
Corso di Laboratorio di Geotecnica

docente: ing. Riccardo Castellanza

Lezione 2:

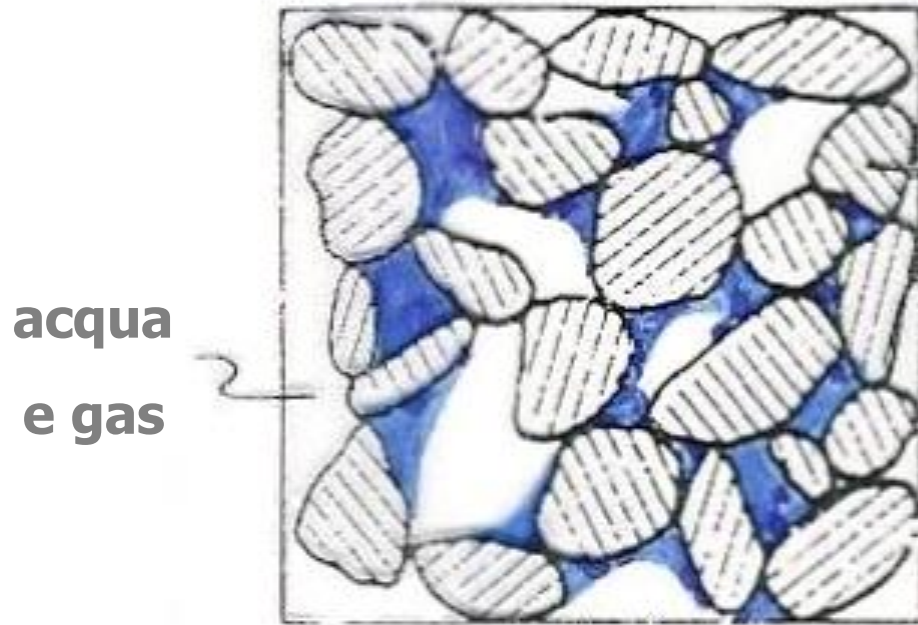
Classificazione delle terre

(curva granulometrica, definizione di densità relativa per materiali granulari; contenuto d'acqua, limiti di Atterberg e tavola di Casagrande per le argille).



LE TERRE

IDENTIFICAZIONE



**particelle
solide**

**acqua
e gas**

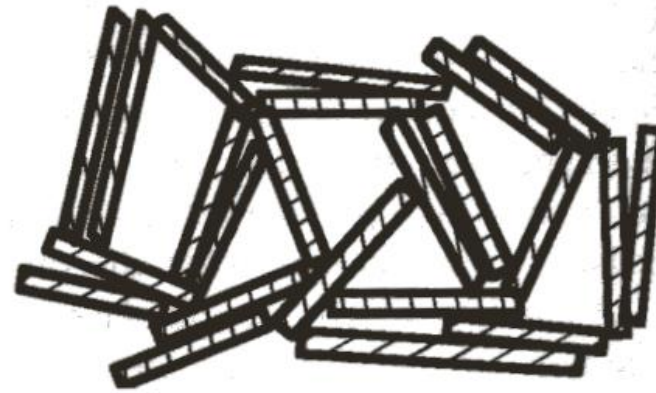
- granulometria
- peso dell'unità di volume
- peso specifico dei granuli
- porosità
- grado di saturazione
- tipo di interazione con l'acqua
- classificazione

LE TERRE

Terre a grana fine

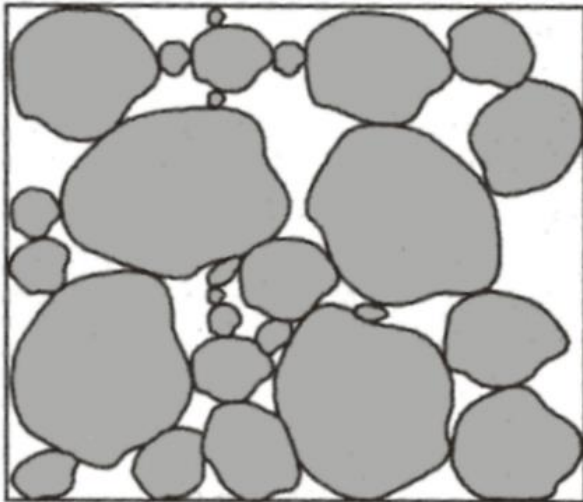


(a)



(b)

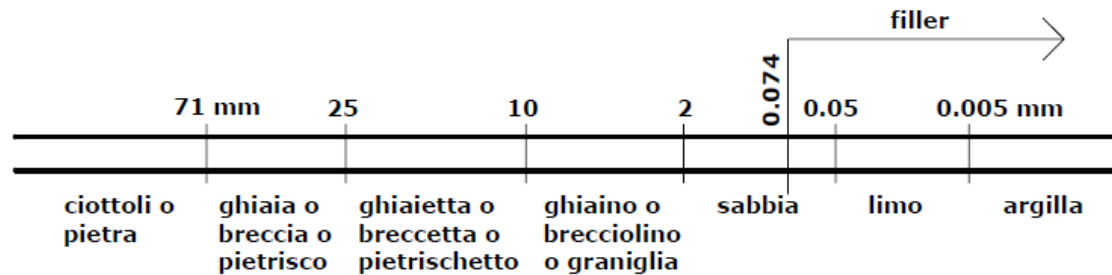
Terre a grana grossa



LE TERRE e le classificazioni



Tipo di terreni secondo la classificazione del MIT (Massachusetts Institute of Technology).

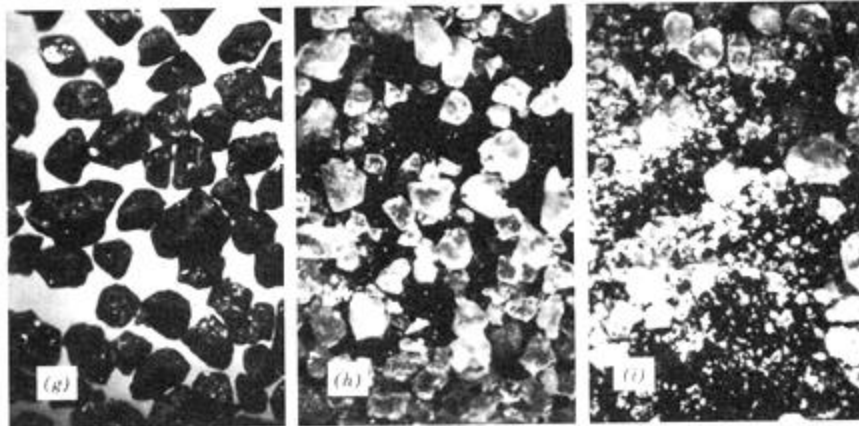
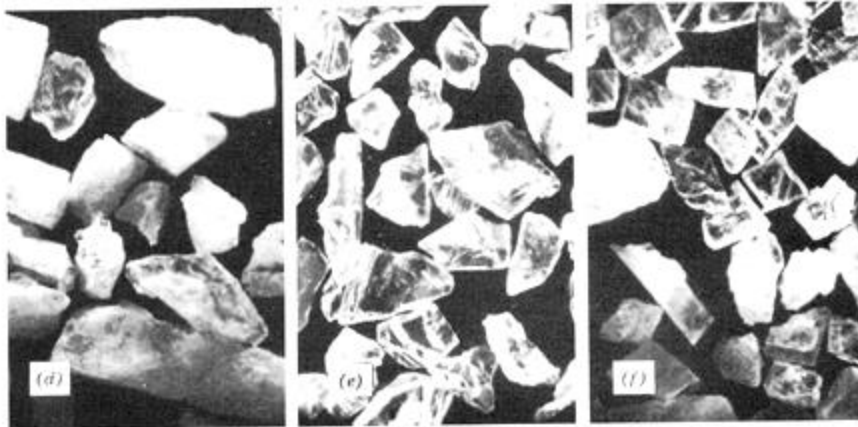
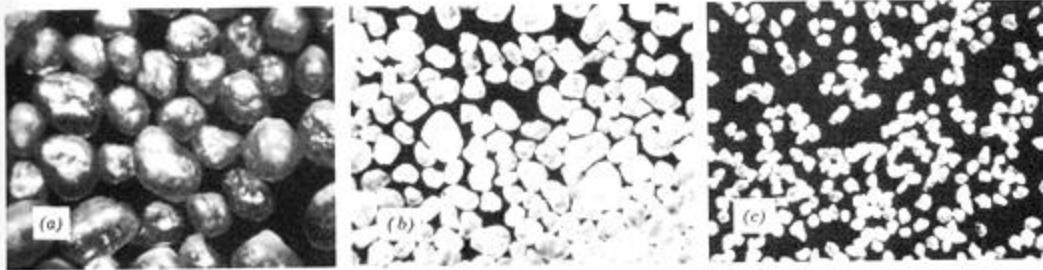


Classificazione in funzione delle dimensioni e degli spigoli

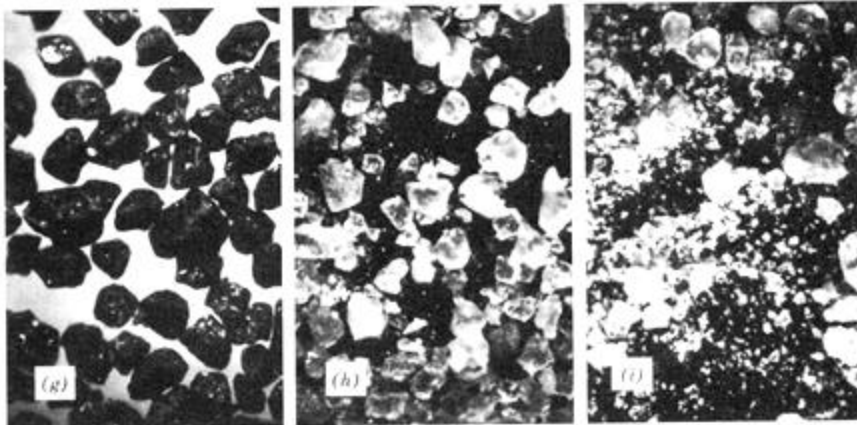
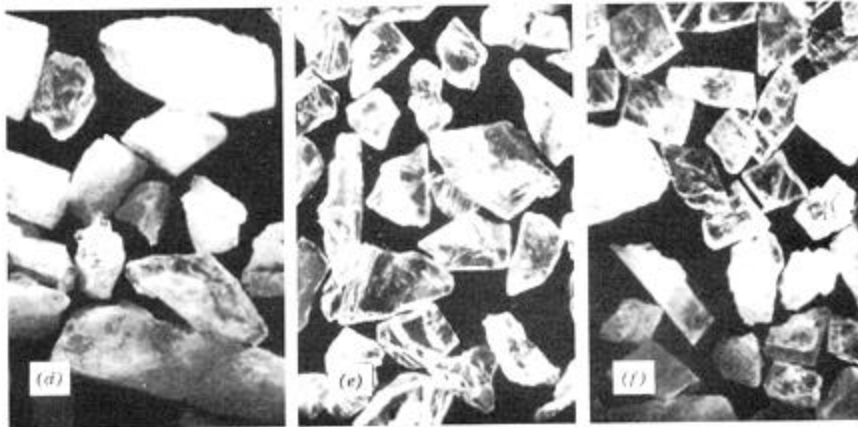
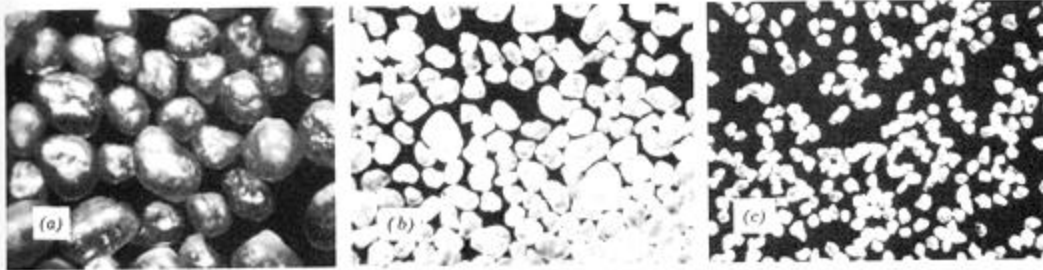
| | ciottoli | ghiaia (G) | sabbia (S) | limo (M) | argilla (C) |
|-------|----------|------------|------------|----------|-------------|
| BS | 60 | 2 | 0.06 | 0.002 | |
| AGI | | 2 | 0.02 | 0.002 | |
| AASHO | 75 | 2 | 0.015 | 0.002 | |

TABELLA 1.1. Classificazioni dei vari tipi di terra. Le dimensioni sono in mm.

