di immersione ed inclinazione dei sistemi nonché le caratteristiche fisico-meccaniche sono illustrate in Tabella 7 e Tabella 8 per il cantiere sotterraneo e Tabella 9 e Tabella 10 per il cantiere a cielo aperto.

Di sicura rilevanza geostrutturale a grande scala si rileva:

- la fascia cataclastica "finimento" (F1 350°/78°) appartenente ad una faglia diretta ubicata tra il cantiere centrale e meridionale, in verde nello stralcio sottostante della carta della fratturazione;
- le discontinuità molto persistenti ascrivibili al sistema del "verso" (V1, V2, V3) che della tecchia attraversano l'intero versante e pervadono il sotterraneo.

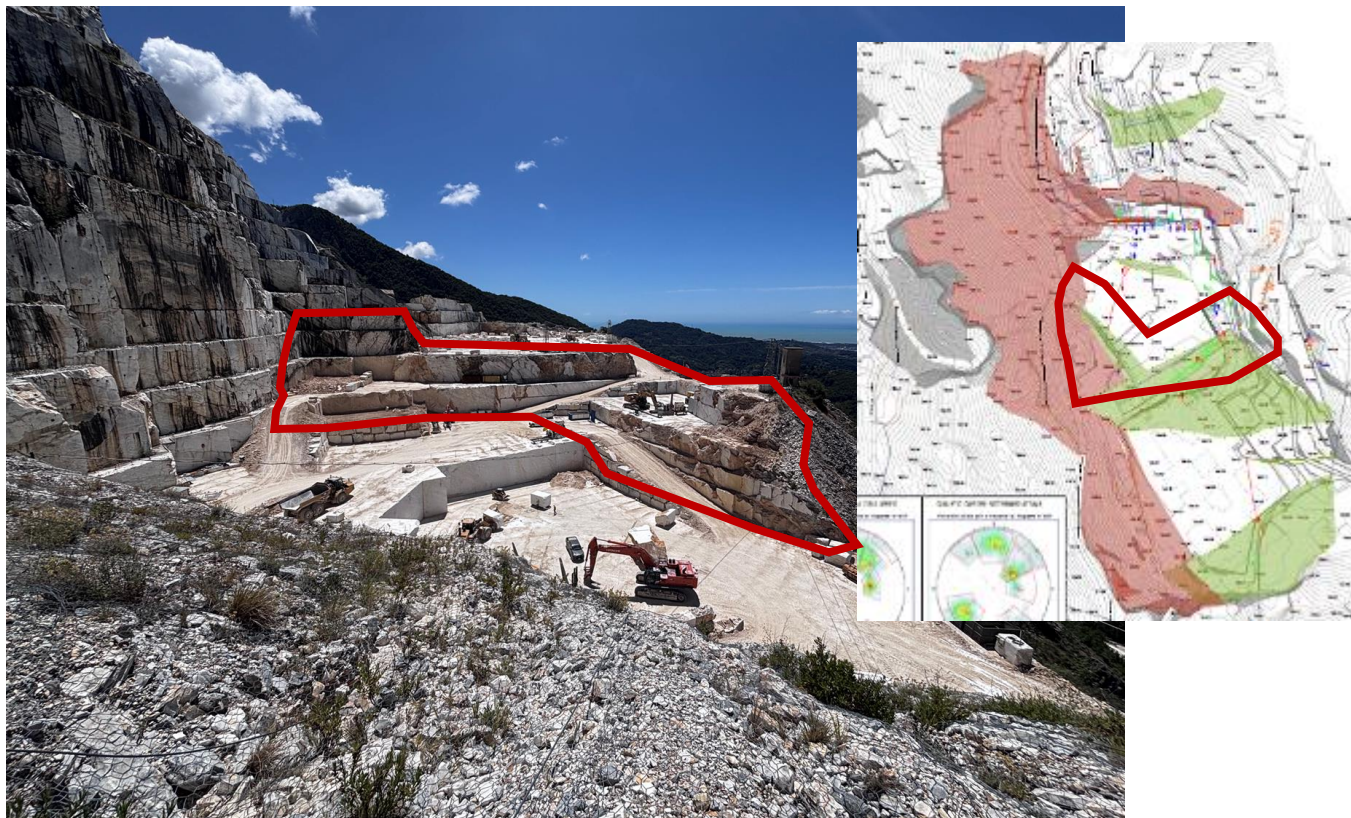


Foto cantiere a cielo aperto

Per una corretta trattazione statistica, i dati raccolti sono stati proiettati su diagramma di Wulff, (Figura 15 e Figura 16).

