

# RILEVAMENTO GEOLOGICO – TECNICO

a cura di V. Francani

[vincenzo.francani@polimi.it](mailto:vincenzo.francani@polimi.it)

## Indice

1	CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE .....	2
2	LA SISTEMATIZZAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
3	CLASSIFICAZIONE QUALITATIVA .....	6
3.1	Commento sulle classificazioni qualitative .....	7
4	PARAMETRI PER LA CLASSIFICAZIONE QUANTITATIVA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....	8
4.1	Determinazione della resistenza alla compressione .....	8
4.1.1	Point Load Test .....	9
4.1.2	Martello di Schmidt (sclerometro) .....	10
4.1.3	RQD (Rock Quality Designation Index) .....	11
4.2	Scabrezza delle discontinuità .....	12
4.2.1	Intercetta delle discontinuità, spaziatura, persistenza e apertura .....	13
4.3	Classificazione semiquantitativa di Bieniawski .....	14
4.4	Classificazione completa di Bieniawski (RMR) .....	15

Queste indagini sono destinate ad evidenziare le caratteristiche tecniche delle rocce e a riportarle su una cartografia topografica, in modo che si possa avere una visione integrata delle loro proprietà.

La descrizione della roccia permette il suo inserimento in una classificazione che rende conto della sua attitudine a sopportare gli effetti di un progetto che comporti un cambiamento nelle condizioni in cui si trova, per effetto ad esempio dell' aumento del carico su di essa, o di uno scavo o del prelievo di acqua.

Le classificazioni sono qualitative quando danno un'indicazione sommaria della roccia, basata sul suo aspetto e sulle caratteristiche litologiche rilevabili sul terreno, o quantitative quando sono basate su prove di campo o di laboratorio.

Al fine di ottenere una classificazione, si incrociano almeno tre elementi: lo stato di alterazione della roccia, lo stato di tettonizzazione, la struttura geologica e la storia delle deformazioni subite dalla roccia.

## 1 CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE

a) **STATO DI ALTERAZIONE:** Classificazione di Dearman et al.

6 **SUOLO:** scomparsa della struttura originaria

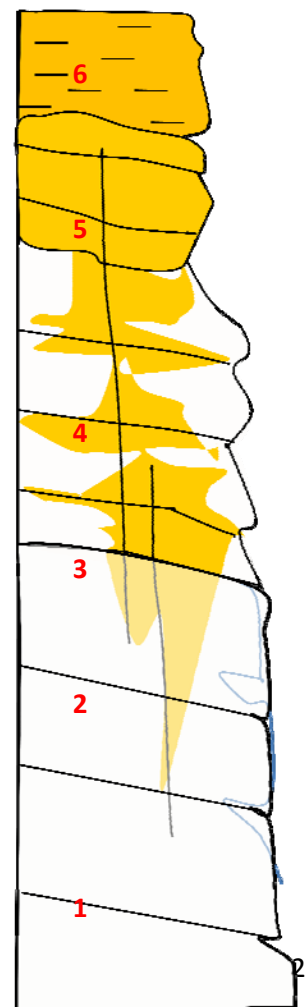
5 **COMPLETAMENTE ALTERATA:** roccia totalmente friabile, che conserva la struttura originale

4 **MOLTO ALTERATA:** scolorita e le discontinuità se aperte sono macchiate da limonite; la struttura originaria della roccia vicino alle discontinuità è alterata, e rimangono lasciando solo alcuni nuclei intatti; la massa è **in parte friabile**, meno del 50% è roccia.

3. **MEDIAMENTE ALTERATA:** scolorita, discontinuità se aperte mostrano superfici scolorite con alterazione penetrante; la massa della **roccia non è friabile**, la roccia costituisce il 50-90% del volume

2 **ROCCIA CON TRACCE DI ALTERAZIONE:** deboli decolorazioni vicino alle discontinuità che possono essere spaziate oltre i 6 cm, tracce di decomposizione di alcuni minerali

1 **ROCCIA SANA:** non mostra tracce di decolorazione, né perdita di resistenza, le discontinuità sono chiuse



## b) GRADO DI TETTONIZZAZIONE

Intorno alle zone di faglia e sovrascorrimento la fratturazione è così accentuata che si possono distinguere almeno **tre comparti** (Figura 1):

- 1) quello che costituisce la vera e propria zona di faglia, con miloniti, fratture aperte e ondulate (lenti o "fishes"), povera o priva di stratificazioni (**zona A**);
- 2) la zona di transizione (**zona B**), in cui ci sono ancora fishes e livelli tettonizzati intercalati a roccia più compatta, dove prevale la fratturazione;
- 3) La zona di roccia "normale" con prevalenti strutture primarie (**zona C**).

