



STUDIO CONTI
ASSOCIATI
GEOLOGIA E INGEGNERIA

DOTT. GEOL. MICHELE CONTI DOTT. GEOL. ANTONIO CONTI DOTT. ING. FRANCESCO BOCCHIO

VIA BENAMATI, 61 . 25080 TOSCOLANO MADERNO (BS) . TEL. +39 0365 470036 . FAX +39 0365 470037 . INFO@STUDIOCONTIASSOCIATI.IT
WWW.STUDIOCONTIASSOCIATI.IT

REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI TOSCOLANO MADERNO

TITOLO:

Lavori di ripristino della passerella in Località Covoli

OGGETTO:

Relazione geotecnica e geomeccanica

COMMITTENTE:

Studio di Ingegneria Marchetti

DOCUMENTO

R01

REV	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VISTO	APPROVATO
00	15/12/16	EMISSIONE	TC	VG	AC

COMMESSA 000483

COMMITTENTE C483

FILE X:\WORK\000483_16_TOSCOLANO MADERNO_COVOLI

INDICE

1	Premessa e ubicazione geografica	2
2	Normativa e documenti di riferimento	3
3	Inquadramento geologico del sito.....	5
4	Classificazione - caratterizzazione geomeccanica	7
	4.1 <i>Considerazioni preliminari.....</i>	7
	4.2 <i>Classificazione ammasso roccioso.....</i>	9
	4.3 <i>Caratterizzazione geomeccanica.....</i>	10
	4.4 <i>Schede tecniche ammasso roccioso</i>	12
5	Stabilità del fronte e cinematismi di rottura	15
6	Modellazione geotecnica - geomeccanica	19
7	Definizione delle zone di studio e degli ambiti omogenei	21

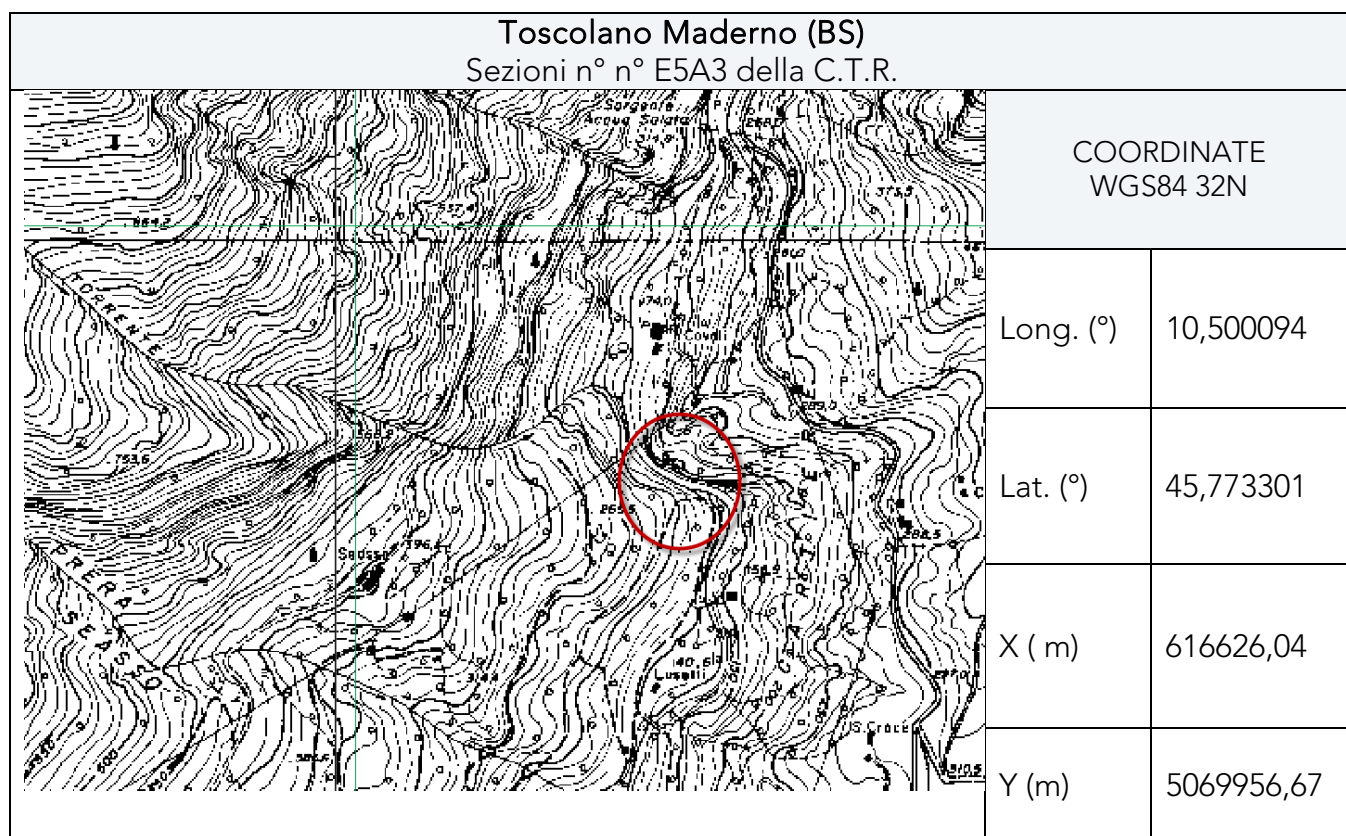
ALLEGATI ALLA RELAZIONE

- TAVOLA T01 Prospetto e planimetria geomeccanico dell'ammasso roccioso e con ubicazione della passerella in località Covoli

1 Premessa e ubicazione geografica

Su incarico dello studio di Ingegneria Marchetti di Manerba e per conto del Comune di Toscolano Maderno si è eseguito uno studio geotecnico e geomeccanico per il progetto definitivo/esecutivo per i lavori di ripristino della passerella in Località Covoli.

L'area è ubicata nel Comune di Toscolano Maderno(BS), sezioni n° E5A3 della C.T.R. a scala 1:10.000 di cui si riporta uno stralcio:



2 Normativa e documenti di riferimento

Nell'ambito del presente lavoro si è fatto riferimento alle principali normative vigenti in materia di pianificazione territoriale, tutela ambientale e costruzioni di opere ed interventi di ingegneria nelle zone sismiche. Tra queste, assumono una certa importanza le seguenti:

[01] NTC2008 - "Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14 Gennaio 2008;

[02] Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n.617 recante Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;

[03] D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616 "Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2015, n. 12", approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, 8/7374", pubblicata sul BURL n. 50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012".

[04] D.G.R. 11 luglio 2014, n.2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art.3, c.108, lett. d)".

[05] D.G.R. 30 marzo 2016 – n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1 e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)"

[06] Normativa in materia di corsi d'acqua, nazionale (L 36/94 e L 152/99) e regionale (D.G.R. n°7/7868 del 25/01/2002 e D.G.R. n°7/13950 dell'1/08/2003);

Tali normative, insieme ad altre ad esse collegate ed alle numerose circolari che ne illustrano i principi applicativi, cercano di regolare il tipo di indagine, i calcoli richiesti, le verifiche necessarie ed i professionisti abilitati, per la stesura delle relazioni geologiche e geotecniche riguardanti, tra le altre cose, le opere di fondazione, con particolari prescrizioni per quelle realizzate in zona sismica.

I documenti e gli strumenti cartografici di seguito elencati sono stati consultati nell'ambito del presente studio al fine di approfondire le varie tematiche trattate:

