0. PREMESSA.

E' stata sottoposta a indagine geologica la cava di calcari denominata "Bagoni", sita nel Comune di Torriglia (Genova), al fine di fornire il contributo di carattere geologico e geotecnico a supporto della presentazione di una variante al programma di coltivazione già autorizzato con provvedimento della Regione Liguria n. 756 del 30.06.2000.

Tale variante è finalizzata a risolvere alcune problematiche idrogeologiche che caratterizzano il sito e propone un programma "in riduzione" per quanto attiene il volume di scavo, rispetto alle previsioni dell'autorizzazione del 2000.

Il lavoro, nel suo complesso, ha compreso le seguenti attività di indagine:

- ricerca bibliografica e cartografica;
- analisi e verifica della documentazione geologica già redatta dagli scriventi e inerente la cava e il programma di coltivazione approvato;
- aggiornamento e attualizzazione dei dati del rilevamento geologico, geomorfologico e idrogeologico della zona con nuovi sopralluoghi e rilevamenti nell'area di cava;
- rilievo geomeccanico dell'ammasso roccioso sui fronti di cava.

La presente relazione è corredata dei seguenti elaborati:

- corografia della zona in scala 1.5000;
- stralcio della carta geologica della zona, tavolette Bargagli e Torriglia in scala 1:25.000;
- stralcio della carta dei dissesti del bacino del Torrente Scrivia dal PAI del Fiume Po - variante dei bacini padani VBP;
- carta geologica, geomorfologica e idrogeologica di dettaglio dell'area di cava, in scala 1:500;
- carta geologico-strutturale dell'area di cava nello stato attuale, in scala 1:500;

- carta delle classi di qualità litotecnica dell'ammasso roccioso nell'area di cava, in scala 1:500;
- analisi geologico – strutturale dell'ammasso roccioso dell'area di cava nello stato di progetto, planimetria in scala 1:500;
- sezioni geologiche interpretative dell'andamento strutturale della formazione rocciosa eseguite sul profilo di stato attuale e con il confronto dei profili di progetto, in scala 1:500;
- documentazione fotografica;
- analisi strutturale dell'ammasso roccioso: rappresentazioni su reticolo di Schmidt delle principali famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso e analisi dei possibili cinematismi di distacco sui fronti di cava, nello stato attuale e nello stato finale di progetto;
- parametri di resistenza dell'ammasso roccioso determinati con il criterio di Hoek e Brown: elaborazione grafica dal programma RocLab versione 1.031/2007;
- parametri di resistenza delle discontinuità: caratterizzazione del giunto tipo secondo il criterio di rottura di Barton e Choubey;
- verifiche di stabilità globale dei fronti di cava nello stato attuale;
- verifiche di stabilità globale dei fronti di cava nello stato finale di progetto;
- verifiche di stabilità di cunei rocciosi sui gradoni di progetto.

Per gli aspetti relativi all'analisi dei vincoli esistenti nella zona della cava ed al regime normativo a cui risulta sottoposta ai sensi del vigente Piano Territoriale Regionale sulle Attività di Cava, si rimanda alla relazione generale di progetto.

Preme unicamente specificare che nella cava Bagoni, pur formalmente attiva, la coltivazione é sospesa da alcuni decenni. Lo scopo della variante è quello di pervenire ad una sistemazione finale, nonché al suo ripristino ambientale con una nuova configurazione che consenta l'inserimento armonico nel contesto paesistico, in coerenza con quanto previsto dagli strumenti di pianificazione territoriale e paesistica vigenti.

La presente indagine, svolta in osservanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.08 ed alla Circolare n. 617 del 2/2/2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni", è stata redatta seguendo l'appendice 1 delle linee guida della Regione Liguria per la progettazione, gestione e risanamento ambientale delle attività estrattive a cielo aperto e in sotterraneo e opere connesse (D.G.R. n° 141 del 15.02.2008). Si richiama inoltre la D.G.R. n. 1308 del 24.10.08, che classifica il Comune di Torriglia in Zona Sismica 3B, con accelerazione massima al suolo "pga" pari a 0.10g.

La variante in esame, che persegue l'obiettivo di risolvere alcune criticità d'ordine idrogeologico, localizzate in particolare nel settore sud-occidentale del fronte di cava attuale, propone, come detto, una riduzione dei volumi di scavo rispetto al programma di coltivazione approvato.

Tale riduzione e la relativa geometria proposta in rapporto allo stato dei luoghi ha comportato, innanzitutto, una verifica e un aggiornamento del rilievo plano-altimetrico della cava da parte della Stegeo di Genova, disponendo del quale è stato possibile integrare, supportare e rappresentare adeguatamente sulla cartografia il rilevamento geologico-strutturale per approfondire, quindi, la relazione geologico - tecnica redatta nel novembre 1998 dal Prof. Alfonso Bellini, coadiuvato dalla Dr.ssa Maria Luisa Ferraro e la relazione geologico-tecnica datata luglio 2007 a corredo di una proposta di variante già presentata il 19.01.07 ma non accolta in sede di Conferenza dei Servizi.

Anche alla luce delle nuove normative nel frattempo entrate in vigore, sono state effettuate nuove verifiche di stabilità, sia alla scala dell'intero pendio sui profili effettivamente rilevati dei fronti di cava nello stato attuale, sia nello stato di progetto, sul fronte e sul singolo gradone.

1. INQUADRAMENTO GENERALE DEI LUOGHI E DELL'AREA DI CAVA.

L'area di cava è ubicata nel Comune di Torriglia, nell'ambito del versante destro del Torrente Laccio. La proprietà si sviluppa a monte della strada provinciale SP 226, tra quota 560 e 660 circa e interessa un pendio in elevate condizioni di pendenza, esposto a Sud/Est. La localizzazione è riportata sullo stralcio in **ALL. 1** della Carta Tecnica Regionale, in scala 1:10.000.

Dal punto di vista dell'inquadramento geologico generale, la cava ricade all'interno dell'areale di affioramento della formazione dei Calcari di Monte Antola, presente uniformemente a substrato del tratto centrale della valle del Torrente Laccio, tra la località omonima a Est e Montoggio a Ovest, in un contesto scarsamente insediato e caratterizzato, in prevalenza, da estese e fitte coperture boschive su versanti generalmente acclivi, in condizioni di substrato prevalentemente subaffiorante e affiorante (**ALL. 2**: stralci: "carta geologica con elementi di geomorfologia" – Regione Liguria, tavoletta Bargagli, scala 1:25.000, e "carta geologica" – Regione Liguria e APAT, tavoletta Torriglia, scala 1:25.000).

1.1. Lineamenti geomorfologici. (TAV. 1: carta degli elementi geologici geomorfologici e idrogeologici, in scala 1:500, allegata fuori testo).

I sopralluoghi effettuati di recente nell'area di cava hanno consentito di confermare la caratterizzazione geomorfologica già contenuta nelle relazioni geologico-tecniche citate in precedenza, in quanto l'esame diretto dei luoghi ha rilevato l'assenza di variazioni in tema di stabilità, fenomeni erosivi, distacchi e cedimenti in genere all'interno dell'area di cava, la cui situazione geomorfologica è pressoché immutata da parecchi anni. Quindi, nella sostanza, si richiamano le considerazioni e le descrizioni già illustrate nelle relazioni sopra richiamate.

L'area di cava è localizzata nel settore basale di una costola montuosa, a direttrice NNE-SSW, compresa tra il Rio della Fornace ad Est ed un rivo senza

nome inciso ad Ovest, essendo entrambi i rivi affluenti in versante orografico destro del T. Laccio. L'area di coltivazione occupa il versante orientale di tale costola ed è inserita all'interno della vallecola incisa dal Rio della Fornace.

Le condizioni di pendenza risultano variabili, in conseguenza dell'attività estrattiva ivi esercitata.

Nei settori esterni all'area di coltivazione l'acclività dei versanti è generalmente elevata, sia ai lati che a monte del fronte di cava. Tale acclività aumenta ulteriormente in corrispondenza dei versanti orografici, destro e sinistro, della valle del Rio della Fornace, dove le pendenze raggiungono i valori massimi, con forma della sezione valliva a "V" molto accentuata ed incisa.

Solo il fondovalle, limitatamente al tratto tra quota 600 e quota 580 circa, ove a suo tempo è stata realizzata la tombinatura del rivo ed un intervento di riempimento, presenta una morfologia artificiale subpianeggiante.

In genere si può rilevare come i lineamenti morfologici della zona, sia nei settori prospicienti il T. Laccio, sia in quelli prospicienti la valle del Rio della Fornace, attengano ad una fase evolutiva giovanile di entrambi gli organismi idrologici, caratterizzati da forte inclinazione dell'alveo, attività erosiva sia di fondo che spondale, accentuata incassatura del tracciato torrentizio, deposizione di materiali alluvionali ad elevata granulometria (massi, ciottoli) in conseguenza della prevalente attività erosiva e di trasporto delle acque.

Per la pendenza elevata dei versanti, la copertura detritica, di origine eluvio-colluviale, risulta di modesta entità, con spessori dell'ordine di 1-2 metri, spesso limitata a tasche detritiche depositatesi in corrispondenza delle rientranze rocciose. Essa ospita una vegetazione di natura prevalentemente erbacea ed arbustiva e con essenze arboree di castagno, robinie e orniello. In corona al fronte di cava e nella parte orientale, in prossimità della vallecola del Rio della Fornace, rimaneggiata dal riempimento descritto, è sviluppata una fitta vegetazione infestante.

La composizione granulometrica della coltre è mista, con frammenti lapidei, di natura calcarea e di dimensioni centimetriche e decimetriche, in matrice limoso-argillosa tipicamente di colore ocra-marroncino.

Con attenzione al fattore stabilità, non sono stati osservati segni di dissesto con rilascio di corpi detritici verso il piazzale di cava, mentre si notano massi isolati di lato fino a 30 – 40 cm o frammenti detritici minori sul piazzale principale di cava o sulle bancate rocciose in parete, in corrispondenza delle rotture di pendenza, che attestano il distacco puntuale di cunei rocciosi delimitati dalla reciproca intersezione dei giunti di discontinuità presenti nell'ammasso.

Cigli di distacco per erosione superficiale si notano, invece, alla base dei versanti della vallecola del Rio della Fornace, inattivi nel tratto già tombinato, attivi nel tratto a monte, ancora interessato dall'erosione spondale del rivo.

Risalendo la valle del Rio della Fornace si rilevano anche indizi erosivi areali per ruscellamento superficiale delle acque di pioggia, nei tratti in versante a pendenza più elevata, mentre oltre quota 650, in prossimità della fascia di crinale, la pendenza risulta smorzata per la presenza di terrazzamenti delimitati da scarpate inerbite che si estendono fino alla porzione più occidentale del ciglio di cava che raggiunge il crinale.

