Calcestruzzi
HEIDELBERGCEMENT Group

Cava di calcare “Castellaro”

Comune di Campomorone (GE)

Progetto di coltivazione per il proseguimento della cava denominata “Castellaro”

Relazione tecnica

Aprile 2022

SOMMARIO

1 PREMESSA 4
2 UBICAZIONE E LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO 5
3 CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE 7
4 INQUADRAMENTO PIANIFICATORIO – PIANO CAVE 8
5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO 10
6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 14
7 DESCRIZIONE DEL PROGETTO DI COLTIVAZIONE 16
7.1 FASE 1 – da quota 500 m slm a quota 405 m slm 17
7.2 FASE 2 – da quota 405 m slm a quota 360 m slm 19
7.3 FASE FINALE – da quota 360 m slm a quota 305 m slm 20
8 PROGETTO DI RECUPERO AMBIENTALE 21
9 REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE 21
9.1 DATI DI BASE 21
9.2 ANALISI STATISTICA DEI DATI 21
9.3 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA RETE DI SMALTIMENTO 22
9.4 CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO 23
9.5 DIMENSIONAMENTO DELLE CANALETTE 29
10 SISMICA E VERIFICHE DI STABILITA' 34
10.1 CLASSIFICAZIONE E VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA 34
10.1.1 Valutazione dell'azione sismica e dei coefficienti 34
10.2 RILIEVO GEOSTRUTTURALE 35
10.2.1 Parametri delle discontinuità 36
10.2.2 Classificazione dell'ammasso 37
10.2.3 Classificazione mediante l'indice RMR '76, Bieniawski (1976) 37
10.2.4 Relazione sulla classificazione mediante l'indice RMR '89, Bieniawski (1989) 37
10.2.5 STOP 1: LE DISCONTINUITÀ RILEVATE 39
10.2.6 STOP 2: LE DISCONTINUITÀ RILEVATE 41
10.2.7 STOP 3: LE DISCONTINUITÀ RILEVATE 43
10.3 ANALISI DEI CINEMATISMI 46
10.3.1 ANALISI QUANTITATIVA 49
10.4 ANALISI DI STABILITA' DEL PENDIO 52
10.5 RISULTATI DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 61
11 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 62

Allegati al progetto di coltivazione:

- dis. n. 430-CAV-014: situazione dello stato di fatto
- dis. n. 430-CAV-015: situazione al termine della prima fase
- dis. n. 430-CAV-016: situazione al termine della seconda fase
- dis. n. 430-CAV-017: situazione finale
- dis. n. 430-CAV-018: profili
- dis. n. 430-CAV-023: planimetria catastale
- dis. n. 430-CAV-024: situazione finale con limiti vari
- dis. n. 430-CAV-025: progetto di regimazione delle acque meteoriche in situazione finale

- Progetto di recupero ambientale con i seguenti allegati:
  - dis. n. 430-CAV-019: progetto di recupero ambientale al termine della prima fase
  - dis. n. 430-CAV-020: progetto di recupero ambientale al termine della seconda fase
  - dis. n. 430-CAV-021: progetto di recupero ambientale in situazione finale

Indice delle figure:

- Figura 1 – Estratto della scheda tecnica di piano cave riguardante la cava "Castellaro"
- Figura 2 – Ubicazione e rapporti tra le unità presenti nella zona di studio
- Figura 3 – Schema tettonico generale – Nel cerchio rosso l'area di cava, mentre nei cerchi verdi l'indicazione delle sezioni geologiche riportate nelle figure successive
- Figura 4 – Profilo geologico B-B'
- Figura 5 – Profilo geologico D-D'
- Figura 6 – Schema dei rapporti stratigrafici
- Figura 7 – Inquadramento della zona con ubicazione delle principali grotte carsiche rilevate (tratto da www.catastogrotte.it)
- Figura 8 – Tratto di canaletta a lato di una pista di accesso e relativa tubazione di attraversamento
- Figura 9 – Altra ripresa di una canaletta in scavo (a sinistra) e canaletta realizzata con manufatti in c.a. (a destra)
- Figura 10 – Diverse tipologie di rivestimento di un canale a lato di una pista di accesso con blocchi e malta cementizia
- Figura 11 – Punto di scarico di tubazione con salto di fondo e vasca di calma
- Figura 12 – Canaletta in scavo su roccia non rivestita e canaletta di compluvio rivestita in pietre ammorsate nel cemento
- Figura 13 – Ubicazione degli stop strutturali

Indice delle fotografie:

- Foto 1 – Panoramica dell'intera cava Castellaro
- Foto 2 – Panoramica del settore N della cava
- Foto 3 – Vista aerea della zona impianti
- Foto 4 – Panoramica del fronte di scavo nel settore nord e centrale
- Foto 5 – Panoramica del settore centrale e meridionale

1 PREMESSA

La presente relazione viene redatta per fornire gli inquadramenti e descrivere il progetto di coltivazione per il proseguimento della cava denominata "Castellaro" sita nel Comune di Campomorone (GE), loc. Isoverde.

Il progetto oggetto della presente relazione si inserisce all'interno di quanto previsto dal vigente Piano Cave della Regione Liguria in cui la cava Castellaro è individuata all'interno dell'"Ambito 6: Genova" con la sigla 06.GE.01.

In particolare, quanto proposto si inquadra come un ampliamento areale e volumetrico dell'attuale area di cava e dei volumi disponibili, in accordo con quanto indicato nella scheda di Piano Cave, per una volumetria complessiva di oltre 3.000.000 mc di materiale calcareo da coltivare dal rilascio dell'autorizzazione al completamento della coltivazione.

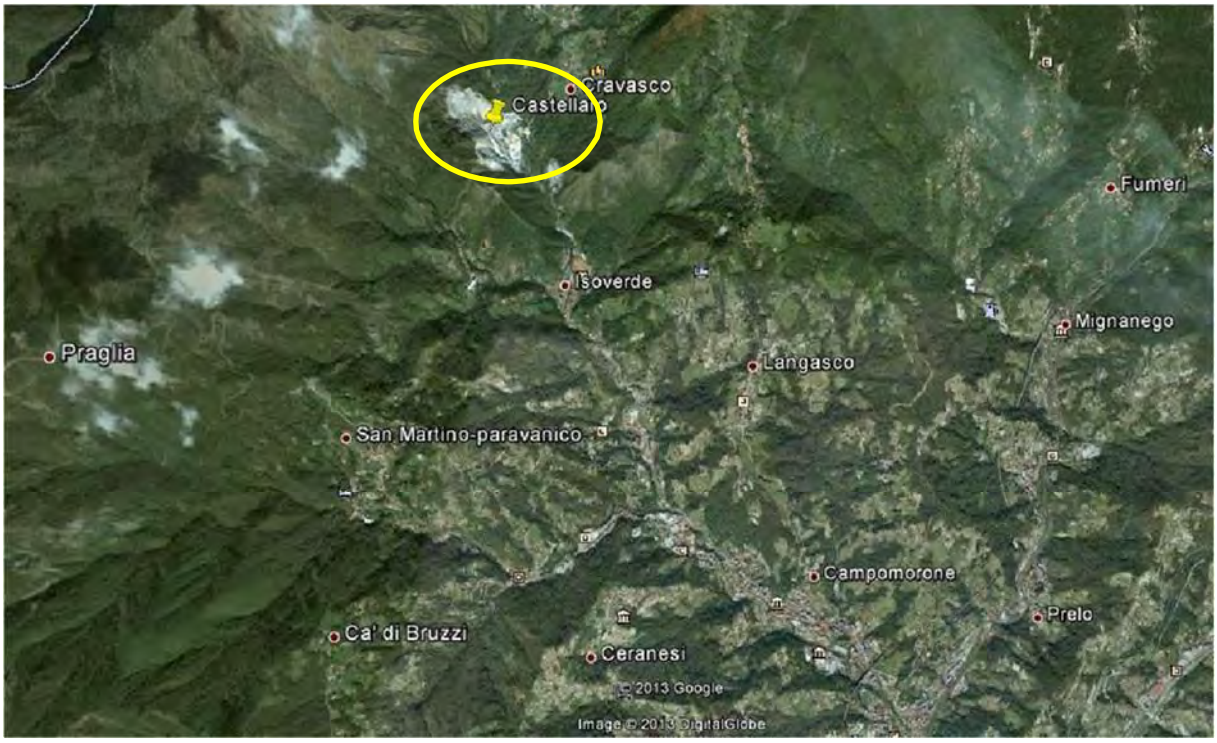
Nel proseguo della relazione, accanto agli inquadramenti, viene fornita un'ampia descrizione del progetto di coltivazione, rimandando al progetto di recupero ambientale per la trattazione dei relativi aspetti.

2 UBICAZIONE E LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO

La cava in oggetto è sita nel territorio del Comune di Campomorone (GE), in località "Isoverde".

La cava si trova a 30 km a nord di Genova e a circa 5 km a nord nord-ovest dell'abitato di Campomorone in una zona pedemontana che si eleva da quota 300 m a 530 m s.l.m. nella valle del torrente Verde.

L'ubicazione della cava rispetto al contesto circostante sopra descritto, è riportato nella immagine che segue.



Per quanto riguarda la disponibilità dei terreni oggetto del proseguimento dell'intervento estrattivo, la Società Calcestruzzi alla fine del 2021 ha completato l'acquisizione definitiva di tutti i terreni inseriti all'interno del limite Ca, come definito dalla scheda di Piano Cave, la cui descrizione è riportata al paragrafo successivo.

Soprattutto nel settore meridionale della cava il limite di proprietà si estende oltre il limite di cava (Ca), e questo fatto non può che essere garanzia di sicurezza per le lavorazioni all'interno e per le proprietà di terzi poste all'esterno dell'area di cava.

Si riporta di seguito la mappa catastale aggiornata in cui sono riportati tutti i terreni di proprietà Calcestruzzi facenti parte dell'area di cava (Ca). SI tratta della tav. n. 430-CAV-023, allegata in formato originale al progetto.

Tutti i terreni oggetto della progettazione e facenti parte dell'Area di Cava oggetto di escavazione (Ca) sono di proprietà della Soc. Calcestruzzi S.p.A.

PTRAC

Castellaro (06.GE 01)

Limite Ca

Limite di proprietà

Limite di coltivazione (fase finale)

Mappa catastale

CARTOGRAFIA NUMERICA SCALA 1 : 1000

10 0 20 40 60 80 100

COMUNE DI CAMPOMORONE

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

REGIONE LIGURIA

CAVA DI CALCARE DENOMINATA "CASTELLARO"

PLANIMETRIA CATASTALE

Il Progettista:

Calcestruzzi HEIDELBERGCEMENT Group
Servizio cave

Società ITALCEMENTI

Impianto ISOVERDE

CAVA CASTELLARO

A termine di legge la Società si riserva la proprietà del presente disegno vietandone la riproduzione e la comunicazione a terzi senza la sua autorizzazione scritta.

OGGETTO: CATASTALE

Realizzatore	Approvatore	Data	Cod. Progetto	N°. Dis.	Rev.	Scala
Geom. Castellazzi		02/2022	000	430-CAV-023		1:1000

by MicroStation

3 CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE

Le informazioni climatiche sono state desunte da quelle registrate presso le stazioni termopluviometriche di Isoverde e di Mignanego (Ge), situate a breve distanza dall'area in esame.

La stazione di Isoverde si trova ad un'altitudine di 270 m. s.l.m., è in funzione dall'anno 1934 ed i dati si riferiscono al periodo compreso tra gli anni 1934 ed 1989.

La media termometrica è di circa 12° C. Il periodo più caldo risulta essere luglio-agosto (media di 16° C) mentre il mese più freddo è gennaio con una media di 4.8° C.

La piovosità è particolarmente elevata, con una media di 1780 mm per anno. Il periodo più piovoso risulta quello autunnale con un picco massimo in ottobre con una media di 240 mm. Il mese più asciutto è luglio (60 mm).

Nella stazione situata presso Mignanego (m. 250 s.l.m.) i dati sono disponibili per il periodo 1935-1989.La media termometrica è di circa 11.5° C. Il periodo più caldo risulta essere luglio-agosto(media di 15° C) mentre il mese più freddo è gennaio con una media di 3.3° C.

La piovosità è particolarmente elevata, con una media di 1750 mm per anno . Il periodo più piovoso risulta quello autunnale con un picco massimo in ottobre con una media di 170 mm. Il mese più asciutto è luglio (45 mm).

Considerata la limitatissima differenza di quota dell'area di cava rispetto alle due stazioni, si possono ipotizzare temperature del tutto analoghe e condizionate solo da esposizione e giacitura, mentre anche l'andamento delle piogge non dovrebbe discostarsi molto, risultando piuttosto elevato e tale da condizionare alcune scelte di progetto (opere di regimazione acque ed impianto di specie ad alto consumo idrico per prosciugamento biotecnico, ecc.).

L'aggiornamento delle precipitazioni, considerando i recenti eventi meteoclimatici, è stato ripreso, approfondito e inserito nei calcoli per la regimazione idraulica delle acque di cava.

4 INQUADRAMENTO PIANIFICATORIO – PIANO CAVE

L'area di cava è inserita all'interno del Piano Cave della Regione Liguria, approvato con D.C.R. 26.05.2020 n. 7.

In particolare, l'area di cava è inserita nel cosiddetto "Ambito 6: Genova" e la cava è individuata dalla sigla 06.GE 01. La scheda di Piano Cave relativa alla cava oggetto del presente studio è riportata di seguito.

Dall'esame della stessa si evince che la cava può proseguire la sua attività, proponendo varianti, sia legate alla coltivazione sia al recupero ambientale, per migliorare gli aspetti connessi alla stabilità dei fronti, alla sicurezza degli operatori e alla ricomposizione morfologica e ambientale del sito, tramite la riprofilatura del fronte di cava, attuando un programma che preveda la ricomposizione ambientale e paesaggistica dei gradoni finali, una volta che sia stato raggiunto il limite di progetto.

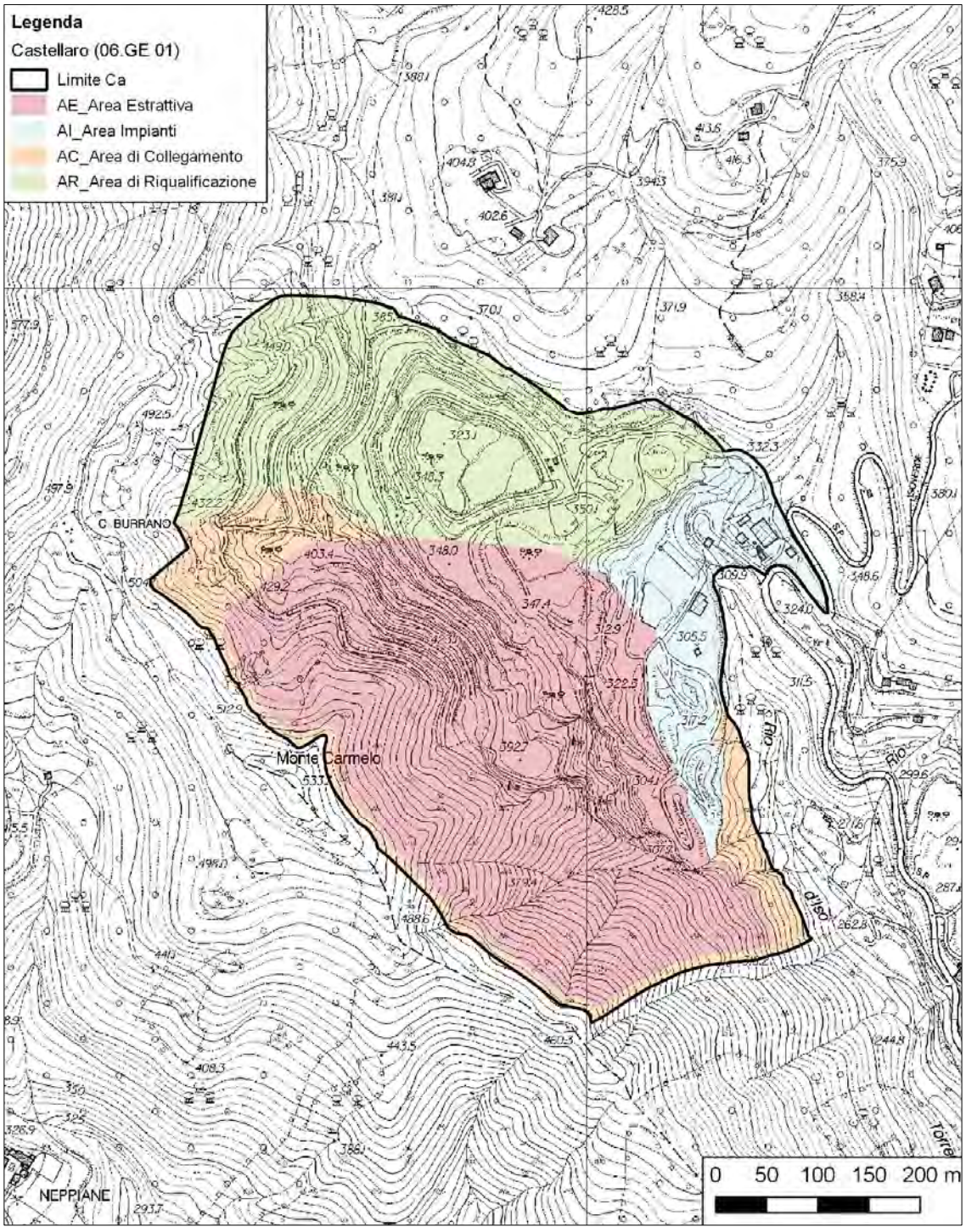


Figura 1 – Estratto della scheda tecnica di piano cave riguardante la cava "Castellaro"

Come indicato nella planimetria della scheda di piano, la coltivazione si concentrerà nella zona a campitura rossa “AE Area estrattiva”, mentre il progetto già autorizzato ed in corso riguardante l’abbancamento di materiale proveniente dal cantiere COCIV proseguirà fino al suo esaurimento ed in aderenza alle morfologie assentite all’interno dell’area di colore verde “AR Area di riqualificazione”.

Resta confermata l’ubicazione degli attuali impianti all’interno dell’area celeste “AI Area Impianti”.

Infine, la superficie di colore arancione “AC Area di collegamento” che è da considerare come area buffer tra la zona AE e le aree contermini, con una fascia di rispetto di 10 m, è stata sostanzialmente mantenuta come rappresentato nella mappa di Piano Cave.

Quanto sopra fatte salve quelle zone dove, per necessità di garantire un adeguato sviluppo della cava in sicurezza, la zona buffer è stata ridotta ad al massimo 5 metri di larghezza planimetrica, andando a compensare questo restringimento nelle zone dove lo sviluppo della coltivazione non richiedeva questi accorgimenti legati alla sicurezza del cantiere. Le piste di arroccamento sono state realizzate proprio nel settore nord della zona buffer (AC) in modo da massimizzare la produzione, e garantire sufficienti spazi di manovra e sicurezza per i mezzi impiegati. Da ultimo, sempre a riguardo di questo aspetto, si è privilegiato realizzare le piste di arroccamento nel settore nord dell’area AE, considerata la necessità che queste si conservino anche a medio lungo termine per gli interventi di realizzazione e manutenzione del recupero ambientale di cava.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

La cava produce dolomia con un modesto contenuto d calcare dolomitico, sviluppandosi tutta nella formazione carbonatica Triassico-Liassica che fa parte geologicamente della "Zona Sestri – Voltaggio".

Nella zona studiata affiorano due macro unita tettoniche ben distinte:

- Le unità di margine continentale, caratterizzate dalla presenza di successioni metasedimentarie di età permo – giurassica, originate in ambiente di margine continentale. L'unica unità di margine continentale presente sul territorio comunale è rappresentata dalla Unita tettonometamorfica Gazzo – Isoverde.
- Le unità di crosta oceanica e mantello che sono litologicamente costituite da successioni ofiolitifere, comprendenti porzioni del basamento gabbro – peridotitico e dalle relative coperture vulcano – sedimentarie.

Vengono distinte in ordine di sovrapposizione geometrica:

- Unita tettonometamorfica Figogna
- Unita tettonometamorfica Cravasco – Voltaggio
- Unita tettonometamorfica Palmaro – Caffarella
- Unita tettonometamorfica Voltri.

La zona "Sestri Voltaggio" rappresenta una struttura di grande complessità, nella cui interpretazione si sono cimentati molti Autori, considerandola ora la zona di contatto tra la falda delle "Pietre Verdi" e la falda Ligure-toscana (Rovereto, 1939), ora una superficie di sovrascorrimento dell'Unità Cravasco – Voltaggio – Montenotte sul Gruppo di Voltri (Cortesogno e Haccard, 1984); per lungo tempo è stata considerata il limite tra Alpi ed Appennino.

È costituita da una sequenza ofiolitica con copertura metamorfica in facies di scisti blu (Unità Cravasco-Voltaggio), da una sequenza analoga, metamorfica in facies di minore pressione (unità di M. Figogna) e da una serie carbonatica triassico-liassica (Unità di M. Gazzo-Isoverde), di pertinenza paleogeografica incerta.

Le prime due unità sono caratterizzate da una complessa evoluzione tettonico metamorfica, probabilmente sviluppatasi a partire da un sovrascorrimento dell'Unità ofiolitifera di Cravasco – Voltaggio su quella Triassico-Liassica; entrambe sottostanno tettonicamente all'Unità di M. Figogna.

Nel loro insieme le tre unità occupano una ristretta fascia a direzione Nord-Sud, da Sestri a Voltaggio, appunto, poggiante ad occidente sul Gruppo di Voltri, lungo la "Linea Sestri – Voltaggio", e ricoperta ad oriente dalle Unità Liguridi dell'Appennino settentrionale. Il piano di sovrapposizione tettonica è stato fortemente raddrizzato (spesso sino quasi alla verticale) da una fase tardiva di piegamento e successivamente fagliato verso Nord.

La cava è situata interamente entro la formazione dolomitica della serie triassico – liassica con una potenza complessiva di alcune centinaia di metri. Il contatto con le ofioliti è localizzato a Nord Ovest al di fuori dal confine della cava.

In affioramento le dolomie si presentano in banchi di spessore metrico, a colorazione grigia quando sono state esposte per lungo tempo agli agenti atmosferici, tendenti a colori giallini più chiari sul taglio relativamente fresco; ad esse sono talora intercalati livelletti marnosi giallastri. Sono presenti vari stadi di ricristallizzazione, che raggiunge localmente una struttura saccaroide e che tende a mascherare la tessitura originaria, che risulta difficilmente riconoscibile.

Sono presenti diversi set di discontinuità a spaziatura anche ridotta che danno luogo ad una rilevante fratturazione dell'ammasso. Sono evidenziate in cartografia le lineazioni tettoniche più evidenti, le principali dirette quasi N-S, parallele alla linea Sestri – Voltaggio.

