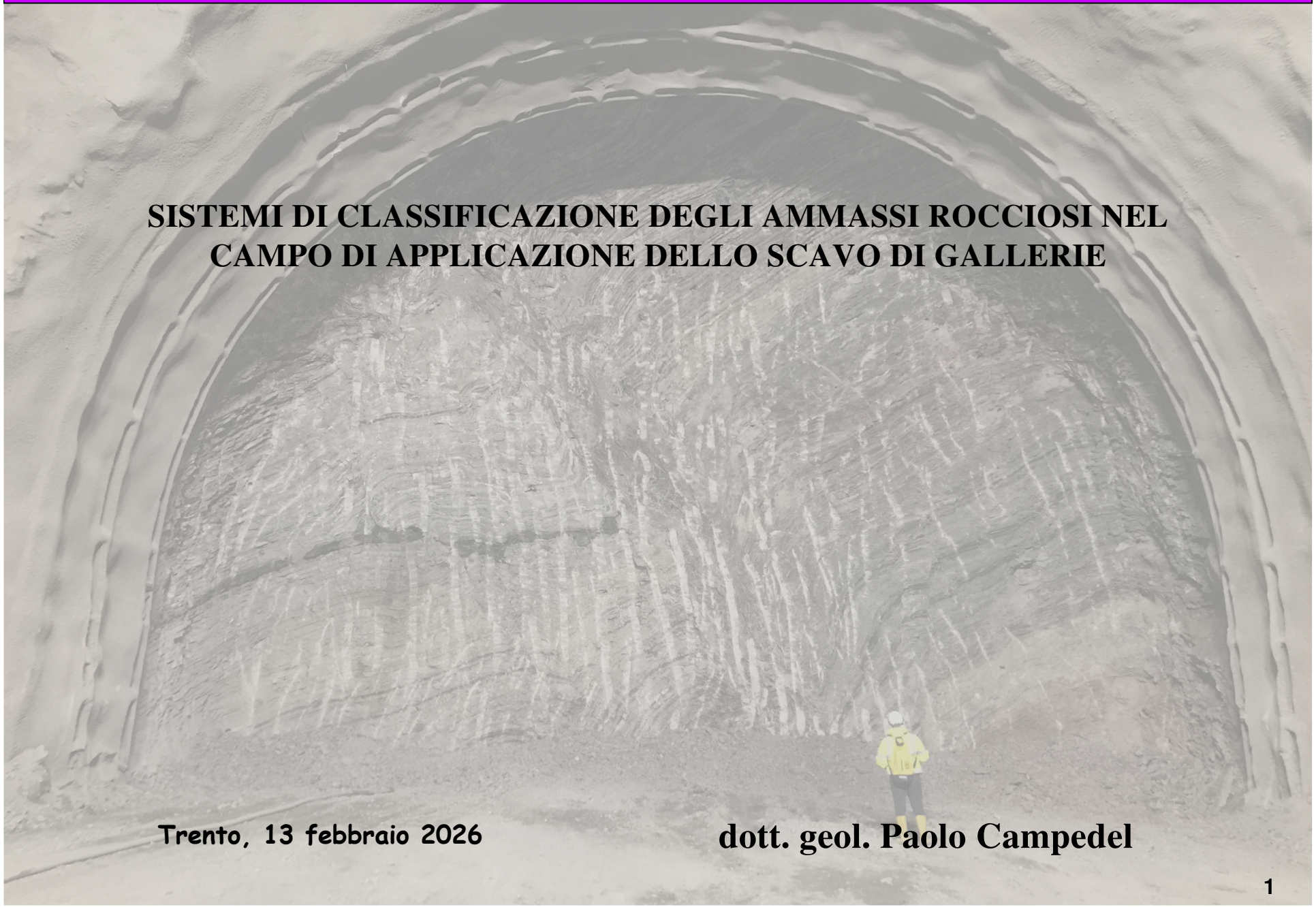
SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI NEL CAMPO DI APPLICAZIONE DELLO SCAVO DI GALLERIE



Trento, 13 febbraio 2026

dott. geol. Paolo Campedel

Programma

1) Principi di classificazione degli ammassi rocciosi

- Scopi e particolarità
- Approcci alla progettazione delle gallerie

2) I principali sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi

- RQD
- RMR
- Q-System
- GSI

3) Campi di applicazione dei sistemi di classificazione

- I limiti di utilizzo dei sistemi di classificazione
- Determinazione dei parametri di resistenza (criteri di rottura degli ammassi rocciosi)
- Detereminazione dei parametri di deformazione
- Le formule di correlazione
- La classificazione degli ammassi nei sondaggi

Principi di classificazione

Cosa intendiamo per classificazione degli ammassi rocciosi?

Applicazione di procedure codificate per la qualificazione in termini geotecnici degli ammassi rocciosi

Ammasso roccioso ⇨ Procedure → Valore indice → Uso

⇩

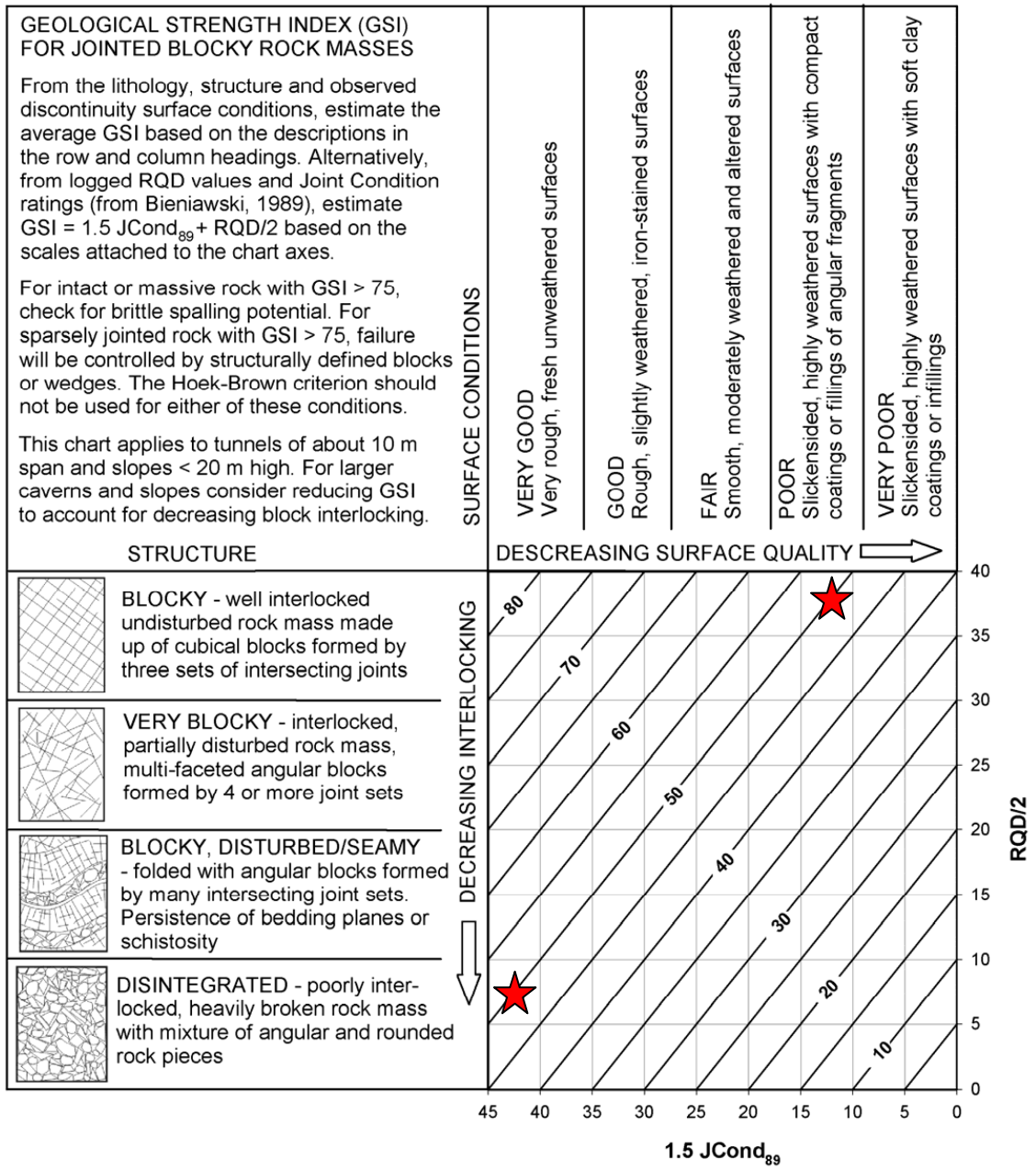
- Parametri
- Quantificazione dei parametri
- Ponderazione dei parametri
- Espressione analitica del valore indice

Non si ottiene una qualificazione univoca !

Principi di classificazione

Ammassi equivalenti

Ammassi equivalenti per un sistema di classificazione possono non esserlo per altri



Principi di classificazione

Ammassi equivalenti per un sistema di classificazione possono non esserlo per altri

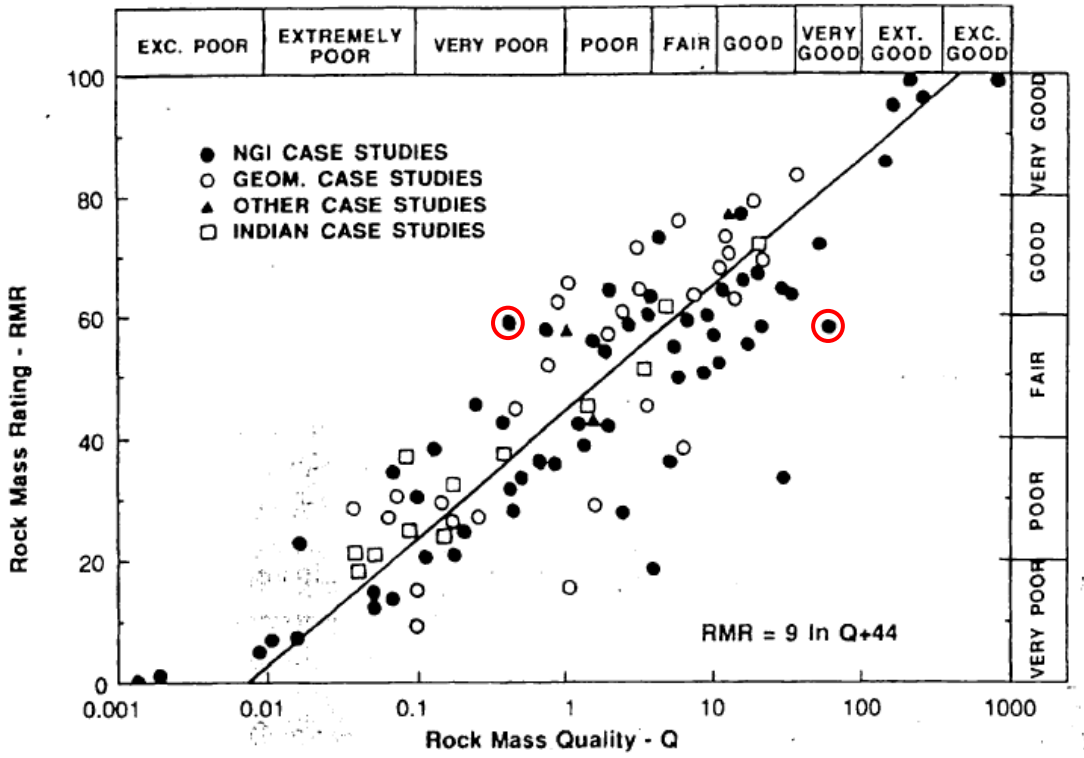
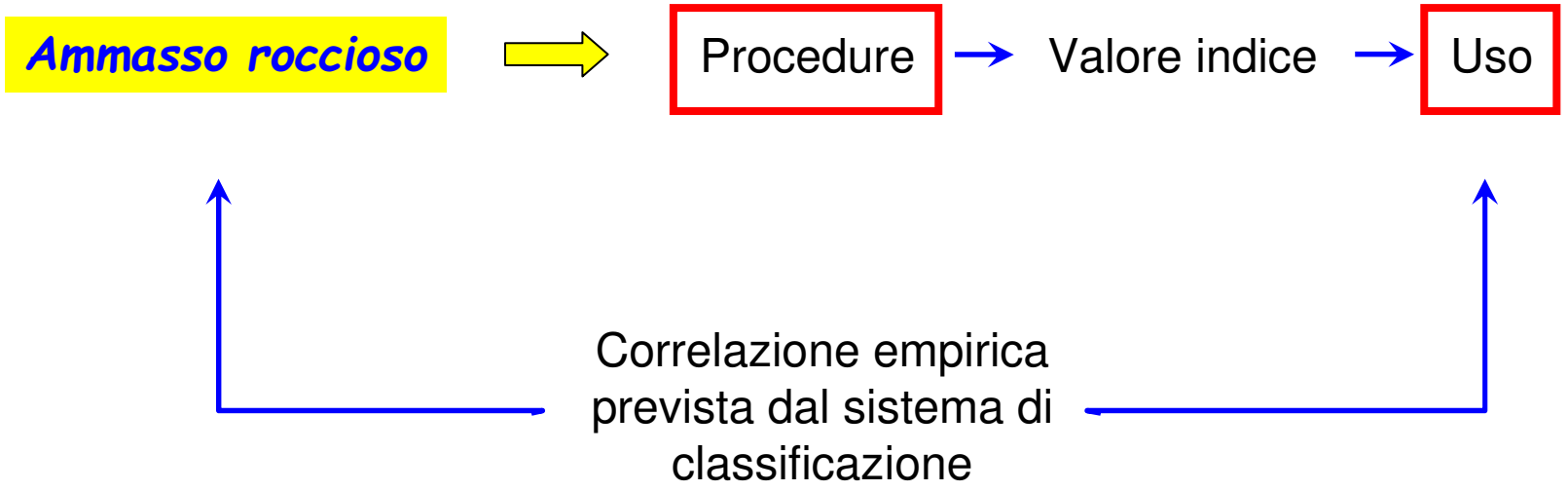


Figure 5.2 *Correlation between the RMR and the Q-index. (After Bieniawski, 1976 and Jethwa et al., 1982.)*

Principi di classificazione



Principi di classificazione

Ammasso roccioso ⇨ Procedure → Valore indice → Uso

⇩

- Parametri
- Quantificazione dei parametri
- Ponderazione dei parametri
- Espressione analitica del valore indice

Principi di classificazione

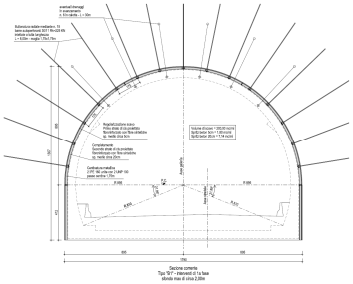
Ammasso roccioso ⇨ Procedure → Valore indice → Uso

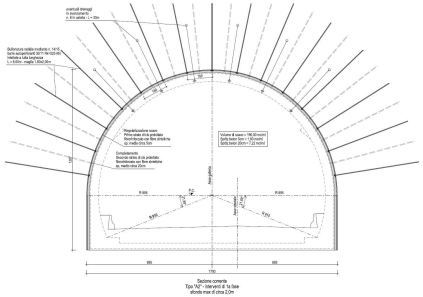
⇩

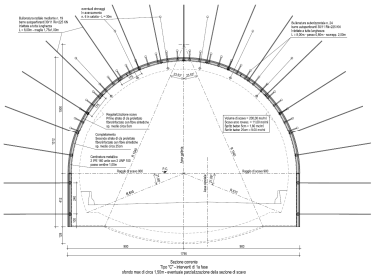
• Parametri

Parametro	RQD	RMR	Q-System	GSI
Percentuale di carotaggio (>10cm)	X	X	X	X
Resistenza compressione (UCS)	-	X	-	-
Spaziatura delle discontinuità	-	X	-	-
Numero di set di giunti (J_n)	-	-	X	-
Rugosità delle superfici (J_r)	-	X	X	X
Alterazione/Riempimento (J_a)	-	X	X	X
Persistenza dei giunti		X	-	-
Presenza di acqua/Pressione idrica	-	X	X	-
Stato tensionale (SRF)	-	-	X	-
Orientamento dei giunti	-	X	-	-

Approcci progettuali nelle opere sotterranee







- **Metodi empirici**: l'individuazione dei supporti avviene sulla base della classificazione dell'ammasso roccioso

- **Metodi analitici**: eseguito con modelli numerici computazionali consentono di verificare i supporti in termini di fattori di sicurezza dei rivestimenti. Necessitano di definire le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso, espresse mediante parametri di resistenza e deformazione

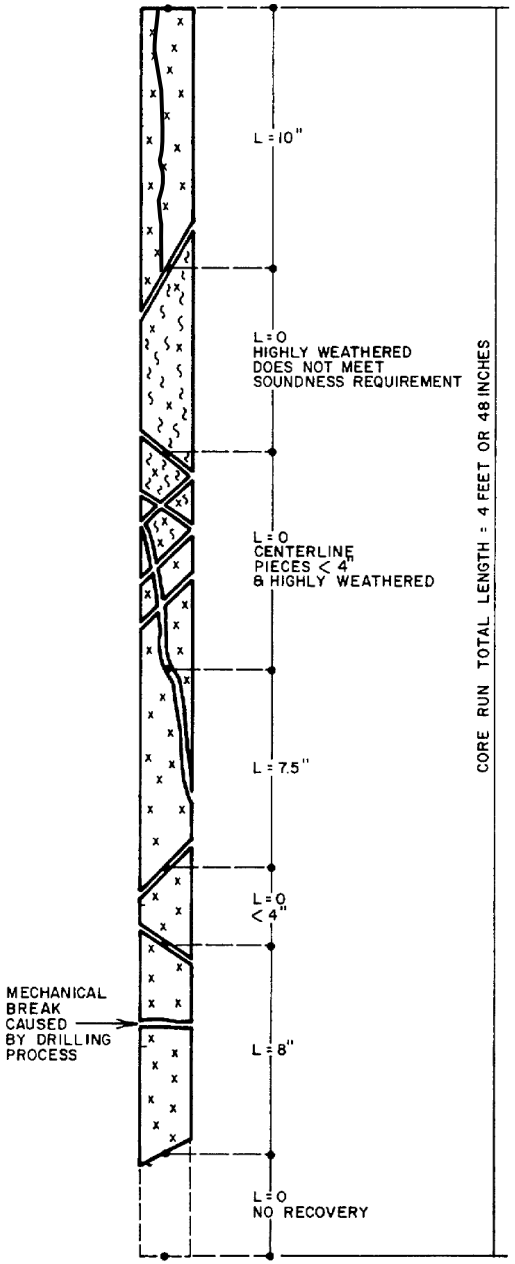
- **Metodi osservazionali**: monitoraggio delle deformazioni del cavo ponendoli in relazione alle previsioni di progetto

Rock Quality Designation (RQD)

Proposto da Deere 1968

Questo metodo di classificazione prevede di sommare gli spezzoni di carota di lunghezza superiore a 10 cm e di rapportarli percentualmente alla lunghezza carotata di riferimento (compresi anche dei tratti senza recupero)

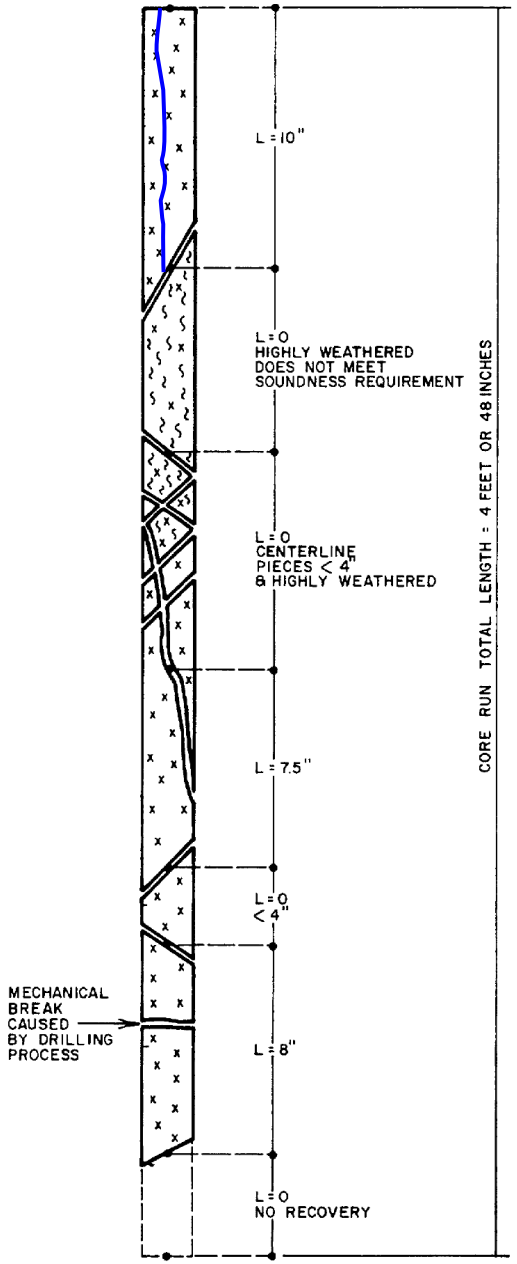
$$RQD = \frac{\sum L_i \left(Lunghezza\, frammenti \geq 10\, cm \right)}{L_{carotata}} \cdot 100$$



Rock Quality Designation (RQD)

Come si determina la lunghezza degli spezzoni?

