

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
Dott. Fiorenzo DUMAS
Via Codena, 2
54033 – CARRARA (MS)
Tel. 0585/776919
Mobile 338/4979343
fiorenzodumas@virgilio.it

**PROGETTO DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA N. 46
“POLVACCIO”, REDATTO AI SENSI DELL’ART. 17 L.R.
35/15, AUTORIZZATA CON DETERMINA N. 4117 DEL
24.08.2023 E PROROGATA CON DETERMINA N. 5449 DEL
22.10.2025, SITA NEL BACINO INDUSTRIALE N.° 2 TORANO
– SCHEDA PIT/PPR N. 15 – PABE COMUNE DI CARRARA**

2.0 Studio geologico, geomeccanico, geomorfologico, idrogeologico e
giacimentologico

Committente: Escavazione Polvaccio S.r.l.

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

Sig. Franco BARATTINI



IL GEOLOGO

Dott. Fiorenzo DUMAS



Sommario

PREMESSA	3
SCOPO DEL PROGETTO	3
LOCALIZZAZIONE, DISPONIBILITA' E DESTINAZIONE DELLE AREE	4
Localizzazione	4
Disponibilità particelle catastali	4
Cenni Destinazione d'Uso Area e Regime Vincolistico	6
Ulteriore vincolistica da PABE	6
CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E AMBIENTALI DEL COMPENSORIO	
ESTRATTIVO CARRARESE	9
CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E AMBIENTALI DEL BACINO TORANO	10
Caratteristiche geomorfologiche e ambientali dell'area di cava e del suo intorno significativo ...	11
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI	14
Inquadramento Tettonico dell'Area	14
Inquadramento Geologico dell'Area e del suo intorno significativo	17
CARATTERI GIACIMENTOLOGICI GENERALI DEL BACINO MARMIFERO	
INDUSTRIALE	18
CARATTERI GIACIMENTOLOGICI DEL BACINO DI TORANO	19
Caratteri subgiacimento Lorano-Ravaccione-Tecchione-Torrione-Val Pulita-M.te Sagro.	19
ANALISI GIACIMENTOLOGICA DEPOSITO RAVACCIONE-TECCHIONE-TORRIONE	22
L'Unità Estrattiva n° 46 POLVACCIO	27
Il Materiale	28
La gestione del detrito	28
CARATTERI IDROGEOLOGICI ED IDROGRAFICI GENERALI	29
CARATTERI GENERALI DEL SERBATOIO IDRICO CARRARESE	30
Caratteristiche idrogeologiche del serbatoio idrico sotterraneo che sottende le sorgenti di costa.	31
Rocce con permeabilità primaria o per porosità	32
Rocce con permeabilità secondaria o acquisita, ...	33
Rocce impermeabili	34
Permeabilità dell'ammasso roccioso	34
VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI	35
DETERMINAZIONE DELLE LINEE DI FLUSSO SOTTERRANEE	37
Reticolo idrografico locale	39
ORIENTAZIONE FRONTI	39
RILEVO STRUTTURALE	39
CARATTERI STRUTTURALI DI RILIEVO	44
CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO	46
Classificazione di Bieniawski (Indice RMR, 1989)	46
Classificazione di Hoek-Kaiserbaedn (Indice GSI 1995-2002)	49

PREMESSA

Per incarico delle Società ESCAVAZIONE POLVACCIO S.r.l. con sede in Via Roma 17 Carrara (MS), è stato condotto lo studio geologico-strutturale, geomeccanico, geomorfologico, idrogeologico e giacimentologico della cava n° 46 del Polvaccio, estendendo lo stesso anche ad un circostante intorno significativo.

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

L'unità estrattiva è sita in località Polvaccio-Battagliano, nel Bacino Industriale n°2 Torano in Comune di Carrara (MS), Tav. 01 - Ubicazione.

Il rilievo topografico della cava, inserito all'interno del Foglio 22D20 CRT, è stato fornito dalla Società.

SCOPO DEL PROGETTO

È la prosecuzione della coltivazione di un giacimento storico dal quale si è sempre estratta la famosa qualità "Statuario Michelangelo", materiale con il quale sono state eseguite numerose opere artistiche.

Infatti, il giacimento marmifero è caratterizzato da una ripetizione strutturale di antiformi a nucleo di Bianco Ordinario con sinformi a nucleo di Statuario Michelangelo.

L'attuale progetto rappresenta una fase intermedia del programma di coltivazione che prevedeva la ripresa della coltivazione dalla sommità del sito, intervento pianificato ed iniziato con l'emissione della Determinazione n. 8 del 27.01.2010 e proseguito con la Determina n. 4117 del 24.08.2023, prorogata con Determina n. 549 del 22.10.2025.

Il progetto, di cui questa relazione è parte integrante, rappresenta il proseguo di questo vasto programma di coltivazione del giacimento, la cui potenzialità estrattiva va ben oltre alla durata del progetto stesso.

Il progetto di coltivazione redatto in ottemperanza all'art. 23 L.R. 35/15 ha durata di circa 13 anni e si compone di due fasi, in queste si programma sia di ultimare la rimozione del finimento residuo confinato nella parte settentrionale del sito sia la coltivazione del livello produttivo già scoperto.

LOCALIZZAZIONE, DISPONIBILITA' E DESTINAZIONE DELLE AREE

Localizzazione

La cava Polvaccio è sita in sinistra orografica dell'ampio bacino estrattivo n. 2 Torano, Tav. 01 Ubicazione, il cui fondovalle è occupato dalla strada comunale Carriona, arteria principale che lo attraversa nella sua estensione e da cui si diramano le varie viabilità di comparto che consentono l'accesso a singole cave e/o a gruppi di queste.

L'unità estrattiva, nel suo complesso, è costituita da n. 4 cantieri:

- il cantiere "Vecchia Cava", non attivo e parzialmente ricoperto da detrito, con accesso diretto dalla strada di comunale mediante la pista che si stacca da q. 400.60m s.l.m.;
- il cantiere Battaglino, non attivo, accesso con strada sterrata che si inizia da circa q. 394.08m s.l.m. della Carriona;
- il cantiere "Fossa del Moretto", non attivo, servito da più piste d'accesso, una asfaltata che inizia da q. 453.76m s.l. della Carriona, e altre che si distaccano da vari punti della strada di comparto e consentono di raggiungere vari piazzali e gradoni;
- il cantiere "Polvaccio Alto", nel quale l'accesso avviene tramite la strada sterrata che inizia dal tornante di q. 654.70m s.l.m. della strada di comparto.

Disponibilità particelle catastali

Nella sottostante tabella sono indicati i mappali concessi in affitto dal Comune di Carrara alla Escavazione Polvaccio S.r.l..

PARTICELLE IN TEMPORANEA DISPONIBILITÀ DAL COMUNE DI CARRARA			
Foglio	Mappale	Titolo disponibilità	Superficie Concessione mq
27	44	Affitto Comunale	12.150
"	45	Affitto Comunale	2.447
"	46	Affitto Comunale	4.922
"	125	Affitto Comunale	47
"	101	Affitto Comunale	5.087
"	102	Affitto Comunale	3.370
"	103	Affitto Comunale	1.580
"	104	Affitto Comunale	1.433
"	108	Affitto Comunale	1.384
"	109	Affitto Comunale	376
"	110p	Affitto Comunale	2.240
"	111	Affitto Comunale	291
"	112	Affitto Comunale	2.640
Totale superficie agri marmiferi in affitto dal Comune			37.967

Nella sottostante tabella sono elencate le particelle che la Escavazione Polvaccio s.r.l. detiene a vario titolo.

MAPPALI IN DISPONIBILITÀ DELLA ESCAVAZIONE POLVACCIO S.r.l.					
Foglio	Mappale	Titolo disponibilità	Superficie B. Estimato mq	Superficie Conc.ne mq	Superf. totale mq
27	2	B.E Affitto	752,00	0,00	752,00
“	3	B.E Affitto	2.447,00	0,00	2.447,00
“	4	B.E Affitto	4.922,00	0,00	4.922,00
	6	B.E Affitto	43,00	0,00	43,00
“	7	B.E Affitto/ A.M. Conc.ne	13.120,00	4.880,00	18.000,00
“	8f	A.M. Conc.ne	0,00	37,00	37,00
	9f	B.E Affitto	29,00	0,00	29,00
“	10	B.E Affitto	12.800,00	0,00	12.800,00
	11f	B.E Affitto	64,00	0,00	64,00
	12	B.E Affitto	56,00	0,00	56,00
	13	B.E Affitto	27,00	0,00	27,00
	14	B.E Affitto	151,00	0,00	151,00
	15	B.E Affitto	286,00	0,00	286,00
	19	B.E Affitto	38,00	0,00	38,00
	20	B.E Affitto	88,00	0,00	88,00
	22	B.E Affitto	33,00	0,00	33,00
	23	B.E Affitto	25,00	0,00	25,00
“	24	B.E Affitto	18,00	0,00	18,00
“	27	B.E Affitto	22.070,00	0,00	22.070,00
	47	Proprietà	1.523,00	0,00	1.523,00
“	48	B.E Affitto	4.736,00	0,00	4.736,00
“	49	B.E Affitto	1.654,00	0,00	1.654,00
“	50	B.E Affitto	1.692,00	0,00	1.692,00
“	51	B.E Affitto	4.705,00	0,00	4.705,00
“	52	B.E Affitto	2.078,00	0,00	2.078,00
“	54	B.E Affitto	8.710,00	0,00	8.710,00
“	168	Concessione	0,00	10.224,00	10.224,00
“	169	B.E Affitto	5.892,00	0,00	5.892,00
“	170	B.E Affitto	9.604,00	0,00	9.604,00
Totale superficie particelle			97.563	15.141	112.704

Per la loro ubicazione si rimanda alla Carta Catastale, Tav. 02 in scala 1:2000.

Cenni Destinazione d'Uso Area e Regime Vincolistico

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

- PS - "Zona D3, bacino estrattivo" disciplinato dall'art. 19 che ne prevede l'attività estrattiva, 1997;
 - L.R. n. 52/94 - istituzione del "Bacino Marmifero Industriale dei Comuni di Carrara e di Massa";
 - Legge Regionale n. 35 25 Marzo 2015, Disposizioni in materia di cave. Modifiche alla L.R. 104/1995, L.R. 78/98, L.T. 10/2020, L.R. 65/2014;
 - PTT - Scheda n. 15 Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico, approvato con Deliberazione Consiglio PABE - Scheda 15 - Bacini di Torano, Miseglia e Colonnata, adottato con Delibera n. 71 del 03.11.2020;
- Regionale 27 marzo 2015 n. 37 e ss. mm. ii..

Inoltre, il territorio dei bacini estrattivi, come del resto tutta la parte montana e collinare del comune, rimane sottoposto al Vincolo Idrogeologico, salvaguardia prevista dal R.d.L. n° 3267 del 30/12/1923.

Per le altre norme vincolistiche che sovrintendono sull'area indagata si rimanda alla consultazione della Relazione Tecnica Illustrativa redatta ai sensi dell'Art. 3 DPGR 72/R.

La cava Polvaccio, comprensiva del suo intorno significativo, e tutto il Bacino Torano ricadono all'interno del "Bacino Marmifero Industriale Estrattivo dei Comuni di Carrara e Massa" costituito dalla Regione Toscana con L.R. n° 52/94. L'unità estrattiva è inoltre riconosciuta come "area industriale dal PRC", classificata come "Zona D3, bacino estrattivo disciplinata dall'art. 19", rimanendo regolamentata dal PABE (Piani Attuativi Bacini Estrattivi) scheda n. 15.

Per le cartografie relative alle Invarianti riportate nel PABE si rimanda alle seguenti tavole: Tav. 03, Carta Uso del Suolo, Tav. 03b Carta Beni Paesaggistici, Tav. 03c Vincoli siti natura 2000 e alla Tav. 03d Vincoli PABE.

Ulteriore vincolistica da PABE

Dall'esame della cartografia vincolistica di PABE risulta che:

1. nella scheda 4.3 PI/PPR INVARIANTE I dell'Inquadramento PABE, il cantiere Vecchia Cava, coincidente parzialmente con i mappali 7, 10, 168, 169 e 170 del Fg 27, è ascritto, nella cartografia dello Studio della Pericolosità Idraulica del PABE, alla classe di rischio "I4-Pericolosità Idraulica Molto Elevata Tr≤30 anni", come si evince dalla Tavola G6.1-Carta-della-Pericolosità-Idraulica-(Tav._Nord) del PABE, condizione tematica rappresentata nel

sottostante stralcio della scheda H1 relativa alla cava 46. A tal fine si è proceduto all'aggiornamento dello studio idraulico allegando la nuova stesura, redazione già intrapresa nel Maggio 2010 e nel Febbraio 2018.

2. nella scheda 6 INVARIANTE III dell'Inquadramento PABE è segnalata l'esistenza dell'area di cava storica denominata (CS14) all'interno del mappale 27 del Fg 27, stralcio della scheda Fig. B, che è stata oggetto di studio da parte del Dott. Arch. Giovanni Gatti e di cui si allega relazione.

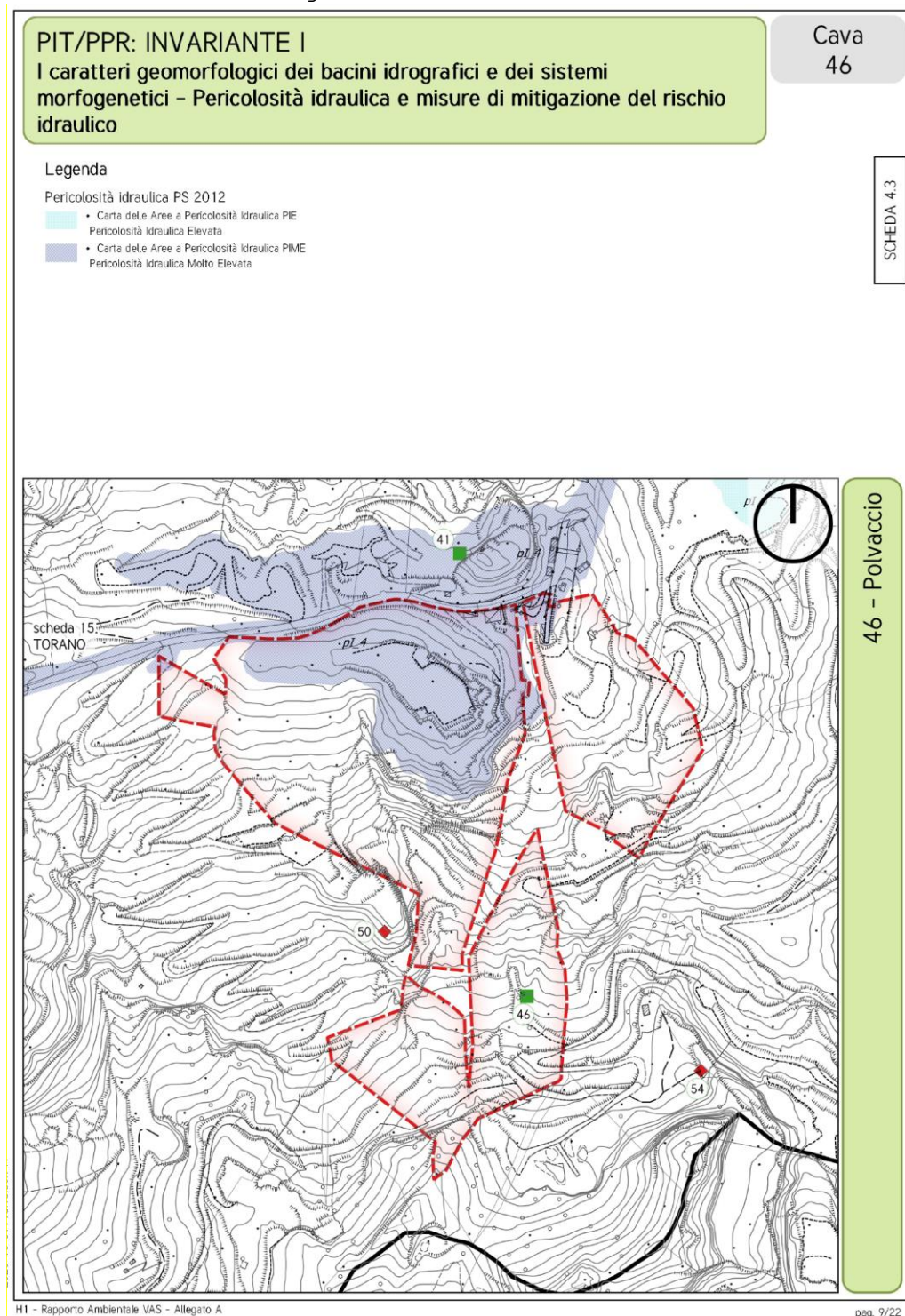


Fig. A: stralcio della Scheda di PABE riferita all'area ascritto alla classe di pericolosità Idraulica I4

