ENERGIA MINERALS ITALIA S.R.L.



## ISTANZA DI RINNOVO DELLA CONCESSIONE MINERARIA DENOMINATA "MONICA"

## **COMUNI DI OLTRE IL COLLE, ONETA E GORNO - PROVINCIA DI BERGAMO** MINIERE DEL COMPLESSO MINERARIO RISO/PARINA -



**RT07\_\_\_RELAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA** 

## **RAGGRUPPAMENTO DI PROGETTAZIONE RTP**

20/12/2019







## Sommario

1. I	NTRODUZIONE
1.1	Considerazioni d'inquadramento
1.2	Articolazione del report
1.3	Affidabilità dei dati raccolti
1.4	Documentazione disponibile
1.5	Lista delle abbreviazioni
2 CO	NTESTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE 11
2.1	Contesto geologico generale11
2.2	Contesto geologico di progetto
2.3	Contesto idrogeologico di progetto
3 INI	DAGINI GEONOSTICHE REALIZZATE 17
3.1	Introduzione17
3.2	Sondaggi esplorativi realizzati a carotaggio contino
3.3	Rilievo geologico, strutturale e geomeccanico di parte dei tunnel esistenti
3.4	Prove di laboratorio
3.5	In situ stress
3.6	Rischio sismico
4 CA	RATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEI SUOLI DI PROGETTO 24
4.1	Introduzione
4.2 Pasì)	Caratterizzazione geotecnica preliminare per la progettazione del cantiere operativo (Località Cà 24
4.3	Caratterizzazione geotecnica preliminare per la progettazione dell'impianto di trattamento del
minerale	27 (Loc. Riso)
5 CA	RATTERIZZAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI
5.1	Introduzione
5.2	Classificazione dell'ammasso roccioso
5.3	Strutture geologiche principali (Faglie e sovrascorrimenti)
5.4	Strutture geologiche secondarie (Principali sistemi di discontinuità)
5.5	Definizione dei Gruppi Geomeccanici (o Domini geotecnici)

	5.6	Proprietà dei materiali – Roccia intatta	44
6	COl	NSIDERAZIONI GEOTECNICHE RELATIVE AL PIANO DI COLTIVAZIONE	47
	6.1	Metodi di scavo per l'estrazione del minerale	47
	6.2	Stabilità gli scavi in sotterraneo del piano di coltivazione	47
	6.3	Modellizzazione numerica	51
	6.3	.1 Stabilità dei pilastri	53
	6.3	.2 Stabilità delle infrastrutture	56
	6.3	.3 Subsidenza superficiale	58
7	SIS	TEMI DI SUPPORTO E SOSTEGNO	59
	7.1	Introduzione	59
	7.2	Valutazioni empiriche	59
	7.3	Analisi cinematica dei cunei	61
	7.3	.1 Analisi dei cinematismi per le gallerie	61
	7.3	.2 Analisi dei cinematismi per la camera di frantumazione/smistamento	64
	7.3	.3 Analisi dei cinematismi per le aree di intersezioni	65
	7.4	Raccomandazioni sui sistemi di supporto da adottare	67
	7.5	Ripristino della galleria Riso-Parina	72
8	COl	NCLUSIONI	73
	8.1	Stabilità degli scavi realizzati con metodo tipo LHOS	73
	8.2	Stabilità degli scavi realizzati con il metodo camere-pilastri	76
	8.3	Stabilità dell'infrastruttura a lungo termine	76
	8.4	Subsidenza della superficie	76
	8.5	Sistemi di supporto	76
9	RAG	CCOMADAZIONI RELATIVE ALLE FUTURE ATTIVITA' DA REALIZZARE E I	ЭA
IMPI	LEME	NTARE PER IL PROGETTO ESECUTIVO	79
	9.1	Raccolta dati	79
	9.2	Aggiornamento del modello geologico e geotecnico a riferimento progettuale e delle verifiche	: di
sta	ibilità	19 M :	0.0
	9.3	Monitoraggio	80
	9.4	Espiosivi	80

9.5	Disgaggio	81
9.6	Gestione dei rischi geotecnici	81
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	82

## Indice delle figure

Figura 1.1: Modello 3d del piano di coltivazione $6$
Figura 1.2: Sezione topografia della Galleria esistente Riso-Parina7
Figura 2.1: Geologia dell'area di interesse 11
Figura 2.2: Geologia dell'area di interesse. Evoluzione strutturale del settore alpino bergamasco (Zanchi
et al, 2010)
Figura 2.3: Colonna stratigrafica delle formazioni geologiche di riferimento progettuale
Figura 2.4: Carta geologica di dettaglio realizzata sulla base dei risultati dei sondaggi geognostici realizzati
e sui rilevi delle gallerie esistenti
Figura 3.1: Ubicazione dei sondaggi a carotaggio continuo realizzate e rappresentazione dei valori di
RQD%
Figura 3.2: Distribuzione statistica valori UCS
Figura 3.3: Distribuzione statistica valori UTS
Figura 3.4: Risultati prove a compressione triassiale (Formazione di Breno)
Figura 3.5: Risultati prove a compressione triassiale (Formazione di Gorno)
Figura 3.6: Risultati prove a compressione triassiale (Arenaria di Valsabbia)
Figura 4.1: Planimetria generale dell'area di cantiere da realizzare in località Cà Pasì
Figura 4.2: Stralcio carta geologica di PGT (Dott. Geol. Marco Magri, 2011). In giallo l'area di progetto.25
Figura 4.3: Modello tridimensionale dell'impianto di trattamento
Figura 4.4: Stralcio della "Carta geologica della Provincia di Bergamo (scala 1:50000, anno 2000)". In giallo
l'area oggetto dell'intervento in progetto
Figura 4.5:: Stralcio carta litologica di PGT (Arathsa, 1999). In giallo l'area di progetto
Figura 5.1: Distribuzione delle tipologie di roccia presenti a tetto "hangingwall" del corpo minerario 35
Figura 5.2: Distribuzione delle tipologie di roccia presenti a letto "footwall" " del corpo minerario 36
Figura 5.3: Distribuzione delle tipologie di roccia presenti all'interno del corpo mineralizzato
Figura 5.4: D le condizioni tipiche "medie" dell'ammasso roccioso che appartiene alla formazione di
Gorno), posto a tetto del corpo mineralizzato
Figura 5.5: Modello 3D raffigurante le principali faglie intorno alla "Colonna Zorzone". Piani di faglia
illustrati con il colore marrone

Figura 5.6: Rappresentazione grafica, su stereogramma, dell'analisi strutturale realizzata sui sistemi di
discontinuità che pervadono la Formazione di Gorno
Figura 5.7: Esempio della Formazione di Breno (B-SCBL)
Figura 5.8: Esempio di calcare (SCBL) con piccole inclusioni di mineralizzazione ossidata
Figura 5.9: Esempio di marna (SCBM)
Figura 5.10: Esempio di "balck shales" (SHB)
Figura 5.11: Esempio di siltite (ST)
Figura 5.12: Esempio di arenaria (SA)
Figura 5.13: Esempio di zona di faglia (FLT)
Figura 5.14: Valori del GSI per ognuno dei dimini geotecnici individuti.
Figura 6.1: teoria del raggio idraulico (HR=hydraulic radius) e esempi con differenti geomertie di scavo
(after Hutchinson and Diederichs, 1996)
Figura 6.2: Rappresentazione della variabilità di condizioni del sottosuolo di progetto e dei parametri di
stabilità degli scavi utilizzando il parametro (HR)
Figura 6.3: Setup del modello numerico raffigurante i domini geotecnici e la geometria di progetto (vista
verso Nord)
Figura 6.4: Setup del modello numerico illustrante le tappe di estrazione (vista planare)
Figura 6.5: Sezione laterale con vista verso Est illustrante la geometria dell'area in cui si svolge la maggior
estrazione
Figura 6.6: Sezione laterale con vista verso Est illustrante la deformazione plastica a 0.1% dell'area a
maggior escavazione (rappresentati nel colore azzuro)
Figura 6.7: Sezione laterale con vista verso Est illustrante lo spostamento a 200mm dell'area a maggior
escavazione
Figura 6.8: Sezione laterale con vista verso Est illustrante la deformazione plastica allo 0.1% nell'area a
camere e pilastri
Figura 6.9: Sezione laterale con vista verso Est illustrante lo spostamento a 200mm nell'area a camere e
pilastri
Figura 6.10: Spostamento a 200mm riportato sulla geometria (vista planare)
Figura 6.11: Isosuperfici con 1% di deformazione volumetrica (vista planare)
Figura 7.1: Diagramma empirico per la definzione dei sistemi di supporto degli scavi in sotterraneo ((after
Potvin and Hadjigeorgiou, 2016)
Figura 7.2: Disceneria – Analisi orentazione asse galleria Vs pressione che i sistemi di ancoraggio devono
imprimere per otterere un Fattore di Sicurezza pari ad 1
Figura 7.3: Esempio di come è stata sviluppata l'analisi di stabilità dei cunei (orentazione del tunnel
minerario N071°)

Figura 7.4: Formazione di Gorno - Esempio di strutture molto persistenti che possono	o formare dei cunei
potenzialmente instabili	
Figura 7.5: Analisi dei cinematismi per le aree di intersezione tra tunnel	66
Figura 8.1: Rappresentazione della variabilità di condizioni del sottosuolo di progetto	o e dei parametri di
stabilità degli scavi utilizzando il parametro (HR)	

## 1. INTRODUZIONE

#### 1.1 Considerazioni d'inquadramento

La presente relazione geotecnica-geomeccanica, il cui contenuto recepisce totalmente quanto redatto nel documento Report Gorno Geotechnical Feasibility Study Energia Minerals, redatto dalla AMC consultants mine smarter (Australia) nel novembre 2018, redatta su richiesta della committenza Energia Minerals (Italia) S.r.l., è stata tradotta, rivista, aggiornata ed integrata della presente RTP.

Il "Gorno Zinc Project" è situato in provincia di Bergamo a circa 90 Km in direzione Nord-Est rispetto a Milano e circa 40Km a Nord di Bergamo.



Figura 1.1: Modello 3d del piano di coltivazione.

La topografia del territorio è caratterizzata da rilievi alpini e sub-alpini con quote che superano i 2500 m.s.l.m., collocando l'area nella fascia altimetrica montana più elevata della Provincia di Bergamo.

L'area oggetto di coltivazione è ubicata in una area montuosa, compresa tra due valli e posta ad una quota compresa tra 1000 e 1600m s.l.m., dove sono presenti gallerie sotterranee già scavate, a scopo di sfruttamento minerario, negli ultimi cento anni.



Figura 1.2: Sezione topografia della Galleria esistente Riso-Parina.

Il presente elaborato illustra i risultati degli studi svolti per la caratterizzazione geotecnica dei suoli e geomeccanica delle rocce che interessano il piano di sviluppo e coltivazione della miniera "Gorno Zinc Project".

Il piando di sviluppo può essere principalmente in due aree ben distinte: l'area estrattiva, situata nel comune di Oltre il Colle (località Ca Pasì), e area di trattamento del minerale situata nel comune di Gorno (località Riso).

Lo studio geotecnico e geomeccanico si è basato in particolare sui seguenti elementi conoscitivi raccolti, da differenti professionisti, in varie fasi (2015-2018) e in area/zone/opere che ricadono all'interno del piano di coltivazione mineraria "Gorno Zinc Project":

- Sondaggi a carotaggio continuo (11200m di roccia carotata), ricostruzione stratigrafica e raccolta
  dati geomeccanici del materiale roccioso estratto dai sondaggi fino ad arrivare alla determinazione
  del valore Q (Barton, Lien and Lunde, 1974), campionamenti di roccia su cui sono state realizzare
  prove di laboratorio per la caratterizzazione delle caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi
  rocciosi (Report Gorno Geotechnical Feasibility Study Energia Minerals (Italia) S.R.L AMC,
  novembre 2018).
- Rilievi geomeccanici realizzati all'interno della Ribasso Forcella e lungo tutto lo sviluppo della galleria Riso Parina, realizzazione di prove di laboratorio (point load tests) su campioni di roccia provenienti dalle gallerie appena citate e la realizzazione di una misura tensionale in situ (Overcoring test) all'interno del livello Forcella rimonta "Scala Santa (Sial.Tec, engineering, 2015, 2016 e 2017).
- Risultati di indagini geognostiche, in possesso degli scriventi, realizzate sull'area di progetto (o in aree adiacenti) soprattutto per la caratterizzazione geotecnica dei suoi superficiali.
- dati contenuti negli studi geologici comunali, dati bibliografici a livello provinciale e regionale.

Non è oggetto di questo documento la caratterizzazione geomeccanica del progetto di sistemazione della Galleria Riso-Parina che è stata realizzata, in parallelo, dalla Sial.Tec engeenering ed è contenuta nel seguente elaborato (e negli elaborati grafici ad essa allegata) "Minera Monica – Livello Riso Parina – Dati geotecnici e studio di stabilità della Gallera, Sial.tec, 2015).

## 1.2 Articolazione del report

Il presente elaborato è stato sviluppato seguente le fasi dettagliate qui di seguito:

- Studio di inquadramento: analisi bibliografica e analisi dello studio geologico.
- Analisi dei risultati delle indagini geotecniche: rilievi geomeccanici e strutturali in sito, descrizione stratigrafica e geomeccanica dei sondaggi esplorativi realizzati all'interno dei tunnel esistenti, prelievo di campioni, analisi di laboratorio e prove geotecniche in sito.
- Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi o geotecnica dei terreni: determinazione delle caratteristiche geostrutturali, delle caratteristiche roccia intatta, delle caratteristiche idrauliche e delle caratteristiche delle discontinuità (definizione dei parametri geotecniche per i suoli) e caratterizzazione geotecnica dei suoli sulla base dei risultati di indagini in possesso degli scriventi.
- Classificazione geomeccanica e geotecnica (RMR, Q-system e GSI).
- Determinazione del modello geotecnico e geomeccanico a riferimento progettuale.
- Determinazione dello stato tensionale in sito.
- Verifiche geotecniche degli elementi di progetto. Analisi di stabilità delle gallerie e analisi dei cinematismi e indicazioni preliminari dei sistemi di supporto da mettere in opera per il sostegno delle gallerie.
- Indicazioni sugli approfondimenti geologici, geotecnici e geomeccanici da realizzare nelle fasi future.

## 1.3 Affidabilità dei dati raccolti

Il livello di affidabilità dei dati geotecnici/geomeccanici per la realizzazione del progetto di coltivazione è dettagliato nella tabella seguente.

Tabella 1.1: livello di affidabilità dei dati raccolti ed utilizzati per il progetto.

Input Variable	Confidence Level	Comments
Geotechnical logging data quality	High	One site visit and QA/QC of logging data against core photographs and site observations.
Geotechnical data spatial distribution	Moderate	Drill spacing is appropriate for a feasibility level of study throughout most of the mining area. Drill information is not available at the southern end of the deposit.
Rock property testing	High	Testing conducted at an approved rock mechanics laboratory, which was inspected by AMC. An acceptable correlation of test results is observed. A limited number of tests were available and were not available for all rock types or properties.
Storage of information	High	Geotechnical information is stored in databases.
Geological information	High	Drill spacing is appropriate for a feasibility level of study.
Structural model	Moderate	This is based on limited drillhole and mapping information. The model can be improved with mapping once mining commences.

## 1.4 Documentazione disponibile

Per la redazione del presente documento si è fatto riferimento al contenuto degli elaborati elencati qui seguito:

- Resource drillhole locations, provided by Energia June 2018.
- Lithological surface wireframes for Gorno, provided by Energia June 2018.
- Topography wireframes, provided by Energia June 2018.
- Stope design wireframes, provided by AMC August 2018.
- Underground development design wireframes, provided by AMC August and September 2018.
- Geological and geotechnical logging, provided by Energia June 2018.
- Core photographs, provided by Energia June 2018.
- Rock property testing reports, provided by University of Milan Bicocca July 2018.
- Previous reports Sial.tec (2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016, 2017a, 2017b, and 2017c), and Jorvik Resources (2017).