Terreni: dal discreto verso il continuo

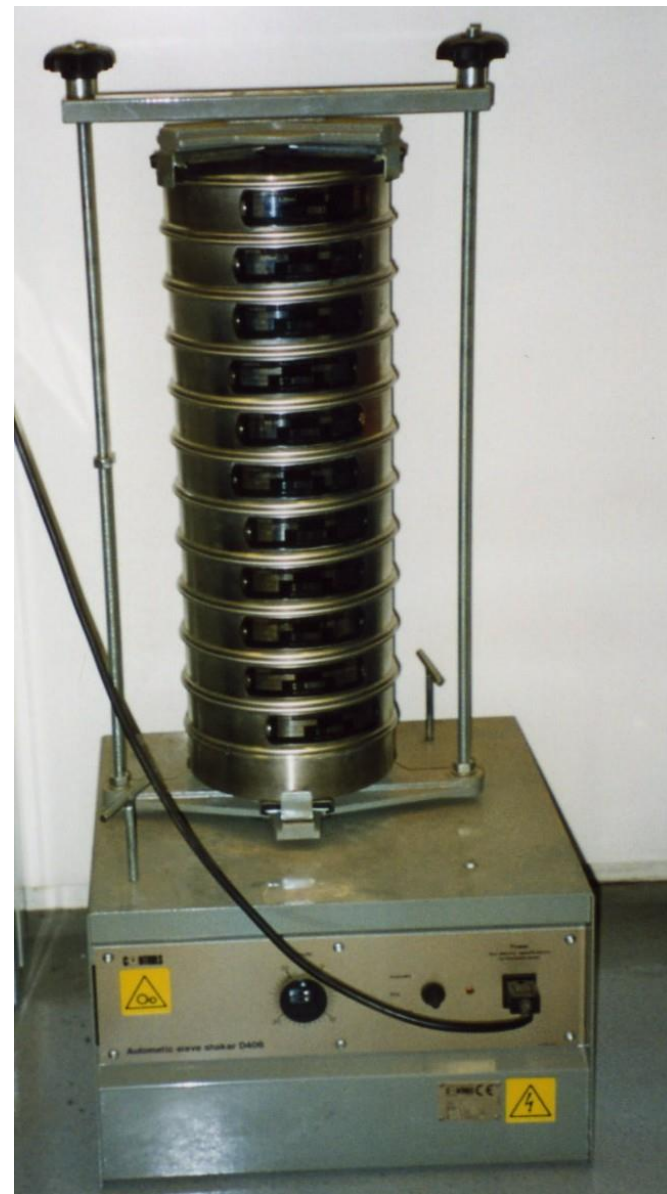


Terreni: dal discreto verso il continuo



Granulometrie

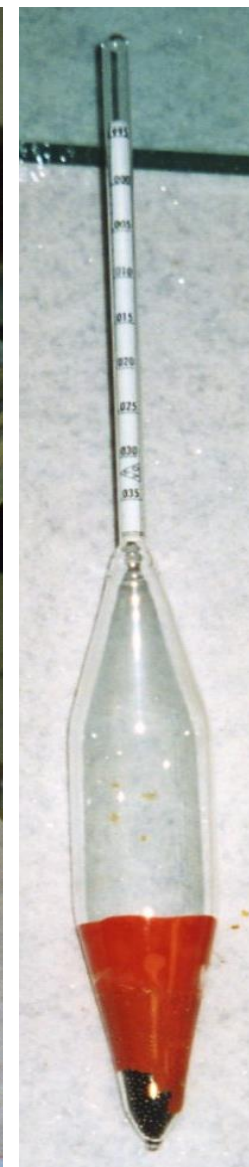
Metodo 1: Granulometria per setacciatura fino 0.075mm



Metodo 1: Granulometria per setacciatura

| Crivello o Setaccio | Diametro grani (mm) | Tara (g) | Lordo (g) | Peso grani (g) | % parziale | Trattenuto % | Passante % |
|---------------------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------|----------------|-----------------|---------------|
| 4 | 4.750 | 440.01 | 443.32 | 3.31 | 0.532 | 0.532 | 99.468 |
| 8 | 2.360 | 393.95 | 409.77 | 15.82 | 2.540 | 3.072 | 96.928 |
| 16 | 1.180 | 372.68 | 402.19 | 29.51 | 4.739 | 7.811 | 92.189 |
| 18 | 1.000 | 372.13 | 377.58 | 5.45 | 0.875 | 8.686 | 91.314 |
| 20 | 0.850 | 349.32 | 355.1 | 5.78 | 0.928 | 9.614 | 90.386 |
| 30 | 0.600 | 326.8 | 342.01 | 15.21 | 2.442 | 12.056 | 87.944 |
| 40 | 0.425 | 311.16 | 326.31 | 15.15 | 2.433 | 14.489 | 85.511 |
| 50 | 0.300 | 301.7 | 341.18 | 39.48 | 6.340 | 20.829 | 79.171 |
| 60 | 0.250 | 290.65 | 316.61 | 25.96 | 4.169 | 24.997 | 75.003 |
| 100 | 0.150 | 280.7 | 441.21 | 160.51 | 25.774 | 50.772 | 49.228 |
| 140 | 0.106 | 273.78 | 345.05 | 71.27 | 11.444 | 62.216 | 37.784 |
| 200 | 0.075 | 271.63 | 380.8 | 109.17 | 17.530 | 79.746 | 20.254 |
| fondo | <0,075 | 319.91 | 446.04 | 126.13 | 20.254 | 100.000 | 0.000 |
| | | | Totale | 622.75 | 100.000 | | |

Metodo 2: Granulometria per sedimentazione (inferiore 0.075mm)



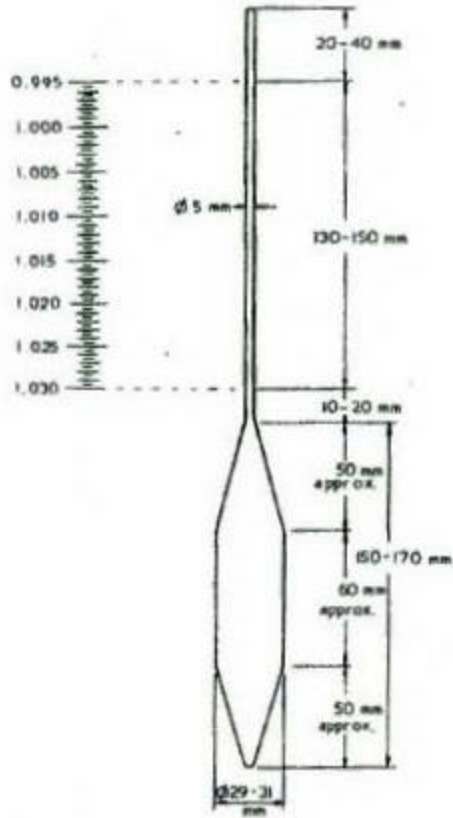








Metodo 2: Granulometria per sedimentazione (inferiore 0.075mm)



Dati densimetro

$$V_B = 74.7 \text{ cm}^3 \text{ Volume del bulbo}$$

$$H_B = 15.00 \text{ cm}^3 \text{ Altezza del bulbo}$$

$$S_c = 28.88 \text{ cm}^2 \text{ Sezione del cilindro}$$

$$H_R = 15.67 - 0.237 \cdot R'$$

Correlazioni densimetro

$$R = (r - 1) \cdot 1000$$

$$H_R = H_1 + \frac{1}{2} \cdot (H_B - \frac{V_B}{S_c}) = H_1 + 6.207$$

$$R' = R + C_M$$

$$C_M = R_1 - R_2 = 0.3 - (-0.2) = 0.5 \text{ Correzione del menisco}$$

$$C_T = -K_1 - L_1 \cdot T = -4.083 + 0.2016 \cdot T$$

$$C_D = K_1 - K_2 = 4.083 - 8.2167 = -4.1337$$

Relazioni finali

$$D = \sqrt{\frac{1800 \cdot \eta_L}{G_S - \gamma_W}} \cdot \sqrt{\frac{H_R}{\delta t \cdot 60}}$$

$$\% = (R + C_M + C_D + C_T) \cdot \frac{100}{P_S} \cdot \frac{G_S}{G_S - \gamma_W}$$

Curva di calibrazione Correlazioni $R'-H_R$

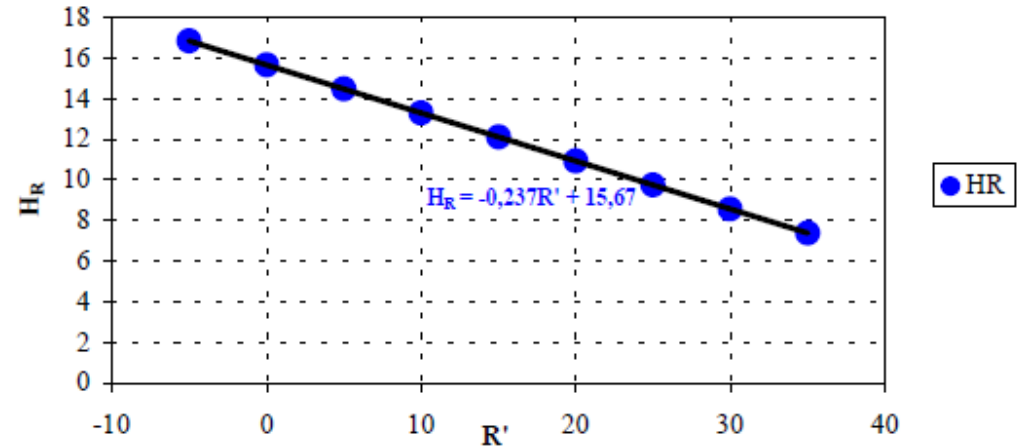


Grafico 3.1 : interpolazione dei dati di distanza H_R con le letture R' del densimetro

Metodo 2: Granulometria per sedimentazione (inferiore 0.075mm)

| Tempo Δt min | Tempe- ratura $t^\circ \text{C}$ | Lettura R | L corretta $R'=R+C_m$ | L temper Ct | H_R cm | η | Diametro mm | L corretta $R''=R'+Ct+Cd$ | Pass. Parz K*R'' % | Pass. Tot. X*K*R'' % |
|----------------------------|--|--------------|--------------------------|----------------|-------------|-------------|----------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0.5 | 21.2 | 22.0 | 22.5 | 1.83582 | 10.3375 | 9.94682E-06 | 0.059396 | 22.6 | 71.2 | 14.42 |
| 1 | 21.2 | 16.5 | 17 | 1.83582 | 11.641 | 9.94682E-06 | 0.044568 | 17.14782 | 53.9 | 10.92 |
| 2 | 21.2 | 11.7 | 12.2 | 1.83582 | 12.7786 | 9.94682E-06 | 0.033019 | 12.34782 | 38.8 | 7.86 |
| 4 | 21.2 | 8.5 | 9 | 1.83582 | 13.537 | 9.94682E-06 | 0.024031 | 9.14782 | 28.8 | 5.82 |
| 8 | 21.2 | 5.5 | 6 | 1.83582 | 14.248 | 9.94682E-06 | 0.017433 | 6.14782 | 19.3 | 3.91 |
| 15 | 21.2 | 4.8 | 5.3 | 1.83582 | 14.4139 | 9.94682E-06 | 0.012805 | 5.44782 | 17.1 | 3.47 |
| 30 | 21.2 | 4.0 | 4.5 | 1.83582 | 14.6035 | 9.94682E-06 | 0.009114 | 4.64782 | 14.6 | 2.96 |
| 60 | 21.2 | 3.4 | 3.9 | 1.83582 | 14.7457 | 9.94682E-06 | 0.006476 | 4.04782 | 12.7 | 2.58 |
| 120 | 21.9 | 3.0 | 3.5 | 1.97694 | 14.8405 | 9.78318E-06 | 0.004556 | 3.78894 | 11.9 | 2.41 |
| 240 | 22.2 | 2.8 | 3.3 | 2.03742 | 14.8879 | 9.71434E-06 | 0.003215 | 3.64942 | 11.5 | 2.32 |
| 436 | 22.7 | 2.8 | 3.3 | 2.13822 | 14.8879 | 9.60129E-06 | 0.002372 | 3.75022 | 11.8 | 2.39 |
| 1461 | 22 | 2.8 | 3.3 | 1.9971 | 14.8879 | 9.76015E-06 | 0.001306 | 3.6091 | 11.3 | 2.30 |
| 1811 | 23.2 | 2.8 | 3.3 | 2.23902 | 14.8879 | 9.49029E-06 | 0.001157 | 3.85102 | 12.1 | 2.45 |
| 2837 | 21.8 | 2.8 | 3.3 | 1.95678 | 14.8879 | 9.8063E-06 | 0.000940 | 3.56878 | 11.2 | 2.27 |

Metodo 3: Granulometro laser (da 1mm a 0.1 micron)



Metodo 3: Granulometro laser (da 1mm a 0.1 micron)

Granulometro laser Malvern Mastersizer 2000E - Il granulometro laser Malvern Mastersizer 2000E consente l'analisi granulometrica di materiali da 0,1 micron a 1000 micron senza cambi di ottiche, ottenendo curve granulometriche di estremo dettaglio. Il banco ottico è costituito da 46 detector singoli, ciascuno dei quali è dedicato a raccogliere la luce diffratta sotto diversi ranges di angoli. Il sistema esegue circa 2000 snaps (della durata di 1 ms) per ogni misura, dei quali poi viene fatta la media. Il software Malvern analizza i dati, utilizzando in alternativa la teoria di Fraunhofer o di Mie; i dati possono venire processati più volte senza ripetere la misura. Il sistema è dotato del modulo Hydro 2000MU per la dispersione in acqua/solvente del campione. La velocità della pompa e la frequenza degli ultrasuoni possono essere regolate manualmente.

