

Clay structures: dispersed and oriented (a), flocculated (b), bookhouse (c), turbostratic (d) and the natural structure of clay (after Craig, 1990)

Le particelle legate stabilmente, danno origine a fiocchi i quali si dispongono secondo macrostrutture che a loro volta possono essere disperse o orientate.

Queste strutture sono caratterizzate da una microporosità (legata al fiocco) ed ad una macroporosità (legata all'insieme dei fiocchi).

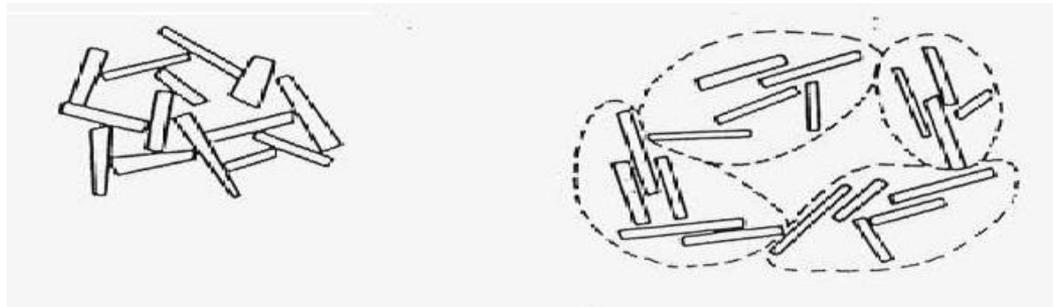
Cause della struttura delle argille

Nel loro insieme le forze di superficie sono costituite dalle **forze di repulsione** dovute in prevalenza alle cariche elettriche e dalle **forze di attrazione** di van der Waals generate dal campo magnetico prodotto dal moto degli elettroni attorno ai nuclei.

Le mutue azioni di repulsione e di attrazione che le particelle di argilla possono scambiarsi sembra diano luogo alla formazione di una struttura dispersa quando si ha prevalenza di azioni repulsive e di una struttura flocculata quando le azioni repulsive sono ridotte

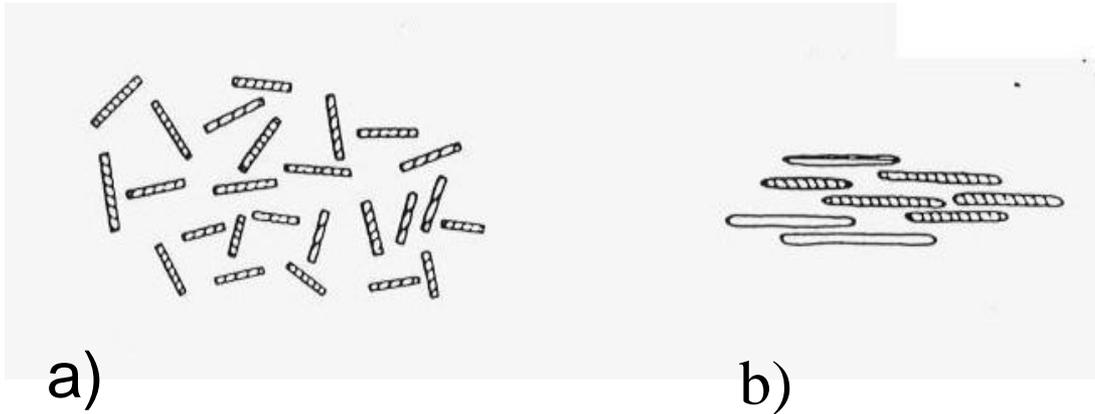
La risultante delle azioni di attrazione o di repulsione tra le particelle di argilla dipende dalla distanza tra le particelle e dall'ambiente chimico.

Con deposizione in **acqua salmastra** la presenza dei sali nell'acqua tende a ridurre le azioni repulsive, in quanto la carica negativa sulla superficie della particella di argilla che non viene completamente neutralizzata dall'acqua, viene in parte neutralizzata anche dai cationi (calcio, magnesio, potassio e sodio) disciolti nell'acqua libera e che costituiscono gli ioni diffusi. Per questo motivo in acqua salmastra e salata le particelle si aggregano con una **struttura floccolata** piuttosto stabile e si raggruppano in fiocchi con vuoti all'interno dei fiocchi e vuoti tra i fiocchi



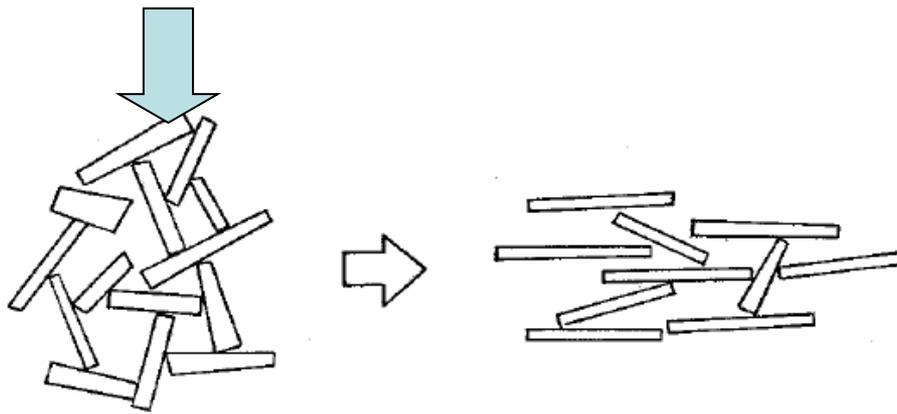
La **struttura dispersa** è caratteristica delle argille depositate in **acqua dolce** con decisiva prevalenza delle forze di repulsione.

Se le particelle sono formate da minerali molto attivi come per esempio la montmorillonite le azioni repulsive sono così elevate che le particelle si dispongono quasi parallele, dando luogo ad una struttura orientata.

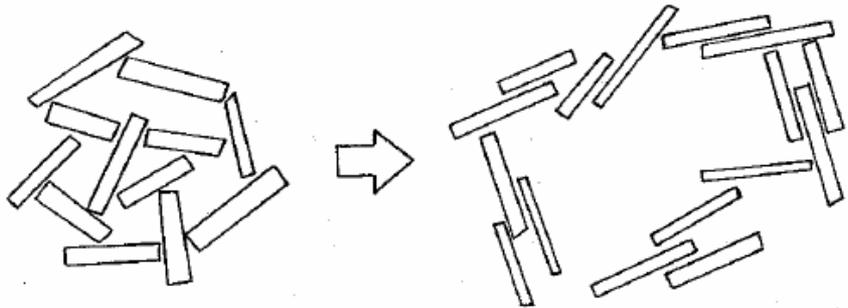


a) Struttura dispersa

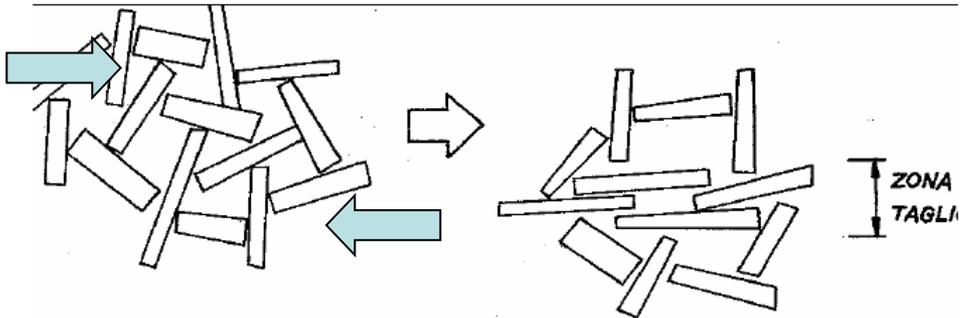
b) Struttura dispersa orientata



A) CONSOLIDAZIONE SENZA DEFORMAZIONI LATERALI



B) RIMANEGGIAMENTO



C) DEFORMAZIONE PER TAGLIO

Altri fattori
contribuiscono a
determinare e/o
modificare la struttura di
un terreno