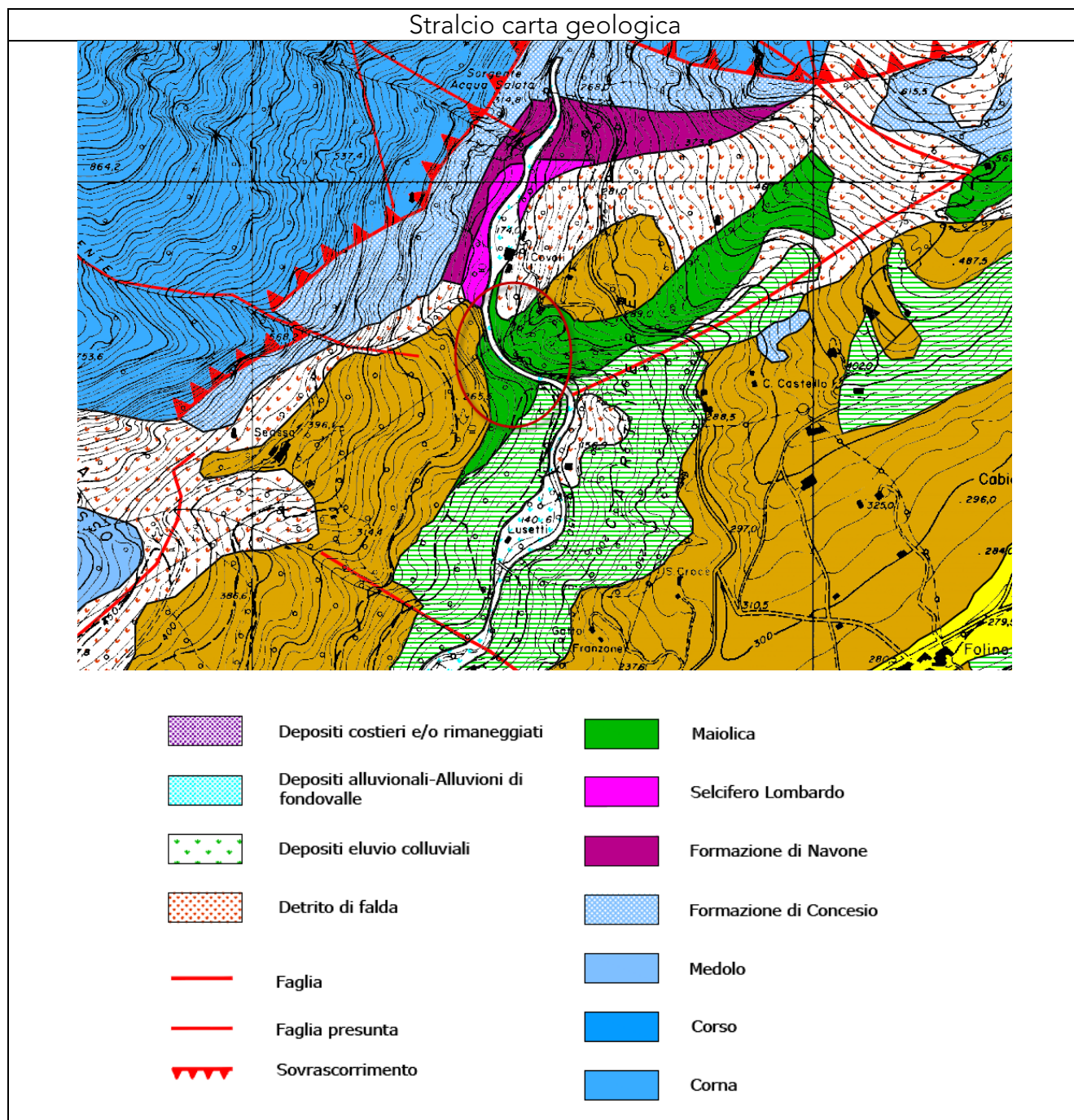
- documenti ed elaborati relativi allo studio geologico per il PGT del Comune di Toscolano Maderno (BS);

- documenti ed elaborati grafici relativi allo studio sul Reticolo Idrico Minore del Comune di Toscolano Maderno (BS);
- carta geologica delle Prealpi bresciane a sud dell'Adamello (1:50.000 Università di Pavia);
- strumenti di cartografia digitale della Regione Lombardia in materia di Territorio, Urbanistica e difesa del Suolo (PGT Web, Studi geologici Comunali, Geoportale della Regione Lombardia ecc);
- studio del sistema informativo relativo all'inventario delle frane e dei dissesti in alcune aree del territorio regionale lombardo tra cui la Comunità del parco Alto Garda (2000-2001 IRER);
- carte inventario dei dissesti della Regione Lombardia in scala 1:10.000;
- lavori vari, stratigrafie pozzi - sondaggi e prove eseguite nelle aree limitrofe a quella di interesse.
- Relazione geologica a cura del Dott. Geol. Piero Fiaccavento (2012)

3 Inquadramento geologico del sito

L'area in esame è ubicata in una forra immediatamente a Nord del conoide di Toscolano, lungo la valle del torrente omonimo, tra le Valli delle cartiere e delle Camerate.

Si riporta uno stralcio della carta geologica allegata al PGT vigente:



La formazione che interessa maggiormente le opere di progetto è La formazione della **Maiolica**, si tratta di calcari bianchi e biancastri, grigi esternamente e bianco lattei

all'interno, compatti, microcristallini a frattura concoide, con selci grigio scure e azzurrine, ben stratificati; sono interessate diffusamente da suture stilolitiche e minute fessure riempite di calcite secondaria; il contenuto paleontologico si riferisce a microfossili come Calpionelle e radiolari. Presenza locale di intercalazioni argillose a volte bituminose, nerastre, frequentemente fogliettate di differente spessore.

Inoltre sono presenti nella zona della valle dei Covoli, come risulta dalla carta geologica le seguenti formazioni:

La formazione della **Scaglia lombarda** è caratterizzata da marne e calcari marnosi fittamente stratificati che, a causa delle deformazioni causate dai sovrascorrimenti retrostanti hanno perso i caratteri originari. E' infatti tipico l'aspetto scaglioso dovuto al clivaggio molto fitto (fratturazione indotta dalla deformazione). Le deformazioni e gli accavallamenti hanno prodotto un raccorciamento della formazione che si stima intorno al 70%.

La formazione della **Corna** è costituita da calcari compatti e di colore chiaro, bianco avorio e grigio biancastro, nocciola o giallo grigiastro in patina esterna; si presenta con tessitura da cristallina a detritica con stiloliti e in strati per lo più potenti o indistinti, con fitte trame di vene di calcite ricristallizzata. In generale la potenza massima è di circa 500 m in corrispondenza del M.te Pizzocolo; il limite inferiore non è chiaro e osservabile nella zona di Toscolano Maderno mentre superiormente il passaggio si realizza con la Formazione del Medolo e del Corso.

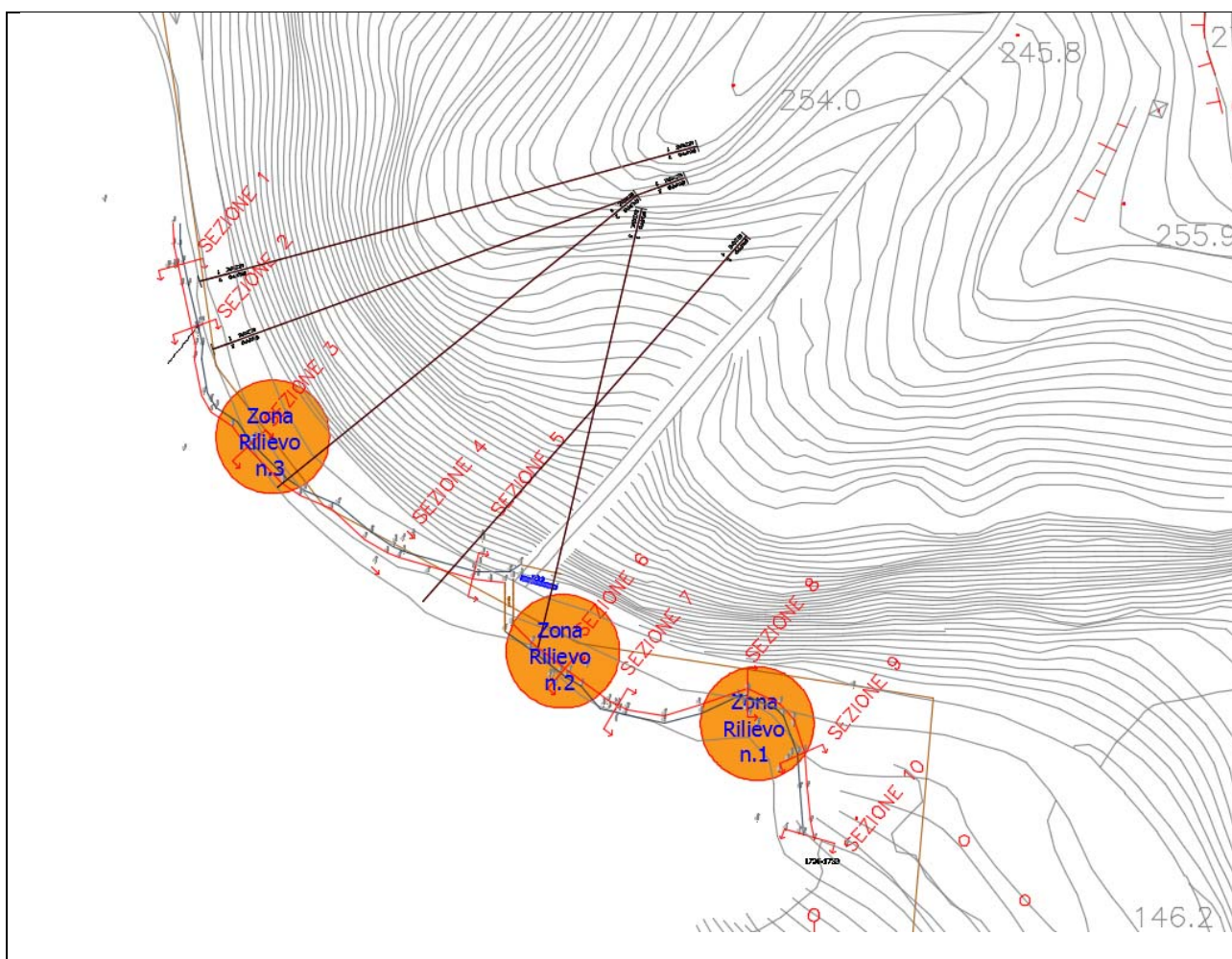
La **formazione di Navone** è costituita da calcari marnoso silicei, da grigio chiari a grigio scuri, con selci in prevalenza grigiastre in noduli liste o letti, localmente molto abbondanti, ad evidente stratificazione; sono presenti veli o intercalazioni di litotipi marnoso-argillosi grigio verdolini. La potenza non raggiunge mai valori molto elevati con caratteri di transizione tra i calcari medoloidi della F.ne di Concesio, coincidente con il limite inferiore, ed il Selcifero lombardo (limite superiore).

