

Regione Lombardia  
Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità



CODICE  
COMMESSA

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D.P.R.  
207/10

PROGRESSIVO  
ELABORATO

CATEGORIA  
OPERA

NUMERO  
OPERA

REVISIONE

SCALA

B 3 0

E

b

0 0 9

I G

- -

R 0

-

LINEA FERROVIARIA BRESCIA - ISEO - EDOLO  
INTERVENTI DI MANUTENZIONE CONTRO IL DISSESTO IDROGEOLOGICO  
*Progetto esecutivo*

TRATTA CIVIDATE-BRENO  
Relazione geotecnica e geomeccanica

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3				
	2				
	1				
	0	20/01/2022	PRIMA EMISSIONE		

NORD\_ING

NORD\_ING Srl  
IL DIRETTORE TECNICO  
*Ing. Luca Erba*

FERROVIENORD

FERROVIENORD S.p.A.  
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA  
IL DIRETTORE (a.i.)  
*Dott. Enrico Bellavia*

Progettista



ERBA LUCA  
Sez. A Settori:  
a) civile e ambientale  
b) industriale  
c) dell'informazione  
n° A 639

Collaborazione



3TI PROGETTI ITALIA  
INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.

Responsabile dell'integrazione prestazioni  
specialistiche: Ing. Stefano Luca Possati

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
-	M.T. Navarra	S.L. Possati	20/01/2022
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO DELLE AREE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. FASE DI INDAGINE .....</b>	<b>4</b>
3.1 AREA B01 .....	4
3.1.1 Indagini eseguite.....	4
3.2 AREA B02 .....	8
3.2.1 Indagini eseguite.....	8
3.3 AREA B08 .....	11
3.3.1 Indagini eseguite.....	11
<b>4. FASE DI ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI – CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA.....</b>	<b>15</b>
4.1 AREA B01 .....	15
4.1.1 Indice RQD (Rock Quality Designation).....	15
4.1.2 Indice RMR (Rock Mass Rating) - Bieniawski .....	16
4.2 AREA B02 .....	17
4.2.1 Indice RQD (Rock Quality Designation).....	18
4.2.2 Indice RMR (Rock Mass Rating) - Bieniawski .....	18
4.3 AREA B08 .....	20
4.3.1 Indice RQD (Rock Quality Designation).....	20
4.3.2 Indice RMR (Rock Mass Rating) - Bieniawski .....	20
<b>5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>22</b>

## **1. PREMESSA**

La presente Relazione geotecnica e geomeccanica è parte integrante del progetto esecutivo degli **interventi di manutenzione contro il dissesto idrogeologico sulla linea ferroviaria FERROVIENORD Brescia - Iseo - Edolo**.

Tale elaborato si pone come obiettivo quello di riportare le risultanze delle indagini geognostiche eseguite presso le aree di intervento ubicate nel settore B (tratta Civate - Breno), al fine di definire le caratteristiche geotecniche dei termini litologici presenti in sito.

La presente caratterizzazione geotecnica si è resa, quindi, necessaria non solo per definire la qualità degli ammassi rocciosi indagati, ma soprattutto per verificare e dimensionare le opere in progetto per la messa in sicurezza dei versanti a monte della tratta ferroviaria in oggetto.

Più precisamente è stato definito un modello geotecnico del volume di sottosuolo interagente con le opere in progetto, determinando le proprietà geotecniche - geomeccaniche dei diversi litotipi e le relative zone d'omogeneità con riferimento al volume significativo, al fine di permettere la corretta classificazione del sottosuolo.

Nella presente Relazione Geotecnica e Geomeccanica, sulla base del modello geologico e delle indagini eseguite in sito, seguendo i dettami della normativa vigente (Decreto Ministeriale 14.01.2008 e Decreto Ministeriale 17.01.2018) e dello stato dell'arte, è stato ricostruito il locale *modello geotecnico* caratteristico per ogni area indagata.

La presente indagine è stata eseguita nel rispetto della seguente normativa di riferimento:

- D.M. 14.01.2008 e s.m.i. - Norme tecniche per le costruzioni.
- D.M. 17.01.2018 - Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni - NTC 2018.

Vengono di seguito esposte alcune note circa le indagini geognostiche eseguite nei diversi areali interessati dalla progettazione delle opere di messa in sicurezza, nonché le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti.

## 2. INQUADRAMENTO DELLE AREE

La presente relazione geotecnica risulta essere a supporto della progettazione degli interventi di messa in sicurezza delle opere relative alla tratta ferroviaria Civate - Breno (SETTORE B), di cui si riporta la specifica codifica delle aree di intervento in progetto:

ID	Denominazione
B01	Tra pk 71+180 e pk 71+400
B02	Tra pk 70+940 e pk 70+980
B08	Tra pk 68+600 e pk 68+850

Gli interventi dell'Area B sono distribuiti sulla tratta di lunghezza pari a circa 3 km compresa tra il Comune di Civate a valle e il Comune di Breno a monte.

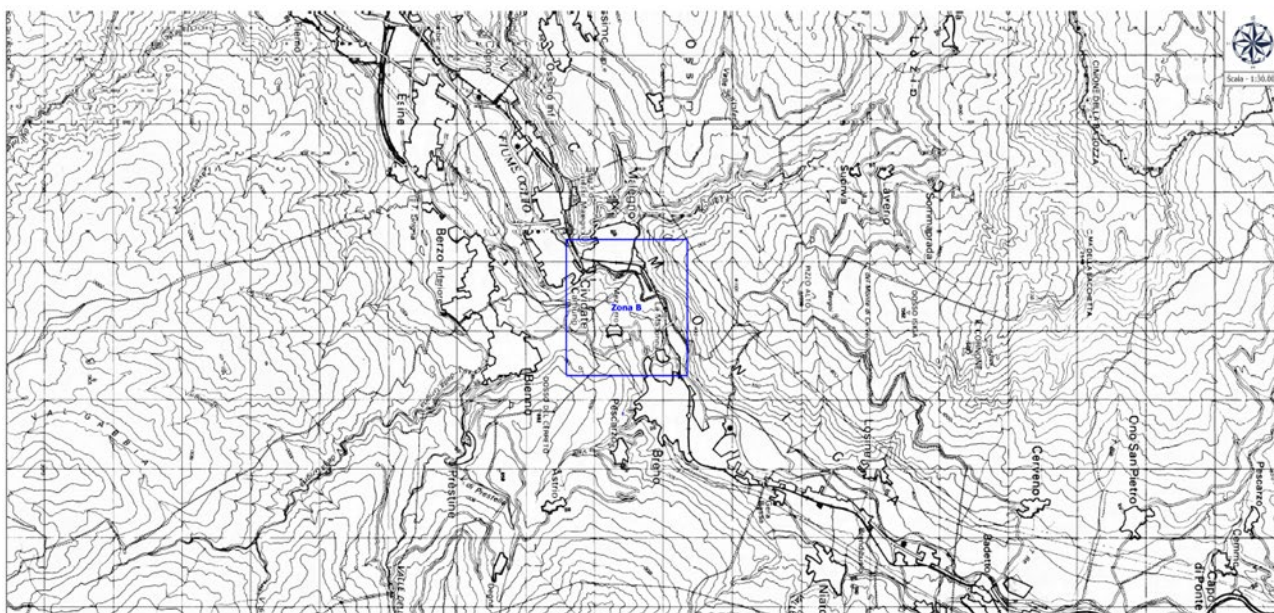


Figura 1 – Localizzazione area d'intervento B tratta Civate - Breno.