Classificazione delle terre

Un sistema di classificazione rappresenta un linguaggio di comunicazione tra tecnici e costituisce un metodo sistematico per suddividere il terreno in gruppi e sottogruppi in accordo col suo probabile comportamento meccanico.

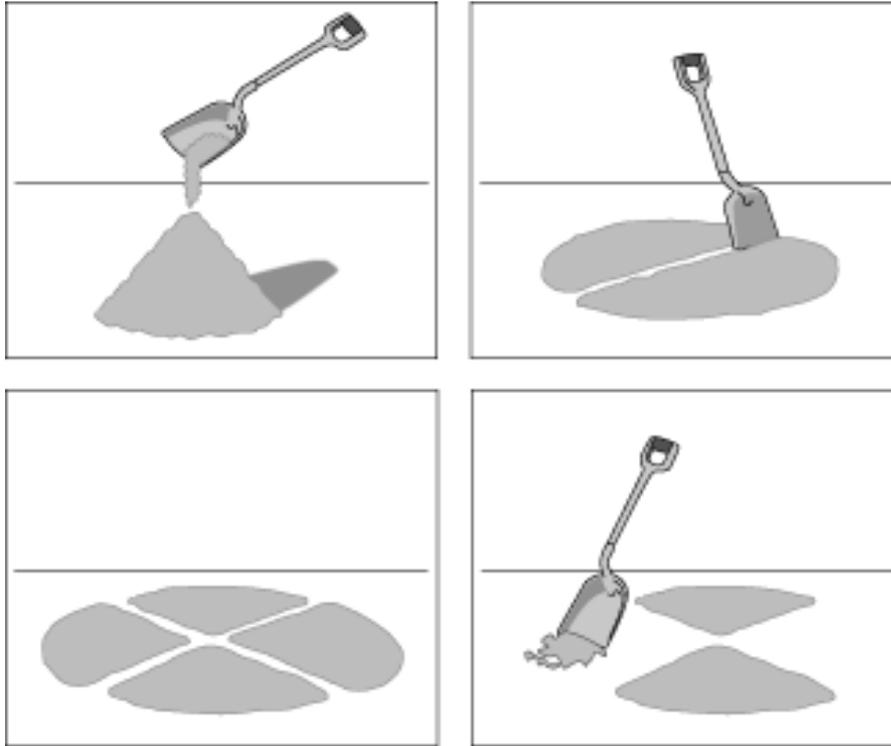
Le proprietà da usare per la classificazione devono essere indipendenti dalle condizioni di sollecitazione e da quelle ambientali

Ricadono fra queste proprietà la **granulometria**, principalmente per terre a grana grossa, e i **limiti di Atterberg**, principalmente per terre a grana fine.

Classificazione granulometrica

La classificazione granulometrica prescinde dalla natura chimica o chimico-mineralogica delle particelle e prende in considerazione esclusivamente la dimensione. Le particelle sono distinte in classi granulometriche. In generale, a prescindere dai parametri dimensionali adottati dai diversi sistemi di classificazione, le classi granulometriche sono 5, in ordine di dimensione crescente:

Argilla	< 0.002 mm
Limo	tra 0.002 e 0.075 (0.06) mm
Sabbia	tra 0.075 (0.06) e 2.00 mm
Ghiaia	tra 2 e 60 mm
Ciottoli	tra 60 e 256 (200) mm
Massi	>256 (200) mm



Quartatura

(rappresentatività del campione)

Il campione viene posto su un piano orizzontale, e dopo mescolamento, si forma un cono.

La punta viene appiattita e il cono è suddiviso in 4 parti uguali. In modo casuale se ne scelgono due contrapposte.

Se il materiale è ancora eccessivo, si ripete la procedura fino a ridurre il campione alle dimensioni volute.

Analisi granulometrica a secco: ghiaie e sabbie



Tabella 1.3.1

Setaccio	Apertura delle maglie (mm)
4	4.76
6	3.36
8	2.38
10	2.00
12	1.68
16	1.19
20	0.840
30	0.590
40	0.420
50	0.297
60	0.250
70	0.210
100	0.149
140	0.105
200	0.074

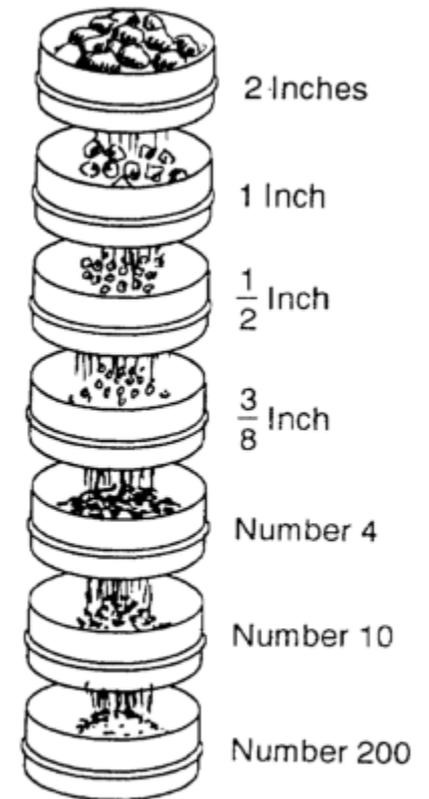
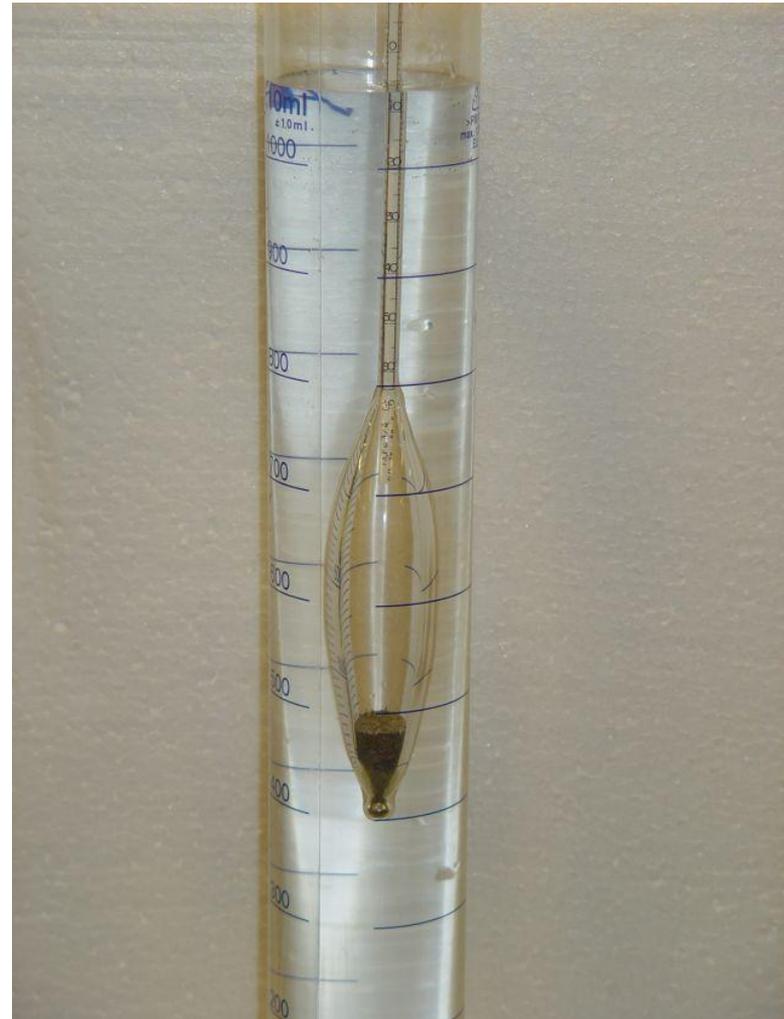