12.1. Cantiere sotterraneo

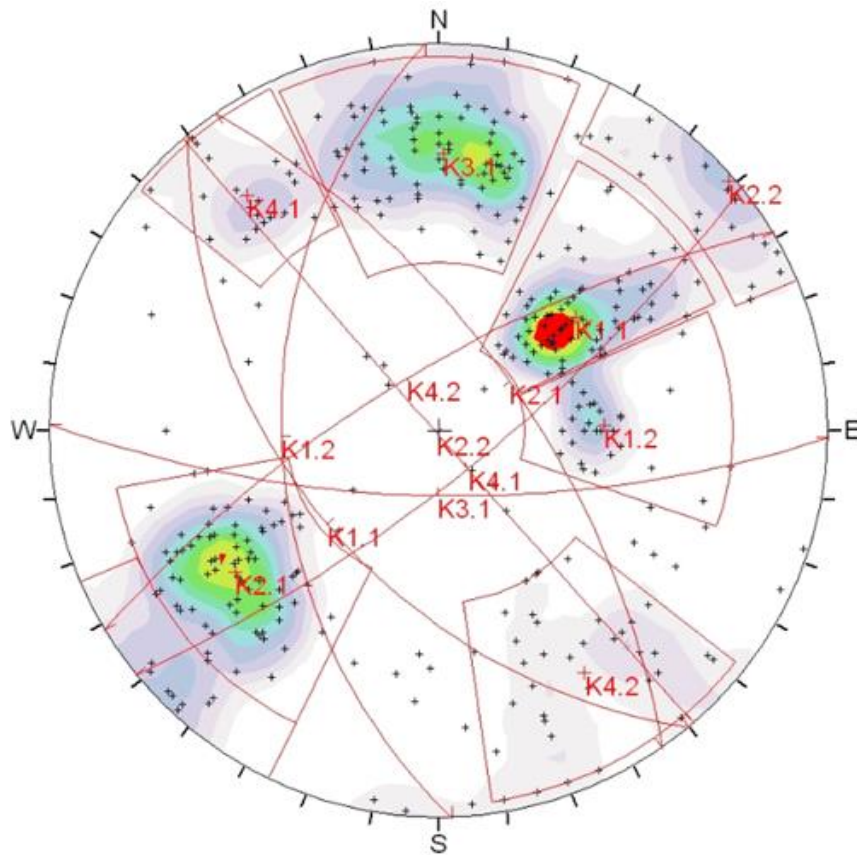


Figura 15: Proiezione equatoriale su reticolo di Wulff dei poli, delle frequenze e dei piani rappresentativi dei sistemi di discontinuità riconosciuti nel cantiere sotterraneo della Cava Ruggetta A.

Sistema	Range Immersione	Range Inclinazione	Piano Rappresentativo
K1.1	207-245	26-76	230-49
K1.2	246-289	25-74	268-46
K2.1	26-80	43-90	55-65
K2.2	26-67 (206-247)	80-90	229-89
K3	155-202	47-88	181-71
K4.1	129-154	61-89	141-76
K4.2	308-352	48-88	329-72

Tabella 7: Range e Piano Rappresentativo dei sistemi rilevati nel cantiere sotterraneo della Cava Ruggetta A.

SISTEMA		K1		K2		K3	K4	
SOTTOSISTEMA		K1.1	K1.2	K2.1	K2.2		K4.1	K4.2
FREQUENZA	100.00%	21.80%	8.10%	21.80%	8.10%	22.90%	5.70%	11.60%
PERSISTENZA tipo	non pers	28.40%	6.70%	25.90%	20.00%	9.50%	23.80%	20.90%
	subpers	38.30%	40.00%	55.50%	56.70%	51.20%	42.90%	58.20%
	pers	33.00%	53.30%	18.60%	23.30%	39.30%	33.30%	20.90%
PERSISTENZA m	0-1	4.90%	3.30%	8.60%	10.00%	2.40%	9.50%	2.30%
	1-3	34.60%	13.30%	39.50%	20.00%	34.00%	23.80%	46.50%
	3-10	35.80%	53.30%	39.50%	43.30%	40.00%	33.30%	34.90%
	10-20	22.20%	10.00%	11.10%	23.30%	21.20%	33.40%	14.00%
	>20	2.50%	20.00%	1.20%	3.40%	2.40%	-	2.30%
PERSISTENZA m	Minima	0.5	0.7	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5
	Media mod.	7.2	16.0	4.5	4.9	6.5	5.2	5.5
	Max	>50.0	>50.0	>20.0	>20.0	>20.0	>10.0	>50.0
SPAZIATURA Classi in cm	0-2	-	-	-	-	-	-	-
	2-6	2.40%	-	-	-	-	-	-
	6-20	4.90%	-	7.80%	-	34.50%	-	4.80%
	20-60	19.50%	5.30%	31.40%	20.00%	32.70%	11.20%	28.60%
	60-200	48.80%	36.80%	35.30%	40.00%	16.40%	22.20%	42.80%
	200-600	19.50%	47.40%	21.60%	40.00%	12.30%	22.20%	19.00%
	>600	4.90%	10.50%	3.90%	-	4.10%	44.40%	4.80%
SPAZIATURA cm	Min.	0.1	0.6	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2
	Media mod.	1.6	2.6	1.4	1.6	0.8	4.9	1.6
	Max	12.4	15.3	28.6	4.5	5.1	15.1	9.4
SCABREZZA tipo	II	3.70%	3.40%	8.60%	13.30%	4.70%	4.80%	4.70%
	V	44.40%	73.30%	59.30%	53.30%	50.60%	23.80%	44.20%
	VIII	51.90%	23.30%	32.10%	33.40%	44.70%	71.40%	51.10%
APERTURA Classi in mm	0-0,5	50.60%	13.40%	38.30%	43.30%	37.60%	42.90%	44.20%
	0,5-2,5	28.40%	23.30%	32.00%	30.00%	24.70%	19.00%	25.60%
	2,5-10	16.00%	26.60%	27.20%	26.70%	24.70%	33.30%	25.60%
	>10	3.70%	33.30%	2.50%	-	11.80%	4.80%	4.60%
	esposta	1.30%	3.40%	-	-	1.20%	-	-
APERTURA mm	Min.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media mod.	5.2	15.0	2.9	1.8	7.3	6.2	4.8
	Max	100.0	>100	100.0	10.0	100.0	100.0	100.0
ALTERAZIONE	Assente	22.20%	-	19.80%	23.40%	12.90%	9.50%	20.90%
	Ox/Spl	61.70%	56.70%	74.00%	60.00%	71.80%	71.40%	72.10%
	Carsificata	2.50%	3.30%	2.50%	3.30%	3.50%	-	7.00%
	Cars/Ox	12.30%	23.30%	3.70%	13.30%	11.80%	14.30%	-
	Cars/Ox/Tett	1.30%	16.70%	-	-	-	4.80%	-
RIEMPIMENTO	Assente	74.10%	36.70%	80.20%	76.70%	70.60%	81.00%	76.70%
	Terra	16.00%	26.60%	9.90%	13.30%	12.90%	-	14.00%
	Sassi	2.60%	-	3.70%	3.30%	1.20%	14.30%	4.70%
	Concrezioni	1.20%	-	1.20%	-	1.20%	-	-
	Sassi/Terra	4.90%	30.00%	5.00%	6.70%	12.90%	4.70%	2.30%
	Ss/Tr/Crz	1.20%	6.70%	-	-	1.20%	-	2.30%
ACQUA	Assente	75.00%	56.00%	85.30%	83.50%	78.50%	75.40%	84.30%
	Umidità	15.30%	20.60%	8.70%	10.20%	14.10%	19.10%	10.70%
	Stillic.	9.70%	23.40%	6.00%	6.30%	7.40%	5.50%	5.00%
JRC	4-6	79.00%	46.70%	85.20%	73.30%	71.80%	66.70%	79.10%
	6-8	14.80%	23.30%	12.30%	20.00%	9.40%	28.60%	16.30%
	8-10	-	6.70%	-	6.70%	5.90%	-	-
	10-12	6.20%	20.00%	2.50%	-	12.90%	4.70%	4.60%
	12-14	-	3.30%	-	-	-	-	-

