Dott. Geol. Eugenio Poggi
Corso Sardegna 40a/6 - 16142 - Genova
email: euge_geo@yahoo.it
Ordine Geologi della Liguria n° 593/AP
P.IVA n° 01864080997

Dott. Geol. Roberto De Ferrari
Via De Gasperi 43, 16047 – Moconesi (GE)
email: geo_deffe@libero.it
Ordine Geologi della Liguria n° 533/AP
P.IVA n° 01607410998

Comune di Orero

Provincia di Genova

RELAZIONE GEOLOGICO - GEOMINERARIA

(ai sensi della D.G.R. RegioneLiguria 141/2008)

INERENTE LA
RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE REGIONALE PER LA RIATTIVAZIONE DI UNA CAVA DI ARDESIA IN SOTTERRANEO ESISTENTE, PER LO SFRUTTAMENTO DEL FILONE DI ARDESIA DENOMINATO DEI “CERRI” IN LOCALITÀ “CUGNASSO” IN COMUNE DI ORERO (GE)

Committente: **ARDESIA M.N.V. snc**
Via Sottanego 3 - loc. Cornia
16047- Moconesi (GE) - Italia
Tel: 00390185938031 - fax: 00390185939517
e-mail: info@mnv-ardesia.it
http: www.mnv-ardesia.it

Dott. Geol. Eugenio Poggi
Corso Sardegna, 40a/6
16142 - GENOVA
email: euge_geo@yahoo.it
Ordine Geologi della Liguria n° 593/AP
P.IVA n° 01864080997

e

Dott. Geol. Roberto De Ferrari
Via De Gasperi , 43
16047 – Moconesi (GE)
email: geo_deffe@libero.it
Ordine Geologi della Liguria n° 533/AP
P.IVA n° 01607410998

Dott. Geol. Eugenio Poggi
Corso Sardegna 40a/6 - 16142 - Genova
email: euge_geo@yahoo.it
Ordine Geologi della Liguria n° 593/AP
P.IVA n° 01864080997

Dott. Geol. Roberto De Ferrari
Via De Gasperi 43, 16047 – Moconesi (GE)
email: geo_deffe@libero.it
Ordine Geologi della Liguria n° 533/AP
P.IVA n° 01607410998

Gennaio 2013

INDICE

PREMESSA 3

1.0 - INQUADRAMENTO NORMATIVO ED ARGOMENTI TRATTATI 4

2.0 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO DELL'AREA IN ESAME 5

3.0 - L'ARDESIA DELLA VAL FONTANABUONA E LA SUA ESTRAZIONE NELLA CAVA DEL 'CUGNASSO' 8

4.0 - RILEVAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE NELL'AREA DI CAVA 10

5.0 - MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO: METODOLOGIA E PARAMETRI 14

6.0 - MODELLO GEOLOGICO-STRUTTURALE (SEZIONI) 22

7.0 - VERIFICHE DI STABILITÀ 24

8.0 - CONSIDERAZIONI CIRCA IL DIMENSIONAMENTO TEORICO DELLE CAMERE E DEI PILASTRI 26

9.0 - PRESCRIZIONI DI PROGETTO RELATIVE ALLA SISTEMAZIONE DELLO STATO ATTUALE ED ALL'AVANZAMENTO DELLA COLTIVAZIONE 29

Dott. Geol. Eugenio Poggi
Corso Sardegna 40a/6 - 16142 - Genova
email: euge_geo@yahoo.it
Ordine Geologi della Liguria n° 593/AP
P.IVA n° 01864080997

Dott. Geol. Roberto De Ferrari
Via De Gasperi 43, 16047 – Moconesi (GE)
email: geo_deffe@libero.it
Ordine Geologi della Liguria n° 533/AP
P.IVA n° 01607410998

Premessa

Su incarico della committenza, Ditta M.N.V. Ardesia S.n.c., è stata redatta dagli scriventi la presente Relazione Geologico-tecnica e Geomineraria propedeutica alla concessione di una nuova autorizzazione per la riattivazione della coltivazione in sotterraneo di un cava di ardesia ubicata nel Comune di Orero (GE) e denominata "del Cugnasso", che è stata oggetto di sfruttamento fino a circa la fine degli anni '60 del secolo scorso (per maggiori precisazioni si rimanda alla relazione paesaggistica redatta dal Geom. Arata). Tale cava ed i nuovi potenziali volumi oggetto di futura coltivazione sono identificati rispettivamente dai mappali 278 - 276 - 348 - 384 distinti a N.C.T. FG. 8 del Comune di Orero.

In linea di massima, il presente progetto di riattivazione, finalizzato al rilascio di una nuova concessione di coltivazione, prevede che, dopo opportuni interventi di messa in sicurezza e sistemazione dei fronti di sbancamento indicati nella presente relazione, le antiche gallerie già esistenti siano utilizzate come vie di accesso principale verso le nuove zone di sfruttamento della cava. In aggiunta, è previsto l'utilizzo di una vecchia galleria di esplorazione come uscita di sicurezza della cava, secondo le disposizioni progettuali che verranno esposte nei paragrafi successivi. Per tali motivi, è prevista anche la realizzazione di un'ulteriore nuova galleria di raccordo tra le cavità sotterranee di entrata ed uscita e che servirà inoltre come via di accesso ai nuovi settori in cui sviluppare il potenziale sfruttamento del materiale lapideo ardesiaco.

La coltivazione del giacimento riguarderà sostanzialmente i 'filoni' ardesiaci presenti in questo settore denominati "dei Cerri", le cui caratteristiche geometriche sono già ampiamente note in quanto, come detto, furono già oggetto di parziale sfruttamento in passato.

L'estrazione del materiale ardesiaco, che si otterrà esclusivamente all'interno dei volumi nei mappali concessionari, prevederà la realizzazione di nuovi scavi e sbancamenti in sotterraneo sulla base delle stime ed indicazioni preliminari specificate nella presente relazione tecnica e desunte dalla rielaborazione dei dati geologici, geomorfologici, idrogeologici e strutturali acquisiti durante i sopralluoghi effettuati nell'area di studio ed in un suo congruo intorno nei mesi di novembre e dicembre 2012. Si precisa che le attività di sfruttamento del materiale lapideo saranno oggetto di considerazioni, calcoli e prescrizioni tecniche via via più accurate durante le future fasi di avanzamento dei lavori di cava.

Il presente progetto di riattivazione delle attività estrattive non prevede la realizzazione di opere in muratura, ma esclusivamente la messa in posto di un modulo prefabbricato (tipo

container) utilizzato come ricovero, spogliatoio, servizio igienico ed ufficio temporaneo che verrà ubicato in prossimità dell'imbocco della cava esistente. Infine, verranno indicate opportune soluzioni progettuali ed appropriati accorgimenti tecnici per la messa in sicurezza dei fronti di scavo già esistenti e quelli di nuova realizzazione, sia esterni che interni all'area di cava, esclusivamente nei tratti concessionati.

1.0 - Inquadramento normativo ed argomenti trattati

Il presente studio geologico è redatto in conformità a quanto previsto dalle Leggi regionali vigenti in materia di attività estrattive (L..R 12/1979 e ss.mm.ii., L.R. n.12/2012), ed in particolare a quanto prescritto nei criteri tecnici ed agli indirizzi contenuti nella D.G.R. 141/2008 della Regione Liguria - *Linee guida per la progettazione, gestione e risanamento ambientale delle attività estrattive a cielo aperto e in sotterraneo e opere connesse*. Inoltre, tiene in considerazione le indicazioni contenute all'interno del Piano Territoriale Regionale delle Attività di Cava ed il Piano Territoriale per le attività estrattive della Regione Liguria ed ottempera le disposizioni tecniche enunciate nel Piano di Bacino del Torrente Lavagna, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n. 29/2002; in particolare, per quanto concerne l'area in cui ricade lo sviluppo in sotterraneo della cava in oggetto, si può descrivere quanto segue (ALLEGATO 2):

- ✓ la carta delle attività estrattive inserisce l'area nell'ambito con destinazione d'uso alla coltivazione di cave in sotterraneo, secondo le indicazioni del Piano Regionale delle attività di Cava (1995) ed individua la cava abbandonata oggetto di riattivazione, ma non le assegna alcun codice identificativo;
- ✓ la carta della suscettività al dissesto classifica il territorio oggetto d'intervento come un'area caratterizzata da bassa suscettività al dissesto;
- ✓ la carta dei regimi normativi definisce l'area di studio come Versante Insediato in Regime di Mantenimento di Tipo B (VI-MA-B) all'interno di l'area di Cave e Connesse Discariche (CVD);
- ✓ la carta del vincolo idrogeologico mostra che l'area interessata dalle attività in sotterraneo non ricade in zone sottoposte a vincolo idrogeologico.

Infine, è stata presa in considerazione la cartografia tecnica di riferimento a supporto del P.U.C. vigente del Comune di Orero (2008), per cui l'area in questione è caratterizzata dalla presenza di roccia subaffiorante (carta geomorfologica) e ricade in Zona B con *suscettivita' d'uso parzialmente condizionata,* secondo la carta di zonizzazione e suscettività d'uso (ALLEGATO 2).

In generale, il presente studio geologico fa riferimento ai contenuti ed alle indicazioni contenuti nelle Linee guida sopraccitate, focalizzando quindi l'attenzione sugli aspetti geologici ritenuti indispensabili al fine delle valutazioni di fattibilità delle cave in sotterraneo. In particolare, sono stati oggetto di valutazione accurata:

- ✓ la costruzione di profili geologici rappresentativi dell'assetto stratigrafico e strutturale in cui verranno inserite le cavità, con l'evidenziazione dei rapporti geometrici tra il 'filone' ardesiaco e lo sterile, nonché le caratteristiche stratigrafiche dell'agro;
- ✓ la ricostruzione delle condizioni idrogeologiche del sito di coltivazione ovvero l'assetto idrogeologico delle aree di interesse, con particolare riferimento alle interazioni tra scavi in sotterraneo e falde acquifere presenti;
- ✓ l'assetto geologico e strutturale, con particolare riferimento alla tipologia delle rocce interessate dagli scavi in sotterraneo ed alla caratterizzazione geometrica, spaziale e meccanica delle principali discontinuità;
- ✓ la descrizione delle tecniche di scavo previste per la coltivazione, tenendo conto delle proprietà geotecniche dei differenti materiali, intendendo il filone e lo sterile, e dell'eventuale presenza di falde idriche;
- ✓ la valutazione delle condizioni di stabilità attuali e di quelle future in relazione a possibili ampliamenti degli scavi stessi, in relazione ai fronti di sbancamento.

