

# MECCANICA DELLE ROCCE 05BPMMX

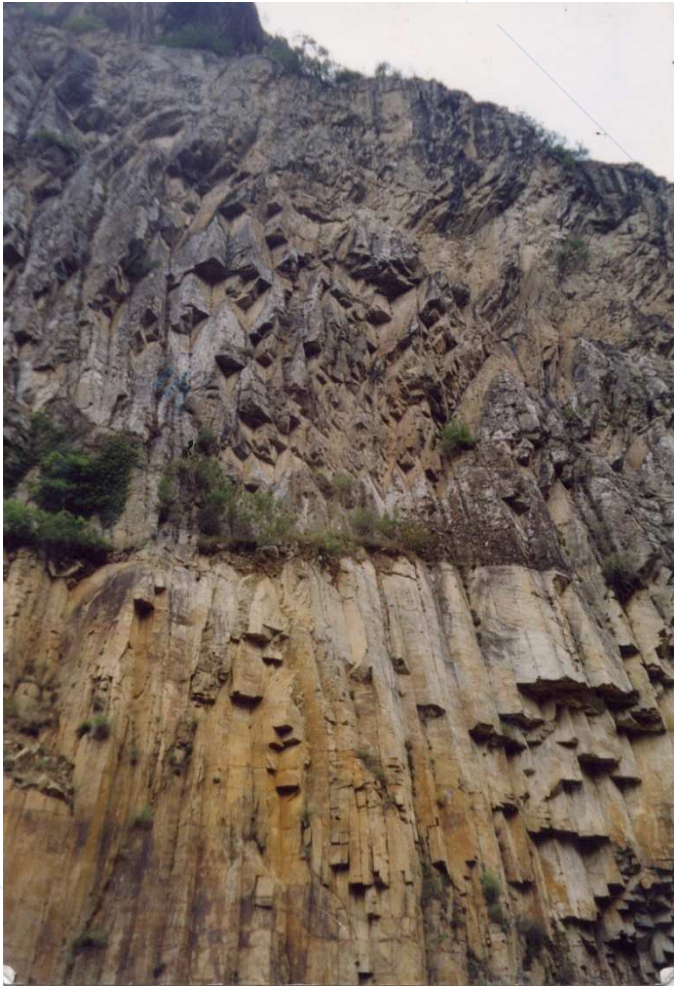
Docente

**Prof. Claudio SCAVIA (011/ 0904823)**  
*[claudio.scavia@polito.it](mailto:claudio.scavia@polito.it)*

Esercitatore

**Prof. Monica BARBERO (011/ 0904888)**  
*[monica.barbero@polito.it](mailto:monica.barbero@polito.it)*





## DISCONTINUITA'



## DISCONTINUITA'

**E' il termine generale per qualsiasi interruzione di continuità in una massa rocciosa (fessure, piani di stratificazione, piani di scistosità, zone di indebolimento, faglie, ecc).**

**Vengono descritte attraverso 8 parametri (Raccomandazioni ISRM)**

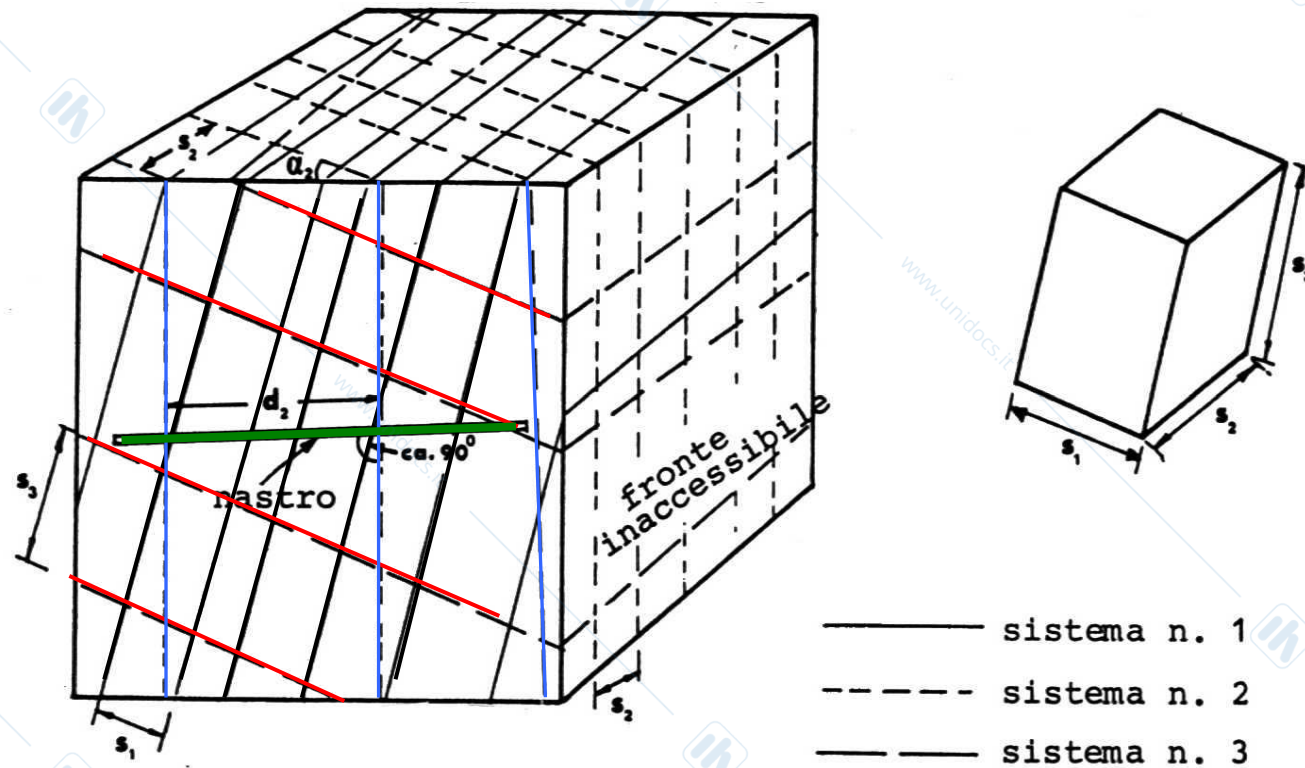
- 1. ORIENTAZIONE**
- 2. SPAZIATURA**
- 3. CONTINUITA' o PERSISTENZA**
- 4. SCABREZZA**
- 5. RESISTENZA delle PARETI**
- 6. APERTURA**
- 7. RIEMPIMENTO**
- 8. FILTRAZIONE**