Tabella 8: Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità rilevati nel Cantiere Sotterraneo Cava Ruggetta.

12.2. Cantiere a cielo aperto

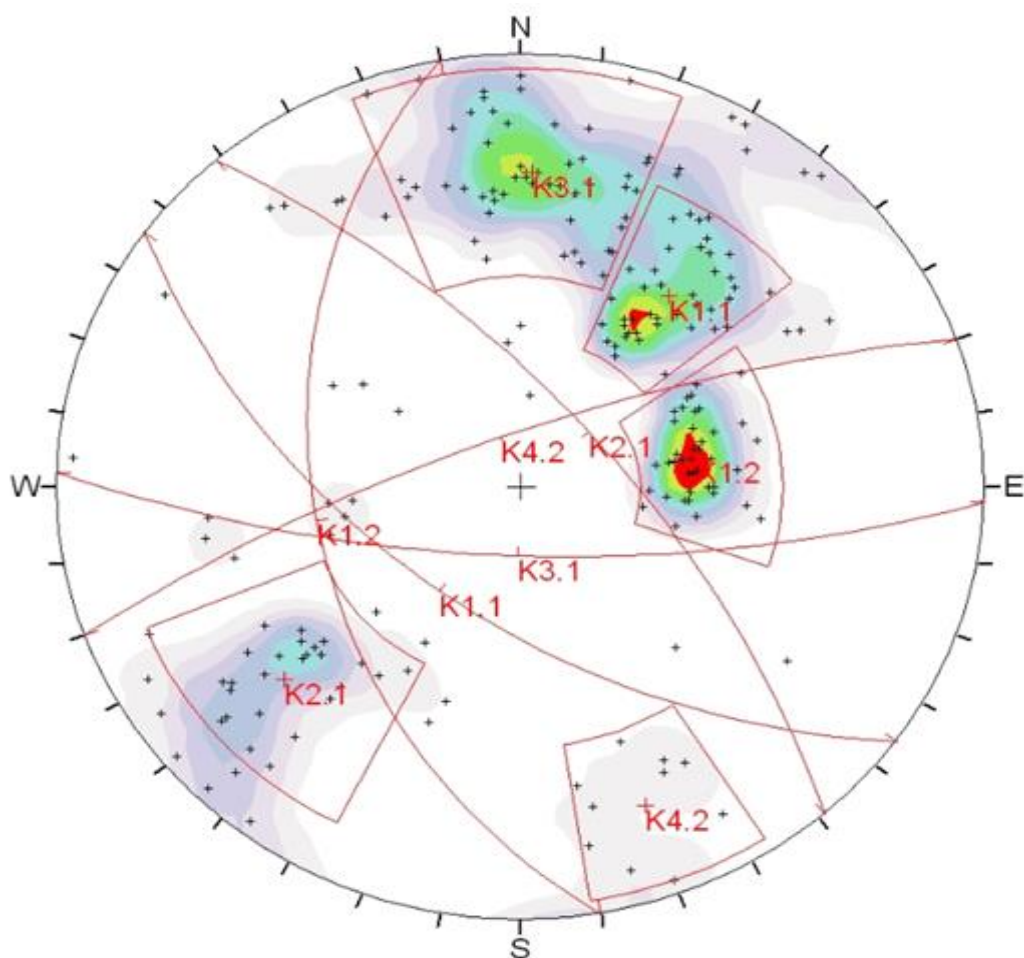


Figura 16: Proiezione equatoriale su reticolo di Wulf dei poli, delle frequenze e dei piani rappresentativi dei sistemi di discontinuità riconosciuti nel cantiere a cielo aperto della Cava n°17 Ruggetta.

