

MECCANICA DELLE ROCCE 05BPMMX

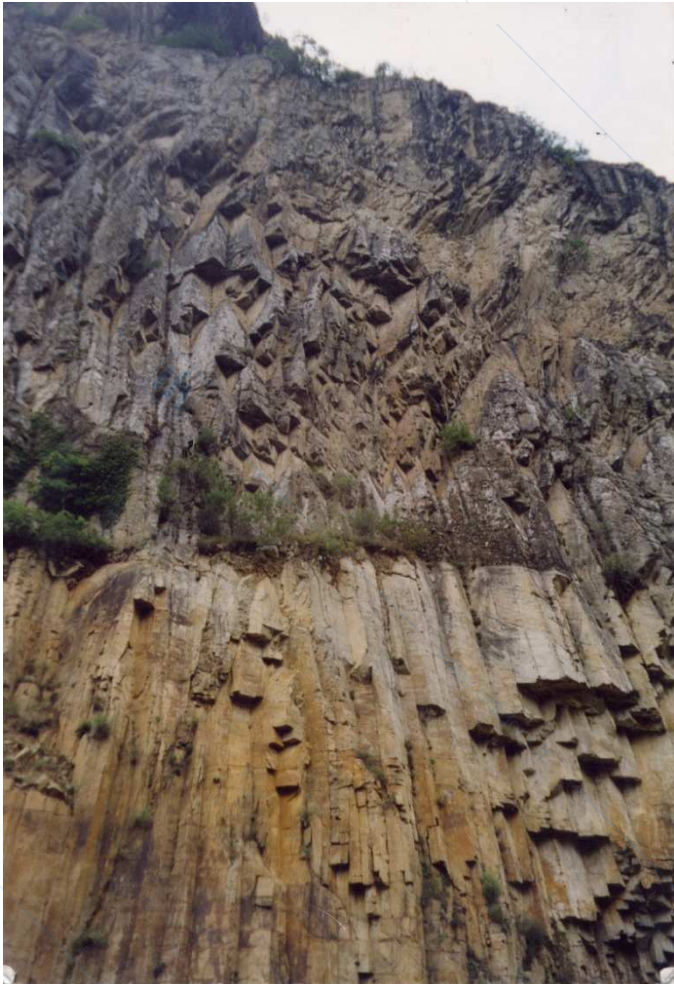
Docente

Prof. Claudio SCAVIA (011/ 0904823)
claudio.scavia@polito.it

Esercitatore

Prof. Monica BARBERO (011/ 0904888)
monica.barbero@polito.it



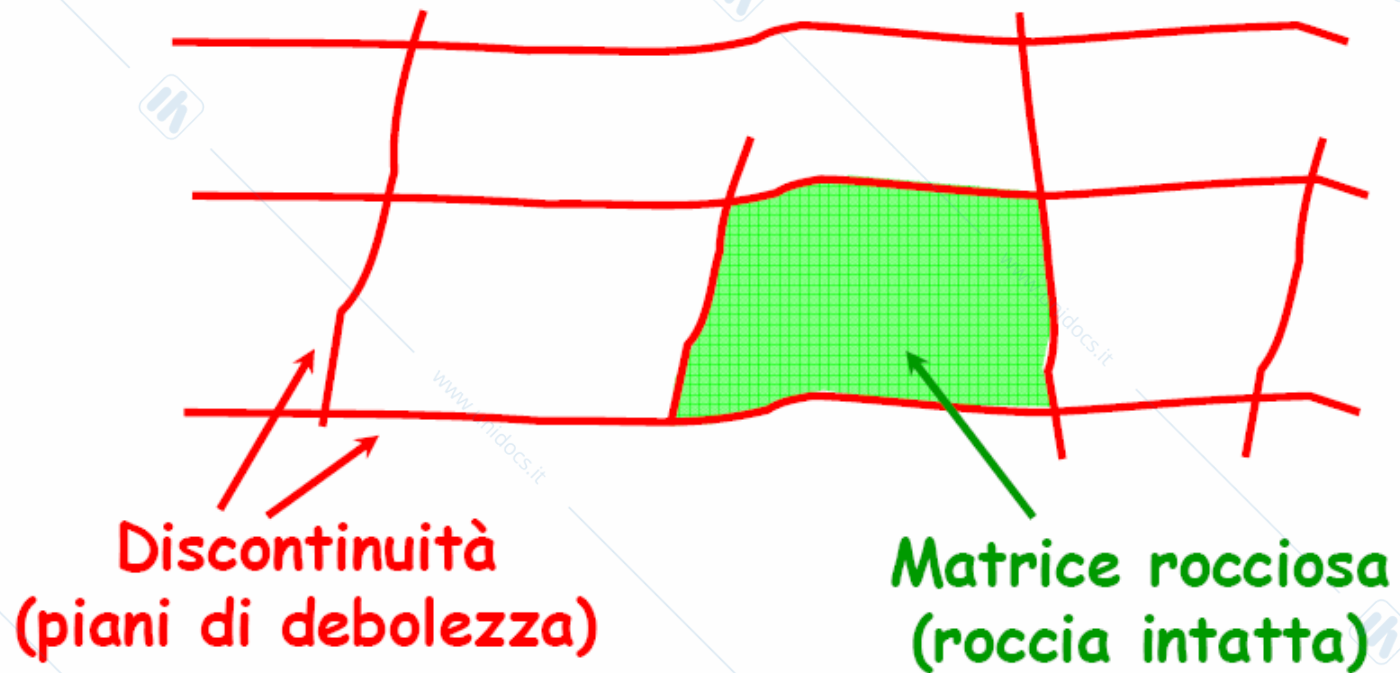


COMPORTAMENTO MECCANICO DELLE DISCONTINUITA'

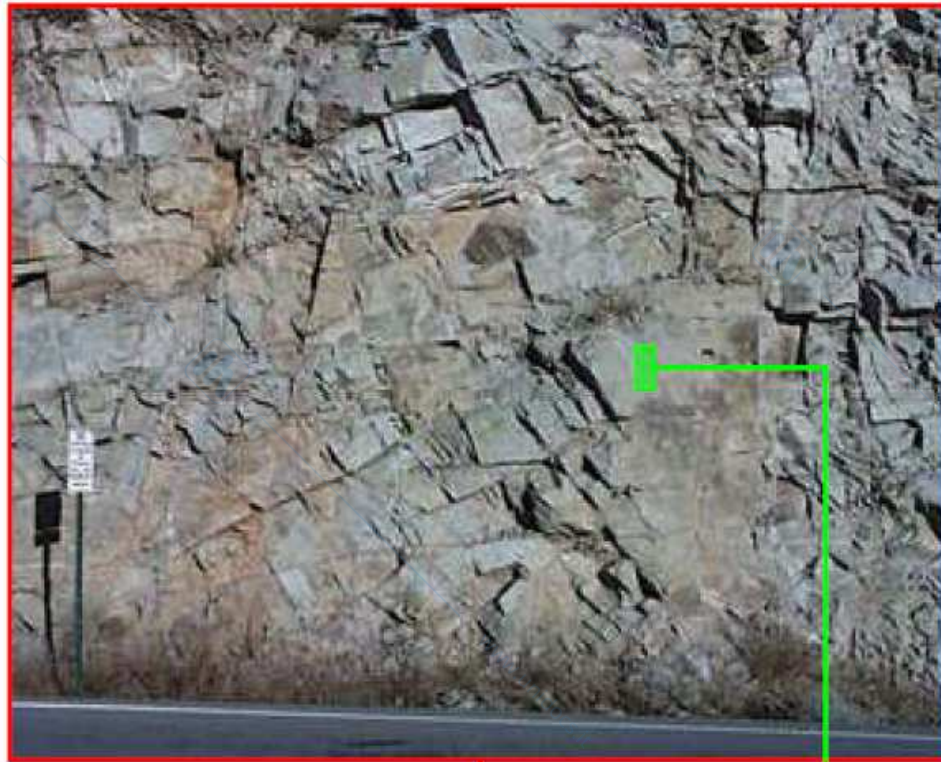


L'AMMASSO ROCCIOSO

Alla scala dell'ammasso esso può essere descritto come formato da blocchi di roccia separati da superfici di discontinuità



