LA GEOLOGIA NEL MONDO DEL LAVORO

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

LE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO:

SCELTA E VALUTAZIONE

(in memoria di Massimo Parente)

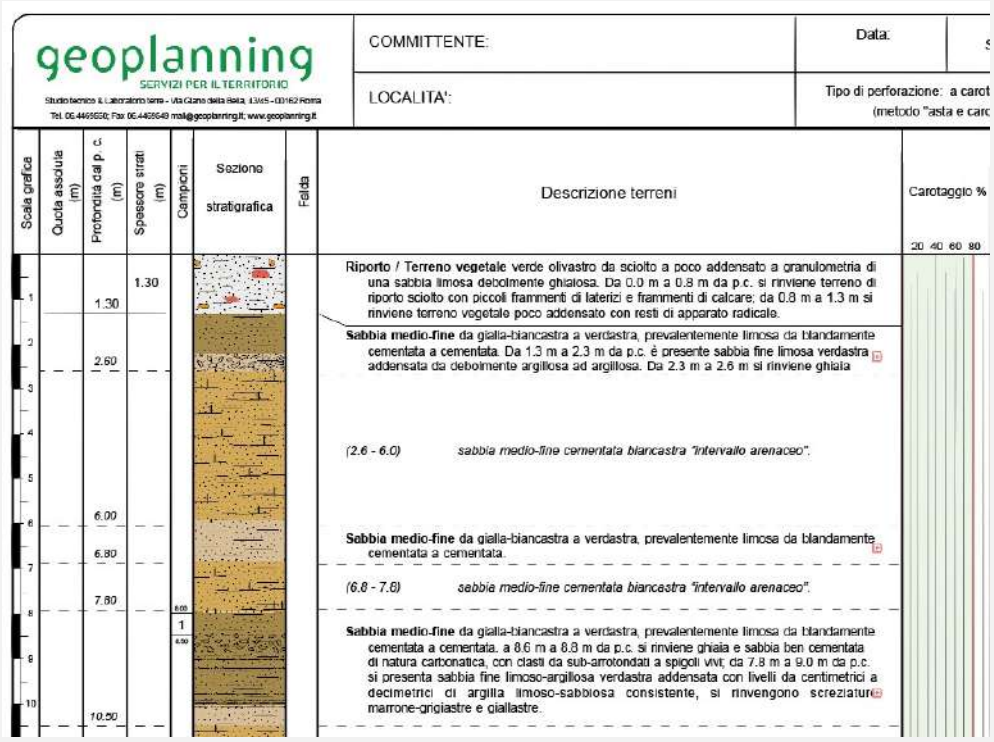
Roma, 14 marzo 2024

Stefano Cianci

LE FONDAZIONI
Massimo Parente Giulio Filippucci Adelmo Graziosi
Opere di sostegno,
stabilità dei versanti,
opere in sotterraneo
Scienza & Tecnica
Carocci editore

«La caratterizzazione geotecnica mediante prove di laboratorio»

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



da Raccomandazioni AGI (1977), modificata

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/laterale	N° di colpi	Densità Relativa	Angolo di attrito	Coesione non drenata	Cedimenti	Modulo di reazione	Coeff. 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	X	-
LIMI ORGANICI	X	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	X	-
ARGILLE ORGANICHE	X	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	X
ARGILLITI	?	?	X	-	X	?	X	?	?	?	?	?	?	-	-	?	-	-	-	X	X	?
ROCCE TENERE	-	-	X	-	X	X	X	-	X	X	-	?	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
ROCCE	-	-	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

SCAVI NON CONTRASTATI

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Stabilità a breve termine (A1, A2)	c_u (SLU)	Triassiale CIU [*1] Triassiale UU [*2] Prove ELL[*3]	Prove ELL, scissometriche di laboratorio e Torvane sono da ritenersi indicative[*3]
Stabilità a lungo termine[*4] (A1, A2)	c' (SLU) ϕ' (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU [*5] Taglio Diretto[*6]	Condizione di picco *
	ϕ_{cv} (SLU)	Taglio diretto/ Triassiale CID [*7] Taglio diretto rimaneggiato al LL, Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	ϕ_r (SLU)	Taglio anulare e "Taglio diretto in modalità reverse"[*8]	Condizione di rottura con dislocazione estesa su terreni coesivi
Cedimenti del terreno e delle strutture circostanti per aggottamento dell'acqua durante gli scavi (SLE)	C_c E_d C_v	Prove edometriche	Nel caso di terreni granulari dovrà inoltre essere analizzata la possibilità di erosione interna del terreno
	k	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) ϕ' (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU[*5] Taglio diretto[*6]	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)	Eu	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[*9,10]	Cedimenti edometrici
	E_{Young}	C_v Triassiale CID Prove edometriche[*9,10]	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)	Cu (SLU) Eu (SLE)	Triassiale CIU*1 Triassiale UU*2	
Stabilità a lungo termine delle opere di sostegno (A1, A2)	c' (SLU) ϕ' (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU*10 Taglio diretto*5	Condizione di picco
	ϕ_{cv} (SLU)	Taglio diretto Triassiale CID*6 Taglio diretto rimaneggiato al LL Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	E_{Young} (SLE) ν (SLE)	Triassiale CID	
Valutazione allo scorrimento (A1, A2)	ϕ' (SLU) ϕ_{cv} (SLU)	Taglio diretto Triassiale CIU*5 Triassiale CD	c' = 0 (in sicurezza)
	Cu (SLU)	Triassiale CIU Triassiale UU	L'Adesione è funzione di Cu
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) ϕ' (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU*10 Taglio diretto*5	Condizioni di picco
	ϕ_{cv} (SLU)	Taglio diretto rimaneggiato al LL Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	ϕ_r (SLU)	Taglio anulare	Condizione di rottura con dislocazione estesa su terreni coesivi

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**

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

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
- K0
- 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

Classi di qualità dei campioni secondo AGI

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

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÷2 Kg/cm² (100÷200 KN/m²) può risultare possibile ottenere campioni indisturbati di lunghezza adeguata.

Classi di qualità dei campioni ottenibili da diversi campionatori secondo AGI

Classi di qualità dei campioni secondo l'Eurocodice

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				
Categoria di campionamento da utilizzare	A				
			B		
					C

Campioni cubici, campionatori ad infissione (shelby, osterberg)

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

Campionatori doppi (Mazier)

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

Da trivellazioni

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

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 temperatura 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 ≥25%

→ ... --osa (se presenti con percentuale 25%>P≥10%

→ ... debolmente --osa con (se presenti con percentuale >10%P≥5%

IL GRADO DI CONSISTENZA

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

Pocket (Kg/cm^2)	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

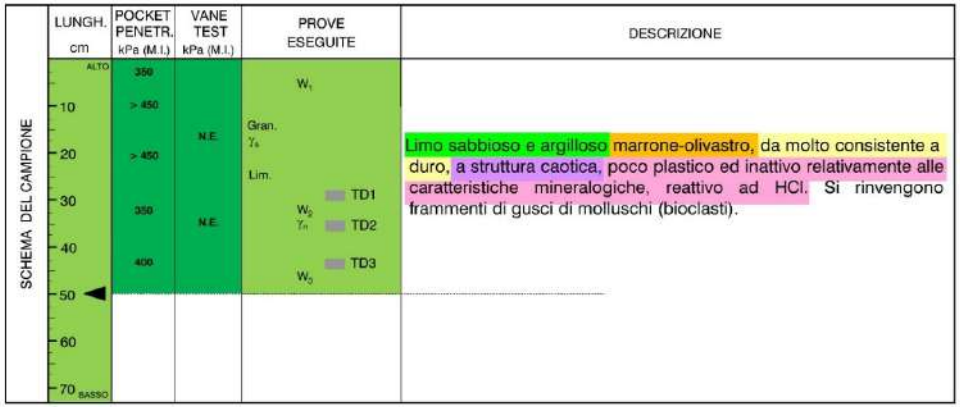
IL COLORE

Munsell soil color chart

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	**non dichiarata**	Forma del campione:	**cilindrica**
Tipo di campionatore (dichiarato):	**non dichiarato**	Diametro della carota Φ :	**85 mm**
Contenitore:	**fustella metallica**	Lunghezza della carota:	**500 mm**
Diametro esterno Φ del contenitore:	**90 mm**	Classe di Qualità (dichiarata):	**non dichiarata**
Lunghezza del contenitore:	**610 mm**	Società di perforazione che ha prelevato il campione:	**non dichiarata**
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



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

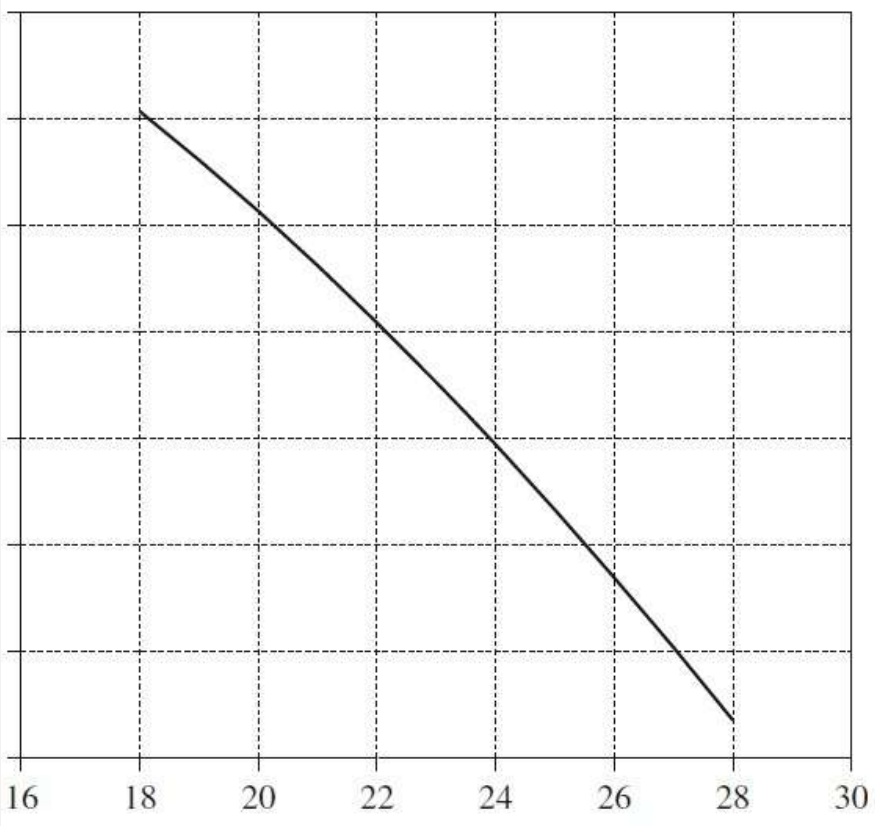
- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d’acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

