



Provincia autonoma di Trento



PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Lezioni teoriche

Trento, 27 settembre 2024



Prof.ssa Ing. Simonetta Cola

Università degli Studi di Padova



Prof.ssa Ing. Lucia Simeoni

Università degli Studi di Trento

mattina

1. Principi della meccanica delle terre

2. Ruolo delle prove nella progettazione geotecnica

3. Principali prove di laboratorio per la caratterizzazione meccanica

4. Identificazione e classificazione

pomeriggio

5. Consolidazione e compressibilità monodimensionale

6. Resistenza al taglio nei terreni a grana grossa e a grana fine

A seguire, **Confronto sugli argomenti trattati**

Resistenza al taglio

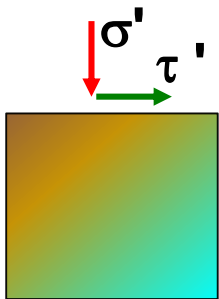
Rottura e Resistenza di una terra



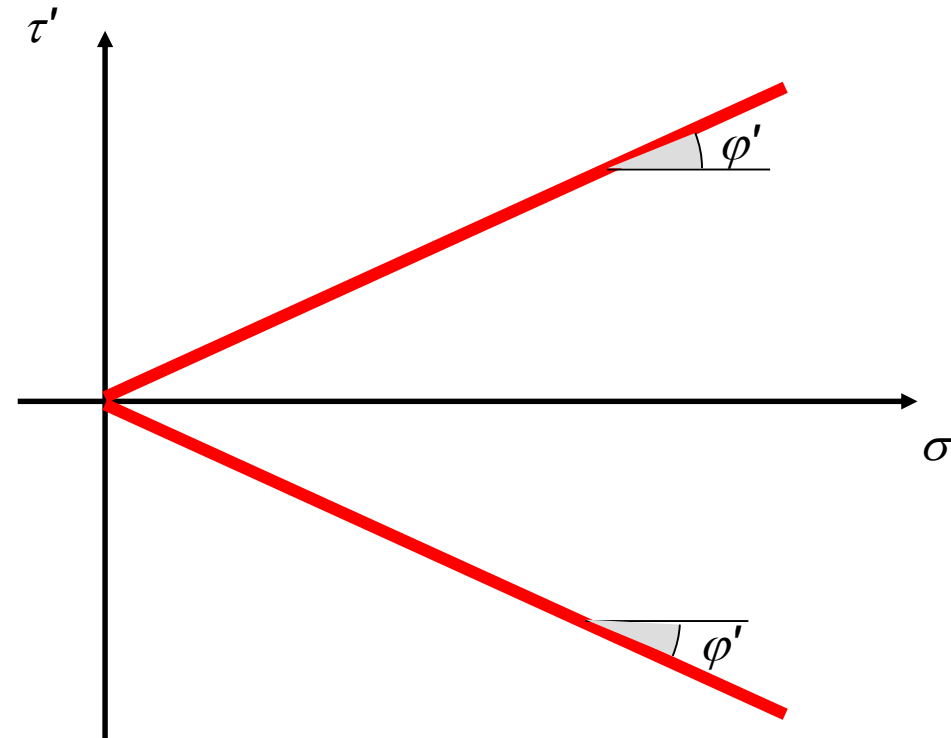
Rottura = scorrimento relativo e indefinito tra i grani su una superficie qualsiasi per raggiungimento di un valore critico del rapporto τ/σ'

Si ha rottura se e solo se $\tau \neq 0$ -> si parla di **Resistenza al taglio**

Si utilizza un **criterio di rottura** alla **Coulomb**:



$$\mu = \left| \frac{\tau'}{\sigma'} \right| = \tan \varphi'$$



Resistenza al taglio

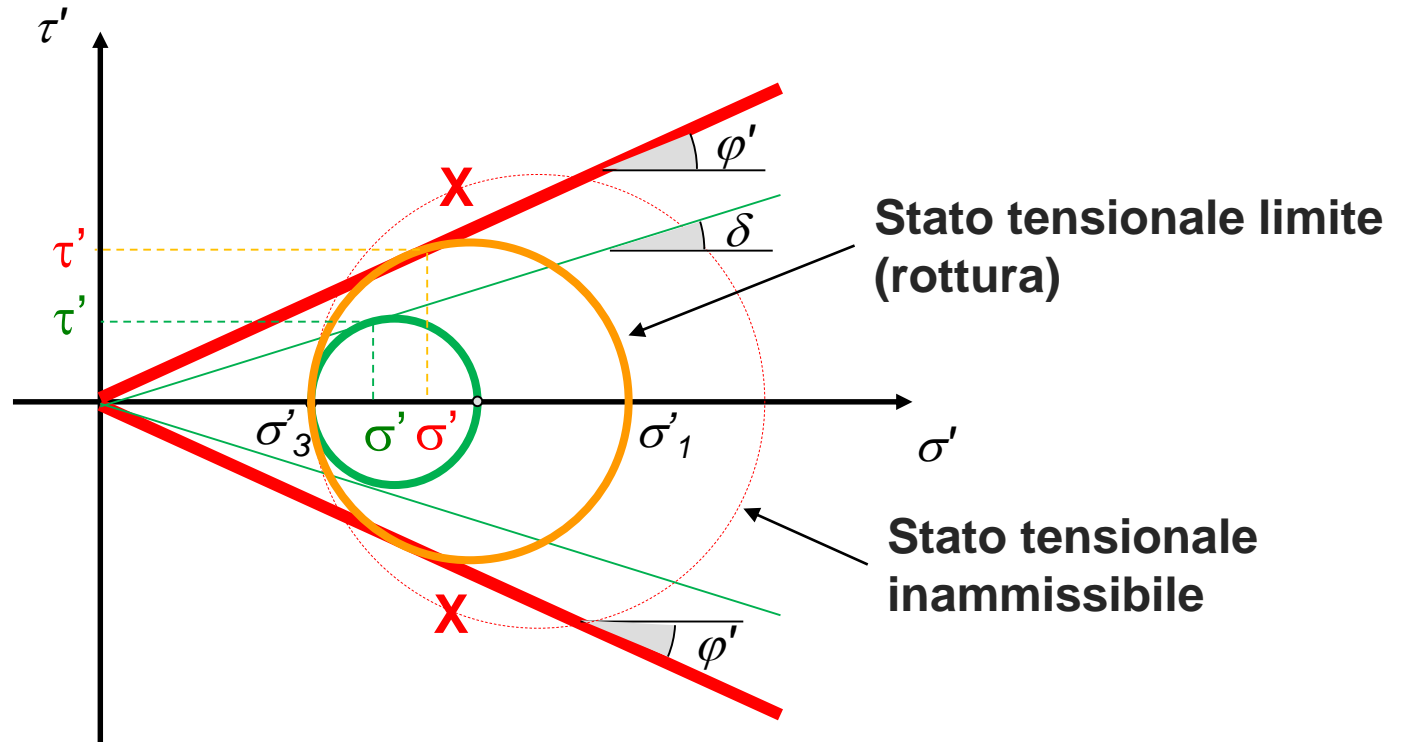
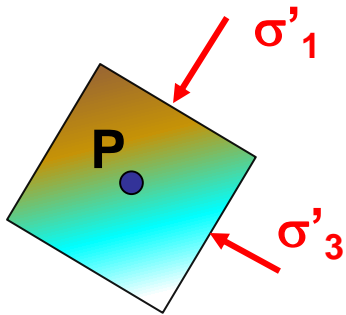
Stati tensionali ammissibili e inammissibili



$$\mu = \left| \frac{\tau'}{\sigma'} \right| = \tan \varphi'$$

L'insieme delle tensioni (τ', σ') agenti sui piani interni al «continuo» terra sono rappresentate nel piano τ' - σ' da un cerchio, detto **cerchio di Mohr**.