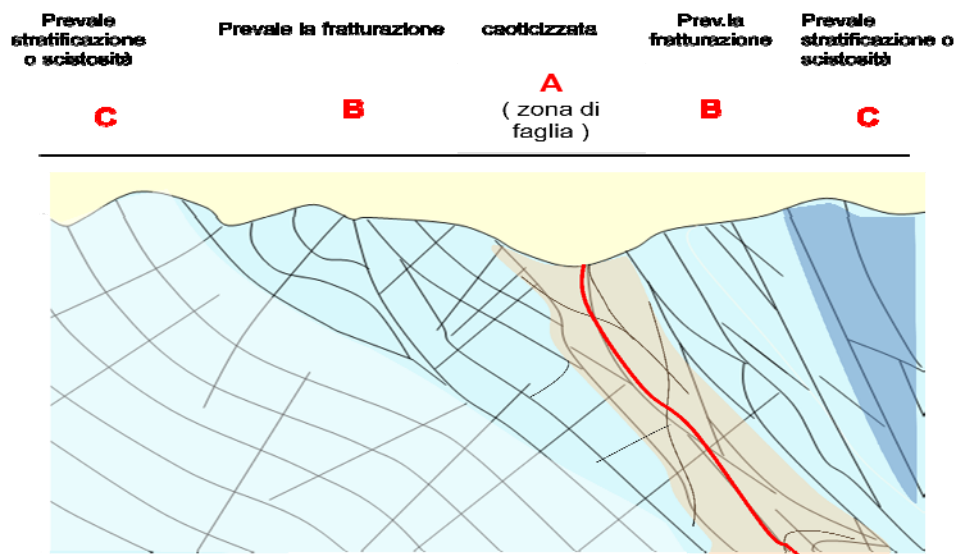


Figura 1 – Classificazione dei tre comparti del grado di tettonizzazione della roccia

## c) EFFETTI DELLA STORIA GEOLOGICA DEL SITO

La formazione delle catene montuose in seguito all'avvicinamento dei blocchi continentali determina forti spinte tangenziali e sollevamenti.

Si ha, in tal caso, semplice piegamento, oppure piegamento accompagnato da scorrimento lungo le discontinuità. Se la roccia contiene livelli fragili questi si fratturano, mentre i livelli plastici si deformano in pieghe e pieghe-faglie.

Le rocce reagiscono secondo due modalità: fratturazione oppure piegamento.

### a) *fratturazione*

Se le rocce sono compatte e povere o prive di discontinuità (fragili), si fratturano. Lo stato di fratturazione può essere da appena accennato a totale (polverizzazione).

### b) *piegamento*

Se le rocce sono deformabili plasticamente (duttile), si piegano.

Le deformazioni dovute al piegamento si manifestano nell'apertura di **fratture di tensione** nei livelli posti alla periferia della piega, e di **fratture di compressione** al nucleo (Figura 2).

Le fratture generalmente si dispongono in modo da **convergere** verso il nucleo, o da essere **subparallele** all'asse della piega. Gli strati scorrono gli uni sugli altri, determinando **pieghe secondarie** nei livelli più plastici.

Lo scollamento dei livelli più esterni fa sì che gli strati non si conservino paralleli, e che si vengano invece a formare larghi vuoti fra uno strato e l'altro, che sono all'origine di debolezza per la roccia che ha subito questo processo.

La storia geologica del sito, se presenta episodi anche brevi di emersione della roccia, influenza la resistenza dell'ammasso, che ne viene compromessa per i fenomeni di alterazione che durante il periodo di esposizione agli agenti atmosferici possono averne interessato i comparti superficiali. È questo il motivo per il quale le rocce sulle quali si è imposta una trasgressione presentano in generale minore resistenza rispetto agli ammassi rocciosi che non hanno subito questo processo.

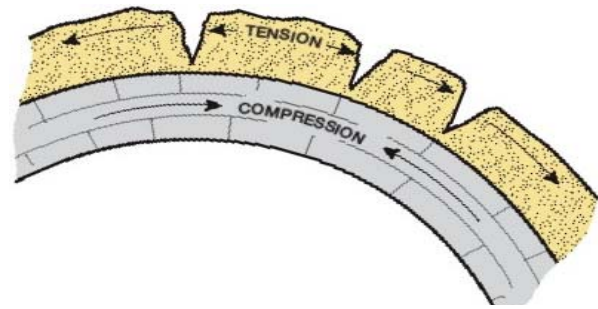


Figura 2 – Deformazioni dovute al piegamento

## 2 TIPOLOGIE DI DISCONTINUITÀ

Le fratture e le superfici di stratificazione e scistosità si dispongono in sistemi di elementi fra loro paralleli dotati di una propria giacitura (Figura 3).