Quando chiederli	Sempre, anche con campioni disturbati (non particolarmente utili su materiali sciolti)
Esecuzione	Semplice, tempistiche ridotte, costi bassi
Strumenti tarati	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
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

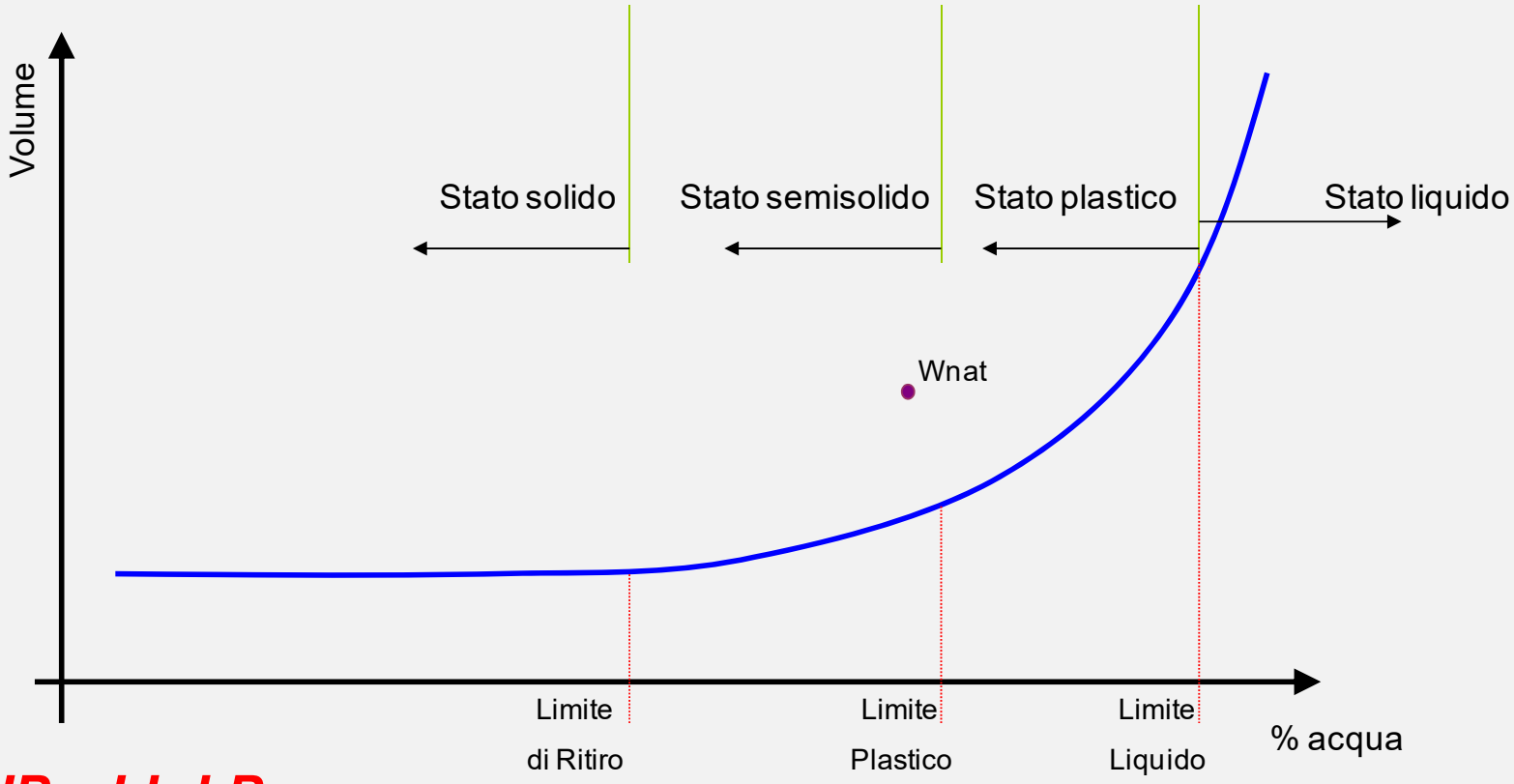
- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d’acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

Limiti di Atterberg

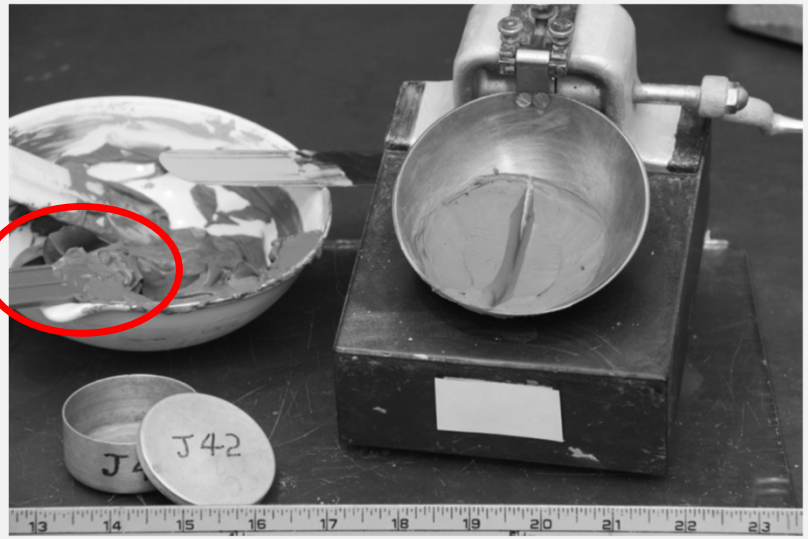
Limite Liquido

Limite Plastico

Limite di Ritiro

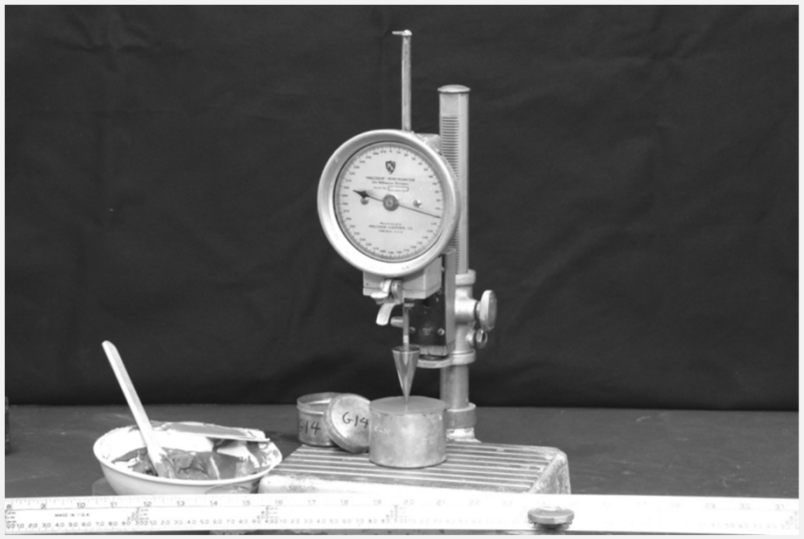


Indice Plastico IP = LL-LP



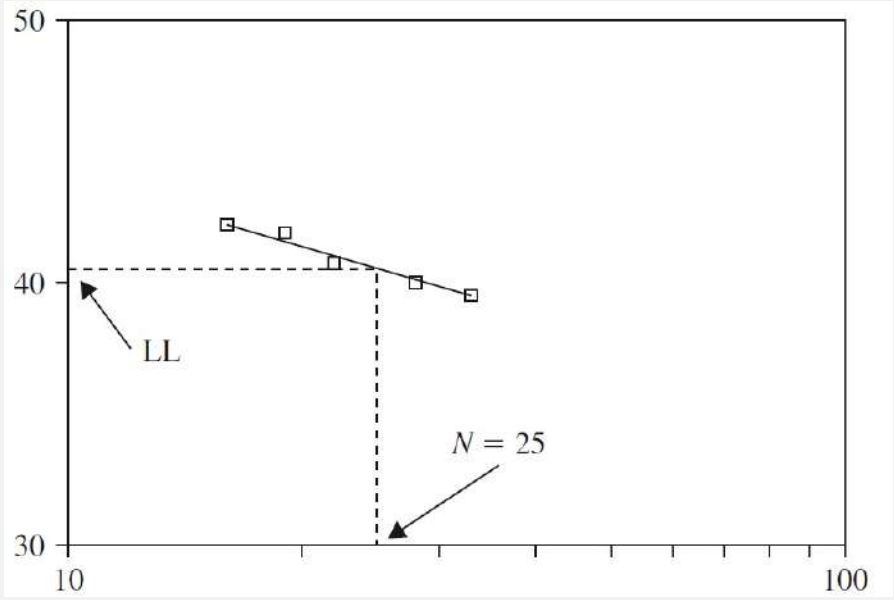
Coppella di Casagrande

Rollatura del bastoncino



Cono “inglese”

