

## COMPORAMENTO DEI TERRENI

- natura
- classificazione
- comportamento meccanico
- comportamento idraulico

## MODELLI COSTITUTIVI

- elastico lineare
- elastico-perfettamente plastico
- elasto-plastico
- elastico non lineare
- incrudente o rammollente

## STRUMENTI DI MISURA

- Prove di laboratorio standard e avanzate
- Prove in sito standard e avanzate

## ANALISI LIMITE

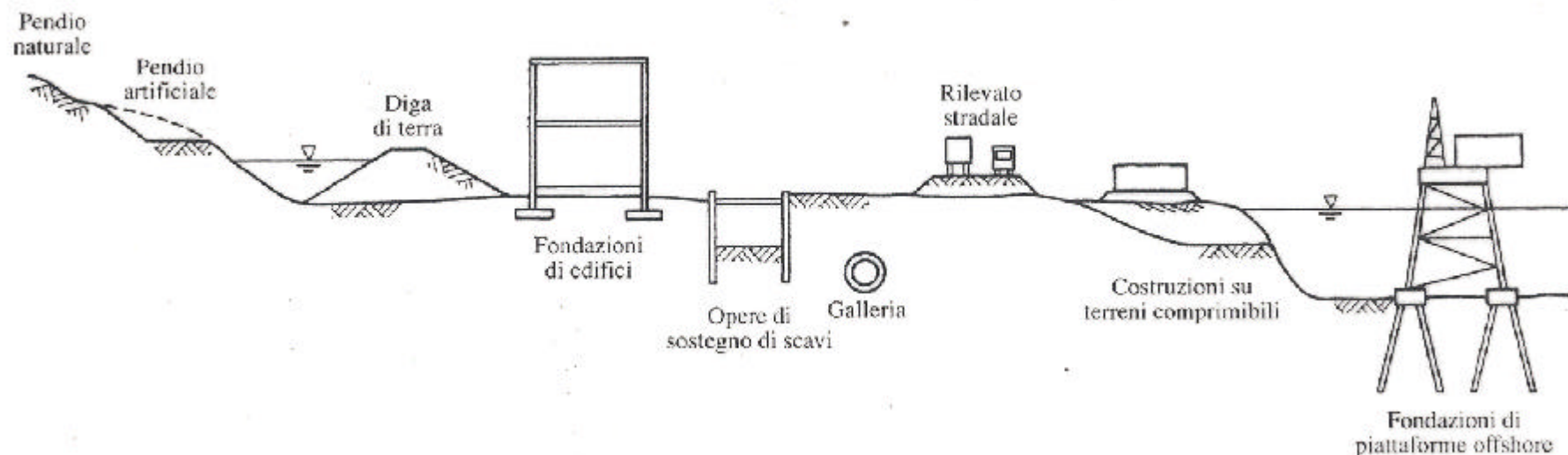
- Stabilità opere di sostegno

## RELAZIONE GEOTECNICA

- Modello lito-stratigrafico/definizione parametri meccanici
- Dimensionamento delle fondazioni
- Previsione cedimenti/spostamenti
- Verifiche di stabilità

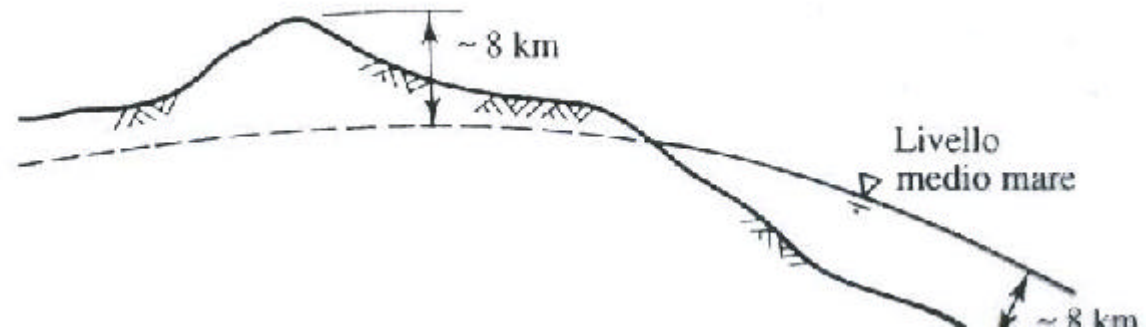
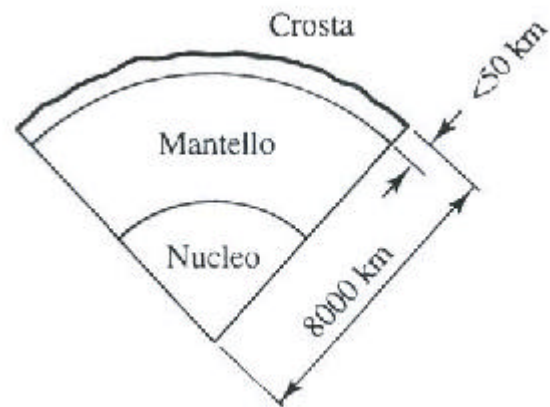
## RISPOSTA SISMICA LOCALE E LIQUEFAZIONE

L'ingegneria geotecnica è quel ramo dell'ingegneria civile che si occupa del progetto di strutture costruite nel terreno o nella roccia o che utilizzano i terreni o le rocce come materiali da costruzione.