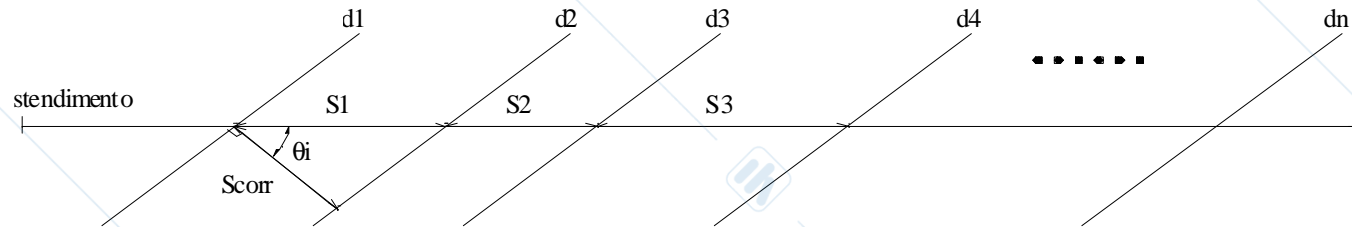
## DISCONTINUITA' - Spaziatura

**DISTANZA MINIMA TRA DISCONTINUITÀ ADIACENTI MISURATA IN DIREZIONE ORTOGONALE ALLE DISCONTINUITÀ STESSA.**

**Normalmente ci si riferisce alla spaziatura media di un sistema di discontinuità**



## DISCONTINUITA' - Spaziatura

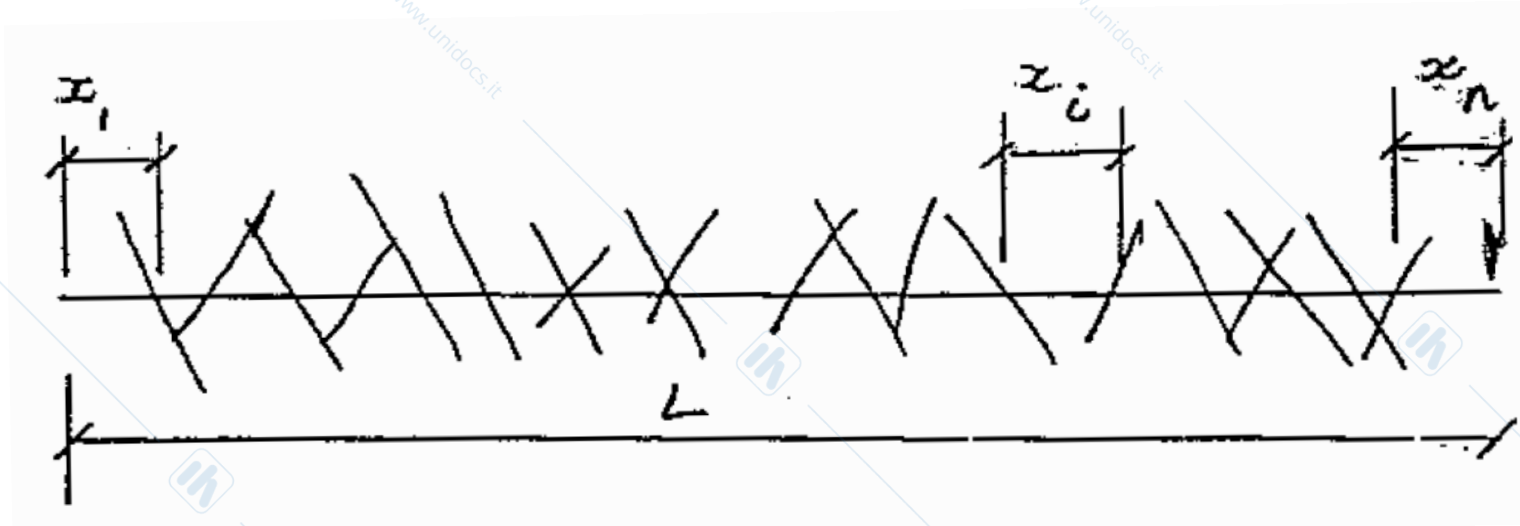


$$\text{Scorr} = S_i \cdot \cos \theta_i$$

- Rotella metrica posizionata sulla superficie esposta (affioramento) in modo che la traccia della discontinuità sia ortogonale al nastro.
- Se così non è (ad esempio più sistemi di discontinuità) sarà necessario apportare correzioni per ottenere la vera spaziatura.



## DISCONTINUITA' - Spaziatura



Ci si può riferire alla **spaziatura media** di ciascun sistema individuato, oppure riferirsi all'intero ammasso roccioso ricercando la spaziatura media delle discontinuità.

$$\bar{x} = \frac{L}{N} \quad [\text{m}]$$

Oppure alla **FREQUENZA** delle discontinuità, definita come numero di discontinuità incontrate per unità di lunghezza:

$$\lambda = \frac{N}{L} = \frac{1}{\bar{x}} \quad [\text{m}^{-1}]$$



## DISCONTINUITA' - Errori nei dati di rilievo

1. La linea di stendimento tende ad intersecare le discontinuità più persistenti (continue)



STESSO stendimento, STESSA spaziatura, STESSA giacitura, DIVERSA persistenza, DIVERSA FREQUENZA di RILIEVO

2. La linea di stendimento tende ad intersecare le discontinuità aventi traccia perpendicolare alla linea stessa (**ERRORE DI TERZAGHI**).

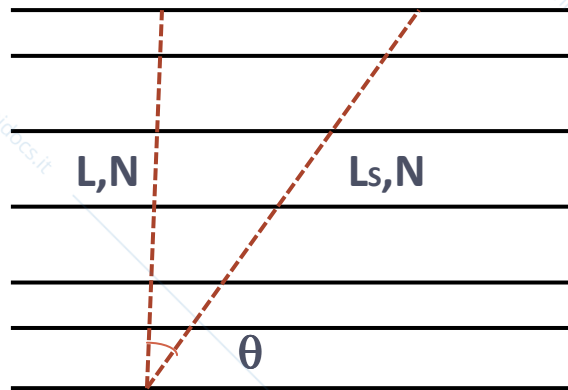


STESSA spaziatura, STESSA giacitura, STESSA persistenza, DIVERSO orientazione stendimento  
DIVERSA FREQUENZA di RILIEVO.

Di tali errori è necessario tener conto quando si devono analizzare i dati di rilievo per determinare, sulla scorta di analisi di frequenza, i sistemi presenti e le giaciture caratteristiche.