Metodo a cera


50
40
30
10
100
LL
N = 25

CARATTERISTICHE DI PLASTICITÀ

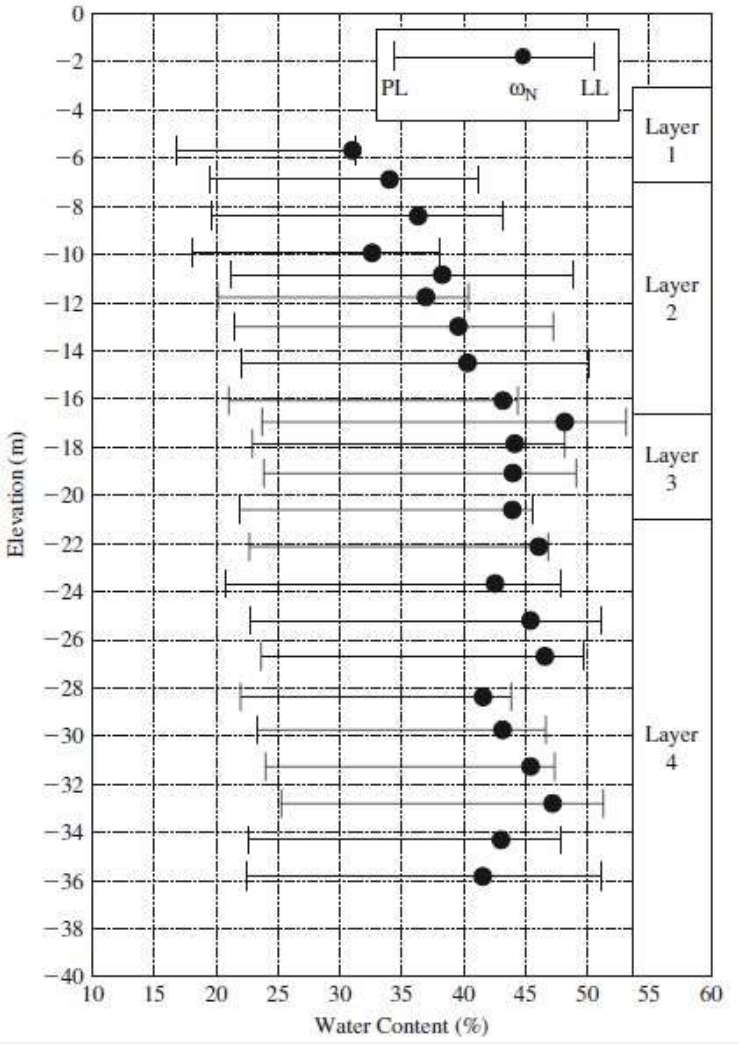
Indice Plastico IP	Caratteristiche di plasticità del terreno
$0 < IP \leq 5$	Non plastico
$5 < IP \leq 15$	Poco plastico
$15 < IP \leq 40$	Plastico
$IP > 40$	Molto plastico

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).

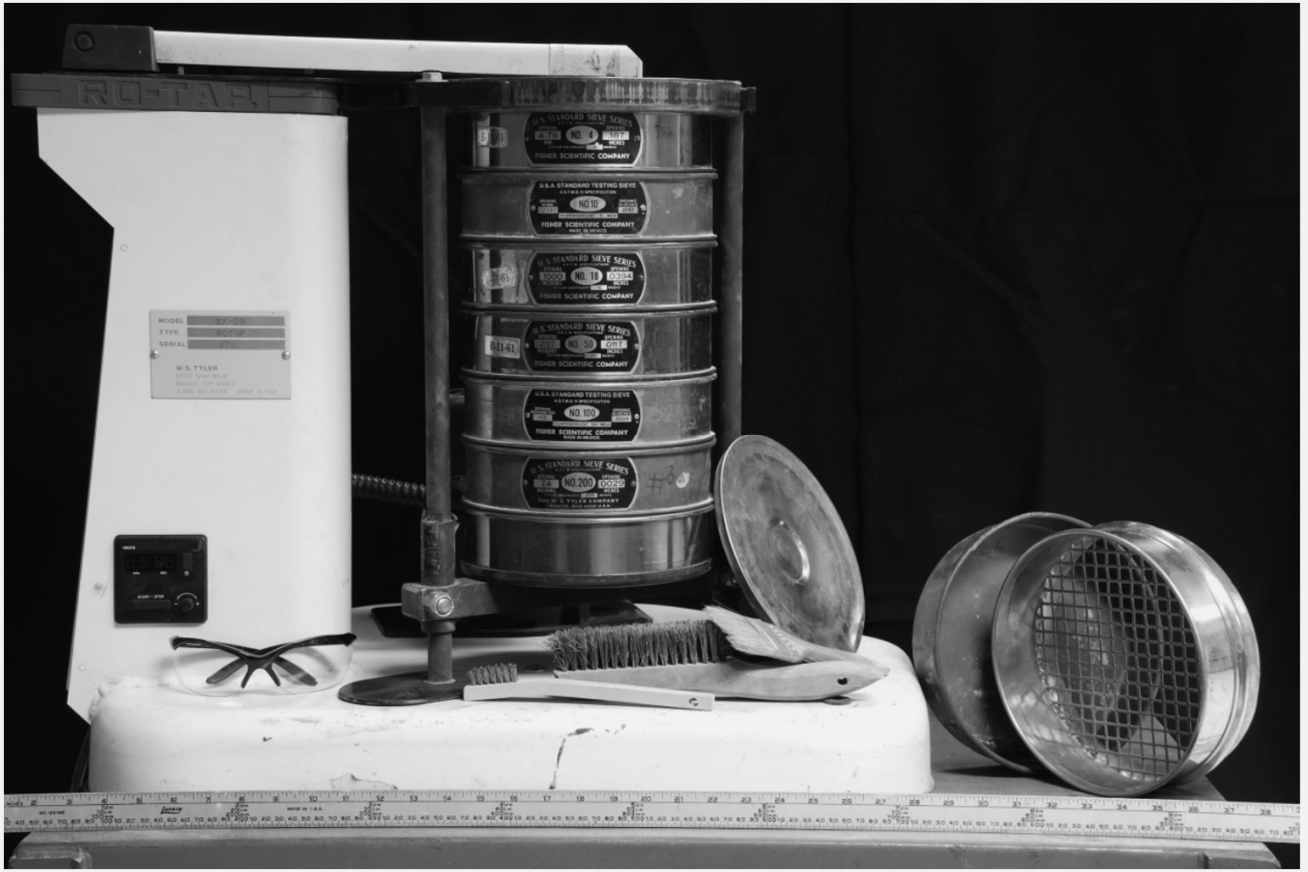
Espressa in % di materiale secco cumulato (usualmente approssimata all'intero)

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.

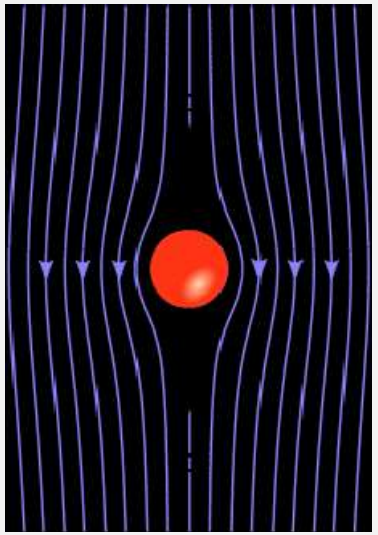
E' espressa in % (usualmente approssimata all'intero).

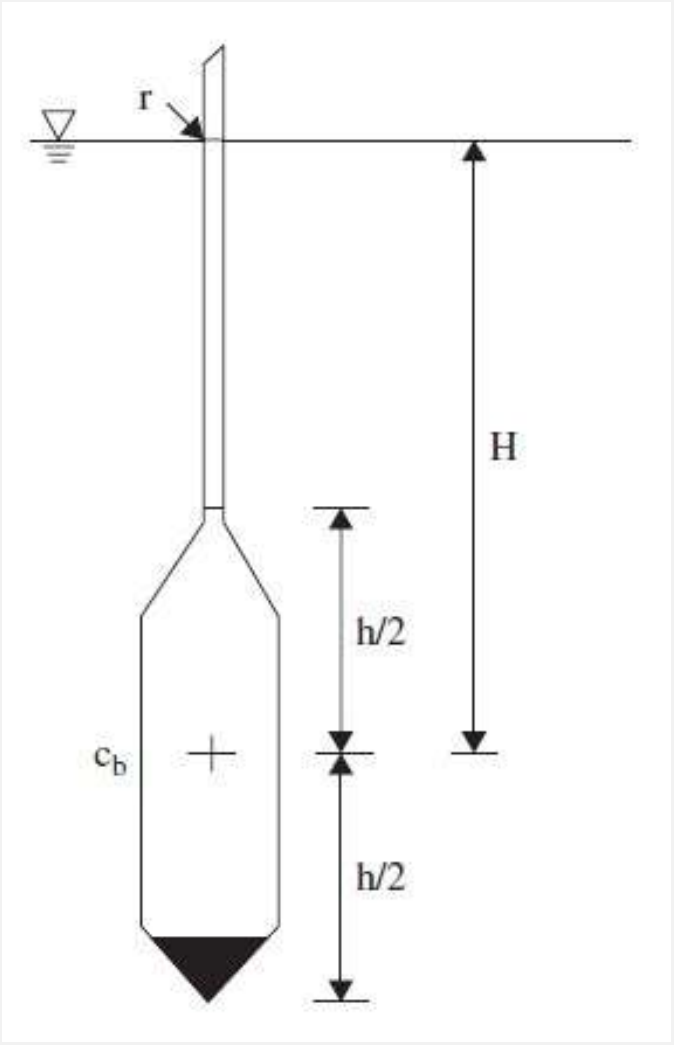

ROTAP
U.S. STANDARD SIEVE SERIES
NO. 4
NO. 10
NO. 18
NO. 35
NO. 100
NO. 200
FISHER SCIENTIFIC COMPANY

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 Stockes 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”

Coefficiente di uniformità

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

Cu = 194 ca.