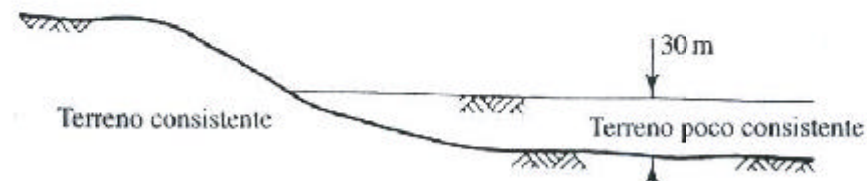
# CROSTA TERRESTRE

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013



(c)

*pendenza o resistenza*



(d)

*Terreno vegetale < 1 m*

La struttura della Terra.

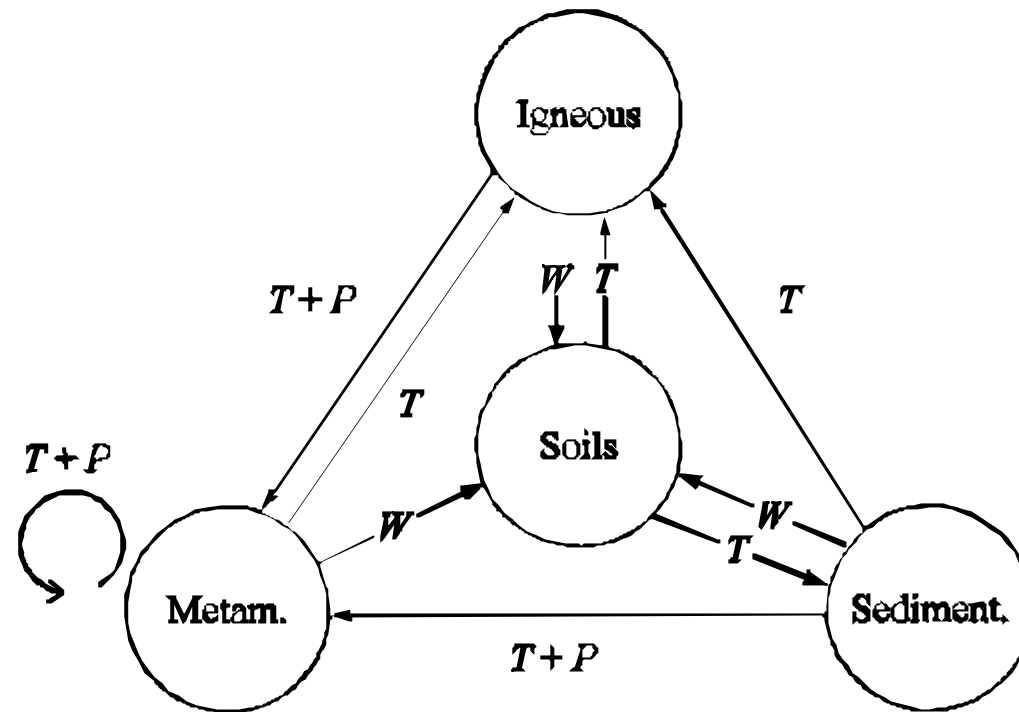
I materiali della crosta terrestre si dividono in:

## TERRENI

Aggregati di particelle minerali che possono essere separate le une dalle altre tramite azione meccanica (e.g. agitazione meccanica)

