

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J14H20000970001

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA

LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

Relazione sulla classificazione geomeccanica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I T 1 J 1 0 R 6 9 R H G E 0 0 0 5 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Sciascia	Maggio 2021	M.C. Morandi	Maggio 2021	S. Lo Presti	Maggio 2021	M. Comedini

Maggio 2021

Dot. Geol. Massimo Comedini
Ordine dei Geologi del Lazio
n° 2103

File:

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
2.1	NORMATIVA.....	5
2.2	BIBLIOGRAFIA	5
3	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	6
3.1	ROCK MASS RATING (RMR).....	6
3.2	Q-SYSTEM.....	11
3.3	IL CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK & BROWN.....	18
3.4	CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	20

Relazione sulla classificazione geomeccanica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IT1J	10	R 69 RH	GE 0005 002	A	3 di 28

FIGURE

FIGURA 1: PLANIMETRIA UBICAZIONE STAZIONI GEOMECCANICHE	4
FIGURA 2: CLASSIFICAZIONE RMR, PUNTEGGI RELATIVI ALLA RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA (DA BIENIAWSKI, 1989).	7
FIGURA 3: CLASSIFICAZIONE RMR, PUNTEGGI RELATIVI AD RQD (DA BIENIAWSKI, 1989).	8
FIGURA 4: CLASSIFICAZIONE RMR, PUNTEGGI RELATIVI ALLA SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ (DA BIENIAWSKI, 1989).	8
FIGURA 5: CLASSIFICAZIONE RMR, PUNTEGGI RELATIVI ALLA RELAZIONE TRA RQD E LA SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ (DA BIENIAWSKI, 1989).	9
FIGURA 6: CLASSIFICAZIONE RMR, PUNTEGGI RELATIVI ALLE CONDIZIONI DEI GIUNTI (DA BIENIAWSKI, 1989).....	10
FIGURA 7: VALORI DI RQD E RISPETTIVO NUMERO DI GIUNTI PER METRO CUBO.	12
FIGURA 8: VUMERO DI FAMIGLIE DI GIUNTI E RISPETTIVE CLASSI	12
FIGURA 9: GIUNTI CON E SENZA CONTATTO TRA LE PARETI	13
FIGURA 10: ESEMPI DI SUPERFICI DI GIUNTO CON DIVERSI VALORI DI JR.	14
FIGURA 11: GSI PER AMMASSI ROCCIOSI FRATTURATI (HOEK & MARINOS, 2000 TRADOTTO IN BRUSCHI, 2004).....	19
FIGURA 12: SG1 – RMRB E Q.	21
FIGURA 13: SG2– RMRB E Q.	22
FIGURA 14: SG3 – RMRB E Q.	23
FIGURA 15: SG4 – RMRB E Q.	24
FIGURA 16: SG5 – RMRB E Q.	25
FIGURA 17: SG6 – RMRB E Q.	26
FIGURA 18: SG7 – RMRB E Q.	27

TABELLE

TABELLA 1: PARAMETRI DELLA CLASSIFICAZIONE RMR E LORO COEFFICIENTI NUMERICI	10
TABELLA 2: COMPENSAZIONE DEI COEFFICIENTI NUMERICI IN BASE ALL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI.....	11
TABELLA 3: CLASSI DI ROCCIA DETERMINATE IN BASE ALLA SOMMA DEI COEFFICIENTI NUMERICI.....	11
TABELLA 4: CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DELLE CINQUE CLASSI DI AMMASSO	11
TABELLA 5: VALORI DI JR.	13
TABELLA 6: VALORI DI JA.....	15
TABELLA 7: VALORI DI JW.....	16
TABELLA 8: VALORI DI SRF	17
TABELLA 9: SINTESI DEI DATI RMRB, Q E GSI VALUTATI PER LE STAZIONI GEOMECCANICHE DI RIFERIMENTO.....	20

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce il rapporto tecnico contenente i risultati delle analisi condotte sulle stazioni geomeccaniche nell'ambito del progetto di elettrificazione Trento-Bassano del Grappa – Lotto 1: tratta Trento-Borgo Valsugana est.

Tale attività ha portato alla realizzazione di 7 stazioni geomeccaniche sulle due formazioni geologiche litoidi affioranti in corrispondenza delle quattro gallerie interessate dai lavori di progetto:

- Formazione di Monte Zugna (Calcari Grigi auct.): SG1 ÷ SG6;
- Dolomia Principale: SG7.

L'ubicazione delle stazioni geomeccaniche è riportata in Figura 1.

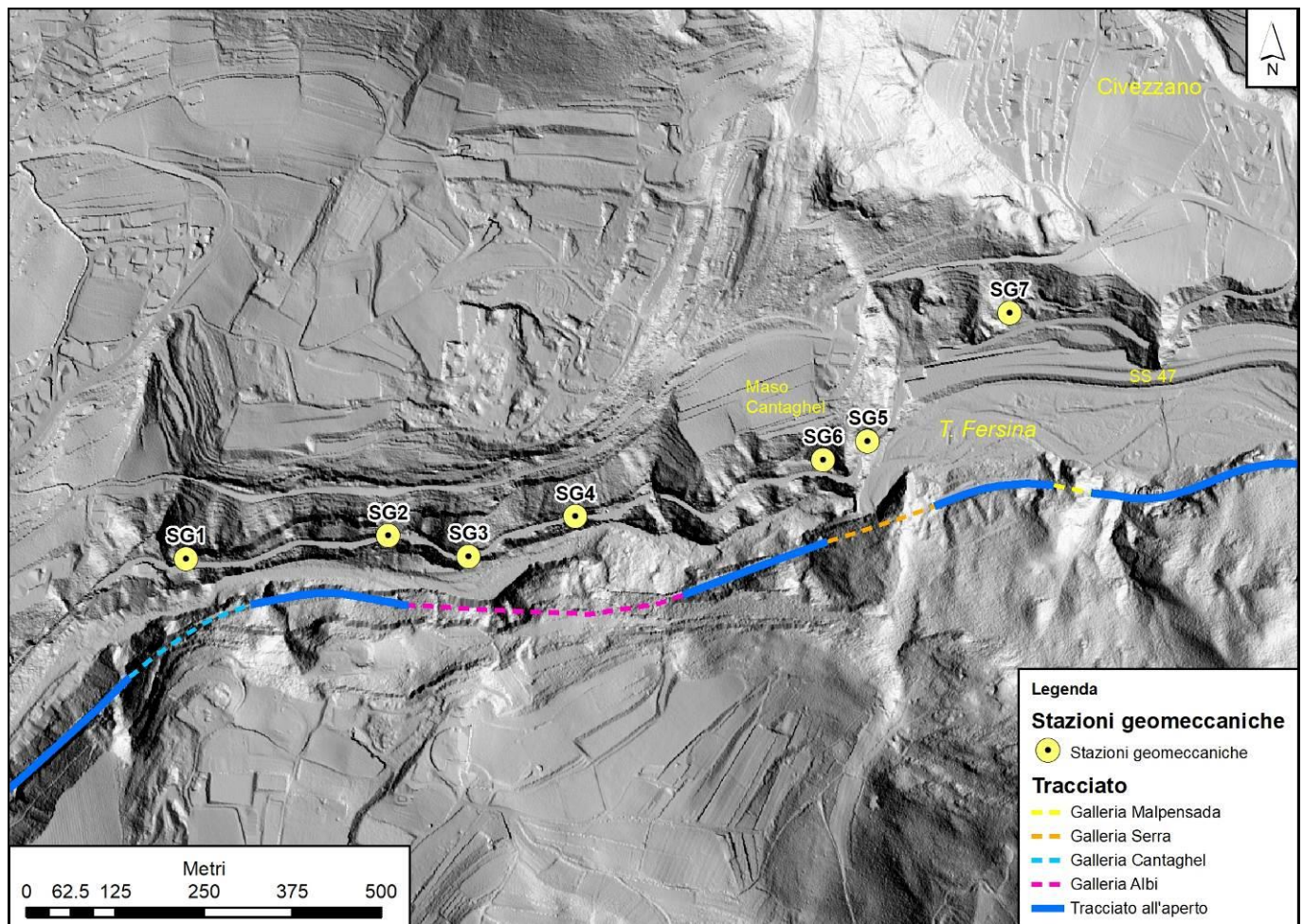


Figura 1: Planimetria con ubicazione delle stazioni geomeccaniche

Una ulteriore stazione geomeccanica è stata realizzata presso lo stop 34. L'ubicazione dello stop è riportata nella Carta geologica (IT1J10R69G4GE0001001A÷005A) e nella Carta ubicazione stop geologici, stazioni geomeccaniche e indagini geognostiche (IT1J10R69G4GE0005001A÷005A).

