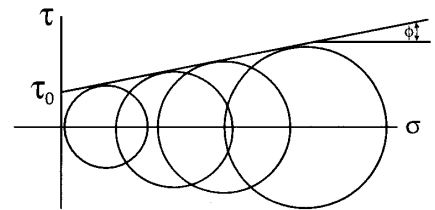




*DEIAgra – Dipartimento di Economia e
Ingegneria Agrarie – Università di Bologna*
<http://www.agrsci.unibo.it/deiagra/ingagr>

Resistenza alla penetrazione ed al taglio del terreno

Angelo Fabbri



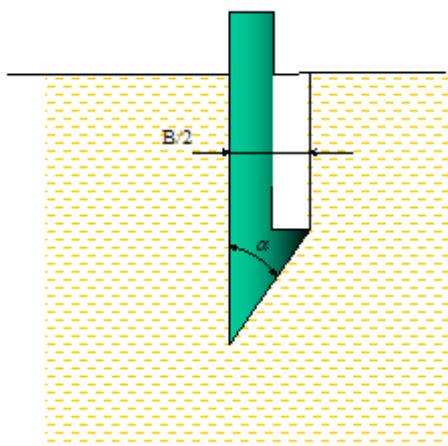
1. Resistenza alla penetrazione del terreno agrario

Def.: si definisce come *resistenza alla penetrazione* di un terreno il rapporto tra la forza (F) necessaria per spingere nel terreno stesso un utensile di forma e dimensioni prefissate e l'area della sezione normale dell'impronta (S).

- Niccoli V., *Meccanica agraria: II ediz.*, Hoepli, Milano, 1916.
- Impiego in campo militare negli anni '50; valutazione semplice della praticabilità dei terreni.

1.1. Generalità e normativa di riferimento

▲ Norma di riferimento: ASAE S313.2 – *Soil Cone Penetrometer*



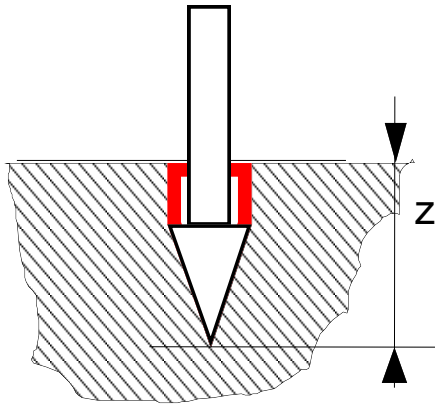
dimensioni standard
 $B \approx 20 \text{ mm}$

*

dimensioni ridotte
 $B \approx 13 \text{ mm}$

1.2. Metodologia

Impiego.

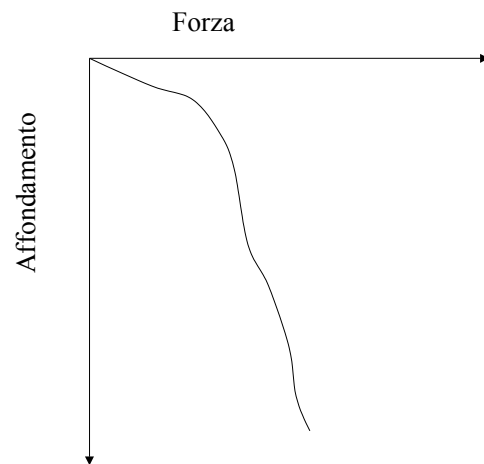
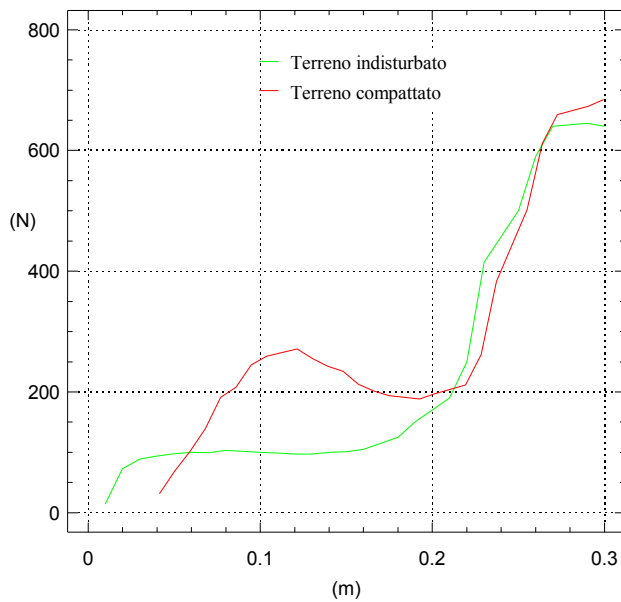


$$CI = F/S$$

❖ funzione $CI(z)$

❖ media su $z1-z2$

$$\overline{CI} = \frac{1}{z2 - z1} \int_{z1}^{z2} CI(z) dz$$



▲ Il principale punto di forza del penetrometro a cono sta nella semplicità della metodologia e dell'apparecchiatura minima: azionamento manuale, estensometro meccanico ad anello.



