



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 -*

## **Prove varie**

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](http://www.igetecma.eu)

# ANALISI GRANULOMETRICA



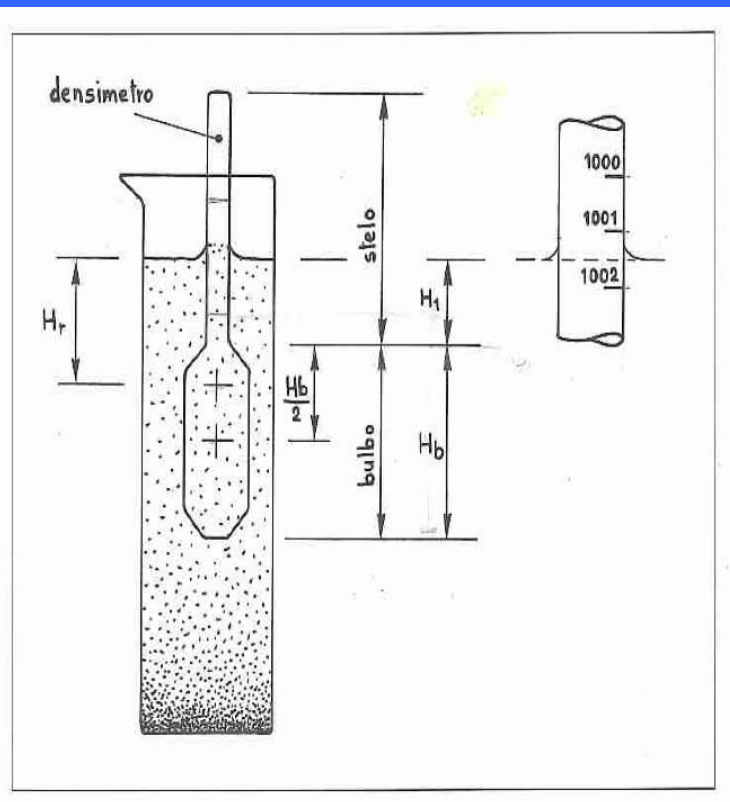
I dati riportati in un grafico  
passante % / diametro (mm)  
in scala logaritmica.

# ANALISI GRANULOMETRICA SEDIMENTAZIONE

## SEDIMENTAZIONE

Determinazione della distribuzione granulometrica terreno di diametro  $< 0.063$  mm, effettuata se  $> 10\%$ .

E' possibile determinare la percentuale di particelle aventi diametro inferiore a  $D$  (ossia passanti al setaccio di apertura  $D$ ) da misure di densità.



**CERTIFICATO DI PROVA N.**

CAMPIONE S1C1 profondità 1.5 - 2.0 m

Montelupo Fiorentino li

COMMITTENTE:

V.A. n.

LOCALITA':

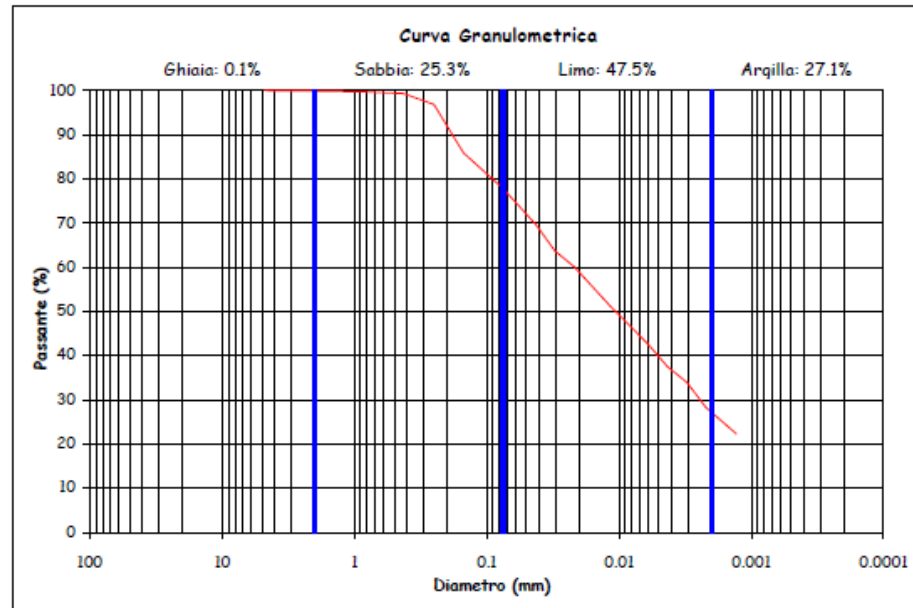
Data prova: 08/02/16 - 16/02/16

Analisi granulometrica

Setacciatura; per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Frazione fine; metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Setacciatura		Sedimentazione	
Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
4.75	100	0.0423	69.6
2	99.88	0.0306	63.7
0.850	99.74	0.0219	60.1
0.425	99.30	0.0117	51.2
0.250	96.85	0.0060	42.5
0.150	85.93	0.0043	37.5
0.075	77.78	0.0031	33.9
		0.0022	28.2
		0.0013	22.3



Definizione secondo A.G.I.:

Limo con Argilla e con Sabbia

**CERTIFICATO DI PROVA N.**

CAMPIONE S1C1 profondità 1.5 - 2.0 m

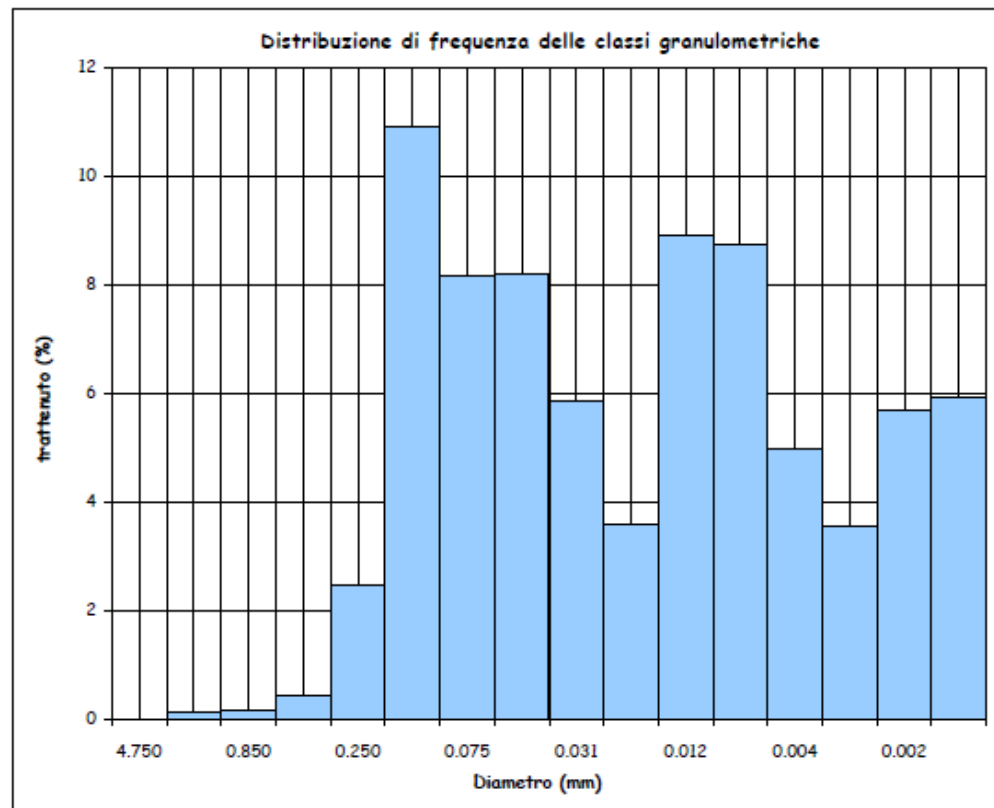
Montelupo Fiorentino li

COMMITTENTE:

V.A. n.