#### 1.5 Lista delle abbreviazioni

Sono elencate qui di seguito le abbreviazioni utilizzate all'interno del presente documento:

- 3D = Modello Tridemensionale
- a = Criterio paramenertico di Hoek-Brown (Hoek-Brown criterion parameter)

- Ag = Argento
- ATV = Ripresa televisiva (Test Acoustic televiewer) delle pareti dei fori di sondaggio
- c = Coesione
- Ei = Modulo di Young della roccia intatta
- ELOS = Equivalent linear overbreak/slough
- GSI = Geological Strength Index
- HR = Hydraulic radius
- LHOS Long hole open stoping
- m=Metro
- mb = Criterio parametrico di Hoek-Brown
- mi = Classificazione parametrica di Hoek-Brown
- MPa = MegaPascal (meganewtons per metre squared)
- MSO = Mineable shape optimizer
- v = Coefficente di Poisson (costante elastica)
- Pb = Lead
- PFS = Studio di prefattibilità
- $\Phi$  = Angolo di attrito
- Q = Rock tunnelling quality index
- Q = rock tunnelling quality index modificato
- RQD = Rock quality designation
- s = Criterio parametrico di Hoek-Brown
- SRF = Fattore di riduzione dello (Stress reduction factor)
- $\sigma 1 = Asse di stress maggiore (Major principal stress)$
- $\sigma 3$  = Asse di stress minore (Minor principal stress)
- σci = Stress di compressione monoassiale per la roccia intatta (Uniaxial compressive strength for intact rock)
- σRM Stress della roccia intatta (Rock mass strength)
- t = Tonnellate (Sistema metrico decimale)
- UCS = Valore di compressione monassiale della roccia intatta
- Zn = Zinco
- Dominio Geotecnico = Unità (gruppo) geomeccania

## 2 CONTESTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

## 2.1 Contesto geologico generale

Le Alpi Bergamasche fanno parte delle Alpi Meridionali o Sudalpino che, da un punto di vista paleogeografico, vengono considerate un frammento di un continente (paleo-Africa) originariamente situato a Sud dell'Oceano Ligure-Piemontese. Tale porzione di catena è formata da un basamento cristallino con impronta metamorfica varisica e da una copertura sedimentaria di età compresa tra il Carbonifero superiore ed il Cretacico. La geologia dell'area di interesse è mostrata nella figura seguente (Fig. 2.1).



Figura 2.1: Geologia dell'area di interesse.

L'evoluzione strutturale della catena è caratterizzata da una complessa e prolungata sequenza di eventi deformativi (si vedano le figure seguenti (Fig. 2.2. a, Fig. 2.2.b)). In particolare sono state riconosciute:

- due o più fasi deformative prealpine da cui deriva il metamorfismo del basamento cristallino;
- una tettonica distensiva iniziata nel Permiano e protrattasi fino al Giurassico medio, culminata con l'apertura dell'Oceano Ligure-Piemontese (durante tale periodo il Sudalpino ricoprì il ruolo di margine continentale passivo);
- una tettonica compressiva iniziata nel Cretacico superiore e perdurata, anche successivamente alla collisione continentale, sino al Neogene.

L'attuale configurazione strutturale della catena è il risultato della tettonica compressiva di età alpina, che ha dato luogo ad una fascia di rilievi interessati da pieghe e sovrascorrimenti pellicolari (fold-thrust chain). L'edificio strutturale che ne è derivato risulta particolarmente complesso e può essere schematicamente suddiviso, da nord a sud, in tre settori:

- Basamento cristallino (zona orobica) ed anticlinale orobica s.s. La zona orobica costituisce la
  più settentrionale delle zone nelle quali viene tradizionalmente suddivisa la catena. Essa è
  costituita dalle rocce del basamento metamorfico accavallate sulle loro coperture permotriassiche lungo un fascio di linee in parte vicarianti, talora en énchelon orientate E-W, che in
  letteratura sono conosciute come Linea Orobica. A S di questa è presente una stretta fascia
  costituita da strutture anticlinaliche, con disposizione en énchelon destra, che coinvolgono sia il
  basamento cristallino che la copertura sedimentaria permo-triassica.
- Un settore centrale comprendente la successione triassica che corrisponde in gran parte con la
  porzione di catena sudalpina nota come Prealpi Bergamasche. L'assetto strutturale di questa
  zona è particolarmente complesso nella fascia settentrionale dove, a ridosso delle anticlinali
  orobiche, si sviluppa un sistema di faglie WSW- ENE e E-W, noto in letteratura come ValtortaValcanale. A S di tale sistema si sviluppa un edificio strutturale alloctono formato dalla
  successione triassica ("Para-autoctono ed unità alloctone").
- Un settore frontale che comprende le unità giurassico-cretacee.

Il territorio oggetto di questa relazione ricade nel settore centrale, costituito dalle unità triassiche (eta' 250-210 milioni di anni). Queste formano un edificio alloctono, localmente caratterizzato dalla duplice o triplice ripetizione delle unità strutturali, prevalentemente inclinate verso S ed impostate lungo gli orizzonti evaporitici e le carniole delle Formazioni di San Giovanni Bianco e della Carniola di Bovegno, accavallatesi tra loro lungo superfici di scorrimento. A grande scala, l'edificio che ne deriva può essere schematizzato come un insieme di embrici immergenti verso la pianura. L'immersione verso meridione, legata al basculamento

prodotto a scala regionale dalla deformazione della fascia delle Anticlinali Orobiche, comporta l'emergenza del solo margine settentrionale delle unità alloctone in posizione inferiore. I fronti meridionali di tali unità sono infatti ricoperti dalle unità alloctone sovrastanti. Nel territorio in esame, le unità triassiche affioranti comprendono le formazioni che dall'Anisico inferiore e medio (Calcare di Angolo) giungono sino al Norico inferiore (Dolomia Principale).



Figura 2.2: Geologia dell'area di interesse. Evoluzione strutturale del settore alpino bergamasco (Zanchi et al, 2010).

#### 2.2 Contesto geologico di progetto

Le unità geologiche che affiorano nell'area in esame sono di età comprese fra il Triassico Medio e Triassico Superiore, come indicato nello schema stratigrafico illustrato nella figura seguente (Fig. 2.3).

Alla scala di progetto sono coinvolte soltanto le unità geologiche elencate qui di seguito: Formazione di Breno.

- Formazione delle Arenarie di Val Sabbia.
- Formazione dei Calcari Metalliferi (scisti neri Balck shales).
- Formazione di Gorno.
- Formazione di Breno.



Figura 2.3: Colonna stratigrafica delle formazioni geologiche di riferimento progettuale.



Figura 2.4: Carta geologica di dettaglio realizzata sulla base dei risultati dei sondaggi geognostici e sui rilevi delle gallerie esistenti realizzati tra il 2015 e 2018.

In generale, al letto della Formazione dei Calcari Metalliferi, è presente la Formazione di Breno costituita da calcari.

Il minerale è ospitato all'interno dell'unità di calcare Metallifero, che comprende prevalentemente calcare con scisti neri con presenza secnodaria (Jorvik Resources, 2017). La Calamina (ossidi di zinco mineralizzati) è presente all'interno dei calcari in tutta l'area di progetto.

Al di sopra della formazione delle calcare Metallifero Bergamasco è presente il pannello mineralizzato contenuto nella Formazione del Gorno, composta da calcari e marne che al loro interno posso contenere vuoti (lenti rigonfiate o pizzicate di forma irregolare).

A tetto della formazione descritta precedentemente è presente il pannello mineralizzato contenuto nella formazione delle "Arenarie della Val Sabbia" che, non essendo addicente all'attuale piano di coltivazione, potrebbe essere sfrutto in una seconda fase di sviluppo della miniera. Tale unità è composta da arenarie tufacee alternate a scisti. Il contatto tra la formazione del Gorno e la Formazione delle Arenarie della Val Sabbia sono in genere incrociate.

#### 2.3 Contesto idrogeologico di progetto

AMC (2018) ha condotto uno studio idrogeologico preliminare. I dati disponibili per la redazione dello studio erano molto limitati e, di conseguenza, lo studio è da considerarsi con un grado di affidabilità mediobasso e a livello di fase preliminare.

Sulla base di tali dati è stato possibile trarre le conclusi seguenti seppur preliminari riassunte qui di seguito:

- L'attività mineraria sotterranea, realizzata negli ultimi 100 anni, è stata condotta senza particolari difficoltà nella gestione di eccessive venute d'acqua sotterranea all'interno dei tunnel. Non vi sono evidenza storiografiche di grandi venute d'acqua durante le attività di scavo dei tunnel sotterranei.
- È ragionevole ipotizzare che, per la maggior parte dello sviluppo delle gallerie in progetto, non vi siano zone con importanti venute d'acqua sotterranea.
- Tuttavia nonostante le formazioni geologiche interessate dallo scavo delle galleria del nuovo piano di coltivazione, presentino in generalmente un basso valore di permeabilità, non si possono escludere, nel caso in cui vengano intercettate grotte e strutture carsiche, possibili venute d'acqua con portata elevata.
- Dai rilievi delle gallerie esistenti, che risultano generalmente asciutte, è stato possibile osservare venute d'acqua anche di discreta portata, veicolate dai sistemi di fratture principali, che potranno sicuramente essere intercettate in fase di scavo dei tunnel in progetto.
- Allo scopo di stimare il valore degli afflussi in galleria è stato utilizzato il metodo Goodman (1965).

- I risultati delle poche prove di permeabilità realizzate nei fori di sondaggio (Lugeon o Packer tests) hanno fornito un valore di afflusso in galleria compreso tra 5 m3 e 1.786 m3 al giorno per 10 m di sviluppo, o da 0,5 L / sa 20,0 L / s per 10 m di tunnel.
- Si sospetta che i risultati delle poche prove Lugeon realizzate sovrastimino, però, la reale permeabilità dell'ammasso roccioso (e le venute d'acqua conseguenti). Sarà utile in futuro pianificare la realizzazione di ulteriori prove di permeabilità utilizzando eventualmente periodo di misura più prolungati.

Allo scopo di gestire possibili venute d'acqua, con patate anche molto importanti in galleria, durante la fase realizzativa delle gallerie, si raccomanda:

- Perforazioni esplorative in avanzamento per rilevare eventuali zone con venute d'acqua rilevanti.
- In caso di forti venute d'acqua l'eventuale utilizzo di resine in modo da tamponare le fratture (e diminuire il valore di permeabilità) che veicolano le venute d'acqua.
- Eseguire rilievi strutturali ed idrogeologici al fine di invidiare le formazioni geologiche più critiche dal punto di vista delle venute d'acqua e mettere appunto delle contromisure costruttive durante l'avanzamento nelle formazioni più critiche.
- L'installazione di pompe ad immersione da ubicare nelle aree più depresse dove le venute vengono convogliate.

## 3 INDAGINI GEONOSTICHE REALIZZATE

## 3.1 Introduzione

Tra il 2015 ed il 2017 è stata realizzata una campagna di indagini geognostiche atta, oltre alla ricerca mineraria, alla raccolta di dati geotecnici e geomeccanici allo scopo di definire il modello geotecnico/geomeccanico di progetto sul base del quale redigere il progetto di coltivazione "Gorno Zinc Project".

Durante questa fase sono stati realizzate le seguenti attività principali: esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo, descrizione stratigrafica, strutturale, geomeccanica e mineralogica delle carote di roccia estratte dai sondaggi, rilevamento geologico, strutturale e geomeccanico degli affioramenti di roccia presenti in galleria, esecuzione di prove geotecniche di laboratorio e in sito.



Figura 3.1: Ubicazione dei sondaggi a carotaggio continuo realizzate e rappresentazione dei valori di RQD% misurati sui campioni estratti.

#### 3.2 Sondaggi esplorativi realizzati a carotaggio contino

Come appena accennato, nella fase investigativa, la campagna di indagini geognostiche ha previsto la realizzazione di una serie di sondaggi (la maggior parte dei quali all'interno dei tunnel esistenti).

Dai sondaggi sono stati estratti campioni di roccia per una lunghezza complessiva di 11,200m. Allo scopo di ricostruire il modello geologico e geomeccanico di riferimento progettuale i campioni di roccia sono stati fotografati e descritti sia da un punto di vista geologico-stratigrafico-mineralogico sia dal punto dal vista geomeccanico (giacitura e orientazione delle principali famiglie di discontinuità, descrizione delle stesse, grado di alterazione, RQD%, ect ect) allo scopo di definire la qualità dell'ammasso roccioso attraverso l'utilizzo del sistema Q values (Barton, Lien and Lunde, 1974).

Le geometrie e le giaciture (angolo di immersione ed inclinazione) delle principali famiglie di discontinuità sono state rappresentate, attraverso l'utilizzo del software (version 7, from Rocscience), su stereogrammi.

#### 3.3 Rilievo geologico, strutturale e geomeccanico di parte dei tunnel esistenti

Nel giugno del 2018, i tecnici di AMC, insieme a Roberto Milese (Energia), hanno realizzato un rilievo geologico, strutturale e geomeccanico, all'interno delle gallerie minerarie esistenti, per uno sviluppo totale di 57m, su differenti unità geologiche presenti nell'area: Formazione di Breno, Formazione delle Arenarie di Val Sabbia, Formazione dei Calcari Metalliferi e Formazione di Gorno (Calcari e siltiti).

### 3.4 Prove di laboratorio

Al fine di determinare i parametri geotecnici/geomeccanici base delle diverse litologie presenti nel distretto minerario di Gorno, sono state effettuate una serie di prove di laboratorio su tutte le tipologie di roccia e formazione geologica ad eccezione dell'unità delle "black shales".

Tale litotipo, infatti, possedendo caratteristiche geomeccaniche scarse e molto scarse e spessori degli strati spesso esigui, è risultato difficile da campionare (materiale tenero che si può frantumare se perforato). Per questo motivo non è stato possibile ricuperare campioni di scisti neri intatti su cui realizzare prove di laboratorio. Le prove di laboratorio sono state realizzate presso i laboratori dell'Università degli studi Milano-Bicocca nel 2018.

Nelle tabelle seguenti (Tab. 3.1 e 3.2) sono riassunti i risultati delle prove di laboratorio.

		UCS (Mpa)			E (Gpa)			v		
Litologia	Media	Deviazione Standard	Quantità	Media	Deviazione Standard	Quant ità	Media	Deviazione Standard	Quant ità	
Formazione di Breno										
(calcare)- SCBL	122	36.5	5	40	21.2	10	0.28	0.11	10	
Formazione di Gorno										
(siltite)- ST	158	45.7	2	52	12.0	5	0.21	0.01	5	
Formazione di Gorno										
(marna) SCBM	-	-	-	29	12.8	4	0.14	0.26	4	
Arenaria di Valsabbia										
(ossidata) - SA	102	2.6	2	46	45.3	5	0.25	0.12	5	
Arenaria di Valsabbia										
(ridotta) - SA	51	25.3	2	32	15.2	2	0.30	0.04	2	
Arenaria di Valsabbia										
(marna) - SCBM	0	0	0	32	7.2	2	0.36	0.04	2	

Tabella 3.1: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di laboratorio realizzate sulla roccia intatta - Prove di compressione.

1 Valori di compressione della roccia intatta. Sono stati scartati i campioni rotti lungo le superfici di discontinuità.

Tabella 3.2: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di laboratorio realizzate sulla roccia intatta - Prove di trazione.

	UTS (Mpa)			Densità (t/m3)			
Litologia	Media	Deviazione Standard	Quantità	Media	Deviazione Standard	Quantità	
Formazione di Breno							
(calcare) - SCBL	6	4.5	5	2.66	0.05	15	
Formazione di Gorno (siltite)							
- ST	9	7.0	3	2.76	0.06	10	
Formazione di Gorno (marna)							
- SCBM	10	-	1	2.72	0.05	5	
Arenaria di Valsabbia							
(ossidata) - SA	-	-	-	2.73	0.03	5	
Arenaria di Valsabbia							
(ridotta) - SA	8	4.7	5	2.64	0.26	7	
Arenaria di Valsabbia							
(marna) - SCBM	-	-	-	2.86	0.19	2	

Sono stati effettuati, inoltre, test di compressione triassiale al fine di determinare i parametri elastici degli ammassi rocciosi quali modulo di Young (E) e rapporto di Poisson (v).

