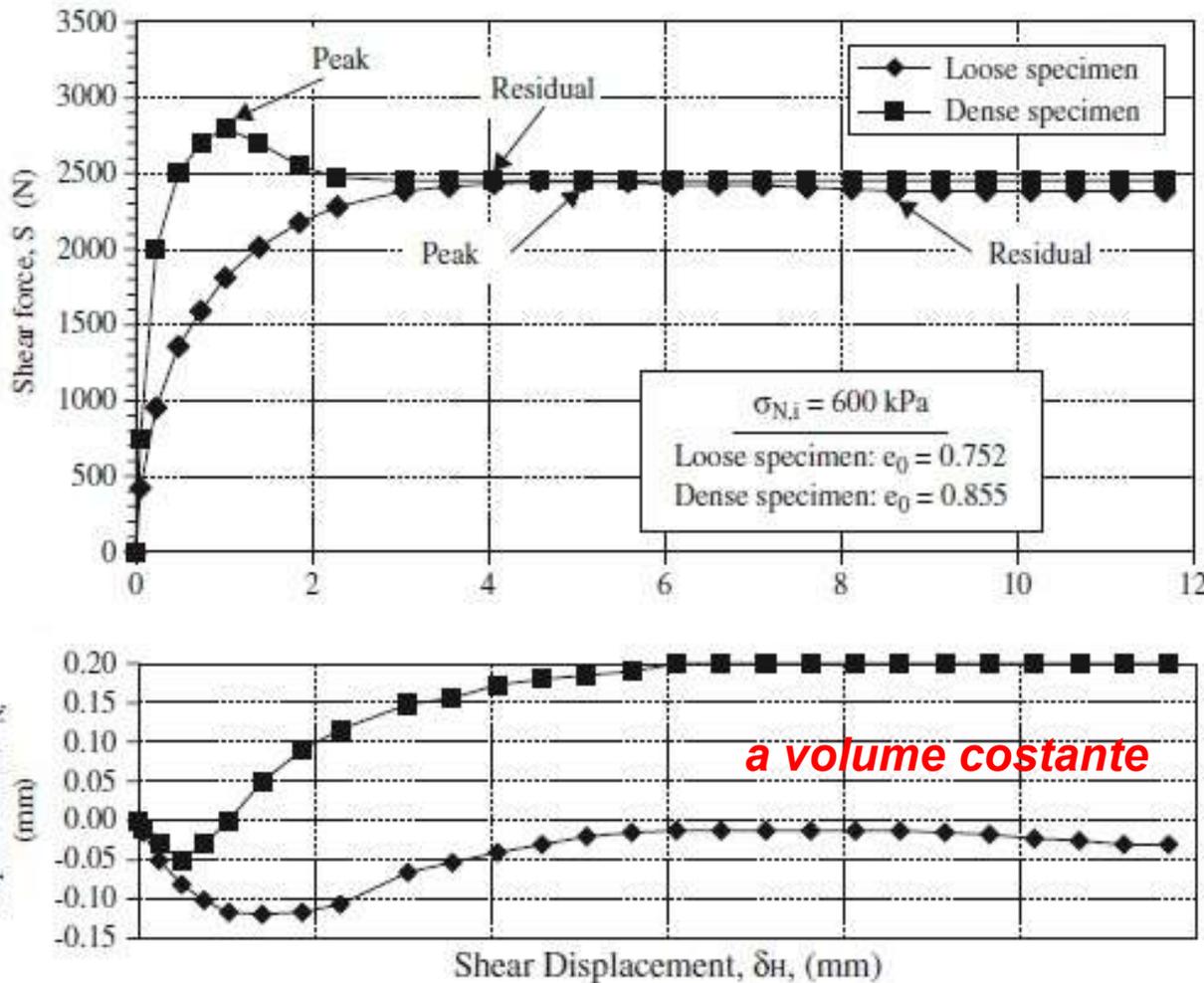
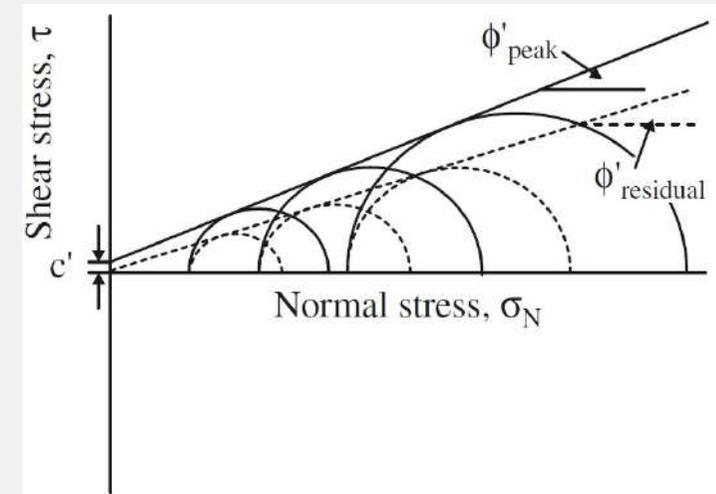


COMPORTAMENTO AL TAGLIO



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 ϕ')

La più richiesta

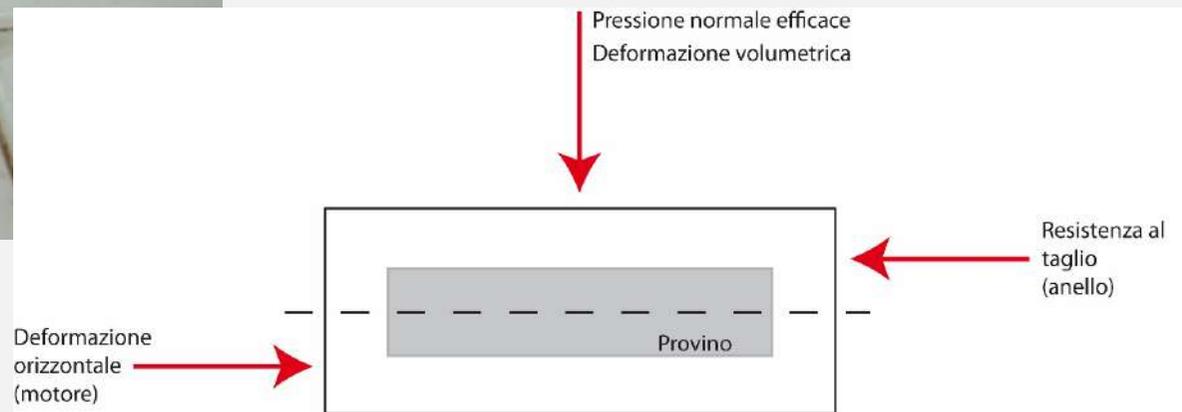
Limitazioni delle particelle dovuta ad “effetti di bordo”

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)



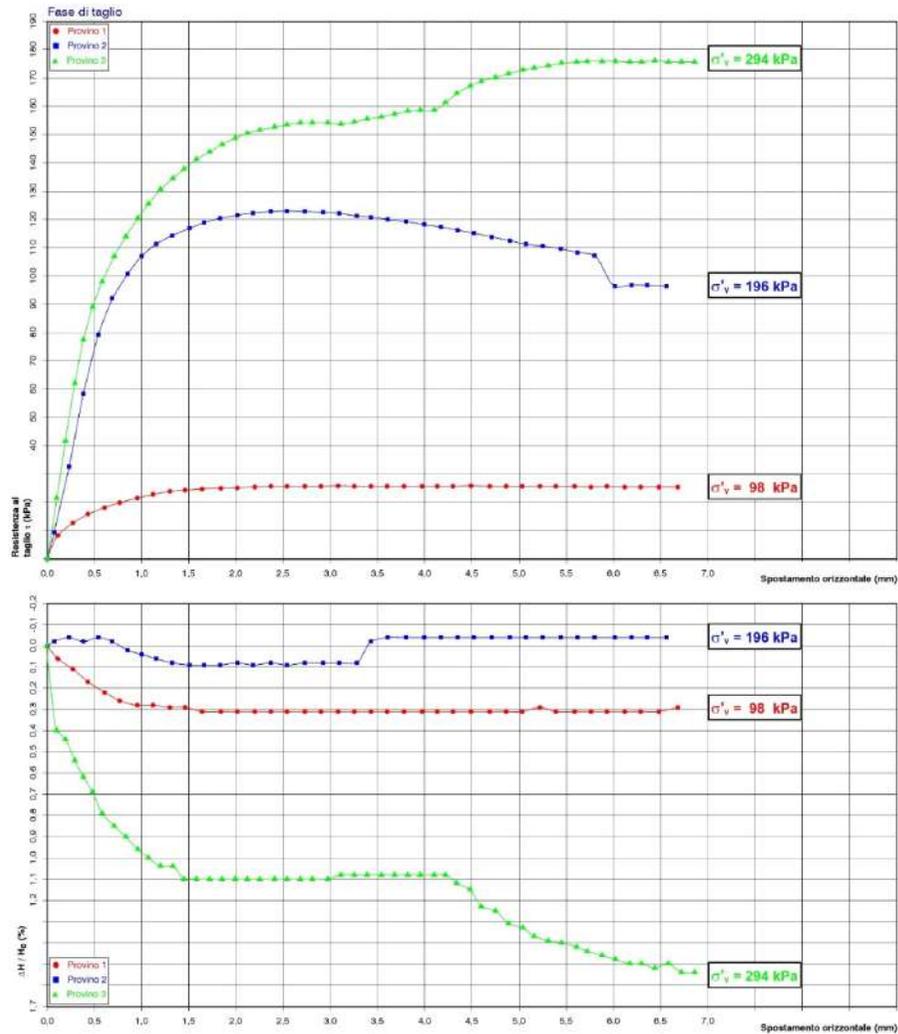
Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO/TS 17892-10)

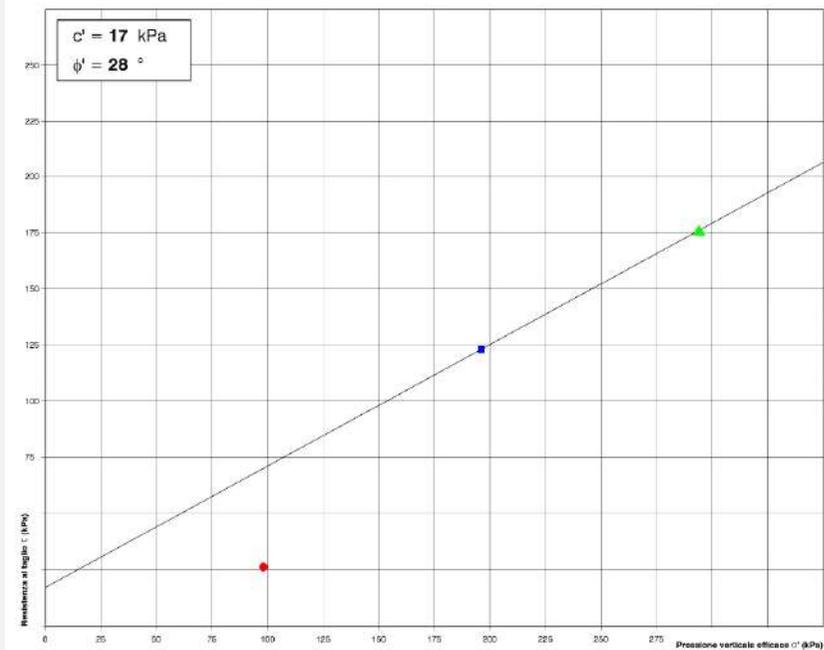


ARGILLA CON LIMO GHIAIOSA E SABBIOSA

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	3,08	2,54	6,44
Sollecitazione di taglio a rottura	kPa	26	123	176



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

Quando chiederla

Quando servono c' e ϕ'