Per costruire il cerchio è sufficiente conoscere le tensioni (τ', σ') su **due piani distinti**.



$$\varphi' = \max\{\delta\} \rightarrow \text{Condizione di massima obliquità}$$

Resistenza al taglio

Le prova di taglio diretto in scatola di taglio



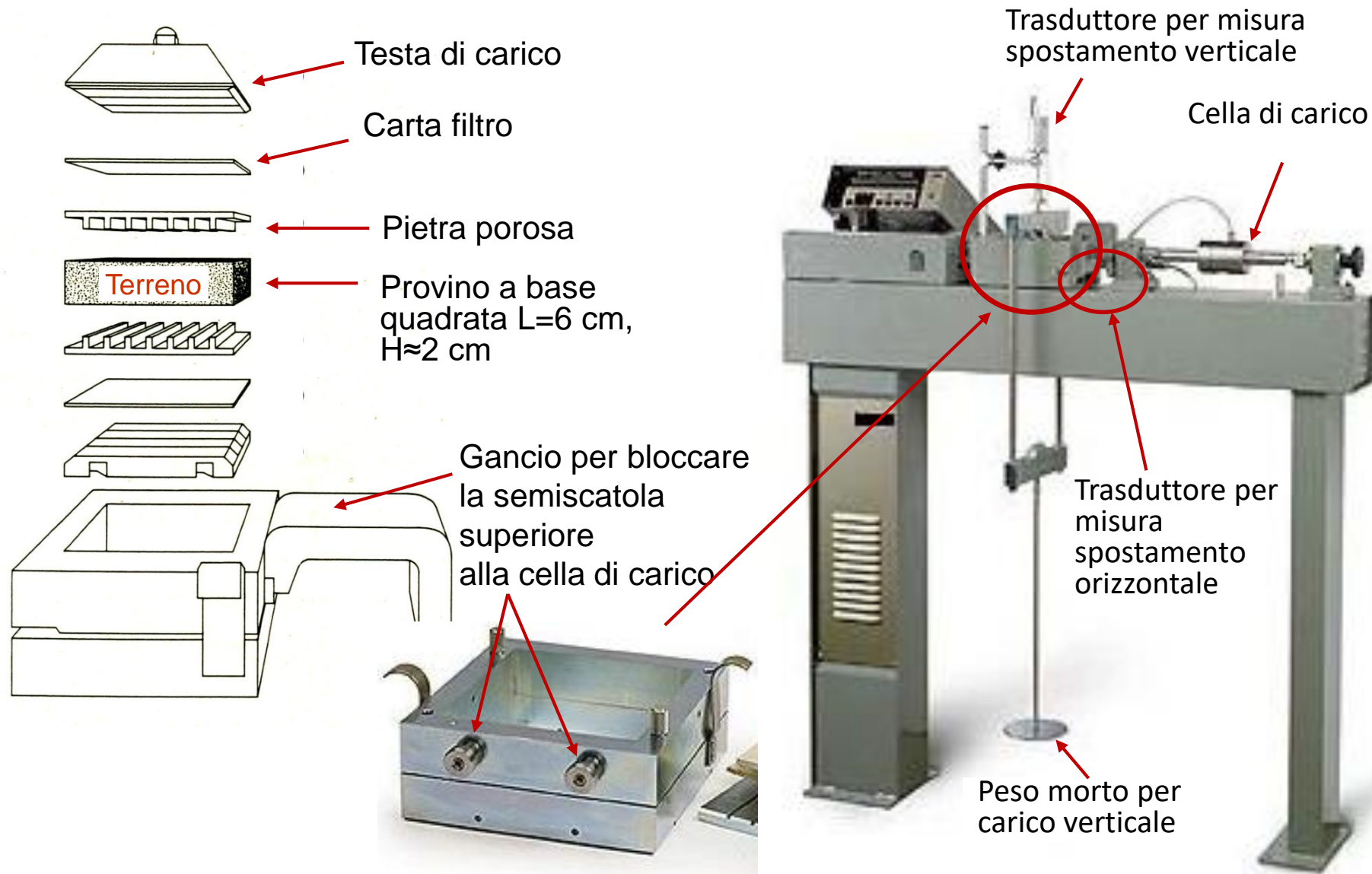
Finalità della prova:

- Valutare la resistenza al taglio di picco, in condizioni ultime o di stato critico e residua;
- La resistenza è descritta SOLO in termini di sforzi efficaci;
- Per i terreni a gran fine, acquisire alcune informazioni sul processo di consolidazione monodimensionale.