▲ Accorgimenti costruttivi.

▲ Valori ed impieghi tipici in IA: valutazione della mobilità dei veicoli e della possibilità di accrescimento dell'apparato radicale.

Standard ASAE D497.2 (ASAE, 1994):
determinazione della resistenza al rotolamento:

$$RR = W \cdot \left(\frac{1,2}{C_n} + 0,04 \right)$$

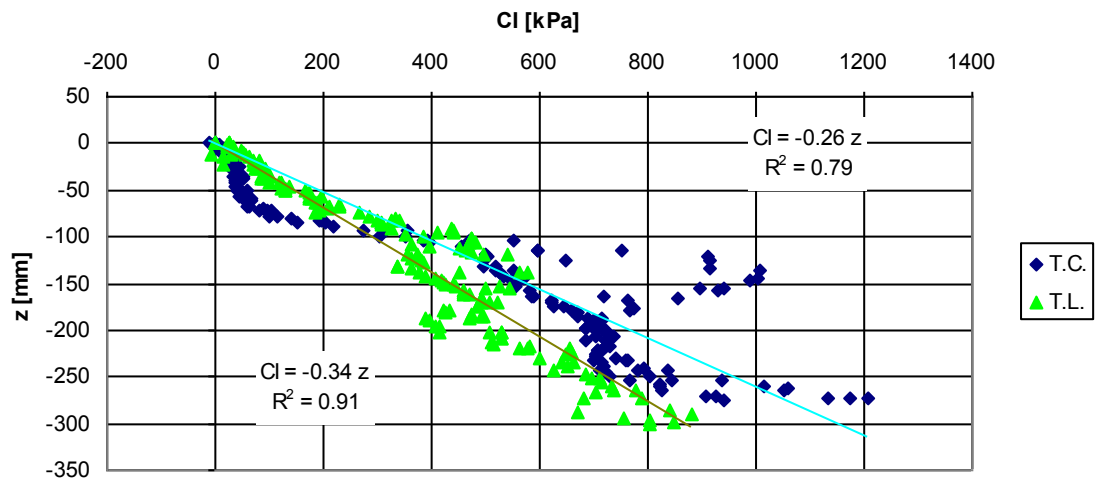
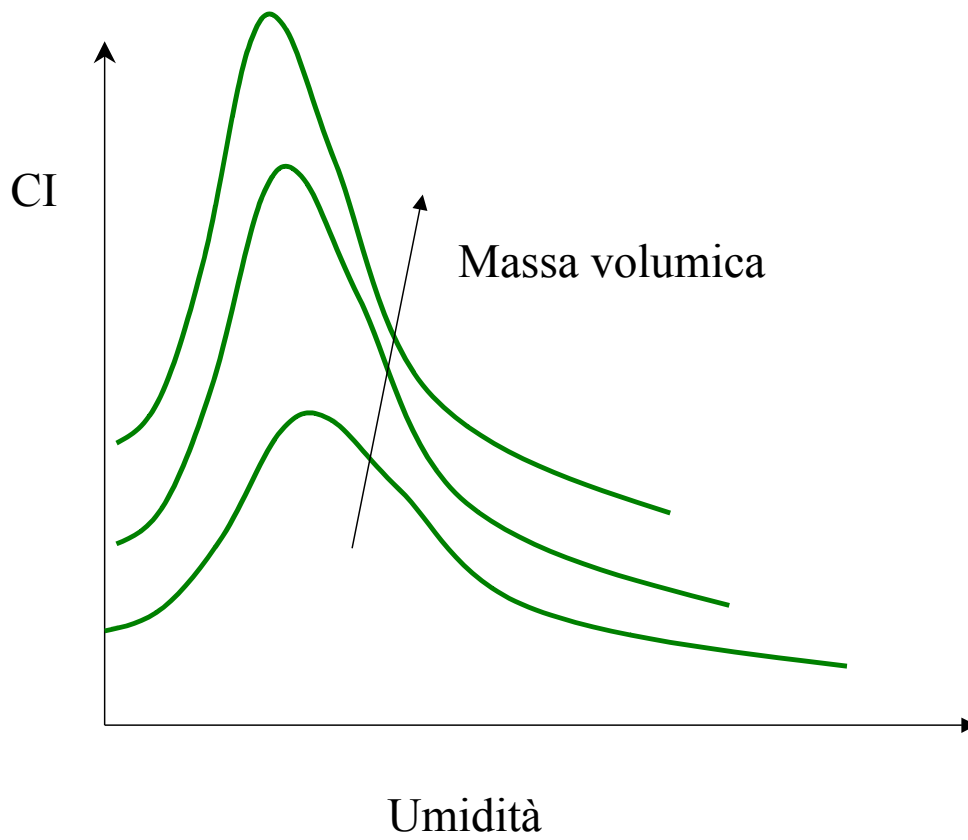
Con $C_n = CI \cdot b \cdot d / F_v$, CI è il valore medio della resistenza del cono calcolata su di una profondità di 150 mm.