Esecuzione

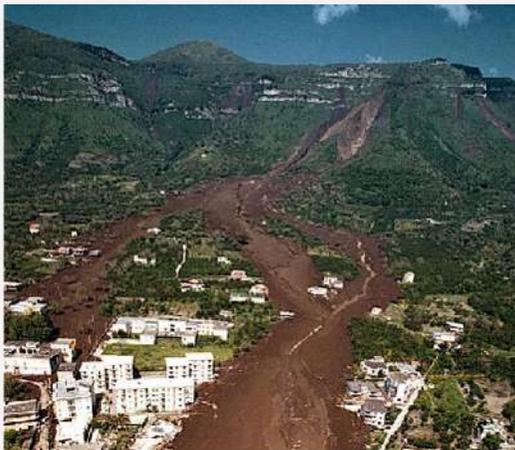
Mediamente complessa (principalmente legata al corretto confezionamento dei provini), tempistiche variabilissime (dipendono dalla granulometria), costo medio-basso

Strumenti tarati

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

COMPORTAMENTO DEI MATERIALI: LE PIROCLASTITI ROMANE

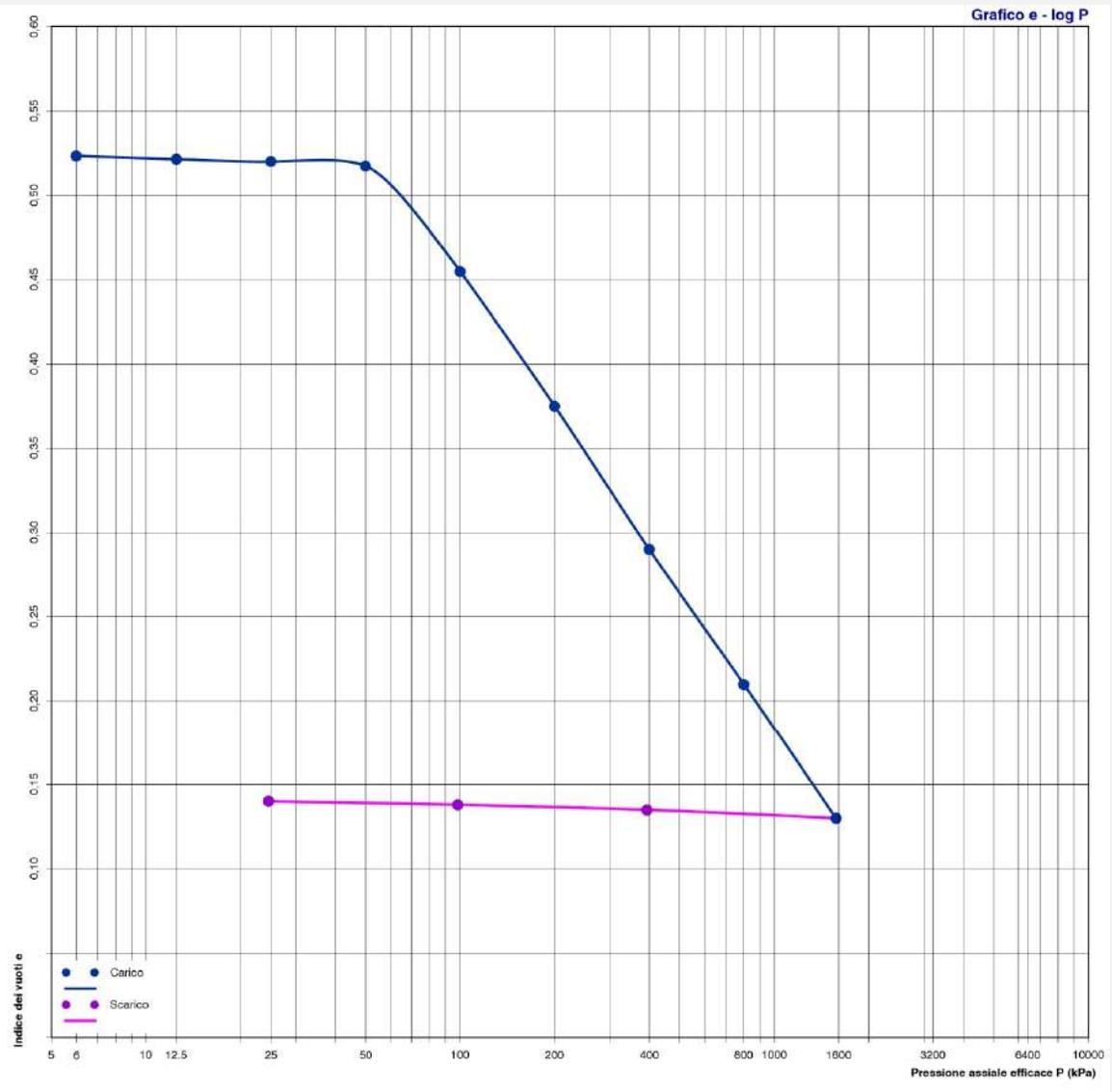
- Unica formazione, tante facies
- Livelli di saturazione variabili
- Presenza di saldatura
- Poco rappresentative le prove penetrometriche (solo attrito)



SARNO, 05/05/1998

CASAMICCIOLA, 26/11/2022





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.	γ_c TD1 γ_n TD2 Lim. W_2 Gran. W_5 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).

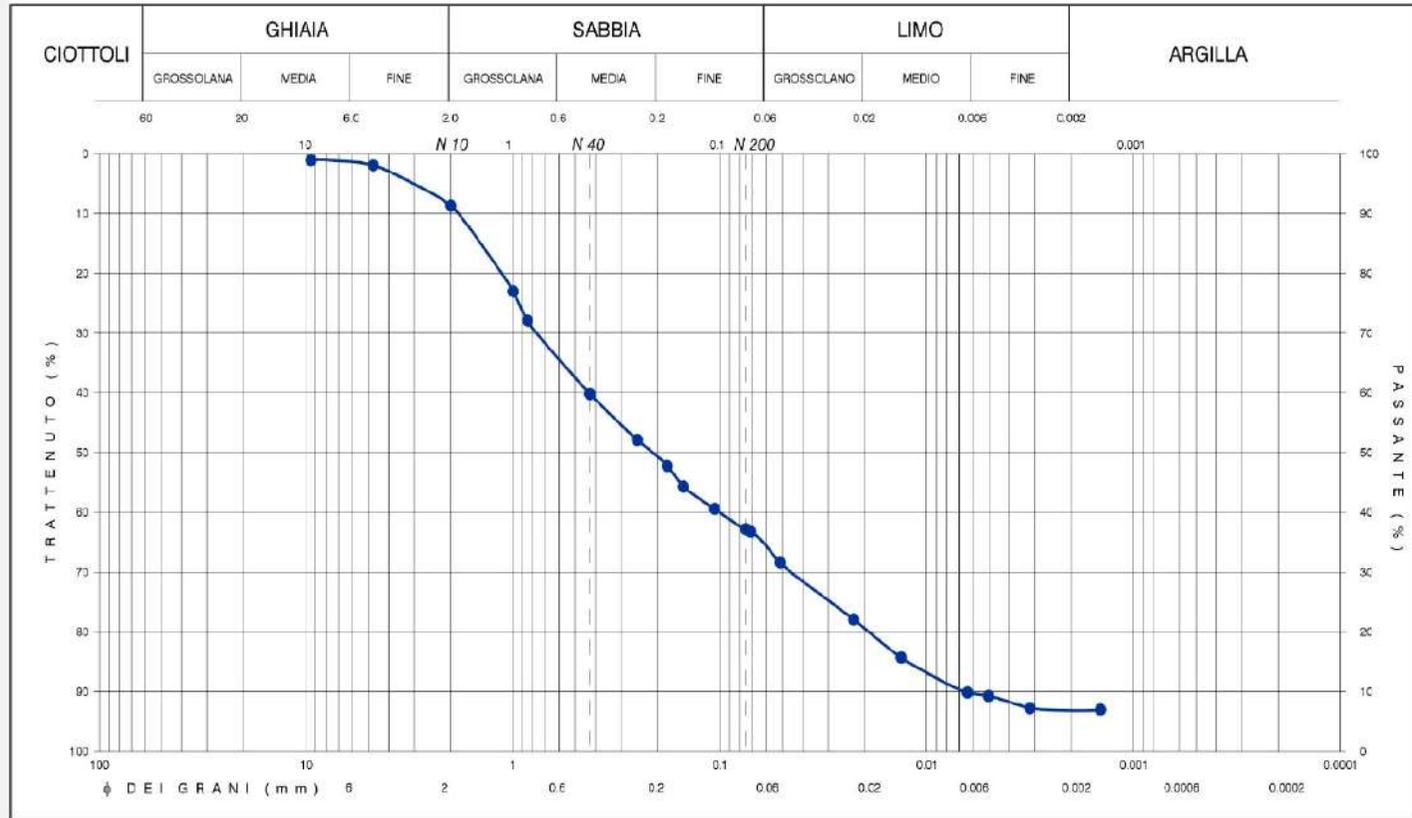
Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

ANALISI GRANULOMETRICA

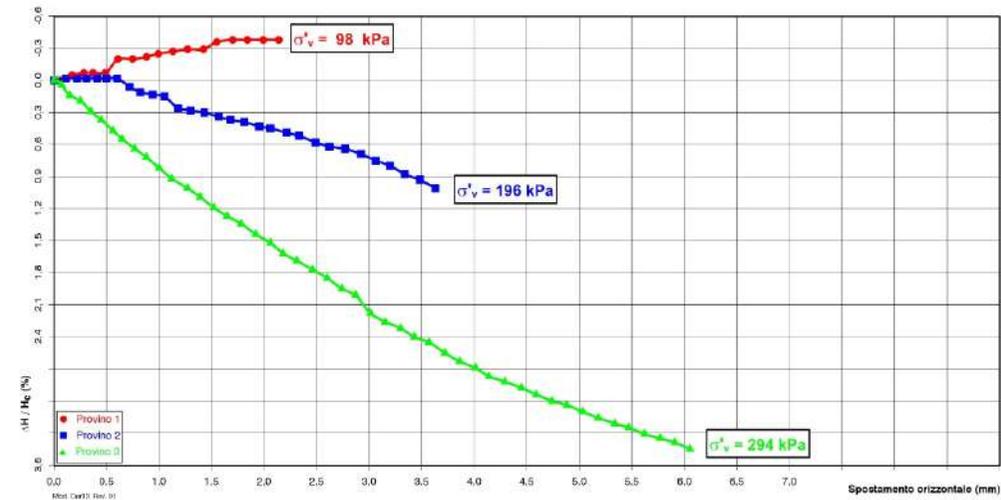
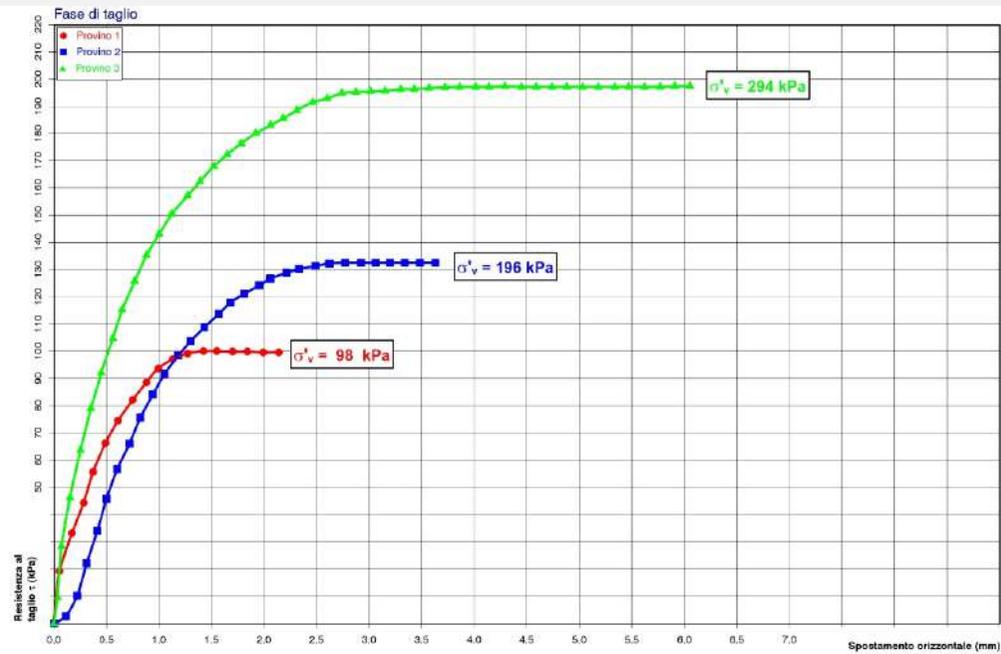
(UNI CEN ISO 17892-4)