LOCALITA':

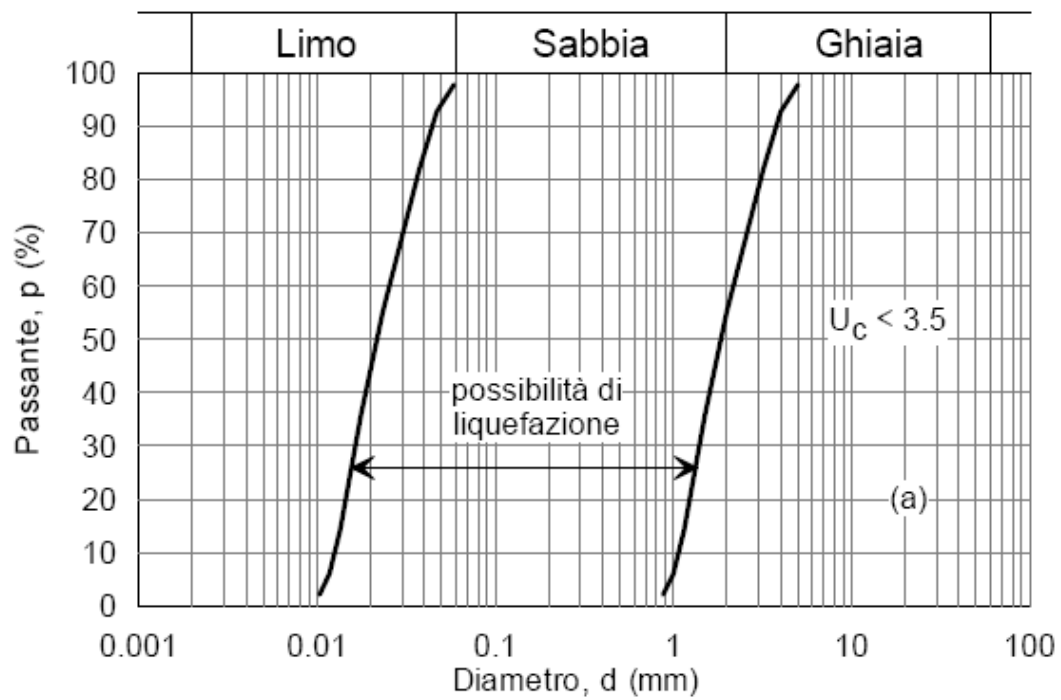
Data prova: 08/02/16 - 16/02/16

Coefficiente di uniformità ( $C_u$ ) = -Coefficiente di curvatura ( $C_c$ ) = -

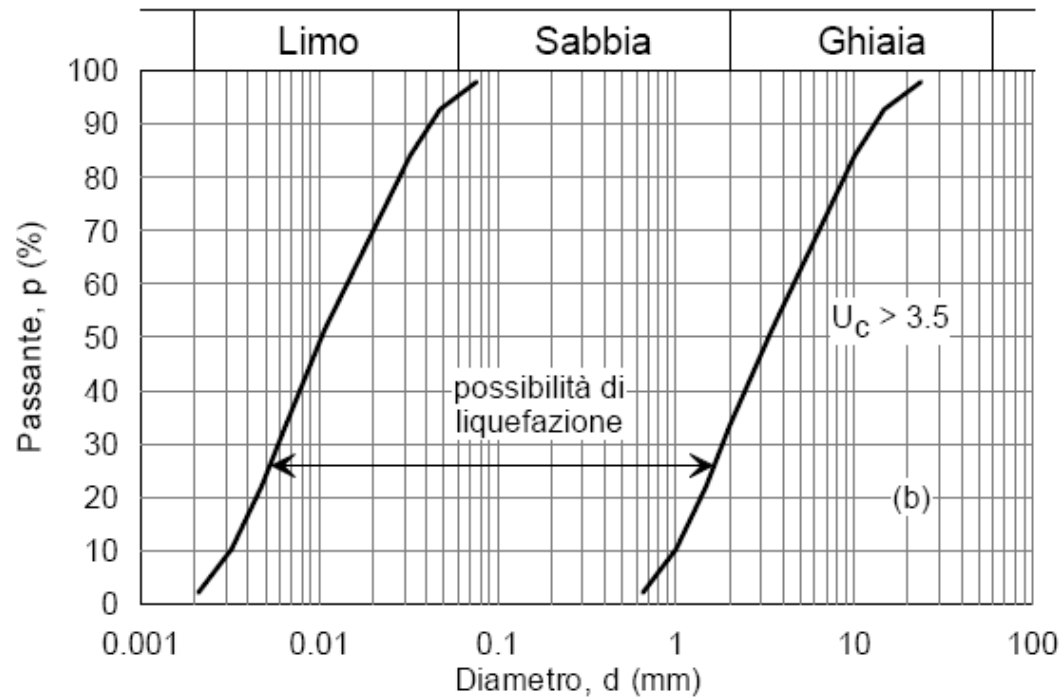
Mediana 0.0109

Moda 0.1500

## Terreni suscettibili a liquefazione



## Terreni suscettibili a liquefazione



**Figura 7.11.1** – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

# LIMITI DI ATTERBERG

AUMENTO DEL CONTENUTO  
DI ACQUA



STATO SOLIDO

LIMITE DI RITIRO =  $w_s$

SEMISOLIDO

LIMITE PLASTICO =  $w_p$

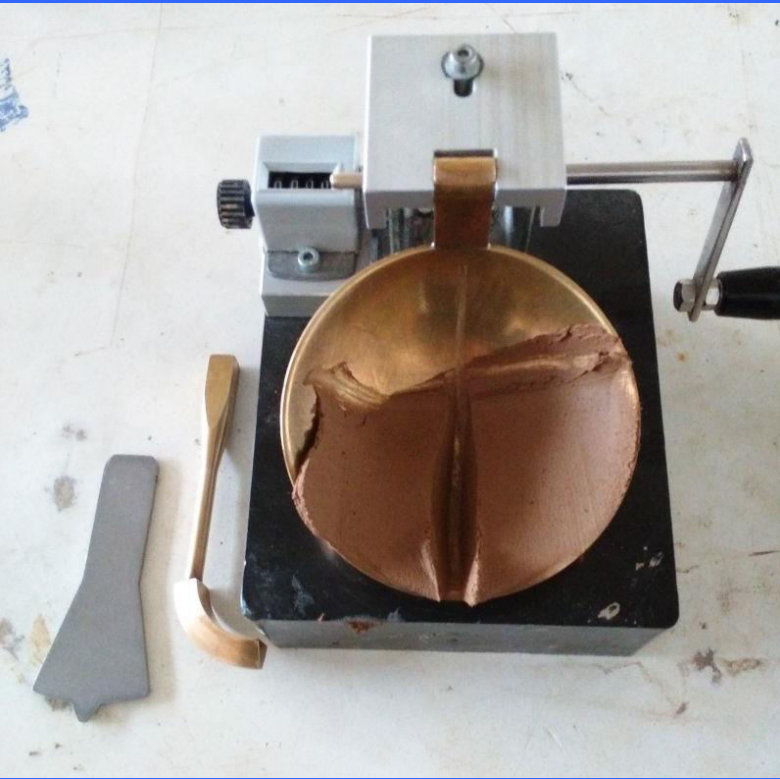
PLASTICO

LIMITE LIQUIDO =  $w_L$

LIQUIDO

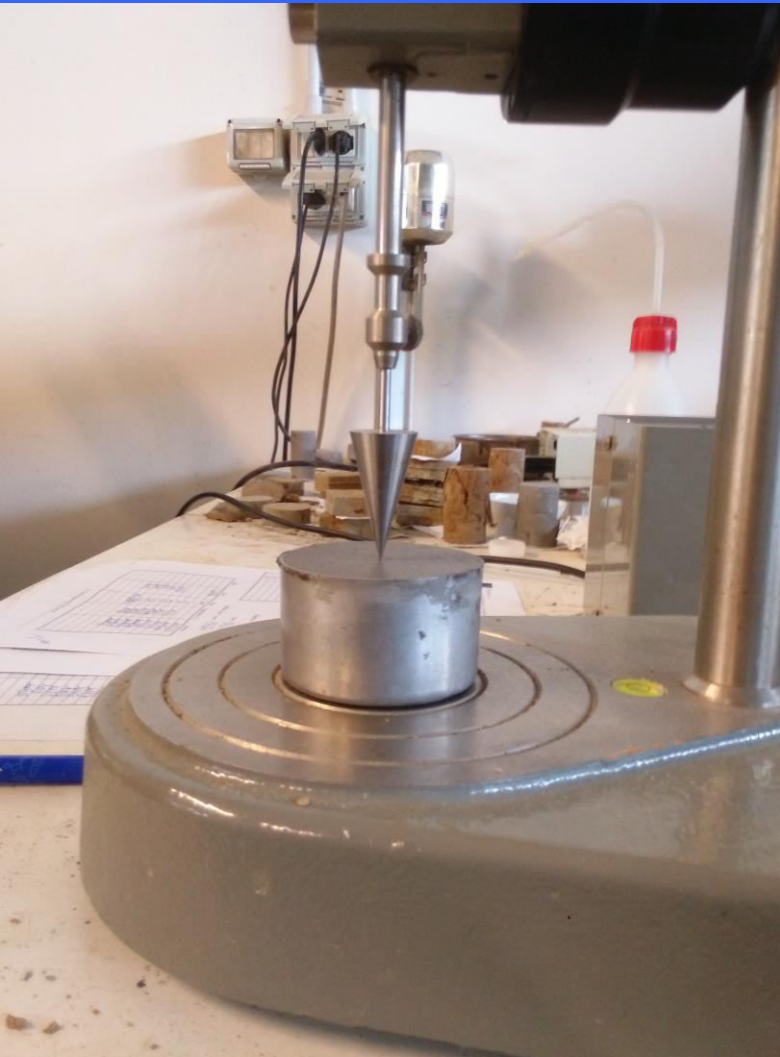


