

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;

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

prove atte a determinare il potenziale di rigonfiamento.



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



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

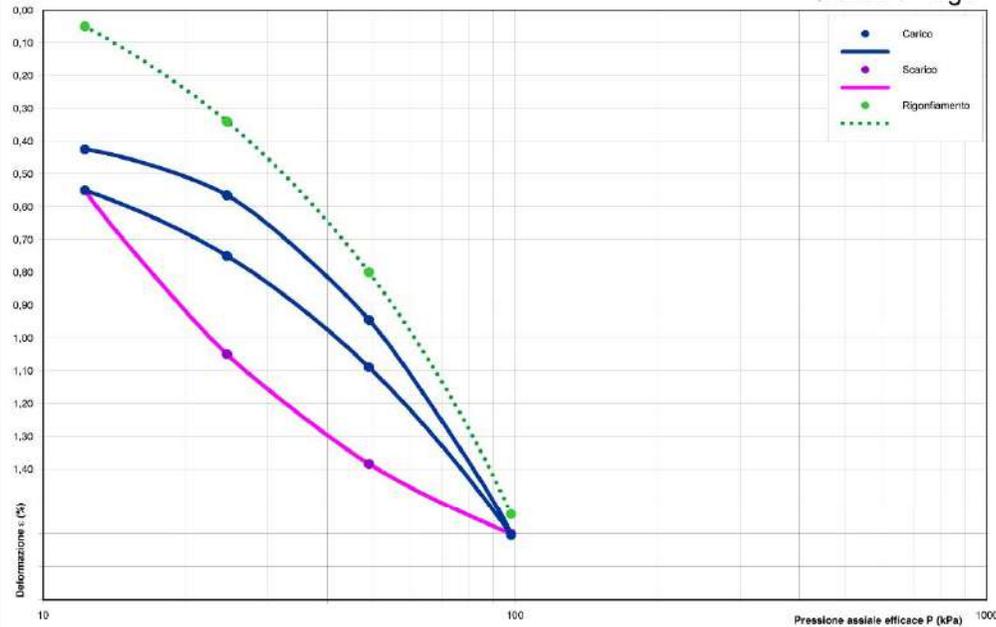


Metodo di Huder-Amberg.

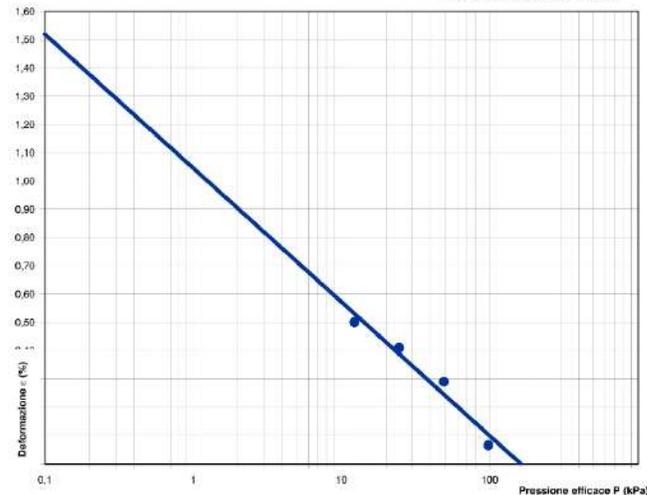
PROVA DI RIGONFIAMENTO HUDER-AMBERG

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

Grafico ε - log P



Note:



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

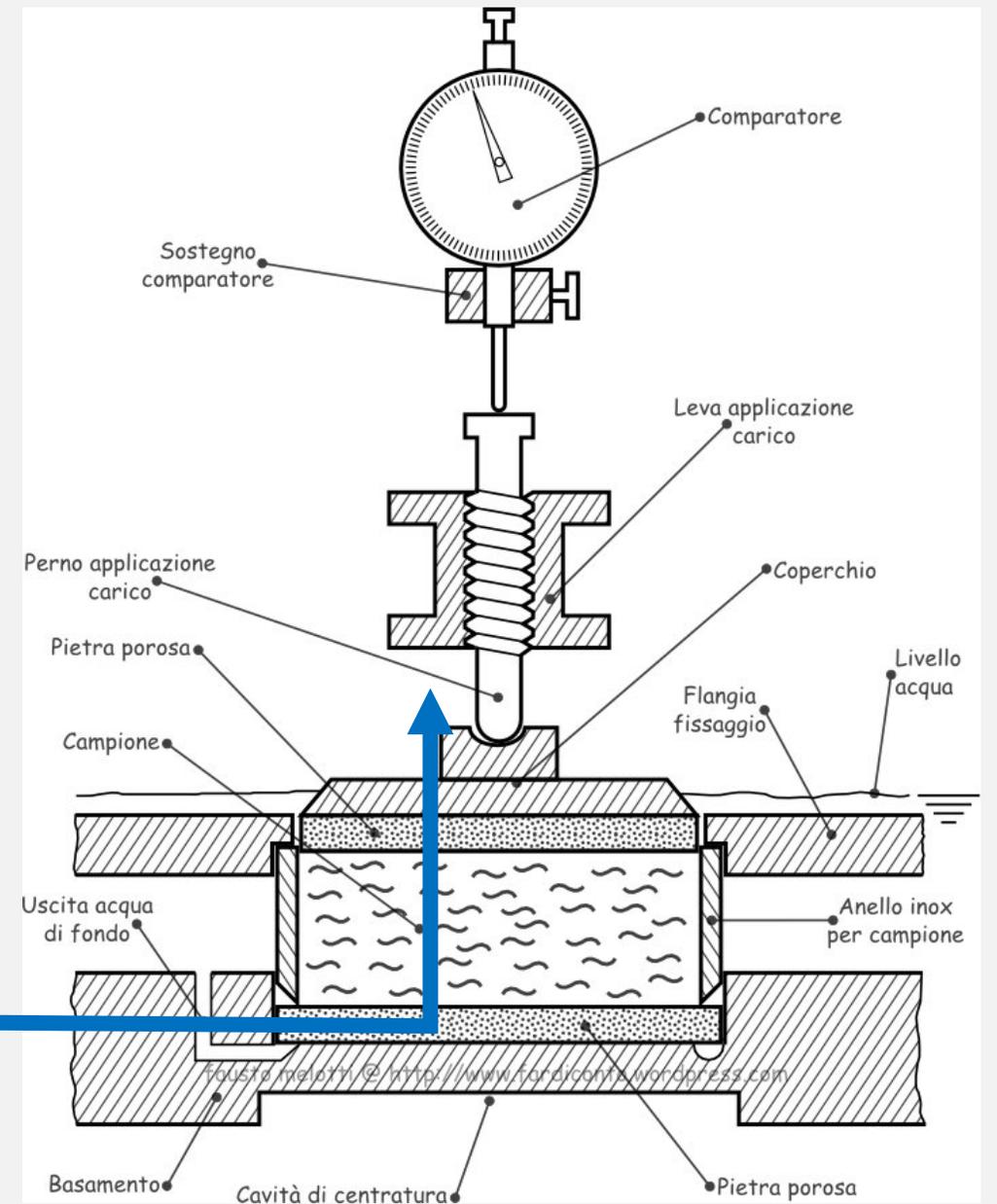
Mediamente complessa, tempistiche medie (qualche giorno), costo medio-basso

Strumenti tarati

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

PROVE CON L'EDOMETRO

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



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
 Stefano Cianci 31/03/2022

Quando chiederle

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

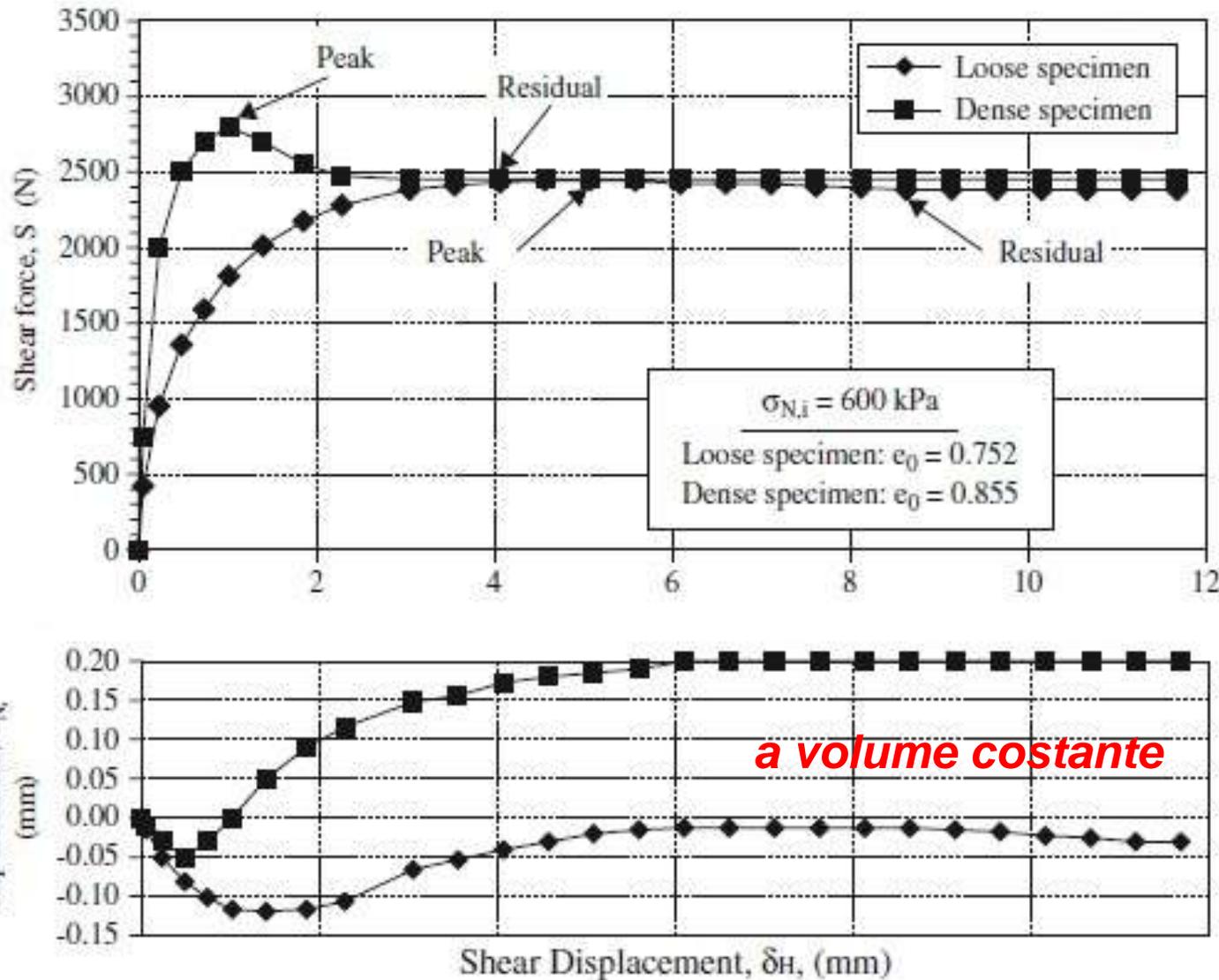
Esecuzione

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

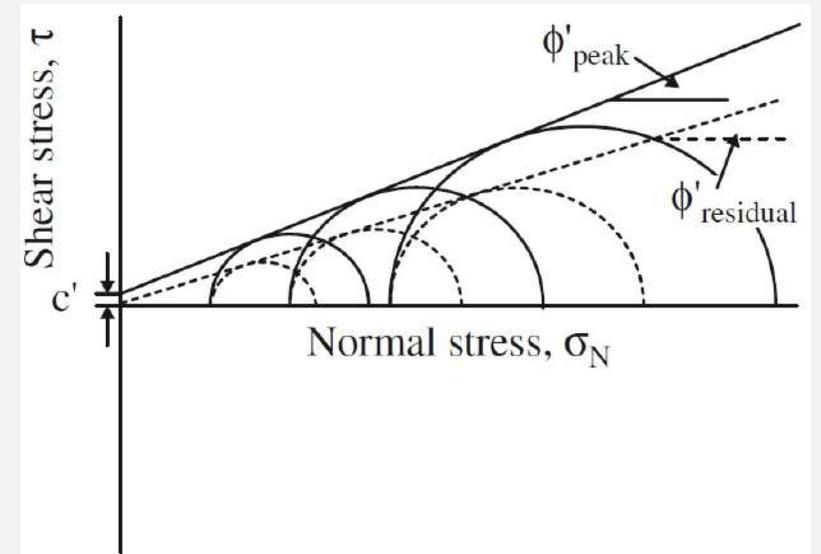
Strumenti tarati

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 ϕ')

