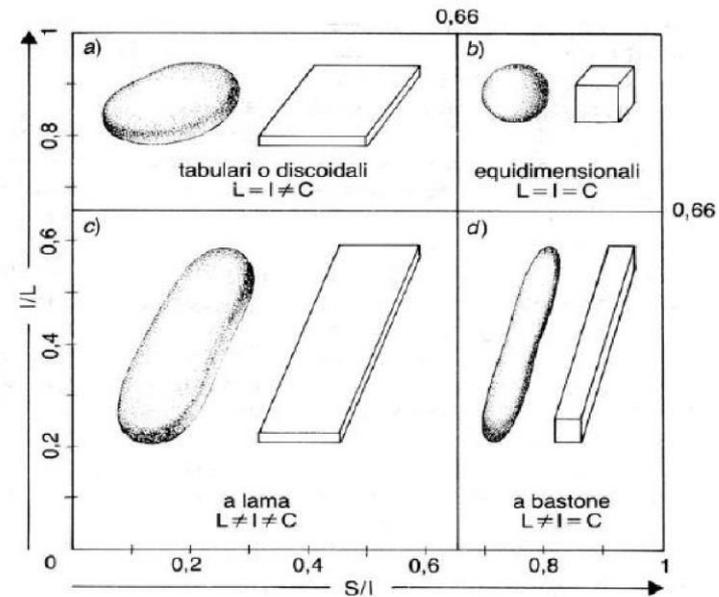
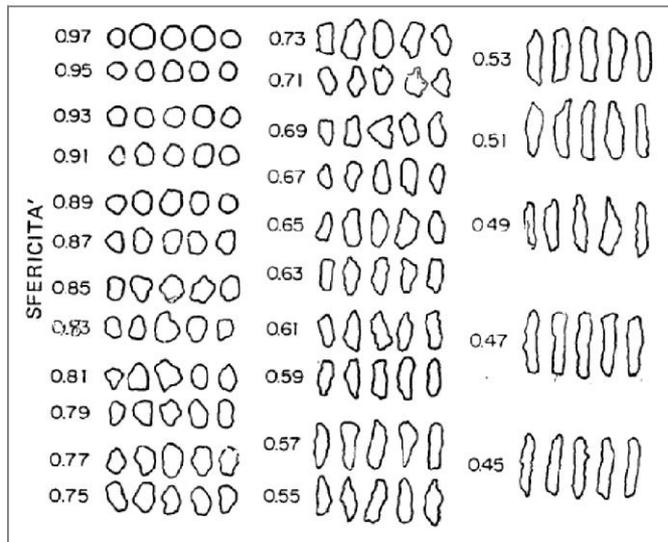




## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

### Il materiale terra – componente solida

La componente solida della terra è costituita da particelle o grani ottenuti dal disfacimento delle rocce e dal successivo trasporto da vettori come acqua, ghiaccio, vento, ed altri fattori, per essere depositati in luoghi più o meno lontani dalle rocce madri. Nel corso del trasporto i grani si riducono a causa di azioni fisiche, meccaniche e chimiche fino a raggiungere dimensioni anche molto piccole. Il grado di riduzione dei grani dipende dalla loro costituzione mineralogica e dagli ambienti attraversati compreso ed in particolare il tipo di ambiente di deposizione.



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

### Il materiale terra – componente solida

La componente solida della terra è costituita da particelle o grani ottenuti dal disfacimento delle rocce e dal successivo trasporto da vettori come acqua, ghiaccio, vento, ed altri fattori , per essere depositati in luoghi più o meno lontani dalle rocce madri. Nel corso del trasporto i grani si riducono a causa di azioni fisiche, meccaniche e chimiche fino a raggiungere dimensioni anche molto piccole. Il grado di riduzione dei grani dipende dalla loro costituzione mineralogica e dagli ambienti attraversati compreso ed in particolare il tipo di ambiente di deposizione.

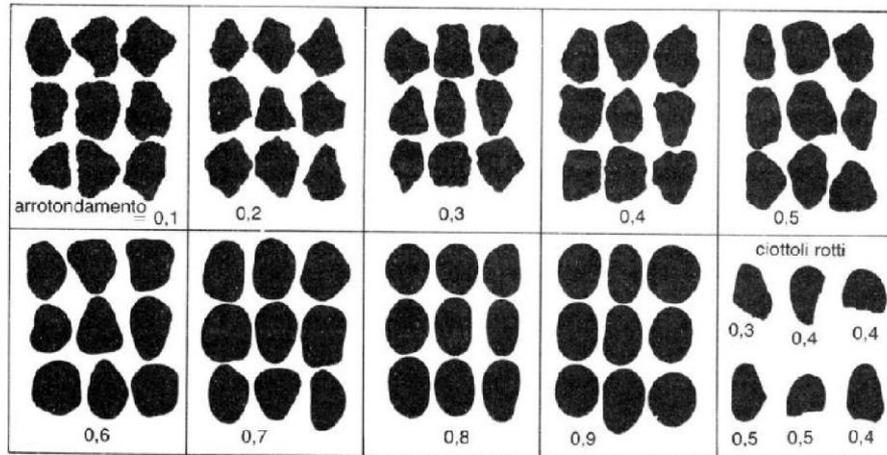


Fig. 2.12 – Carta di comparazione visiva per la stima dell'arrotondamento dei ciottoli. (Da Pettijohn, 1975.)



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il materiale terra – componente solida

Se i processi di formazione e di trasporto dei grani di terra sono solo processi fisici essi avranno la stessa composizione delle rocce d'origine; se si hanno anche trasformazioni chimiche si formano anche altri elementi. I più importanti sono i minerali argillosi fra i quali i più comuni sono la caolinite, l'illite e la montmorillonite. Le dimensioni delle particelle delle argille sono molto piccole ed in genere di forma lamellare.

I principali termini usati in geotecnica per distinguere le terre sono: ghiaia – sabbia – limo – argilla.

Ghiaia e sabbia sono le terre a grana grossa.

Limo ed argille sono le terre a grana fine.

Il limo costituisce la parte più grossolana della frazione di terre a grana fine. La forma delle particelle è relativamente arrotondata come per le ghiaie e le sabbie.

<b><math>d &gt; 60\text{mm}</math></b>	<b>Blocchi</b>
<b><math>2\text{mm} &lt; d \leq 60\text{mm}</math></b>	<b>Ghiaia</b>
<b><math>0,06\text{mm} &lt; d \leq 2\text{mm}</math></b>	<b>Sabbia</b>
<b><math>0.002\text{mm} &lt; d \leq 0.06\text{mm}</math></b>	<b>Limo</b>
<b><math>d \leq 0.002\text{mm}</math></b>	<b>Argilla</b>

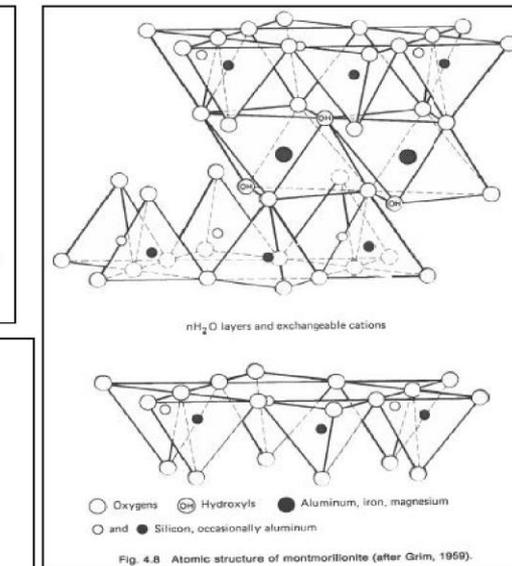
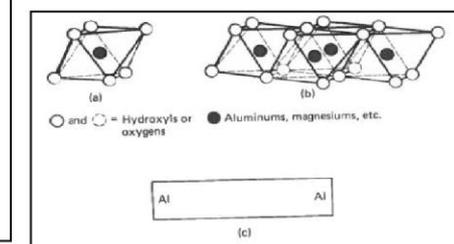
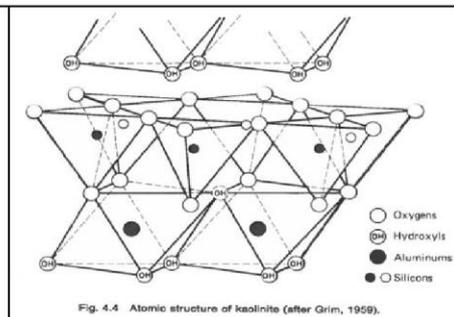
## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

### Il materiale terra – componente solida

Le dimensioni delle particelle di argilla e la natura mineralogica delle stesse particelle conferiscono al materiale una particolarità che nel caso della terra a grana grossa è vinta da altri fattori. L'acqua tra le particelle è particolarmente importante ed influisce in modo sostanziale per le particelle di argilla mentre è meno influente per le terre a grana grossa.