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

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



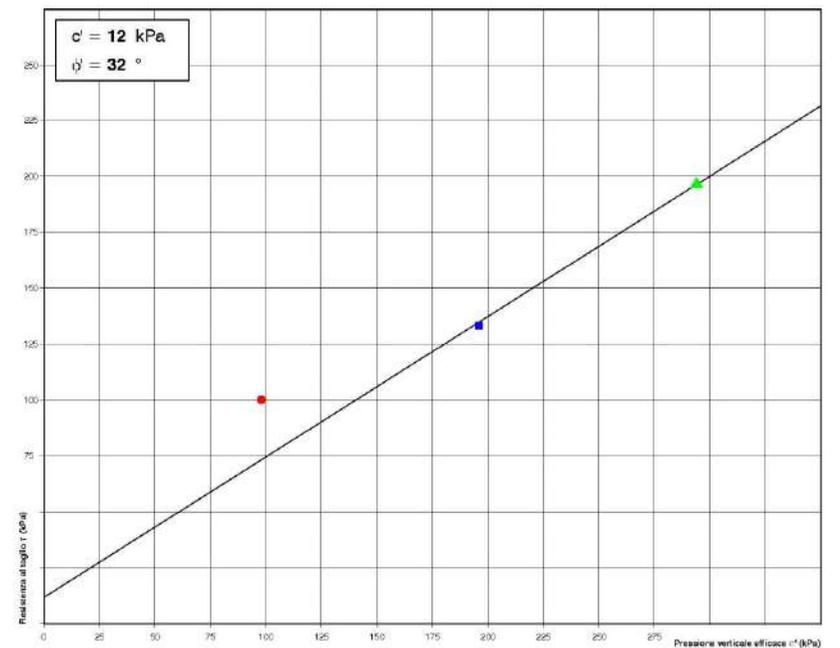
Note: il diametro del granulo maggiore è di 10-12 mm.



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



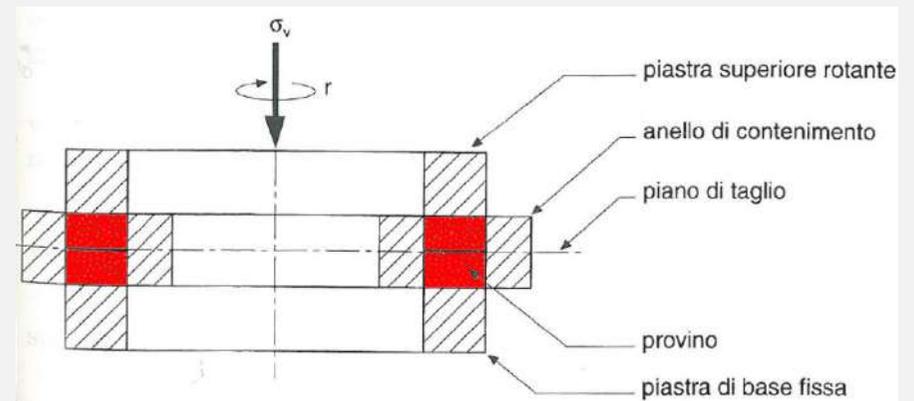
Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

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



PROVE MECCANICHE

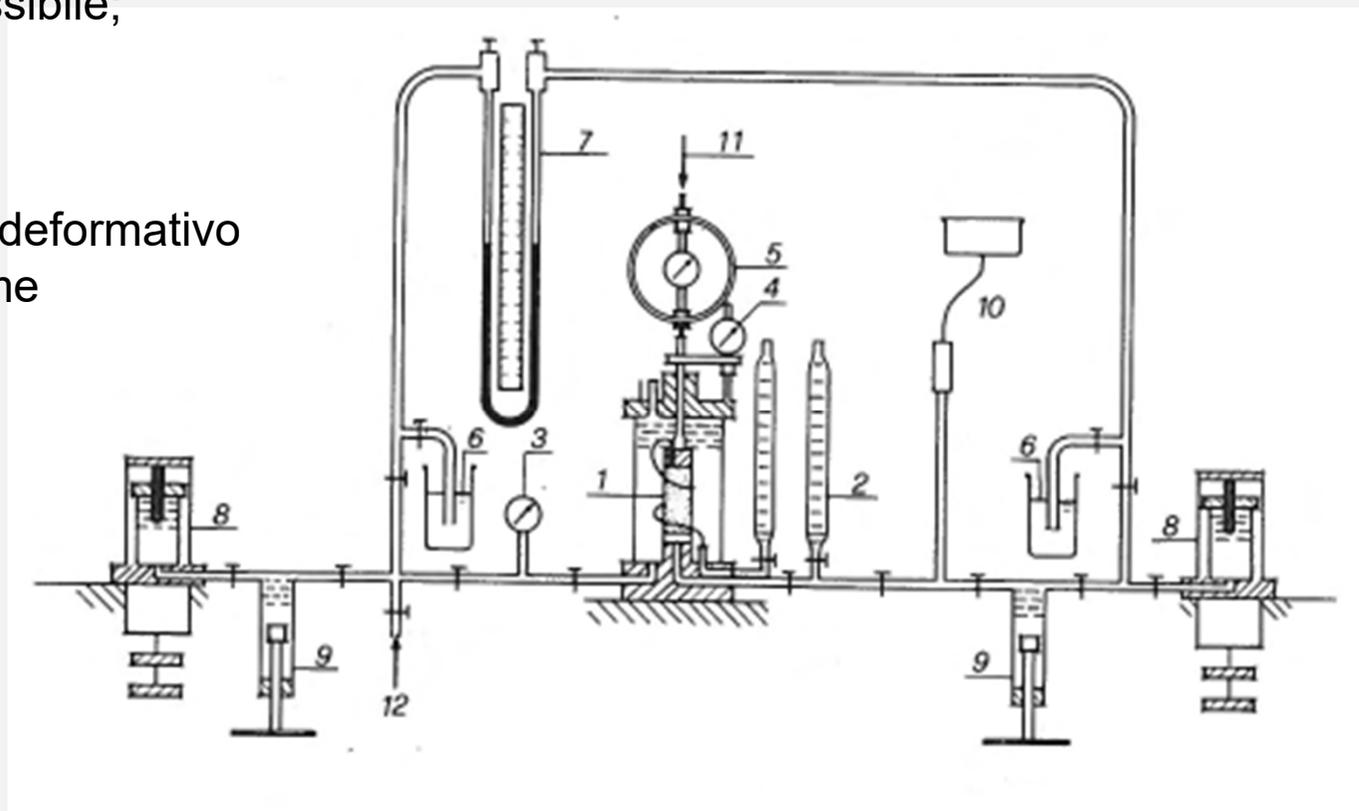
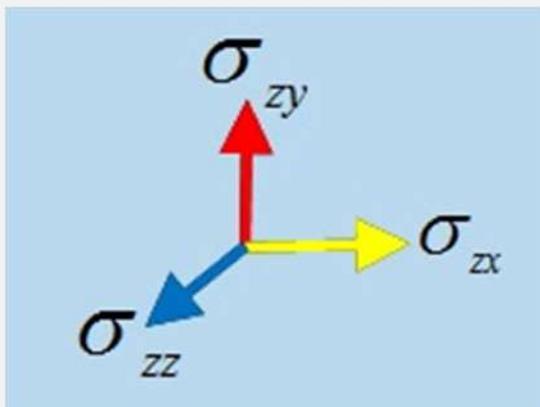
- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)
- Prova Triassiale CID
- Prova Triassiale CIU
- Prova Triassiale UU
- ELL

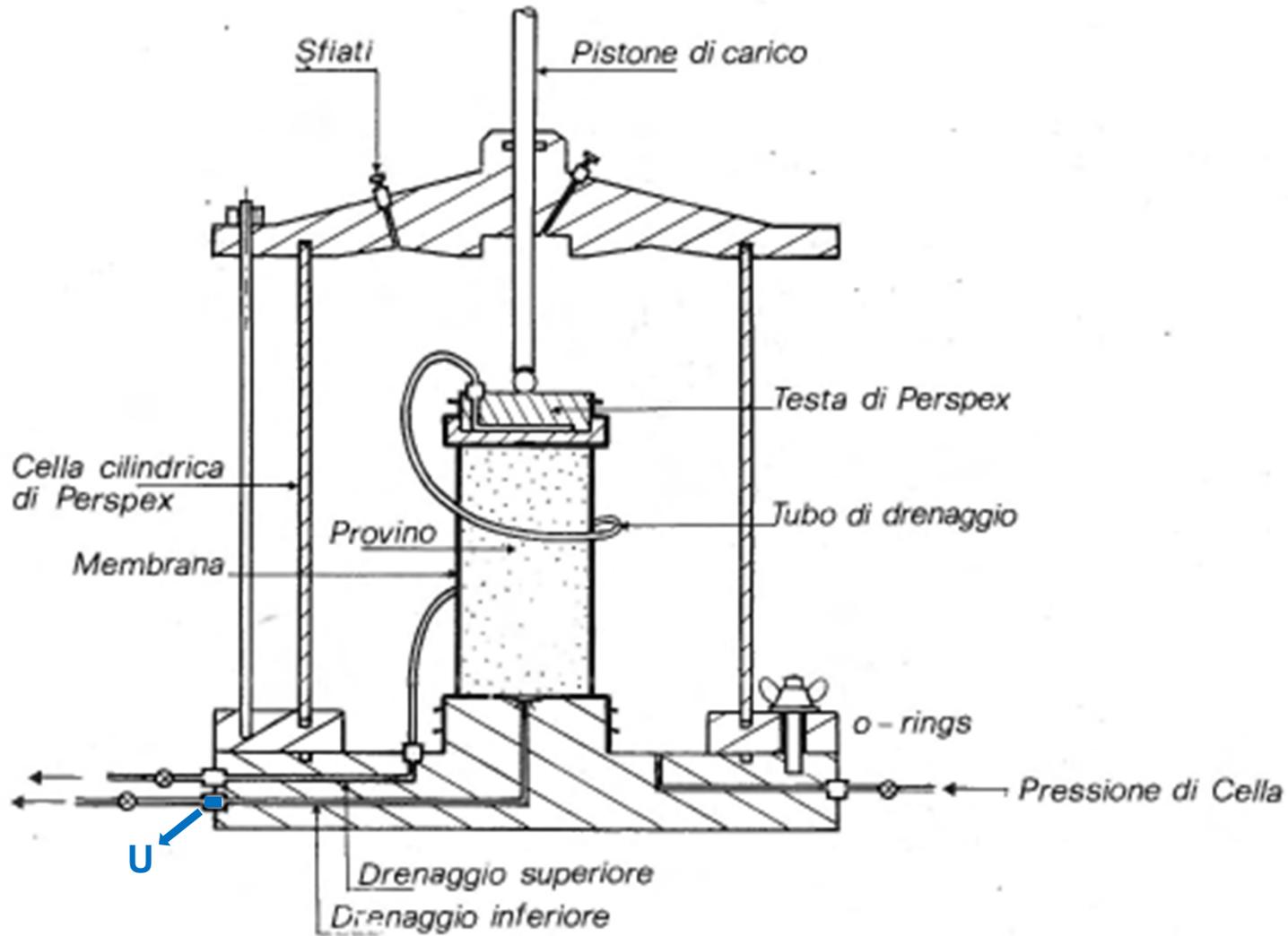
Strumento triassiale

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





Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
 Stefano Cianci 14/03/2024

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 I6 – 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