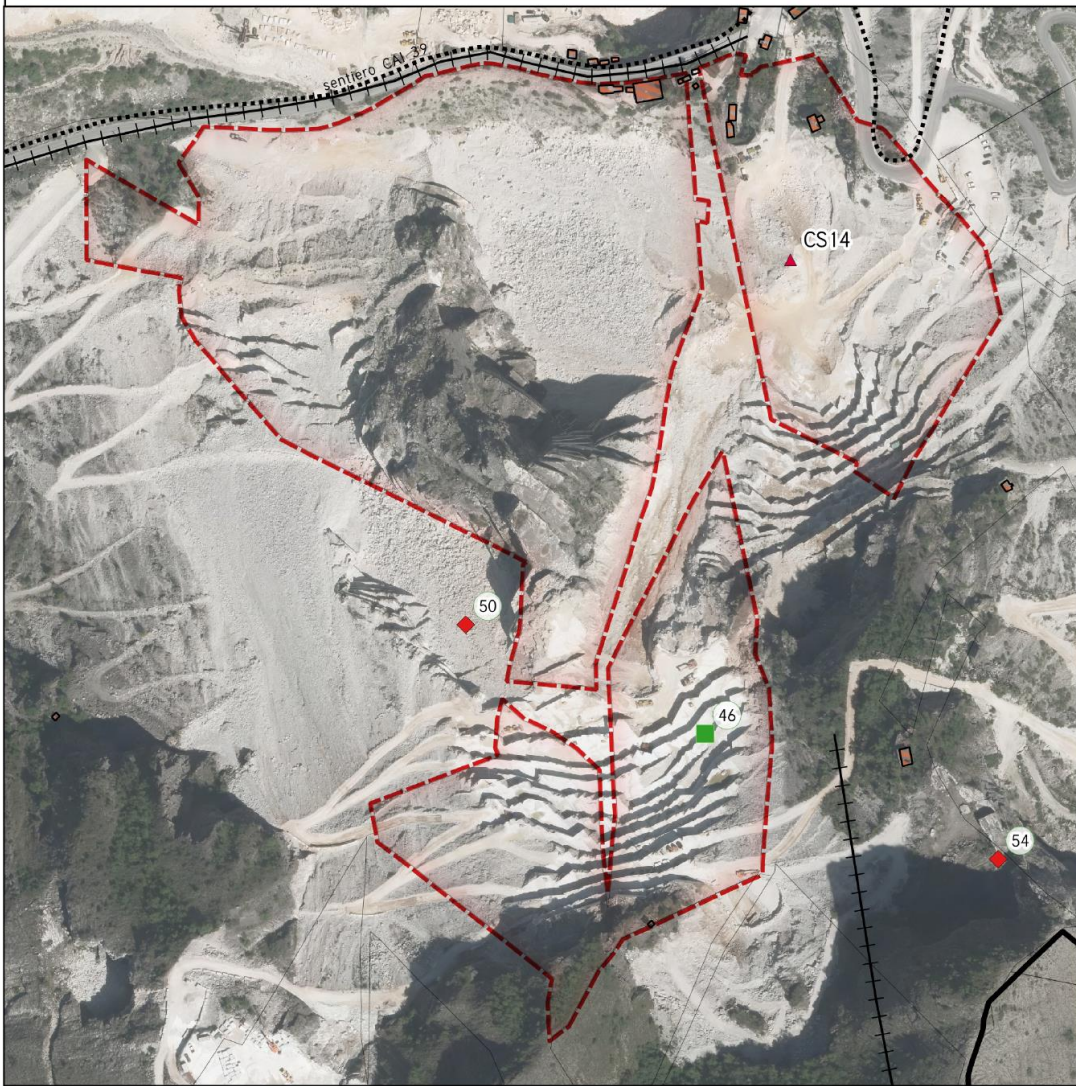
INVARIANTE III

Il carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, urbani e infrastrutturali

Cava
46

SCHEDA 6

- ▲ Cave storiche (puntuali)
- ▭ Cave storiche (areali)
- Sentieristica CAI
- ▨ Edifici e manufatti
- Antiche vie di lizza
- ++ Tracciato ex Ferrovia mamifera
- - - - Piani inclinati



46 - Polvaccio

4620-10-071121331413

Fig. B: stralcio della Scheda di PABE riferita all'ubicazione della cava storica CS14

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E AMBIENTALI DEL COMPRENSORIO ESTRATTIVO CARRARESE

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

Tale effetto erosivo è indubbiamente connesso sia con l'esposizione a meridione dei versanti sia alla loro soggiacenza all'influenza marina. Questi due fattori hanno fatto sì che l'ultima glaciazione Wurn, terminata tra 110.000 e 11.700 anni fa, non sviluppasse caratteri di morfologia glaciale significativi, come è avvenuto nelle valli della Garfagnana dove ancora oggi permangono significativi esempi.

Un possibile esempio di morfologia residua di tipo glaciale è rappresentato dal modesto deposito morenico sottostante il M. Borla, mentre nella vallata del M. Sagro rimane incerta l'ascrizione ad una morfologia di tipo "Gradini di sbocco" della località "Pozzi", malgrado il fondovalle presenti bassi valori di acclività e sia delimitato verso NW da un ripido salto morfologico dovuto a repentina variazione di pendenza.

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

- stretti e profondi impluvi, con forma a "V" molto pronunciata, carattere che si riscontra principalmente nei secondari;
- ripidi versanti, dove i valori d'acclività sono spesso superiori ai 45-50°, associati a locali balze subverticali, che in alcuni casi hanno notevoli estensioni ed altezze;
- isolate guglie e torrioni associati a sottili creste, tutti generati dalla dissoluzione superficiale del calcare;
- una rete idrografica molto semplice e lineare, dove il fosso di fondovalle ed i suoi affluenti tendono ad avere alvei subrettilinei e ben incassati nel substrato roccioso, rimanendo ben distanziati tra loro. Il primo aspetto sta ad indicare una elevata velocità di deflusso superficiale delle acque meteoriche all'interno dell'impluvio, che lo sottopone ad una rapida ed intensa erosione di fondo e regressiva, mentre il secondo sta ad indicare un elevato grado di drenaggio del versante carbonatico.

La cava Polvaccio occupa interamente lo spartiacque secondario che separa i bacini imbriferi secondari del Canale Nocciola dal Canale Battaglino.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E AMBIENTALI DEL BACINO TORANO

Va premesso che, l'aspetto geomorfo-paesaggistico di un'area è strettamente dipendente sia dalla natura delle formazioni geologiche ivi affioranti, substrato roccioso e depositi recenti, sia dall'intervento antropico che modella il paesaggio in funzione delle proprie esigenze abitative ed economiche.

Per il Bacino Torano l'attuale morfologia è la sintesi tra la natura calcareo-metamorfica del substrato e lo sviluppo della escavazione lapidea.

La vicinanza al paese e l'intensa fratturazione, che permetteva l'estrazione di ottimi volumi merceologici facilmente rimovibili con le tecniche primitive, hanno fatto sì che l'escavazione nel Bacino si sviluppasse fin dai tempi remoti, con conseguente apertura di numerosi siti estrattivi, fin da elevata quota, che hanno prodotto l'obliterazione dell'originaria morfologia arrivando quasi a ridosso dello spartiacque principale.

Altro fattore che ha contribuito, forse in maniera molto superiore, all'obliterazione è stata la formazione dei vasti conoidi detritici costituiti dal materiale di risulta dell'escavazione, ovvero i ravaneti, che hanno ricoperto vari fossi ed ampi tratti di versante, anche con considerevoli spessori.

In particolare, tale modifica dell'aspetto geomorfologico-paesaggistico è avvenuta significativamente tra la fine dell'800 e la metà del '900, quando le coltivazioni in cava erano condotte per "varate", operazione che consisteva nella esecuzione di "tagli inclinati" alla base, eseguiti con il filo elicoidale, lungo i quali scivolavano ingenti masse marmoree spinte dall'energia prodotta da cariche esplosive. Tale sistema di coltivazione, oltre a distaccare consistenti volumi marmorei, produceva una notevole quantità di scarti generati dall'onda sismica prodotta dall'esplosione che frantumava sia il materiale varato sia la parte di ammasso che rimaneva in loco.

Nel secolo scorso, l'elevata produzione di questi scarti causò la formazione dei vasti ravaneti spesso soggetti a frane, utilizzati anche come "vie di lizza" ed i cui residui sono i conoidi sui quali attualmente insistono le viabilità di comparto e d'accesso alle singole cave.

Altro fattore che determinò l'espansione dei ravaneti durante l'800 e la metà del '900 fu l'impossibilità di disporre di mezzi di trasporto e di viabilità idonee che permettessero il trasporto dei detriti all'esterno del Bacino di Torano, condizione logistica che imponeva alle cave la necessità di disporre di un'area dove accumularli. Le prime strade d'arroccamento furono realizzate tra la metà e la fine degli anni sessanta, contemporaneamente furono adattati i camion americani, residui bellici, per il trasporto blocchi.

L'uso di aree da destinare a stoccaggio del materiale di risulta della escavazione risale appunto ai tempi del Granducato di Modena,

i cui Sovrani disposero l'uso di "fosse dove aggettare l'espurgo, che debbono avere estensione da valle a monte come le concessioni e che sono definite nel contratto tra il Sovrano ed il Concessionario". L'eccesso di accumulo di detrito in dette aree portò all'espansione dei ravaneti fino ad interessare ampi tratti se non quasi tutti i versanti. Quindi allo scopo, oltre alle "aree di spurgo o accumulo detritico" definite nel rilascio della concessione, furono adibite anche le aree adiacenti a queste, che il Concessionario e/o il Proprietario posero a disposizione nel caso che fossero frazioni di Agro Marmifero e/o di Bene Estimato.

In sintesi, l'obliterazione dell'originario aspetto geomorfo-paesaggistico del bacino si è esplicata non solo attraverso la vera e propria escavazione, ma soprattutto attraverso le discariche ad essa connesse (ravaneti), che hanno ricoperto i versanti vallivi anche con spessori notevoli. Questi sono caratterizzati da pendenze più dolci rispetto a quelli dove affiora la nuda roccia; infatti i versanti ricoperti dai conoidi hanno valori d'acclività compresi tra 35°-45°, corrispondenti all'angolo di riposo del materiale, mentre dove affiora la roccia nuda i valori di acclività del versante sono >45°.

Caratteristiche geomorfologiche e ambientali dell'area di cava e del suo intorno significativo

È necessario premettere che l'area del Polvaccio e del suo intorno significativo rimangono interne al Bacino Marmifero Industriale Carrara-Massa, dove l'aspetto geomorfo-ambientale risente fortemente dell'intervento antropico. Questo nel recente passato, fine degli anni sessanta del secolo scorso, era caratterizzato da una morfologia residua estrattiva dove dominavano pinnacoli e torrioni molto fratturati abbandonati durante l'escavazione del sito, spesso associati a vasti e ricolmi ravaneti, tutti elementi morfologici con evidenti segni d'instabilità.

È al fine di porre in sicurezza il tratto di versante soprastante la cava n. 46 Polvaccio, attuale cantiere Vecchia Cava, che la Società decise di iniziarne l'opera di bonifica per la messa in sicurezza oggetto dei due sotto indicati progetti:

- "Variante al Piano di Coltivazione della cava n. 46 Polvaccio mediante abbattimento di Pinnacolo roccioso e rimodellamento del versante - Località Ravaccione - Bacino di Torano - Comune di Carrara (MS)", autorizzato con determina del Dirigente del Settore Marmo nell'anno 2004 e successive proroghe;
- "Progetto di ripresa dei lavori dall'alto, bonifica dal ravaneto di un tratto di versante su cui è prevista l'apertura di un nuovo cantiere, coltivazione della cava n. 46 Polvaccio sita in località Polvaccio-Battaglino del Bacino n. 2 di Torano - Comune di Carrara (MS)", autorizzato con Determinazione n. 8 del 27.01.2010, rinnovata in proroga con Determinazione n. 2982 del 21.11.2019 e successivamente rinnovata fino alla data del 31.10.2023.

In relazione alle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche possedute dalla Formazione Marmifera, unico litotipo affiorante nella zona e nel suo intorno significativo, la copertura vegetale di alto fusto è pressoché assente, la presenza di essenze vegetali rimane limitata a forme erbacee ed in subordine arbustive.

L'indagine di campagna ha consentito di redigere la Carta Geomorfologica di Tav. 04, dove sono stati censiti i differenti domini geomorfo-paesaggistici affioranti nell'area e nel suo intorno significativo:

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

La possibilità di indagare direttamente i fronti residui per una elevazione di oltre 200m ha consentito di escludere la presenza di forme carsiche principali:

- di tipo superficiale (epigeo), quali doline, poljie, inghiottitoi, pozzi o campi carreggiati;
- di tipo profondo (ipogeo), quali grotte, sifoni, risorgive, fiumi sotterranei.

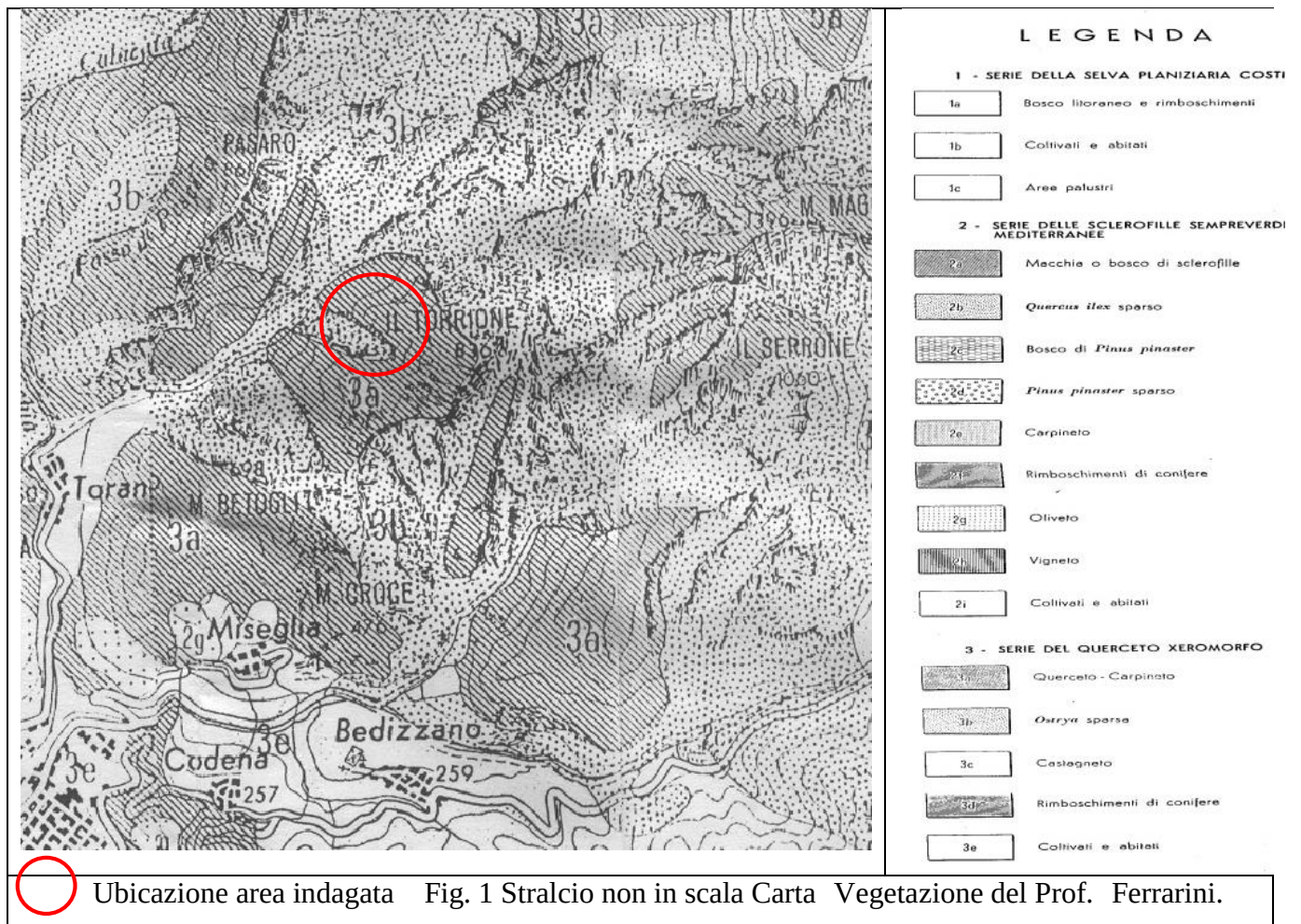
Durante i sopralluoghi sono state rilevate solo forme carsiche secondarie tipiche delle rocce carbonatiche, quali:

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

Dai sopralluoghi condotti all'interno del Bacino di Torano, ed in particolar modo nell'area circostante la cava e nel suo intorno significativo, emerge che il dominio geomorfo-paesaggistico dominante dal fondovalle fino a circa 850/900m s.l.m. è quello caratteristico del Dominio Antropico (Dap), mentre a quote superiori predomina il Dominio Naturale o Pluvio-Fluviale costituito dagli

ampi affioramenti di substrato roccioso calcareo che dona al paesaggio l'aspetto brullo ed arso tipico degli ambienti alpestri.

L'osservazione in loco ha confermato quanto emergeva dalla consultazione della Carta della Vegetazione delle Apuane del Professore Erminio Ferrarini, il cui stralcio non in scala è la Fig.1; ossia che nel Bacino di Torano, ed in particolar modo nell'area circostante la cava e nel suo intorno significativo, le scarse essenze arboree, rappresentate prevalentemente da individui con forma cespugliosa, sono ascrivibili alla serie **3a** del Querceto Xeromorfo, orizzonte del Querceto-Carpineto. Queste essenze rimangono generalmente radicate nelle coperture detritiche dove localmente può prevalere l'elemento terroso od all'interno di aree cataclastiche dove sono presenti fratture più aperte che racchiudono un riempimento di natura terrosa.



CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI

Inquadramento Tettonico dell'Area

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

Durante tale fase compressiva, indicata nella letteratura Pisana-Senese come "Fase D₁", ma che in realtà corrisponde a una seconda fase "A₂" che ripiega una precedente fase "A₁" quasi complanare, vedi schemi Figg. 2 e 3, si verifica il sovrascorrimento delle Unità Liguri sul Dominio Toscano Interno, con successivo sovrascorrimento della Falda Toscana sul Dominio Toscano Esterno (Complesso Metamorfico Apuano) e tettonizzazione di quest'ultimo entro una fascia di taglio ensialica, vergente NE, con conseguente metamorfismo in facies scisti verdi.

