INDICE DEI CAPITOLI

1. INTRODUZIONE

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

3. MODELLO GEOLOGICO

3.1 GEOLOGIA
3.2 GEOMORFOLOGIA
3.3 IDROGEOLOGIA

4. MODELLO GEOTECNICO E GEOMECCANICO

5. SISMICITA' DELL'AREA

6. PROGETTAZIONE DEI PILASTRI

7. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

TAVOLE GRAFICHE ALLEGATE

Tav. 1: COROGRAFIA DELL'AREA SCALA 1:5.000

Tav. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICO-STRUTTURALE SCALA 1: 2.500

Tav. 3: STRALCIO DI CARTA GEOMORFOLOGICA SCALA 1: 2.500

Tav. 4: STRALCIO DI CARTA IDROGEOLOGICA SCALA 1: 2.500

Tav. 5: PLANIMETRIA TECNICA SCALA 1:1.000

Tav. 6: SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE C-D e E-F

Tav. 7: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1. INTRODUZIONE

L'indagine geologica, commissionata dalla Ditta *"Arata Moreno",* tramite il Progettista *geom. Beniamino Colaiuda*, è stata intrapresa a corredo della riattivazione di un complesso estrattivo denominato *"Isolona"*, sito in loc. *Isolona*, nel *Comune di Orero* (Ge).

La presente relazione esamina gli aspetti geologici (s.l.) connessi con la riattivazione del complesso estrattivo; le indagini sono state svolte mediante rilevamento diretto (metodo osservazionale) effettuato nel corso di ispezioni in situ, integrato dalla rielaborazione di dati e notizie ricavate da opportune ricerche bibliografiche.

E' stato dunque eseguito un rilievo geomeccanico e geostrutturale per individuare le principali problematiche e stabilire le possibili modalità d'intervento necessarie alla messa in sicurezza e per ridurre le eventuali situazioni di rischio.

Obiettivo dello studio intrapreso è la realizzazione di un *modello geologico (s.l.) di riferimento* del sito in oggetto, orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, geotecnico/geomeccanici e di pericolosità geologica del territorio

Il presente lavoro ha dunque la finalità di fornire un parere di fattibilità geologica della riattivazione del complesso nonché elementi geologico-applicativi per la sua ottimizzazione tipologica e la completa adattabilità alle caratteristiche geologiche e geomeccaniche del sito nonché di fornire indicazioni per l'ottimizzazione dei lavori e per garantire la completa sicurezza del cantiere.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'area dove è presente il complesso estrattivo *"Isolona"* è individuabile nella Carta Tecnica Regionale scala 1:5.000, elemento n°214163 – Orero (cfr. Tav. 1), il cui stralcio è riportato ed utilizzato per la redazione della carta geologico-strutturale (cfr. Tav. 2).

Questa porzione di territorio ricade pertanto entro la perimetrazione del *Piano di Bacino 183/'89*, relativo al *Torrente Lavagna;* la consultazione delle cartografie allegate al Piano ha fatto emergere i seguenti aspetti salienti:

- *il sito ricade in area classificata a bassa (cfr. Carta della Suscettività al Dissesto) nonché in classe di rischio molto basso R_0 (cfr. Carta del Rischio);*

- *entro l'areale di interesse non è segnalata la presenza di dinamiche in atto e/o quiescenti (cfr. Carta di Dettaglio dei Movimenti Franosi);*

- *l'intervento non interferisce con la fascia di rispetto relativa a rivi identificati nella Carta del Reticolo Idrografico;*

- *la Carta dei Regimi Normativi classifica l'area come VI-MA-B (Versante Insediato in regime di Mantenimento di tipo B), in CVD (cave e connesse discariche).*

Per quanto detto l'intervento risulta compatibile sotto il profilo geologico con quanto dettato dal Piano "183".

In riferimento alle indagini geologiche e alle relative norme di attuazione del *P.U.C.* del *Comune di Orero* (Ge), il sito in oggetto ricade in zona B: area con suscettività d'uso parzialmente condizionata (cfr. *Carta di Zonizzazione e Suscettività d'Uso del Territorio*).

3. MODELLO GEOLOGICO

Il complesso estrattivo *"Isolona"* ricade in una porzione di territorio localizzata nella zona medio-basale del *M.te Panigaro*, sul versante Orientale prospiciente la *Valle di Isolona*, ad una quota di circa 275-300m s.l.m.

Il sito si raggiunge risalendo la strada comunale per *Orero* e proseguendo per la strada sterrata che si snoda da un curva e costeggia il versante, la quale consente l'accesso alle loc. *"Pian delle Fontane"* e *"Campasso"* e successivamente termina in corrispondenza del complesso estrattivo denominato *"Isolona"*, una zona completamente boschiva caratterizzata prevalentemente da alberi di castagno e pini.