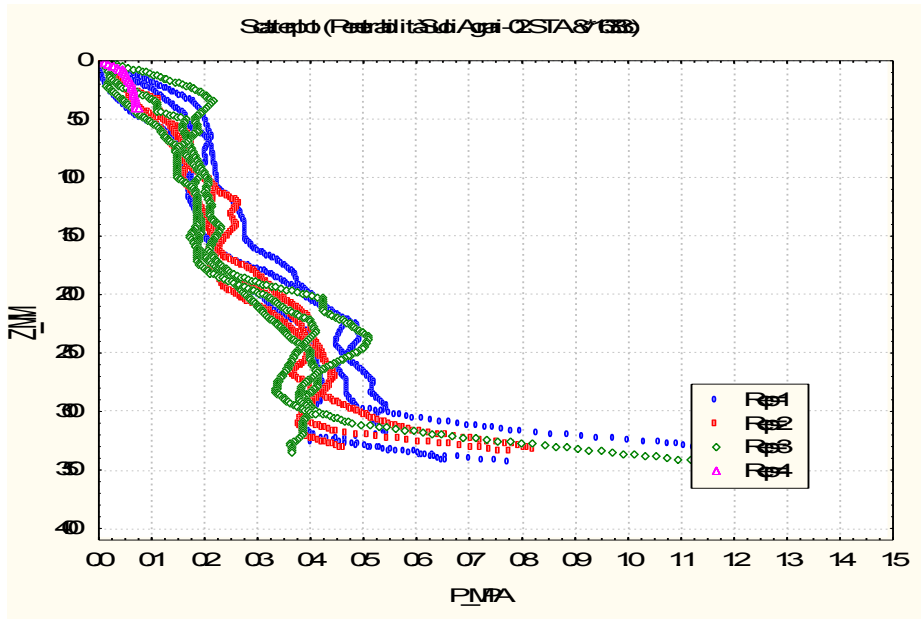
Inoltre, noto lo slittamento i del trattore, è possibile valutare sia lo sforzo di trazione del sistema di propulsione P sia l'efficienza della trazione TE , rispettivamente con:

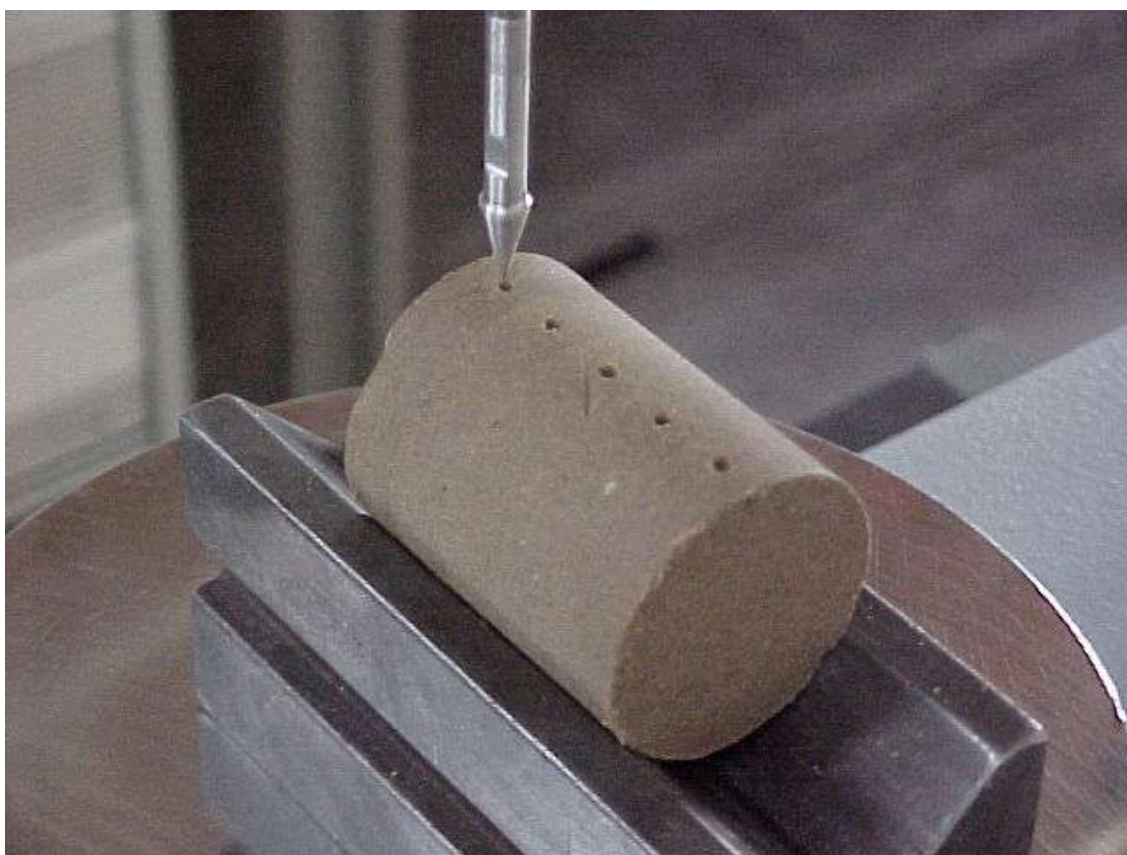
$$P = 0,75 \cdot F_v \cdot \left(1 - e^{-0,3 \cdot C_n i} \right) - RR$$

$$TE = (1 - i) \cdot \left[1 - \frac{\frac{1,2}{C_n} + 0,04}{0,75 \cdot \left(1 - e^{-0,3 C_n i} \right)} \right]$$