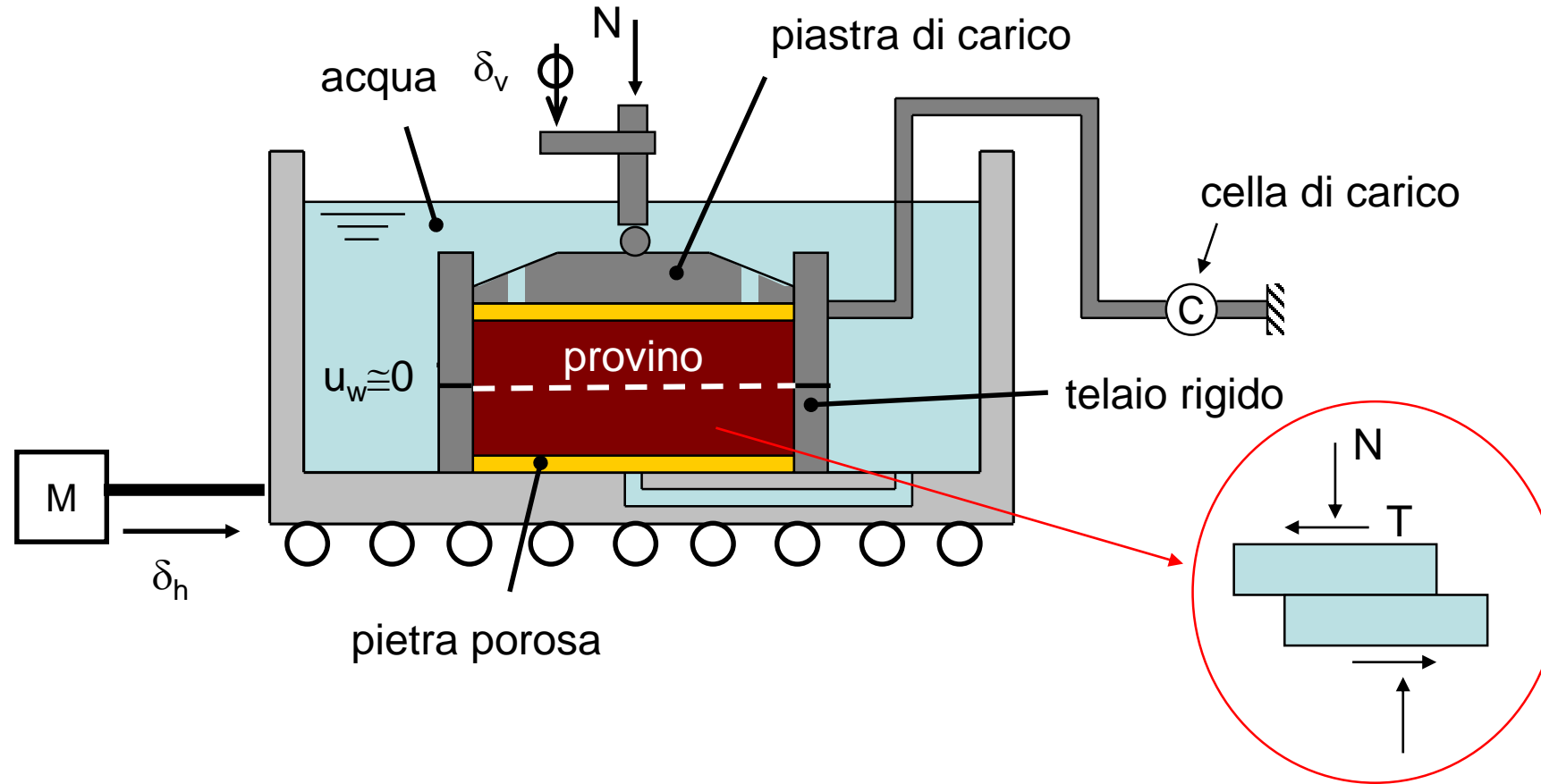
Resistenza al taglio

Apparecchiatura



Resistenza al taglio

Schematizzazione



La semiscatola inferiore può muoversi rispetto alla semiscatola superiore.

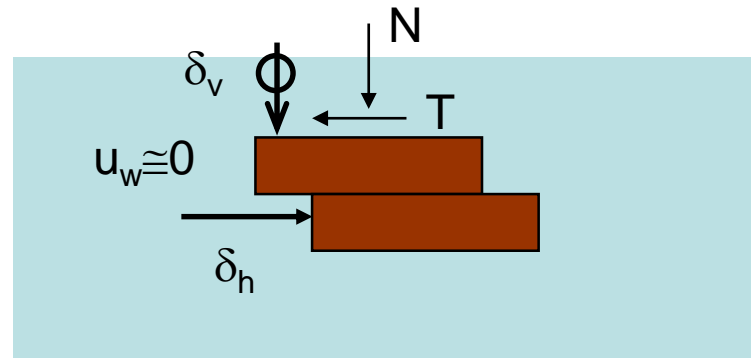
L'apparecchiatura di taglio diretto consente di investigare la **resistenza mobilitata lungo la superficie di scorrimento che separa le due semiscatole**

provino

- Provino quadrato di lato $L \geq 60\text{mm}$;
- Provino rotondo di diametro $D \geq 70\text{mm}$;
- Altezza $H \geq 10\text{ mm}$;
- La dimensione massima delle particelle di terreno $\leq 1/5 H$ (meglio $1/10 H$);
- Rapporto H/L o $H/D \leq 1/3$;
- La prova si esegue su provini di campioni indisturbati (per resistenza di picco) o disturbati (per resistenza ultima e residua).

Resistenza al taglio

Due fasi di prova



Fase 1: consolidazione

Grandezze controllate:

1. N

Grandezze misurate:

1. δ_v

Grandezze calcolate:

1. t_{100}
2. c_v
3. $\sigma_v = \sigma'_v = N/A$
4. $v_h = f(t_{100})$

Fase 2: taglio

Grandezze controllate:

1. N
2. v_h
3. u_w (tramite v_h)

Grandezze misurate:

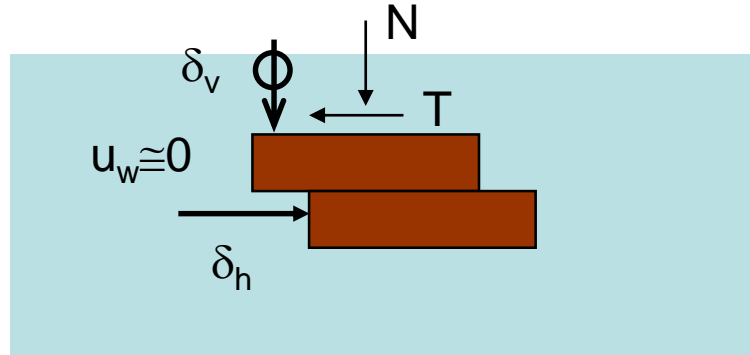
1. T
2. δ_v
3. δ_h

Grandezze calcolate:

1. $\tau = \tau' = T/A$

Resistenza al taglio

Quali Condizioni di Drenaggio?



Durante la fase di taglio **non c'è il controllo delle condizioni di drenaggio e non si misura la pressione interstiziale.**

Pertanto si esegue la prova con una **velocità di spostamento orizzontale sufficientemente piccola** da non provocare l'insorgenza di sovrappressioni interstiziali.

Resistenza al taglio

Calcolo della velocità di taglio



t_{100} , c_v come per la prova edometrica

$$t_f = 12,7 \cdot t_{100}$$

$$v_{h\max} = \frac{\delta_{hf}}{t_f}$$

t_f = tempo necessario per raggiungere la rottura;
 δ_{hf} = spostamento orizzontale per raggiungere la rottura
 v_h = velocità massima di spostamento

Valori indicativi di δ_{hf} sono:

terreno	Δ_{hf} (mm)	terreno	Δ_{hf} (mm)
Argille tenere	8	Argille marnose	1÷2
Argille preconsolidate	2÷5	sabbie	1÷5

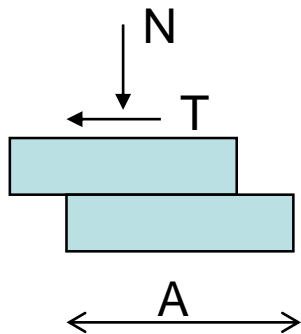
Resistenza al taglio

Condizioni drenate?

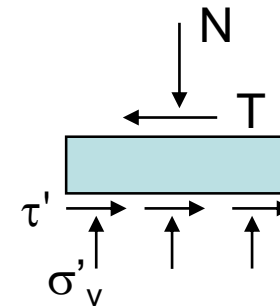


Si ipotizza che assumendo $v_h < v_{hmax}$ la rottura avvenga in **condizioni drenate** senza generazione di sovrappressioni interstiziali.