Il risultato di questa fase è la sovrapposizione delle unità tettoniche Liguri s.l. e della Falda Toscana, che costituiscono i rilievi circostanti le Apuane e l'Appennino Settentrionale, sulla Serie Metamorfica Toscana.

Nell'area apuana il sovrascorrimento e il conseguente impilamento delle varie unità tettoniche ha portato alla formazione di nuove e strette pieghe isoclinali che si sovrimpongono sulle preesistenti 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, come appunto quello dello "Zebrino-Cremo Delicato", dove le pieghe di fase "A₁" sono si trovano 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 sovrainposta da quella di seconda fase "A₂", che ha sviluppato e definito una scistosità di piano assiale, nei marmi coincidente con quello che i cavatori chiamano **"verso di macchia"**.

A iniziare dal Miocene inferiore, tutte le Unità del Dominio Toscano e Ligure soprastanti al metamorfico subiscono gli effetti dell'inversione tettonica, passando da un regime compressivo ad uno di tipo distensivo, terza fase "A₃", con lo sviluppo di zone di taglio distensive duttili interne al Complesso Metamorfico e faglie dirette a basso angolo nelle Unità Toscane Non Metamorfiche. Le strutture primarie e quelle acquisite nella fase compressiva "A₂", sono deformate nuovamente dalla terza fase "A₃", con sviluppo di un nuovo sistema di pieghe e di un nuovo clivaggio che si sovrappone alle precedenti, osservabile a tutte le scale. 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 finestre tettoniche delle Apuane (Duomo di Ruosina e Duomo di Boana). Questa cinematica, unita all'erosione, ha determinato il denudamento tettonico dell'area e la conseguente emersione del Complesso Metamorfico.

Le interferenze tra le fasi "A₁" "A₂" "A₃" risultano schematizzate in Fig. 2, oltre che osservabili nei marmi policromi della Garfagnana, i "Cipollini", dove lo sviluppo di pieghe secondarie generate dalle fasi più recenti ha agito sulle strutture precedenti.

L'intensa attività tettonica connessa con lo sviluppo della fase A₂ ha generato nel Comprensorio Carrarese una importante sequenza strutturale schematizzata nella Fig. 2 e rappresentata da W verso Est dalle sotto indicate strutture.

- 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.

La sottostante figura rappresenta uno spaccato della sequenza tettonica soprastante, dove è rappresentata in forma completa la struttura deformativa generale generata dalla sovrapposizione delle 3 fasi plicative.

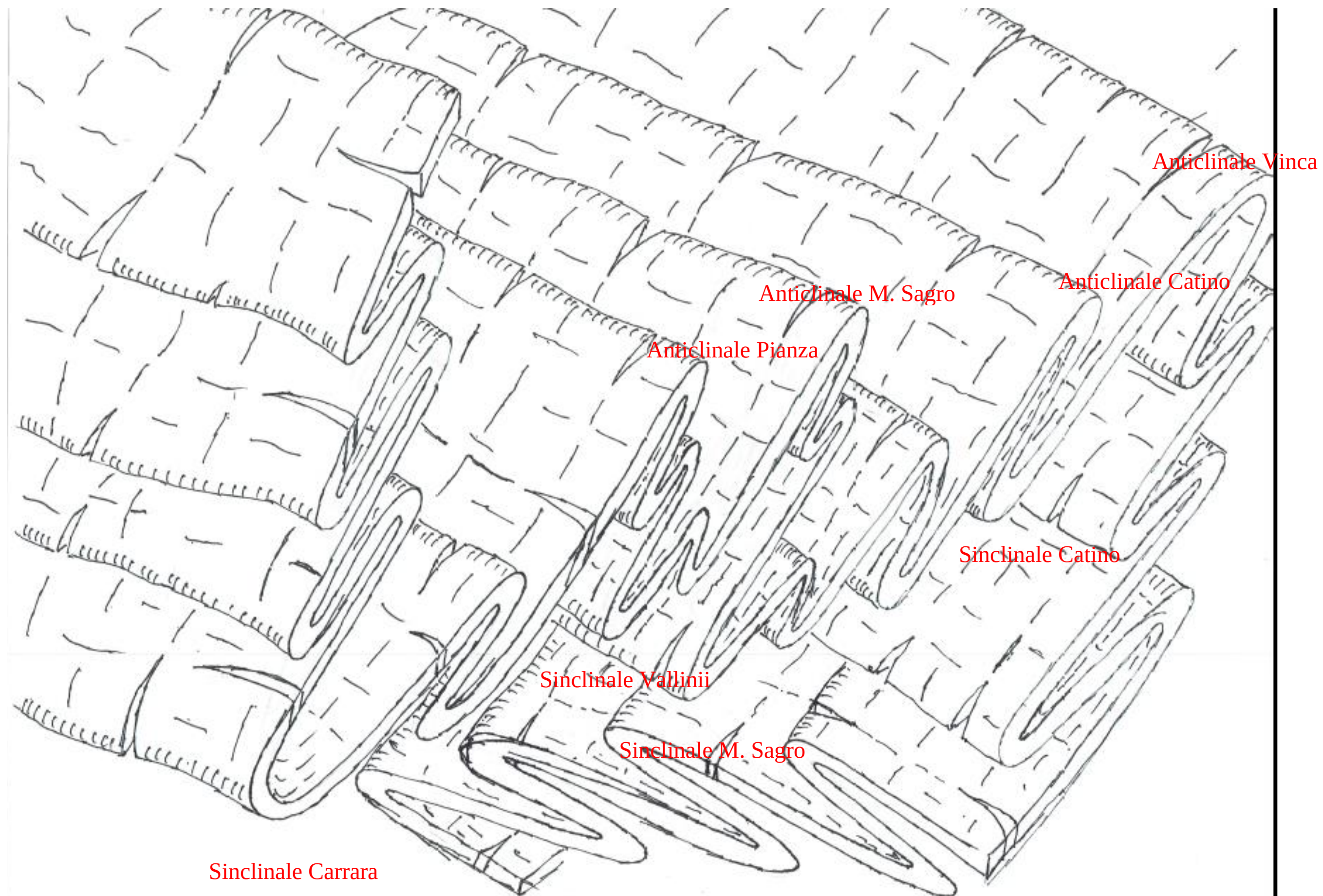


Fig. 2: Schema fuori scala della sequenza strutturale con rappresentate, solo per facilitazione grafica, le pieghe di fase “A1” e “A2” separatamente.

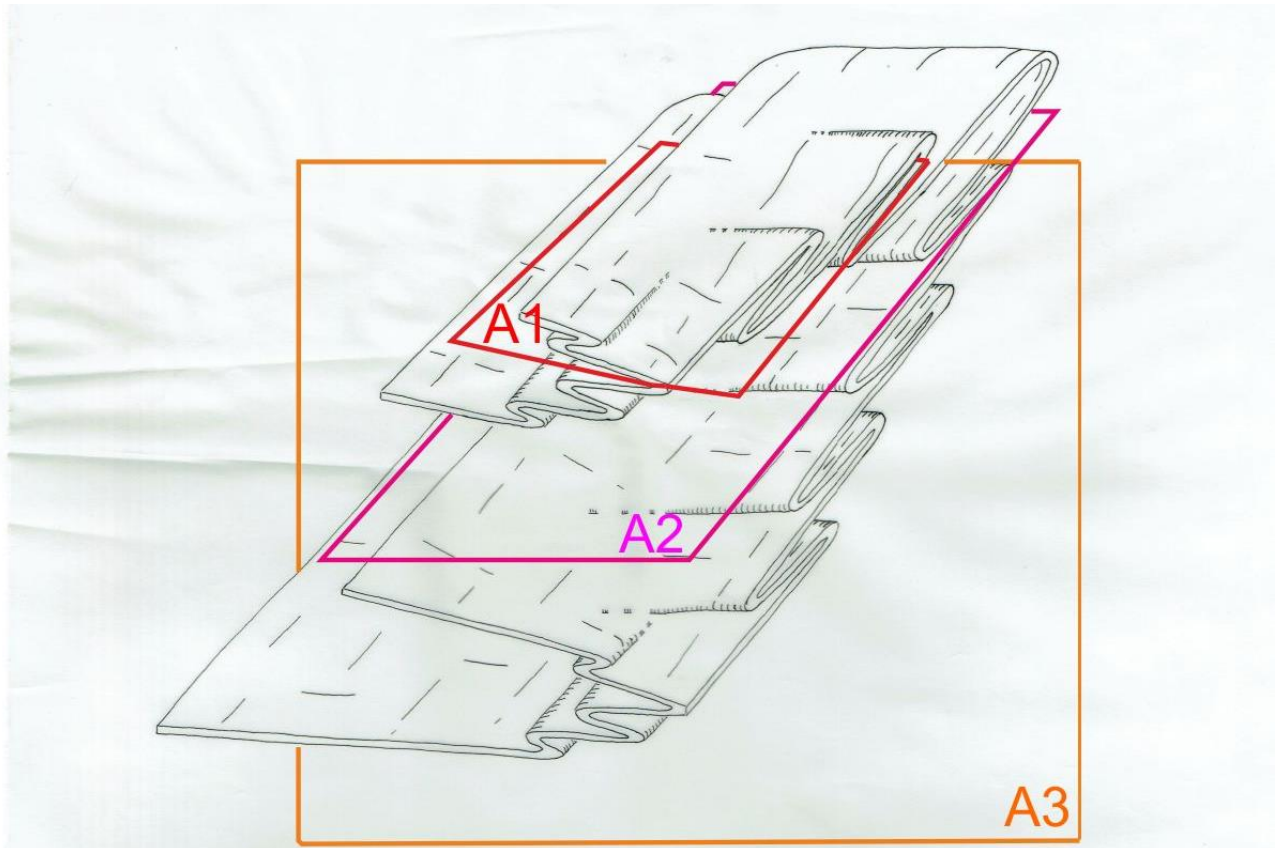


Fig. 3: Schema del modello geo-strutturale delle interferenze tra le fasi "A₁" "A₂" "A₃"

Inquadramento Geologico dell'Area e del suo intorno significativo

A scala ettometrica la complessità della locale struttura geologica non è ben visualizzata nell'area di cava e nel suo intorno significativo, perché vi affiora solo la Formazione dei Marmi s.s. che tende a non registrare le 3 deformazioni. Indizi della complessità strutturale è possibili ricavarli dalla osservazione della Carta Merceologia e Sezioni, (Tav. 7 e 8), dove sinformi a nucleo di "Statuario Michelangelo" rimangono contenute all'interno del vasto deposito di "Bianco Ordinario e Venato", con le prime strutture che mostrano chiaramente di aver registrato almeno le due ultime fasi deformative.

In dettaglio la cava n. 46 rimane ubicata nel fianco rovesciato dell'Anticlinale di Pianza, in corrispondenza del piano assiale della struttura, come visualizzabile in Tav. 5 e 6 Carta Geologica e Sezioni in scala 1:2000, 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 sono scaricati lungo il Fosso Moretto, per essere recuperati nel piazzale di q. 480.83/480.70m s.l.m. e trasportati al vicino frantoio della Piastra. All'impianto affluiscono anche i detriti che si prelevano dal cantiere "Vecchia Cava", Ordinanza n. 547 del 08.07.2021, e che sono ivi accumulati a seguito di frane che hanno interessato il corpo del vasto ravaneto interessato dalle oggetto delle operazioni di bonifica autorizzate con Determinazione n. 8 del 27.01.2010;

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

- Formazione dei Marmi in s.s.: rappresenta la sola formazione affiorante tra quelle che compongono la Serie Metamorfica. Le varietà merceologiche ivi affioranti consistono: nel "Bianco Ordinario cat. C", in subordine "Bianco Ordinario C/D e D" e nel famoso "Statuario Michelangelo", distinti nella Carta Merceologica di Tav. 7 e nelle Sezioni di Tav. 8. Le loro caratteristiche merceologiche e fisico-meccaniche sono discusse nel paragrafo "Il materiale". La Formazione dei Marmi è costituita da calcari metamorfici, di colore variabile dal bianco al grigio, con struttura saccaroide, anche se esistono ampie variazioni granulometriche all'interno del giacimento carrarese. Età: Lias Inf.;

CARATTERI GIACIMENTOLOGICI GENERALI DEL BACINO MARMIFERO INDUSTRIALE

Il vasto Giacimento Marmifero Carrarese è formato da 4 ampi bacini morfologici contigui, serviti da propria viabilità e elettrodotto:

- Bacino n. 1 Pescina Bacconaglia;
- Bacino n. 2 Torano;
- Bacino n. 3 Fantiscritti;
- Bacino n. 4 Colonnata.

Sotto il profilo geostrutturale la vasta estensione del Bacino Marmifero Carrarese, uno dei più estesi esistenti sulle Apuane, è da dovuta alla notevole potenza posseduta in affioramento dalla formazione marmifera, >150.0m, che dipende dalla ripetizione strutturale del livello marmo nel fianco diritto della Sinclinale Carrara e nei due fianchi della Anticlinale Pianza.

Dalle conoscenze geologico-giacimentologico-merceologiche risulta che:

- 1) nel Bacino n. 1 Pescina e nei domini strutturali coincidenti con le località Betogli e Belgia affiorano varietà merceologiche le cui caratteristiche fisico-meccanico-merceologiche rimangono contenute all'interno di un ben ristretto range;
- 2) nei Bacini n.2 Torano e n.3 Miseglia affiorano varietà merceologiche con caratteristiche fisico-meccanico-merceologiche

molto omogenee, spesso sono materiali molto simili che in alcuni casi risultano difficilmente distinguibili;

- 3) nel Bacino n. 4 affiorano materiali ben differenziati nel loro aspetto generale, così da originare n. 3 sotto-bacini: Calagio-Campanili, Gioia e Canaloni, dove affiorano varietà differenziate, nel disegno, nella tessitura e nella granulometria, con conseguente ampia variazione delle caratteristiche fisico-meccaniche.

CARATTERI GIACIMENTOLOGICI DEL BACINO DI TORANO

Correlata alla vasta estensione del Bacino, considerando all'interno di questo anche la zona di Pescina, è la presenza di differenti sub-giacimenti dove i materiali affioranti hanno diverse caratteristiche fisico-meccanico-merceologiche.

In particolare, sulla base delle caratteristiche fisico-meccanico-merceologiche è possibile distinguere:

- 1) Subgiacimento Pescina-Betogli, dove affiorano marmi pregiati quali: Calacata, Statuario Venato, Arabescato e in subordine Crema Delicato, Zebrino,;
- 2) Subgiacimento Lorano-Ravaccione-Tecchione-Torrione-Val Pulita, dove affiora il Bianco Ordinario nelle sue categorie C, C/D e D, e il Venato, con in subordine lo Statuario Michelangelo, che rimane confinato negli affioramenti a ridosso della località Ravaccione.

Nell'affrontare l'analisi giacimentologica si analizza il subgiacimento del punto 2) in quanto nel suo interno ricade la cava n. 46, mentre si traslascia l'analisi del subgiacimento 1.

Caratteri subgiacimento Lorano-Ravaccione-Tecchione-Torrione-Val Pulita-M.te Sagro.

Questo rimane suddiviso in differenti depositi marmiferi corrispondenti alla toponomastica sopra riportata. Nel suo interno sono attive circa n. 16 unità estrattive, da cui si estrae prevalentemente la varietà Bianco Ordinario Carrara, anche se il materiale estratto, in relazione al deposito di appartenenza, può presentare leggere differenze nelle caratteristiche fisico-meccaniche.

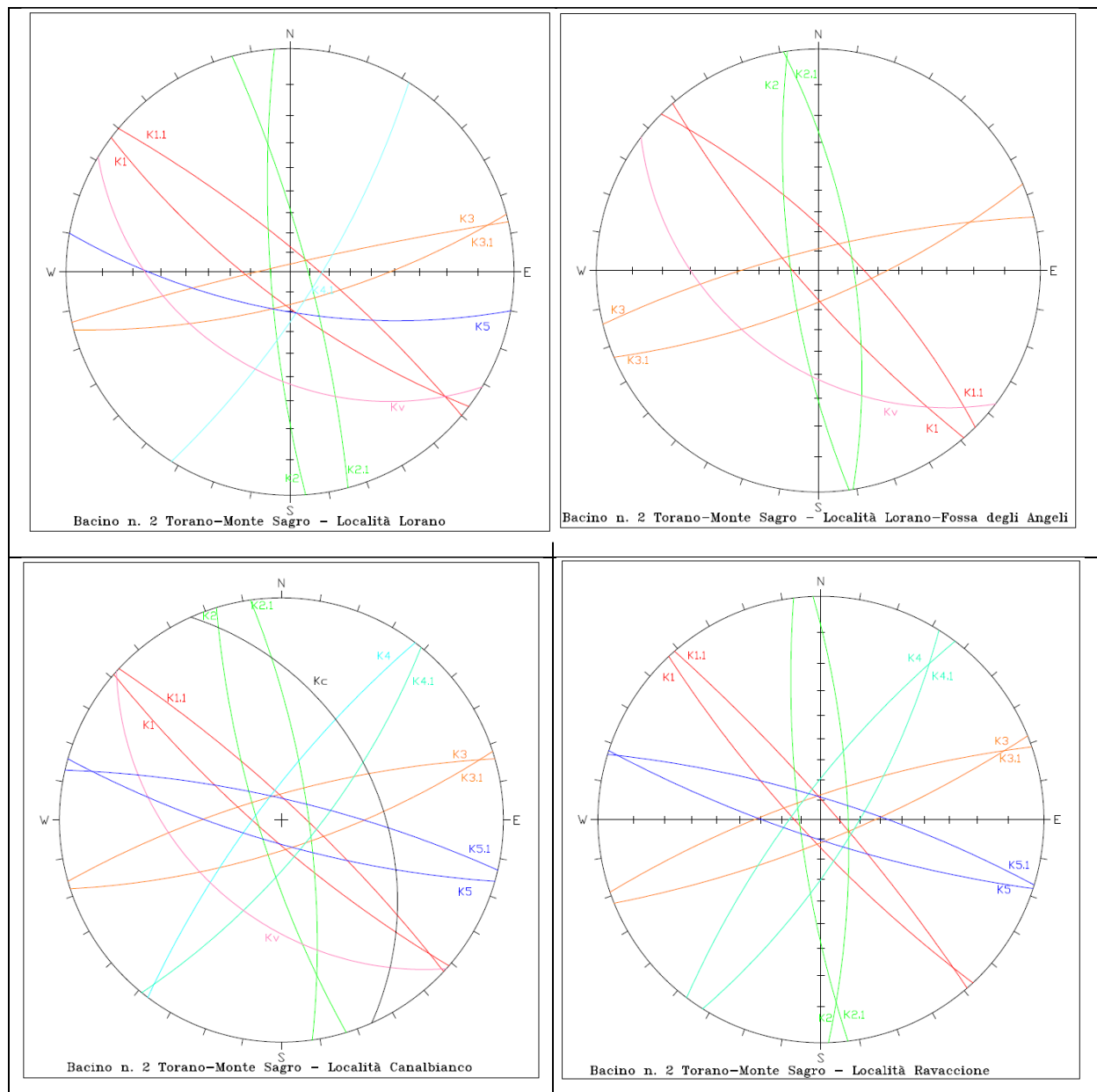
Un aspetto tessiturale che differenzia il Bianco Carrara estratto in questo subgiacimento rispetto agli altri è la presenza all'interno della massa di fondo del "difetto tarolo", piccoli vuoti che in alcuni casi sono inferiori al mm; la concentrazione risulta massima nel deposito di Lorano e tende a diminuire procedendo verso est all'interno del sub-giacimento.