1.3. Elementi di ricerca

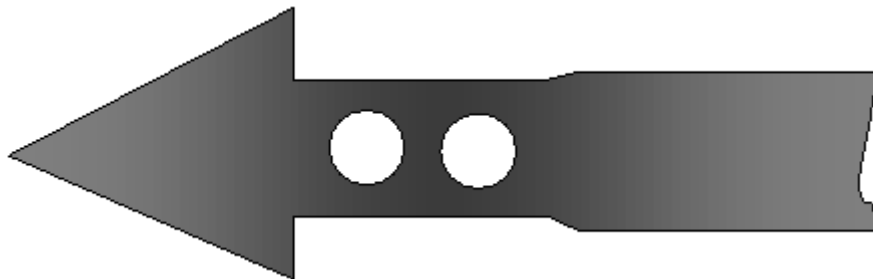








- Varie tipologie di penetrometro:
 - per la valutazione della consistenza globale di bacche e drupe (*firmness*);
 - durezza superficiale di diversi materiali (Wickers, Brinnell);
 - dinamico portatile per geotecnica;
 - per punture fino a qualche metro di profondità;
 - portatili/collegati a veicoli;
 - varietà delle realizzazioni e della sensoristica;



- stazione di M.T. di Cadriano.

2. Resistenza al taglio del terreno agrario

Definizione di pressione, tensione normale e tangenziale.

Def.: si definisce come *resistenza al taglio* τ di un terreno il valore della tensione tangenziale massima agente su un piano di scorrimento.

Nota storica. Si trovano tracce dello studio del comportamento dei materiali soggetti a sforzi di taglio negli scritti di Galileo. Mentre il celebre criterio di rottura di Coulomb è stato pubblicato nel 1776.

2.1. Metodi

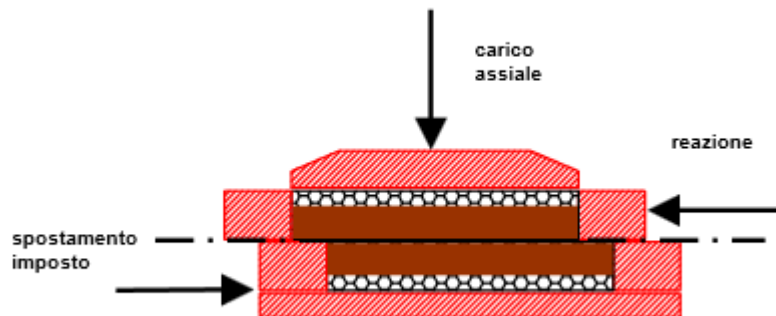
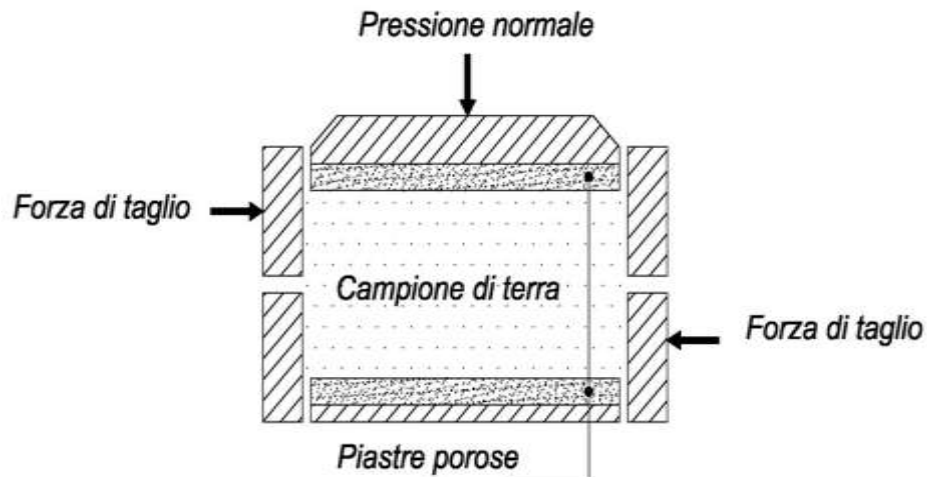
Due tipologie di metodi: con o senza predeterminazione del piano di rottura:

taglio diretto (prova di taglio diretto ASTM D3080);

scissometri a palette (prove in sito ed in lab.; ASTM 2573);