### 3. FASE DI INDAGINE

#### 3.1 AREA B01

##### 3.1.1 Indagini eseguite

Si descrivono nel seguito le indagini eseguite per la raccolta dei dati necessari alla definizione delle caratteristiche di sito. Precisamente, in questo sito sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 1 sondaggio a distruzione per una lunghezza di 10 m, associato a n.1 sondaggio a carotaggio continuo per una lunghezza di 2 m (S8)
- n. 4 rilievi geomeccanici

L'esecuzione del sondaggio a distruzione ha permesso la video ispezione del foro realizzato all'interno dell'ammasso, mentre il sondaggio a carotaggio continuo ha consentito il prelievo di campioni da sottoporre ad indagini di laboratorio, nel dettaglio:

- n. 3 tilt test
- n. 6 point load
- n. 6 prove brasiliane
- n. 6 prove di compressione monoassiale

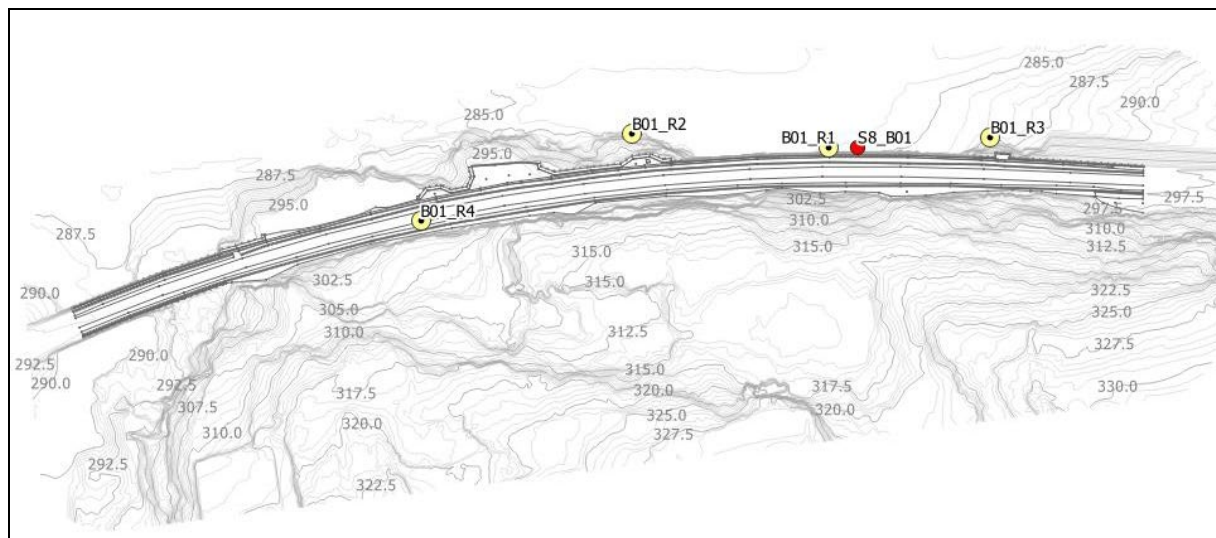


Figura 2 – Localizzazione delle indagini effettuate nell'area B01.

##### Rilievo geomeccanico

Sono stati eseguiti, durante il periodo estivo del 2021, n. 4 rilievi geologici e geomeccanici finalizzati alla valutazione delle condizioni dell'ammasso nelle porzioni limitrofe alla ferrovia.

Nel dettaglio, 1 rilievo è stato eseguito lungo il binario, 3 rilievi sono stati invece eseguiti sulla parete affiorante immediatamente a valle della linea ferroviaria.

Come accennato, la linea ferroviaria è sormontata da piccole pareti rocciose interessate da potenziale distacco di massi nella forma di caduta singola o di crolli di intere porzioni di ammasso roccioso affiorante.

Durante i rilievi eseguiti, sono stati raccolti dati relativi alla dimensione di blocchi caduti a terra e distribuiti a lato dei binari: in generale, le volumetrie risultano abbastanza contenute, tuttavia non si può per quest'area escludere la possibilità di distacco di volumi sensibilmente maggiori, che sono ben evidenti in parete, come meglio descritto nel seguito.

A livello globale, tutti i rilievi eseguiti hanno individuato quattro principali set di discontinuità: S, K1, K2 e K3; le intersezioni di tali discontinuità sono spesso in grado di generare instabilità di porzioni rocciose affioranti.

Nel dettaglio, la stratificazione (S) ha un'orientazione media di 330/33 ed è caratterizzata da una persistenza alta, con spaziatura di circa 0,5 m.

K1 è una famiglia molto persistente, caratterizzata da orientazione media di circa 175/85 e da spaziatura variabile, generalmente inferiore a 1 m o a 0,5 m.

La famiglia K2, invece, è caratterizzata da orientazione media 085/88 e ha spaziatura variabile da 20 cm fino a 1 m, con persistenza tendenzialmente da media a alta. Infine, la famiglia K3 è caratterizzata da orientazione media 139/57.

Le intersezioni fra le famiglie di discontinuità sopra descritte tendono a favorire lo svincolo di blocchi potenzialmente instabili, precisamente, l'intersezione fra K1 e K2, entrambe caratterizzate da inclinazione molto alta, isola colonne nell'ammasso roccioso, le quali favoriscono meccanismi di ribaltamento all'intersezione con K3.

Globalmente, le prove eseguite tramite martello di Schmidt sui sistemi di fratture forniscono valori di resistenza a compressione uniassiale variabili fra 40 e 60 Mpa, con valori medi che si attestano attorno a 47 Mpa.