4 Classificazione - caratterizzazione geomeccanica

4.1 Considerazioni preliminari

Nell'ambito delle attività svolte per il presente progetto sono stati eseguiti diversi sopralluoghi con rilievi geomeccanici in corrispondenza dei tratti di versante che saranno interessati dalle opere di progetto.

Si riporta di seguito una planimetria di massima con l'ubicazione dei punti in cui sono stati effettuati i rilievi geomeccanici.



I dati acquisiti mediante tali rilievi sono indispensabili per la classificazione e la caratterizzazione dell'ammasso roccioso. Nel complesso si è ritenuto di articolare l'intero lavoro in modo da mettere in risalto le caratteristiche e le finalità legate a due aspetti significativi dal punto di vista progettuale: da una parte la classificazione e la caratterizzazione geotecnica degli affioramenti in base ai risultati dei rilievi eseguiti, dall'altra la definizione delle aree con caratteristiche omogenee (ambiti) tenendo in debito

conto alcuni importanti criteri, tra i quali: presenza di opere antropiche pregresse; caratteristiche geomorfologiche; assetto geologico-strutturale; caratteristiche geotecniche e geomeccaniche; criticità dal punto di vista della stabilità del fronte roccioso; criticità dal punto di vista della stabilità della passerella.

Questa impostazione metodologica risulta di fondamentale importanza anche per la scelta e il dimensionamento degli interventi di progetto, che dovranno essere finalizzati a raggiungere un duplice obiettivo:

- riduzione del rischio da caduta massi, mediante pulizia dei versanti, eventuali disgaggi delle porzioni in equilibrio precario e consolidamento dei tratti di versante che presentano particolari criticità sotto il profilo della stabilità;
- consolidamento dei tratti di passerella che presentano evidenti segni di cedimento strutturale o in condizioni di stabilità precaria.

I dati e le informazioni di dettaglio su ogni singola stazione geomeccanica, sono riportati nelle schede tecniche presenti nei capitoli successivi.

4.2 Classificazione ammasso roccioso

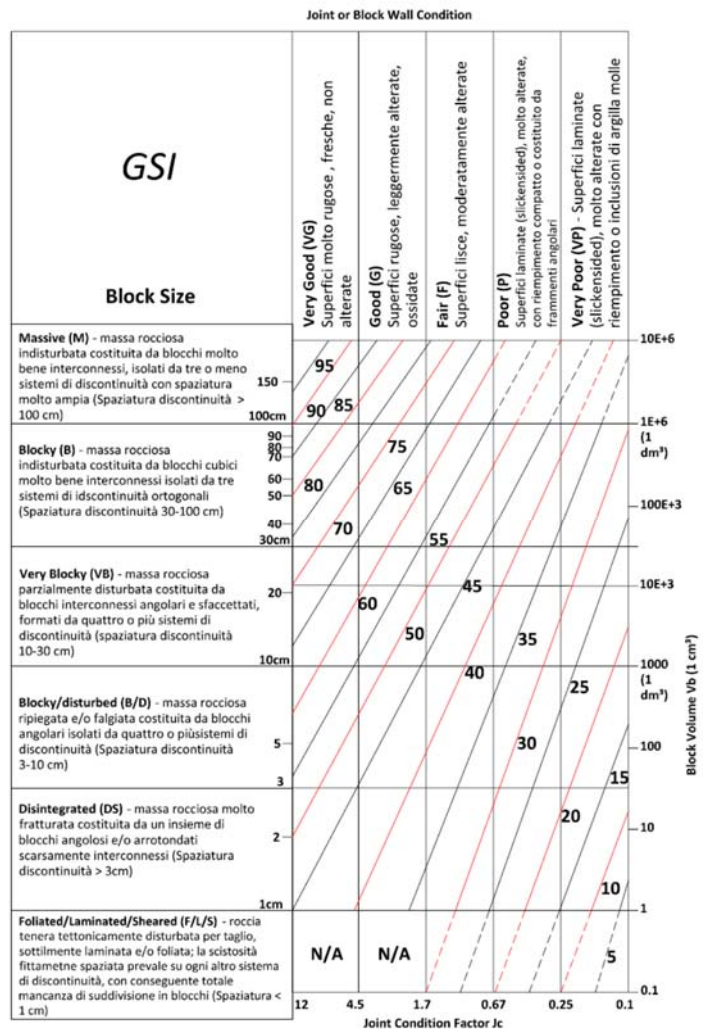
Nell'ambito del presente lavoro, la classificazione dell'ammasso roccioso è stata effettuata con riferimento all'indice di classificazione GSI (*Geological Strength Index*; Hoek, 1997; Hoek e al., 2000, 2002, 2006), sulla base dei dati raccolti durante i rilievi geomeccanici appositamente eseguiti.

Mediante l'indice di qualità GSI è possibile scalare le caratteristiche di resistenza e di deformabilità della roccia intatta determinate in laboratorio, giungendo alla definizione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso.

Il sistema GSI (*Geological Strength Index*), consente di effettuare una

valutazione della resistenza e della deformabilità dell'ammasso roccioso sulla base dell'assetto strutturale ed in funzione delle caratteristiche delle discontinuità in esso presenti, assimilando l'ammasso roccioso ad un modello geotecnico "continuo-equivalente" ed isotropo.

L'approccio utilizzato (Kaiser et al. 2004) è basato su due parametri del sistema di classificazione RMI: Vb (Volume Unitario dei blocchi rocciosi) e JC (Joint Condition Factor). Nel caso specifico il parametro Vb è stato calcolato prendendo a riferimento il valore di RQD stimato mediante i rilievi geomeccanici in sito.



4.3 Caratterizzazione geomeccanica

La scelta del modello geotecnico per la modellazione dell'ammasso è legata alla tipologia di discontinuità presenti ed al modo, *esplicito* o *implicito*, di considerarle. In generale l'ammasso roccioso può essere rappresentato come mezzo **continuo equivalente** o **discontinuo**, in ragione, essenzialmente, della scala del problema:

- modello continuo equivalente: le caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stimate scalando i parametri meccanici della roccia intatta mediante correlazioni empiriche espresse in funzione degli indici di qualità; le discontinuità non sono caratterizzate in modo esplicito.
- modello discontinuo: l'ammasso roccioso è costituito da blocchi di roccia intatta (matrice rocciosa) separati dalle discontinuità.

In alcuni casi il modello di riferimento può comprendere entrambe le schematizzazioni; ossia l'ammasso roccioso può essere simulato come più "porzioni" di "continuo equivalente" separate da discontinuità.

Nel seguito è riportata la caratterizzazione dell'ammasso roccioso con riferimento al modello di mezzo continuo equivalente, adottato nella trattazione delle problematiche di calcolo e progettuali.

Nel modello continuo equivalente le caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso sono stimate scalando i parametri meccanici della roccia intatta mediante correlazioni empiriche espresse in funzione degli indici di qualità dell'ammasso roccioso; le discontinuità non sono caratterizzate in modo esplicito. Nel progetto si è inoltre fatto riferimento ad uno schema di mezzo omogeneo ed isotropo, con modello costitutivo elasto-plastico ideale.

In particolare, i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso, con riferimento al criterio empirico non lineare di Hoek-Brown, sono stati stimati, a partire dai valori della roccia intatta, in funzione di correlazioni empiriche con l'indice GSI.

Il criterio di resistenza non lineare di Hoek-Brown per l'ammasso roccioso è espresso

analiticamente dalla correlazione: $\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$ dove:

σ'_1, σ'_3 tensioni principali, rispettivamente massima e minima

σ_{ci} resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

m_i parametro caratteristico del tipo di roccia

m_b parametro che esprime l'incremento della resistenza dell'ammasso roccioso al crescere della pressione di confinamento

s, a parametri dipendenti dalla qualità dell'ammasso roccioso.

I valori di σ_{ci} assegnati derivano da risultati acquisiti precedentemente mediante prove di laboratorio, mentre il valore del parametro m_i è stato preso da valori di letteratura ed è pari a 10.

Attraverso complesse relazioni matematiche è possibile mettere in relazione il criterio di Hoek & Brown espresso in termini di sforzi principali efficaci e il metodo di Mohr - Coulomb espresso in termini dello sforzo di taglio e dello sforzo normale.

I dati relativi alla classificazione e caratterizzazione geomeccanica sono contenuti nelle schede presenti nel seguente capitolo.