La più richiesta

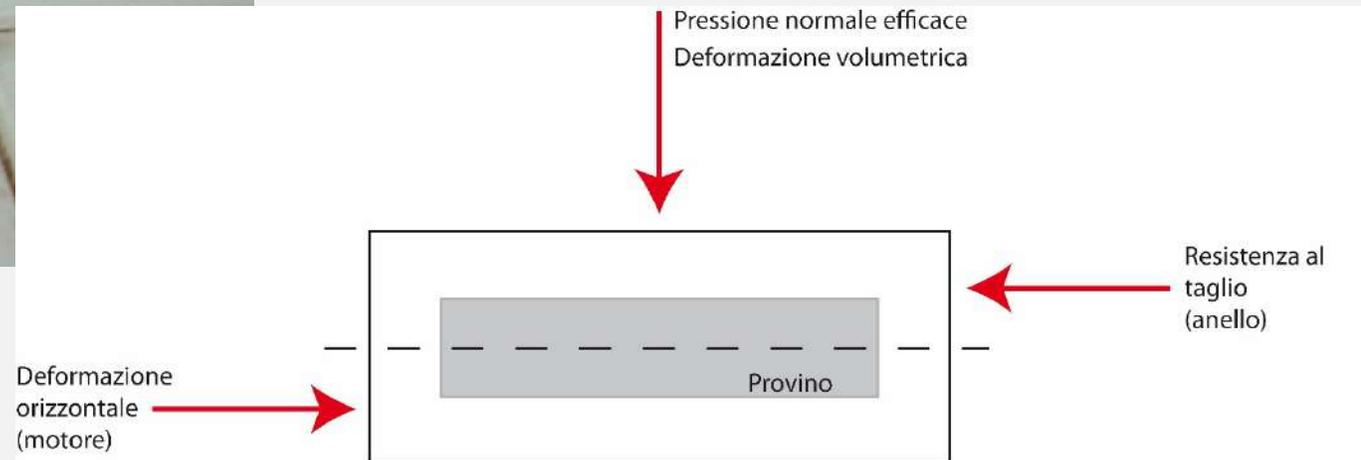
Limitazioni delle particelle dovuta ad “effetti di bordo”

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)

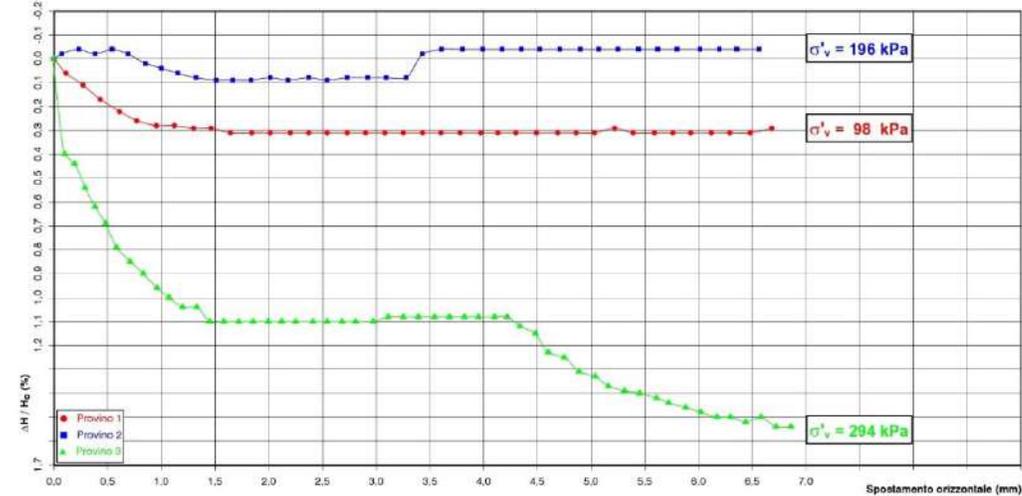
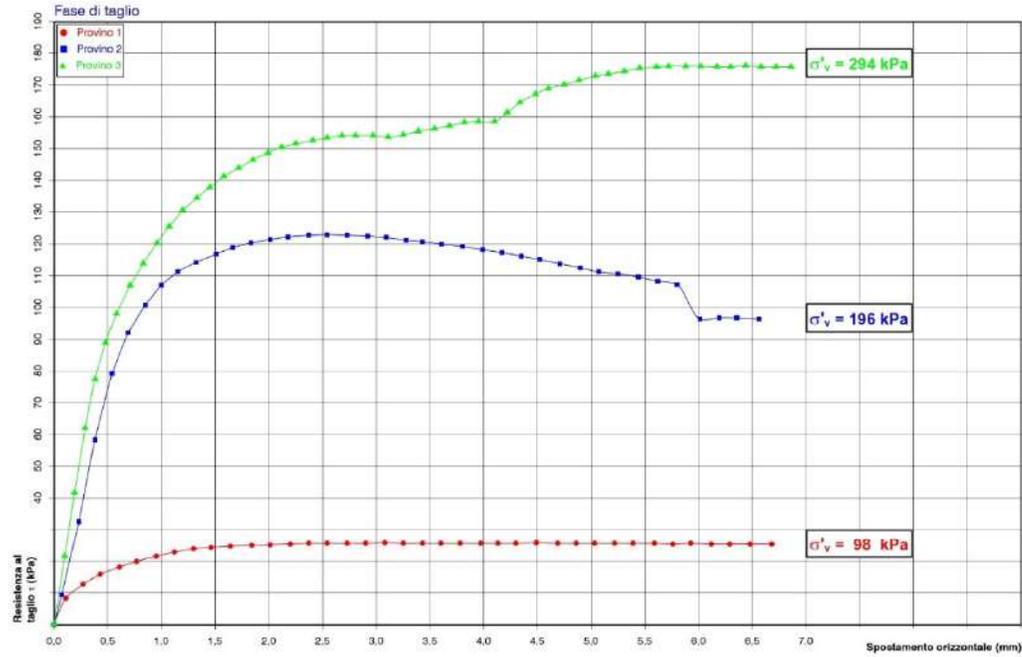




Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 31/03/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO/TS 17892-10)

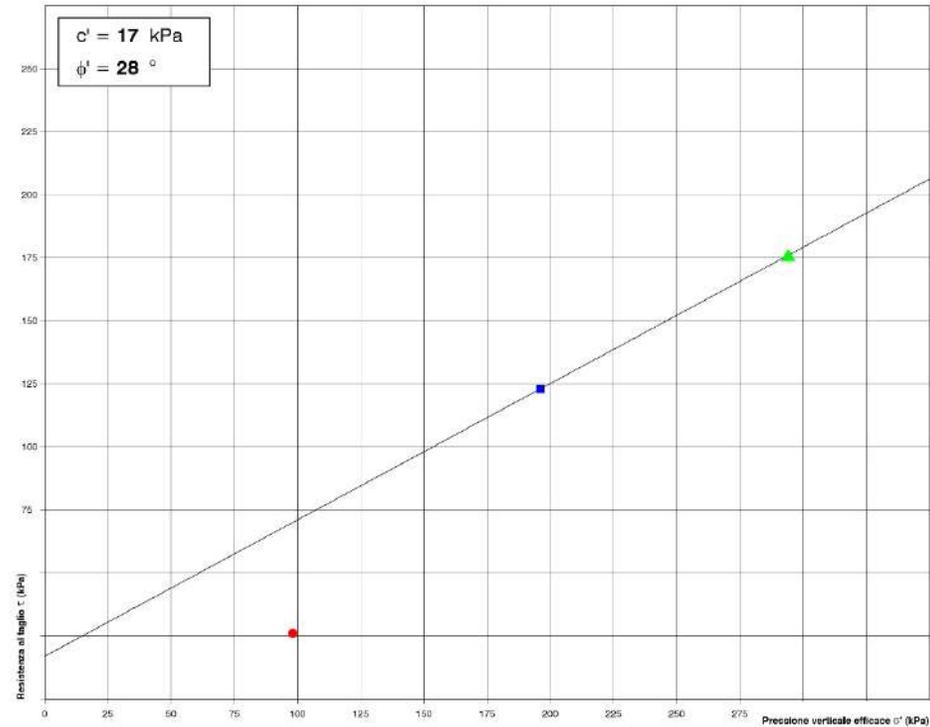


ARGILLA CON LIMO GHIAIOSA E SABBIOSA

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 |



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

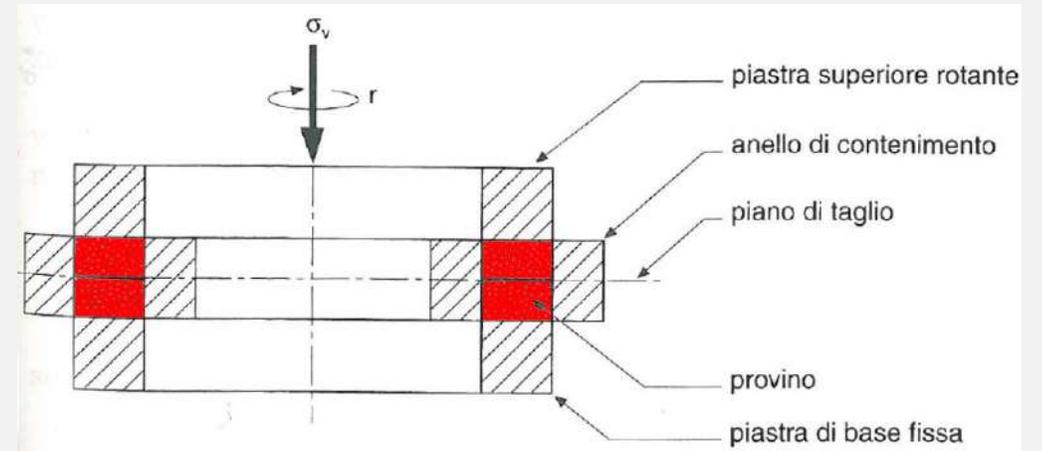
Bilancia, comparatori, anelli. E' opportuna la conoscenza del peso specifico assoluto per i calcoli

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

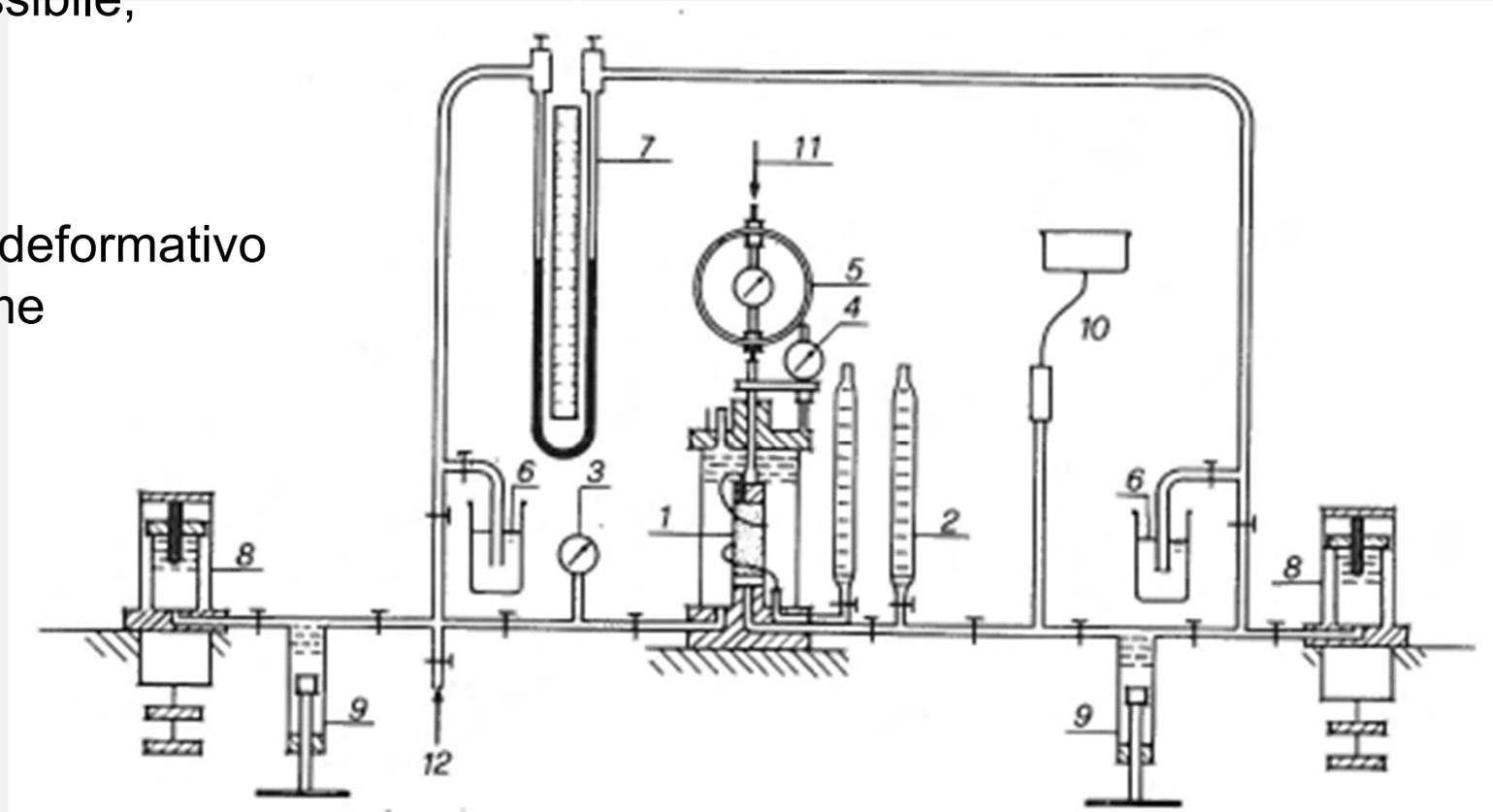
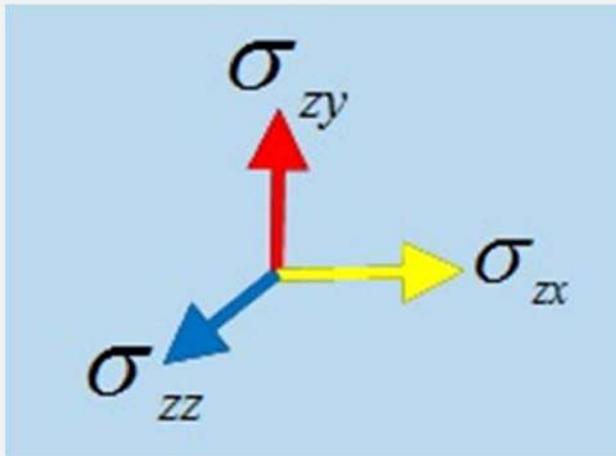
- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)
- Prova Triassiale CID
- Prova Triassiale CIU
- Prova Triassiale UU
- ELL

