



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali
Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Prove geotecniche di laboratorio di supporto alla
progettazione geotecnica per le quali è richiesta
l'autorizzazione ministeriale

*Incontro tra laboratori geotecnici con autorizzazione ministeriale e
funzionari della Regione Toscana -*

Dott. Michele Caloni direttore del laboratorio

IGETECMA s.n.c - Sede laboratorio : Via delle Pratella 18/20, Montelupo Fiorentino -
tel. 0571/1738160 - Fax : 055/7320415 - P.IVA 04576560488 - www.igetecma.eu

Circolare 08 settembre 2010, n. 7618 / STC

Criteria per il rilascio dell'autorizzazione ai *Laboratori per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce* di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001.

SETTORE A

1 – 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 (aerometria) e per stacciatura
- Limiti di consistenza o di Atterberg
- Limite di ritiro
- Densità relativa
- Contenuto in sostanze organiche
- Prova di compressione non confinata - ELL
- Prova edometrica ad incrementi di carico
- Prova di taglio diretto con apparecchio di Casagrande
- Prova di compressione triassiale non consolidata non drenata – UU
- Prova di compressione triassiale consolidata non drenata - CIU
- Prova di compressione triassiale consolidata drenata – CD
- 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
- Prova di permeabilità con permeametro a carico costante
- Prova di permeabilità in cella edometrica
- Prova di permeabilità in cella triassiale

1 – PROVE DI LABORATORIO SULLE TERRE

- Prove in colonna risonante (RC) (basse e medie deformazioni)
- Prove triassiali cicliche (TTC) (elevate deformazioni)
- Taglio torsionale ciclico (TXC) (elevate deformazioni)

4 – ALTRE PROVE ESTERNE

- Prova di densità in sito
- Prova di carico su piastra
- Prove di carico su pali

ELENCO PRINCIPALI PROVE GEOTECNICHE

- Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)
- Limiti di Atterberg (Ritiro, plastico e liquido) (UNI CEN ISO/TS 17892-12)
- Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- Peso specifico dei grani (UNI CEN ISO/TS 17892-3)
- Classificazione delle terre (UNI 10006)
- Prova di espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)
- Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)
- Prove di rigonfiamento in cella edometrica (UNI CEN ISO/TS 17892-5)
- Prova di taglio (UNI CEN ISO/TS 17892-10)
- Prova triassiale non consolidata non drenata (UNI CEN ISO/TS 17892-8)
- Prova triassiale consolidata non drenata (UNI CEN ISO/TS 17892-8)
- Prova triassiale consolidata drenata (UNI CEN ISO/TS 17892-8)
- Prova AASHTO Standard e Modificata (UNI EN 13286-2:2005)
- Prova di penetrazione CBR (UNI EN 13286-47)
- Prova di permeabilità a carico variabile (UNI CEN ISO/TS 17892-11)
- Prova di permeabilità a carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-11)
- Prova di permeabilità in cella triassiale (UNI CEN ISO/TS 17892-8)

ELENCO PRINCIPALI PROVE GEOTECNICHE

Densità relativa (ASTM D4253 e D4254-83 UNI EN 13286-5)

Contenuto di sostanze organiche (ASTM D 2974/87))

Densità in sito (CNR B.U. n.22)

Prova di carico su piastra (CNR B.U. n.146)

Prova di carico su palo (CNR B.U. n.191)

ELENCO PRINCIPALI PROVE GEOTECNICHE

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)	
Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)	Proprietà indice
Peso specifico dei grani (UNI CEN ISO/TS 17892-3)	Parametri fisici

Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)	Prove di compressibilità
Prove di rigonfiamento in cella edometrica (UNI CEN ISO/TS 17892-5)	

Prova di espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)	
Prova di taglio (UNI CEN ISO/TS 17892-10)	
Prova triassiale non consolidata non drenata (UNI CEN ISO/TS 17892-8)	Prove di resistenza al taglio e deformabilità
Prova triassiale consolidata non drenata (UNI CEN ISO/TS 17892-8)	
Prova triassiale consolidata drenata (UNI CEN ISO/TS 17892-8)	

Prova di permeabilità a carico variabile (UNI CEN ISO/TS 17892-11)	
Prova di permeabilità a carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-11)	Prove di permeabilità
Prova di permeabilità in cella triassiale (UNI CEN ISO/TS 17892-8)	

Limiti di Atterberg (Ritiro, plastico e liquido) (UNI CEN ISO/TS 17892-12)	
Analisi granulometrica per setacciatura (UNI CEN ISO/TS 17892-4)	Prove di classificazione
Analisi granulometrica della frazione fine (UNI CEN ISO/TS 17892-4)	
Classificazione delle terre (UNI 10006)	

ELENCO PRINCIPALI PROVE GEOTECNICHE

Prova Proctor standard
Prova Proctor modificata
Prova CBR
Prova CBR in sito
Densità in sito
Prova di carico su piastra

Prove di compattazione
e di controllo della stessa

Prova di carico su palo
Percentuale materia organica
Prove in colonna risonante
Prove triassiali cicliche
taglio torsionale ciclico

Altre prove

ELENCO PRINCIPALI PROVE GEOTECNICHE

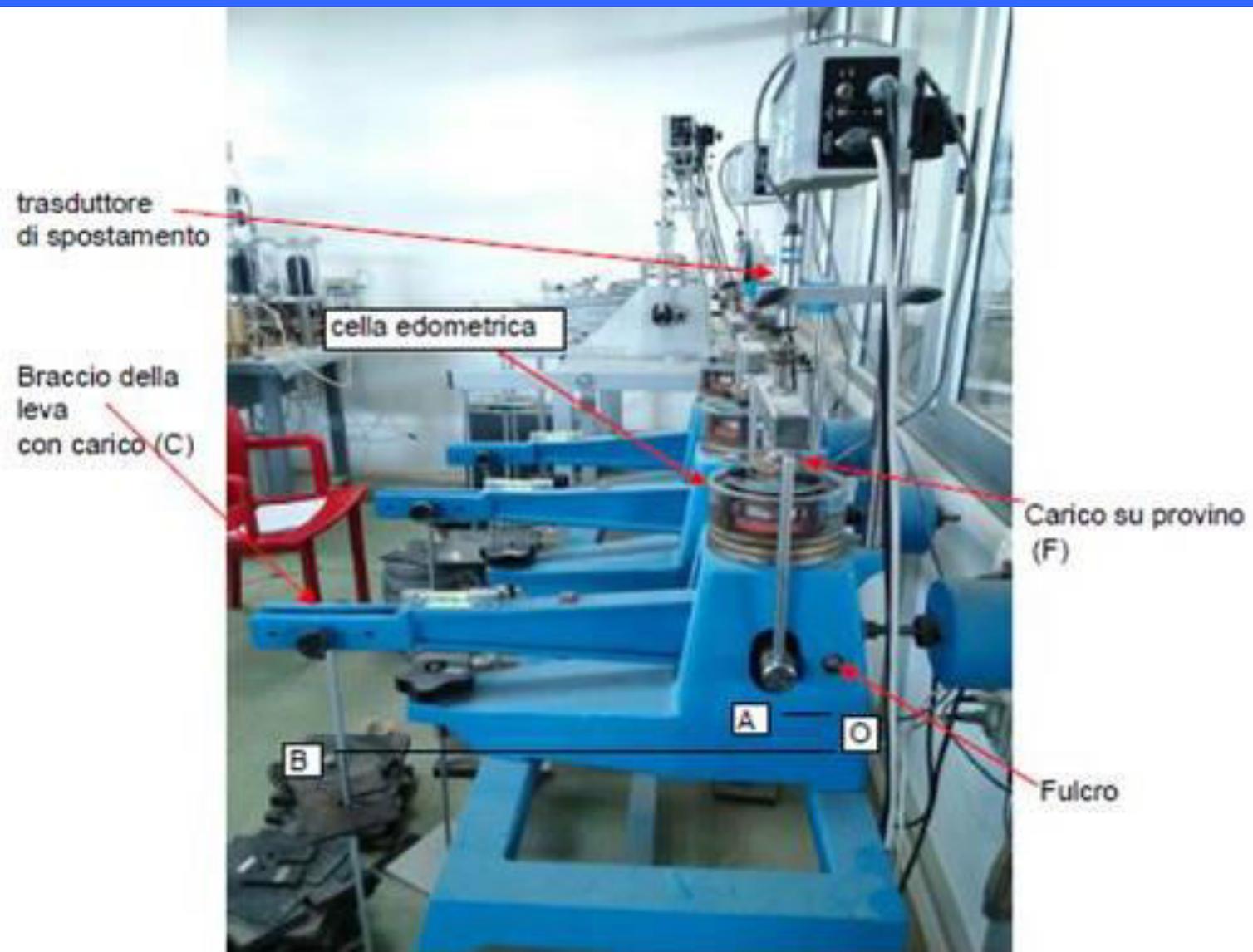
Tipo prove	Parametri ricavabili	Terreni
Parametri fisici	γ_n , γ_d , G_s , W_n	tutti
Classificazione	% g, s l, a WL, WP, IP IC e IATT Gruppo, indice di gruppo	tutti
Compressibilità	m_v , E_{ed} , a_v RR,CR,SR C_r , C_c , C_s σ'_{vmax} C_v , $C\alpha$,K P_{rig} , I_{ss} , K_{HA}	L e A *
resistenza al taglio e deformabilità	c' , ϕ' , c_u E_{ti} , E_t , E_{sec}	S, L e A
permeabilità	K	tutti
compattazione	γ_d , W, % compattazione I_{cbr}	tutti

* anche sabbia con argilla > 10%

ELENCO PRINCIPALI PROVE GEOTECNICHE

- γ_n, γ_d, W_n = peso di volume naturale, peso di volume secco, contenuto d'acqua
 Γ_{sat} = peso di volume saturo; G_s = peso specifico
 e_0 = indice dei vuoti iniziale
 mv = coefficiente di compressibilità
 E_{ed} = modulo edometrico = $1/mv$
 C_v = coefficiente di consolidazione primaria
 C_α = coefficiente di consolidazione secondaria
 av = indice di compressibilità = $(1+e_0)$
 $RR - Cr$ = rapporto e indice di ricomprensione
 $CR - Cc$ = rapporto e indice di compressione
 $SR - Cs$ = rapporto e indice di rigonfiamento
 σ_{vmax}' = pressione di preconsolidazione
 K = permeabilità
 P_{rig} = pressione di rigonfiamento
 I_{ss} = indice di deformazione di rigonfiamento
 K_{HA} = costante Huder-Amberg
 $E_{ti} E_t E_{sec}$ = moduli elastici tangente iniziale, tangente e secante sia drenati che non
 c', ϕ' e c_u = coesione e angolo di resistenza al taglio drenati, coesione non drenata
 I_{cbr} = indice CBR