Sistema	Ranges Immersione	Ranges Inclinazione	Piano Rappresentativo
K1.1	203-231	38-74	216-57
K1.2	235-289	29-59	260-42
K2.1	27-68	49-82	49-68
K2.2	27-61 (207-241)	82-90	42-89
K3	158-201	52-88	182-72
K4.1	136-157	55-89	146-76
K4.2	327-351	62-88	340-76

Tabella 9: Range e Piano Rappresentativo dei sistemi rilevati nel cantiere a cielo aperto Cava Ruggetta.

SISTEMA		K1		K2		K3	K4	
SOTTOSISTEMA		K1.1	K1.2	K2.1	K2.2		K4.1	K4.2
FREQUENZA	100.00%	22.60%	21.60%	13.70%	5.80%	28.40%	2.60%	5.30%
PERSISTENZA tipo	non pers	37.20%	17.10%	42.30%	63.60%	13.00%	20.00%	20.00%
	subpers	30.20%	48.80%	46.20%	27.30%	51.90%	20.00%	10.00%
	pers	32.60%	34.10%	11.50%	9.10%	35.10%	60.00%	70.00%
PERSISTENZA m	0-1	-	10.30%	7.70%	18.20%	9.20%	-	20.00%
	1-3	37.20%	12.80%	42.30%	27.30%	31.50%	40.00%	-
	3-10	27.90%	46.20%	46.20%	36.30%	38.90%	40.00%	20.00%
	10-20	30.20%	17.90%	3.80%	18.20%	16.70%	20.00%	30.00%
	>20	4.70%	12.80%	-	-	3.70%	-	30.00%
PERSISTENZA m	Minima	1.0	0.6	0.8	0.2	0.5	1.0	0.8
	Media mod.	6.4	11.3	3.9	4.1	6.6	6.4	21.2
	Max	>20.0	>50.0	>10.0	>20.0	>50.0	>10.0	>50.0
SPAZIATURA Classi in cm	0-2	-	-	-	-	-	-	-
	2-6	-	-	-	-	-	-	-
	6-20	13.40%	-	-	-	5.40%	-	7.70%
	20-60	6.70%	16.00%	21.40%	14.30%	18.90%	12.50%	15.40%
	60-200	46.70%	48.00%	42.90%	57.10%	56.80%	50.00%	53.80%
	200-600	26.70%	28.00%	28.60%	-	18.90%	12.50%	23.10%
	>600	6.70%	8.00%	7.10%	28.60%	-	25.00%	-
SPAZIATURA cm	Min.	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1
	Media mod.	1.6	1.8	1.5	1.2	1.2	2.3	1.4
	Max	17.2	12.9	8.9	10.8	4.2	9.8	5.0
SCABREZZA tipo	II	4.70%	4.80%	26.90%	-	11.10%	-	-
	V	37.20%	53.70%	30.80%	54.50%	37.00%	40.00%	90.00%
	VIII	58.10%	41.50%	42.30%	45.50%	51.90%	60.00%	10.00%
APERTURA Classi in mm	0-0,5	30.20%	26.80%	30.80%	63.60%	29.60%	40.00%	10.00%
	0,5-2,5	41.90%	41.50%	42.30%	18.20%	33.30%	-	60.00%
	2,5-10	23.20%	24.40%	26.90%	9.10%	33.30%	60.00%	-
	>10	4.70%	4.90%	-	9.10%	1.90%	-	20.00%
	esposta	-	2.40%	-	-	1.90%	-	10.00%
APERTURA mm	Min.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Media mod.	2.8	7.4	1.8	2.6	5.1	2.6	6.1
	Max	50.0	>100	7.5	20.0	>100	5.0	>100
ALTERAZIONE	Assente	30.20%	14.60%	30.80%	18.20%	11.10%	-	30.00%
	Ox/Spl	60.50%	78.10%	69.20%	81.20%	83.30%	100.00%	40.00%
	Carsificata	2.30%	-	-	-	-	-	-
	Cars/Ox	7.00%	4.90%	-	-	-	-	-
	Cars/Ox/Tett	-	2.40%	-	-	5.60%	-	30.00%
RIEMPIMENTO	Assente	83.70%	70.70%	80.80%	90.90%	75.90%	100.00%	70.00%
	Terra	4.70%	14.70%	3.80%	-	9.30%	-	-
	Sassi	2.30%	4.90%	7.70%	-	3.70%	-	-
	Concrezioni	-	2.40%	-	-	-	-	-
	Sassi/Terra	9.30%	4.90%	7.70%	9.10%	11.10%	-	30.00%
	Ss/Tr/Crz	-	2.40%	-	-	-	-	-
ACQUA	Assente	85.50%	85.40%	100.00%	81.80%	88.90%	100.00%	80.00%
	Umidità	9.00%	12.10%	-	18.20%	9.30%	-	20.00%
	Stillic.	5.50%	2.50%	-	-	1.80%	-	-
JRC	4-6	85.90%	70.70%	84.60%	90.90%	83.30%	80.00%	70.00%
	6-8	4.70%	19.50%	15.40%	9.10%	11.10%	20.00%	-
	8-10	4.70%	2.50%	-	-	3.70%	-	30.00%
	10-12	4.70%	7.30%	-	-	1.90%	-	-
	12-14	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 10: Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità rilevati nel cantiere a cielo aperto Cava Ruggetta.

13. CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA

Sulla base dei dati geostrutturali catalogati per i cantieri della Cava n°17 Ruggetta, sono stati applicati i metodi di Bieniawski (1989) e del GSI (Geological Strenght Index - Hoek & Brown, 2002), al fine di classificare l'ammasso roccioso dei cantieri.

13.1. Classificazione di Bieniawski (1989)

Sulla base del rilievo strutturale è stato possibile giungere ad una classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso costituente il cantiere, secondo il metodo di Bieniawski (indice RMR).

I parametri utilizzati per la classificazione sono legati alle caratteristiche dell'ammasso roccioso, ovvero: RQD; Resistenza a compressione del materiale intatto; Spaziatura delle discontinuità; Persistenza delle discontinuità; Condizioni di persistenza, riempimento, e rugosità delle discontinuità; Condizioni idrauliche.

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

$$\text{per } J_v \geq 4.5 \qquad \text{per } J_v \leq 4.5$$

Dove J_v viene calcolato attraverso la sommatoria dell'inverso delle medie modali delle spaziature dei sistemi precedentemente definiti.

In base a quanto rilevato in sito è stato possibile calcolare: RQD
□ 75%-90%

Gli indici bRMR sono stati ottenuti 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.

13.1.1. Indice RMR cantiere sotterraneo

Il valore $bRMR_{SOTTERRANEO} = 61.4$ (Tabella 11), permette di classificare l'ammasso roccioso in classe II "BUONA", che a seguito della correzione imposta dalla direzione di avanzamento dello scavo (-5.8) viene ridotto fino al valore $RMRC_{SOTTERRANEO} = 55.1$, con conseguente declassamento del dominio strutturale in III classe "MEDIOCRE".

CLASSIFICAZIONE di BIENIANSKY						CANTIERE SOTTERRANEO CAVA N°17 "RUGGETTA A"					
FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMA	VALORE	FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMA	VALORE
dati	Resistenza	100-250 Mpa	9.00	1.00	9.00						
	RQD	75-90%	17.00	1.00	17.00						
K1.1	Persistenza	7.2 m	2.00	21.80%	0.44	K3	Persistenza	6.5 m	2.00	22.90%	0.46
	Spaziatura	1.6 m	18.00	21.80%	3.92		Spaziatura	0.8 m	13.00	22.90%	2.98
	Apertura	15 mm	0.00	21.80%	0.00		Apertura	7.3 mm	0.00	22.90%	0.00
	Alterazione	62% ox, 22% assente	1.00	21.80%	0.22		Alterazione	72% ox	2.00	22.90%	0.46
	Riempimento	74% assente, 16% terra	2.00	21.80%	0.44		Riempimento	71% ass 26% sassi+terra	2.00	22.90%	0.46
	H2O	75% assente, 15% umida	10.00	21.80%	2.18		H2O	79% assente	12.00	22.90%	2.75
	JRC	4-6	1.00	21.80%	0.22		JRC	4-6	1.00	22.90%	0.23
	totale pesato				7.41		totale pesato				7.33
K1.2	Persistenza	16 m	1.00	8.10%	0.08	K4.1	Persistenza	5.2 m	2.00	5.70%	0.11
	Spaziatura	2.6 m	20.00	8.10%	1.62		Spaziatura	4.9 m	20.00	5.70%	1.14
	Apertura	5.2 mm	0.00	8.10%	0.00		Apertura	6.2 mm	0.00	5.70%	0.00
	Alterazione	57% ox, 23% cars/ox	1.00	8.10%	0.08		Alterazione	71% ox	2.00	5.70%	0.11
	Riempimento	37% ass, 27% terra, 30% sassi	0.00	8.10%	0.00		Riempimento	81% assente	5.00	5.70%	0.29
	H2O	56% assente	7.00	8.10%	0.57		H2O	75% assente	10.00	5.70%	0.57
	JRC	4-6	1.00	8.10%	0.08		JRC	4-6	1.00	5.70%	0.06
	totale pesato				2.43		totale pesato				2.28
K2.1	Persistenza	4.5 m	2.00	21.80%	0.44	K4.2	Persistenza	5.5 m	2.00	11.60%	0.23
	Spaziatura	1.4 m	16.00	21.80%	3.49		Spaziatura	1.6 m	18.00	11.60%	2.09
	Apertura	2.9 mm	1.00	21.80%	0.22		Apertura	4.8 mm	1.00	11.60%	0.12
	Alterazione	74% ox/sp	1.00	21.80%	0.22		Alterazione	72% ox	2.00	11.60%	0.23
	Riempimento	80% assente	5.00	21.80%	1.09		Riempimento	77% ass 14% terra	2.00	11.60%	0.23
	H2O	85% assente	12.00	21.80%	2.62		H2O	84% assente	12.00	11.60%	1.39
	JRC	6-8	1.00	21.80%	0.22		JRC	4-6	1.00	11.60%	0.12
	totale pesato				8.28		totale pesato				4.41
K2.2	Persistenza	4.9 m	2.00	8.10%	0.16	RATING TOTALE PESATO					35.4
	Spaziatura	1.6 m	18.00	8.10%	1.46	bRMR					61.4
	Apertura	1.8 mm	1.00	8.10%	0.08	correzione					-6.3
	Alterazione	60% ox	2.00	8.10%	0.16	RMRC					55.1
	Riempimento	77% assente	4.00	8.10%	0.32	PARAMETRI CARATTERISTICI AMMASSO ROCCIOSO (STIMA)					
	H2O	84% assente	12.00	8.10%	0.97	COESIONE (KPa)					306.91
	JRC	4-6	1.00	8.10%	0.08	ANGOLO DI ATTRITO (°)					35.69
	totale pesato				3.24	MODULO DI YOUNG (GPa)					19.26