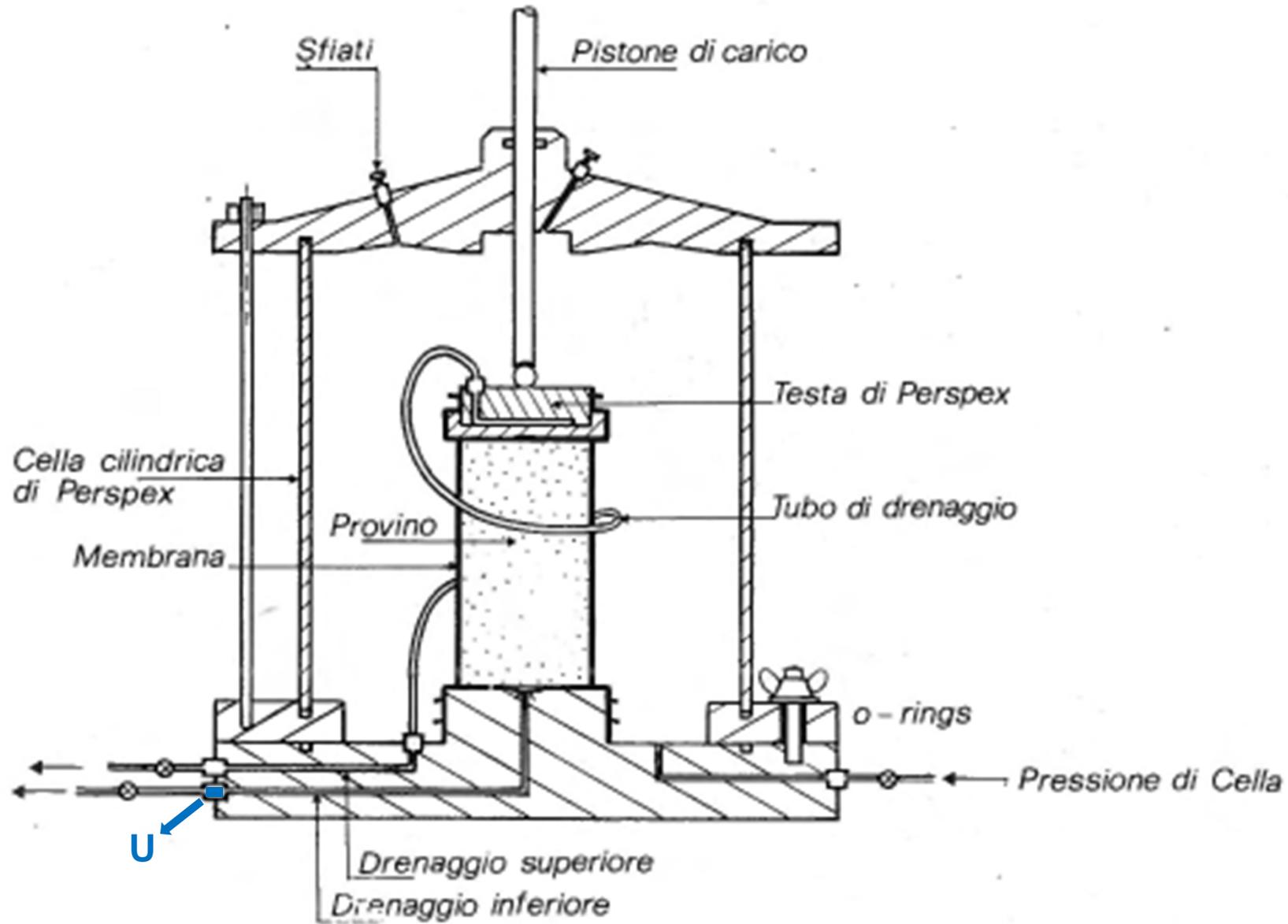
Strumento triassiale

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





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

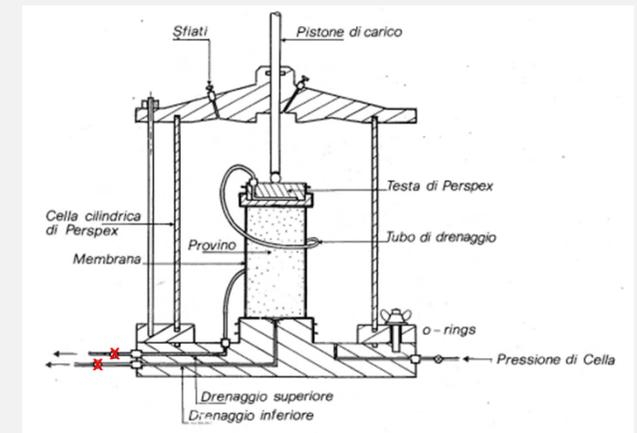
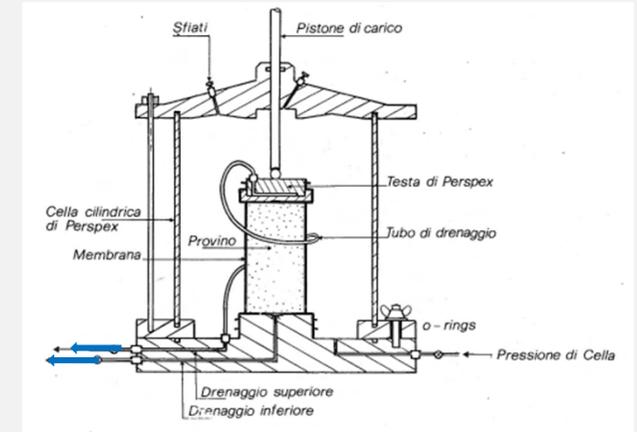
In questa fase si porta il materiale alle pressioni richieste per studiarne le proprietà (parametrizzazione). Concettualmente è la medesima fase di tutte le prove consolidate. E' possibile eseguirla isotropicamente (Pcella agente su tutto il provino) o meno (imposto un carico verticale diverso dalla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

Tx CD

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

Tx CU

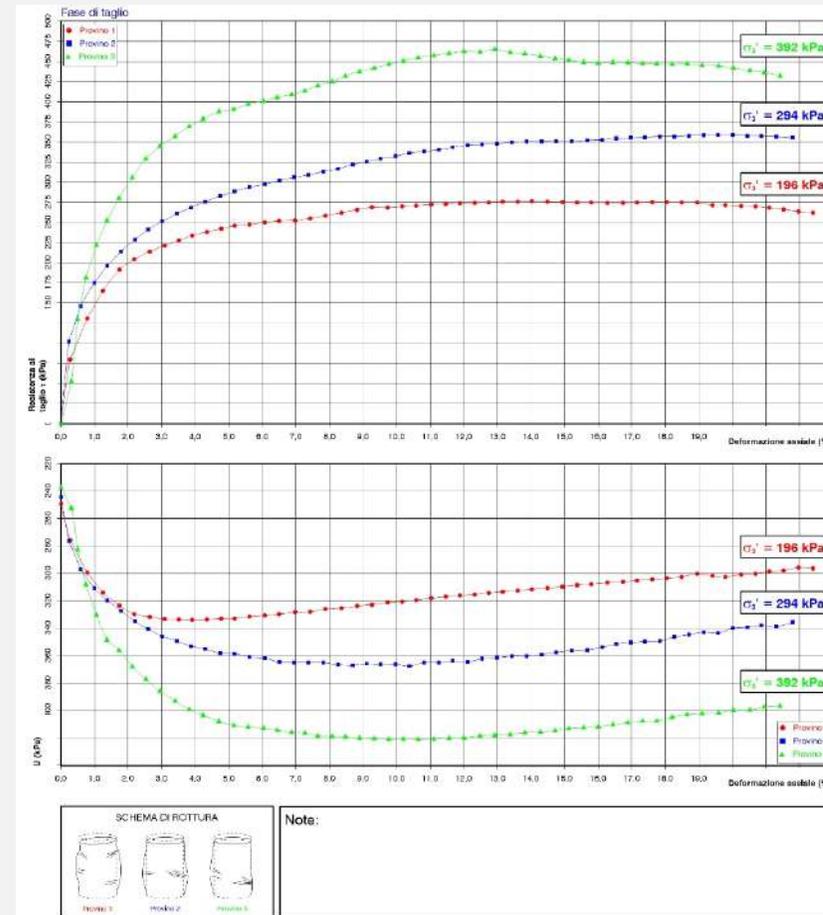
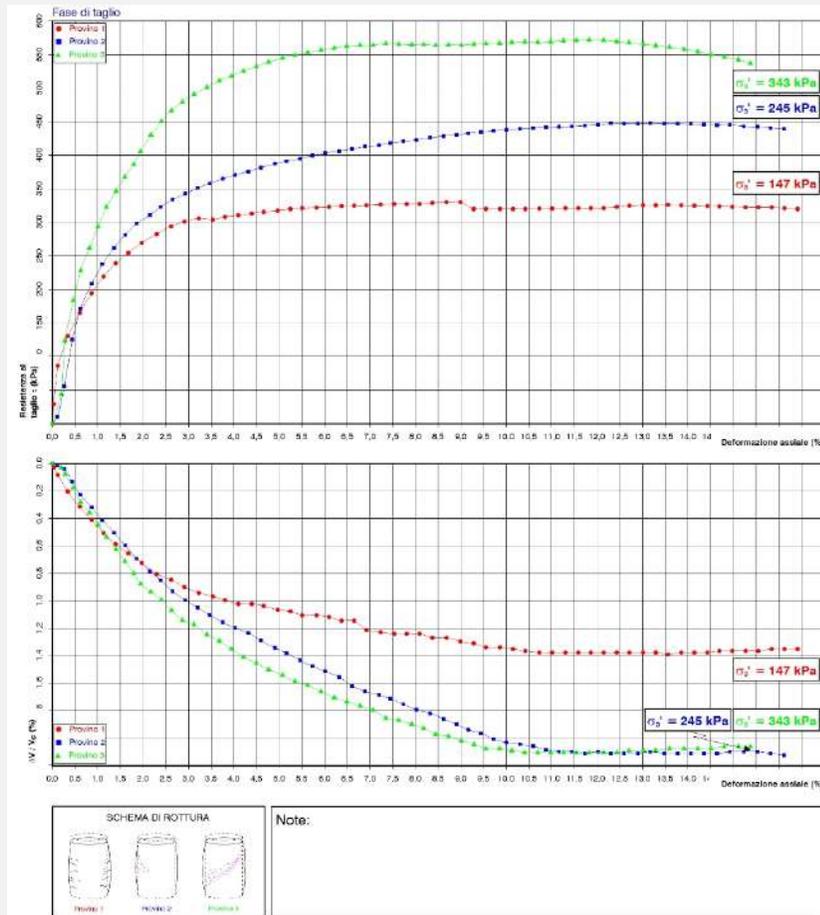
Drenaggi chiusi, deformazioni relativamente veloci, sovrappressioni alte. Si misurano le pressioni interstiziali