Tenuto conto della fratturazione e della presenza di interstrati alterati, il peso di volume in banco è stato stimato con precedenti indagini in 2,26 t/m^3, di poco migliorata con l'avanzare della coltivazione poiché si procede parallelamente al versante con un approfondimento relativamente modesto.

La coltre eluvio-colluviale è molto modesta, pochi decimetri, e nel complesso incide in modo non significativo sulla valutazione in oggetto.

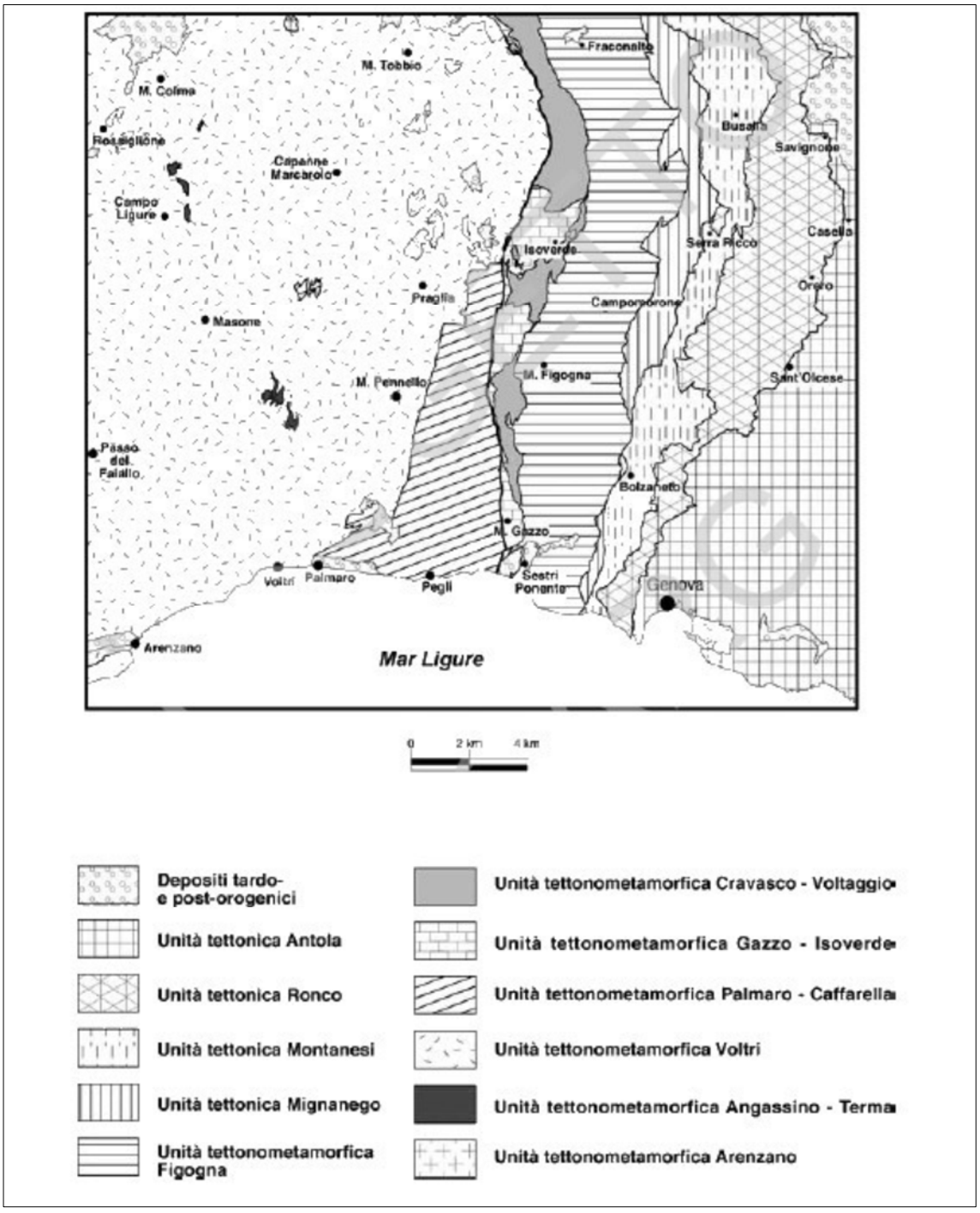


Figura 2 – Ubicazione e rapporti tra le unità presenti nella zona di studio

Le diverse unita risultano polideformate e polimetamorfiche, sotto differenti condizioni di pressione e temperatura, per gradienti termici da bassi a molto bassi. Queste successioni ofiolitifere sono classicamente riferite al dominio oceanico Ligure-Piemontese (Vanossi et alii, 1984), che si sviluppa a partire dal Giurassico tra i blocchi continentali europeo e insubrico ed e successivamente coinvolto negli eventi subduttivi alpini.

A scala locale il sito di intervento è ubicato nella zona di affioramento dell'Unità Gazzo – Isoverde.

L'unita Gazzo – Isoverde affiora in tre corpi principali in corrispondenza delle zone Isoverde, Lencisa e Monte Gazzo. Risulta compresa tra l'Unita Figogna e l'Unita Palmaro – Caffarella ed e associata all'unita Cravasco – Voltaggio di cui condivide le deformazioni. Nell'impilamento tettonico delle unità

tettonometamorfiche si trova quindi in posizione sottoposta all'Unita Figogna e sovrapposta all'Unita Palmaro - Caffarella.

I rapporti di sovrapposizione geometrica e strutturale tra le unita sono schematizzati nel profilo geologico sottostante, dove tra le unita Gazzo-Isoverde e Figogna si osserva l'interposizione tettonica dell'unita Cravasco-Voltaggio.

Nello schema tettonico sotto riportato si evidenziano i reciproci rapporti tra le unità presenti.

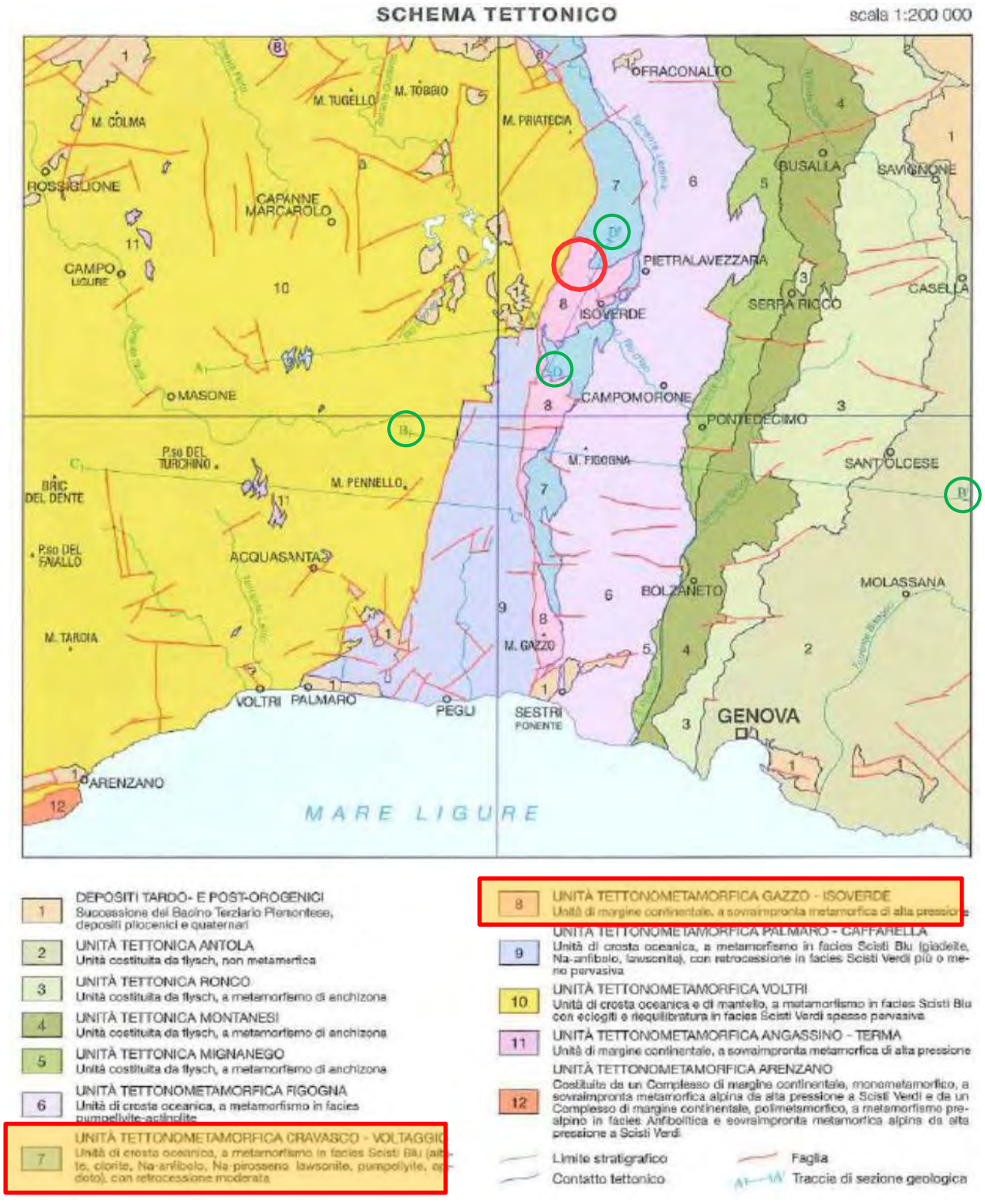


Figura 3 – Schema tettonico generale – Nel cerchio rosso l'area di cava, mentre nei cerchi verdi l'indicazione delle sezioni geologiche riportate nelle figure successive

Dall'esame del foglio CARG Genova e analizzando i profili geologici lì riportati – con particolare riferimento ai profili B-B' e D-D', si può osservare l'interposizione tettonica dell'Unità Cravasco – Voltaggio tra le unità Gazzo – Isoverde e Figogna sopra citate.

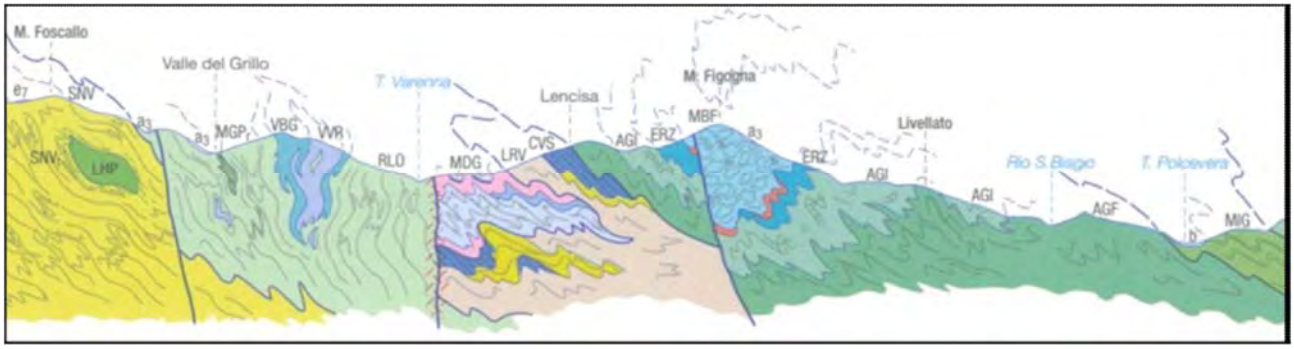


Figura 4 – Profilo geologico B-B'

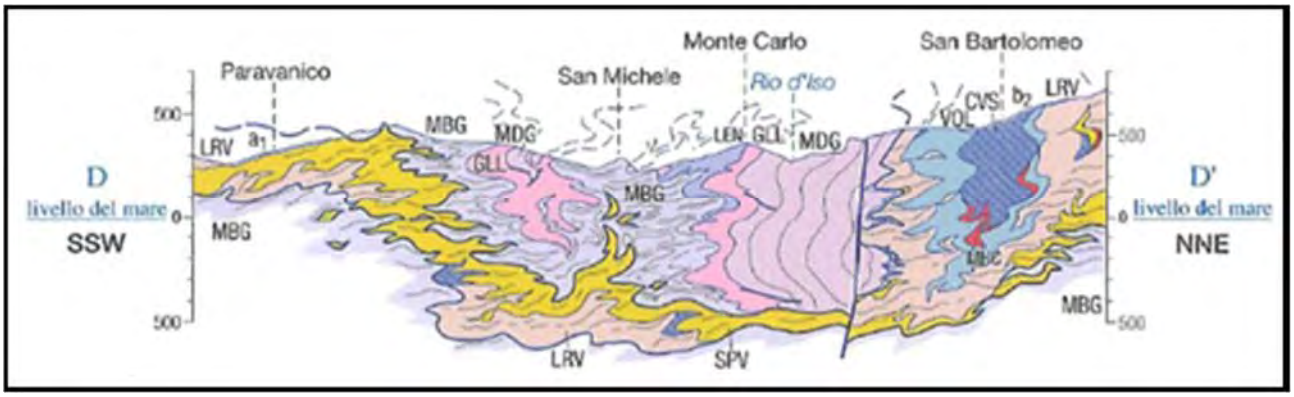


Figura 5 – Profilo geologico D-D'

L'unità Gazzo – Isoverde decisamente prevalente all'interno dell'area di cava risulta costituita da una successione di dolomie, calcari e argilloscisti. All'interno delle dolomie si rinvengono spesso livelli di gessi e carniole che le conferiscono il tipico aspetto a solchi.

Sulla stessa unità sono ben presenti e riconoscibili segni di alta pressione/bassa temperatura (sovraimpronta metamorfica), simile a quanto si rinviene nell'Unità Cravasco Voltaggio, con pari evoluzione strutturale.

Nell'immagine che segue si riporta lo schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l'unità Gazzo – Isoverde.

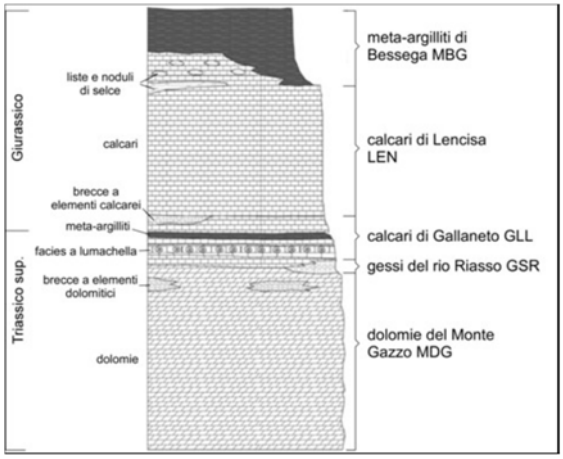


Figura 6 – Schema dei rapporti stratigrafici

A livello strutturale, l'area di intervento presenta caratteristiche analoghe a quelle già riscontrate e presenti in altri studi precedenti, ovvero un assetto della formazione calcareo dolimitica a costituire una monoclinale immergente verso Sud-est, con inclinazioni che dal settore nord a quello sud (quello più propriamente interessato dal proseguimento della coltivazione) passano dalla sub verticalità a 45°.

Le condizioni di stabilità, come mostrato anche nelle verifiche di stabilità riportate nel proseguo della relazione, sono sostanzialmente garantite, fatto salvo per eventuali distacchi localizzati di volumi di roccia di modesta volumetria, dovuta alla presenza di sistemi di fratturazione che tendono a intersecarsi tra loro e i piani di strato e a determinare la formazione di cunei di pezzatura piccola o al più media.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nell'area in oggetto le dolomie della formazione del M. Gazzo sono di fatto interessate da una modesta permeabilità e da una limitata circolazione carsica.

Per quanto riguarda le condizioni di permeabilità esistenti, si specifica che la formazione calcareo-dolomitica e caratterizzata da una permeabilità per fratturazione, fessurazione e carsismo. Nell'area non si riscontrano comunque emergenze idriche significative.

La circolazione idrica nella porzione detensionata ed alterata del substrato roccioso ha generalmente carattere temporaneo, legato all'infiltrazione lungo i versanti soprastanti in occasione degli eventi pluviometrici intensi.

All'interno dell'unita tettonometamorfica Gazzo-Isoverde sono presenti formazioni di rocce carbonatiche nelle quali si sono sviluppati fenomeni carsici di un certo rilievo, tali da permettere di individuare due sistemi carsici indipendenti, definiti dal Catasto delle grotte e delle aree carsiche della Regione Liguria (http://www.catastogrotte.net):

- GE33 - Monte Gazzo,
- GE35 – Isoverde

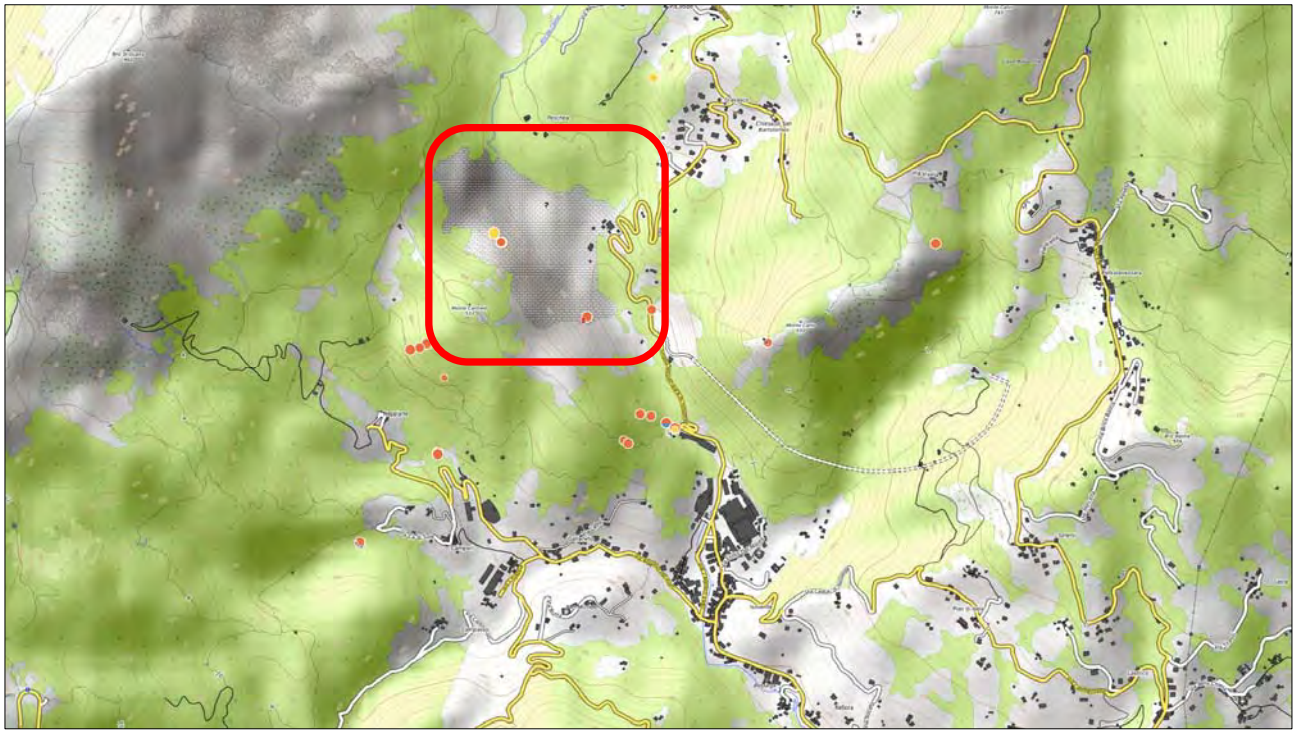


Figura 7 – Inquadramento della zona con ubicazione delle principali grotte carsiche rilevate (tratto da www.catastogrotte.it)

Le evidenze di carsismo note nel settore del M. Gazzo, in molti casi venute alla luce in seguito ai lavori di coltivazione delle cave e allo scavo del collegamento ferroviario tra il porto di Voltri e la linea del III Valico, presentano un andamento prevalentemente verticale, essendo impostate su strutture tettoniche

subverticali. All’interno di questo corpo carbonatico non sono conosciuti sistemi freatici ne corsi d’acqua importanti. Il carsismo sotterraneo, spesso senile o fossile, e caratterizzato da cavita sovente riempite da depositi chimici secondari in svariate forme.

I fenomeni carsici di interesse naturalistico, fra i quali il piu importante e la "Grotta d'Iso", si trovano più a valle dell’area interessata dal progetto.

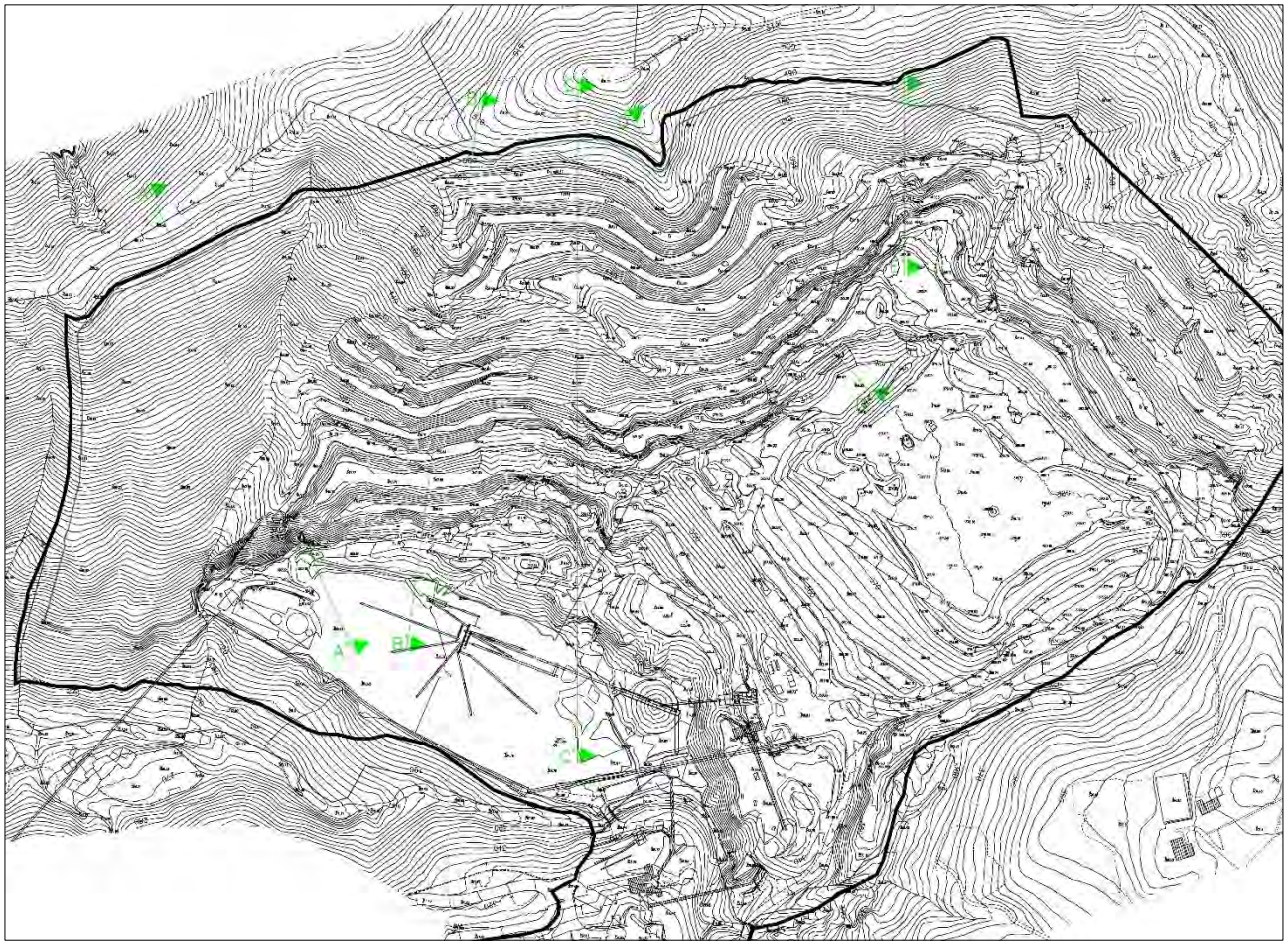
7 DESCRIZIONE DEL PROGETTO DI COLTIVAZIONE

Il progetto di coltivazione della cava Castellaro è stato sviluppato come proseguimento ed ampliamento del progetto esistente autorizzato, all'interno dei limiti imposti dal Piano Cave e in particolare secondo quanto riportato nella scheda 06.GE.01.