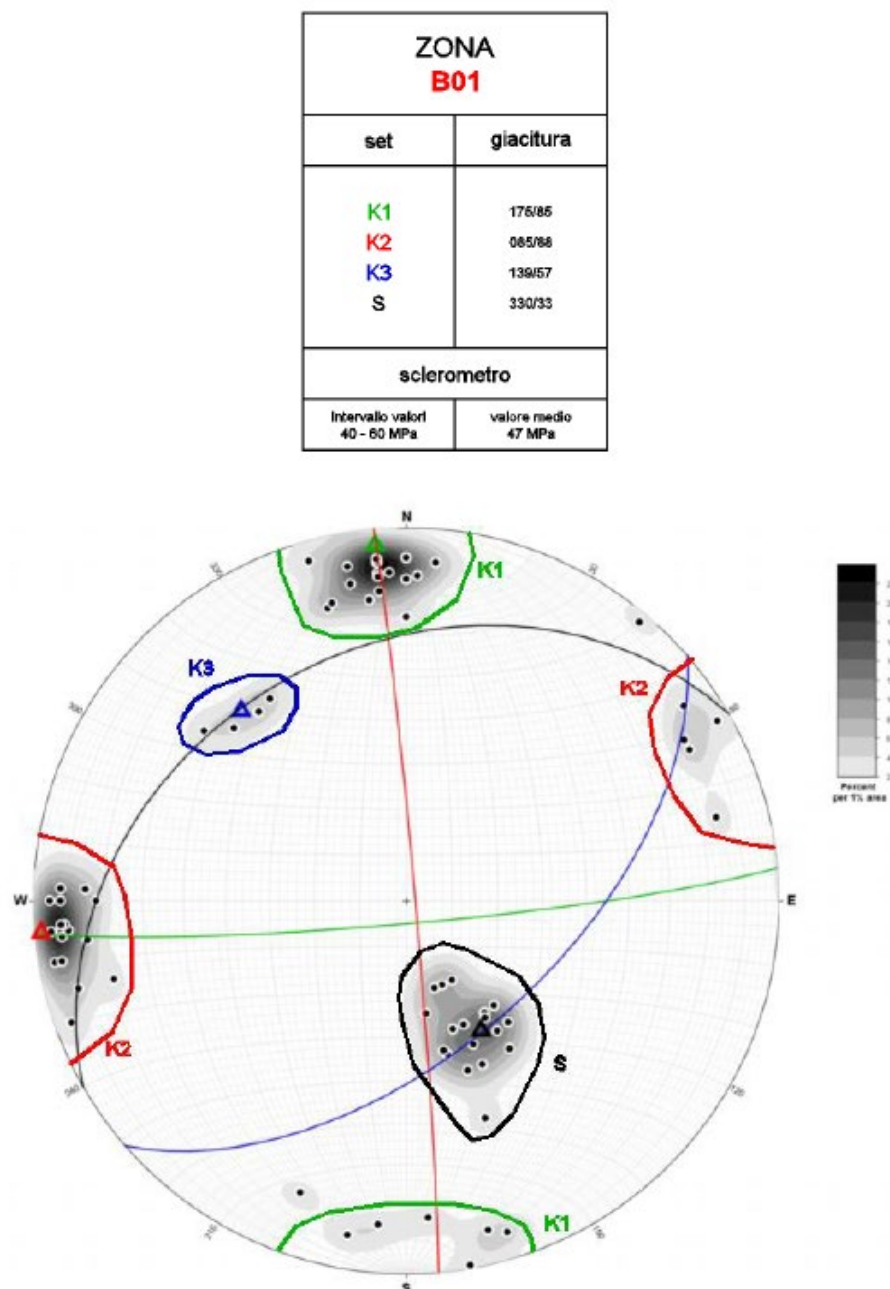


Figura 3 –Stereogramma delle famiglie individuate nel rilievo geomeccanico eseguito per l'area B01.

### Sondaggi geognostici (S8)

Per il presente lavoro, nel sito in esame è stata eseguita n.1 perforazione a distruzione perpendicolare alla parete, che ha raggiunto la profondità di 10 m; questo metodo permette di distinguere vari tipi di terreno e/o litologia in funzione delle loro caratteristiche tecniche e quindi della velocità di avanzamento della perforatrice. Il foro è stato in seguito ispezionato con telecamera per la definizione delle profondità delle zone di frattura/alterazione del substrato.

A tale perforazione è stato associato n.1 sondaggio a carotaggio continuo, eseguito anch'esso perpendicolare alla parete, per una lunghezza di 2 m, che ha permesso di campionare

(estrazione di carota) i materiali attraversati per la realizzazione di prove di laboratorio (per le quali si rimanda al paragrafo appositamente dedicato).

Le perforazioni hanno intercettato per il totale della loro lunghezza la Formazione di Breno, che è stato attraversato senza troppe difficoltà dalla perforatrice. Il foro realizzato a distruzione è stato quindi ispezionato con telecamera, procedura che ha permesso di notare la presenza di diverse fratture che pervadono l'ammasso. Precisamente, il foro S8 è attraversato nei primi metri da diverse fratture, come risulta anche visibile dalla carota di 2 m estratta durante il sondaggio a carotaggio continuo. A profondità maggiori alcune fratture sono invece associate a cavità e a ricristallizzazioni, che risultano tuttavia di dimensioni estremamente ridotte. Infine, verso il fondo foro, è possibile osservare una fascia con fratturazione più intensa, con piccoli stillicidi che interessano le fratture più profonde, intorno ai 9 m. Sommarariamente, la qualità dell'ammasso tende ad essere buona. L'indice RQD (Rock Quality Designation) calcolato sulla carota mostra un valore attorno al 45%; sulla lunghezza di 10 m, invece, l'indice migliora sensibilmente, raggiungendo valori attorno al 82%. Infine, l'indice calcolato direttamente su parete affiorante tramite scanline si attesta valori del 94%.

### Prove di laboratorio

Per il presente lavoro sono state eseguite diverse prove di laboratorio, al fine di ottenere una corretta parametrizzazione delle caratteristiche delle rocce. Si è quindi provveduto a raccogliere alcuni campioni di Calcare di Esino dalla carota estratta da sondaggio, che hanno consentito l'esecuzione di n. 3 tilt test per la definizione dell'angolo di attrito, n. 6 point load e n. 6 prove di compressione monoassiale per la definizione della resistenza a compressione monoassiale e n. 6 prove brasiliane per la definizione della resistenza a trazione.

Per i dettagli dell'esecuzione delle prove e dei risultati, si rimanda al rapporto di Pangea S.r.l. Per l'area in analisi, i campioni di interesse sono quelli riferiti al sondaggio S8.

Le prove di Point Load e le prove di compressione monoassiale hanno permesso di risalire alla resistenza a compressione semplice della roccia ( $\sigma_c$  o UCS = Uniaxial Compressive Strength), che rappresenta una proprietà meccanica fondamentale per la determinazione della qualità e la resistenza degli ammassi rocciosi. Dalla resistenza a compressione monoassiale dipendono in parte i risultati delle classificazioni geomeccaniche, che a loro volta influenzano la parametrizzazione dell'ammasso: da ciò nasce quindi la necessità di approfondire questo aspetto.

In questo senso, le prove di compressione monoassiale forniscono direttamente il valore desiderato, mentre le prove di Point Load forniscono un valore standard ( $Is_{50}$ ) che può essere convertito in UCS con semplici correlazioni di letteratura, semplicemente tramite la moltiplicazione di  $Is_{50}$  per un fattore di conversione fisso (K). Per il presente lavoro si è utilizzato un K pari a 18-20 come proposto da diversi autori, che ha prodotto valori di UCS paragonabili a quelli ottenuti tramite prova monoassiale ed è stato quindi ritenuto soddisfacente.

I valori di  $\sigma_c$  ottenuti dai due tipi di prova sono stati quindi raccolti insieme a quelli forniti dalle medesime prove eseguite nelle altre aree di indagine e ordinati in classi con ampiezza di 10 Mpa, per i Point Load, e di 20 Mpa per le prove di compressione, a partire dal valore minimo fino al valore massimo; è stata quindi applicata una semplice analisi di frequenza (si vedano gli istogrammi sottostanti) da cui è stato possibile estrapolare il valore medio della distribuzione.

I valori più frequenti di resistenza a compressione uniassiale da Point Load variano fra 30 e 50 MPa; tuttavia nella classificazione si è scelto di utilizzare il valore più frequente fornito dalla prova di compressione, che ha frequenza maggiore e si attesta fra 60 e 80 Mpa.