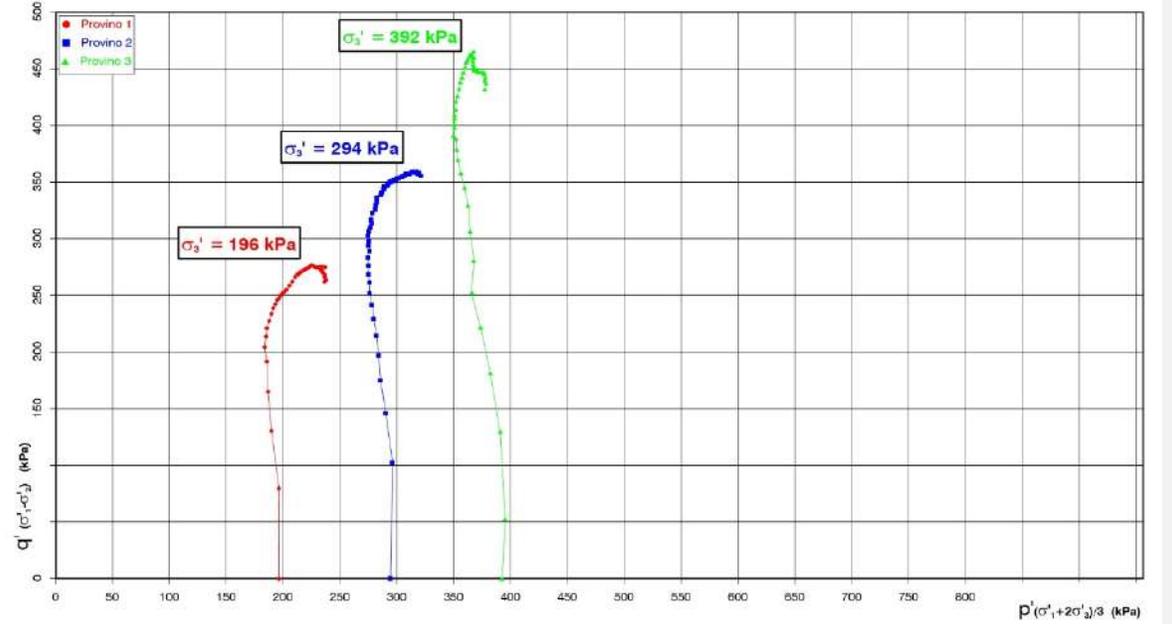
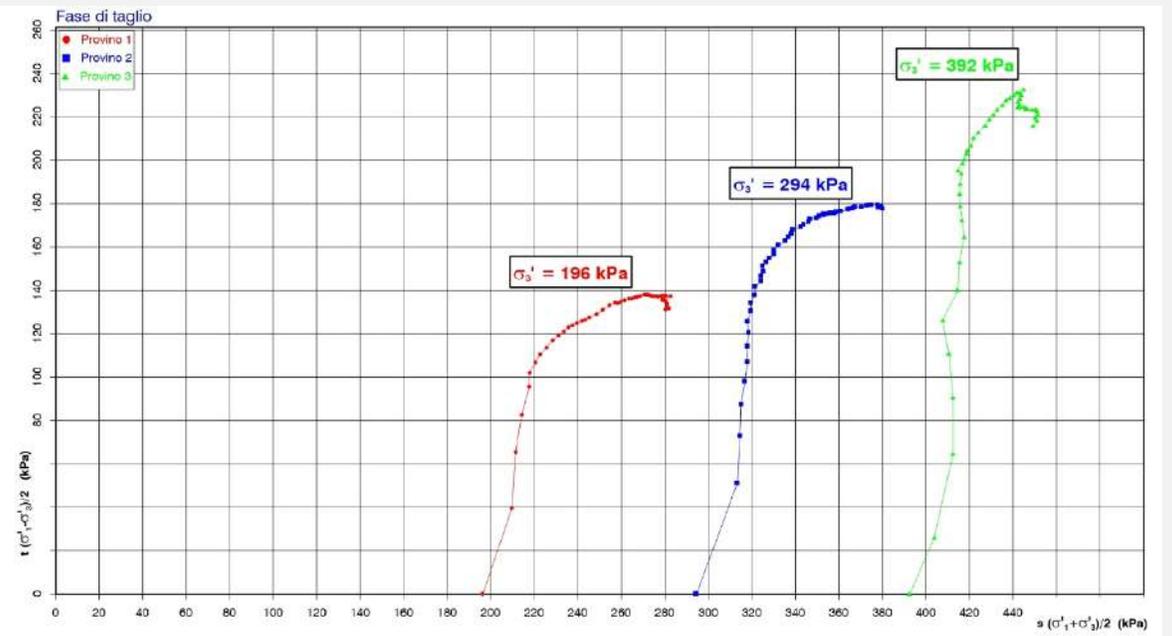
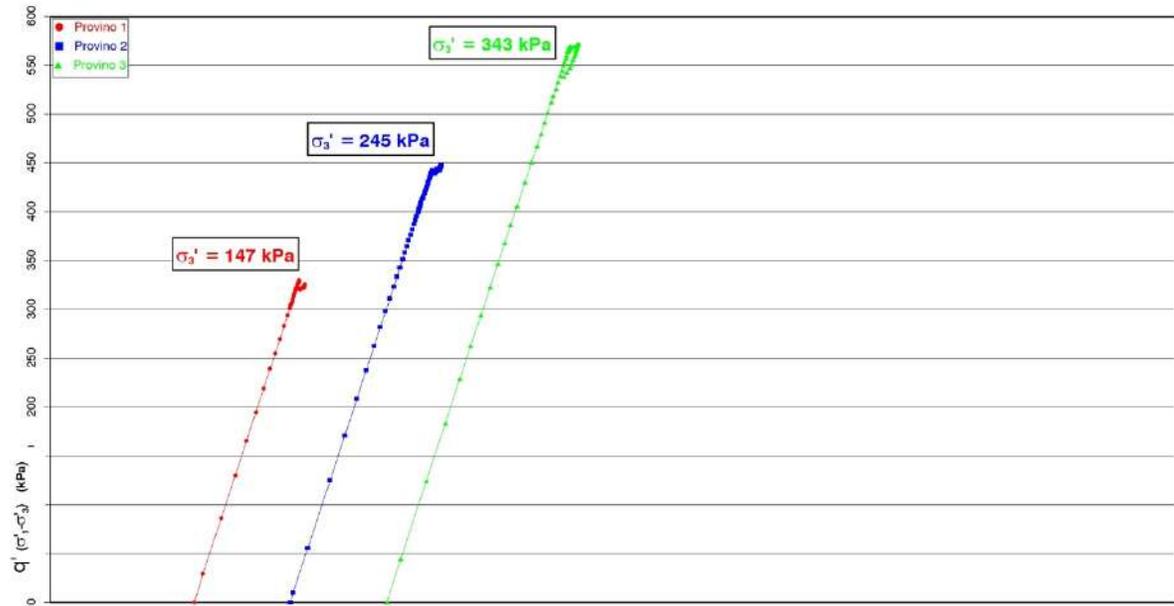
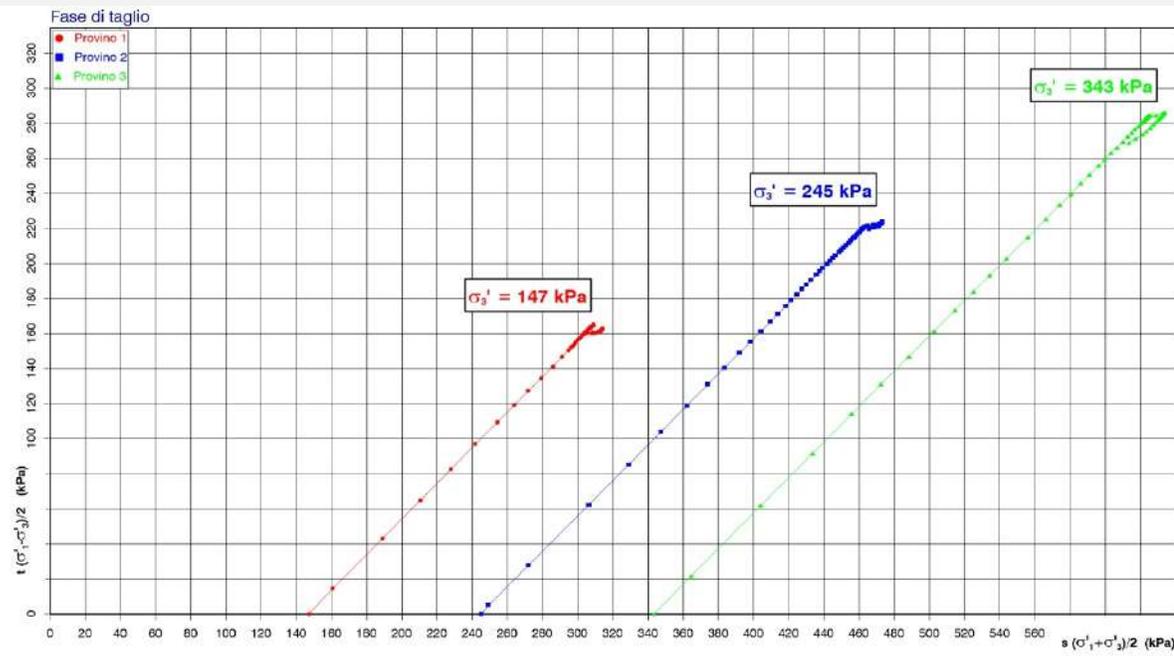


Cosa otteniamo

(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).

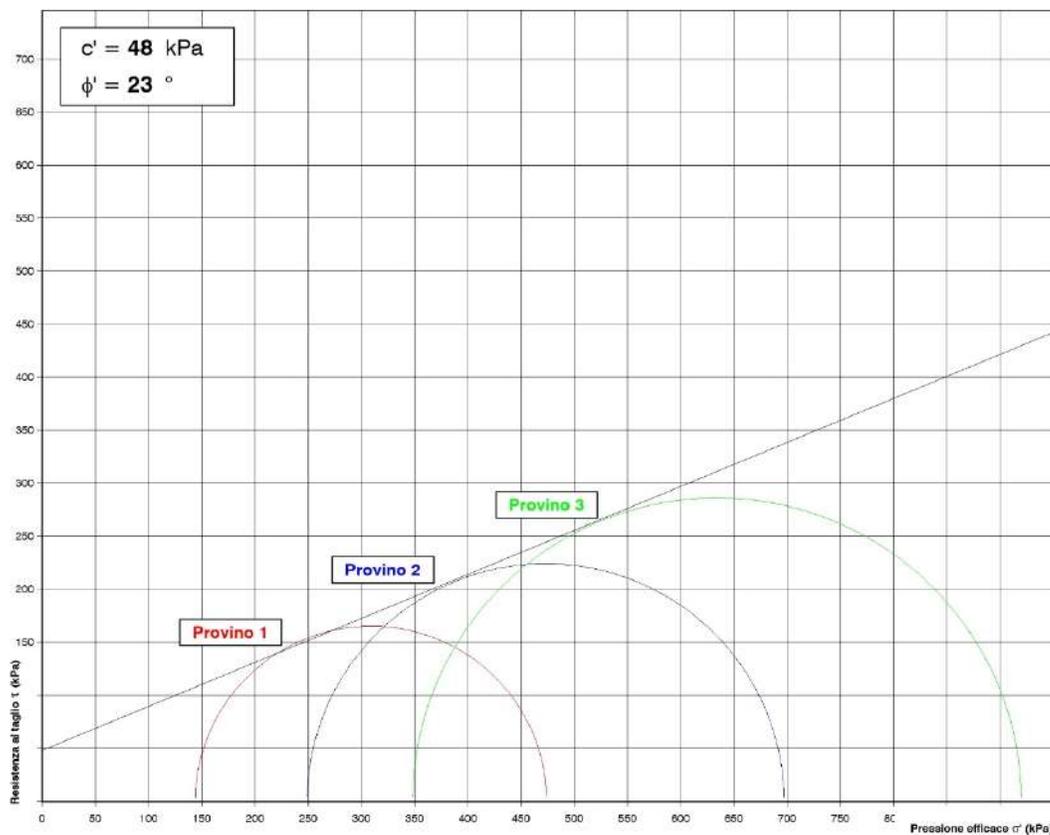




INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (CD)

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

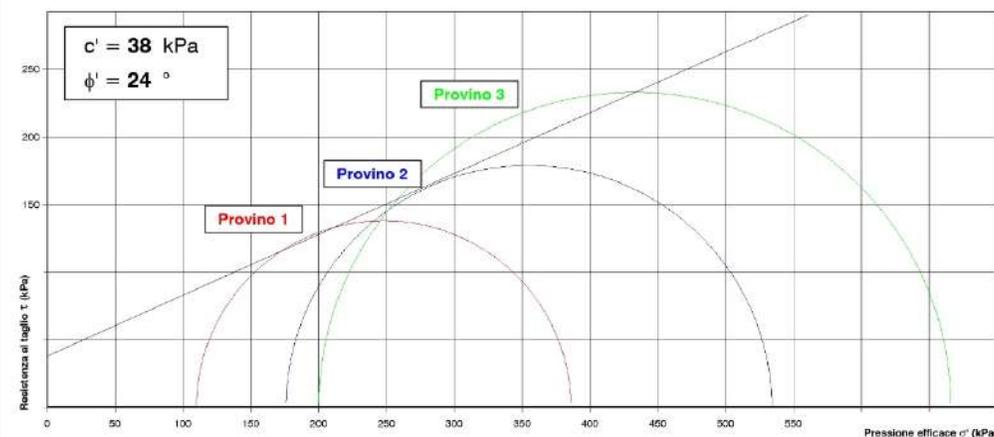
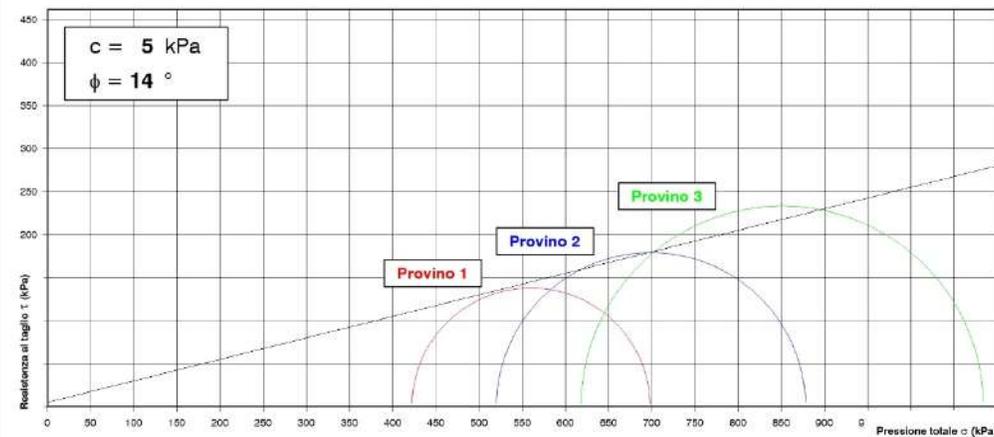
| Provino n° | | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------------|-----|------|-------|-------|
| Tensione deviatorica a rottura | kPa | 330 | 448 | 572 |
| Deformazione assiale a rottura | % | 8,69 | 12,31 | 11,83 |
| Variazione volumetrica a rottura | % | 1,27 | 2,11 | 2,11 |
| Pressione di cella 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 |



