	
SALTI LUCA GEOLOGO	PI / CF: 01251870257
Via Giorgetti, 14/16 32100 Belluno (ITA)	<u>www.verticalgeo.it</u>

OGGETTO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMECCANICA

PRIME VALUTAZIONI MACROSTRUTTURALI
 PER IL PROGETTO DI UNA CENTRALE IDROELETTRICA SUL TORRENTE VAJONT,
 CON PRESA ALLO SCARICO DEL LAGO REDIDUO DEL VAJONT, SUBITO A VALLE
 DELLA DIGA, IN TERRITORIO COMUNALE DI ERTO E CASSO (PN)

PROVINCIA	COMUNE
Pordenone	Erto e Casso

COMMITTENTE



Welly R.E.D. S.r.l.

sede legale:
 Viale Trento, 105/d - 33077 Sacile (PN) recapiti
 amministrativi:
 Piazza Mazzini, 21 - 32100 Belluno (BL)
 Tel. 0437/999844 - email wellyredsrl@gmail.com

DATA	PRIMA VERSIONE	AGGIORNAMENTO
SETTEMBRE 2025		
CODICE LAVORO		



INDICE

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GEOLOGICO	5
3. PROGETTAZIONE GEOMECCANICA.....	7
3.1. CONSIDERAZIONI GENERALI.....	7
3.1.1. Analisi del litotipo - criteri di rottura.....	7
3.1.2. Analisi delle discontinuità - criteri di rottura	8
3.1.3. Analisi dell'ammasso - criteri di rottura	10
3.2. METODOLOGIA DI RACCOLTA DATI	12
3.3. CARATTERISTICHE FISICHE RILEVATE NEL SITO ESAMINATO	14
3.3.1. Litotipo	14
3.3.2. Discontinuità	16
3.3.3. Ammasso Roccioso	16
4. ANALISI MACROSCOPICA DELLE PARETI.....	19
4.1. ANALISI GEOMETRICHE DEI CINEMATISMI ATTESI E STABILITÀ CORTICALE.....	19
5. ANALISI GEOMECCANICA NEL CONTESTO PROGETTUALE.....	20
6. CONCLUSIONI	23
7. BIBLIOGRAFIA.....	24

ALLEGATI

TAVOLA ANALISI GEOMECCANICA

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO

La presente relazione, ha inteso definire il contesto macro strutturale geomeccanico della parete rocciosa che verrà interessata dall'intervento di realizzazione di una centrale idroelettrica sul torrente Vajont, con presa in galleria allo scarico del lago residuo del Vajont, subito a valle della diga, in territorio comunale di Erto e Casso (PN).

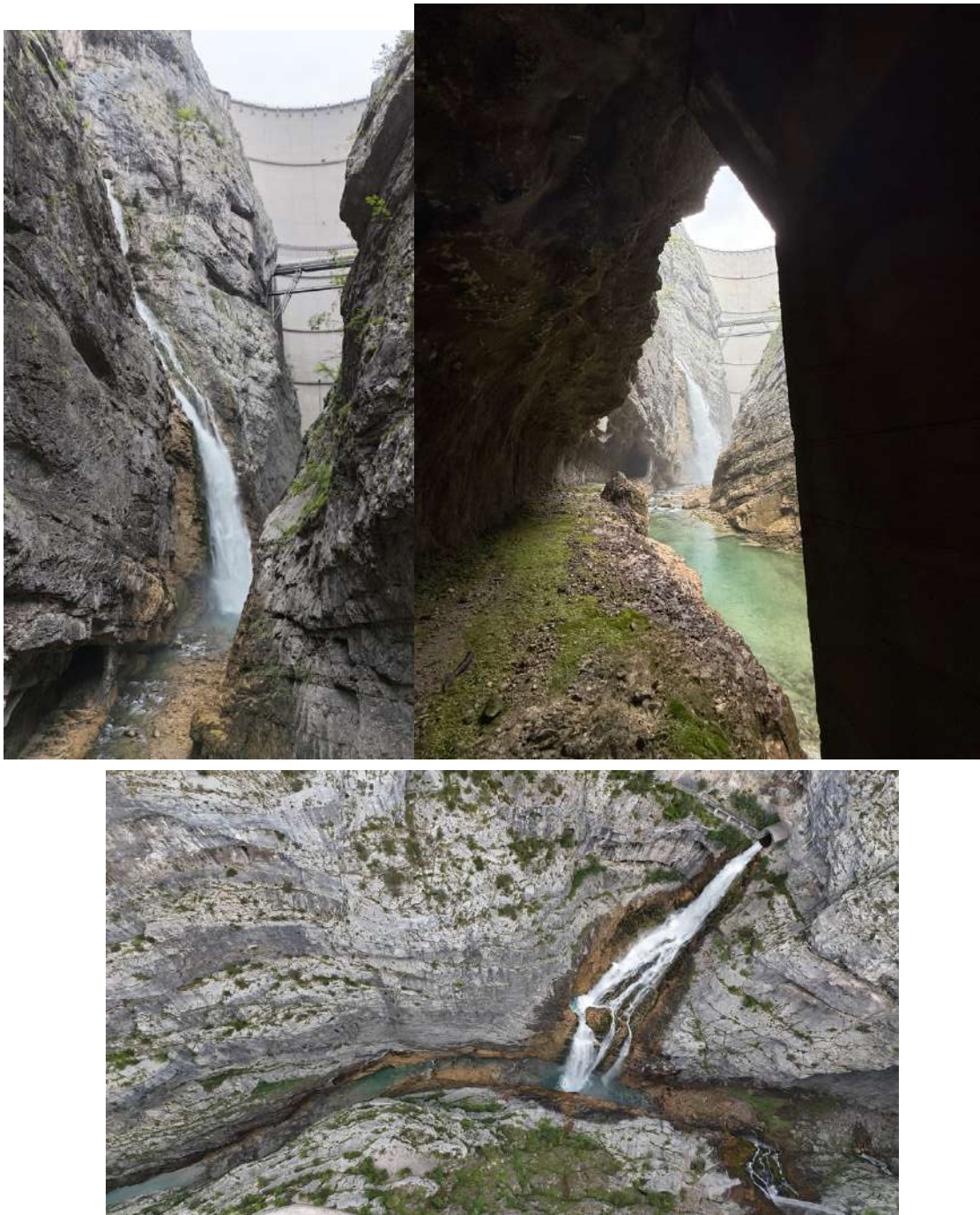


Figura 1 - Inquadramento da foto aerea



Si precisa che l'unico accesso possibile in questa prima fase, è stato alla base della parete in vicinanza all'alveo, in quanto non ci sono state le tempistiche necessarie per richiedere le autorizzazioni di accesso alle aree ENEL. Pertanto si ritiene che i dati andranno sicuramente integrati con indagini puntuali, e misurazioni di dettaglio.

Si è affrontato lo studio per successivi livelli di approfondimento.

1) RILIEVI IN CAMPAGNA

- a) Analisi geomeccanica a grande scala, con identificazione delle macrostrutture, anche a mezzo di ricostruzione fotogrammetrica 2D di immagini scattate da terra;
- b) Analisi geomeccanica di dettaglio dei diedri, in parete a mezzo rilievi da drone, con identificazione dei blocchi potenzialmente instabili, delle principali famiglie di discontinuità, delle strutture tettoniche di medio-piccola scala;
- c) Analisi mediante stazioni geomeccaniche individuate nelle precedenti fasi e ritenute significative, al fine di caratterizzare le discontinuità e raccogliere dati per le successive elaborazioni. Le stazioni geomeccaniche, in questa prima fase sono state realizzate solamente alla base della parete lungo la galleria di servizio alla base diga.

2) ELABORAZIONE DEI DATI

- a) Definizione del modello geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico;
- b) Proiezione delle giaciture rilevate in campagna al fine di ricostruire a mezzo di proiezioni stereografiche la loro distribuzione spaziale ed i possibili cinematismi;

3) INDIVIDUAZIONE CRITICITA' E CLASSI DI PERICOLOSITA'

- a) La definizione dei modelli geologico, geotecnico e geomeccanico permette di fornire le prime indicazioni relative alle aree di pericolosità;
- b) Le analisi permettono inoltre di individuare le criticità legate all'instabilità dei singoli conci, che andranno consolidati puntualmente a mezzo di chiodature o riprofilate;

4) INDIVIDUAZIONE ED IPOTESI DI PRIMI INTERVENTI

Verifiche delle criticità ed interventi migliorativi per il progetto.

5) NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Circ. n.617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni".