- Le lunghezze vanno determinate in corrispondenza dell'asse centrale della carota
- Fratture longitudinali che non intersecano l'asse della carota non devono essere considerate
- Spezzoni molto alterati non devono essere sommate
- Tratti non carotati non vanno sommati
- Non devono essere considerate le fratture causate dalle operazioni di perforazione e/o rotture meccaniche avvenute dopo l'estrazione della carota

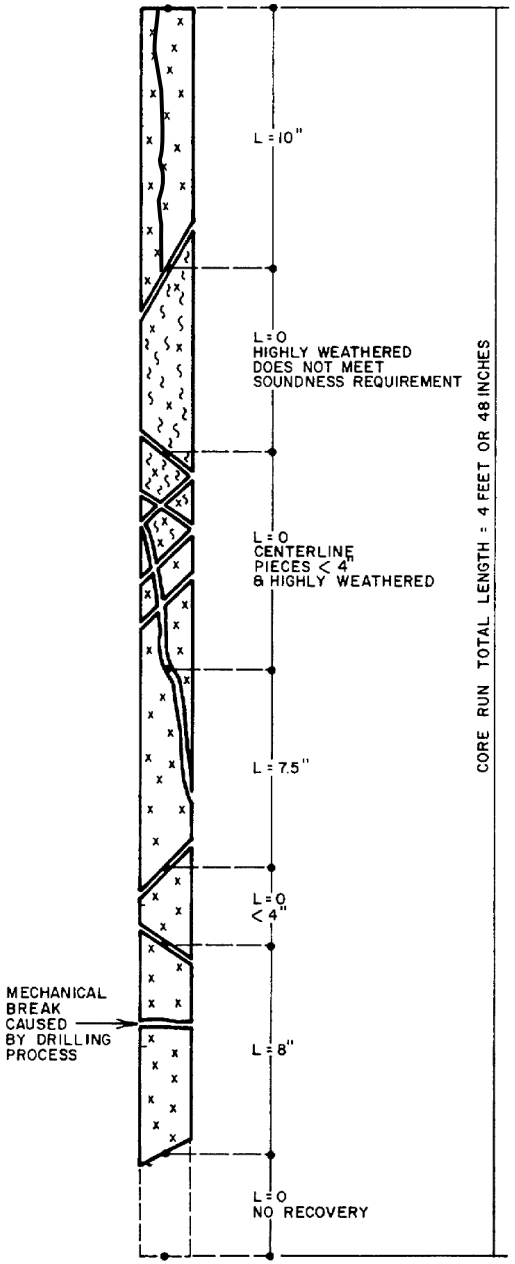


Rock Quality Designation (RQD)

Quando si effettua la determinazione di RQD?

- E' importante che la determinazione dell'RQD avvenga prima della movimentazione delle cassette in quanto il loro trasporto determina spesso rotture delle carote per effetto degli scossoni.

- Anche il trascorrere del tempo ed una cattiva conservazione possono in alcuni casi indurre un decadimento della resistenza delle carote. Nel caso di rocce dotate di foliazione ad esempio, nel giro di alcune settimane la carota potrebbe incrementare il numero di fratture. Va comunque notato che clivaggio e scistosità costituiscono certamente dei piani di maggior debolezza dell'ammasso roccioso ma possono non costituire delle discontinuità.



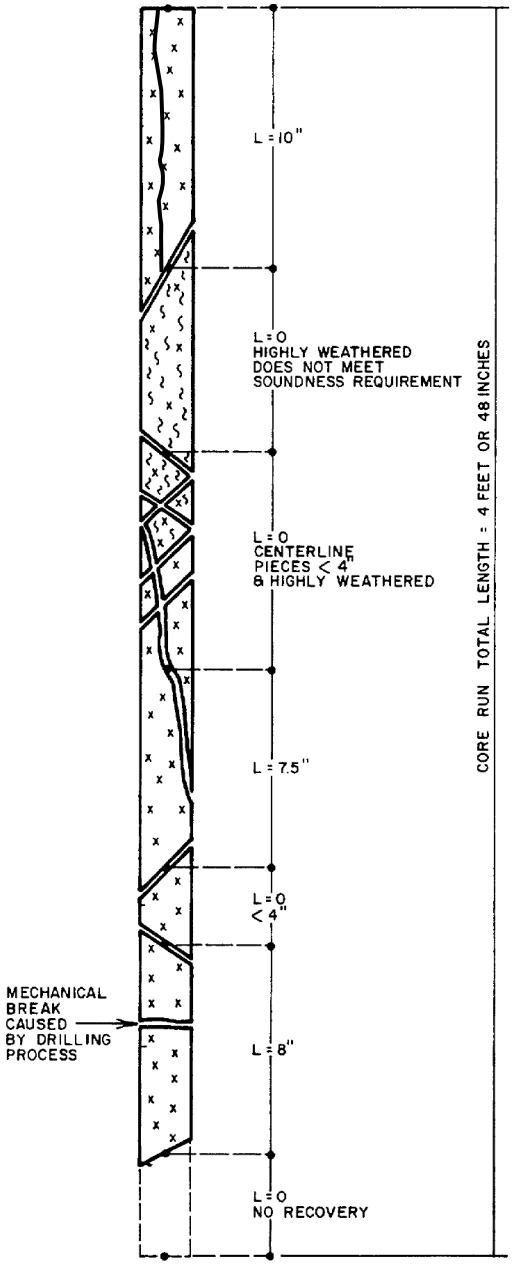
Rock Quality Designation (RQD)

Diametro delle carote

- l'RQD venne originariamente sviluppato su carote ottenute da carotieri di misura **NX** (**54,7 mm**) ed andrebbe definito su carote ottenute da perforazioni con carotiere doppio e corona diamantata

- Se si usano diametri più piccoli (BQ, AX), l'RQD può risultare inferiore (fratture artificiali più probabili)

- Se si usano diametri più grandi (HQ, PQ), non è necessario applicare correzioni: il valore di RQD è in genere più rappresentativo



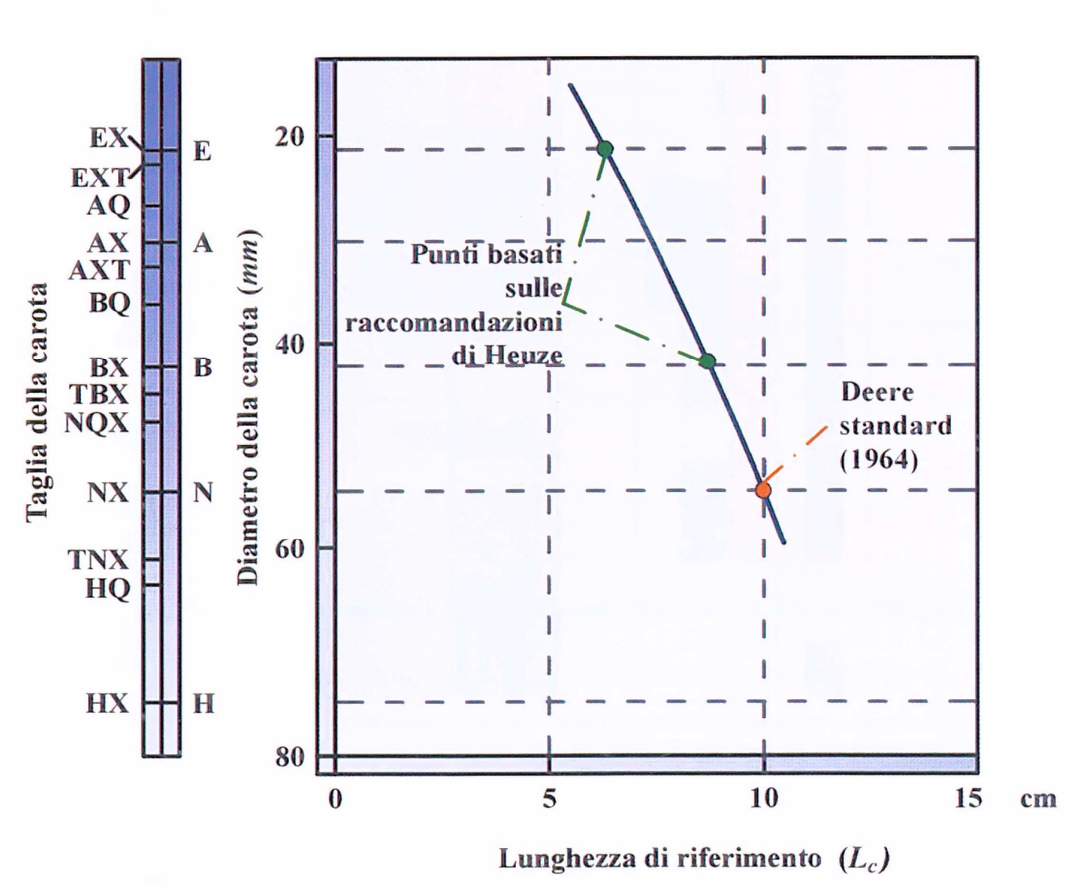
Rock Quality Designation (RQD)

Diametro delle carote

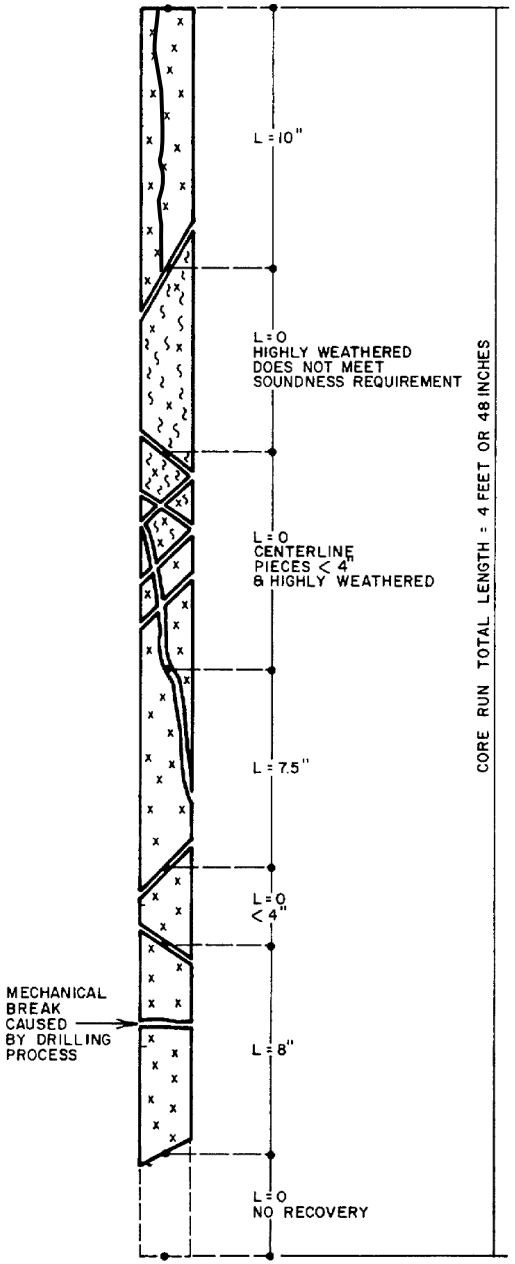
Serie	Diametro esterno (mm)	Diametro carota (mm)	Note sull'affidabilità dell'RQD
AX	~48,0	~27,0	Poco usato; frammenti piccoli, **alta probabilità di rotture artificiali** → RQD poco attendibile
BX	~60,0	~36,5	Carota sottile, rischio medio-alto di fratturazione artificiale; valori di RQD **tendenzialmente sottostimati**
NQ	~75,7	~47,6	Carota più piccola di NX ma considerata comunque **accettabile**
NX	~76,0	~54,7	**Standard originale per RQD (Deere, 1963)**; considerato il riferimento per valutazioni di qualità
HQ	~96,0	~63,5	Carota più robusta, migliore conservazione → **RQD più rappresentativo** della reale fratturazione
PQ	~122,0	~85,0	Diametro molto grande, ottima integrità del campione → **RQD molto affidabile**

Rock Quality Designation (RQD)

Diametro delle carote



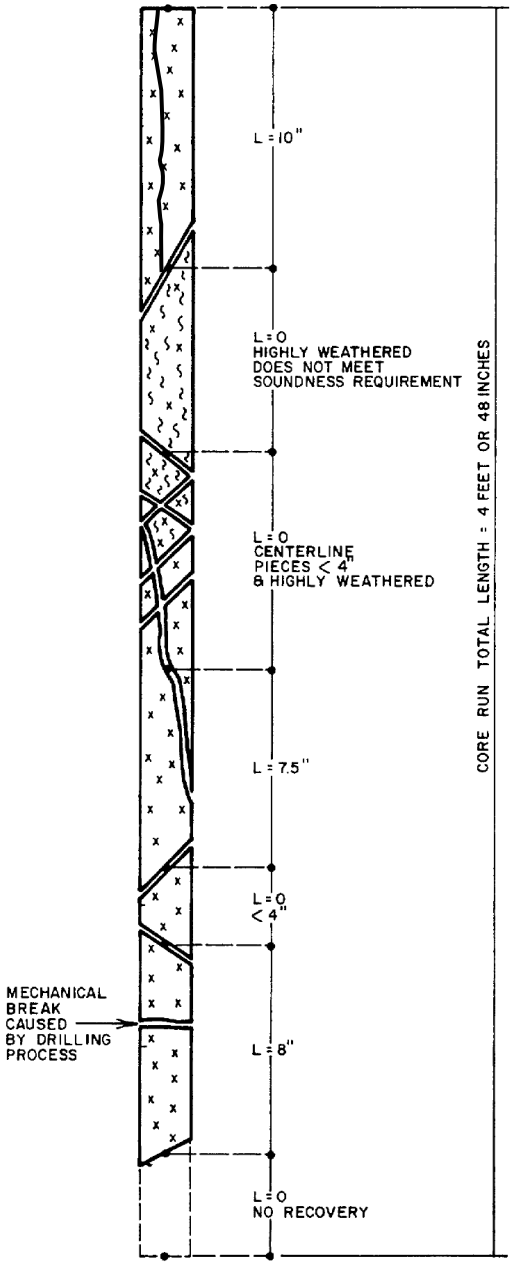
(Deere & Deere 1989)



Rock Quality Designation (RQD)

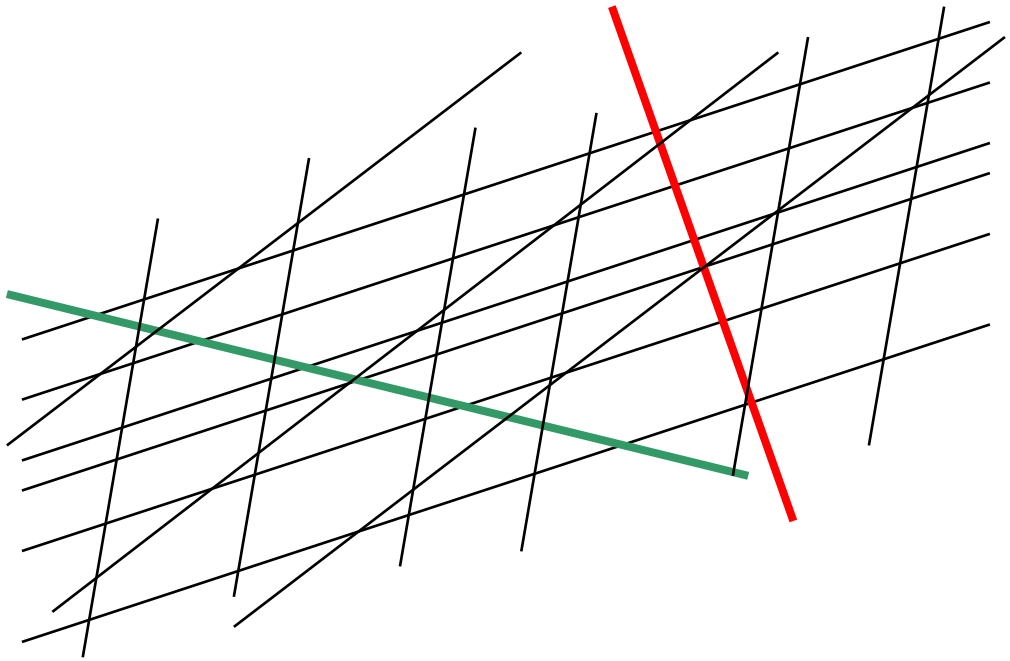
Lunghezza carotata di riferimento

- Non esiste una lunghezza di riferimento definita
- In origine ci si riferiva ad una lunghezza di **1.5 m**, pari alla lunghezza di manovra standard utilizzata in USA in quel periodo
- Gli autori (Deere & Deere 1989) raccomandano di utilizzare la lunghezza della manovra, preferibilmente non eccedendo gli 1.5 m. e comunque mai maggiori sopra i 3 m
- ISRM suggerisce di utilizzare lunghezze di riferimento non fisse, ponendo i limiti in corrispondenza delle maggiori variazioni litologiche e/o strutturali della roccia
- Le modalità di valutazione di RQD vanno specificate

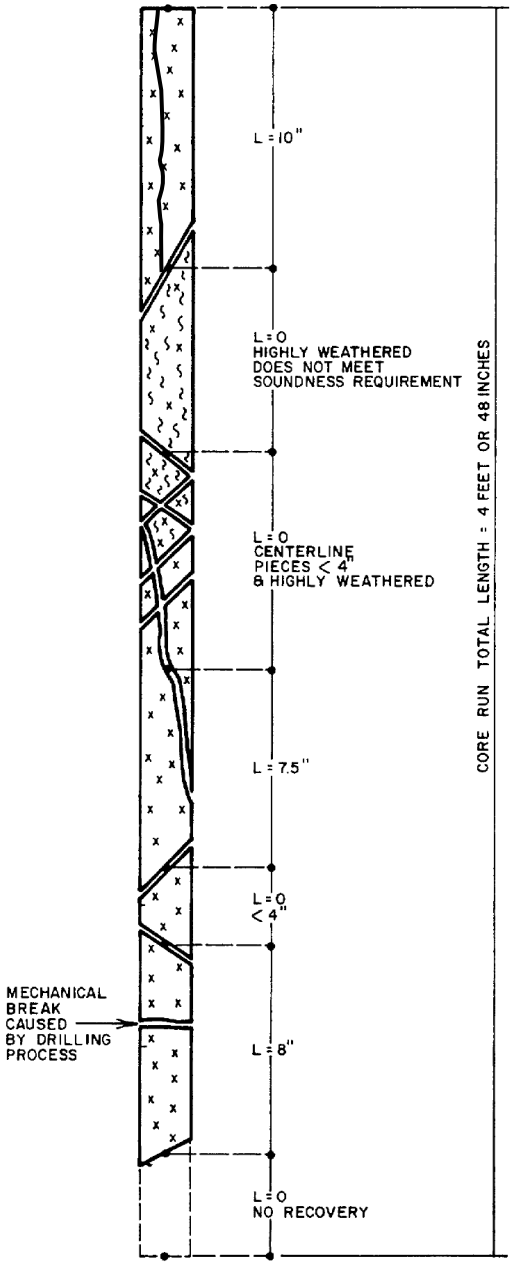


Rock Quality Designation (RQD)

L' RQD è un parametro direzionale !