Prova edometrica



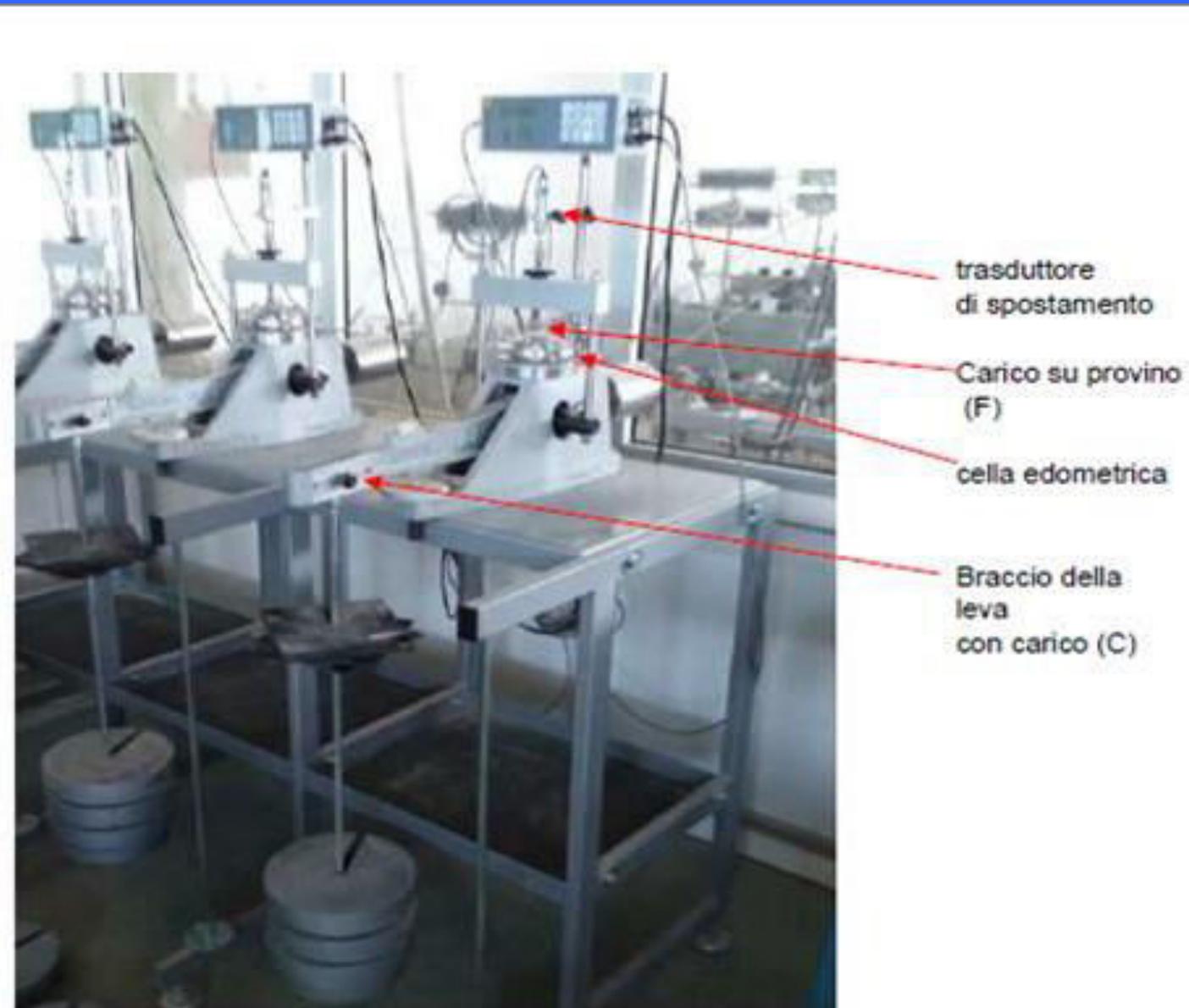
$$F = OB / OA * C$$

Prova edometrica

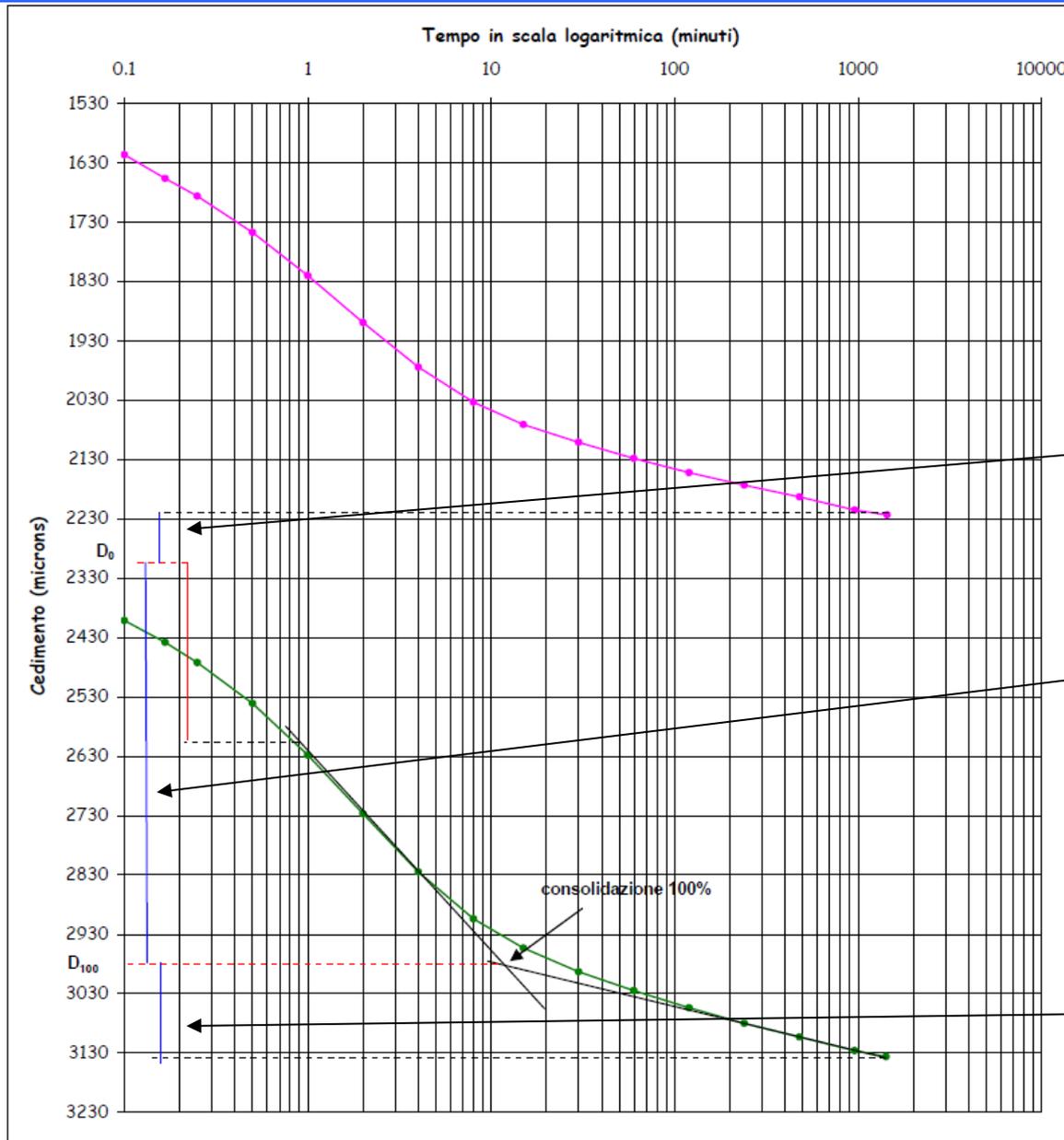
Cella edometrica



Prova edometrica



Prova edometrica



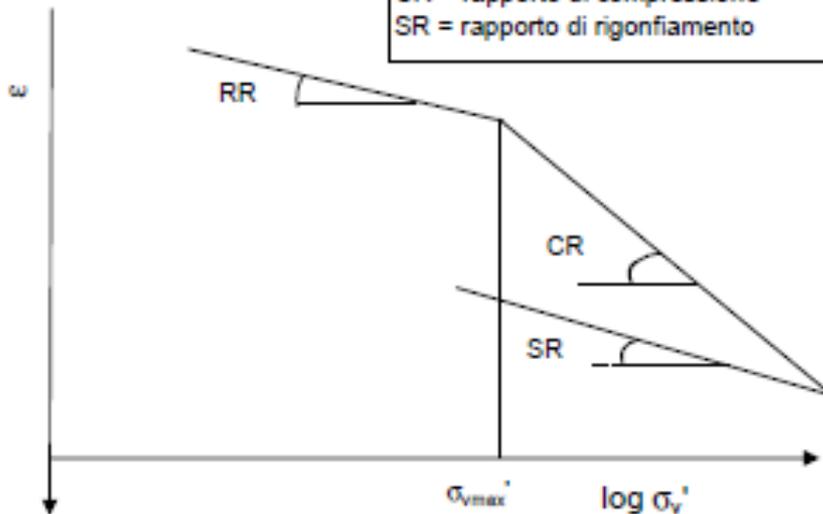
Cedimento immediato

Cedimento edometrico

Cedimento secondario

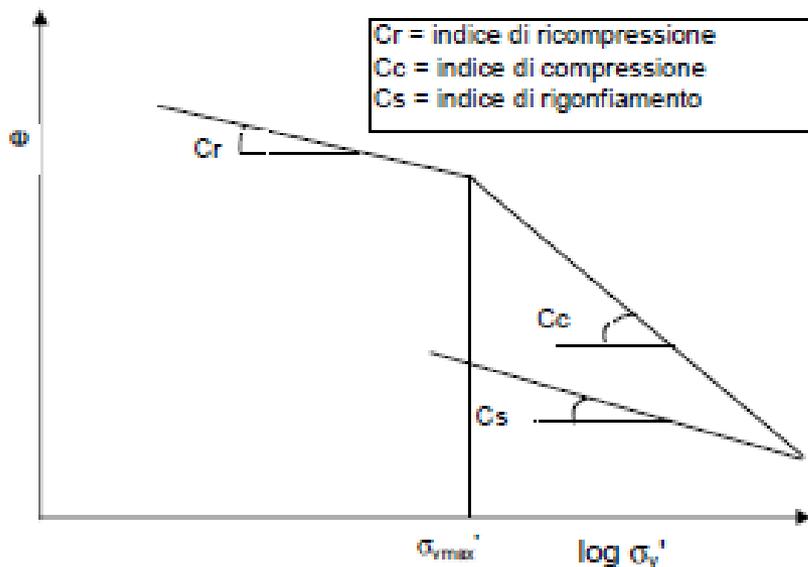
Prova edometrica

RR = rapporto di ricompressione
CR = rapporto di compressione
SR = rapporto di rigonfiamento



σ'_{vmax} = pressione di preconsolidazione: massima pressione litostatica a cui è stato assoggettato il terreno

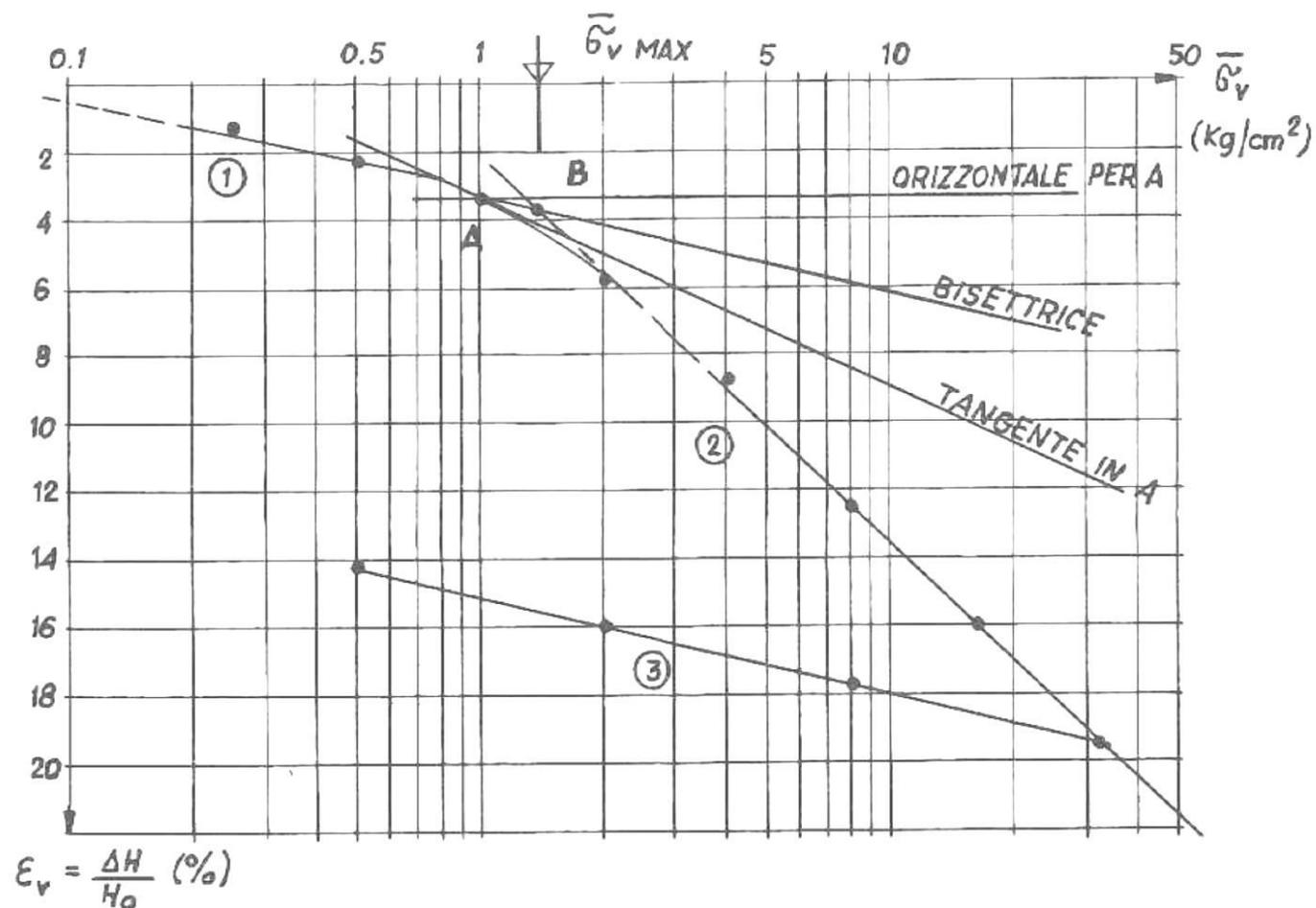
Cr = indice di ricompressione
Cc = indice di compressione
Cs = indice di rigonfiamento



Prova edometrica

Metodo di Casagrande

per la valutazione di σ_{vmax}' (pressione di preconsolidazione).



Prova edometrica

CERTIFICATO DI PROVA N.