3.1 GEOLOGIA

Con riferimento alla *Carta Geologica d'Italia*, il bacino del *Torrente Lavagna* risulta caratterizzato dalle seguenti litologie, appartenenti alla successione sedimentaria costituente l'*Unità di M.te Gottero*:

- *Gruppo della Val Lavagna* (*Formazione degli Argilloscisti di Val Lavagna, Formazione delle Ardesie di M.te Verzi e Formazione degli Scisti Zonati*), che occupa sostanzialmente il settore medio-inferiore di entrambi i versanti orografici della Valfontanabuona;

- *Formazione delle Arenarie di M.te Gottero,* costituente le cime più elevate dello spartiacque sinistro (*M.te Ramaceto, M.te Caucaso, ecc.);*

- *Formazione delle Argilliti di Giaiette,* reperibile nella parte bassa della vallata.

La porzione di territorio rappresenta nell'allegata Tavola 2 è modellata dalla *Formazione delle Ardesie di M.te Verzi*, i cui lineamenti litologici essenziali possono essere così riassunti:

- *Scisti marnosi, scisti ardesiaci ed ardesie* sensu strictu più o meno massiccie, di colore grigio-plumbeo fino a nero, imputabile alla presenza di grafite (carbonio), e grigio-biancastro sulle superfici esposte, dotate di debole scistosità (*"Slaty Cleavage"*) per cui è possibile sfaldarle ottenendo lastre piane e sottili fino a pochi millimetri (le *"ciappe"*); i cosiddetti "filoni" di ardesia presentano potenza variabile da un minimo di pochi decimetri ad un massimo di 10-12m;

- *Arenarie*, generalmente quarzo-micacee, a cemento siliceo-argilloso, di colore grigio-biancastro, con frequenti vene di calcite e quarzo, lettini e veli di argilliti e spesso "ciottoli molli" di argilla; formano strati variabili da pochi centimetri a qualche metro;

- *Calcareniti compatte*, grigie, con frequenti vene di calcite; si sostituiscono alle arenarie negli affioramenti in versante destro della *Val Lavagna*;

- *Scisti argillosi* finemente arenaceo-micacei, grigio-verdastri o plumbei tipo ardesia, dalla quale si distinguono per la scistosità obliqua rispetto al piano di stratificazione che risulta frequentemente esasperata fino alla fissilità.

La *Formazione delle Ardesie di M.Verzi* è presente nella *Liguria Orientale* da *Uscio-Tribogna-Moconesi* fino alla falesia di *S. Anna (Cavi di Lavagna)* secondo un affioramento continuo ed allineato lungo la direttrice NW-SE.

In *Val Fontanabuona* la formazione suddetta è presente lungo i due versanti vallivi con andamento sub-concordante al corso dell'omonimo torrente ed all'asse della struttura geologica principale ossia una grande piega anticlinale, coricata a NE, con asse NW-SE.

Nella zona del complesso estrattivo in oggetto gli strati si presentano in sequenza diritta; a monte sono invece rovesciati rispetto alla originale sedimentazione, tale situazione deriva da una piega parassita che si traduce in raddoppiamento della sequenza litologica.

Affioramenti rocciosi significativi e dotati di continuità ed estensione, sono stati individuati in tutta l'area di rilevamento; nel corso del sopralluogo si è proceduto ad una serie di ricognizioni lungo la strada sterrata che risale verso il sito, ove il taglio a mezza costa consente l'osservazione dell'ammasso roccioso in buona esposizione.

Nel complesso estrattivo "*Isolona*", la visione diretta dell'ammasso roccioso ha fornito informazioni riguardo le caratteristiche strutturali e geomeccaniche; si evidenzia l'assetto ad immersione NW che delinea componenti a traverpoggio degli strati rispetto all'orientazione media di questa porzione di versante (esposizione Sud-Est), con direzione di 160° ed inclinazione di 35°.

Tale disposizione giaciturale è stata misurata sulla roccia arenacea a tetto (agro), all'interno dei cantieri sotterranei della cava in oggetto; per quanto riguarda la superficie di scistosità ("*scaggia*") del filone ardesiaco, essa presenta inclinazione media di circa 20°.

Riguardo la situazione strutturale a scala di versante, occorre riferire dell'esistenza di un sistema di faglie pseudoparallele, pressoché impostate lungo i corsi d'acqua (cfr. Tav. 2); all'interno del complesso estrattivo viene riconosciuta la presenza di fratture o "lasci" aventi rispettivamente tale disposizione geometrico-strutturale: F1=150°/50°/W e F2=75°/72°/S.