In particolare, il progetto è stato costruito per soddisfare le esigenze produttive e commerciali della Soc. Calcestruzzi, con una produzione complessiva pari a oltre 3.000.000 mc ed è articolato in 3 fasi che partendo dall'alto e arretrando il ciglio di cava fin dove concesso dal perimetro del limite AE "Area Estrattiva", ne consente una completa riprofilatura, mimando e mantenendo l'attuale andamento a gradoni.

Diversamente si sarebbe potuto fare se la pianificazione vigente avesse concesso di raggiungere con la coltivazione autorizzata il ciglio, anziché fermarsi ad alcune decine di metri da esso. Questa scelta comporta per la Calcestruzzi di ricalcare la morfologia attuale, non disponendo di sufficienti spazi per creare piazzali in quota da cui ripartire.

Si riporta di seguito un estratto dello stato di fatto della cava (dis. n. 430-CAV-014).



Fatte queste premesse, il progetto – nel pieno rispetto delle geometrie imposte dalla Normativa Tecnica del Piano Cave della Regione Liguria, prevede di realizzare a partire dall'alto dei gradoni di altezza massima 10 metri tra quota 500 e quota 480 m slm, al di sotto quest'ultima va a creare gradoni di altezza pari a 15 m e pedate sempre di larghezza compresa tra 6 e 7 m.

Nello specifico la coltivazione si articola su 3 fasi discendenti (a partire da quota 500 m slm) che verranno descritte nei paragrafi seguenti.

Il metodo di coltivazione della cava verrà mantenuto sostanzialmente identico a quello attuale, ovvero con una fase di coltivazione vera e propria con l'uso di esplosivo, il buttaggio del materiale lungo specifiche linee lungo il fronte, la ripresa del materiale con pala o escavatore per il carico dei mezzi destinati all'impianto di trattamento.

Occorre infine precisare che tutte le fasi della coltivazione di seguito descritte sono state progettate considerando la zona dell'abbancamento completata dal punto di vista morfologico; pertanto il progetto descritto non tiene conto di questa zona, che fa parte della AR "Area di riqualificazione" del vigente Piano Cave. Va da sé che non essendo ancora definita morfologicamente la situazione finale dell'abbancamento, la coltivazione nella zona di contatto in modo sostanzialmente allineato al progetto via via che l'abbancamento raggiungerà le morfologie definitive.

Nella tabella che segue si riportano i volumi da estrarre fase per fase e complessivi. Per il calcolo delle tonnellate estraibili si è fatto riferimento ad un peso specifico medio di 2,26 t/m^3.

	fase 1	**fase 2**	**fase finale**	**Totale**
metri cubi	1.026.000	1.035.000	1.346.000	3.407.000
tonnellate	2.318.760	2.339.100	3.041.960	7.699.820

I quantitativi della tabella sopra riportata sono da ritenersi del tutto indicativi e non possono costituire un riferimento prescrittivo per il passaggio da una fase all'altra del progetto, in quanto dipendono strettamente dal mercato la cui evoluzione è imprevedibile e condizionata da fattori al momento non predefiniti.

In fase di realizzazione del progetto, soprattutto nel corso della prima, non si potrà fare a meno che utilizzare le piste lungo l'abbancamento per la movimentazione dei mezzi e dei carichi, in quanto le vie di passaggio per l'apertura dei fronti sommitali sono concentrate all'interno della zona di transizione posta nel settore nord della cava.

7.1 FASE 1 – da quota 500 m slm a quota 405 m slm

La coltivazione, come necessario per la riprofilatura del versante, prende avvio nella parte centrale del versante al limite della zona di cava (AE) e, tramite gradonature si abbassa verso la quota 405.

Le gradonature risultano differentemente distribuite in termini di altezza, in quanto si va da un'altezza di 10 metri tra quota 500 e quota 480 fino all'altezza di 15 m tra quota 480 e quota 405; pertanto la prima fase risulta costituita da sette gradoni che, a parte quello più a monte di inclinazione finale di 60°, sono tutti progettati con inclinazione di 70°, intendendo con questo artificio anche assecondare la necessità di garantire una morfologia finale più variegata e non monotona.

Nella zona meridionale dell'Area Estrattiva (AE) oggi non interessata dalla coltivazione, il Piano cava ha stabilito di espandere la possibilità di coltivazione per oltre 150 m lungo tutto il versante, circa tra quota 460 e il piede a quota 405 m slm, con la creazione di 5 gradoni di cui il primo di altezza media pari a 15 m, inclinazione 60° e berme larghe 6 m. Man mano che si scende l'altezza del secondo gradone è pari a 10 m, inclinato di 70° e berma larga 6 metri; per i successivi l'altezza è pari a 15 m, inclinati di 70° e con berme di larghezza pari a 6 m.

Nel settore nord opposto, la morfologia della nuova cava è condizionata da due fattori:

- L'innalzamento progressivo del versante
- La previsione del piano cave che considera questa fascia come area di collegamento

Per questi motivi e per poter massimizzare la produzione nella zona centrale e meridionale del fronte di scavo, in questa fascia la coltivazione è molto ridotta, stretta tra la zona dell'abbancamento e l'impluvio che la attraversa, e perciò si è ritenuto più opportuno destinarla a piste di arroccamento per raggiungere i fronti alti, sia durante la fase di escavazione, sia per intervenire con gli interventi di recupero ambientale e la loro manutenzione.

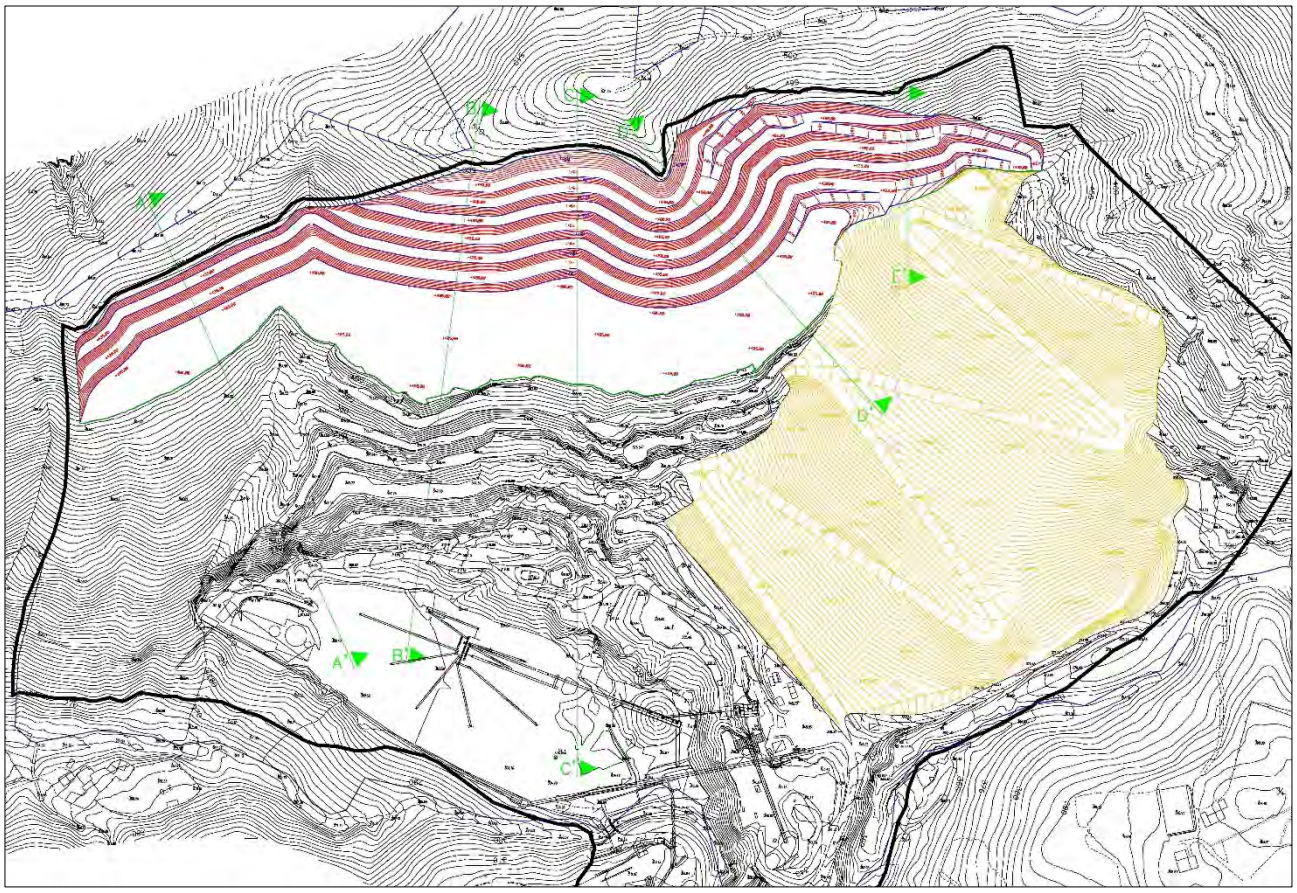
In questa e in tutte le altre fasi del progetto, non si prevede di riallocare gli impianti di trattamento del materiale, in quanto la loro collocazione è da considerarsi definitiva.

La viabilità di cava in questa fase non subirà nessun tipo di modifica, in quanto la coltivazione si mantiene sopra la quota 405 m slm e pertanto non verrà interessata nessuna delle piste che dall'ingresso della cava conducono alla zona impianti posta a quota 305 m slm.

Man mano che la coltivazione si sposta verso quota 405 m slm, i gradoni sommitali non più interessati dalla coltivazione possono essere via via recuperati secondo quanto previsto dal progetto di recupero ambientale allegato.

Per quanto riguarda la gestione delle acque in questa fase, si rimanda allo specifico capitolo nelle pagine seguenti della presente relazione.

Nell'estratto qui sotto è riportata la morfologia della cava al termine della prima fase di coltivazione (dis. n. 430-CAV-015).



7.2 FASE 2 – da quota 405 m slm a quota 360 m slm

La coltivazione della seconda fase prosegue secondo quanto già avviato nella prima, ripartendo dal piazzale – ora molto ampio – posto a quota 405.

Al di sotto di questa quota vengono creati tre gradoni senza sostanziali differenze tra il settore meridionale e quello centrale della cava, andandosi a raccordare verso nord alla morfologia finale dell'abbancamento.

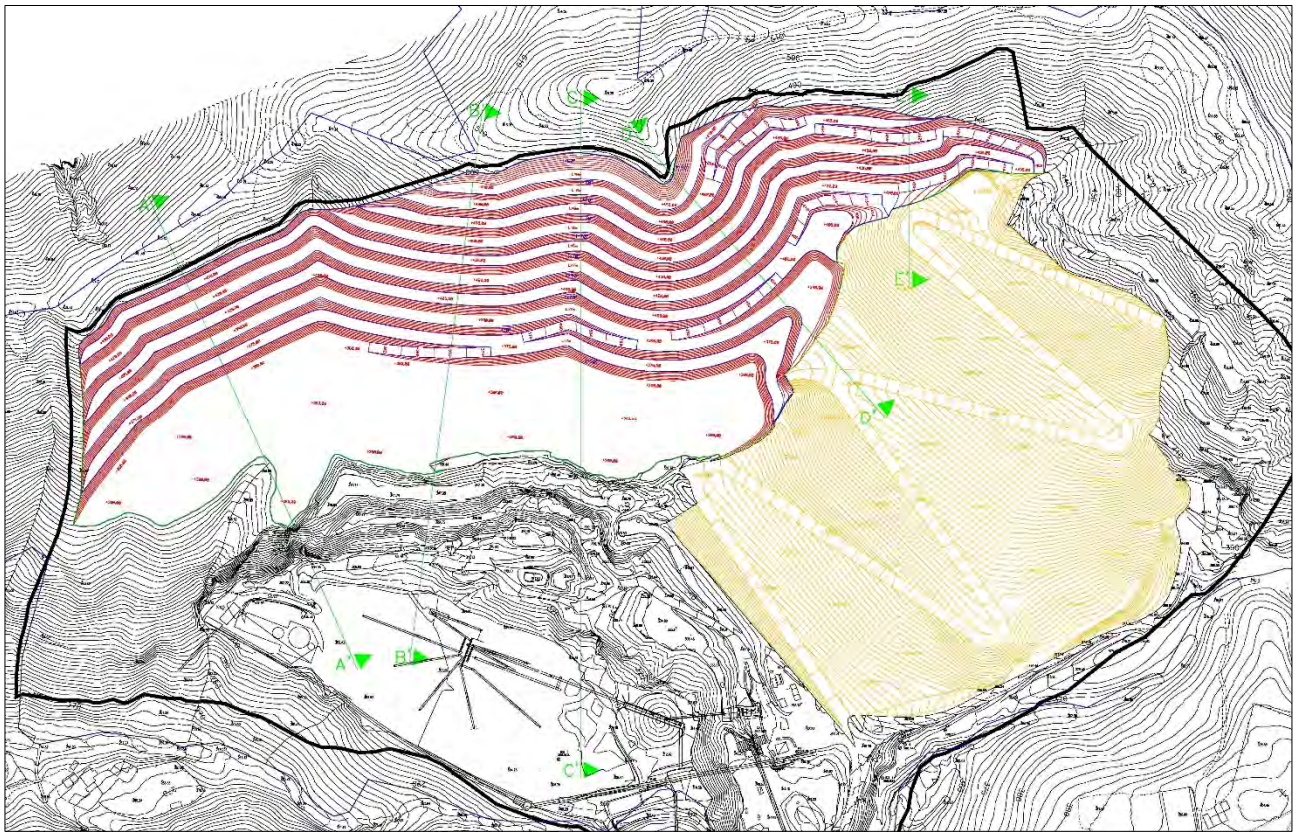
L'altezza dei gradoni è sempre di 15 m, con berme di larghezza pari a 7 m e inclinazione dei fronti di scavo e in rilascio pari a 70°.

Procedendo verso nord ovest lungo l'impluvio esistente si procede alla creazione di una zona dove si concentrano le rampe e i piazzali di manovra per l'accesso ai gradoni più alti, che verrà mantenuta per gli interventi di manutenzione del recupero ambientale.

Al termine di questa fase, il piazzale di quota 360 m slm continuerà ad avere – rispetto al termine della prima fase di lavorazione – una larghezza media di 70 m, in modo tale da consentire il più ampio transito dei mezzi e la più grande distanza del fronte di scavo dal ciglio del piazzale. La superficie del piazzale è di 25.000 m^2.

Per quanto riguarda la gestione delle acque in questa fase, si rimanda allo specifico capitolo nelle pagine seguenti della presente relazione.

Nell'estratto qui sotto è riportata la morfologia della cava al termine della seconda fase di coltivazione (dis. n. 430-CAV-016.



7.3 FASE FINALE – da quota 360 m slm a quota 305 m slm

Si tratta dell'ultima fase della coltivazione, al termine della quale tutti i volumi disponibili secondo il presente progetto saranno stati estratti.

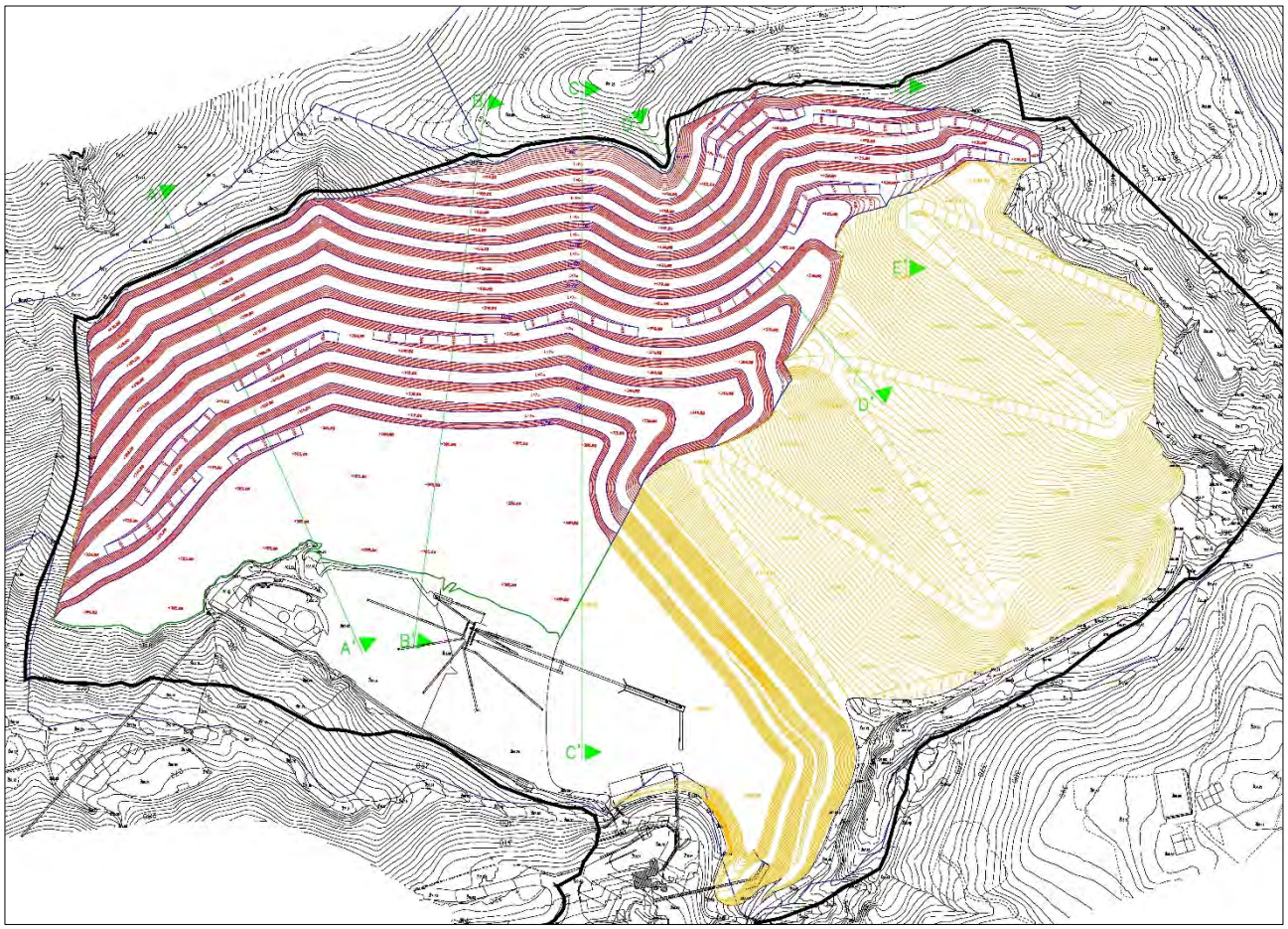
Le modalità di abbassamento del fronte di scavo, con progressivo rilascio dei fronti soprastanti viene confermata anche in quest'ultima fase progettuale.

L'altezza dei gradoni è confermata in 15 m, l'inclinazione di 70° e la larghezza delle berme è pari a 7 m.

La quota finale del piazzale di cava si assesta intorno ai 305 m slm, per tutta l'ampia superficie pari a oltre 25.500 m^2.

La volumetria da estrarre in questa fase corrisponde a circa 1.346.000 m^3, con raccordo sia a nord che a sud dell'area di cava AE "Area Estrattiva" rispettivamente con il piede dell'abbancamento e con l'estremo limite orientale del piazzale di quota 305.

La situazione finale è riportata nella planimetria dis. n. 430-CAV-017 di cui si riporta lo stralcio.



8 PROGETTO DI RECUPERO AMBIENTALE

Il progetto di recupero ambientale è stato redatto dalla dott.ssa Forestale Laura Cameroni ed è allegato (unitamente alle planimetrie) alla presente relazione tecnica.

9 REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE

9.1 DATI DI BASE

Le sollecitazioni dovute alle precipitazioni meteoriche più intense sono un dato essenziale per la progettazione di una rete di drenaggio finalizzata a garantire la stabilità dei versanti e limitare l'erosione superficiale all'interno di un ambito estrattivo come quello di Castellaro-Isoverde, sia durante la fase di coltivazione sia nel periodo post-escavazione.

Per l'acquisizione dei dati relativi alle precipitazioni di breve durata e forte intensità nell'area oggetto di studio si è fatto riferimento alla Relazione Generale dei Piani di bacino Stralcio per la tutela del rischio idrogeologico – Torrente Polcevera – approvato con DCP n. 14 del 02/04/2003 e con ultima variante approvata con DDG n. 435 del 28/01/2021 entrata in vigore il 17/02/2021.

Fra le stazioni pluviografiche presenti nelle vicinanze e dotate di un periodo d'osservazione sufficientemente lungo da consentire valutazioni tecnicamente affidabili, quella di Isoverde risulta, per posizione geografica la più vicina alla zona interessata dal progetto di coltivazione dì cava (800 m circa).

Per la valutazione locale del regime di piogge intense che caratterizza l'area oggetto di studio si è fatto riferimento, oltre che al Piano di Bacino già citato, anche al documento "TI.6.II. Rapporto sull'aggiornamento della climatologia degli estremi – 2020", ricerca eseguita dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica ed Ambientale dell'Università degli Studi di Genova su incarico di ARPAL.