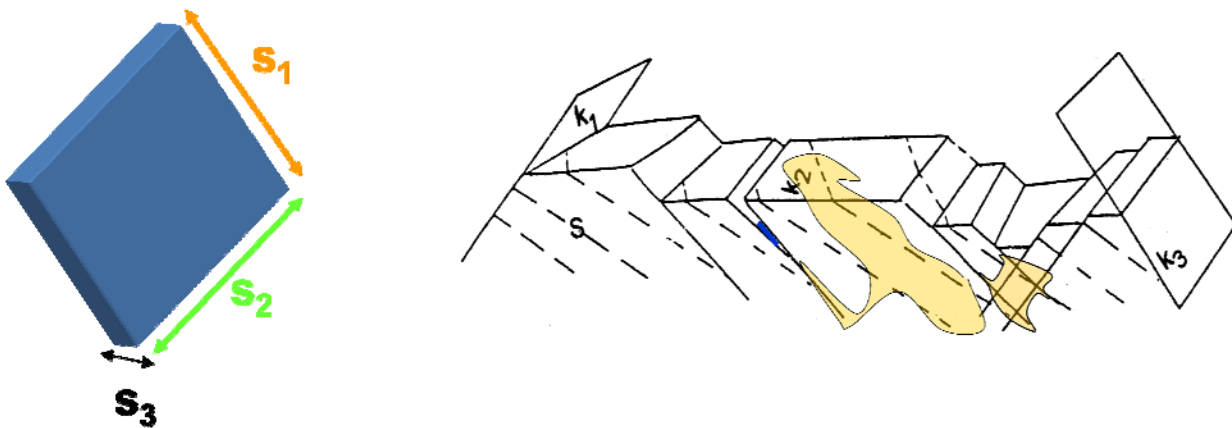


Figura 3 – Riconoscimento dei sistemi di discontinuità e definizione di un volume roccioso unitario

Data la loro importanza ai fini della conoscenza delle proprietà meccaniche della roccia, esse vanno rilevate con particolare attenzione.

L'ammasso roccioso, suddiviso dalle discontinuità, risulta composto da elementi discreti di materiale roccia, indicati come **volumi rocciosi unitari**.

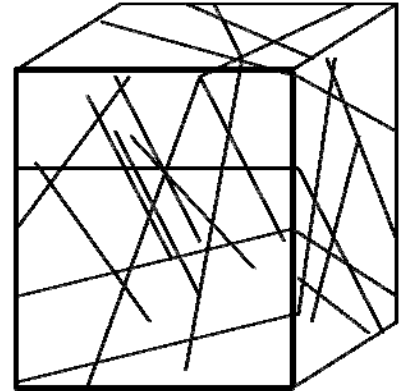
Se  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono gli angoli compresi tra le superfici dei vari sistemi di discontinuità, è possibile scrivere la relazione che fornisce il volume unitario:

$$V = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3}{\text{sen} \alpha \cdot \text{sen} \beta \cdot \text{sen} \gamma}$$

Essenzialmente si confrontano due casi: quello della roccia fittamente fratturata, con persistenza molto elevata delle discontinuità e intercette molto ridotte, quindi con volumi unitari decimetrici o centimetrici, e quello della roccia con poche isolate discontinuità.

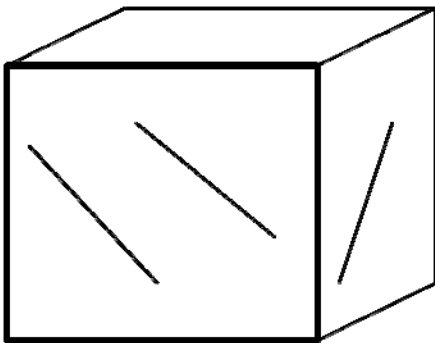
Nel primo caso la roccia si comporta come terreno sciolto (es.ghiaia, Figura 4);

**Figura 4 – Caso di roccia molto fratturata**



nel secondo (Figura 5) le caratteristiche meccaniche della roccia non sono influenzate sensibilmente dalla fratturazione.

A Seconda che litologia, struttura geologica, tettonica e alterazione favoriscano la resistenza meccanica dell'ammasso roccioso o, al contrario, producano condizioni di debolezza, è possibile attribuire una qualifica generale all'ammasso roccioso (classificazione qualitativa).



**Figura 5 – Caso di roccia compatta**

### **3 CLASSIFICAZIONE QUALITATIVA**

Nel seguito è riportato un esempio di questo tipo di classificazione, che comporta sei classi , e non richiede prove di terreno o di laboratorio.

#### **Prima categoria (Figura 6)**

Roccia di ottima qualità

Resistenza meccanica elevata, volumi unitari superiori a 0,5 metri cubi

*Comporta ammassi rocciosi disposti su elevate pendenza anche su altezze di centinaia di metri, con scarse coltri detritiche alla base*



**Figura 6 – Esempio di roccia di prima categoria**

#### **Seconda categoria (Figura 7)**

Roccia di resistenza meccanica buona , mediamente fratturata con pochi livelli deboli

*Dà luogo a rilievi simili a quelli della prima categoria, con estesi coni di detrito*



**Figura 7 – Esempio di roccia di seconda categoria**



**Figura 8 – Esempio di roccia di terza categoria**

#### **Terza categoria (Figura 8)**

Roccia “normale”: fratturata con aperture ridotte e ben stratificata, con molti livelli a resistenza meccanica scarsa.

*Pareti di qualche decina di metri, con estese falde di detrito e frane di piccole dimensioni*





#### **Quarta categoria (Figura 9)**

Roccia con resistenza meccanica mediocre, con molti livelli deboli, anche di miloniti o cataclasiti, fratture perpendicolarie e oblique rispetto alla stratificazione o scistosità.

*Pareti rocciose contraddistinte da evidenti movimenti lungo le principali discontinuità e massicce falde detritiche e frane*

**Figura 9 – Esempio di roccia di quarta categoria**

#### **Quinta categoria**

Le argille, le argilliti e le marne argillose, e tutte le rocce decomposte per alterazione fisico-chimica dotate di coesione.

#### **Sesta categoria**

Roccia pessima, priva di coesione, con volumi unitari inferiori al decimetro cubo, presenza di cataclasiti.