3.2 GEOMORFOLOGIA

L'area di interesse si inserisce sul lato orientale del *M.te Panigaro*, settore orografico destro del *Torrente Isolona*, in una porzione di pendio orientata a Sud-Est che presenta acclività medio-alta.

Il settore orientale del *M.te Panigaro* è dunque prospiciente la valle di *Isolona* ove, sul fondovalle, l'omonimo torrente "disegna" una serie di meandri; dalle sponde del torrente dipartono terrazzi alluvionali marginalmente interferenti con coltri correlabili a fasce pedemontane.

Il versante propone, in generale, una regolare alternanza di modeste dorsali secondarie ove il substrato affiora generalmente con buona continuità, di morfologie ad "impluvio", generalmente coincidenti con incisioni secondarie del versante e di versanti intermedi ove talvolta si riscontrano fasce eluvio-colluviali con ispessimenti delle coperture.

L'areale oggetto di studio propone coperture sciolte eluvio-colluviali medio-sottili, di spessore fino generalmente compreso fra 1 e 2m, disposte a declivio naturale, talvolta interessate da processi di soliflusso superficiale; il substrato è generalmente affiorante e/o subaffiorante.

In relazione alla formazione geologica caratterizzante questa porzione di territorio, si può riferire di attività estrattive sia in attività che pregresse ed abbandonate nell'ambito del versante e sono quindi presenti numerose discariche dei materiali di risulta.

Complessivamente l'assetto geomorfologico è parso favorevole ed in buone condizioni di stabilità, in quanto il versante risulta al momento privo di segni tangibili di dissesto attivo o quiescente, in accordo con il *Piano di Bacino "183"*.

3.3 IDROGEOLOGIA

L'idrogeologia generale è condizionata dal contrasto tra le coltri porose, nelle quali si instaura un deflusso ipodermico, ed il substrato a prevalente componente argillitica che, seppur fratturato e dunque semipermeabile, determina un orizzonte di minor pervietà sul quale si attivano infiltrazioni proporzionate alla scala degli eventi meteorologici.

Per tale ragione al passaggio tra i due orizzonti possono manifestarsi fasce di intensa impregnazione (o localmente vere e proprie falde) intensificate in occasione di piogge persistenti.

La filtrazione e il flusso di acqua attraverso la matrice rocciosa si determina nei pori e lungo le fratture e dipende dall'interconnessione tra questi e da altri fattori come il grado di alterazione e l'anisotropia a cui è sottoposto il materiale; bibliograficamente per l'ardesia viene proposto un coefficiente di permeabilità k pari a 10^{-7}-10^{-8} m/s mentre per l'arenaria k viene assunto pari a 10^{-5}-10^{-10} m/s.

La presenza di famiglie di giunti, di discontinuità singolari come le faglie, di zone alterate, costituiscono le vie preferenziali di circolazione idrica nel sottosuolo e delimitano zone a maggiore conducibilità idraulica.

Il moto dell'acqua all'interno della matrice rocciosa è appunto fortemente influenzato dalle caratteristiche fisiche e geometriche delle discontinuità; in particolare, il moto dell'acqua all'interno di una singola discontinuità è governato, dal punto di vista idraulico, dall'apertura e dalla rugosità, mentre la permeabilità dipende anche dalla frequenza e dalla persistenza delle fratture.

In riferimento a quanto esposto nell'allegata Tavola 3 si possono suddividere e definire almeno tre differenti gradi di permeabilità dei terreni: i detriti ardesiaci di origine antropica (discariche) hanno un'elevata permeabilità per porosità; le coperture detritico-colluviali sono mediamente permeabili anch'esse per porosità; la porzione di territorio a roccia affiorante e/o subaffiorante ha bassa permeabilità per fessurazione e/o fratturazione.

Considerata l'ubicazione del sito, nonché la morfologia al suo contorno, è lecito ipotizzare che il crinale sommitale direzioni naturalmente le acque meteoriche verso le morfologie ad impluvio, attivando meccanismi di drenaggio superficiale e subsuperficiale, la cui significatività è direttamente proporzionata alla scala degli eventi meteorologici.

