



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# LA GEOLOGIA NEL MONDO DEL LAVORO

SEMINARI DI ORIENTAMENTO PER GLI STUDENTI  
DEL 3° ANNO DELLA LAUREA IN SCIENZE GEOLOGICHE

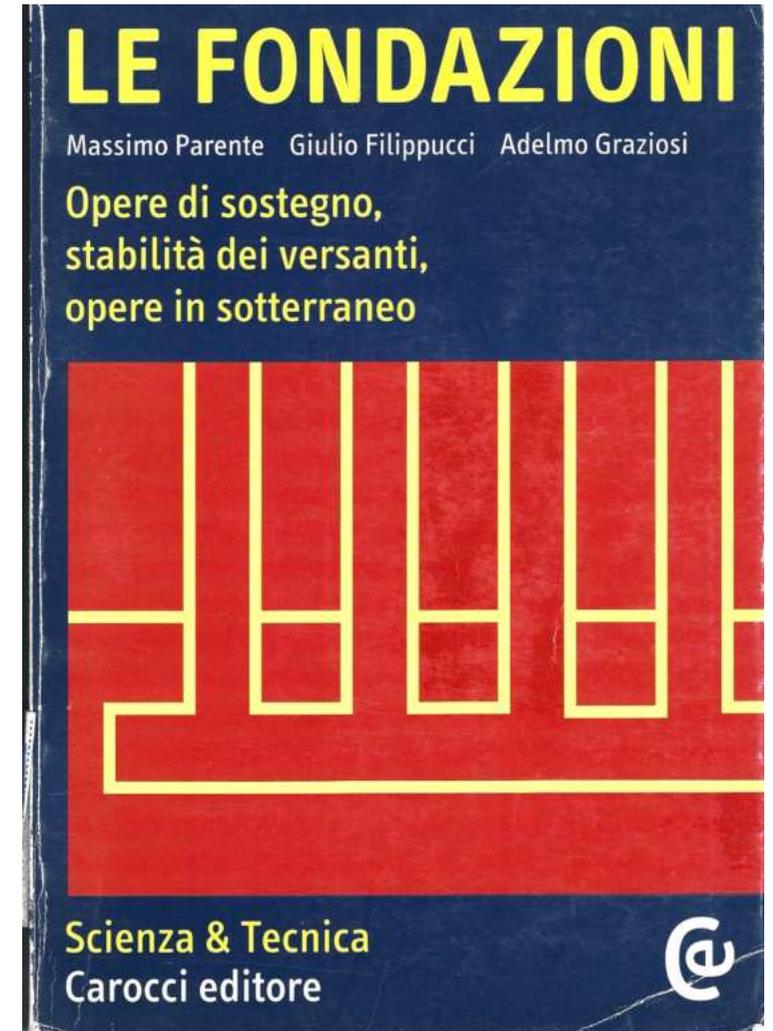
## LA GEOTECNICA DI LABORATORIO (E NON SOLO)

**Ricordando Massimo Parente**

Roma, 28 marzo 2025

Stefano Cianci

**geoplanning**  
SERVIZI PER IL TERRITORIO



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

# «La caratterizzazione geotecnica mediante prove di laboratorio»

## N. 49-2016 notiziario Professione Geologo dell'Ordine dei Geologi del Lazio



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

TIPO DI TERRENO	PROVE DI LABORATORIO												PROVE IN SITO									
	PROPRIETA' INDICI							PROVE MECCANICHE E IDRAULICHE					PROVE PENETROMETRICHE STATICHE			PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE			P. SCISSOMETRICHE	PROVE DI CARICO SU PIASTRA		P. PERMEABILITA'
	Q1 e Q2			Q3 e Q4				Q5														
Granulometria	Limiti di Atterberg	Peso specifico	Compattazione	Contenuto d'acqua E Satur.	Peso di volume e porosità/Vuoti	Prova compressione	Resistenza non drenata	Resistenza drenata	Deformabilità	Consolidazione	Permeabilità	Resistenza alla penetrazione	Coesione non drenata	Resistenza punta/aterale	N° di colpi	Densità Relativa	Angolo di attrito	Coesione non drenata	Cedimenti	Modulo di reazione	Coef. permeabilità	
GHIAIE	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	
SABBIE	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	X	?	-	X	X	X	
LIMI INORGANICI	X	X	X	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-	
LIMI ORGANICI	X	X	X	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	?	X	X	-	
ARGILLE	X	X	X	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-	
ARGILLE ORGANICHE	X	X	X	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-	
ARGILLE SCAGLIOSE	?	?	X	?	X	X	X	?	?	?	?	?	?	?	-	-	-	-	X	X	-	
TORBE	-	-	?	-	?	X	X	?	?	?	X	?	X	-	X	-	-	?	X	X	-	
TERRENI VULCANICI	X	-	X	X	?	?	?	?	?	?	?	X	X	-	?	?	?	-	X	X	X	
ARGILLITI	?	?	X	-	X	?	X	?	?	?	?	?	?	-	-	-	-	-	X	X	?	
ROCCHE TENERE	-	-	X	-	X	X	X	-	X	X	-	?	-	-	-	-	-	-	X	X	X	
ROCCHE	-	-	X	-	-	X	X	-	X	X	-	?	-	-	-	-	-	-	X	X	X	

(X) informazione significativa

(-) informazione non significativa o non possibile da ottenere.

(?)informazione significativa solo in alcuni casi

# IL LABORATORIO DEVE ESSERE

## Autorizzato ai sensi

- del D.P.R. 380/2001, Art. 59
- della Circolare II.TT. 7618/10 STC  
Settore A (terre) e/o B (rocce)

## Di assoluta fiducia

- personale esperto
- tempi congrui

Si possono richiedere estensioni all'autorizzazione per gli aggregati, prove in sito e particolari prove (es.: prove «dinamiche»)

Purtroppo di fatto l'autorizzazione in se' ancora non garantisce livelli qualitativi adeguati

## SCAVI NON CONTRASTATI

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Stabilità a breve termine (A1, A2)	$c_u$ (SLU)	Triassiale CIU <sup>*1</sup> Triassiale UU <sup>*2</sup> Prove ELL <sup>*3</sup>	Prove ELL, scissometriche di laboratorio e Torvane sono da ritenersi indicative <sup>*3</sup>
Stabilità a lungo termine <sup>*4</sup> (A1, A2)	$c'$ (SLU) $\phi'$ (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU <sup>*5</sup> Taglio Diretto <sup>*6</sup>	Condizione di picco
	$\phi_{cv}$ (SLU)	Taglio diretto/ Triassiale CID <sup>*7</sup> Taglio diretto rimaneggiato al LL, Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	$\phi_r$ (SLU)	Taglio anulare e "Taglio diretto in modalità reverse" <sup>**8</sup>	Condizione di rottura con dislocazione estesa su terreni coesivi
Cedimenti del terreno e delle strutture circostanti per aggettamento dell'acqua durante gli scavi (SLE)	$C_c$ $E_d$ $C_v$ $k$	Prove edometriche	Nel caso di terreni granulari dovrà inoltre essere analizzata la possibilità di erosione interna del terreno
		Prove di permeabilità	
Sifonamento del fondo dello scavo sotto falda (HYD)	$k_v$	Prove di permeabilità	Su terreni granulari è preferibile la prova in foro
Rigonfiamento del terreno (SLE)	Pressione di rigonf. Deformaz. di rigonf. Potenziale di rigonf.	Prova di ringofiam. in edometro Prova di ringofiam. in edometro Prova edometrica in mod. Huder-Amberg	

## OPERE DI FONDAZIONE SUPERFICIALI

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Verifica della resistenza del complesso terreno-opera di fondazione a lungo termine (A1, A2)	$c'$ (SLU) $\phi'$ (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU* <sup>5</sup> Taglio diretto* <sup>6</sup>	Il ricorso a parametri non di picco dipende dal progettista geotecnico che dovrà dare indicazioni in merito
Valutazione dei cedimenti al di sotto delle fondazioni e delle opere adiacenti in condizioni non drenate (SLE)	$E_u$	Triassiale UU	Cedimenti immediati
Valutazione dei cedimenti al di sotto delle fondazioni e delle opere adiacenti in condizioni drenate (SLE)	$E_d$ $C_c$ $C_v$	Prove edometriche* <sup>10</sup>	Cedimenti edometrici
	$E_{Young}$	$C_v$ Triassiale CID Prove edometriche* <sup>9*10</sup>	Cedimenti elastici
	$k_v$ $k_h$	Prove di permeabilità in edometro/triassiale	
Sifonamento del fondo dello scavo sotto falda (HYD)	$k_v$	Prove di permeabilità	Su terreni granulari è preferibile la prova in foro

## OPERE DI SOSTEGNO

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Stabilità a breve termine delle opere di sostegno (A1, A2)	$C_u$ (SLU) $E_u$ (SLE)	Triassiale CIU* <sup>1</sup> Triassiale UU* <sup>2</sup>	
Stabilità a lungo termine delle opere di sostegno (A1, A2)	$c'$ (SLU) $\phi'$ (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU* <sup>10</sup> Taglio diretto* <sup>5</sup>	Condizione di picco
	$\phi_{cv}$ (SLU)	Taglio diretto Triassiale CID* <sup>6</sup> Taglio diretto rimaneggiato al LL Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	$E_{Young}$ (SLE) $\nu$ (SLE)	Triassiale CID	
Valutazione allo scorrimento (A1, A2)	$\phi'$ (SLU) $\phi_{cv}$ (SLU)	Taglio diretto Triassiale CIU* <sup>5</sup> Triassiale CD	$c' = 0$ (in sicurezza)
	$C_u$ (SLU)	Triassiale CIU Triassiale UU	L'Adesione è funzione di $C_u$
Valutazione della capacità portante della fondazione profonda) dell'opera di sostegno (A1, A2)			(Cfr. casi applicativi precedenti: fondazione superficiale o
Sifonamento del fondo dello scavo sotto falda (HYD)	$k_v$	Prove di permeabilità	Su terreni granulari è preferibile la prova in foro

## PENDII IN TERRA

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Analisi di stabilità (GEO; EQU)	$c'$ (SLU)	Triassiale CID	Condizioni di picco
	$\phi'$ (SLU)	Triassiale CIU <sup>*10</sup> Taglio diretto <sup>*5</sup>	
	$\phi_{cv}$ (SLU)	Taglio diretto rimaneggiato al LL Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	$\phi_r$ (SLU)	Taglio anulare	Condizione di rottura con dislocazione estesa su terreni coesivi

# LA PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

## INDAGINI DIRETTE

Prove in sito

Prove sui campioni prelevati

come ad esempio:

- Contenuto d'acqua allo stato naturale
- Peso dell'unità di volume
- Peso dell'unità di volume dei granuli solidi
- Analisi granulometrica per sedimentazione e per setacciatura
- ....

Necessità di definire dei modelli matematici semplificati che descrivessero il comportamento dei terreni

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_{ff} - u)\tan\phi' = c' + \sigma'\tan\phi'$$

dove:

$\tau_{ff}$  = resistenza al taglio a rottura

$c'$  = coesione efficace

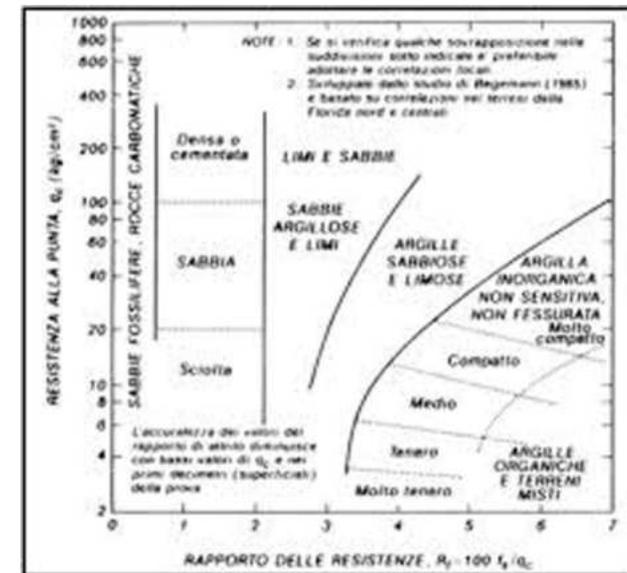
$\sigma' = \sigma_{ff} - u$  = sforzo normale efficace a rottura

$\phi'$  = angolo di attrito efficace

## INDAGINI INDIRETTE

Prove in sito

- Penetrometrie statiche e dinamiche
- Geofisica
- ...



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

Schmertmann (1978)

# LA PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

## INDAGINI DIRETTE

Prove di laboratorio

Tutti i parametri geotecnici risentono degli stati tensionali cui erano e sono sottoposti i campioni

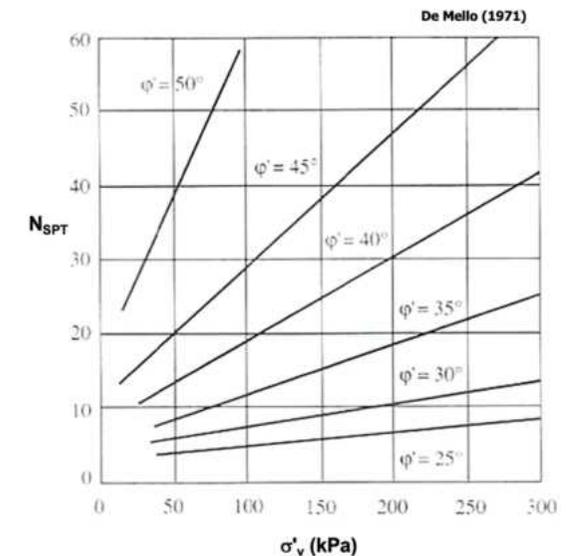
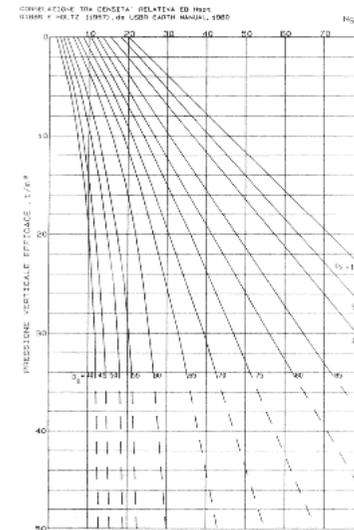
Es.: materiali francamente argillosi in condizioni N.C. vengono definiti «coesivi» ma in realtà non hanno (o è molto molto bassa - trascurabile) coesione.

Il primo degli stati tensionali che viene modificato è quello in sito, durante il prelievo.

## INDAGINI INDIRETTE

Prove in sito

Tutti i parametri geotecnici, i moduli elastici e le principali caratteristiche (compresa la granulometria) sono derivati da formule empiriche che frequentissimamente hanno dei limiti di applicabilità anche piuttosto ristretti



# Classi di qualità dei campioni secondo AGI

A) Campionatore pesante infisso a percussione B) Campionatore a parete sottile infisso a percussione C) Campionatore a parete sottile infisso a pressione D) Campionatore a pistone infisso a pressione E) Campionatore a rotazione a doppia parete con scarpa avanzata					
TIPO DI TERRENO	TIPI DI CAMPIONATORE				
	A	B	C	D	E
a) coerenti poco consistenti		Q 3	Q 4	Q 5	
b) coerenti moderatamente consistenti o consistenti	Q 3 (4)	Q 4	Q 5	Q 5	Q 5
c) coerenti molto consistenti	Q 2 (3)	Q 3 (4)	Q 5*		
d) sabbie fini al di sopra della falda	Q 2	Q 3	Q 3	Q 3 (4)	
e) sabbie fini in falda	Q 1	Q 2	Q 2	Q 2 (3)	
N.B.: Si indicano tra parentesi le classi di qualità Q raggiungibili con campionamento molto accurato. * In terreni coesivi con resistenza alla penetrazione con penetrometro tascabile $>1 \div 2 \text{ Kg/cm}^2$ ( $100 \div 200 \text{ KN/m}^2$ ) può risultare possibile ottenere campioni indisturbati di lunghezza adeguata.					

Caratteristiche geotecniche determinabili	Grado di qualità				
	Q.1.	Q.2.	Q.3.	Q.4.	Q.5.
a) Profilo stratigrafico	x	x	x	x	x
b) Composizione granulometrica		x	x	x	x
c) Contenuto d'acqua naturale			x	x	x
d) Peso dell'unità di volume				x	x
e) Caratteristiche meccaniche (resistenze, deformabilità, etc.)					x
	Campioni disturbati o rimaneggiati			a disturbo limitato	indisturbati

Classi di qualità dei campioni ottenibili da diversi campionatori secondo AGI

Proprietà del terreno/Classe di qualità	1	2	3	4	5
Caratteristiche invariate del terreno					
Granulometria	x	x	x	x	
Contenuto d'acqua	x	x	x		
Densità, indice di densità, permeabilità	x	x			
Compressibilità, resistenza a taglio	x				
Proprietà che possono essere determinate					
Sequenza di strati	x	x	x	x	x
Delimitazione degli strati – generica	x	x	x	x	
Delimitazione degli strati – precisa	x	x			
Limiti di Atterberg, densità delle particelle, contenuto organico	x	x	x	x	
Contenuto d'acqua	x	x	x		
Densità, indice di densità, porosità, permeabilità	x	x			
Compressibilità, resistenza a taglio	x				
<b>Categoria di campionamento da utilizzare</b>	A				
				B	
					C

## Classi di qualità dei campioni secondo l'Eurocodice

Campioni cubici, campionatori ad infissione (shelby, osterberg)

Categoria A: permette di ottenere campioni indisturbati o con disturbi leggeri (parametri indice e chimici inalterati)

Categoria B: permette di ottenere campioni con disturbi moderato (W e composizione chimica inalterata, ma struttura disturbata)

Categoria C: permette di ottenere campioni disturbati (parametri indice e chimici modificati)

Campionatori doppi (Mazier)

Da trivellazioni

# DISTURBO DEL CAMPIONE

## Possibili fonti di disturbo:

- annullamento del deviatore dello stato tensionale in sito.
- rigonfiamento del terreno dovuto alla riduzione delle tensioni efficaci durante la perforazione
- compressione del terreno per effetto dell'eccessiva sollecitazione prodotta dall'avanzamento del campionatore
- presenza di materiale rimaneggiato a fondo foro
- disturbi prodotti dalla penetrazione del campionatore
- disturbo prodotto dal tipo di avanzamento
- trasporto
- conservazione
- estrusione

## Rimedi:

- inevitabile.
- evitare soste tra fine perforazione ed inizio del campionamento
- evitare che la testa del campionatore sia infissa al di sotto del fondo foro
- pulizia del fondo foro;
- usare campionatori con adeguati valori dei fattori geometrici
- avanzamento a pressione
- evitare scossoni e variazioni di temperatura
- conservare in luoghi a temp. ed umidità controllati
- estrarre il campione con continuità evitando ulteriori deformazioni.

# LA DESCRIZIONE (meglio se con foto)

Geometria

Granulometria

Colore

Misure di resistenza speditiva (pocket penetrometer test e vane test)

“Struttura”

Eventuali riferimenti al comportamento dedotto dai Limiti di Atterberg

Reattività all'HCl

Odore (se presente)

Riferimenti alla “natura” del materiale (è interessante se il materiale è di natura vulcanica)

Eventuale descrizione dei clasti, se rilevante (bioclasti, arrotondamento, eterogeneità, ecc.)

# LA GRANULOMETRIA

## SECONDO INDICAZIONI AGI

Frazione maggiore → Tal quale

Frazioni successive → ... con (se presenti con percentuale  $\geq 25\%$ )

→ ... --osa (se presenti con percentuale  $25\% > P \geq 10\%$ )

→ ... debolmente --osa con (se presenti con percentuale  $10\% > P \geq 5\%$ )

# IL GRADO DI CONSISTENZA

Secondo il valore del pocket su terreni in prevalenza argilloso-limosi

Pocket (Kg/cm <sup>2</sup> )	Consistenza
< 0.25	Molto molle
0.25 – 0.50	Molle
0.50 – 1.00	Plastico
1.00 – 2.00	Consistente
2.00 – 4.00	Molto consistente
> 4.00	Duro

## IL COLORE

Munsell soil color chart



## DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

### CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	<b>non dichiarata</b>	Forma del campione:	<b>cilindrica</b>
Tipo di campionatore (dichiarato):	<b>non dichiarato</b>	Diametro della carota $\phi$ :	<b>85 mm</b>
Contenitore:	<b>fustella metallica</b>	Lunghezza della carota:	<b>500 mm</b>
Diametro esterno $\phi$ del contenitore:	<b>90 mm</b>	Classe di Qualità (dichiarata):	<b>non dichiarata</b>
Lunghezza del contenitore:	<b>610 mm</b>	Società di perforazione che ha prelevato il campione:	<b>non dichiarata</b>
Data di prelievo del campione:	--	Data di apertura Commessa:	09/03/12
Data di consegna del campione:	09/03/12	Data di apertura del campione:	16/03/12
Verbale di ricezione campioni n°:	--	Stoccaggio: in camera ad umidità e temperatura controllate	
Data di inizio prova:	16/03/12	Data di fine prova:	16/03/12

SCHEMA DEL CAMPIONE	LUNGH.	POCKET	VANE	PROVE	DESCRIZIONE
	cm	PENETR. kPa (M.I.)	TEST kPa (M.I.)	ESEGUITE	
ALTO	300	300		$W_s$	
10	> 450		N.E.	Gran. $\gamma_s$	
20	> 450		N.E.	Lim.	
30	300		N.E.	$W_s$ $\gamma_s$	
40	400		N.E.	TD1	
50				TD2	
60				TD3	
70	BASSO				

Limo sabbioso e argilloso marrone-olivastro, da molto consistente a duro, a struttura caotica, poco plastico ed inattivo relativamente alle caratteristiche mineralogiche, reattivo ad HCl. Si rinvencono frammenti di gusci di molluschi (bioclasti).

Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità, presentava forma normale con le superfici laterali esterna ed interna sufficientemente lisce e prive di protuberanze visivamente apprezzabili. Il filo della scarpa, di forma normale, era poco arrugginito e non affilato. Il campione era isolato con paraffina (5 mm in alto e 1 mm in basso). Sono stati eseguiti pocket penetrometer test trasversalmente alla carota a 26 cm circa dall'alto, che hanno evidenziato valori di resistenza (nell'ordine dall'esterno verso l'interno) di 400, 450 e 450 kPa. Durante l'esecuzione di tutti i pocket penetrometer test, il campione si è fessurato.

# PROVE FISICHE

- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

## PROVE DI LABORATORIO SULLE TERRE

- Contenuto d'acqua allo stato naturale
- Peso dell'unità di volume
- Peso dell'unità di volume dei granuli solidi
- Analisi granulometrica per sedimentazione e per setacciatura
- Limiti di consistenza o di Atterberg (Liquido, Plastico, di Ritiro)
- Prova di compressione uniassiale non confinata - ELL
- Prova edometrica
- Prove di rigonfiamento
- Prova di taglio diretto con apparecchio di Casagrande
- Prove di compressione triassiale (UU, CIU e CID)
- Prova di compattazione con modalità AASHTO standard o modificata
- Prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR
- Prova di permeabilità con permeametro a carico variabile o costante
- Prova di permeabilità in cella edometrica o cella triassiale
- Densità relativa
- Contenuto in sostanze organiche
- Tenore dei carbonati, pH
- Prove in colonna risonante (RC) (basse e medie deformazioni)
- Prove triassiali cicliche (TxC) (elevate deformazioni)
- Taglio torsionale ciclico (TTC) (elevate deformazioni)
- Carico su piastra
- Densità in sito
- K<sub>0</sub>
- Huder-Amberg
- Prove di carico su pali

# PROVE FISICHE

- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

Quando chiederli

Esecuzione

Strumenti tarati

Sempre, anche con campioni disturbati (non particolarmente utili su materiali sciolti)

Semplice, tempistiche ridotte, costi bassi

Bilancia e “misuratori” (fustelle e/o calibri)



## PROVE FISICHE

- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- **Peso di volume dei grani**
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

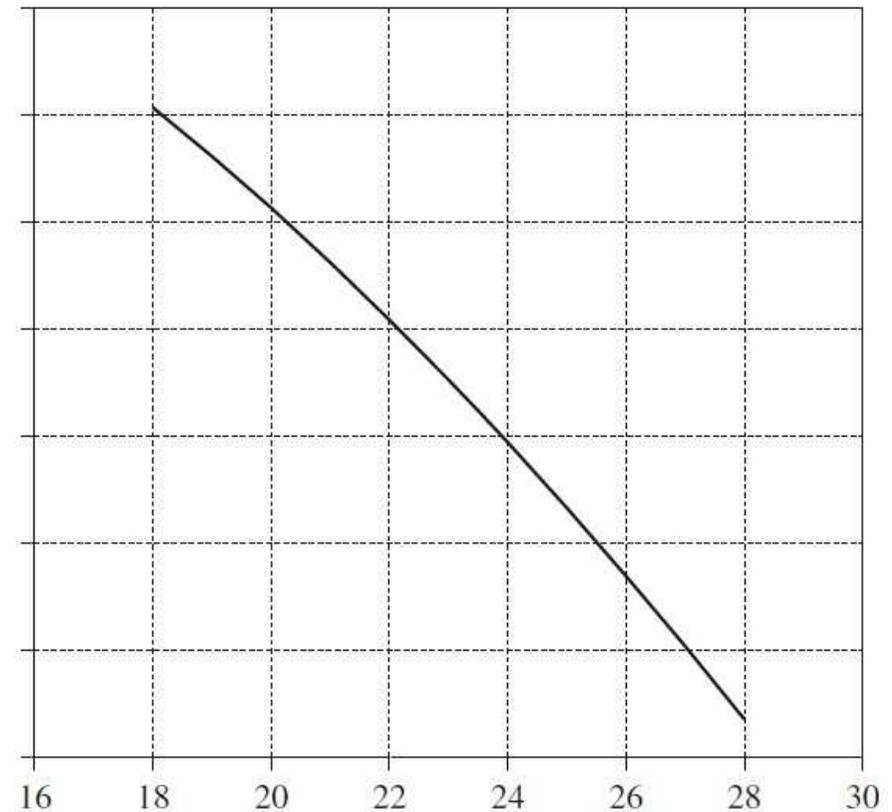


Si ricava il peso di volume delle sole particelle solide (è dimensionale).

Per ricavare il volume delle particelle, si misura il volume d'acqua che il terreno occupa (si fa tramite confronto con un picnometro riempito di sola acqua).

Deve essere sempre nota la temperatura sia del sistema picnometro+acqua+terreno sia del picnometro+acqua.

E' possibile ricavare la curva che definisce il peso del picnometro con la sola acqua alle diverse temperature (curva di calibrazione).



Il risultato è normalizzato ad una specifica temperatura (20° C).

Il rapporto tra il peso di volume dei grani ed il peso di volume dell'acqua a 20°C definisce il peso specifico assoluto (adimensionale), il quale è indispensabile per eseguire un gran numero di calcoli (es.: indice dei vuoti e quindi la porosità, il grado di saturazione, l'elaborazione della sedimentazione, ecc.)

Quando chiederlo

Sempre in concomitanza di prove meccaniche (in particolare ED e Tx) e della sedimentazione

C

Esecuzione

Mediamente complessa, tempistiche relativamente corte, costo medio

Strumenti tarati

Bilancia e termometro

## proprietà fisiche

sono le caratteristiche dei terreni riferibili a grandezze fisiche (come il peso, il volume e le dimensioni) e geometriche dei grani.

## parametri di stato

sono grandezze che descrivono lo stato “naturale” del terreno, e dipendono dallo stato tensionale e “*deformazionale*” (presente e passato): il peso di volume, il grado di saturazione la compressibilità sono alcuni esempi di parametri di stato.

## parametri indice

caratterizzano il terreno indipendentemente dallo stato in cui si trova in sito

la porosità è un parametro di stato in quanto dipende dallo stato tensionale, mentre il peso di volume dei grani è un parametro indice, in quanto non dipende da nessuna peculiarità caratteristica riscontrabile in sito.

