

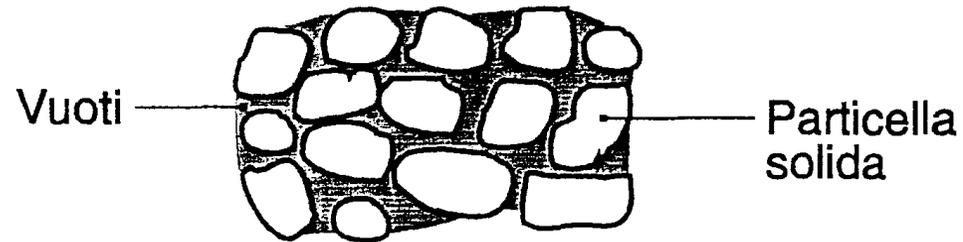
GEOTECNICA

Nunziante Squeglia

nunziante.squeglia@unipi.it

CONCETTI INTRODUTTIVI

Un insieme, compressibile, di particelle solide (scheletro solido) con inclusi vuoti.



TERRENI SATURI → Tutti i vuoti riempiti con acqua

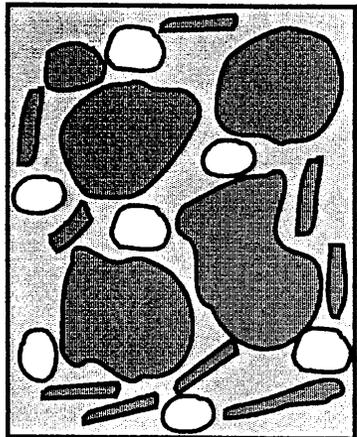
TERRENI PARZIALMENTE SATURI → Vuoti riempiti in parte con acqua ed in parte con aria

TERRENI ASCIUTTI → Tutti vuoti riempiti con aria

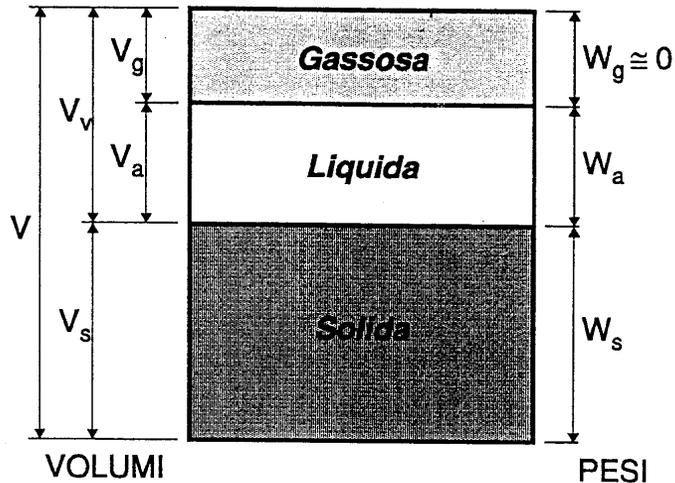
Terreni sciolti = materiali particellari multifase

TERRENO → MATERIALE PLURIFASE

VOLUME DI TERRENO NATURALE



VOLUME DI TERRENO CON LE FASI SEPARATE



Porosità: $n = \frac{V_v}{V}$

Indice dei vuoti: $e = \frac{V_v}{V_s}$

Contenuto d'acqua naturale: $W_n = \frac{W_a}{W_s}$

Grado di saturazione: $S = \frac{V_a}{V_v}$

Peso di volume totale: $\gamma_t = \frac{W}{V}$

Peso di volume secco: $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

Peso specifico dei grani: $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_a}; \quad \gamma_t = \frac{W}{V}$

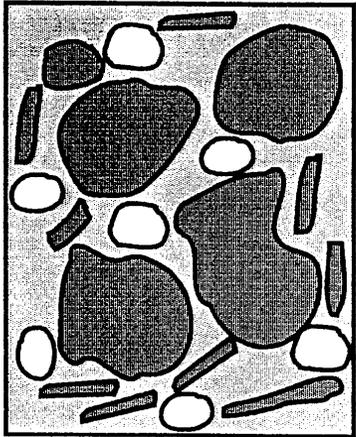
Peso di volume secco:

essiccazione in forno per 12 ore a 105°C (eliminazione solo dell'acqua libera)