La prova brasiliana ha invece permesso di ricavare il valore della resistenza a trazione della roccia; i dati sono stati elaborati nel medesimo modo descritto precedentemente per Point Load e prova di compressione e hanno fornito valori più frequenti variabili fra 3 e 4 Mpa.

I Tilt Test hanno invece permesso di ricavare i valori di angolo di attrito del materiale roccioso. Precisamente, i valori più frequenti di angolo di attrito variano fra 50° e 55°.

### **3.2 AREA B02**

#### **3.2.1 Indagini eseguite**

Si descrivono nel seguito le indagini eseguite per la raccolta dei dati necessari alla definizione delle caratteristiche di sito. Precisamente, in questo sito sono state eseguite le seguenti prove geognostiche:

- n. 1 sondaggio a distruzione per una lunghezza di 10 m, associato a n.1 sondaggio a carotaggio continuo per una lunghezza di 2 m (S7)
- n. 2 rilievi geomeccanici

L'esecuzione del sondaggio a distruzione ha permesso la video ispezione del foro realizzato all'interno dell'ammasso, mentre il sondaggio a carotaggio continuo ha consentito il prelievo di campioni da sottoporre ad indagini di laboratorio, nel dettaglio:

- n. 9 tilt test
- n. 8 point load
- n. 2 prove brasiliane
- n. 5 prove di compressione monoassiale



*Figura 4 – Localizzazione delle indagini effettuate nell'area B02.*

#### **Rilievi geomeccanici**

Sono stati eseguiti, durante il periodo estivo del 2021, n. 2 rilievi geologici e geomeccanici finalizzati alla valutazione delle condizioni dell'ammasso nelle porzioni limitrofe alla ferrovia. Nel dettaglio, 1 rilievo è stato eseguito lungo il binario, 1 rilievo è stato invece eseguito sulla parete affiorante immediatamente a est del punto di indagine.

Come accennato, la linea ferroviaria è sormontata da pareti rocciose interessate da potenziale distacco di massi nella forma di caduta singola o di crolli di intere porzioni di ammasso roccioso affiorante.

Durante i rilievi eseguiti, sono stati raccolti dati relativi alla dimensione di blocchi caduti a terra e distribuiti a lato dei binari: in generale, le volumetrie risultano abbastanza contenute, tuttavia non si può per quest'area escludere la possibilità di distacco di volumi sensibilmente maggiori, chiaramente evidenti in parete, come meglio descritto nel seguito.

A livello globale, tutti i rilievi eseguiti hanno individuato quattro principali set di discontinuità: S, K1, K2 e K3; le intersezioni di tali discontinuità sono spesso in grado di generare instabilità di porzioni rocciose affioranti. Le orientazioni e le caratteristiche di tali set di discontinuità sono perfettamente compatibili con quanto ricavato da lavori eseguiti in aree limitrofe nel 2013, da Land & Cogeo s.r.l. (Relazione geologica a supporto del progetto di realizzazione di un edificio ricettivo in Località Belvedere in Comune di Breno (S) – Integrazione; novembre 2013); i dati di tale lavoro sono quindi stati utilizzati al fine di integrare i dati raccolti per il presente lavoro.

Nel dettaglio, la stratificazione (S) ha un'orientazione media di 345/27 ed è caratterizzata da una persistenza alta, con spaziatura di circa 0,5 m o 1 m. K1 è una famiglia molto persistente, caratterizzata da orientazione media di circa 180/82 ed è caratterizzata da spaziatura generalmente pari a 0,5 m. La famiglia K2, invece, è caratterizzata da orientazione media 085/89 e ha persistenza da bassa a media, con spaziatura variabile fra 0,5 e 1 m. Infine, la famiglia K3 è caratterizzata da orientazione media 132/60.

Le intersezioni fra le famiglie di discontinuità sopra descritte tendono a favorire lo svincolo di blocchi potenzialmente instabili, precisamente, la stratificazione tende a svincolare interi blocchi, mentre l'intersezione fra K3, K1 e S isola colonne nell'ammasso roccioso che tendono a ribaltare e/o scivolare; in particolare, sono state individuate due colonne alte circa una decina di metri, potenzialmente soggette a questo tipo di cinematismo, come meglio descritto in seguito.

Globalmente, le prove eseguite tramite martello di Schmidt sui sistemi di fratture forniscono valori di resistenza a compressione uniassiale variabili fra 40 e 50 Mpa, con valori medi che si attestano attorno a 46 Mpa.

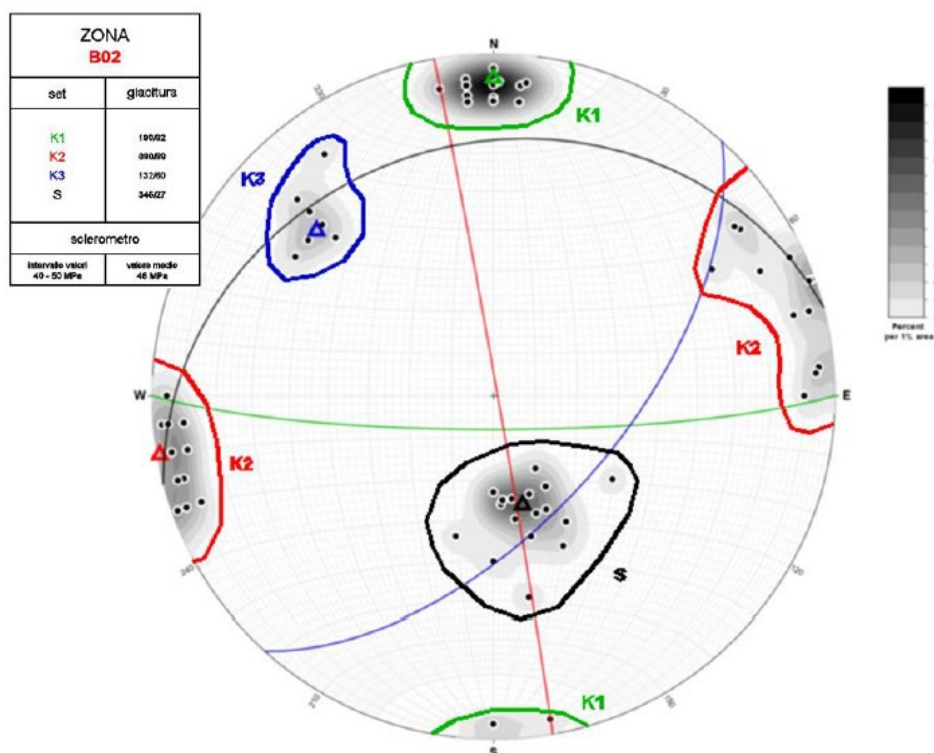


Figura 5 –Stereogramma delle famiglie individuate nel rilievo geomeccanico eseguito per l'area B02.

### Sondaggi geognostici (S7)

Per il presente lavoro, nel sito in esame è stata eseguita n.1 perforazione a distruzione perpendicolare alla parete, che ha raggiunto la profondità di 10 m; questo metodo permette di distinguere vari tipi di terreno e/o litologia in funzione delle loro caratteristiche tecniche e quindi della velocità di avanzamento della perforatrice. Il foro è stato in seguito ispezionato con telecamera per la definizione delle profondità delle zone di frattura/alterazione del substrato.