Result Analysis Report

Sample Name:
argille gialle rosciano_P2600_U15

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref:

SOP Name:

Measured by:
Administrator

Result Source:
Measurement

Measured:

martedì 16 giugno 2009 11.38.30

Analysed:

martedì 16 giugno 2009 11.38.31

Particle Name:

Default

Particle RI:

1.520

Dispersant Name:

Water

Accessory Name:

Hydro 2000MU (A)

Absorption:

0.1

Dispersant RI:

1.330

Analysis model:

General purpose

Size range:

0.100 to 1000.000 um

Weighted Residual:

1.003 %

Sensitivity:

Normal

Obscuration:

10.99 %

Result Emulation:

Off

Concentration:

0.0076 %Vol

Specific Surface Area:

1.39 m²/g

Span :

4.704

Surface Weighted Mean D[3,2]:

4.320 um

Uniformity:

1.47

Vol. Weighted Mean D[4,3]:

24.963 um

Result units:

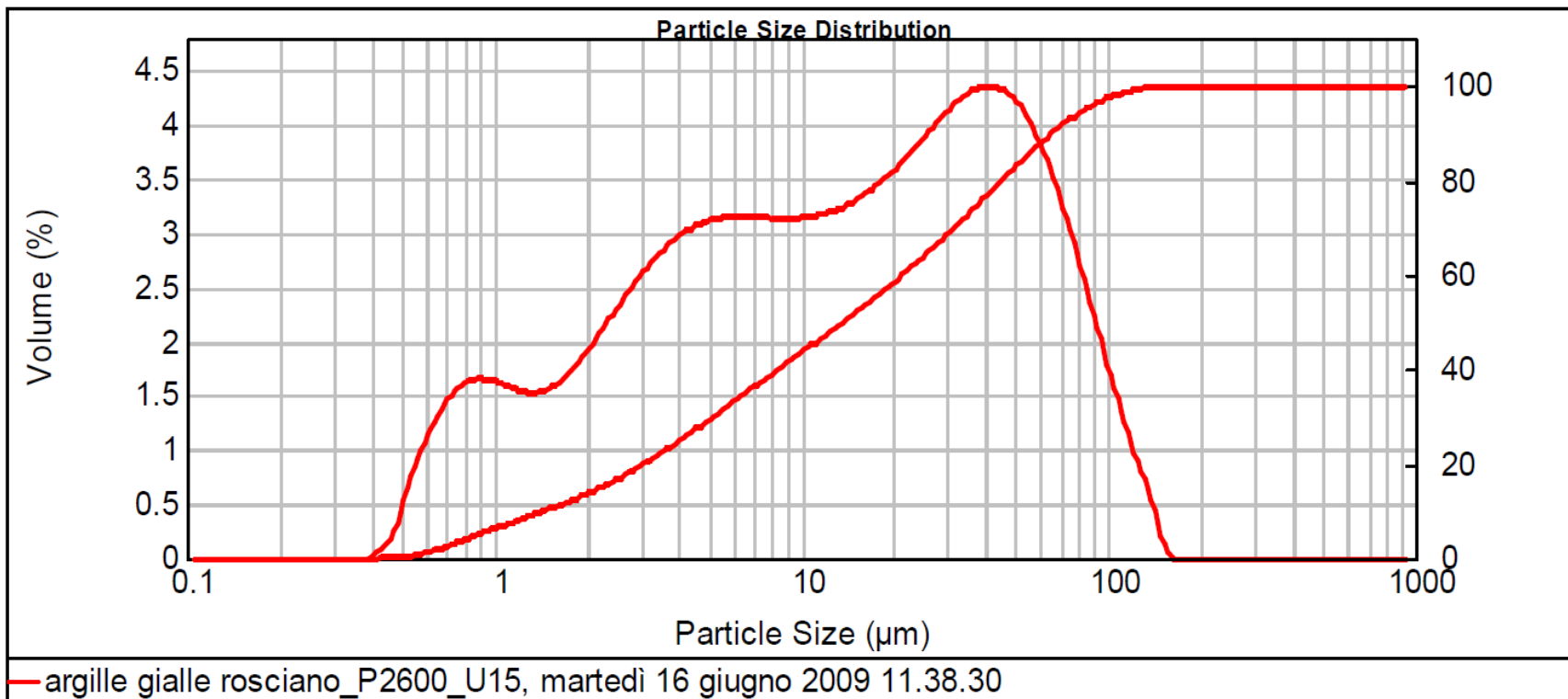
Volume

Metodo 3: Granulometro laser (da 1mm a 0.1 micron)

d(0.1): 1.441 um

d(0.5): 13.629 um

d(0.9): 65.556 um



| Size (µm) | Volume In % |
|-----------|-------------|
| 0.250 | 0.22 |
| 0.500 | 6.05 |
| 1.000 | |

| Size (µm) | Volume In % |
|-----------|-------------|
| 1.000 | 7.35 |
| 2.000 | 14.69 |
| 4.750 | |

| Size (µm) | Volume In % |
|-----------|-------------|
| 4.750 | 14.22 |
| 9.500 | 14.78 |
| 19.000 | |

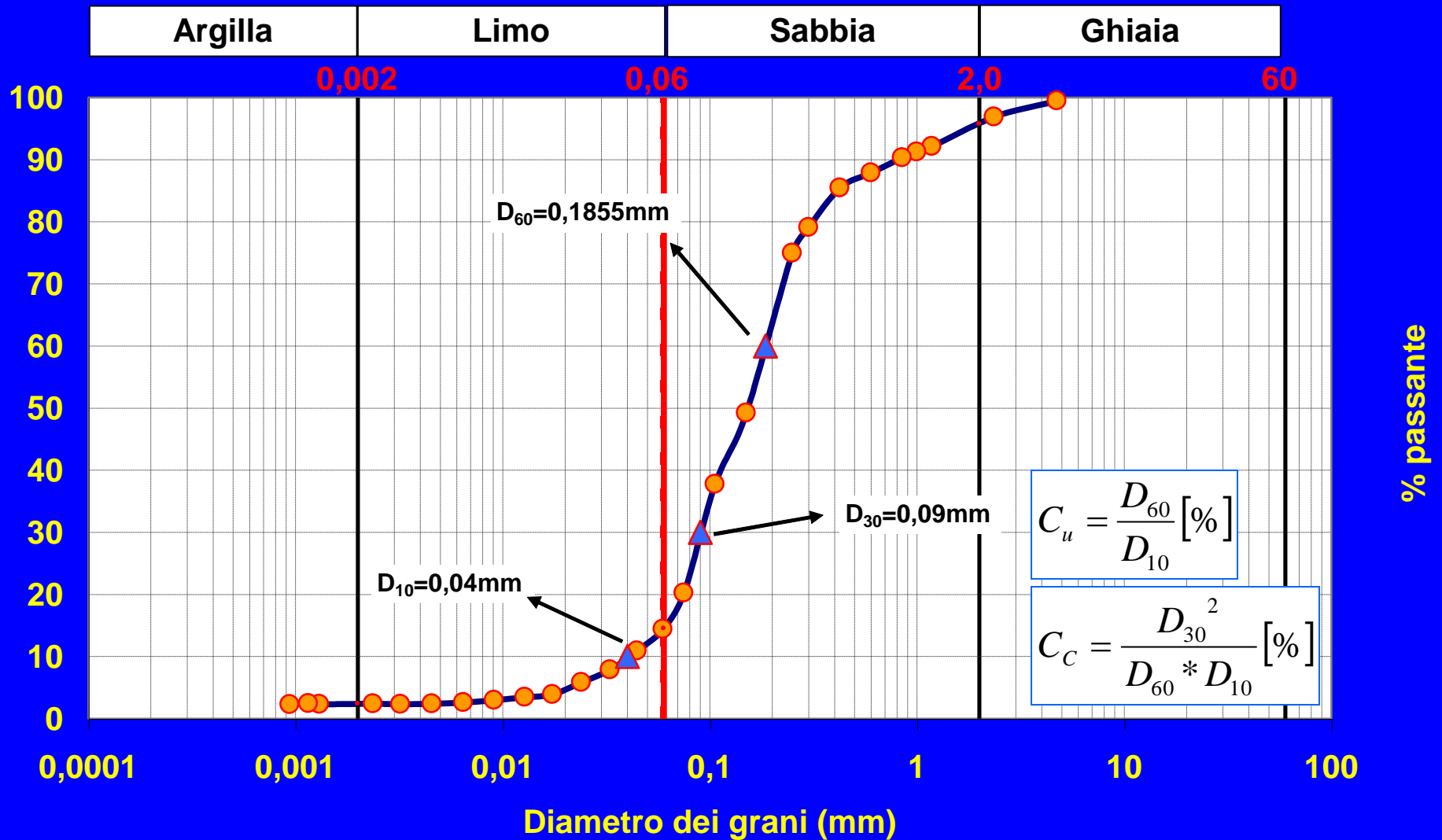
| Size (µm) | Volume In % |
|-----------|-------------|
| 19.000 | 17.59 |
| 37.500 | 18.03 |
| 75.000 | |

| Size (µm) | Volume In % |
|-----------|-------------|
| 75.000 | 7.08 |
| 150.000 | 0.01 |
| 300.000 | |

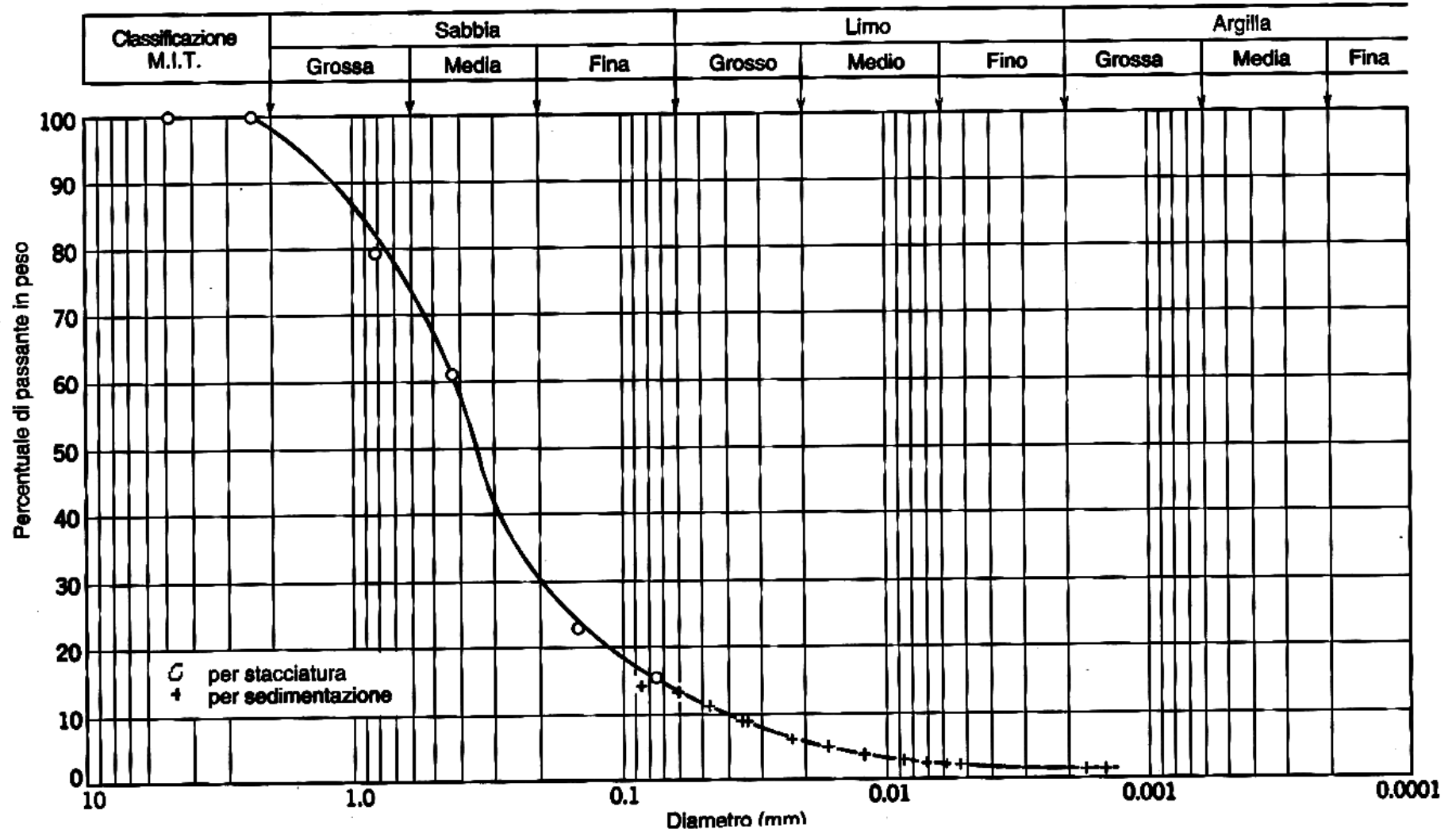
| Size (µm) | Volume In % |
|-----------|-------------|
| 300.000 | 0.00 |
| 600.000 | |