- Circ. Min. LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Eurocodice 8 (1998);
- Eurocodice 7;
- D.Lgs. n.163/2006 "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE";
- D.P.R. n.207/2010 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del D.Lgs. n.163/2006";
- DPR 380/2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"
- Norme e disposizioni societarie di ANAS s.p.a.
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008 ("Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" pubblicate in Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30).

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GEOLOGICO

L'intervento si inserisce nella parete rocciosa verticale da cui fuoriesce lo scarico della diga del Vajont, posta in destra idrografica a valle del ponte tubo. I dettagli geologici, geomorfologici, sono stati descritti in modo molto esaustivo nella relazione redatta nel progetto definitivo, e pertanto si rimanda totalmente per completezza al documento agli atti.

La citata relazione affronta anche gli aspetti di inserimento urbanistico e vincolistico.

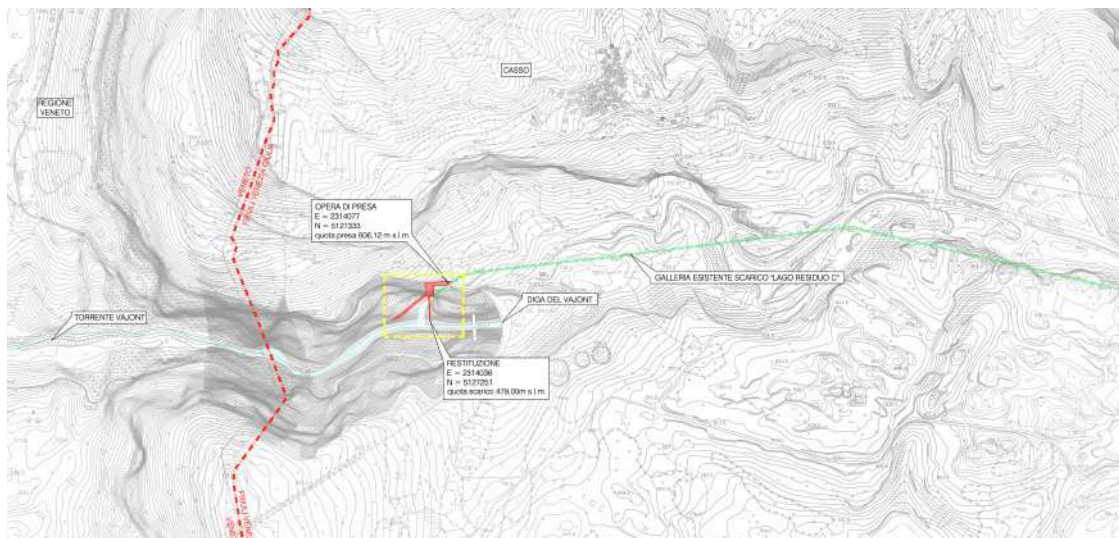


Figura 2 - inquadramento geografico

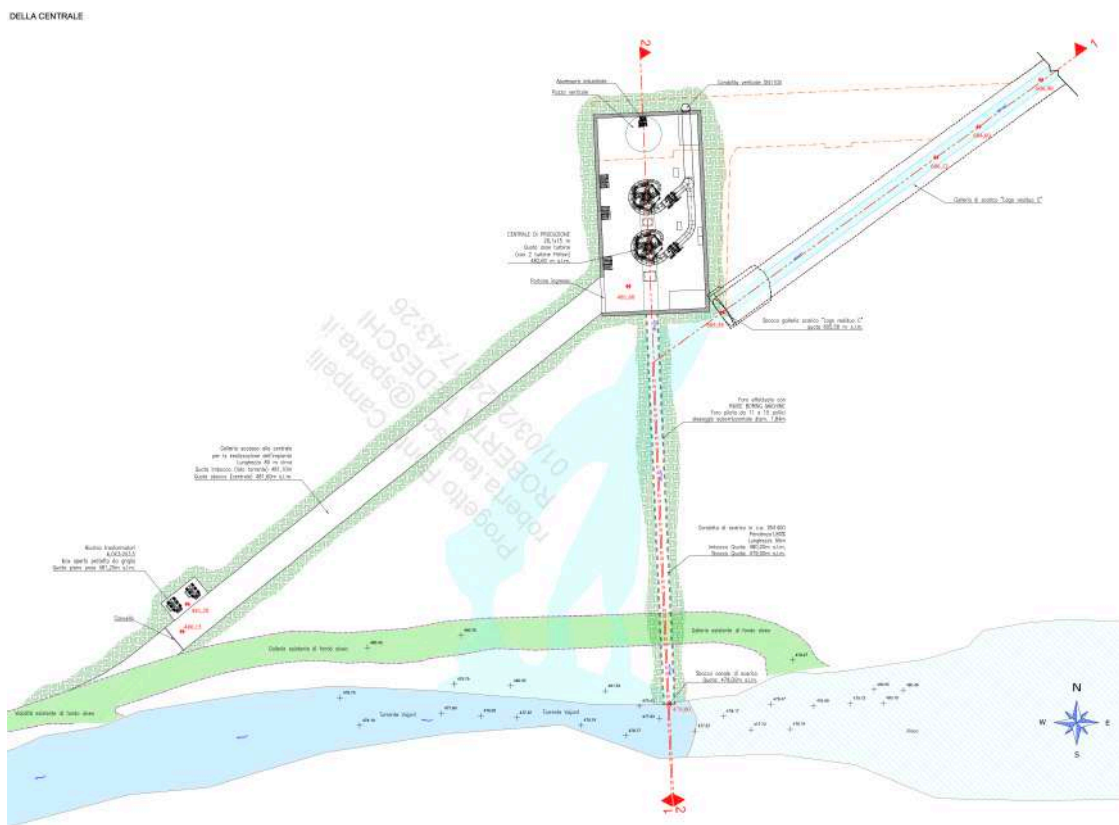


Figura 3 - Schema progettuale.



3. PROGETTAZIONE GEOMECCANICA

3.1. CONSIDERAZIONI GENERALI

L'analisi geomeccanica generalmente deve essere sviluppata sotto tre differenti aspetti:

1. **Litotipo:** devono essere descritte le caratteristiche principali e definite le proprietà della roccia dal punto di vista litologico. Le principali proprietà sono il peso di volume, la costante m_i , la resistenza a compressione semplice uniassiale e la coesione con l'angolo di attrito. Le caratteristiche visibili principali sono il colore, il tipo di rottura...
2. **Discontinuità:** la stabilità dell'ammasso roccioso è legata per la maggior parte alla presenza di discontinuità che suddividono lo stesso in elementi isolati o blocchi. Queste sono descrivibili secondo molteplici caratteristiche: la giacitura, la spaziatura, la persistenza, la rugosità, l'apertura, l'alterazione, la presenza di acqua, la resistenza a compressione semplice....
3. **Ammasso roccioso:** quest'ultimo aspetto di analisi è quello più importante in quanto assembla i due precedenti: vengono date le caratteristiche quali la GSI (geological strenght index), i coefficienti m_b , s , a , A ,....

3.1.1. Analisi del litotipo - criteri di rottura

Caratteristiche del litotipo

Si intende definire le proprietà della roccia pura intatta. Le principali caratteristiche sono:

- ✓ Peso di volume g espressa in t/mc.
- ✓ Costante m_i : è ricavata da prove triassiali e dipende dal tipo di roccia e dalla struttura della stessa. I valori si ricavano da apposite tabelle.
- ✓ Resistenza a compressione semplice sc della roccia intatta: si ricava da prove triassiali e indica la resistenza del campione espressa in Mpa. Anche tali valori si possono trarre da apposite tabelle.
- ✓ Coesione c e angolo di attrito f : dipendono dal carico verticale della massa rispetto alla superficie di rottura.

Criteri di rottura

Il criterio di rottura adottato è quello di Hoek-Brown (1980) che per la roccia intatta viene espresso come segue:



$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \cdot \left(m_i \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^{0.5}$$

Dove m_i è la costante descritta sopra;

σ_{ci} è la resistenza a compressione semplice della roccia intatta.

La relazione indicata può essere espressa anche graficamente in funzione di σ_1/σ_3 e τ/σ_3 .

La roccia intatta sottoposta a tali sforzi si rompe secondo un piano ben definito; il comportamento a rottura può essere spiegato con una coesione e un angolo di attrito riferito a tale piano. Questi dipendono essenzialmente dal carico verticale presente.

La roccia ha inoltre delle caratteristiche proprie qualitative date dal colore, dal tipo di rottura (es. concoide), dalla tessitura....