A tale perforazione è stato associato n. 1 sondaggio a carotaggio continuo, eseguito anch'esso perpendicolare alla parete, per una lunghezza di 2 m, che ha permesso di campionare (estrazione di carota) i materiali attraversati per la realizzazione di prove di laboratorio (per le quali si rimanda al paragrafo appositamente dedicato).

Le perforazioni hanno intercettato per il totale della loro lunghezza la Formazione di Breno. Il foro realizzato a distruzione è stato quindi ispezionato con telecamera, operazione che ha permesso di notare la presenza di diverse fratture che pervadono l'ammasso. Precisamente, il foro S7 è attraversato nei primi metri da diverse fratture, come risulta anche visibile dalla carota di 2 m estratta durante il sondaggio a carotaggio continuo. A profondità maggiori alcune fratture sono invece associate a cavità e a ricristallizzazioni di calcite, che risultano tuttavia di dimensioni estremamente ridotte. Ad esempio, alle profondità di circa 6,1 m e 5,2 m sono stati notati due livelli di calcite a riempimento di fratture, così come alla profondità di 8,8 m.

Sommariamente, la qualità dell'ammasso tende ad essere buona. L'indice RQD (Rock Quality Designation) calcolato sulla carota mostra un valore attorno al 80%; sulla lunghezza di 10 m, invece, l'indice migliora sensibilmente, raggiungendo valori attorno al 93%.

### Prove di laboratorio

Per il presente lavoro sono state eseguite diverse prove di laboratorio, al fine di ottenere una corretta parametrizzazione delle caratteristiche delle rocce. Si è quindi provveduto a raccogliere alcuni campioni di Calcare di Esino dalla carota estratta da sondaggio, che hanno consentito l'esecuzione di n. 9 tilt test per la definizione dell'angolo di attrito, n. 8 point load e n. 5 prove di compressione monoassiale per la definizione della resistenza a compressione monoassiale e n. 2 prove brasiliane per la definizione della resistenza a trazione.

Per i dettagli dell'esecuzione delle prove e dei risultati, si rimanda al rapporto di Pangea S.r.l. Per l'area in analisi, i campioni di interesse sono quelli riferiti al sondaggio S7.

Le prove di Point Load e le prove di compressione monoassiale hanno permesso di risalire alla resistenza a compressione semplice della roccia ( $\sigma_c$  o UCS = Uniaxial Compressive Strength), che rappresenta una proprietà meccanica fondamentale per la determinazione della qualità e la resistenza degli ammassi rocciosi. Dalla resistenza a compressione monoassiale dipendono in parte i risultati delle classificazioni geomeccaniche, che a loro volta influenzano la parametrizzazione dell'ammasso: da ciò nasce quindi la necessità di approfondire questo aspetto.

In questo senso, le prove di compressione monoassiale forniscono direttamente il valore desiderato, mentre le prove di Point Load forniscono un valore standard ( $Is_{50}$ ) che può essere convertito in UCS con semplici correlazioni di letteratura, semplicemente tramite la moltiplicazione di  $Is_{50}$  per un fattore di conversione fisso (K). Per il presente lavoro si è utilizzato un K pari a 18-20 come proposto da diversi autori, che ha prodotto valori di UCS paragonabili a quelli ottenuti tramite prova monoassiale ed è stato quindi ritenuto soddisfacente.

I valori di  $\sigma_c$  ottenuti dai due tipi di prova sono stati quindi raccolti insieme a quelli forniti dalle medesime prove eseguite nelle altre aree di indagine e ordinati in classi con ampiezza di 10 Mpa, per i Point Load, e di 20 Mpa per le prove di compressione, a partire dal valore minimo fino al valore massimo; è stata quindi applicata una semplice analisi di frequenza (si vedano gli istogrammi sottostanti) da cui è stato possibile estrapolare il valore medio della distribuzione.

I valori più frequenti di resistenza a compressione uniassiale da Point Load variano fra 60 e 70 MPa; tuttavia nella classificazione si è scelto di utilizzare il valore più frequente fornito dalla prova di compressione, che ha frequenza maggiore e si attesta fra 40 e 60 Mpa.

La prova brasiliana ha invece permesso di ricavare il valore della resistenza a trazione della roccia; i dati sono stati elaborati nel medesimo modo descritto precedentemente per Point Load e prova di compressione e hanno fornito valori più frequenti variabili fra 2 e 3 Mpa.

I Tilt Test hanno invece permesso di ricavare i valori di angolo di attrito del materiale roccioso. Precisamente, i valori più frequenti di angolo di attrito variano fra 50° e 55°.

### **3.3 AREA B08**

#### **3.3.1 Indagini eseguite**

Si descrivono nel seguito le indagini eseguite per la raccolta dei dati necessari alla definizione delle caratteristiche di sito. Precisamente, in questo sito sono state eseguite le seguenti prove geognostiche:

- n. 1 sondaggio a distruzione per una lunghezza di 10 m, associato a n.1 sondaggio a carotaggio continuo per una lunghezza di 2 m (S6)
- n. 4 rilievi geomeccanici



L'esecuzione del sondaggio a distruzione ha permesso la video ispezione del foro realizzato all'interno dell'ammasso, mentre il sondaggio a carotaggio continuo ha consentito il prelievo di campioni da sottoporre ad indagini di laboratorio, nel dettaglio:

- n. 6 tilt test
- n. 3 point load
- n. 3 prove brasiliane
- n. 5 prove di compressione monoassiale



*Figura 6 – Localizzazione delle indagini effettuate nell'area B08.*

### Rilievi geomeccanici

Sono stati eseguiti, durante il periodo estivo del 2021, n. 4 rilievi geologici e geomeccanici finalizzati alla valutazione delle condizioni dell'ammasso nelle porzioni limitrofe alla ferrovia. Nel dettaglio, 3 rilievi sono stati eseguiti lungo il binario, 1 rilievo è stato invece eseguito sulla parete affiorante a valle della linea ferroviaria.

Come accennato, la linea ferroviaria è sormontata da pareti rocciose interessate da potenziale distacco di massi nella forma di caduta singola o di crolli di intere porzioni di ammasso roccioso affiorante. In particolare, lo scavo stesso eseguito per la realizzazione dello spazio adibito al transito ferroviario, ha generato morfologie sporgenti "a tetto" a ridosso dei binari, le quali favoriscono il distacco di blocchi in verticale per mancato sostegno alla base. La parete presenta inoltre segni di carsismo, favorito chiaramente dalla natura calcarea delle rocce affioranti.

Durante i rilievi eseguiti, sono stati raccolti dati relativi alla dimensione di blocchi caduti a terra e distribuiti a lato dei binari: in generale, le volumetrie risultano abbastanza contenute, variabili fra un minimo di 0.016 mc e 0,12 mc; tuttavia, non si può per quest'area escludere la possibilità di distacco di volumi sensibilmente maggiori. Precisamente, le foto aree a

disposizione permettono di osservare in diversi punti la presenza di volumi potenzialmente instabili con dimensioni nettamente maggiori, come meglio descritto in seguito.