# PROVE FISICHE

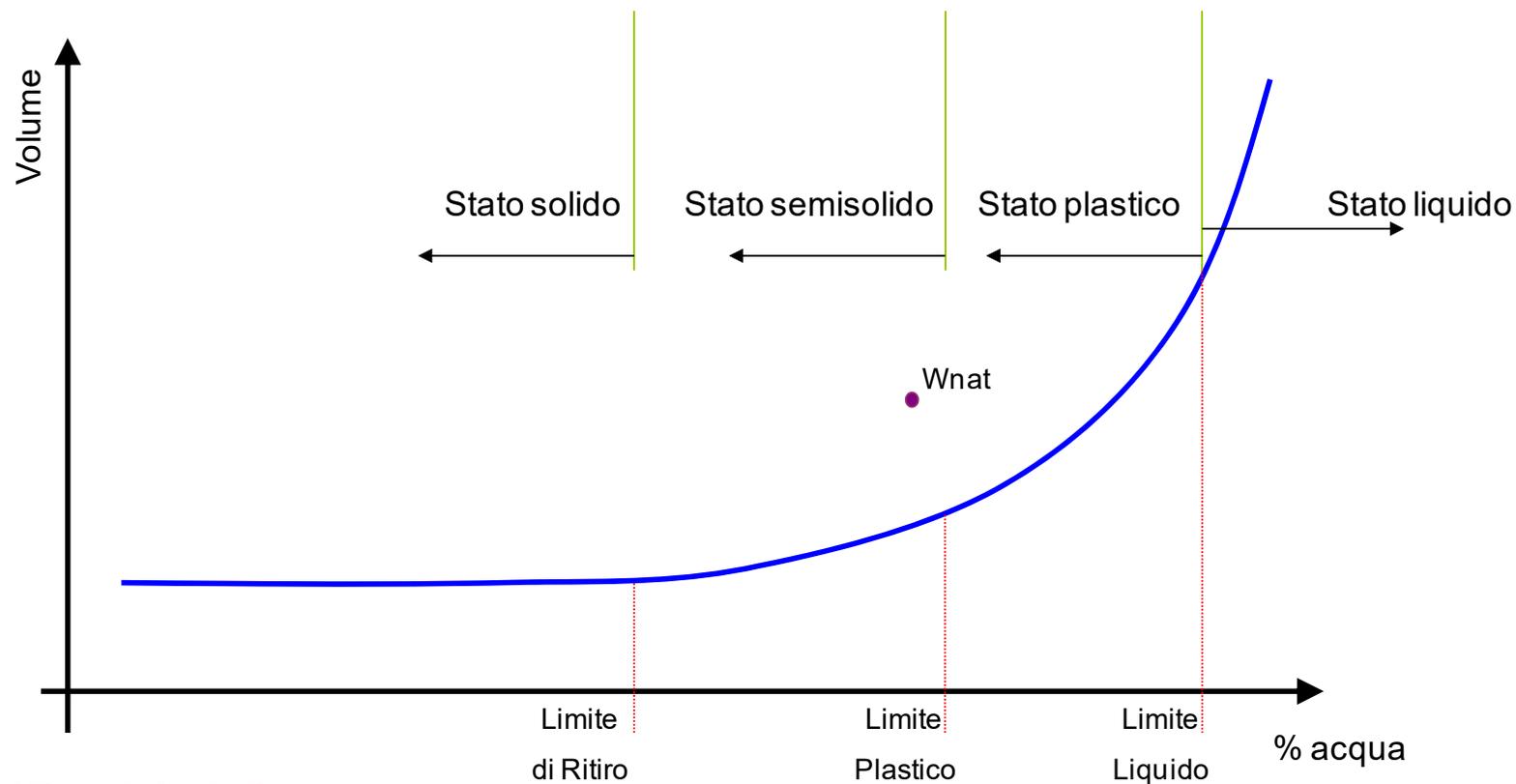
- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

## Limiti di Atterberg

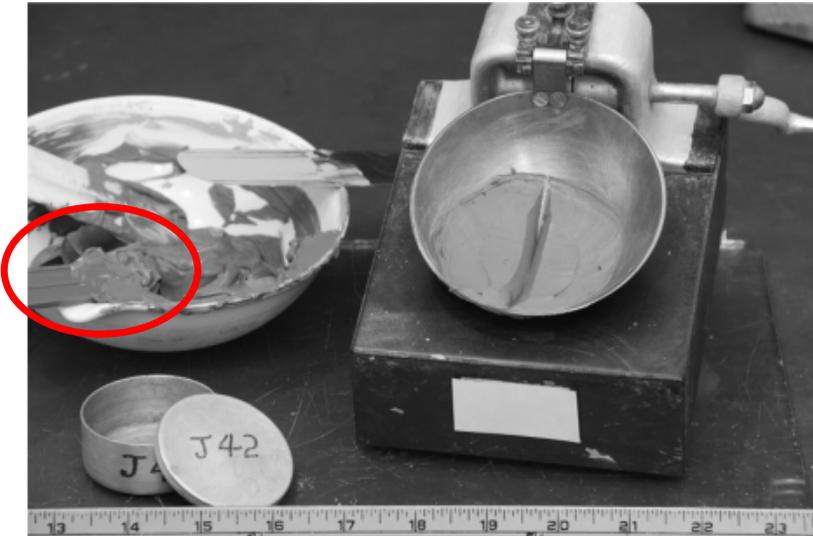
Limite Liquido

Limite Plastico

Limite di Ritiro



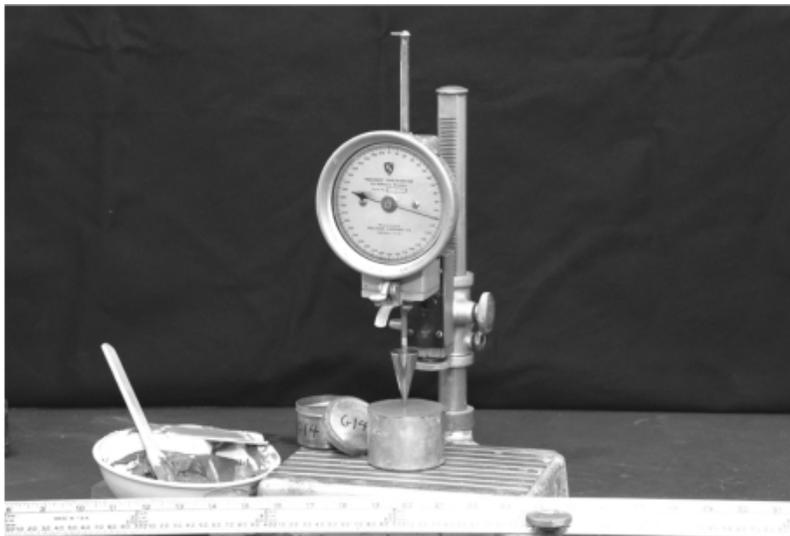
**Indice Plastico  $IP = LL-LP$**



Coppella di  
Casagrande



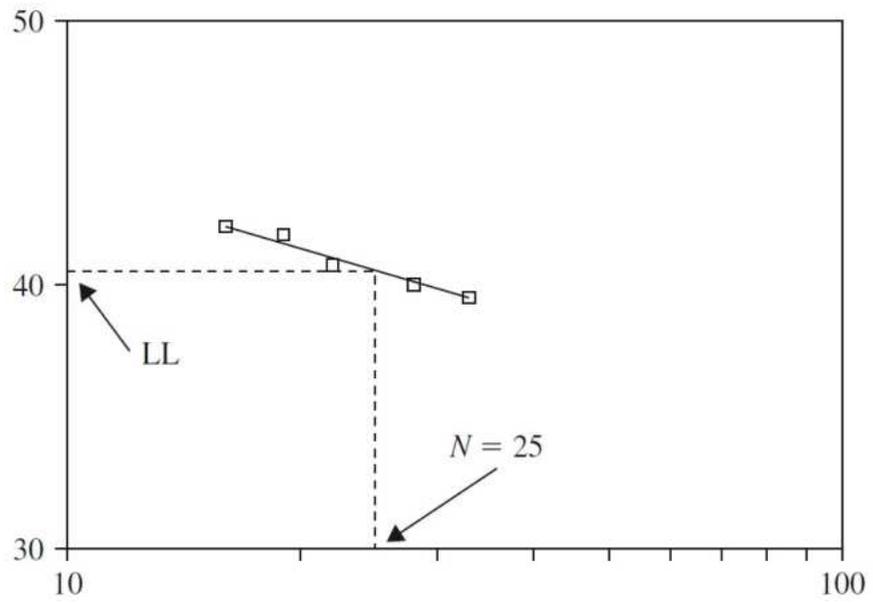
Rollatura del  
bastoncino



Cono  
“inglese”



Metodo a  
cera



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

**CARATTERISTICHE DI PLASTICITÀ**

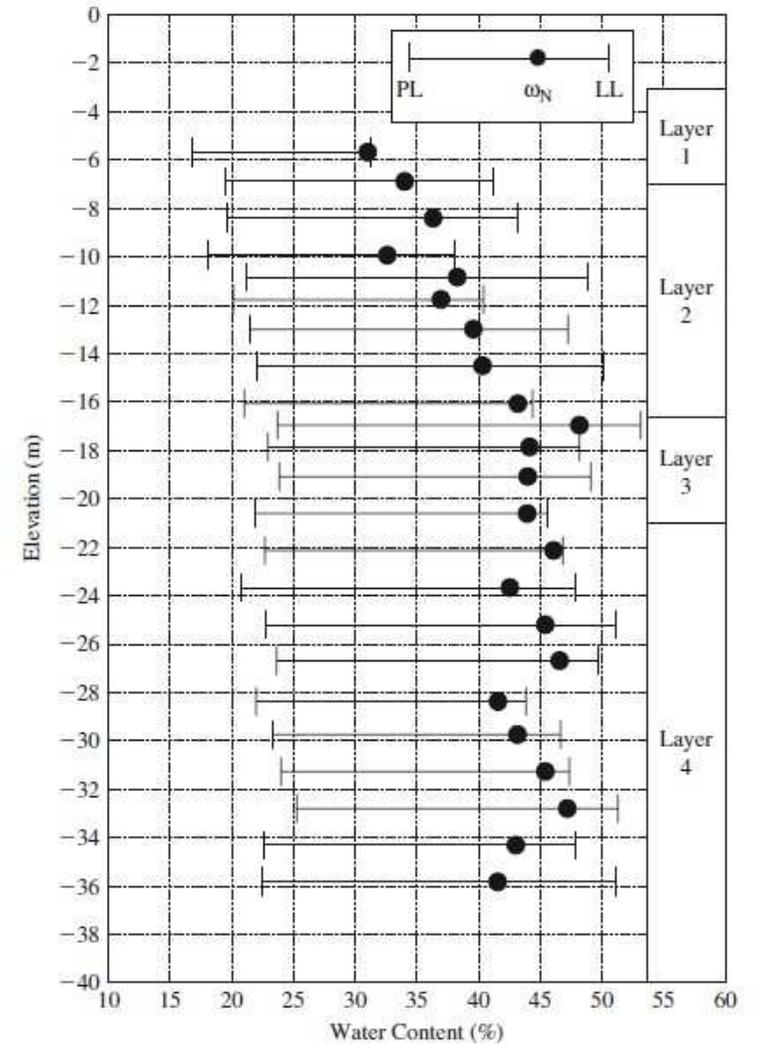
Indice Plastico IP	Caratteristiche di plasticità del terreno
$0 < IP \leq 5$	Non plastico
$5 < IP \leq 15$	Poco plastico
$15 < IP \leq 40$	Plastico
$IP > 40$	Molto plastico

**CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA**

Indice di Consistenza IC	Condizione	Caratteristiche di consistenza del terreno
$IC < 0$	$W_n > W_{ll}$	Fluida
$0.00 < IC \leq 0.25$	$W_n < W_{ll}$	Fluido-plastica
$0.25 < IC \leq 0.50$		Molle-plastica
$0.50 < IC \leq 0.75$		Plastica
$0.75 < IC \leq 1.00$		Solido-plastica
$IC > 1$	$W_n > W_{lr}$	Semisolida
$IC > 1$	$W_n < W_{lr}$	Solida

**CARATTERISTICHE DI ATTIVITÀ**

Attività A	Caratteristiche di attività del terreno
$A < 0,75$	Inattivo
$0,75 < A < 1,25$	Normalmente Attivo
$A > 1,25$	Attivo



Quando chiederli

LL + LP sempre se il materiale è fine e comunque se necessitate di una classificazione LR nel caso di cedimenti e rigonfiamenti

Esecuzione

Mediamente complessa, tempistiche relativamente corte (qualche giorno), costo medio

Strumenti tarati

Bilancia (e calibrazione della Coppella)

# PROVE FISICHE

- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

**Vagliatura** Eseguita sulla frazione grossolana, definisce certamente la percentuale di ghiaia ma non sempre la sabbia (dipende dalla norma).

Utilizza setacci (bossoli in acciaio con rete metallica a maglia quadrata) con nomenclatura differente secondo lo slot (apertura nominale o luce netta in mm) o del mesh size (numero di fili della maglia per pollice).

Espressa in % di materiale secco cumulato (usualmente approssimata all'intero)

**Sedimentazione** Eseguita sulla frazione fine (minore di circa 0,07 mm, secondo la norma), definisce certamente la percentuale di argilla ma non sempre il limo.

Utilizza una miscela di acqua e terreno (ed elementi ossidanti ed anti-addensanti), la cui variazione di densità nel tempo (causa sedimentazione delle particelle) determina il “movimento” del densimetro (areometro); è detta anche areometria.

E' espressa in % (usualmente approssimata all'intero).



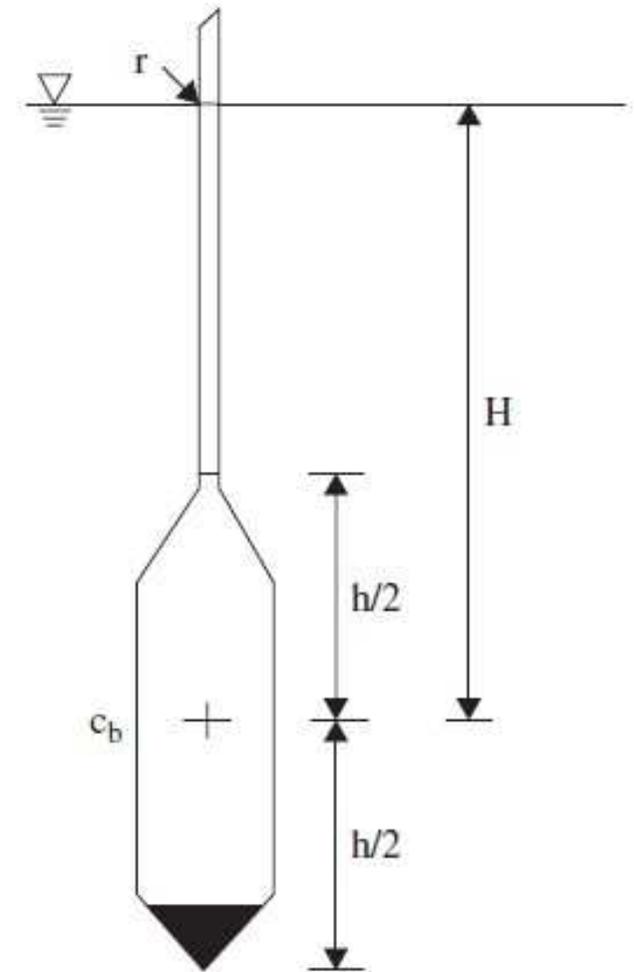
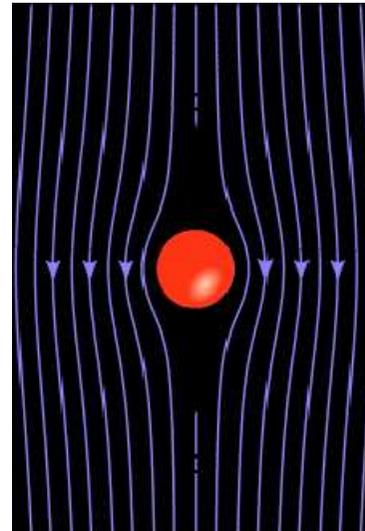
La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

L'analisi granulometrica per setacciatura viene eseguita con una serie di setacci, sovrapposti con apertura via via decrescente dall' alto verso il basso, fatti vibrare in modo che i granuli vengano separati in frazioni pressoché uguali e trattenuti nei setacci col diametro corrispondente. La colonna di setacci viene generalmente appoggiata su uno scuotitore meccanico, chiamato "vibrovaglio". Il vibrovaglio scuote la colonna per un determinato lasso di tempo, passato il quale si procede alla pesatura delle frazioni di solido trattenute in ciascun setaccio.

**SECCA** viene eseguita sul terreno tal quale se la frazione fine è estremamente ridotta (< 10%)

**UMIDA** Il terreno viene lavato con acqua col setaccio N200 (o N230 secondo la norma): il passante viene sottoposto a sedimentazione, il trattenuto a vagliatura

L'analisi granulometrica per sedimentazione sfrutta le caratteristiche del densimetro ed applica la legge di Stokes sulla sedimentazione delle particelle in un mezzo (acqua con elementi ossidanti ed anti-addensanti). Si assume sferica la forma delle particelle con sedimentazione in assenza di moti turbolenti. Dipende dalla viscosità del mezzo, dal tempo e dal peso specifico assoluto.



Quando chiederla

Sempre

Esecuzione

Mediamente complessa, tempistiche non corte  
(qualche giorno), costo medio-alto

Strumenti tarati

Bilancia, termometro + areometro e setacci  
“calibrati”

## ANALISI GRANULOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-4)

Descrizione granulometrica del campione: SABBIA LIMOSA E ARGILLOSA.

GHIAIA > 2 mm	0	%	SABBIA 0.06 - 2 mm	64	%	LIMO 0.002 - 0.06 mm	23	%	ARGILLA < 0.002 mm	13	%
PASSANTE AI SETACCI	N 10 2 mm	100	%	N 40 0.425 mm	99	%	N 200 0.075 mm	38	%		

Coefficiente di uniformità

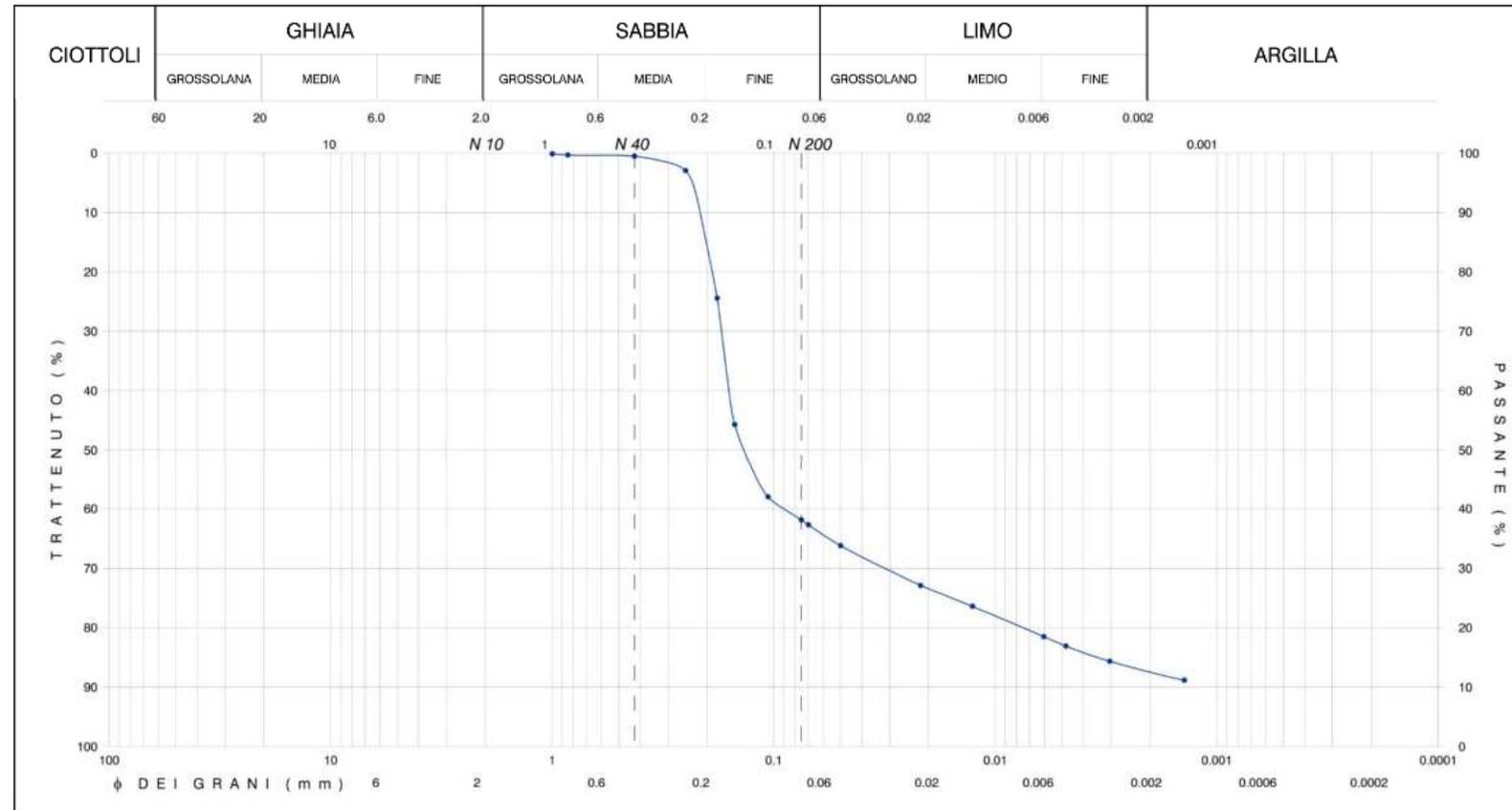
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$C_u = 194$  ca.

Coefficiente di curvatura

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

$C_c = 7,3$  ca.



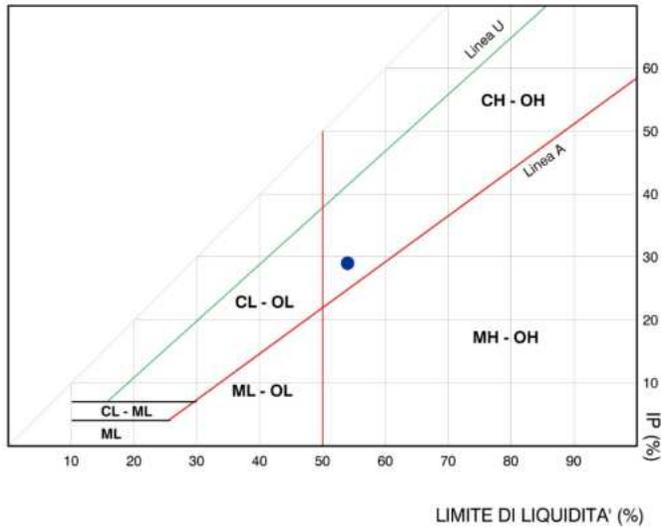
La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

Terreni a grana grossa passante al 200 $\leq$ 50%	Gruppo	Descrizione	Sottogruppo	Caratteristiche
	G	Ghiaie La maggior parte della frazione è trattenuta al setaccio 4.		GW
GP				fine < 5%;
GM				fine > 12%; $PI < 4$ o sotto retta A
GC				fine > 12%; sopra retta A con $PI > 7$
S	Sabbie La maggior parte della frazione passa al setaccio 4.		SW	fine < 5%; $U > 6$ $1 < C < 3$
			SP	fine < 5%;
			SM	fine > 12%; $PI < 4$ o sotto retta A
			SC	fine > 12%; sopra retta A con $PI > 7$

Terreni a grana fine passante al 200 > 50%	Gruppo	Descrizione	Sottogruppo	Caratteristiche
	C	Argille inorganiche		CL
CH				$W_L > 50\%$
M	Limi inorganici		ML	$W_L < 50\%$
			MH	$W_L > 50\%$
O	Limi e argille organici		OL	$W_L < 50\%$
			OH	$W_L > 50\%$

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



# SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE

U.S.C.S. (A.S.T.M. D1140)

UNI 11531 (sostituisce in toto UNI 10006)

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0.063 mm $\leq$ 35%						Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0.063 mm > 35%				Torbe e terre organiche palustri		
	A1		A3	A2		A4	A5	A6	A7			A8	
Gruppo	A1-a		A1-b	A2-4		A2-5	A2-6	A2-7					
Sottogruppo	A1-a		A1-b	A2-4		A2-5	A2-6	A2-7					
Frazione passante allo staccio 2 mm 0.4 mm 0.063 mm	$\leq 50$ $\leq 30$ $\leq 15$	- $\leq 50$ $\leq 25$	- > 50 $\leq 10$	- - $\leq 35$	- - $\leq 35$	- - $\leq 35$	- - $\leq 35$	- - $\leq 35$	> 35 > 35 > 35	> 35 > 35 > 35	> 35 > 35 > 35	> 35 > 35 > 35	
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 mm LL (Limite liquido) IP (Indice di plasticità)	- $\leq 6$	- $\leq 6$	- N.P. $\leq 10$	$\leq 40$ $\leq 10$	> 40 $\leq 10$	$\leq 40$ $\leq 10$	> 40 $\leq 10$	> 40 $\leq 10$	$\leq 40$ $\leq 10$	> 40 $\leq 10$	> 40 $\leq 10$	> 40 $\leq 10$ IP < LL-30 IP > LL-30	
Indice di gruppo	0		0	0		$\leq 4$		$\leq 8$	$\leq 12$	$\leq 16$	$\leq 20$		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia o sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressibili	Limi molto compressibili	Argille poco compressibili	Argille molto compressibili e mediamente plastiche	Argille molto compressibili e molto plastiche	Torbe di recente o remota formazione e, detriti organici
Qualità portanti quale terreno di sottotondo in assenza di gelo	da eccellente a buono						Da mediocre a scadente					Da scartare	
Azione del gelo sulle qualità portanti	Nessuna o lieve		Media				Molto elevata	Media	Elevata	Media			
Ritiro e rigonfiamento	Nulla		Nulla o lieve				Lieve o medio	Elevato	Elevato	Alto	Molto elevato		
Permeabilità	Elevata		Media o scarsa					Scarsa o nulla					

La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

# PROVE CON L'EDOMETRO

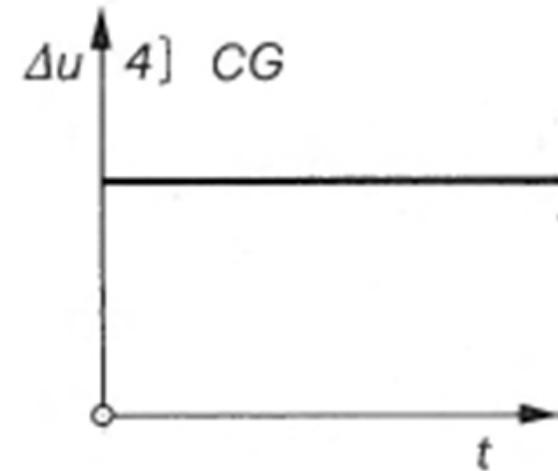
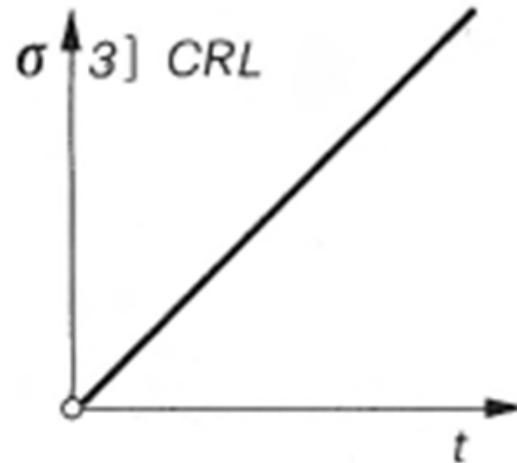
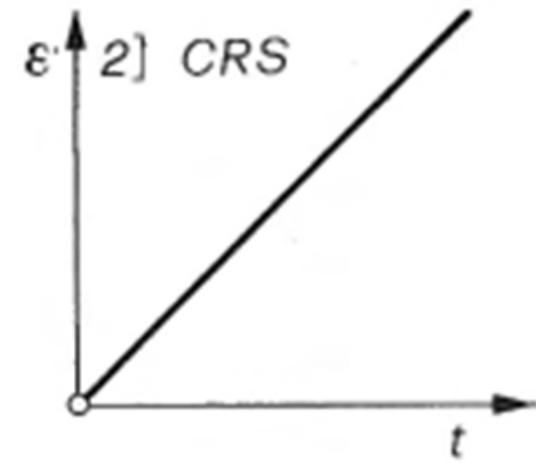
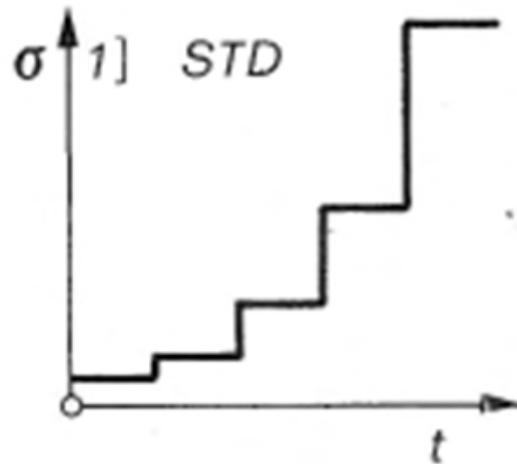
- Edometrica
- Rigonfiamento
- Huder-Amberg
- $K_0$
- Permeabilità diretta