## DISCONTINUITA' - Errori nei dati di rilievo



**L** : lunghezza dello stendimento in direzione ortogonale al sistema, numero di discontinuità intercettate = **N**.

**L<sub>s</sub>** : lunghezza di uno stendimento generico, inclinato di un angolo  $\theta$  con la normale alla discontinuità **L**, che interseca lo stesso numero **N** di discontinuità:

$$L_s = \frac{L}{\cos \theta}$$

-Lungo lo stendimento normale la frequenza è:

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

-Lungo lo stendimento generico la frequenza è:

$$\lambda_s = \frac{N}{L_s}$$

-Lungo lo stendimento generico inclinato di un angolo  $\theta$  ma di lunghezza **L** s'interseca un numero di discontinuità pari a **N<sub>s</sub>**. La frequenza può essere quindi anche definita come:

$$\lambda_s = \frac{N_s}{L} = \frac{N}{L_s} \Rightarrow N_s = N \cos \vartheta \longrightarrow N = \frac{N_s}{\cos \theta}$$



## DISCONTINUITA' – **Correzione dell'errore di Terzaghi**

*E' necessario tener conto dell'errore di campionamento anche nella determinazione dei piani medi rappresentativi del sistema in quanto vengono calcolati attraverso l'analisi delle curve di frequenza dei poli.*

Anche i dati di giacitura devono essere corretti; in particolare, essendo le discontinuità reali appartenenti al sistema d mai perfettamente parallele, occorre correggere la giacitura di ogni singola discontinuità.

A tal scopo si considerano i dati di giacitura dei piani rilevati, della loro normale (polo) e della retta rappresentante la direzione di rilievo (stendimento):

Piano i:  $[\psi_d, \alpha_d]$

Polo n:  $[\psi_n, \alpha_n]$

Stendimento s:  $[\psi_s, \alpha_s]$

A ciascuna discontinuità appartenenti alla famiglia d si attribuisce un fattore correttivo detto **PESO** e definito come:

$$w_j = \frac{1}{\cos \vartheta_j} \quad (N = \frac{N_s}{\cos \theta}, N_s = 1)$$

Dove  $\theta$  rappresenta l'angolo tra la normale al piano e lo stendimento:

$$\cos \vartheta_j = [\cos(\alpha_n - \alpha_s) \cos \psi_n \cos \psi_s + \sin \psi_n \sin \psi_s]$$



## DISCONTINUITA' - **Correzione dell'errore di Terzaghi**

Indicando con  $N_w$  il numero totale pesato delle discontinuità, si ha:

$$N_w = \sum_{j=1}^N w_j$$

Essendo  $w_j \geq 1$ , risulta  $N_w \geq N$ . E' possibile, quindi, normalizzare il peso:

$$w'_j = w_j \frac{N}{N_w}$$

In tal modo

$$N = \sum_{j=1}^N w'_j$$

***Il peso normalizzato di ciascuna famiglia può essere utilizzato per condurre l'analisi dei dati di frequenza sul reticolo stereografico polare, al fine di determinare le famiglie di discontinuità e le loro giaciture caratteristiche.***

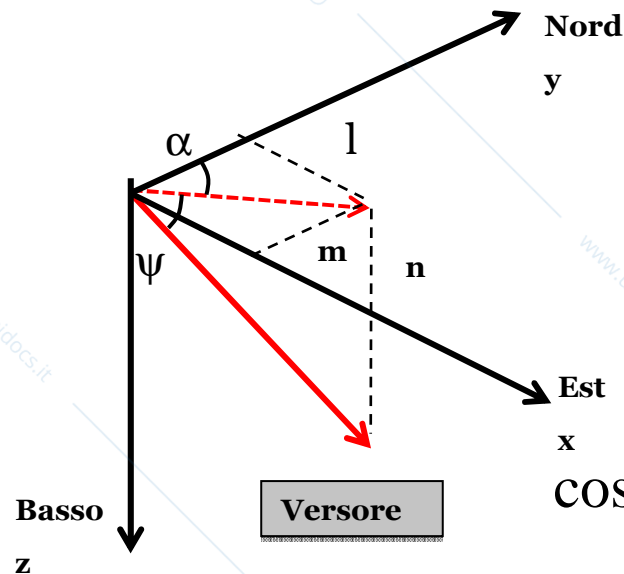


## DISCONTINUITA' - Determinazione dei piani medi

Come si determina l'ORIENTAZIONE del PIANO MEDIO di un sistema?

2. **Analisi vettoriale:** il piano medio di un numero finito di poli può essere calcolato attraverso la determinazione della risultante dei poli dei piani considerati come versori. Consideriamo il versore diretto come la normale al piano con il verso in basso. Riferendoci ad un sistema di riferimento Nord-Est-Basso, l'angolo  $\psi$  in figura rappresenta l'inclinazione, mentre l'angolo  $\alpha$  la direzione di immersione. Le componenti di tale versore, sono:

$$\begin{aligned}l &= \sin \alpha \cos \psi \\m &= \cos \alpha \cos \psi \\n &= \sin \psi\end{aligned}$$



L'angolo tra due vettori è dato da:

$$\cos \vartheta = l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2$$

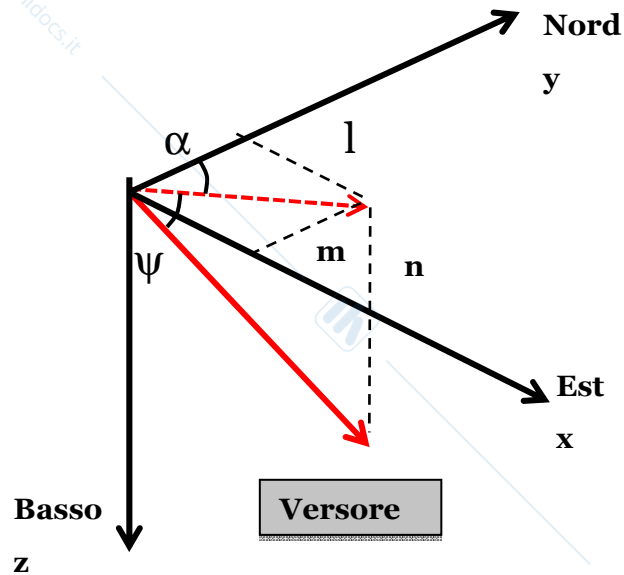
Sostituendo e semplificando, si ottiene

$$\cos \vartheta = [\cos(\alpha_1 - \alpha_2) \cos \psi_1 \cos \psi_2 + \sin \psi_1 \sin \psi_2]$$



# DISCONTINUITA' - Determinazione dei piani medi

Come si determina l'ORIENTAZIONE del PIANO MEDIO di un sistema?



$$r_x = \sum l_i \quad r_y = \sum m_i \quad r_z = \sum n_i$$

$$\alpha_r = \tan^{-1} \left( \frac{r_x}{r_y} \right)$$

$$\psi_r = \tan^{-1} \left( \frac{r_z}{\sqrt{(r_x^2 + r_y^2)}} \right)$$



# DISCONTINUITA' - Determinazione dei piani medi

**Come si determina l'ORIENTAZIONE del PIANO MEDIO di un sistema?**

## 2. Analisi vettoriale: (vedi tabella sotto)

Per ciascuna discontinuità incontrata lungo uno scanline, avente trend/plunge ( $\alpha_s/\psi_s$ ) si misura la dip/dip direction ( $\psi_d/\beta_d$ ) del piano e quella del polo corrispondente ( $\alpha_p/\psi_p$ ), nonché l'angolo  $\theta$  tra il polo e la direzione di rilievo; si determinano, quindi, i valori dei coseni direttori dei poli, eventualmente corretti con il valore di  $1/\cos \theta$

Le componenti della risultante dei versori non sono altro che le risultanti delle singole componenti (pesate). Ottenute le componenti della risultante, si calcolano gli angoli ( $\alpha_r/\psi_r$ ) apportando correzioni numeriche espresse nella tabella.