3.1.2. Analisi delle discontinuità - criteri di rottura

Caratteristiche

La roccia nella maggior parte dei casi è suddivisa in blocchi isolati da discontinuità. Queste regolano la stabilità e influiscono enormemente sulla stessa. Il loro studio è fondamentale e viene sviluppato come segue.

Con riferimento alle raccomandazioni I.S.R.M. (1979), le caratteristiche delle discontinuità facenti parte dell'ammasso roccioso sono:

- ✓ Numero di famiglie: la procedura standard prevede di identificare il numero di famiglie al fine di ricavare per ognuna di esse le caratteristiche sotto indicate.
- ✓ L'orientazione: viene rappresentata dalla giacitura del piano di discontinuità espressa dall'azimut dell'immersione e l'angolo di inclinazione.
- ✓ Il tipo: si possono distinguere giunti, faglie e piani di strato.
- ✓ La persistenza: indica la lunghezza affiorante della discontinuità.
- ✓ La spaziatura normale: indica la spaziatura perpendicolare al piano di discontinuità di due giunti della stessa famiglia.
- ✓ L'apertura: indica l'apertura tra i due piani che formano il giunto
- ✓ Il riempimento: nel caso ci siano delle condizioni di apertura o delle condizioni stratigrafiche ci possono essere vari tipi di riempimento:
- ✓ Il grado di alterazione: una superficie di discontinuità può essere più o meno alterata.



- ✓ La rugosità: i piani di discontinuità possono essere più o meno rugosi. Le classi sono dieci a seconda del joint roughness coefficient (JRC) (ISRM, 1978)
- ✓ Rock Quality Designation (RQD): l'indice RQD indica la Rock Quality Designation ed è stato proposto da Deere (1969) al fine di dare un'idea immediata sullo stato di fratturazione delle carote: in seguito ha avuto anche applicabilità sugli ammassi rocciosi rilevati con le metodologie delle scanline.

Il valore di RQD si ricava

$$RQD\% = 100 \cdot \sum_{i=1}^n X_i / L$$

dove X_i : sono le lunghezze totali degli spezzoni maggiori di 10 cm.

L : è la lunghezza totale della scanline.

- ✓ La resistenza alla compressione monoassiale delle pareti (JCS): indica la resistenza lungo il piano di discontinuità della roccia espressa in MPa.
- ✓ Le condizioni idriche: esprime la presenza o meno di acqua.

Criteri di rottura

I criteri di rottura della roccia, secondo le superfici di taglio date dalle discontinuità, sono:

1) Mohr-Coulomb

La resistenza al taglio lungo la superficie di discontinuità è così espressa:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

dove τ è la resistenza al taglio in KN/mq;

c è la coesione in KN/mq;

σ è lo sforzo normale al giunto in KN/mq;

ϕ è la resistenza al taglio in gradi (angolo di attrito).

I valori di coesione e angolo di attrito vengono ricavati da prove di laboratorio o empiriche.

Barton ha formulato una relazione che permette di stimare i valori di angolo di attrito e di coesione ricavandoli da parametri misurati in campagna, quali la resistenza alla



compressione semplice della roccia alterata (r) e sana (R), ricavata dalla misura con il martello di Smith, e il valore di JRC, ricavato con il pettine di Barton.

L'angolo di attrito residuo è dato da:

$$\varphi_{res} = (\varphi_{base} - 20) + 20 \cdot (r / R)$$

(Barton e Choubey, 1977)

(l'angolo di attrito di base si può ricavare anche dalle tabelle empiriche di Hoek e Brown, (1980) qualora non sia possibile effettuare il tilt test).

I valori di picco si stimano con la formula di Batron:

$$\varphi_{picco} = JRC \cdot \log_{10}(JCS / \sigma_n) + \varphi_{res}$$

dove σ_n^1 è lo sforzo normale efficace.

Oltre a queste relazioni empiriche, ne sono state proposte delle altre, come quella di Bieniawski (1979) che lega i valori di c e w al BMR:

$$c = 5 \times BMR$$

$$w = 5 + BMR/2$$

Si deduce quindi che il valore di resistenza al taglio va determinato in funzione di un intervallo di carico che agisce sulla superficie di discontinuità.

2) Patton

La relazione di Patton viene sviluppata considerando l'angolo di dilatanza (i) e viene definito come segue:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\varphi + i)$$

3) Barton

La relazione di Barton si sviluppa in funzione delle misure fatte in campagna sulle rugosità e sulla resistenza a compressione semplice.

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan(\varphi_b + JRC \log_{10}(\frac{JCS}{\sigma_n}))$$

3.1.3. Analisi dell'ammasso - criteri di rottura Caratteristiche



L'ammasso roccioso viene quindi analizzato in funzione del litotipo che lo costituisce e delle discontinuità in esso presenti. Le proprietà che lo contraddistinguono sono:

- ✓ Geological strenght index (GSI): è un parametro qualitativo introdotto nel 1995 che esprime le caratteristiche dell'ammasso. I valori alti indicano le buone qualità dell'ammasso, mentre i valori bassi ne esprimono le qualità scadenti. Il range va da 0 a 100. Per la sua determinazione sono disponibili in bibliografia delle tabelle apposite con indicata la struttura dell'ammasso e la qualità dello stesso. Il valore di GSI è correlabile al Rock Mass Raiting System (RMR - 1989) in quanto $GSI=RMR'89$.

- ✓ Coefficiente m_b : è il valore della costante di Hoek-Brown per l'ammasso e si determina con la seguente relazione:

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

- ✓ Coefficienti "s" ed "a": sono in funzione del valore GSI e variano a seconda dei seguenti due casi: se GSI maggiore di 25, si hanno le seguenti due relazioni

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

$$a=0,5$$

Se GSI è minore di 25 le due relazioni diventano:

$$s=0$$

$$a = 0,65 - \frac{GSI}{200}$$

- ✓ Fattore di disturbo D: è un coefficiente che indica il grado di disturbo che l'ammasso subisce in caso di lavorazione e per la sua determinazione si utilizzano delle apposite tabelle.

- ✓ Modulo di deformazione E_m : esprime in Gpa la resistenza alla deformazione dell'ammasso:

$$E_m = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100} \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)}}$$

- ✓ Indice della densità volumetrica delle discontinuità "Jv": viene definito come la somma del numero di giunti di ogni famiglia per metro. L'unità di grandezza è (1/m). Si ricava dalla seguente relazione

$$Jv = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$$



dove I indica il valore della frequenza (l'inverso della spaziatura normale).

Esiste una relazione empirica tra la grandezza RQD e il valore di J_v :

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad \text{con } J_v > 4.5$$

$$RQD = 100 \quad \text{con } J_v < 4.5$$

- ✓ Indice delle dimensioni dei blocchi I_b : esprime le dimensioni medie del lato del blocco in cm, e si determina dalla media delle spaziature normali.
- ✓ Volume roccioso unitario (VRU): questo parametro è ricavabile dalla relazione proposta da Hudson, Priest (1979) per cui

$$VRU = 8 / (J_v1 \times J_v2 \times J_v3)$$

Dove J_v esprime la densità volumetrica delle tre principali famiglie di discontinuità; si può stimare oggettivamente andandolo a definire come il volume più probabile e frequente che si può isolare dalla parete studiata.

Criteri di rottura

Nel momento in cui si analizza l'ammasso roccioso, inteso come l'insieme della roccia intatta segnata da un certo numero di discontinuità, è necessario cercare di comprendere e definire il comportamento corticale e il comportamento profondo dello stesso.

In generale, il comportamento superficiale dipende dallo stato di fratturazione dell'ammasso, pertanto il criterio di rottura che meglio esprime questo stato è quello di Mohr-Coulomb, lungo le superfici di discontinuità. In questo caso, quindi, si dovrà definire il valore dell'angolo di attrito e della coesione con una delle tre relazioni espresse sopra (Barton, Patton, Hoek-Brown).

Qualora invece il comportamento di rottura risulta essere profondo, l'andamento degli sforzi è spiegabile con il criterio di Hoek-Brown.

L'ammasso roccioso può essere definito nei tre modi seguenti:

- omogeneo se è caratterizzato dalle stesse litologie;
- discontinuo se è solcato da innumerevoli fratture;
- isotropo se le proprietà fisiche si sviluppano ugualmente in tutte le direzioni.

3.2. METODOLOGIA DI RACCOLTA DATI

Lungo le pareti rocciose si sono eseguite sia delle classiche scan-line così come indicato dalle linee guida ISRM 1979, che una serie di misure speditive delle discontinuità principali al fine di ottenere molti dati per poi confrontarle, analizzarle statisticamente ed accorparle in famiglie. Le discontinuità misurate sono quelle, che in base all'esperienza



VERTICALGEO Stprl

dello scrivente e alle osservazioni speditive, concorrono alla formazione di particolari cinematismi, o sono caratterizzate da chiari segni di dinamiche in atto.