Curva Granulometrica completa

Curva granulometrica - Componente Grossolana del 20/10/03

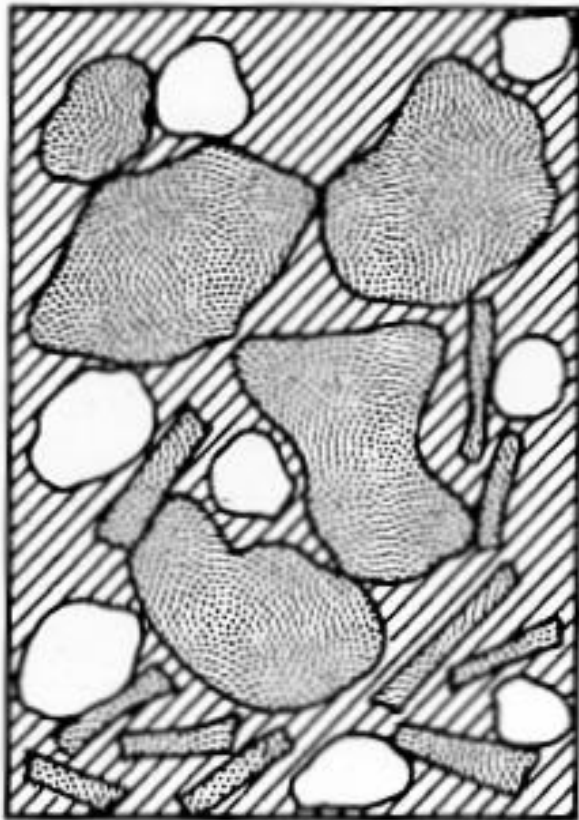


Curva Granulometrica completa

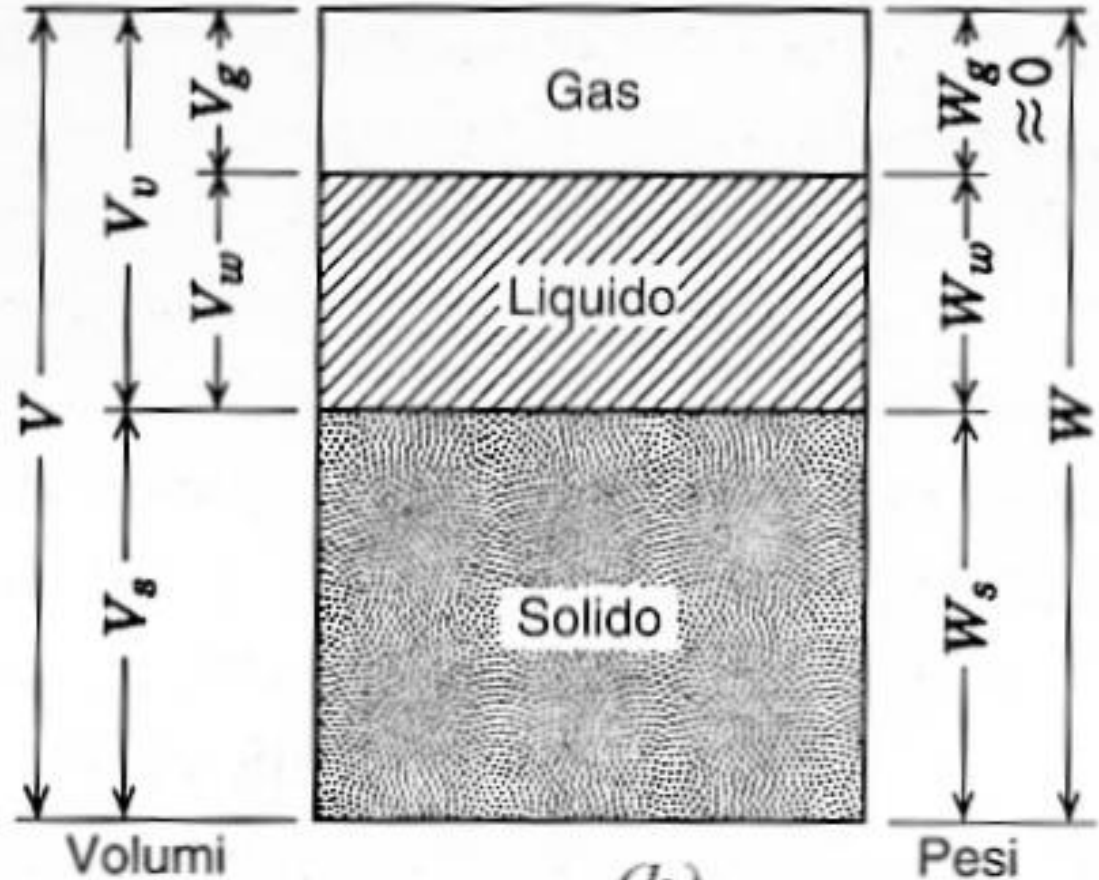


Proprietà indice e pesi specifici

IL MEZZO PLURIFASE: stima delle proprietà indice



(a)

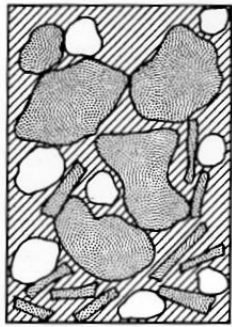


Volumi

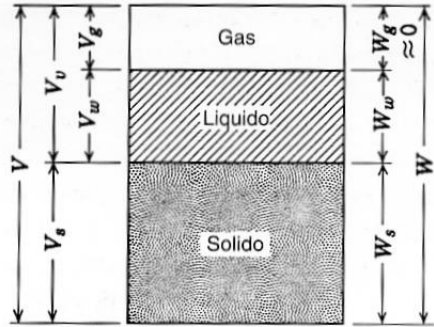
(b)

Pesi

IL MEZZO PLURIFASE: stima delle proprietà indice



(a)



(b)

Volumi

Pesi



IL MEZZO PLURIFASE: stima delle proprietà indice

porosità $n = \frac{V_v}{V}$

indice di porosità $e = \frac{V_v}{V_s}$

grado di staurazione $S = \frac{V_w}{V_v}$

$$n = \frac{e}{1 + e}; \quad e = \frac{n}{1 - n}$$

Relazione tra i pesi

contenuto d'acqua $w = \frac{W_w}{W_s}$

Massa specifica relativa (specific gravity)

del terreno $G_m = \frac{\gamma_t}{\gamma_0}$

dell'acqua $G_w = \frac{\gamma_w}{\gamma_0}$

della sostanza solida del terreno $G = \frac{\gamma_s}{\gamma_0}$

Gravità specifica G_s

| | |
|--------------------------------|-------------|
| Quarzo | 2.65 |
| Feldspati (K) | 2.54-2.57 |
| Feldspati (Na e Ca) | 2.62-2.76 |
| Calcite | 2.72 |
| Dolomite | 2.85 |
| Muscovite | 2.7-3.1 |
| Biotite | 2.8-3.2 |
| Clorite | 2.6-2.9 |
| Pirofillite | 2.84 |
| Serpentine | 2.2-2.7 |
| Caolinite | 2.61* |
| | 2.64 ± 0.02 |
| Alloysite (2 H ₂ O) | 2.55 |
| Illite | 2.84* |
| | 2.60-2.86 |
| Montmorillonite | 2.74* |
| | 2.75-2.78 |
| Attapulgitite | 2.30 |

IL MEZZO PLURIFASE: stima delle proprietà indice

Pesi dell'unità di volume

totale
$$\gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{G + Se}{1 + e} \gamma_w = \frac{1 + w}{1 + e} G \gamma_w$$

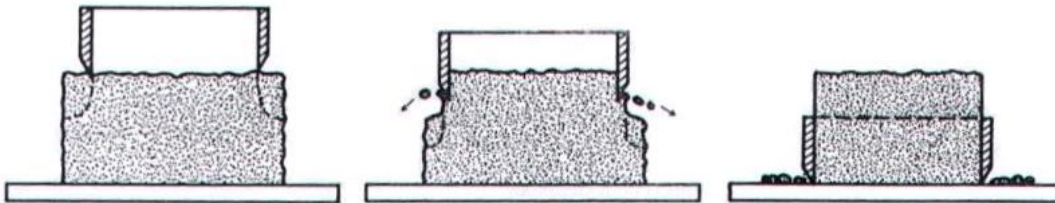
del solido
$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

dell'acqua
$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

del terreno secco
$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G}{1 + e} \gamma_w = \frac{G \gamma_w}{1 + wG/S} = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

| terreno | n (%) | e (-) | w (%) | γ_d (kN/m ³) |
|------------------|-------|-----------|---------|------------------------------------|
| Ghiaia | 25-40 | 0.33-0.67 | - | 14-21 |
| Sabbia | 25-40 | 0.33-1.00 | - | 13-18 |
| Limo | 35-50 | 0.54-1.00 | - | 13-19 |
| Argilla tenera | 40-70 | 0.67-2.33 | 40-100 | 7-13 |
| Argilla compatta | 30-50 | 0.43-1.00 | 20-40 | 14-18 |
| Torba | 75-95 | 3.00-19 | 200-600 | 1-5 |

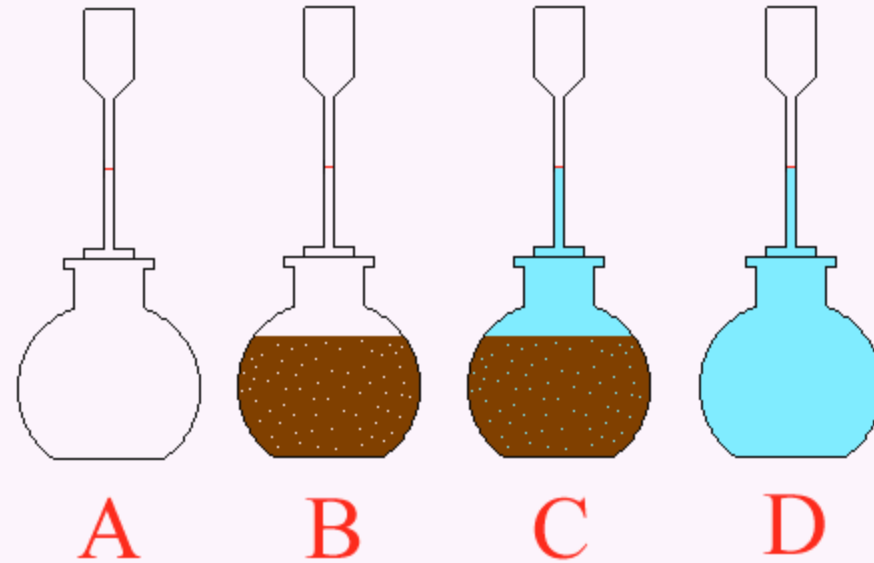
realizzazione di un provino per la valutazione di γ





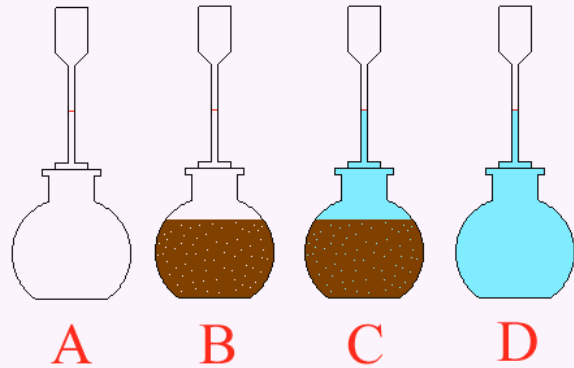
Misura della gravità specifica con picnometri

Misura gravità specifica con picnometri



- A** : peso picnometro
- B** : peso picnometro + peso materiale
- C** : peso picnometro + peso materiale + peso liquido (del volume rimasto fino alla tacca)
- D** : peso picnometro + peso liquido (fino alla tacca)

Misura gravità specifica con picnometri



W_D : peso picnometro + peso liquido (di tutto il volume fino alla tacca)

W_E : peso picnometro + peso liquido (di tutto il volume fino alla tacca) + peso materiale ovvero
 $W_E = W_B + W_D - W_A$