CAMPIONE: LF7C1 profondità 2.5 - 3.0 m

Montelupo Fiorentino li

COMMITTENTE:

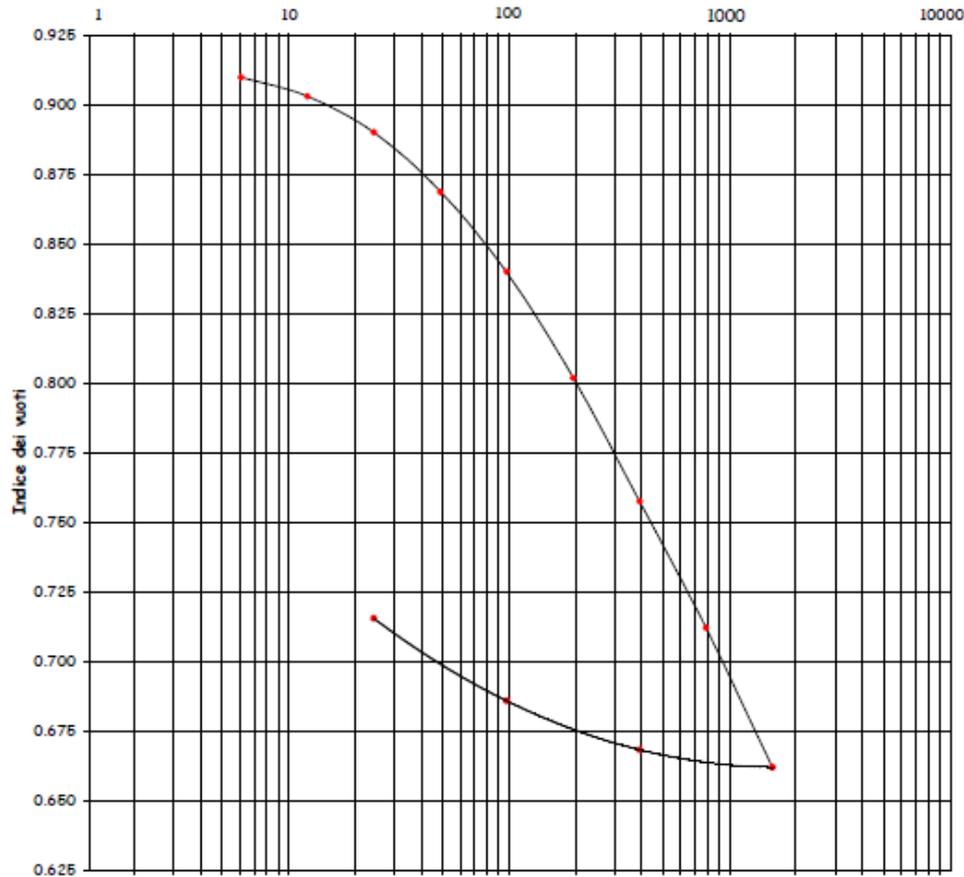
V.A. n.

LOCALITA':

Data prova: 03/06/13 - 18/06/13

Grafico log. pressione - indice dei vuoti

Log. pressione (MPa)



Terreno normalconsolidato

$$\sigma_{vmax}' = 52.4 \text{ kPa}$$

$$OCR = 1.1$$

$$OCR = \sigma_{vmax}' / \sigma_0'$$

Prova edometrica

CERTIFICATO DI PROVA N.

CAMPIONE: S1C2 profondità 5.5 - 6.0 m

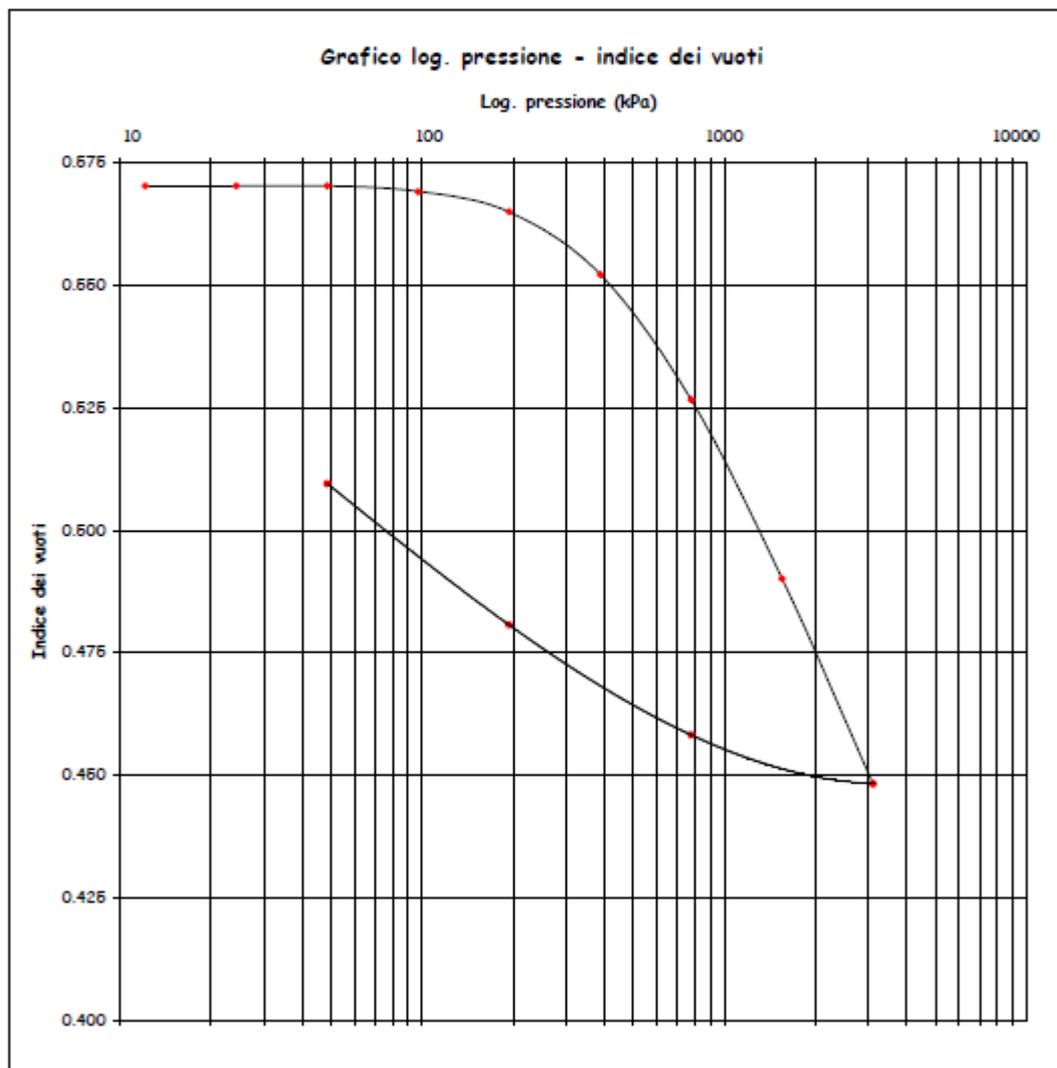
Montelupo Fiorentino li

COMMITTENTE:

V.A. n.

LOCALITA':

Data prova: 14/07/14 - 27/07/14



Terreno sovraconsolidato

$$\sigma_{vmax}' = 422.0 \text{ kPa}$$

$$OCR = 7.2$$

$$OCR = \sigma_{vmax}' / \sigma_0'$$

Prova triassiale

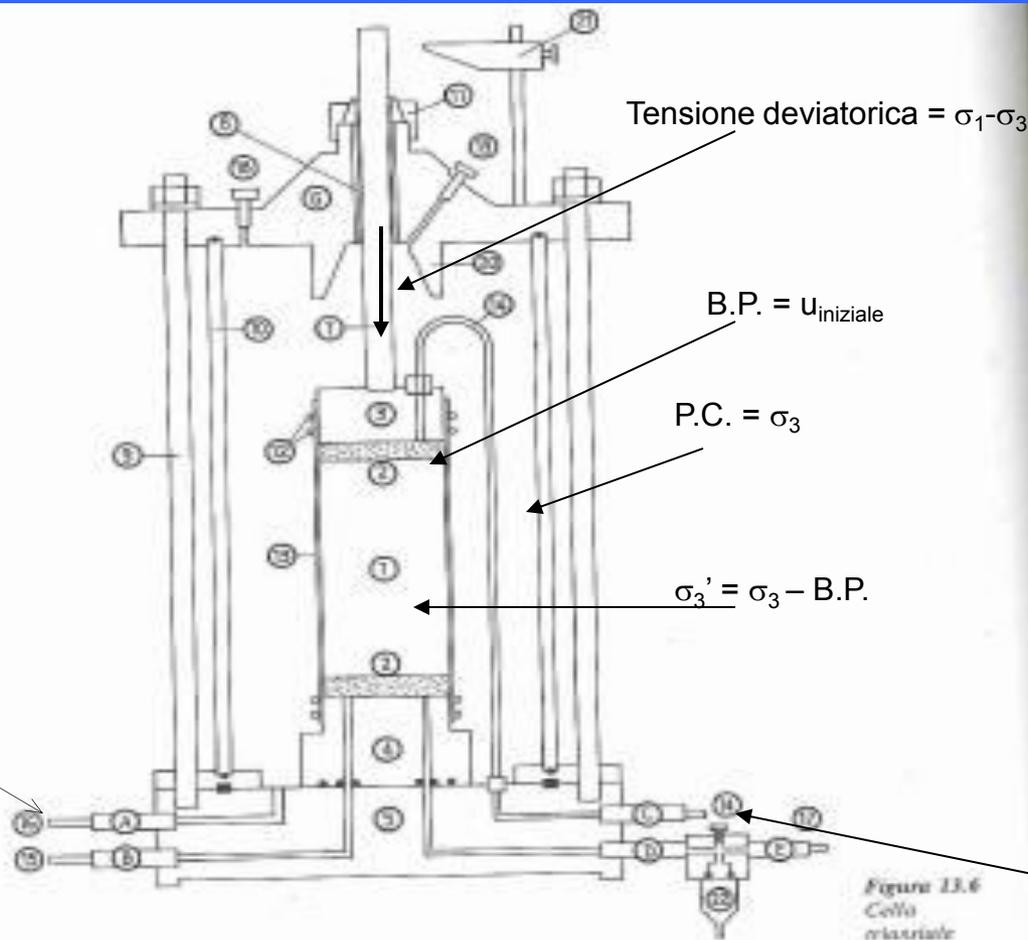


Prova triassiale

Regolatore di pressione



a → valvola per pressione di cella = σ_3

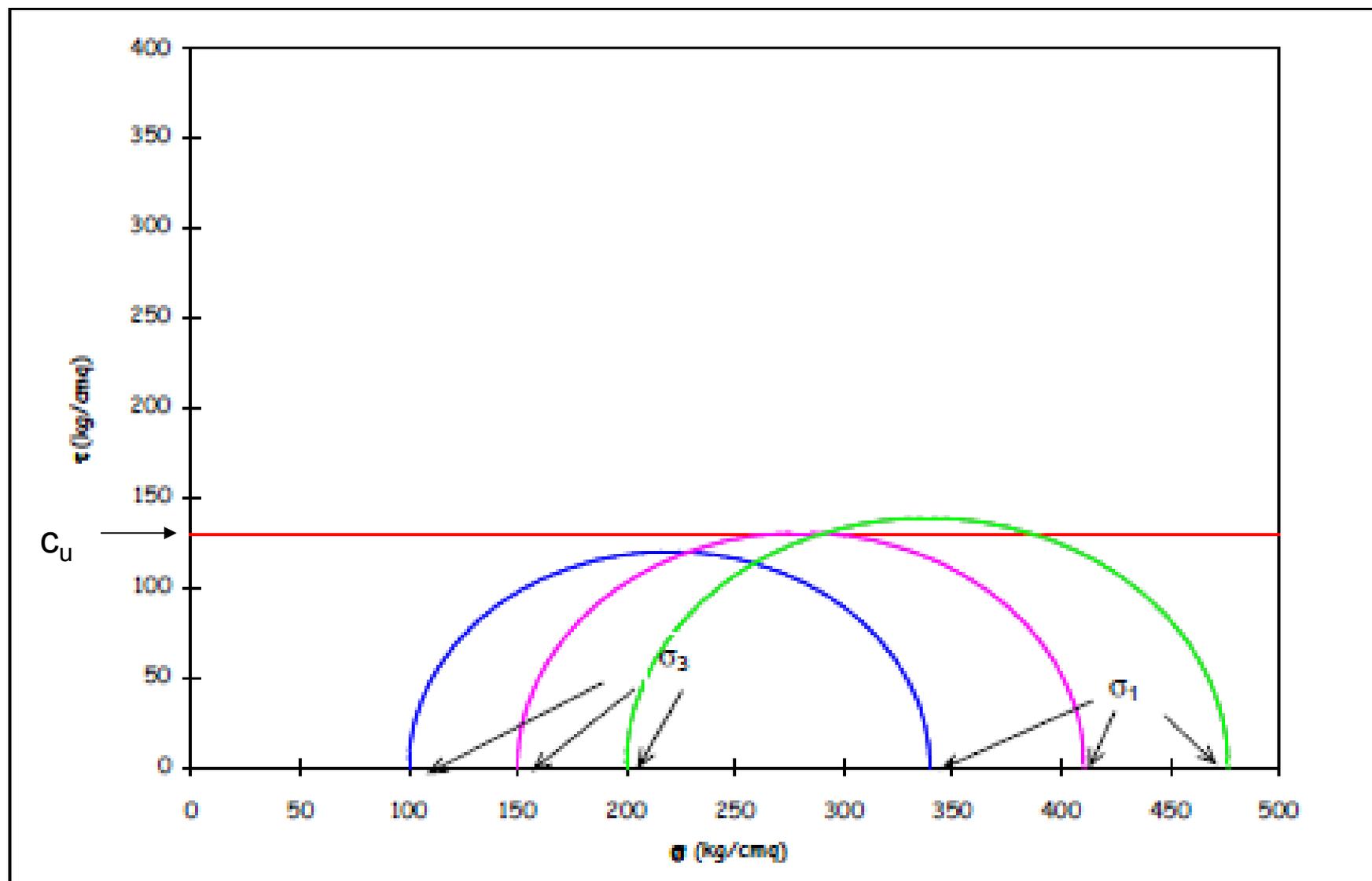


- | | | |
|-------------------------------|--|---|
| 1 Pistone | 12 Anelli di tenuta di gomma | A Valvola di pressione in cella |
| 2 Dischi porosi | 13 Membrana di lattice | B Valvola di drenaggio inferiore |
| 3 Testina di drenaggio | 14 Cicchino di drenaggio superiore | C Valvola di drenaggio superiore |
| 4 Piatto di base | 15 Circuito di drenaggio inferiore | D Valvola di misura della pressione interstiziale |
| 5 Flangia inferiore | 16 Circuito di pressione in cella | E Valvola di lavaggio |
| 6 Flangia superiore | 17 Circuito di lavaggio | |
| 7 Pistone di carico | 18 Valvola di sfogo | |
| 8 Boccola | 19 Valvola di trasmissione olio | |
| 9 Tiranti di serraggio | 20 Camera di lubrificazione | |
| 10 Cilindro di plastiglia | 21 Incudine di appoggio stelo compressore | |
| 11 Giere di serraggio pistone | 22 Bloccetto fissante con trasduttore di pressione | |



c → valvola di drenaggio per back pressure e misura ΔV

Prova triassiale U.U. non consolidata non drenata



Prova triassiale U.U. non consolidata non drenata

CERTIFICATO DI PROVA N.