Le analisi geomeccaniche sono state sviluppate eseguendo misure in vari punti e in due stazioni collocate alla base della parete e all'interno della galleria di servizio alla Diga, in fregio al torrente Vajont.





3.3. CARATTERISTICHE FISICHE RILEVATE NEL SITO ESAMINATO

L'analisi geomeccanica ha permesso di identificare la roccia definendone le caratteristiche.

3.3.1. Litotipo

La parete rocciosa, come indicato nel capitolo introduttivo, è caratterizzata da calcari stratificati appartenenti alla formazione del calcare del Vajont. Per i dati non si sono eseguite in questa fase prove di laboratorio, ma si sono utilizzate informazioni reperite dalla bibliografia. Nella trattazione geomeccanica verranno quindi analizzati i banchi calcarei di strato con spessori centimetrici-decimetrici:

È stata elaborata una tabella riassuntiva che permette di avere una visione complessiva delle caratteristiche degli affioramenti rocciosi rilevati.

Inoltre, sono stati determinati l'angolo di attrito e la coesione in funzione di un'altezza dell'ipotetica galleria di 50 m.



VERTICALGEO Stprl

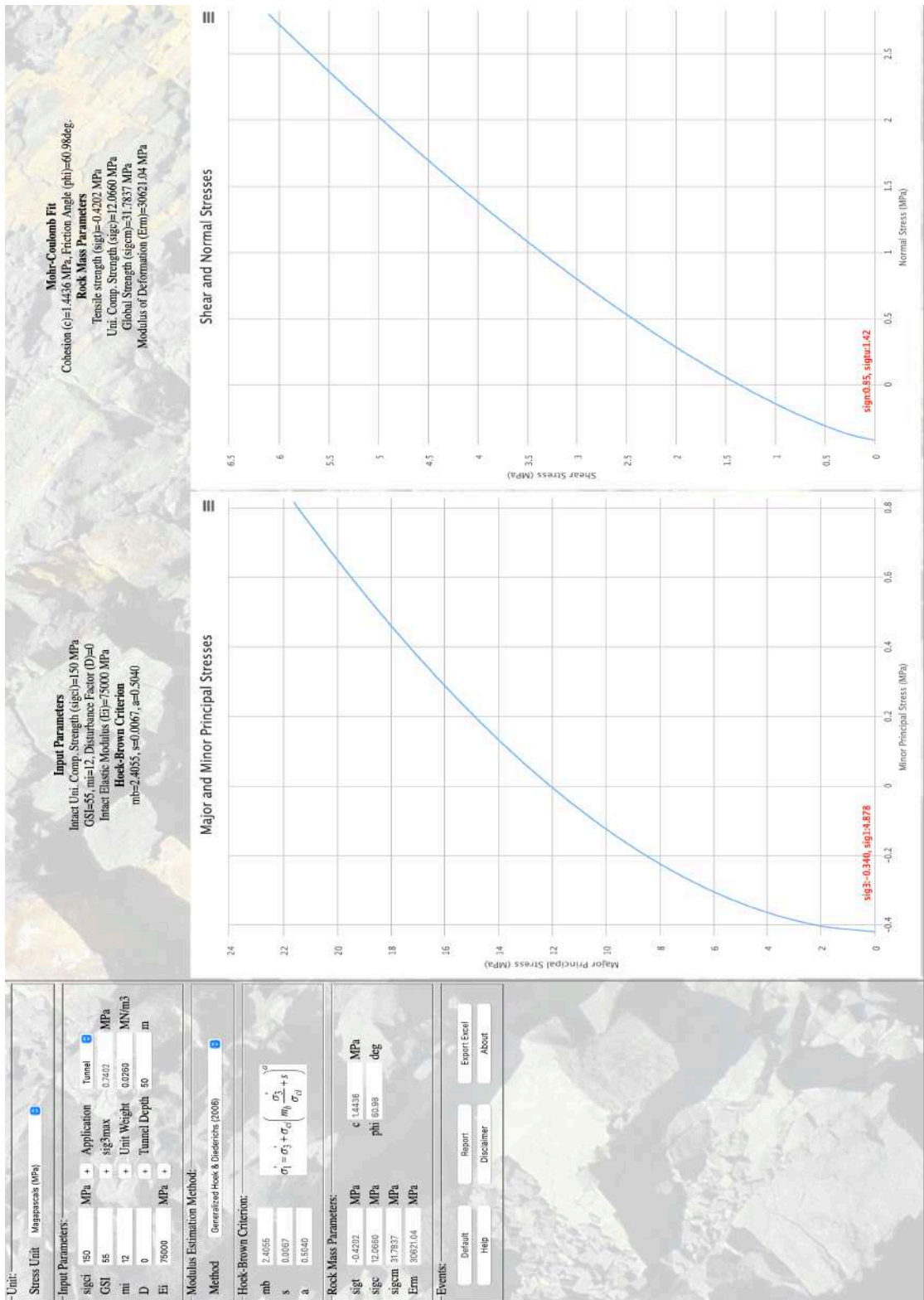


Figura 4 - Grafici di inviluppo a rottura dei livelli calcarei appartenenti alla formazione del Vajont

3.3.2. Discontinuità

In campagna sono state analizzate le principali caratteristiche dell'ammasso. Lungo le varie sezioni di misura si sono analizzate le discontinuità principali per la definizione dei cinematismi attesi.

I dati di ogni punto di misura sono stati elaborati e si sono ricavate le seguenti giaciture statisticamente valide riassunte nella tabella e nello stereodiagramma successivi.

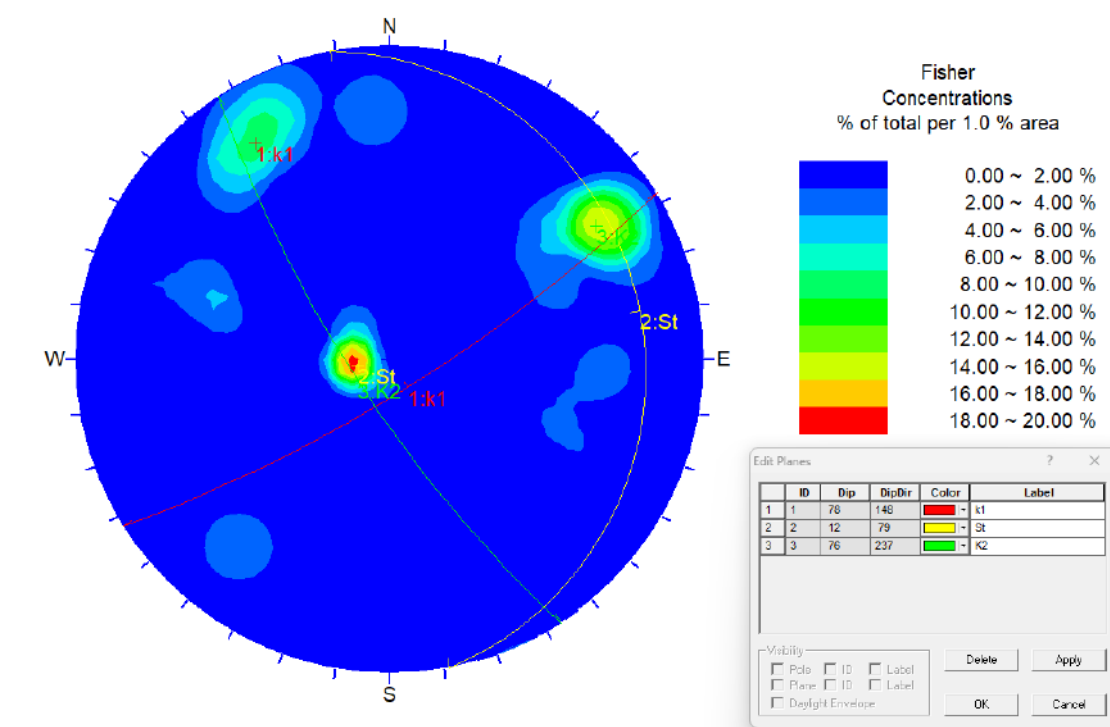


Figura 5 - Distribuzione delle discontinuità diedro O1. Equalarea- lower projection.

Dall'analisi sono emerse principalmente **tre famiglie predominanti** di discontinuità che generalmente si ripetono in tutte le stazioni di misura.