L'AMMASSO ROCCIOSO



Scala dell'ammasso

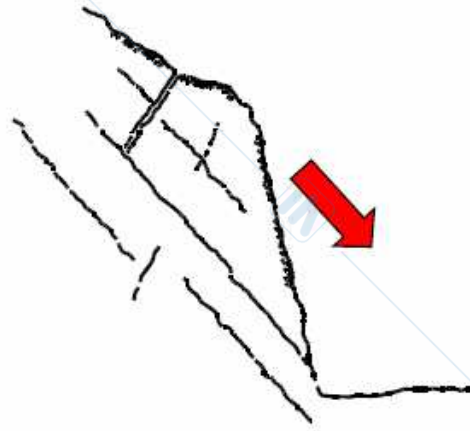
Scala del campione di laboratorio

Il comportamento meccanico dell'ammasso potrebbe perciò essere molto diverso da quello che si può determinare in laboratorio su campioni di piccole dimensioni (**matrice rocciosa**) a causa della presenza di zone di debolezza a scala macroscopica (**discontinuità**)



L'AMMASSO ROCCIOSO

In alcuni casi le caratteristiche delle discontinuità sono predominanti



Esempio:

**stabilità dei pendii
fratturati**



L'AMMASSO ROCCIOSO

In alcuni casi le caratteristiche delle discontinuità sono predominanti

Principali prove di laboratorio per la determinazione del comportamento meccanico (resistenza e deformabilità)

Matrice rocciosa
(roccia intatta)

prova compressione monoassiale
prova compressione triassiale
prova di trazione indiretta (brasiliana)

Discontinuità



prova di taglio diretto

(Generalmente si trascura la resistenza a trazione)

no prove di laboratorio

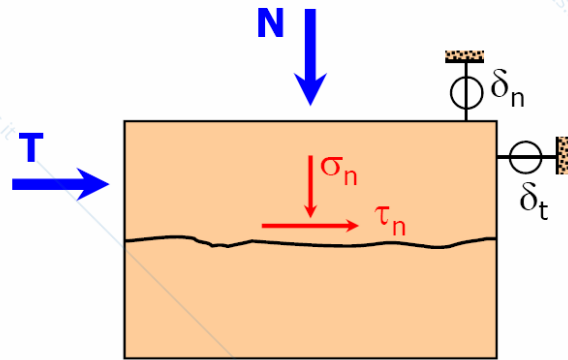
Ammassi rocciosi molto fratturati
(continuo equivalente)



prove in sito
correlazioni empiriche



PROVA DI TAGLIO DIRETTO - *Discontinuità naturali*



Campione contenente una superficie di discontinuità sottoposto a:

N = costante

T = crescente

Nel corso della prova si misurano:

δ_t = spostamenti tangenziali

δ_n = spostamenti normali

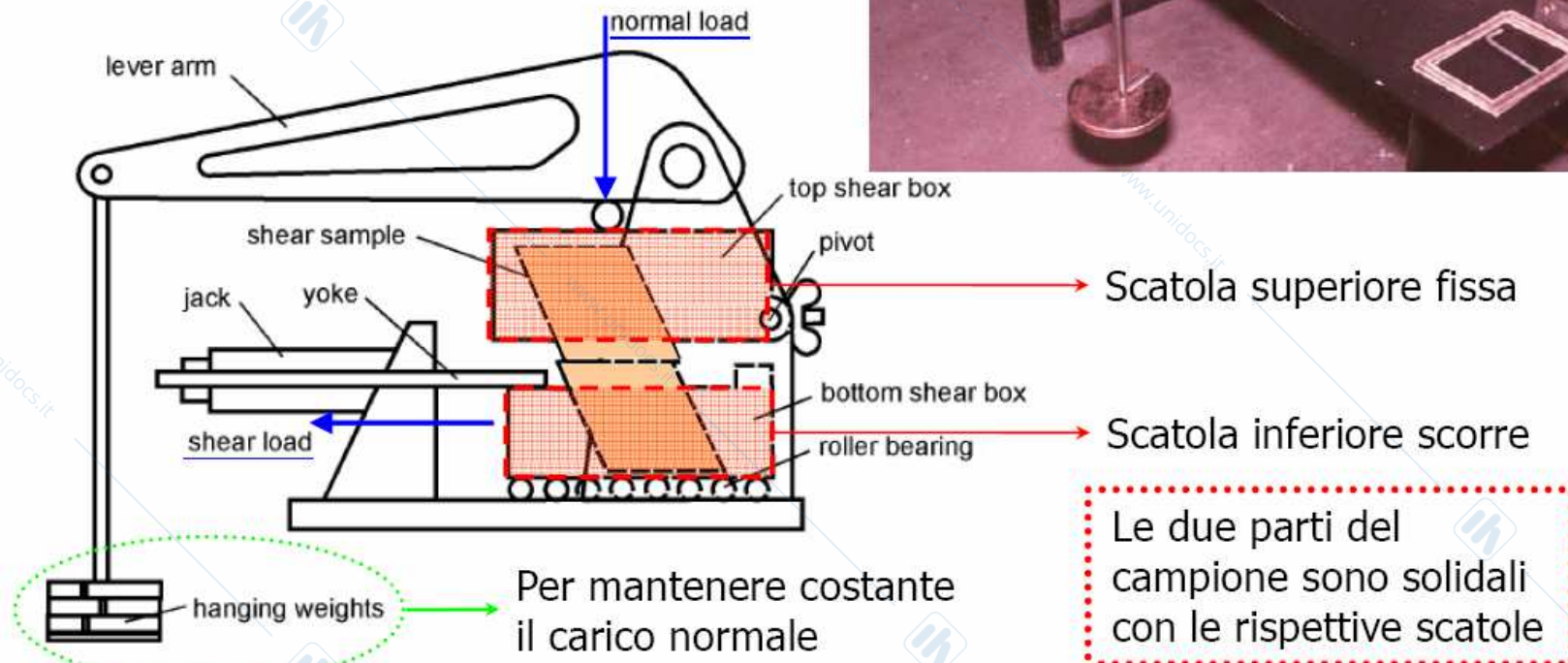
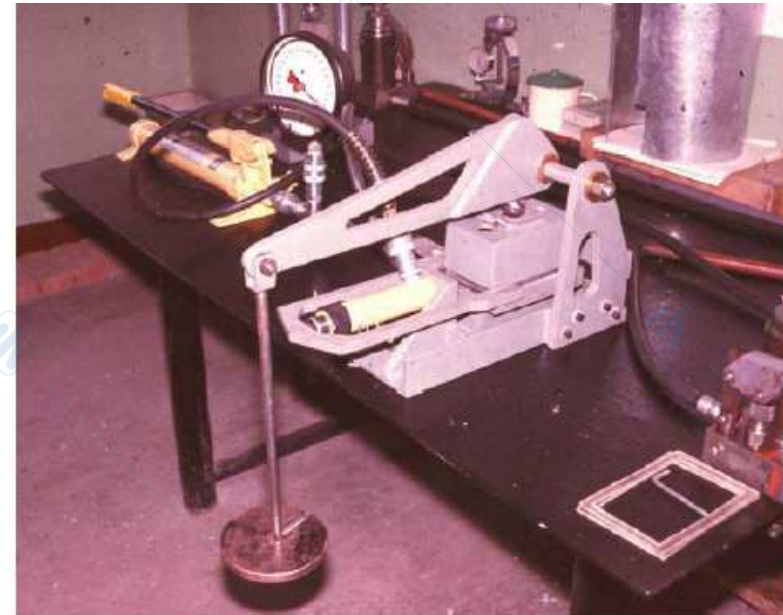
$$\left. \begin{aligned} \sigma_n &= N/A \\ \tau_n &= T/A \end{aligned} \right\} \text{Stato tensionale} \\ \text{sulla superficie}$$