L'esame di dettaglio dell'area di cava evidenzia una morfologia articolata, caratterizzata dai seguenti fattori:

- la cava ha una forma ad anfiteatro, nel quale si possono distinguere due fronti di escavazione separati da una dorsale centrale a profilo subverticale e localmente strapiombante (**ALL. 4**: sezione B, **ALL. 5**: foto 1). Il fronte più ad Ovest, che per comodità di descrizione verrà nel seguito identificato come fronte occidentale (**ALL. 5**: foto 2), è più alto ed esteso e presenta una minore pendenza nella parte superiore, mentre assume profilo subverticale nella zona basale (**ALL. 4**: sezione A). Per contro, il tratto orientale dell'anfiteatro di cava è decisamente meno inclinato e copre un dislivello complessivo minore (**ALL. 4**: sezione C, **ALL. 5**: foto 3);

- l'anfiteatro è limitato a Sud/Ovest dalla costola che separa l'area di competenza della cava dalla valle incisa ad occidente; a Nord-Est da un dosso appena accennato che separa il fronte orientale dal versante orografico destro della valle del Rio della Fornace;
- al piede dell'anfiteatro descritto si sviluppano i piazzali di cava: uno superiore a quota media 580 (**ALL. 5**: foto 4) ed uno inferiore, in prossimità del cancello di accesso alla cava, a quota media 560, che attualmente ospita alcuni edifici connessi all'attività estrattiva, tra cui una palazzina uffici, aree di stoccaggio inerti, strutture di vecchi impianti, ecc (**ALL. 5**: foto 5). I due piazzali sono collegati da una strada che sale lungo il limite orientale della cava, in corrispondenza del tombino del Rio della Fornace;
- come già accennato precedentemente, il Rio della Fornace è stato tombinato per un tratto di circa 250 metri, fino al limite di valle della proprietà;
- il settore sovrastante la tombinatura è stato riempito con materiale detritico, nella porzione più a monte, provocando l'allargamento del fondo vallivo **ALL. 5**: foto 6 e 7), mentre nel tratto di valle, al limite orientale del piazzale a quota 560 circa, è stato coperto e sistemato in modo da ricavare una rampa carrabile con muri di sostegno laterali per l'accesso alle originarie piste di arroccamento ed al piazzale superiore della cava già descritto (**ALL. 5**: foto 8);
- come risulta evidente dall'esame dei luoghi, in particolare constatando la parete rocciosa sul dislivello tra i due piazzali descritti, nonché percorrendo la rampa che sale al piazzale superiore, anche i piazzali stessi sono strutturati nella formazione rocciosa di substrato, con un sottile ricoprimento di materiale sciolto di origine detritica e di spessore limitato a 10 - 20 cm (**ALL. 5**: foto 9);
- ai piedi dei fronti dell'anfiteatro di cava sono presenti due conoidi di materiale detritico, prevalentemente lapideo, accumulati nel tempo per rilasci e distacchi da monte: il primo (**ALL. 5**: foto 2) è localizzato in

corrispondenza del fronte occidentale, il secondo (**ALL. 5**: foto 4) è localizzato al piede del tratto orientale del fronte, dove si notano volumi di materiale roccioso strapiombanti; entrambe le conoidi detritiche risultano ad oggi già parzialmente colonizzate da una vegetazione composta prevalentemente da arbusti. Massi e spezzoni rocciosi isolati si osservano, inoltre, al piede della parete strapiombante del tratto centrale;

- in due zone del piazzale superiore di cava, poste all'estremità orientale, presso i serbatoi dell'acqua e al piede del fronte occidentale, sono state realizzate barriere di massi in cumuli, con funzioni di difesa e contenimento, in caso di distacco e caduta di detriti dalle zone soprastanti (**ALL. 5**: foto 4);

La descrizione dettagliata della geometria dei fronti evidenzia:

- il lato più sviluppato é quello occidentale, fino alla quota intorno a 650 metri, con un dislivello di oltre 70 metri rispetto al piazzale a quota 578.64; in corrispondenza di questo settore il profilo del fronte di cava coincide con i piani di stratificazione dell'ammasso roccioso ed ha un'inclinazione media intorno a 40° che tende ad aumentare fino a divenire subverticale nella sua parte inferiore, sotto quota 613 circa dove l'orientazione é a traverpoggio;
- il lato meno sviluppato è quello orientale fino alla quota intorno a 640 metri, con un dislivello di circa 60 metri rispetto al piazzale. Peraltro, la parte basale è coperta dalla conoide detritica già descritta, mentre in testa sono presenti coltri di copertura per cui, di fatto, il tratto scoperto in roccia copre un dislivello di circa 30 m; come nel caso precedente si nota una rottura di pendenza intorno a quota 619, tra la parte superiore che inclina mediamente di 30 gradi e la parte inferiore in pendenza a 50 gradi;
- i due fronti sopra identificati sono separati da un settore centrale a pendenza massima, fino a 80 – 85 gradi, con tratti strapiombanti verso il sottostante piazzale di cava.

Per quanto concerne le condizioni di stabilità e in genere l'equilibrio idrogeologico dell'area di cava, si segnalano le seguenti principali problematiche, che sono state considerate e recepite dalla variante oggetto della proposta progettuale.

Il versante nel quale è inserita la cava è caratterizzato a grande scala da condizioni di buona stabilità, sostanzialmente conferite dalla presenza di una modesta copertura di materiali detritici di origine eluviale, su un substrato calcareo, in condizioni di affioramento e subaffioramento, pur con variabile grado di alterazione e fratturazione, ma sostanzialmente tenace e saldo. Problematiche diverse a puntuali sono segnalate in zone molto distanti e di contesto non pertinente rispetto alla zona in esame, come si evidenzia sull'estratto in **ALL. 3** della carta dei dissesti del bacino del Torrente Scrivia del PAI - Piano per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po realizzato dall'Autorità di Bacino di Rilievo Nazionale del Fiume Po, approvato con DPCM del 24 maggio 2001, per quanto attiene la variante dei bacini padani VBP, adottata con Delibera del Consiglio Provinciale n.58 del 8/10/2008.

Premessa la stabilità in grande del versante, occorre osservare come il fronte di cava, nonché i settori in corona, presentino problematiche diversificate e legate alla passata attività estrattiva e alle sue modalità di conduzione (per subissamento) ed anche predisposte dalle locali condizioni strutturali dell'ammasso roccioso.

E', infatti, evidente l'eccessiva acclività del fronte in generale, su profilature uniformi e, nel settore Ovest le sfavorevoli condizioni di giacitura degli strati. Nel settore Est spicca l'accentuazione dei fenomeni di fratturazione che induce un generalizzato stato di allentamento ed alterazione. Sono infine peculiari diversi settori di faglia nel tratto centrale ed occidentale.

In relazione agli aspetti sopracitati, sono state individuate le seguenti zone di maggior penalizzazione:

❍ ***Fronte occidentale.***

In questo settore del fronte di cava i sistemi di fratturazione perpendicolari alle superfici di strato determinano la formazione di prismi rocciosi di forma parallelepipeda che tendono a scivolare lungo le superfici di stratificazione, accumulandosi al piede del fronte e dando luogo alla conoide detritica già citata. Le osservazioni di terreno hanno permesso di ipotizzare che la variabile presenza di calcite di riempimento dei giunti di frattura e lungo le superfici di strato, associata naturalmente a ponti di roccia nelle zone interne delle bancate affioranti, abbia vincolato e limitato i movimenti di scivolamento planare sulle superfici di strato in questo settore del fronte. Inoltre, intorno a quota 600 dove gli strati aumentano sensibilmente il loro angolo di inclinazione, una bancata di calcare marnoso di spessore pari a circa 1.50 m presenta la tipica alterazione a "cutellin" e genera una detrizione di scaglie e frammenti allungati con accumuli localizzati all'apice del conoide detritico che impegna il piede del fronte.

❍ ***Zona intermedia.***

In questo settore il fronte ha un profilo subverticale con porzioni aggettanti e strapiombanti e strati fortemente ripiegati e caoticizzati. Si osservano sporgenze rocciose prive di sostegno che hanno dato origine ai blocchi e ai frammenti accumulati al piede di questo tratto sul piazzale di cava. I maggiori fattori di penalizzazione sono qui rappresentati dalle particolari condizioni strutturali, definite dalla sovrapposizione di superfici di strato e di faglia, che hanno determinato uno spinto stato di fratturazione nell'ammasso, con formazione di cenge e sporgenze per distacco e svuotamento dell'ammasso roccioso nella porzione inferiore del fronte.

❍ ***Fronte orientale.***

In questo tratto, soprattutto nella fascia superiore del fronte denudato, l'ammasso roccioso presenta un evidente scadimento del suo stato di

conservazione, messo in risalto anche dal colore marroncino che assumono i litotipi, in seguito ai più o meno intensi processi di alterazione.

Nei tratti in questione gli strati lapidei denotano uno spinto stato di fratturazione e allentamento secondo sistemi spesso intersecati, che isolano blocchi di forma parallelepipeda e spezzoni in condizioni di precario equilibrio.

Contestualmente, gli interstrati argilloscistosi si presentano fortemente alterati, con uno stato talora di completa argillificazione e localmente di asporto.

Il crollo di materiale dalle porzioni sommitali del fronte di cava ha determinato la necessità di mettere in opera, sul piazzale, sistemi provvisionali di difesa quali una barriera in pietrame. Tuttavia l'esposizione agli atmosferili ed alle acque di dilavamento ha aggravato nel tempo la situazione di precarietà già a suo tempo segnalata, tant'è che sul piazzale sono presenti blocchi e massi crollati e rotolati dal versante fino ad una distanza di 12 m dal cumulo di massi creato a difesa. Preme anche ribadire che in tale settore, soprattutto nella parte del ciglio sommitale, è importante la componente detritica e terrosa, presente nei giunti di frattura e come strato di ricoprimento superficiale dell'ammasso.

1.2. Dati litologici e strutturali (Tav. 2: carta geologico – strutturale, in scala 1:500, allegata fuori testo).

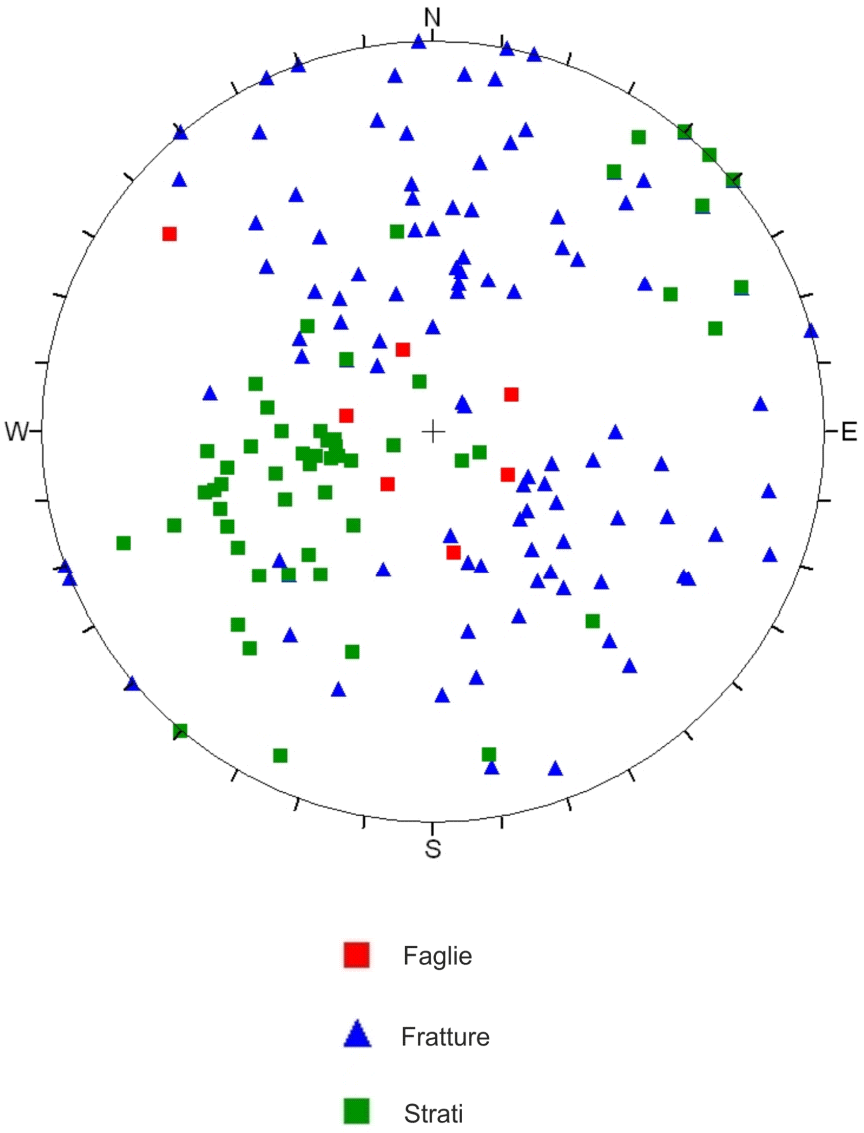
Come già indicato in precedenza, il materiale di coltivazione appartiene geologicamente alla formazione dei "Calcari del M. Antola".

Nell'area della concessione è quindi presente un'unica formazione geologica, la quale denota, di norma, una notevole variabilità litologica. Infatti, è caratterizzata da un'alternanza di livelli calcareo-marnosi, calcareo-arenacei, argillitici e marnosi, con spessori differenziati delle bancate.



Sui fronti rilevati sono presenti prevalentemente calcari marnosi ed argilloscisti: i primi sono in bancate potenti fino a due metri, mentre i secondi, nettamente subordinati, hanno potenze più limitate, dell'ordine di 40 - 50 cm.

Il rilevamento geostrutturale dell'assetto giaciturale degli strati sui fronti evidenzia, innanzitutto, la presenza di una grande piega coricata verso Est ad asse circa Nord-Sud, con fianco inferiore raddrizzato. A questa grande struttura si associano pieghe asimmetriche a scala minore, che indicano trattarsi di un'anticlinale. La situazione descritta è localmente complicata dalla presenza di faglie in prevalenza di modesta persistenza e di sistemi di fratturazione riconducibili a due famiglie principali, con grado medio-elevato di dispersione, oltre a fratture random.