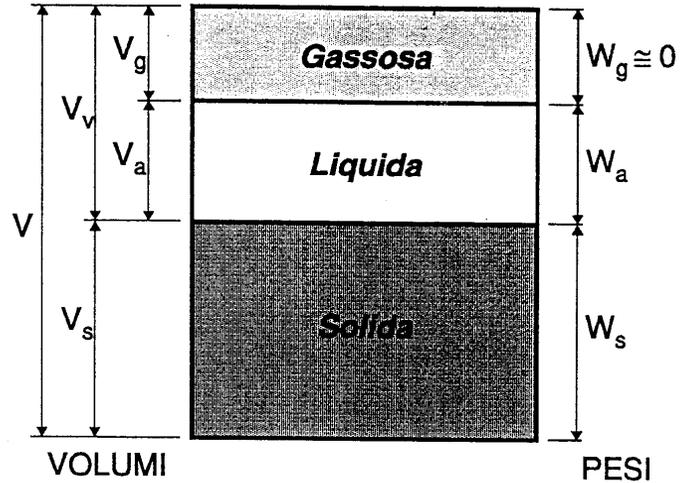


TERRENO → MATERIALE PLURIFASE

VOLUME DI TERRENO NATURALE



VOLUME DI TERRENO CON LE FASI SEPARATE



Porosità: $n = \frac{V_v}{V}$

Indice dei vuoti: $e = \frac{V_v}{V_s}$

Contenuto d'acqua naturale: $W_n = \frac{W_a}{W_s}$

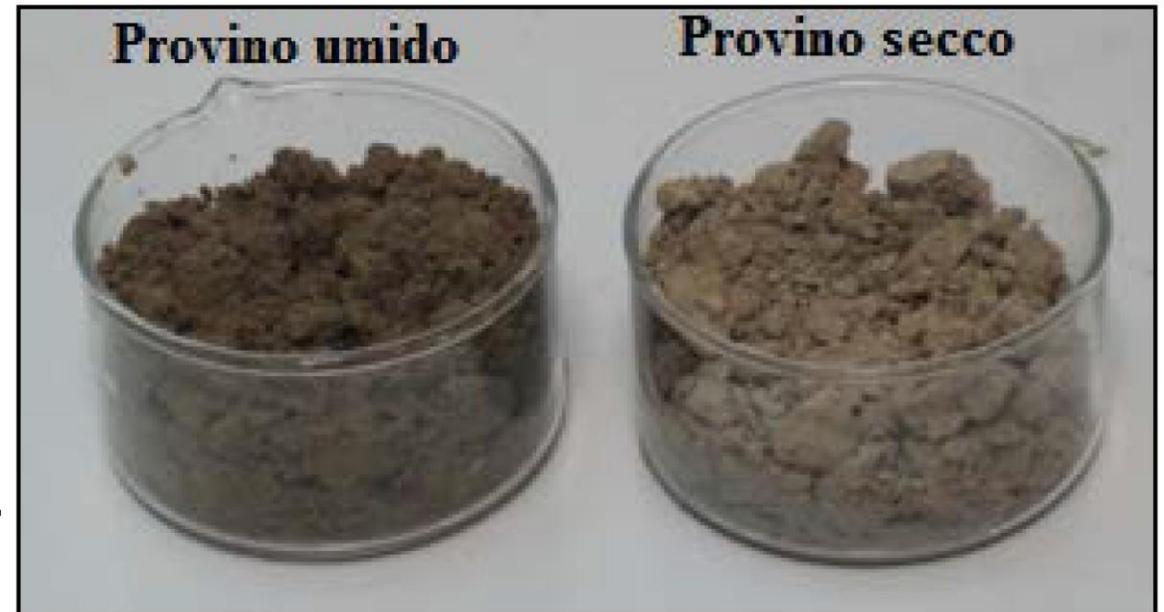
Grado di saturazione: $S = \frac{V_a}{V_v}$

Peso di volume totale: $\gamma_t = \frac{W}{V}$

Peso di volume secco: $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

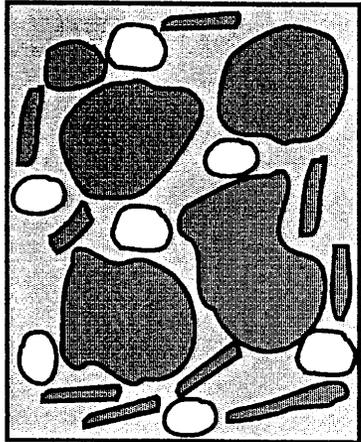
Peso specifico dei grani: $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_a}; \quad \gamma_t = \frac{W}{V}$

Contenuto d'acqua naturale (in-situ):
usando campioni rimaneggiati. Pesata pre/post essiccazione a 105 °C.

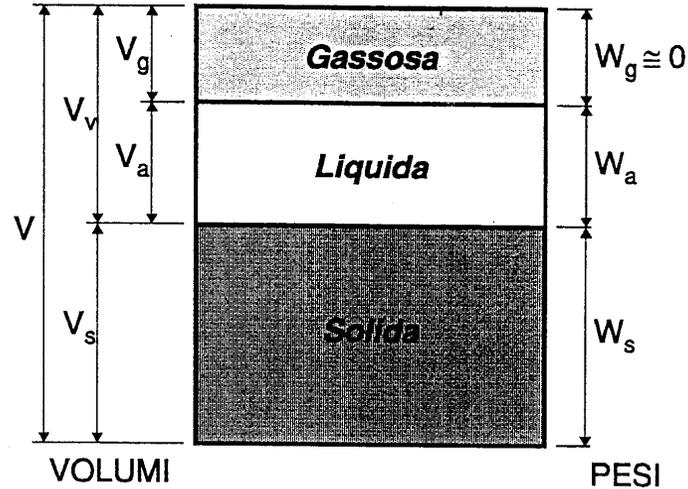


TERRENO → MATERIALE PLURIFASE

VOLUME DI TERRENO NATURALE



VOLUME DI TERRENO CON LE FASI SEPARATE



Porosità: $n = \frac{V_v}{V}$

Indice dei vuoti: $e = \frac{V_v}{V_s}$

Contenuto d'acqua naturale: $W_n = \frac{W_a}{W_s}$

Grado di saturazione: $S = \frac{V_a}{V_v}$

Peso di volume totale: $\gamma_t = \frac{W}{V}$

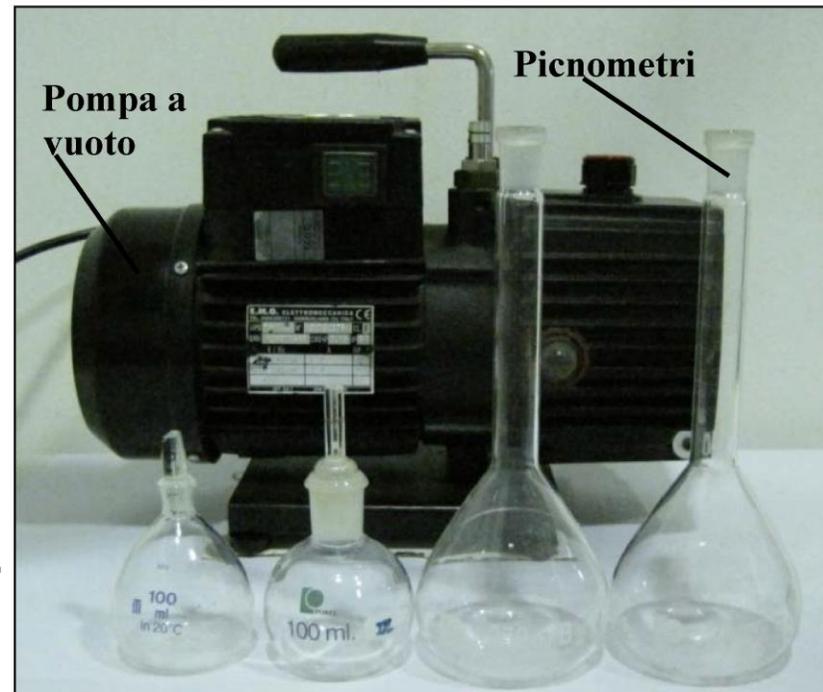
Peso di volume secco: $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

Peso specifico dei grani: $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_a}; \quad \gamma_t = \frac{W}{V}$

Peso specifico dei grani (ASTM D854):
usando frazione granulometrica con $D < 4.75 \text{ mm}$ (setaccio n°4)