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

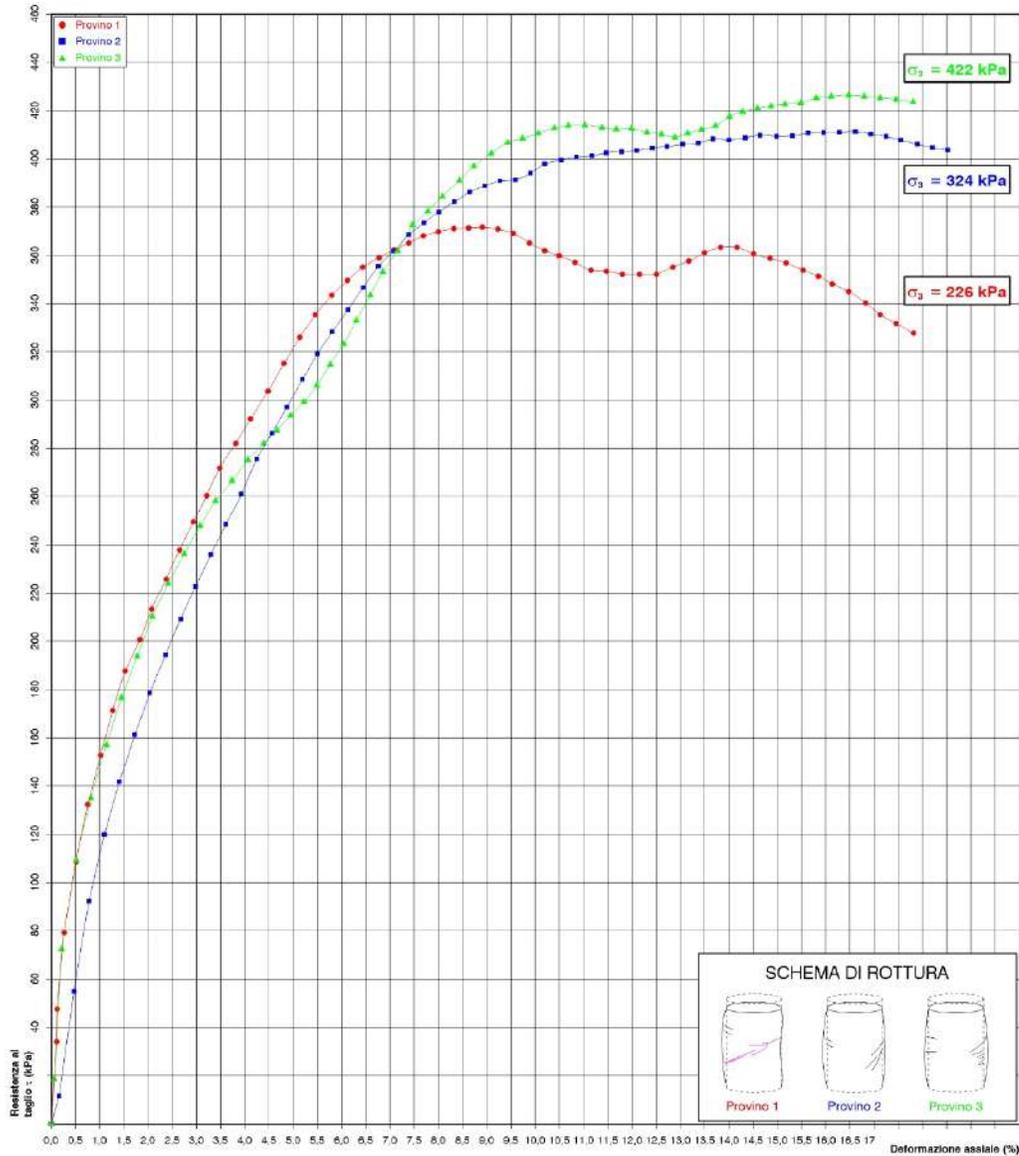
Nessuna possibilità di misurare U

Si ottengono moduli non drenati

Il risultato è la resistenza a rottura σ_f

PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE (UU)

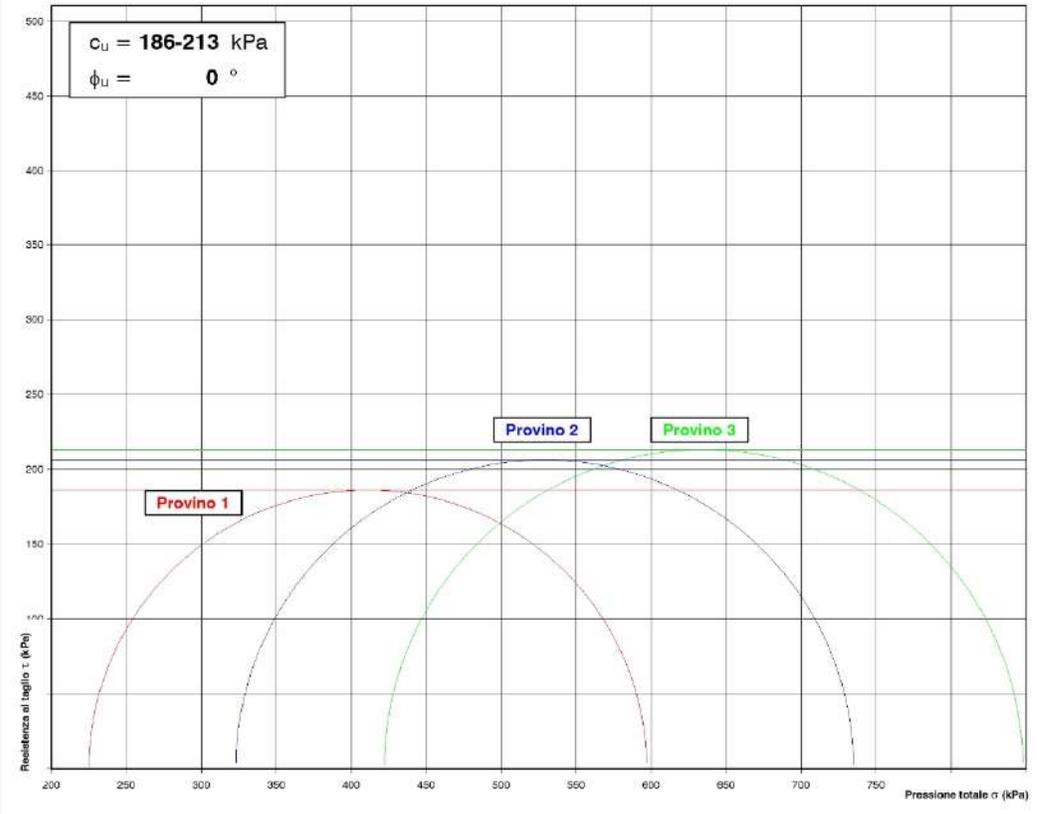
(UNI CEN ISO/TS 17892-8)