Sotto tale ipotesi gli sforzi medi normale e tangenziale agenti sulla superficie orizzontale di spostamento (di area A costante) sono:

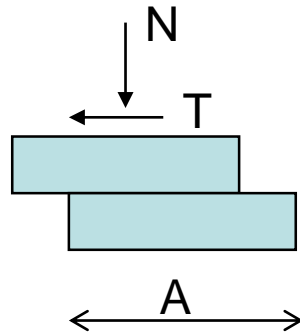


$$\sigma'_v = \sigma_v = \frac{N}{A} \quad e \quad \tau' = \frac{T}{A}$$



Resistenza al taglio

Interpretazione della rottura



$$\sigma'_v = \frac{N}{A} \quad e \quad \tau' = \frac{T}{A}$$

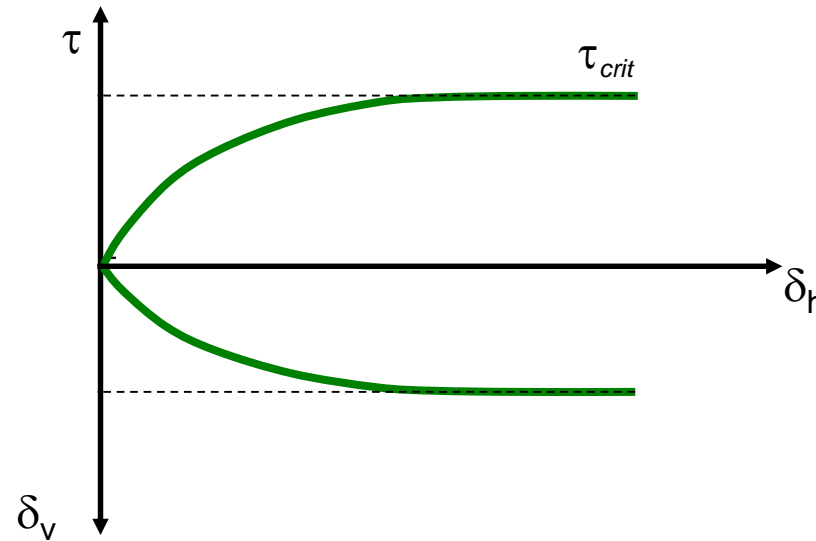
La prova fornisce **soltanto i valori medi τ' e σ'** agenti sul piano di scorrimento orizzontale.

Pertanto essa non ci consente di conoscere lo stato tensionale e deformativo nel provino (**non possiamo disegnare il cerchio di Mohr**).

Elaboriamo la prova assumendo che il rapporto **τ/σ' corrisponda alla massima obliquità**.

Analizziamo i possibili comportamenti

Argille normalmente consolidate o sabbie sciolte

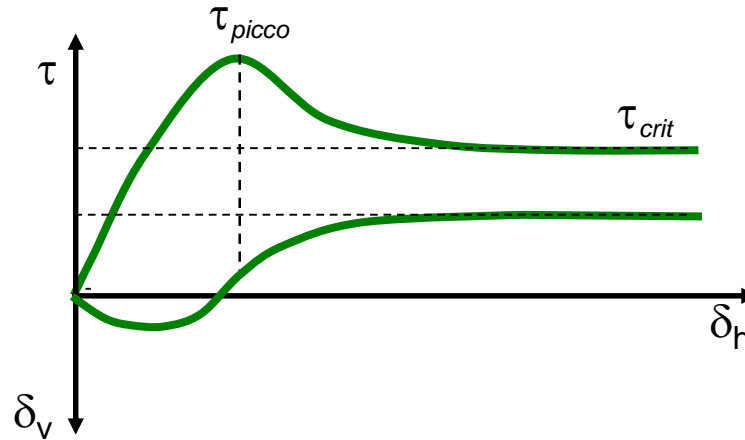


La resistenza si incrementa monotonamente fino al raggiungimento di un **valore costante** τ_{crit} (stato critico)

Il **volume diminuisce** fino a raggiungere un valore costante.

Comportamento **DUTTILE** e **CONTRAENTE**

Argille sovra-consolidate o sabbie dense



La resistenza si incrementa fino a raggiungere un **valore di picco** per poi decrescere e raggiungere un **valore costante** τ_{crit} (stato critico)

Il **volume** inizialmente diminuisce e poi **aumenta** fino a raggiungere un valore costante.

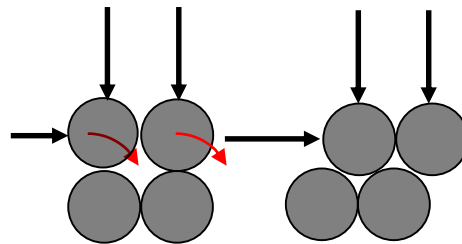
Comportamento **FRAGILE** e **DILATANTE**.

Resistenza al taglio

Interpretazione microstrutturale

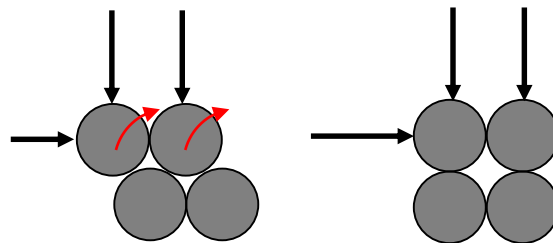


Terre sciolte



I grani si dispongono formando una struttura 'aperta'
Per effetto del taglio, i grani scorrono l'uno sull'altro e la terra tende ad addensarsi

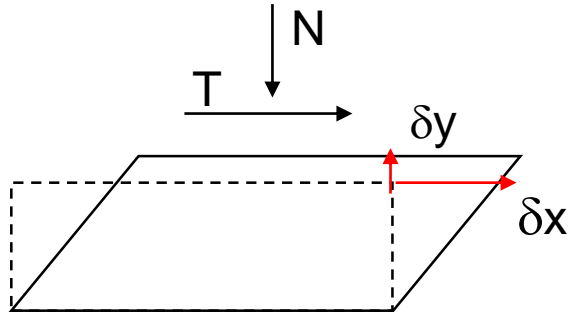
Terre addensate



I grani si dispongono formando una struttura 'addensata'
I grani tendono a scavalcare quelli sottostanti per poter scorrere per effetto dell'azione di taglio

Resistenza al taglio

Il modello energetico di Taylor



Energia fornita al campione

Energia dissipata per attrito

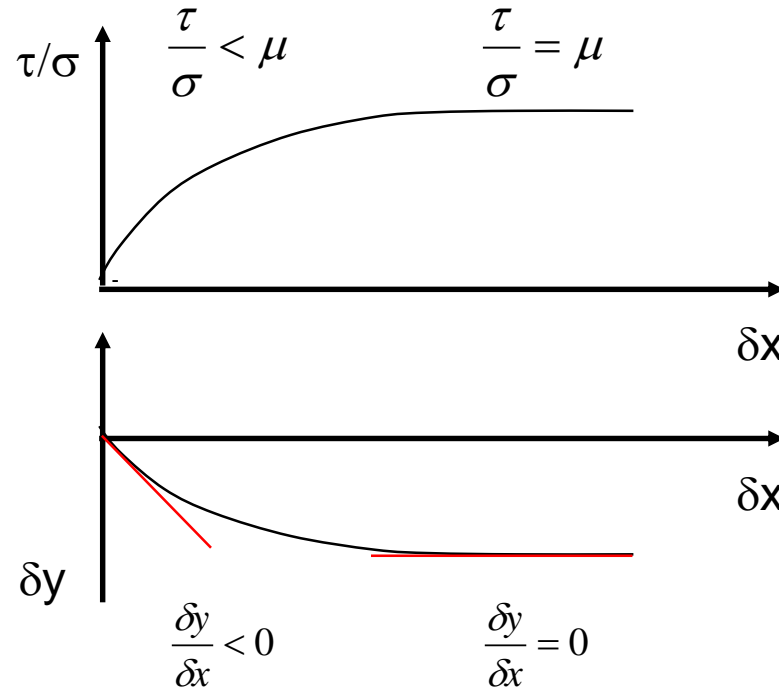
$$T \delta x - N \delta y = \mu (N \delta x)$$