Sono considerate particelle argillose quelle che hanno dimensioni inferiori a  $2 \mu\text{m}$ : esse sono formate prevalentemente da minerali argillosi con cristalli di dimensioni colloidali. La maggior parte dei cristalli argillosi è formata da strati di silice e di allumina disposti a formare delle lamine.

Edge View	Typical Thickness (nm)	Typical Diameter (nm)	Specific Surface (km <sup>2</sup> /kg)
 Montmorillonite	3	100-1000	0.8
 Illite	30	10 000	0.08
 Chlorite	30	10 000	0.08
 Kaolinite	50-2000	300-4000	0.015





## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

### Il materiale terra – componente solida

La struttura del terreno che si forma con le particelle a contatto è il risultato del processo di interazione tra le particelle stesse e tra queste e l'ambiente circostante. E' noto che ogni singola particella è soggetta a forze di massa e forze di superficie. Le forze di massa sono responsabili delle interazioni di tipo meccanico mentre le forze di tipo superficiale, che dipendono dal minerale costituente la particella e dall'area della superficie danno origine ad interazioni di tipo elettrochimico.

Superficie specifica: è il rapporto tra l'area della superficie della particella e la sua massa.

Per le sabbie la superficie specifica è minore rispetto alle argille:

Sabbia con dimensioni dell'ordine di 2mm la superficie specifica è  $2,0E-4$  m<sup>2</sup>/g

Montmorillonite: superficie specifica 800m<sup>2</sup>/g

Per le terre a grana grossa le forze di superficie sono trascurabili rispetto alle forze di massa

Per le terre a grana fine le forze di massa sono trascurabili rispetto alle forze di superficie

Terre a grana grossa

Per i terreni a grana grossa la struttura dipende dalla forma dei grani e dalla distribuzione delle dimensioni delle particelle e la principale proprietà è costituita dal grado di addensamento.

Ad un maggiore stato di addensamento corrispondono più punti di contatto tra le particelle o grani, un maggiore mutuo incastro, una porosità inferiore, una minore compressibilità ed una maggiore resistenza a taglio.

La distribuzione dei grani influenza lo stato di addensamento in quanto una sabbia ben assortita consente di ottenere configurazioni strutturali corrispondenti a stati di addensamento elevato.

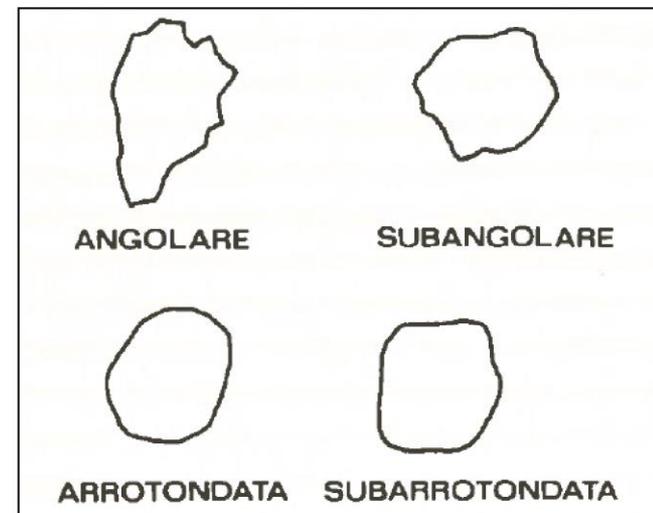
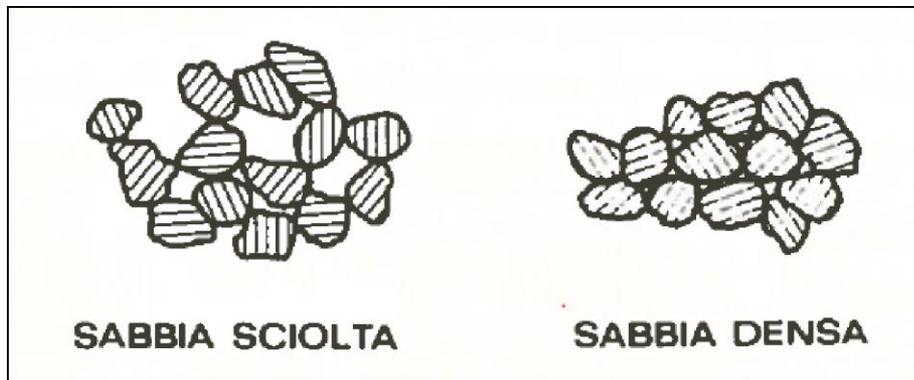


## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il materiale terra – componente solida

La **forma** dei grani e la **mineralogia** di questi influiscono sul comportamento meccanico di una sabbia almeno quanto la **distribuzione granulometrica**.

Si possono avere due campioni di sabbia con lo stesso addensamento, la stessa porosità e la stessa distribuzione granulometrica ma con strutture completamente diverse e perciò con comportamenti diversi. L'influenza della struttura è tanto più marcata quanto più la sabbia è sciolta mentre l'influenza dell'orientamento delle particelle è più pronunciata in sabbie dense. .



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

### Il materiale terra – componente solida

Le molecole d'acqua sono definite dipolari poiché pur essendo complessivamente neutre hanno due atomi di idrogeno disposti entrambi dalla stessa parte dell'atomo di ossigeno. Le superfici delle particelle di argilla, con carica negativa, tendono ad assorbire l'idrogeno delle molecole d'acqua che si dispongono assumendo una certa struttura determinata dai cationi assorbiti. L'acqua direttamente a contatto con le particelle risente di legami molto forti e non può essere separata dalle particelle tramite azione meccanica: questa è chiamata **acqua adsorbita** e fa parte delle particelle di argilla.

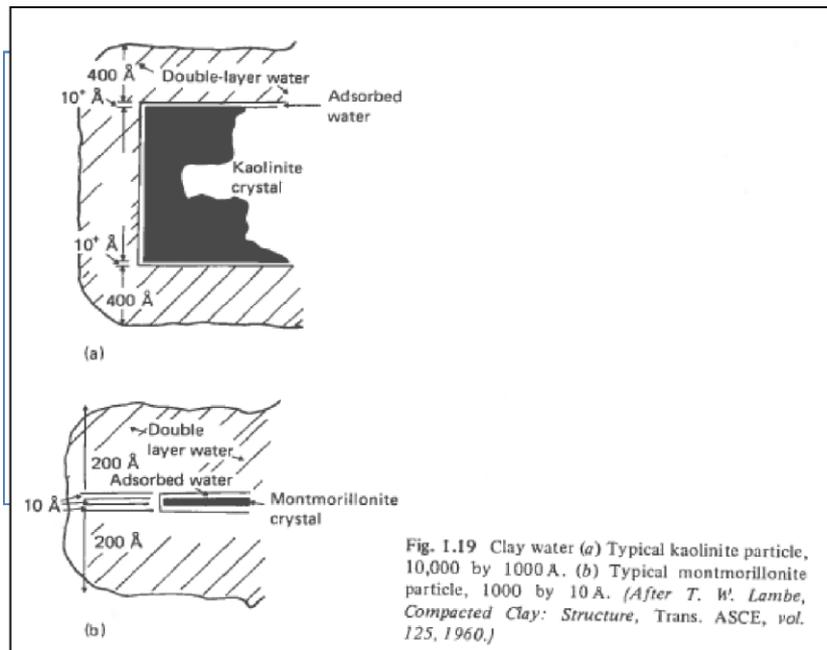
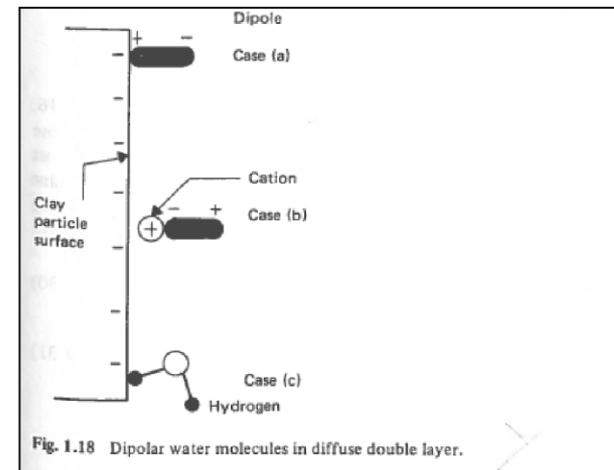


