

AMC Consultants Pty Ltd

ABN 58 008 129 164

Level 1, 1100 Hay Street
West Perth WA 6005
Australia

T +61 8 6330 1100

E perth@amcconsultants.com
amcconsultants.com



AMC
consultants

mine smarter

Relazione Tecnica

Gorno Pian Bracca and Ponente Geotechnical PFS
Energia Minerals (Italia) S.R.L.

AMC Progetto 221048_3
15/11/21

Scoprire un modo più intelligente

Sintesi

Energia Minerals (Italia) SRL (Energia) ha incaricato AMC Consultants Pty Ltd (AMC) di intraprendere uno studio di prefattibilità geotecnica (PFS) per le potenziali aree minerarie di Ponente e Pian Bracca presso il deposito sotterraneo di Gorno (Gorno). Il deposito si trova in provincia di Bergamo da circa 1,5 km a 2,5 km a nord della città di Oltre il Colle in Lombardia, Italia.

Lo scopo dello studio di prefattibilità consiste nel determinare un metodo di estrazione idoneo e dei parametri geotecnici preliminari di estrazione sotterranea per le due potenziali aree estrattive.

La scelta del metodo di estrazione per il Gorno è in gran parte dettata dalla geometria del giacimento minerario e dalle condizioni della roccia. Il metodo di estrazione proposto per Pian Bracca e Ponente è il drift-and-fill e il long-hole open stoping. Considerata la profondità ridotta di questo giacimento minerario, si prevedono adeguati pilastri progettati per ridurre al minimo la subsidenza della superficie. AMC prevede che l'estrazione del giacimento avverrà con una larghezza di 10 m e all'altezza necessaria per recuperare tutto il minerale. Subordinatamente, alcune aree della miniera verranno coltivate come room-and-pillar (camere e pilastri).

Dai risultati della valutazione sono state tratte le seguenti conclusioni:

Idrogeologia

- Storicamente e in generale, i percorsi sotterranei a Gorno sono caratterizzati da un afflusso d'acqua minimo. Le misurazioni di portata condotte nell'ottobre 2021 quantificano l'entità dell'afflusso nelle aree umide della miniera, associate a faglie umide, adiacenti e sotto il fiume Vedra.
- L'acqua pulita in eccesso verrà tenuta separata dalle attività minerarie e scaricata come pulita. L'acqua a contatto con le attività minerarie, come l'acqua di perforazione, sarà diretta a livello 600 mRL e trattata prima di essere scaricata.
- Il deflusso è attualmente gestito facendo confluire l'acqua tramite drenaggi e tubazioni verso lo scarico al Fiume Vedra o tramite la Galleria Riso Parina al Torrente Riso. Negli scavi di Pian Bracca a quota Parina è presente acqua stagnante profonda 30 cm. Ad ogni modo, se necessario, è probabile che il sistema drenaggio in questa zona possa essere modificato per rimuovere l'acqua stagnante.
- La situazione attuale delle aree coltivate a Gorno suggerisce che ulteriori attività estrattive al di sotto del fiume Vedra possono essere considerate a basso rischio idrogeologico, ad eccezione delle aree entro 30 m dalla superficie, intersecate da faglie subverticali, dove il rischio idrogeologico può essere considerato moderato.
- Si suggerisce di realizzare una mappatura continua dello sviluppo per confermare la presenza di faglie, in particolare attraverso l'area entro 30 m dalla superficie.

Valutazioni di stabilità

- I risultati indicano che le condizioni dei litotipi delle formazioni a tetto sono leggermente peggiori nelle aree superficiali di Pian Bracca rispetto alle aree minerarie più profonde.
- I risultati della valutazione della stabilità indicano che nell'intervallo che copre la maggior parte delle condizioni della roccia, le camere di coltivazione proposte larghe 10 m risultano instabili senza adeguato sostegno. Pertanto, AMC raccomanda che i tunnel di produzione coltivati siano designati come "vuoti non accessibili".
- I risultati della valutazione della stabilità indicano che in una vasta gamma di condizioni dell'ammasso roccioso, i litotipi a tetto degli scavi dovrebbero risultare stabili, senza sostegni, da circa 10 m a 17 m lineari, in presenza di roccia con scarsa qualità geomeccanica, mentre in roccia di buona qualità, fino a lunghezze > 50 m.
- I risultati della modellizzazione indicano che il posizionamento del solo impasto di riempimento ("pastefill") è inadeguato per ridurre la deformazione in superficie a limiti

accettabili e che devono essere prese in considerazione ulteriori restrizioni sull'estrazione mineraria. AMC raccomanda che alcune aree siano definite come primarie, lasciando aree di minore importanza come pilastri e evitando la coltivazione entro alcune aree al di sotto del fiume al fine di raggiungere livelli accettabili di deformazione in superficie.

- I risultati indicano che gli stress causati dagli scavi sono bassi, il che è in linea con le osservazioni fatte durante la visita in loco del 2018. Pertanto, a Pian Bracca e Ponente sono improbabili problemi legati alle sollecitazioni.
- Si raccomanda di evitare la coltivazione al di sotto del fiume, perché non si dispongono informazioni adeguate riguardo lo spessore dell'ammasso roccioso. In una fase successiva di approfondimento degli studi si suggerisce di condurre ulteriori indagini per determinare lo spessore della roccia. Non appena si abbiano a disposizione ulteriori informazioni, si suggerisce di rivalutare il metodo di coltivazione per verificare la possibilità di scavare sotto il fiume.
- Lo scopo delle analisi numeriche consisteva nel raccomandare una strategia di coltivazione mineraria che riducesse al minimo la deformazione in superficie. Un approccio meno conservativo alla strategia presentata nella Sezione 6.4 può essere preso in considerazione se sono presenti le seguenti condizioni:
 - La normativa italiana consente deformazioni superficiali maggiori dei danni "molto lievi" mostrati in Figura 6.20.
 - Non ci sono edifici nelle aree all'interno dei contorni rossi in Figura 6.11 e Figura 6.12.
- Una superficie delimitante le aree con diverso grado di deformazione è stata fornita ad Energia per valutare le posizioni degli edifici rispetto alle aree con i più alti livelli di deformazione. Relativamente all'opzione dell'estrazione mineraria sotto il fiume, si suggerisce di prevedere un'analisi localizzata che includa dettagli sullo spessore della roccia, la posizione delle faglie e l'impatto che la deformazione della roccia e del terreno può avere sul fiume, inclusa una valutazione del potenziale di infiltrazione dell'acqua. Questa analisi dettagliata esula dallo scopo del lavoro di questo studio ed è raccomandata per il livello di studio successivo.
- La sequenza di coltivazione mineraria in casi in cui sono presenti lenti sovrapposte, avverrà dalle lenti inferiori alle lenti superiori. AMC raccomanda che in tutti i casi l'estrazione avvenga dall'alto verso il basso, eliminando il rischio di estrazione in un vuoto aperto. La ripiena sarà difficile negli scavi poco profondi, in particolare se si verificano collassi degli span (la spaziatura massima di scavo privo di interventi di sostegno) creando vuoti irregolari.
- Si consiglia quindi di adottare un programma di sondaggi di perforazione e monitoraggio per mitigare tali rischi se Energia sceglie di scavare sopra i vuoti ripienati.

Sostegni

- I sostegni raccomandati, per tutte le condizioni rocciose, sono:
 - **Roccia buona e molto buona:** chiodatura con spaziatura di 1,4 m x 1,3 m con rete elettrosaldata posizionata da spalla a spalla, o con spaziatura di 1,6 m x 1,6 m con calcestruzzo fibrorinforzato (fibrecrete) posizionato sempre da spalla a spalla. Un rigoroso programma di disaggio (cioè, dopo ogni sparo entro 50 m dall'area) potrebbe essere implementato al posto dell'installazione di un sostegno di superficie, AMC ritiene tuttavia che questo approccio necessita di personale minerario di grande esperienza, per l'esecuzione del lavoro.
 - **Roccia normale:** chiodatura con spaziatura di 1,3 m x 1,2 m con rete elettrosaldata posizionata da spalla a spalla, oppure chiodatura con spaziatura di 1,5 m x 1,5 m con calcestruzzo fibrorinforzato posizionato sempre da spalla a spalla. In queste condizioni è necessario un sostegno di superficie. AMC ritiene che il solo disaggio non sia sufficiente per prevenire i rischi di caduta massi.
 - **Terreno scadente:** bolts con spaziatura di 1,2 m x 1,2 m con rete elettrosaldata posizionata da piedritto a piedritto, o chiodatura con spaziatura di 1,4 m x 1,4 m con calcestruzzo fibrorinforzato posizionato da piedritto a piedritto. In queste condizioni

è necessario un sostegno di superficie. AMC ritiene che il solo disgiungimento non sia sufficiente per prevenire i rischi di caduta massi.

- **Roccia molto scadente:** chiodatura con spaziatura di 1,3 mx 1,2 m con fibrocemento posato da piede a piede. In queste condizioni è richiesto l'utilizzo di calcestruzzo fibrorinforzato perché la presa avvenga il più velocemente possibile dopo la posa. AMC ritiene che il solo disgiungimento è insufficiente per prevenire i rischi di caduta massi e che la rete elettrosaldata è insufficiente per mantenere il controllo del profilo.
- Se nelle intersezioni degli scavi si incontra roccia a blocchi, si devono prendere in considerazione tiranti di 4 m di lunghezza con una spaziatura di 2 m x 2 m. I dati del logging indicano che la roccia a blocchi potrebbe presentarsi, nei litotipi a tetto, nel 25% di tutte le condizioni dell'ammasso roccioso valutato.
- Si ritiene che le aree con i sostegni primari raccomandati, installati ed intatti (e i sostegni secondari ove richiesto) debbano essere designate come adeguatamente rinforzate.
- I fronti, nelle aree in cui viene utilizzato il metodo di estrazione long-hole potrebbero richiedere ulteriore supporto. AMC raccomanda di condurre un'ulteriore analisi delle condizioni dei fronti per il successivo livello di studio.

Valutazione del portale

- Condurre un programma di raccolta dati e successiva valutazione geotecnica per il proposto portale ZIA, tra cui:
 - Effettuare carotaggi geognostici nella posizione proposta e diretti lungo l'asse della galleria progettata, per determinare le condizioni dell'ammasso roccioso, effettuare ulteriori perforazioni sopra la posizione proposta per determinare la profondità e la qualità della copertura. Effettuare il logging geotecnico delle perforazioni.
 - Condurre una valutazione di RMR_{89} (Bieniawski 1989) e Q.
 - Condurre una valutazione del potenziale di scivolamento rotazionale del fronte se la mappatura indica la presenza di materiali usurati o deboli. AMC prende atto del fatto che la roccia è un conglomerato ben cementato.
 - Condurre una valutazione cinematica del fronte se la mappatura indica la presenza di strutture.
 - Condurre un'analisi del cuneo (wedge analysis) per lo scavo delle spalle e delle pareti del portale utilizzando i dati di perforazione.
 - Condurre una valutazione delle strutture su larga scala in base ai risultati dei carotaggi.
 - Fornire raccomandazioni sui sostegni da impiegare e sui monitoraggi necessari, sulla base della recente pubblicazione Stephenson e Sandy (2021).

Vibrazioni generate da spari

- Non sono stati identificati problemi riguardanti lo sparo delle mine per la galleria ZIA. Gli spari monitorati, secondo evidenze fornite da Energia hanno indicato valori dei PPV bassi, con livelli inferiori alle linee guida sulle vibrazioni della DIN 4150-3. AMC ritiene che non ci sono motivi di preoccupazione relativamente a danni indotti dalle vibrazioni da sparo alle strutture commerciali o residenziali per la galleria ZIA.

Stabilità delle discariche

- I risultati dell'analisi di stabilità sulle discariche indicano che la stabilità della discarica è sensibile a livello della falda freatica. Poiché la discarica è generalmente costituita da roccia frantumata, si prevede che abbia un'elevata permeabilità e si può escludere lo sviluppo di una falda freatica all'interno della discarica stessa. L'innalzamento della falda a ridosso della discarica, all'interno del pendio, influenza la stabilità della fondazione ma solo in maniera marginale. In generale, le condizioni di stabilità dei progetti di discarica soddisfano

i requisiti minimi. Tuttavia, nel caso in cui sussista la possibilità di accumulo di materiale fine sul fondovalle (o sul fondo del canale), si suggerisce di impiegare metodi di miglioramento del drenaggio e prevenzione dell'intasamento. Si raccomanda inoltre di:

- Deviare il più possibile l'acqua superficiale dalle aree di discarica per impedire l'ingresso nella discarica stessa. Potrebbe essere necessario un sistema di drenaggio.
 - Prevedere un drenaggio adeguato, se a valle della discarica è presente un flusso intermittente ed esiste il potenziale di intasamento. Si ritiene sufficiente l'istallazione di pietrame (rockfill) di circa 1 m di larghezza (1 m di altezza) avvolto in un adeguato geotessuto nella porzione inferiore. Tuttavia, le dimensioni dello scarico dipendono dal flusso previsto.
- I progetti delle discariche considerano le pareti dei gabbioni come supporto passivo alla base dei riempimenti e come misura di protezione contro la caduta di massi da altri pendii di discariche. Poiché la costruzione di gabbioni è molto laboriosa e costosa, un'idea è di prendere in considerazione recinzioni per la protezione contro la caduta di massi.
 - Le discariche ZIA sono ubicate su pendii, pertanto non si prevede lo sviluppo di una falda freatica all'interno delle discariche.

Ulteriori lavori

AMC raccomanda che vengano svolti i seguenti approfondimenti per la realizzazione di uno studio di fattibilità:

- Condurre ulteriori perforazioni nelle aree in cui le informazioni sono attualmente scarse (es. Pian Bracca nord e sud e Ponente).
- Raccogliere dati strutturali dalle carote orientate a Ponente.
- Aggiornare tutte le valutazioni incorporando i nuovi dati.
- Determinare la distribuzione delle condizioni della roccia secondo Q' per un'applicazione accurata dei parametri dello scavo per le aree di long-hole open stoping.
- Condurre indagini formali per le discariche della formazione di Gorno e riconfermare i risultati della valutazione.

Controllo qualità

La firma di questa dichiarazione conferma che questa relazione tecnica è stata preparata e verificata in conformità con il processo di revisione tra pari (peer review) di AMC.

Project Manager e Autore**FIRMA RIMOSSA**

Ruth Stephenson

15/11/21

Data

Revisore nell'ambito della verifica tra pari**FIRMA RIMOSSA**

Mike Sandy

15/11/21

Data

Autori/contributori:**FIRMA RIMOSSA**

Carsten Kraut / Paul Salmenmaki / William Gibson

15/11/21

Data

Informazioni importanti su questa relazione tecnica

Riservatezza

Questo documento e il suo contenuto sono riservati e non possono essere divulgati, copiati, citati o pubblicati a meno che AMC Consultants Pty Ltd (AMC) non abbia dato il suo previo consenso scritto.

Nessuna responsabilità

AMC non si assume alcuna responsabilità per eventuali perdite o danni derivanti da qualsiasi persona, diversa dal citato cliente, che agisce facendo affidamento su ogni informazione, opinione o consiglio contenuto in questo documento.

Affidabilità

Nessuna persona diversa dal cliente, dai suoi funzionari e dipendenti può affidarsi a questo documento.

Informazione

AMC non si assume alcuna responsabilità e non fornisce alcuna garanzia circa l'accuratezza o la completezza delle informazioni fornite da o per conto del cliente o dei suoi rappresentanti e non tiene conto di questioni esistenti al momento della trasmissione del documento al cliente e di cui AMC è venuta a conoscenza solo successivamente.

Precedenza

Il presente documento sostituisce qualsiasi documento precedente (ad interim o di altro tipo) relativo a qualsiasi questione oggetto del presente documento.

Raccomandazioni

AMC non si assume alcuna responsabilità per eventuali questioni derivanti dalla mancata attuazione delle raccomandazioni contenute in questo documento, o dall'esecuzione parziale, senza ricevere ulteriore consulenza da AMC.

Importi non saldati:

Nessuna persona (incluso il cliente) ha il diritto di utilizzare o fare affidamento su questo documento e sui suoi contenuti in qualsiasi momento se sono in sospeso eventuali commissioni (o rimborsi spese) dovute ad AMC da parte del suo cliente. In tali circostanze, AMC può richiedere la restituzione di tutte le copie di questo documento.

Obblighi di rendicontazione pubblica

Se un Cliente desidera pubblicare una stima di una risorsa mineraria o di una riserva Ore/minerale preparata da AMC, deve prima ottenere il consenso scritto della persona

competente/qualificata, non solo per la stima da pubblicare, ma anche per la forma e il contesto della dichiarazione pubblicata. La dichiarazione pubblicata deve includere una dichiarazione attestante che è stato ottenuto il consenso scritto della persona competente/qualificata.

Indice

1	Premessa	1
1.1	Scopo del lavoro	1
1.2	Dati forniti	2
1.3	Sicurezza.....	2
1.4	Lista delle abbreviazioni.....	3
2	Premessa	4
2.1	Setting di progetto.....	4
2.2	Geologia	6
2.3	Aree estrattive precedenti.....	6
2.4	Studi precedenti	8
3	Idrogeologia	9
3.1	Fonti dei dati.....	11
3.2	Condizioni idrogeologiche.....	11
3.3	Presenza di acque sotterranee	13
3.4	Sommario	15
4	Indagini geotecniche	17
4.1	Perforazione.....	17
4.2	Logging delle carote	22
4.3	Mappatura strutturale.....	22
4.4	Prove di laboratorio.....	22
4.5	Stress in situ	23
4.6	Pericolosità sismica	24
5	Caratterizzazione delle condizioni geotecniche	25
5.1	Classificazione della massa rocciosa	25
5.1.1	Q e Q'.....	25
5.1.2	RMR ₇₆	27
5.1.3	GSI	29
5.2	Distribuzione delle condizioni della roccia	31
5.3	Strutture principali.....	34
5.4	Strutture minori	37
5.5	Domini geotecnici	39
5.6	Caratteristiche del materiale	40
5.6.1	Massa rocciosa	40
5.6.2	Impasto di riempimento ("Pastefill")	41
5.6.3	Terreno	42
6	Considerazioni geotecniche per l'estrazione mineraria	44
6.1	Metodo estrazione.....	44
6.2	Drift-and-fill con stabilità degli span	44
6.3	Stabilità degli scavi (stops)	46
6.4	Modellizzazione numerica.....	47
6.4.1	Deformazione superficiale – criteri di accettabilità	47
6.4.2	Scenari analizzati	49
6.4.3	Modellizzazione numerica.....	50
6.4.3.1	Sequenza originale fornita (caso base).....	50
6.4.3.2	Sequenza originale più pilastro da 25 m.....	55
6.4.3.3	Sequenza originale più pilastro da 75 m.....	56
6.4.4	Sollecitazioni del pilastro.....	62
6.4.5	Sollecitazioni dello scavo.....	63
7	Sostegni	67
7.1	Valutazione empirica	67
7.2	Analisi del cuneo (Wedge).....	68
7.2.1	Tunnel	68

7.2.2	Intersezioni	71
7.3	Rinforzo delle camere di produzione	73
8	Valutazione del portale ZIA	74
9	Monitoraggio delle vibrazioni generate da brillamento di mine	77
9.1	Galleria ZIA	77
9.2	Formule per le vibrazioni generate da brillamento di mine.....	78
9.3	Linee guida per il monitoraggio delle vibrazioni.....	78
9.4	Previsione delle vibrazioni da brillamento per la discenderia ZIA	80
9.5	Formula di sovrappressione dell'aria indotta dal brillamento.....	81
9.6	Previsione della sovrappressione dell'aria per la galleria ZIA.....	82
9.7	Fattori di attenuazione delle vibrazioni da brillamento e della sovrappressione dell'aria	82
9.7.1	Modifica dello schema di volata.....	82
9.7.1.1	Ridurre la larghezza dello scavo privo di sostegno	82
9.7.1.2	Sequenza/tempistiche dei brillamenti.....	82
9.7.1.3	Riprogettazione del modello di perforazione e brillamento	83
9.7.1.4	Selezione dell'esplosivo.....	83
9.7.2	Borraggio dei fori da mina per ridurre la sovrappressione dell'aria	83
9.7.3	Materasso di protezione	83
9.8	Indagini precedenti alle volate	84
9.9	Sismografi da mina	84
9.10	Revisione dei dati di monitoraggio	85
10	Discariche.....	86
10.1	Discarica.....	86
10.2	Condizioni delle fondazioni	87
10.3	Stabilità dei progetti di discariche	88
10.3.1	Parametri di resistenza al taglio per fondazioni della discarica.....	88
10.3.2	Analisi di stabilità della discarica	89
11	Conclusioni e raccomandazioni	93
12	Riferimenti.....	97

Tabelle

Tabella 1.1	Livello di affidabilità dei dati	2
Tabella 3.1	Fonti di dati	11
Tabella 3.2	Misure di portata dai vecchi impianti di Ponente e Pian Bracca (Energia, ottobre 2021).....	14
Tabella 4.1	Proprietà delle rocce intatte e risultati delle prove di laboratorio – UCS e costanti elastiche (AMC 2018a)	22
Tabella 4.2	Gradiente di stress in situ ipotizzato.....	23
Tabella 5.1	Classificazione dell'ammasso roccioso basata sul sistema Q (Barton Lien e Lunde 1974).....	26
Tabella 5.2	Classificazione della massa rocciosa basata sul sistema Q	26
Tabella 5.3	Classificazione della massa rocciosa al tetto basata su Q'	27
Tabella 5.4	Classificazione dell'ammasso roccioso basata su RMR ₇₆ (Bieniawski 1976)	27
Tabella 5.5	Classificazione dell'ammasso roccioso basata su RMR ₇₆ - litotipi nel hangingwall dello scavo.....	28
Tabella 5.6	Riepilogo distribuzione statistica GSI	29
Tabella 5.7	Set principale di giunti di Pian Bracca – registrazione del set di dati	37
Tabella 5.8	Set di giunti principali a Ponente – set di dati di mappatura	37
Tabella 5.9	Domini geotecnici	39
Tabella 5.10	Proprietà del materiale da utilizzare nel modello numerico	41

Tabella 5.11	Resistenza stimata dell'impasto di riempimento	42
Tabella 6.1	Risultati di stabilità del metodo Drift-and-fill.....	45
Tabella 6.2	Valori in ingresso per il metodo del grafico di stabilità	46
Tabella 6.3	Risultati della valutazione della stabilità degli scavi con ampiezza di 10 m.....	46
Tabella 6.4	Classificazione del danno (fornita da Energia).....	47
Tabella 6.5	Coordinate definite in Figure 6.17	59
Tabella 6.6	Sollecitazioni da scavo.....	63
Tabella 7.1	Tipi di scavi e orientamenti più comuni per l'analisi del cuneo (wedge)	68
Tabella 7.2	Risultati dell'analisi del cuneo del tunnel (caso peggiore) considerando chiodature a frizione lunghe 2,4 m e distanziati a 1,4 mx 1,3 m	70
Tabella 7.3	Analisi di sensibilità della lunghezza della struttura	71
Tabella 9.1	Valori guida DIN 4150-3 per la velocità di vibrazione da utilizzare nella valutazione degli effetti delle vibrazioni a breve termine sulle strutture	79
Tabella 10.1	Confronto di SPT-N con Vs e il rapporto di Poisson ν (Kumar 2016).....	89
Tabella 10.2	Parametri di resistenza al taglio derivati e applicati per l'analisi della stabilità della discarica	89
Tabella 10.3	Criteri di accettazione tipici del progetto con pendenza (Read e Stacey 2009) ..	90
Tabella 10.4	I risultati dell'analisi di stabilità per diversi scenari	92
Tabella 10.5	ZIA (Terrazzo Est) – Risultati dell'analisi di stabilità per diversi scenari.....	92
Tabella 10.6	ZIA (Terrazzo Ovest) – Risultati dell'analisi di stabilità per diversi scenari	92

Dati

Figura 2.1	Vista in pianta del sito minerario di Gorno (incluse aree estrattive precedenti), Ponente e vuoti pianificati per Pian Bracca con topografia e posizioni delle sezioni trasversali.....	4
Figura 2.2	Vista di Gorno (incluse aree estrattive precedenti) Ponente e vuoti pianificati per Pian Bracca con la topografia (sezione obliqua A-A' verso nord ± 20 m)	5
Figura 2.3	Vista di Gorno (incluse aree estrattive precedenti) e vuoti pianificati per Pian Bracca con topografia (sezione obliqua A-A' verso nord ± 20 m).....	5
Figura 2.4	Scavi di Pian Bracca vicino alla superficie (visita fotografica giugno 2018).....	7
Figura 2.5	Posizione di Figure 2.4 (sito 5 indicato in figura)	8
Figura 3.1	L'estrazione mineraria proposta in Gorno (grigio), l'estrazione storica (blu) e la topografia (verde) (griglia 250 mx 250 m, vista obliqua verso NNE).....	10
Figura 3.2	Mappa delle Unità Idrogeologiche (Energia 2019)	12
Figura 3.3	Livello Parina (1040)	13
Figura 3.4	Quota Piazzolle (livello 990 m slm)	14
Figura 3.5	Quota Forcella (livello 940 m slm).....	15
Figura 3.6	Aree ad elevato rischio idrogeologico.....	16
Figura 4.1	Vista in pianta che mostra l'estrazione pianificata e le posizioni dei sondaggi con RQD visualizzato lungo le tracce delle perforazioni.	18
Figura 4.2	Vista in pianta che mostra l'estrazione pianificata e le posizioni delle perforazioni con l'indice di scavo in roccia Q tracciato lungo le tracce delle perforazioni (i valori Q per l'AMC 2018 non sono inclusi nella figura per evidenziare i dati per queste valutazioni)	20
Figura 4.3	Misurazioni dello stress in situ	23
Figura 5.1	Condizioni tipiche dei litotipi al tetto – Pian Bracca “zona superficiale” (circa 10 m – 15 m dalla superficie)	28
Figura 5.2	Tipiche condizioni della roccia dei litotipi al tetto – Pian Bracca “zona profonda”	28

Figura 5.3	Tipiche condizioni della roccia litotipi al tetto – Ponente	29
Figura 5.4	Valori GSI per i domini geotecnici	30
Figura 5.5	Variazione delle condizioni della roccia (Q) – Estrazione pianificata di Pian Bracca (grigio) con faglie (rosso scuro), (vista in pianta).....	32
Figura 5.6	Variazione delle condizioni della roccia (Q) – Estrazione pianificata di Ponente (grigio) con faglie (rosso scuro), (vista in pianta).....	33
Figura 5.7	Faglie a Pian Bracca e Ponente – porzione a livello di coltivazione ± 70 m (vista in pianta)	35
Figura 5.8	Galleria ZIA relativa alla faglia con lieve immersione a ovest (vista in pianta a quota galleria ± 20 m)	36
Figura 5.9	Analisi stereografica – Registrazione di una serie di dati di Pian Bracca	38
Figura 5.10	Analisi stereografica – Mappatura della serie di dati di Ponente.....	38
Figura 5.11	Esempio delle condizioni della roccia 'tipiche' per l'area mineraria superficiale di Pian Bracca	39
Figura 5.12	Esempio delle condizioni della roccia "tipiche" per l'area mineraria profonda di Pian Bracca.....	40
Figura 5.13	Esempio delle condizioni della roccia "tipiche" per l'area mineraria di Ponente ..	40
Figura 5.14	Esempio delle condizioni della roccia "tipiche" per il dominio Faglie	40
Figura 5.15	Localizzazione stimata del terreno (Energia giugno 2021)	43
Figura 5.16	Sezione trasversale guardando a nord che mostra i tipi di roccia e il terreno nel modello numerico	43
Figura 6.1	Danno a confronto con distorsione angolare e deformazione orizzontale (metodo Boscardin e Cording 1989 descritto in Malinowska 2013)	48
Figura 6.2	Sequenza mineraria intermedia (agosto 2025)	49
Figura 6.3	Sequenza mineraria finale.....	50
Figura 6.4	Spostamenti sulla superficie - miniera intera del caso base (vista in pianta)	51
Figura 6.5	Spostamenti in superficie – caso base (vista obliqua guardando a nord)	52
Figura 6.6	Inclinazione o rotazione - miniera intera del caso base (vista in pianta)	53
Figura 6.7	Inclinazione o rotazione – caso base (vista obliqua guardando NNE)	53
Figura 6.8	Deformazione orizzontale - miniera intera del caso base (vista in pianta).....	54
Figura 6.9	Deformazione orizzontale – caso di base (vista obliqua guardando NNE).....	54
Figura 6.10	Spostamenti in superficie – caso con pilastro di 25 m (vista obliqua verso NNE)	55
Figura 6.11	Inclinazione o rotazione – caso con pilastro di 25 m (vista obliqua guardando NNE)	56
Figura 6.12	Deformazione orizzontale – caso con pilastro di 25 m (vista obliqua verso NNE)	56
Figura 6.13	Spostamenti in superficie – caso con pilastro di 75 m (vista obliqua verso NNE)	57
Figura 6.14	Inclinazione o rotazione – caso con pilastro di 75 m (vista obliqua guardando NNE)	57
Figura 6.15	Deformazione orizzontale – caso con pilastro di 75 m (vista obliqua verso NNE)	58
Figura 6.16	Aree non coltivate (come da raccomandazione) e zone con pilastri.....	58
Figura 6.17	Vista in pianta delle aree non coltivate e della zona con pilastri	59
Figura 6.18	Inclinazione o rotazione – aree non coltivate e zone con pilastri (vista obliqua guardando NNE)	60
Figura 6.19	Deformazione orizzontale – aree non coltivate e zone con pilastri (vista obliqua guardando NNE)	61

Figura 6.20	Inclinazione e deformazione orizzontale.....	62
Figura 6.21	Sollecitazione tipica su pilastri a profondità superiori a 370 m (4977 mN)	62
Figura 6.22	Sollecitazione tipica su pilastri a profondità inferiori a 370 m (4826 mN)	63
Figura 6.23	Zone di scavo.....	64
Figura 6.24	Massima sollecitazione Settore A – sollecitazione prima dell'estrazione di 10 MPa	65
Figura 6.25	Massima sollecitazione Settore B – sollecitazione prima dell'estrazione di 12 MPa	65
Figura 6.26	Massima sollecitazione Settore C – sollecitazione prima dell'estrazione da 1 MPa a 3 MPa.....	66
Figura 7.1	Grafico empirico per la selezione del sostegno (dopo Potvin e Hadjigeorgiou 2016)	67
Figura 7.2	Analisi dell'orientamento della discenderia – Pian Bracca (il rosso indica gli orientamenti peggiori).....	69
Figura 7.3	Analisi dell'orientamento della discenderia – Ponente (il rosso indica gli orientamenti peggiori).....	69
Figura 7.4	Esempio di analisi del cuneo del tunnel (Pian Bracca a 000°, giunti 1,2,4).....	70
Figura 7.5	Esempio di strutture persistenti che formano cunei (Formazione Gorno)	72
Figura 7.6	Analisi del cuneo per ampie larghezze in roccia a blocchi	73
Figura 8.1	Area portale proposta (Note geologiche Energia ZIA)	74
Figura 8.2	Progetto del portale proposto (Energia, ottobre 2021)	75
Figura 9.1	Progetto della galleria ZIA (vista obliqua verso NNE)	77
Figura 9.2	DIN 4150-3 Linee guida grafico	79
Figura 9.3	Schema di volata per la galleria ZIA.....	80
Figura 9.4	Sismografo tipico, geofono e microfono	84
Figura 10.1	Discariche di Ca Pasi (progetto fornito da Energia).....	86
Figura 10.2	Discariche di ZIA (progetto fornito da Energia)	87
Figura 10.3	Correlazione tra Vs e SPT-N (Castalia 2020).....	88
Figura 10.4	Analisi di stabilità statica della discarica per gli sterili di Ca Pasi in condizioni asciutte	91
Figura 10.5	Stabilità pseudo-statica della discarica di Ca Pasi quando la falda acquifera giace sulla superficie del pendio.....	91

Allegati

Appendice A Black Shale Riferimenti bibliografici

Appendice B Drift-and-fill con stabilità degli span

Appendice C Spostamento, inclinazione e deformazione – Miniera intera

Lista di distribuzione

1 copia elettronica a Geraint Harris

1 copia elettronica all'ufficio AMC di Perth

**AD ESCLUSIVO USO
D'UFFICIO**

Controllo versione (data e ora)
211115 – 1700

1 Premessa

Energia Minerals (Italia) SRL (Energia) ha incaricato AMC Consultants Pty Ltd (AMC) di intraprendere uno studio di prefattibilità geotecnica (PFS) per le potenziali aree minerarie di Ponente e Pian Bracca presso il deposito sotterraneo di Gorno (Gorno). Il deposito si trova in provincia di Bergamo da circa 1,5 km a 2,5 km a nord della città di Oltre il Colle in Lombardia, Italia.

Lo scopo dello studio di prefattibilità consiste nel determinare l'idoneità geotecnica di un metodo di estrazione e dei parametri geotecnici preliminari di escavazione in sotterraneo per le due potenziali aree estrattive.

AMC ha completato uno studio di fattibilità geotecnica per il deposito sotterraneo di Gorno nel corso del 2018 (AMC 2018a) nell'ambito di uno studio di prefattibilità mineraria (AMC 2018b). Tale studio comprendeva anche uno studio di prefattibilità idrogeologica e uno studio della ripiena. Una visita in loco per la relizzazione di tale studio è stata condotta nel giugno 2018 dall'ingegnere geotecnico e team leader di AMC Ruth Stephenson.

AMC ha inoltre completato uno studio geotecnico per le aree minerarie di Ponente e Pian Bracca nel mese di luglio 2021 (AMC 2021). Lo studio ha identificato che i metodi di estrazione proposti in AMC (2018a) possono essere applicati a Pian Bracca e Ponente e ha fornito raccomandazioni per ulteriori lavori. Questa relazione tecnica prende in considerazione quelle raccomandazioni per elevare il livello di studio a quello di PFS.

1.1 Scopo del lavoro

Lo scopo del lavoro è stato delineato nella proposta di AMC PP21054_3 e nella variazione n. 1 che includeva:

- Aggiornare con i nuovi dati geotecnici di Ponente e Pian Bracca e aggiornare la classificazione degli ammassi rocciosi e dei domini geotecnici.
- Determinare le proprietà dell'ammasso roccioso e includere un grafico dell'indice di resistenza geologica (GSI).
- Condurre una valutazione della stabilità globale e in particolare della subsidenza utilizzando un modello numerico tridimensionale semplificato che incorpori i wireframe aggiornati delle faglie per calcolare i fattori di stabilità (una valutazione della potenziale instabilità indotta dalle attività minerarie).
- Sulla base dei risultati del modello numerico fornire raccomandazioni sui sostegni della roccia o sulla posizione dei pilastri degli scavi per prevenire il verificarsi di cedimenti.
- Fornire una vista in pianta che mostri tutte le aree che potrebbero richiedere livelli avanzati di sistemi di supporto.
- Condurre valutazioni di stabilità per le discariche di sterili, in superficie.
- Condurre un'indagine geotecnica preliminare del sito per il nuovo portale Zorzone includendo considerazioni riguardo l'idrogeologia e la stabilità della roccia. Fornire consigli per indagini dettagliate sul portale.
- Condurre una valutazione geotecnica dell'infrastruttura in sotterranea di Zorzone per garantire che l'ubicazione non sia compromessa da condizioni sfavorevoli, incluse faglie principali.
- La componente idrogeologica comprenderà una valutazione del rischio idrogeologico basata su dati storici e recenti di perforazione, sul deflusso e su prove di permeabilità.
- Valutare le vibrazioni degli spari, in particolare durante lo sviluppo del portale ZIA. Le attività principali includono:
 - Comprendere le normative sul monitoraggio delle vibrazioni dovute all'esplosione DIN 4150-3 (o equivalenti).
 - Determinare la struttura o le strutture più vicine al tunnel Zorzone Zona Industriale (ZIA).

- Fornire raccomandazioni sul monitoraggio.
- Descrivere le misure di mitigazione (riduzione della carica per ritardo ecc.) che devono essere adottate. Ciò includerà lo sviluppo indicativo di un progetto di perforazione e sparo.
- Fornire raccomandazioni per ulteriori approfondimenti di studio.
- Fornire una relazione tecnica completa di prefattibilità che incorpori i risultati dello studio geotecnico, scopo dello studio, con gli elementi di cui sopra.

Questa relazione tecnica intermedia, descrive il lavoro effettuato per completare la maggior parte degli elementi dell'ambito dello studio, escludendo la modellazione numerica, la revisione della valutazione idrogeologica e la valutazione delle discariche.

1.2 Dati forniti

Le seguenti informazioni sono state utilizzate come parte delle valutazioni geotecniche:

- Posizioni delle perforazioni della risorsa, fornite da Energia nel luglio 2021.
- Modello tridimensionale geologico della risorsa per Ponente e Pian Bracca, forniti da Energia a maggio 2021 e giugno 2021.
- Progettazione e pianificazione della miniera, fornite da Energia a settembre 2021.
- Modello tridimensionale strutturale di Gorno, fornito da Energia a maggio e giugno 2021.
- Modello digitale del terreno, fornito da Energia nel giugno 2018.
- Modello tridimensionale degli scavi esistenti, forniti da Energia nel giugno 2018.
- Relazione geologica e geotecnica, fornita da Energia nel luglio 2021.
- Fotografie delle carote, fornite da Energia nel luglio 2021.
- Rapporti di prova dei test geomeccanici, forniti dall'Università degli Studi di Milano Bicocca luglio 2018.
- File di monitoraggio delle vibrazioni dell'esplosione, forniti da Energia nel maggio 2021.
- Misure di portata d'acqua, fornite da Energia nell'ottobre 2021.
- Documento 'Settore ZIA, note di geologia e documentazione fotografica, M de Angelis, 2/6/2021'.

1.3 Sicurezza

Il livello di confidenza riguardo i dati geotecnici disponibili per questo studio è mostrato in Tabella 1.1 AMC ritiene che lo studio sia a livello di prefattibilità

Tabella 1.1 Livello di affidabilità dei dati

Variabile di ingresso	Livello di affidabilità	Commenti
Qualità dei dati di registrazione geotecnica	Alta	Il controllo della qualità dei dati di RQD (Rock Quality Designation) è stato condotto sulle fotografie delle carote.
Distribuzione spaziale dei dati geotecnici	Moderata	La maglia di perforazione è appropriata per uno studio di prefattibilità a Ponente e per uno studio di fattibilità a Pian Bracca.
Test di proprietà della roccia	Moderata	Test condotti presso un laboratorio certificato. Si osserva una coerenza accettabile dei risultati del test. Avevamo a disposizione un numero limitato di test per cui i risultati non sono disponibili per tutti i tipi di roccia o proprietà. I risultati sono disponibili per i principali tipi di roccia.
Archiviazione delle informazioni	Alta	Le informazioni geotecniche sono archiviate in un database.
Informazioni geologiche	Moderata	La maglia di perforazione è appropriata per uno studio di prefattibilità a Ponente e per uno studio di fattibilità a Pian Bracca.
Modello strutturale	Moderata	Un modello strutturale era disponibile per Pian Bracca e Ponente. Le strutture minori a Ponente si basano su dati cartografici limitati.

1.4 Lista delle abbreviazioni

Ag: argento.

C: Coesione (parametro di resistenza di Mohr-Coulomb).

E: Modulo di Young (costante elastica) per roccia integra.

FOS: Fattore di sicurezza

Φ : Angolo di attrito (parametro di resistenza di Mohr-Coulomb).

GSI: Geological strenght index.

HR: Raggio idraulico.

LE: Equilibrio limite.

LHOS: Long hole open stoping.

M: metro.

Mslm: Metri sul livello del mare.

Mi: Parametro di classificazione Hoek-Brown.

MPa: Megapascal (meganewton per metro quadrato).

V: Indice di Poisson (costante elastica).

Pb: Piombo.

Q: Indice di qualità per tunnel in roccia.

Q': Indice di qualità modificato per scavo in roccia modificata.

RMR: Valutazione della massa rocciosa.

RQD: Rock quality designation

SPT-N: Numero standard del test di penetrazione.

T: Tonnellate (sistema metrico).

UCS: Resistenza a compressione uniassiale per roccia intatta (indicata anche come σ_c or σ_{ci}).

Zn: Zinco.

2 Premessa

2.1 Setting di progetto

Gorno è una miniera di Pb-Zn-Ag situata nei pressi del comune di Oltre il Colle in Lombardia. La regione è situata in una zona montuosa, la miniera si trova tra due valli e sotto una montagna con un'altitudine di 1.350 m slm a 1.630 m slm a Ponente (circa da 230 m a 620 m sotto la superficie) e da 1.050 m slm a 1.250 m slm a Pian Bracca (da circa 10 m a 300 m sotto la superficie). L'area delle risorse si trova vicino alle aree precedentemente estratte (Figura 2.1, Figura 2.2 e Figura 2.3).

Figura 2.1 Vista in pianta del sito minerario di Gorno (incluse aree estrattive precedenti), Ponente e vuoti pianificati per Pian Bracca con topografia e posizioni delle sezioni trasversali

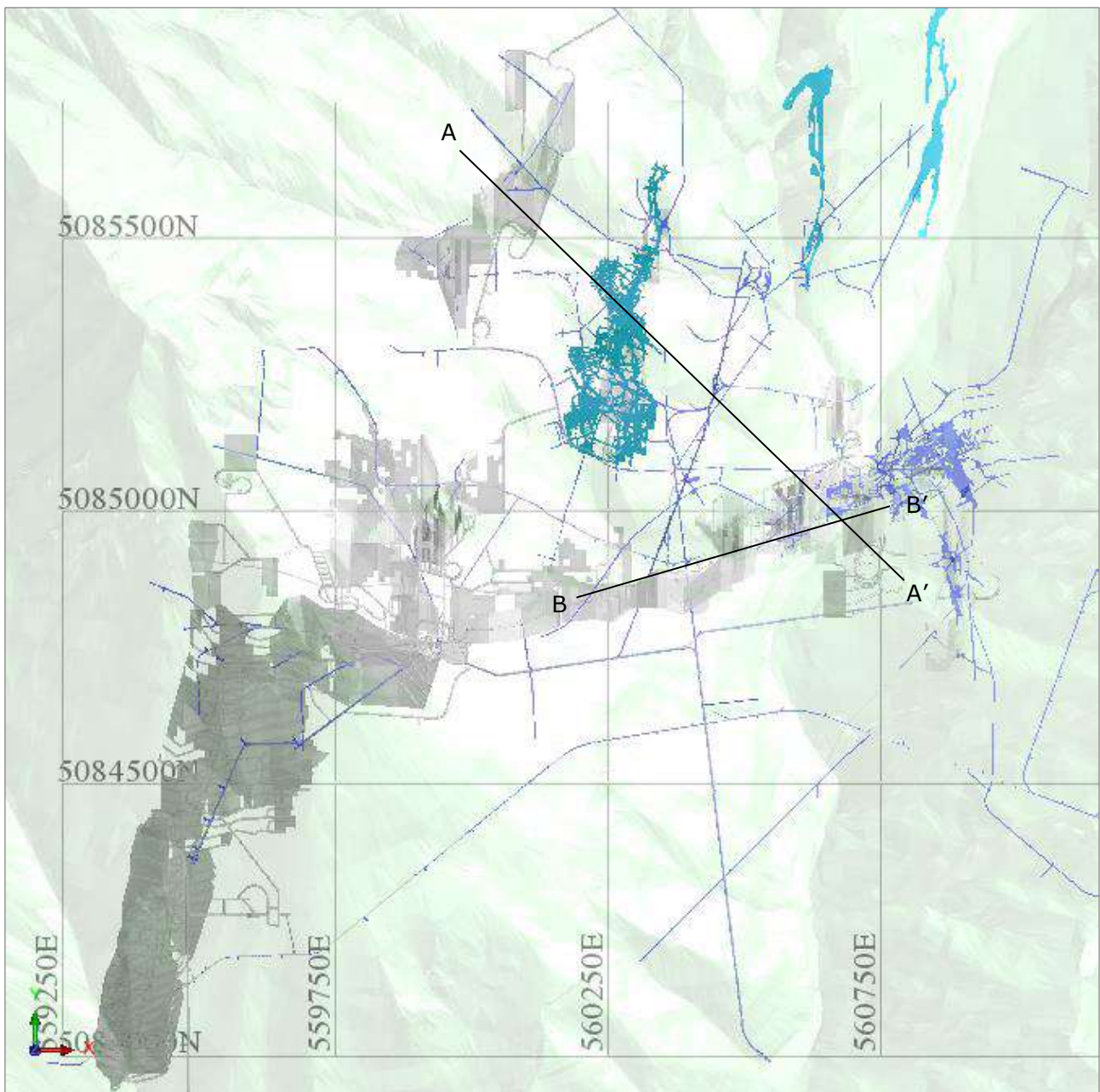


Figura 2.2 Vista di Gorno (incluse aree estrattive precedenti) Ponente e vuoti pianificati per Pian Bracca con la topografia (sezione obliqua A-A' verso nord ± 20 m)

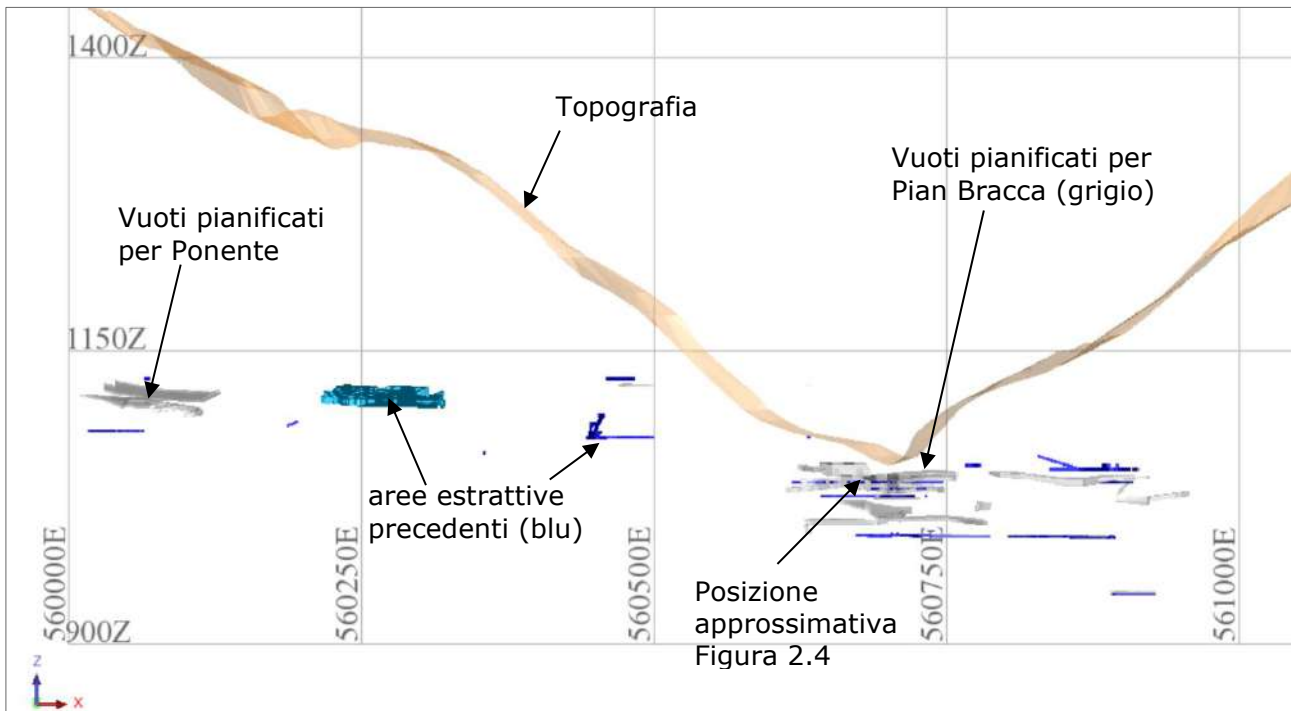
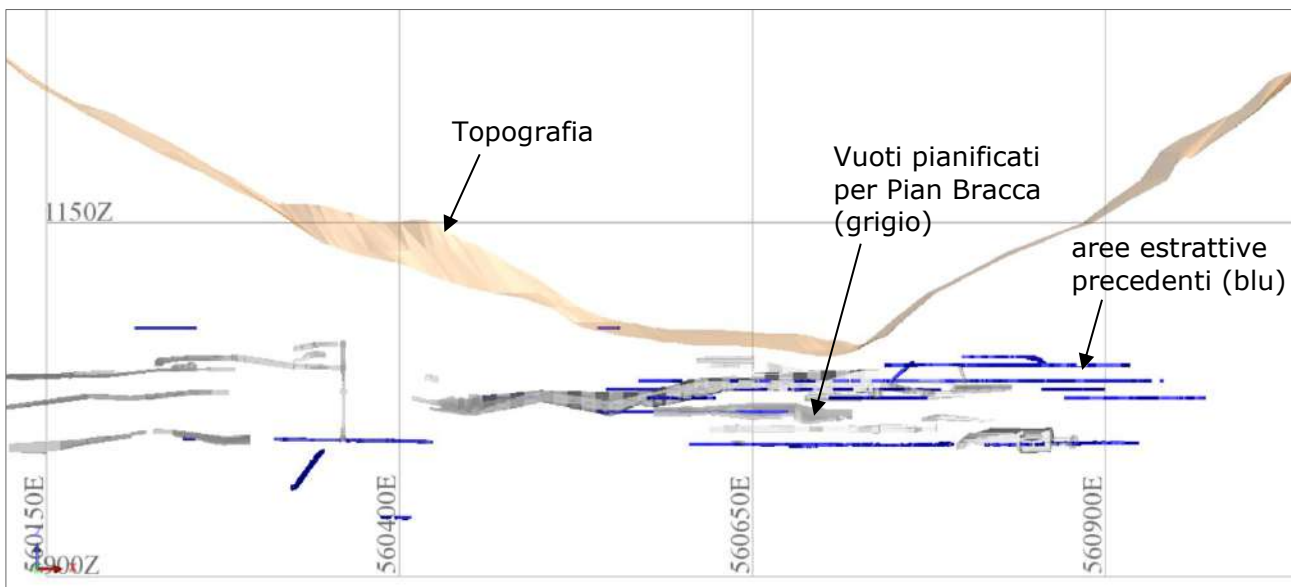


Figura 2.3 Vista di Gorno (incluse aree estrattive precedenti) e vuoti pianificati per Pian Bracca con topografia (sezione obliqua A-A' verso nord ± 20 m)



La precedente estrazione in sottosuolo è stata condotta nella miniera utilizzando metodi manuali tra il 1888 e il 1982. Il minerale è stato trasportato attraverso 10,2 km di galleria chiamata Riso Parina fino al villaggio di Riso, passando sotto una montagna con un'altitudine di 1.700 mslm. La galleria Riso Parina si trova ad un'altitudine di 600 m slm.