# LIMITI DI ATTERBERG – metodo del cucchiaino di Casagrande



Limite liquido ( $W_L$ ) = contenuto d'acqua che permette la chiusura del solco di circa 1 mm con 25 colpi del cucchiaino

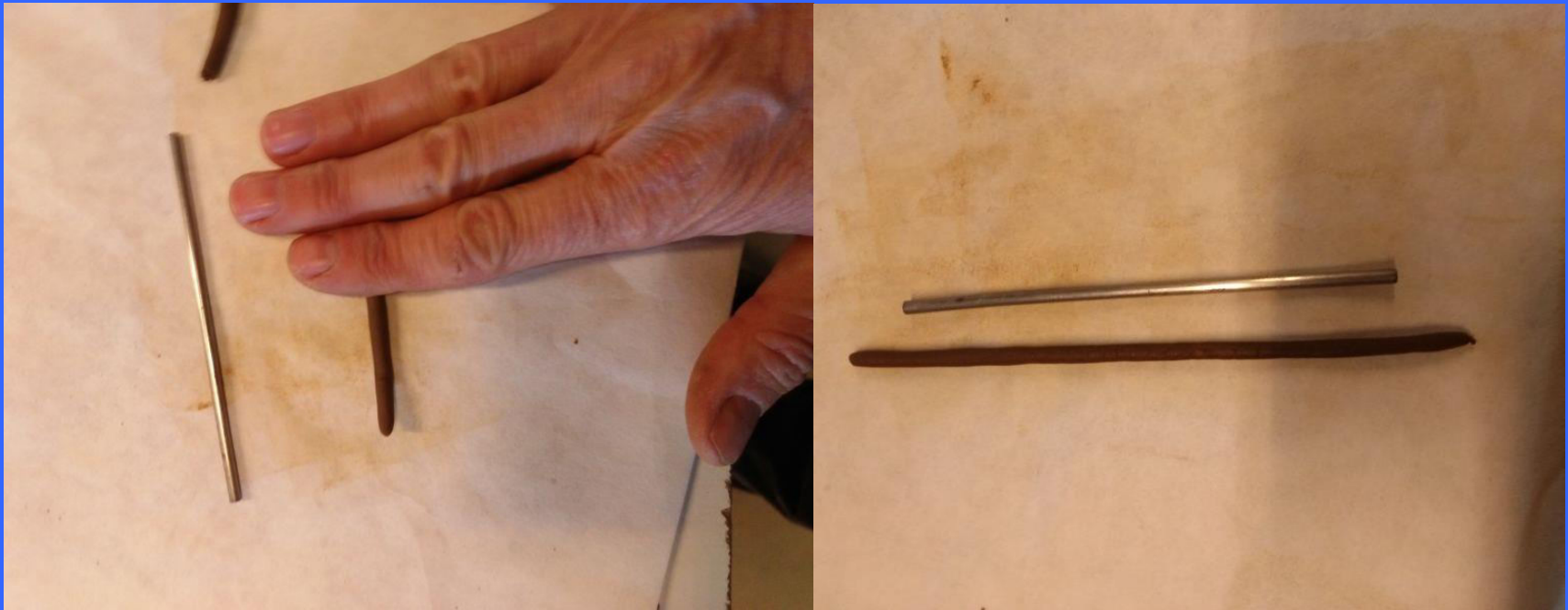
## LIMITI DI ATTERBERG – metodo del penetrometro a cono



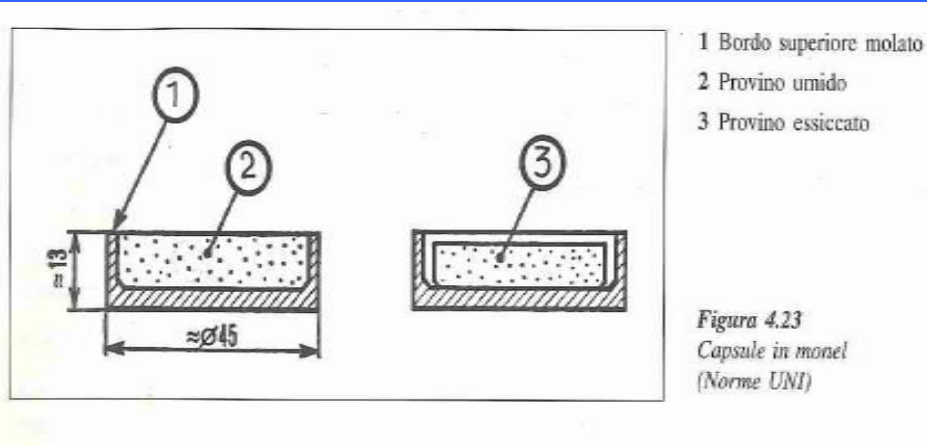
Limite liquido ( $W_L$ ) = contenuto d'acqua che permette la penetrazione di 20 mm della punta del cono all'interno del materiale

# LIMITI DI ATTERBERG

Il limite plastico ( $W_p$ ) corrisponde al contenuto d'acqua per il quale il terreno comincia a perdere il suo comportamento plastico; in pratica viene determinato formando dei bastoncini di spessore di 0.32 cm (lavorandoli manualmente su una lastra di vetro o su carta), che iniziano a fessurarsi in corrispondenza del  $W_p$ .