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA

- D.M. 17/01/2018, aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21/01/2019, n.7 recante “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al D.M. 17/01/2018”
- O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n.3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- EUROCODICI: EN 1997, Eurocode 7: Geotechnical design;
- EUROCODICI: EN 1998, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance;

2.2 BIBLIOGRAFIA

- AFTES, (2003). Guidelines for characterisation of rock masses useful for the design and the construction of underground structures.
- Barton N., (2011). Near-surface rock engineering and fractured reservoirs rock mechanics, each linked by geophysics. Short Course – Centro di GeoTecnologie Università degli Studi di Siena.
- Barton N., Bieniawski, Z.T. (2008). RMR and Q – Setting records. Tunnels & Tunnelling International, February.
- Barton N., Lien R., Lunde J., (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, 6 (4).
- Benedetti G., Berti M., Moruzzi F., Rodani S., Sapigni M., Sciascia F., (2016). Characterization of geological and geomechanical uncertainties and risks – The case study of two railway tunnels (Trento, Southern Alps, Italy). Rend. Online Soc. Geol. It., Suppl. n. 1 al Vol. 40 (2016), 88° Congresso SGI, Napoli 2016.
- Bieniawski, Z.T., (1989). Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons.
- Hoek E., Marinos,? (2000). GSI, a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne, 1422-1442.
- Hoek. E., Carranza-Torres C., Corkum B., (2002). Hoek-Brown Failure Criterion, 2002 Edition.
- Hoek. E., Diederichs M.S., (2005). Empirical estimation of rock mass modulus, Int. J. Of Rock Mechanics and Mining Sciences, Elsevier.
- ISRM, (1978). Suggested methods for the description of discontinuities in rock masses.
- NGI, (2013). Using the Q-system. Rock mass classification and support design. Handbook.
- AGI, (1977). Raccomandazioni “Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
Relazione sulla classificazione geomeccanica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IT1J	10	R 69 RH	GE 0005 002	A	6 di 28

- AGI, (1994). Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio.

3 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Un ammasso roccioso è costituito da blocchi di materiale roccioso integro separati da giunti o da discontinuità. Il suo comportamento meccanico dipende quindi sia dalle proprietà meccaniche del materiale roccioso intatto sia dalle caratteristiche delle discontinuità.

L'importanza relativa di questi due fattori è legata al rapporto tra la spaziatura delle discontinuità e la scala del problema in esame. Esistono, in linea generale, due approcci al problema: l'ammasso può essere considerato come un mezzo discontinuo nel quale i movimenti possono avvenire esclusivamente lungo le discontinuità, oppure può essere approssimato ad un mezzo continuo (sebbene fisicamente non lo sia) ai fini del problema in esame ed il suo comportamento descritto tramite parametri complessivi.

Seguendo il primo approccio è necessario, oltre alla conoscenza dell'orientazione delle discontinuità, effettuare una stima della resistenza al taglio disponibile lungo i piani di discontinuità. Il secondo approccio utilizza invece schemi classificativi di tipo empirico (RMR – Bieniawski, 1973, 1989; GSI – Hoek & Marinos, 2000) che restituiscono i parametri progettuali di uso comune e che si sono dimostrati validi e ben applicabili a casi reali.

L'osservazione degli affioramenti ha fornito indicazioni circa le caratteristiche delle discontinuità e delle proprietà macroscopiche dell'ammasso (si veda il rapporto sulle attività di campagna IT1J10R69RHGE0005001A). Per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale intatto alla scala del campione si è fatto riferimento, ove possibile, ai dati acquisiti durante le fasi rilevamento (martello di Schmidt, prove di indice manuale, ecc.), alle prove di laboratorio disponibili e ai dati bibliografici.

3.1 Rock Mass Rating (RMR)

Il sistema RMR (*Rock Mass Rating*) è stato sviluppato da Bieniawski nel 1973. Nella sua ultima versione (1989), la classificazione dell'ammasso roccioso secondo il sistema RMR è basata su sei parametri:

- Resistenza a compressione monoassiale del materiale intatto;
- *Rock Quality Designation* (RQD);
- Spaziatura delle discontinuità;
- Condizioni delle discontinuità;
- Condizioni dell'acqua nel sottosuolo;
- Orientazione delle discontinuità.

Il sistema RMR stabilisce l'assegnazione di un punteggio (secondo range di valori prestabiliti) a ciascuno dei parametri sopra elencati: a punteggio più alto corrispondono condizioni dell'ammasso migliori. Per ogni famiglia di discontinuità sono valutate le condizioni rappresentative delle stesse; i punteggi sono interpolati utilizzando 5 tabelle di riferimento (charts A – E; Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6). La chart D (Figura 6) è utilizzata nel caso in cui il parametro RQD (o il parametro che individua la spaziatura delle discontinuità) sia mancante. L'interpolazione è basata sui dati di correlazione elaborati da Priest e Hudson (1976).

Dopo l'assegnazione del punteggio (*rating*) a ciascun parametro si ottiene un valore globale per l'ammasso, derivante dalla somma dei punteggi precedentemente assegnati. Tale valore, ottenuto

utilizzando i primi cinque parametri (RMRbase), viene ulteriormente affinato tenendo conto di un sesto parametro che considera la compensazione dei coefficienti numerici in base all'orientamento dei giunti (RMRcorretto).

Il coefficiente RMR varia tra 0 e 100 e può essere suddiviso in 5 intervalli (0÷20, 21÷40, 41÷60, 61÷80, 81÷100) all'interno dei quali l'ammasso roccioso presenta diversi valori delle caratteristiche di resistenza, tempo medio di autoportanza e lunghezza massima di scavo stabile.

Nelle Tabella 3, Tabella 4, Tabella 5, Tabella 6 sono riportati i parametri su cui è basata la Classificazione Geomeccanica RMR di Bieniawski.

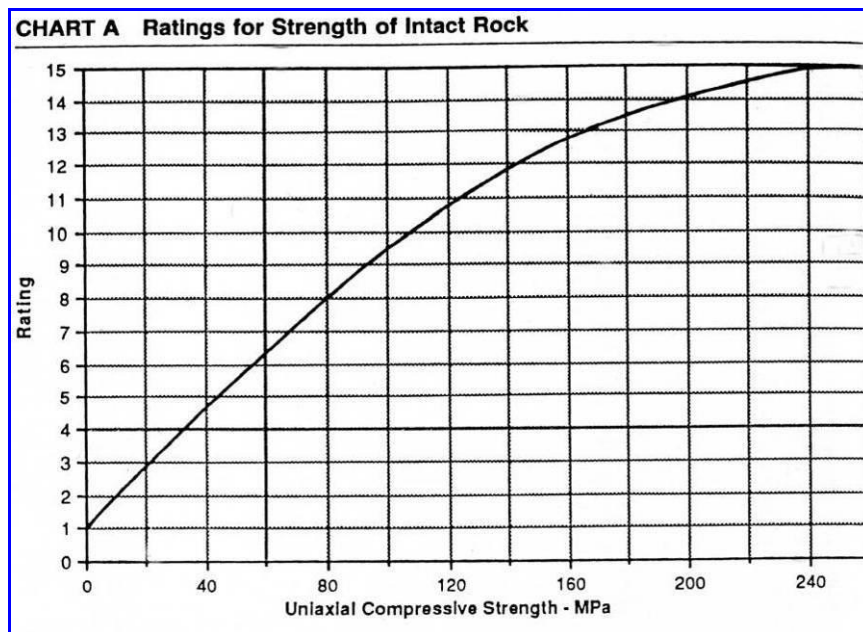


Figura 2: classificazione RMR, punteggi relativi alla resistenza della roccia intatta (da BIENIAWSKI, 1989).