Tabella 11: Valutazione dell'RMR relativo al cantiere sotterraneo della Cava Ruggetta.

13.1.2. Indice RMR cantiere a cielo aperto

Il valore $bRMR_{CIELO\ APERTO} = 66.4$ (Tabella 12), permette di classificare l'ammasso roccioso in classe II "BUONA", che a seguito della correzione imposta dalla direzione di avanzamento dello scavo (-8.8) viene ridotto fino al valore $RMRC_{CIELO\ APERTO} = 57.5$, con conseguente declassamento del dominio strutturale in III classe "MEDIOCRE".

CLASSIFICAZIONE di BIENIANSKY						CANTIERE a CIELO APERTO CAVA N°17 "RUGGETTA A"					
FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMA	VALORE	FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMA	VALORE
dati	Resistenza	100-250 Mpa	9.00	1.00	9.00						
	RQD	75-90%	17.00	1.00	17.00						
K1.1	Persistenza	6.4 m	2.00	22.60%	0.45	K3	Persistenza	6.6 m	2.00	28.40%	0.57
	Spaziatura	1.6 m	18.00	22.60%	4.07		Spaziatura	1.2 m	15.00	28.40%	4.26
	Apertura	2.8 mm	1.00	22.60%	0.23		Apertura	5.1 mm	0.00	28.40%	0.00
	Alterazione	60% ox, 30% assente	3.00	22.60%	0.68		Alterazione	83% ox/spl	2.00	28.40%	0.57
	Riempimento	84% assente, 9% t-s	5.00	22.60%	1.13		Riempimento	76% assente 24% ss/tr	2.00	28.40%	0.57
	H20	85% assente	15.00	22.60%	3.39		H20	89% assente	15.00	28.40%	4.26
	JRC	4-6	1.00	22.60%	0.23		JRC	4-6	1.00	28.40%	0.28
totale pesato					10.17	totale pesato					10.51
K1.2	Persistenza	11.3 m	1.00	21.60%	0.22	K4.1	Persistenza	6.4 m	2.00	2.60%	0.05
	Spaziatura	1.8 m	19.00	21.60%	4.10		Spaziatura	2.3 m	20.00	2.60%	0.52
	Apertura	7.4 mm	0.00	21.60%	0.00		Apertura	2.6 mm	1.00	2.60%	0.03
	Alterazione	78% ox/sp 15% assente	2.00	21.60%	0.43		Alterazione	100% ox/spl	1.00	2.60%	0.03
	Riempimento	71% assente 15% terra	1.00	21.60%	0.22		Riempimento	100% assente	6.00	2.60%	0.16
	H20	85% assente	15.00	21.60%	3.24		H20	100% assente	15.00	2.60%	0.39
	JRC	4-6	1.00	21.60%	0.22		JRC	4-6	1.00	2.60%	0.03
totale pesato					8.42	totale pesato					1.20
K2.1	Persistenza	3.9 m	2.00	13.70%	0.27	K4.2	Persistenza	21.20	0.00	5.30%	0.00
	Spaziatura	1.5 m	17.00	13.70%	2.33		Spaziatura	1.4 m	16.00	5.30%	0.85
	Apertura	1.8 mm	1.00	13.70%	0.14		Apertura	6.1 mm	0.00	5.30%	0.00
	Alterazione	69% ox/sp 31% assente	3.00	13.70%	0.41		Alterazione	70% car/ox/sp 30% ass	1.00	5.30%	0.05
	Riempimento	80% assente	4.00	13.70%	0.55		Riempimento	70% assente 30% ss/tr	1.00	5.30%	0.05
	H20	100% assente	15.00	13.70%	2.06		H20	80% assente	15.00	5.30%	0.80
	JRC	4-6	1.00	13.70%	0.14		JRC	4-6	1.00	5.30%	0.05
totale pesato					5.89	totale pesato					1.80
K2.2	Persistenza	4.1 m	2.00	5.80%	0.12	RATING TOTALE PESATO					40
	Spaziatura	1.2 m	15.00	5.80%	0.87	bRMR					66.4
	Apertura	2.6 mm	1.00	5.80%	0.06	correzione					-8.8
	Alterazione	81% ox/sp 19% assente	2.00	5.80%	0.12	RMRC					57.5
	Riempimento	91% assente	5.00	5.80%	0.29	PARAMETRI CARATTERISTICI AMMASSO ROCCIOSO (STIMA)					
	H20	82% assente	15.00	5.80%	0.87	COESIONE (KPa)					331.85
	JRC	4-6	1.00	5.80%	0.06	ANGOLO DI ATTRITO (°)					38.18
totale pesato					2.38	MODULO DI YOUNG (GPa)					25.66