Fig. 1.19 Clay water (a) Typical kaolinite particle, 10,000 by 1000 Å. (b) Typical montmorillonite particle, 1000 by 10 Å. (After T. W. Lambe, *Compacted Clay: Structure*, Trans. ASCE, vol. 125, 1960.)

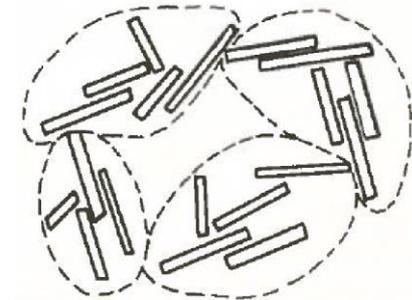
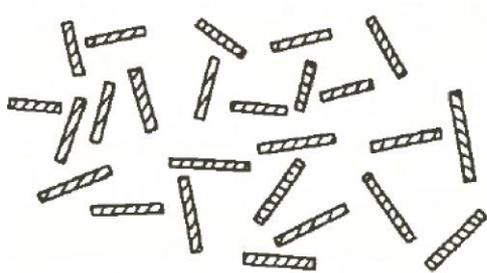




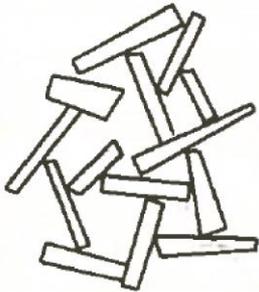
## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il materiale terra – componente solida

Per le argille le particelle hanno forme lamellari che possono disporsi tra loro in modi diversi assumendo **struttura: dispersa o flocculata**. Nella deposizione in acqua salmastra la struttura è flocculata; in acqua dolce è dispersa che in certe occasioni diventa **isorientata**.



Fiocchi a struttura flocculata dispersa  
Con micropori all'interno del fiocco e  
macrospazi tra i fiocchi





## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

### Il terreno

.Il terreno si può presentare costituita da due o tre fasi:

Tre fasi: solido gas e liquido (terreno parzialmente saturo)

Due fasi: solido e liquido (terreno saturo)

                  solido e gas (terreno secco)

Nel caso delle argille l'acqua adsorbita fa parte delle particelle e non è acqua libera. Per eliminare l'**acqua adsorbita** occorre raggiungere temperature elevate alle quali sottoporre le particelle.





## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

### Il terreno

Il terreno è un materiale a due o tre fasi. Le relazioni seguenti mostrano le relazioni esistenti tra le fasi.

(a) Il *volume totale*  $V$  è somma dei volumi delle singole fasi:

$$V = V_g + V_w + V_s$$

La *porosità «n»* è pari al rapporto tra il volume dei vuoti ( $V_v = V_g + V_w$ ) e il volume totale:

$$n = \frac{V_v}{V} \cdot 100 \quad (\%)$$

L'*indice dei vuoti «e»* è definito invece come rapporto tra il volume dei vuoti e il volume della fase solida:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Dalle definizioni date si ricavano le seguenti relazioni tra indice dei vuoti e porosità:

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

Il *grado di saturazione S* è pari al rapporto tra il volume occupato dall'acqua  $V_w$  e il volume dei vuoti  $V_v$ :

$$S = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 \quad (\%)$$

$S = 100\%$  corrisponde a un terreno saturo;

$S = 0\%$  corrisponde a un terreno asciutto.

(b) Il *contenuto d'acqua «w»* è definito come rapporto tra il peso dell'acqua e quello delle particelle:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \quad (\%)$$

Si definiscono inoltre:

- peso dell'unità di volume totale:  $\gamma = \frac{W}{V}$
- peso dell'unità di volume della parte solida:  $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$
- peso dell'unità di volume dell'acqua:  $\gamma_w$
- peso dell'unità di volume del terreno secco:  $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$
- peso dell'unità di volume del terreno alleggerito:  $\gamma' = \gamma - \gamma_w$
- peso specifico totale:  $G = \frac{\gamma}{\gamma_w}$
- peso specifico dei grani:  $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno

Terreno	$n$ (%)	$e$	$w$ (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Ghiaia	25-40	0.3-0.67	-	14-21	18-23
Sabbia	25-50	0.3-1.00	-	13-18	16-21
Limo	35-50	0.5-1.00	-	13-19	16-21
Argilla tenera	40-70	0.7-2.3	40-100	7-13	14-18
Argilla compatta	30-50	0.4-1.0	20-40	14-18	18-21
Torba	75-95	3-19	200-600	1-5	10-13

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e} = (1-n) \cdot G_s \cdot \gamma_w$$
  

$$e = \frac{G_s \cdot \gamma_w - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{n}{1-n}$$
  

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{G_s \cdot \gamma_w} = 1 - \frac{\gamma}{G_s \cdot \gamma_w (1+w)} = \frac{e}{1+e}$$
  

$$S = \frac{w \cdot \gamma}{n(1+w) \cdot \gamma_w} = \frac{G_s \cdot w}{e}$$
  

$$\gamma \text{ (terreno saturo)} = (1-n) \cdot G_s \gamma_w + n \cdot \gamma_w = \frac{G_s + e}{1+e} \cdot \gamma_w$$
  

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w = (1-n) \cdot (G_s - 1) \cdot \gamma_w = \frac{G_s - 1}{1+e} \cdot \gamma_w$$



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno

Il peso specifico dei grani  $G_s$  varia generalmente entro i limiti sotto specificati:

- Bentonite                      2.34
- Argille                         2.44–2.92
- Sabbia quarzosa            2.65
- Limi                             2.68–2.72

$$\begin{aligned} \text{Densità relativa} = D_R &= \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \cdot 100 = \\ &= \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d} \cdot \frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}} \cdot 100 \quad (\%) \end{aligned}$$

essendo  $e_0$  l'indice dei vuoti del terreno in sito.





## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno

**in cui:**

$v$  = velocità della particella (mm/s);

$\eta$  = viscosità dell'acqua alla temperatura di prova (Pascal · s);

$\rho_s$  = densità dei grani (Mg/m<sup>3</sup>);

$D$  = diametro della particella (mm).

Per illustrare la procedura sperimentale immaginiamo di avere una sospensione di volume  $V$  contenente un peso  $W_s$  di terreno. All'inizio del processo di sedimentazione, ogni volume unitario contiene un peso di solido pari a  $W_s/V$ , corrispondente a un volume  $V_s = W_s / (G_s \cdot \gamma_w \cdot V)$ .