W_C : peso picnometro + peso materiale + peso liquido (del volume rimasto fino alla tacca)

A: peso picnometro

B: peso picnometro + peso materiale

C: peso picnometro + peso materiale + peso liquido (del volume rimasto fino alla tacca)

D: peso picnometro + peso liquido (fino alla tacca)

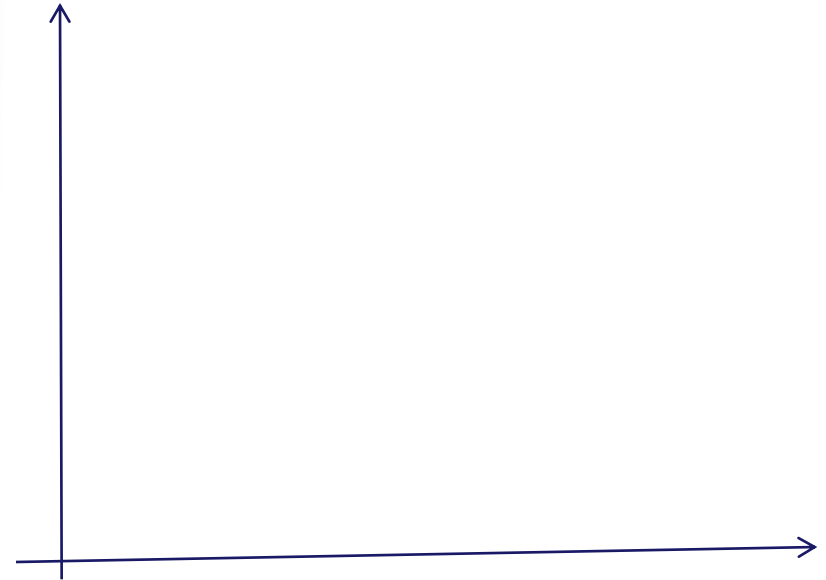
Le misurazioni dei pesi vanno eseguite con una bilancia di precisione. Il materiale da pesare deve prima essere essiccato e polverizzato. Il materiale da esaminare non deve essere solubile in acqua; se lo fosse, o si immerge il campione prima in paraffina oppure si usa un liquido in cui non è solubile, badando però al risultato che sarà relativo non più all'acqua, ma al nuovo liquido.

Gravità specifica

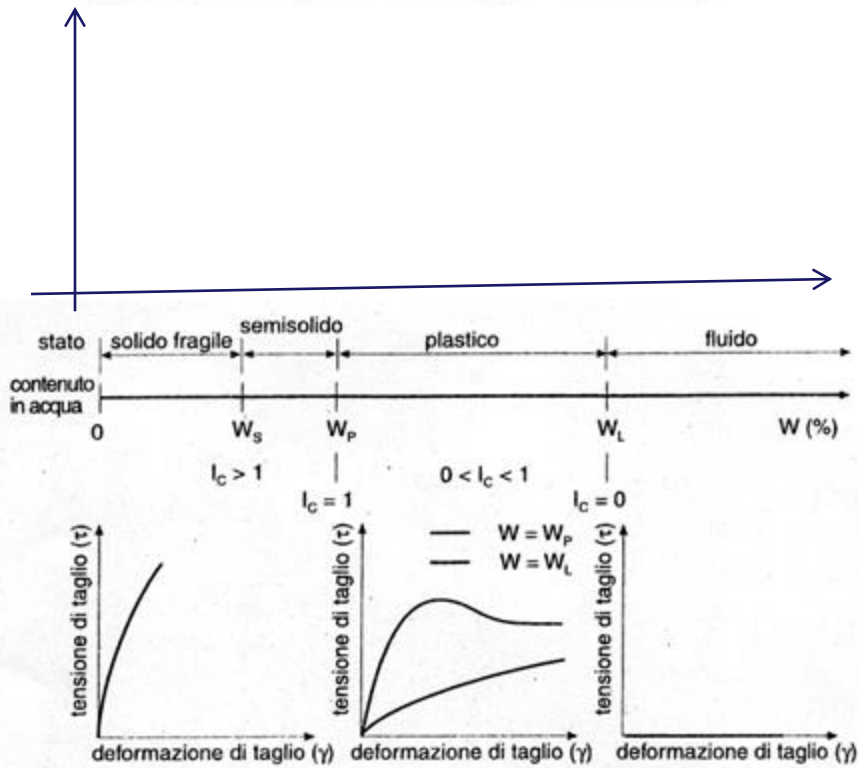
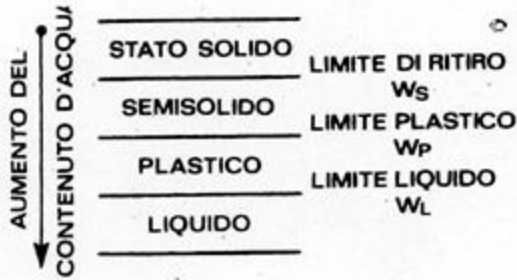
$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{V_{picn}}{W_E - W_C} = \frac{W_E - W_D}{W_E - W_C}$$

Limiti di Atterberg

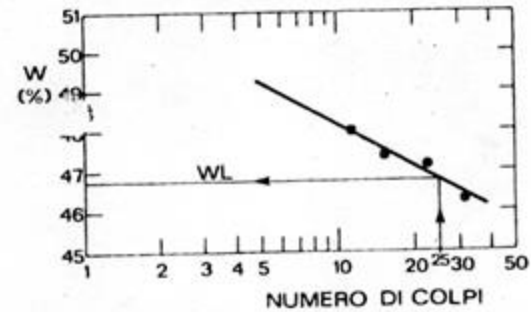
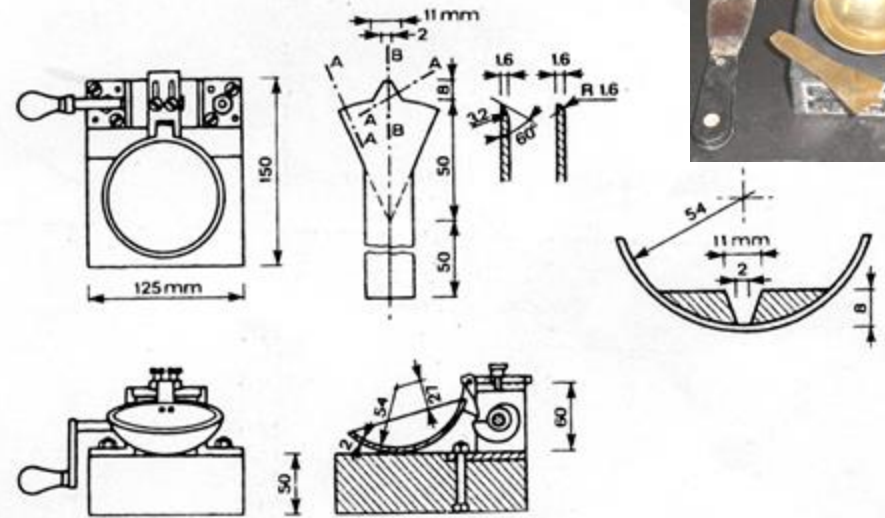
Terre a grana fine: LE ARGILLE



Limiti di Atterberg



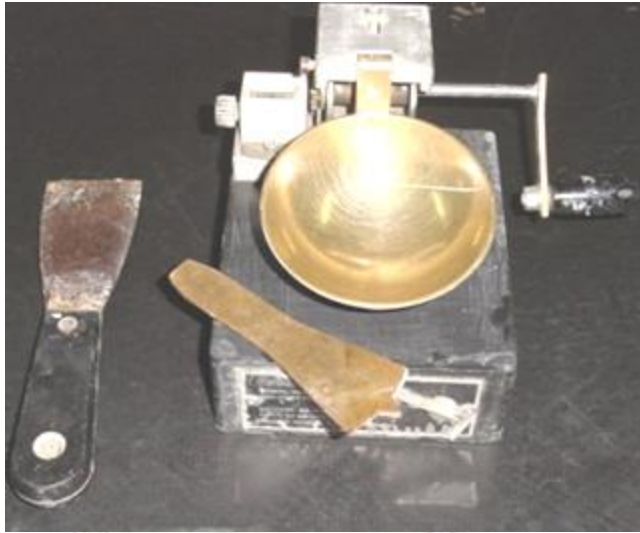
Limite liquido



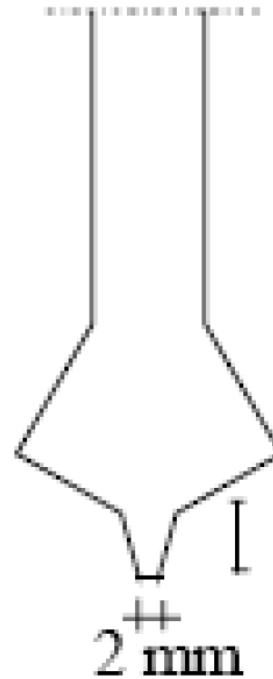
Immagini e tabelle tratte da: Lancellotta R. (1993) Geotecnica, ed. Zanichelli