Coefficiente di curvatura

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

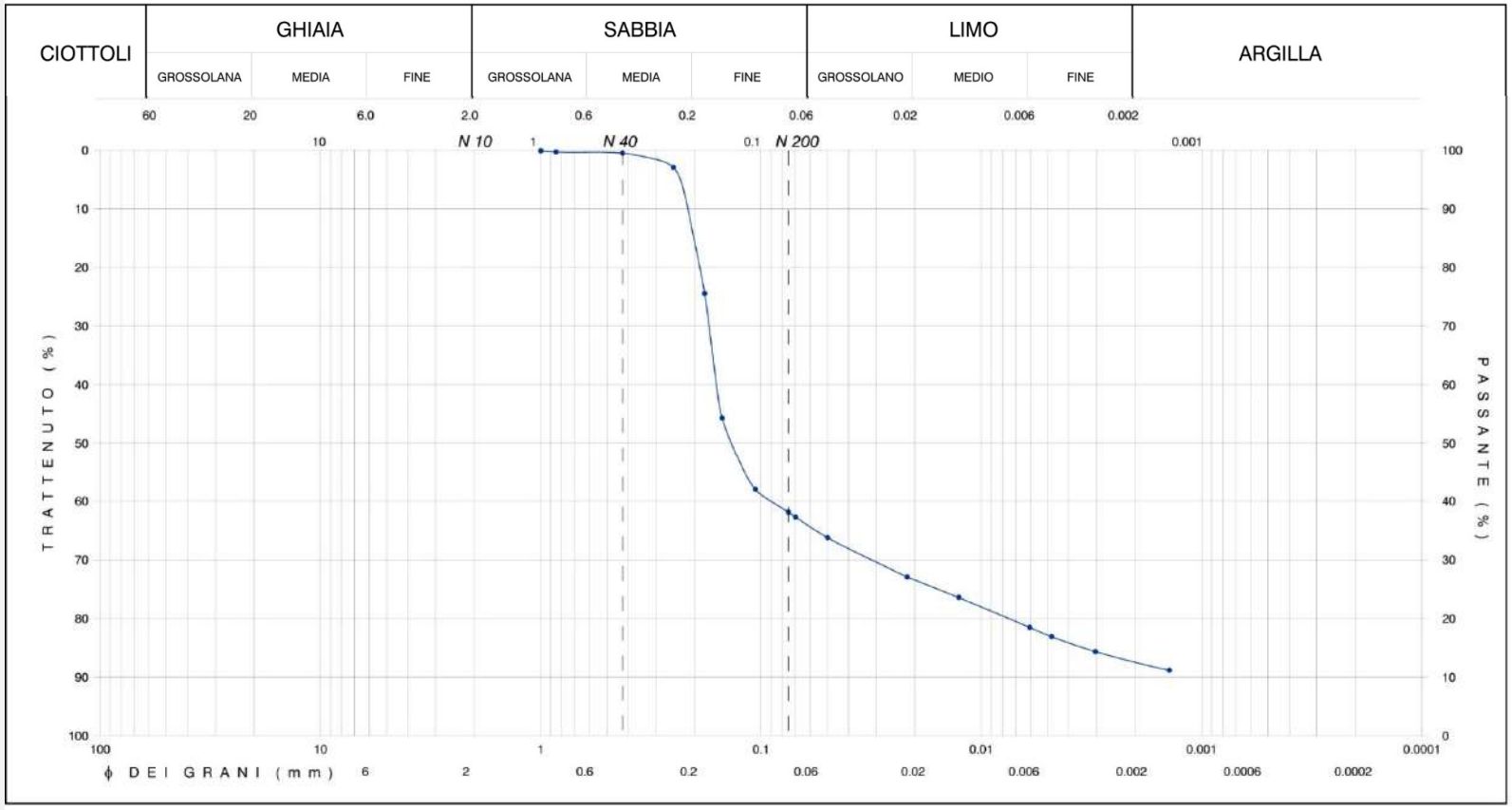
Cc = 7,3 ca.

ANALISI GRANULOMETRICA

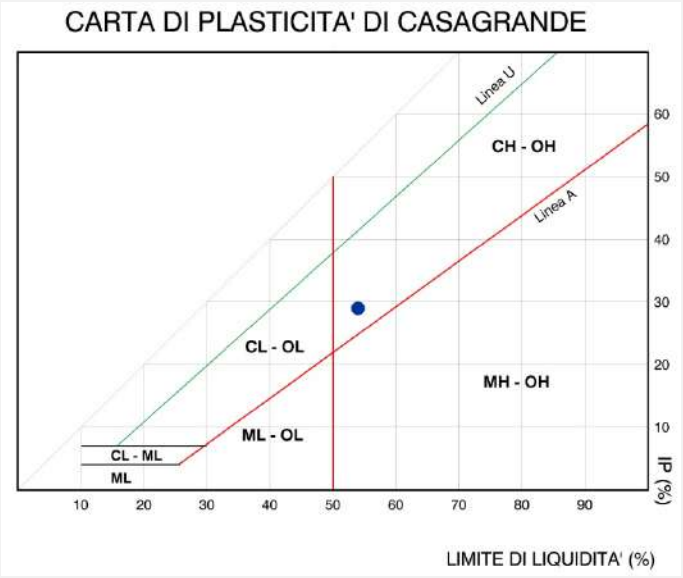
(UNI CEN ISO/TS 17892-4)

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	%



	Gruppo	Descrizione	Sottogruppo	Caratteristiche
Terreni a grana grossa passante al 200 ≤ 50%	G	Ghiaie La maggior parte della frazione è trattenuta al setaccio 4.	GW	fine < 5%; $U > 4$ $1 < C < 3$
			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%	C	Argille inorganiche	CL	$W_L < 50\%$
			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	$W_L > 50\%$



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 ≤ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0.063 mm > 35%					Torbe e terre organiche palustri
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Frazione passante allo staccio 2 mm 0.4 mm 0.063 mm	≤ 50 ≤ 30 ≤ 15	- ≤ 50 ≤ 25	- > 50 ≤ 10	- - ≤ 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)	- ≤ 6	- ≤ 6	- N.P.	≤ 40 ≤ 10	> 40 ≤ 10	≤ 40 > 10	> 40 > 10	≤ 40 ≤ 10	> 40 ≤ 10	≤ 40 > 10	> 40 > 10 IP ≤ LL-30	> 40 > 10 IP > LL-30	
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 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, detriti organici
Qualità portanti quale terreno di sottofondo 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	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elevato	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa				Scarsa o nulla					

PROVE CON L'EDOMETRO

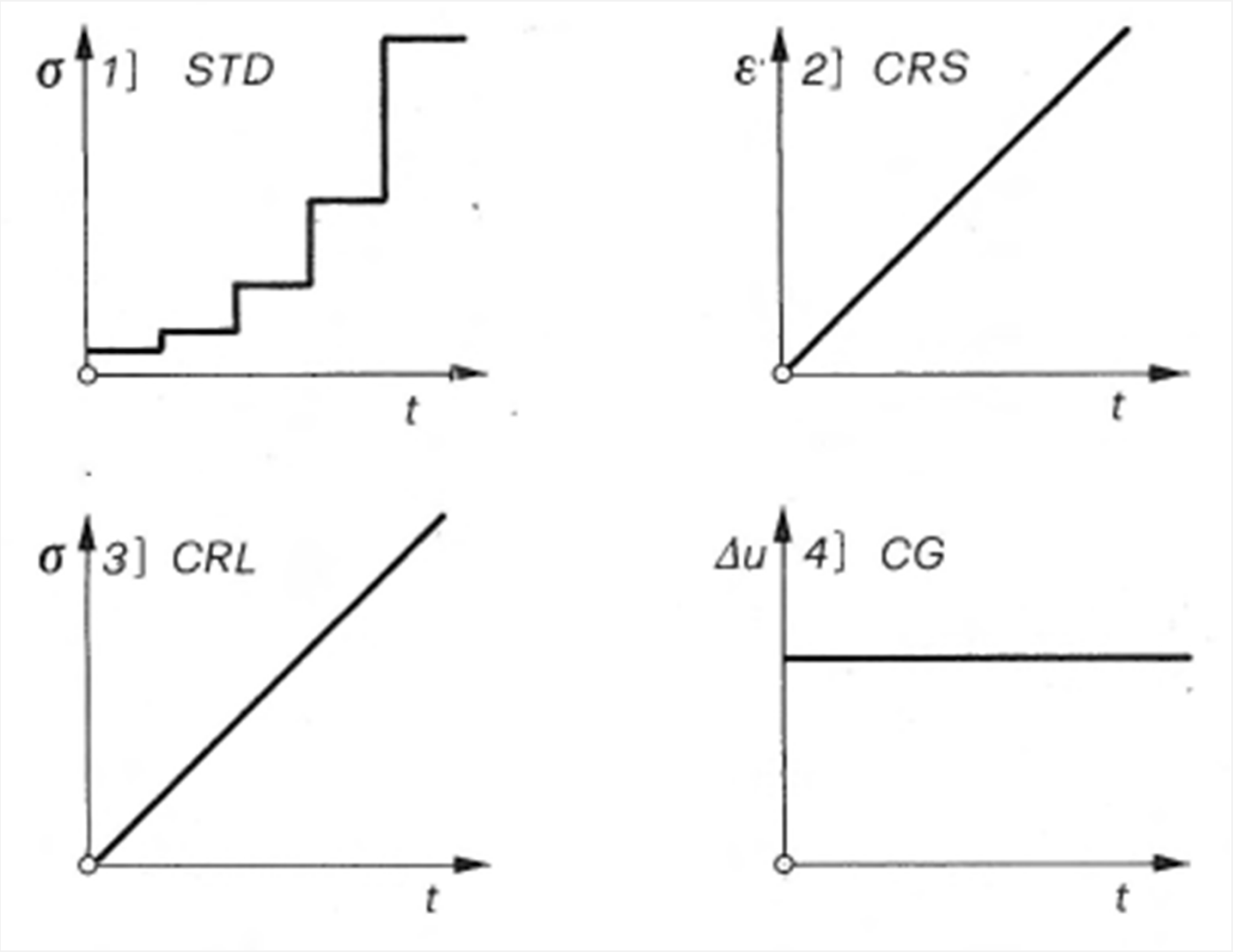
- Edometrica
- Rigonfiamento
- Huder-Amberg
- K_0
- Permeabilità diretta