Superficie \rightarrow liscia (artificiale)
 \rightarrow scabra (naturale)



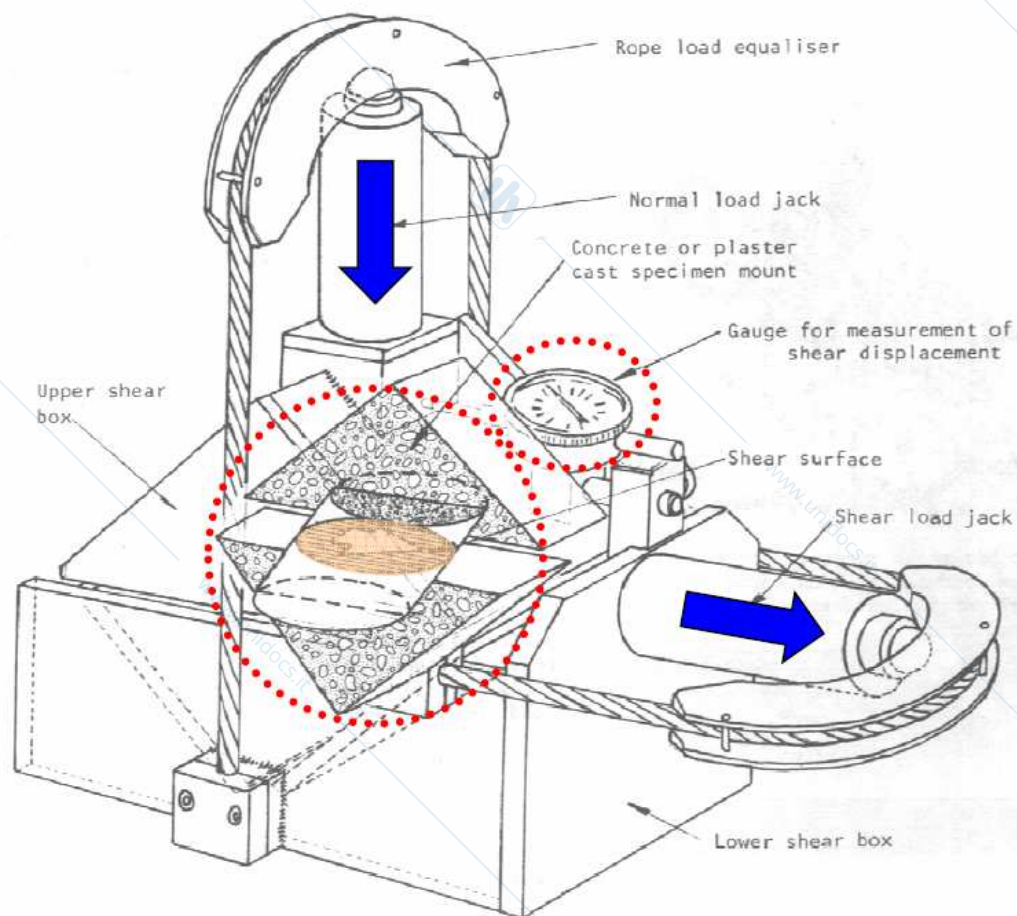
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - *Discontinuità naturali*

SCHEMA DELL'ATTREZZATURA



PROVA DI TAGLIO DIRETTO - *Discontinuità naturali*

SCHEMA DELL'ATTREZZATURA



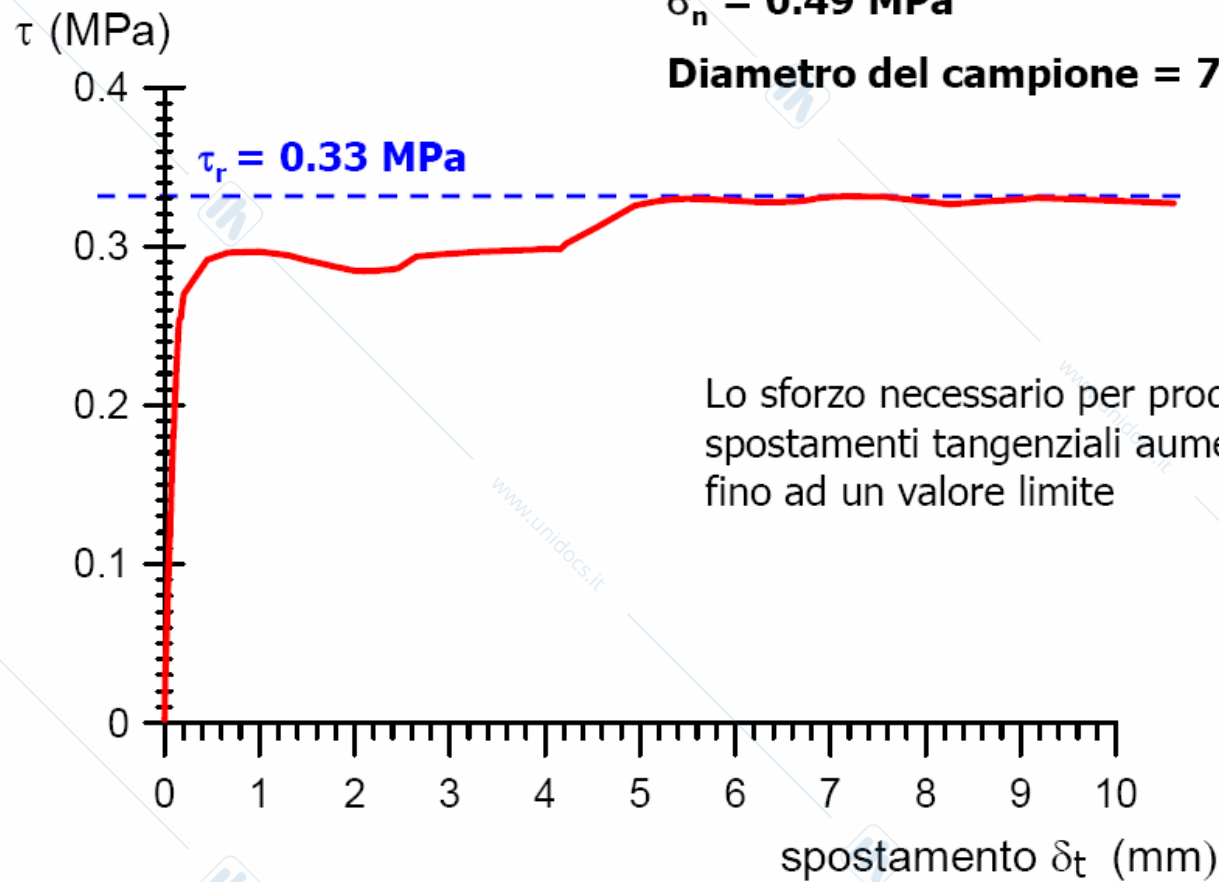
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - *Discontinuità naturali*