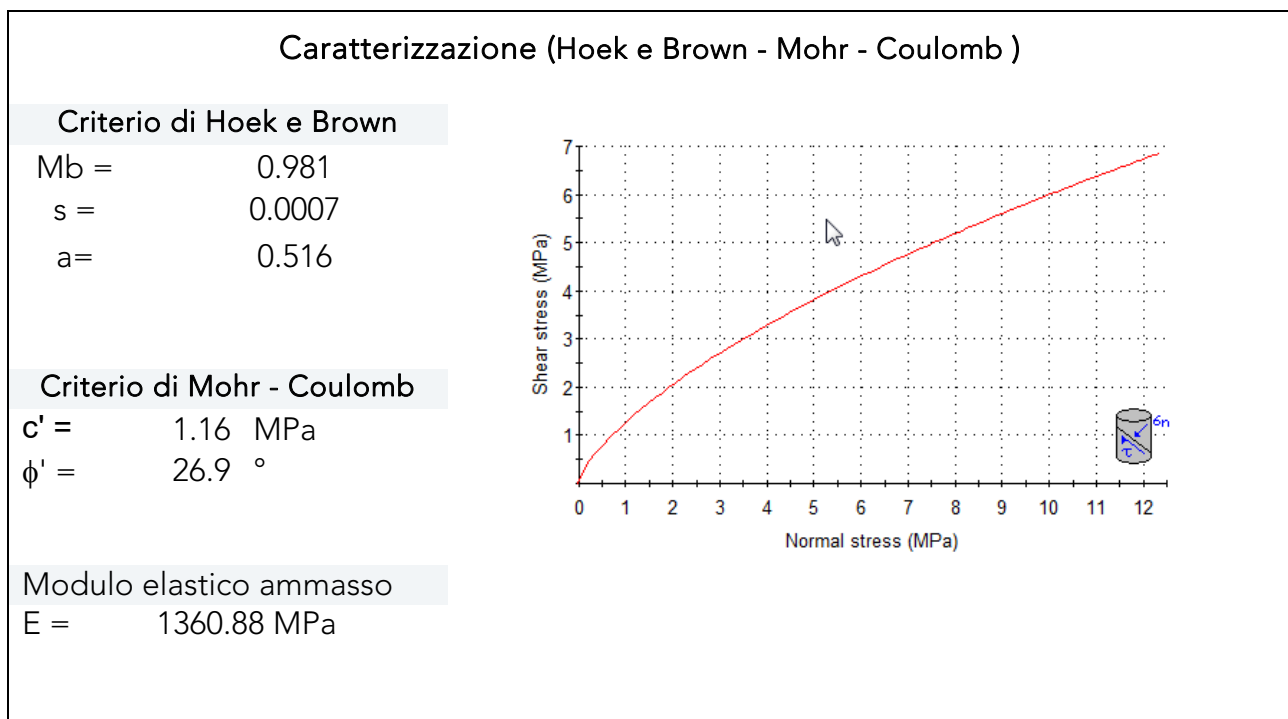
Nel seguente paragrafo vengono riportati i principali dati relativi alla classificazione e caratterizzazione degli affioramenti sulla base dei dati acquisiti con i rilievi geomeccanici.

4.4 Schede tecniche ammasso roccioso

Rilievo: N.1
 Valore GSI: 35
 Valore RMR*: 40
 Qualità ammasso: SCADENTE

* valore stimato in base a correlazioni empiriche presenti in letteratura

Dati input (Hoek e Brown)				
GSI	σ_{ci} (MPa)	m_i	D	E_i^1 (MPa)
35	30	10	0	12000



¹ Modulo Elastico della roccia intatta

Rilievo: N.2
 Valore GSI: 32
 Valore RMR*: 37
 Qualità ammasso: SCADENTE

* valore stimato in base a correlazioni empiriche presenti in letteratura

Dati input (Hoek e Brown)				
GSI	σ_{Ci} (MPa)	m_i	D	E_i^2 (MPa)
32	30	10	0	12000

Caratterizzazione (Hoek e Brown - Mohr - Coulomb)

Criterio di Hoek e Brown

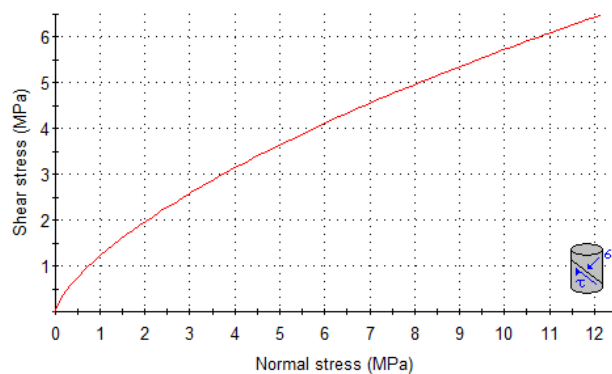
$M_b = 0.882$
 $s = 0.0005$
 $a = 0.520$

Criterio di Mohr - Coulomb

$c' = 1.09$ MPa
 $\phi' = 25.2^\circ$

Modulo elastico ammasso

$E = 1112.79$ MPa

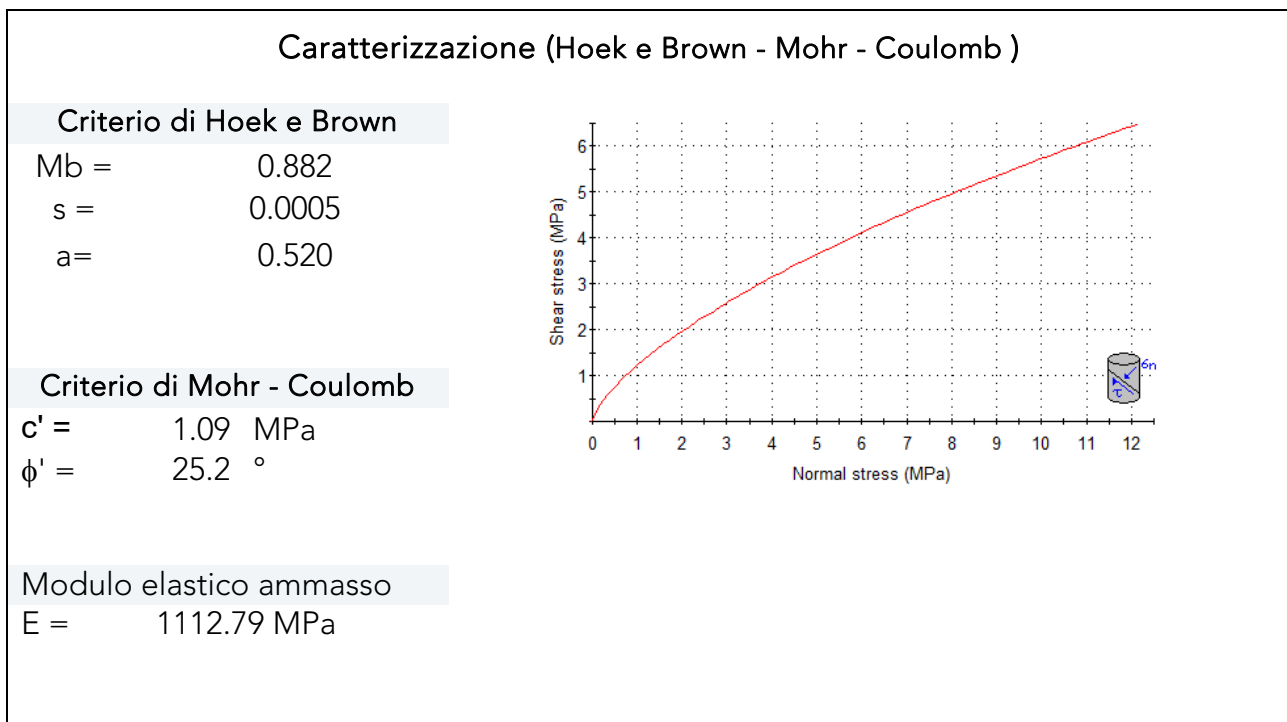


² Modulo Elastico della roccia intatta

Rilievo: N.3
 Valore GSI: 32
 Valore RMR*: 37
 Qualità ammasso: SCADENTE

* valore stimato in base a correlazioni empiriche presenti in letteratura

Dati input (Hoek e Brown)				
GSI	σ_{ci} (MPa)	mi	D	E_i^3 (MPa)
32	30	10	0	12000



³ Modulo Elastico della roccia intatta

5 Stabilità del fronte e cinematismi di rottura

Per la valutazione del potenziale cinematismo di rottura che si può innescare lungo le discontinuità presenti nell'ammasso roccioso si utilizza nell'ambito di questo lavoro il test di Matheson, noto anche con il nome di test di Harrison & Hudson. Questo metodo, basato sulla rappresentazione dell'orientazione del pendio, dei piani di discontinuità e dell'angolo di attrito delle discontinuità attraverso le proiezioni stereografiche, consente di stimare la possibilità che un fenomeno di rottura si verifichi, definendo nel contempo il cinematismo di distacco del blocco dalla parete rocciosa. I possibili cinematismi di rottura con le relative condizioni generali di applicazione sono di seguito specificati:

Cinematismi possibili e Condizioni di applicazione

Instabilità per scivolamento planare

- Ammasso roccioso discreto con superfici di svincolo laterale
- Inclinazione pendio > potenziale superficie di scivolamento
- Potenziale superficie di scivolamento affiorante sul pendio
- Inclinazione potenziale superficie di scivolamento > angolo di attrito (forze stabilizzanti)
- Immersione superficie di scivolamento pari all'immersione del pendio $\pm 20^\circ$