L'analisi statistica dei dati rilevati (**ALL. 6**) identifica come sistemi principali di discontinuità dell'ammasso le due famiglie di discontinuità G1 (297°/31°) e G2 (190°/43°) oltre agli strati dei due fianchi della piega simile e asimmetrica descritta da S1 (79°/40°) e da S2 (220°/88°).

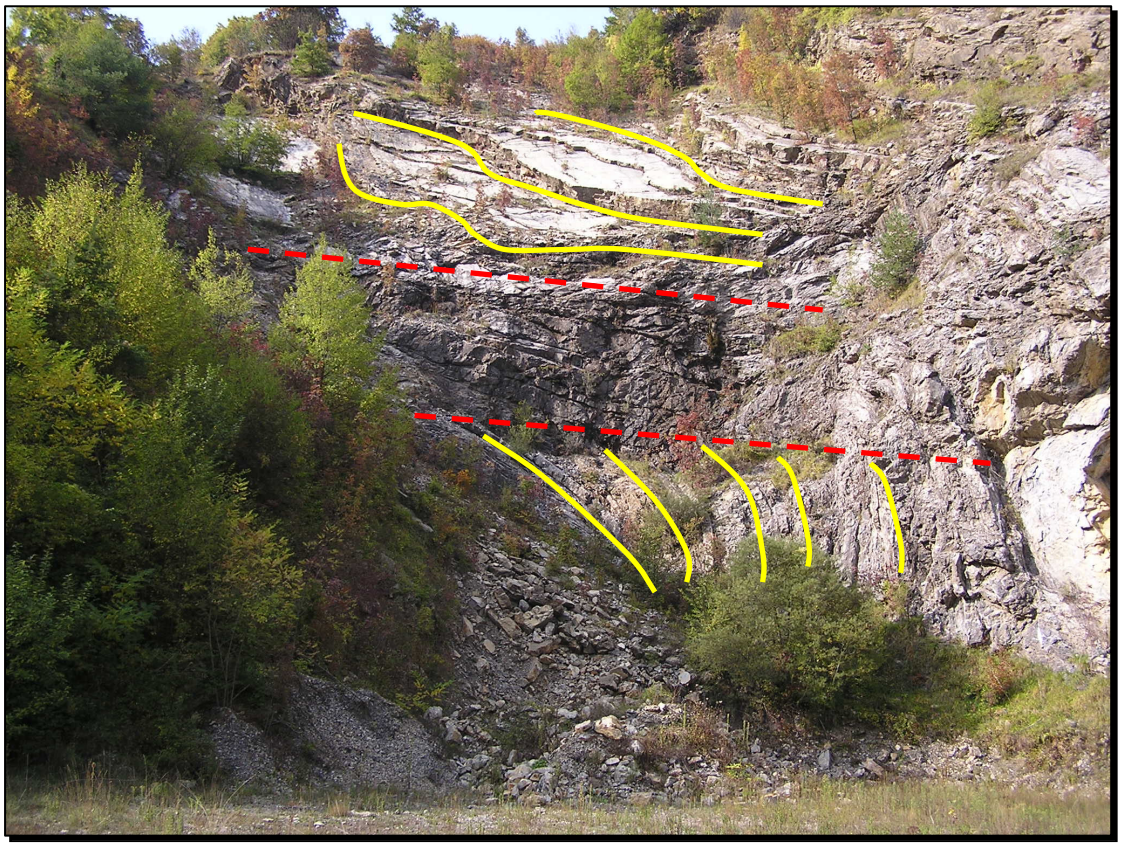
L'intersezione con la geometria dei fronti attuali di cava delle discontinuità rilevate, sia che si tratti di strati, sia che si tratti di fratture o faglie, genera situazioni diversificate in merito ai possibili cinematismi di distacco e instabilità nelle diverse zone della cava, per altro comprovati dalla constatazione in loco di cunei e frammenti rocciosi effettivamente caduti sul piazzale di cava.

In dettaglio (**ALL. 7**):

- nel settore intermedio, dove è presente il cosiddetto sperone centrale (**ALL. 5**: foto 1), l'assetto medio delle discontinuità risulta interessato da locali ripiegamenti che originano figure di interferenza complesse e di difficile interpretazione. Il rilevamento di campagna conferma, peraltro, sul fronte, lo scollamento di prismi rocciosi sul piano del giunto G2, dal quale deriva la formazione di cenge e sporgenze come descritte in precedenza (**ALL. 5**: foto 15). Nella fascia superiore è invece dominante l'assetto a traverpoggio della stratificazione;

- nel settore occidentale, il fronte immerge a SE (I = 127 gradi) e denota una netta rottura di pendenza intorno a quota 613. Nella parte superiore (fronte ovest alto) l'assetto strutturale dispone le superfici di strato a franapoggio con angolo di inclinazione conforme e analogo a quello del fronte (angolo di inclinazione medio pari a circa 40°). Nella parte inferiore, invece, l'inclinazione del fronte tende ad aumentare progressivamente fino a valori di circa 60° rispetto al piano orizzontale (**ALL. 5**: foto 2). L'analisi dei cinematismi evidenzia, per la parte alta, il rischio di scivolamenti planari sulla superficie di strato S1 di cunei rocciosi delimitati lateralmente dai giunti G1 e G2. Analoga situazione si

riscontra nella porzione bassa con maggior probabilità di formazione di cunei per l'intersezione dei giunti G2 con lo strato S1. La linea di intersezione fuoriesce perpendicolarmente dal fronte ma con bassi angoli di inclinazione. Effettivamente in tale zona non si riscontrano blocchi lapidei staccati o allentati in parete a differenza della zona sommitale dove, per contro, il rilascio di frammenti lapidei, peraltro di dimensioni molto contenute, è documentato sulle rotture di pendenza del profilo. (**ALL. 5**: foto 10);



- nel settore orientale dell'anfiteatro di cava, il fronte è ruotato e risulta mediamente immergente verso Sud/Ovest. La stratificazione risulta pertanto a traverpoggio, mentre è decisamente sfavorevole l'assetto del giunto G2 che configura il rischio di scivolamenti planari di blocchi lapidei geometricamente delimitati dagli altri sistemi descritti. La situazione si osserva direttamente sul terreno dove localmente il profilo del fronte coincide con la superficie della discontinuità G2 (**ALL. 5**: foto 11). In questa zona, inoltre, la problematica è aggravata dall'elevato grado di fratturazione e alterazione dell'ammasso, soprattutto nella fascia superiore del fronte (**ALL. 5**: foto 12);

- per completezza di descrizione si aggiunge che il versante destro della valle del Rio della Fornace, quello adiacente il fronte di cava, è strutturato nella formazione rocciosa che si presenta in ripetuti affioramenti, con immersione degli strati ancora a E - SE, in situazione quindi di franapoggio rispetto al pendio; in questa zona si sono osservati locali smottamenti che interessano però, prevalentemente, il sottile strato di coltre superficiale;

- il versante sinistro della valle del Rio della Fornace, al contrario, si presenta notevolmente più acclive, ma piuttosto stabile per la disposizione degli strati a reggipoggio; la copertura detritico-eluviale risulta quasi assente;

- in corrispondenza del settore sottostante il piazzale di quota 580, l'assetto strutturale dell'ammasso roccioso è caratterizzato da una sequenza di pieghe asimmetriche nelle quali la zona di cerniera superiore risulta elisa dal taglio artificiale del piazzale soprastante. Come in tutto il resto della cava, lo strato immerge alternativamente verso ENE e verso SO con angoli di inclinazione molto elevati (70-90 gradi) (**ALL. 5**: foto 13).

In conclusione, per quanto concerne le osservazioni effettuate sull'attuale fronte di cava, in relazione alle condizioni giaciturali ed al suo stato di conservazione, si conclude quanto segue:

- la disposizione degli strati non appare uniforme, sia rispetto all'interferenza geometrica con i fronti, sia per l'effettiva variabilità giaciturale riscontrata;

- prevale la disposizione a franapoggio nei confronti del pendio, principalmente per quanto concerne il settore occidentale, fatta eccezione per la porzione bassa del fronte ove gli strati, per la presenza di una piega, aumentano sensibilmente la loro inclinazione e immergono verso Sud/Ovest;

- diventano subverticali e caotici nel settore mediano inferiore dell'anfiteatro di cava, mentre nella fascia superiore la rotazione del fronte induce situazioni da franapoggio a traverpoggio;

- lo stato di fratturazione risulta diffuso, con fratture serrate o cementate da calcite, oppure con riempimenti detritici; localmente i giunti sono beanti per asportazione ed erosione selettiva del materiale fine, soprattutto nei livelli più superficiali e di corona;

- l'ammasso roccioso presenta una fascia di alterazione e degradazione significativa nella porzione alta del settore orientale del fronte;

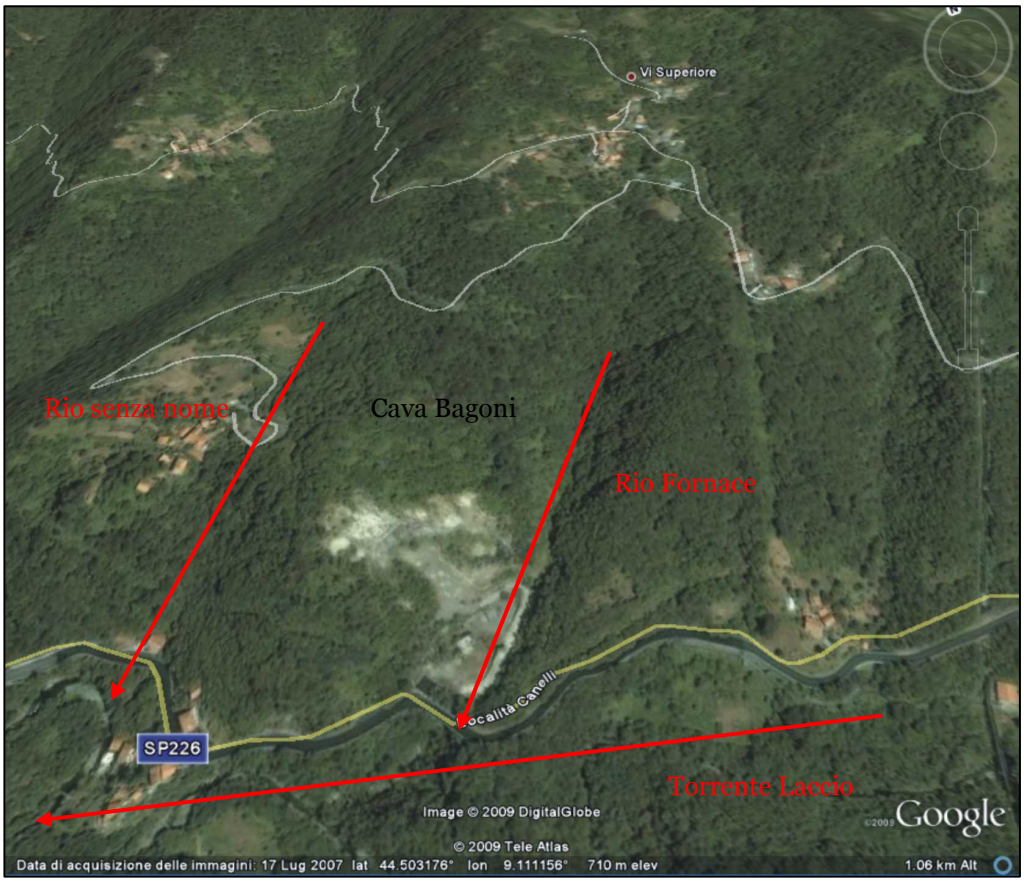
- sono presenti differenti zone di faglia delle quali le più importanti sono: una scarsamente inclinata che attraversa quasi tutto il fronte di cava (Immersione 245 gradi, inclinazione 25 gradi) ed altre con piani immergenti verso il quadrante nord-orientale, ma sempre con bassi angoli di inclinazione;

- i livelli calcarei e marnosi quantitativamente si presentano nettamente prevalenti su quelli argilloscistosi.

1.3. Schema di circolazione delle acque.

1.3.1. Acque superficiali.

L'area della concessione è limitata ai lati ed a valle dalle aste torrentizie del Rio della Fornace a Est, del rivo sotto l'abitato di Crosi a Ovest e del T. Laccio a Sud, che provvedono a smaltire completamente i deflussi della zona, assicurando un totale disimpegno delle acque.



Si tratta, come già ricordato, di incisioni a livello di veri e propri organismi idrogeologici dotati di ben definita sede. Si ricorda che il Rio della Fornace per un tratto di circa 250 metri è già stato tombinato, con bocca di uscita in corrispondenza del muraglione che sostiene il piazzale di cava a quota 560 (**ALL. 5**: foto 14).