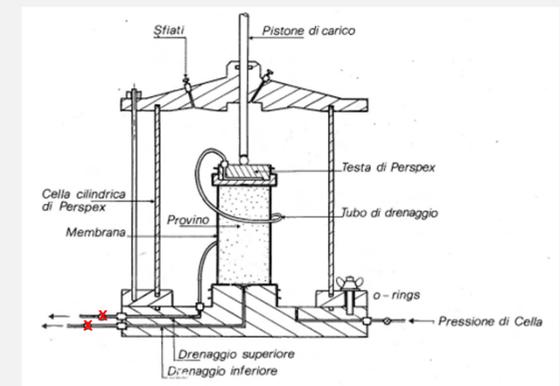
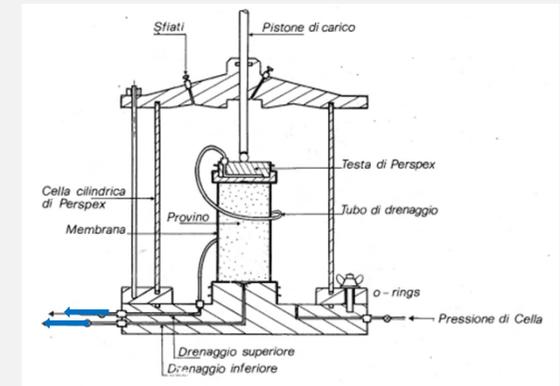
In questa fase si porta il materiale alle pressioni richieste per studiarne le proprietà (parametrizzazione). Concettualmente è la medesima fase di tutte le prove consolidate. E' possibile eseguirla isotropicamente (Pcella agente su tutto il provino) o meno (imposto un carico verticale diverso dalla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

Tx CD

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

Tx CU

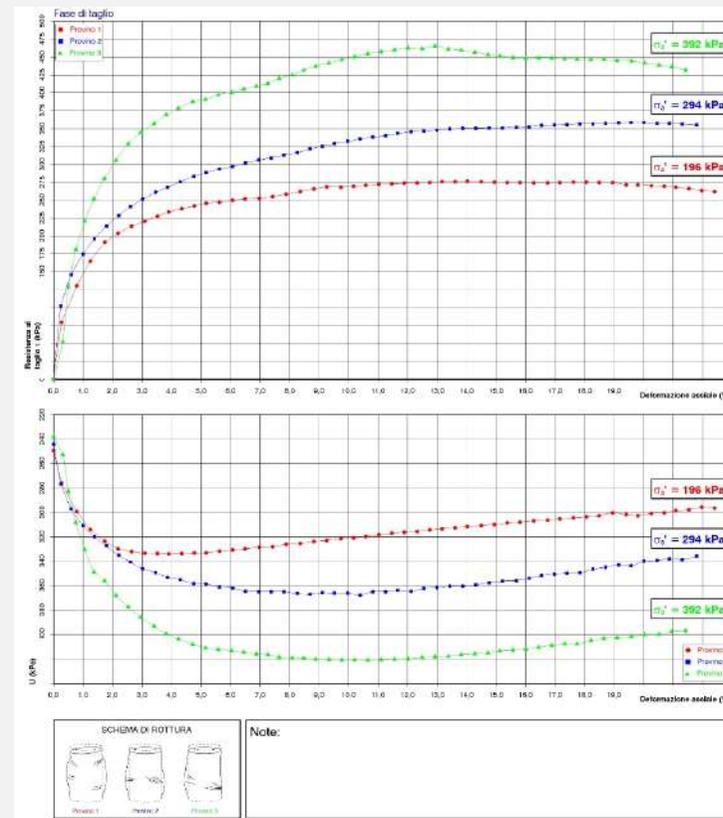
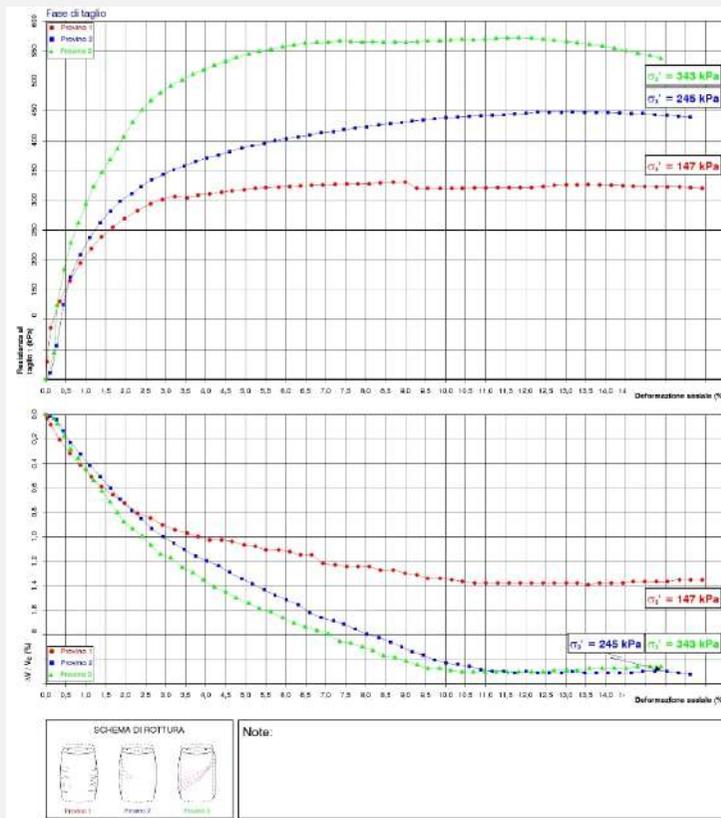
Drenaggi chiusi, deformazioni relativamente veloci, sovrappressioni alte. Si misurano le pressioni interstiziali



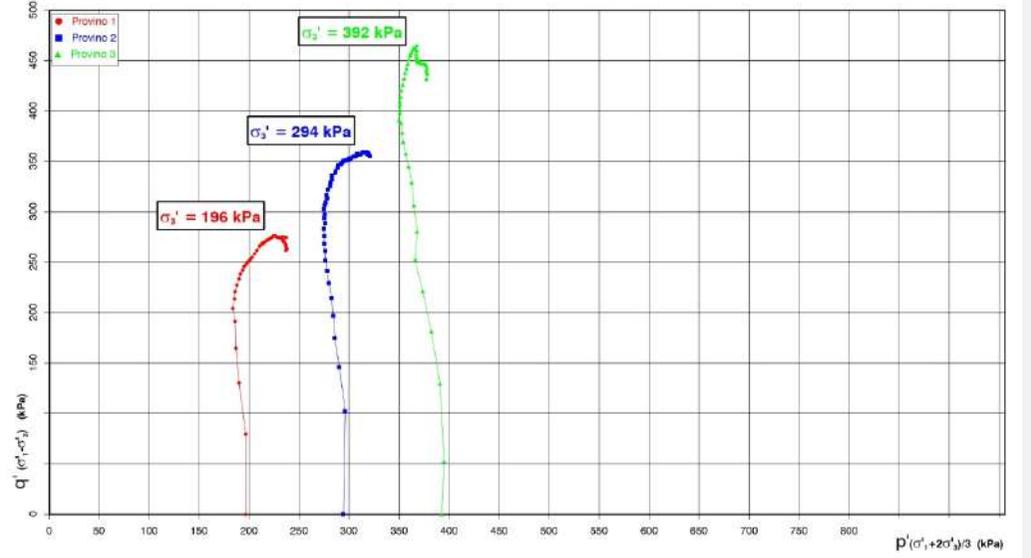
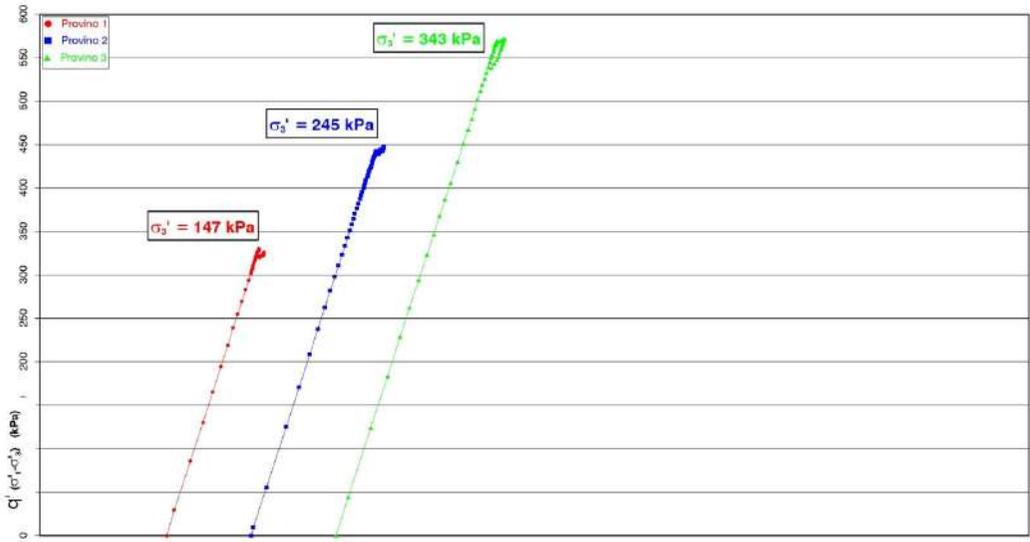
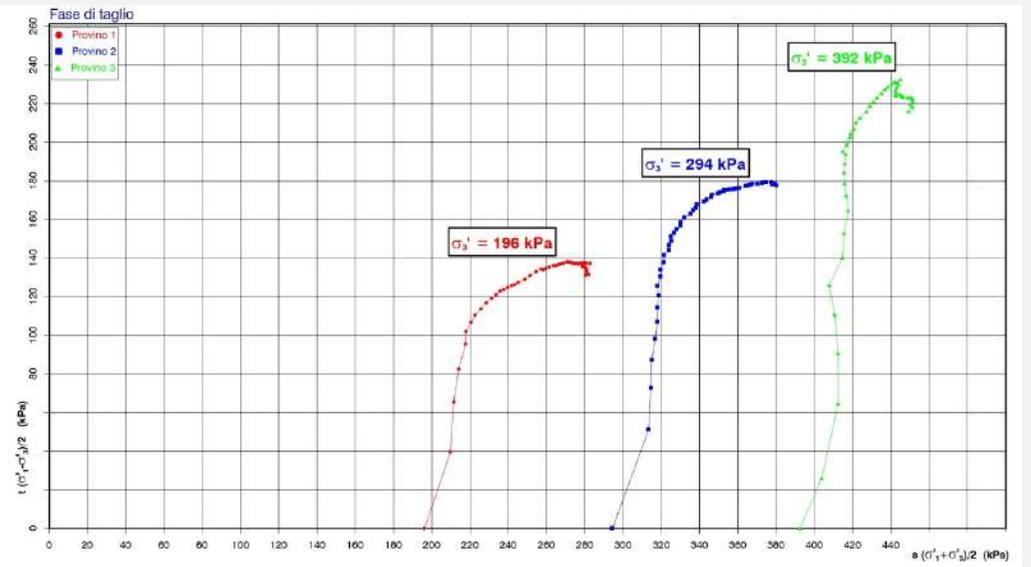
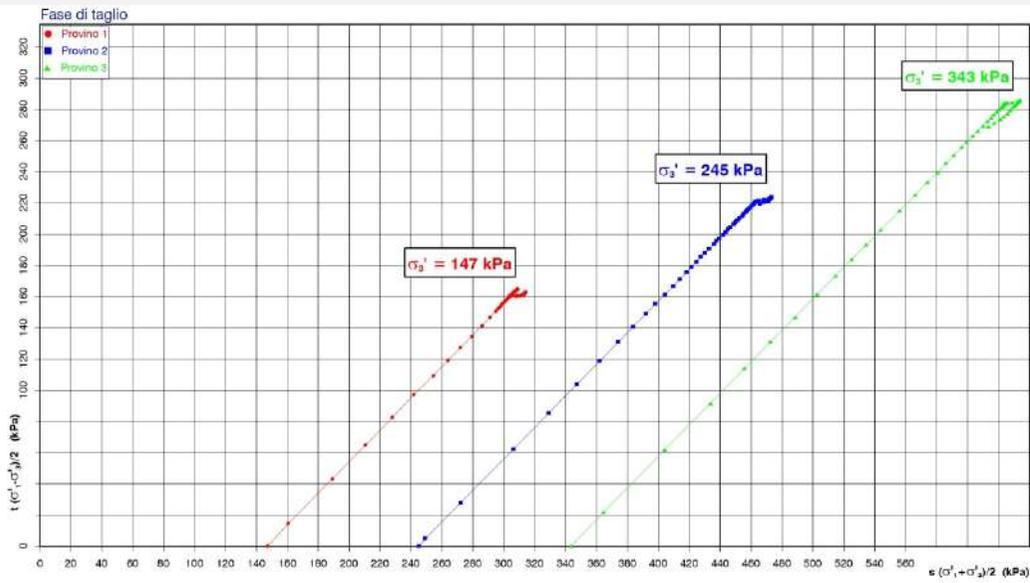
Cosa otteniamo

(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).