2.2 Geologia

Il deposito è di tipo Mississippi Valley (MVT) ospitato prevalentemente all'interno di formazioni calcaree. La stratigrafia va dal Triassico al Carnico e localmente è composta dalle seguenti unità (dal basso verso l'alto stratigrafico):

- Formazione di Breno.
- Calcare Metallifero.
- Formazione di Gorno.
- Arenaria della Val Sabbia.

I litotipi alla base del giacimento fanno parte tipicamente della formazione di Breno, che è costituita da rocce calcaree.

Il minerale è ospitato all'interno dell'unità del calcare metallifero, che è composta prevalentemente da calcare con black shales minori (Jorvik Resources 2017). La calamina (ossidi di zinco mineralizzati) è presente in tutto il calcare nell'area di progetto.

I litotipi a tetto fanno parte tipicamente della formazione di Gorno, che è composta da calcare e marna e può contenere cavità (lenti irregolari con ingrossamenti e strozzature) riempite con argilla, ossido di ferro e limonite.

Anche le arenarie di Val Sabbia si collocano a tetto del giacimento e nonostante non si trovi generalmente vicino ai vuoti pianificati, la si può incontrare in fase di scavo. L'unità è composta da arenarie tufacee alternate e argilliti. Il contatto tra la formazione di Gorno e l'arenaria della Val Sabbia è tipicamente interdigitato.

2.3 Aree estrattive precedenti

Lo sfruttamento moderno di zinco e piombo iniziò a Gorno nel 1888. L'attività estrattiva è proseguita sotto la direzione di diverse società fino al 1982 (Comunicazioni pers. G Harris, Ottobre 2021). L'estrazione è stata condotta utilizzando metodi manuali e il minerale è stato trasportato tramite una rete di trasporto ferroviario sviluppato in sotterraneo. Prima della chiusura della miniera nel 1985, il minerale veniva trasportato su rotaia fino al villaggio di Riso, comune di Gorno, dove esisteva un impianto per il trattamento e l'estrazione del minerale.

Anche prima della chiusura della miniera nel 1985, furono intraprese iniziative di esplorazione e perforazione sotterranea per definire ulteriori risorse che non erano ancora state sfruttate precedentemente.

Energia ha condotto attività di ripristino di gallerie esistenti e ha realizzato una discenderia esplorativa nei litotipi a tetto del giacimento, nell'area dello studio minerario precedente (AMC 2018a). Sono stati condotti ulteriori perforazioni a Zorzone e Pian Bracca dopo aver acquisito il progetto nel 2015. I dati di perforazione sono stati utilizzati per fornire una stima delle risorse minerarie, riportata sotto il codice JORC.

Delle due aree della risorsa mineraria considerate per questo studio, sono presenti scavi di coltivazioni storiche a Pian Bracca ma non a Ponente nelle aree in cui l'estrazione è ora prevista. La maggior parte dei vuoti sono stati realizzati nei sopra-livelli di Pian Bracca, in alcune zone entro i 10 m dalla superficie. L'accesso ad alcune di queste aree è stato possibile durante il sopralluogo effettuato nel giugno 2018. L'ispezione agli scavi di Pian Bracca ha indicato che le condizioni sono rimaste sostanzialmente stabili e che le aree più vicine alla superficie erano umide (Figura 2.4 e Figura 2.5). Questa zona è situata sotto una valle fluviale.

Figura 2.4 Scavi di Pian Bracca vicino alla superficie (visita fotografica giugno 2018)



Figura 2.5 Posizione di Figura 2.4 (sito 5 indicato in figura)



2.4 Studi precedenti

Energia ha condotto vari studi a seguito dei risultati del programma di perforazione delle risorse minerarie. Tali studi comprendono:

- Studio geotecnico (Sial.tec, Gennaio 2017).
- Studio geotecnico per il nuovo layout delle camere sotterranee (Sial.tec, Ottobre 2017).
- Aggiornamento studio geotecnico (Sial.tec, Novembre 2017).
- Valutazione tecnica ed economica (Energia Minerals, 2017).
- Studio minerario (SRK, 2017).
- Studio ingegneristico di fase 1 (Alta Zinc 2018).
- Studio di fattibilità geotecnica (AMC 2018a).
- Studio di prefattibilità idrogeologica (AMC 2018).
- Studio sulla ripiena (AMC 2018).
- Studio di prefattibilità mineraria per l'area di Zorzone (AMC 2018b).
- Studio preliminare sulla ventilazione, manodopera e attrezzature (Alta Zinc 2020).
- Studio geotecnico per Pian Bracca e Ponente (AMC 2020).

3 Idrogeologia

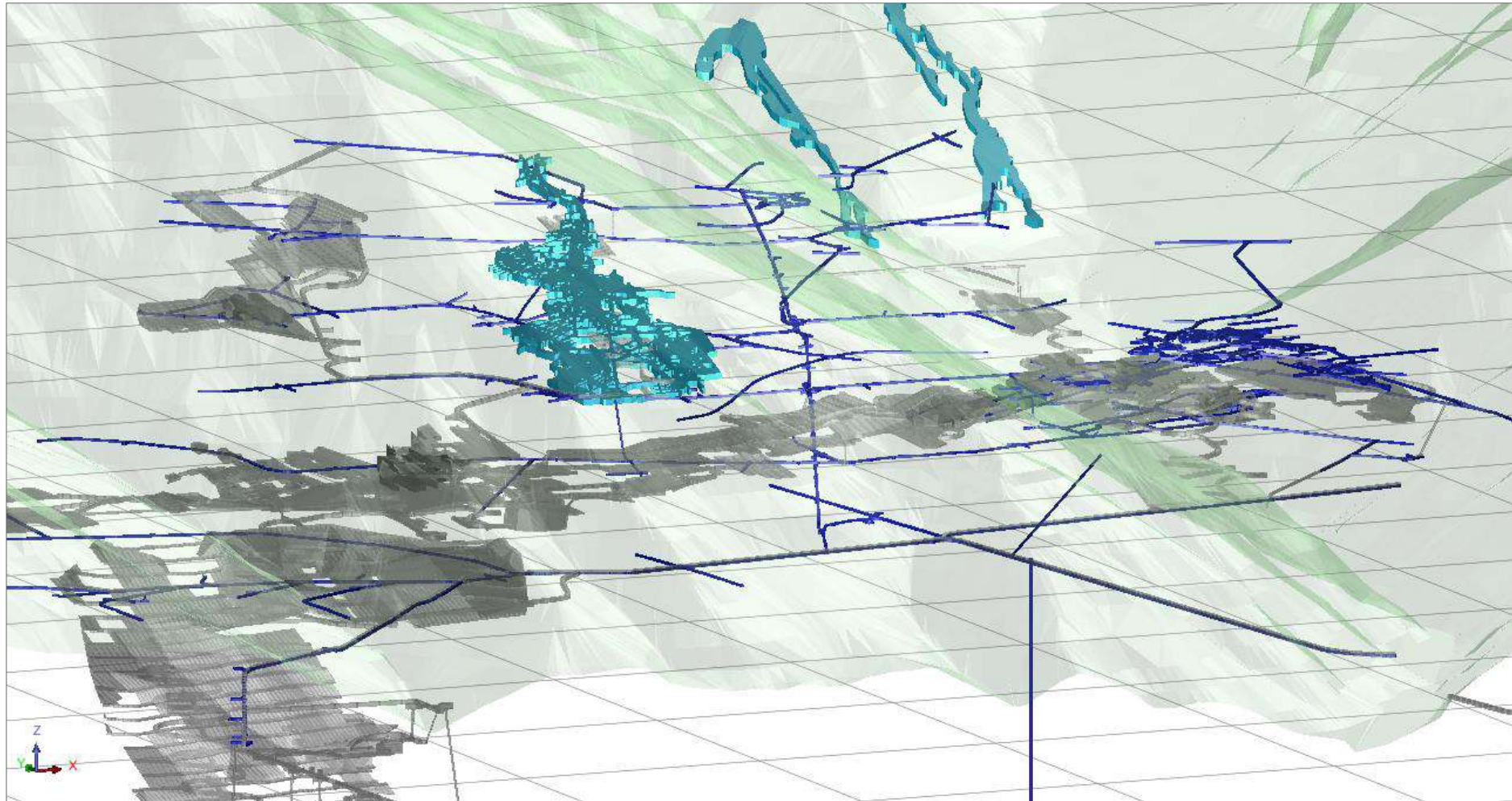
Lo studio geotecnico e idrogeologico di prefattibilità riguarda due aree minerarie prospettiche (Ponente e Pian Bracca) presso il deposito sotterraneo di Gorno.

I nuovi progetti estrattivi di Ponente e Pian Bracca sono in gran parte adiacenti o intercalati con l'estrazione storica e si svilupperanno all'interno delle stesse formazioni geologiche.

Questo capitolo presenta una valutazione del rischio idrogeologico basata su dati storici e recenti e considera la lunga storia dell'estrazione sotterranea, degli afflussi idrici incontrati e della gestione.

La Figura 3.1 mostra il progetto Gorno (in ombra) e la miniera storica, con topografia (250 m x 250 m griglia).

Figura 3.1 L'estrazione mineraria proposta in Gorno (grigio), l'estrazione storica (blu) e la topografia (verde) (griglia 250 mx 250 m, vista obliqua verso NNE)



3.1 Fonti dei dati

Le fonti di informazione utilizzate nella valutazione idrogeologica includono i documenti elencati in Tabella 3.1 e i dati di flusso forniti da Energia.

Tabella 3.1 Fonti di dati

Autore	Titolo	Anno	Riferimenti
AMC	Studio di fattibilità geotecnica di Gorno. Relazione tecnica n. 218075C_2	27/11/18	AMC 2018a
AMC	Studio di prefattibilità di Gorno. Relazione tecnica n. 218075	05/12/18	AMC 2018b
AMC	Studio geotecnico per lo scoping di Gorno. Relazione tecnica n. 220132	01/02/21	AMC 2021
Energia Minerals Italia S.R.L.	Domanda di rinnovo della concessione mineraria denominata "Monica" Rt03___Project hydrogeological Relationship	20/12/19	Energia 2019
Energia Minerals Italia S.R.L.	Progetto Nuova Concessione Mineraria Denominata "Monica" "Gorno Zinc Project" Rapporto sui Flussi al Portale Riso	giugno 2016	Energia 2016

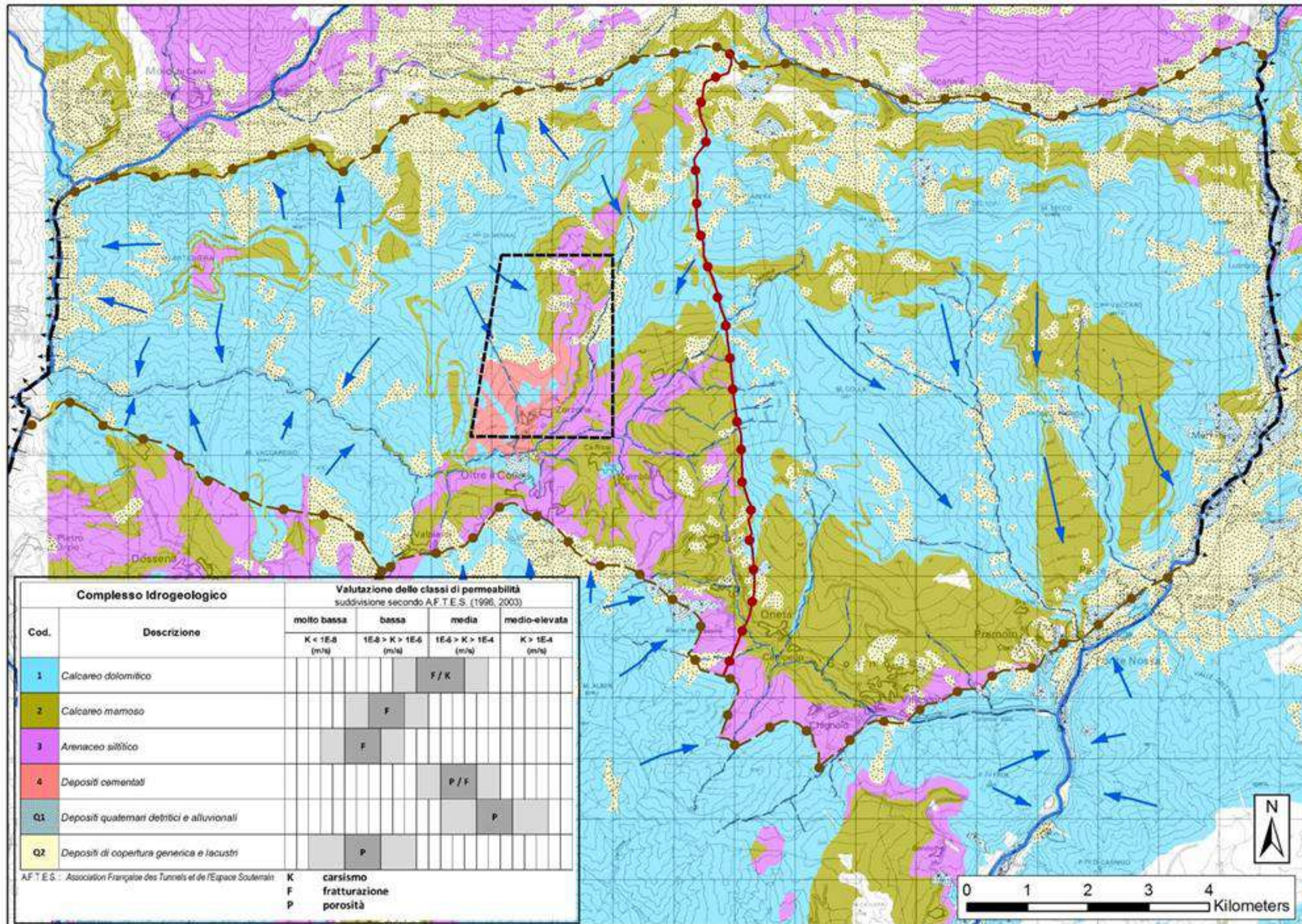
3.2 Condizioni idrogeologiche

Precedenti studi (Energia 2019) hanno individuato una serie di unità idrogeologiche in prossimità del progetto, tra cui:

- Calcarea dolomitica.
- Calcarea Marnosa.
- Arenacea siltitica.
- Depositi conglomeratici.
- Detriti e depositi quaternari alluvionali.
- Depositi generali di copertura e lago.

La distribuzione di queste unità, l'intervallo di conducibilità idraulica media e l'area di progetto di Gorno è mostrata in Figura 3.2

Figura 3.2 Mappa delle Unità Idrogeologiche (Energia 2019)



La presenza di interstrati di marne e argille a Gorno riduce drasticamente la capacità di stoccaggio e convogliamento delle acque sotterranee. Pertanto, è la permeabilità secondaria, sotto forma di fratturazione e carsismo, che crea le vie d'acqua predominanti.

A livello regionale, la permeabilità delle varie unità idrogeologiche, insieme agli elementi morfologici (alti strutturali, assi di drenaggio) ed elementi strutturali (faglie maggiori, ecc.) determinano la direzione del flusso idrico sotterraneo (Figura 3.2)

3.3 Presenza di acque sotterranee

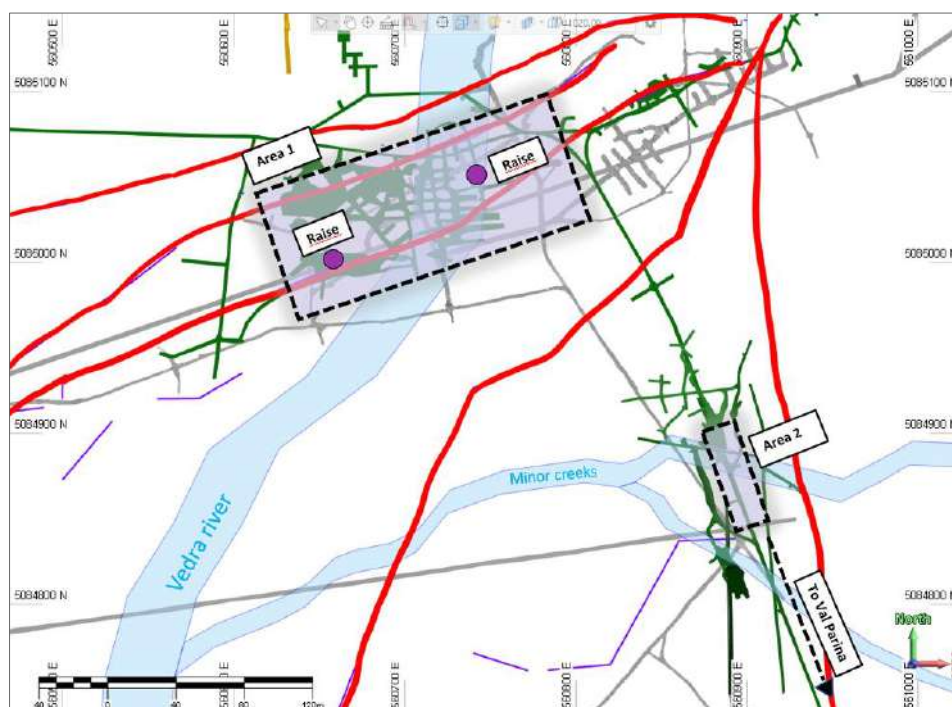
Storicamente e in linea generale, le miniere della Valle del Riso sono caratterizzate da un afflusso d'acqua minimo. Questa caratteristica è stata confermata durante le recenti campagne esplorative dal 2015.

Un'eccezione sono le aree adiacenti e sotto il fiume Vedra, dove l'ingresso di acqua avviene da faglie umide. Tuttavia, le aree della galleria lontane dalle zone di faglia risultano essere essenzialmente asciutte.

Tutte le acque che scorrono verso il Portale Potente vengono raccolte e convogliate direttamente al fiume Vedra.

Al livello del Parina (Figura 3.3) sebbene l'acqua sia convogliata ai livelli inferiori tramite pozzi, sono presenti nell'Area 1 gli scavi di Pian Bracca, perennemente umidi, con circa 30 cm di acqua stagnante. L'acqua che si accumula nell'Area 2 dall'Area 1 viene convogliata attraverso un tunnel verso la Val Parina e defluisce anch'essa fino al livello sottostante.

Figura 3.3 Livello Parina (1040)



Tutte le acque sotterranee intercettate dalle lavorazioni storiche sono state convogliate per gravità alla galleria Riso Parina di 10,2 km a livello 600 m s.l.m. (utilizzata anche per il trasporto di minerali) e scaricate presso la frazione di Riso.

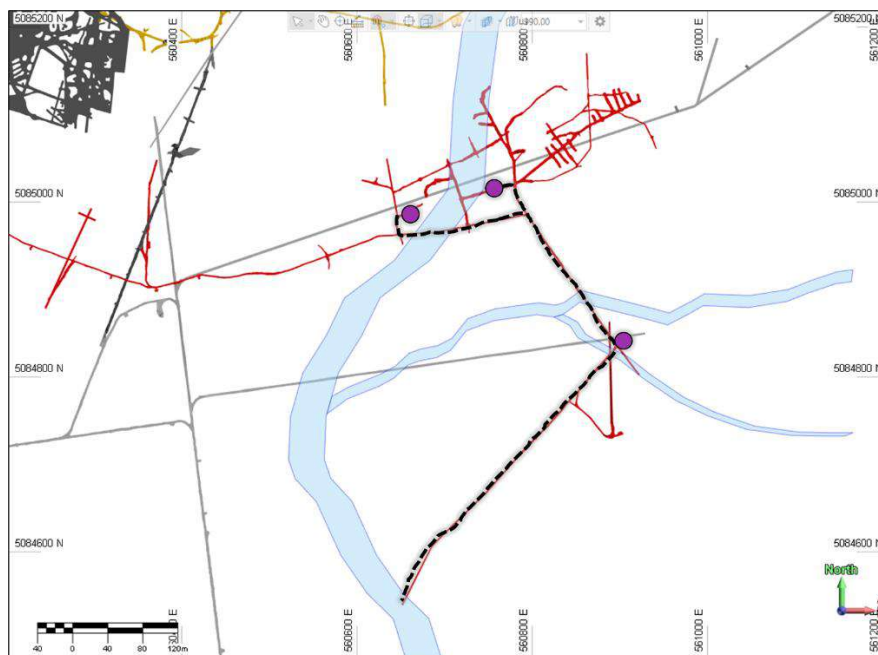
Non si hanno notizie storiche dei deflussi dal traforo del Riso Parina. Le misurazioni della portata sono state effettuate da Energia nel mese di ottobre 2021 (Tabella 3.2)

Tabella 3.2 Misure di portata dai vecchi impianti di Ponente e Pian Bracca (Energia, ottobre 2021)

Quote e posizione	Declaratoria	Portata (l/s)
Livello 1070 m slm – Quota Ponente	D1 – Tubo di drenaggio del serbatoio interrato di Ponente	10,84
Livello 1040 m slm – Quota Parina	D2 – Pian Bracca a Plassa (Val Parina)	6,70
Livello 990 m slm – Quota Piazzole	D3 – PBD32 e pozzo a livello 940 m slm	6,86
	D4 – Portale Piazzole	1,52
Portata totale dell'acqua in ingresso al livello Parina (antica lavorazione di Pian Bracca)	D2 + D3 + D4	15,08
Entrata totale della mina nella 'Wet Area' (escluso l'ingresso dell'acqua nel Riso Parina)	D1+D2+D3+D4	25,92
Livello 940 m slm – Quota Forcella	D5 – attraverso il pozzo a livello 600 m slm	0,25
	D6 – al fiume Vedra al portale Forcella	0,01
Stima dell'acqua persa causa faglie su livello 940 m slm	D3-D5-D6	6,60

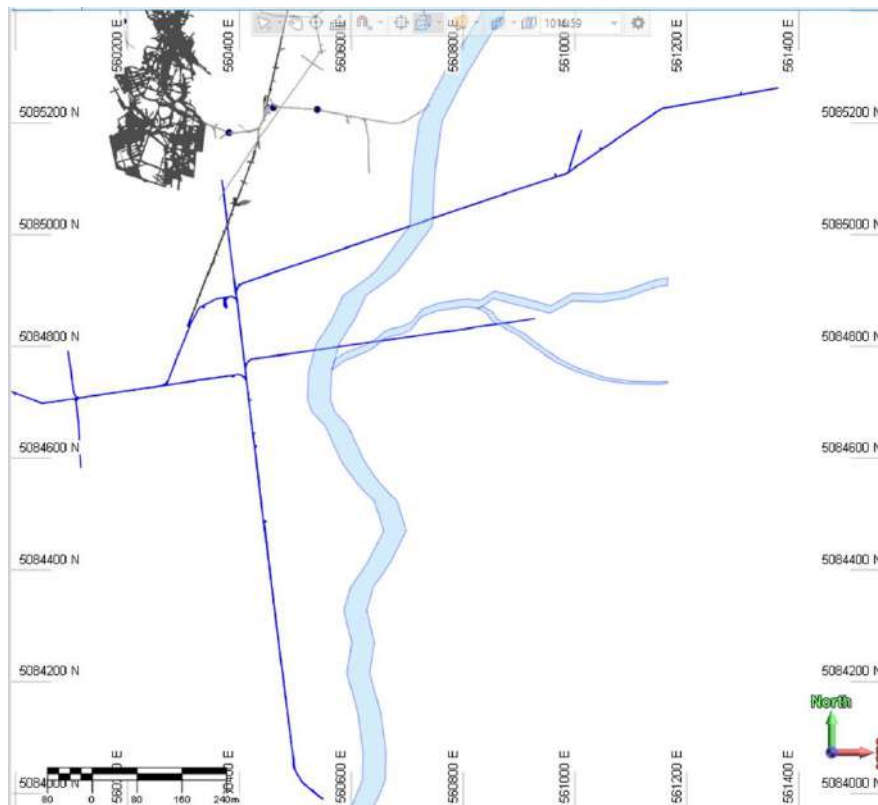
Alla quota di Piazzole (Figura 3.4) l'acqua entra dai pozzi dal livello 1040 e viene diretta a sud attraverso i condotti al livello 940 (pozzo) o il portale Piazzole al fiume Vedra.

Figura 3.4 Quota Piazzole (livello 990 m slm)



La galleria Forcella (Figura 3.5) è completamente asciutta ad eccezione dell'acqua che arriva da un pozzo dalla quota 990. Un canale a lato della galleria porta l'acqua ad un portale sul fiume Vedra.

Figura 3.5 Quota Forcella (livello 940 m slm)



3.4 Sommario

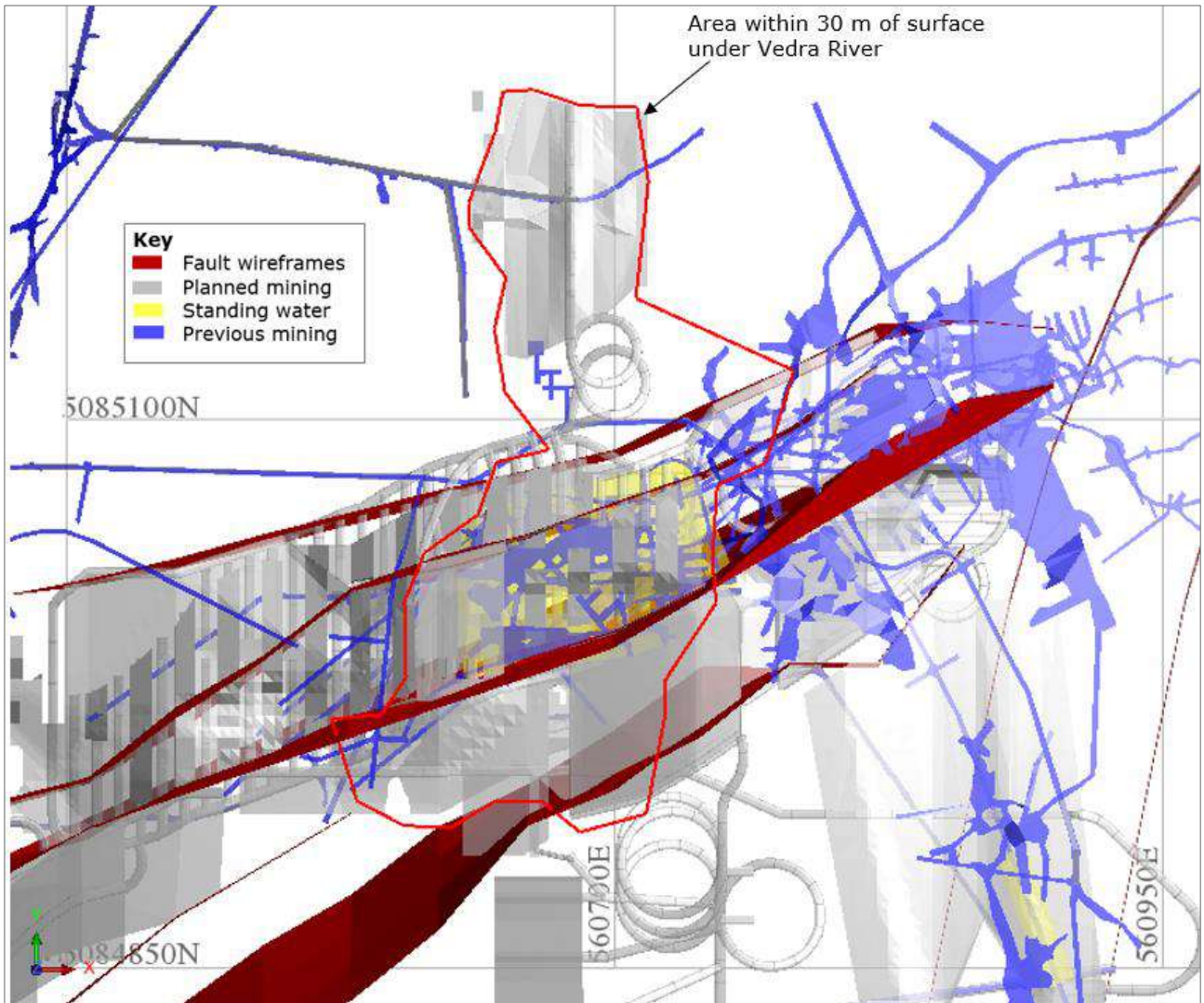
Storicamente e in linea generale, i percorsi sotterranei a Gorno sono caratterizzati da un afflusso minimo di acqua. Le misurazioni di portata condotte nell'ottobre 2021 quantificano l'entità dell'afflusso nelle aree umide della miniera, associate a faglie umide, adiacenti e sotto il fiume Vedra.

L'acqua pulita in eccesso verrà tenuta separata dalle attività minerarie e scaricata come pulita. L'acqua a contatto con le attività minerarie, come l'acqua di perforazione, sarà diretta a livello 600 mRL e trattata prima di essere scaricata.

Lo scarico è attualmente gestito facendo confluire l'acqua tramite drenaggi e tubazioni verso lo scarico al Fiume Vedra o tramite la Galleria Riso Parina al Torrente Riso. Negli scavi di Pian Bracca a quota Parina è presente acqua stagnante profonda 30 cm. Ad ogni modo, se necessario, è probabile che il sistema drenaggio in questa zona possa essere modificato per rimuovere l'acqua stagnante.

L'attività mineraria attuale e storica a Gorno suggerisce che l'ulteriore estrazione mineraria al di sotto del fiume Vedra sarà probabilmente in gran parte asciutta e che ci si può aspettare un certo afflusso quando le zone di faglia si intersecano vicino o sotto il fiume Vedra. Nonostante le tecniche disponibili di gestione dell'acqua di miniera fossero più limitate durante l'estrazione storica, gli afflussi incontrati erano gestibili e non impedivano lo sviluppo di scavi di camere o gallerie. È probabile che questa situazione perduri e che il rischio idrogeologico continui ad essere ritenuto basso, ad eccezione delle aree entro 30 m di superficie intersecate da faglie subverticali dove il rischio idrogeologico può essere considerato moderato (Figura 3.6) Bisognerà realizzare una mappatura continua dello sviluppo per confermare la presenza di faglie, in particolare attraverso l'area entro 30 m dalla superficie.

Figura 3.6 Aree ad elevato rischio idrogeologico



4 Indagini geotecniche

4.1 Perforazione

La perforazione delle risorse minerarie è stata intrapresa a Pian Bracca e Ponente dal 2019 al 2021, per tali indagini sono disponibili informazioni geotecniche e fotografie delle carote. Rispetto allo studio precedente, la perforazione è stata condotta sia a Pian Bracca che a Ponente. Le posizioni delle perforazioni utilizzate nelle valutazioni relative al modello tridimensionale delle risorse sono presentate in Figura 4.1 e Figura 4.2.

Figura 4.1 Vista in pianta che mostra l'estrazione pianificata e le posizioni dei sondaggi con RQD visualizzato lungo le tracce delle perforazioni.

Gorno Pian Bracca and Ponente Geotechnical PFS

Energia Minerals (Italia) S.R.L.

221048_3

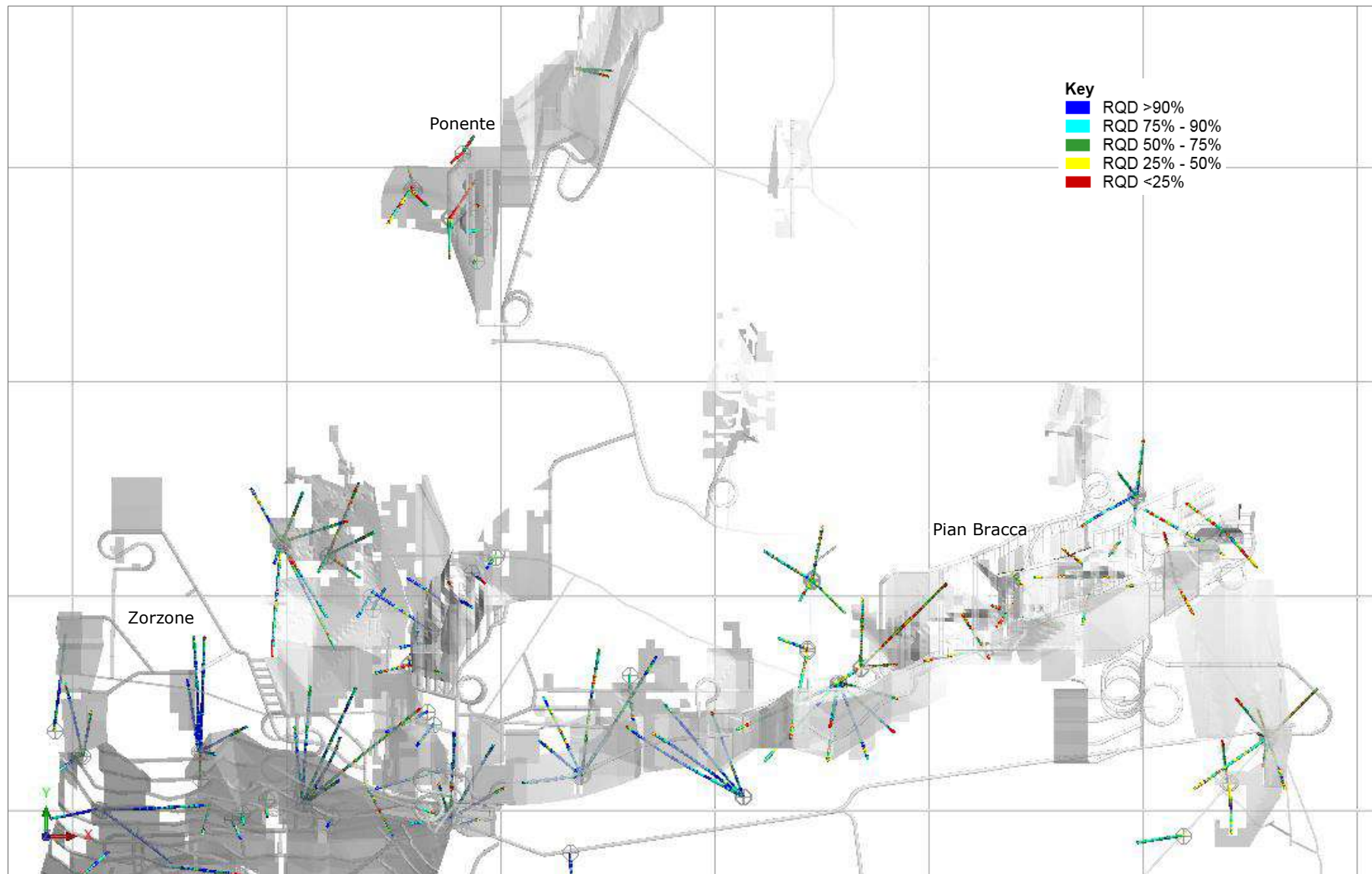
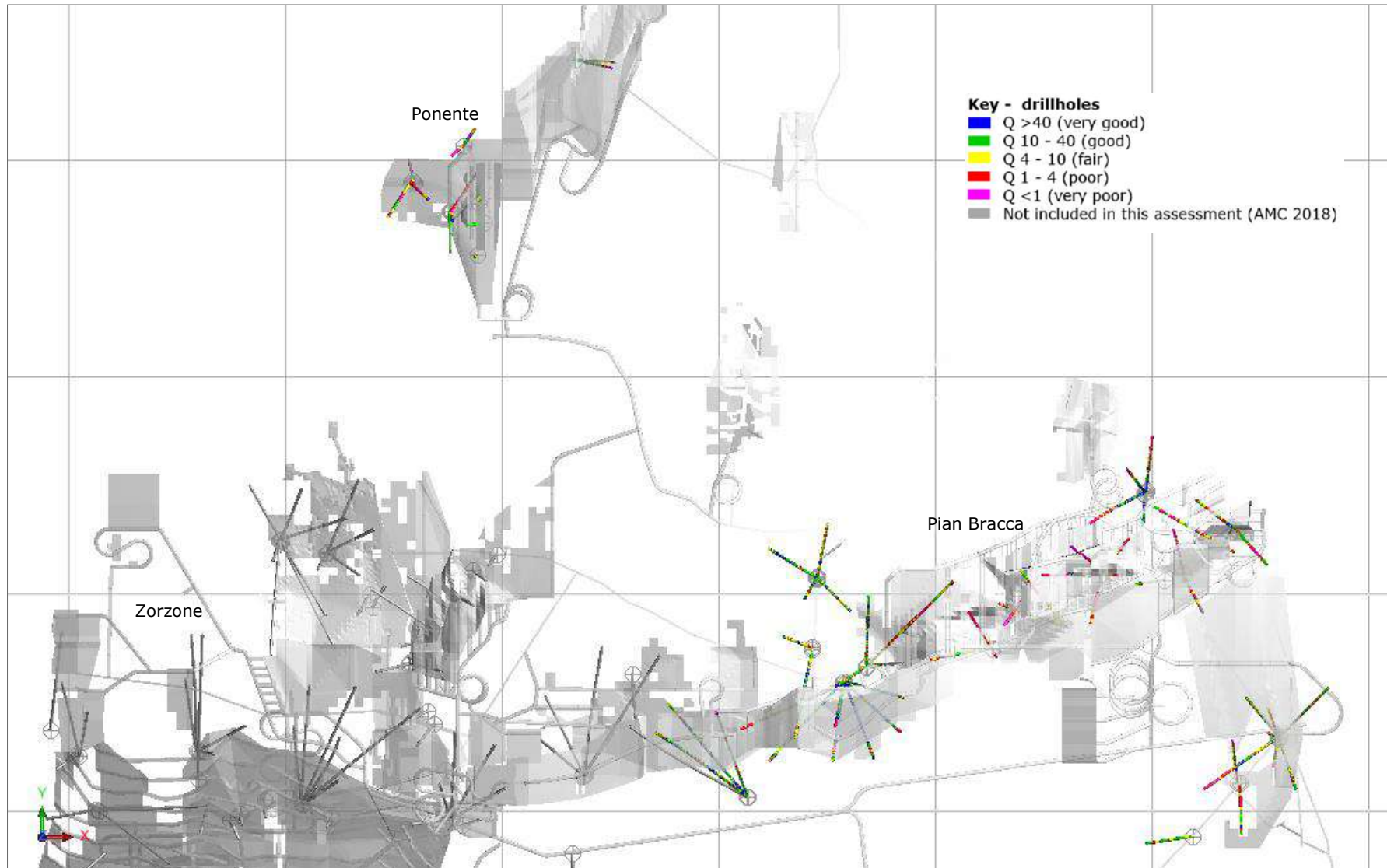


Figura 4.2 Vista in pianta che mostra l'estrazione pianificata e le posizioni delle perforazioni con l'indice di scavo in roccia Q tracciato lungo le tracce delle perforazioni (i valori Q per l'AMC 2018 non sono inclusi nella figura per evidenziare i dati per queste valutazioni)



4.2 Logging delle carote

Le informazioni geotecniche sono state raccolte da Energia. Per circa 4.570 m di carote da Pian Bracca e circa 522 m di carote da Ponente sono stati raccolti i parametri Q dell'indice di scavo della qualità della roccia per la valutazione della classificazione dell'ammasso roccioso, ciò rappresenta il 100% dei dati di perforazione a corona diamantata disponibili.

I dati di registrazione strutturale geologici dal carotaggio di Pian Bracca riportanti immersione e inclinazione sono stati forniti da Energia.

4.3 Mappatura strutturale

La mappatura strutturale è stata condotta da Energia per determinare gli insiemi strutturali a Pian Bracca e Ponente. I dati sono stati presentati ad AMC come superfici tridimensionali (fare riferimento alla Sezione 4.3).

4.4 Prove di laboratorio

Le prove di laboratorio sono state condotte nell'ambito dello studio AMC (2018a). Una sintesi dei risultati delle prove di laboratorio per la resistenza alla compressione uniassiale (UCS) e le costanti elastiche è presentata in Tabella 4.1.

Tabella 4.1 Proprietà delle rocce intatte e risultati delle prove di laboratorio – UCS e costanti elastiche (AMC 2018a)

Tipo di roccia	UCS ₅₀ ¹ (MPa)			E ² (GPa)			v ³		
	Ave	SD	Conteggio	Ave	SD	Conteggio	Ave	SD	Conteggio
Calcarea di Breno (SCBL)	122	36,5	5	40	21,2	10	0,28	0,11	10
Siltito di Gorno (ST)	158	45,7	2	52	12,0	5	0,21	0,01	5
Marna di Gorno (SCBM)	-	-	-	29	12,8	4	0,14	0,26	4
Arenaria Val Sabbia – ossidata (SA)	102	2,6	2	46	45,3	5	0,25	0,12	5
Arenaria Val Sabbia – riduzione (SA)	51	25,3	2	32	15,2	2	0,30	0,04	2
Marna della Val Sabbia (SCBM)	-	-	-	32	7,2	2	0,36	0,04	2
Black shale (SHB) ⁴	40	-	-	5	-	-	-	-	-

Note:

¹ L'UCS tiene conto dei campioni che hanno fallito solo attraverso la roccia intatta. I risultati dei campioni che hanno fallito nel taglio sono stati scartati.

² E: Modulo di Young (costante elastica).

³ v: Coefficiente di Poisson (costante elastica).

⁴ Valori assunti.

A causa delle difficoltà nell'ottenere campioni intatti dell'unità di black shale, le proprietà della roccia del black shale sono state desunte secondo esperienza su questi materiali in altre miniere e dai dati pubblicati (Appendice A). AMC ritiene che queste ipotesi siano appropriate e adeguate per procedere con l'attività mineraria. L'analisi retrospettiva delle proprietà della roccia intatta di tipo black shales a Gorno dovrebbe essere condotta una volta iniziata l'estrazione.

L'unità calcarea (SCBL) comprende la stragrande maggioranza delle rocce all'interno della formazione di Metallifero. Pertanto, le proprietà della roccia per SCBL sono state applicate a questa formazione.

4.5 Stress in situ

La sollecitazione della roccia in situ è stata misurata a Gorno nella formazione di Breno utilizzando il metodo di carotaggio "hollow inclusion" (CSIRO HI). Le sollecitazioni derivate (Sial.tec, 2016) sono riassunte in Tabella 4.2. Le misurazioni indicano che la principale sollecitazione principale è sub-verticale e si avvicina al carico litostatico.

Tabella 4.2 Gradiente di stress in situ ipotizzato

Stress principale	Magnitudo (MPa/m)	Immersione (°)	Bearing (°)
σ_1	0,033	53,200	108,800
σ_2	0,017	30,485	326,900
σ_3	0,011	18,574	225,491

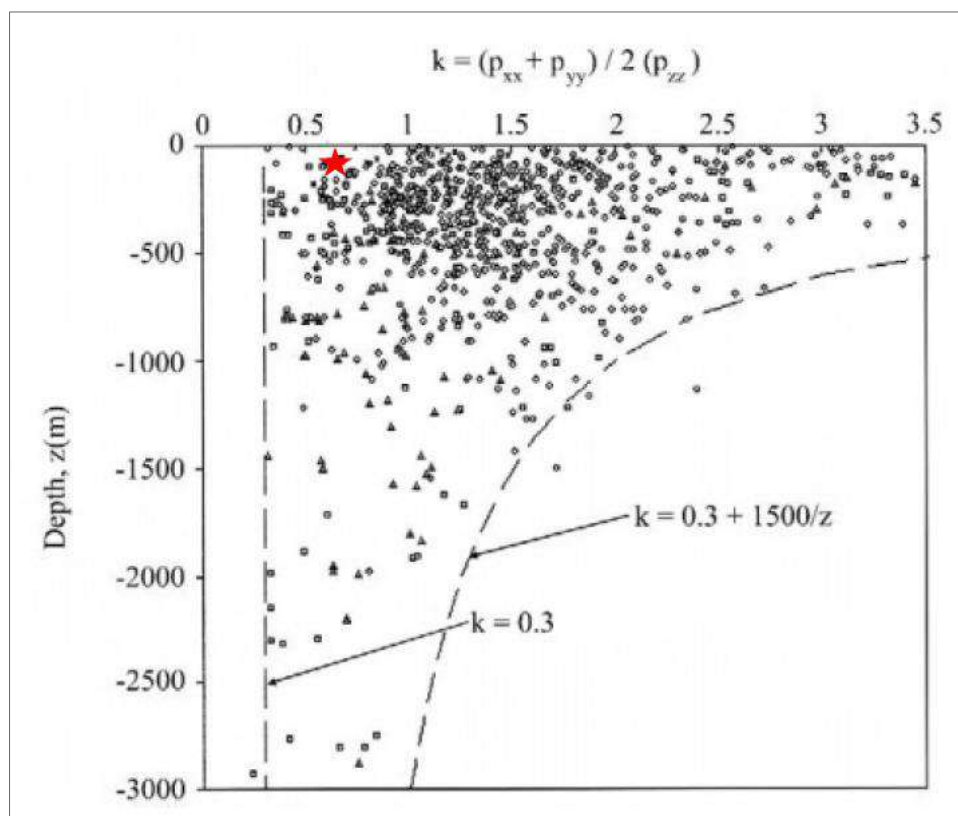
In coordinate cartesiane le sollecitazioni possono essere espresse come segue:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0194 & -0.0044 & -0.0086 \\ -0.0044 & 0.0149 & 0.0012 \\ -0.0086 & 0.0012 & 0.0266 \end{bmatrix} D$$

Dove D è profondità (in metri sotto la superficie), sollecitazioni in MPa.

È importante notare il rapporto tra stress orizzontale e verticale: $K_{xx}=0.72$ $K_{yy}=0.56$ che è basso se confrontato con le misurazioni delle sollecitazioni globali in situ (Figura 4.3) La misura del progetto Gorno è indicata con una stella rossa. Tuttavia, questo non è raro perché sono stati osservati bassi rapporti di stress orizzontale e verticale in altre aree montuose, ad esempio nelle Ande. Le implicazioni indicano condizioni di stress relativamente favorevoli.

Figura 4.3 Misurazioni dello stress in situ



4.6 Pericolosità sismica

AMC ritiene che, date le moderate profondità di estrazione pianificate a Gorno (fino a circa 500 m sotto la superficie) e le previste sollecitazioni trascurabili in situ, il rischio sismico sarà probabilmente basso.

La mappa della pericolosità sismica globale (Grünthal et al 1999) indica che l'accelerazione massima della roccia con una probabilità di superamento del 10% entro 50 anni è di 1.18 m/s^2 (0.12g), risulta quindi bassa.

5 Caratterizzazione delle condizioni geotecniche

5.1 Classificazione della massa rocciosa

La classificazione dell'ammasso roccioso consente di quantificare l'integrità relativa dello stesso sulla base della valutazione di diverse caratteristiche chiave, misurate o osservate da carotaggi o da affioramenti rocciosi. Sono stati sviluppati relazioni empiriche per la stabilità dello scavo e i requisiti di supporto in base alla classificazione dell'ammasso roccioso. Questi ultimi vengono utilizzati per varie applicazioni geotecniche legate all'estrazione mineraria, tra cui il sostegno della roccia (Q), ampiezze massime stabili per la stabilità delle camere di coltivazione (Q'), ampiezze massime stabili per i metodi di estrazione mineraria (RMR₇₆), e modelli numerici (GSI). I valori di classificazione dell'ammasso roccioso sono stati determinati per i dati di registrazione degli intervalli disponibili descritti nella sezione 3.2.

Per i depositi di Pian Bracca e Ponente sono stati valutati quattro sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi, ciascuno con diverse applicazioni:

- L'indice di qualità Q dello scavo in roccia trova applicazione nelle valutazioni dei sostegni della roccia per lo sviluppo sotterraneo.
- L'indice di qualità della roccia normalizzato Q' trova applicazione nelle valutazioni della stabilità degli scavi per la considerazione dei metodi di estrazione nelle camere di coltivazione.
- La classificazione della massa rocciosa (RMR) trova applicazione nella valutazione di ampiezze massime che garantiscono la stabilità per i metodi di estrazione in entrata.
- Il "geological strength index" (GSI) viene utilizzato per la stima della resistenza dell'ammasso roccioso e del modulo di deformazione dell'ammasso roccioso e trova applicazione nella modellazione numerica.

5.1.1 Q e Q'

Rock Tunneling Quality Index (indice di qualità delle rocce per lo scavo di tunnel), Q, (comunemente denominato 'Q-system') da Barton, Lien e Lunde (1974), trova applicazione nelle valutazioni dello sviluppo sotterraneo. Q viene calcolato come segue:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Dove:

RQD è l'indice della qualità della roccia, una tecnica di stima della qualità della roccia sviluppata da Deere et al (1967).

J_n è l'indice relativo alla presenza di giunti, assegnato in base al numero di set di giunti (valori compresi tra 0,5 e 20).

J_r è l'indice relativo alla scabrezza dei giunti, assegnato in base alla forma e alla rugosità della superficie del giunto (valori compresi tra 0,5 e 4,0).

J_a è l'indice relativo allo stato di alterazione dei giunti, numero assegnato in base al riempimento minerale e all'alterazione della superficie del giunto (valori compresi tra 0,75 e 20).

J_w è un fattore dovuto alla presenza d'acqua, assegnato in base all'afflusso di acqua previsto in uno scavo (valori compresi tra 0,05 e 1). Dato che si prevedono condizioni asciutte per la miniera, alla J_w veniva generalmente assegnato un valore di 1 (secco). Nelle aree in cui si incontrano faglie, alla J_w è stato assegnato un valore di 0,66 (umido).

SRF è il fattore di riduzione dello stato di sollecitazione, che modifica Q per tenere conto degli effetti delle sollecitazioni in situ o della presenza di zone di faglia. I valori in genere vanno da 0,5 a 20 e fino a 400 in condizioni di forte sollecitazione e rottura delle rocce. All' SRF sono stati assegnati valori da 1 a 14.

Tabella 5.1 fornisce una descrizione qualitativa della qualità dell'ammasso roccioso basata sulla valutazione di Q (secondo Barton Lien e Lunde 1974). Va notato che il sistema Q è una scala logaritmica.