2.0 - Inquadramento geologico-geomorfologico-idrogeologico dell'area in esame

L'area oggetto di studio è ubicata in corrispondenza del versante orientale che declina dalla cima del Monte Panigaro verso il torrente Orero ad una quota di circa 320 m.s.l.m.. L'imbocco della cava esistente in esame, che sarà utilizzato quale accesso principale all'area oggetto di nuova coltivazione, è ubicato in corrispondenza della S.P. 25 Pianezza - Orero che risale dal fondovalle verso il centro abitato del capoluogo del comune di Orero (FOTO 1).

Il versante, in cui è presente l'imbocco della cava, è caratterizzato da zone prive di insediamenti con la presenza dei tipici terrazzamenti a fasce liguri alternate ad ampie zone di bosco; la sua acclività è in genere medio-elevata con valori pari a circa 50-70% e risulta modificata localmente dagli interventi antropici che, nel tempo, si sono resi necessari per l'estrazione e la coltivazione dell'ardesia. Infatti, nella zona di imbocco della cava sono presenti pareti verticali quale risultato delle attività di scavo eseguite in passato per l'apertura del giacimento: questa situazione mostra uno spaccato molto utile per la caratterizzazione delle formazioni rocciose

(FOTO 1 e 2) e del loro grado di fratturazione, oltre che per l'individuazione e l'analisi delle principali discontinuità geomeccaniche e strutturali che interessano l'ammasso roccioso nell'area di coltivazione.

All'atto dei sopralluoghi, la zona antistante all'imbocco è interessata dalla presenza di un volume di pochi metri cubi di materiale terrigeno di riporto abbandonato in passato e la chiusura dell'imbocco principale della cava esistente è realizzato con la sovrapposizione di lamiere zincate e fissate ad una struttura in legno del tutto precaria.

Per completezza, si segnala che, in corrispondenza dell'imbocco principale della cava, sono state rinvenute alcune lesioni che interessano la carreggiata di valle della copertura asfaltata della strada provinciale n° 25 (FOTO 18), la cui origine potrebbe essere legata alla carenza di un adeguato sottofondo stradale giornalmente sollecitato dal passaggio di mezzi pesanti per il trasporto del materiale ardesiaco attualmente estratto nelle cave a monte dell'abitato di Orero.

Sulla base del rilevamento geologico effettuato ed in accordo con la cartografia ufficiale di riferimento (ALLEGATO 1 - Progetto CARG Foglio n° 214 - Bargagli), la formazione geologica presente in questa parte territorio comunale di Orero è rappresentata dalle "*Ardesie del Monte Verzi*" che appartengono alle unità tettoniche costituenti la parte mediana e sommitale della successione sedimentaria delle Liguridi Interne. Dal punto di vista strutturale, tali unità geologiche occupano la porzione più elevata dell'edificio appenninico a falde e risultano sempre sovrapposte a quelle delle Liguridi Esterne ad eccezione dell'Unità del M. Antola. All'interno delle Liguridi Interne sono state riconosciute diverse unità tettoniche: in particolare, l'area in esame appartiene geologicamente all'Unità di M. Gottero che è delimitata da due rilevanti contatti tettonici e risulta interposta tra la formazione dei "*Calcari di M. Antola"*, a tetto, e quelle del M. Bracco (Liguridi Esterne), a letto. I recenti studi cartografici (Marroni e Pandolfi, 1996; Pandolfi, 1997) hanno riconosciuto l'esistenza di un'ulteriore sub-unità ("*Capenardo*") a cui è riconducibile la formazione delle "*Ardesie di Monte Verzi*" ed al cui interno è possibile riconoscere diversi elementi strutturali, sia di tipo duttile che fragile, le cui caratteristiche tecniche sono esplicitate nei paragrafi successivi sulla base dei risultati delle analisi geomeccaniche e strutturali di dettaglio eseguite. Per maggiore completezza, a circa 600 metri dall'area di studio, si segnala anche la presenza di un contatto tettonico con direzione N120 (NW-SE) circa, tra la formazione delle "*Ardesie del Monte Verzi*" e quella degli "*Scisti zonati*" (ALLEGATO 1 - Progetto CARG Foglio n° 214 - Bargagli).

Gli affioramenti rocciosi considerati ed analizzati sono presenti sia all'interno della cava sia lungo gli spaccati stradali presenti lungo la strada provinciale (FOTO 3 e 4) e presentano

generalmente una giacitura della 'stratificazione' a traverpoggio rispetto all'andamento medio del versante in oggetto. Durante il rilevamento geologico-strutturale è stato possibile riconoscere le principali discontinuità dell'ammasso roccioso ed individuare, a scala dell'affioramento, la presenza di strutture tettoniche che, a scala regionale, testimoniano l'esistenza di pieghe e strutture di tipo compressivo come indicato nella sezione geologica rappresentativa realizzata nella carta geologica di riferimento (ALLEGATO 1): tali strutture geologiche, individuabili solamente 'a grande scala', interessano anche la formazione delle *"Ardesie di Monte Verzi"* creando spesso andamenti piegati e fagliati che, pertanto, possono anche interessare e dislocare i 'filoni' oggetto di sfruttamento commerciale.

Il rilevamento geologico strutturale ha consentito principalmente di individuare e misurare le più importanti famiglie di discontinuità, in termini di giunti di fratturazione, che interessano l'ammasso roccioso in esame. Inoltre, è stato anche possibile riconoscere chiaramente la caratteristica successione stratigrafica delle ardesie (soglia – filone - agro), tipicamente costituita dall'alternanza di bancate a composizione arenacea che risultano a contatto con il livello di interesse commerciale e con quelli a composizione argillitico-marnosa in cui, mediamente, risultano anche più abbondanti e frequenti le discontinuità strutturali (FOTO 1, 3 e 4).

Dal punto di vista idrogeologico, i rilevamenti condotti hanno mostrato la presenza di un significativa circolazione idrica all'interno della cava abbandonata, con particolare riferimento ai fronti nord-occidentali delle gallerie attualmente presenti: tale fenomeno risulta essere di tipo concentrato e non diffuso trattandosi di circolazione in roccia lungo vene o fratture e, prevalentemente, in corrispondenza di zone cataclastiche (FOTO 7, 9 e 17). La circolazione idrica, principalmente rinvenuta in prossimità di alcune zone di coltivazione già anticamente abbandonate, riguarda anche le gallerie principali in cui lo scorrimento continuo delle acque di ruscellamento sotterraneo hanno determinato, nel tempo, la formazione di particolari depositi e concrezioni carbonatiche di colore variabile dal bianco al giallo, presenti lungo i fronti di sbancamento e sulla pavimentazione delle gallerie. In aggiunta, in corrispondenza dei settori settentrionali dell'area di cava che non verranno sfruttati nel presente progetto, sono stati rinvenuti importanti accumuli di acqua stagnante con profondità variabile tra 1 e 3 metri circa (FOTO 9), che, molto probabilmente, si sono formati progressivamente nel tempo in corrispondenza delle zone "svuotate" dal materiale ardesiaco in seguito all'antica coltivazione.

Gran parte delle zone in sotterraneo della cava, come quella in cui è previsto l'avanzamento del nuovo sfruttamento, risultano, però, completamente asciutte a conferma del fatto che la circolazione idrica sotterranea all'interno dell''ammasso roccioso è principalmente veicolata da

puntuali zone di frattura dell'ammasso roccioso. Il substrato roccioso affiorante nel presente comparto, infatti, risulta nel suo complesso un mezzo pressoché impermeabile e, in corrispondenza di alcune fasce di debolezza tettonica o lungo particolari discontinuità dell'ammasso roccioso, può risultare permeabile per fessurazione, comunque, con coefficienti di pemeabilità da bassi a medio-bassi.

Si precisa che nell'area in esame non sono presenti sorgenti censite né zone di rispetto o tutela di acquiferi.

3.0 - L'ardesia della Val Fontanabuona e la sua estrazione nella cava del 'Cugnasso'

In riferimento al litotipo oggetto di coltivazione nella cava detta del "Cugnasso", le ardesie possono essere definite come il prodotto metamorfico di antiche rocce sedimentarie e sono costituite prevalentemente da fasi mineralogiche principali quali *calcite* (30 - 50% circa), *illite*, *clorite*, *muscovite* (35 - 50% circa) e *quarzo* (10 - 5% circa), mostrando contenuti di carbonato di calcio ($CaCO_3$) alquanto variabili: molto elevati, ad esempio, nelle varietà presenti in Val Fontanabuona, mentre più contenuti in quelle affioranti lungo la Valle Argentina, nell'imperiese. Il caratteristico colore grigio plumbeo che le contraddistingue è conferito da piccole percentuali di finissime pigmentazioni carboniose (*grafite*), originatesi per la trasformazione di antiche sostanze organiche presenti nella roccia sedimentaria originaria da cui si sono formate.

Da un punto di vista commerciale, la definizione dell'ardesia è contenuta nella Direttiva Europea 89/106/CEE e sue successive modifiche, nella quale con il termine inglese "*slate"* si definiscono sostanzialmente tutte quelle rocce che risultano facilmente suddivisibili lungo i piani di clivaggio generati da un metamorfismo di basso grado in ambiente tettonico compressivo. Nella direttiva sopracitata sono altresi definite le paragenesi mineralogiche che caratterizzano le rocce che possono essere idoneamente definite "ardesie" (*slate*). La tipologia di ardesia cavata da secoli in Val Fontanabuona rappresenta un importante riferimento nel panorama internazionale per l'elevata qualità, principalmente nel campo dei materiali naturali per l'edilizia.