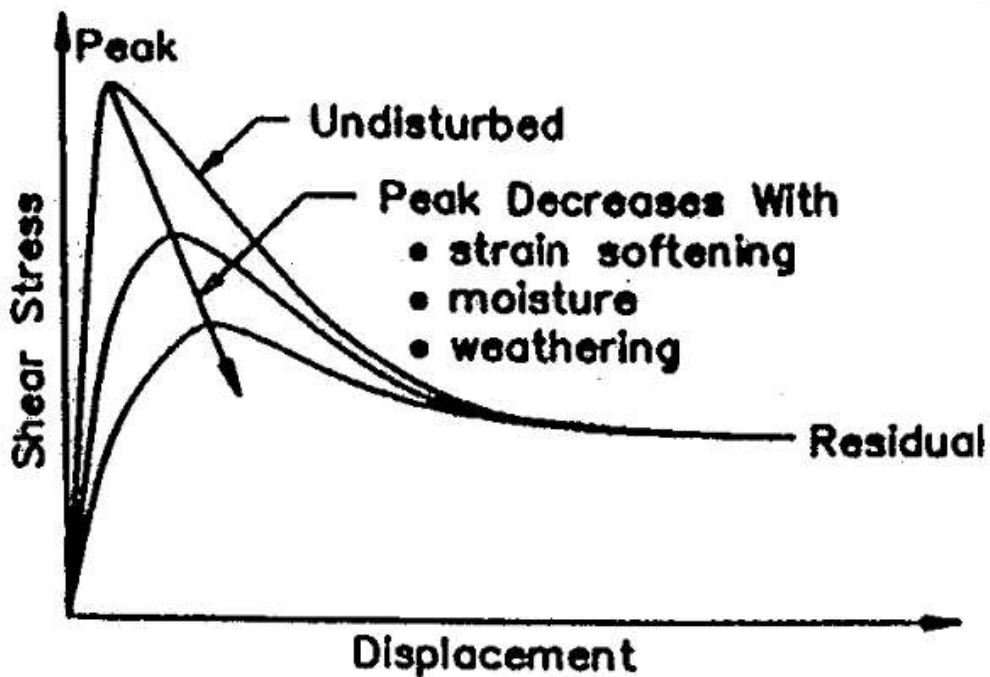
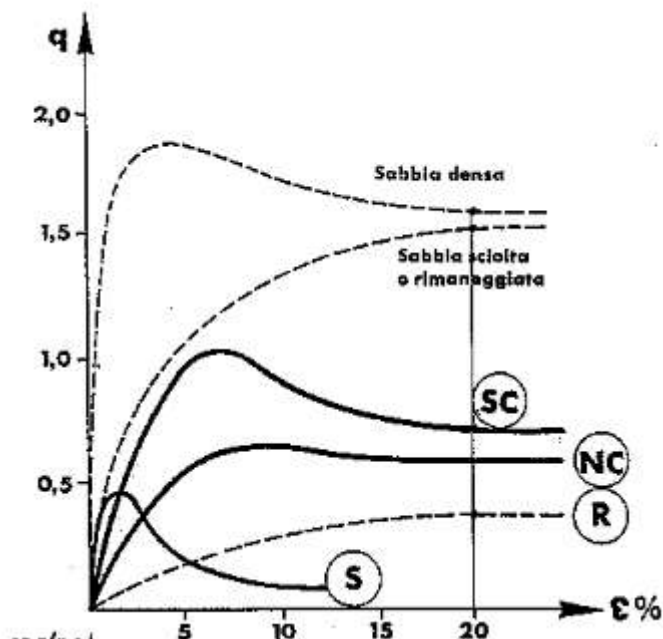
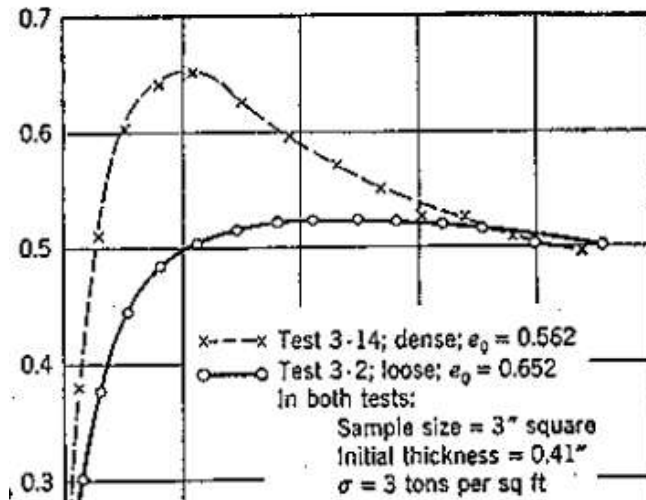
compressione mono-triassiale (prova di compressione assiale con espansione laterale libera ASTM D2166).