Strati 079/12

K1 148/78

K2 237/76

3.3.3. Ammasso Roccioso

Vista la problematica legata alla definizione delle corrette scelte progettuali, si è fatta la scelta di effettuare una classificazione geomeccanica secondo Bieniawski (1971) - Bmr.



Risulta però anche molto più importante e determinante, in questa fase, individuare le aree maggiormente instabili ed estrapolare in un modello in tre dimensioni quelle che sono le geometrie delle discontinuità che possono concorrere ad ulteriori effetti deformativi e instabilità. Viene comunque riportata una stima del valore BMR.

Si riportano delle stime delle caratteristiche delle discontinuità:

Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
52.82	52.82	Terza	Mediocre

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
5.64	52.82	264.1	31.41	211.28	26.13

Generalmente il valore del RQD (rock quality designation) si può assumere compreso tra 30-40%. Dalle osservazioni fatte si stima che l'ammasso abbia una qualità Bmr/rmr media (**classe III**) a seconda dei vari domini geomeccanici.

I corpi rocciosi sono descrivibili in prima approssimazione con l'indice GSI che non tiene conto delle condizioni di stress al contorno e considera in modo sintetico lo stato di suddivisione e il grado di alterazione delle superfici di discontinuità.

Di seguito si riporta l'assegnazione grafica di tale parametro al litotipo indagato.

Table 3. GSI estimates for heterogeneous rock masses such as Flysch.

GSI FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (Marinos, P and Hoek, E, 2000) From a description of the lithology, structure and surface conditions (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. Locate the position in the box that corresponds to the condition of the discontinuities and estimate the average value of GSI from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than giving GSI = 35. Note that the Hoek-Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)	
COMPOSITION AND STRUCTURE		VERY GOOD - Very rough, fresh unweathered surfaces		GOOD - Rough, slightly weathered surfaces	
		FAIR - Smooth, moderately weathered and altered surfaces		POOR - Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	
		VERY POOR - Very smooth slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings			
<p>A Thick bedded, very blocky sandstone. The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.</p>		70	60	A	
<p>B Sandstone with thin inter-layers of siltstone</p>			50	B	
<p>C Sandstone and siltstone in similar amounts</p>			40	C	
<p>D Siltstone or silty shale with sandstone layers</p>			30	D	
<p>E Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers</p>			20	E	
<p>F Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure</p>			10	F	
<p>G Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers</p>				G	
<p>H Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.</p>				H	

Figura 6- Determinazione dell'indice GSI (da HOEK & MARINOS, 2000). Il pallino giallo indica il valore 50-55 assegnato all'ammasso.

Il valore GSI assunto di 45-55 indica che l'ammasso roccioso stratificato è attraversato da varie discontinuità spaziate e di persistenza variabile. Si ricorda che il GSI aumenta rapidamente oltre i primi metri superficiali dell'ammasso roccioso.

Dall'indice GSI sono stati ottenuti i parametri della legge costitutiva dell'ammasso: modulo di elasticità, coesione, angolo di attrito, coesione. Tali parametri sono infatti strettamente correlati alla frequenza e al tipo di discontinuità. Per le relazioni dirette tra i parametri di elasticità e GSI, si rinvia alla letteratura.

L'ammasso è da considerarsi discontinuo, disomogeneo e anisotropo.



4. ANALISI MACROSCOPICA DELLE PARETI

Viene di seguito elaborata la procedura di analisi geomeccanica delle pareti che permette la definizione della loro qualità strutturale e la loro propensione all'instabilità.

Si sono eseguite le procedure di analisi espresse di seguito in sintesi:

1. Analisi corticale generale delle geometrie e definizione dei cinematismi possibili con indicazione delle dinamiche attese in funzione della disposizione del pendio e delle giaciture delle famiglie di discontinuità;
2. Analisi delle criticità geomeccaniche in funzione dell'intervento di progetto;

Tutte le considerazioni di carattere geomeccanico, sono riportate nelle tavole allegate.

4.1. ANALISI GEOMETRICHE DEI CINEMATISMI ATTESI E STABILITÀ CORTICALE

In funzione della direzione del versante (in questo caso si assume una direzione media coincidente con la linea della parete verso la valle del Vajont) e della distribuzione delle discontinuità si possono verificare dal punto di vista geometrico i seguenti cinematismi.

Si è assunto un pendio con direzione N180 e inclinazione di 85° corrispondente a quella che sarà la soluzione di progetto finale.

EMERGE CHE IL CINEMATISMO PIU' FREQUENTE SI GENERA DALLA COMBINAZIONE DEL PIANO K1 CON IL PIANO K2. LA STATIFICAZIONE CONCORRE POI AL DISTACCO IN VERTICALE A FORMAZIONE DI TETTI.

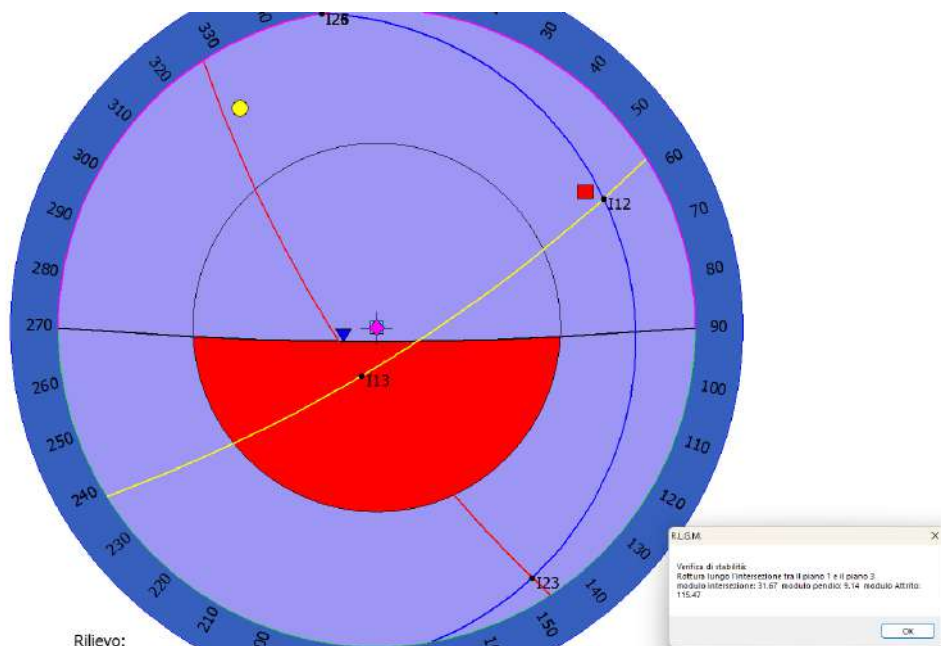


Figura 7 - Cinematismi attesi

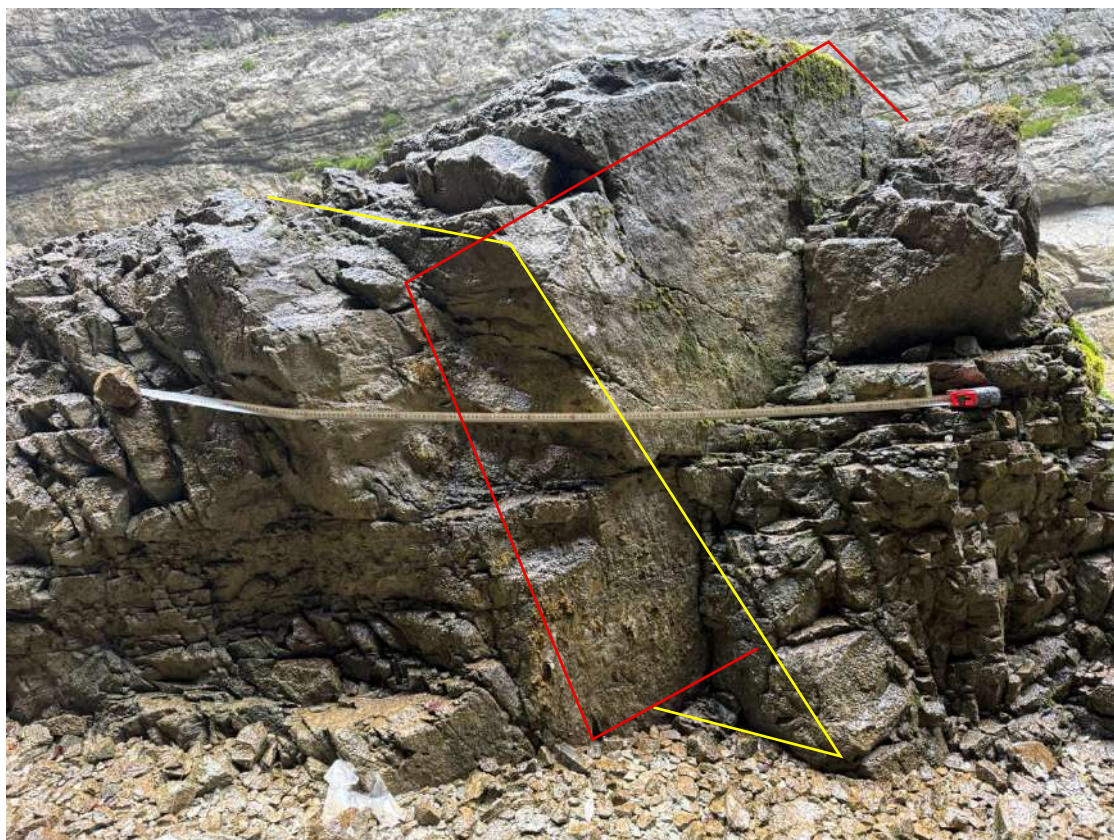


Figura 8 - Formazione dei blocchi K1 (rosso) e K2 (giallo)