Per quanto riguarda le acque ricadenti sul fronte di cava, il loro movimento è assimilabile ad un moto laminare, che si verifica per ruscellamento diffuso, senza vie preferenziali di scorrimento, a motivo della morfologia ereditata dal versante a seguito della precedente attività estrattiva.

Le acque scorrenti sul fronte di cava scendono a livello del piazzale a quota media 580 circa, strutturato, come già ricordato, nella formazione rocciosa di substrato presente al di sotto di una limitatissima copertura di materiali detritici. Da quanto evidenziato in loco nel corso di un sopralluogo effettuato a seguito di un lungo periodo piovoso si è appurato che l'acqua che si raccoglie sul piazzale vi ristagna localmente. Si formano pozze sul terreno che si prosciugano per evaporazione. Una quota parte, naturalmente, tende ad infiltrarsi in profondità ma la capacità di smaltimento dell'ammasso roccioso a livello del piazzale si è andata nel tempo esaurendo per progressiva chiusura dei giunti di frattura da parte del limo dilavato dal fronte, veicolato dall'acqua nei punti di accumulo e depositatosi sul fondo delle pozze.

1.3.2. Acque sotterranee.

Sono di modestissima rilevanza per i seguenti motivi:

- la coltre detritico-eluviale è presente in fasce discontinue e di contenuto spessore solo a monte del fronte di cava, nel tratto orientale e in alcune limitate porzioni del versante in sponda destra del Rio della Fornace. Per contro, la porzione occidentale del fronte è arretrata fino al crinale e prevalgono

diffusamente condizioni di roccia affiorante. La scarsità delle coperture e la limitata estensione del bacino sotteso, oltre alla mancanza di un livello impermeabile di fondo, non consentono l'instaurarsi di una vera e propria falda idrica sotterranea;

- la formazione rocciosa di substrato è permeabile per fratturazione. La circolazione idrica avviene lungo i reticoli di frattura comunicanti. Esce a giorno all'intersezione del giunto o di un interstrato argillitico a minore permeabilità sulla superficie del fronte.

Le osservazioni effettuate sul fronte di cava hanno consentito di rilevare la presenza di stillicidi di acque circolanti all'interno dell'ammasso roccioso di entità variabile in funzione dei regimi piovosi. Ciò avviene in corrispondenza dell'intersezione del fronte di cava con i più importanti sistemi di discontinuità, con particolare attenzione al settore occidentale.

In dettaglio, si nota che la filtrazione idrica dal fronte, segnalata, in regimi di secca, da muschio e concrezioni, é localizzata in corrispondenza del piano di faglia sub-orizzontale che attraversa buona parte del fronte occidentale della cava. Si tratta ad ogni modo di un quantitativo complessivamente trascurabile, che non gioca né incide sulle problematiche degli equilibri idrogeologici della cava e, d'altro lato, non subisce alterazioni o conseguenze per l'attività estrattiva.

L'unico effetto negativo legato alla circolazione idrica nei giunti si registra nella stagione invernale quando, per la formazione di ghiaccio si determina l'allentamento delle fratture e il possibile distacco dei cunei.

Con riferimento alle classi di permeabilità che possono essere individuate all'interno del perimetro della cava si distinguono:

- l'ammasso roccioso sui fronti attuali, permeabile per fratturazione e fessurazione fino a fenomeni di pseudocarsismo, ma scarsamente permeabile negli orizzonti più sani e compatti;

- l'ammasso roccioso sui piazzali attuali di cava, caratterizzato da permeabilità per fratturazione ma con coefficienti molto bassi per intasamento dei giunti con materiale fine.
- le coltri detritiche di origine eluvio-colluviale, permeabili per porosità con coefficienti variabili in funzione delle classi granulometriche prevalenti;
- gli accumuli detritici e i riempimenti artificiali, caratterizzati da permeabilità medio-alta per porosità.

Lo stato di permeabilità dell'area fa sì che, mediamente, si determina uno scorrimento superficiale in concomitanza con eventi piovosi intensi e persistenti, durante i quali le acque meteoriche scorrono sul versante e sui fronti in maniera caotica, non riuscendo a convogliarsi in un'unica linea di scorrimento.

Le acque meteoriche, infatti, tendono, da un lato a infiltrarsi nei versanti e a scorrere all'interno dell'ammasso roccioso con diffusione casuale dipendente dalla continuità e contiguità dei sistemi di discontinuità, dall'altro ad accumularsi e a ristagnare sui piazzali di cava da dove, in parte evaporano, in parte vengono riassorbite dal terreno.

Infine, vale la pena aggiungere che nella zona di cava e nel bacino idrografico di competenza non sono presenti pozzi che utilizzino acque sotterranee e neppure sorgenti con opere di captazione, a conferma del fatto che non è presente alcun acquifero sotterraneo sfruttabile o comunque di entità significativa.

2. PROBLEMATICHE DI NATURA GEOLOGICA DELL'AREA DI CAVA NELLO STATO ATTUALE.

2.1. Zonizzazione dell'anfiteatro di cava (Tav. 3: carta delle classi di qualità litotecnica dell'ammasso roccioso, in scala 1:500).

L'analisi dei complessivi fattori geologici dell'area interessata dall'attività estrattiva e la valutazione dell'evoluzione delle sue condizioni di stabilità consentono di evidenziare problematiche articolate nelle diverse zone del fronte. Più precisamente e facendo riferimento alla Tav. 3, sono individuabili i seguenti settori, di massima omogenei in quanto a tipologia dei fattori di penalizzazione.

Zona A.

Comprende la parte occidentale dell'attuale fronte di cava, caratterizzata dal massimo dislivello tra ciglio del fronte e piazzale di cava.

Dato l'orientamento del fronte, la sua esposizione a ESE coincide all'incirca con l'immersione degli strati rocciosi affioranti e disposti a franapoggio, con superfici mediamente coincidenti con la superficie topografica, almeno nella parte superiore.

Tenuto conto della presenza di sistemi di fratturazione disposti perpendicolarmente rispetto alla stratificazione, i fenomeni di instabilità del fronte ivi riscontrati e accentuati nella parte sommitale, consistono nel distacco di spezzoni di strato che utilizzano come superfici di scivolamento i piani di stratificazione.

A conferma di tale situazione si osservano materiali detritici di pezzatura comunque piccola e media, accumulatisi sulle rotture di pendenza e alla base del pendio.

La porzione inferiore del fronte contribuisce ad alimentare la detrizione con distacchi di cunei.

Occorre rilevare, per questa zona, che l'ammasso presenta un buono stato di conservazione. Prevalgono le litologie calcareo-marnose e marnose, mentre le argilliti sono subordinate. Sono evidenti strutture ripiegate e faglie particolarmente a quote comprese tra 596 e 610 (**ALL. 5**: foto 16), in corrispondenza delle quali si osservano incrostazioni di muschio e si registra la formazione di stillicidi idrici a seguito di piogge.
Le fenomenologie evolutive registrate in tale zona rendono adeguato il ricorso al modello del discontinuo per la modellizzazione geotecnica e l'analisi delle condizioni di stabilità.

Zona B.

E' localizzata in corrispondenza del tratto centrale del fronte e comprende lo sperone roccioso già descritto in precedenza, con aggetti e sporgenze, soggetto a fenomeni di crollo puntuale verso il piazzale a quota 580.
Si tratta della porzione di fronte penalizzata sia dalla presenza di accentuati disturbi tettonici, con ripetuti cambi di giacitura della formazione rocciosa, sia dall'elevata pendenza del fronte. Localmente si riscontrano condizioni prossime alla verticalità ed anche volumi rocciosi che fuoriescono rispetto al piede del fronte.
L'instabilità del settore, anche in questo caso, è locale e comprovata dalla presenza di un conoide detritico alimentato dal crollo di elementi lapidei.
La parte sommitale, invece, si trova in condizioni analoghe a quelle descritte per la Zona A superiore. Il distacco dei cunei è governato, evidentemente, dalla resistenza al taglio mobilizzabile sulle superfici di discontinuità. Pertanto, per la verifica di stabilità di questa zona è ragionevole considerare il modello discontinuo nel tratto superiore e il modello continuo alla scala dell'intero fronte denudato.

Zona C.

Comprende tutto il lato orientale dell'area di cava, sia sul fronte, sia in destra della valle del Rio della Fornace.

Tale zona risulta caratterizzata dal fatto che l'ammasso roccioso mostra in affioramento frequenti porzioni particolarmente degradate ed alterate (cappellaccio), presumibilmente perché la passata attività estrattiva in questo settore aveva intaccato solo superficialmente il versante.
A ciò va aggiunta una condizione di pendenza elevata e la presenza di un sistema persistente di giunti (G2) disposto a franapoggio franco.
In questo settore sono state osservate situazioni al limite dell'equilibrio, con blocchi lapidei in condizioni di evidente instabilità, indotte dagli intensi fenomeni di fratturazione che interessano le bancate calcaree, con fratture spesso beanti e da fenomeni di argillificazione e talora di asporto degli interstrati argillitici.
Il settore in questione, soprattutto nella fascia sommitale e lungo la valle del rivo è caratterizzato da una colorazione marroncino-giallastra, tipica delle zone di maggior degrado.
In corrispondenza, sul piazzale di cava si osserva un sistema di difesa passiva costituito da una barriera paramassi, evidentemente finalizzata a contenere il crollo di materiale lapideo da notevole altezza.
Le condizioni geologiche descritte, quindi, l'elevato grado di fratturazione e alterazione, suggeriscono di modellare l'ammasso roccioso della zona C come un continuo equivalente, alla scala dell'intero versante.

* * *

Valutate nel loro insieme le problematiche geologiche presenti nei vari settori dell'area, si può concludere che esse sono indotte da più ordini di fattori concatenati quali:

- le caratteristiche intrinseche dell'ammasso roccioso, l'assetto giaciturale, la presenza di zone di disturbo tettonico e di alterazione;
- l'attuale morfologia del fronte di cava – di massima contraddistinto da situazioni di elevata pendenza su dislivelli continui eccessivi, con profilature uniformi.

3. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO: METODOLOGIA E PARAMETRI.

3.1. Dati del rilevamento geomeccanico.

Gli assetti giaciturali dell'ammasso roccioso, rappresentato nell'area di studio dalla formazione geologica dei Calcari di Monte Antola, sono variabili nei diversi settori della proprietà della cava. Per studiare tali assetti sono stati effettuati 6 stendimenti geomeccanici, la cui ubicazione è risultata condizionata dall'accessibilità ai diversi settori del fronte in condizioni di sicurezza.

Adottando la metodologia indicata da ISRM 1978 sono stati misurati per ogni discontinuità riscontrata sul terreno l'orientazione spaziale, quindi l'azimut del vettore immersione rispetto al N e l'inclinazione del piano rispetto all'orizzontale, e ne è stata analizzata la distribuzione statistica con proiezione stereografica su reticolo di Schmidt tramite il software *Dips vers. 5.106* (Rocscience). I rilievi geomeccanici sono stati completati con il rilevamento dei parametri quali spaziatura, apertura, riempimento, persistenza e integrati con misurazioni sclerometriche, attraverso l'utilizzo del martello di Schmidt, per la determinazione della resistenza a compressione delle discontinuità e della matrice rocciosa sana.

L'utilizzo del "pettine di Barton" ha consentito, poi, di verificare i profili di scabrezza dei singoli giunti esaminati, quindi di esprimere quantitativamente l'entità delle asperità sulla parete del giunto, attraverso il confronto con i profili standard proposti dalla ISRM (1978).

I dati acquisiti durante il rilievo geostrutturale hanno messo in evidenza la presenza di quattro principali famiglie di discontinuità nell'ammasso roccioso: due famiglie sono rappresentate dalle superfici di strato della roccia (S1: 79/30-40 - *superficie di strato sul fianco diritto della piega anticlinale coricata*; S2: 220/80-90 - *superficie di strato sul fianco rovescio della piega anticlinale coricata*); le altre due (G1: 297/31; G2: 190/43) rappresentano le due famiglie di giunti di maggiore persistenza e minore dispersione all'interno dell'ammasso roccioso (**ALL. 6**), anche se occorre precisare che si manifestano altri giunti altamente dispersi.

Le stratificazioni **S1** e **S2** corrispondenti ai fianchi di una piega anticlinale coricata, mostra mediamente spaziature comprese tra 0.60 m e 1.00 m, aperture piuttosto variabili, ma solitamente tra 5 mm e 1 cm soprattutto nella fascia superiore dei fronti di cava, riempite da calcite o roccia disgregata. La persistenza è alquanto elevata (> 20 m). Sia S1 che S2 sono caratterizzate da superfici di forma ondulata e di rugosità variabile in funzione della litologia. In corrispondenza degli strati marnosi e argillitici si è determinato un JCR minimo dell'ordine di 6 – 8. L'acqua è assente. Si registrano solo locali e saltuari stillicidi.