9.2 ANALISI STATISTICA DEI DATI

Ai fini della caratterizzazione pluviometrica d'estremo, lo studio ARPAL 2020 prima citato si è avvalso della procedura metodologica per l'analisi degli estremi di precipitazione contenuta nell'Allegato II delle Linee Guida "Criteri ed indirizzi tecnici per la verifica e la valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena attraverso studi idrologici di dettaglio nei bacini idrografici Liguri" DGR 359/2008 di Regione Liguria. Tuttavia, alla luce delle peculiarità della base dati regionale aggiornata, ARPAL ha proposto una integrazione dell'approccio metodologico vigente al fine di migliorare la caratterizzazione degli estremi pluviometrici anche in sottobacini per cui non si disponga di una base dati sufficiente a condurre un'analisi locale ovvero in siti privi di osservazioni pluviometriche.

All'interno di tale attività di ricerca ARPAL ha tra l'altro approfondito la "Valutazione locale del regime delle piogge intense di durata sub-oraria", di particolare interesse per la progettazione idraulica in piccoli bacini quali un ambito di cava.

Lo studio ARPAL ha realizzato un'analisi del regime delle piogge intense comprensive delle osservazioni disponibili su scala sub-oraria. La scelta del modello probabilistico più idoneo per la descrizione del trend di crescita della serie degli estremi di precipitazione comprensivi dei dati sub-orari è stata condotta per ciascuna stazione pluviometrica oggetto di studio. La selezione delle stazioni pluviometriche è stata condotta per l'insieme delle stazioni per cui si dispone di almeno 10 anni di osservazioni sub-orarie.

I parametri per la costruzione locale delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica di breve durata sono stati stimati per 51 stazioni del Data Base validato caratterizzate da un numero di osservazioni sub-orarie uguale o superiore a 10 anni.

A differenza delle durate orarie e superiori (canoniche), per descrivere l'andamento della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica nel campo delle brevi durate è stato fatto riferimento ad una curva a 3 parametri che consente di definire un valore di intensità di precipitazione limite per durate infinitesime. Al tempo stesso, in continuità con le curve relative alle durate canoniche, si è assunto valido il modello probabilistico scala invariante anche nel campo delle durate sub-orarie. Sulla base delle precedenti considerazioni, Le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per le durate sub-orarie sono state descritte utilizzando la seguente forma analitica:

$$hT(d)=(i_0 d)/(1+Bd)\beta * wT \quad (3)$$

dove i_0 [mm/h] rappresenta il valore limite dell'intensità di precipitazione, B [h-1] determina il tasso di crescita dell'altezza di precipitazione per le brevi durate, β rappresenta l'esponente di scala adimensionale e w_T il fattore di crescita valutato a livello locale nell'ipotesi di una distribuzione di tipo GEV (Generalized Extreme Value), analogamente a come è stato valutato per le LSPP per le durate canoniche.
Lo studio pubblicato da ARPAL, tenuto conto della limitata estensione temporale delle serie di osservazioni pluviometriche sub-orarie, ha ritenuto validi i parametri locali stimati a partire dalle serie canoniche. Pertanto, le curve di crescita normalizzate stimate a livello locale per le durate canoniche sono state estese anche alle durate sub-orarie.
All'elaborato ARPAL è allegata la tabella relativa ai parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per le durate sub-orarie, dove per ciascuna stazione è riportato il nome della località, le coordinate geografiche, la numerosità delle osservazioni ed i parametri (valore limite dell'intensità di precipitazione i_0 [mm/h]; tasso di crescita dell'altezza di precipitazione per le brevi durate B [h-1]; esponente di scala β [-]; parametri per la valutazione del fattore di crescita k, α, ε).

Da tale tabella sono stati pertanto ripresi i valori riferiti alla stazione di Isoverde, ed applicati nel dimensionamento idraulico della rete di regimazione della cava in oggetto.

9.3 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA RETE DI SMALTIMENTO

La realizzazione del sistema di canalette procederà di pari passo con le fasi di escavazione che avanzano da monte verso valle con approfondimento del piazzale centrale,

Come rappresentato nel dis. n. 430-cav-025, allegato e riportato in formato ridotto fuori scala nelle pagine seguenti, la rete sarà costituita da una serie di canalette da realizzare in corrispondenza delle berme o delle piste di collegamento e posizionate in corrispondenza del piede del fronte in rilascio.

Dove le pendenze e quote lo consentono le acque meteoriche verranno convogliate verso l'esterno delle aree ripristinate e immesse nella idrografica locale, dove questo non è possibile si realizzeranno canali di compluvio disposti in modo tale da raccogliere e convogliare le acque verso aree più idonee per il loro successivo rilascio nei corpi idrici naturali. La disposizione geometrica della rete di canalizzazione progettata e dei punti di recapito è stata dettata sia dalla morfologia della cava nel suo stato finale sia dalla necessità di non portare acque nell'area di "abbancamento".

Considerato l'esteso sviluppo longitudinale di numerosi gradoni, i canali lungo le relative berme saranno realizzati prevalentemente a doppia pendenza (a "schiena d'asino") per favorire il deflusso delle acque superficiali lungo il percorso più idoneo al loro recapito nell'impluvio naturale disponibile nel margine Sud della cava.

Lungo la rete di regimazione, a monte dei punti di immissione nel corpo idrico naturale, verranno realizzate delle vasche di calma, in scavo non rivestite, (3m x 2m x 1m di profondità) con funzione di raccolta dei sedimenti trasportati in occasione di forti precipitazioni.

Le canalette, a sezione trapezoidale, verranno realizzate con mezzi meccanici dotati di martellone per lo scasso in roccia e/o di apposita benna escavatrice per lo scavo in roccia disturbata; lo scavo dovrà essere realizzato avendo cura di sagomare le sponde (inclinazione di progetto pari a 70 gradi) e di ripulire il cavo anche dal materiale più fine.

I canali sulle berme avranno una pendenza media di progetto pari a 0,5%, e saranno realizzate in scavo su roccia, senza rivestimento.

Le canalette lungo le piste avranno la stessa pendenza prevista per le piste (al 20%) e saranno rivestite con blocchi e malta cementizia o con prefabbricati.

La canaletta di compluvio A-B avrà pendenze superiori, fino a circa il 75%, e sarà realizzata con pietre ammorsate nel cemento.

Come esempi di quanto previsto in cava Castellaro-Isoverde si riportano nelle pagine seguenti alcune foto di opere idrauliche simili già realizzate in altre cave sociali.

Come già detto le canalette sulle berme non dovrebbero avere bisogno di un rivestimento in considerazione dei valori relativamente ridotti delle velocità di deflusso e della natura del materiale (roccia calcarea).

L'erosione superficiale e il conseguente trasporto di materiale sciolto saranno fenomeni facilmente verificabili durante i primi anni quando ancora la vegetazione sui pendii non avrà raggiunto una fase di sviluppo completo e il terreno privo di copertura sarà soggetto all'azione erosiva per opera delle piogge.

Per questo in corrispondenza dei punti di scarico e di confluenza di più canali, verranno realizzate delle vasche di calma con la funzione di trattenere l'eventuale materiale solido in sospensione e di contenere eventuali variazioni di portata in occasione di forti precipitazioni.

Queste vasche saranno realizzare in scavo senza rivestimento con una profondità non superiore a 1,5 m; durante la gestione del sistema drenante si valuterà l'efficienza delle stesse; se dovesse risultare necessario garantire una superficie più ampia in relazione al materiale accumulato si provvederà ad ampliare le superfici delle vasche.

9.4 CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

Le elaborazioni statistiche dei dati relativi alle piogge intense hanno portato alla definizione analitica delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica. Per il calcolo delle massime portate attese Q ,all'interno della rete di regimazione idraulica progettata, si è poi adottata quella relativa ad un tempo di ritorno pari a 200 anni, ritenuto sufficientemente adeguato al tipo di intervento idraulico e per le condizioni al contorno.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato è quello cinematico o metodo della corrivazione, che permette di determinare la cosiddetta curva aree-tempi, che fa corrispondere le porzioni elementari del bacino (o sottobacini) con il proprio tempo di corrivazione (tc), ovvero il tempo impiegato dalla particella d'acqua caduta in un punto per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Dalla curva si verifica che il valore della portata totale alla sezione di chiusura dovuta ad una precipitazione uniforme distribuita su tutto il bacino e di intensità costante nel tempo cresce al crescere della durata della precipitazione, ma non in modo indefinito, e il massimo valore si raggiunge quando la precipitazione ha durata uguale al tempo di corrivazione dell'intero bacino.

Per il calcolo del tempo di corrivazione vi sono diverse formule empiriche utilizzabili, tra le quali in Italia è molto usata quella di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 * \sqrt{A} + 1{,}5 * L}{0{,}8 * \sqrt{H_{media} - H_{\min}}}$$

dove:

t_c	=	tempo di corrivazione (ore)
A	=	area del bacino (km^2)
L	=	lunghezza dell'asta principale (km)
H_{media}	=	quota media del bacino (m s.l.m.)
H_{min}	=	quota della sezione di chiusura (m s.l.m.)

Altre formule empiriche indicate in letteratura sono le seguenti:

Ventura (1905): $t_C = 0{,}127 \sqrt{(A/p)}$ p = pendenza media (-/-)

Pezzoli (1970): $t_C = 0{,}055\ L / \sqrt{p}$

Merlo (1973): $t_C = 0{,}396\ L / \sqrt{p}\ (A/L^2 \sqrt{(p/pv)})^{0{,}72}$

Puglisi (1978): $t_C = 6\ L^{2/3}\ (Hmax - H0)^{-1/3}$

Nessuna delle formulazioni descritte è esente da critiche, e le differenze di calcolo ottenibili utilizzando le diverse formule sono molto elevate [nota 1]. Si è deciso di utilizzare, oltre a quella di Giandotti che risulta la più utilizzata in Italia, la formula di Pezzoli che è particolarmente indicata per bacini piccoli, di montagna e di collina.

Per il calcolo della portata massima attesa si sceglie di utilizzare, tra i diversi metodi razionali più utilizzati a livello operativo, la formula di Turazza, che si basa sul presupposto che, nell'ipotesi di una precipitazione costante nel tempo e uniforme sull'intera superficie di un determinato bacino, pervengono alla sezione di chiusura di quest'ultimo i contributi di aree via via più distanti dalla sezione stessa fino al raggiungimento della condizione di contributo contemporaneo da parte di tutto il bacino.

La portata massima Q attesa in queste condizioni è data dalla seguente espressione:

$$Q = \frac{C * h * A}{3{,}6 * t_c}$$

dove:

C	=	coefficiente di deflusso (valore variabile da 0 a 1)
h	=	altezza di pioggia attesa (mm) per un dato tempo di ritorno T
A	=	area del bacino (km^2)
t_c	=	tempo di corrivazione (ore)

nota 1 : (si veda, tra le varie pubblicazioni disponibili, "Analisi critica dei metodi di stima del tempo di corrivazione" XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche del 14-17 settembre 2010).

Per la sua applicazione sono richieste essenzialmente le stime di due grandezze:

- il tempo di corrivazione del bacino $\boldsymbol{t_c}$ (di cui si è già detto sopra)
- il coefficiente di deflusso ***C*** (o coefficiente di afflusso alla rete)

Il coefficiente di deflusso C, ovvero il rapporto tra il volume d'acqua defluito alla sezione di chiusura di un bacino e gli afflussi per precipitazioni, varia in relazione alla natura dei terreni presenti nella zona oggetto di studio.

Le acque meteoriche, infatti, non raggiungono mai interamente la sezione di chiusura del bacino ad essa sotteso perché una parte viene dispersa per infiltrazione nel terreno, per adsorbimento da parte delle superfici porose, per ristagno etc., in una percentuale dipendente da numerosi fattori, quali ad esempio, la natura del terreno, la tipologia delle superfici scolanti ed il tipo di copertura.

Ogni tipo di superficie (zona a verde, zona pavimentata, zona semi-drenante etc.) è quindi caratterizzato da uno specifico coefficiente di deflusso che rappresenta la quota percentuale di precipitazione che contribuisce alla portata di piena di un determinato bacino.

Nel caso specifico, le superfici scolanti che interessano la regimazione delle acque meteoriche in cava Castellaro-Isoverde, variano da "superfici boscate", nel versante naturale a monte della cava fino al crinale spartiacque, a "superfici sterrate compatte" e "recuperate a verde" nelle aree interne alla cava, in quanto le pedate saranno parzialmente oggetto di recupero ambientale, con riporto di terreno vegetale, idrosemina e rimboschimento. In base ai valori forniti dalla letteratura e alla esperienza acquisita in situ anche nei precedenti studi idraulici, per il coefficiente di deflusso C è stato un stimato un valore medio pari a 0,5.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di portata di piena (Q) attesa duecentennale (calcolati cautelativamente sia con $\boldsymbol{t_c}$ calcolato con la formula di Giandotti sia con $\boldsymbol{t_c}$ calcolato con la formula di Pezzoli) che competono ad ogni tratto di collettore della rete, così come rappresentato nel dis. n. 430-cav-025, allegato e riportato alle pagine seguenti in formato ridotto fuori scala, e relativo alla fase finale di scavo.

A favore di maggior cautela si è scelto di utilizzare, per le verifiche di dimensionamento delle canalette, oltre alle due formule già citate di Giandotti e di Pezzoli, anche il valore indicato dal Piano di Bacino (come contributo unitario legato alle curve di inviluppo delle portate) pari a 40 mc/s per kmq, e di considerare il valore maggiore tra le tre portate massime attese Q così calcolate.

NUMERO IDENTIFICATIVO DELLA CANALETTA	AREA BACINO [km²]	LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE DEL BACINO [km]	ALTEZZA MEDIA BACINO [m]	PENDENZA MEDIA CANALETTA	tc (ore)	Altezza di pioggia attesa [mm] nel tempo tc	FORMULA USATA PER tc	PORTATA ATTESA DELLA SINGOLA CANALETTA [m³/s]	PORTATA ATTESA COMPLESSIVA PER APPORTO DI ALTRE CANALETTE [m³/s]
1-2	0,0075	0,230	35	**0,005**	**0,1461**	37,360	**GIANDOTTI**	0,266	0,266
					0,1789	43,349	**PEZZOLI**	0,252	0,252
							Piano di bacino	0,300	0,300
B-2	0,0005	0,017	15	**0,400**	**0,0371**	12,631	**GIANDOTTI**	0,024	0,024
					0,0015	0,579	**PEZZOLI**	0,027	0,027
							Piano di bacino	0,020	0,020
3-3'	0,0004	0,075	7,5	**0,200**	**0,0865**	25,868	**GIANDOTTI**	0,015	0,015
					0,0092	3,542	**PEZZOLI**	0,020	0,020
							Piano di bacino	0,015	0,015
3'-4	0,0020	0,255	15	**0,005**	**0,1812**	45,118	**GIANDOTTI**	0,069	**0,085**
					0,1983	48,287	**PEZZOLI**	0,068	**0,087**
							Piano di bacino	0,080	**0,095**
2-4	0,0006	0,020	20	**0,450**	**0,0358**	12,696	**GIANDOTTI**	0,030	**0,320**
					0,0016	0,666	**PEZZOLI**	0,034	**0,313**
							Piano di bacino	0,024	**0,344**
5-6	0,0033	0,072	25	**0,200**	**0,0844**	26,341	**GIANDOTTI**	0,143	0,143
					0,0089	3,532	**PEZZOLI**	0,183	0,183
							Piano di bacino	0,132	0,132
7-8	0,0049	0,078	25	**0,005**	**0,0993**	30,214	**GIANDOTTI**	0,207	0,207
					0,0607	20,543	**PEZZOLI**	0,230	0,230
							Piano di bacino	0,196	0,196
9-10	0,0033	0,315	15	**0,005**	**0,2267**	55,056	**GIANDOTTI**	0,111	**0,461**
					0,2450	58,284	**PEZZOLI**	0,109	**0,522**
							Piano di bacino	0,132	**0,460**
4-10	0,0006	0,026	25	**0,600**	**0,0342**	12,811	**GIANDOTTI**	0,031	**0,435**
					0,0018	0,785	**PEZZOLI**	0,035	**0,436**
							Piano di bacino	0,024	**0,463**
11-12	0,0002	0,114	7,5	**0,200**	**0,1025**	32,079	**GIANDOTTI**	0,008	0,008
					0,0140	5,740	**PEZZOLI**	0,010	0,010
							Piano di bacino	0,007	0,007
13-14	0,0027	0,250	15		**0,1881**	50,280	**GIANDOTTI**	0,100	0,100

				0,005	**0,1945**	51,720	**PEZZOLI**	0,100	0,100
							Piano di bacino	0,108	0,108
15-16	0,0060	0,078	15		**0,1378**	40,848	**GIANDOTTI**	0,247	**0,355**
				0,200	**0,0096**	4,088	**PEZZOLI**	0,355	**0,465**
							Piano di bacino	0,240	**0,355**
17-18	0,0034	0,320	15		**0,2302**	58,882	**GIANDOTTI**	0,121	0,121
				0,005	**0,2489**	62,316	**PEZZOLI**	0,118	0,118
							Piano di bacino	0,136	0,136
19-20	0,0006	0,075	15		**0,0685**	24,414	**GIANDOTTI**	0,031	**0,507**
				0,200	**0,0092**	4,024	**PEZZOLI**	0,038	**0,621**
							Piano di bacino	0,025	**0,516**
23-24	0,0006	0,075	15		**0,0679**	24,794	**GIANDOTTI**	0,030	**0,537**
				0,200	**0,0092**	4,112	**PEZZOLI**	0,037	**0,658**
							Piano di bacino	0,024	**0,540**
81-82	0,0010	0,075	7,5		**0,1091**	36,311	**GIANDOTTI**	0,046	0,046
				0,005	**0,0583**	22,231	**PEZZOLI**	0,053	0,053
							Piano di bacino	0,040	0,040
25-26	0,0017	0,145	15		**0,1234**	40,233	**GIANDOTTI**	0,077	0,077
				0,005	**0,1128**	37,824	**PEZZOLI**	0,079	0,079
							Piano di bacino	0,068	0,068
27-28	0,0007	0,075	7,5		**0,0986**	34,344	**GIANDOTTI**	0,032	**0,693**
				0,200	**0,0092**	4,243	**PEZZOLI**	0,043	**0,833**
							Piano di bacino	0,027	**0,675**
29-30	0,0007	0,065	15		**0,0651**	24,986	**GIANDOTTI**	0,036	0,036
				0,005	**0,0506**	20,343	**PEZZOLI**	0,038	0,038
							Piano di bacino	0,027	0,027
31-32	0,0022	0,18	12		0,1651	51,150	**GIANDOTTI**	0,095	0,095
				0,005	0,14	45,724	**PEZZOLI**	0,100	0,100
							Piano di bacino	0,088	0,088
33-34	0,0007	0,075	7,5		0,0979	35,218	**GIANDOTTI**	0,032	**0,856**
				0,2	0,0092	4,375	**PEZZOLI**	0,043	**1,014**
							Piano di bacino	0,026	**0,816**
79-80	0,0028	0,235	12		0,2036	60,258	**GIANDOTTI**	0,115	0,115
				0,005	0,1828	56,279	**PEZZOLI**	0,120	0,120
							Piano di bacino	0,112	0,112
35-36	0,0006	0,075	7,5		0,0968	35,621	**GIANDOTTI**	0,032	**1,003**
				0,2	0,0092	4,463	**PEZZOLI**	0,042	**1,175**
							Piano di bacino	0,025	**0,953**
37-38	0,0037	0,325	12		0,2637	72,884	**GIANDOTTI**	0,142	0,142

				0,005	0,2528	71,266	**PEZZOLI**	0,145	0,145
							Piano di bacino	0,148	0,148
39-40	0,0006	0,075	7,5		0,0972	36,429	**GIANDOTTI**	0,033	**1,178**
				0,2	0,0092	4,550	**PEZZOLI**	0,043	**1,363**
							Piano di bacino	0,025	**1,126**
41-42	0,0055	0,42	15		0,2991	80,512	**GIANDOTTI**	0,206	0,206
				0,005	0,3267	85,493	**PEZZOLI**	0,200	0,200
							Piano di bacino	0,220	0,220
43-44	0,0007	0,075	7,5		0,0986	37,553	**GIANDOTTI**	0,035	**1,419**
				0,2	0,0092	4,638	**PEZZOLI**	0,047	**1,610**
							Piano di bacino	0,027	**1,373**
45-46	0,0053	0,43	15		0,3022	82,588	**GIANDOTTI**	0,201	0,201
				0,005	0,3345	88,405	**PEZZOLI**	0,195	0,195
							Piano di bacino	0,212	0,212
47-48	0,0008	0,06	15		0,0656	27,702	**GIANDOTTI**	0,047	**1,667**
				0,005	0,0467	20,947	**PEZZOLI**	0,050	**1,854**
							Piano di bacino	0,032	**1,617**
49-50	0,0018	0,16	15		0,1322	48,089	**GIANDOTTI**	0,091	0,091
				0,005	0,1245	46,213	**PEZZOLI**	0,093	0,093
							Piano di bacino	0,072	0,072
10-A	0,001	0,018	25		0,0376	17,605	**GIANDOTTI**	0,062	**0,959**
				0,75	0,0011	0,617	**PEZZOLI**	0,071	**1,030**
							Piano di bacino	0,038	**0,961**
51-52	0,002	0,18	15		0,1449	52,316	**GIANDOTTI**	0,100	0,100
				0,005	0,14	51,278	**PEZZOLI**	0,102	0,102
							Piano di bacino	0,080	0,080
A-53	0,0018	0,021	30		0,0459	21,330	**GIANDOTTI**	0,116	**1,166**
				0,7	0,0014	0,758	**PEZZOLI**	0,137	**1,260**
							Piano di bacino	0,072	**1,105**
53-54	0,006	0,165	25		0,1393	51,792	**GIANDOTTI**	0,310	**1,576**
				0,005	0,1283	49,006	**PEZZOLI**	0,318	**1,680**
							Piano di bacino	0,240	**1,425**
55-56	0,0043	0,34	15		0,2493	77,830	**GIANDOTTI**	0,186	0,186
				0,005	0,2645	81,225	**PEZZOLI**	0,183	0,183
							Piano di bacino	0,172	0,172
57-58	0,0043	0,34	15		0,2493	78,517	**GIANDOTTI**	0,188	0,188
				0,005	0,2645	81,939	**PEZZOLI**	0,185	0,185
							Piano di bacino	0,172	0,172
59-60	0,0043	0,34	15		0,2493	79,204	**GIANDOTTI**	0,190	0,190

				0,005	0,2645	82,653	**PEZZOLI**	0,187	0,187
							Piano di bacino	0,172	0,172
61-62	0,0037	0,31	15		0,2286	75,490	**GIANDOTTI**	0,170	0,170
				0,005	0,2411	78,517	**PEZZOLI**	0,167	0,167
							Piano di bacino	0,148	0,148
63-64	0,0026	0,22	15		0,1723	62,881	**GIANDOTTI**	0,132	0,132
				0,005	0,1711	62,839	**PEZZOLI**	0,133	0,133
							Piano di bacino	0,104	0,104
65-66	0,0016	0,14	15		0,1194	48,739	**GIANDOTTI**	0,091	0,091
				0,005	0,1089	45,685	**PEZZOLI**	0,093	0,093
							Piano di bacino	0,064	0,064
67-68	0,0043	0,35	15		0,2541	82,982	**GIANDOTTI**	0,195	0,195
				0,005	0,2722	87,114	**PEZZOLI**	0,191	0,191
							Piano di bacino	0,172	0,172
69-70	0,0007	0,075	7,5		0,0997	43,251	**GIANDOTTI**	0,042	0,042
				0,2	0,0092	5,296	**PEZZOLI**	0,056	0,056
							Piano di bacino	0,028	0,028
71-72	0,0012	0,12	7,5		0,1454	57,683	**GIANDOTTI**	0,066	**0,303**
				0,005	0,0933	41,641	**PEZZOLI**	0,074	**0,321**
							Piano di bacino	0,048	**0,248**
73-74	0,001	0,26	10		0,2042	73,618	**GIANDOTTI**	0,050	0,050
				0,005	0,2022	73,447	**PEZZOLI**	0,050	0,050
							Piano di bacino	0,040	0,040
75-76	0,0003	0,05	10		0,0588	29,106	**GIANDOTTI**	0,023	0,023
				0,2	0,0061	3,664	**PEZZOLI**	0,028	0,028
							Piano di bacino	0,014	0,014
77-78	0,0007	0,2	10		0,1604	63,379	**GIANDOTTI**	0,038	**0,112**
				0,005	0,1556	62,269	**PEZZOLI**	0,039	**0,117**
							Piano di bacino	0,028	**0,082**

Tabella 1 – Stima delle portate critiche per ogni tratto di canale calcolate con la formula di Giandotti, Pezzoli e come da indicazioni del Piano di Bacino

9.5 DIMENSIONAMENTO DELLE CANALETTE

Nota la portata massima attesa (Q) si procede al calcolo delle dimensioni dei collettori a sezione trapezoidale con sponde inclinate 70 gradi nei rispettivi tratti.