Incrementi di carico

Deformazione costante

Incremento di carico costante

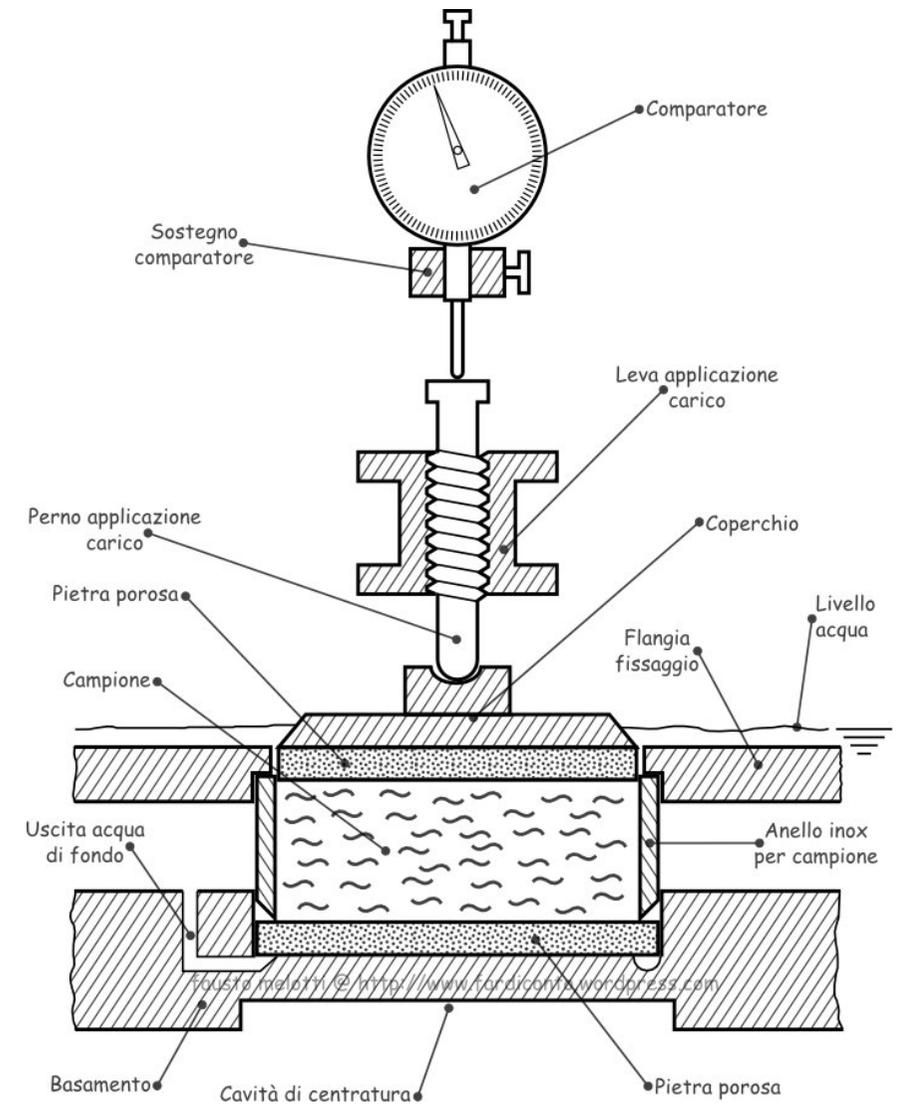
Carico idraulico costante



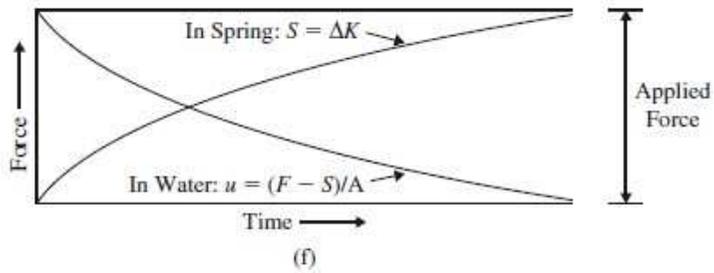
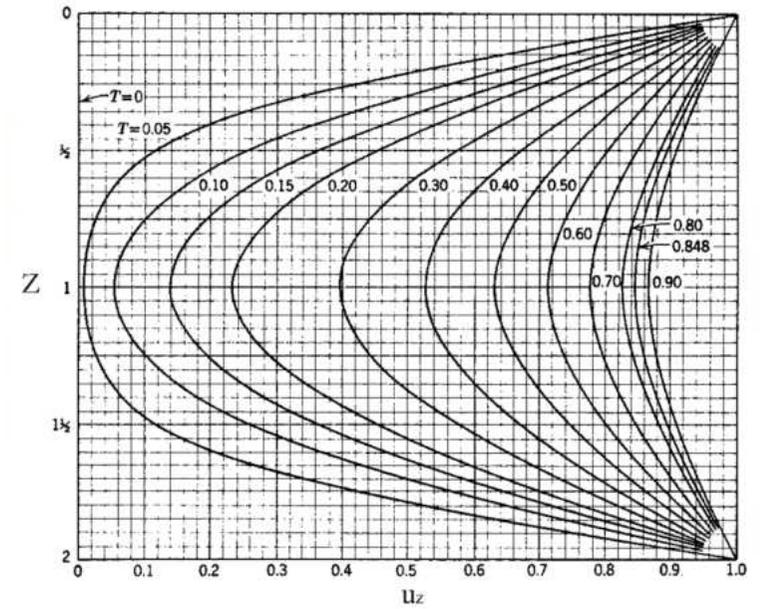
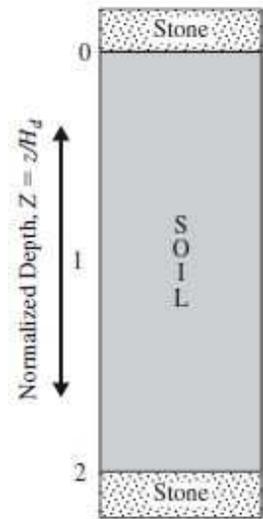
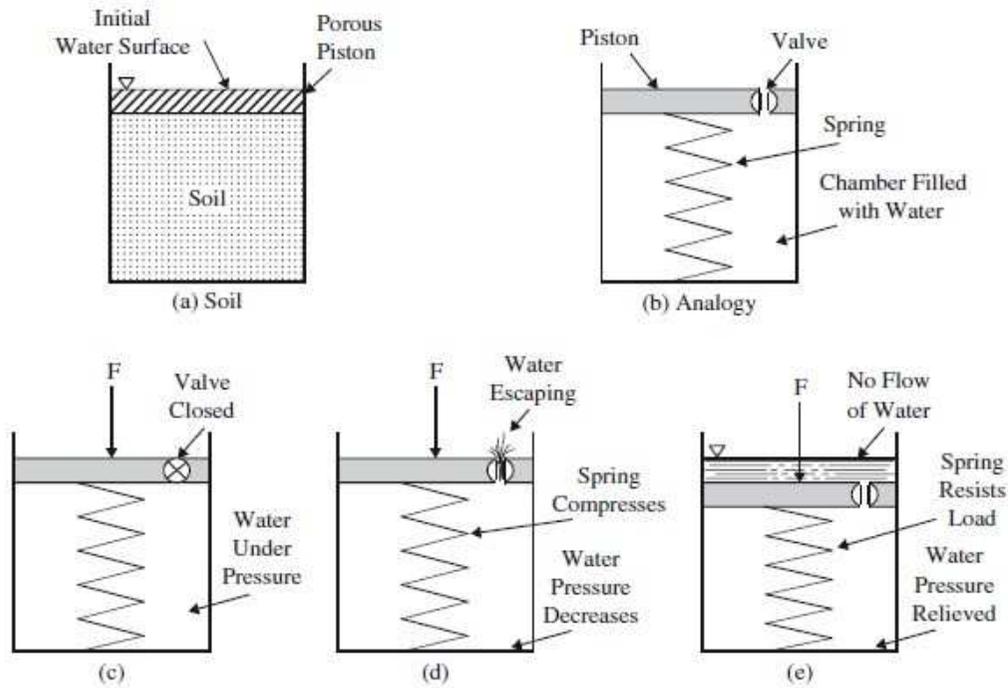


## CONDIZIONI EDOMETRICHE

- carico assiale uniformemente distribuito;
- assenza di deformazioni laterali;
- terreno saturo
- materiali fini più “interessanti”



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025



## PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

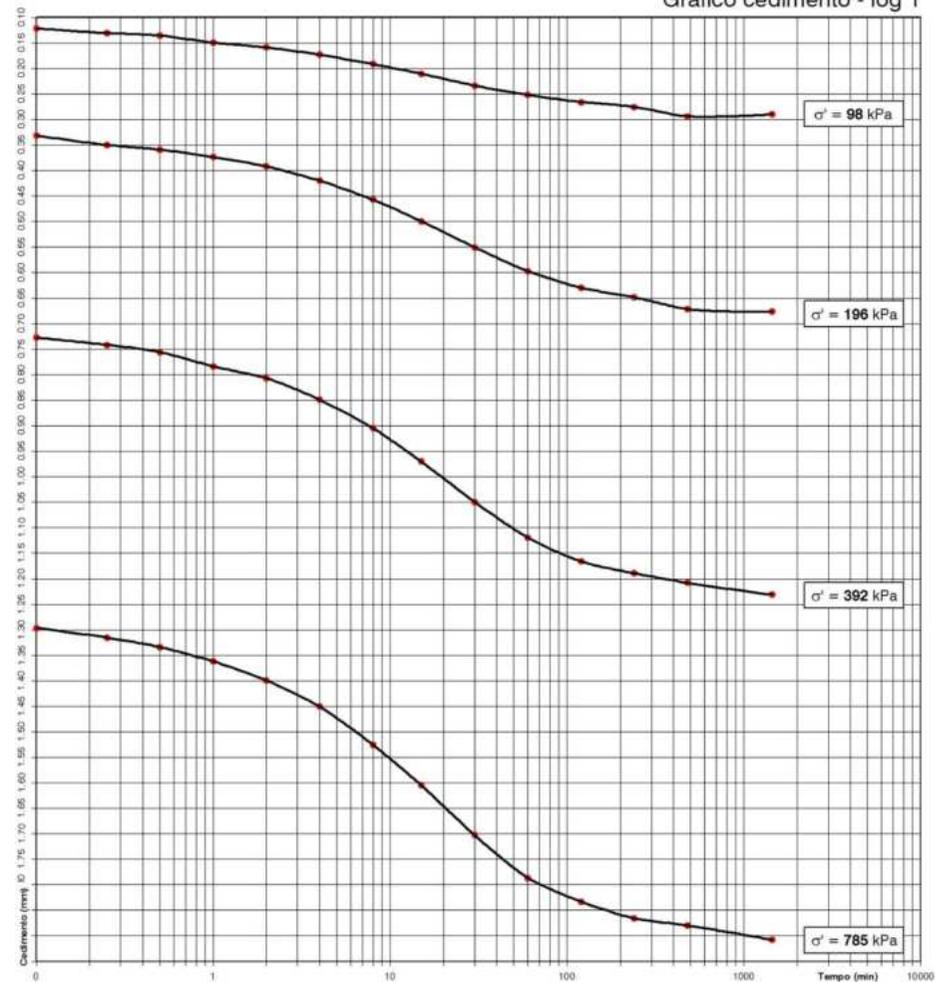
MISURAZIONI ACQUISITE										
Pressione (kPa)	49	98	196	392	785	1570	392	98	49	
Data (gg/mese)	31/1	1/2	2/2	3/2	4/2	7/2	8/2	8/2	9/2	
Tempi	Cedimenti (mm)									
0'	0,00	0,08	0,29	0,68	1,23	1,94	2,76	2,39	1,87	
6'	0,03	0,12	0,33	0,73	1,30					
15'	0,04	0,13	0,35	0,74	1,32					
30'	0,05	0,14	0,36	0,76	1,33					
1'	0,06	0,15	0,37	0,78	1,36					
2'	0,06	0,16	0,39	0,81	1,40					
4'	0,07	0,17	0,42	0,85	1,45					
8'	0,08	0,19	0,46	0,90	1,53					
15'	0,08	0,21	0,50	0,97	1,60					
30'	0,09	0,23	0,55	1,05	1,70					
60'	0,09	0,25	0,60	1,12	1,79					
120'	0,10	0,27	0,63	1,17	1,83					
240'	0,09	0,28	0,65	1,19	1,87					
480'	0,08	0,29	0,67	1,21	1,88					
1440'	0,08	0,29	0,68	1,23	1,91	2,76	2,39	1,87	1,61	
2880'					1,93					
4320'					1,94					

Note:

## PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

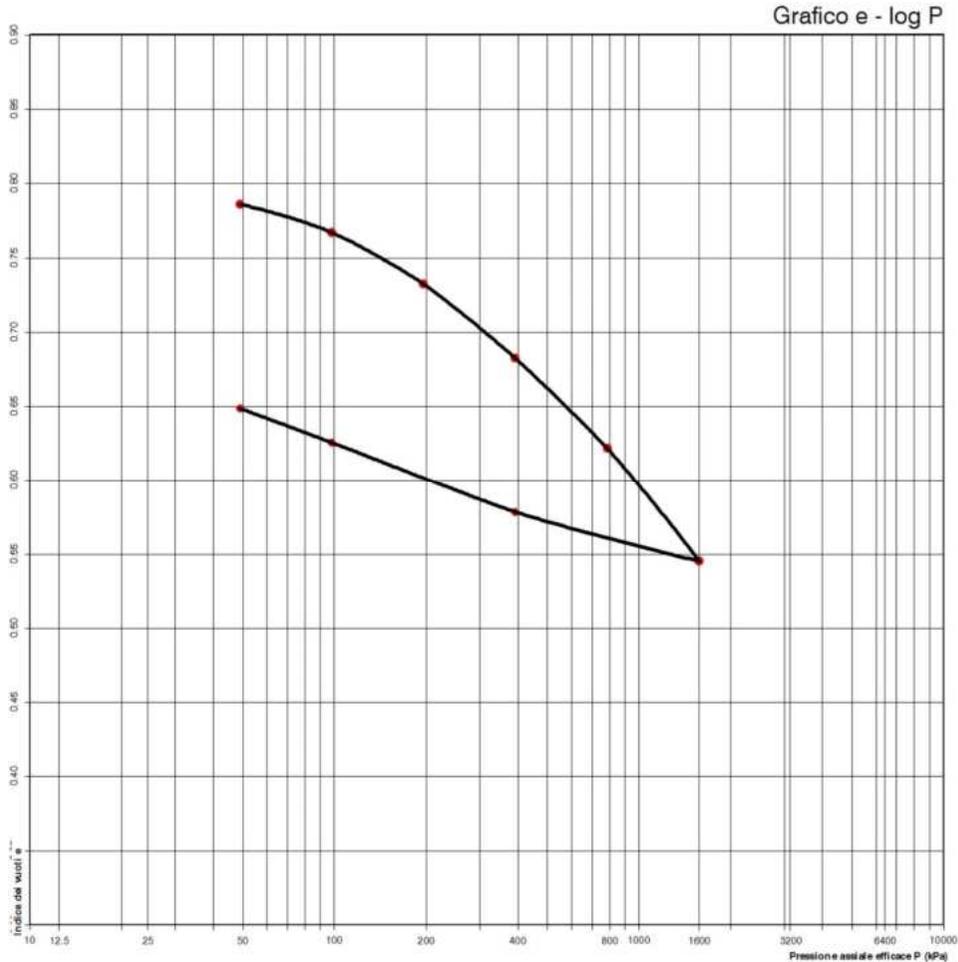
Grafico cedimento - log T



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

## PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)



Si possono ottenere:

Modulo edometrico  $E'$  (drenato, confinato)

Coefficiente di consolidazione primaria  $C_v$

Coefficiente di consolidazione secondario  $C_a$

Coefficiente di permeabilità  $k$

Indice di ri-compressione  $C_r$

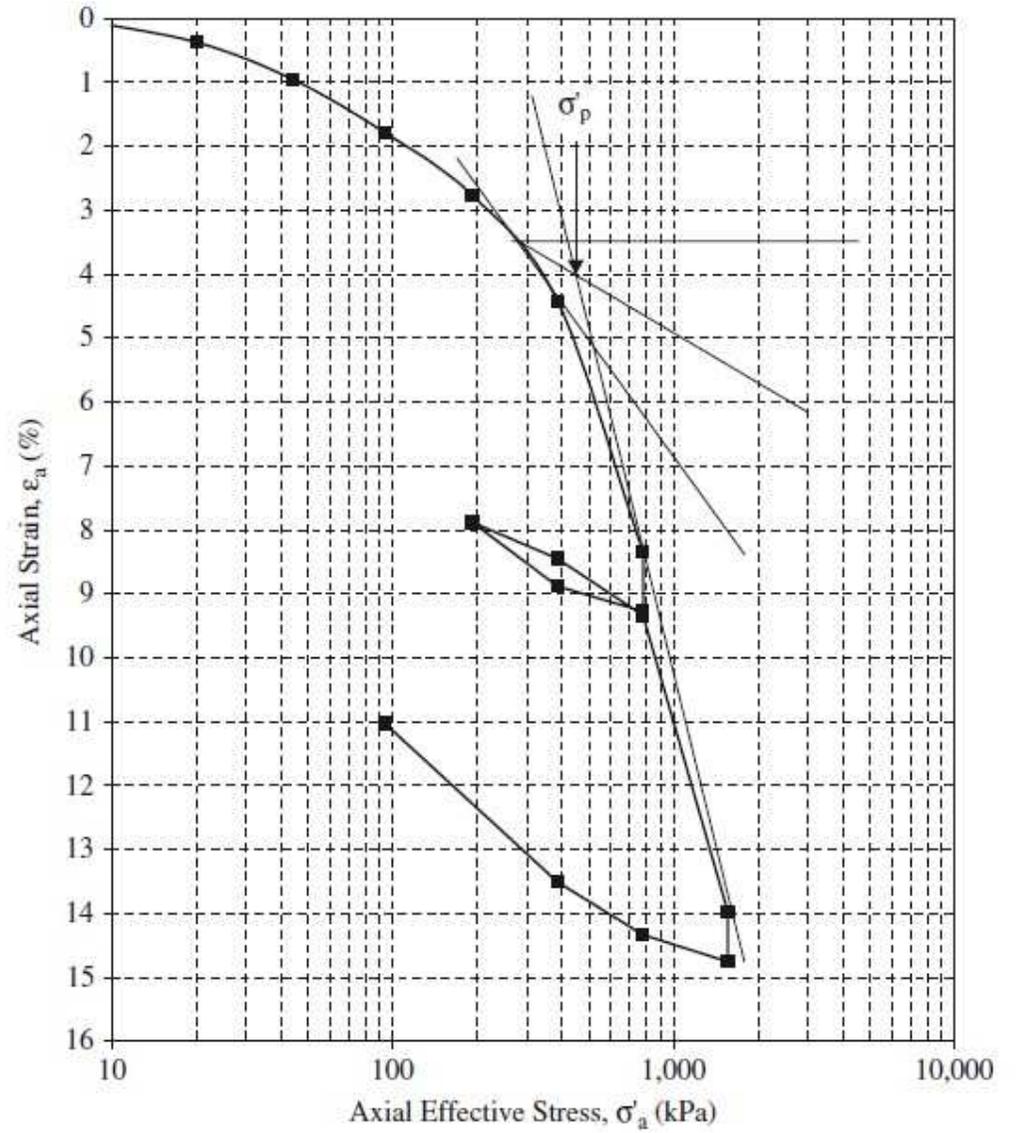
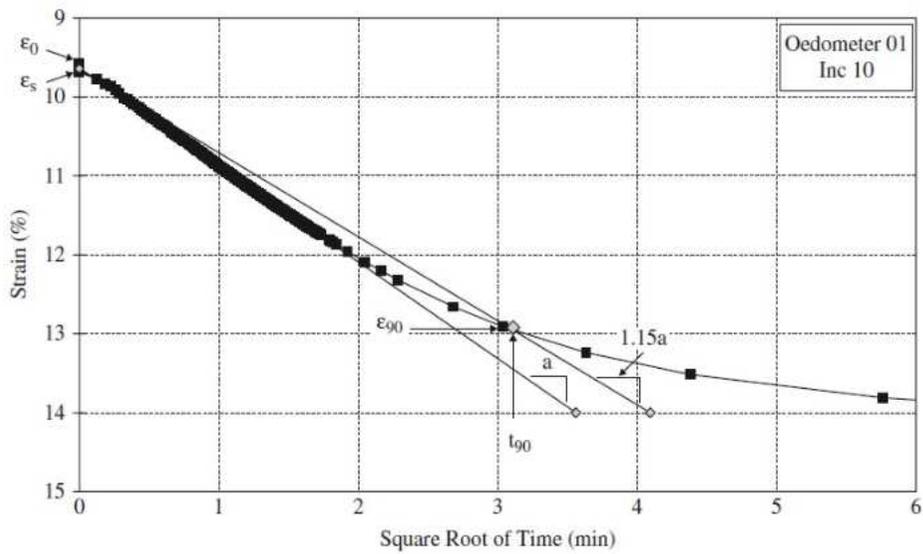
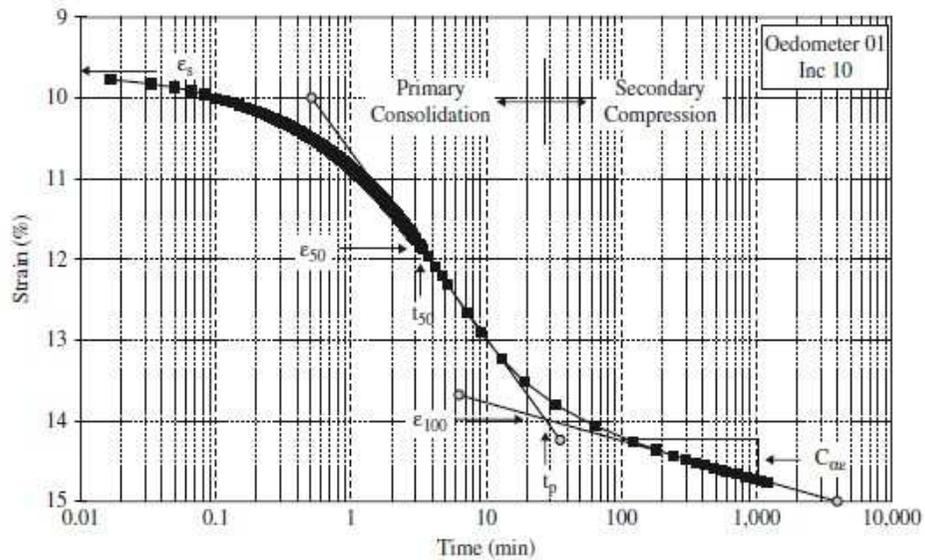
Indice di compressibilità  $C_c$

Indice di rigonfiamento  $C_s$

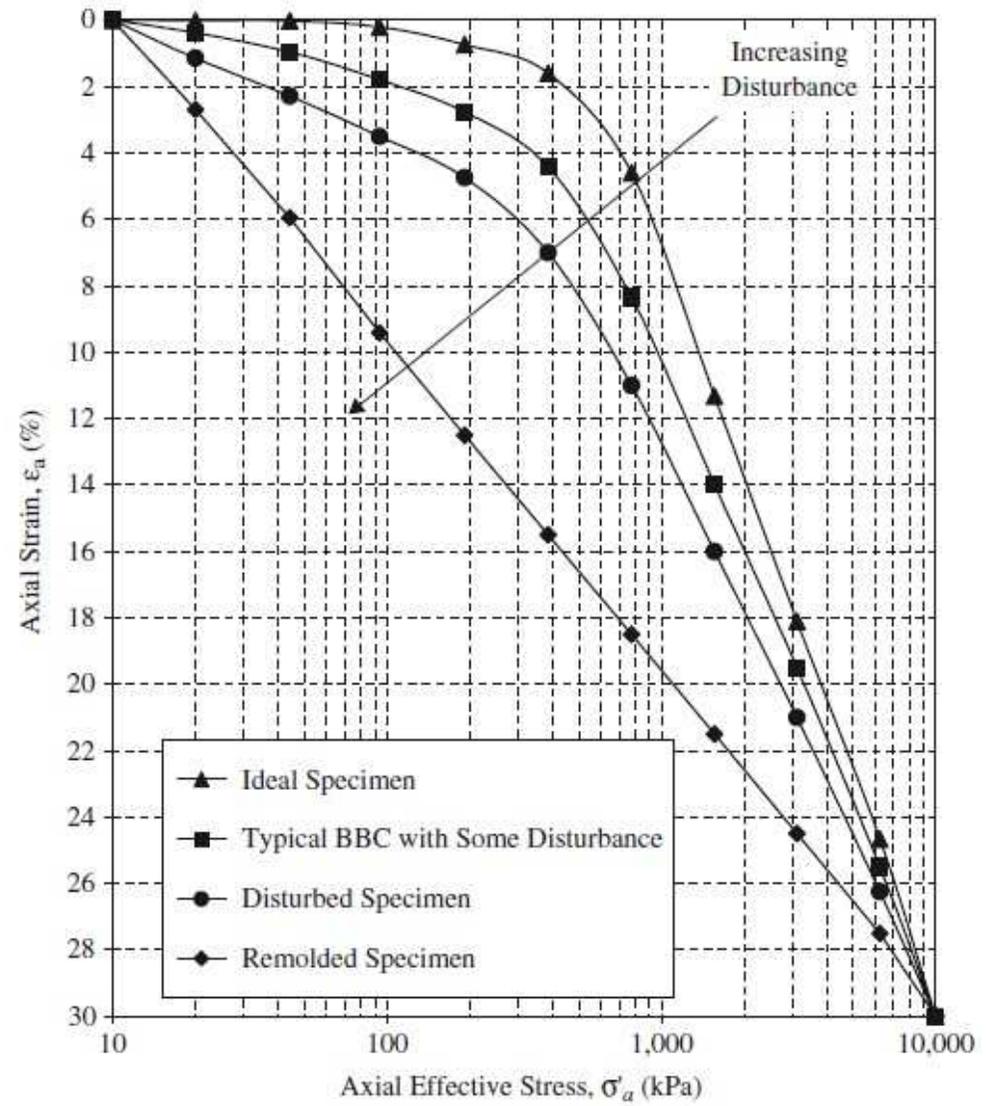
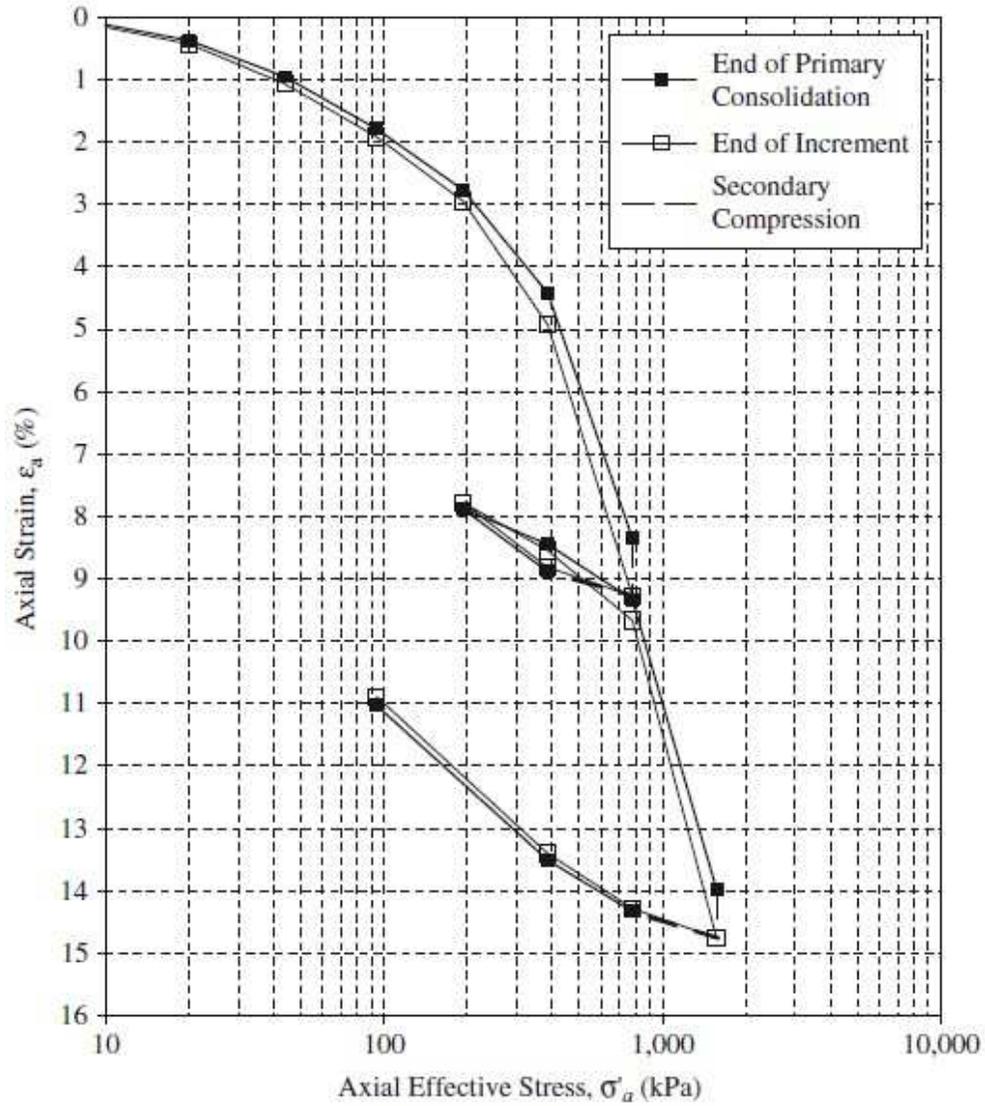
Pressione di preconsolidazione  $P_c$