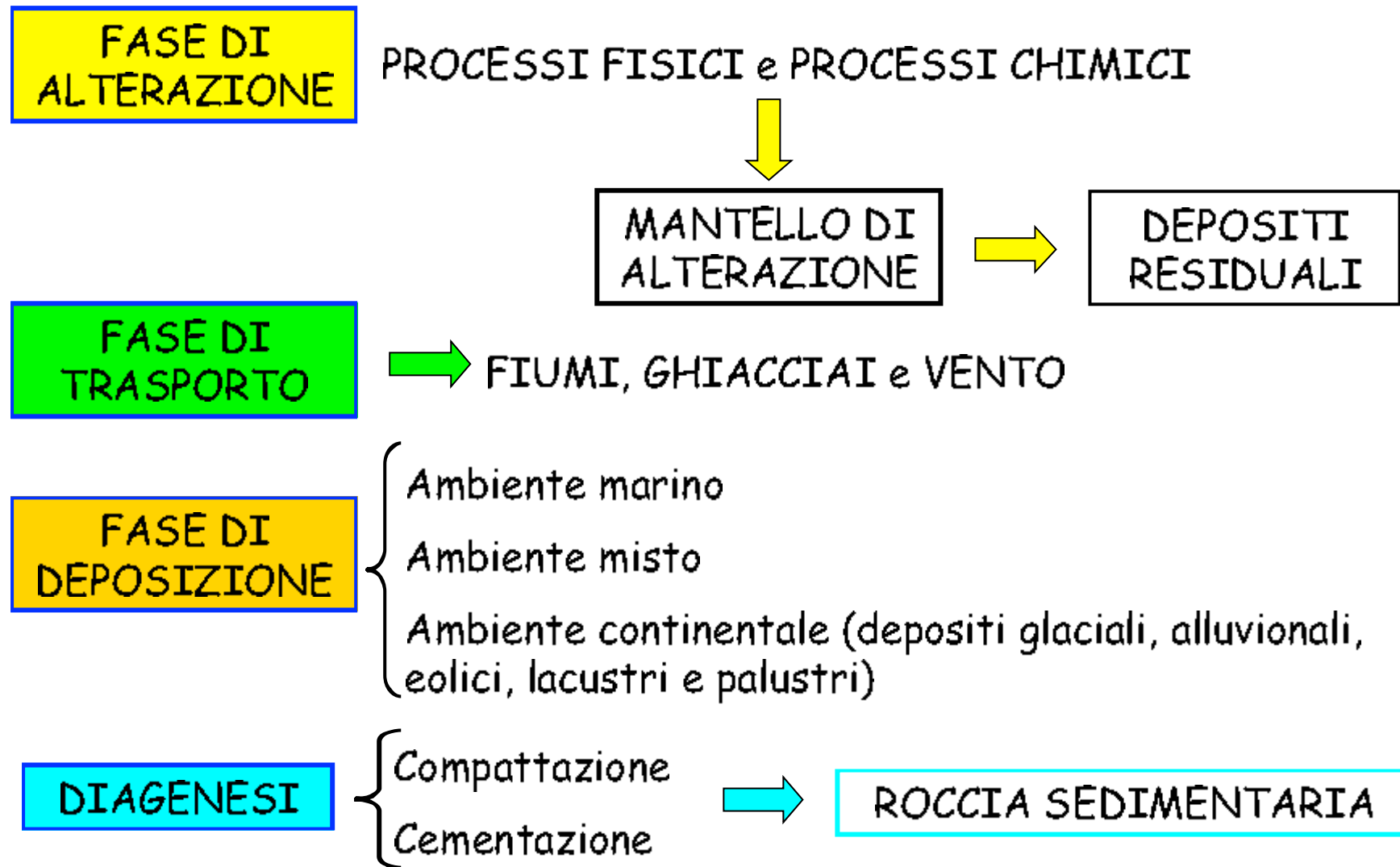
## ROCCE

- **IGNEE**: derivanti dalla solidificazione del magma all'interno (intrusive) o all'esterno (estrusive) della crosta terrestre
- **METAMORFICHE**: rocce preesistenti che hanno subito cambiamenti di mineralogia, tessitura o struttura, a causa di variazioni di temperatura e/o pressione
- **SEDIMENTARIE**: detriti soggetti ad alterazione, trasporto e deposizione, ricementate (**DIAGENESI**)



**Figure 2.1** Soils are formed from parent igneous, metamorphic and sedimentary rocks due to weathering  $W$ , temperature  $T$ , and pressure  $P$

## ROCCE MADRI



## FASE DI ALTERAZIONE

Processi fisici e chimici che portano a *formazione di detriti*

• **Processi fisici**: formazione di fratture e fessure derivanti dallo scarico tensionale prodotto dal sollevamento e dall'erosione dell'ammasso roccioso; a ciò si aggiunge l'azione dell'acqua di filtrazione che, congelandosi, esercita pressioni così elevate da disintegrare gli strati più epidermici (**crioclastismo**); inoltre, l'escursione termica a cui è sottoposta la roccia, con conseguenti cicli di espansione e contrazione, comporta il distacco degli strati esterni sotto forma di sottili scaglie (**termoclastismo**). Nel caso in cui i processi di alterazione siano attribuiti a piante o animali, si parla infine di **bioclastismo**

• **Processi chimici**: al diminuire della dimensione dei clasti, cresce il rapporto tra la superficie esposta e il volume degli stessi; per questo diventano prevalenti i fenomeni chimici, quali **ossidazione, idratazione, idrolisi e soluzione**.

## FASE DI TRASPORTO

Le correnti di acqua e aria, come pure i ghiacciai e la gravità, sono gli agenti che operano il trasporto dei detriti dal luogo di origine a quello di deposizione

Quando il trasporto è operato da un fiume, i sedimenti di dimensione minore sono trasportati in **sospensione**, le particelle di dimensioni maggiori sono trascinate sul fondo e quelle intermedie sono trasportate per **saltazione**

I materiali solubili subiscono invece un trasporto in soluzione e possono precipitare successivamente

In generale il processo di trasporto opera pertanto una **classazione** (le particelle di dimensione maggiore si trovano più vicino al luogo di formazione) e un'**abrasione** del materiale, modificandone la forma iniziale



## FASE DI DEPOSIZIONE

### AMBIENTE MARINO :

Depositi neritici  
Sabbie calcaree  
Depositi di scarpata  
Depositi di piana abissale

### AMBIENTE MISTO :

Depositi costieri  
Depositi di estuario  
Depositi di delta

### AMBIENTE CONTINENTALE :

Depositi eolici  
Depositi glaciali  
Depositi alluvionali  
Depositi lacustri

## PRINCIPALI DEPOSITI

- **MARINI**
- **EOLICI**
- **GLACIALI**
- **ALLUVIONALI**
- **LACUSTRI E PALUSTRI**

## DEPOSITI MARINI

Costituiti da *detriti* (trasportati da fiumi, ghiacciai, vento) *materiali organici* (scheletri conchiglie e organismi marini) e *noduli polimetallici*