CAMPIONE: S4C2 profondità 5.0 - 5.5 m

Montelupo Fiorentino II

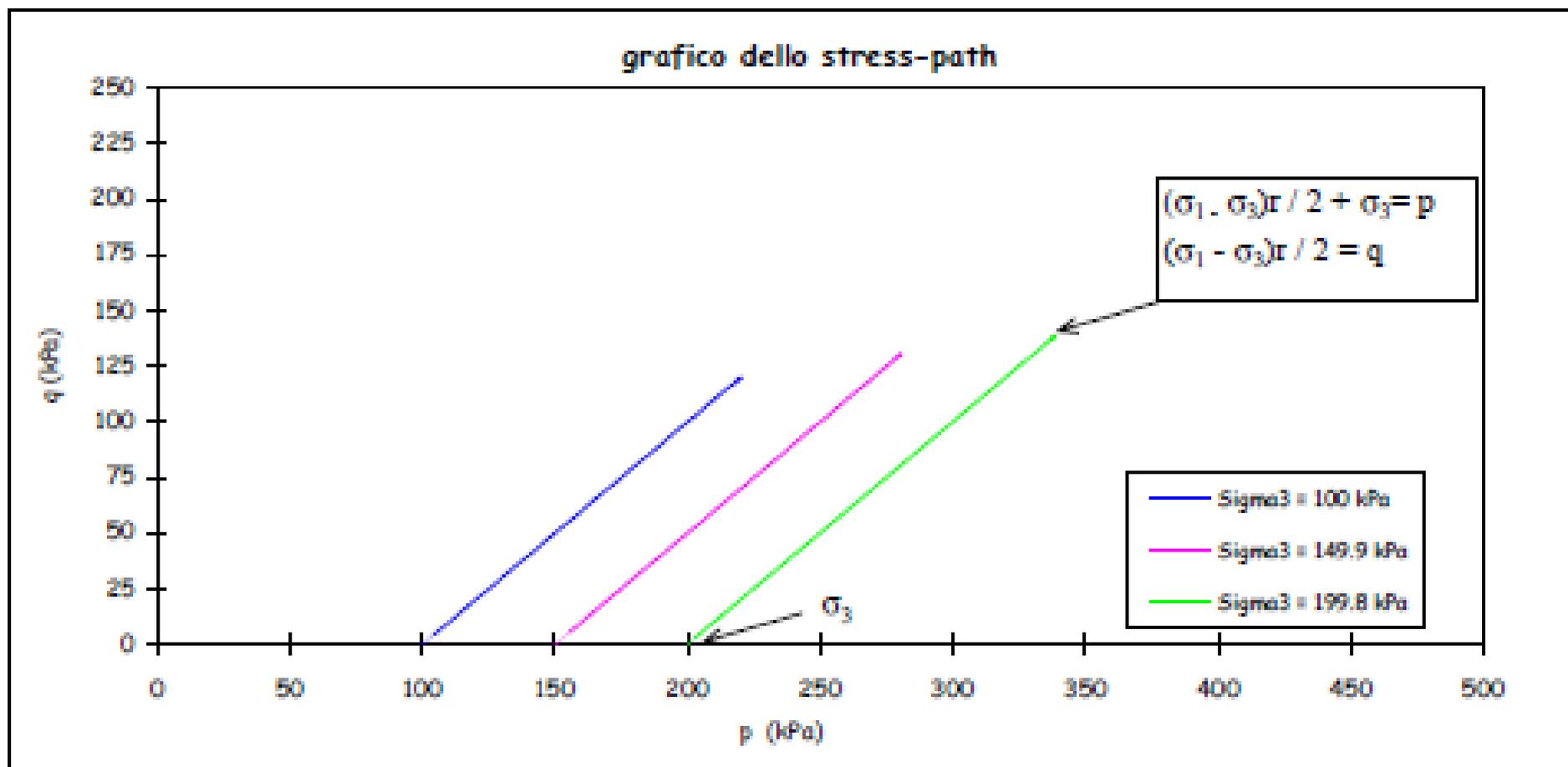
COMMITTENTE:

V.A.

LOCALITA':

Data prova: 03/12/16 - 04/12/16

Prova triassiale non consolidata non drenata (ASTM D 2850)



Prova triassiale C.D. consolidata drenata

CERTIFICATO DI PROVA N.

CAMPIONE: LF5C2 profondità 4.0 - 4.5 m

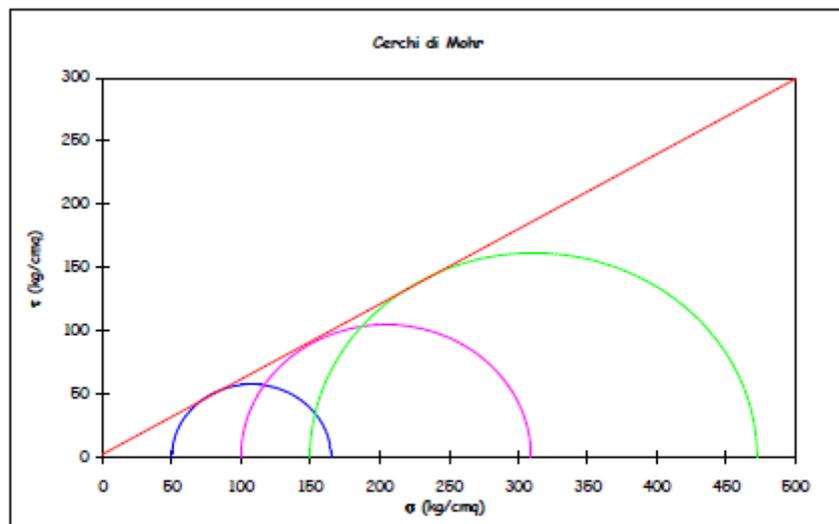
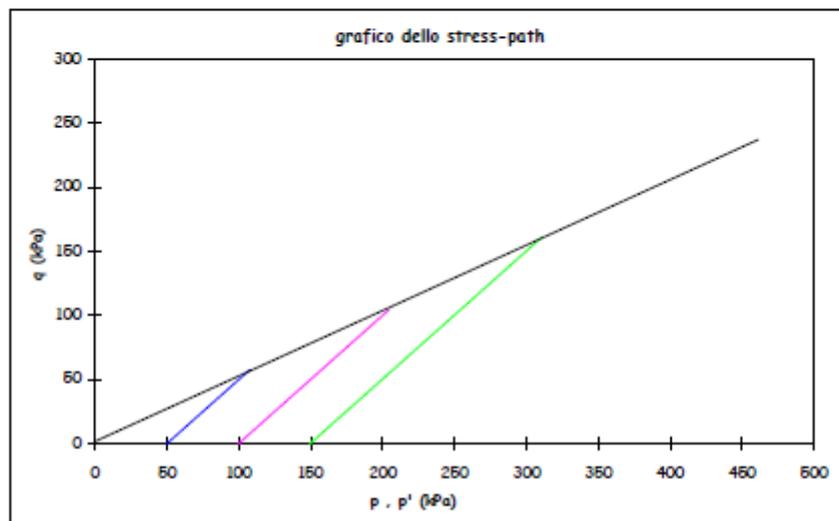
Montelupo Fiorentino II

COMMITTENTE:

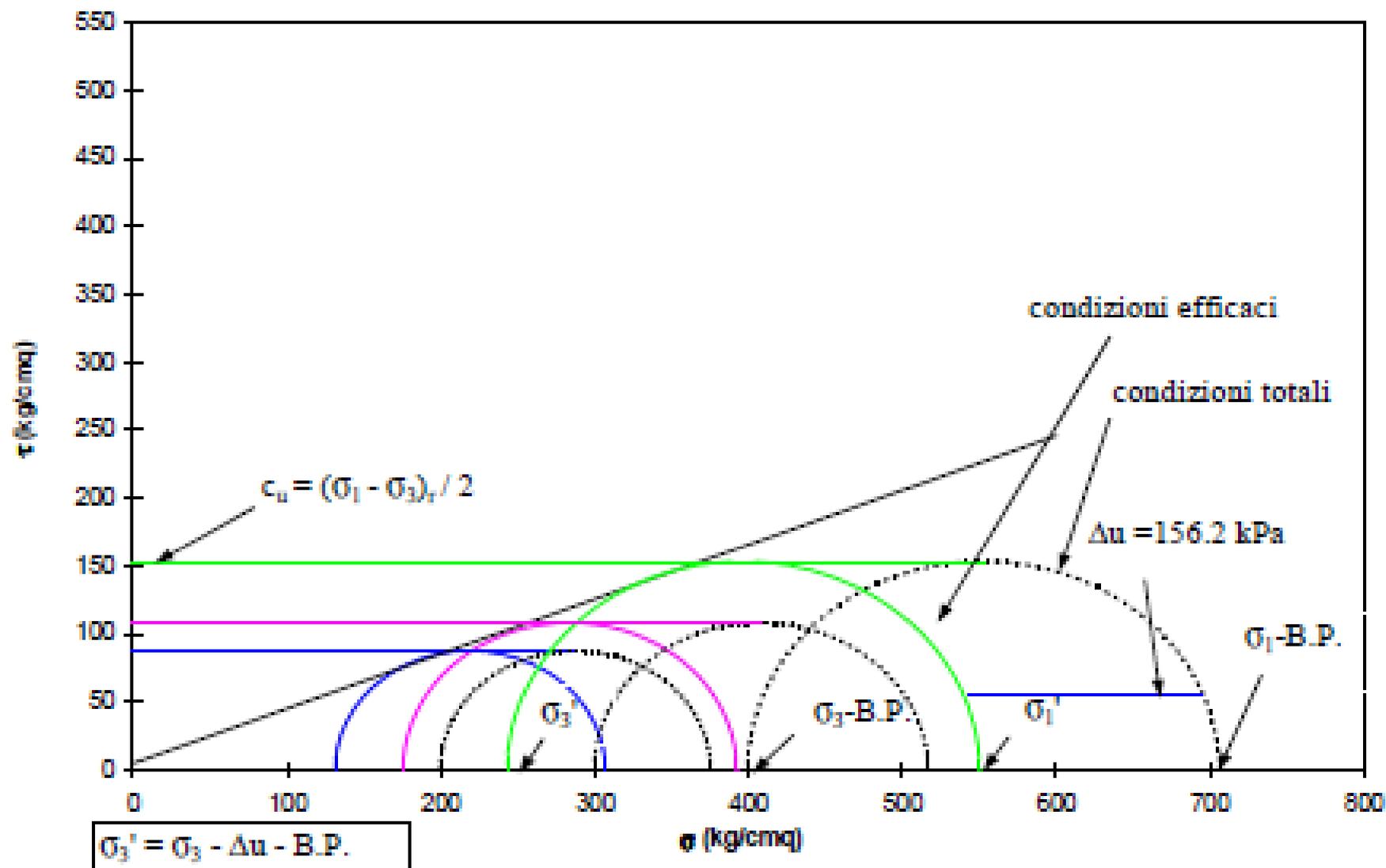
V.A. n.

LOCALITA':

Data prova: 17/05/13 - 28/05/13



Prova triassiale C.U. consolidata non drenata



Prova triassiale C.U. consolidata non drenata

CERTIFICATO DI PROVA N.