Figure 4-3. Dry sieve analysis.



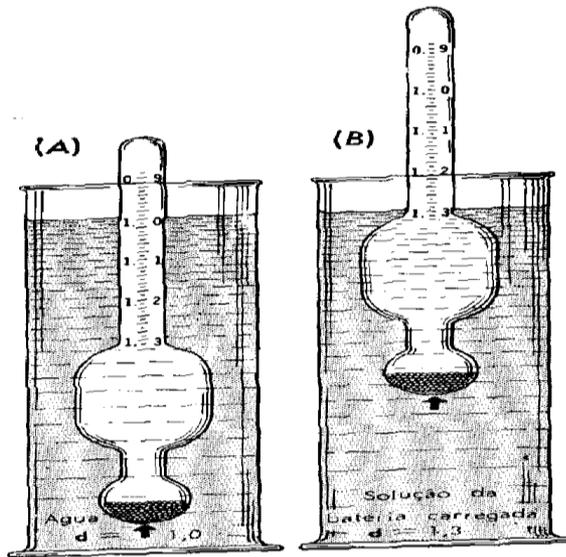
Granulometrie a umido: silt e argille (densitometrie o **areometrie**)



Il principio su cui si basa quest'analisi è legato alla densità della sospensione formata dalla terra e dall'acqua.

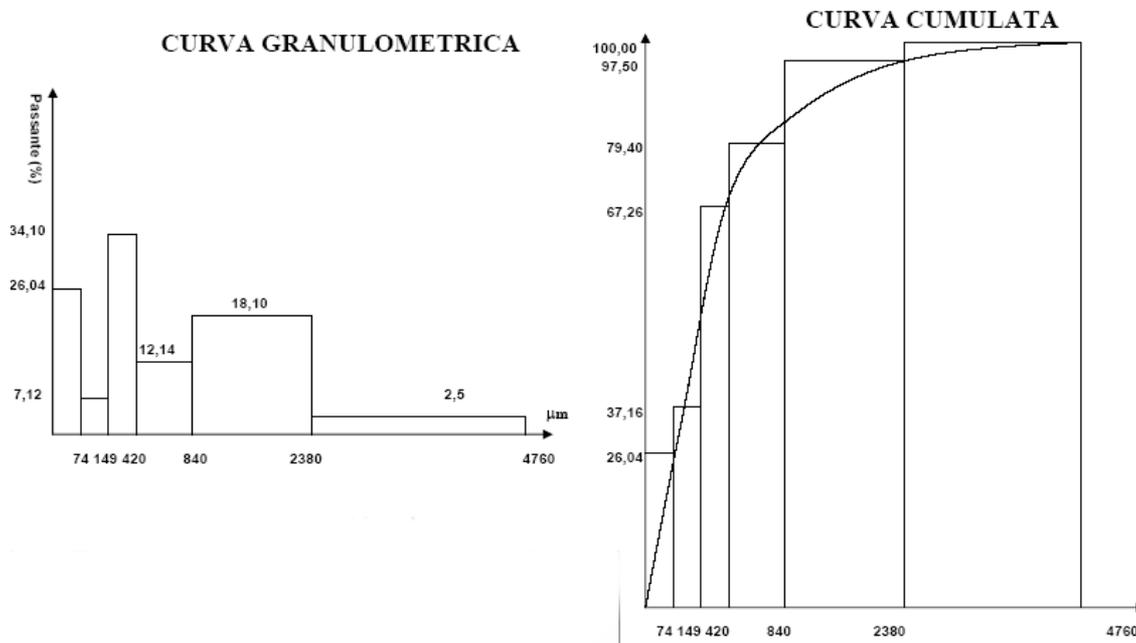
Via via che avviene la sedimentazione, la densità della sospensione diminuisce e il densimetro affonda.

Attraverso semplici formule la densità letta sull'asta del densimetro viene trasformata in diametri equivalenti e quindi, facendo una comparazione tra tempi successivi e diametri delle maglie dei setacci, è possibile ricostruire la curva granulometrica del sedimento



La distribuzione percentuale dei grani di un campione di terreno secondo le loro dimensioni, rappresentata da una curva, costituisce la granulometria della terra.

La curva granulometrica (grain size distribution) viene costruita riportando la percentuale di materiale più fine di una certa dimensione in ordinata in scala naturale, mentre il corrispondente diametro dei grani, in millimetri, è riportato in ascisse in scala logaritmica.