Piano		Polo		Scanline		Componenti polo			Angolo polo-scanline	Peso correzione		Componenti polo corrette		
$\alpha_d$	$\psi_d$	$\alpha_p$	$\psi_p$	$\alpha_s$	$\psi_s$	$l_p$	$m_p$	$n_p$	$\cos \theta$	$w_i$	$w_i'$	$l_i$	$m_i$	$n_i$
		$\alpha \pm 180^\circ$	$90^\circ - \psi$			$\sin \alpha_p \cos \psi_p$	$\cos \alpha_p \cos \psi_p$	$\sin \psi_p$	$l_p l_s + m_p m_s + n_p n_s$	$1/\cos \theta$	$w_i(N/N_w)$	$w_i' l_p$	$w_i' m_p$	$w_i' n_p$
										$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$
										$N_w$	$N$	$r_x$	$r_y$	$r_z$

$$\alpha_r = \tan^{-1} \left( \frac{r_x}{r_y} \right)$$

$$\psi_r = \tan^{-1} \frac{r_z}{\sqrt{(r_x^2 + r_y^2)}}$$



## DISCONTINUITA' – Spaziatura

I dati di spaziatura vengono in genere presentati riportando (per ogni sistema) il valore minimo, massimo e modale di spaziatura.

$S_{min}$ ,  $S_{max}$ ,  $S$

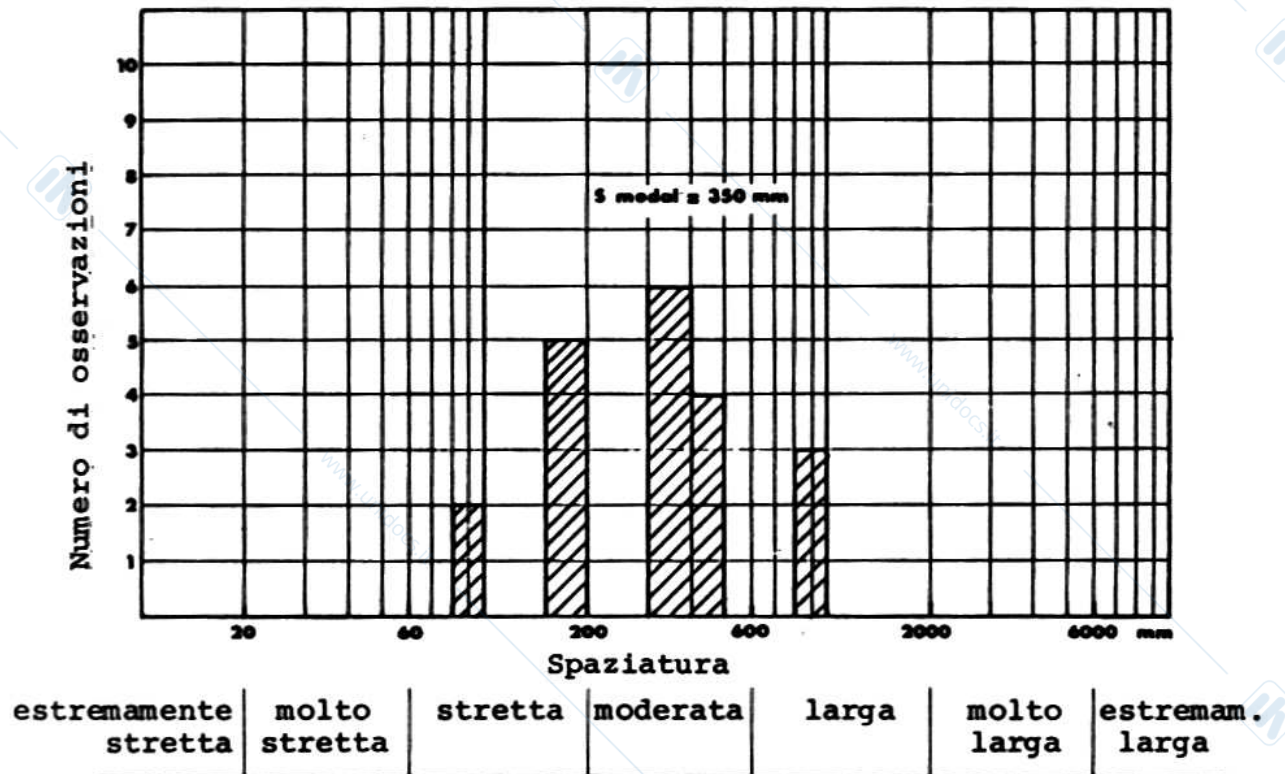
Estremamente stretta	< 20 mm
Molto stretta	20-60 mm
Stretta	60-200 mm
Moderata	200-600 mm
Larga	600-2000 mm
Molto larga	2000-6000 mm
Estremamente larga	> 6000 mm



## DISCONTINUITA' -

### Spaziatura

Se si devono rappresentare un elevato numero di misure si può ricorrere anche ad analisi statistiche riportando diagrammi di distribuzione di frequenza delle spazature.

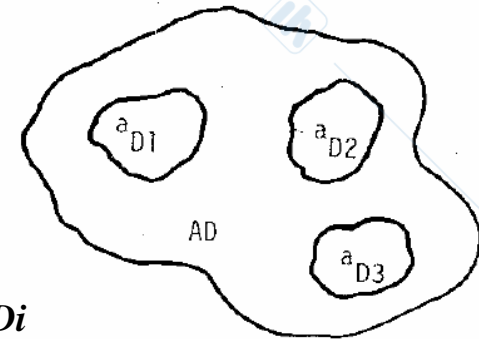


## DISCONTINUITA' - PERSISTENZA

**Rappresenta l'estensione della discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso.**

In realtà le discontinuità non presentano un'estensione infinita ma il piano che idealmente le contiene attraversa anche PONTI di ROCCIA (zone di roccia intatta). E' uno dei parametri più difficili da quantificare.