Strumento: Picnometro ad acqua con soluzione acqua distillata + terreno

$$G_{20} = K \frac{M_s}{[M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)]}$$



$$e = \frac{G_s - \gamma_d / \gamma_w}{\gamma_d / \gamma_w}$$

$$\gamma_{tot} = \gamma_d \cdot (1 + w)$$

PESO DI VOLUME DEI TERRENI SATURI

<i>COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA</i>	<i>valori di γ (KN/m³)</i>
<i>GHIAIE E SABBIE</i>	<i>18.5 → 21.5</i>
<i>SABBIE</i>	<i>17.0 → 20.5</i>
<i>SABBIE LIMOSE</i>	<i>16.5 → 20.0</i>
<i>LIMI *</i>	<i>16.5 → 21.0</i>
<i>ARGILLE *</i>	<i>16.5 → 22.0</i>

() Materiali inorganici*

Parametro fisico	Ghiaie	Sabbie	Limi	Argille
n (adimensionale)	0,20-0,40	0,25-0,45	0,30-0,50	0,30-0,75
γ_{tot} (kN/m³)	18-23	16-21	16-21	14-21
γ_d (kN/m³)	14-21	13-18	13-19	7-18
G_s (adimensionale)	2,6-2,7	2,6-2,7	2,7	2,6-2,7

	Argilla	Limo			Sabbia			Ghiaia		
		F	M	G	F	M	G	F	M	G
AGI	<	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20
	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60
USCS	<				0.075	0.425	2	4.75		19
		0.075				0.425	2	4.75	19	75

F=Fine, M=Medio, G=Grosso. Le misure sono espresse in mm.

UNI-2334 / CNR-10006			ASTM - D1140/E11		
Numero setaccio	Tipo	Diametro (mm)	Maglia	Tipo	Apertura netta maglia (mm)
100	crivello	100,0	4"	setaccio	101,6
71	crivello	71,0	3"	setaccio	76,2
50	crivello	50,0	2"	setaccio	50,8
40	crivello	40,0	1,5"	setaccio	37,5
25	crivello	25,0	1"	setaccio	25,4
10	crivello	10,0	1/2"	setaccio	12,7
5	crivello	5,0	n°40	setaccio	4,76
7	setaccio	2,0	n°10	setaccio	2,0
14	setaccio	0,850	n°20	setaccio	0,84
21	setaccio	0,420	n°40	setaccio	0,425
26	setaccio	0,250	n°60	setaccio	0,25
33	setaccio	0,106	n°140	setaccio	0,105
37	setaccio	0,075	n°200	setaccio	0,074
<i>in alternativa solo in campo geotecnico</i>					
	setaccio	0,063	n°232	setaccio	0,063

n°4 (40 è un refuso)

Vagliatura
setacci (maglia quadrata) o
crivelli (maglia circolare)

Sedimentazione

Aerometria con campione di 50 g di materiale avente $d < 0.075$ mm (setaccio n°200), post-essiccazione. Procedura definita nella ASTM D422.

Legge di Stokes

$$v = f(d^2)$$

v = velocità di caduta

d = diametro particella



Esecuzione e

Strumentazione

1) Dissoluzione del materiale in una soluzione antiflocculante (acqua dist. + esametafosfato di sodio), mediante agitazione meccanica (15 min).