Nelle figure seguenti sono illustrate la distribuzione statistica dei valori UCS (sforzo di compressione monoassiale") mentre in quella successiva la distribuzione statistica relativa ai valori UTS ("sforzo di trazione uniassiale").



Figura 3.2: Distribuzione statistica dei valori si UCS (prove di compressione monoassiale).



Figura 3.3: Distribuzione statistica valori UTS (prove di trazione - Prova brasiliana).



Figura 3.4: Risultati prove a compressione triassiale realizzate su campioni appartenenti alla Formazione di Breno.



Figura 3.5: Risultati prove a compressione triassiale realizzate su campioni appartenenti alla Formazione di Gorno.



Figura 3.6: Risultati prove a compressione triassiale realizzate su campioni appartenenti alla Arenaria di Val Sabbia).

#### 3.5 In situ stress

Le misure dello sforzo tensionale in situ (Parametro k) sono state effettuate, da consulenti esterni certificati (Sial.tec.), sulla sola Formazione di Breno mediante l'esecuzione di nº4 prove di sovracarotaggio con la tecnica CSIRO HI CELL i cui risultati sono riportati nella seguente (Tab. 3.3).

Le misurazioni hanno indicato che la direzione dello sforzo principale è sub-verticale e si avvicina a quella del carico sovrastante.

Stress Principale	Forza (Mpa/m)	Inclinazione (°)	Direzione (°)
σ1	0.033	53.200	108.800
σ2	0.017	30.485	326.900
<b>σ</b> <sub>3</sub>	0.011	18.574	225.491

Tabella 3.3: Risultati della prova realizzata per determinare lo sforzo tensionale in situ.

## 3.6 Rischio sismico

A partire dal 2003 sono stati emanati i criteri della nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Il territorio italiano è stato diviso in 4 zone a pericolosità sismica decrescente.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [aơ/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-015	0,15
4	<0,05	0,05

Zone sismiche e relativi valori di accelerazione (O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006).

I comuni di Oltre il Colle e Gorno, su cui insiste il progetto (Bg) ricadono, nella zona sismica 3 (Bassa sismicità) a cui corrisponde una accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni minore di 0,15 (ag/g), che si traduce in una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico compreso tra 0,05 e 0,15 (ag/g) riferita a suoli molto rigidi.

ISTAT	Provinci	ia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03016116	BG	GORNO		3	0,09201
03016146	BG	OLTRE IL COLLE		3	0,081271

Zona sismica (d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129).

Considerando la moderata profondità della futura area di estrazione (circa 500m sotto la superficie) ed i valori favorevoli riguardanti lo sforzo in situ, il rischio sismico è considerato basso.

# 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEI SUOLI DI PROGETTO

## 4.1 Introduzione

Allo scopo di realizzare la caratterizzazione geotecnica preliminare, necessaria per la progettazione delle principali opere in esterno, sono stati utilizzati i risultati di indagini geognostiche, in possesso degli scriventi, realizzate sull'area di progetto (o in aree adiacenti), i dati contenuti negli studi geologici comunali e dati bibliografici a livello provinciale e regionale.

Le principali opere da realizzarsi in esterno, che compongo il piano di coltivazione "Gorno Zinc Project", sono le seguenti: cantiere operativo in località Cà Pasì (Oltre il Colle) che include la realizzazione della rete elettrica e della strada di accesso e impianto di trattamento (Gorno).

## 4.2 Caratterizzazione geotecnica preliminare per la progettazione del cantiere operativo (Località Cà Pasì)

Come appena accennato, in località Cà Pasi (Oltre il Colle) sarà ubicato il cantiere operativo che comprende la realizzazione di magazzini, uffici e baracche di cantiere (si veda planimetria di massima riportata nell'immagine seguente).



Figura 4.1: Planimetria generale dell'area di cantiere da realizzare in località Cà Pasì.

Dal punto di vista geologico, come mostrato nella carta geologica di PGT riporta nella figura seguente, il cantiere operativo insisterà su tre formazioni geologiche principali:

- Brecce caotiche cementate a clasti dolomitici da angolosi a subangolosi, di dimensioni fino a metriche, che ammantano il substrato in diversi settori del territorio comunale, con spessori anche decametrici.
- Formazione di Gorno caratterizzata da una successione di calcari grigio chiari, in banchi di spessori sino a metrico, caratterizzati da cicli regressivi peritidali di spessore decimetrico-metrico.
- Formazione delle Arenarie di Val Sabbia caratterizzate da siltiti e litareniti vulcaniche plagioclasiche, arenarie immature o submature; esse si presentano molto compatte e ben stratificate in banchi sino a plurimetrici.



Figura 4.2: Stralcio della "Carta geologica" di PGT del comune di Oltre il Colle (Dott. Geol. Marco Magri, 2011). In giallo l'area di progetto.

Utilizzando i risultati di indagini geologico-geotecniche in possesso degli scriventi, realizzate nell'intorno dell'area di progetto, nel medesimo contesto geologico, è stato possibile ipotizzare la seguente caratterizzazione geotecnica di massima per l'area di Cà Pasì.

La parametrizzazione geotecnica fornita qui di seguito è stata realizzata, utilizzando il criterio di Mohr Coulomb (Programma Rocklab della Rocscience), abbattendo cautelativamente i dati di input degli ammassi rocciosi (si veda il capitolo successivo riguardante la caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi) in modo da tenere in considerazione la possibile presenza di uno strato di alternazione superficiale.

Descrizione	Codice orizzonte	Profon dità del letto (m da p.c.)	Peso di volume naturale (kN/m³)	Compr essione monoassia	GSI	Coesio ne(Mpa)	Angolo di Attrito (°)	Modul o di deformazi one (Mpa) (MPa)	
Brecce caotiche alterate	1	>5?	24-26	30-40	30-40		35-38	850-870	
Formazione di Gorno alterata e frattura	2	>30	25-27	50-100	40-50	0,070- 0,090*	38-40*	1900- 2000*	
Formazione delle Arenarie di Val Sabbia.	3	>30	25-27	50-100	40-50	0,070- 0,090*	38-40*	1900- 2000*	

Tabella 4.1: Parametri geotecnici preliminare di caratterizzazione del sottosuolo di progetto in località Cà Pasì.

\*Valori calcolati considerando l'altezza del pendio si 10 m e un valore di disturbo d=1.

Il substrato roccioso, se subaffiorante, può essere ricoperto da uno strato, di spessore metrico, costituito da deposti eluvio colluviali. Tali deposti, che derivano dal dilavamento delle coltri eluviali del substrato roccioso sottostante, sono costituiti prevalentemente da limi sabbioso-argillosi con sparsi frammenti litici. Localmente la frazione sabbiosa diviene nettamente subordinata e prevalgono i limi e le argille. Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche, ai terreni con abbondante matrice fine si può attribuire un valore di coesione non drenata cu compreso tra 0.6 e 0.8 kg/cm2, mentre i materiali più grossolani hanno un valore di angolo di attrito  $\varphi$ <sup>6</sup> di 30°÷32°.

In fase di progetto costruttivo/esecutivo si raccomanda di realizzare, in corrispondenza delle principali opere in progetto, una campagna di indagini geognostiche per confermare il contesto

geotecnico preliminare fin qui descritto e declinarlo a maggior dettaglio sull'area dove effettivamente verrà realizzata l'opera.

Dalle evidenze di sito, che mostrano la presenza del substrato roccioso, affiorante o subaffiorante, con spessore delle coltre superficiale nell'intorno del metro, e ragionevole attribuire, al sottosuolo di progetto, un categoria di sottosuolo A, secondo le N.T.C., 2018, definitiva come "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m".

## 4.3 Caratterizzazione geotecnica preliminare per la progettazione dell'impianto di trattamento del minerale (Loc. Riso)

L'impianto di trattamento del minerale (Laveria) verrà realizzato ex-novo in corrispondenza dell'attuale sedime dell'ex storico impianto di Gorno ubicato in Loc. Riso area "Ex- Laveria".



Figura 4.3: Modello tridimensionale dell'impianto di trattamento.

Da un punto di vista geologico e deposizionale, in relazione a quanto riportato sulla "Carta geologica della Provincia di Bergamo" (scala 1:50.000, anno 2000) e, a maggior dettaglio sulla "carta litologica di PGT" (comune di Gorno – Arethusa, 1999) l'area dove verrà realizzato l'impianto di

trattamento del minerale (Loc. Riso), è interessata dalla presenza della Formazione di Gorno (26) costituita da calcari, calcari marnosi e marne grigio scure con strati di spessore da decimetrico a metrico.





FORMAZIONE DI GORNO (26) Calcari, calcari marnosi e marne grigio scure con strati di spessore da decimetrico a metrico; lamellibranchi diffusi. CARNICO INFERIORE Sequenza carnica indistinta (26a)

Calcari e calcari dolomitici con fenestrae, stromatoliti, calcareniti bioclastiche grigie, calcari micritici e marne-argille grigie e verdine associate a dolomie vacuolari. (Versante sinistro della Valle di Scalve). *CARNICO SUPERIORE* 

Figura 4.4: Stralcio della "Carta geologica della Provincia di Bergamo (scala 1:50000, anno 2000)". In giallo l'area oggetto dell'intervento in progetto.



Figura 4.5:: Stralcio "Carta Litologica di PGT del comune di Gorno (Arethusa, 1999). In giallo l'area di progetto.

Come mostrato più dettagliatamente nella carta litologica di PGT nell'area di progetto il substrato roccioso che risulta affiorante e subaffiorante (specialmente a monte della laveria esistente) è ricoperto da depositi eluviali, alluvioni e terreni di riporto antropico.

Utilizzando i risultati di indagini geologico-geotecniche in possesso degli scriventi (prove a carotaggio continuo con recupero dei campioni, prove penetrometriche in foro SPT e indagine sismica tipo MASW), realizzate nell'intorno dell'area di progetto, nel medesimo contesto geologico, è stato possibile redigere la seguente caratterizzazione geotecnica del sottosuolo sui si intende costruire il nuovo impianto di trattamento.

Mentre la parametrizzazione geotecnica dei deposti superficiali è stata realizzata sostanzialmente, attraverso l'analisi delle prove SPT, la parametrizzazione del substrato roccioso, fornita qui di seguito è stata realizzata, adottando il criterio di Mohr Coulomb (Programma Rocklab della Rocscience), abbattendo cautelativamente i dati di input degli ammassi roccosi (si veda il capitolo successivo riguardante la

caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi) in modo tenere in considerazione la possibile presenza di uno strato di alternazione superficiale degli ammassi rocciosi.

Descrizione	Codice orizzonte	Profon dità del letto (m da p.c.)	Peso di volume naturale	Compr essione monoassia	GSI	Coesione (Mpa)	Angolo di Attrito (°)	Coesio ne non drenata	Modul o di deformazi one (Mpa)
Deposti di riporto antropico	1	0-3	16-18	-	-	-	-	15-25	1-3
Ghiaie e ciottoli in matrice limoso sabbiosa	2	3-9	18-20	-	-	0	28-30	-	10-20
Substrato roccioso alterato – Formazione di Gorno (calcari)	2	>9	25-27	50-100	40- 50	0,070- 0,090*	38-40*		1900-2000*

Tabella 4.2: Parametri geotecnici preliminare di caratterizzazione del sottosuolo di progetto in località Cà Pasì.

\*Valori calcolati considerando l'altezza del pendio si 10 m e un valore di disturbo d=1.

In fase di progetto costruttivo/esecutivo si raccomanda di realizzare, in corrispondenza delle principali opere in progetto, una campagna di indagini geognostiche per confermare il contesto geotecnico preliminare fin qui descritto e declinarlo a maggior dettaglio.

Dalle evidenze di sito, che mostrano la presenza del substrato roccioso, affiorante o subaffiorante, con spessore delle coltre superficiale nell'intorno del metro, confermato da una MASW realizzati non lontano dall'aera di progetto (si vedano i risultati realizzati nelle immagini seguenti), nel medesimo contesto, è ragionevole attribuire, al sottosuolo di progetto, un categoria di sottosuolo A, secondo le N.T.C., 2018, definitiva come "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m".



Figura 4.6: Risultati di una indagini di sismica a rifrazione tipo MASW realizzata in località Riso.

## 5 CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

## 5.1 Introduzione

La modellazione geomeccanica di riferimento progettuale è stata sviluppata sulla base dei dati geologici, strutturali e geomeccanici raccolti dal 2015 e 2017 come descritto nel precedente capitolo.

Nei paragrafi che seguono, sono state esaminati, in modo sequenziale, i diversi tipi di ammasso (e formazioni geologiche) intercettate dalle opere in sotterraneo costituenti il progetto di coltivazione, le caratteristiche geostrutturali e successivamente le specifiche componenti (matrice rocciosa e discontinuità).

La caratterizzazione risultante costituisce anche la base del procedimento di classificazione geomeccanica degli ammassi attraverso la quale si arriva alla definizione dei cosiddetti "indici di qualità".

#### 5.2 Classificazione dell'ammasso roccioso

La classificazione dell'ammasso roccioso permette di definire la qualità degli ammassi rocciosi e i parametri geotecnici di input necessari per le verifiche di stabilità degli scavi sotterranei, da realizzare durante la coltivazione mineraria, e per la progettazione dei sistemi di supporto e sostegno delle gallerie stesse.

La caratterizzazione degli amassi rocciosi è stata realizzata sulla base del logging geotecnico dei carotaggi esplorativi commissionati da EMI e da rilievi geomeccanici realizzati sulle gallerie esistenti.

L'indice di qualità dell'ammasso roccioso (Q di Barton) è stato utilizzato per le valutazioni della stabilità dei tunnel in progetto e è calcolato secondo la seguente formula:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$$

Dove:

- RQD è l'indice di qualità dell'ammasso roccioso definito da Deere et al (1967).
- Jn è il numero di set di fratture presenti nell'ammasso roccioso (i valori variano da 0.5 a 20).
- Jr è l'indice di rugosità delle superfici di discontinuità (i valori variano da 0.5 a 4.0).
- Ja è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle discontinuità (i valori variano da 0.75 a 20).

- Jw è un parametro che dipende dalla presenza di acqua (i valori variano da 0.05 a 1). Se le condizioni della miniera sono asciutte si utilizza il valore 1, mentre dove si hanno piccole venute di acqua (per lo più in presenza di faglie) si utilizza il valore 0.66.
- SRF è il fattore di riduzione dello sforzo. Nel caso sotto esame sono stati attribuiti valori variabili da 1 a 14, in particolare dove si presentano condizioni dell'ammasso roccioso molto alterate si è utilizzato il valore 10.

Nella tabella seguente è fornita una descrizione qualitativa degli ammassi rocciosi, utilizzando la classificazione, a scala logaritmica, Q-system (Barton, Lien and Lunde, 1974).

Valore Q	Descrizione qualitativa dell'ammasso roccioso
0.001-0.01	Estremamente scarso
0.01-0.1	Gravemente scarso
0.1-1	Molto scarso
1-4	Scarso
4-10	Discreto
10-40	Buono
40-100	Molto buono
100-400	Estremamente buono
400-1000	Eccezionalmente buono

Tabella 5.1: Classificazione degli ammassi rocciosi secondo il sistema Q di Barton (Barton Lien and Lunde, 1974).

Gli istogrammi di distribuzione sono stati generati per i parametri chiave dell'ammasso roccioso, includendo RQD%, il numero di discontinuità (Jn), la rugosità delle superfici di discontinuità (Jr), lo riempimento delle fratture, la litologia e i valori di Q derivanti. Tali analisi sono riportate in allegato al fondo di questa relazione (Allegato A).

Utilizzando il valore di RQD% derivanti dalle analisi delle carote e degli ammassi rocciosi presenti nelle gallerie esistenti è stato determinato, per tutti i litotipi. il valore di qualità della roccia secondo il sistema Q (Barton). I risultati di questa analisi sono riassunti nella tabella seguente.