E' noto che le caratteristiche tecniche di un prodotto naturale, come l'ardesia, includono proprietà fisico-meccaniche e chimiche, che dipendono dalla composizione mineralogica della roccia, nonchè da proprietà strutturali, determinate anch'esse dalla composizione mineralogica, ma principalmente dall'evoluzione geologica che ha subito il materiale naturale nel corso di milioni di anni. Come detto, proprio le ottime caratteristiche fisico-meccaniche, chimiche e strutturali hanno conferito alle ardesie della Fontanabuona un importante valore dal punto di vista commerciale,

determinato, in primo luogo, dalla fitta scistosità principale, proprietà per la quale, a differenza di molte altre rocce simili, risultano facilmente suddivisibili in lastre sottili di spessore anche inferiore al centimetro (*fissilità*), pur non perdendo le proprie caratteristiche fisico-meccaniche. Queste litologie, inoltre, mostrano ottime caratteristiche di impermeabilità e resistenza all'azione erosiva degli agenti atmosferici e la loro bassissima porosità risulta un ulteriore elemento vantaggioso, principalmente nei confronti dei fenomeni di gelività.

Nell'areale della Val Fontanabuona, le ardesie sono cavate in banchi detti volgarmente 'filoni', molto ben conosciuti dai cavatori e noti, ad esempio, con il nome "Grosso", "Duro", "Pesca", etc etc. Nel caso della cava in esame, i filoni interessati dalle attività di estrazione sono due, paralleli e sovrapposti tra loro, e noti come filoni "dei Cerri" (alto e basso); hanno la caratteristica di presentarsi in bancate di spessore fino a 5 metri circa e con inclinazione di circa 20°- 30° rispetto all'orizzontale. Risultano quasi sempre intercalati tra livelli a differente composizione litologica che ne definiscono i limiti dimensionali: al tetto ed al letto, infatti, è presente un orizzonte arenaceo, rispettivamente detta 'agro' e 'soglia'. Proprio al contatto con i livelli arenacei, le ardesie sono caratterizzate da una scistosità meno marcata e risultano mediamente più ricche in silice, fattore che ne comporta una più difficile lavorazione. Queste particolari porzioni del filone, inoltre, possono risultare anche più o meno fratturate e venate a causa dei forti contrasti reologici e delle complesse deformazioni che hanno subito durante la loro lunga evoluzione geologica, provocando, quindi, anche possibili vizi e difetti strutturali sul materiale lapideo. Tali evidenze geologiche implicano che le ardesie 'migliori' (da un punto di vista commerciale) risultino proprio quelle estratte in corrispondenza delle parti centrali dei filoni, mentre quelle più 'periferiche', al contrario, possono risultare piuttosto friabili ed intensamente fratturate, quindi meno pregiate.

Lo strato a composizione arenacea, laddove non presenti fratture e discontinuità particolarmente frequenti e pervasive, permette lo sfruttamento industriale del filone ardesiaco senza la necessità di realizzare particolari opere di messa in sicurezza del tetto. Nel caso della cava in oggetto, ad esempio, le caratteristiche dell'orizzonte arenaceo sono variabili con spessori compresi tra 50cm e 1m, con zone in buono stato di conservazione ed altre che presentano discontinuità pervasive e necessitano, pertanto, di alcuni puntuali interventi di messa in sicurezza. Nei capitoli successivi saranno comunque fornite indicazioni su questi aspetti in maniera più esaustiva e completa.

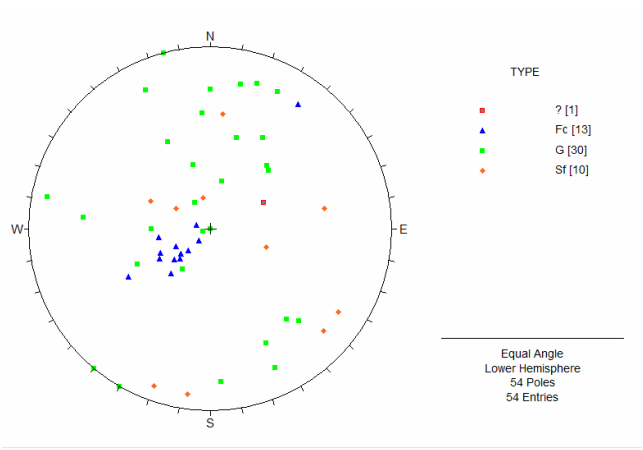
Va sottolineato che una caratteristica fondamentale per tutte le ardesie, come quelle della Val Fontanabuona e quindi anche quelle della cava oggetto di studio, è il contenuto di una certa quantità di acqua intergranulare (detta anche volgarmente 'acqua di cava'), di cui sono 'dotate'

prima di essere coltivate ed estratte dalla cava. Nel caso in cui si riesca a mantenere tale contenuto d'acqua intergranulare, il materiale naturale risulta più tenero e più facilmente lavorabile (*stagionatura dell'ardesia*), al contrario, una brusca e rapida perdita di quest'acqua, ad esempio per semplice evaporazione, può comportare invece ulteriori fratturazioni e fessurazioni del materiale, complicando notevolmente le operazioni e le manovre di lavorazione e, specialmente, diminuendo di gran lunga anche il livello di qualità del prodotto lapideo da commercializzare.

Nella cava "del Cugnasso" le caratteristiche geometriche dei filoni (giacitura, spessore, larghezza, ecc.) ed i loro rapporti con i livelli arenacei hanno permesso, in passato, l'asportazione dell'ardesia mediante le attività di abbattimento della parte superiore del filone mediante l'utilizzo di piccole volate di esplosivo ovvero di mezzi meccanici capaci di separare fisicamente la discontinuità esistente tra il filone di ardesia ed il tetto arenaceo.

4.0 - Rilevamento geologico-strutturale nell'area di cava

4.1 - Principali elementi geologico-strutturali



Il rilevamento geologico-strutturale della sistemazione giaciturale dell'ammasso roccioso in esame, mette in evidenza, in primo luogo, un assetto alquanto costante, caratterizzato da una marcata 'stratificazione' disposta genericamente a leggero traverpoggio rispetto all'andamento di questo particolare tratto di versante, in particolare quello presente in corrispondenza dell'imbocco della galleria d'entrata (FOTO 1 e 2). Tale situazione strutturale risulta localmente complicata dalla presenza di faglie di media persistenza e da sistemi di fratturazione con grado medio-elevato di dispersione che possono essere raggruppati in due principali famiglie di discontinuità. Come già precedentemente enunciato, il versante in cui è inserita la cava in esame è strutturato nella formazione geologica delle "*Ardesie di Monte Verzi"* che, all'esterno della cava lungo la strada provinciale, si presenta in ripetuti e continui affioramenti, con immersione della 'stratificazione' pressoché costante verso i quadranti nord orientali, quindi in situazione di reggipoggio rispetto a questo particolare tratto di pendio.

Nel dettaglio, un'analisi statistica dei dati acquisiti durante le indagini geo-strutturali di campagna ha messo in evidenza due famiglie di discontinuità principali **G1** (199°/79°) e **G2** (337°/70°), che vanno ad aggiungersi a quelle della 'stratificazione' principale dell'ammasso **Fc** (54°/25°) e del dominante sistema di faglia **Sf** (125°/23°) (ALLEGATO 3).

4.2 - Zonizzazione dell'area di cava ed analisi cinematismi di distacco

L'intersezione di queste discontinuità (stratificazione, giunti di frattura e/o faglie) con la geometria degli attuali fronti di cava genera condizioni alquanto diversificate in merito ai possibili cinematismi di distacco ed instabilità nelle diverse zone della cava, che risultano, per altro, comprovati dalla constatazione in loco di cunei e frammenti rocciosi effettivamente riscontrati durante i sopralluoghi effettuati in galleria. Per questo motivo, si è deciso di suddividere la cava in sotterraneo in quattro aree differenti (A, B, C, D), che sono state distinte sulla base della loro direzione in sotterraneo, oltre che sulla base delle loro prevalenti caratteristiche geologiche e strutturali (*Tav. 2: Carta delle classi di qualità litotecnica dell'ammasso roccioso*).

In particolare, le differenti aree di studio sono state così considerate e suddivise:

- **ZONA A**: è rappresentata dall'area di imbocco della galleria, in corrispondenza della SP 25, che mostra una direzione di sviluppo pari a 130° circa rispetto al nord e con fronti di sbancamento che mostrano un'inclinazione media compresa tra 70 - 80° circa (FOTO 1-2);
- **ZONA B**: identifica la zona attualmente ribassata in cui è previsto, secondo il piano di lavoro, l'avanzamento della coltivazione del 'filone basso' di ardesia presente in questo tratto di versante; al momento, la stanza è delimitata a nord e sud da due fronti con direzione 98° circa rispetto al nord ed inclinazioni che oscillano mediamente tra 60 - 80° circa, mentre ad est ed ovest è delimitata rispettivamente da un fronte con orientazione 170° circa rispetto al nord ed inclinazione di 60 - 80° circa e da uno con disposizione 10° circa rispetto al nord ed inclinazione media compresa tra 70 - 85° circa (FOTO 11-13-14-15-16);
- **ZONA C**: individua l'area di prosecuzione della galleria (che comunque non verrà utilizzata e sfruttata nel presente progetto) posta al di sopra della Zona B, che conduce al limite settentrionale della vecchia cava abbandonata e dove sono presenti anche due venute d'acqua (vecchi avanzamenti di coltivazione) e la raccolta di acqua di percolazione in due piccoli laghetti di profondità compresa tra 1 e 4 metri circa. Questa zona presenta una

direzione di sviluppo pari a 0° circa rispetto al nord e con fronti che mostrano inclinazioni medie comprese tra 70 - 80° circa (FOTO 8-9-10-12);

- **ZONA D**: l'ultima area coincide con quella individuata come galleria per l'uscita di sicurezza dalla cava in sotterraneo; mostra un andamento prevalente con disposizione di 75° circa rispetto al nord e con fronti che mostrano inclinazioni medie comprese tra 70 - 80° circa (FOTO 5).