Il volume dell'acqua è perciò  $1 - V_s = 1 - W_s / (G_s \cdot \gamma_w \cdot V)$  e il suo peso è:  $\gamma_w - W_s / (G_s \cdot V)$ . Il peso unitario della sospensione risulta:

$$\gamma = \frac{W_s}{V} + \gamma_w - \frac{W_s}{G_s \cdot V} = \gamma_w + \frac{G_s - 1}{G_s} \cdot \frac{W_s}{V}$$



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno

Generalmente il grado di uniformità viene caratterizzato mediante un coefficiente detto *coefficiente di uniformità*, che più propriamente andrebbe definito coefficiente di disuniformità, in quanto più elevato è il suo valore, meno uniforme è il terreno:

$$C = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1.2)$$

essendo:

$D_{60}$  = diametro corrispondente al 60% di passante;

$D_{10}$  = diametro corrispondente al 10% di passante.

Un terreno con  $C < 2$  può essere considerato uniforme. L'analisi per sedimentazione (o aerometria) permette di determinare la distribuzione granulometrica della parte di terreno che ha diametro  $< 0.074$  mm e viene effettuata se essa è percentualmente superiore al 10%. La prova si basa sulla legge di Stokes, che determina la velocità di sedimentazione di una *particella sferica* con un certo diametro, e che è espressa dalla relazione:

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18 \cdot \eta} \cdot g \cdot D^2 \quad (1.3)$$



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno

Dopo un certo intervallo di tempo  $\Delta t$ , a una profondità generica  $z$  si trova la particella con diametro  $D$  definito dalla legge di Stokes:

$$v = \frac{z}{\Delta t} = c \cdot D^2$$

Particelle con diametro maggiore hanno già raggiunto profondità maggiori, mentre è rimasto invariato il numero delle particelle con diametro minore di  $D$  nell'elemento unitario di sospensione. Se il rapporto tra il peso delle particelle con diametro inferiore a  $D$  e il peso di tutte le particelle viene indicato con  $N$ , si trova che l'unità di volume della sospensione, alla profondità  $z$ , contiene ora un peso solido pari a  $\frac{N \cdot W_s}{V}$ , e il suo peso unitario diventa:

$$\gamma = \gamma_w + \frac{G_s - 1}{G_s} \cdot \frac{N \cdot W_s}{V}$$

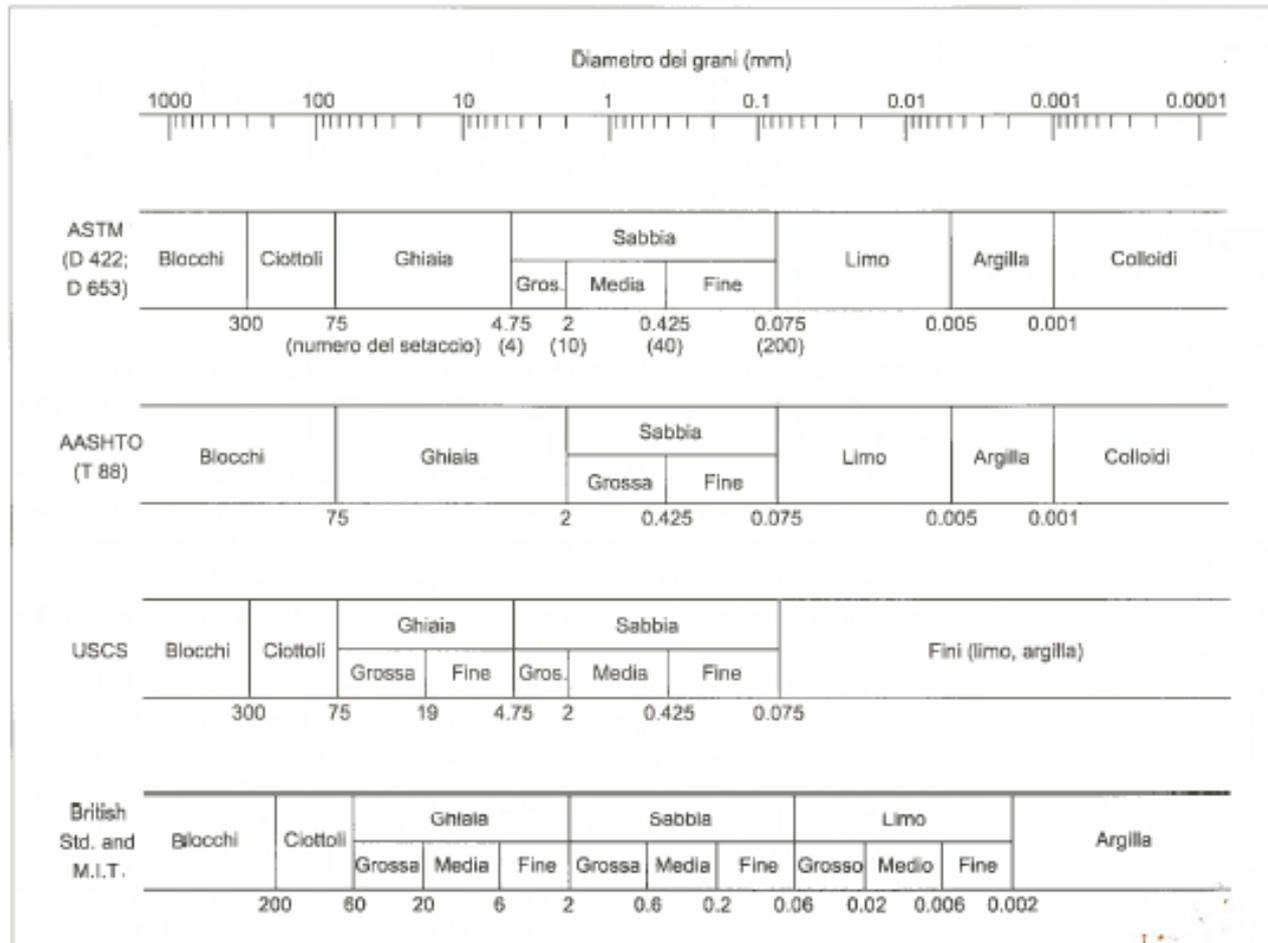
da cui:

$$N = \frac{G_s}{G_s - 1} \cdot \frac{V}{W_s} \cdot (\gamma - \gamma_w)$$



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

### Il terreno





## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno

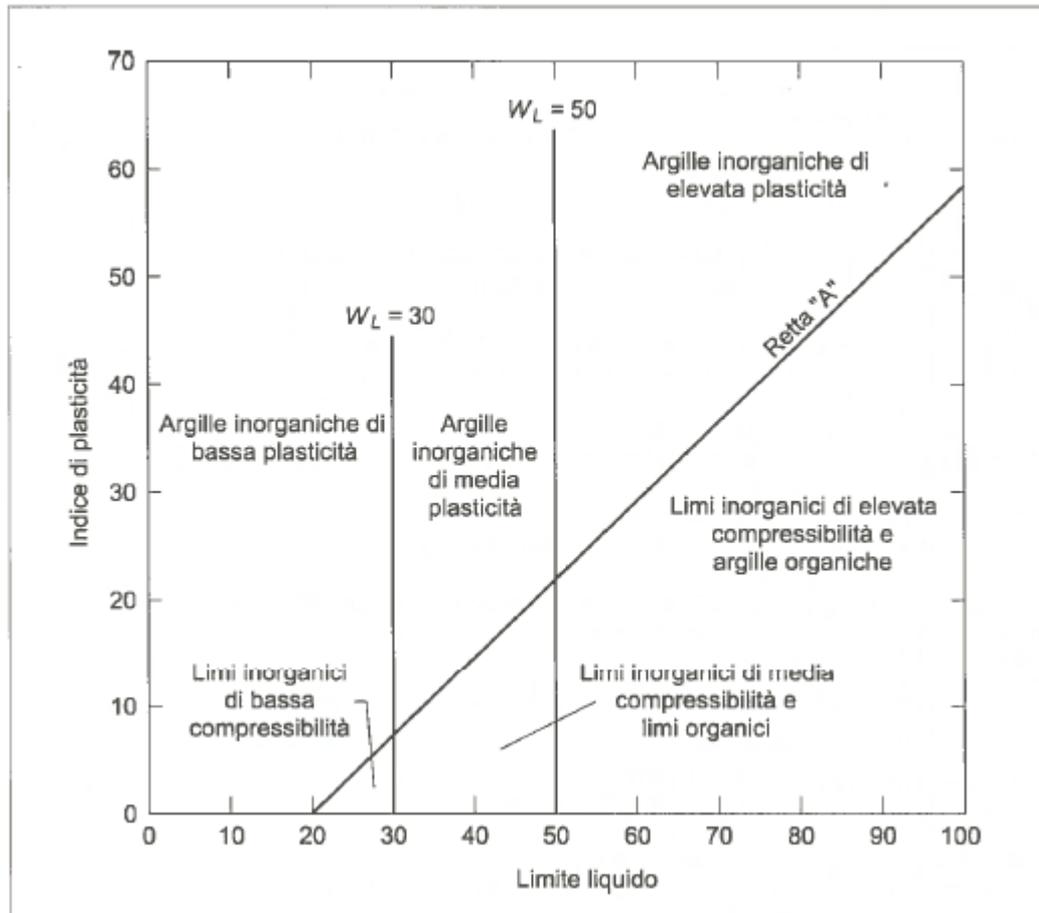
**TABELLA 1.4** Descrizione della consistenza di un'argilla.

