

COMMITTENTE:

Ditta MARMO VERDE VAL s.r.l.
REGIONE GLAIR, SNC - 11020 - ARNAD (AO)
C.F. E P.IVA: 01295200073

OGGETTO:

Istanza di Verifica di assoggettabilità alla valutazione di impatto ambientale ai sensi della Legge regionale 26 maggio 2009, n. 12 e del D.lgs 152/2006 - CAVA CHAMPLONG

LOCALITÀ DELL'INTERVENTO:

COMUNE DI SAINT-DENIS - CAVA CHAMPLONG

CODICE AREA:

GEN

FASE PROGETTUALE:

VERIFICA DI ASSOGGETTABILITÀ A VIA

N° ELABORATO:

C

ARCHIVIO:

6083

067

GEN

C

00

SCALA:

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA

DATA:

Loranzè,
Aprile 2024

CONTROLLO QUALITÀ ELABORATI

REDATTO

VERIFICATO

RIESAMINATO

APPROVATO

REV

DATA

NOTE

CODICE	AMBITO PROGETTUALE	RESPONSABILE D'AREA	REDATTO	VERIFICATO RESP. AREA	RIESAMINATO COORDINATORE	APPROVATO RESP. PROG.	REV	DATA	NOTE
ARC	ARCHITETTURA ED EDILIZIA	Arch. A. DEMARIA - Arch. M. DI PERNA					0	Aprile 2024	EMISSIONE
GEO	AMBIENTE E TERRITORIO	Geol. P. CAMBULI	D.V.	P.C.			1	.	.
DLL	DIREZIONE LAVORI	Ph.D. Ing. G. ODETTO					2	.	.
ENE	ENERGETICA	Ing. A. BREGOLIN					3	.	.
IDR	IDRAULICA	Ing. M. VERNETTI ROSINA					4	.	.
IEL	IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI	Dott. Ing. E. MERCADO			P.C.	G.O.	5	.	.
TFM	IMPIANTI TERMOFLUIDOMECCANICI	Ing. A. BREGOLIN					6	.	.
INF	INFRASTRUTTURE	Ing. A. VACCARONE					7	.	.
STR	STRUTTURE	Geom. F. TONINO					8	.	.
VVF	PREVENZIONE INCENDI	Ing. A. BREGOLIN					9	.	.
EXT	COLLABORATORI ESTERNI	.					10	.	.
							11	.	.

PROGETTISTA:

Ph.D. Ing. Gianluca ODETTO
N° 7269 J ALBO INGEGNERI
PROVINCIA DI TORINO

TIMBRO:



ALTRA FIGURA:

Paolo CAMBULI
N° 850 ORDINE GEOLOGI
REGIONE PIEMONTE

TIMBRO:





Indice

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO	4
3	COERENZA CON GLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE GENERICI E DI SETTORE	8
3.1	P.R.A.E – Piano Regionale delle Attività Estrattive.....	8
3.2	P.R.G.C. – Piano Regolatore Generale Comunale.....	10
3.2.1	Vincolo idrogeologico (R.D.L. 3267/1923).....	13
3.2.2	Ambiti inedificabili (L.R. 11/98 e s.m.i.)	14
4	DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELL'AREA DI CAVA	17
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	21
5.1	Inquadramento fisiografico	21
5.2	Inquadramento geologico e geomorfologico	22
5.3	Suolo	28
5.4	Idrologia e idrogeologia.....	33
5.5	Pericolosità geologica	37
5.5.1	Catasto dissesti.....	37
5.5.2	Interferometria satellitare	39
5.6	Amianto	42
6	OPERE IN PROGETTO E METODOLOGIA DI COLTIVAZIONE	45
6.1	Interventi preliminari.....	45
6.1.1	Settore esterno.....	45
6.1.2	Settore interno.....	45
6.2	Ripresa della coltivazione	45
6.2.1	Fasi di coltivazione	48
6.2.2	Macchinari e personale impiegato	50
6.2.3	Tipologia di materiali estratti	51
6.3	Termine della coltivazione e recupero ambientale.....	53
7	CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO.....	54
7.1	Criteri di caratterizzazione - Metodi	54
7.1.1	Classificazione dell'ammasso roccioso.....	54



7.1.1.1	Rock Mass Rating (RMR –Bieniawsky, 1973, 1989)	54
7.1.1.2	Geological strenght index (GSI – Hoek, 1994, 1995).....	57
7.1.2	Resistenza al taglio delle discontinuità.....	59
7.1.3	Criterio di Rottura di Hoek e Brown (2002).....	63
7.2	Rilievi geomeccanici – presentazione dei dati.....	66
7.2.1	Rilievi ed elaborazioni - Aree esterne	66
7.2.2	Rilievi ed elaborazioni - Aree interne	69
7.2.2.1	Rilievi geomeccanici	69
7.2.2.2	Prove di laboratorio.....	79
7.2.3	Classificazione dell'ammasso roccioso.....	84
8	DATI DELLA STRUTTURA, ZONIZZAZIONE SISMICA, VITA NOMINALE, CLASSE D'USO	86
9	VERIFICHE DI STABILITÀ.....	88
9.1	Analisi cinematica	88
9.1.1	Galleria NE-SW	89
9.1.2	Galleria NW-SE	92
10	SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI.....	95
11	STATO TENSIONALE – VERIFICA ANALITICA.....	102
11.1	Sollecitazione del diaframma.....	102
11.2	Resistenza del diaframma.....	103
12	ANALISI NUMERICA DELLO STATO TENSIONALE	105
12.1	Modello utilizzato nei calcoli.....	107
12.2	Risultati	108
12.2.1	Tensioni verticali	108
12.2.2	Deformazioni verticali	112
12.2.3	Fattore di sicurezza	116
12.3	Conclusioni.....	117
13	FENOMENO DELLO SPALLING	118
14	VERIFICA DELLA PRESENZA DI AMIANTO	119
15	COMPATIBILITÀ GEOLOGICA DELL'INTERVENTO	122
16	CONCLUSIONI	124

1 PREMESSA

Su incarico della ditta Marmo Verde Val S.r.l. è stata redatta la presente relazione geologica e di compatibilità, a supporto dell'istanza di verifica di Valutazione di Impatto Ambientale previsto dalla Legge regionale 26 maggio 2009 n°12, in conformità a quanto contenuto nell'Allegato IV bis della Parte Seconda del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., per il progetto di coltivazione della Cava Champlong sita in comune di Saint-Denis. La presente relazione contiene le valutazioni di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico e giacimentologico per le aree di sedime e contermini della cava in oggetto; inoltre, contiene valutazioni in merito all'assetto geomeccanico dell'ammasso roccioso, le verifiche di stabilità, le simulazioni di caduta massi e gli esiti delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in sede di sopralluogo. Tutti gli aspetti analizzati concorrono alla valutazione di compatibilità geologica degli interventi con l'assetto territoriale e la normativa regionale e nazionale vigente.



2 INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

L'area oggetto di intervento è sita nel comune di Saint-Denis (AO). Le coordinate baricentriche, ETRF2000-UTM 32 N, misurate sul piazzale di cava sono le seguenti:

Coordinate ETRF2000- UTM 32 N (RDN2008)		
EST (m)	NORD (m)	Quota (m s.l.m)
391180	5068454	922

Si riportano a seguire degli estratti cartografici con individuazione dell'ubicazione degli interventi e delle gallerie della miniera.

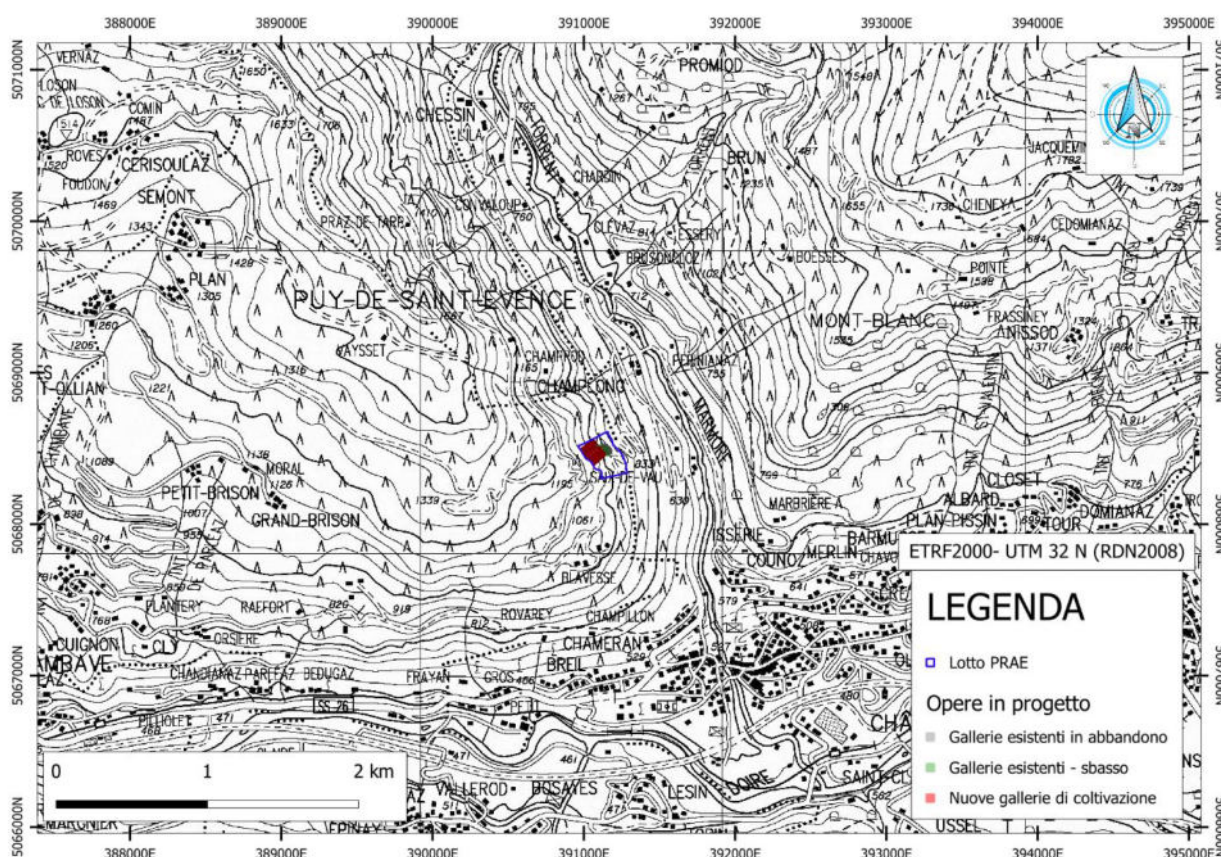


Figura 1. Ubicazione della cava Champlong su CTR 50'000.

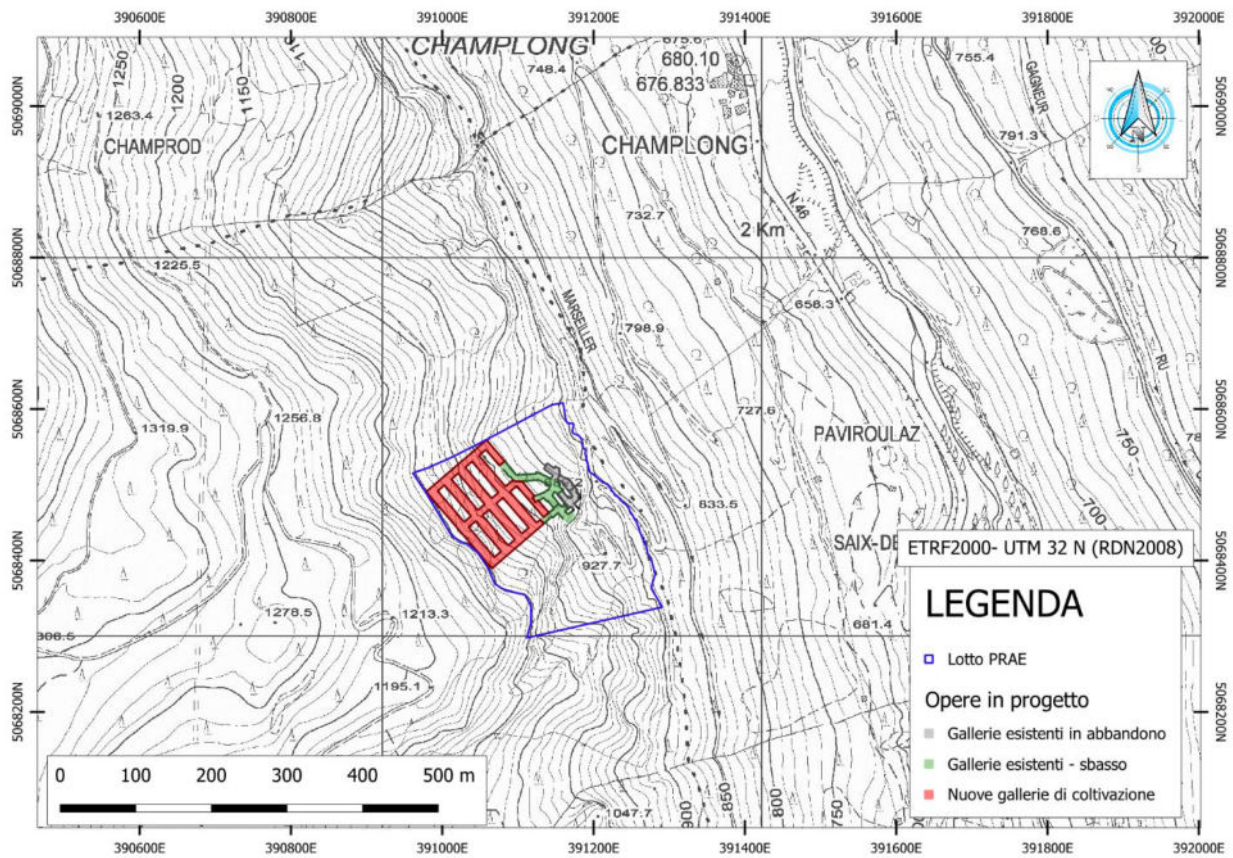


Figura 2. Ubicazione della cava Champlong su CTR 10'000.

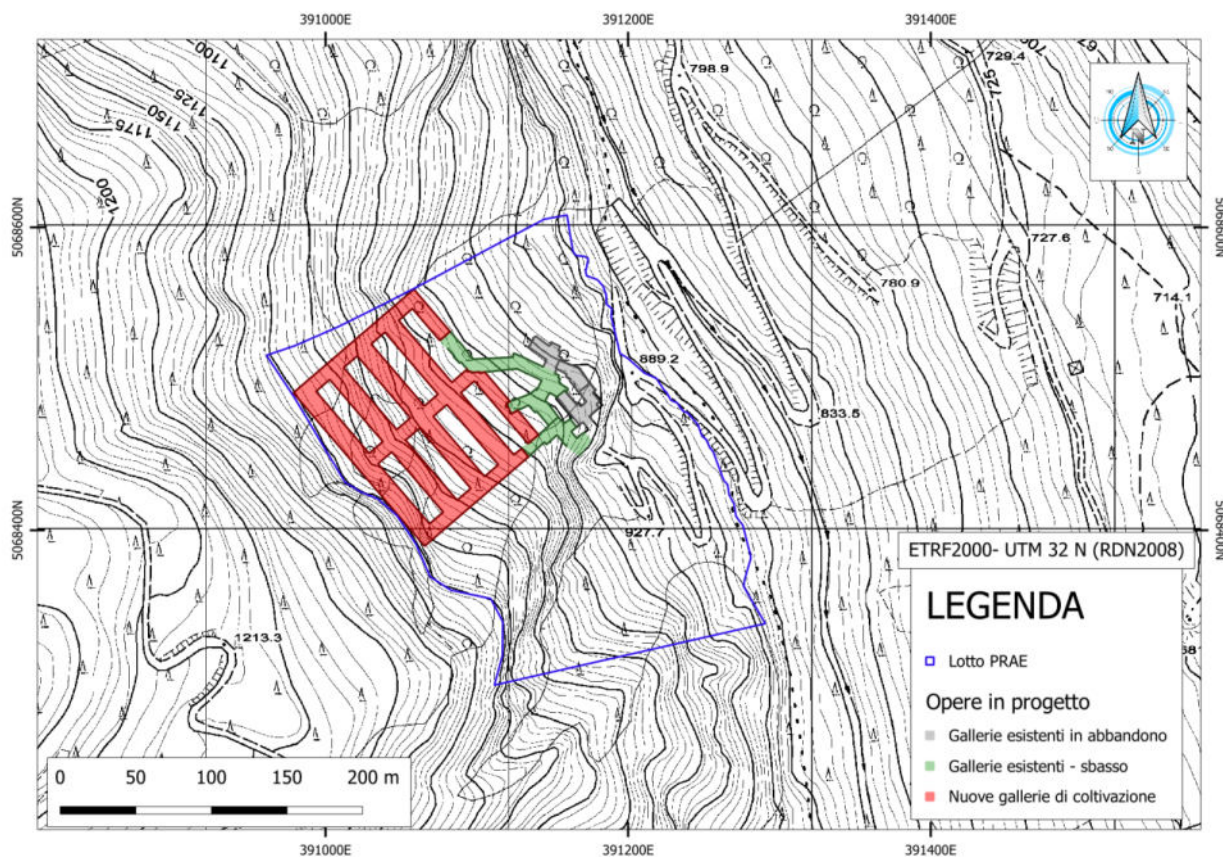


Figura 3. Ubicazione della cava Champlong su CTR 5'000.

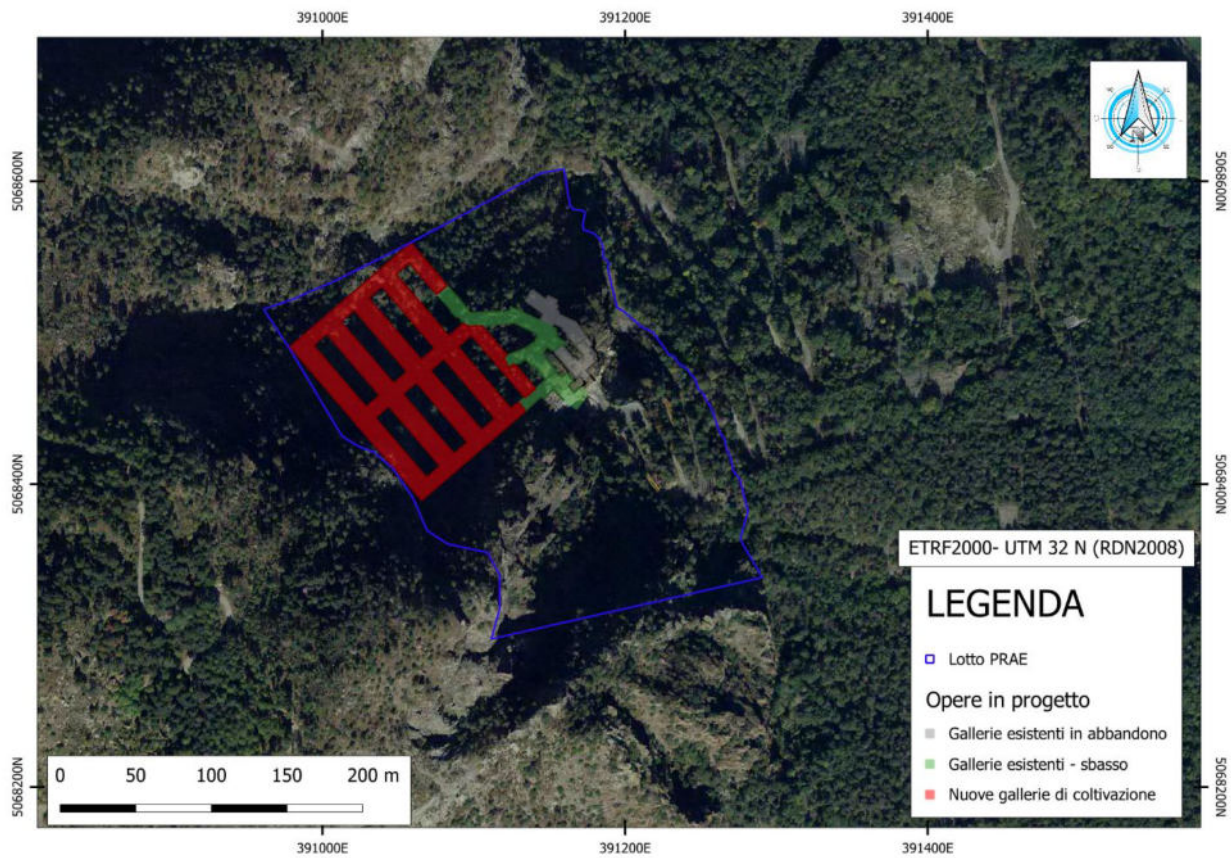


Figura 4. Ubicazione della cava Champlong su Ortofoto regionale 2012.

In particolare, il sito di intervento è localizzato nella bassa Valtournenche, circa 2 km a nord-ovest del concentrico di Chatillon, in destra orografica rispetto all'asta del Torrente Marmore. L'area di intervento è individuabile sui mappali n. 1 del foglio n° 29 NCT di Saint-Denis.



3 COERENZA CON GLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE GENERICI E DI SETTORE

3.1 P.R.A.E – Piano Regionale delle Attività Estrattive

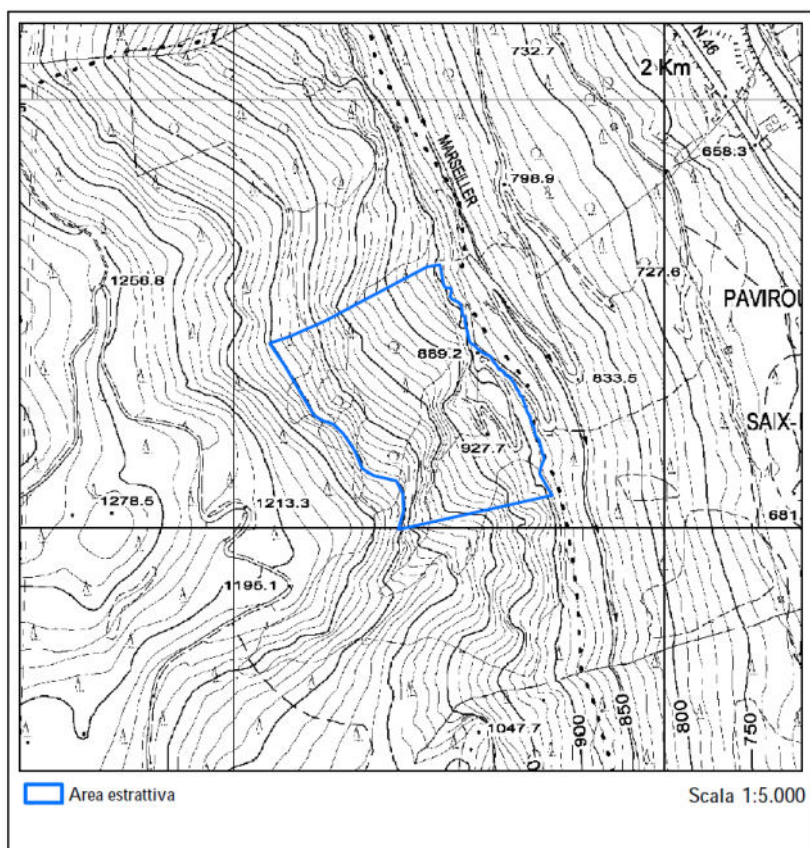
Il Piano Regionale delle Attività Estrattive (aggiornamento febbraio 2013) individua la cava oggetto del presente studio all'interno del "Piano dei giacimenti di marmo e delle pietre affini ad uso ornamentale", tipologia "Marmo", denominazione "Champlong", riferimenti catastali Fg. 29, Mappale 1.



REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA

Servizio cave miniere e sorgenti

PIANO REGIONALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE



COMUNE: SAINT-DENIS

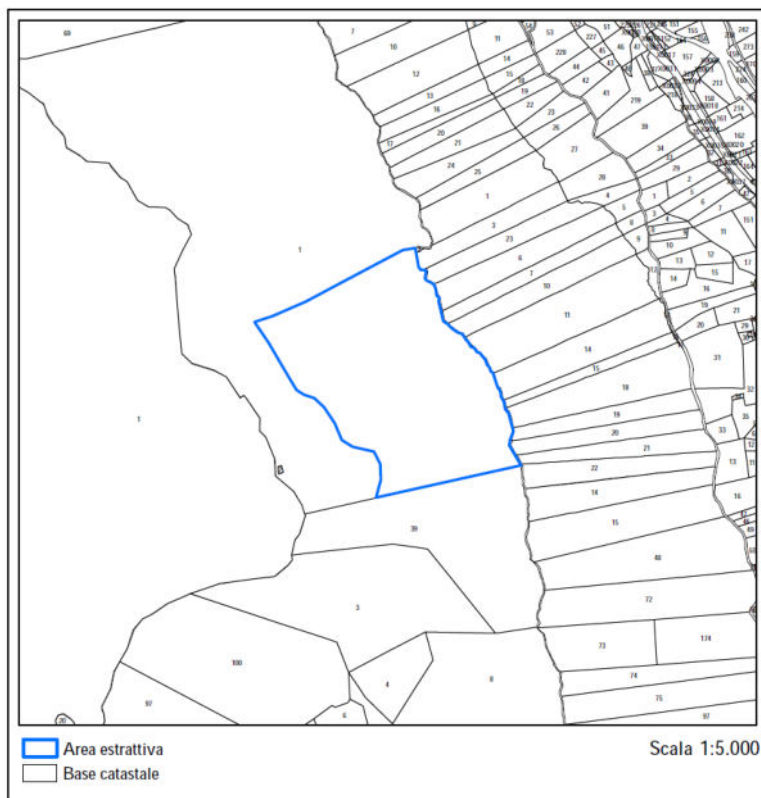
DENOMINAZIONE: Champlong

TIPOLOGIA: Marmo



REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA
Servizio cave miniere e sorgenti

PIANO REGIONALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE



La particella catastale distinta al Fg. 29, Mappale n. 1, ha una superficie (Ellissoidica, EPSG:7030) complessiva pari a 196'311 m², mentre l'area estrattiva individuata dal PRAE ha una superficie di 55055 m².

L'area esterna destinata all'attività estrattiva, interna al cancello di accesso, occupa una superficie pari a circa 2'460 m², e include il piazzale esterno, i piazzali di servizio, le piste di servizio, le baracche di cava.

L'area interna attualmente destinata all'attività estrattiva occupa una superficie pari a circa 2'423 m² esclusi pilastri di sostegno, 2'771 m² inclusi pilastri di sostegno.

L'area interna in ampliamento è pari a circa 8'461 m² esclusi i diaframmi, 13'600 m² inclusi i diaframmi di sostegno.



3.2 P.R.G.C. – Piano Regolatore Generale Comunale

Il comune di Saint-Denis è dotato di P.R.G.C, del quale l'ultimo aggiornamento consiste nella variante sostanziale approvata con deliberazione di Consiglio comunale n. 2 del 21/02/2014 che ha accolto le modificazioni proposte dalla Giunta regionale con provvedimento n. 1936 del 29/11/2013.

L'area di cava è classificata in Zona E – “parte del territorio totalmente inedificata o debolmente edificata destinata a usi agro-silvo-pastorali e altri usi compatibili”, sottozona Ed6* - Zone destinate ad usi speciali: aree per attività estrattive (cave di marmo e di pietre ornamentali).

La destinazione d'uso è disciplinata all'art. 10, ai commi:

- comma 3, lettera b17 “attività selvicolturali con i relativi servizi e abitazioni caratterizzate da gestioni coerenti con la situazione ambientale e comunque non implicanti significative modificazioni ambientali né, in particolare, nuove strutture e attrezzature: conservazione, valorizzazione, costituzione e ricostituzione del bosco”;
- comma 7, lettera e3 “usi ed attività produttive artigianali di interesse prevalentemente locale non collocabili in contesti abitativi”;
- comma 13, lettera m1 “attività pubbliche di servizio o di pubblico interesse di rilievo locale ivi compresi gli edifici religiosi e le opere infrastrutturali di primaria importanza per la collettività”.

Gli strumenti attuativi sono definiti all'art. 7 “PC” e “SCIA”.

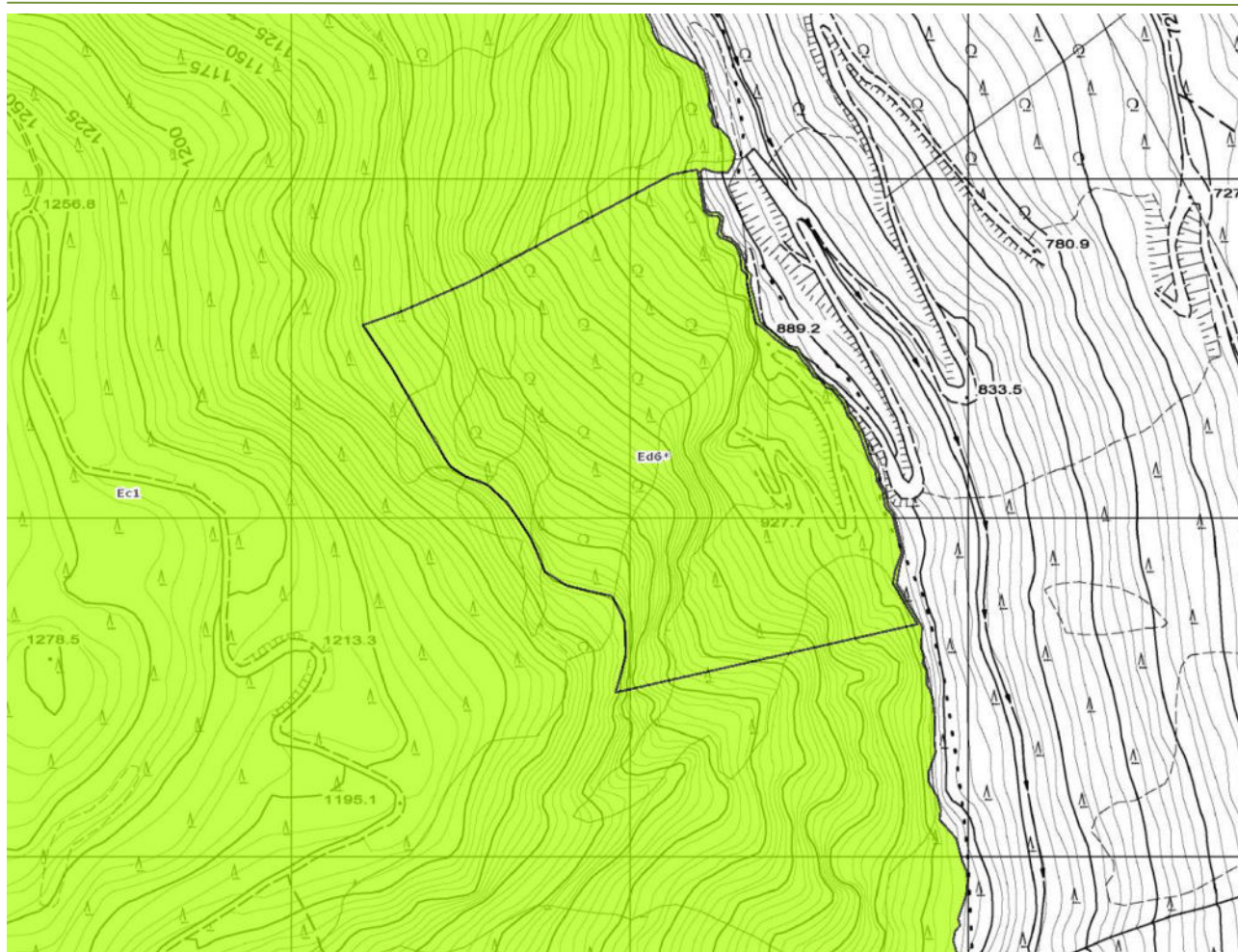


Figura 5. Classificazione urbanistica del lotto di cava. (Scala 1:5000).

TAB. 3 – Ed

SOTTOZONE DI TIPO Ed (art. 52 NTA)		destinate ad usi speciali: aree per attività estrattive (cave di marmo e di pietre ornamentali)		
Sigla - località	Superficie territoriale m ²	Sistema Ambientale PTP Titolo II, art. 10, comma 3 NAPTP	Interferenza con Ambiti inedificabili artt. 32, 33 e 35 NAPTP	Interferenza con Aree di specifico interesse paesaggistico, storico, culturale o documentario e archeologico art. 40 o siti di specifico interesse naturalistico art. 38 NAPTP
Ed3* – Gromellian (cava pietre ornamentali)	46.770	Sistema boschivo (art. 13, comma 1)	interventi ricadenti in fasce a rischio: - artt. TITOLO II Capo V NTA - Tavole ambiti in edificabili	riferimento per singoli interventi ricadenti in aree di specifico interesse: - art. 26 TITOLO II Capo I NTA - art. 40 TITOLO II Capo III NTA - Tavole prescrittive P1 e P3
Ed4* – Blavesse 2 (cava pietre ornamentali)	22.919			
Ed5* – Blavesse (cava marmo)	14.445			
Ed6* – Champlong (cava marmo)	54.406			
Ed7* – Morge Raffort (cava marmo)	26.842			



TAB. 3bis – Ed

condizioni minime d'intervento: titoli abilitativi e strumenti attuativi Art. 7	modalità di intervento Art. 8	usi ed attività Art. 10	I m ² /m ² densità fondiaria	R/C m ² /m ² rapporto di copertura max	H max m altezza massima	N° piani fuori terra	DF m distanza tra i fabbricati	DC m distanza tra i confini
SCIA edilizia, PdC	comma 1: a) recupero: 1), 2), 3), 4), 5; b) nuova costruzione: 1), e 2); d) altri interventi: 5) e 6)	attività selvicolturali ricostituzione del bosco: b17 (1) produttive artigianali di interesse prevalentemente locale: e3 (2) pubbliche di servizio o di pubblico interesse: m1	(3)	(3)	7,50	1	10,00	5,00

PRESCRIZIONI PARTICOLARI TAB. 3bis -Ed

Le modalità di intervento, gli usi, le attività e i parametri edilizi sono subordinati alla verifica di ammissibilità in base alla vigente legislazione in materia di interventi in aree a rischio idrogeologico come richiamato negli articoli del Titolo II CapoV delle NTA, con particolare attenzione per la sottozona Ed6*.

usi ed attività

- (1) al termine dell'attività di coltivazione della cava, l'intera area deve essere restituita allo stato preesistente dei luoghi secondo il programma di rinaturalizzazione approvato con l'autorizzazione di esercizio.
- (2) con specifico riferimento alle attività estrattive (cave di marmo e di pietre ornamentali).

parametri edilizi

- (3) funzionali alle attività e agli usi ammessi nella sottozona con superficie coperta max pari a 600 m².
- (4) nella sottozona Ed6 gli indici sono pari a quelli in atto e non è ammessa nuova edificazione.

3.2.1 Vincolo idrogeologico (R.D.L. 3267/1923)

L'area di cava rientra all'interno della perimetrazione del vincolo idrogeologico di cui al R. D. L. 3267/1923.

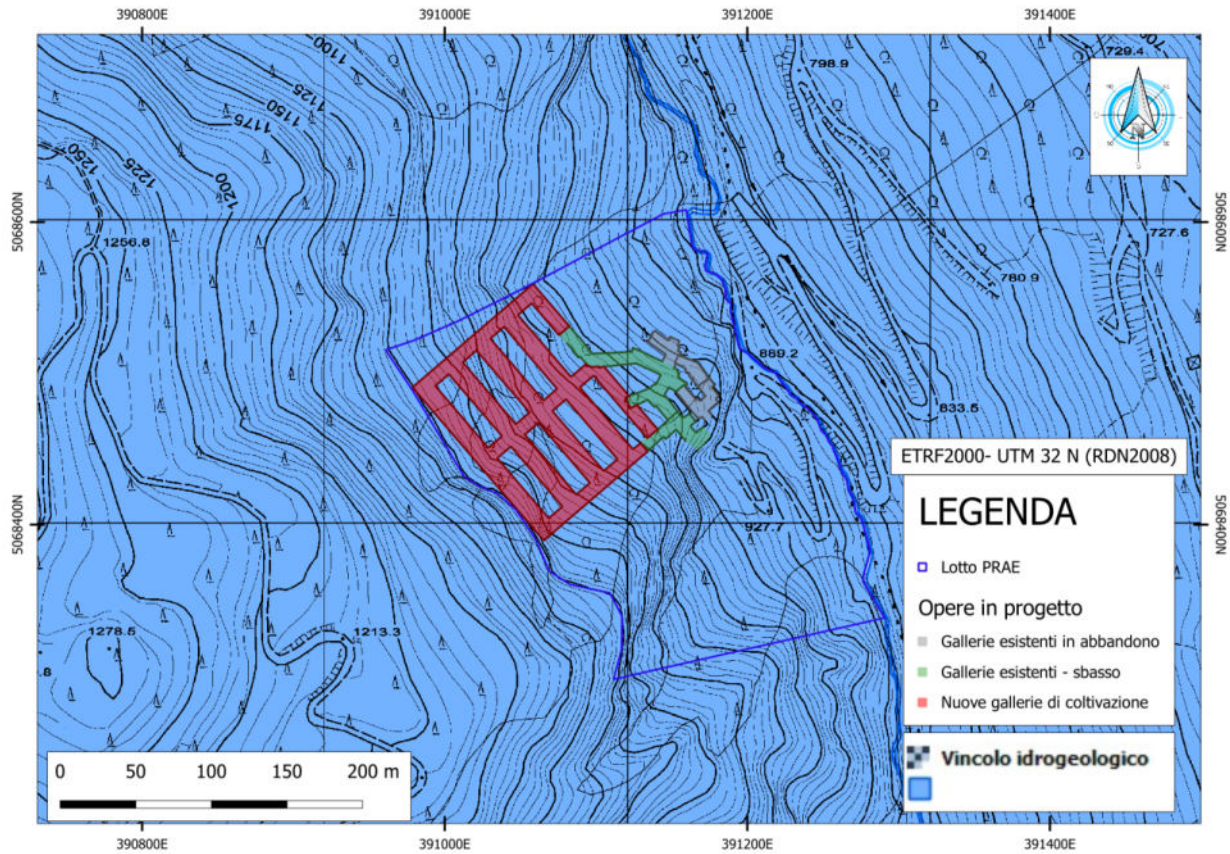


Figura 6. Vincolo idrogeologico ai sensi del R. D. L. 3267/1923. (Scala 1:5000).



3.2.2 Ambiti ineditabili (L.R. 11/98 e s.m.i.)

Art. 33 "Aree boscate"

L'area di sviluppo in sotterraneo della cava NON rientra all'interno della perimetrazione.

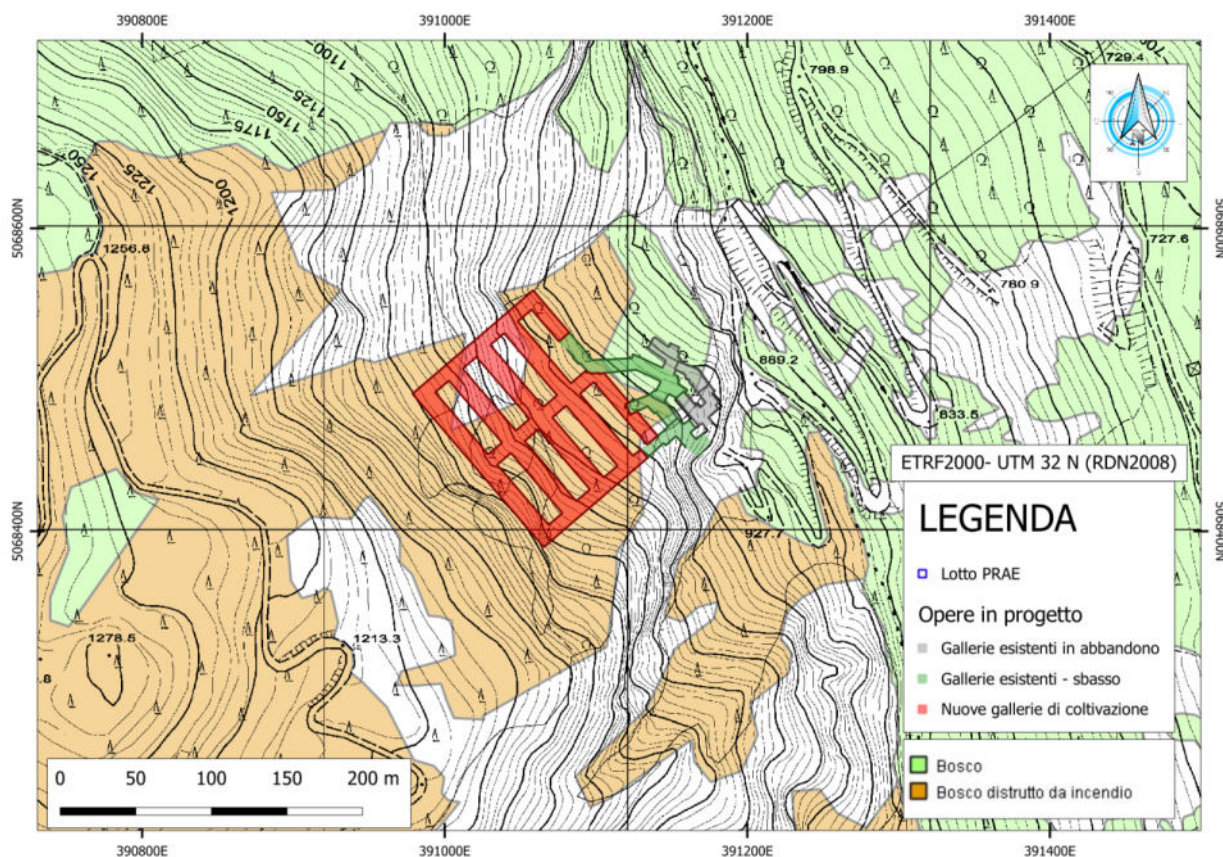


Figura 7. Perimetrazione degli ambiti ineditabili ai sensi della L.R. 11/98 e s.m.i. Art. 33 – Boschi. (Scala 1:5000).

Art. 34 "Zone umide e laghi"

L'area di cava NON rientra all'interno della perimetrazione.

Art. 35, comma 1 "Terreni sedi di frane"

L'area di cava rientra all'interno zona F2 di media pericolosità.

La strada di accesso rientra, per gran parte, in zona F1 ad alta pericolosità.

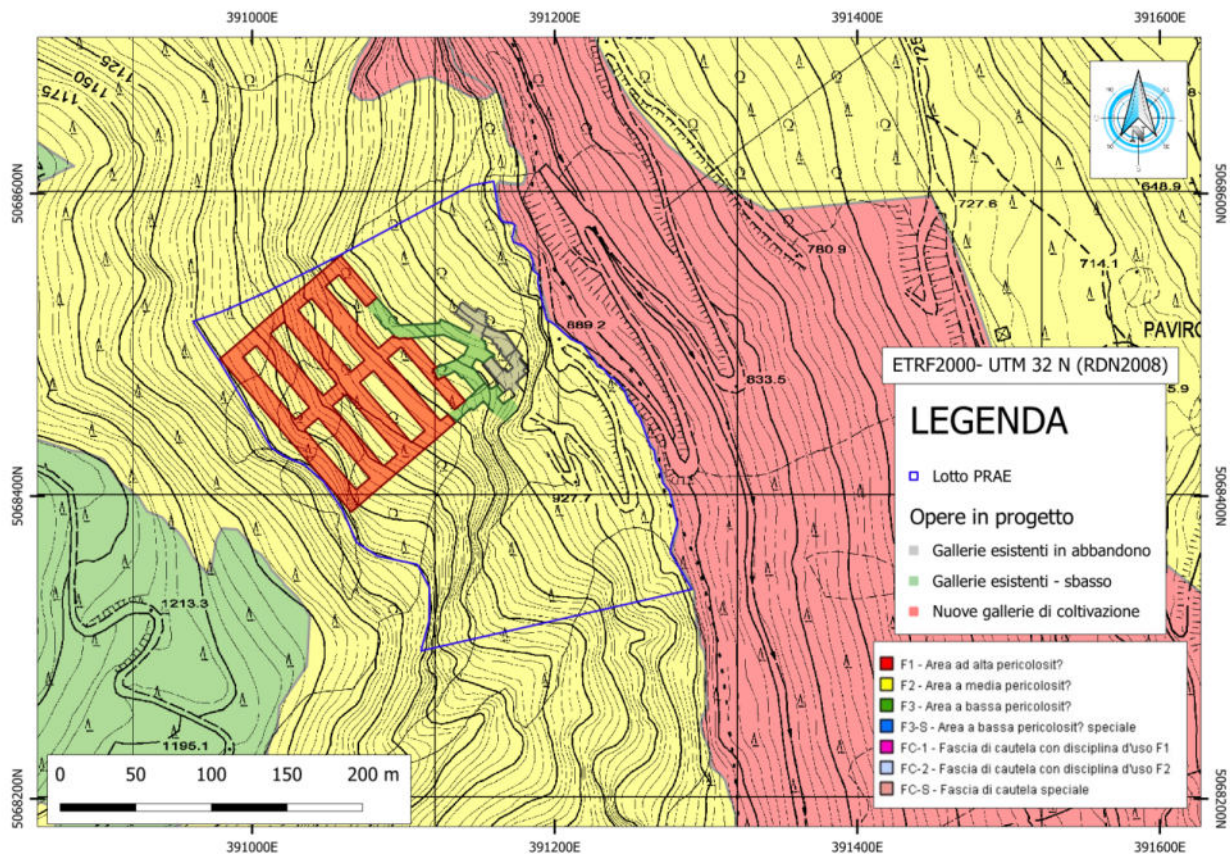


Figura 8. Perimetrazione degli ambiti inedificabili ai sensi della L.R 11/98 e s.m.i. Art. 35 – Frane. (Scala 1:5000).

Art. 35, comma 2 "Terreni sedi di fenomeni di trasporto in massa"

L'area di cava NON rientra all'interno della perimetrazione.

Art. 36 "Terreni a rischio di inondazioni"

L'area di cava NON rientra all'interno della perimetrazione.



Art. 37 "Terreni soggetti al rischio di valanghe o slavine"

Il vincolo per "probabile localizzazione di fenomeni valanghivi - Vb" insiste sulle aree esterne, senza interferire con la viabilità di accesso al sito.

L'area di sviluppo in sotterraneo della cava NON rientra all'interno della perimetrazione.