Sulla base di tali considerazioni, si è passati quindi all'analisi dei possibili cinematismi di distacco ed instabilità nelle diverse zone della cava (ALLEGATO 5), in particolare:

- nella zona dell'imbocco (**Zona A**), l'assetto giaciturale medio delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso è prevalentemente caratterizzato dall'andamento a traverpoggio della stratificazione, anche se i giunti di fratturazione determinano lo scollamento di prismi rocciosi di volumetria ridotta (pari a 1 m^3 circa), che rischiano di scivolare planarmente sulla superficie Fc, risultando limitati geometricamente dall'intersezione con G2 e con il sistema di faglie Sf (ALLEGATO 5 - 1).
  Si segnala che, in quest'area, non si riscontrano numerosi blocchi lapidei distaccati, ma molti settori del fronte risultano alquanto allentati con il conseguente possibile rilascio di frammenti lapidei peraltro di dimensioni molto contenute, come avviene sul fronte occidentale poco dopo l'imbocco della galleria di entrata (FOTO 1-2);
- in corrispondenza della **Zona B**, si possono osservare due distinte situazioni in merito ai fronti considerati; in particolare, per quanto concerne gli attuali fronti settentrionale e meridionale si segnalano esclusivamente possibili scivolamenti planari sulla superficie G1, principalmente nel caso di fronti con inclinazione alquanto elevata, in quanto il profilo del fronte attuale coincide indicativamente con la superficie della discontinuità del giunto di fratturazione. Per quanto concerne il fronte occidentale dell'attuale 'stanza bassa', l'analisi dei cinematismi mette in evidenza la possibile origine di cunei rocciosi, anche di grandi dimensioni, prodotti dall'intersezione della Fc e dell'eventuale presenza del sistema di faglie Sf. Infine, l'odierno andamento del fronte orientale configura il rischio di distacco di cunei di volumetria limitata generati dai giunti di frattura G1 e G2 (ALLEGATO 5 - 2). Si comunica che sul tetto della stanza, che corrisponde alla superficie Fc dell'ammasso roccioso in esame, sono presenti alcune vecchie chiodature quasi totalmente ossidate (FOTO 15);
- nella **Zona C**, l'ammasso roccioso presenta locali deboli ripiegamenti che danno origine a pieghe parassite tipo "S" con asse sub orizzontale con direzione 340° circa che, a scala di

versante, suggeriscono la possibile presenza di un fianco dritto di una piega coricata. Tale indicazione ben si correla con quanto contenuto nei documenti ufficiali (Progetto CARG-ALLEGATO 2) nei quali sono indicate la presenza di un sistema di pieghe che interessano alla macroscala la formazione ardesiaca. In questa zona, inoltre, la situazione geologico strutturale è aggravata dall'elevato grado di fratturazione ed alterazione dell'ammasso roccioso, soprattutto in corrispondenza della curva della galleria principale (FOTO 12); l'analisi dei cinematismi rivela, analogamente al fronte occidentale della Zona B, il possibile sviluppo di cunei rocciosi generati dall'intersezione della Fc e dell'eventuale presenza del sistema di faglie Sf (ALLEGATO 5 - 4);

- nell'area in cui è prevista l'uscita di sicurezza (**Zona D**) mostra una direzione preferenziale di circa 75° si segnalano esclusivamente possibili scivolamenti planari sulla discontinuità G2, principalmente nel caso di fronti con inclinazione alquanto elevata, in quanto il profilo degli attuali fronti di sbancamento coincide indicativamente con la superficie del giunto di fratturazione (ALLEGATO 5 - 3).

In conclusione, per quanto concerne le osservazioni geologico-strutturali effettuate sugli attuali fronti di sbancamento sotterranei all'interno della cava, in relazione alle condizioni giaciturali dell'ammasso roccioso ed al suo stato di conservazione, si può concludere quanto segue:

- la disposizione strutturale dei differenti strati che caratterizzano la formazione geologica delle "*Ardesie di Monte Verzi*", appare alquanto uniforme rispetto all'interferenza geometrica con i fronti di sbancamento delle differenti zone esaminate, presentando un'immersione della 'stratificazione' piuttosto costante verso i quadranti nord orientali, quindi in situazione di reggipoggio rispetto a questo particolare tratto di pendio;
- la stratificazione varia leggermente di qualche grado in corrispondenza della Zona C, dove l'ammasso roccioso, inoltre, si mostra anche mediamente più fratturato e caoticizzato;
- lo stato di fratturazione risulta piuttosto variabile nelle differenti zone considerate. In particolare, risulta parecchio diffuso prevalentemente in corrispondenza della Zona C, in cui sono presenti numerose fratture serrate o cementate da calcite di colore bianca oppure da esigui riempimenti detritici; localmente i giunti sono beanti con apertura millimetrica per asportazione ed erosione selettiva del materiale fine, soprattutto nei livelli più superficiali e di corona;
- la fratturazione dell'ammasso roccioso risulta abbastanza evidente anche nel primo tratto di galleria dall'imbocco in cui sono presenti pochi blocchi lapidei distaccati, ma molti settori

del fronte risultano alquanto allentati con il conseguente possibile rilascio di frammenti lapidei, determinati dall'intersezione delle superfici di discontinuità sopra enunciate, che, però, risultano in media alquanto persistenti ma serrate, non mostrando significative vene e fratture aperte riempite da carbonati o da materiale detritico come nella Zona C.

- l'ammasso roccioso si presenta, generalmente, poco alterato nelle zone A, B e D, mentre risulta decisamente più deteriorato nella zona C in cui l'elevata fratturazione genera delle fasce più cataclastiche determinate anche dalla presenza di alcune faglie significative che attraversano questo tratto di versante e che mostrano andamento medio NE-SW;
- in corrispondenza della Zona C, si segnala anche la presenza di abbondanti venute d'acqua che determinano un ulteriore locale alterazione e degradazione dell'ammasso roccioso, con la formazione di concrezioni carbonatiche che oscillano dal bianco al giallognolo.

5.0 - Modello geologico e geotecnico: metodologia e parametri

5.1 - Il rilevamento geomeccanico

Come precedentemente enunciato, in generale, gli assetti giaciturali dell'ammasso roccioso in esame, rappresentato dalla formazione delle "*Ardesie di Monte Verzi*", sono alquanto omogenei nei diversi settori della proprietà della cava. Per analizzare nel dettaglio tali assetti geologici sono state effettuate n° 10 stazioni geomeccaniche, la cui ubicazione è risultata condizionata dall'accessibilità ai diversi settori della cava, in condizioni di sicurezza (TAVOLA 2).

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 (Rocscience - vers. 5.103). 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 differenti discontinuità riscontrate e della matrice rocciosa sana di riferimento. Inoltre, 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 superficie del giunto, attraverso il confronto con i profili standard proposti dalla ISRM (1978).

I dati acquisiti dal rilievo geostrutturale hanno messo in evidenza la presenza di quattro principali famiglie di discontinuità nell'ammasso roccioso considerato. Nel dettaglio, una famiglia è rappresentata dalle superfici di 'stratificazione' **Fc** (54°/25°); altre due rappresentano i due giunti di fratturazione di maggiore persistenza e minore dispersione all'interno dell'ammasso roccioso, rappresentati rispettivamente da **G1** (199°/79°) e **G2** (337°/70°). Un'ulteriore famiglia è delineata, infine, da un sistema principale di faglie **Sf** (125°/23°).

Per completezza, si precisa che nell'area in esame si manifestano anche altri giunti minori altamente dispersi.

Dal punto di vista geomeccanico, la stratificazione Fc presenta 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 e la persistenza risulta alquanto elevata (> 20 m). In generale, le superfici di stratificazione sono caratterizzate da forme ondulate e di rugosità variabile in funzione della litologia predominante, ma, mediamente, in corrispondenza delle superfici di strato si è determinato un coefficiente minimo di rugosità del giunto (JCR - *joint roughness coefficient*) dell'ordine di 4 – 6. In questi orizzonti, l'acqua risulta pressoché assente, infatti si registrano solo locali stillicidi, prevalentemente negli affioramenti del settore esterno alla cava, presenti lungo gli spaccati rocciosi della strada.

Le famiglie di discontinuità rappresentate dai giunti di frattura G1 e G2 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 metri. I profili di scabrezza delle superfici dei giunti denotano rugosità differenti e comunque più elevate di quelli della Fc; in particolare le superfici di G1 mostrano un JRC compreso tra 6 – 8, mentre quelle di G2 un JRC che oscilla tra 8 – 10. 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 abbondanti concrezioni calcaree di colore bianco e giallognolo. Infine, la discontinuità Sf mostra 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 e la persistenza risulta alquanto elevata (> 20 m). La rugosità della superficie del giunto ottenuta tramite l'utilizzo del pettine di Barton ha rivelato un valore medio di JRC compreso tra 8-10.

5.2 - Metodi per la definizione dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso

Ai fini delle verifiche di stabilità di stato attuale e di progetto, la sintesi di tutti i dati geologici, geomorfologici e strutturali esposti precedentemente, porta a ritenere che, alla scala delle problematiche considerate, il modello geologico di riferimento per l'ammasso roccioso analizzato debba essere opportunamente differenziato nelle diverse zone della cava. Infatti, come già precedentemente illustrato, l'area di cava può essere suddivisa in quattro aree distinte sulla base delle differenti caratteristiche geologico-strutturali. In particolare, per quanto concerne le zone A, B e D, il rilevamento dei luoghi e le analisi dei cinematismi hanno messo in evidenza che il controllo della stabilità degli attuali fronti è derivato dall'intersezione della 'stratificazione' con i giunti di frattura presenti: pertanto, 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 dei fronti.

Al contrario, nella Zona C, lo stato di fratturazione ed alterazione dell'ammasso roccioso risulta talmente spinto ed aleatorio da determinare il rischio di possibili cedimenti e svuotamenti secondo superfici di scivolamento circolari tipiche di un materiale omogeneo ed isotropo, quindi da studiare facendo riferimento al modello del continuo equivalente. Si precisa, comunque, che non è attualmente previsto nessun tipo di utilizzo e/o sfruttamento di questo particolare settore di cava.

Sulla base di tali considerazioni geologiche, per quanto riguarda la parametrizzazione dei giunti di fratturazione nel mezzo roccioso discontinuo si è applicato il criterio di Barton, mentre per quella inerente l'ammasso roccioso, nel suo complesso, si è fatto riferimento al criterio proposto da Hoek&Brown. Tali metodologie hanno quindi consentito di ottenere i principali parametri di resistenza caratteristici che, secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (*D.M. 14.01.08 - paragrafo 6.3.4*), sono stati utilizzati "tal quali" per le successive verifiche di stabilità dei fronti di sbancamento della cava nello stato attuale. I risultati conseguiti sono riportati nei paragrafi illustrati di seguito.