Deposizione prevalentemente fluviale + «trasgressione» marina

Continentale/fluviale: dimensione particelle decresce dalla costa verso il largo

la maggior parte del materiale grossolano si deposita nella zona dei litorali, mentre limi e argille sono trasportati - in sospensione - al largo dalle onde

Al largo dalla costa, Sabbie fini, limi e aggregati di argille marine flocculate si depositano con la stessa velocità formando un deposito piuttosto omogeneo ed uniforme sia per composizione che per caratteristiche

### Argille sensitive:

argille depositate in ambiente salmastro, successivamente per mutate condizioni ambientali, sono assoggettate ad un flusso di acqua dolce

Struttura *metastabile* = l'argilla può collassare sotto azioni meccaniche assumendo un comportamento simile a quello di un fluido viscoso

## DEPOSITI ALLUVIONALI

DEPOSITI CONTINENTALI = terreni che si sono sedimentati in acqua dolce, in varie condizioni ambientali (variazione nel tempo e nello spazio della velocità e del carico solido della corrente)

A differenza dei depositi marini, in questo caso risultano tipiche l'eterogeneità e le variazioni di composizione, sia in senso verticale, sia nello sviluppo orizzontale.

Caratteristica dei **depositi alluvionali** è l'alternanza di materiali a grana grossa (*ghiaie e sabbie*) e a grana fine (*limi e argille*), in forme di sacche, con prevalente sviluppo orizzontale

Tali alternanze nella composizione sono imputabili principalmente alle variazioni del regime di flusso delle acque, mentre l'assenza di regolarità nell'estensione è imputabile a mutamenti dell'alveo

Frequenti in tali depositi sono pure le sacche di **materiale organico**, originate dall'accumulo di materiale vegetale nei punti morti della corrente

## DEPOSITI ALLUVIONALI

grana grossa    sabbie e ghiaie

- Poco compressibili
- Resistenza da media ad alta
- Idraulicamente permeabili

grana fine    limi ed argille

- Compressibili
- Resistenza da bassa a media
- Idraulicamente impermeabili

ALTERNANZE DI STRATI E LENTI DI TERRENI  
A GRANA GROSSA E FINE

strutture eterogenee anisotrope **COMPLESSE**  
necessità di indagini in sito e di laboratorio specifiche

## DEPOSITI PALUSTRI E LACUSTRI

La composizione granulometrica dei depositi lacustri e palustri è compresa tra le sabbie fini e le argille

La sedimentazione è lenta, in quanto avviene in acque stagnanti dolci produce una struttura prevalentemente dispersa delle argille e una differenziazione granulometrica verticale, con uniformità orizzontale e continuità dei vari livelli



Prevalenza di limi e argille ricche di sostanze organiche (torbe) con struttura dispersa

Questo dà origine a:

- terreni molto compressibili e con scarse resistenze meccaniche
- depositi eterogenei con una stratificazione granulometrica verticale e uniformità orizzontale

 **SUBSIDENZA**   
lento processo di abbassamento del suolo

## DEPOSITI GLACIALI

Originati da trasporto e deposito, di significative quantità di materiale, avvenuto durante le glaciazioni

- Depositi provenienti dai ghiacciai: es. morene
- Depositi sospinti dall'avanzamento del ghiacciaio: fluvio-glaciali
- Depositi trasportati dai fiumi originatisi dai ghiacciai
- Depositi originatisi ai piedi del ghiacciaio: laghi

Caratteristica comune di questi depositi è l'ampia curva granulometrica che va dai ciottoli alle argille, dovuta alla mancanza di selezione nella fase di trasporto

Nei depositi morenici le varie frazioni granulometriche si ritrovano distribuite in modo caotico o sotto forma di sacche ubicate spazialmente in modo disordinato, nei depositi fluvio-glaciale si rinviene un'alternanza più regolare

Sono i depositi più eterogenei e tra i più difficili da caratterizzare da un punto di vista geotecnico