CAMPIONE: C17 profondità 26.0 -26.5 m

Montelupo Fiorentino li

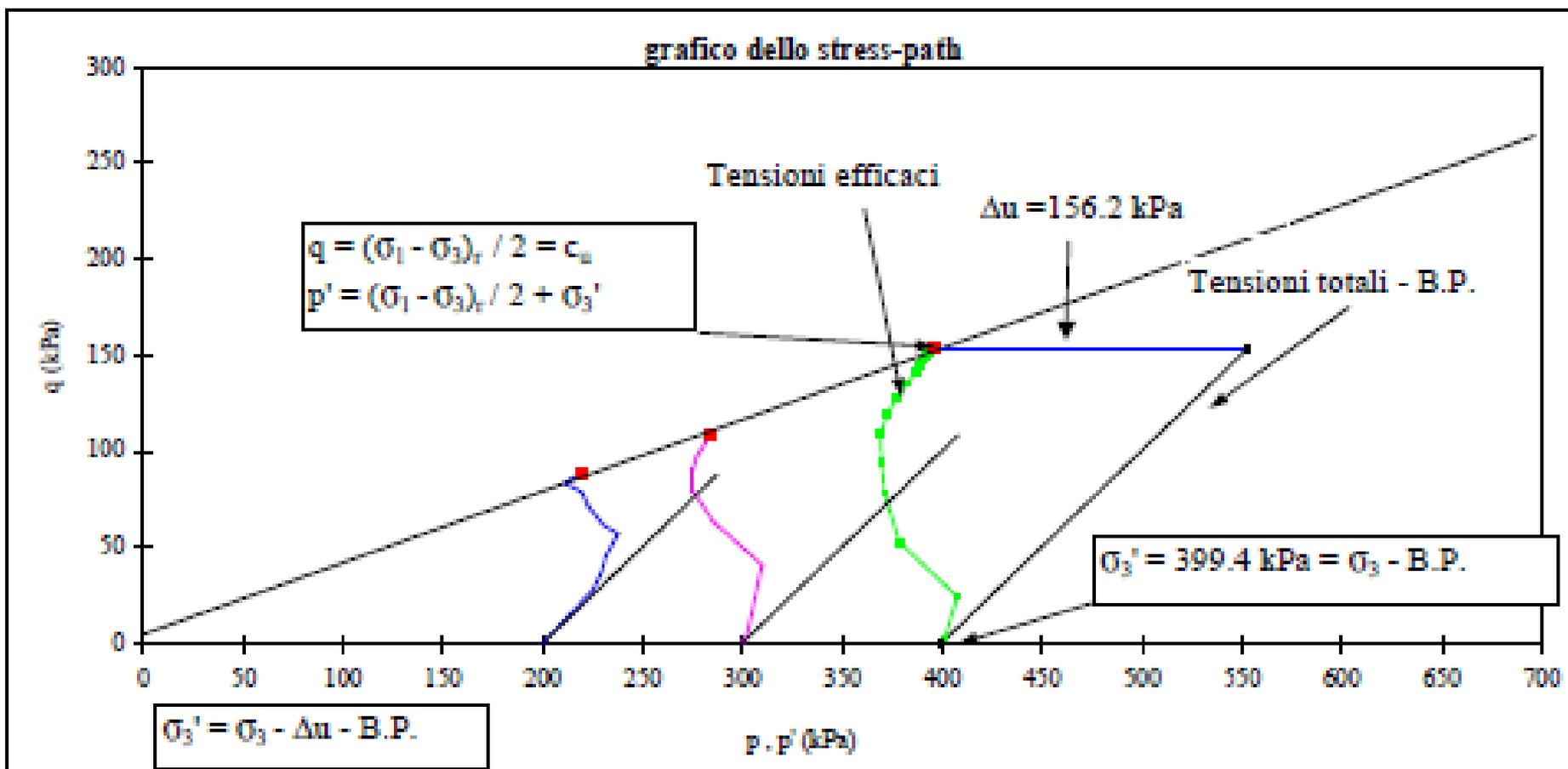
COMMITTENTE:

V.A. n.

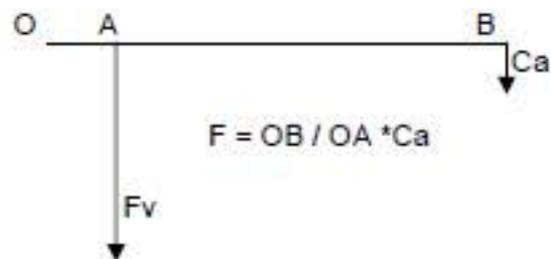
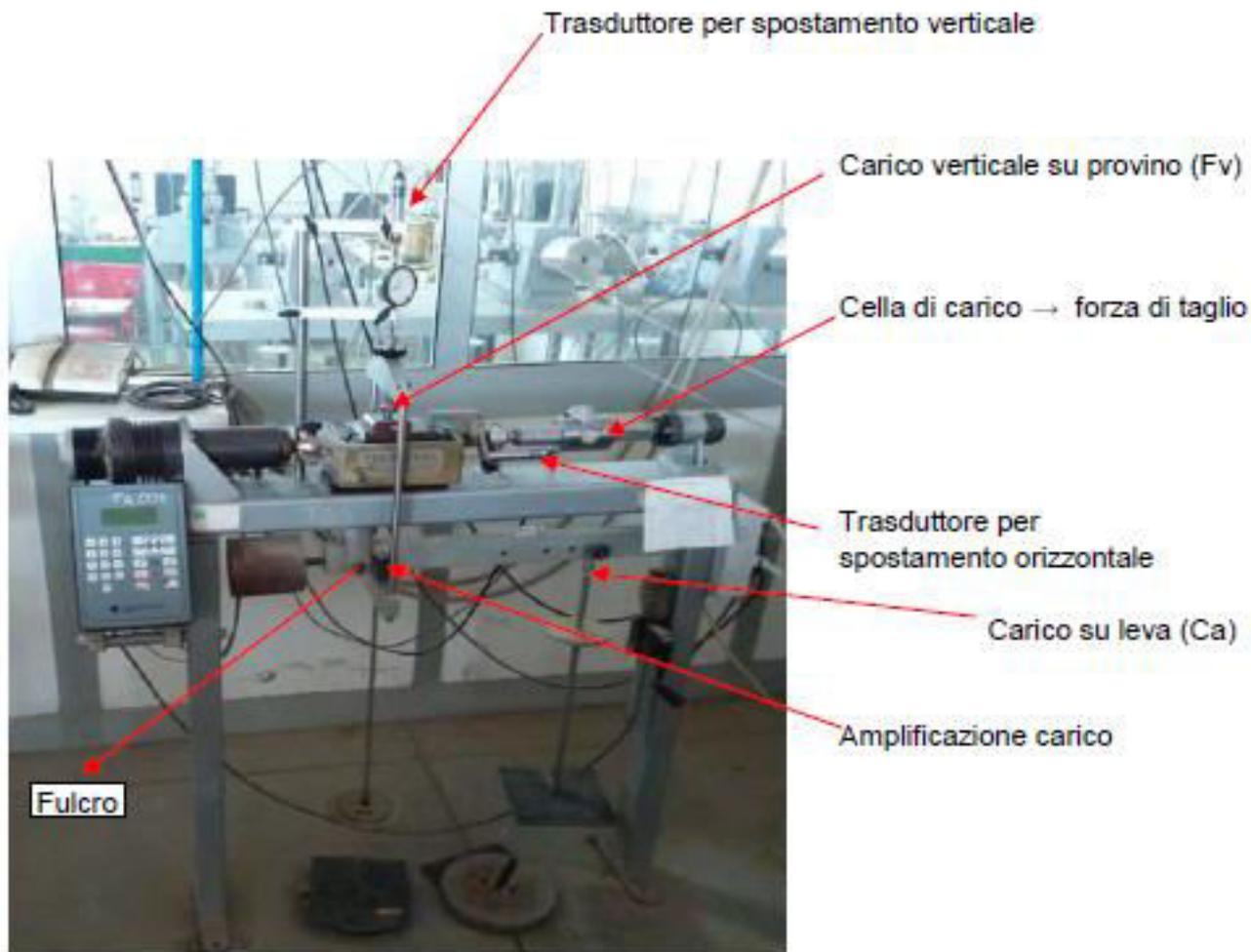
LOCALITA':

Data prova: 29/03/10 - 13/04/10

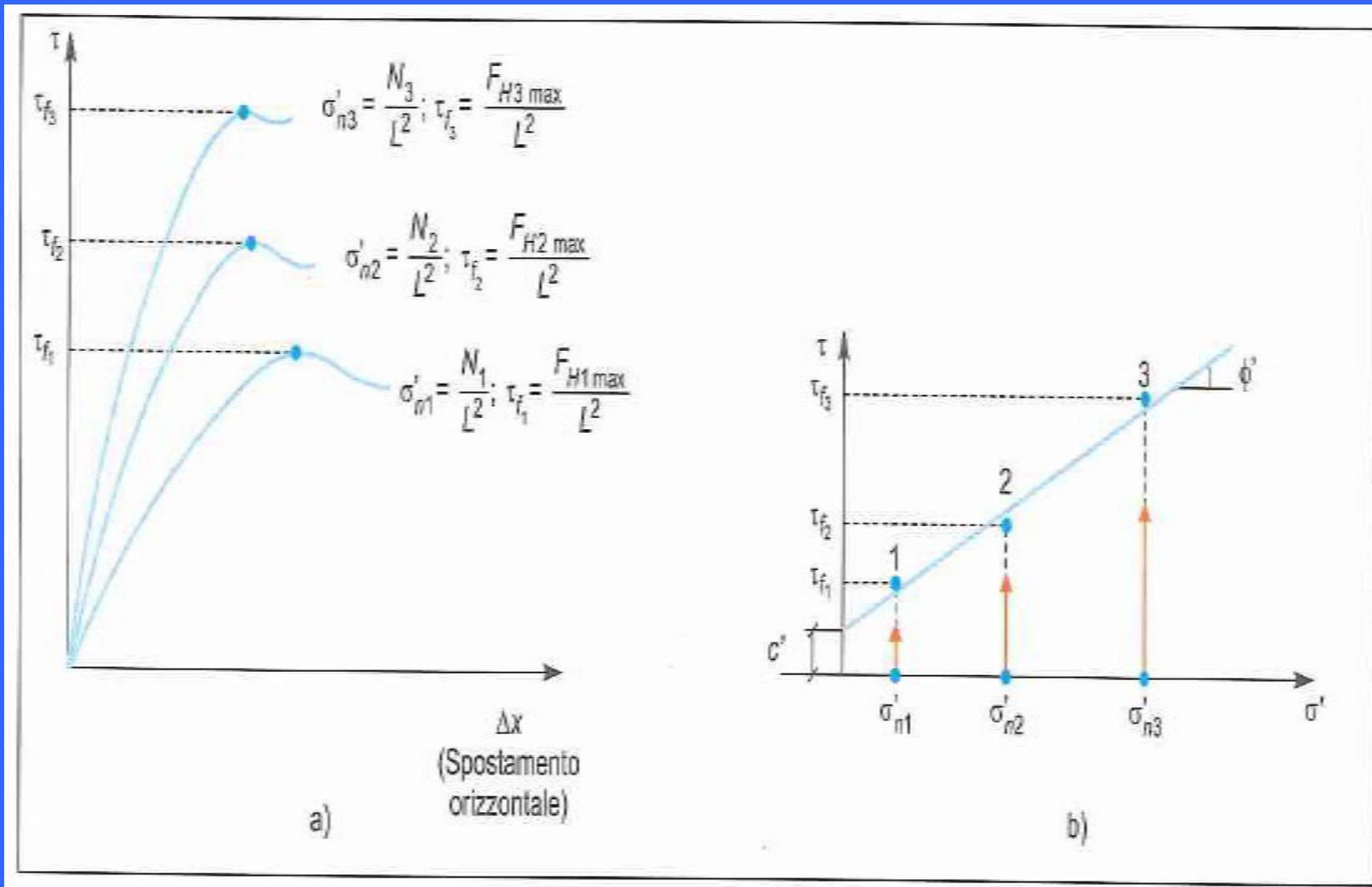
Prova triassiale consolidata non drenata (ASTM D 2850)



Prova di taglio



Prova di taglio



Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico.
Fodazioni, scavi, frane, dighe, argini

PREMESSA

Le prove di caratterizzazione fisica, in particolare i limiti di Atterberg e la granulometria specialmente se utilizzate in parallelo, andrebbero sempre eseguite perché sono la **carta d'identità** di un terreno.

Anche il contenuto d'acqua, che può anche essere abbastanza variabile nell'ambito di uno stesso terreno, se correlato con i limiti dà informazioni importanti sulle caratteristiche meccaniche del terreno stesso.

Nell'esecuzione di una campagna geognostica completa, quando si può far ricorso a prove geofisiche, prove penetrometriche, sondaggi con prelievo di campioni e quindi prove geotecniche sugli stessi, è fondamentale programmare le varie fasi in modo corretto: prima si deve eseguire le indagini geofisiche, poi le prove penetrometriche ed infine, dopo aver costruito un modello geologico - geotecnico preliminare con questi dati, eseguire i sondaggi e prelevare i campioni nei punti ritenuti più adatti.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico.
Fodazioni, scavi, frane, dighe, argini

PREMESSA

Le prove di caratterizzazione fisica, in particolare i limiti di Atterberg e la granulometria specialmente se utilizzate in parallelo, andrebbero sempre eseguite perché sono la **carta d'identità** di un terreno.

Anche il contenuto d'acqua, che può anche essere abbastanza variabile nell'ambito di uno stesso terreno, se correlato con i limiti dà informazioni importanti sulle caratteristiche meccaniche del terreno stesso.