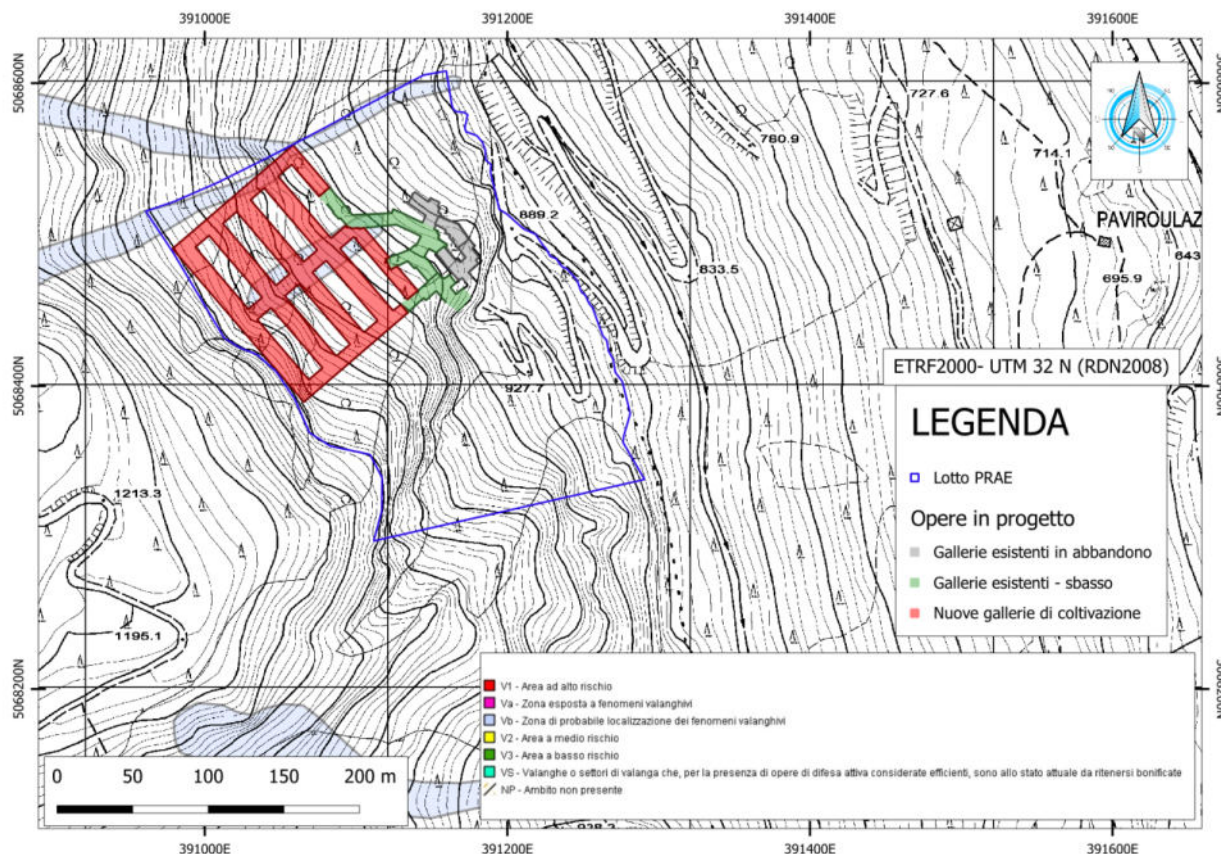


Figura 9. Perimetrazione degli ambiti inedificabili ai sensi della L.R 11/98 e s.m.i. Art. 37 - Valanghe. (Scala 1:5000).

4 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELL'AREA DI CAVA

Lo stato di consistenza dell'area di cava mostra evidenza di precedenti lavorazioni e cantieri, condotti sia in esterno che in sotterraneo.

Il piazzale esterno, su due livelli (a quota 921 e 927 m s.l.m.) risulta attualmente circoscritto sul lato di monte da alti fronti rocciosi formanti un diedro con lati diretti NW-SE e NE-SW, frutto delle precedenti lavorazioni a fossa a cielo aperto ricomprese tra grandi discontinuità macroscopiche ad alto angolo (verosimilmente faglie trascorrenti) dirette all'incirca NE-SW. In posizione baricentrica sul piazzale si rinvencono le fondazioni del vecchio derrick crollato (basamento in ca, tavola di rotazione ed argano) la cui struttura giace sul versante boscato ad est del piazzale.

In alto, al di sopra dei fronti residuali, sono presenti due vasche di accumulo di acqua utilizzate come approvvigionamento idrico per la vecchia coltivazione.

La lavorazione in sotterraneo, invece, vede la presenza di due accessi individuati in corrispondenza del fronte NE-SW, residuo dell'attività di coltivazione della ditta Eva Farys, precedente proprietaria della cava, la cui attività è proseguita almeno fino al 15.7.2007 ed estinta dalla Regione con provvedimento n° 3275 del 20.7.2010.

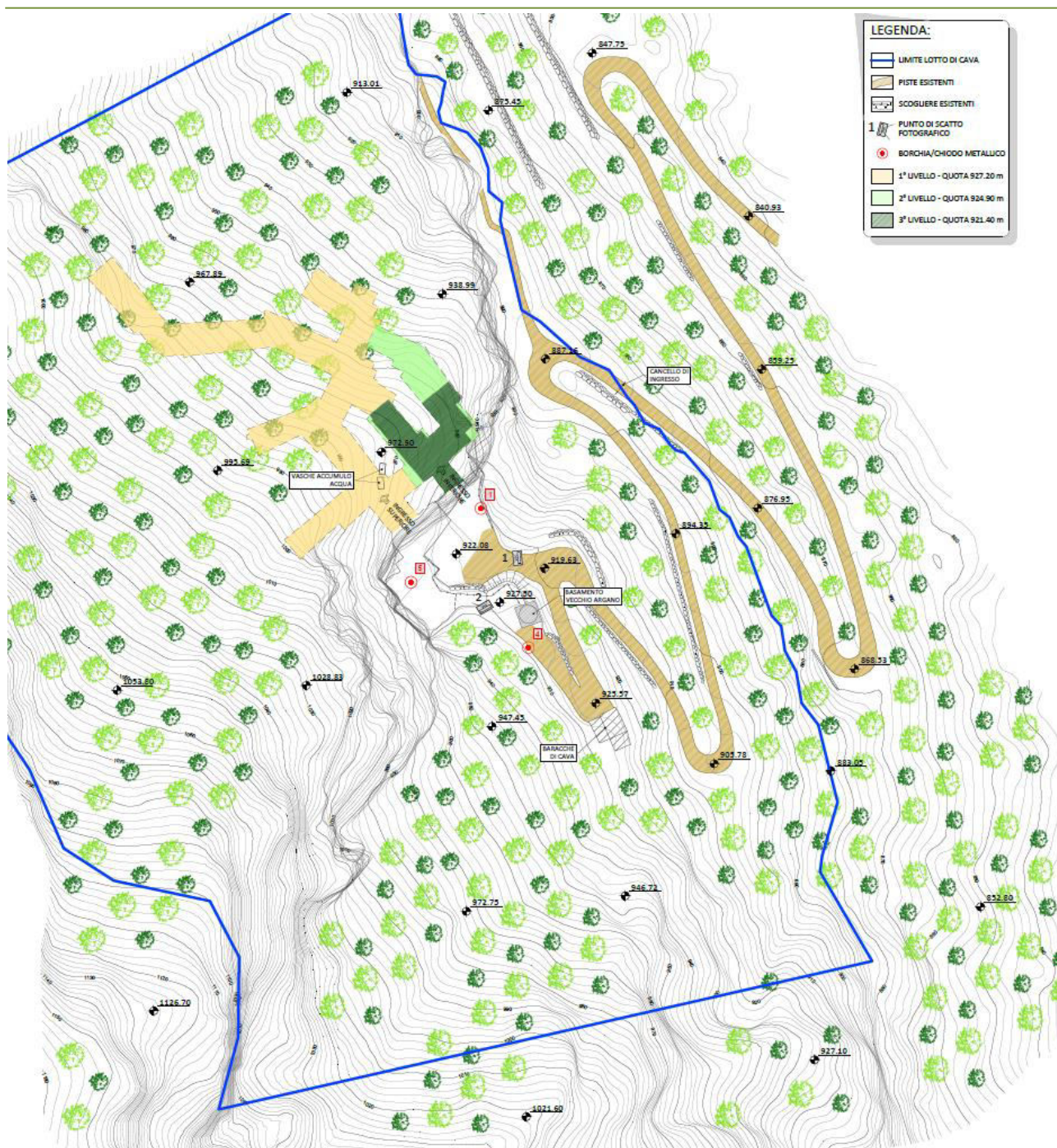


Figura 10. Stralcio di planimetria di rilievo delle aree esterne.



Figura 11. Foto panoramica dell'area di cava, dove si individuano il piazzale, i vecchi fronti della coltivazione a cielo aperto a fossa e i due ingressi al sotterraneo.

Le gallerie, in corrispondenza dell'accesso orientale (quota 921 m s.l.m.), hanno effettuato una progressione per circa 35-40 metri in direzione circa SE-NW lungo il giacimento di oficalciti "Verde San Nicolaus", portando ad impostazione di un modulo di coltivazione a "camere e pilastri". La coltivazione ha visto un iniziale tracciamento con avanzamento a fondo cieco in cui sono avvenuti ribassi produttivi per platee orizzontali con macchine tagliatrici a catena da bancata sotto i precedenti tagli sagomati iniziali di luce media m. 8,50 di larghezza per m. 2,70 di altezza.

Nel livello di ingresso attuale alto (ingresso occidentale, quota 927 m s.l.m.), si sono preservati interamente gli avanzamenti a fondo cieco originari che confermano l'assetto geostrutturale molto compatto e con notevole autosostentamento.

La fase di tracciamento delle gallerie, con un approfondimento per circa 110 m dal livello di ingresso alto era realizzata con avanzamento massimo a fondo cieco, con taglio al retro a cappio e tramite "canale" di collocazione di pulegge ad orientazione ortogonale all'avanzamento, di metri 3,20 del braccio porta catena.

Nello schema progettuale dell'epoca si individuavano quindi:



- Gallerie di tracciamento, soggette a successivi ribassi, con dimensioni medie di 8.50 m di larghezza, 3.10 - 3.20 m di altezza e avanzamenti di 1.50-1.60 m con spostamento in lavorazione ed abbandono del fronte.
- Pilastri, con spessore di 6.0 m, altezza di 12.0 m e lato lungo di circa 14 m.

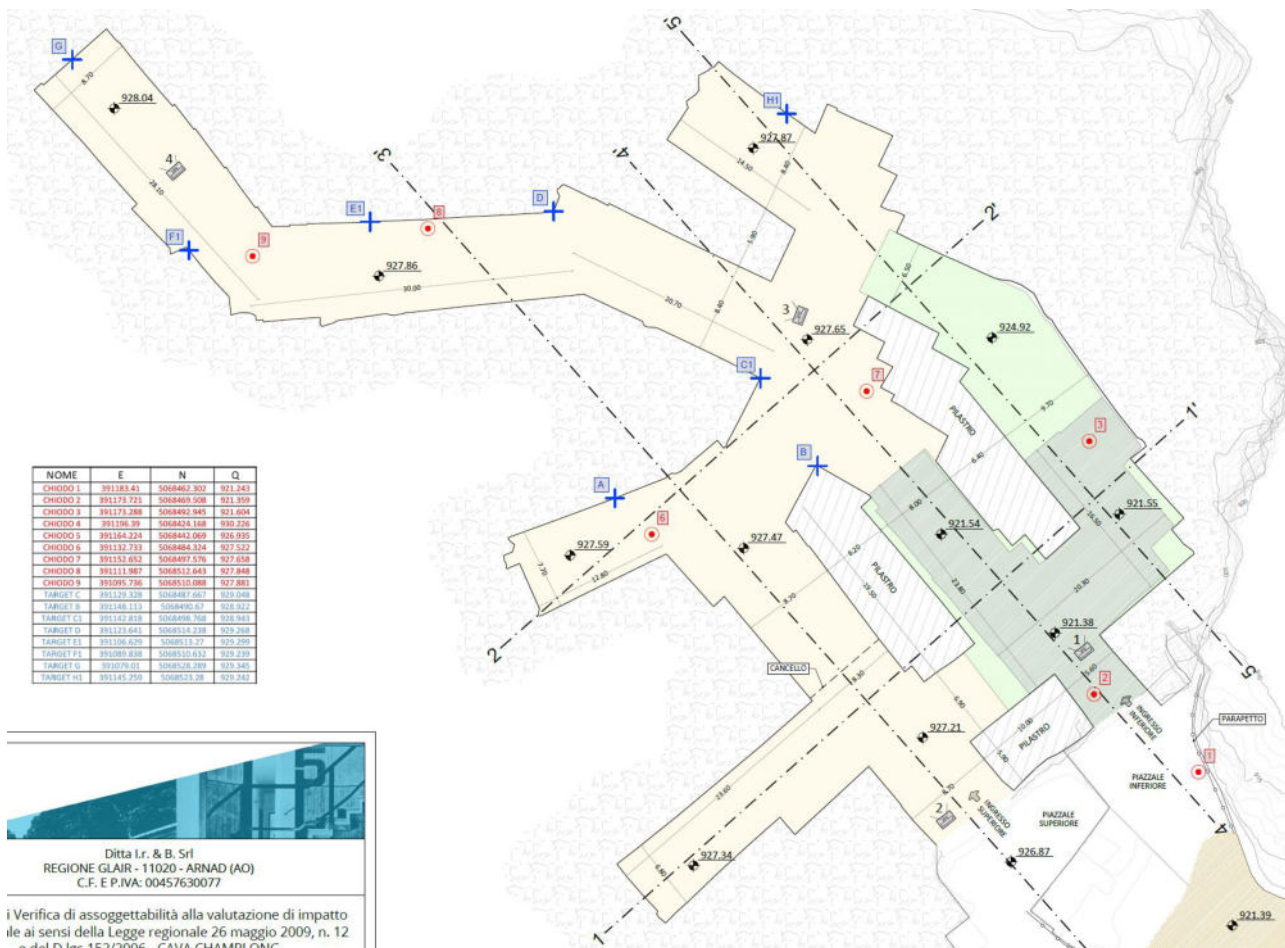


Figura 12. Stralci di planimetria di rilievo delle gallerie di coltivazione.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

5.1 Inquadramento fisiografico

Il sito di cava è ubicato nella bassa Valtournenche, valle percorsa dal T. Marmore il quale origina dai rilievi del Monte Cervino e, con un percorso prevalentemente ad andamento nord – sud, raggiunge Chatillon dove il corso d'acqua confluisce nel fiume Dora Baltea, in sinistra idrografica.

Il bacino del torrente Marmore ha una superficie di 207.32 km², ed altezza media di 2224 m s.l.m., compresa tra la sezione di chiusura alla confluenza con la Dora Baltea ed i 4478 m s.l.m. della cima del Monte Cervino. Complessivamente le aree glaciali occupano il 3,95% dell'intera superficie del bacino, ovvero 8,18 km².

La cava si inserisce sul versante destro della valle, a quote comprese tra 840 m s.l.m. (cancello d'ingresso) e 935 m s.l.m. (piazzale superiore).

I rilievi di maggiore rilevanza nei dintorni della cava sono il Mont Haut (1081m s.l.m.) e il Puy de Saint-Evence (1674 m s.l.m.), oltre a vari rilievi senza denominazione.

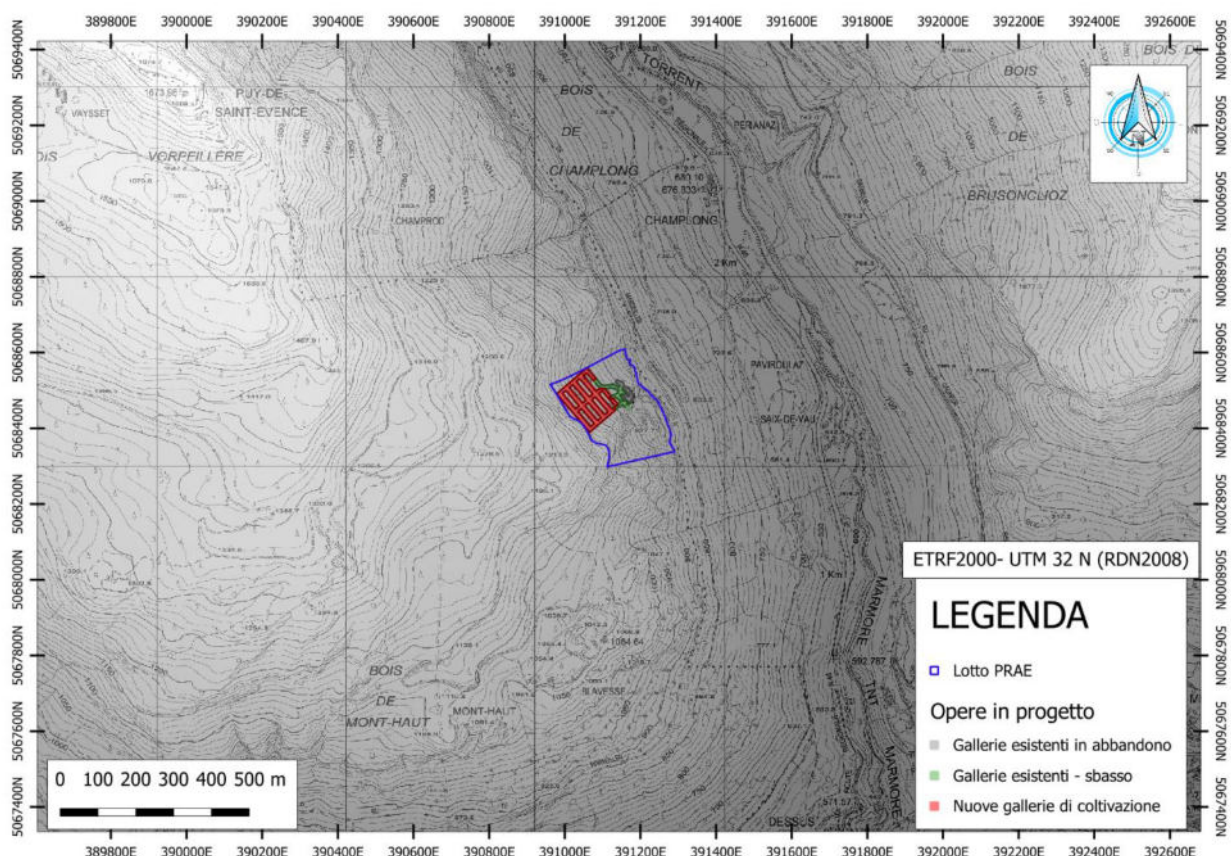


Figura 13. Stralcio cartografico con sovrapposizione di DTM regionale.

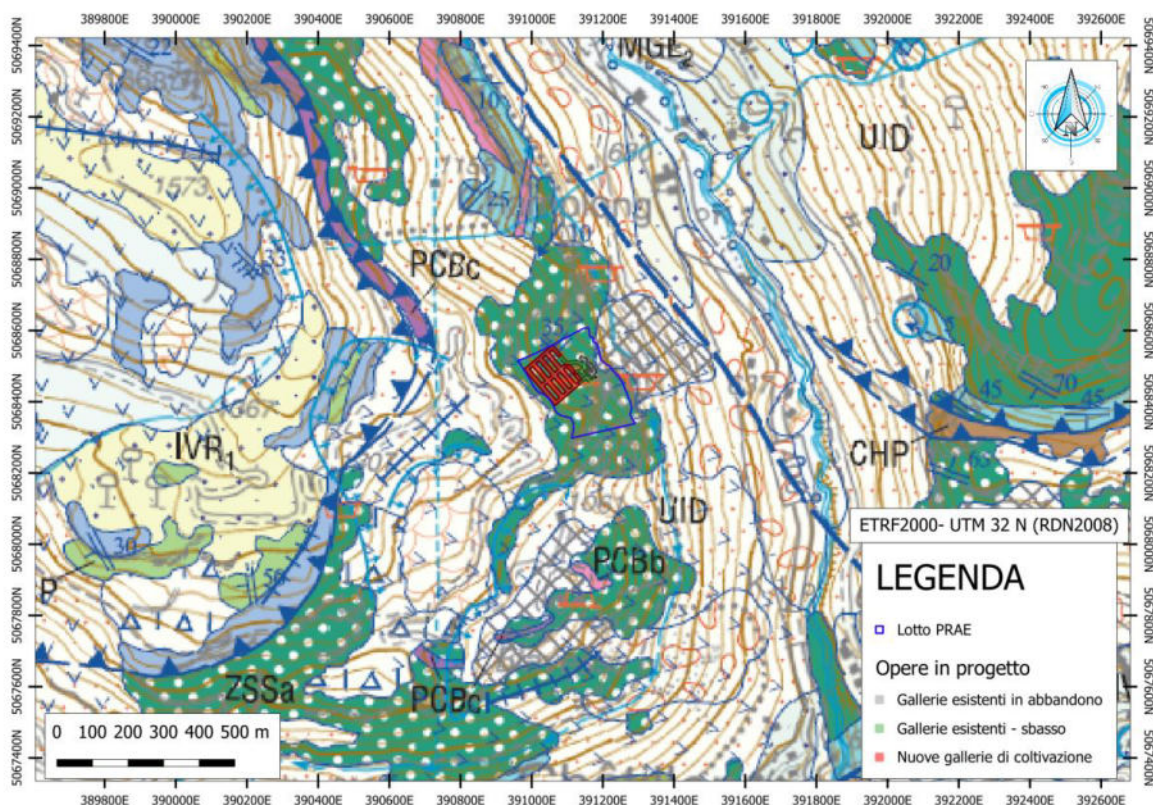


5.2 Inquadramento geologico e geomorfologico

Il giacimento che i proponenti intendono coltivare, chiamato commercialmente marmo verde, verde alpi, verde fiorito o verde San-Nicolaus, è costituito da un corpo di metaoficalci, ovvero brecce serpentinitiche in matrice carbonatica, composto da Antigorite, Calcite, Tremolite, Clorite, Granato, Diopside e Spinello¹, afferenti all'unità Zermatt-Saas, a sua volta parte della Zona Piemontese dei Calcescisti con Pietre Verdi.

Tale unità di pertinenza oceanica in facies eclogitica, affiora a letto dell'unità del Combin, rappresentata da rocce con paragenesi retrograda in facies scisti verdi e relitti in facies scisti blu.

Le metaoficalci valdostane mostrano una notevole eterogeneità tessiturale e cromatica, essendo derivate da brecce tettoniche e sedimentarie. Le prime sono costituite da clasti angolosi di serpentinite immerse in una matrice di carbonati e silicati di colore verde o bianco, mentre nelle seconde, ai clasti serpentinitici, si associano clasti di marmo. La trama creata dalle vene calcitiche ed il colore delle porzioni serpentinitiche sono determinanti nel determinare la qualità merceologica del materiale.



¹ Lovera e Cavallo (2004) - Contemporary natural stones from the Italian western Alps (Piedmont and Aosta Valley Regions). Per. Mineral. (2004), 73, 211-226.

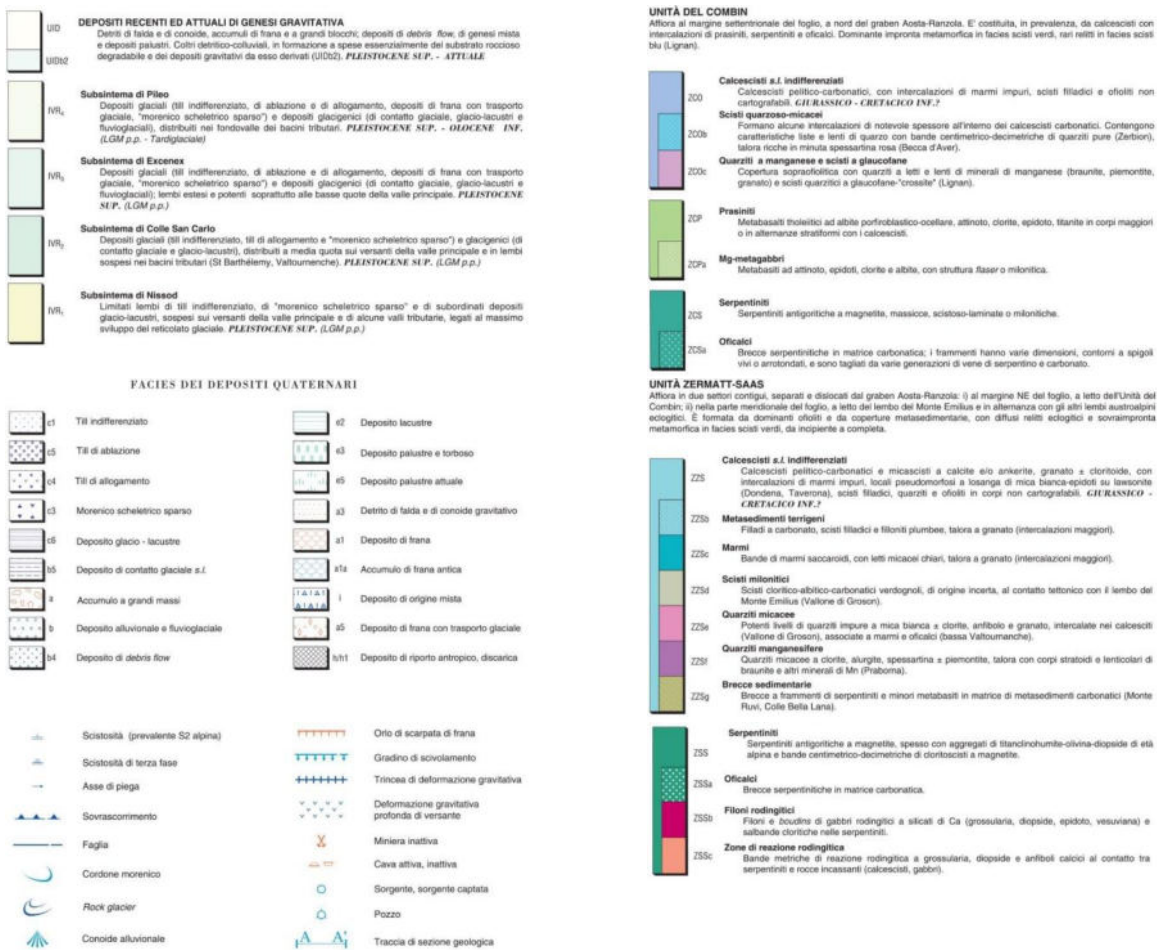


Figura 14. Stralcio foglio Carg in scala 1:50000 n.91 - Chatillon.

In corrispondenza del versante le metaoficalci sono sovrascorse, mediante thrust a basso angolo, dai calcescisti e dalle altre pietre verdi dell'unità del Combin. Il quaternario è rappresentato dai depositi glaciali pleistocenici, sovente in forma di morenico scheletrico sparso, e dai depositi attuali di genesi mista, di crollo e antropici.

La tettonica fragile nell'area vasta regionale si esplica, dall'Oligocene, mediante differenti sistemi di faglie attivi in lassi temporali differenti: sono state individuate due fasi deformative fragili, D1 e D2, attribuibili all'Oligocene e al Miocene. La fase D1 con sistemi di faglie NE-SW e E-W, che accomodano una distensione NNW-SSE a scala regionale. I sistemi più importanti dell'area del Foglio Chatillon, in fase D1, sono:

- 1) Aosta-Ranzola;
- 2) Ospizio Sottile;
- 3) Trois Villes.

Queste faglie accomodano la deformazione ortonombica con abbassamento relativo della pila delle falde al tetto della faglia Aosta-Ranzola.

Il sistema Aosta Ranzola, ampio 2 km, definiscono un graben asimmetrico che borda la vallata principale. Le faglie principali si sviluppano sul lato meridionale della valle, mentre su quello settentrionale si rinvencono le



coniugate del sistema principale, le quali individuano, in parte correlate a sistemi NE-SW e NW-SE, importanti deformazioni gravitative (es. Verrayes-Chambave).

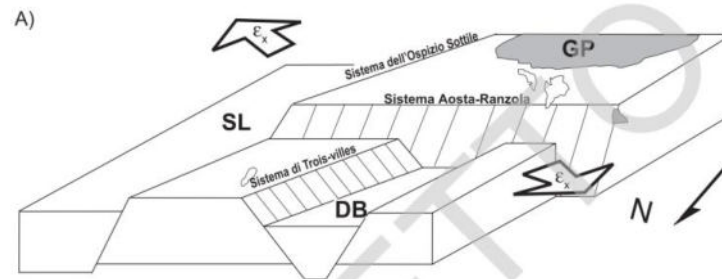


Figura 15. Deformazione ortorombica D1 (GP: gran Paradiso; DB: Dent Blanche; SL: Sesia Lanzo).

La fase D2, si sviluppa dal Neogene, con estensione fino all'Attuale. Tale sistema accomoda l'estrusione tettonica ("lateral escape") del blocco delle Alpi Pennine e Graie, a tetto della Faglia del Sempione, svincolato dai sistemi trascorrenti dell'Ospizio Sottile e Rodano Chamonix.

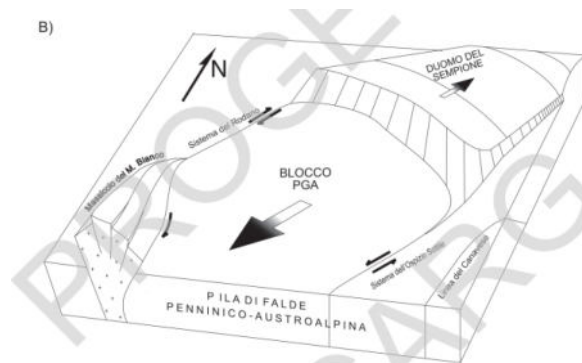


Figura 16. Fase di lateral escape D2 (PGA: Alpi Pennine e Graie).

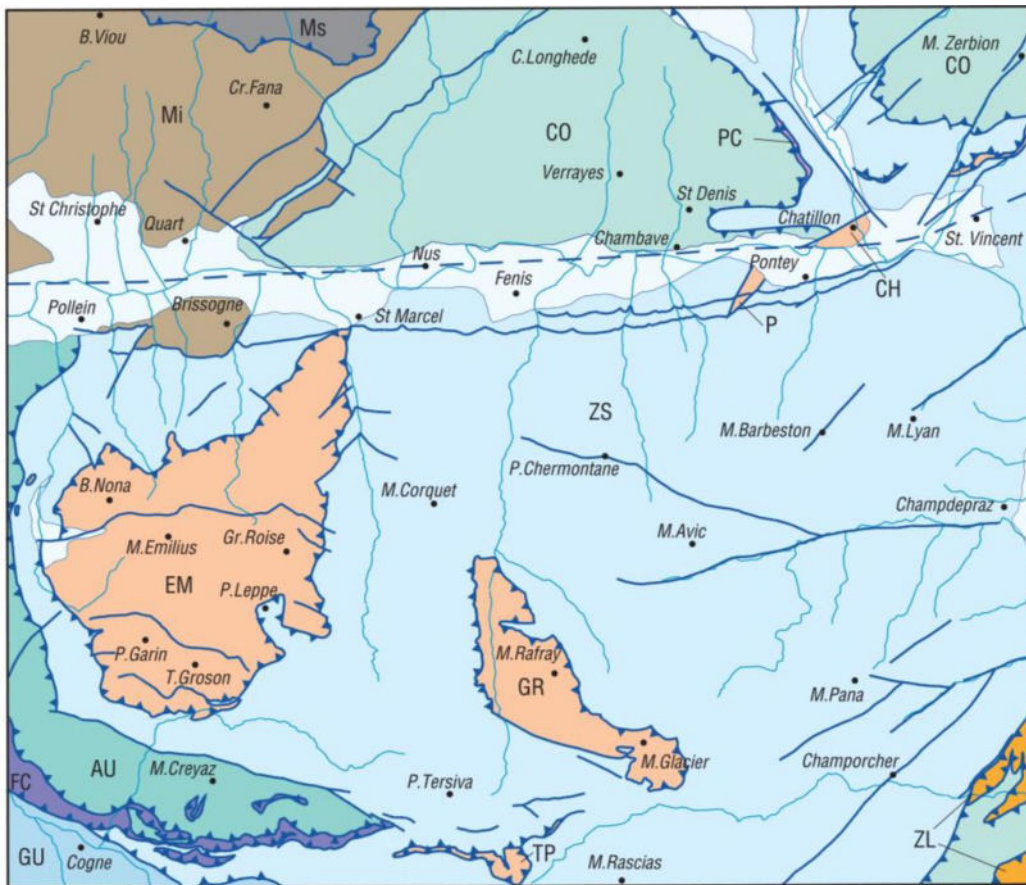
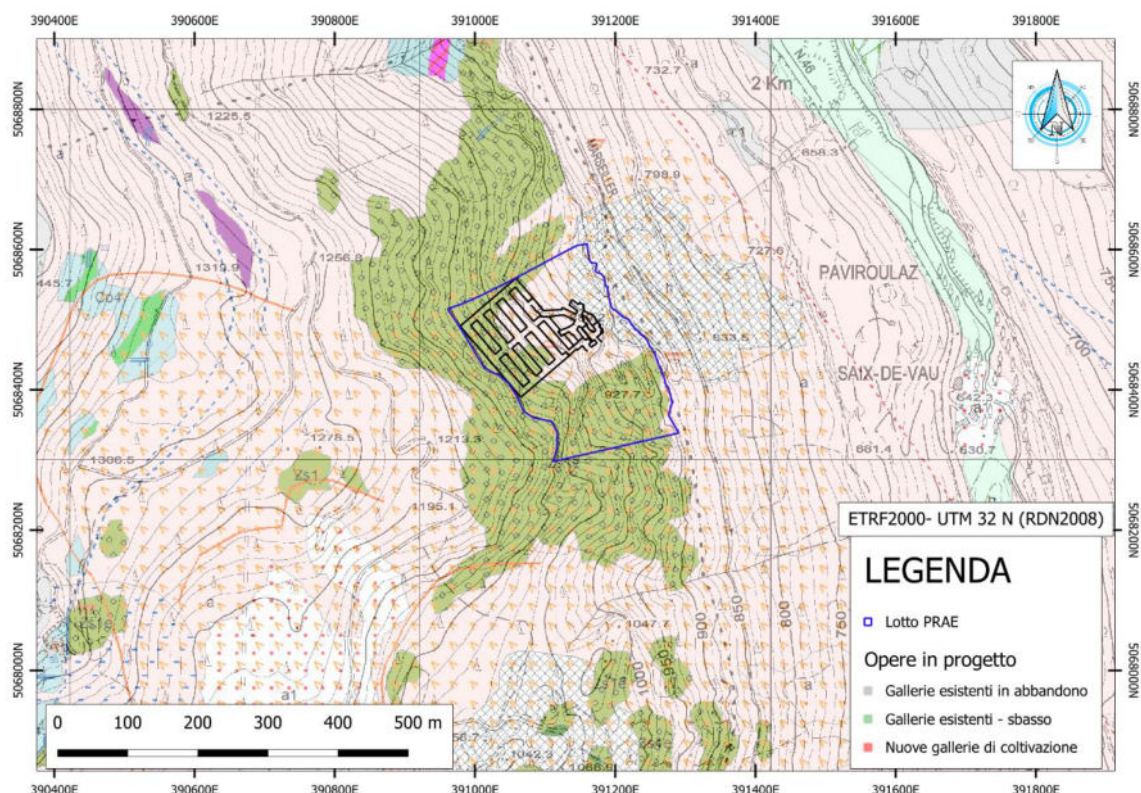


Figura 17. Schema tettonico del foglio Carg in scala 1:50000 n.91 – Chatillon.

A scala del versante della cava, si osserva una notevole pervasività e sviluppo di lineamenti fragili diretti NE-SW, compatibili con l'orientazione regionale del Sistema dell'Ospizio Sottile. Le diaclasi sono spesso beanti, con aperture in galleria decimetriche e in esterno anche metriche, riempite da fasce cataclastiche a spese della roccia circostante. L'area ampia del Mont Haut è caratterizzata, su cartografia geologica nazionale e regionale, come sede di una importante DGPV.



Risorse e prospezioni (2015) 1110) Cava attiva 1120) Cava inattiva 1210) Miniera attiva 1220) Miniera inattiva 2100) Sorgente 2110) Sorgente minerale 2120) Sorgente termominerale 2410) Emanazione gassosa fredda 3100) Pozzo per acqua 3110) Pozzo per acqua minerale 3400) Sondaggio Punti di osservazioni geologiche (2015) 1111) Località fossilifera a vertebrati 3210) Superficie di clivaggio o scistosità inclinata 3220) Superficie di clivaggio o scistosità orizzontale 3320) Lineazione di estensione 3321) Lineazione minerale 3330) Specchio di faglia inclinato 3420) Asse di piega asimmetrica 3430) Sondaggio per ricerca mineraria 3450) Area interessata da sondaggi per ricerca mineraria Elementi geomorfologici ed antropici lineari (2015) 1030) Orlo di scarpata di frana 1040) Trincea di deformazione gravitativa profonda di versante 1080) Gradino di scivolamento 2050) Orlo di terrazzo 4020) Cordone morenico terminale o laterale 4021) Argine detritico di nevaio 1051-135) Deformazione gravitativa profonda con verso di movimento riconosciuto	- Zs1 - Serpentiniti antigoritiche - Zs1f - Serpentiniti scistoso laminate - Zs1e - Oficalci - Zs1d - Zone di reazione rodingitica - Zs1c - Filoni rodingitici nelle serpentiniti - Zs1b - Cloritoscisti, talcoscisti e scisti attinolitici - Zs1a - Breccie sedimentarie a frammenti serpentinitici - Co1 - Calcescisti s.l. indifferenziati - Co2 - Scisti filladici e filloniti - Co3 - Calcescisti con intercalazioni di prasiniti - Co4 - Scisti quarzoso-micacei - Co5 - Quarziti a manganese - Co3 - Prasiniti - Co3b - Anfiboliti albitiche - Co3a - Prasiniti con calcescisti - Co2 - Metagabbri - Co2a - Miloniti gabbriiche - Co1 - Serpentiniti
---	--

Figura 18. Stralcio di carta geologica regionale in scala 1:25000.



5.3 Suolo

Secondo la carta dei suoli della Valle d'Aosta al 100.000, come si può vedere nella Figura 20, l'area oggetto di intervento presenta come principale tipologia di suolo i Calcaric Regosol.

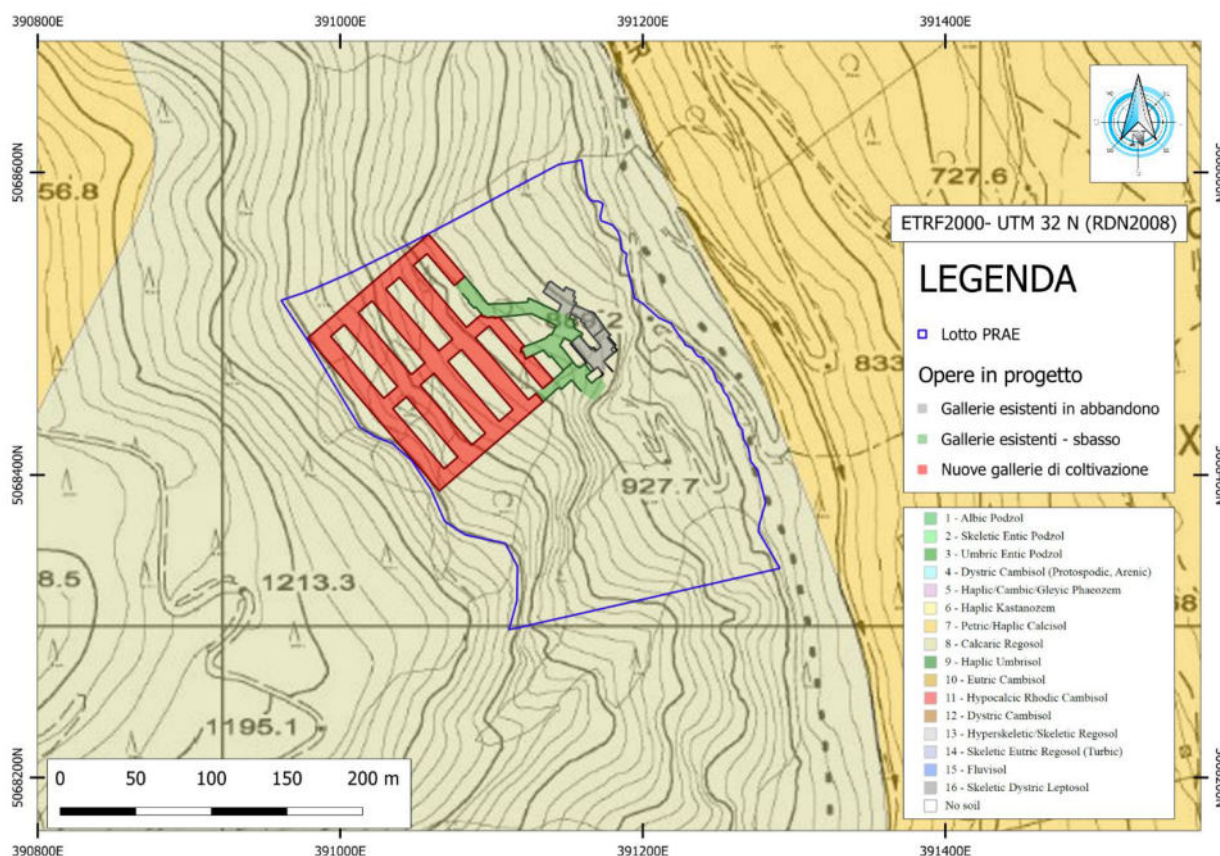


Figura 20. Stralcio della carta dei suoli della Valle d'Aosta 1:100.000.

Si tratta di suoli poco evoluti, sviluppati su materiali ricchi in carbonato di calcio (soprattutto morenico e calcescisti); rappresentano la versione iniziale dei tipi di suolo UC 6 (Kastanozems) e UC 7 (Calcisols), in cui l'accumulo di carbonati nell'orizzonte sottosuperficiale è insufficiente (orizzonte C, talvolta Ck ma con poche forme di accumulo di CaCO_3). Sono suoli molto comuni in ambiente di conoide, o comunque in siti dove i processi di ringiovanimento della superficie sono attivi (erosione e deposizione di materiale), impedendo l'evoluzione verso altri tipi di suolo. Il basso grado di sviluppo, dovuto a processi di erosione e deposizione di materiale, rende questi suoli non particolarmente idonei a sostenere una vegetazione erbacea o arborea stabile, nonostante le caratteristiche chimico-fisiche non siano particolarmente limitanti. I servizi ecosistemici forniti da questi suoli sono quindi piuttosto limitati. La struttura debole e poco espressa, dovuta al basso grado di evoluzione rende questi suoli particolarmente vulnerabili, inoltre la limitata copertura del suolo non è sufficiente a proteggerli dai fenomeni erosivi.

La Carta di Capacità d'Uso dei Suoli della Valle d'Aosta (Figura 21) classifica l'area di intervento come zona con suoli di classe 5, ovvero: "Suoli che presentano limitazioni ineliminabili non dovute a fenomeni di erosione e che ne riducono il loro uso alla forestazione, alla produzione di foraggi, al pascolo o al mantenimento dell'ambiente naturale (ad esempio, suoli molto pietrosi, suoli delle aree golenali)".

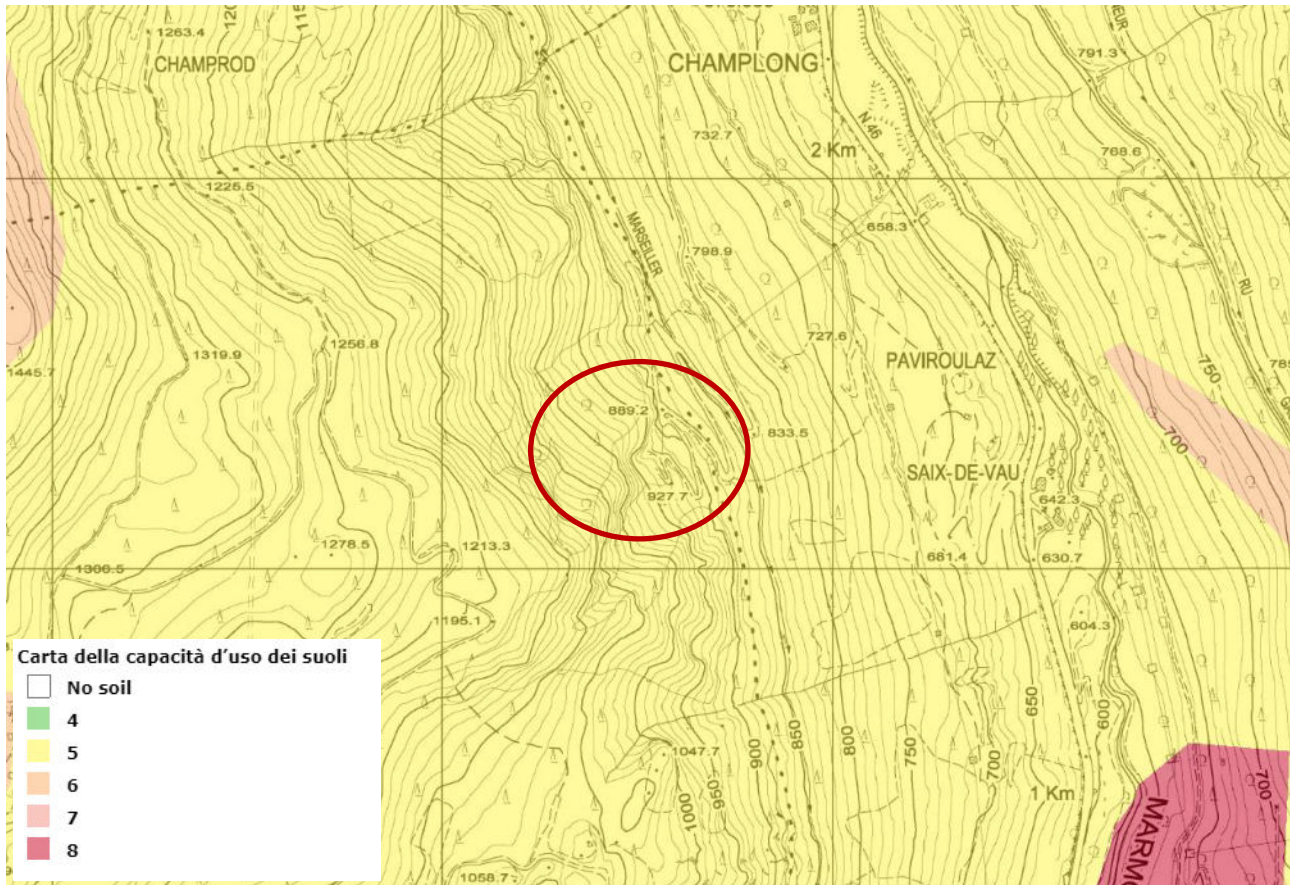


Figura 21. Stralcio della Carta di Capacità d'Uso dei Suoli della Valle d'Aosta 1:100.000.

Secondo la carta degli stock di Carbonio Organico della Valle d'Aosta (Figura 22) l'area in oggetto presenta una moderata capacità di stoccaggio. Con un valore di 4.38 kg/m² di carbonio stoccato l'area di intervento si colloca tra le zone con la minor capacità di stoccaggio di carbonio organico del territorio valdostano.