## DEPOSITI EOLICI

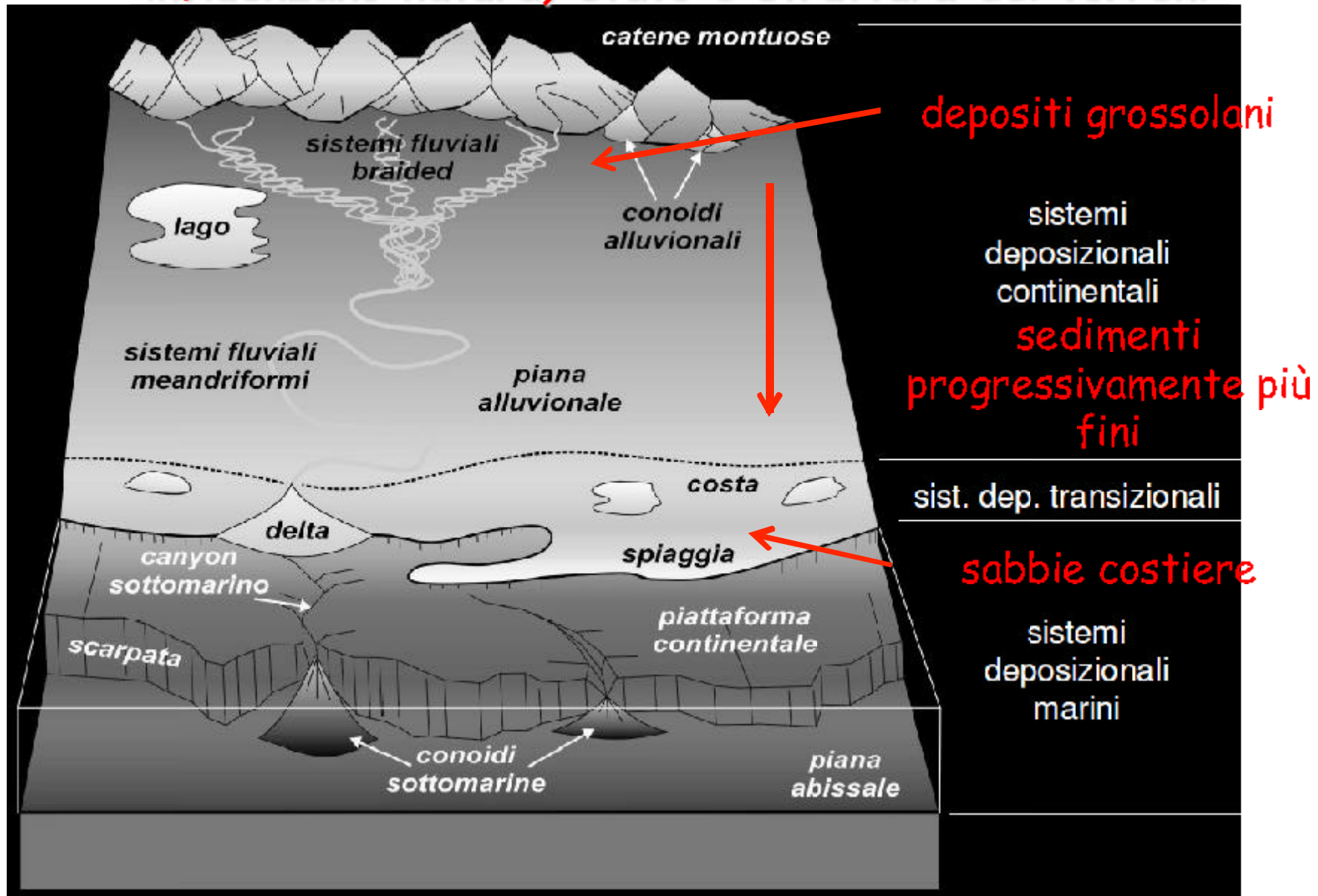
L'erosione e il trasporto operati dal vento costituiscono elementi di grande selettività ed è questo il motivo che rende particolarmente uniforme i depositi e scarsamente addensati

*Dune costiere:* sabbie quasi monogranulari costituite da particelle arrotondate con elevata porosità (50, 60%) e struttura collassabile. Difficilmente campionabili.

Il collasso strutturale può verificarsi sia in corrispondenza del raggiungimento di una soglia di carico, sia sottoponendo il materiale a processi di saturazione





**Origine, alterazione, trasporto e ambiente di deposizione influenzano natura, stato e struttura dei terreni**





## TERRENI A GRANA GROSSA

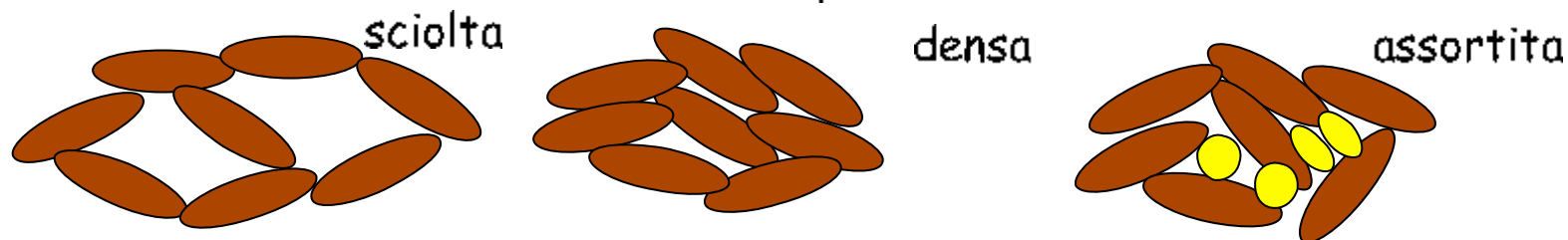
Comportamento:  interazione di tipo meccanico (forze di massa)  
 funzione del grado di addensamento

L'addensamento di un terreno a grana grossa dipende da:

- Ambiente di deposizione (aria, acqua in quiete o in movimento)
- Vibrazioni o carichi esterni
- Forma dei grani



- Distribuzione della dimensione delle particelle

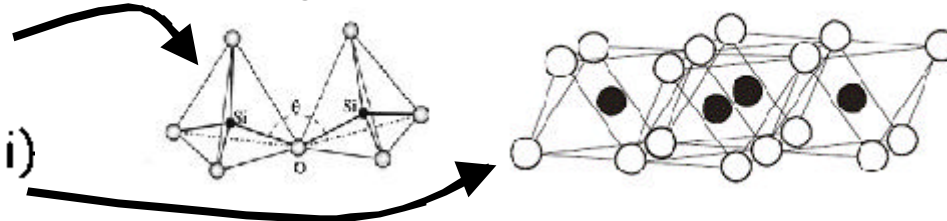


## TERRENI A GRANA FINE-1

- Comportamento: ➡ interazione di tipo chimico (forze superficie)  
➡ interazione con l' ambiente circostante

I minerali argillosi hanno una struttura di tipo:

- Tetraedrico (silicio+ossigeno)
- Ottaedrico (magnesio+ossidrili)



- ➡ a seguito dell' interazione tra più pacchetti di tipo tetraedrico e ottaedrico si formano le particelle.