Tabella 12: Valutazione dell'RMR relativo al cantiere a cielo aperto della Cava Ruggetta A.

13.2. Resistenza ammasso roccioso

Per un ammasso roccioso fratturato da più sistemi di discontinuità (superiore a 3), viene generalmente utilizzato il criterio di rottura empirico di Hoek-Brown (modificato 2002). La validità del criterio aumenta all'aumentare della scala del problema rispetto alle spaziature riscontrate in sito, e nel caso in esame l'ampia spaziatura rilevata in taluni stendimenti sotterranei genera risultati eccessivamente penalizzanti rispetto alle condizioni di resistenza reali. A differenza delle leggi precedenti, quest'ultimo aggiornamento considera anche un fattore di disturbo D (da 0 a 1) che tiene conto della pervasività antropica dovuta alle metodologie di scavo utilizzate.

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 BMR89.

Il BMR89 viene definito considerando RMRC privo di correzione dovuta all'orientamento fronte/discontinuità ed un ammasso roccioso nella condizione di assenza di acqua nelle fratture (coefficiente idrico 15)

$$GSI = BMR89 - 5$$

Per i cantieri della Cava Ruggetta si ottengono i risultati di Tabella 13:

INDICI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO	RMRC	BMR89	GSI
CANTIERE CIELO APERTO	57.5	65.3	60.3
CANTIERE SOTTERRANEO	55.1	65.3	60.3

Tabella 13: Valutazione dell'RMR relativo ai cantieri della Cava n°17 Ruggetta.

14 . ASPETTI SISMICI

14.1. Valutazione degli effetti sismici locali

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti sismici locali, nel PABE si è proceduto alla definizione delle zone suscettibili di instabilità o di amplificazione sismica in maniera qualitativa attraverso l'individuazione di aree a comportamento sismico omogeneo, sfruttando il quadro conoscitivo esistente ed in particolare la carta geomorfologica, che individua compiutamente le tipologie di coperture e il grado di attività dei fenomeni franosi.

In rapporto alle tipologie contenute nella carta geomorfologica sono state individuate le seguenti zone a comportamento sismico omogeneo che corrispondono sia a specifiche condizioni stratigrafiche sia a particolari condizioni geomorfologiche:

- 1. substrato geologico affiorante:** aree stabili dal punto di vista sismico:

In questa classe ricadono le zone con bedrock sismico affiorante, per le quali, pur riconoscendone la stabilità dal punto di vista sismico, nel PABE si è ritenuto di assegnare la classe una pericolosità sismica locale media (S2) "in quanto si tratta di aree in buona parte soggette a modificazioni geomorfologiche anche significative in ragione dell'attività di escavazione che le contraddistingue. Ciò comporta la possibilità che, in funzione dell'avanzamento del fronte di scavo, zone diverse siano potenzialmente soggette a fenomeni cosismici con particolare riferimento all'attivazione di instabilità di versante";

- 2) coperture detritiche:** aree suscettibili di amplificazione sismica stratigrafica

In questa classe sono ricomprese tutte le coperture sciolte indistinte, compresi i ravaneti non soggetti a dissesti attivi, purché presentino uno spessore con rilevanza sismica (> 3 metri);

3) **vette e creste principali:** aree suscettibili di amplificazione sismica topografica.

Ricadono in questa classe le creste e le vette principali potenzialmente soggette ad effetti di amplificazione dovuti a rifrazione e/o riflessione delle onde sismiche con conseguente amplificazione in corrispondenza della sommità dei crinali o in corrispondenza delle vette;.

4) **frane attive:** aree suscettibili di instabilità.

Ricadono in questa classe le aree classificate come frane attive che interessano per la gran parte ravaneti in dissesto. Si tratta per lo più di fenomeni gravitativi del tipo colata detritica che si attivano esclusivamente in caso di forti piogge. Tuttavia non è da escludere una potenziale attivazione anche a seguito di input dinamici.

Le zone di cui sopra sono perimetrate nella "Carta degli elementi generali con rilevanza sismica" del PABE (TAV. G7.1), che consente di evidenziare le situazioni di criticità sulle quali porre attenzione, al fine di una corretta progettazione.

Nella Fig. 17 si riporta uno stralcio in scala 1 : 5'000 della Tavola G7.1. del PABE.