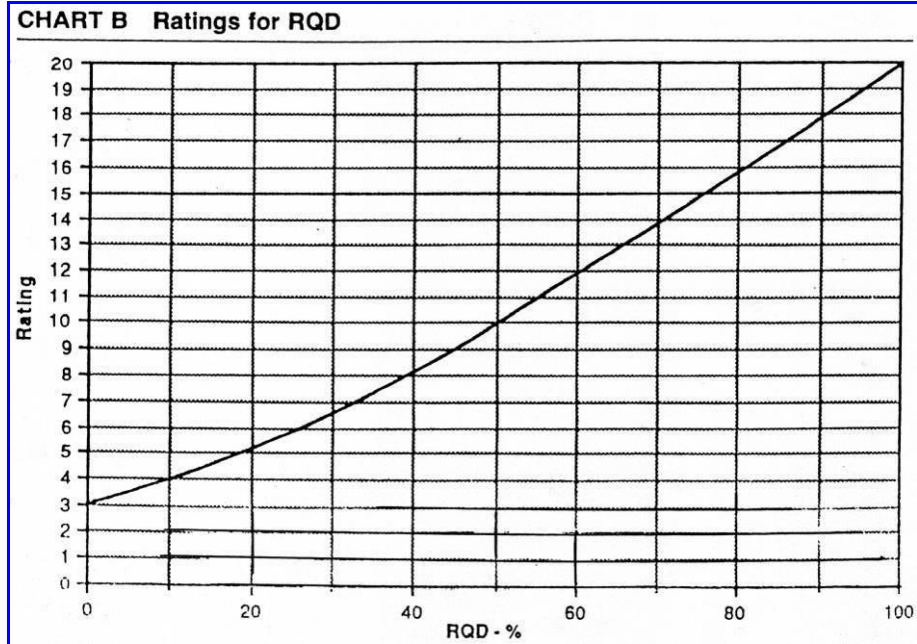


Figura 3: classificazione RMR, punteggi relativi ad RQD (da BIENIAWSKI, 1989).

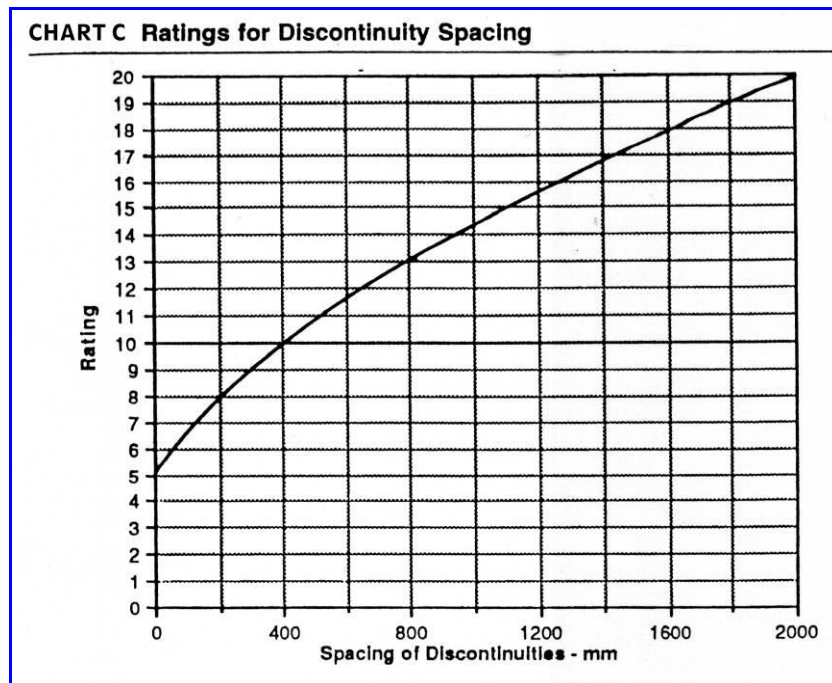


Figura 4: classificazione RMR, punteggi relativi alla spaziatura delle discontinuità (da BIENIAWSKI, 1989)

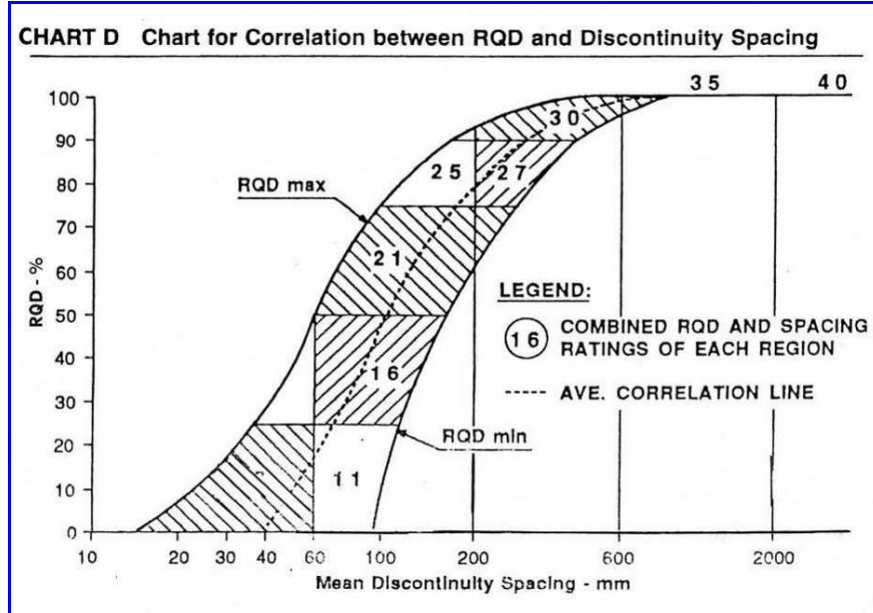


Figura 5: classificazione RMR, punteggi relativi alla relazione tra RQD e la spaziatura delle discontinuità (da BIENIAWSKI, 1989)

CHART E Guidelines for classification of Discontinuity Conditions

Parameter	Ratings				
Disc. Length	< 1m	1 ÷ 3 m	3 ÷ 10 m	10 ÷ 20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
Separation	None	< 0.1 mm	0.1 ÷ 1 mm	1 ÷ 5 mm	> 5 mm
	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slikensided
	6	5	3	1	0
	Hard filling			Soft filling	
Infilling	None	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Mod. weathered	Highly weathered	Decomposed
	6	5	3	1	0

Figura 6: classificazione RMR, punteggi relativi alle condizioni dei giunti (da BIENIAWSKI, 1989)

Parametri			Intervallo di valori						
1	resistenza della roccia intatta	Point load test	> 10	4 ÷ 10	2 ÷ 4	1 ÷ 2	preferibile la compressione		
		Resist. a compress. uniass	> 250	100 ÷ 250	50 ÷ 100	25 ÷ 50	5 ÷ 25	1 ÷ 5	< 1
		punteggio	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 ÷ 100	75 ÷ 90	50 ÷ 75	25 ÷ 50	< 25		
	punteggio		20	17	13	8	3		
3	spaziatura delle discontinuità (cm)		> 200	60 ÷ 200	20 ÷ 60	6 ÷ 20	< 6		
	punteggio		20	15	10	8	5		
4	condizioni delle discontinuità		sup. molto scabrose	sup. scabrose	sup. poco scabrose	sup. lisce	riemp. di argilla molle di spess. > 5 mm		
			disc. chiuse e non continue	apertura delle discontinuità < 1mm	apertura delle discontinuità < 1mm	riemp. argilloso di spess. > 5 mm			
			pareti asciutte	pareti umide	pareti bagnate	disc. persistenti apert. 1 ÷ 5 mm	disc. persistenti apert. > 5 mm		
	punteggio		30	25	20	10	0		
5	acqua nel sottosuolo (L/min)	venute d'acqua in 10 m di galleria rapp. (press. nei giunti/tens. princ. max)	nessuna	< 10	10 ÷ 25	25 ÷ 125	> 125		
		cond. generali della roccia	0	< 0.1	0.1 ÷ 0.2	0.2 ÷ 0.5			
		compl. asciutta	umida	bagnata	stillicidi	venute d'acqua			
	punteggio		15	10	7	4	0		