Incrementi di carico

Deformazione costante

Incremento di carico costante

Carico idraulico costante



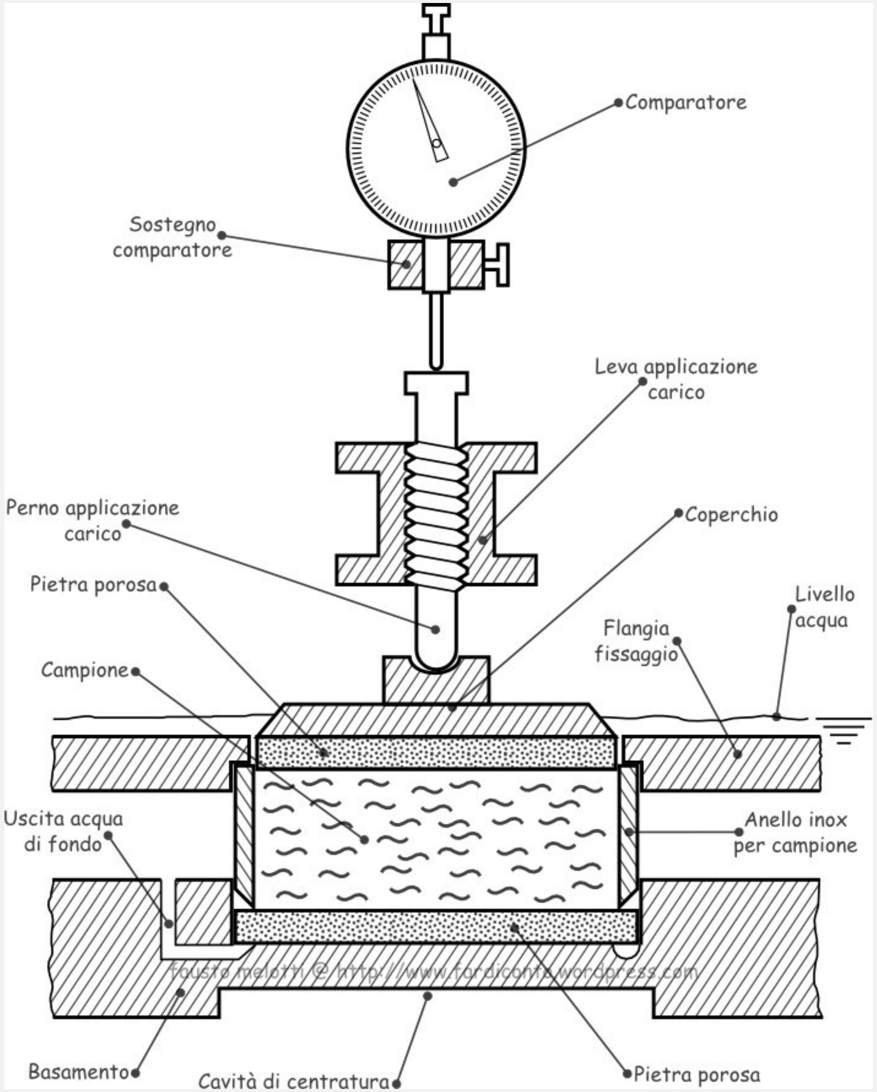
CONDIZIONI EDOMETRICHE

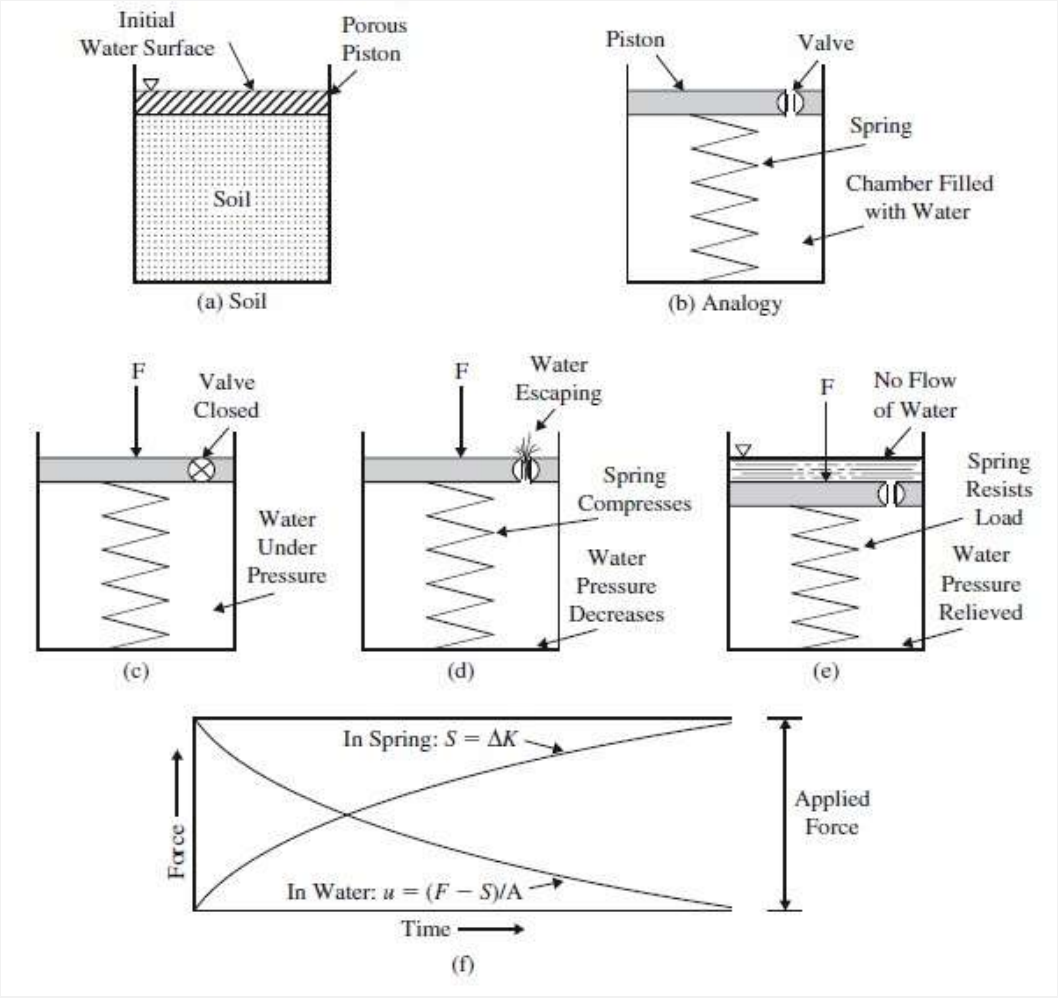
- carico assiale uniformemente distribuito;

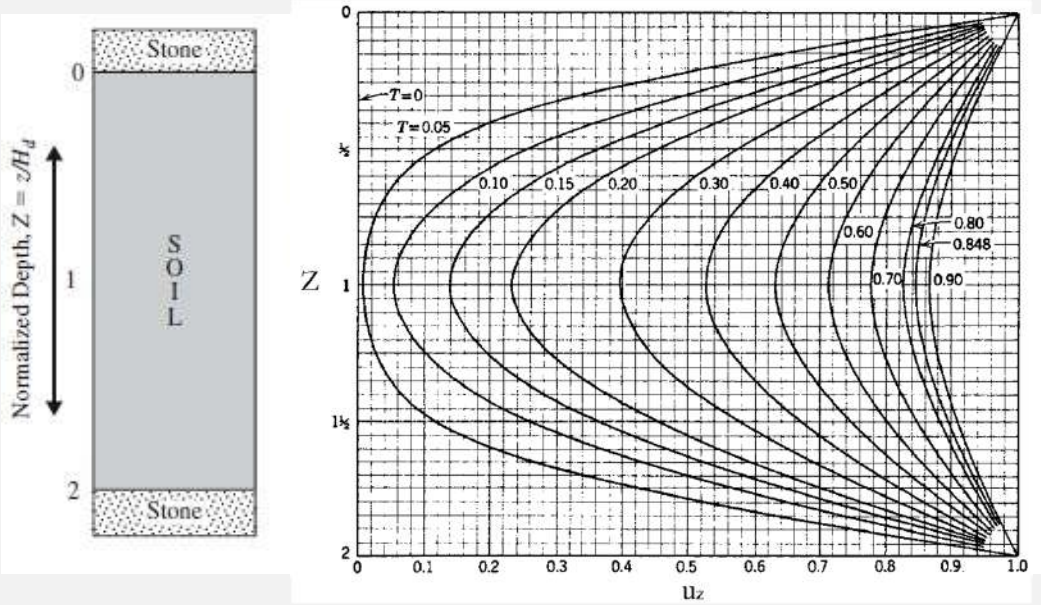
- assenza di deformazioni laterali;

- terreno saturo

- materiali fini più “interessanti”


Comparatore
Sostegno comparatore
Leva applicazione carico
Perno applicazione carico
Coperchio
Pietra porosa
Livello acqua
Flangia fissaggio
Campione
Uscita acqua di fondo
Anello inox per campione
Basamento
Cavità di centratura
Pietra porosa


Initial
Water Surface
Porous
Piston
Soil
(a) Soil
Piston
Valve
Spring
Chamber Filled
with Water
(b) Analogy
F
Valve
Closed
Water
Under
Pressure
(c)
F
Water
Escaping
Spring
Compresses
Water
Pressure
Decreases
(d)
F
No Flow
of Water
Spring
Resists
Load
Water
Pressure
Relieved
(e)
In Spring: $S = \Delta K$
In Water: $u = (F - S)/A$
Force
Time
Applied
Force
(f)