Instabilità per scivolamento di un cuneo

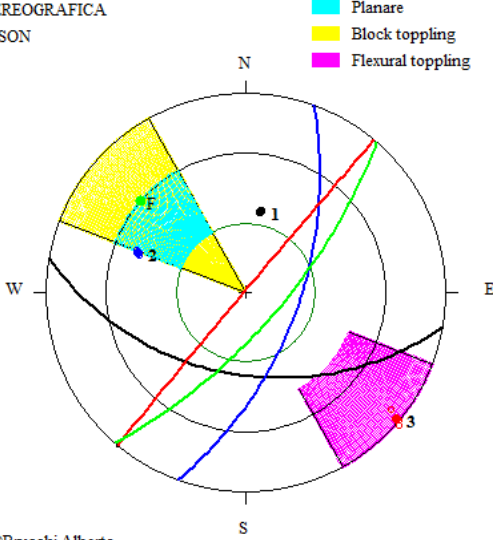
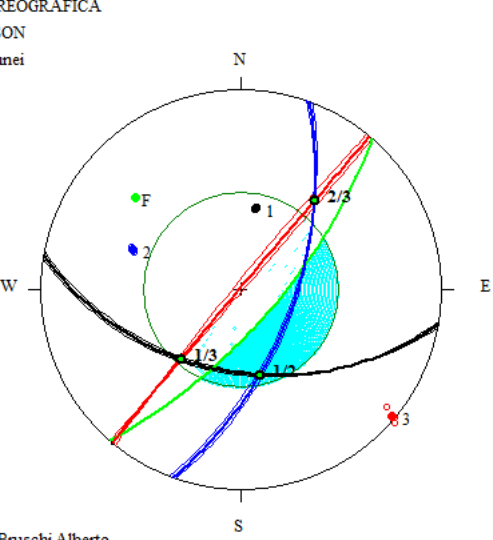
- Ammasso roccioso discreto
- Inclinazione pendio > inclinazione linea di intersezione dei due piani di discontinuità che definiscono un potenziale cuneo di roccia
- Linea di intersezione di due piani di discontinuità che definiscono un potenziale cuneo di roccia affiorante sul pendio
- Inclinazione linea di intersezione di due piani di discontinuità > angolo di attrito (forze stabilizzanti)

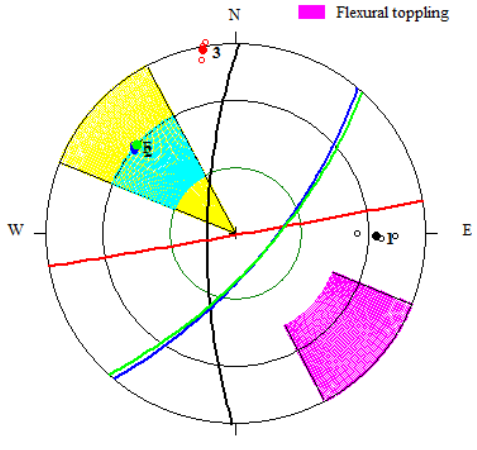
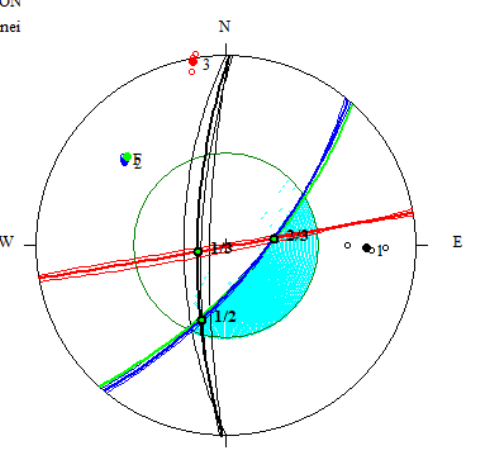
Instabilità per ribaltamento

- *Ammasso roccioso discreto con superfici di svincolo laterale*
- *Block toppling*
- *Immersione giunto all'interno del versante con inclinazione sufficiente a generare slittamento su piani*
- *Inclinazione giunto > somma angolo di attrito e angolo complementare all'inclinazione del versante*
- *Immersione dei piani pari all'immersione del pendio $\pm 20^\circ$*
- *Flexural toppling*
- *Presenza di un sistema di discontinuità che immerge verso l'esterno del versante alla base dei blocchi*
- *Presenza di due sistemi di discontinuità che immergono all'interno del versante (lati dei blocchi)*
- *Immersione dei piani pari all'immersione del pendio $\pm 20^\circ$*

Dalle analisi condotte è emerso che possono verificarsi: block toppling e scivolamenti lungo cunei di roccia. Il grado di rischio valutato varia tra assente (classe 0), alto (classe 2) e molto alto (classe 3). Per ulteriori approfondimenti si rimanda alle Schede Tecniche di seguito riportate.

Rilievo: R1	Caratteristiche versante (Versante naturale): 124/70	
Cinematismo potenziale: Instabilità per scivolamento planare		
<p>PROIEZIONE STEREOGRAFICA TEST DI MATHESON Cinematismi Piani</p> <p>1 = 350°/40° 2 = 250°/30° 3 = 195°/25° 4 = 105°/85°</p> <p>F = 124°/70°</p> <p>Programma CSAR ©Bruschi Alberto</p>	<p>Risultati analisi: Il test identifica un unico cinematismo possibile: Block toppling determinato dai piani appartenenti al set 4.</p>	
Cinematismo potenziale: Instabilità per scivolamento su cunei		
<p>PROIEZIONE STEREOGRAFICA TEST DI MATHESON Cinematismo su Cunei</p> <p>1 = 350°/40° 2 = 250°/30° 3 = 195°/25° 4 = 105°/85°</p> <p>F = 124°/70°</p> <p>Programma CSAR ©Bruschi Alberto</p>	<p>Risultati analisi: Il test non identifica scivolamenti potenziali lungo cunei di roccia.</p>	
VALUTAZIONE DEL GRADO DI RISCHIO		Classe: 3 Rischio: MOLTOALTO

Rilievo: R2	Caratteristiche versante (Versante naturale): 131/70	
Cinematismo potenziale: Instabilità per scivolamento planare		
<p>PROIEZIONE STEREOGRAFICA TEST DI MATHESON Cinematismi Piani</p> <p>1 = 190°/45° 2 = 110°/60° 3 = 310°/89°</p> <p>F = 131°/70°</p>  <p>Programma CSAR ©Bruschi Alberto</p>	<p>Risultati analisi: Il test identifica i seguenti cinematismi potenziali:</p> <ul style="list-style-type: none"> - scivolamento planare determinato dai piani riconducibili al Set 2; - Flexural toppling determinato dai piani relativi al Set 3. 	
Cinematismo potenziale: Instabilità per scivolamento su cunei		
<p>PROIEZIONE STEREOGRAFICA TEST DI MATHESON Cinematismo su Cunei</p> <p>1 = 190°/45° 2 = 110°/60° 3 = 310°/89°</p> <p>F = 131°/70°</p>  <p>Programma CSAR ©Bruschi Alberto</p>	<p>Risultati analisi: Il test identifica un solo cinematismo su cunei definito dai piani appartenenti ai set 1-2.</p>	
VALUTAZIONE DEL GRADO DI RISCHIO		<p>Classe: 4 Rischio: MOLTOALTO</p>

Rilievo: R3	Caratteristiche versante (Versante naturale): 1/40	
Cinematismo potenziale: Instabilità per scivolamento planare		
PROIEZIONE STEREOGRAFICA TEST DI MATHESON Cinematismi Piani 1 = 271°/73° 2 = 130°/70° 3 = 170°/89° F = 132°/70°	 <p style="text-align: center;">Programma CSAR ©Bruschi Alberto</p>	Risultati analisi: Il test identifica un unico cinematismo per scivolamento planare in corrispondenza delle discontinuità appartenenti al set 2.
Cinematismo potenziale: Instabilità per scivolamento su cunei		
PROIEZIONE STEREOGRAFICA TEST DI MATHESON Cinematismo su Cunei 1 = 271°/73° 2 = 130°/70° 3 = 170°/89° F = 132°/70°	 <p style="text-align: center;">Programma CSAR ©Bruschi Alberto</p>	Risultati analisi: Il test identifica scivolamenti potenziali lungo cunei di roccia delimitati dai seguenti piani: - 1/2(Set1 – Set2). - 3/2(Set3 – Set2).
VALUTAZIONE DEL GRADO DI RISCHIO		Classe: 4 Rischio: MOLTOALTO

6 Modellazione geotecnica - geomeccanica

L'Eurocodice 7: "*Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*", introduce il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici. Il valore caratteristico, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura). Lo stesso concetto fa parte della più ampia trattazione agli stati limite (SL), volta ad armonizzare la progettazione strutturale con quella geotecnica.