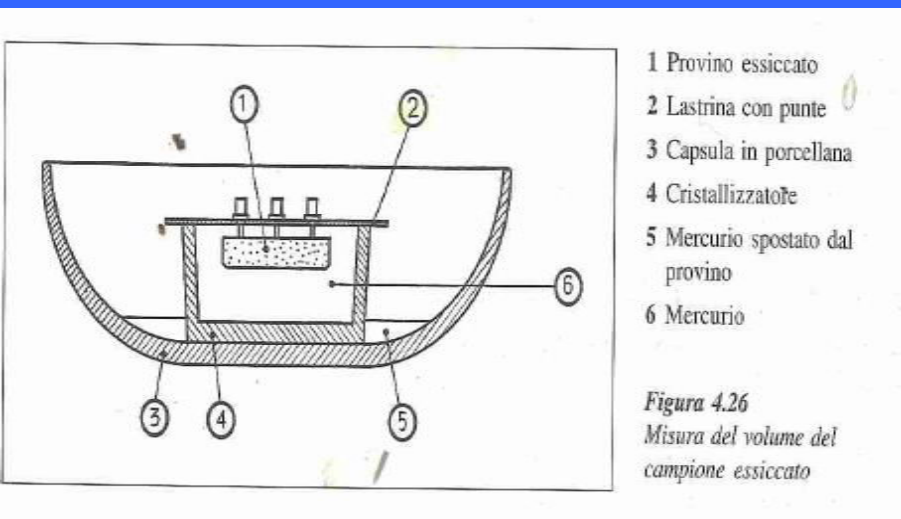


# LIMITI DI ATTERBERG



Limite di ritiro ( $W_R$ ) = contenuto d'acqua al di sotto del quale non ci sono più variazioni di volume per successive variazioni dell'umidità stessa.

Si determina eseguendo pesate e determinazioni di volume del provino umido (a  $W = W_L$ ) e secco.



# LIMITI DI ATTERBERG

$IP = W_L - W_P$  chiamato indice di plasticità (%);

$IC = (W_L - W_N) / IP = 1 - LI$  dove IC è l'indice di consistenza e LI è l'indice di liquidità; ad un aumento di IC corrispondono un incremento della resistenza al taglio ed una riduzione della compressibilità;

$IATT = IP / CA$  dove CA = contenuto in argilla (% materiale in peso inferiore a 2 m dedotta dalla granulometria) e IATT è l'indice di attività.

Tempi prova

4 giorni



### CERTIFICATO DI PROVA N.

CAMPIONE: S1C1 profondità 1.5 - 2.0 m

Montelupo Fiorentino li

COMMITTENTE:

V.A. n.

LOCALITA':

Data prova: 17/07/14 - 05/08/14

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)

Contenuto d'acqua (Wn) = 26.81%

Limite di liquidità (LL) = 53.2%

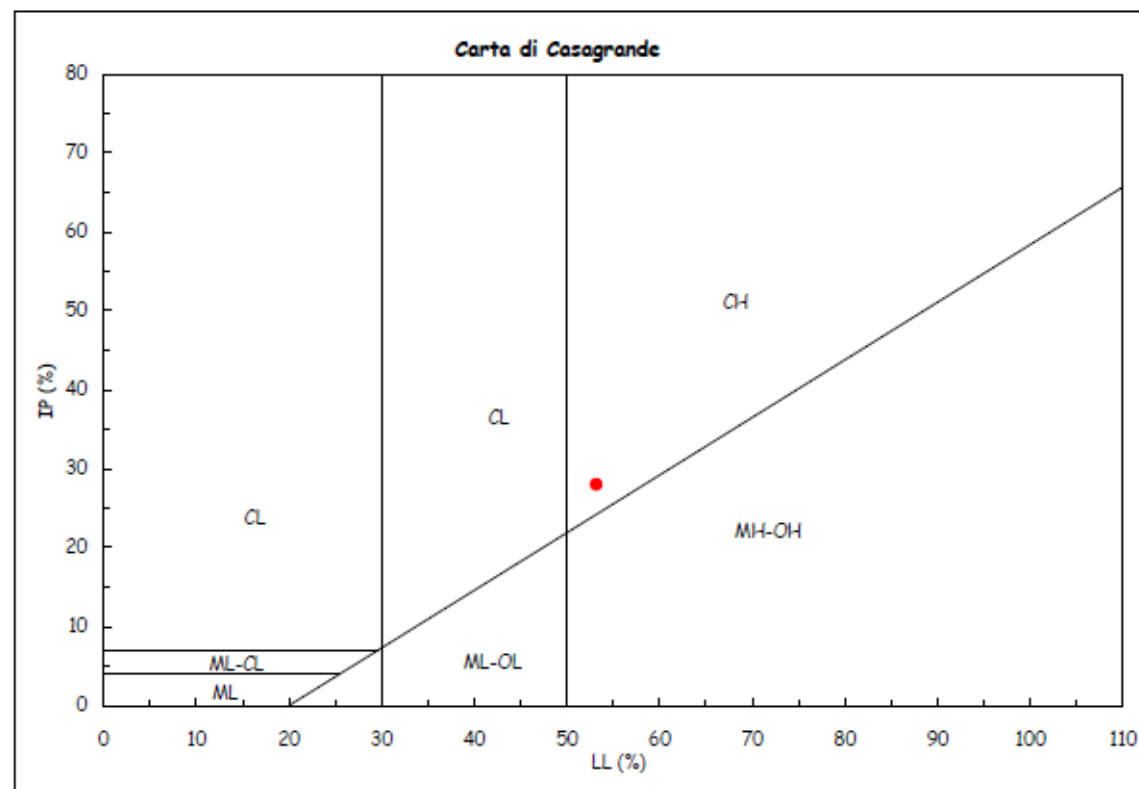
Limite di plasticità (LP) = 25.2%

Indice di plasticità (IP) = 28.0%

Indice di consistenza (Ic) = 0.94

Indice di attività (Iat) = 0.66

CH = argille inorganiche di  
alta plasticità



Classificazione UNI 10006

Gruppo: A7-6

Indice di gruppo: 18

**CERTIFICATO DI PROVA N.****CAMPIONE:** S1C1 profondità 1.5 - 2.0 m

Montelupo Fiorentino li

**COMMITTENTE:**

V.A. n.

**LOCALITA':**

Data prova: 17/07/14 - 05/08/14

**Limite liquido**

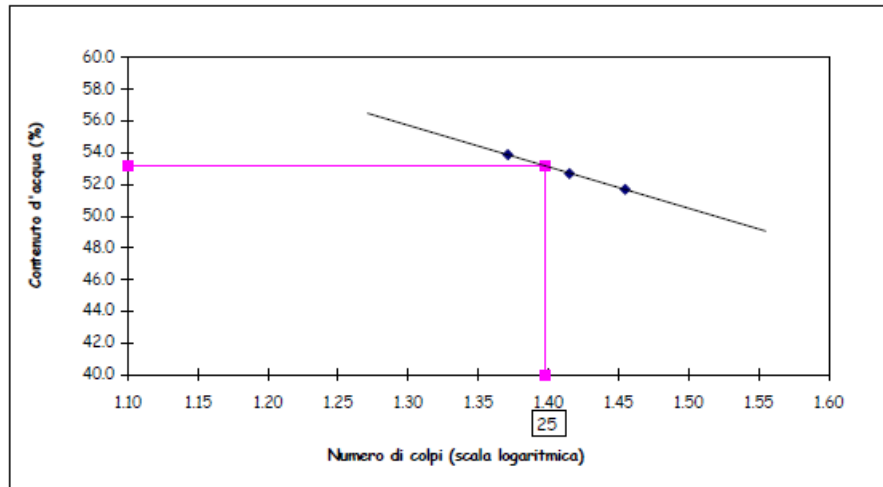
Numero di colpi	23.5	26.0	28.5
Peso umido + tara (g)	33.77	33.92	38.04
Peso secco (g)	28.00	28.34	30.98
tara (g)	17.29	17.75	17.32
Wn (%)	53.87	52.69	51.68

**Limite Plastico**

Peso umido + tara (g)	13.17	10.15
Peso secco (g)	12.43	9.35
tara (g)	9.47	6.19
Wn (%)	25.00	25.32

**Contenuto d'acqua**

Peso umido + tara (g)	1237.29
Peso secco (g)	1009.37
tara (g)	159.15
Wn (%)	26.81



### CERTIFICATO DI PROVA N.

CAMPIONE: SIC1 profondità 1.5 - 2.0 m

Montelupo Fiorentino li

COMMITTENTE:

V.A. n.