SUPERFICIE LISCIA

METAGABBRO

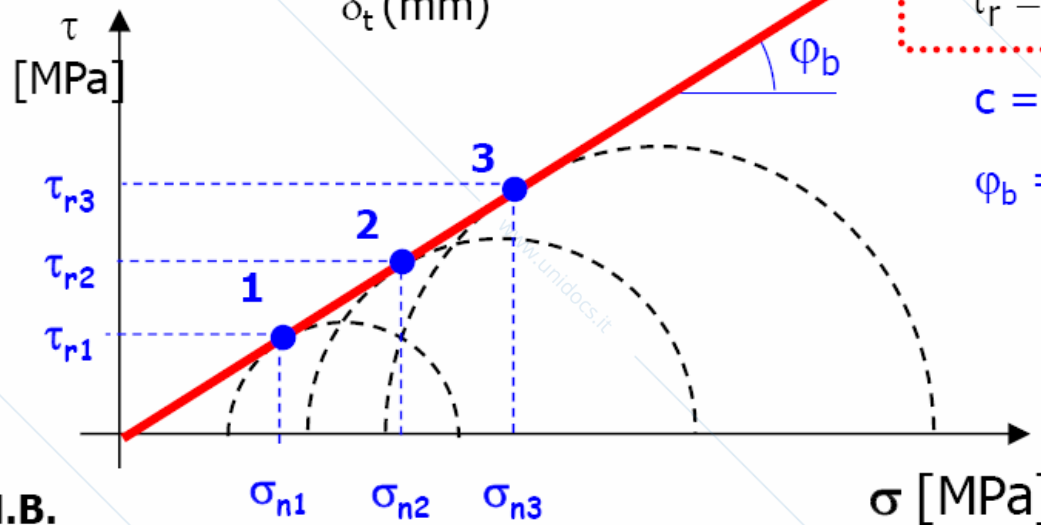
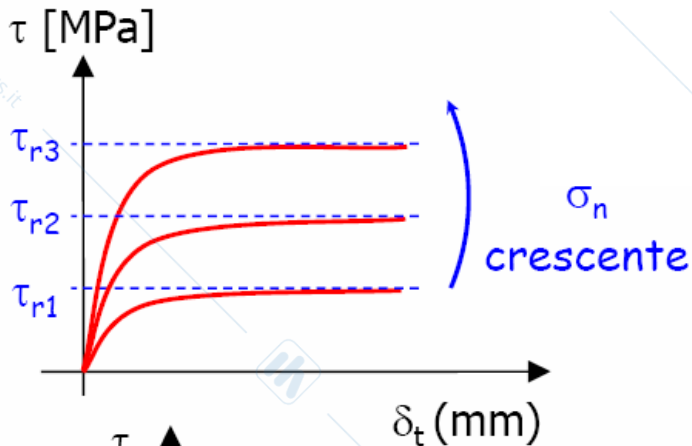
$\sigma_n = 0.49 \text{ MPa}$

Diametro del campione = 78.6 mm



CRITERIO DI RESISTENZA - *Discontinuità naturali*

SUPERFICIE LISCIA



$$\tau_r = \sigma_n \cdot \text{tg} \varphi_b$$

$$c = 0$$

φ_b = angolo di attrito di base

N.B.

tramite la prova di taglio diretto non si ha indicazione dello stato tensionale agente nel campione (non è possibile ricostruire i cerchi di Mohr a rottura!)



CRITERIO DI RESISTENZA- *Discontinuità naturali*

ANGOLO DI ATTRITO DI BASE – f_B – caratteristico del materiale

Dipende unicamente dalle dimensioni (granulometria) e dal tipo (mineralogia) dei grani presenti sulle superfici della discontinuità liscia.

Tipo di roccia	φ_b
Scisti (alto contenuto di mica), marne	20°-27°
Arenarie, siltiti, gesso, gneiss, ardesia	27°-34°
Basalto, granito, calcare, conglomerati	34°-40°



CRITERIO DI RESISTENZA- *Discontinuità naturali*

SUPERFICIE SCABRA



Per un certo valore di σ_n :

- La resistenza della superficie raggiunge un picco per bassi valori dello spostamento tangenziale.

- Superato il picco lo sforzo richiesto per produrre ulteriori spostamenti decresce fino ad un valore residuo.

- Il raggiungimento del picco è accompagnato da spostamenti in direzione ortogonale alla Superficie.



DILATANZA



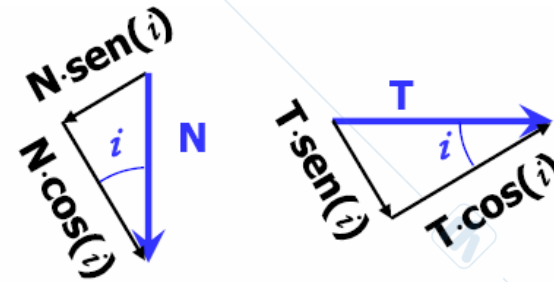
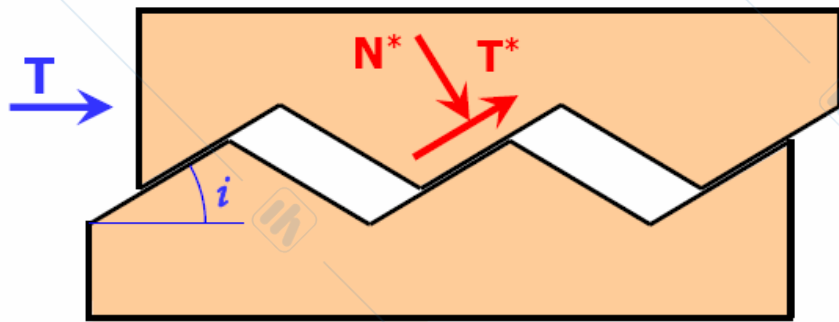
CRITERIO DI RESISTENZA - MODELLO DI PATTON

(1966)

SUPERFICIE SCABRA

i = inclinazione delle asperità (costante)

$N = cost$



$$T^* = T \cdot \cos(i) - N \cdot \text{sen}(i)$$

$$N^* = T \cdot \text{sen}(i) + N \cdot \cos(i)$$

Sulle aree di contatto: $T^* = N^* \cdot \text{tg}\varphi_b$



$$T \cdot \cos(i) - N \cdot \text{sen}(i) = [T \cdot \text{sen}(i) + N \cdot \cos(i)] \cdot \text{tg}\varphi_b$$

$$T - N \cdot \text{tg}(i) = [T \cdot \text{tg}(i) + N] \cdot \text{tg}\varphi_b$$

Forza necessaria per avere scorrimento:

$$T = N \cdot \left[\frac{\text{tg}(i) + \text{tg}\varphi_b}{1 - \text{tg}(i) \cdot \text{tg}\varphi_b} \right] = N \cdot \text{tg}(\varphi_b + i)$$



CRITERIO DI RESISTENZA - MODELLO DI PATTON

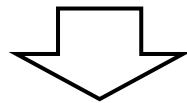
(1966)

CRITERIO DI RESISTENZA DI PICCO (Patton)