Tabella 1: parametri della classificazione RMR e loro coefficienti numerici

direzione ed immersione delle discontinuità		molto favorevole	favorevole	indifferente	sfavorevole	molto sfavorevole
punteggio	gallerie	0	- 2	- 5	- 10	- 12
	fondazioni	0	- 2	- 7	- 15	- 25
	frane	0	- 5	- 25	- 50	- 60

Tabella 2: compensazione dei coefficienti numerici in base all'orientamento dei giunti

somma dei punteggi (RMR)	100 ÷ 81	80 ÷ 61	60 ÷ 41	40 ÷ 21	20 ÷ 0
classe	I	II	III	IV	V
descrizione della roccia	molto buona	buona	discreta	scadente	molto scadente

Tabella 3: classi di roccia determinate in base alla somma dei coefficienti numerici

classe	I	II	III	IV	V
tempo medio di auto portanza	20 anni	1 anno	1 settimana	10 ore	30 minuti
lunghezza max di scavo stabile	15 m	10 m	5 m	2.5 m	1 m
coesione dell'ammasso (kPa)	> 400	300 ÷ 400	200 ÷ 300	100 ÷ 200	< 100
angolo d'attrito interno (°)	> 45	35 ÷ 45	25 ÷ 35	15 ÷ 35	< 15

Tabella 4: caratteristiche geomeccaniche delle cinque classi di ammasso

3.2 Q-System

La classificazione di Barton è stata sviluppata al *Norwegian Geotechnical Institute* nel 1974. Un consistente aggiornamento è stato eseguito prima nel 1993 poi nel 2002, introducendo in totale nel database quasi 2000 nuovi casi di studio. Il più recente aggiornamento, NGI 2013, riguarda solamente la parte relativa ai rinforzi delle opere in sotterraneo.

La classificazione di Barton individua, tra gli altri, tre parametri fondamentali che influenzano la stabilità di un ammasso roccioso:

- Grado di fratturazione (dimensione dei blocchi);
- Attrito lungo i giunti;
- Stress.

Il valore di Q è calcolato utilizzando la formula:

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

I valori presenti nella formula sono di seguito descritti:

1. RQD: rappresenta la sommatoria dei tratti con lunghezza superiore a 10 cm rispetto alla lunghezza totale della carota o della *scanline*; è espresso come percentuale rispetto alla lunghezza totale;

1 RQD (Rock Quality Designation)			RQD
A	Very poor	(> 27 joints per m ³)	0-25
B	Poor	(20-27 joints per m ³)	25-50
C	Fair	(13-19 joints per m ³)	50-75
D	Good	(8-12 joints per m ³)	75-90
E	Excellent	(0-7 joints per m ³)	90-100

Note: i) Where RQD is reported or measured as ≤ 10 (including 0) the value 10 is used to evaluate the Q-value
ii) RQD-intervals of 5, i.e. 100, 95, 90, etc., are sufficiently accurate

Figura 7: valori di RQD e rispettivo numero di giunti per metro cubo.

2. J_n (*Joint Set Number*): indica il numero di famiglie di giunti presenti nell'ammasso roccioso. All'interno del conteggio devono essere considerati anche i giunti non appartenenti ad alcuna famiglia (giunti *random*). Per capire meglio quali siano le principali famiglie di giunti, in funzione della loro orientazione, è consigliabile plottare le giaciture all'interno di *stereo net* cosicché le differenti direzioni appaiano graficamente nello stereogramma come aree a maggior concentrazione di punti;

2 Joint set number		J_n
A	Massive, no or few joints	0.5-1.0
B	One joint set	2
C	One joint set plus random joints	3
D	Two joint sets	4
E	Two joint sets plus random joints	6
F	Three joint sets	9
G	Three joint sets plus random joints	12
H	Four or more joint sets, random heavily jointed "sugar cube", etc	15
J	Crushed rock, earth like	20

Note: i) For tunnel intersections, use $3 \times J_n$
ii) For portals, use $2 \times J_n$

Figura 8: numero di famiglie di giunti e rispettive classi

3. J_r (*Joint Roughness Number*): indica il grado di rugosità della famiglia più sfavorevole dal punto di vista della stabilità dell'ammasso. La rugosità deve essere stimata anche in base alla presenza e all'eventuale tipo di materiale di riempimento poiché, qualora le pareti del giunto non entrino in contatto durante lo scivolamento, la stima di tale parametro perde di significato (Figura 9). Per classificare i valori di rugosità (Tabella 5) di un giunto, i profili ottenuti mediante il pettine di Barton devono essere confrontati con profili standard come quelli di Figura 10;

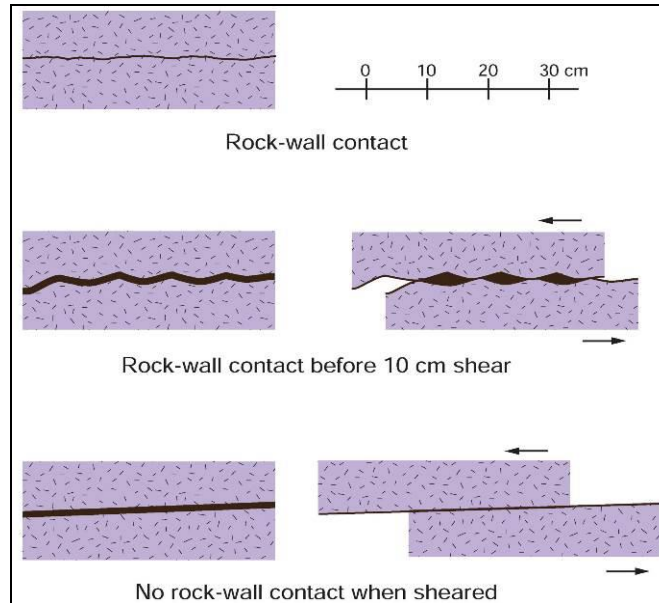


Figura 9: giunti con e senza contatto tra le pareti

3 Joint Roughness Number		J_r
<i>a) Rock-wall contact, and b) Rock-wall contact before 10 cm of shear movement</i>		
A	Discontinuous joints	4
B	Rough or irregular, undulating	3
C	Smooth, undulating	2
D	Slickensided, undulating	1.5
E	Rough, irregular, planar	1.5
F	Smooth, planar	1
G	Slickensided, planar	0.5