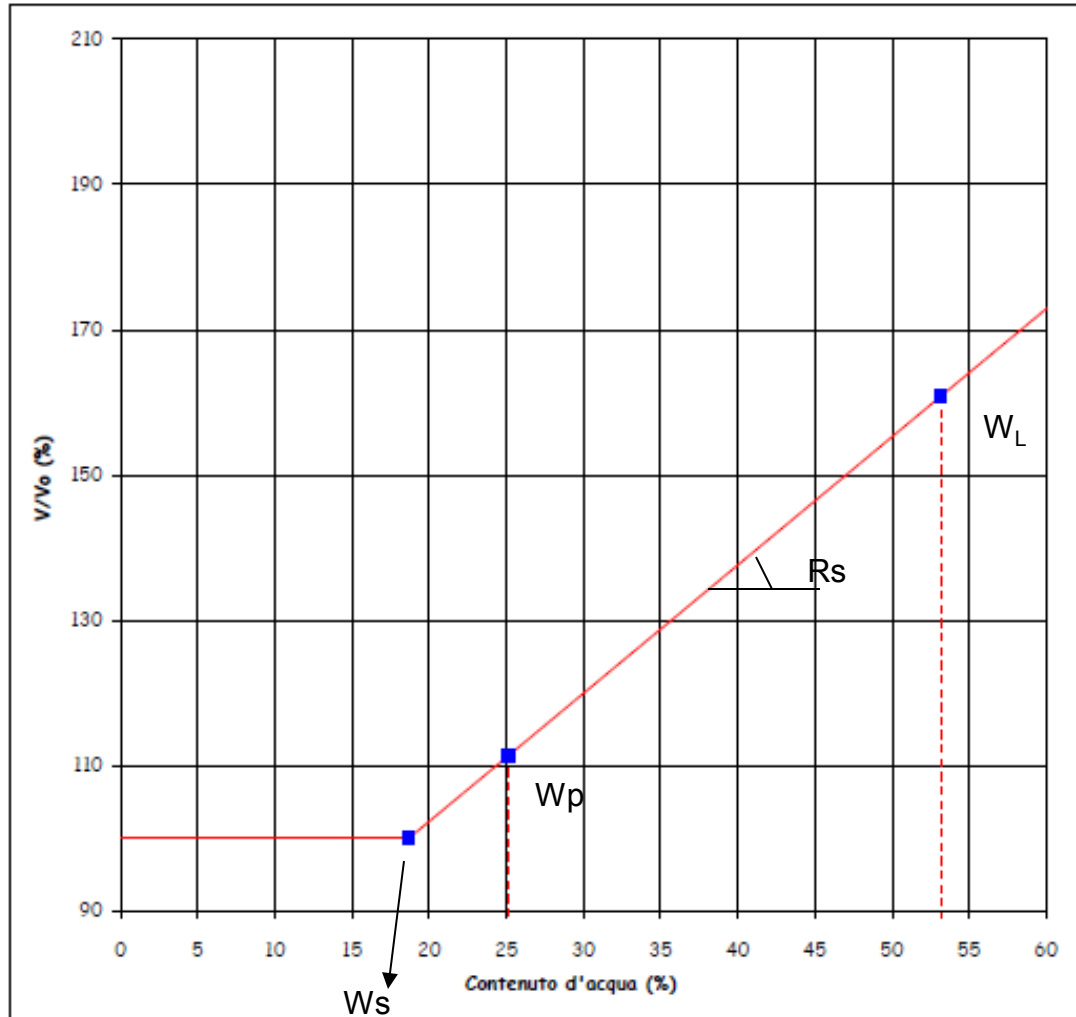
LOCALITA':

Data prova: 17/07/14 - 06/08/14

Limite di ritiro (UNI CEN ISO/TS 17892-12)

Limite di ritiro ( $W_s$ ) = 18.7%

Coefficiente di ritiro ( $R_s$ ) = 1.76





## SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE

Esistono diversi sistemi di classificazione che utilizzano insieme l'analisi granulometrica ed i limiti di Atterberg.

Il più interessante è quello stradale basato in Italia sulla norma C.N.R. UNI 10006. Specialmente utilizzando il secondo metodo la norma riporta indicazioni sul comportamento del materiale e sul possibile eventuale utilizzo.

Sistema Unificato (Unified soil Classification System)

# Classificazione C.N.R. UNI 10006

0.063

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 ≤ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 > 35%					Torbe e terre organiche palustri
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		
Gruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica Frazione passante allo staccio													
2 UNI 2332 %	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 UNI 2332 %	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0,4 UNI 2332													
Limite liquido	-	-	-	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	> 40
Indice di plasticità	≤ 6	N.P.	N.P.	≤ 10	≤ 10 max.	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	(IP≤LL-30)	(IP>LL-30)	> 10
Indice di gruppo	0	0	0	0	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20	≤ 20
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia o sabbia limosa o argilla				Limi poco compressibili	Limi fortemente compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono					Da mediocre a scadente						Da scartare come sottofondo	
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata	Media	Elevata	Media		
Ritiro o rigonfiamento	Nulla			Nulla o lieve				Lieve o medio	Elevato	Elevato	Molto elevato		
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa					Scarsa o nulla				
Identificazione dei terreni in sito	Facilmente individuabili a vista		Aspri al tatto - Incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili a occhio nudo - Aspri al tatto - Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla				Reagiscono alla prova di scuotimento* - Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto - Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagiscono alla prova di scuotimento* - Tenaci allo stato asciutto - Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido			Fibrosi di color bruno o nero - Facilmente individuabili a vista

\* Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi dalle argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.

# PESO DI VOLUME, PESO SPECIFICO E CONTENUTO D'ACQUA

Terreno composto da tre fasi:  
gas, acqua e scheletro solido

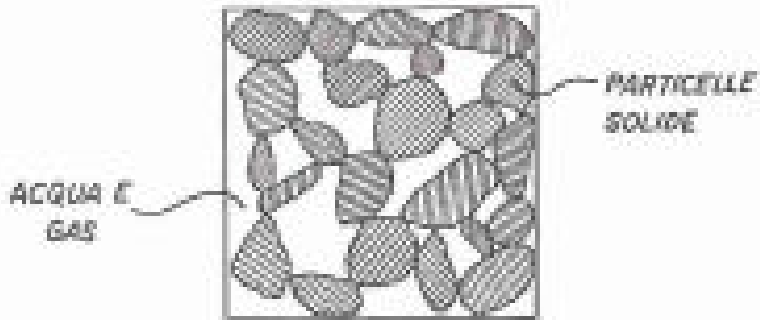
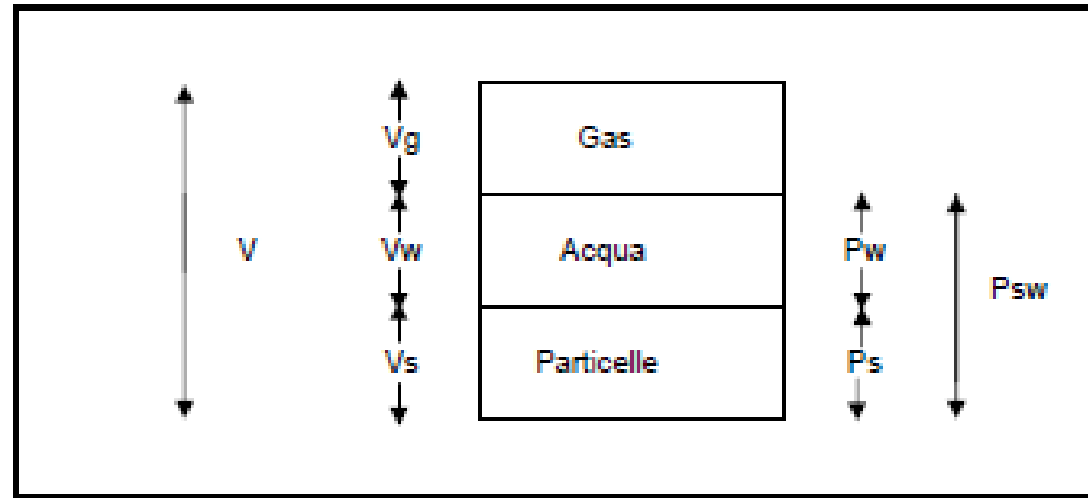