Litalogia	Matri analizzati (m)	Valo	Valore RQD (%)			Valore Q		
Litologia	weth analizzati (m)	25	50	75	25	50	75	
Calcare formaz. Breno (B-SCBL)	4,294.9	67	85	95	5.8	14.2	34.1	
Calcare formaz. Gorno (G-SCBL)	320.6	67	80	93	5.1	14.3	34.5	
Marna formaz. Gorno (G-SCBM)	1,455.1	62	81	93	5.1	12.2	25.0	
Black shales formaz. Gorno (G-SHB)	13.2	13	53	73	0.03	0.3	0.9	
Siltite formaz. Gorno (G-ST)	120.87	65	83	93	5.8	11.4	22.2	
Calcare Metallifero(M-SCBL)	1,889.4	66	83	95	4.4	11.3	29.6	
Marna Metallifero (M-SCBM)	28.6	67	84	92	4.8	9.3	57.0	
Black shales Metallifero (M-SHB)	338.4	49	72	88	0.3	0.6	1.4	
Siltite Metallifero (M-ST)	11.1	65	82	92	6.1	7.8	13.3	
Breccia Metallifero (M-YBRX)	102.0	67	78	90	5.1	14.8	32.6	
Marna Valsabbia (V-SCBM)	600.0	53	69	83	4.4	10.0	20.5	
Arenaria calcarea Valsabbia (V-SCBSA)	440.9	57	77	92	6.5	13.8	25.0	
Siltite calcarea Valsabbia V-SCBST)	235.8	45	65	87	3.4	8.9	19.1	
Siltite Valsabbia (V-ST)	98.3	50	74	92	4.6	10.6	23.5	
Zona di faglia (FLT)	943.9	0	12	30	0.1	0.5	1.3	

Tabella 5.2: Classificazione degli ammassi rocciosi interessati dalla realizzazione del piano di coltivazione secondo il sistema Q di Barton (Barton Lien and Lunde, 1974).

L'indice di qualità dell'ammasso roccioso modificato, Q', dopo Mathews et al (1981) e Potvin (1988) è stato applicato per le valutazioni di stabilità dei vuoti minerari che si verranno a creare durante la coltivazione.

In particolare:

$$Q' = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja}$$

Per quanto concerne l'analisi di stabilità dei vuoti minerari, sono stati presi in considerazione solamente i parametri degli ammassi rocciosi riguardanti il corpo mineralizzato ("ore zone") e i litotipi al di sopra ("hangingwall") e al di sotto ("footwall") dello stesso.

Un riassunto della qualità dell'ammasso roccioso dello strato mineralizzato, oggetto di coltivazione, e delle porzioni di roccia soprastanti e sottostanti lo strato mineralizzato sono riportati nella tabella seguente (dettaglio delle analisi in allegato al fondo della relazione – Allegato B).

Tabella 5.3: Classificazione degli ammassi rocciosi interessati dalla realizzazione del piano di coltivazione secondo il
sistema Q di Barton (Barton Lien and Lunde, 1974): corpo mineralizzato e porzioni di roccia soprastanti e sottostanti la
il tunnel.

Zono di coltivaziono	Metri analizzati	Va	lore RC	(%)	Valore Q'			
	(m)	25	50	75	25	50	75	
"Hangingwall"	1004.1	55	77	91	3.2	8.8	21.8	
Corpo mineralizzato	493.3	52	76	90	2.8	6.9	17.8	
"Footwall"	715.0	62	80	93	5.0	10.5	25.0	

Nelle figure seguenti sono graficati, invece, le distribuzioni percentuale dei litotipi (e Formazioni geologiche) presenti, a tetto e a letto, delle gallerie di produzione.



Figura 5.1: Distribuzione delle tipologie di roccia presenti a tetto "hangingwall" del corpo minerario.


Figura 5.2: Distribuzione delle tipologie di roccia presenti a letto "footwall" " del corpo minerario.



Figura 5.3: Distribuzione delle tipologie di roccia presenti all'interno del corpo mineralizzato.

A titolo di esempio, nella figura seguente, sono illustrate le condizioni tipiche "medie" dell'ammasso roccioso che appartiene alla formazione di Gorno, posto a tetto del corpo mineralizzato.



Figura 5.4: Condizioni tipiche "medie" dell'ammasso roccioso che appartiene alla formazione di Gorno), posto a tetto del corpo mineralizzato.

## 5.3 Strutture geologiche principali (Faglie e sovrascorrimenti)

Nel distretto minerario di Gorno è stato identificato un numero di strutture geologiche principali a scala regionale:

- Un sovrascorrimento a scala regionale è situato a più di 100m sopra il corpo mineralizzato.
  Questo è riempito da materiale argilloso che funge da strato impermeabile rendendo l'area della futura estrazione asciutta.
- Una faglia normale disloca il corpo mineralizzato a Ovest.
- Una faglia trascorrente è stato incontrata durante lo scavo della discenderia esplorativa creata da EMI ed un'altra è stata rilevata nel livello Forcella.
- Strutture associate alle faglie principali sono state rilevate durante la mappatura in sotterraneo svolta da EMI.

È stato così elaborato un modello 3D raffigurante le faglie principali, escluso il sovrascorrimento, rilevate nell'area di interesse estrattivo (si veda immagine seguente – Fig. 5.5).



Figura 5.5: Modello 3D raffigurante le principali faglie intorno alla "Colonna Zorzone". Piani di faglia illustrati con il colore marrone.

## 5.4 Strutture geologiche secondarie (Principali sistemi di discontinuità)

I dati strutturali utilizzati per la redazione di questo documento, raccolti dai tecnici di AMC e Energia, sono stati ricavati sia dai rilievi realizzati sugli affioramenti presenti nelle gallerie esistenti sia dai rilevi realizzati sulle carote di roccia campionate durante le perforazioni.

Tutte i dati strutturali relativi all'orientazione e alle caratteristiche, raccolti per le differenti famiglie di discontinuità, presenti all'interno delle diverse formazioni geologiche, sono stati rappresenti graficamente su stereogrammi.

Come appena accennato le analisi sulle famiglie di discontinuità sono state realizzare per ognuna delle formazioni geologiche interessate dal progetto. I risultati di dettaglio di questa analisi, suddivisa

per formazioni geologiche è riportata in allegato al fondo del presente documento e riassunti nelle tabelle seguenti (Tab. 5.1 e 5.2).

Formazione geologica	Tipo di struttura	Inclinazione (°)	Immersione (°)	Numero di giunti (n)	Lungehezza (m)	Spaziatura (m)
	Stratificazione	29	179	1	1.5-2.0	>2.0
Brono	Giunto	77	191	5	0-2.0	0.2-0.4
breno	Giunto	67	093	4	0.5-1.0	0.2-0.4
	Giunto	77	054	2	0.2-0.5	0.2-0.7
Gorno	Stratificazione	29	229	1	>10	<0.2
	Giunto	80	017	3	0.2-1.0	<0.2-0.4
	Giunto	82	103	4	0.2-01	0.2-0.4
	Stratificazione	25	186	1	>10	0.2-0.4
Matallifora	Giunto	77	360	3	0.3-0.5	<0.2-0.5
wietainiero	Giunto	85	296	4	<0.3-0.5	<0.2-0.5
	Giunto	66	039	5	0.5-2.0	<0.2-0.4
	Stratificazione	27	092	1	10.0-20.0	0-0.5
	Giunto	41	190	1	0.1-0.2	0.3-0.5
Arenarie ul Val Sabbia	Giunto	72	336	3	0.1-0.5	0-0.3
	Giunto	85	220	2	0.1-2.0	0-0.3

Tabella 5.4: Risultato delle analisi strutturali delle principali famiglie di discontinuità (discontinuità minori) suddivise per formazioni geologiche.

Tabella 5.5: Risultato delle analisi strutturali delle principali famiglie di discontinuità individuate (discontinuità minori) suddivise per formazioni geologiche.

Formazione geologica	Tipo di struttura	Inclinazione (°)	Immersione (°)	Numero di giunti (n)
	Stratificazione	19	171	1
Breno	Giunto	75	044	2
	Giunto	80	117	4
Gorno	Stratificazione	33	165	1
	Giunto	82	050	2
	Giunto	69	352	3
	Giunto	82	122	4
	Stratificazione	9	175	1
Matallifara	Giunto	86	062	2
Metallitero	Giunto	68	016	3
	Giunto	78	179	5
	Stratificazione	33	169	1
	Giunto	87	058	2

Giunto 65 334	3

A titolo esemplificativo, inoltre, nella figura seguente è rappresentata l'analisi strutturale relativa alle famiglie di discontinuità identificate nella formazione di Gorno.



Figura 5.6: Rappresentazione grafica, su stereogramma, dell'analisi strutturale realizzata sui sistemi di discontinuità che pervadono la Formazione di Gorno.

## 5.5 Definizione dei Gruppi Geomeccanici (o Domini geotecnici)

Tenendo in conto i risultati delle analisi realizzate nei paragrafi precedenti, in base alla litologia, sono stati definiti i gruppi geomeccanici (raggruppanti formazione e litotipi diversi ma con medesime caratteristiche e parametri geomeccanici) le cui caratteristiche, riassunte per singolo gruppo, sono riportate nella tabella seguente (e dettagliata in allegato al fondo del documento).

Per ogni dominio geotecnico (gruppo geomeccanico) sono stati definiti i parametri principali necessari alle verifiche di stabilità dei fronti di scavo e necessari a definire le scelte progettuali.

Si è scelto di utilizzare per le verifiche di stabilità i valori medi dei parametri degli ammassi rocciosi poiché considerati affidabili e verosimili tenendo in considerazione il comportamento, l'aspetto e la qualità attuale degli ammassi rocciosi presenti nelle gallerie esistenti.

Relativamente ai parametri della roccia intatta sono stati utilizzati principalmente i valori medi risultati dalle prove di laboratorio. Per alcuni litotipi (Marne e black shale) sono stati utilizzati dati bibliografici (Fan et al (2016) e Lyu et al (2016)) poiché non è stato possibile raccoglie campioni da testare in laboratorio.

Per il gruppo geomeccanico Zone di Faglia (FLT) (in verità poco spesse) si è assunto che le stesse siano state riempite con Gouge di Faglia (argilla) e, per questo motivo, sono stati assegnati parametri di roccia intatta molto bassi.

Sebbene le proprietà geomeccaniche (roccia intatta) degli ammassi rocciosi calcarei appratenti alle formazioni di Breno, Gorno e Metallifero siano risultate pressoché simili, queste formazioni sono state collocate in domini geotecnici differenti tenendo in conto le differenti caratteristiche strutturali rilevate.

Litelagia	Codica		Q	Q'	UCS	E
Litologia	Codice	Dominio	(mediana)	(mediana)	(Mpa)	(Gpa)
Calcare formaz. Breno	B-SCBL	B-SCBL	14.1	14.5	135	40
Calcare formaz. Gorno	G-SCBL					
Calcare Metallifero	M-SCBL	SCBL	11.8	12.3	135	40
Breccia Metallifero	M-YBRX					
Marna formaz. Gorno	G-SCBM					
	M-	CCDN4	11.6	117	142	22
Marna Metallifero	SCBM	SCBIVI	11.0	11.7	142	52
Marna Valsabbia	V-SCBM					
Black shales formaz.						
Gorno	G-SHB	CLID	0.0	го	10	
Black shales		SHR	0.6	5.8	40	5
Metallifero	M-SHB					
Siltite formaz. Gorno	G-ST					
Siltite Metallifero	M-ST					
Siltite calcarea	V-	ST	9.4	9.4	163	52
Valsabbia	SCBST					
Siltite Valsabbia	V-ST					
Arenaria calcarea	V-	CCDC A	12.0	12.0	00	42
Valsabbia	SCBSA	SCR24	13.8	13.8	99	42
Zona di faglia	FLT	FLT	0.5	1.0	99	42

Tabella 5.6: Caratteristiche dei domini geotecnici individuati sull'area di progetto.

Dove SCBL= Calcare, SCBM= Marna, SHB= Black shales, ST= Siltite, SA= Arenaria, SCBSA= Arenaria calcarea e FLT= Zona di faglia.

A scopo esemplificativo nelle figure seguenti (Fig.5.7-5.13) sono illustrati tutti i domini geotecnici presenti nell'area di progetto.



Figura 5.7: Esempio della Formazione di Breno (B-SCBL).



Figura 5.8: Esempio di calcare (SCBL) con piccole inclusioni di mineralizzazione ossidata.



Figura 5.9: Esempio di marna (SCBM).



Figura 5.10: Esempio di "balck shales" (SHB).



Figura 5.11: Esempio di siltite (ST).



Figura 5.12: Esempio di arenaria (SA).



Figura 5.13: Esempio di zona di faglia (FLT).

## 5.6 Proprietà dei materiali – Roccia intatta

I parametri degli ammassi rocciosi utilizzati nella modellizzazione numerica per definire i valori relativi al criterio di Hoek-Brown sono stati elaborati utilizzando il programma RocData (v5.0, Rocscience, Inc). Essi sono stati estrapolati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio svolte sulla roccia intatta e sui valori estratti dalla caratterizzazione dell'ammasso roccioso come descritto nei paragrafi precedenti.

Per quanto concerne la modellizzazione numerica è stato necessario calcolare il GSI ("Geological Strength Index") secondo la formula:

$$GSI = \frac{52 \times Jr/Ja}{1+J/J} + RQD/2$$

Il range di valore di GSI calocolato per ognuno dei gruppi geomeccnici di progetto è riportato nella seguente (Fig.5.14).

Il gruppo geomeccanico SCBL (calcare) è il più dominante in tutta l'area mineraria, mentre quello del SCBM (marna) è il più dominante nelle aree'"hangingwall".

La formazione litologica che è più attraversata da faglie è l'Arenaria di Valsabbia e per questo motivo le sono stati assegnati valori di roccia intatta scadenti e associabili al dominio FLT ("zona di faglia").

Il parametro della classificazione Hoek-Brown "mi" per le "black shales" è stato estrapolato dal database di RocData.

Ai fini della modellizzazione numerica il dominio della Formazione di Breno è stato utilizzato per tutti i calcari presenti nell'area.



Figura 5.14: Valori del GSI per ognuno dei dimini geotecnici individuti.

Matada di	Daramotr	Unità			V	alore		
analisi	i	di misura	SCBL	SCBM	SHB	ST	SCBS A	FLT
	σc	MPa	135	142	40	163	99	99
Classificazion	GSI		65	64	55	61	65	31
e Hoek-Brown	mi		19	14	6	11	8	8
	Ei	MPa	4000 0	30000	500 0	5200 0	4200 0	4200 0
Dropriotà	Densità	t/m3	2.66	2.76	2.96	2.76	2.68	2.68
della roccia	Fattore di anisotropia		-	-	-	-	-	-
	Fattore di disturbo		0	0	0	0	0	0
Proprietà residuali	C residuale	MPa	0	0	0	0	0	0
	φ residuale	o	45	45	45	45	45	45
	Sforzo tensionale residuale	MPa	0	0	0	0	0	0
	Fattore di riduzione per		1	1	1	1	1	1

Metodo di	Parametr	Unità			V	alore		
analisi	i	di misura	SCBL	SCBM	SHB	ST	SCBS A	FLT
	deformazion i critiche							

Lo sforzo al taglio delle discontinuità nel substrato roccioso, presente a tetto dello strato mineralizzato, è stato stimato utilizzando il metodo proposto da Barton e Bandis (1990) sfruttando i parametri caratteristici dei giunti estrapolati dal logging dei carotaggi esplorativi svolti da EMI e dai test di laboratorio.

In particolare sono stati utilizzati il coefficiente di rugosità delle discontinuità (JRC) e la resistenza di compressione del giunto (JCS) come mostrato nella seguente.

Tabella 5.8: Valori di resistenza al taglio delle principali famiglie di discontinuità presenti all'interno dei domini geotecnici.

Daramatri	Unità di micura	Valori				
Falailletti	SHB		SCBL, SCBM, SA	ST		
Angolo di frizione	0	32	25	33		
JRC		9	8	8		
JCS	Мра	40	69	126		
С	kPa	15	9	15		
φ	٥	52	45	55		

I valori derivati per le proprietà dei materiali e la resistenza al taglio delle discontinuità sono stati utilizzati nella stima strutturale.