2.2. Metodo diretto con scatola di taglio









2.3. Metodo della compressione assiale con espansione laterale libera



La strumentazione per l'effettuazione della prova di laboratorio è essenzialmente composta da una struttura rigida, portante due elementi che terminano con una coppia di dischi, uno fisso ed uno mobile, tra i quali viene disposto il campione di terreno per la compressione assiale. Lo strumento è provvisto di due trasduttori per la misura della forza di compressione e della deformazione assiale del provino. Il trasduttore di forza deve essere in grado di risolvere almeno 1 N, mentre quello di spostamento 0,03 mm, inoltre essi devono possedere un valore di fondoscala appropriato al tipo di provino.

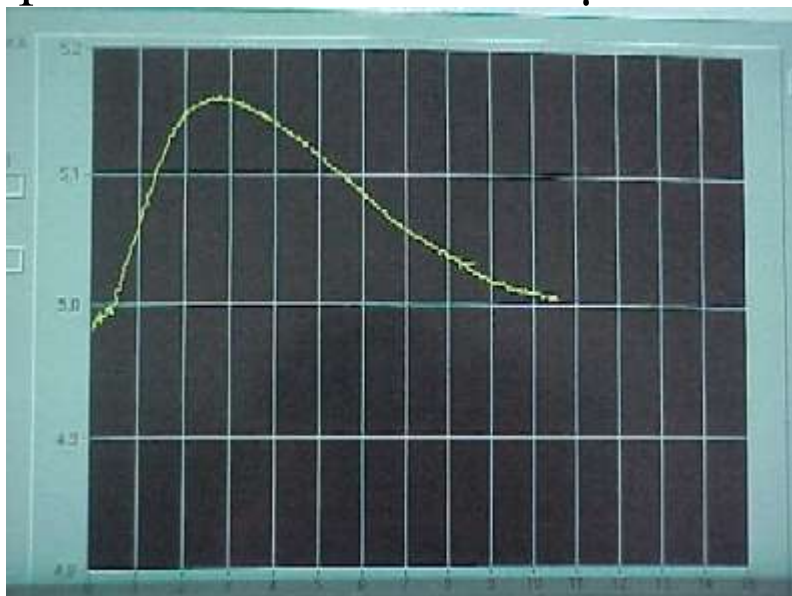


E' abbastanza evidente il piano di scorrimento

Procedura

I provini devono avere un diametro minimo di 30 mm ed un rapporto tra altezza e diametro compreso tra 2 e 2,5.

La velocità di deformazione assiale del provino deve essere compresa tra circa 80 e 330 $\mu\epsilon/s$.



Determinazione della tensione di rottura, della coesione e dell'angolo di attrito

Alla rottura del provino si determina la tensione di rottura per compressione, σ , definita come rapporto tra la forza assiale in condizioni di rottura e la sezione normale del provino.

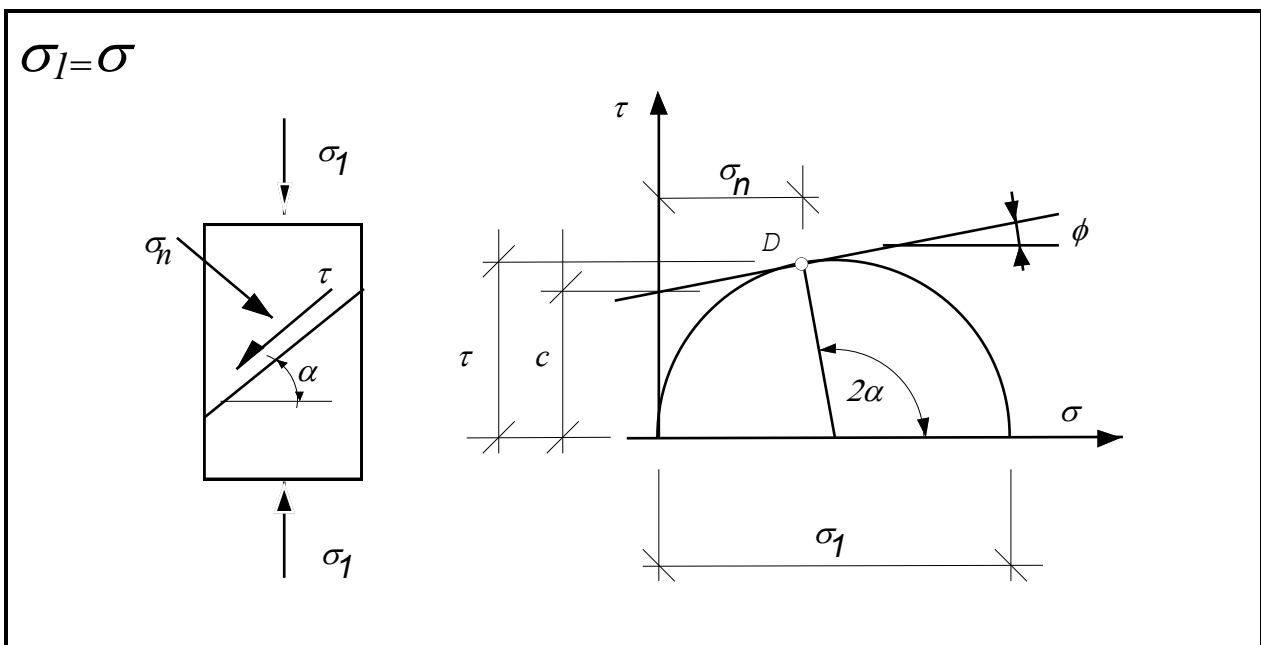
Se le condizioni di rottura non sono evidenti allora ci si riferisce al momento in cui la deformazione assiale vale il 15%.