$$\frac{\tau}{\sigma} = \mu + \frac{\delta y}{\delta x}$$

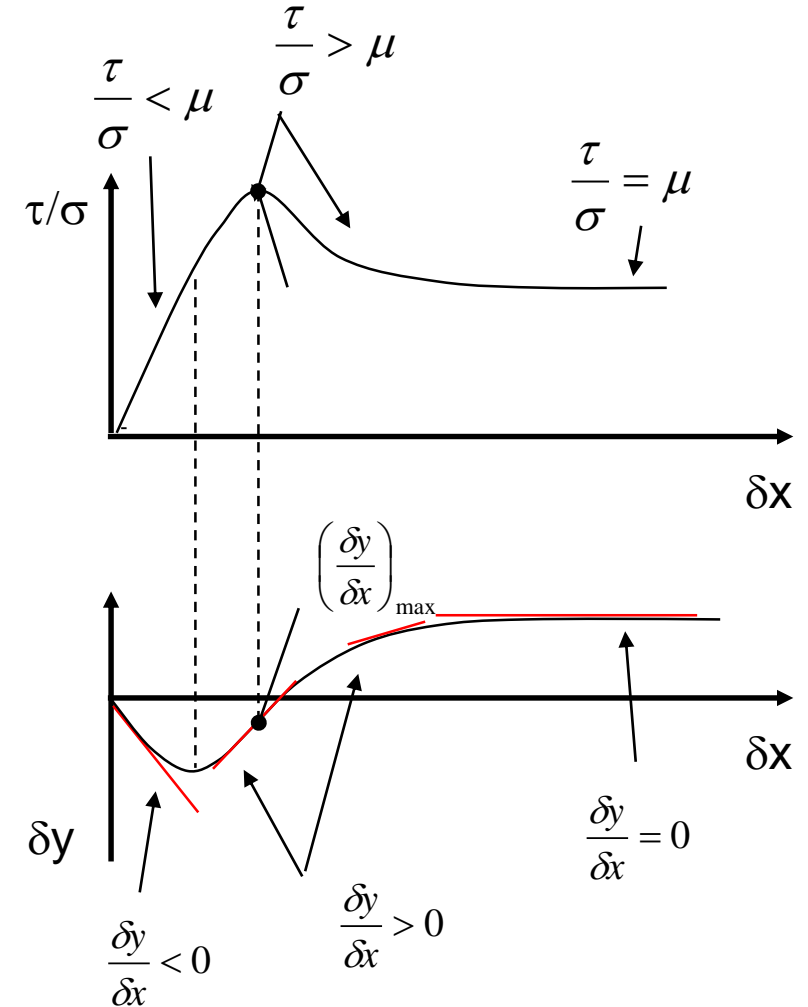
coefficiente di attrito

dilatanza

Comportamento contraente



Comportamento dilatante

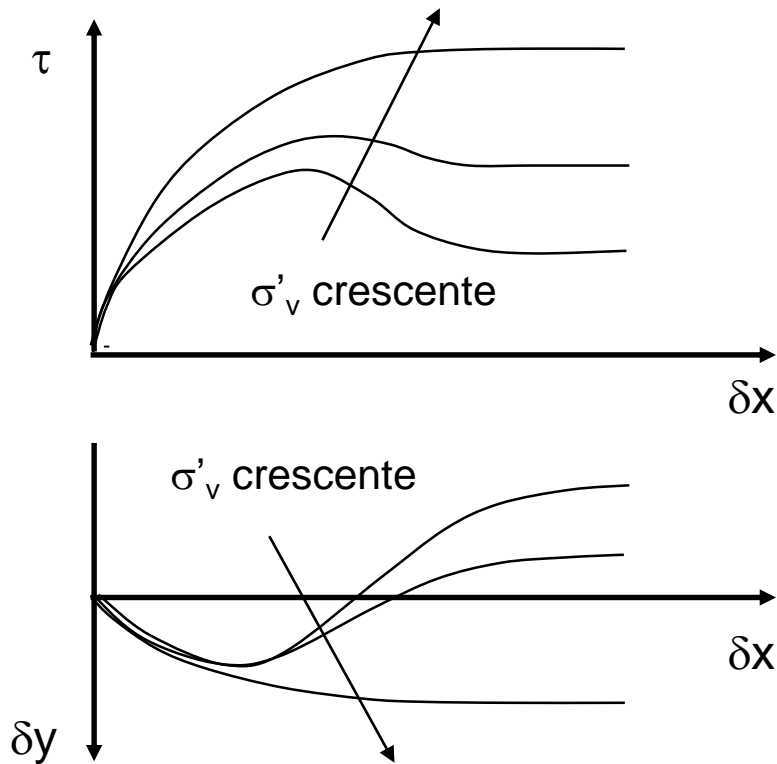


Resistenza al taglio

σ'_v aumenta: da dilatante a contraente



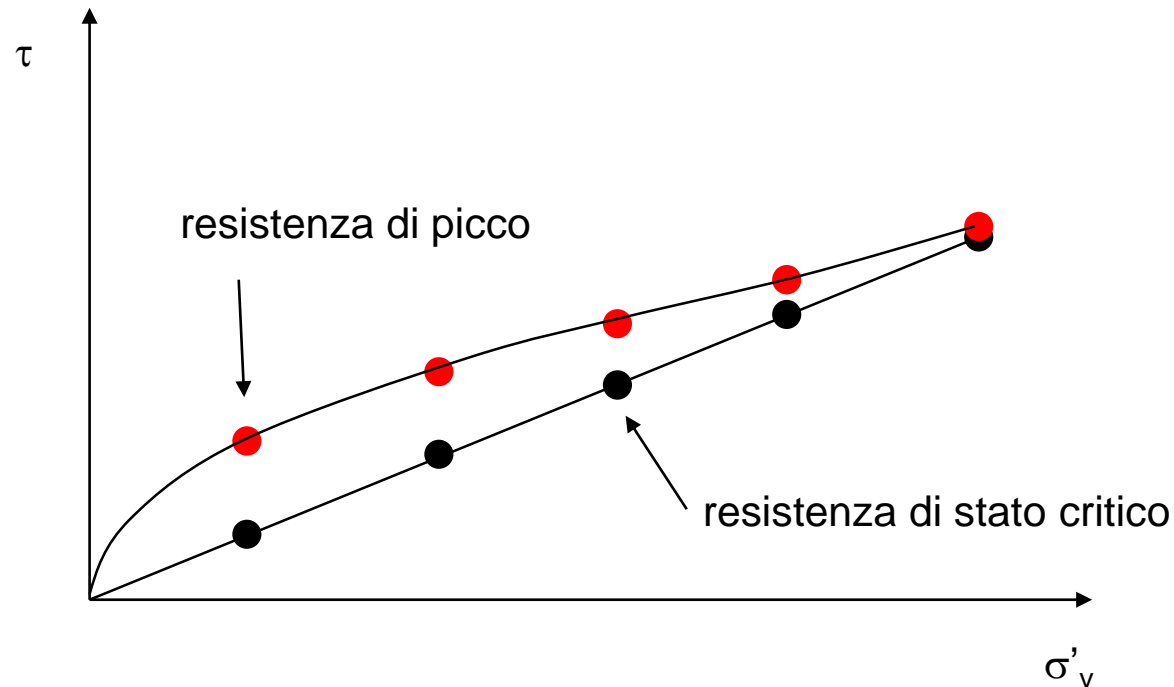
Effetto della pressione verticale sulla resistenza a taglio