Le **forze** che generano o rompono i legami tra i pacchetti o le particelle possono essere:

- repulsive: carica elettrica superficiale negativa
- attrattive: campo magnetico indotto da elettroni (forze di Van der Waals)

## TERRENI A GRANA FINE-2

### Interazione tra particelle argillose

A causa della disposizione geometrica degli ioni,

*la superficie delle particelle presenta una carica negativa,*

che ne condiziona ogni interazione con le altre particelle, con l'acqua e con gli ioni in essa disciolti.

•Le **molecole dell'acqua, dipolari**, tendono ad essere attratte da tale superficie, subiscono un iso-orientamento, risultando così **legate alla superficie della particella** da non poter essere separate da azione meccanica: si def. **ACQUA ADSORBITA**, ed è a tutti gli effetti parte integrante della struttura della particella argillosa

•L'**acqua presente nei pori**, libera di muoversi sotto l'azione di un gradiente idraulico, si def. **ACQUA INTERSTIZIALE**

## Interazione tra particelle argillose

I cationi ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) attratti dalla superficie della particella, sono debolmente legati ad essa e tendono ad allontanarsi in virtù della loro energia termica:

la loro concentrazione diminuisce al crescere della distanza dalla particella, fino ai valori di concentrazione presente nell'ACQUA INTERSTIZIALE.

➡ L'interazione tra le particelle avviene attraverso gli strati di ACQUA ADSORBITA.

A causa della carica negativa sulla superficie, tra le particelle si genera un'azione repulsiva: diminuisce al crescere della distanza delle particelle e all'aumentare della concentrazione elettrolitica.

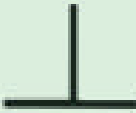
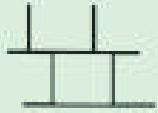



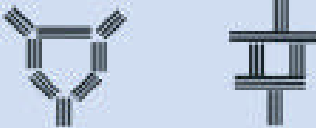

Il moto degli elettroni attorno ai nuclei dà origine alle forze attrattive di van der Waals.

➡ L'azione risultante tra due particelle può avere segno diverso, a seconda della distanza e della concentrazione elettrolitica.

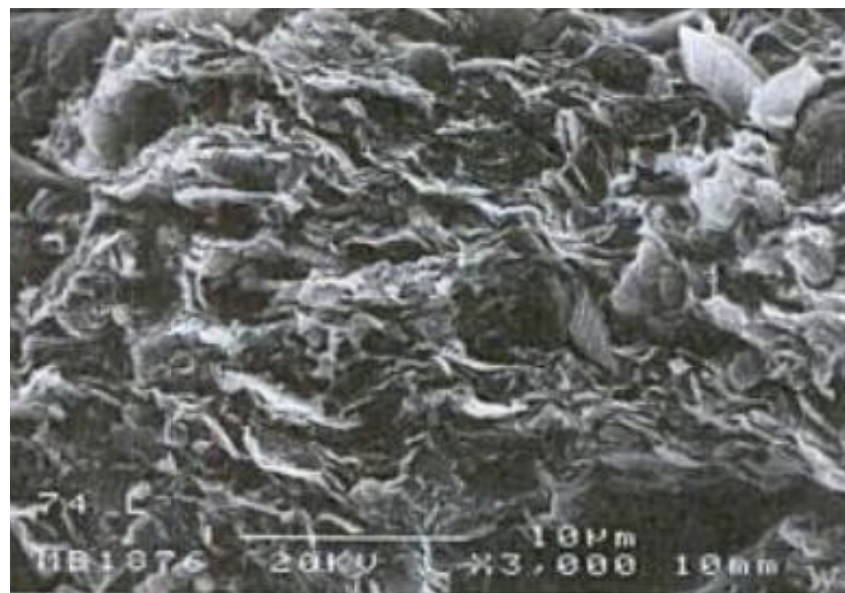
# ORIGINE E NATURA DEI TERRENI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