Queste rocce danno luogo a grandi frane e ad avvallamenti profondi con frane lungo i loro versanti.

### **3.1 COMMENTO SULLE CLASSIFICAZIONI QUALITATIVE**

Si osserva che la mancanza di parametri di riferimento rende queste classificazioni poco oggettive, dando comunque la possibilità di orientare con chiarezza l'utente circa il comportamento degli ammassi in oggetto. Invece, le classificazioni quantitative o semiquantitative, quali ad esempio quella di Bieniawski, permettono di fare un passo in più verso l'identificazione della propensione al dissesto. Esse orientano infatti con maggiore approssimazione verso i valori dei parametri-base della roccia, tramite i risultati di prove sul terreno o in laboratorio.

Si può passare quindi ad una valutazione più dettagliata e oggettiva introducendo le misure di indici e parametri sperimentali. In tal modo la **resistenza dell'ammasso roccioso diviene confrontabile su basi quantitative con quella degli altri ammassi.**

## 4 PARAMETRI PER LA CLASSIFICAZIONE QUANTITATIVA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

La classificazione quantitativa avviene sulla base dei seguenti indici:

1. Resistenza della roccia alla compressione
2. Resistenza dei giunti (point load test)
3. Rock Quality Designation (RQD)
4. Scabrezza dei giunti
5. Volume unitario
6. Intercetta
7. Spaziatura dei giunti
8. Apertura dei giunti

### 4.1 DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE

PROVE DI COMPRESSIONE MONOASSIALE (Figura 10): rapida (non drenata) su provino sagomato →  
 $\sigma_c = P/A$

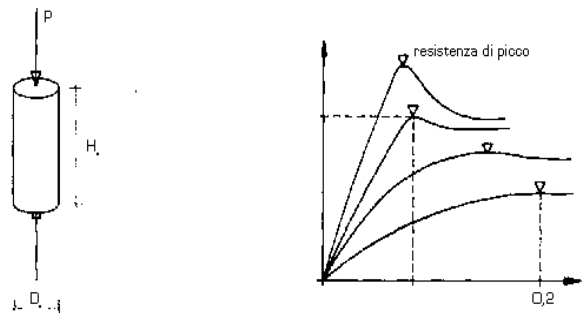


Figura 10 – Prova di compressione monoassiale

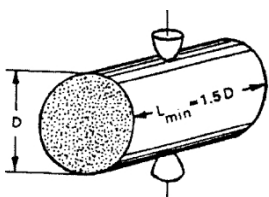


Figura 11 - PLT

POINT LOAD STRENGTH TEST (Figura 11): su provino di forma irregolare, fornisce indirettamente la  $\sigma_c \rightarrow \sigma_c = P/D^2 * \text{coeff. Empirico}$

MARTELLO DI SCHMIDT O SCLEROMETRO (Figura 12): in sito, su porzione superficiale della roccia →  $\sigma_c$  apparente



Figura 12 -  
Sclerometro



#### 4.1.1 Point Load Test

Non occorre preparare e sagomare il provino.

Consiste nel comprimere un campione di roccia, posizionato tra due punte coniche fino a provocarne la rottura (Figura 13). Si ottiene così l'indice di Point Load ( $I_S$ ), dal quale si può risalire tramite una relazione empirica, alla resistenza a compressione monoassiale.

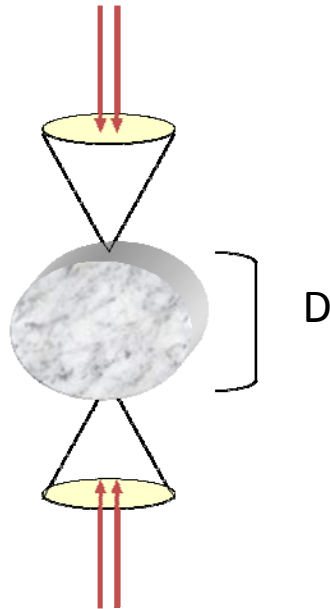


Figura 13 – Effettuazione di un Point Load Test

Definito  $P$  il carico a rottura,  $D$  la distanza tra i due punti di applicazione della forza, si ha

$$I_S = P_{[KN]} / D_{[cm]}^2$$

Per arrivare ad un valore di resistenza a compressione

$$\sigma_c = I_{S(50)} * 24$$

ROCCIA	COMPRESSIONE [MPa]	TRAZIONE [MPa]	TAGLIO [MPa]
GRANITO	100-250	15-25	
DIORITE	180-300	15-30	
GABBRO	180-300	15-30	15-50
BASALTO	150-300	10-30	20-60
ARENARIA	20-170	4-25	8-40
ARGILLITE	10-100	2-10	3-30
CALCARE	30-250	15-25	10-50
DOLOMIA	80-250	15-25	20-60
QUARZITE	150-300	10-30	15-30
GNEISS	50-200	5-20	
MARMO	100-250	7-20	
ARDESIA	100-200	7-20	

#### 4.1.2 Martello di Schmidt (sclerometro)

Si tratta di uno strumento da utilizzarsi in campo per stimare la  $\sigma_c$  (apparente) nella porzione più superficiale della roccia.