Localmente col termine "tarolo" si intendono piccole cavità con dimensione circa della "testa di spillo", che alcuni studiosi

correlano con locali eventi di "degassazione" durante il metamorfismo.

Il deposito di Ravaccione, di cui si affronterà dettagliatamente la giacimentologia, è l'unico in cui, oltre al Bianco Carrara, si estrae lo "Statuario Michelangelo".

All'interno del subgiacimento la deformazione rigida rimane piuttosto omogenea, come conferma l'analisi delle sottostanti proiezioni stereografiche.



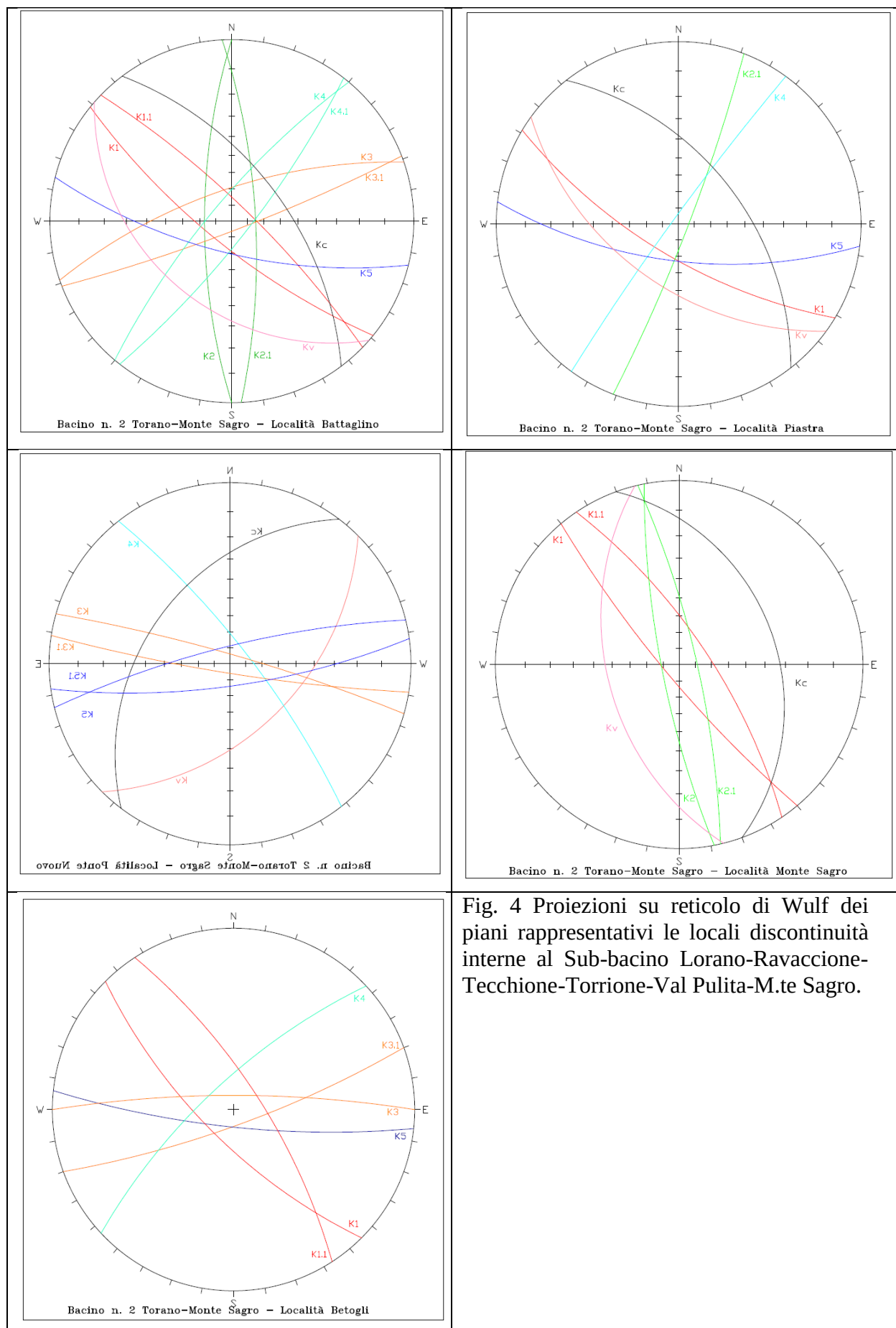


Fig. 4 Proiezioni su reticolo di Wulff dei piani rappresentativi le locali discontinuità interne al Sub-bacino Lorano-Ravaccione-Tecchione-Torrione-Val Pulita-M.te Sagro.

ANALISI GIACIMENTOLOGICA DEPOSITO RAVACCIONE-TECCHIONE-TORRIONE

Sotto il profilo geologico-strutturale il deposito rimane nelle adiacenze del piano assiale della Anticlinale Pianza, così da rimanere interno alla complessa struttura costituita dal fianco diritto della Sinclinale Carrara e dai due fianchi della Anticlinale Pianza. Queste sono strutture geologiche a grande scala dove alla deformazione "A1" si è sovrainposta la deformazione "D1" o "A2", responsabile della scistosità più pervasiva, successivamente ripiegate in fase tardiva "D2" o "A3". Le strutture sono allungate all'incirca NW-SE e ripiegate da assi orientati all'incirca NE-SW.

Gli studi geologico-strutturali svolti all'interno del subgiacimento, con particolare riferimento alla deformazione rigida ed al rilevamento merceologico, hanno permesso di definire l'omogeneità che lo caratterizza per i due aspetti citati.

Il deposito si estende tra la zona NE e SE del Bacino, Scheda n. 15 PIT/PPR, rimanendo geograficamente delimitato:

- verso Ovest dal Poggio della Dovizia;
- verso Nord dalla strada del Morlunco;
- verso Est dal contrafforte del Monte Maggiore
- verso Sud dallo spartiacque che lo separa dal limitrofo Bacino n. 3 Fantiscritti e dal Fosso Battaglino.

Nel deposito gli affioramenti sono interamente ascrivibili alla Formazione dei Marmi s.s., all'interno della quale sono riconoscibili le seguenti varietà merceologiche:

- Bianco Ordinario: marmo di colore da bianco, a bianco livido, a grigio-chiaro, con granulometria variabile da media a medio-fine, contenente macchie e venature dovute alla presenza di pirite microcristallina. Le varietà con fondo bianco e con macchie e venature nitide affiorano maggiormente nei pressi del contatto con il Nuvolato, (cat. Ordinario C), mentre la varietà con colore di fondo bianco livido, grana media e con scarsa venatura è quella maggiormente diffusa, (cat. Ordinario C/D). La varietà di colore da grigio chiaro a grigio è poco diffusa e rimane localizzata all'interno del cantiere Vecchia Cava, dove affiorano anche le sinformi a nucleo di statuario;
- Bianco Venato: marmo con colore di fondo da bianco a bianco livido, a grana medio-grossa, ricco in vene e venette intersecantesi dovute all'addensarsi della pirite microcristallina;
- Nuvolato: marmo di colore da grigio a grigio scuro, a grana fine, attraversato da vene e venette di calcite di colore bianco. Il colore grigio è dovuto al particolar addensamento di pirite microcristallina;

- Statuario Michelangelo: marmo di colore bianco avorio, con riflessi cerati, a grana media, contenente piccole ed isolate macchie grigie dovute a quantità infinitesime di pirite microcristallina. Il colore bianco avorio è dovuto alla diffusa presenza di muscovite.

Tali definizioni merceologiche trovano conferma nella "Carta delle Varietà Merceologiche dei Bacini Marmiferi del Carrarese" in scala 1:10.000, di cui la Fig. 5 è lo stralcio non in scala e la Fig. 5a la relativa legenda. Le caratteristiche fisico-meccaniche, chimiche e mineralogiche sotto riportate per le varie qualità merceologiche sono state estratte da "I MARMI APUANI" editrice ERTAG, anno 1980.



Fig. 5a: Stralcio Legenda "Carta delle Varietà Merceologiche dei Bacini marmiferi del Carrarese"

Nelle Tav. 7 Carta Merceologica e Tav. 8 Sezioni Merceologiche sono indicati i livelli delle varietà merceologiche "Bianco Ordinario", "Statuario Michelangelo" e "Venato", che originano la struttura seriale di "Antiformi" e "Sinformi", con al nucleo le sopraindicate varietà.

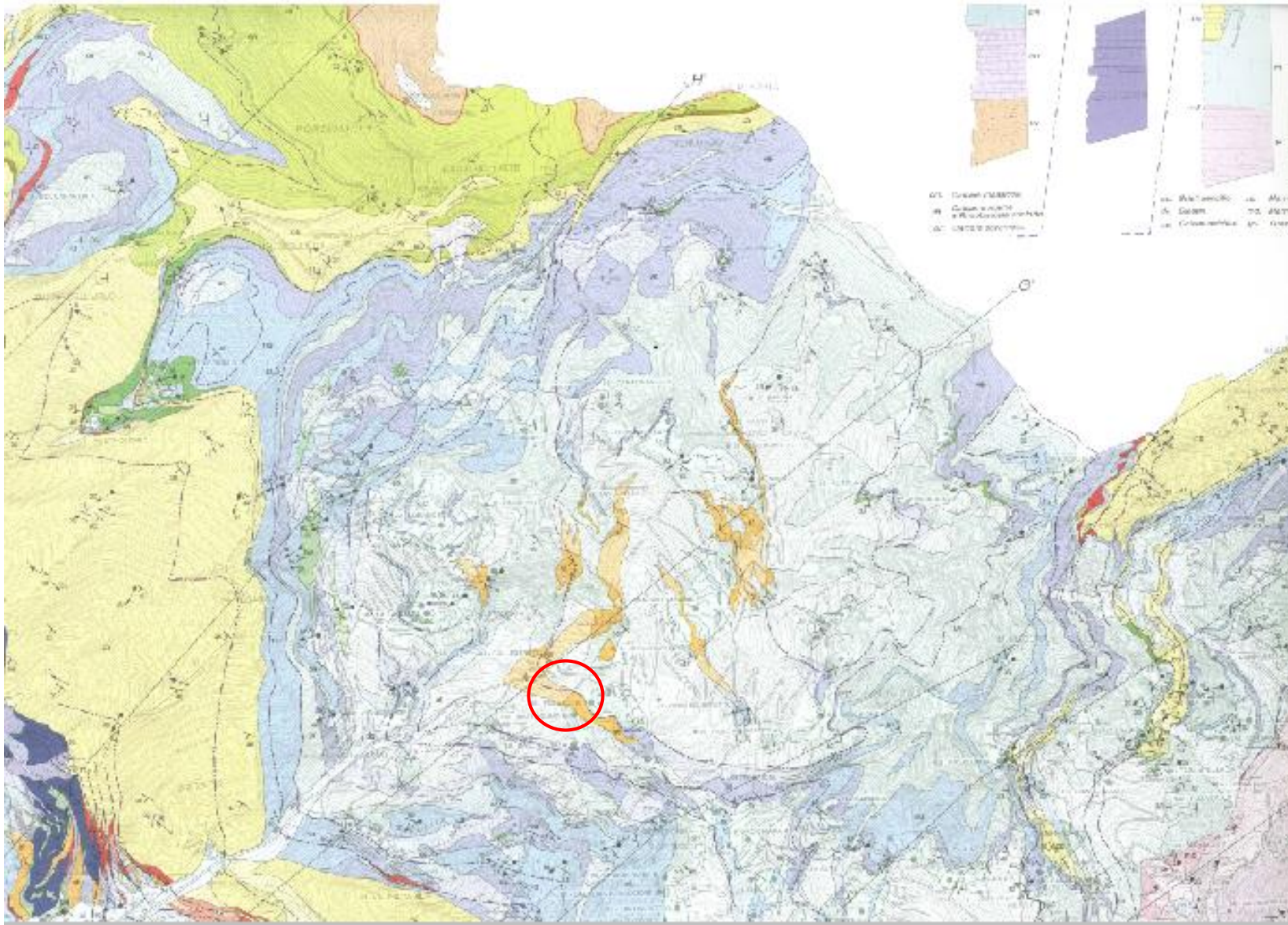


Fig. 5: Stralcio non in scala della “Carta delle Varietà Merceologiche dei Bacini marmiferi del Carrarese”.

Ubicazione cava



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

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

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE			
COMPOSIZIONE MINERALOGICA			% IN PESO
Magnesio nella Calcite			1.80
Residuo			0.06
MINERALI	Principali	Calcite	99.94
		Dolomite	0.0
	Minori	Albite	
		Quarzo	
		Muscovite	
		Pirite	
ANALISI CHIMICHE		% in peso	
	CO ₂		44.10
	MgO		1.10
	Al ₂ O ₃		0.03
	SiO ₂		0.07
	K ₂ O		0.01
	CaO		54.68
	TiO ₂		0.00
	MnO		0.00
	Fe ₂ O ₃		0.00
CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE			
1.0 CARICO DI ROTTURA A COMPRESSIONE		Kg/cm ²	1104
2.0 CARICO DI ROTTURA A COMPRESSIONE DOPO CICLI DI GELIVITÀ		Kg/cm ²	1173
3.0 CARICO DI ROTTURA A FLESSIONE		Kg/cm ²	136
4.0 DILATAZIONE LINEARE TERMICA		10 ⁻⁶ per °C	1.0
5.0 COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE D'ACQUA		% in peso	0.22
6.0 PESO PER UNITÀ DI VOLUME			2680
7.0 RESISTENZA ALL'URTO		cm	61.3
8.0 MODULO DI E ELASTICITÀ LINEARE		Kg/cm ²	563000
9.0 RESISTENZA ALL'ABRASIONE		mm	3.64

Tab. 2: Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche della qualità merceologica "Bianco Venato".

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE			
COMPOSIZIONE MINERALOGICA			% IN PESO
Magnesio nella Calcite			1.70
Residuo			0.15
MINERALI	Principali	Calcite	97.85
		Dolomite	2.0
	Minori	Muscovite	
		Albite	
		Pirite	
		Quarzo	
ANALISI CHIMICHE		% in peso	
	CO ₂		44.00
	MgO		1.07
	Al ₂ O ₃		0.06
	SiO ₂		0.06
	K ₂ O		0.02
	CaO		54.69
	TiO ₂		0.00
	MnO		0.01
	Fe ₂ O ₃		0.00
CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE			
1.0 CARICO DI ROTTURA A COMPRESSIONE		Kg/cm ²	1589
2.0 CARICO DI ROTTURA A COMPRESSIONE DOPO CICLI DI GELIVITÀ		Kg/cm ²	1551
3.0 CARICO DI ROTTURA A FLESSIONE		Kg/cm ²	241
4.0 DILATAZIONE LINEARE TERMICA		10 ⁻⁶ per °C	4.6
5.0 COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE D'ACQUA		% in peso	0.12
6.0 PESO PER UNITÀ DI VOLUME			2693
7.0 RESISTENZA ALL'URTO		Cm	38.8
8.0 MODULO DI ELASTICITÀ LINEARE		Kg/cm ²	884000
9.0 RESISTENZA ALL'ABRASIONE		mm	3.63

Tab. 3: Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche delle qualità merceologiche "Nuvolato".

CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE			
COMPOSIZIONE MINERALOGICA			% IN PESO
Magnesio nella Calcite			1.00
Residuo			0.19
MINERALI	Principali	Calcite	99.81
		Dolomite	0.0
	Minori	Muscovite	
		Albite	
		Pirite	
		Quarzo	
ANALISI CHIMICHE		% in peso	
	CO ₂		44.00
	MgO		0.43
	Al ₂ O ₃		0.04
	SiO ₂		0.06
	K ₂ O		0.01
	CaO		55.03
	TiO ₂		0.00
	MnO		0.06
	Fe ₂ O ₃		0.09
CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE			
1.0 CARICO DI ROTTURA A COMPRESSIONE		Kg/cm ²	1352
4-20 CARICO DI ROTTURA A COMPRESSIONE DOPO CICLI DI GELIVITÀ		Kg/cm ²	1280
3.0 CARICO DI ROTTURA A FLESSIONE		Kg/cm ²	173
4.0 DILATAZIONE LINEARE TERMICA		10 ⁻⁶ per °C	4.3
5.0 COEFFICIENTE DI IMBIBIZIONE D'ACQUA		% in peso	0.11
6.0 PESO PER UNITÀ DI VOLUME			2703
7.0 RESISTENZA ALL'URTO		Cm	68.8
8.0 MODULO DI ELASTICITÀ LINEARE		Kg/cm ²	739000
9.0 RESISTENZA ALL'ABRASIONE		mm	4.99

Tab. 4: Caratteristiche chimico-mineralogiche e fisico-meccaniche delle qualità merceologiche "Statuario Michelangelo".

L'Unità Estrattiva n° 46 POLVACCIO

Come già detto, la cava rimane costituita da n. 4 cantieri, dei quali solo il Cantiere Polvaccio Alto è attivo. Questo, a seguito dell'abbassamento di quota dei piazzali dovuto alla coltivazione, si è congiunto al Polvaccio Superiore diventando un unico cantiere estrattivo.

Al momento i prelievi di detrito avvengono:

- nel cantiere Vecchia Cava, in ottemperanza alla Scia consegnata in data 23.02.2026, ed interessano il detrito ivi franato durante le operazioni di bonifica del soprastante ravaneto, operazioni autorizzate con la Determina n. 8 del 27.01.2010;
- nel cantiere Fossa Moretto, dove si preleva saltuariamente il detrito che si accumula al piede del ravaneto per cause meteorologiche.

I cantieri Polvaccio Battaglino e Polvaccio Battaglino sono inattivi perché la posizione morfologica sottostante al Polvaccio Alto esporrebbe il personale a rischi di varia natura.

In base alla Determina n. 4117 del 24.08.2023, rinnovata con la Determina 5449 del 22.10.2025, l'area a confine tra il cantiere Polvaccio Alto e la ex-cava n. 50 Battaglino è interessata da lavori di messa in sicurezza, che consistono sia nella rimozione dell'ammasso roccioso sia nella asportazione del ravaneto esistente.

Sotto il profilo giacimentologico l'unità estrattiva occupa tutta zona SE del subgiacimento Ravaccione-Tecchione-Torrione.

Lo studio della deformazione rigida condotto nella cava ha consentito di definire che i sistemi di discontinuità sono omogeneamente distribuiti nei diversi cantieri, mentre non lo è l'intensità nel singolo cantiere, condizione che ha permesso di cartografare aree a differente intensità di fratturazione, Tav. 11 Carta Fratturazione.

L'osservazione diretta dei vari fronti residui, componenti la tecchia che si sviluppa dalla sommità del cantiere "Polvaccio Alto" fino alla base della tecchia "Vecchia Cava", consente d'indagare in profondità la struttura del deposito che, come rappresentato in Tav. 11 Carta Fratturazione e Tav. 11A Sezioni Geostrutturali, risulta costituita:

- 1) da un livello residuo di "finimento", con andamento subparallelo alla morfologia, che ormai ricopre soltanto la parte settentrionale del deposito produttivo;
- 2) da due "fasce di finimento" con differente ampiezza, di cui una interna al deposito e l'altra che lo delimita verso Ovest a confine con la ex-cava n. 50 Battaglino; quest'ultima si sviluppa nei confinanti beni stimati aziendali 47 e 48 del Fg 27 e negli

agri marmiferi n. 46, 45 e 44 del Fg 27, già rilasciati in uso per operazioni di messa in sicurezza con Determina 4117 24.08.2023.

Dagli studi geostrutturali condotti risulta che:

- 1) la Società ha provveduto ad asportare il livello di finimento che ricopriva la parte centrale e meridionale del cantiere Polvaccio Alto, così da disporre di piazzali produttivi siti a q. 603.13, 597.09, 588.49, 585.28, 578.07 e 573.05m s.l.m.;
- 2) la Società, nell'ambito del progetto terminerà l'operazione di bonifica/messa in sicurezza del sito messa come da autorizzazione rilasciate sia del finimento a confine con la ex-cava 50 Battaglino, Tav. 11 Carta Fratturazione e Tav. 11A Carta Sezioni Geostrutturali;
- 3) nella parte centrale e meridionale della cava l'affioramento di due "antiformi a nucleo Nuvolato", costituite da materiale non commerciabile per la presenza di numerosi difetti quali "fili" o "peli furbi"; che sono micro-fratture che tendono a staccarsi nel blocco quando lo si bagna, hanno determinato una mancata produzione di blocchi, con considerevole aumento dell'investimento di scopertura del deposito.

Il Materiale

Il cantiere è aperto all'interno del già citato livello lito-strutturale dei Marmi s.s., dove, dal punto di vista merceologico, predominano le varietà di "Bianco Ordinario", categoria "C", "C/D" e "D" e in subordine la qualità "Statuario Michelangelo", Tavv. 7 e 8.

I primi affioramenti di quest'ultima varietà merceologica sono individuabili sul piazzale inferiore di q. 568.00m s.l.m., che il programma progettato intende raggiungere già in Prima Fase, Tav. 18.

Per quanto riguarda la descrizione merceologica e le informazioni geominerarie si rimanda al paragrafo precedente ed alle Tab. 1-4.

La gestione del detrito

Va premesso che, l'argomento è affrontato in dettaglio nel "Piano di Gestione dei Rifiuti Estrattivi, del Materiale Derivato e del Materiale da Taglio", dove si tratta la gestione del detrito prodotto giornalmente con l'escavazione del cantiere Polvaccio Alto e del detrito asportato dai due conoidi giacenti nella ex-cava n. 50 Battaglino e nel cantiere "Vecchia cava".

Tutto il materiale derivato da taglio è recuperato fornendolo giornalmente al vicino frantoio della Piastra, mentre le terre sono anch'esse giornalmente fornite a diverse ditte specializzate nel recupero, quali: San Colombano Costruzioni S.p.a., Pedrini & Mortali S.r.l. al fine di terminare le commesse marittime che sta gestendo.

Solo una limitata parte del detrito rimane e rimarrà all'interno dei cantieri per essere utilizzato nelle normali operazioni di lavorazione (letti per ribaltamento bancate; riempimento rampe di collegamento tra bancate, etc.).

Il detrito prodotto giornalmente con la coltivazione del cantiere attivo e quello proveniente dal ravaneto interno alla ex-cava n. 50 è asportato utilizzando la nuova viabilità che si distacca dal tornante di q. 654.70m s.l.m..

Con riferimento al comma 1 dell'art. 184 bis del D.lvo 152/2006 il materiale detritico risultante dalla coltivazione possiede le caratteristiche per essere considerato un "sottoprodotto", condizione che trova ulteriore conferma confermata nella L.R. 35/15, dove è definito anche il contributo economico da versare al Comune di Carrara.

CARATTERI IDROGEOLOGICI ED IDROGRAFICI GENERALI

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

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

I Marmi e i Grezzoni sono rocce molto permeabili per fratturazione e carsismo, mentre il Calcare Selcifero ricco in silice, sotto forma di interstrati, noduli e lenti, è caratterizzato da una permeabilità per fratturazione decrescente con la profondità, condizione che si genera per accumulo dei prodotti di alterazione e disfacimento della roccia depositatesi all'interno della frattura. Nel litotipo lo sviluppo del carsismo, proprio per la diffusa presenza della silice, è limitato, manifestandosi al massimo con forme epigee secondarie.

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 non rappresenta una importante via di infiltrazione perché si manifesta con forme minori, quali:

- 1) superficiali o epigee:
 - a) superfici morfologiche "rugose", causate da una differenziata dissoluzione della superficie morfologica e/o di frattura;
 - b) fratture superficiali 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;

Durante l'indagine condotta sui fronti residui e in coltivazione del sito non si sono rilevate importanti forme carsiche epigee o ipogee.

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 nei corpi detritici sono assenti, le acque che vi cadono sopra si infiltrano nel conoide, molto permeabile per porosità, per poi passare nel substrato marmoreo, altrettanto permeabile ma per fratturazione.

Questa circolazione idrica sotterranea è confermata dalla assenza di scaturigini alla base dei ravaneti, anche durante intensi eventi piovosi.

CARATTERI GENERALI DEL SERBATOIO IDRICO CARRARESE

Al contrario della struttura geologica che caratterizza l'allineamento strutturale Carrara-Vinca costituita da una serie pieghe isoclinali con differente estensione d'affioramento, Fig. 2, il Serbatoio Idrico Carrarese 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 da uno spesso materasso carbonatico dove prevalgono le Formazioni dei Calcari Selciferi, Marmi s.s., Marmi Dolomitici, Grezzoni e localmente Dolomie di Vinca, litotipi soprastanti l'impermeabile rappresentato dalle formazioni silicee: Filladi Inferiori, Porfiroidi-Scisti Porfirici ascrivibili al Basamento Paleozoico Apuano e/o alle Filladi Muscovitiche dell'Unità di Massa. Quest'ultime, affiorando lungo il lato di SW della catena montuosa, svolgono nel carrarese 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 il contatto permeabile - calcareo/impermeabile-siliceo. Le direzioni di deflusso sotterraneo coincidono all'incirca con le locali immersioni possedute dalle principali strutture geologiche.

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 scaturiscono a giorno grazie all'effetto tampone svolto appunto dalle formazioni impermeabili di questa unità geologica (Filladi quarzítico-muscovitiche). Lungo il margine settentrionale della catena, invece, le sorgenti idropotabili e le sorgenti termali di Equi scaturiscono a giorno a causa dell'effetto "tampone idrogeologico" svolto dalla Formazione

del Macigno, formazione caratterizzata da un minor grado di permeabilità rispetto al serbatoio carbonatico metamorfico. Inoltre, la presenza del Sovrascorrimento Tettonico Falda Toscana/Metamorfico fa sì che la struttura tettonica sviluppi un effetto drenante sulle acque sotterranee, innescando una rapida risalita delle acque sulfuree profonde, così che le stesse subiscano un "limitato rimescolamento" con le soprastanti acque freatiche "meno salate" e più "fredde".

I due serbatoi idrici sotterranei di Equi e Carrara pur rimanendo in continuità geologica attraverso le formazioni carbonatiche affioranti, non lo sono sotto il profilo idrogeologico. Infatti, non si hanno indizi di travasi di acque sotterranee tra i due bacini, per cui si ritiene che gli stessi siano separati da alti strutturali impermeabili non affioranti, che li suddividono in due realtà idrogeologiche che alimentano i due differenti e ben distanziati gruppi di sorgenti.

In ambedue i due serbatoi è l'immersione della struttura geologica il parametro che definisce principalmente la direzione di deflusso sotterraneo. Questo carattere è il responsabile della "cattura idrogeologica sotterranea delle acque che si infiltrano:

- nel Bacino del M. Sagro e che vanno ad alimentare le sorgenti del gruppo Torano-Canalie;
- nel Bacino di Orto Di Donna e che vanno ad alimentare le sorgenti idropotabili e termali di Equi.

L'esistenza di una circolazione idrica molto profonda all'interno del Comprensorio Estrattivo carrarese è indirettamente confermata dalla l'assenza di emergenze idriche nel suo interno, nonostante che il bacino abbia estensione >10Kmq e considerevoli variazioni altimetriche.

Le sorgenti alimentate da questo bacino idrogeologico scaturiscono tutte lungo il perimetro SW della catena montuosa, originando i due gruppi di Torano e Canale. Tali emergenze sono ben allineate lungo il Contatto Tettonico Unità di Massa/Metamorfico Apuano, dove la prima unità geologica, costituita da formazioni impermeabili, funziona da "Tampone idrogeologico", interrompe il deflusso sotterraneo delle acque e favorisce la loro venuta a giorno.

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

Nella Carta Idrogeologica e Sezioni, Tav. 9 e 10 in scala 1:2000, sono state censite le locali formazioni idrogeologiche, che rappresentano solo una minima parte tra le formazioni permeabili affioranti sulle Apuane. In particolare, nell'area affiorano solamente la Formazione dei Marmi ed i depositi detritici artificiali o "Ravaneti".

Nel serbatoio sotterraneo che sottende le sorgenti di costa, 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.

Rocce con permeabilità primaria o per porosità

Rocce incoerenti

Alla classe appartengono tutti i depositi e conoidi detritici naturali e quelli artificiali; quest'ultimi sono costituiti da scaglie marmoree, mentre nei primi prevalgono gli elementi di Calcare Selcifero ed in subordine di Grezzone.

Depositi detritici artificiali Ppm1

Sono gli accumuli detritici incoerenti composti da scaglie eterogranulari a spigoli vivi, caratterizzati da grado di permeabilità variabile da medio ad alto, in relazione alla quantità di materiale terrigeno inglobato all'interno del conoide. Il suo grado di permeabilità, pur rimanendo elevato, tende a diminuire entrando nel suo interno dove aumenta la frazione terrigena. I ravaneti, generalmente, non sono sede di acquiferi nonostante posseggano un elevato grado di permeabilità che facilita l'infiltrazione delle acque meteoriche. Queste infiltratesi e circolanti nel loro interno subiscono l'azione di drenaggio da parte del sottostante bedrock marmifero, caratterizzato da un maggiore grado di permeabilità. L'assenza di scaturigini idriche alla base del ravaneto, anche in occasioni di eventi meteorici di forte intensità, conferma la mancanza di una falda freatica interna al conoide che altrimenti ci sarebbe se non esistesse l'effetto "drenante del substrato marmoreo".

Depositi detritici di falda Ppm2

Sono depositi detritici naturali di limitata estensione e potenza che si formano alla base di balze subverticali o lungo aree concave del versante. Generalmente sono costituiti da elementi eterogranulari a spigoli vivi, con scarsa o assente frazione terrigena. La permeabilità è generalmente di alto grado, anche se la presenza di frazione terrosa nel suo interno la può ridurre fino al medio grado. La limitata estensione areale dei depositi fa sì che non si generino serbatoi idrici nel loro interno. Nell'area in esame non si riscontrano depositi appartenenti a questo tipo.

Depositi e coperture eluvio-colluviali Ppb

Sono depositi generalmente presenti nelle aree di affioramento del Calcare Selcifero, 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 di Torano lo strato eluvio-colluviale assume maggiore diffusione e potenza lungo l'allineamento Pesaro-Piastra-Betogli.

Rocce con permeabilità secondaria o acquisita,

Rocce coerenti

Alla classe appartengono tutte le formazioni metamorfiche fratturate e/o carbonatico-dolomitiche, la permeabilità per fratturazione è tipica delle prime, quella per carsismo si riscontra nelle rocce solubili delle seconde. A questa classe appartengono:

Le formazioni permeabili per fratturazione decrescente e per limitati fenomeni carsici Psd:

Formazione dei Calcari Selciferi Metamorfici, nei quali 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 per accumulo dei prodotti limo-argillosi derivanti dall'alterazione della roccia. La formazione possiede un medio-basso grado di permeabilità e nel bacino affiora lungo l'allineamento morfologico Pesaro-Piastra-Bettogli.

Le formazioni permeabili per fratturazione crescente e sviluppo di fenomeni carsici Ppc:

Marmi, Marmi Dolomitici, Formazione di Vinca e Grezzoni: i litotipi formazionali variano da un "calcare puro" (Marmi) a un "calcare dolomitico" (Marmi Dolomitici) a una "dolomia pura" (Formazione di Vinca e Formazione 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, nell'area di indagine affiora solo la Formazione dei Marmi in s.s..

Rocce impermeabili

Alla classe appartengono le rocce di natura essenzialmente silicee 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. Questi litotipi sono rocce di natura silicea, chimismo non idrosolubili e che, nonostante possano essere, anche localmente, molto fratturati, sono di fatto resi impermeabili per ostruzione delle fratture dai prodotti di alterazione già in prossimità della superficie morfologica. Nell'area e nel suo intorno significativo la classe è rappresentata dagli Scisti Sericitici che affiorano in località Campocecina.

Permeabilità dell'ammasso roccioso

La permeabilità di un ammasso roccioso è in funzione delle caratteristiche della fratturazione e della sua intensità, oltre che, per gli ammassi di natura calcarea, del carsismo. Come è ovvio, la permeabilità risulterà maggiore in corrispondenza delle fratture che presentano maggior apertura e/o delle aree cataclastiche, dove si ha una concentrazione della fratturazione (aree di finimento).

Nel caso in esame, il carsismo è poco sviluppato, pertanto, per addivenire ad una valutazione del valore medio della permeabilità dell'ammasso, si utilizzeranno le caratteristiche geometriche dello stesso (Tab. 6), in particolare è stata impiegata la seguente formula:

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

dove:

K_i = permeabilità del sistema iesimo;

g = accelerazione di gravità (981 cm/sec^2);

e = apertura media del sistema iesimo (cm);

v = viscosità cinematica H_2O a T. di $20^\circ C$ pari a $0.0101 \text{ cm}^2/\text{sec}$;

b = spaziatura media del sistema iesimo (cm);

che permette di stimare la permeabilità dell'ammasso roccioso affiorante nel cantiere Polvaccio Alto l'unico interessato dall'estrazione di materiale.

SISTEMA DI DISCONTINUITA' AS1+AS2	COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' K in cm/sec	Sulla base di questa stima si può asserire che l'ammasso costituente il cantiere Polvaccio Alto ha permeabilità secondaria di basso- grado.
K1a	0.280	
K1b	0.189	
K2a	0.003	
K2b	0.145	
K3	0.015	
Kc	0.02	
Kt Ammasso	0.634	

In valore di infiltrazione calcolato è in realtà maggiore di quello reale in quanto le caratteristiche utilizzate sono quelle

rilevate nei fronti estrattivi dove è presente un rilascio della roccia a seguito della coltivazione, mentre all'interno dell'ammasso, dove non è presente questo fenomeno, la stessa frattura è sicuramente meno aperta (confinamento laterale).

VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

Il problema della vulnerabilità degli acquiferi sulle Apuane è piuttosto rilevante, in quanto le estese aree carbonatiche, proprio per le loro caratteristiche di elevata permeabilità per fratturazione e/o carsismo rappresentano aree di potenziale e facile infiltrazione di inquinanti di varia natura.

In particolare il problema è sentito nelle aree a vocazione estrattiva, dove l'attività svolta, se non organizzata, può essere fonte di potenziale inquinamento a causa della dispersione, anche fortuita, di oli minerali ed 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 carsico pur rappresentando un serbatoio idrico sotterraneo rappresenta anche 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 è classificata ad alta vulnerabilità (50-70 valori sintacs) per gli acquiferi (Civita et alii, 1991) "Carta della Vulnerabilità degli acquiferi delle Alpi Apuane", stralcio riportato in Fig. 6.

Al fine di contenere al minimo il rischio di inquinamento dell'acquifero sopra definito, nel Polvaccio Alto si mette in atto quanto segue:

- 1.i mezzi sono generalmente manutenzionati all'esterno della cava portandoli nella vicina officina della 3D Service S.r.l. della Piastra, distante circa 1Km,, per cui non vengono stoccati oli minerali vergini od esausti in cava. Nel caso che si esegua una manutenzione straordinaria in cava, gli olii vengono trasportati dalla 3D Service S.r.l. poco prima della manutenzione e la stessa provvede direttamente al loro smaltimento;
- 2.il carburante è contenuto in serbatoio certificato e costruito dalla "Emilia Serbatoi", con capacità >110%, posto all'interno d'area con basamento cementato, pozzetto di raccolta sversamenti accidentali, impianto di depurazione a sacchi filtranti, disoleatore;
3. tutte le tagliatrici operanti durante la fase di lavoro sono delimitate da cordoli terrosi impermeabili per natura, e ulteriormente resi tali per costipamento meccanico, atti a contenere le acque di lavorazione impedendone la diffusione sui

piazzali di cava. La marmettola fine prodotta coi tagli a filo diamantato è pompata assieme a queste acque nell'impianto a sacchi filtranti dove è separata dall'acqua depurata e avviata ai serbatoi di stoccaggio dell'impianto a ciclo chiuso.

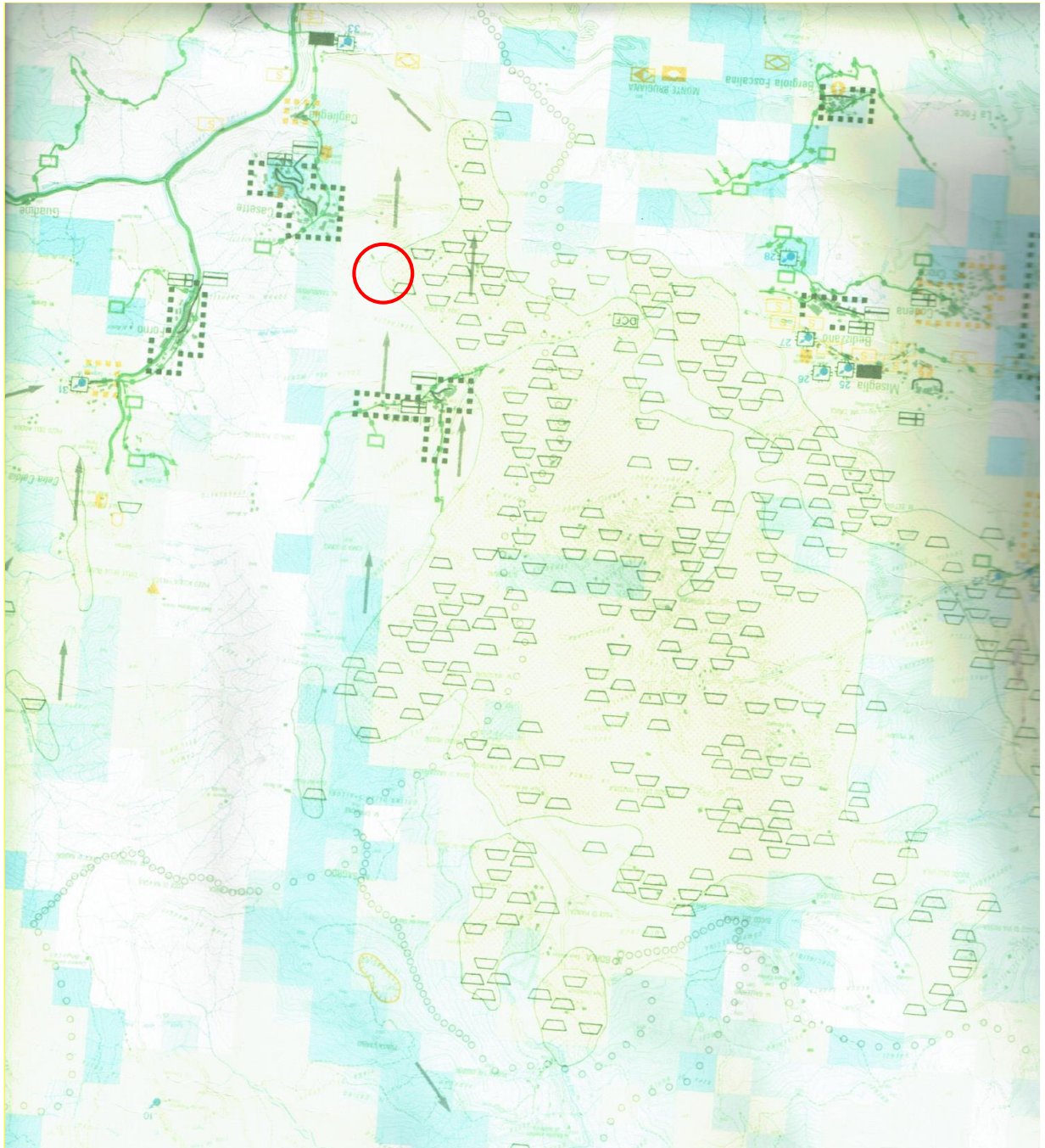


Fig. 6: Stralcio non in scala della Carta Vulnerabilità degli acquiferi delle Apuane (Civita Et A.li 1991)

Ubicazione Area

DETERMINAZIONE DELLE LINEE DI FLUSSO 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 influenzarle, con particolare riferimento allo stato strutturale della deformazione rigida.

Alla natura e struttura geologica a grande scala sono di fatto collegati i limiti idrogeologici, quindi il grado e la differenza di permeabilità tra le varie formazioni, che consentono di definire il substrato impermeabile ed il serbatoio idrico contenente 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 l'infiltrazione e il primo andamento sotterraneo del deflusso, con variazione di questo 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:

- gli elementi carsici più o meno sviluppati quali "condotti carsici", "camini" e ecc....
- le fratture beanti più o meno diffuse;
- le zone a maggior intensità di fratturazione, i 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", Fig. 2, quali:

1) Sinclinale Carrara	2) Anticlinale Pianza	3) Sinclinale Vallini	4) Anticlinale M. Sagro
5) Sinclinale M. Sagro	6) Anticlinale Catino	7) Sinclinale Catino	8) Anticlinale Vinca

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

A questa complessa impalcatura geologica, Fig. 2 e 3, corrisponde una più semplice struttura idrogeologica, dove un vastissimo serbatoio carbonatico costituito dalle strutture 1-7 poggia su un substrato impermeabile costituito dalle Filladi paleozoiche dell'Anticlinale di Vinca. L'immersione della struttura fa sì che le acque contenute nel serbatoio sotterraneo defluiscano seguendo il contatto permeabile/impermeabile verso SW nel carrarese e verso S nel massese.

Queste direzioni di deflusso sotterraneo trovano 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, nell'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. 7), 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.

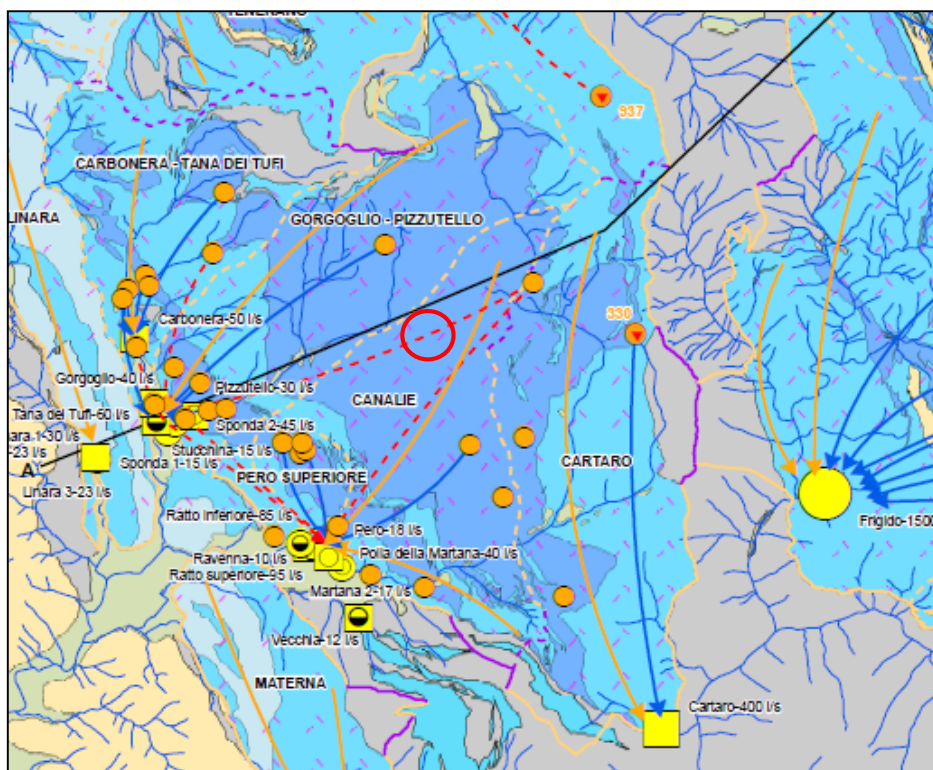


Fig. 7: Stralcio Carta delle aree di alimentazione dei Sistemi Idrogeologici – Corpo Idrico Sotterraneo Significativo delle Alpi Apuane.

Allegato 9a, Tav. A dello Studio idrogeologico prototipale del corpo idrico significativo dell'acquifero carbonatico delle Alpi Apuane, Monti d'Oltre Serchio e S. Maria del Giudice della Regione Toscana



Ubicazione cava 115

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

- in direzione SW scaturendo a giorno quando incontrano il "tampone idrogeologico" delle formazioni filladiche dell'Unità di Massa, originando, lungo il contatto tettonico, le sorgenti di Torano e delle Canale, Fig. 7;
- in direzione S scaturendo a giorno quando incontrano il "tampone idrogeologico" rappresentato dal contatto tra le Filladi dell'Unità di Massa e le Filladi Inferiori del Basamento Paleozoico costituente l'Anticlinale di Vinca, originando la sorgente del Cartaro, Fig. 7.

Un'ulteriore conferma della profondità della falda alimentatrice delle sorgenti di Torano la si deduce dall'assenza di emergenze significative nel fondovalle ed in particolare in località "La Piastra". In questa località affiora il Calcare Selcifero, litotipo con minor grado di permeabilità rispetto alle Formazioni dei Marmi s.s. e dei Grezzoni, caratteristica che dovrebbe generare delle emergenze, in quanto le acque sotterranee affluirebbero da un

contenitore molto permeabile ad uno con permeabilità media, quindi con caratterizzato da minor velocità e capacità di deflusso.

Reticolo idrografico locale

Nel complesso il reticolo idrografico locale del Bacino Torano rimane poco sviluppato, in quanto costituito da un fosso di fondovalle, il Fosso Serrone o di Canalbianco, e da alcuni "affluenti" secondari.

Tutto il reticolo idrografico è composto da incisioni pressoché rettilinee, poco incassate nella roccia, dove l'assenza di deflussi superficiali e la scarsa incisione sono indizi di elevato grado di drenaggio del substrato, che unitamente all'assenza di sorgenti nelle aree depresse dei contatti idro-formazionali e l'assenza di affioramenti del substrato impermeabile confermano una circolazione idrica sotterranea profonda all'interno della Struttura Idrogeologica.

Anche nel locale Fosso di Canalbianco o Serrone, asse idrico principale, i deflussi sono sempre assenti, rimanendo concentrati solo durante eventi piovosi particolarmente intensi.

Inoltre, la coltivazione della cava interessa un dosso secondario a quote nettamente superiori a quelle del fondovalle, per cui si può affermare che la sua coltivazione non influisce sull'andamento della falda e del reticolo idrografico e che tale situazione idrogeologica non subirà alcuna modifica con il procedere dei lavori di coltivazione come da progetto

ORIENTAZIONE FRONTI

La direzione e l'esposizione dei fronti attuali e di progetto per il cantiere è riportata nella sottostante tabella.

<i>Fronti Attuali e Progettati</i>		<i>Tecchie Attuali</i>
N 60 verticale esposto NW	N 71 verticale esposto NNW;	N 71 inclinato 55°NW
N 82 verticale esposto N	N 93 verticale esposto N;	
N 123 verticale esposto SW	N 133 verticale esposto NE	
N 154 verticale esposto NE	N 167 verticale esposto SW	

mentre i nuovi fronti indagati hanno orientazione:

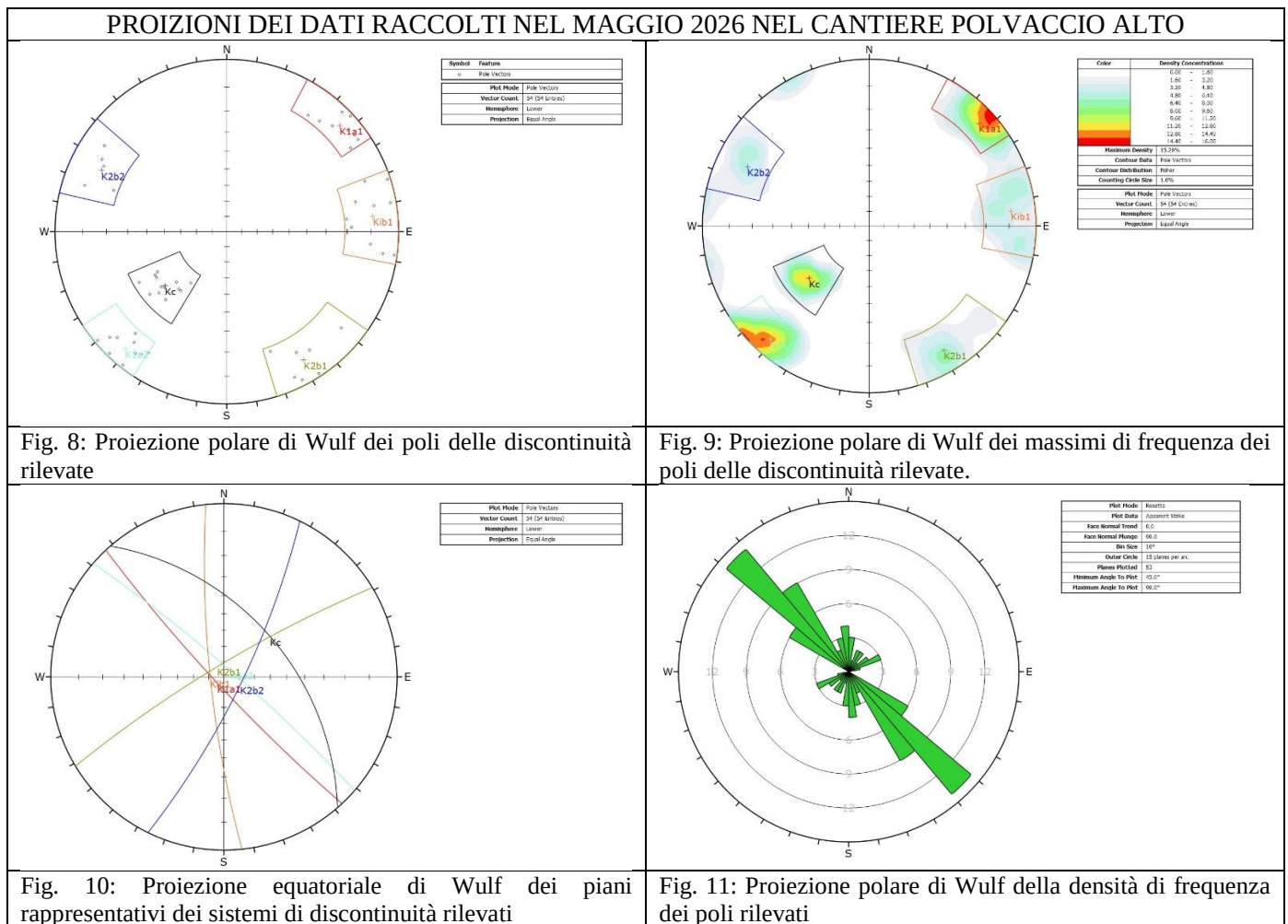
<i>Nuovi Fronti Attuali</i>
N 60° inclinato 60° NE
N 150° inclinato 53° NW

RILEVO STRUTTURALE

Nella Tav.11 - Carta della Fratturazione (scala 1:1000), oltre alle proiezioni e alle tabelle relative ai dati strutturali rilevati nelle precedenti campagne, sono riportate le proiezioni delle discontinuità rilevate nella campagna 2020, scaturita a seguito del sopralluogo congiunto di Tecnici della Regione Toscana e dei

Carabinieri Forestali, e l'aggiornamento del rilievo condotto con la campagna del Maggio 2026. Le fratture sono state rilevate applicando il metodo normalizzato elaborato dall'I.S.R.M. (International Society of Rocks Mechanics, 1978), nonché trattate con l'ausilio del programma Dips della Rocscience® al fine di definire sia le famiglie di discontinuità ed i loro piani rappresentativi sia l'elaborazione statistica delle caratteristiche fisico-meccaniche.