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

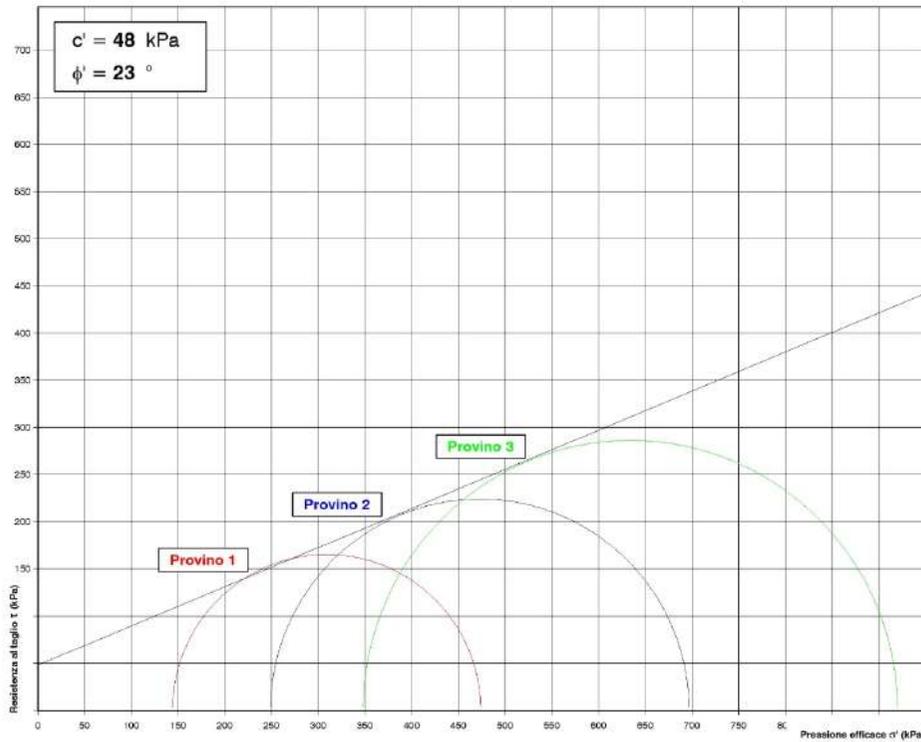


Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (CD)

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

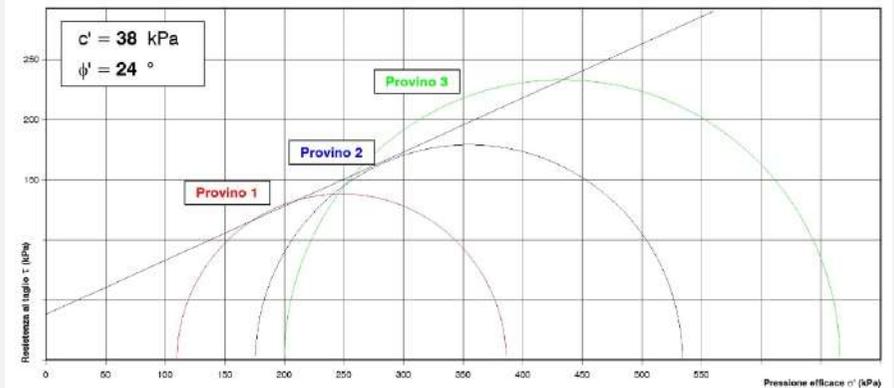
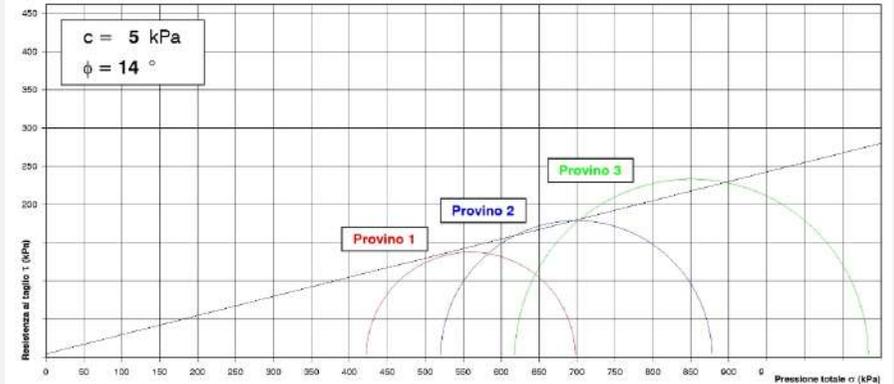
Provino n°		1	2	3
Tensione deviatorica a rottura	kPa	330	448	572
Deformazione assiale a rottura	%	8,69	12,31	11,83
Variazione volumetrica a rottura	%	1,27	2,11	2,11
Pressione di cella efficace	kPa	144	249	347
Tensione deviatorica media	kPa	165	224	286
Tensione efficace media	kPa	309	473	634
Pressione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



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

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)

ELL

Da eseguire su 3 provini (usualmente su 1)

NON saturabili

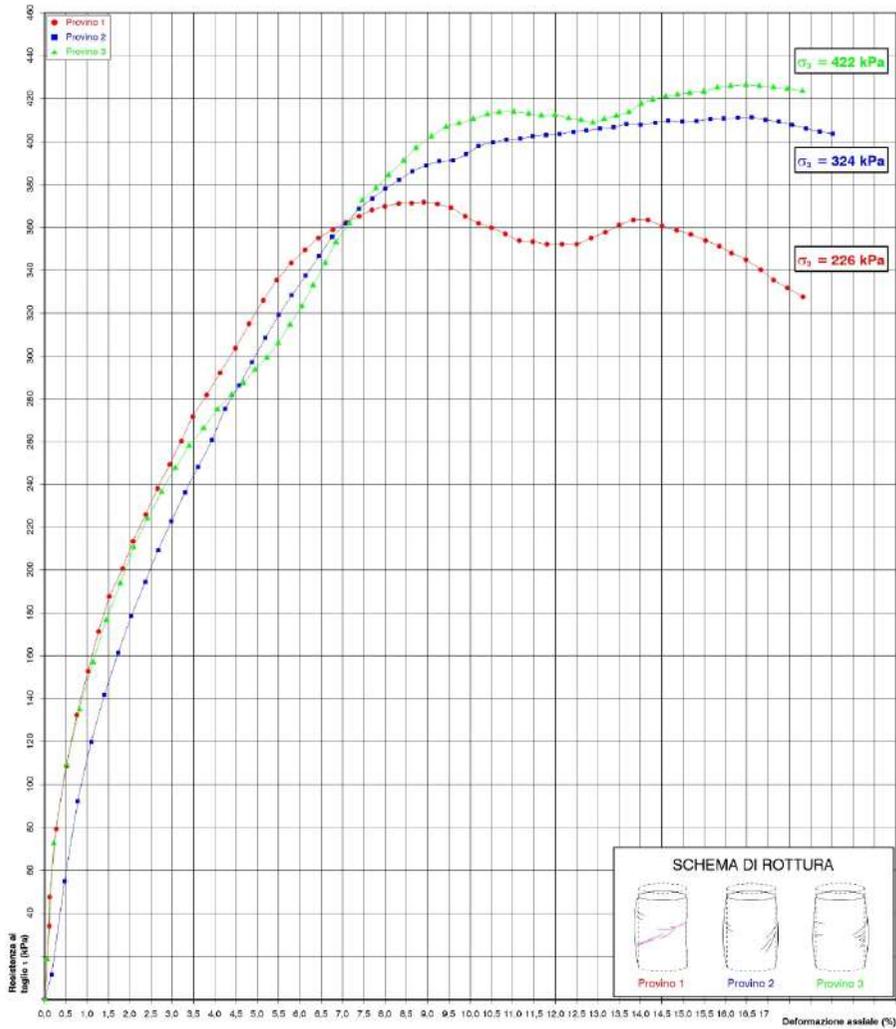
Nessuna possibilità di misurare U

Si ottengono moduli non drenati

Il risultato è la resistenza a rottura σ_f

PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (UU)

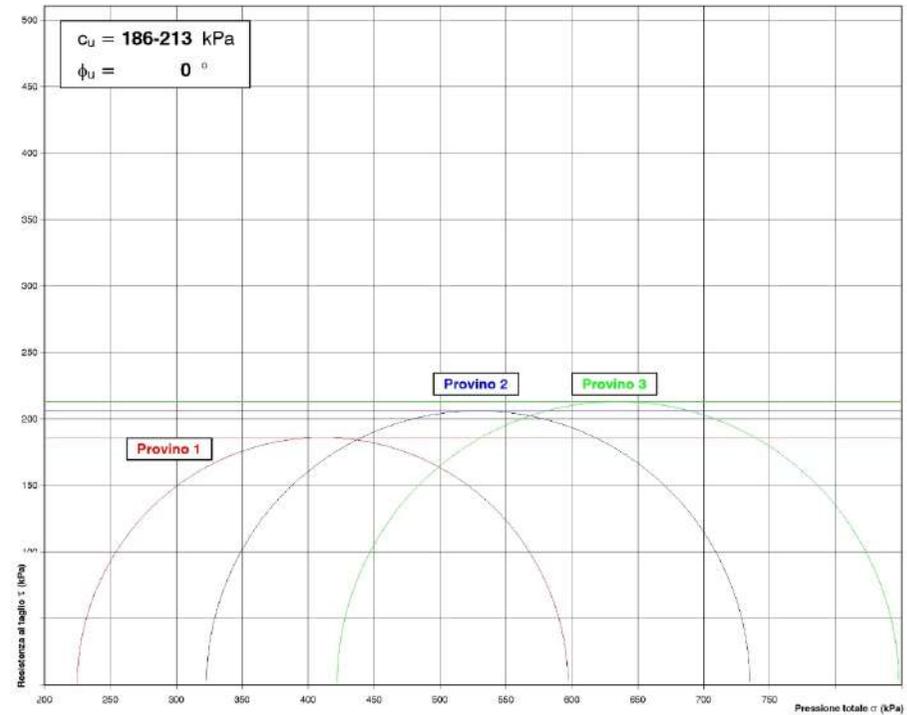
(UNI CEN ISO/TS 17892-8)



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	--	--	--	



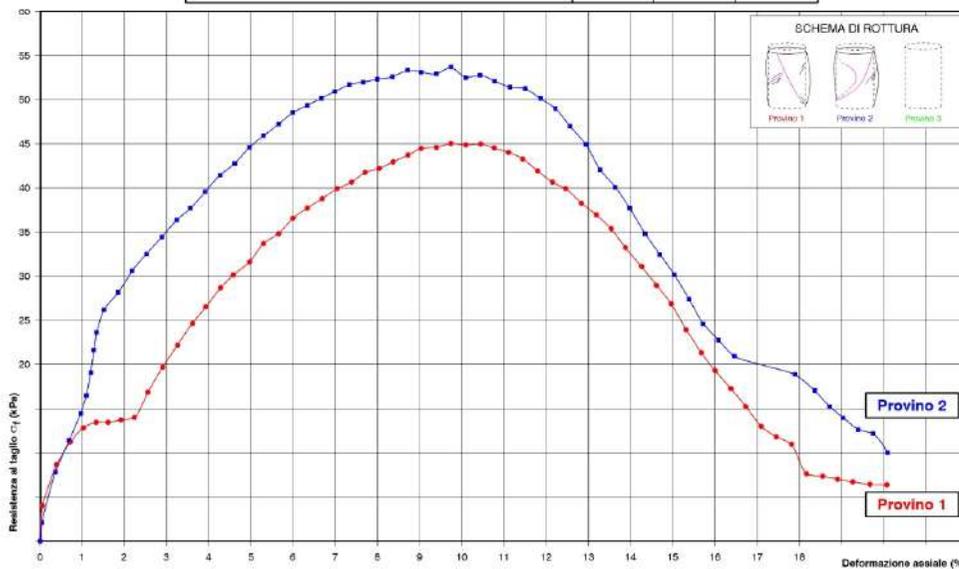
Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