A livello globale, tutti i rilievi eseguiti hanno individuato tre principali set di discontinuità: K1, K2 e K3; le intersezioni di tali discontinuità sono spesso in grado di generare instabilità di porzioni rocciose affioranti.

Nel dettaglio, K1 è una famiglia molto persistente, caratterizzata da orientazione media di circa 260/75 ed è caratterizzata da spaziatura variabile, generalmente inferiore al metro. Lungo il binario sono stati inoltre individuati alcuni piani di faglia, non associati a evidenti fasce fratturate, la cui orientazione risulta del tutto compatibile con la famiglia K1. Inoltre, tale famiglia sembra essere la più predisposta a favorire lo sviluppo dei fenomeni carsici evidenti sulla parete, che insistono in modo particolare lungo le discontinuità di K1. La famiglia K2, invece, è caratterizzata da orientazione media 340/37 e ha spaziatura variabile fra 1 e 2 m, con buona persistenza. Infine, la famiglia K3 è caratterizzata da orientazione media 125/87; anche in questo, analogamente a K1, sono state individuate discontinuità, riconducibili a potenziali superfici di faglia, con andamento compatibile al set K3.

Globalmente, le prove eseguite tramite martello di Schmidt sui sistemi di fratture forniscono valori di resistenza a compressione uniassiale variabili fra 30 e 70 Mpa, con valori medi che si attestano attorno a 46 Mpa.

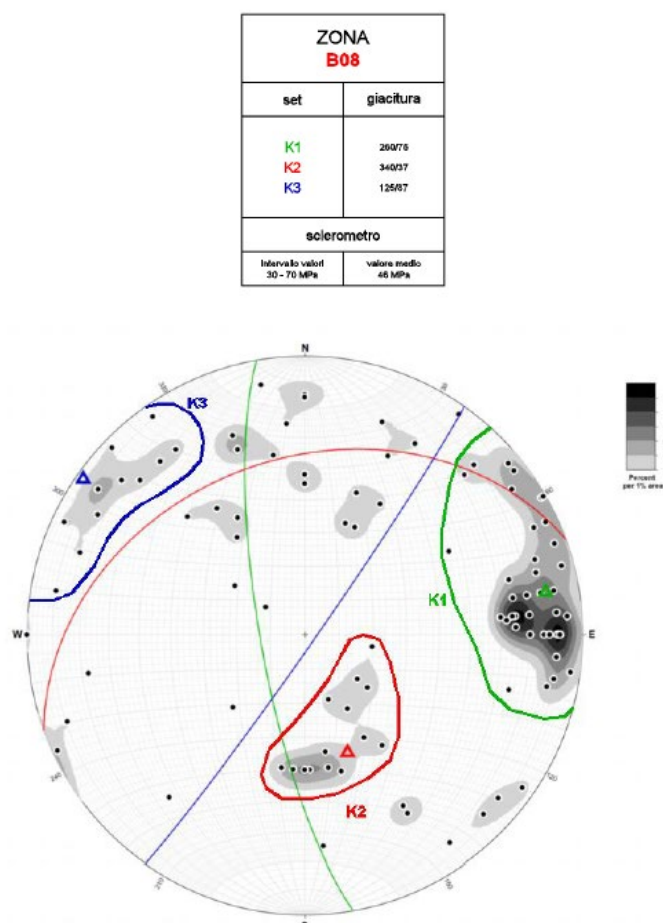


Figura 7 – Stereogramma delle famiglie individuate nei rilievi geomeccanici eseguiti per l'area B08.

### Sondaggi geognostici (S6)

Per il presente lavoro, nel sito in esame è stata eseguita n.1 perforazione a distruzione perpendicolare alla parete, che ha raggiunto la profondità di 10 m; questo metodo permette di

distinguere vari tipi di terreno e/o litologia in funzione delle loro caratteristiche tecniche e quindi della velocità di avanzamento della perforatrice. Il foro è stato in seguito ispezionato con telecamera per la definizione delle profondità delle zone di frattura/alterazione del substrato.

A tale perforazione è stato associato n. 1 sondaggio a carotaggio continuo, eseguito anch'esso perpendicolare alla parete, per una lunghezza di 2 m, che ha permesso di campionare (estrazione di carota) i materiali attraversati per la realizzazione di prove di laboratorio (per le quali si rimanda al paragrafo appositamente dedicato).

Le perforazioni hanno intercettato per il totale della loro lunghezza la il Calcare di Esino, che è stato attraversato senza troppe difficoltà dalla perforatrice. Il foro realizzato a distruzione è stato quindi ispezionato con telecamera e ha permesso di notare la presenza di diverse fratture che pervadono l'ammasso. Precisamente, il foro S6 è attraversato nei primi metri da alcune fratture, talora con riempimento, come risulta anche visibile dalla carota di 2 m estratta durante il sondaggio a carotaggio continuo. A profondità maggiori alcune fratture sono invece associate a cavità, che risultano tuttavia di dimensioni estremamente ridotte. Infine, verso il fondo foro, alla profondità di 8,35-0,50 m, è possibile osservare una fascia con fratturazione più intensa. Sommariamente, la qualità dell'ammasso tende ad essere buona; di fatto, l'indice RQD (Rock Quality Designation) calcolato sulla carota mostra un valore attorno al 89%. L'indice RQD calcolato invece tramite video ispezione raggiunge valori analoghi, attorno all'88%.

#### Prove di laboratorio

Per il presente lavoro sono state eseguite diverse prove di laboratorio, al fine di ottenere una corretta parametrizzazione delle caratteristiche delle rocce. Si è quindi provveduto a raccogliere alcuni campioni di Calcare di Esino dalla carota estratta da sondaggio, che hanno consentito l'esecuzione di n. 6 tilt test per la definizione dell'angolo di attrito, n. 3 point load e n. 5 prove di compressione monoassiale per la definizione della resistenza a compressione monoassiale e n. 3 prove brasiliane per la definizione della resistenza a trazione.

Per i dettagli dell'esecuzione delle prove e dei risultati, si rimanda al rapporto di Pangea S.r.l. Per l'area in analisi, i campioni di interesse sono quelli riferiti al sondaggio S6.

Le prove di Point Load e le prove di compressione monoassiale hanno permesso di risalire alla resistenza a compressione semplice della roccia ( $\sigma_c$  o UCS = Uniaxial Compressive Strength), che rappresenta una proprietà meccanica fondamentale per la determinazione della qualità e la resistenza degli ammassi rocciosi. Dalla resistenza a compressione monoassiale dipendono in parte i risultati delle classificazioni geomeccaniche, che a loro volta influenzano la parametrizzazione dell'ammasso: da ciò nasce quindi la necessità di approfondire questo aspetto.

In questo senso, le prove di compressione monoassiale forniscono direttamente il valore desiderato, mentre le prove di Point Load forniscono un valore standard ( $Is_{50}$ ) che può essere convertito in UCS con semplici correlazioni di letteratura, semplicemente tramite la moltiplicazione di  $Is_{50}$  per un fattore di conversione fisso (K). Per il presente lavoro si è utilizzato un K pari a 18-20 come proposto da diversi autori, che ha prodotto valori di UCS paragonabili a quelli ottenuti tramite prova monoassiale ed è stato quindi ritenuto soddisfacente.