Tabella 5: valori di J_r

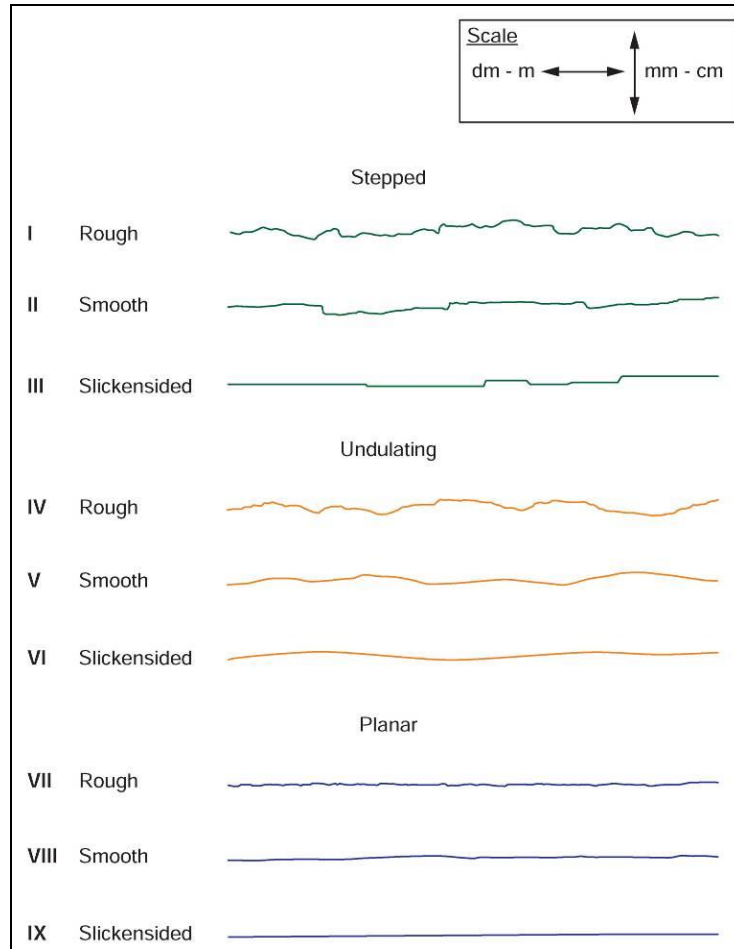


Figura 10: esempi di superfici di giunto con diversi valori di J_r

4. J_a (*Join Alteration Number*): indica il grado di alterazione delle fratture, determinato sulla famiglia di giunti più sfavorevole, e dipende dallo spessore e dalla natura del riempimento. I tre gruppi (Tabella 6) in cui si classifica il riempimento dei giunti si basano sullo spessore e sul grado di contatto tra le pareti durante lo scorrimento lungo i piani di scivolamento. In Tabella 6 è indicato anche un valore approssimato dell'angolo di attrito F in funzione del grado di alterazione del giunto;

4 Joint Alteration Number		Φ_r approx.	J_a
a) Rock-wall contact (no mineral fillings, only coatings)			
A	Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling, i.e., quartz or epidote.		0.75
B	Unaltered joint walls, surface staining only.	25-35°	1
C	Slightly altered joint walls. Non-softening mineral coatings; sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.	25-30°	2
D	Silty or sandy clay coatings, small clay fraction (non-softening).	20-25°	3
E	Softening or low friction clay mineral coatings, i.e., kaolinite or mica. Also chlorite, talc gypsum, graphite, etc., and small quantities of swelling clays.	8-16°	4
b) Rock-wall contact before 10 cm shear (thin mineral fillings)			
F	Sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.	25-30°	4
G	Strongly over-consolidated, non-softening, clay mineral fillings (continuous, but <5mm thickness).	16-24°	6
H	Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings (continuous, but <5mm thickness).	12-16°	8
J	Swelling-clay fillings, i.e., montmorillonite (continuous, but <5mm thickness). Value of J_a depends on percent of swelling clay-size particles.	6-12°	8-12
c) No rock-wall contact when sheared (thick mineral fillings)			
K	Zones or bands of disintegrated or crushed rock. Strongly over-consolidated.	16-24°	6
L	Zones or bands of clay, disintegrated or crushed rock. Medium or low over-consolidation or softening fillings.	12-16°	8
M	Zones or bands of clay, disintegrated or crushed rock. Swelling clay. J_a depends on percent of swelling clay-size particles.	6-12°	8-12
N	Thick continuous zones or bands of clay. Strongly over-consolidated.	12-16°	10
O	Thick, continuous zones or bands of clay. Medium to low over-consolidation.	12-16°	13
P	Thick, continuous zones or bands with clay. Swelling clay. J_a depends on percent of swelling clay-size particles.	6-12°	13-20

Tabella 6: valori di J_a

5. J_w (Join Water Number): indica le condizioni idrogeologiche dell'ammasso. L'importanza di questo parametro risiede nella possibilità dell'acqua che circola tra i giunti di degradare le caratteristiche meccaniche del riempimento o di dilavarlo riducendo, di conseguenza, l'attrito lungo le pareti del giunto. L'acqua può inoltre ridurre lo stress normale alle pareti del giunto, favorendo lo scorrimento relativo tra i due blocchi. In Tabella 7 sono riportati i coefficienti di J_w relativi alle diverse condizioni idrogeologiche identificate nell'ammasso roccioso;

5 Joint Water Reduction Factor		J_w
A	Dry excavations or minor inflow (humid or a few drips)	1.0
B	Medium inflow, occasional outwash of joint fillings (many drips/“rain”)	0.66
C	Jet inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints	0.5
D	Large inflow or high pressure, considerable outwash of joint fillings	0.33
E	Exceptionally high inflow or water pressure decaying with time. Causes outwash of material and perhaps cave in	0.2-0.1
F	Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable decay. Causes outwash of material and perhaps cave in	0.1-0.05
Note: i) Factors C to F are crude estimates. Increase J_w if the rock is drained or grouting is carried out ii) Special problems caused by ice formation are not considered		

Tabella 7: valori di J_w

6. SRF (*Stress Reduction Factor*): è funzione dello stato tensionale in rocce massive o del disturbo tettonico. SRF descrive la relazione che intercorre tra stress e resistenza in un ammasso roccioso. Può essere valutato con riferimento alle opere in sotterraneo, come il rapporto tra la resistenza a compressione uniassiale e lo stress principale massimo. Si possono distinguere 4 situazioni di stress principale (a, b, c, e d), come riportato in Tabella 8.

6 Stress Reduction Factor				SRF
<i>a) Weak zones intersecting the underground opening, which may cause loosening of rock mass</i>				
A	Multiple occurrences of weak zones within a short section containing clay or chemically disintegrated, very loose surrounding rock (any depth), or long sections with incompetent (weak) rock (any depth). For squeezing, see 6L and 6M			10
B	Multiple shear zones within a short section in competent clay-free rock with loose surrounding rock (any depth)			7.5
C	Single weak zones with or without clay or chemical disintegrated rock (depth $\leq 50m$)			5
D	Loose, open joints, heavily jointed or "sugar cube", etc. (any depth)			5
E	Single weak zones with or without clay or chemical disintegrated rock (depth $> 50m$)			2.5
Note: i) Reduce these values of SRF by 25-50% if the weak zones only influence but do not intersect the underground opening				
<i>b) Competent, mainly massive rock, stress problems</i>				
		σ_e / σ_1	σ_1 / σ_e	SRF
F	Low stress, near surface, open joints	>200	<0.01	2.5
G	Medium stress, favourable stress condition	200-10	0.01-0.3	1
H	High stress, very tight structure. Usually favourable to stability. May also be unfavourable to stability dependent on the orientation of stresses compared to jointing/weakness planes*	10-5	0.3-0.4	0.5-2 2-5*
J	Moderate spalling and/or slabbing after > 1 hour in massive rock	5-3	0.5-0.65	5-50
K	Spalling or rock burst after a few minutes in massive rock	3-2	0.65-1	50-200
L	Heavy rock burst and immediate dynamic deformation in massive rock	<2	>1	200-400
Note: ii) For strongly anisotropic virgin stress field (if measured): when $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reduce σ_c to $0.75 \sigma_c$. When $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, reduce σ_c to $0.5 \sigma_c$, where σ_c = unconfined compression strength, σ_1 and σ_3 are the major and minor principal stresses, and σ_θ = maximum tangential stress (estimated from elastic theory)				
iii) When the depth of the crown below the surface is less than the span: suggest SRF increase from 2.5 to 5 for such cases (see F)				
<i>c) Squeezing rock: plastic deformation in incompetent rock under the influence of high pressure</i>				
		σ_1 / σ_e		SRF
M	Mild squeezing rock pressure	1-5		5-10
N	Heavy squeezing rock pressure	>5		10-20
Note: iv) Determination of squeezing rock conditions must be made according to relevant literature (i.e. Singh et al., 1992 and Bhasin and Grimstad, 1996)				
<i>d) Swelling rock: chemical swelling activity depending on the presence of water</i>				
				SRF
O	Mild swelling rock pressure			5-10
P	Heavy swelling rock pressure			10-15

Tabella 8: valori di SRF

Nell'equazione utilizzata per il calcolo di Q il primo quoziente (RQD/Jn) è rappresentativo della dimensione dei blocchi isolati dai sistemi fratturativi, il secondo (Jr/Ja) è rappresentativo delle resistenza d'attrito disponibile al contatto tra i blocchi e il terzo (Jw/SRF) tiene conto dell'influenza della circolazione d'acqua nell'ammasso e dello stato tensionale al contorno.