Nell'esecuzione di una campagna geognostica completa, quando si può far ricorso a prove geofisiche, prove penetrometriche, sondaggi con prelievo di campioni e quindi prove geotecniche sugli stessi, è fondamentale programmare le varie fasi in modo corretto: prima si deve eseguire le indagini geofisiche, poi le prove penetrometriche ed infine, dopo aver costruito un modello geologico - geotecnico preliminare con questi dati, eseguire i sondaggi e prelevare i campioni nei punti ritenuti più adatti.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Per quanto riguarda le prove di resistenza al taglio indubbiamente le prove triassiali permettono una valutazione migliore dei parametri geotecnici rispetto alla prova di taglio; ma se nella caratterizzazione del problema geotecnico parametri come i moduli elastici ed il coefficiente A non hanno una grande importanza, si possono usare le prove di taglio con ottimi risultati in tutti i materiali tranne che nelle argille non sature (spesso argille sovraconsolidate): nelle argille non sature con la prova di taglio non c'è la certezza di riuscire a saturare il provino, (al limite si può sapere a posteriori il grado di saturazione a fine prova) e quindi in particolare si rischia di sovrastimare la coesione.

Eseguire una prova edometrica non ha molto senso per le sabbie ed è praticamente impossibile per le ghiaie: in una sabbia il cedimento è immediato e/o secondario ma praticamente è nullo il cedimento di consolidazione.

Per ottenere una misura del cedimento in una sabbia o si usano valori indiretti dedotti da prove penetrometriche o si esegue una prova triassiale, meglio se C.D., utilizzando i moduli elastici.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fodazioni, scavi, frane, dighe, argini

Quando è necessaria una prova edometrica, conviene programmare anche il peso specifico (il peso di volume secco si valuta sempre in una prova edometrica).

Il peso specifico andrebbe eseguito anche per definire la curva granulometrica nel tratto appartenente alla sedimentazione (entra nel calcolo della percentuale di passante).

Nei problemi di deformazioni legati alle variazioni di volume delle argille in funzione del contenuto d'acqua, conviene eseguire, oltre alle prove di rigonfiamento, anche il limite di ritiro.

Per quanto riguarda i cedimenti a lungo termine la prova edometrica si può usare nel caso di argille, limi fino a sabbie con un contenuto di argilla $> 10\div 15\%$.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

FONDAZIONI SUPERFICIALI

Le problematiche delle fondazioni sono legate a:

valutazione della capacità portante;

valutazione dei cedimenti;

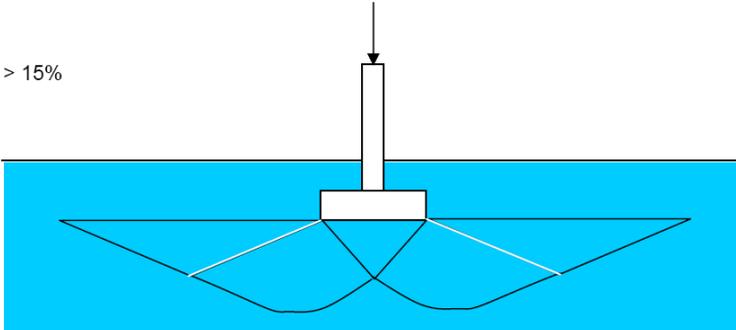
profondità interessata da variazioni di volume al variare dell'umidità (problemi di rigonfiamento e disseccamento: questi fenomeni avvengono in terreni di alta plasticità e coinvolgono spessori variabili da 1.5 a 3.0 m circa;

entità dello scavo sulla cui base impostare la fondazione (vedi problematiche riguardanti gli scavi).

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Fondazioni superficiali

terreno
con argilla > 15%



condizioni non drenate
 $q_{lim} = f(c_u, \gamma, \dots)$

cedimento = $f(E_u)$

condizioni drenate
 $q_{lim} = f(c', \phi', \gamma, \dots)$

cedimento = $f(R_r, R_c \text{ o } C_r, C_c)$
cedimento = $f(M_v \text{ o } A_v)$

c_u da prova E.L.L., Triassiale C.U, Triassiale U.U.

E_u da prove triassiali U.U.

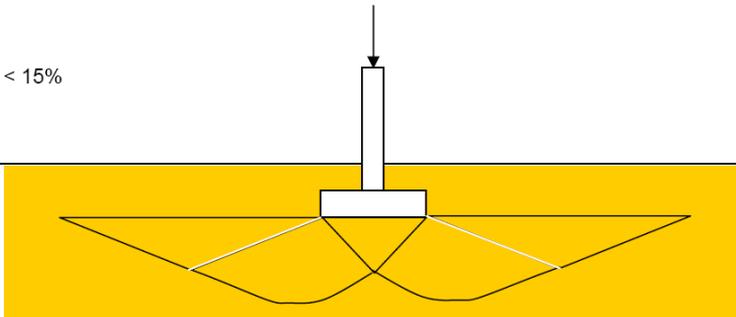
c', ϕ' da prove di taglio, triassiale CD, triassiale CU

R_r, R_c, C_r, C_c da prove edometriche grafico log pressione/cedimento unitario

M_v o A_v da prove edometriche pressione/cedimento unitario

E da prove triassiali C.D.

terreno
con argilla < 15%



condizioni drenate
 $q_{lim} = f(c', \phi', \gamma, \dots)$

cedimento = $f(E)$

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Tipo di problema	Tipo di analisi	Parametri	Tipo di prova
Capacità Portante	condizioni non drenate	c_u	Triassiale UU, E.L.L.
Capacità Portante	condizioni drenate	c', ϕ'	Triassiale C.D./C.U., Taglio
Cedimenti	condizioni non drenate	E_u	Triassiale U.U., E.L.L.
Cedimenti	condizioni drenate	m_v, C_c, E'	Edometria, Triassiale C.D.
Variazioni volume	condizioni drenate	P_{RIG}, I_{SS}	Prove di rigonfiamento
Variazioni volume	condizioni drenate	W_s	Limiti di Ritiro

Le prove di rigonfiamento (ed il limite di ritiro) sono quasi sempre trascurate, ma in presenza nei primi metri di argille e limi argillosi sovraconsolidati andrebbero prese sempre in considerazione.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico.
Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

FONDAZIONI PROFONDE

Le problematiche delle fondazioni profonde sono legate a:

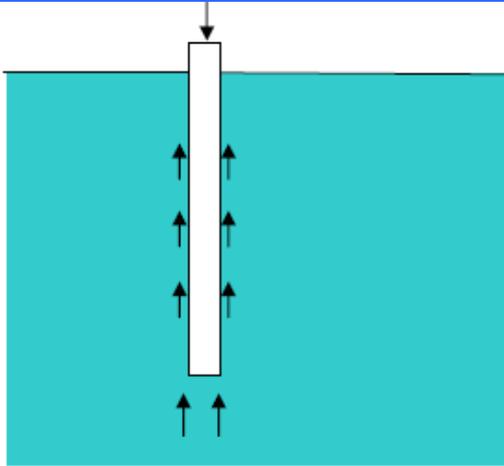
Capacità portante di punta del palo;

Capacità portante per attrito laterale;

Cedimenti alla base del palo o della palificata.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Fondazioni profonde



	Condizioni drenate	Condizioni non drenate
capacità portante per attrito laterale	c', ϕ'	cu
capacità portante di punta del palo	c', ϕ'	cu
cedimenti alla base del palo o della palificata	Rr e Rc o Cr e Cc Mv o Av	Eu

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Tipo di problema	Tipo di analisi	Parametri	Tipo di prova
Capacità Portante sia di base che per attrito laterale	condizioni non drenate	c_u	Triassiale UU, E.L.L.
Capacità Portante sia di base che per attrito laterale	condizioni drenate	c', ϕ'	Triassiale C.D./C.U., Taglio
Cedimenti alla base del palo o della palificata	condizioni non drenate	E_u	Triassiale U.U., E.L.L.
Cedimenti alla base del palo o della palificata	condizioni drenate	m_v, C_c, E'	Edometria, Triassiale C.D
Capacità portante dopo la messa in opera			Prova di carico su palo

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico.
Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

SCAVI

Gli scavi presentano problematiche molto diverse a seconda della litologia del terreno da cui sono intercettati.

Problemi di stabilità delle pareti di scavo:

si deve determinare prima di tutto l'altezza massima di scavo in condizioni non drenate;

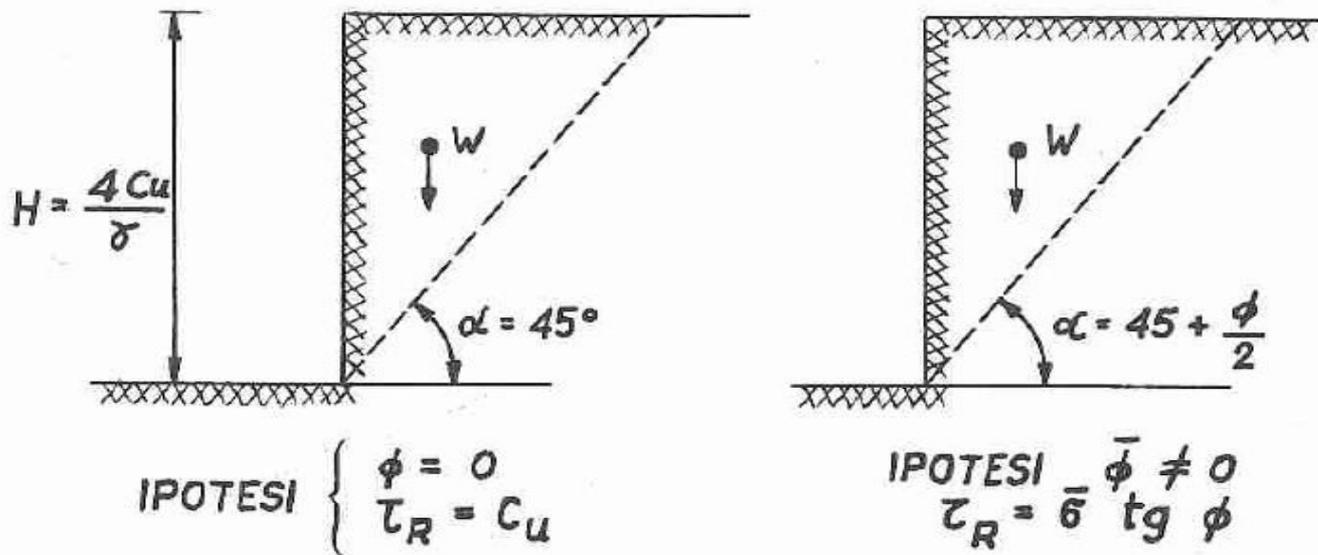
nel caso di argille rigonfianti fenomeni di rigonfiamento possono essere molto importanti dato il detensionamento del terreno.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Consideriamo l'analisi di stabilità dello scavo in figura seguente subito dopo l'esecuzione (condizioni non drenate) sarà:

$$F = (c_u * l) / (W * \sin\alpha)$$

con $l = H / \sin\alpha$ e $W = H^2 / 2 * \cot\alpha * \gamma$; e ponendo $\alpha = 45^\circ$ abbiamo nel caso limite in cui $F = 1$
 $H = 4 c_u / \gamma$.



Se si valuta in condizioni non drenate, la superficie di rottura va scelta inclinata di 45° , anche se in realtà la superficie reale ha un'inclinazione diversa ($\alpha = 45 + \phi / 2$).

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

In terreni sabbiosi e ghiaiosi, se non è presente una rilevante componente limo argillosa, lo scavo se verticale, deve essere stabilizzato con opere di contenimento durante l'esecuzione; altrimenti si deve creare una scarpata con inclinazione compatibile con i parametri geotecnici del terreno (c' , ϕ' , c_u).

Problemi di stabilità del fondo:

Nel caso di argille sovraconsolidate si possono avere fenomeni di rigonfiamento rilevanti specialmente in relazione ad un notevole aumento del contenuto d'acqua.

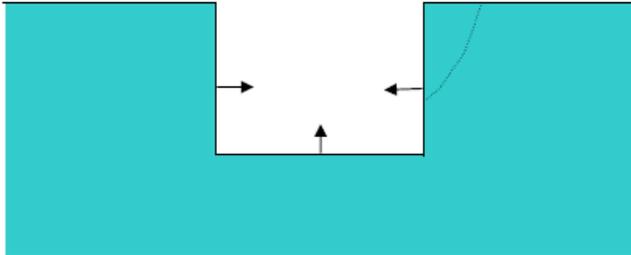
Nel caso di sabbie sono importanti anche i problemi legati alla filtrazione dell'acqua e quindi indagini sulla possibilità di fenomeni di sifonamento del fondo scavo stesso.