Ai fini della caratterizzazione dei terreni, occorre fare riferimento al **volume significativo**, ovvero al volume entro il quale l'incremento della tensione verticale efficace $\Delta\sigma'_v(\mathbf{z})$ eccede di oltre il 10 % la tensione verticale efficace preesistente $\sigma'_{v0}(\mathbf{z})$ in assenza di sovraccarichi:

$$\Delta\sigma'_v \geq 1/10 \sigma'_{v0}(\mathbf{z})$$

Il **volume significativo da indagare** è costituito dalla massa di terreno entro il quale si risentono gli effetti degli dei carichi e/o delle deformazioni.

L'Eurocodice 7 ("*Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*"), introduce il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici. Il valore caratteristico, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura). Lo stesso concetto fa parte della più ampia trattazione agli stati limite (SL), volta ad armonizzare la progettazione strutturale con quella geotecnica.

Il sito oggetto di indagine è caratterizzato nella quasi totalità del suo sviluppo areale da affioramenti di Corna stressata, con evidenti strutture sequenziali di pieghe e faglie e con zone tra esse estremamente fratturate.

Sulla base delle risultanze delle indagini svolte, si è deciso di procedere con la definizione di due categorie omogenee dal punto di vista geomeccanico:

- **Categoria A:** GSI 35-40;
- **Categoria B:** GSI 30-35;

In Tabella 1 vengono riportati in maniera schematica i dati inerenti alla classificazione ed i parametri relativi all'ammasso roccioso per le tre categorie nelle quali è stato suddiviso:

Litologia: Dolomia		Classificazione ammasso roccioso			Parametri ammasso roccioso					
Cat. ammasso roccioso		RMR (%)	Classe	GSI	Hoek e Brown			Mohr - Coulomb		Modulo elastico ammasso
					mb	s	a	c' (MPa)	ϕ' (°)	E (MPa)
A	Scadente	40 - 45	IV (30 %) III (70 %)	35 - 40	0.9	0.001	0.5	1.16	26	1300
B	Scadente	35 - 40	IV (100 %)	30 - 35	0.7	0.003	0.5	0.9	23	760

Tabella 1 Classificazione e parametri dell'ammasso roccioso.

Si rilevano anche zone in cui l'ammasso roccioso si presenta estremamente fratturato o coperto da concrezioni calcaree che hanno reso impossibile uno studio diretto tramite rilievo strutturale completo, ma visto che si tratta di porzioni con estensione relativamente ridotta rispetto alla scala degli affioramenti si è ritenuto opportuno accorpare queste zone nella categoria con valori più scadenti.

7 Definizione delle zone di studio e degli ambiti omogenei

I rilievi, le indagini e le osservazioni dirette hanno permesso di caratterizzare i luoghi oggetto di studio e di individuare le aree sorgenti dei fenomeni di crollo reali o potenziali.

Lungo il percorso l'ammasso roccioso presenta una elevata variabilità sia orizzontale che verticale della giacitura dovuta alle forti deformazioni tettoniche (pieghe, faglie, etc.), si sono notate anche fuoriuscite d'acqua diffuse provenienti da monte che in alcune zone formano concrezioni di alcuni cm di spessore.

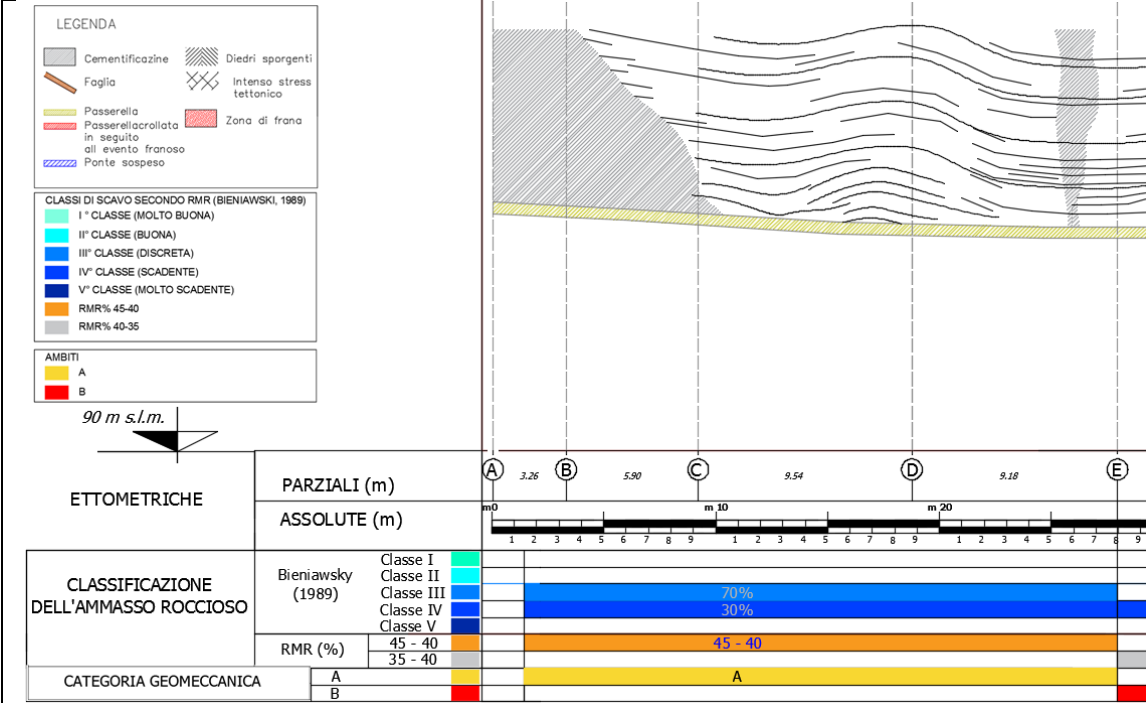
I cinematismi possibili sono collegati alla stratificazione a franappoggio ed alle strutture disgiuntive subverticali presenti, anch'esse a franappoggio. Sono possibili oltre ai normali fenomeni di scivolamento di blocchi e cunei, casi di toppling e ribaltamenti di porzioni a reggipoggio per demolizione dell'appoggio del piede da parte dei fenomeni di alterazione della roccia; si sono verificati anche crolli di interi settori con volumi di alcune centinaia di mc (passerella).

Lo stato di attività delle pareti è da considerarsi alto per la presenza di segni di instabilità inequivocabili, tra i quali: presenza di fratture aperte con probabili distacchi, causate anche dalla vegetazione che attecchisce e si sviluppa all'interno delle fratture dell'ammasso disarticolandolo e destabilizzando abbondanti porzioni di roccia; presenza di blocchi di roccia ruotati e parzialmente staccati dalla parete; presenza di superfici fresche non alterate che testimoniano distacchi recenti.

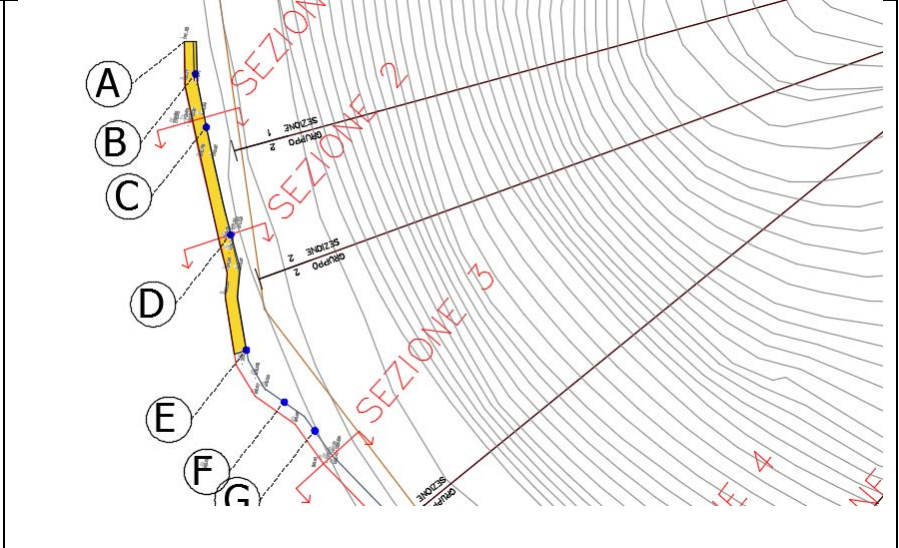
Tenendo in debito conto i parametri sinora descritti, l'intero versante in esame è stato suddiviso in "Zone" omogenee, caratterizzate da elementi distintivi tendenzialmente univoci e significativi ai fini degli obiettivi che si intende perseguire nell'ambito del presente studio.

Si riporta di seguito una descrizione dettagliata di ogni singola "Zona" omogenea individuata.