2) Sospensione in contenitore

3) Misura della densità (densimetro) a intervalli di tempo fissati + misura

temperatura sospensione

Coeff. di uniformità

$$U_c = d_{60}/d_{10}$$

Fino a 2 -> materiale uniforme

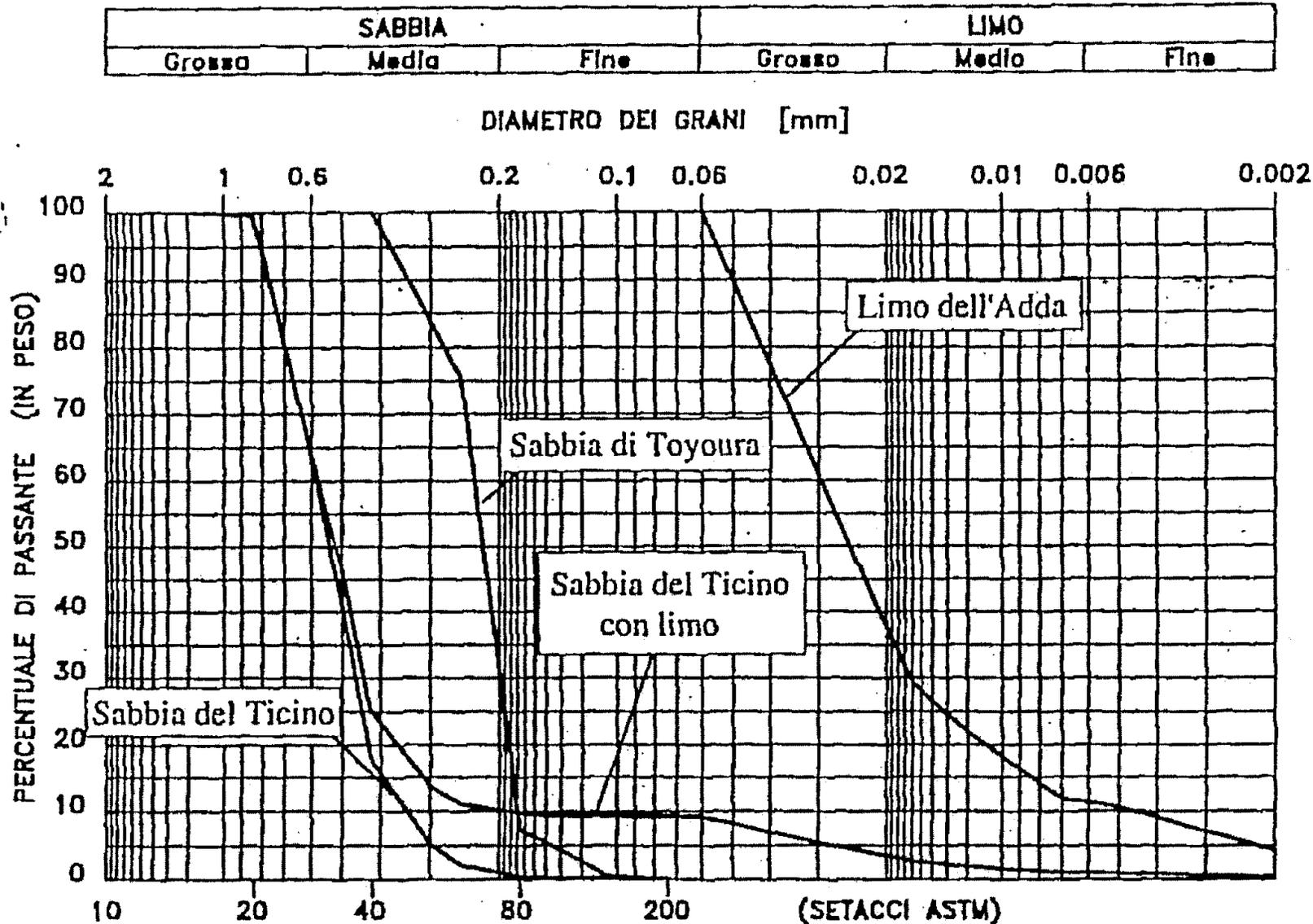
Fino a 6 -> poco assortito

>6 ben assortito

Coeff. di curvatura

$$C_c = d_{30}^2 / (d_{10} * d_{60})$$

Se <1 o >3 indica assenza di alcune frazioni granulometriche



ing. Nunziante Squeglia

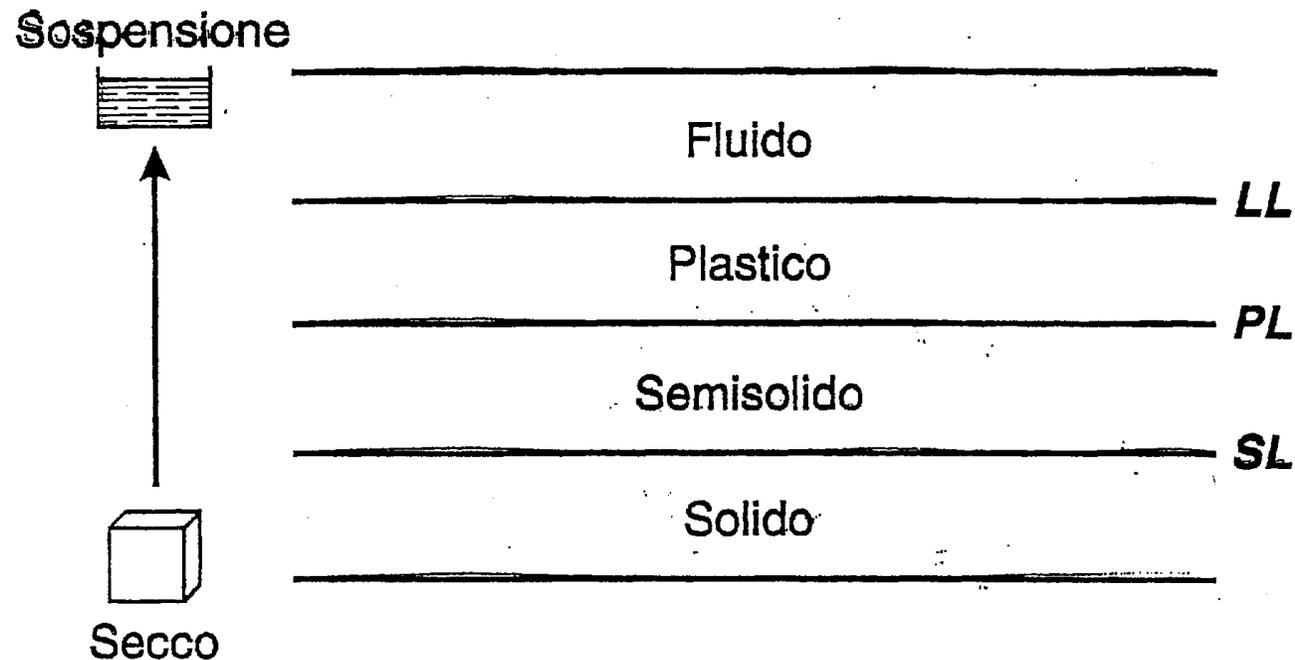
	U _c	C _c
Ticino	1.57	1.05
Toyouura	1.27	1.07
Ticino + limo	3.47	1.93
Qiuou	4.40	1.93
MSG53	8.10	1.30
MSG76	3.50	1.79

Proprietà indice della componente fine (sono specifici valori di contenuto d'acqua)

usando frazione granulometrica con $D < 0.42$ mm (setaccio n°40)

LIMITI DI ATTERBERG E LORO SIGNIFICATO FISICO

Limite liquido (LL), limite plastico (PL), limite di ritiro (SL) consentono di definire la consistenza dei terreni coesivi.