5.3 - Caratteristiche di resistenza delle discontinuità

Le caratteristiche medie dei parametri di resistenza lungo le principali discontinuità presenti all'interno dell'ammasso roccioso in esame sono state derivate mediante la formula empirica proposta da Barton & Choubey (1976), data dall'espressione matematica:

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

dove

φ_p = angolo di attrito di picco lungo la discontinuità considerata
JRC = coefficiente di rugosità del giunto(joint roughness coefficient)
JCS = resistenza a compressione del giunto (joint compressive strenght)
φ_r = angolo di attrito residuo lungo la discontinuità considerata

Sulla base del rilievo geomeccanico dei fronti con l'utilizzo del "pettine di Barton", è stata ottenuta un'ampia gamma di valori del parametro JRC per le diverse famiglie di discontinuità, rispettivamente: un coefficiente minimo di rugosità nell'ordine di 4–6 per la Fc, un valore di JRC compreso tra 6–8 per il giunto G1, mentre tra 8-10 per quello G2, il JRC di Sf ottenuto oscilla invece tra 8–10. I valori di JCS, invece, sono stati determinati attraverso l'esecuzione di prove sclerometriche mediante il ricalcolo e la relativa correzione dei rimbalzi ottenuti dall'utilizzo del "martello di Schmidt" sulle superfici di discontinuità, ed applicando la formula:

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

dove

γ = peso di volume naturale della roccia (assunto pari a 26 KN/m3)
r = valore del rimbalzo del martello corretto

L'analisi dei dati acquisiti sul terreno, opportunamente corretti in base all'orientazione spaziale del martello di Schmidt, ha portato ai risultati, riportati nella tabella sottostante, di resistenza a compressione dei diversi giunti di discontinuità:

Piano	Fc	G1	G2	Sf	matrice
JCS (MPa)	59,43	43,20	53,29	48,19	101,66
r	33,14	27,26	29,37	29,41	43,58

L'angolo di attrito residuo è stato, invece, ricavato dalla formula:

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

dove

φ_r = angolo di attrito residuo
φ_b = angolo di attrito di base pari a 29° (da bibliografia)
r = rimbalzo del martello di Schmidt sulla discontinuità
R = rimbalzo del martello di Schmidt sulla matrice sana della roccia (calcolato = 43.58)

da cui

tipo	Fc	G1	G2	Sf
φ_b	29	29	29	29
r	33,14	27,26	29,37	29,41
R	43,58	43,58	43,58	43,58
φ_r	24,21	21,51	22,48	22,50

Infine, applicando i diversi valori ottenuti alla formula empirica proposta da Barton & Choubey (1976), si ottengono i valori riportati nella tabella sottostante, al variare del valore di resistenza a compressione monoassiale (σ_n):

Fc		G1		G2		Sf	
σn	ϕp	σn	ϕp	σn	ϕp	Σn	ϕp
0,1	38,08	0,1	39,96	0,1	47,02	0,1	46,64
0,5	34,58	0,5	35,07	0,5	40,73	0,5	40,35
1	33,08	1	32,96	1	38,02	1	37,64
1,5	32,20	1,5	31,73	1,5	36,43	1,5	36,06
2	31,57	2	30,85	2	35,31	2	34,94
valori medi							
1,02	**33,90**	**1,02**	**34,11**	**1,02**	**39,50**	**1,02**	**39,13**

Dal momento che 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. Attraverso l'utilizzo di un foglio di calcolo proposto da Benedettini & Faccini (ALLEGATO 6), è stato costruito il grafico dell'inviluppo a rottura di ognuna delle 4 discontinuità considerate (Fc, G1, G2 e Sf), ricavando gli intervalli dei parametri di resistenza per intervalli di σ_n rappresentativi delle reali condizioni rilevate sul terreno, rapportandoli ai possibili volumi rocciosi mobilizzabili sui giunti considerati.

L'elaborazione matematica attraverso il foglio di calcolo consente di ottenere i valori che sono riportati nella tabella di seguito:

			Fc				G1			
Stato tensionale previsto			**Coesione [kPa]**		**Angolo di attrito**		**Coesione [kPa]**		**Angolo di attrito**	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max	min	max	min	max
prof. min	1,00	0,026	1,30	3,20	37,14	49,78	2,35	5,60	42,03	54,11
prof. max	10,00	0,260	11,73	25,00	33,15	43,81	19,45	38,09	36,06	46,22

			G2				Sf			
Stato tensionale previsto			**Coesione [kPa]**		**Angolo di attrito**		**Coesione [kPa]**		**Angolo di attrito**	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max	min	max	min	max
prof. min	1,00	0,026	3,90	12,57	46,79	61,42	4,19	10,77	48,38	59,52
prof. max	10,00	0,260	29,03	65,30	38,86	51,78	30,62	58,96	40,46	49,83

5.4 - Classificazione "RMR" di Bieniawski

La classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso in esame è stato desunto sulla base delle osservazioni e dell'analisi geologica degli affioramenti roccioso presenti sia all'esterno sia all'interno dell'area di cava. La valutazione geomeccanica viene effettuata utilizzando il sistema

"*Rock Mass Rating*" – RMR – ideato da Bieniawski (1989) per ricavare genericamente dei valori empirici sulla qualità dell'ammasso roccioso analizzato. Sulla base delle differenze geologico-strutturali sopra esposte, tale classificazione è stata effettuata in maniera distinta per le quattro zone della cava (A, B, C, D), anche se il modello dell'ammasso roccioso continuo equivalente potrebbe essere applicato quasi esclusivamente per la Zona C. (*Tav. 2: Carta delle classi di qualità litotecnica dell'ammasso roccioso e di analisi dei fronti nello stato attuale)*

- **RMR - Ammasso roccioso della Zona A**

Parametro	U.M.	Valore	Punteggio
σ_c (*resistenza a compressione monoassiale)*	Kg/cm^2	590	7
RQD	%	50-75	13
spaziatura giunti	m	1 - 3 m	25
condizione dei giunti	mm	> 1	12
condizione idraulica			4
RMRb			**61**

L'indice RMRb ricavato ricade all'interno della III° classe (50 - 70) che definisce un ammasso roccioso di qualità "discreta" con apprezzabili difficoltà di scavo e stima genericamente i valori dei parametri di resistenza, quali: c = 1,5 – 2,0 Kg/cm^2 e φ = 35 - 40°. Inoltre, dal valore RMRb ottenuto in condizioni anidre, cioè considerando l'ammasso completamente asciutto, si ricava dalla

nota correlazione anche il valore di GSI (*Geological Strenght Index*) secondo la formula di Bieniawski (1989) e Hoek (1995) risulta:

GSI = RMRb – 5 = 56

- **RMR - Ammasso roccioso della Zona B**

Parametro	U.M.	Valore	Punteggio
σ_c (*resistenza a compressione monoassiale)*	Kg/cm^2	510	7
RQD	*%*	50-75	13
spaziatura giunti	m	1 - 3 m	25
condizione dei giunti	mm	< 1	20
condizione idraulica			10
RMRb			**75**

L'indice RMRb ricavato ricade all'interno della II° classe (70 - 90) che definisce un ammasso roccioso di qualità "buona" con difficoltà di scavo a causa dei frammenti di notevoli dimensioni e stima genericamente i valori dei parametri di resistenza, quali: c = 2,0 – 3,0 Kg/cm^2 e φ = 40 - 45°.
Il valore di GSI (*Geological Strenght Index*) secondo la formula di Bieniawski (1989) e Hoek (1995) risulta:

GSI = RMRb – 5 = 70

- **RMR - Ammasso roccioso della Zona C**

Parametro	U.M.	Valore	Punteggio
σ_c (*resistenza a compressione monoassiale)*	Kg/cm^2	530	7
RQD	*%*	25-50	8
spaziatura giunti	m	0,3 -1 m	20
condizione dei giunti	mm	> 1	12
condizione idraulica			0
RMRb			**47**

L'indice RMRb ricavato ricade all'interno della IV° classe (25 - 50) che definisce un ammasso roccioso di qualità "scadente" che può essere cavato facilmente per la frammentazione notevole e stima genericamente i valori dei parametri di resistenza, quali: c = 1,0 – 1,5 Kg/cm^2 e φ = 30 - 35°.

Il valore di GSI (*Geological Strenght Index*) secondo la formula di Bieniawski (1989) e Hoek (1995) risulta:

GSI = RMRb – 5 = 42

- **RMR - Ammasso roccioso della Zona D**

Parametro	U.M.	Valore	Punteggio
σ_c (*resistenza a compressione monoassiale)*	Kg/cm^2	590	7
RQD	*%*	50-75	13
spaziatura giunti	m	1 - 3 m	25
condizione dei giunti	mm	> 1	12
condizione idraulica			4
RMRb			**61**

L'indice RMRb ricavato ricade all'interno della III° classe (50 - 70) che definisce un ammasso roccioso di qualità "discreta" con apprezzabili difficoltà di scavo e stima genericamente i valori dei parametri di resistenza, quali: c = 1,5 – 2,0 Kg/cm^2 e φ = 35 - 40°.

Il valore di GSI (*Geological Strenght Index*) secondo la formula di Bieniawski (1989) e Hoek (1995) risulta:

GSI = RMRb – 5 = 56

5.5 – Calcolo dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso

L'ammasso roccioso dell'area in esame, rappresentato dalla formazione delle "*Ardesie di Monte Verzi*", può essere considerato in alcuni settori con un "modello continuo equivalente" a fronte delle problematiche geologico-strutturali precedentemente enunciate ed in accordo ad una delle possibili formulazioni teoriche note in letteratura. Pertanto, i principali parametri geotecnici di resistenza da utilizzare nei calcoli per descriverne, in termini quantitativi, il suo comportamento geomeccanico d'insieme comprendono parametri di deformabilità quali il modulo di deformabilità (E_m), ed i parametri di resistenza dell'ammasso, definiti da coesione (c) ed angolo di attrito (φ). Questi parametri sono stati calcolati, adottando il criterio di rottura non lineare di Hoek&Brown (2002), attraverso l'utilizzo del programma RocLab (*versione 1.031/2007*), che consente di stimare i parametri di resistenza di Mohr&Coulomb equivalenti, quali coesione ed angolo di attrito dell'ammasso roccioso.