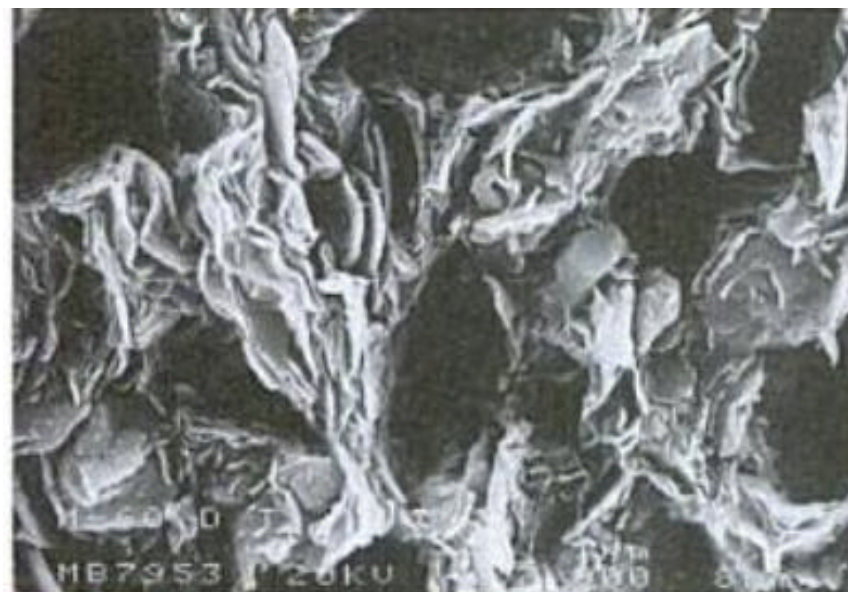
Acqua salmastra: Forte concentrazione elettrolitica - Forze attrattive  
*microstruttura flocculata*

Flocculation	Edge-to-Face		
	Edge-to-Edge		
Aggregation	Face-to-Face		
	Shifted Face-to-Face		

Acqua dolce: bassa concentrazione elettrolitica - Forze repulsive  
*microstruttura dispersa*

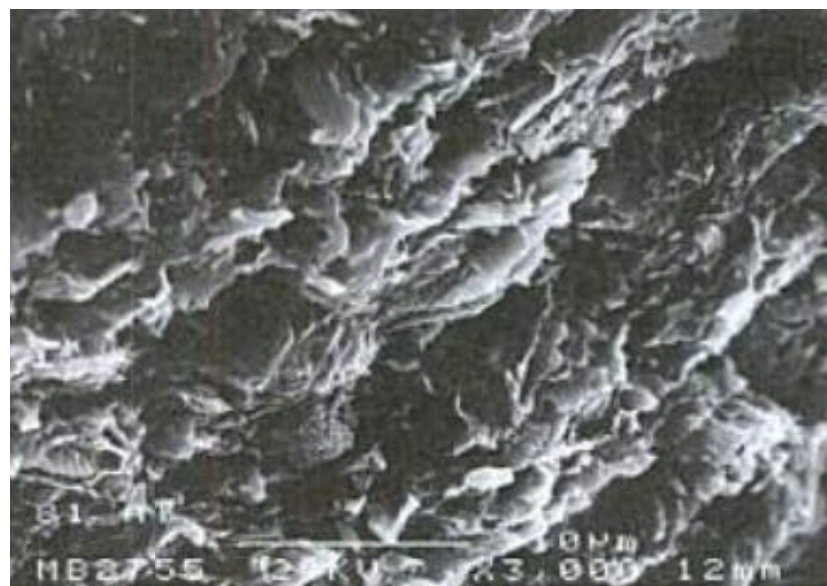


struttura turbostatica di argille  
azzurre del Guadalquivir  
(struttura compatta *tipica di sedimenti  
marini sovraconsolidati*)

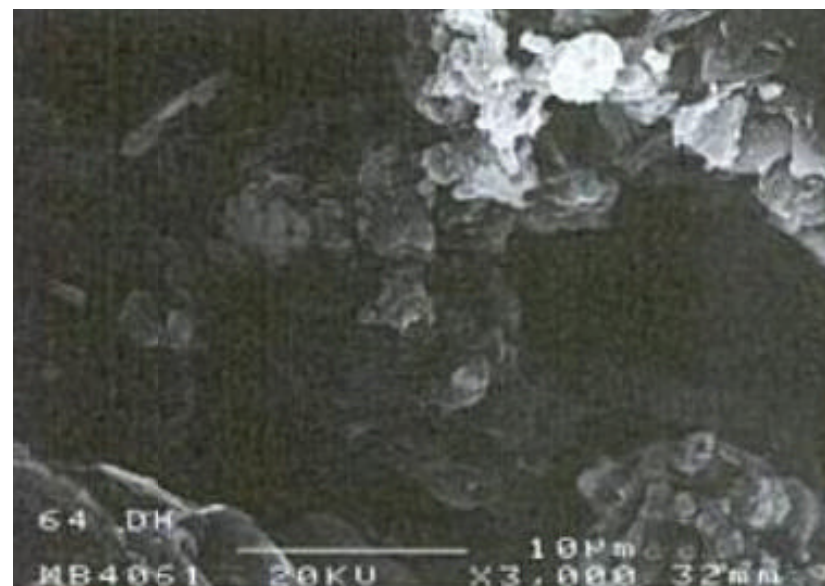


struttura alveolare  
(struttura aperta formata da  
flocculi che aderiscono tra loro con  
forze di aderenza;  
*tipica di argille in ambiente salino*)