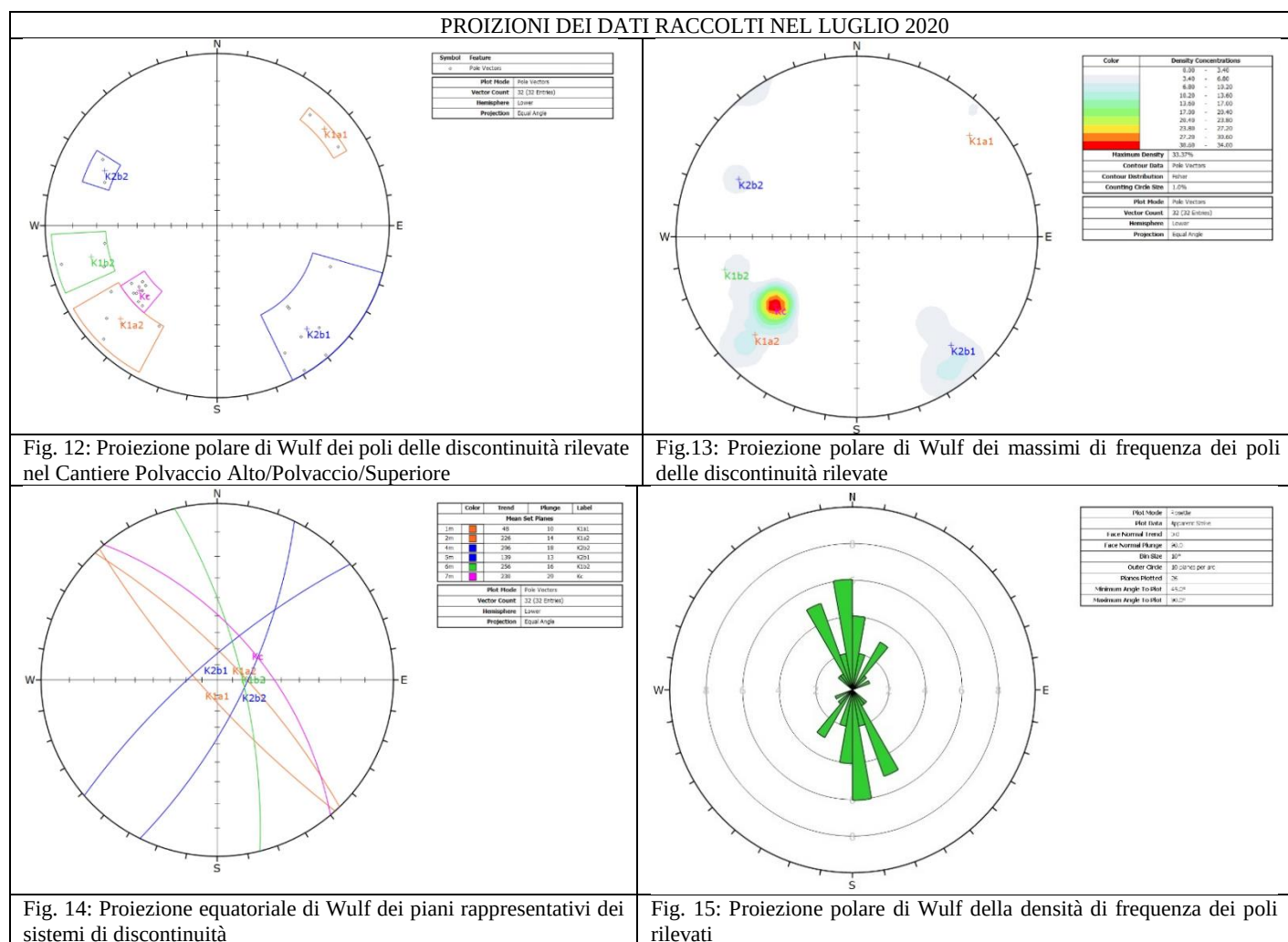
I dati raccolti nella campagna del Maggio 2026 sono stati proiettati su reticolare equatoriale e polare di Wulf, Fig. 8/11. La loro elaborazione ha confermato l'appartenenza di questi ai sistemi di discontinuità individuati definendone anche i range di immersione ed inclinazione, Tab. 5.



SISTEMA	K1				K2				Kc
Sottosistema	K1a		K1b		K2a		K2b		
Sottogruppo	K1a1	K1a2	K1b1	K1b2	K2a1	K2a2	K2b1	K2b2	
Range Imm.	207-237	33-57	249-281	/	/	/	304-343	103-130	30-67
Range Incl.	78-90	75-90	70-90	/	/	/	72-90	68-79	34-65
Piano Rapp.	227-89	44-87	256-85	/	/	/	328-85	118-80	52-31

Tab. 5: Tabella range di giacitura e piani rappresentativi dei sistemi rilevati nel Maggio 2026.

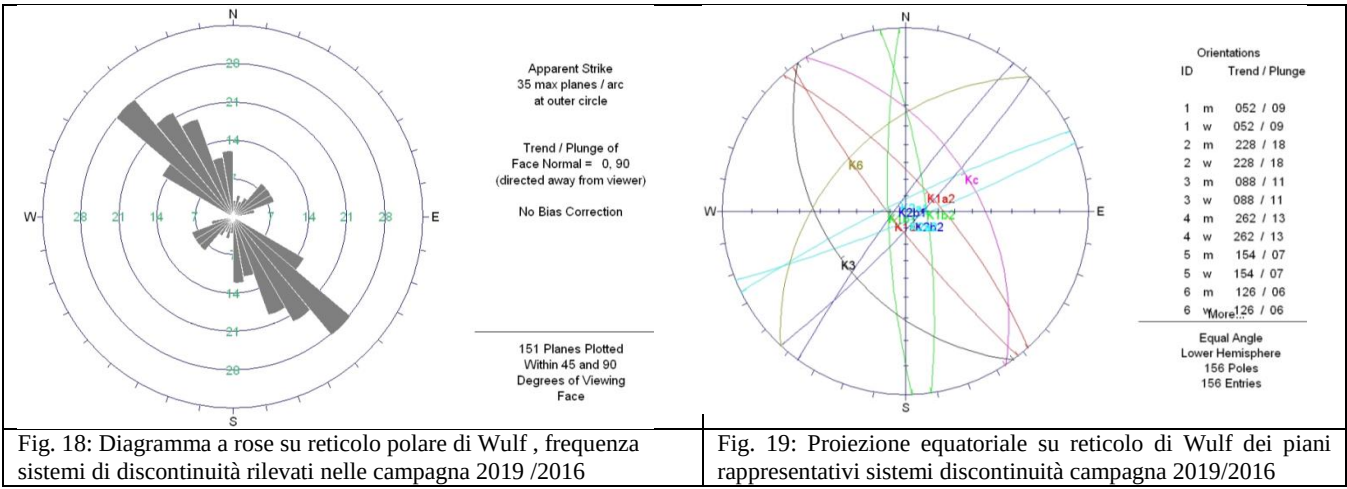
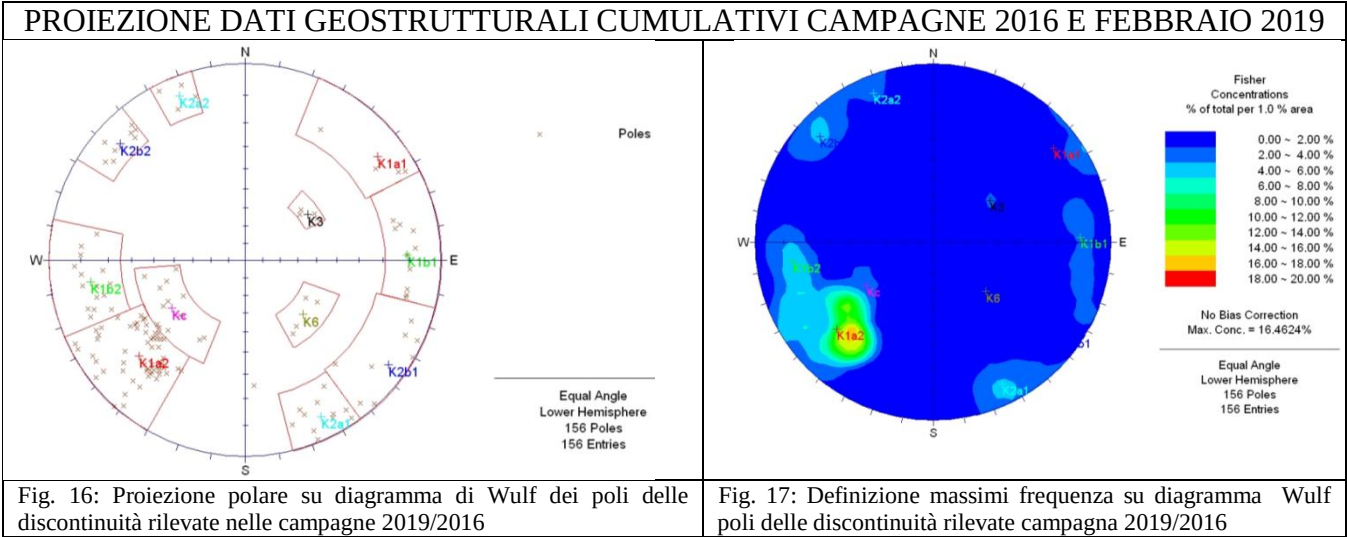
I dati del 2020, proiettati su reticolo equatoriale e polare di Wulf, Fig. 12/15, hanno confermato i sistemi ed i range di immersione/inclinazione già individuati nel corso delle campagne 2016/2019 2020 e precedenti. Per questa ragione sono stati mantenuti i piani rappresentativi prima definiti visto che, dal confronto le variazioni sono contenute comunque nell'intervallo $\pm 10^\circ$. Tale scelta ha consentito di caratterizzare l'ammasso roccioso utilizzando un buon numero di discontinuità, così da fornire una buona valenza della trattazione statistica effettuata. Essa ha confermato l'omogeneità dei dati 2026 rispetto ai sistemi di discontinuità rilevati con le precedenti campagne e ha permesso di redigere la sottostante Tab. 6, della giacitura dei sistemi individuati della campagna 2026.



SISTEMA	K1				K2				Kc
Sottosistema	K1a		K1b		K2a		K2b		
Sottogruppo	K1a1	K1a2	K1b1	K1b2	K2a1	K2a2	K2b1	K2b2	
Range Imm.	218-240	28-59	266-248	/	/	/	286-334	108-122	40-58
Range Incl.	76-82	67-88	68-89	/	/	/	60-90	67-79	58-68
Piano Rapp.	228-81	46-81	726-68	/	/	/	324-83	116-72	50-61

Tab. 6: Tabella range di giacitura e piani rappresentativi sistemi di discontinuità individuati nel 2020.

Di seguito si riportano le proiezioni di Wulf alle campagne 2016 e 2019 e 2020, Fig. 12, elaborati i massimi di frequenza, Fig. 13, costruito il diagramma a rose, Fig. 14, e definiti i rappresentativi Fig. 15, periodo 2016/2020, da cui emerge l'omogeneità dei sistemi individuati rispetto a quelli definiti nelle precedenti campagne.



Nei sottostanti grafici sono state proiettati i dati cumulati riferiti alle precedenti campagne, Fig. 20/23.

PROIEZIONE DATI GEOSTRUTTURALI RILEVATI NELLE PRECEDENTI CAMPAGNE

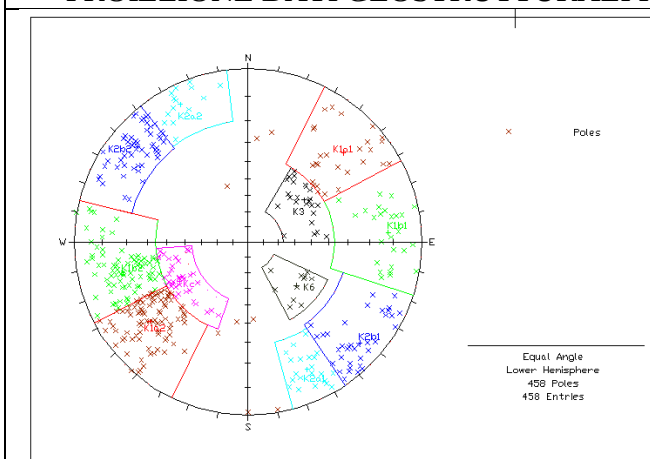


Fig. 20: Proiezione polare su diagramma di Wulf dei poli delle discontinuità rilevate nel cantiere

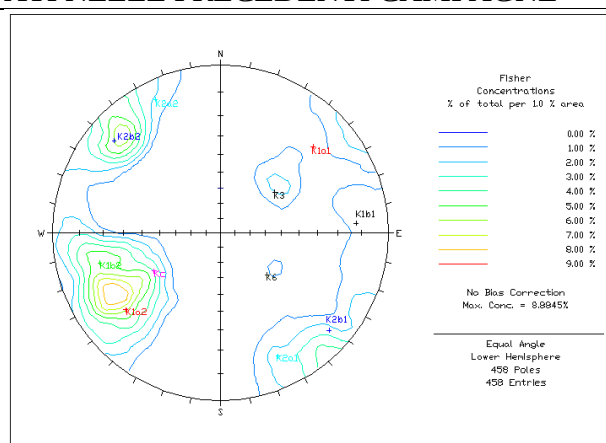


Fig. 21: Definizione dei massimi di frequenza su diagramma di Wulf dei poli delle discontinuità rilevate nel cantiere

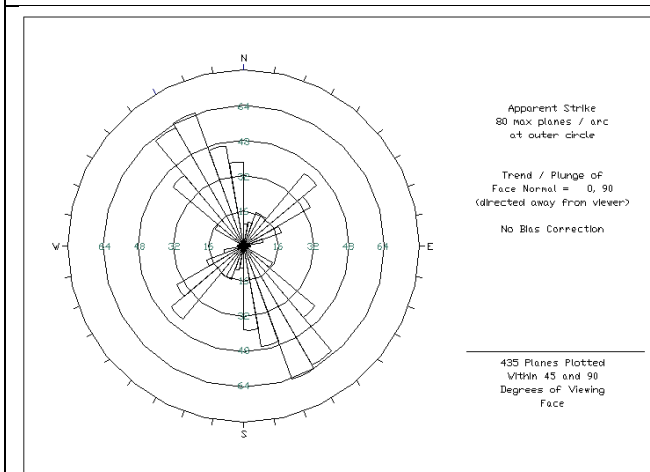


Fig. 22: Diagramma a rose su reticolo polare di Wulf della frequenza dei sistemi di discontinuità rilevati nel cantiere

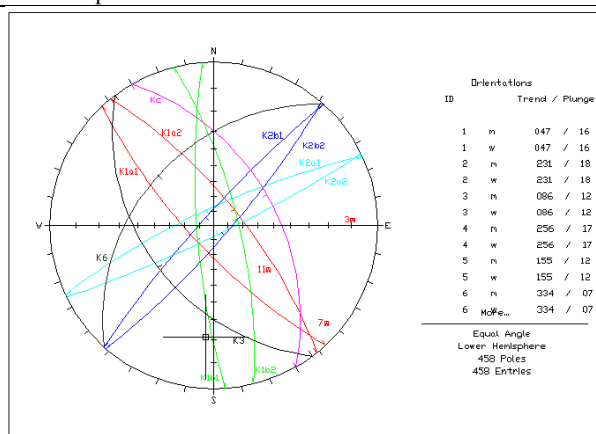


Fig. 23: Proiezione equatoriale su reticolo di Wulf dei piani rappresentativi dei sistemi di discontinuità.

L'omogeneità dei dati raccolti risulta evidente confrontando le proiezioni stereografiche prodotte con le varie campagne d'indagine, sia nel tempo e sia nella diffusione spaziale del sito.

L'elaborazione dei dati geomeccanici rilevati con le precedenti campagne ha permesso di definire i sistemi di discontinuità secondari (Kc, K3; K6), principali (K1, K2), ed i sottosistemi di quest'ultimi, oltre che redigere la Tab. 7 relativa alla giacitura dei sistemi e la Tab. 8, relativa ai parametri fisico-meccanici.

Sistema	K1				K2				Kc	K3	K6
Sottosistema	K1a		K1b		K2a		K2b				
Sottogruppo	K1a1	K1a2	K1b1	K1b2	K2a1	K2a2	K2b1	K2b2			
Ranges Immersione	205-242	26-62	242-287	62-103	326-345	141-173	287-326	103-141	18-85	208-270	294-332
Ranges Inclinazione	53-90	56-90	53-90	56-90	62-90	69-90	60-90	69-90	39-56	22-53	19-54
Piano Rappresentativo	227-74	50-72	266-78	76-73	335-78	154-83	312-71	131-80	60-49	233-44	310-41

Tab. 6: Tabella dei range di giacitura e dei piani rappresentativi dei sistemi di discontinuità individuati nelle varie campagne.

Nella definizione dei sistemi il sottogruppo K_{1a2} risulta essere il sistema del "Contro scontrato", il sistema K_c del "Contro reale", il sistema K_2 del "Verso meccanico", il sottogruppo K_{1a1} del "Verso reale".

Sotto il profilo cinematico l'importanza di un sistema è legata sia al numero di discontinuità rilevate nel cantiere sia ai valori dei parametri di persistenza e spaziatura individuati in loco, elaborati e trascritti nelle tabelle fisico-meccaniche. L'elaborazione statistica dei dati rilevati ha permesso la redazione delle tabelle dei parametri fisico-meccanici caratteristici dell'ammasso roccioso costituente il cantiere, (Tab. 8).