L'incremento della tensione verticale tende a sopprimere la dilatanza

Resistenza al taglio

Gli involuipi di rottura: picco e stato critico



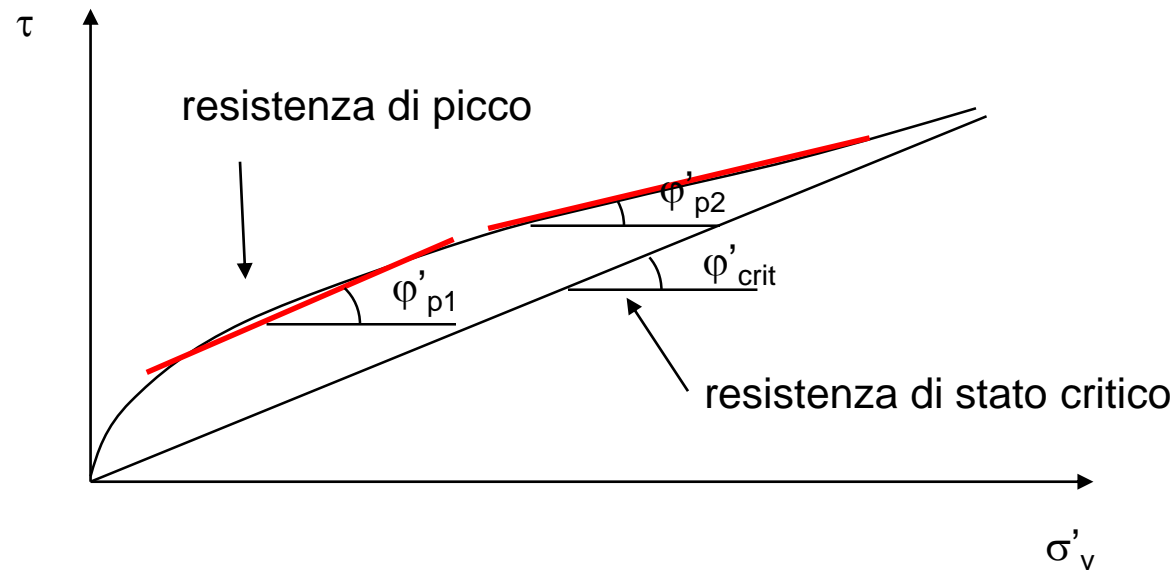
La resistenza di picco ‘converge’ verso la resistenza di stato critico ad alte pressioni verticali

I dati di resistenza di stato critico si dispongono su di una retta passante per l’origine

L’involuppo della resistenza di picco è curvilineo

Resistenza al taglio

Linearizzazione a tratti dell'involuppo di resistenza di picco: angolo



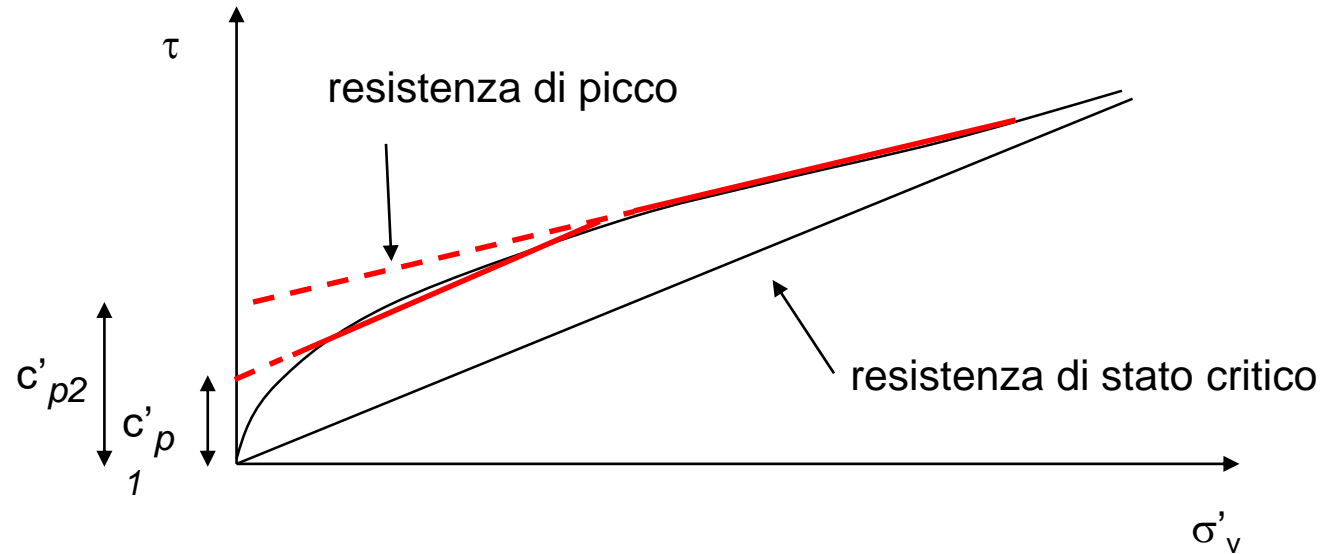
L'angolo di attrito di stato critico può essere considerato un valore caratteristico del terreno

L'angolo di attrito di picco dipende dall'intervallo di pressioni nel quale è eseguita l'interpolazione lineare

L'angolo di attrito è un parametro del modello e **NON** del terreno

Resistenza al taglio

Linearizzazione a tratti dell'involuppo di resistenza di picco: coesione



La coesione è tipicamente nulla per la resistenza di stato critico

La coesione di picco dipende dall'intervallo di pressioni nel quale è eseguita l'interpolazione lineare e rappresenta l'intercetta dell'involuppo lineare più che una 'vera' coesione

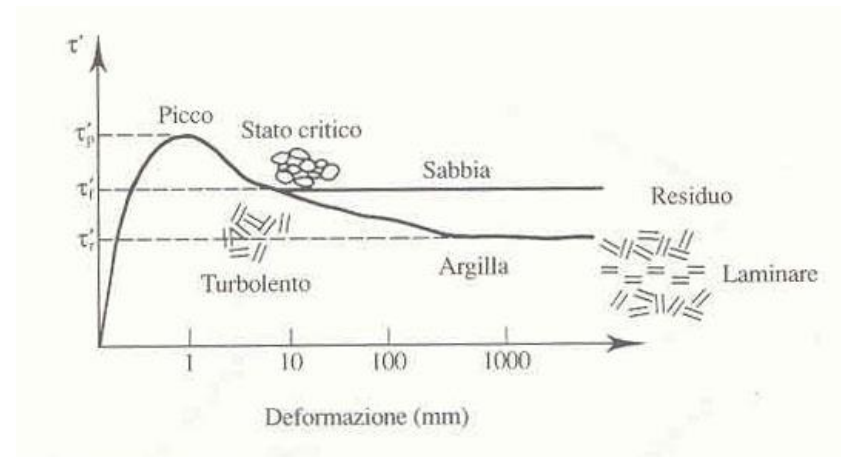
La coesione è un parametro del modello e **NON** del terreno

Resistenza al taglio

Cos'è la resistenza residua?