5. ANALISI GEOMECCANICA NEL CONTESTO PROGETTUALE

Nelle tavole allegate, vengono riportate in ordine:

- Inserimento macrostrutturale su foto da drone
- Inserimento macrostrutturale su rilievo lidar della regione Friuli
- Inserimento strutturale in sezione
- Interferenza strutture con opere

Come si evince da queste prime analisi eseguite, emerge che le problematiche che si possono incontrare nell'avanzamento dello scavo in galleria sono:

- 1- Presenza di lineamenti tettonici macroscopici, che possono creare delle fasce di alterazione di spessore metrico, con qualità geomeccanica peggiore: all'interno di questi domini scadenti si possono generare delle circolazioni idriche anche concentrate;





VERTICALGEO Stprl

- 2- Presenza di potenziali cinematismi legati al distacco di blocchi lungo strato, isolate dalle fratture K1 e K2 combinate. Queste sono frequenti e si possono anche osservare lungo le gallerie esistenti. Inoltre tutte le gallerie poste alla base della diga sono chiodate in volta e coperte spesso da cemento spruzzato. La seguente documentazione fotografica riporta quanto scritto.
- 3- Presenza di livelli di riempimento argilloso limoso, che contraddistinguono alcune successioni interstrato del calcare del Vajont.

	
<p>Rivestimento della volta con cemento e chiodature</p>	<p>Galleria verso scarico chiodata</p>



VERTICALGEO Stprl

	
<p>Recenti crolli in fondo alla galleria dello scarico</p>	<p>Fila di chiodature in prossimità del portale della galleria</p>



6. CONCLUSIONI

Il presente studio ha inteso fornire una prima valutazione macroscopica del contesto geomeccanico strutturale della parete che verrà interessata dalla realizzazione dell'intervento di regimazione idroelettrica.

Lo studio si è articolato in varie fasi distribuite progressivamente come segue:

- -analisi storica e bibliografica;
- -analisi geologica geomeccanica con misurazioni in linea, eseguite alla base della parete lato torrente. Si precisa che nel breve tempo a disposizione non si sono riusciti ad organizzare accessi perlustrativi nelle gallerie ENEL;
- elaborazione geomeccanica delle litologie, discontinuità e ammasso roccioso;
- identificazione puntuale dei cinematismi attesi lungo in rapporto all'opera di progetto;

Tutte le considerazioni indicate nel presente studio, rientrano in valutazioni di fattibilità ed andranno in futuro correttamente progettate secondo quanto indicato dalla norma, su basi di rilievo specifici e calcoli ingegneristici indispensabili al corretto dimensionamento delle parti strutturali degli eventuali consolidamenti. Saranno necessarie indagini di tipo diretto ed indiretto, e prelievo di campioni per la determinazione delle caratteristiche fisiche delle rocce interessate.

Tutte le successive fasi di questa progettazione andranno seguite dal punto di vista geologico tecnico secondo quanto indicato dal metodo osservazionale delle NTC.



7. BIBLIOGRAFIA

- Abramson L.W., Sharma T.S.L.S., Boyce G.M. (2002)– Slope stability and stabilization methods. Second edition - J. Wiley ed.
- AICAP (1993) – Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni.
- Bragallini M.M., Peila D. & Ansaldo G. (2001) - Valutazione della pericolosità da caduta di massi: esempio di studio di versanti in alta Valle Orco, GEAM, 104, Torino, pp. 213-220
- Broili L. (1974) - Relations between scree slopes morphometry and dynamics of accumulation process, Meeting on Rockfall Dynamics and protective works effectiveness, ISMES, Bergamo, pp. 11-24
- Bustamante M. & Diox B. (1985) – Une methode pour le calcul des tirants et des micropieux injectes, Bull. Lab. Pont et Chausses, 140
- Cravero M., Iabichino G., Oreste P.P., Teodori S.P. (2004) Metodi di analisi e dimensionamento di sostegni e rinforzi per pendii naturali o di scavo in roccia - in Bonifica dei versanti rocciosi per la difesa del territorio – atti - Trento, Peila D. Editor
- Dips – software manual – Rocscience Inc
- Duffy J. D. (1999) – Barrier testing in North America. A brief summary report, Convegno su “Previsione e prevenzione di movimenti franosi rapidi”, Trento, GEAM, Torino
- Duffy J.D. (1996) - Field Tests and Evaluation of HI-Tech Low Energy Chain Link Rockfall Fence, Report No. CA/05-96-01, CALTRANS
- Ferraiolo F. (2005) – I rivestimenti superficiali, Studi e interventi se fenomeni di caduta massi, Peila & Oggeri (eds.), Numero speciale GEAM, n. 1, pp. 45-54
- Ferraiolo F., Giacchetti G. - Rivestimenti corticali: alcune considerazioni sull'applicazione delle reti di protezione in parete rocciosa – in atti Bonifica dei versanti rocciosi per la difesa del territorio – Trento 2004, Peila D. Editor.
- Gerber W. (2001) – Direttiva per l'omologazione delle reti paramassi, Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio e Istituto federale di ricerca, Berna
- Giani G.P. (1988) – Analisi di stabilità di pendii, Quaderni di studio e di documentazione, AMS, Supplemento al Bollettino, Anno XXV (4), Torino
- Giani G.P. (1992) - Rock Slope Stability Analysis, Balkema, Rotterdam
- Giani G.P. (1997) – Caduta di massi, Hevelius edizioni, Benevento



- Giani G.P., Giacomini A., Migliazza M. & Segalini A. (2001) – Validazione di modelli previsionali del moto di caduta massi in frane da crollo, Internationale Tagung ber über schutzmassnahmen gegen steinschlag, Siusi (BZ), GEAM, Torino, pp. 5-12
- Giani G.P., Giacomini A., Migliazza M. & Segalini A. (2005) – Metodologia progettuale per la scelta e il dimensionamento delle opere di difesa da caduta di massi, Studi e interventi se fenomeni di caduta massi, Peila & Oggeri (eds.), Numero speciale GEAM, n. 1, pp.7-22
- Goodman R. E. & Shi G. H. (1985) – Block theory and its application to rock engineering, Practice Hall, London
- Hoek E. & Bray J.W. (1981) – Rock Slope Engineering, IMM, London
- LCPC (2001) – Parades contre les instabilités rocheuses - Guide technique – Paris.
- Lieggio M. & Peila D. (2001) - Il collaudo delle opere di difesa passiva a protezione della sede stradale: le barriere paramassi a rete, Internationale Tagung ber über schutzmassnahmen gegen steinschlag, Siusi (BZ), GEAM, Torino, pp. 131-134
- Locatelli L. (2005) – Analisi del rischio per eventi di caduta massi, Studi e interventi se fenomeni di caduta massi, Peila & Oggeri (eds.), Numero speciale GEAM, n. 1, pp. 33-44
- Oggeri C. & Tosco P. (2005) – Identificazione del rischio per eventi di caduta massi, Studi e interventi su fenomeni di caduta massi, Peila & Oggeri (eds), Numero speciale GEAM, n. 1, pp. 23-32
- Oreste P.P. & Peila D. (2001) – Dimensionamento di fondazioni di barriere paramassi, Internationale Tagung ber über schutzmassnahmen gegen steinschlag, Siusi (BZ), GEAM, Torino, pp. 71-79
- Paronuzzi P. & Coccolo A. (1995)- Crollo di progetto e affidabilità delle barriere paramassi, GEAM, 86. pp. 147-153
- Peila D. (1998) - Linee Progettuali per barriere paramassi a rete, MIR 1998 - VII Ciclo di Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce, Torino, Parton, pp 265-278
- Pelizza S., Peila D., Oggeri C. (2003) - Consolidamento e Bonifica di pendii in roccia, XIX Ciclo di Conferenze di Geotecnica di Torino, Torino, pp. 52
- Pellet F., Egger P. (1995) – Analytical model for the behaviuor of bolded rock joints and pratical applications. In proceedings of international symposium Anchors theory and practice. Widmann R. Editor. A.A. Balkema



VERTICALGEO STPrI

- Pfeiffer T. & Bowen T. (1989) – Colorado Rockfall Simulation Program, Colorado School of Mine, U.S. Dept. of Transportation Federal Highway Administration- Final Report
- RocLab – software manual – Rocscience Inc
- RocPlane – Software manual – Rocscience Inc.
- Saderis A. (2004) – Reti in aderenza su versanti rocciosi per il controllo della caduta massi: aspetti tecnologici e progettuali – tesi di laurea non pubblicata Politecnico Torino.
- Slide 5.0 – software manual – Rocscience Inc.
- Wyllie D.C., Mah C.W. (2004) – Rock slope engineering civil and mining 4th edition – Spon Press London and New York.