- L'RQD definito in sondaggio potrebbe **non corrispondere** a quello che si utilizza negli altri sistemi qualificativi degli ammassi rocciosi



Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

Il sistema di classificazione Rock Mass Rating (RMR) è stato proposto da Bieniawski nel **1976** (Bieniawski, Z.T. 1976. - Rock mass classification in rock engineering. *In Exploration for rock engineering*)

Originariamente sviluppato per stimare il modulo di deformazione statica delle masse rocciose e successivamente per la classificazione geomeccanica delle rocce

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

Indici parziali:

A_1: resistenza a compressione uniassiale della matrice rocciosa;

A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A_3: Spaziatura delle discontinuità;

A_4: Condizioni delle discontinuità;

A_5: Condizioni idrauliche dell'ammasso roccioso;

A_6: Orientazione delle discontinuità;

Rock Mass Rating (RMR)

1976

PARAMETER			RANGES OF VALUES						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	> 8 MPa	4 - 8 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range — uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength	> 200 MPa	100 - 200 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of joints		> 3 m	1 - 3 m	0,3 - 1 m	50 - 300 mm	< 50 mm		
	Rating		30	25	20	10	5		
4	Condition of joints		Very rough surfaces. Not continuous No separation Hard joint wall rock.	Slightly rough surfaces. Separation < 1 mm Hard joint wall rock	Slightly rough surfaces. Separation < 1 mm Soft joint wall rock	Slickensided surfaces OR *Gouge < 5 mm thick* OR Joints open 1-5 mm. Continuous joints	Soft gouge > 5 mm thick *OR* Joints open > 5 mm. Continuous joints		
	Rating		25	20	12	6	0		
5	Ground water	Inflow per 10m tunnel length	None		< 25 litres/min	25 - 125 litres/min	> 125 litres/min		
		Ratio $\frac{\text{joint water pressure}}{\text{major principal stress}}$	0		0,0 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		General conditions	Completely dry		Moist only (interstitial water)	Water under moderate pressure	Severe water problems		
	Rating		10		7	4	0		

Strike and dip orientations of joints		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
Ratings	Tunnels	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS

Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 20
Class No.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

D. MEANING OF ROCK MASS CLASSES

Class No	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	10 years for 5 m span	6 months for 4 m span	1 week for 3 m span	5 hours for 1,5 m span	10 minutes for 0,5 m span
Cohesion of the rock mass	> 300 kPa	200 - 300 kPa	150 - 200 kPa	100 - 150 kPa	< 100 kPa
Friction angle of the rock mass	> 45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	< 30°

THE EFFECT OF JOINT STRIKE AND DIP ORIENTATIONS IN TUNNELLING

Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis		Dip 0° - 20° irrespective of strike
Drive with dip		Drive against dip				
Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	
Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable	Fair	Unfavourable

Rock Mass Rating (RMR)

1989

In questa versione si introducono anche le funzioni continue per la determinazione dei primi 3 indici parziali e le specifiche per la valutazione delle condizioni dei giunti. Il loro uso è fortemente raccomandato

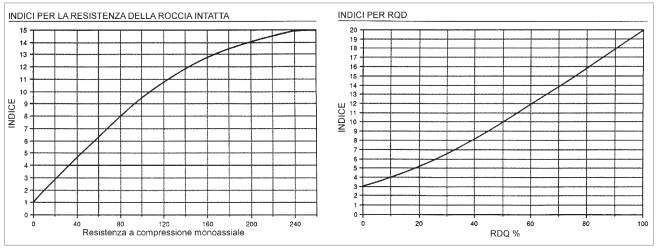


Figura 4.11. Sistema di classificazione di Bieniawski (1989), determinazione degli indici

Non esiste alcuna correlazione numerica rigorosa tra RMR '76 ed RMR '89

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti / Soll. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)

Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI

Indice RMR	100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ

Lunghezza delle discontinuità (persistenza)	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m
Indici	6	4	2	1	0
Separazione (apertura)	Nessuno	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm
Indici	6	5	4	1	0
Scabrezza	Molto scabro	Scabro	Leggermente scabro	Liscie	Liscie o laminate
Indici	6	5	3	1	0
Riempimento	Nessuno	Compatto < 5 mm	Compatto > 5 mm	Tenero < 5 mm	Tenero > 5 mm
Indici	6	4	2	2	0
Alterazione	Non alterato	Leggerm. alterato	Moderatam. alterato	Altamente alterato	Decomposto
Indici	6	5	3	1	0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA

Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Rock Mass Rating (RMR)

1989

		Spaziatura	Giunti	C. idrauliche			
		1,2	**3**	**0**			
1	1976	25	12	10		47	
	1989	15	20	15		50	**3**
		0,5	**4**	**30**			
2	1976	20	6	4		30	
	1989	10	10	4		24	**-6**
		0,1	**5**	**5**			
3	1976	10	0	7		17	
	1989	8	0	10		18	**1**
		0,04	**1**	**50**			
4	1976	5	25	4		34	
	1989	5	30	4		39	**5**
		0,25	**2**	**100**			
5	1976	10	20	4		34	
	1989	8	25	4		37	**3**

Non esiste alcuna correlazione numerica rigorosa tra RMR '76 ed RMR '89

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti / Soll. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)

Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI

Indice RMR	100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ

Lunghezza delle discontinuità (persistenza)	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m
Indici	6	4	2	1	0
Separazione (apertura)	Nessuno	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm
Indici	6	5	4	1	0
Scabrezza	Molto scabro	Scabro	Leggermente scabro	Liscie	Liscie o laminate
Indici	6	5	3	1	0
Riempimento	Nessuno	Compatto < 5 mm	Compatto > 5 mm	Tenero < 5 mm	Tenero > 5 mm
Indici	6	4	2	2	0
Alterazione	Non alterato	Leggerm. alterato	Moderatam. alterato	Altamente alterato	Decomposto
Indici	6	5	3	1	0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA

Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale della matrice;

- Prove su campioni in laboratorio;
- Sclerometro (in sito, in laboratorio);
- Point load test;
- Percussione con martello (ISRM 1981);

Classe [*]	Descrizione	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	Indice di resistenza (point load) (MPa)	Valutazione della resistenza in sito	Esempi
R6	Resistenza estremamente elevata	> 250	> 10	Un campione può essere scalfito solamente con un martello geologico	Basalto intatto, silice, selce, diabase, gneiss, granito, quarzite
R5	Resistenza molto elevata	100-250	4-10	Un campione richiede molti colpi di un martello geologico per essere fratturato	Anfibolite, arenaria, basalto, gabbro, gneiss, granodiorite calcare, marna, riolite, tufi
R4	Resistenza elevata	50-100	2-4	Un campione richiede più colpi di un martello geologico per essere fratturato	Calcare, marna, fillite, arenaria, scisto, argillite
R3	Resistenza media	25-50	1-2	Non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può essere fratturato con un solo colpo mediante un martello geologico	Argillite, carbone, calcestruzzo, scisto, siltite
R2	Resistenza bassa	5-25	[**]	Con difficoltà può essere spellato con un coltellino, una intaccatura superficiale può essere procurata con un colpo inferto mediante la punta di un martello geologico	Calcare bianco, salgemma
R1	Resistenza molto bassa	1-5	[**]	Si frantuma per effetto di alcuni colpi, con la punta di un martello geologico; può essere spellato mediante un coltellino	Rocce estremamente alterate o alterate
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasite

[*] In accordo a Brown E.T. Rock characterization, testing and monitoring - ISRM suggested methods, pp. 171-183. Oxford, Pergamon (1981).
[**] La prova meccanica point load su rocce con resistenza a compressione monoassiale inferiore a 25 MPa fornisce risultati poco attendibili.

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti / Soll. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)

Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI

Indice RMR	100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ

Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indici	Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indici	Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0
Riempimento Indici	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indici	Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA

Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale;

A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti / Soll. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)

Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI

Indice RMR	100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ

Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indici	Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indici	Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0
Riempimento Indici	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indici	Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA

Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale;

A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A_3: Spaziatura delle discontinuità;

- determinato sul set più critico per la stabilità
- media sui set dell'ammasso (per la determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità)
- in caso di ammassi con meno di 3 set di discontinuità l'indice va incrementato del 30%

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti / Soll. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)

Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI

Indice RMR	100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ

Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indici	Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indici	Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0
Riempimento Indici	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indici	Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA

Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale;

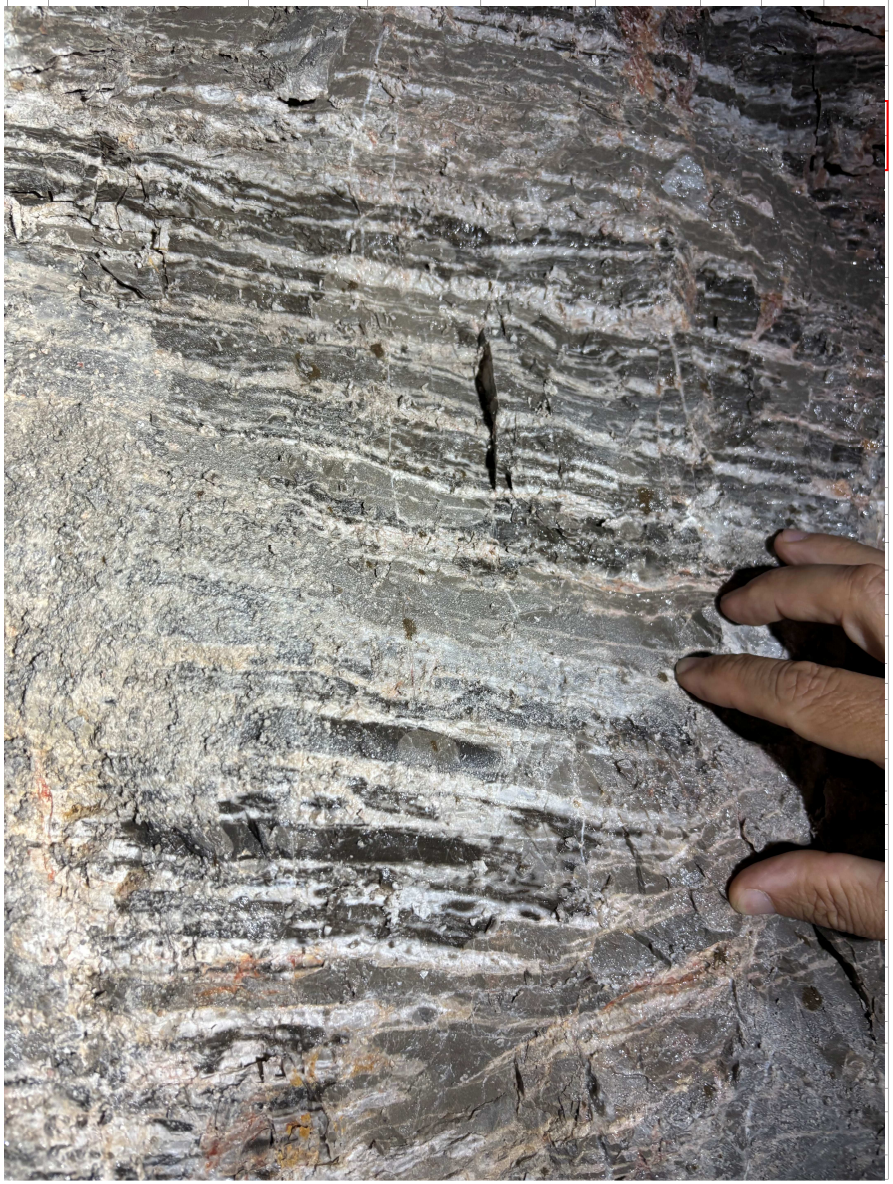
A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A_3: Spaziatura delle discontinuità;

- nel caso di giunti di strato vanno presi in considerazione solo i giunti che generano fissilità

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa



Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale;

A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A_3: Spaziatura delle discontinuità;

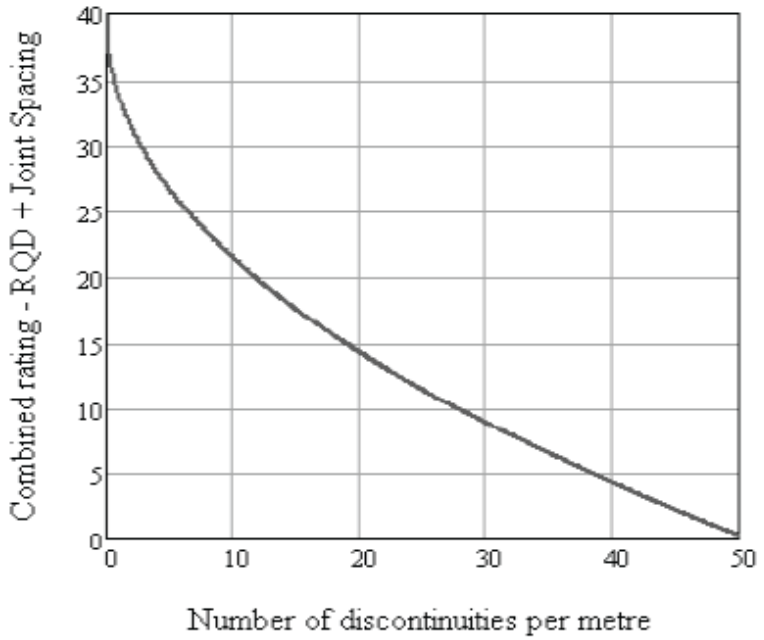
Nel 2013 Lowson e Bieniawski raccomandano di sostituire entrambi i parametri A_2 ed A_3 con un nuovo indice funzione della frequenza di discontinuità dato dalla formula:

$$A_2 + A_3 = 39{,}94 - 6{,}157 \cdot \lambda^{0{,}476}$$

con λ (frequenza delle discontinuità) dove:

$$\lambda = \frac{n}{L}$$

Lowson & Bieniawski 2013



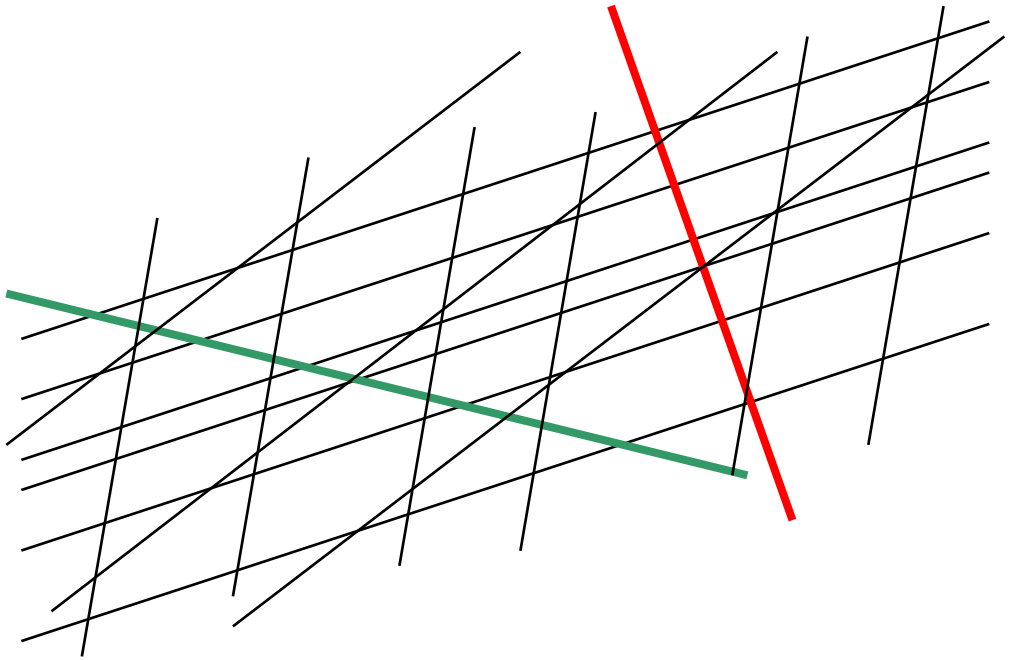
INDICI	Gallerie e minière	0	-2	-7	-15	-25
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	
C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI						
Indice RMR		100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe		I	II	III	IV	V
Descrizione		Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente
D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO						
Classe		I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno		20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)		> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)		> 45	35-45	25-35	15-25	< 15
E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ						
Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici		< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indici		Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indici		Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0
Riempimento Indici		Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indici		Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA						
Perpendicolare all'asse della galleria				Parallelo all'asse della galleria		
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°		Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°		Inclinazione 45 - 90°		Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole		Favorevole		Molto sfavorevole		Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°		Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°		Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike		
Discreto		Sfavorevole		Discreta		

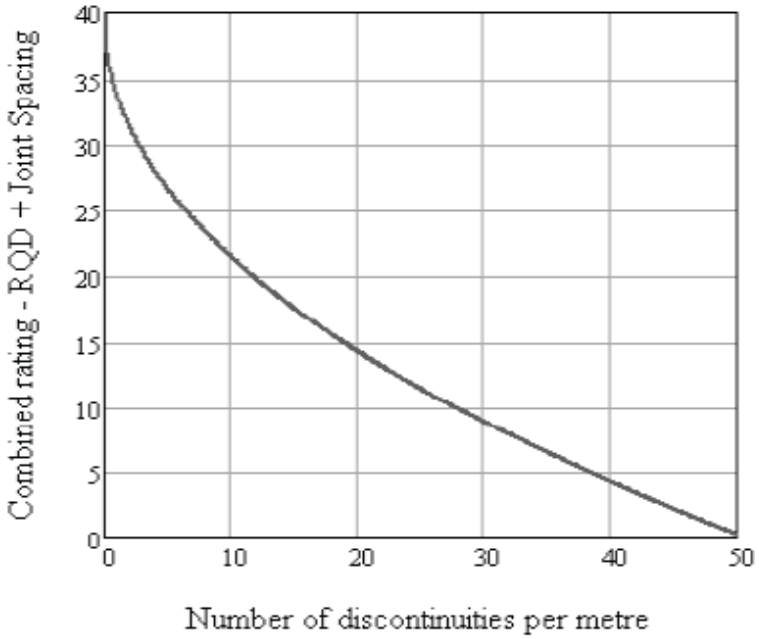
Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale;

A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A_3: Spaziatura delle discontinuità;





INDICI	Gallerie e minière					
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	
C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI						
Indice RMR		100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe		I	II	III	IV	V
Descrizione		Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente
D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO						
Classe		I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno		20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)		> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)		> 45	35-45	25-35	15-25	< 15
E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ						
Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici		< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indici		Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indici		Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0
Riempimento Indici		Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indici		Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA						
Perpendicolare all'asse della galleria				Parallelo all'asse della galleria		
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°			Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°	
Molto favorevole	Favorevole			Molto sfavorevole	Discreta	
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°			Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike		
Discreto	Sfavorevole			Discreta		

Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale;

A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A_3: Spaziatura delle discontinuità;

A_4: Condizioni delle discontinuità;

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti / Soll. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)

Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI

Indice RMR	100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ

Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indici	Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indici	Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0
Riempimento Indici	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indici	Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA

Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale;

A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A_3: Spaziatura delle discontinuità;

A_4: Condizioni delle discontinuità;

A_5: Condizioni idrauliche dell'a. roccioso;

Attenzione: i tre criteri presenti in tabella per la determinazione di A_5 non sono sempre tra loro correlati

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti / Soll. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)

Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI

Indice RMR	100←81	80←61	60←41	40←21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ

Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indici	Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indici	Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0
Riempimento Indici	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indici	Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA

Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Rock Mass Rating (RMR)

A_1: resistenza a compressione uniassiale;

A_2: Rock Quality Designation (RQD);

A_3: Spaziatura delle discontinuità;

A_4: Condizioni delle discontinuità;

A_5: Condizioni idrauliche dell'a. roccioso;

A_6: Orientazione delle discontinuità;

Attenzione: questo parametro non deve essere assunto acriticamente mediante un'analisi semplicemente geometrica, ma deve essere valutato attraverso una valutazione del contesto litostrutturale in cui si opera

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti / Soll. nat. in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)

Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
INDICI	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI

Indice RMR	100⇐81	80⇐61	60⇐41	40⇐21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso roccioso (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ

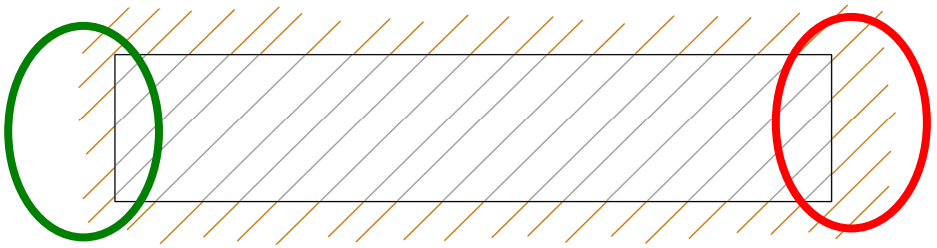
Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indici	Nessuno 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indici	Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0
Riempimento Indici	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indici	Non alterato 6	Leggerm. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0

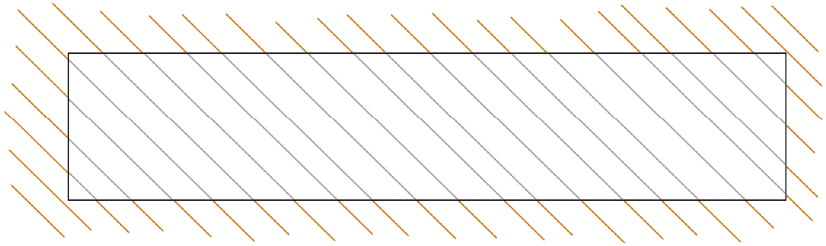
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA

Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Rock Mass Rating (RMR)

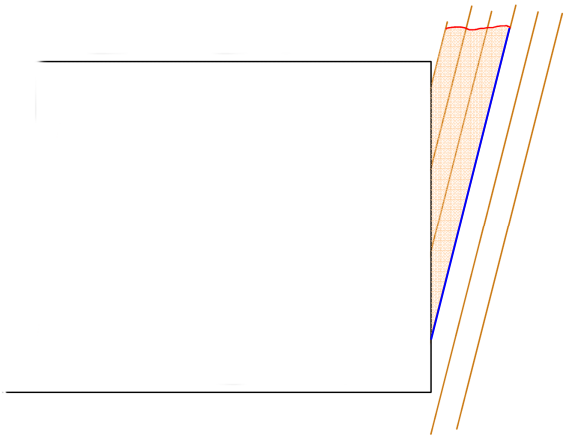
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA			
Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

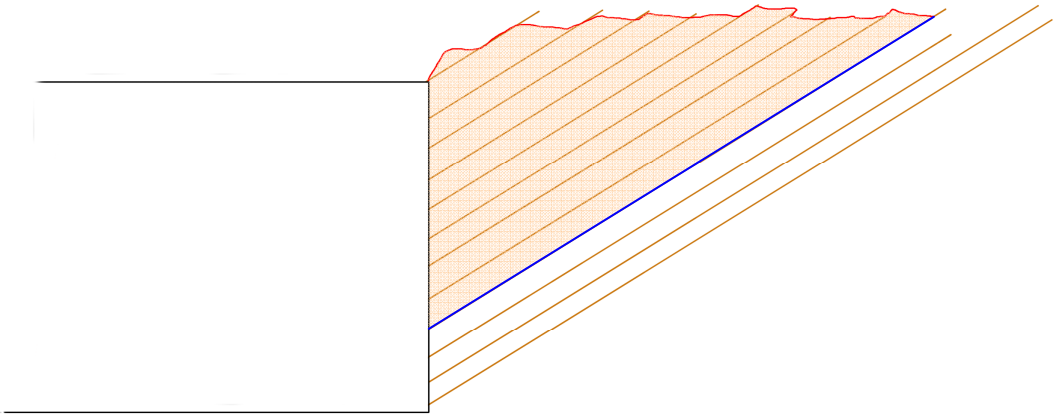




Rock Mass Rating (RMR)