La portata massima smaltibile a sezione piena dei collettori (Q') è stata calcolata rispettivamente con la formula di Kutter e Bazin. I valori dei coefficienti di scabrezza *m* e *y*, corrispondono a quelli individuati dagli stessi autori in relazione al tipo di scabrezza ipotizzato per il fondo dei canali.

Le dimensioni geometriche dei collettori devono soddisfare le condizioni per cui la portata smaltibile (Q') è sempre maggiore della portata massima attesa (Q), la velocità all'interno delle canalette poste sulle berme deve risultare contenuta (circa 1,5 m/s); solo a fianco delle piste e nel canale di compluvio si possono accettare velocità di deflusso superiori.

N° CANALETTA	Base della canaletta [m]	Altezza della canaletta [m]	Area [m²]	Inclinazione sponde [°]	C (contorno bagnato) [m]	Raggio idraulico	inclinazione canalette	y di BAZIN	PORTATA (BAZIN) [m³/s]	m di KUTTER	PORTATA (KUTTER) [m³/s]
1-2	0,50	0,50	0,341	70	1,564	0,218	0,005	0,85	0,347	1,25	0,306
B-2	0,20	0,20	0,055	70	0,626	0,087	0,005	0,85	0,229	1,25	0,195
3-3'	0,20	0,20	0,055	70	0,626	0,087	0,400	0,85	0,162	1,25	0,138
3'-4	0,40	0,30	0,153	70	1,039	0,147	0,200	0,85	0,112	1,25	0,097
2-4	0,20	0,30	0,093	70	0,839	0,111	0,005	0,85	0,506	1,25	0,435
5-6	0,20	0,30	0,093	70	0,839	0,111	0,450	0,85	0,338	1,25	0,290
7-8	0,50	0,50	0,341	70	1,564	0,218	0,200	0,85	0,347	1,25	0,306
9-10	0,70	0,60	0,551	70	1,977	0,279	0,005	0,85	0,686	1,25	0,611
4-10	0,20	0,30	0,093	70	0,839	0,111	0,005	0,85	0,585	1,25	0,502
11-12	0,20	0,20	0,055	70	0,626	0,087	0,600	0,85	0,162	1,25	0,138
13-14	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,200	0,85	0,137	1,25	0,119
15-16	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,005	0,85	0,863	1,25	0,751
17-18	0,40	0,40	0,218	70	1,251	0,174	0,200	0,85	0,185	1,25	0,161
19-20	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,005	0,85	0,863	1,25	0,751
21-22	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,200	0,85	0,137	1,25	0,119
23-24	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,005	0,85	0,863	1,25	0,751
81-82	0,30	0,30	0,123	70	0,939	0,131	0,200	0,85	0,082	1,25	0,070
25-26	0,40	0,30	0,153	70	1,039	0,147	0,005	0,85	0,112	1,25	0,097
27-28	0,40	0,40	0,218	70	1,251	0,174	0,005	0,85	1,168	1,25	1,021
29-30	0,30	0,30	0,123	70	0,939	0,131	0,200	0,85	0,082	1,25	0,070
31-32	0,40	0,30	0,164	70	1,039	0,158	0,005	0,85	0,127	1,25	0,111
33-34	0,40	0,40	0,218	70	1,251	0,174	0,005	0,85	1,168	1,25	1,021
79-80	0,40	0,40	0,218	70	1,251	0,174	0,200	0,85	0,185	1,25	0,161
35-36	0,50	0,40	0,258	70	1,351	0,191	0,005	0,85	1,492	1,25	1,308
37-38	0,40	0,40	0,218	70	1,251	0,174	0,200	0,85	0,185	1,25	0,161
39-40	0,40	0,50	0,291	70	1,464	0,199	0,005	0,85	1,736	1,25	1,525
41-42	0,40	0,50	0,291	70	1,464	0,199	0,200	0,85	0,275	1,25	0,241
43-44	0,50	0,50	0,341	70	1,564	0,218	0,005	0,85	2,196	1,25	1,936
45-46	0,40	0,50	0,291	70	1,464	0,199	0,200	0,85	0,275	1,25	0,241
47-48	1,30	0,80	1,273	70	3,003	0,424	0,005	0,85	2,212	1,25	2,007

49-50	0,40	0,30	0,153	70	1,039	0,147	0,005	0,85	0,112	1,25	0,097
10-A	0,40	0,30	0,153	70	1,039	0,147	0,005	0,85	1,372	1,25	1,191
51-52	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,750	0,85	0,137	1,25	0,119
A-53	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,005	0,85	1,615	1,25	1,405
53-54	1,20	0,80	1,193	70	2,903	0,411	0,700	0,85	2,023	1,25	1,833
55-56	0,50	0,40	0,258	70	1,351	0,191	0,005	0,85	0,236	1,25	0,207
57-58	0,50	0,40	0,258	70	1,351	0,191	0,005	0,85	0,236	1,25	0,207
59-60	0,50	0,40	0,258	70	1,351	0,191	0,005	0,85	0,236	1,25	0,207
61-62	0,50	0,40	0,258	70	1,351	0,191	0,005	0,85	0,236	1,25	0,207
63-64	0,40	0,40	0,218	70	1,251	0,174	0,005	0,85	0,185	1,25	0,161
65-66	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,005	0,85	0,137	1,25	0,119
67-68	0,50	0,40	0,258	70	1,351	0,191	0,005	0,85	0,236	1,25	0,207
69-70	0,20	0,20	0,055	70	0,626	0,087	0,005	0,85	0,162	1,25	0,138
71-72	0,60	0,50	0,391	70	1,664	0,235	0,200	0,85	0,423	1,25	0,374
73-74	0,30	0,30	0,112	70	0,939	0,119	0,005	0,85	0,069	1,25	0,059
75-76	0,20	0,20	0,055	70	0,626	0,087	0,005	0,85	0,162	1,25	0,138
77-78	0,30	0,40	0,178	70	1,151	0,155	0,200	0,85	0,137	1,25	0,119

Tabella 2 – Portate massime smaltibili dalle canalette progettate

Affinché siano garantite le condizioni di deflusso delle portate critiche risulta quindi che i canali lungo le berme dovranno avere una larghezza di base che varia da 0,3 m a 1,3 m e una profondità che varia da 0,3 m a 0,8 m di altezza con scarpate a 70 gradi e pendenza media pari a 0,5%.

Analogamente, affinché siano garantite le condizioni di deflusso delle portate critiche, i canali lungo le piste dovranno avere una larghezza di base che varia da 0,2 m a 0,5 m e una profondità che varia da 0,2 m a 0,5 m di altezza con scarpate a 70 gradi e pendenza media pari al 20 %.

In corrispondenza degli attraversamenti degli impluvi con le piste di cava si dovrà provvedere alla posa di canalette grigliate e tubi interrati in cemento armato. Le tubazioni dovranno avere diametro proporzionale alle dimensioni delle canalette collegate, fino ad un diametro massimo di 1 m. La verifica dei tubi chiusi con diametro 1 metro è risultata ampiamente positiva nei confronti delle massime portate previste in transito.

franco di progetto	coeff. Strickler	gradiente idraulico i	raggio in metri	perimetro in metri	sezione bagnata	portata mc/s
0,7	**120**	**0,03**	**0,5**	**2,0947**	**0,63125**	**5,897432**

Il sistema di raccolta e allontanamento delle acque implica una gestione nel tempo del sistema, quindi non solo durante lo sfruttamento del giacimento ma soprattutto nel periodo post-escavazione. Saranno necessari controlli e verifiche periodiche al fine di mantenere efficiente e funzionante l'insieme delle opere, dei canali e soprattutto delle vasche che dovranno essere costantemente ripulite da eventuale vegetazione infestante e dal materiale depositato.

Durante i controlli, se si dovessero individuare zone lungo i canali particolarmente soggette ad erosione, si dovrà provvedere al rivestimento del cavo con malta cementizia ed eventualmente realizzare salti di fondo o altre vasche per poter meglio controllare la velocità di deflusso delle acque.

I piazzali verranno sagomati in modo da indirizzare le acque verso l'interno e le canalette di smaltimento delle acque meteoriche e gli scarichi verso gli impluvi naturali verranno realizzati in modo tale da evitare fenomeni di erosione localizzata.

Si riportano di seguito alcune foto di canalette ed opere idrauliche, appartenenti ad un'altra cava sociale, e che verranno realizzate in modo analogo in cava Castellaro-Isoverde.



Figura 8 – Tratto di canaletta a lato di una pista di accesso e relativa tubazione di attraversamento



Figura 9 – Altra ripresa di una canaletta in scavo (a sinistra) e canaletta realizzata con manufatti in c.a. (a destra)



Figura 10 – Diverse tipologie di rivestimento di un canale a lato di una pista di accesso con blocchi e malta cementizia



Figura 11 – Punto di scarico di tubazione con salto di fondo e vasca di calma

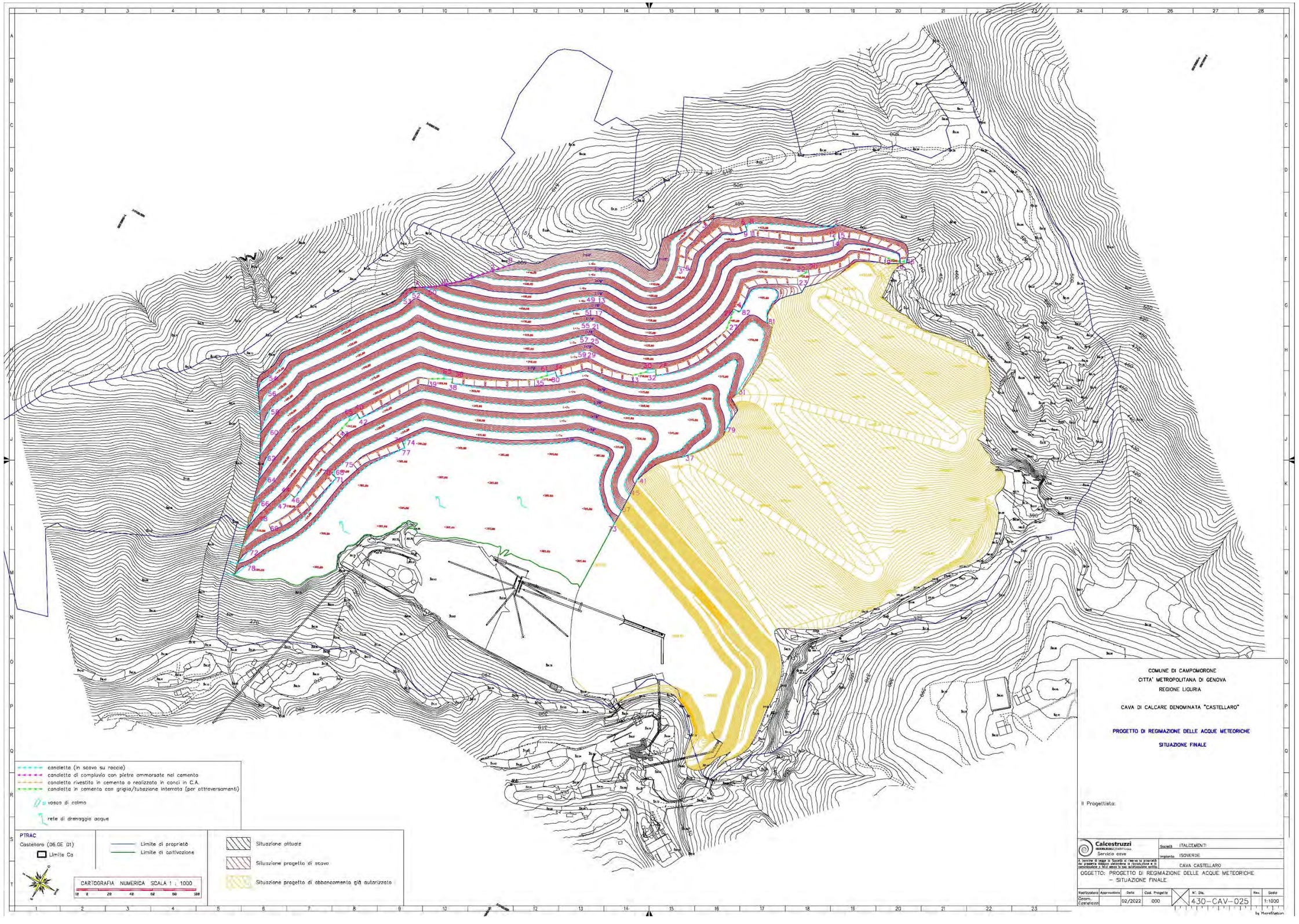


Figura 12 – Canaletta in scavo su roccia non rivestita e canaletta di compluvio rivestita in pietre ammorsate nel cemento

Nel dimensionamento della rete di regimazione delle acque di cava, che permette lo smaltimento delle acque meteoriche anche in occasione di eventi particolarmente intensi, non sono stati considerati gli apporti delle piogge che cadono direttamente sul piazzale di cava, in quanto le caratteristiche di fratturazione e carsismo tipiche di questo deposito dolomitico hanno dimostrato nel tempo che la fratturazione primaria del calcare è già più che sufficiente a drenare le acque. Inoltre, la quasi totalità del piazzale realizzato a fine coltivazione sarà oggetto di riporto di terreno vegetale e recuperato ambientalmente come superficie a prateria e bosco, con un conseguente ulteriore riduzione del coefficiente di deflusso.

Per prevenire in ogni caso la possibilità di ristagni prolungati, consentire un più agevole allontanamento delle acque in condizioni di piogge prolungate ed abbondanti, ed evitare il trasporto incontrollato di solidi sospesi verso valle, il piazzale verrà comunque realizzato con una debole inclinazione (circa 0,5 %) verso monte e quindi verso la canaletta di regimazione, presente al piede della scarpata, che prevede una vasca di calma prima del recapito finale nella rete idrografica presente.

.


canaletta (in scavo su roccia)
canaletta di compluvio con pietre ammorsate nel cemento
canaletta rivestita in cemento o realizzato in conci in C.A.
canaletta in cemento con griglia/tubazione interrata (per attraversamenti)
vasca di calmo
rete di drenaggio acque
PTRAC
Castellaro (06.GE 01)
Limite Cs
Limite di proprietà
Limite di coltivazione
Situazione attuale
Situazione progetto di scavo
Situazione progetto di abbancamento già autorizzato
CARTOGRAFIA NUMERICA SCALA 1 : 1000
COMUNE DI CAMPOMORONE
CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA
REGIONE LIGURIA
CAVA DI CALCARE DENOMINATA "CASTELLARO"
PROGETTO DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE
SITUAZIONE FINALE
Il Progettista:
Calcestruzzi
Servizio cave
Società ITALCEMENTI
Impianto ISOVERDE
CAVA CASTELLARO
OGGETTO: PROGETTO DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE - SITUAZIONE FINALE
Redattore: Geom. Castellazzi
Approvatore:
Data: 02/2022
Cod. Progetto: 000
N°. Dis.: 430-CAV-025
Rev.
Scala: 1:1000

10 SISMICA E VERIFICHE DI STABILITA'

10.1 CLASSIFICAZIONE E VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Vengono di seguito riassunti i parametri sismici calcolati sulla base del sito in esame, della classe d'uso e della vita nominale della cava, della categoria di sottosuolo e della categoria topografica del versante. Per la determinazione di tali coefficienti si fa uso di un software dedicato Geostru – Parametri sismici (ED50 Lat. 44.542140, Long.8.868560).

10.1.1 Valutazione dell'azione sismica e dei coefficienti

Con riferimento al § 2.4.1 delle N.T.C. che indica la vita nominale (VN) dell'opera, e del § 2.4.2 che indica la classe d'uso (Cu), è possibile individuare la vita di riferimento (VR) su cui definire le azioni sismiche sull'opera stessa, secondo la relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Con riferimento al § 2.4.1 delle NTC 2018 ci si può riferire alla classe 2, alla quale corrisponde una VN = 50 anni. Riferendosi al § 2.4.2 della medesima normativa si determina invece la classe d'uso alla quale corrisponde un coefficiente $\mathbf{C_U}$ = 1**.**

Di conseguenza, il periodo di riferimento per l'azione sismica di progetto risulta:

$$V_R = V_n \cdot C_u = \mathbf{50\ anni}$$

Definito il periodo di riferimento occorrerà riferire i parametri sismici precedentemente individuati ad un tempo di ritorno adeguato, funzione dello stato limite considerato (Tabella 1).

STATO LIMITE	TR [anni]	ag [g]	F0 [-]	T* c [s]
SLO	30	0.024	2.520	0.183
SLD	50	0.031	2.513	0.209
SLV	475	0.080	2.493	0.278
SLC	975	0.107	2.462	0.285

*Tabella 3 – Valori dei parametri ag, Fo e T*c per terreni di Categoria A per i periodi di ritorno TR associati a ciascun stato limite*

In particolare, ai sensi del § 6.8 delle NTC riguardante la stabilità di opere di materiali sciolti e fronti di scavo, le verifiche verranno eseguite nei confronti degli stati limite ultimi (SLV, SLC) per i quali sono definite pericolosità di superamento nel periodo di riferimento VR rispettivamente del 10% e del 5%.

Definita così una VR = 50 anni, i parametri sismici precedentemente individuati dovranno essere riferiti ad un TR = 475 anni associato allo Stato Limite di salvaguardia di Vita (SLV) con una probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR del 10%.

Come categoria del sottosuolo è stata considerata la categoria A (Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m).

Come condizioni topografiche è stata individuata la categoria T2 (Pendii con inclinazione media i > 15°; per tale categoria ST = 1.2 in corrispondenza della sommità del pendio).

La cava è considerata come un'opera ordinaria con vita nominale di 50 anni con affollamento normale di persone.

Per l'esecuzione delle verifiche di stabilità della scarpata, sono quindi stati definiti il coefficiente sismico orizzontale K_H e verticale K_V, secondo le seguenti formule:

$K_H = \beta s \cdot (amax / g) = \beta s \cdot [(ag \cdot Ss \cdot ST)/g]$

$K_V = \pm 0{,}5\ K_H$

dove βs = 0,38 per sottosuolo di categoria B ed accelerazione ag(g) ≤ 0,1 (§ Tab. 7.11.I delle N.T.C.).

Sono stati così ottenuti i seguenti valori di coefficienti sismici da utilizzare nella verifica:

$K_H = 0{,}023$

$K_V = 0{,}012$

10.2 RILIEVO GEOSTRUTTURALE

È stato effettuato un rilievo geostrutturale di dettaglio sui fronti della cava Castellaro in particolare sugli elementi strutturali (giunti, stratificazioni, faglie, clivaggio ecc.) presenti nella formazione che affiora in questa zona.

Per la definizione dei parametri geotecnici del materiale si è fatto riferimento alle informazioni disponibili in bibliografia da rilievi condotti durante gli ultimi anni e da dati desunti da prece denti rilievi geomeccanici.

UNITA' GEOMECCANICA	C' (Mpa)	φ base (°)	γ (g/cm^3)
DOLOMIA	0.2	32	2.26

Le zone prese in considerazione attualmente in coltivazione, sono i fronti posti nella zona occidentale e sud – occidentale, all'incirca alle quote 406 m, 452 m e 436 m s.l.m.

I dati rilevati nei vari stop geostrutturali sono stati raggruppati in cluster omogenei e quindi utilizzati per l'analisi del fronte.

Le analisi effettuate tengono in considerazione l'effetto dinamico che potrebbe manifestarsi a seguito di eventi sismici, secondo la vigente normativa (NTC 2018).

Nelle analisi quantitative alla roccia sono stati attribuiti i parametri geotecnici omogenei già utilizzati in passato e una volta verificato non vi fossero state variazioni, sono stati applicati sui vari fronti rilevati.

Litotipo	g (t/m^3)	c (MPa)	Φbase (°)
Dolomia	2.26	0.226	32

10.2.1 Parametri delle discontinuità

Il rilevamento ha permesso di evidenziare i principali sistemi di discontinuità messi in luce dalla recente coltivazione e ha ricavato per ognuno di essi i seguenti parametri:

a) Giacitura (Immersione e Inclinazione);
b) Spaziatura (decimetrica e metrica);
c) Persistenza lineare (in metri);
d) Apertura (in millimetri);
e) Alterazione;
f) Resistenza alla compressione monoassiale (con martello di Schmidt)
g) Riempimento;
h) Rugosità (pettine di Barton);
i) Condizioni idrauliche;
j) Condizioni della superficie (pettine di Barton).

Nel dettaglio gli stop geostrutturali sono stati effettuati nelle seguenti posizioni:

Stop 1 con fronte a q. 406 – 420 m s.l.m. – fronte N015°/70° h=14 m

I sistemi delle discontinuità in ciascun cluster omogeneo mostrano il seguente andamento:

- K1= N304°/27° sistema di giunti
- K2= N098°/70° sistema di giunti
- K3= N200°/77° sistema di giunti

I fronti sono intestati nelle dolomie. La formazione è tagliata da tre sistemi di giunti variamente inclinati. Le discontinuità sono rugose e ondulate, poco alterate e generalmente chiuse. La dispersione è tendenzialmente bassa. I sistemi significativi per le verifiche sono stati presi in considerazione sulla base del test di Markland.