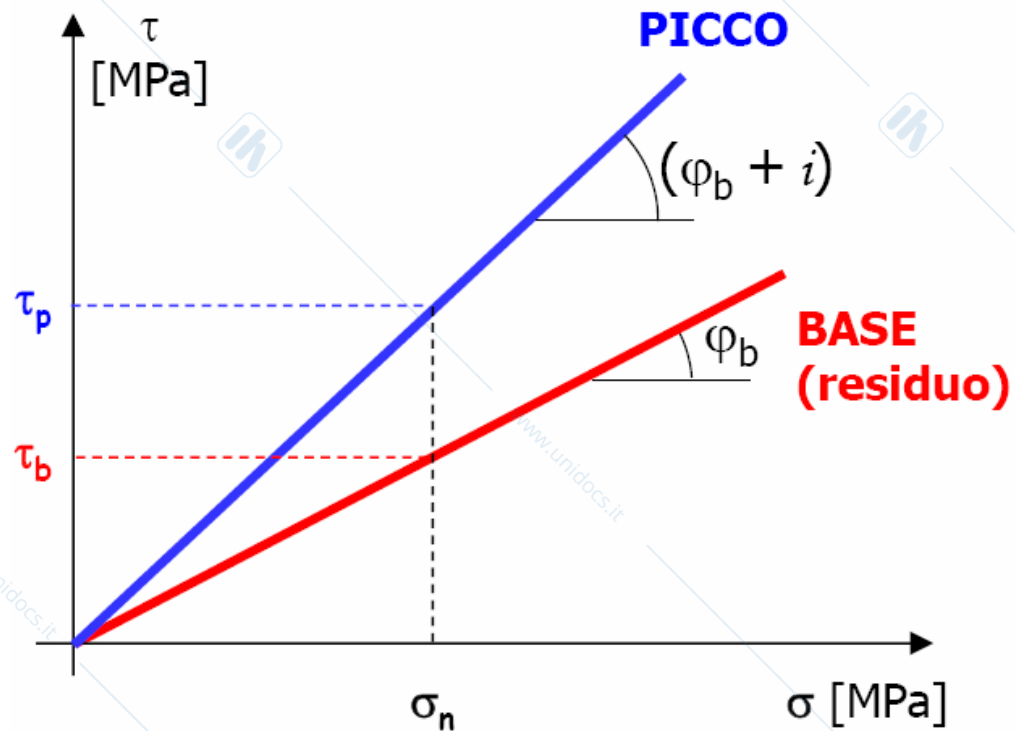
$$\tau_p = \sigma_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi_b + i)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_b \cong \varphi_r \\ \varphi_b + i = \varphi_p \end{array} \right.$$

(i = angolo di dilatanza)



Lo scavalcamento delle asperità (*dilatanza*) provoca un incremento della resistenza (*picco*)

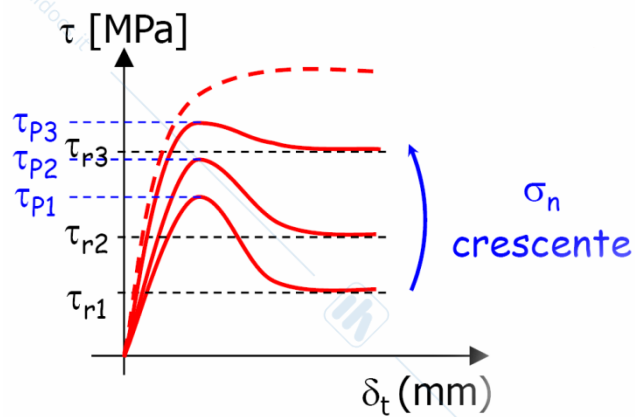


Ma questo modello non tiene conto di alcuni aspetti...



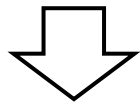
CRITERIO DI RESISTENZA – Superficie scabra

INVILUPPI DI RESISTENZA REALI (SUPERFICIE SCABRA)