Stone
0
Normalized Depth, $Z = z/H_d$
1
S
O
I
L
2
Stone
Z
u_z
$T=0$
$T=0.05$
0.10
0.15
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.848
0.90
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

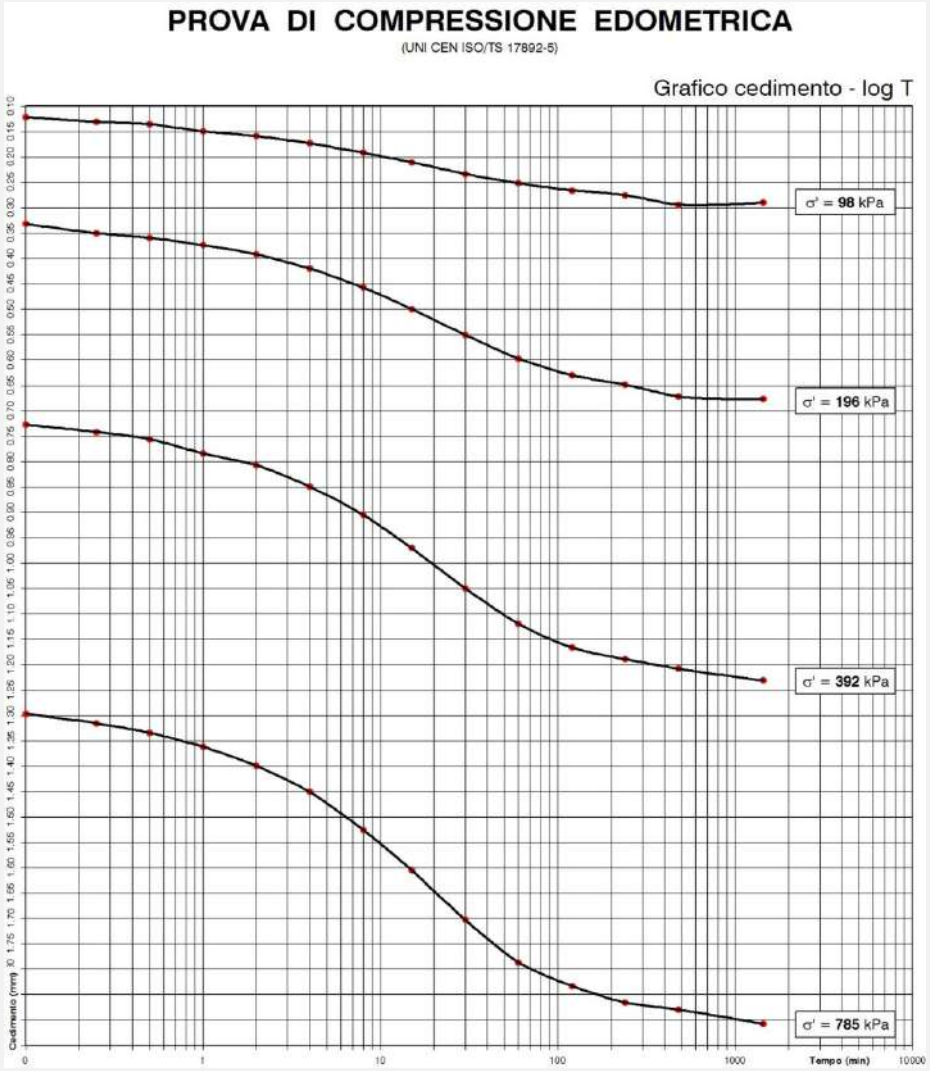
PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

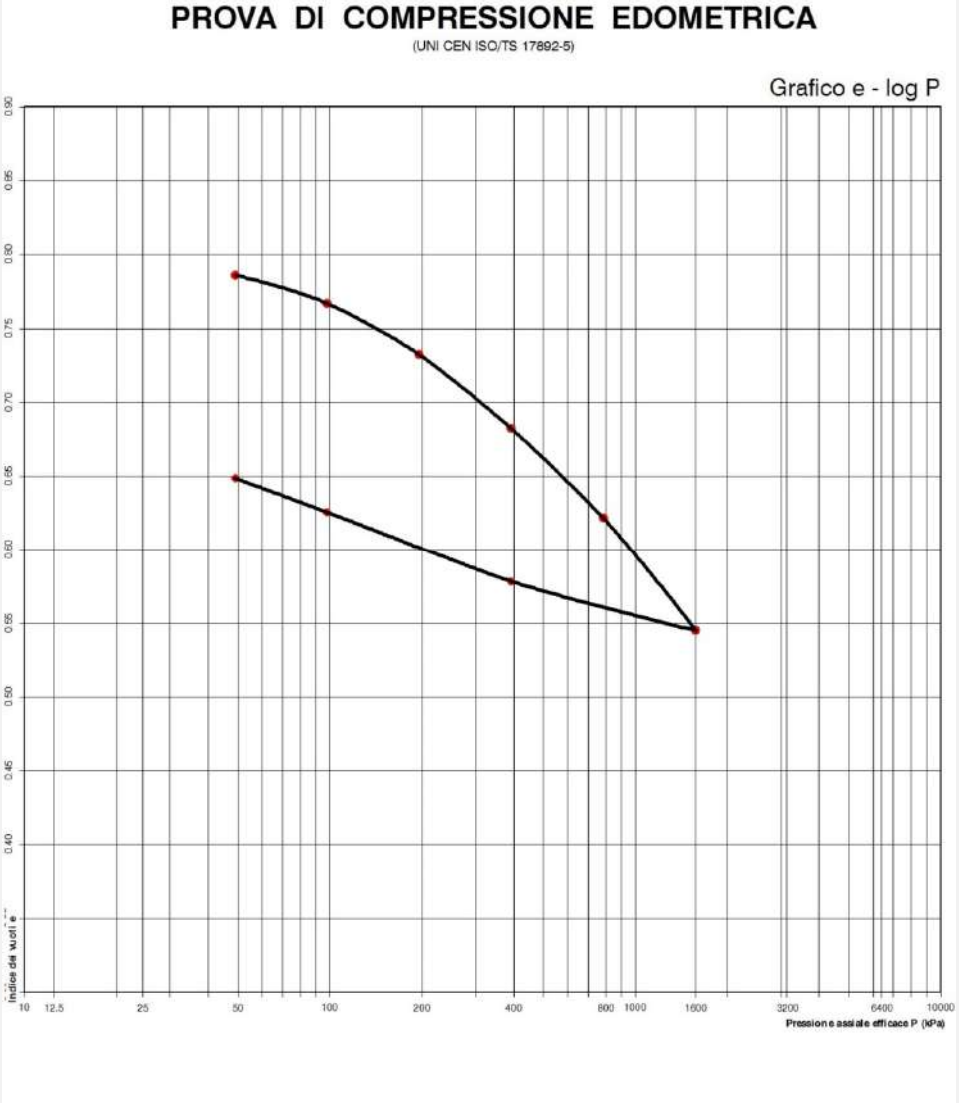
(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

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:





Si possono ottenere:

Modulo edometrico E’ (drenato, confinato)