Belluno, Settembre 2025

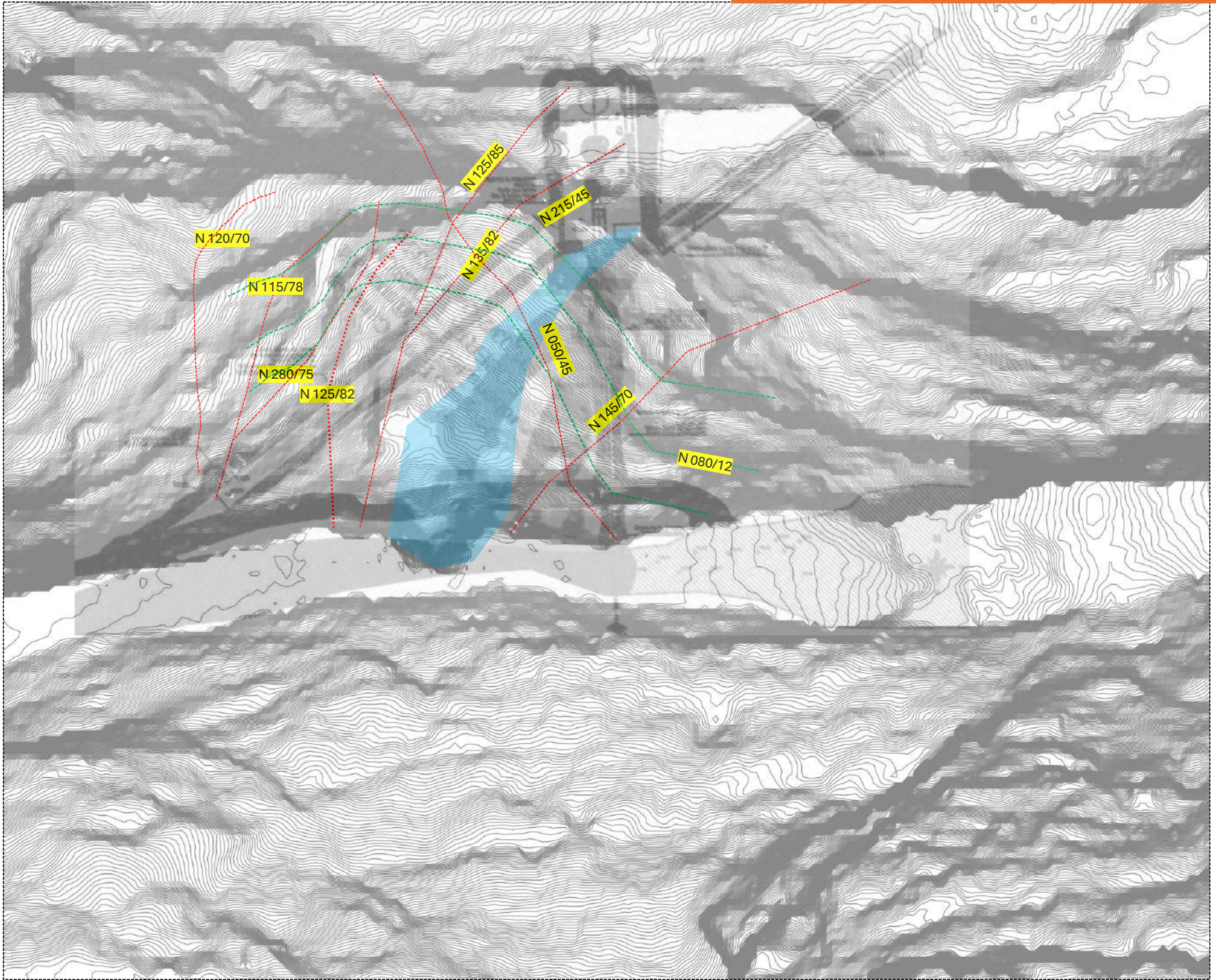
VERTICALGEO STP

DOTT. GEOL. SALTI LUCA

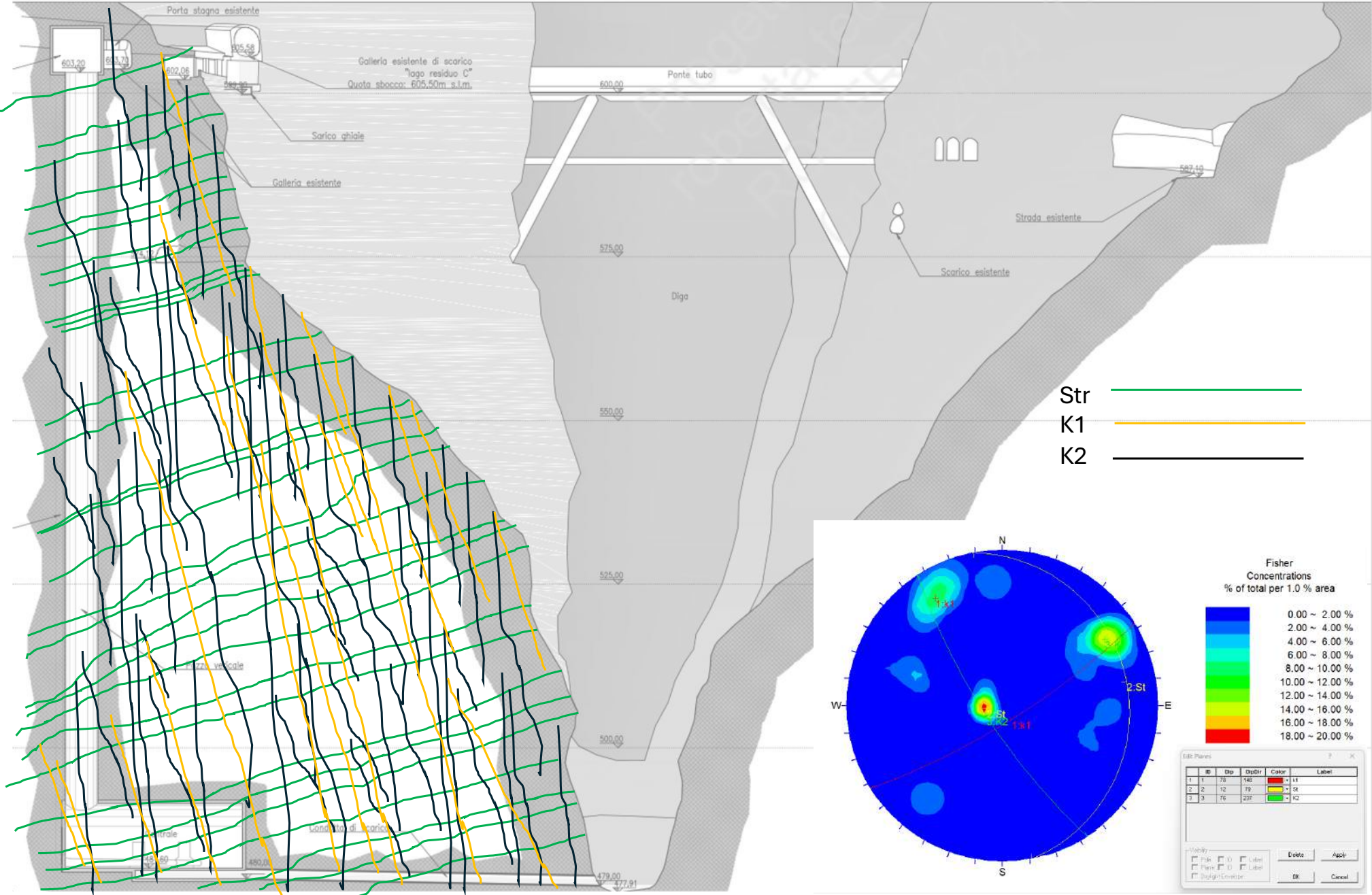
CARATTERIZZAZIONE
GEOMECCANICA
MACROSCOPICA