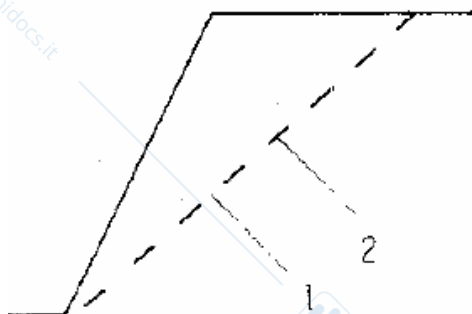
Il valore delle persistenza  $K$  è definito come il rapporto tra la somma delle aree discontinue e l'area totale di riferimento.  $K$  varia, quindi, tra 0 e 1, valori limite che rappresentano, rispettivamente, la situazione di roccia intatta e di discontinuità infinitamente estesa.



$$K = \lim_{AD \rightarrow \infty} \frac{\sum_i a_{Di}}{A_D}$$

La persistenza può essere, in modo semplificato, quantificata osservando la lunghezza della traccia visibile dalla superficie esposta.

$$K = \lim_{L_S \rightarrow \infty} \frac{\sum_i l_{si}}{L_S}$$

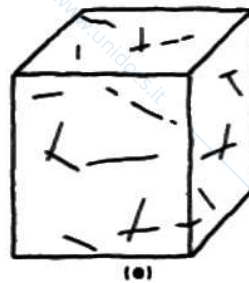
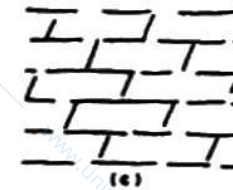
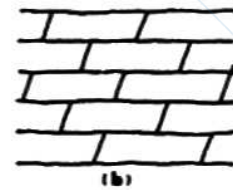
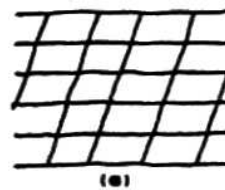


## DISCONTINUITA' - PERSISTENZA

Può dare una misura grossolana dell'estensione areale o della profondità di penetrazione di una discontinuità. Il fatto che il piano di discontinuità termini in roccia massiccia o contro altre discontinuità, riduce la persistenza


I sistemi di discontinuità possono essere distinti in

1. PERSISTENTI
2. SUB-PERSISTENTI
3. NON PERSISTENTI



## DISCONTINUITA' - PERSISTENZA

*Rappresenta l'estensione della discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso.*

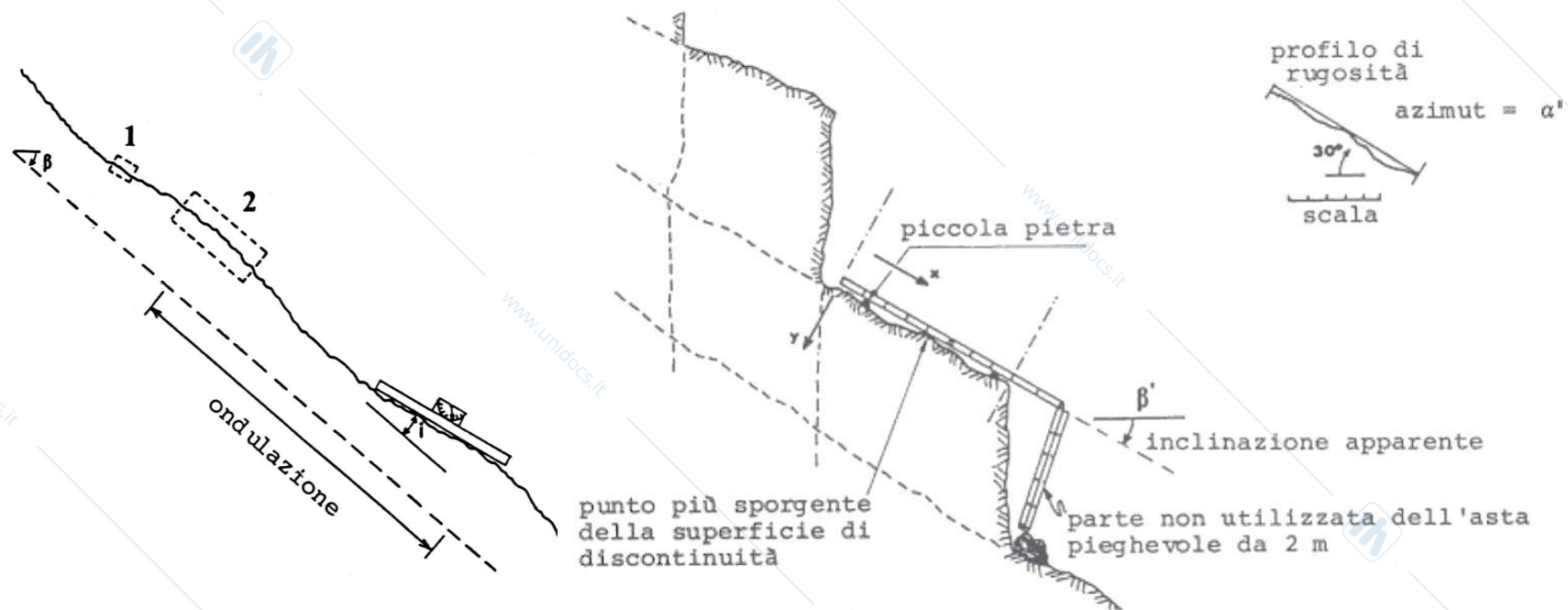
	<b>Molto bassa</b>	<b>&lt; 1m</b>
	<b>Bassa</b>	<b>1-3 m</b>
	<b>Media</b>	<b>3-10 m</b>
	<b>Alta</b>	<b>10-20 m</b>
	<b>Molto Alta</b>	<b>&gt;20 m</b>



## DISCONTINUITA' - SCABREZZA

**RUGOSITA' (FORMA A PICCOLA SCALA) DELLE SUPERFICI AFFACCIAE DI UNA DISCONTINUITA' E ONDULAZIONE (FORMA A GRANDE SCALA) RELATIVAMENTE AL PIANO MEDIO DELLE DISCONTINUITA'.**

Sia la rugosità che il suo andamento morfologico contribuiscono alla resistenza a taglio.



# DISCONTINUITA' - SCABREZZA

La descrizione della rugosità è limitata a termini descrittivi che dovrebbero basarsi su due scale di osservazione:

**Grande scala**

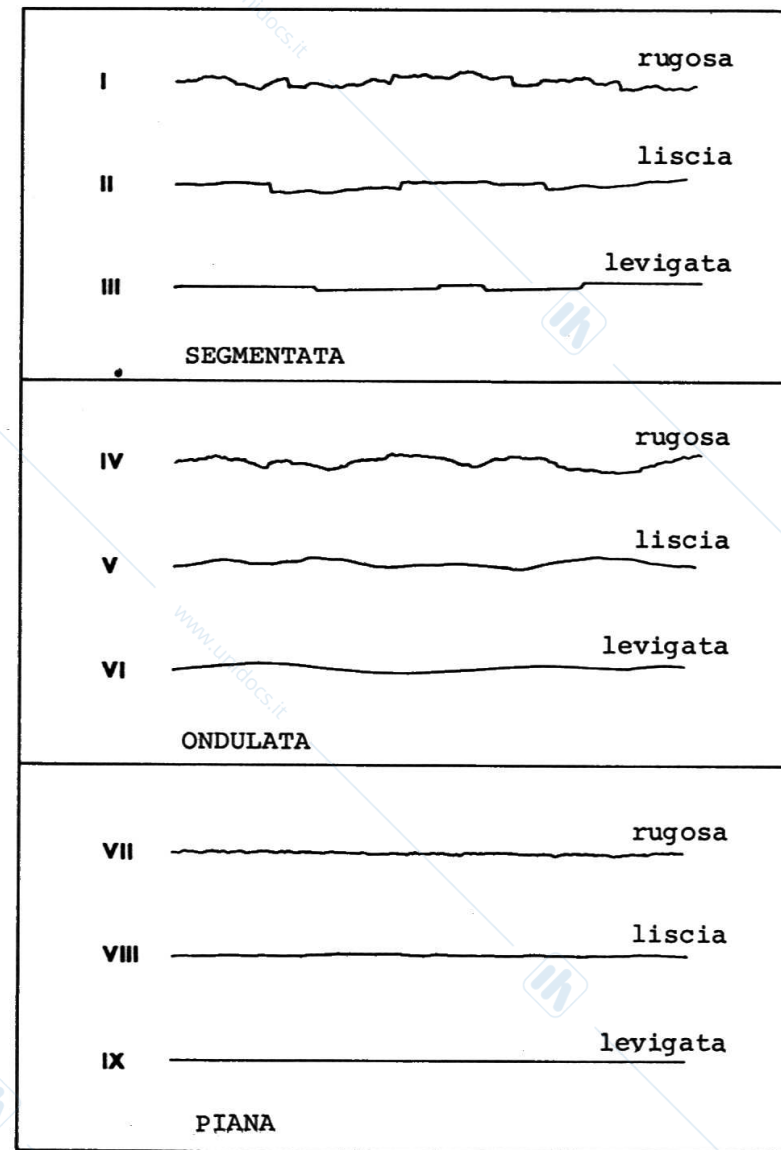
- Segmentata
- Ondulata
- Piana

**Piccola scala**

- Rugosa
- Liscia
- Levigata\*

\* Solo se chiara evidenza di scorrimento trasversale

Tipici profili di scabrezza e relative nomenclature suggerite (La larghezza di ciascun profilo può variare da 1 a 10 m. Le scale orizzontale e verticale sono uguali )



# DISCONTINUITA' - SCABREZZA

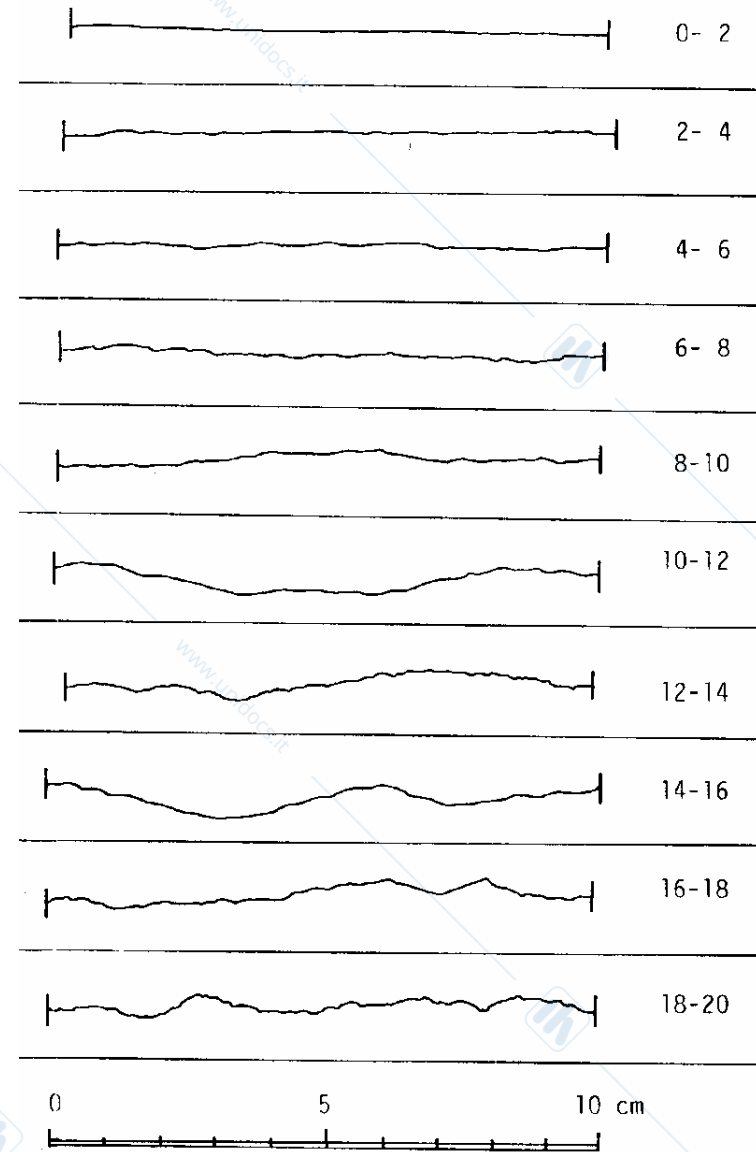
## JRC (Joint roughness Coefficient)

Profilometro di Barton per la misura della rugosità a piccola scala (10 cm)



Profili di rugosità e relativi intervalli di valori di JRC

(Barton & Choubey, 1977)



## **DISCONTINUITA' – RESISTENZA DELLE PARETI**

***RESISTENZA A COMPRESSIONE EQUIVALENTE DEI LEMBI AFFACCIATI DI UNA DISCONTINUITÀ.***

**Può essere minore della resistenza della roccia intatta per l'esposizione ad agenti atmosferici o per l'alterazione delle pareti. Costituisce una componente rilevante della resistenza a taglio delle discontinuità (se le pareti sono a contatto)**