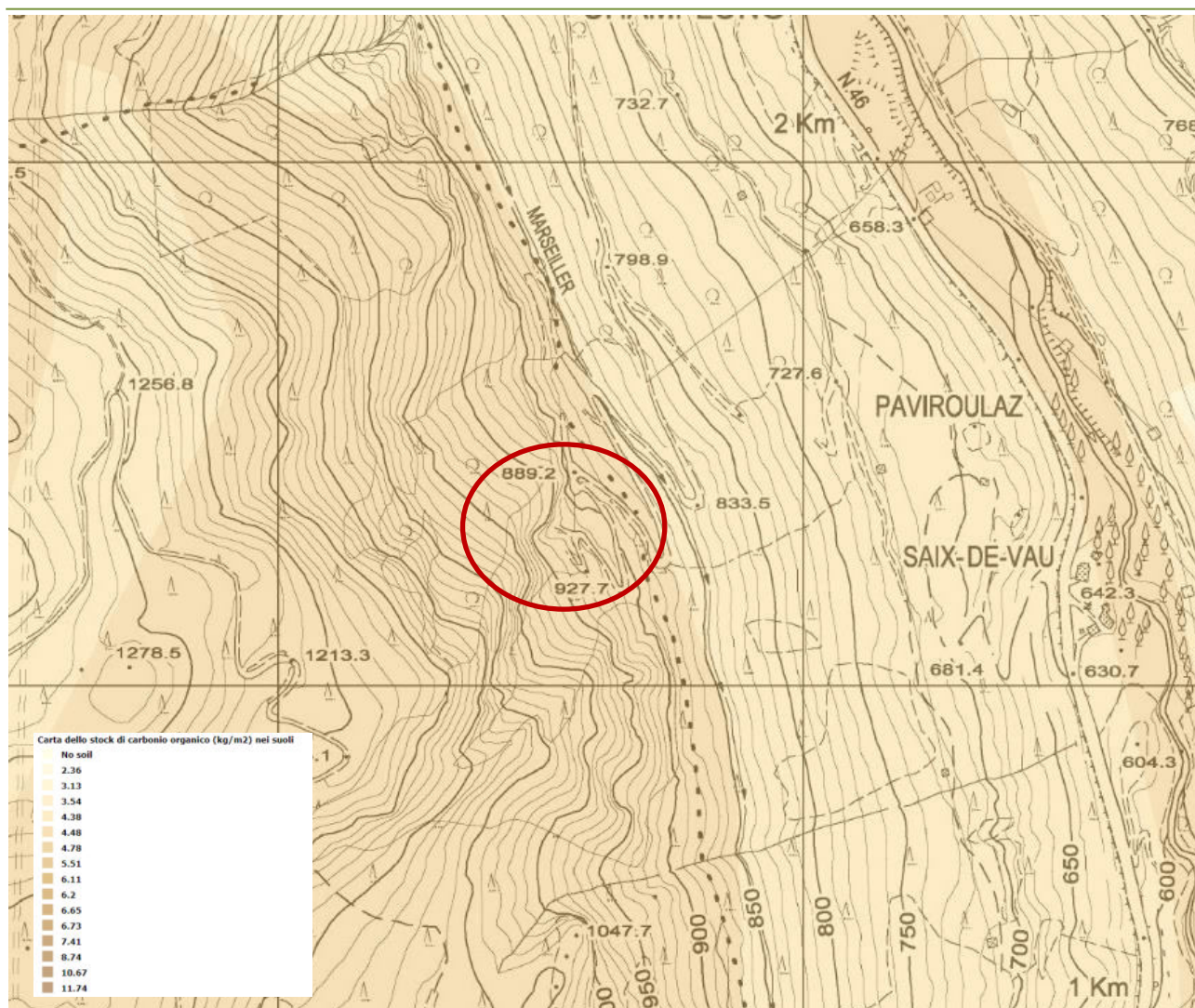


Figura 22. Stralcio della carta degli stock di Carbonio Organico della Valle d'Aosta 1:100.000.

Analizzando la cartografia messa a disposizione dalla Valle d'Aosta, (geonavigatore SCT) inoltre emerso che nell'area di intervento si trovano suoli su substrato serpentinitico (Figura 23). Gli affioramenti di serpentinite sono molto diffusi nell'area centro-orientale della Valle d'Aosta, si tratta di rocce metamorfiche derivate dalle peridotiti del mantello oceanico, sono rocce ultramafiche, composte prevalentemente dalle varie forme del minerale serpentino (antigorite, crisotilo e lizardite), associato a minerali accessori ricchi di ferro quali magnetite, cromite, clorite e, in minor quantità, anfiboli.

I processi ed i tipi di suolo formati su serpentiniti non sono particolarmente diversi rispetto a quelli sviluppati su rocce mafiche come meta-gabbri e pietre verdi o su rocce acide, in Valle d'Aosta. Nonostante ciò, alcuni parametri chimici e fisici sono fortemente influenzati dal particolare tipo di substrato. In particolare, questi suoli rimangono poveri in nutrienti quali fosforo e calcio, anche se questo deficit tende a ridursi nei suoli più sviluppati, mentre il contenuto in metalli pesanti, nichel e cromo, rimane alto, anche se si riduce nei suoli più evoluti.

La produttività vegetale rimane quindi bassa, molto inferiore che in suoli su altri substrati; questo ha un effetto sulla pedogenesi, in genere rallentata. Un esempio di come tutti i processi pedogenetici siano rallentati è mostrato nell'area proglaciale del ghiacciaio della Verra Grande (Valle d'Ayas, fig. 4.18.2), dove in 150 anni circa i suoli sono ancora privi di orizzonti B e con sottili orizzonti A (Regosols, UTS 13, fig. 4.18.4), mentre sulle morene del Lys (Valle di Gressoney, con substrato a gneiss dominante, fig. 4.18.3), nello stesso lasso di tempo, si sono formati suoli podzolici poco sviluppati (tendenti alla UTS 1, fig. 4.18.5). I suoli sulle superfici più vecchie sono Podzols più o meno sviluppati in ambedue gli ambienti (UTS 1a e 1b, rispettivamente), al piano subalpino.

Anche l'attività della comunità microbica e dei microartropodi del suolo sono estremamente ridotte, soprattutto a causa dell'elevato contenuto di metalli pesanti che danno effetti di tossicità².

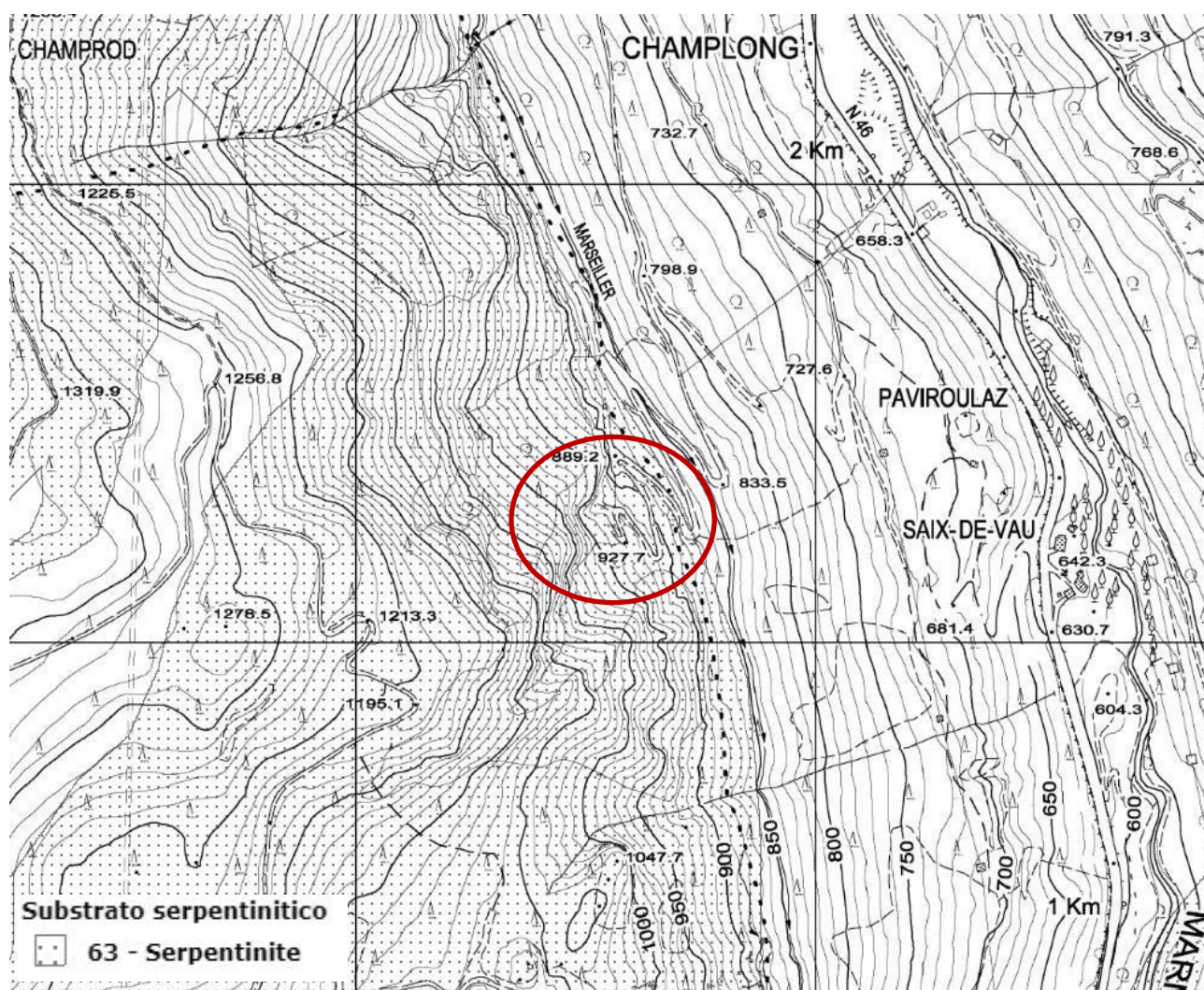


Figura 23. Estratto della carta dei suoli su serpentinite della Valle d'Aosta 1:100.000.

² Michele E. D'Amico, E. Pintaldi, E. Sapino, E. Quaglino, I. Passarella, M. Freppaz, E. Navillod, R.Rocco, S.Casola. Carta dei suoli della Valle d'Aosta, con bibliografia

L'erodibilità del suolo per l'area di intervento (Fattore K del modello RUSLE, Renard et al., 1997), secondo la carta dell'erodibilità degli orizzonti minerali superficiali della Valle d'Aosta (Figura 24), mostra un valore medio-alto. Il fattore K rappresenta quanto ogni suolo è vulnerabile all'erosione in assenza di vegetazione, su una pendenza standard, e dipende da tessitura, struttura, permeabilità e sostanza organica in base all'equazione proposta da Wischmeier & Smith (1978). Il valore dell'intorno dell'area di intervento è pari a 0.039.

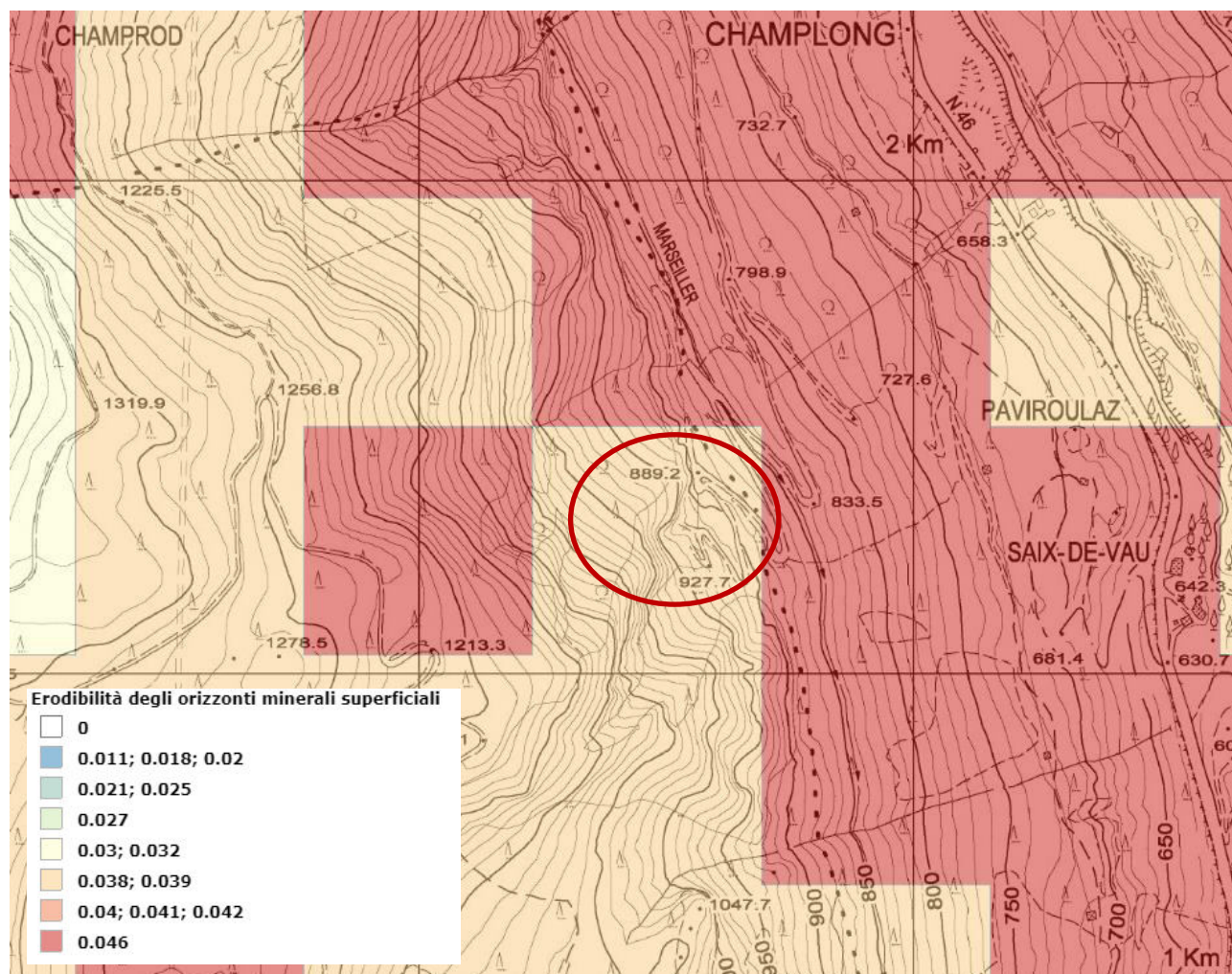


Figura 24. Stralcio della carta dell'erodibilità degli orizzonti minerali superficiali della Valle d'Aosta.

Analizzando la situazione specifica del sito di studio, a seguito dei sopralluoghi esperiti dagli scriventi, non si rileva presenza di suolo per le aree interferite dalle operazioni di coltivazione. Nelle aree interne e sui piazzali esterni è presente roccia nuda e, in subordine, deboli coperture detritiche non pedogenizzate.



Figura 25. Immagine del piazzale di cava, che denota assenza, in quest'area, di orizzonti pedogenetici.

5.4 Idrologia e idrogeologia

Il corso d'acqua principale della Valtournenche, come detto, è il T. Marmore; questo, dopo un percorso di 55 km, a partire dal Lago Goillet, confluisce nella Dora Baltea a Chatillon. Attraversa i comuni di Valtournenche, Chamois, La Magdeleine, Antey St. Andrè, Torgnon e Chatillon.

Sull'asta del torrente principale convergono numerosi affluenti, talora di notevole portata, alimentati, nella parte alta del bacino, dalle acque di fusione di numerosi ghiacciai e nevai perenni, e nella parte mediana e terminale dalle acque immagazzinate nei terreni quaternari. Per tutti questi torrenti e di conseguenza per il Marmore, il massimo di portata si registra di norma in tarda primavera-inizio estate, con punte massime raramente disastrose, quando alla fusione delle nevi per un rialzo termico in quota, si assomma una intensa precipitazione. Gli affluenti sono tutti in prevalente fase di scavo, anche se alcuni presentano aree di deposito anche estese in corrispondenza dei principali terrazzi e sul fondovalle.

Il Torrente Marmore, dopo un primo tratto in fase di scavo a monte del Breuil, è in fase di deposito nella piana su cui sorge il paese e a valle, fino alla confluenza con il Torrente Vofrede; in seguito, è inciso prima nei depositi detritici e morenici, poi, a valle dello sbarramento di Perrères, nelle rocce serpentinitiche del Gouffre



de Bousseraille e quindi nuovamente nel quaternario, fino alla vasta area di deposito a monte dello sbarramento di Mayen. A valle si succedono tratti incisi in depositi detritico-franosì e altri in fase di deposito (Buisson,, Antety, Covalou), fino al tratto terminale, inciso prima in roccia, poi nelle alluvioni lacustri terrazzate di Châtillon.

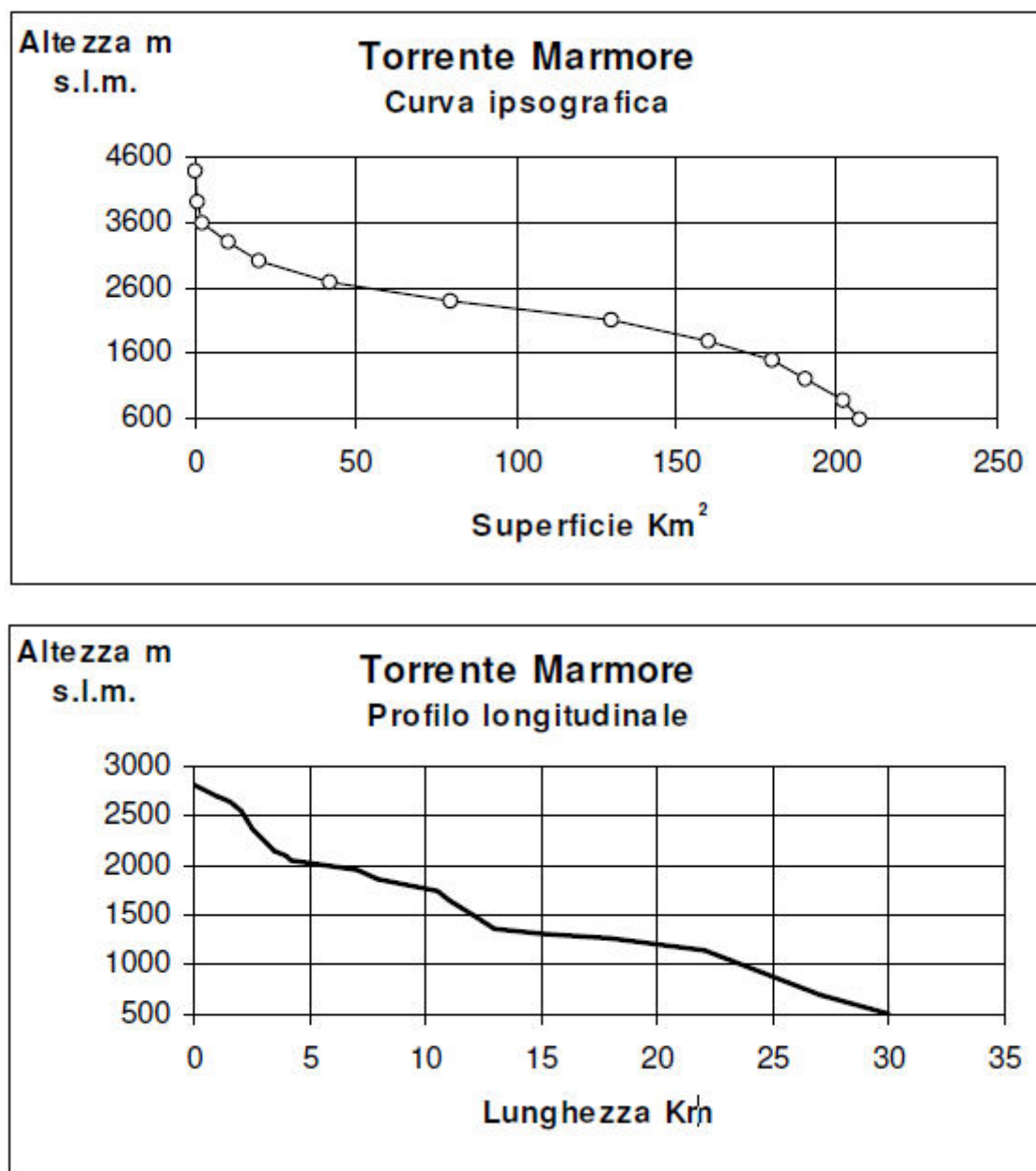


Figura 26. Curva ipsografica del bacino e profilo longitudinale del T. Marmore.

Nel bacino del Torrente Marmore sono presenti alcuni grandi laghi, naturali ed artificiali, posti tutti a quote elevate, al di sopra dei 2100 metri: si tratta del Lac des Cimes Blanches, del Lac Goillet, del Grand Lac e del Lac de Tsignanaz, presenti nelle conche degli alti circhi glaciali laterali, con un volume d'acqua invasato che, per taluni di essi, è stato artificialmente incrementato a scopi idroelettrici.

Questo é il caso del Lac de Goilllet, nel quale una diga a gravità in c.l.s. permette di invasare 11,2 milioni di metri cubi d'acqua; anche il Lac de Tsignanaz é stato trasformato in serbatoio di regolazione: ora ha una capacità d'invaso di 16 milioni di metri cubi.

Sul torrente Marmore è stato invece creato un bacino di modulazione, chiamato Lac de Mayen, della capacità di 180.000 metri cubi.

Gli affluenti posti nella parte alta del bacino sono i più attivi, perché sono alimentati dai ghiacciai e dai nevai perenni, che garantiscono portate costanti.

Tra i più importanti vi sono il torrente de Tsignanaz, de Creton, du Cherillon, du Mont Cervin, de Plan Maison, de Barmaz, il torrente Pousset, il torrente de Cleyva Groussa, d'Illiaz, e de Cheney.

Tra i ghiacciai principali vi sono il Glacier du Mont Tabel, du Cherillon, du Mont Cervin, de la Forclaz, de Saint Theddul, de Valtournenche, ed il Glacier du Grand Tournalin.

Gli affluenti posti nella parte sottostante sono anch'essi attivi in quanto il loro deflusso é regolato dall'abbondante deposito Quaternario e dalla superficie produttiva.

Tra i principali vi sono il torrente de Cortinaz, de Petit Monde, de Promiod, d'Antey St.Andrè, de Saverou, ed il torrente de Chamois.

Limitatamente all'intorno dell'area di cava non si segnalano lineamenti idrografici di particolare entità: sono presenti modesti impluvi a N e S dell'area di cava, verosimilmente impostati su lineamenti tettonici, che drenano il versante e confluiscono, in destra, nel T. Marmore.

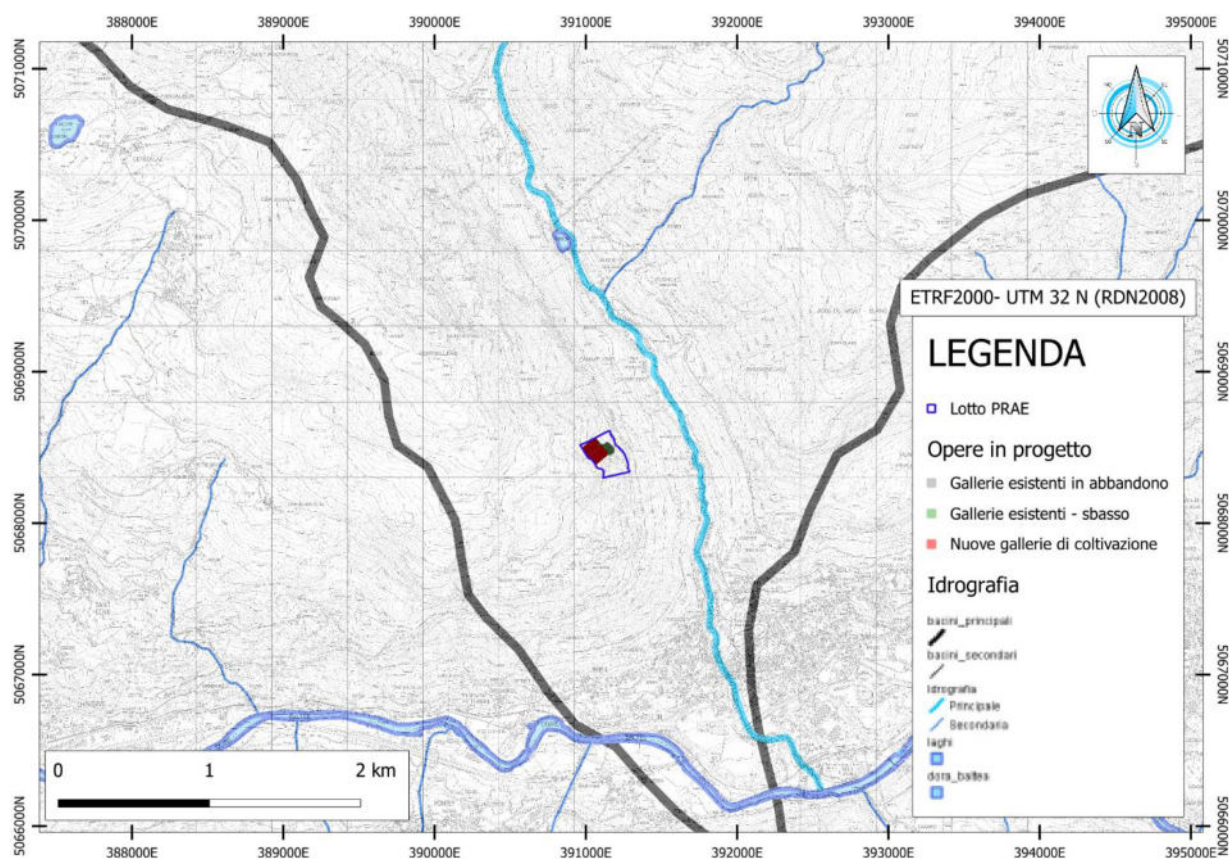


Figura 27. Inquadramento dell'idrografia presente nei dintorni dell'area di cava. Si segnala l'assenza di elementi idrici significativi.

La presenza di acque di infiltrazione in corrispondenza del sito di cava è funzione della presenza e dell'intensità delle fratture dell'ammasso roccioso (porosità secondaria) e dello spessore e permeabilità delle coperture detritiche (porosità primaria).

La qualità dell'ammasso roccioso, documentata dai rilievi strutturali eseguiti in fase di progetto, limita considerevolmente la presenza di acque sotterranee nel settore interno dell'area di cava. Le discontinuità presenti, seppur notevolmente aperte, sono molto spaziate. Esse sono in grado di veicolare localmente le acque sotterranee.

Per quanto riguarda i depositi, falde idriche possono essere ospitate all'interno dei depositi di versante/antropici rinvenuti nella parte basale del versante, favorite dal contrasto di permeabilità fornito dalla presenza del substrato roccioso.

Dalla consultazione del geoportale valdostano, non risultano presenti sul versante derivazioni di acqua in concessione.

5.5 Pericolosità geologica

5.5.1 Catasto dissesti

L'esame del catasto dissesti regionale evidenzia la presenza di 2 dissesti censiti nell'intorno dell'area di studio. Si tratta di due fenomeni di caduta massi (Cod. 30845 e 33685) che hanno coinvolto rispettivamente la strada di accesso alla cava e la parte alta del versante. Entrambi i dissesti sono posti a notevole distanza dal sito estrattivo. La ricerca per stringhe alfanumeriche (Saint-Denis, Farys, Champlong), volta all'esame degli eventi non georeferenziati, non ha prodotto altri risultati di rilievo.

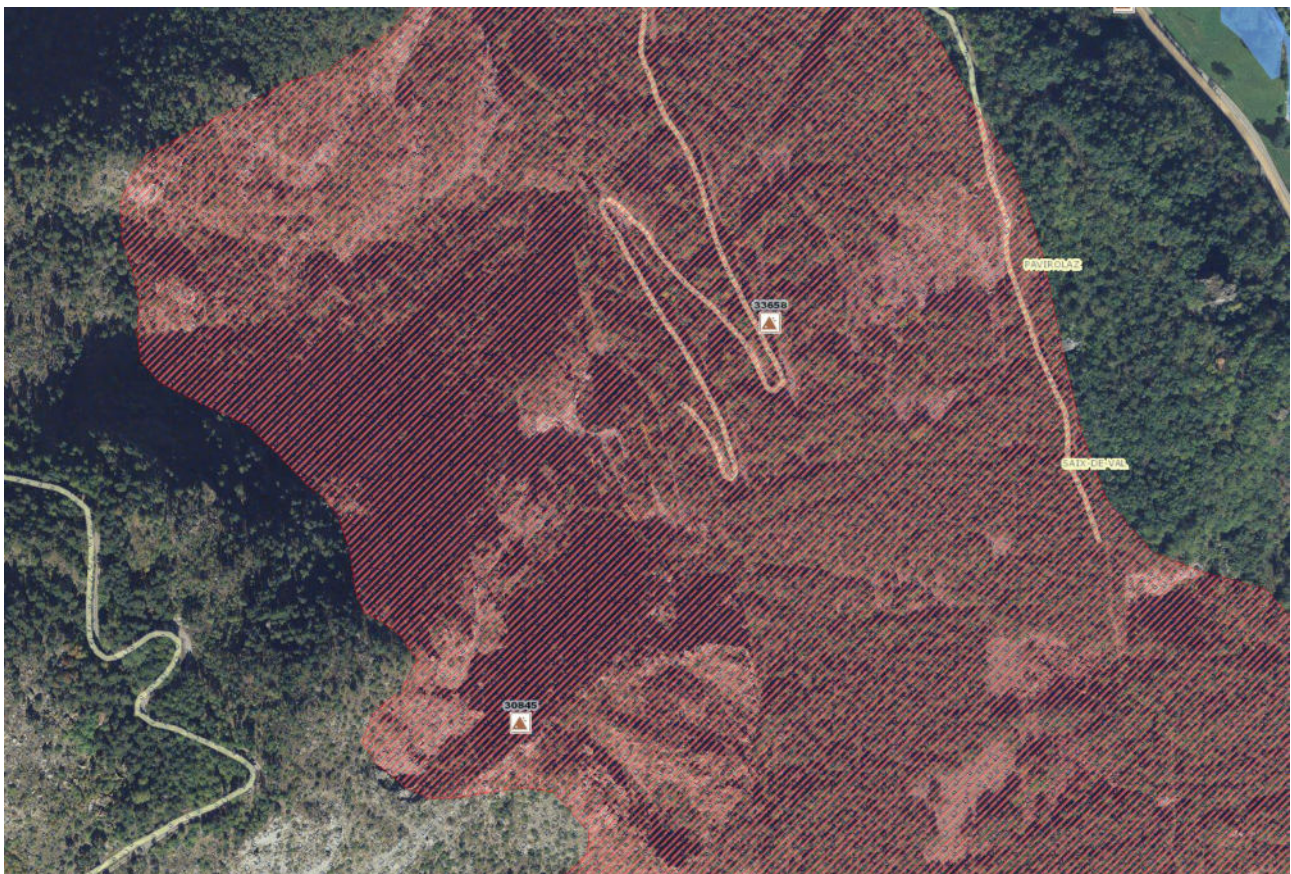


Figura 28. Stralcio del tematismo riferito al catasto dissesti tratto dal geonavigatore regionale.



Codice fenomeno	F-02-12-1990-00-v-Cr-x	Id. fenomeno	30845
Nome fenomeno	Frana di crollo in loc. Saix de Vaud (SAINT-DENIS) in data 02/12/1990		
Sottocategoria	Frana di crollo		
Data e ora	Data certa: 1990-12-02 Ora certa: 06:00:00		
Descrizione	ND		
Cause	-		
Dim./Morfometria	-		
Danni	Danni a: Attività economiche		
Comune	SAINT-DENIS		
Località	Saix de Vaud		
Bacino princ.,sec.	Dora Baltea, -		
Bacino locale	-		
Fonte	Ente produttore: Università di Torino Oggetto/Titolo: Metodo: Dato storico/archivio Allegati: -		

Figura 29. Scheda dissesto 30845.

Codice fenomeno	C-09-06-2018-00-v-Cm-x	Id. fenomeno	33658
Nome fenomeno	Caduta massi in loc. Cava di Fary (CHATILLON) del 09/06/2018		
Sottocategoria	Caduta massi		
Data e ora	09/06/2018 - n.d.		
Descrizione	Data incerta. Il blocco ha coinvolto la strada podereale che conduce alla cava di Fary a monte della strada regionale per Cervinia.		
Cause	Piogge intensa e prolungate. Fratturazione della roccia.		
Dim./Morfometria	Il fenomeno ha un volume inferiore a 10 mc		
Danni	-		
Comune	CHATILLON		
Località	Cava di Fary		
Bacino princ.,sec.	Dora Baltea, Bacino T. Marmore		
Bacino locale	-		
Fonte	Ente produttore: CFV Chatillon Oggetto/Titolo: Report Dissesti ID 1998 Allegati: Foto		

Figura 30. Scheda dissesto 33658.

5.5.2 Interferometria satellitare

L'analisi dei dati interferometrici disponibili sulla piattaforma europea EGMS Copernicus, nel dataset di dati calibrati al livello 2b, mostra il movimento di alcuni riflettori stabili (tetti degli edifici di Costa del Pino) con trend di movimento in avvicinamento rispetto alla LOS di circa 1.2 mm/anno. Data l'esposizione del versante, il movimento è compatibile con un versore diretto verso il basso e verso E, lungo la massima pendenza del versante. Tale fenomeno può essere correlabile con il generale movimento del versante identificato come sede di DGPV. L'analisi dei dati ortorettificati, per la scarsa risoluzione, non consente l'analisi dettagliata delle componenti assolute di movimento.

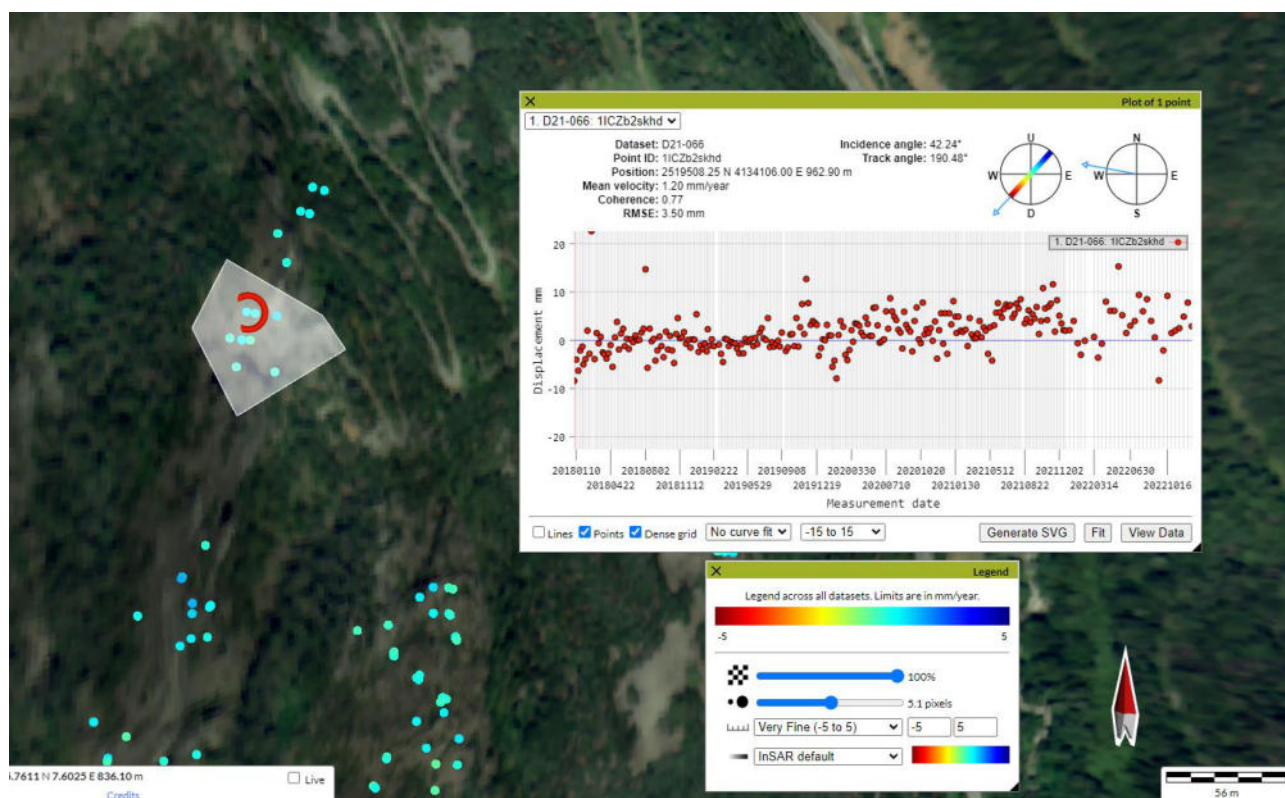


Figura 31. Analisi dei dati derivanti da interferometria satellitare. Orbita ascendente, piattaforma EGMS Copernicus.

L'esame dei dati interferometrici pubblicati sul portale regionale (Figura 32) evidenzia e conferma la medesima situazione di sostanziale stabilità: tutti i riflettori presenti nell'area mostrano trend di movimento inferiore al mm/anno. In Figura 33 è presentato il dato per i 10 riflettori prossimi all'area di cava e in Figura 34 il relativo grafico (Dati Sentinel-1A, orbita discendente; Periodo di elaborazione da 05/04/2019 a 05/04/2024).

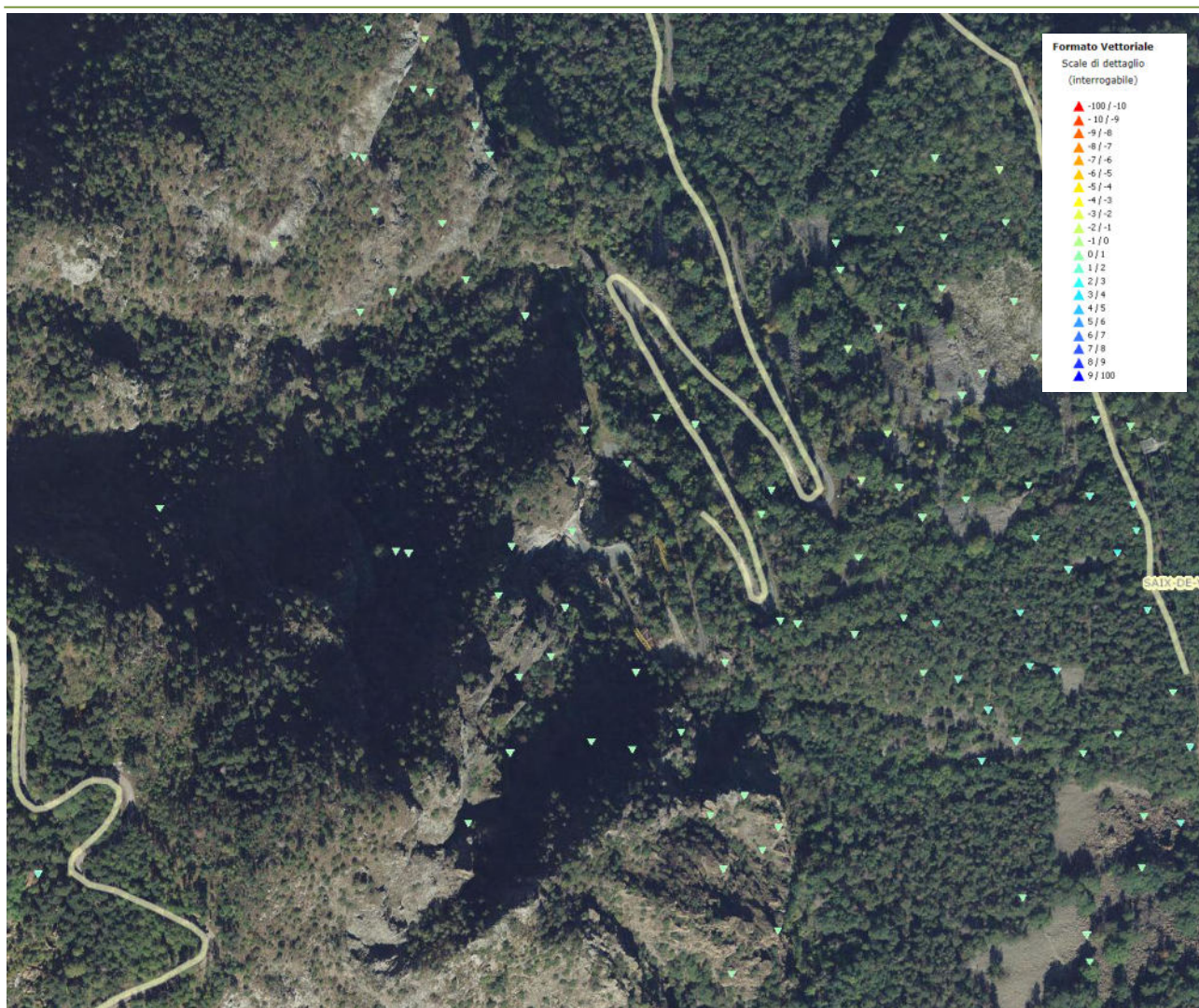


Figura 32. Dati interferometrici PsInSAR rilasciati su Geonavigatore SCT.



Figura 33. Dettaglio dei 10 riflettori prossimi all'area di cava.

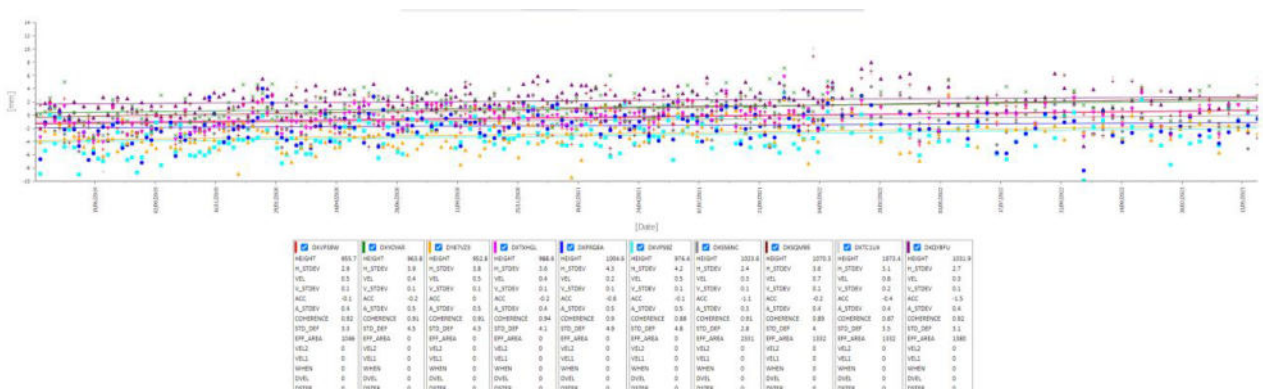


Figura 34. Grafo di regressione per i 10 dati analizzati.



5.6 Amianto

Come riportato nel §5.2, le aree interessate dal progetto di coltivazione insistono su litologie ofiolitiche, appartenenti alla Zona Piemontese.

Il termine “amianto” definisce normativamente una serie di minerali a morfologia fibrosa, appartenenti alla classe mineralogica dei silicati, il cui rischio sanitario è legato all'inalazione di fibre aerodisperse. Come definito dal D.Lgs 81/2008 in Italia con il termine amianto si identificano i seguenti silicati fibrosi:

l'actinolite d'amianto, n. CAS 77536-66-4;

la grunerite d'amianto (amosite), n. CAS 12172-73-5;

l'antofillite d'amianto, n. CAS 77536-67-5;

il crisotilo, n. CAS 12001-29-5;

la crocidolite, n. CAS 12001-28-4;

la tremolite d'amianto, n. CAS 77536-68-6.

Nel 1986, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha indicato come “pericolose” tutte le fibre di amianto con lunghezza $>5\ \mu\text{m}$, diametro $<3\ \mu\text{m}$, e rapporto lunghezza/diametro superiore a 3:1. Tali caratteristiche geometriche rendono le fibre di amianto “respirabili”, cioè in grado di giungere nella zona alveolare dell'albero respiratorio dell'essere umano ed innescare quindi reazioni.

I minerali di amianto sono presenti in natura all'interno di formazioni geologiche generalmente di origine metamorfica: sono contenuti principalmente all'interno di rocce ofiolitiche, che abbondano in quasi tutte le catene montuose formatesi per collisione fra placche litosferiche. Dette rocce hanno composizione basica e ultrabasica corrispondenti a frammenti alloctoni di antica crosta oceanica basaltico-gabbri e del sottostante mantello peridotitico. I termini delle successioni ofiolitiche ed in particolare quelli potenzialmente contenenti minerali di amianto, possono rinvenirsi sia in posizione primaria (cioè in successione stratigrafica relativamente regolare), che in giacitura secondaria, quando le ofioliti risultano inglobate in formazioni sedimentarie torbiditiche (sia come olistoliti che come frammenti di successione olistostromi).

I principali litotipi nei quali possono rinvenirsi minerali amiantiferi sono le lherzoliti, le serpentiniti e le oficalciti, i metagabbri, i metabasalti e le metabasiti s.l, le anfiboliti, le eclogiti e le brecce poligeniche, come riportato nella tabella seguente.

È bene evidenziare che non tutti i termini costituenti la successione ofiolitica contengono necessariamente minerali di amianto, benché sia possibile la loro formazione; inoltre, anche all'interno di uno stesso termine stratigrafico (es. serpentinite fratturata), i minerali di amianto possono distribuirsi in modo eterogeneo con concentrazioni variabili puntualmente. È dunque possibile attraversare notevoli volumi di rocce basiche ed ultrabasiche o di coltri torbiditiche non amiantifere, e riscontrare poi, in spessori rocciosi limitati, mineralizzazioni di amianto localizzate. I minerali di amianto o asbestiformi, infatti, generalmente si rinvencono in faglie, zone di taglio fragili o mineralizzazioni puntuali in sedimenti caotici, la cui presenza ha frequenza molto irregolare. Le concentrazioni di amianto all'interno dell'ammasso roccioso sono molto variabili da punto a punto, e si passa facilmente da tenori prossimi al 100%, in corrispondenza di vene fibrose, fino allo 0% nella roccia incassante.

Tabella 1. Classificazione delle «Pietre verdi» in funzione del loro contenuto di amianto secondo il D.M. 14/05/96, allegato 4 (in neretto, i minerali definiti «amianto» dal D.Lgs. 81/08, che aggiunge la grunerite d'amianto/amosite, l'antofillite d'amianto e la crocidolite)

Classificazione Litotipo "Pietre Verdi" in funzione del loro contenuto di amianto	Minerali principali
"Serpentiniti" s.l.	Antigorite, crisotilo , olivina, orto (Opx) e clino (Cpx) pirosseni, anfibolo tremolite , talco, dolomite, granato, spinelli cromite e magnetite
Prasiniti	Feldspato albite, epidoti, anfiboli della serie tremolite-actinolite , glaucofane, Cpx e mica bianca
Eclogiti	Pirosseno monoclinico, granato, rutilo, anfibolo glaucofane
Anfiboliti	Orneblenda, plagioclasio, zoisite, clorite, antofillite -gedrite
Scisti actinolitici	Actinolite , talco, clorite, epidoto, olivina
Scisti Cloritici, talcosi e serpentinosi	Talco, clorite, dolomite, tremolite , actinolite , serpentino, crisotilo , rutilo, titanite, granato
Oficalciti	Talco, antigorite, crisotilo , tremolite , dolomite, calcite, olivina

Tale elenco, tuttavia, non risulta esaustivo di tutte le tipologie di litotipi che possono contenere minerali di amianto. Si segnala la possibile presenza di amianto in litologie marnose, argilliti e diabasi. Oltre ai minerali di amianto ufficialmente riconosciuti dalla normativa internazionale e nazionale, esistono in natura ulteriori minerali che possono presentarsi con abito fibroso, definiti "asbestiformi". Fibre asbestiformi possono essere infatti rinvenute sia nelle litologie sopra descritte sia in prodotti lavici. Tra i più noti in letteratura si ricordano:

Fluoro-edenite - anfibolo fibroso per il quale è stato riconosciuto nel 2014 dalla International Agency of Research on Cancer (IARC) il suo elevato potenziale cancerogeno.

Erionite - silicato del gruppo delle zeoliti che può presentarsi anche in forma fibrosa.

Balangerite - minerale riscontrato nel sito estrattivo di amianto ubicato presso i Comuni di Balangero (TO) e Corio. Esso risulta un minerale contaminante del giacimento di amianto puro;

Winchite - anfibolo sodio calcico;

Richterite;

Carlosturanite;

Diopside;

Magnesio-Arfvedsonite;

Mordenite (zeoliti);

Fibre argillose: Palygorskite (attapulgitite), Sepiolite;

Wollastonite;

Nemalite (brucite fibrosa).

Le rocce del giacimento in esame, stando ai dati bibliografici, sono caratterizzate dalla presenza di minerali asbestiformi, in particolare tremolite.