Grado di sovraconsolidazione OCR

(se nota la pressione efficace agente in sito)



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025



Quando chiederla

Sempre in presenza di terreni comprimibili e fini

Esecuzione

Mediamente complessa, tempistiche lunghe (circa 2 settimane), costo medio-basso

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori. Necessita del peso specifico assoluto per i calcoli

# PROVE CON L'EDOMETRO

- Edometrica
- Rigonfiamento
- Huder-Amberg
- $K_0$
- Permeabilità diretta

Le prove di rigonfiamento eseguite tramite edometro si dividono in tre tipologie:

prove atte a determinare la pressione di rigonfiamento a volume costante;



In cella edometrica si satura il provino mantenendolo confinato (nessuna deformazione, volume costante) con un alto carico non agente. Si riduce man mano il carico agente fino a che il terreno non mostra la tendenza a rigonfiare, verificando a quale pressione tale comportamento si manifesta

prove atte a determinare la deformazione di rigonfiamento a pressione costante;



In cella edometrica si satura il provino sottoponendolo a deformazione ad una pressione prossima a quella in sito (o, meglio, alla pressione di preconsolidazione, se nota). Si scarica il materiale annotando per ogni carico le deformazioni

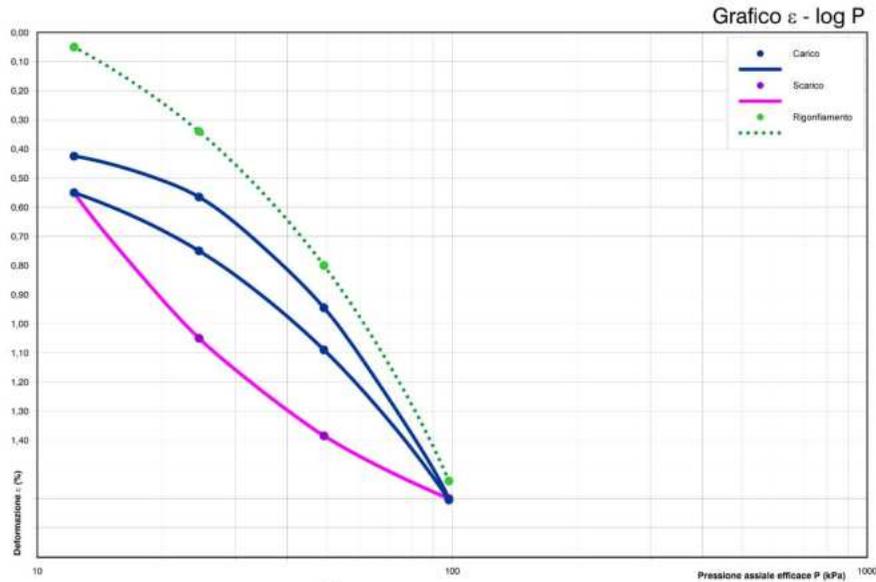
prove atte a determinare il potenziale di rigonfiamento.



Metodo di Huder-Amberg.

## PROVA DI RIGONFIAMENTO HUDER-AMBERG

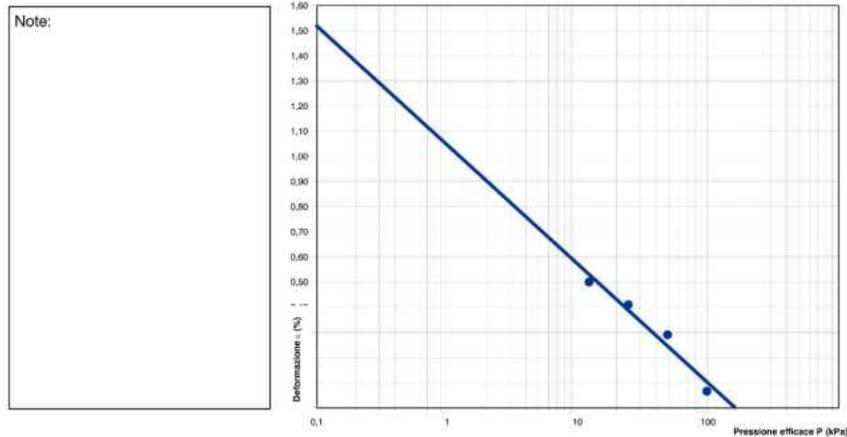
(Istruzioni Tecniche n° 13 - Procedure Interne, scheda 13C)



Particolarmente adatta per terreni sovraconsolidati

si ricava la pressione di rigonfiamento

si ricava il rigonfiamento potenziale in relazione alle tensioni agenti



Quando chiederle

In presenza di terreni potenzialmente rigonfianti (es.: nel caso di scavi)

Esecuzione

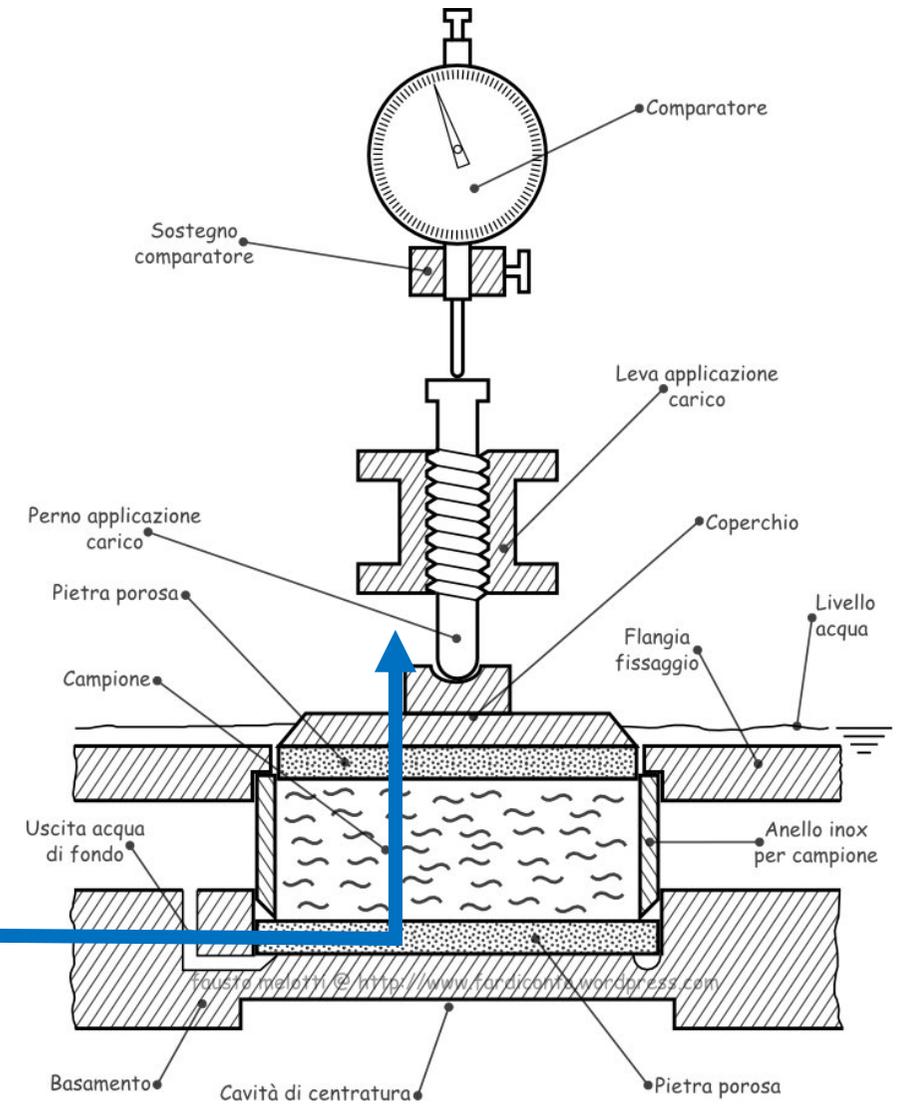
Mediamente (a volte molto) complessa, tempistiche medie (qualche giorno), costo medio-basso (troppo!)

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori. Necessita del peso specifico assoluto per i calcoli

# PROVE CON L'EDOMETRO

- Edometrica
- Rigonfiamento
- Huder-Amberg
- $K_0$
- Permeabilità diretta



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
 Stefano Cianci 28/03/2025

Quando chiederle

In presenza di terreni impermeabili o da utilizzare come barriera impermeabile (discariche, arginature)

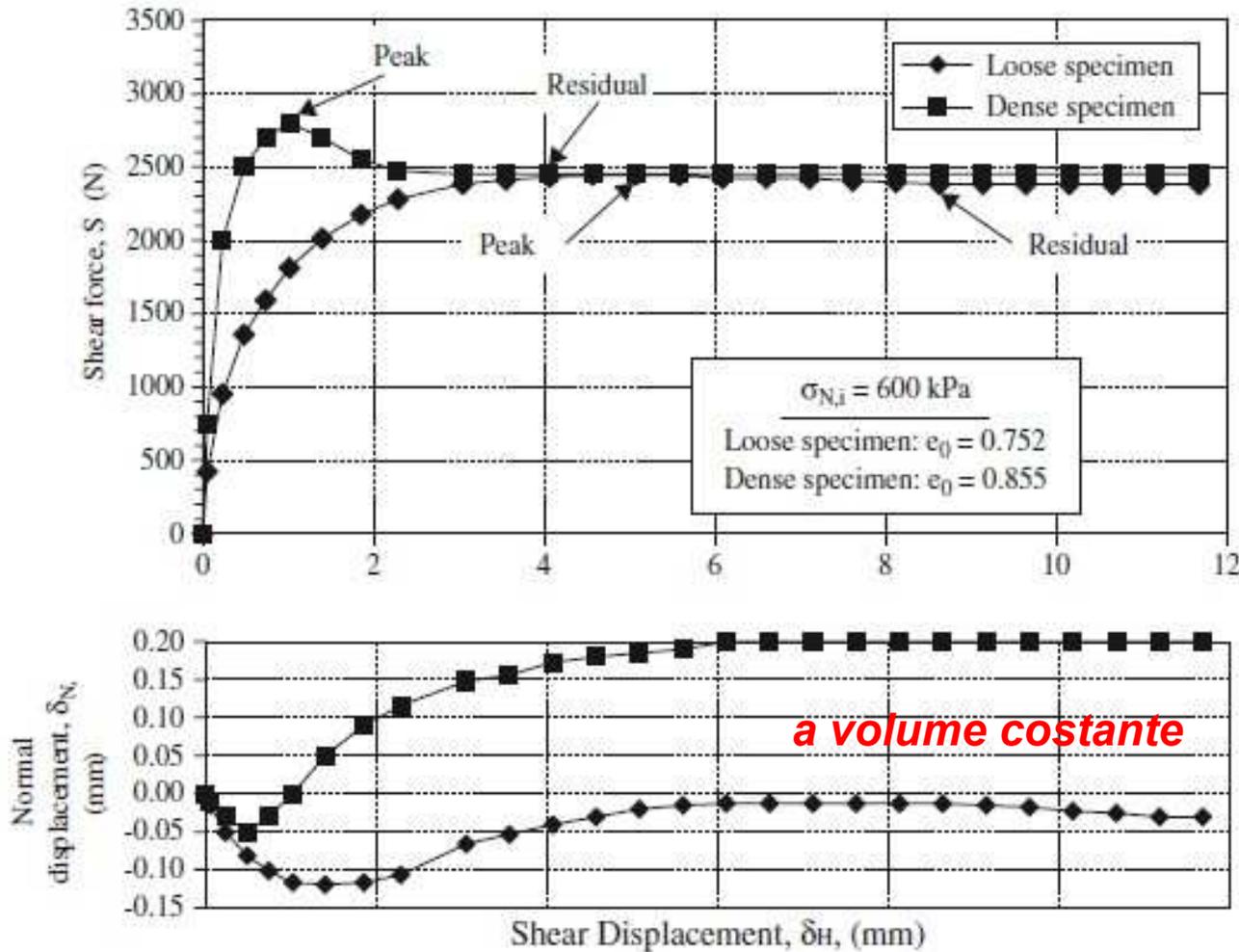
Esecuzione

Mediamente complessa (principalmente legata alla corretta impermeabilizzazione dei “contatti”), tempistiche medie (qualche giorno, dipende dalla K del terreno), costo medio-basso

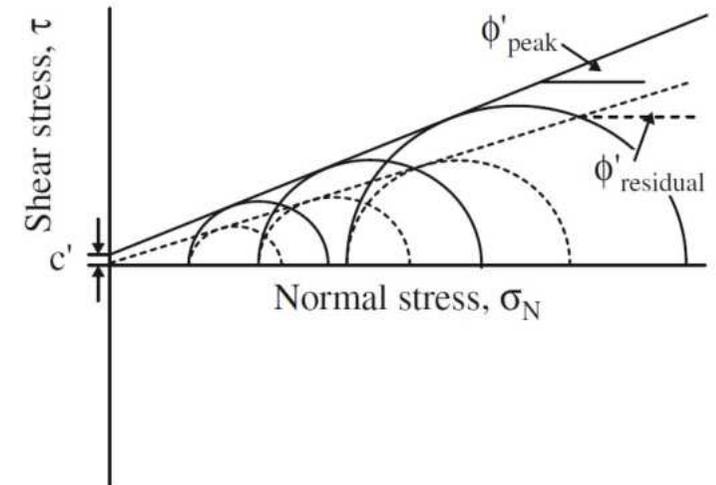
Strumenti tarati

Bilancia, comparatori, buretta. Necessita del peso specifico assoluto per i calcoli

# COMPORTAMENTO AL TAGLIO



Dipende dalla pressione agente  
 Di picco o residuo a seconda dell'entità delle deformazioni  
 Sempre in condizioni sature  
 In assoluto non esiste un comportamento "coesivo"



# PROVE MECCANICHE

- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)
- Prova Triassiale CID
- Prova Triassiale CIU
- Prova Triassiale UU
- ELL

Semplicità grettamente geniale

Adatta per tutti i tipi di terreno

Stretta parametrizzazione ( $c'$  e  $\phi'$ )

La più richiesta

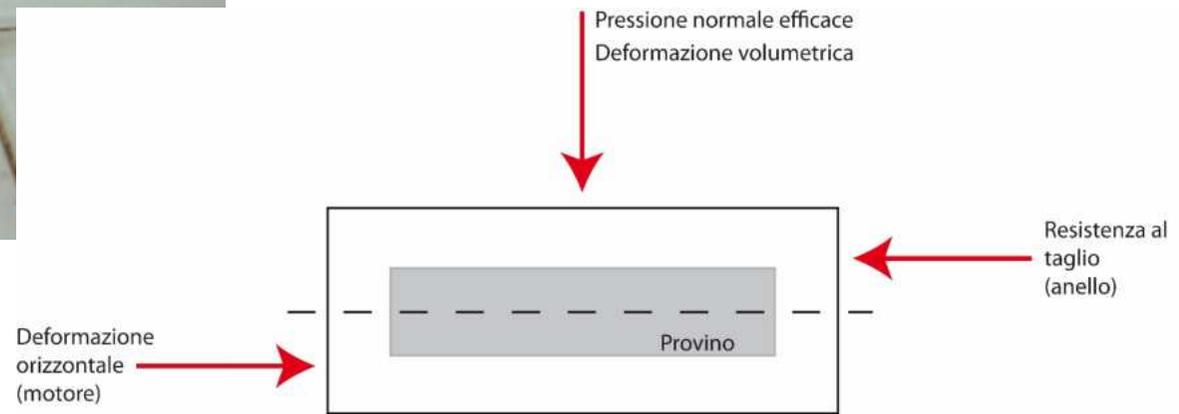
Limitazioni delle particelle dovuta ad “effetti di bordo”

Non esiste “lenta” o “veloce” ma deve sempre garantire che non insorgano sovrappressioni interstiziali (per cui è sempre drenata)

Necessita di consolidazione

Non esiste, conseguentemente, una prova TD in condizioni CU (non ha senso in mancanza del controllo delle pressioni interstiziali) e in condizioni UU (lo strumento permette sempre e comunque il drenaggio, anche per tempi di taglio brevissimi)

E' possibile ottenere valori residui di “post picco” (valori residui “ultimi” ottenibili solo con prove anulari)



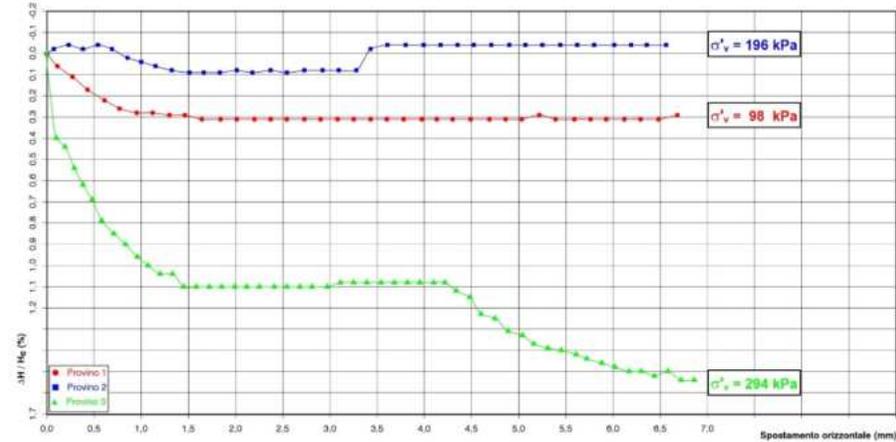
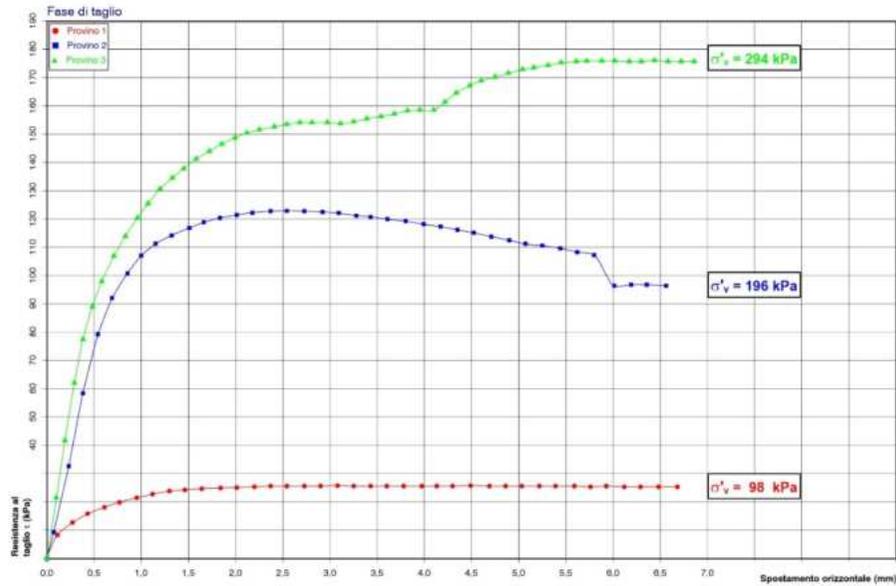
La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO/TS 17892-10)

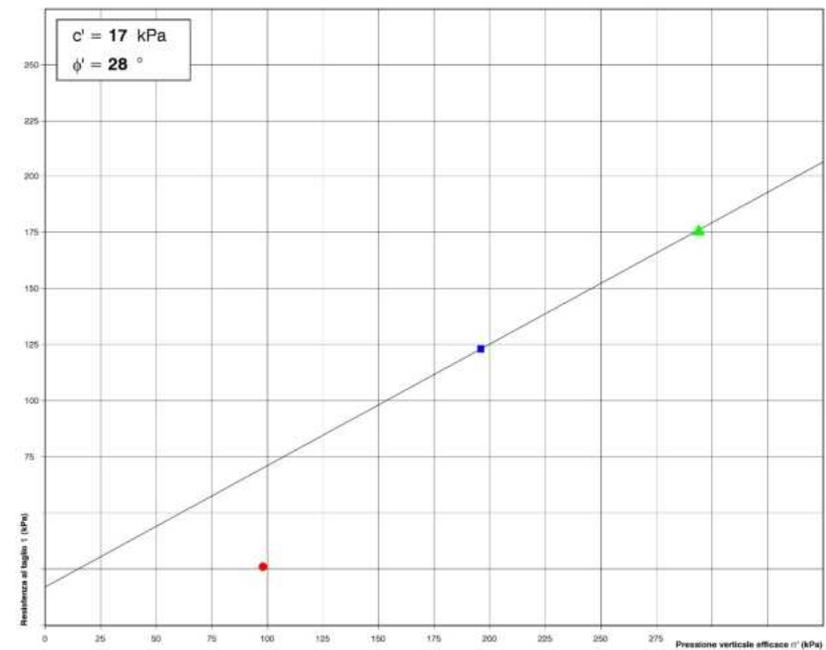


## ARGILLA CON LIMO GHIAIOSA E SABBIOSA

### INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

Sondaggio n° 6      Campione n° 7      Profondità di prelievo: da m 34.30 a m 35.00

Provino n°		1	2	3
Carico verticale efficace	kPa	98	196	294
Deformazione verticale a rottura	%	0,31	0,09	1,52
Spostamento orizzontale a rottura	mm	3,06	2,54	6,44
Sollecitazione di taglio a rottura	kPa	26	123	176



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

Quando chiederla

Quando servono  $c'$  e  $\phi'$

Esecuzione

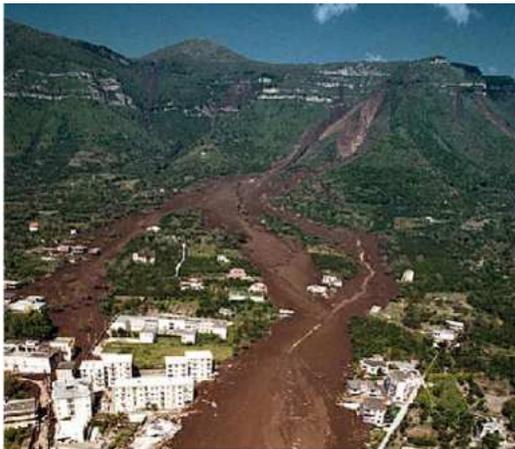
Mediamente complessa (principalmente legata al corretto confezionamento dei provini), tempistiche variabilissime (dipendono dalla granulometria), costo medio-basso

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori, anelli. E' opportuna la conoscenza del peso specifico assoluto per i calcoli

# COMPORTAMENTO DEI MATERIALI: LE PIROCLASTITI ROMANE

- Unica formazione, tante facies
- Livelli di saturazione variabili
- Presenza di saldatura
- Poco rappresentative le prove penetrometriche (solo attrito)

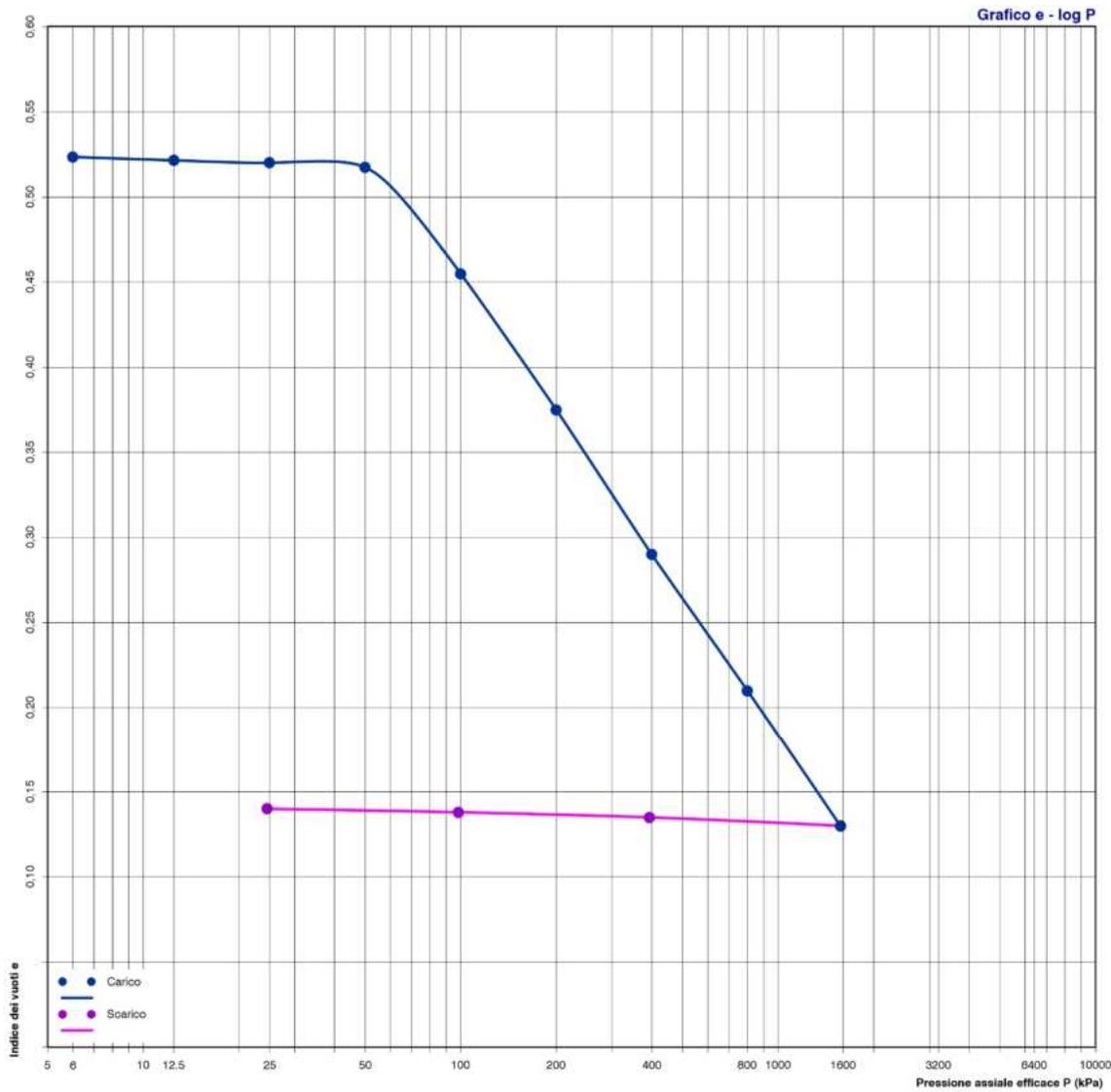


SARNO, 05/05/1998

CASAMICCIOLA, 26/11/2022



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025



LUNGH. cm	POCKET PENETR. kPa (M.I.)	VANE TEST kPa (M.I.)	PROVE ESEGUITE	DESCRIZIONE
ALTO 10 20 30 40 50 60 70 BASSO	N.D.	N.D.	$w_1$ $\gamma_s$ Lim. $w_2$ $\gamma_r$ Gran. $w_3$ $w_0$ TD1 TD2 TD3	Sabbia con limo marrone-arancio di natura piroclastica, a struttura caotica blandamente saldata, non plastica relativamente alle caratteristiche mineralogiche, non reattiva ad HCl. Verso il basso aumenta la presenza delle frazioni fini.