3.3 Il criterio di rottura di HOEK & BROWN

Il criterio di rottura di Hoek-Brown generalizzato per gli ammassi rocciosi (*The Hoek-Brown Failure Criterion, and GSI – 2018 Edition*) rappresenta un involuppo di rottura curvo che, al contrario del classico criterio di Mohr-Coulomb utilizzato nell'ambito della meccanica delle terre, non può essere descritto da una coppia di parametri (coesione ed angolo d'attrito) nel piano sforzo normale-sforzo di taglio.

La formulazione originale prevede la descrizione dell'involuppo di rottura nel piano degli sforzi principali:

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

σ_{ci} indica la resistenza a compressione uniaassiale del materiale intatto;

m_b , s ed a sono costanti che caratterizzano l'ammasso roccioso.

Per quanto riguarda le costanti m_b , s e a , Hoek, Carranza-Torres e Corkum (1994, 1995, 2002) hanno proposto le seguenti relazioni con l'indice GSI:

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

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

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

in cui m_i è una costante che caratterizza il materiale roccioso, determinata mediante prove triassiali di laboratorio o stimata dai dati di letteratura. Per la valutazione del parametro m_i si può inoltre fare riferimento alla seguente relazione essendo disponibili prove di trazione indiretta ("Brasiliana"):

$$m_i \approx \sigma_c / \sigma_t$$

σ_t indica la resistenza alla trazione indiretta

σ_c indica la resistenza a compressione uniaassiale del materiale intatto

Il valore di GSI, invece, è valutato per ogni stazione direttamente su affioramenti significativi in riferimento all'abaco riportato in Figura 11.

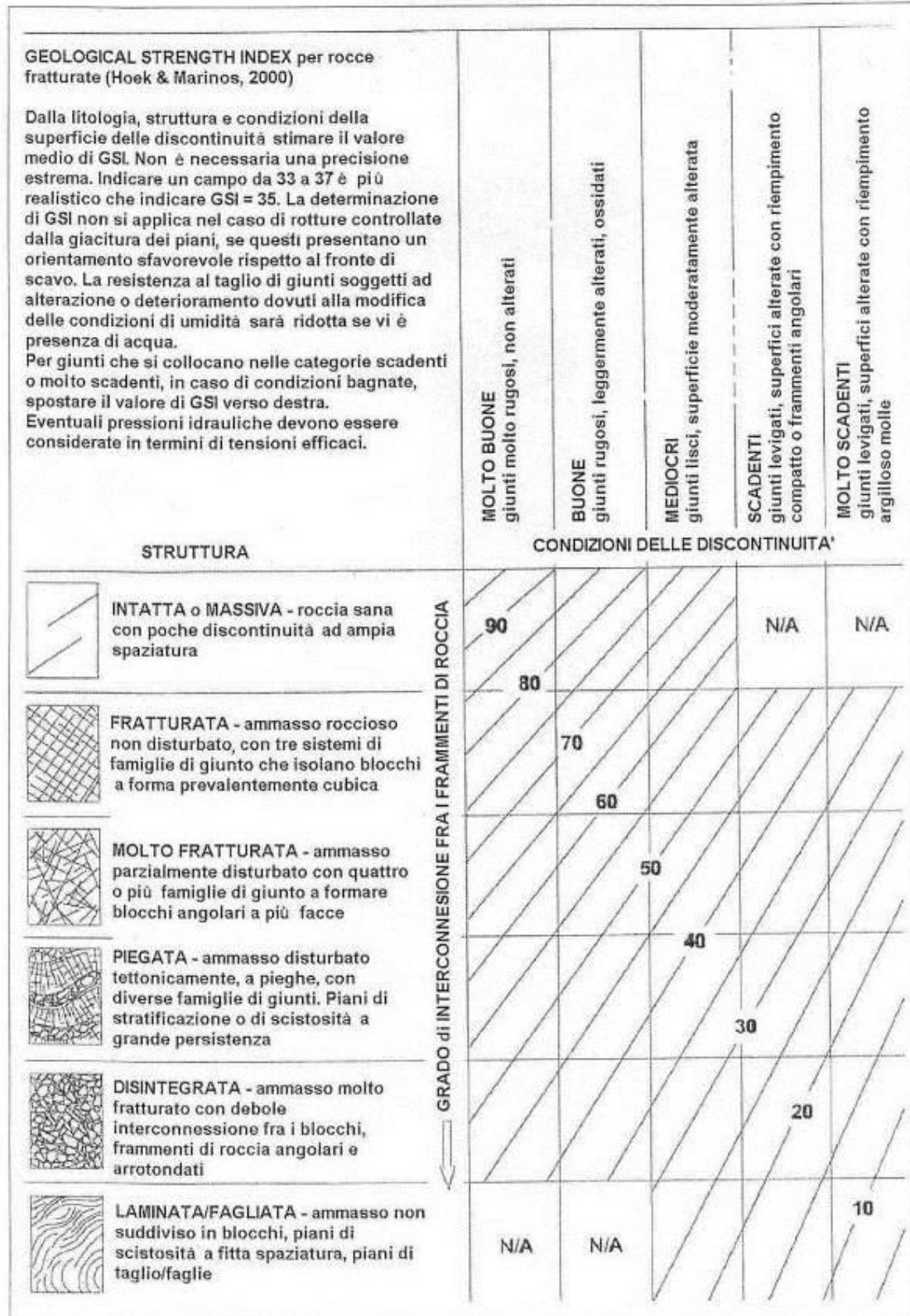


Figura 11: GSI per ammassi rocciosi fratturati (HOEK & MARINOS, 2000 tradotto in Bruschi, 2004).

3.4 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Nel documento Schede di rilevamento geomeccanico (IT1J10R69RHGE0005003A) sono riportate le schede contenenti i dati geologici e geomeccanici raccolti in sito. La scheda dello stop34 è riportata nel documento Rapporto sulle attività di campagna (IT1J10R69RHGE0005001A).

I valori di RMR e di Q calcolati sono riassunti in Tabella 9.

Stop	RMRb	Q	GSI
SG1	60	2.31	50÷60
SG2	56	2.1	50÷60
SG3	57	2.1	50÷60
SG4	56	2.1	50÷60
SG5	56	2.1	50÷60
SG6	57	2.1	50÷60
SG7	54	0.8	40÷50
STOP34	54	3.1	50÷60

Tabella 9: sintesi dei dati RMRb, Q e GSI valutati per le stazioni geomeccaniche di riferimento

Le schede di calcolo delle classificazioni geomeccaniche RMR e Q sono riportate nelle Figura 12 ÷ Figura 18.

STAZIONE GEOMECCANICA:

SG1

Località: Ex SS47

Data: 01/02/2021

Orientazione parete:

130 (azimuth)

Litotipo:

Calccare

80 (dip)

CLASSIFICAZIONE DEL'AMMASSO ROCCIOSO

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA Q (Barton, 1974)

		Indice	Note
Rock quality designation	RQD	70%	RQD stimato 70
Numero famiglie di giunti	Jn	12	
Scabrezza del giunto	Jr	1.5	
Alterazione delle superfici del giunto	Ja	1	
Fattore di riduzione per acqua nei giunti	Jw	0.66	
Fattore di riduzione delle tensioni	Js	2.5	

$$Q = (RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/Js)$$

$$Q = \mathbf{2.31}$$

Correlazioni Q/RMR (Beniawsky, 1976)

$$RMR_{medio} = 9 \ln(Q) + 44 =$$

$$\mathbf{51.5}$$

$$RMR_{min} = 9 \ln(Q) + 26 =$$

$$\mathbf{33.5}$$

$$RMR_{max} = 9 \ln(Q) + 62 =$$

$$\mathbf{69.5}$$

Correlazioni Q / RMR (Rutledge, 1978)

$$RMR = 13,5 \log(q) + 43 =$$

$$\mathbf{47.9}$$

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA RMR (Beniawsky, 1989)