I valori di  $\sigma_c$  ottenuti dai due tipi di prova sono stati quindi raccolti e ordinati in classi con ampiezza di 10 Mpa, per i Point Load, e di 20 Mpa per le prove di compressione, a partire dal valore minimo fino al valore massimo; è stata quindi applicata una semplice analisi di

frequenza (si vedano gli istogrammi sottostanti) da cui è stato possibile estrapolare il valore medio della distribuzione.

Come si evince dal grafico sottoriportato, i valori più frequenti di resistenza a compressione uniassiale da Point Load variano fra 50 e 60 MPa; tuttavia nella classificazione si è scelto di utilizzare il valore più frequente fornito dalla prova di compressione, che si attesta fra i 40 e i 60 Mpa.

La prova brasiliana ha invece permesso di ricavare il valore della resistenza a trazione della roccia; i dati sono stati elaborati nel medesimo modo descritto precedentemente per Point Load e prova di compressione e hanno fornito valori più frequenti variabili fra 2 e 3 Mpa.

I Tilt Test hanno invece permesso di ricavare i valori di angolo di attrito del materiale roccioso. Precisamente, i valori più frequenti di angolo di attrito variano fra 50° e 55°.

## **4. FASE DI ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI – CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA**

### **4.1 AREA B01**

Sulla base dei rilievi eseguiti è stato possibile classificare gli ammassi rocciosi mediante più metodi noti e utilizzati in letteratura, ottenendo così diversi indici in grado di descriverne la qualità. I metodi descritti di seguito forniscono inoltre una stima dei parametri caratteristici dell'ammasso roccioso, in termini di angolo d'attrito e componente coesiva equivalenti, in grado di descrivere il comportamento globale dell'ammasso a grande scala, dove il mezzo geologico può essere assimilato a un continuo equivalente.

Si presentano nel seguito le classificazioni utilizzate, comprensive di parametri di input e risultati.

#### **4.1.1 Indice RQD (Rock Quality Designation)**

L'indice di recupero percentuale modificato RQD (Rock Quality Designation) è finalizzato alla definizione della qualità delle carote estratte dalle perforazioni. La classificazione è basata sulla percentuale di frammenti di lunghezza maggiore di 10 cm recuperati in ogni manovra di un carotaggio.

Sulla base dell'indice RQD ottenuto, la qualità dell'ammasso può essere valutata in base a 5 classi:

<b>RQD</b>	<b>Qualità</b>
<25 %	Molto scadente
20 – 50 %	Scadente
50 – 75 %	Discreta
75 – 90 %	Buona
90 – 100 %	Molto buona

Per il presente lavoro l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo ha permesso l'estrazione di una carota, per una lunghezza totale di 2 m, sui cui è stato calcolato l'indice RQD.

Come precedentemente accennato, la percentuale di RQD per la carota estratta dal sondaggio S8 si attesta su valori attorno al 45%, rivelatori quindi di una qualità buona dell'ammasso. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che i carotaggi sono stati eseguiti fino a profondità



molto ridotte, pertanto le carote estratte descrivono le condizioni delle sole porzioni superficiali dell'ammasso; di fatto, è stato calcolato un indice RQD anche tramite le videoispezioni con telecamera all'interno dei fori eseguiti a distruzione: sulla lunghezza di 10 m l'indice raggiunge una percentuale del 82%, confermando quindi la qualità buona dell'ammasso anche a profondità maggiori.

#### 4.1.2 Indice RMR (Rock Mass Rating) - Bieniawski

Il Rock Mass Rating è un sistema di classificazione proposto da Bieniawski finalizzato alla descrizione degli ammassi rocciosi tramite un punteggio, l'indice RMR, suddiviso in 5 classi di qualità.

La classificazione di Bieniawski si basa sul rilievo di sei parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'indice Rock Mass Rating (RMR), che nella pratica viene differenziato come:

• RMR di base =  $RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$

• RMR corretto =  $RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore  $RMR_c$  calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità:

<b>RMRc</b>	100-81	80-61	60-41	40-21	≤20
<b>Classe</b>	I	II	III	IV	V
<b>Descrizione</b>	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di  $RMR_b$  si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso roccioso.

Si riporta di seguito la classificazione eseguita per gli ammassi rocciosi affioranti nell'area B01.

#### Dati di input per il calcolo dell'indice Rock Mass Rating (RMR):

- Resistenza a compressione monoassiale  $S_u = 45$  Mpa
- Spaziatura delle discontinuità (s)=0.2 m
- Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m
- Apertura del giunto > 5 mm
- Giunto leggermente rugoso
- Pareti leggermente alterate
- Riempimento assente
- Roccia asciutta

#### Risultati relativi all'indice Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione Su (MPa)			Rock Quality Designation (RQD)		
45,00			90,91		
V1	V2	V3	V4	V5	
4	0	3	5	6	
A1	A2	A3	A4	A5	A6
5,02	18,06	8,00	23,00	15,00	

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso:

RMR base	RMR corretto	Classe	Descrizione
64,08	64,08	Seconda	Buono

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso:

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
28.16	59.08	320.40	37.04	256.32	30.63

Gli ammassi rocciosi dell'area B01 rientrano in classe II (buona qualità), in rispetto di quanto osservato in sito e in accordo con quanto suggerito dall'indice RQD.

## 4.2 AREA B02

Sulla base dei rilievi eseguiti è stato possibile classificare gli ammassi rocciosi mediante più metodi noti e utilizzati in letteratura, ottenendo così diversi indici in grado di descriverne la qualità. I metodi descritti di seguito forniscono inoltre una stima dei parametri caratteristici dell'ammasso roccioso, in termini di angolo d'attrito e componente coesiva equivalenti, in grado di descrivere il comportamento globale dell'ammasso a grande scala, dove il mezzo geologico può essere assimilato a un continuo equivalente.

Si presentano nel seguito le classificazioni utilizzate, comprensive di parametri di input e risultati.

#### 4.2.1 Indice RQD (Rock Quality Designation)

L'indice di recupero percentuale modificato RQD (Rock Quality Designation) è finalizzato alla definizione della qualità delle carote estratte dalle perforazioni. La classificazione è basata sulla percentuale di frammenti di lunghezza maggiore di 10 cm recuperati in ogni manovra di un carotaggio.

Sulla base dell'indice RQD ottenuto, la qualità dell'ammasso può essere valutata in base a 5 classi:

RQD	Qualità
<25 %	Molto scadente
20 – 50 %	Scadente
50 – 75 %	Discreta
75 – 90 %	Buona
90 – 100 %	Molto buona

Per il presente lavoro l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo ha permesso l'estrazione di una carota, per una lunghezza totale di 2 m, sui cui è stato calcolato l'indice RQD.

Come precedentemente accennato, la percentuale di RQD per la carota estratta dal sondaggio S7 si attesta su valori attorno a 80%, indici quindi di una qualità buona dell'ammasso. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che i carotaggi sono stati eseguiti fino a profondità molto ridotte, pertanto le carote estratte sono indicativi delle condizioni delle sole porzioni superficiali dell'ammasso; di fatto, è stato calcolato un indice RQD anche tramite le videoispezioni con telecamera all'interno dei fori eseguiti a distruzione: sulla lunghezza di 10 m l'indice raggiunge una percentuale del 93%, confermando quindi la qualità buona dell'ammasso anche a profondità maggiori.