Market varieties	Basin	Quarry	Mineralogical composition
Verde Fleuran	Issogne	Champdepraz	Atg, Cal, Mag
Verde Montjovet	Issogne	Montjovet	Tr, Cal, Dol, Atg, Di, chromian Mg-Chl
Verde Alpi Gressoney Chiaro	Gressoney	Perletoa	Atg, Cal, sulphides, Di, Mg-Chl
Verde Alpi Gressoney Seuro	Gressoney	Perletoa	Atg, Ctl, Cal, Dol, sulphides
Verde Alpi Gressoney (or Aosta)	Gressoney	Perletoa	Cal, Ctl, Tr, Tlc, Mg-Chl
Verde Patrizia	Gressoney	Ciukén Novers	Atg, Cal, Tr, Di, Mag, Mg-Chl
Verde Moderno (or Golette)	Media Valle	Golette (Verrayes)	Cal, Atg, Tr, Di, Mag
Verde Rameggiato	Media Valle	Croce di San Martino (Verrayes)	Atg, Cal, Mag, sulphides
Verde Aver	Media Valle	Aver	Atg, Cal, Tr, Mag, sulphides
Verde Maisonetta	Media Valle	Maisonetta	Atg, Cal, Di, Mag, sulphides
Verde Assoluto	Media Valle	Vencorere Prelaz (Verrayes)	Atg, Cal, Mag
Verde Damascato	Media Valle	Plan de Verrayes	Cal, Dol, Atg, Tr, chromian Mg-Chl, Mg-Chl, Brc, Mag
Verde Chiesa	Media Valle	Morge Raffort	Atg, Tr, Cal, Mag, Mg-Chl
Verde St. Denis	Media Valle	Blavesse (St. Denis)	Atg, Cal, Mag, Spl
Verde St. Nicolaus	Media Valle	Champlong (St. Denis)	Atg, Cal, Tr, Mg-Chl, Grt, Di, Spl
Verde Issorie	Media Valle	Issorie (Châtillon)	Atg, Cal, Dol, Tr, Di, Mg-Chl

Figura 35. Principali varietà di Marmo Verde Alpi in Valle d'Aosta³. I componenti mineralogici sono riportati in ordine di abbondanza. Atg = Antigorite; Brc = brucite; Cal = Calcite; Chl = chlorite; Ctl = chrysotilo; Di = diopside; Dol = dolomite; Grt = granato; Mag = magnetite; Spl = spinello; Tlc = talco; Tr = tremolite.

³ Sandrone, Colombo, Fiora, Fornaro, Lovera, Tunesi, Cavallo 2004. Contemporary natural stones from the Italian western Alps (Piedmont and Aosta Valley Regions). *Per. Mineral.* (2004), 73, 211-226. SPECIAL ISSUE 3: A showcase of the Italian research in applied petrology.

6 OPERE IN PROGETTO E METODOLOGIA DI COLTIVAZIONE

Il progetto di ripresa della coltivazione ed ampliamento della cava di materiale lapideo in loc. Champlong prevede la realizzazione di interventi sia nel settore esterno che in quello interno. I cantieri esistenti garantiscono una relativamente rapida ripresa estrattiva all'interno degli ambienti del periodo 1999-2007, preve precedenti operazioni che verranno eseguite dai proponenti con una forza lavoro di circa 2-3 addetti (addetti in quota, sistemazioni di versante, ecc.).

Il progetto è stato elaborato in base alle esigenze produttive della ditta committente per quanto riguarda i volumi di scavo e le fasi di attuazione, e tenendo conto delle risultanze dello studio geostrutturale dell'ammasso roccioso costituente il giacimento.

6.1 Interventi preliminari

6.1.1 Settore esterno

Nelle aree esterne i lavori consisteranno in:

- una campagna di verifica messa in sicurezza delle aree degli ingressi, con particolare riferimento ad ispezioni ad opera di rocciatori ("tecchiaioli") della parete rocciosa soprastante, già nel passato bonificata da elementi rocciosi significativi e sulla quale non appaiono ad oggi visivamente evidenze di cunei potenzialmente instabili evidenze di materiale crollato al piede;
- rimozione dei rifiuti presenti: cataste di legname, resti del derrick crollato, rottami ferrosi, scale in ferro, manufatti vari;
- messa in sicurezza dei cigli mediante staccionate e/o catenelle d'acciaio secondo dettami del DLgs 81/2008;
- riadeguamento delle vasche di stoccaggio dell'acqua e predisposizione delle tubazioni di adduzione.

6.1.2 Settore interno

Nelle aree interne, preliminarmente rispetto alla ripresa della coltivazione, i lavori consisteranno in:

- disaggio e/o messa in sicurezza dei pochi cunei instabili individuati mediante chiodature;
- posizionamento di reti e/o pannelli ciechi presso le maggiori discontinuità per prevenire la caduta di frammenti rocciosi;
- installazione di adeguato sistema di monitoraggio (flessimetri, estensimetri a barra, bersagli topografici) nelle aree di coltivazione pregressa in rinuncia (settore inferiore orientale);
- posizionamento del sistema di ventilazione;
- realizzazione di una vasca interrata per la decantazione delle acque utilizzate nel ciclo di taglio (soprattutto nella fase di recupero a monte della bancata) e successivamente riutilizzate.

6.2 Ripresa della coltivazione

L'attuazione complessiva delle nuove coltivazioni con tecnologie attuali comporterà l'utilizzo di macchinari automatizzati per l'avanzamento progressivo delle nuove sagome con macchine tagliatrici a catena cingolata.



La progressione tecnologica degli ultimi 20 anni ha consentito con tali macchinari un efficientamento rilevante dei tempi di posizionamento, taglio e sgombero dei materiali coltivati con velocità di taglio fino a 8-10 mq/ora con ingrandimento delle sagome di coltivazione dirette. Alcuni modelli attualmente disponibili possono raggiungere altezze massime di apertura di 5,80 m.

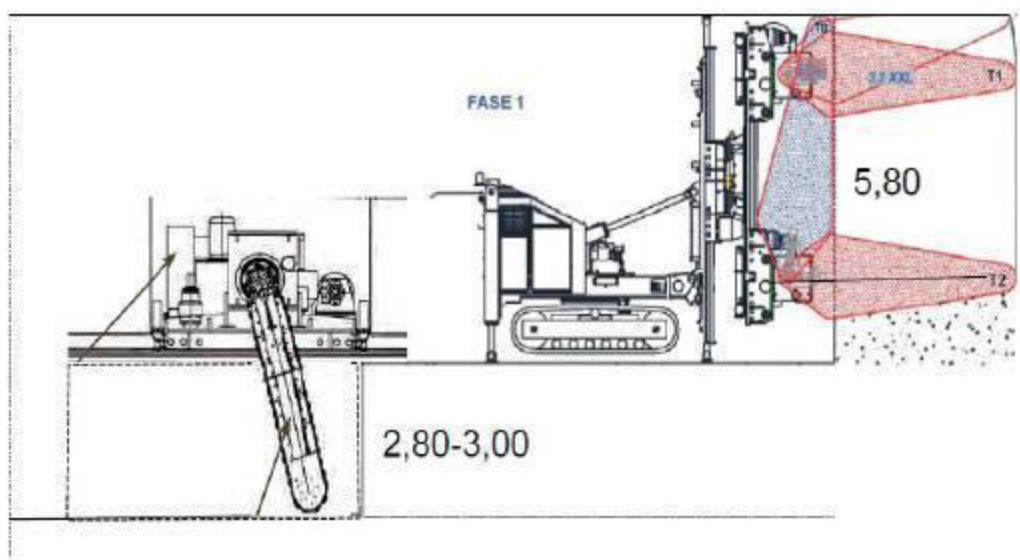


Figura 36. Avanzamento tipo di tagliatrice a catena cingolata e ribasso con macchine da bancata in combinazione.

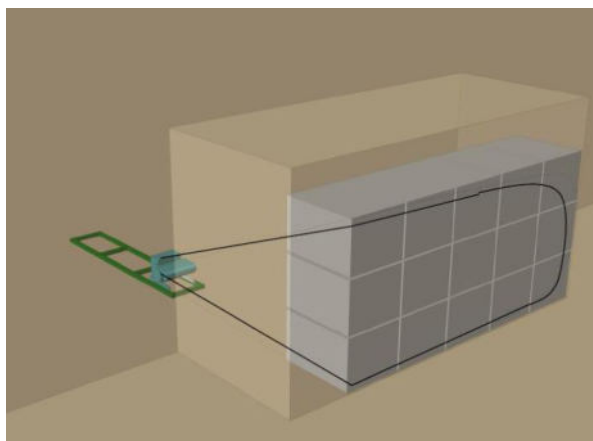
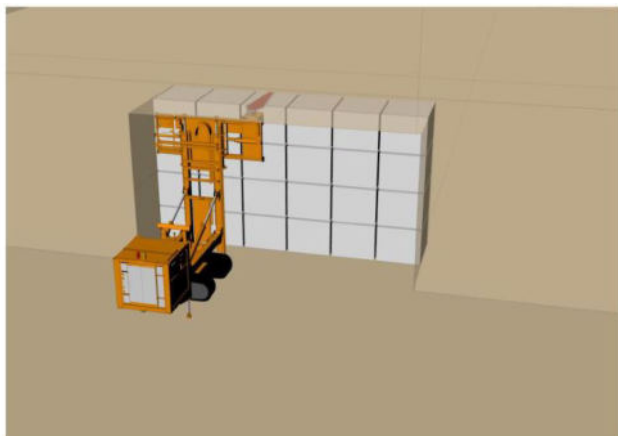


Figura 37. Schema dell'apertura di nuova galleria con tagliatrice a catena e recupero a monte dell'avanzamento in galleria con utilizzo di filo diamantato a cappio.

L'escavazione di avanzamento a fondo cieco con tagliatrici a catena procederà secondo uno schema a "camere e diaframmi" con dimensioni finali seguenti:

- a) Larghezza gallerie 12.0 m;
- b) Impostazione di diaframmi con dimensione 12.0 x 53.0 ÷ 54.0 m;

Le moderne segatrici da galleria, dotate di aspiratori che convogliano le polveri in big-bags, sono progettate per eseguire tagli completamente a secco. Solo in caso di utilizzo di filo diamantato per i recuperi a monte dell'avanzamento in galleria possono comportare un modesto impiego di acqua.

L'approvvigionamento idrico verrà garantito dal ripristino delle vasche di stoccaggio, attualmente già presenti al di sopra dei fronti residui della vecchia coltivazione a cielo aperto. L'acqua verrà addotta in galleria mediante tubazioni in materiale plastico di piccolo diametro e utilizzata ove necessario per le operazioni di taglio e di abbattimento delle polveri. La stessa, dopo l'impiego, verrà raccolta e convogliata all'interno di una vasca di decantazione predisposta all'interno delle gallerie e successivamente riutilizzata. Il materiale decantato verrà periodicamente estratto come fango palabile e smaltito secondo la normativa vigente.

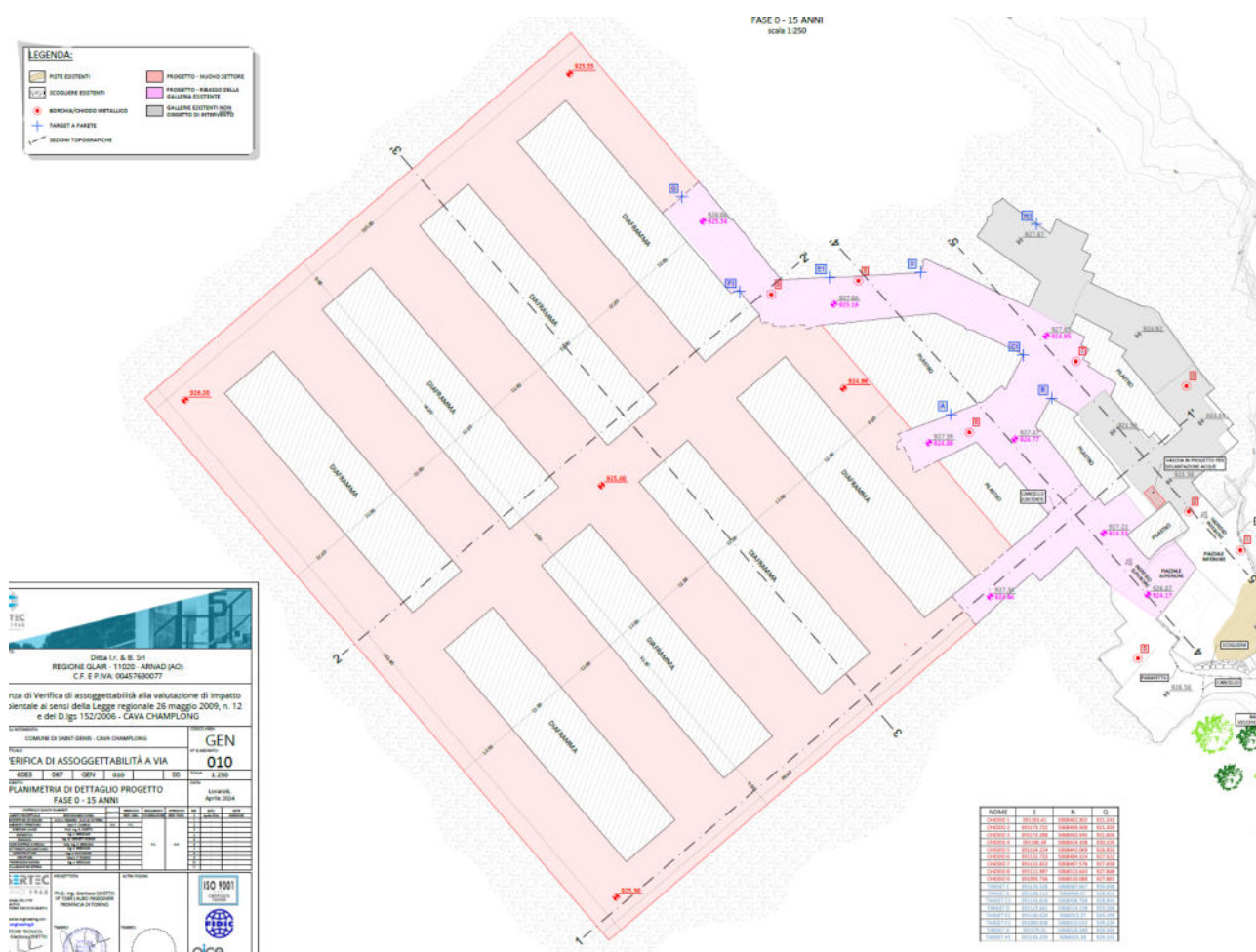


Figura 38. Stralcio di planimetria di progetto con schema di coltivazione a camere e diaframmi.



6.2.1 Fasi di coltivazione

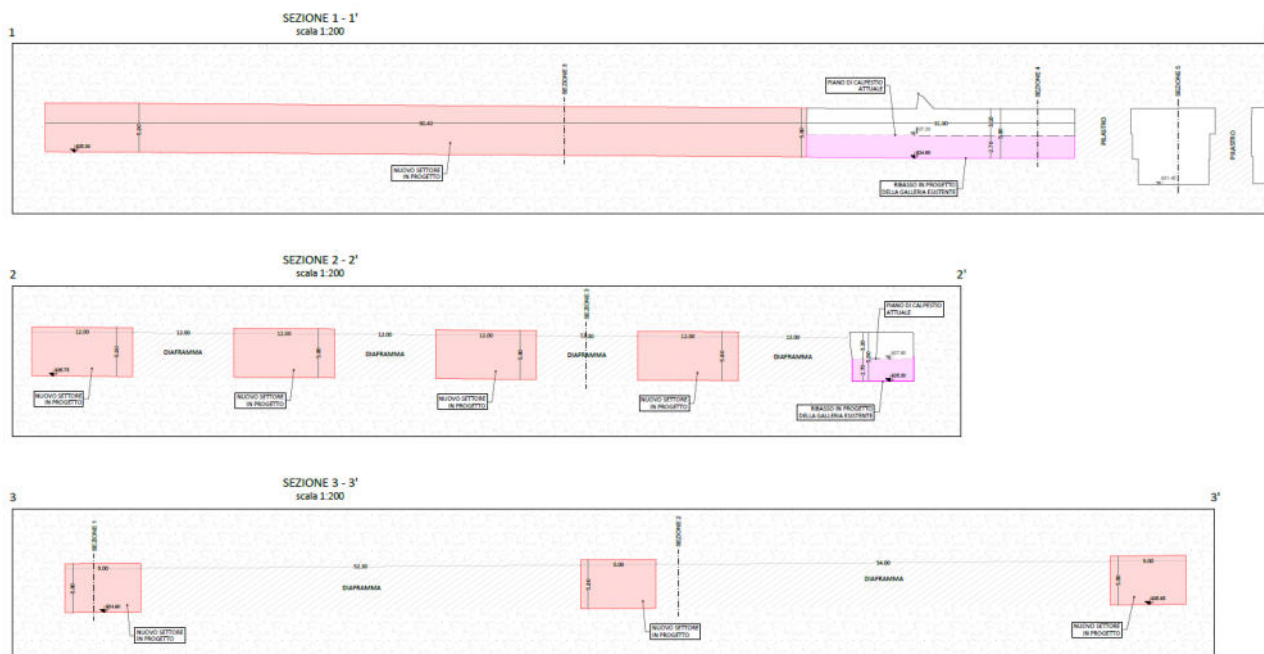


Figura 39. Stralcio di sezioni di progetto con indicazione dello stato attuale e della sagoma di avanzamento.

La coltivazione della cava prevede tre fasi attuative, da attuarsi consequenzialmente a seguito delle operazioni preliminari.

Nel complesso, i volumi previsti di scavi in banco sono pari a circa 53'555 m³.

Sulla base delle stime attuali, considerando una produttività annua di 3'000-3'500 m³/anno (325 m³/mese x 11 mesi/anno), si stima una durata della coltivazione pari a 15 anni.

Fase 1: sbasso gallerie esistenti e impostazione gallerie di tracciamento.

Si provvederà al ribasso delle gallerie esistenti, esclusa la porzione in abbandono, per una altezza di 2.70 m.

A seguire verranno impostate due gallerie di tracciamento orientate in direzione ortogonale tra loro (NW-SE e NE-SW), al fine di confermare la reale consistenza ed estensione del giacimento di oficalce, e di vincolare l'andamento plano-altimetrico delle maggiori discontinuità già individuate in sede di rilievo. In aggiunta, verrà completata la coltivazione della prima canna di produzione (diretta NW-SE). La coltivazione delle nuove porzioni verrà eseguita a sezione completa a fondo cieco (H=5.80m x L= 12.00).

I diaframmi avranno dimensioni in pianta pari a 12.0 m x 53.0 ÷ 54.0 m.

La volumetria estratta nella fase 1 è preventivabile in 23'385 m³.

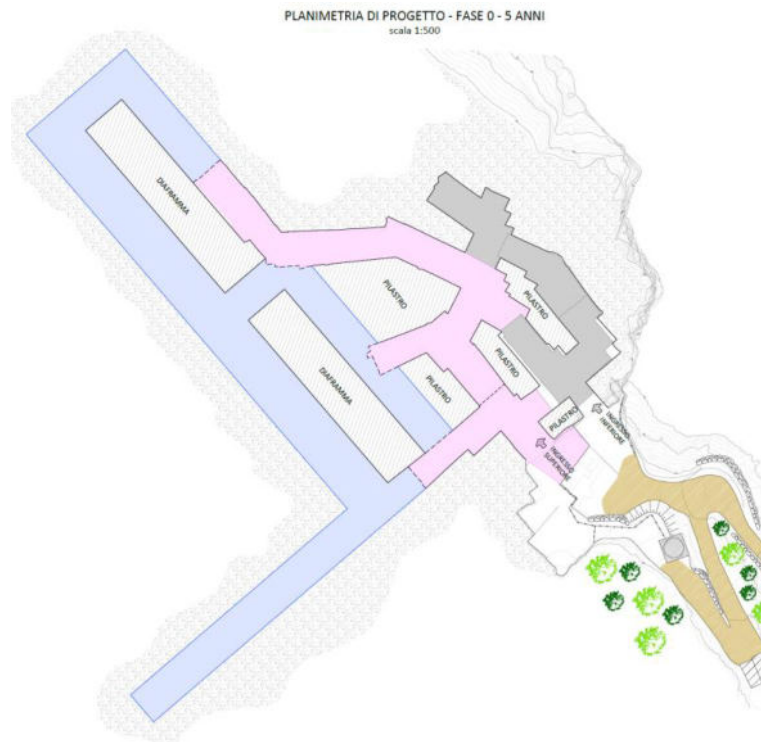


Figura 40. Progetto – Fase 1.

Fase 2: prosecuzione della coltivazione verso SW.

La coltivazione procederà coltivando gallerie a piena sezione ($H=5.80\text{m} \times L= 12.0$) dirette NW-SE.

I diaframmi avranno dimensioni in pianta pari a $12.0\text{ m} \times 53.0 \div 54.0\text{ m}$.

La volumetria estratta nella fase 2 è preventivabile in $14'802\text{ m}^3$.

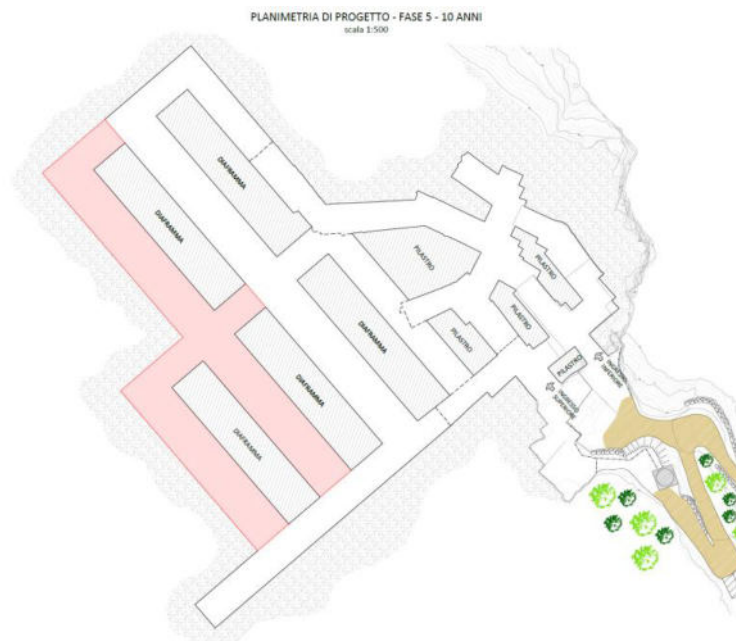


Figura 41. Progetto – Fase 2.



Fase 3: ultimazione della coltivazione fino al limite SW.

La coltivazione procederà coltivando le ultime 2 gallerie a piena sezione ($H=5.80\text{m} \times L= 12.0$) dirette NW-SE.

I diaframmi, a maglia sfalsata, avranno dimensioni in pianta pari a $12.0\text{ m} \times 53.0 \div 54.0\text{ m}$.

La volumetria estratta nella fase 3 è preventivabile in $14'918\text{ m}^3$.



Figura 42. Progetto – Fase 3.

6.2.2 Macchinari e personale impiegato

La tipologia di materiale da estrarre e il sistema di coltivazione presuppone l'utilizzo dei seguenti macchinari:

- N.1 tagliatrice a catena cingolata;
- N.1 tagliatrice a filo diamantato;
- N.1 escavatore con benna per la movimentazione di materiale lapideo;
- N.1 pala gommata con benna per il carico dei blocchi su cassone del camion
- N.1 camion per il trasporto blocchi
- N.1 unità di trattamento aria / ventilazione della galleria
- N.1 gruppo elettrogeno per fornire alimentazione elettrica alla macchina di taglio pietra ed alla unità di ventilazione della galleria.

Le specifiche delle macchine operatrici che saranno utilizzate in cava saranno riportate nel DSS.

Il personale sarà costituito da una squadra di 2-3 addetti, aventi le seguenti mansioni:

- 1 Capo cava/sorvegliante
- 1 Palista Manovale
- 1 Autista

6.2.3 Tipologia di materiali estratti

Il materiale estratto è una roccia metamorfica, in particolare una metaoficalcite, ovvero una metabreccia a frammenti angolosi di serpentiniti (che conferiscono il colore verde) in matrice carbonatica. Da un punto di vista petrografico la roccia non è un marmo, tuttavia, questa tipologia di lapideo estratto nella Valle d'Aosta ed in generale nell'arco alpino occidentale è conosciuto commercialmente come Marmo Verde o più precisamente Marmo Verde Alpi. La roccia essendo costituita da frammenti di serpentinite immersa in una matrice carbonatica si presenta come un mosaico in cui le tessere sono costituite dalla serpentinite e le venature interstiziali sono costituite da calcite. Da un punto di vista commerciale il Verde Alpi è molto apprezzato per il suo aspetto cromatico molto elegante, per la sua ottima lucidabilità e per la facilità di segagione. Da un punto di vista estrattivo solitamente i giacimenti presentano un andamento tabulare, con banchi di spessore variabile, continui, caratterizzati da una sostanza e uniformità. L'ammasso roccioso si presenta poco fratturato e quindi possibile estrarre blocchi di dimensioni medie elevate, uniformi. L'estrazione è condotta attraverso l'utilizzo del filo diamantato o di tagliatrici a catena, minimizzando la produzione di sfridi. Le caratteristiche tecniche medie delle oficalci estratte nella valle d'Aosta sono le seguenti:

Carico di rottura a compressione: 1945 kg/cm²

Carico di rottura dopo cicli gelività: 1875 kg/cm²

Carico di rottura unitario a flessione: 340 kg/cm²

Coefficiente dilatazione termica: 0,0060 mm/m°C

Coefficiente imbibizione acqua: 0,009500

Resistenza all'urto: 79 cm

Usura per attrito: 0,70 mm

Peso per unità di volume: 2680 kg/m³

Le stime sui volumi estratti definiti dall'ipotesi di coltivazione e dai rilievi topografici si attestano ad un valore complessivo per le tre fasi di lavoro pari a ca: 53'555 m³.

La quantità di materiale utile, in questa fase, è stimata in circa il 60% della produzione lorda, ovvero 32'133 m³.

Di questa aliquota commercializzabile, la quantità di pietra per la produzione lastre o "marmette" è "attestabile" ca il 90% della produzione: 28'920 m³, per una quantità annua ca 1'928 m³. È presumibile ipotizzare che il 20% del materiale utile sia costituito da blocchi di I scelta, e il 70% da blocchi di II scelta.

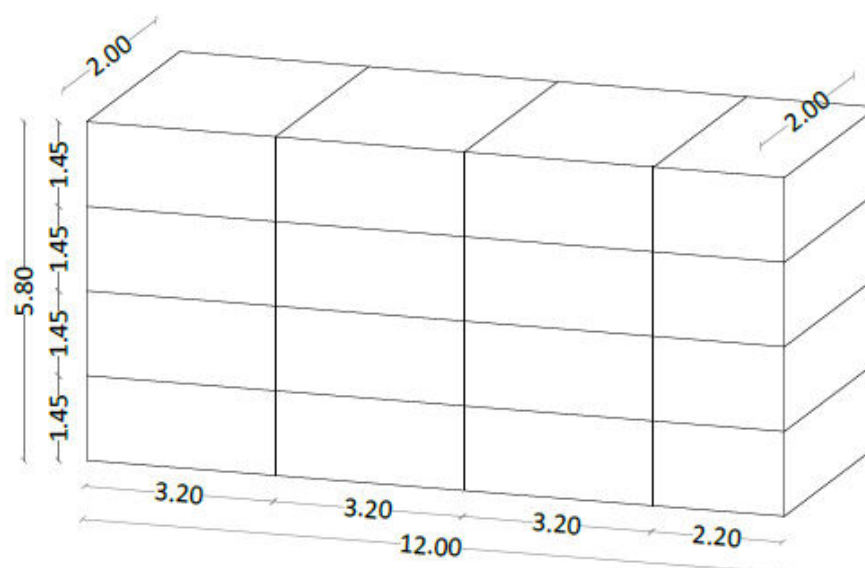
La quota di materiale utile estratto, non utilizzabile per lavorazioni di lastre e "marmette", (10% residuo del materiale utile) è stimata in circa 3'213 m³, per una quantità media annua di circa 214 m³. Tale materiale potrà trovare impiego per opere di arredo e muratura.

I blocchi estratti avranno dimensioni di 2.00 m x 1.45 m x 3.20 m, per una cubatura pari a 9.28 m³.



SCHEMA TIPO DI COLTIVAZIONE

scala 1:100



Gli sfridi ed il materiale non commercializzabile verranno reimpiegati per i ripristini e i ritombamenti dei vuoti di coltivazione.

Sulla base del volume di materiale da estrarre, della qualità stimata, dell'uso e del valore commerciale del materiale cavato si può produrre una valutazione previsionale della potenza del giacimento (Figura 43).

Cava champlong	Attività	Superficie (mq)	Cubatura in banco (mc)
Fase 1	Sbasso gallerie esistenti e impostazione gallerie di tracciamento	4997	23835
Fase 2	Prosecuzione a piena sezione porzione mediana	2552	14802
Fase 3	Prosecuzione a piena sezione porzione occidentale	2572	14918
	a sommare		53555
Resa coltivazione	Percentuale (%)	Cubatura netta (mq)	
Materiale utile	60%	32133	
Categorie blocchi	Percentuale (%)	Cubatura netta	
I scelta	20%	6426,6	
II scelta	70%	22493,1	
informi	10%	3213,3	
Quotazione	Prezzo unitario	Valore	
I scelta	€ 350,00	€	2 249 310,00
II scelta	€ 250,00	€	5 623 275,00
informi	€ 15,00	€	48 199,50
	a sommare	€	7 920 784,50

Figura 43. Sintesi: valutazione previsionale della potenza del giacimento.

6.3 Termine della coltivazione e recupero ambientale

Al termine dei lavori di coltivazione sono previsti gli interventi di recupero ambientale consistenti in ripristini a verde mediante semina a spaglio di essenze erbacee autoctone con piantumazione di alberi e arbusti sui piazzali esterni previo ricarico di terreno agrario, con spessore non inferiore a 40 cm. Le operazioni di recupero ambientale si eseguiranno su una superficie di circa 720 m², ricompresa tra i fronti esterni e le strade di accesso.



7 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

7.1 Criteri di caratterizzazione - Metodi

Si espone di seguito un'integrazione volta ad approfondire l'inquadramento geologico-tecnico dell'area di cava ove è situato il progetto. In particolare, è stata effettuata una disamina sulle motivazioni tecnico scientifiche alla base della scelta dei parametri di resistenza utilizzati nelle verifiche analitiche sulla stabilità dei cunei e nelle verifiche sulla stabilità dell'ammasso roccioso nel complesso.

Il lavoro ottempera alle prescrizioni contenute nelle "Norme tecniche riguardanti le indagini su terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", fissate dal D.M. 2018 *Norme Tecniche sulle Costruzioni* e richiamate dalla Circolare Ministeriale n°617 del 02/02/2009.

Il lavoro segue le indicazioni delle linee guida ISRM (International Society Rock Mechanics) ed il lavoro di Arild Palmström (2001) sul rilevamento delle discontinuità e l'elaborazione dei dati geostretturali, ISRM(1978), il lavoro di Barton (1976) per il calcolo dell'angolo di attrito delle discontinuità; gli studi di BIENIAWSKI, Z. T. (1973, 1989) e di HOEK (1994) e successive revisioni per la classificazione dell'ammasso roccioso.

7.1.1 Classificazione dell'ammasso roccioso

I metodi di classificazione permettono di suddividere l'ammasso roccioso in classi di diversa qualità dal punto di vista delle loro proprietà meccaniche globali. Da queste possono essere stimati, tramite relazioni empiriche, i valori di alcuni parametri geomeccanici (angolo di resistenza al taglio, coesione, deformabilità) utilizzabili nelle analisi di stabilità e nella progettazione.

7.1.1.1 Rock Mass Rating (RMR –Bieniawsky, 1973, 1989)

La classificazione RMR si basa su un sistema di punteggi da assegnare a specifici parametri descrittivi della roccia e delle discontinuità.

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava il Rock Mass Rating (RMR, Bieniawsky), secondo le seguenti equazioni:

$$RMR \text{ di base} = RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$RMR\ corretto = RMRc = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

Il valore di **A1** si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test, prova di compressione monoassiale), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione monoassiale S_u . Definita la resistenza a compressione S_u è possibile ricavare il valore del primo parametro A1 tramite le seguenti equazioni:

VALORE DI S_u (MPa)	EQUAZIONE
$\leq 44,5$	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$
$44,5 \div 93,75$	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$
$93,75 \div 140$	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$
$140 \div 180$	$A1 = 0,0375 S_u + 6,75$
$180 \div 240$	$A1 = 0,025 S_u + 9$
> 240	$A1 = 15$

Il valore di **A2** è desumibile a partire dal valore di RQD, che rappresenta il recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm. Il valore di RQD, in assenza di sondaggio, è derivabile dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

dove J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100 e(0,1 n) (0,1 n + 1)$$

con n numero medio di giunti per metro.

Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A2 mediante le equazioni:

VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
$\leq 26,5$	$A2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$
$26,5 \div 39$	$A2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$
$39 \div 76,6$	$A2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$
$> 76,6$	$A2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$

Il valore del parametro **A3** si desume dal valore medio di spaziatura dell'ammasso roccioso, secondo le seguenti relazioni:



SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
$\leq 0,2$	$A3 = 15 s + 5$
$0,2 \div 0,4$	$A3 = 10 s + 6$
$0,4 \div 0,66$	$A3 = 7,752 s + 5,9$
$0,66 \div 0,94$	$A3 = 7,067 s + 7,35$
$0,94 \div 1,6$	$A3 = 6,07 s + 8,288$
$1,6 \div 2,0$	$A3 = 5 s + 10$
$> 2,0$	$A3 = 20$

Il valore del coefficiente **A4** si valuta sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza, all'apertura, alla rugosità, all'alterazione delle pareti e al materiale di riempimento dei giunti:

$$A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

PERSISTENZA (m)	V1
< 1	6
$1 \div 3$	4
$3 \div 10$	2
$10 \div 20$	1
> 20	0

APERTURA (mm)	V2
Completamente chiuso	6
$< 0,1$	5
$0,1 \div 1$	4
$1 \div 5$	1
> 5	0

RUGOSITA'	V3
Molto Rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

ALTERAZIONE	V4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	V5
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2
< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0

Il valore dell'indice **A5** viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m.

Venute d'acqua su 10 m di lunghezza	Nessuna	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min
Condizione	Asciutta	Umida	Bagnata	Deboli venute	Forti venute
Coefficiente A5	15	10	7	4	0

Infine, il coefficiente correttivo A6 viene determinato in base alle condizioni delle discontinuità, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni.

APPLICAZIONE	Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMRC calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMRC	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	≤ 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore calcolato RMRC è possibile desumere il valore di GSI (Geological Strength Index, Hoek & Brown 1997) che rappresenta in forma più adeguata le caratteristiche intrinseche dell'ammasso roccioso, secondo la relazione (valida per GSI>25):

$$GSI = RMRC - 5$$

7.1.1.2 Geological strenght index (GSI – Hoek, 1994, 1995)

L'indice di resistenza geologica GSI, introdotto da Hoek (1994) e Hoek et al. (1995), fornisce un sistema per la stima della riduzione della resistenza dell'ammasso roccioso in relazione a differenti condizioni geologiche. La caratterizzazione dell'ammasso roccioso è condotta e basata sull'impressione visiva della struttura dell'ammasso, in relazione alle caratteristiche di interconnessione tra i blocchi (6 classi, da "roccia massiva" a "roccia foliata o laminata") e alle condizioni delle superfici di contatto espresse in termini di rugosità ed alterazione (5 classi, da "molto buona – superficie, molto rugosa, fresca e non alterata" a "molto povera – superficie liscia, altamente alterata e discontinuità riempita con argilla tenera") (Figura 44).

Ad ogni combinazione di questi due parametri è associato un indice numerico (il valore di GSI) variabile tra 0 e 100.

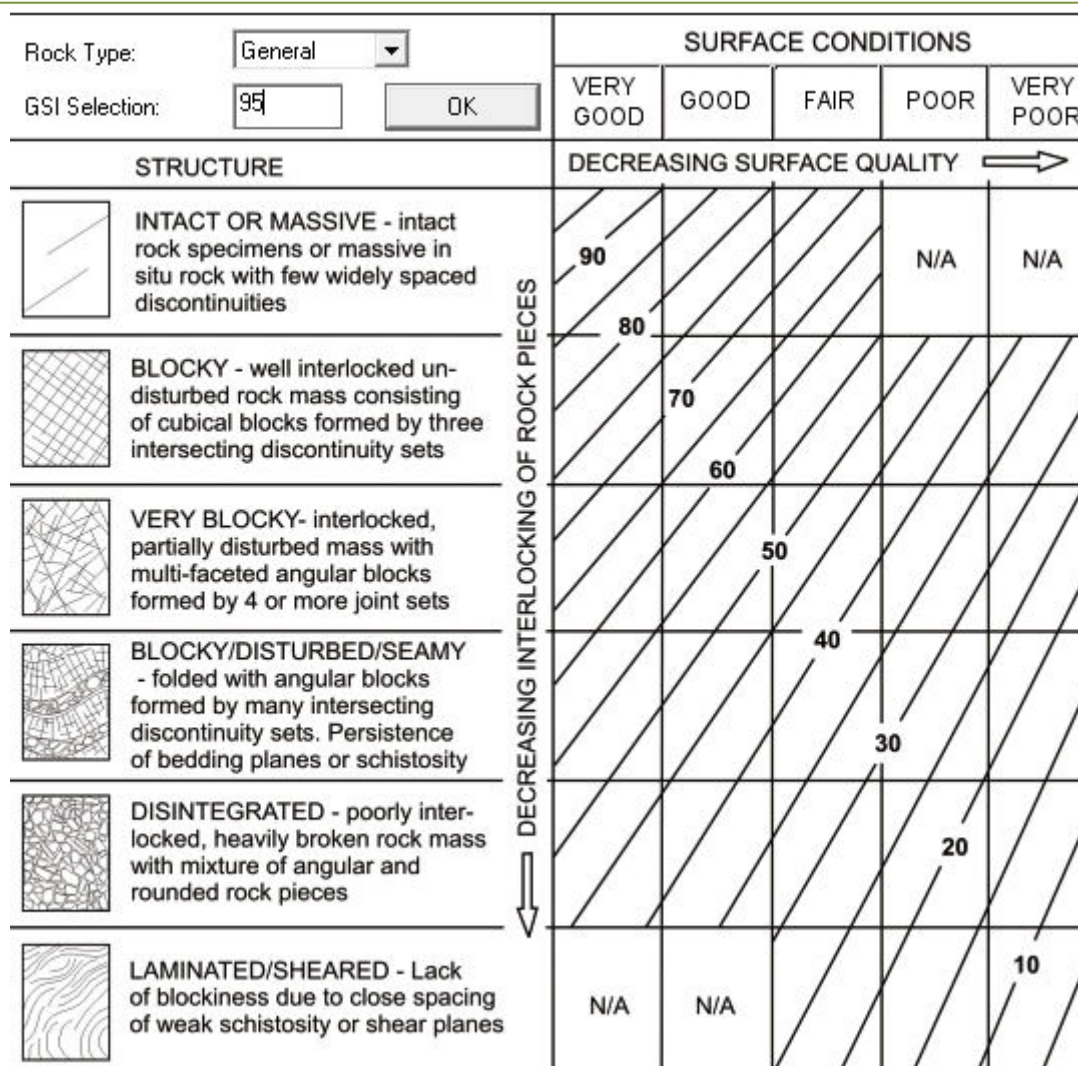


Figura 44. Diagramma per la stima dell'indice GSI (HOEK et al., 2002).

Qualora l'ammasso roccioso presenti un GSI maggiore di 25, è possibile determinare il valore in funzione dell'indice RMR opportunamente modificato, ossia valutato ponendo l'indice relativo alle venute d'acqua pari a 15 (se si utilizzano gli indici relativi alla versione di RMR del 1989); la relazione che lega GSI a RMR modificato è:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

Inoltre, tramite l'attribuzione di un coefficiente, m_i , rappresentante le caratteristiche frizionali delle componenti mineralogiche della roccia, e conoscendo il valore di resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, è possibile stimare il valore dell'angolo di attrito caratterizzante l'ammasso roccioso, per ogni valore di GSI. (HOEK et al., 2002; HOEK & BROWN, 1988).

7.1.2 Resistenza al taglio delle discontinuità

Le discontinuità che segmentano l'ammasso roccioso rappresentano il fattore di debolezza rispetto alla roccia intatta: i singoli volumi individuati possono ruotare, traslare, con scorrimenti e distacchi relativi lungo tali superfici (HOEK & BROWN, 1997). Nel caso di scorrimento relativo delle due blocchi di roccia, ciò che condiziona il movimento è la resistenza al taglio della discontinuità, stimabile attraverso l'esecuzione di prove di taglio diretto su provini. Tra i parametri che influenzano la resistenza di un giunto (BARTON, 1973) si ricordano:

- le caratteristiche meccaniche delle pareti a contatto;
- la scabrezza delle superfici;
- la resistenza delle asperità;
- il grado di interconnessione;
- la dimensione della discontinuità (effetto scala);
- il carico normale agente.

La resistenza al taglio delle discontinuità è comunemente rappresentata mediante l'utilizzo del criterio di Barton-Bandis (1982), la cui espressione analitica è data dalla seguente legge:

$$\tau = \sigma_n \times \tan \left[\varphi_b + \left(JRC \times \log \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right) \right]$$

Dove:

σ_n = sforzo normale alla superficie del giunto

φ_b = angolo di attrito di base del materiale

JRC = Joint Roughness Coefficient = Coefficiente di rugosità del giunto, parametro che può variare da 0 a 20, stimabile mediante l'utilizzo della tavola di confronto dei Profili di rugosità

JCS = Joint wall compressive strength; è riferito alla resistenza a compressione delle pareti dei giunti.

Il prodotto:

$$\delta = JRC \times \log \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) = \text{angolo di dilatanza della discontinuità}$$

La relazione empirica di Barton è applicabile per valori di sforzo normale bassi: $0,0001 < \sigma_n/JCS < 0,3$

Il parametro JCS esprime la resistenza a compressione delle pareti delle discontinuità.

Le superfici dei giunti sono esposte all'azione degli agenti di alterazione, acqua, ossigeno ecc., presentando, soprattutto quando sono esposte, un certo grado di alterazione.

Attraverso il rapporto tra la resistenza delle pareti e quelle della roccia sana, possiamo esprimere il grado di alterazione delle superfici delle discontinuità, indicativamente possiamo individuare tre classi:



Tabella 2 - Tabella riassuntiva della correlazione fra JCS, alterazione delle pareti e resistenza a compressione della roccia sana.

-Superficie inalterata	JCS= sc (resistenza a compressione) della roccia sana
-Superficie alterata	JCS= 0.5sc (resistenza a compressione) della roccia sana
-Superficie molto alterata	JCS= 0.1sc (resistenza a compressione) della roccia sana

La misura del JCS avviene mediante la prova con il martello di Schmidt, eseguita secondo le raccomandazioni del ISRM, effettuando un numero minimo di dieci prove con lo sclerometro e scartando i cinque valori più bassi.

Il martello di Schmidt si utilizza in direzione perpendicolare rispetto alla discontinuità, esso misura il rimbalzo della massa battente che percuote la superficie del giunto la quale andrebbe sempre liberata da detriti incoerenti presenti, almeno nei punti dove viene percossa. Se la massa battente smuove la parete del giunto testata, la risposta sarà ineluttabilmente falsata verso il basso, e la misura deve essere scartata; per queste ragioni è sconsigliata la prova su ammassi rocciosi molto fratturati.

Esistono due tipi di Sclerometro, quello di tipo L e quello di tipo N, i quali si differenziano per l'energia trasmessa, 0.735 Nm per il tipo L e 2.207 Nm per il tipo N. Grazie alla maggiore energia trasmessa il tipo N è meno sensibile alle irregolarità della superficie delle discontinuità e va quindi preferito nelle applicazioni in campo (Aydin A. 2008), tuttavia la maggior parte delle correlazioni per il calcolo della resistenza a compressione monoassiale, come quella presentata nella figura seguente sono basate sull'utilizzo del tipo L; nel presente studio è stato utilizzato il martello di tipo N, i risultati sono stati rapportati a quelli del tipo L mediante l'utilizzo della seguente correlazione:

$$R_L = \frac{R_N - 6.3673}{1.0646} \triangleright R = 0.99 \quad \text{Aydin A, Basu A. 2005}$$

Il martello, come già detto in precedenza, dà una misura del rimbalzo della massa battente contro le pareti del giunto e questa misura è convertita nel corrispondente valore di compressione uniassiale tramite il grafico di Figura 46. In pratica, il numero d'impulso varia da 10 e 60, con il valore minimo che si riferisce a materiali con scarsa resistenza alla compressione uniassiale ($C_0 < 20\text{Mpa}$), e il valore massimo a materiali con ottima resistenza alla compressione uniassiale ($C_0 > 150\text{Mpa}$). Nell'utilizzare il grafico bisogna correggere il valore del rimbalzo ottenuto in base alla posizione del martello; con il martello orientato verticalmente verso l'alto, il valore letto sarà massimo (rimbalzo a favore di gravità), mentre quando il martello è orientato verticalmente verso il basso, la lettura sarà quella minima (rimbalzo contro la gravità). La correzione del valore di rimbalzo misurato durante l'esecuzione della prova con lo sclerometro, rispetto all'angolazione con cui è stato applicato sul giunto, può essere effettuata anche prima di introdurre i valori di rimbalzo nel grafico, per poterli trasformare nei corrispettivi valori di resistenza a compressione uniassiale.

Misura Ra	Verso l'alto		Verso il basso	
	+ 90°	+ 45°	— 90°	— 45°
10	—	—	+ 3,2	+ 2,4
20	- 5,4	- 3,5	+ 3,4	+ 2,5
30	— 4,7	— 3,1	+ 3,1	+ 2,3
40	— 3,9	— 2,6	+ 2,7	+ 2,0
50	— 3,1	— 2,1	+ 2,2	+ 1,6
60	— 2,3	— 1,6	+ 1,7	+ 1,3

Figura 45 - Correzione del valore di rimbalzo misurato, estratto dal manuale dello strumento.

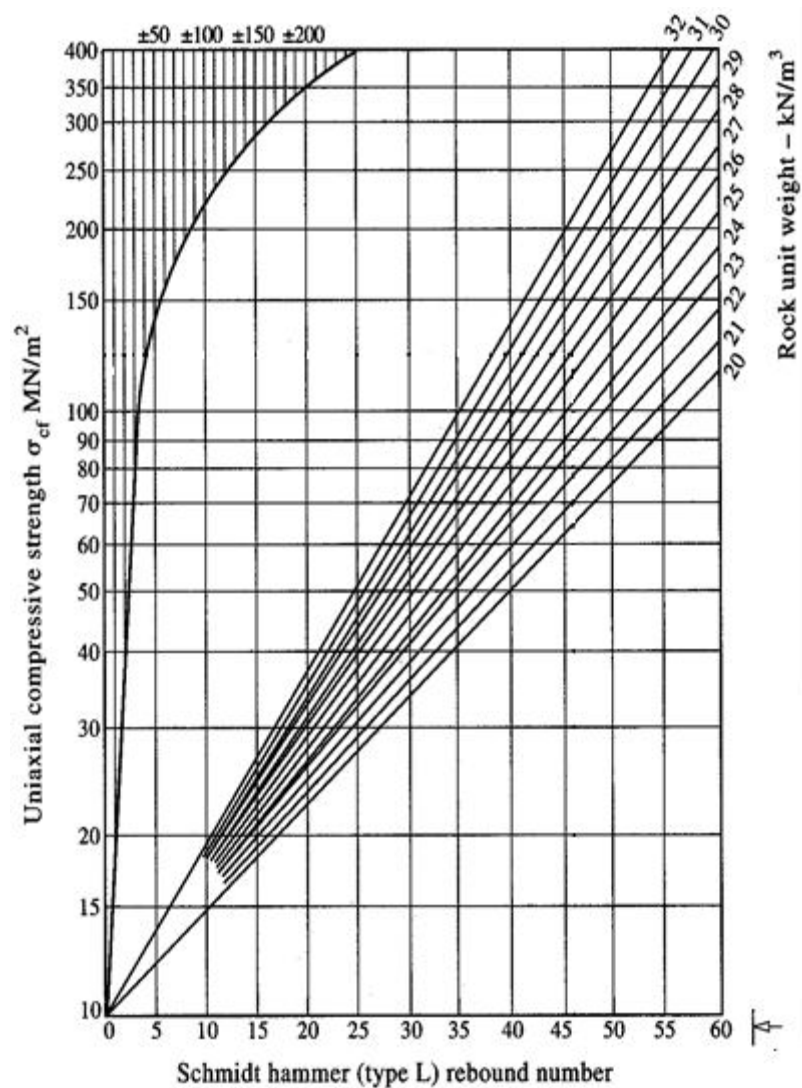


Figura 46 - Grafico di conversione dei valori di rimbalzo ottenuti con lo sclerometro, in valori di compressione uniassiale.