Le due predominanti famiglie di giunti di discontinuità dell'ammasso roccioso **G1** e **G2** mostrano rispettivamente immersione 297° e inclinazione 31° (G1) e immersione 190° e inclinazione 43° (G2). Questi giunti evidenziano spaziature in media comprese tra 2 e 60 cm e aperture molto variabili, da trascurabili fino a > 2 cm. Il riempimento delle aperture risulta composto da materiale argilloso e da roccia disgregata, da calcite di cristallizzazione secondaria. La persistenza è in genere inferiore a 3.00 m. I profili di scabrezza dei giunti denotano rugosità accentuata. Non si è riscontrata presenza di filtrazione idrica, tranne che in un settore isolato a metà altezza del fronte occidentale di coltivazione della cava, segnalato da infiorescenza di muschio (**ALL. 5**: foto 16).

3.2. Criteri per la definizione dei parametri di resistenza dell'ammasso ai fini delle verifiche di stabilità di stato attuale e di progetto.

La sintesi di tutti i dati geologici, geomorfologici e strutturali esposti ai paragrafi precedenti, porta a ritenere che il modello di riferimento per l'ammasso roccioso analizzato, alla scala delle problematiche considerate, debba essere differenziato nei diversi settori della cava, in particolare distinguendo il fronte occidentale dal fronte orientale.

Nel settore occidentale, infatti, soprattutto nella fascia superiore, è evidente il controllo della stabilità derivato dalla stratificazione orientata a franapoggio

rispetto al profilo del fronte. La dominanza e la continuità spaziale del piano di strato alla scala dell'intero fronte, suggerisce il ricorso al modello del discontinuo per analizzare la stabilità del fronte.

Per contro, a Est lo stato di fratturazione e alterazione è talmente spinto e aleatorio da determinare il rischio, alla scala dell'intero versante, di scoscendimenti e svuotamenti secondo superfici di scivolamento circolari tipiche di un materiale omogeneo e isotropo, da studiare facendo ricorso al modello del continuo equivalente.

Per la parametrizzazione del mezzo discontinuo si è fatto riferimento al criterio di Barton mentre per l'ammasso roccioso nel complesso si è utilizzato il criterio di Hoek e Brown.

Con entrambi i metodi, illustrati in dettaglio ai seguenti paragrafi, si sono ottenuti i parametri di resistenza caratteristici che, secondo quanto previsto al paragrafo 6.3.4. delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.08, sono stati utilizzati " tal quali" per le verifiche di stabilità dei fronti nello stato attuale.

Il coefficiente di sicurezza (inteso come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo di essa), che si ritiene accettabile in questo caso, considerato il livello di conoscenza raggiunto con le indagini e l'affidabilità dei dati disponibili, comprovati dall'evidenza delle fenomenologie evolutive che effettivamente si registrano e si osservano sui fronti attuali, è assunto pari a 1.3 (valore minimo).

D'altro canto, nelle verifiche di stabilità della profilatura a gradoni proposta dalla variante progettuale in esame, in ottemperanza alla normativa vigente, nel caso di problematiche geotecniche attinenti il terreno (GEO), le verifiche di stabilità sono state effettuate secondo l'approccio DA1 combinazione 2.

Il coefficiente A2 che definisce le azioni, nel caso in esame, è dovuto unicamente al peso proprio del terreno, con l'applicazione di un coefficiente parziale di valore unitario.

Il coefficiente M2 ha comportato la fattorazione dei parametri geotecnici del terreno per la determinazione di quelli che vengono definiti "parametri di progetto Vd", tramite l'applicazione dei coefficienti parziali $\gamma_{\varphi'}$, $\gamma_{c'}$ definiti dalla normativa. In questo caso le verifiche condotte allo Stato Limite Ultimo sono soddisfatte quando il coefficiente di sicurezza vale al minimo 1.1.

Inoltre, al fine di tenere conto delle azioni sismiche, si è seguita l'analisi pseudo-statica, secondo la quale l'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali date dal prodotto delle forze di gravità per coefficienti sismici calcolati, a loro volta, sulla base di altri coefficienti, che nel caso in esame sono quelli riportati nel paragrafo 4.

3.3. Caratteristiche di resistenza delle discontinuità.

Le caratteristiche medie di resistenza lungo le discontinuità sono state derivate mediante la formulazione empirica proposta da Barton & Choubey (1976), data dall'espressione:

$$(\varphi_p) = JRC * Log ((JCS/\sigma_n)) + \varphi_r$$

φp = angolo di attrito di picco lungo la discontinuità considerata
JRC = joint roughness coefficient – coefficiente di rugosità del giunto
JCS = joint compressive strenght – resistenza a compressione del giunto
φr = angolo di attrito residuo.

E' stata ottenuta un'ampia gamma di valori del parametro JRC con il pettine di Barton per le diverse famiglie di giunti. Considerato che per tutte era presente e ricorrente il valore 6 – 8, nei calcoli di seguito esposti è stato uniformemente assunto come valore cautelativo JRC = 6.

Il valore di JCS, invece, è stato determinato attraverso l'esecuzione di prove sclerometriche mediante l'utilizzo del martello di Schmidt, con la formula:

$$log_{(jcs)} = 0{,}00088 * \gamma r + 1{,}01$$

γ = peso di volume naturale della roccia (assunto pari a 26 KN/m^3

r = valore del rimbalzo del martello corretto

I dati di campo ottenuti, riportati nella tabella dell'**ALL. 8**, previe le opportune correzioni per l'orientazione del martello sono:

	Matrice	**S1**	**S2**	**G1**	**G2**
JCS (*MPa*)	143,24	68,24	70,6	81,07	73,79

L'angolo di attrito residuo è stato ricavato da:

$$\varphi_r = (\varphi b - 20) + 20\ (r/R)$$

φr = angolo di attrito residuo

φb = angolo di attrito di base pari a 35° (da bibliografia)

r = rimbalzo del martello di Schmidt sulla discontinuità

R = rimbalzo del martello di Schmidt sulla matrice sana della roccia (calcolato = 50.09)

tipo	**G1**	**G2**	**S1**	**S2**
φr	29,52	30,40	28,62	29,04
JCS	81,07	73,79	68,24	70,60

Poiché la relazione tra resistenza al taglio e sforzo normale è rappresentato, come noto, da un inviluppo curvilineo, sono state determinate coppie di valori di angolo di attrito istantaneo e coesione istantanea definite dai punti di tangenza all'inviluppo curvo in corrispondenza di diversi valori di sollecitazione normale. Con l'utilizzo di un foglio di calcolo dedicato (**ALL. 9**) è stato costruito il grafico dell'inviluppo a rottura di ognuna delle 4 discontinuità considerate (S1, S2, G1 e G2) e sono stati ricavati i range dei relativi parametri di

resistenza per intervalli di σ_n rappresentativi delle reali condizioni rilevate sul terreno, in relazione all'entità dei volumi rocciosi mobilizzabili sui giunti considerati.

Discontinuità	σ_n (MPa)	φ_i	C_i (kPa)
G1	0,005 – 0,05	57,3 – 51,4	1 – 6,9
G2	0,005 – 0,05	57,1 – 51,1	0,9 – 6,8
S1	0,05 – 0,34	50,9 – 46,1	6,7 – 35,5
S2	0,01 – 0,34	54,6 – 46,2	2 – 35,6

3.4. Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.

In esito ai rilievi geostrutturali compiuti sugli affioramenti rocciosi del fronte di cava e in quelli presenti negli spaccati della via di accesso al piazzale superiore viene applicata, in prima istanza, la classificazione geomeccanica "*Rock Mass Rating"* – RMR di Bieniawski (1989) per ricavare gli indici di qualità dell'ammasso roccioso. Sono state effettuate due distinte analisi per il substrato roccioso presente nei settori occidentale e orientale della cava, per tenere conto del diverso stato di conservazione dell'ammasso.

Rock Mass Rating – Bieniawski, 1989

Substrato roccioso – Fronte occidentale

Parametro	***Valore***	***Punteggio***
σ_c (*resistenza a compressione monoassiale*)	70 MPa (*da bibliografia*)	7
R.Q.D.	75-90% (*stimato)*	17
Spaziatura giunti (cm)	20 – 60	10
Condizione dei giunti	Aperti 1-5 mm	10

Condizione idraulica	asciutto	15
RMRb		**59**

Ammasso roccioso di III° classe (41 - 60) - qualità discreta

Dal valore RMRb ottenuto in condizioni anidre, cioè considerando l'ammasso completamente asciutto, si ricava, dalla nota correlazione, GSI - Geological Strenght Index GSI = RMRb (Bieniawski, 1989) – 5 (Hoek, 1995) = 54

Substrato roccioso – Fronte orientale

Parametro	***Valore***	***Punteggio***
σ_c (*resistenza a compressione monoassiale*)	70 MPa (da bibliografia)	7
R.Q.D.	25-50% (stimato)	8
Spaziatura giunti (cm)	6- 20	8
Condizione dei giunti	Aperti > 5 mm continui	0
Condizione idraulica	asciutto	15
RMRb		**38**

Ammasso roccioso di IV° classe (21 – 40) - qualità scadente

Analogamente, dal valore RMRb anidro ottenuto, si ricava GSI - Geological Strenght Index = RMRb (Bieniawski, 1989) – 5 (Hoek, 1995) = 33.

3.5. Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso.

Come visto, l'area della cava Bagoni è interessata da un unico litotipo, rappresentato in questo settore da alternanze di calcari e calcari marnosi, con argilloscisti nettamente subordinati.

A fronte delle problematiche descritte ai paragrafi precedenti, alla scala dell'intero versante e, in particolare, nel tratto orientale del fronte di cava, per definire i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso è ragionevole ricorrere a

un “modello continuo equivalente” in accordo a una delle possibili formulazioni teoriche note in letteratura. I parametri geotecnici da utilizzare nei calcoli per descriverne, in termini quantitativi, il comportamento meccanico di insieme, comprendono:

- i parametri di deformabilità: il modulo di deformabilità di ammasso “E_m” .
- i parametri di resistenza: la coesione “c” e l’angolo di attrito “φ” di ammasso.

Tali parametri sono stati determinati, nel seguito, adottando il criterio di rottura non lineare di Hoek e Brown, nell’ultima formulazione proposta nel 2002, che consente di stimare coesione e angolo di attrito di ammasso, con l’equivalenza al criterio classico di Mohr-Coulomb.

Per applicare il criterio di Hoek e Brown al caso di un pendio, sono state stimate le seguenti proprietà:

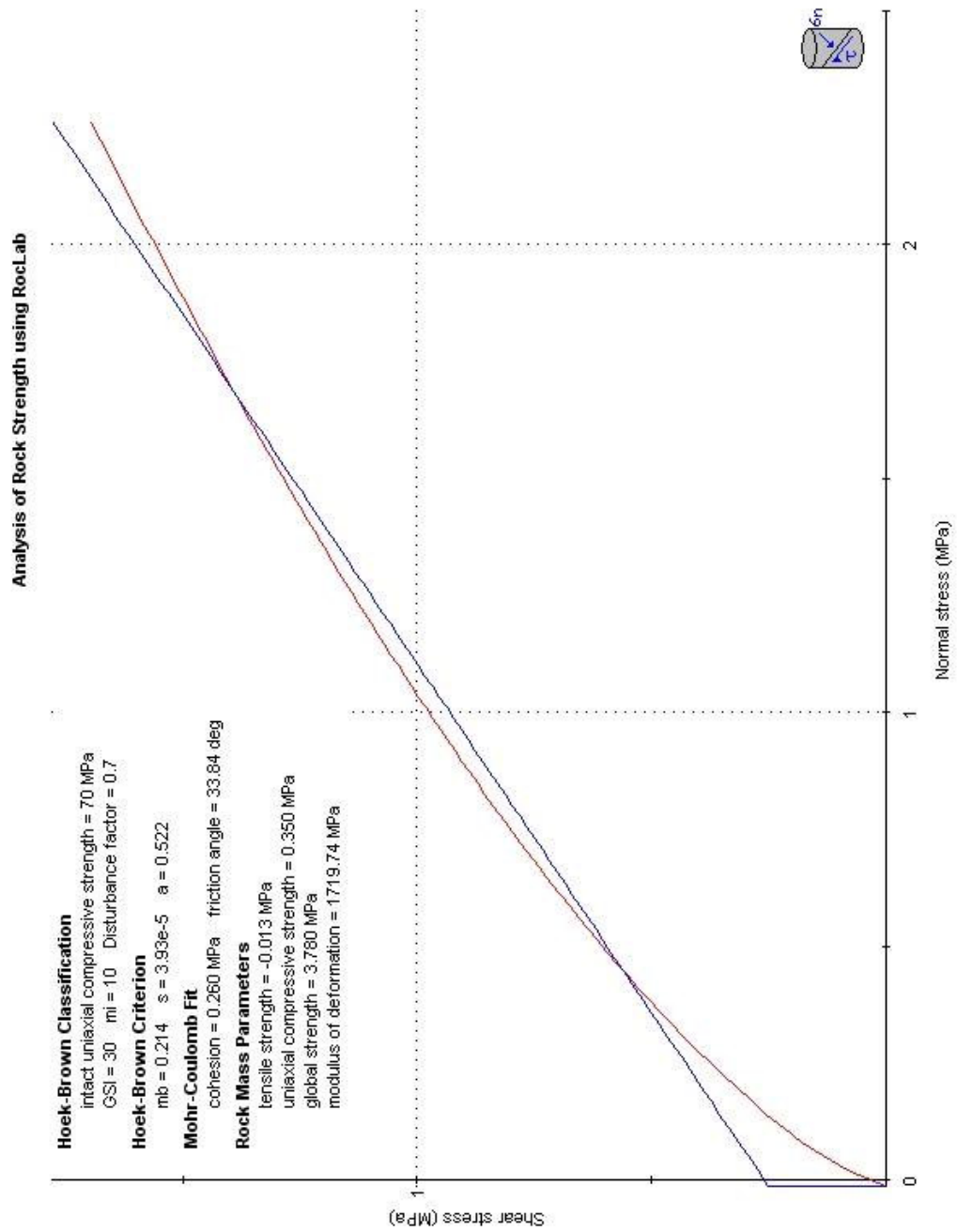
- la resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa (roccia intatta): σ_{ci} = 70 MPa;
- il valore della costante mi della matrice rocciosa: mi = 10 (dalle tabelle di riferimento fornite dall’Autore);
- il valore dell’indice GSI dell’ammasso roccioso, assunto pari a 30, sulla base di criteri empirici, con riferimento alla tabella fornita dall’Autore e con il confronto con l’indice RMR anidro di Bieniawski, come calcolato in precedenza;
- lo “stato di disturbo” D, in termini di grado di fratturazione e allentamento dell’ammasso. Con riferimento alla problematica geotecnica in esame si assume la condizione di disturbo corrispondente a D = 0.7.

Con l’utilizzo del programma RocLab versione 1.031/2007 (ultimo aggiornamento disponibile), compilato dagli stessi Autori del criterio di rottura, nell’ipotesi di un pendio complessivamente alto 60 m (fronte orientale), si determinano i parametri di resistenza dell’ammasso di Mohr - Coulomb equivalenti, derivanti dalla linearizzazione del criterio di Hoek e Brown. Il calcolo

analitico è riportato nel grafico sottostante. Nei calcoli di verifica effettuati si è poi assunto:

coesione 200 KPa

angolo di attrito 34 gradi.


Analysis of Rock Strength using RocLab
Hoek-Brown Classification
intact uniaxial compressive strength = 70 MPa
GSI = 30 mi = 10 Disturbance factor = 0.7
Hoek-Brown Criterion
mb = 0.214 s = 3.93e-5 a = 0.522
Mohr-Coulomb Fit
cohesion = 0.260 MPa friction angle = 33.84 deg
Rock Mass Parameters
tensile strength = -0.013 MPa
uniaxial compressive strength = 0.350 MPa
global strength = 3.780 MPa
modulus of deformation = 1719.74 MPa
Shear stress (MPa)
Normal stress (MPa)
0
1
2
σn
τ

3.6. I materiali sciolti.

I materiali di consistenza terrigena – coltri detritiche eluvio-colluviali e accumuli artificiali di detriti - riscontrati all'interno del perimetro della cava sono sostanzialmente trascurabili alla scala delle problematiche poste dalla variante del piano di coltivazione oggetto della proposta progettuale in esame.

Infatti, come più volte detto, le coltri naturali sono ubicate sul ciglio di cava e nel versante destro del Rio della Fornace, raggiungono spessori massimi di 2 m e sono colonizzate da copertura vegetale arbustiva e arborea.

Nelle verifiche di stabilità esposte nel seguito non sono state computate in quanto non incidono sulla stabilità dei fronti, né evidenziano fenomeni di dissesto e cedimento verso i fronti. Subiscono però gli effetti dell'erosione superficiale e il dilavamento in caso di piogge.

Pertanto, nella sistemazione di progetto prevista nei settori superiori dei fronti, come chiarito nel seguito, dovranno essere riprofilate e scoticate. Per completezza di trattazione, comunque, la Tav. 3 propone una stima dei parametri caratteristici dei materiali sciolti, derivante da esperienze professionali maturate in contesti analoghi.

4. CONSIDERAZIONI IN MERITO AL RISCHIO SISMICO.

Si illustrano, nel seguito, alcune considerazioni in merito alle prescrizioni della normativa antisismica di cui al D.M. 14.01.08, precisando, comunque, per la valenza di tipo amministrativo che riveste l'informazione, che il territorio del Comune di Torriglia ricade in Zona 3B, ai sensi della classificazione sismica regionale (D.G.R. n. 1308/2008).

L'accelerazione massima prevista per il sito in esame può essere valutata con riferimento alla situazione stratigrafica (*coefficiente stratigrafico* S_S) e topografica (*coefficiente topografico* S_T):

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$

Per ciò che attiene la categoria di suolo nell'area di cava distinta sulla base della velocità media di propagazione delle onde di taglio V_s entro 30 m di profondità, l'ambito in esame ricade su suoli di categoria A, corrispondenti a rocce con $V_{s30} > 800$ m/sec.

Nel caso in esame, S_S *(coefficiente stratigrafico)* che viene calcolato con apposite formule dai valori di F_0 e Tc relativi al sottosuolo di categoria A, vale 1.

Invece, con riferimento alle condizioni topografiche, si richiama la categoria topografica T2, ovvero il caso del pendio con inclinazione media superiore a 15 gradi. Questo determina un coefficiente topografico S_T pari a 1.2.

I valori dei coefficienti sismici e di a_g illustrati nel seguito sono ricavati con il software Geostru, disponibile on line sul sito www.*geostru.com.*

Dalle coordinate geografiche viene definito il valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g), per la categoria di sottosuolo considerata, il fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0) e il periodo caratteristico (Tc) dello spettro (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro) riferiti a Tempi di Ritorno (T_R) compresi tra 30 e 975 anni.

Per poter definire il periodo di riferimento per l'azione sismica, da considerare nelle verifiche progettuali, occorre conoscere i dati dell'opera, che riguardano la sua vita nominale (V_N) e il coefficiente d'uso (C_U), e considerare la probabilità di superamento dello stato limite di progetto (P_{VR}).

L'applicazione di tale procedura al caso in esame non è chiara e univoca in quanto la proposta progettuale che ridisegna i fronti della cava, di fatto, non prevede nuove costruzioni ma solo interventi di profilatura e rimodellamento geometrico del terreno, senza creazione di nuove opere. D'altra parte la profilatura assume valenza definitiva e deve garantire condizioni di sicurezza a lungo termine, anche nel caso di sollecitazione sismica.

Pertanto, la sistemazione di progetto proposta viene trattata, nel seguito, come "un'opera progettuale" ordinaria alla quale viene applicata la normativa sismica assumendo, come periodo di riferimento 50 anni, come coefficiente d'uso

quello tipico della I classe, per la quale è prevista la presenza solo occasionale di persone (Cu = 0.7), da dove si determina un valore del periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N \cdot C_U$ pari a 35.

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento corrispondente (P_{VR}) viene definita dalla tabella seguente in funzione dello stato limite considerato:

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Quindi, è proprio in funzione degli stati limiti che si determina il *Periodo di ritorno sismico* T_R, con riferimento al quale potranno essere ricavati tutti i parametri a_g, F_0 e T_C e i coefficienti sismici da inserire nelle verifiche e nei calcoli strutturali.

Ad esempio, prendendo in considerazione lo *"stato limite di salvaguardia della vita"* **SLV,** nel caso di pendii**,** i valori dei parametri T_R, a_g, F_0, Tc forniti in relazione alla posizione del sito in esame (*Lat: 44.50239; Long:9.112233*) sono:

T_R = **332 anni**

a_g = **0.081 g**

F_0 = **2.497**

T_C = **0.276 s**

ed essendo Ss = 1 e St = 1.2, il valore dell'accelerazione massima orizzontale del terreno per lo *"stato limite di salvaguardia della vita"* **SLV** risulta, pari a:

$a_{max\ (SLV)} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0.954\ m/s^2$

I corrispondenti coefficienti sismici orizzontale e verticale Kh e Kv, nel caso in esame, nelle verifiche allo stato limite vita (SLV) risultano:

$K_{h\ (SLV)} = 0.019$

$K_{v\ (SLV)}$ = ±0.010

Il prospetto che segue illustra i coefficienti sismici per i diversi stati limiti della normativa.

Parametri sismici
Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Sito in esame.
latitudine:44,50239; longitudine:9,112233
Classe: 1 - Vita nominale: 50
Siti di riferimento
Sito 1 ID: 16476 Lat: 44,5029Lon: 9,0744 Distanza: 2998,430
Sito 2 ID: 16477 Lat: 44,5055Lon: 9,1444 Distanza: 2575,781
Sito 3 ID: 16699 Lat: 44,4555Lon: 9,1480 Distanza: 5935,616
Sito 4 ID: 16698 Lat: 44,4529Lon: 9,0781 Distanza: 6128,885

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: A
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 35anni
Coefficiente cu: 0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	*81*	*%*
Tr:	*30*	*[anni]*
ag:	*0,030 g*	
Fo:	*2,491*	
Tc:*	*0,199*	*[s]*

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	*63*	*%*
Tr:	*35*	*[anni]*
ag:	*0,032 g*	
Fo:	*2,506*	
Tc:*	*0,204*	*[s]*

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	*10*	*%*
Tr:	*332*	*[anni]*
ag:	*0,081 g*	
Fo:	*2,497*	
Tc:*	*0,276*	*[s]*

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	*5*	*%*
Tr:	*682*	*[anni]*
ag:	*0,107 g*	
Fo:	*2,473*	
Tc:*	*0,284*	*[s]*

Coefficienti Sismici

SLO:		***SLD:***		***SLV:***		***SLC:***	
Ss:	*1,000*	*Ss:*	*1,000*	*Ss:*	*1,000*	*Ss:*	*1,000*
Cc:	*1,000*	*Cc:*	*1,000*	*Cc:*	*1,000*	*Cc:*	*1,000*
St:	*1,200*	*St:*	*1,200*	*St:*	*1,200*	*St:*	*1,200*
Kh:	*0,007*	*Kh:*	*0,008*	*Kh:*	*0,019*	*Kh:*	*0,035*
Kv:	*0,004*	*Kv:*	*0,004*	*Kv:*	*0,010*	*Kv:*	*0,017*
Amax:	*0,349*	*Amax:*	*0,373*	*Amax:*	*0,950*	*Amax:*	*1,261*
Beta:	*0,200*	*Beta:*	*0,200*	*Beta:*	*0,200*	*Beta:*	*0,270*

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru software - www.geostru.com

5. ANALISI DI STABILITA' DEI FRONTI NELLA CONDIZIONE ATTUALE.

Sulle due sezioni denominate A e C, tracciate perpendicolarmente ai fronti di cava e pertanto rappresentative delle condizioni di massima pendenza nelle due principali zone dell'anfiteatro di cava, assumendo i modelli di calcolo richiamati sulla Tav. 3 e illustrati in precedenza, sono state eseguite le verifiche di stabilità dei fronti nella condizione attuale. Gli esiti delle verifiche sono contenuti nell'**ALL. 10**.

5.1. Metodologia.

Al fine di valutare la condizione di equilibrio dei fronti di cava nello stato attuale, sono state condotte analisi di stabilità globale in corrispondenza:

- della sezione A, dove il meccanismo di rottura più probabile e verosimile, sulla base del rilevamento geologico, è dato dallo scivolamento strato su strato di ampie porzioni dell'ammasso roccioso situate nella parte medio-superiore del fronte;

- della sezione C, dove il meccanismo di rottura possibile porta al collasso del fronte per rottura secondo superfici circolari.