4. MODELLO GEOTECNICO E GEOMECCANICO

Per quanto riguarda la *Ricostruzione Stratigrafica* del comparto interessato alla realizzazione del nuovo piazzale di manovra, sulla base delle osservazioni, dei rilievi geologici di superficie compiuti in situ, analizzando sezioni e spaccati del terreno significativi, possono essere distinti i seguenti orizzonti di interesse:

Orizzonte A - orizzonte superficiale "vegetale" o terreno agricolo, costituito da argilla-limosa ed alto contenuto di sostanza organica e vegetale con radici abbondanti; presenta struttura granulare fine ed è molto friabile con molti micropori; la sua colorazione è bruna-grigio scura; lo spessore di questo sottile orizzonte non supera i 30-40cm da p.c.;

Orizzonte B – orizzonte eluvio-colluviale, orizzonte a basso grado di addensamento, costituito da scheletro eterometrico da medio a grossolano in matrice prevalentemente argillosa, talvolta con significative frazioni argillose derivanti dall'alterazione e/o disfacimento dei componenti argilloscistosi;

Orizzonte C – zona di alterazione superficiale del substrato roccioso ("cappellaccio"), orizzonte litologico individuabile al tetto del substrato, configurabile come un *"cappellaccio"* di alterazione del substrato roccioso. L'assenza di continuità laterale del cappellaccio roccioso più provocare pericoli nel corso degli scavi per scoscendimento di "sacche detritiche" geotecnicamente scadenti, ma lo stesso fenomeno può anche coinvolgere grossi blocchi disarticolati e quindi non più ancorati alla roccia sana; lo spessore presunto di tale orizzonte è variabile da 0.5 a 1m;

Orizzonte D – basamento roccioso "sano", con questo termine si intende l'ammasso roccioso sottostante il cappellaccio nel quale il reticolo delle discontinuità tende a chiudersi verso il basso fino a giungere a condizioni di sostanziale integrità.

Sotto il profilo geotecnico, per gli orizzonti sciolti, sulla scorta di numerose prove penetrometriche medio-leggere effettuate su terreni similari e limitrofi, è possibile proporre la seguente parametrizzazione *media*:

Orizzonte A – i primi 30-40cm da p.c.

- *peso dell'unità di volume "secco":* γ *= 1.35 t/mc*
- *peso dell'unità di volume "saturo":* γ *= 1.85 t/mc*
- *coesione: c = 0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito:* φ'_{Medio} *= 26°*

Orizzonte B

- *peso dell'unità di volume "secco":* γ *= 1.40 t/mc*
- *peso dell'unità di volume "saturo":* γ *= 1.80 t/mc*
- *coesione: c = 0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito:* φ'_{Medio} *= 28°*

Tali orizzonti sono pertanto da considerarsi *geotecnicamente scadenti:* non coesivi, a basso angolo di attrito, a capacità di autosostegno molto bassa o nulla nel corso degli scavi, quindi molto spingenti.

ooOoo

Per la caratterizzazione del materiale roccia (*Orizzonte D*) e degli ammassi rocciosi affioranti nell'area di studio (*Orizzonte C)* sono stati realizzati rilievi geomeccanici secondo gli standard *ISRM* (1981). L'esecuzione di un rilievo geomeccanico di dettaglio comporta la stima di una serie di parametri la cui valutazione/misurazione consente:

- ✓ l'attribuzione di un indice di qualita dell'ammasso roccioso;
- ✓ la valutazione speditiva delle proprieta fisiche e meccaniche del materiale roccia;
- ✓ la verifica della possibilita cinematica di movimento in riferimento a fenomeni di instabilità coinvolgenti le singole porzioni di ammasso roccioso isolate dalle famiglie di discontinuita identificate.

I parametri descritti/misurati alla scala dell'affioramento riguardano:

- caratteristiche del materiale roccia (litologia, grado di alterazione, resistenza delle pareti delle discontinuita);
- caratteristiche delle discontinuita (tipo, orientazione, rugosità, apertura);
- caratteristiche del riempimento (se presente);
- caratteristiche dell'ammasso roccioso (insieme materiale roccia/discontinuità);
- valutazione numero di famiglie di discontinuità e della loro spaziatura e persistenza;
- dimensioni e forma dei blocchi isolati dalle famiglie di discontinuità;
- circolazione idrica (se presente).

Si ricorda che la presenza di discontinuità riduce le caratteristiche di resistenza del materiale roccia ed e il fattore che più condiziona il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso e le sue caratteristiche di resistenza e di deformabilità; le particolarità delle discontinuità influiscono poi sui possibili cinematismi di movimento dei blocchi.

L'ammasso roccioso è stato dunque classificato con il metodo proposto da *Bieniawski*: questa classificazione si basa sul rilievo di cinque parametri che determinano un valore base dell'indice *RMR (Rock Mass Rating*).