La stima del JRC per ciascuna famiglia di giunti viene effettuata attraverso l'analisi di tutte le superfici di discontinuità esposte con chiarezza e il loro successivo confronto con i profili della figura seguente, in seguito è stato scelto un profilo che fosse mediamente rappresentativo.

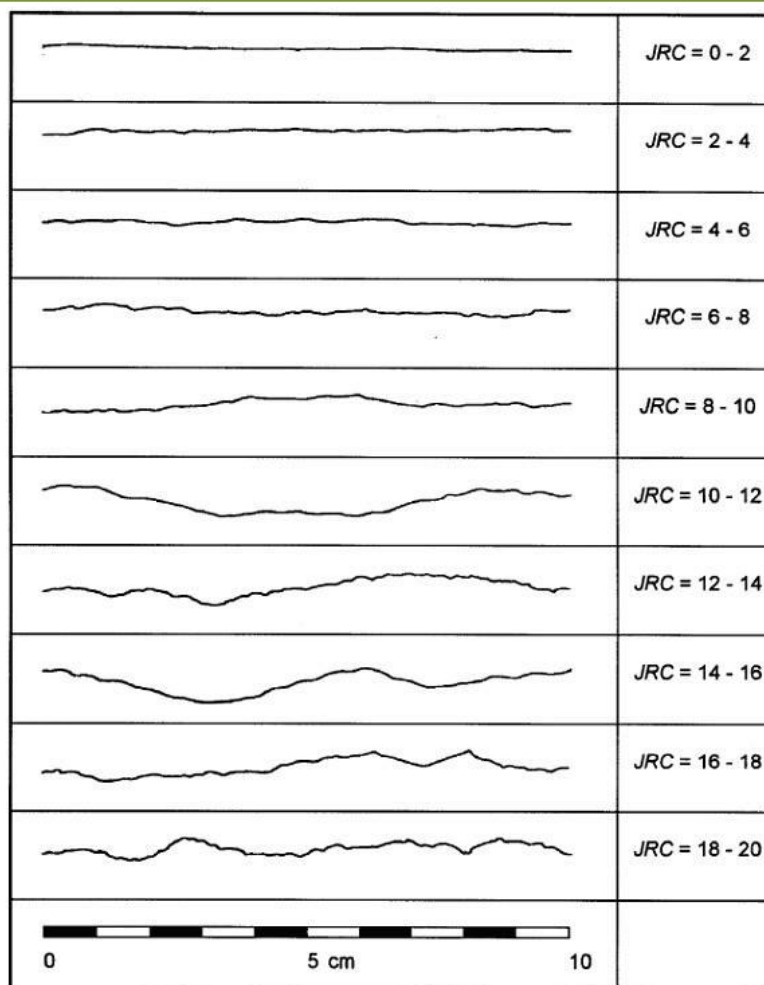


Figura 47 - Profili di ruvidità e valori corrispondenti del parametro JRC, Barton e Choubey (1977).

Maggiore è l'alterazione della superficie del giunto, minore sarà il valore di JRC e di JCS, e sarà quindi minore anche la resistenza al taglio che si sviluppa sulla discontinuità a parità di sforzo normale agente sulla stessa. L'angolo di dilatanza è inversamente proporzionale allo stato di sforzo normale agente sulla discontinuità; sulla base dello sforzo agente sui singoli cunei instabili si può calcolare l'angolo di attrito di picco mediante la seguente relazione:

$$\varphi_p = \varphi_b + JRC \times \log \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right)$$

φ_p = angolo di attrito di picco della discontinuità

La scelta del valore dell'angolo di attrito di base (φ_b), parametro poco variabile anche per litotipi molto diversi, è stata effettuata utilizzando i valori disponibili in bibliografia, in quanto sperimentalmente andrebbe misurato mediante prova di taglio semplice su superfici lisce e levigate.

Tabella 3: Angolo di attrito di base per le oficalci, da Barton 1976.

Litotipo	Angolo di attrito di base
Metaoficalce	30°

7.1.3 Criterio di Rottura di Hoek e Brown (2002)

Il criterio di rottura generalizzato Hoek & Brown assume che ammassi rocciosi fratturati giungano in condizioni di rottura per

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

dove :

- σ_1' e σ_3' = sforzi efficaci, rispettivamente maggiore e minore, nel materiale alla rottura;
- m_b = costante caratteristica dell'ammasso roccioso, riduzione della costante del materiale;
- s e a = costanti che dipendono dalle caratteristiche di fratturazione e dalle condizioni di discontinuità dell'ammasso roccioso;
- σ_{ci} = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

Gli sforzi normali e di taglio sono definiti dalle equazioni:

$$\sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \cdot \frac{d\sigma_1'/d\sigma_3' - 1}{d\sigma_1'/d\sigma_3' + 1}$$

$$\tau = (\sigma_1' - \sigma_3') \frac{\sqrt{d\sigma_1'/d\sigma_3'}}{d\sigma_1'/d\sigma_3' + 1}$$

dove:

$$d\sigma_1'/d\sigma_3' = 1 + am_b \left(m_b \sigma_3' / \sigma_{ci} + s \right)^{a-1}$$

Per stimare i parametri di resistenza e deformabilità degli ammassi rocciosi fratturati mediante il criterio di Hoek & Brown occorre conoscere:

- σ_{ci} = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- m_i = costante che dipende dai caratteri petrografici e tessiturali della roccia intatta secondo la Tabella sotto riportata;
- GSI = Geological Strength Index, funzione dalle caratteristiche strutturali dell'ammasso e dalle condizioni delle discontinuità (vedi paragrafo successivo per il relativo calcolo)



Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerate (22)	Sandstone 19 —— Greywacke —— (18)	Siltstone 9	Claystone 4
	Non-Clastic	Organic	—— Chalk —— 7 —— Coal —— (8-21)			
		Carbonate	Breccia (20)	Sparitic Limestone (10)	Micritic Limestone 8	
		Chemical	Gypstone 16		Anhydrite 13	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9	Hornfels (19)	Quartzite 24	
	Slightly foliated		Migmatite (30)	Amphibolite 25 - 31	Mylonites (6)	
	Foliated*		Gneiss 33	Schists 4 - 8	Phyllites (10)	Slate 9
IGNEOUS	Light		Granite 33		Rhyolite (16)	Obsidian (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
	Dark		Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalt (17)	
			Norite 22			
	Extrusive pyroclastic type		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)	

Figura 48. Valori della costante m_i proposti da Hoek & Brown (2002)

I parametri m_b , s e a sono calcolati mediante le relazioni:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right); \quad s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right); \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

Nelle quali D , "fattore di disturbo" dell'ammasso roccioso, rappresenta il degrado o detensionamento a seguito di scavi meccanici o del rilascio di stress tensionali, variabile da $D = 0$ per pendii non disturbati a $D = 1$ nel caso peggiore.

I valori equivalenti di resistenza a compressione monoassiale e resistenza a trazione dell'ammasso roccioso sono calcolati ponendo $\sigma_3 = 0$, per cui si ha:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a; \quad \sigma_t = -\frac{s \sigma_{ci}}{m_b}$$

dove σ_c : resistenza a compressione monoassiale e σ_t : resistenza a trazione.

Hoek propone inoltre il concetto di resistenza globale dell'ammasso roccioso, cioè un parametro che non individui solo il limite di rottura del materiale, ma che dia una resistenza globale dello stesso.

La "resistenza globale dell'ammasso roccioso" σ_{cm} è calcolata con l'espressione:

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

Dalla relazione non-lineare di Hoek e Brown si ottengono coppie di valori σ'_3, σ'_1 che definiscono lo stato tensionale a rottura. Questi possono essere rappresentati su diagramma σ'_1 - σ'_3 e linearizzati in uno specifico campo di pressione di confinamento $\sigma'_1 < \sigma'_3 < \sigma'_{3max}$.

Dal diagramma τ' - σ'_n , secondo il criterio lineare Mohr-Coulomb,

$$\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$$

si ottengono i parametri equivalenti di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso:

- c' = coesione apparente;
- ϕ' = angolo di resistenza al taglio.

Il valore massimo di sforzo principale minore (σ'_{3max}) delimita il campo di validità della relazione tra criterio Hoek-Brown e criterio lineare Mohr-Coulomb e dei parametri di resistenza equivalenti c' e ϕ' che da questa si ricavano σ'_{3max} è funzione del problema specifico.

Nell'applicare il metodo a pendii di altezza H gli autori suggeriscono la relazione:

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \cdot \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma \cdot H} \right)^{-0.91}$$

Il modulo di elasticità dell'ammasso roccioso E_m è calcolato dall'espressione

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma'_{ci}}{100} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}} \quad \text{se } \sigma_{ci} \leq 100 \text{ MPa}$$

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad \text{se } \sigma_{ci} > 100 \text{ MPa}$$



7.2 Rilievi geomeccanici – presentazione dei dati

Nel corso del mese di febbraio 2024 è stato condotto il rilevamento geologico dell'area di cava e sono stati acquisiti i rilievi topografici e geomeccanici. I rilievi topografici sono stati eseguiti integrando rilievi GNSS, rilievi con stazione totale, rilievo con drone finalizzato alla restituzione del modello aerofotogrammetrico e rilievi laser-scanner all'interno delle gallerie.

I modelli digitali delle aree esterne ed interne sono stati utilizzati in ausilio ai rilievi tradizionali per indagare i settori inesplorabili e verificare le misure eseguite mediante i rilievi "di contatto".

In galleria poi sono stati prelevate tre triplette di provini cilindrici da sottoporre a prove di compressione monoassiale per stimare le proprietà meccaniche della roccia.

7.2.1 Rilievi ed elaborazioni - Aree esterne

Nell'area esterna di cava sono stati rilevati i vecchi fronti di coltivazione, inaccessibili in larga parte, mediante misure su modello digitale derivato da processo di restituzione aerofotogrammetrica ("structure from motion" – Agisoft Metashape). In particolare, la nuvola di punti derivante da rilievo laser scanner è stata interrogata utilizzando il software opensource CloudCompare (EDF R&D) (Figura 49/Figura 51). Tale metodologia operativa di rilievo consente di avere informazioni sulle discontinuità per le aree altrimenti non indagabili: sono state rilevate in particolare, integrando le misurazioni con verifiche puntuali di terreno, le principali discontinuità macroscopiche e faglie che sono state poi riportate nella carta geologica dell'area.

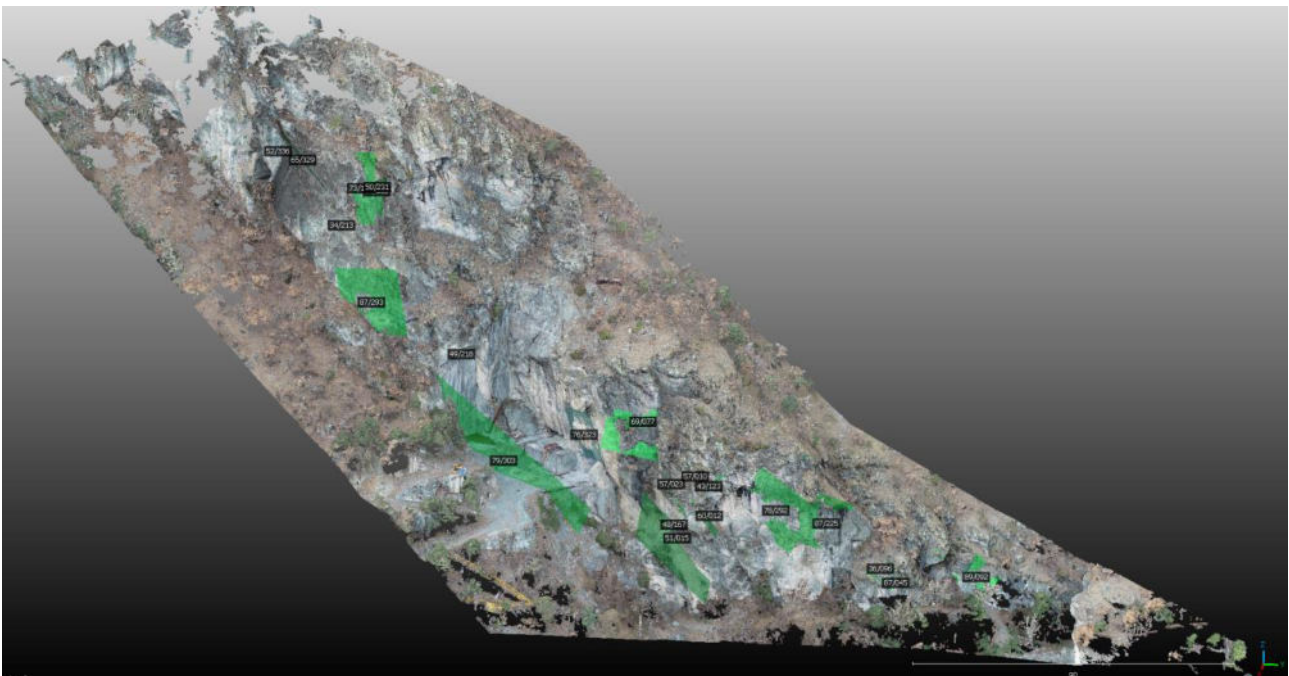


Tabella 4. Rilievo geomeccanico delle principali discontinuità eseguito su modello tridimensionale – aree esterne.

RILIEVO GEOMECCANICO:			DRONE					DATA:	2024.02.16				
QUOTA:			900 - 1000					FRONTE:	-				
LITOTIPO:			Metaoficalciti					Note					
SCISTOSITA':			-										
COORDINATE I. STE:			-										
Progr. (m)	Tipo	IMM. (")	INCL. (")	Sample_R adius	RMS	Gx	Gy	Gz	Cx	Cy	Cz		NOTE
		168"	48"	1.076849	0.020928	391189	5068490	914.051	189.2935	493.5922	914.0511		
		012"	61"	1.588907	0.064321	391189	5068500	917.195	189.0369	503.4476	917.1946		
		225"	88"	2.674014	0.094851	391182	5068540	913.656	181.5613	535.6333	913.6558		
		015"	51"	0.264762	0.006384	391190	5068490	910.24	189.9449	494.6216	910.2399		
		078"	69"	3.485067	0.25343	391182	5068480	941.611	181.9626	483.646	941.6113		
		293"	79"	3.485067	0.118531	391185	5068520	918.191	184.9743	521.6691	918.1909		
		300"	80"	3.379601	0.089182	391177	5068470	934.879	177.3799	466.9375	934.879		
		097"	36"	3.403021	0.092835	391180	5068550	900.555	180.4169	551.0683	900.5551		
		218"	50"	1.514255	0.007732	391167	5068430	952.929	166.7592	431.0014	952.9288		
		294"	88"	0.93986	0.02464	391171	5068410	968.85	171.2498	405.8755	968.8498		
		034"	50"	0.542153	0.013631	391158	5068410	997.239	158.4948	405.5081	997.2389		
		124"	74"	1.876428	0.082272	391159	5068400	998.015	159.0275	401.1766	998.0151		
		232"	50"	0.612575	0.014691	391159	5068410	998.412	158.5026	405.7767	998.4122		
		213"	34"	0.101548	0.398881	391159	5068400	986.653	158.9277	395.902	986.6531		
		330"	65"	0.101548	0.23586	391149	5068380	1001.36	148.5869	383.6724	1001.362		
		337"	53"	0.101548	0.27903	391146	5068380	1002.76	146.4735	376.6059	1002.759		
		300"	78"	0.101548	0.663625	391180	5068440	926.711	179.6991	444.645	926.7109		
		024"	57"	0.101548	0.36359	391188	5068490	925.858	188.3813	492.5956	925.8579		
		011"	57"	0.101548	0.059334	391190	5068500	929.151	189.9047	499.3783	929.1512		
		124"	43"	0.101548	0.203596	391189	5068500	926.048	189.3404	503.1593	926.0475		
		092"	90"	2.23546	0.083427	391166	5068580	893.878	166.1485	576.6693	893.8785		
		046"	87"	2.187776	0.14499	391181	5068560	896.829	181.1598	555.4597	896.8289		
		210"	84"	2.117856	0.162668	391151	5068370	1007.49	151.387	367.2442	1007.486		
		232"	50"	0.591087	0.013886	391145	5068370	994.441	144.6666	373.4101	994.4413		
		248"	85"	1.587491	0.041925	391140	5068330	1023.29	139.7495	329.371	1023.29		
		047"	90"	1.209959	0.021176	391174	5068550	908.485	173.719	545.3059	908.4851		
		069"	75"	1.470712	0.120635	391170	5068570	901.64	170.082	566.4548	901.6399		
		239"	88"	1.379799	0.093207	391180	5068530	931.295	179.8551	529.0465	931.2952		
Gx = Grande trasl x Gy = Grande trasl x Gz = Grande trasl x Cx = coord x centro misura Cy = coord y centro misura Cz = coord z centro misura													

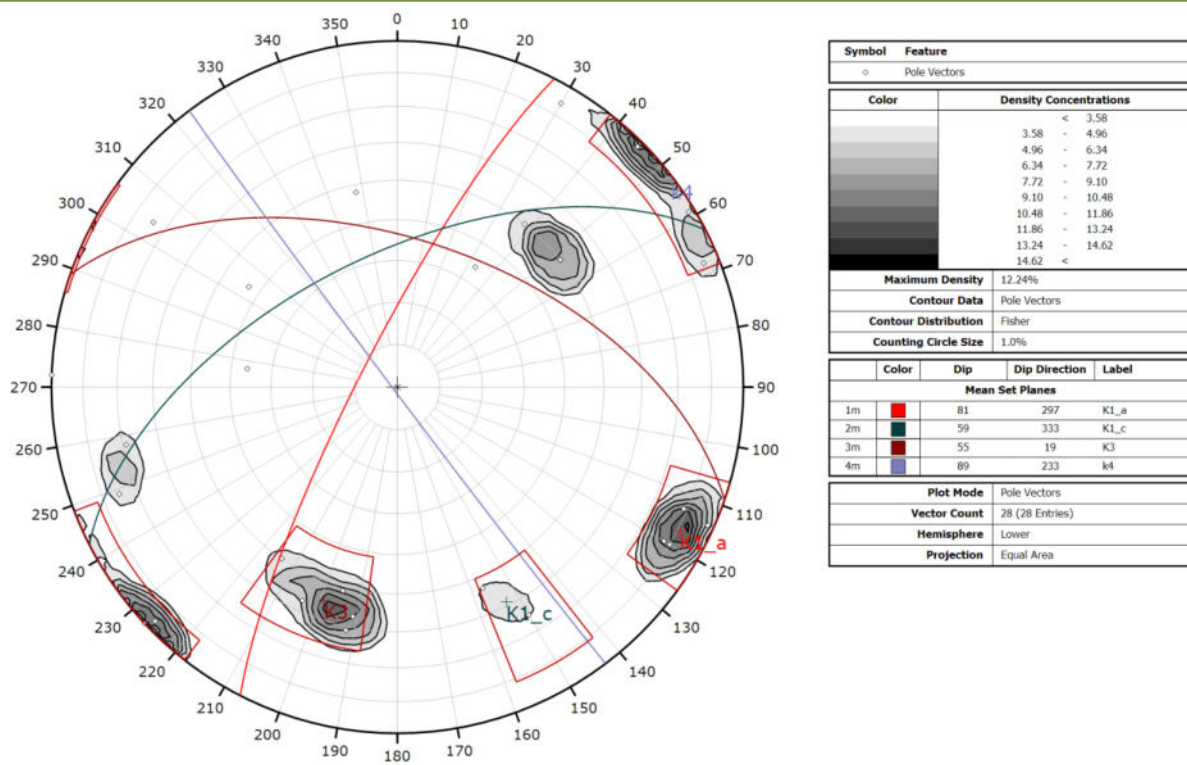


Figura 50. Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sulle pareti e i fronti esterni.

Tabella 5. Tabella riassuntiva sistemi di discontinuità rilevate nelle aree esterne.

Famiglia	Inclinazione	Immersione
K1_a	81°	297°
K1_c	59°	333°
K3	55°	19°
K4	89°	233°

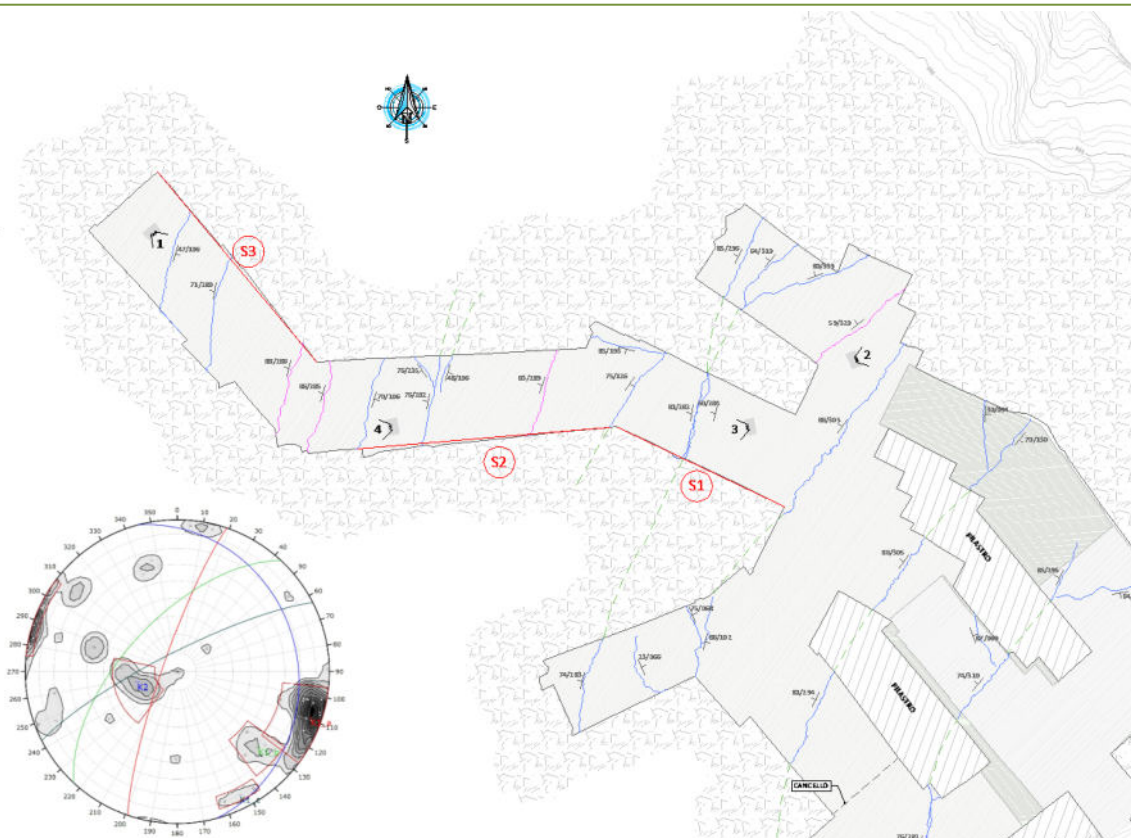


Figura 52. Localizzazione degli stendimenti geomeccanici – aree interne.

Tabella 6. Rilievo geomeccanico delle principali discontinuità eseguito su modello tridimensionale – aree interne.

RILIEVO GEOMECCANICO: QUOTA: LITOTIPO: SCISTOSITA': COORDINATE I. STE:			LASER						DATA:	2024.02.16				
			921 - 927						FRONTE:	-				
			Metaofalciti											
			-											
-						Note								
Progr. (m)	Tipo	IMM. (°)	INCL. (°)	Aper. (mm)	Per (m)	For.	Rug.	Alt.	Riemp	H ₂ O	Term	Mart.	NOTE	
1	Fa	282°	77°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
1b	Fa	282°	74°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
2b	Fa	055°	45°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
2	Fa	269°	89°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
2c	Fa	108°	89°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
3	Fa	080°	71°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
4	Fa	295°	81°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX	32		
5	Fa	103°	87°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
5b	Fa	068°	75°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
6	Fa	066°	23°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX	23		
7	Fa	283°	74°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	X-R			
8	Fa	305°	87°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
T1	j	321°	60°	Ac	>20	s	R	-	B/G	\	XX			
10	Fa	310°	64°	Ap	>20	p	R	-	B/G	S	XX			
10b	Fa	340°	80°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
9	Fa	296°	85°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
9b	Fa	161°	57°	Ap	>20	p	R	-	B/G	S	XX			
9c	Fa	001°	48°	Ap	>20	p	R	-	B/G	S	XX			
9d	Fa	311°	51°	Ap	>20	p	R	-	B/G	S	XX			
11	Fa	283°	81°	Ap	>20	p	R	-	B/G	S	XX			
11b	Fa	285°	60°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
12	Fa	127°	76°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
12b	Fa	054°	14°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
12c	Fa	185°	86°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
12d	Fa	194°	86°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
T2	j	290°	83°	Ac	>20	s	R	-	B/G	\	XX			
15	Fa	282°	76°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
13	Fa	106°	48°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
14	Fa	236°	77°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
16	Fa	106°	70°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
T3	j	286°	87°	Ac	>20	s	R	-	B/G	\	XX			
T4	j	287°	88°	Ac	>20	s	R	-	B/G	\	XX			
17	Fa	281°	86°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
18	Fa	106°	47°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
19	Fa	311°	74°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
20	Fa	306°	87°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX	21		
21	Fa	069°	87°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
22	Fa	296°	85°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
23	Fa	167°	64°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
24	Fa	062°	19°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
25	Fa	130°	71°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
26	Fa	232°	20°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
27	Fa	303°	01°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
28	Fa	327°	81°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
29	Fa	083°	28°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
30	Fa	290°	79°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
31	Fa	094°	30°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX			
J - giunto			Ch<0,5		S - seg.		R - rug.	F - fresc	\ - ass	\ - ass	X - fuori			
S - strat.			Ac 0,5-10		O - ond.		U - lisc	S - scol.	Ar - arg.	U - umida	R - roccia			
Sc - scist.			Ap>1		P - plan.		Le - levig.	O - ox	G - gouge	S - stillicid.	D - disc.			
Fa - faglia								De - decomp.	B - breccia	V - venute				
V - vena								Di - disgreg.	C - cement.					
L - limite								R - ricrist.						

Tabella 8. Rilievo geomeccanico S2.

RILIEVO GEOMECCANICO:			S2					DATA:	2024.02.16				
QUOTA:			927					FRONTE:	Piedritto SW				
LITO TIPO:			Metaoficalciti					Note	Per le discontinuità chiuse non è stato possibile rilevare la giacitura				
SCISTOSITA':			-										
COORDINATE I. STE:			Vedi carta										
Progr. (m)	Tipo	IMM. (")	INCL. (")	Aper. (mm)	Per (m)	For.	Rug.	Alt.	Riemp	H ₂ O	Term	Mar.	NOTE
0.00	Fa	127"	76"	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX		Faglia #12
9.50	j	290"	83"	Ac	>20	s	R	-	-	\	XX		Faglia #T2
16.40	Fa	106"	70"	Ap	5	s	R	-	B/G	\	XX		Faglia #15 coniug
20.00	Fa	282"	76"	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX		Faglia #15
24.40	Fa	106"	70"	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX		Faglia #16



Tabella 9. Rilievo geomeccanico S3.

RILIEVO GEOMECCANICO:			S3					DATA:	2024.02.16				
QUOTA:			928					FRONTE:	Piedritto NE				
LITO TIPO:			Metaoficalciti					Note	Per le discontinuità chiuse non è stato possibile rilevare la giacitura				
SCISTOSITA':			-										
COORDINATE I. STE:			Vedi carta										
Progr. (m)	Tipo	IMM. (°)	INCL. (°)	Aper. (mm)	Per (m)	For.	Rug.	Alt.	Riemp.	H ₂ O	Term.	Mart.	NOTE
0.00	J	-	-	Ch	5	p	R	-	-	\	XX		
2.20	J	-	-	Ch	4	p	R	-	-	\	XX		
8.40	J	-	-	Ch	3	p	R	-	-	\	XX		
13.90	Fa	281°	86°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX		Faglia #17
18.10	Fa	106°	47°	Ap	>20	p	R	-	B/G	\	XX		Faglia #18
21.30	J	-	-	Ch	3	p	R	-	-	\	XX		

Sulla base dei rilievi, sono state identificate 2 famiglie di discontinuità principali. La famiglia di faglie K1 mostra orientazione variabile: le tre sottofamiglie che la compongono, ad alta inclinazione, mostrano una rotazione della giacitura con valori dispersi tra 82/289 e 80/333. Il sistema K2, meno rappresentato per numerosità, sub orizzontale, è orientato 22/075.

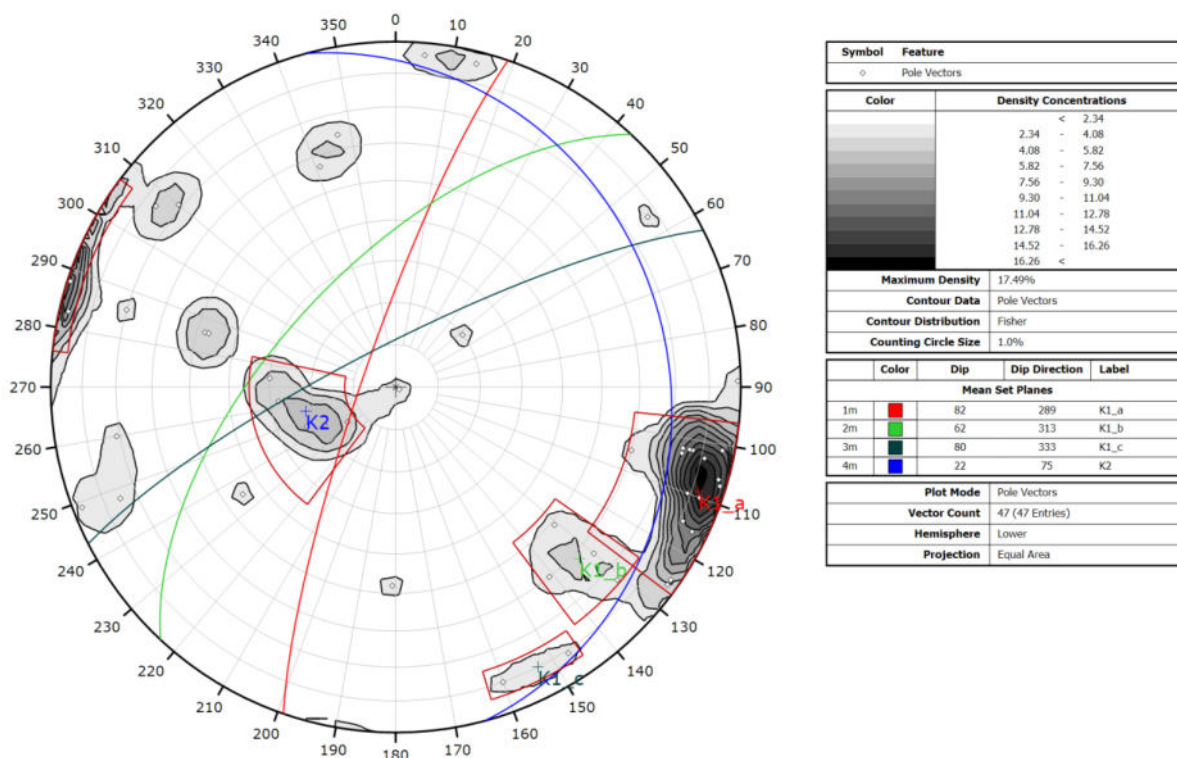


Figura 53. Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate – aree interne.

Tabella 10. Tabella riassuntiva sistemi di discontinuità – aree interne.

Famiglia	Inclinazione	Immersione
K1_a	82°	289°
K1_b	62°	313°
K1_c	80°	333°
K2	22°	75°

I dati di spaziatura mostrano valori decisamente elevati: le macrodiscontinuità hanno spaziatura decametrica, mentre i giunti chiusi e accostati, distribuiti casualmente, mostrano spaziature medie superiori a 4 metri.

Le faglie rilevate hanno persistenze notevoli, con terminazione quasi sempre al di fuori della galleria: Interpolando le tracce tra le varie gallerie è possibile seguire la medesima discontinuità da un estremo all'altro della cava. Generalmente, la persistenza del sistema K1 è sempre superiore a 20 m.

Le misure sclerometriche con martello di Schmidt eseguite sulla roccia intatta e sulle superfici di discontinuità mostrano una distribuzione di valori bimodale: la roccia intatta mostra valori di RL pari a 52, mentre le discontinuità hanno valor medio pari a 18. Diagrammando i dati si ottiene un valore di resistenza a compressione monoassiale pari a 150 Mpa per la roccia intatta e 28 Mpa per le discontinuità.

La posizione delle misure eseguite in galleria è indicata in Figura 54, i dati misurati sono riportati in Tabella 11 e Tabella 12, mentre la stima del valor di UCS è indicata in figura Figura 55.

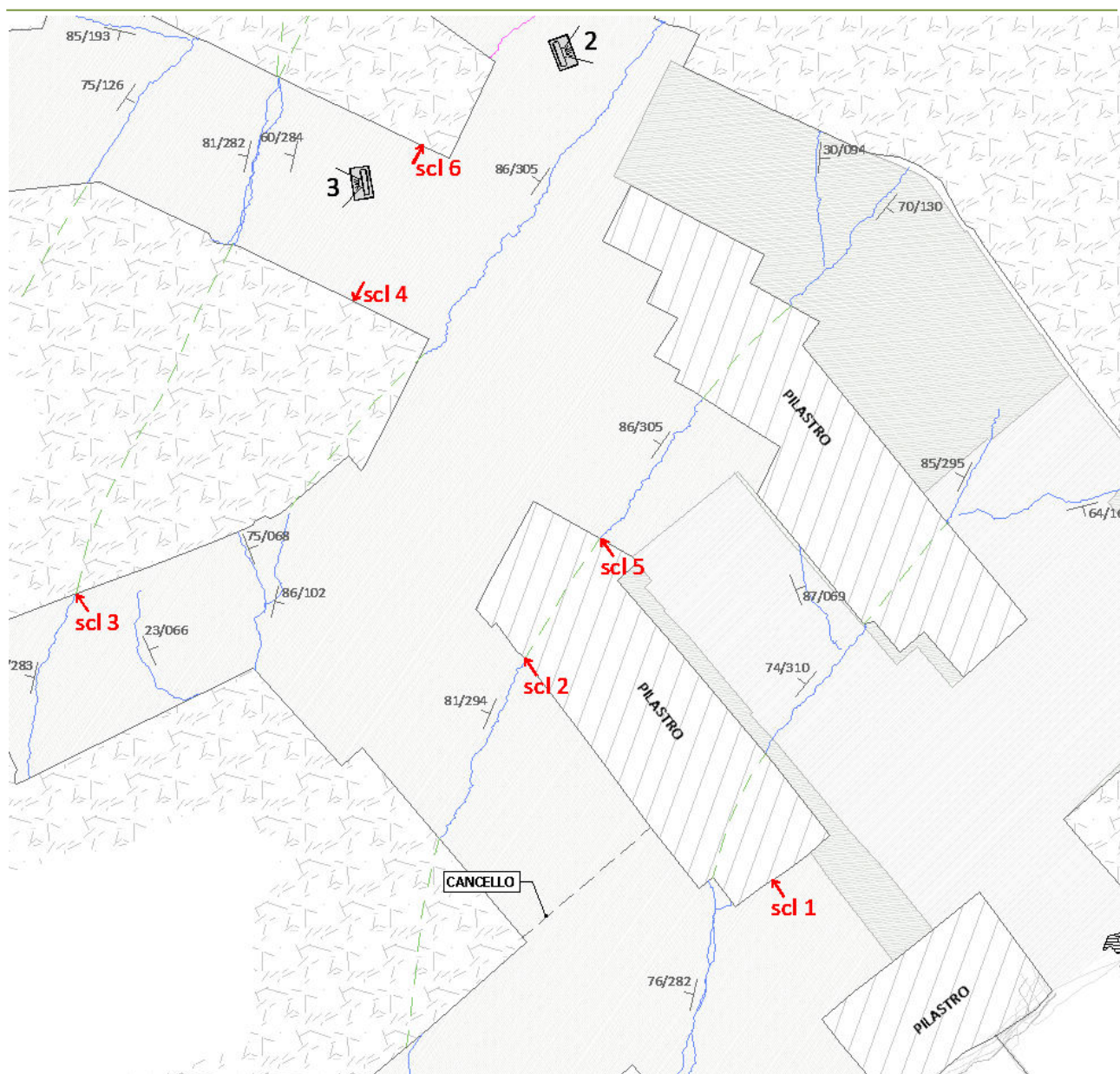


Figura 54. Posizioni delle prove sclerometriche eseguite in galleria.

Tabella 11. Valori di rimbalzo misurati, medi e corretti per roccia intatta.

ROCCIA INTATTA	BATTUTE										media	RL Basu 2005
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
scl 1	66	64	63	66	62	62	67	62	65	62	64	54
scl 4	52	50	54	60	62	58	58	56	50	64	56	47
scl 6	66	68	66	64	68	58	60	66	64	66	65	55
												52

Tabella 12. Valori di rimbalzo misurati, medi e corretti per roccia discontinuità.

DISCONTINUITA'	BATTUTE										media	RL Basu 2005
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
scl 2	32	34	30	28	26	25	40	40	25	40	32	24
scl 3	18	35	22	15	24	18	28	26	22	22	23	16
scl 5	24	26	18	24	34	18	15	16	15	20	21	14
												18

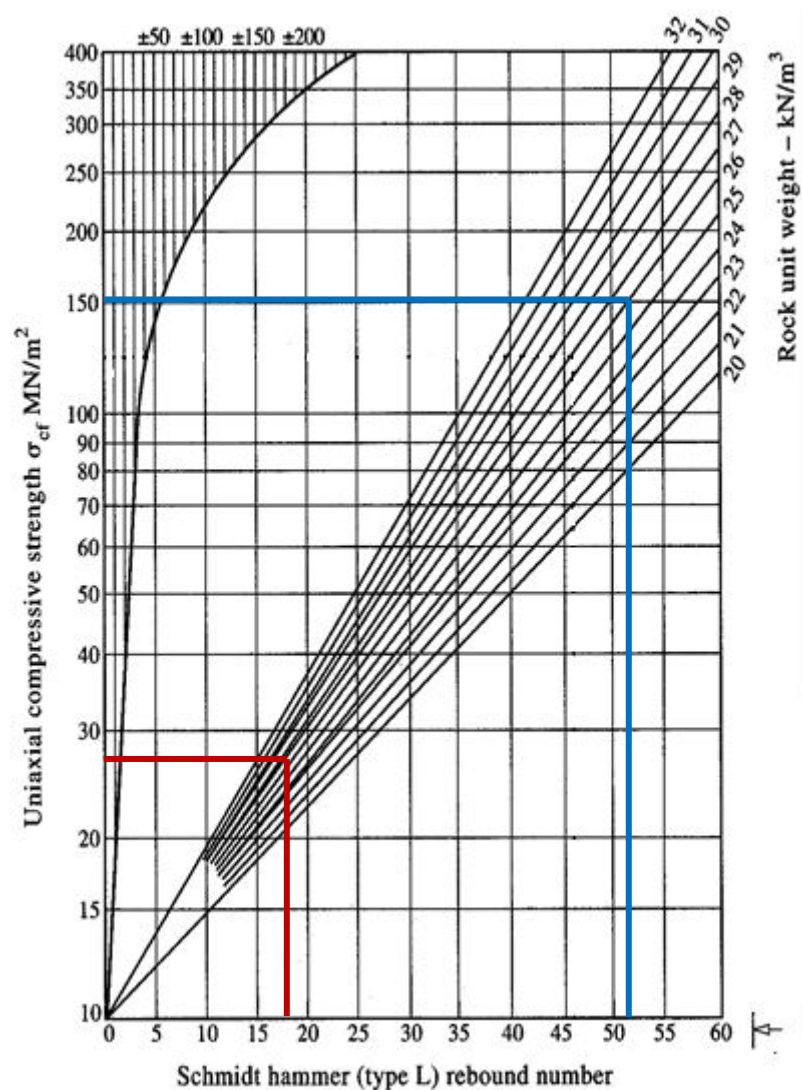


Figura 55. Stima della resistenza a compressione da prove sclerometriche (blu: roccia intatta; rosso: discontinuità).



Durante il rilevamento è stata effettuata per ogni discontinuità rilevata una valutazione visiva della rugosità. Dall'osservazione si evince che tutti i sistemi di discontinuità si presentano mediamente planari alla scala metrica, ondulati a quella plurimetrica, con superfici della discontinuità caratterizzate da lievi asperità che le rendono rugose.

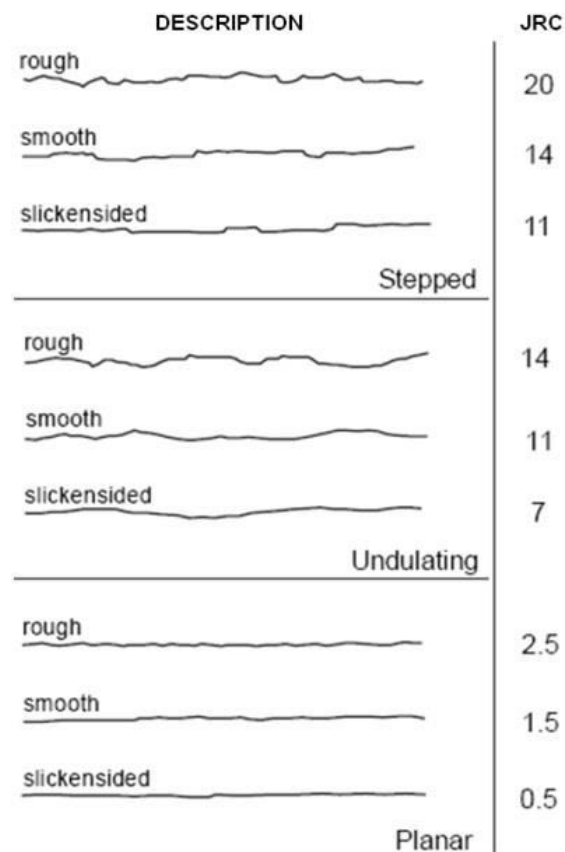
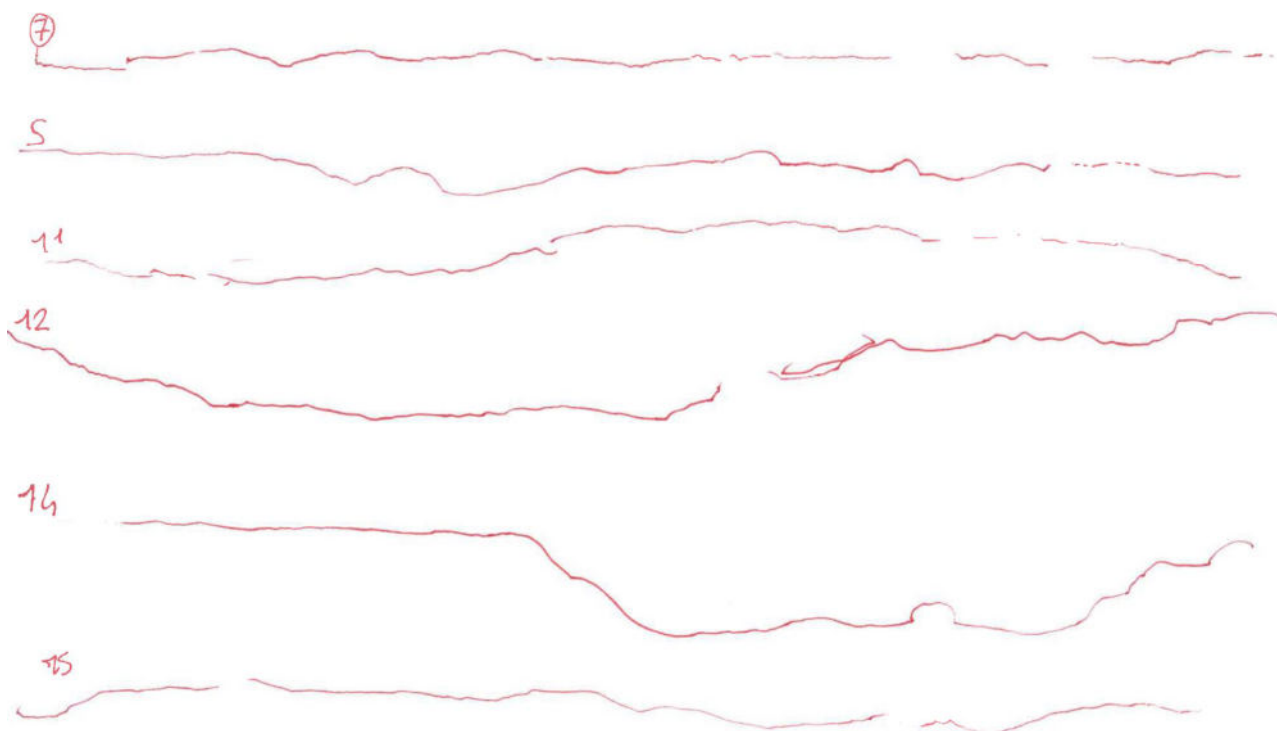


Figura 56: Grafico di Barton per la valutazione dei profili di scabrezza delle superfici delle discontinuità

Da un raffronto visivo tra la figura precedente e le discontinuità rilevate per tutti i sistemi possiamo classificarle come Undulating Rough, JRC=14.

Si è proceduto durante il rilevamento alla misura, secondo la linea di massima pendenza, della rugosità delle superfici dei giunti, mediante l'utilizzo del pettine di Barton, su alcune superfici di discontinuità diversamente orientate. Nelle seguenti figure a titolo esemplificativo sono presentati alcuni dei profili di rugosità così come sono stati rilevati.



L'analisi dei profili conferma i risultati delle stime visuali effettuate durante il rilevamento, si conferma quindi il valore di JRC di 14 - 18 da assegnare alle discontinuità.

In favore di sicurezza e al fine di tenere conto della variabilità naturale delle superfici delle discontinuità, e della consistente apertura e presenza di riempimento si utilizzerà nei calcoli il valore di JRC = 10.

7.2.2.2 Prove di laboratorio

Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche della roccia sono stati prelevati no. 10 provini cilindrici: 7 di essi con orientazione verticale (prelevati sul pavimento) e 3 di essi con orientazione orizzontale (prelevati sui piedritti). La posizione dei campioni è riportata in Figura 57.

I campioni sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- prove di compressione monoassiale (Figura 59);
- determinazione del peso di volume
- misura della velocità delle onde elastiche (Figura 58).