Se non è possibile misurare l'angolo α tra il piano di scorrimento e l'orizzontale, allora, la *resistenza al taglio* τ è calcolata come $\sigma/2$.





Se invece è possibile misurare l'angolo α tra il piano di scorrimento e l'orizzontale, allora è possibile caratterizzare lo stato di tensione sul circolo di Mohr:



$$\tau = \frac{\sigma_1}{2} \sin(2\alpha)$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1}{2} [1 + \cos(2\alpha)]$$

e dunque l'angolo di attrito interno Φ si ricava da considerazioni geometriche:

$$\Phi + \frac{\pi}{2} + (\pi - 2\alpha) = \pi$$

Mentre la coesione interna si determina calcolando l'intercetta della retta tangente in D al circolo di Mohr, espressione del criterio di rottura di Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg}(\Phi) \rightarrow$$

$$\frac{\sigma_1}{2} \sin(2\alpha) = c + \frac{\sigma_1}{2} [1 + \cos(2\alpha)] \cdot \operatorname{tg}(2\alpha - \pi / 2)$$

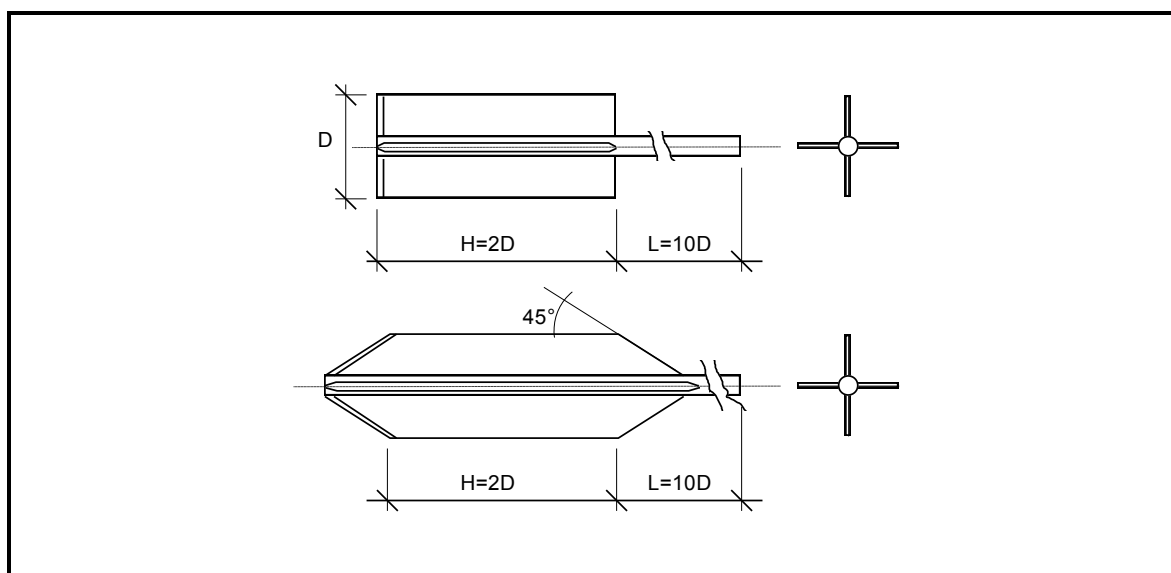
A causa delle incertezze connesse con le operazioni di preparazione del provino e con la determinazione dell'angolo α , è opportuno eseguire almeno due o tre ripetizioni della prova.

L'espressione $\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg}(\Phi)$ esprime un cosiddetto criterio di rottura. Ovvero la combinazione di tensione normale e tangenziale che provoca lo scorrimento lungo un piano.

Può essere ricavata anche con la scatola di taglio.

Metodo dello scissometro

Lo scissometro è costituito da un'asta cilindrica recante una serie di quattro palette sottili disposte simmetricamente in modo da formare una croce attorno all'asse di rotazione.



In tabella sono indicate le dimensioni unificate di tre tipi di scissometri (AX, BX ed NX), caratterizzati dall'avere un rapporto costante tra l'altezza delle palette ed il diametro del cilindro generato dalla rotazione dello strumento.

Designazione	Diametro [mm]	Altezza [mm]	Spessore della paletta [mm]	Diametro dell'asta [mm]
AX	38,1	76,2	1,6	12,7
BX	50,8	101,6	1,6	12,7
NX	63,5	127,0	3,2	12,7



Con tale strumento la resistenza al taglio del terreno viene dedotta sulla base della misura della coppia necessaria per determinare la rottura del terreno sulla superficie cilindrica generata dalla rotazione delle palette stesse.