ZONA 1 - Parziali Da A a E



SR TALCIO RILIEVO DI DETTAGLIO



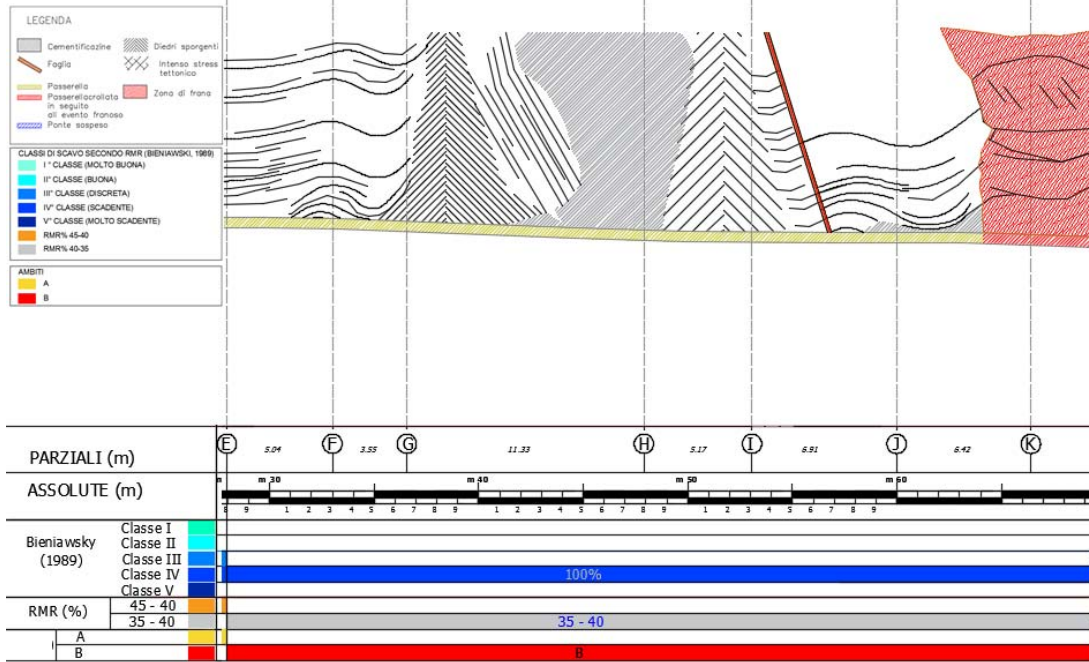
Da un punto di vista geomeccanico alla presente zona è stata abbinata la categoria A. La categoria dell'ammasso roccioso è scadente con un RMR (%) di 45-40 e una classe secondo la classificazione di Bieniawsky IV (30 %) e III (70 %) e un valore di GSI 35-40.

L'immersione della stratificazione è compresa nell'intervallo N 260-278°, mentre l'inclinazione varia tra 10° e 15°. La discontinuità denominata K2 non è stata individuata sull'affioramento preso in esame.

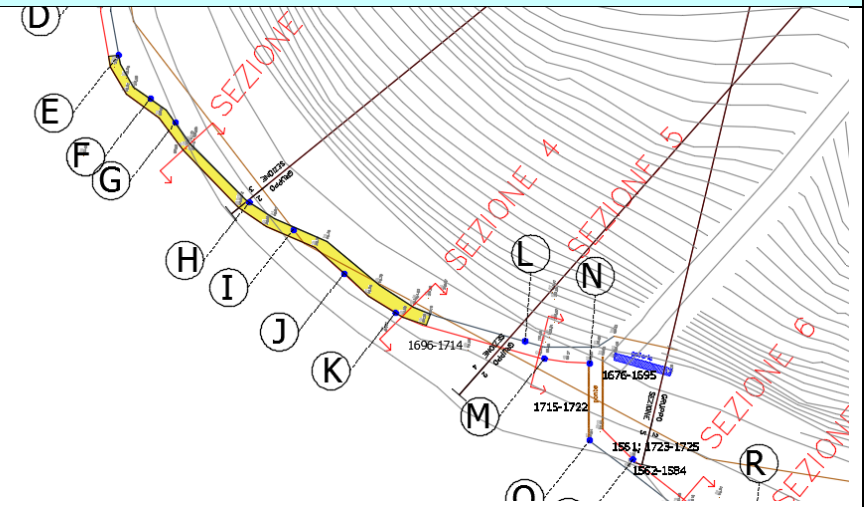
Le geometrie dell'ammasso in questa zona sono meno variabili che nelle successive, la caratteristica fondamentale è una piega con giacitura principale 190/45 che forma una pancia e costringe la passerella ad una repentina curva.

Inoltre la giacitura a franappoggio può essere sorgente di distacchi di roccia dall'ammasso roccioso affiorante.

ZONA 2 - Parziali Da E a K +3 m



SRITALCIO CARTA TOPOGRAFICA



Da un punto di vista geomeccanico alla presente zona è stata abbinato categoria B. L'ammasso roccioso è scadente con un RMR di 35/40 e una classe secondo la classificazione di Bieniawski IV e un valore di GSI 30-45.

A causa dell'intensa fratturazione dell'ammasso in questa zona le giaciture delle famiglie sono difficilmente riconoscibili. Sono presenti diedri sporgenti, pieghe e fratturazioni dovute ad un forte stress tettonico riconducibile anche alla presenza di una faglia.

Nella parte finale tra la parziale J+2m e K+3m si è verificato uno crollo che ha coinvolto la passerella, la zona di frana ha un'estensione di circa 6-7 m, presenta due superfici di distacco una parallela al versante con direzione SO e l'altra con cui forma il diedro di distacco con direzione NE.

ZONA 3 - Parziali da K+3m a O

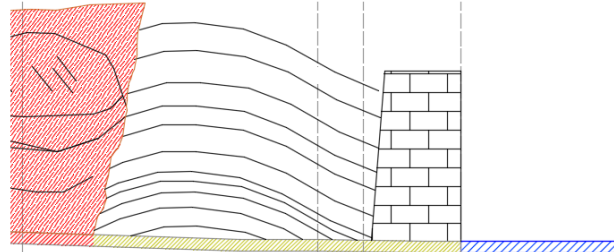
LEGENDA

CLASSI DI SCAVO SECONDO RMR (BIENIAWSKI, 1989)

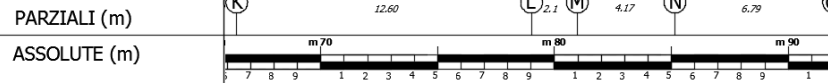
	I° CLASSE (MOLTO BUONA)
	II° CLASSE (BUONA)
	III° CLASSE (DISCRETA)
	IV° CLASSE (SCADENTE)
	V° CLASSE (MOLTO SCADENTE)
	RMR% 45-40
	RMR% 40-35

AMBITI

	A
	B



ETTOMETRICHE



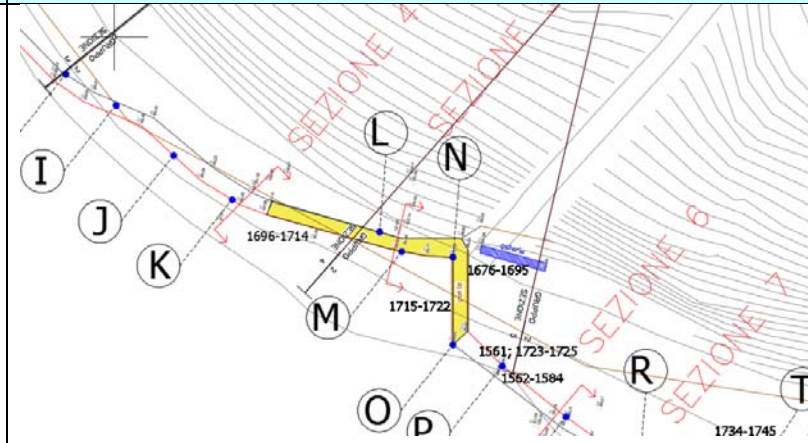
CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Bieniawsky (1989)	Classe I	
	Classe II	
	Classe III	70%
	Classe IV	30%
	Classe V	
RMR (%)	45 - 40	45 - 40
	35 - 40	
CATEGORIA GEOMECCANICA	A	A
	B	

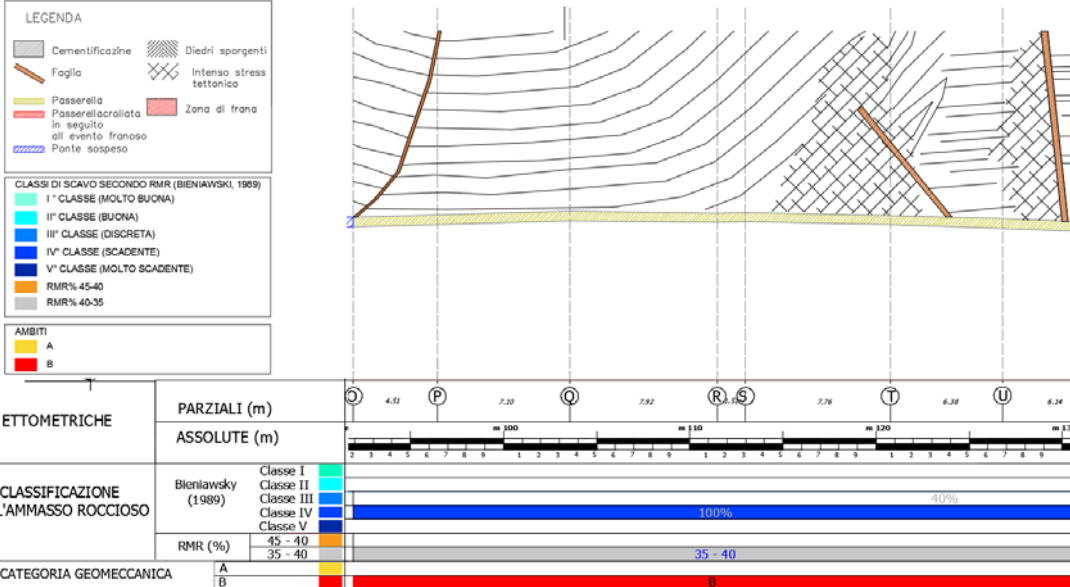
Da un punto di vista geomeccanico alla presente zona è stato abbinato la categoria A. La categoria dell'ammasso roccioso è scadente con un RMR di 40-45 e una classe secondo la classificazione di Bieniawski IV e III con una percentuale di 30 e 70 a favore della categoria III e un valore di GSI 35-40.