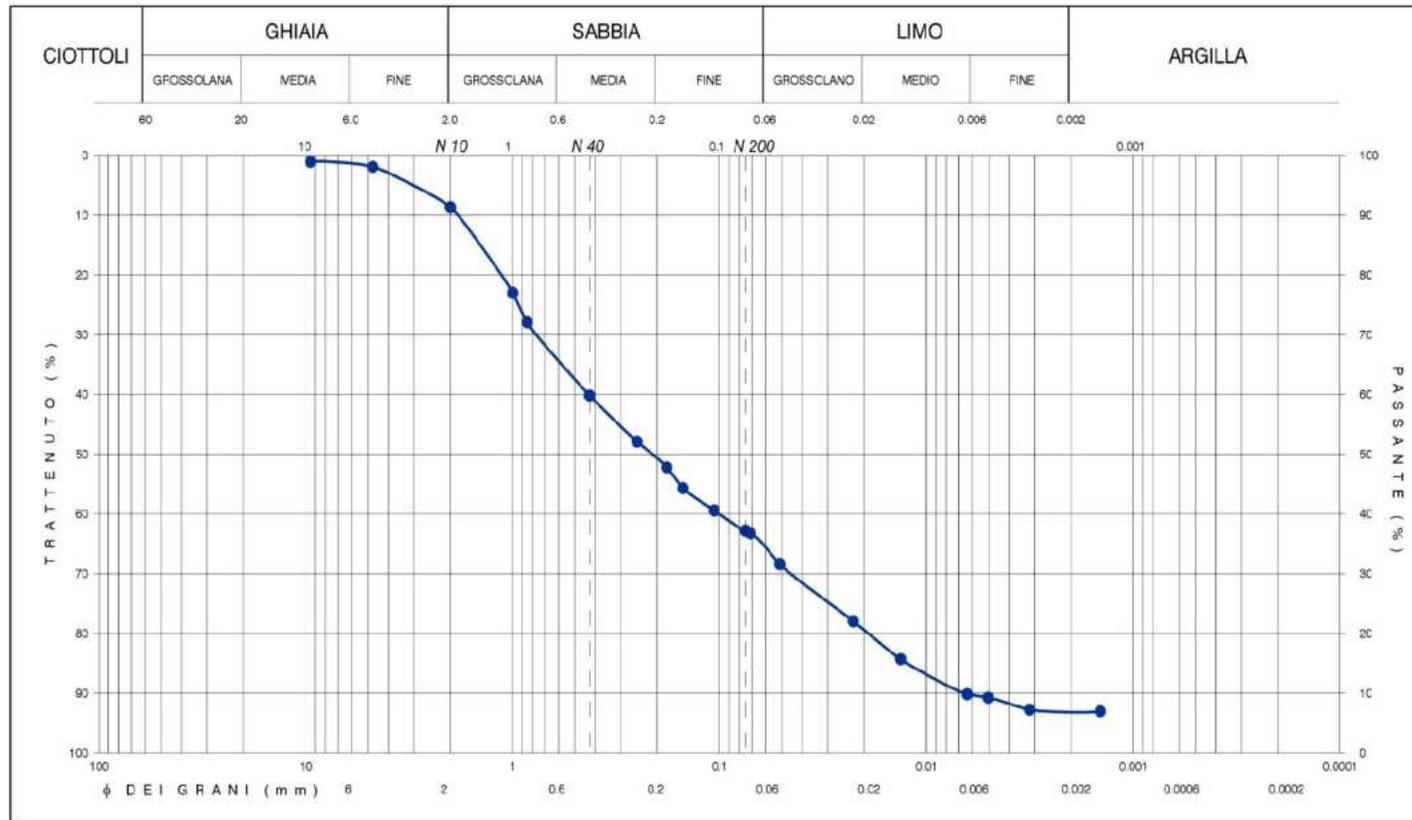
Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità, presentava forma normale con le superfici laterali esterna ed interna sufficientemente lisce e prive di protuberanze visivamente apprezzabili. Il filo della scarpa, di forma normale, era ben affilato. Il campione era isolato con paraffina (10 mm in alto e 4 mm in basso).

# ANALISI GRANULOMETRICA

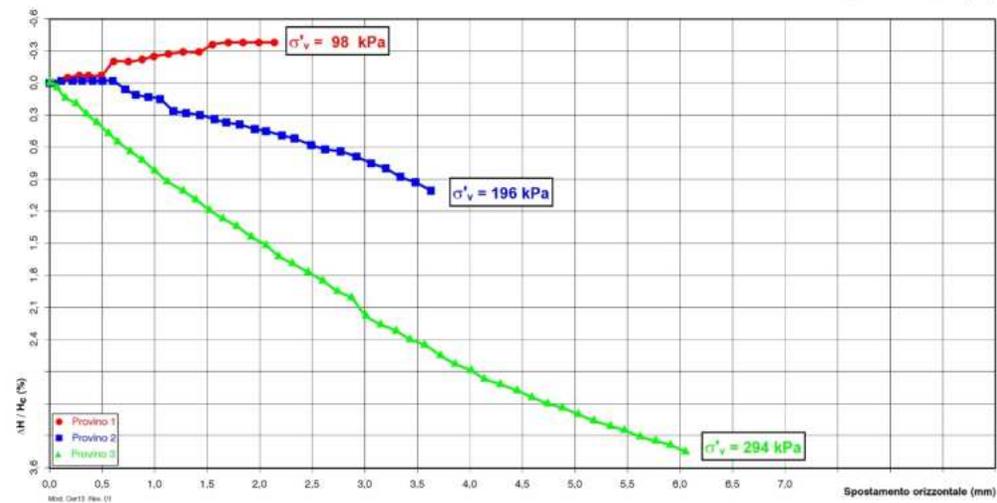
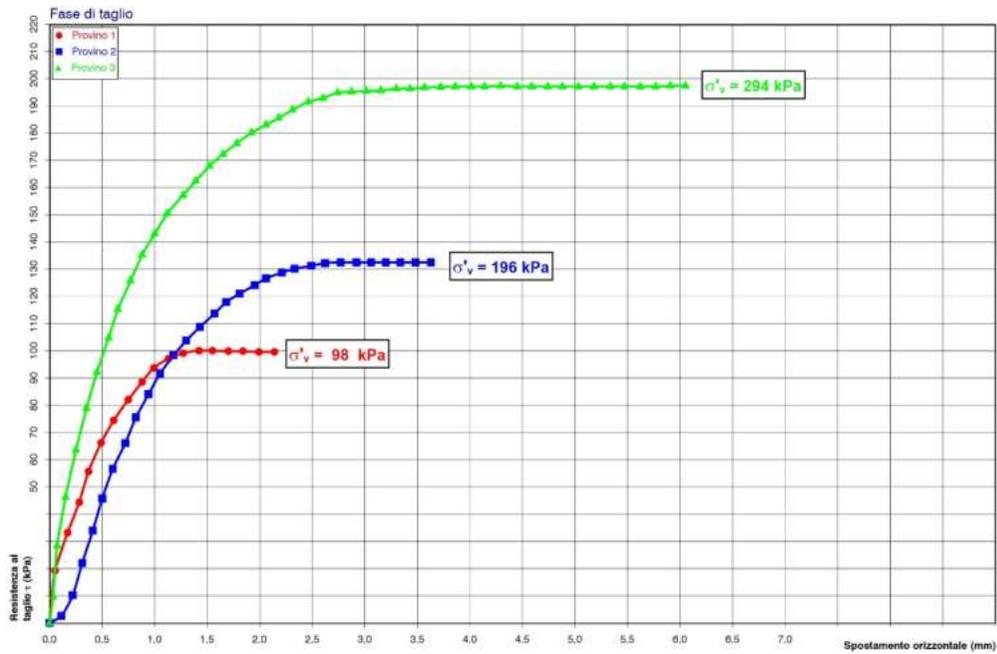
(UNI CEN ISO 17892-4)

Descrizione granulometrica del campione: SABBIA CON LIMO DEBOLMENTE GHIAIOSA ED ARGILLOSA.

GHIAIA > 2 mm	<b>9</b> %	SABBIA 0.06 - 2 mm	<b>57</b> %	LIMO 0.002 - 0.06 mm	<b>27</b> %	ARGILLA < 0.002 mm	<b>7</b> %
PASSANTE AI SETACCI	N 10 2 mm	<b>91</b> %	N 40 0.425 mm	<b>60</b> %	N 200 0.075 mm	<b>37</b> %	



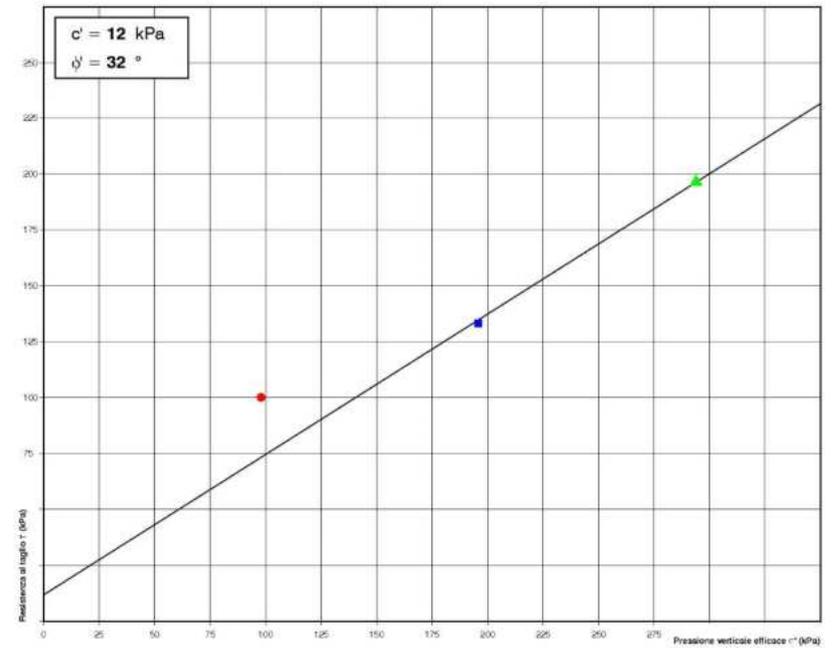
Note: il diametro del granulo maggiore è di 10-12 mm.



## INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

Sondaggio n° 2      Campione n° 1      Profondità di prelievo: da m 03.00 a m 03.55

Provino n°		1	2	3
Carico verticale efficace	kPa	98	196	294
Deformazione verticale a rottura	%	-0,29	0,64	2,82
Spostamento orizzontale a rottura	mm	1,42	2,77	4,29
Sollecitazione di taglio a rottura	kPa	100	133	197



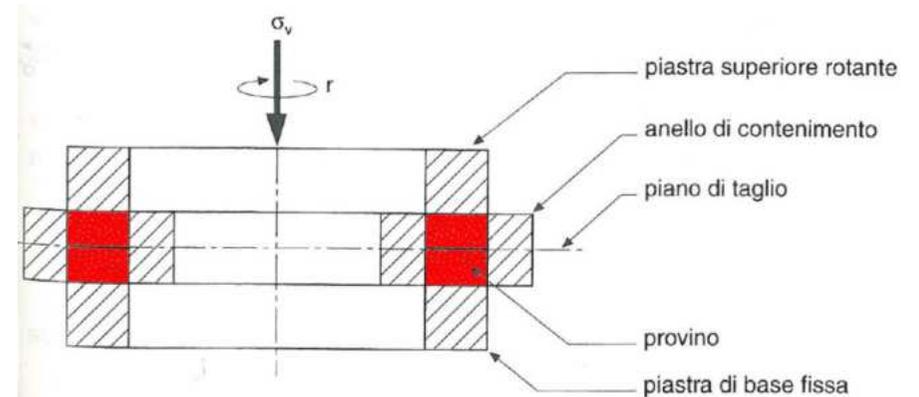
La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

## Prove di taglio anulare

Eseguibili con macchinari tipo “Taylor” (permette anche di ottenere i parametri di “picco”) e Bromhead

## Esecuzione

Complessa (principalmente legata al corretto confezionamento dei provini), tempistiche medie (qualche giorno), costo medio-alto

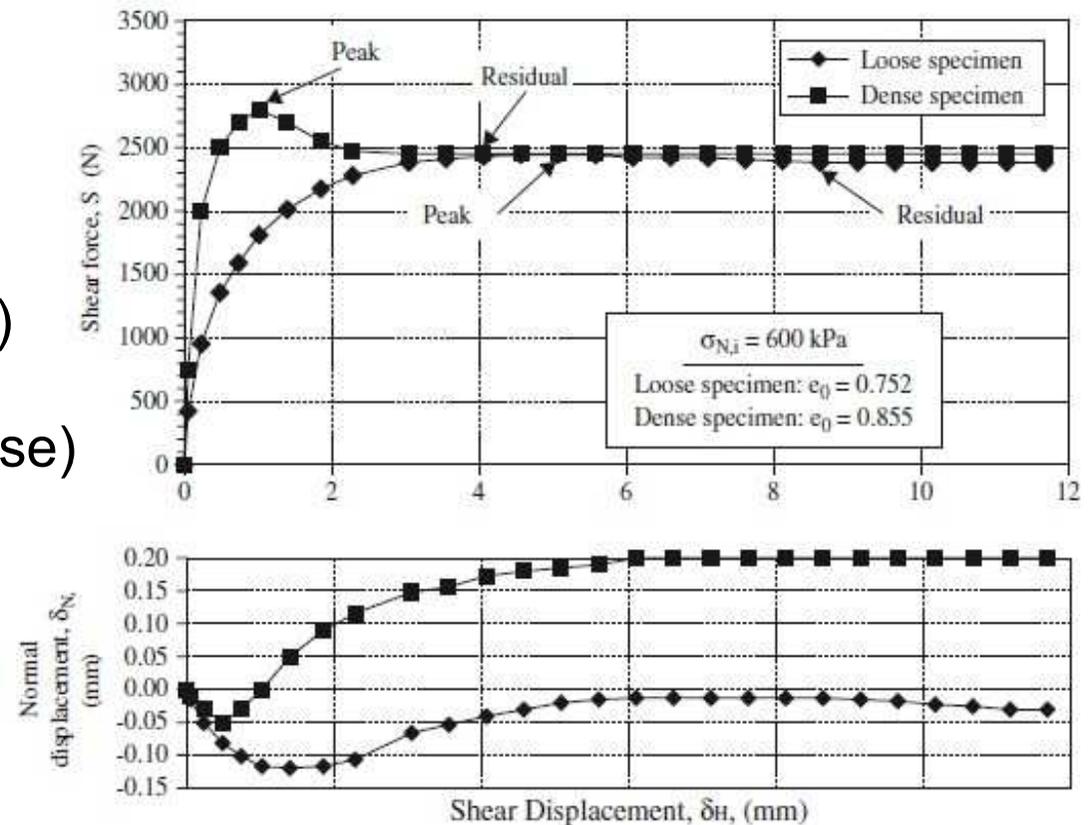


# LA PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Angoli di attrito ottenibili dalle diverse tipologie di prove di taglio

Taglio diretto con scatola di Casagrande

- Di “picco” (valore massimo ottenibile)
- Di “post-picco” (valore massimo ottenibile)
- Residuo (provini rimaneggiati, prova reverse)
- A grande deformazione
- **Ultimo (taglio anulare)**



# PROVE MECCANICHE

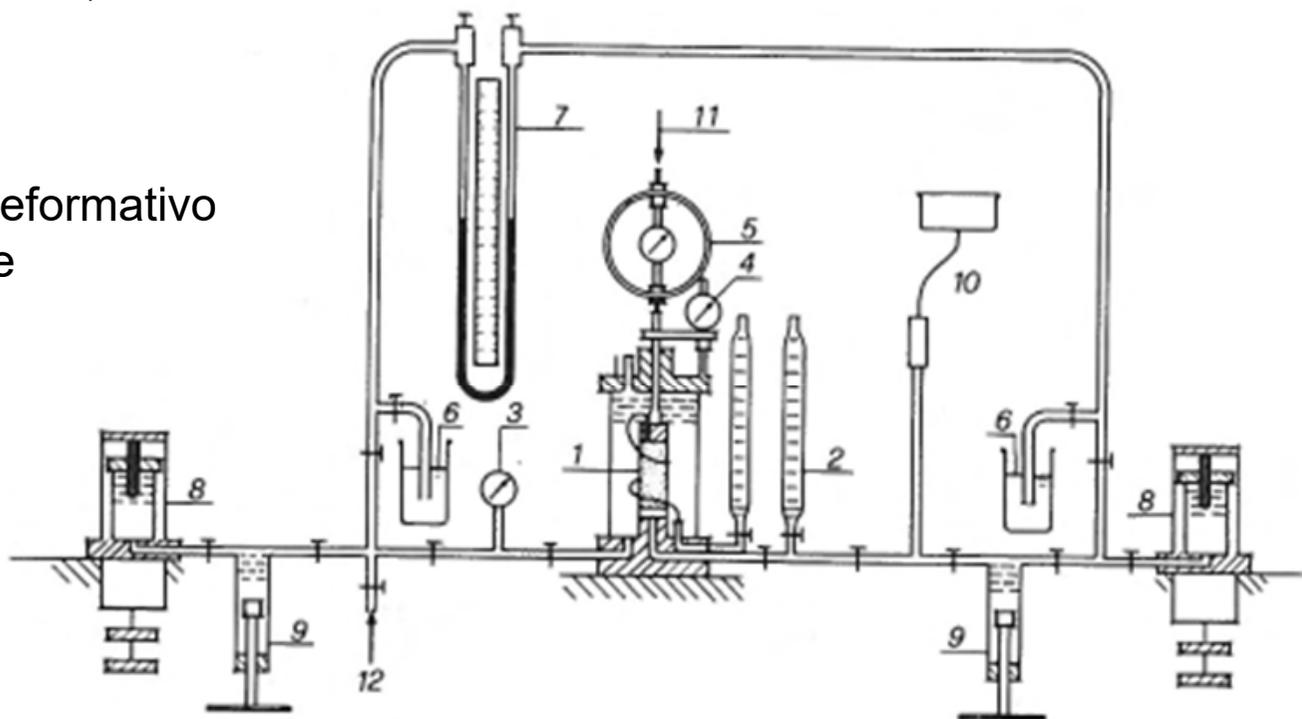
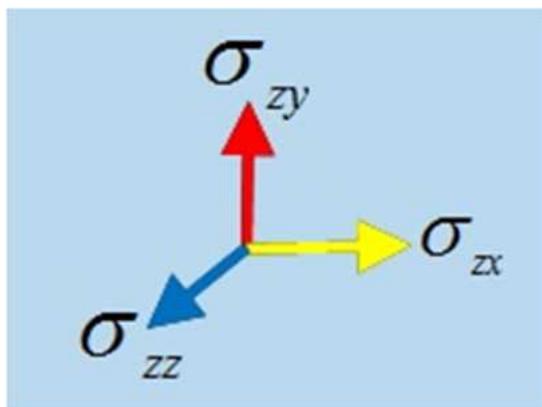
- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)
- Prova Triassiale CID
- Prova Triassiale CIU
- Prova Triassiale UU
- ELL

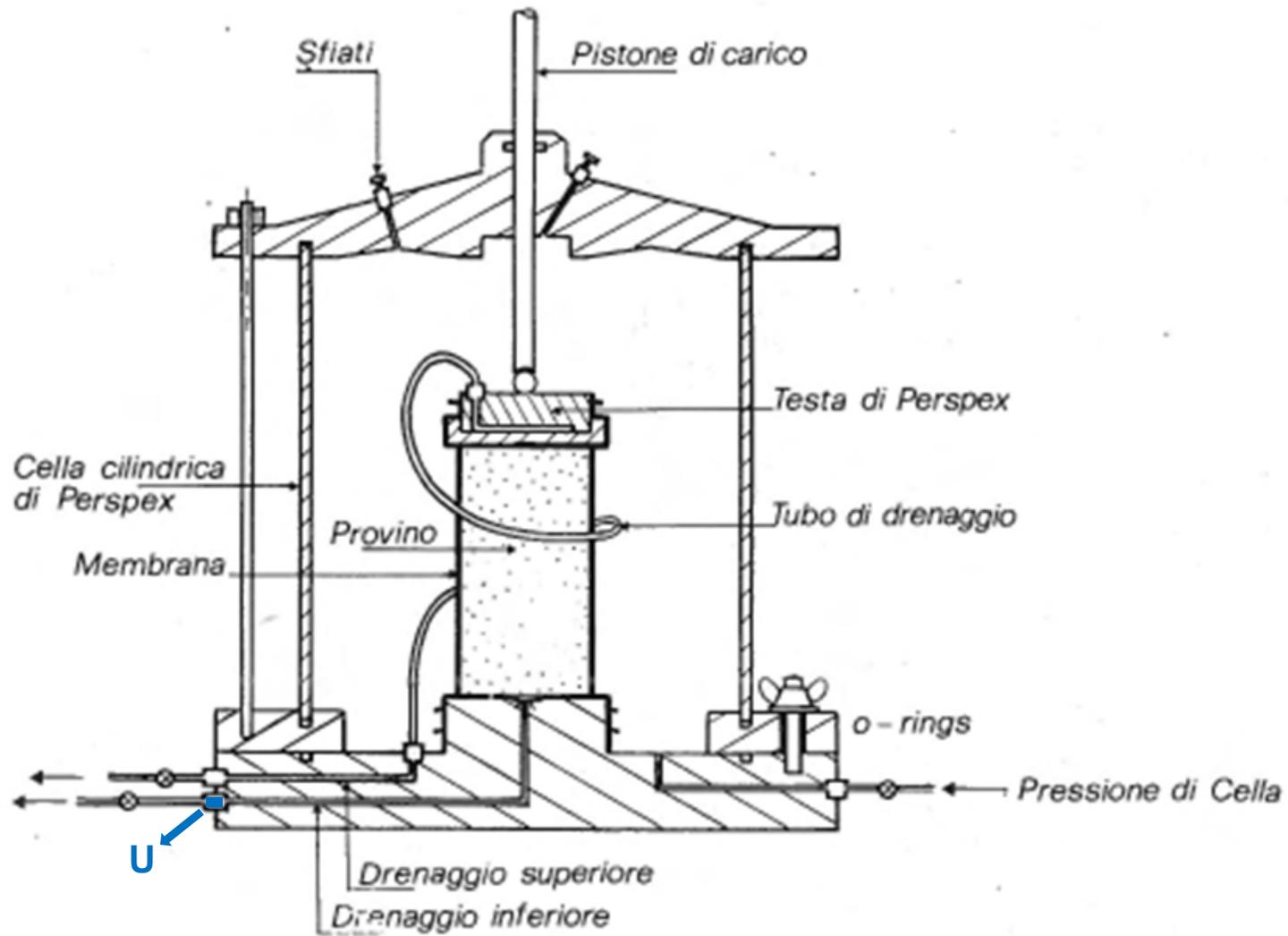
## Strumento triassiale

Gli assi principali di sforzo sono diretti assialmente ed in due qualsiasi direzioni mutuamente ortogonali se:

- la membrana è perfettamente flessibile;
- le basi sono lisce;
- il materiale è isotropo.

In questo caso lo stato tensionale e deformativo all'interno del provino è circa uniforme





La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

## SATURAZIONE

Fase complessa nella quale si deve ottenere la saturazione del provino aumentando gradualmente e contemporaneamente per step successivi la pressione di cella e la contropressione (Back Pressure – BP). La saturazione si verifica con il coefficiente B di Skempton, il quale vale circa 1 solo nei materiali NC. Viene considerato saturo un materiale avente un grado di saturazione superiore al 92%.

Tabella 16 – Valori del parametro B per terreni saturi (Head, 2006).			
Tipo di terreno	Grado di saturazione teorico (%)		
	100,0	99,5	99,0
	Valori di B misurati		
Argille NC	0,9998	0,992	0,986
Argille debolmente sovraconsolidate, limi ed argille da consistenti a molto consistenti	0,9998	0,963	0,930
Argille consistenti, sabbie mediamente addensate	0,9877	0,690	0,510
Argille molto consistenti, sabbie fortemente addensate, argille molto dure, argille fessurate, terreni cementati	0,9130	0,200	0,100

## CONSOLIDAZIONE

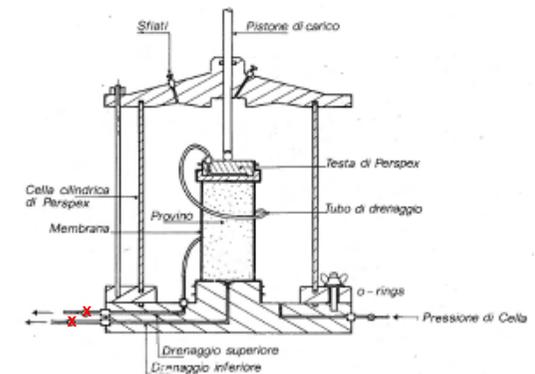
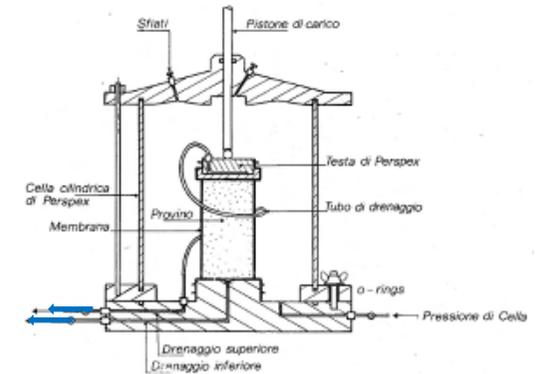
In questa fase si porta il materiale alle pressioni richieste per studiarne le proprietà (parametrizzazione). Concettualmente è la medesima fase di tutte le prove consolidate. E' possibile eseguirla isotropicamente (Pcella agente su tutto il provino) o meno (imposto un carico verticale diverso dalla Pcella)

Tx CD

Drenaggi aperti, deformazioni molto lente, sovrappressioni praticamente nulle. Si misurano le variazioni di volume

Tx CU

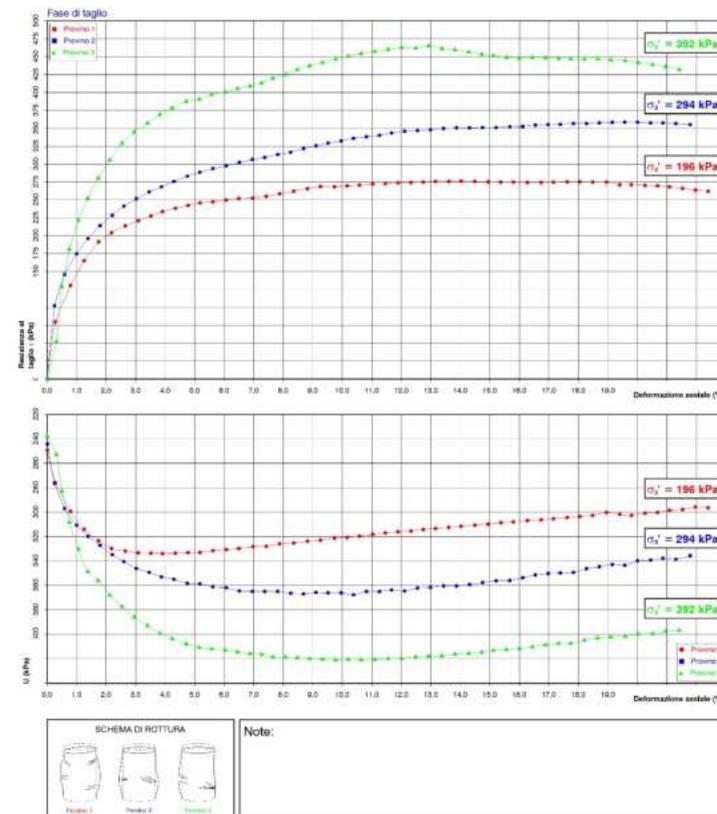
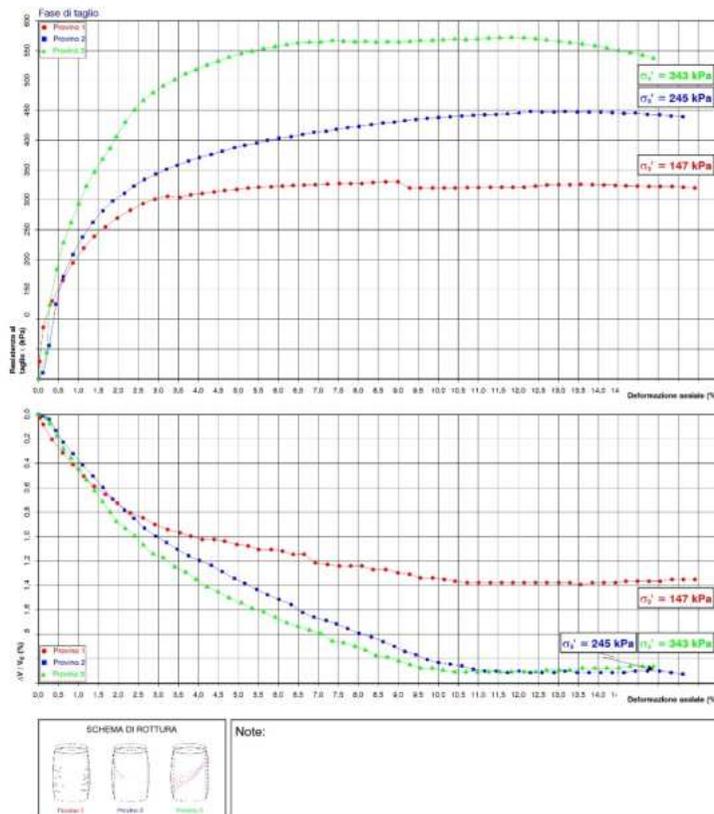
Drenaggi chiusi, deformazioni relativamente veloci, sovrappressioni alte. Si misurano le pressioni interstiziali