Analogamente a quanto già esplicitato nel paragrafo precedente, anche il ricalcolo con il programma RocLab è stato effettuato, per maggiore completezza, per tutte le zone della cava (A, B, C, D), anche se potrebbe essere applicato quasi esclusivamente alla Zona C (ALLEGATO 7).

All'interno del programma di calcolo sono stati inseriti diversi parametri che consentono di applicare la classificazione proposta da Hoek&Brown; in particolare, per le diverse zone di cava esaminate, sono stati considerati i seguenti parametri:

- la resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa (roccia intatta), valutata in maniera univoca per tutte le zone di cava (75 MPa) sulla base delle risultanze delle prove sclerometriche;
- il valore dell'indice GSI dell'ammasso roccioso, assunto per tutte le zone di cava sulla base dei ricalcoli effettuati in precedenza per l'indice RMR di Bieniawski;
- il valore della costante "m_i" della matrice rocciosa: m_i = 7 (secondo le tabelle di riferimento fornite dall'Autore per le Ardesie);
- lo stato di disturbo "D", in termini di grado di fratturazione ed allentamento dell'ammasso roccioso. Con riferimento alla problematica geotecnica in esame si assume la condizione di disturbo più sfavorevole, corrispondente a D = 0.8 (secondo le tabelle di riferimento fornite dall'Autore per le gallerie).

Le risultanze ottenute per le diverse zone di cava esaminate sono riassunte nella tabella sotto riportata.

ROCLAB			
zona di cava	*coesione*	*angolo di attrito*	*modulo di deformazione*
	MPa	°	MPa
A	0,408	44	3873
B	0,915	47	7320
C	0,194	37	1449
D	0,408	44	3873

6.0 - Modello geologico-strutturale (sezioni geologiche)

Sulla base delle risultanze ottenute dai rilevamenti geologici e dalle analisi geologico-strutturali e geomeccaniche è stato possibile realizzare due sezioni geologiche interpretative in cui sono rappresentate e schematizzate le caratteristiche geometriche ed i rapporti giaciturali tra il filone ardesiaco ed i principali elementi strutturali rinvenuti nell'area di intervento (ALLEGATO 4). Tali elementi sono rappresentati per una più immediata comprensione della situazione preparate a partire dalle sezioni di progetto (ALLEGATO 4) indicate in Tavola 1.

Le sezioni devono essere viste come un quadro schematico ed indicativo della situazione geologica dell'area nelle quali sono indicati peraltro esplicitati i volumi oggetto di avanzamento

degli scavi in sotterraneo nelle prime fasi di attività a seguito della concessione dei permessi per riattivazione della coltivazione della cava.

La sezione geologica A - B mostra l'andamento della direzione media dei due filoni ardesiaci presenti nell'area di studio, denominati "dei Cerri", e la giacitura media della discontinuità G1, che risulta il giunto maggiormente invasivo in questo settore di cava. E' stata inoltre riportata la direzione media dei due prevalenti sistemi di faglia che possono interessare l'andamento dei filoni ardesiaci da coltivare: uno mostra un andamento circa ortogonale alla direzione del filone mentre l'altro presenta un andamento circa sub-parallelo. Tali discontinuità tettoniche possono caoticizzare l'ammasso roccioso nel suo complesso, determinando la formazione di zone cataclastiche, e localmente possono creare anche lievi dislocazioni dei 'filoni' ardesiaci commercialmente sfruttabili. Nella sezione A - B è possibile individuare le zone interessate dall'intersezione dei due set di faglia nelle quali è lecito attendersi la presenza di volumi di ardesia che potrebbero essere fortemente tettonizzati e fratturati: tale situazione è stata individuata anche nella sezione C - D lungo la quale la presenza di un settore fortemente tettonizzato è stato inoltre riconosciuto durante le fasi di rilevamento e di zonizzazione dell'area di indagine (Paragrafo 4.2 - Zona C). Lungo la sezione C - D sono state riportate la discontinuità principale (faglia), orientata mediamente NE-SW con immersione verso N, e la sua faglia reciproca (o coniugata) con uguale direzione ed immersione verso S. Dall'analisi visiva della rappresentazione in sezione è possibile stimare indicativamente l'interdistanza tra una discontinuità e la successiva all'interno di questo set di faglie, con un valore prossimo a circa 30 metri. Dal punto di vista qualitativo, tale indicazione permette di ipotizzare che, nelle aree oggetto di nuova concessione, le future attività di coltivazione potrebbero potenzialmente non essere interessate dalla presenza della famiglia di faglie di cui sopra e, pertanto, i due filoni "dei Cerri" potrebbero essere ben sfruttabili da un punto di vista commerciale fino a circa 30 metri lineari e continui. Tale considerazione non esclude tuttavia come la sfruttabilità e la resa del giacimento sia soggetta, come avviene per tutte le cave di ardesia, alla presenza di altre famiglie di discontinuità strutturali minori, spesso meno pervasive rispetto alle faglie individuate, ma che potrebbero comportare locali e puntuali vizi e difetti strutturali nel materiale cavato: la presenza di queste ultime sarà verificata durante le fasi successive delle attività estrattive, nelle quali sarà comunque indispensabile verificare progressivamente le condizioni geologico-strutturali per indirizzare correttamente gli avanzamenti in sotterraneo della coltivazione.

Dott. Geol. Eugenio Poggi
Corso Sardegna 40a/6 - 16142 - Genova
email: euge_geo@yahoo.it
Ordine Geologi della Liguria n° 593/AP
P.IVA n° 01864080997

Dott. Geol. Roberto De Ferrari
Via De Gasperi 43, 16047 – Moconesi (GE)
email: geo_deffe@libero.it
Ordine Geologi della Liguria n° 533/AP
P.IVA n° 01607410998

7.0 - Verifiche di stabilità

7.1 – Analisi di stabilità dei fronti nello stato attuale Swedge

Sono state eseguite elaborazioni tridimensionali attraverso il programma di calcolo *Swedge (RocScience ver. 4.078*) in modo da determinare la stabilità di cunei rocciosi che si possono generare dalle intersezioni delle discontinuità riscontrate e rilevate sui fronti delle differenti zone della cava in esame. Nel dettaglio, il programma consente di effettuare un'analisi di tipo deterministico, calcolando il fattore di sicurezza (Fs) allo scivolamento del cuneo roccioso più sfavorevole, determinato dall'intersezione di due famiglie discontinuità presenti all'interno dell'ammasso roccioso considerato.

In ottemperanza alla normativa vigente (*D.M. 14.01.08*), nel caso di problematiche geotecniche attinenti il terreno (**GEO**), le verifiche di stabilità sono state effettuate sulla base dell'approccio tipo **DA1 - combinazione 2**. Per tal motivo, il coefficiente parziale applicato al peso del terreno (unica azione "A2") risulta unitario; al contrario, i parametri geotecnici (V_k) del giunto considerato, ottenuti dalle elaborazioni di cui al paragrafo 5.3 (assumendo il valore medio per l'angolo di attrito di picco ed il valore minimo della coesione), sono stati opportunamente 'fattorati' secondo le prescrizioni tipo "M2" (*Tabella 6.2.II del D.M. 14.01.08*) per la determinazione dei parametri di "progetto" (V_d).

parametri medi/caratteristici (Vk)

	Fc	**G1**	**G2**	**Sf**
c_u *(KPa)*	1,3	2,35	3,9	4,19
χ_n *(KN/m^3)*	26	26	26	26
φ	40,97	44,6	49,71	49,54
φ (rad)	0,715061	0,7784166	0,8676029	0,8646358
tan φ	0,868367	0,9861335	1,17957617	1,1725054

parametri di progetto (Vd *)

	Fc	**G1**	**G2**	**Sf**
c_u *(KPa)*	1,04	1,88	3,12	3,35
χ_n *(KN/m^3)*	26	26	26	26
φ (rad)	0,6946939	0,78890677	0,943660936	0,9380043
arctan φ	0,60715594	0,66794008	0,756420222	0,75341961
φ	34,78	38,27	43,33	43,16

***** Si deve applicare quanto contenuto nelle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, pertanto, sono stati assunti quali valori caratteristici dei terreni i valori medi ottenuti dalle indagini geotecniche (Vm = Vk). I parametri di progetto (Vd) sono stati calcolati secondo l'Eurocodice EC7 e D.M. 14.02.08, secondo DA1 combinazione 2 (A2 - M2 - R2), tipo GEO (Tab. 6.2.II).

Per maggiore completezza, nelle simulazioni effettuate, sono state considerate anche le azioni sismiche, rappresentate da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, ricavate dal prodotto delle forze di gravità per coefficienti sismici calcolati con il software GeostruPS (disponibile on-line sul sito *www.geostru.com*) (*ALLEGATO 8*), da cui:

$$K_h\ (SLV) = 0.021$$
$$K_v\ (SLV) = \pm 0.010$$

Si precisa, infine, che, come da prescrizioni normative, tutte le verifiche sono state svolte considerando lo Stato Limite Ultimo Vita (SLV), applicando un coefficiente di sicurezza minimo di riferimento pari a **Fs = 1.1**.

Le verifiche sono state eseguite per le quattro differenti zone di cava (A, B, C, D), impostando la schematizzazione prospettica tridimensionale dell'assetto delle discontinuità prevalenti e preponderanti in ciascuna di esse, attribuendo ad ogni giunto di discontinuità i parametri di progetto (Vd) sopra calcolati, non considerando alcuna sottospinta idrostatica.

La formazione di un cuneo roccioso di massima dimensione è formato dall'intersezione di una coppia di giunti sul profilo dell'attuale fronte; in questo modo, il programma sovrastima tali cubature poiché prende in considerazione solo due sistemi di discontinuità per volta, non modellando, quindi, la presenza di ulteriori discontinuità che concorrono a "ritagliare" il blocco. Per questo fatto, anche i volumi dei prismi rocciosi generati possono risultare anch'essi alquanto sovrastimati.