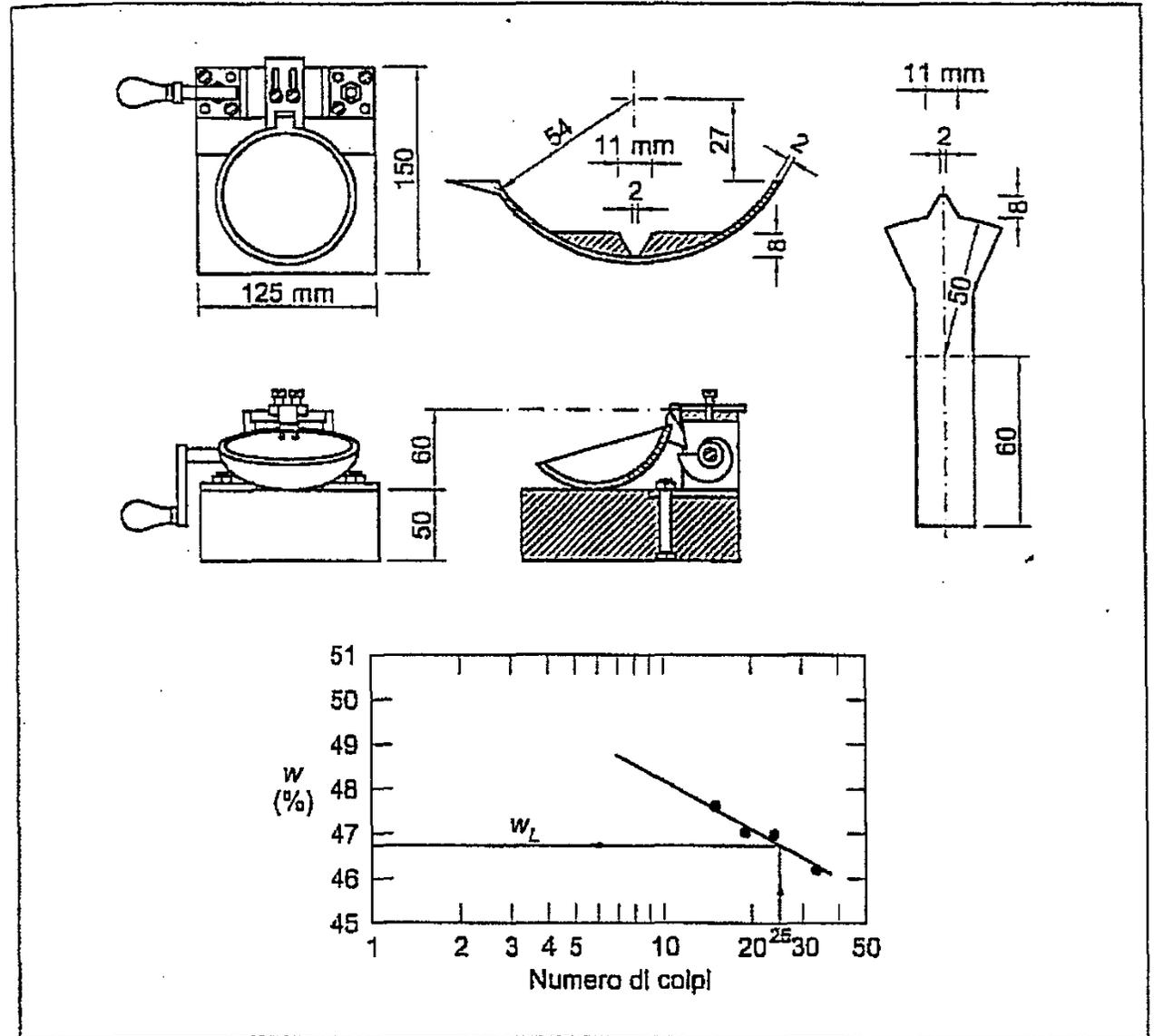


LL (o w_L) – Cucchiaino di Casagrande

Quantità di materiale = approx
100 g

Altezza di caduta = 1 cm

LL = w -> tale che n° colpi = 25



LP (o w_p)

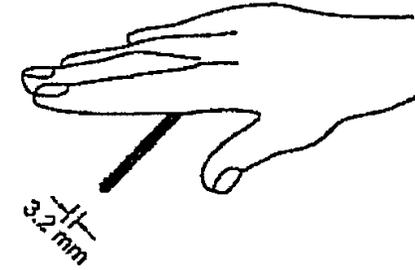
Bastoncini di materiale con
 $d=3.2$ mm

*LP = w -> tale che bastoncini
siano privi di fessure*

$$PI = w_L - w_P$$

$$LI = \frac{w_N - w_P}{PI}$$

$$IC = \frac{w_L - w_N}{PI} = 1 - LI$$



Descrizione consistenza di un'argilla

Valori di IC	Consistenza
< 0	Fluida
0 < IC < 0.25	Fluido-plastica
0.25 < IC < 0.50	Molle-plastica
0.50 < IC < 0.75	Plastica
0.75 < IC < 1	Solido-plastica
IC > 1	Semisolida-solida