Il rilievo e l'analisi dei principali parametri da inserire nella classificazione sono stati effettuati in corrispondenza del previsto imbocco di cava ove, la messa a "nudo" dell'ammasso roccioso (come si evince dall'allegata Tav. 5), risulta sufficientemente estesa e rappresentativa per ricavare i dati necessari che vengono elencati di seguito:

❖ <u>R1: resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta</u>

La resistenza a compressione uniassiale della roccia è stata valutata basandosi su alcune serie di prove condotte con lo sclerometro per cls. i cui indici di rimbalzo sono stati poi opportunamente correlati a quelli del martello di Schmidt secondo la relazione (Bagalà,1998): $R_N = 22,1 + 0,7\ R_L$

con:

R_N = lettura del rimbalzo allo sclerometro per calcestruzzi

R_L = lettura del rimbalzo al martello di Schmidt

I risultati così ottenuti hanno permesso di ricavare: σ_c = 100-200 MPa

INDICE R1 = 12

- *R2: indice RQD*

E' stato valutato indirettamente attraverso la relazione *Priest-Udson* nella forma:

$RQD = 100 \times e^{-0,1n} \times (0,1\ n + 1) = 96\%$

N = numero di fratture a metro = 3

INDICE R2 = 20

- *R3: Spaziatura dei giunti*

Valutata sulla base dell'osservazione diretta dell'ammasso roccioso e delle sue caratteristiche strutturali: *s = 0.3cm-1m*

INDICE R3 = 20

- R4: Condizione di giunti

Superfici rugose mediamente alterate con persistenza media da 1 a 3m;
pareti di roccia dura.

INDICE R4 = 15

- R5: Condizione idrauliche

Umidità

INDICE R5 = 7

Dalla somma algebrica dei coefficienti numerici dei primi cinque parametri si ottiene:

RMRbase = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 = 74 *(II classe – ammasso roccioso buono)*

Una volta noto il valore *RMR* è possibile effettuare verifiche sulla resistenza geomeccanica dell'ammasso; può essere dunque proposta la seguente parametrizzazione geomeccanica *media*:

Orizzonte (c) – ammasso roccioso alterato

- *peso dell'unità di volume:* γ *= 2.3 t/mc*
- *coesione: c = 2.0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito:* φ *= 42°*

Orizzonte (D) - basamento roccioso "sano" (materiale roccia)

- *peso dell'unità di volume:* γ *= 2.8 t/mc*
- *coesione: c = 3.0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito:* φ *= 45°*

5. SISMICITA' DELL'AREA

Dal punto di vista sismico, ai sensi dell'*Ordinanza* della *Presidenza* del *Consiglio* dei *Ministri* n°3519/2006, ed alla *D.G.R. n°1362 del 19/11/2010*, il territorio comunale di *Orero (Ge) è stato classificato sismico ed inserito in zona* ***3*** *(p.g.a. = 0,150g)* e contrassegnato con il *Numero Identificativo 42 nella mappa sismica*.

La normativa definisce l'accelerazione sismica orizzontale (*ag*) relativamente alle diverse zone simiche: tale valore è attribuito a formazioni litoidi con velocità media di propagazione nei primi 30m di profondità delle onde sismiche di taglio (Vs30) maggiore di 800 m/s.

In particolare in Zona 3 il valore dell'accelerazione sismica orizzontale è pari a *ag = 0.150g*, tale valore rappresenta l'accelerazione massima orizzontale attesa nel caso in cui la struttura in progetto sia fondata su substrato roccioso di buone caratteristiche geomeccaniche o in prossimità dello stesso ed in condizioni geomorfologiche favorevoli.

La normativa *(D.M. 14 gennaio 2008)*, inoltre, tiene conto anche degli *"effetti di sito"* indotti dal profilo stratigrafico e della morfologia dell'area di progetto. In relazione alle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche dei terreni sopra menzionate, è stata quindi valutata la zonazione di massima in prospettiva sismica.

Considerato che nel sedime di progetto del piazzale di manovra a progetto sono previsti ridotti spessori di coltri, a copertura del substrato roccioso, localmente alterato in superficie ("cappellaccio"), si ritiene corretto associare il sito ad un profilo stratigrafico tipico della Categoria di suolo ***A***, che comprende formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3.0m.

La normativa *(D.M. 14 gennaio 2008)*, inoltre, tiene conto anche degli *"effetti di sito"* indotti dal profilo stratigrafico e della morfologia dell'area di progetto. In relazione alle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche dei terreni sopra menzionate, è stata quindi valutata la zonazione di massima in prospettiva sismica.