#### 4.2.2 Indice RMR (Rock Mass Rating) - Bieniawski

Il Rock Mass Rating è un sistema di classificazione proposto da Bieniawski finalizzato alla descrizione degli ammassi rocciosi tramite un punteggio, l'indice RMR, suddiviso in 5 classi di qualità.

La classificazione di Bieniawski si basa sul rilievo di sei parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'indice Rock Mass Rating (RMR), che nella pratica viene differenziato come:

- RMR di base =  $RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$
- RMR corretto =  $RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore  $RMR_c$  calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità:

RMRc	100-81	80-61	60-41	40-21	<=20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di RMR<sub>b</sub> si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso roccioso.  
Si riporta di seguito la classificazione eseguita per gli ammassi rocciosi affioranti nell'area B02.

Dati di input per il calcolo dell'indice Rock Mass Rating (RMR)

- Resistenza a compressione monoassiale = 45 MPa
- Spaziatura delle discontinuità (s)=0.5 m
- Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m
- Apertura del giunto > 5 mm
- Giunto leggermente rugoso
- Pareti leggermente alterate
- Riempimento assente
- Roccia asciutta

Risultati relativi all'indice Rock Mass Rating (RMR):

Resistenza a compressione Su (MPa)			Rock Quality Designation (RQD)		
45,01			94,64		
V1	V2	V3	V4	V5	
4	0	3	5	6	
A1	A2	A3	A4	A5	A6
5,02	18,86	9,78	23,00	15,00	

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso:

RMR base	RMR corretto	Classe	Descrizione
66.66	66.66	Seconda	Buono

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 (°)
33.32	61.66	333.30	38.33	266.64	31.66

Gli ammassi rocciosi dell'area B02 rientrano in classe II (buona qualità), in rispetto di quanto osservato in sito e in accordo con quanto suggerito dall'indice RQD.

### **4.3 AREA B08**

Sulla base dei rilievi eseguiti è stato possibile classificare gli ammassi rocciosi mediante più metodi noti e utilizzati in letteratura, ottenendo così diversi indici in grado di descriverne la qualità. I metodi descritti di seguito forniscono inoltre una stima dei parametri caratteristici dell'ammasso roccioso, in termini di angolo d'attrito e componente coesiva equivalenti, in grado di descrivere il comportamento globale dell'ammasso a grande scala, dove il mezzo geologico può essere assimilato a un continuo equivalente.

Si presentano nel seguito le classificazioni utilizzate, comprensive di parametri di input e risultati.

#### **4.3.1 Indice RQD (Rock Quality Designation)**

L'indice di recupero percentuale modificato RQD (Rock Quality Designation) è finalizzato alla definizione della qualità delle carote estratte dalle perforazioni. La classificazione è basata sulla percentuale di frammenti di lunghezza maggiore di 10 cm recuperati in ogni manovra di un carotaggio.

Sulla base dell'indice RQD ottenuto, la qualità dell'ammasso può essere valutata in base a 5 classi:

<b>RQD</b>	<b>Qualità</b>
<25 %	Molto scadente
20 – 50 %	Scadente
50 – 75 %	Discreta
75 – 90 %	Buona
90 – 100 %	Molto buona

Per il presente lavoro l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo ha permesso l'estrazione di una carota, per una lunghezza totale di 2 m, sui cui è stato calcolato l'indice RQD.

Come precedentemente accennato, la percentuale di RQD per la carota estratta dal sondaggio S6 si attesta su valori attorno al 89%, rivelatori quindi di una qualità buona dell'ammasso. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che i carotaggi sono stati eseguiti fino a profondità molto ridotte, pertanto le carote estratte rivelano le condizioni delle sole porzioni superficiali dell'ammasso; di fatto, è stato calcolato un indice RQD anche tramite le videoispezioni con telecamera all'interno dei fori eseguiti a distruzione: sulla lunghezza di 10 m l'indice raggiunge una percentuale del 88%, confermando quindi la qualità buona dell'ammasso anche a profondità maggiori.

#### **4.3.2 Indice RMR (Rock Mass Rating) - Bieniawski**

Il Rock Mass Rating è un sistema di classificazione proposto da Bieniawski finalizzato alla descrizione degli ammassi rocciosi tramite un punteggio, l'indice RMR, suddiviso in 5 classi di qualità.

La classificazione di Bieniawsky si basa sul rilievo di sei parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;

- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'indice Rock Mass Rating (RMR), che nella pratica viene differenziato come:

- RMR di base =  $RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$
- RMR corretto =  $RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore  $RMR_c$  calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità:

RMRc	100-81	80-61	60-41	40-21	$\leq 20$
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di  $RMR_b$  si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso roccioso.

Si riporta di seguito la classificazione eseguita per gli ammassi rocciosi affioranti nell'area B08.

#### Dati di input per il calcolo dell'indice Rock Mass Rating (RMR)

- Resistenza a compressione monoassiale = 35 MPa
- Spaziatura delle discontinuità (s)=0.100000001490116 m
- Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m
- Apertura del giunto < 1 mm
- Giunto leggermente rugoso
- Pareti leggermente alterate
- Riempimento assente
- Roccia asciutta

#### Risultati relativi all'indice Rock Mass Rating (RMR):

Resistenza a compressione Su (MPa)			Rock Quality Designation (RQD)		
35			82,86		
V1	V2	V3	V4	V5	
4	5	3	5	6	
A1	A2	A3	A4	A5	A6
4,15	16,34	6,50	23,00	15,00	

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 e un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche  
A6 e un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso:

RMR base	RMR corretto	Classe	Descrizione
64,98	64,98	Seconda	Buono

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 (°)
29,96	59,98	324,90	37,49	259,92	30,99

Gli ammassi rocciosi dell'area B08 rientrano in classe II (buona qualità), in rispetto di quanto osservato in sito e in accordo con quanto suggerito dall'indice RQD. Gli ammassi sono infatti interessati da diverse famiglie di fratture, che tuttavia non risultano, a livello generale, particolarmente persistenti e pervasive, ma mostrano tali caratteri solo localmente, dove talora sono associate a fasce a fitta fratturazione, che costituiscono zone di debolezza in grado di causare un abbassamento della qualità dell'ammasso.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente Relazione geotecnica e geomeccanica è parte del progetto esecutivo degli **interventi di manutenzione contro il dissesto idrogeologico sulla linea ferroviaria FERROVIENORD Brescia - Iseo - Edolo**.

Alla luce di quanto emerso a seguito delle indagini eseguite presso i siti oggetto di intervento, di seguito si riporta schematicamente una tabella riassuntiva dei parametri geotecnici ricavati.

Area	RMR corretto	Descrizione ammasso roccioso	Modulo di deformazione (GPa)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)
B01	64.08	Buono	28.16	320.40	30.63
B02	66.66	Buono	33.32	333.30	38.33
B08	64.98	Buono	29.96	324.90	37.49