Tabella 5.1 Classificazione dell'ammasso roccioso basata sul sistema Q (Barton Lien e Lunde 1974)

Valore Q	Descrizione della massa rocciosa
0,001 – 0,01	Eccezionalmente scadente
0,01 – 0,1	Estremamente scadente
0,1 – 1	Molto scadente
1 – 4	scadente
4 – 10	Normale
10 – 40	Buono
40 – 100	Molto buono
100 – 400	Estremamente buono
400 – 1000	Eccezionalmente buono

Sono stati generati grafici di distribuzione per i parametri chiave dell'ammasso roccioso, tra cui RQD, il numero del set di giunti, la scabrezza dei giunti, il riempimento dei giunti, la litologia e i valori Q derivati, per consentire l'indagine sulla variazione di questi parametri nell'ambito dell'assegnazione dei domini geotecnici. Una sintesi dei dati per i principali tipi di roccia che si incontreranno durante l'avanzamento e sviluppo dello scavo è presentata nella tabella Tabella 5.2

Tabella 5.2 Classificazione della massa rocciosa basata sul sistema Q

Area per l'estrazione mineraria	Formazioni	Metri registrati (m)	Percentile di RQD (%)			Percentile di Q		
			25	50	75	25	50	75
Pian Bracca "Parte superficiale"	Breno	294,9	33	57	78	0,7	1,7	3,6
	Faglia	8,0	7	7	7	0,1	0,1	0,2
	Gorno	104,1	13	32	52	0,3	0,7	2,4
	Metallifero	312,9	19	42	65	0,5	1,4	3,1
Pian Bracca (parte profonda)	Breno	1800,5	47	70	85	9,5	20,2	44
	Faglia	20,3	6	6	6	0,8	1,0	1,6
	Gorno	690,8	33	54	70	3,6	8,8	21,8
	Metallifero	1002,3	31	54	75	3,1	7,9	19,7
	San Giovanni	15,2	45	62	71	2,8	7,1	13,7
Ponente	Val Sabbia	163,1	20	47	68	2,6	7,3	21,5
	Breno	118,0	45	60	71	8,0	13,7	28,3
	Faglia	22,5	20	20	20	0,5	0,5	0,5
	Gorno	113,7	14	40	62	1,2	4,4	15,6
	Metallifero	254,3	9	30	59	0,9	4,0	14,7
	Val Sabbia	13,6	14	64	78	0,8	12,4	16,4

L'indice di qualità della roccia normalizzato Q', secondo Mathews et al (1981) e Potvin (1988), trova applicazione nelle valutazioni di stabilità degli scavi. Q' utilizza quattro parametri usati per calcolare anche Q e viene calcolato come segue:

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a}$$

Per l'analisi dello scavo sotterraneo, è stata studiata la distribuzione dei parametri dell'ammasso roccioso per la zona di produzione mineraria (entro i confini dello scavo, in base ai progetti della miniera) e gli immediati 5 m dei litotipi presenti al tetto, (cioè fino a 5 m dai confini dello scavo). Una sintesi delle valutazioni è presentata nella tabella Tabella 5.3

Tabella 5.3 Classificazione della massa rocciosa al tetto basata su Q'

Area per l'estrazione mineraria	Metri registrati (m)	Percentile di Q'		
		25	50	75
Pian Bracca "Parte superficiale"	191,0	2,0	5,8	13,6
Profondità Pian Bracca	675,0	4,1	9,0	21,4
Ponente	113,4	3,5	10,2	28,9

La valutazione indica che le condizioni tipiche del terreno al tetto (50° percentile) sono "discrete" a Pian Bracca e "buone" a Ponente, ma la maggior parte delle condizioni della roccia può variare da "scadente" a "buona" in tutte le aree minerarie.

5.1.2 RMR₇₆

Lo schema di valutazione dell'ammasso roccioso (RMR₇₆, Bieniawski 1976) trova applicazione nella determinazione di ampiezze massime stabili per i metodi di estrazione in entrata ed è calcolato come segue:

$$RMR_{76} = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + AB$$

Dove:

- P1 è il parametro di resistenza del materiale roccioso intatto
- P2 è il parametro per l'RQD
- P3 è il parametro per la spaziatura dei giunti
- P4 è il parametro per lo stato dei giunti
- P5 è il parametro per le acque sotterranee
- AB è un parametro correttivo in base all'orientamento dei giunti

Tabella 5.4 fornisce una descrizione qualitativa dell'ammasso roccioso basata sulla valutazione di RMR₇₆ (secondo Bieniawski 1976). Va notato che il sistema Q è una scala logaritmica.

Tabella 5.4 Classificazione dell'ammasso roccioso basata su RMR₇₆ (Bieniawski 1976)

Valore RMR	Descrizione della massa rocciosa
<20	Molto scarso
21 - 40	scadente
41 - 60	Normale
61 - 80	Buono
81 - 100	Molto buono

Per l'analisi dello scavo sotterraneo, è stata studiata la distribuzione dei parametri dell'ammasso roccioso per la zona di produzione. 10 m dei litotipi presenti al tetto (cioè fino a 10 m dal tetto dello scavo) Una sintesi delle valutazioni è presentata in Tabella 5.5 I dati sono stati suddivisi in tre aree minerarie: Pian Bracca "parte superficiale" (entro 50 m dalla superficie), Pian Bracca "parte profonda" e Ponente.

Tabella 5.5 Classificazione dell'ammasso roccioso basata su RMR₇₆- litotipi nel hangingwall dello scavo

Area per l'estrazione mineraria	Metri registrati (m)	Percentile di RQD (%)			Percentile RMR ₇₆		
		25	50	75	25	50	75
Pian Bracca "Parte superficiale"	191,0	23	40	57	50	55	64
Profondità Pian Bracca	675,0	33	57	76	55	62	69
Ponente	113,4	21	50	75	45	55	69

I risultati indicano che le condizioni dei litotipi al tetto sono marginalmente peggiori nelle aree superficiali di Pian Bracca rispetto alle aree minerarie più profonde. Le condizioni tipiche (mediane) dei litotipi al tetto nelle tre aree minerarie sono presentate in Figura 5.1, Figura 5.2 e Figura 5.3.

Figura 5.1 Condizioni tipiche dei litotipi al tetto – Pian Bracca "zona superficiale" (circa 10 m – 15 m dalla superficie)



Figura 5.2 Tipiche condizioni della roccia dei litotipi al tetto – Pian Bracca "zona profonda"



Figura 5.3 Tipiche condizioni della roccia litotipi al tetto – Ponente



5.1.3 GSI

Il "geological strength index" (GSI) trova applicazione nella modellazione numerica e viene utilizzato per la stima della resistenza e del modulo di deformazione dell'ammasso roccioso. L'indice GSI si concentra sulla descrizione di due fattori, la struttura della roccia e le condizioni dei blocchi di superficie. Il GSI è stato stimato utilizzando la relazione proposta da Hoek, Carter e Diederichs (2013), che lo correlano con i parametri precedentemente descritti per definire Q

$$GSI = \frac{52J_r/J_a}{1 + J_r/J_a} + RQD/2$$

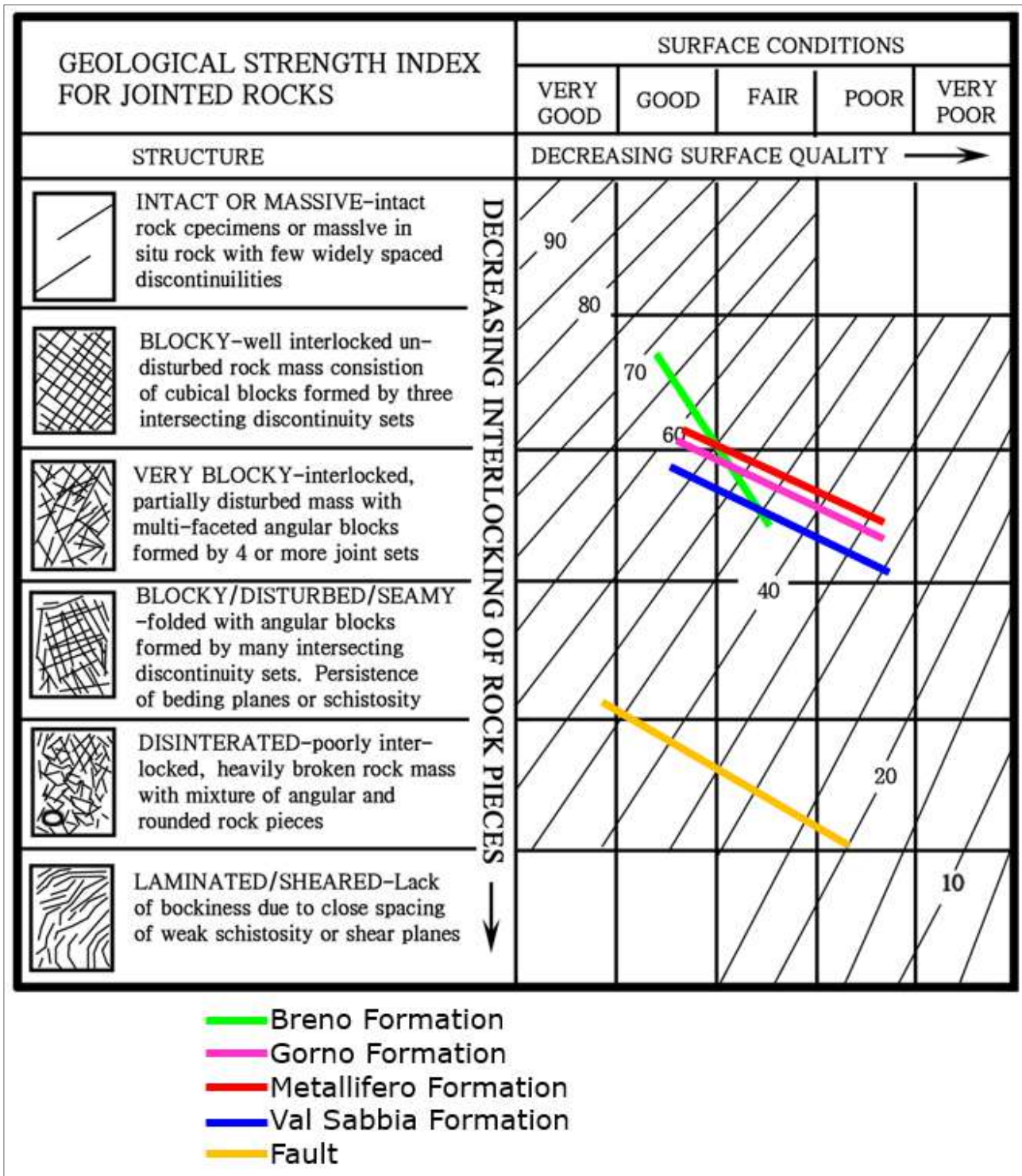
I valori GSI che ne derivano sono presentati in Tabella 5.6

Tabella 5.6 Riepilogo distribuzione statistica GSI

Formazione	Metri registrati (m)	Percentile di GSI		
		25	50	75
Breno	2213,4	44	57	69
Faglia	50,8	26	31	34
Gorno	908,5	33	45	59
Metallifero	1569,5	34	46	59
Val Sabbia	176,8	29	42	57

I valori mediani sono stati utilizzati come valori in entrata nel modello numerico. I valori GSI sono presentati in Figura 5.4

Figura 5.4 Valori GSI per i domini geotecnici



5.2 Distribuzione delle condizioni della roccia

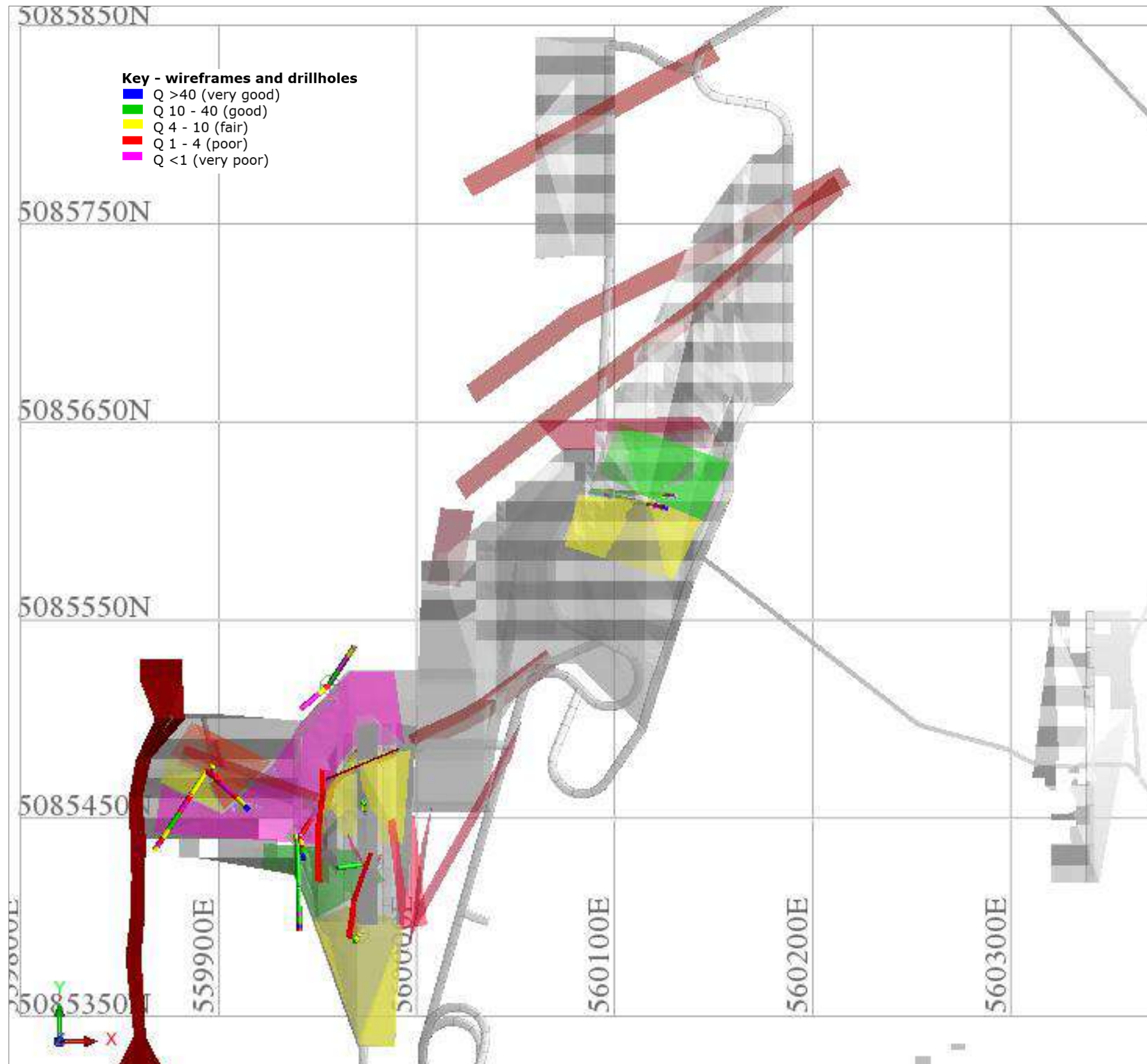
Le condizioni della roccia a Gorno sono variabili, come indicato dai dati geotecnici raccolti con le perforazioni e osservati da alcuni scavi esistenti durante la visita del sito del 2018. Localmente, le condizioni della roccia possono essere influenzate dalla presenza di faglie o ossidazioni (ossidi) con conseguente elevata variabilità locale. Pertanto, la variazione delle condizioni della roccia è stata fornita come dato in ingresso nello studio minerario. Questi sono stati introdotti come rappresentazione 3D e sono presentati in Figura 5.5. Si noti che sono presenti più targets in tutta la zona di Pian Bracca e, pertanto, alcune superfici sembreranno sovrapposte. Inoltre, i vuoti nei wireframe rappresentano le lacune nei dati di perforazione disponibili. Laddove esistono tali lacune, AMC consiglia di applicare i valori del 25° percentile per le condizioni della roccia.

Figura 5.5 Variazione delle condizioni della roccia (Q) – Estrazione pianificata di Pian Bracca (grigio) con faglie (rosso scuro), (vista in pianta)



Nota: Nota: i wireframe delle faglie 'pian bracca sth set' non vengono mostrati – le faglie sub-orizzontali interferiscono con la presentazione dei wireframe delle condizioni della roccia.

Figura 5.6 Variazione delle condizioni della roccia (Q) – Estrazione pianificata di Ponente (grigio) con faglie (rosso scuro), (vista in pianta)



5.3 Strutture principali

Le rappresentazioni grafiche delle faglie sono state realizzate da Energia Minerals e forniti ad AMC per permetterne l'utilizzo nelle valutazioni di stabilità. Le faglie modellate nell'area di Pian Bracca sono tipicamente subverticali con direzione est-ovest. Una vasta zona di faglia (larga circa 50 m) è situata all'estremità orientale di Pian Bracca, anch'essa subverticale con strike NNE-SSW. La zona di faglia comprende la zona meridionale di Pian Bracca. Altre faglie sono state modellate all'interno della grande zona di faglia, queste sono sub-verticali orientate est-ovest e sub-parallele al giacimento minerario. A sud e al di sotto di Pian Bracca è stata individuata una faglia inversa (thrust) con direzione est-ovest e immersione nord.

A Ponente le faglie subverticali sono orientate est-ovest, NE-SO e nord-sud.

Le rappresentazioni grafiche di faglia sono presentate in Figura 5.7 insieme alle aree di estrazione mineraria precedenti, le forme proposte per l'estrazione mineraria in Zorzona e le aree minerarie di Ponente e Pian Bracca al livello di coltivazione delle stesse. Le principali strutture a Zorzona sono presentate in AMC (2018a).

Una faglia orientata NNW-SSE con immersione a ovest interseca la galleria ZIA. L'ubicazione della galleria ZIA relativa alla faglia è presentata in Figura 5.8 in corrispondenza della quota di lavoro della galleria, diversa dalle aree minerarie di Ponente e Pian Bracca.

Figura 5.7 Faglie a Pian Bracca e Ponente – porzione a livello di coltivazione ±70 m (vista in pianta)

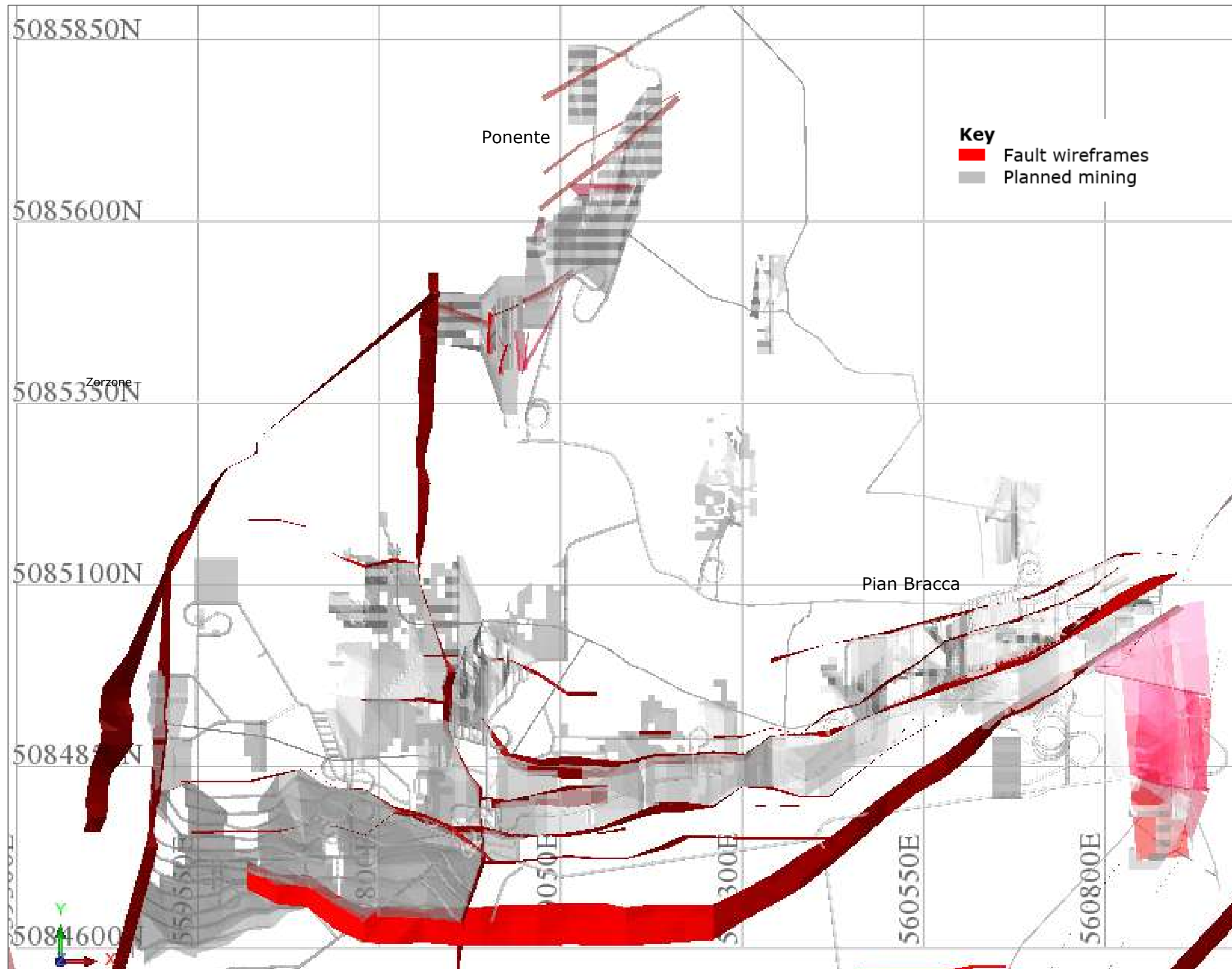
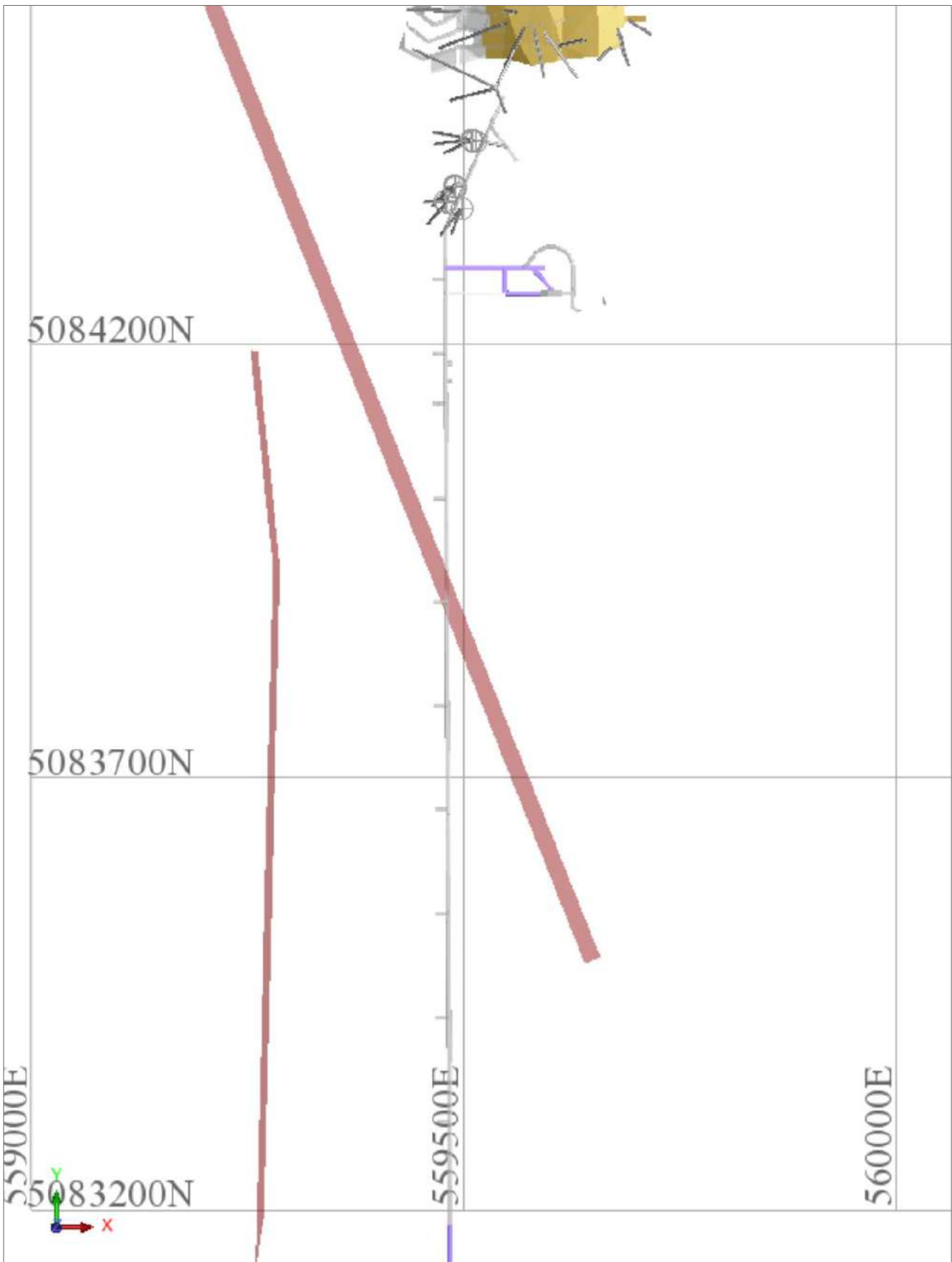


Figura 5.8 Galleria ZIA relativa alla faglia con lieve immersione a ovest (vista in pianta a quota galleria ±20 m)



5.4 Strutture minori

L'analisi stereografica dei dati strutturali fornite da Energia dalla mappatura e dal logging è stata effettuata utilizzando il software Dips (Rocscience Inc., version 8). La teoria di Terzaghi è stata applicata alle proiezioni stereografiche del set di dati ottenuti dalle perforazioni per tenere conto dell'errore di campionamento. Il sistema di coordinate geografiche applicato a Gorno è quello nazionale, e il nord magnetico coincide con il nord geografico.

Le informazioni strutturali sono state analizzate separatamente per ciascuna unità stratigrafica, tuttavia sono state osservate strutture simili tra le diverse unità stratigrafiche. Le strutture minori sono presentate in Tabella 5.7 e Tabella 5.8 e proiezioni stereografiche sono presentate in Figura 5.9 e Figura 5.10. Sono state individuate alcune somiglianze tra Pian Bracca e Ponente, vale a dire le strutture a immersione ripida orientate est-ovest e NE-SO. I dati strutturali sono stati utilizzati per le valutazioni per il sostegno della roccia (analisi del cuneo).

Tabella 5.7 Set principale di giunti di Pian Bracca – registrazione del set di dati

Tipo di struttura	Immersione (°)	Direzione Immersione (°)	Numero del set di giunti	Commenti
Letto	29	062	1	Parallelo al minerale
Giunti principali	74	178	2	Subparalleli alle faglie est-ovest
Giunti minori	62	029	3	-
Giunti minori	80	310	4	Sub-paralleli alla zona di faglia maggiore orientale

Tabella 5.8 Set di giunti principali a Ponente – set di dati di mappatura

Tipo di struttura	Immersione (°)	Direzione Immersione (°)	Numero del set di giunti	Commenti
Letto	8	190	—	Misurato dalla rappresentazione grafica del giacimento minerario
Giunto	81	153	1	-
Giunto	81	247	2	-
Giunto	85	285	3	-
Giunto	72	189	4	-

Figura 5.9 Analisi stereografica – Registrazione di una serie di dati di Pian Bracca

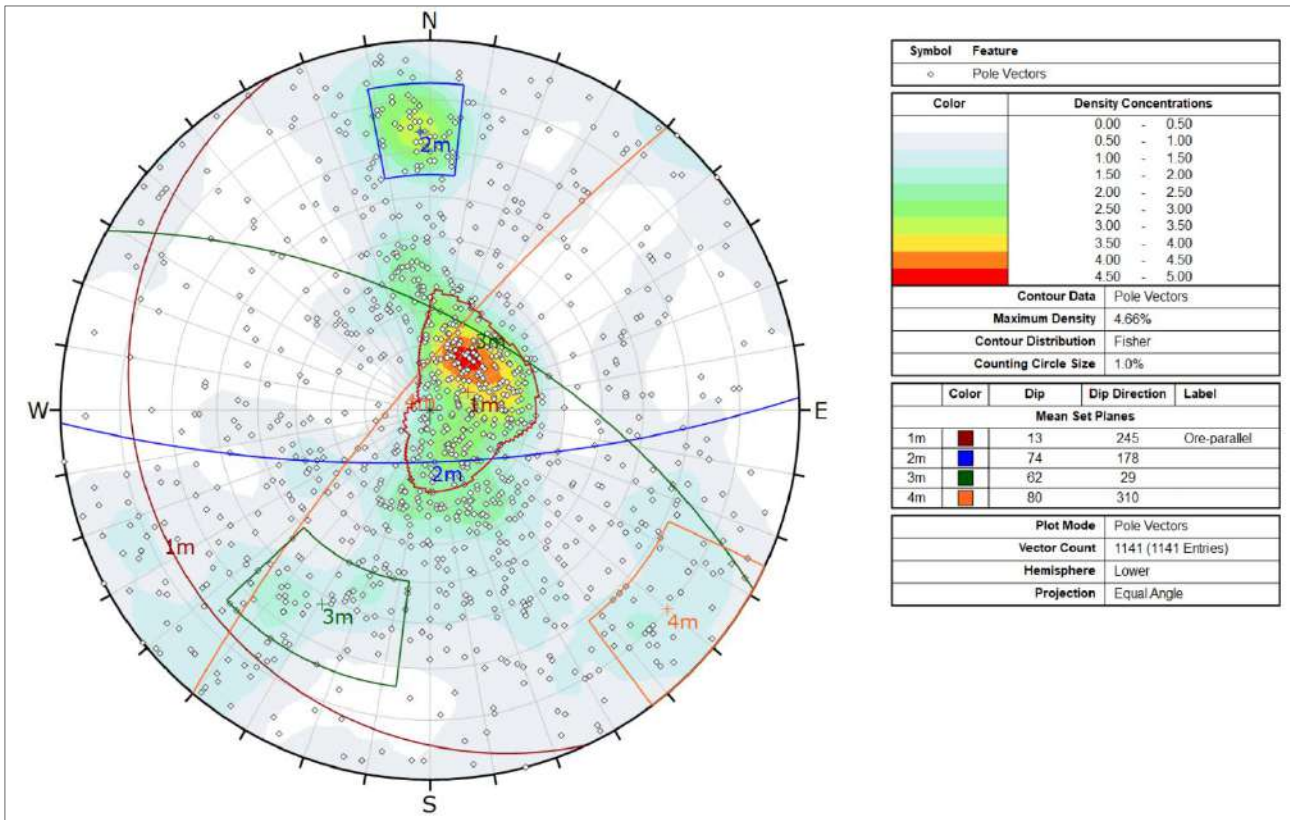
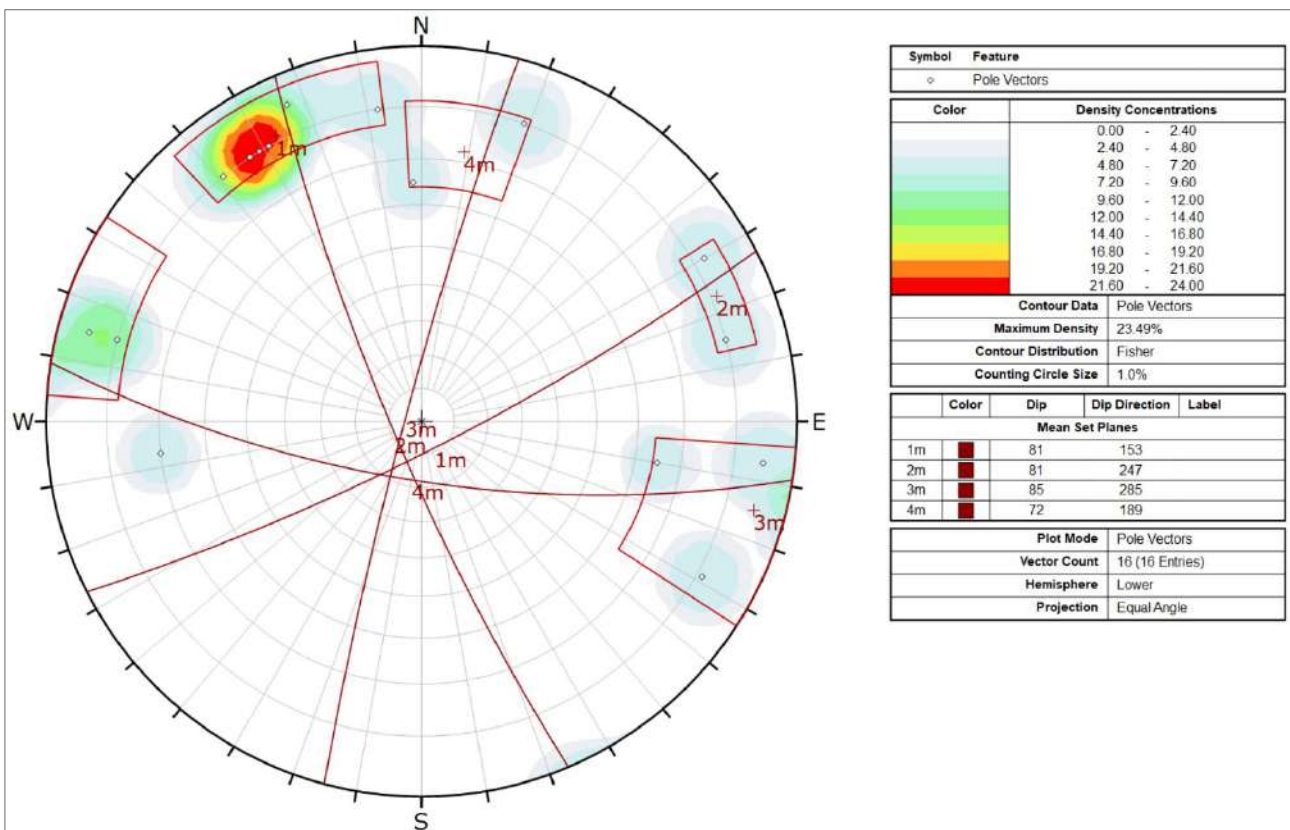


Figura 5.10 Analisi stereografica – Mappatura della serie di dati di Ponente



5.5 Domini geotecnici

I domini geotecnici sono stati assegnati nello studio precedente (AMC 2018a) correlando per tipo di roccia la classificazione della massa rocciosa, le proprietà della roccia intatta e le informazioni strutturali. Nell'ambito di questo studio, i domini geotecnici sono stati divisi solo per formazione piuttosto che per formazione e tipo di roccia, perché le rappresentazioni geologiche 3D fornite da Energia utilizzati nel modello numerico erano divise per formazione. Anche i dati di logging sono stati suddivisi per area mineraria, ad eccezione del dominio delle Faglie che comprende i dati di entrambe le aree.

Tabella 5.9 Domini geotecnici

Area per l'estrazione mineraria	Dominio e proporzione della serie di dati	Q (mediana)	UCS (MPa)	E (GPa)
Pian Bracca ! Zona superficiale!	Formazione di Breno (41%)	1,7	122	40
	Formazione di Gorno (15%)	0,7	158	29
	Formazione di Metallifero (44%)	1,4	122	40
Pian Bracca (parte profonda)	Formazione di Breno (49%)	20,2	122	40
	Formazione di Gorno (19%)	8,8	158	29
	Formazione di Metallifero (27%)	7,9	122	40
	Formazione di Val Sabbia (5%)	7,3	77	42
Ponente	Formazione di Breno (23%)	13,7	122	40
	Formazione di Gorno (23%)	4,4	158	29
	Formazione di Metallifero (51%)	4,0	122	40
	Formazione di Val Sabbia (3%)	12,4	77	42
Tutte	Faglia	0,2	77	42

Esempi delle condizioni di base "tipiche" (mediane) mostrate dalla valutazione di Q per ciascun dominio sono presentati da Figura 5.11 a Figura 5.11

Figura 5.11 Esempio delle condizioni della roccia 'tipiche' per l'area mineraria superficiale di Pian Bracca



Figura 5.12 Esempio delle condizioni della roccia "tipiche" per l'area mineraria profonda di Pian Bracca



Figura 5.13 Esempio delle condizioni della roccia "tipiche" per l'area mineraria di Ponente



Figura 5.14 Esempio delle condizioni della roccia "tipiche" per il dominio Faglie



5.6 Caratteristiche del materiale

5.6.1 Massa rocciosa

I parametri dell'ammasso roccioso utilizzati nella modellazione numerica (Sezione 5.4) sono stati valutati utilizzando il programma RocData (v5.0, Rocscience, Inc) per definire il criterio di Hoek-Brown (Hoek, Carranza-Torres e Corkum 2002). Sono stati basati sui risultati delle prove sulle proprietà della roccia intatta presentati nella Sezione 3.4 e sui valori di caratterizzazione dell'ammasso roccioso per i principali domini nella Sezione 4.5 e sono presentati in Tabella 5.10.

Tabella 5.10 Proprietà del materiale da utilizzare nel modello numerico

Metodo di analisi della resistenza della massa rocciosa	Parametri	Unità	Valore				
			Breno	Gorno	Metallifero	Val Sabbia	Faglia
Classificazione di Hoek-Brown.	σ_c	MPa	122	158	122	77	77
	GSI		57	45	46	42	31
	mi		19	14	14	11	8
	Ei	MPa	40000	29.000	40.000	42.000	42.000
Proprietà delle rocce	Densità	t/m ³	2,66	2,72	2,66	2,68	2,68
Forza della massa rocciosa	mb		4,09	1,96	2,03	1,39	0,68
	s		0,0084	0,0022	0,0025	0,0016	0,0005
	a		0,504	0,508	0,508	0,510	0,521
	Erm	MPa	18.090	6.486	9.552	7.684	3.647
Proprietà residue	Fattore di disturbo		0	0	0	0	0
	C residuo	MPa	0	0	0	0	0
	Φ residuo	°	45	45	45	45	45
	Resistenza alla trazione residua	MPa	0	0	0	0	0
	Fattore di riduzione per deformazione critica		1.	1.	1.	1.	1.

Le proprietà geotecniche calcolate per la formazione Val Sabbia saranno assunte per la roccia incassante nel modello numerico.

La resistenza dell'ammasso roccioso è stata calcolata riducendo la resistenza della roccia intatta in base al valore di GSI di ciascun tipo di roccia (Hoek e Brown 2019). L'involuppo di resistenza Hoek - Brown è definito dalla seguente equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dove:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right)$$

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Per gli scavi sotterranei si assume il Fattore di disturbo D pari a 0 (Hoek e Brown 2019).

5.6.2 Impasto di riempimento ("Pastefill")

Le informazioni per la resistenza dell'impasto di riempimento non erano disponibili per il sito della miniera, tuttavia i criteri di progettazione sono stati presentati in AMC (2018b):

- Una sollecitazione di snervamento nominale di progetto di 250 Pa.
- Un contenuto di solidi da progetto di circa il 73% p/p.
- Nessuna esposizione del sottosquadro dell'impasto di riempimento.

- Per un impasto di riempimento globale che non viene esposto, AMC raccomanda una forza minima della pasta di 150 kPa a 28 giorni polimerizzazione per ridurre al minimo il rischio di liquefazione.
- Un'aggiunta di cemento, preparato come pianificato, del 2% per ottenere la resistenza di progetto:

$$\text{La } E[\text{kPa}] = 0.02 \times UCS^2 + 34 \times UCS + 80000$$

Tabella 5.11 presenta tipici valori di forza basati sull'esperienza di AMC. L'equazione seguente viene utilizzata per stimare il modulo di Young (E) in funzione dell'UCS:

$$E[\text{kPa}] = 0.02 \times UCS^2 + 34 \times UCS + 80000$$

Tabella 5.11 Resistenza stimata dell'impasto di riempimento

Tipo di test	Minecem (%)	Φ (°)	c (kPa)	UCS (kPa)
compressione triassiale	3	44	250	1178
UCS	5	-	-	2199
compressione triassiale	7	44	650	3063

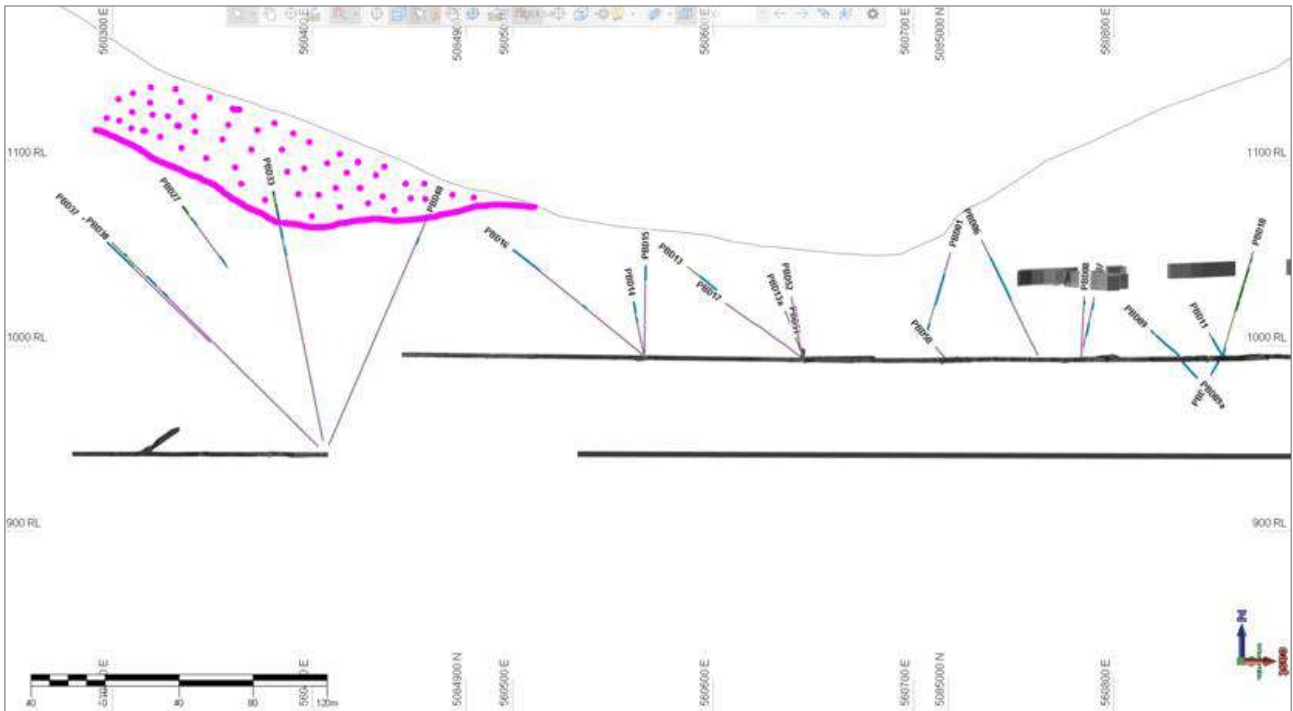
Per l'analisi numerica, i valori assunti da utilizzare sono: angolo di attrito (Φ) di 44°, coesione (c) di 500 kPa, UCS di 2355 kPa ed E di 271 MPa. I parametri di resistenza di Hoek-Brown equivalenti utilizzati nel modello sono: mb di 4,55; s di 1,0; a di 1,0 e σ_{ci} di 2,355 MPa.

I parametri utilizzati nel modello numerico sono superiori ai valori minimi consigliati per evitare la liquefazione. Uno degli obiettivi dell'analisi è ridurre la deformazione superficiale e per fare ciò bisogna ottenere una resistenza dell'impasto di riempimento più elevata.

5.6.3 Terreno

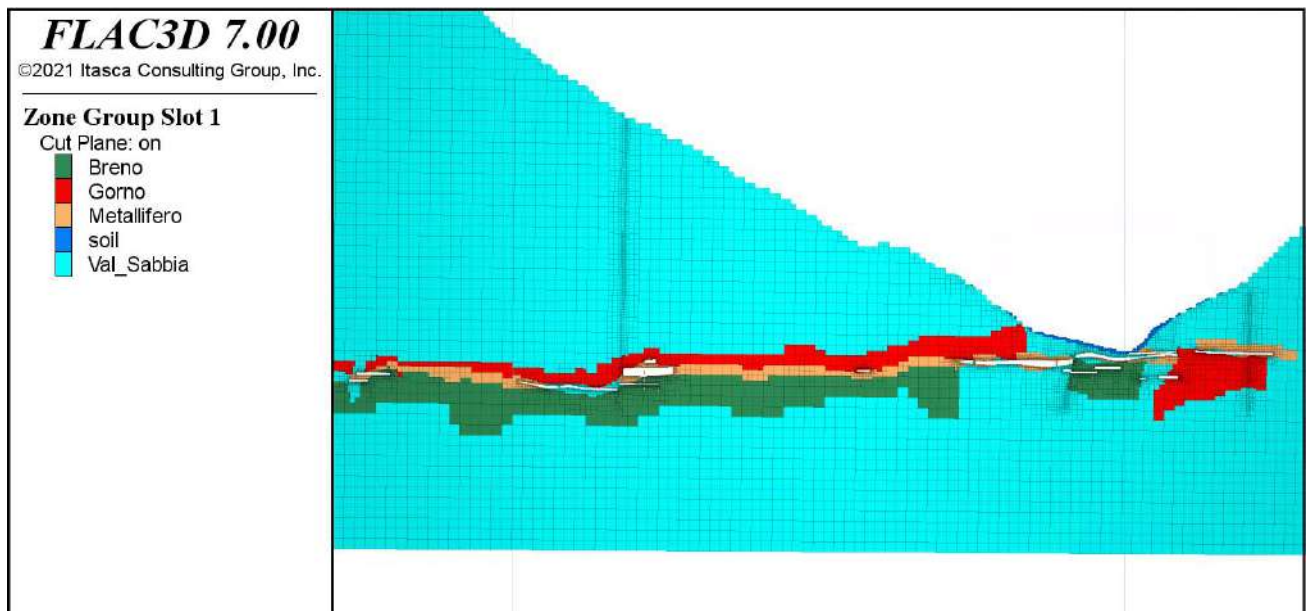
Vi sono tracce di suolo nella valle posta sopra l'area di Pian Bracca dove verrà effettuata la coltivazione mineraria (comunicazione personale S Zanin 3 giugno 2021). La mappatura preliminare e le perforazioni indicano che lo spessore del terreno dovrebbe essere inferiore a 3 m, ma le reali estensioni dello strato dello stesso sono sconosciute. Le informazioni fornite da Energia sono presentate in Figura 5.15 che mostra uno spessore del terreno fino a circa 40 m. Ai fini della modellazione è stata ipotizzata una profondità massima di 7 m che si riduce a zero più a monte del pendio. Una sezione trasversale che mostra i diversi tipi di roccia e terreno considerati nel modello numerico è mostrata in Figura 5.16

Figura 5.15 Localizzazione stimata del terreno (Energia giugno 2021)



Le proprietà del materiale assegnate allo strato di terreno nel modello devono essere assunte da Bowles (1988): Φ di 34° , c di 200 kPa e UCS di 30 MPa. I parametri di resistenza equivalenti di Hoek-Brown da utilizzare nel modello sono: m_b di 2,54; s di 0,0251; a di 1,0 e σ_{ci} of 30 MPa.

Figura 5.16 Sezione trasversale guardando a nord che mostra i tipi di roccia e il terreno nel modello numerico



6 Considerazioni geotecniche per l'estrazione mineraria

6.1 Metodo estrazione

La scelta del metodo di estrazione per il Gorno è in gran parte dettata dalla geometria del giacimento e dalle condizioni della roccia. I metodi di estrazione proposti per Pian Bracca e Ponente sono il drift-and-fill e il long-hole open stoping, prevedendo adeguati pilastri progettati per ridurre al minimo la subsidenza della superficie considerata la profondità ridotta di questo giacimento minerario. I progetti valutati includevano la geometria e la sequenza associate al file 3D "gorno_sched_solids_5-9-21". AMC comprende che lo sviluppo del minerale sarà ridotto a una larghezza di 10 m e all'altezza necessaria in fase di ritiro per recuperare tutto il minerale.

I metodi di estrazione proposti prevedono:

Drift-and-fill

- Laddove la mineralizzazione è accessibile in un unico passaggio di grandi dimensioni (fino a ~6 m), la parte sovrastante viene sostenuta sull'unità pilota.
- Se necessario, è possibile supportare anche la parte sovrastante il muro laterale.
- Se la mineralizzazione periodicamente supera questa altezza, l'unità deve essere posizionata lungo il tetto, si suggerisce in questo caso di realizzare una piattaforma, da utilizzare, fino a quando l'altezza dell'unità non coincida con spessore della mineralizzazione.
- Tali scavi vengono eseguiti da una macchina perforatrice e prevedono il sostegno della parte sovrastante. Gli scavi primari vengono quindi riempiti con materiale di riempimento e polimerizzati per un tempo >28 giorni prima che gli scavi secondari diventino disponibili per la produzione.
- Gli scavi secondari sono sostenuti allo stesso modo degli scavi primari e vengono riempiti una volta estratto il minerale.

Long-hole open stoping "coltivazione lungo banco"

- Laddove la mineralizzazione è significativamente e costantemente più spessa di quanto sia pratico per il metodo drift-and-fill con passaggio singolo, si ritiene opportuno sviluppare una galleria pilota lungo il FW con sostegno dei litotipi sovrastanti lo scavo (backs) e di praticare un foro da mina (slot) alla fine dello scavo.
- La mineralizzazione viene fatta esplodere in arretramento mediante il long-hole drilling. In tal caso, lo scavo finale non viene sostenuto in maniera regolare (sebbene, se necessario, i tiranti "cable bolts" possano essere installati periodicamente nei litotipi al tetto all'interno dei longholes).
- L'estrazione viene eseguita a distanza dal ciglio dello scavo.

Le aree minori sono assegnate come room-and-pillar (camere e pilastri).

6.2 Drift-and-fill con stabilità degli span

È stata effettuata una valutazione della stabilità utilizzando il metodo proposto da Pakalnis (2015) per derivare parametri di progettazione stabili per l'entrata dello scavo. Il metodo utilizza la valutazione della massa rocciosa (RMR₇₆, Bieniawski 1976) per selezionare ampiezze massime per la stabilità dello scavo su una tabella di progettazione empirica. I risultati sono presentati in Tabella 6.1 e nell'allegato B

Tabella 6.1 Risultati di stabilità del metodo Drift-and-fill

Area per l'estrazione mineraria	Stato della roccia	RMR ₇₆	Span stabili (m)
Pian Bracca (parte superficiale)	25° percentile	50	4
	Mediana	55	7
	75° percentile	64	12
Pian Bracca (parte profonda)	25° percentile	55	7
	Mediana	62	10
	75° percentile	69	14
Ponente	25° percentile	45	<4
	Mediana	55	7
	75° percentile	69	14

I risultati della valutazione della stabilità indicano che nell'intervallo che copre la maggior parte delle condizioni della roccia, le distanze proposte di 10 m risultano instabili senza un supporto del terreno. Pertanto, AMC raccomanda che i tunnel scavati nel minerale siano designati come "vuoti non accessibili".