Stop 2 con fronte a q. 452 m s.l.m. fronte N070°/70° h=12 m

I sistemi delle discontinuità in ciascun cluster omogeneo mostrano il seguente andamento:

- K1= 250/68 sistema di giunti
- K2= 351/70 sistema di giunti

I fronti sono intestati nelle dolomie con stratificazione poco visibile. La formazione è tagliata da due sistemi di giunti principali sebbene l'ammasso si presenti notevolmente fratturato. Le discontinuità sono rugose, mediamente alterate e generalmente chiuse. La dispersione è media. I sistemi significativi per le verifiche sono stati presi in considerazione sulla base del test di Markland.

Stop 3 con fronte a q. 436 m s.l.m. fronte N060°/70° h=14 m

I sistemi delle discontinuità in ciascun cluster omogeneo mostrano il seguente andamento:

- K1= 115/56 sistema di giunti
- K2= 312/36 sistema di giunti
- K3= 035/76 sistema di giunti

I fronti sono intestati nelle dolomie con stratificazione poco visibile. La formazione è tagliata da due sistemi di giunti principali sebbene l'ammasso si presenti notevolmente fratturato. Le discontinuità sono rugose, mediamente alterate e generalmente chiuse. La dispersione è generalmente bassa. I sistemi significativi per le verifiche sono stati presi in considerazione sulla base del test di Markland.

10.2.2 Classificazione dell'ammasso

Utilizzando i dati di rilievo, sono state applicate le seguenti classificazioni:

- "RMR '76" (Rock Mass Rating, Bieniawsky (1976))
- "RMR '89" (Rock Mass Rating, Bieniawsky (1989))

Poiché nel corso degli stendimenti geostrutturali eseguiti si è potuto constatare che l'ammasso, per quanto concerne il livello di fessurazione e le sue qualità principali, si presenta piuttosto uniforme, le classificazioni di Bieniawsky sono state effettuate un'unica volta, in quanto la modesta variabilità tra gli stop non faceva mutare la classe di qualità generale dell'ammasso.

10.2.3 Classificazione mediante l'indice RMR '76, Bieniawski (1976)

- P1 (Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta): tra 25 e 50 [MPa], corrispondente al parametro 4;
- P2 (Indice di recupero percentuale modificato RQD (Rock Quality Designation): tra 90 e 100%, corrispondente al parametro 20;
- P3 (Spaziatura delle discontinuità): tra 0 ,2 e 0,4 m, corrispondente al parametro 9;
- P4 (Condizioni delle discontinuità): poco scabre, separazione < 1 mm, lembi duri, corrispondente al parametro 25;
- P5 (Venute d'acqua): nessuna, corrispondente al parametro 15;
- P6 (Effetti della giacitura delle discontinuità rispetto alla direzione di scavo): mediocre e Pendii come tipologia opera, corrispondente al parametro -25.

Il valore dell'indice **RMR** è pari a **48,** corrispondente ad una qualità dell'ammasso roccioso MEDIOCRE

10.2.4 Relazione sulla classificazione mediante l'indice RMR '89, Bieniawski (1989)

- P1 (Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta):5.3 (da una Sigma c = 48 MPa);
- P2 (RQD (Rock Quality Designation): 19.1 (da un RQD = 96 %);
- P3 (Spaziatura delle discontinuità): 10 (da una Spaziatura = 0.4 m);
- P4 (Condizioni delle discontinuità): 21;
- v1 (persistenza: 3 ÷ 10 m): 2;
- v2 (apertura: < 0.1 mm): 5;
- v3 (rugosità: Rugosa): 5;
- v4 (alterazione: Leggermente alterate): 5;
- + v5 (riempimento: Compatto (< 5 mm)): 4;
- P5 (Venute d'acqua): nessuna, corrispondente al parametro 15;
- P6 (Effetti della giacitura delle discontinuità rispetto alla direzione di scavo):mediocre e Pendii come tipologia opera, corrispondente al parametro 25;

e si è pervenuto ad un indice **RMRc** pari a: **45** rispondente a una qualità dell'ammasso roccioso DISCRETA

RMRa (asciutto) = **55 RMRb** (di base) = **70**

Per quanto riguarda le caratteristiche geomeccaniche, queste comprendono:

- **JCS** = resistenza a compressione delle pareti del giunto, dipendente dal grado di alterazione delle pareti e dal tipo di materiale.

  Gli indici JCS (ricavati in campagna con lo sclerometro di Schmidt di tipo L) presentano valori minimi di 48 e massimi di 64. Sono indicativi di rocce con resistenze medio bassa.

  Dal numero di colpi del martello (indice della resistenza delle pareti della discontinuità) si ricavano di solito la resistenza alla compressione monoassiale della roccia, attraverso un programma di calcolo (JCS Calculator), che prende in considerazione anche la posizione del martello rispetto al giunto provato.

- **JRC** = coefficiente di rugosità nel giunto.

  Il dato di JRC, indice delle asperità della parete del giunto, oltre che la classificazione geomeccanica dell'ammasso, consente anche di ricavare la "peak shear strength", lo sforzo di taglio e l'angolo d'attrito dall'equazione di Barton: $\tau=\sigma_n \cdot \tan[JRC \cdot \log10(JCS/\sigma n)+\phi r]$.

- L'ammasso roccioso testato in campagna con il pettine di Barton ha fornito sempre valori di rugosità molto elevati da un minimo di 6 a un massimo di 8, il che aumenta senza dubbio la resistenza della roccia allo scivolamento.

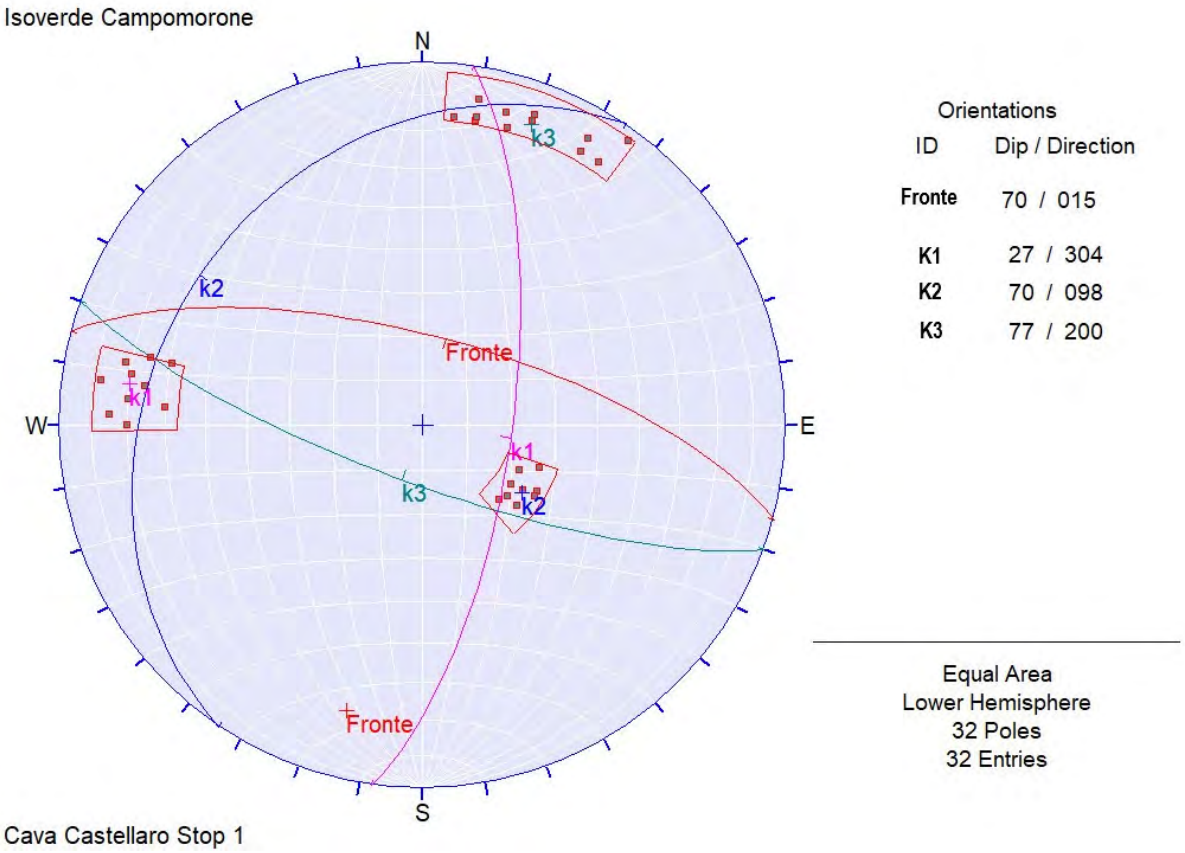
- **Ø**b = angolo di attrito di base (analogo all'angolo residuo interno) rappresenta il valore tipico dei calcari e delle dolomie e, oltre che dalla letteratura, è ricavato dalle prove eseguite in passato. Seguendo Barton (1973) e l'esperienza tecnica personale per litotipi analoghi, si è utilizzato il valore di 32°.

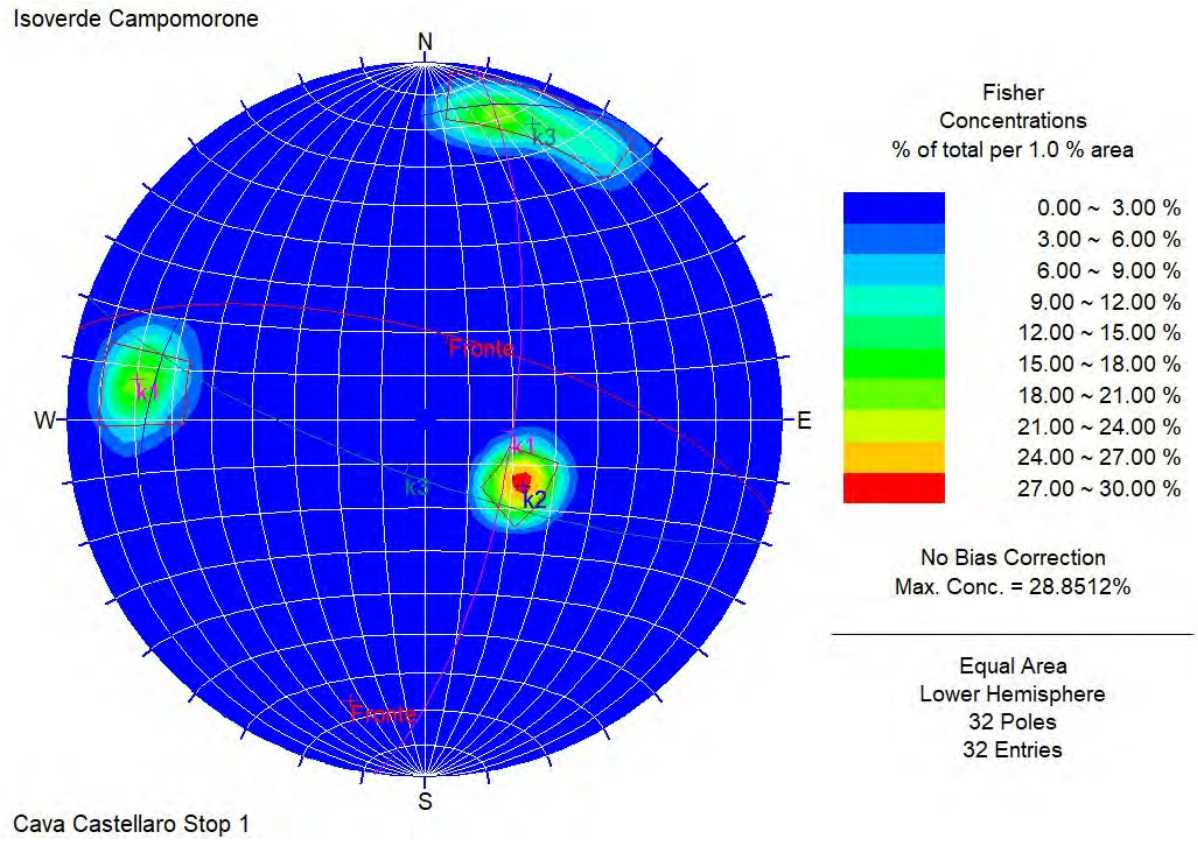
- **c** = coesione delle discontinuità. All'ammasso è stato riconosciuto in modo conservativo una percentuale di coesione pari a 0,226 MPa dovuta alla condizione dei giunti serrati, con riempimento pressoché assente o in rari casi plastico.

10.2.5 STOP 1: LE DISCONTINUITÀ RILEVATE

Sono stati inseriti i seguenti piani di giacitura con i rispettivi valori di Dip e Dip -direction:

- Fronte: Dip (inclinazione) = 15 ; Dipdir (immersione) = 70





FRONTE DI SCAVO	Quota:	406 m	Altezza:	14 m
	Direzione:	015°	Inclinazione:	70°

FAMIGLIA di DISCONTINUITA'	K1	K2	K3
TIPO	Giunto	Giunto	Giunto
Immersione	304°	098°	200°
Inclinazione	27°	70°	77°
Spaziatura (cm)	20 - 60	20 - 60	60 – 200
Persistenza lineare (m)	1 – 3	10 - 20	0 – 1
Apertura (mm)	0.25 – 0.5	< 0.1	< 0.1
Alterazione	ALT	Legg. ALT	Legg. ALT
JCS	70	66	58
Riempimento	Assente - calcite	Assente - calcite	Assente - calcite
Rugosità (pettine Barton)	Ondulata Rugosa	Ondulata Rugosa	Ondulata
Condizioni idrauliche	ASCIUTTA	ASCIUTTA	ASCIUTTA
JRC	7	7	7

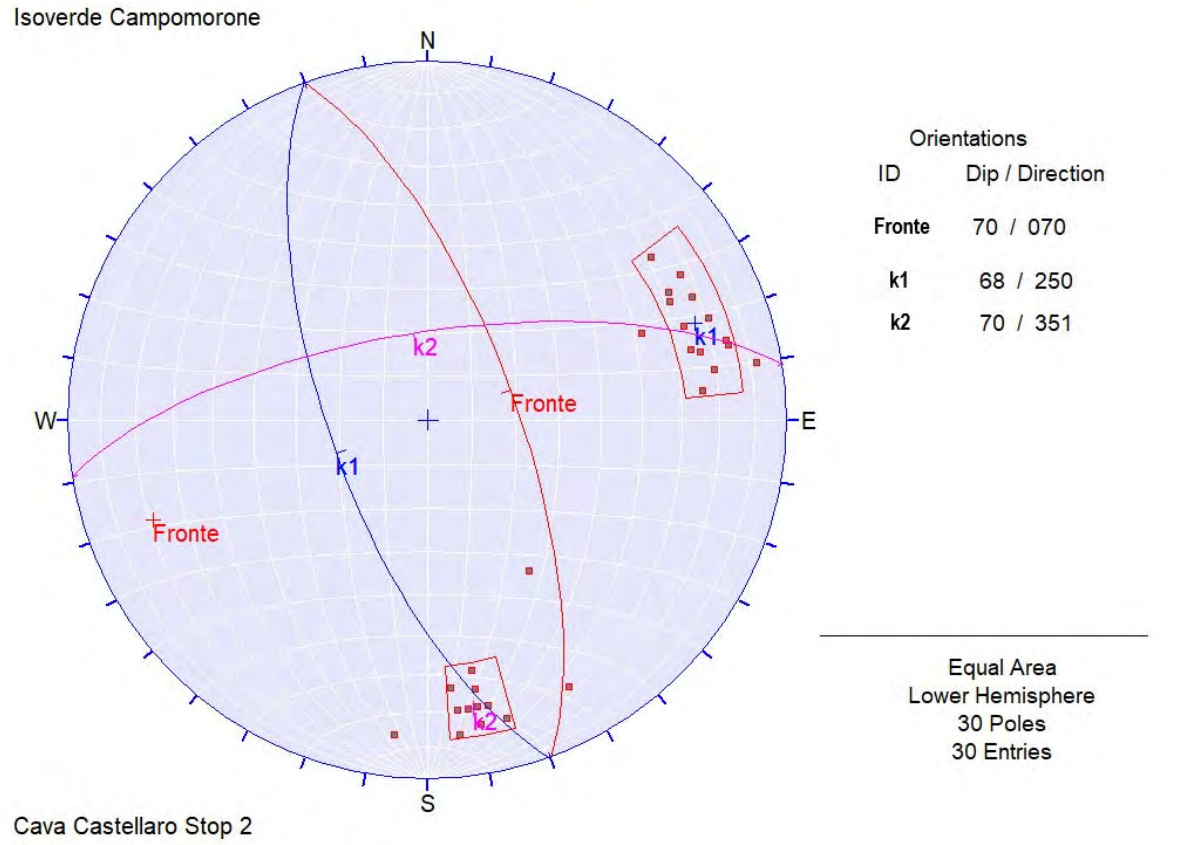
Tabella 4 – Caratteristiche delle famiglie di discontinuità rilevate nello stendimento 1

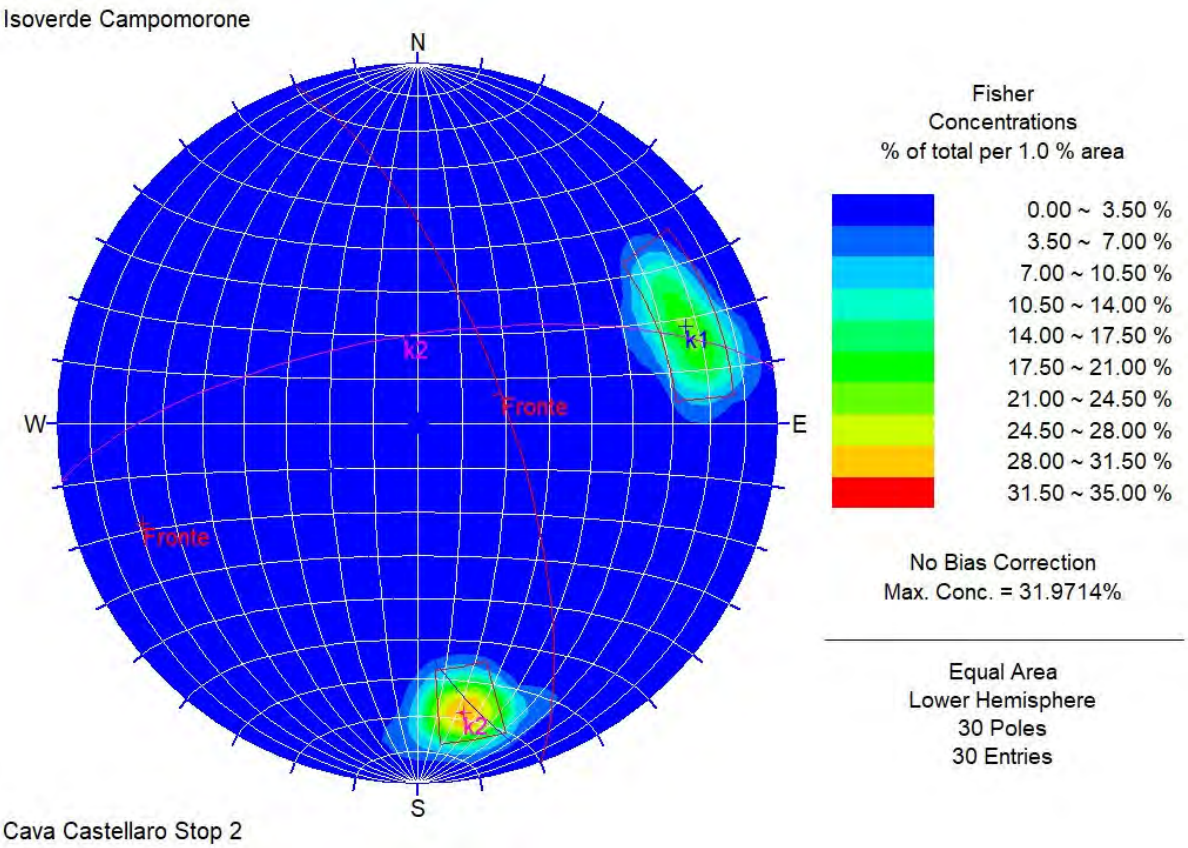


10.2.6 STOP 2: LE DISCONTINUITÀ RILEVATE

Sono stati inseriti i seguenti piani di giacitura con i rispettivi valori di Dip e Dip -direction:

- Fronte: Dip (inclinazione) = 70 ; Dipdir (immersione) = 70





FRONTE DI SCAVO	Quota:	452 m	Altezza:	12 m
	Direzione:	070°	Inclinazione:	70°

FAMIGLIA di DISCONTINUITÀ	K1	K2
TIPO	Giunto	Giunto
Immersione	250°	351°
Inclinazione	68°	70°
Spaziatura (cm)	20 - 60	60 - 200
Persistenza lineare (m)	1 - 3	10 – 20
Apertura (mm)	< 0.1	< 0.1
Alterazione	ALT	Legg. ALT
JCS	72	66
Riempimento	Assente - calcite	Assente - calcite
Rugosità (pettine Barton)	Ondulata Rugosa	Ondulata Rugosa
Condizioni idrauliche	ASCIUTTA	ASCIUTTA
JRC	7	7