Limiti di Atterberg – Limite Liquido

Limite liquido



Utensile



All'inizio



Al termine

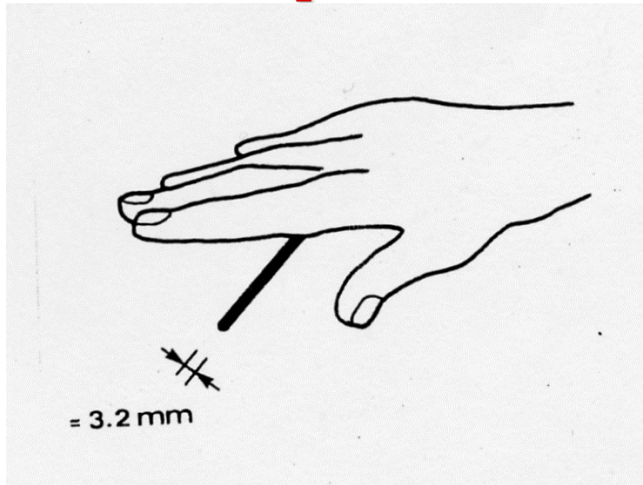


8 mm

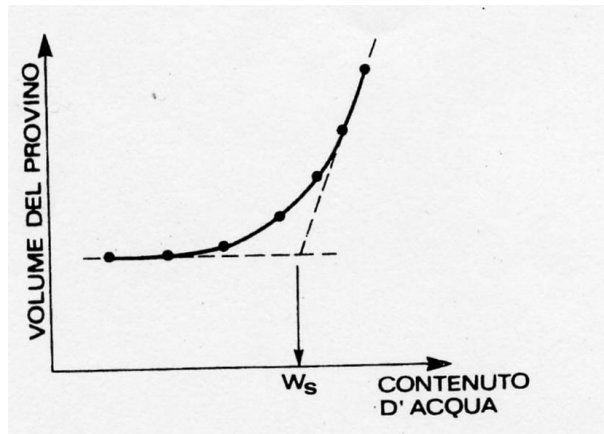
2 mm

Limiti di Atterberg

Limite plastico



Limite di ritiro



INDICI

•Indice di plasticità

$$I_p = W_L - W_P$$

•Indice di consistenza

$$I_c = \frac{W_L - W_n}{I_p}$$

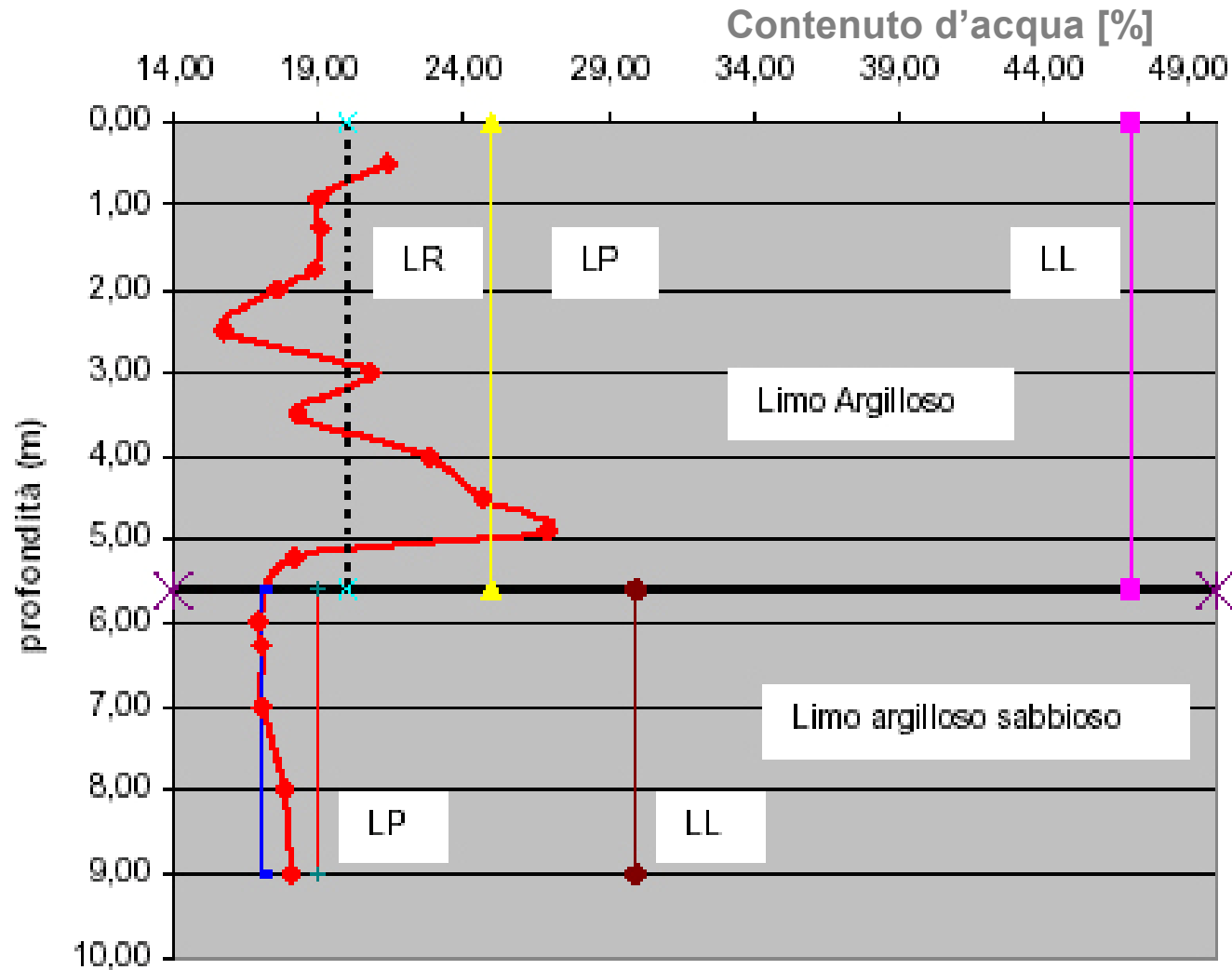
•Indice di liquidità

$$I_L = \frac{W_n - W_P}{I_p} = 1 - I_c$$

Tabella 2.3

| I_c | Consistenza |
|------------|-----------------|
| < 0 | fluida |
| 0 ÷ 0,25 | fluido-plastica |
| 0,25 ÷ 0,5 | molle-plastica |
| 0,5 ÷ 0,75 | plastica |
| 0,75 ÷ 1,0 | solido-plastica |
| > 1 | semisolido |

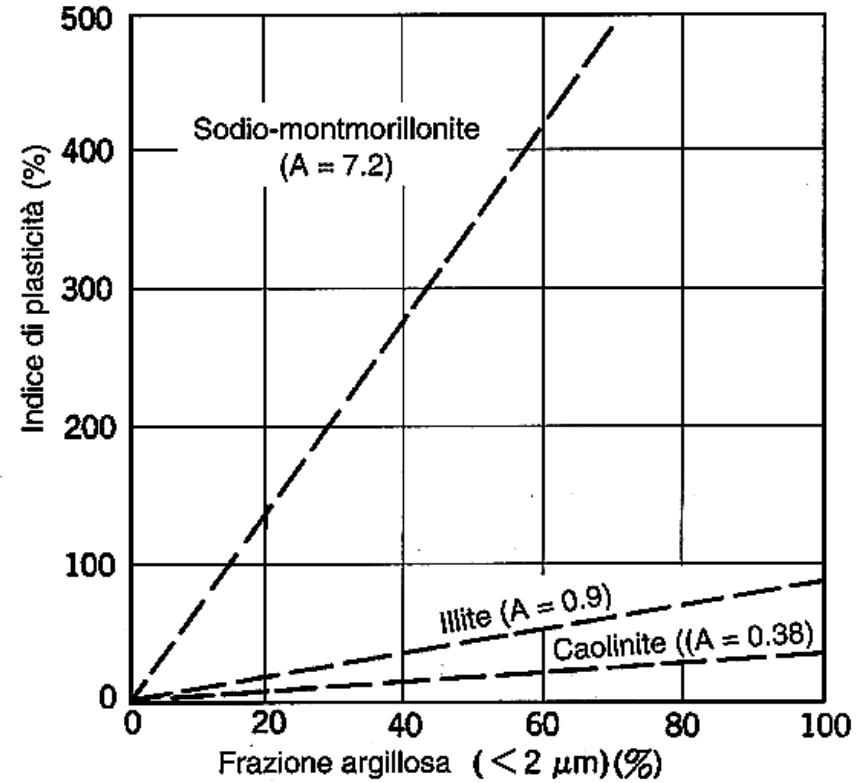
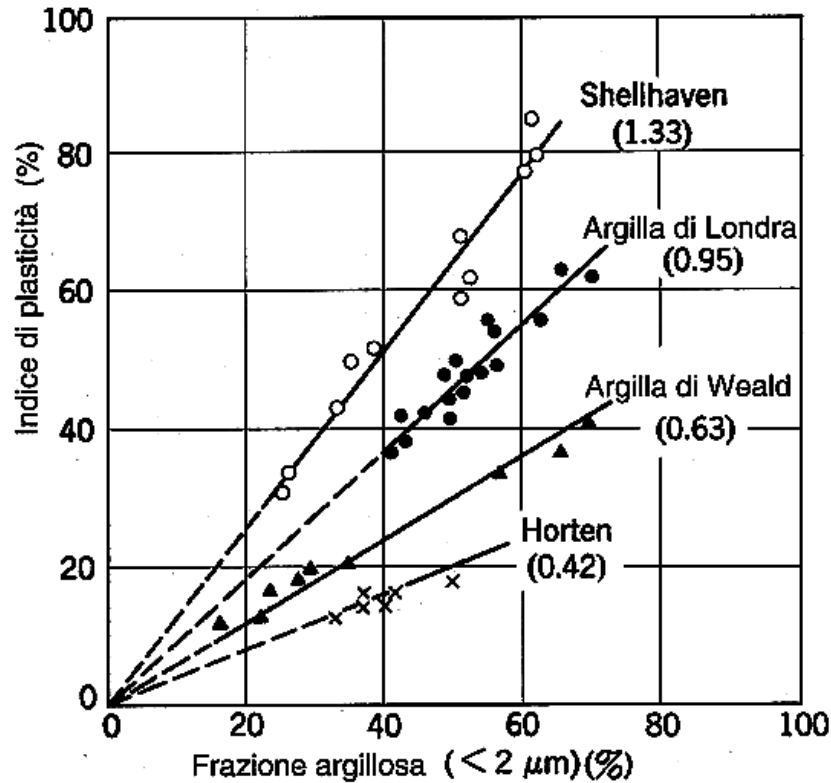
Esempio contenuto d'acqua naturale e limiti



valori tipici di alcune argille:

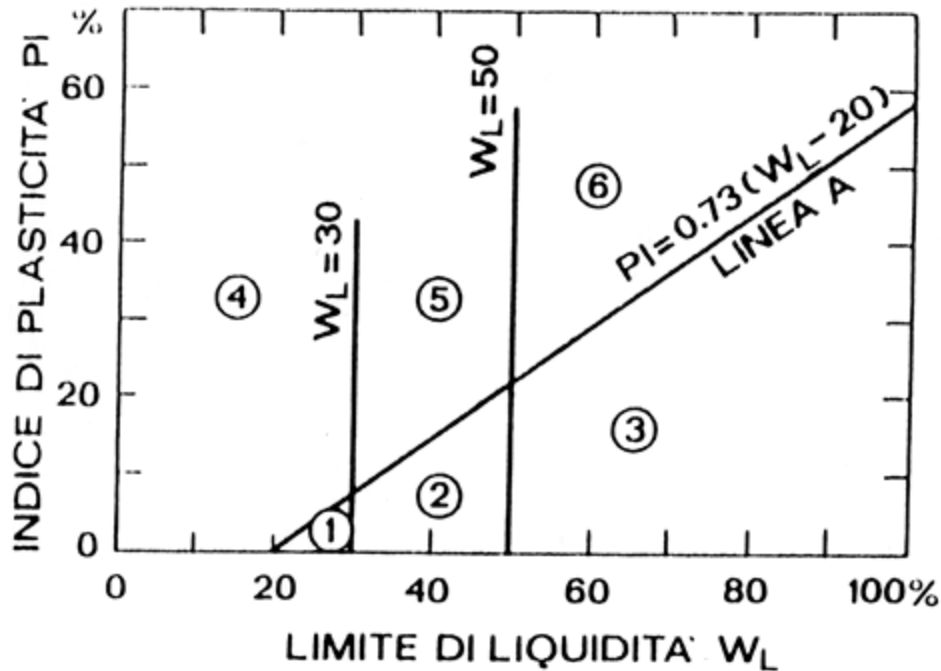
| | W_L (%) | W_P (%) | I_p (%) |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| Montmorillonite | 300 ÷ 700 | 55 ÷ 100 | 200 ÷ 650 |
| Illite | 95 ÷ 120 | 45 ÷ 60 | 50 ÷ 65 |
| Caolinite | 40 ÷ 60 | 30 ÷ 40 | 10 ÷ 25 |

Terre a grana fine: LE ARGILLE



Classificazioni terreni

Classificazione 1: Carta di Casagrande

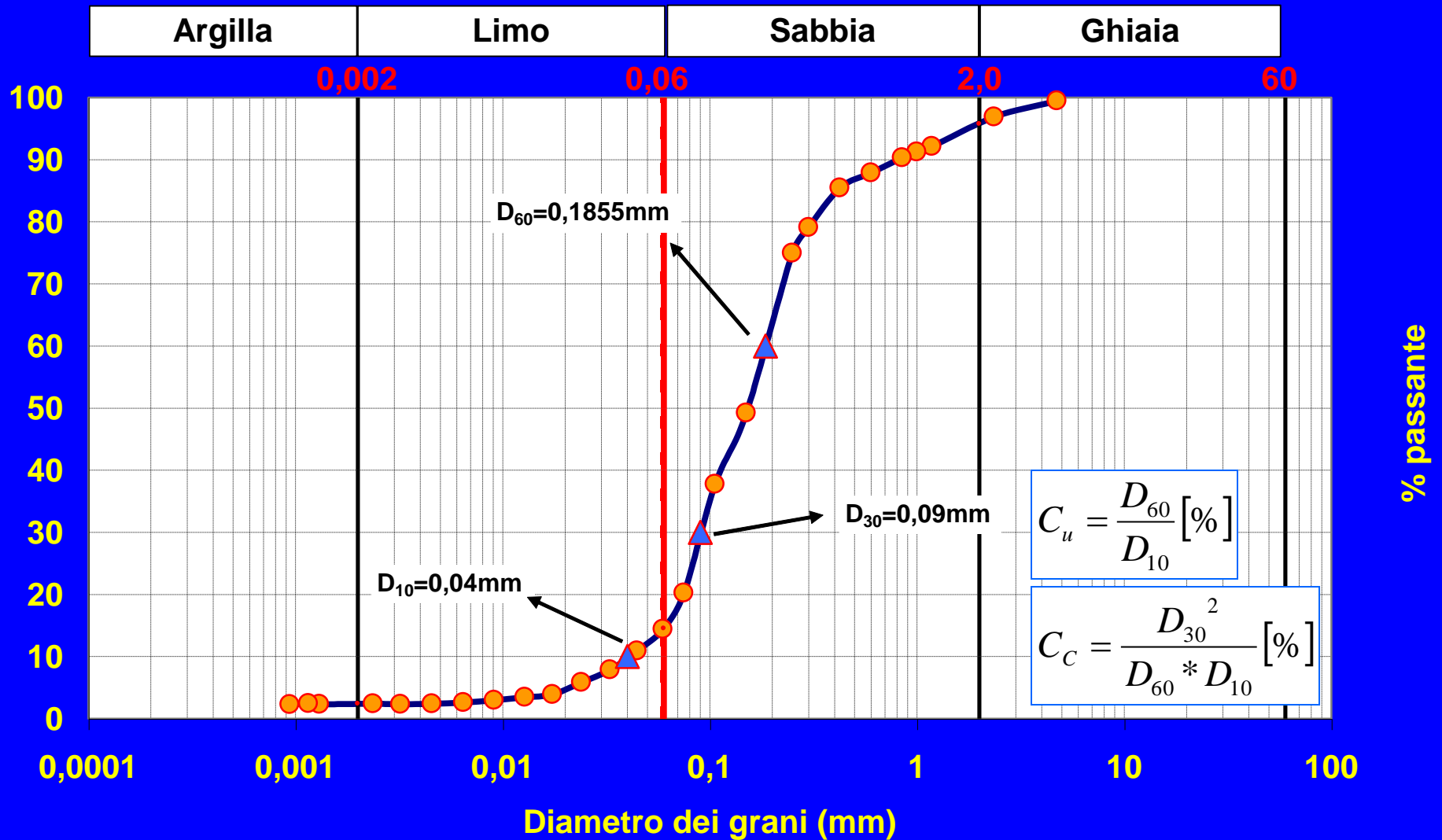


- ① Limi inorganici di bassa compressibilità
- ② Limi inorganici di media compressibilità e limi organici
- ③ Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche
- ④ Argille inorganiche di bassa plasticità
- ⑤ Argille inorganiche di media plasticità
- ⑥ Argille inorganiche di alta plasticità