Riconoscendo che i metodi empirici sono molto approssimativi e che l'esecuzione di scavi locali è fattibile solo in buone condizioni della roccia, AMC raccomanda che i progetti, in questa fase, si basino sui risultati presentati in Tabella 6.1. Le rappresentazioni grafiche effettuate per le precedenti estrazioni erano disponibili per la revisione, tuttavia queste non includevano rilevamenti effettivi degli scavi in cui si erano verificati crolli della roccia. Questi indicano la posizione degli scavi ma non l'estensione, nelle zone sovrastanti, dove si sarebbero potuti verificare dei crolli. Durante il sopralluogo del 2018 sono stati osservati diversi scavi (stopes) collassati, completamente bloccati da materiale crollato, il cui accesso non era possibile. Le ampiezze per la stabilità degli scavi a Pian Bracca, a cui si accede, sono stati realizzati in roccia 'buona' (in base ad una valutazione visiva). Le aree che sono state ispezionate durante la visita in loco sono presentate in Figura 2.5. Ad ogni modo, gli scavi hanno raggiunto l'equilibrio e non sono state osservate (né monitorate) convergenze significative. Tuttavia, non sono disponibili rilievi dettagliati e dati di monitoraggio dello spostamento della superficie per confermare l'osservazione. Va notato che l'estrazione precedente è stata condotta utilizzando utensili manuali, non i metodi di estrazione meccanizzata proposti in questa relazione.

AMC non è a conoscenza di avvallamenti o cedimenti verificatisi a seguito di precedenti attività minerarie a Gorno. Tuttavia, AMC non ha esaminato alcun dato di monitoraggio che possa fornire un'indicazione dei movimenti di superficie.

Sebbene i metodi empirici abbiano ottenuto un'ampia accettazione nella stima degli intervalli di progettazione preliminare, è importante tenere a mente i loro limiti. Gli effetti delle strutture persistenti su larga scala non sono generalmente adeguatamente rappresentati in questi metodi. Ove presenti, possono influire negativamente sulla stabilità locale. I problemi di instabilità, qualora si verificano, possono essere superati con l'installazione di sostegni primari e/o secondari, il posizionamento strategico di pilastri o modifiche nella progettazione degli scavi in modo che i confini degli stessi coincidano con le strutture. Si ritiene opportuno affrontare questa eventualità con un programma di raccolta dati in corso (mappatura del piano di coltivazione) e integrato nel processo di pianificazione delle miniere a breve termine, che una volta sviluppato, venga descritto nel piano di gestione della roccia.

6.3 Stabilità degli scavi (stops)

È stata effettuata una valutazione della stabilità dello scavo utilizzando il metodo del grafico di stabilità per derivare i parametri di progettazione per uno scavo stabile. Tale metodo è stato originariamente sviluppato in Canada (Mathews et al 1981 e Potvin 1988) per derivare i parametri preliminari di progettazione dello scavo dai dati di classificazione dell'ammasso roccioso. Il metodo è descritto in dettaglio in Hutchinson e Diederichs (1996).

La Tabella 6.2 mostra i dati in ingresso per la valutazione della stabilità. I valori di Q' utilizzati per il progetto erano il terzo quartile di valori rappresentati per tenere conto delle condizioni variabili della roccia.

I dati per lo stress in situ presentati nella sezione 4.5 sono stati utilizzati per derivare il fattore A, che rappresenta la sollecitazione. È stato assunto un valore di 1,0 AMC ha ipotizzato un assetamento localmente parallelo ai litotipi al tetto dello scavo per ricavare il fattore B. Il fattore C, che tiene conto dell'influenza della gravità, è stato derivato dai progetti della miniera.

Tabella 6.2 Valori in ingresso per il metodo del grafico di stabilità

Area per l'estrazione mineraria	Classe della massa rocciosa	Q'	A	B	C	N'
Pian Bracca superficiale	25° percentile (scadente)	2,0	1,00	0,3	2,0	1,2
	Mediana (normale)	5,8				3,5
	25° percentile (buono)	13,6				8,2
Profondità Pian Bracca	25° percentile (normale)	4,1	1,00	0,3	2,0	2,5
	Mediana (normale)	9,0				5,4
	25° percentile (buono)	21,4				12,8
Ponente	25° percentile (scadente)	3,5	1,00	0,3	2,0	2,1
	Mediana (normale)	10,2				6,1
	25° percentile (buono)	28,9				17,3

I risultati della valutazione della stabilità indicano che in una vasta gamma di condizioni dell'ammasso roccioso, i litotipi a tetto degli scavi dovrebbero risultare stabili, senza sostegni, da circa 10 m a 17 m lineari, in presenza di roccia con scarsa qualità geomeccanica, mentre in roccia di buona qualità, fino a lunghezze > 50 m. Una sintesi delle valutazioni è presentata in Tabella 6.3 È stata utilizzata un'ampiezza di scavo di 10 m per determinare le lunghezze dello scavo che rimangono stabili e che quindi possono essere realizzate prima del trattamento con materiale di riempimento. I litotipi al tetto dello scavo (backs) possono essere supportati in una certa misura con tiranti, come tale il raggio idraulico sostenuto (HR) è presentato così come le ampiezze dello scavo non sostenute.

Tabella 6.3 Risultati della valutazione della stabilità degli scavi con ampiezza di 10 m

Area per l'estrazione mineraria	Classe della massa rocciosa	N'	HR consentito (m)		Lunghezza consentita (m)	
			Non sostenuta	sostenuta	Non sostenuta	sostenuta
Pian Bracca superficiale	25° percentile (scadente)	1,2	2,5	7,0	10	>50
	Mediana (normale)	3,5	3,8	8,6	30	>50
	25° percentile (buono)	8,2	5,2	10,1	>50	>50
Profondità Pian Bracca	25° percentile (normale)	2,5	3,3	8,0	20	>50
	Mediana (normale)	5,4	4,4	9,3	>50	>50
	25° percentile (buono)	12,8	6,1	11,0	>50	>50
Ponente	25° percentile (scadente)	2,1	3,1	7,8	17	>50

Mediana (normale)	6,1	4,6	9,5	>50	>50
25° percentile (buono)	17,3	6,8	11,6	>50	>50

Riconoscendo che il metodo del grafico di stabilità è molto approssimativo, AMC raccomanda, in questa fase, di basare i progetti sui risultati presentati in Tabella 6.3. Si necessita confermare questi dati non appena disponibili maggiori informazioni grazie ad ulteriori trivellazioni o dall'inizio dell'estrazione mineraria.

Sebbene i metodi empirici abbiano ottenuto un'ampia accettazione nella stima degli intervalli di progettazione preliminare, è importante tenere a mente i loro limiti. Gli effetti di strutture persistenti su larga scala possono essere significativi e generalmente non sono adeguatamente rappresentati nei metodi del grafico di stabilità. Basandosi sulla propria esperienza AMC considera abbastanza probabile che i litotipi nel hangingwall possano dissestarsi su un limite, una faglia o un'apertura di faglia (ove presente) man mano che lo span dello scavo viene aumentato e la zona di rilassamento o riduzione delle sollecitazioni dei litotipi sovrastanti si estende. Questi problemi possono essere risolti grazie all'installazione di sostegni, al posizionamento strategico di pilastri o con modifiche nel design degli scavi in modo che i confini degli stessi coincidano con tali strutture.

6.4 Modellizzazione numerica

La modellazione numerica non lineare è stata condotta utilizzando il programma FLAC3D per valutare la stabilità dei pilastri, la stabilità globale e la potenziale subsidenza per Pian Bracca e Ponente. AMC comprende che la subsidenza è una valutazione importante per Gorno, che si trova sotto diversi villaggi e un fiume. Affinché l'estrazione a Gorno possa procedere, devono essere soddisfatti i seguenti requisiti:

- In Italia non esistono limiti di legge o regolamenti che disciplinano la questione, si rimanda quindi alla bibliografia esistente (Interazione terreno-struttura per il calcolo e verifica dei cedimenti 2014 e Croft Structural Engineers Appendice B 2014).
- I parametri utili per misurare gli effetti della subsidenza sono:
 - Distorsione angolare β (%).
 - Cedimento totale W (mm).
 - Cedimento differenziale (mm).
- Tali parametri devono essere mantenuti al di sotto di determinate soglie individuate dalle diverse metodologie basate sull'esperienza acquisita in altri progetti minerari.
- Tuttavia, il problema viene affrontato solo in relazione alla presenza di edifici o manufatti che potrebbero essere danneggiati da movimenti del terreno; non ci sono riferimenti se il cedimento avviene in aree disabitate o remote (come sono in effetti le zone che risentono delle attività minerarie del Gorno).

6.4.1 Deformazione superficiale – criteri di accettabilità

La classificazione del danno alle strutture prodotte dal movimento della fondazione è mostrata in

Tabella 6.4. Correla il livello di danno con lo spostamento verticale e la rotazione (inclinazione).

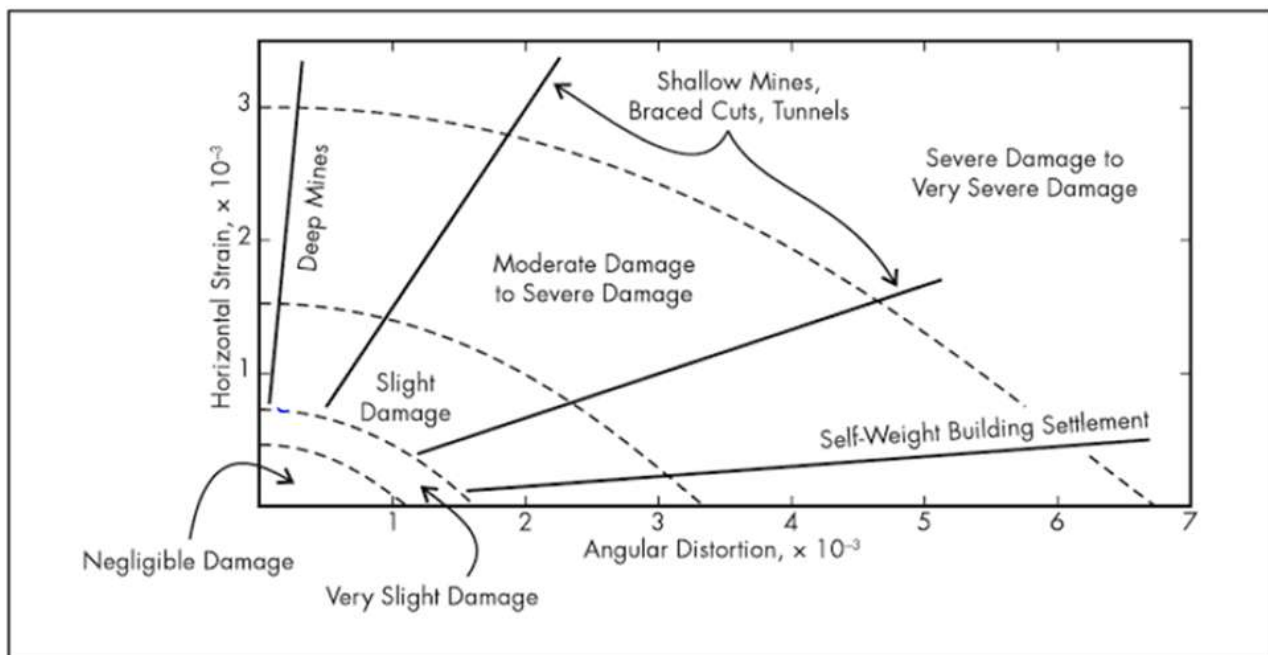
Tabella 6.4 Classificazione del danno (fornita da Energia)

Danno (Categoria)	Descrizione tipica del danno	Apertura della fessura (mm)	δ max (mm)	Rotation $\beta = \delta/L$
Trascurabile	Fessure capillari	<0,1	<30	<1/300
Molto lieve	Fessure sottili che possono essere riparate normalmente	1.	30 - 40	1/300 - 1/240

	interventi di manutenzione e verniciatura. Possibili fessure isolate moderate. Le pareti esterne in mattoni a vista presentano fessurazioni rilevabili con un attento esame.			
Lieve	Le fessure possono essere facilmente sigillate; normalmente è necessario sostituire l'intonaco o quanto meno la vernice. All'interno sono presenti numerose fessure modeste; alcune sono visibili anche dall'esterno e possono essere necessarie alcune riparazioni esterne per assicurare l'impermeabilizzazione. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre.	3	40 - 50	1/240 - 1/175
Moderata	Le fessure richiedono allargamento e riparazione. È richiesta la ricostruzione di piccole porzioni di muratura. Serratura di porte e finestre; le tubazioni dei servizi possono rompersi; l'impermeabilizzazione non è assicurata	5 - 15	50 - 80	1/175 - 1/120
Importante	Grandi lavori di riparazione con rimozione e sostituzione di murature, soprattutto sopra porte e finestre. Gli infissi di porte e finestre sono distorti; Pavimenti visibilmente inclinati; Le pareti esterne sono sporgenti. Possibile perdita di appoggio delle travi. Tubazioni di servizio distrutte	15 - 25	80 - 130	1/120 - 1/70
Molto importanti	Sono necessari importanti lavori di demolizione e riparazione. Ricostruzione parziale o totale dell'edificio. Le travi perdono appoggio; le pareti si inclinano notevolmente e richiedono sostegni. Le finestre si rompono. Pericolo di crollo.	>25	>130	>/70

Un altro criterio è mostrato in Figura 6.1, in questo caso viene utilizzata una combinazione di distorsione angolare e deformazione orizzontale per stimare il potenziale danno delle strutture.

Figura 6.1 Danno a confronto con distorsione angolare e deformazione orizzontale (metodo Boscardin e Cording 1989 descritto in Malinowska 2013)



I risultati delle analisi numeriche saranno confrontati con i criteri di danno qui presentati per stimare se il metodo minerario proposto avrà un impatto sulle infrastrutture in superficie.

6.4.2 Scenari analizzati

La sequenza mineraria fornita da Energia è presentata in Figura 6.2 e Figura 6.3, dove vengono mostrate le geometrie valutate nei modelli (tra cui Pian Bracca, Ponente e Zorzone). Il metodo di estrazione considera gli scavi primari e secondari dell'estrazione utilizzando materiale da riempimento. Sono stati considerati tre scenari:

- Sequenza originale dotata di scavi primari e secondari (caso di base).
- Sequenza originale con pilastro di 25 m sotto il fiume.
- Sequenza originale con pilastro di 75 m sotto il fiume.

Figura 6.2 Sequenza mineraria intermedia (agosto 2025)

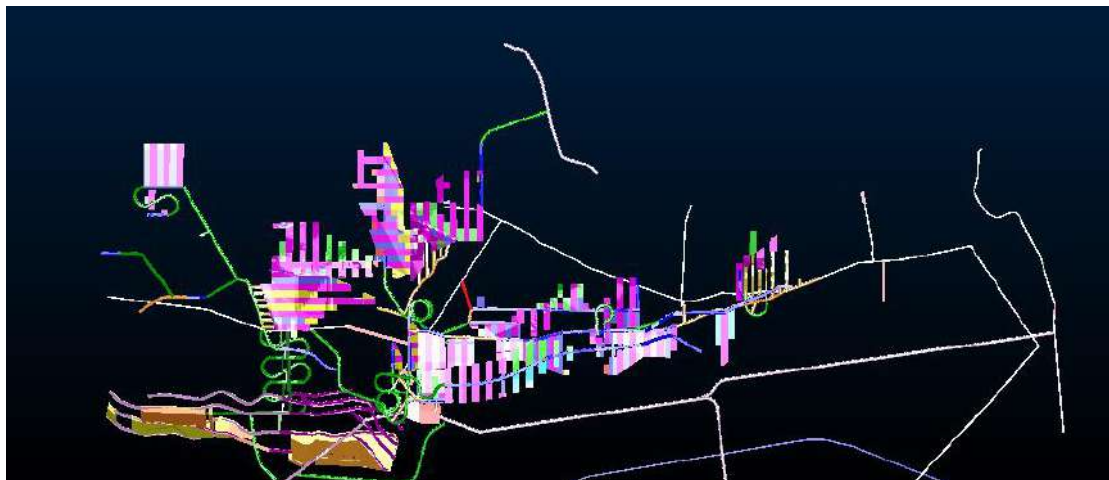


Figura 6.3 Sequenza mineraria finale



La sequenza di coltivazione mineraria ha indicato che in alcuni casi in cui sono presenti lenti sovrapposte, l'estrazione procede dalle lenti inferiori alle lenti superiori. Il riempimento risulterà difficile negli scavi poco profondi, in particolare se si verificano collassi degli span (spaziatura massima di scavo tra due sostegni) creando vuoti irregolari. Si consiglia quindi di adottare un programma di sondaggi di perforazione e monitoraggio per mitigare tali rischi se Energia sceglie di scavare sopra i vuoti riempiti.

6.4.3 Modellizzazione numerica

I risultati del modello numerico si concentrano sui seguenti punti:

- Deformazione sulla superficie.
- Concentrazione dello stress sui pilastri e intorno alle gallerie.

I risultati, focalizzati su Pian Bracca e Ponente, sono presentati nelle sezioni successive per ogni scenario analizzato. Tuttavia, l'area di Zorzone è stata inclusa in un modello separato e i risultati sono stati combinati con i quelli ottenuti per Pian Bracca e Ponente. Un esempio è mostrato a Figura 6.4 dove sono presentati i risultati combinati (spostamenti totali in questo caso) dei due modelli. A causa di effetti di confine nei due modelli (che sono un artefatto) non c'è una perfetta corrispondenza dei contorni, ma ciò non invalida la conclusione che viene presentata nei paragrafi seguenti e che prevede che l'impatto sulla superficie dovuto alle attività minerarie a Zorzone sia trascurabile. I risultati per l'intera miniera, incluso Zorzone, sono presentati nell'allegato C.

6.4.3.1 Sequenza originale fornita (caso base)

Gli spostamenti massimi in superficie per l'intera miniera sono mostrati in Figura 6.4 L'impatto massimo delle attività estrattive sulla superficie sopra Pian Bracca e Ponente, è riportato Figura 6.5 al termine delle attività estrattive. Lo spostamento massimo è di 50 mm. I limiti di

spostamento non sono stati definiti per Gorno. Le scale presentate nelle immagini rappresentano lo spostamento totale relativo.

Figura 6.4 Spostamenti sulla superficie - miniera intera del caso base (vista in pianta)

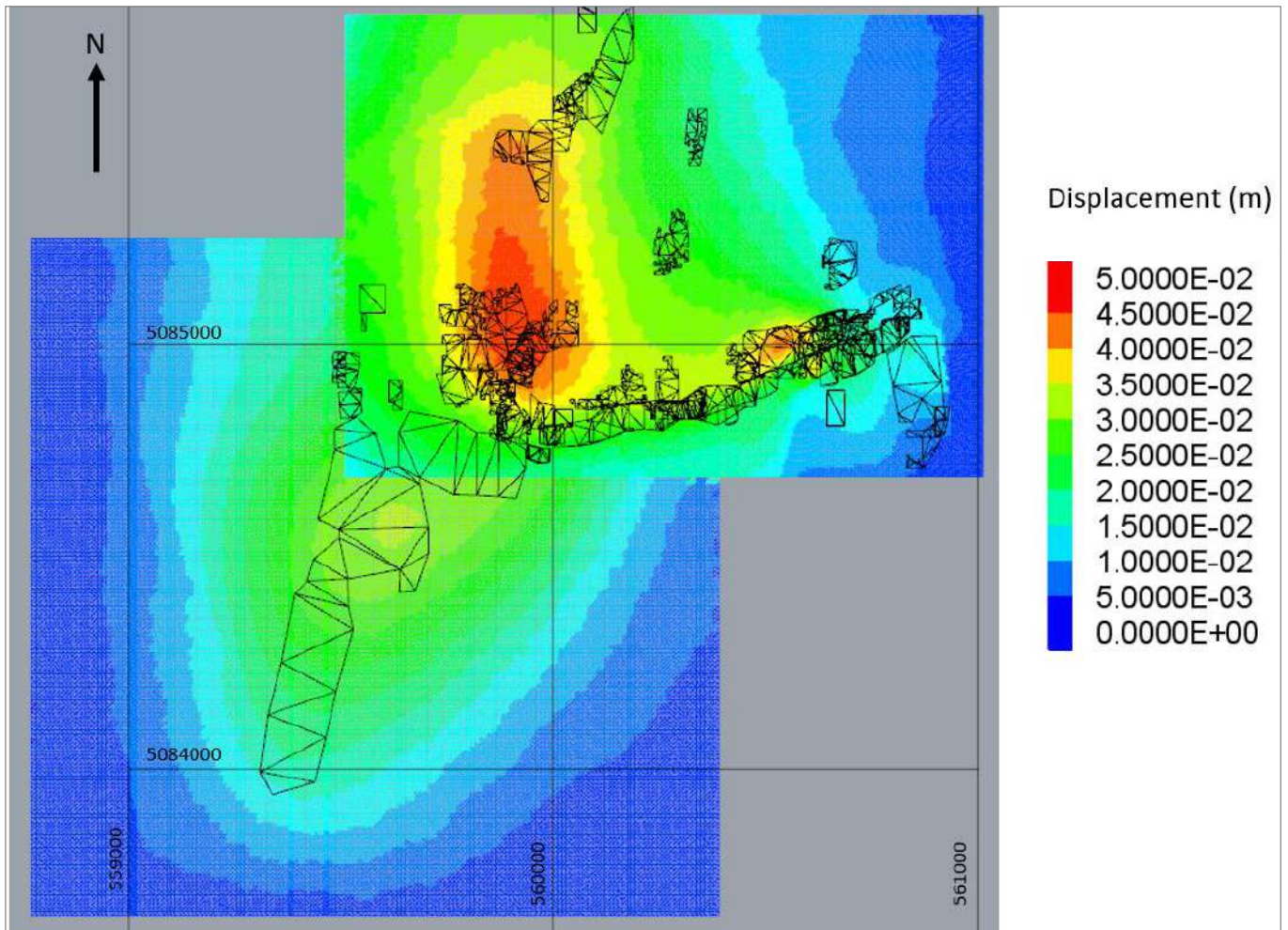
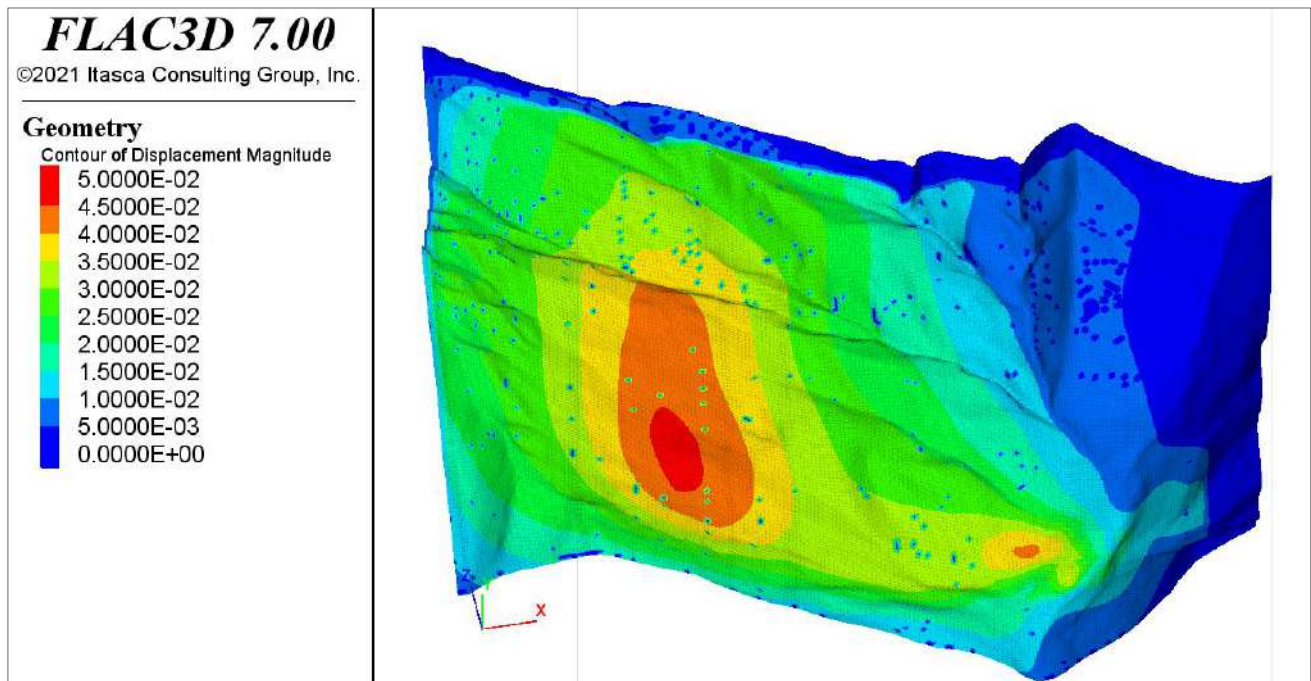


Figura 6.5 Spostamenti in superficie – caso base (vista obliqua guardando a nord)



Lo spostamento massimo di per sé non è un buon indicatore dei danni che possono essere causati alle infrastrutture. Per valutare il livello di danno che la deformazione superficiale può produrre, si può utilizzare la combinazione di inclinazione (rotazione) e deformazione (deformazione per unità di lunghezza).

Le figure Figura 6.7 e Figura 6.9 mostrano l'inclinazione e la deformazione alla fine dell'estrazione. A fondovalle è prevista un'inclinazione pari a 10^{-3} e una deformazione pari a 10^{-3} con uno spostamento massimo intorno ai 40 mm.

Secondo Tabella 6.4 si prevedono danni alle strutture da "lievi" a "molto lievi" in base allo spostamento in superficie sopra Pian Bracca e Ponente, e prevalentemente "molto lievi" sopra Zorzone. In base all'inclinazione, il danno previsto è trascurabile soprattutto nelle aree minerarie. In base ai criteri mostrati in Figura 6.1 una deformazione e un'inclinazione di 10^{-3} portano a danni lievi.

Sono state condotte ulteriori analisi per ridurre al minimo l'impatto dell'attività mineraria sulla superficie incorporando un pilastro sotto il fiume.

Figura 6.6 Inclinazione o rotazione - miniera intera del caso base (vista in pianta)

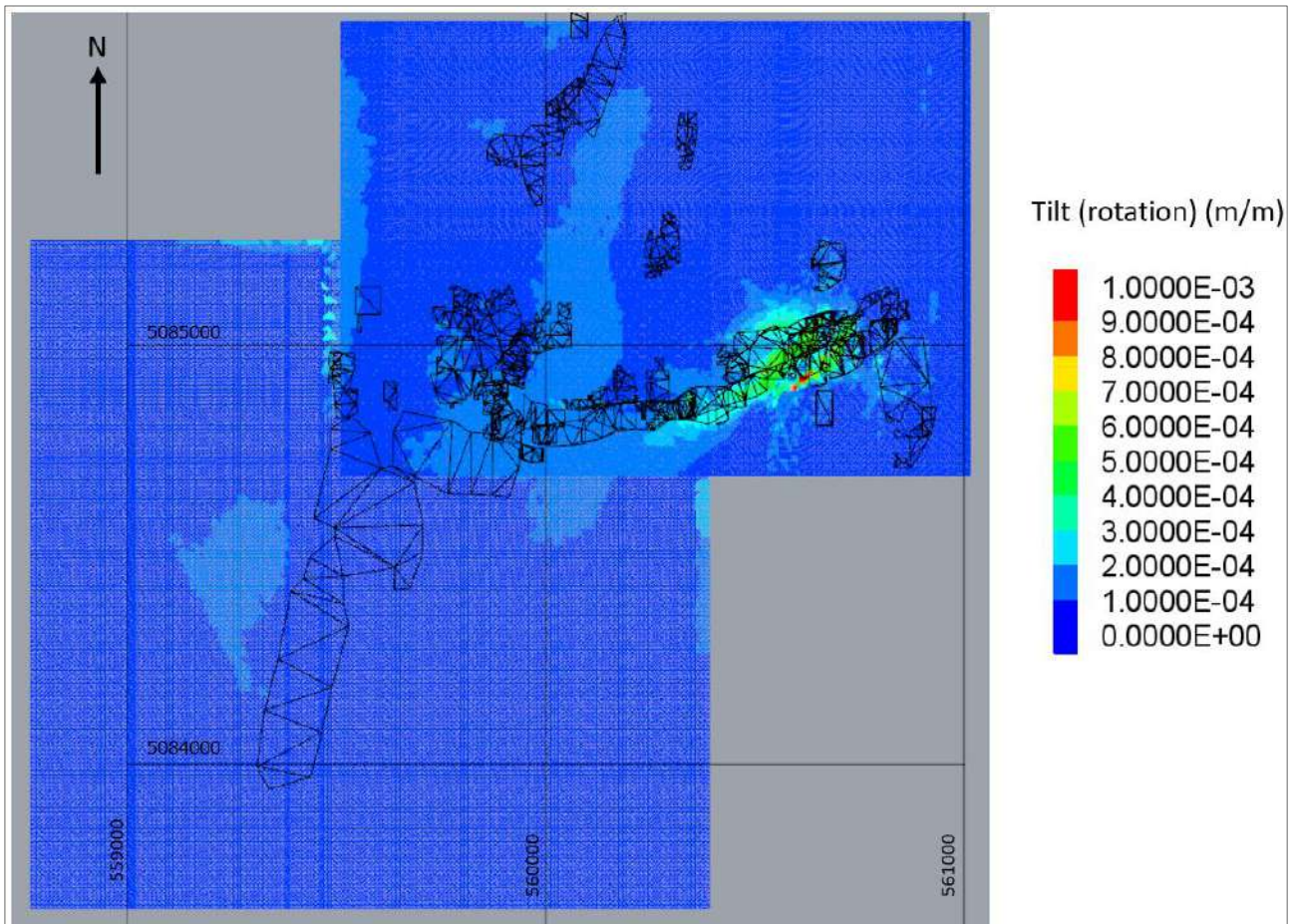


Figura 6.7 Inclinazione o rotazione - caso base (vista obliqua guardando NNE)

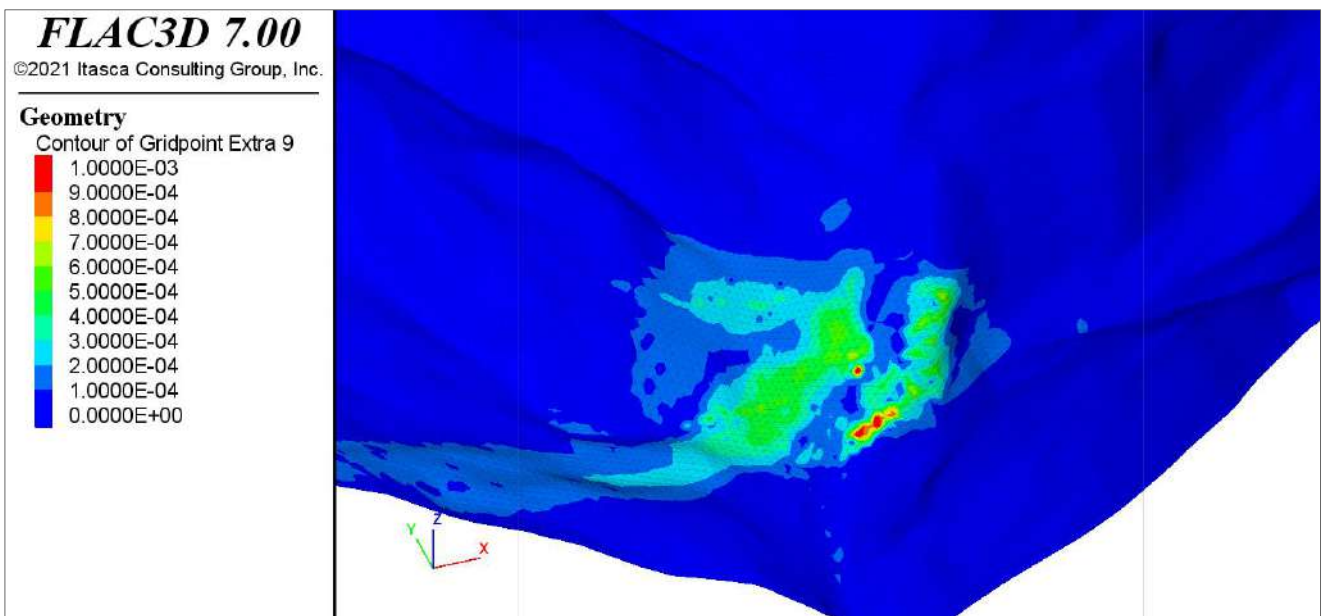


Figura 6.8 Deformazione orizzontale - miniera intera del caso base (vista in pianta)

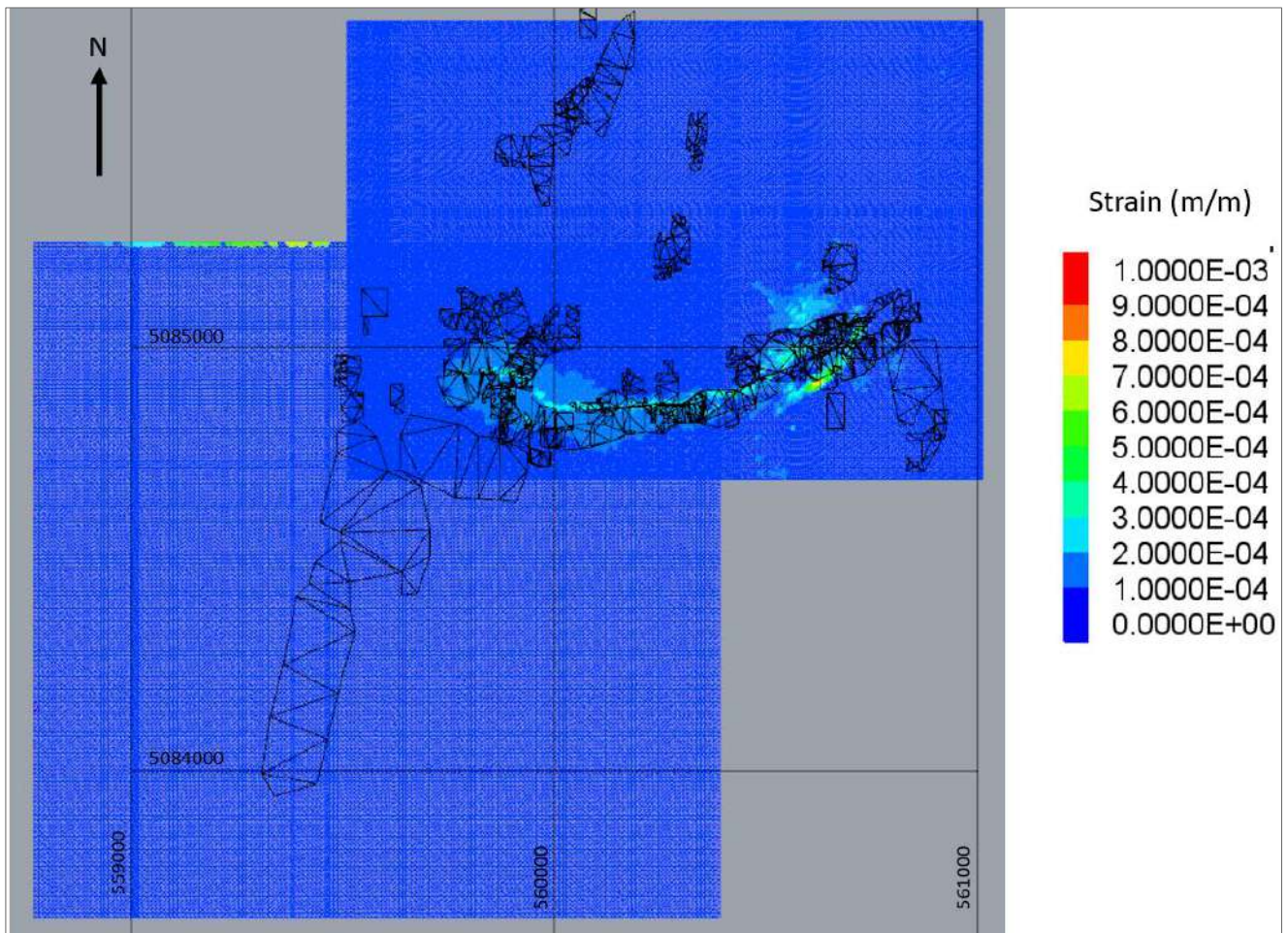
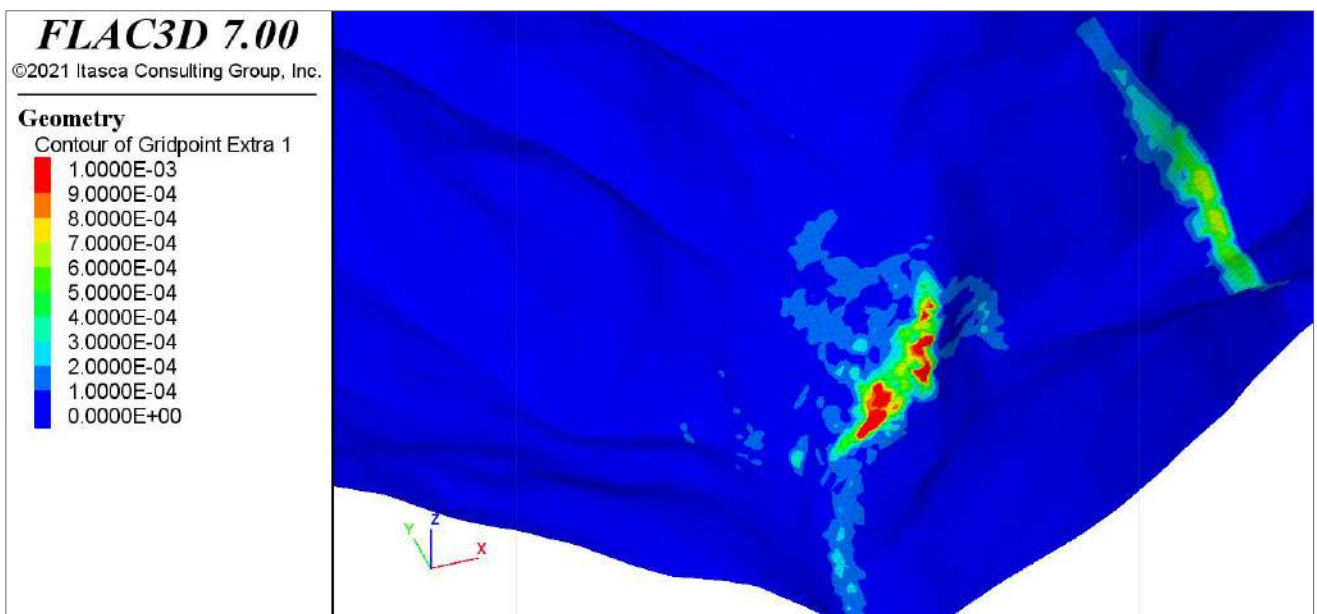


Figura 6.9 Deformazione orizzontale - caso di base (vista obliqua guardando NNE)



Questa analisi indica che le aree di maggiore impatto sulla superficie (inclinazione e deformazione) che possono avere un effetto sulle infrastrutture, sono quelle nella valle dove la miniera è meno profonda. Le seguenti analisi si concentrano su quest'area ed esplorano

alternative di estrazione mineraria per ridurre i livelli di inclinazione e deformazione sulla superficie. Queste alternative per l'estrazione mineraria non modificano i risultati già presentati per Zorzone i quali indicano che i livelli trascurabili di inclinazione e deformazione.

6.4.3.2 Sequenza originale più pilastro da 25 m

Questo scenario considera la stessa sequenza mineraria della sequenza originale fornita ma comprende un pilastro largo 25 m lungo il fiume sovrastante gli scavi di Pian Bracca (cioè 12,5 m su entrambi i lati del fiume). I risultati per lo spostamento della superficie, per l'inclinazione e la deformazione sono mostrati in Figura 6.10, Figura 6.11 e Figura 6.12. Non si osservano differenze significative rispetto al caso base. L'inclinazione massima (10^{-3}) cambia con una modifica al progetto della miniera. Ciò si può osservare confrontando Figura 6.7 e Figura 6.11, il che indica che è necessario un pilastro più lungo di 25 m.

È stato analizzato un pilastro di 75 m di larghezza, per ottenere una deformazione superficiale minima è stata considerata una terza alternativa che prevede la combinazione di un tale pilastro di 75 m di larghezza e una zona con solo estrazione primaria. I risultati di queste analisi sono discussi nei paragrafi seguenti.

Figura 6.10 Spostamenti in superficie – caso con pilastro di 25 m (vista obliqua verso NNE)

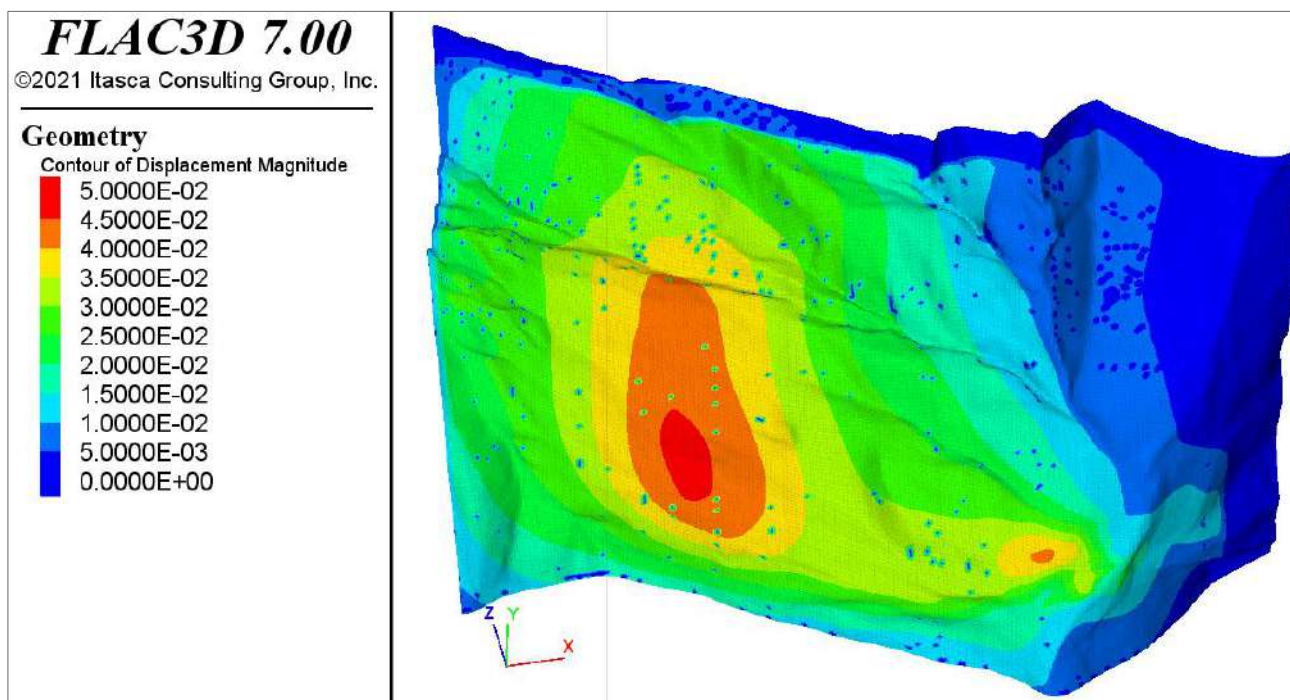


Figura 6.11 Inclinazione o rotazione – caso con pilastro di 25 m (vista obliqua guardando NNE)

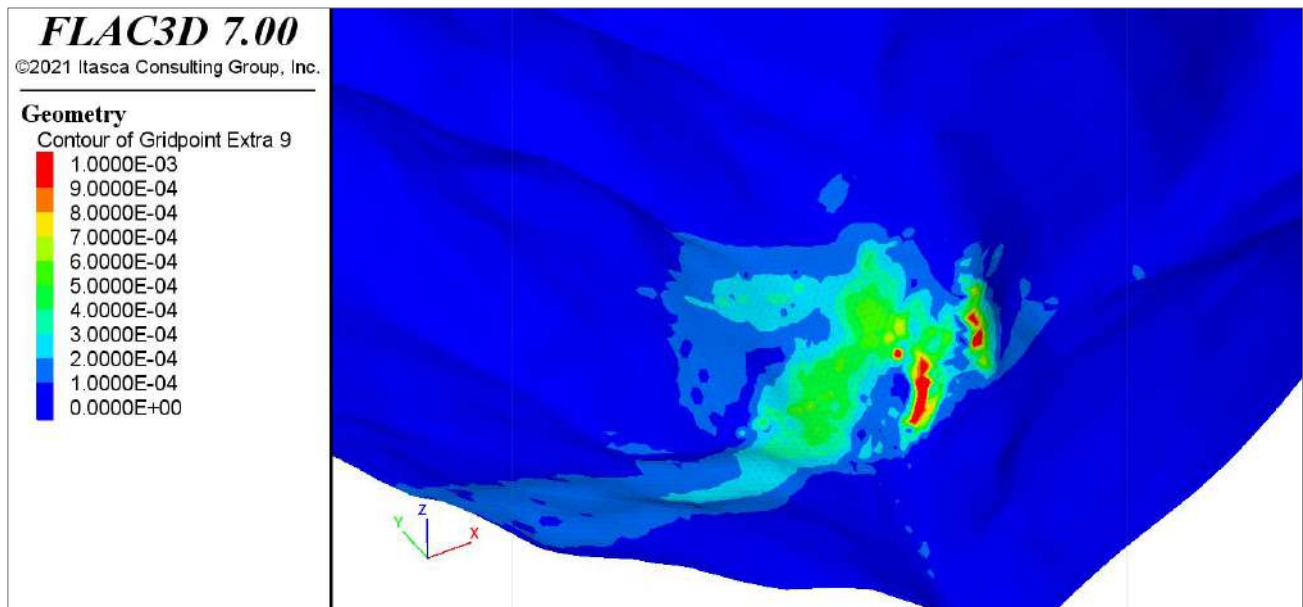
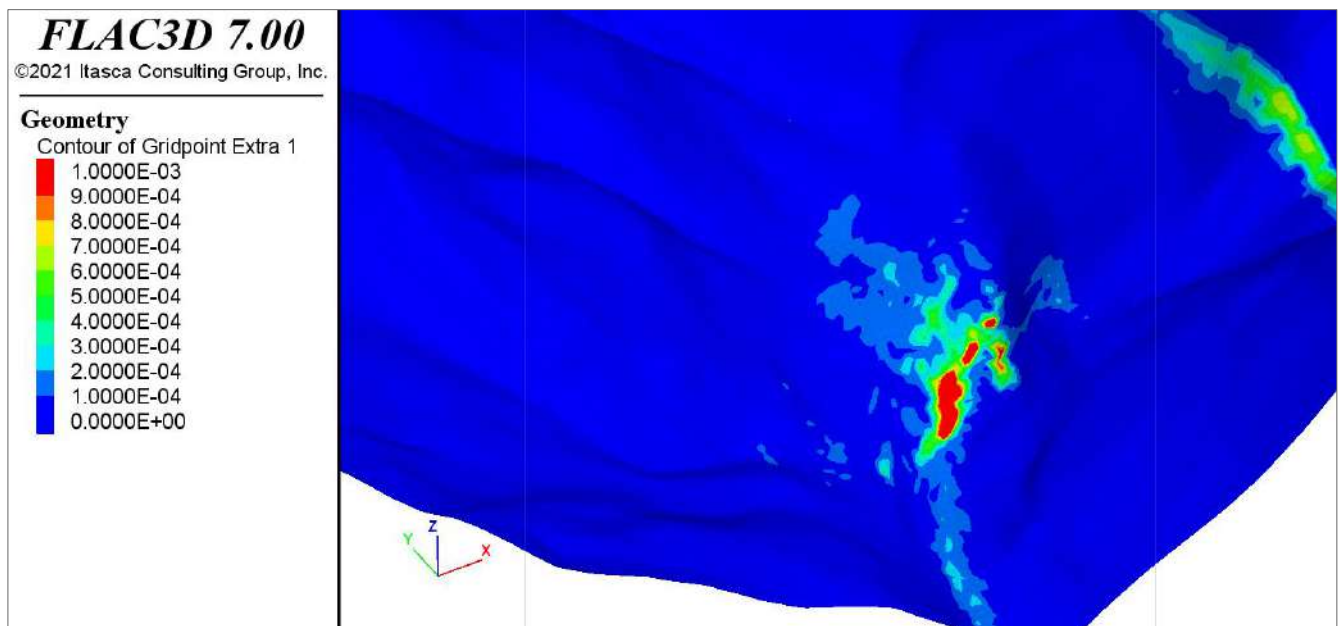


Figura 6.12 Deformazione orizzontale – caso con pilastro di 25 m (vista obliqua verso NNE)



6.4.3.3 Sequenza originale più pilastro da 75 m

La larghezza del pilastro è stata aumentata a 75 m lungo il fiume (cioè 37,5 m su entrambi i lati del fiume). Le figure Figura 6.13, Figura 6.14 e Figura 6.15 mostrano lo spostamento, l'inclinazione e la deformazione della superficie alla fine dell'estrazione. Si registra una leggera riduzione della zona interessata da un'inclinazione (tilt) maggiore di 10^{-3} , pari alla deformazione di 10^{-3} , tuttavia si prevedono ancora danni agli edifici classificati come "danni lievi".