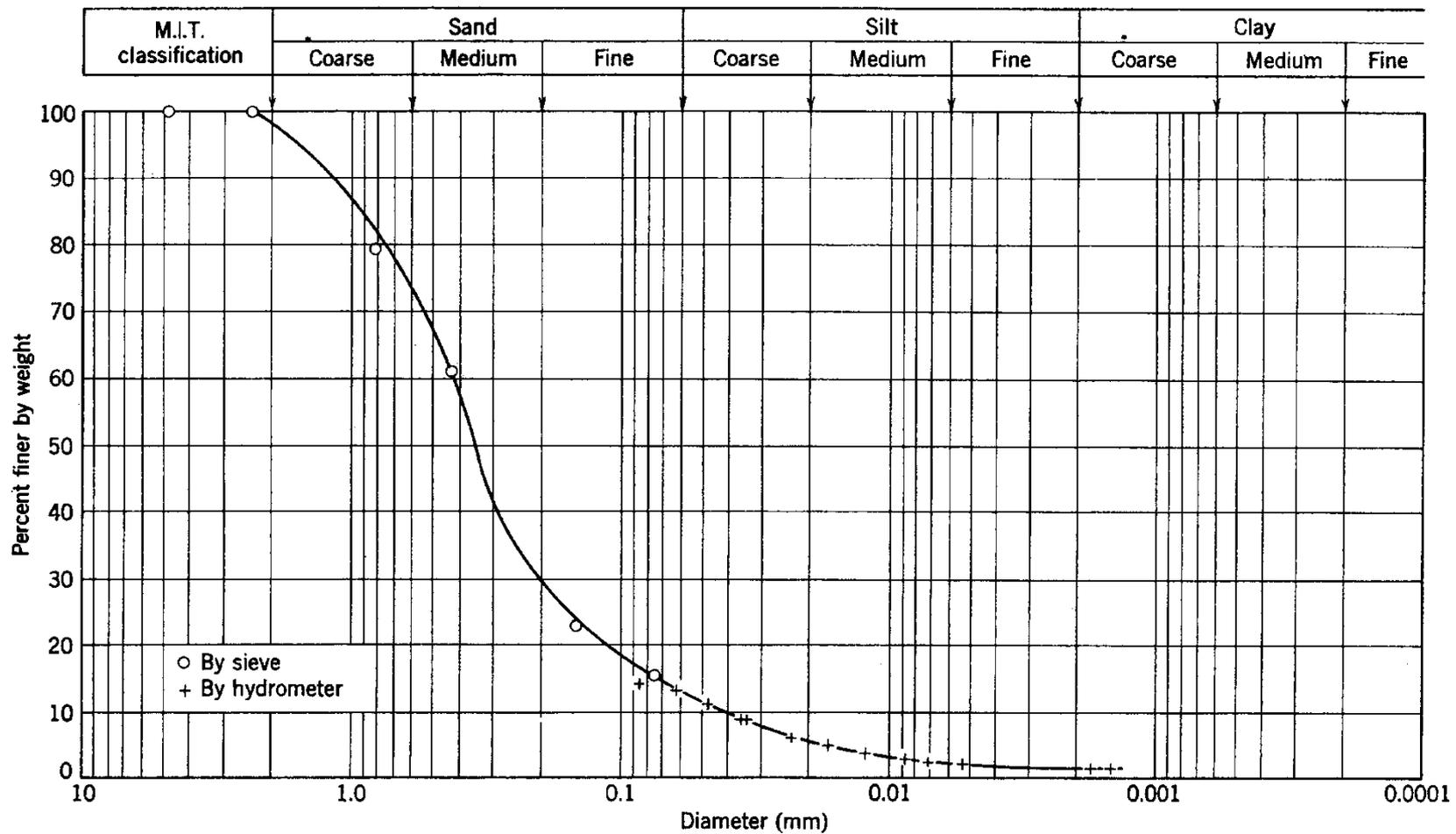
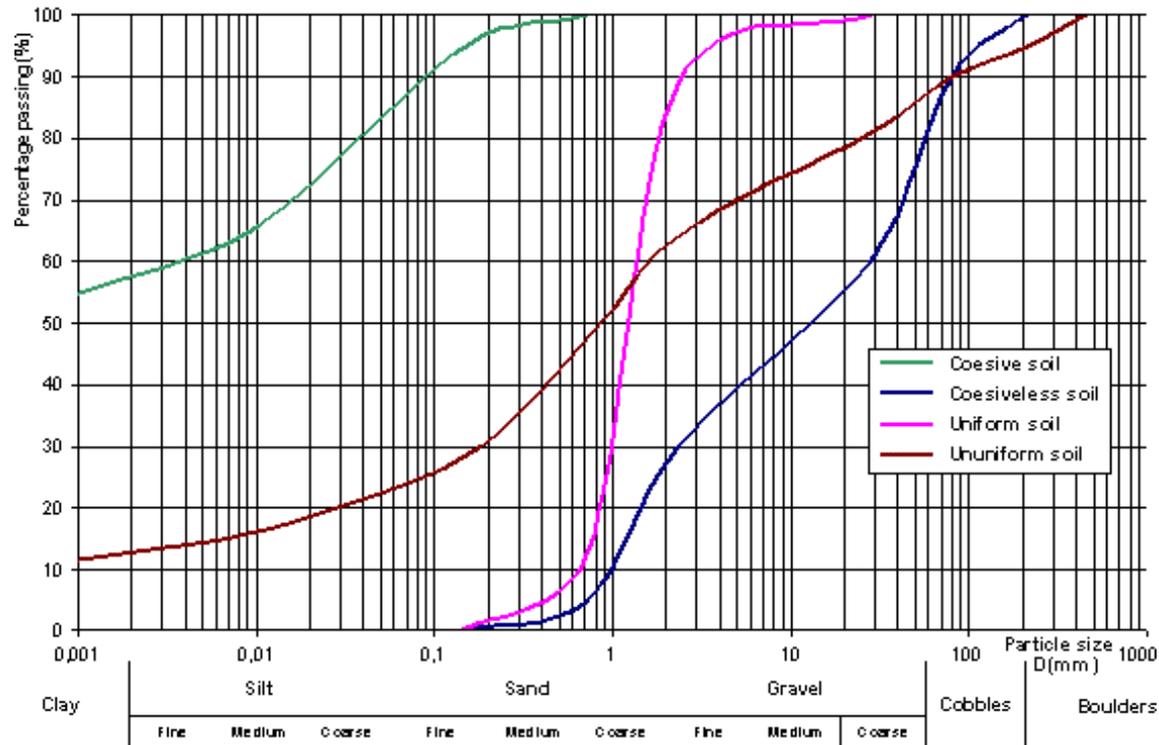


Fig. 3.3 Particle size distribution curve (From Lambe, 1951).

La forma della curva è indicativa della distribuzione percentuale, cosicché terre uniformi (ben selezionate) sono rappresentate da linee quasi verticali, mentre terre ben gradate occupano parecchi cicli della scala logaritmica.



Particle size distribution curves and classification according to British Standard

L'andamento di una curva granulometrica è importante specialmente per le terre granulari e può essere espresso dal coefficiente di uniformità

dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

L'uniformità è massima per $C_U=1$;