Lo strumento è costituito da una massa battente proiettata da una molla contro un'asta metallica di percussione appoggiata direttamente sulla roccia. Dal rimbalzo elastico della massa, funzione della quantità di energia elastica restituita dal materiale su cui viene effettuata la prova, è possibile risalire alla resistenza a compressione del materiale stesso (Figura 14).

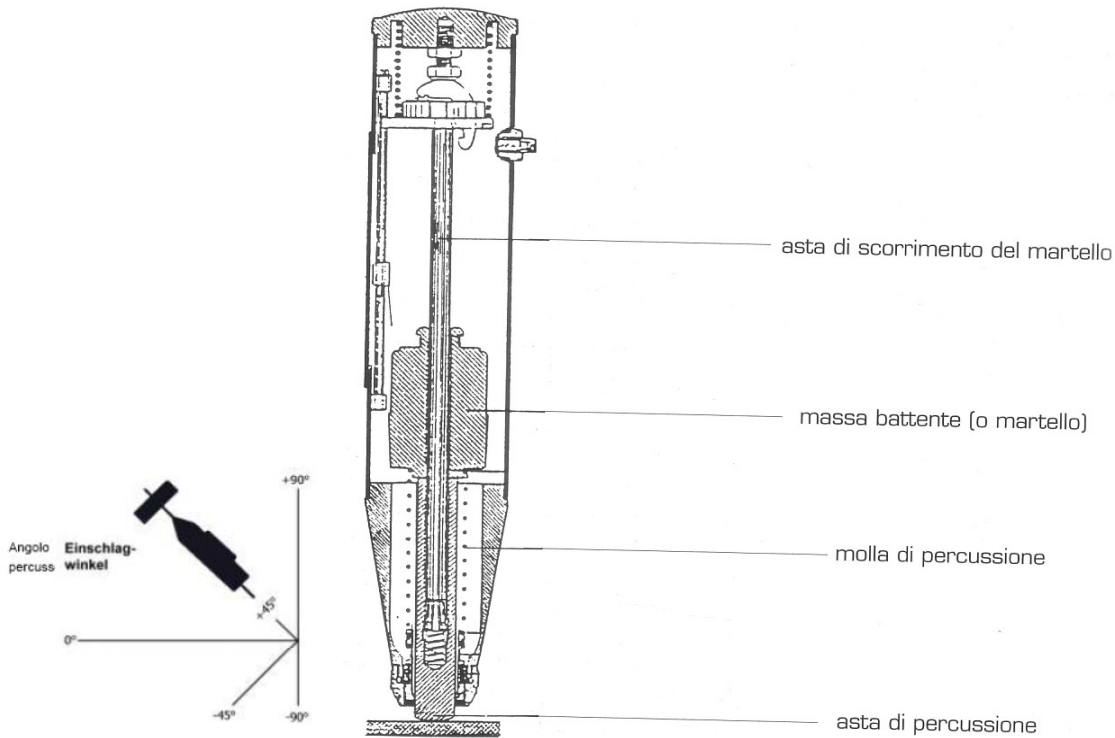


Figura 14 - Sclerometro

La *resistenza delle pareti* è la resistenza a compressione equivalente dei lembi affacciati in una discontinuità. Può essere minore della resistenza della roccia massiccia per l'esposizione agli agenti atmosferici o per l'alterazione delle pareti. Per la misura della resistenza delle pareti si utilizza lo sclerometro.

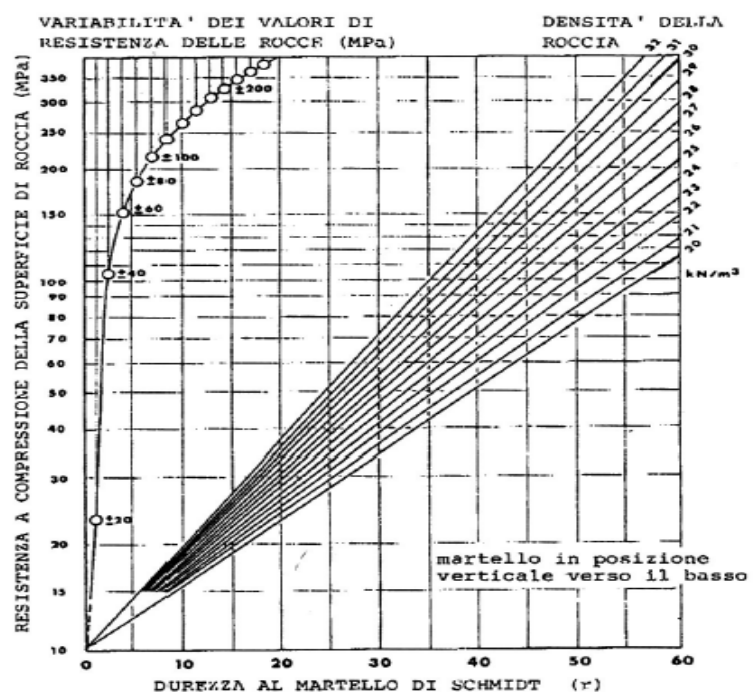
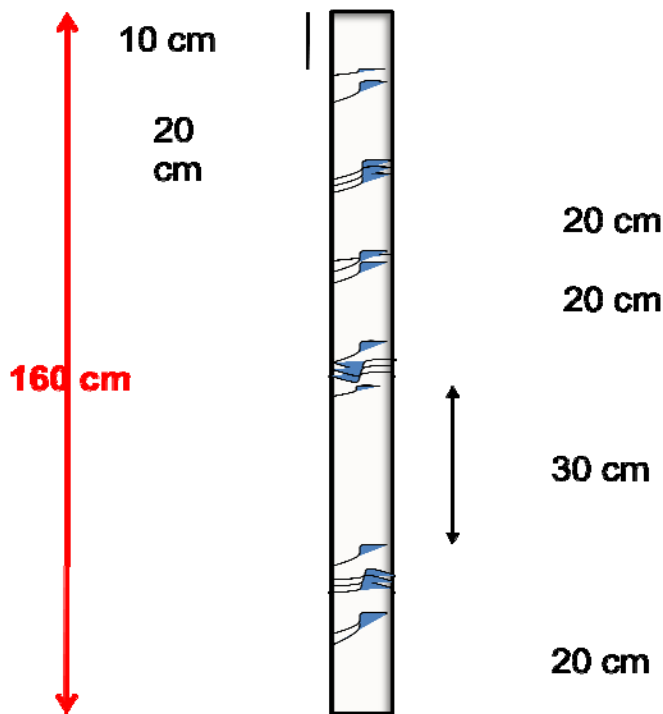