Analogamente a quanto precedentemente effettuato per l'analisi dei cinematismi al paragrafo 4.2, per quanto concerne il settore B, si sono svolte verifiche differenti per i vari fronti attualmente presenti (B1, B2, B3).

Sulla base del rilevamento geologico-strutturale effettuato ed impostando le varie simulazioni con i parametri geotecnici ottenuti dagli studi geomeccanici (ridotti come previsto dalla normativa vigente di cui al DM 14.01.08 - verifiche GEO, secondo l'approccio DA1 – combinazione 2), tutte le verifiche eseguite attestano un'adeguata stabilità dei vari cunei rocciosi generati dai giunti di discontinuità presenti nella varie aree della cava, che mostrano valori di sicurezza sempre superiori al limite di riferimento normativo, oscillando tra **Fs = 1,640** (Zona D) e **Fs = 8,189** (Zona B1) (*ALLEGATO 9*). In particolare, nell'area dove è prevista l'espansione della coltivazione, i fattori di sicurezza oscillano tra **Fs = 3,106** (Zona B2) e **Fs = 8,189** (Zona B1).

Risulta peraltro evidente che lungo tutti i fronti di sbancamento in esame non si esclude categoricamente la possibilità di possibile mobilizzazione di frammenti e cunei rocciosi di dimensioni più limitate o locali fenomeni di detrizione superficiale di scaglie e frammenti pluricentimetrici, come avviene, infatti, in numerosi punti della cava. Ad esempio, nel primo tratto di cava dopo l'imbocco principale è presente un piccolo accumulo di massi e blocchi distaccati di dimensioni contenute (FOTO 6). Altri fenomeni di distacco si riscontrano prevalentemente nella Zona C (che non sarà oggetto di alcun intervento e/o coltivazione nel presente progetto) (FOTO 8-9-12) e, in parte, nella Zona D, in cui i giunti di fratturazione sono disposti piuttosto sfavorevolmente rispetto agli attuali fronti di sbancamento (FOTO 5).

8.0 - Considerazioni circa il dimensionamento teorico delle camere e dei pilastri

La realizzazione degli scavi e la conseguente creazione di vuoti e gallerie in sotterraneo presuppone che siano valutate a priori le caratteristiche dell'ammasso roccioso oggetto di scavo per stimare, attraverso approcci più o meno complessi e raffinati, le condizioni limite a cui potrà essere garantita l'assenza di crolli e collassi della cavità ovvero del tetto delle stesse. Il raggiungimento di condizioni ragionevolmente sicure potrà essere valutato mediante il calcolo di fattori di sicurezza grazie ai quali si può, già in fase di progettazione iniziale della coltivazione del giacimento, stimare qualitativamente le potenzialità del giacimento e, approssimativamente, indicare la necessità di interventi di particolare rilevanza per la messa in sicurezza dell'ambiente di lavoro.

Nel caso della cava in oggetto, il progetto di coltivazione prevede cavità con altezza massima di circa 4,0 - 5,0 metri: tale valore rappresenta infatti l'altezza dei filoni ardesiaci oggetto di coltivazione. Alla luce di questa prima ed oggettiva stima, si può pertanto già prevedere come non dovrebbero sussistere significative problematiche inerenti la stabilità complessiva delle stanze di coltivazione e delle gallerie di collegamento, ma piuttosto sembrano essere più importanti le verifiche puntuali sull'indice di qualità degli ammasso roccioso che si incontrerà durante la fase di coltivazione vera e propria in modo da individuare eventuali zone soggette a distacchi di materiale dal tetto o dalle pareti della gallerie.

Tale considerazione trova riscontro applicando, ancorchè in maniera preliminare, un metodo alquanto semplificato per la sima della stabilità complessiva delle cavità in sotterraneo proposto da Potvin (1988), definito Stability Graph Method. Tale approccio sostanzialmente si basa su equazioni empiriche ricavate mediante esperienze dirette svolte dagli autori del metodo in miniere del Canada e del Sud Africa. Il metodo proposto permette di verificare speditivamente la stabilità

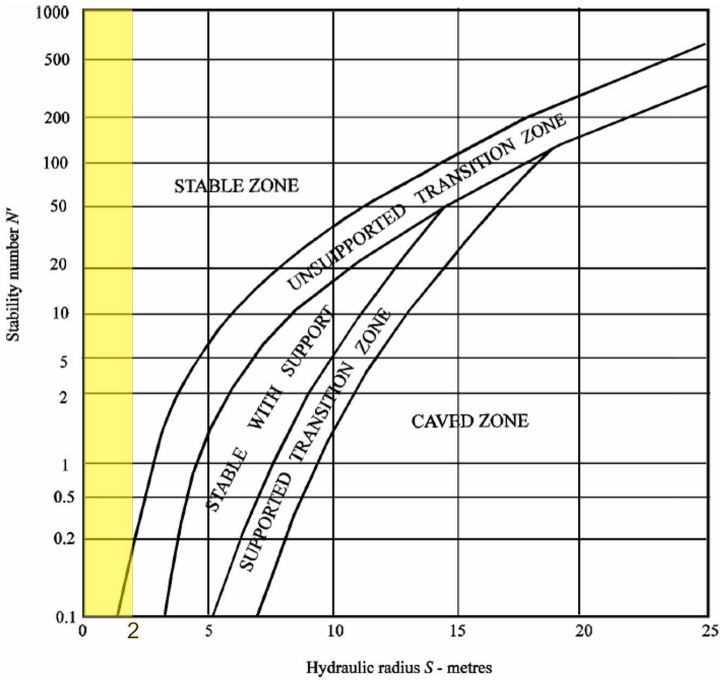
complessiva di una cavità in sotterraneo in funzione del raggio idraulico, che definisce il fattore di forma e quindi le dimensioni della cavità considerata, e di diversi parametri come la qualità dell'ammasso roccioso, la giacitura di fronti di scavo rispetto alle principali discontinuità, il campo di tensioni agenti sulla cavità.

Il raggio idraulico (HR) è definito dalla relazione: (1)

$$HR = \left(\frac{w \times h}{2w + 2h} \right) \quad (1)$$

dove w e la larghezza della cavità e h la sua altezza.

Considerando nel caso oggetto di studio un'altezza massima pari a circa 4,0 metri (altezza massima del filone "dei Cerri") appare evidente come il valore del raggio idraulico che ne consegue è inferiore sempre a HR < 2. Con un valore di raggio idraulico HR < 2, considerando il grafico proposto dagli autori del metodo riportato di seguito, appare evidente come al variare del numero di stabilità (N'), definito dai parametri legati alla qualità dell'ammasso roccioso ed alla geometria delle discontinuità, risulta che la cavità ricada in un campo di stabilità complessiva definita dall'area di colore giallo del grafico sottostante.



Nel caso di studio pertanto sembra necessario valutare con maggior attenzione la possibilità di fenomeni di distacco di materiale di piccola pezzatura piuttosto che approfondire aspetti relativi

all'autoportanza delle cavità nel loro complesso proprio in funzione delle ridotte dimensioni dell'altezza dei vuoti previsti a progetto per la coltivazione dei filoni "dei Cerri" presenti nell'area.

Nonostante le indicazioni preliminari ottenute dall'applicazione del metodo sopra citato, sono state valutate le dimensioni dei pilastri da lasciare in posto durante la coltivazione in modo da garantire un grado di sicurezza accettabile per le attività in sotterraneo. La stima delle dimensioni minime è stata ottenuta utilizzando la relazione di Salamon & Munro (1967) che definisce il coefficiente di sicurezza dei pilastri (F_{sP}) utilizzando la relazione

$$F_{sP} = \left(\frac{S}{\sigma_p} \right) \quad (2)$$

dove S è la resistenza del pilastro espressa in funzione delle sue dimensioni (W) e della sua altezza (h) secondo la relazione

$$S = 7{,}18\ h^{(-0{,}66)}\ W^{(0{,}46)} \quad (3)$$

e σ_p rappresenta un coefficiente rappresentativo della tensione assiale media del pilastro oggetto di verifica ed è definito dall'equazione:

$$\sigma_p = p_z \left(\frac{1}{(1-r)} \right) \quad (4)$$

dove $p_z = \gamma s \cos(i)$ (5) rappresenta la pressione litostatica e $(1 - r) = W_p/(W_0+W_p)$ (6) rappresenta un termine funzione della geometria dei pilastri.

DATI DI INGRESSO		
W_p	3 m	Dimensione del pilastro (quadrato)
h	4 m	Altezza del pilastro
γ	2,7 t/m^3	Peso di Volume dell'ammasso roccioso
s	40 m	Altezza volume di roccia al tetto del pilastro
i	21°	Inclinazione strato di tetto
W_0	8 m	Distanza media tra i pilastri

PARAMETRI CALCOLATI	
pz	1,01 MN/m2
1 - r	0,27
S	4.76 MN/m2
σ_p	3,70 MN/m2
F_{sP}	**1,28**

In generale, dalle rielaborazioni analitiche effettuate, per mantenere condizioni a favore di sicurezza all'interno dell'area di cava in esame, si suggerisce di realizzare camere di larghezza/lunghezza massima pari a 7 - 8 metri ed altezza massima pari 4 metri, che, tra l'altro, corrisponde allo spessore medio del filone ardesiaco "dei Cerri"; inoltre, si consiglia di prevedere pilastri di dimensioni minime (lato minore) non inferiori a 3 metri.

9.0 - Prescrizioni di progetto relative alla sistemazione dello stato attuale ed all'avanzamento della coltivazione

Il presente progetto di riattivazione della coltivazione della cava detta "del Cugnasso" non prevede la realizzazione di opere in muratura, ma esclusivamente interventi di sistemazione e messa in sicurezza dei fronti di scavo esistenti e degli sbancamenti in sotterraneo derivati dalle nuove attività di scavo (*Tav. 3: Carta degli interventi progettuali)*.