Figura 6.13 Spostamenti in superficie – caso con pilastro di 75 m (vista obliqua verso NNE)

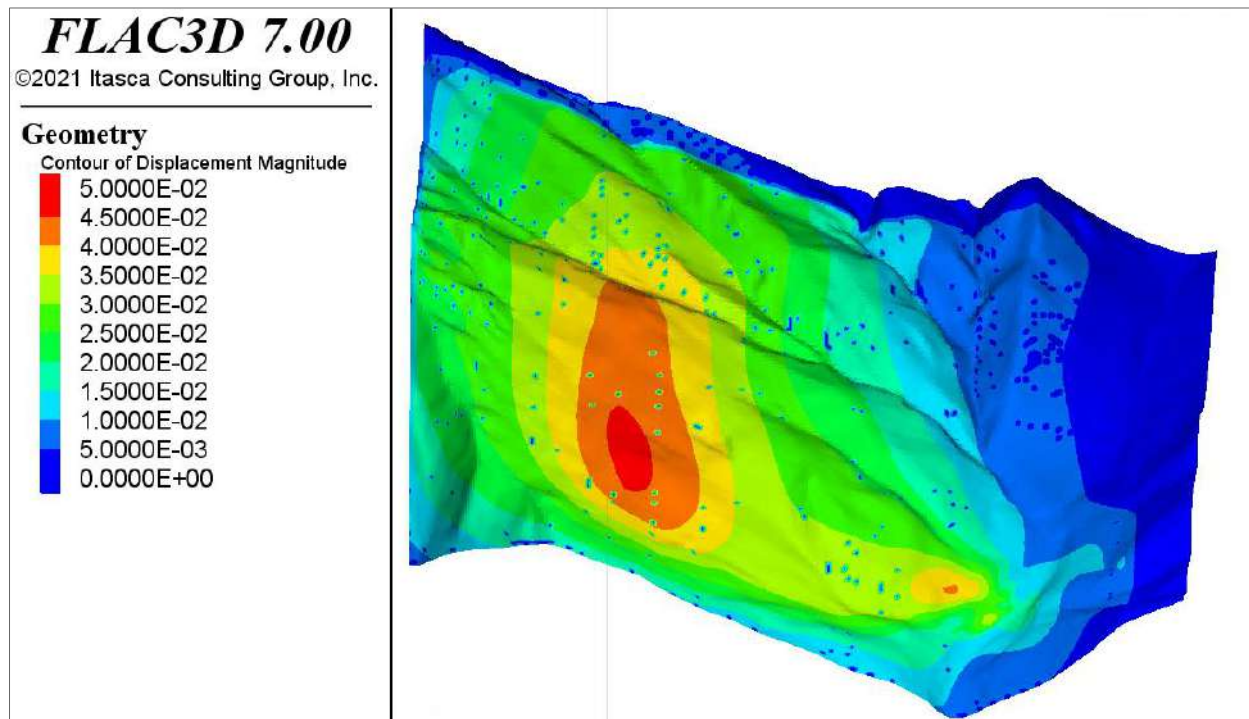


Figura 6.14 Inclinazione o rotazione – caso con pilastro di 75 m (vista obliqua guardando NNE)

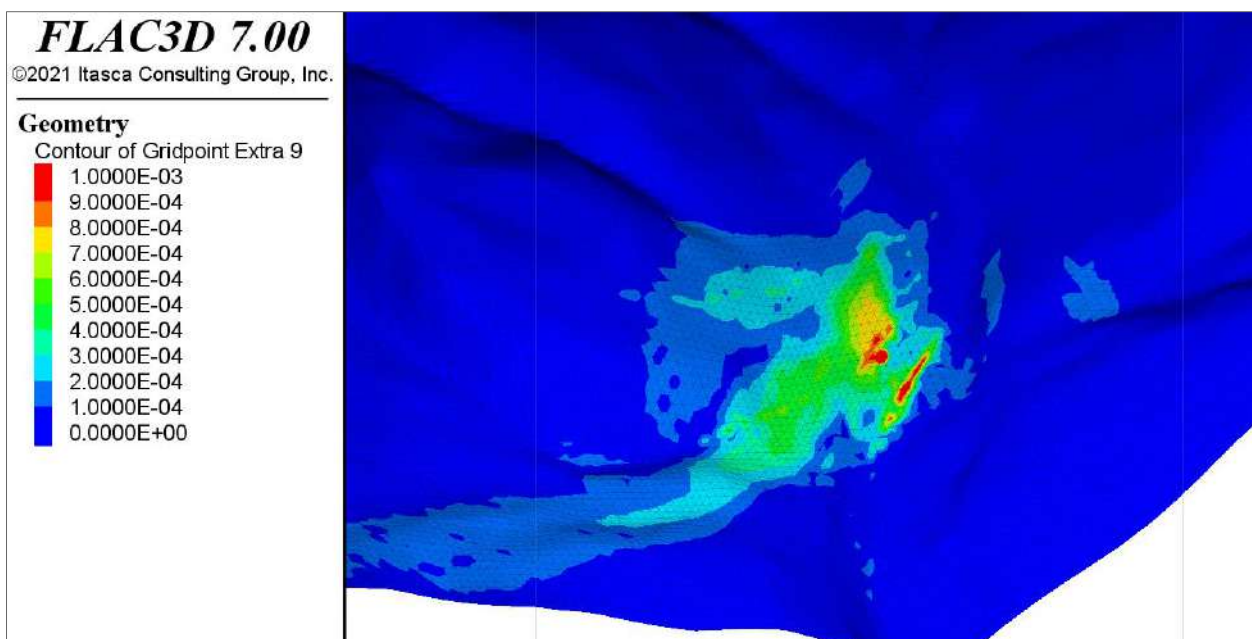
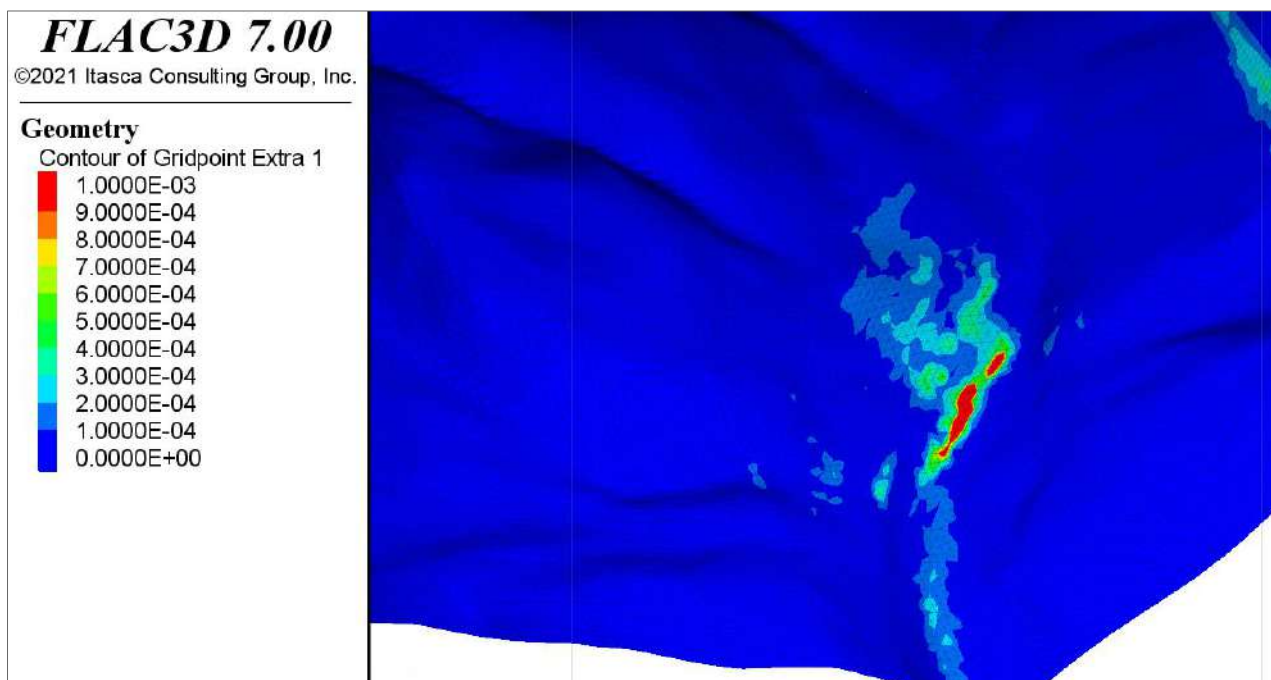


Figura 6.15 Deformazione orizzontale – caso con pilastro di 75 m (vista obliqua verso NNE)

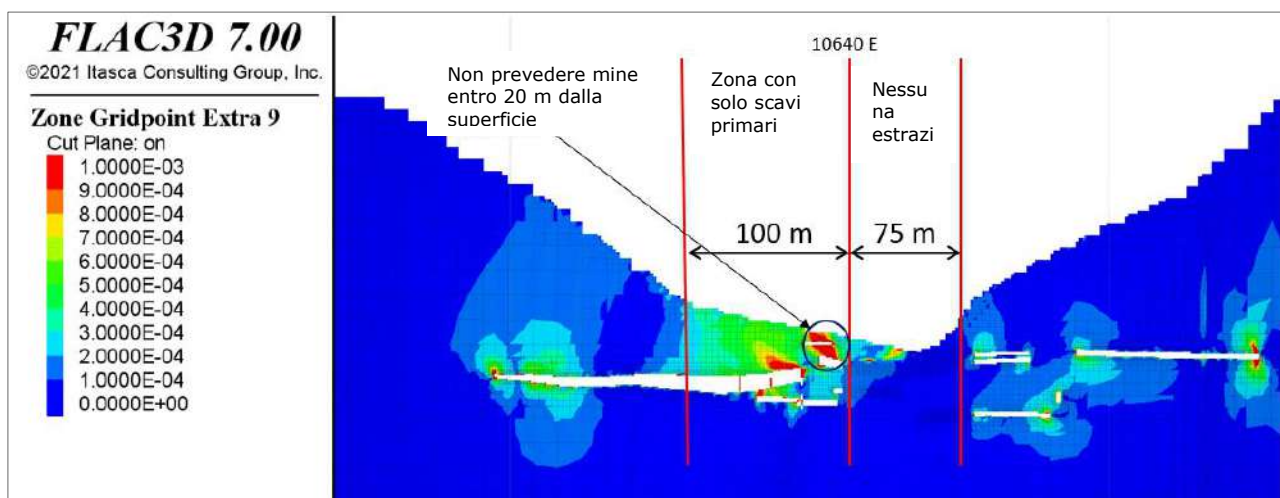


L'inserimento di un pilastro sotto il fiume riduce l'area di interazione tra scavi in sotterraneo e superficie ma non la elimina, rimane infatti un'area in cui gli spostamenti potrebbero produrre lievi danni agli eventuali edifici presenti.

Per ridurre ulteriormente l'interazione con la superficie, AMC consiglia di:

- Inserire pilastri a 100 m a ovest di 10.640 mE. Effettuare solo scavi primari in quest'area.
- Inserire un pilastro a 75 m ad est della coordinata 10.640 mE.
- Lasciare non minati tutti i vuoti situati a meno di 20 m dalla superficie.

Figura 6.16 Aree non coltivate (come da raccomandazione) e zone con pilastri



Si raccomanda di non coltivare aree al di sotto del fiume, perché si dispone di informazioni limitate in quell'area per stimare lo spessore del terreno o dei sedimenti. La Figura 6.17 mostra una vista in pianta delle aree consigliate solo come miniere primarie e la zona dove si consiglia la non coltivazione. Le zone sono definite dai punti da A a I, le coordinate dei punti sono presentate in Tabella 6.5.

Figura 6.17 Vista in pianta delle aree non coltivate e della zona con pilastri

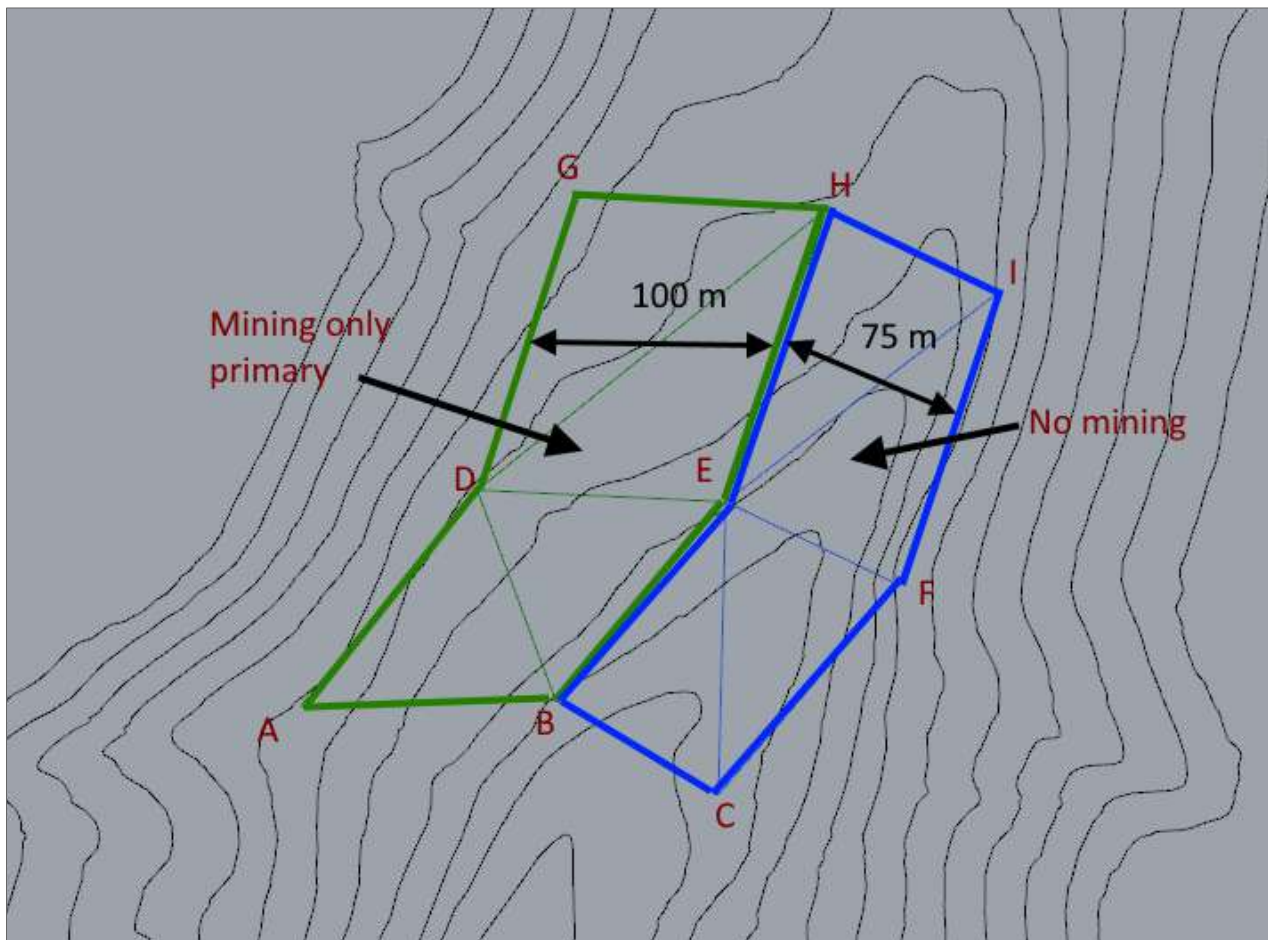


Tabella 6.5 Coordinate definite in Figura 6.17

Punto	Est (m)	Nord (m)
A	560485	5084910
B	560585	5084915
C	560645	5084880
D	560555	5084995
E	560650	5084990
F	560715	5084960
G	560590	5085110
H	560690	5085105
I	560755	5085075

L'inclinazione e la deformazione orizzontale per la zona mineraria ristretta consigliata in Figura 6.16 sono mostrate in Figura 6.18 e in Figura 6.19.

Figura 6.18 Inclinazione o rotazione – aree non coltivate e zone con pilastri (vista obliqua guardando NNE)

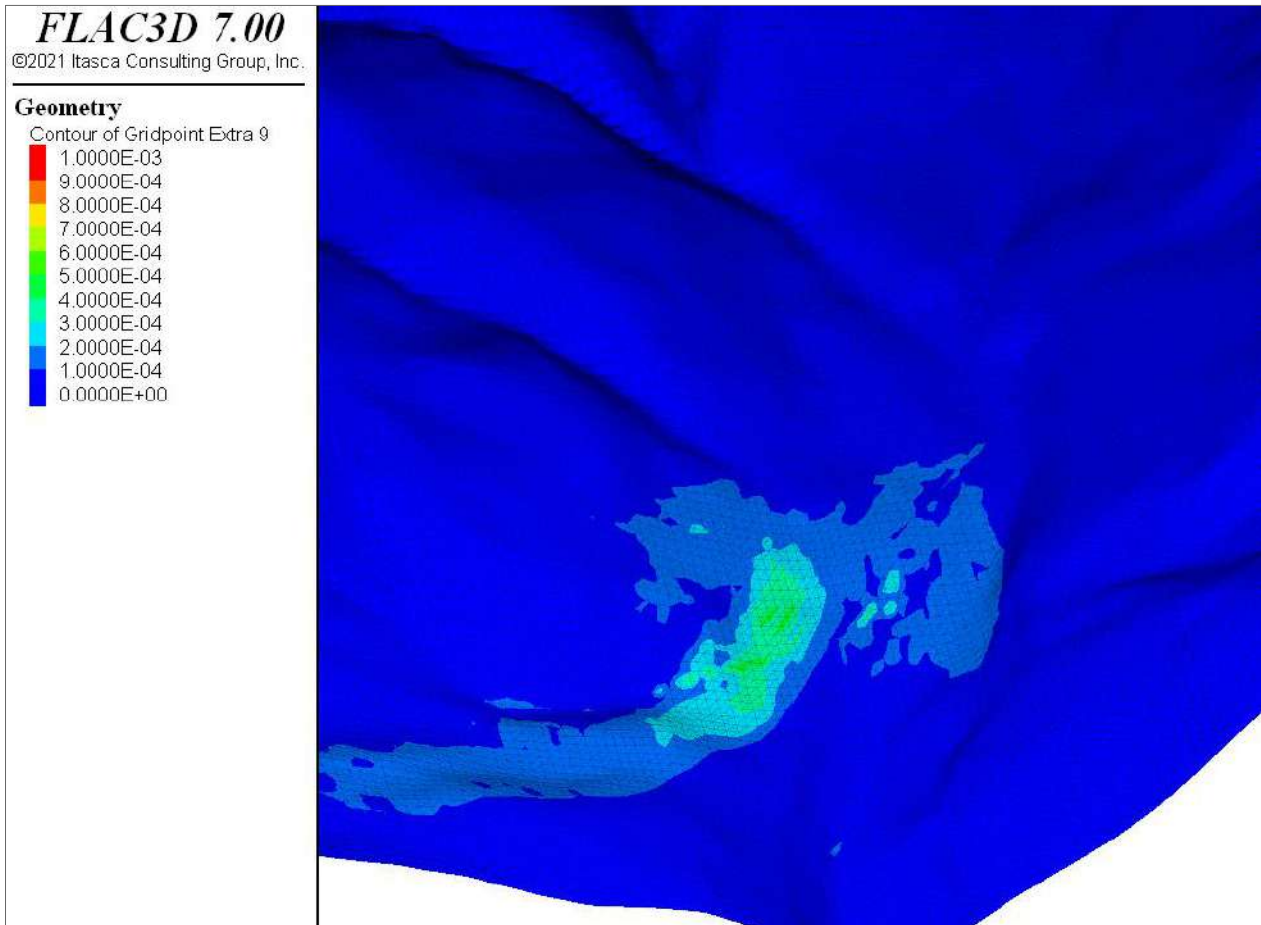
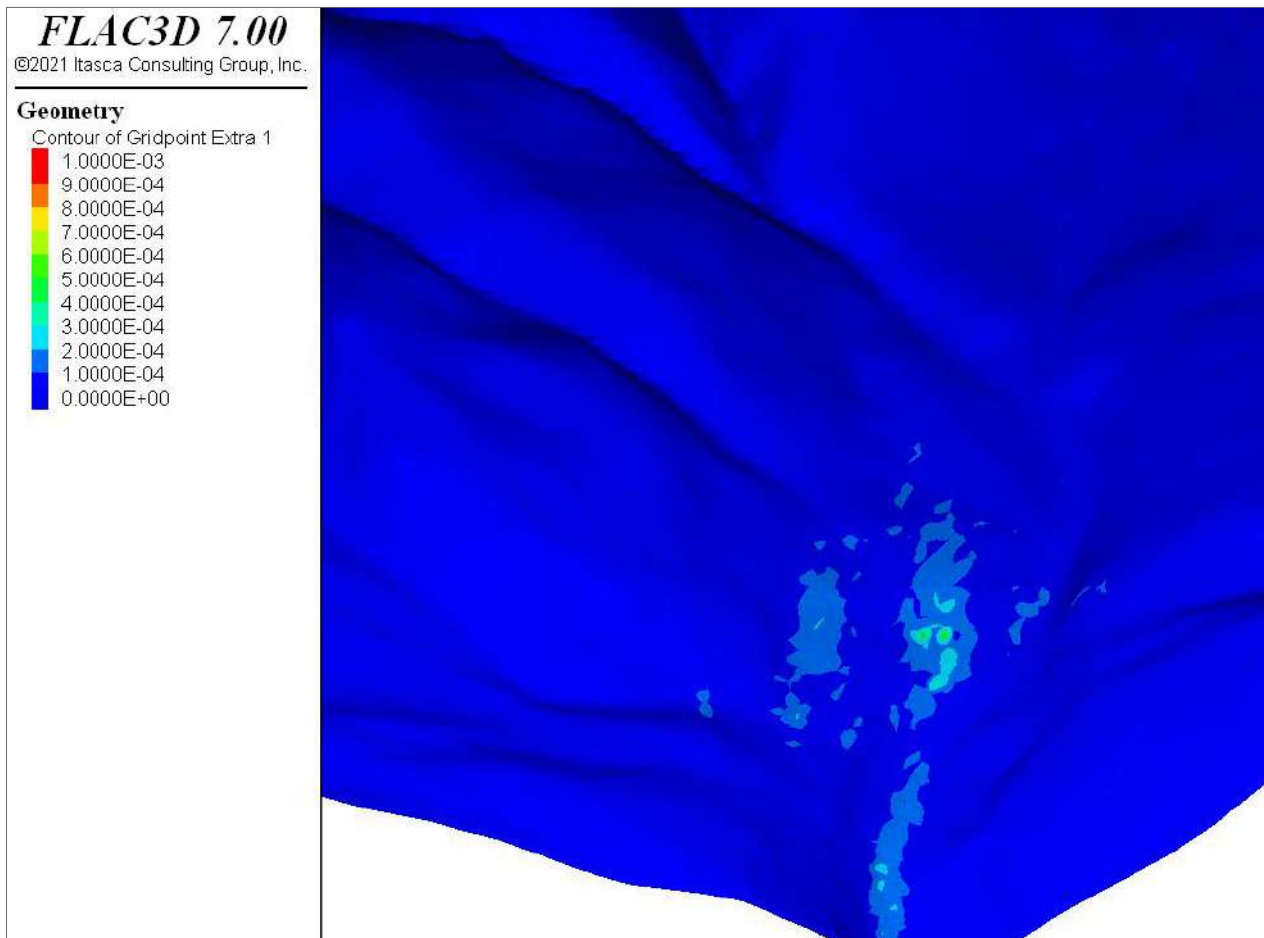


Figura 6.19 Deformazione orizzontale – aree non coltivate e zone con pilastri (vista obliqua guardando NNE)



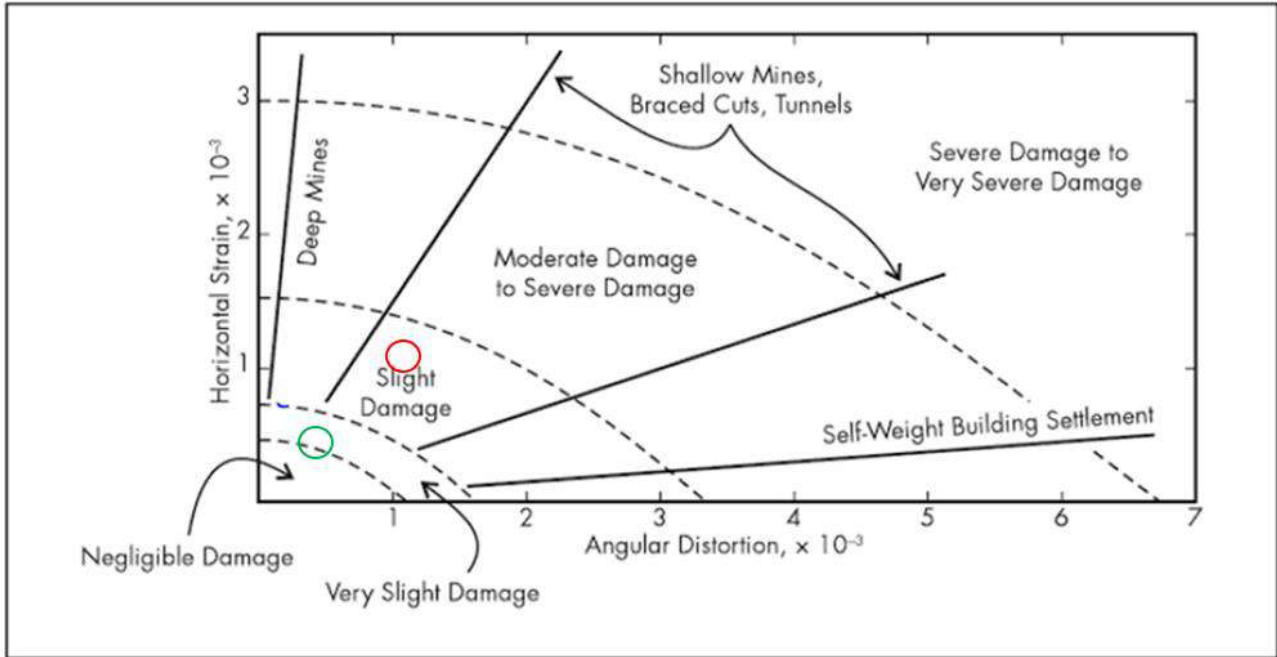
Ciò modificherà la prevista interazione dell'attività mineraria con l'infrastruttura passando da danni "leggeri" (cerchio rosso in Figura 6.20) a danni "molto lievi" (cerchio verde in Figura 6.20).

Lo scopo delle analisi numeriche era di raccomandare una strategia di coltivazione mineraria che riducesse al minimo la deformazione superficiale. Un approccio meno conservativo alla strategia presentata in Figura 6.17 può essere preso in considerazione se sono presenti le seguenti condizioni:

- La normativa italiana consente deformazioni superficiali maggiori dei danni "molto lievi" mostrati in Figura 6.20.
- Non ci sono edifici nelle aree all'interno dei contorni rossi in Figura 6.11 e Figura 6.12.

Un superficie delimitante le aree con diverso grado di deformazione è stata fornita ad Energia per valutare le posizioni degli edifici rispetto alle aree con i più alti livelli di deformazione. Relativamente all'opzione dell'estrazione mineraria sotto il fiume, si suggerisce di prevedere un'analisi localizzata che includa dettagli sullo spessore della roccia, la posizione delle faglie e l'impatto che la deformazione della roccia e del terreno può avere sul fiume, inclusa una valutazione del potenziale di infiltrazione dell'acqua. Questa analisi dettagliata esula dallo scopo del lavoro di questo studio ed è raccomandata per il livello di studio successivo.

Figura 6.20 Inclinazione e deformazione orizzontale



6.4.4 Sollecitazioni del pilastro

La sequenza mineraria segue approssimativamente una sequenza di estrazione con scavi primari e secondari. Questo crea pilastri in direzione nord – sud larghi 10 m (secondari). A seconda della profondità e delle dimensioni delle aree da scavare, nei pilastri si osservano diversi livelli di stress. La Figura 6.21 mostra che gli stress sui pilastri a profondità maggiori di 370 m sotto la superficie sono di circa 35 MPa. La Figura 6.22 mostra che gli stress sui pilastri a profondità minori di 370 m sotto la superficie sono di circa 15 MPa.

Si noti che FLAC3D utilizza la convenzione del segno dell'ingegneria meccanica di tensione positiva che nella meccanica delle rocce è opposta (compressione positiva), quindi dove i grafici si riferiscono a "sollecitazione principale minima", questa è infatti la "sollecitazione principale massima".

Figura 6.21 Sollecitazione tipica su pilastri a profondità superiori a 370 m (4977 mN)

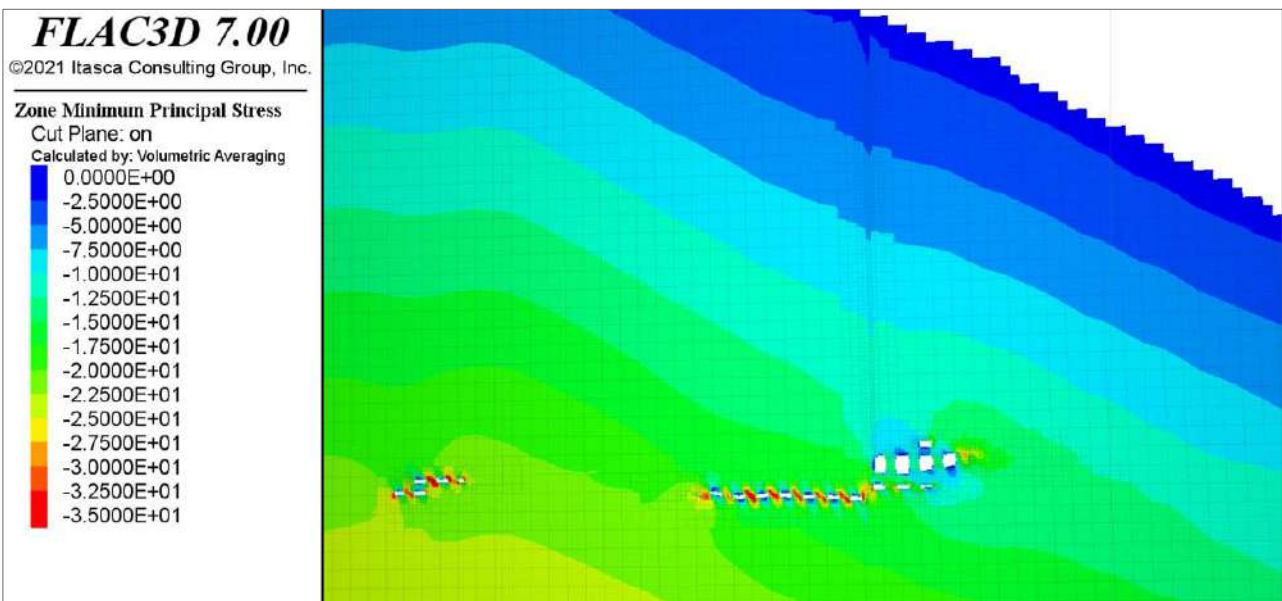
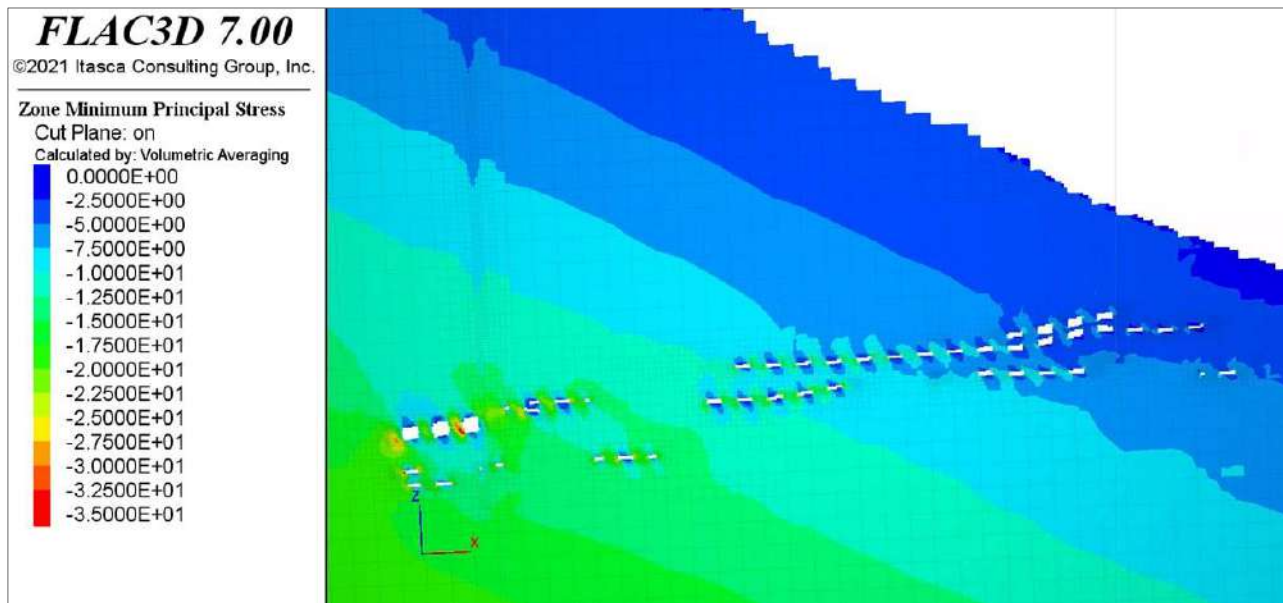


Figura 6.22 Sollecitazione tipica su pilastri a profondità inferiori a 370 m (4826 mN)



6.4.5 Sollecitazioni dello scavo

Le sollecitazioni causate dallo scavo dipendono dalla profondità dalla superficie e dalla vicinanza tra gli scavi. L'area mineraria prevista si estende per circa 1,5 km da est a ovest in un terreno montuoso e la profondità varia da 20 m a 600 m sotto la superficie.

Sono state selezionate tre aree rappresentative di diverse condizioni di stress per calcolare le tipiche sollecitazioni da scavo. La Figura 6.23 mostra la posizione delle aree e gli stress massimi per ogni zona rispetto alla sollecitazione verticale prima dell'estrazione.

Queste informazioni vengono fornite come riferimento per la progettazione dei sostegni.

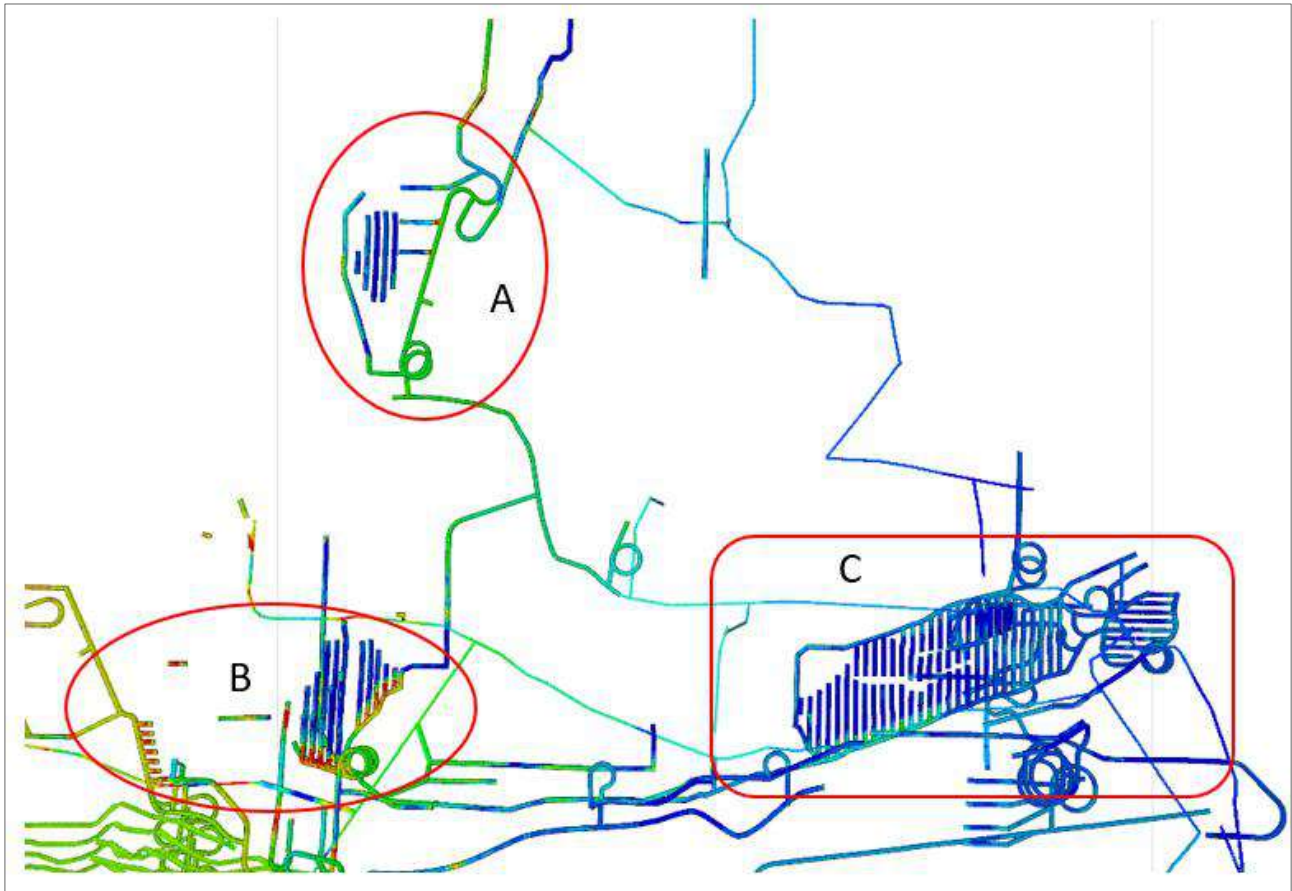
Le sollecitazioni relative agli scavi sono state calcolate in base alla posizione del tunnel all'interno della miniera. Per le tre aree definite in Figura 6.23, sono state calcolate le sollecitazioni massime e le sollecitazioni iniziali nei tunnel. I risultati sono presentati in Tabella 6.6.

Tabella 6.6 Sollecitazioni da scavo

Zona	Profondità (m)	Stress verticale (MPa)	Massimo stress (MPa)
A	350	10	30
B	400	12	30
C	30 – 80	1 – 3	12

I risultati delle prove di laboratorio nella Sezione 4.2 indicano che i valori di sollecitazione massima sono inferiori al 25% dell'UCS. Pertanto, durante lo scavo non sono previsti danni legati alle sollecitazioni.

Figura 6.23 Zone di scavo



Il settore A si trova a circa 350 m sotto la superficie. La sollecitazione verticale massima iniziale è vicina a 10 MPa. La Figura 6.24 mostra che in alcuni casi, lo stress massimo attorno allo scavo raddoppia.

Il settore B si trova a circa 400 m sotto la superficie, la sollecitazione verticale massima iniziale è di circa 12 MPa. La Figura 6.25 mostra lo stress massimo intorno allo scavo dopo l'estrazione.

Il settore C si trova tra 30 m e 80 m sotto la superficie. La sollecitazione verticale massima iniziale è compresa tra 1 MPa e 3 MPa. La Figura 6.26 mostra lo stress massimo intorno allo scavo dopo l'estrazione.

Figura 6.24 Massima sollecitazione Settore A – sollecitazione prima dell'estrazione di 10 MPa

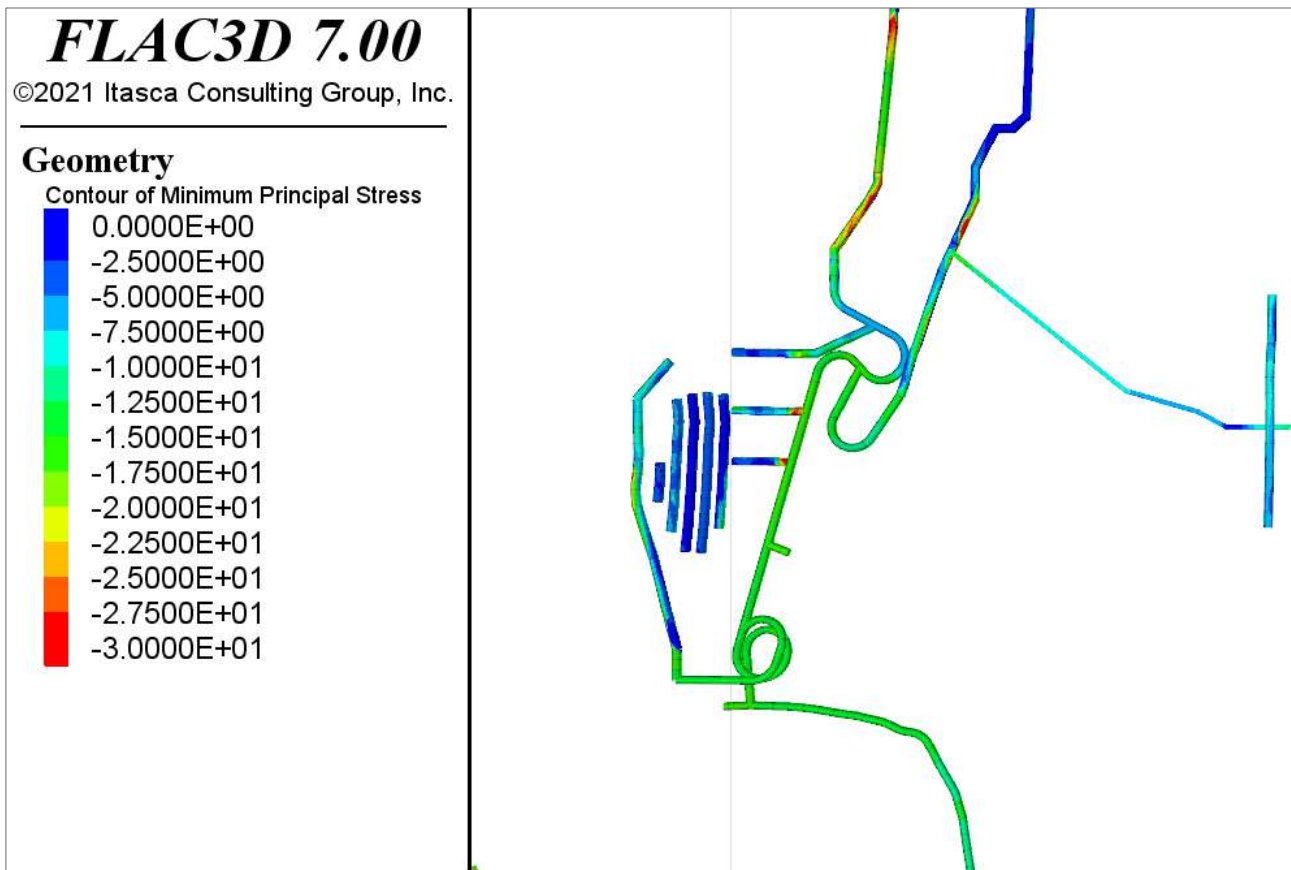


Figura 6.25 Massima sollecitazione Settore B – sollecitazione prima dell'estrazione di 12 MPa

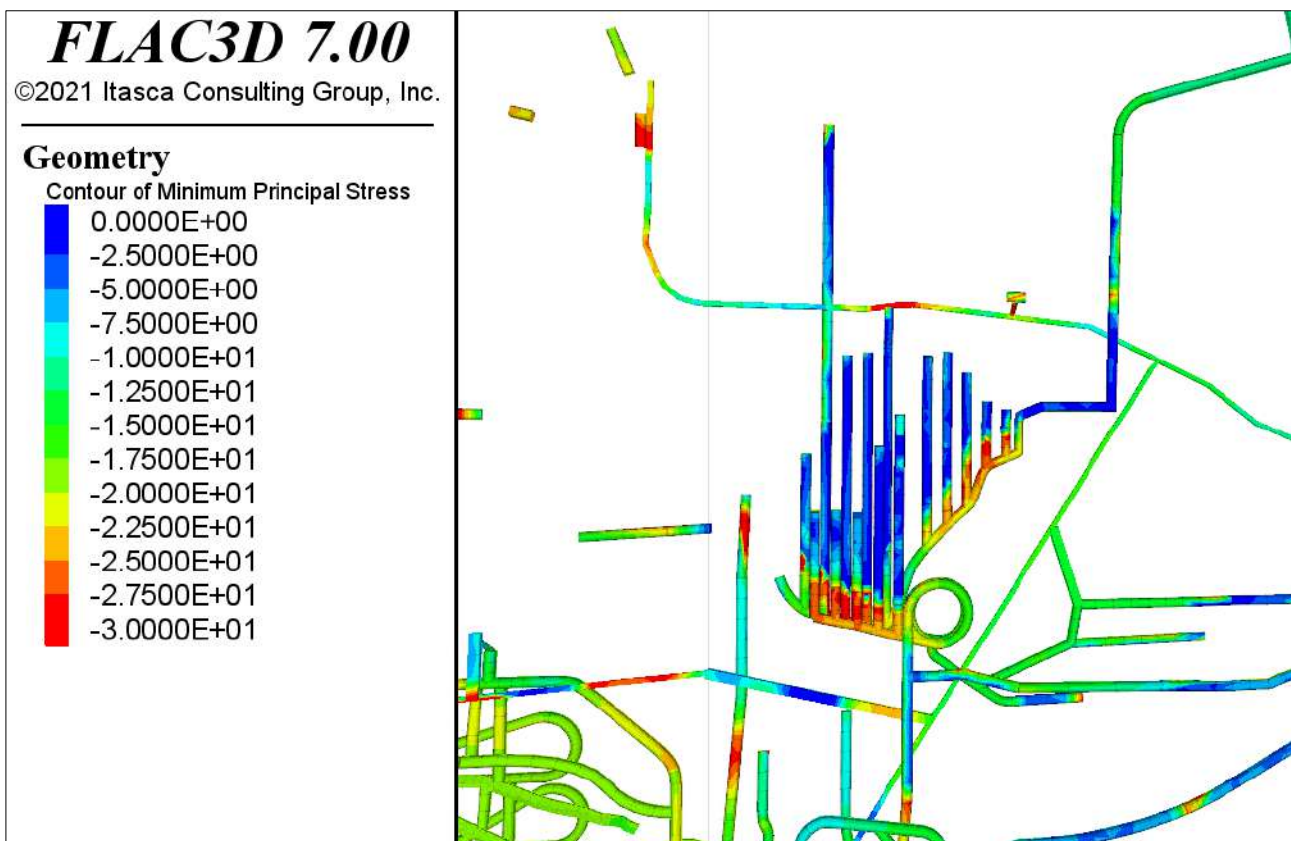
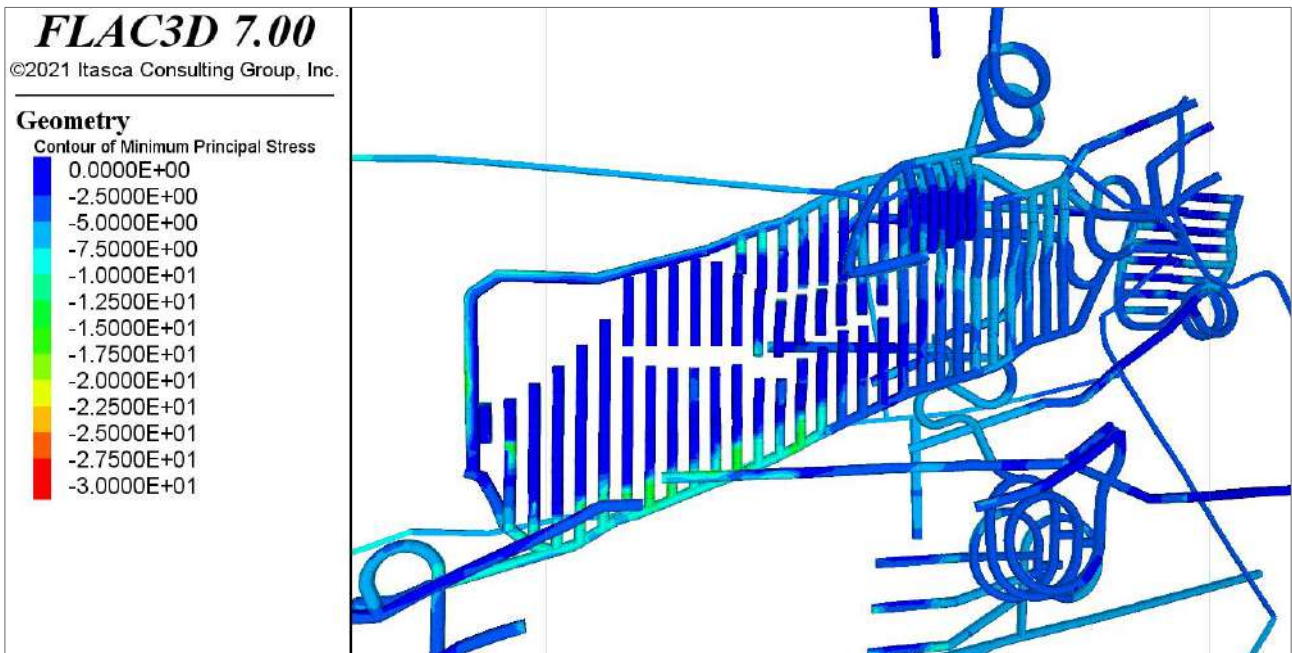


Figura 6.26 Massima sollecitazione Settore C – sollecitazione prima dell'estrazione da 1 MPa a 3 MPa



7 Sostegni

La valutazione dei requisiti indicativi per i sostegni è stata effettuata utilizzando un metodo empirico (dopo Barton, Lien e Lunde, 1974) e tenendo conto di potenziali cunei, questi individuati e valutati sulla base dei dati di orientamento strutturale presentati nella Sezione 3.3.

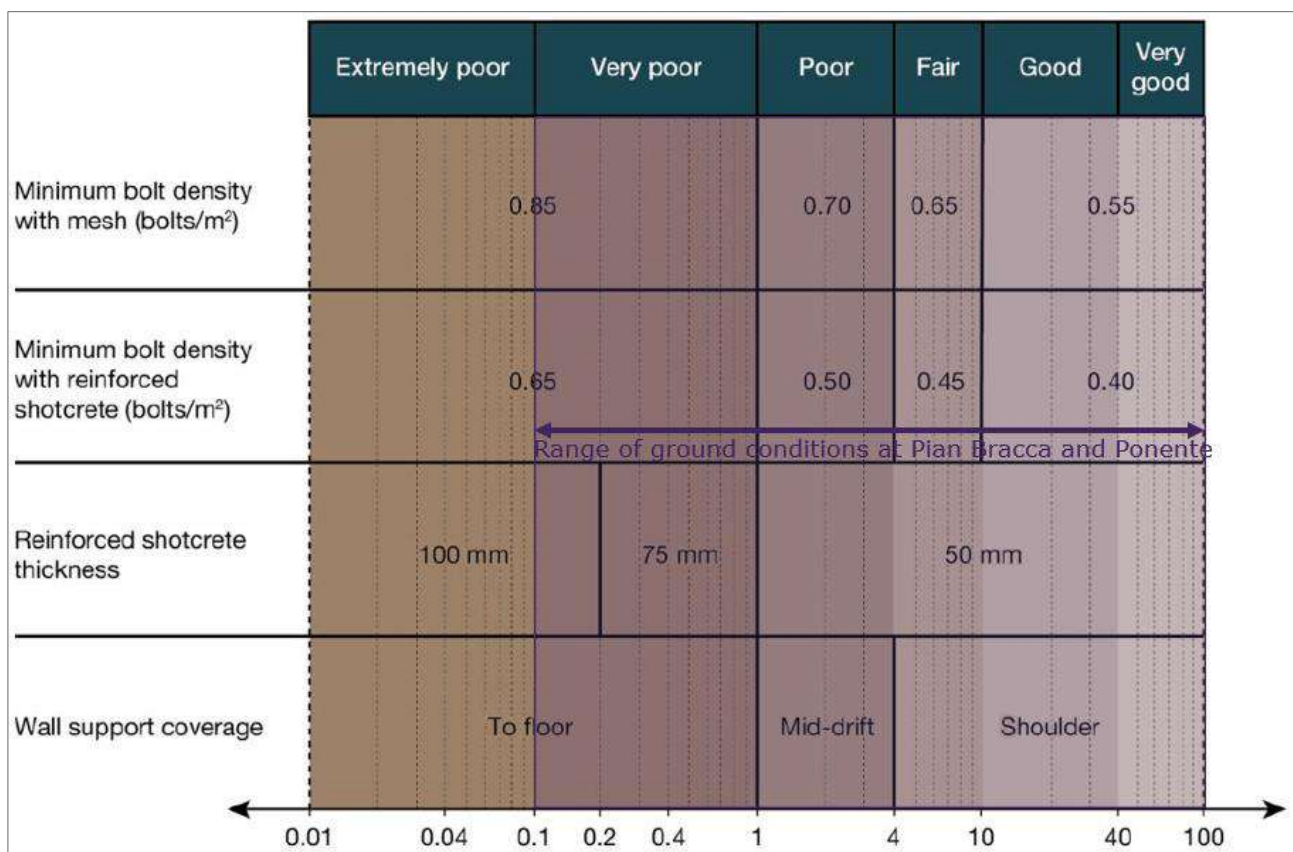
Ognuna di queste valutazioni è discussa nelle sezioni seguenti e sia i requisiti indicativi che le raccomandazioni per i sostegni sono presentati nella sezione 6.3.