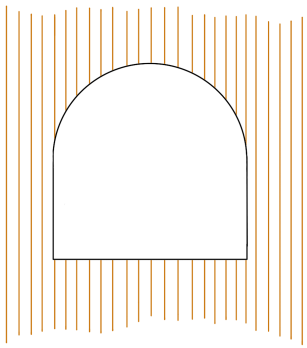
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA			
Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

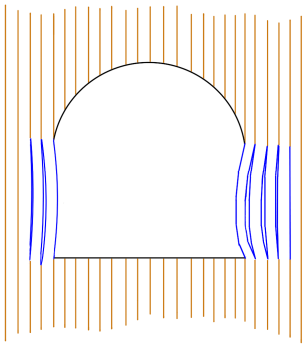


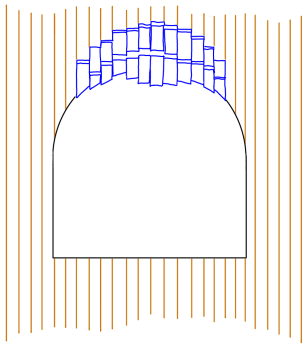


Rock Mass Rating (RMR)

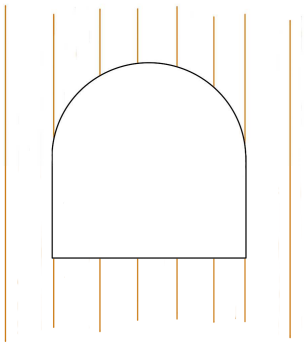
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA			
Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	

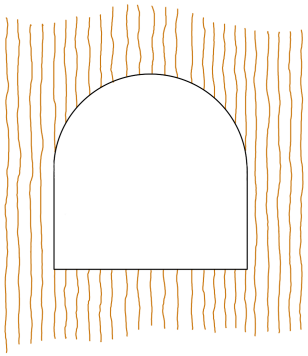






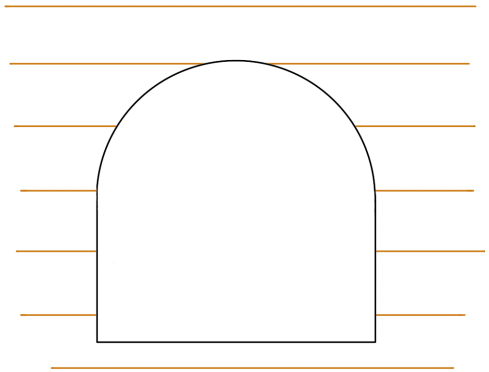
Differenti caratteristiche della famiglia di giunti possono determinare, a parità di orientazione, differenti condizioni di stabilità del cavo

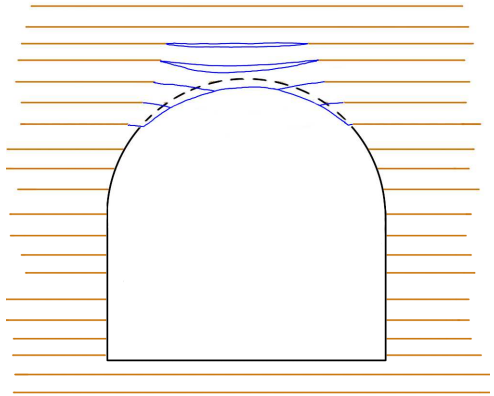




Rock Mass Rating (RMR)

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÁ SULLA STABILITÁ DI UNA GALLERIA			
Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 45 - 90°	Inclinazione 20 - 45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreta
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°	Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike	
Discreto	Sfavorevole	Discreta	





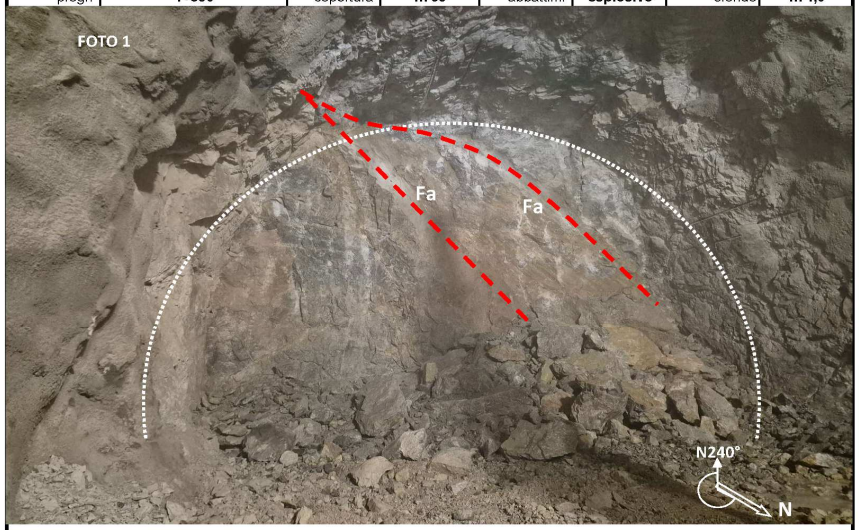
Rock Mass Rating (RMR)

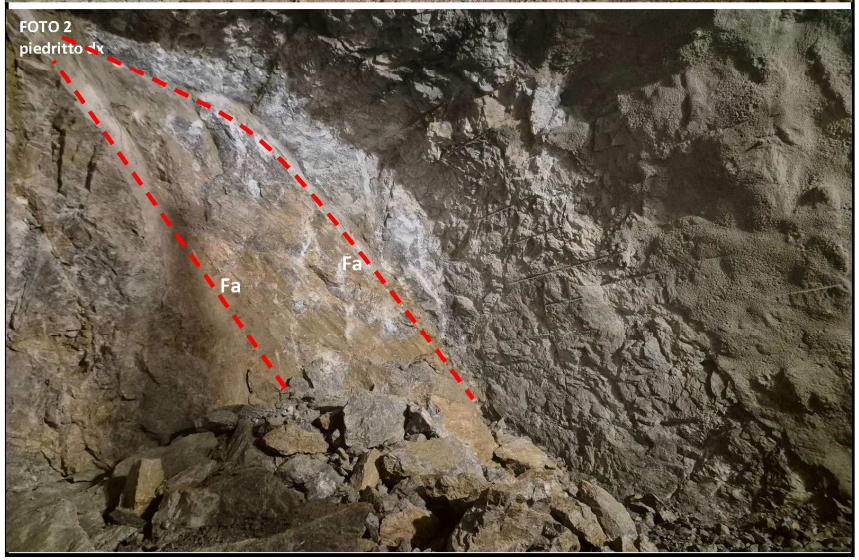
PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

S-174-Rettifica e adeguamento Galleria "Ponte Pià"

SCHEDA TECNICA DI RILIEVO DEL FRONTE

AVANZAMENTO							
rilievo	N. 58	data rilievo	24/1/26 9:30	sezione tipo	GA	rilevatore	Barovero
progr.	1+850	copertura	m 65	abbattim.	esplosivo	sfondo	m 4,0





RILIEVO GEOSTRUTTURALE DEL FRONTE - Caratteri famiglie discontinuità								
tipo	giacitura	spaziat. (cm)	persist. (m)	apert. (mm)	rugosità	alterazione	riempimento	orientazione
FA-J2	20/60	600-2.000	>10	serrata	plan./deb.rug.	moderata	10cm catacl.	sfav.

litotipo	Calcari dolomitici appartenenti alla F.ne della Corna rappresentati in due facies distinte divise dalla struttura faglива Fa: 1) di colore grigio chiaro-azzurro, compatti e a struttura massiva in calotta e sul rene dx 2) con patine di alterazione ruggine e maggiormane fratturati nella parte sx della faglia (parte centrale del fronte e piedritto sx).
strutture	La struttura principale è costituita dalla faglia Fa che attraversa il fronte con giacitura a franapoggio (N20°/60°) . Presenta superfici molto persistenti lisce, ondulate, con riempimenti cataclastici pluricentimetrici a consistenza lapidea talora con frazioni plastiche; si sviluppa secondo due piani coniugati. Assente la stratificazione e molto subordinati i restanti sitemi di discontinuità. Acqua assente.
note	Avanzamento in galleria corrente di variante con applicazione della sezione GA. Qualità dell'ammasso peggiorato per la maggiore incidenza della faglia ma con risposte comportamentali favorevoli.

PARAMETRI		Intervallo di valori		Coefficienti numerici	
Co (MPa)		50-100		**6**	
RQD (%)		60-80	70	**15**	
Spaziatura (cm)		600-2.000		**15**	
Discontinuità	persistenza (m)	10-20		14	1
	apertura (mm)	<0,1			5
	scabrezza	ondulata, liscia			3
	alterazione	moderata			3
	riempimento	hard >5mm			2
Acqua		assente		**15**	
Orientazione		sfavorev		**-9**	
Rock mass rating RMR				66	
CLASSE (BIENIAWSKI)				III	
QUALITA' DELLA A MASSA ROCCIOSA				fair	
RMR base = **BMR** (Basic Mass Rating)				65	
RMR'				65	
INDICE **GSI** RICAVATO DALL' RMR (**)				**60**	
INDICE **GSI** [Hoek et al., 2013]		$=1,5 * J_{disc}+RQD/2$		56	

(*) HOEK ET AL., 1995 (GSI = RMR' - 5) in cui RMR' = RMR in condizioni anidre e privo dell'orientazione delle discontinuità

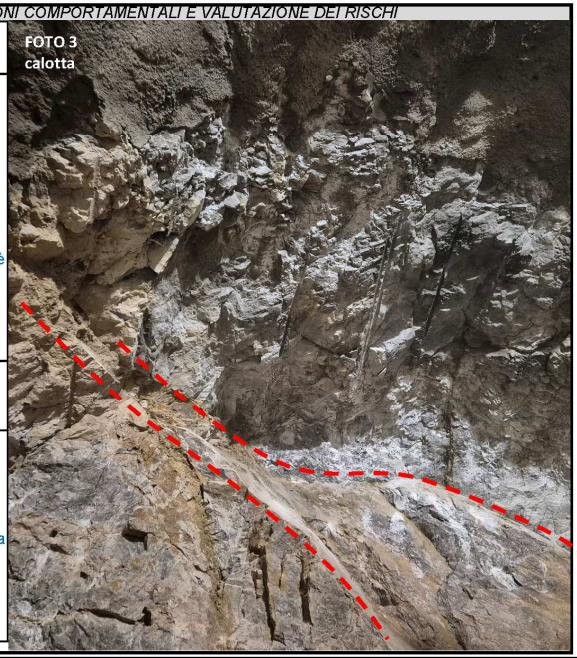
OSSERVAZIONI COMPORTAMENTALI E VALUTAZIONE DEI RISCHI

comportamento ammasso e situazioni rischio potenziale

La roccia, originariamente compatta e massiva, nel fronte in esame è interessata da un marcato disturbo a carattere faglivo che genera superfici lisce a franapoggio. L'ammasso si mantiene tuttavia resistente anche nella parte danneggiata; inoltre l'assenza di ulteriori discontinuità e le condizioni asciutte limitano i rischi di scivolamento. Il buon comportamento è testimoniato dalle tracce di perforazion e su tutto l'arco di calotta (foto 3). Anche i sovraprofili di scavo appaiono contenuti.

valutazioni geomeccaniche

Roccia in classe III di Bieniawski (RMR = 56).
In considerazione del buon comportamento allo scavo e dell'assenza di significative siturazioni di rischio, si ritiene comunque idonea la vigente sezione GA, fatta salva un nuova verifica delle condizioni geomeccaniche da condurre sul prossimo sfondo



Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

RMR corretto (**RMR_c**) : comprende tutti i gli indici parziali (6). E' l'indice che viene preso a riferimento per la scelta dei rivestimenti

Per gallerie di 10 m di ampiezza e con pressioni verticali < 25 Mpa.

Table 1. Original guidelines for support of rock tunnels based on the RMR system (Bieniawski 1989)

Rock Mass Class	Excavation	Support		
		Rock Bolts (20-mm Dia, Fully Grouted)	Shotcrete	Steel Sets
Very good rock I RMR:81–100	Full face 3-m advance	Generally, no support required except for occasional spot bolting		
Good rock II RMR:61–80	Full face 1.0–1.5-m advance Complete support 20 m from face	Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m, with occasional wire mesh	50 mm in crown where required	None
Fair rock III RMR: 41–60	Top heading and bench 1.5–3-m advance in top heading Commence support after each blast Complete support 10 m from face	Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5–2 m in crown and walls with wire mesh in crown	50–100 mm in crown and 30 mm in sides	None
Poor rock IV RMR: 21–40	Top heading and bench 1.0–1.5-m advance in top heading. Install support concurrently with excavation 10 m from face	Systematic bolts 4–5 m long, spaced 1–1.5 m in crown and wall with wire mesh	100–150 mm in crown and 100 mm in sides	Light to medium ribs spaced 1.5 m where required
Very poor rock V RMR: <20	Multiple drifts 0.5–1.5-m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting	Systematic bolts 5–6 m long, spaced 1–1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert	150–200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face	Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and fore-poling if required. Close invert

Shape: horseshoe; width: 10 m; vertical stress: <25 MPa; construction: drilling and blasting.

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

RMR corretto (**RMR_c**) : comprende tutti i gli indici parziali (6).
E' l'indice che viene preso a riferimento per la scelta dei rivestimenti

Rockbolt spacing

$$S_b = 0.5m + 2.5m.\frac{RMR-20}{65} \quad \text{if } 20 < RMR <= 85$$

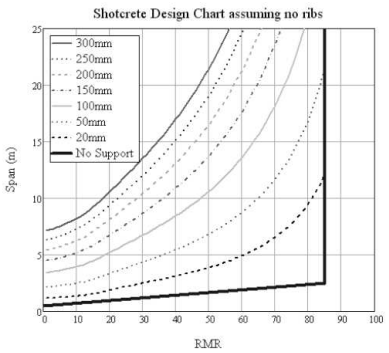
$$S_b = 0.25m + \frac{(RMR-10)^{1.5}}{140}.m \quad \text{if } 10 < RMR <= 20$$

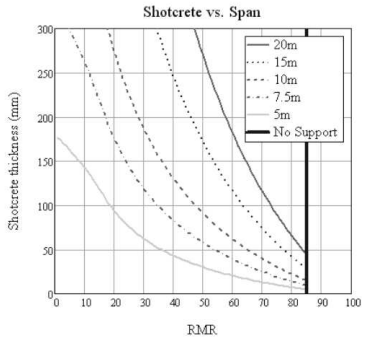
$$S_b = 0.25m \quad \text{if } RMR <= 10$$

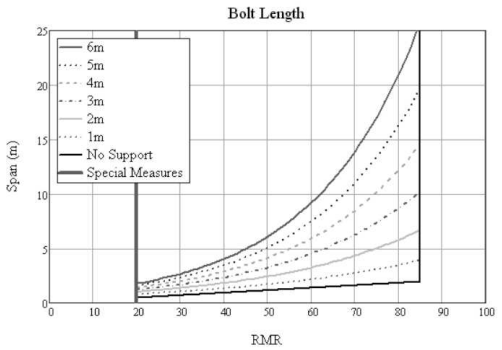
$$Span = \frac{(L_b + 2.5)^{\frac{RMR+25}{52}}}{3.6}$$

Bolt capacity

$$F_{bd} = \frac{F_b}{\gamma_b}.\left(\frac{RMR}{85}\right)^{\frac{40}{RMR}}$$







(Lowson & Bieniawski 2013)

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

RMR corretto (**RMR_c**) : comprende tutti i gli indici parziali (6). E' l'indice che viene preso a riferimento per la scelta dei rivestimenti

RMR di base o intrinseco (RMR_b): comprensivo dei primi 5 parametri, è l'indice utilizzato per le correlazione con i parametri di resistenza meccanica e deformazione:

$$c = 5 \cdot RMR_b \qquad \varphi = 5 \cdot \frac{RMR_b}{2}$$

$$E_{rm} = 2 \cdot RMR_{b'76} - 100$$ Bieniawski 1978 per $RMR_{b'76} \geq 50$

$$E_{rm}\,(GPa) = 10^{((RMR_{b'76} - 10)/40)}$$ Serafim e Pereira (1983) per RMRb'76 < 50

$$E_{rm} = 14 + (E_i - 14) \cdot \left[1 - \left(\frac{100 - RMR_{b'89}}{44} \right)^{\frac{RMR_{b'89}}{70}} \right]$$ Lowson & Bieniawski 2013 per $RMR_{b'89} \geq 56$

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

RMR corretto (**RMR_c**) : comprende tutti i gli indici parziali (6). E' l'indice che viene preso a riferimento per la scelta dei rivestimenti

RMR di base o intrinseco (RMR_b): comprensivo dei primi 5 parametri, è l'indice che è stato utilizzato per le correlazione con i parametri di resistenza meccanica e deformazione:

RMR asciutto (RMR_a) comprensivo dei primi 4 parametri ed assumendo il quinto parametro col valore corrispondente ad un ammasso asciutto (10 nella versione 1976, 15 nella versione 1989)

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{RMR_{a\,'76} - 100}{28}\right) \qquad s = \exp\left(\frac{RMR_{a\,'76} - 100}{9}\right)$$ per ammassi indisturbati

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{RMR_{a\,'76} - 100}{14}\right) \qquad s = \exp\left(\frac{RMR_{a\,'76} - 100}{6}\right)$$ per ammassi disturbati

Hoek E. & Brown E. T. 1988

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

RMR corretto (**RMR_c**) : comprende tutti i gli indici parziali (6). E' l'indice che viene preso a riferimento per la scelta dei rivestimenti

RMR di base o intrinseco (RMR_b): comprensivo dei primi 5 parametri, è l'indice che è stato utilizzato per le correlazione con i parametri di resistenza meccanica e deformazione:

RMR asciutto (RMR_a) comprensivo dei primi 4 parametri ed assumendo il quinto parametro col valore corrispondente ad un ammasso asciutto (10 nella versione 1976, 15 nella versione 1989)

$GSI = RMR_{a'76}$ solo per $RMR_{a'76} > 18$

$GSI = RMR_{a'89} - 5$ solo per $RMR_{a'89} > 23$

Hoek E. 1994

Rock Mass Rating (RMR)

Fronte non uniforme

Rock Mass Rating (RMR)

Fronte non uniforme

Si raccomanda che, quando sono presenti due o più zone nettamente diverse in una parete rocciosa, un approccio da adottare sia quello di ottenere i valori RMR per ciascun settore e quindi calcolare il valore ponderato complessivo, in base all'area superficiale corrispondente a ciascuna zona in relazione all'intera area, nonché in base all'influenza che ogni zona ha sulla stabilità dell'intero scavo

Quando si riscontrano condizioni di roccia di qualità mista sulla parete rocciosa scavata, con presenza di roccia di buona e scarsa qualità in un'unica area esposta, è essenziale identificare la "condizione più critica" per la valutazione degli strati rocciosi. Ciò significa che le caratteristiche geologiche più significative ai fini della stabilità avranno un'influenza preponderante. Ad esempio, una faglia o una frattura in una parete rocciosa di alta qualità giocherà un ruolo dominante indipendentemente dall'elevata resistenza del materiale roccioso negli strati circostanti.

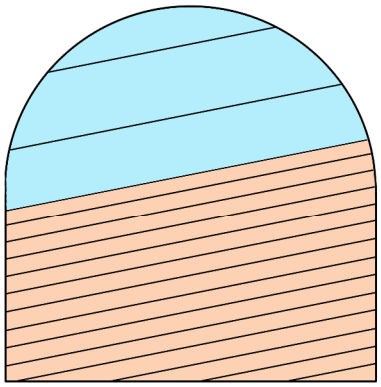
Bieniawsky 1989

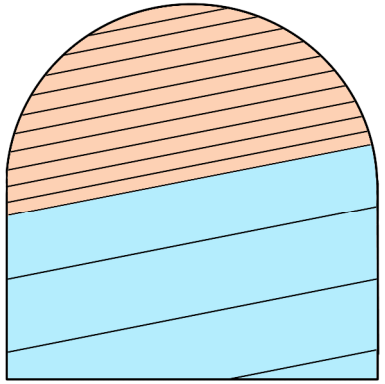
Rock Mass Rating (RMR)

Fronte non uniforme

Rock Mass Rating (RMR)

Fronte non uniforme





Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

Le indicazioni per i supporti si riferiscono ad una galleria a D con larghezza pari a 10 m con una tensione principale non superiore a 25 MPa. Lo stato tensionale massimo potrebbe anche non essere in correlazione con lo spessore della copertura.

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

Una criticità del sistema di classificazione RMR può essere riconosciuta nella sua espressione analitica. Ad esempio, una drastica riduzione della resistenza σ_c può essere sottovalutata nella valutazione dell'indice finale

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

σ_c: media 13,55 MPa; minimo 7,89 MPa

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

***MYTH no. 2*: FOR WEAK ROCK MASSES, THE RMR CLASSIFICATION IS NOT APPLICABLE FOR THE LOWEST CLASS OF RATINGS.**

Not true, **this is a misconception of facts. The fact is that RMR continues to be used successfully even for 'very poor rock masses', Class V when RMR < 20, when the input data are properly determined.**

questo equivoco è nato quando Hoek et al. (1995), agendo in buona fede per affrontare masse rocciose molto povere, hanno presentato un esempio di compilazione RMR assumendo condizioni di roccia completamente secche e un orientamento di discontinuità molto favorevole per una massa rocciosa molto debole con una resistenza del materiale roccioso trascurabile σ_c. In tal caso, dalla Tabella 1, il valore minimo di RMR è stato calcolato erroneamente come 8 (3+5), concludendo che il sistema RMR non sarebbe stato efficace per ammassi rocciosi molto deboli. Per superare questa percepita limitazione, è stato introdotto un nuovo approccio appositamente studiato, il Geological Strength Index (GSI).