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 | | -- | -- | -- |

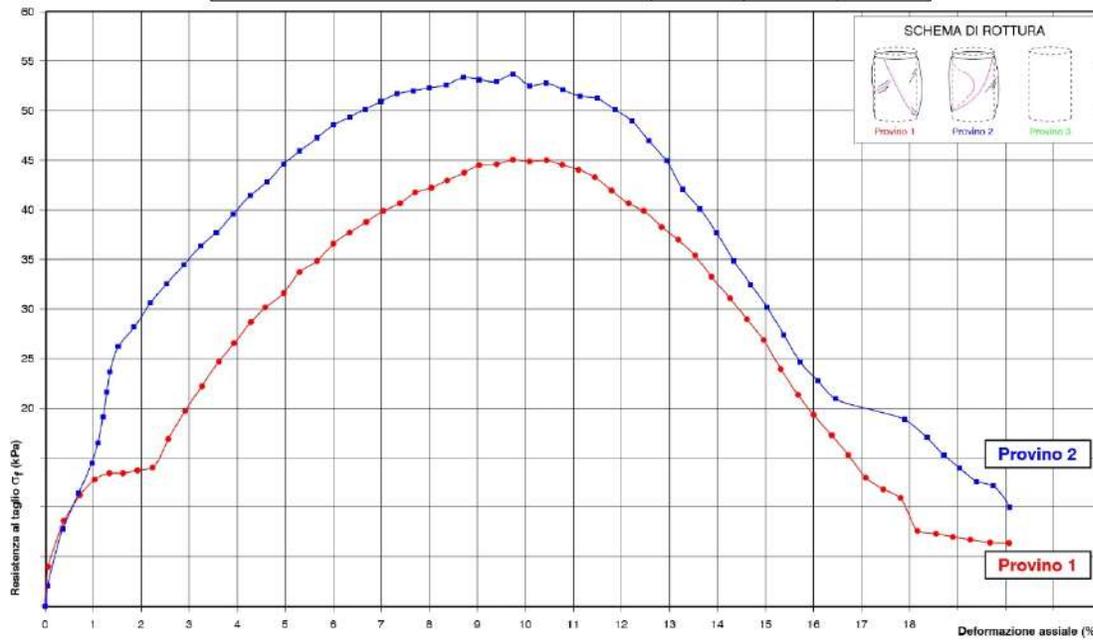


PROVA DI ESPANSIONE LATERALE LIBERA

(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

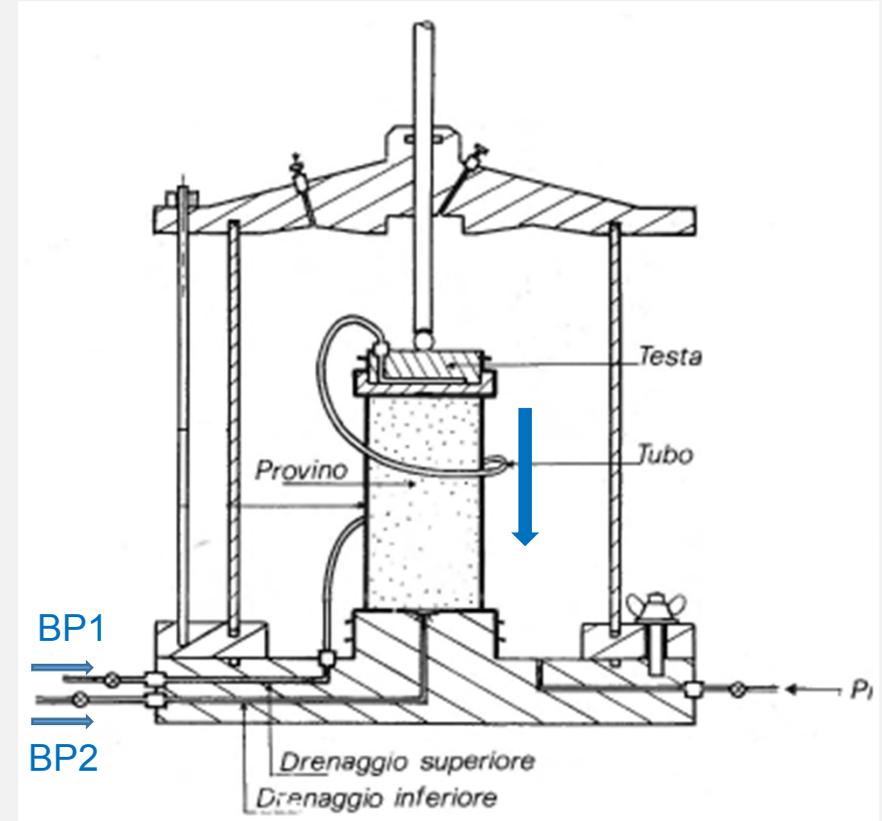
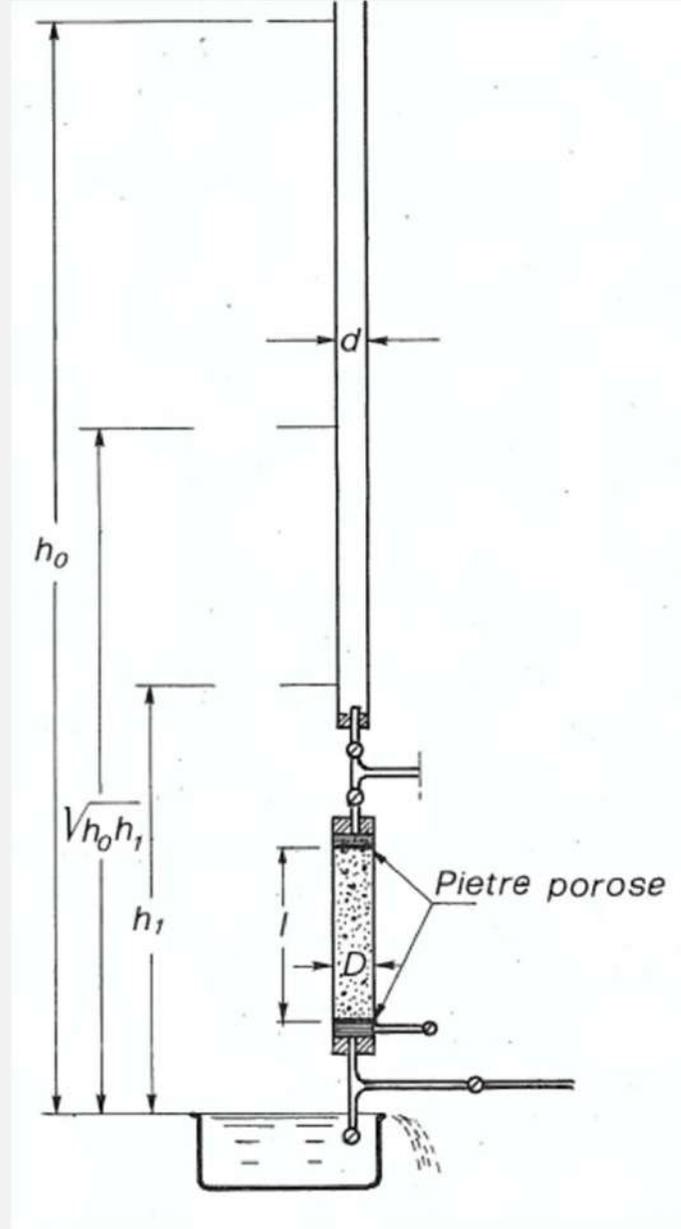
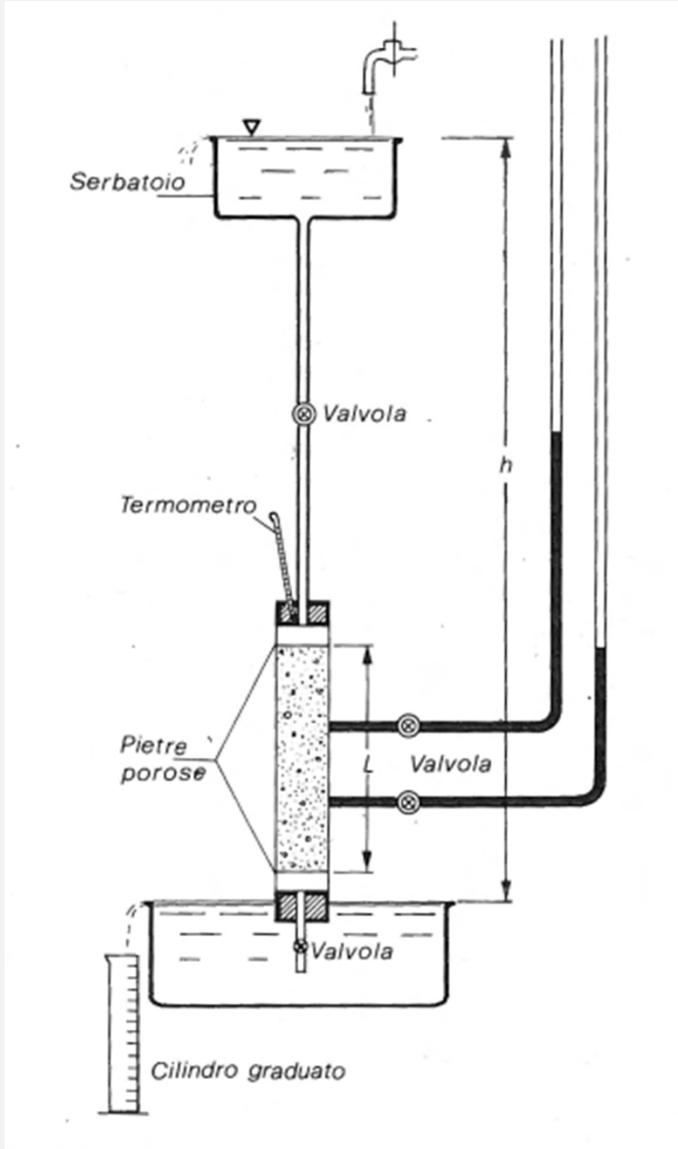
In entrambi i casi è sempre molto opportuno confrontare i risultati con quelli ottenuti da prove di permeabilità eseguite in sito su pozzetti (permeabilità in pozzetto, Lefranc, Boutwell) o in foro di sondaggio (Lefranc)

Nelle celle (Tx o Ed)

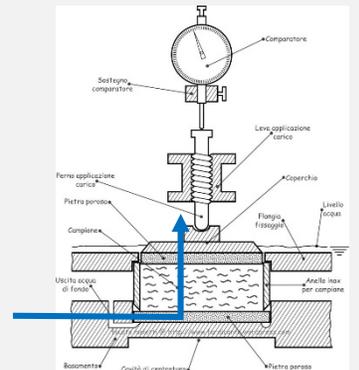
Su provini da campioni indisturbati

Provini piccoli

Tempi molto lunghi nel caso di carichi costanti



BP1 > BP2 (carico costante)



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione
Stefano Cianci 31/03/2022

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.

TERRENO COESIVI:

- elevata energia di compattazione
- efficacia relativa

TERRENI GRANULARI:

- minore energia di compattazione
- elevata efficacia

UNI EN 13286-2

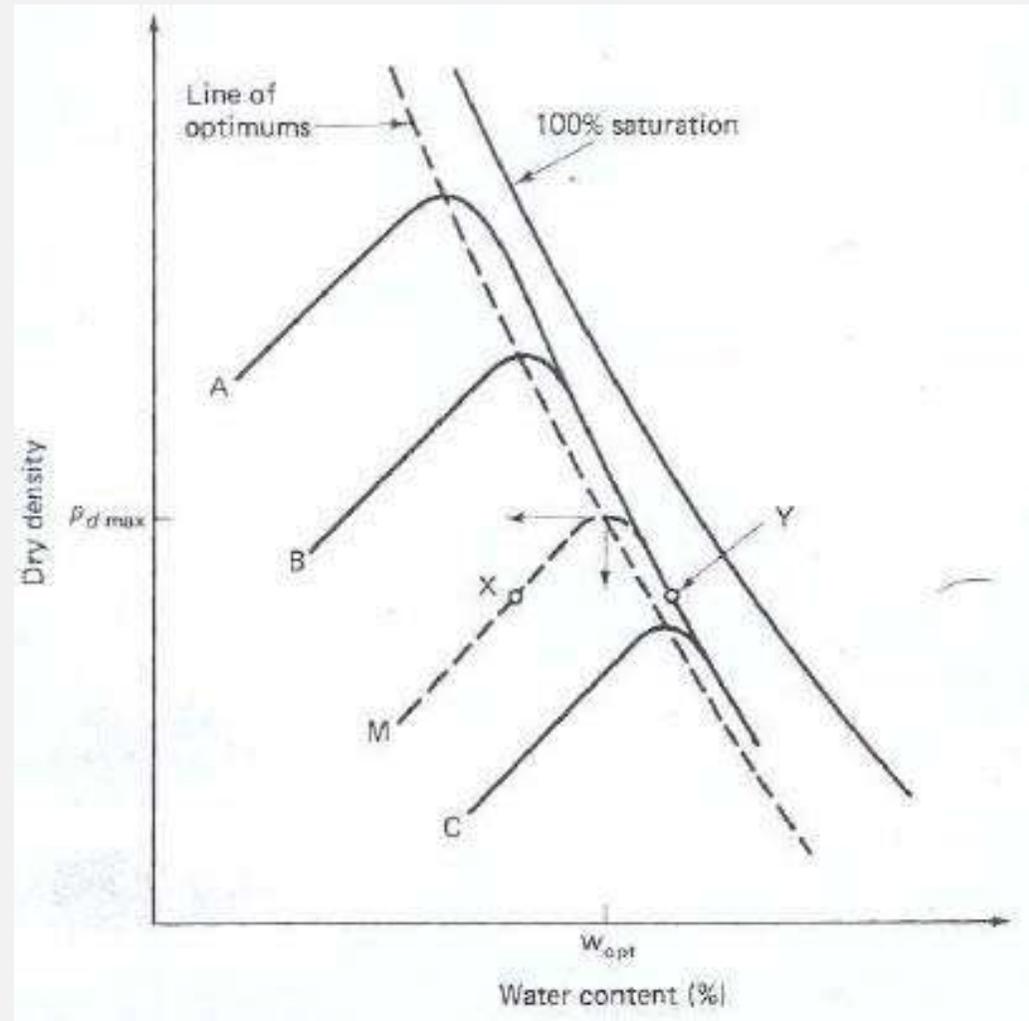
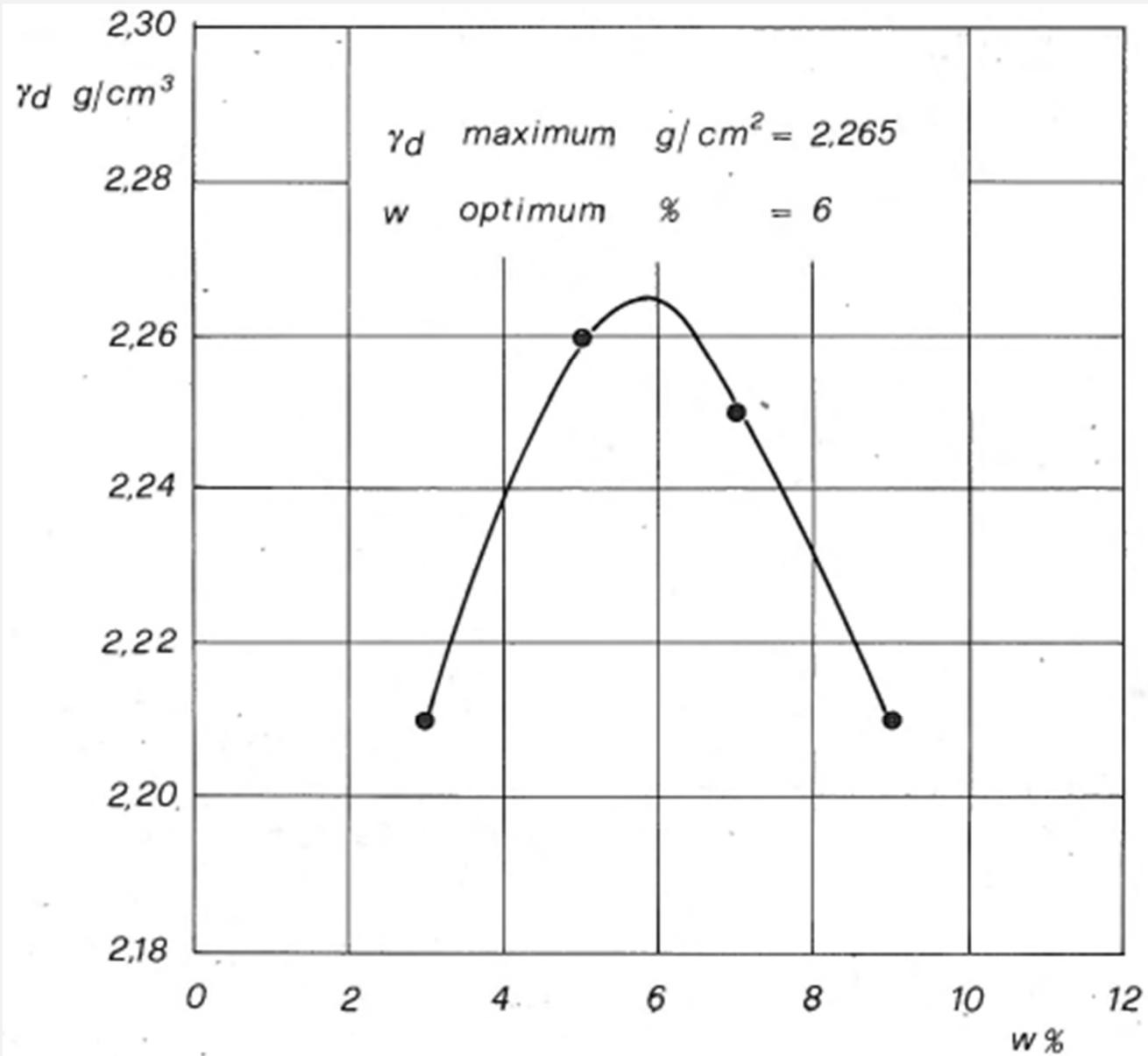
| Tipo di prova | Caratteristica della prova | Simbolo | Dimensione | Stampo Proctor | | |
|--------------------------|----------------------------|---------|------------|----------------|-----|-------|
| | | | | A | B | C |
| Prova Proctor | Massa del pestello | m_R | kg | 2,5 | 2,5 | 15,0 |
| | Diametro 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.