Figura 15 – Carta di correlazione per il martello di Schmidt

#### 4.1.3 RQD (Rock Quality Designation Index)



Il valore si ottiene estraendo dal campionatore dei sondaggi il cilindro (carota) di roccia perforata (Figura 16). Si sommano le lunghezze degli spezzoni **pari o superiori ai 10 cm** e si calcola la **percentuale** della lunghezza totale così ottenuta rispetto alla lunghezza totale della perforazione.

Sommando gli spezzoni di:

$$(10+20+20+20+30+20) \text{ cm} = 120 \text{ cm}$$

e confrontando questo totale con la lunghezza della perforazione (160 cm) si ottiene :  $120/160 = 0,75$ .

**L'RQD è quindi pari al 75%**

Figura 16 – Esempio di misura di RQD

Quando non si hanno a disposizione dei sondaggi, il valore di RQD può essere stimato tramite delle relazioni empiriche, quali ad esempio:

$$RQD = (115 - 3.3 * J_v)$$

$J_v$  = numero di discontinuità per unità di volume

$$RQD = 100(0.1 f + 1)^{-0.1f}$$

$f$  = numero di discontinuità per metro o frequenza

## 4.2 SCABREZZA DELLE DISCONTINUITÀ

Le superfici delle discontinuità possono essere lisce, ondulate, seghettate o irregolari. La rugosità rappresenta l'altezza media delle asperità della superficie rispetto all'apertura media. Viene rilevata tramite una *dima* (shape tracer o Pettine di Barton, Figura 17).