7.1 Valutazione empirica

I requisiti indicativi per i sostegni sono stati stimati per ciascuno dei principali tipi di scavo utilizzando il sistema Q (Barton, Lien e Lunde 1974) e una tabella per la selezione del sostegno pubblicata di recente (Potvin e Hadjigeorgiou 2016). Va notato che lo schema del 2016 si basa su operazioni minerarie che utilizzano le attuali pratiche di foratura e sparo, compresa un'attenta attività di profilatura perimetrale con esplosivi a bassa densità.

I requisiti indicativi previsti per i sostegni sono stati valutati all'interno della gamma di condizioni della roccia che vanno da "molto scadente" a "molto buona" e sono presentate nella sezione 4.2.

Figura 7.1 Grafico empirico per la selezione del sostegno (dopo Potvin e Hadjigeorgiou 2016)



La Figura 7.1 indica sostegni appropriati in uno scavo di dimensioni standard:

Roccia buona e molto buona: chiodatura con spaziatura di 1,4 m x 1,3 m con rete elettrosaldata posizionata da spalla a spalla, o chiodatura con spaziatura di 1,6 m x 1,6 m con calcestruzzo fibrorinforzato (fibrecrete) posato da spalla a spalla. Un rigoroso programma di disgiungimento (cioè, dopo ogni sparo entro 50 m dall'area) potrebbe essere implementato al posto dell'installazione di un sostegno di superficie, AMC ritiene tuttavia che questo approccio necessita di personale minerario di grande esperienza, per l'esecuzione del lavoro.

Roccia normale: chiodatura con spaziatura di 1,3 m x 1,2 m con rete elettrosaldata posizionata da spalla a spalla, oppure chiodatura con spaziatura di 1,5 m x 1,5 m con calcestruzzo fibrorinforzato posato da spalla a spalla. In queste condizioni è necessario un sostegno di superficie. AMC ritiene che il solo ridimensionamento non sia sufficiente per prevenire i rischi di caduta massi.

Terreno scadente: chiodatura con spaziatura di 1,2 m x 1,2 m con rete elettrosaldata posizionata da piedritto a piedritto, o chiodatura con spaziatura di 1,4 m x 1,4 m con calcestruzzo fibrorinforzato posato da piedritto a piedritto. In queste condizioni è necessario un sostegno di superficie. AMC ritiene che il solo disgaggio non sia sufficiente per prevenire i rischi di caduta massi.

Roccia molto scadente: chiodatura con spaziatura di 1,3 m x 1,2 m con calcestruzzo fibrorinforzato posato da piede a piede. In queste condizioni è richiesto l'utilizzo di calcestruzzo fibrorinforzato perché la presa avvenga il più velocemente possibile dopo la posa. AMC ritiene che il solo disgaggio è insufficiente per prevenire i rischi di caduta massi e che la rete elettrosaldata è insufficiente per mantenere il controllo del profilo.

7.2 Analisi del cuneo (Wedge)

L'analisi del cuneo è stata intrapresa per valutare la possibilità di dissesti strutturali nei tunnel e nelle intersezioni utilizzando il programma Unwedge (versione 5.0, di Rockscience) e utilizzando il database delle strutture misurate dalle carote orientate e dalla mappatura. Le valutazioni indicano che potrebbe ricorrere il verificarsi di tre set di giunti intersecanti in tutta la massa rocciosa nella maggior parte dei domini. Ove presenti insieme, i tre set di giunti potrebbero formare un cuneo particolarmente in aree localizzate con rocce a blocchi. In base alla cartografia geotecnica condotta nel corso del 2018 (AMC 2018), la persistenza delle strutture è stata ipotizzata illimitata lettoquanto riguarda la stratificazione, mentre è stata considerata di 2 m per tutte le altre strutture.

7.2.1 Tunnel

La Tabella 7.1 riassume le analisi effettuate sul cuneo

Tabella 7.1 Tipi di scavi e orientamenti più comuni per l'analisi del cuneo (wedge)

Tipo di scavo	Larghezza (m)	Forma	Orientamento (°)
Tunnel nel minerale	4,7	Arcuato	000 e 090
tunnel scavati nel minerale	10,0	Piano	000 e 090
Accesso ai tunnel	4,7	Arcuato	075
Discendente	4,7	Arcuato	Da 000 a 359

Le discenderie a spirale sono stati analizzate per tutte le combinazioni di orientamenti di set di giunti per determinare le orientazioni migliori e peggiori, utilizzando le strutture presentate nella Sezione 4.4. Per la valutazione delle discenderie è stato ipotizzato una pendenza di -8° . Si pensa che una combinazione delle strutture 1, 2 e 4 e delle strutture 2, 3 e 4 possano formare cunei a Pian Bracca e le strutture 1, 3 e 4 possano formare cunei a Ponente. I risultati di questa analisi sono mostrati in Figura 7.2 e Figura 7.3, che indica la pressione di supporto richiesta per ottenere un fattore di sicurezza (FOS) di 1,0 e come questo varia con la direzione dell'azimut.

I risultati indicano che il peggior orientamento della discenderia rispetto alle strutture è quello da 039° a 092° , e 219° a Pian Bracca e a 115° e 222° a Ponente. Nella maggior parte dei casi, questi cunei dovrebbero essere facilmente controllati con un'attenta pianificazione della volata, disgaggio rigoroso e chiodatura.

Figura 7.2 Analisi dell'orientamento della discenderia – Pian Bracca (il rosso indica gli orientamenti peggiori)

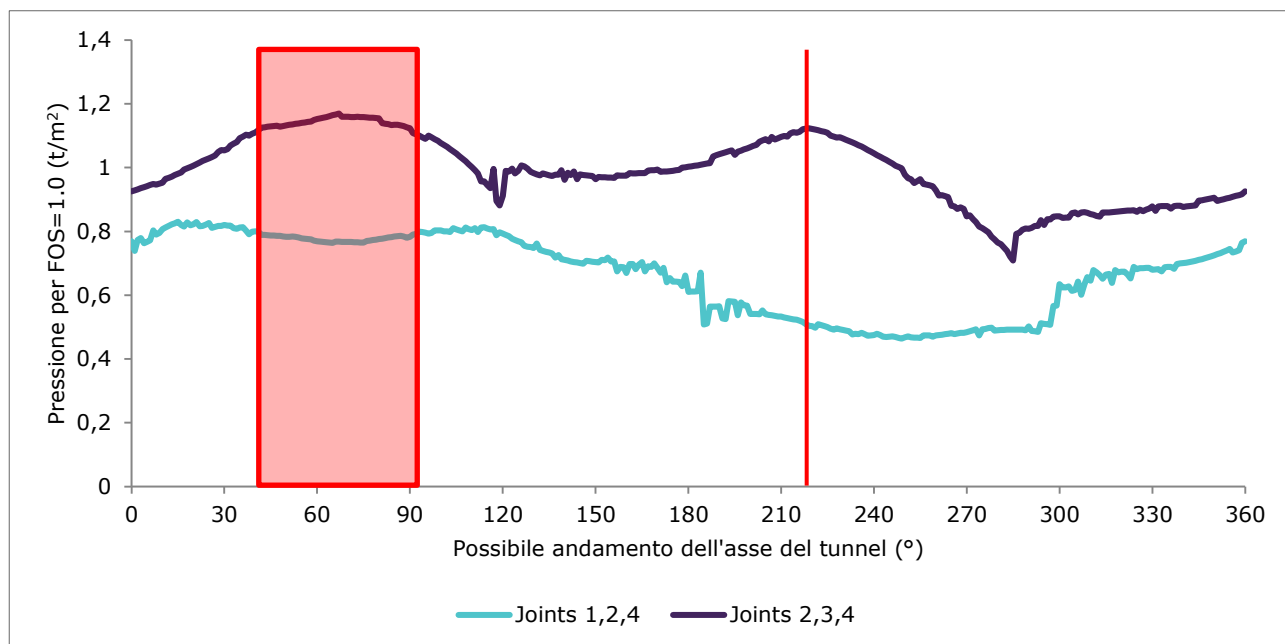
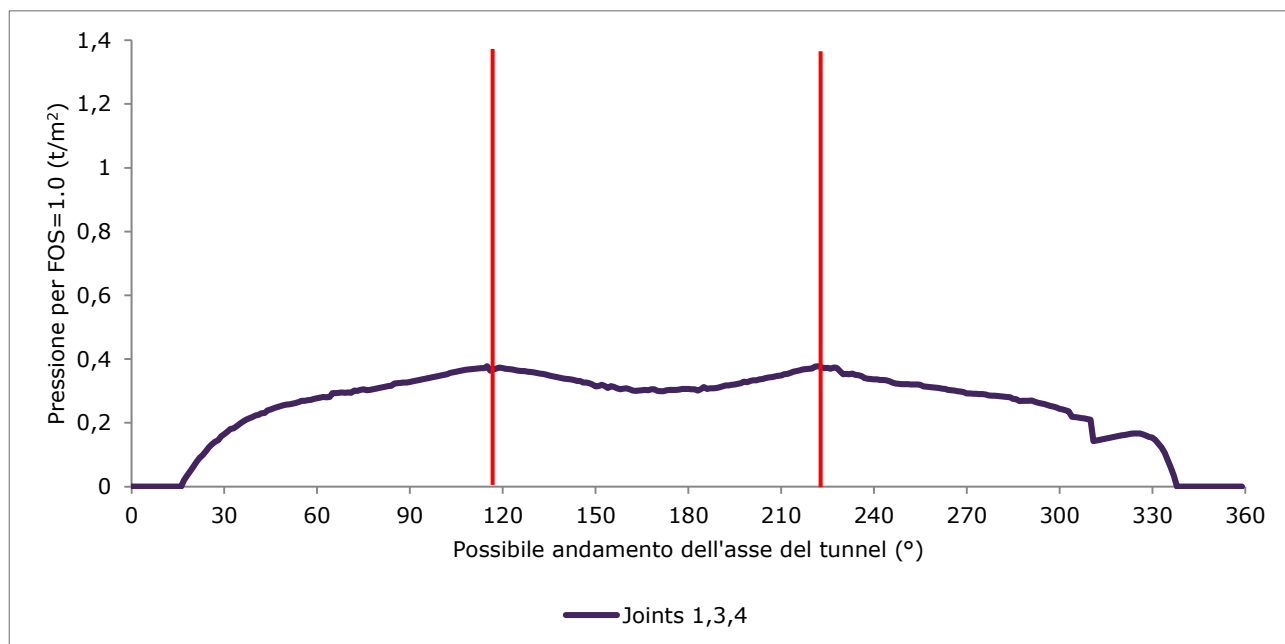


Figura 7.3 Analisi dell'orientamento della discenderia – Ponente (il rosso indica gli orientamenti peggiori)



Ciascuno dei tipi di tunnel da scavare con un orientamento fisso è stato analizzato considerando il cuneo nel caso peggiore. Un esempio di questo tipo di analisi viene mostrato in Figura 7.4 I risultati sono riassunti in Tabella 7.2. L' FOS considera chiodatura a frizione lunghi 2,4 m e distanziati di 1,4 m x 1,3 m.

I cunei, dove formati, dovrebbero essere facilmente controllati con un'attenta pianificazione della volata, disaggio rigoroso, chiodatura e reti nei tunnel nel produzione.

Figura 7.4 Esempio di analisi del cuneo del tunnel (Pian Bracca a 000°, giunti 1,2,4)

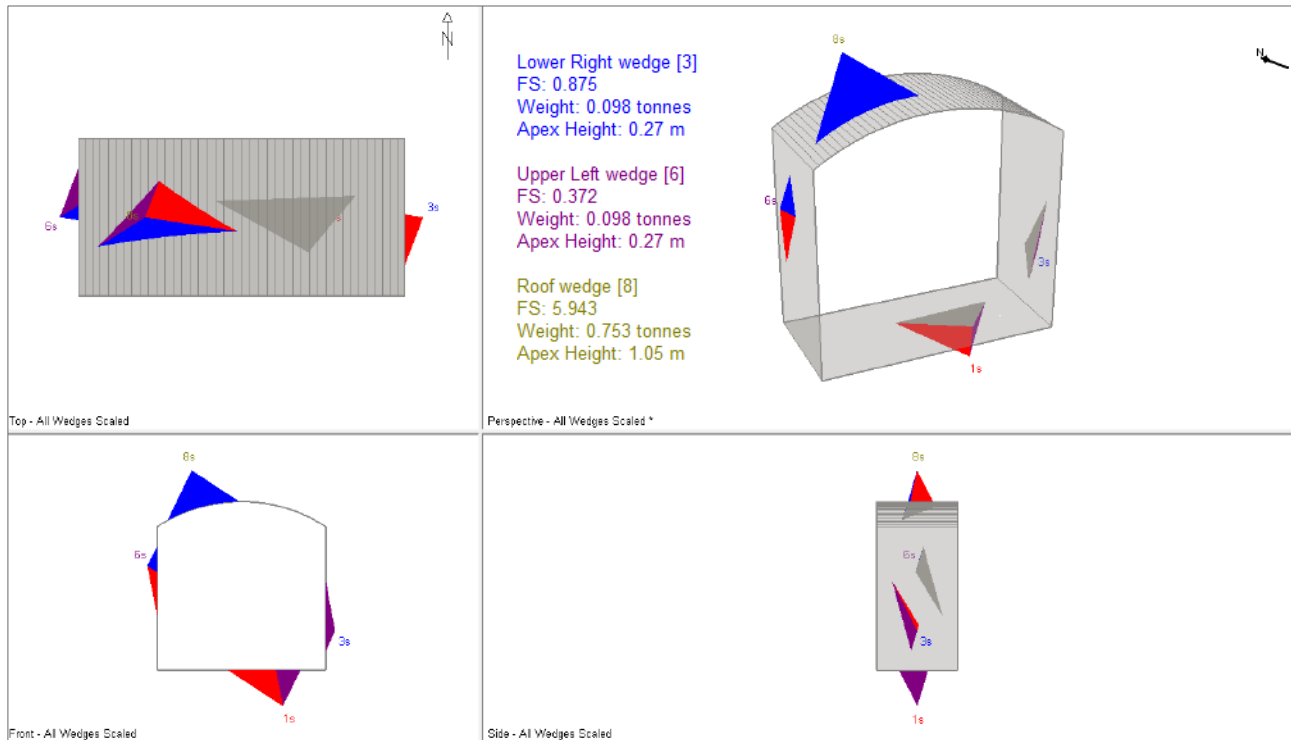


Tabella 7.2 Risultati dell'analisi del cuneo del tunnel (caso peggiore) considerando chiodature a frizione lunghe 2,4 m e distanziati a 1,4 mx 1,3 m

Area per l'estrazione mineraria	Tipo di tunnel	Orientamento (°)	Peso del cuneo (t)	Altezza dell'apice (m)	FOS
Pian Bracca	Discendente	039	1,0	1,1	3,9
	Accesso	075	1,1	1,1	4,0
	Tunnel nel minerale	000	0,8	1,0	5,9
	Tunnel nel minerale	090	1,0	1,0	4,4
	Tunnel nel minerale 10 mW	000	0,7	1,0	7,5
	Tunnel nel minerale 10 mW	090	0,7	1,0	6,0
Ponente	Discendente	115	0,9	0,9	10,0
	Tunnel nel minerale	000	0,2	0,2	30,2
	Tunnel nel minerale	090	0,7	0,8	12,2
	Tunnel nel minerale 10 mW	000	0,2	0,2	21,3
	Tunnel nel minerale 10 mW	090	0,2	0,3	21,6

I risultati di cui sopra indicano che i cunei rimangono piccoli nonostante un aumento della larghezza delle gallerie. Questo succede perché la lunghezza delle strutture a cuneo è limitata a 2 m. È stata condotta un'analisi di sensibilità aggiustando la lunghezza delle strutture per determinare i limiti del sostegno primario considerato avanzamenti con ampie larghezze. I risultati, presentati in Tabella 7.3, indicano che se, localmente, a Pian Bracca la lunghezza delle strutture fosse >4 m (cosa che può verificarsi in prossimità di faglie), i cunei diventano difficili da controllare con il sostegno primario. AMC raccomanda di eseguire una mappatura di sviluppo di routine per valutare la presenza di strutture su larga scala.

Tabella 7.3 Analisi di sensibilità della lunghezza della struttura

Area per l'estrazione mineraria	Lunghezza della struttura (m)	Orientamento del tunnel (°)	Peso del cuneo (t)	Altezza dell'apice (m)	FOS
Pian Bracca	3	000	2,4	1,5	2,2
	3	090	2,4	1,5	3,6
	4	000	5,7	2,0	1,6
	4	090	5,7	2,0	1,1
	5	000	11,0	2,5	1,2
	5	090	11,0	2,5	0,8
Ponente	illimitato	000	124,3	2,0	1,4
	illimitato	090	28,7	1,3	2,6

7.2.2 Intersezioni

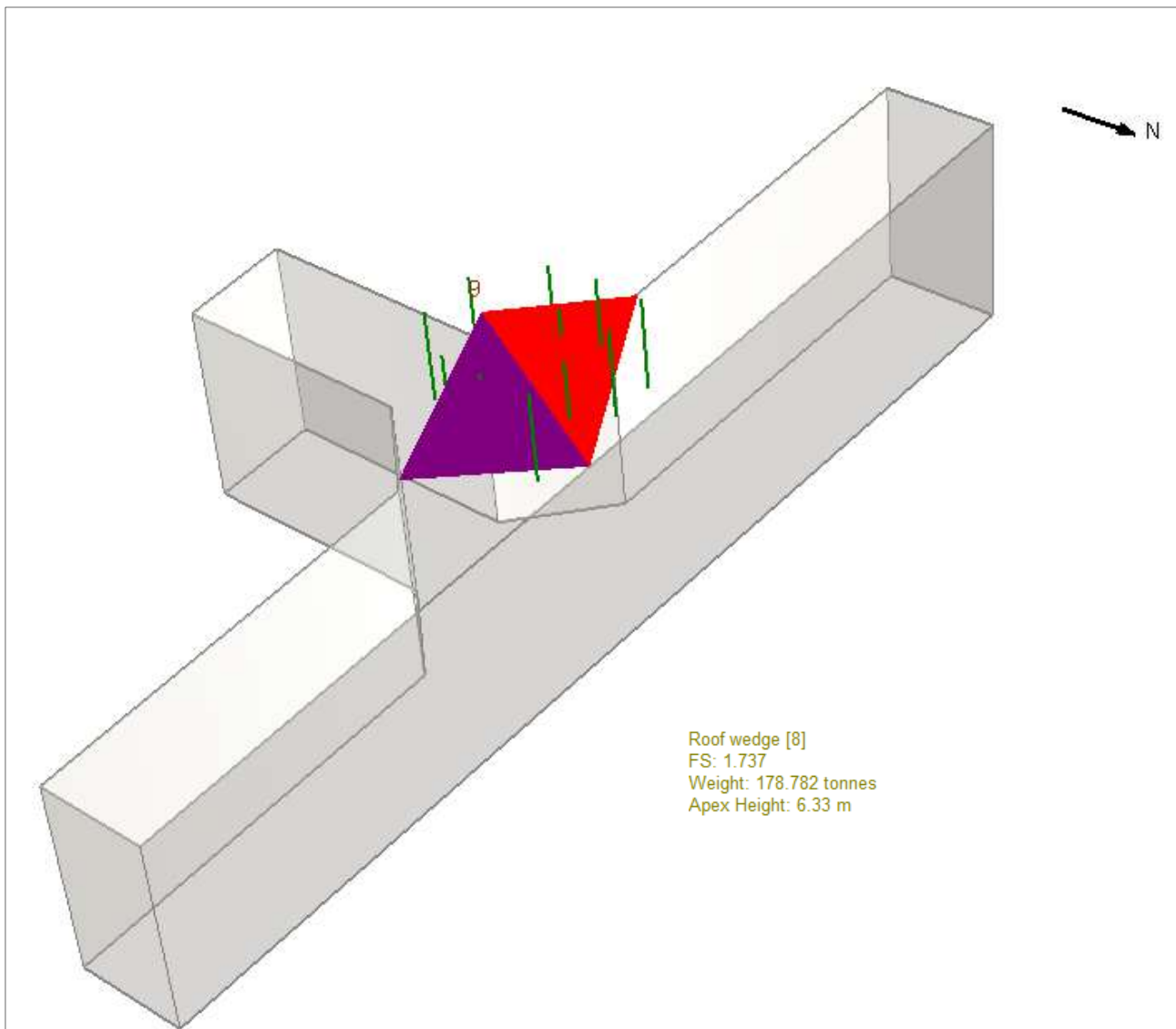
I dati di mappatura e le osservazioni in sottterraneo indicano che è improbabile che si verifichino grandi cunei nelle intersezioni degli scavi. L'eccezione sarebbe in aree localizzate con roccia a blocchi, dove strutture persistenti possono intersecarsi per formare un grande cuneo. Un esempio è presentato in Figura 7.5. Una valutazione di gallerie più larghe e strutture con lunghezza infinita indica che nelle condizioni peggiori potrebbe formarsi un cuneo di 130 t e un'altezza all'apice di 2,6 m (dataset Pian Bracca) (Figura 7.6).

AMC ritiene che nella maggior parte dei casi, le reti e la chiodatura da 2,4 m dovrebbero essere adeguati per controllare i cunei nelle intersezioni. Se nelle intersezioni degli scavi si incontra roccia a blocchi, si devono prendere in considerazione tiranti di 4 m di lunghezza con una spaziatura di 2 m x 2 m. I dati di logging indicano che la roccia a blocchi potrebbe presentarsi nel 25% dei casi nell'ammasso roccioso a tetto degli scavi, dove sono stati registrati tre o più insieme di giunti nelle carote.

Figura 7.5 Esempio di strutture persistenti che formano cunei (Formazione Gorno)



Figura 7.6 Analisi del cuneo per ampie larghezze in roccia a blocchi



7.3 Rinforzo delle camere di produzione

AMC ritiene che l'effetto dell'installazione di tiranti all'interno dei fori da mina sarà limitato nel caso del metodo di estrazione a long-holes, tuttavia si ritiene che possano aiutare a mantenere la stabilità della zona sovrastante gli scavi. Queste aree non dovrebbero essere considerate "roccia con sostegno". Si ritiene opportuno che le aree designate come roccia con sostegno siano quelle per cui si è raccomandato un sostegno primario, installato e intatto (e il supporto secondario ove richiesto).

I fronti, nelle aree in cui viene utilizzato il metodo di estrazione long-hole potrebbero richiedere ulteriore sostegno. AMC raccomanda di condurre un'ulteriore analisi delle condizioni dei fronti per il successivo livello di studio.

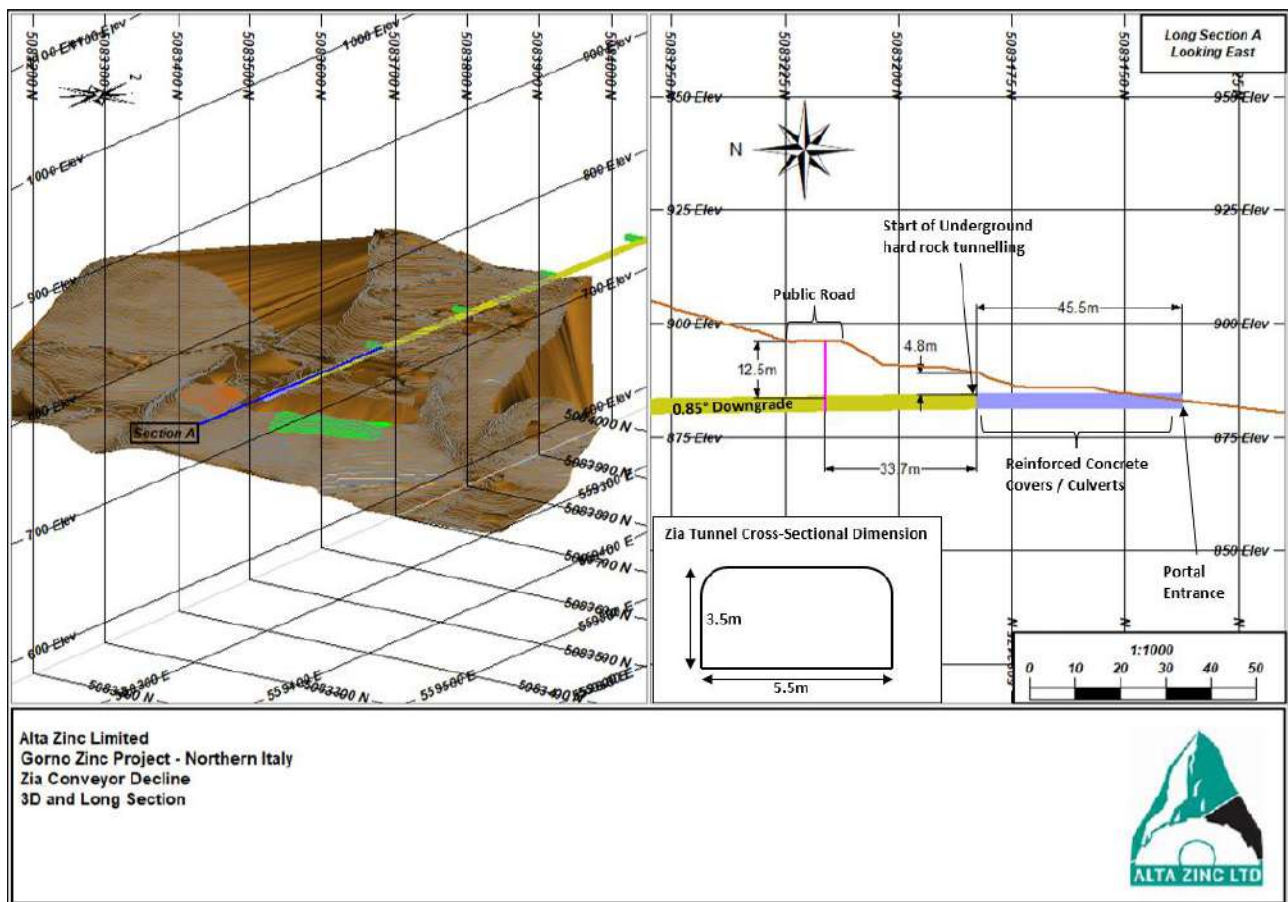
8 Valutazione del portale ZIA

AMC comprende che erano disponibili opzioni limitate per prendere in considerazione il posizionamento del portale. Indagini preliminari sono state intraprese da AMC per il rapporto Lycopodium (n. 2198-GREP-001). L'indagine ha evidenziato come, su cinque siti considerati presso ZIA, il sito 2 è stato selezionato come meglio rispondente ai criteri. Si trova in un'area a basso rischio normativo per l'uso del suolo e si trova in un'area di topografia pianeggiante che richiede l'uso del "Metodo Milano" o trincea artificiale (cut-and-cover) per la porzione iniziale. Una vista generale dell'area del portale proposta è presentata in Figura 8.1. Gli ultimi progetti di portali forniti da Energia sono presentati in Figura 8.2.

Figura 8.1 Area portale proposta (Note geologiche Energia ZIA)



Figura 8.2 Progetto del portale proposto (Energia, ottobre 2021)



La posizione del portale proposta è stata rivista rispetto al modello tridimensionale della litologia forniti da Energia e, sebbene il modello della Formazione Val Sabbia non si estenda attraverso l'intera area del tunnel ZIA, si ritiene che gran parte del tunnel possa essere interamente situato all'interno di tale formazione geologica. Le note geologiche fornite da Energia indicano che il portale sarà localizzato all'interno del Conglomerato di Zorzone (unità geologica superficiale quaternaria).

Il progetto mostrato in Figura 8.2 indica che il tunneling in roccia dura avrà luogo quando sarà presente una copertura a tetti di 4,8 m, la sezione iniziale di scavo verrà eseguita utilizzando il "Metodo Milano". La regola empirica per la profondità di copertura, ovvero una certa distanza al di sotto dei terreni non consolidati (quindi all'interno della roccia) necessaria affinché uno scavo sotterraneo sia autoportante, definisce uno spessore di copertura maggiore di 1,5 volte la lunghezza del tunnel (Hoek 2007). Lo scavo deve essere autoportante per un tempo sufficientemente lungo da consentire l'installazione del sostegno e del rinforzo previsti. In alternativa, se è probabile che si verifichi il dissesto delle zone sovrastanti il portale (tipicamente in roccia "molto esposta alle intemperie" o "estremamente esposta alle intemperie"), è possibile installare barre (spiling bars) o tubi (canopy tubes) per aiutare a mantenere il profilo, (Stephenson e Sandy 2021).

Informazioni derivanti da sondaggi geotecnici non sono disponibili sul sito o nelle sue vicinanze. Pertanto, si raccomanda un'indagine geotecnica dettagliata del sito prima della costruzione. Queste misure dovrebbero comprendere:

- Effettuare carotaggi geognostici nella posizione proposta e diretti lungo l'asse della galleria progettata, per determinare le condizioni dell'ammasso roccioso, effettuare ulteriori perforazioni sopra la posizione proposta per determinare la profondità e la qualità della copertura. Effettuare il logging geotecnico delle perforazioni.
- Condurre una valutazione di RMR_{89} (Bieniawski 1989) e Q.
- Condurre una valutazione del potenziale di scivolamento rotazionale del fronte se la mappatura indica la presenza di materiali usurati o deboli.
- Condurre una valutazione cinematica del fronte se la mappatura indica la presenza di strutture.
- Condurre un'analisi del cuneo (wedge analysis) per lo scavo delle spalle e delle pareti del portale.
- Condurre una valutazione di strutture su larga scala.
- Fornire raccomandazioni sui sostegni da impiegare e sui monitoraggi necessari, sulla base della recente pubblicazione Stephenson e Sandy (2021).

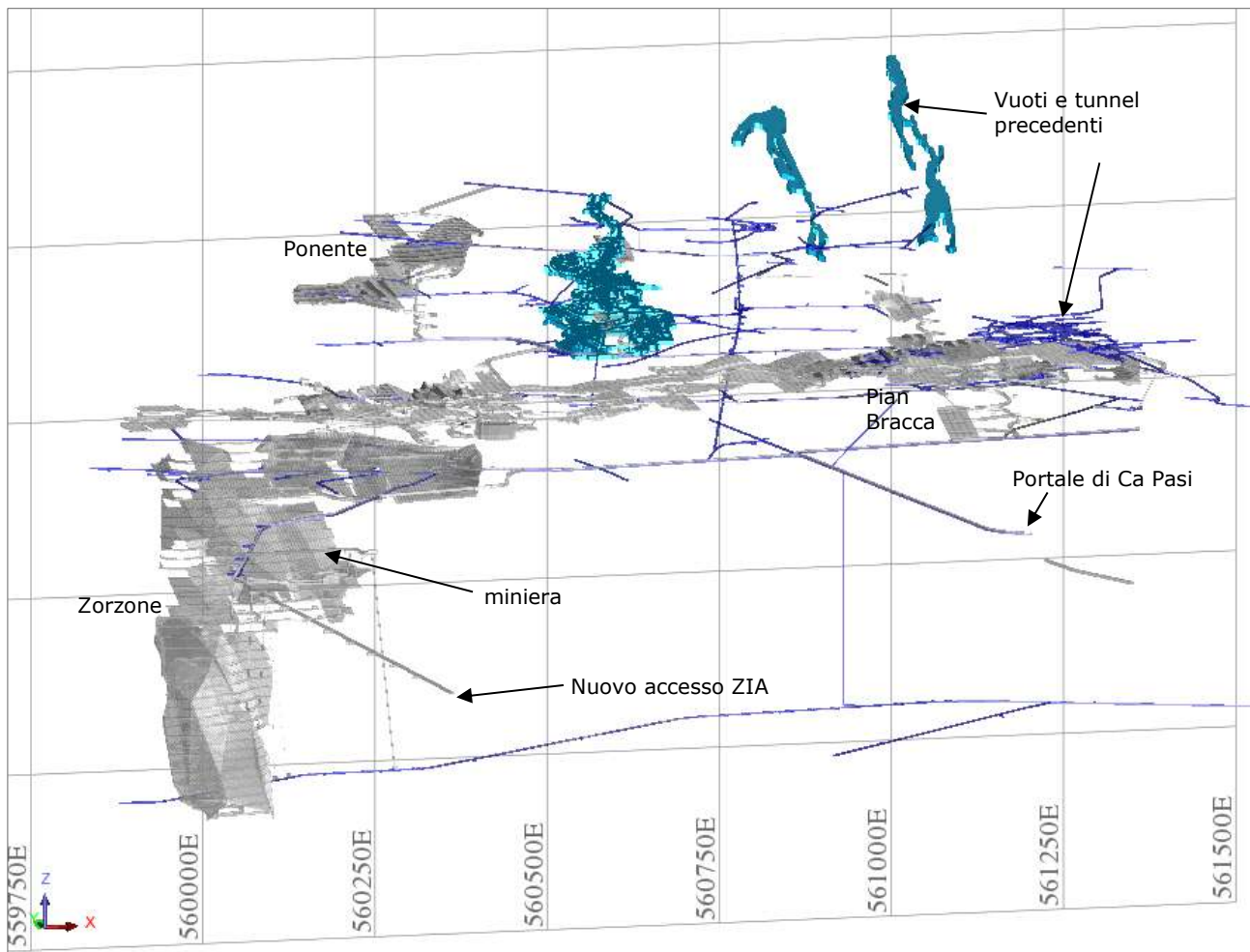
9 Monitoraggio delle vibrazioni generate da brillamento di mine

AMC ha completato una revisione delle vibrazioni indotte e della sovrappressione dell'aria per il tunnel ZIA nella fase di pre-produzione del progetto.

9.1 Galleria ZIA

La galleria ZIA verrà realizzata per fornire l'accesso al trasporto di minerali e rifiuti per la miniera di Gorno. La galleria è lunga circa 1,2 km (Figura 9.1) e il portale ZIA si trova nella zona industriale di Zorzone.

Figura 9.1 Progetto della galleria ZIA (vista obliqua verso NNE)



9.2 Formule per le vibrazioni generate da brillamento di mine

La detonazione provoca vibrazioni della roccia che si irradiano in tutte le direzioni all'interno della massa rocciosa. L'intensità delle vibrazioni è influenzata da diversi parametri che includono: la distanza dall'esplosione, peso massimo della carica per ritardo e le caratteristiche del sito.

Esistono numerose formule empiriche che possono essere utilizzate per prevedere le ampiezze delle vibrazioni della roccia, che hanno tutte la seguente forma generale:

$$PPV = A_1 \times (SD_2)^{-B_1}$$

$$SD_2 = Q/R^{1/2}$$

Dove:

- PPV = Velocità di picco delle particelle (mm/s).
- SD₂ = Distanza in scala della radice quadrata (m/kg^{1/2}).
- A₁ = Intercetta della linea SD₂ di 1.
- B₁ = Pendenza della linea (la pendenza è negativa).
- R = Distanza dal brillamento al punto di interesse (m).
- Q = Peso massimo della carica esplosa entro un periodo di 8 millisecondi (kg).

Nel corso di anni di ricerca, è stato determinato che queste equazioni generali possono essere utilizzate al posto dei dati specifici del sito per prevedere le vibrazioni e la formula più comunemente utilizzata è la seguente:

$$PPV = 1,140 (SD_2)^{-1.6}$$

Questa equazione si basa sull'adattamento migliore per approssimare il livello medio di vibrazione.

9.3 Linee guida per il monitoraggio delle vibrazioni

La norma tedesca DIN 4150-3 (febbraio 1999) è la linea guida che verrà utilizzata per il monitoraggio delle vibrazioni indotte da brillamento per le strutture per il tunnel ZIA. Questo standard è considerato un criterio basato sul fastidio e, se rispettato, i brillamenti non provocheranno danni alle strutture, fornendo valori guida per una valutazione semplificata.

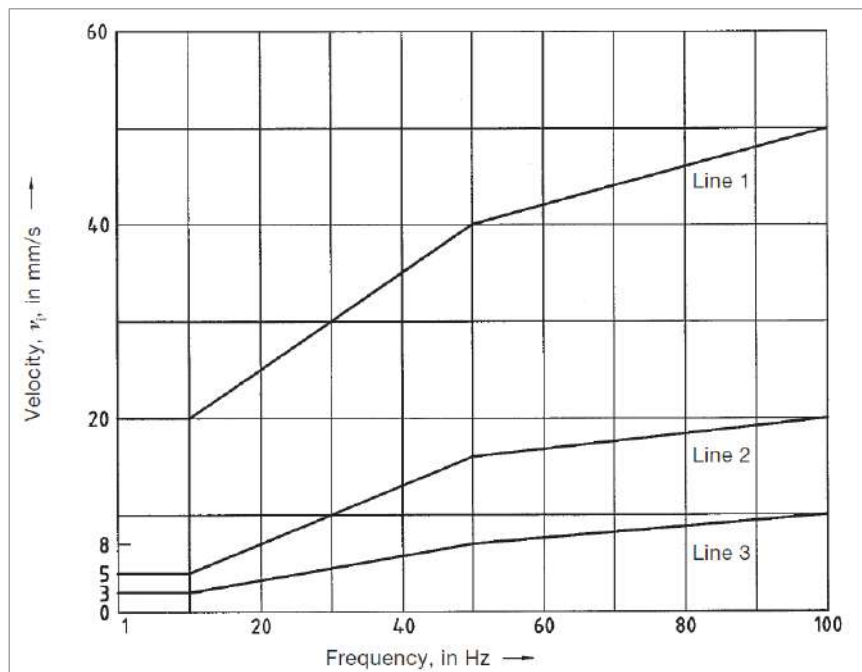
DIN 4150-3 suggerisce limiti di vibrazione per tre tipi di strutture come mostrato in Tabella 9.1 e Figura 9.2. Il superamento di questi valori non comporta necessariamente danni, tuttavia qualora vengano superati in modo significativo, sono necessarie ulteriori indagini.

Tabella 9.1 Valori guida DIN 4150-3 per la velocità di vibrazione da utilizzare nella valutazione degli effetti delle vibrazioni a breve termine sulle strutture

Line	Type of structure	Guideline values for velocity, v_v , in mm/s			
		Vibration at the foundation at a frequency of			Vibration at horizontal plane of highest floor at all frequencies
		1 Hz to 10 Hz	10 Hz to 50 Hz	50 Hz to 100 Hz*)	
1	Buildings used for commercial purposes, industrial buildings, and buildings of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40
2	Dwellings and buildings of similar design and/or occupancy	5	5 to 15	15 to 20	15
3	Structures that, because of their particular sensitivity to vibration, cannot be classified under lines 1 and 2 and are of great intrinsic value (e.g. listed buildings under preservation order)	3	3 to 8	8 to 10	8

*) At frequencies above 100 Hz, the values given in this column may be used as minimum values.

Figura 9.2 DIN 4150-3 Linee guida grafico



In Tabella 9.1 e Figura 9.2 i limiti massimi di vibrazione sono correlati alla frequenza di vibrazione del brillamento. La prima riga (riga 1) si riferisce all'edilizia industriale e commerciale. La seconda è per le strutture residenziali. La terza riga è utilizzata per gli edifici non compresi nelle linee uno e due, e sono particolarmente sensibili alle vibrazioni (cioè edifici tutelati).

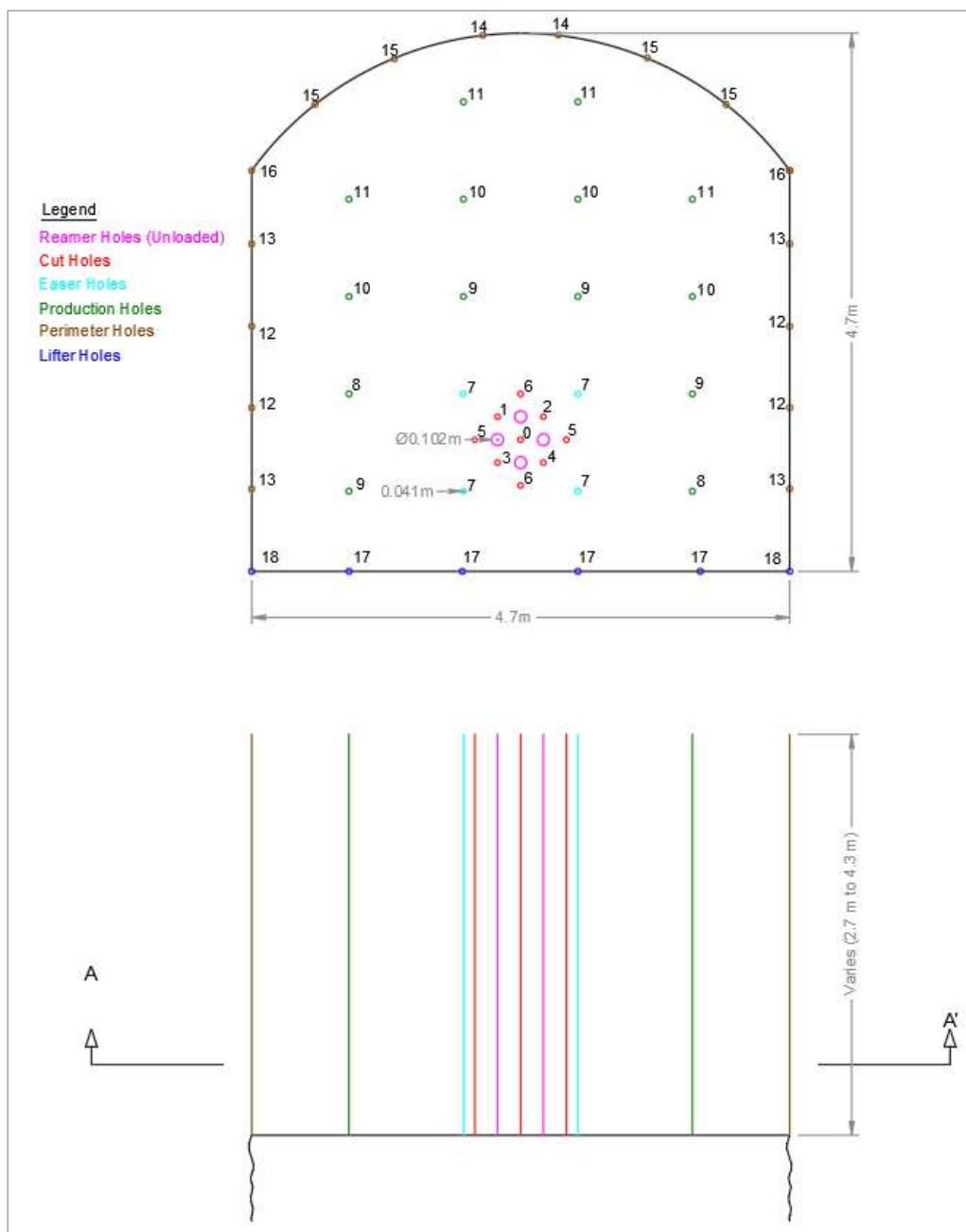
Attualmente è previsto lo scavo meccanico dei primi ~45 m di galleria con il "Metodo Milano". Il brillamento di mine non sarà utilizzato fino a quando non si incontrerà la roccia.

9.4 Previsione delle vibrazioni da brillamento per la discenderia ZIA

AMC ha completato una revisione del progetto della miniera della galleria ZIA per determinare le distanze dalle strutture più vicine (presentate nella Sezione 5.3) che non sono di proprietà o affittate dalla società mineraria. Il punto di interesse più vicino è una struttura residenziale a circa 70 m dal portale ZIA. Si noti che la galleria ZIA aumenterà in distanza/profondità dai punti di interesse (vale a dire, strutture di tipo residenziale) con l'avanzare dello scavo. Pertanto, le vibrazioni previste diminuiranno di intensità con l'avanzare dello scavo, ciò è dovuto all'aumento della distanza tra il punto di inizio dello sparo e i punti di interesse.

AMC ha inoltre completato un progetto indicativo di perforazione e esplosione per la galleria ZIA per determinare la carica massima per ritardo di detonazione entro un periodo di 8 millisecondi. Il progetto è mostrato in Figura 9.3 e la carica massima è di 13 kg/ritardo.

Figura 9.3 Schema di volata per la galleria ZIA



Nel calcolo di seguito, la formula PPV determina le vibrazioni previste per il brillamento utilizzando la distanza dal punto di interesse più vicino e il peso massimo della carica per ritardo. Di seguito si riportano i risultati:

- $R =$ Distanza dallo sparo al punto di interesse (m) = 70 m.
- $Q =$ Peso massimo della carica esplosa entro un periodo di 8 millisecondi (kg) = 13 kg/ritardo.
- $PPV = 1,140 (SD_2)^{-1.6}$
- $PPV = 1,140 [70 \text{ m} / (13 \text{ kg})^{1/2}]^{-1.6}$.
- $PPV = 9.9 \text{ mm/s}$.

Il calcolo fornisce un valore per PPV pari a 9,9 mm/s, che è il livello di vibrazione più alto previsto per la galleria ZIA in quanto la discesa avanzerà lontano dal punto di interesse. Questo valore non supera la riga 1 (della DIN 4150-3) in nessuna frequenza. È anche inferiore alla riga 2 per le frequenze superiori a 30 Hz e la frequenza predominante degli spari per la galleria ZIA sarà superiore a 30 Hz. La riga 3 non è applicabile, in quanto non vi sono edifici presso il portale ZIA sottoposti a provvedimento di tutela.

Pertanto, si prevede che le vibrazioni previste per gli spari nella galleria ZIA non determinino superamenti della norma DIN 4150-3 o potenziali danni alle strutture dovuti alle vibrazioni.

9.5 Formula di sovrappressione dell'aria indotta dal brillamento

La detonazione di uno sparo provoca vibrazioni dell'aria che si irradiano in tutte le direzioni.. I tre fattori più influenti per la sovrappressione dell'aria includono: la distanza dall'esplosione, il peso massimo della carica per ritardo e il confinamento della carica.

Esistono numerose formule empiriche che possono essere utilizzate per prevedere la sovrappressione dell'aria, che in genere hanno tutte la seguente forma:

$$P = A_2 \times (SD_3)^{-B_2}$$

$$SD_3 = Q/R^{1/3}$$

Dove:

- $P =$ Sovrappressione dell'aria (mbar, trasformabile in dB).
- $SD_3 =$ Radice cubica della distanza scalare (m/kg^{1/3}).
- $A_2 =$ Intercetta della linea a SD_3 of 1.
- $B_2 =$ Pendenza della linea (la pendenza è negativa).
- $R =$ Distanza dal brillamento al punto di interesse (m).
- $Q =$ Peso massimo della carica esplosa entro un periodo di 8 millisecondi (kg).

L'equazione generale utilizzata per prevedere la sovrappressione dell'aria è mostrata di seguito:

$$P = 24.8 (SD_3)^{-1.1}$$

Questa equazione si basa sull'adattamento migliore per approssimare il livello medio di sovrappressione dell'aria.

Limiti di sovrappressione

I limiti delle linee guida per la sovrappressione generalmente accettati sono stabiliti nell'USBM RI 8485, che raccomanda una sovrappressione massima di sicurezza di 134 dB a 20 Hz. Questo criterio si basa su un limite di soglia in cui possono verificarsi danni di tipo superficiale. Il livello raccomandato assicura dal 95% al 99% di probabilità di non danno e dal 90% al 95% di

accettabilità di fastidio. Si raccomanda di seguire queste linee guida per il monitoraggio della sovrappressione dell'aria per la galleria ZIA.

9.6 Previsione della sovrappressione dell'aria per la galleria ZIA

Nel calcolo di seguito, la formula determina la sovrappressione dell'aria prevista utilizzando la distanza dal punto di interesse più vicino e il peso massimo della carica per ritardo.

- R = Distanza dal brillamento al punto di interesse (m) = 70 m.
- Q = Peso massimo della carica esplosa entro un periodo di 8 millisecondi (kg) = 13 kg/ritardo.
- $P = 24,8 (SD_3)^{-1.1}$
- $P = 24,8 [70 \text{ m} / (13 \text{ kg})^{1/3}]^{-1.1}$.
- $P = 0,59 \text{ mbar} (129 \text{ dB})$.

Il calcolo fornisce un valore per la sovrappressione dell'aria pari a 129 dB, che è il livello di più alto previsto per la galleria ZIA in quanto la discesa si muoverà lontano dal punto di interesse. Questo valore non supera il limite generale di 134 dB secondo le USBM RI 8485.

9.7 Fattori di attenuazione delle vibrazioni da brillamento e della sovrappressione dell'aria

Nella sezione seguente, AMC ha considerato le opzioni per mitigare le vibrazioni da brillamento e la sovrappressione dell'aria per la galleria ZIA.

9.7.1 Modifica dello schema di volata

Il progetto di perforazione e brillamento mostrato in Figura 9.3 è solo indicativo e può essere modificato per adattarsi alle esigenze dello stesso progetto. In generale, la sezione trasversale del tunnel rimarrà invariata, ma di seguito verranno discussi altri parametri di perforazione e brillamento che possono essere modificati.

9.7.1.1 Ridurre la larghezza dello scavo privo di sostegno

Si può ridurre la larghezza dello scavo privo di sostegno, così facendo si ottengono requisiti inferiori di carica individuale per i fori da mina. Si ridurrebbe anche il peso massimo di carica esplosa entro un periodo di 8 millisecondi assumendo che la sequenza/tempistica dello sparo rimangano invariate come illustrato in Figura 9.3. Tuttavia, si suggerisce tale misura solo per la perforazione iniziale del portale ZIA. Con l'avanzare della discesa, ci si allontana dalla struttura più vicina, quindi risulteranno inferiori sia le vibrazioni calcolate da esplosione che le sovrappressione dell'aria nella struttura. Basandosi su esperienze di sparo specifiche del sito e sul monitoraggio sismico, la profondità di avanzamento delle volate può essere aumentata (dopo la perforazione iniziale del portale) ad una lunghezza più pratica senza superare i limiti di vibrazione e sovrappressione.