Materiale praticamente uniforme fino a $C_U=2$

Materiale poco gradato fino a $C_U=6$

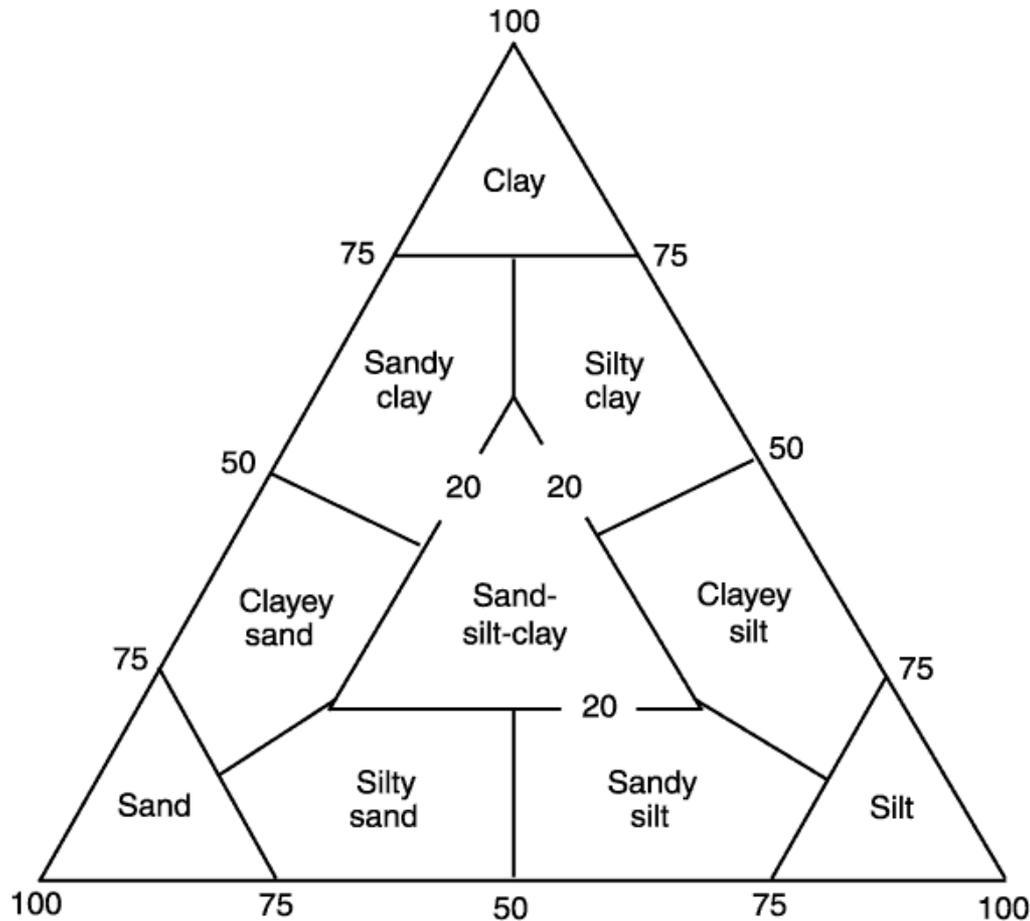
Materiale ben gradato per $6 < C_U < 15$

Materiale decisamente ben gradato per $C_U > 15$

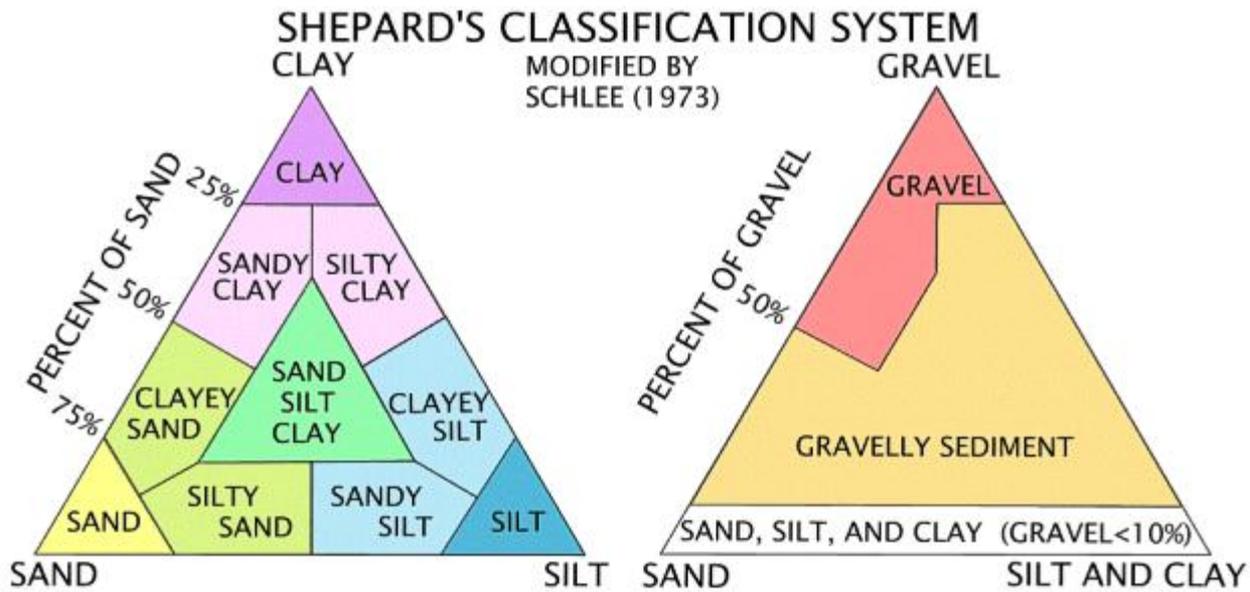
Coefficiente di curvatura

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

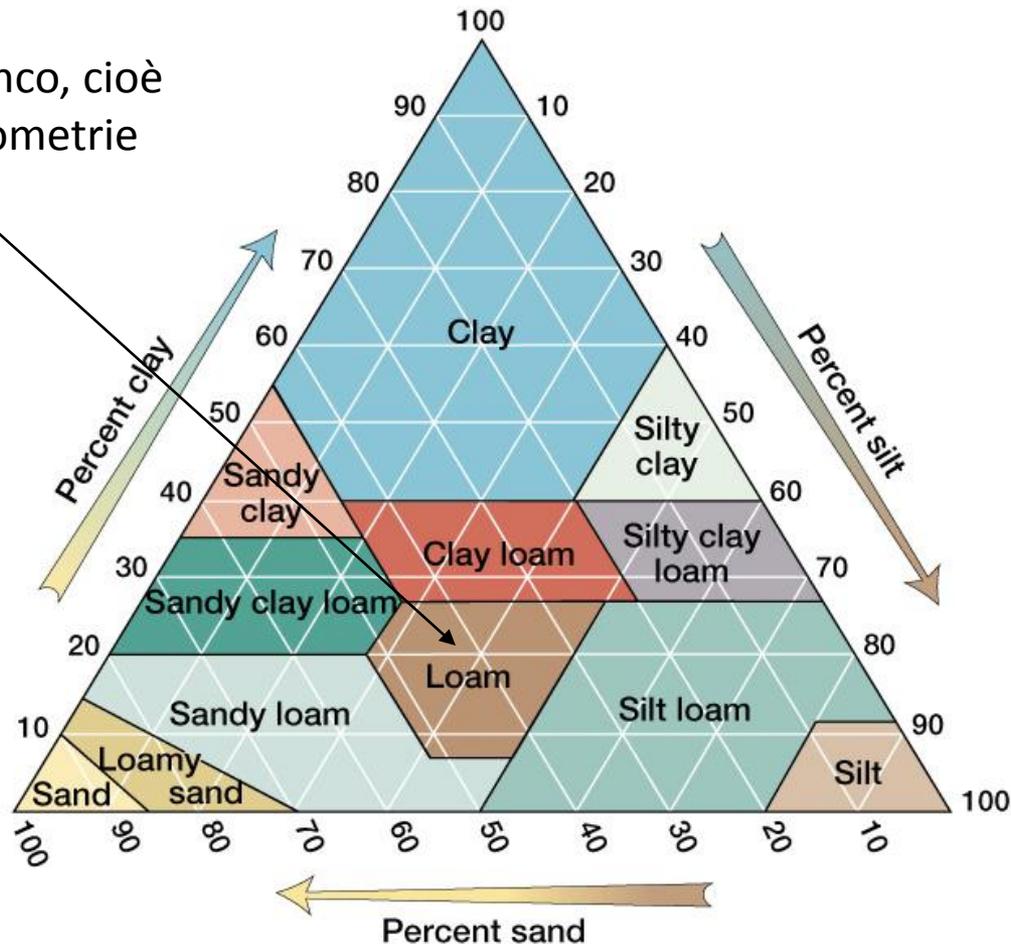
dove D_{30} , D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 30%, al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa



La classificazione di Shepard riguarda la composizione granulometrica del materiale e consente di individuare un dato campione sulla base delle frazioni granulometriche dei suoi componenti. Shepard assume tre componenti come “basi o principali” ed il componente presente in quantità superiore al 50% dà il nome al sedimento ed è definito componente “dominante”. La rappresentazione grafica della composizione granulometrica è espressa da un triangolo equilatero in cui ogni vertice indica il 100% di un componente.