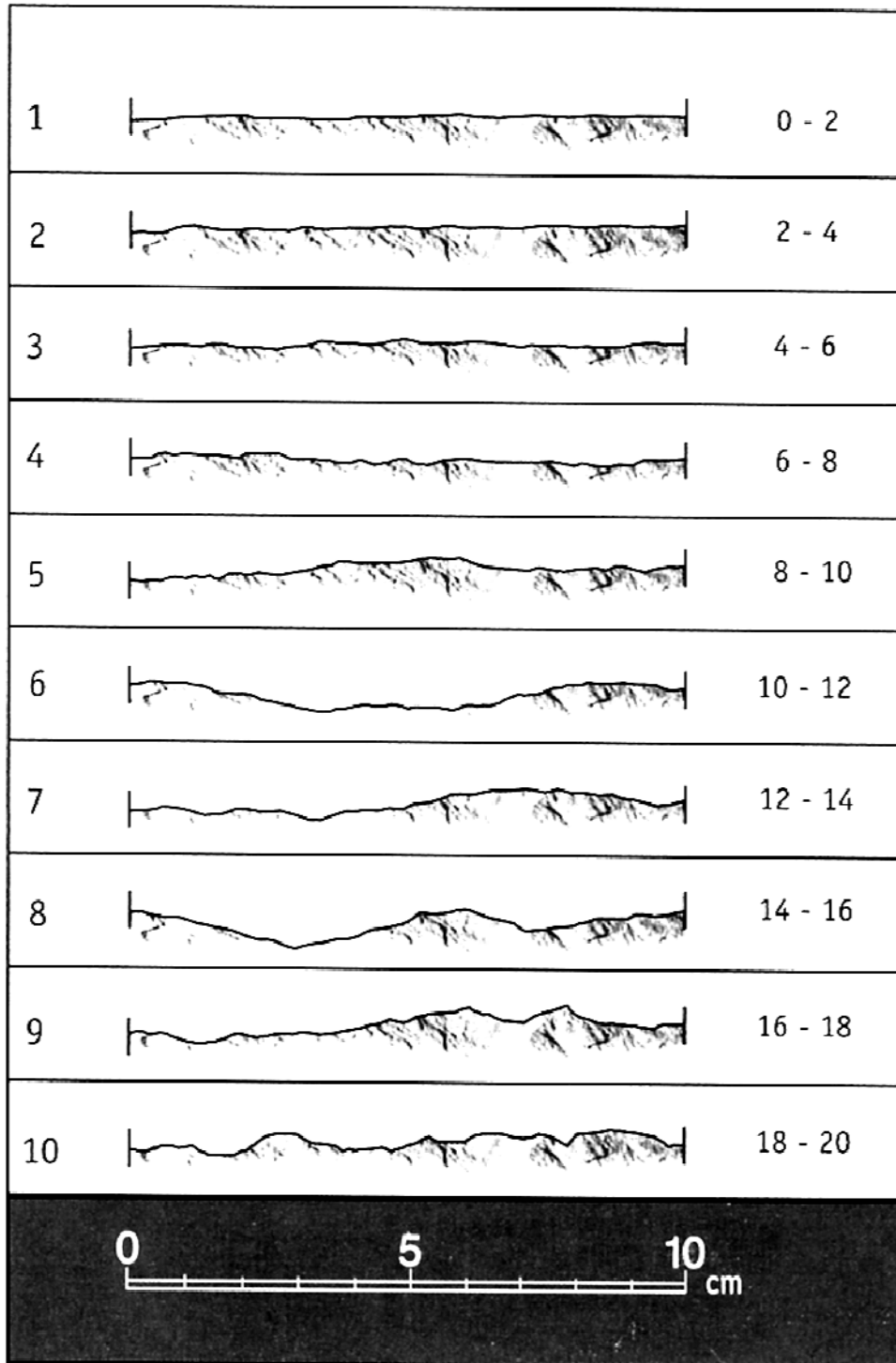


Figura 17 – Misura della rugosità

#### 4.2.1 Intercetta delle discontinuità, spaziatura, persistenza e apertura

##### Intercetta

L'**intercetta** viene misurata senza considerare l'appartenenza delle discontinuità alle varie famiglie; rappresenta la distanza media delle discontinuità rispetto ad una base di misura.

L'inverso dell'intercetta, ossia il numero di discontinuità per metro, viene indicata come **frequenza** o intensità di fratturazione:  $f=1/i$ .

##### Spaziatura

La **spaziatura delle fratture di un sistema** è definita come la distanza geometrica fra i due piani sui quali giacciono due discontinuità di una medesima famiglia.

##### Persistenza

La **persistenza** può essere definita come il rapporto percentuale fra l'area di effettiva separazione fra le pareti (isolamento di blocchi) e l'area del piano che contiene la discontinuità stessa. In genere:

- ✓ se la persistenza è inferiore al 25%, la resistenza al taglio dell'ammasso roccioso dipende quasi esclusivamente dalle caratteristiche meccaniche del materiale roccia,
- ✓ se la persistenza è superiore all'80%, il comportamento dell'ammasso roccioso è condizionato essenzialmente dalla resistenza al taglio lungo le discontinuità.

Data la difficoltà di misurare la persistenza, questa è data dalla **lunghezza della discontinuità sul fronte di esposizione**.

##### Apertura

Le fratture presenti all'interno di un ammasso roccioso possono essere chiuse (contatto roccia-roccia) o aperte (senza materiale di riempimento o con materiale di riempimento). L'apertura è la **distanza tra le pareti delle discontinuità**, cioè tra le superfici che la delimitano. Le misure, distinte per famiglie, vengono effettuate con uno spessimetro o un calibro. Le aperture misurate in affioramento possono essere influenzate da fattori esterni, quali il rilascio tensionale e l'alterazione superficiale, e risultano generalmente maggiori di quelle esistenti all'interno dell'ammasso roccioso.

Si ha la seguente classificazione delle aperture (Tabella 1).

Tabella 1 – Classificazione delle aperture della roccia

Apertura [mm]	Classe di apertura
< 0.1	Serrata
0.10 - 0.25	Chiusa
0.25 - 0.50	Parzialmente aperta
0.50 - 2.50	Aperta
2.50 - 10.00	Moderatamente larga
> 10	Larga

### 4.3 CLASSIFICAZIONE SEMIQUANTITATIVA DI BIENIAWSKI

La prima classificazione semiquantitativa suddivide gli ammassi in funzione della **resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta** e della **spaziatura delle discontinuità** attribuendo a ciascuna delle classi così individuate anche un valore di coesione e di attrito (Figura 18 – Classificazione semiquantitativa di Bieniawski).