$$A = \frac{PI}{\% \text{ argilla}} = \frac{PI}{CF}$$

inattivi

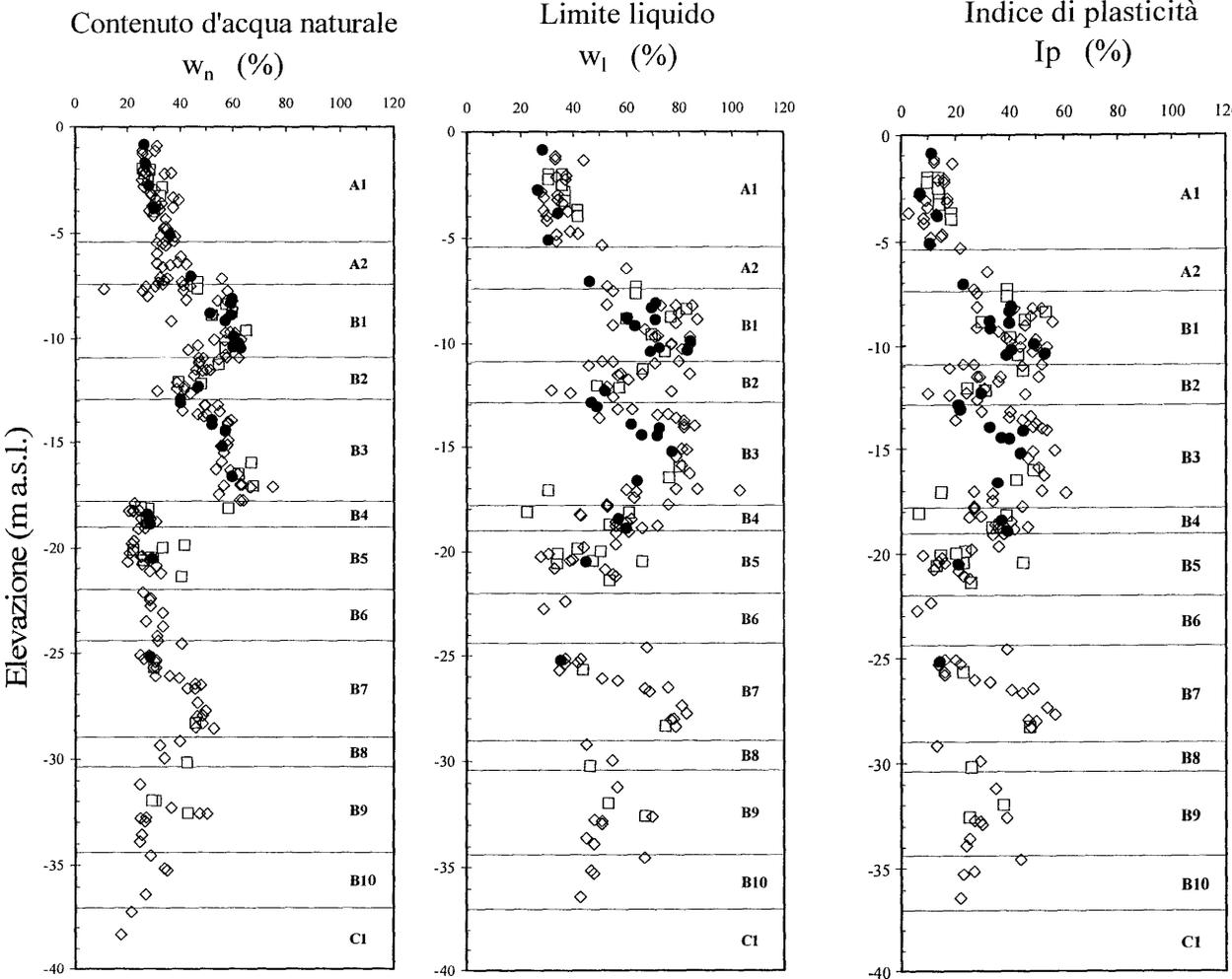
$$\rightarrow A < 0.75$$

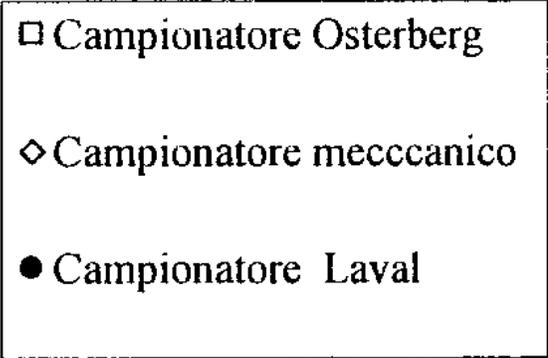
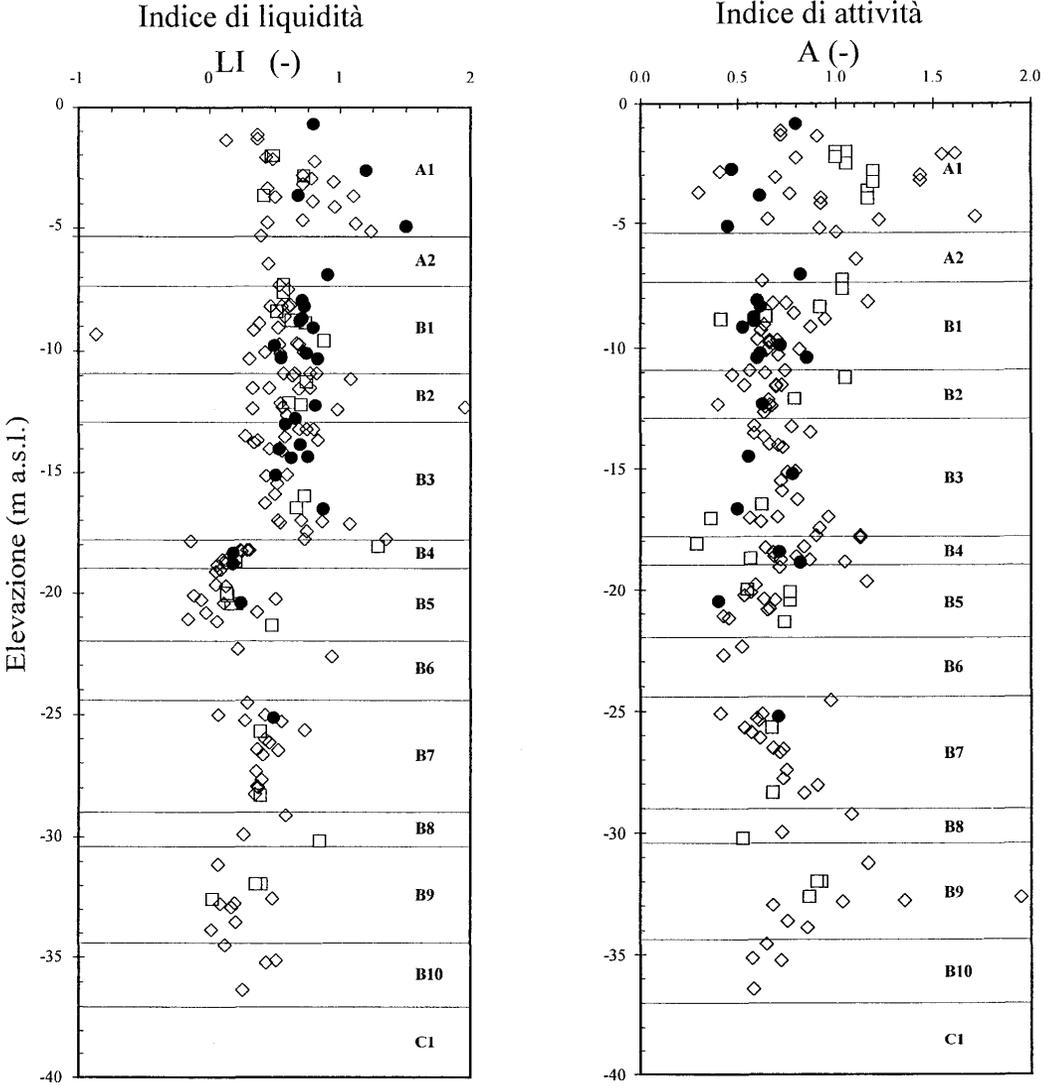
normalmente attivi

$$\rightarrow 0.75 < A < 1.25$$

attivi

$$\rightarrow A > 1.25$$





DENSITA' RELATIVA

$$D_R = \frac{e_{max} - e_o}{e_{max} - e_{min}} = \frac{\gamma_d max}{\gamma_d} \cdot \frac{\gamma_d - \gamma_d min}{\gamma_d max - \gamma_d min} \quad [-]$$

e_o = indice dei vuoti in sito

γ_d = peso di volume secco in sito

e_{max}, e_{min} = rispettivamente, indice dei vuoti massimo e minimo ottenibile in laboratorio su campioni rimaneggiati

$\gamma_d max, \gamma_d min$ = rispettivamente, densità secca massima e minima ottenibile in laboratorio su campioni rimaneggiati

SI APPLICA SOLO AI TERRENI A GRANA GROSSA

(i.e.: SABBIE E GHIAIE)

CLASSIFICAZIONE GRANULOMETRICA

1) A.G.I.