Loam = terreno franco, cioè con tutte le granulometrie



Triangolo USDA (United State Department for Agruculture) per la classificazione delle terre, in base alla loro tessitura

Classificazione basata sulle diverse percentuali delle classi granulometriche presenti nella terra (AGI - Associazione Geotecnica Italiana – 1977)

Per identificare un materiale di cui eseguiamo l'analisi granulometrica utilizziamo la seguente procedura:

I nome: La frazione granulometrica di maggior quantità dà il nome all'aggregato.

es. Limo.

II nome: Quando il II materiale ha una percentuale in peso tra 50%–25% diciamo CON per unire i due nomi.

es. Limo con argilla.

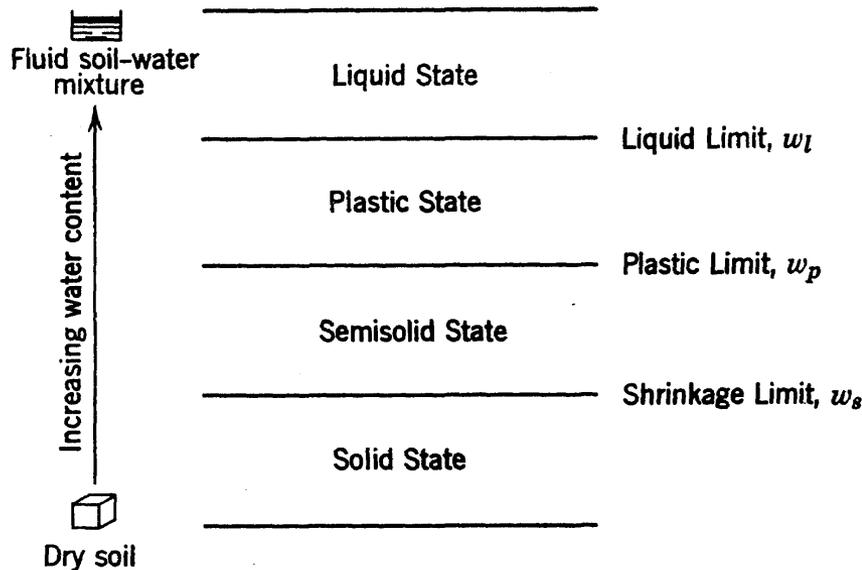
III nome: Utilizziamo il suffisso OSO se la percentuale in peso della frazione successiva è tra 25%–10%.

es. Limo con argilla sabbioso.

IV nome: Utilizziamo la particella DEBOLMENTE se la percentuale della frazione successiva è tra 10%–5%.

es. Sabbia con ghiaia debolmente limosa.

Limiti di Atterberg (solo per terreni fini)



Lo stato fisico di un terreno fine dipende dal suo contenuto d'acqua. Il contenuto d'acqua per cui avviene il passaggio tra diversi stati fisici varia da argilla ad argilla e può essere usato per classificare e caratterizzare il terreno. Il comportamento (resistenza e deformabilità) di una argilla dipende dal contenuto d'acqua

Contenuto d'acqua, w : rapporto percentuale tra peso dell'acqua di un dato volume di terra e il peso della parte solida della terra

Limite liquido e limite plastico



Strumentazione necessaria alla
determinazione dei limiti di
Atterberg



Limite di ritiro

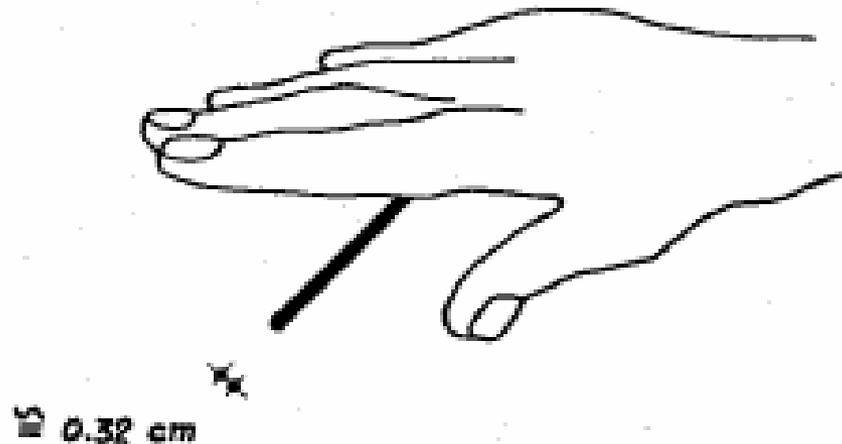
Limite di ritiro

w_s : contenuto d'acqua al di sotto del quale una riduzione del contenuto d'acqua non causa alcuna riduzione di volume