Schema delle macrostrutture su foto da drone

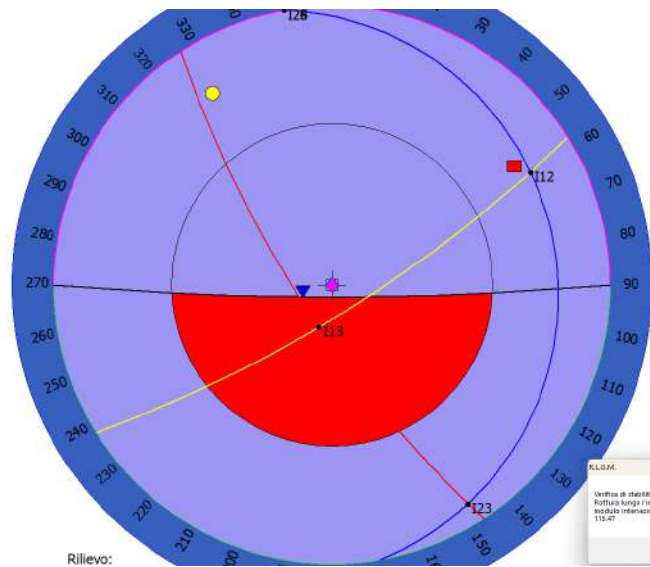
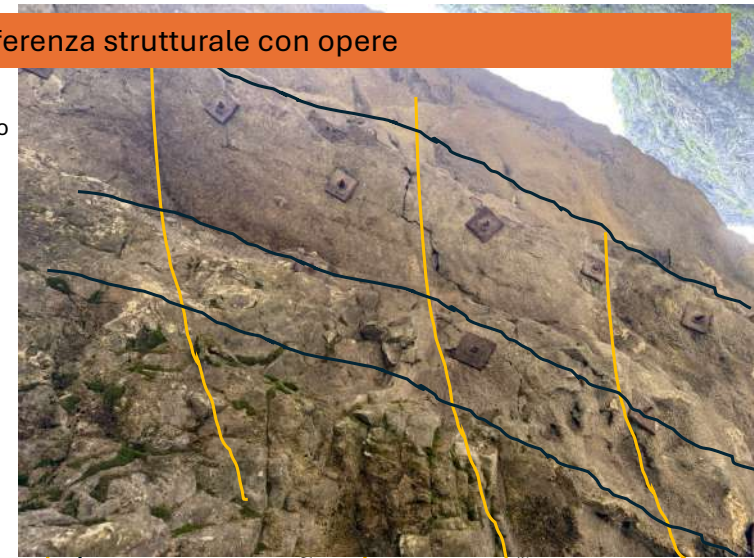




Sezione strutturale

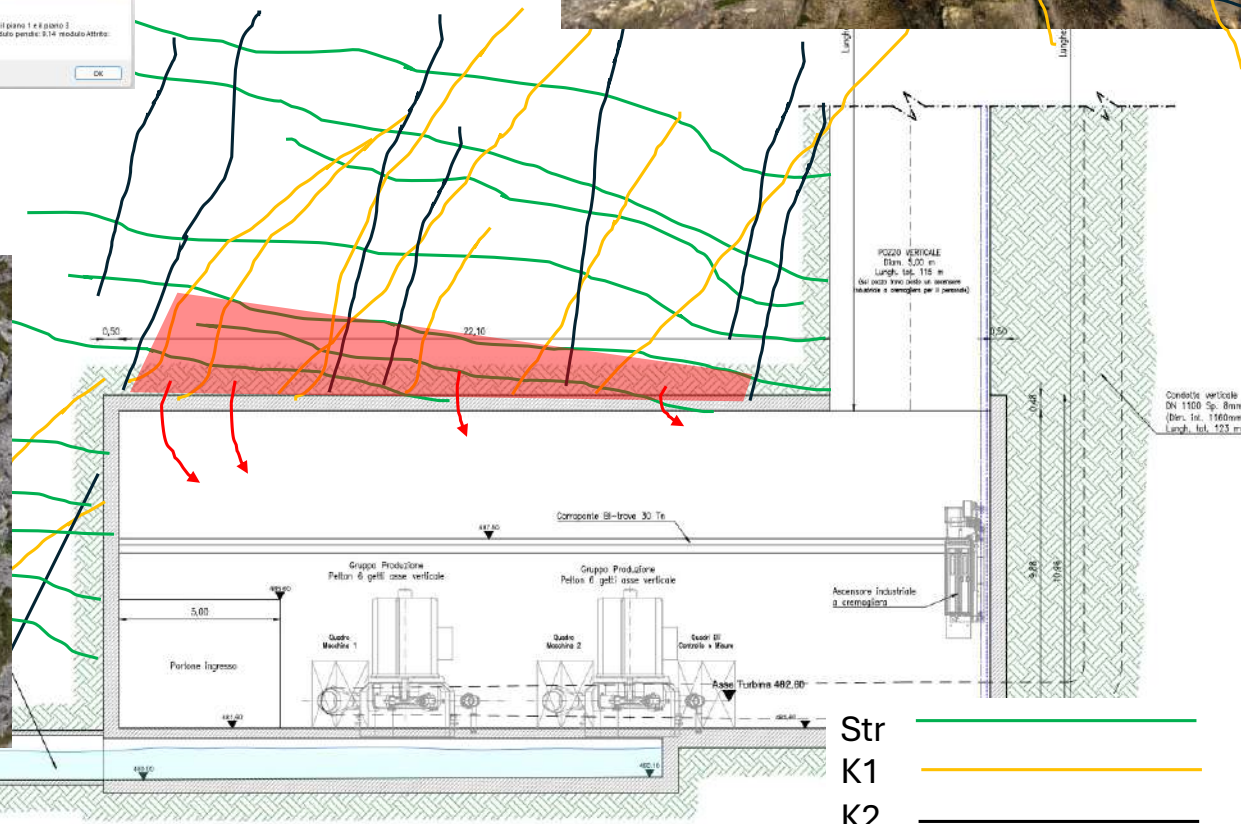
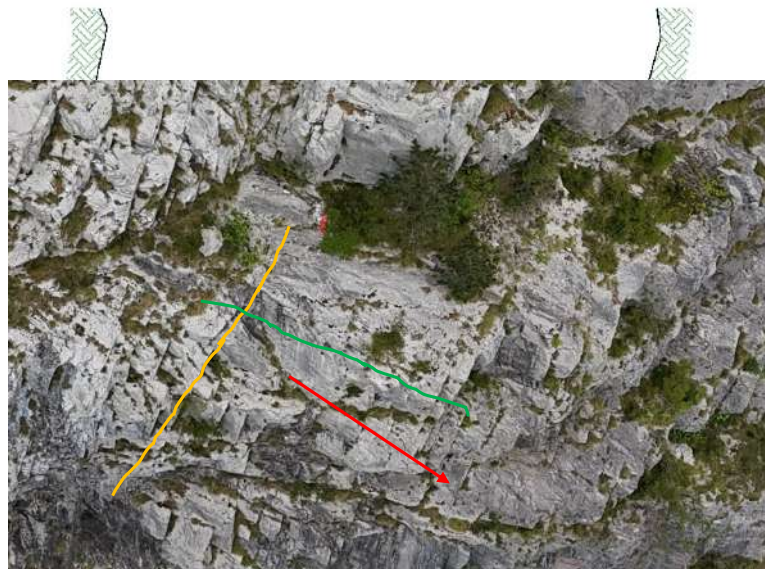


Interferenza strutturale con opere



La combinazione dei piani K1 e K2 genera dei cunei che possono essere soggetti a scivolamento traslativo lungo strato nelle porzioni di versante collocate nella parte centrale della parete.

Nel caso dello scavo della galleria, potrebbe essere molto probabile lo scollamento di blocchi che si isolano dalle due discontinuità e che si distaccano lungo strato. Tale condizione è ben visibile nelle gallerie attualmente presenti alla base della pendice



EDIFICIO CENTRALE
IN CAVERNA
(sezione 2)