Fig. 1.2.1



$V$  = volume totale delle tre fasi;  $V_g$  = volume fase gassosa;

$V_w$  = volume fase liquida;  $V_s$  = volume fase solida;

$P_w$  = peso fase liquida;  $P_s$  = peso fase solida;  $P_{sw}$  = peso fase solida + liquida; da cui

**peso di volume umido o naturale:**  $\gamma = P_{sw} / V$ ;

**peso unitario parte solida**  $\gamma_s = P_s / V_s$ ;

**peso unitario secco o peso di volume secco**  $\gamma_d = P_s / V$ ;

**peso specifico dei grani**  $G_s = \gamma_s / \gamma_w$ ;

**contenuto d'acqua**  $W\% = P_w / P_s * 100$ .

**Indice dei vuoti**  $e = G_s / \gamma_d - 1$

# PESO DI VOLUME, PESO SPECIFICO E CONTENUTO D'ACQUA

## Peso specifico



Picnometro da 100 ml

Picnometro da 2000 ml



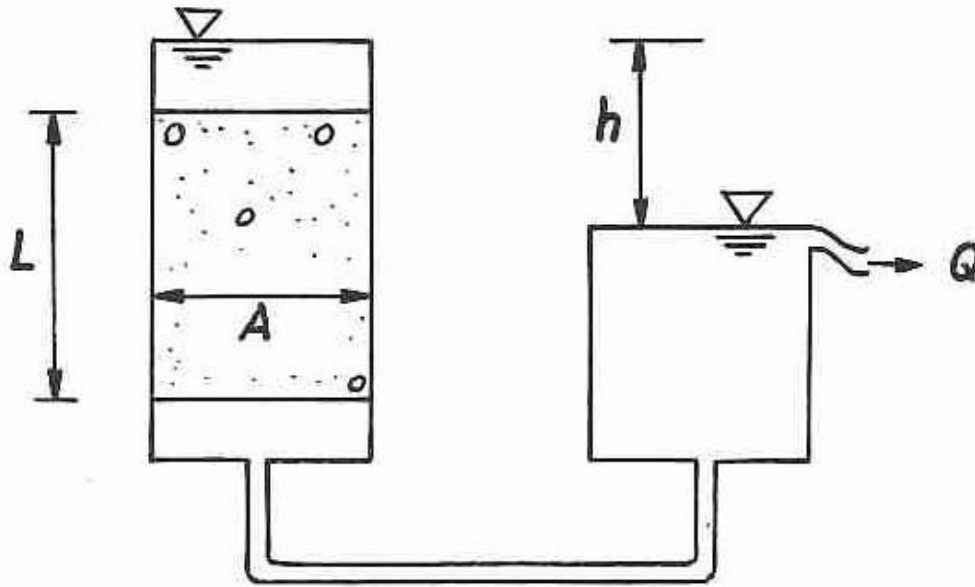
## PESO DI VOLUME, PESO SPECIFICO E CONTENUTO D'ACQUA



## PROVE DI PERMEABILITA'

Si usano 2 metodi per i materiali con  $k > 10^{-7}$  /cm/sec:

A) *Carico costante* (in genere per  $K > 10^{-5}$  m/sec.)

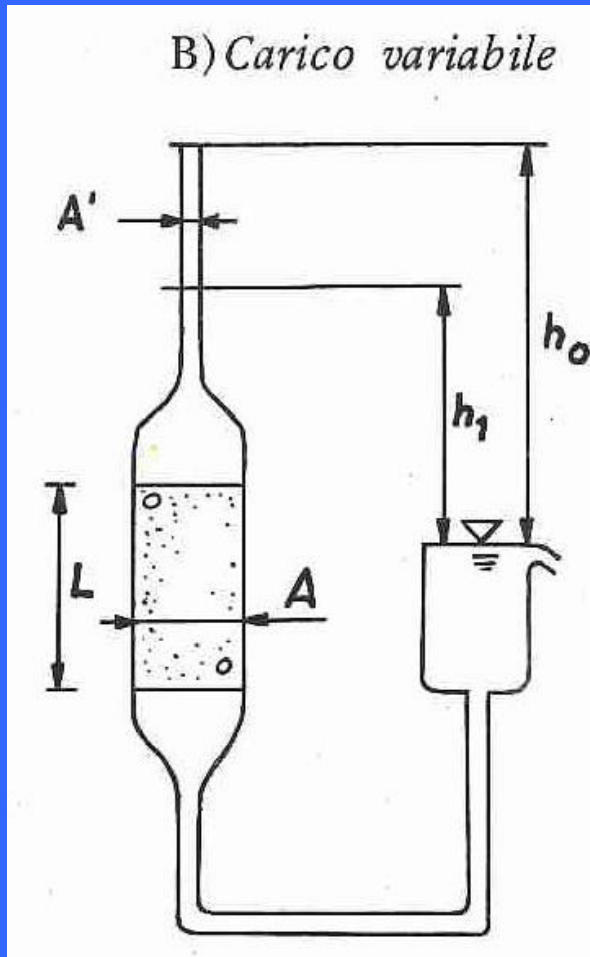


A carico costante per permeabilità  $K > 10^{-3}$  cm/sec;

$K = Q * L / (h * A)$  con  $A$  = sezione del campione,  $L$  = altezza del campione,  $h$  = carico idraulico e  $Q$  = portata media misurata.