Bieniawski Z.T. 2011

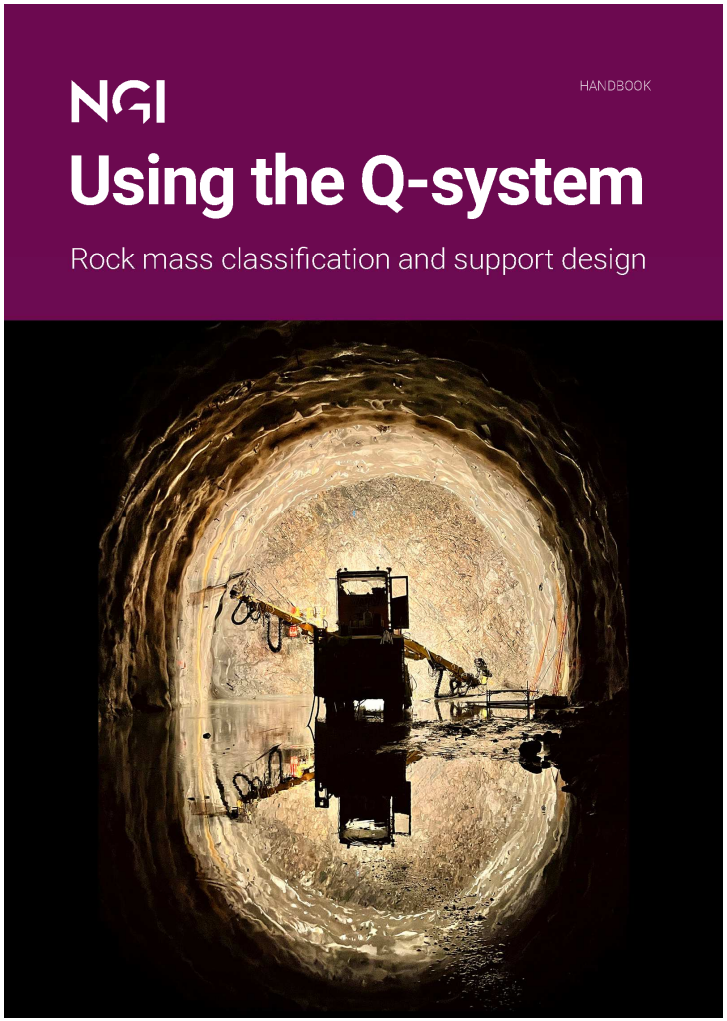
Q-System

Il Q-System (1974) nasce per l'individuazione empirica delle tipologie di rivestimento permanente più adatto nello scavo di tunnel e caverne seguendo il cosiddetto Metodo Norvegese, applicato a partire dagli anni '90 per rispondere alle esigenze di scavo in rocce dure e fratturate (tipiche della Scandinavia).
Nasce dalla osservazione di 212 casi di studio raccolti nel periodo 1960÷1973 in cui le tecniche di rinforzo utilizzate consistevano in:

- Calcestruzzo proiettato semplice
- Calcestruzzo proiettato rinforzato con rete → dal 1993 con fibre d'acciaio
- Archi di calcestruzzo gettato
- Chiodi per roccia

Il Q-system può essere determinato sui fronti di scavo in galleria, durante il rilievo in superficie, mediante i sondaggi. Tra questi tre metodi, il primo è quello che risulta il più corretto.
Risulta importante che lo scavo od il fronte consentano di percepire la tridimensionalità dell'ammasso; questo è particolarmente importante per la determinazione del J_n ma anche di RQD.

Q-System



https://www.ngi.no/en/research-and-consulting/infrastructure-container/tunnels-and-the-q-system/

Q-System

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

Il range di variazione “normale” dell’indice Q è compreso tra 0,001 e 1000. Particolari combinazioni dei parametri potrebbero determinare stime di Q al di fuori di questo campo. In questi casi i valori fuori range vanno ripartati ai valori limite (0,001 o 1000).

RQD = grado di fratturazione (Rock Qualitiy Designation)
J_n = indice del numero di set di giunti;
J_r = indice di scabrezza dei giunti;
J_a = indice di alterazione dei giunti;
J_w = indice idraulico;
SFR = ‘Stress reduction factor’, Fattore di riduzione dello sforzo;

RQD

• Per valori inferiore a 10 si assume un RQD pari a 10.

• Sul fronte il valore di RQD va determinato tramite l'equazione proposta da Palmström (2005):

$$RQD = 110 - 2.5\,Jv \qquad \text{per } 4 < J_v < 44$$

$$Jv = \sum (1/S_i) \qquad Jv = \sum (1/S_i) + Nr/5$$

• Nella determinazione di RQD vanno escluse le eventuali fratture dovute all'esplosione/martellone

• Nelle rocce metamorfiche clivaggio e scistosità, se non danno fissilità, non vanno considerate come discontinuità

• In caso di rocce tenere (con σ_c è inferiore a 0.25 Mpa) tali da equipararle a terre, la procedura prevede comunque di assegnare arbitrariamente un RQD pari a 10.

• Va fatta una valutazione sulla resistenza dei giunti cementati per considerarli come discontinuità

J_n- Indice del numero dei sistemi di discontinuità

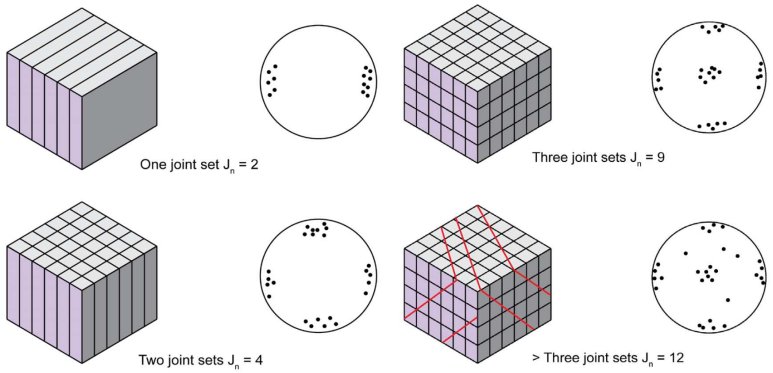
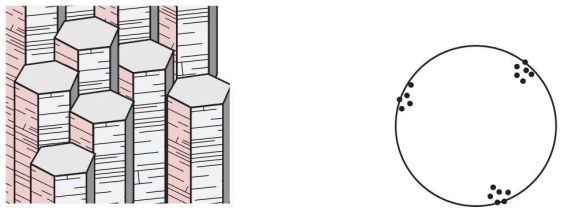


Figure 3-1 Representation of different joint patterns with corresponding stereonets.

Table 3-2 J_n-values

2	J_n = 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 x J_n ii) For tunnel portals, use 2 x J_n		

- L’indice va determinato su porzioni omogenee dell’ammasso roccioso
- Se i giunti non sono persistenti (non concorrono a formare blocchi di roccia) sono da considerarsi random.
- Deve essere tenuto in conto il grado di libertà che i set di discontinuità determinano per la mobilizzazione di blocchi



Columnar jointing with three joint directions, but J_n = 4

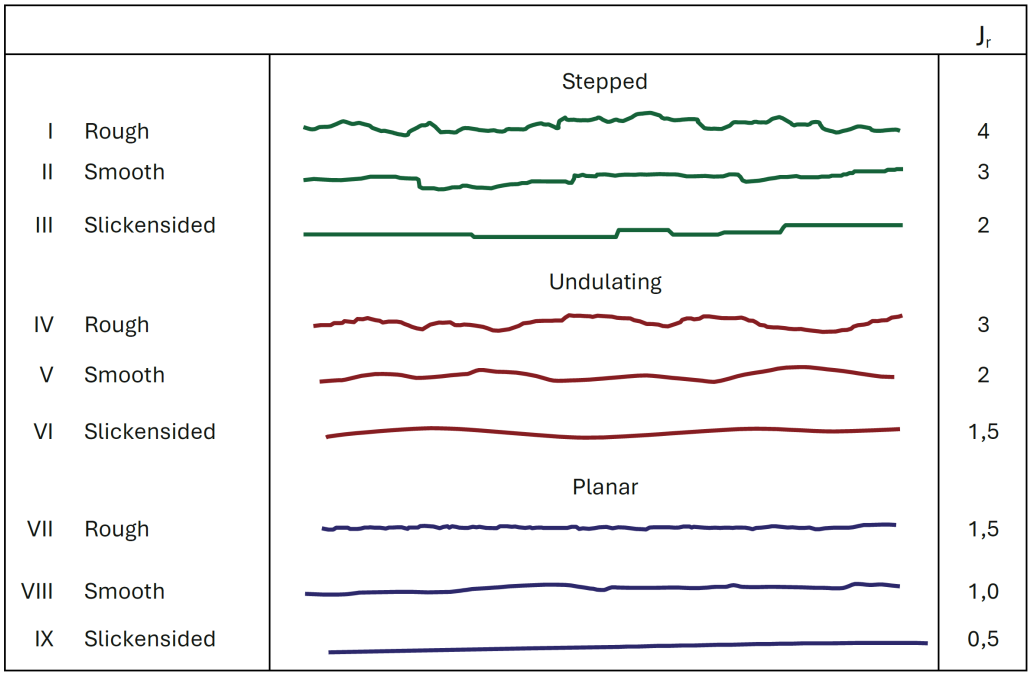
J_r - Indice di rugosità del giunto

Ondulazione (dm/m)

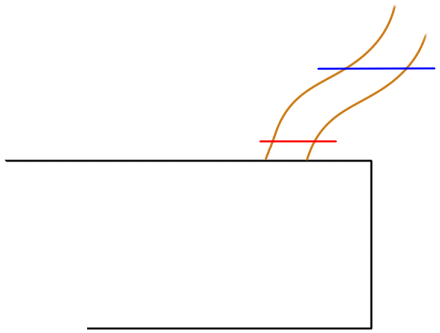
- gradinati (stepped)
- ondulati (undulating)
- planari (planar)

Rugosità (mm/cm)

- ruvida (rough)
- liscia (smooth)
- lucida (slickenside)



- Va posta attenzione al rapporto tra lunghezza d'onda e spaziatura delle fratture di svincolo



J_r - Indice di rugosità del giunto

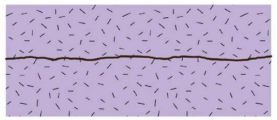
Ondulazione (dm/m)

- gradinati (stepped)
- ondulati (undulating)
- planari (planar)

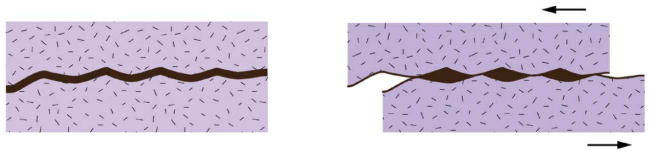
Rugosità (mm/cm)

- ruvida (rough)
- liscia (smooth)
- lucida (slickenside)

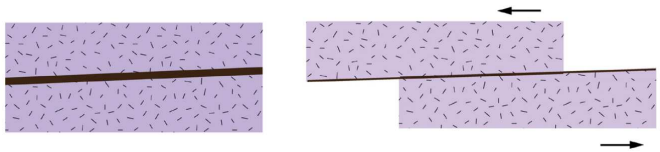
a) Pareti del giunto a contatto



b) Pareti del giunto a contatto per scorrimenti inferiori a 10 cm



c) Pareti del giunto non a contatto anche dopo scorrimento superiori a 10 cm



J_r - Indice di rugosità del giunto

Ondulazione (dm/m)

- gradinati (stepped)
- ondulati (undulating)
- planari (planar)

Rugosità (mm/cm)

- ruvida (rough)
- liscia (smooth)
- lucida (slickenside)

3	J_r = Joint Roughness Number	J_r
a) Rock wall contact *b) Rock-wall contact before 10 cm of shear movement*		
A	Discontinuous joints / rough, stepped	4
B	Rough or irregular, undulating / smooth, stepped	3
C	Smooth, undulating / slickensided, stepped	2
D	Slickensided, undulating	1,5
E	Rough, irregular, planar	1,5
F	Smooth, planar	1
G	Slickensided, planar	0,5
Note: i) Add 1 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3 m (depends on the cross-section of the underground opening) ii) J_r = 0.5 can be used for planar slickensided joints having lineations, provided the lineations are oriented in the estimated sliding direction		
c) No rock-wall contact when sheared (thick joint infill)		
H	Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock-wall contact when sheared	1

• La determinazione va eseguita in riferimento al set in cui è più probabile il movimento (se la sua spaziatura è maggiore di 3 m - pochi giunti esposti - si aggiunge 1)

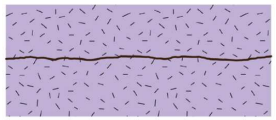
• Deve essere valutata l'apertura e riempimento. Se può non esserci contatto tra le pareti si assegna il valore di 1 (categoria H in tabella)

• In caso di rocce tenere (con σ_c è inferiore a 0.25 Mpa) tali da equipararle a terre ed in cui non si hanno giunti, si assegna all'indice J_r il valore di 1.

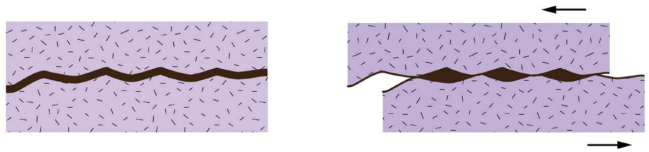
• Le caratteristiche di ondulazione/rugosità vanno rilevate lungo la potenziale direzione di scorrimento

J_a - Indice di alterazione delle discontinuità

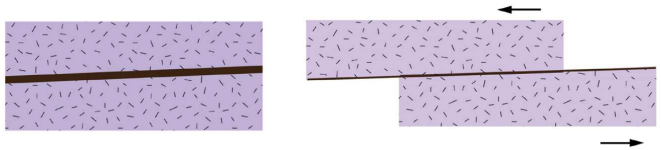
a) Pareti del giunto a contatto



b) Pareti del giunto a contatto per scorrimenti inferiori a 10 cm



c) Pareti del giunto non a contatto anche dopo scorrimento superiori a 10 cm



4	J_a = Joint alteration numberg	Φ_r	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 < 5 mm thickness)	16-24°	6
H	Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings (continuous, but < 5 mm thickness)	12-16°	8
J	Swelling-clay fillings, i.e., montmorillonite (continuous, but < 5 mm thickness). Value of Ja 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

J_w – Fattore di riduzione dell'acqua nel giunto

5	J_w = 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 rough estimates. Increase J_w if the rock is drained or if injection is performed. ii) Special problems caused by ice formation are not taken into consideration.		

• Le distinzioni dalla categoria C alla F sono approssimative e piuttosto soggettive

• Devono essere tenuto in conto le variazione di flusso stagionale e/o legato al regime pluviometrico oppure quelle dipendenti dalle fasi di scavo

• Interventi di impermeabilizzazione o di drenaggio possono portare ad una riduzione deglli afflussi con un conseguente aumento del valore di J_w

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

L’indice SRF descrive il rapporto tra le tensioni che si sviluppano nell’ammasso roccioso e le sue caratteristiche di resistenza nell’intorno della galleria.

Le tipologie di deformazione riscontrabili in galleria sono riassumibili in:

- • spalling (scheggiatura)
- • slabbing (rilascio di lastre)
- • rock burst (colpi di roccia o colpi di tensione)
- • squeezing (rocce spingenti)
- • buckling (instabilità flessionale)
- • dilatazione/propagazione di giunti
- • scorrimenti lungo giunti
- • caduta di blocchi
- • swelling (rigonfiamenti)

- Stato tensionale
- Stato tensionale/gravità
- Gravità
- Processi chimici

Metodo osservazionale

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

a. Zone di debolezza intersecanti lo scavo che possono determinare allentamento dell’ammasso;

b. Rocce competente con condizioni di stress basse o favorevoli (principalmente roccia massiccia);

c. Rocce competenti con problemi dovuti ad elevati stati tensionali (principalmente roccia massiccia);

d. Roccia spingente (squeezing): roccia allentata con flusso plastico in condizioni di elevato sforzo;

e. Roccia rigonfiante (swelling): azione chimica rigonfiante per presenza di acqua;

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

b. Rocce competente con condizioni di stress basse o favorevoli (principalmente roccia massiccia);

b) Competent rock with low or favourable stress conditions, mainly massive rock		*SRF*
F	Low stresses, near surface, open joints	2.5
G	Medium stresses, favourable stress condition	1
Note: ii) 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)		

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

a. Zone di debolezza intersecanti lo scavo che possono determinare allentamento dell’ammasso;

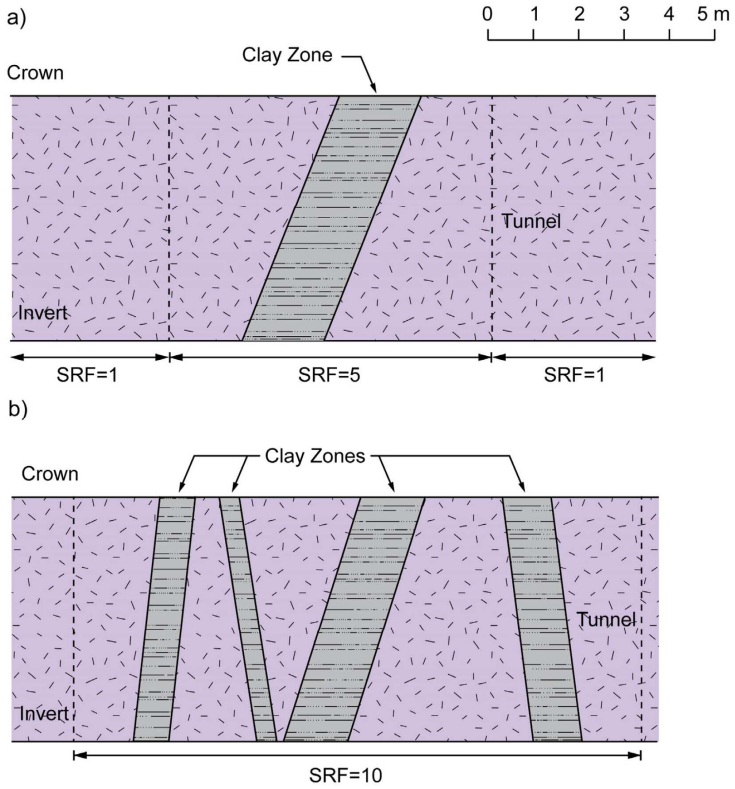


Figure 3-4 SRF-values related to single and multiple weakness zones.

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

a. Zone di debolezza intersecanti lo scavo che possono determinare allentamento dell’ammasso;

6	SRF = Stress Reduction Factor	SRF
a) Weak zones intersecting the underground opening, which may cause loosening of rock mass		
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 6M and 6N	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 ≤ 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		

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

c. Rocce competenti con problemi dovuti ad elevati stati tensionali (principalmente roccia massiccia);

Q-System

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

c. Rocce competenti con problemi dovuti ad elevati stati tensionali (principalmente roccia massiccia);

c) Competent, mainly massive rock, stress-related problems		*SRF*
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	0,5-2 2-5*
J	Moderate spalling and/or slabbing after > 1 hour in massive rock	5-50
K	Spalling or rock burst after a few minutes in massive rock	50-200
L	Heavy rock burst and immediate dynamic deformation in massive rock	200-400
Note: iii) See Chapter 3.7.3 and Grimstad & Barton (1993) for details on SRF and the stress-strength ratio.		