Il metodo adottato è il noto metodo dell'equilibrio limite che permette, in funzione di predeterminate configurazioni geometriche della potenziale superficie di scorrimento e con suddivisione del terreno in conci interagenti tra loro, la valutazione del coefficiente di sicurezza globale del versante.

Le analisi sono state condotte utilizzando il codice di calcolo automatico Slide (RocScience) che permette lo studio delle condizioni di stabilità del pendio, secondo i più consolidati ed affidabili metodi dell'equilibrio limite, tra cui Bishop, Janbu, Morgestern & Price, Spencer, ecc. E' possibile eseguire l'analisi modificando la geometria e la posizione delle superfici di scivolamento, i metodi di calcolo, il numero dei conci, ecc. Nel dettaglio, sono stati utilizzati vari metodi ma sulle sezioni prodotte risulta rappresentato solo il metodo di Bishop, analizzando per ogni configurazione verificata un numero totale di 5000 superfici.

La disposizione stratigrafica e l'assetto giaciturale dei piani considerati é quella che risulta dalle sezioni geologiche dell'**ALL. 4**. Per le motivazioni esposte in precedenza non è stata considerata la presenza di falda.

Come già anticipato al paragrafo 3.2, in ottemperanza alla normativa vigente, per le verifiche di stabilità dello stato attuale sono stati assunti i parametri caratteristici di resistenza dell'ammasso roccioso e del giunto e sono stati adottati i coefficienti sismici calcolati al paragrafo 4.

.

parametri medi/caratteristici (k)

	Hoek-Brown			**Barton**		
	fronte A	*fronte B*	*fronte C*	*fronte A (2m)*	*fronte A (5m)*	*fronte A (13m)*
c	---	200	200	6,7	15	35,5
γn	---	26	26	26	26	26
φ	---	34	34	50,9	48	46,1

5.2. Risultati.

Le verifiche dei fronti nello stato attuale sono state svolte ipotizzando:

- sulla sezione C, rotture circolari a diverse profondità dal fronte (verifiche Sez. C/1, C/2).
- sulla sezione A uno scivolamento planare sullo strato a franapoggio S1 a varie profondità rispetto al profilo, quindi coinvolgendo diversi volumi di terreno (verifiche Sez. A/1, /2, /3, /4, /5, /6);

Con riferimento alla sezione C le verifiche attestano la stabilità globale del fronte anche in presenza di sollecitazione sismica, con coefficiente Kh sempre positivo e con coefficiente Kv positivo e negativo. I grafici allegati portano la rappresentazione dei cerchi e dei coefficienti di sicurezza più significativi.

Del tutto analogo è il risultato delle verifiche del fronte occidentale, dove è stato analizzato lo scivolamento planare sulla superficie di strato S1 che con evidenza immerge e a franapoggio nella porzione medio - alta del fronte, mentre nella fascia inferiore lo strato è fortemente raddrizzato e orientato a traverpoggio e non crea problematiche di instabilità.

Con le ipotesi assunte, dunque, l'analisi di possibili rotture planari a varie profondità (2.00 m, 5.00 m e 13.00 m dal p.c.) evidenzia condizioni di stabilità anche in presenza di sollecitazione sismica.

Del resto i risultati ottenuti sono largamente comprovati dalla situazione dei luoghi, consolidata nello stato attuale da più di trent'anni, dove si registrano senz'altro fenomeni di crollo e distacco di cunei e prismi rocciosi isolati dai fronti, ma non si ravvisano assolutamente fenomeni né indizi di instabilità globale.

6. PROGETTO DI COLTIVAZIONE OGGETTO DELLA PROPOSTA DI VARIANTE AL PIANO AUTORIZZATO.

Sia nella proposta di variante in esame sia nel progetto già autorizzato, è previsto che la cava venga sistemata con conformazione a gradoni.

In particolare, il progetto autorizzato con D.G.R. n° 756 del 30 giugno 2000, prevedeva la coltivazione della cava con estrazione di circa 465.000 mc., mediante riprofilatura del vecchio fronte con n° 4 gradoni di altezza di 20 metri (quote previste 640, 620, 600 e 580) e un piazzale di servizio, a quota 573.

La variante in esame propone, in sintesi, quanto segue:

- la coltivazione della cava è articolata su 5 gradoni a partire dall'alto. Tali gradoni hanno quote variabili e spioventi da una quota massima all'altezza della zona centrale del fronte e pari a 643, 628, 613, 598, 581;
- le alzate dei tre gradoni superiori sono di 15 metri, quelle dei gradoni inferiori sono di 17 metri;
- l'operazione di abbattimento avverrà dall'alto verso il basso ed ogni gradone verrà portato a termine prima dell'inizio del gradone successivo;
- la viabilità di accesso alle quote superiori ripercorre i tracciati delle piste di arroccamento realizzate in parte nel passato. Tali piste salgono ai gradoni dal lato orientale della cava, percorrono in parte il fondovalle riempito del Rio della Fornace. Dal primo tratto previsto si raggiungono i due gradoni inferiori, mentre risalendo il versante con un tratto diagonale si collegano i tre gradoni superiori;
- la gradonatura del fronte termina con il ribasso del piazzale attuale superiore (quota 580) fino al raggiungimento della quota 566 circa. Per raccordare le quote del nuovo piazzale con la situazione attuale dei luoghi e, in particolare, con l'esistente piazzale inferiore di quota 560 circa, viene previsto l'abbancamento di uno strato di spessore decrescente da Nord a Sud di materiali lapidei di scarto della cava e la realizzazione di un muro di contenimento al piede in blocchi di pietra, ubicato sulla sezione naturale di chiusura del piazzale, in prossimità del cancello di accesso alla cava.

L'intervento progettuale si conclude con il rimodellamento della cava gradonata come sopra descritto, con l'apporto di materiale di riporto sia di provenienza interna (scarti di lavorazione del materiale estratto) che di provenienza esterna (terre e rocce da scavo) finalizzati al mascheramento e al reinserimento ambientale della cava. Compatibilmente con la morfologia dei luoghi il riempimento dell'anfiteatro di cava nella nuova profilatura proposta dal progetto raggiungerà la quota massima di 615, quindi andrà a "coprire" i tre gradoni inferiori, con livelletta finale degradante in direzione Est.

Si precisa che la presente relazione analizza le problematiche progettuali relative alla fase di coltivazione del fronte, con la creazione dei gradoni sopra descritti secondo quattro successive fasi di intervento, illustrate sulle tavole di progetto numerate da 3 a 10.

La fase di riempimento con abbancamento di materiale detritico finalizzato al rimodellamento ambientale della cava, con tutte le problematiche connesse, è invece trattato in dettaglio nell'elaborato geologico separato, a firma del Dott. Geol. Rossi Marco e del Dott. Geol. Ivaldi Erica.

7. CONFRONTO PROGETTO AUTORIZZATO – VARIANTE CON RIFERIMENTO ALLE PROBLEMATICHE GEOLOGICHE.

Confrontando gli elaborati del progetto autorizzato con l'attuale proposta di variante, possono essere svolte le seguenti osservazioni.

Innanzitutto è immediatamente visibile il fatto che:

- viene diminuita l'estensione laterale dei gradoni e drasticamente ridotta la volumetria complessiva di scavo (dai circa 460.000 mc autorizzati ai 269.000 mc della variante) a favore di una soluzione di minore incidenza sul terreno nello stato attuale;

- viene aumentato il numero dei gradoni per diminuirne l'altezza, a favore di sicurezza e per un migliore reinserimento e recupero ambientale della parte superiore del fronte, perfezionato, nella parte inferiore, dalla proposta di rimodellamento con il fine di perseguire, laddove possibile, la ricostituzione della morfologia originaria;
- viene articolata la morfologia dei gradoni, inserendo cambi di direzione, soprattutto nel settore occidentale, migliorando e risolvendo in tal modo, geometricamente, alcune possibili criticità in tema di instabilità per intersezione sui fronti dei giunti di discontinuità;
- a quanto sopra si aggiungono gli elementi complementari ma essenziali per il progetto quali una nuova rete di regimazione e smaltimento delle acque superficiali e di infiltrazione sotterranea (per quanto attiene il riempimento), la scopertura di un tratto del Rio della Fornace con eliminazione del tombino e del riempimento del fondovalle e la conseguente rinaturalizzazione delle sponde, il recupero vegetazionale con l'inserimento di nuove essenze.

Per ognuno dei settori nei quali è stata suddivisa l'area di cava si può aggiungere, inoltre:

- ***Settore A:*** in ragione delle condizioni geologiche e strutturali, rapportate all'effettivo profilo dello stato attuale del fronte come derivato dal nuovo rilievo appositamente eseguito, è stata notevolmente ridotta l'incisione rispetto al pendio, sia in termini di profondità, sia in termini di estensione laterale, nel senso che i gradoni proposti dalla variante si fermano poco oltre il limite attuale dell'anfiteatro di cava, mantenendosi arretrati rispetto al limite concesso dal Piano Territoriale Regionale delle Attività di Cava. Non solo, le quote dei gradoni in questa zona sono leggermente degradanti verso Ovest e presentano una morfologia planimetricamente curva in modo da risolvere geometricamente la problematica locale attinente il rischio di scivolamenti

planari di importanti porzioni rocciose sulla superficie di strato S1, evitando così il ricorso ad opere di placcaggio o chiodature puntuali.
La gradonatura prevista contribuisce in modo essenziale alla sistemazione del fronte di cava, fornendo ripetute soluzioni di continuità in grado di minimizzare e di intercettare eventuali distacchi superficiali connessi con la fratturazione del complesso calcareo. Ad ogni buon conto, le verifiche svolte e nel seguito commentate hanno analizzato la stabilità globale e puntuale di questa zona escludendo il rischio di instabilità. Peraltro, il rilascio di frammenti minuti dal fronte sulla pedata di un gradone di cava è fenomeno normale e ricorrente, che viene gestito e risolto proprio con la gradonatura e con gli interventi di rinverdimento e ricoprimento vegetale che, nel caso in esame, completano il progetto, in particolare sui gradoni superiori.
Intervento complementare essenziale in questa zona, come lungo tutto il ciglio della cava, è lo scotico del livello di coltre detritica superficiale e la riprofilatura del materiale sciolto che dovesse permanere in testa al gradone superiore, a quota 640. L'intervento si completa con interventi di piantumazione per favorire il ricoprimento vegetale contro l'erosione superficiale.

- ***Settore B:*** il fronte di cava usufruirà di una diminuzione dei valori di pendenza, con il nuovo progetto e contestualmente vedrà risolto il problema dei volumi strapiombanti. La sezione B dell'**ALL. 4** pone in evidenza una zona particolarmente critica, che si estenderà su un fronte ampio una decina di metri (tra le sezioni 3 e 4 di progetto) dove, per il fatto che il profilo attuale è rientrante, si determina la verticalità dell'alzata tra il gradone a quota 580 e quello soprastante a quota 598. Proprio nell'intento di analizzare tale situazione, quantunque molto localizzata, sono state svolte le verifiche di stabilità in corrispondenza della sezione B, come illustrato al paragrafo successivo.

- ***Settore C:*** anche in questo caso è evidente, dal confronto tra progetto autorizzato e nuova proposta, il minore impatto della soluzione di variante, che limita arealmente l'estensione verso Est dei gradoni e riduce complessivamente la pendenza del fronte. Anche in questo caso è stata analizzata in dettaglio la stabilità della profilatura proposta.

- ***Viabilità di accesso***: la variante ha studiato una nuova rete di piste di accesso ai gradoni proposti, che resta confinata nella porzione orientale della cava e interessa parzialmente il fianco destro della vallecola del Rio della Fornace, con percorso che incide diagonalmente le curve di livello. Sotto il profilo geologico e geomorfologico la pista attraversa un tratto di versante in condizioni di media pendenza e interessato da fenomeni di dilavamento superficiale ed erosione sulle coltri di copertura ivi presenti, che sono rappresentate da sacche detritiche discontinue intercalate ad affioramenti del substrato roccioso in condizioni di spinta fratturazione e alterazione. La realizzazione della pista comporta sbancamenti di altezza fino a 11 metri, che consentiranno di raggiungere la roccia di fondo lungo la maggior parte del tracciato (sezione 10 in **ALL. 4**), ad eccezione del tratto superiore di collegamento al gradone più alto dove sarà necessario prevedere lo scotico del terreno vegetale prima di impostare il riporto necessario a raggiungere le quote di progetto.

  L'orientazione del fronte per l'apertura della pista nel tratto superiore, in destra del Rio della Fornace, tra le quote di progetto 612 e 625, è del tutto analogo alla situazione analizzata sui gradoni ovest. Pertanto per l'analisi di stabilità si rimanda alle considerazioni di seguito esposte relativamente alla stabilità del tratto occidentale del fronte.