CARATTERI STRUTTURALI DI RILIEVO

Il rilievo geologico-strutturale ha evidenziato nel cantiere la presenza di alcuni settori con differenti caratteristiche; elemento dominante per la definizione delle "zone di omogeneità" è stato il parametro "spaziatura" tra le discontinuità.

Di ogni discontinuità individuata sono state rilevate le seguenti caratteristiche:

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

Sulla base del parametro "Spaziatura" sono state distinte 2 classi di omogeneità:

- *"FINIMENTI"*: vi sono ascritte le fasce cataclastiche dove la spaziatura tra le discontinuità è decimetrica; la posizione di queste aree è indicata nella Carta della Fratturazione, Tav. 11 e Tav. 11A Sezione Geostrutturali, scala 1:100. Sono state individuate e distinte cartograficamente:
 - una fascia cataclastica sita a confine con la ex cava n. 50 Battaglino, orientata circa NNE-SSW;
 - una fascia cataclastica interna all'area produttiva del Polvaccio Alto, orientata circa NNE-SSW, pressoché coincidente col Fosso del Moretto;
 - un residuo del livello cataclastico che ricopriva il giacimento interessato dall'iniziale operazione di bonifica, residuo che rimane localizzato nel settore settentrionale del cantiere;

- "AREA ESTRATTIVA": rappresentata dai piazzali di quota compresa tra 610.89 e 578.07m s.l.m., liberi dal soprastante finimento.

CANTIERE POLVACCIO ALTO								
SISTEMA		K1		K2		Kc	K3	K6
SOTTO SISTEMA		K1a	K1b	K2a	K2b			
PESO DEL SISTEMA	discontinuità disperse							
PERSISTENZA tipo	non pers.	17.52%	14.94%	20.00%	15.86%	19.35%	59.09%	100.00%
	subpers.	37.12%	35.64%	13.00%	42.69%	35.48%	13.64%	0.00%
	pers.	45.36%	49.42%	67.00%	41.45%	45.17%	27.27%	0.00%
PERSISTENZA m	min	0.77	0.1	0.26	0.32	0.91	0.15	0.19
	media modale	10.81	9.97	8.31	9.41	9.12	1.84	1.64
	max	70.00	>20.00	32.00	>20.00	>20.00	>20.00	>20.00
PERSISTENZA m	0-1	1.41%	5.56%	40.00%	6.76%	8.33%	58.33%	66.67%
	1-3	30.99%	28.30%	20.00%	29.73%	20.83%	16.67%	11.11%
	3-10	22.54%	24.53%	0.00%	25.68%	37.50%	16.67%	11.11%
	10-20	0.00%	41.51%	0.00%	13.5%	33.33%	0.00%	0.00%
	>20	45.06%	0.00%	40.00%	36.49%	0.00%	8.33%	11.11%
SPAZIATURA cm	0-2	0.00%	0.00%	20.00%	0.00%	14.29%	0.00%	0.00%
	2-6	0.00%	0.00%	20.00%	1.96%	0.00%	0.00%	0.00%
	6-20	2.44%	4.26%	40.00%	29.41%	14.29%	0.00%	0.00%
	20-60	14.63%	27.66%	0.00%	39.22%	0.00%	0.00%	50.00%
	60-200	51.22%	51.06%	0.00%	19.61%	28.57%	50.00%	50.00%
	200-600	31.71%	10.64%	0.00%	9.80%	42.86%	50.00%	0.00%
	>600	0.00%	6.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SPAZIATURA cm	min	7.92	18.08	4.81	6.39	0.15	107.58	35.36
	media modale	151.66	150.99	20.17	63.93	187.49	477.82	124.18
	max	548.55	1399.11	66.47	379.43	361.89	308.06	195.63
SCABREZZA tipo	I	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	II	9.28%	9.20%	0.00%	6.10%	9.68%	9.09%	0.00%
	III	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	IV	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	V	65.98%	49.43%	48.00%	52.44%	67.74%	63.64%	85.71%
	VI	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	VII	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	VIII	24.74%	41.37%	52.00%	41.46%	22.58%	27.27%	14.29%
APERTURA mm	0.0-0.5	78.87%	83.02%	80.00%	87.84%	84.00%	91.67%	88.89%
	0.5-2.5	19.72%	15.09%	20.00%	9.46%	16.00%	8.33%	11.11%
	2.5-10	/	1.89%	0.00%	2.70%	0.00%	0.00%	0.00%
	>10	1.41%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
APERTURA mm	min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	media modale	0.28	0.19	0.02	0.13	0.07	0.05	0.29
	max	13.00	1.50	0.50	3.00	1.50	0.50	1.00
ALTERAZIONE	non alterata	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	carsificata	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	patina ox	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
RIEMPIMENTO	assente	76.30%	80.45%	92.00%	87.80%	87.10%	95.45%	100.00%
	argilla	9.28%	6.90%	8.00%	3.66%	3.23%	0.00%	0.00%
	lit.	2.07%	3.45%	0.00%	1.22%	3.23%	4.55%	0.00%
	argilla / lit. arg. + lit. + calc.	12.35%	9.20%	0.00%	7.32%	6.44%	0.00%	0.00%
ACQUA	assente	98.97%	96.55%	100.00%	96.34%	100.00%	100.00%	85.71%
	umidità	0.00%	0.00%	0.00%	2.44%	0.00%	0.00%	0.00%
	stillicidio	1.03%	3.45%	0.00%	1.22%	0.00%	0.00%	14.29%
JRC	0-2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	2-4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	4-6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	6-8	100.00%	100.00%	100.00%	97.56%	100.00%	100.00%	100.00%
	8-10	0.00%	0.00%	0.00%	2.44%	0.00%	0.00%	0.00%
	10-12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	12-14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	14-16	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	16-18	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	18-20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tab. 8 Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità rilevati

CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

In questo paragrafo si procede alla caratterizzazione dell'ammasso secondo il metodo di Bieniawski (1989) ed il GSI (Geological strength - Index-Hoek&Brown, 2002), sulla base dei dati geostrutturali rilevati durante la campagna d'indagine.

Si ricorda che gli stendimenti e le stazioni puntuali di misura sono stati eseguiti su fronti campione individuati precedentemente e rappresentanti le condizioni medie geostrutturali del singolo cantiere, in coerenza con quanto riportato nella letteratura specifica.

Classificazione di Bieniawski (Indice RMR, 1989)

Il metodo consiste nell'assegnare un valore (indice RMR) risultante dalla sommatoria di cinque indici valutati in relazione alle caratteristiche dell'ammasso roccioso, Tab. 9, sulla base delle proprietà e del peso statistico di ogni sistema, Tab. 10, corretto in funzione della combinazione tra orientazione dei fronti principali e dei vari sistemi di discontinuità, Tab. 11. La sommatoria fornisce un indice che viene raffrontato a cinque classi di qualità dell'ammasso (Tab. 12).

	PARAMETRO	Valori riscontrati	INDICE RMR	Note
1	RESISTENZA ROCCIA	1000÷2500 Kg/cm ²	9	Valore assunto 100MPa
2	RQD	90-100%	20	
3	SPAZIATURE GIUNTI	0.6-2m	Vedi Tab. 11	Il range è riferito ai valori spaziatura sistemi persistenti
4	CONDIZIONE DEI GIUNTI		Vedi Tab. 11	Il range è riferito ai valori dei sistemi persistenti
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Assente	Vedi Tab. 11	
		Totale somma voci 3-4-5	50	Risultato elaborazione Tab. 11
	BRMR	Totale	79	
	Corr. Orient. Giunti		-9	
	RMR	Totale	70	

Tab. 9: Valore di BRMR e RMR: assegnazione dei parametri di Bieniawski, 1989.

Il valore di BMR = 79 permette di classificare l'ammasso roccioso in classe II "buona"; che nonostante la correzione subita di 9 punti rimane sempre nella stessa classe di appartenenza, i cui parametri geomeccanici sono sotto indicati

Parametro	Valori caratteristici	Valori di calcolo
Coesione	$c = 5 \times \text{RMR} = 350 \text{ kPa}$	$c_d = c / 1,25 = 280 \text{ kPa}$
Angolo di attrito	$\varphi = 0.5 \times \text{RMR} + 5^\circ = 40^\circ$	$\varphi_d = \varphi / 1,25 = 32^\circ$
Modulo Elastico	$E = 2 \times \text{RMR} - 100 = 40.0 \text{ GPa}$	$E_d = E / 1,25 = 32 \text{ GPa}$

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

Stima dei parametri caratteristici dell'ammasso con le espressioni fornite da Bieniawski:

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	Resistenza roccia	Carico di punta	>100 Kg/cm ²	40-100 Kg/cm ²	20-40 Kg/cm ²	10-20 Kg/cm ²	non applicabile		
		Compressione uniassiale	>2500 Kg/cm ²	>1000-2500 Kg/cm ²	500-1000 Kg/cm ²	250-500 Kg/cm ²	50-250 Kg/cm ²	10-50 Kg/cm ²	>10 Kg/cm ²
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200mm	<60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (Valore valutato in base alla sez. E)		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura <1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura <1mm Pareti roccia alterata	Superf. Lisce o laminate o riemp. <5mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	intramezzati spessore tenero > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONE IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel	Assente	<10	10-25 litri/min	25-125 litri/min	>125 litri/min		
		Rapp.: tra Pressione acqua nei giunti su sol. Nat. In situ Condizioni generali	0 Complet. Asciutto	<0.1 Debol. Umido	0.1-0.2 Solo umidità	0.2-0.5 Acqua in debole pressione	<0.5 Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

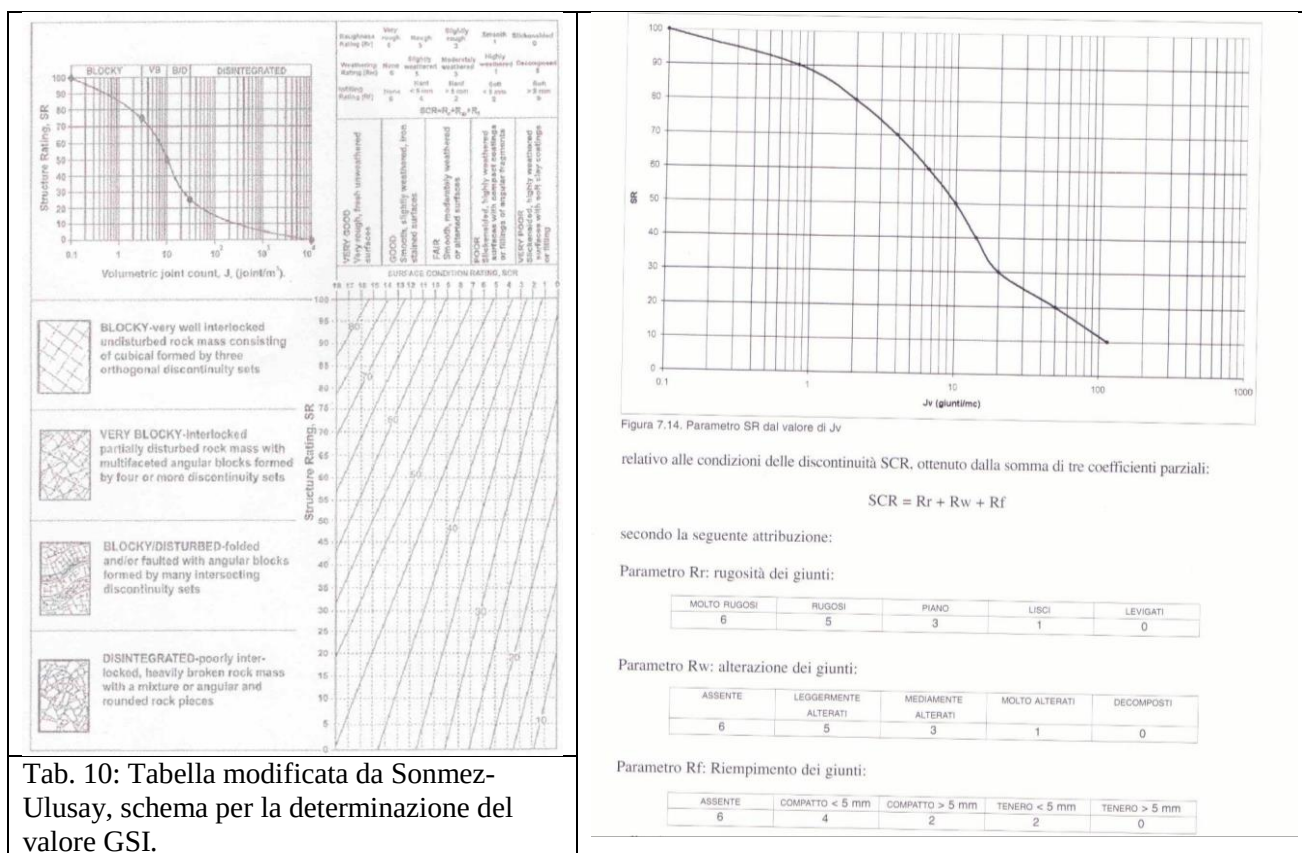
Tab. 10: Parametri di classificazione degli ammassi rocciosi (After Bieniawski, 1989).

Tab. 11– VALUTAZIONE PARAMETRI DI BENIAWSKI PESATI CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'					
FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMI	VALORE
	Persistenza	10-20 m	1	0.123	0.123
	Apertura	1-5 mm	1	0.123	0.123
K1	JRC	6-8	3	0.123	0.369
	Riempimen	assente	6	0.123	0.738
	Alterazion	assente	6	0.123	0.738
	H2O	assente	15	0.123	1.845
	Spaziatura	>2.0 m	20	0.123	2.460
				Totale Pesato	6.396
	Persistenz	10-20 m	1	0.175	0.175
	Apertura	0,1-1 mm	4	0.175	0.700
K6	JRC	6-8	3	0.175	0.525
	Riempimen	assente	6	0.175	1.050
	Alterazion	assente	6	0.175	1.050
	H2O	assente	15	0.175	2.625
	Spaziatura	0.90-1.6 m	15	0.175	2.625
				Totale Pesato	8,75
	Persistenz	10-20 m	1	0.287	0.287
	Apertura	0,1-1 mm	4	0.287	1.148
K2	JRC	6-8	3	0.287	0.861
	Riempimen	assente	6	0.287	1.722
	Alterazion	assente	6	0.287	1.722
	H2O	assente	15	0.287	4.305
	Spaziatura	>2.0 m	120	0.287	5.74
				Totale Pesato	15.7856
	Persistenza	10-20 m	1	0.316	0.316
	Apertura	0,1-1 mm	4	0.316	1.264
K3	JRC	6-8	3	0.316	0.948
	Riempimento	assente	6	0.316	1.896
	Alterazione	assente	6	0.316	1.896
	H2O	assente	15	0.316	4.740
	Spaziatura	0.66-0.94 m	14	0.316	4.424
				Totale Pesato	15.484
	Persistenza	3-10 m	2	0.07	0.140
	Apertura	1-5 mm	1	0.07	0.070
K4/SI	JRC	6-8	3	0.07	0.210
	Riempimento	assente	6	0.07	0.420
	Alterazione	assente	6	0.07	0.420
	H2O	assente	15	0.07	1.050
	Spaziatura	>20 m	20	0.07	1.400
				Totale Pesato	3.710
Rating Totale Pesato		50.25			

Tab. 11: correzione dei valori dei parametri in funzione della combinazione tra orientazione esistente dei fronti principali (After Bieniawski, 1989).

Classificazione di Hoek-Kaiserbaedn (Indice GSI 1995-2002)

Questa classificazione fornisce un sistema per valutare la riduzione della resistenza dell'ammasso in funzione delle differenti condizioni geologiche in cui si trova lo stesso. Allo scopo è stata utilizzata la tabella modificata da Sonmez-Ulusay (1999), Tab. 10 e 10A, che permettono di dare un valore numerico ai parametri "condizione strutturale" (SR) e "condizione delle discontinuità" (SCR), in maniera meno soggettiva rispetto alla semplice descrizione basata sulle precedenti tabelle. La stima del parametro SR è basata sul numero di discontinuità per mc di roccia, mentre l'indice SCR parte dalla stessa base relativa alla valutazione delle condizioni delle discontinuità per la stima dell'indice RMR di Bieniawski.



Tab. 10A

FAMIGLIA	PESO SIST.	Rr	Rw	Rf	Valore pesato
K1	0,123	3	6	6	1,845
Kc	0,175	5	6	6	2,625
K2	0,287	3	6	6	4,305
K3	0,316	3	6	6	4,74
K6	0,07	3	6	6	1,05
				Totale	14,565

La determinazione del parametro SCR avviene sommando i tre coefficienti riportati:

$$SCR = R_r + R_w + R_f$$

dove:

Rr= rugosità giunti

Rw= alterazione giunti

Rf: riempimento giunti

formula che permette di ottenere un valore pari a **14**, Tab. 10A.

Inserendo tali valori all'interno della Tab. 10, si è stimato un range di GSI compreso tra **65-75**.

La scelta di un range al posto di un valore univoco è consigliata dagli stessi autori; nelle valutazioni seguenti sarà considerato comunque il valore minimo del range pari a **65**. Si ricorda inoltre che una stima del valore di GSI si può ottenere anche dal valore di BRMR, con la seguente espressione:

$$\text{GSI} = \text{BRMR}_{89} - 5 = 79 - 5 = 74$$

che fornisce un valore di **GSI = 74**, valore leggermente sovrastimato al valore minimo determinato per via diretta con le tabelle degli autori

Carrara 01.07.2026

Il Geologo

Dott. Fiorenzo DUMAS