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

c. Rocce competenti con problemi dovuti ad elevati stati tensionali (principalmente roccia massiccia);

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

c. Rocce competenti con problemi dovuti ad elevati stati tensionali (principalmente roccia massiccia);

7	SRF = Spenningsfaktor (Stress Reduction Factor)			SRF
c) Competent, mainly massive rock, stress-related problems		σ_c / σ_1	σ_θ / σ_c	SRF
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: *For strongly anisotropic virgin stress field (if measured): when $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reduce σ_c to 0.75 σ_c. When $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, reduce σ_c to 0.5 σ_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)

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

c. Rocce competenti con problemi dovuti ad elevati stati tensionali (principalmente roccia massiccia);

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

d. Roccia spingente (squeezing): roccia allentata con flusso plastico in condizioni di elevato sforzo;

Criticità dovuta alla resistenza a compressione uniassiale dell’ammasso roccioso

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

d. Roccia spingente (squeezing): roccia allentata con flusso plastico in condizioni di elevato sforzo;

d) Squeezing rock: plastic deformation in incompetent rock under the influence of high pressure		*SRF*
M	Moderate squeezing rock pressure $\sigma_\theta/\sigma_{cm}$ è compreso tra 1 e 5	5-10
N	Heavy squeezing rock pressure $\sigma_\theta/\sigma_{cm} > 5$	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)		

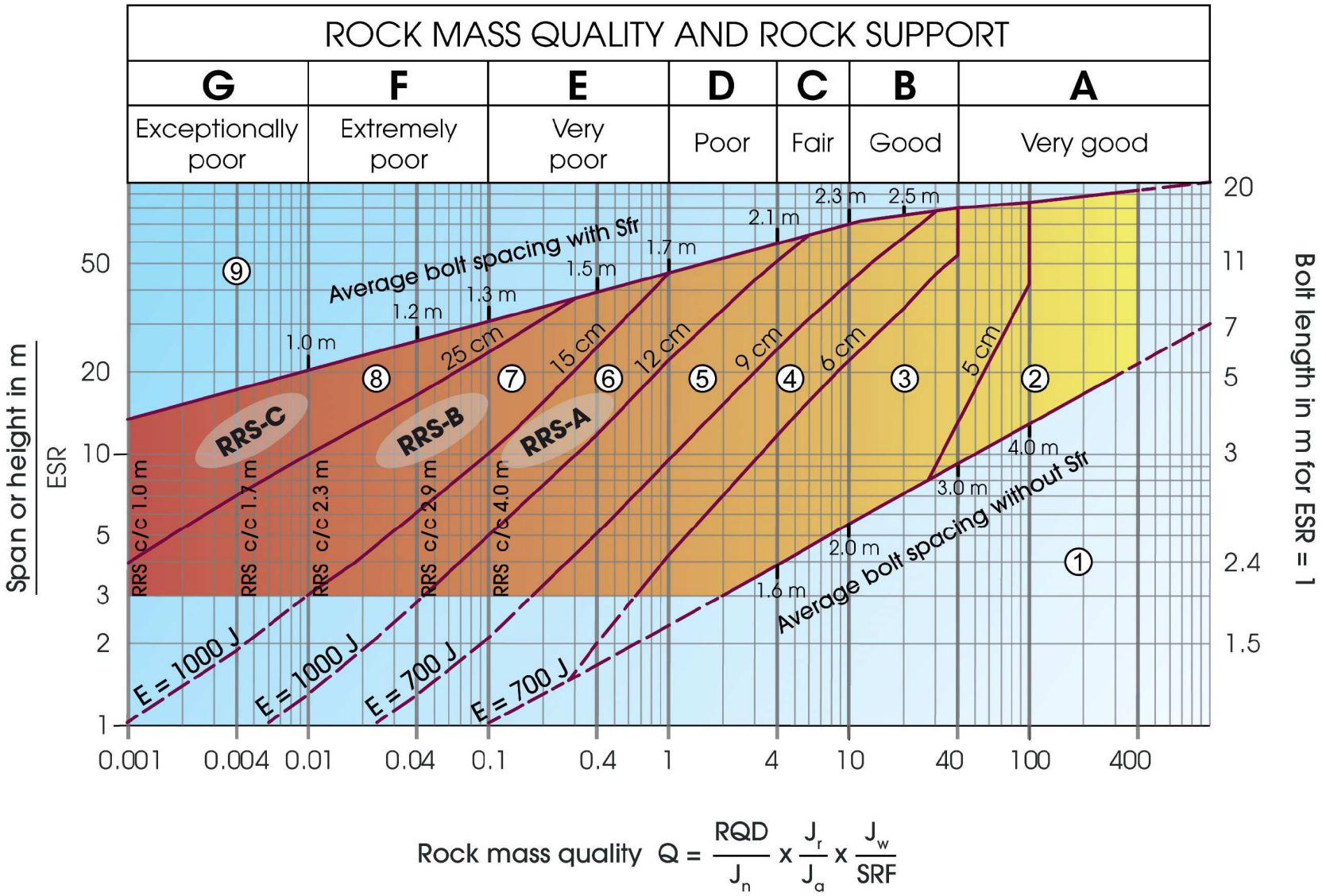
Criticità dovuta alla resistenza a compressione uniassiale dell’ammasso roccioso

SFR – Fattore di riduzione dello sforzo “Stress reduction factor”

e. Roccia rigonfiante (swelling): azione chimica rigonfiante per presenza di acqua;

e) Swelling rock: chemical swelling activity depending on the presence of water		*SRF*
O	Moderate swelling rock pressure	5-10
P	Heavy swelling rock pressure	10-15

Q-System


ROCK MASS QUALITY AND ROCK SUPPORT
G
Exceptionally poor
F
Extremely poor
E
Very poor
D
Poor
C
Fair
B
Good
A
Very good
Average bolt spacing with Sfr
Average bolt spacing without Sfr
RRS-C
RRS-B
RRS-A
RRS c/c 1.0 m
RRS c/c 1.7 m
RRS c/c 2.3 m
RRS c/c 2.9 m
RRS c/c 4.0 m
25 cm
15 cm
12 cm
9 cm
6 cm
5 cm
1.0 m
1.2 m
1.3 m
1.5 m
1.7 m
2.1 m
2.3 m
2.5 m
4.0 m
3.0 m
2.0 m
1.6 m
E = 1000 J
E = 1000 J
E = 700 J
E = 700 J
Span or height in m
ESR
50
20
10
5
3
2
1
0.001
0.004
0.01
0.04
0.1
0.4
1
4
10
40
100
400
20
11
7
5
3
2.4
1.5
Bolt length in m for ESR = 1
Rock mass quality Q = RQD/Jn x Jr/Ja x Jw/SRF

Q-System

L'indice Q così determinato trova il suo principale impiego nell'individuazione della tipologia di rivestimento da applicare il galleria

Per un suo utilizzo nelle correlazioni con alcuni parametri meccanici e/o dinamici è stato introdotto un valore correttivo dipendente da σ_c (Barton 2002):

$$Q_c = Q \cdot \frac{\sigma_c}{100}$$

Esempi:

$$V_p = \log(Q_c) + 3{,}5$$

$$E_d = 10 \cdot \left(Q \cdot \frac{\sigma_c}{100} \right)^{1/3} = 10 \cdot Q_c^{1/3} \qquad \sigma_{cm} = 5 \cdot \gamma_a \cdot Q_c^{1/3}$$

Geological Strength Index (GSI)

La classificazione GSI è stata proposta nel 1994 da Hoek per la definizione dei parametri utilizzati nel il criterio di rottura di Hoek e Brown

- 1980 Criterio di Hoek e Brown
- 1988 Utilizzo dell'indice RMR

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{RMR-100}{28}\right) \qquad s = \exp\left(\frac{RMR-100}{9}\right)$$

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{RMR-100}{14}\right) \qquad s = \exp\left(\frac{RMR-100}{6}\right)$$

- 1994 Utilizzo dell'indice GSI

$GSI = RMR_{a'76}$ solo per $RMR_{a'76} > 18$

$GSI = RMR_{a'89} - 5$ solo per $RMR_{a'89} > 23$

$$GSI = 9 \cdot \ln(Q') + 44 \qquad Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{1}{1}$$

Société Internationale de Mécanique des Roches
INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS
Internationale Gesellschaft für Felsmechanik
NEWS JOURNAL

Surface exposure of heavily bedded sandstone.

Top heading of cable bolted excavation in heavily bedded sandstone.

Estimating the strength of the bedded sandstone shown here was a critical part of the design process for the 25 m span powerhouse constructed on the site. See page 4 — *Strength of Rock & Rock Masses.*

IN EVERY ISSUE

ISRM President	2
News from the Secretariat	39
National Groups	41
Coming Events	41
Corporate Members	27
ISRM Goods	47

ARTICLES

Strength of Rock & Rock Masses — *E. Hoek*	4
Back Analysis in Rock Engineering — *S. Sakurai*	17
Letter to the Editor — *E. Hoek*	23
Commission on Swelling Rock: Annual Report — *H. Einstein*	26
Commission on Education: Multimedia in Rock Mechanics Training — *C. Windsor & A. Thompson*	29

Volume 2 Number 2

Per valori di RMR inferiori

Geological Strength Index (GSI)

La classificazione GSI è stata proposta nel 1994 da Hoek per la definizione dei parametri utilizzati nel il criterio di rottura di Hoek e Brown

- 1980 Criterio di Hoek e Brown
- 1988 Utilizzo dell'indice RMR

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{RMR-100}{28}\right) \qquad s = \exp\left(\frac{RMR-100}{9}\right)$$

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{RMR-100}{14}\right) \qquad s = \exp\left(\frac{RMR-100}{6}\right)$$

- 1994 Utilizzo dell'indice GSI

$GSI = RMR_{a'76}$ solo per $RMR_{a'76} > 18$

$GSI = RMR_{a'89} - 5$ solo per $RMR_{a'89} > 23$

$GSI = 9 \cdot \ln(Q') + 44 \qquad Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{1}{1}$

Per valori di RMR inferiori

GENERALISED HOEK-BROWN CRITERION

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

σ_1' = major principal effective stress at failure

σ_3' = minor principal effective stress at failure

σ_c = uniaxial compressive strength of *intact* pieces of rock

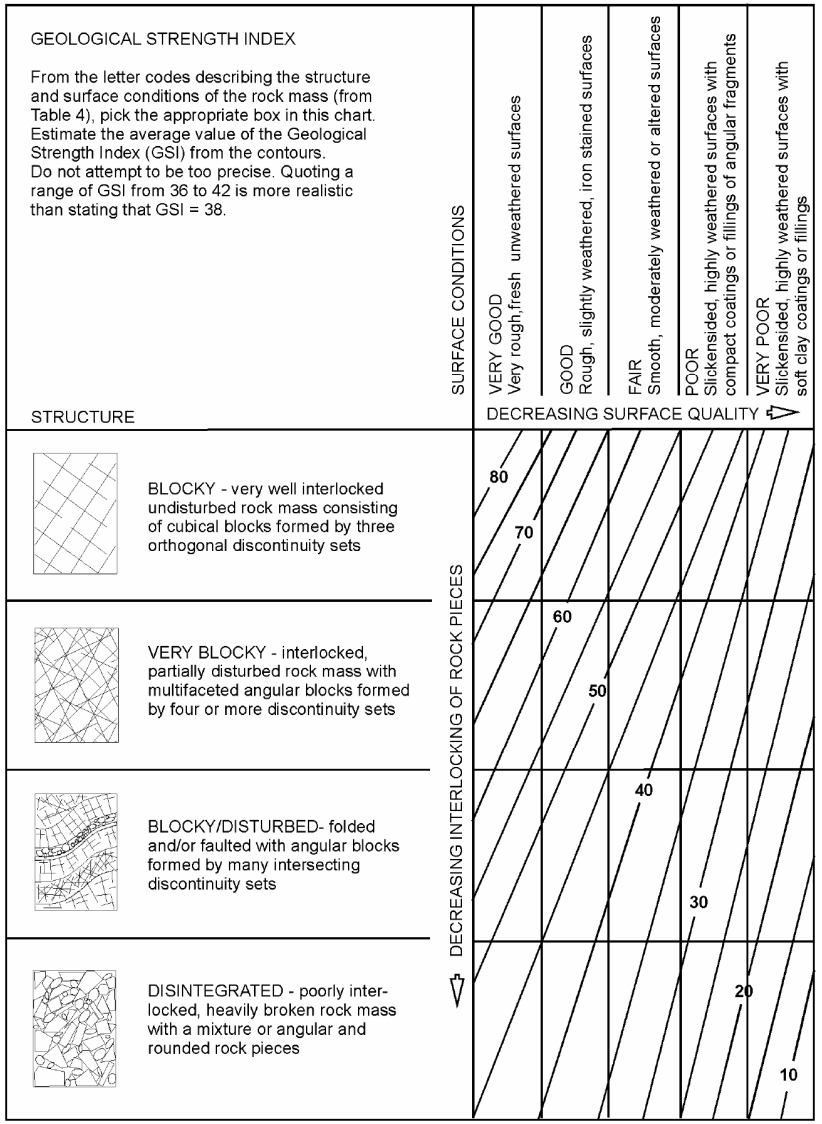
m_b, s and a are constants which depend on the composition, structure and surface conditions of the rock mass

STRUCTURE	SURFACE CONDITION	VERY GOOD Very rough, unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces	POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings containing angular rock fragments	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets	m_b/m_i	0.60	0.40	0.26	0.16	0.08
	s	0.190	0.062	0.015	0.003	0.0004
	a	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	E_m	75,000	40,000	20,000	9,000	3,000
	ν	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25
	GSI	85	75	62	48	34
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	m_b/m_i	0.40	0.29	0.16	0.11	0.07
	s	0.062	0.021	0.003	0.001	0
	a	0.5	0.5	0.5	0.5	0.53
	E_m	40,000	24,000	9,000	5,000	2,500
	ν	0.2	0.25	0.25	0.25	0.3
	GSI	75	65	48	38	25
BLOCKY/SEAMY - folded and faulted with many intersecting discontinuities forming angular blocks	m_b/m_i	0.24	0.17	0.12	0.08	0.06
	s	0.012	0.004	0.001	0	0
	a	0.5	0.5	0.5	0.5	0.55
	E_m	18,000	10,000	6,000	3,000	2,000
	ν	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3
	GSI	60	50	40	30	20
CRUSHED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded blocks	m_b/m_i	0.17	0.12	0.08	0.06	0.04
	s	0.004	0.001	0	0	0
	a	0.5	0.5	0.5	0.55	0.60
	E_m	10,000	6,000	3,000	2,000	1,000
	ν	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3
	GSI	50	40	30	20	10

Geological Strength Index (GSI)

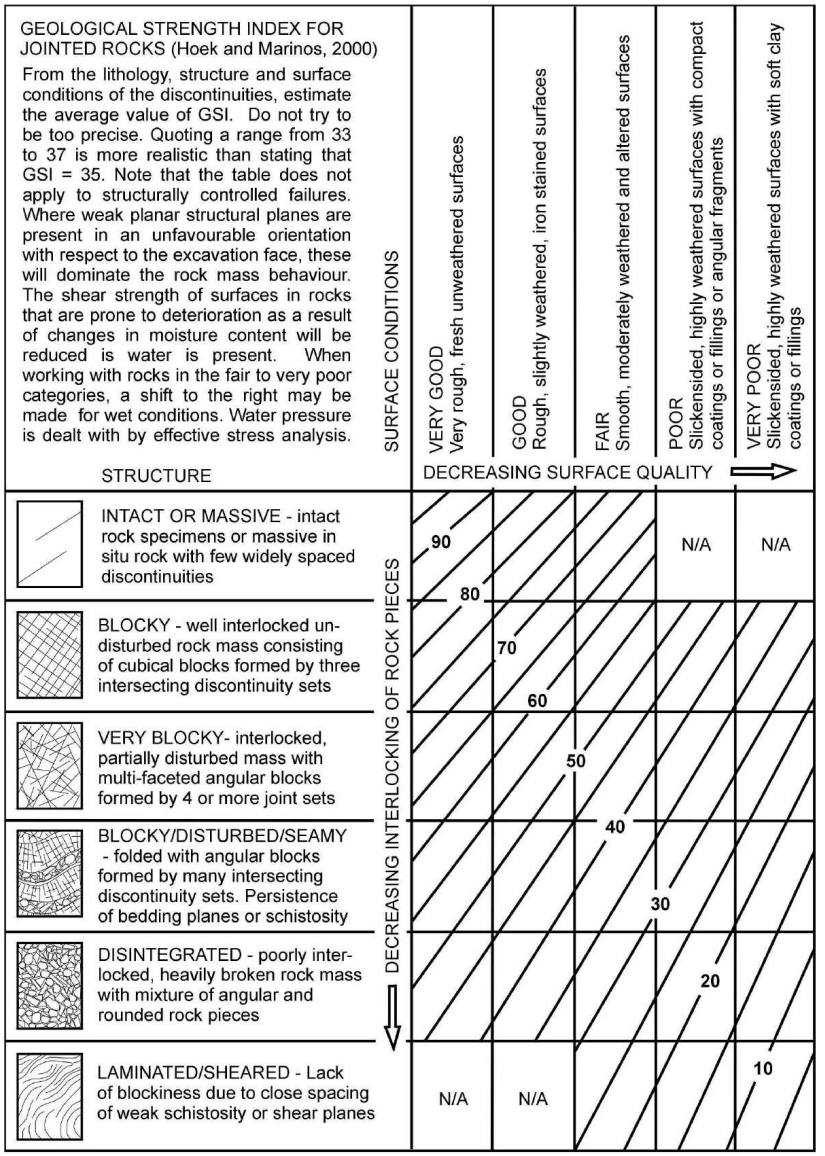
Nel 1998 Hoek & Brown modificano la precedente tabella per consentire una determinazione grafica e continua dell'indice GSI

"Do not attempt to bee too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI = 38"

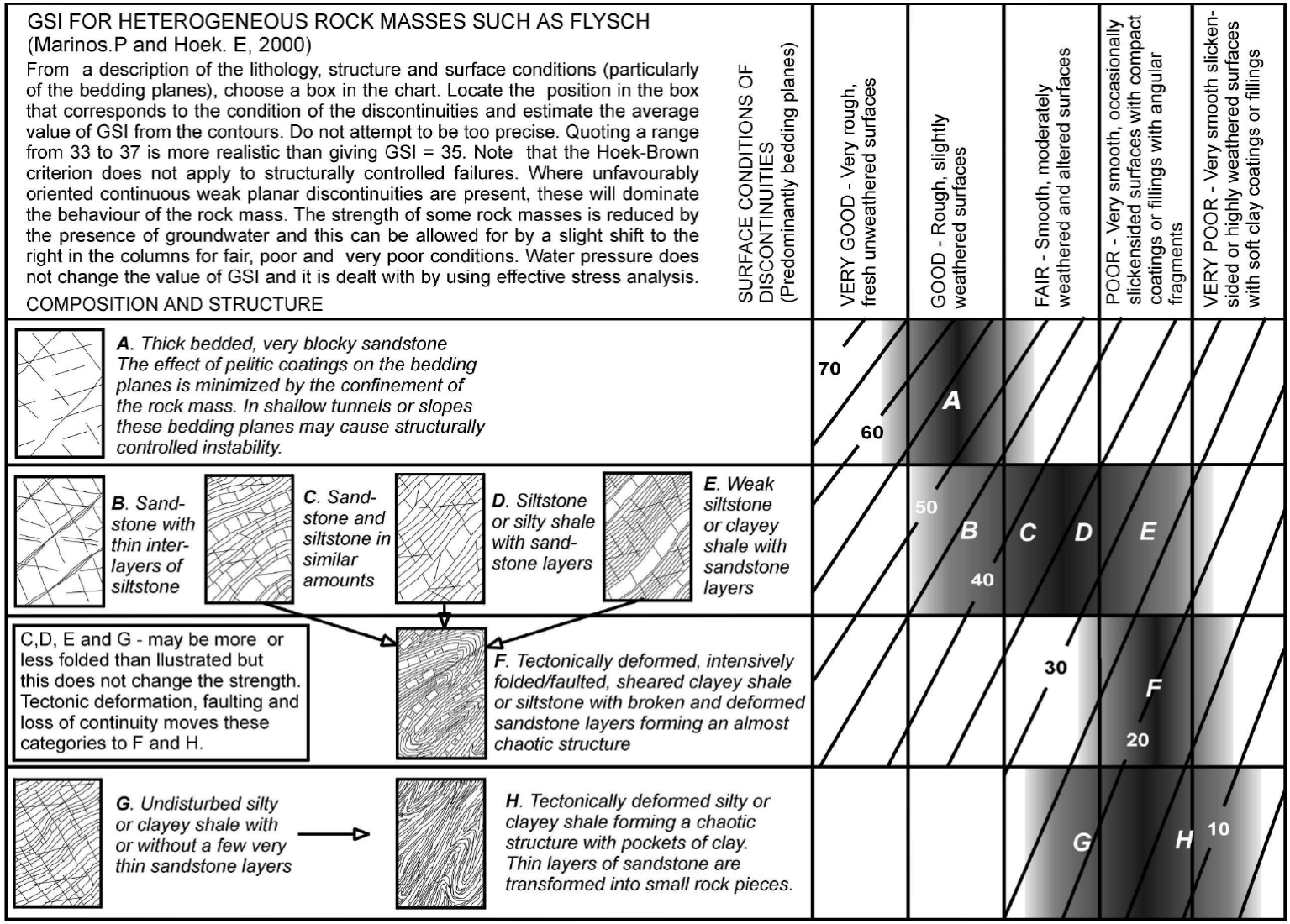


Geological Strength Index (GSI)

Nel 2000 la tabella assume la forma più espansa con 6 categorie di strutture. Viene inoltre proposta una nuova tabella, specifica per rocce eterogenee (flysch)



Geological Strength Index (GSI)



Geological Strength Index (GSI)

Criteri per la determinazone di di σ_{ci} ed m_i in rocce eterogenee

Table 4: Suggested proportions of parameters σ_{ci} and m_i for estimating rock mass properties for Flysch.