# 6 CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE RELATIVE AL PIANO DI COLTIVAZIONE

## 6.1 Metodi di scavo per l'estrazione del minerale

Per il piano di coltivazione della miniera "Gorno" sono stati definiti, sulla base della geometria del minerale e sulle base delle condizioni degli ammassi rocciosi, differenti metodi di scavo elencati qui di seguito:

- Aree ad avanzamento sub-orizzontale (con angolo di inclinazione <16°) in cui viene proposto il metodo Camere-pilastri.
- Tutte le altre aree ad avanzamento inclinato (con angolo di inclinazione ≥16°) in cui vengono proposti metodi LHOS con materiale di riempimento in pasta. Tipicamente, queste aree assumo un angolo di inclinazione dell'avanzamento allo scavo a circa 25° ma possono variare fino a sub-verticali in incilinazione.

## 6.2 Stabilità gli scavi in sotterraneo del piano di coltivazione

Allo scopo di realizzare una valutazione preliminare della stabilità degli scavi in sotterraneo, che verranno realizzati per la coltivazione della miniera, e derivarne i parametri di progetto è stato utilizzato un metodo grafico originariamente sviluppato in Canada (Mathews et al, 1981 e Potvin, 1988).

L'utilizzo di tale metodo (descritto in dettaglio in Hutchinson e Diederichs (1996)) ha permesso di derivare i parametri preliminari di progettazione per la stabilità dei fronti di scavi partendo dai parametri di classificazione degli ammassi rocciosi.

I valori di input utilizzati per le analisi di stabiliti sono riportati nella tabella seguente.

Per la progettazione sono stati utilizzati i valori medi del parametro "Q" determinati in un tratto compreso tra il fronte di scavo fino a 10m dei limiti di scavo.

Per calcolare il fattore A, che rappresenta il parametro "in situ stress", sono state utilizzati i risultati delle prove sovra carotaggio realizzate, con la tecnica CSIRO HI CELL, e descritte nel paragrafo 3.5 "In situ stress".

Al fattore B, invece, che rappresenta il parametro "struttura degli ammassi rocciosi", è stato assegnato un valore di 0,3 (stratificazione parallela alla coltivazione).

È stato, infine, assegnato il fattore C, che rappresenta il parametro "geometria della parete di scavo", utilizzando le diverse tipologie di scavo. Al fattore C è stato attribuito un "range" di valori sulla base della geometria (angolo di inclinazione) del corpo mineralizzato.

Inclinazione del corno		Hangingwall					
mineralizzato	Parametri di input	Molto Scarsa	Scarso	Medio	Buono	Molto buono	
Bassa inclinazione	Q'	1.0	4.0	10.0	25.0	50.0	
	Fattore A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	Fattore B	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Fattore C	2.6	2.6	2.4	2.6	2.6	
	N'	0.8	3.1	7.2	19.5	39.0	
Inclinazione elevata	Fattore C	5.0	4.7	5.0	5.0	5.4	
	N'	1.5	4.6	15.0	37.5	81.0	

Tabella 6.1: Parametri di input utilizzati per le analisi di stabilità dei fronti di scavo del corpo mineralizzato.

I risultati della valutazione della stabilità dei fronti di scavo, considerando differenti condizioni al contorno, indicano che i fronti di scavo risultano stabili ad una distanza, rispetto alla direzione di avanzamento, compresa tra circa 6 ma 8 m in ammassi rocciosi a qualità "molto scadente" e maggiore di 50m in ammassi rocciosi di "buona qualità".

I risultati delle analisi di stabilità sono riassunti nella tabella seguente (per il dettaglio si rimanda all'allegato posto al fondo del presente documento – Allegato E). Per le analisi di stabilità dei fronti di scavo (lunghezza massima del fronte di scavo in condizioni stabili) è stata utilizzata una altezza media dei fronti di scavo di 13,5m nel caso di scavi poco inclinati e di 18,0m negli scavi molto inclinati (nella pratica quest'ultimo potrebbe essere molto minore).

Tabella 6.2: Risultati delle analisi di stabilità dei fronti di scavo.

Inclinazione del corpo mineralizzato	Condizioni del sottosuolo	Parametro di stabilità (HR)	Lunghezza dei tratti stabili (m)	Diluizione attesa (m)
	Molto scarsa	2.2	6	1.0 - 2.0
Bassa inclinazione	Scarsa	3.6	15	0.5 – 1.0
	Media	4.9	36	> 0.5

Inclinazione del corpo mineralizzato	Condizioni del sottosuolo	Parametro di stabilità (HR)	Lunghezza dei tratti stabili (m)	Diluizione attesa (m)
	Buona	7.1	>75	> 0.5
	Molto Buona	9.2	>75	> 0.5
	Molto scarsa	2.7	8	1.0 - 2.0
Inclinazione elevata	Scarsa	4.5	18	0.5 – 1.0
	Media	6.5	46	< 0.5
	Buona	9.1	>75	< 0.5
	Molto Buona	12.1	>75	< 0.5

Considerato che il metodo del grafico di stabilità risulta essere molto approssimativo e che, invece, l'esperienza è provata in condizioni di ammassi rocciosi di buona qualità, gli scriventi raccomandano di utilizzare, per lo sviluppo del progetto, a scopo cautelativo, i parametri riportati nella tabella precedente.

A conferma di quanto appena esposto, allo scopo di integrare, correggere ed aggiornare, nelle future fasi di progetto, i parametri riportati nella tabella precedente, si raccomanda l'esecuzione di indagini integrative (rilievi di sito, sondaggi, prove di laboratorio e in sito).

Il concetto di raggio idraulico HR (Hyraulic Radius) (after Hutchinson and Diederichs, 1996), con alcune geometrie di esempio, è presentato nella figura seguente.



Figura 6.1: Teoria del raggio idraulico (HR=hydraulic radius) e esempi con differenti geomertie di scavo (after Hutchinson and Diederichs, 1996).

Sebbene i metodi empirici abbiano ottenuto ampia accettazione nella stima del progetto preliminare è importante tenere presente i loro limiti. Gli effetti dovuti alla presenza di strutture persistenti, a larga scala, sono, però, tenuti in debito conto nei metodi grafici empirici utilizzati nella redazione del presente documento.

L'esperienza degli scriventi suggerisce, infatti, che in presenza di lineamenti tettonici regionali la stabilità dei fronti di scavo venga meno (rilassamento dell'ammasso roccioso).

Questi problemi di instabilità dei fronti di scavo, possono essere superati mettendo in opera accorgimenti costruttivi (l'installazione di supporti, strategico posizionamento dei pilastri o cambiamenti in fase di progettazione, modifica di tracciato e riubicazione delle opere).

Le condizioni degli ammassi rocciosi, presenti nel distretto minerario di Gorno, sono molto variabili, come indicato dai dati raccolti dall'analisi dei carotaggi e dalle osservazioni negli scavi esistenti. Le condizioni degli ammassi rocciosi possono essere influenzate dalla presenza di faglie o di zone con minerali ossidati. Dato ciò si è tenuto conto delle diversità delle condizioni del suolo durante lo studio del piano di estrazione e sono state rappresentate nella figura seguente.



Figura 6.2: Rappresentazione della variabilità di condizioni del sottosuolo di progetto e dei parametri di stabilità degli scavi utilizzando il parametro (HR).

## 6.3 Modellizzazione numerica

Il Software FLAC3D (Itasca, versione 5.01) è stato utilizzato per valutare il comportamento della massa rocciosa (forza della massa rocciosa e dello stress indotto dalle miniere) e la stabilità delle opere in progetto: pilastri, infrastrutture, fronti di scavo.

FLAC3D è un programma per il modellamento continuo con comportamento del materiale lineareelastico o non lineare in 3D. Per le analisi del piano di coltivazione è stata utilizzata una funzione non-lineare di FLAC3D. I parametri di inputs relativi allo stress in situ e agli ammassi rocciosi utilizzati per il modello sono riportati nei paragrafaci precedenti.

Per la costruzione del modello è stato utilizzato il piano di coltivazione in oggetto e la topografia di superficie imponendo i limiti del modello ad una distanza tale da non interferire in alcun modo con ciò che è presente in superficie e che ricade all'interno dell'area d'interesse.

Nelle figure seguenti sono illustrate le impostazioni del modello che includono i domini geotecnici (gruppi geomeccanici) e la geometria della coltivazione mineraria in progetto e i diversi steps di avanzamento del piano di coltivazione.



Figura 6.3: Setup del modello numerico raffigurante i domini geotecnici e la geometria di progetto (vista verso Nord).

Il modello costitutivo utilizza il criterio Hoek-Brown per determinare i parametri di Mohr-Coulomb (coesione, c e angolo di attrito,  $\phi$ ) ad ogni livello di stress di confinamento (spessore della copertura).

Il modello costitutivo è incorporato nel plug-in StopExamine utilizzato per valutazioni (Cavroc, 2016). Nonostante numerosi vantaggi rispetto al criterio Mohr-Coulomb, si possono riscontrare errori considerevoli in condizioni più estreme come condizioni di altissimo stress o come il comportamento di rottura non lineare della roccia.

Gli scriventi ritengono che queste condizioni critiche non siano presenti presso Gorno.

Per ridurre al minimo i potenziali errori, il modello costruttivo è stato adattato al criterio Hoek-Brown realizzando il calcolo dei parametri di Mohr-Coulomb per piccoli incrementi di stress fino a raggiungere il valore di picco ed entrare nella fase di post-picco.



Figura 6.4: Setup del modello numerico illustrante le tappe di estrazione (vista planare).

L'incremento dello stress può eventualmente portare al raggiungimento dello sforzo ultimo o residuale. Il criterio di rottura post-picco, utilizzato nel modello costitutivo, è correlato al concetto di coesione- rammollimento e indurimento per attrito proposto da numerosi autori e documentati in Vakili et al (2012).

I parametri a rottura completa della roccia, utilizzata nel modello, sono: coesione = 0 kPa e angolo di attrito = 45 °.

## 6.3.1 Stabilità dei pilastri

Nel progetto di coltivazione mineraria "Gorno" sono state utilizzate e considerate nelle analisi di stabilità tre tipologie di pilastri:

- Pilastri a costola tra i differenti pannelli di coltivazione.
- Pilastri limitrofi alla discenderia di produzione.
- Pilastri isolati nell'area in cui verrà utilizzato il metodo a camere e pilastri.

La stabilità dei pilastri è stata valutata utilizzando il software FLAC3D ed i risultati indicano che limitati sforzi plastici e deformazioni possono verificarsi nelle aree di coltivazione principali (in cui si svolge maggior estrazione). I pilastri a costola e quelli nelle vicinanze della discenderia di produzione non subiscono danni indotti dallo sforzo tensionale, come illustrato nelle figure seguenti.

Piccoli sforzi plastici possono essere notati in uno dei pilastri limitrofi alla discenderia di produzione.

Da notare che lo 0.1% di deformazione plastica equivale a danni molto piccoli ed irrilevanti nell'ammasso roccioso.



Figura 6.5: Sezione laterale con vista verso Est illustrante la geometria dell'area in cui si svolge la maggior estrazione.



Figura 6.6: Sezione laterale con vista verso Est illustrante la deformazione plastica a 0.1% dell'area a maggior escavazione (rappresentati nel colore azzuro).



Figura 6.7: Sezione laterale con vista verso Est illustrante lo spostamento a 200mm dell'area a maggior escavazione.

I pilastri isolati nell'area a camere e pilastri sembrano essere stabili nell'ultima fase dell'estrazione mineraria, con valori di deformazione plastica minori dello 0.1% (si veda figura seguente). Allo stesso modo, uno stereogramma delle deformazioni mostra come non ci siano significative deformazioni nelle aree dove, per errori geometrici, non sono presenti pilastri come illustrato nelle figure seguenti. I risultati indicano che i pilastri isolati saranno richiesti per mantenere la stabilità dopo la vita della miniera.



Figura 6.8: Sezione laterale con vista verso Est illustrante la deformazione plastica allo 0.1% nell'area a camere e pilastri.



Figura 6.9: Sezione laterale con vista verso Est illustrante lo spostamento a 200mm nell'area a camere e pilastri.

#### 6.3.2 Stabilità delle infrastrutture

Il modello indica che le gallerie di produzione non saranno influenzate dagli sforzi indotti dall'attività estrattiva, come mostrato nelle figure seguenti. Da notare che 1% di deformazione volumetrica equivale a danni moderati risolvibili con riabilitazione di aree ben localizzate. Il modello mostra, inoltre, che danni possono avvenire nell'area più a Sud della zona a camere e pilastri anche se questo è causato da un errore geometrico che esclude la presenza di pilastri in quest'area. Con l'utilizzo di pilastri quest'area sarà stabile.

Infrastrutture come la camera di frantumazione e le associate rimonte non sono state modellate usando FLAC3D essendo sufficientemente distanti dal fulcro dell'attività estrattiva e non subendo quindi alcuno sforzo indotto dall'attività estrattiva stessa.



Figura 6.10: Spostamento a 200mm riportato sulla geometria (vista planare).



Figura 6.11: Isosuperfici con 1% di deformazione volumetrica (vista planare).

## 6.3.3 Subsidenza superficiale

L'estensione delle deformazioni indicate dal modello nell'ultimo step di attività estrattiva indica che gli spostamenti non si estendono oltre i 25m sopra i vuoti minerari evitando così alcun tipo di subsidenza superficiale.

La ripiena dei vuoti minerari è comunque uno strumento di mitigazione del fenomeno e serve a garantire la certezza nella stabilità globale.

## 7 SISTEMI DI SUPPORTO E SOSTEGNO

### 7.1 Introduzione

In questo capitolo verrà tratto il tema dell'instabilità dei cunei di roccia all'interno delle principali opere in sotterraneo componenti il piano di coltivazione mineraria Gorno.

Le analisi di stabilità dei cunei sono state realizzate utilizzando un metodo empirico (dopo Barton, Lien e Lunde, 1974). Sulla base dei dati raccolti in situ (si veda Paragrafo 4.4 Strutture geologiche secondarie) relativamente ai sistemi di discontinuità presenti negli ammassi rocciosi (geometria e caratteristiche) interessati dal progetto, sono stati individuati eventuali cunei instabili e definiti i sistemi di supporto e sostegno e le loro specifiche caratteristiche.

Nei paragrafi seguenti, per ogni tipologia di opere principali facenti parte del progetto di coltivazione, sono riportate i risultati delle indagini di stabilità dei cunei e i requisiti e le raccomandazioni sui sistemi di sostegno da adottare.

#### 7.2 Valutazioni empiriche

Utilizzando il parametro Q-System (Barton, Lien e Lunde, 1974), definito per ognuna delle tipologie principali di scavo, sono stati definiti i requisiti e le raccomandazioni sui sistemi di sostegno da utilizzare anche sulla base di un nuovo diagramma proposto da Potvin and Hadjigeorgiou, 2016 che illustra, in modo indicativo, in base alla qualità dell'ammasso roccioso, la tipologia e densità dei sistemi di supporto da adottare.

Per ognuna delle condizioni geomeccaniche previste durante gli scavi in sotterraneo sono stati valutati, per ognuna delle sezioni di progetto, i sistemi di sopporto da utilizzare (si veda immagine seguente).

I valori di Q-system sono stati determinati, a scopo cautelativo, considerando condizioni dell'ammasso roccioso medio basse, stimate sul base della distruzione statistica dei parametri realizzata per ognuno dei domini geotecnici (si veda capitolo 4 "Caratterizzazione ammassi rocciosi" e allegato al fondo della relazione).



Figura 7.1: Diagramma empirico per la definzione dei sistemi di supporto degli scavi in sotterraneo ((after Potvin and Hadjigeorgiou, 2016).

I risultati di questa analisi mostrano come per la maggior parte dello sviluppo delle gallerie realizzata in ammassi calcarei, marnosi, arenacei e pelitici sia appropriata la messa in opera di bulloni con una maglia di spaziatura 1,5 m x 1,5 m.