Per quanto attiene all'amplificazione determinata dalle condizioni morfologiche del sito, essendo previste le strutture nella porzione medio-basale di un versante ad elevata acclività, si ritiene necessario considerare l'effetto d'amplificazione topografica dell'onda sismica, viene pertanto assegnato un coefficiente di amplificazione topografica T2=1.20.

Sulla base delle recenti disposizioni previste dalle *"Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14/01/2008),* le tabelle seguenti riepilogano le considerazioni sismiche e le caratteristiche sismiche del sito, l'analisi dei parametri e dei coefficienti sismici, calcolati con il programma *"GEOSTRU PS"*:

COORDINATE GEOGRAFICHE DELLA LOCALITA' IN ESAME				
Longitudine:			9,27574595352516	
Latitudine:			44,4120656216894	
COORDINATE GEOGRAFICHE DEI 4 PUNTI DEL RETICOLO (SITI DI RIFERIMENTO)				
	ID	LON	LAT	DIST m
Sito 1	16922	9,2215	44,4081	4332,206
Sito 2	16923	9,2914	44,4106	1250,812
Sito 3	16701	9,2879	44,4605	5475,371
Sito 4	16700	9,2180	44,4581	6869,279

VITA DELLA STRUTTURE	
Vita nominale delle opere:	$V_N \geq 50$ anni
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso:	$C_U = 1$
Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali:	$V_R = V_N \times C_U = 50$
CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	
Topografia:	T2
Coefficiente Topografico:	$S_T = 1.20$
Categoria Suolo:	A

	PARAMETRI SISMICI						COEFFICIENTI SISMICI			
	SL	**P_{vr}**	**T_r**	**a_g**	**F_o**	**T_c***	**Kh**	**Kv**	**Amax**	**Beta**
sle	*Operatività (SLO)*	81%	30	0,033g	2.499	0.205	0.008	0.004	0.388	0.200
sle	*Danno (SLD)*	63%	50	0.041g	2.533	0.226	0.010	0.005	0.479	0.200
slu	*Salv.Vita (SLV)*	10%	475	0.099g	2.514	0.285	0.024	0.012	1.160	0.200
slu	*Collasso (SLC)*	5%	975	0.130g	2.470	0.289	0.042	0.021	1.529	0.270

SL = Stato Limite Considerato (sle = stato limite di esercizio; slu = stato limite ultimo); **P_{vr}** = Probabilità di superamento dello Stato Limite Considerato**; T_r** = Tempo di Ritorno (anni); **a_g** = Accelerazione massima al sito; **F_o** = Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; **T_c*=** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (sec); **Kh** = coefficiente sismico orizzontale; **Kh** = coefficiente sismico verticale; **Amax =** accelerazione massima attesa al sito.

6. PROGETTAZIONE DEI PILASTRI

La progettazione dei pilastri di ardesia da lasciare in loco durante le fasi di coltivazione è stata avviata attraverso l'analisi di *Salamon e Munro (1967)* utilizzando una nozione probabilistica di fattore di sicurezza, definito come:

Fattore di sicurezza = forza / resistenza intrinseca del pilastro

La forza di un pilastro (S), con superficie di base quadratica o rettangolare è generalmente definito da una costante di materiale (k), che rappresenta la forza unità del materiale in kPa/m3, la dimensione del pilastro (w) e l'altezza (h) in metri e costante adeguamento coefficienti (α, β), il tutto in funzione della tensione assiale della tensione assiale media del pilastro, al carico litostatico ed alla dimensione del vuoto. La notazione comune della formula forza pilastro è dato dalla seguente equazione:

$S = k\, h^{\alpha}\, w^{\beta}$

dove k = 7.18 kPa,
α = -0.66
β = 0.46.

Salamon (1967) afferma che i valori di resistenza e di carico devono essere considerati come predizioni che sono soggette ad errori. Lo stesso autore ha dunque ritenuto ragionevole supporre che la maggior parte degli ingegneri minerari arrivato ad un compromesso accettabile tra sicurezza e miniera economica, con la sicurezza ottimale fattore che giace nel range in cui il 50 per cento dei casi stabili sono più densamente concentrate; questo accade fra fattori di sicurezza da 1.3 a 1.9.

Sulla scorta dei dati rilevati e sulla base della precisione del modello geomeccanico ottenuto, nonché sull'esperienza maturata nell'ambito della coltivazione di ardesia in sotterraneo, il sottoscritto ha scelto nel considerare come coefficiente di sicurezza, il valore di 1.3.

Calcoli relativi alla situazione attuale

Considerando un'altezza media di copertura di venticinque metri, larghezza pilastro pari a 5m, altezza pilastro pari a 4m, inclinazione strato di tetto 35°, interasse tra i pilastri di 8m, peso di volume della roccia 0.027MN/mq, vengono calcolate le seguenti formule.