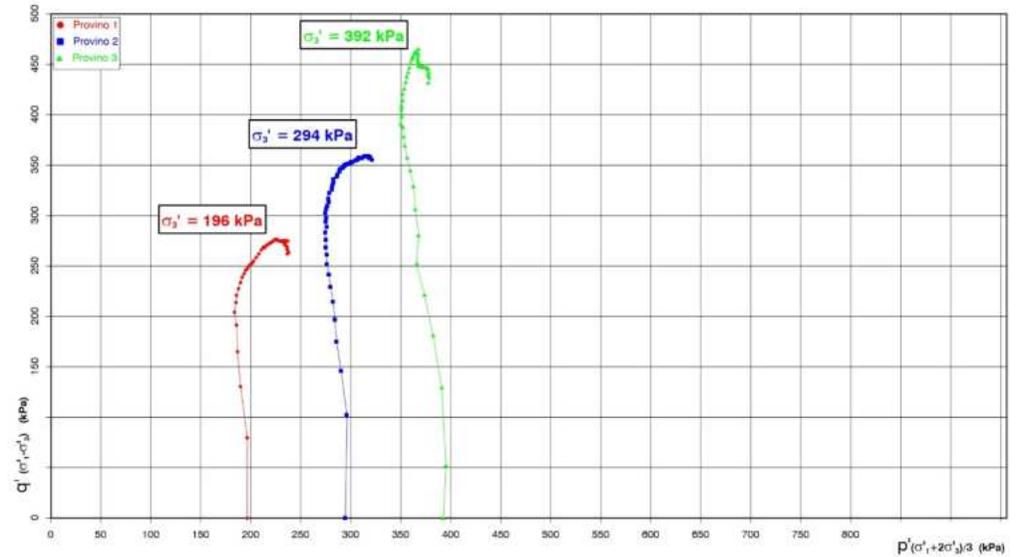
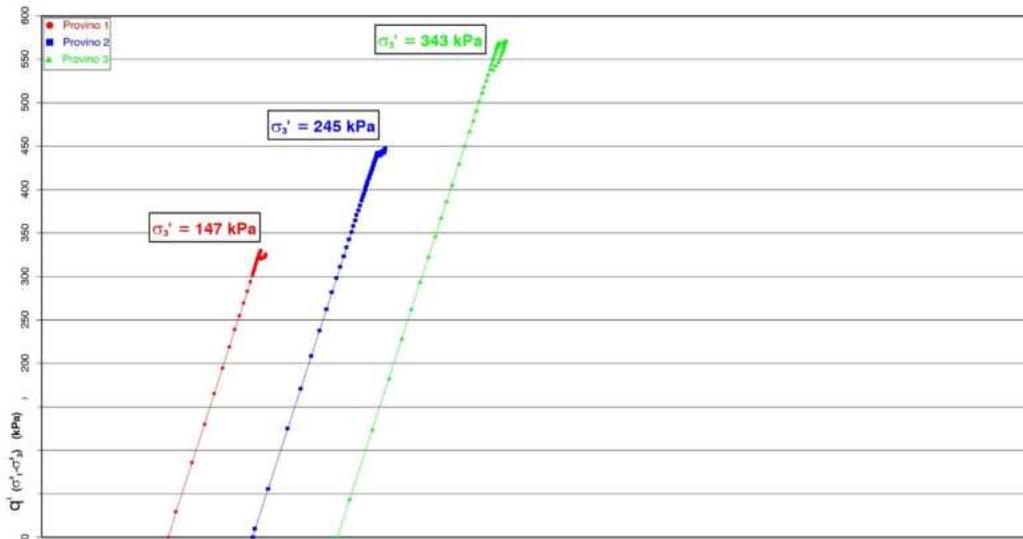
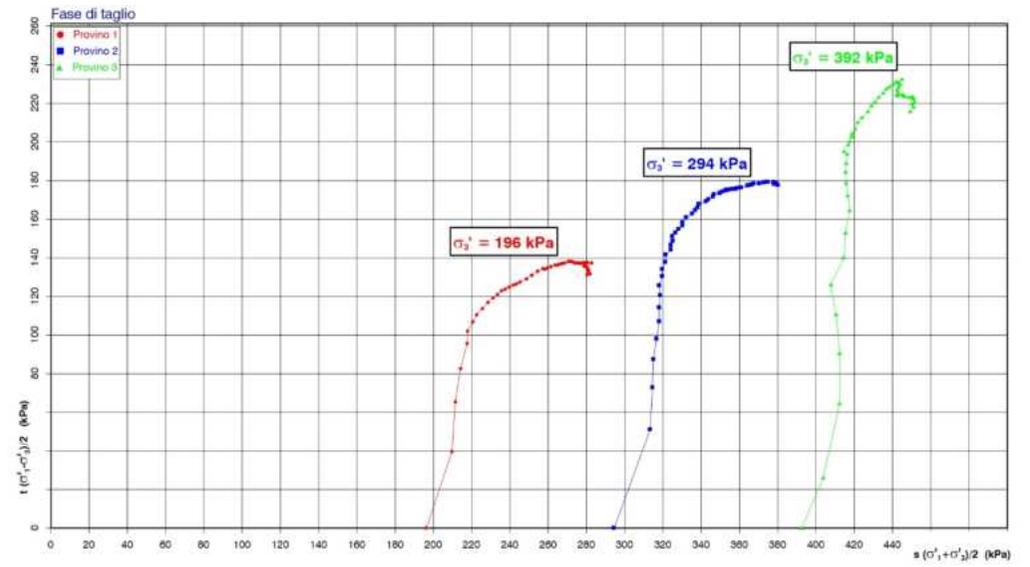
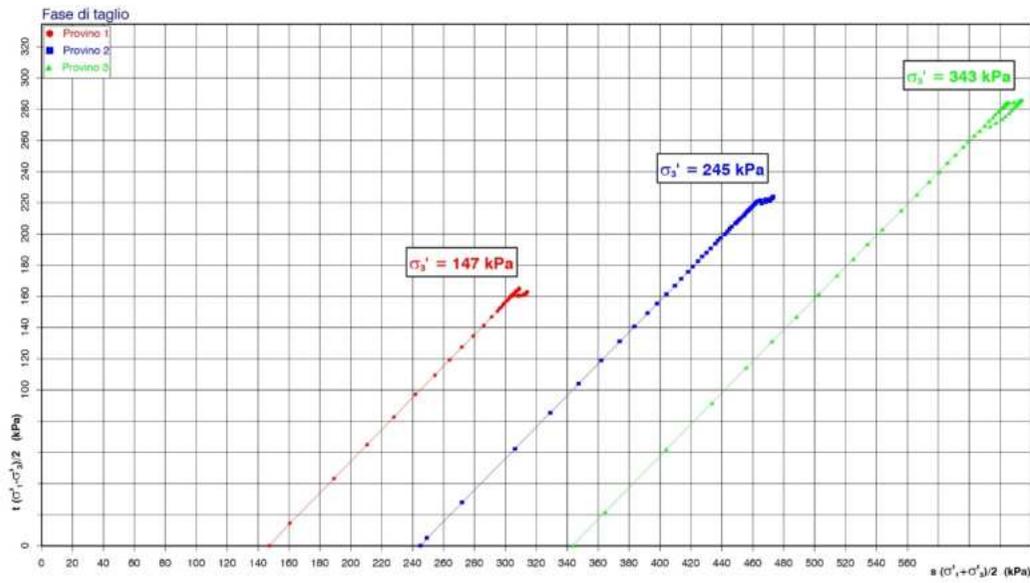


# Cosa otteniamo

(lo stretto indispensabile)

Indicazione sui cedimenti (consolidazione non monodimensionale), parametrizzazione drenata e non (però non è la resistenza non drenata), moduli elastici (in termini efficaci e totali), stress path (in termini efficaci e totali).



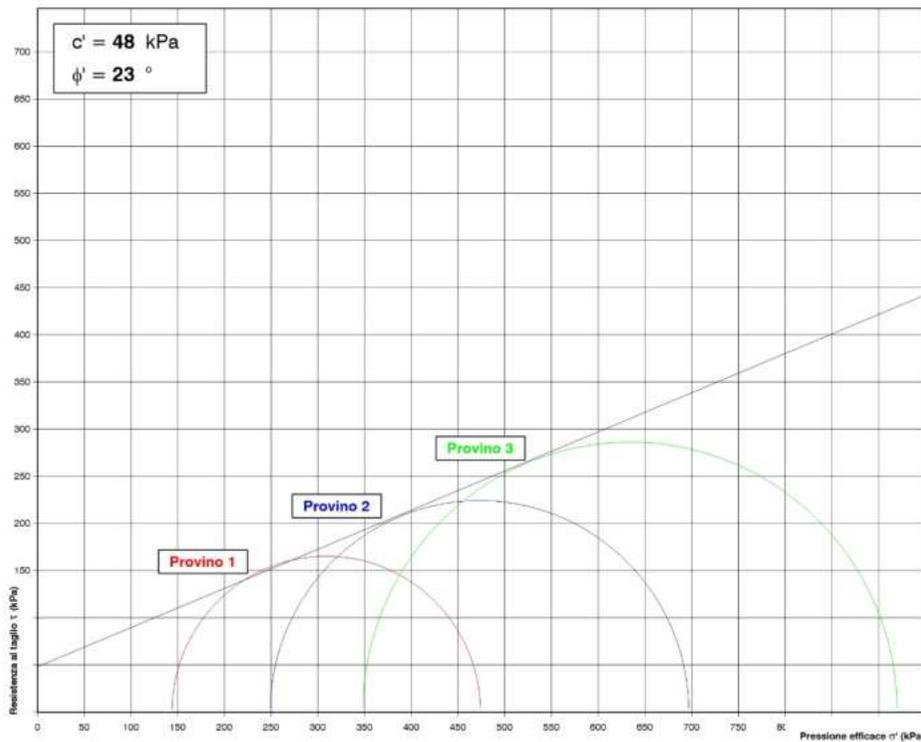


La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

## INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (CD)

Sondaggio n° 1      Campione n° 1      Profondità di prelievo:  
da m 12.50 a m 13.00

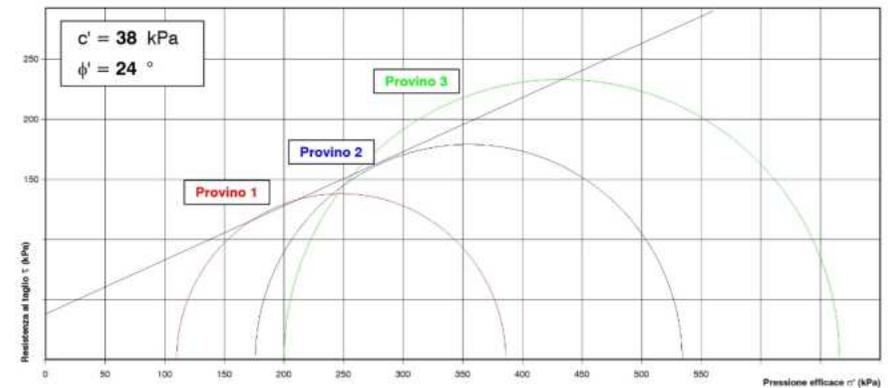
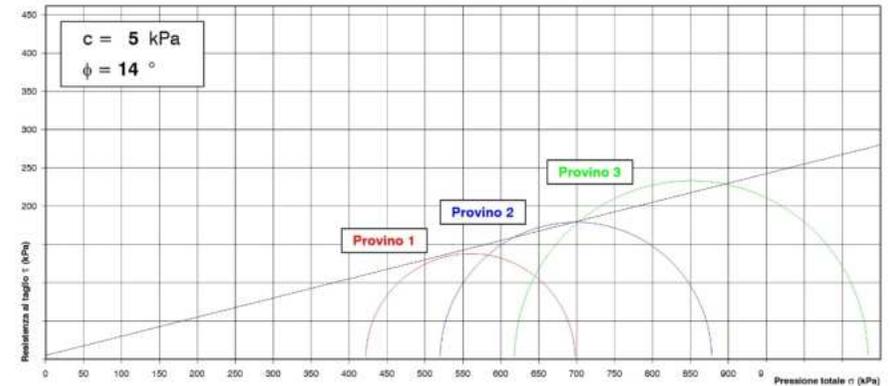
Provino n°		1	2	3
Tensione deviatorica a rottura	kPa	330	448	572
Deformazione assiale a rottura	%	8,69	12,31	11,83
Variazione volumetrica a rottura	%	1,27	2,11	2,11
Pressione di cella efficace	kPa	144	249	347
Tensione deviatorica media	kPa	165	224	286
Tensione efficace media	kPa	309	473	634
Pressione interstiziale a rottura (U)	kPa	233	225	223



## INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (CIU)

Sondaggio n° 6      Campione n° 4      Profondità di prelievo:  
da m 10.00 a m 11.00

Provino n°		1	2	3
Tensione deviatorica a rottura	kPa	276	359	465
Deformazione assiale a rottura	%	14,03	19,57	12,93
Pressione interstiziale a rottura (U)	kPa	312	344	418
Pressione di cella efficace a rottura	kPa	110	176	200
Tensione deviatorica media	kPa	138	179	233
Tensione efficace media	kPa	248	355	433
Coefficiente A		0,23	0,28	0,39



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

Quando chiederle

Se possibile, sempre

Esecuzione

Molto complessa, tempistiche medio-alte (da qualche giorno ad una settimana), costo alto

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori, anelli, misuratori di pressione.  
E' estremamente opportuna la conoscenza del peso specifico assoluto per i calcoli

# PROVE MECCANICHE

- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)
- Prova Triassiale CID
- Prova Triassiale CIU
- Prova Triassiale UU
- ELL

## DIFFERENZE

TX UU

Da eseguire su 3 provini (almeno su 2)

Difficilmente saturabili

Possibilità di misurare U

Si ottengono moduli non drenati

Il risultato è la resistenza non drenata (detta anche coesione non drenata  $c_u$ )

## DIFFERENZE

ELL

Da eseguire su 3 provini (usualmente su 1)

NON saturabili

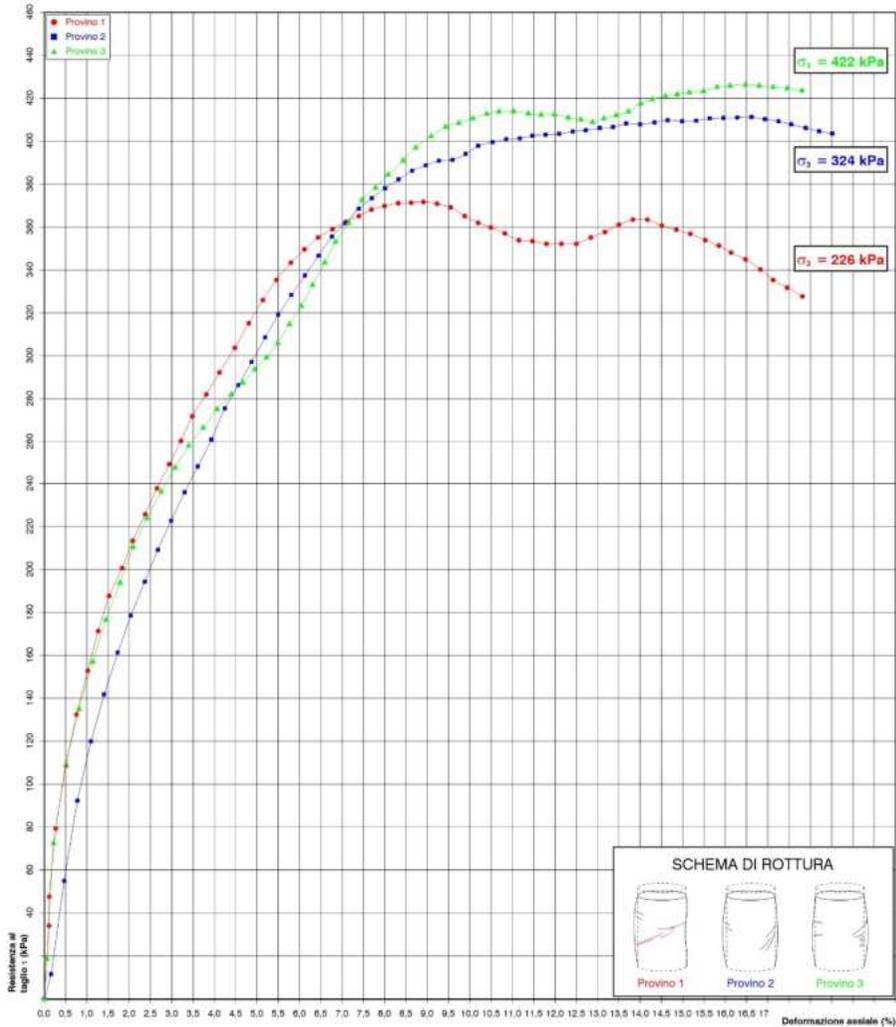
Nessuna possibilità di misurare U

Si ottengono moduli non drenati

Il risultato è la resistenza a rottura  $\sigma_f$

## PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (UU)

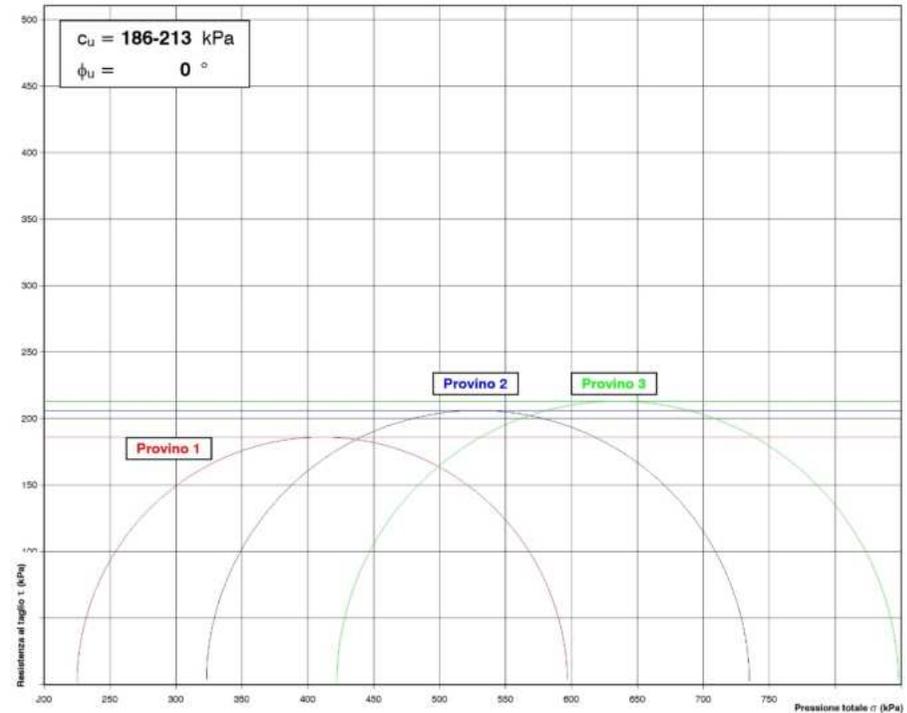
(UNI CEN ISO/TS 17892-8)



## INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (UU)

Sondaggio n° 13      Campione n° 5      Profondità di prelievo: da m. 24.50 a m. 25.00

Provino n°		1	2	3
Tensione deviatorica a rottura	kPa	372	411	426
Deformazione assiale a rottura	%	8,91	16,61	16,48
Pressione interstiziale a rottura (U)	kPa	--	--	--
Tensione deviatorica media	kPa	186	206	213
Tensione media	kPa	411	529	635
Coefficiente A		--	--	--



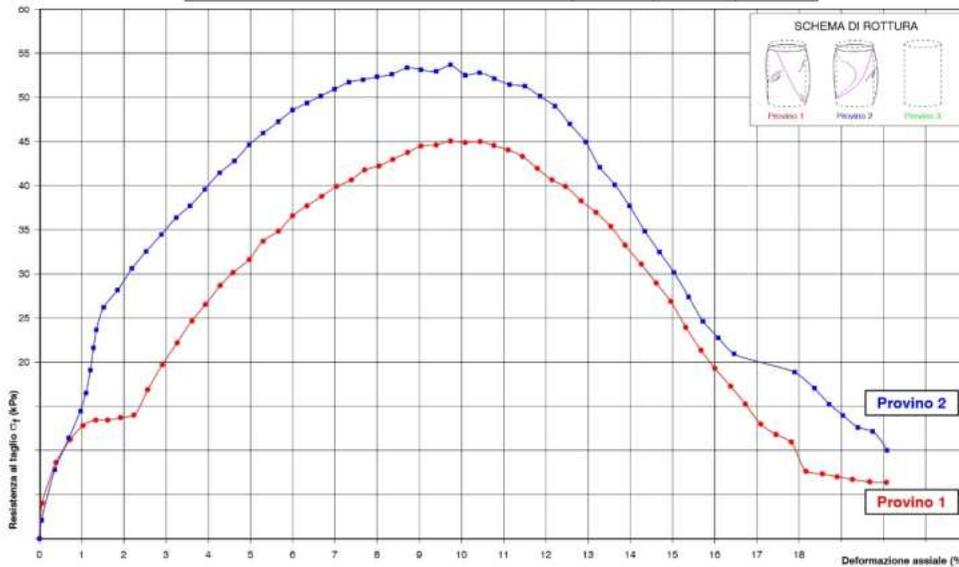
La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

## PROVA DI ESPANSIONE LATERALE LIBERA

(UNI CEN ISO/TS 17892-7)

### CARATTERISTICHE DEI PROVINI

Provino		1	2	3
Diametro	cm	3,81	3,78	--
Altezza	$H_0$ cm	7,60	7,64	--
Contenuto d'acqua	$W_i$ %	55,7	49,3	--
Peso di volume	$kN/m^3$	15,31	15,19	--
Peso di volume dei grani	$kN/m^3$	25,23	25,23	--
Indice dei vuoti	$e$	1,572	1,484	--
Grado di saturazione	$S_r$	91	86	--
Velocità di deformazione	mm/min	1,02	1,02	--
Deformazione assiale a rottura	%	9,74	9,74	--
Resistenza a rottura	kPa	45	54	--



Detta prova di compressione non confinata o anche prova ELL - ad espansione laterale libera (viene normalmente evitato di chiamarla prova di compressione semplice perché questo termine è usualmente utilizzato per le prove su rocce lapidee)

NON saturi

Molto “granulari” con possibilità di un drenaggio nel corso della prova

Resistenza media 50 kPa (circa 0,5 kg/cmq)

Quando chiederle

Se possibile, sempre, privilegiando TxUU e/o numero di provini per una corretta analisi statistica

Esecuzione

Da mediamente a poco complesse, tempistiche basse (1-2 giorni), costo basso del singolo provino

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori, anelli (misuratori di pressione). E' estremamente opportuna la conoscenza del peso specifico assoluto per i calcoli.

## PROVE DI PERMEABILITA'

- In permeametro a carico costante
- In permeametro a carico variabile
- In cella triassiale (carico costante)
- In cella edometrica (carico variabile)

## DIFFERENZE

In permeametro

Su provini rimaneggiati ovvero ricostituiti con densità ed umidità note tramite compattazione

Provini grandi (ritenuti maggiormente rappresentativi)

Tempi molto lunghi nel caso di carichi variabili

In entrambi i casi è sempre molto opportuno confrontare i risultati con quelli ottenuti da prove di permeabilità eseguite in sito su pozzetti (permeabilità in pozzetto, Lefranc, Boutwell) o in foro di sondaggio (Lefranc)

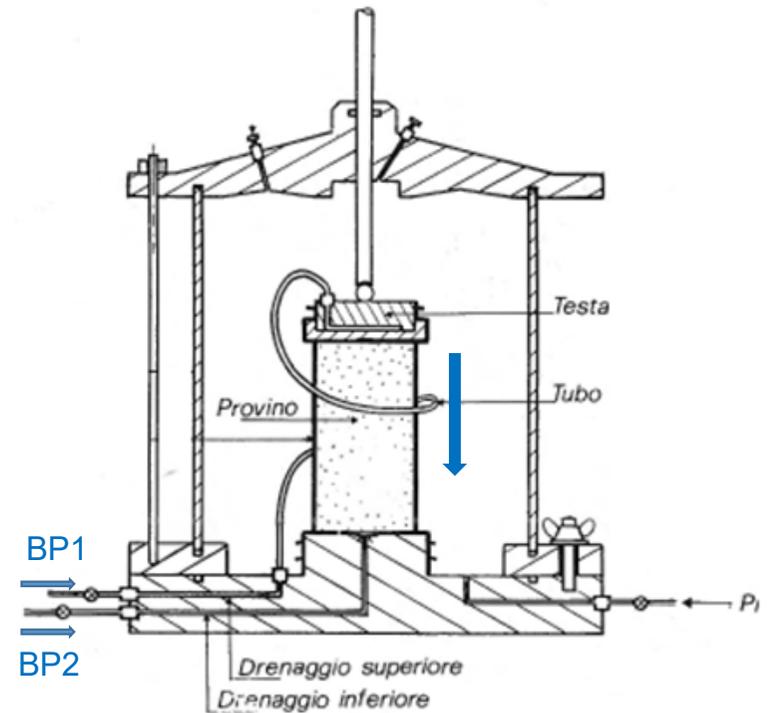
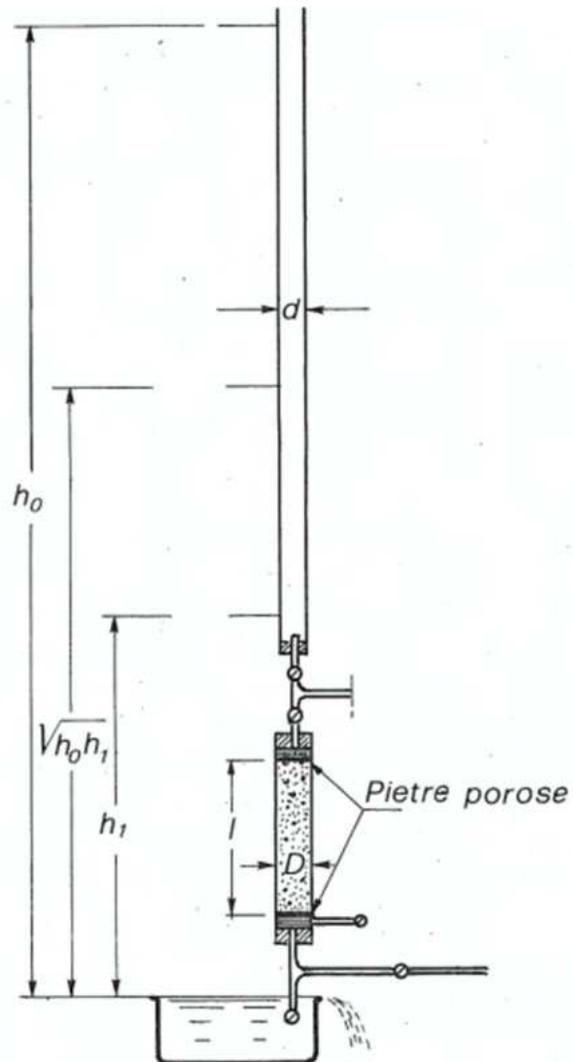
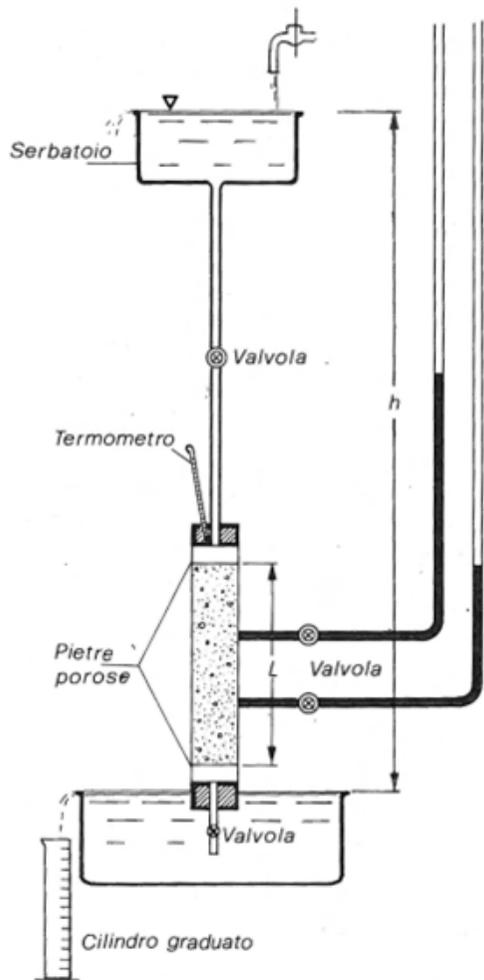
## DIFFERENZE

Nelle celle (Tx o Ed)

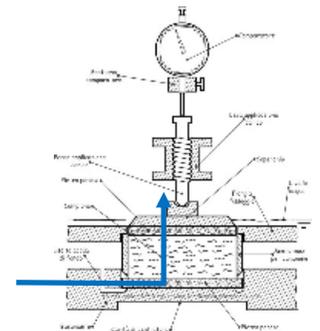
Su provini da campioni indisturbati

Provini piccoli

Tempi molto lunghi nel caso di carichi costanti



BP1 > BP2 (carico costante)



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

Quando chiederle

Lapalissianamente, quando necessarie (da valutare con attenzione la scelta del tipo di strumento)

Esecuzione

Mediamente complesse (molto complessa quella in cella Tx), tempistiche anche molto lunghe (settimane), costo da basso ad elevato

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori, termometri. E' estremamente opportuna la conoscenza del peso specifico assoluto per i calcoli.