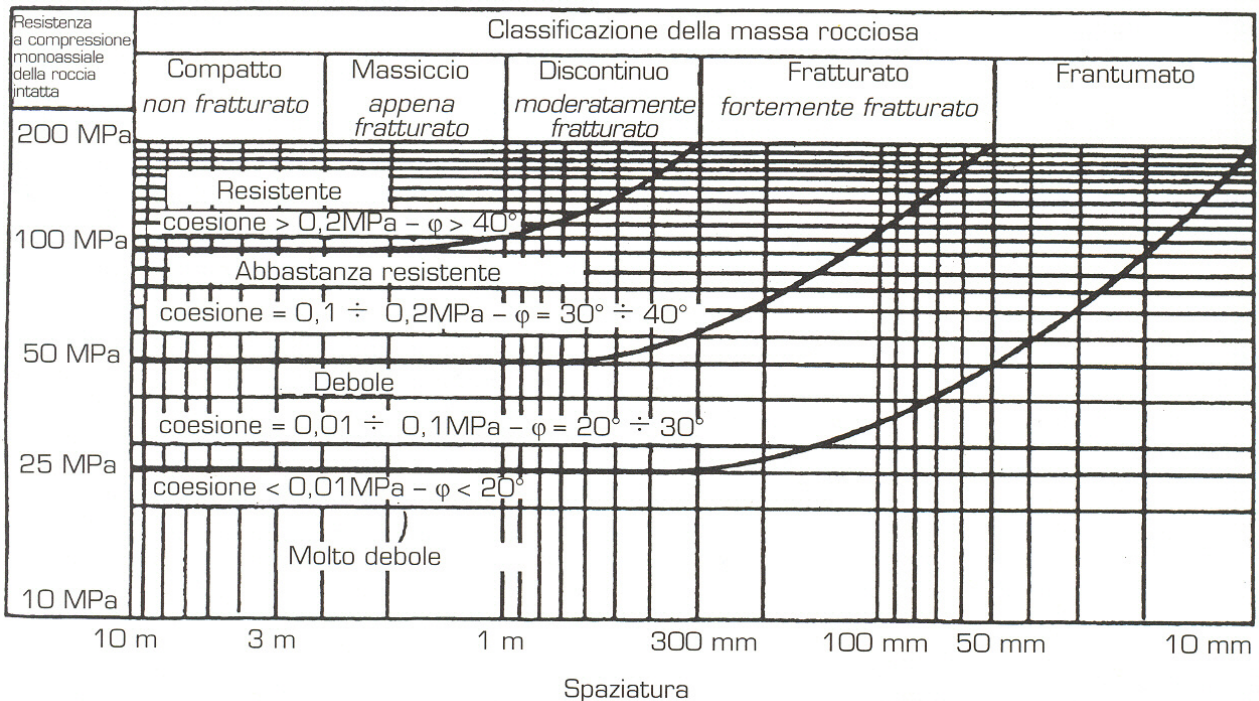


Figura 18 – Classificazione semiquantitativa di Bieniawski



#### 4.4 CLASSIFICAZIONE COMPLETA DI BIENIAWSKI (RMR)

Si basa su un punteggio da assegnare alla roccia, ricavato dall'analisi di cinque parametri:

- ✓ resistenza a compressione
- ✓ RQD
- ✓ spaziatura dei giunti
- ✓ condizioni dei giunti (*apertura, rugosità, persistenza, alterazione, riempimento*)
- ✓ condizioni idrauliche dei giunti

1. **Resistenza a compressione:** ottenuta tramite le prove di compressione monoassiale o il Point Load Test;

2. **RQD:** rappresenta la percentuale di recupero modificata di un sondaggio.

Il valore di RQD può essere stimato anche tramite relazioni empiriche:

$$RQD = (115 - 3.3 * J_v) \quad (J_v = \text{numero di discontinuità per unità di volume})$$

$$RQD = 100(0.1 f + 1)e^{-0.1f} \quad (f = \text{numero di discontinuità per metro} = \text{frequenza})$$

3. **Spaziatura dei giunti**

4. **Condizioni dei giunti:** alterazione, apertura, persistenza, rugosità e riempimento

Tramite un'apposita tabella (Figura 19 – Classificazione completa di Beniawski), viene attribuita a ciascun parametro un valore numerico. La somma dei valori dei cinque parametri fornisce il punteggio qualità dell'ammasso (**RMR**).

Parametri	Intervallo di valori							
Resistenza roccia sana	Resistenza al «Point Load test» (MPa)	> 10	4 ÷ 10	2 ÷ 4	1 ÷ 2	Per questi bassi valori è preferibile la prova di compressione monoassiale		
	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	> 250	100 ÷ 250	50 ÷ 100	25 ÷ 50	5 ÷ 25	1 ÷ 5	< 1
Coefficienti numerici		15	12	7	4	2	1	0
Rock Quality Designation RQD (%)		90 ÷ 100	75 ÷ 90	50 ÷ 75	25 ÷ 50	< 25		
Coefficienti numerici		20	17	13	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		> 2 m	0,6 ÷ 2 m	200 ÷ 600 mm	60 ÷ 200 mm	< 60 mm		
Coefficienti numerici		20	15	10	8	5		
Condizione dei giunti		Superfici molto rugose. Discontinuità chiuse e non persistenti. Pareti non alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti leggermente alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti completamente alterate	Superfici lisce o riempimenti argillosi di potenza < 5 mm o discontinuità collegate e con apertura di 1 – 5 mm	Riempimenti di argilla molle di potenza > 5 mm o discontinuità collegate e con apertura > 5 mm, persistenti		
Coefficienti numerici		30	25	20	10	0		
Presenza di acqua	Venute d'acqua in 10 m di galleria (l/min)	Nulla	< 10	10 ÷ 25	25 ÷ 125	> 125		
	Rapporto tra la pressione dell'acqua nelle discontinuità e la massima sollecitazione principale	0	< 0,1	0,1 ÷ 0,2	0,2 ÷ 0,5	> 0,5		
Condizioni generali della roccia		Perfettamente asciutta	Umida	Bagnata	Stillicidi	Venute d'acqua		
Coefficienti numerici		15	10	7	4	0		

Figura 19 – Classificazione completa di Beniawski