- *Calcolo della sollecitazione o pressione litostatica θz*

$\theta z = \rho \times h \cos i \longrightarrow \theta z = 0.55\ MN/mq$

Dove: ρ = peso di volume della roccia;
h = profondità sotto la superficie in metri;
i = inclinazione strato di tetto.

- *Calcolo della sollecitazione media pilastro*

Valore funzione della larghezza del pilastro: $(1-r) = w_p/(w_0+w_p) \longrightarrow (1-r) = 0.40$

Tensione assiale media nel pilastro $(\delta_P) = \theta z\, [1/(1-r)] \longrightarrow 1.36\ MN/mq$

Dove:
w_p *= dimensione del pilastro = 6m*
w_0 *= interasse tra i pilastri = 9m*

- *Calcolo forza media Pilastro.*

$S = k\, h^{\alpha}\, w^{\beta} \longrightarrow S = 6.55\ MN/mq$

dove k = 7.18 kPa,
α = -0.66
β = 0.46
w = larghezza del pilastro
h = altezza del pilastro

- *Calcolo del fattore di sicurezza.*

Fattore di sicurezza (Fs) = Forza media Pilastro (S) / Sollecitazione media Pilastro (δ_P)

Pertanto: Fs = 4.81 (>1.3)

Calcoli relativi alla situazione di futura lavorazione

In questa fase di progettazione si considera un'altezza media di copertura di settanta metri, larghezza pilastro pari a 8m, altezza pilastro pari a 4m, inclinazione strato di tetto 35°, interasse tra i pilastri di 9m, peso di volume della roccia 0.027MN/mq; vengono dunque calcolate le seguenti formule.

- *Calcolo della sollecitazione o pressione litostatica θz*

$\theta z = \rho \times h \cos i \longrightarrow \theta z = 1.54\ MN/mq$

Dove: ρ = peso di volume della roccia;
h = profondità sotto la superficie in metri;
i = inclinazione strato di tetto.

- *Calcolo della sollecitazione media pilastro*

Valore funzione della larghezza del pilastro: $(1-r) = w_p/(w_0+w_p) \longrightarrow (1-r) = 0.47$

Tensione assiale media nel pilastro $(\delta_P) = \theta z\, [1/(1-r)] \longrightarrow (\delta_P) = 3.27\ MN/mq$

Dove:

w_p = dimensione del pilastro = 8m
w_0 = interasse tra i pilastri = 9m

- *Calcolo forza media Pilastro*

$S = k\, h^{\alpha}\, w^{\beta} \longrightarrow S = 7.48$ *MN/mq*

dove k = 7.18 kPa
α = -0.66
β = 0.46
w = larghezza del pilastro
h = altezza del pilastro

- *Calcolo del fattore di sicurezza.*

Fattore di sicurezza (Fs) = Forza media Pilastro (S) / Sollecitazione media Pilastro (δ_P)

Pertanto: Fs = 2.28 (>1.3)

7. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Il complesso dei dati ottenuti attraverso le indagini permette di esprimere un positivo parere di fattibilità geologica circa la riattivazione del complesso estrattivo denominato "Isolona", in quanto la stessa è compatibile alle condizioni geologiche (s.l.) riscontrate in sito.

Per quanto riguarda la coltivazione del filone ardesiaco, si adotterà la metodologia tradizionale a camere e pilastri naturali con avanzamento in sotterraneo procedendo dall'agro (tetto) alla soglia (letto), mediante segagione con macchina a catena.

Questo metodo di coltivazione viene denominato "a camere e pilastri", e si intende il processo di estrazione che consiste nell'asportare il materiale lapideo dal sottosuolo secondo uno schema che lascia in posto un sistema di vuoti (camere) separati tra loro od alternati a porzioni di roccia lasciata in posto (pilastri). Camere e pilastri verranno progettati in modo da garantire per tempi indefiniti la stabilità dell'ammasso circostante delle cave sotterranee.

Durante le fasi di avanzamento in sotterraneo, considerato lo stato di fratturazione del tetto arenaceo si raccomanda vengano realizzate opportune chiodature e disgaggi di eventuali porzioni disarticolate; in caso di intensi sgocciolamenti idrici provenienti dall'agro, si consiglia di posizionare pannelli plastici lungo le fratture da cui provengono, al fine di convogliare le eventuali acque in aree della cava non interferenti con i lavori.