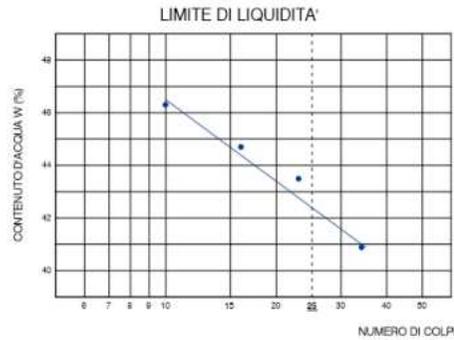
Certificato di prova: (foglio 1 di 1)	
Verbale di Accettazione: Lavoro di laboratorio:	
Sondaggio n° 1	Campione n° II
Profondità di prelievo:	

**CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA**  
(UNI CEN ISO 17892-12)

Data di inizio prova LL e LP		Data di fine prova LL e LP	
Data di inizio prova LR		Data di fine prova LR	
<b>LIMITE DI LIQUIDITA'</b>	<b>LL</b>	<b>42 %</b>	
<b>LIMITE DI PLASTICITA'</b>	<b>LP</b>	<b>19 %</b>	
<b>INDICE DI PLASTICITA'</b>	<b>IP</b>	<b>23 %</b>	
<b>LIMITE DI RITIRO</b>	<b>LR</b>	<b>- %</b>	
<b>CONTENUTO NATURALE D'ACQUA</b>	<b>W<sub>n</sub></b>	<b>15,0 %</b>	
<b>INDICE DI CONSISTENZA</b>	<b>IC</b>	<b>&gt;1</b>	
<b>INDICE DI LIQUIDITA'</b>	<b>IL</b>	<b>&lt;0</b>	
<b>RAPPORTO DI RITIRO</b>	<b>R<sub>r</sub></b>	<b>-</b>	
<b>INDICE DI RITIRO</b>	<b>I<sub>r</sub></b>	<b>-</b>	
<b>INDICE DI ATTIVITA'</b>	<b>A</b>	<b>0,70</b>	

prova n°	colpi n°	W %	
1	10	46,3	LL
2	18	44,7	
3	23	43,5	
4	34	40,9	
5	-	-	
1	Dev. Standard 0,28	19,3	LP
2	-	18,9	
1	-	-	LR
2	-	-	



Note: la determinazione ottenuta a 23 colpi non è stata considerata nell'interpolazione.

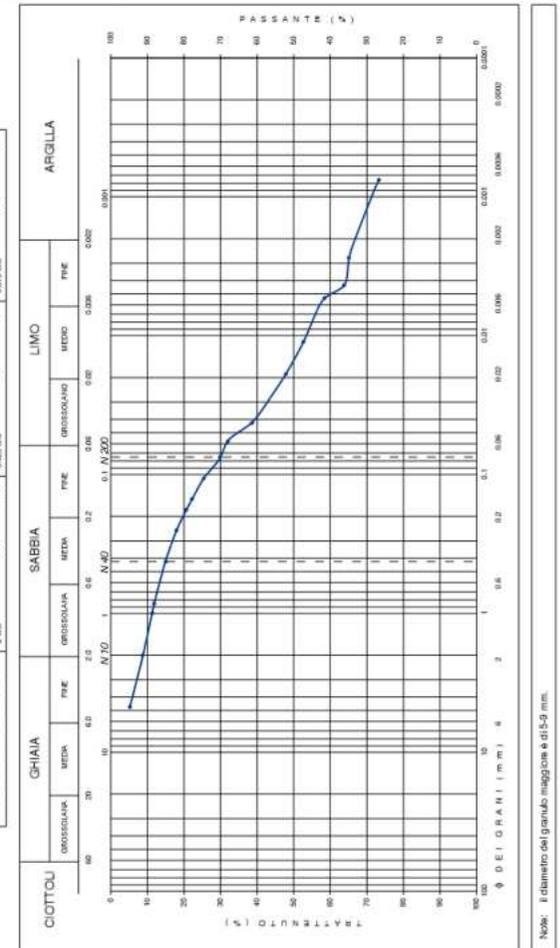
La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

Certificato di prova: (foglio 2 di 2)	
Verbale di Accettazione: Lavoro di laboratorio:	
Sondaggio n° 1	Campione n° II
Profondità di prelievo:	

**ANALISI GRANULOMETRICA**  
(UNI CEN ISO 17892-4)

Descrizione granulometrica del campione: LIMO CON ARGILLA SABEROSO DEBOLMENTE GHIAIOSO

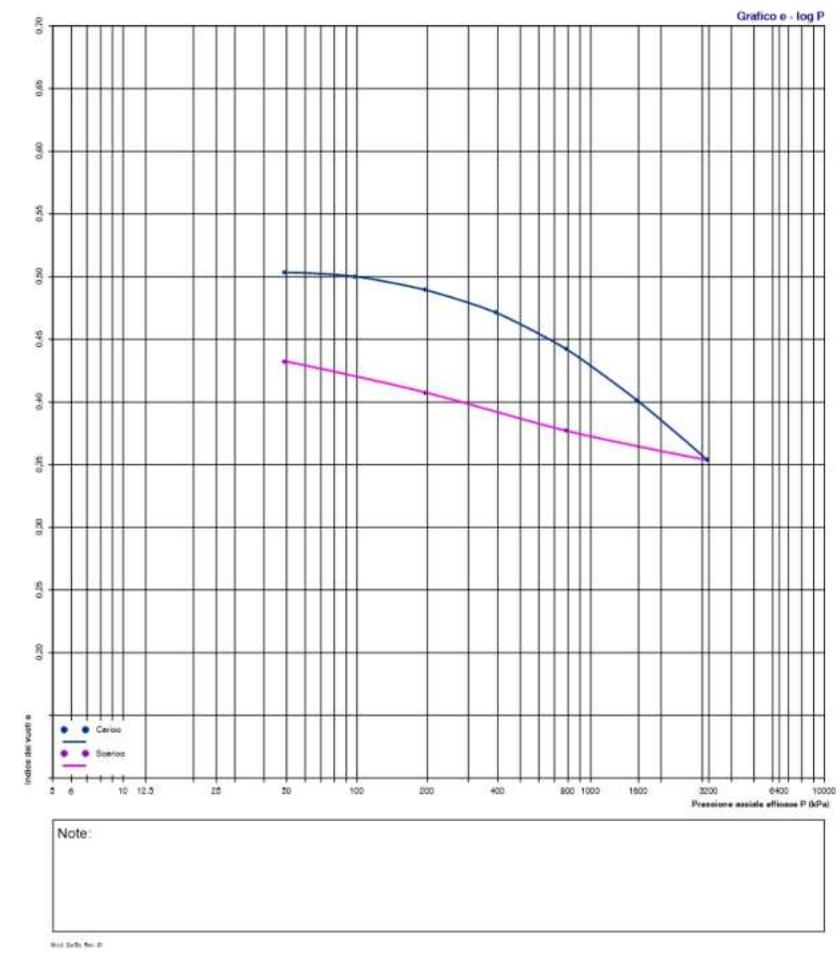
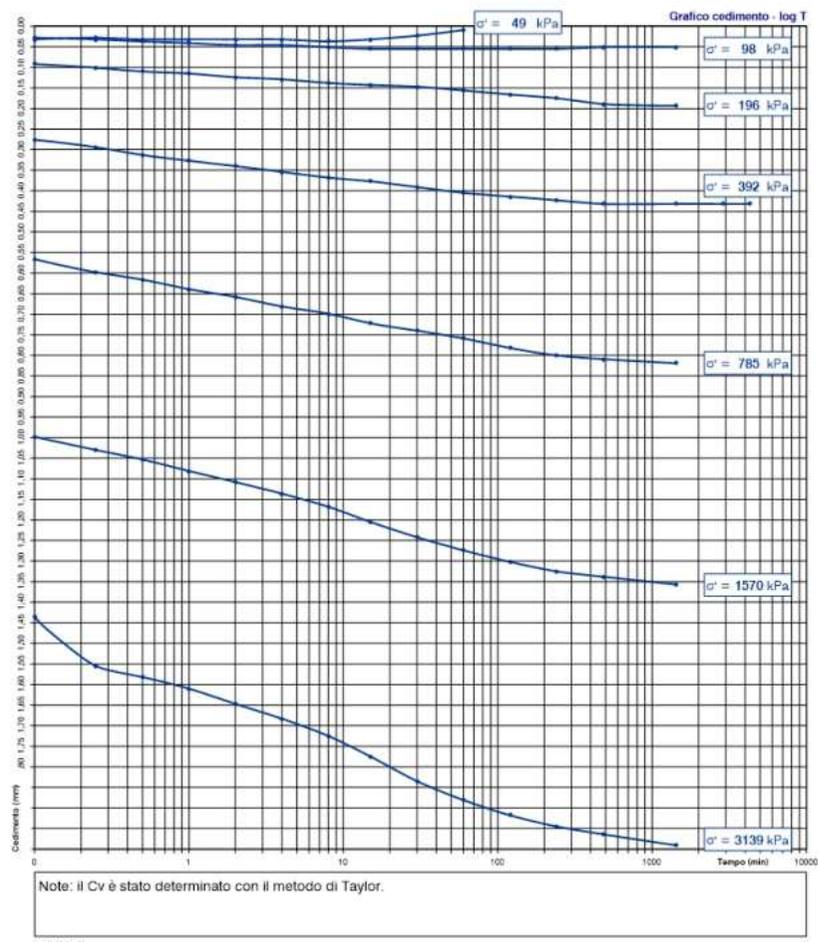
<b>GHIAIA</b> 2-20 mm	<b>%</b>	<b>0</b>	<b>SABBIA</b> 0,063-2 mm	<b>%</b>	<b>23</b>	<b>LIMO</b> 0,063-0,075 mm	<b>%</b>	<b>35</b>	<b>ARGILLA</b> < 0,002 mm	<b>%</b>	<b>33</b>
<b>PASSANTE AI SETACCI</b> N 10 2 mm	<b>%</b>	<b>91</b>	<b>PASSE</b> N 40 0,425 mm	<b>%</b>	<b>65</b>	<b>N 200</b> 0,075 mm	<b>%</b>	<b>70</b>			



Note: il diametro dei granuli maggiore è di 5,0 mm.

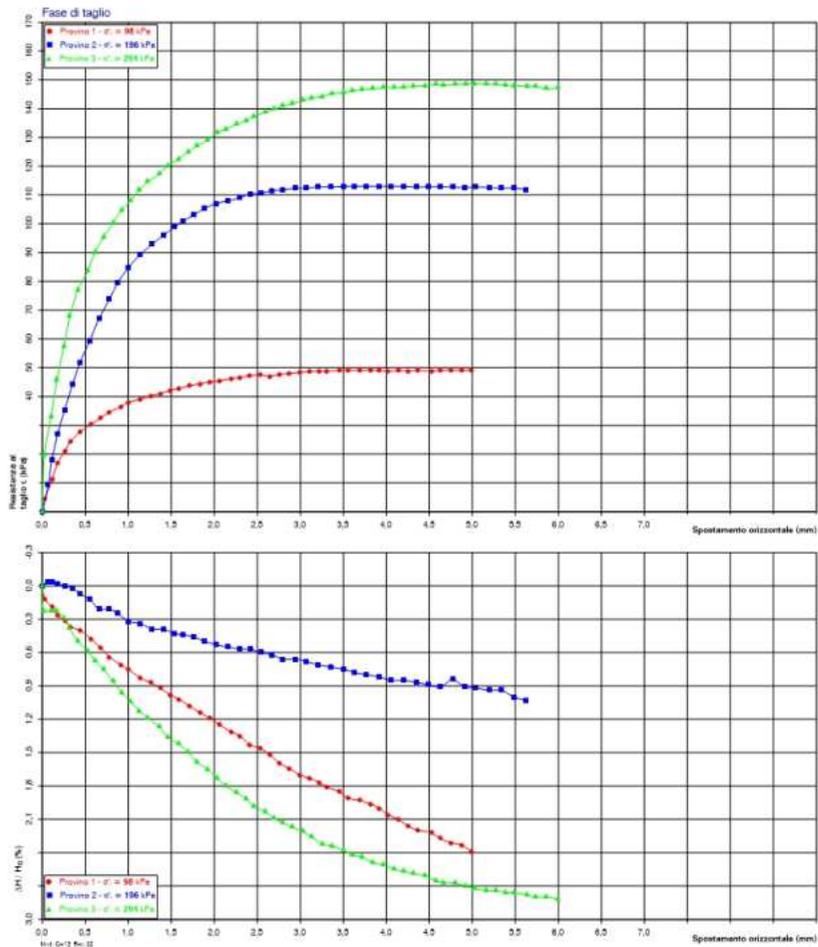
**PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA**  
 (UNI CEN ISO 17892-5)

**PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA**  
 (UNI CEN ISO 17892-5)

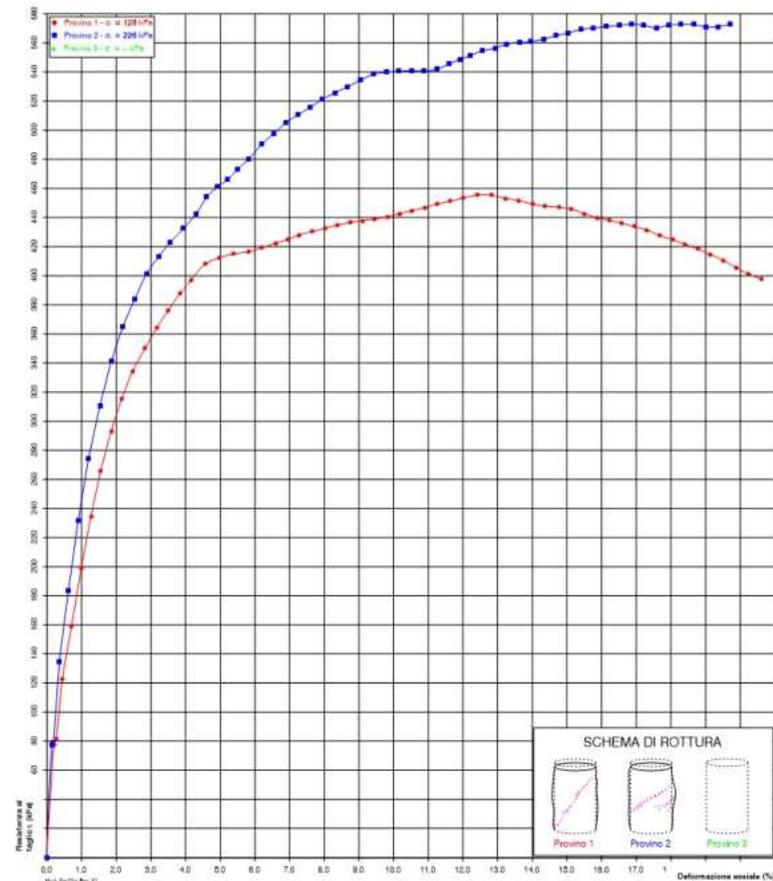


La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
 Stefano Cianci 28/03/2025

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)**  
 (UNI CEN ISO 17892-10)



**PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (UU)**  
 (UNI CEN ISO 17892-8)

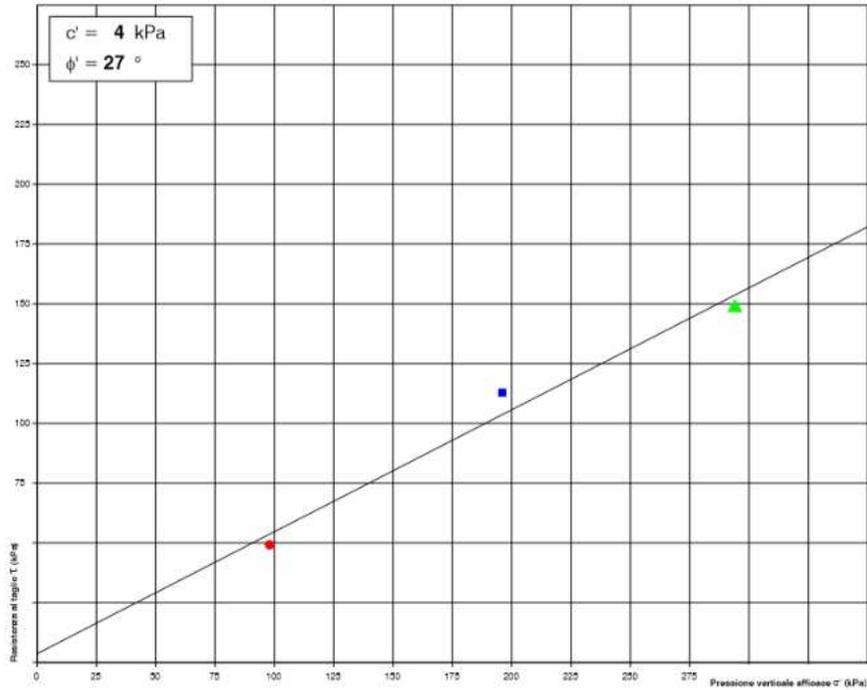


La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
 Stefano Cianci 28/03/2025

## INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

Sondaggio n° 1      Campione n° II      Profondità di prelievo:  
da m 03.00 a m 03.60

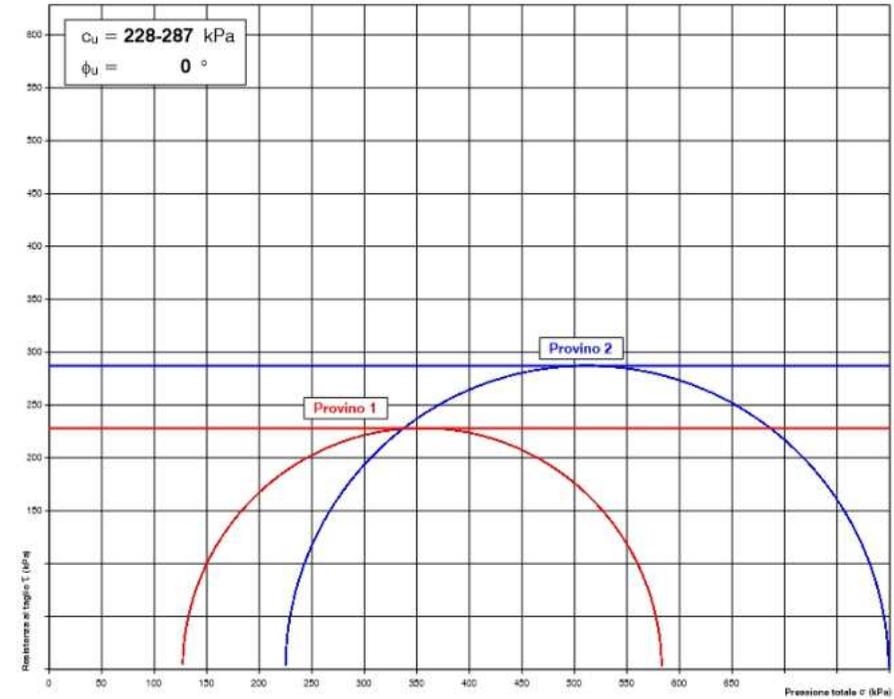
Provino n°		1	2	3
Carico verticale efficace	kPa	98	196	294
Deformazione verticale a rottura	%	1,85	0,75	2,70
Spostamento orizzontale a rottura	mm	3,45	3,50	4,92
Sollecitazione di taglio a rottura	kPa	49	113	149



## INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (UU)

Sondaggio n° 1      Campione n° II      Profondità di prelievo:  
da m 03.00 a m 03.60

Provino n°		1	2	3
Tensione deviatorica a rottura	kPa	455	573	--
Deformazione assiale a rottura	%	12,42	18,86	--
Pressione interstiziale a rottura (U)	kPa	--	--	--
Pressione di cella totale a rottura	kPa	128	226	--
Tensione deviatorica media	kPa	228	287	--
Tensione media	kPa	355	512	--
Coefficiente A		--	--	--



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

# PROVE DI COMPATTAZIONE

- Con energia Proctor standard
- Con energia Proctor modificata
- CBR

**R.R. Proctor** nel 1930-1933 sviluppa il principio della compattazione in una serie di articoli pubblicati in “Engineering News-Record”

Proctor stabilisce che la compattazione è funzione di 4 variabili:

1. Densità secca
2. Contenuto di acqua
3. Sforzo di compattazione
4. Tipo di terra (classe, granulometria, caratteristiche fisiche, ecc.)



Definisce l'energia necessaria a compattare un determinato volume di terreno in determinate condizioni di umidità.

TERRENI FINI:

- elevata energia di compattazione
- efficacia relativa

TERRENI GRANULARI:

- minore energia di compattazione
- elevata efficacia

# UNI EN 13286-2

Tipo di prova	Caratteristica della prova	Simbolo	Dimensione	Stampo Proctor		
				A	B	C
Prova Proctor	Massa del pestello	$m_R$	kg	2,5	2,5	15,0
	Diametro del pestello	$d_2$	mm	50	50	125,0
	Altezza di caduta	$h_2$	mm	305	305	600
	Numero di strati	-	-	3	3	3
	Numero di colpi per strato	-	-	25	56	22
Prova Proctor modificata	Massa del pestello	$m_R$	kg	4,5	4,5	15,0
	Diametro del pestello	$d_2$	mm	50	50	125,0
	Altezza di caduta	$h_2$	mm	457	457	600
	Numero di strati	-	-	5	5	3
	Numero di colpi per strato	-	-	25	56	98

A.A.S.H.T.O.

	Tipo di fustella	Dimensioni della fustella			Dimensioni e peso del pestello		n° strati	n° colpi per strato	Altezza di caduta del pestello in cm	Energia per unità di volume
		Diametro	Altezza	Volume	Diametro	Peso				
		cm	cm	cm <sup>3</sup>	mm	N (kg)				
A.A.S.H.T.O. Standard (T-99-61)	A	10,16	11,66	943	50,8	24,476 (2,495)	3	25	30,48	59
	B	15,24	11,66	2125	50,8	24,476 (2,495)	3	56	30,48	59
A.A.S.H.T.O. Modificato (T-180-61)	A	10,16	11,66	943	50,8	44,498 (4,536)	5	25	45,72	269
	B	15,24	11,66	2125	50,8	44,498 (4,536)	5	56	45,42	269

$$E = \text{Pesomaglio} * H_{\text{caduta}} * n_{\text{colpiperstrato}} * n_{\text{strati}} / \text{Volumefustella} \text{ [N*cm/cm}^3\text{]}$$

$$1 \text{ kg} = N/9,81$$

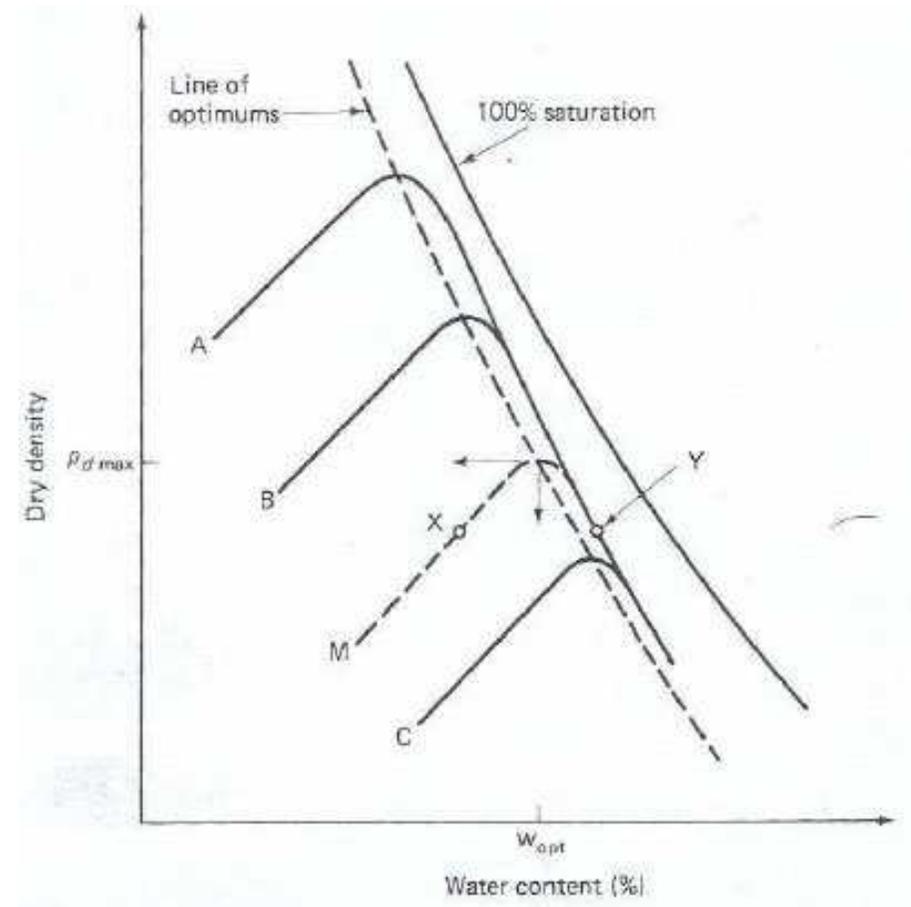
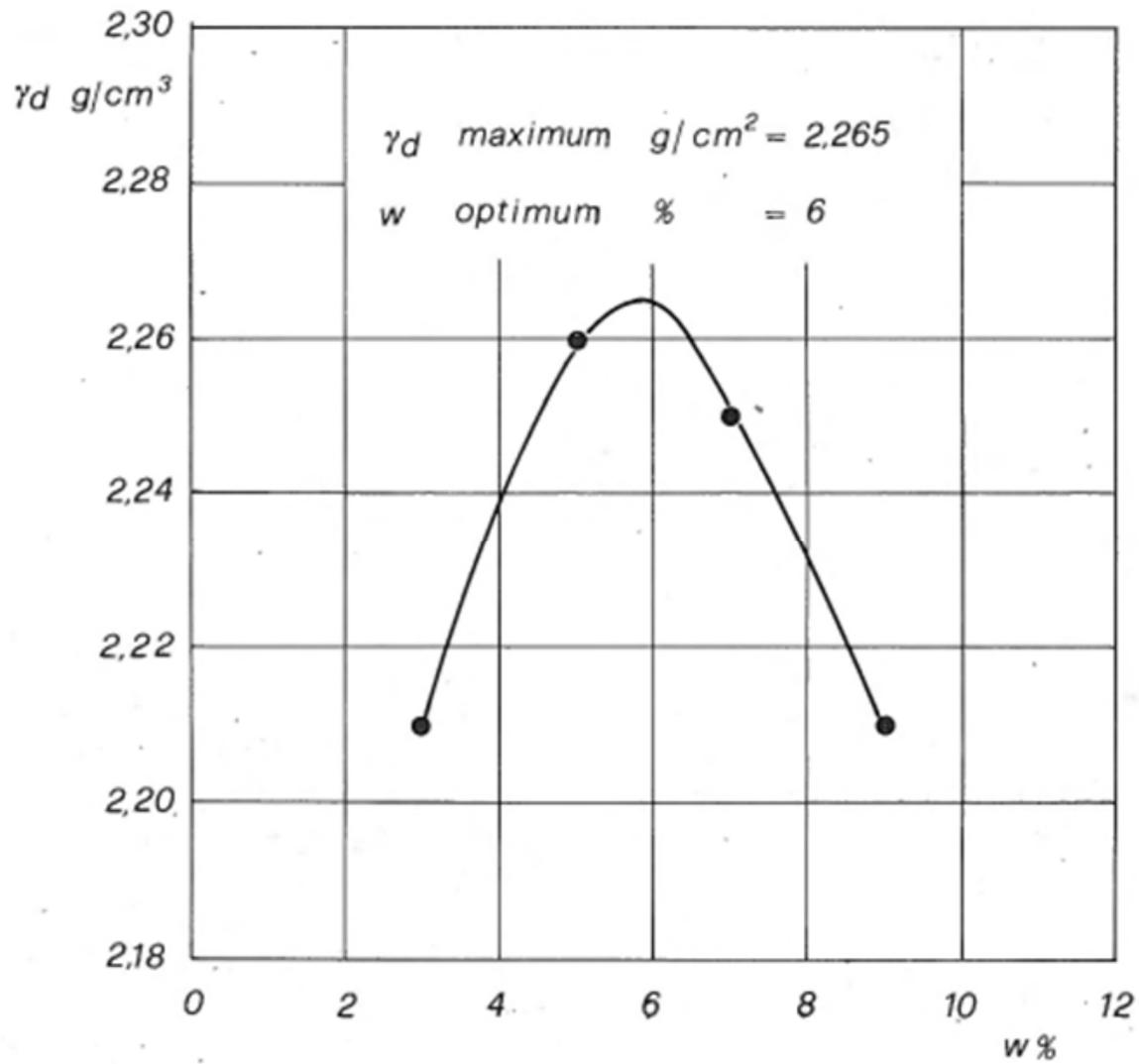


Foto da Matest S.p.A.