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

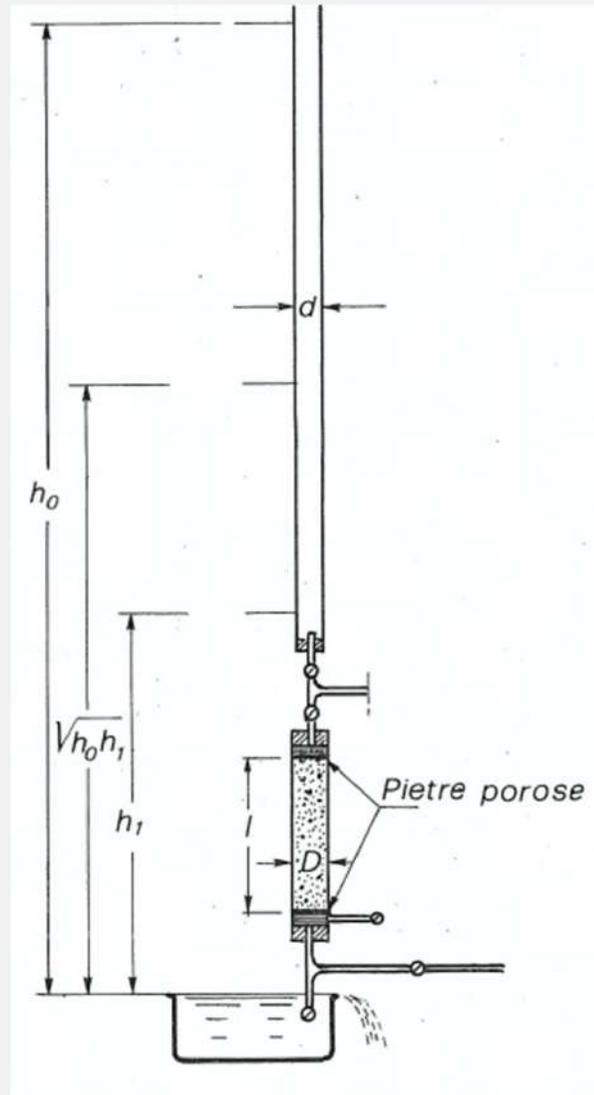
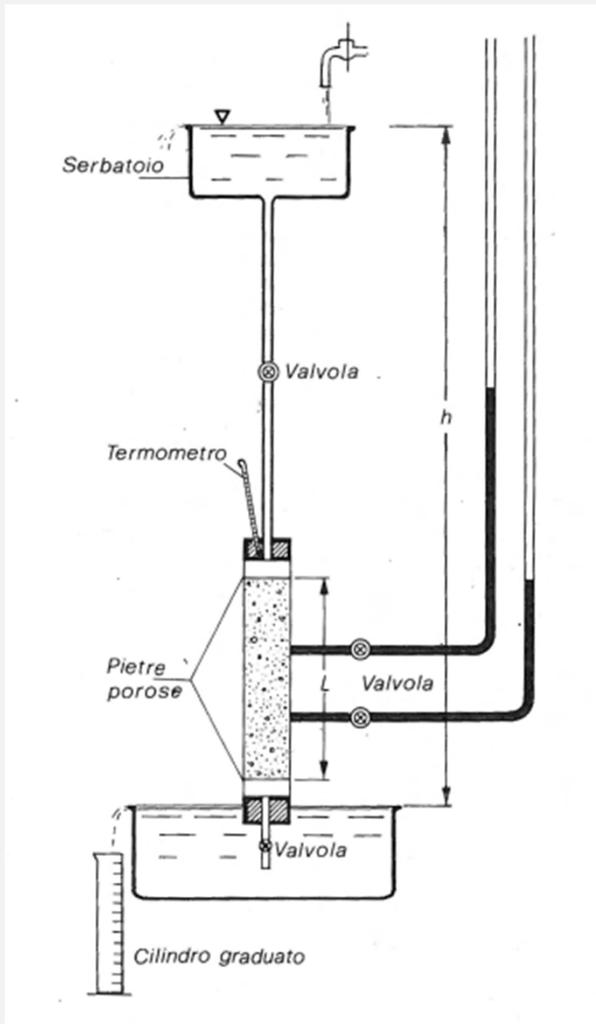
Nelle celle (Tx o Ed)

Su provini da campioni indisturbati

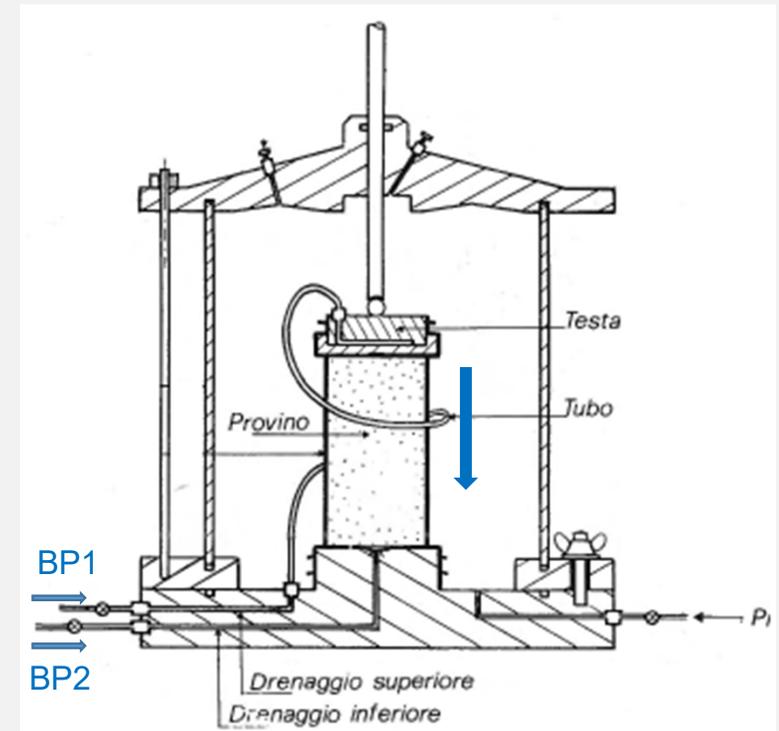
Provini piccoli

Tempi molto lunghi nel caso di carichi costanti

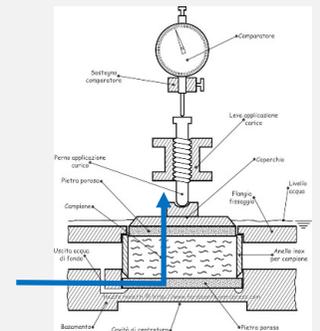
In entrambi i casi è sempre molto opportuno confrontare i risultati con quelli ottenuti da prove di permeabilità eseguite in sito su pozzetti (permeabilità in pozzetto, Lefranc, Boutwell) o in foro di sondaggio (Lefranc)



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024



BP1 > BP2 (carico costante)



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.

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

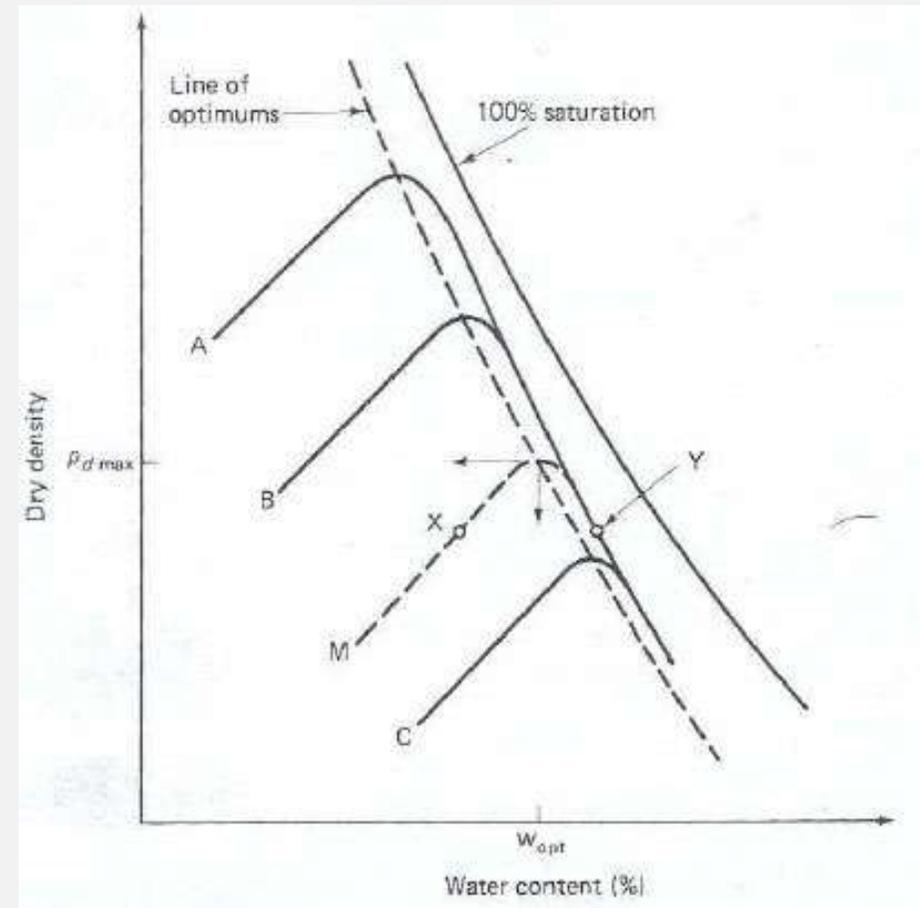
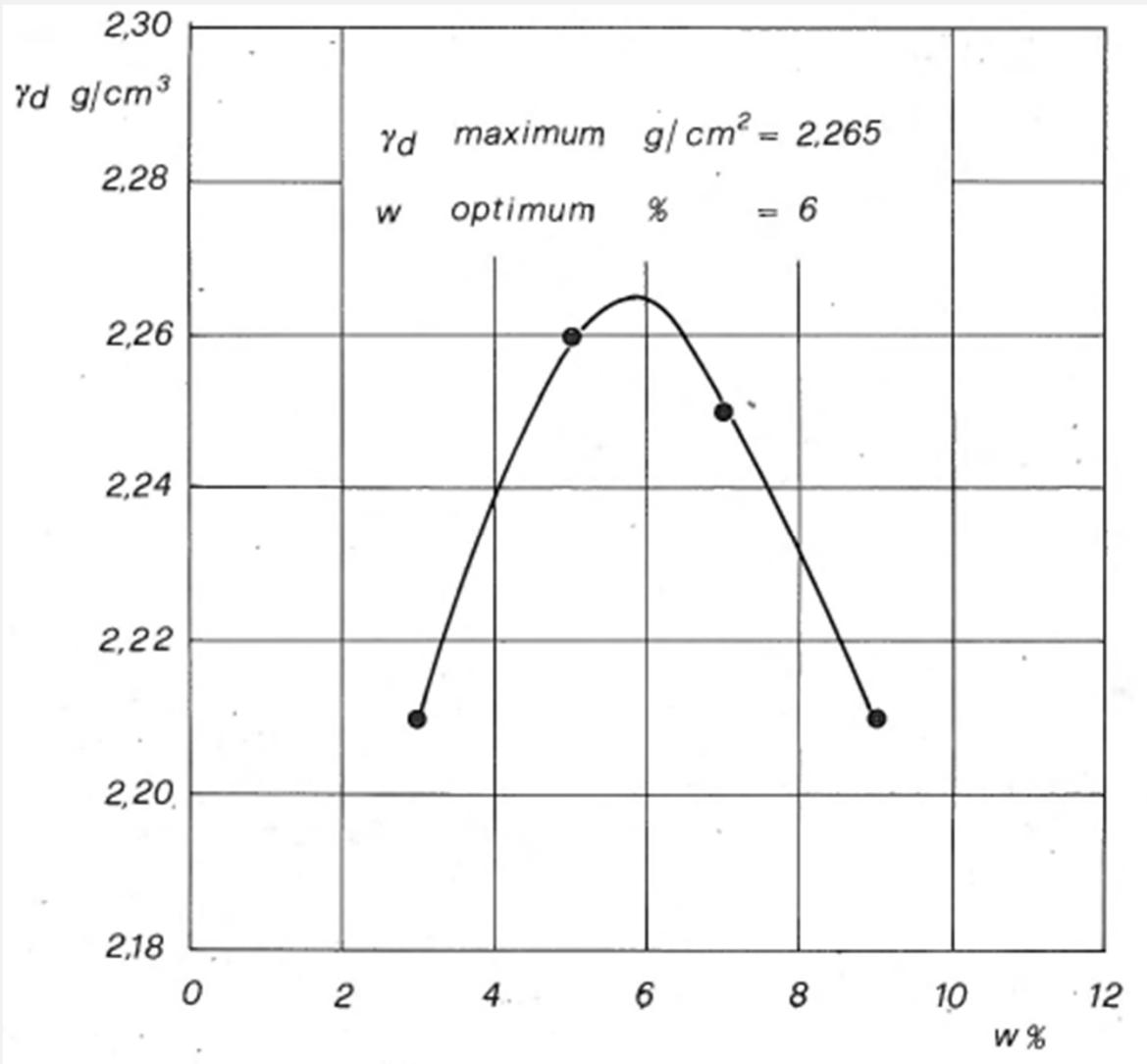


Foto da Matest S.p.A.