La zona presenta tratti con reti e zone cementate, fino ad un muro che copre l'ammasso subito dopo l'uscita dal ponte sospeso. a causa di questi ostacoli le immersioni delle giaciture delle famiglie che compongono l'ammasso roccioso sono state di difficile lettura.

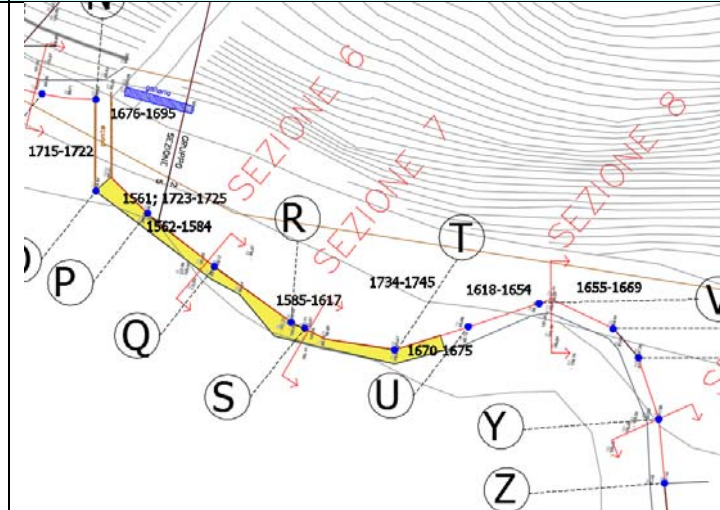
SRTALCIO CARTA TOPOGRAFICA



ZONA 4 - Parziali da O a U+4



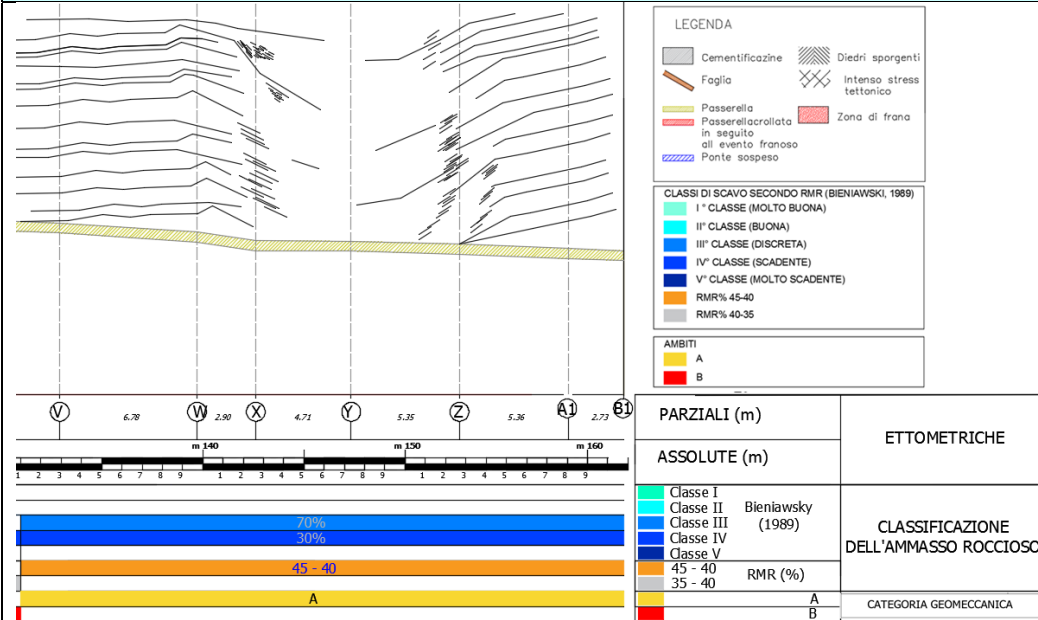
SRTALCIO CARTA TOPOGRAFICA



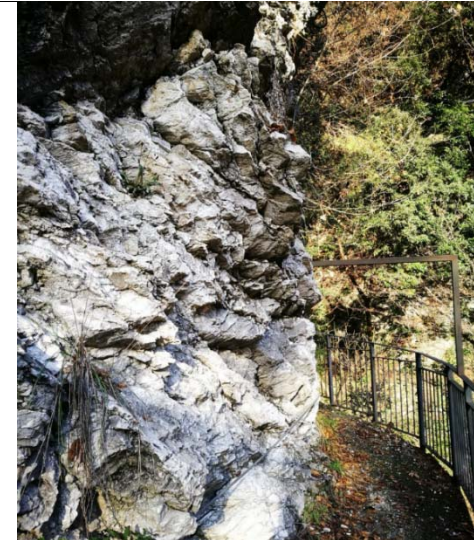
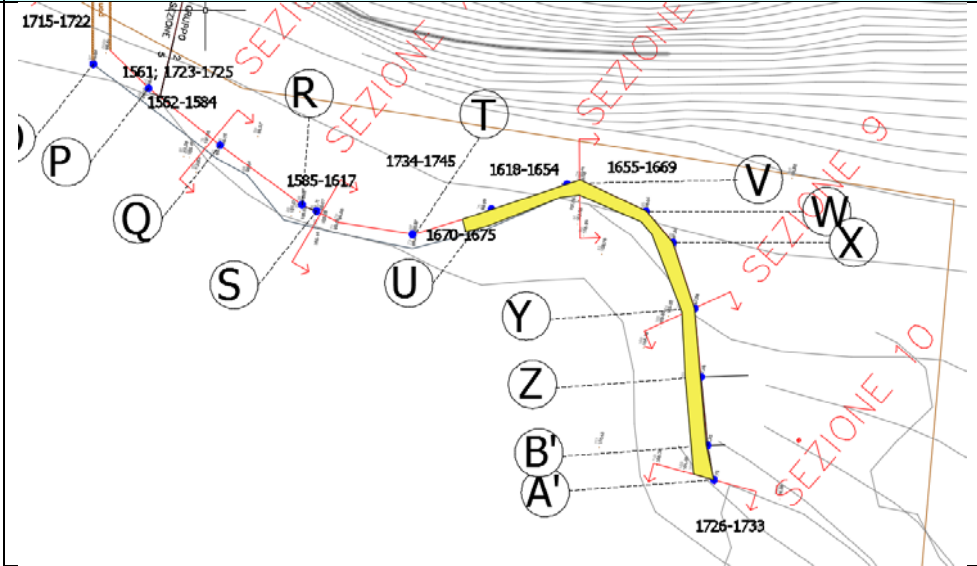
Da un punto di vista geomeccanico alla presente zona è stata abbinata la categoria B. L' ammasso roccioso è scadente con un RMR di 35-40 e una classe secondo la classificazione di Bieniawski IV. L'immersione della stratificazione è compresa nell'intervallo N 260-278°, mentre l'inclinazione varia tra 60° e 70° e un valore di GSI 30-35.

Sono presenti diedri sporgenti, pieghe e fratturazioni dovute ad un forte stress tettonico riconducibile anche alla presenza di due faglie.

ZONA 5 - Parziali Da V a B'



SRTALCIO CARTA TOPOGRAFICA



Da un punto di vista geomeccanico alla presente zona è stato abbinata la categoria A. La categoria dell'ammasso roccioso è scadente con un RMR (%) di 40/45 e classe secondo la classificazione di Bieniawski IV (30 %) e III (70 %) e un valore di GSI 35-40.

L'immersione della stratificazione è compresa nell'intervallo N 260-278°, mentre l'inclinazione varia tra 10° e 15°. La discontinuità denominata K2 non è stata individuata sull'affioramento preso in esame.

Le geometrie dell'ammasso in questa zona sono meno variabili che nelle successive; la caratteristica fondamentale è una piega con giacitura principale 190/45 che forma una pancia e costringe la passerella ad una repentina curva.

Inoltre la giacitura franapoggio può essere sorgente di distacchi di roccia dall'ammasso roccioso.

STUDIO CONTI ASSOCIATI

Dott. Geol. Michele Conti

Dott. Geol. Antonio Conti

Dott. Geol. Vincenzo Giannone

Ing. Francesco Bocchio