Limite Plastico

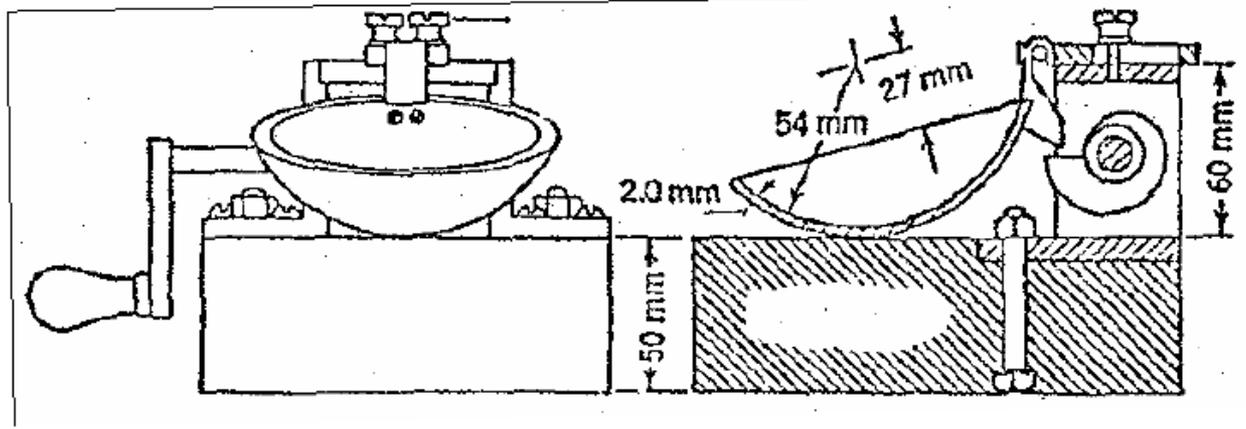
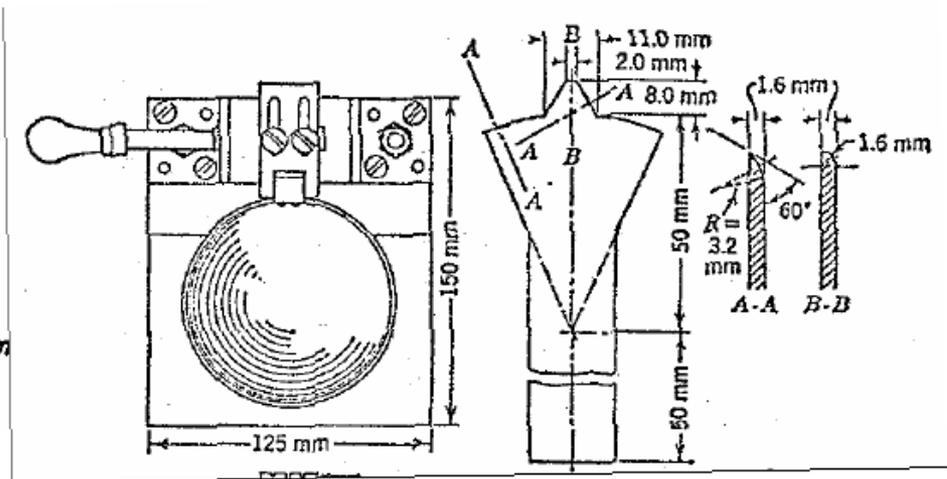
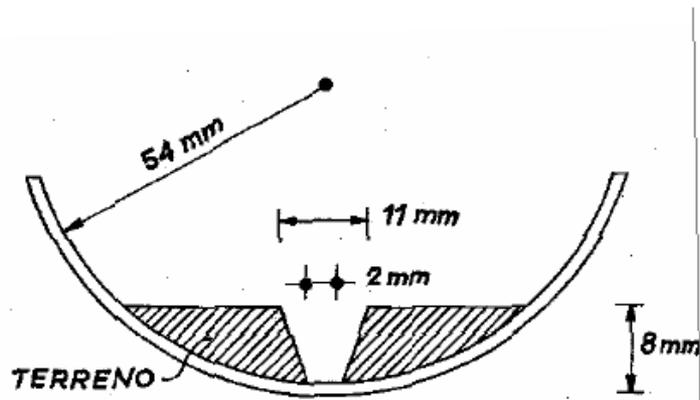
w_p : contenuto d'acqua corrispondente al limite arbitrario tra gli stati di consistenza plastico e semisolido di una terra; ossia contenuto d'acqua al quale un cilindretto di terra del diametro di circa 3,2 mm inizia a screpolarsi se piegato



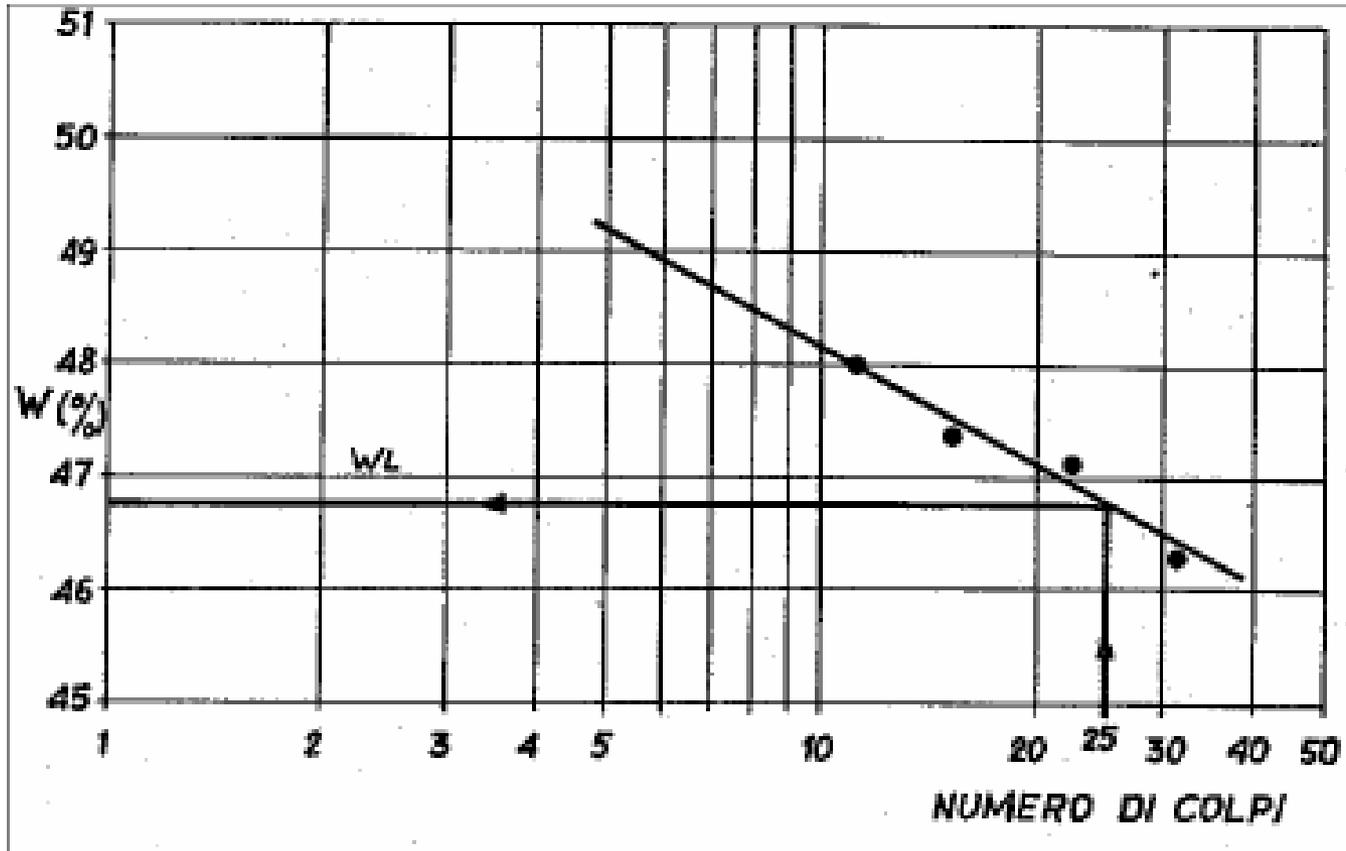
Limite liquido

w_l : contenuto d'acqua corrispondente al limite arbitrario tra gli stati di consistenza liquido e plastico di una terra; ossia contenuto d'acqua al quale un solco di dimensioni standard inciso in un campione di suolo si chiude per la lunghezza di 12,7 mm dopo 25 colpi dell'apparecchiatura standard del limite di liquidità (cucchiaio di Casagrande)