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



## LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno





LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno

Divisioni principali		Simbolo del gruppo	Denominazioni tipiche		
1	2	3	4		
TERRE A GRANA GROSSA Frazione passante al n. 200 ASTM = 50%	GHMME frazione trattenuta al n. 4 ≥ 50%	GW	ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscela di ghiaie e sabbia		
		GP	ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaie e sabbia		
		GM	ghiaie limose miscela di ghiaie, sabbie e limo		
		GC	ghiaie argillose miscela di ghiaie, sabbie e argilla		
		SW	sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose		
	SABBIE frazione passante al n. 4 > 50%	SP	sabbie pulite con granulometria poco assortita		
		SM	sabbie limose miscela di sabbie e limo		
		SC	sabbie argillose miscela di sabbie e argilla		
		TERRE A GRANA FINE Frazione presente al n. 200 ASTM = 50%	indice L se $w_L \leq 50\%$	OL	limi organici argille limose organiche di bassa plasticità
				ML	limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fili limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità
indice H se $w_L > 50\%$	CL		argille inorganiche di medio-bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre		
	OH		argille organiche di medio-alta plasticità limi organici		
	NH		limi inorganici; sabbie fini o limi riccei o diatomacei		
CH	argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse				
TERRE ALTAMENTE ORGANICHE		FI	torbe ed altre terre altamente organiche		

Nota:  $c_u = D_{60}/D_{10}$  = coefficiente di uniformità  
 $c_c = D_{50}/(D_{10} - D_{60})$  = coefficiente di curvatura

Procedure di identificazione in sito			Criteri di classificazione in laboratorio					
5			6					
curva granulometrica ben assortita e comprendente grani di dimensioni molto differenti	• determinare le percentuali di ghiaie e sabbie della curva granulometrica • in relazione alle percentuali di passaggio al n. 200 le terre GHMME vengono classificate come segue: GW, GP, SW, SP, GM, GC, SM, SC necessari due simboli (es.: GW-GM, SW-SM)							
curva granulometrica poco assortita e ristretta a grani di dimensioni molto simili								
la frazione fine è caratterizzata da una modesta plasticità								
la frazione fine presente è plastica								
curva granulometrica ben assortita e comprendente grani di dimensioni molto differenti								
curva granulometrica poco assortita e ristretta a grani di dimensioni molto simili								
la frazione fine presente è caratterizzata da una plasticità modesta o nulla								
la frazione fine presente è plastica								
procedure di identificazione sul passato al n. 40					CARTA DI PLASTICITÀ DI CASAGRANDE (per la classificazione delle terre a grana fine)			
resistenza alla fantumazione					reazione allo scudimento	consistenza in prossimità di $w_L$		
bassa-media	lenta	bassa						
nulla-bassa	rapida-lenta	nulla						
medio-alta	molto lenta	medio						
medio-alta	nulla molto lenta	bassa-media						
bassa-media	nulla-lenta	bassa-media						
alta molto alta	nulla	alta						

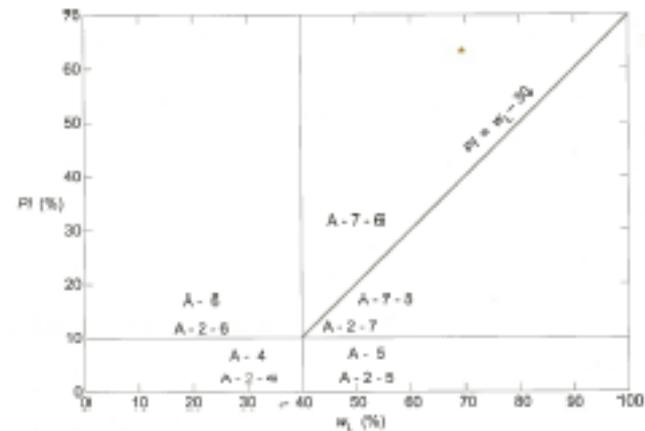


LEZIONE N.4 – IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

Il terreno

(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	
	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 15 max	- 50 max 25 max	- 51 min 10 max	- 35 max	- 35 max	- 35 max	- 35 max	- 35 min	- 35 min	- 35 min	- 36 min
Caratteristiche delle frazioni passanti al n. 40 Limite di liquidità $w_L$ Indice di plasticità PI	- 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	- 41 min
Tipi usuali di materiali principal	Frammenti di roccia ghiaia e sabbia		Sabbie fine	Ghiaia limosa o argillosa o 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  $w_L = 30$ .

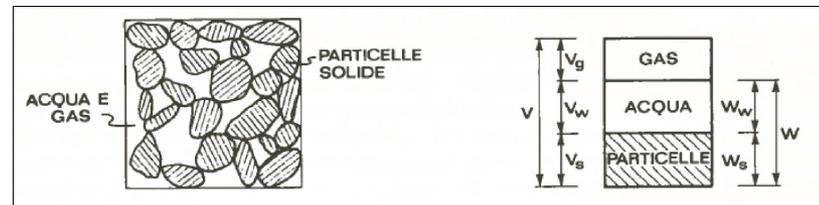




## LEZIONE N.4 – PRINCIPIO DELLE TENSIONI EFFICACI

I terreni sono strutture multifase e per comprenderne il comportamento quanto sono soggetti a «disturbi» indotti da carichi ed azioni esterne è indispensabile stabilire una legge di interazione tra le diverse fasi consentita di stimare la ripartizione interna degli sforzi applicati ad un generico elemento..

### Principio degli sforzi efficaci



Va inoltre considerato che il comportamento del terreno sottoposto a sollecitazioni ha un comportamento anelastico, ed anisotropo. Questo comporta che per prevedere la risposta associata ad un sistema di sollecitazioni non basta conoscere gli stati tensionali iniziale e finale ma occorre conoscere lo stato tensionale di partenza e la storia che ha portato a raggiungere quello stato iniziale nonché conoscere il percorso seguito per arrivare allo stato finale.



## LEZIONE N.4 – PRINCIPIO DELLE TENSIONI EFFICACI

I terreni hanno struttura particellare.

Tuttavia si è potuto verificare che considerare il terreno come

mezzo continuo, ci consente di applicare i concetti di tensione e deformazione ai terreni, rilevando peraltro che i risultati che si ottengono non sono sostanzialmente diversi dal reale comportarsi del terreni in termini fenomenologici.

Il comportamento meccanico dei terreni ( deformazione e resistenza) può essere meglio visualizzato se si assume il generico elemento di terreno come un insieme di particelle solide (scheletro solido) con vuoti intergranulari occupati da aria ed acqua.

In condizioni usuali, le tensioni di taglio sono sopportate unicamente dallo scheletro solido

Le tensioni normali possono essere sopportate dallo scheletro solido e dal fluido che occupa gli spazi intergranulari.



LEZIONE N.4 – PRINCIPIO DELLE TENSIONI EFFICACI

$$\sigma' = \sigma - u$$



Le tensioni in un punto di un generico elemento possono essere determinate avendo la conoscenza delle tensioni principali  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ .

Se lo spazio intergranulare è riempito di acqua avente pressione «u» allora le tensioni principali totali possono scomporsi in due parti:

**Pressione neutra «u»** che agisce sui grani e sull'acqua in tutte le direzioni con eguale intensità

**Tensione efficace « $\sigma'$ »** aliquota in eccedenza alla «u» che ha sede nella fase solida.

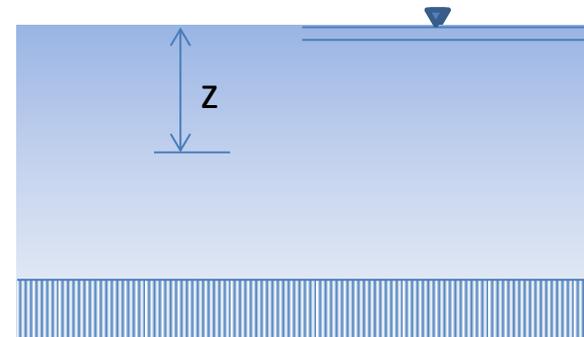
$$\sigma_{vo} = (1 - n) \cdot \gamma_s \cdot z + n \cdot \gamma_w \cdot z$$

$$u_o = \gamma_w \cdot z$$

$$\sigma'_{vo} = (1 - n) \cdot \gamma_s \cdot z + n \cdot \gamma_w \cdot z - \gamma_w \cdot z = (1 - n) (\gamma_s - \gamma_w) \cdot z$$

$$\gamma' = (\gamma_s - \gamma_w)(1 - n) = \gamma - \gamma_w$$

$$\sigma'_{vo} = \gamma' \cdot z$$





## LEZIONE N.4 – TENSIONI GEOSTATICHE E STORIA TENSIONALE

Lo stato tensionale agente in un punto del terreno dipende dal:

- Peso proprio del terreno
- Condizioni di falda
- Carichi esterni agenti

Le tensioni geostatiche e la loro conoscenza rappresentano aspetti fondamentali nella analisi e studio geotecnico di un terreno.

Un caso semplice e frequente è quello del deposito con piano di campagna orizzontale e trascurabili variazioni della natura del terreno in direzione orizzontale:

- Ogni sezione può essere considerata di simmetria;
- Le tensioni verticale  $\sigma_{vo}$  ed orizzontale  $\sigma_{ho}$  sono tensioni principali
- La tensione verticale totale alla generica profondità  $z$  è semplicemente data, nel caso di terreno omogeneo con peso di volume  $\gamma$  dalla relazione:  $\sigma_{vo} = \gamma \cdot z$

Nel caso di terreno stratificato:

$$\sigma_{vo} = \sum \gamma_i \cdot \Delta z_i$$

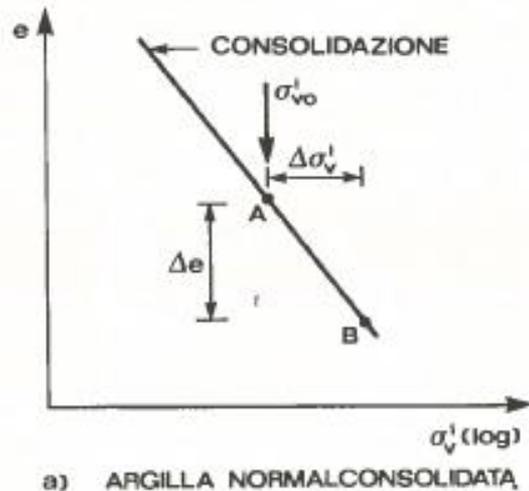
La tensione verticale efficace si calcola:  $\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u_o$

## LEZIONE N.4 – TERRENI NORMALCONSOLIDATI

La determinazione della tensione orizzontale  $\sigma'_{ho}$  rappresenta un problema per la geotecnica, a differenza della determinazione di  $\sigma'_{vo}$   
**Il valore attuale di  $\sigma'_{ho}$  dipende dalla storia tensionale del deposito**

Si definisce **coefficiente di spinta a riposo  $k_0$**  il rapporto tra la tensione orizzontale efficace e la tensione verticale efficace  
 $k_0 = \sigma'_{ho} / \sigma'_{vo}$

- Struttura del terreno
  - Comportamento del terreno
  - Stato tensionale geostatico
- ⇒ sono il risultato della storia tensionale del deposito



Nelle condizioni di normal consolidazione il terreno che costituisce il deposito si è consolidato sotto il proprio peso. Qualunque carico venga introdotto determina vistose deformazioni.

In queste condizioni il valore di  $k_0$  dipende solo dalla natura del terreno e può essere stimato mediante la formula di Jaky (1944):

$$k_0 \text{ (NC)} = \left( 1 + \frac{2}{3} \sin \phi' \right) \cdot \left( \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} \right);$$

In forma semplificata:

$$k_0 \text{ (NC)} \cong 1 - \sin \phi';$$



## LEZIONE N.4 – TERRENI NORMALCONSOLIDATI

La determinazione della tensione orizzontale  $\sigma'_{ho}$  rappresenta un problema per la geotecnica, a differenza della determinazione di  $\sigma'_{vo}$   
**Il valore attuale di  $\sigma'_{ho}$  dipende dalla storia tensionale del deposito**

Si definisce **coefficiente di spinta a riposo  $k_0$**  il rapporto tra la tensione orizzontale efficace e la tensione verticale efficace

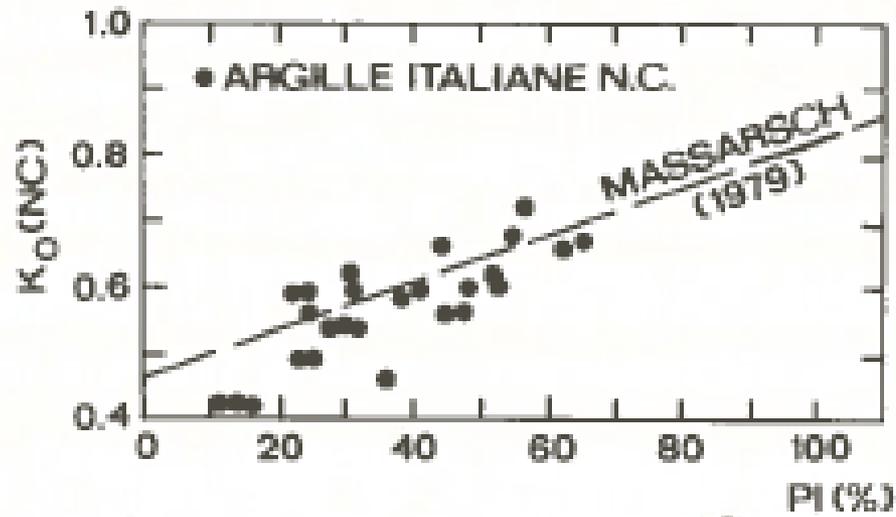
$$k_0 = \sigma'_{ho} / \sigma'_{vo}$$

- Struttura del terreno
- Comportamento del terreno
- Stato tensionale geostatico



sono il risultato della storia tensionale del deposito

Un'altra relazione per la stima di  $k_0$  è stata proposta da Massarsch (1979)