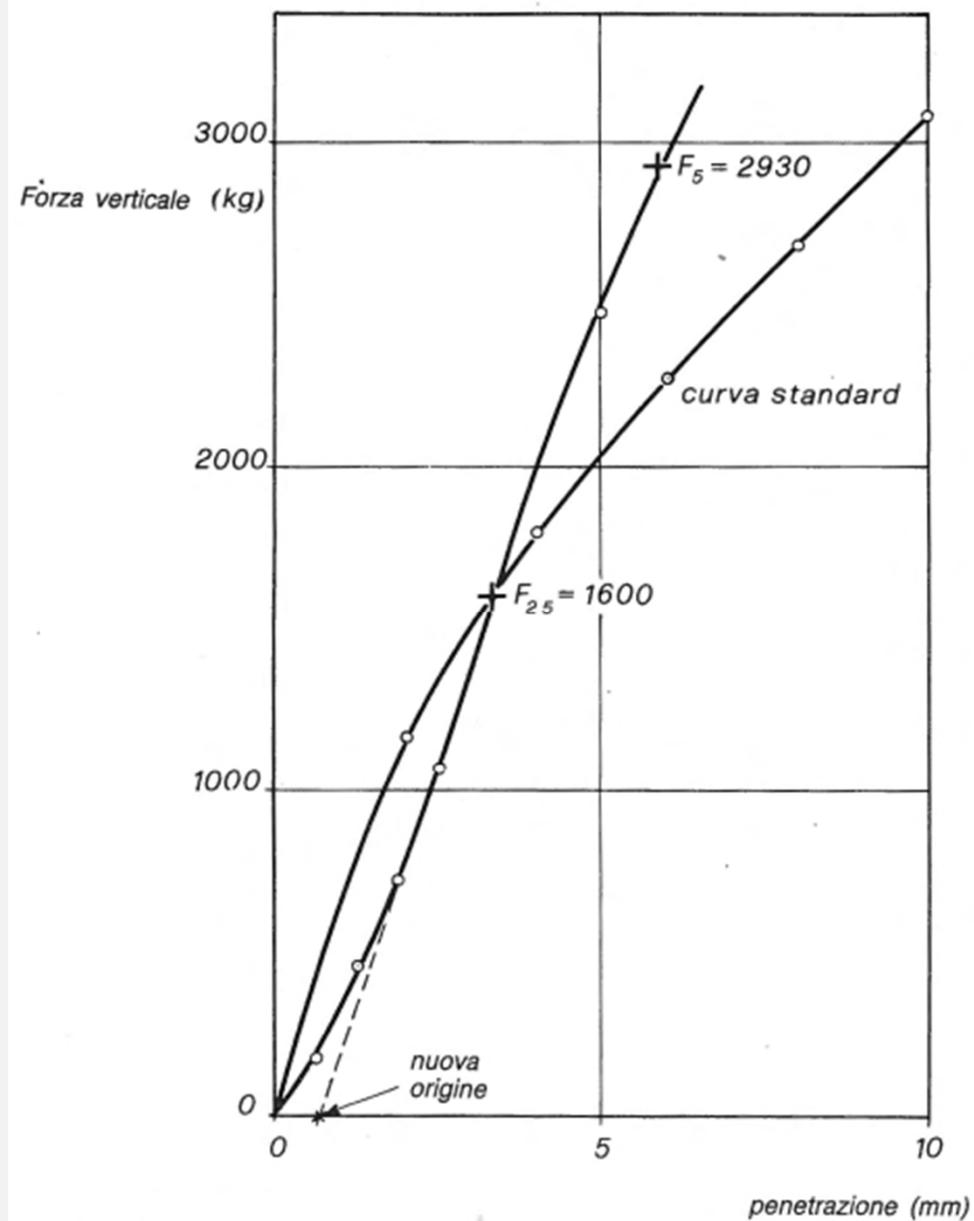
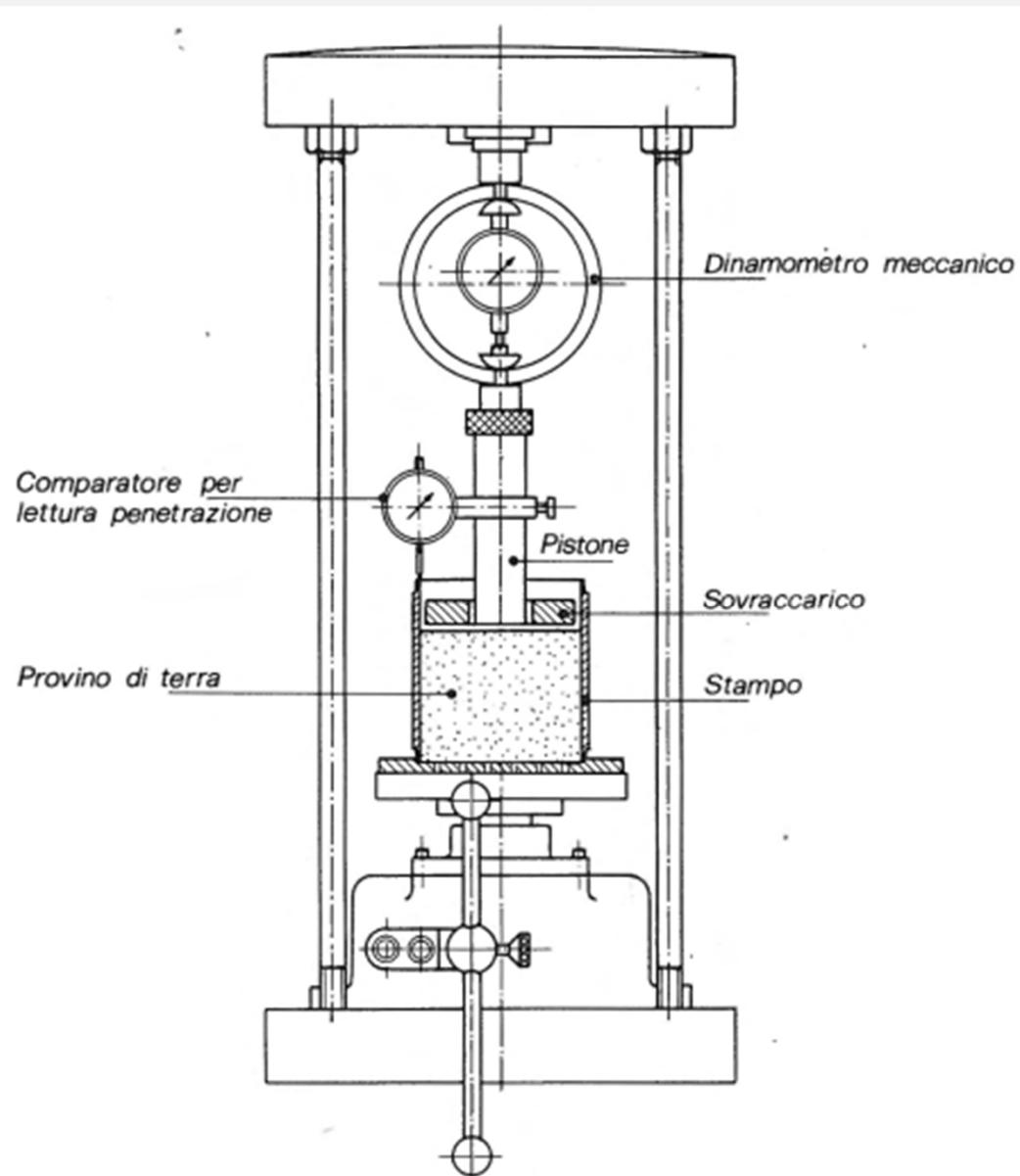


Su terreno naturale (tal quale) o su materiale compattato ad una definita percentuale dei valori ottimi, è possibile definire la portanza del terreno come percentuale di un valore di riferimento. Questa prova è detta C.B.R. (California Bearing Ratio).

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

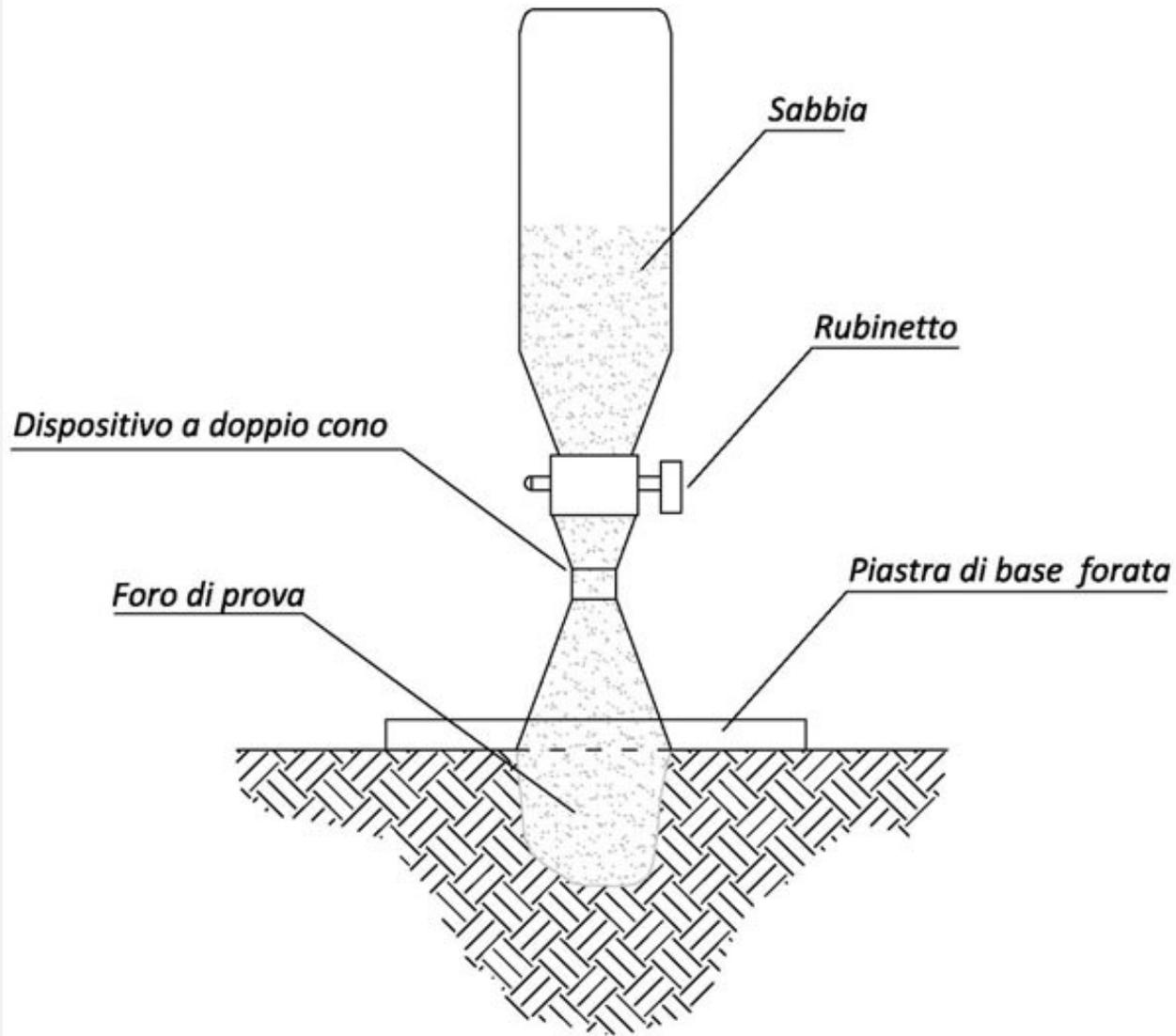
Bilancia, comparatori, anelli. E' estremamente opportuna la conoscenza del peso specifico assoluto per i calcoli.

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.