Nel caso di opere di consolidamento con iniezioni per stabilizzare il fronte di scavo sono utili anche le prove di permeabilità.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecniche. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Scavi

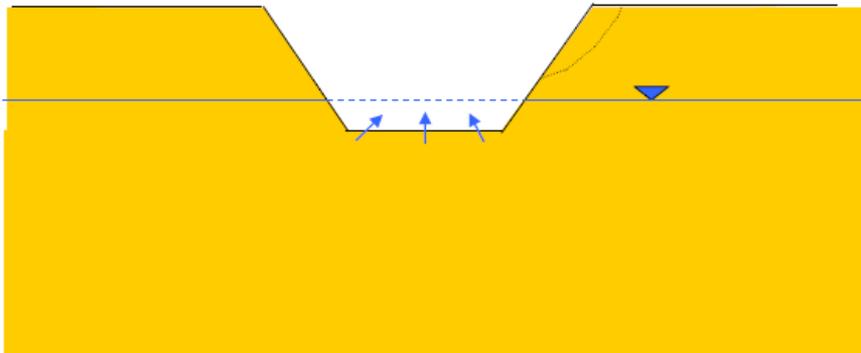
terreno
con argilla > 15%



Condizioni non drenate
Rigonfiamento = $f(E_u, \dots)$
Verifiche di stabilità: c_u
Altezza massima di scavo = $f(c_u, \gamma)$

Condizioni drenate
Rigonfiamento = $f(R_s, K_{ha})$
Verifiche di stabilità: c', ϕ'

terreno
con argilla < 15%



Condizioni drenate
Verifiche di stabilità: c', ϕ'
Rigonfiamento = $f(E')$
Sifonamento = (γ_{sat})

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Tipo di problema	Tipo di analisi	Parametri	Tipo di prova
Stabilità pareti e fondo	condizioni non drenate	c_u	Triassiale U.U., E.L.L.
Stabilità pareti e fondo	condizioni drenate	C', ϕ'	Triassiale C.D, C.U., Taglio
Stabilità fondo (sabbia e ghiaia)		K, γ_{sat}	Permeabilità
Deformazione (argilla)	condizioni drenate	P_{RIG}, I_{SS}, K_{HA}	Prove di Rigonfiamento
Deformazione (argilla)	condizioni drenate	C_s, E'	Edometria, Triassiale CD/ CU
Deformazione (argilla)	condizioni non drenate	E_u	Triassiale UU

Per determinare parametri a favore della sicurezza è preferibile eseguire le triassiali UU con la saturazione preliminare, a meno che il terreno non sia già saturo.

Per determinare le deformazioni sia verticali che orizzontali si possono fare anche prove edometriche utilizzando la fase la di scarico della curva (CS indice di rigonfiamento).

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

OPERE DI SOSTEGNO

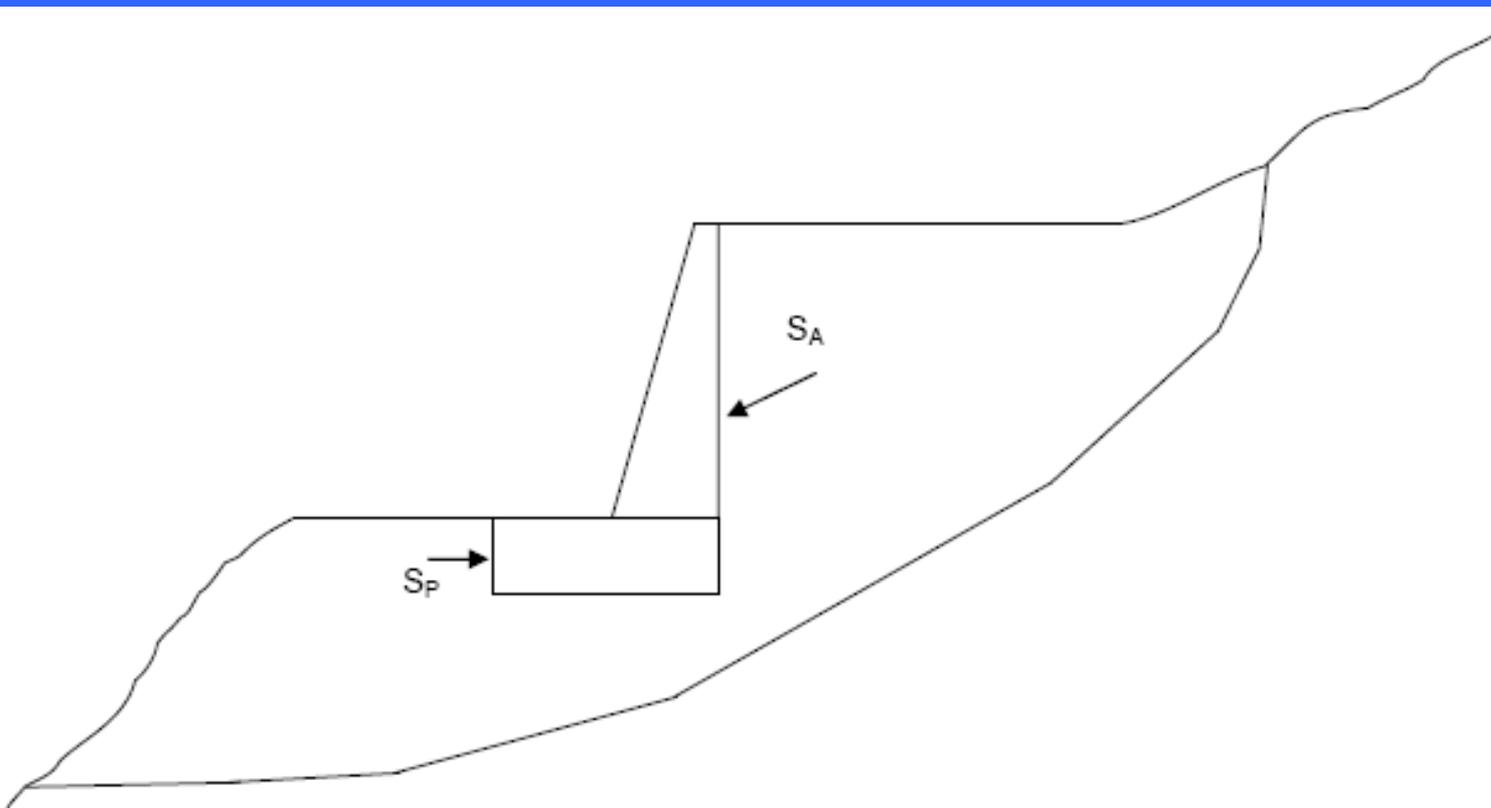
Si intende la messa in opera di muri, diaframmi e palancolate anche in seguito ad opere di scavo.

In queste opere i problemi più rilevanti sono la spinta attiva (K_a) o passiva (K_p , comunque meno importante) e le deformazioni orizzontali massime accettabili. Le spinte sono funzione dei parametri geotecnici (c' , ϕ' e c_u). Le deformazioni orizzontali si possono valutare con prove in cui si utilizza l'edometro. Anche in questo caso per opere di consolidamento per stabilizzare il fronte di scavo sono utili anche le prove di permeabilità.

Si devono eseguire verifiche allo slittamento, al ribaltamento, di portanza e di stabilità globale se su un pendio.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

OPERE DI SOSTEGNO



Verifica allo scorrimento, al ribaltamento, portanza e verifica di stabilità globale

Condizioni drenate

Spinta attiva = $f(c', \phi', \gamma_n)$

Spinta passiva = $f(c', \phi', \gamma_n)$

Condizioni non drenate

Spinta attiva = $f(c_u, \gamma_n)$

Spinta passiva = $f(c_u, \gamma_n)$

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Tipo di problema	Tipo di analisi	Parametri	Tipo di prova
Spinta attiva e/o passiva	condizioni non drenate	c_u	Triassiale U.U., E.L.L.
Spinta attiva e/o passiva	condizioni drenate	c', ϕ'	Triassiale C.U., CD, Taglio
Deformazioni orizzontali	condizioni non drenate	E_u	Triassiale U.U., E.L.L.
Deformazioni orizzontali	condizioni drenate	C_s	Edometria

Il modulo E_u determinato con una triassiale in compressione per carico è comunque un'approssimazione: in teoria si dovrebbe utilizzare una prova di compressione per scarico in condizioni di deformazioni piane.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico.
Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

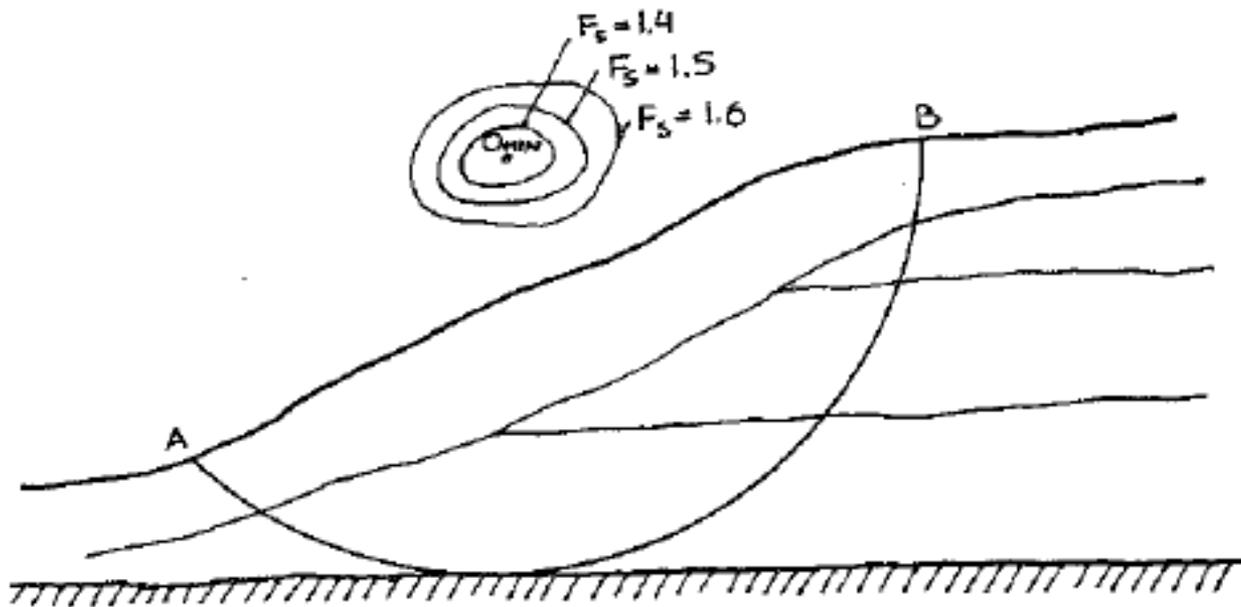
FRANE

Per quanto riguarda lo studio di eventi franosi, se si indaga sulla suscettibilità di un terreno a franare, non è indispensabile fare verifiche di stabilità in condizioni residue; mentre lo diventa in caso di evento che sta verificandosi o è già avvenuto.

Nel caso di terreni sabbiosi più che parlare di condizioni residue ovviamente si deve parlare di condizioni allo stato critico, ma in sostanza la prova più adatta per le indagini rimane il taglio residuo.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecniche. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

STABILITA' DEI PENDII



Per verifiche di stabilità

Condizioni drenate:

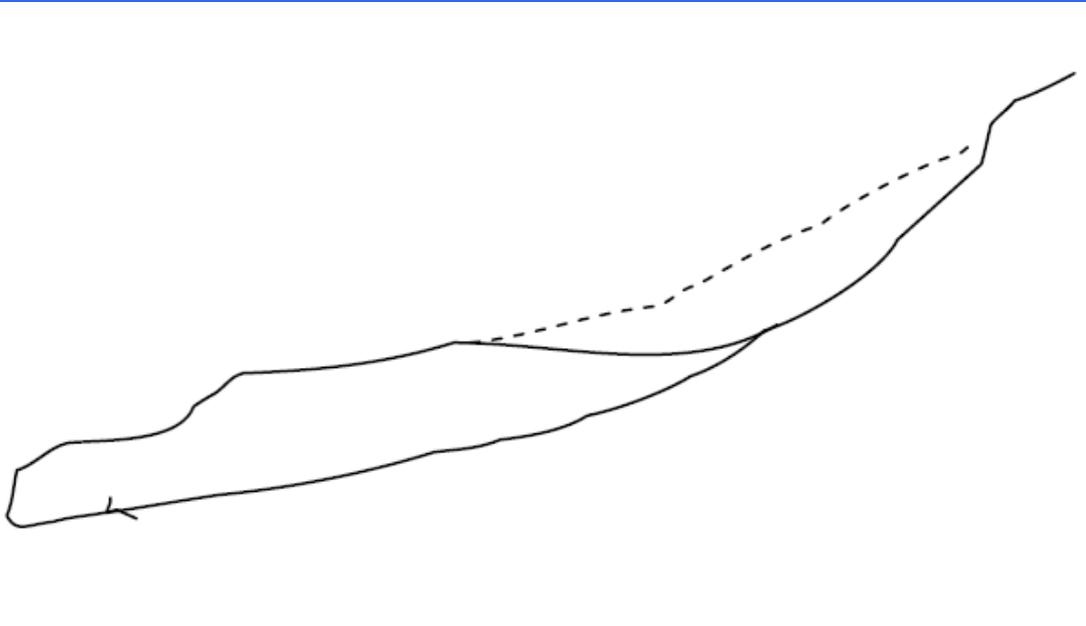
c' , ϕ' , γ_n

Condizioni non drenate:

c_u

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecniche. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Frana già avvenuta



Per verifiche di stabilità

Condizioni drenate terreni
argillosi:

ϕ_r, γ_n

condizioni drenate terreni
sabbiosi:

ϕ_{crit}, γ_n

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

Tipo di problema	Tipo di analisi	Parametri	Tipo di prova
Stabilità del pendio	condizioni non drenate	c_u	Triassiale U.U.; E.L.L.
Stabilità del pendio	condizioni drenate	c', ϕ'	Triassiale CD, CU, taglio
Stabilità in c. residue	condizioni drenate	ϕ_r, ϕ_{cr}	Taglio torsionale, Taglio

Le prove triassiali U.U. devono essere eseguite con saturazione preliminare per essere in condizioni a favore della sicurezza, a meno che il terreno non sia già saturo.