Velocità di rotazione costante delle palette non superiore a $1,75 \cdot 10^{-3}$ rad/s (circa un terzo della velocità angolare della lancetta dei minuti dell'orologio). In generale la rottura del terreno avviene in un tempo compreso tra circa 120 e 900 s in funzione della resistenza del terreno. A tale determinazione segue quella di resistenza residua.

MINI SCISSOMETRO POCKET VANE TEST



CARATTERISTICHE MODELLO CL-100

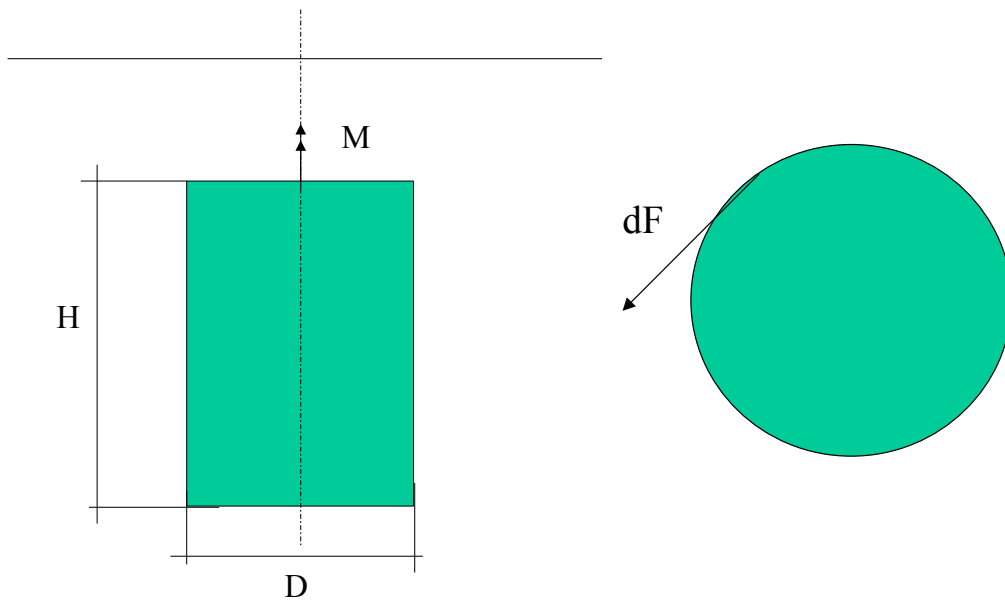
MODEL CL-100 FEATURES

Lettura su quadrante da 0 a 1.00	
Reading on the dial from 0 to 1.00	0.1 Kg/cm ²
Lettura minima sulla scala	
Minimum reading on the scale	0.05 Kg/cm ²
Lettura a stima	
Estimated reading	0.01 Kg/cm ²



Determinazione della tensione di rottura

La misura della massima coppia è interpretata in termini di resistenza al taglio del terreno in modo convenzionale:

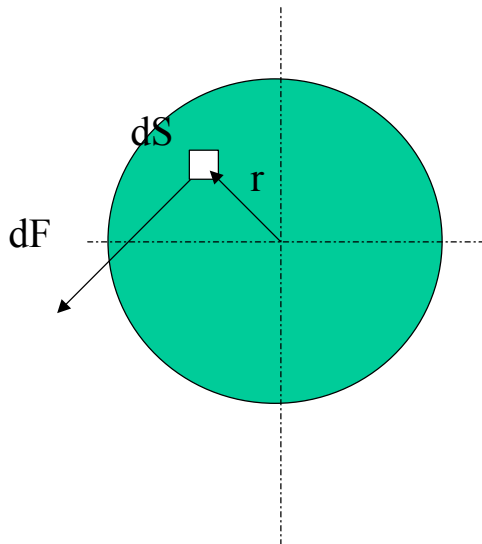


$$M = M_l + M_{fp}$$

$$dF_l = \tau \cdot dS$$

$$dM_l = \frac{D}{2} dF_l$$

$$M_l = \int_s dM_l = \frac{D}{2} \int_s \tau dS = \frac{\tau \pi D^2 H}{2}$$



$$M_{fp} = \int_S dM_{fp} = \int_S r dF = \int_S r \cdot \tau(r) \cdot dS$$

si suppone che la tensione tangenziale sia costante:

$$\tau(r) = \tau$$

L'elementino d'area vale:

$$dS = dr \cdot r d\vartheta$$

e dunque risulta:

$$M_{fp} = \int_S r^2 \tau dr d\vartheta = \tau \int_0^{2\pi D/2} \int_0^0 r^2 dr d\vartheta = \frac{\pi \tau D^3}{12}$$

Allora la relazione tra momento torcente e tensione di taglio risulta:

$$M = M_l + M_{fp} = \frac{\tau \pi}{2} \left(D^2 H + \frac{D^3}{6} \right) \Rightarrow \tau = \frac{M \pi}{2} \left(D^2 H + \frac{D^3}{6} \right)$$

e se in particolare vale $H = 2D$, allora risulta

$$\tau \cong M \pi D^3$$