Associazione Geotecnica Italiana, in Raccomandazioni sulle indagini geotecniche (1977)

Se p_1, p_2, p_3 = percentuali delle componenti 1, 2, 3 ($p_1 > p_2 > p_3$)

NOME: 1 con 2 e 3 se p_2 e p_3 sono $> 25\%$ ma $< 50\%$;

NOME: 1, 2-oso e 3-oso se p_2 e $p_3 > 10\%$ ma $< 25\%$;

NOME: 1, *debolmente* 2-oso e 3-oso se p_2 e $p_3 > 5\%$ ma $< 10\%$.

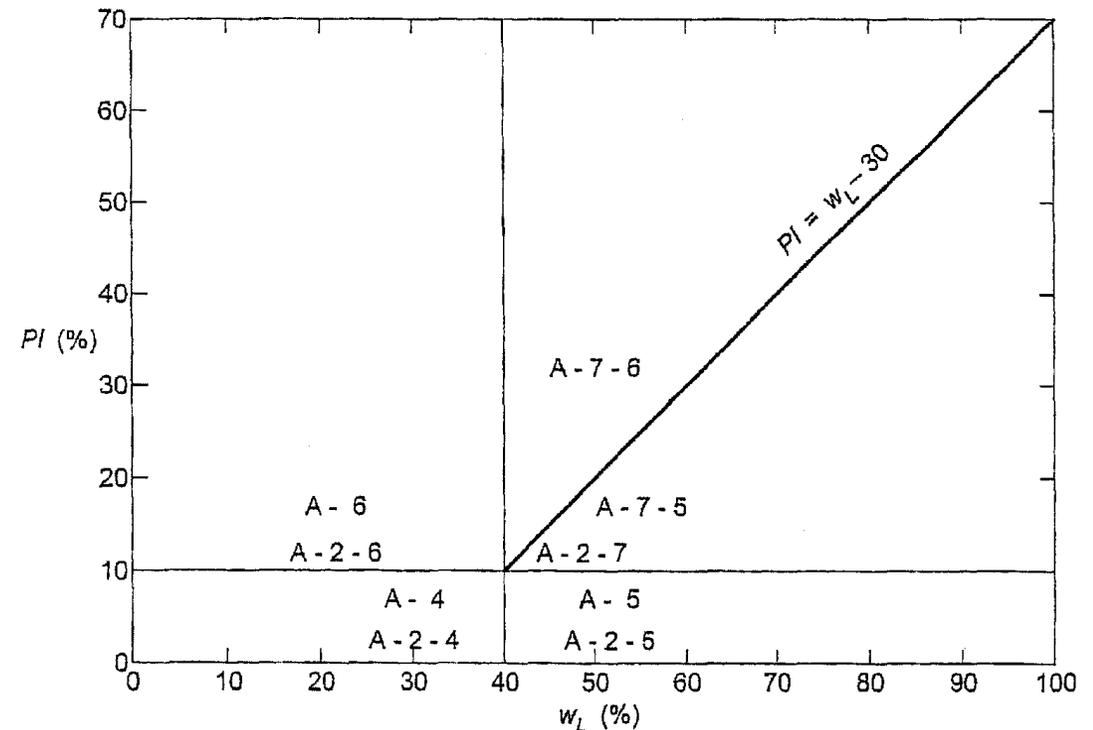
SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE

2) AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

In Italia: UNI 10006/2002

(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 (0.425 mm) n. 200 (0.075 mm)	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30 max	50 max	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
	15 max	25 max	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 PI	-	-	-	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
	6 max	-	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min *
Tipi usuali di 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 PI del sottogruppo A-7-5 è uguale o minore del limite di liquidità $w_L - 30$, mentre per il sottogruppo A-7-6 PI è maggiore del limite di liquidità $w_L - 30$.



SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE

3) U.S.C.S.

Unified Soil Classification System (norma ASTM D2487)

Classificazione basata su:

- a) percentuali in peso passanti i setacci n°4 (4.75 mm) e n°200 (0.075 mm);
- b) Carta di plasticità di Casagrande.

3) U.S.C.S. (Grana Grossa)

Unified Soil Classification System (norma ASTM D2487)

Se il trattenuto al n°200 è > 50%, la terra è a grana grossa. Per completare la classificazione si usano U_c e C_c .

GRAVEL

CLASSIFICAZIONE TERRENO A GRANA GROSSA (Passante al setaccio n°200 < 50%)						
GRAVEL (% gravel > % sand)	< 5% fines	$U_c \geq 4$ e $1 \leq C_c \leq 3$	GW	< 15 % sand	Well-graded gravel	
				≥ 15 % sand	Well-graded gravel with sand	
		$U_c < 4$ and/or $C_c < 1$ o $C_c > 3$	GP	< 15 % sand	Poorly-graded gravel	
				≥ 15 % sand	Poorly-graded gravel with sand	
	5-12% fines	$U_c \geq 4$ e $1 \leq C_c \leq 3$	fines = ML o MH	GW-GM	< 15 % sand	Well-graded gravel with silt
				≥ 15 % sand	Well-graded gravel with silt and sand	
			fines = CL, CH o CL-ML	GW-GC	< 15 % sand	Well-graded gravel with clay (or silty clay)
				≥ 15 % sand	Well-graded gravel with clay and sand (or silty clay and sand)	
		$U_c < 4$ and/or $C_c < 1$ o $C_c > 3$	fines = ML o MH	GP-GM	< 15 % sand	Poorly-graded gravel with silt
				≥ 15 % sand	Poorly-graded gravel with silt and sand	
			fines = CL, CH o CL-ML	GP-GC	< 15 % sand	Poorly-graded gravel with clay (or silty clay)
				≥ 15 % sand	Poorly-graded gravel with clay and sand (or silty clay and sand)	
> 12% fines	fines = ML o MH	GM	< 15 % sand	Silty gravel		
		≥ 15 % sand	Silty gravel with sand			
	fines = CL o CH	GC	< 15 % sand	Clayey gravel		
		≥ 15 % sand	Clayey gravel with sand			
	fines = CL-ML	GC-GM	< 15 % sand	Silty clayey gravel		
		≥ 15 % sand	Silty clayey gravel with sand			