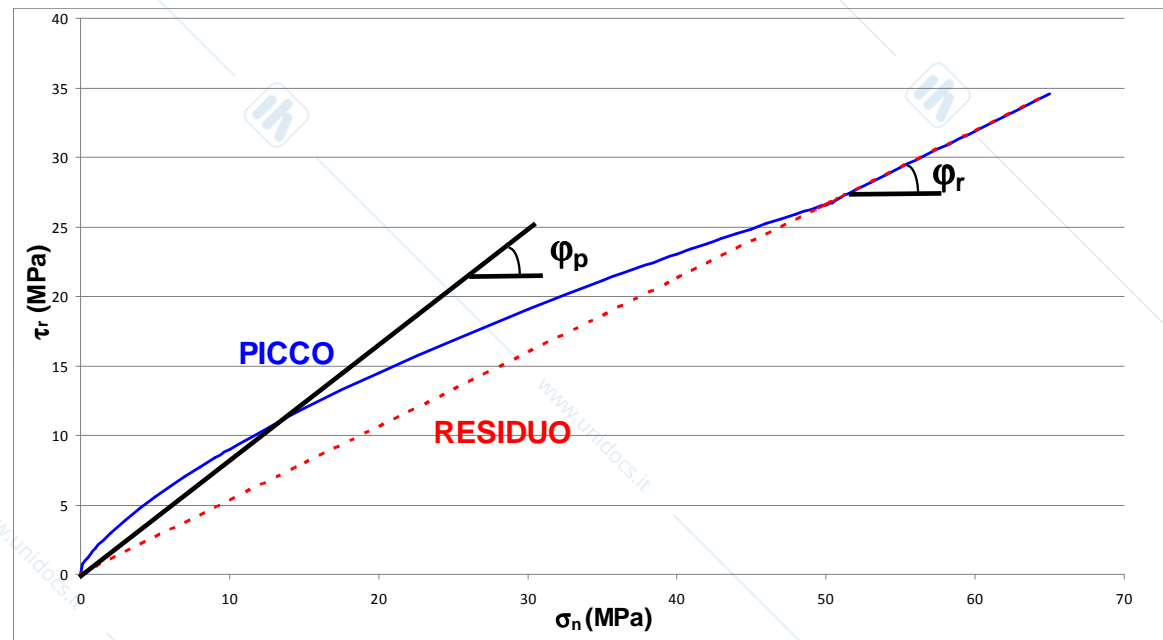


All'aumentare di σ_n

- τ_p aumenta
- la differenza $\tau_p - \tau_r$ diminuisce

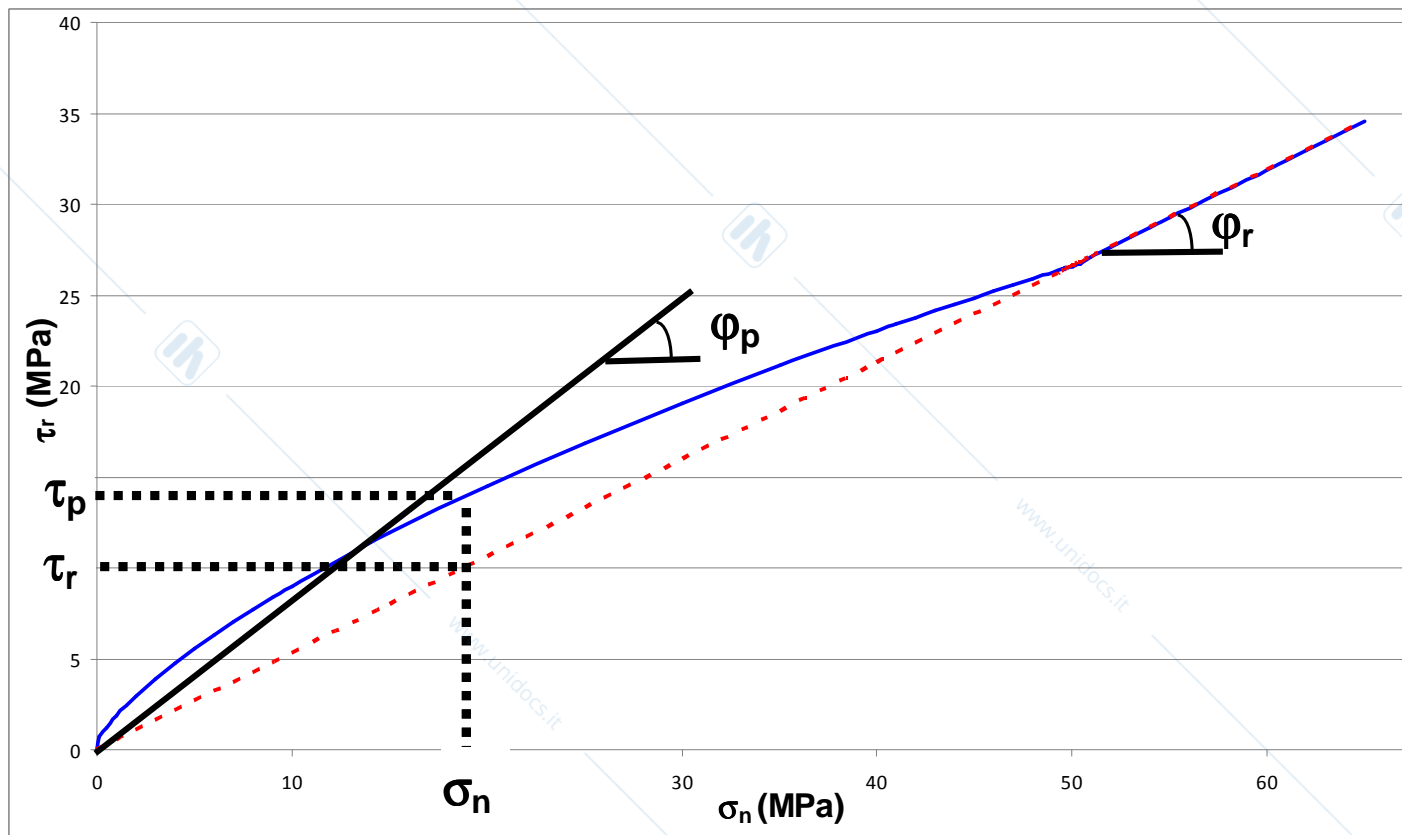


la dilatanza si attenua in
funzione di σ_n



CRITERIO DI RESISTENZA – Superficie scabra

SUPERFICIE SCABRA



Picco: $\varphi_p = \varphi_b = f(\sigma_n)$

Residuo: $\varphi_r = \varphi_b = \text{cost}$



CRITERIO DI RESISTENZA – Superficie scabra

ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO

Per effetto della dilatanza, φ_p varia in funzione di:

- σ_n
- rugosità della superficie
- resistenza delle asperità
- materiale (φ_b)



$$\varphi_p = JRC \cdot \text{Log} \frac{JCS}{\sigma_n} + \varphi_b$$

CRITERIO DI BARTON
(1971,1973,1976,1982,1988,
1990)

Definizioni:

JRC = coefficiente di scabrezza (Joint Roughness Coefficient)

JCS = resistenza a compressione delle asperità (Joint Compressive Strength)

φ_b = angolo di attrito di base (sup. liscia) $\cong \varphi_r$

σ_n = sforzo normale agente sulla superficie

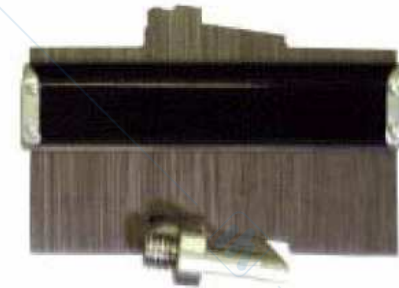


CRITERIO DI RESISTENZA – **Superficie scabra**

DETERMINAZIONE DEI PARAMENTRI

JRC: determinazione di profili tramite Pettine di Barton (L 10 cm) e confronto con profili tipici

Pettine di Barton



JCS: utilizzo dello sclerometro (Martello di Schmidt)

Sclerometro



Sulla base dei rimbalzi di una massa battente interna allo strumento.

I valori forniti dallo strumento vengono inseriti in un grafico che consente di stimare la resistenza a compressione delle pareti del giunto in funzione dell'inclinazione dello strumento e delle caratteristiche della roccia

f_b : prova di taglio su superfici artificiali

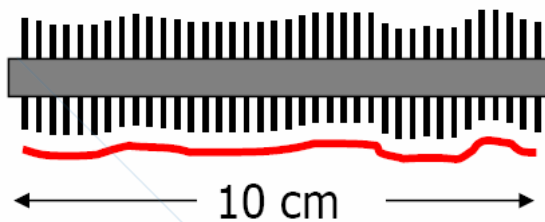


CRITERIO DI RESISTENZA – Superficie scabra

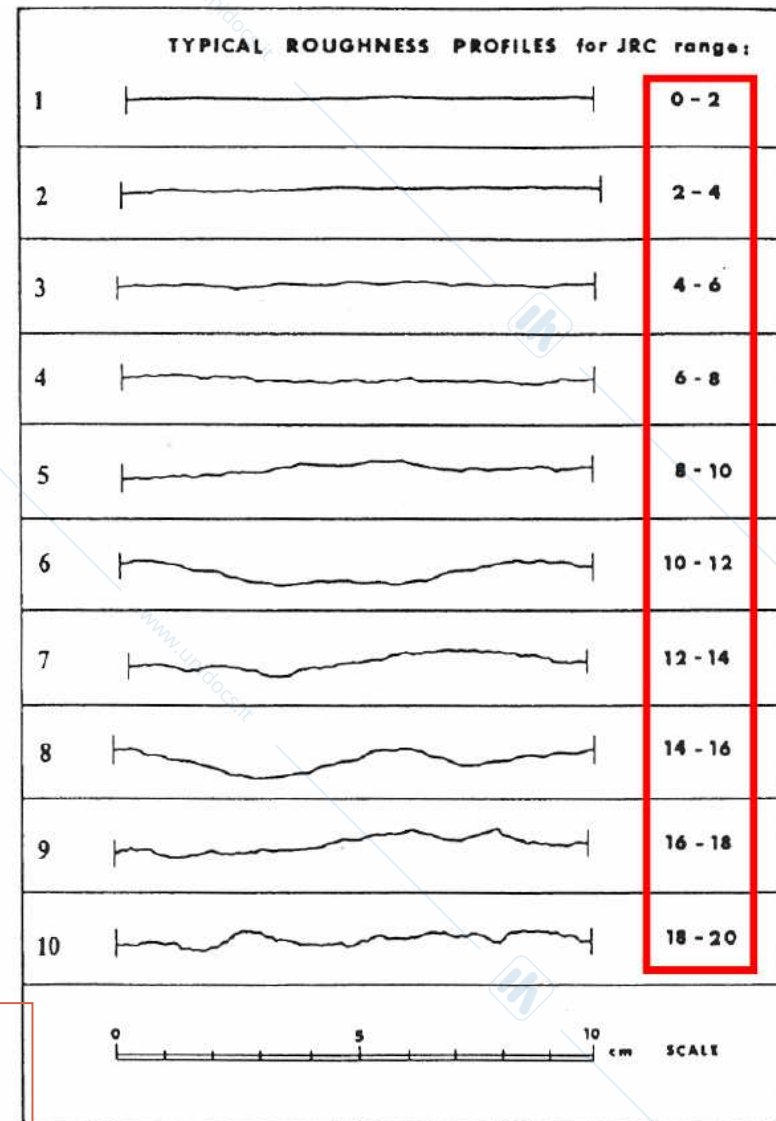
DETERMINAZIONE DI JRC



Rilievo di profili tramite il pettine di Barton



Confronto con i
profili di riferimento
e stima di JRC



CRITERIO DI RESISTENZA – Superficie scabra

DETERMINAZIONE DI JCS (esempio)