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecnico. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

DIGHE IN TERRA E ARGINI

Per quanto riguarda queste opere si deve dividere le problematiche fra quelle riguardanti i materiali per la sua messa in opera e le prove successive da eseguirsi a manufatto in costruzione e costruito, in sede di controllo e collaudo finale. Inoltre si deve indagare molto dettagliatamente, in particolare per le dighe, il terreno di imposta come nel caso delle fondazioni superficiali (capacità portante e cedimenti); ed in particolare nel caso di presenza di sabbie su problematiche legate al flusso di acqua ed al sifonamento.

Per quanto riguarda le prove di resistenza al taglio (da eseguirsi sul materiale compattato al 90-95% dell'Optimum Proctor) per le dighe le prove triassiali C.U. sono generalmente da preferirsi in quanto danno informazioni sulla pressione dell'acqua in funzione delle tensioni totali; per gli argini si possono usare anche le prove di taglio, cercando di saturare il provino (per es. lasciando diversi giorni il provino in acqua sotto un carico di consolidazione non superiore alla σ_{v0}').

Le prove triassiali U.U. sono sempre da eseguirsi con saturazione preliminare e da preferire in ogni caso alle prove E.L.L.

Le prove edometriche non danno informazioni utili e le prove E.L.L., non potendo saturare il provino, sono fortemente a sfavore della sicurezza.

Tipo di problema	Tipo di analisi	Parametri	Tipo di prova
Scelta dei Materiali			Classificazione UNI 10006
Condizioni di messa in opera		W, γ_d	Proctor
Stabilità (preliminare)	condizioni non drenate	c_u	Triassiale U.U.**
Stabilità (preliminare)	condizioni drenate	c', ϕ'	Triassiale C.U., Taglio **
Durante la messa in opera		W, γ_d	Densità in sito, Proctor
Capacità Portante	condizioni non drenate	c_u	Triassiale U.U., E.L.L.
Capacità Portante	condizioni drenate	c', ϕ'	Triassiale C.D., C.U., Taglio
Cedimenti	condizioni non drenate	E_u	Triassiale U.U., E.L.L.
Cedimenti	condizioni drenate	m_v, C_c, E'	Edometria, Triassiale C.D.
Deformazione (argille)	condizioni drenate	P_{RIG}, I_{SS}	Rigonfiamento
Deformazione (argille)	condizioni drenate	W_s	Limite di Ritiro
Stabilità fondo (sabbia e ghiaia)		K, γ_{sat}	Permeabilità

** su materiali costipati al 90-95% dell'Optimum Proctor standard o modificato

Casistica delle applicazioni delle prove di laboratorio geotecniche. Fondazioni, scavi, opere di sostegno, frane, dighe e argini

fase preliminare

Classificazione UNI 10006
proctor Standard o modificato
taglio o triassiale CD/CU su optimum proctor
Triassiale UU saturata su optimum proctor
~~ELL su optimum proctor~~

in corso d'opera e collaudo

densità in sito
optimum proctor per verificare percentuale di compattazione della densità
Classificazione UNI 10006 se incertezza su classificazione materiale

Fondazioni
verifiche sia in condizioni drenate che non (vedi fondazioni)

Prova Proctor Standard e modificata

Nella prova proctor si compatta con una procedura standardizzata un campione di terreno a diversi contenuti d'acqua: le curve che si ottengono utilizzando diversi provini dello stesso campione, mettono in relazione il peso di volume secco in funzione del contenuto d'acqua. L'obiettivo della prova è determinare per un dato terreno le condizioni ottimali di W_n per le quali ad un dato livello di sforzo di compattazione corrisponde un addensamento massimo.

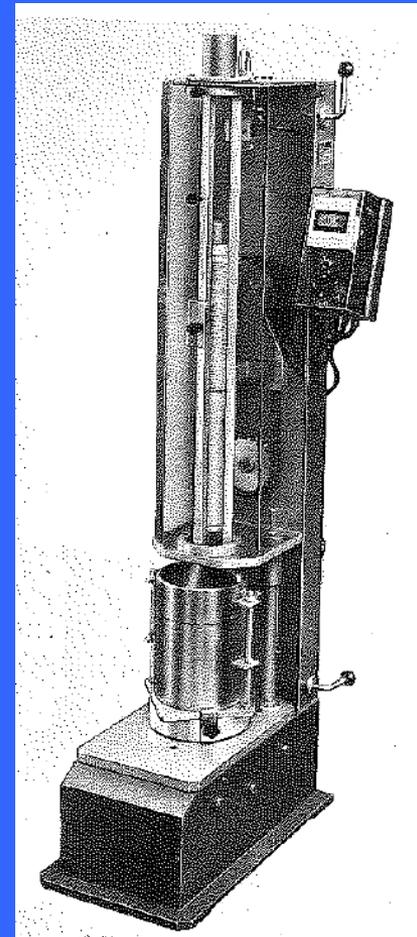
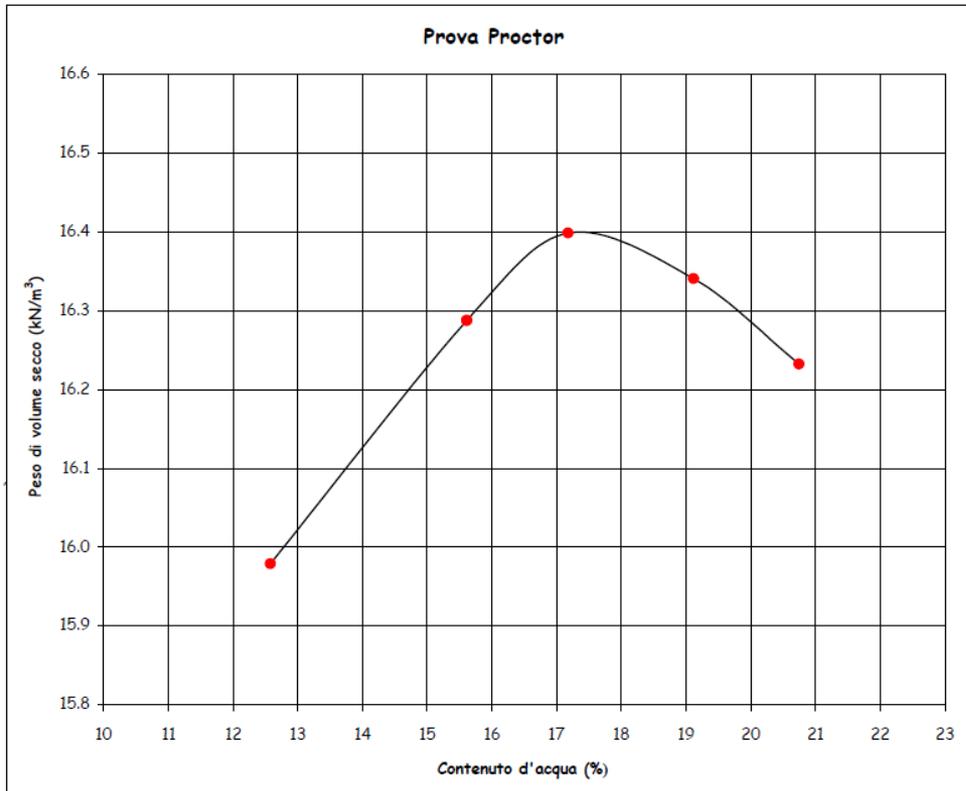
E' utilizzata nella costruzione di rilevati stradali, arginali, dighe in terra e strade in terra stabilizzata.

W(%)	γ_d (kN/m ³)
12.6	15.98
15.6	16.29
17.2	16.40
19.1	16.34
20.7	16.23

Valori di optimum	
W(%)	γ_d (kN/m ³)
17.4	16.40

Standard

Modificata



Prova di penetrazione CBR

La prova CBR consiste nel far penetrare un pistone d'acciaio normalizzato all'interno del campione compattato secondo la procedura proctor modificata e nel misurare la forza rilevata durante l'avanzamento. Si ricava un indice di portanza calcolato confrontando le misure di portanza in corrispondenza di due valori significativi di penetrazione (2.5 e 5 mm) con due valori di carico definiti da analoga prova su un materiale standard di riferimento:

$I_{(2.5)} = L_{(2.5)} / 13.24 * 10$ e $I_{(5.0)} = L_{(5.0)} / 19.96 * 10$ con $L_{(2.5)}$ = carico in corrispondenza di 2.5 mm di penetrazione (kN) e con $L_{(5.0)}$ = carico in corrispondenza di 5.0 mm di penetrazione (kN).

Si assume come indice CBR il primo dei due valori.

La prova ha lo scopo di determinare le caratteristiche di idoneità dei materiali per uso stradale; essa misura la capacità portante di un terreno per dati valori di γ_d e W e fornisce un indice che è d'aiuto nel dimensionamento degli strati di fondazione e di base delle pavimentazioni flessibili sia stradali che aeroportuali.

Prova di penetrazione CBR



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 1

CERTIFICATO DI PROVA N. XX/2017

CAMPIONE S1C1 profondità 1.5 - 2.0 m	Montelupo Fiorentino li 30/12/17
COMMITTENTE: zzzzzz	V.A. n. xxx/2017 del 16/11/17
LOCALITA': xxxxxx	Data prova: 09/12/17

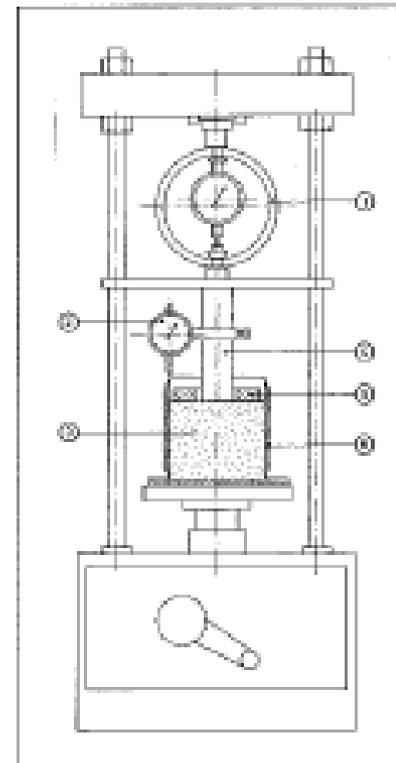
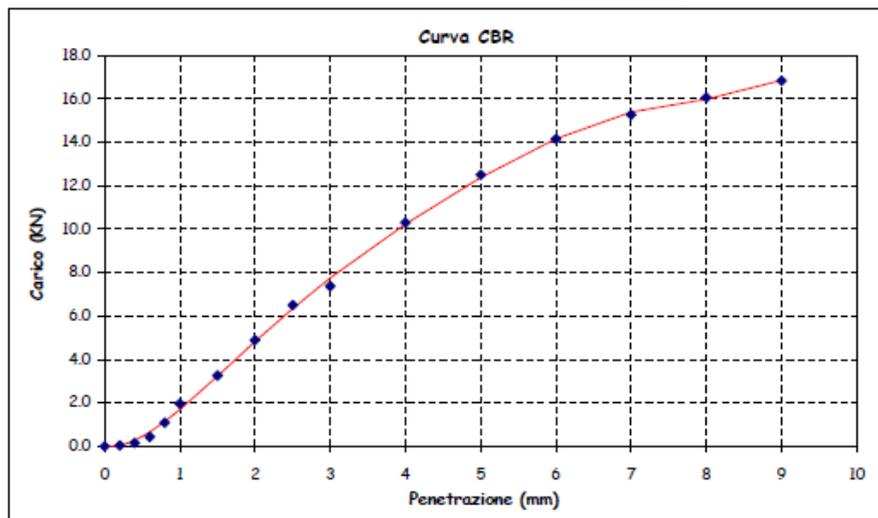
Prova di penetrazione CBR (UNI EN 13286-47)

Determinazione su campione tal quale	<input checked="" type="checkbox"/>	Determinazione su provino	<input checked="" type="checkbox"/>
Provino sottoposto a imbibizione (96 ore)	<input type="checkbox"/>	preparato in lab.	
Metodo di compattazione: modificato	<input checked="" type="checkbox"/>	Rigonfiamento percentuale =	--
standard	<input type="checkbox"/>	Caratteristiche	w (%) = 49.3
		del provino:	γ_d (kN/m ³) = 17.20

Penetrazione (mm)	Carico (kN)	Penetrazione (mm)	Carico (kN)	Penetrazione (mm)	Carico (kN)
0.2	0.041	1.5	3.256	5.0	12.506
0.4	0.150	2.0	4.882	6.0	14.161
0.6	0.433	2.5	6.508	7.0	15.272
0.8	1.085	3.0	7.376	8.0	16.078
1.0	1.954	4.0	10.308	9.0	16.840

I(2.5) = 47.9
I(5.0) = 62.0

CBR (%)
62.0



- 1 Anello dinamometrico
- 2 Comparatore centesimale
- 3 Campione di terreno compattato
- 4 Pistone di penetrazione
- 5 Sovraccarico anulare
- 6 Fustella CBR

Figura 8.19
Schematizzazione della prova CBR

BIBLIOGRAFIA

Il laboratorio geotecnico, di Ing. Pier Luigi Raviolo

Meccanica dei terreni volume I, di Prof. Renato Lancillotta

Meccanica dei terreni resistenza al taglio e deformabilità, di Prof. Renato Lancillotta