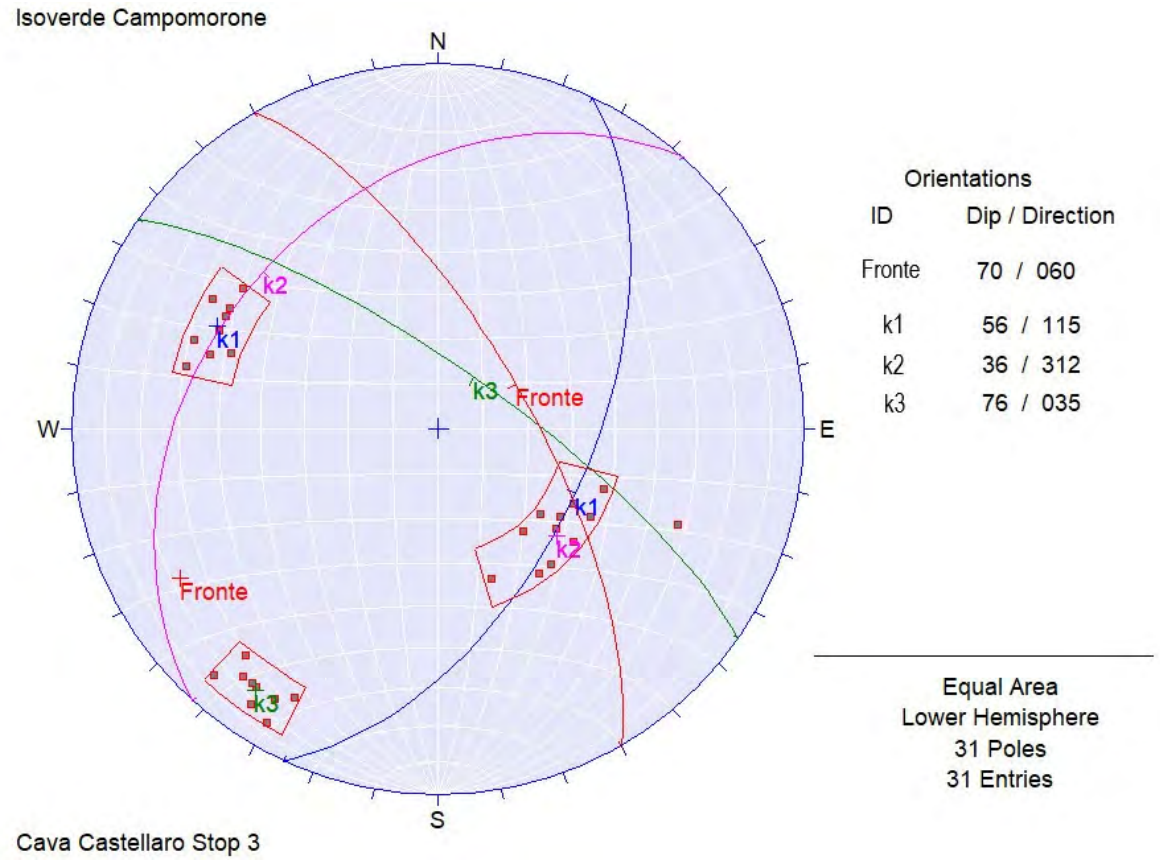
Tabella 5 – Caratteristiche delle famiglie di discontinuità rilevate nello stendimento 2

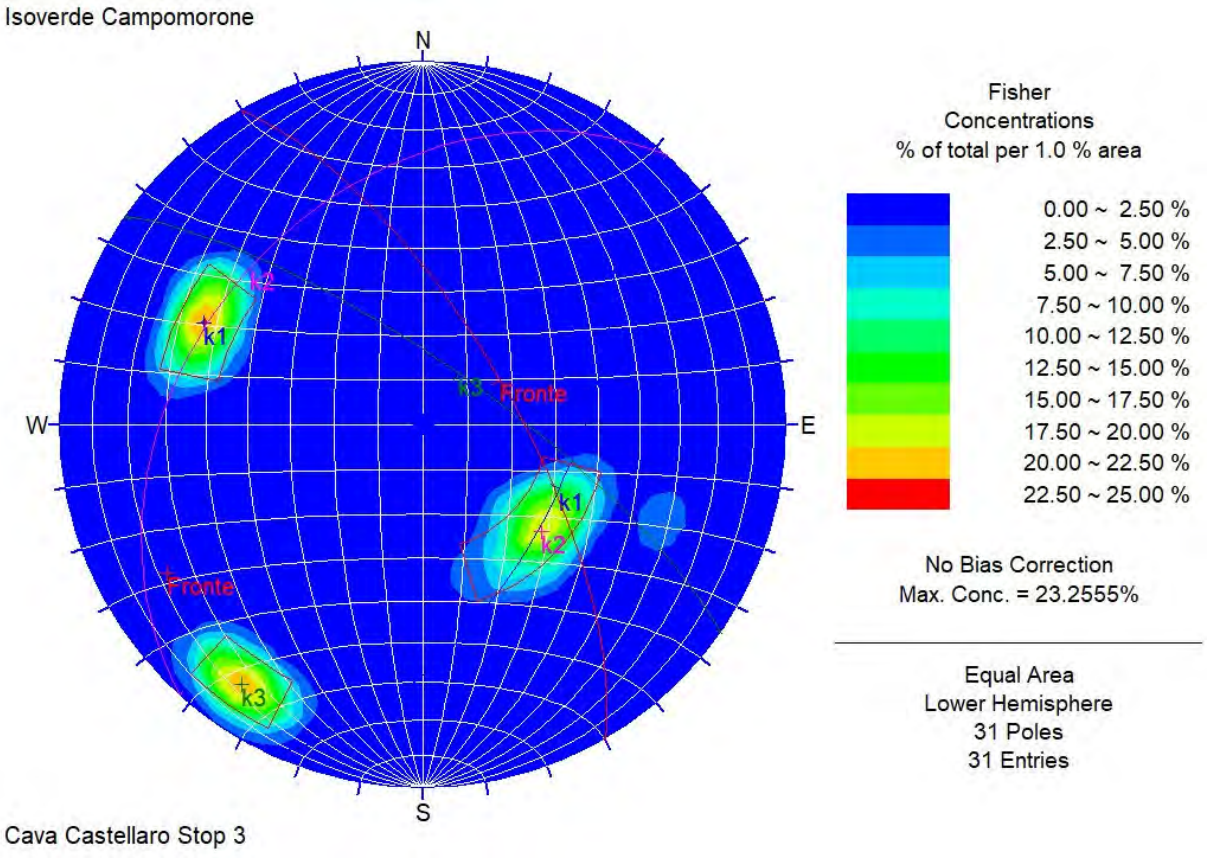


10.2.7 STOP 3: LE DISCONTINUITÀ RILEVATE

Sono stati inseriti i seguenti piani di giacitura con i rispettivi valori di Dip e Dip-direction:

- Fronte: Dip (inclinazione) = 60 ; Dipdir (immersione) = 70





FRONTE DI SCAVO	Quota:	436 m	Altezza:	14 m
	Direzione:	060°	Inclinazione:	70°

FAMIGLIA di DISCONTINUITA'	K1	K2	K3
TIPO	Giunto	Giunto	Giunto
Immersione	115°	312°	35°
Inclinazione	56°	36°	76°
Spaziatura (cm)	4 - 20	20 - 60	20 - 60
Persistenza lineare (m)	1 - 3	1 - 3	< 1
Apertura (mm)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Alterazione	Legg. ALT	Legg. ALT	Legg. ALT
JCS	72	64	66
Riempimento	Assente - calcite	Assente - calcite	Assente - calcite
Rugosità (pettine Barton)	Ondulata Rugosa	Ondulata Rugosa	Ondulata
Condizioni idrauliche	ASCIUTTA	ASCIUTTA	ASCIUTTA
JRC	7	7	7

Tabella 6 – Caratteristiche delle famiglie di discontinuità rilevate nello stendimento 3



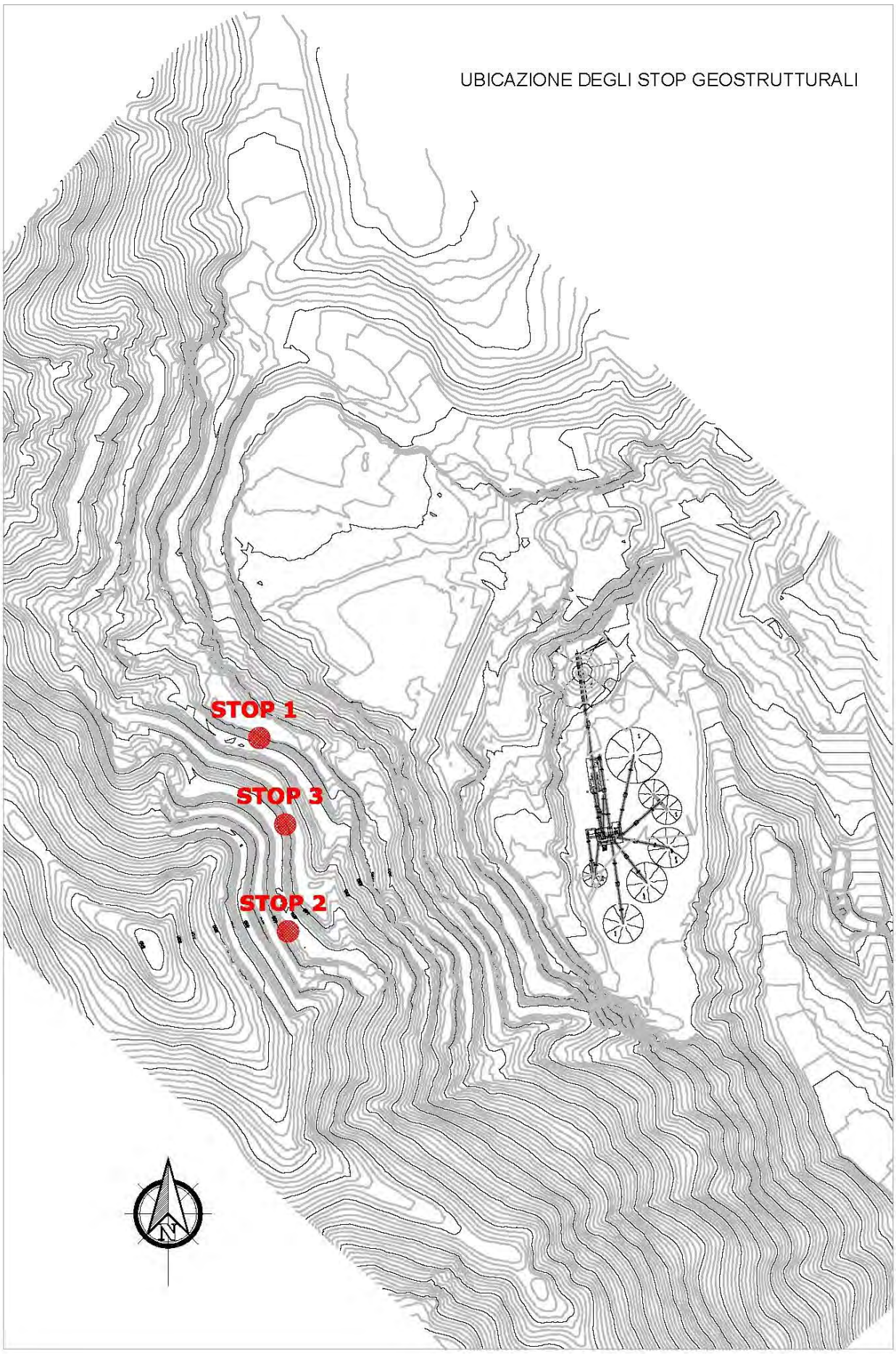


Figura 13 – Ubicazione degli stop strutturali

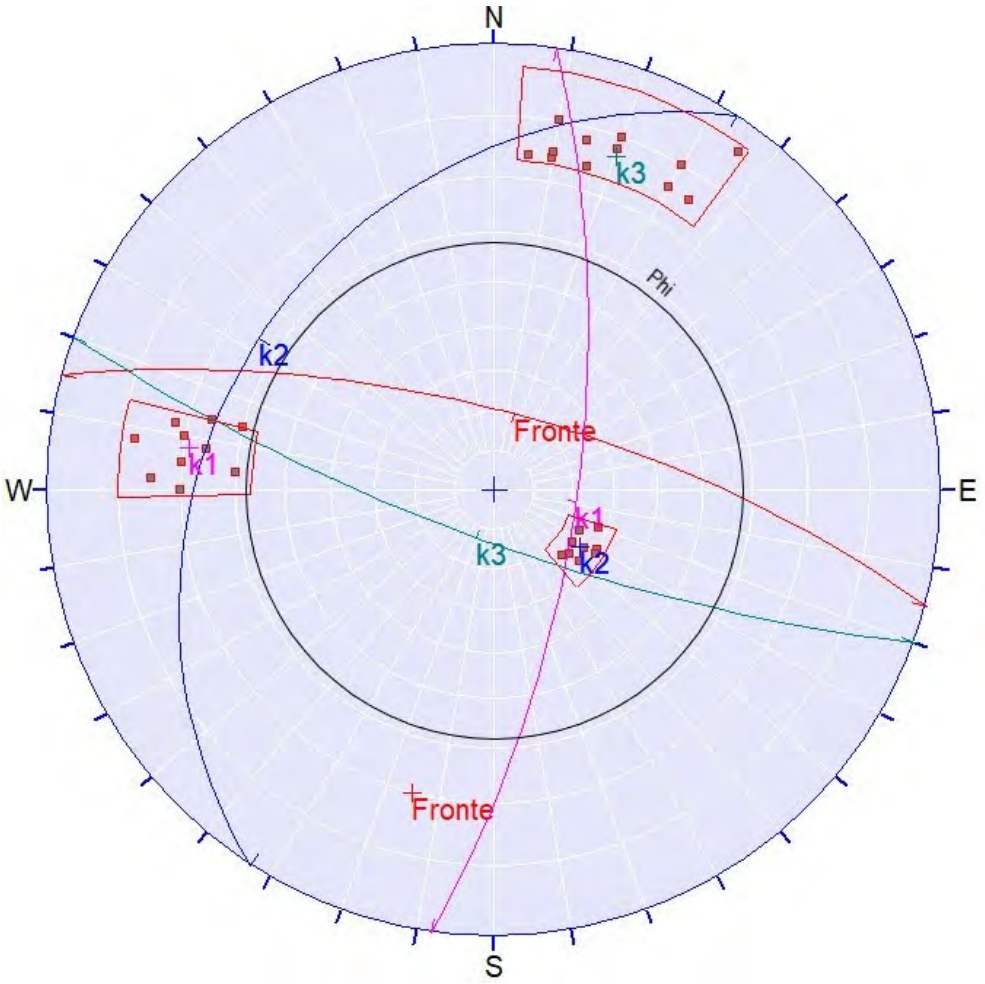
10.3 ANALISI DEI CINEMATISMI

Si è utilizzato un approccio analitico e grafico in accordo al test di Markland, che consente di visualizzare, sullo stereogramma equatoriale di Schmidt, i cinematismi potenzialmente attivabili in base alla posizione relativa tra giunti e fronti scavo e al valore dell'angolo di attrito interno delle discontinuità.

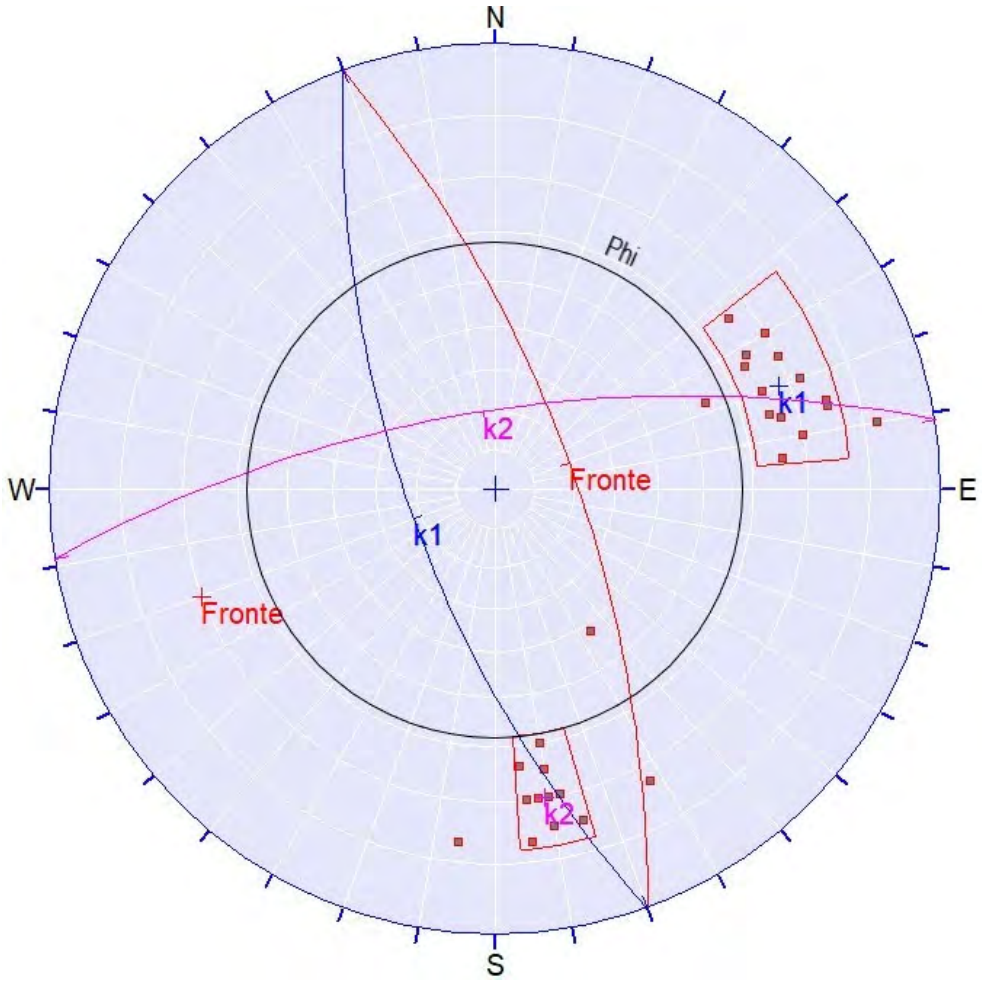
Ai fini di un'analisi qualitativa della stabilità dei fronti di scavo è stato effettuato il test di Markland, in maniera tale da evidenziare la potenziale creazione di CUNEI ROCCIOSI e la possibilità che avvengano SCIVOLAMENTI o RIBALTAMENTI dell'ammasso roccioso fratturato, considerando ovviamente la geometria del pendio o del fronte di scavo.

Si sono individuati in pratica dei settori a rischio di destabilizzazione in base alla geometria, effettuando così un primo screening sui possibili movimenti cui potrebbe essere sottoposto il fronte analizzato. É chiaro che su questi dati vanno poi applicate le analisi quantitative, tenendo conto delle condizioni idriche, sismiche, della coesione, del peso specifico, dell'angolo di attrito e dell'altezza del fronte.

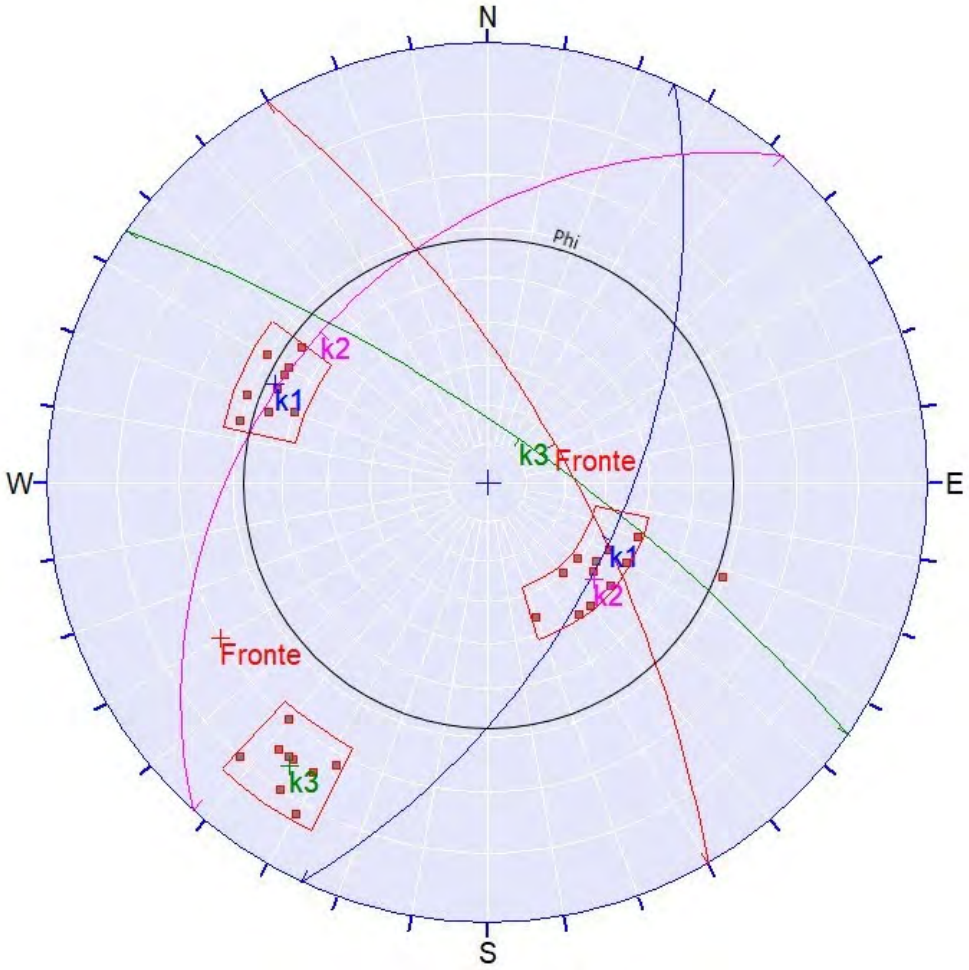
<u>Test di Markland Stop n. 1</u>



Test di Markland Stop n. 2



Test di Markland Stop n. 3



Dall'esame del test di Markland appare che l'unico cinematismo compatibile con le geometrie presenti è il fenomeno del ribaltamento, di cui nell'analisi quantitativa che segue, si fornisce il calcolo numerico del fattore di sicurezza.

10.3.1 ANALISI QUANTITATIVA

Dalle analisi effettuate con il test di Markland sulle famiglie di discontinuità rilevate, negli stendimenti n. 1 e 2 si è evidenziata una possibilità che si instaurino di fenomeni di ribaltamento (toppling) generati dal sistema k3 per lo Stop 1 e dal sistema k1 per lo Stop 2, mentre non risultano cinematismi possibili per quanto rilevato nello stop geostrutturale n. 3.

Nelle verifiche sono stati impiegati i parametri di resistenza più cautelativi tra quelli individuati nei rilievi e sopra proposti.

Nel caso in esame, a seguito dei risultati dei test di Markland effettuati per i tre stendimenti, sono state effettuate esclusivamente le verifiche al ribaltamento per i fronti di scavo esaminati negli stop 1 e 2.

Per quanto concerne lo stendimento n. 2 si è dovuto cautelativamente procedere ipotizzando la presenza di un giunto di base, non rilevato in campagna, al fine di effettuare comunque una verifica che in assenza di tale ipotesi sarebbe risultata superflua.

Di quanto sopra, si riportano nelle pagine successive i risultati delle elaborazioni effettuate.