Tabelle tratte da:
Lancellotta R. (1993) Geotecnica, ed. Zanichelli

Curva Granulometrica completa

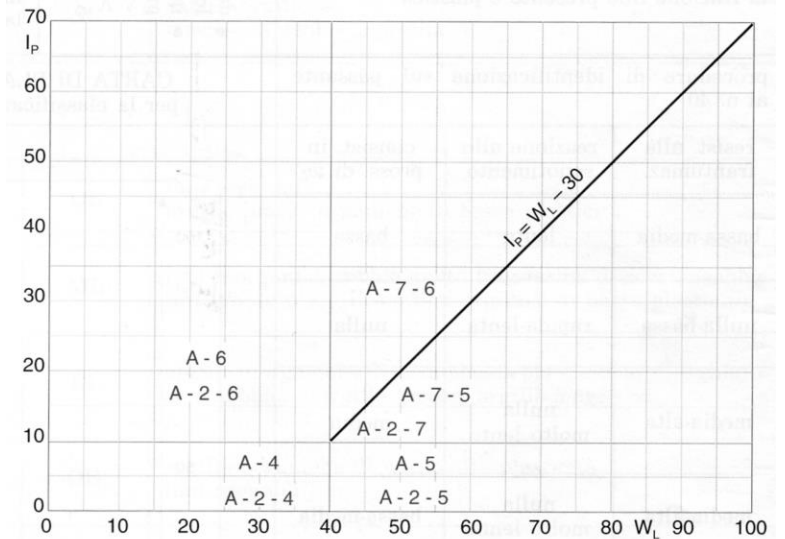
Curva granulometrica - Componente Grossolana del 20/10/03



Classificazione 2: AASHTO

| (AASHTO M 145-82) | Materiali granulari Passante al setaccio n. 200 (0,075 mm) uguale o minore del 35% | | | | | | Materiali limosi e argillosi Passante al setaccio n. 200 superiore al 35% | | | | |
|--|--|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Gruppi di classificazione | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5 A-7-6 |
| Analisi granulometrica % passante al setaccio n. 10 (2 mm) n. 40 (0,42 mm) n. 200 (0,075 mm) | 50 max 30 max 15 max | — 50 max 25 max | — 51 min 10 max | — — 35 max | — — 35 max | — — 35 max | — — 35 max | — — 36 min | — — 36 min | — — 36 min | — — 36 min |
| Caratteristiche delle frazioni passanti al n. 40 Limite di liquidità W_L Indice di plasticità I_p | — 6 max | | — N. P. | 40 max 10 max | 41 min 10 max | 40 max 11 min | 41 min 11 min | 40 max 10 max | 41 min 10 max | 40 max 11 min | 41 min 11 min* |
| Tipi usuali dei materiali principali | Frammenti di roccia ghiaia e sabbia | | Sabbia fine | Ghiaia limosa o argillosa e sabbia | | | | Terre limose | | Terre argillose | |
| Giudizio per impiego come sottofondo | Da eccellente a buono | | | | | | Da buono a povero | | | | |

* L'indice di plasticità I_p del sottogruppo A-7-5 è uguale o minore del limite di liquidità $W_L - 30$, mentre per il sottogruppo A-7-6 I_p è maggiore del limite di liquidità $W_L - 30$.



Classificazione 3: USCS

| Divisioni principali | | Simbolo del gruppo | Denominazioni tipiche | | |
|--|--|--|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| TERRE A GRANA GROSSA Frazione trattata al n. 200 ASTM > 50% | GHIAIE frazione trattata al n. 4 ≥ 50% | passante n. 200 < 5% assenza o presenza moderata di fine | GW ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscela di ghiaia e sabbia | | |
| | | passante n. 200 < 5% assenza o presenza moderata di fine | GP ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia | | |
| | | passante n. 200 > 12% presenza di fine non trascurabile | GM ghiaie limose miscela di ghiaia, sabbia e limo | | |
| | | passante n. 200 > 12% presenza di fine non trascurabile | GC ghiaie argillose miscela di ghiaia, sabbia e argilla | | |
| | SABBIE frazione passante al n. 4 > 50% | passante n. 200 < 5% assenza o presenza moderata di fine | SW sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose | | |
| | | passante n. 200 < 5% assenza o presenza moderata di fine | SP sabbie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia | | |
| | | passante n. 200 > 12% presenza di fine non trascurabile | SM sabbie limose miscela di sabbia e limo | | |
| | | passante n. 200 > 12% presenza di fine non trascurabile | SC sabbie argillose miscela di sabbia e argilla | | |
| | | TERRE A GRANA FINE Frazione passante al n. 200 ASTM > 50% | ARGILLE con indice L _v I _v < 50% | sotto la retta «A» e la zona tratteggiata del diagramma di plasticità | OL limi organici argille limose organiche di bassa plasticità |
| | | | | sotto la retta «A» e la zona tratteggiata del diagramma di plasticità | ML limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità |
| LIMI con indice H I _v ≥ 50% | sopra la retta «A» e la zona tratteggiata del diagr. di plast. | | CL argille inorganiche di medio-bassa plasticità argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre | | |
| | sotto la retta «A» del diagramma di plasticità | | OH argille organiche di medio-alta plasticità limi organici | | |
| LIMI con indice H I _v ≥ 50% | sopra la retta «A» del diagramma di plasticità | | MH limi inorganici; sabbie fini o limi micacei o diatomacei; limi elastici | | |
| | sopra la retta «A» del diagramma di plasticità | | CH argille inorganiche di elevata plasticità argille grasse | | |
| TERRE ALTAMENTE ORGANICHE | | | P _t | torbo ed altre terre altamente organiche | |

| Procedure di identificazione in situ | | | Criteri di classificazione in laboratorio | |
|--|---------------------------|-----------------------------|--|--|
| 5 | | | 6 | |
| curva granulometrica ben assortita e comprendente grani di dimensioni molto differenti | | | $C_u = D_{60}/D_{10}$ (> 4) $c_c = D_{60}^2/(D_{30} \times D_{10})$ ($1 + 3$) | |
| curva granulometrica poco assortita e ristretta a grani di dimensioni molto simili | | | nel caso non siano soddisfatte le relazioni sopraindicate | |
| la frazione è caratterizzata da una modesta plasticità | | | lim. di Atterberg sotto la retta «A» o $I_p < 4$ sopra la retta «A» con $I_p = 4-7$ classificare la terra con doppio simbolo (es.: GM-GC) | |
| la frazione fine presente è plastica | | | lim. di Atterberg sopra la retta «A» con $I_p > 7$ | |
| curva granulometrica ben assortita e comprendente grani di dimensioni molto differenti | | | $c_u > 6$ $c_c = 1 + 3$ | |
| curva granulometrica poco assortita e ristretta a grani di dimensioni molto simili | | | nel caso in cui non siano soddisfatte le relazioni sopraindicate | |
| la frazione fine presente è caratterizzata da una plasticità modesta o nulla | | | lim. di Atterberg sotto la retta «A» o $I_p < 4$ nella zona tratteggiata con $I_p = 4-7$ classificare la terra con doppio simbolo (es.: SW-SM) | |
| la frazione fine presente è plastica | | | lim. di Atterberg sopra la retta «A» con $I_p > 7$ | |
| procedure di identificazione sul passante al n. 40 | | | CARTA DI PLASTICITÀ DI CASAGRANDE per la classificazione delle terre a grana fine | |
| resist. alla frantumaz. | reazione allo scuotimento | consist. in pross. di w_L | | |
| bassa-media | lenta | bassa | | |
| nulla-bassa | rapida-lenta | nulla | | |
| media-alta | nulla molto lenta | media | | |
| media-alta | nulla molto lenta | bassa-media | | |
| bassa-media | nulla-lenta | bassa-media | | |
| alta molto alta | nulla | alta | | |

Classificazione 4: BS 5930

| | Tipo | Dimensioni (mm) | Identificazione visiva | Natura delle particelle e plasticità | Composizione (miscele di terre differenti) | | |
|---|----------|-----------------|---|---|---|--|----------|
| TERRA A GRANA MOLTO GROSSA | MASSI | 200 | Distinguibili completamente solo se affioranti o in scavi. | Forma particelle: angolare subangolare subarrotondata arrotondata piatta allungata | Scala dei costituenti secondari in terre a grana grossa | | |
| | CIOTTOLI | | Il loro recupero da un foro di sondaggio è spesso problematico. | | Termine | Argilla o limo in % | |
| TERRA A GRANA GROSSA sabbia e ghiaia presenti in percentuali $\geq 65\%$ | GHIAIE | grosse | Facilmente riconoscibili ad occhio nudo; è possibile descriverne la forma dei grani, come pure la granulometria media. Granulometria ben assortita: è presente una ampia gamma di grani di differenti dimensioni. Granulometria poco assortita: non ben graduata. Può essere uniforme: le dimensioni della maggior parte delle particelle si collocano in un campo di valori ristretto. Male assortita: una dimensione intermedia di particelle è marcatamente sottorappresentata o assente. | Superficie: ruvida liscia levigata | ghiaia o sabbia | poco argillosa poco limosa | ≤ 5 |
| | | medie | I grani sono distinguibili ad occhio nudo; allo stato secco presentano coesione minima o nulla; è possibile descriverne la granulometria. Granulometria ben assortita: è presente una ampia gamma di grani di differenti dimensioni. Granulometria poco assortita: non ben graduata. Può essere uniforme: le dimensioni della maggior parte delle particelle si collocano in un campo di valori ristretto. Male assortita: una dimensione intermedia di particelle è marcatamente sottorappresentata o assente. | | ghiaia o sabbia | argillosa limosa | 5 - 15 |
| | | fini | | | ghiaia o sabbia | molto argillosa molto limosa | 15 - 35 |
| | SABBIE | grosse | I grani sono distinguibili ad occhio nudo; allo stato secco presentano coesione minima o nulla; è possibile descriverne la granulometria. Granulometria ben assortita: è presente una ampia gamma di grani di differenti dimensioni. Granulometria poco assortita: non ben graduata. Può essere uniforme: le dimensioni della maggior parte delle particelle si collocano in un campo di valori ristretto. Male assortita: una dimensione intermedia di particelle è marcatamente sottorappresentata o assente. | | ghiaia sabbiosa sabbia ghiaiosa | ghiaia o sabbia con, rispettivamente, una importante presenza di sabbia o ghiaia | |
| | | medie | | | Per terre composite si indica: — argillose: i fini sono plastici e coesivi — limose: i fini sono non plastici o di bassa plasticità | | |
| | | fini | | | | | |
| | | 0,06 | | | | | |

| Compattezza/Resistenza | | Struttura | | | Colore |
|------------------------|--|------------|---|--|---|
| Termine | Prova in situ | Termine | Identificazione in situ | Scale | |
| sciolta | Ispezione dei vuoti e osservazione della disposizione delle particelle. | omogenea | Deposito di un solo tipo. | Scala delle distanze tra strati di differente tipo (A) | |
| | | densa | | inter-stratificata | Termine |
| | | eterogenea | Strati alternati di differenti litotipi o con livelli o con lenti di altro materiale. | stratificazioni molto ampie | > 2000 |
| | | | | stratificazioni ampie | 600 - 2000 > 2000 |
| sciolta | Può essere scavata con una vanga; un piolo di 5 cm può essere facilmente infisso. | alterata | Un miscuglio di litotipi. | stratificazioni di media ampiezza | 200 - 600 |
| densa | Per lo scavo è necessario un piccone; un piolo di 5 cm viene infisso con difficoltà. | | | stratificazioni di modesta ampiezza | 60 - 2000 |
| leggermente cementata | Esame visivo; il piccone smuove la terra in zolle, che possono essere facilmente incise. | | | stratificazioni di ampiezza molto modesta | 20 - 60 |
| | | | | laminazioni grossolane | 6 - 20 |
| | | | | laminazioni molto ravvicinate | < 6 |
| | | | | | Completato se necessario da: chiaro scuro a chiazze ecc. |

Tabelle tratte da:

Colombo P., Colleselli F. (1996) Elementi di geotecnica, ed. Zanichelli

Classificazione 4: BS 5930

| | Tipo | Dimensioni (mm) | Identificazione visiva | Natura delle particelle e plasticità | Composizione (miscele di terre differenti) | | |
|--|---------------------------------|------------------|--|---|--|--|--|
| TERRE A GRANA FINE limo e argilla presenti in percentuali $\geq 35\%$ | LIMI | grossi — 0,02 | Solamente i limi grossi sono distinguibili a occhio nudo; presentano bassa plasticità e marcata reazione allo scuotimento, al tatto appaiono leggermente granulari o ruvidi; si disintegrano in acqua; posseggono coesione ma possono essere facilmente polverizzati con le dita. | non plastici o con plasticità bassa | Scala dei costituenti secondari in terre a grana fine | | |
| | | medi — 0,006 | | | Termine | Sabbia o ghiaia in % | |
| fini — 0,002 | | argilla o limo | | | sabbioso o ghiaioso | 35 + 65 | |
| ARGILLE | varie | varie | Allo stato secco possono essere rotte ma non polverizzate con le dita; si disintegrano in acqua lentamente; appaiono lisce al tatto; presentano plasticità; reazione allo scuotimento quasi nulla; si appiccicano alle dita ed essicano lentamente; si ritirano apprezzabilmente; essiccando generalmente fessurano. All'aumentare della plasticità questi fenomeni assumono maggiore rilevanza. | plasticità media (argille magre) | argilla o limo | < 35 | |
| | | | | plasticità elevata (argille grasse) | Esempi di terre composite | | |
| | | | | Ghiaia da fine a grossa, subangolare, molto sabbiosa, sciolta, marrone, con piccole quantità di argilla grigia molle. | Sabbia da fine a media, argillosa, di densità media, marrone chiaro. | Argilla sabbiosa compatta, fessurate sabbiose, marron arancione. | |
| TERRE ORGANICHE | ARGILLE LIMI O SABBIE ORGANICHE | varie | Contengono quantità notevoli di materia vegetale organica. | | Limo e argilla compatti, sottilmente laminati, grigi. | | |
| | TORBE | varie | Peso di volume basso; odore caratteristico; colore marrone-scuro o nero. | | Torba plastica, amorfa, marrone. | | |

| Compattezza/resistenza | | Struttura | | | Colore |
|------------------------|--|-------------------|---|--|---|
| Termine | Prova in situ | Termine | Identificazione in situ | Scale | |
| molle o sciolto | Può essere facilmente modellato o schiacciato con le dita. | fessurata | Rotta lungo fessure in frammenti poliedrici. Può essere usata la scala B. | Scala delle distanze tra altri tipi di discontinuità (B) | rossastro rosato giallastro bruno ecc. |
| compatto o denso | Può essere modellato o schiacciato con una decisa pressione delle dita. | intatta | Non fessurata. | | |
| molto molle | Fuoriesce tra le dita quando viene compressa in mano ($P_p < 40$ kPa). | omogenea | Il deposito è composto da un unico litotipo. | | |
| molle | Modellabile con una leggera pressione delle dita ($P_p = 40 - 80$ kPa). | interstratificata | Strati alternati di litotipi differenti. Può essere usata la scala B. | Termine | Distanza media (mm) |
| compatta | Modellabile con una decisa pressione delle dita ($P_p = 80 - 150$ kPa). | alterata | Generalmente in frammenti o con struttura colonnare. | | |
| dura | Non può essere rimaneggiata con le dita; può essere segnata con il pollice ($P_p = 150 - 300$ kPa). | | | spaziatura ampia | 600 - 2000 |
| molto dura | Può essere segnata con l'unghia del pollice ($P_p > 300$ kPa). | | | spaziatura media | 200 - 600 |
| compatta | Le fibre sono già compresse l'una sull'altra. | fibrosa | Il vegetale è riconoscibile e offre una certa resistenza. | spaziatura ristretta | 60 - 200 |
| soffice | Molto compressibile e con struttura aperta. | | | spaziatura molto ristretta | 20 - 60 |
| plastica | Modellabile con le mani; imbratta le dita. | | | | spaziatura estremamente ravvicinata |

Tabelle tratte da:

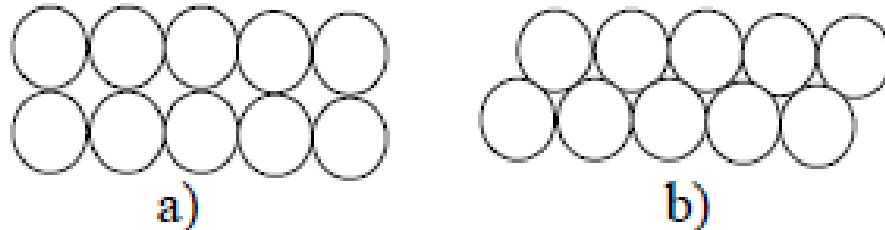
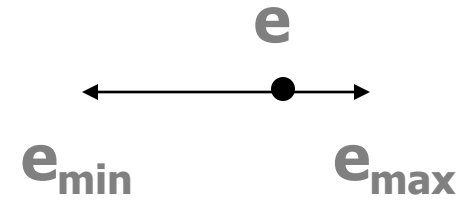
Colombo P., Colleselli F (1996) Elementi di geotecnica, ed. Zanichelli

Densità relativa per terreni

Terre a grana grossa : LE SABBIE

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\%$$

$$= \frac{\gamma_{d \max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d \min}}{\gamma_{d \max} - \gamma_{d \min}} \times 100\%$$



| Densità relativa D_r (%) | Descrizione |
|----------------------------|------------------------|
| 0 - 15 | di densità molto bassa |
| 15 - 35 | scarsamente addensato |
| 35 - 65 | mediamente addensato |
| 65 - 85 | addensato |
| 85 - 100 | molto addensato |

| Descrizione | Indice di porosità | | Porosità % | | Peso secco dell'unità di volume (kN/m³) | |
|-----------------------------|--------------------|------------|------------|------------|---|-------------------|
| | e_{\max} | e_{\min} | n_{\max} | n_{\min} | $\gamma_{d \min}$ | $\gamma_{d \max}$ |
| Sfere dello stesso diametro | 0.92 | 0.35 | 47.6 | 26.0 | - | - |
| Sabbia di Ottawa | 0.80 | 0.50 | 44 | 33 | 14.5 | 17.3 |
| Sabbia uniforme pulita | 1.0 | 0.40 | 50 | 29 | 13.0 | 18.5 |
| Limo inorganico uniforme | 1.1 | 0.40 | 52 | 29 | 12.6 | 18.5 |
| Sabbia limosa | 0.90 | 0.30 | 47 | 23 | 13.7 | 20.0 |
| Sabbia da fina a grossa | 0.95 | 0.20 | 49 | 17 | 13.4 | 21.7 |
| Sabbia micacea | 1.2 | 0.40 | 55 | 29 | 11.9 | 18.9 |
| Sabbia limosa e ghiaia | 0.85 | 0.14 | 46 | 12 | 14.0 | 22.9 |

La struttura dipende dalla forma dei granuli, dalla distribuzione della dimensione dei granuli, dal grado di addensamento.

Terre a grana grossa : LE SABBIE

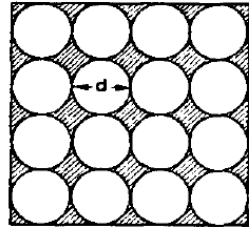
$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\%$$

$$= \frac{\gamma_d \max}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_d \min}{\gamma_d \max - \gamma_d \min} \times 100\%$$

| Densità relativa D_r (%) | Descrizione |
|----------------------------|------------------------|
| 0 - 15 | di densità molto bassa |
| 15 - 35 | scarsamente addensato |
| 35 - 65 | mediamente addensato |
| 65 - 85 | addensato |
| 85 - 100 | molto addensato |

| Descrizione | Indice di porosità | | Porosità % | | Peso secco dell'unità di volume (kN/m ³) | |
|-----------------------------|--------------------|------------|------------|------------|--|------------------|
| | e_{\max} | e_{\min} | n_{\max} | n_{\min} | $\gamma_{d\min}$ | $\gamma_{d\max}$ |
| Sfere dello stesso diametro | 0.92 | 0.35 | 47.6 | 26.0 | - | - |
| Sabbia di Ottawa | 0.80 | 0.50 | 44 | 33 | 14.5 | 17.3 |
| Sabbia uniforme pulita | 1.0 | 0.40 | 50 | 29 | 13.0 | 18.5 |
| Limo inorganico uniforme | 1.1 | 0.40 | 52 | 29 | 12.6 | 18.5 |
| Sabbia limosa | 0.90 | 0.30 | 47 | 23 | 13.7 | 20.0 |
| Sabbia da fina a grossa | 0.95 | 0.20 | 49 | 17 | 13.4 | 21.7 |
| Sabbia micacea | 1.2 | 0.40 | 55 | 29 | 11.9 | 18.9 |
| Sabbia limosa e ghiaia | 0.85 | 0.14 | 46 | 12 | 14.0 | 22.9 |

Stima indice dei vuoti massimo

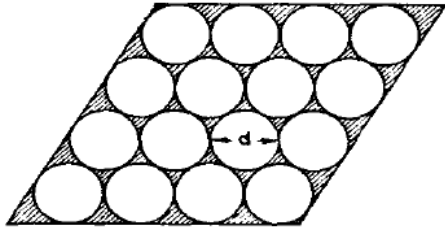


Disposizione dei granuli, che comporta il massimo volume dei vuoti

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\%$$
$$= \frac{\gamma_{d \max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d \min}}{\gamma_{d \max} - \gamma_{d \min}} \times 100\%$$

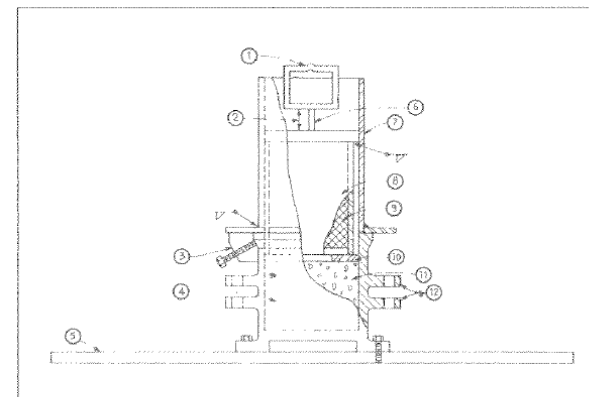
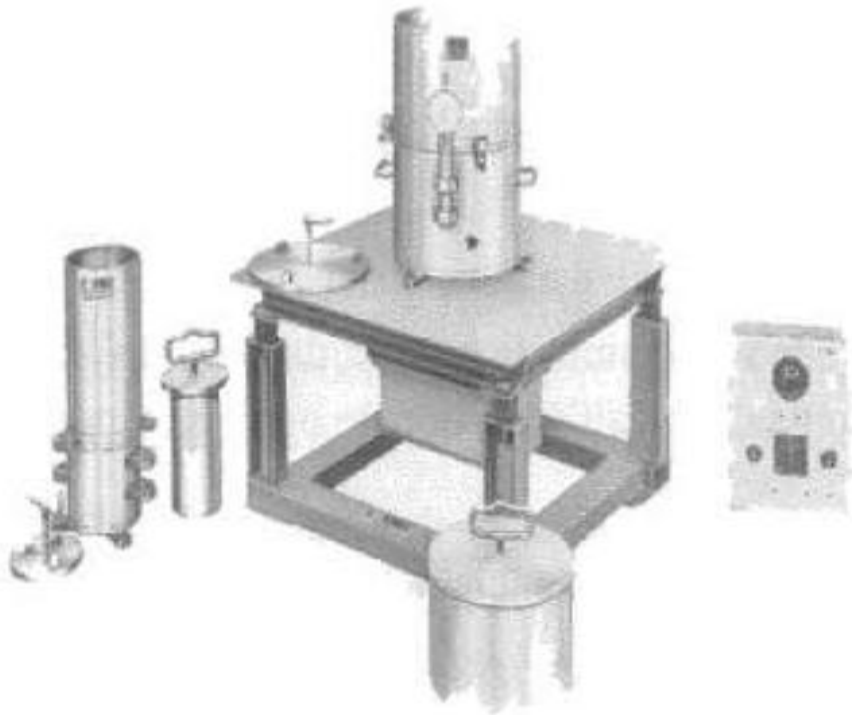


Stima indice dei vuoti minimo



Disposizione che comporta il minimo volume dei vuoti

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\%$$
$$= \frac{\gamma_{d \max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d \min}}{\gamma_{d \max} - \gamma_{d \min}} \times 100\%$$



- 1 Maniglia di servizio
- 2 Circa 3 cm
- 3 Morsetto di serraggio
- 4 Fustella cilindrica
- 5 Piastra del tavolo vibrante
- 6 Asta filettata da 10 mm
- 7 Cilindro di guida
- 8 Cilindro di sovraccarico
- 9 Piombo di sovraccarico
- 10 Piastra di ripartizione del carico
- 11 Campione di sabbia
- 12 Staffa di guida del comparatore

Figura 5.32
Attrezzatura in fase di prova