Tempi di prova: 1 giorno

## PROVE DI PERMEABILITA'



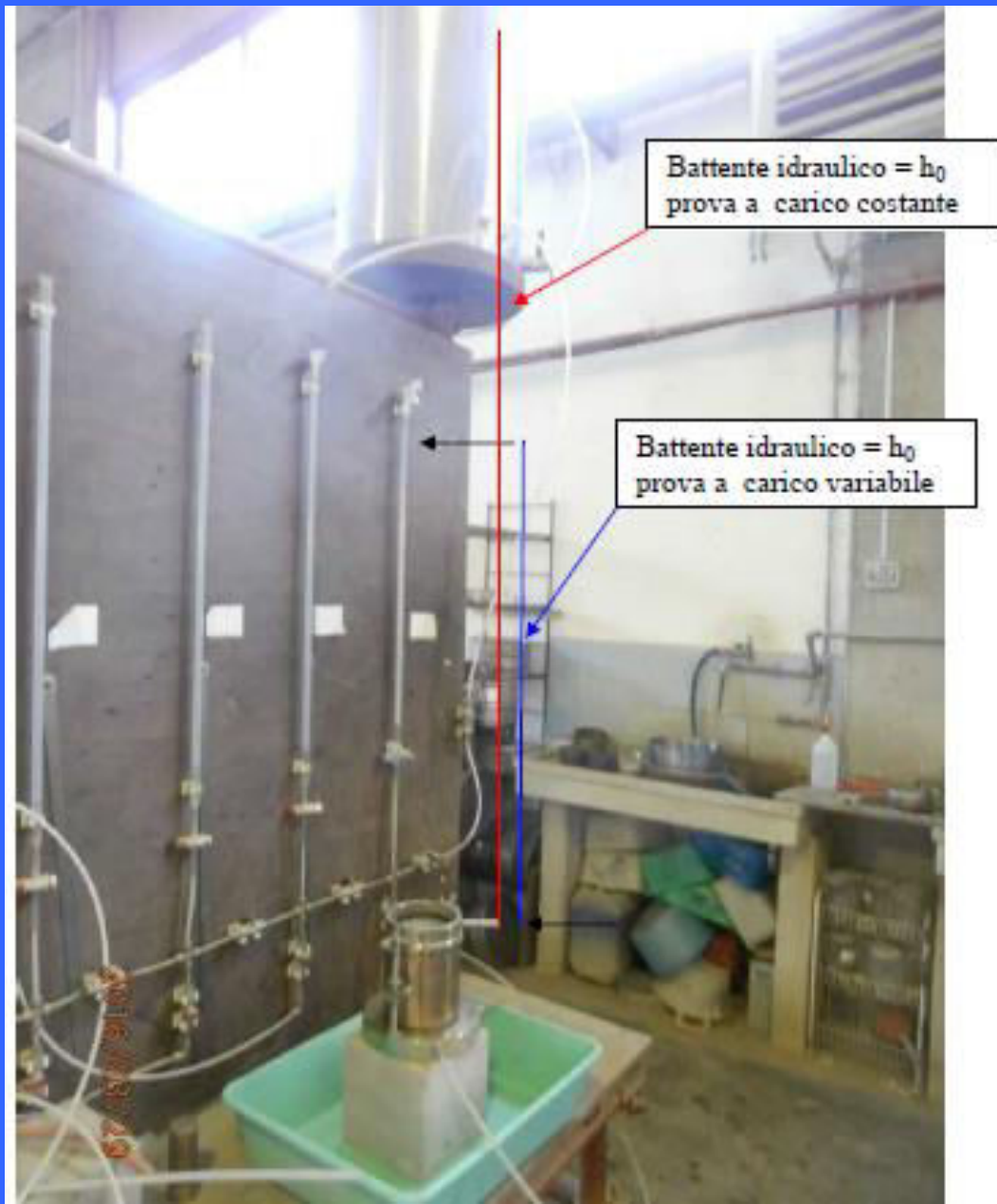
A carico variabile per  $10^{-7} \text{ cm/sec} < K < 10^{-3} \text{ cm/sec}$ ;  
 $K = A' / A * L / Dt * \ln (h_0 / h_1)$  con  $A'$  = sezione della buretta di vetro tarata dove si misurano i carichi idraulici ( $h_0, h_1, \dots, h_n$ ) nel tempo ( $t_0, t_1, \dots, t_n$ ),  $A$  = sezione del campione,  $L$  = altezza del campione.

In pratica si misura il  $\Delta t_1 = t_1 - t_0$ ,  $\Delta t_2 = t_2 - t_0, \dots, \Delta t_n = t_n - t_0$  in cui il carico passa dal valore  $h_0$  a  $h_1$ , dal valore  $h_0$  a  $h_2, \dots$ , dal valore  $h_0$  al valore  $h_n$ .

Tempi di prova:

da 1 giorno, materiali permeabili, a più di una settimana per quelli con  $k = 10^{-6} \div 10^{-7} \text{ cm/sec}$ .

## PROVE DI PERMEABILITA'



Permeametro a carico costante e variabile



# PROVE DI PERMEABILITA'

Prova di permeabilità a carico variabile in cella edometrica



Fuoriuscita acqua



## PROVE DI PERMEABILITA'

Inoltre

In cella edometrica per  $k < 10^{-7}$  cm/sec;

si esegue una determinazione dei cedimenti in funzione del tempo allo stesso modo della prova edometrica, su gradini di carico opportunamente scelti.

In cella triassiale per tutti i materiali di diametro  $< 2 \div 4.75$  m;

.

# PROVE DI PERMEABILITA'

pag. n. 1 di 1

## CERTIFICATO DI PROVA N.

Verbale d'accettazione n.	SETTORE: geotecnica stradale
COMMITTENTE:	DATA PROVA: 17/11/2014
CAMPIONE:	

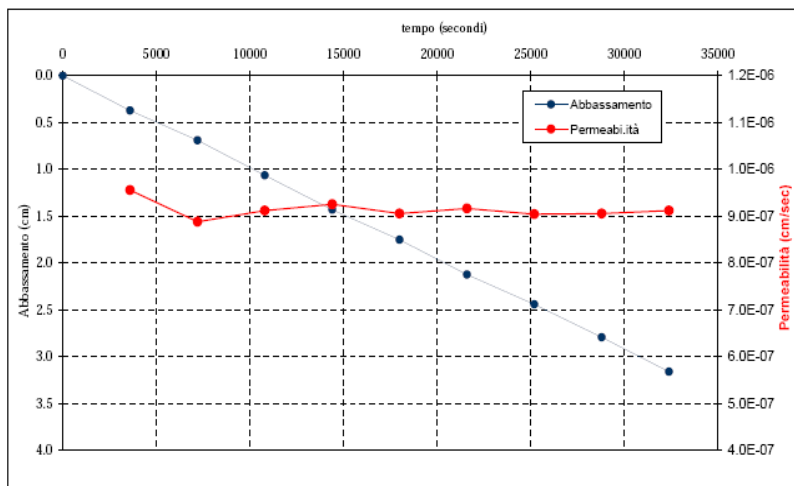
### Prova di permeabilità a carico variabile (ASTM D 2434/68)

Altezza campione (cm): 116.400  
Area campione (cmq): 81.073  
Area buretta (cmq): 0.942

**K<sub>20</sub> media (cm/sec) 9.118E-07**

Tempo (secondi)	Abbassamento (cm)	K <sub>20</sub> (cm/sec)	Tempo (secondi)	Abbassamento (cm)	K <sub>20</sub> (cm/sec)
0	0.00	-	18000	1.75	9.06E-07
3600	0.37	9.56E-07	21600	2.12	9.17E-07
7200	0.69	8.88E-07	25200	2.44	9.04E-07
10800	1.06	9.12E-07	28800	2.79	9.06E-07
14400	1.43	9.25E-07	32400	3.16	9.12E-07

K<sub>20</sub> = permeabilità riferita alla temperatura di 20° C



# PROVE DI PERMEABILITA'

Pag. 1 di 1

## CERTIFICATO DI PROVA N.

CAMPIONE: S1C1 profondità 8.7 - 9.0 m	Montelupo Fiorentino li
COMMITTENTE:	V.A. n.
LOCALITA':	Data prova:

### Prova di permeabilità a carico costante (ASTM D 2434/68)

Volume campione (cm<sup>3</sup>): 943.20

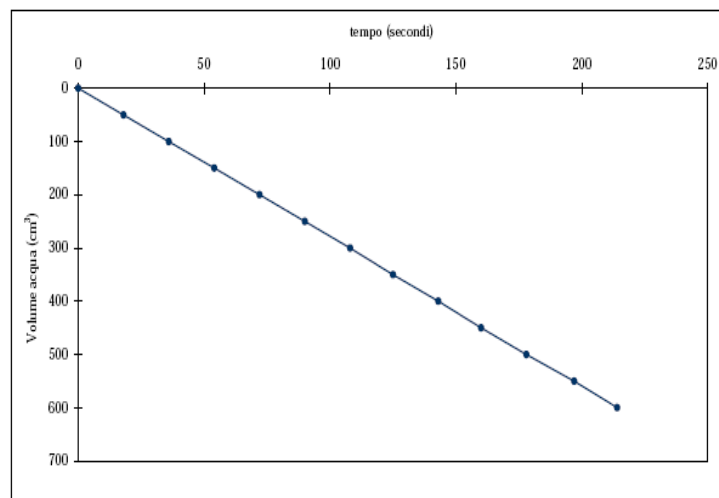
Area campione (cm<sup>2</sup>): 81.02

Altezza campione (cm): 11.642

battente idraulico (cm): 182

**K media (cm/sec) 2.202E-03**

Tempo (secondi)	Volume (cm <sup>3</sup> )	K (cm/sec)
0	0.0	-
18	50.0	0.002192
36	100.0	0.002192
54	150.0	0.002192
72	200.0	0.002192
90	250.0	0.002192
108	300.0	0.002192
125	350.0	0.002210
143	400.0	0.002208
160	450.0	0.002220
178	500.0	0.002217
197	550.0	0.002203
214	600.0	0.002213



# 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.

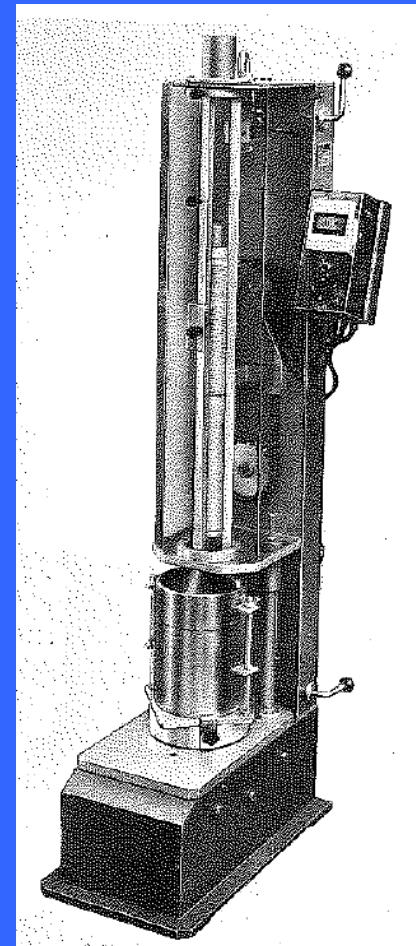
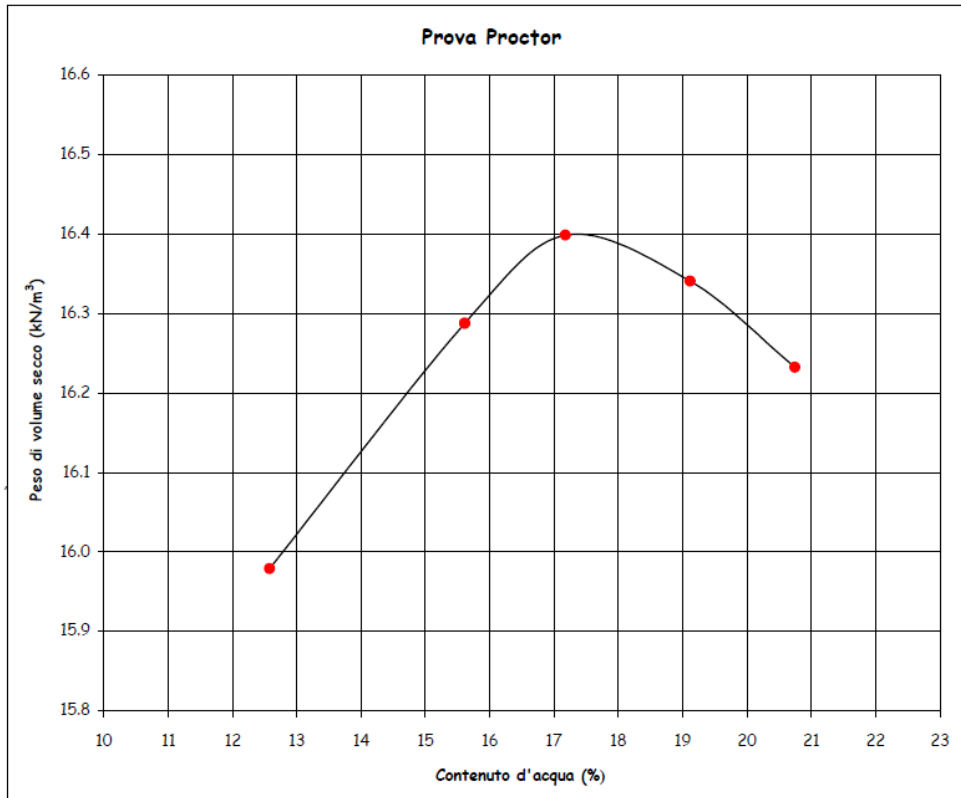
E' utilizzata nella costruzione di rilevati stradali, arginali, dighe in terra e strade in terra stabilizzata.

W(%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
12.6	15.98
15.6	16.29
17.2	16.40
19.1	16.34
20.7	16.23

Valori di optimum	
W(%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
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  $\gamma_d$  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

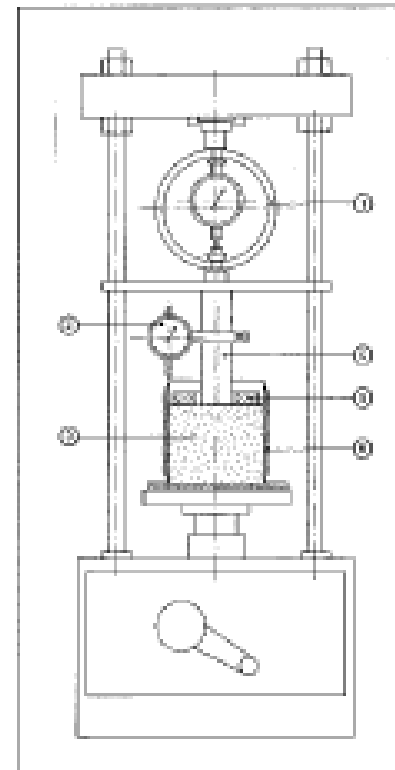
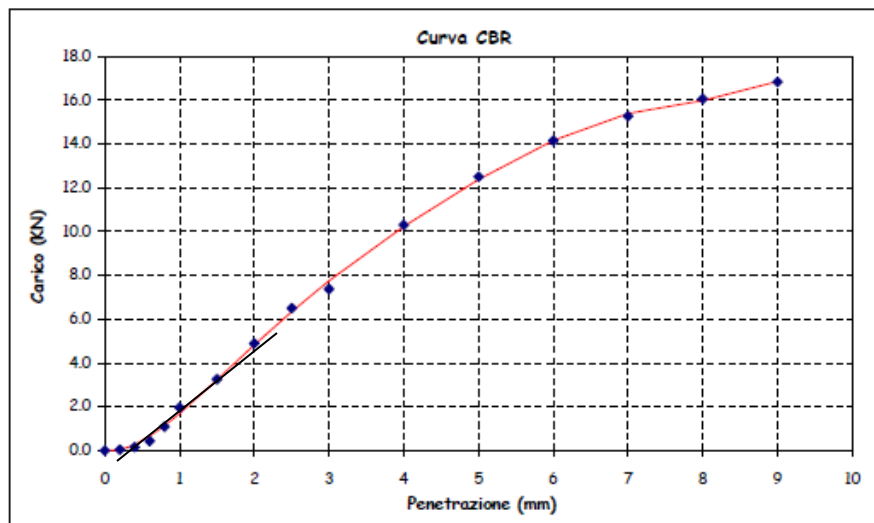
## Prova di penetrazione CBR (UNI EN 13286-47)

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:	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ) = 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