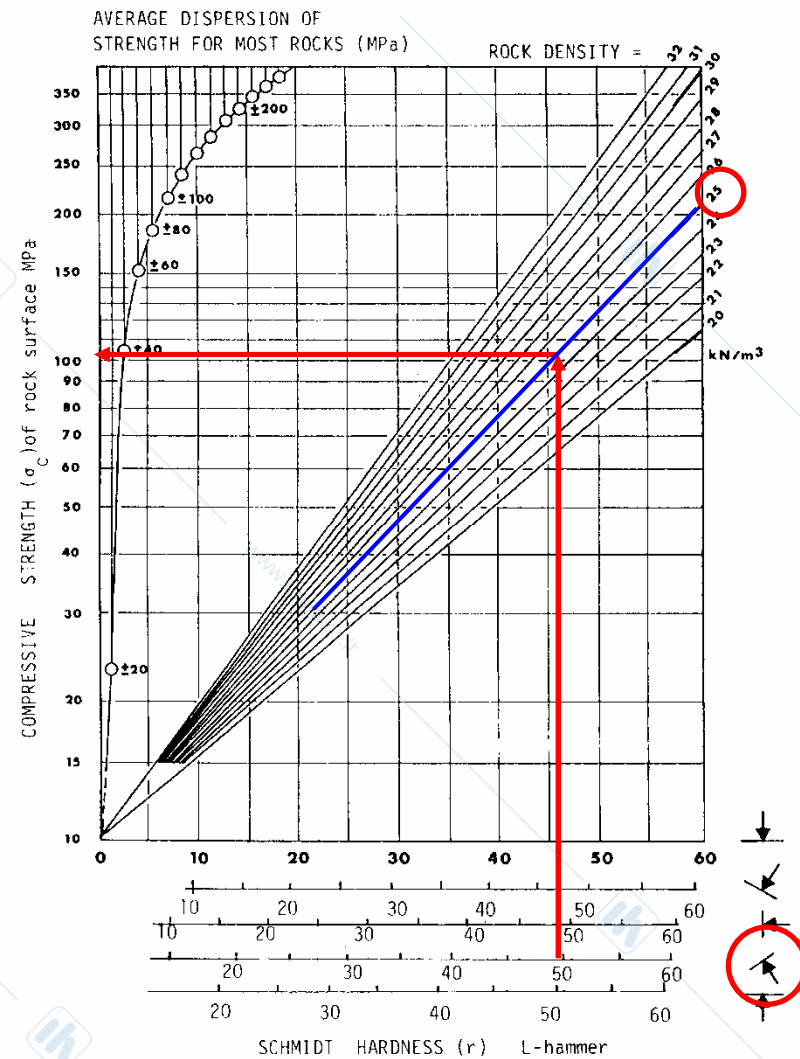


# DISCONTINUITA' - RESISTENZA DELLE PARETI

**JCS (Joint Compressive Strength)**

**attraverso il martello di SCHMIDT**

**[15 – 350 MPa]**

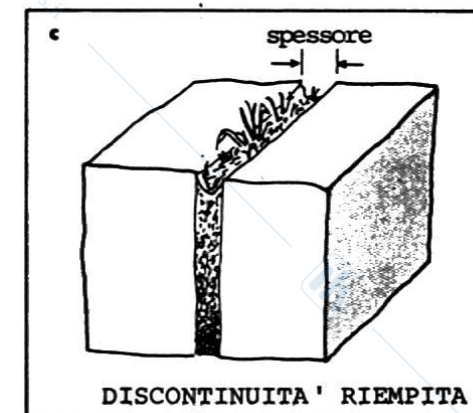
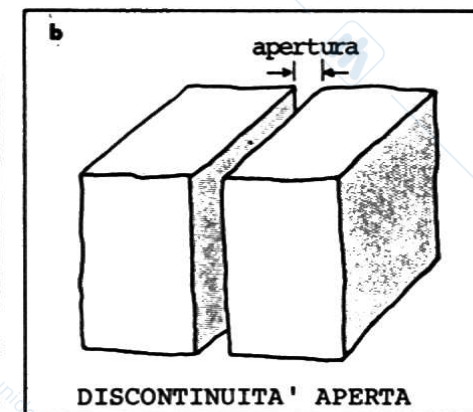
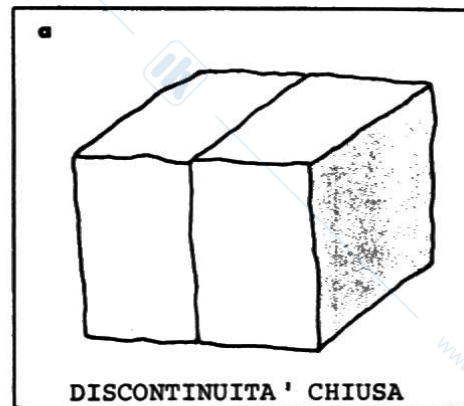


## DISCONTINUITA' - APERTURA

**DISTANZA TRA I LEMBI AFFACCIATI DI UNA DISCONTINUITA' IN CUI LO SPAZIO INTERPOSTO È RIEMPITO DI ARIA O ACQUA**

Per ogni sistema di discontinuità si devono indicare i valori modali delle aperture

Descrivere accuratamente discontinuità singolari con aperture notevolmente più ampie del valore modale



## DISCONTINUITA' - APERTURA

Apertura	Descrizione	
<b>&lt;0.1 mm</b>	<b>molto stretta</b>	<b>discontinuità CHIUSA</b>
<b>0.1-0.25 mm</b>	<b>stretta</b>	
<b>0.25 – 0.5 mm</b>	<b>parzialmente aperta</b>	
<b>0.5 – 2.5 mm</b>	<b>aperta</b>	<b>discontinuità SEMI-APERTA</b>
<b>2.5 – 10 mm</b>	<b>moderatamente larga</b>	
<b>&gt;10 mm</b>	<b>larga</b>	
<b>1 – 10 cm</b>	<b>molto larga</b>	<b>discontinuità APERTA</b>
<b>10-100 cm</b>	<b>estremamente larga</b>	
<b>&gt; 1 m</b>	<b>cavernosa</b>	



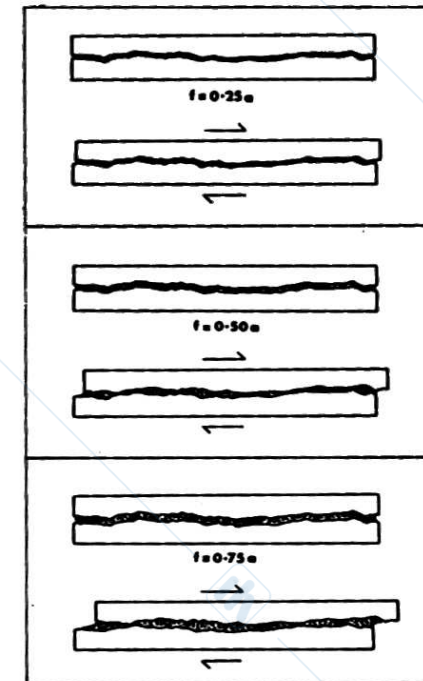
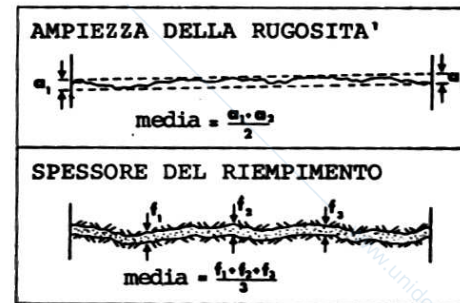
## DISCONTINUITA' - RIEMPIMENTO

**MATERIALE CHE SEPARA LE PARETI ADIACENTI DI UNA DISCONTINUITA' (di solito MENO RESISTENTE della ROCCIA PRIMARIA)**

Tipici materiali di riempimento sono sabbia, limo, argilla, breccia più o meno fine, milonite. Include anche sottili strati di minerali e discontinuità cementate (vene di quarzo e calcite).