Legenda

Zone stabili

substrato roccioso affiorante e fasce di pericolosità sismica S2

Zone suscettibili di amplificazione topografica

vette e creste principali Classe di pericolosità sismica S3

Zone suscettibili di amplificazione stratigrafica

depositi detritici classe di pericolosità sismica S3

Zone suscettibili di instabilità

frane attive: classe di pericolosità sismica S4

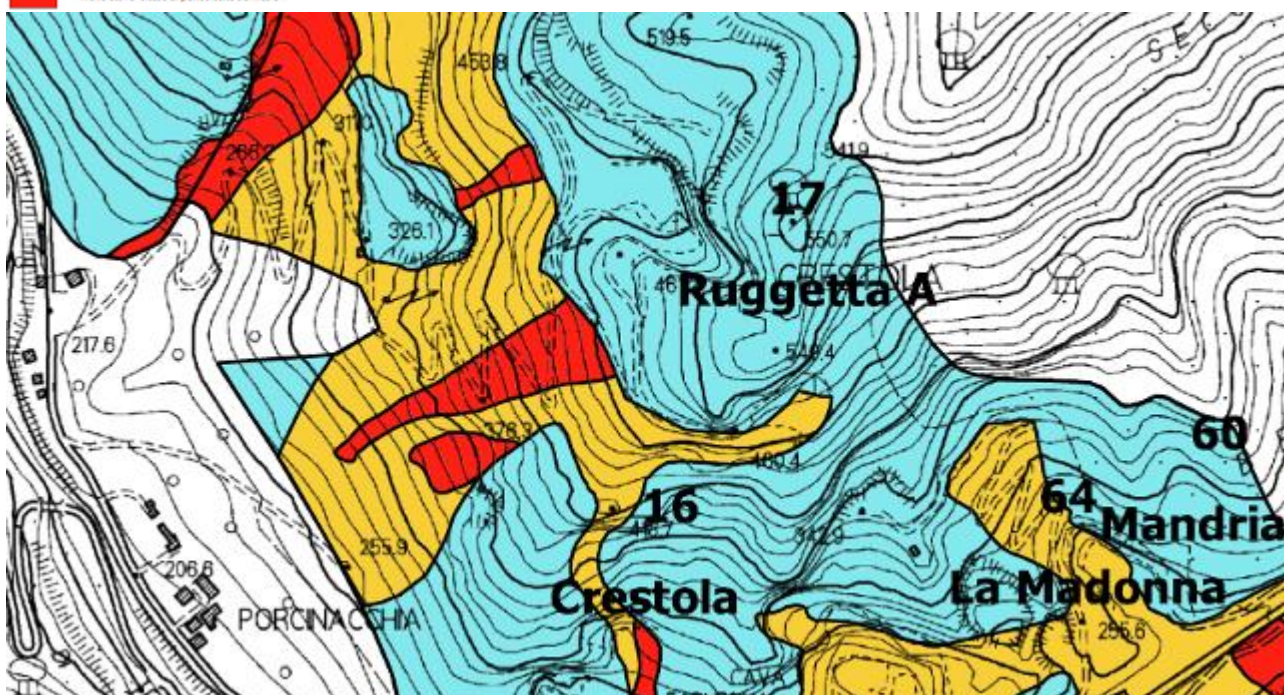


Fig. 17 - Stralcio in scala 1 : 5'000 della Tavola G7.1.- "Carta degli elementi generali con rilevanza sismica" del PABE.

Ad ogni zona simicamente omogenea corrisponde una classe di pericolosità sismica ai sensi del regolamento 53R come descritto nel seguito:

1) **substrato** geologico affiorante: **pericolosità sismica locale media S.2**

- zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici;
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelli previsti per la classe S.3.

2) **coperture detritiche e vette e creste principali**: **pericolosità sismica locale elevata S.3.**- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri;

3) **frane attive**: **pericolosità sismica locale molto elevata S.4**: zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici.

Come visualizzabile nella Fig. 17, l'area di cava, ove affiora la roccia, è considerata stabile dal punto di vista sismico (Colore azzurro)

14.2. Classificazione sismica

La **Mappa di aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana 2014** introdotta da ll a D.G.R.T. 421/2014 individua **tre zone sismiche** a grandi linee così distribuite:

- **zona2** $0.15g < a_{max} < 0.25g$ - fascia appenninica - Monte Amiata
- **zona 3** $0.05g < a_{max} < 0.15g$ - costa apuana - Toscana centrale
- **zona 4** $a_{max} < 0.05g$ - costa maremmana - Arcipelago Toscano.

Il Comune di **Carrara** rientra in **zona simica 3** - medio bassa.

15. FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI

"Secondo quanto indicato dalla normativa vigente è opportuno distinguere la Fattibilità in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate per i diversi fattori: geologici (geologici s.s. e geomorfologici), idraulici e sismici, ai fini di una più agevole e precisa definizione delle condizioni di attuazione delle previsioni, delle indagini di approfondimento da effettuare a livello

La valutazione della Fattibilità di un intervento si ottiene, in linea generale, dalla sovrapposizione della pericolosità dell'area con la tipologia di intervento in previsione.

[illegible]

NOTE PRESCRIPTIVE

- [illegible]

La classe di Fattibilità relativa ad interventi inerenti l'attività estrattiva e a interventi di tipo edilizio è attribuita attraverso la **Matrice della Fattibilità** di cui all'allegato 1 delle NTG (Elaborato A3.1 dei PABE), di seguito riportata.

IL GEOLOGO
Dott. Fiorenzo Dumas