Sul tetto o "agro" arenaceo delle camere in sotterraneo sono stati talvolta riscontrati meccanismi di scivolamento fra le varie superfici di stratificazione e fra l'intersezione delle discontinuità: considerata la presenza di tali debolezze geomeccaniche riscontrate sul tetto di cava sarà dunque opportuno procedere a chiodature del tetto arenaceo mediante barre *Dywidag* (spinte all'interno della roccia almeno per 3m) cementate con resina, aventi la funzione di ancoraggio delle porzioni più superficiali degli strati a tetto; relativamente alla densità delle chiodature, si consiglia una maglia di 1.50/2m x 1.50/2m.

Per le operazioni di coltivazione, si raccomandano le cautele previste dalla Legge per assicurare la più completa sicurezza durante ogni fase di lavoro.

Il versante sovrastante all'imbocco (anche quello relativo all'uscita di sicurezza) di cava dovrà essere ripulito dalla vegetazione e sottoposto a disgaggio di eventuali blocchi disarticolati entro il capellaccio esteriore; se necessario dovranno essere poste in opera reti di contenimento, tettoie e chiodature al fine di garantire adeguate condizioni di sicurezza. Sul ciglio di monte si prescrive di posizionare reti metalliche o plastiche visibili e ad altezza uomo, mentre all'inizio dell'imbocco dovrà essere posizionata una cancellata metallica.

Il nuovo piazzale di manovra a progetto presupporrà sbancamenti in roccia con interferenza con coltri di copertura sottili ed una riprofilatura del versante a monte: tali operazioni di sbancamento e di riprofilatura dovranno compiersi sempre con la massima prudenza onde non pregiudicare la sicurezza degli operatori e non destabilizzare porzioni di pendio a monte; gli scavi dovranno avanzare procedendo a campioni ristretti ed avendo cura di riprofilare i fronti di scavo secondo adeguate inclinazioni.

Il versante sovrastante al nuovo piazzale di manovra dovrà essere ripulito dalla vegetazione e sottoposto a disgaggio di eventuali blocchi disarticolati entro il capellaccio esteriore o resi tali dalle operazioni di sbancamento. In corso d'opera si dovrà valutare la necessita della messa in opera di reti di contenimento, e chiodature al fine di garantire adeguate condizioni di sicurezza; sul ciglio di monte si prescrive di posizionare reti metalliche o plastiche visibili e ad altezza uomo.

Gli interventi sopra esposti saranno più efficaci se abbinati ad azioni volte alla mitigazione delle “cause acceleranti” i dissesti, quali la presenza di ruscellamenti “selvaggi” lungo il fronte roccioso del previsto piazzale di manovra e dell’attuale imbocco principale e di sicurezza Primaria importanza sarà infatti rivestita anche dalla regimazione delle acque, evitando dannosi effetti erosivi e pressioni sui giunti.

Le misure di drenaggio hanno la finalità di eliminare o ridurre l’acqua nel sottosuolo e, quindi, le pressioni neutre che agiscono come fattore destabilizzante lungo le superfici di rottura e le fratture di trazione; l’acqua riduce inoltre le proprietà di resistenza della matrice rocciosa. I drenaggi sono in generale gli interventi più efficaci in quanto agiscono sul principale fattore destabilizzante.

Nel nostro caso, sia nel fronte roccioso del piazzale di manovra a progetto che degli imbocchi esistenti, sono necessari drenaggi superficiali onde evitare che le acque di ruscellamento si infiltrino nella parete o penetrino lungo le discontinuità evitando inoltre gli effetti erosivi nell’ammasso roccioso. Le opere (ad es. cunette o canalette prefabbricate in cls) devono essere progettate per evitare il convogliamento e l’accumulo di acqua nel fronte roccioso, soprattutto nella zona di testata; le acque raccolte dovranno essere disciplinate e convogliate nel vicino impluvio.

Il tracciato stradale di accesso al complesso estrattivo dovrà prevedere una cunetta di raccolta sul ciglio di monte della carreggiata, capace di raccogliere le acque e direzionarle verso idonei ricettori; lungo il percorso, onde agevolare la funzione della cunetta, la sede della pista potrà essere sagomata con lieve pendenza verso monte sistemando “traverse” che direzionino i deflussi nel sistema di raccolta; la base del previsto piazzale di manovra dovrà essere sagomata con pendenza verso valle e le acque superficiali dovranno defluire verso la prevista cunetta stradale.

Nel corso dei lavori sarà opportuna l’assistenza del geologo a supporto delle azioni di competenza del progettista e del direttore dei lavori.

Per eventuali chiarimenti circa le modalità operative e per i necessari controlli e monitoraggi in corso d’opera si conferma fin d’ora la più completa disponibilità.

Cicagna, 24 febbraio 2014 ***dott. geol. Andrea Ghilino***