Coefficiente di consolidazione primaria Cv

Coefficiente di consolidazione secondario Ca

Coefficiente di permeabilità k

Indice di ri-compressione Cr

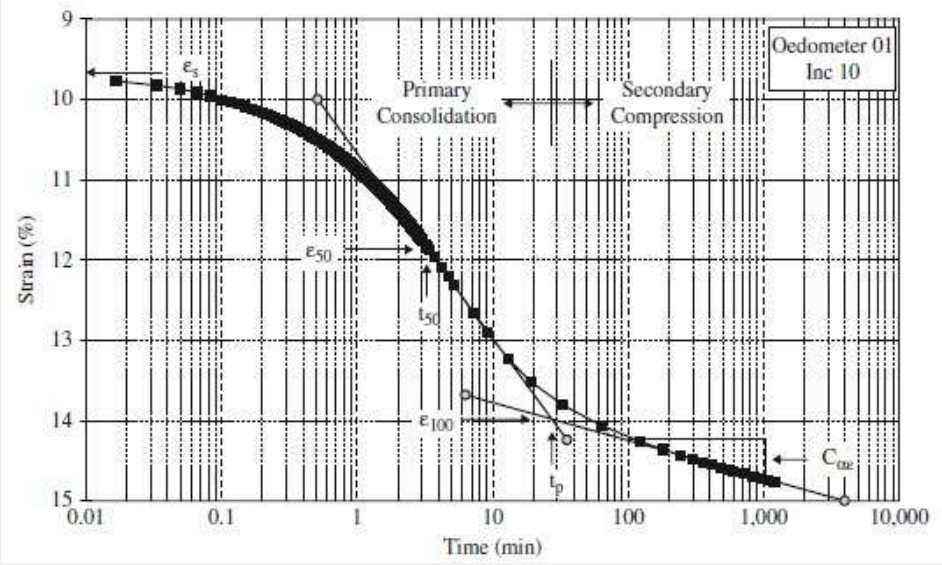
Indice di compressibilità Cc

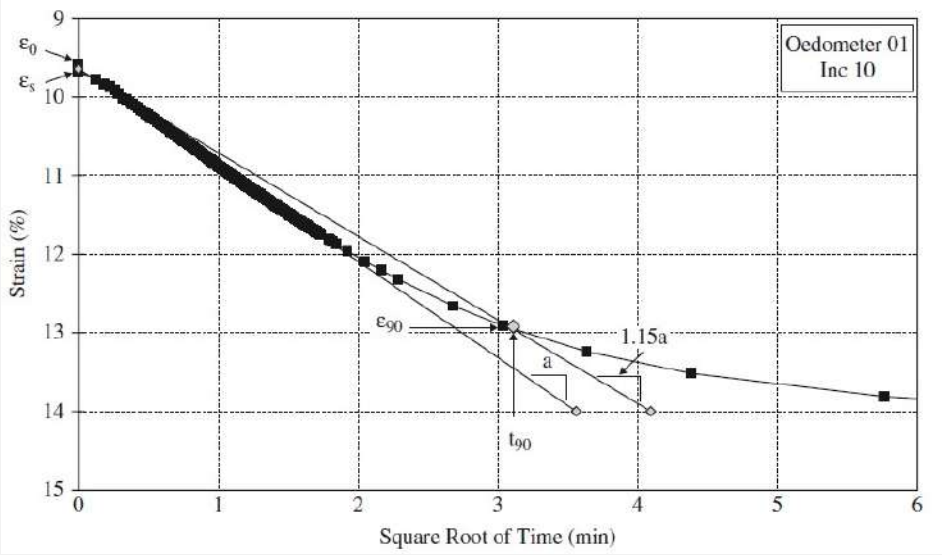
Indice di rigonfiamento Cs

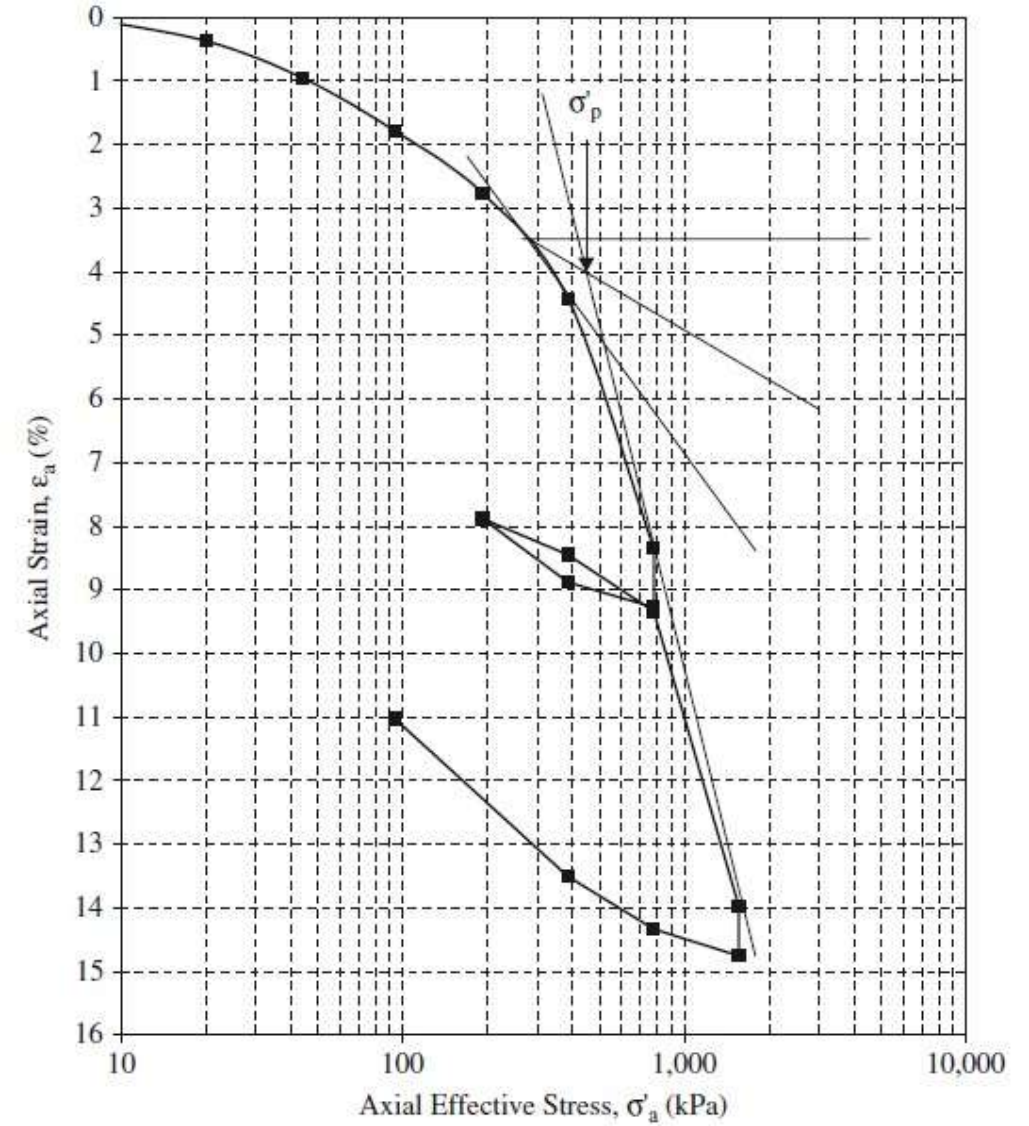
Pressione di preconsolidazione Pc

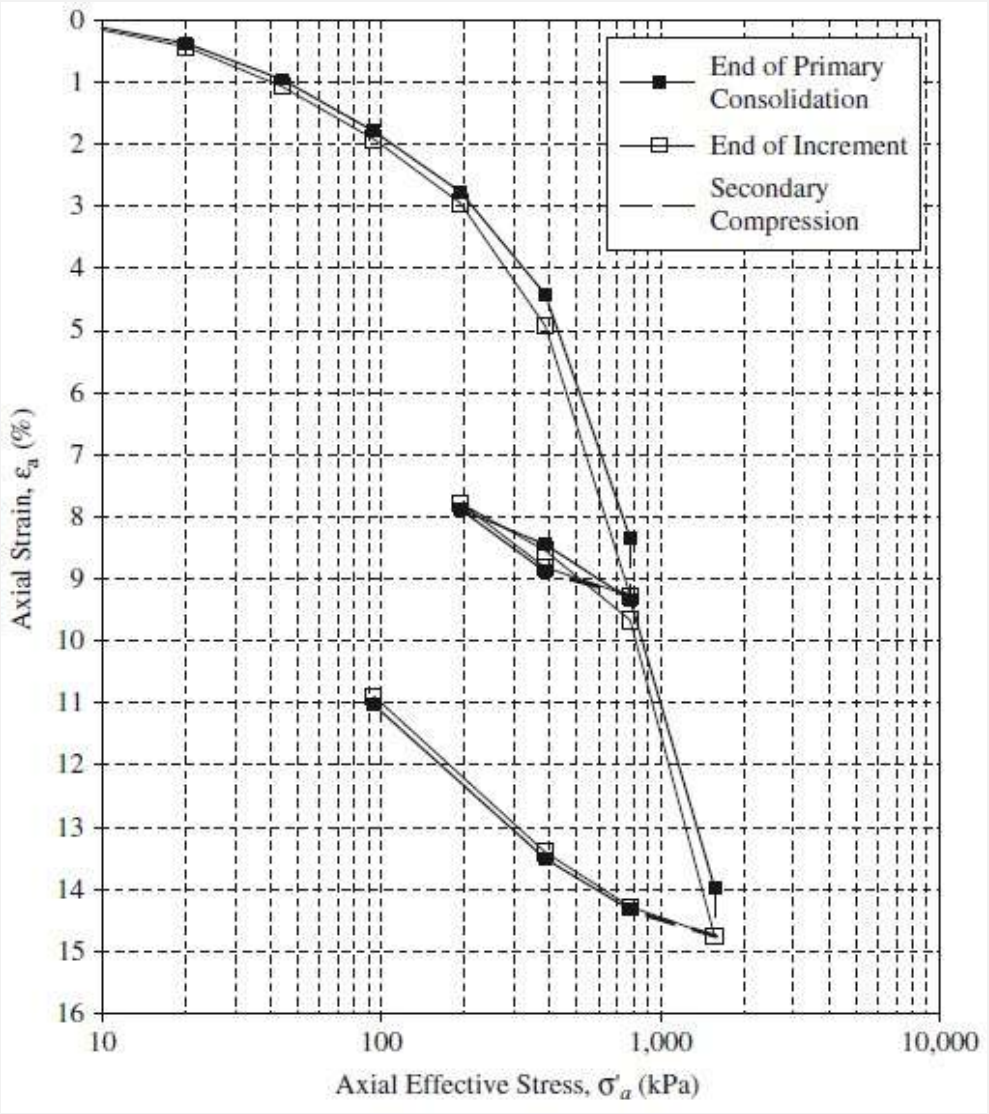
Grado di sovraconsolidazione OCR

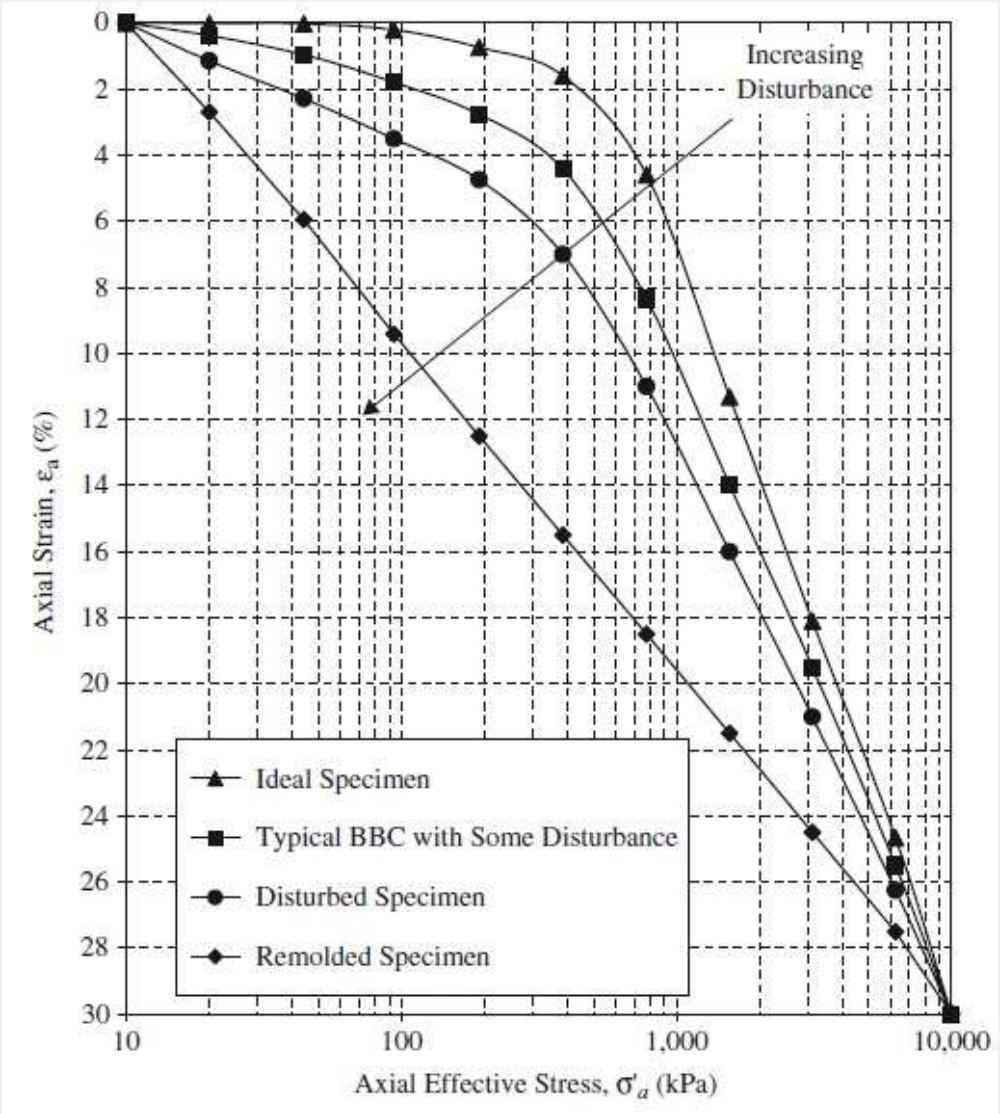
(se nota la pressione efficace agente in sito)


Oedometer 01
Inc 10
Primary
Consolidation
Secondary
Compression
ε_s
ε_{50}
t_{50}
ε_{100}
t_p
$C_{\alpha\varepsilon}$
Strain (%)
Time (min)
0.01
0.1
1
10
100
1,000
10,000
9
10
11
12
13
14
15


Oedometer 01
Inc 10
ε_0
ε_s
ε_{90}
1.15a
a
t_{90}
Strain (%)
Square Root of Time (min)
0
1
2
3
4
5
6
9
10
11
12
13
14
15


σ'_p
Axial Strain, ε_a (%)
Axial Effective Stress, σ'_a (kPa)
10
100
1,000
10,000
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16


End of Primary Consolidation
End of Increment
Secondary Compression
Axial Strain, ε_a (%)
Axial Effective Stress, σ'_a (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
10
100
1,000
10,000


Increasing Disturbance
Ideal Specimen