Tipicamente, gli scriventi consigliano di posizionare ad integrazione della bullonatura sistematica una rete di supporto della superficie posizionato sulle spalle delle gallerie anche se l'installazione della rete può causare problematiche costruttive per la gestione del minerale.

Qualora all'interno della maglia di chiodatura si rilevasse la presenza di cunei di roccia limitati e localizzati, ma potenzialmente instabili, si raccomanda un disgaggio sistematico allo scopo di mitigare il rischio di distacchi di roccia isolati.

Si raccomanda, inoltre, sempre allo scopo di mitigare il rischio di distacco di cunei, l'utilizzo di sistemi di esplosivo (schemi di tiro specifici e esplosivi con potenza detonante ridotta) e di perforazioni controllate in grado di disturbino il meno possibile l'ammasso roccioso.

Laddove le opere in sotterraneo dovessero intercettare zone di faglie o presenza di scisti neri (Black shale), condizione secondaria e localizzata nello sviluppo dell'intero sviluppo delle opere in sotterraneo, dove le condizioni geomeccanica degli ammassi rocciosi risultano scadenti o molto scadenti, dovrà essere messo in opera un sistema di supporto costituito da bullonatura sistematica con

maglia con distanza massima 1,1 m x 1,1 m e messa in opera di calcestruzzo proiettato rinforzato con fibre(Spessore 75 mm) come supporto di superficie che ricopra tutta la volta.

## 7.3 Analisi cinematica dei cunei

Allo scopo di valutare il possibile distacco di cunei durante la realizzazione delle opere in sotterraneo, è stato utilizzando il software Unwedge (versione 4.0, Rocscience) in grado di individuare i possibili cinematismi in grado di innescare la caduta di blocchi partendo dai dati strutturali raccolti durante i rilievi nelle gallerie esistenti.

Le analisi hanno mostrato come, all'interno della maggior parte dei domini geomeccanici presenti nell'area di progetto, siano presenti 3 sistemi di discontinuità principali.

La presenza contemporanea dei tre sistemi di discontinuità è in grado di portare alla formazione di cunei potenzialmente instabili.

Allo scopo di valutare la possibile formazione di cunei in corrispondenza del dominio geotecnico degli scisti neri (Black shale) sono state ispezionare alcune gallerie esistenti dove tale dominio è presente.

Dai rilievi è scaturito che in corrispondenza degli scisti neri la stratificazione, fitta e persistente, risulta essere la struttura preponderante che, non permette le formazioni di cunei o l'isolamento di blocchi di grandi dimensioni vista anche la sua scarsa resistenza alla compressione (famiglia delle rocce tenere - weak intact rock).

Per questo motivo il dominio geotecnico degli scisti neri è stato escluso dall'analisi dei cinematismi.

#### 7.3.1 Analisi dei cinematismi per le gallerie

La tabella seguente riassume le analisi realizzate.

Tipo di sviluppo	Larghezza (m)	Altezza (m)	Forma	Orientazione (°)
Accesso rib. Forcella	4.0	4.5	Quadrata	Da 261 a 352
Discenderia di produzione	4.5	4.5	Ad arco	Da 000 a 359
Gallerie di produzione	4.0	4.0	Ad arco	Da 069 a 120

Tabella 7.1: Parametri utilizzati per la definizione di eventuali cinematismi instabili.

L'analisi sulla discenderia è stata realizzata utilizzando tutte le differenti geometrie delle varie famiglie di discontinuità rileviate in galleria (definendo per ognuna l'orientazione più o meno favorevole) e dall'analisi delle carote estratte dai sondaggi combinandole poi tra di loro.

Una combinazione di strutture 1, 3 e 5 potrebbe formare cunei.

I risultati di questa analisi sono mostrati nella figura seguente. In base alla possibile orientazione dell'asse galleria è stata stimata la pressione richiesta al supporto per ottenere un fattore di sicurezza (FOS) di 1.0.

I risultati indicano che il peggior orientamento della discenderia rispetto alle strutture è quello compreso tra 195 ° a 257 ° tra 345 ° a 053 °.

Questi cunei dovrebbero essere facilmente gestiti con una volata calibrata ed adeguata, un disgaggio ricorso e bullonatura.



Figura 7.2: Disceneria – Analisi orentazione asse galleria Vs pressione che i sistemi di ancoraggio devono imprimere per otterere un Fattore di Sicurezza pari ad 1.

L'analisi è stata condotta, utilizzando la geometria dei cunei più sfavorevole, su tratti di scavo tipologici ad orientazione (direzione di avanzamento dello scavo).

Un esempio di questo tipo di analisi è illustrato nella figura seguente.



Figura 7.3: Esempio di come è stata sviluppata l'analisi di stabilità dei cunei (orentazione del tunnel minerario N071°).

I risultati finale delle analisi di stabilità dei cunei, invece, sono riassunti nella tabella seguente.

Tipo di sviluppo	Unità geologica	Peso del cuneo (t)	Altezza del culmine (m)	Fattore sicurezza (FOS)	
Discenderia (200°)	Metallifero	0.1	0.3	104.7	
Accesso Forcella (352°)	Val Sabbia	0.1	0.2	197.2	
Accesso Forcella (261°)	Gorno	0.1	0.3	60.2	
Gallerie di produzione (071)	Metallifero	0.1	0.4	35.2	

Tabella 7.2: Risultato finale delle analisi di stabilità dei cunei.

Il fattore di sicurezza (FOS) è stato calcolato utilizzando set geometrici di blocchi lunghi 1,8 m e distanziati a 1,5 m.

I cunei, ove si formassero, dovrebbero essere facilmente gestiti con volare controllate, rigoroso disgaggio e ridimensionamento, bullonatura e mesh nelle aree coltivate con la tecnica "Camere e pilastri".

#### 7.3.2 Analisi dei cinematismi per la camera di frantumazione/smistamento

La camera in cui verrà alloggiato l'impianto di frantumazione/smistamento del minerale verrà realizzato nella Formazione geologica delle "Arenarie di Val Sabbia".

La camera è stata ubicata allo scopo di ridurre il più possibile la distanza tra l'area di coltivazione e la Galleria Riso Parina attraverso la quale verrà portato il minerale all'esterno.

La camera di frantumazione/smistamento verrà collegata alla galleria Riso-Parina attraverso la realizzazione di un tunnel, all'interno del quale verrà trasferito il materiale, con una inclinazione 60°-70° per limitare al minimo un'eccessiva usura causata dal movimento materiale.

La camera di alloggiamento del frantoio in progetto avrà le seguenti dimensioni: larghezza 8 m, altezza 9 m e lunghezza 135 m. Ad una delle due estremità la sezione avrà le dimensioni di 15 m di lunghezza e 15,7 m di altezza. Il profilo della sezione è quadrato.

L'analisi strutturale è stata realizzata allo scopo di orientare l'ubicazione della camera di frantumazione in una condizione favorevole tale da evitare la formazione di grandi cunei in particolare nella parte posteriore. L'ubicazione della camera in aree in cui fossero presenti cunei instabili, di grandi dimensioni, creerebbe grandi difficoltà per il sostegno della camera stessa e l'utilizzo una maglia fittissima di chiodi.

L'analisi dei cinematismi per la camera di frantumazione è stata realizzata considerando un profilo quadrato standard largo 8 m e alto 9 m, utilizzando i dati strutturali raccolti nelle gallerie esistenti vicini alla camera in progetto scavate nella formazione delle Arenarie di Val Sabbia

I dati strutturali relativi alla formazione delle Arenarie di Val Sabbia utilizzati nell'analisi dei cinematismi sono riportati nel paragrafo 4.4 - Strutture geologiche secondarie (Principali sistemi di discontinuità).

L'analisi è stata realizzata su tutte le possibili combinazioni geometriche per la formazione di possibili cunei (su quattro combinazioni).

Il risultato dell'analisi di stabilità per la camera di frantumazione, riportato nella tabella seguente, ha mostrato come, la combinazione di due famiglie di discontinuità e le loro geometrie possono portare alla formazione di possibili cunei instabili, di grandi dimensioni, in alcune condizioni di orientazione dell'asse del tunnel. Il valore minimo del fattore di sicurezza (FOS) è stato valutato considerando la messa in opera di una chiodatura maglia di chiodi 2m x 2m e lunghezza 2,4m.

Set di combinazione dei giusti Giacitura	Direzione del tunnel (°)	Fattore di sicurezza minino (FOS) usando chiodi con L=2.4m		
	000-059	2.36		
	060-102	1.40		
27/092 - 41/190 - 72/336	103-239	1.82		
	239-282	1.46		
	283-360	2.05		
	000-026	1.43		
	027-053	1.57		
	0-54-078	1.53		
	079-105	1.57		
27/092 - 72/336 - 85/220	106-206	1.29		
	207-233	1.89		
	234-258	2.04		
	259-285	1.83		
	286-360	1.35		

Tabella 7.3: Analisi dei possibili cinematismi in corrispondenza della camera di frantumazione che verrà realizzata nella formazione delle Arenarie di Val Sabbia.

I risultati dell'analisi dei cinematismi indicano che l'orientazione più favorevole della camera di frantumazione e del tunnel di collegamento alla Riso Parina sono:

➢ 027° to 053°.

➤ 207° to 239°.

Allo scopo di ridurre le dimensioni dei blocchi potenzialmente instabili nella parte posteriore della camera potrebbe essere utilizzato un profilo arcuato della camera.

Sebbene ciò comporterebbe una maggiore quantità di materiale di samario da mobilizzare, porterebbe a una maggiore garanzia di stabilità a lungo termine.

### 7.3.3 Analisi dei cinematismi per le aree di intersezioni

I dati strutturali raccolti sia dall'analisi delle carote sia dai rilevi realizzati nelle gallerie esistenti indicano che è improbabile che si verifichino distacchi di cunei, di grandi dimensioni, in corrispondenza delle aree di interazione tra tunnel.

Fanno eccezione le aree dove le famiglie di discontinuità risultano molto persistenti tali da mobilizzare cunei di grandi dimensioni (a titolo esemplificativo si vedano le immagine seguenti).

In condizioni di ampie campate e strutture geologiche infinitamente lunghe le analisi mostrano, nei casi peggiori, che si possono formare dei cunei di grandi dimensioni con peso di 130 tonnellate un'altezza dell'apice di 2,6 m (il risultato dell'analisi è riportato nell'immagine seguente).



Figura 7.4: Formazione di Gorno - Esempio di strutture molto persistenti che possono formare dei cunei potenzialmente instabili.



Figura 7.5: Analisi dei cinematismi per le aree di intersezione tra tunnel.

### 7.4 Raccomandazioni sui sistemi di supporto da adottare

La tabella riportata al fondo del presente capitolo sintetizza i sistemi di supporto (tipologia e caratteristiche di massima) da adottare nella realizzazione delle opere in sotterraneo del piano di coltivazione "Gorno".

I sistemi di supporto elencati nella tabella riassuntiva sono stati proposti sulla base dei risultati delle analisi cinematiche dei cunei, sulla base di valutazioni empiriche e soprattutto sulla base dei rilievi dello stato di fatto delle gallerie esistenti.

Queste raccomandazioni preliminari sono tate realizzate allo scopo di fornire dati necessarie all'analisi preliminare dei costi del piano di coltivazione "Gorno Zinc Prloject".

Le analisi proposte nel seguente documento dovranno essere integrate e implementate in fase esecutivo/costruttiva.

Qui di seguito sono riportate ulteriori considerazioni, proposte degli scriventi, relativamente ai sistemi di supporto:

- I sistemi di supporto superficiale (rete elettrosaldata) devono essere installate nella parte posteriore e nelle spalle in tutte le aree dove è previsto il metodo di coltivazione a camere e pilasti e lungo tutto lo sviluppo della galleria di accesso "Forcella" (ad eccezione delle tratte in cui la galleria viene scavata nella Formazione di Breno). Gli scriventi raccomandano l'installazione di rete elettrosaldata ad un massimo di 3,5 m dal pavimento nella maggior parte delle condizioni del terreno, e 2,0 m dal pavimento in condizioni degli ammassi rocciosi sbocchettati, o l'esecuzione, in queste aree, di volate controllate in corrispondenza delle pareti ed un rigoroso disgaggio di eventuali cunei instabili.
- Gli scriventi sono consapevoli che l'utilizzo di rete metallica, nelle aree in cui viene utilizzata la tipologia di coltivazione LHOS, potrebbe creare un problema significativo nella gestione del minerale. Al posto della rete, laddove le condizioni strutturali lo consentano, ove fossero presenti isolati blocchi ricadenti all'interno della maglia chiodata, si raccomanda di mettere in atto di un rigoroso programma di disgaggio/rimpicciolimento dei cunei instabili per mitigare il rischio di caduta blocchi. Anche la progettazione delle perforazioni e delle volate, utilizzo di microcariche, microritardi, esplosivo a resistenza ridotta ect ect, per ridurre al minimo il disturbo dell'ammasso roccioso presente nell'intorno dello scavo e la formazione di cunei potenzialmente instabili, deve essere realizzata in modo rigoroso, dettagliato e accurato. Questo approccio è applicabile in condizioni di ammassi rocciosi di qualità da scarsa a molto buona.

- La proiezione del betoncino fibrorinforzato deve essere utilizzato ove lo scavo delle gallerie intercetta zone di faglia o zone ove gli ammassi rocciosi risultano di qualità molto scarsa oppure in aree dove sono la presenza di cunei instabili risulti inaspettata e quindi sia necessario realizzare il disgaggio per riportare le condizioni a quelle relative alla roccia sana ed inalterata.
- Talora le condizioni di scavo possono richiedere la messa in opera sporadica di bulloni. Dovranno essere realizzate comunque delle verifiche di inidoneità dei sistemi di ancoraggio messi in opera rispetto alle condizioni geotecniche e strutturali effettivamente riscontrate in situ.
- Deve essere preso in considerazione l'utilizzo di chiodi completamente incapsulati qualora venissero intercettate aree di faglia con la presenza di venute d'acqua. Questa tipologia di bulloni (cementati con malta cementizia o resina) dovranno avere un sistema di protezione alla corrosione. I chiodi messi in opera con iniezione di malta o resina resistano sicuramente di più alla corrosione rispetto a quelli non cementati. I chiodi incapsulati sono però più resistenti alla corrosione rispetto a quelli cementati. I set di spaccature cementate hanno migliorato la resistenza alla corrosione rispetto ai bulloni non innestati, ma meno dei bulloni a barra piena incapsulati. I chiodi cementati sono da consideranti generalmente adeguati in condizioni anidre.
- È necessario prevedere l'installazione di cavi chiodati, nelle aree di intersezioni tra tunnel, nel caso in cui l'ammasso roccioso risulti sblocchettato (48% dello sviluppo di hangingwall). A titolo indicativo in queste condizioni si raccomandata di valutare l'installazione di cavi chiodati a 5 fili al centro dell'intersezione con spaziatura di 2,5m. I cavi chiodati devono essere a doppio filo e lunghi 4 m, placcati e tensionati.
- Gli scavi di intersezione dovranno essere realizzati con grandissima attenzione seguendo le raccomandazioni di progetto. Visto che le dimensioni degli scavi delle intersezioni risultano più importante rispetto alle altre opere in progetto anche i sistemi di supporto dovranno essere aumentati nel numero e nelle dimensioni.
- Le intersezioni tra tunnel dovranno essere ubicate in zone dove non sono presenti faglie o ammassi particolarmente ammalorati.

Nell'analisi dei costi deve essere tenuta in conto la presenza delle zone di faglia e del dominio geotecnico degli scisti neri (rocce di scarsissima qualità) per circa il 10% dello sviluppo tale delle opere in sotterraneo.

Sebbene i dati geologici e strutturali raccolti indichino che la percentuale del domino geotecnico scisti neri risulti maggiore nel corpo mineralizzato, il dominio, che risulta essere tipicamente sottile, sarà difficilmente presente lungo l'intero sviluppo delle gallerie.