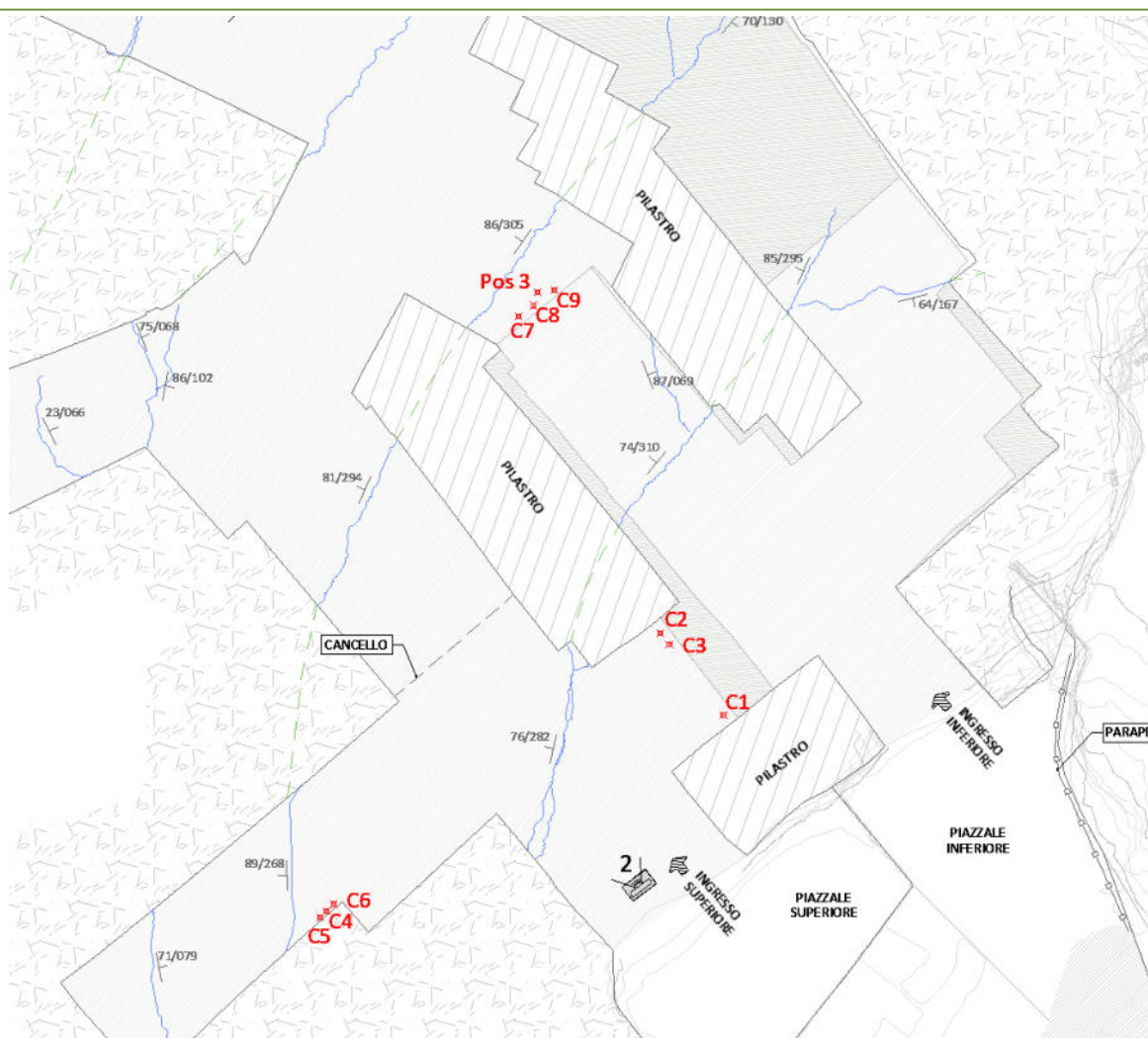


Figura 57. Posizione dei campioni prelevati.



Figura 58. Esecuzione prove di rilevamento della velocità di trasmissione di ultrasuoni.



Figura 59. Esempio di allestimento per le prove di compressione per carico (sx) e provino pre e post rottura (dx).



I dati delle prove eseguite sono riassunti in tabella

Tabella 13. Parametri misurati in laboratorio.

Campione		diametro	altezza	peso	peso volume apparente	UCS	UCS (**)	tempo ultrasuoni	vel onde
		mm	mm	g	g/cm3	kN	MPa	μs	m/s
C1 (*)		73.0	147	1703	2.769	292	69.8	29	5070
C2		73.2	181	2068	2.715	181	43.0	34	5320
C3		73.1	179	2069	2.754	249	59.3	32	5590
C4		73.1	179	2059	2.741	256	61.0	31	5570
C5		73.3	179	2065	2.734	254	60.2	31	5770
C6		73.1	180	2082	2.756	154	36.7	31	5800
C7		73.8	179	2078	2.714	146	34.1	38	4710
C8		73.5	181	2066	2.690	210	49.5	41	4420
C9		73.5	180	2056	2.692	144	33.9	55	3270
posizione 3(*)		73.2	144	1636	2.70	299	71.1	39	3690

Scartando i valori derivanti dai provini C1 e Posizione 3 (per i quali il rapporto di snellezza risulta inferiore a 2.2), il valor medio della resistenza a compressione monoassiale risulta pari a **47 Mpa**. Tale valore risulta decisamente inferiore a quanto ricavato dalle prove sclerometriche: il motivo risiede nel fatto che le prove con martello di Schmidt indagano una porzione limitata della roccia, mentre le prove di laboratorio consentono di incorporare l'effetto scala e pertanto risultano più rappresentative.

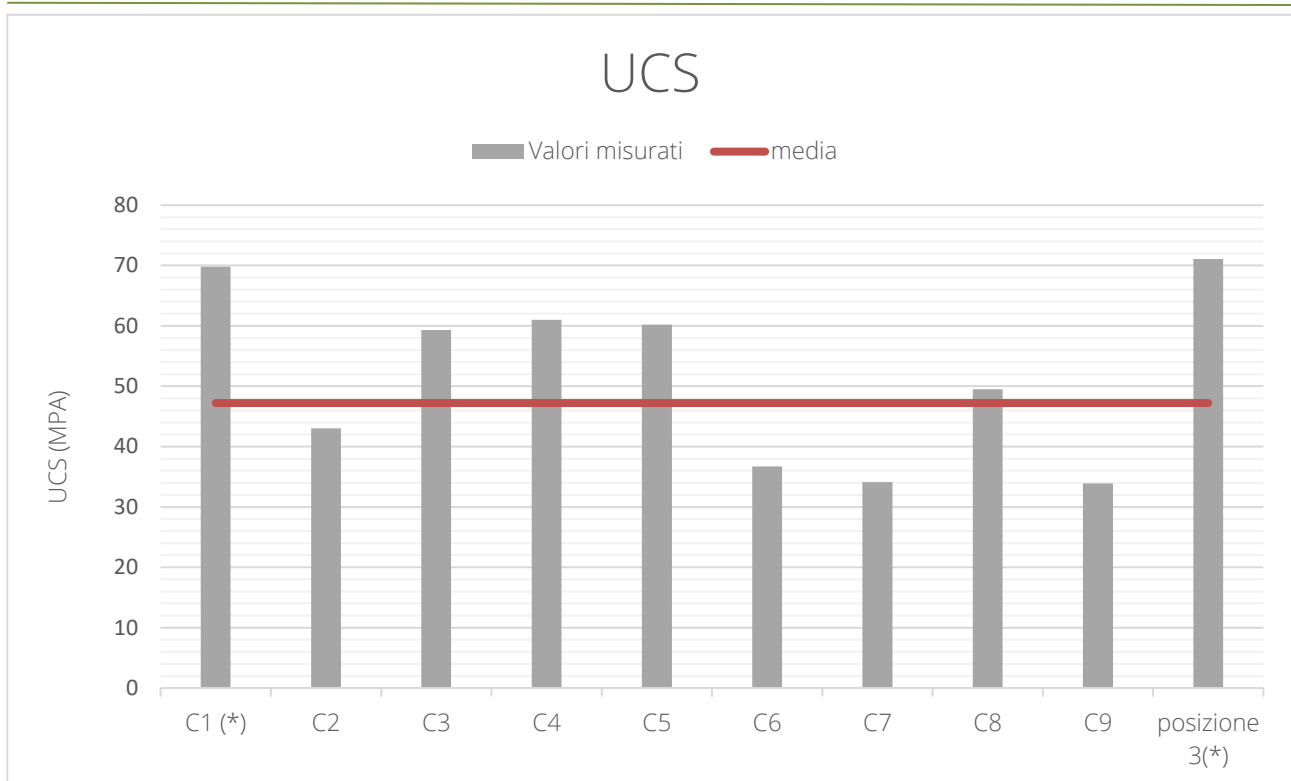


Figura 60. Valori di resistenza a compressione monoassiale per i campioni testati.



7.2.3 Classificazione dell'ammasso roccioso

I rilievi eseguiti all'interno delle gallerie hanno consentito di classificare l'ammasso roccioso in termini di RMR e in termini di GSI.

Secondo il primo metodo di classificazione l'ammasso roccioso è di classe buona, con un punteggio di RMR= RMRc = 73.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	RMRb	RMRc
5	20	20	13	15	0	73	73

Secondo lo schema classificativo di Hoek, 1994 e Hoek et al., 1995, l'ammasso roccioso all'interno delle gallerie è caratterizzato da un'indice GSI compreso tra 60 e 75. Infatti, sono presenti poche discontinuità, ampiamente spaziate, con superfici in condizioni discrete.

Tra le macrodiscontinuità (faglie) invece, l'indice GSI raggiunge valori pari a 90/100. Infatti, i pochi giunti si presentano meno persistenti, chiusi o accostati e asciutti. Nei calcoli di stabilità dei pilastri si utilizzerà un valore di **95**.

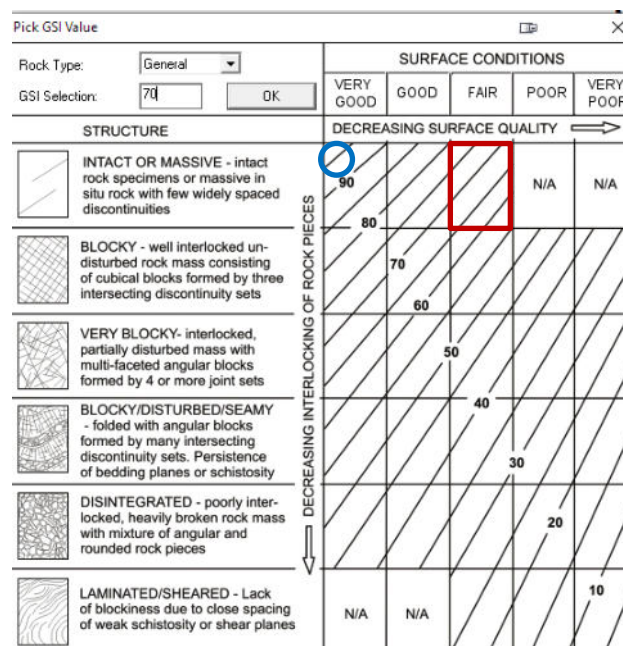


Figura 61. Stima del valore di GSI per l'intero ammasso roccioso (rosso) e per le porzioni comprese tra le faglie (blu).

Sulla base delle classificazioni eseguite, è possibile determinare le seguenti caratteristiche dell'ammasso roccioso:

UCS_{roccia_intatta} = 47 Mpa

GSI = 95

mi = 12

D = 0

Di conseguenza i parametri del criterio di rottura di Hoek e Brown e Mohr Coulomb sono i seguenti:

Hoek – Brown

$M_b = 10.00$ $s = 0.6$ $a = 0.5$

$\sigma_c = -2.7$ Mpa $\sigma_t = 35.6$ Mpa $\sigma'_{cm} = 34.3$ Mpa

Mohr – Coulomb (linearizzato per -165 m)

$C' = 5.7$ Mpa $\varphi' = 0.6$ deg

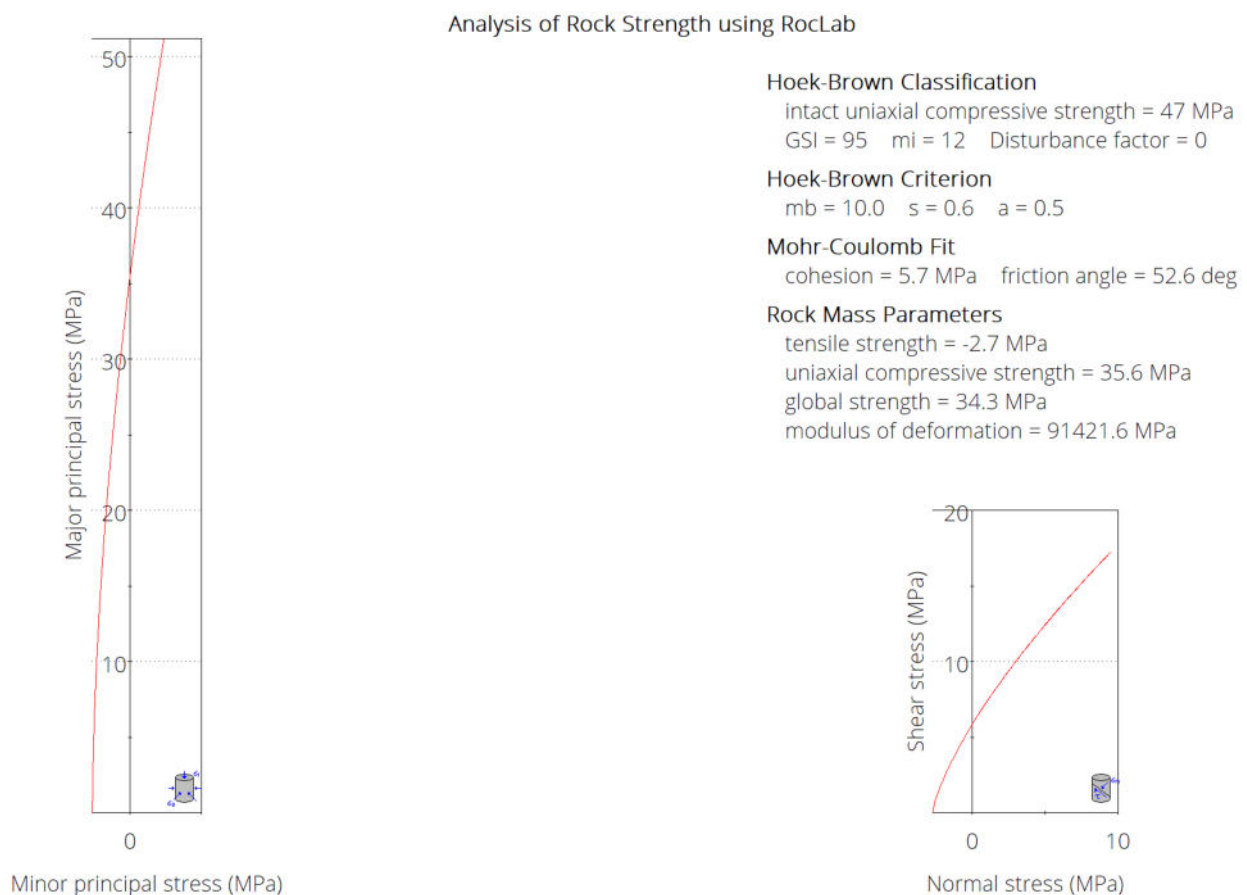


Figura 62. Involuppo di rottura e grafico τ - σ per l'ammasso roccioso esaminato.



8 DATI DELLA STRUTTURA, ZONIZZAZIONE SISMICA, VITA NOMINALE, CLASSE D'USO

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

Si riporta di seguito la classificazione sismica del territorio regionale, redatta ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Valle d'Aosta n. 1603 del 4 ottobre 2013.

Il Comune di Saint Denis (AO) rientra tra le aree classificate in Zona 4.

Regione		VALLE D'AOSTA
Provincia		AOSTA
Comune		Saint Denis
Coordinate Geografiche (WGS84)	Latitudine	45.7541100 N
	Longitudine	7.5548170 E
Altitudine		772 m s.l.m.
Zona sismica		ZONA 4
Tipo di opera	TAB. 2.4.I D.M. 17/01/2018	ORDINARIA
Vita nominale V_N	P.to 2.4.1 D.M. 17/01/2018	50 ANNI
Classe d'uso	P.to 2.4.2 D.M. 17/01/2018	II
Coefficiente d'uso C_U	P.to 2.4.3 D.M. 17/01/2018	1
Periodo di riferimento per azione sismica V_R	P.to 2.4.3 D.M. 17/01/2018	50 ANNI

Tabella 14 – Dati della struttura e zona sismica.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni individuano le azioni sismiche di progetto a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Le NTC2018 definiscono al par. 3.2 la pericolosità sismica in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR. Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

- T_c : valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il calcolo è stato realizzato facendo riferimento ai seguenti parametri:

	T_R [anni]	a_g [m/s ²]	F_0 [-]	T_c [s]
SLO	30	0.274	2.476	0.197
SLD	50	0.341	2.535	0.216
SLV	475	0.722	2.676	0.295
SLC	975	0.889	2.724	0.305

Tabella 15 - Parametri sismici di progettazione.

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche, come anche il comportamento dei fronti di scavo, può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

Nelle analisi si deve tenere conto dei comportamenti di tipo fragile che si manifestano nei terreni a grana fine sovraconsolidati e nei terreni a grana grossa addensati con una riduzione della resistenza al taglio al crescere delle deformazioni. Inoltre si deve tener conto dei possibili incrementi di pressione interstiziale indotti in condizioni sismiche nei terreni saturi. Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \times W$ ed $F_v = k_v \times W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

Per la verifica della stabilità locali dei fronti di scavo in roccia, per tenere conto di meccanismi di rottura di tipo fragile, è stato utilizzato un coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito più elevato rispetto a quello previsto per le verifiche in condizioni residue. In particolare, come previsto dalla circolare esplicativa 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP (Par.) cautelativamente si è adottato un coefficiente pari a:

$\beta_s = 1.00$ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV).



9 VERIFICHE DI STABILITÀ

9.1 Analisi cinematica

L'analisi di stabilità cinematica in galleria è stata eseguita considerando i seguenti parametri:

Direzione galleria (trend/plunge): **049°/00°** oppure **319°/00°**.

$\gamma =$ **27.3 kN/m³**

JRC= **10**

JCS= **28 Mpa**

$\varphi_b =$ **30°**

Waviness = **10°**

Sono state considerate le seguenti famiglie di discontinuità:

Famiglia	Inclinazione	Immersione
K1_a	82°	289°
K1_c	80°	333°
K2	22°	75°

9.1.1 Galleria NE-SW

Sulla base dei dati di input sono individuati tre cunei potenzialmente mobilizzabili, rispettivamente sui due piedritti e in calotta. La dimensione massima dei blocchi in calotta corrisponde ad un blocco con volume pari a 11.7 m³ e un peso pari a 32.2 ton.

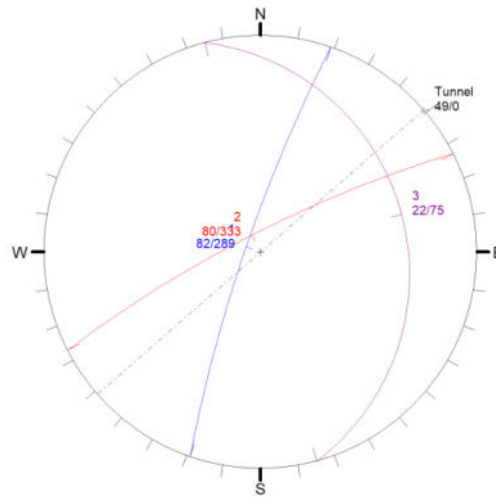


Figura 63. Sistemi di discontinuità considerati - Galleria NE-SW.

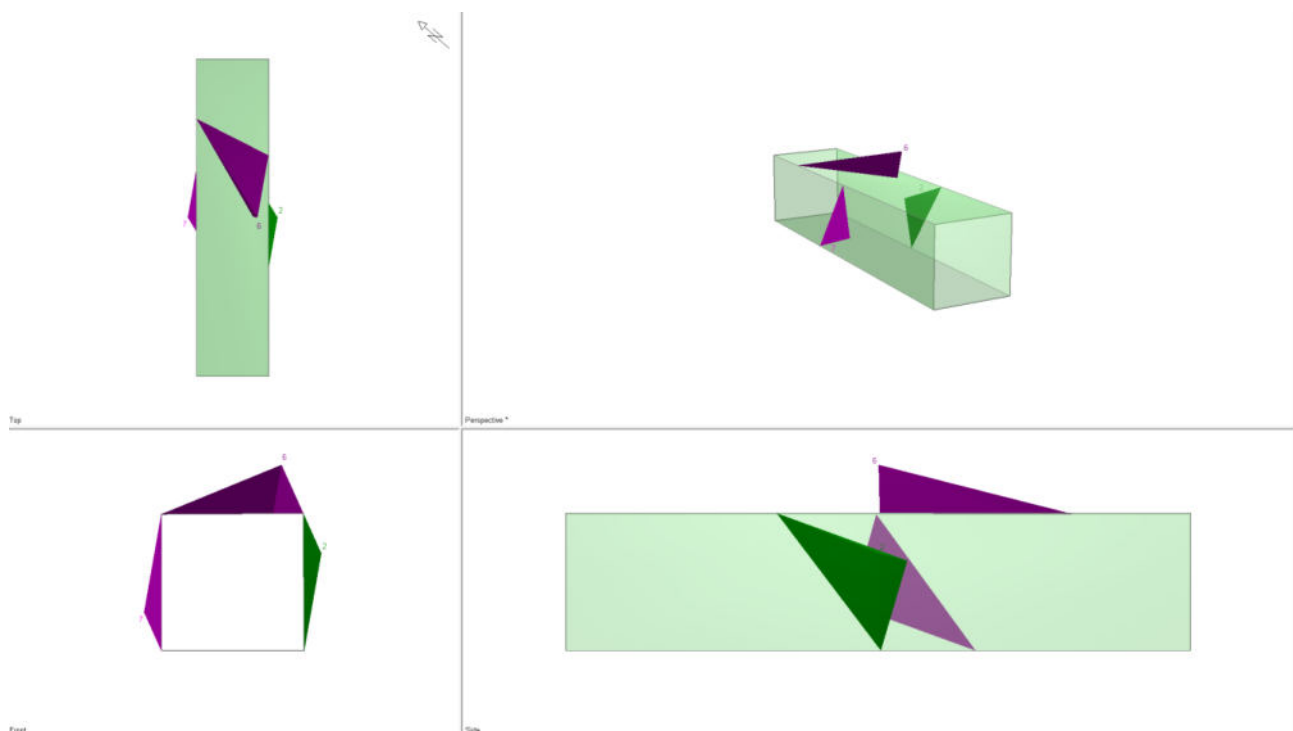


Figura 64. Cunei potenzialmente mobilizzabili - Galleria NE-SW.

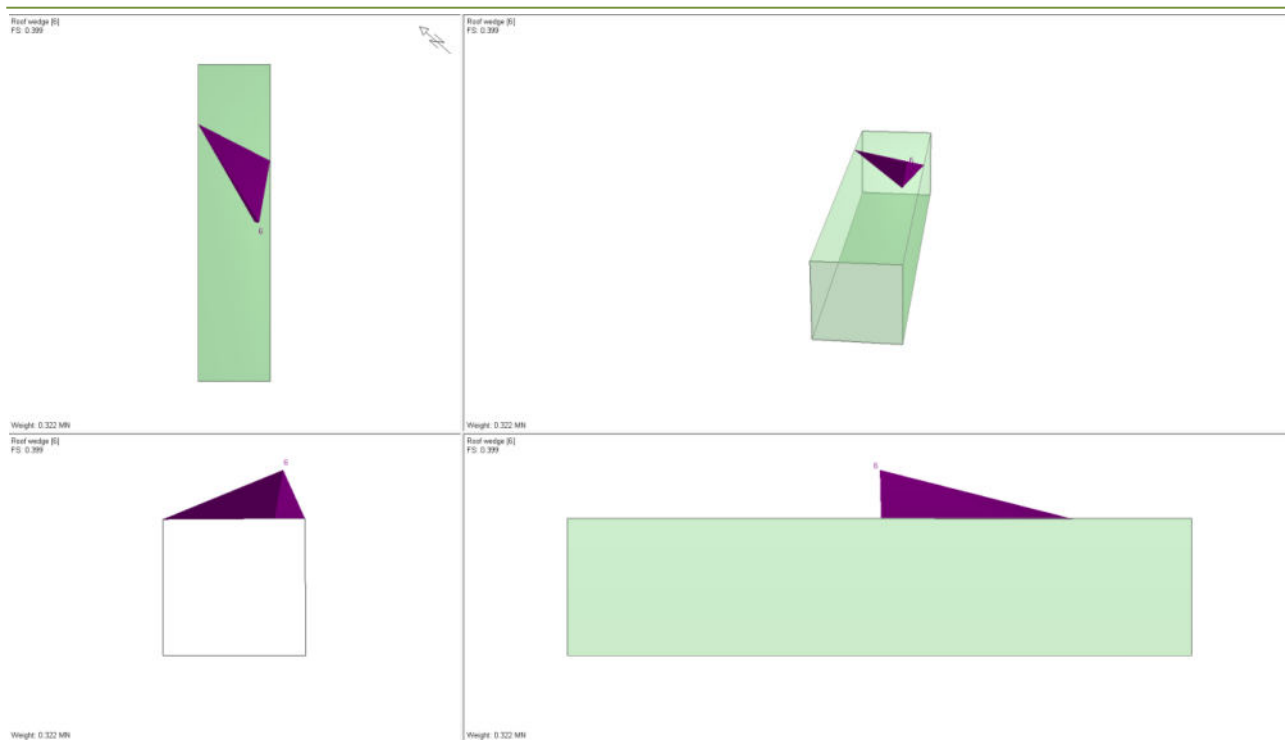


Figura 65. Cuneo su calotta - Galleria NE-SW.

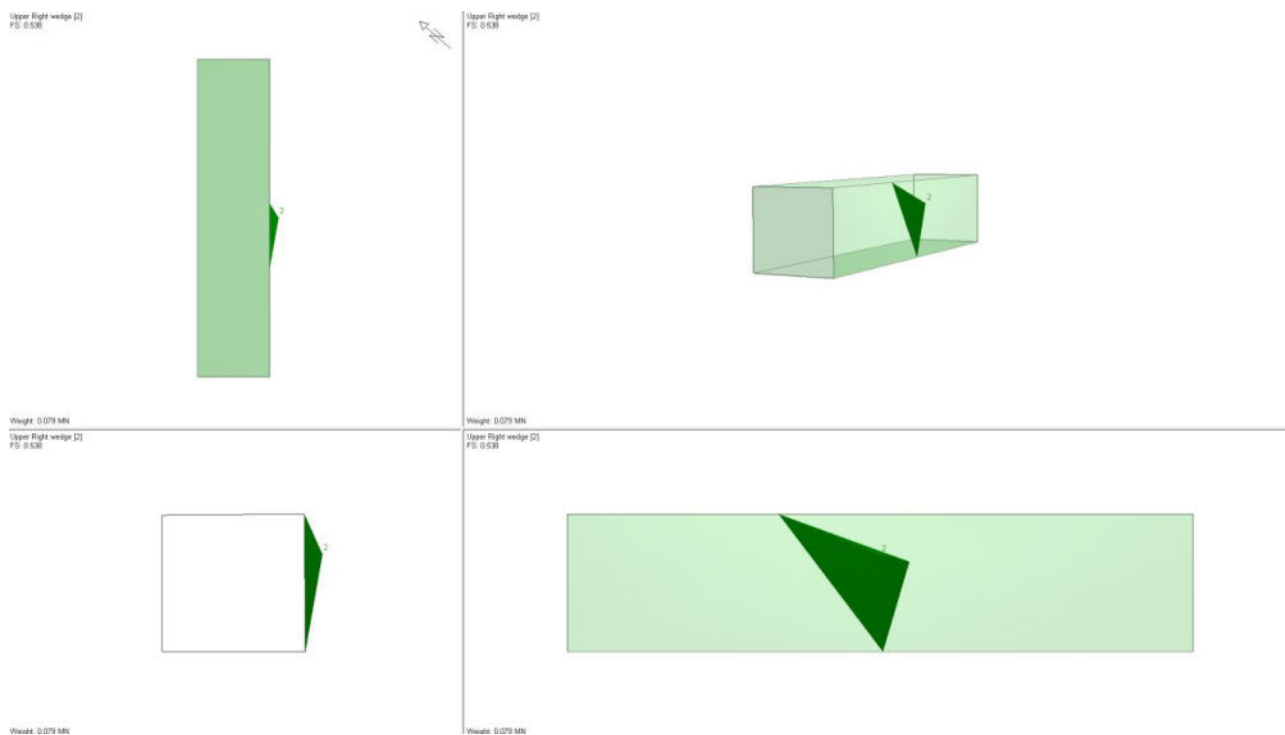


Figura 66. Cuneo su piedritto meridionale - Galleria NE-SW.

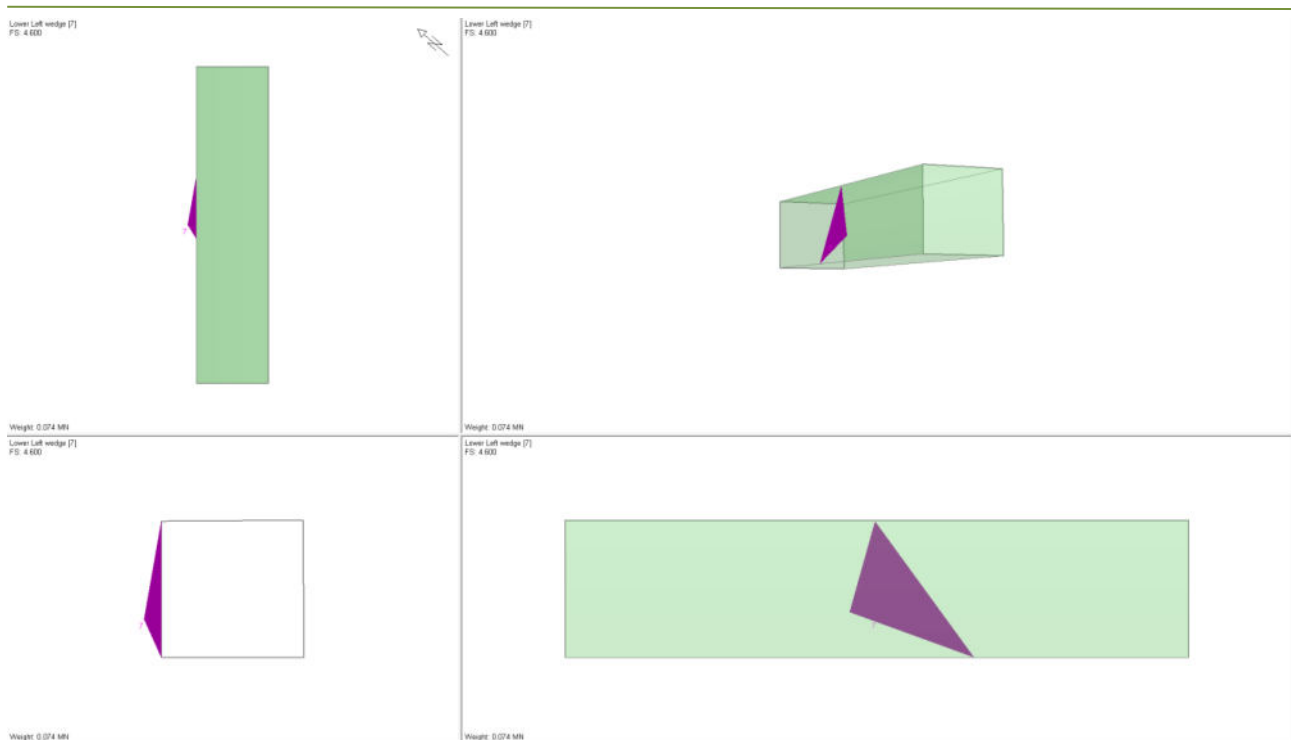


Figura 67. Cuneo su piedritto settentrionale- Galleria NE-SW.



9.1.2 Galleria NW-SE

Sulla base dei dati di input sono individuati tre cunei potenzialmente mobilizzabili, rispettivamente sui due fronti di avanzamento (near-end e far-end) e in calotta. La dimensione massima dei blocchi in calotta corrisponde ad un blocco con volume pari a 5.4 m^3 e un peso pari a 14.8 ton.

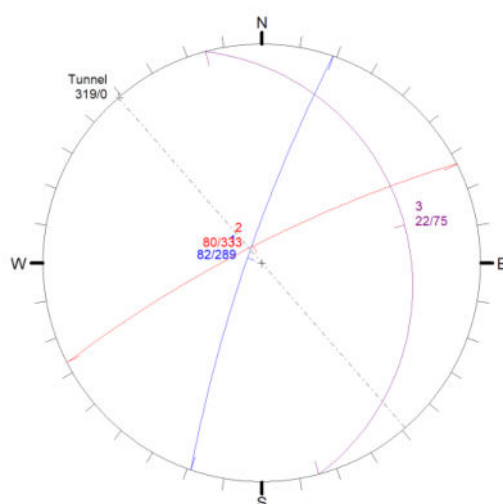


Figura 68. Sistemi di discontinuità considerati - Galleria NW-SE.

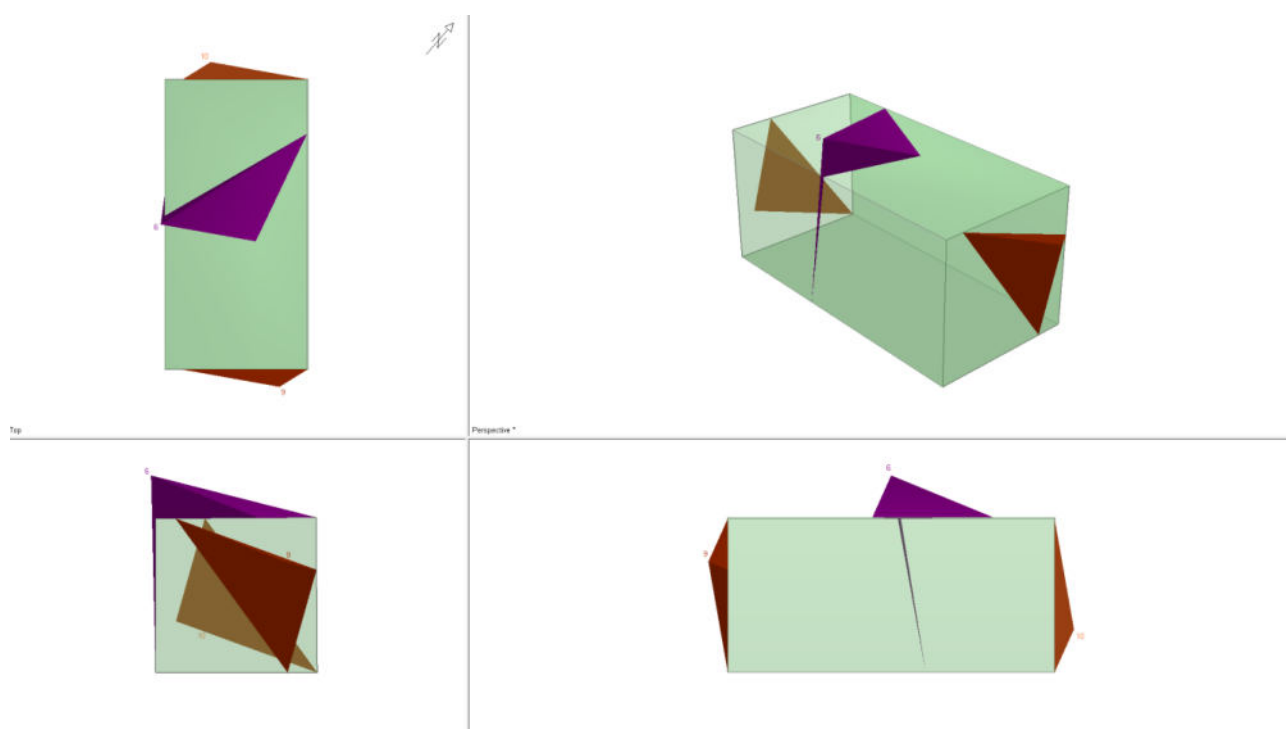


Figura 69. Cunei potenzialmente mobilizzabili - Galleria NW-SE.

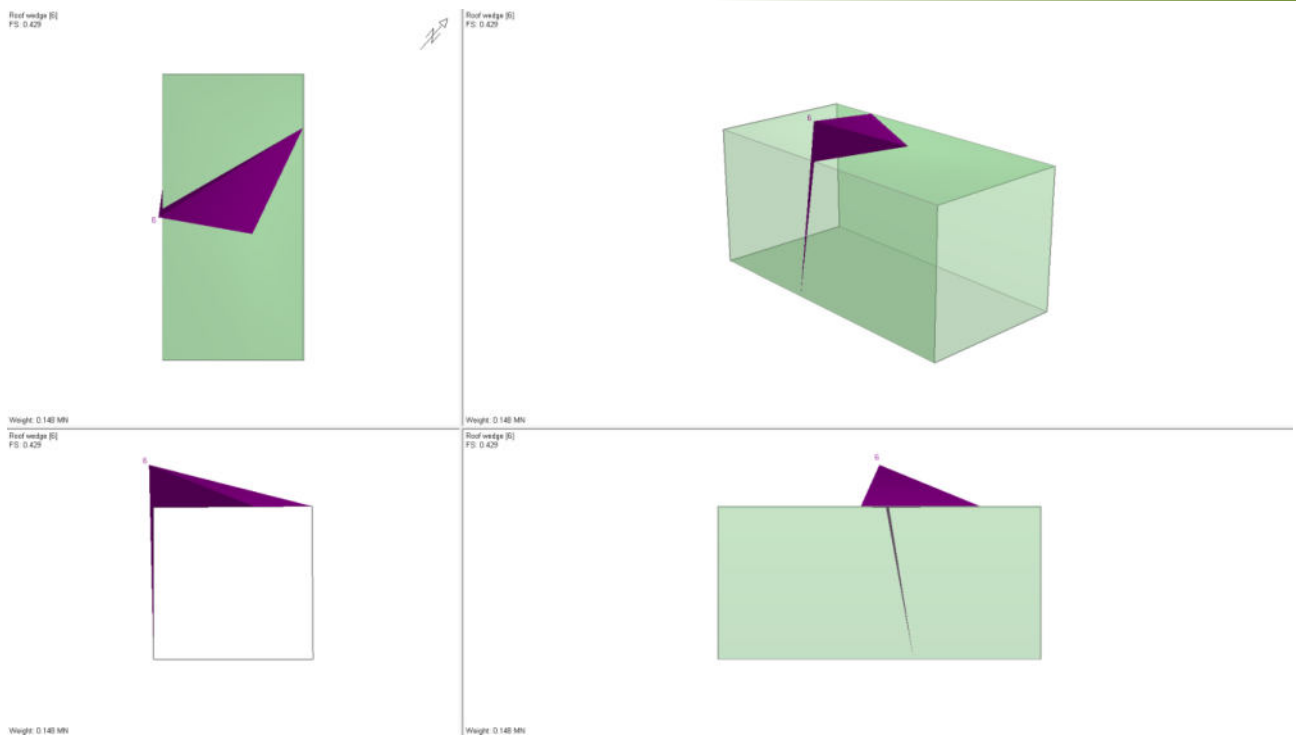


Figura 70. Cuneo su calotta - Galleria NW-SE.

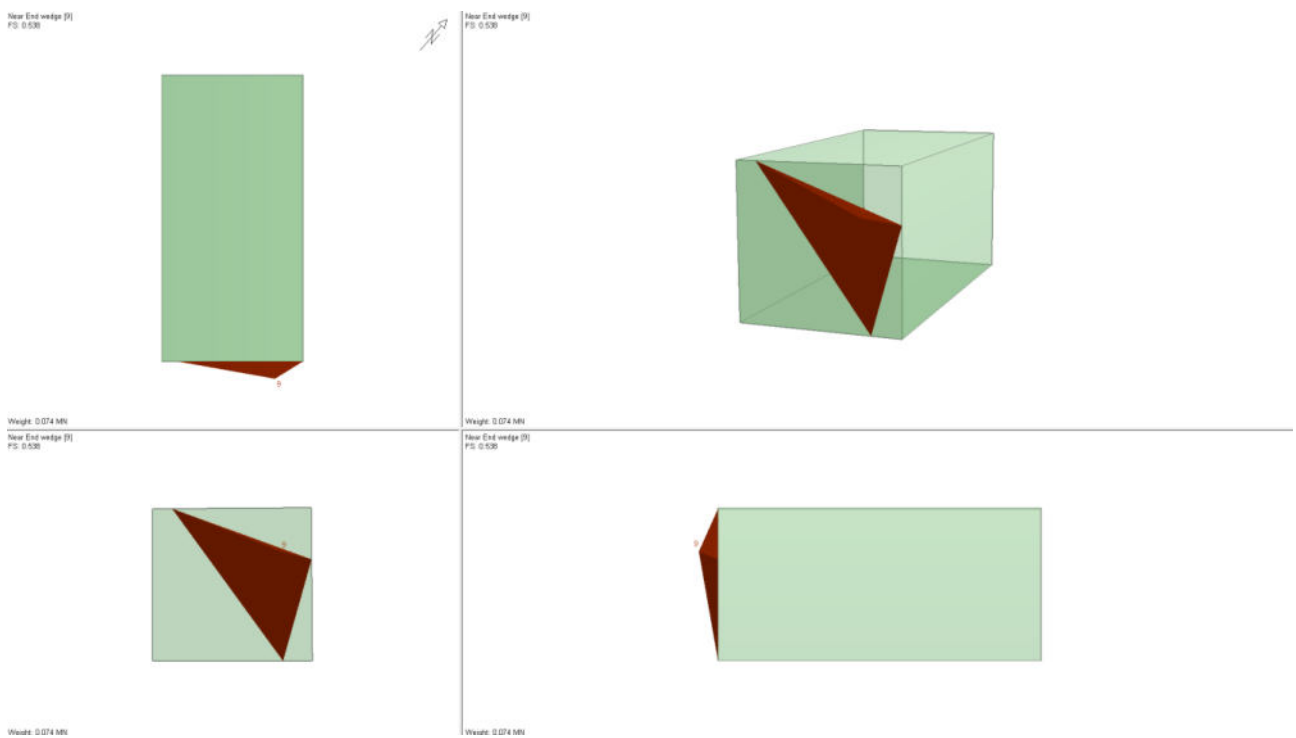


Figura 71. Cuneo su prospetto near-end - Galleria NW-SE.

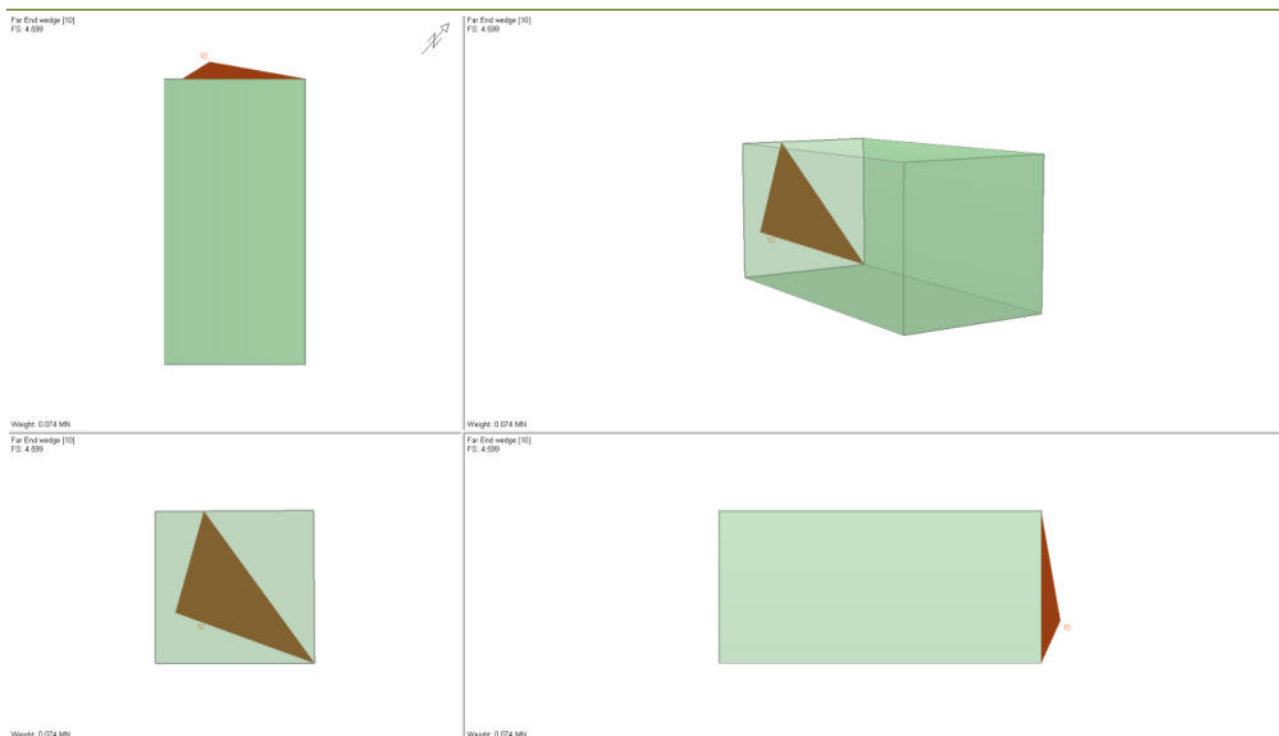


Figura 72. Cuneo su prospetto far-end - Galleria NW-SE.

10 SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI

L'analisi geostrutturale eseguita su modelli digitali del versante ha consentito di identificare le famiglie di discontinuità presenti, di seguito riportate.

Famiglia	Inclinazione	Immersione
K1_a	81°	297°
K1_c	59°	333°
K3	55°	19°
K4	89°	233°

L'analisi cinematica eseguita mediante test di Markland e test di Goodman consente di definire i cinematismi possibili, dipendenti dalla mutua orientazione di discontinuità e versante.

Per l'area di studio i fronti di cava residuali hanno due orientazioni preferenziali:

F1= 76°/323°

F2= 87°/221°

Tali pareti mostrano ottime caratteristiche geomeccaniche, senza fratture visibilmente problematiche dal punto di vista geometrico e cinematico. Le discontinuità su questi fronti, già coltivati come pietra ornamentale e tagliati a filo, hanno scarsissima numerosità. Per questo motivo, per questi due fronti, le analisi cinematiche comunque riportate hanno scarsa significatività.

La parete rocciosa esposta con esposizione NE, al di sopra del fronte coltivato, mostra un maggior grado di fratturazione; il fronte ha la seguente giacitura media:

F3= 65°/062°

Per il fronte F1 sono geometricamente possibili fenomeni di ribaltamento con svincolo a tergo fornito dal sistema K1_c. Lo svincolo laterale potrebbe essere dato dal sistema K4. La mancanza di un piano basale immergente verso SE (a franapoggio rispetto al versante) rende cinematicamente impossibile il fenomeno. Non si rilevano possibili cinematismi di scivolamento planare/a cuneo.