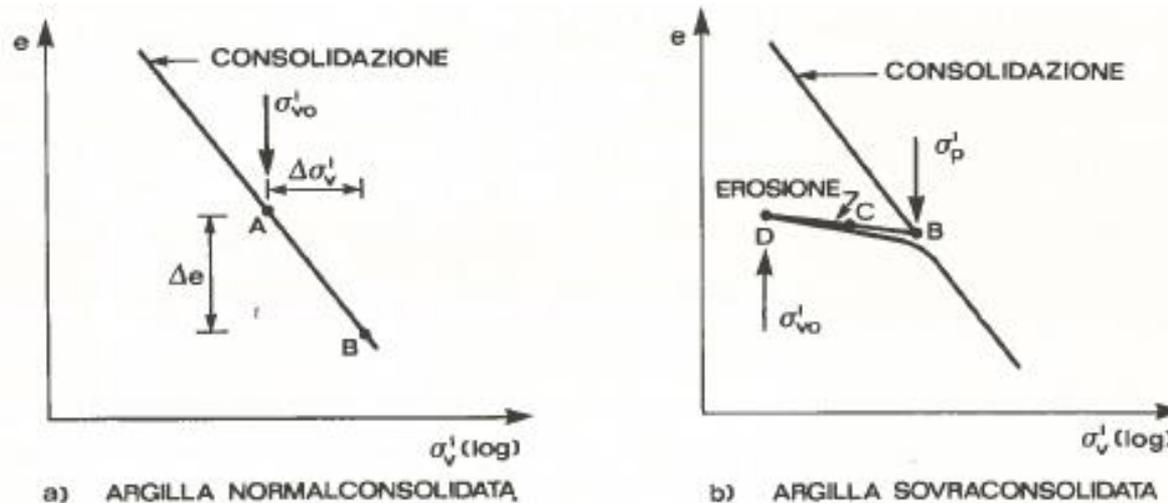


## LEZIONE N.4 – TERRENI SOVRACONSOLIDATI

La determinazione della tensione orizzontale  $\sigma'_{ho}$  rappresenta un problema per la geotecnica, a differenza della determinazione di  $\sigma'_{vo}$   
**Il valore attuale di  $\sigma'_{ho}$  dipende dalla storia tensionale del deposito**

Si definisce **coefficiente di spinta a riposo  $k_0$**  il rapporto tra la tensione orizzontale efficace e la tensione verticale efficace  
 $k_0 = \sigma'_{ho} / \sigma'_{vo}$

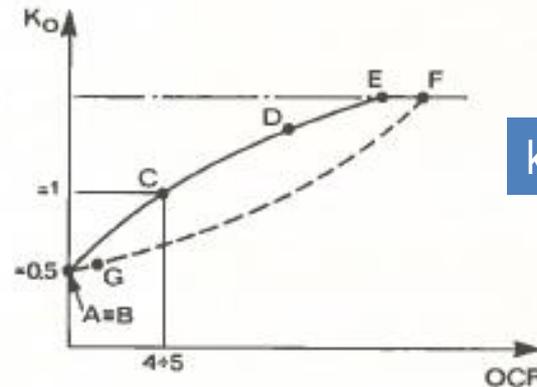
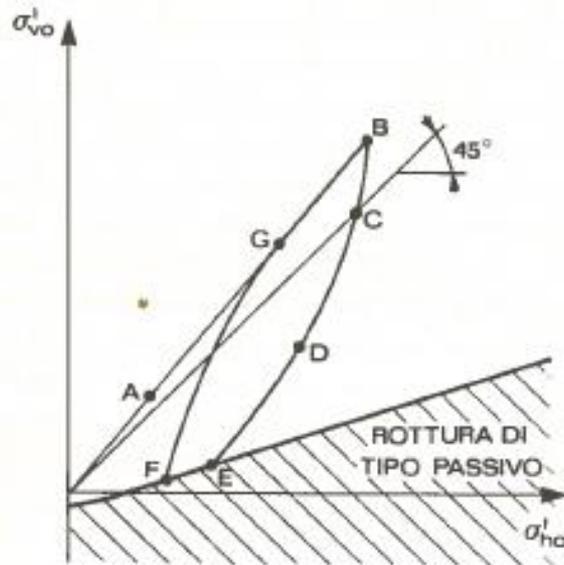
- Struttura del terreno
- Comportamento del terreno  $\Rightarrow$  sono il risultato della storia tensionale del deposito
- Stato tensionale geostatico



## LEZIONE N.4 – TERRENI SOVRACONSOLIDATI

Molti depositi dopo la fase di sedimentazione e consolidazione sotto la pressione  $\sigma'v$  (B) hanno subito erosioni con scarico tensionale fino a valori  $\sigma'v$  (C) o  $\sigma'v$  (D).

I depositi che hanno subito vicende di questo tipo si presentano con sovraconsolidati  
 SOVRACONSOLIDAZIONE MECCANICA



$$OCR = \frac{\sigma'_{p}}{\sigma'_{vo}}$$

$$k_o (OC) = k_o(NC) \cdot OCR^{\alpha}$$

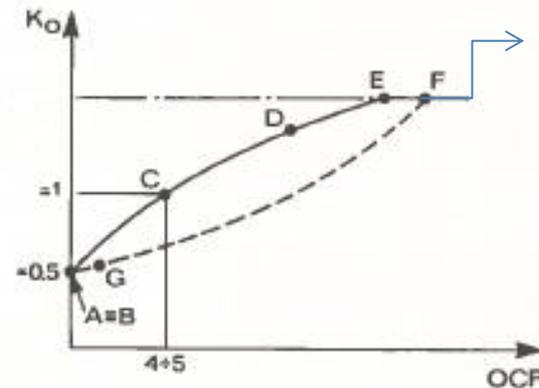
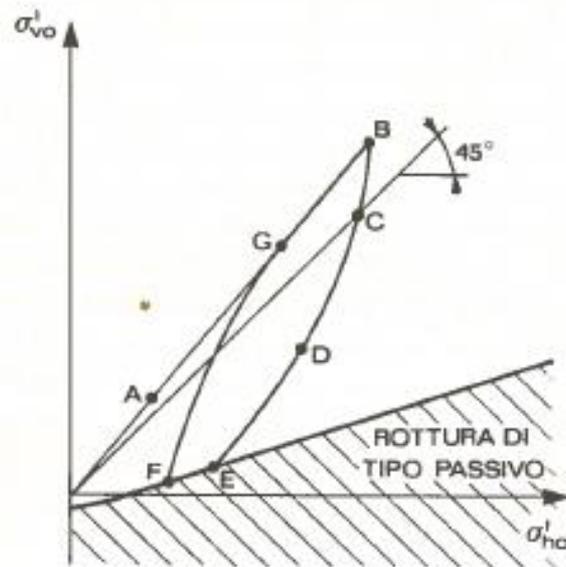
$$\alpha = 0,46 \pm 0,06$$

(Jamolkowski, 1979)

## LEZIONE N.4 – TERRENI SOVRACONSOLIDATI

Molti depositi dopo la fase di sedimentazione e consolidazione sotto la pressione  $\sigma'_v$  (B) hanno subito erosioni con scarico tensionale fino a valori  $\sigma'_v$  (C) o  $\sigma'_v$  (D).

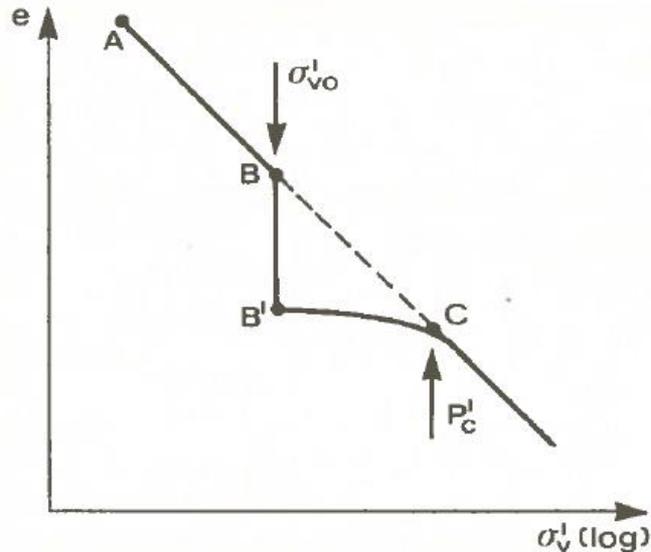
I depositi che hanno subito vicende di questo tipo si presentano con sovraconsolidati  
 SOVRACONSOLIDAZIONE MECCANICA



Durante la fase di scarico il valore di  $k_o$  (OC) aumenta.  
 Ma non può crescere indefinitamente.  
 Il limite superiore è definito dalla condizione di rottura per raggiungimento della spinta passiva

## LEZIONE N.4 – TERRENI SOVRACONSOLIDATI

I depositi subiscono l'effetto aging  
 SOVRACONSOLIDAZIONE PER AGING



Il fenomeno di aging (invecchiamento) comporta una stabile configurazione delle particelle solide con corrispondente maggiore resistenza e minore compressibilità.