		Indice	Note
Resistenza roccia intatta	R1	9	Da sclerometro
Rock quality designation (RQD)	R2	14	RQD stimato 70
Spaziatura giunti	R3	9	
Condizione giunti	R4	21	
Condizioni idrauliche	R5	7	
Orientazione delle discontinuità	R6		

$$RMR(\text{base}) = R1+R2+R3+R4+R5$$

$$RMR(\text{base})$$

$$\mathbf{60}$$

$$RMR(\text{corretto}) = RMR(\text{base}) + R6$$

$$RMR(\text{corretto})$$

$$\mathbf{60}$$

Parametri di resistenza al taglio (valori di picco)

Caratteristiche di deformabilità (valori di picco)

$$c = 5RMR(\text{base}) =$$

$$\mathbf{300} \text{ Kpa}$$

$$\phi = 0,5 \cdot RMR(\text{base}) + 5 =$$

$$\mathbf{35}^\circ$$

$$E = 10^{(RMR_b - 10) / 40} =$$

$$\text{Gpa } \mathbf{17.8}$$

Figura 12: SG1 – RMRb e Q

STAZIONE GEOMECCANICA:

SG2

Località: Ex SS47
Data: 01/02/2021

Orientazione parete:

160 (azimuth)
90 (dip)

Litotipo:

Calccare

CLASSIFICAZIONE DEL'AMMASSO ROCCIOSO

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA Q (Barton, 1974)

		Indice	Note
Rock quality designation	RQD	70%	RQD stimato 70
Numero famiglie di giunti	Jn	12	
Scabrezza del giunto	Jr	1.5	
Alterazione delle superfici del giunto	Ja	1	
Fattore di riduzione per acqua nei giunti	Jw	0.6	
Fattore di riduzione delle tensioni	Js	2.5	

$$Q = (RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/Js)$$

$$Q = \mathbf{2.1}$$

Correlazioni Q/RMR (Beniawsky, 1976)

$$RMR_{medio} = 9 \ln(Q) + 44 =$$

50.7

$$RMR_{min} = 9 \ln(Q) + 26 =$$

32.7

$$RMR_{max} = 9 \ln(Q) + 62 =$$

68.7

Correlazioni Q / RMR (Rutledge, 1978)

$$RMR = 13,5 \log(q) + 43 =$$

47.3

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA RMR (Beniawsky, 1989)

		Indice	Note
Resistenza roccia intatta	R1	7	Da sclerometro
Rock quality designation (RQD)	R2	14	RQD stimato 70
Spaziatura giunti	R3	7	
Condizione giunti	R4	21	
Condizioni idrauliche	R5	7	
Orientazione delle discontinuità	R6		

$$RMR(\text{base}) = R1+R2+R3+R4+R5$$

$$RMR(\text{base})$$

56

$$RMR(\text{corretto}) = RMR(\text{base}) + R6$$

$$RMR(\text{corretto})$$

56

Parametri di resistenza al taglio (valori di picco)

Caratteristiche di deformabilità (valori di picco)

$$c = 5RMR(\text{base}) =$$

280 Kpa

$$\phi = 0,5 * RMR(\text{base}) + 5 =$$

33 °

$$E = 10^{(RMRb - 10) / 40} =$$

Gpa 14.1

Figura 13: SG2– RMRb e Q

STAZIONE GEOMECCANICA:

SG3

Località: Ex SS47

Data: 01/02/2021

Orientazione parete:

170 (azimuth)

Litotipo:

Calccare

80 (dip)

CLASSIFICAZIONE DEL'AMMASSO ROCCIOSO

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA Q (Barton, 1974)

		Indice	Note
Rock quality designation	RQD	70%	RQD stimato 70
Numero famiglie di giunti	Jn	12	
Scabrezza del giunto	Jr	1.5	
Alterazione delle superfici del giunto	Ja	1	
Fattore di riduzione per acqua nei giunti	Jw	0.6	
Fattore di riduzione delle tensioni	Js	2.5	

$$Q = (RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/Js)$$

$$Q = \mathbf{2.1}$$

Correlazioni Q/RMR (Beniawsky, 1976)

$$RMR_{medio} = 9 \ln(Q) + 44 =$$

$$\mathbf{50.7}$$

$$RMR_{min} = 9 \ln(Q) + 26 =$$

$$\mathbf{32.7}$$

$$RMR_{max} = 9 \ln(Q) + 62 =$$

$$\mathbf{68.7}$$

Correlazioni Q / RMR (Rutledge, 1978)

$$RMR = 13,5 \log(q) + 43 =$$

$$\mathbf{47.3}$$

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA RMR (Beniawsky, 1989)

		Indice	Note
Resistenza roccia intatta	R1	7	Da sclerometro SG2
Rock quality designation (RQD)	R2	14	RQD stimato 70
Spaziatura giunti	R3	8	
Condizione giunti	R4	21	
Condizioni idrauliche	R5	7	
Orientazione delle discontinuità	R6		

$$RMR(\text{base}) = R1+R2+R3+R4+R5$$

$$RMR(\text{base})$$

$$\mathbf{57}$$

$$RMR(\text{corretto}) = RMR(\text{base}) + R6$$

$$RMR(\text{corretto})$$

$$\mathbf{57}$$

Parametri di resistenza al taglio (valori di picco)

Caratteristiche di deformabilità (valori di picco)

$$c = 5RMR(\text{base}) =$$

$$\mathbf{285} \text{ Kpa}$$

$$\phi = 0,5 \cdot RMR(\text{base}) + 5 =$$

$$\mathbf{33.5}^\circ$$

$$E = 10^{(RMR_b - 10) / 40} =$$

$$\text{Gpa } \mathbf{15.0}$$

Figura 14: SG3 – RMRb e Q

STAZIONE GEOMECCANICA:

SG4

Località: Ex SS47
Data: 01/02/2021

Orientazione parete:

180 (azimuth)
90 (dip)

Litotipo:

Calccare

CLASSIFICAZIONE DEL'AMMASSO ROCCIOSO

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA Q (Barton, 1974)

		Indice	Note
Rock quality designation	RQD	70%	RQD stimato 70
Numero famiglie di giunti	Jn	12	
Scabrezza del giunto	Jr	1.5	
Alterazione delle superfici del giunto	Ja	1	
Fattore di riduzione per acqua nei giunti	Jw	0.6	
Fattore di riduzione delle tensioni	Js	2.5	

$$Q = (RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/Js)$$

$$Q = \mathbf{2.1}$$

Correlazioni Q/RMR (Beniawsky, 1976)

$$RMR_{medio} = 9 \ln(Q) + 44 =$$

50.7

$$RMR_{min} = 9 \ln(Q) + 26 =$$

32.7

$$RMR_{max} = 9 \ln(Q) + 62 =$$

68.7

Correlazioni Q / RMR (Rutledge, 1978)

$$RMR = 13,5 \log(q) + 43 =$$

47.3

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA RMR (Beniawsky, 1989)

		Indice	Note
Resistenza roccia intatta	R1	7	Da sclerometro
Rock quality designation (RQD)	R2	14	RQD stimato 70
Spaziatura giunti	R3	7	
Condizione giunti	R4	21	
Condizioni idrauliche	R5	7	
Orientazione delle discontinuità	R6		

$$RMR(\text{base}) = R1+R2+R3+R4+R5$$

$$RMR(\text{base})$$

56

$$RMR(\text{corretto}) = RMR(\text{base}) + R6$$

$$RMR(\text{corretto})$$

56

Parametri di resistenza al taglio (valori di picco)

Caratteristiche di deformabilità (valori di picco)

$$c = 5RMR(\text{base}) =$$

280 Kpa

$$\phi = 0,5 * RMR(\text{base}) + 5 =$$

33 °

$$E = 10^{(RMRb - 10) / 40} =$$

Gpa 14.1

Figura 15: SG4 – RMRb e Q

STAZIONE GEOMECCANICA:

SG5

Località: Ex SS47

Data: 02/02/2021

Orientazione parete:

140 (azimuth)

Litotipo:

Calccare

88 (dip)

CLASSIFICAZIONE DEL'AMMASSO ROCCIOSO

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA Q (Barton, 1974)