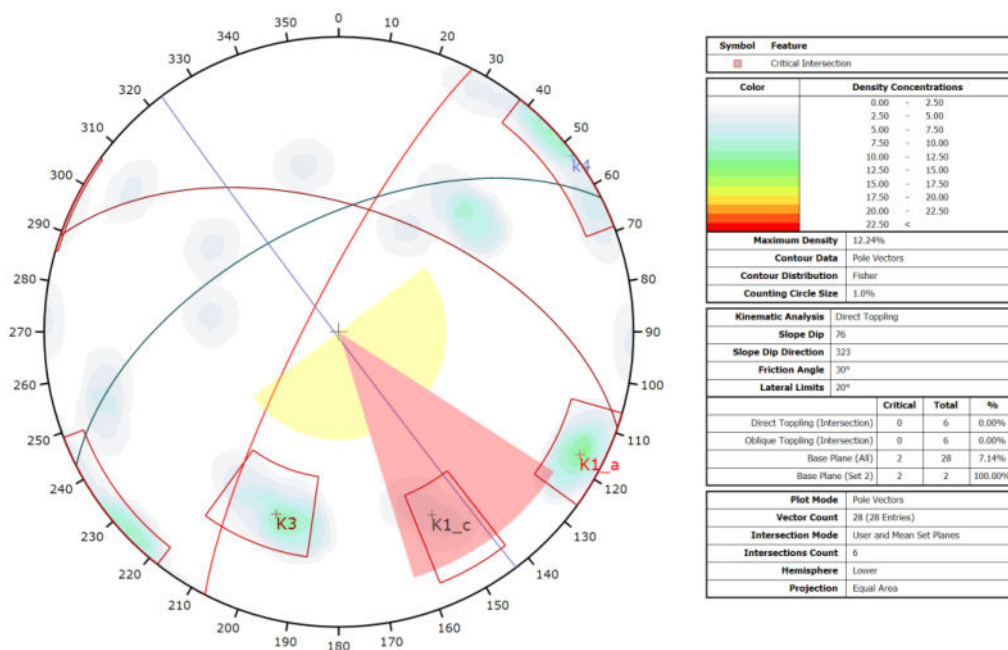


Figura 73. Test di Goodman per il fronte F1.

Per il fronte F2 sono geometricamente possibili fenomeni di scivolamento planare lungo discontinuità della famiglia K3 (il fronte è aggettante, perciò viene rappresentato il fronte orientato 90°/041°), fenomeni di scivolamento a cuneo e fenomeni di ribaltamento lungo K4.

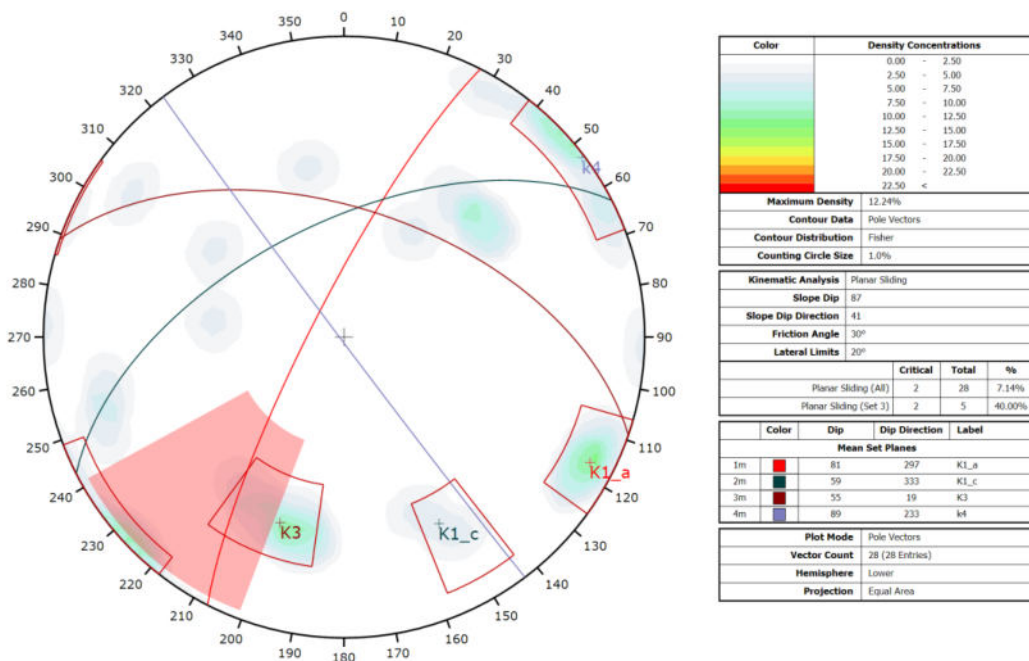


Figura 74. Test di Markland per il fronte F2 - Scivolamento planare.

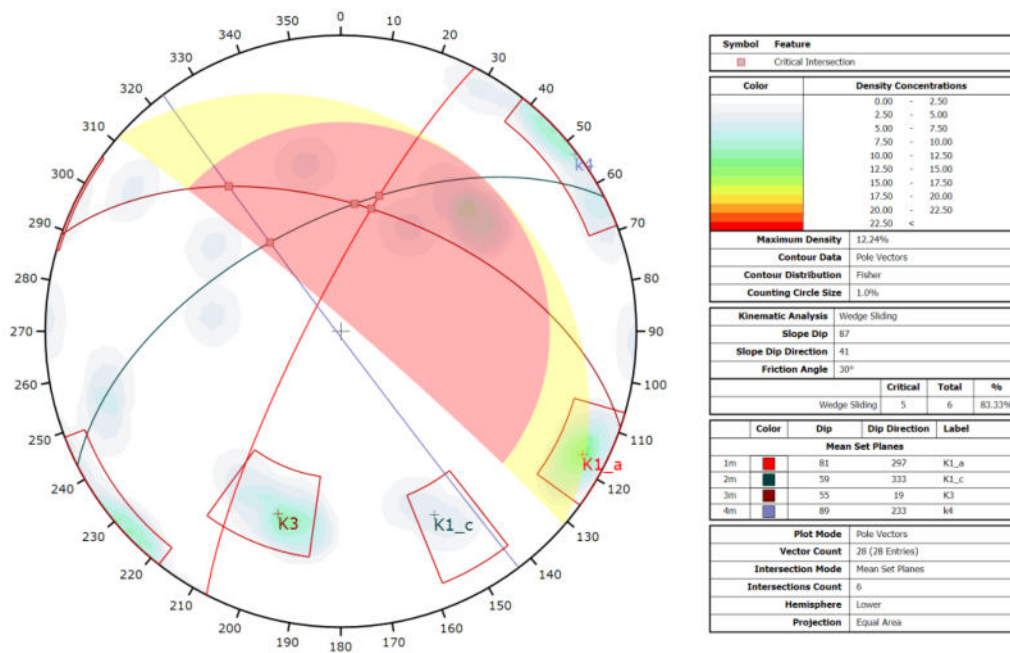


Figura 75. Test di Markland per il fronte F2 – Scivolamento a cuneo.

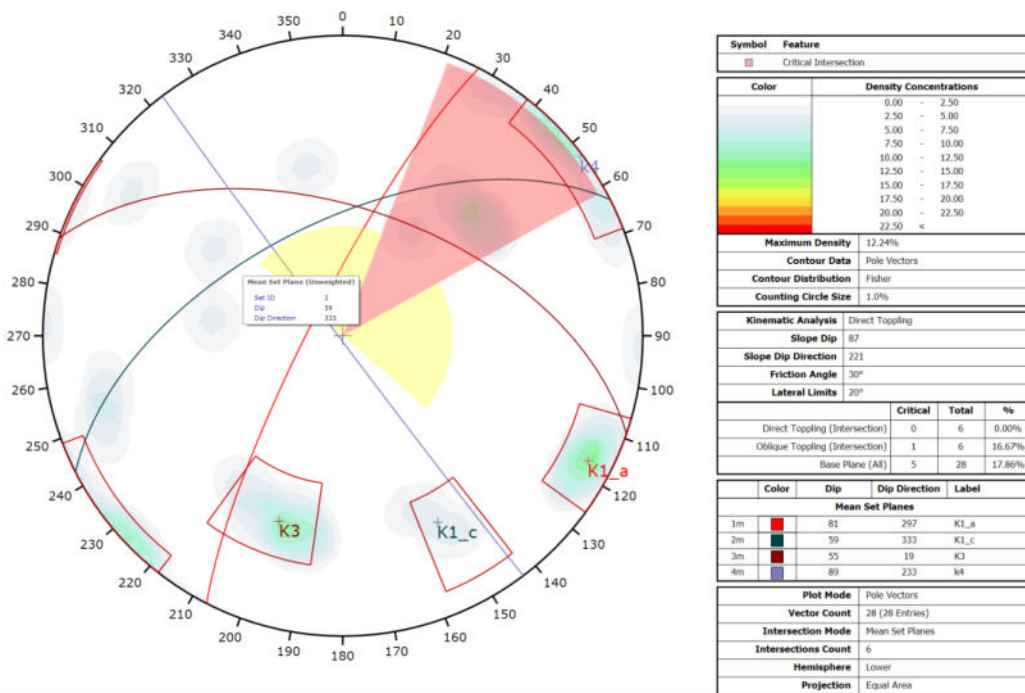


Figura 76. Test di Goodman per il fronte F2.



Per il fronte F3 sono geometricamente possibili fenomeni di scivolamento di cunei individuati dall'intersezione dei sistemi K3, K1_c con il sistema K1_a.

In generale, la parte alta del versante, è quella che mostra il grado di fratturazione maggiore.

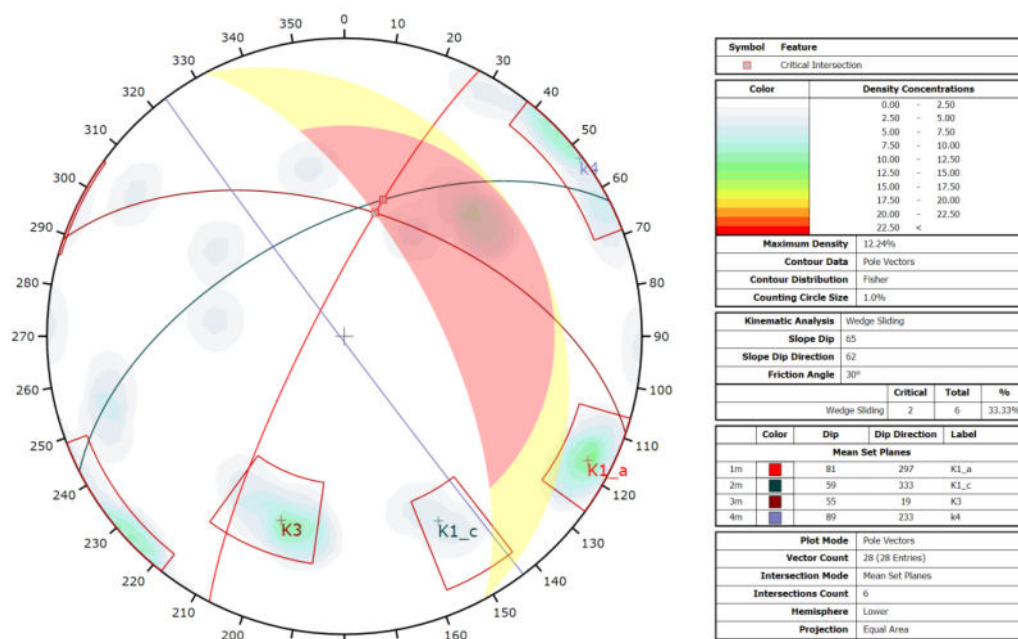


Figura 77. Test di Markland per il fronte F3 – Scivolamento a cuneo.

Sulla base della possibilità di cinatismi di scivolamento e ribaltamento di blocchi in parete, sono state eseguite le simulazioni di caduta massi utilizzando un valore di volume equivalente del blocco unitario pari a 1 m³. Questa scelta è stata fatta in virtù della scarsa numerosità di dati di spaziatura per questo settore di versante, difficilmente valutabili anche interrogando il modello digitale della parete rocciosa.

Le simulazioni di caduta massi, condotte simulando la caduta di 1600 blocchi da 8 *seeder lines* (200 blocchi per *seeder line*) distribuite in corrispondenza delle cenge rocciose individuate come potenziale sede dei distacchi evidenziano la possibile interferenza tra le traiettorie di crollo e i piazzali antistanti la cava.

Le simulazioni sono state eseguite senza tenere conto della presenza di vegetazione.

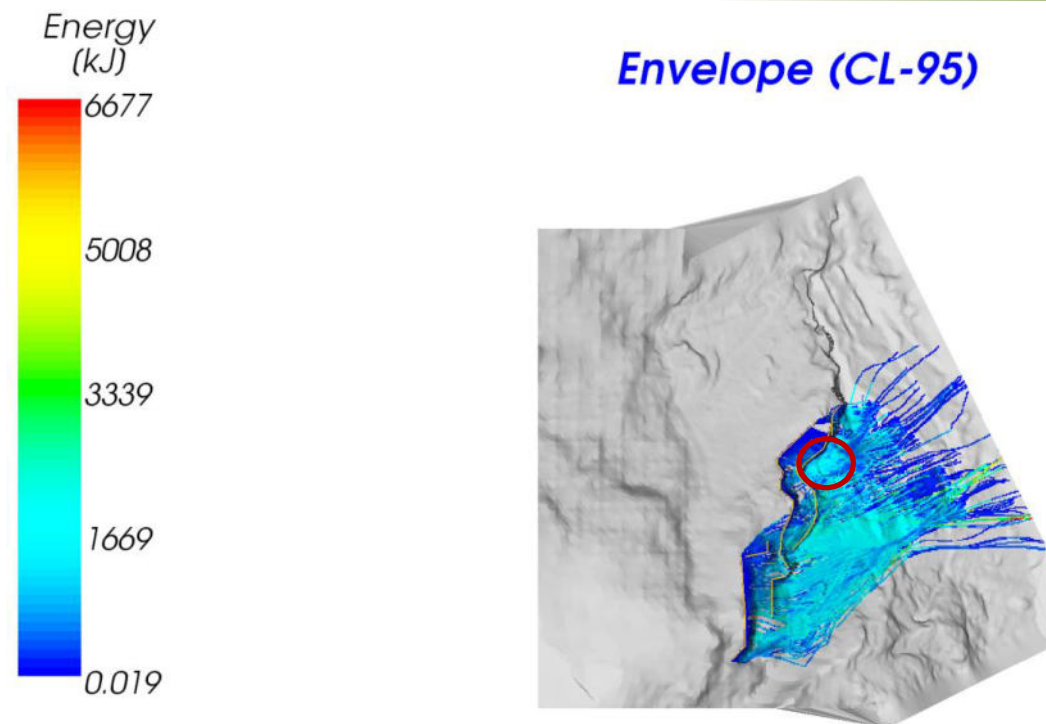


Figura 78. Energia totale dei blocchi in transito per l'area esaminata (in rosso la posizione del piazzale di cava).

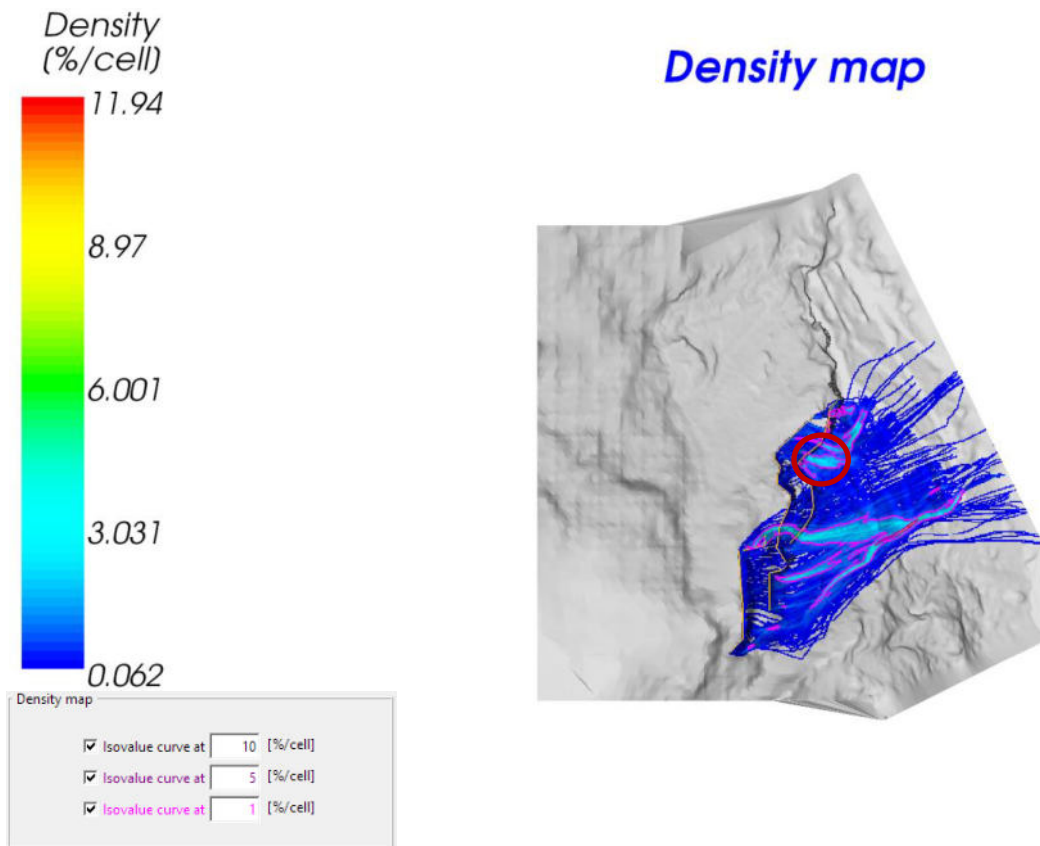


Figura 79. Densità di transito dei blocchi per l'area indagata (in rosso la posizione del piazzale di cava).

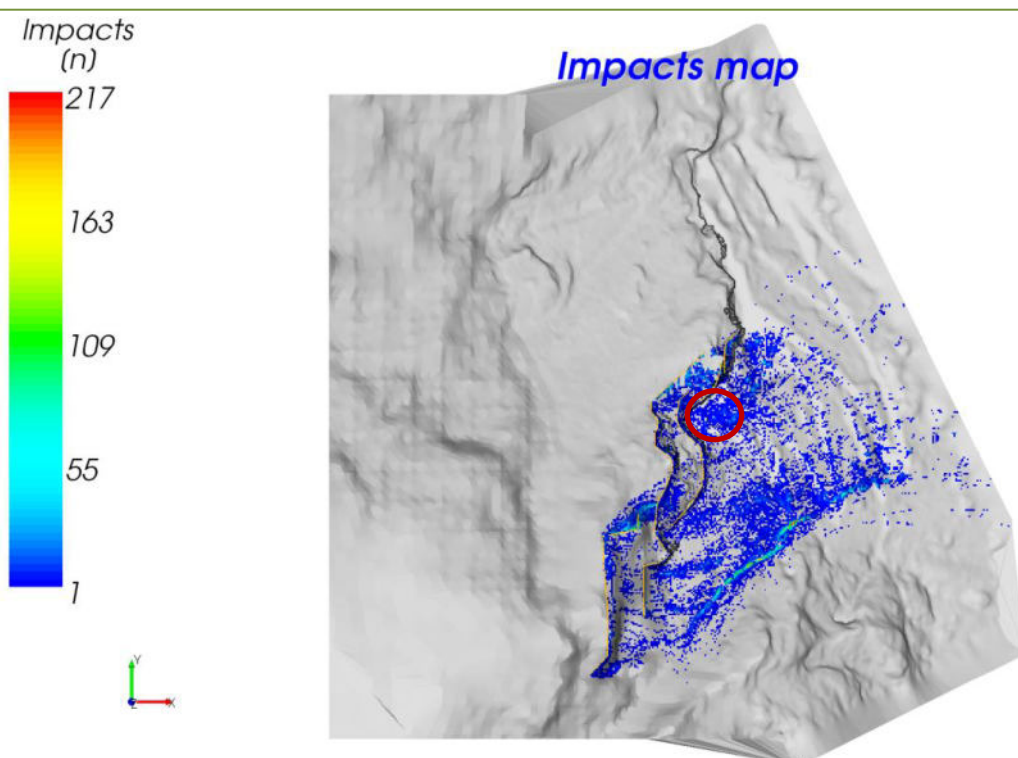


Figura 80. Mappa degli impatti per l'area esaminata (in rosso la posizione del piazzale di cava).

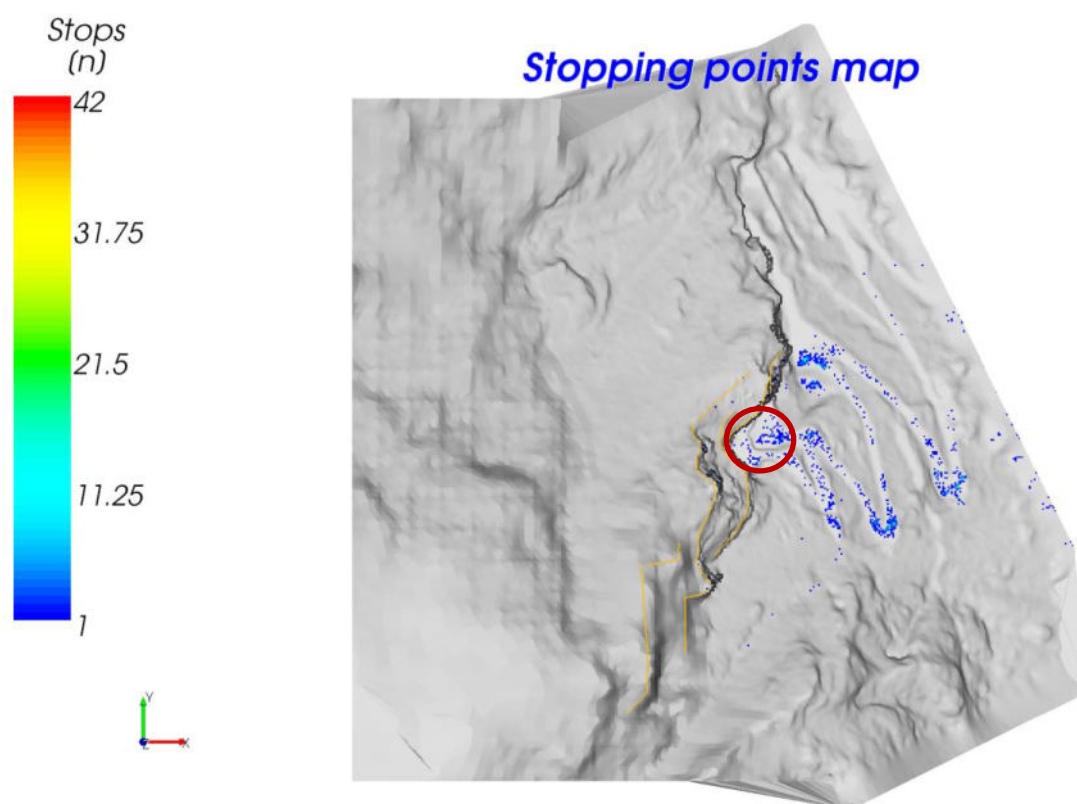


Figura 81. Mappa dei punti di arresto per l'area esaminata (in rosso la posizione del piazzale di cava).

L'analisi di caduta mostra come i massi raggiungano l'area del piazzale di cava: la probabilità percentuale di coinvolgimento in un fenomeno di crollo, per il piazzale di cava, si attesta tra l'1% e il 5%. La maggior parte di blocchi non si arrestano, ma dopo il rimbalzo proseguono la traiettoria verso valle.

Riguardo la probabilità di occorrenza di crolli, si possono trarre poche conclusioni: non si ha notizia dello storico dei dissesti a carico delle pareti immediatamente incombenti sul piazzale di cava. Pertanto, non si può fornire una statistica circa la probabilità di occorrenza di fenomeni di caduta massi.



11 STATO TENSIONALE – VERIFICA ANALITICA

Poiché non esistono dei metodi analitici specifici per la valutazione della stabilità dei diaframmi di cava, si esegue una verifica basata sul confronto tra il carico attivo agente nel diaframma e la resistenza ultima nel diaframma stesso. Il rapporto tra i due valori citati fornisce un fattore di sicurezza (F_s), che per garantire la stabilità del diaframma deve essere maggiore di un valore minimo prestabilito, in modo tale da assicurare un certo margine di differenza tra resistenza e sollecitazione.

$$F_s = \frac{\sigma_{RES}}{\sigma_{pillar}} \quad [1]$$

Con

σ_{RES} : resistenza del diaframma;

σ_{pillar} : sollecitazione del diaframma.

11.1 Sollecitazione del diaframma

L'attività estrattiva e quindi la creazione di vuoti nel sottosuolo comporta una ridistribuzione dei carichi nell'ammasso roccioso; ciascun diaframma, infatti, oltre a sostenere il carico litostatico della "colonna" di materiale ad esso sovrastante, deve sostenere un ulteriore carico litostatico relativo alle adiacenti camere generatesi con l'estrazione del minerale.

Il metodo più semplice e diffuso per la stima della tensione verticale media agente è il metodo dell'area tributaria; esso deriva dall'applicazione delle equazioni di equilibrio alla traslazione verticale. Secondo tale teoria, si assume che il carico totale dello strato di materiale sovrastante la zona di scavo sia ripartito tra i diaframmi ed in particolare, che ogni setto sopporti il carico del materiale direttamente poggiante su esso ed una parte del carico di materiale che sovrasta le camere adiacenti.

Le ipotesi semplificative alla base della teoria dell'area tributaria sono le seguenti:

1. Ogni diaframma è sottoposto al carico dovuto al peso proprio di una colonna di materiale con area della sezione trasversale pari all'area tributaria ed altezza pari allo spessore del materiale sovrastante, misurata dal piano campagna sino alla sommità del diaframma.
2. Le aree delle camere sono attribuite in modo proporzionale alle aree dei diaframmi circostanti.
3. All'interno dei diaframmi la tensione verticale è costante in ogni sezione trasversale.
4. La deformazione di compressione è uniforme in ogni sezione trasversale del diaframma.

Le ipotesi sopra riportate consentono di determinare con un approccio semplificato lo stato tensionale nel setto e di ottenere valori cautelativi, definendo un limite superiore delle tensioni normali agenti.

L'area tributaria, ovvero l'area afferente ad un singolo diaframma, è definita in base alla geometria del problema.

Nel caso di diaframmi con larghezza w_p per il calcolo dell'area tributaria si deve sommare alla larghezza del diaframma metà della larghezza della camera per ciascun lato, come riportato in Figura 82. In pratica l'area

tributaria avrà, in pianta, una larghezza pari alla somma delle larghezze del diaframma e della camera, mentre nella direzione della lunghezza si considera un valore unitario.

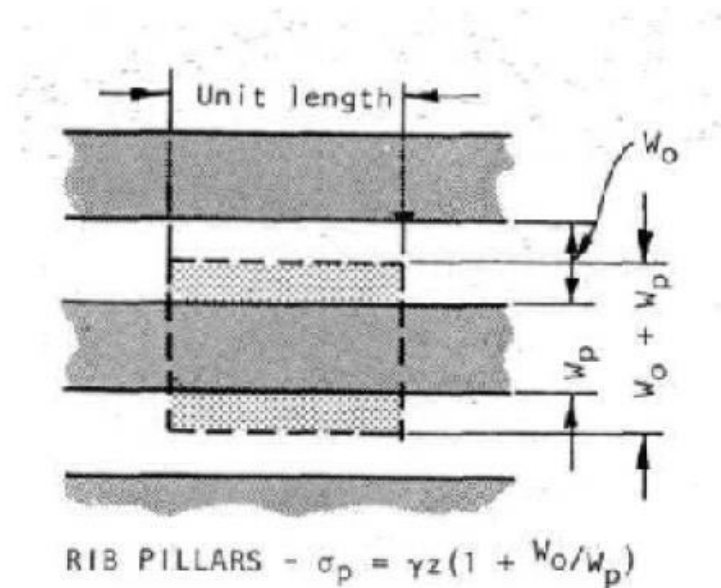


Figura 82: Vista in pianta del sistema di scavo a camere e diaframmi.

A questo punto, la tensione verticale agente è valutata con la seguente formula

$$\sigma_{pillar} = \gamma * z * \left(\frac{w_p + w_o}{w_p} \right) \quad [2]$$

dove

γ : peso di volume del materiale sovrastante la zona di scavo;

z : spessore del materiale sovrastante la zona di scavo;

w_p : larghezza, in pianta, del diaframma;

w_o : larghezza, in pianta, della camera.

11.2 Resistenza del diaframma

La resistenza del diaframma è valutata sulla base di formulazioni empiriche derivanti dallo studio di casi reali in cui, talvolta, si sono verificate anche condizioni di instabilità; si tratta per lo più di miniere del Sud africa e degli Stati Uniti caratterizzate dalla presenza di rocce con caratteristiche del tutto simili a quelle del materiale presente in sito. In particolare è stata scelta la formulazione di Obert-Duvall.

Formula di Obert-Duvall (1967)

Obert-Duvall, sulla base di prove di laboratorio eseguite per rocce consistenti e sulla base di considerazioni teoriche fondate sulla teoria dell'elasticità, hanno proposto l'equazione seguente per la valutazione della resistenza

$$\sigma_{RES} = \sigma_1 * \left(0.788 + 0.222 * \frac{w}{h} \right) \quad [3]$$



dove

σ_1 : resistenza a compressione monoassiale di un provino di materiale;

w : larghezza, in pianta, del diaframma;

h : altezza del diaframma.

Si riporta nel seguito una tabella riassuntiva con i principali parametri di ingresso utilizzati nelle verifiche. Il valore del peso di volume del materiale è stato ricavato dalle prove di laboratorio, così come riportato al capitolo 7.2.2.2; come spessore del materiale sovrastante è stato considerato il valore massimo possibile, a favore di sicurezza. La resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso è stimata al paragrafo 7.2.3.

Parametri geomeccanici della copertura	
Peso di volume	27.3 kN/m ³
Spessore massimo del materiale sovrastante	164 m
Parametri geotecnici del giacimento	
Resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso	34.3 MPa
Caratteristiche geometriche dei diaframmi	
Larghezza	12.0 m
Altezza	5.80 m
Caratteristiche geometriche delle camere	
Larghezza	12.0 m

Tabella 16: Input parametrico per il calcolo analitico.

Inserendo i valori riportati in Tabella 16 nelle equazioni [2] e [3] si ottengono i seguenti valori:

$$\sigma_{pillar} = 8,95 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{RES} = 42,4 \text{ Mpa}$$

da cui deriva un fattore di sicurezza pari a $F_s = 4,74$, valutato con l'equazione [1].

I risultati ottenuti mostrano una resistenza del diaframma più di quattro volte superiore alla sollecitazione a cui esso è sottoposto, ovvero un fattore di sicurezza sufficientemente cautelativo; il dimensionamento di diaframmi e camere risulta pertanto corretto.

12 ANALISI NUMERICA DELLO STATO TENSIONALE

L'applicazione della modellazione numerica è di grande importanza sia per la definizione del modello di scavo sia come conferma dei risultati derivanti dai metodi analitici.

È necessario tener presente che alla base dell'analisi numerica c'è un modello concettuale dell'ammasso roccioso descritto tramite i suoi parametri e che l'accuratezza dei risultati dipende molto dalla variabilità naturale del mezzo geologico.

La modellazione numerica è stata condotta con l'ausilio del software di calcolo FLAC 2D nella versione automatica 7.0, edito dalla Itasca Consulting Group, Inc.

Il software FLAC 2D (Fast Lagrangian Analysis of Continua) è un programma di calcolo bidimensionale che si basa sul metodo delle differenze finite per simulare il comportamento di strutture realizzate in roccia o terreno. Il materiale analizzato viene discretizzato attraverso una griglia virtuale di elementi, collegati tra loro da punti chiamati nodi; la griglia è realizzata da un numero finito di elementi con dimensioni prestabilite. Due indici, *i* (numero di colonna) e *j* (numero di riga), permettono di individuare ciascun elemento della griglia. Il programma fornisce delle geometrie di partenza per quanto riguarda la griglia di elementi che possono essere modificate di volta in volta dall'utente, in modo da adattarsi nel miglior modo possibile al caso studio. Allo stesso tempo è possibile impostare una griglia da zero, che descriva in modo rappresentativo il caso studio. Ogni elemento riproduce, in modo approssimativo, il comportamento fisico dell'area ad esso corrispondente in base alla legge sforzo-deformazione (lineare o non lineare) assegnatagli, in risposta alle forze applicate ed alle condizioni al contorno.

Nel metodo delle differenze finite, le equazioni che governano l'analisi sono l'equazione del moto, l'equazione di congruenza e la legge costitutiva del materiale. Il software include 17 modelli costitutivi diversi da poter assegnare al materiale studiato, sia elastici che plastici e la possibilità di creare il proprio modello costitutivo, tramite funzione *FISH*.

Il metodo consiste, come mostrato schematicamente in Figura 83, nel ricavare per un intervallo di tempo molto breve le velocità e gli spostamenti conoscendo le sollecitazioni e le forze agenti sul singolo elemento, nonché, a partire dalle velocità, le deformazioni nell'unità di tempo; quindi le tensioni vengono nuovamente derivate dalle deformazioni nell'unità di tempo.

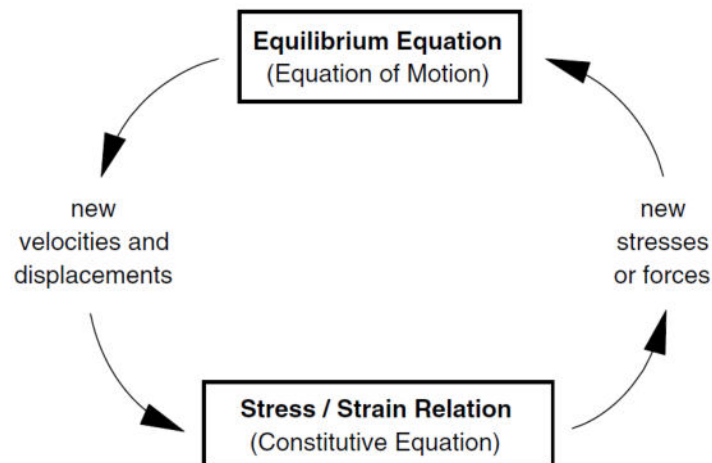


Figura 83: Ciclo di calcolo.

Quanto fatto per la modellazione può essere riassunto nei seguenti step:

- generazione della griglia;
- scelta della legge costitutiva e definizione delle proprietà geomeccaniche del materiale;
- definizione delle condizioni al contorno ed delle condizioni litostatiche iniziali;
- simulazione della fase di scavo;
- interpretazione dei risultati.

L'analisi numerica è stata condotta considerando le condizioni di progetto peggiori; esse si verificano sulla sezione 1-1 rappresentata in Figura 84, dove sono indicate a scopo illustrativo le camere con le lettere dalla A alla H, i pilastri esistenti con i numeri da 1 a 3 ed i diaframmi in progetto con i numeri da 4 a 7. La sezione considerata permette di valutare lo stato tensionale e deformativo nelle camere e nei pilastri già esistenti e di valutare la variazione dei predetti valori in seguito alla realizzazione dei nuovi scavi in progetto.

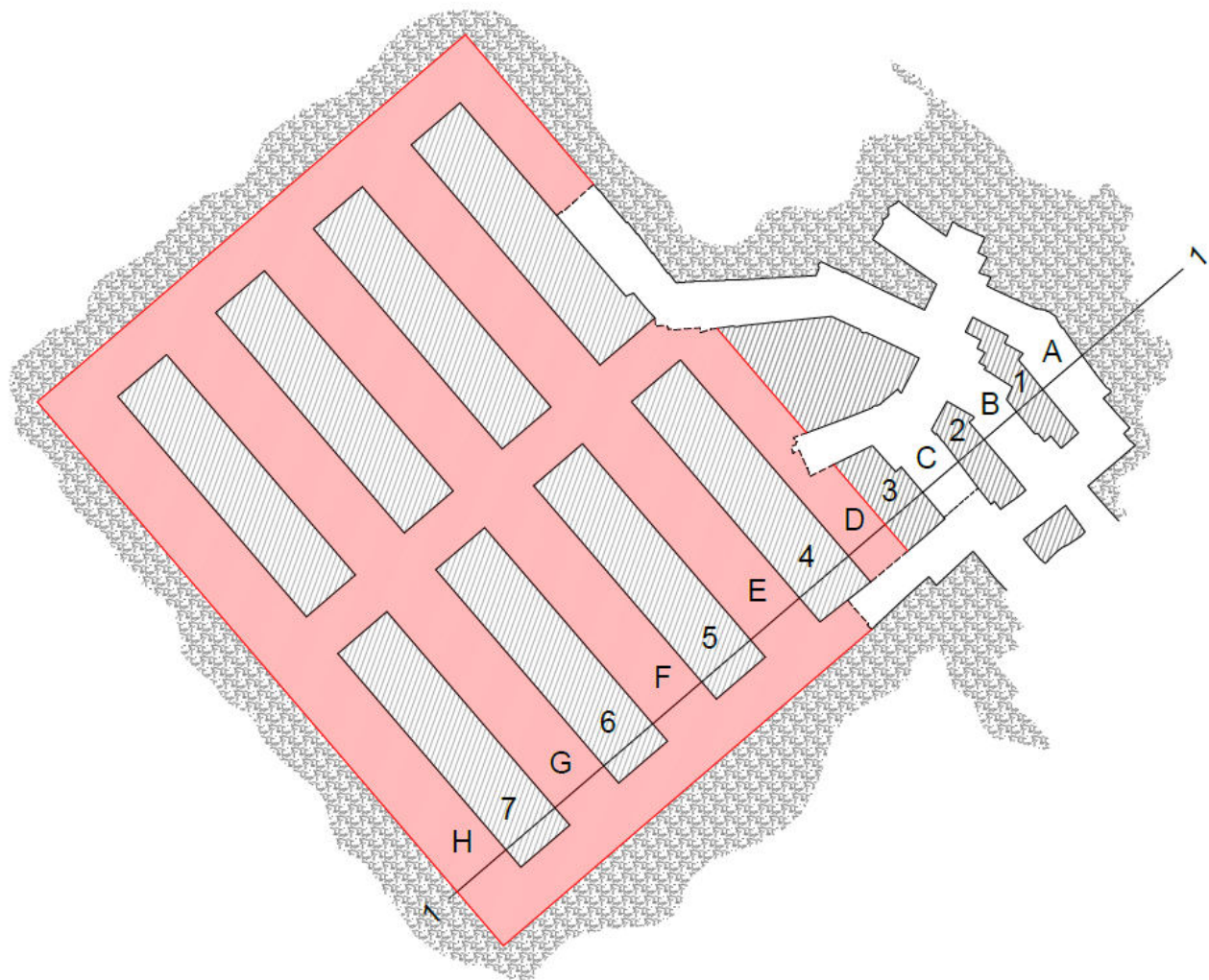


Figura 84: Traccia delle sezioni in pianta.

12.1 Modello utilizzato nei calcoli

Nel software di calcolo è stata innanzitutto importata la griglia degli elementi definita direttamente sulla sezione studiata ed è stato successivamente assegnato ad ogni elemento della griglia un materiale, definendo a priori le caratteristiche meccaniche di esso tramite il criterio di rottura di Hoek&Brown. I valori usati sono riportati al capitolo 7.2.2.2.

Come condizioni al contorno, sono state inserite delle cerniere alla base della sezione per evitare spostamenti verticali e orizzontali, mentre lungo i lati perimetrali verticali sono stati inseriti dei carrelli a scorrimento verticale, in modo da impedire i movimenti orizzontali, ma consentire quelli verticali relativi principalmente al compattamento dovuto al peso proprio ed ai carichi.

Sono state quindi valutate le tensioni verticali e orizzontali e la deformazione verticale in tre diverse situazioni: lo stato originale prima dello scavo di qualsiasi camera, lo stato attuale che presenta, per la sezione considerata, 3 camere (dalla A alla C in Figura 84) e 2 pilastri (il numero 1 ed il numero 2 in Figura 84) e lo stato finale, successivo alla coltivazione in progetto che presenta 5 ulteriori camere (dalla D alla H in Figura 84), 1 nuovo pilastro (il numero 3 in Figura 84) e 5 diaframmi (dal 4 al 7 in Figura 84).



12.2 Risultati

12.2.1 Tensioni verticali

Si riporta nelle seguenti figure la distribuzione delle tensioni verticali per lo stato originale (Figura 85), per lo stato attuale (Figura 86) e per la fase di progetto (Figura 87).

Allo stato attuale si riscontra una tensione massima verticale pari a 4 MPa in corrispondenza del diaframma 2, su entrambi i piedritti ed in zone molto ristrette. La tensione massima al termine dei lavori si riscontra invece sul diaframma 7, lungo tutta l'altezza ed è pari a 5 MPa; tale valore è nettamente inferiore alla tensione di rottura del materiale integro (47 MPa).

Le volte delle camere B e C risultano attualmente soggette ad una tensione verticale massima compresa tra 1 MPa e 1,5 MPa. Successivamente alla coltivazione si raggiunge una tensione massima verticale nelle volte delle camere G ed H pari a 2 MPa.

Come si nota dai valori sopra indicati e dalle immagini seguenti, sia le camere che i pilastri attualmente presenti non sono influenzati negativamente dallo scavo delle camere in progetto, in quanto non si ha una variazione significativa delle tensioni verticali.

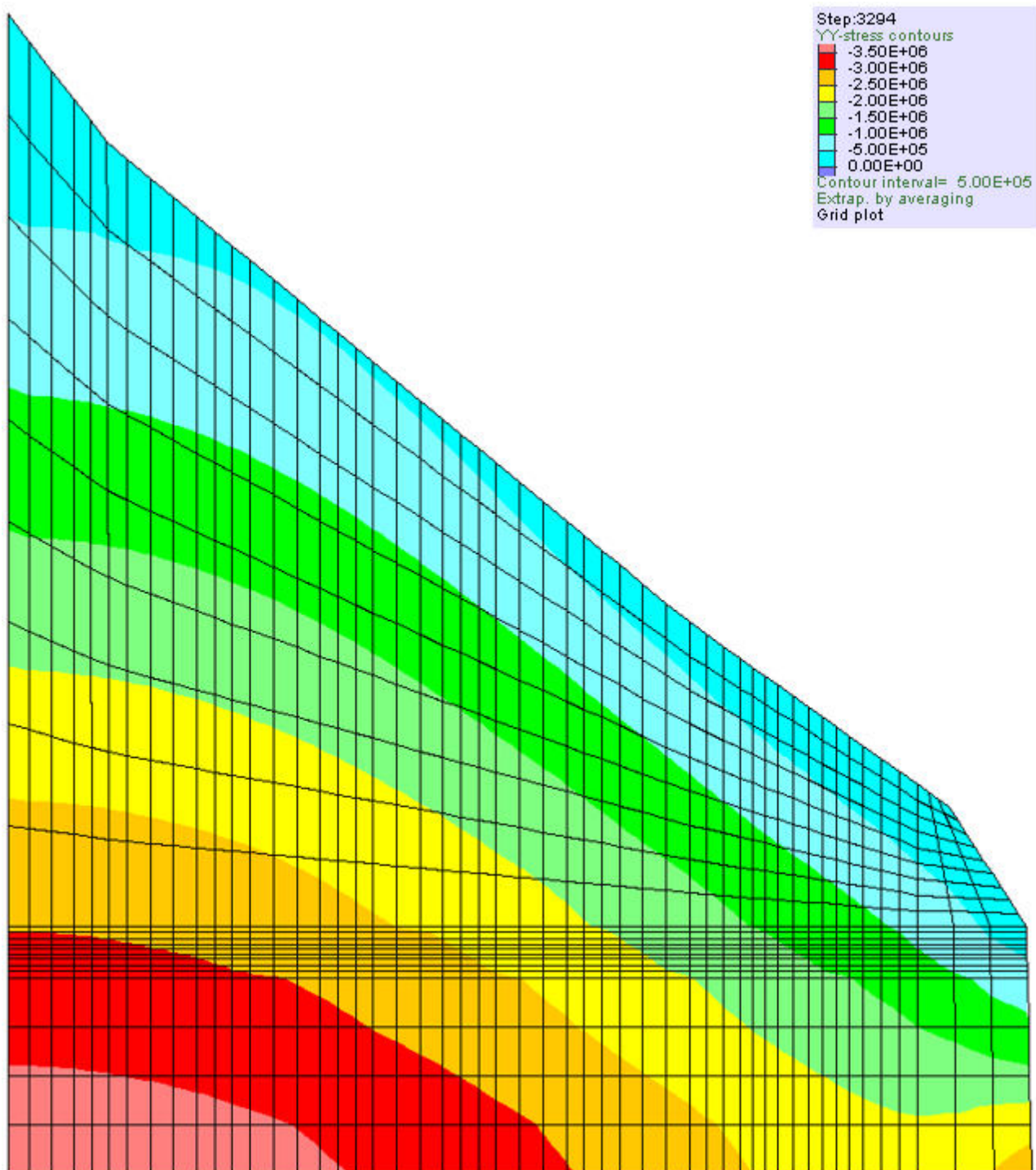


Figura 85: Distribuzione delle tensioni verticali - stato originale.

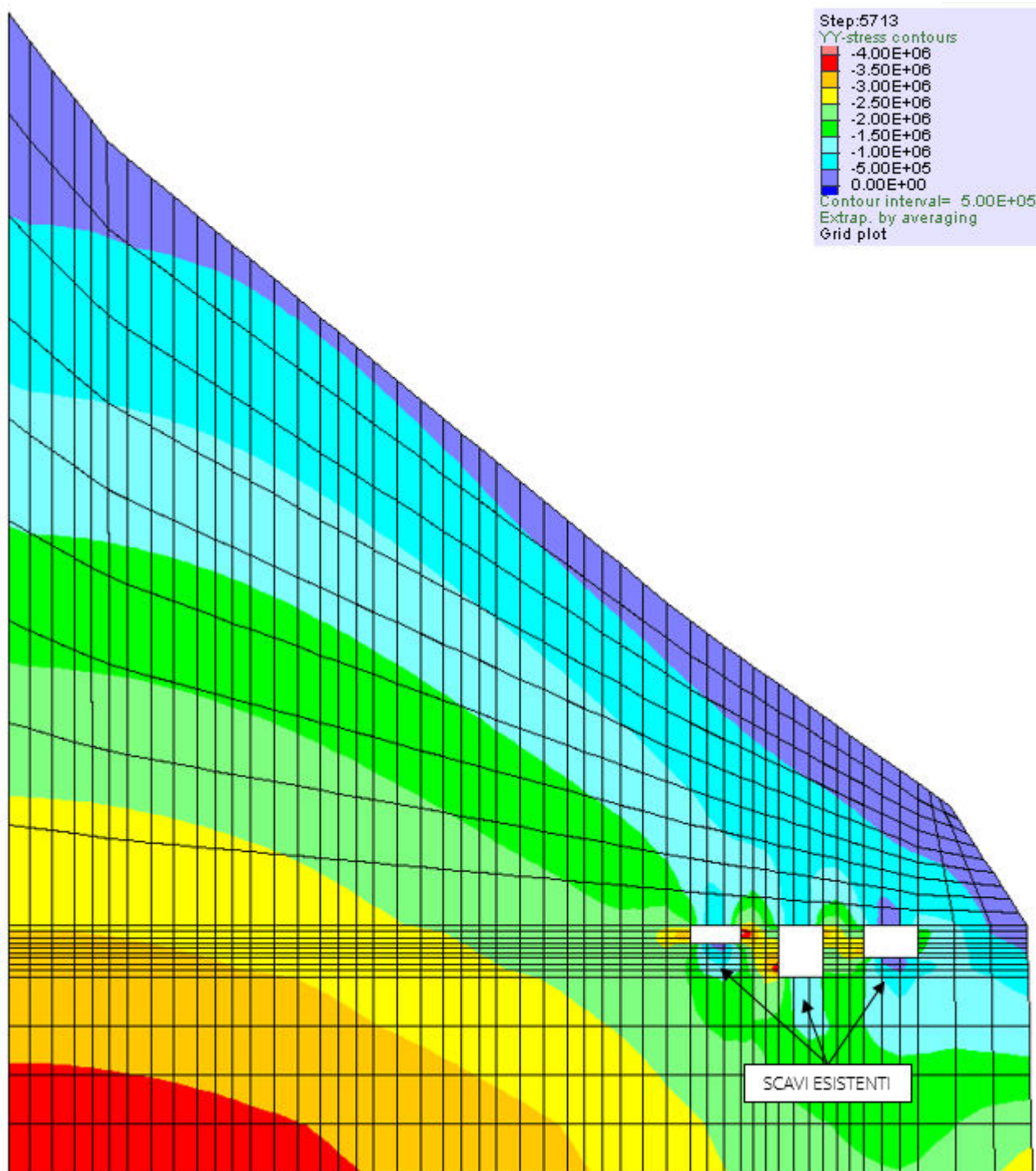


Figura 86: Distribuzione delle tensioni verticali - stato attuale.