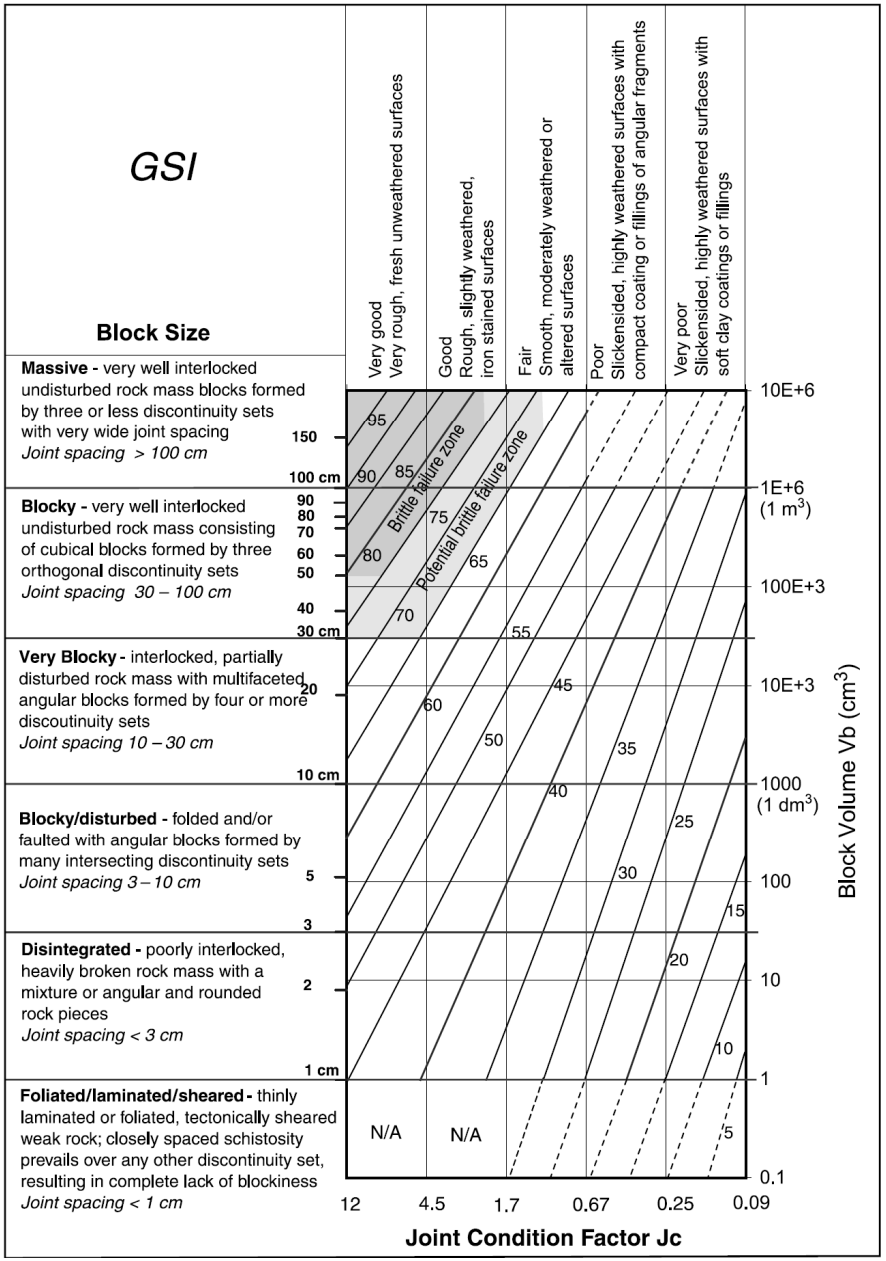
Flysch type see Table 4.	Proportions of values for each rock type to be included in rock mass property determination
A and B	Use values for sandstone beds
C	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
D	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
E	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
F	Reduce sandstone values by 60% and use full values for siltstone
G	Use values for siltstone or shale
H	Use values for siltstone or shale

Marinos & Hoek 2002

Geological Strength Index (GSI)

Geological Strength Index (GSI)

Nel 2004 viene proposta da Cai et alii una prima quantificazione dell'abaco 2000 basata sulla determinazione di due parametri di ingresso (asse x ed asse y) rispettivamente J_c e Volume dei blocchi

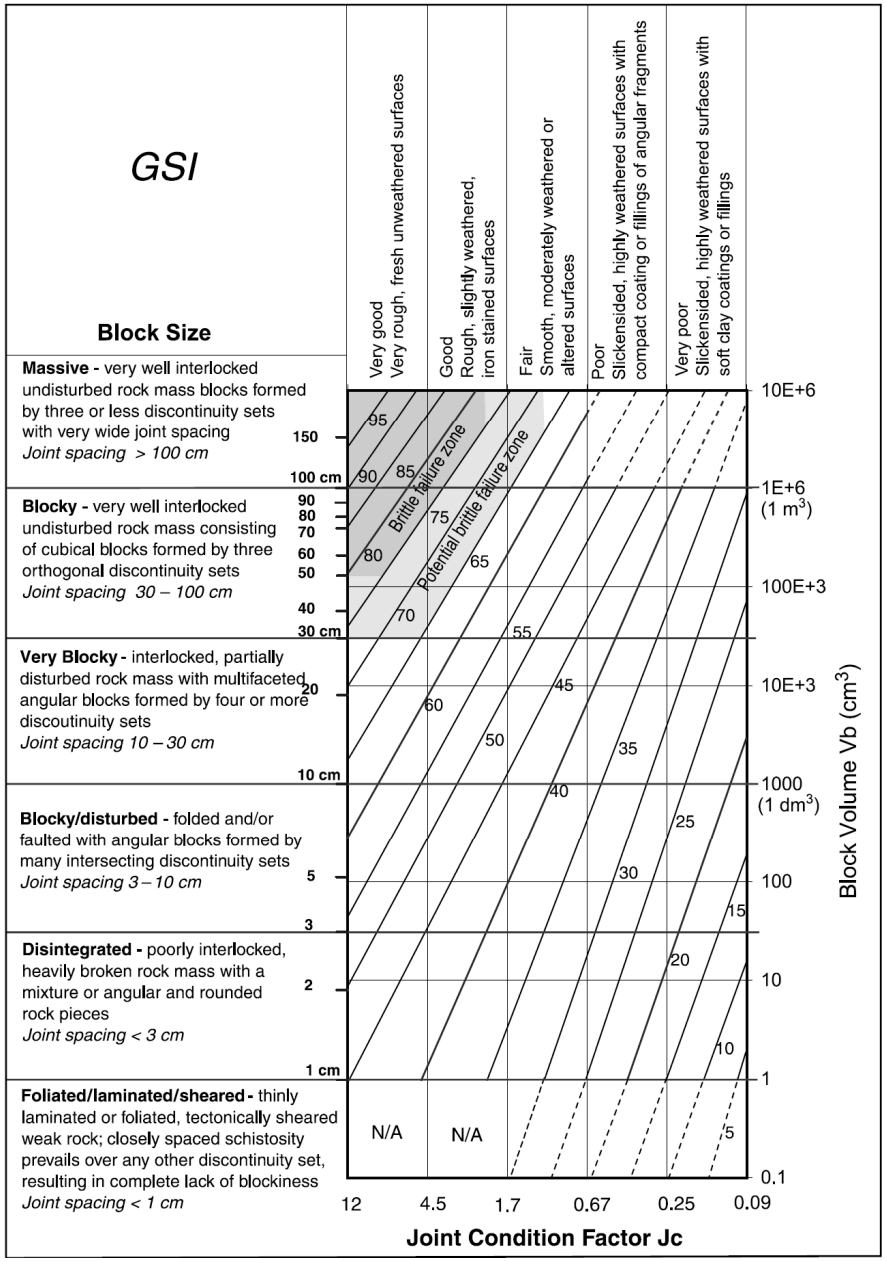


Geological Strength Index (GSI)

J_c – Fattore di condizione dei giunti

$$Jc = \frac{Jw \cdot Js}{Ja}$$

- Jw = indice di ondulazione a grande scala del giunto (da 1 a 10 m)
- Js = indice di "levigatezza" a piccola scala del giunto (da 1 a 20 cm)
- Ja = indice di alterazione del giunto



Geological Strength Index (GSI)

J_c – Fattore di condizione dei giunti

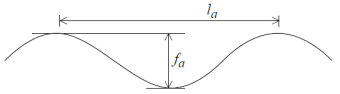
$$Jc = \frac{Jw \cdot Js}{Ja}$$

- Jw = indice di ondulazione a grande scala del giunto (da 1 a 10 m)
- Js = indice di "levigatezza" a piccola scala del giunto (da 1 a 20 cm)
- Ja = indice di alterazione del giunto

Tabella 1.15. Schema per la valutazione del fattore J_C a partire dagli indici J_W, J_S e J_A [Cai et al. 2004, modificata].

Ondulazione (a grande scala) J_W

Termine	f_a / l_a	J_W
Incastro tra le superfici (grande scala)		3.0
A gradini		2.5
Elevata	> 3 %	2.0
Moderata-Bassa	0.3 ÷ 3 %	1.5
Planare	<0.3%	1.0



Scabrezza (a piccola scala) J_S

Termine	*Descrizione della superficie*	J_S
Molto scabra	Gradini sub-verticali con incastro tra le superfici	3.0
Scabra	Visibili gradini e asperità; superfici delle discontinuità particolarmente abrasive (più scabre della carta abrasiva 30)	2.0
Leggermente scabra	Asperità sulle superfici di discontinuità distinguibili e sensibili al tatto (come carta abrasiva 30-300)	1.5
Liscia	Superficie liscia e insensibile al tatto (più liscia della carta abrasiva 300)	1.0
Lucida	Evidenza di superfici lucide (spesso evidenziate da patine di clorite o talco)	0.75
Laminata	Superfici lucide e striate per scorrimenti lungo superfici di taglio	0.6 ÷ 1.5

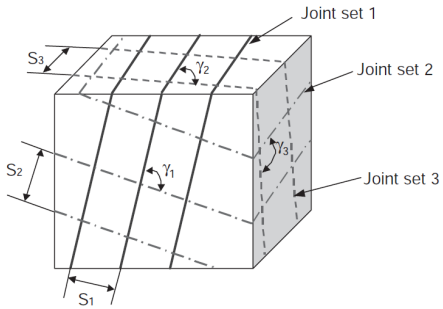
Grado di alterazione delle discontinuità J_A

	Termine	*Descrizione del riempimento*	J_A
Pareti a contatto	*Discontinuità senza riempimento debole:*		
	Discontinuità saldate non alterate	Riempimento con rottura fragile (quarzo, epidoto, calcite, etc.)	0.75
	Pareti di roccia fresca non alterata	Nessun riempimento	1
	Pareti da leggermente a moderatamente alterate	Pareti con grado di alterazione maggiore della roccia	2
	Pareti fortemente alterate	Pareti con grado di alterazione molto maggiore della roccia	4
	Discontinuità con patine o riempimento sottile:		
	Sabbia, limo, calcite, etc.	Patine di materiale attritivo non argilloso	3
	Argilla, clorite, talco, etc.	Patine di materiale coesivo	4
Discontinuità riempite con contatto tra le pareti parziale o assente	Sabbia, limo, calcite, etc.	Riempimento attritivo non argilloso	4
	Materiali argillosi consistenti	Riempimento coesivo consistente	6
	Materiali argillosi teneri	Riempimento con grado di sovraconsolidazione da medio a basso	8
	Materiali argillosi rigonfianti	Riempimento rigonfiante	8 ÷ 12

(Rotonda et alii 2018)

Geological Strength Index (GSI)

Volume dei blocchi

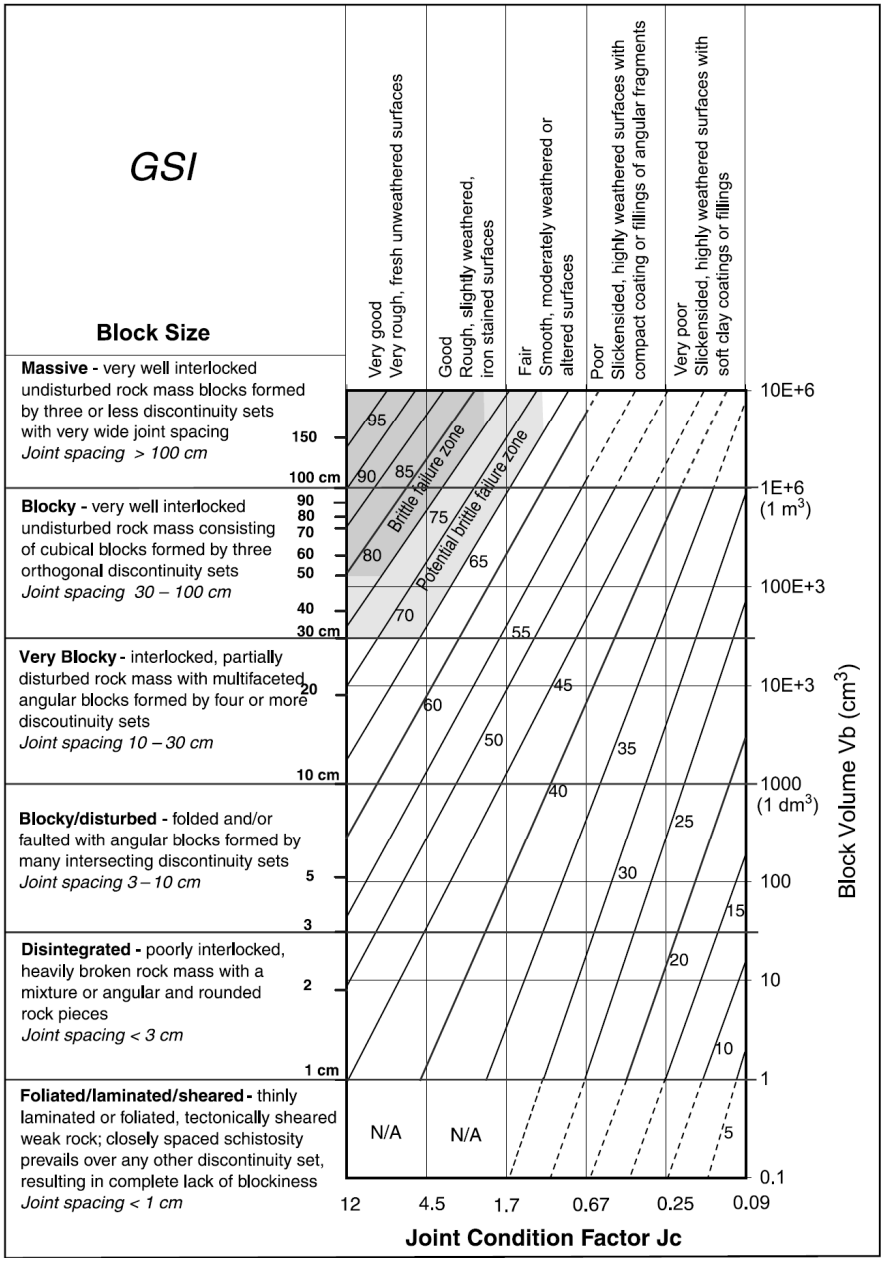


- $Vb = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3}{\sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3}$
- $Vb = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3}{\sqrt[3]{p_1 p_2 p_3} \cdot \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3}$
- $Vb_0 = \beta \times Jv^{-3}$ J_v indice vol. di fratturazione
- $Vb_0 = \beta \left(\left(110 - RQD \right) / \left(2{,}5 \right) \right)^{-3}$

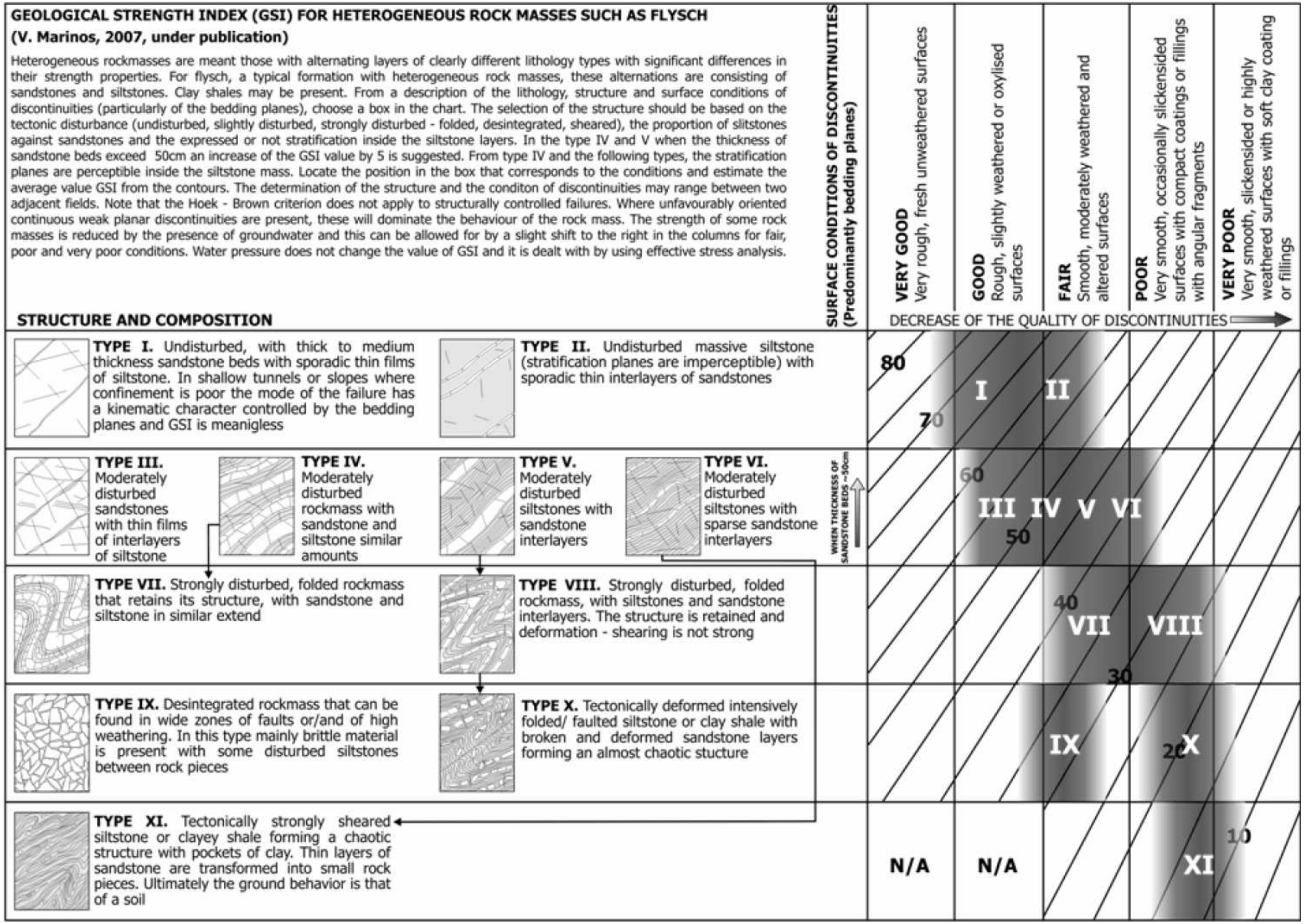
$$RQD = 100 \cdot e^{-\lambda t} \cdot (1 + \lambda t)$$

λ (numero di giunti per metro)

$$\beta = 20 + 7 \cdot \left(\frac{l_1}{l_3} \right) \qquad t = 0.1$$



Geological Strength Index (GSI)



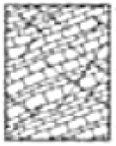
Geological Strength Index (GSI)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR LIMESTONE ROCK MASSES

Based on the description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI=35. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities (like bedding planes) are present, these will dominate the behaviour of the rock mass (attention therefore at types B and C). The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

STRUCTURE AND COMPOSITION

TYPE A. Undisturbed thick bedded to non-bedded limestone, well interlocked consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets



TYPE B. Undisturbed thin to medium-bedded limestone, with tight-well interlocked structure consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets. Bedding thickness is of several cm to few dm

TYPE C. Undisturbed thin to medium-bedded limestone with claystone or siltstone or chert alternations, with tighten-well interlocked structure consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets. Bedding thickness is of several cm to few dm

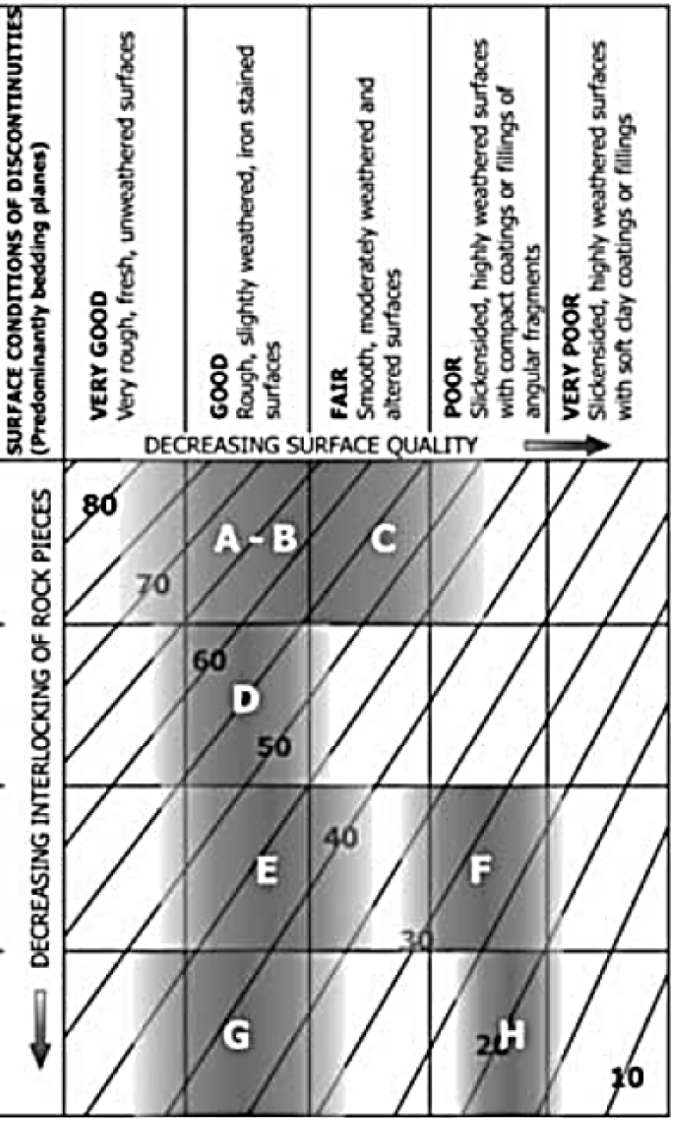
TYPE D. Very blocky limestone, well interlocked mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joints