Onora in	Larghezza (m)	Altezza (m)	Dominio geotecnico	Sistemi di supporti di superficie		Sistemi di rinforzo			
progetto				Tipologia	Copertura	Tipologia	Specifiche	N° Bulloni per anello	Spaziatura dell'anello (m)
Galleria di accesso Forcella	4.0	4.5	Calcari, marne, arenarie e siltiti (99%)	Rete elettrosaldata	Spalle e pareti fino a 3,5 dal pavimento	Chiodi ad espansione	Lunghezza minima 1,8m	6	1.5
			Zone di faglia (1%)	Proiezione calcestruzzo fibrorinforzato	Spalle e pareti totali	Barre cementate	Lunghezza minima 1,8m Chiodi totalmente incapsulati	10	1.1
Discenderia di produzione	4.5	4.5	Calcari, marne, arenarie e siltiti (40%)	-	-	Chiodi ad espansione	Lunghezza minima 1,8m	6	1.5
			Ammassi rocciosi sbocchettati alterati e fratturati (50%)	-	-	Chiodi ad espansione	Lunghezza minima 1,8m	7	1.5
			Zone di faglia o scisti neri (10%)	Proiezione calcestruzzo fibrorinforzato	Spalle e pareti totali	Barre cementate	Lunghezza minima 1,8m Chiodi totalmente incapsulati	9	1.1
Galleria di produzione – Coltivazione con tecnica LHOS	4.0	4.0	Calcari, marne, arenarie e siltiti (40%)	-	-	Chiodi ad espansione	Lunghezza minima 1,8m	5	1.5
			Ammassi rocciosi sbocchettati alterati e	-	-	Chiodi ad espansione	Lunghezza minima 1,8m	6	1.5

Tabella 7.4: Tabella riassuntiva dei sistemi di supporto e rinforzo per le opere in sotterrano in progetto.

#### ENERGIA MINERALS ITALIA S.R.L.

Opera in progetto	Larghezza (m)	Altezza (m)	Dominio geotecnico	Sistemi di supporti di superficie		Sistemi di rinforzo			
				Tipologia	Copertura	Tipologia	Specifiche	N° Bulloni per anello	Spaziatura dell'anello (m)
			fratturati (50%)						
			Zone di faglia o scisti neri (10%)	Proiezione calcestruzzo fibrorinforzato	Spalle e pareti totali	Barre cementate	Lunghezza minima 1,8m Chiodi totalmente incapsulati	8	1.1
Galleria di produzione – Coltivazione con tecnica camere- pilastri	4.0	4.0	Ammassi rocciosi sbocchettati alterati e fratturati (70%)	Rete elettrosaldata	Spalle e pareti fino a 2,0 dal pavimento	Chiodi ad espansione	Lunghezza minima 1,8m	6	1.5
			Zone di faglia o scisti neri (30%)	Proiezione calcestruzzo fibrorinforzato	Spalle e pareti totali	Barre cementate	Lunghezza minima 1,8m Chiodi totalmente incapsulati	8	1.1
Intersezione tunnel	>7.0	-	Zone di faglia o scisti neri (50%)	Come supporti di prima fase	Come supporti di prima fase	Cavi chiodati	Lunghezza minima 4.0m Chiodi totalmente incapsulati doppio filo	5	-
Camera di frantumazione	8.0	9.0	Arenarie/Siltiti (100%)	Rete elettrosaldata	Blocchi e muri fino a 3,5 dal pavimento	Barre cementate	Lunghezza minima 2,4m Chiodi totalmente incapsulati	11	2.0
#### 7.5 Ripristino della galleria Riso-Parina

Come già accennato nell'introduzione, non è oggetto di questo documento la caratterizzazione geomeccanica del progetto di sistemazione/ripristino della Galleria Riso-Parina.

La caratterizzazione geomeccanica, le analisi di stabilità e la definizione dei sistemi di rinforzo sono contenute nella relazione tecnica intitolata "Minera Monica – Livello Riso Parina – Dati geotecnici e studio di stabilità della Galleria" redatta dalla Sial.Tec nel 2015 e negli elaborati grafici ad essa allegati e facenti parte della documentazione progettuale della coltivazione mineraria "Gorno".

#### 8 CONCLUSIONI

Allo scopo di realizzare la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi ricadenti nell' area di progetto e interessati dallo scavo di opere in sotterraneo, allo scopo di realizzare le analisi di stabilità e definire i sistemi di supporto da porre in opere durante gli scavi sono state compiute misure strutturali (su carote e lungo i tunnel esistenti) per la valutazione del parametro Q (Barton, Lien e Lunde, 1974).

Sono state analizzati e raccolti dati strutturali su circa 11.200 m di carote di roccia ricavate dai sondaggi esplorativi realizzati a carotaggio e raccolti da rilevi eseguiti tunnel esistenti (50m).

Sono state inoltre realizzate una serie di prove di laboratorio e in situ per determinare le propiretà fisiche e meccaniche di tutti gli ammassi rocciosi interessati dalla realizzazione del piano di coltivazione mineraria "Gorno".

Le conclusioni preliminari presentate di seguito si basano sui dati fino ad ora raccolti. Nelle successive fasi di progetto tali dati strutturali e le analisi di progetto dovranno essere implementate, integrate, riviste ed aggiornate.

#### 8.1 Stabilità degli scavi realizzati con metodo tipo LHOS

Le analisi di stabilità realizzate per le opere in sotterraneo, che verranno realizzata con il metodo di estrazione tipo LHOS, hanno mostrato che tale metodo risulta appropriato per i complessi mineralizzati con angolo di immersione di ≥16 ° utilizzando i dati riassunti nella seguente tabella.

Inclinazione del corpo mineralizzato	Condizioni del sottosuolo	Parametro di stabilità (HR)	Lunghezza de tratti stabili (m)	Diluizione attesa (m)	
	Molto scarsa	2.2	6	1.0 - 2.0	
Bassa inclinazione	Scarsa	3.6	15	0.5 – 1.0	
	Media	4.9	36	> 0.5	
	Buona	7.1	>75	> 0.5	
	Molto Buona	9.2	>75	> 0.5	

Tabella 8.1: Analisi di stabilità realizzata per le opere in sotterraneo realizzate con metodo estrattivo tipo LHSO.

Inclinazione del corpo mineralizzato	Condizioni del sottosuolo	Parametro di stabilità (HR)	Lunghezza de tratti stabili (m)	Diluizione attesa (m)	
	Molto scarsa	2.7	8	1.0 - 2.0	
Inclinazione elevata	Scarsa	4.5	18	0.5 – 1.0	
	Media	6.5	46	< 0.5	
	Buona	9.1	>75	< 0.5	
	Molto Buona	12.1	>75	< 0.5	

Come è risultato dalla raccolta e dall'analisi dei dati geologici e strutturali (sondaggi e gallerie esistenti) le condizioni del sottosuolo di progetto sono molto variabili. A complicare il quadro geologico e strutturale generale, già molto variabile, gli ammassi rocciosi di progetto posso essere interessati dalla presenza di faglie o fasce altamente ossidate.

Lo scenario geologico e strutturale di progetto, così variabile e complesso ricostruito sulla base dei dati geologici strutturali raccolti nella fase di indagini geognostiche ha permesso di definire i parametri di input rappresentati dell'estrema variabilità del contesto geologico-strutturale, (si veda l'immagine seguente) per realizzare le analisi di stabilità necessarie a definire gli elementi di progetto della coltivazione mineraria "Gorno Zinc Project".



Figura 8.1: Rappresentazione della variabilità di condizioni del sottosuolo di progetto e dei parametri di stabilità degli scavi utilizzando il parametro (HR).

I pilastri a costola sono stati progettati per ridurre al minimo la grandezza dei cameroni scavati per estrazione del minerale facendo in modo di garantire con stabilità fino al loro definitivo ritombamento. I risultati delle analisi di stabilità effettuate utilizzando modelli non lineari hanno mostrato che questi pilastri risultano stabili.

La realizzazione di staffe a sostegno dei pilastri è stata prevista per garantire la stabilità degli stessi al degrado temporale per tutta la durata delle attività di cantiere. Anche a lungo termine, con l'installazione di staffe, le simulazioni hanno mostrato che la stabilità è garantita per proteggere il declino per tutta la durata dell'attività estrattiva.

#### 8.2 Stabilità degli scavi realizzati con il metodo camere-pilastri

Per le aree in cui il corpo mineralizzato risulta avere una geometria con un angolo di inclinazione minore a 16° il progetto prevede l'utilizzo del metodo di scavo camere-pilastri.

Allo scopo di verificare la stabilità delle camere e di pilastri è stata realizzata una modellizzazione numerica non lineare. La modellizzazione ha mostrato come, per mantenere la stabilità delle camere è necessaria la presenza dei pilastri per far sì che la verifica di stabilità delle opere in risulti verificata.

#### 8.3 Stabilità dell'infrastruttura a lungo termine

Il modello numerico ha mostrato inoltre come l'infrastruttura "piano di coltivazione" sia stabile anche, a lungo termine, per tutta la durata del progetto.

#### 8.4 Subsidenza della superficie

L'estensione delle deformazioni indicate dal modello nell'ultimo step di attività estrattiva indica che gli spostamenti non si estendono oltre i 25m sopra i vuoti minerari evitando così alcun tipo di subsidenza superficiale.

La ripiena dei vuoti minerari è comunque uno strumento di mitigazione del fenomeno e serve a garantire la certezza nella stabilità globale. Nel caso in futuro fosse presa la decisione di non riempire i vuoti dovranno essere realizzate nuove analisi.

#### 8.5 Sistemi di supporto

Qui di seguito vengono riproposte le considerazioni già realizzate dagli scriventi nel capitolo "Sistemi di supporto e sostegno"

• I sistemi di supporto superficiale (rete elettrosaldata) devono essere installate nella parte posteriore e nelle spalle in tutte le aree dove è previsto il metodo di coltivazione a camere e pilasti e lungo tutto lo sviluppo della galleria di accesso "Forcella" (ad eccezione delle tratte in cui la galleria viene scavata nella Formazione di Breno). Gli scriventi raccomandano l'installazione di rete elettosaldata ad un massimo di 3,5 m dal pavimento nella maggior parte delle condizioni del terreno, e 2,0 m dal pavimento in condizioni dei ammassi rocciosi sbocchettati, o l'esecuzione, in queste aree, di volate controllate in corrispondenza delle pareti ed un rigoroso disgaggio di eventuali cunei instabili.

- Gli scriventi sono consapevoli che l'utilizzo di rete metallica, nelle aree in cui viene utilizzata la tipologia di coltivazione LHOS, potrebbe creare un problema significativo nella gestione del minerale. Al posto della rete, laddove le condizioni strutturali lo consentano, ove fossero presenti isolati blocchi ricadenti all'interno della maglia chiodata, si raccomanda di mettere in atto di un rigoroso programma di disgaggio/rimpicciolimento dei cunei instabili per mitigare il rischio di caduta blocchi. Anche la progettazione delle perforazioni e delle volate, utilizzo di microcariche, microritardi, esplosivo a resistenza ridotta ect ect, per ridurre al minimo il disturbo dell'ammasso roccioso presente nell'intorno dello scavo e la formazione di cunei potenzialmente instabili, deve essere realizzata in modo rigoroso, dettagliato e accurato. Questo approccio è applicabile in condizioni di ammassi rocciosi di qualità da scarsa a molto buona.
- La proiezione del betoncino fibrorinforzato deve essere utilizzato ove lo scavo delle gallerie intercetta zone di faglia o zone ove gli ammassi rocciosi risultano di qualità molto scarsa oppure in aree dove sono la presenza di cunei instabili risulti inaspettata e quindi sia necessario realizzare il disgaggio per riportare le condizioni a quelle relative alla roccia sana ed inalterata.
- Talora le condizioni di scavo possono richiedere la messa in opera sporadica di bulloni. Dovranno essere realizzate comunque delle verifiche di inidoneità dei sistemi di ancoraggio messi in opera rispetto alle condizioni geotecniche e strutturali effettivamente riscontrate in situ.
- Deve essere preso in considerazione l'utilizzo di chiodi completamente incapsulati qualora venissero intercettate aree di faglia con la presenza di venute d'acqua. Questa tipologia di bulloni (cementati con malta cementizia o resina) dovranno avere un sistema di protezione alla corrosione. I chiodi messi in opera con iniezione di malta o resina resistano sicuramente di più alla corrosione rispetto a quelli non cementati. I chiodi incapsulati sono però più resistenti alla corrosione rispetto a quelli cementati. I set di spaccature cementate hanno migliorato la resistenza alla corrosione rispetto ai bulloni non innestati, ma meno dei bulloni a barra piena incapsulati. I chiodi cementati sono da consideranti generalmente adeguati in condizioni anidre.
- È necessario prevedere l'installazione di cavi chiodati, nelle aree di intersezioni tra tunnel, nel caso in cui l'ammasso roccioso risulti sblocchettato (48% dello sviluppo di hangingwall). A titolo indicativo in queste condizioni si raccomandata di valutare l'installazione di cavi chiodati a 5 fili al centro dell'intersezione con spaziatura di 2,5m. I cavi chiodati devono essere a doppio filo e lunghi 4 m, placcati e tensionati.

- Gli scavi di intersezione dovranno essere realizzati con grandissima attenzione seguendo le raccomandazioni di progetto. Visto che le dimensioni degli scavi delle intersezioni risultano più importante rispetto alle altre opere in progetto anche i sistemi di supporto dovranno essere aumentati nel numero e nelle dimensioni.
- Le intersezioni tra tunnel dovranno essere ubicate in zone dove non sono presenti faglie o ammassi particolarmente ammalorati.

#### 9 RACCOMADAZIONI RELATIVE ALLE FUTURE ATTIVITA' DA REALIZZARE E DA IMPLEMENTARE PER IL PROGETTO ESECUTIVO

Le considerazioni seguenti devono essere tenute in conto nella realizzazione delle future fasi progettuali e di sviluppo del progetto di coltivazione mineraria "Gorno"

#### 9.1 Raccolta dati

Allo scopo di integrare i dati geologico-strutturali e geotecnici fino ad ora raccolti gli scriventi raccomando di realizzare una campagna geognostica integrativa che comprenda la realizzazione di nuovi sondaggi esplorativi a carotaggio continuo (con corona diamanta) nelle aree dove si ha carenza di dati e dove si intende sviluppare il piano di coltivazione e la realizzazione di prove di laboratorio per la caratterizzazione fisico meccanica (UCS, UTS e Triassiali) del substrato roccioso. In particolare dovranno essere campionati, utilizzando molta cura nella perforazione che dovrà essere realizzata con triplo carotiere (con diametro NQ o HQ ) e testati in laboratorio gli scisti neri di cui ad oggi non si hanno dati disponibili.

Una volta iniziati gli scavi delle gallerie in progetto si raccomanda la raccolta dei dati strutturali (persistenza, caratteristiche e orientazione delle famiglie di discontinuità) delle pareti di scavo allo scopo di aggiornare il modello geologico e geotecnico a riferimento progettuale proposto in questa fase, aggiornare e affinare e tarare la progettazione delle principali opere costituenti il piano di coltivazione. Da valutare infine la realizzazione di un modello topografico 3d sul quale individuare i principali sistemi strutturali alla scala regionale.

### 9.2 Aggiornamento del modello geologico e geotecnico a riferimento progettuale e delle verifiche di stabilità

Come appena accennato la raccolta di dati strutturali e geotecnici aggiuntivi serviranno in primo luogo a confermare la presenza sull'area di progetto dei domini geotecnici individuati in questa fase (e la parametrizzazione degli stessi) e successivamente ad aggiornare e confermare i risultati delle verifiche di stabilità e di conseguenza le scelte di progetto relative ai sistemi di supporto da mettere in opera (tipologia e dimensioni) includendo: analisi dei risultati delle prove di laboratorio integrative, valutazioni delle strutture minori sulla base dei nuovi rilievi, verificare i parametri di classificazione degli ammassi rocciosi, verificare delle proprietà della roccia intatta e ricostruzione geologica rappresentata nelle 3 dimensioni dell'unità geotecnica dei scisti neri. Dovranno infine essere realizzata, a maggior dettaglio, le analisi di stabilità degli scavi e dei pilastri che verranno realizzati negli scisti neri e rivedere i modelli numerici non lineari dell'area dove gli scisti neri sono prevalenti.