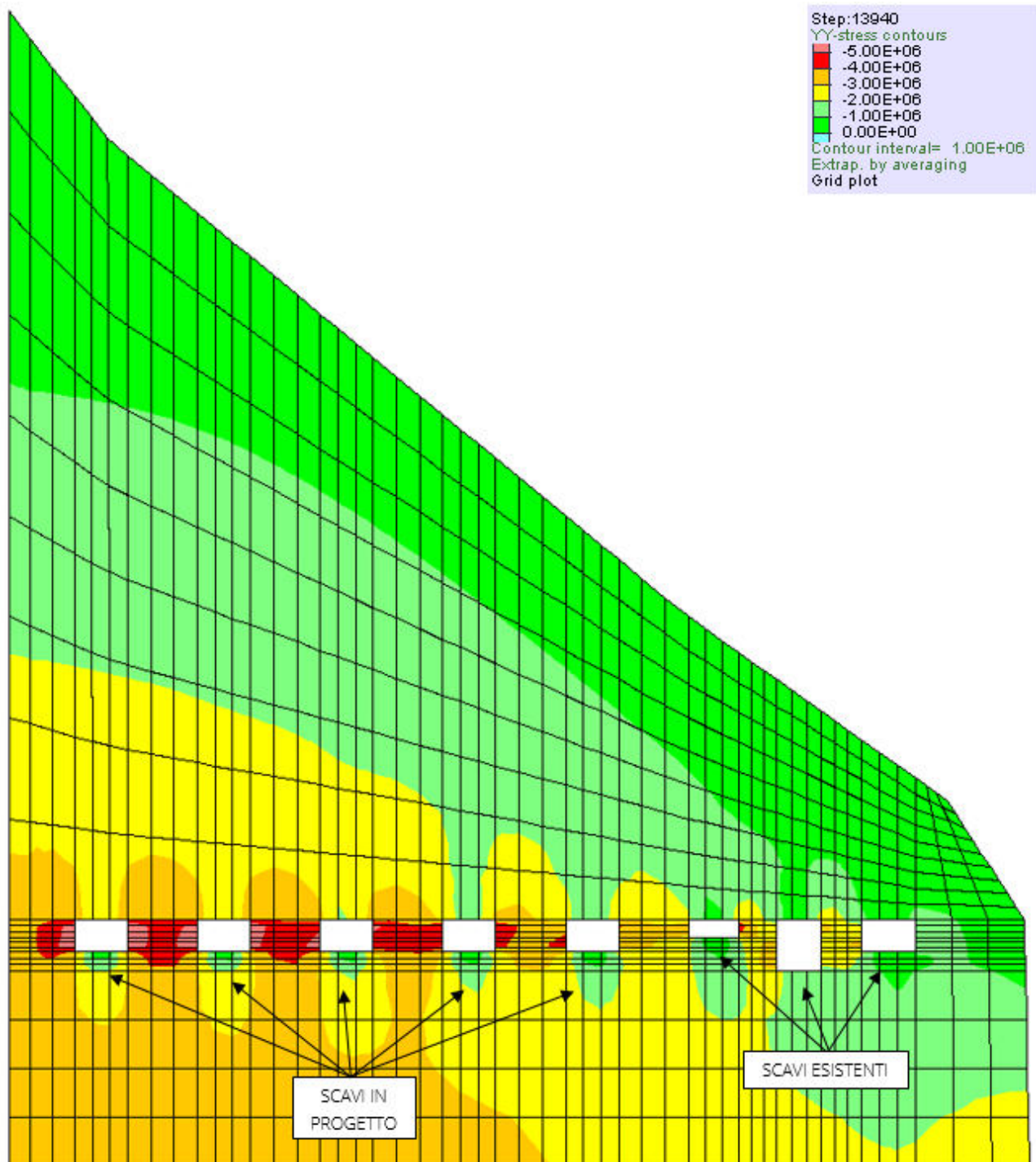


Figura 87: Distribuzione delle tensioni verticali - progetto.



12.2.2 Deformazioni verticali

Si riporta nelle seguenti figure la distribuzione degli spostamenti verticali per lo stato originale (Figura 88), per lo stato attuale (Figura 89) e per la fase di progetto (Figura 90).

Attualmente lo spostamento verticale massimo si verifica sulla volta della camera C e risulta pari a 0.3 mm, mentre dopo la coltivazione del minerale il massimo spostamento verticale si riscontra sulla volta della camera G ed è pari a 0.5 mm; per le restanti camere in progetto, la volta subirà uno spostamento verticale di circa 0.4 mm.

Le camere attualmente presenti non risultano affette da ulteriori spostamenti verticali derivanti dallo scavo delle camere in progetto; gli spostamenti maggiori, infatti, si concentreranno in corrispondenza delle camere in progetto.

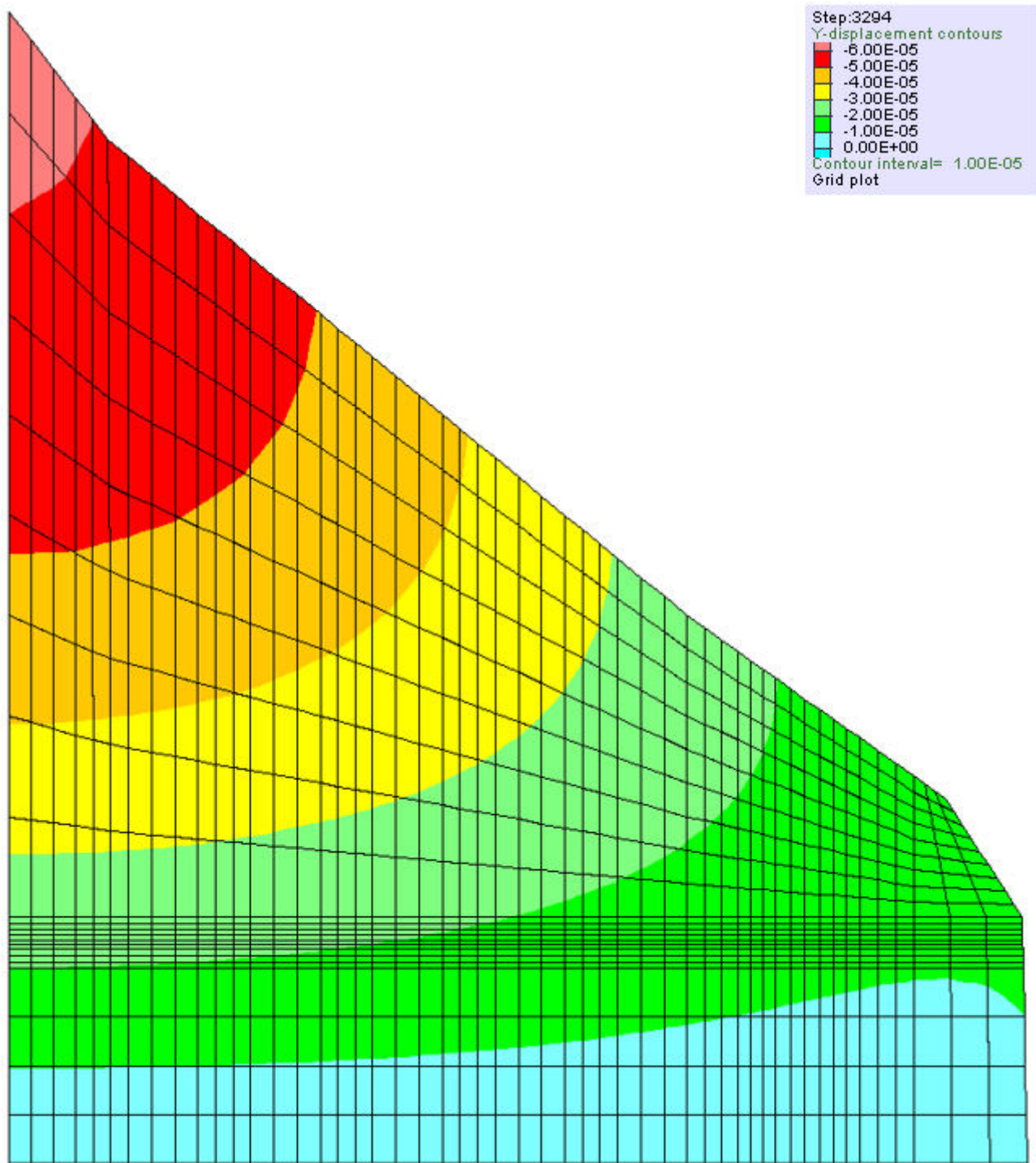


Figura 88: Distribuzione degli spostamenti verticali - stato originale.

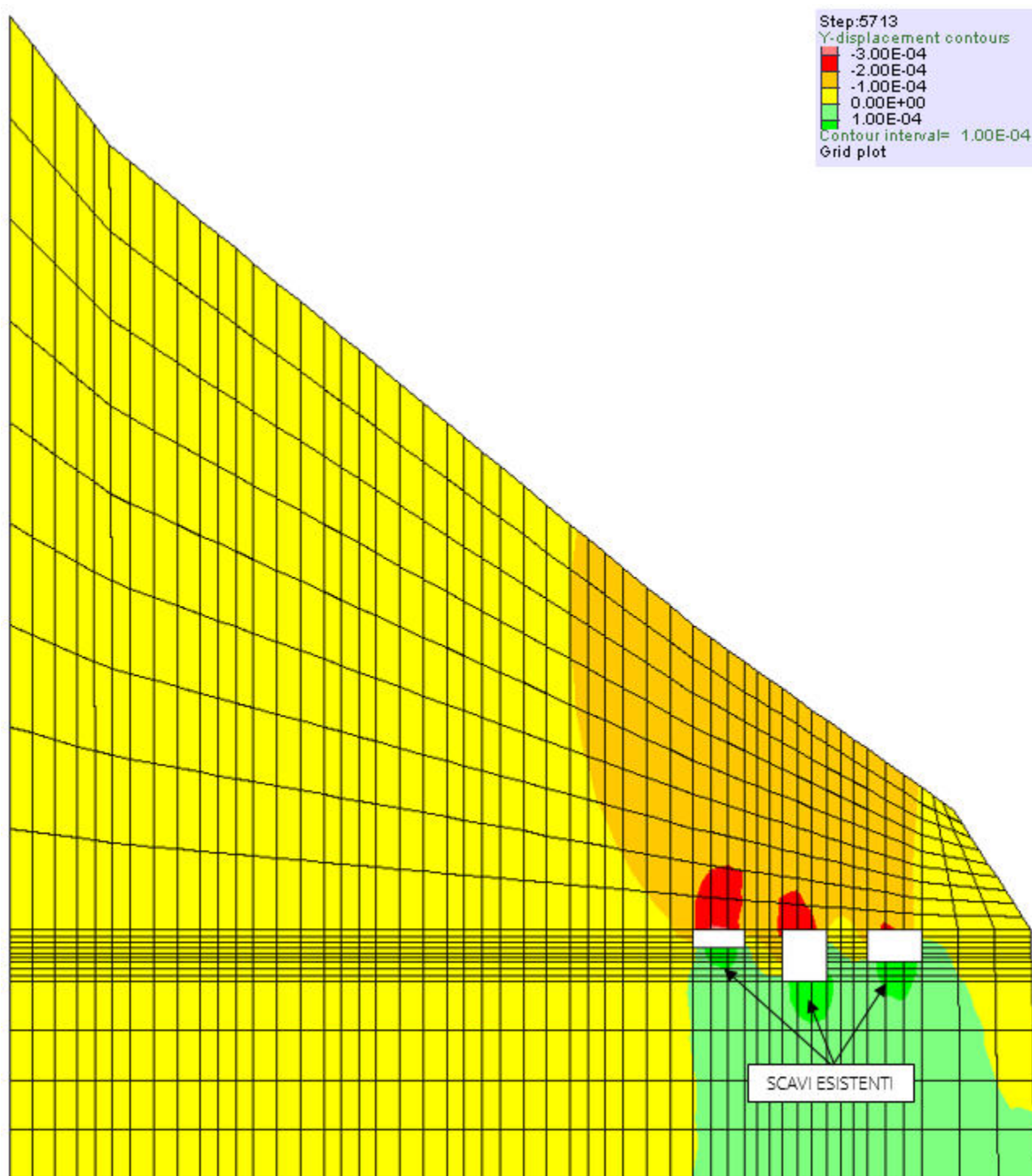


Figura 89: Distribuzione degli spostamenti verticali - stato originale.

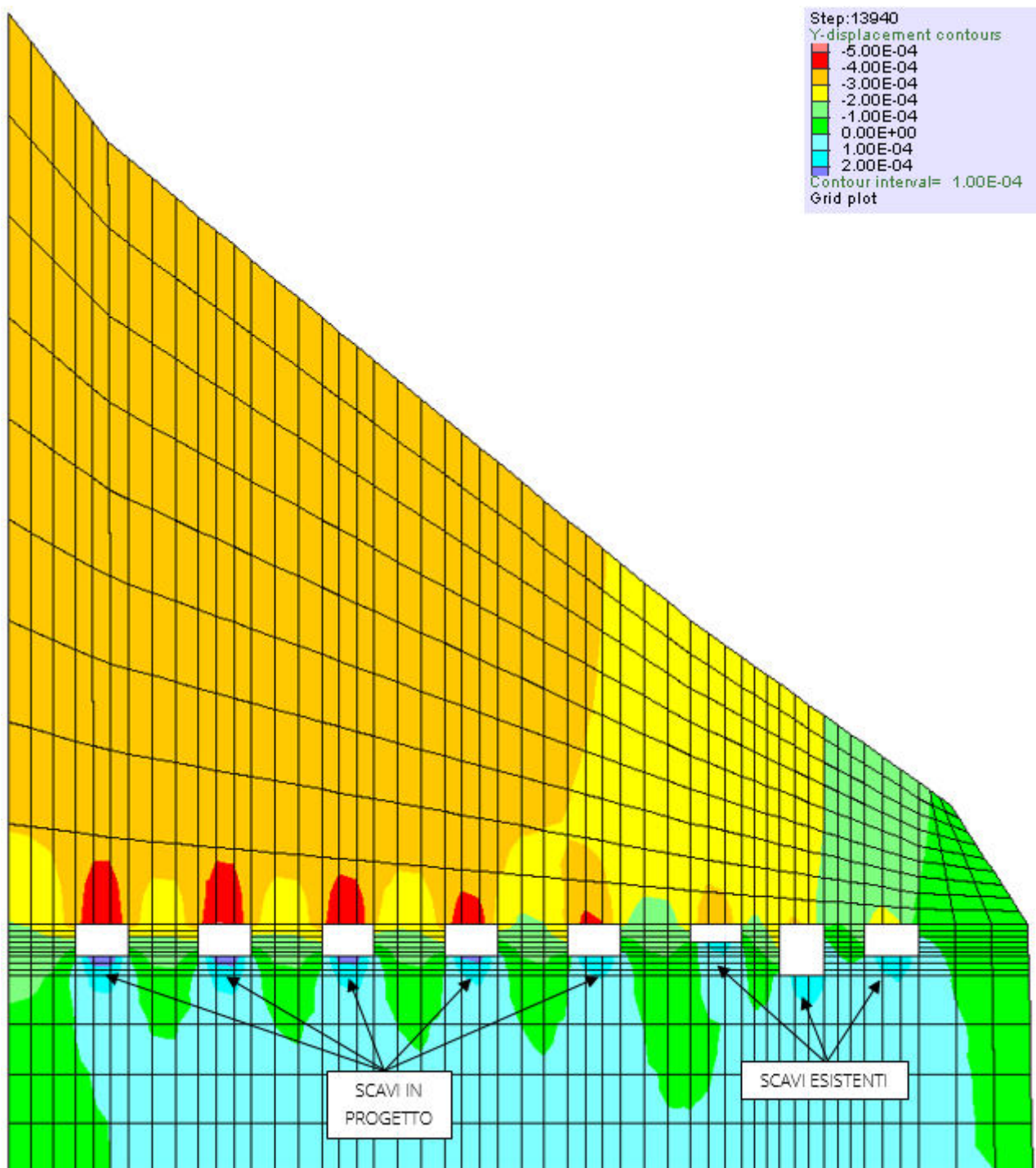


Figura 90: Distribuzione degli spostamenti verticali - progetto.



12.2.3 Fattore di sicurezza

Il fattore di sicurezza è calcolato con una procedura di 'trial and error'; il software svolge cioè una serie di simulazioni partendo da un valore arbitrario del fattore di sicurezza che ad ogni ciclo si aggiorna, poiché vengono man mano ridotti i parametri di resistenza del materiale interessato; l'operazione si ripete fino a raggiungere le condizioni di equilibrio limite, ovvero un fattore di sicurezza unitario. Nel caso studio, per il quale è stato adottato il criterio di rottura di Hoek&Brown, le simulazioni sono svolte riducendo la resistenza al taglio del materiale.

Come mostrato in Figura 91, il fattore di sicurezza valutato con il software di calcolo è pari a 7,24; le deformazioni di taglio maggiori si verificano nei diaframmi 7, 6 e 5.

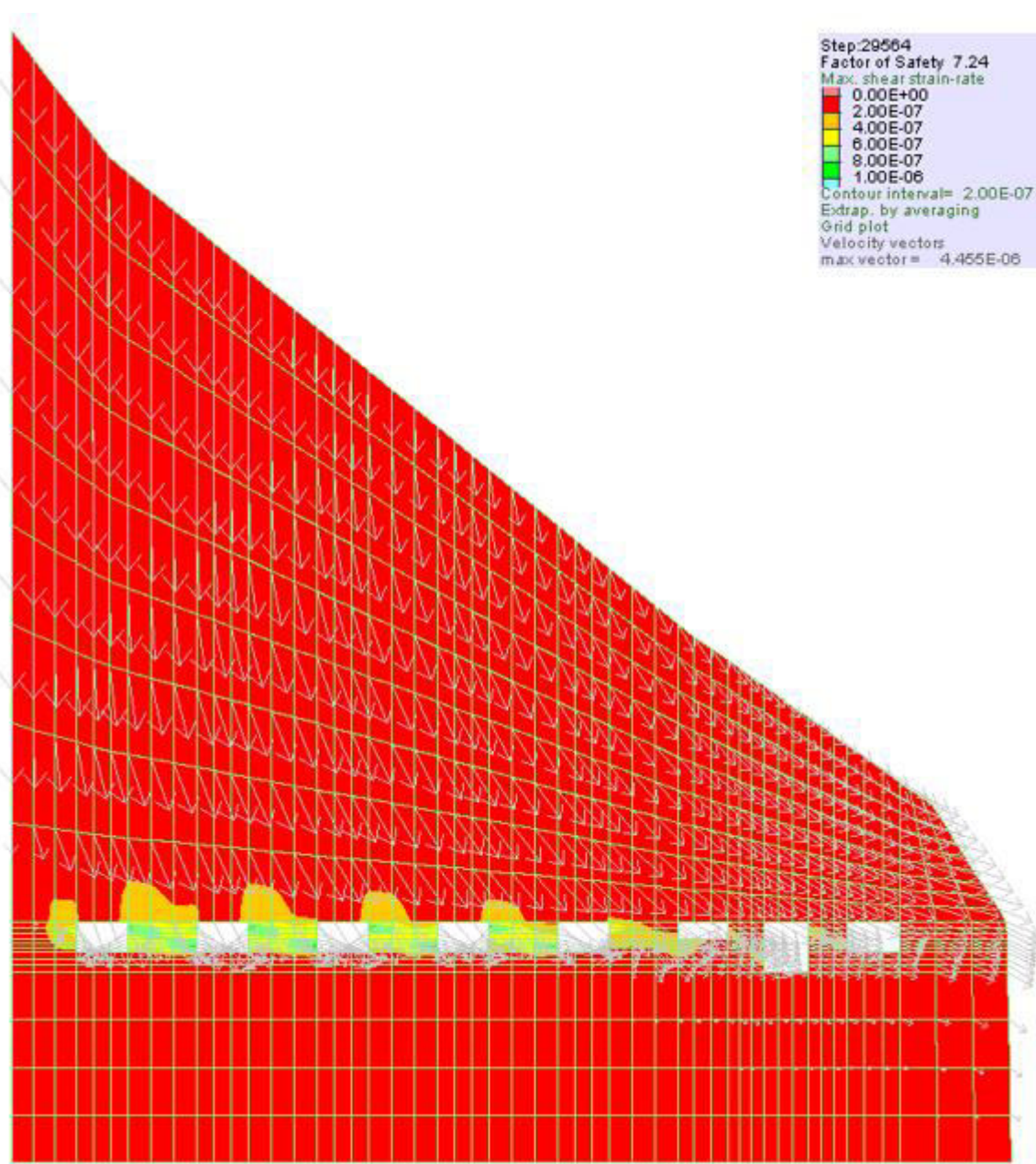


Figura 91: Distribuzione della deformazione di taglio.

12.3 Conclusioni

Le condizioni di progetto peggiori si verificano sulla sezione 1-1, rispetto alla quale è stata svolta la modellazione numerica.

Allo stato attuale si riscontra una tensione massima verticale pari a 4 MPa in corrispondenza del diaframma 2, su entrambi i piedritti ed in zone molto ristrette. La tensione massima al termine dei lavori si riscontra invece sul diaframma 7, lungo tutta l'altezza ed è pari a 5 MPa; tale valore è nettamente inferiore alla tensione di rottura del materiale integro (47 MPa).

Attualmente lo spostamento verticale massimo si verifica sulla volta della camera C e risulta pari a 0.3 mm, mentre dopo la coltivazione del minerale il massimo spostamento verticale si riscontra sulla volta della camera G ed è pari a 0.5 mm; per le restanti camere in progetto, la volta subirà uno spostamento verticale di circa 0.4 mm.

Si può quindi affermare che sia le camere che i pilastri attualmente presenti non sono influenzati negativamente dallo scavo delle camere in progetto, in quanto non si ha una variazione significativa delle tensioni verticali che si generano in essi e degli spostamenti verticali che si verificano. Dalle analisi svolte emerge che l'area interessata dalla coltivazione risulta nel complesso stabile, sia per quanto riguarda le camere sia per i diaframmi.

È inoltre fondamentale sottolineare che lo scavo delle camere in progetto non altera lo stato tensionale del materiale presente in superficie e quindi le condizioni di stabilità dell'ammasso nelle zone esterne, compreso l'ingresso della cava.

Si prescrive prima dell'inizio dei lavori un attento monitoraggio dei pilastri esistenti delle aree non interdette, valutando caso per caso, sulla base dello stato di conservazione e dell'incremento di carico previsto, opportune misure di monitoraggio ed eventualmente, laddove se ne ravvisasse la necessità, interventi di consolidamento o rafforzamento.

Sarà opportuno durante tutto il progetto, un monitoraggio delle deformazioni su alcuni punti dello scavo esistente e di quello in progetto, al fine di verificare le reali condizioni presenti sulla base dell'evoluzione degli scavi ed eventualmente attuare le necessarie modifiche al progetto in corso d'opera.



13 FENOMENO DELLO SPALLING

Il fenomeno dello spalling indica una fratturazione fragile per trazione ed interessa gli ammassi rocciosi con caratteristiche geomeccaniche buone (GSI e UCS elevate) sottoposti ad elevate tensioni; ciò che si osserva in sito è un'esfoliazione dell'ammasso roccioso, con formazione di lastre di roccia, senza proiezione di materiale.

Si tratta nello specifico di una rottura elastica, che avviene senza deformazioni sensibili del materiale.

Le condizioni necessarie affinché si possa verificare un evento di rottura fragile sono:

- Elevata resistenza della roccia;
- Ammasso roccioso massivo ed omogeneo;
- Comportamento fragile della roccia (bassa deformabilità);
- Elevato stato tensionale (grandi coperture e/o anisotropie).

La rottura avviene in direzione parallela alla massima tensione di compressione ed interessa principalmente i piedritti e la calotta della sezione di scavo. Questo meccanismo interagisce e si alimenta con i sistemi di discontinuità, laddove questi siano presenti. In caso di stato tensionale anisotropo il processo di spalling può portare anche alla formazione di cunei di roccia.

Tali fenomeni si verificano in fase di scavo, generalmente entro 2 diametri dal fronte e si arrestano quando l'ammasso roccioso circostante ha raggiunto uno stato tensionale di equilibrio.

Il sito oggetto di studio ha caratteristiche del tutto simili a quelle in cui si verifica lo spalling; ciò nonostante, sui pilastri oggi esistenti non si riscontrano tracce di fratturazione fragile, pertanto si esclude la possibilità che tale fenomeno si verifichi in seguito ai nuovi scavi. Si rimanda quindi alla fase di coltivazione del minerale l'eventuale dimensionamento di opere di sostegno, qualora fosse necessario.

14 VERIFICA DELLA PRESENZA DI AMIANTO

Durante i sopralluoghi esperiti nelle aree interne ed esterne dell'area di cava non si sono rilevati significativi affioramenti di materiale fibroso: per materiali fibrosi si intendono quelli che cristallizzano formando molteplici fibre lunghe e sottili, che sono sostanzialmente aggregati di lunghi aghi.

Le indagini di laboratorio eseguite su 6 campioni di materiale massivo e in polvere, prelevati a marzo 2024, hanno evidenziato l'assenza di amianto.

Nella Figura 92 si riporta la posizione dei campionamenti eseguiti, in Tabella 17 le concentrazioni riscontrate e dalla Figura 93 alla Figura 95 le immagini delle posizioni di campionamento.

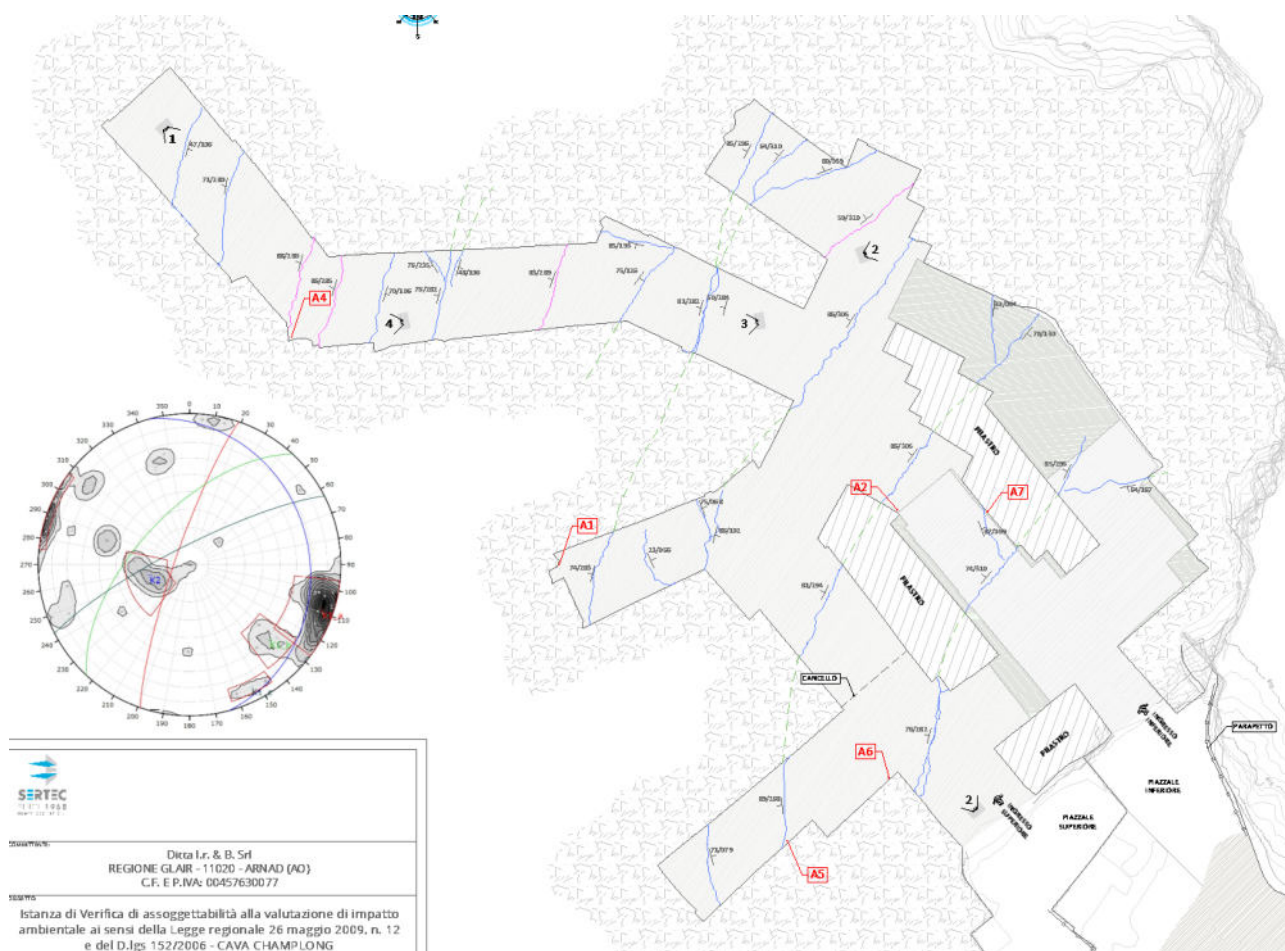


Figura 92. Posizione dei campioni prelevati per l'esecuzione delle analisi chimiche per la presenza di amianto.

Tabella 17. Concentrazioni riscontrate nei campioni prelevati.

Campione	Descrizione	Concentrazione (mg/kg)
A1	massivo - polvere	<LQ
A2	massivo	<LQ
A4	massivo	<LQ
A5	massivo	<LQ
A6	polvere	<LQ
A7	massivo - polvere	<LQ



Figura 93. Posizione del campione A1 (sx) e A2 (dx).



Figura 94. Posizione del campione A4 (dx). e A5 (dx).



Figura 95. Posizione del campione A6 (sx) e A7 (dx).

In sede di autorizzazione di cava, verranno progettate per successiva attuazione tutte le misure preventive previste dalla normativa nazionale e regionale per la tutela dell'ambiente e la salute dei lavoratori.

I certificati di laboratorio sono riportati in calce alla presente relazione.



15 COMPATIBILITÀ GEOLOGICA DELL'INTERVENTO

Sulla base di quanto descritto nei paragrafi precedenti, si può esaminare la compatibilità geologica dell'intervento con il quadro dei dissesti e l'assetto del territorio.

Si possono analizzare separatamente i vari aspetti che concorrono a definire il quadro dell'interazione tra i due aspetti.

Per quanto concerne gli ambiti inedificabili:

l'intervento è compatibile con la perimetrazione degli ambiti inedificabili ex L.R. 11/98. Non si segnala interferenza con fenomeni di dissesto dovuti a valanghe, inondazioni, debris-flow.

Per quanto concerne le frane, si segnala come le aree esterne della cava siano soggette ad una probabilità non nulla di essere raggiunti da massi rilasciati dal versante soprastante, qualora avvenissero crolli. Esaminando i dati in possesso degli scriventi, dei proprietari della cava e dei dati di archivio (catasto dissesti) non si segnalano eventi censiti per questi luoghi. Per tale motivo non è possibile addivenire ad una stima calcolata della pericolosità di crollo, intesa come probabilità di occorrenza dei fenomeni. Tale aspetto preclude la possibilità di trattare l'analisi del rischio in termini statistici.

Pur non disponendo di un valore calcolato dell'indice di rischio specifico, si prescriveranno in sede di progettazione, come misure di mitigazione, le seguenti accortezze:

- verificare con cadenza almeno annuale, soprattutto al termine della stagione invernale e a seguito di eventi meteorologici severi, lo stato dei fronti di cava esterni (residui dalla vecchia coltivazione a cielo aperto) e le pareti rocciose soprastanti;
- in caso di dissesti potenziali incipienti, eseguire operazioni di disgaggio ad opera di tecchiali esperti per rimuovere gli eventuali blocchi a rischio di caduta;
- limitare lo stazionamento delle maestranze sul piazzale: qualora possibile eseguire le operazioni di carico dei blocchi al chiuso, oppure cadenzare il carico degli stessi con frequenza settimanale e non giornaliera;
- evitare le operazioni di carico in coincidenza con situazioni meteo avverse o quando la regione emani bollettini meteo con livelli di rischio di fenomeni elevato;

Per quanto concerne la stabilità allo stato attuale del settore di cava:

- i dati interferometrici disponibili sul geonavigatore regionale e sulla piattaforma Copernicus evidenziano la sostanziale stabilità del versante, con valori di spostamento dei *"permanent scatters"* contenuti entro i limiti di detezione strumentale. Il sito appare sostanzialmente stabile.
- Il rilievo geologico eseguito ad inizio 2024 non ha evidenziato indizi di dissesto incipiente.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico e le acque sotterranee:

- l'ammasso roccioso, caratterizzato dalle ottime caratteristiche geomeccaniche (presenza di poche fratture, molto spaziate, ancorché notevolmente aperte e persistenti) non ospita falde acquifere rilevanti e soprattutto non uniformi spazialmente: si può presupporre una circolazione idrica limitata alle singolarità, comunque scarsamente consistente. E opere in progetto non possono in alcun modo alterare l'assetto idrogeologico del versante.

Per quanto concerne la stabilità nello stato di progetto del settore di cava:

- L'analisi numerica riportata nella presente dimostra come lo scavo delle gallerie in progetto non alteri lo stato tensionale dell'ammasso roccioso in modo da favorire o indurre fenomeni di rilassamento nello stesso, interferenti con le porzioni più corticali del versante. La ridistribuzione delle tensioni e i correlabili valori di deformazione restano confinati nelle porzioni più profonde, a favore di stabilità.
- Durante lo scavo in galleria dovranno essere periodicamente aggiornate le verifiche cinematiche al fine di prevedere l'andamento e la potenziale generazione di cunei instabili in calotta e sui piedritti.
- Il settore in abbandono dovrà essere monitorato nel tempo;

Per quanto riguarda la presenza di amianto:

- le rocce del giacimento sono notoriamente caratterizzate da elevata probabilità di rinvenimento di minerali asbestiformi; i rilievi esperiti dagli scriventi non hanno evidenziato la presenza visibile di aggregati di minerali fibrosi e le successive analisi di laboratorio eseguite su 6 campioni hanno escluso la presenza di amianto in quantità superiori ai limiti di quantificazione strumentali.
- In fase di coltivazione dovrà essere posta particolare attenzione a verificare, nelle fasi di progressione dei lavori, la presenza di minerali fibrosi e a porre in opera gli accorgimenti e le prescrizioni imposte dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda il fenomeno dello spalling:

- l'ammasso roccioso presenta caratteristiche geomeccaniche ottime ed è sottoposto a uno stato tensionale caratterizzato da sforzi notevoli, commisurati all'elevato ricoprimento: per queste ragioni potrebbe essere soggetto a tale problematica. Tuttavia, nello stato attuale non si hanno evidenze del fenomeno su piedritti e calotte. In fase di coltivazione, sarà opportuno monitorare l'eventuale insorgenza di fratture fragili anche a seguito della ridistribuzione degli stress ed impiegare le opportune contromisure.

Riassumendo, si può asseverare la compatibilità della cava in progetto con il quadro geologico, considerando come le lavorazioni ad esso connesse, e in particolar modo la permanenza degli addetti, sia compatibile con il livello di rischio attuale del sito e come il progetto medesimo non comporti un incremento dei rischi per l'area di cava e le aree ad essa contermini.



16 CONCLUSIONI

La presente relazione ha riportato le valutazioni di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico e giacimentologico per le aree di sedime e contermini della cava in oggetto; inoltre, sono state esaminate e trattate le informazioni in merito all'assetto geomeccanico dell'ammasso roccioso, le verifiche di stabilità, le simulazioni di caduta massi e gli esiti delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in sede di sopralluogo. Tutti gli aspetti analizzati concorrono alla valutazione di compatibilità geologica degli interventi con l'assetto territoriale e la normativa regionale e nazionale vigente.

Sulla base di quanto espresso, gli scriventi – Dott. Geol. Paolo Cambuli e Ing. Gianluca Odetto, certificano la compatibilità degli interventi in progetto con le condizioni di rischio esistenti per il sito in esame, sulla base del quadro dei dissesti indicato dalla cartografia degli ambiti ai sensi della L.R. n. 11/1998 e dalle altre fonti documentali, archivistiche e strumentali a disposizione.

Spett.le
SERTEC ENGINEERING CONSULTING s.r.l.
Sede Legale
STRADA PROVINCIALE 222, N. 31
10100 LORANZE' (TO)

1. Dati del campione

Denominazione: Cava in località champlon comune di Saint Denis porzioni massive e polvere di taglio di metaoficalciti campione A1

Codice campione: 22404250/1 **Ricevuto Il:** 08/03/2024

Matrice: MATRICE SOLIDA **Aspetto:** SOLIDO

Lotto: -

2. Dati del campionamento

Stabilimento: Sede Legale, STRADA PROVINCIALE 222, N. 31 10100 LORANZE' (TO)

Punto di prelievo: CAVA **Prelevato Il:** 07/03/2024

Campionato da: Committente **rif. Verbale campionamento:** V00156424030801

Modalità: -

3. Dati amministrativi

Codice cliente: 051444 **Commessa:** **Preventivo:** 202400476 **Ordine:** 202400476

4. Avvertenze e legende

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione di ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove. Salvo diverse indicazioni, quando presenti: la "Denominazione", il "Lotto", le "Condizioni di processo", i "Dati di campionamento" (se campionato dal Cliente), sono dati forniti dal Cliente e il Laboratorio ne declina la responsabilità.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura $k=2,26$ ($k=2$ dove indicato con il simbolo $\hat{s}$) corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

5. Note sul campione

Nessuna

6. Risultati analitici (data inizio prove: 11/03/2024 - data fine prove: 11/03/2024)

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
AMIANTO	mg/kg (s.s.)	< LQ	100		DM 06/09/1994 GU n 288 10/12/1994 All 1 Met B

7. Opinioni e interpretazioni

Nessuna

Fine Rapporto di Prova



Rapporto di Prova firmato digitalmente
Dott. Yuri Pelosi
Ordine dei Chimici della Toscana
N. 1680 SEZIONE A

Spett.le
SERTEC ENGINEERING CONSULTING s.r.l.
Sede Legale
STRADA PROVINCIALE 222, N. 31
10100 LORANZE' (TO)

1. Dati del campione

Denominazione: Cava in località champlon comune di Saint Denis porzioni massive e polvere di taglio di metaoficalciti campione A2

Codice campione: 22404251/1 **Ricevuto il:** 08/03/2024

Matrice: MATRICE SOLIDA **Aspetto:** SOLIDO

Lotto: -

2. Dati del campionamento

Stabilimento: Sede Legale, STRADA PROVINCIALE 222, N. 31 10100 LORANZE' (TO)

Punto di prelievo: CAVA **Prelevato il:** 07/03/2024

Campionato da: Committente **rif. Verbale campionamento:** V00156424030801

Modalità: -

3. Dati amministrativi

Codice cliente: 051444 **Commessa:** **Preventivo:** 202400476 **Ordine:** 202400476

4. Avvertenze e legende

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione di ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove. Salvo diverse indicazioni, quando presenti: la "Denominazione", il "Lotto", le "Condizioni di processo", i "Dati di campionamento" (se campionato dal Cliente), sono dati forniti dal Cliente e il Laboratorio ne declina la responsabilità.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura $k=2,26$ ($k=2$ dove indicato con il simbolo $\hat{s}$) corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

5. Note sul campione

Nessuna

6. Risultati analitici (data inizio prove: 11/03/2024 - data fine prove: 11/03/2024)

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
AMIANTO	mg/kg (s.s.)	< LQ	100		DM 06/09/1994 GU n 288 10/12/1994 All 1 Met B

7. Opinioni e interpretazioni

Nessuna

Fine Rapporto di Prova



Rapporto di Prova firmato digitalmente
Dott. Yuri Pelosi
Ordine dei Chimici della Toscana
N. 1680 SEZIONE A

Spett.le
SERTEC ENGINEERING CONSULTING s.r.l.
Sede Legale
STRADA PROVINCIALE 222, N. 31
10100 LORANZE' (TO)

1. Dati del campione

Denominazione: Cava in località champlon comune di Saint Denis porzioni massive e polvere di taglio di metaoficalciti campione A4

Codice campione: 22404253/1 **Ricevuto Il:** 08/03/2024

Matrice: MATRICE SOLIDA **Aspetto:** SOLIDO

Lotto: -

2. Dati del campionamento

Stabilimento: Sede Legale, STRADA PROVINCIALE 222, N. 31 10100 LORANZE' (TO)

Punto di prelievo: CAVA **Prelevato Il:** 07/03/2024

Campionato da: Committente **rif. Verbale campionamento:** V00156424030801

Modalità: -

3. Dati amministrativi

Codice cliente: 051444 **Commessa:** **Preventivo:** 202400476 **Ordine:** 202400476

4. Avvertenze e legende

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione di ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove. Salvo diverse indicazioni, quando presenti: la "Denominazione", il "Lotto", le "Condizioni di processo", i "Dati di campionamento" (se campionato dal Cliente), sono dati forniti dal Cliente e il Laboratorio ne declina la responsabilità.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura $k=2,26$ ($k=2$ dove indicato con il simbolo $\hat{s}$) corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

5. Note sul campione

Nessuna

6. Risultati analitici (data inizio prove: 11/03/2024 - data fine prove: 11/03/2024)

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
AMIANTO	mg/kg (s.s.)	< LQ	100		DM 06/09/1994 GU n 288 10/12/1994 All 1 Met B

7. Opinioni e interpretazioni

Nessuna

Fine Rapporto di Prova



Rapporto di Prova firmato digitalmente
Dott. Yuri Pelosi
Ordine dei Chimici della Toscana
N. 1680 SEZIONE A

Spett.le
SERTEC ENGINEERING CONSULTING s.r.l.
Sede Legale
STRADA PROVINCIALE 222, N. 31
10100 LORANZE' (TO)

1. Dati del campione

Denominazione: Cava in località champlon comune di Saint Denis porzioni massive e polvere di taglio di metaoficalciti campione A5

Codice campione: 22404254/1 **Ricevuto il:** 08/03/2024

Matrice: MATRICE SOLIDA **Aspetto:** SOLIDO

Lotto: -

2. Dati del campionamento

Stabilimento: Sede Legale, STRADA PROVINCIALE 222, N. 31 10100 LORANZE' (TO)

Punto di prelievo: CAVA **Prelevato il:** 07/03/2024

Campionato da: Committente **rif. Verbale campionamento:** V00156424030801

Modalità: -

3. Dati amministrativi

Codice cliente: 051444 **Commessa:** **Preventivo:** 202400476 **Ordine:** 202400476

4. Avvertenze e legende

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione di ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove. Salvo diverse indicazioni, quando presenti: la "Denominazione", il "Lotto", le "Condizioni di processo", i "Dati di campionamento" (se campionato dal Cliente), sono dati forniti dal Cliente e il Laboratorio ne declina la responsabilità.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura $k=2,26$ ($k=2$ dove indicato con il simbolo $\hat{s}$) corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

5. Note sul campione

Nessuna

6. Risultati analitici (data inizio prove: 11/03/2024 - data fine prove: 11/03/2024)

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
AMIANTO	mg/kg (s.s.)	< LQ	100		DM 06/09/1994 GU n 288 10/12/1994 All 1 Met B

7. Opinioni e interpretazioni

Nessuna

Fine Rapporto di Prova



Rapporto di Prova firmato digitalmente
Dott. Yuri Pelosi
Ordine dei Chimici della Toscana
N. 1680 SEZIONE A

Spett.le
SERTEC ENGINEERING CONSULTING s.r.l.
Sede Legale
STRADA PROVINCIALE 222, N. 31
10100 LORANZE' (TO)

1. Dati del campione

Denominazione: Cava in località champlon comune di Saint Denis porzioni massive e polvere di taglio di metaoficalciti campione A6

Codice campione: 22404255/1 **Ricevuto Il:** 08/03/2024

Matrice: MATRICE SOLIDA **Aspetto:** SOLIDO

Lotto: -

2. Dati del campionamento

Stabilimento: Sede Legale, STRADA PROVINCIALE 222, N. 31 10100 LORANZE' (TO)

Punto di prelievo: CAVA **Prelevato Il:** 07/03/2024

Campionato da: Committente **rif. Verbale campionamento:** V00156424030801

Modalità: -

3. Dati amministrativi

Codice cliente: 051444 **Commessa:** **Preventivo:** 202400476 **Ordine:** 202400476

4. Avvertenze e legende

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione di ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove. Salvo diverse indicazioni, quando presenti: la "Denominazione", il "Lotto", le "Condizioni di processo", i "Dati di campionamento" (se campionato dal Cliente), sono dati forniti dal Cliente e il Laboratorio ne declina la responsabilità.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura $k=2,26$ ($k=2$ dove indicato con il simbolo $\hat{s}$) corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

5. Note sul campione

Nessuna

6. Risultati analitici (data inizio prove: 11/03/2024 - data fine prove: 11/03/2024)

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
AMIANTO	mg/kg (s.s.)	< LQ	100		DM 06/09/1994 GU n 288 10/12/1994 All 1 Met B

7. Opinioni e interpretazioni

Nessuna

Fine Rapporto di Prova



Rapporto di Prova firmato digitalmente
Dott. Yuri Pelosi
Ordine dei Chimici della Toscana
N. 1680 SEZIONE A

Spett.le
SERTEC ENGINEERING CONSULTING s.r.l.
Sede Legale
STRADA PROVINCIALE 222, N. 31
10100 LORANZE' (TO)

1. Dati del campione

Denominazione: Cava in località champlon comune di Saint Denis porzioni massive e polvere di taglio di metaoficalciti campione A7

Codice campione: 22404256/1 **Ricevuto Il:** 08/03/2024

Matrice: MATRICE SOLIDA **Aspetto:** SOLIDO

Lotto: -

2. Dati del campionamento

Stabilimento: Sede Legale, STRADA PROVINCIALE 222, N. 31 10100 LORANZE' (TO)

Punto di prelievo: CAVA **Prelevato Il:** 07/03/2024

Campionato da: Committente **rif. Verbale campionamento:** V00156424030801

Modalità: -

3. Dati amministrativi

Codice cliente: 051444 **Commessa:** **Preventivo:** 202400476 **Ordine:** 202400476

4. Avvertenze e legende

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione di ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove. Salvo diverse indicazioni, quando presenti: la "Denominazione", il "Lotto", le "Condizioni di processo", i "Dati di campionamento" (se campionato dal Cliente), sono dati forniti dal Cliente e il Laboratorio ne declina la responsabilità.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura $k=2,26$ ($k=2$ dove indicato con il simbolo $\hat{s}$) corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

5. Note sul campione

Nessuna

6. Risultati analitici (data inizio prove: 11/03/2024 - data fine prove: 11/03/2024)

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
AMIANTO	mg/kg (s.s.)	< LQ	100		DM 06/09/1994 GU n 288 10/12/1994 All 1 Met B

7. Opinioni e interpretazioni

Nessuna

Fine Rapporto di Prova



Rapporto di Prova firmato digitalmente
Dott. Yuri Pelosi
Ordine dei Chimici della Toscana
N. 1680 SEZIONE A