$P'_c$  pressione critica o di quasi sovraconsolidazione (Bjerrum, 1967)

In un deposito omogeneo il rapporto  $p'_c/\sigma'_{vo}$  è costante

Poiché l'entità della preconsolidazione cresce all'aumentare della compressione subita nel tempo, e quest'ultima è proporzionale alla plasticità dell'argilla, il rapporto aumenta all'aumentare della plasticità fino ad un valore massimo di 2



## LEZIONE N.4 – TERRENI SOVRACONSOLIDATI

### FATTORI CHIMICO AMBIENTALI

La cementazione dei terreni è un tipico fattore chimico che determina una forte modifica della struttura del terreno e delle sue caratteristiche meccaniche.

Gli agenti cementanti possono essere diversi: l'agente naturale che si deposita con l'argilla è il carbonato di calcio che deriva dai microfossili che realizzano un leggero film attorno alle particelle creando punti di contatto in grado di sopportare anche azioni di trazione.

La cementazione è definita come COESIONE VERA delle argille (Mitchell, 1976)

Un terreno cementato ha un comportamento fragile, con elevata sensibilità.



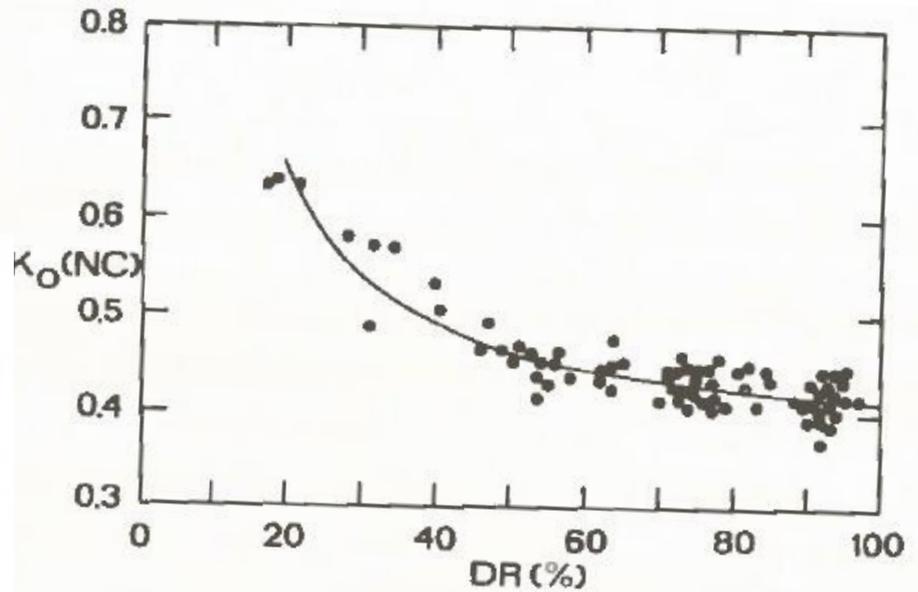
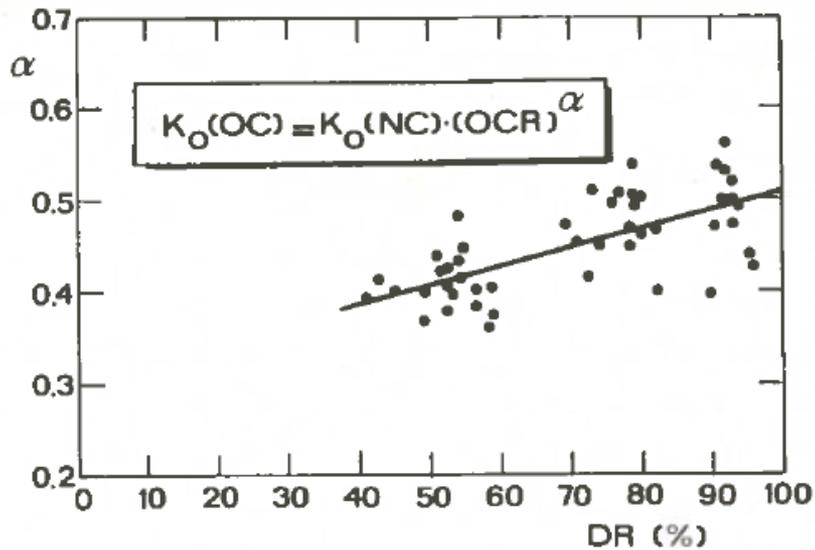
## LEZIONE N.4 – TERRENI SABBIOSI

Per i terreni sabbiosi, terre a grana grossa, valgono le stesse considerazioni: in particolare

$$:k_o(\text{NC}) \cong 1 - \sin\phi';$$

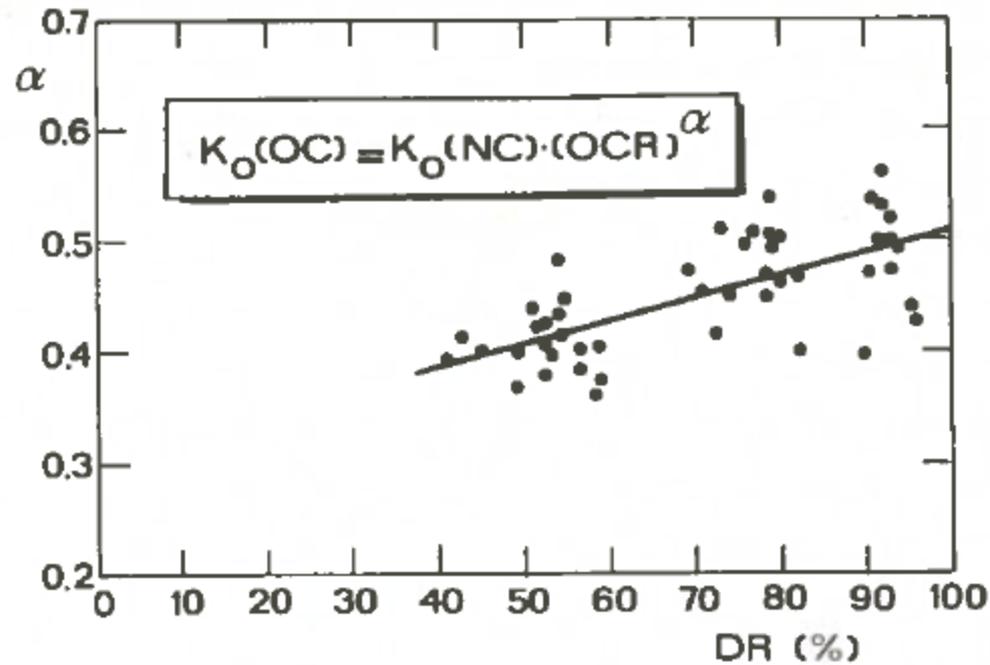
Durante la fase di scarico:

$$k_o(\text{OC}) = k_o(\text{NC}) \cdot \text{OCR}^\alpha$$





LEZIONE N.4 – TERRENI SABBIOSI



## LEZIONE N.4 – SEQUENZA EVENTI

Pochi depositi naturali hanno avuto una storia tensionale semplice.

La maggior parte ha subito azioni diverse e complesse.

Ne deriva che, sulla base delle considerazioni fatte, le relazioni empiriche che permettono un calcolo del coefficiente  $k_0$  sono applicabili soltanto:

Ai depositi naturali normalconsolidati

Ai depositi che hanno subito una sovraconsolidazione di tipo meccanico (erosione, variazione del livello di falda, rimozione di carichi esterni) solo nella fase di scarico

**In tutti gli altri casi la pressione orizzontale può essere ricavata solo da misure direttamente eseguite in sito**

- Celle di pressione
- Fratturazione Idraulica
- Pressiometro autopercorante