#### 9.3 Monitoraggio

Una volta iniziata l'attività mineraria, dovrà essere messo in atto un programma di monitoraggio geotecnico, che dovrà includere:

- Un sistema di monitoraggio periodico delle gallerie e delle cavità sotterranee (CMS) per verificare la stabilità e la validità dei sistemi di supporto adottati. Sulla base dei dati di monitoraggio raccolti in corso d'opera, se necessario, saranno ricalibrate le scelte progettuali andando ad aumentare, se le condizioni rilevate fossero peggiori rispetto a quelle ipotizzate in progetto, o a diminuire i sistemi di supporto proposti nel caso apposto.
- Un monitoraggio periodico visivo delle gallerie e delle cavità sotterranee per verificare o deterioramento dei sistemi di supporto e degli ammassi rocciosi.
- Installazione di strumentazione geotecnica per la verifica delle performance dei sistemi di supporto, specialmente nelle cavità realizzate nel corpo mineralizzato e eventuale loro ottimizzazione.

#### 9.4 Esplosivi

Relativamente all'utilizzo di esplosivi e alla progettazione delle volate si raccomanda l'utilizzo di esplosivi (microcariche, microritardi, ect ect) che riducano al minimo il disturbo dell'ammasso roccioso per tutto lo sviluppo delle opere in sotterraneo. Usualmente le zone di disturbo (allentamento), utilizzando le buone pratiche per la realizzazione della volata, sono comprese tra 0,3 ma 0,5 m. La zona di disturbo può aumentare fino a 0,8m, nel caso di volate mal realizzate, ma in questo caso dovrà essere aumentato il numero dei sistemi di supporto.

Si consiglia, infine, allo scopo di aumentare la qualità del sistema di controllo, la realizzazione di sondaggi periodici, all'interno dei quali realizzare prove sismica tipo down-hole, per verificare della qualità della roccia dei parametri ad essa attributi.

#### 9.5 Disgaggio

Un accurato disgaggio da realizzare lungo tutto lo sviluppo delle gallerie è vivamente raccomandato allo scopo di ridurre al minimo il rischio di distacco di cunei rocciosi specialmente nelle aree dove non verranno installati sistemi di supporto. Tale attività dovrà essere realizzata dopo ogni volata specialmente dove non verrà installata la rete metallica.

#### 9.6 Gestione dei rischi geotecnici

Gli scriventi raccomandano di implementare un sistema per la gestione formale dei rischi geotecnici associati all'attività estrattiva. Ciò implicherebbe la definizione di come implementare la gestione e l'analisi dei dati e misure del monitoraggio proposte precedentemente.

Il sistema di gestione dei rischi geotecnici dovrebbe essere composto da tre elementi principali:

- 1. Un piano di gestione dei controlli a terra (GCMP), che include ma non è limitato a seguire:
  - Descrizione degli elementi principali costituenti il progetto di coltivazione.
  - Descrizione di specifici rischi geotecnici e modalità di gestione dei rischi.
  - Requisiti di monitoraggio e raccolta dei dati.
  - Processi per l'integrazione di nuovi dati nella progettazione delle miniere.
  - Processi per la segnalazione di pericoli / incidenti geotecnici.
  - Responsabilizzazione e sensibilizzazione, relativamente al sistema di gestione dei rischi adottato, del personale chiave della miniera, come il responsabile della miniera, i supervisori del turno, geologi, ingegneri geotecnici, geometri e forza lavoro in generale.
  - Sviluppo di standard per la scelta dei sistemi di supporto da adottare in base alle condizioni di massa rocciosa previste in progetto ed effettivamente rilevate in fase di scavo, Questa attività dovrebbe diventare parte integrante del piano di controllo del sottosuolo.
- Definizione del registro dei rischi geotecnici, che comprende tutti i rischi geotecnici possibili inclusi quelli legati allo sviluppo del piano di coltivazione, lo stato di ciascun pericolo e la strategia di gestione di ogni singolo pericolo.
- 3. L'applicazione dello strumento "trigger-action-response plan (TARP) tipicamente utilizzato in ambirò minerario per la gestione dei rischi geotecnici. Tale strumento dovrebbe essere in grado di identificare le azioni da adottare e il personale responsabile della gestione dei rischi a differente grado di rischio potenziale.

#### **10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

- Alta Zinc 2018. Phase 1 Engineering study. Internal report, April 2018.
- Alta Zinc 2018. Gorno Zinc Project, available http://www.altazinc.com/projects/gornozinc-project, viewed 20 September 2018.
- AMC 2018. Gorno Feasibility Study geotechnical gap analysis. Unpublished report No. 218075, July 2018.
- **Cavroc** 2016. Theory and background improved unified constitutive model (IUCM). Version 1.0, May 2016.
- Energia Minerals 2017. Technical and economic assessment. Internal report, December 2017. The European Union 2007. European standard EN1997-2, Eurocode 7 geotechnical design part 2: ground investigation and testing. March 2007.
- Grünthal G, Bosse C, Sellami S, Mayer-Rosa D and Giardini D 1999. Compilation of the GSHAP regional seismic hazard for Europe, Africa and Middle East. Annali di Geofisca, 42:6, 1215-1223.
- Jorvik Resources 2017. Gorno Zinc Project resources and exploration. Unpublished report September 2017.
- Marlow P and Mikula PA 2013. Shotcrete ribs and cemented rock rill ground control methods for stoping in weak squeezing rock at Wattle Dam Gold Mine. Proc. Ground Support 2013.
- Milesi, R 2016. Caratterizzazione geologica e geomeccanica del "livello Sandri" nella exminiera di fluorite di Paglio-Pignolino (Dossena, BG). Thesis from Università degli Studi di Milano-Bicocca.
- Sial.tec 2015a. Miniera di Oltre il Colle Tunnel Forcella N-S, Tunnel Forcella W prove point- load per la stima della resistenza a compressione uniassiale (UCS) dei materiali rocciosi. Unpublished report 28 May 2015.
- Sial.tec 2015b. Miniera di Oltre il Colle Tunnel Forcella N-S, Tunnel Forcella W analisi di stabilita' della galleria. Unpublished report 31 May 2015.
- Sial.tec 2015c. Miniera Monica Livello Riso parina dati geotecnici e di stabilita' della galleria. Unpublished report 15 July 2015.
- Sial.tec 2015d. Miniera di Oltre il Colle Ribasso Forcella nuova discenderia dati geotecnici e verifiche di stabilita' della galleria. Unpublished report 10 September 2015.
- Sial.tec 2016. Miniera Monica Livello Forcella Misura dello stato tensionale della roccia. Unpublished report 9 June 2016.

- Sial.tec 2017a. Gorno Zinc Project geotechnical study. Unpublished report January 2017.
- Sial.tec 2017b. Gorno Zinc Project geotechnical study for the new underground chambers layout. Unpublished report October 2017.
- Sial.tec 2017c. Gorno Zinc Project geotechnical study upgrade. Unpublished report November 2017.
- SRK 2017. A mining study on the Gorno Zinc project, Italy. Unpublished report no. UK6830. University of Milan Bicocca 2018. Geomechanical tests on Dossena mine rocks. Unpublished report 23 July 2018.
- Vakili A, Sandy M and Albrecht J 2012. Interpretation of non-linear numerical models in geomechanics – a case study in the application of numerical modelling for raise bored shaft design in a highly stressed and foliated rock mass. Proc. 6th International Conference and Exhibition on Mass Mining.

# ALLEGATO A – Istogrammi di distribuzione dei valori di Q-System (Barton) suddivisi per litotipo































## ALLEGATO B – Istogrammi di distribuzione del valore di Q'-System per le cavità estrattive







### ALLEGATO C – Analisi stereografiche delle famiglie di discontinuità rilevati lungo le gallerie esistenti e sulle carote prelevata dai sondaggi esplorativi

#### Breno formation mapping data



Symbol	SPACING	Quantity				
+	0.2-0.4	12				
×	0.4-0.5	3				
	0.7	1				
	<0.2	2				
	[no data]	6				
Colo	r Des	sity Concentrations				
		0.00 - 1.70				
		1.70 - 3.40				
	1 3	2.40 5.10				
		6.90 - 8.50				
	8.50 10.20					
	10.20 - 11.90 11.90 - 13.50					
		5.10 . 17.00				
	Contour Date	Pole Vectors				
	Maximum Densit	16.18%				
	Contour Distribution	B Fisher				
	Counting Circle St/	4 1.17%s				
0	dor Dip 1	ip Direction Label				
	Mean Set	Planes				
1m	29	179 Bedding				
2n	17	291				
4m	67	83				
5m	37	54				
	Plot Mod	e Pale Vedars				
	Vector Coun	£ 24 (24 Entries)				
	Hemispher	e Lower				
	Projectio	Equal Angle				

Gorno formation mapping data



Symbol	SPACING			Quantity	
	0.05-0.15				
1.0	0.15			3	
	0.2-0.4				
Cole	*	Dens	ity Concent	rations	
		0	.00 - 3	2.10	
		- 23	.10 - 0	1.20	
		- 8	.20 (	1.30	
			30 - 6	8.40	
		8.40 - 10.50			
		10	.50 - 1	(2.60	
		14	.00	1.70	
				05.80	
		10	.80 - 1	08.90	
	Conto	ur Data	Della Machine	11.000	
	Marcine	Describy	35 3364		
	Frankrige Dist	Density	Color		
	Contour Dest	ipution	116287		
	Counting Cir	cle Size	1.0%		
0	olor Dip	Di	p Direction	Label	
- 34	Ma	ian Set P	lanes		
let	29		329	Bedding	
211	<b>00</b>		17		
311	82		\$03		
	Pic	ot Mode	Pole Vector	1	
	Vecto	r Count	17(17:08	aed)	
	Hem	isphere	Lower		
	Pro	dection	Ensuel Area		

#### Metallifero formation mapping data



Symbol	SPACE	SPACING Quant					
	0.05-0.	0.05-0.15					
100	8.2-0.4					3	
1	0.5					2	
Col	Dif	11	Dens	ity C	oncent	ations	
			. 0	.00	2	20	
			- 3	.90	- 4	20	
			- 8	:30	- 6	30	
			- 14	.30	- 8	40	
			. 8	.40	- 1	0.50	
			10	:50	- 1	2.60	
			17	.60	- 1	4.70	
			14	.20	- P	5.80	
			- 14	.80	- 1	0.90	
			14	.90	- 2	1.00	
		Contour I	Data	Ppk	Vectors	÷	
	Max	imum Der	nity	20,4	17%		
	Conto	ur Distribu	tion	Fish	er .		
	Count	ting Circle	Size	1.04	4		
0	olor	Dip	Di	p Die	ection	Label	
		Mean	Set P	lanes	(		
300.		25		319	0	Bedding	
2m		85		- 29	6	2012202	
3m		00		31	1		
4m		71		36	0		
		Plot M	lode	Pole	Vectors	ę	
		Vector Co	ount	101	10 Entri	(es	
		Hemispl	here	LOW	vei		
		Projec	tion	fiqu	al Angle		

Quantity

9

14

3

1.90 3.00 5.70 7.60 9.50 11.40 13.30

15.20

19.00

lisoding

Val Sabbia formation mapping data



#### Breno formation logging data



Symbol	TYPE		Quantity
	F		52
	FO		5
	1T		31
	50		158
÷	VN		141
Colo	- 1	Densi	ty Concentrations
		U	.00 - 0.80
	-	0	.80 - 1.60
		4	.60 - 2.40
		2	.40 - 3.20
		3	.20 - 4.00
		- 3	.00 - 4.80
		- 1	.80 - 5.60
		- 2	.60 - 6.40
		- 8	.40 - 7.20
	Contear I	hata	Pole Vectors
	Maximum Den	sity	7,28%
	Contour Distribu	tion	Fisher
	Counting Orcle	Size	1.0%
6	dor Dip	Dig	Direction Label
	Mean	Set P	lanes
Iw.	19		174 Bedding
2sv	25		44
3w	80		117
	Plot M	lode	Pole Vectors
Vec	tor Count (Weigh	ted)	796 (387 Entries)
	Terzaghi Weigh	ting	Minimum Bias Angle 15 <sup>a</sup>
	Hemisph	stre	Lower
	Broker	tinn	Equal America

#### Gorno formation logging data



Symbo	of LAbe							Quantit
	F							24
	FD							1
-	50							352
	VN.							187
C	olor	_	Densi	ty Co	000	inte	ation	15
			0	00	-	3,	00	
			1	00	-	2	00	
			2	00	1	3.	90	
				00		4.	90	
				.00	33	5.	00	
			- 5	00	-	5,	00	
				00	-	-7	00	
			- 2	00			D(F	
				00		3	00	
		20 P.1	.9	00	-	- 11	1/00.	
_		Contour	Data	Pole	Ye	tor	\$ <u>}</u>	
	Max	imum De	ensity	9.37	10			
	Contor	ır Distrik	extion	Esh	er i			
	Count	ing Circle	e Size	1.01	6	_		
- 1	Color	Dip	Dig	Dire	cti	90	Labe	4
	1.1.1.10	Meat	n Set P	tanes				
1w		22		105	5		Bedd	ing.
210		82		50	( _			
3w		<u>ê9</u>		352	2			
dw		82		122	į.			
		Plot	Mode	Pole	Ve	ton	1	
	ector Cou	nt (Weig	(hteril)	111	8 (5	64.	intrie	0
	Terza	ghi Weig	phing	Mini	mut	n B	les An	gle 15 <sup>4</sup>
		Hemis	phere	Low	ŧr			
		Denie	without	Envi	1 4			
### Metallifero formation logging data



Symbol	TYPE		Quantity		
+	1		172		
10	FO		2		
	JT		4		
-	50		436		
10	VN		302		
Color		Dens	aty Concentrations		
			3.00 - 0.50		
			0.50 1.00		
		1	1.50 - 1.50		
		1 2	1.50 - 2.00		
		1	2,50		
	-		1.00 - 1.50		
		1.1.1	3.50 4.00		
			1.00 4,50		
			1.50 - 5.00		
C		Contour Data Pole Vectors			
Maximum Density			4.63%		
	Contou	r Distribution	Risher		
	Countin	ng Circle Size	1.0%		
C	nlor	Dip Di	p Direction Label		
		Mean Set	Planes		
tw		9	175 Bedding		
211		86	62		
3w		68	16		
411		78	179		
		Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count (Weighted)			1643 (916 Entries)		
Terzaghi Weighting			Minimum Bias Angle 15*		
Hemisphere			Lower		
		Projection	Equil Angle		

Val Sabbia formation logging data



Symbol	TYPE				Quant	it
	Ŧ				- 4	T
1.4	50				111	
	VN				32	i.
Color			Dens	Ry Conce	ntrations	
				- 00 0	1.50	
			1	.50	3.00	
			- 13	:00	4.50	
			- 84	50	6.00	
				×00	7.50	
	1		1.2	- 50	9.00	
			- 15	.00 -	10.50	
	_		11	150	12.00	
			- 33	.00	13.50	
			13	.50	15.00	
		Contour D	hata	Pole Vect	DFB.	_
	Ma	ümum Den	sity	14.78%		
	Conto	ur Distribu	tion	Hister		
	Count	ting Circle !	Size	1.0%		
0	olor	Dip	Di	p Directio	n Label	
10.02	S-02-5	Hean 3	Set P	lanes		
Iw		22 ±09 Beilding				
211		87 58				
34		-65		334		_
		Plot M	ode	Pole Vect	prs	
Vector Count (Weighted)			310 (147 Eritries)			
Terzaghi Weighting				Hinimum Bies Angle 13*		
Hemisphere Projection				Lower		
				Equal Angle		

## ALLEGATO D – Gruppi geomeccanici e Istogrammi di distribuzione dei valori di Q-System e Q'















# ALLEGATO F – Grafici relativi ai risultati delle analisi di stabilità



Stability graph unsupported maximum allowable span - shallow-dipping ore (20° - 25°)



Stability graph unsupported maximum allowable span - steep-dipping ore (55° - 65°)



### Empirical estimation of ELOS - shallow-dipping ore (20° - 25°)



### Empirical estimation of ELOS – steep-dipping ore (55° - 65°)