9.7.1.2 Sequenza/tempistiche dei brillamenti

La sequenza / tempistica degli spari può essere modificata (da sola o insieme alla riduzione della larghezza dello scavo privo di sostegno) per ridurre il peso della carica esplosa entro un periodo di 8 millisecondi, il che porta al calcolo di valori di vibrazioni da sparo e di sovrappressione dell'aria inferiori. I tempi indicati in Figura 9.3 si riferiscono ai tipici ritardi lunghi non elettrici (LP) comunemente disponibili e utilizzati per tunnel laterali. I fornitori di detonatori possono fornire ritardi LP aggiuntivi oltre ai tipici ritardi LP da 0 a 18 (ci sono 19 ritardi tipici LP, ma ulteriori ritardi potrebbero essere disponibili). Ogni ritardo LP aggiuntivo potenzialmente consente l'avvio di un minor numero di singoli fori da sparo nello stesso ritardo LP, che a sua volta riduce il peso della carica esplosa entro un periodo di 8 millisecondi e riduce le vibrazioni dell'esplosione e i valori di sovrappressione dell'aria.

Allo stesso modo, è possibile utilizzare detonatori elettronici (o detonatori elettronici) per modificare la sequenza/tempistica dell'esplosione che si traduce in una minore carica di detonazione entro un periodo di 8 millisecondi. I detonatori elettronici presentano vantaggi significativi rispetto ai detonatori non elettrici (ad es. Ritardi LP). Questi vantaggi includono:

- Il ritardo del detonatore è programmabile entro 1 ms per qualsiasi tempo compreso tra 0 ms e 10.000 ms. Ciò consente più periodi di ritardo (rispetto ai ritardi non elettrici LP), brillamenti di precisione e una migliore frammentazione.
- I detonatori elettronici sono un prodotto unico (dove il ritardo è programmabile). Ciò riduce lo stoccaggio necessario in sito e aumenta il turnover delle scorte.
- La dispersione del ritardo (prevalente nei detonatori non elettrici) viene eliminata.
- La complessità del processo di carica per gli operatori è ridotta.
- La sensibilità dei detonatori alla manipolazione durante il processo di carica è significativamente ridotta.
- Molteplici funzioni di sicurezza lo rendono virtualmente immune da interferenze, uso non autorizzato o detonazione non pianificata.

Tuttavia, i ritardi elettronici sono molto più costosi dei ritardi LP non elettrici.

Pertanto, è necessario prestare molta attenzione all'utilizzo di detonatori elettronici per la sequenza/temporizzazione modificata, a causa della breve durata prevista durante la perforazione iniziale del portale, dove la sequenza/tempistica avvantaggerà le vibrazioni dell'esplosione e la sovrappressione dell'aria.

9.7.1.3 Riprogettazione del modello di perforazione e brillamento

Il modello indicativo di perforazione e brillamento per il ciclo di sviluppo tipico può essere riprogettato. La riprogettazione redistribuirebbe l'energia esplosiva modificando in modo appropriato uno qualsiasi dei parametri precedentemente menzionati e che si riportano di seguito: carico, spaziatura, diametro dei fori da sparo, diametro del foro di sfianto, numero di fori di sfianto, tipo di detonatore, nonché la larghezza dello scavo privo di sostegno. L'obiettivo principale delle riprogettazioni consiste nel ridurre la carica per ritardo (se possibile) per ottenere valori calcolati inferiori di vibrazioni da sparo e sovrappressione dell'aria.

9.7.1.4 Selezione dell'esplosivo

La selezione dell'esplosivo può favorire ulteriori possibilità di modifica della progettazione indicativa delle volate per migliorarle. Alcuni esempi sono gli esplosivi a densità inferiore per ridurre la carica per ritardo, esplosivo perimetrale che abbassa la carica nel foro dell'esplosione, borraggi di argilla, tappi di borraggio, ritardi LP aggiuntivi e altri prodotti che possono essere utilizzati per modificare il progetto degli spari.

9.7.2 Borraggio dei fori da mina per ridurre la sovrappressione dell'aria

Il borraggio nei fori da mina in galleria può ridurre significativamente la sovrappressione dell'aria contenendo i gas esplosivi all'interno degli stessi fori. Una volta realizzato l'imbocco della galleria ZIA, si è nel punto di interesse più vicino e la sovrappressione dell'aria si troverà al suo livello più alto. È durante questa fase che l'utilizzo del borraggio avrà più influenza per ridurre la sovrappressione dell'aria. Con l'avanzare della galleria ZIA, aumenterà la distanza dal brillamento, che può essere monitorata sismicamente per determinare se/quando è necessario il borraggio.

9.7.3 Materasso di protezione

L'uso di materassi di protezione viene richiesto durante la realizzazione del primo tratto in roccia nel tunnel ZIA per proteggere le strutture vicine dall'esplosione delle rocce (flyrock). Una volta che il tunnel avanza fino al punto in cui l'esplosione delle rocce è contenuta all'interno della galleria stessa, non si ritengono più necessari i materassi di protezione.

9.8 Indagini precedenti alle volate

Le indagini precedenti alle volate (Preblast surveys, PBS) sono una pratica comunemente utilizzata per i progetti di brillamento. Lo scopo delle indagini è quello di acquisire le condizioni esistenti dell'interno e dell'esterno delle strutture, con il permesso dei proprietari, prima di effettuare qualsiasi brillamento come da progetto. Fornisce inoltre l'opportunità di comunicare lo scopo del progetto e le misure che vengono adottate per prevenire danni alle strutture (ad es., detonatori autorizzati, limiti di vibrazione, monitoraggio sismografico, ecc.).

Tipicamente, tali indagini sono completate per strutture vicino all'area di volata dove si prevede che le vibrazioni supereranno un limite specificato o una distanza minima dall'esplosione. Le indagini sono solitamente completate da consulenti specializzati sul tema PBS perché fungono da parte indipendente imparziale e possono completare le indagini in modo opportuno. Ciò rappresenta spesso il primo contatto con il vicinato in merito al progetto di brillamento. Pertanto, informazioni sufficienti sul progetto devono essere trasmesse dal consulente PBS in modo cortese e professionale per generare relazioni pubbliche positive.

Occorre quindi prestare attenzione alla selezione dei consulenti PBS. Queste indagini sono considerate vantaggiose per i residenti (o proprietari della struttura), nonché per il proprietario del progetto. Il livello di documentazione deve essere commisurato al livello specificato per il progetto o al contratto di costruzione. Infatti tali indagini possono essere potenzialmente utilizzate per reclami o verifiche sui danni per proteggere tutte le parti coinvolte.

9.9 Sismografi da mina

Tutti i sismografi da mina hanno un sensore geofono per misurare le vibrazioni del terreno, un microfono per misurare la sovrappressione dell'aria e un'unità di raccolta dati (Figura 9.4). I sismografi possono essere programmati per registrare le forme d'onda delle vibrazioni da mina, ma possono anche essere utilizzati per misurare vibrazioni continue o semicontinue come rulli vibranti, infissione di pali o altri eventi ricorrenti. Alcuni sismografi possono misurare entrambi.

Figura 9.4 Sismografo tipico, geofono e microfono



La corretta configurazione e utilizzo del sismografo è responsabilità dell'utente. L'utente può essere l'addetto allo sparo mine (fochino), altro personale della compagnia di esplosioni o una società di monitoraggio di terze parti. È necessario programmare correttamente il sismografo, identificare il punto o i punti di interesse e impostare correttamente il sismografo per la registrazione. Si necessita di notevole esperienza e bisogna fare numerose considerazioni per monitorare correttamente le attività di brillamento utilizzando un sismografo. È indispensabile la presenza di un operatore competente nell'uso del sismografo per garantire il monitoraggio delle esplosioni.

Una volta raccolti i dati dell'evento con il sismografo, l'operatore deve essere in grado di recuperare e interpretare le informazioni sismiche. L'esperienza è necessaria per determinare se si tratta di un evento sismico, quali livelli sono stati registrati e se sono necessarie modifiche alla configurazione del sismografo (ad es., impostazioni di programmazione, posizione di configurazione, configurazione del geofono o del microfono, ecc.).

I sismografi sono lo strumento più efficace per monitorare il progetto di brillamento e sono spesso specificati come requisito del progetto (se applicabile). Le registrazioni del monitoraggio sismico forniscono informazioni utili per garantire che le esplosioni rispettino i limiti delle linee guida e per fornire all'addetto allo sparo mine (fochino) le informazioni critiche per interpretare le esplosioni.

9.10 Revisione dei dati di monitoraggio

AMC ha revisionato brillamenti monitorati, secondo evidenze fornite da Energia, del 2016; tutti hanno indicato valori dei PPV bassi, con livelli inferiori alle linee guida sulle vibrazioni della DIN 4150-3. Inoltre, le frequenze di vibrazione sono generalmente superiori a 30 Hz, per cui secondo le linee guida si prevede un limite PPV più elevato (in DIN4150-3) rispetto alle frequenze di vibrazione inferiori. In conclusione, AMC ritiene che non ci sono motivi di preoccupazione relativamente a danni indotti dalle vibrazioni da mina alle strutture commerciali o residenziali per la galleria ZIA.

AMC non ha ricevuto tutte le informazioni necessarie per comprendere adeguatamente le esplosioni storiche, come la vicinanza del sismografo a ciascuna esplosione, la carica di esplosivo per ritardo per ogni esplosione, i tipi di esplosivo utilizzati per ogni esplosione, l'esatta perforazione e sparo pattern di sparo per ogni sparo, ecc.

10 Discariche

10.1 Discarica

Il sito del progetto Gorno si trova in un terreno molto scosceso. L'area di discarica proposta è sezionata da una serie di gole minori e valli. La pratica generale per un progetto di discarica è guidata dal percorso di trasporto più breve disponibile dalla miniera alla discarica. A causa dei vincoli topografici, è stato impegnativo definire la selezione di siti idonei per lo scarico dei rifiuti a Gorno. I pendii naturali nell'area di progetto scendono a 25°. Poiché i volumi degli sterili previsti sono limitati, sono stati selezionati alcuni siti idonei per contenere i volumi di rifiuti come modalità riempimento della valle (valley-fill) e su pendii relativamente poco inclinati della collina dove la base della discarica poggia.

Energia ha fornito ad AMC i progetti delle discariche minerarie che sono stati valutati. Sono stati progettati quattro discariche come mostrato in Figura 10.1 e Figura 10.2. L'altezza massima delle discariche è stata limitata a 15 m.

I pendii più ripidi all'interno della base della discarica si estendono solo su brevi distanze, quindi la loro influenza sulla stabilità del pendio della discarica risulta minima. AMC ritiene quindi che le discariche possano essere costruite in modo tale che i pendii ripidi non influiscano negativamente sulla stabilità dei pendii delle discariche, compresi i pendii intermedi.

Figura 10.1 Discariche di Ca Pasi (progetto fornito da Energia)

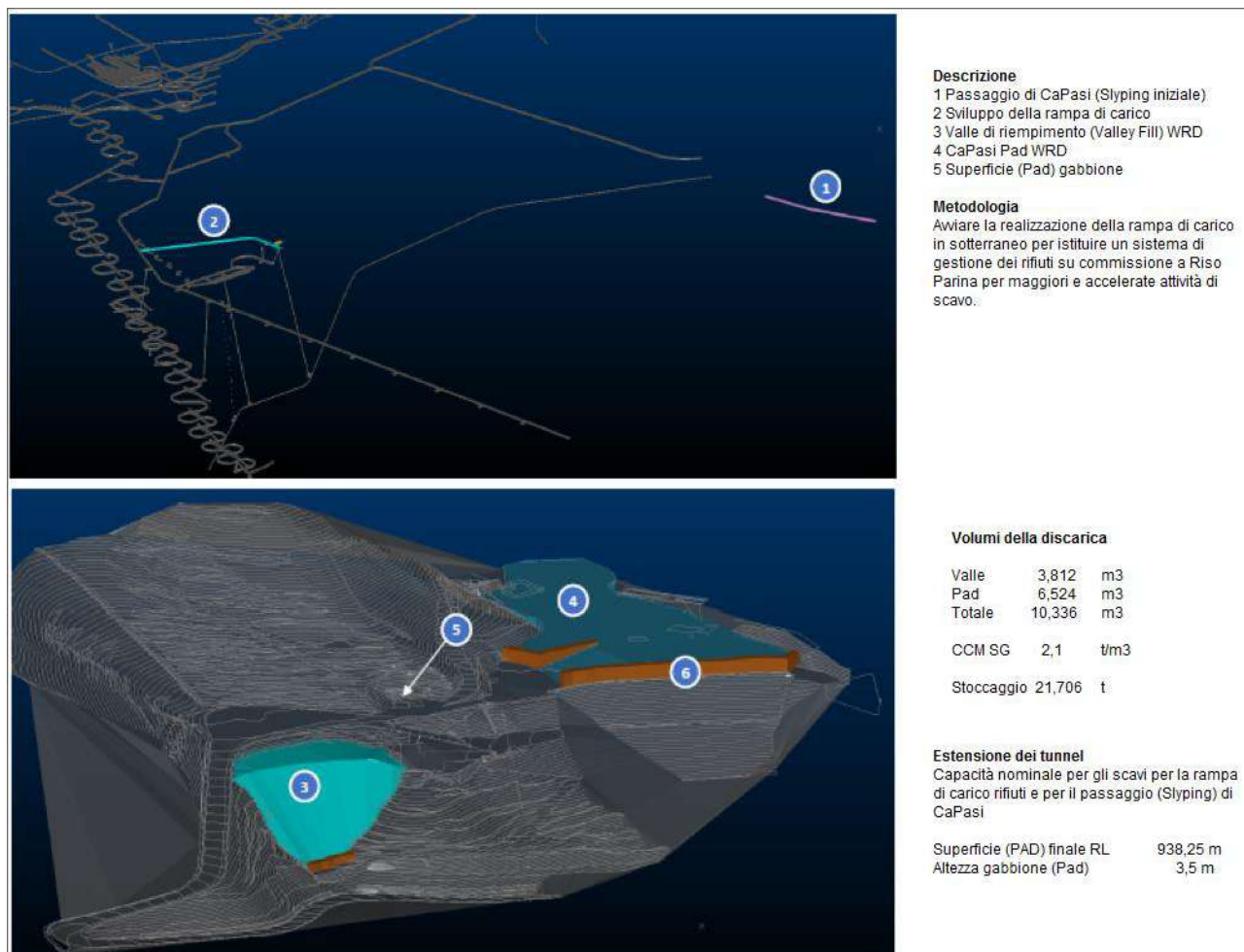
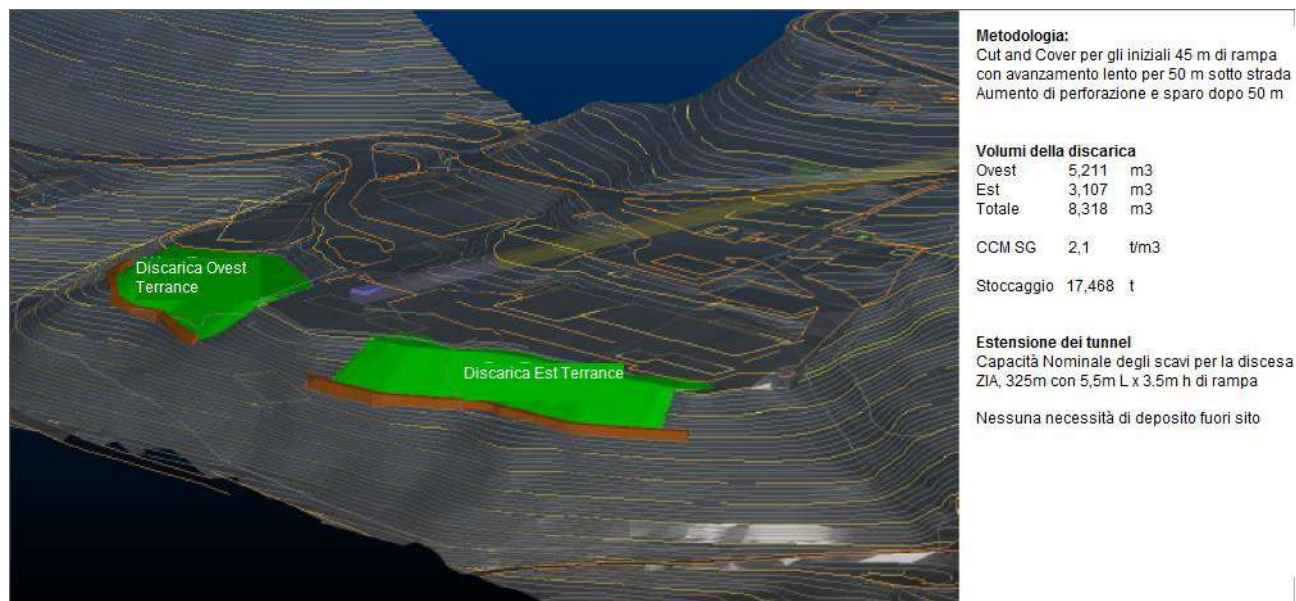


Figura 10.2 Discariche di ZIA (progetto fornito da Energia)



10.2 Condizioni delle fondazioni

Per le discariche di Gorno non sono state condotte indagini della fondazioni. Tuttavia, erano disponibili informazioni limitate da un'indagine sismica condotta nel febbraio 2020 (Castalia 2020). Lo studio è stato condotto per indagare e definire il profilo del sottosuolo (fondazione) e la stabilità di una discarica esistente a Ca Pasi. È stata costruita come una discarica a valle. La discarica esiste dagli anni '80, quando cessò la precedente attività mineraria a Gorno. Apparentemente è rimasta stabile senza alcun segno di deterioramento per più di 30 anni (Castalia 2020).

L'indagine geofisica ha rivelato quanto segue:

- Strato n. 1: rifiuti minerari, per uno spessore massimo di 9 m con una velocità delle onde di taglio (V_s) compresa tra 230 m/se 275 m/s.
- Strato n. 2: uno strato naturale di terriccio spesso da 2 m a 3 m nel profilo del sottosuolo con un V_s da 335 m/sa 350 m/s.
- Strato n. 3: uno strato di materiale detritico (probabilmente un deposito ghiaioso alluvionale) o roccia alterata con una V_s da 390 m/s a 420 m/s.
- Strato n. 4: il substrato roccioso costituito da roccia moderatamente alterata con una V_s da 920 m/s a 935 m/s.

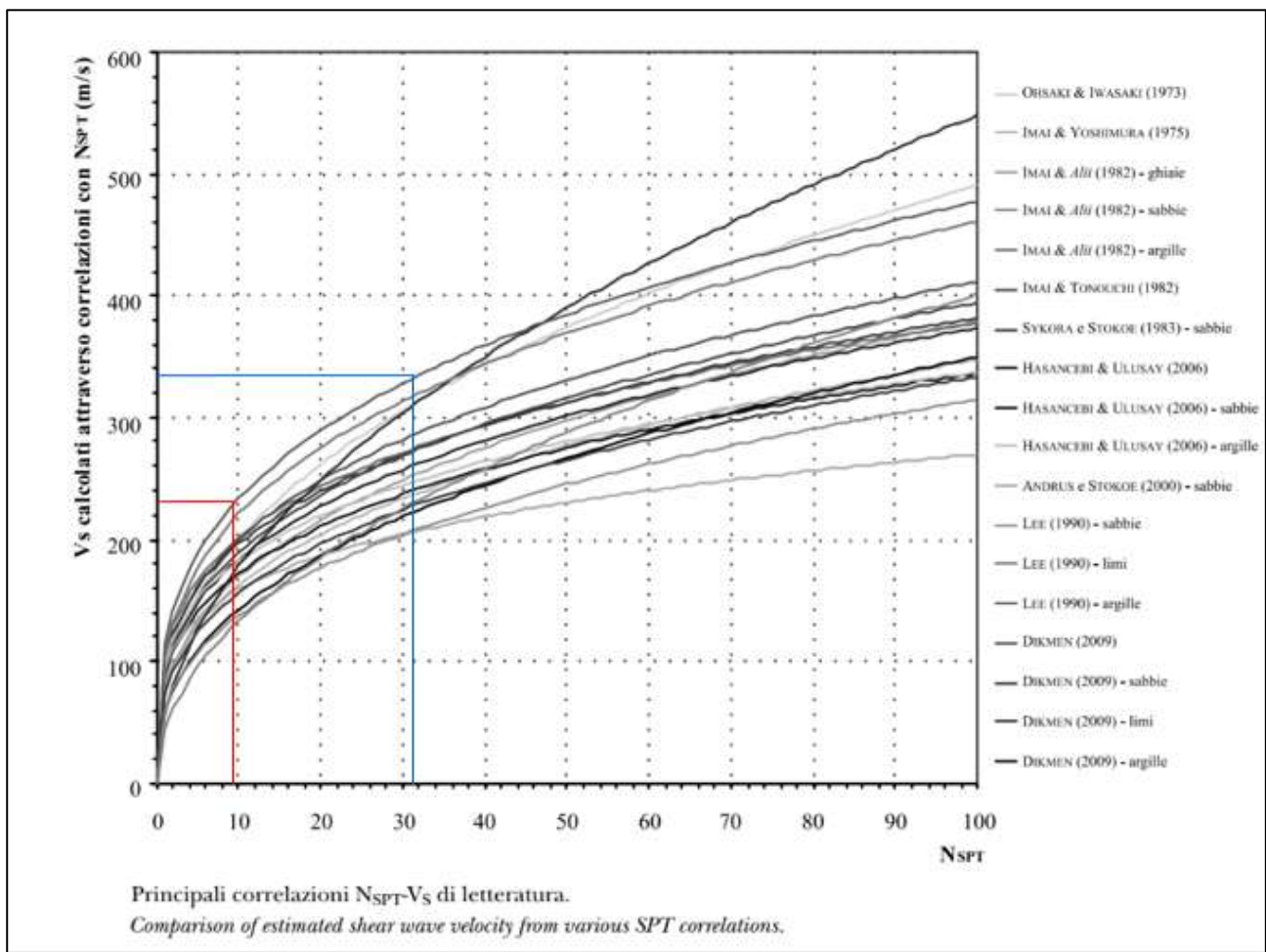
Considerando il livello di amplificazione dipendente dal profilo del sottosuolo, lo studio ha determinato che il livello di sismicità applicabile all'area sia il seguente:

- Accelerazione orizzontale di 0,022 g.
- Accelerazione verticale di 0,011g.
- Probabilità di superamento inferiore al 10% in un periodo di 50 anni.

Castalia (2020) ha condotto una valutazione della stabilità all'equilibrio limite (LE) della discarica esistente utilizzando il Metodo di Bishop. I valori V_s che rappresentano i diversi strati del terreno sono stati utilizzati per definire i valori del numero di test di penetrazione standard applicabili (SPT-N) e quindi i valori SPT-N per determinare i parametri di resistenza al taglio di Mohr-Coulomb (coesione e angolo di attrito).

I grafici pubblicati come presentati in Figura 10.3 sono stati usati per ottenere il valore SPT-N per ogni livello di suolo. Il valore SPT-N minimo è stato selezionato per definire i parametri di resistenza al taglio.

Figura 10.3 Correlazione tra Vs e SPT-N (Castalia 2020)



La valutazione di stabilità ha restituito un FOS minimo ≥ 1.3 , superiore al FOS minimo imposto dalla normativa (Castalia 2020).

10.3 Stabilità dei progetti di discariche

La stabilità dei progetti della discarica con gli scarti di lavorazione in roccia è stata valutata utilizzando il profilo del suolo definito da Castalia (2020). Le valutazioni di stabilità sono state condotte per tutte e quattro le discariche utilizzando l'analisi LE.

10.3.1 Parametri di resistenza al taglio per fondazioni della discarica

Come discusso nella Sezione 9.2, lo strato di terreno nell'area di progetto ha uno spessore inferiore a 3 m e si assottiglia fino a 0 m sui pendii della montagna. I parametri di resistenza al taglio sono stati ricavati utilizzando i valori SPT-N ottenuti dall'indagine geofisica Castalia (2020), ma il parametro di coesione è stato declassato perché si prevede che il profilo del terreno al di sotto della discarica esistente abbia subito un consolidamento, aumentandone la coesione.

L'SPT-N e i corrispondenti valori di V_s utilizzati nella valutazione sono presentati in Tabella 10.1. Lo strato di terriccio si classifica come materiale granulare denso.

Tabella 10.1 Confronto di SPT-N con Vs e il rapporto di Poisson ν (Kumar 2016)

Tipo di terreno	Valore di SPT N	Vs (m/s)	ν
Terreno granulare sciolto	0 - 20	130 - 280	0,20 - 0,40
Terreno granulare denso	20 - 50	200 - 410	0,30 - 0,45
Argilla tenera	0 - 6	40 - 90	0,15 - 0,25
Argilla dura	6 - 30	65 - 140	0,20 - 0,50

Esistono molte formule empiriche pubblicate per derivare i parametri di resistenza al taglio utilizzando i valori SPT-N. In generale, queste formule producono risultati molto simili. e seguenti formule sono state utilizzate per derivare i parametri di resistenza al taglio (Kumar e al 2016):

- Per la coesione: $c = -16,5 + 2,15 N$ (applicabile per terreni intermedi con valori SPT-N da 10 a 40).
- Per angolo di attrito: $\Phi = 27,12 + 0,2857N$ (per valori SPT-N da 4 a 50).

I parametri di resistenza al taglio derivati per il profilo del sottosuolo utilizzando le formule di cui sopra sono presentati in Tabella 10.2.

Tabella 10.2 Parametri di resistenza al taglio derivati e applicati per l'analisi della stabilità della discarica

Tipo di materiale	Valore di SPT N	Derivato usando SPT-N		Parametri adottati	
		c (kPa)	Φ (°)	c (kPa)	Φ (°)
Sterili - strato n. 1	10	5	30*	5	37
Terriccio - strato n. 2	31	50**	36	10	36
Roccia molto alterata (o deposito detritico) - strato n. 3	—	—	—	50	40
Roccia moderatamente alterata	—	—	—	200	45

Note:

* Non realistico per roccia scavata sana. È stata adottata una coesione nominale di 5 kPa considerando la compattazione imposta a causa della costruzione dal basso verso l'alto.

** Un'elevata coesione non è realistica per un terriccio granulare, pertanto è stata ipotizzata una coesione inferiore.

10.3.2 Analisi di stabilità della discarica

La stabilità della discarica di riempimento della valle (valley-fill) di Ca Pasi e delle discariche ZIA (Terrazzo Ovest e Terrazzo Est) è stata analizzata utilizzando il software di analisi Rocscience LE Slide2 (Rocscience, Inc., v9). Vari scenari, condizioni di siccità, falda freatica in superficie, falda acquifera all'interno della discarica sono stati analizzati considerando condizioni statiche e applicando i coefficienti sismici discussi nella Sezione 10.2.

Il FOS del pendio di scarico dovrebbe soddisfare un criterio di accettazione di 1.3 in condizioni statiche e FOS di 1.1 con carico sismico applicabile secondo la legislazione italiana. I criteri di accettazione del progetto del pendio rappresentano i limiti che il pendio deve soddisfare per affermare che abbia un livello accettabile di confidenza di stabilità. I criteri si basano sui valori del fattore di sicurezza (FOS) determinati nelle analisi. I criteri di accettazione tipicamente applicati nell'industria mineraria (Read e Stacey 2009) sono presentati in Tabella 10.3.

Tabella 10.3 Criteri di accettazione tipici del progetto con pendenza (Read e Stacey 2009)

Scala del pendio	Conseguenze del fallimento ¹	Criteri di accettazione ²		
		FOS (min) – Statico	FOS (min) – Statico	POF ³ (max) P[FOS≤1] (%)
Bench	Da basso a alto	1,1	N/A	25 – 50
Inter-ramp	Bassa	1,15 – 1,2	1,0	25
	Moderata	1,2	1,0	20
	Alta	1,2 – 1,3	1,1	10
Generale	Bassa	1,2 – 1,3	1,0	15 – 20
	Moderata	1,3	1,05	10
	Alta	1,3 – 1,5	1,1	5

Note:

¹ Valutato semiquantitativamente.

² Necessità di soddisfare tutti i criteri di accettazione.

³ POF: probabilità di rottura.

Il profilo del sottosuolo utilizzato nell'analisi era simile al profilo del sottosuolo definito per la discarica esistente di Ca Pasi (Castalia 2020).

L'analisi di stabilità è stata condotta utilizzando i metodi di analisi Bishop semplificato, GLE-Morgenstern e Spencer LE. È stata effettuata l'analisi dei dissestamenti non circolari utilizzando la ricerca Cuckoo con ottimizzazione.

Il modello di stabilità del pendio utilizzato per la discarica di Ca Pasi nell'analisi e il risultato di stabilità per condizioni asciutte utilizzando il metodo GLE sono mostrati in Figura 10.4. Lo stesso profilo di pendenza con una falda freatica che si trova sulla superficie del pendio è presentato in Figura 10.5.

I valori FOS più bassi ottenuti (di solito il metodo GLE) sono presentati in Tabella 10.4 e Tabella 10.6. I risultati indicano che le discariche risultano stabili anche in condizioni avverse della falda acquifera, considerando altamente improbabile lo sviluppo di una falda freatica all'interno di una discarica in roccia situata su un pendio.

Figura 10.4 Analisi di stabilità statica della discarica per gli sterili di Ca Pasi in condizioni asciutte

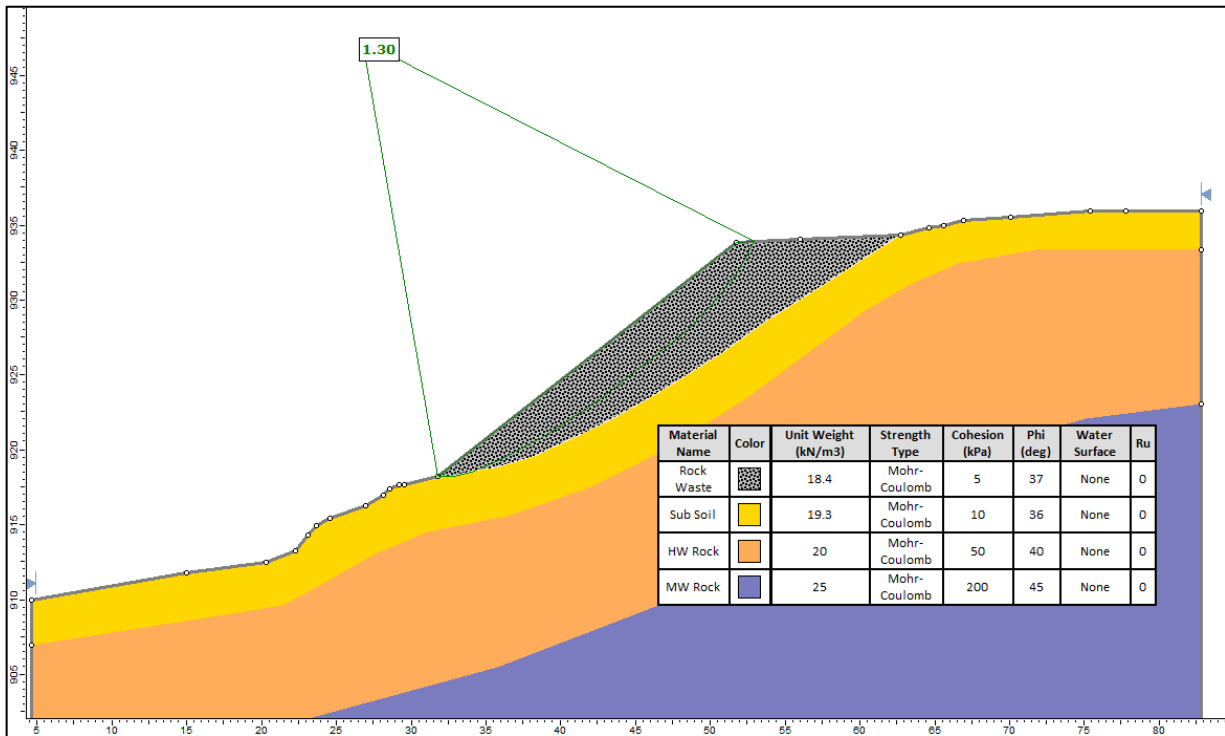


Figura 10.5 Stabilità pseudo-statica della discarica di Ca Pasi quando la falda acquifera giace sulla superficie del pendio

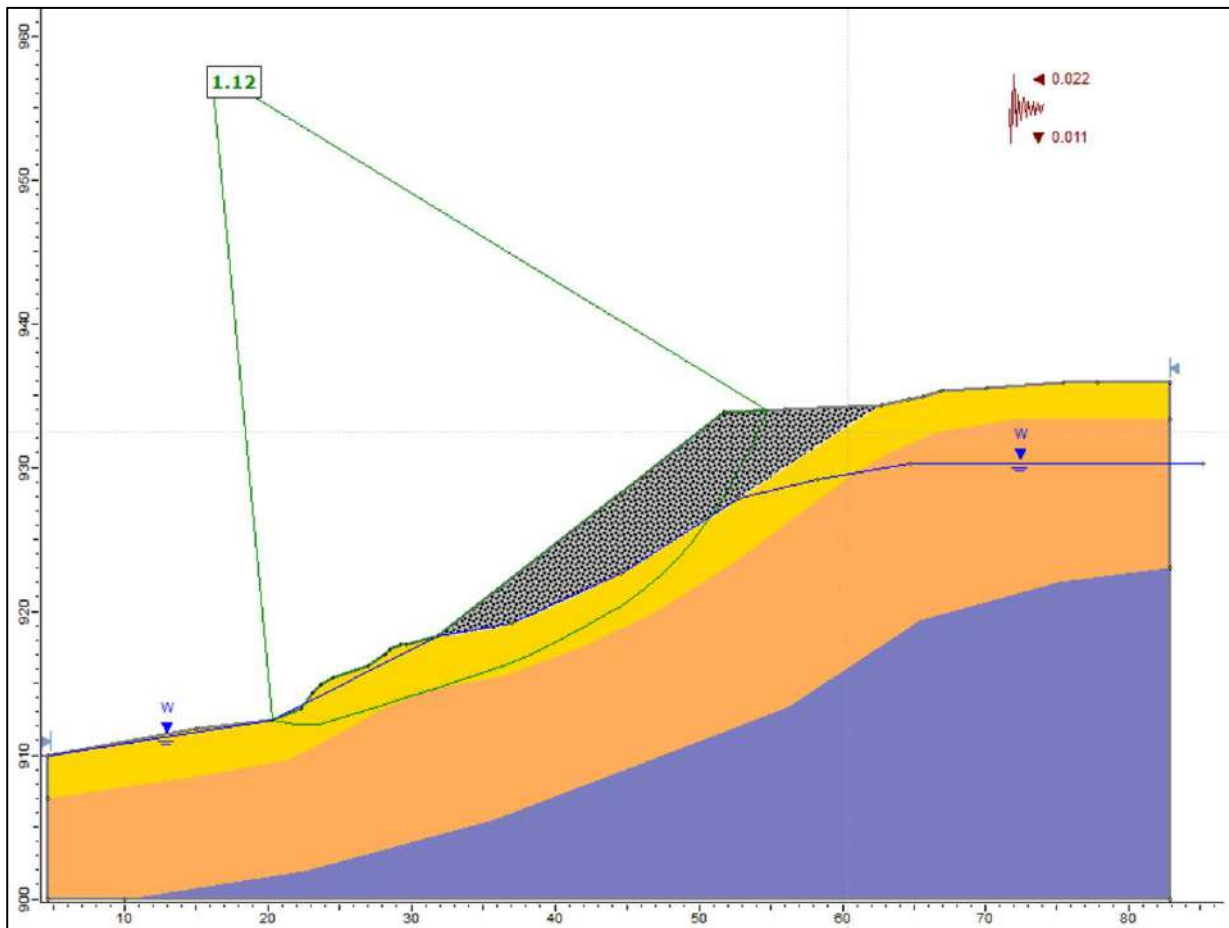


Tabella 10.4 I risultati dell'analisi di stabilità per diversi scenari

Scenario	FOS	Commenti
Stabilità statica – condizioni asciutte	1,30	Supera i criteri di accettazione
Pseudo statico – condizioni asciutte	1,27	Supera i criteri di accettazione
Statico – falda freatica sulla superficie del pendio	1,17	Leggermente inferiore all'accettazione FOS
Pseudo Statico – falda freatica sulla superficie del pendio	1,12	Supera i criteri di accettazione, superficie di rottura critica attraverso lo strato di terriccio
Statico – falda acquifera sviluppata all'interno della discarica	1,06	Non soddisfa i criteri di accettazione, scenario altamente improbabile, cedimento attraverso lo strato superficiale del terreno
Pseudo statico – falda acquifera sviluppata all'interno della discarica	1,01	Non soddisfa i criteri di accettazione, scenario altamente improbabile, cedimento attraverso lo strato superficiale del terreno

Tabella 10.5 ZIA (Terrazzo Est) – Risultati dell'analisi di stabilità per diversi scenari

Scenario	FOS	Commenti
Stabilità statica – condizioni asciutte	1,47	Supera i criteri di accettazione
Pseudo statico – condizioni asciutte	1,40	Supera i criteri di accettazione
Statico – falda freatica sulla superficie del pendio	1,43	Supera i criteri di accettazione
Pseudo Statico – falda freatica sulla superficie del pendio	1,38	Supera i criteri di accettazione
Statico – falda acquifera sviluppata all'interno della discarica	1,17	Non soddisfa i criteri di accettazione, scenario altamente improbabile, cedimento attraverso lo strato superficiale del terreno
Pseudo statico – falda acquifera sviluppata all'interno della discarica	1,13	Supera i criteri di accettazione

Tabella 10.6 ZIA (Terrazzo Ovest) – Risultati dell'analisi di stabilità per diversi scenari

Scenario	FOS	Commenti
Stabilità statica – condizioni asciutte	1,39	Supera i criteri di accettazione
Pseudo statico – condizioni asciutte	1,34	Supera i criteri di accettazione
Statico – falda freatica sulla superficie del pendio	1,27	Leggermente inferiore all'accettazione FOS
Pseudo Statico – falda freatica sulla superficie del pendio	1,21	Supera i criteri di accettazione, superficie di rottura critica attraverso lo strato di terriccio
Statico – falda acquifera sviluppata all'interno della discarica	1,11	Non soddisfa i criteri di accettazione, scenario altamente improbabile, cedimento attraverso lo strato superficiale del terreno
Pseudo statico – falda acquifera sviluppata all'interno della discarica	1,07	Non soddisfa i criteri di accettazione, scenario altamente improbabile, cedimento attraverso lo strato superficiale del terreno

11 Conclusioni e raccomandazioni

Dai risultati della valutazione sono state tratte le seguenti conclusioni:

Idrogeologia

- Storicamente e in linea generale, i percorsi sotterranei a Gorno sono caratterizzati da un afflusso minimo di acqua. Le misurazioni di portata condotte nell'ottobre 2021 quantificano l'entità dell'afflusso nelle aree bagnate della miniera, associate a faglie ricche d'acqua, adiacenti e sotto il fiume Vedra.
- È previsto che l'acqua pulita in eccesso venga tenuta separata dalle attività minerarie e scaricata come pulita. L'acqua a contatto con le attività minerarie, come l'acqua di trivellazione scaricata, sarà diretta a quota 600 mRL e trattata prima di essere scaricata.
- Lo scarico è attualmente gestito facendo confluire l'acqua tramite drenaggi e tubazioni verso lo scarico al Fiume Vedra o tramite la Galleria Riso Parina al Torrente Riso. Negli scavi di Pian Bracca a quota Parina è presente acqua stagnante profonda 30 cm. Ad ogni modo, se necessario, è probabile che il drenaggio in questa posizione possa essere modificato per rimuovere l'acqua stagnante.
- L'attività estrattiva attuale e storica a Gorno suggerisce che ulteriori attività estrattive al di sotto del fiume Vedra possono essere associate a un basso rischio idrogeologico, ad eccezione delle aree entro 30 m dalla superficie, intersecate da faglie subverticali, dove il rischio idrogeologico può essere considerato moderato.
- Si suggerisce di realizzare una mappatura continua dello sviluppo per confermare la presenza di faglie, in particolare attraverso l'area entro 30 m dalla superficie.

Valutazioni di stabilità

- I risultati indicano che le condizioni dei litotipi nel tetto (*hangingwall*) sono marginalmente peggiori nelle aree superficiali di Pian Bracca rispetto alle aree minerarie più profonde.
- I risultati della valutazione della stabilità indicano che nell'intervallo che copre la maggior parte delle condizioni della roccia, le ampiezze (span) proposte di 10 m risultano instabili senza un adeguato sostegno. Pertanto, AMC raccomanda che i tunnel di coltivazione senza sostegno delle zone sovrastanti siano considerati come "vuoti non accessibili".
- I risultati della valutazione della stabilità indicano che in una vasta gamma di condizioni dell'ammasso roccioso, i litotipi nel tetto (*hangingwall*) degli scavi dovrebbero risultare stabili, senza sostegni, da circa 10 m a 17 m lineari, in presenza di roccia con scarsa qualità geomeccanica, mentre in roccia di buona qualità, fino a lunghezze > 50 m.
- I risultati della modellizzazione indicano che il posizionamento del solo impasto di riempimento ("*pastefill*") è inadeguato per ridurre la deformazione in superficie a limiti accettabili e che devono essere prese in considerazione ulteriori restrizioni sull'estrazione mineraria. AMC raccomanda che alcune aree siano definite come primarie, lasciando aree di minore importanza come pilastri e evitando la coltivazione entro alcune aree al di sotto del fiume al fine di raggiungere livelli accettabili di deformazione in superficie.
- Le sollecitazioni nei pilastri di 10 m di larghezza, creati con l'esecuzione degli scavi primari, varia a seconda di dove si trovano nella miniera. Per pilastri ad una profondità superiore a 370 m, la sollecitazione massima del pilastro è di 35 MPa. Per pilastri ad una profondità inferiore a 370 m, la sollecitazione massima del pilastro è di 15 MPa.
- I risultati indicano che gli stress causati dagli scavi sono bassi, il che è in linea con le osservazioni fatte durante la visita in loco del 2018. Pertanto, a Pian Bracca e Ponente sono improbabili problemi legati alle sollecitazioni.
- Si raccomanda di evitare la coltivazione al di sotto del fiume, perché non si dispongono informazioni adeguate riguardo lo spessore dell'ammasso roccioso. In un livello successivo di studio si suggerisce di condurre ulteriori indagini per determinare lo spessore della roccia. Non appena si abbiano a disposizione ulteriori informazioni, si suggerisce di rivalutare le pratiche minerarie per verificare la possibilità di scavare sotto il fiume.

- Lo scopo delle analisi numeriche consisteva nel raccomandare una strategia di coltivazione mineraria che riducesse al minimo la deformazione in superficie. Un approccio meno conservativo alla strategia presentata nella Sezione 6.4 può essere preso in considerazione se sono presenti le seguenti condizioni:
 - La normativa italiana consente deformazioni superficiali maggiori dei danni "molto lievi" mostrati in Figura 6.20.
 - Non ci sono edifici nelle aree all'interno dei contorni rossi in Figura 6.11 e Figura 6.12.
- Un modello digitale del terreno (*wireframe*) con i contorni dei risultati è stato fornito a Energia per referenziare le ubicazioni degli edifici rispetto alle aree con i più alti livelli di deformazione. Relativamente all'opzione dell'estrazione mineraria sotto il fiume, si suggerisce di prevedere un'analisi localizzata che includa dettagli sullo spessore della roccia, la posizione delle faglie e l'impatto che la deformazione della roccia e del terreno può avere sul fiume, inclusa una valutazione del potenziale di infiltrazione dell'acqua. Questa analisi dettagliata esula dallo scopo del lavoro di questo studio ed è raccomandata per il livello di studio successivo.
- La sequenza di coltivazione mineraria ha indicato che in alcuni casi in cui sono presenti lenti sovrapposte, l'estrazione procede dalle lenti inferiori alle lenti superiori. Il riempimento risulterà difficile negli scavi poco profondi, in particolare se si verificassero dissestamenti dei litotipi sovrastanti, non sostenuti, che potrebbero creare vuoti irregolari.
- Si consiglia quindi di adottare un programma di sondaggi di perforazione e monitoraggio per mitigare tali rischi se Energia sceglie di scavare sopra i vuoti ripienati.

Sostegni

- I sostegni raccomandati, per tutte le condizioni rocciose, sono:
 - **Roccia buona e molto buona:** chiodatura con spaziatura di 1,4 m x 1,3 m con rete elettrosaldata posizionata da spalla a spalla, o con spaziatura di 1,6 m x 1,6 m con calcestruzzo fibrorinforzato (fibrecrete) posizionato sempre da spalla a spalla. Un rigoroso programma di ridimensionamento (cioè, dopo ogni sparo entro 50 m dall'area) potrebbe essere implementato al posto dell'installazione di un sostegno di superficie, AMC ritiene tuttavia che questo approccio necessita di personale minerario di grande esperienza, per l'esecuzione del lavoro.
 - **Roccia normale:** bolts con spaziatura di 1,3 m x 1,2 m con rete elettrosaldata posizionata da spalla a spalla, oppure bolts con spaziatura di 1,5 m x 1,5 m con calcestruzzo fibrorinforzato posizionato sempre da spalla a spalla. In queste condizioni è necessario un sostegno di superficie. AMC ritiene che il solo ridimensionamento non sia sufficiente per prevenire i rischi di caduta massi.
 - **Terreno scadente:** chiodatura con spaziatura di 1,2 m x 1,2 m con rete elettrosaldata posizionata da piedritto a piedritto, o chiodatura con spaziatura di 1,4 m x 1,4 m con calcestruzzo fibrorinforzato posato da piedritto a piedritto. In queste condizioni è necessario un sostegno di superficie. AMC ritiene che il solo ridimensionamento non sia sufficiente per prevenire i rischi di caduta massi.
 - **Roccia molto scadente:** chiodatura con spaziatura di 1,3 m x 1,2 m con fibrocemento posato da piede a piede. In queste condizioni è richiesto l'utilizzo di calcestruzzo fibrorinforzato perché la presa avvenga il più velocemente possibile dopo la posa. AMC ritiene che il solo ridimensionamento è insufficiente per prevenire i rischi di caduta massi e che la rete elettrosaldata è insufficiente per mantenere il controllo del profilo.
 - Se nelle intersezioni degli scavi si incontra roccia a blocchi, si devono prendere in considerazione tiranti di 4 m di lunghezza con una spaziatura di 2 m x 2 m. I dati del logging indicano che la roccia a blocchi potrebbe presentarsi, nei litotipi sovrastanti (hanging wall), nel 25% di tutte le condizioni rocciose valutate.

- Si ritiene che le aree con i sostegni primari raccomandati, installati ed intatti (e i sostegni secondari ove richiesto) debbano essere considerate come adeguatamente rinforzate.
- I fronti, nelle aree in cui viene utilizzato il metodo di estrazione long-hole potrebbero richiedere ulteriore supporto. AMC raccomanda di condurre un'ulteriore analisi delle condizioni dei fronti per il successivo livello di studio.

Valutazione del portale

- Condurre un programma di raccolta dati e successiva valutazione geotecnica per il proposto portale ZIA, tra cui:
 - Effettuare fori con corone diamantate nella posizione proposta e diretti lungo l'asse della galleria progettata, per determinare le condizioni della stessa, effettuare ulteriori perforazioni sopra la posizione proposta per determinare la profondità e la qualità della copertura. Effettuare il logging geotecnico delle perforazioni.
 - Completare una valutazione di RMR_{89} (Bieniawski 1989) e Q.
 - Condurre una valutazione del potenziale di scivolamento rotazionale del fronte se la mappatura indica la presenza di materiali usurati o deboli. AMC prende atto del fatto che la roccia è un conglomerato ben cementato.
 - Condurre una valutazione cinematica del fronte se la mappatura indica la presenza di un tessuto strutturale.
 - Condurre un'analisi del cuneo (wedge analysis) per lo scavo delle spalle e delle pareti del portale utilizzando i dati di perforazione.
 - Condurre una valutazione di strutture su larga scala.
 - Fornire raccomandazioni sui sostegni da impiegare e sui monitoraggi necessari, sulla base della recente pubblicazione Stephenson e Sandy (2021).

Vibrazioni generate da brillamento

- Non sono stati identificati problemi riguardanti lo sparo delle mine per la galleria ZIA. Gli spari monitorati, secondo evidenze fornite da Energia hanno indicato valori dei PPV bassi, con livelli inferiori alle linee guida sulle vibrazioni della DIN 4150-3. AMC ritiene che non ci sono motivi di preoccupazione relativamente a danni indotti dalle vibrazioni da sparo alle strutture commerciali o residenziali per la galleria ZIA.

Stabilità delle discariche

- I risultati dell'analisi di stabilità sulle discariche indicano che la stabilità della discarica è sensibile alla posizione della falda freatica. Poiché la discarica è generalmente costituita da roccia frantumata, si prevede che abbia un'elevata permeabilità e si può escludere lo sviluppo di una falda freatica all'interno della discarica stessa. L'innalzamento della falda a ridosso della discarica, all'interno del pendio, influenza la stabilità della fondazione ma solo in maniera marginale. In generale, le condizioni di stabilità dei progetti di discarica soddisfano i requisiti minimi. Tuttavia, nel caso in cui sussista la possibilità di accumulo di materiale fine sul fondovalle (o sul fondo del canale), si suggerisce di impiegare metodi di miglioramento del drenaggio e prevenzione dell'intasamento. Si raccomanda inoltre di:
 - Deviare il più possibile l'acqua superficiale dalle aree di discarica per impedire l'ingresso nella discarica stessa. Potrebbe essere necessario un sistema di drenaggio.
 - Prevedere un drenaggio adeguato, se a valle della discarica è presente un flusso intermittente ed esiste il potenziale di intasamento. Si ritiene sufficiente l'istallazione di pietrame (rockfill) di circa 1 m di larghezza (1 m di altezza) avvolto in un adeguato geotessuto nella porzione inferiore. Tuttavia, le dimensioni dello scarico dipendono dal flusso previsto.
- I progetti delle discariche considerano le pareti dei gabbioni come supporto passivo alla base dei riempimenti e come misura di protezione contro la caduta di massi da altri pendii

di discariche. Poiché la costruzione di gabbioni è molto laboriosa e costosa, un'idea è di prendere in considerazione recinzioni per la protezione contro la caduta di massi.

- Le discariche ZIA sono ubicate su pendii, pertanto non si prevede lo sviluppo di una falda freatica all'interno delle discariche.

Ulteriori lavori

AMC raccomanda che vengano svolti i seguenti approfondimenti per la realizzazione di uno studio di fattibilità:

- Condurre ulteriori perforazioni nelle aree in cui le informazioni sono attualmente scarse (es. Pian Bracca nord e sud e Ponente).
- Raccogliere dati strutturali dalle carote orientate a Ponente.
- Aggiornare tutte le valutazioni incorporando i nuovi dati.
- Determinare la distribuzione delle condizioni della roccia secondo Q' per un'applicazione accurata dei parametri dello scavo per le aree di long-hole open stoping.
- Condurre indagini formali per le discariche della formazione di Gorno e riconfermare i risultati della valutazione.