Esternamente all'area di cava, in prossimità dell'imbocco esistente, è prevista la messa in posto di un modulo prefabbricato (container) utilizzato come ricovero, spogliatoio, servizio igienico ed ufficio temporaneo: ciò presuppone che la parete verticale antistante a tale area venga adeguatamente messa in sicurezza mediante la messa in opera di opportune soluzioni tecniche (reti paramassi, chiodature, travi, ecc), in modo da evitare la possibile caduta di massi e/o elementi rocciosi anche di medie/piccole dimensioni. In questa zona dovrà inoltre essere asportato il materiale di riporto attualmente presente, in modo da realizzare una superficie pianeggiante su cui appoggiare convenientemente il modulo prefabbricato. Il materiale di riporto asportato potrà essere conferito nella discarica autorizzata di proprietà della committenza (ubicata nel Comune di Moconesi), laddove saranno conferiti anche tutti i materiali di risulta estratti durante la fasi di coltivazione della cava.

Per quanto concerne l'avanzamento della coltivazione del giacimento, di seguito sono indicati le principali tipologie di intervento per la messa in sicurezza delle differenti zone della cava in

esame definite al Par. 4.2, suddividendo gli interventi in funzione delle principali caratteristiche geologiche e geomeccaniche che contraddistinguono le varie zone di cava esaminate. Le indicazioni di seguito riportate dovranno essere recepite anche nelle zone che saranno oggetto di nuova coltivazione dove si incontreranno caratteristiche potenzialmente riconducibili a ciascuna zona definite come al Par. 4.2.

Zona A - La presenza di fronti di scavo verticali in buono stato di conservazione in questa zona permette di poter concentrare le opere di messa in sicurezza sul tetto della galleria esistente che presenta, in corrispondenza dei giunti e delle discontinuità principali rilevate, volumi di roccia non perfettamente stabili. La messa in opera di chiodature sul tetto arenaceo pertanto risulta necessaria unitamente al disgaggio di alcuni elementi lapidei, di dimensioni medio piccole, sulle pareti verticali che presentano elementi di stabilità precaria.

Zona B - Tale zona corrisponde con i volumi oggetto di interesse commerciale e pertanto la coltivazione e l'asportazione del materiale dovrà essere preceduta dalla messa in sicurezza dei settori di tetto degli scavi (agro): l'utilizzo di chiodature, che già in passato furono messe in opera in tali aree (FOTO 15), risulta localmente la soluzione più opportuna. L'interdistanza tra le chiodature varia in funzione delle discontinuità che interessano l'agro delle stanze di coltivazione, ma si può ipotizzare una spaziatura abbastanza ampia in funzione di quella dei diversi giunti di discontinuità principali individuati durante il rilevamento geologico-strutturale dei luoghi (vedi Par. 5.1).

Zona C - Non sono previste attività all'interno delle cavità esistenti ricadenti in questa zona; tuttavia nelle fasi di nuova coltivazione sarà molto probabile incontrare volumi di ammasso roccioso riconducibili alle caratteristiche di questa zona: in queste aree, una volta estratto il materiale roccioso particolarmente fratturato e tettonizzato, sarà opportuno mettere in sicurezza mediante l'utilizzo di chiodature molto ravvicinate sia il tetto dello scavo che le zone di pareti nelle quali si può prevedere anche l'utilizzo di malte cementizie

Zona D - In questo settore si prevede di realizzare la galleria per l'uscita di sicurezza dell'area di cava ampliando il tunnel di esplorazione già esistente: ciò avverrà attraverso scavi per l'abbassamento del piano di calpestio (circa 0,5 metri) e per l'allargamento del passaggio in modo da renderlo pedonabile. Gli interventi di messa in sicurezza dei fronti di scavo in questa zona potranno prevedere l'utilizzo di betoncino spruzzato ovvero di malte cementizie a presa rapida

sulle pareti e sul tetto della galleria: tale soluzione dovrebbe garantire condizioni di sicurezza sufficienti per evitare eventuali distacchi puntuali di materiale lapideo di pezzatura variabile (medio-piccola), come quello parzialmente instabile osservato durante i sopralluoghi su alcuni fronti presenti in queste aree.

Per quanto concerne le attività che riguarderanno le zone di nuova estrazione, le presenti indagini geologiche hanno permesso di comprendere come le caratteristiche geometriche dei filoni (giacitura, spessore, larghezza, ecc.) abbiano permesso in passato, e permetteranno nelle attività di nuova coltivazione, l'asportazione dell'ardesia inizialmente mediante le attività di abbattimento della parte superiore del filone mediante l'utilizzo di piccole volate di esplosivo ovvero di mezzi meccanici capaci di separare fisicamente la discontinuità esistente tra il filone di ardesia ed il tetto arenaceo. Successivamente, mediante le tagliatrici a catena (o macchine a filo diamantato) saranno delimitati i blocchi all'interno dello strato di ardesia che successivamente verranno scalzati dallo strato e mobilitati mediante mezzi meccanici fino all'alloggiamento su autocarri che li trasporteranno fino ai laboratori per le fasi di lavorazione. Inoltre, durante la realizzazione della galleria di collegamento tra la zona di ingresso principale e quella prevista come uscita di sicurezza è possibile che possa essere già estratto materiale ardesiaco commercialmente sfruttabile, dal momento che il tracciato della galleria di raccordo prevista si troverà nella parte iniziale ad interagire con il filone "inferiore dei Cerri" oggetto di parziale sfruttamento anche in passato (vedi ALLEGATO 4).

Come già ricordato, poichè una caratteristica fondamentale per tutte le ardesie è il loro contenuto di una certa quantità di acqua intergranulare (detta anche volgarmente 'acqua di cava') si può prevedere che i blocchi estratti, prima di essere portati al laboratorio esternamente alla cava, potranno essere anche 'stagionati' all'interno delle gallerie esistenti, che come detto saranno oggetto di opportuni interventi di messa in sicurezza.

Per quanto riguarda le problematiche connesse con le venute d'acqua e la percolazione idrica in sotterraneo riscontrata durante i sopralluoghi in galleria, si ritiene opportuno la realizzare idonee canalette di raccolta laterale, all'interno delle quali si possa eventualmente convogliare le acque di ruscellamento sotterraneo in modo da regimarle e indirizzarle adeguatamente verso i collettori esterni presenti lungo la strada provinciale (*Tav. 3: Carta degli interventi progettuali)*. Le canalette da realizzare lungo le gallerie ed in corrispondenza dell'imbocco principale potranno prevedere anche una griglia carrabile in modo da non ridurre lo spazio di manovra dei mezzi meccanici utilizzati all'interno dell'area di cava.

Le indicazioni fornite nel presente studio, pertanto, permettono di individuare le principali problematiche geologico-strutturali a cui sono soggette le cavità nell'area estrattiva della cava del "Cugnasso". Tuttavia, il progetto di cava deve prevedere un ricorrente piano di monitoraggio e controllo delle cavità relativamente alla stabilità del tetto e dei pilastri, anche mediante misure e controlli diretti con l'ausilio di strumentazione tecnica adeguata; i controlli dovranno essere aggiornabili annualmente o a seguito di particolari circostanze. In particolare, si potrà prevedere un piano di monitoraggio volto a controllare la stabilità statica mediante un sistema costituito da un certo numero di sensori costituti da estensimetri o celle di carico interne alle gallerie principali (gallerie di transito dei mezzi gommati ed uscita di sicurezza). Il monitoraggio eseguito all'interno delle gallerie avrà lo scopo di misurare costantemente la pressione esercitata dall'ammasso roccioso sul tetto e di determinare eventuali micro-deformazioni indotte da tale pressione sulle chiodature che saranno via via messe in opera. A tale scopo, nei punti significativi individuati all'interno delle gallerie, dovranno essere installati gli strumenti utili alla rilevazione della pressione esercitata dalla roccia (misura di convergenza), dei carichi sulle chiodature (misura delle pressioni attraverso le celle pressiometriche) e delle possibili deformazioni dell'agro (misura estensiometrica). Un eventuale punto di monitoraggio ubicato al di fuori della galleria avrà, invece, lo scopo di misurare i possibili cedimenti dell'ammasso roccioso al di sopra del piazzale esterno in cui è previsto ubicare il modulo spogliatoi/ricovero.

I dati ottenuti dal monitoraggio potranno essere scaricati manualmente con cadenza bi-giornaliera ovvero, attraverso un sistema modem, potranno essere quotidianamente inviati presso gli uffici dei tecnici incaricati della Direzione dei Lavori della cava, allo scopo di analizzare la qualità dei parametri rilevati. La conoscenza dei dati sulla stabilità della galleria e del piazzale esterno permetterà la sfruttabilità del sito in sicurezza. L'elaborazione delle informazioni a disposizione, da parte dei tecnici incaricati, sarà inoltre finalizzata al perfezionamento del sistema di monitoraggio stesso ed alla sicurezza delle lavorazioni in sotterraneo.

Ferrada di Moconesi, Gennaio 2013

Dott. Geol. Eugenio Poggi e Dott. Geol. Roberto De Ferrari

ELENCO ALLEGATI:

ALLEGATO 1: Cartografia geologica ufficiale (CARG Foglio n° 214 - Bargagli)

ALLEGATO 2: Inquadramento Programmatico – Piano di Bacino e PUC.

ALLEGATO 3: Analisi statistica delle discontinuità strutturali rilevate nell'area di cava - Density plot.

ALLEGATO 4: Sezioni geologiche interpretative su sezioni di progetto A - B e C - D.

ALLEGATO 5: Analisi dei possibili cinematismi di distacco per intersezione delle discontinuità sui fronti di cava.

ALLEGATO 6: Caratterizzazione dei giunti secondo il metodo di Barton&Choubey.

ALLEGATO 7: Elaborazione parametri di resistenza dell'ammasso roccioso per le diverse zone utilizzando il software RocLab (*versione 1.031/2007*).

ALLEGATO 8: Parametri sismici calcolati con il software GeostruPS.

ALLEGATO 9: Verifiche di stabilità dei cunei di distacco per le diverse zone, utilizzando il software Swedge *(RocScience ver. 4.078*).

ALLEGATO 10: Documentazione fotografica

TAVOLE FUORI TESTO:

TAVOLA 1: Carta degli elementi geologici e zonizzazione dell'area di cava.

TAVOLA 2: Carta delle classi di qualità litotecnica dell'ammasso roccioso e di analisi dei fronti nello stato attuale.

TAVOLA 3: Carta degli interventi progettuali