		Indice	Note
Rock quality designation	RQD	70%	RQD stimato 70
Numero famiglie di giunti	Jn	12	
Scabrezza del giunto	Jr	1.5	
Alterazione delle superfici del giunto	Ja	1	
Fattore di riduzione per acqua nei giunti	Jw	0.6	
Fattore di riduzione delle tensioni	Js	2.5	

$$Q = (RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/Js)$$

$$Q = \mathbf{2.1}$$

Correlazioni Q/RMR (Beniawsky, 1976)

$$RMR_{medio} = 9 \ln(Q) + 44 =$$

50.7

$$RMR_{min} = 9 \ln(Q) + 26 =$$

32.7

$$RMR_{max} = 9 \ln(Q) + 62 =$$

68.7

Correlazioni Q / RMR (Rutledge, 1978)

$$RMR = 13,5 \log(q) + 43 =$$

47.3

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA RMR (Beniawsky, 1989)

		Indice	Note
Resistenza roccia intatta	R1	7	Da sclerometro
Rock quality designation (RQD)	R2	14	RQD stimato 70
Spaziatura giunti	R3	7	
Condizione giunti	R4	21	
Condizioni idrauliche	R5	7	
Orientazione delle discontinuità	R6		

$$RMR(base) = R1+R2+R3+R4+R5$$

$$RMR(base)$$

56

$$RMR(corretto) = RMR(base) + R6$$

$$RMR(corretto)$$

56

Parametri di resistenza al taglio (valori di picco)

Caratteristiche di deformabilità (valori di picco)

$$c = 5RMR(base) =$$

280 Kpa

$$\phi = 0,5 * RMR(base) + 5 =$$

33 °

$$E = 10^{(RMRb - 10) / 40} =$$

Gpa 14.1

Figura 16: SG5 – RMRb e Q

STAZIONE GEOMECCANICA:

SG6

Località: Ex SS47

Data: 02/02/2021

Orientazione parete:

210 (azimuth)

Litotipo:

Calccare

88 (dip)

CLASSIFICAZIONE DEL'AMMASSO ROCCIOSO

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA Q (Barton, 1974)

		Indice	Note
Rock quality designation	RQD	70%	RQD stimato 70
Numero famiglie di giunti	Jn	12	
Scabrezza del giunto	Jr	1.5	
Alterazione delle superfici del giunto	Ja	1	
Fattore di riduzione per acqua nei giunti	Jw	0.6	
Fattore di riduzione delle tensioni	Js	2.5	

$$Q = (RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/Js)$$

$$Q = \mathbf{2.1}$$

Correlazioni Q/RMR (Beniawsky, 1976)

$$RMR_{medio} = 9 \ln(Q) + 44 =$$

50.7

$$RMR_{min} = 9 \ln(Q) + 26 =$$

32.7

$$RMR_{max} = 9 \ln(Q) + 62 =$$

68.7

Correlazioni Q / RMR (Rutledge, 1978)

$$RMR = 13,5 \log(q) + 43 =$$

47.3

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA RMR (Beniawsky, 1989)

		Indice	Note
Resistenza roccia intatta	R1	8	Da sclerometro
Rock quality designation (RQD)	R2	14	RQD stimato 70
Spaziatura giunti	R3	7	
Condizione giunti	R4	21	
Condizioni idrauliche	R5	7	
Orientazione delle discontinuità	R6		

$$RMR(\text{base}) = R1+R2+R3+R4+R5$$

$$RMR(\text{base})$$

57

$$RMR(\text{corretto}) = RMR(\text{base}) + R6$$

$$RMR(\text{corretto})$$

57

Parametri di resistenza al taglio (valori di picco)

Caratteristiche di deformabilità (valori di picco)

$$c = 5RMR(\text{base}) =$$

285 Kpa

$$\phi = 0,5 * RMR(\text{base}) + 5 =$$

33.5 °

$$E = 10^{(RMRb - 10) / 40} =$$

Gpa 15.0

Figura 17: SG6 – RMRb e Q

STAZIONE GEOMECCANICA:

SG7

Località: Ex SS47
Data: 02/02/2021

Orientazione parete:

175 (azimuth)
90 (dip)

Litotipo:

Dolomia

CLASSIFICAZIONE DEL'AMMASSO ROCCIOSO

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA Q (Barton, 1974)

		Indice	Note
Rock quality designation	RQD	50%	RQD stimato 50
Numero famiglie di giunti	Jn	15	
Scabrezza del giunto	Jr	1	
Alterazione delle superfici del giunto	Ja	1	
Fattore di riduzione per acqua nei giunti	Jw	0.6	
Fattore di riduzione delle tensioni	Js	2.5	

$$Q = (RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/Js)$$

Q = 0.8

Correlazioni Q/RMR (Beniawsky, 1976)

$$RMR_{medio} = 9 \ln(Q) + 44 =$$

42.0

$$RMR_{min} = 9 \ln(Q) + 26 =$$

24.0

$$RMR_{max} = 9 \ln(Q) + 62 =$$

60.0

Correlazioni Q / RMR (Rutledge, 1978)

$$RMR = 13,5 \log(q) + 43 =$$

41.7

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA RMR (Beniawsky, 1989)

		Indice	Note
Resistenza roccia intatta	R1	8	Da sclerometro
Rock quality designation (RQD)	R2	10	RQD stimato 50
Spaziatura giunti	R3	6	
Condizione giunti	R4	23	
Condizioni idrauliche	R5	7	
Orientazione delle discontinuità	R6		

$$RMR(\text{base}) = R1+R2+R3+R4+R5$$

$$RMR(\text{base})$$

54

$$RMR(\text{corretto}) = RMR(\text{base}) + R6$$

$$RMR(\text{corretto})$$

54

Parametri di resistenza al taglio (valori di picco)

Caratteristiche di deformabilità (valori di picco)

$$c = 5RMR(\text{base}) =$$

270

Kpa

$$\phi = 0,5 \cdot RMR(\text{base}) + 5 =$$

32

°

$$E = 10^{(RMR_b - 10) / 40} =$$

Gpa

12.6

Figura 18: SG7 – RMRb e Q

STAZIONE GEOMECCANICA:

STOP34

Località: Cognola - Cascata orrido di ponte alto

Data: 04/03/2015

Orientazione parete:

	(azimuth)
	(dip)

Litotipo:

SAA

CLASSIFICAZIONE DEL'AMMASSO ROCCIOSO

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA Q (Barton, 1974)

		Indice	Note
Rock quality designation	RQD	25%	
Numero famiglie di giunti	Jn	12	
Scabrezza del giunto	Jr	3	
Alterazione delle superfici del giunto	Ja	2	
Fattore di riduzione per acqua nei giunti	Jw	1	
Fattore di riduzione delle tensioni	Js	1	

$$Q=(RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/Js)$$

Q = **3.125**

Correlazioni Q/RMR (Beniawsky, 1976)

$$RMR_{medio} = 9 \ln(Q) + 44 =$$

54.3

$$RMR_{min} = 9 \ln(Q) + 26 =$$

36.3

$$RMR_{max} = 9 \ln(Q) + 62 =$$

72.3

Correlazioni Q / RMR (Rutledge, 1978)

$$RMR = 13,5 \log(q) + 43 =$$

49.7

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA RMR (Beniawsky, 1989)

		Indice	Note
Resistenza roccia intatta	R1	3.5	
Rock quality designation (RQD)	R2	6	
Spaziatura giunti	R3	6.5	
Condizione giunti	R4	28	
Condizioni idrauliche	R5	10	
Orientazione delle discontinuità	R6		

$$RMR(base) = R1+R2+R3+R4+R5$$

RMR(base) = **54**

$$RMR(corretto) = RMR(base) + R6$$

RMR(corretto) = **54**

Parametri di resistenza al taglio (valori di picco)

Caratteristiche di deformabilità (valori di picco)

$$c = 5RMR(base) =$$

270 Kpa

$$\phi = 0,5 * RMR(base) + 5 =$$

32 °

$$E = 10^{(RMR_b - 10) / 40} =$$

Gpa **12.6**

Figura 19: STOP34 – RMRb e Q