Devono essere descritti:

- Ampiezza
- Grado alterazione
- Mineralogia
- Granulometria particelle
- Resistenza del riempimento
- Contenuto acqua e permeabilità



## DISCONTINUITA' - FILTRAZIONE

**FLUSSO d'ACQUA E ABBONDANTE UMIDITA', VISIBILE NELLE SINGOLE DISCONTINUITA' O NELLA MASSA ROCCIOSA NEL SUO INSIEME**

### SENZA RIEMPIMENTO

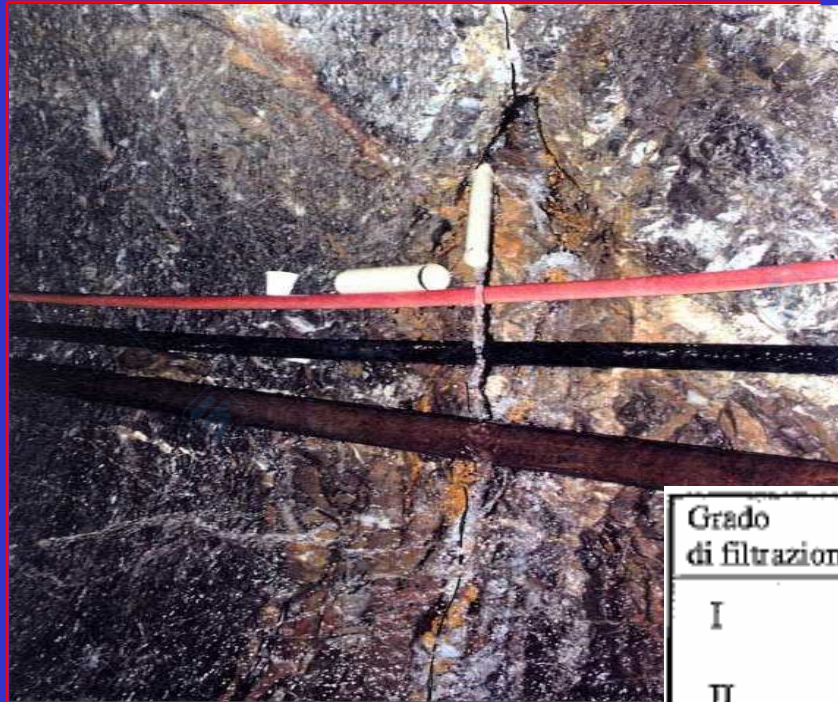
Grado di filtrazione	Descrizione
I	La discontinuità è molto chiusa e asciutta; il flusso lungo di essa non appare possibile.
II	La discontinuità è asciutta senza alcun evidente flusso d'acqua
III	La discontinuità è asciutta ma mostra segni evidenti di flusso d'acqua, come tracce di ossidazione, etc.
IV	La discontinuità è umida ma non vi è presenza di acqua libera
V	La discontinuità mostra filtrazione, occasionali gocce d'acqua, ma non flusso continuo.
VI	La discontinuità mostra un flusso continuo di acqua, (stimare la portata in l/min e descrivere se la pressione è bassa, media, o alta).

### CON RIEMPIMENTO

Grado di filtrazione	Descrizione
I	I materiali di riempimento sono decisamente consolidati e asciutti; un flusso significativo appare improbabile per via della permeabilità molto bassa.
II	I materiali di riempimento sono umidi ma non c'è presenza di acqua libera.
III	I materiali di riempimento sono bagnati; occasionali gocce d'acqua.
IV	I materiali di riempimento mostrano segni di dilavamento; flusso continuo di acqua, (valutare la portata in l/min).
V	I materiali di riempimento sono localmente dilavati; considerevole flusso di acqua lungo i canali di dilavamento (stimare la portata in l/min. e descrivere la pressione, se bassa, media o alta).
VI	I materiali di riempimento sono completamente dilavati; si osservano alte pressioni dell'acqua specialmente al momento dell'esposizione (stimare la pressione in l/min. e descrivere la pressione).



## DISCONTINUITA' - FILTRAZIONE



**WATER SPRING IN THE TUN**

### MASSA ROCCIOSA

Grado di filtrazione	Descrizione
I	Pareti e corona asciutti; nessuna filtrazione rilevabile.
II	Piccola filtrazione; specificare le discontinuità gocciolanti
III	Flusso medio; specificare le discontinuità con flusso continuo, (stimare la portata in 1/min. su una lunghezza di scavo di 10 m).
IV	Flusso alto; specificare le discontinuità con flusso intenso, (stimare la portata in 1/min./10m di lunghezza di scavo).
V	Flusso eccezionalmente alto; specificare la sorgente di tale flusso, (stimare la portata in 1/min./10m di lunghezza di scavo).

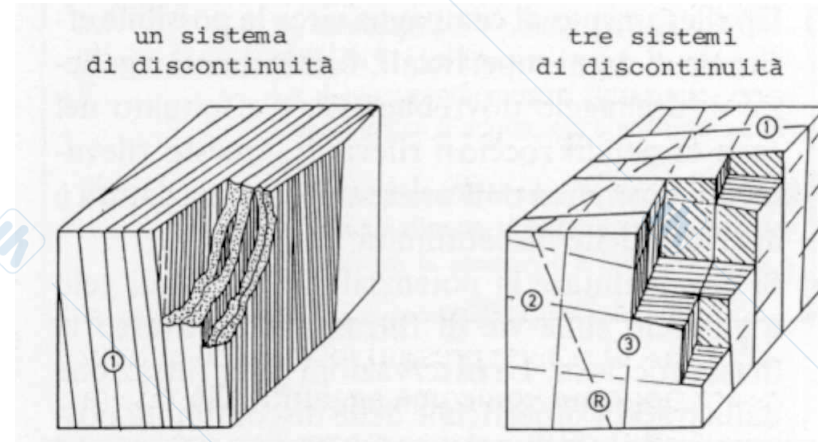


# DISCONTINUITA' – NUMERO SISTEMI DI DISCONTINUITA'

**DEFINISCE L'INSIEME DEI SISTEMI PRESENTI.**

**Influenzano sia il comportamento meccanico, sia l'aspetto esterno di una massa rocciosa.**

**Potrebbe essere un fattore determinante per la stabilità di un fronte roccioso e/o di scavi in sotterraneo.**



POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI MECCANICA DELLE ROCCE

## DISCONTINUITA' – DIMENSIONE DEI BLOCCHI

***DIMENSIONE DEL BLOCCO ROCCIOSO RISULTANTE DALLA RECIPROCA ORIENTAZIONE DEI SISTEMI DI FRATTURE CHE SI INTERSECANO E DALLA SPAZIATURA DEI SINGOLI SISTEMI.***

**In particolare**

- **IL NUMERO DEI SISTEMI DI DISCONTINUITÀ e la loro ORIENTAZIONE** nella spazio determinano la forma del blocco.
- **I valori di SPAZIATURA** ne determinano forma e volume