Per elevati spostamenti δ_h (mediante cicli ripetuti):



Si constata un'ulteriore riduzione della resistenza τ i cui valori si dispongono su una retta nel piano $\tau'-\sigma'_v$:

$$\tau' = \sigma'_v \cdot \tan \varphi'_r$$

Resistenza al taglio

Angoli di resistenza al taglio residua



L'angolo di resistenza residua dipende dalla forma e dalla mineralogia dei grani

Table 14.4 Bonding Along Cleavage Planes, Cleavage Mode, and Residual Strength.

Mineral	Mode of Cleavage	Bonding Along Cleavage Planes	ϕ'_r	Particle Shape
Quartz	No definite cleavage		35 degrees	Bulky
Attapulgite	Along (110) plane	Si-O-Si, weak	30 degrees	Fibrous and needle-shaped
Mica	Good basal (001)	Secondary valence (0.5 to 5 kcal/mole) + K-linkages	17 to 24 degrees	Sheet
Kaolinite	Basal (001)	Secondary valence (0.5 to 5 kcal/mole) + H-bonds (5-10 kcal/mole)	12 degrees	Platy
Illite	Basal (001)	Secondary valence (0.5 to 5 kcal/mole) + K-linkages	10.2 degrees	Platy
Montmorillonite	Excellent basal (001)	Secondary valence (0.5 to 5 kcal/mole) + exchangeable ion linkages	4 to 10 degrees	Platy-filmy
Talc	Basal (001)	Secondary valence (0.5 to 5 kcal/mole)	6 degrees	Platy
Graphite	Basal (001)	van der Waal's	3 to 6 degrees	Sheet
MoS ₂	Basal (001)	Weak interlayer	2 degrees	Sheet

Adapted from Chattopadhyay (1972).

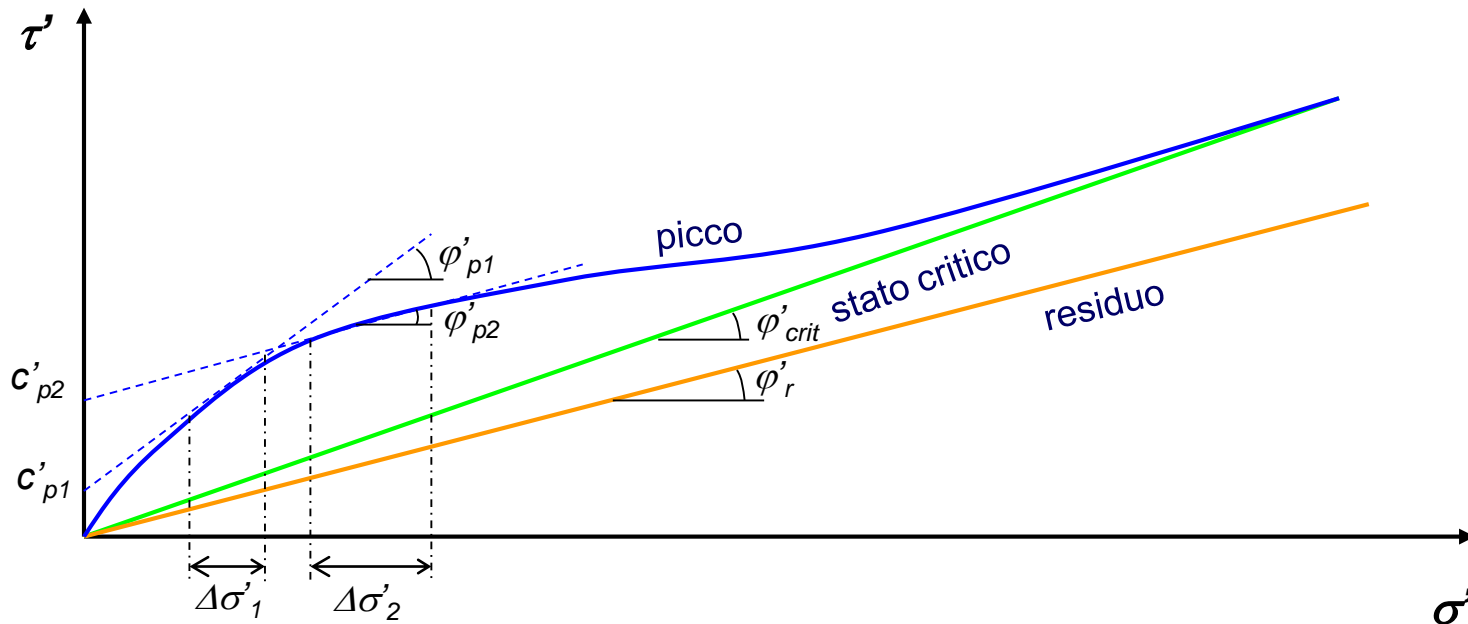
Resistenza al taglio

Gli involuipi di rottura: picco, stato critico, residua



Condizioni drenate (sforzi efficaci)

$$\tau' = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi' \text{ con } \tau' = T/A \text{ e } \sigma' = N/A$$