12 Riferimenti

- Alta Zinc** 2018. fase 1 Studio ingegneristico. Relazione tecnica interna, Aprile 2018
- Alta Zinc** 2020. Studio preliminare del sottoterraneo della miniera di zinco di Gorno: ventilazione, manodopera e attrezzature. Documentazione interna con data 22 dicembre 2020.
- AMC 2018a Studio di fattibilità geotecnica di Gorno. Relazione tecnica n. 218075C, 18 Novembre 2018.
- AMC 2018b Studio di prefattibilità di Gorno. Relazione tecnica n. 218075C, 5 dicembre 2018.
- AMC 2021 Studio geotecnico e di scoping per Gorno. Relazione tecnica n. 220132, 7 aprile 2021.
- Barton** NR, Lien R, e Lunde J 1974. Classificazione ingegneristica degli ammassi rocciosi per la progettazione sul sostegno della galleria. *Meccanica della Roccia*. 189.-239.
- Barton** NR e Bandis S 1990. Revisione delle capacità predittive del modello JRC-JCS nella pratica ingegneristica. Giunti della roccia, proc. Simposio internazionale sui giunti della roccia, Loen, Norvegia (a cura di N Barton e O Stephansson), 603-610. Rotterdam: Balkema.
- Bieniawski** ZT 1976. Classificazione delle masse rocciose nell'ingegneria delle rocce. A cura di ZT Bieniawski, *Esplorazione per l'ingegneria rocciosa: procedure dei simposi sull'esplorazione per l'ingegneria rocciosa*, AA Balkema, Lisse, pp. 97-106.
- Bieniawski** ZT 1989. Classificazioni ingegneristiche delle masse rocciose, Wiley, New York.
- Bowles** J 1988. Analisi e progettazione delle fondamenta. McGraw Hill International.
- Brady** BH e Brown ET 2004. *Meccanica delle rocce per l'estrazione in sottoterraneo*. Editori accademici Kluwer. Olanda.
- Castalia** 2020 Verifica di stabilità dello sterile inerte di miniera deposito temporaneo presso il cantiere de "Ca'Pasi". Studio condotto per Energia Minerals Italia, marzo 2020.
- Deere** DU, Hendron AJ Jr, Patton FD, and Cording EJ 1967. Progettazione di costruzioni in roccia di superficie e vicino alla superficie. *Dissestamenti e rottura della roccia*, C. Fairhurst Ed., Società di ingegneri minerari di AIME, New York, pp 237-302.
- Grünthal** G, Bosse C, Sellami S, Mayer-Rosa D e Giardini D 1999. Compilazione della pericolosità sismica regionale GSHAP per Europa, Africa e Medio Oriente. *Annali di Geofisica*, 42:6, 1215-1223.
- Hoek** E e Brown ET 1980. Scavi in sottoterraneo in roccia. Londra: Istituto di estrazione mineraria e metallurgia 527p.
- Hoek** E e Brown ET 2019. Il criterio di rottura di Hoek-Brown e GSI – edizione 2018. *Rivista di meccanica delle rocce e ingegneria geotecnica*
- Hoek** E, Carranza-Torres C, e Corkum B 2002. Hoek-Brown Criterio di rottura – edizione 2002, NARMS-TAC2002: Innovazione e opportunità per l'estrazione mineraria e il tunneling, 1, 267-273. R. Hammah et al, Eds. Toronto: Università di Toronto Press.
- Hoek** E, Carter TG e Diederichs MS 2013. Quantificazione della tabella dell'Indice di resistenza geologica. Proc. 47th US Rock Mech. / Simposio di geomeccanica Giugno 2013. ARMA 13-672.
- Hutchinson** DJ, Diederichs MS 1996. Cable bolting nelle miniere in sottoterraneo. Editori BiTech, Richmond, British Columbia, Canada.
- Risorse Jorvik 2017. Risorse ed esplorazione del progetto Gorno Zinco. Relazione tecnica non pubblicata, settembre 2017
- Kumar** R, Bhargava K, Choudhury D 2016 Stima delle proprietà ingegneristiche dei terreni dal campo SPT utilizzando la generazione di numeri casuali, *INAE Lett* (2016) 1:77-84, Ottobre 2016.

- Lunder** PJ and Pakalnis RC 1997. Determinazione della resistenza dei pilastri di miniera in roccia dura. CIM Bulletin Settembre 1997.
- Mathews** KE, Hoek E, Wyllie DC, and Stewart SBV 1981. Previsione di scavi stabili per miniere a profondità inferiori a 1000 metri in roccia dura. CANMET Relazione tecnica DSS Serial No. OSQ80-00081, DSS File No. 17 SQ.23440-0-9020, Ottawa: Dip. Energia Miniere e Risorse 39.
- Pakalnis** R 2015. Metodi di progettazione empirica in pratica. Proc. Metodi di progettazione in sotterraneo, Centro di geomeccanica Australiano, Perth.
- Potvin** Y 1988. Progetto empirico di open stope in Canada. Tesi di dottorato Dip. Estrazione mineraria e lavorazione dei minerali, Università della Columbia Britannica. 343p
- Potvin** Y e Hadjigeorgiou J 2016. Selezione del sostegno della roccia per i tunnel minerarie basati sul sistema Q. Proc. Sostegni della roccia 2016.
- Stephenson** R e Sandy M 2021. Considerazioni per la progettazione e il sostegno di portali in sotterraneo. Proc. AusIMM Minatori Conf. Marzo 2021.

Allegato A

Black Shale Riferimenti bibliografici

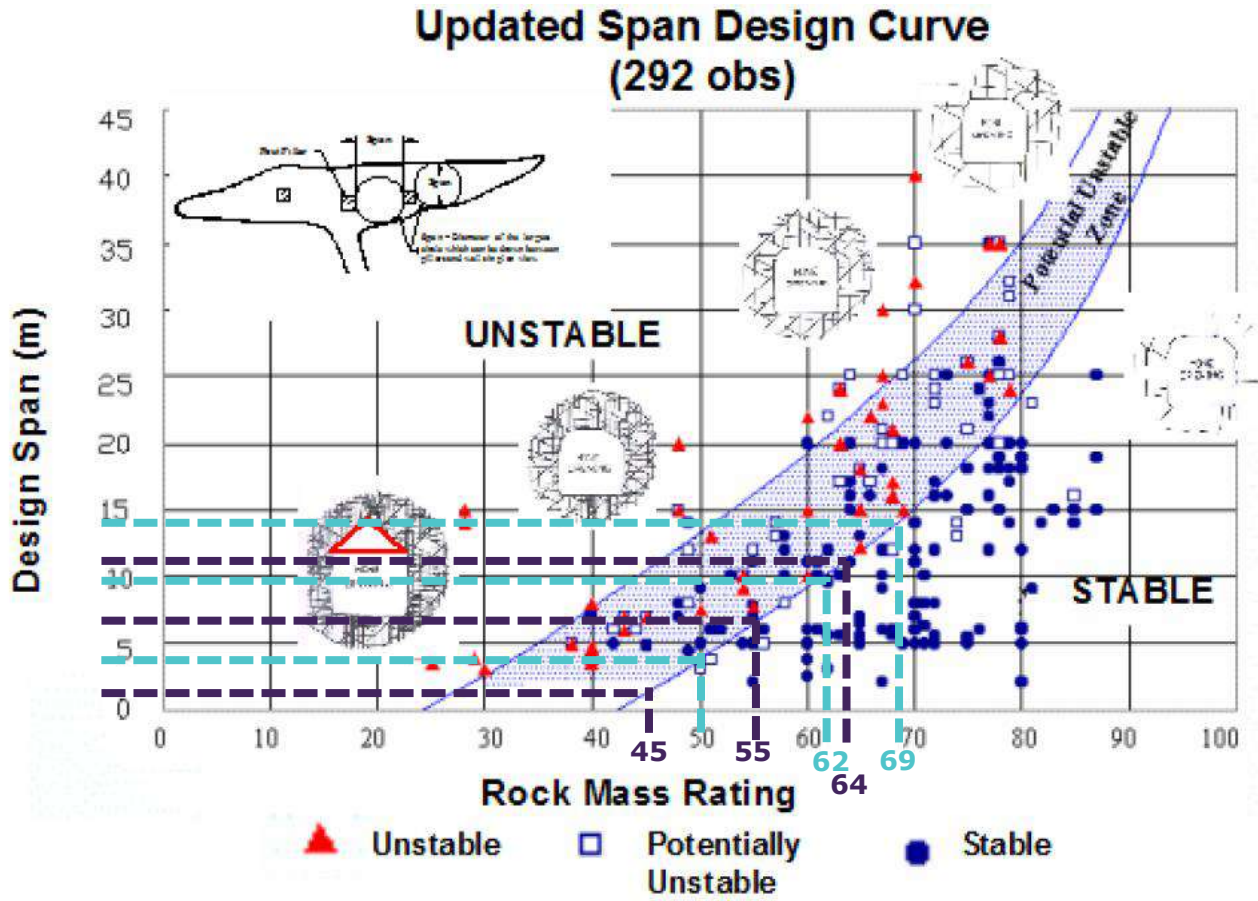
Fan X, Xu F, Chen L, Chen Q, Liu Z, Yao G, e Nie W 2016. Modello basato sull'analisi dimensionale per la previsione della resistenza alla compressione dello shale. Progressi nella scienza e ingegneria dei materiali, Vol 2016, 12pp.

Lyu Q, Ranjith PG, Long X e Ji B 2016. Indagine sperimentale delle proprietà meccaniche dei black shales dopo l'interazione CO₂-acqua-roccia. Materials (Basel) 2016 Agosto, 9(8):663.

Questi riferimenti pubblicati, insieme all'esperienza del sito minerario di AMC, comprendono i valori presentati nella tabella seguente.

Riferimenti	UCS (MPa)
Fan et al 2016	40
Lyu et al 2016	59
Miniera in Tanzania	37
Miniera in Queensland	32
Miniera in Ghana	71

Allegato B Drift-and-fill con stabilità degli span



Appendice C

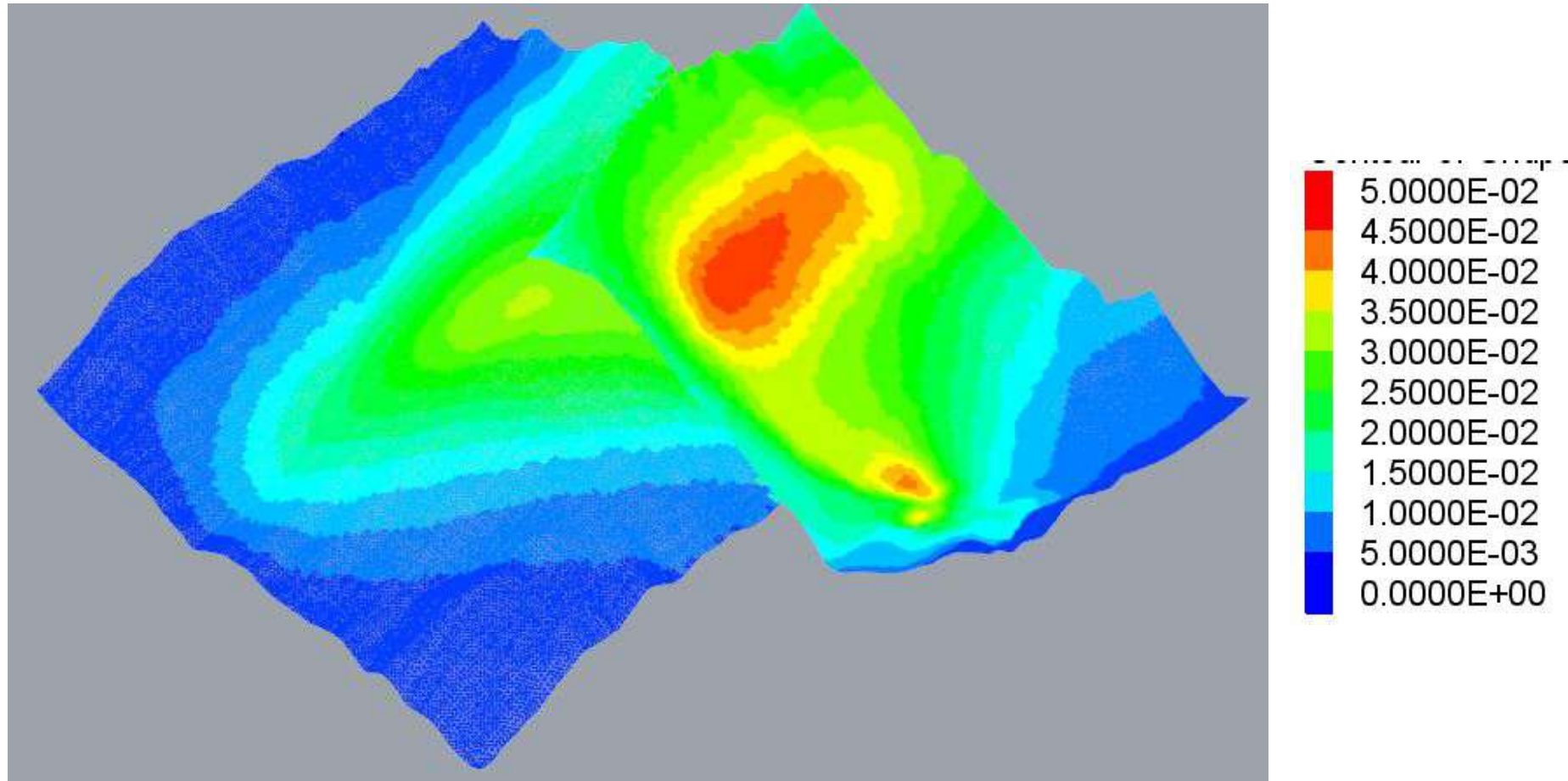
Spostamento, inclinazione e deformazione – Miniera intera

I grafici seguenti completano i risultati presentati nella relazione tecnica. Questi grafici, e il DXF generato, mostrano la deformazione, l'inclinazione e la deformazione sulla superficie al termine dell'estrazione a Zorzone, Pian Bracca e Ponente.

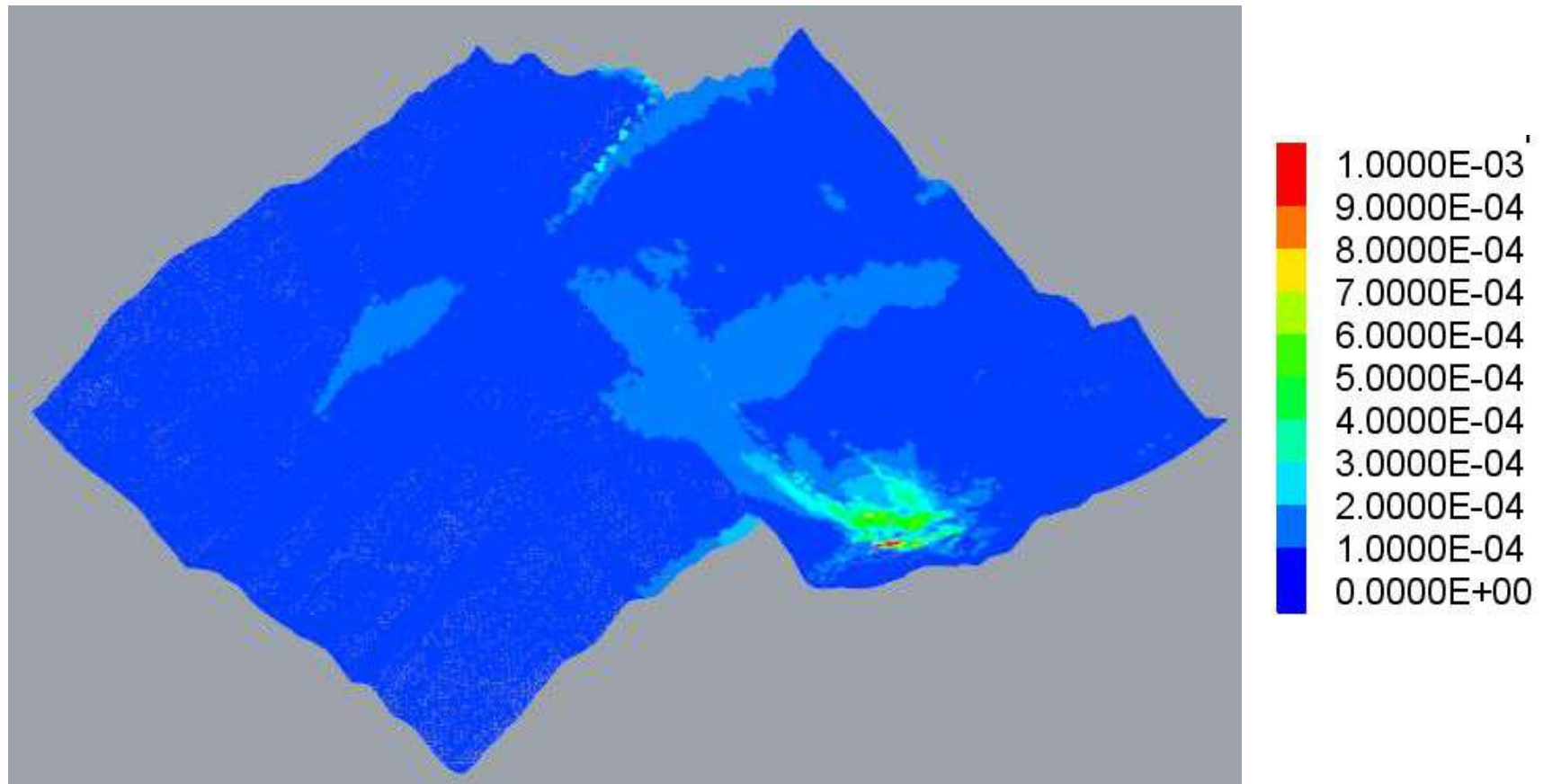
I risultati presentati corrispondono al caso base analizzato.

Gli altri due casi considerati includevano: sequenza originale più pilastro da 25 m e sequenza originale più pilastro da 75 m. Non ci sono modifiche dei risultati in superficie a Zorzone. I risultati per Zorzone possono essere applicati a uno qualsiasi dei tre casi analizzati.

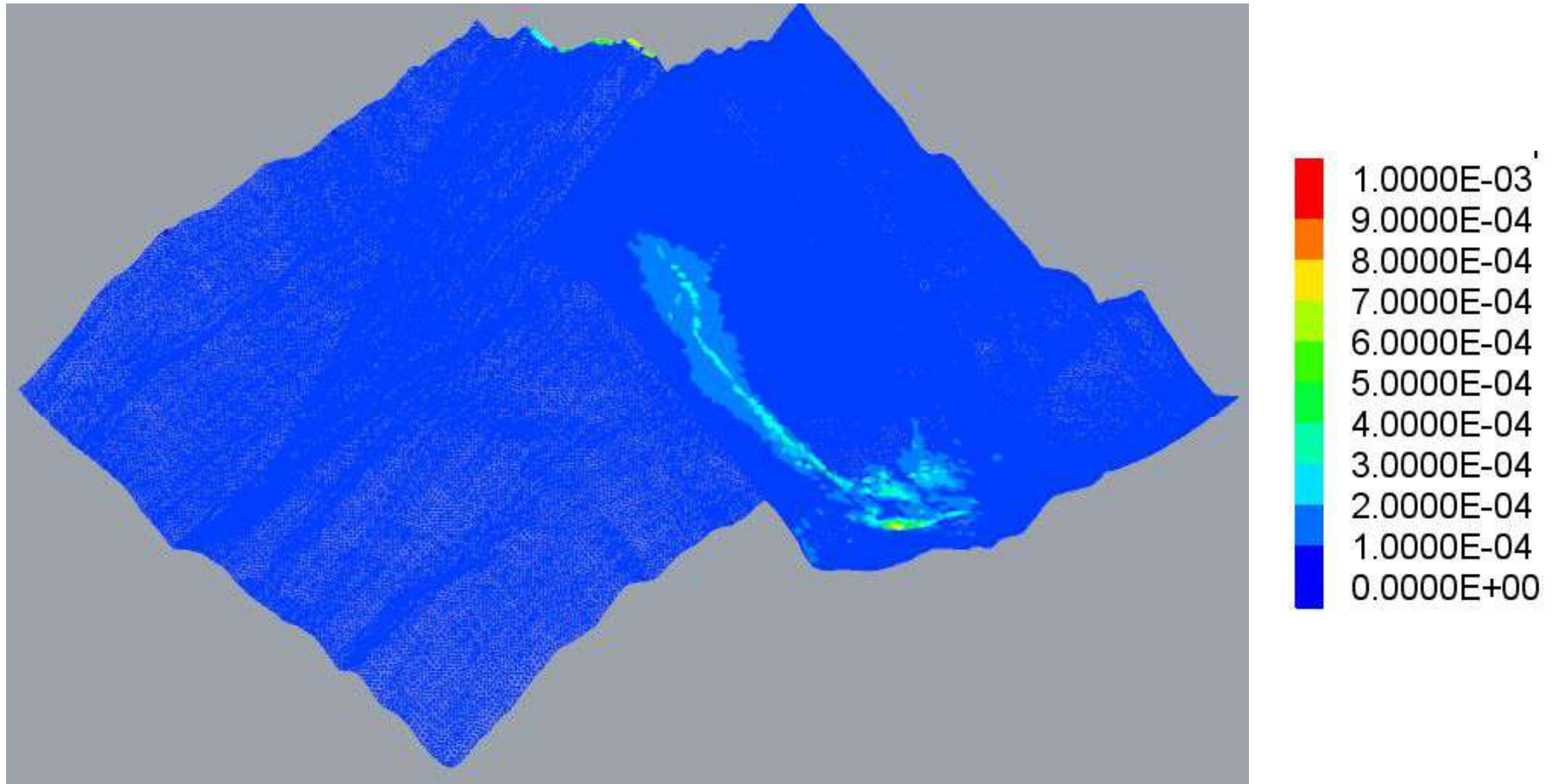
Displacement (m) whole mine



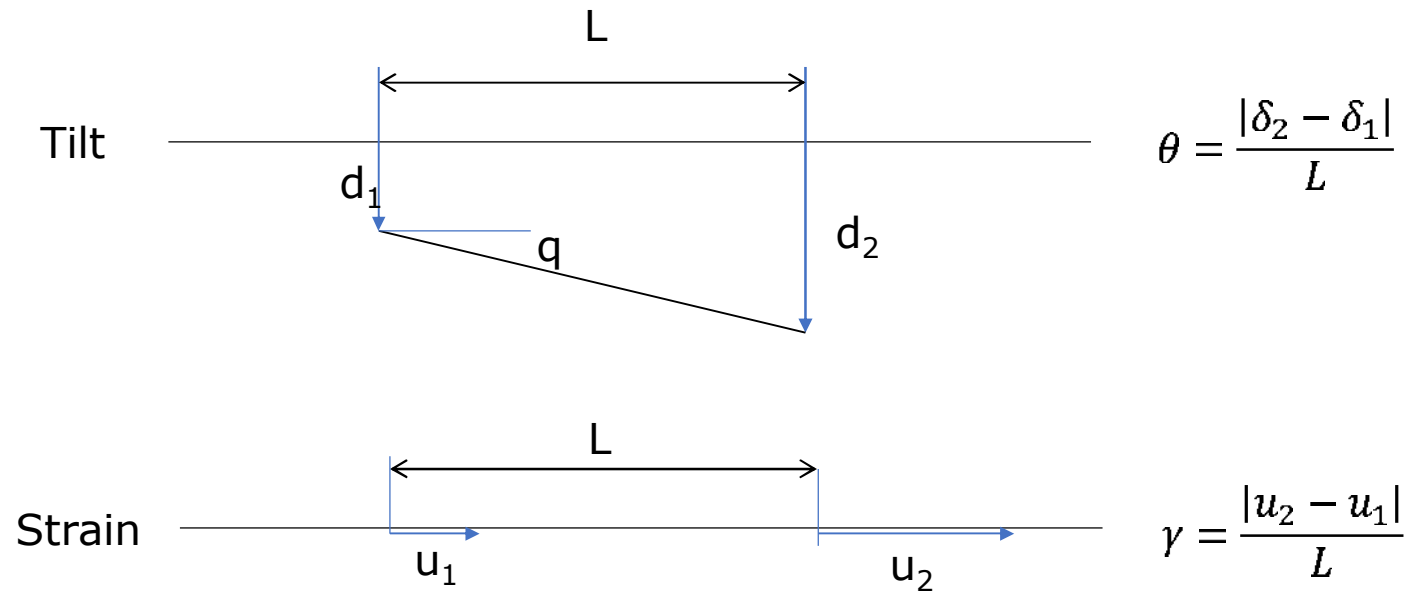
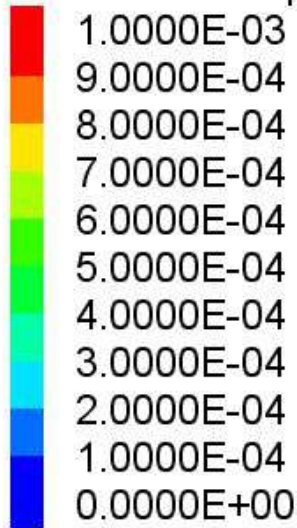
Tilt (rotation) (m/m) whole mine



Strain (m/m) whole mine

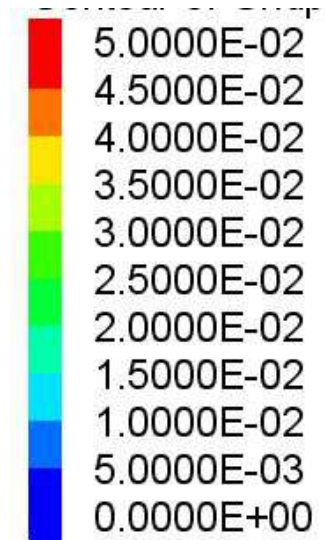


Legend for tilt (rotation) and horizontal strain (m/m) for DXF files



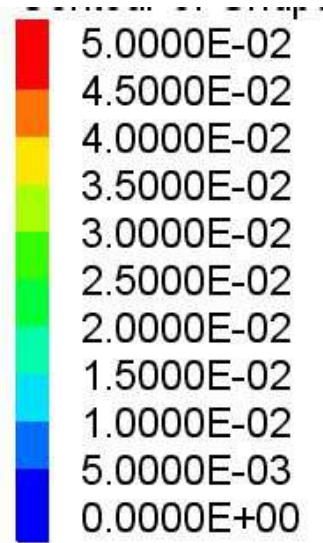
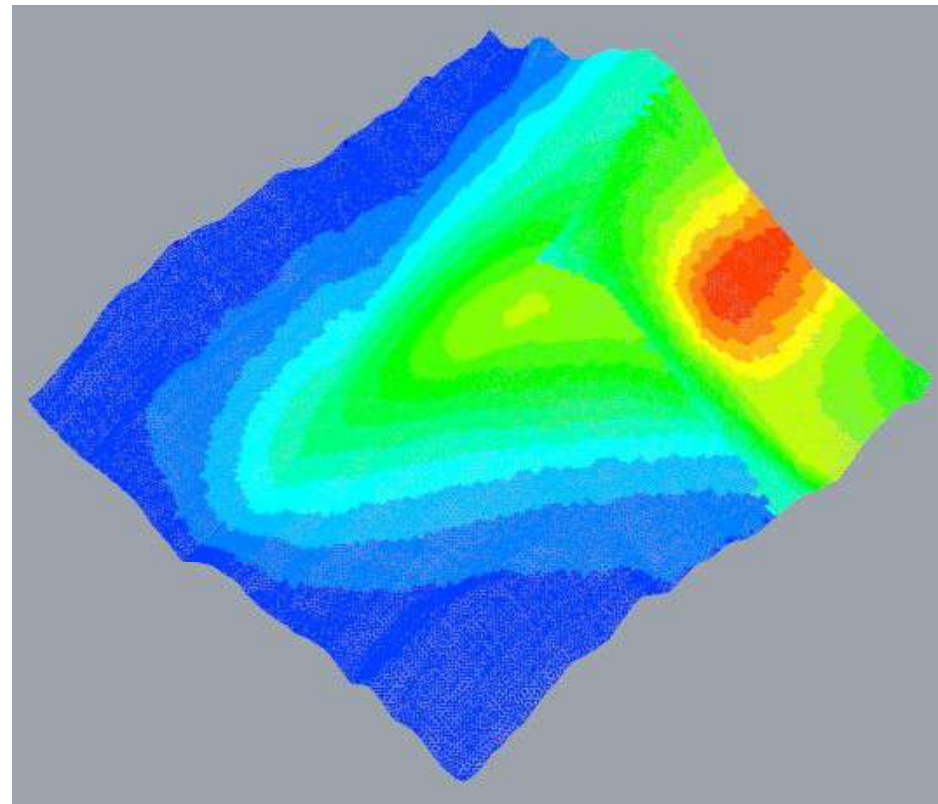
Tilt (rotation) and strain do not have units. The values should be interpreted for deformation per unit of distance. For instance a tilt= $5e^{-4}$ corresponds to a difference of vertical displacement of $5e^{-4}$ m over 1, or 0.5 mm over 1 m, or 5 mm over 10 m. The same applies for strain.

Legend for displacements (m) for DXF files

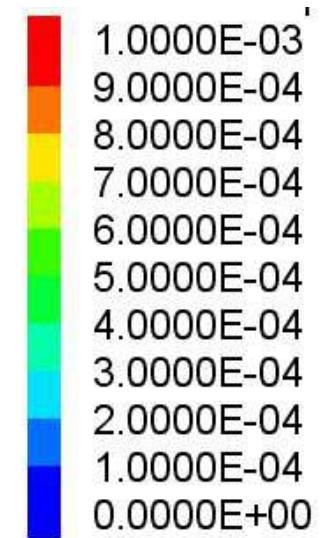
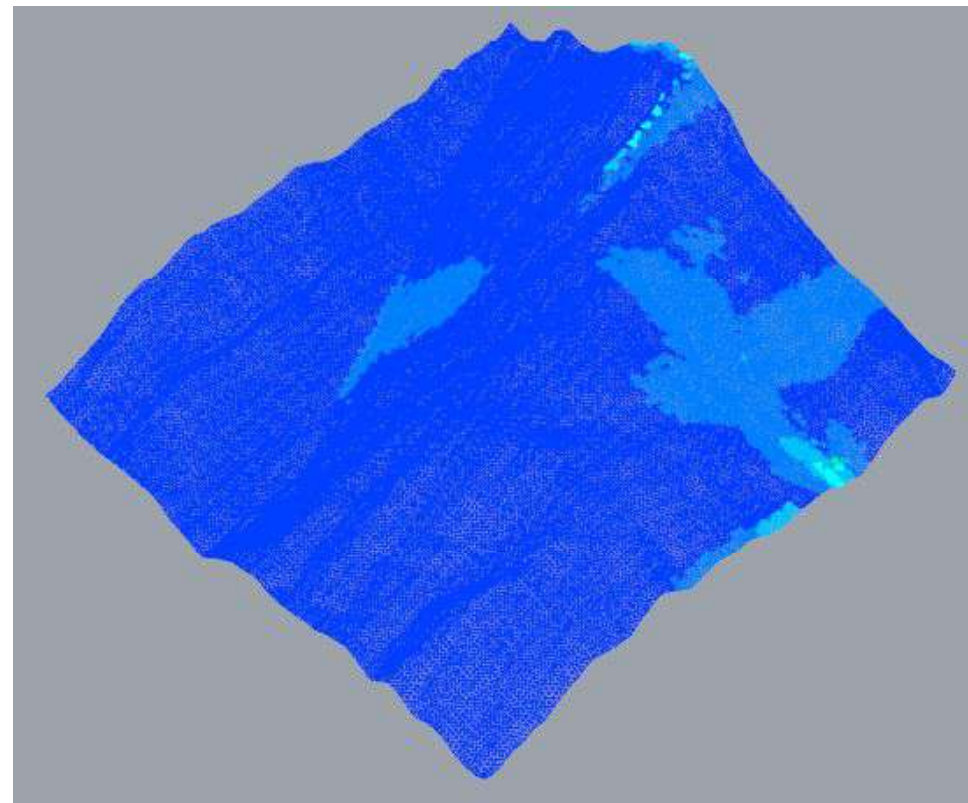


Results for Zorzzone area only

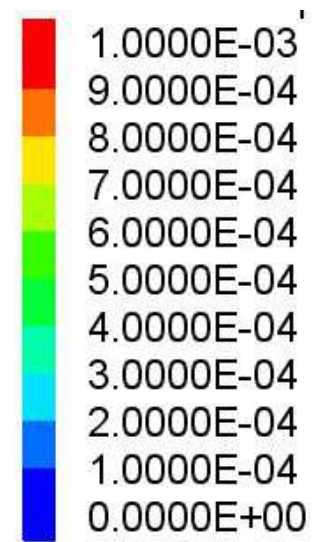
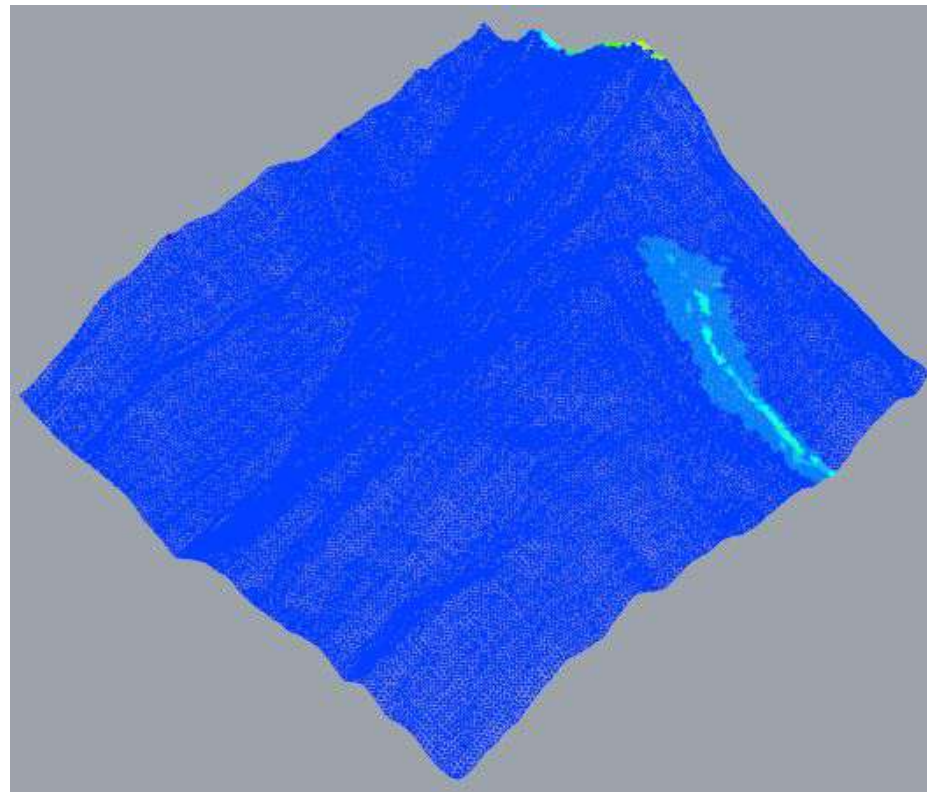
Displacement (m) Zorzzone

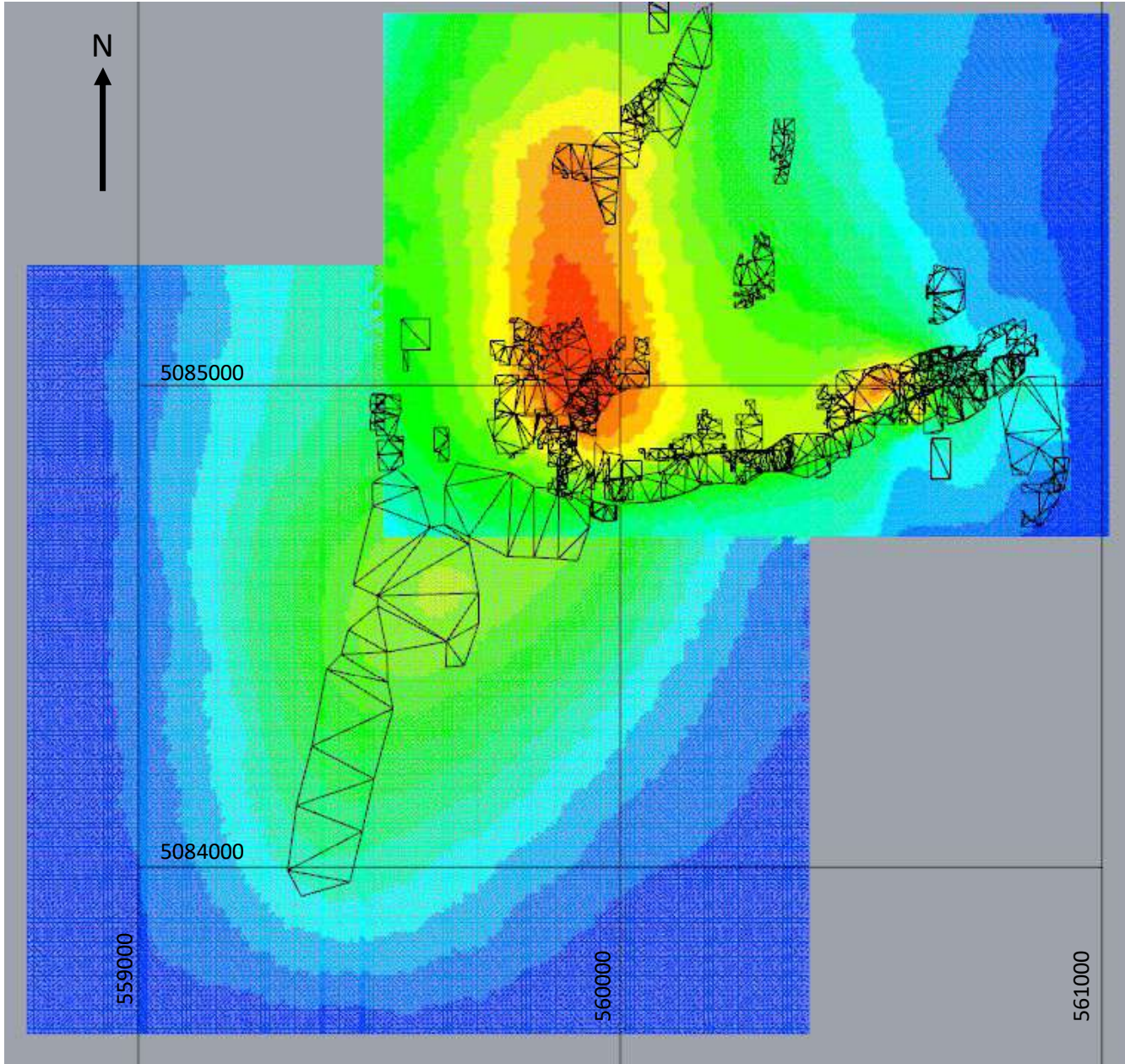


Tilt (rotation) (m/m) Zorzzone

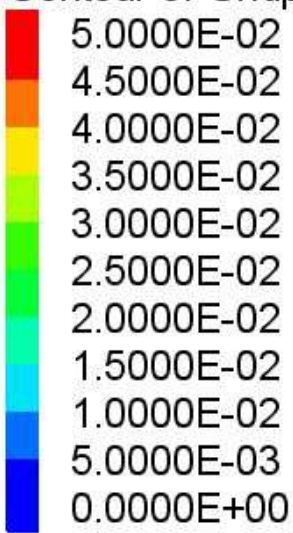


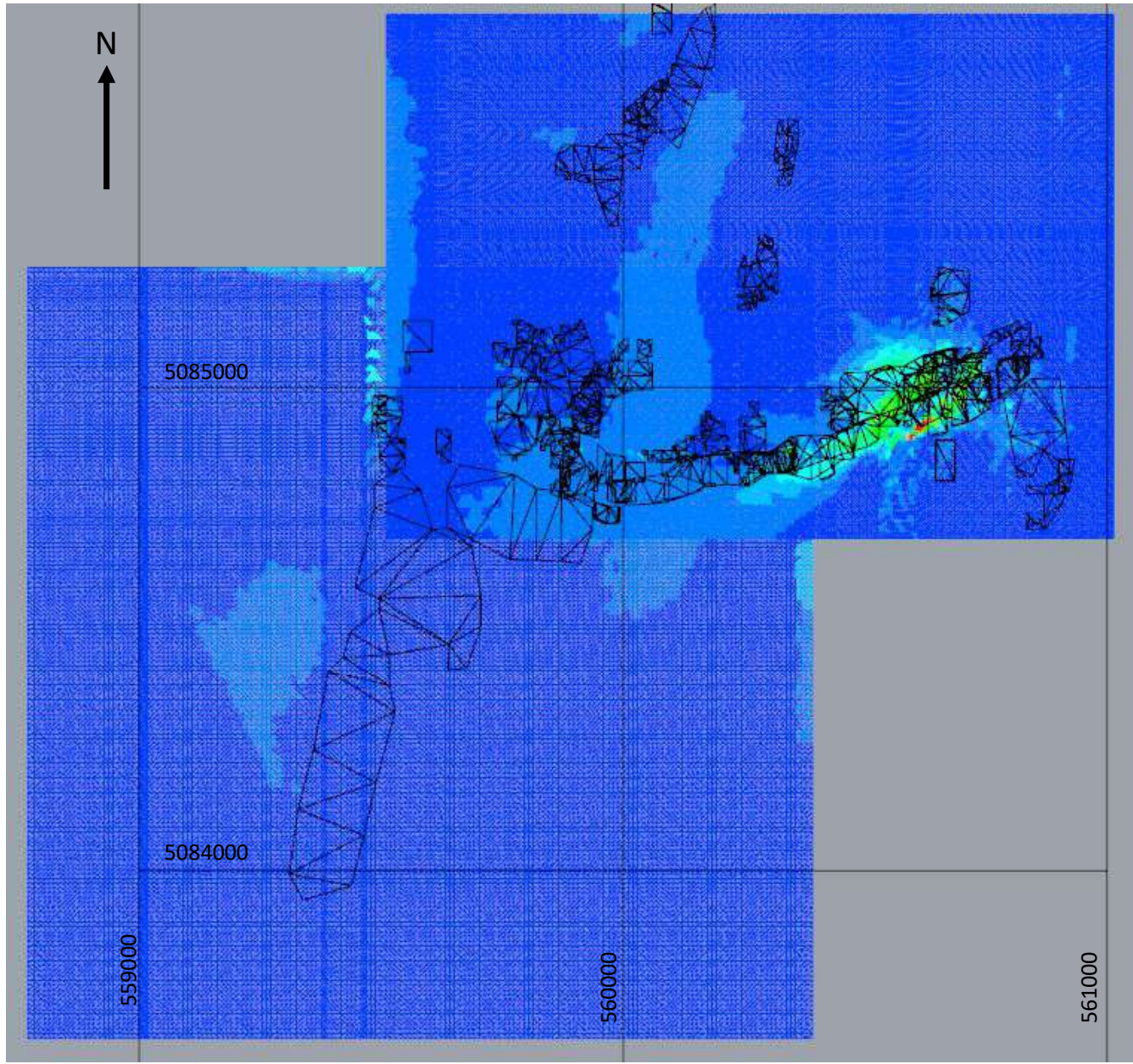
Strain (m/m) Zorzzone



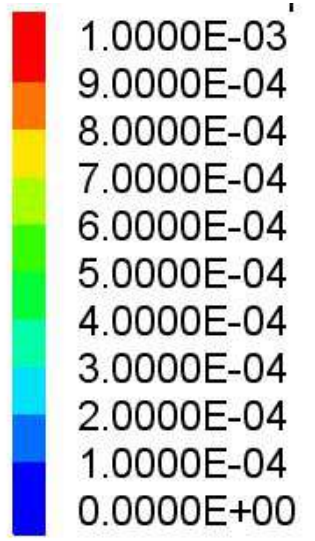


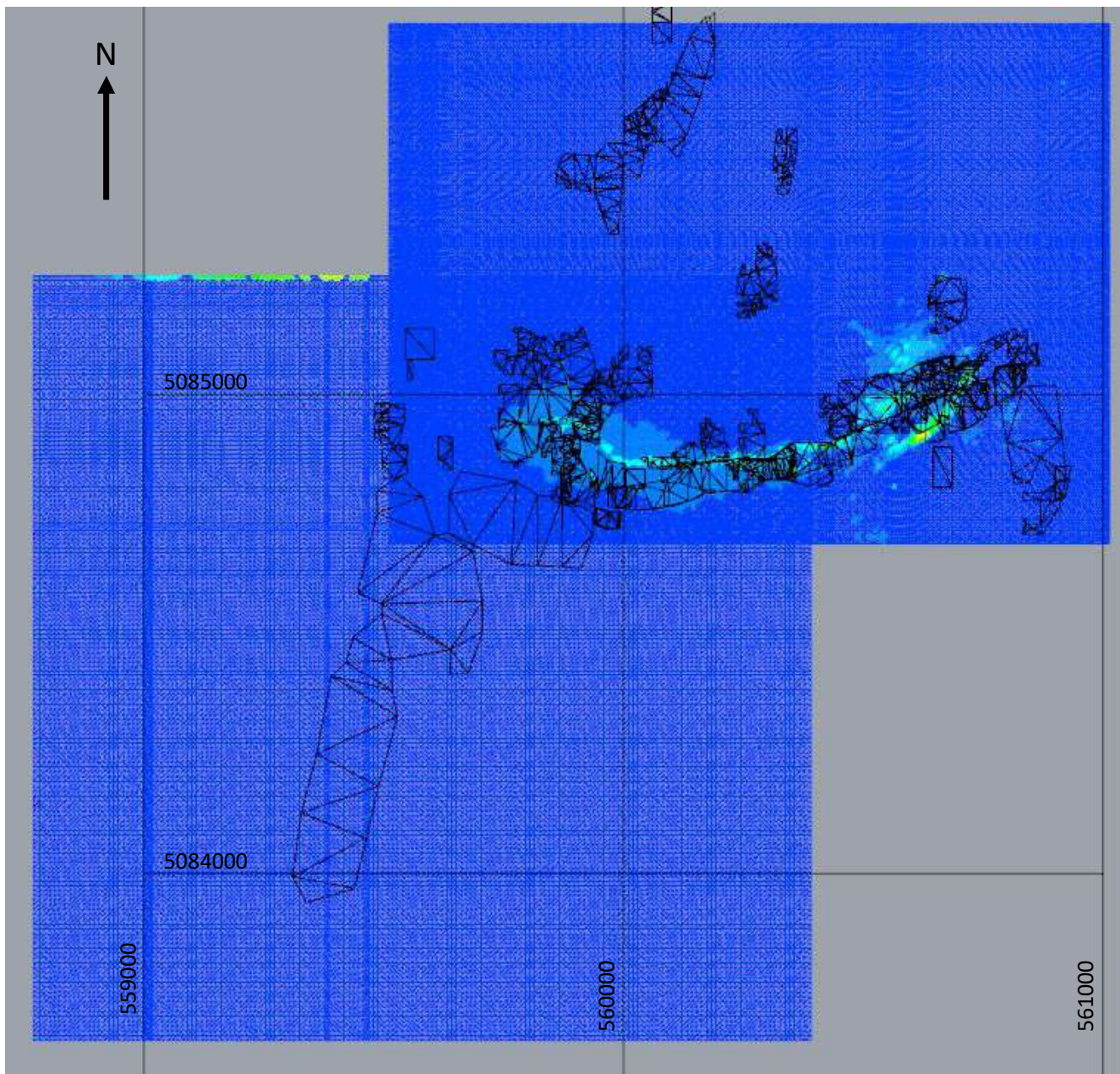
Displacement (m)



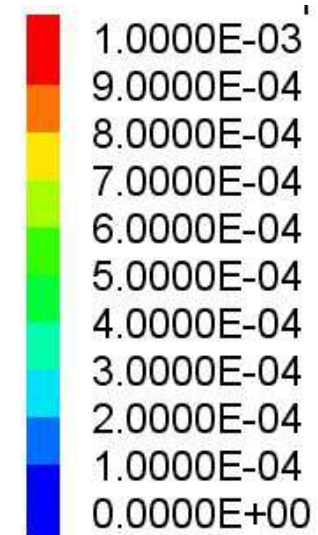


Tilt (rotation) (m/m)





Strain (m/m)



Il nostro ufficio

Australia

Adelaide

Level 1, 12 Pirie Street
Adelaide SA 5000 Australia

T +61 8 8201 1800
E adelaide@amconsultants.com

Melbourne

Level 29, 140 William Street
Melbourne Vic 3000 Australia

T +61 3 8601 3300
E melbourne@amconsultants.com

Canada

Toronto:

140 Yonge Street, Suite 200
Toronto ON M5C 1X6 Canada

T +1 647 953 9730
E toronto@amconsultants.com

Russia

Mosca

5/2, 1 Kazachiy Pereulok, Building 1
Moscow 119017 Russian Federation

T +7 495 134 01 86
E moscow@amconsultants.com

Regno Unito

Maidenhead

Registrata in Inghilterra e Galles
Partita IVA n. 3688365

1 Bell Street
Maidenhead
Berkshire SL6 1BU United Kingdom

T +44 1628 778 256
E maidenhead@amconsultants.com

Sede:

The Kinetic Centre
Theobald Street
Elstree
Hertfordshire WD6 4PG United Kingdom

Brisbane

Level 21, 179 Turbot Street
Brisbane Qld 4000 Australia

T +61 7 3230 9000
E brisbane@amconsultants.com

Perth

Level 1, 1100 Hay Street
West Perth WA 6005 Australia

T +61 8 6330 1100
E perth@amconsultants.com

Vancouver

200 Granville Street, Suite 202
Vancouver BC V6C 1S4 Canada

T +1 604 669 0044
E vancouver@amconsultants.com

Singapore

Singapore

9 Straits View
#05-07 Marina One (West Tower)
Singapore 018937

T +65 9720 2197
E singapore@amconsultants.com

Certificato di Accuratezza

Il seguente file allegato

AMC221048_3 Pian Bracca and Ponente Geotech PFS - 211115.docx

*in lingua ITALIANA
è stato attentamente tradotto e revisionato
dalla lingua INGLESE*

*Se ne certifica pertanto la correttezza
grammaticale, lessicale, sintattica e ortografica.*

*Traduzione svolta da
Geakoinè srl
Via Cadore 2/b
24124 Bergamo – Italy
CF e P.Iva 03367840166*

Data: 19/11/2021

GEAKOINE' S.R.L.
TRADUZIONI - INTERPRETI - HOSTESS
SEDE LEGALE VIA CADORE 2/B 24124 BERGAMO ITALY
TEL: +39 035 340.500 - FAX: +39 035.45.34.106
E-MAIL: INFO@GEAKOINE.COM
C. F. e P. IVA 0336 7840 166