Cucchiaio di Casagrande



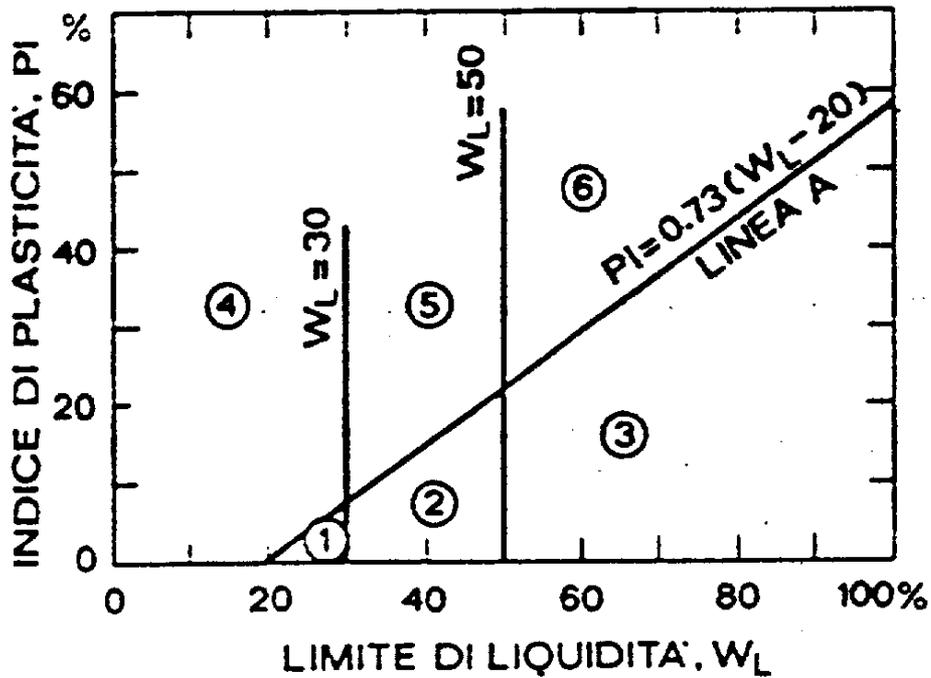
Determinazione del limite liquido

Indice di plasticità, I_p :

differenza numerica tra i limiti di liquidità e di plasticità

$$I_p = w_l - w_p$$

Indica il campo di variazione del contenuto d'acqua all'interno del quale il terreno ha un comportamento plastico, può cioè essere deformato e rimaneggiato senza cambio di volume e senza fessurarsi



- ① Limi inorganici di bassa compressibilità
- ② Limi inorganici di media compressibilità e limi organici
- ③ Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche
- ④ Argille inorganiche di bassa plasticità
- ⑤ Argille inorganiche di media plasticità
- ⑥ Argille inorganiche di alta plasticità

Carta di plasticità di Casagrande (solo terreni fini)

Il sistema di classificazione USCS (United States Classification System) è stato sviluppato da Casagrande e adottato negli Stati Uniti dal Bureau of Reclamation e dal US Army Corps of Engineering, riportato in Italia nelle raccomandazioni AGI.

In questo sistema le terre a grana grossa sono classificate sulla base della granulometria, mentre quelle a grana fine sulla base delle caratteristiche di plasticità (limiti di Atterberg).

Le 4 maggiori suddivisioni riguardano:

- 1) Le terre a grana grossa (ghiaie G e sabbie S)
- 2) Le terre a grana fine (limi M e argille C)
- 3) Le terre organiche (O)
- 4) La torba e altre terre altamente organiche (Pt)

Table 1.7 Unified Soil Classification System

Based on Wagner, A.A. (1957) *Proceedings of the Fourth International Conference SMFE, London, Vol. 1*. Reproduced by permission of Butterworth & Co.

Name			Group Symbols	Laboratory criteria			
				Fines (%)	Grading	Plasticity	Notes
Coarse grained (more than 50% larger than 63 μ m BS or No. 200 US sieve size)	Gravels (more than 50% of coarse fraction of gravel size)	Well graded gravels, sandy gravels, with little or no fines	GW	0-5	$C_U > 4$ $1 < C_Z < 3$		Dual symbols if 5-12% fines. Dual symbols if above A-line and $4 < I_p < 7$
		Poorly graded gravels, sandy gravels, with little or no fines	GP	0-5	Not satisfying GW requirements		
		Silty gravels, silty sandy gravels	GM	>12		Below A-line or $I_p < 4$	
		Clayey gravels, clayey sandy gravels	GC	>12		Above A-line and $I_p > 7$	
	Sands (more than 50% of coarse fraction of sand size)	Well graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SW	0-5	$C_U > 6$ $1 < C_Z < 3$		
		Poorly graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SP	0-5	Not satisfying SW requirements		
		Silty sands	SM	>12		Below A-line or $I_p < 4$	
		Clayey sands	SC	>12		Above A-line and $I_p > 7$	

Table 1.7 *Continued*

Name		Group Symbols	Laboratory criteria	
Fine grained (more than 50% smaller than 63 μm BS or No. 200 US sieve size)	Silts and clays (liquid limit less than 50)	Inorganic silts, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	ML	Use plasticity chart
		Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity	CL	Use plasticity chart
		Organic silts and organic silty clays of low plasticity	OL	Use plasticity chart
	Silts and clays (liquid limit greater than 50)	Inorganic silts of high plasticity	MH	
		Inorganic clays of high plasticity	CH	
		Organic clays of high plasticity	OH	
Highly organic soils	Peat and other highly organic soils	Pt		

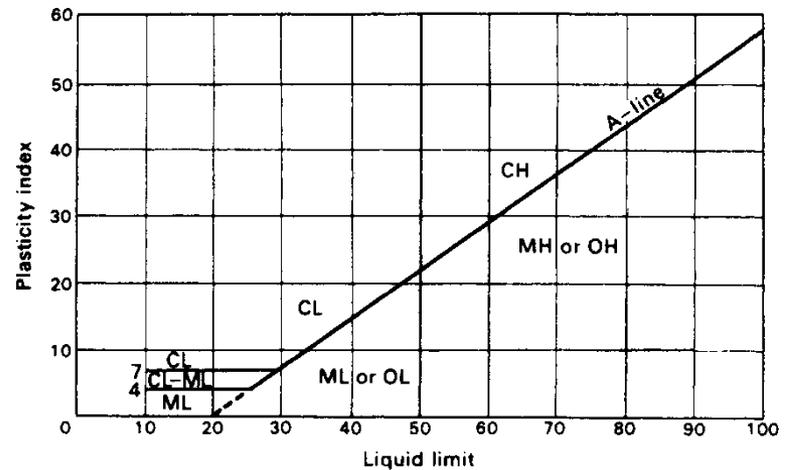


Fig. 1.7 Plasticity chart: Unified system. (Reproduced from Wagner, A.A. (1957) *Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, by permission of Butterworth & Co.)

Table 1.5

Main terms	Qualifying terms		
GRAVEL	G	Well graded	W
SAND	S	Poorly graded	P
		Uniform	Pu
		Gap-graded	Pg
FINE SOIL, FINES	F	Of low plasticity ($w_L < 35$)	L
SILT (M-SOIL)	M	Of intermediate plasticity ($w_L 35-50$)	I
CLAY	C	Of high plasticity ($w_L 50-70$)	H
		Of very high plasticity ($w_L 70-90$)	V
		Of extremely high plasticity ($w_L > 90$)	E
		Of upper plasticity range ($w_L > 35$)	U
		Organic (may be a suffix to any group)	O
PEAT	Pt		