Resistenza di Stato critico

$$c'_{crit} = 0 \quad \varphi'_{crit} = \text{cost.}$$

Resistenza di Picco

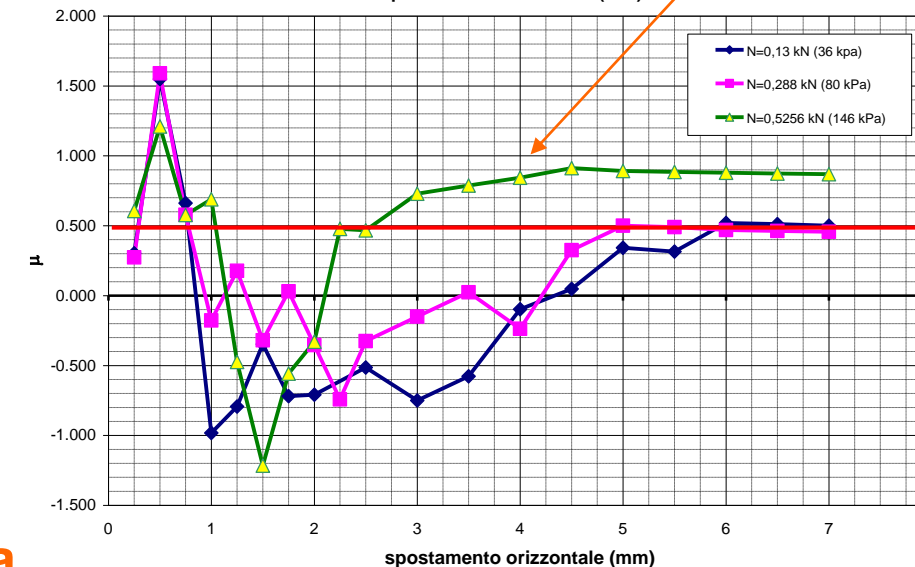
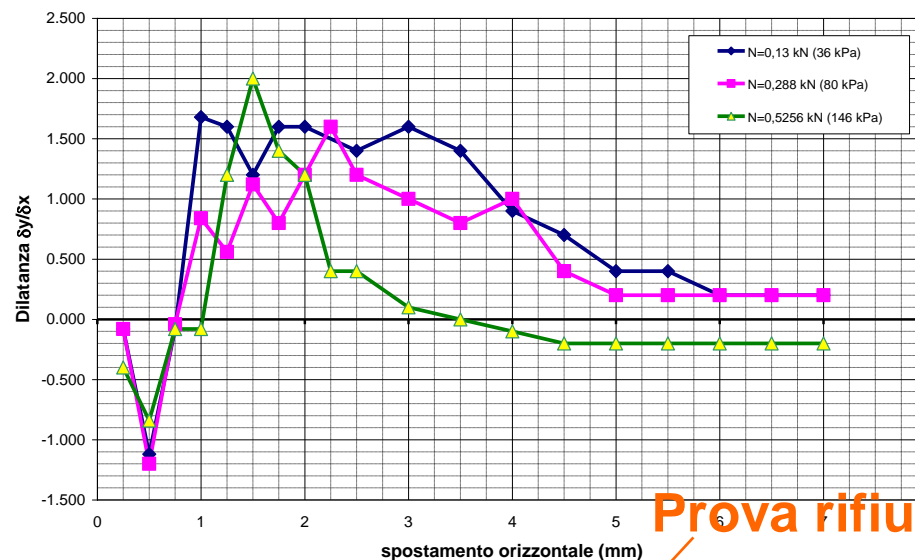
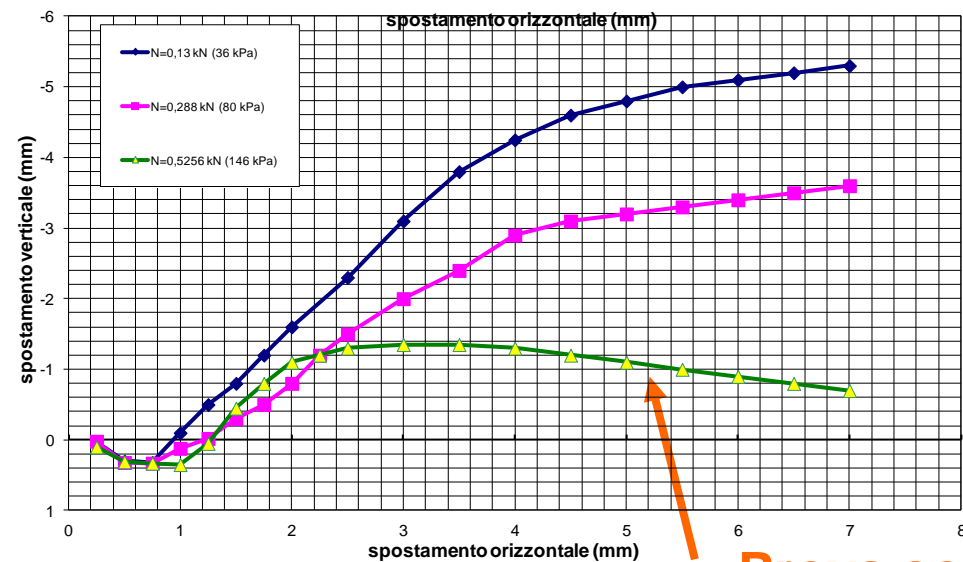
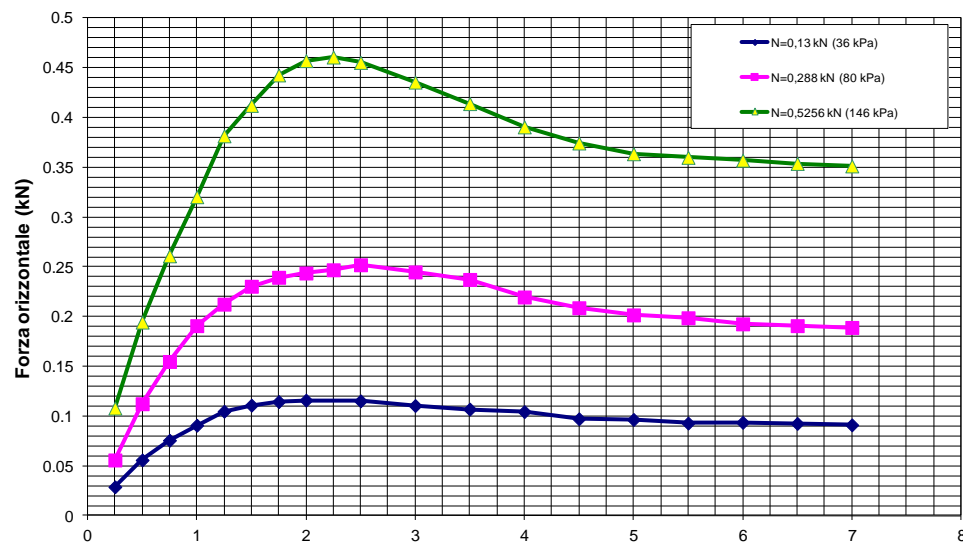
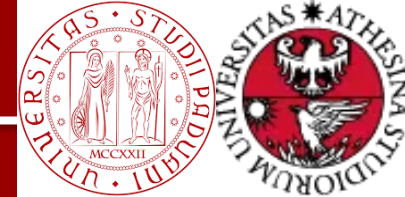
$$c'_{p} = c'_{p}(\sigma') \quad \varphi'_{p} = \varphi'_{p}(\sigma')$$

Resistenza Residua

$$c'_r = 0 \quad \varphi'_r = \text{cost.}$$

Resistenza al taglio

Esempio di interpretazione



Stato critico

$$\mu = \frac{T}{N} = \frac{\delta y}{\delta x}$$

$$\mu = 0,48$$

$$\phi'_{crit} = \arctan(0,48) = 25,6^\circ$$

Prova sospetta

Prova rifiutata

Resistenza al taglio

Esempio di interpretazione



Resistenza di stato critico:

$$\varphi'_{crit} = 25,6^\circ$$
$$c'_{crit} = 0 \text{ kPa}$$

Resistenza di picco:

$$\varphi'_p = 40,7^\circ$$
$$c'_p = 1,3 \text{ kPa}$$

Dato sospetto