TYPE E. Folded-highly disturbed thin bedded limestone with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes

TYPE F. Folded-highly disturbed thin bedded limestone with claystone or siltstone or chert alternations, with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Loose and open structure due to the poor contact of the blocks with different deformational characteristics. Bedding planes are difficult maintaining their parallelism

TYPE G. Heavily broken, disintegrated limestone, poorly interlocked with mixture of angular and rounded pieces

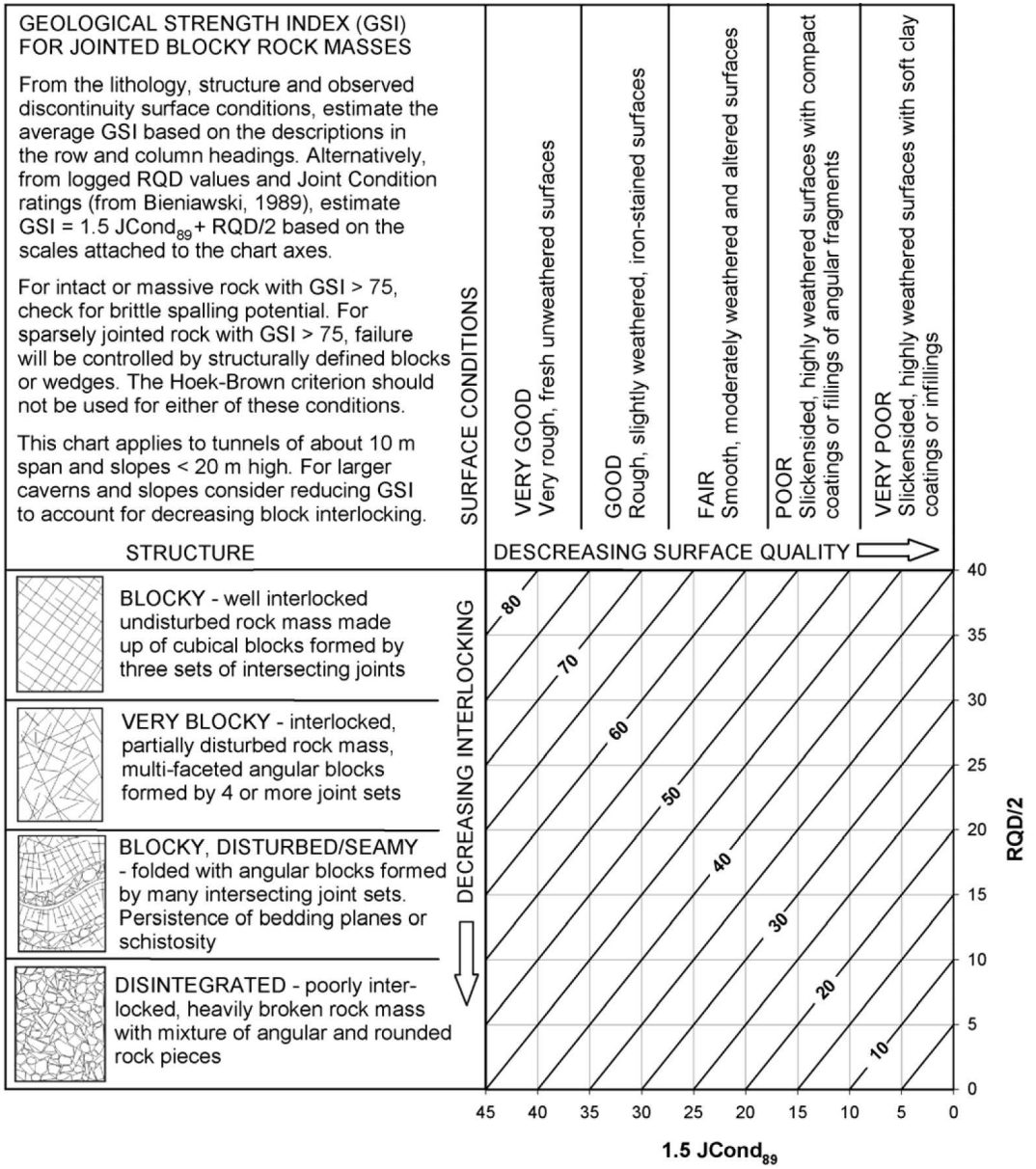
TYPE H. Heavily broken, disintegrated limestone, with high clay presence along the joints. Limestone blocks are not in contact and have very poor interlocking (the scale of this figure is not comparable with the others)



Geological Strength Index (GSI)

Nel 2013 Hoek et alii presentano una nuova versione della tabella in cui le categorie di strutture tornano ad essere 4. Propongono inoltre criteri quantitativi per la determinazione di GSI

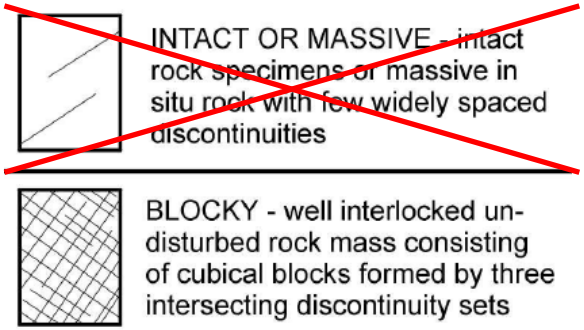
Perché togliere le 2 categorie?



Geological Strength Index (GSI)

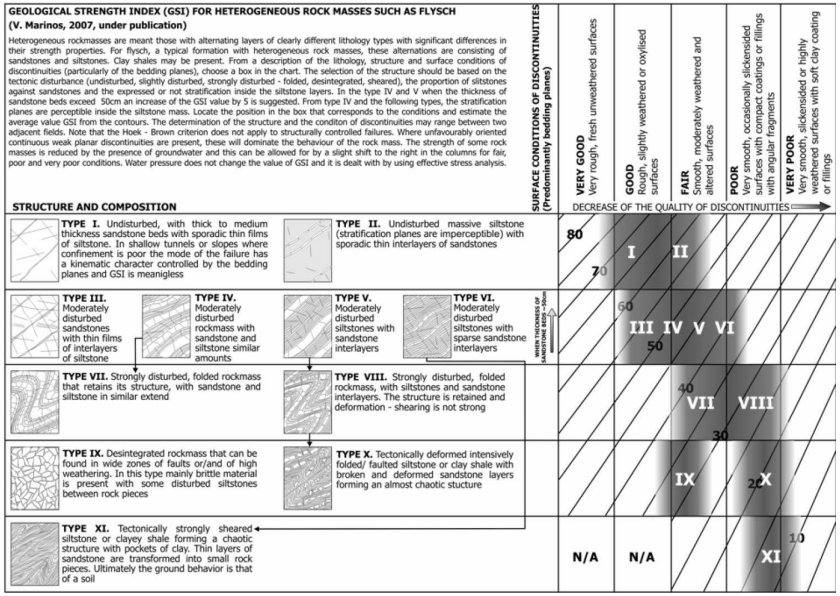
Le condizioni dell'ammasso che consentono l'applicazione del criterio di Hoek & Brown sono:

1. La deformazione e la resistenza massima devono essere controllate dallo scorrimento e dalla rotazione di blocchi di roccia intatti, definiti da sistemi di discontinuità intersecanti.
2. Deformazioni che implichino rotture fragili come spalling e rockburst sono escluse nella quantificazione del GSI
3. L'ammasso, alla scala del problema, non deve presentare una forte anisotropia delle sue caratteristiche meccaniche ed essere tendenzialmente omogeneo



Geological Strength Index (GSI)

La categoria riguardante le rocce laminate possono essere caratterizzate utilizzando la carta per rocce eterogenee proposta in Marinos et al 2007



Geological Strength Index (GSI)

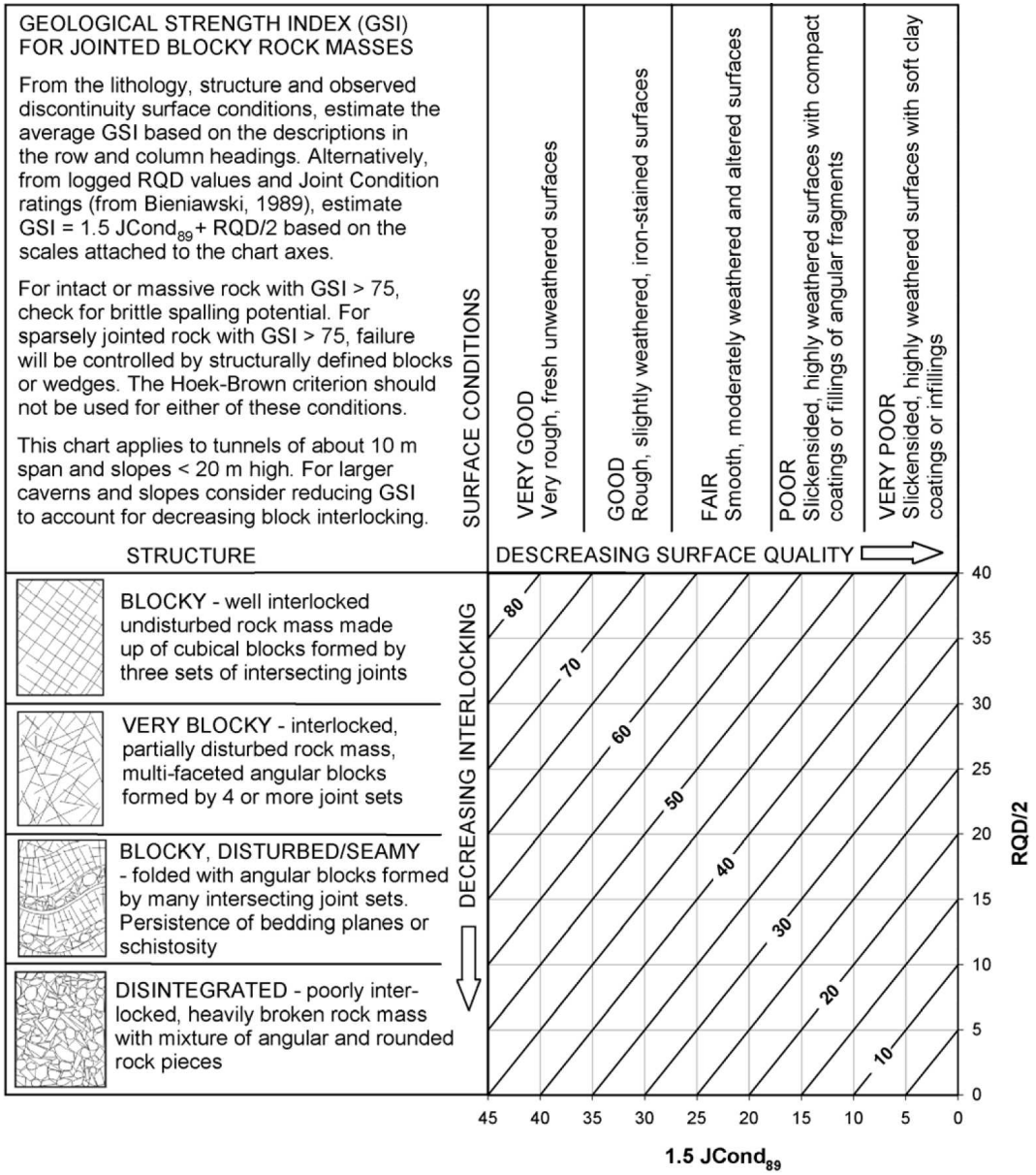
Criteri per la quantificazione dell'indice GSI:

Asse x: $1.5 \cdot \text{Jcond}_{89}$

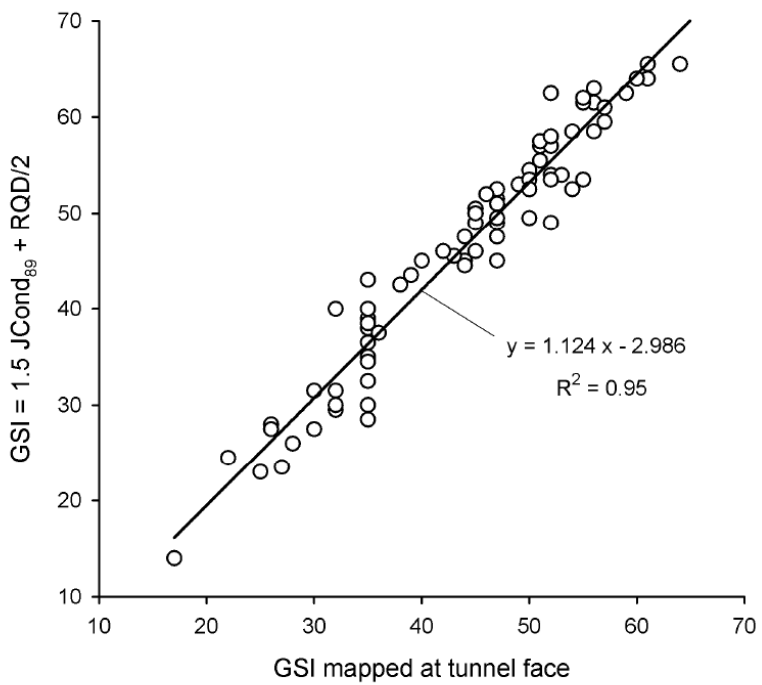
Asse y: $\text{RQD}/2$

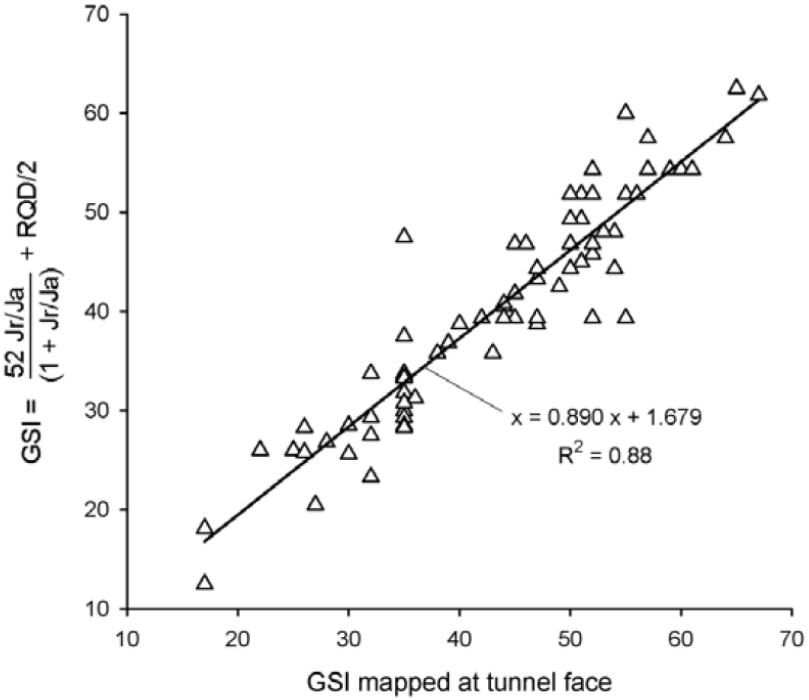
$$GSI = 1.5 \cdot Jcond_{89} + RQD/2$$

$$GSI = \frac{52\, Jr/Ja}{(1 + Jr/Ja)} + RQD/2$$



Geological Strength Index (GSI)





Geological Strength Index (GSI)

Come calcolare RQD?

1. riproducendo sull'affioramento mediante linea la procedura per la determinazione dell'RQD nelle carote (procedura proposta in Hutchinson, D.J. and Diederichs, M. 1996. *Cable Bolting in Underground Mines)*.

2. $RQD = 100 \cdot e^{-0.1\lambda} \cdot (1 + 0.1\lambda)$ Priest, S.D. and Hudson, J.A. 1976

3. $RQD = 110 - 2.5\,Jv$ Palmström 1976

Geological Strength Index (GSI)

Il sitema di classificazione GSI nasce dall'esigenza di fornire parametri di input per l'applicazione del Criterio di Hoek & Brown

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma'_{ci}\left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma'_{ci}} + s\right)^a$$

σ'_{ci} = resistenza a compressione uniassiale della matrice

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14\,D}\right) \qquad s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3\,D}\right) \qquad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

m_i = parametro di Hoek per la roccia intatta

D = Fattore di disturbo

Geological Strength Index (GSI)

m_i = parametro di Hoek per la roccia intatta

$$m_i \approx \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{ti}}$$

$$m_i = \frac{1}{\sigma_{ci}} - \left[\frac{\sum xy - \left(\sum x \sum y / n\right)}{\sum x^2 - \left(\left(\sum x\right)^2 / n\right)}\right] \qquad x = \sigma_3 \qquad y = (\sigma_1 - \sigma_3)^2$$

Tipo di roccia	Equazione
Ignea	$m_i = \frac{\sigma_c}{\lvert\sigma_t\rvert} - 0.179$
Sedimentaria	$m_i = \frac{\sigma_c}{\lvert\sigma_t\rvert} - 0.188$
Metamorfica	$m_i = \frac{\sigma_c}{\lvert\sigma_t\rvert} - 0.379$
Tutti i tipi	$m_i = \frac{\sigma_c}{\lvert\sigma_t\rvert} - 0.21$

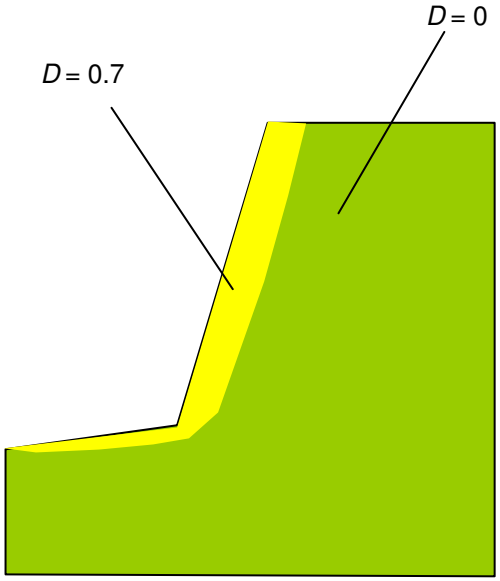
(Davarpanah et alii 2020 in Borselli 2023)

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerate (22)	Sandstone 19	Siltstone 9	Claystone 4
			Greywacke (18)			
	Non-Clastic	Organic	Chalk 7			
			Coal (8-21)			
		Carbonate	Breccia (20)	Sparitic Limestone (10)	Micritic Limestone 8	
		Chemical		Gypstone 16	Anhydrite 13	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9	Hornfels (19)	Quartzite 24	
	Slightly foliated		Migmatite (30)	Amphibolite 25 - 31	Mylonites (6)	
	Foliated*		Gneiss 33	Schists 4 - 8	Phyllites (10)	Slate 9
IGNEOUS	Light		Granite 33		Rhyolite (16)	Obsidian (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
	Dark		Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalt (17)	
			Norite 22			
	Extrusive pyroclastic type		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)	

(Cai 2010)

Geological Strength Index (GSI)

D = Fattore di disturbo



$$D = 1 - \left(\frac{V_{pm}}{V_{pr}} \right)^2$$ Luo & Fu 2012

V_{pm}: velocità delle onde P nella parte disturbata dell'ammasso

V_{pr}: velocità delle onde P nella parte indisturbata dell'ammasso

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

(Hoek et alii 2002)

Geological Strength Index (GSI)

Parametri meccanici

$$\varphi' = \arcsin\left[\frac{6\,a\,m_b\left(s + m_b\,\sigma'_{3n}\right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6\,a\,m_b\left(s + m_b\cdot\sigma'_{3n}\right)^{a-1}}\right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}\left[(1+2a)s + (1-a)m_b\,\sigma'_{3n}\right]\left(s + m_b\,\sigma'_{3n}\right)^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + \left(6\,a\,m_b\left(s + m_b\,\sigma'_{3n}\right)^{a-1}\right)/\left((1+a)(2+a)\right)}}$$

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci}\frac{\left(m_b + 4\,s - a\left(m_b - 8\,s\right)\right)\left(m_b/4 + s\right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

$$\sigma_{tb} = -\left(\frac{s\cdot\sigma_{ci}}{m_b}\right)$$

$$E_{rm} = E_i\cdot\left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{\left((60 + 15D - GSI)/11\right)}}\right)$$ (Hoek & Diederichs 2006)

La classificazione degli A.R. in sondaggi

Parametro	RQD	RMR	Q-System	GSI
Percentuale di carotaggio (>10cm)	X	X	X	X
Resistenza compressione (UCS)	-	X	-	-
Spaziatura delle discontinuità	-	X	-	-
Numero di set di giunti (J_n)	-	-	X	-
Rugosità delle superfici (J_r)	-	X	X	X
Alterazione/Riempimento (J_a)	-	X	X	X
Persistenza dei giunti		X	-	-
Presenza di acqua/Pressione idrica	-	X	X	-
Stato tensionale (SRF)	-	-	X	-
Orientamento dei giunti	-	X	-	-