Foto da Geotea S.r.l.

La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

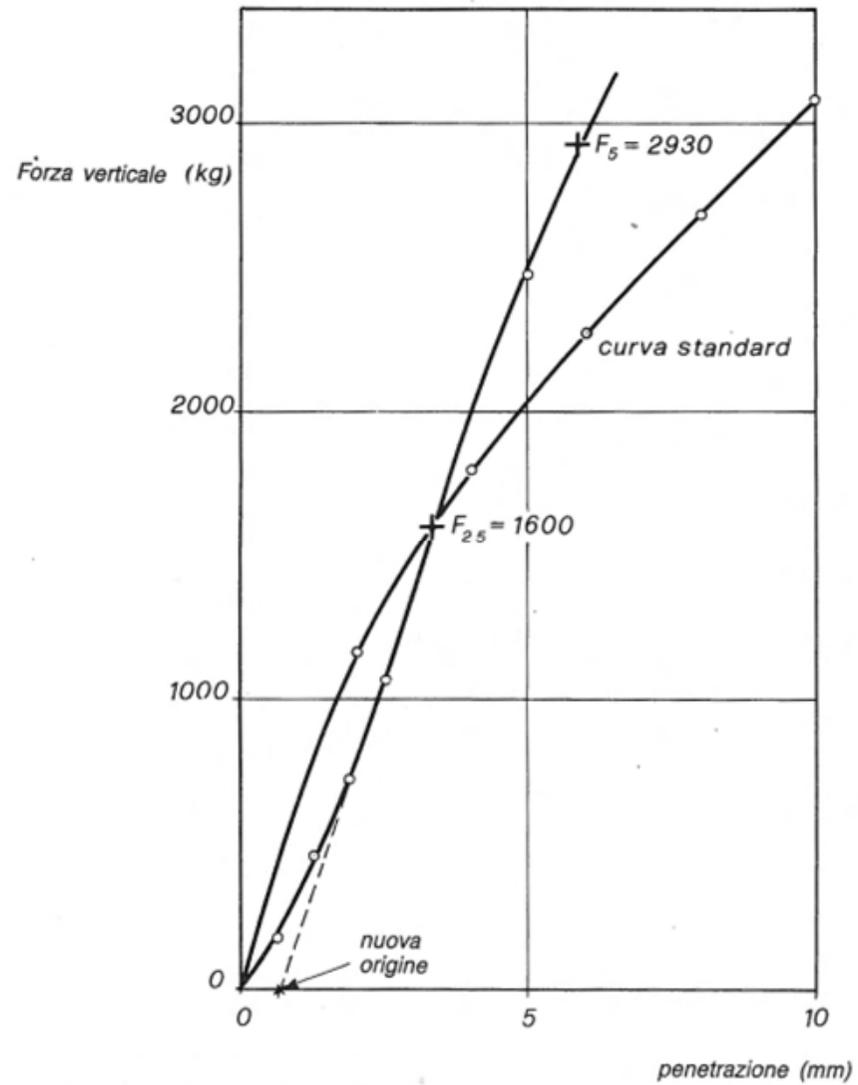
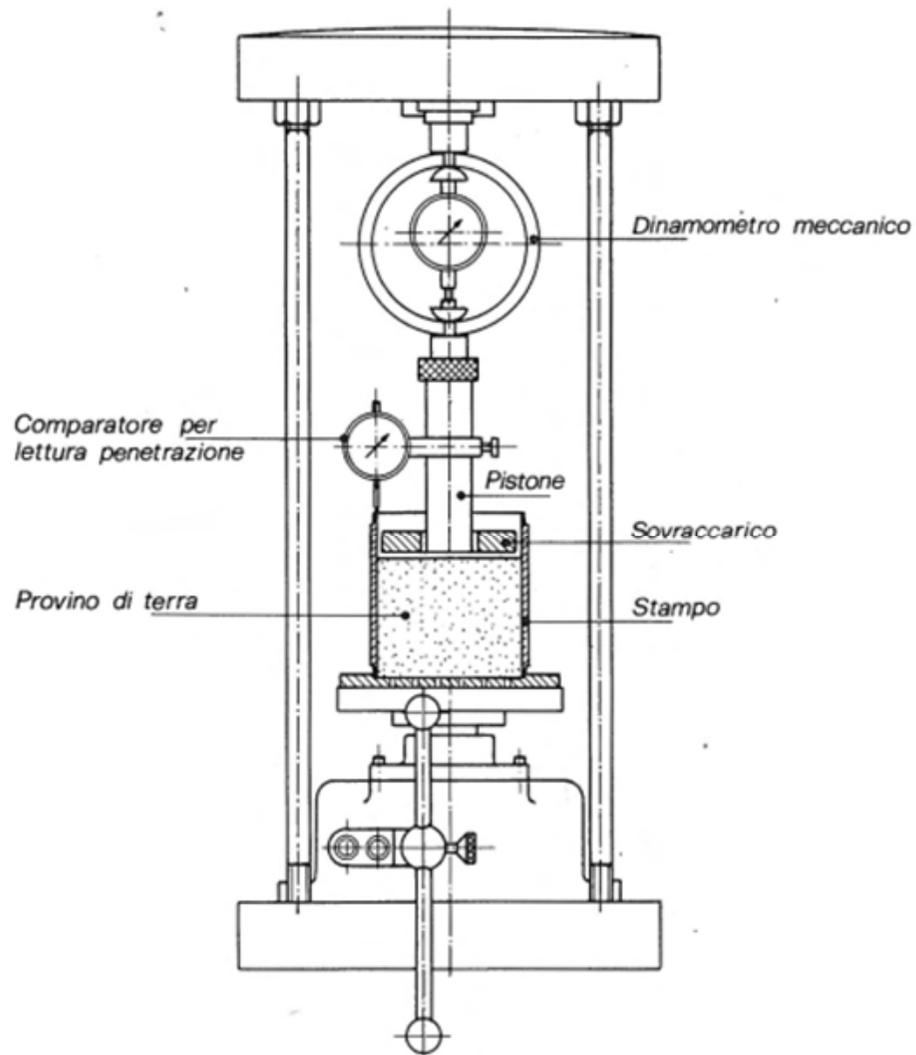


Su terreno naturale (tal quale) o su materiale compattato ad una definita percentuale dei valori ottimi, è possibile definire la portanza del terreno come percentuale di un valore di riferimento. Questa prova è detta C.B.R. (California Bearing Ratio).

Viene misurato l'inserimento di un cilindro nel terreno ad una velocità di infissione definita e registrata la resistenza a due infissioni determinate (a 2,5 ed a 5 mm). I valori di resistenza ottenuti vengono divisi per due corrispondenti valori di riferimento: il rapporto più alto sarà il CBR.

Vengono considerate due “tipologie” di prove:

- IPI (indice di portanza immediato) viene eseguito sul materiale così come ottenuto;
- CBR viene eseguito dopo imbibizione del provino per 96h, avendo cura di misurarne l'eventuale rigonfiamento



Quando chiederle

In ambito stradale/ferroviario o in presenza di arginature s.l.

Esecuzione

Mediamente complesse, tempistiche mediamente lunghe, costo medio-alto

Strumenti tarati

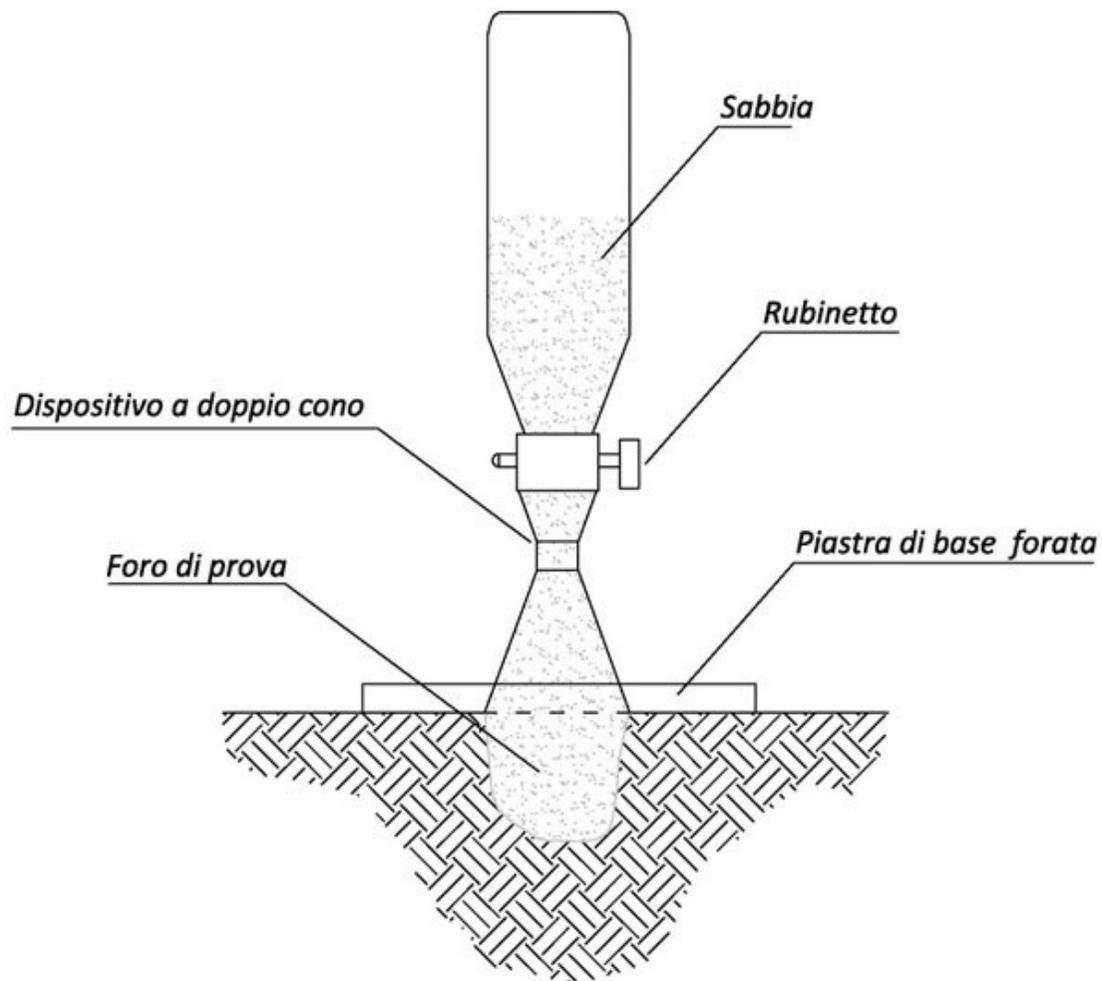
Bilancia, comparatori, anelli. E' estremamente opportuna la conoscenza del peso specifico assoluto per i calcoli.

# PROVE IN SITO

- Carico su piastra
- Densità in sito

Con riferimento ad un rilevato:

- la prova di densità in sito definisce se l'addensamento del materiale è conforme ai valori di compattazione richiesti (ed ottenuti da prova di compattazione). Viene utilizzato solitamente il volumometro a sabbia;
- la prova di carico su piastra verifica se i moduli elastici ottenibili dal materiale compattato in opera siano compatibili con quelli previsti dal progetto (ovvero dalla normativa).



La sabbia deve avere densità nota ed essere resistente agli urti senza produrre polvere.

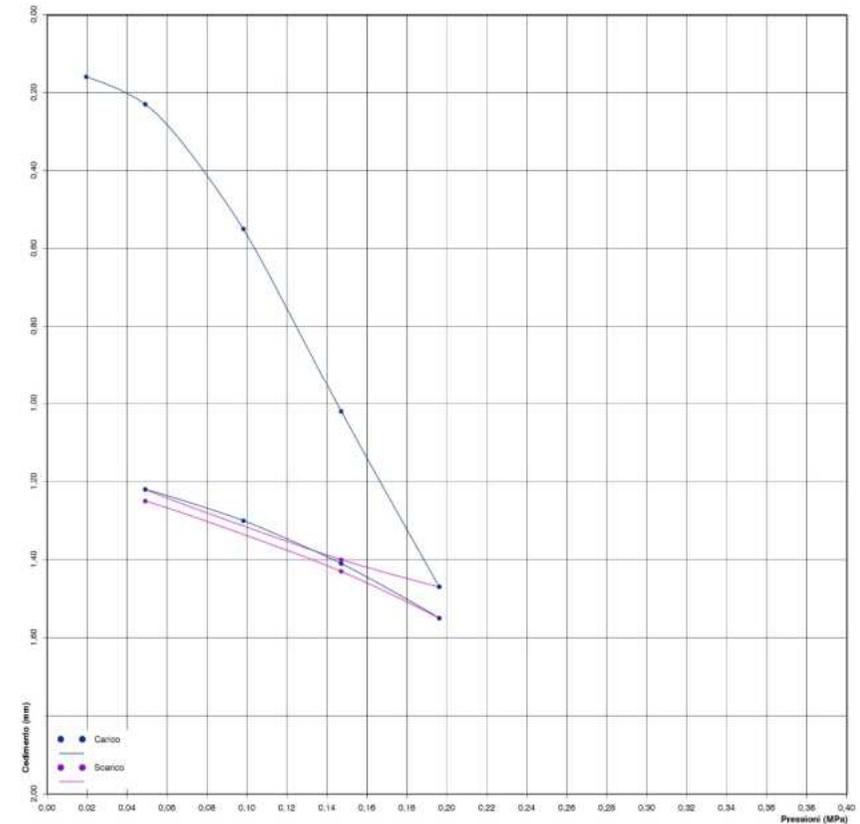
Su materiali molto grossolani non è assolutamente indicata.



Può essere eseguita su ciclo singolo o con doppio ciclo di carico/scarico.

### PROVA DI CARICO SU PIASTRA

(C.N.R. B.U. n° 146 - Anno XXVI)



Si misurano i cedimenti per ogni gradino di carico

$$M_d = \frac{\Delta P}{\Delta \varepsilon}$$

E' anche "dinamica" (utilizza la risposta elastica del terreno alla caduta di un grave)

Quando chiederle

In ambito stradale (ma anche ferroviario) o in presenza di arginature s.l.

Esecuzione

Relativamente complesse, tempistiche basse, costo medio-alto

Strumenti tarati

Comparatori, manometri.

## Modulo di Winkler

Più propriamente “costante di sottofondo”, è il parametro che relaziona la deformazione puntuale del terreno al carico che l’ha provocata, nell’ipotesi che il terreno sia perfettamente elastico.

Con questa teoria il cedimento che si ha in un punto dipende dal carico applicato in quel punto.

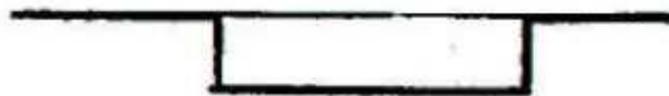
La legge che definisce il modello può scriversi come:

$$q = kw$$

dove  $k$  è la costante di sottofondo.

La costante  $k$  non ammette una proporzionalità con le caratteristiche del terreno, dimensionalmente è data da un peso per unità di volume.

La deformazione di un terreno reale è sensibilmente diversa da quella che prevede il modello di Winkler, infatti il carico applicato su una porzione di terreno induce degli effetti anche sulle zone ad esso adiacenti.



*Deformazione secondo Winkler.*



*Deformazione reale del terreno.*

E' ottenibile direttamente e solamente da prove di carico su piastra aventi diametro di 75 cm eseguite con doppio ciclo di carico e scarico.

Nonostante la piastra da 30 cm sia estremamente più pratica per il trasporto, essa fornisce risultati meno rappresentativi in quanto coinvolge un volume di terreno notevolmente inferiore, inoltre i risultati devono essere matematicamente correlati alla piastra da 75 cm.

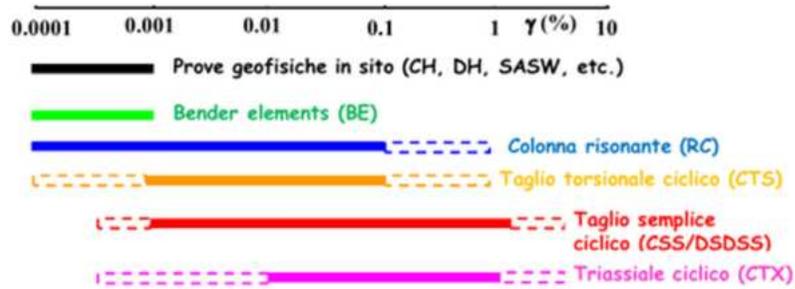
Normata CNR BU N. 146 del 14 Dicembre 1992

Non esistono valori del coefficiente di Winkler “ottimali”, ma solo valori che **devono corrispondere** ai dati di progetto.

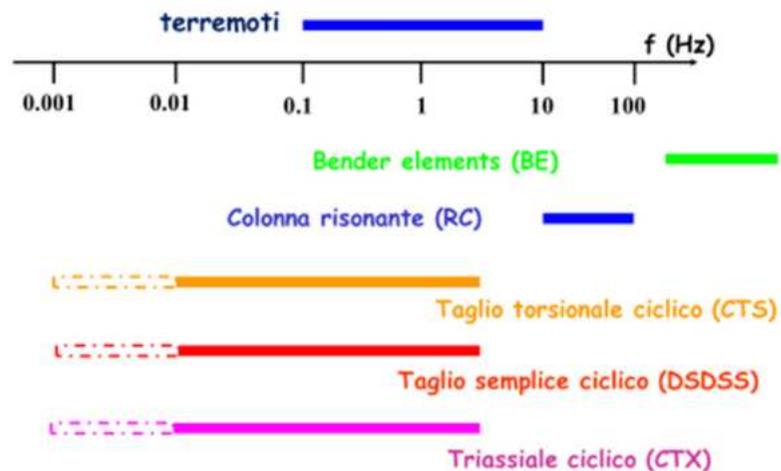
# PROVE DINAMICHE

- Colonna risonante
- Taglio torsionale ciclico
- Prove triassiali cicliche
- Bender elements
- Prove di taglio semplice ciclico

## Campi deformativi



## Frequenze

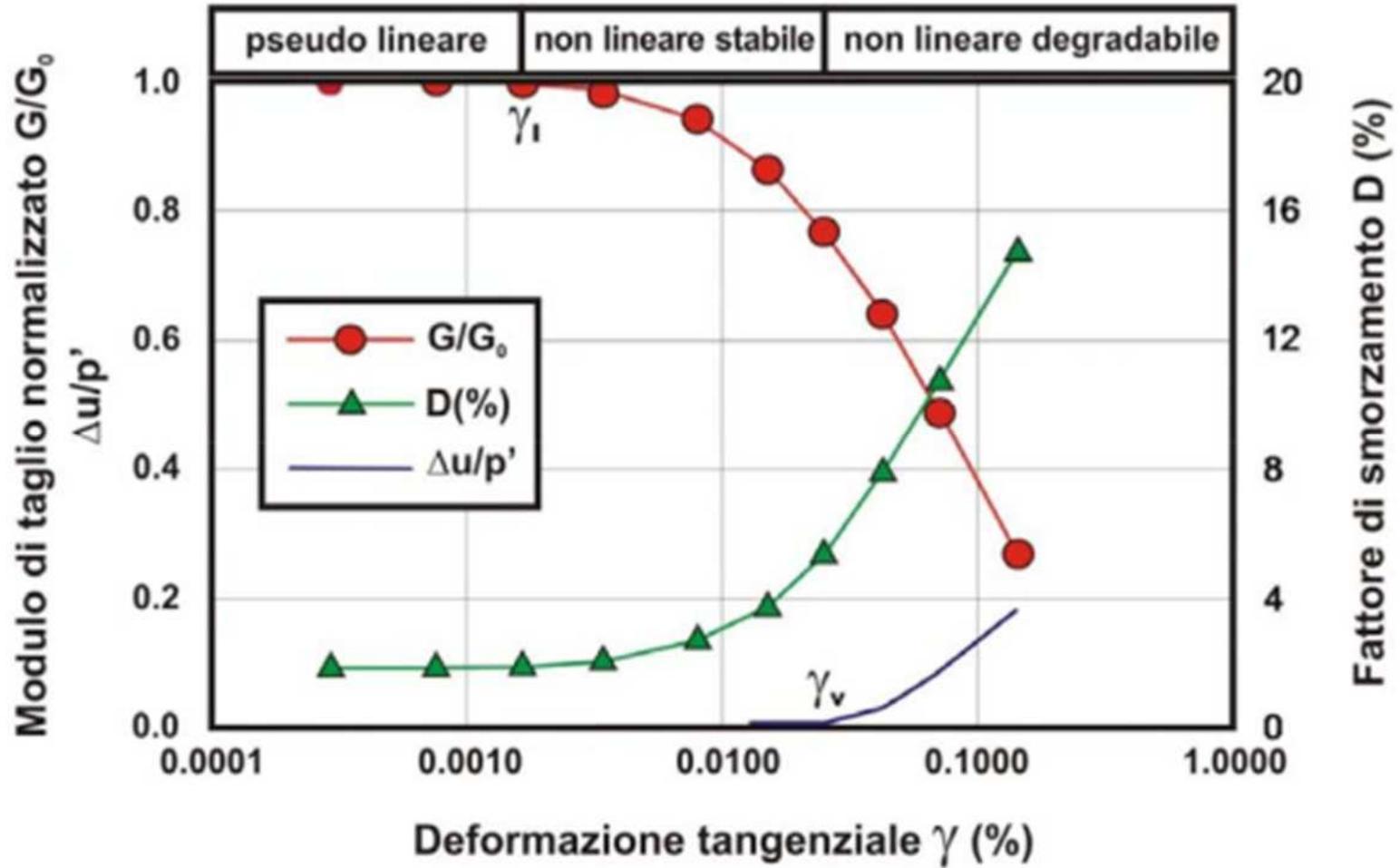


Si ottengono

Variazione di G modulo di taglio

Variazione di D smorzamento (dumpling)

In estrema sintesi, all'aumentare delle deformazioni imposte il valore di G diminuisce in quanto il materiale passa in un campo di deformazioni “permanentì” (deformazione plastica), campo in cui il materiale non riesce più a restituire il “segnale” legata al passaggio dell'impulso “sismico”



## Colonna risonante

Si applicano carichi variabili con legge sinusoidale e con frequenze elevate per raggiungere le condizioni di risonanza.

Non è possibile raggiungere la condizione di rottura, ma si determinano le leggi di decadimento della rigidità e dell'incremento del fattore di smorzamento con la deformazione tangenziale.

Entrambe su provini cilindrici (pieni) e non drenate. Condizioni ottenibili con attuatori di carico elettromagnetici (quindi stesso macchinario)

## Taglio torsionale ciclico

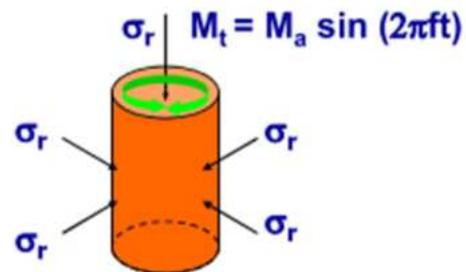
Si attuano condizioni di taglio semplice sovrapponendo ad uno stato di tensione efficace una coppia torcente variabile nel tempo con legge periodica.

Le prove sono indicate per la misura della rigidità a piccole e medie deformazioni

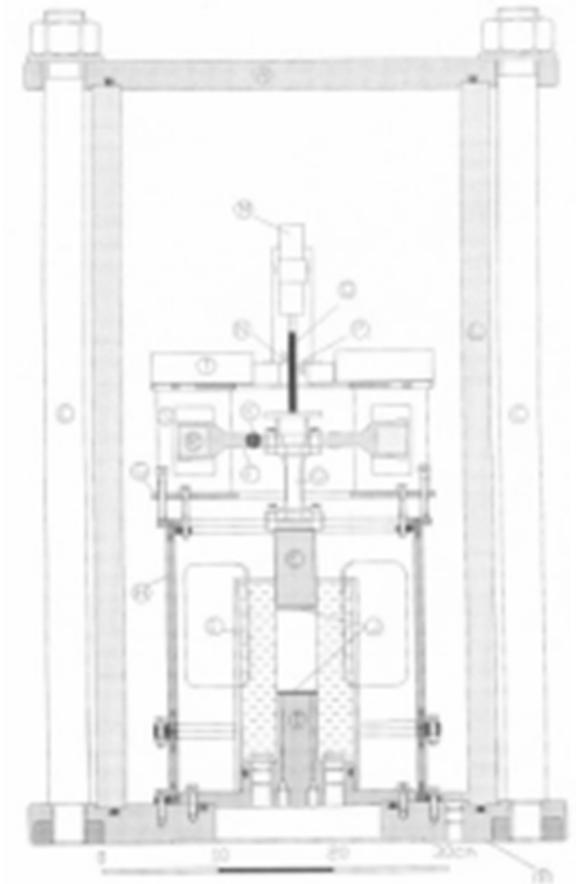


Sollecitazioni (momento torcente) applicate in condizioni dinamiche

- fissato  $M_a$  (ampiezza del momento), si fa variare la frequenza con continuità individuando la prima frequenza di risonanza



- Cicli di momento torcente che danno luogo a condizioni di taglio semplice
- La frequenza è tenuta costante e l'ampiezza del momento è incrementata ad ogni ripetizione della prova





La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025



La geotecnica di laboratorio (e non solo)  
Stefano Cianci 28/03/2025

Quando chiederle

Specifici studi legati al comportamento dinamico del terreno (es. Risposta Sismica Locale).

Esecuzione

Estremamente complesse, tempistiche medio-alte (anche 2 settimane, secondo il tipo di terreno), costo alto

Strumenti tarati

Trasduttori, manometri, celle di pressione.

## **Capo, ma che cce famo co' 'ste prove?**

- **Stabilizzazione a calce e/o a cemento**
- **Gestione delle prove per i manti minerali (di fondo, capping, ecc.)**
- **Arginature**
- **Strade**
- **Scavi s.l.**
- **Fondazioni**
- **...**

**GRAZIE PER LA PAZIENZA E L'ATTENZIONE**

**LA GEOTECNICA DI LABORATORIO (E NON SOLO)**

**Ricordando Massimo Parente**

Roma, 28 marzo 2025  
Stefano Cianci

 geoplanning  
SERVIZI PER IL TERRITORIO