VERIFICA DI STABILITA' AL RIBALTAMENTO

Comune:	**Campomorone**	Località:	**Isoverde**	Rif. verifica:	**F1 - k3**

DATI DI INGRESSO

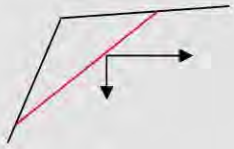
DATI GEOMETRICI FRONTE		
altezza blocco ribaltante	(m)	14,00
inclinazione blocco ribaltante	(°)	70,00
inclinazione piano superiore	(°)	15,00
inclinazione giunto posteriore	(°)	-77,00
inclinazione giunto di base	(°)	27,00
distanza giunto posteriore	(m)	1,00
vincolo cinematico		1
larghezza blocco ribaltante	(°)	1,00

DATI GEOMECCANICI E STRUTTURALI		
peso di volume roccia	(kN/mc)	22,60
angolo di attrito di base j_{base}	(°)	32,00
Joint Compression Strenght JCS	(MPa)	58,00
Joint Roughness Coefficient JRC		7,00
persistenza giunto di base (%)	%	100,00%
angolo di attrito di picco j_p	(°)	50,95
coesione app. (ponti di roccia)	(kPa)	0,00

CARICHI APPLICATI E SPINTE IDRAULICHE		
carico distribuito verticale	(kN/m)	0,0
carico verticale concentrato	(kN)	10,0
punto di applic. carico verticale	(m)	0,0
forza normale applicata su fronte	(kN)	0,0
punto di applic. forza norm. su fr.	(m)	6,0
peso di volume acqua	(kN/mc)	9,81
altezza falda Hw/Htot (%)	(%)	5,00%
condizioni idrauliche al piede		0
altezza falda	(m)	0,71

DATI SISMICI	
accelerazione sismica a_g	0,080
coeff. di amplific. topografica S_T	1,20
coeff. di amplific. stratigrafica S_S	1,00
coeff. di riduzione b_s	0,20
coeff. sismico orizzontale k_h	0,019
coeff. sismico verticale k_v	0,010

convezione segni carichi ed azioni sismiche



RISULTATI

volume blocco ribaltante V	(mc)	52,84
peso blocco ribaltante W	(kN)	1194
ascissa baricentro blocco xG	(m)	4,68
ordinata baricentro blocco yG	(m)	6,55
superficie fronte	(mq)	14,90
superficie giunto di base	(mq)	9,39
superficie piano superiore	(mq)	1,00
superficie giunto posteriore	(mq)	10,26

Momenti (kN*m)	**Mrib**	**Mstab**
peso blocco	2011	7605
sottospinta idraulica	2	0
spinta giunto posteriore	0	0
azione sismica	204	0
carichi applicati	0	85
coesione apparente	0	0

	Calcolo momenti risultanti	
	momenti ribaltanti (kN*m)	momenti stabilizzanti (kN*m)
verifica sismica	**2217**	**7690**
verifica non sismica	**2013**	**7690**

Fattori di sicurezza	
verifica sismica	**verifica non sismica**
3,469	**3,820**

VERIFICA DI STABILITA' AL RIBALTAMENTO

Comune:	**Campomorone**	Località:	**Isoverde**	Rif. verifica:	**F2 - k1**

DATI DI INGRESSO

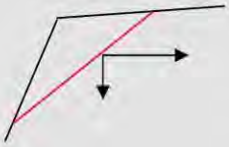
DATI GEOMETRICI FRONTE		
altezza blocco ribaltante	(m)	14,00
inclinazione blocco ribaltante	(°)	70,00
inclinazione piano superiore	(°)	15,00
inclinazione giunto posteriore	(°)	-68,00
inclinazione giunto di base	(°)	25,00
distanza giunto posteriore	(m)	0,50
vincolo cinematico		1
larghezza blocco ribaltante	(°)	1,00

CARICHI APPLICATI E SPINTE IDRAULICHE		
carico distribuito verticale	(kN/m)	0,0
carico verticale concentrato	(kN)	10,0
punto di applic. carico verticale	(m)	0,0
forza normale applicata su fronte	(kN)	0,0
punto di applic. forza norm. su fr.	(m)	6,0
peso di volume acqua	(kN/mc)	9,81
altezza falda Hw/Htot (%)	(%)	5,00%
condizioni idrauliche al piede		0
altezza falda	(m)	0,71

DATI GEOMECCANICI E STRUTTURALI		
peso di volume roccia	(kN/mc)	22,60
angolo di attrito di base j_{base}	(°)	32,00
Joint Compression Strenght JCS	(MPa)	72,00
Joint Roughness Coefficient JRC		7,00
persistenza giunto di base (%)	%	100,00%
angolo di attrito di picco j_p	(°)	51,61
coesione app. (ponti di roccia)	(kPa)	0,00

DATI SISMICI	
accelerazione sismica a_g	0,080
coeff. di amplific. topografica S_T	1,20
coeff. di amplific. stratigrafica S_S	1,00
coeff. di riduzione b_s	0,20
coeff. sismico orizzontale k_h	0,019
coeff. sismico verticale k_v	0,010

convezione segni carichi ed azioni sismiche



RISULTATI

volume blocco ribaltante V	(mc)	57,80
peso blocco ribaltante W	(kN)	1306
ascissa baricentro blocco xG	(m)	4,95
ordinata baricentro blocco yG	(m)	6,35
superficie fronte	(mq)	14,90
superficie giunto di base	(mq)	10,48
superficie piano superiore	(mq)	0,50
superficie giunto posteriore	(mq)	10,46

Momenti (kN*m)	**Mrib**	**Mstab**
peso blocco	2025	8488
sottospinta idraulica	2	0
spinta giunto posteriore	0	0
azione sismica	221	0
carichi applicati	0	85
coesione apparente	0	0

	Calcolo momenti risultanti	
	momenti ribaltanti (kN*m)	momenti stabilizzanti (kN*m)
verifica sismica	**2249**	**8573**
verifica non sismica	**2027**	**8573**

Fattori di sicurezza	
verifica sismica	**verifica non sismica**
3,813	**4,229**

10.4 ANALISI DI STABILITA' DEL PENDIO

Le analisi di stabilità sono state eseguite mediante il software specialistico SLIDE, che è stato utilizzato per determinare il fattore di sicurezza minimo secondo il metodo di Bishop.

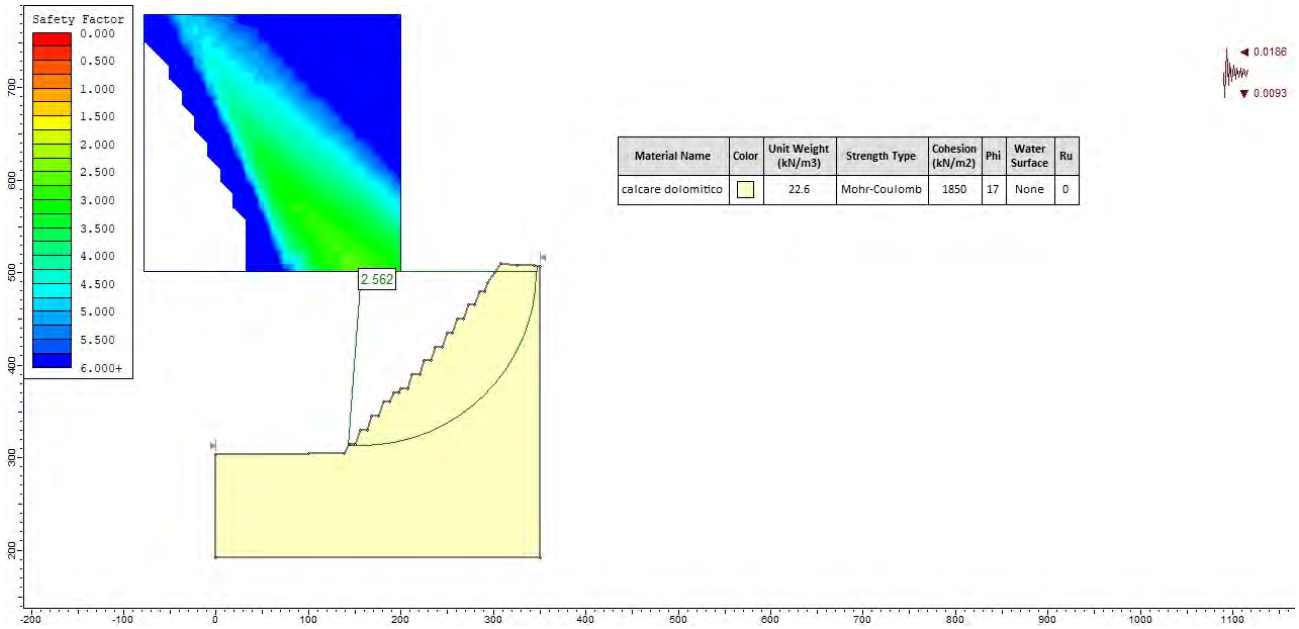
Dopo aver individuato le sezioni di riferimento per la determinazione del coefficiente di sicurezza, si è proceduto con il calcolo, di cui nel proseguo si forniscono i dati tecnici ed i risultati. Le sezioni scelte sono riportate nell'inquadramento allegato.

In particolare sono state verificate le sezione B-B' e E-E' del progetto.

I risultati forniscono un fattore di sicurezza minimo sempre maggiore di quanto previsto dalla normativa vigente, anche tenuto conto dei coefficienti di accelerazione sismica tipici del sito, come riportato nella tabella seguente:

profilo	**Fs minimo calcolato con Bishop**
Sezione B-B'	2,56
Sezione E-E'	10,65

SEZIONE B – B’


Safety Factor
0.000
0.500
1.000
1.500
2.000
2.500
3.000
3.500
4.000
4.500
5.000
5.500
6.000+
2.562
0.0186
0.0093
Material Name | Color | Unit Weight (kN/m3) | Strength Type | Cohesion (kN/m2) | Phi | Water Surface | Ru
calcare dolomitico | 22.6 | Mohr-Coulomb | 1850 | 17 | None | 0
700
600
500
400
300
200
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: sezione_B-B.slim
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 07/02/2022, 12:05:33

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 1, Combination 2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10

- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.0186
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.0093

Material Properties

Property	calcare dolomitico
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	22.6
Cohesion [kPa]	1850
Friction Angle [deg]	17
Water Surface	None
Ru Value	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 2.562470
Center: 157.531, 501.380
Radius: 189.560
Left Slip Surface Endpoint: 142.343, 312.429
Right Slip Surface Endpoint: 347.091, 501.380
Left Slope Intercept: 142.343 312.429
Right Slope Intercept: 347.091 507.558
Resisting Moment=9.75902e+007 kN-m
Driving Moment=3.80844e+007 kN-m
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-112 = The coefficient M-Alpha = cos(alpha)(1+tan(alpha)tan(phi)/F) < 0.2 for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.56247**

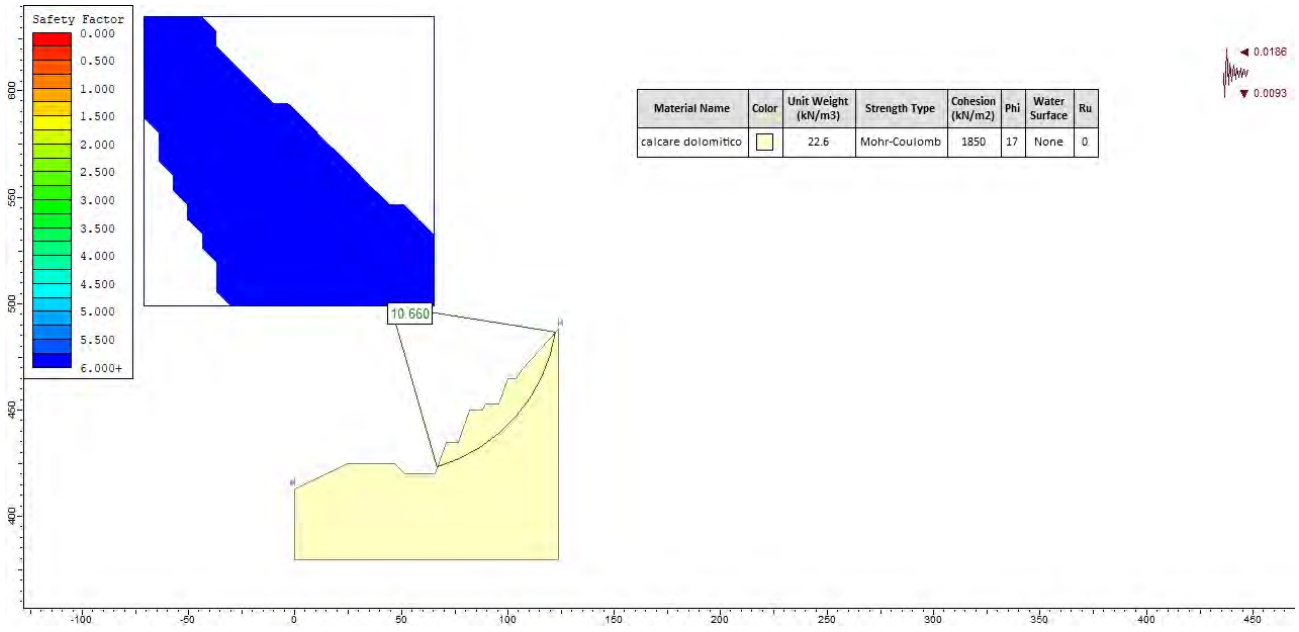
Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	8.18994	494.778	calcare dolomitico	1480	13.7438	586.665	1503.31	95.3096	0	95.3096
2	8.18994	2508.43	calcare dolomitico	1480	13.7438	607.961	1557.88	318.428	0	318.428
3	8.18994	3797.95	calcare dolomitico	1480	13.7438	620.592	1590.25	450.76	0	450.76
4	8.18994	6000.92	calcare dolomitico	1480	13.7438	643.783	1649.67	693.722	0	693.722
5	8.18994	7527.91	calcare dolomitico	1480	13.7438	658.893	1688.39	852.029	0	852.029
6	8.18994	8814.08	calcare dolomitico	1480	13.7438	671.047	1719.54	979.362	0	979.362
7	8.18994	10117.6	calcare dolomitico	1480	13.7438	683.239	1750.78	1107.1	0	1107.1
8	8.18994	10647.8	calcare dolomitico	1480	13.7438	686.364	1758.79	1139.84	0	1139.84
9	8.18994	12403.7	calcare dolomitico	1480	13.7438	703.378	1802.39	1318.1	0	1318.1
10	8.18994	13101.6	calcare dolomitico	1480	13.7438	708.063	1814.39	1367.18	0	1367.18
11	8.18994	14684.1	calcare dolomitico	1480	13.7438	722.565	1851.55	1519.11	0	1519.11
12	8.18994	16113.4	calcare dolomitico	1480	13.7438	734.994	1883.4	1649.32	0	1649.32
13	8.18994	16734.5	calcare dolomitico	1480	13.7438	737.981	1891.05	1680.62	0	1680.62
14	8.18994	18016.7	calcare dolomitico	1480	13.7438	747.988	1916.7	1785.46	0	1785.46
15	8.18994	19321	calcare dolomitico	1480	13.7438	757.724	1941.64	1887.46	0	1887.46
16	8.18994	19961.1	calcare dolomitico	1480	13.7438	759.521	1946.25	1906.3	0	1906.3
17	8.18994	20501.5	calcare dolomitico	1480	13.7438	759.552	1946.33	1906.62	0	1906.62
18	8.18994	21480.2	calcare dolomitico	1480	13.7438	763.463	1956.35	1947.6	0	1947.6
19	8.18994	21881.7	calcare dolomitico	1480	13.7438	759.946	1947.34	1910.75	0	1910.75
20	8.18994	22696.8	calcare dolomitico	1480	13.7438	759.219	1945.48	1903.13	0	1903.13
21	8.18994	22235.3	calcare dolomitico	1480	13.7438	742.724	1903.21	1730.31	0	1730.31
22	8.18994	19864.4	calcare dolomitico	1480	13.7438	703.337	1802.28	1317.66	0	1317.66
23	8.18994	17004.9	calcare dolomitico	1480	13.7438	653.959	1675.75	800.337	0	800.337
24	8.18994	13459.9	calcare dolomitico	1480	13.7438	586.131	1501.94	89.7115	0	89.7115
25	8.18994	6310.85	calcare dolomitico	1480	13.7438	397.158	1017.71	-1890.12	0	-1890.12

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
0	191.913
351	191.913
351	507
344	508
325	508
308	510
301	500
294	490
291	480
285	480
280	465
273	465
267	450
261	450
256	435
250	435
244	420
237	420
232	405
225	405
220	390
212	390
207	375
200	375
198	370
192	370
188	360
181	360
176	345
168	345
163.4	330
156	330
150	315
143.5	315
139	305
100	305
0	303

SEZIONE E – E’



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
calcare dolomitico		22.6	Mohr-Coulomb	1850	17	None	0

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: sezione_E-E.slim
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 07/02/2022, 08:46:24

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 1, Combination 2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.0186
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.0093

Material Properties

Property	calcare dolomitico
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	22.6
Cohesion [kPa]	1850
Friction Angle [deg]	17
Water Surface	None
Ru Value	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 10.659500
Center: 44.733, 498.804
Radius: 78.979
Left Slip Surface Endpoint: 66.900, 422.999
Right Slip Surface Endpoint: 122.792, 486.783
Resisting Moment=1.06395e+007 kN-m
Driving Moment=998119 kN-m
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 10.6595**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	2.23569	152.014	calcare dolomitico	1480	13.7438	139.431	1486.26	25.6026	0	25.6026
2	2.23569	446.658	calcare dolomitico	1480	13.7438	142.355	1517.43	153.031	0	153.031
3	2.23569	511.72	calcare dolomitico	1480	13.7438	142.913	1523.38	177.363	0	177.363
4	2.23569	467.327	calcare dolomitico	1480	13.7438	142.343	1517.31	152.536	0	152.536
5	2.23569	478.511	calcare dolomitico	1480	13.7438	142.34	1517.27	152.396	0	152.396
6	2.23569	716.568	calcare dolomitico	1480	13.7438	144.656	1541.96	253.332	0	253.332
7	2.23569	966.968	calcare dolomitico	1480	13.7438	147.088	1567.89	359.34	0	359.34
8	2.23569	1005.46	calcare dolomitico	1480	13.7438	147.343	1570.6	370.414	0	370.414
9	2.23569	938.94	calcare dolomitico	1480	13.7438	146.516	1561.78	334.372	0	334.372
10	2.23569	891.133	calcare dolomitico	1480	13.7438	145.872	1554.92	306.322	0	306.322
11	2.23569	938.608	calcare dolomitico	1480	13.7438	146.19	1558.31	320.194	0	320.194
12	2.23569	858.618	calcare dolomitico	1480	13.7438	145.197	1547.73	276.924	0	276.924
13	2.23569	773.18	calcare dolomitico	1480	13.7438	144.137	1536.42	230.694	0	230.694
14	2.23569	873.292	calcare dolomitico	1480	13.7438	144.945	1545.04	265.904	0	265.904
15	2.23569	1068.01	calcare dolomitico	1480	13.7438	146.687	1563.61	341.834	0	341.834
16	2.23569	1062.5	calcare dolomitico	1480	13.7438	146.369	1560.22	327.993	0	327.993
17	2.23569	960.1	calcare dolomitico	1480	13.7438	145.039	1546.04	270.023	0	270.023
18	2.23569	966.61	calcare dolomitico	1480	13.7438	144.766	1543.13	258.131	0	258.131
19	2.23569	955.31	calcare dolomitico	1480	13.7438	144.254	1537.68	235.831	0	235.831
20	2.23569	917.834	calcare dolomitico	1480	13.7438	143.398	1528.55	198.518	0	198.518
21	2.23569	861.138	calcare dolomitico	1480	13.7438	142.231	1516.12	147.659	0	147.659
22	2.23569	779.388	calcare dolomitico	1480	13.7438	140.629	1499.03	77.8037	0	77.8037
23	2.23569	662.489	calcare dolomitico	1480	13.7438	138.349	1474.73	-21.5362	0	-21.5362
24	2.23569	489.484	calcare dolomitico	1480	13.7438	134.813	1437.04	-175.654	0	-175.654
25	2.23569	192.671	calcare dolomitico	1480	13.7438	127.633	1360.5	-488.577	0	-488.577

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
0	379.752
123.9	379.752
123.9	488
106.6	469
103.8	465
100.08	465
95.6	453
89.6	453
88.3	450
82.1	450
76.7	435
70.9	435
65.9	420
59.7	420
51.4	420
46.8	425
25	425
0	413

10.5 RISULTATI DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A seguito dell'esecuzione di stendimenti di rilievo geostrutturale delle aree attualmente oggetto di escavazione, sono state realizzate le proiezioni stereografiche, attraverso l'impiego del reticolo equiareale di Schmidt, in cui sono stati plottati poli e piani relativi alle discontinuità misurate nei due stendimenti realizzati.

Dopo aver plottato anche i dati relativi al versante ed all'angolo di attrito interno della roccia presente, sono stati analizzati gli stereogrammi con il test di Markland ed è stata valutata la possibilità di innesco di cinematismi, ovvero di scivolamenti planari, scivolamento di cunei o ribaltamento.

Negli stop n. 1 e n. 2 le giaciture rilevate lasciavano aperta la possibilità di ribaltamento, rispettivamente per il sistema k3 nello stop 1 e per il sistema k1 nello stop 2, mentre non si evidenziavano rischi connessi a fenomeni di scivolamento o di scivolamento di cunei.

Nessun cinematismo pare possibile per quanto rilevato nello stendimento n. 3.

Considerate le eventualità sopraccitate, si è proceduto con un'analisi quantitativa, per mezzo di software specifici, che hanno condotto a fattori di sicurezza sufficienti a garantire la stabilità del fronte di scavo:

Fronte #	Sistema	Fs
1	K3	3.469
2	K1	3.813

La verifica di stabilità è stata effettuata mediante un rilievo strutturale di dettaglio sui fronti attivi della cava ed è stato simulato il comportamento della stabilità dell'interno versante lungo due sezioni ritenute significative.

A seguito dell'esame statistico delle discontinuità rilevate i dati sono stati racchiusi in cluster omogenei relativi all'area di cava strutturalmente omogenea. Il valore medio di questo raggruppamento ha permesso di individuare giaciture medie per ogni famiglia di discontinuità.

Si è valutata la stabilità dei fronti in coltivazione considerando la possibile mobilità indotta dai cunei formati dall'associazione delle varie discontinuità del fronte e dai ribaltamenti o crolli di massi (toppling).

Il valore del fattore di sicurezza determinato è decisamente superiore ai limiti imposti dalla normativa, sebbene ovviamente non si possa escludere il distacco limitato di alcune porzioni rocciose, dovute a locali variazioni delle giaciture o del fronte di scavo.

Il grado di fratturazione decisamente elevato, dato da una spaziatura delle discontinuità principali anche centimetrica, in cui i fenomeni di acqua e cicli gelo – disgelo potrebbero indurre locali instabilità; per questo motivo si evidenzia la necessità e l'importanza di un periodico e sistematico disgaggio ed una profilatura sufficientemente accurata dei fronti.

Nell'ambito dell'analisi della stabilità complessiva dell'ammasso roccioso, le geometrie proposte risultano compatibili con la sicurezza, dati i coefficienti di sicurezza ben al di sopra delle soglie.

11 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Si riporta di seguito un'esaustiva documentazione fotografica dello stato di fatto della cava.



Foto 1 – Panoramica dell'intera cava Castellaro



Foto 2 – Panoramica del settore N della cava



Foto 3 – Vista aerea della zona impianti



Foto 4 – Panoramica del fronte di scavo nel settore nord e centrale



Foto 5 – Panoramica del settore centrale e meridionale