SAND

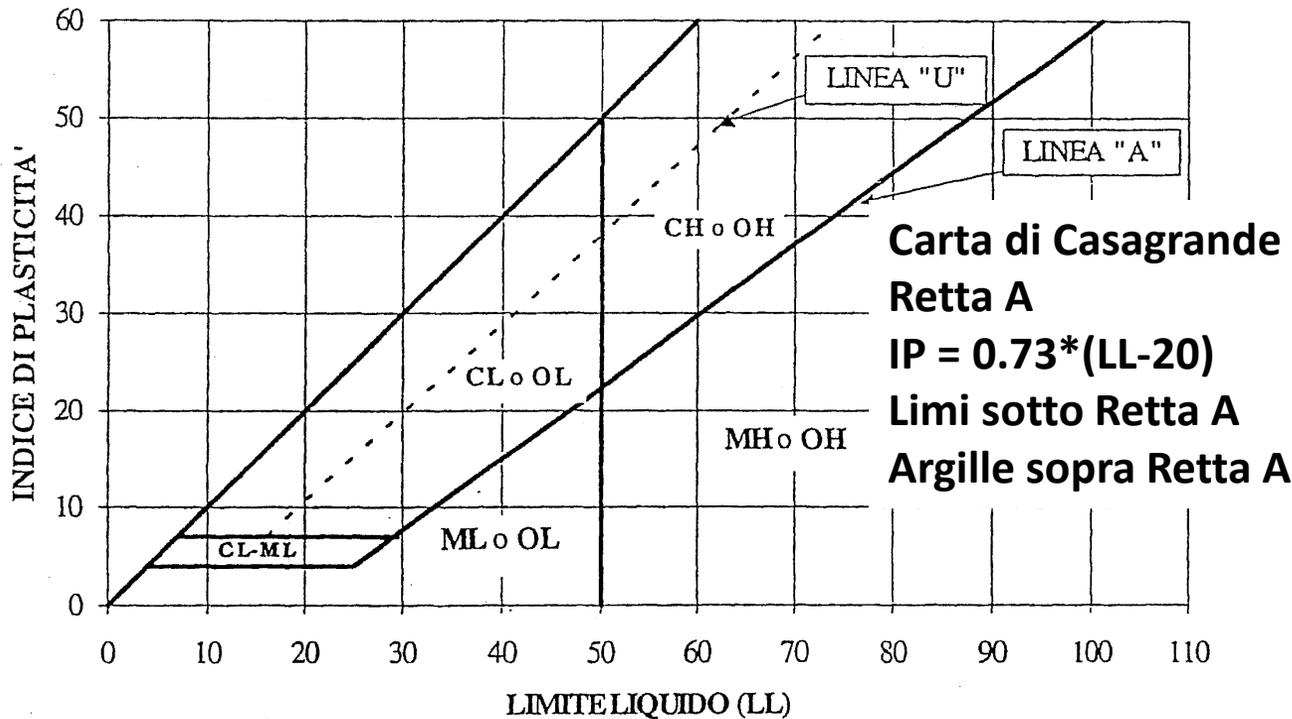
CLASSIFICAZIONE TERRENO A GRANA GROSSA (Passante al setaccio n° 200 < 50%)						
SAND (% sand >= % gravel)	< 5% fines	$U_c \geq 6$ e $1 \leq C_c \leq 3$	SW	< 15 % gravel	Well-graded sand	
				≥ 15 % gravel	Well-graded sand with gravel	
		$U_c < 6$ and/or $C_c < 1$ o $C_c > 3$	SP	< 15 % gravel	Poorly-graded sand	
				≥ 15 % gravel	Poorly-graded sand with gravel	
	5-12% fines	$U_c \geq 6$ e $1 \leq C_c \leq 3$	fines = ML o MH	SW-SM	< 15 % gravel	Well-graded sand with silt
				≥ 15 % gravel	Well-graded sand with silt and gravel	
			fines = CL, CH o CL-ML	SW-SC	< 15 % gravel	Well-graded sand with clay (or silty clay)
				≥ 15 % gravel	Well-graded sand with clay and gravel (or silty clay and gravel)	
		$U_c < 6$ and/or $C_c < 1$ o $C_c > 3$	fines = ML o MH	SP-SM	< 15 % gravel	Poorly-graded sand with silt
				≥ 15 % gravel	Poorly-graded sand with silt and gravel	
			fines = CL, CH o CL-ML	SP-SC	< 15 % gravel	Poorly-graded sand with clay (or silty clay)
				≥ 15 % gravel	Poorly-graded sand with clay and gravel (or silty clay and gravel)	
> 12% fines	fines = ML o MH	SM	< 15 % gravel	Silty sand		
		≥ 15 % gravel	Silty sand with gravel			
	fines = CL o CH	SC	< 15 % gravel	Clayey sand		
		≥ 15 % gravel	Clayey sand with gravel			
	fines = CL-ML	SC-SM	< 15 % gravel	Silty clayey sand		
		≥ 15 % gravel	Silty clayey sand with gravel			

SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE

3) U.S.C.S. (Grana Fine)

Unified Soil Classification System (norma ASTM D2487)

Se il trattenuto al n°200 è < 50%, la terra è a grana fine. Per completare la classificazione si usa la Carta di Plasticità di Casagrande (sono necessari quindi: LL, LP, IP).



Carta di plasticità (USCS)

CLASSIFICAZIONE TERRENO A GRANA FINE (Passante al setaccio n°200 ≥ 50%)							
LL < 50	Inorganic	IP > 7 and plots on or above "A" line	CL	< 30% plus n°200	< 15% plus n°200	Lean clay	
				15-29% plus n°200	% sand ≥ % gravel	Lean clay with sand	
					% sand < % gravel	Lean clay with gravel	
				≥ 30% plus n°200	% sand > % gravel	< 15% gravel	Sandy lean clay
						≥ 15% gravel	Sandy lean clay with gravel
					% sand < % gravel	< 15% sand	Gravelly lean clay
	≥ 15% sand	Gravelly lean clay with sand					
	4 ≤ IP ≤ 7 and plots on or above "A" line	CL-ML	≥ 30% plus n°200	< 30% plus n°200	< 15% plus n°200	Silty clay	
				15-29% plus n°200	% sand ≥ % gravel	Silty clay with sand	
					% sand < % gravel	Silty clay with gravel	
				% sand > % gravel	< 15% gravel	Sandy silty clay	
					≥ 15% gravel	Sandy silty clay with gravel	
% sand < % gravel					< 15% sand	Gravelly silty clay	
	≥ 15% sand	Gravelly silty clay with sand					