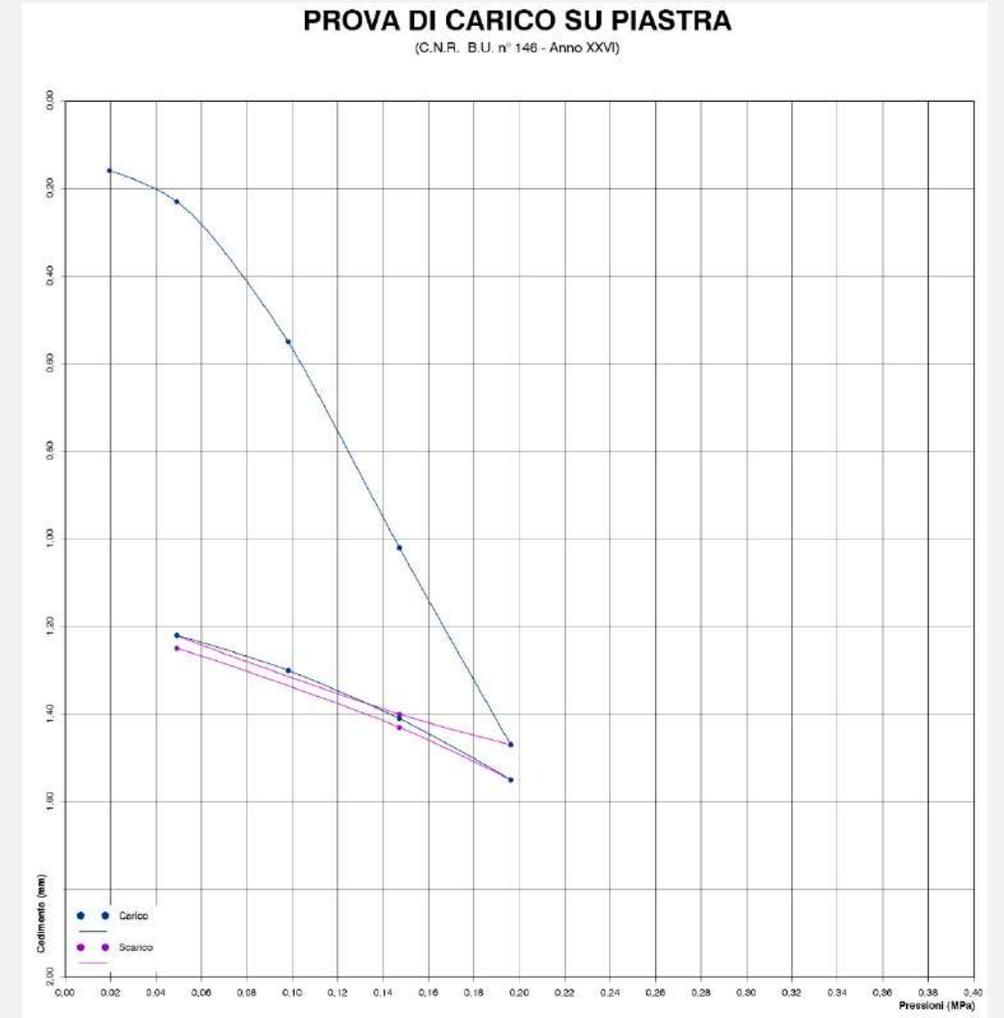


Può essere eseguita su ciclo singolo o con doppio ciclo di carico/scarico.

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

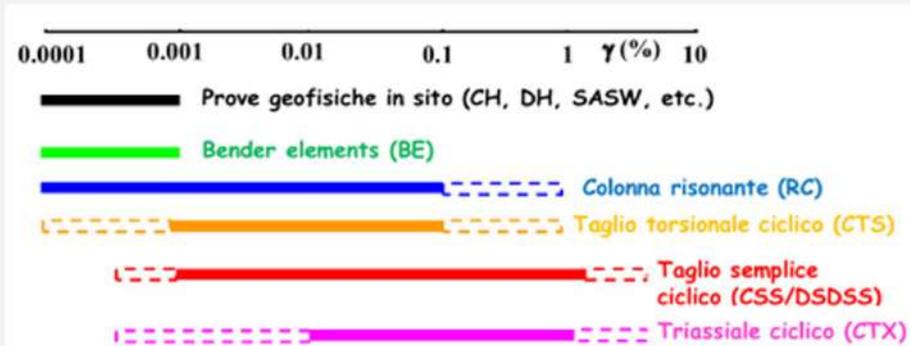
Strumenti tarati

Comparatori, manometri.

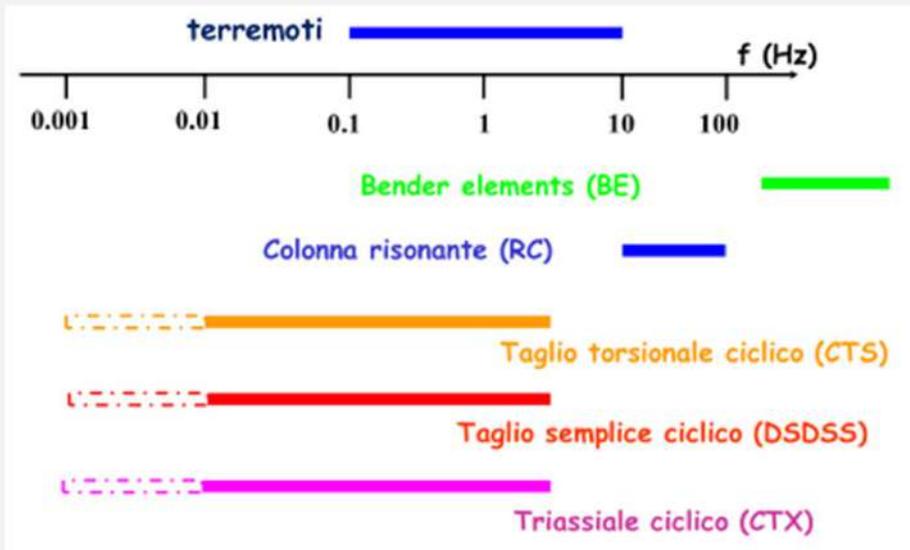
PROVE DINAMICHE

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

Campi deformativi



Frequenze

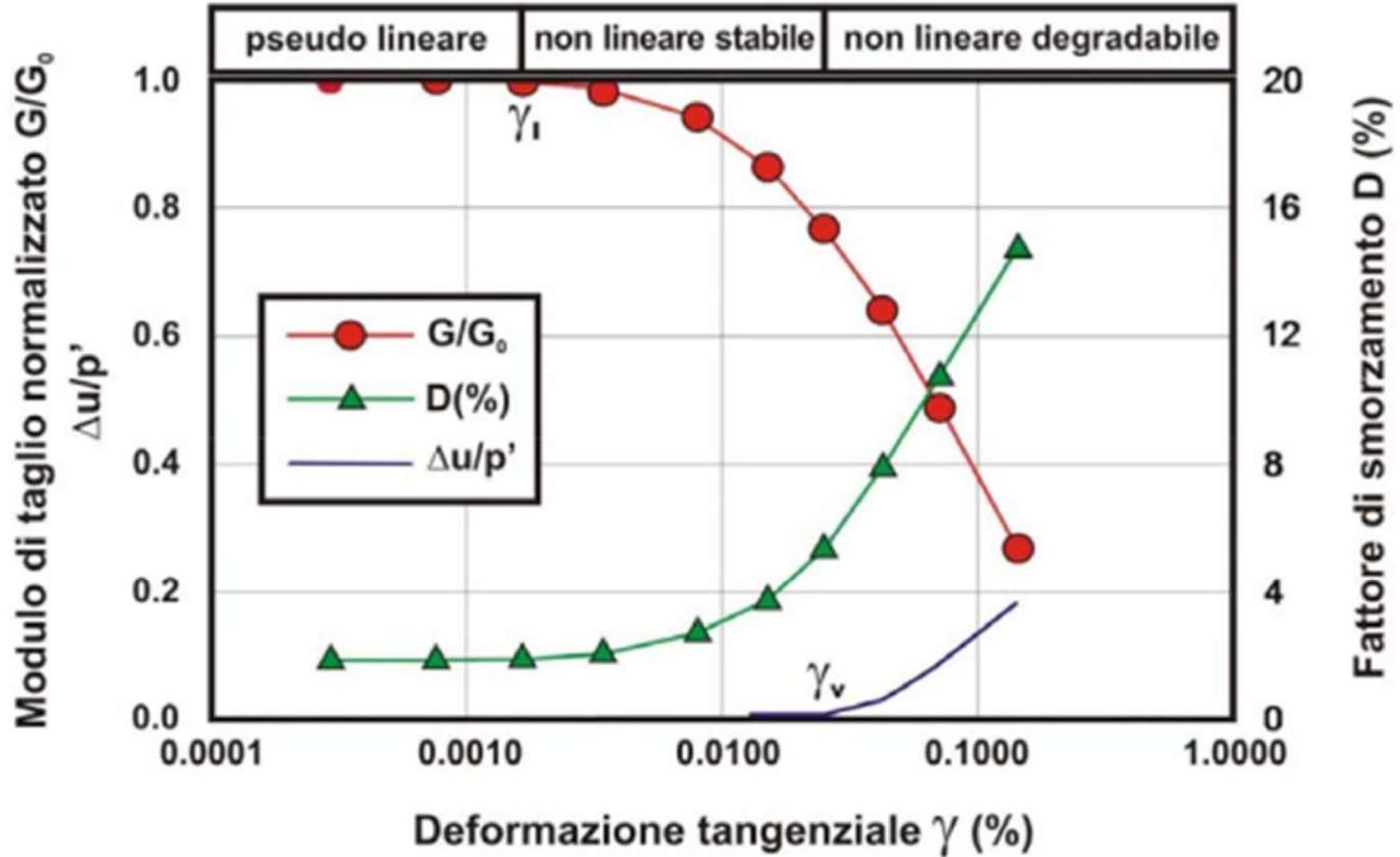


Si ottengono

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.

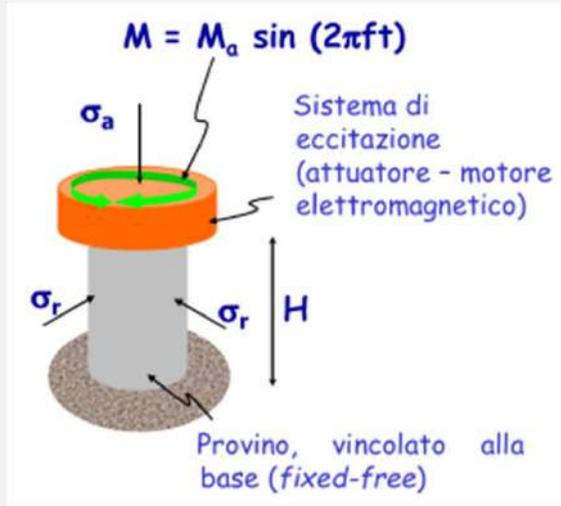
Non è possibile raggiungere la condizione di rottura, ma si determinano le leggi di decadimento della rigidezza e dell'incremento del fattore di smorzamento con la deformazione tangenziale.

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

Taglio torsionale ciclico

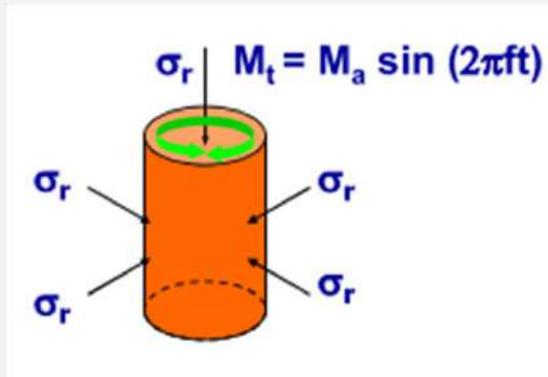
Si attuano condizioni di taglio semplice sovrapponendo ad uno stato di tensione efficace una coppia torcente variabile nel tempo con legge periodica.

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

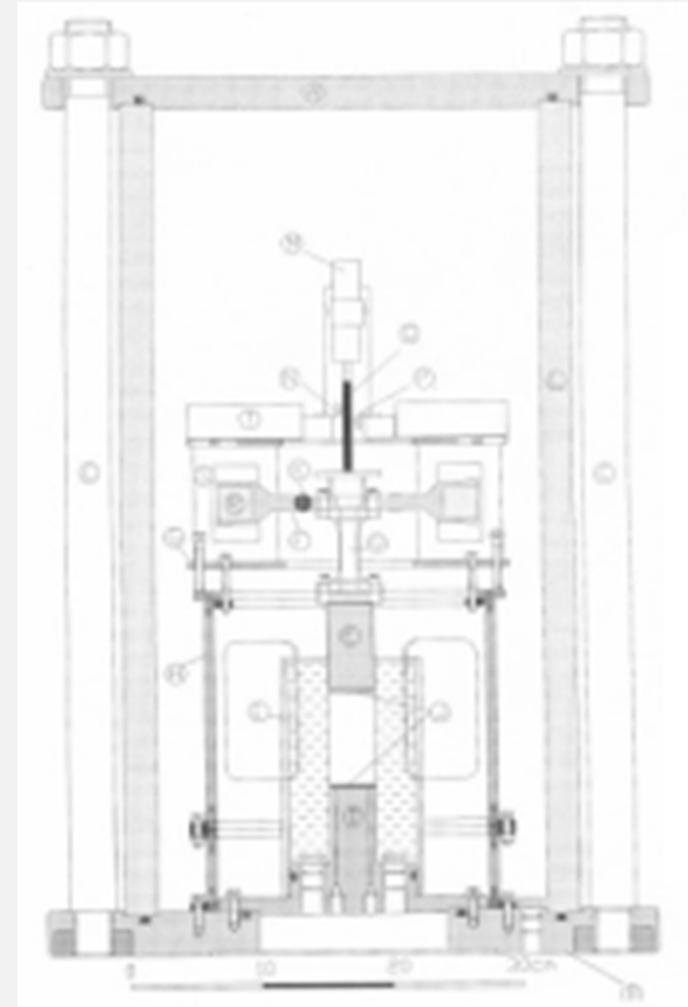


Sollecitazioni (momento torcente) applicate in condizioni dinamiche

- 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



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)