Typical BBC with Some Disturbance
Disturbed Specimen
Remolded Specimen
Axial Strain, ε_a (%)
Axial Effective Stress, σ'_a (kPa)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
10
100
1,000
10,000

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;

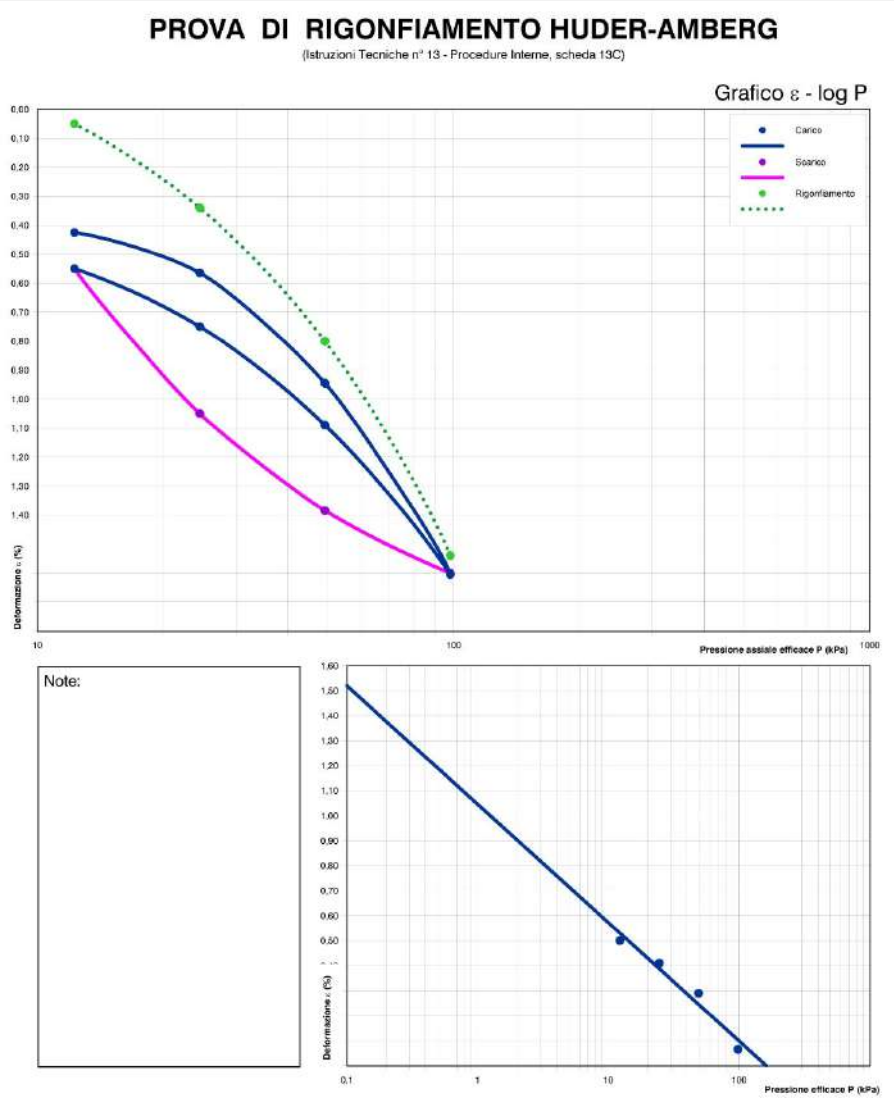
In cella edometrica si satura il provino mantenendolo confinato (nessuna deformazione, volume costante) con un alto carico non agente. Si riduce man mano il carico agente fino a che il terreno non mostra la tendenza a rigonfiare, verificando a quale pressione tale comportamento si manifesta

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.



Particolarmente adatta per terreni sovraconsolidati

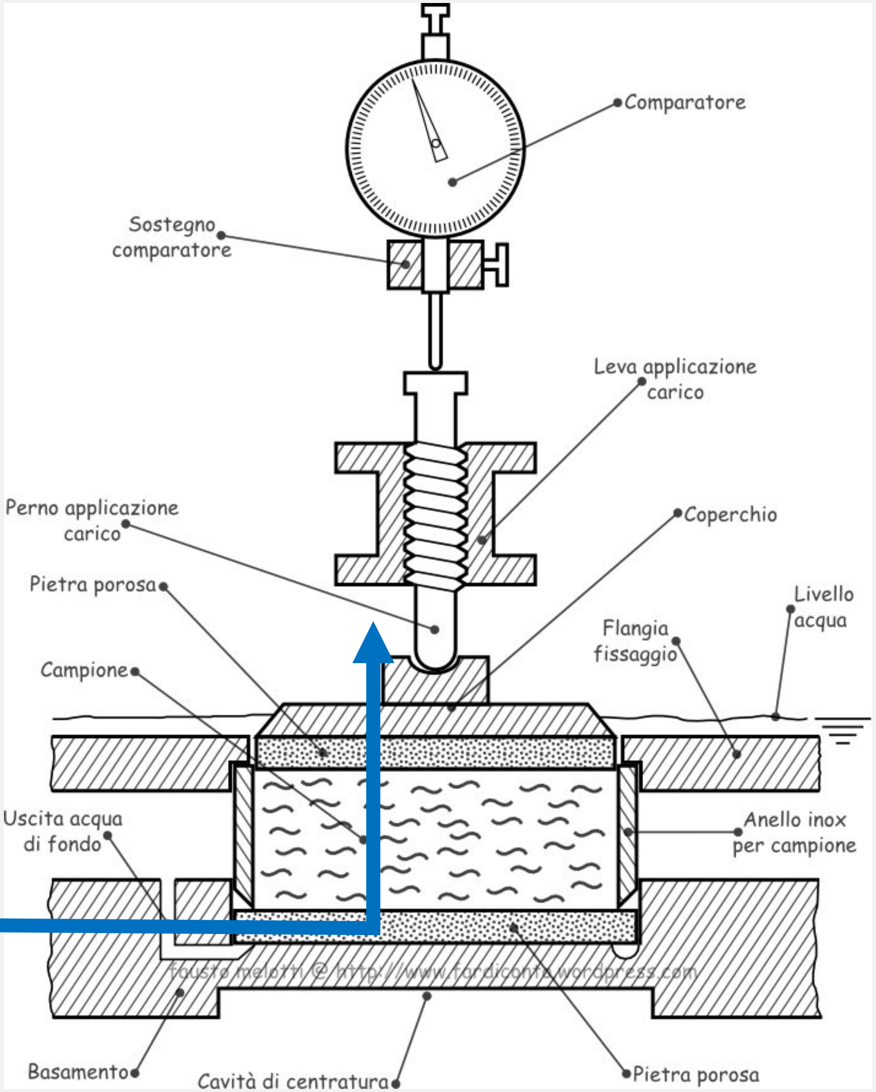
si ricava la pressione di rigonfiamento

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 complessa, tempistiche medie (qualche giorno), 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


Comparatore
Sostegno comparatore
Leva applicazione carico
Perno applicazione carico
Coperchio
Pietra porosa
Livello acqua
Flangia fissaggio
Campione
Uscita acqua di fondo
Anello inox per campione
Basamento
Cavità di centratura
Pietra porosa

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