Foto da Geotea S.r.l.

Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024



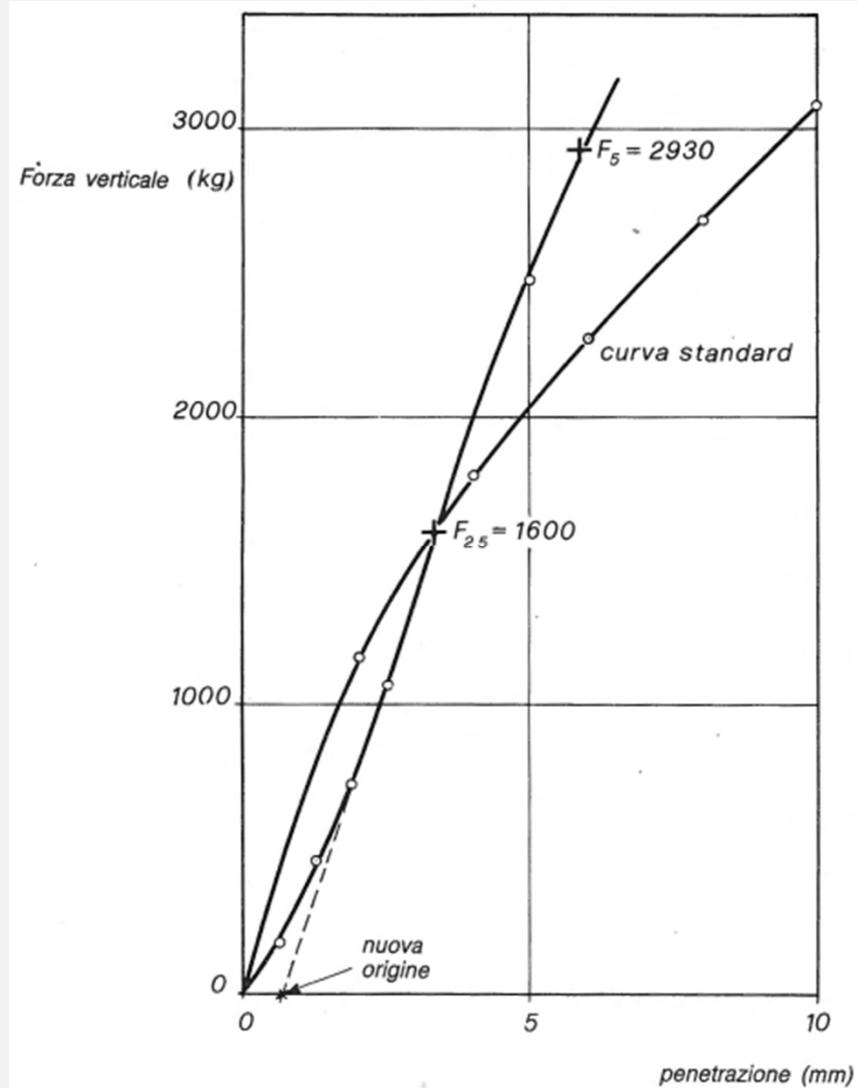
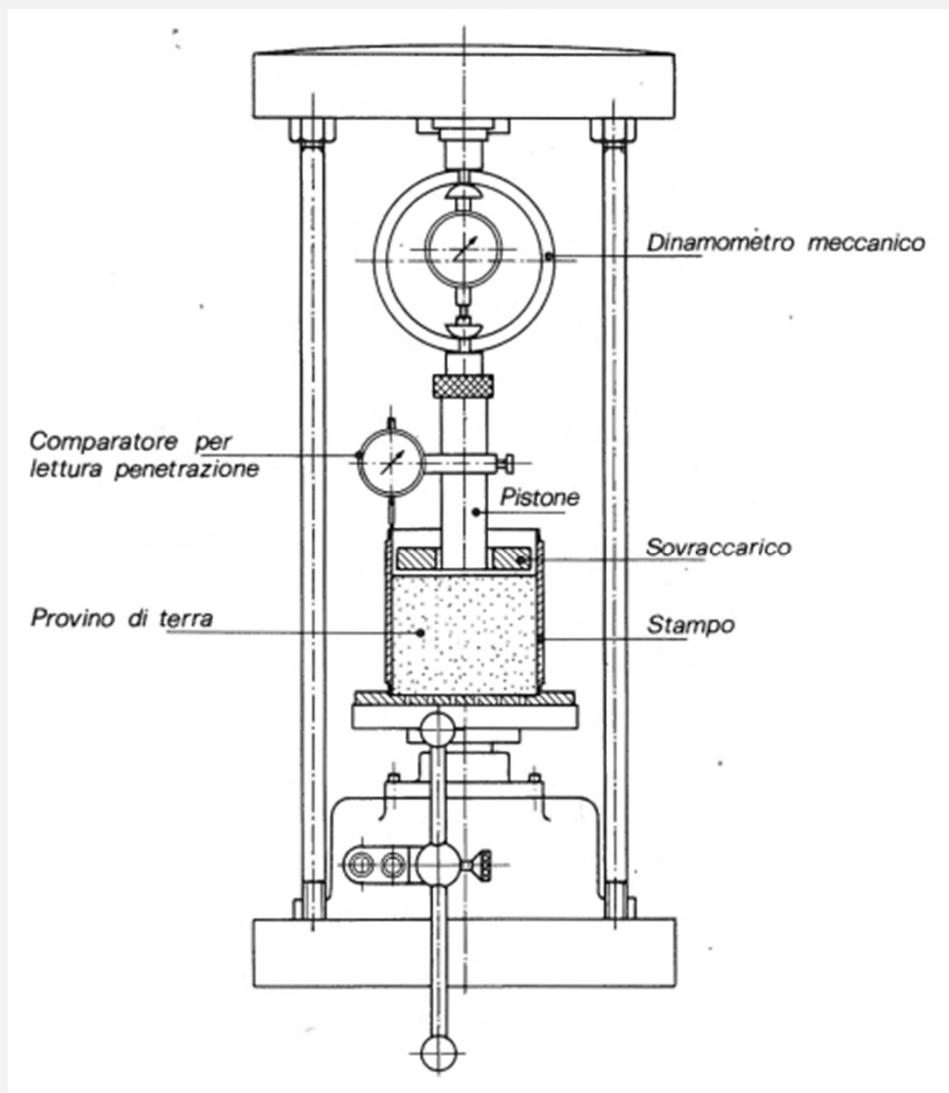
Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
 Stefano Cianci 14/03/2024

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



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

Quando chiederle

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

Esecuzione

Mediamente complesse, tempistiche mediamente lunghe, costo medio-alto

Strumenti tarati

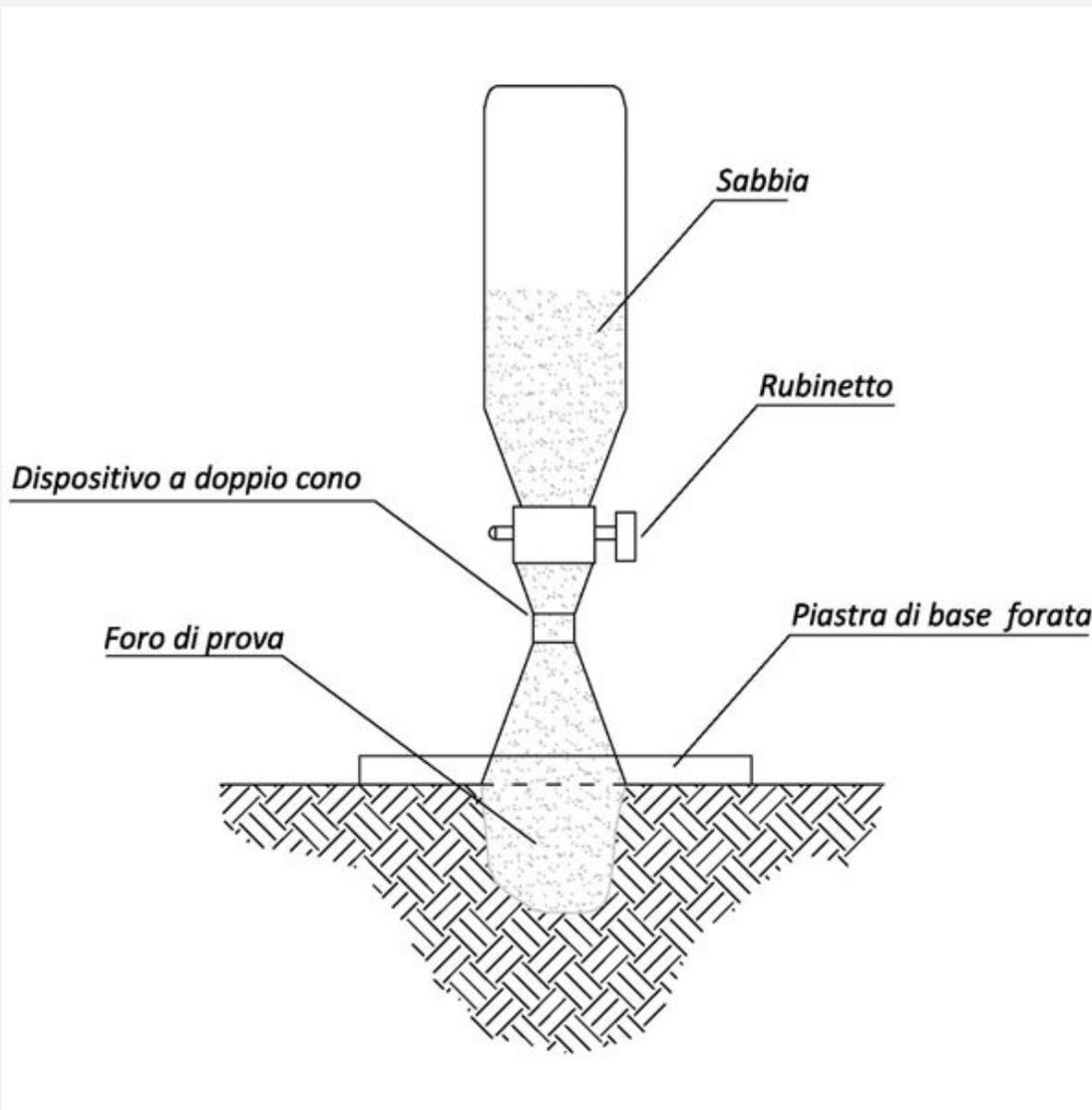
Bilancia, comparatori, anelli. E' estremamente opportuna la conoscenza del peso specifico assoluto per i calcoli.

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.