Orientazione del martello: orizzontale

$$\gamma_{\text{roccia}} = 26 \text{ kN/m}^3$$

Valore letto sullo strumento: **48**

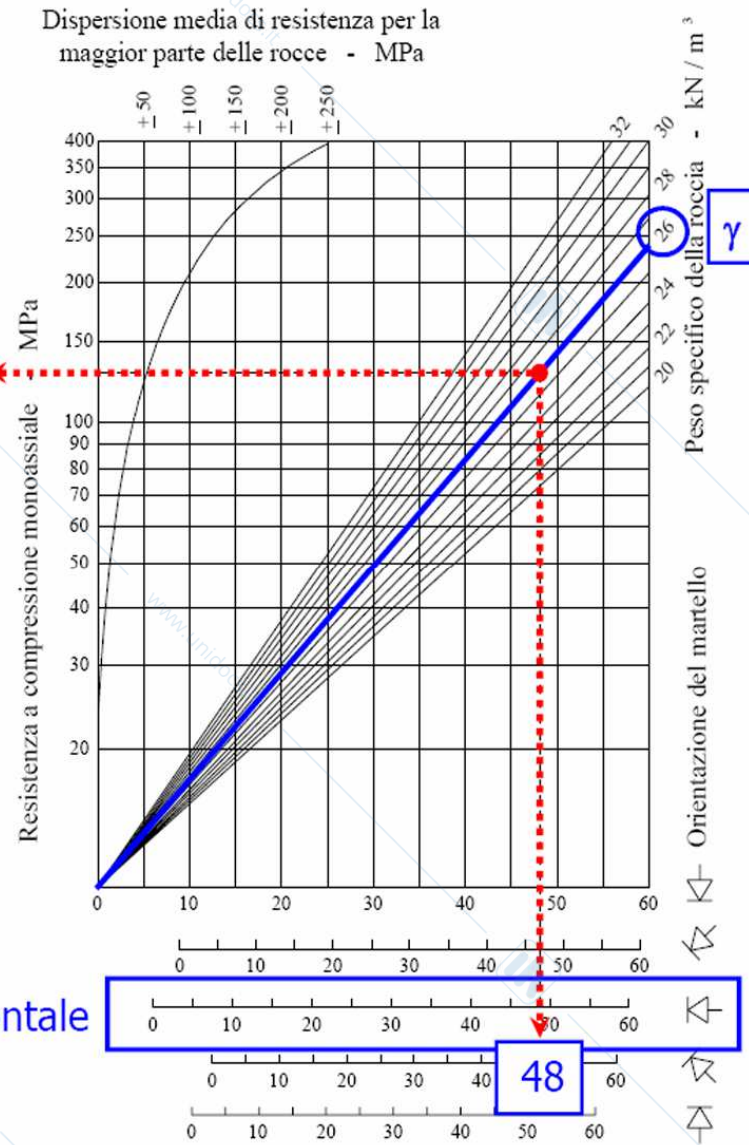


CRITERIO DI RESISTENZA – Superficie scabra

DETERMINAZIONE DI JCS (esempio)

DIAGRAMMA DI CORRELAZIONE

JCS = 125 MPa



CRITERIO DI RESISTENZA – Superficie scabra

LIMITI DI VALIDITA'

1) $\sigma_n = JCS$

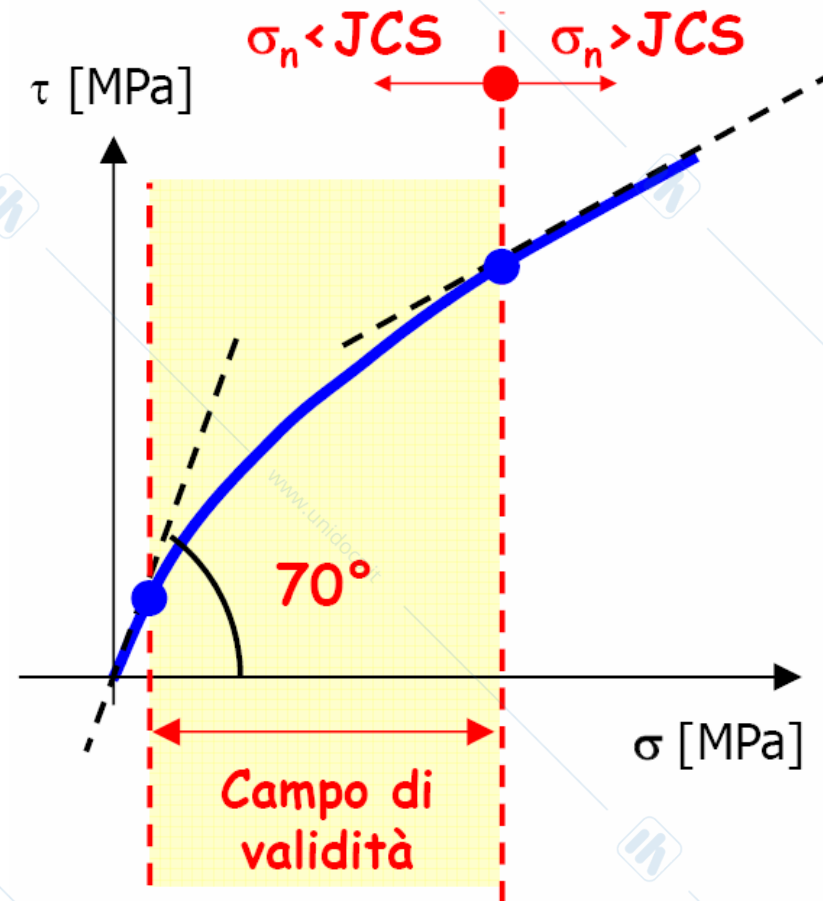
Per $\sigma_n > JCS$ le asperità si rompono per compressione

→ $f_p = f_r$

2) $\sigma_n \rightarrow 0$

Per $\sigma_n \rightarrow 0$ il criterio indicherebbe $f_p \rightarrow \infty$, si considera allora un limite superiore per f_p (70°)

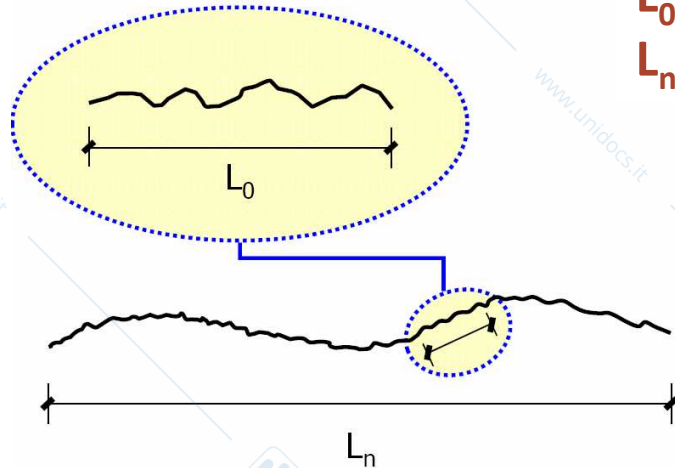
$f_r < f_p < 70^\circ$



CRITERIO DI RESISTENZA – Superficie scabra

EFFETTI DI SCALA

- Le discontinuità naturali sono soggette a forti **effetti di scala** (variazioni delle caratteristiche di resistenza e deformabilità con le dimensioni)
- Ciò significa che i parametri determinati sui campioni di laboratorio non possono essere considerati rappresentativi delle condizioni in sito
- In particolare esistono diversi ordini di scabrezza:



L_0 = lunghezza di "laboratorio"

L_n = lunghezza "in sito"