  Come i gradoni e i piazzali, anche la pista è corredata di un canale di regimazione delle acque, che scaricherà nel rivo di fondovalle. Considerato lo sviluppo della pista è necessario integrare la rete con cunette trasversali per

controllare e regimare il ruscellamento sul fondo della pista ed evitare l'erosione e la formazione di solchi.

8. ANALISI DI STABILITA' DEI FRONTI DI PROGETTO.

Le condizioni di equilibrio della profilatura proposta dalla variante progettuale in esame è stata analizzata in termini di stabilità globale in corrispondenza delle tre zone principali identificate nell'ambito di cava, esemplificative delle condizioni medie riscontrate e attese in sito. In particolare, le verifiche di stabilità sono state effettuate sui profili di progetto delle sezioni A, B e C dell'**ALL. 4** dove si riscontrano, nello stato attuale le maggiori pendenze e i maggiori dislivelli.

Analogamente alla procedura adottata per le verifiche dei fronti attuali, è stato applicato il metodo dell'equilibrio limite utilizzando il codice di calcolo automatico Slide (RocScience). Occorre aggiungere che, per le verifiche suddette che analizzano la stabilità globale dei fronti, il modello di riferimento per l'ammasso roccioso è quello del continuo equivalente per le sezioni B e C, mentre si è studiato lo scivolamento planare sul giunto di strato a franapoggio lungo la sezione A e nella fascia superiore della sezione B, adottando il modello discontinuo ed ipotizzando la mobilizzazione dei massimi volumi geometricamente possibili rispetto al profilo del fronte.

Tale situazione è quella che si configura prevedibilmente anche per i fronti della pista sul fianco destro della valletta del Rio della Fornace.

In ottemperanza alla normativa vigente, nel caso di problematiche geotecniche attinenti il terreno (GEO), la verifica di stabilità globale è stata effettuata secondo l'approccio DA1 combinazione 2.

Nel caso specifico l'azione dovuta esclusivamente al peso proprio del terreno non è stata maggiorata, per contro sono stati fattorati i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso e del giunto considerato.

parametri di progetto (Vd)*

	Hoek-Brown			Barton	
	fronte A	*fronte B*	*fronte C*	*fronte B*	*fronte A*
c	---	160	160	28	28
γn	---	26	26	26	26
φ	---	28	28	39	39

** I parametri di progetto (Vd) sono stati calcolati secondo l'Eurocodice EC7 e D.M. 14.01.08, secondo DA1 combinazione 2 (A2 - M2 - R2), tipo GEO (Tab. 6.2.II). Nelle verifiche di stabilità, il fattore di sicurezza minimo dovrà essere superiore a Fs = 1.1.*

Le verifiche condotte allo Stato Limite Ultimo sono soddisfatte quando il coefficiente di sicurezza vale al minimo 1.1.

L'incremento sismico adottato nei calcoli è quello dello stato limite di salvaguardia della vita con i seguenti coefficienti:

$K_{h\,(SLV)} = 0.019$

$K_{v\,(SLV)} = \pm 0.010$

In ultimo, si aggiunge che è stata trascurata la presenza di falda in quanto in tutta l'area di indagine, come già descritto in precedenza, non è stato reperito un livello impermeabile a quote prossime al piano campagna che consenta la formazione di un acquifero continuo che possa saturare l'ammasso roccioso. Sono unicamente possibili scorrimenti laminari superficiali in caso di piogge intense e locale infiltrazione nei giunti di frattura, con smaltimento in profondità. Soltanto in una zona puntuale ed estremamente localizzata nel tratto occidentale del fronte, si è riscontrata la presenza di muschio e umidità con stillicidio in caso di pioggia.

Con riferimento agli elaborati di verifica dell'**ALL. 12**, preme evidenziare:

- le verifiche condotte sulla sezione A, con le ipotesi assunte e con la penalizzazione dei parametri di resistenza della discontinuità considerata escludono il rischio di instabilità globali per scivolamento planare sulla superficie di strato di porzioni rocciose che coinvolgano i tre gradoni, soprastanti al netto cambio di giacitura che si registra sul fronte per la presenza di una piega (verifiche A/1 e A/2);

- analogamente stabili, rispetto ad un'ipotesi di scivolamento planare, risultano i gradoni previsti all'altezza della sezione B, nel tratto superiore dove lo strato è ancora a franapoggio. In questo caso l'analisi si limita al tratto di fronte sviluppato superiormente al riempimento previsto dal progetto in esame (verifiche B/3 e B/4);
- la stabilità globale del fronte in corrispondenza della sezione B è stata, invece, verificata con esito positivo nell'ipotesi del modello continuo equivalente, quindi per superfici di rottura circolari passanti nel tratto inferiore del fronte, in considerazione della presenza di un ammasso caoticizzato e molto fratturato. Vale la pena sottolineare che, nonostante la fattorazione dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso prevista dalla normativa, il cerchio minimo mostra Fs 1.3 e arretra nel fronte fino al ciglio superiore, comprendendo tutti i gradoni previsti (verifiche B/1 e B/2);
- in ultimo, è stata verificata la stabilità globale dei fronti di progetto sul lato orientale della cava (sezione C) ipotizzando rotture a varie altezze (verifiche C/1 e C/2). Anche in questo caso con le ipotesi assunte e le penalizzazioni inserite, la stabilità della profilatura di progetto è ampiamente comprovata e, analogamente ai casi precedenti, usufruirà di un'ulteriore garanzia con il riempimento previsto al piede.

9. ANALISI DI STABILITA' DEL SINGOLO GRADONE.

Alla luce delle analisi svolte, una volta escluso il rischio di instabilità globali del fronte nella gradonatura di progetto, si è analizzata la stabilità alla scala del singolo gradone nelle diverse situazioni geometriche che si generano per l'intersezione tra la profilatura proposta e le famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso (**ALL. 11**).

Il modello di riferimento, in questo caso, è quello del continuo equivalente, illustrato in dettaglio al paragrafo 3.3.

E' stata sottoposta a verifica la stabilità di cunei rocciosi determinati e controllati dalle intersezioni reciproche delle discontinuità sui fronti dei gradoni di progetto orientali e occidentali della cava.

In particolare, le elaborazioni sono state effettuate utilizzando il programma di calcolo *Swedge ver. 5.2*, elaborato da RocScience. Il programma consente di effettuare un'analisi di tipo deterministico, calcolando il fattore di sicurezza allo scivolamento del cuneo roccioso più sfavorevole, determinato dall'intersezione di due famiglie discontinuità presenti all'interno dell'ammasso roccioso.

Le verifiche (**ALL. 13**) sono state impostate secondo i seguenti criteri:

- schematizzazione prospettica dell'assetto strutturale dei giunti S1 (79/40) e G2 (190/43) e delle reciproche intersezioni sul gradone ovest, nelle due orientazioni previste dal progetto (tipo 1: 146/60; tipo 2 120/60). Tale simulazione vale anche per il taglio della pista di accesso ai tre gradoni superiori della cava che risulta parimenti orientata;
- schematizzazione prospettica dell'assetto strutturale dei giunti S1 (79/40) e G2 (190/43) e delle reciproche intersezioni sul gradone est tipo 1 orientato 170/60;
- schematizzazione prospettica dell'assetto strutturale dei giunti G1 (297/31) e G2 (190/43) e delle reciproche intersezioni sul gradone est tipo 2, che presenta immersione 220 e inclinazione 60;
- per i parametri geotecnici si è fatto riferimento ai valori indicati al paragrafo 3.3 per ogni famiglia di discontinuità considerata, assumendo come angolo di attrito di picco un valore intermedio nel range di tensioni analizzato, insieme al valore minimo della coesione. Tali parametri sono stati quindi fattorati come previsto dal D.M. 14.01.08;
- è stata verificata la formazione di un cuneo roccioso di massima dimensione formato dall'intersezione di una coppia di giunti sul profilo del fronte. I volumi espressi in mc che compaiono sui tabulati di calcolo in **ALL. 13** si riferiscono al potenziale cuneo isolato dalle due famiglie prese in

considerazione. In realtà il programma sovrastima tali cubature poiché prende in considerazione solo due sistemi di discontinuità per volta, ma non modella la presenza di altre discontinuità che concorrono a "ritagliare" il cuneo, ad esempio all'interno del gradone, essendo orientate a franapoggio o a reggipoggio parallelamente al fronte, magari con inclinazioni prossime alla verticale. I blocchi risultano con evidenza delimitati da più di due discontinuità e su questi incidono i sistemi a minor persistenza, ma con inclinazioni subverticali e lo strato S2, generando volumi dell'ordine di 0.2 - 0.5 mc, oltre a fenomeni di detrizione superficiale di scaglie e frammenti centimetrici;

- nelle verifiche è stata assunta una forza sismica orizzontale con coefficiente sismico Kh pari a 0.019, come per il caso delle verifiche di stabilità globali;
- come spiegato ai paragrafi precedenti non è stata riscontrata presenza d'acqua nella zona e si esclude l'esistenza di una falda continua. Pertanto non è stata presa in considerazione, nelle verifiche, alcuna sottospinta idrostatica.

A fronte delle ipotesi assunte e impostando il modello per i valori di resistenza di picco delle discontinuità, opportunamente ridotti come previsto dal DM 14.01.08 per le verifiche GEO secondo l'approccio DA1 – comb. 2, i calcoli attestano la stabilità dei cunei potenzialmente generati dall'intersezione sul fronte delle coppie di giunti S1 - G2 e G1 - G2, con valori di Fs superiori a 2.9.

Le verifiche attestano, nella sostanza, la stabilità della nuova configurazione progettuale dei singoli gradoni, con valori di sicurezza decisamente superiori al valore limite accettabile, pur avendo penalizzato il comportamento geotecnico dei giunti. E' peraltro evidente che su tutti i fronti di coltivazione non si può tassativamente escludere la possibilità di mobilizzazione di frammenti e cunei rocciosi di dimensioni più limitate, ma problematiche di tal tipo sono previste e gestite proprio con la conformazione a gradoni dei fronti e con il recupero ambientale finale, che prevede la posa di terreno sulle pedate dei gradoni

superiori, con inserimento di vegetazione e, come già riferito, il rimodellamento con apporto di materiale come riempimento, a copertura dei gradoni inferiori del fronte.

Per l'analisi della stabilità del corpo del riempimento si rimanda ad apposita relazione redatta dal Dott. Rossi e dalla Dott. Ivaldi nell'ambito della documentazione progettuale.

Prof. Dott. Alfonso Bellini

Dott. Geol. Valeria Bellini

Collaboratore:
Dott. Geol. Eugenio Poggi

ELENCO ALLEGATI:

Allegati nel testo.

- **ALL. 1**: corografia della zona – stralcio CTR Regione Liguria in scala 1:10.000.
- **ALL. 2**: stralci: "carta geologica con elementi di geomorfologia" – Regione Liguria, tavoletta Bargagli e "carta geologica" – APAT, tavoletta Torriglia, (fuori scala).
- **ALL. 3**: stralcio "carta dei dissesti" bacino del Torrente Scrivia del PAI - Piano per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po - Variante dei bacini padani VBP (fuori scala).
- **ALL. 4**: sezioni geologiche, in scala 1:500.
- **ALL. 5**: documentazione fotografica.
- **ALL. 6**: analisi statistica delle discontinuità rilevate nell'area di cava.
- **ALL. 7**: analisi dei possibili cinematismi di distacco per intersezione delle discontinuità sui fronti di cava nello stato attuale.
- **ALL. 8**: dati del rilievo geomeccanico: rimbalzi del martello di Schmidt sui piani di discontinuità.
- **ALL. 9**:caratterizzazione dei giunti secondo il criterio curvilineo di Barton e Choubey.
- **ALL. 10**: verifiche di stabilità globali dei fronti di cava nello stato attuale.
- **ALL. 11**: analisi dei possibili cinematismi di distacco per intersezione delle discontinuità sui fronti di progetto.
- **ALL. 12**: verifiche di stabilità globali dei fronti di cava nello stato di progetto.
- **ALL. 13**: verifiche di stabilità dei cunei rocciosi sui gradoni di progetto.

Allegati fuori testo.

- **Tav.1**: carta degli elementi geologici geomorfologici e idrogeologici, in scala 1.500.

- **Tav. 2**: carta geologico-strutturale dell'area di cava nello stato attuale, in scala 1:500.
- **Tav. 3**: carta delle classi di qualità litotecnica dell'ammasso roccioso, in scala 1:500.
- **Tav. 4**: analisi geologico-strutturale dell'ammasso roccioso dell'area di cava nello stato di progetto, in scala 1:500.