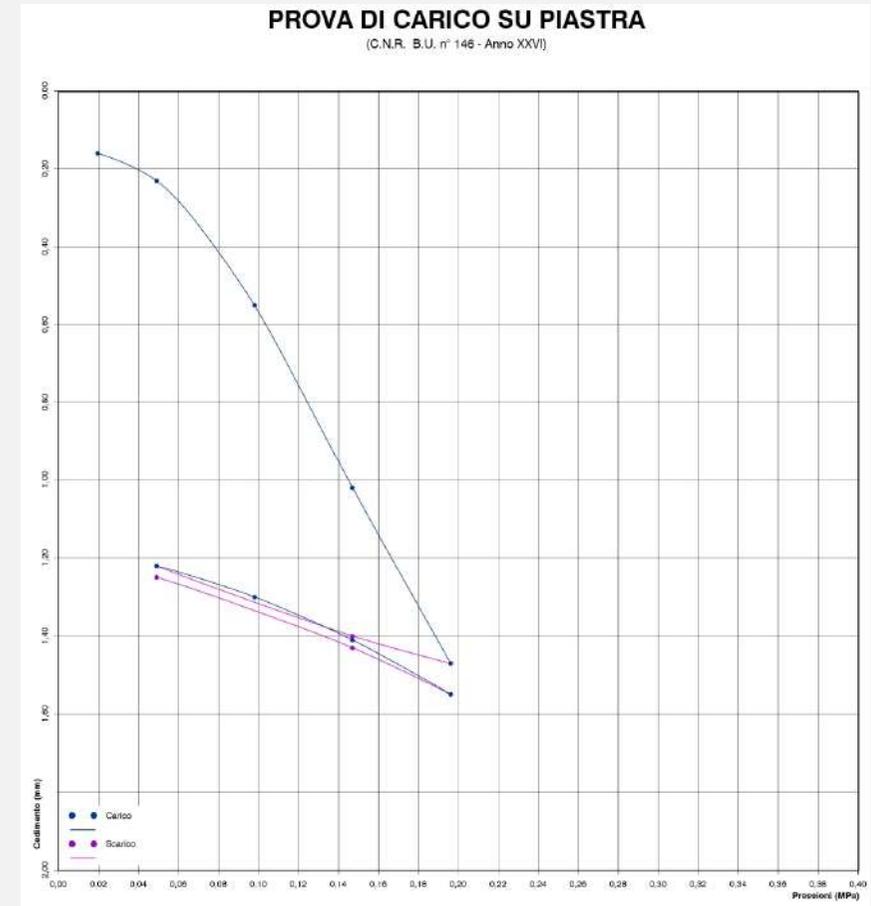


Può essere eseguita su ciclo singolo o con doppio ciclo di carico/scarico.

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.

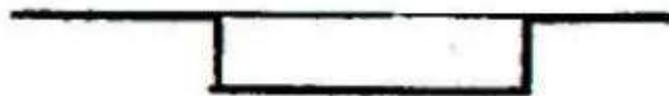
La legge che definisce il modello può scriversi come:

$$q = kw$$

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.

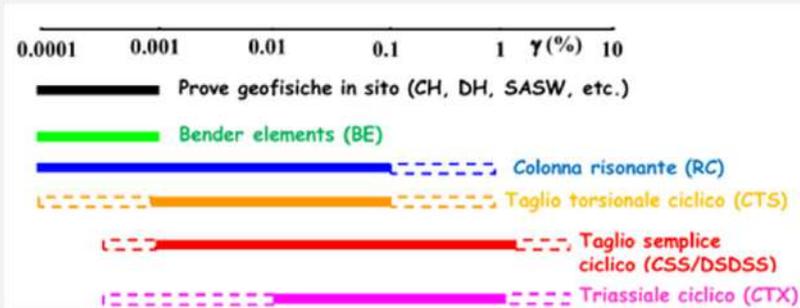
Normata CNR BU N. 146 del 14 Dicembre 1992

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

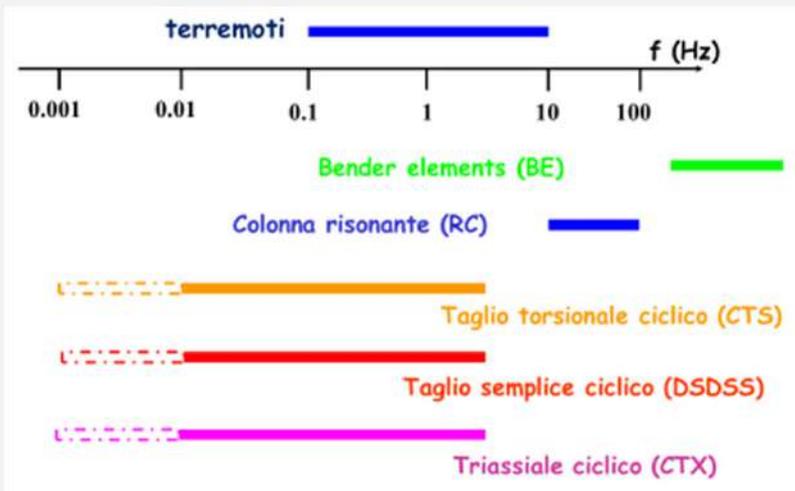
PROVE DINAMICHE

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

Campi deformativi

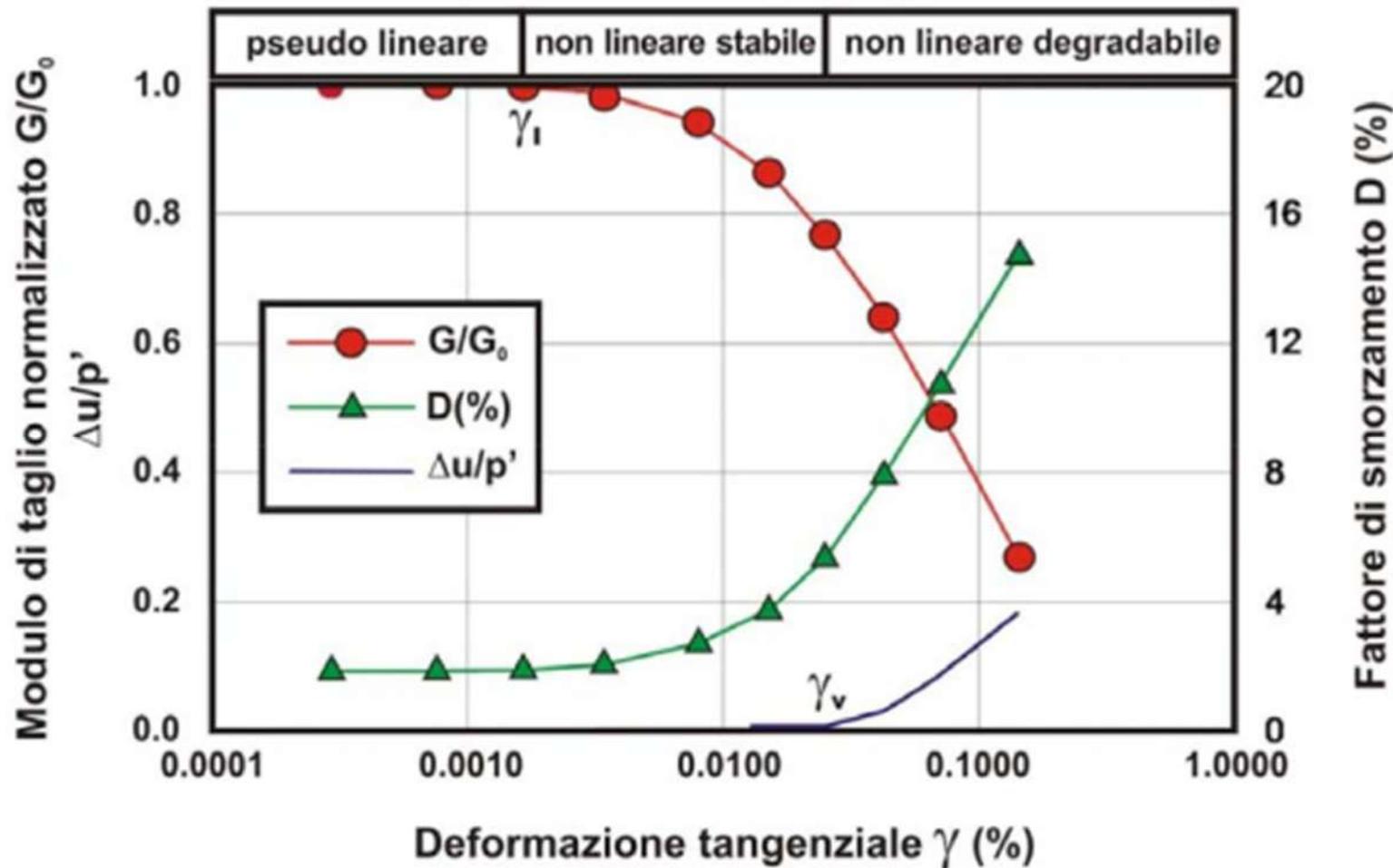


Frequenze



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 "permanenti" (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.

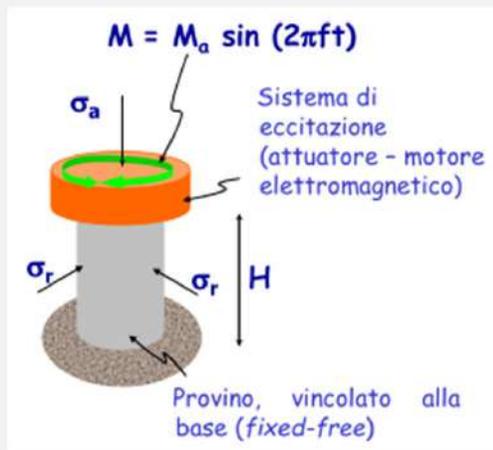
Non è possibile raggiungere la condizione di rottura, ma si determinano le leggi di decadimento della rigidezza e dell'incremento del fattore di smorzamento con la deformazione tangenziale.

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

Taglio torsionale ciclico

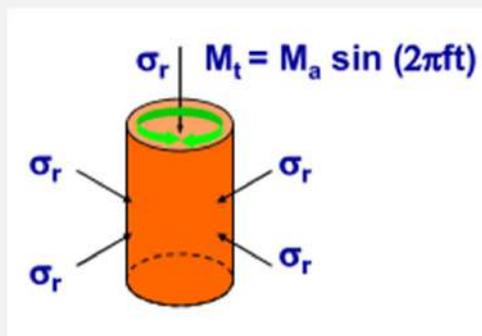
Si attuano condizioni di taglio semplice sovrapponendo ad uno stato di tensione efficace una coppia torcente variabile nel tempo con legge periodica.

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

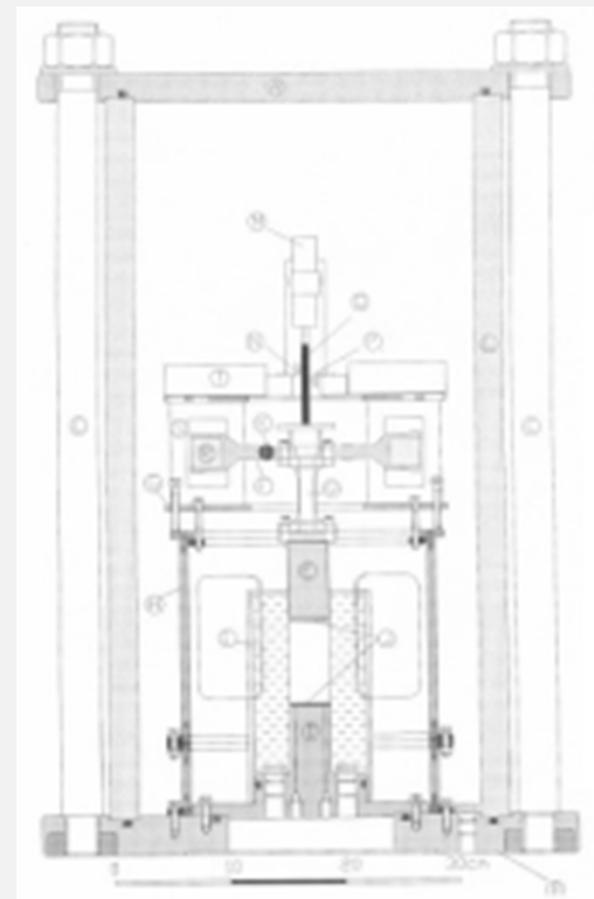


Sollecitazioni (momento torcente) applicate in condizioni dinamiche

- 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





Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 14/03/2024

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.

GRAZIE PER LA PAZIENZA E L'ATTENZIONE

LE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO:

SCELTA E VALUTAZIONE

(in memoria di Massimo Parente)