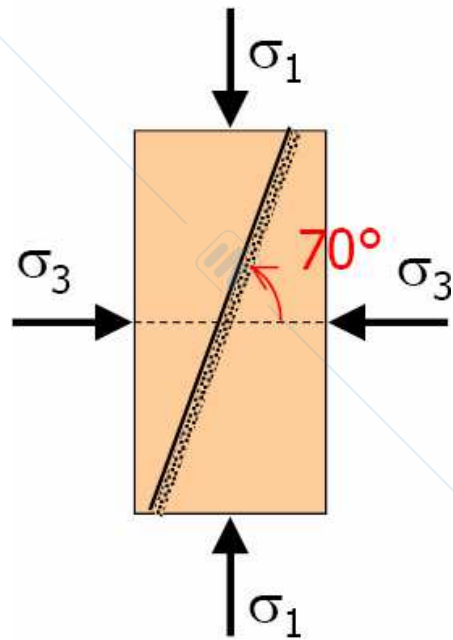
$$JRC_n = JRC_0 \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0.02 \cdot JRC_0}$$

$$\left(JCS_n = JCS_0 \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0.03 \cdot JRC_0} \right)$$

(Barton & Bandis, 1983 ... 1990)



ESERCIZIO



Il provino in roccia in figura è interessato da una discontinuità naturale avente le seguenti

caratteristiche di resistenza al taglio:

$$JRC = 10$$

$$JCS = 25 \text{ MPa}$$

$$\varphi_b = 30^\circ$$

Determinare la resistenza al taglio della discontinuità nell'ipotesi che il provino venga sottoposto al seguente stato tensionale:

$$\sigma_1 = 9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 2 \text{ MPa}$$



ESERCIZIO

Stato tensionale agente sulla superficie della discontinuità

$$\sigma_{xy} = \begin{vmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 9 \end{vmatrix} \text{ [MPa]}$$

Stato tensionale principale

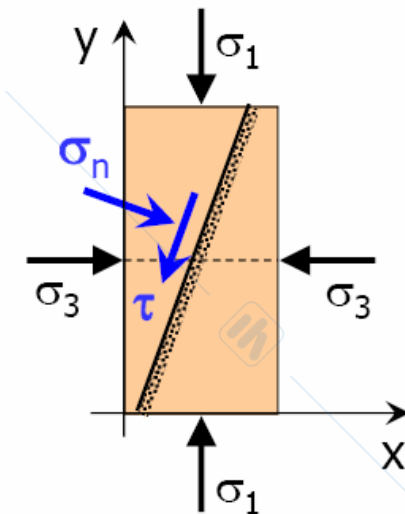
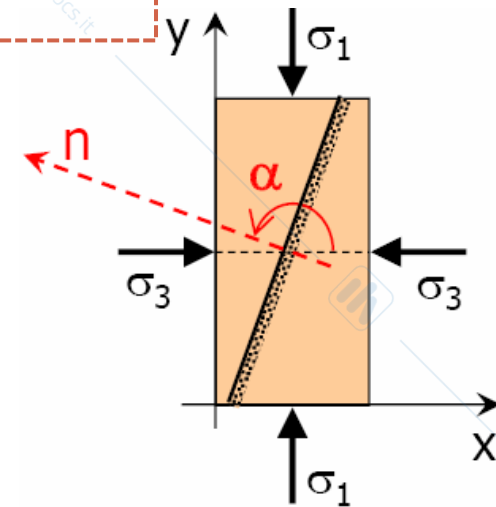
$$\alpha = 70^\circ + 90^\circ = 160^\circ$$

Angolo tra la normale al piano e l'asse x

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + 2\tau_{xy} \cos \alpha \sin \alpha \\ &= 2 \cdot \cos^2 160 + 9 \cdot \sin^2 160 \\ &= 1.766 + 1.053 = \underline{\underline{2.82 \text{ MPa}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= -\frac{1}{2} \sigma_x \sin 2\alpha + \frac{1}{2} \sigma_y \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha \\ &= -\frac{1}{2} 2 \cdot \sin 320 + \frac{1}{2} 9 \cdot \sin 320 \\ &= 0.643 - 2.892 = \underline{\underline{-2.25 \text{ MPa}}} \end{aligned}$$

τ negativa!



ESERCIZIO

Stato tensionale agente sulla superficie della discontinuità (cerchio di Mohr)

$$\begin{cases} C = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} ; 0 \right) = (\sigma_{\text{med}} ; 0) \\ R = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \tau_{\text{max}} \end{cases}$$



$$\begin{cases} C = (5.5 ; 0) \text{ MPa} \\ R = 3.5 \text{ MPa} \end{cases}$$

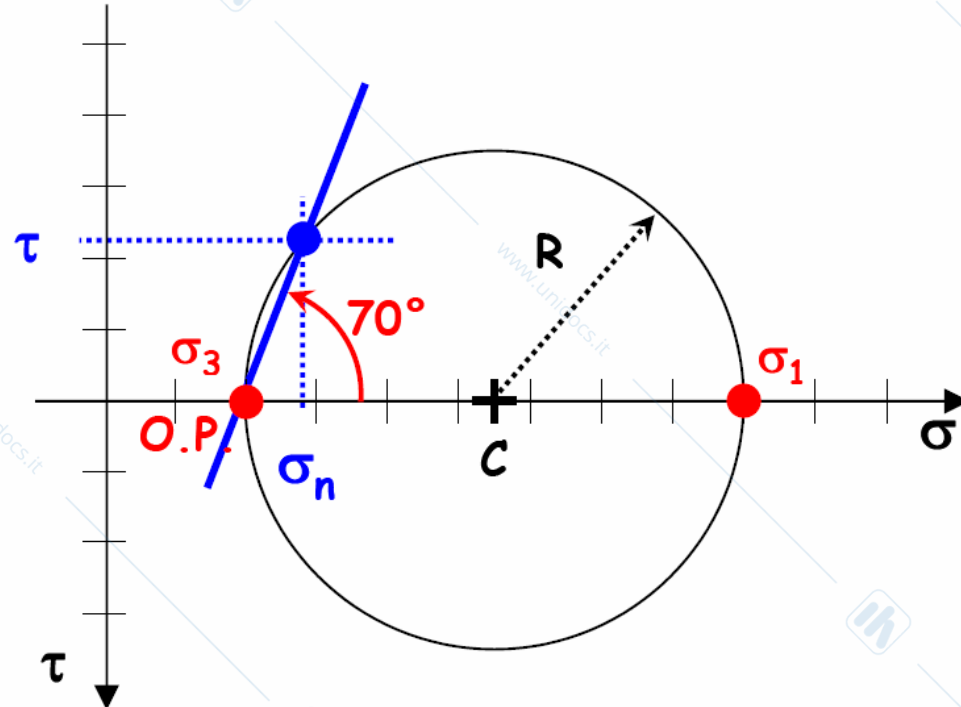
Metodo dell'origine
dei piani (O.P.)



$$\tau = -2.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 2.80 \text{ MPa}$$

(rotazione antioraria!)



ESERCIZIO

Resistenza al taglio della discontinuità

criterio di Barton

$$\varphi_p = JRC \cdot \text{Log} \frac{JCS}{\sigma_n} + \varphi_b$$

$$\left\{ \begin{array}{l} JRC = 10 \\ JCS = 25 \text{ MPa} \\ \varphi_b = 30^\circ \end{array} \right. \Rightarrow \varphi_p = 10 \cdot \text{Log} \frac{25}{2.80} + 30^\circ = 9.50^\circ + 30^\circ = \underline{\underline{39.50^\circ}}$$

$$\tau_p = \sigma_n \cdot \text{tg} \varphi_p = 2.80 \cdot \text{tg}(39.50) = \underline{\underline{2.31 \text{ MPa}}}$$

(N.B.) τ_p (2.31 MPa) > τ_{agente} (2.25 MPa)

La discontinuità è in grado di
supportare lo stato tensionale imposto