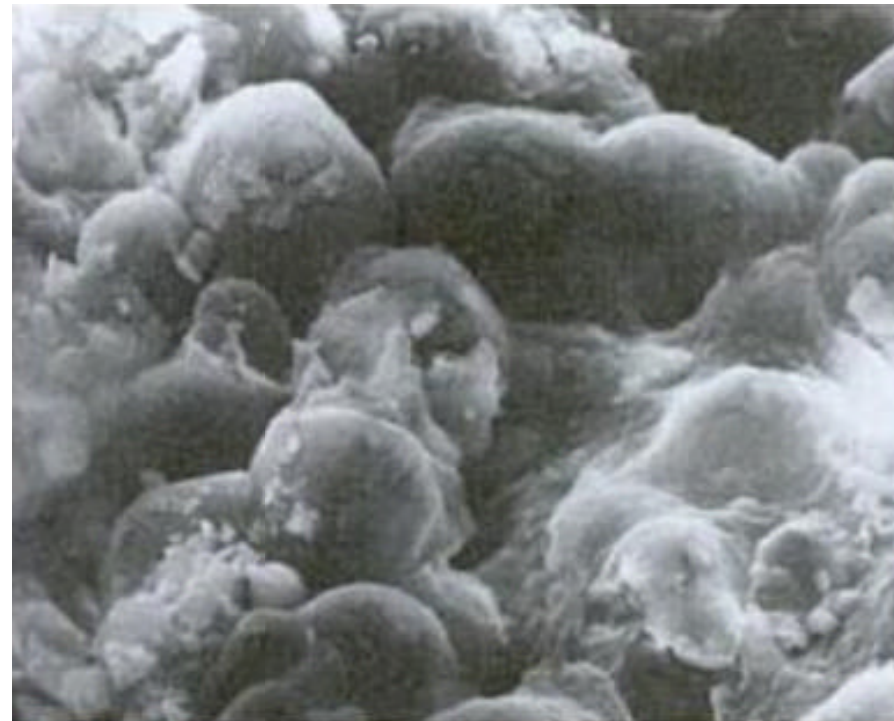




struttura laminare o orientata di argille  
azzurre del Guadalquivir  
(struttura omogenea, compatta e  
anisotropa formata da lamine orientate  
in una direzione preferenziale;  
*tipica di sedimenti di acqua dolce*)



struttura a scheletro  
(struttura metastabile formata da  
frammenti di aggregati di argilla uniti da  
connettori a lunga distanza;  
*tipica di terreni molto alterati e  
collassabili*)



struttura oolitica o nodulare di argille vulcaniche delle Tenerife  
(struttura formata da noduli che possono formare impacchettamenti  
densi-tipica di *terreni continentali* con molto ossido di ferro)



## TERRENI A GRANA FINE-3

Forze di superficie e superficie specifica:

Si consideri una particella di terreno con una dimensione caratteristica, e.g. il diametro equivalente  $d_{eq}$ :

- le forze peso sono proporzionali al volume (quindi a  $d_{eq}^3$ )
- le forze di superficie sono proporzionali all'area (quindi a  $d_{eq}^2$ )



più la particella è piccola,

più le forze di superficie sono prevalenti su quelle di volume

superficie specifica

$$S_s = \frac{\Delta A}{\rho * \Delta V} = \frac{\Delta A}{\Delta m}$$

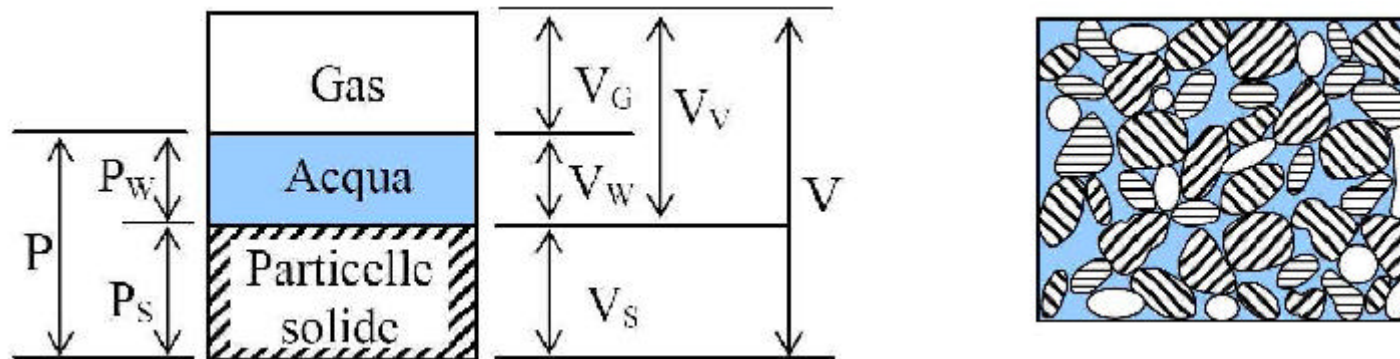
	$S_s$ (m <sup>2</sup> /g)
Montmorillonite	1000
Illite	100
Caolinite	10
Sabbia ( $d_{50}=2$ mm)	0.001

# RELAZIONI TRA LE FASI

IL TERRENO è:

- mezzo particellare
- mezzo multifase

{
particelle solide  
vuoti
riempiti di
→
{
acqua  
gas
}



	VOLUMI	PESI
<b>TOTALE</b>	$V = V_s + V_v$	$P = P_s + P_w$
<b>VUOTI</b>	$V_v = V_w + V_g$	-
<b>SOLIDI</b>	$V_s$	$P_s$
<b>ACQUA</b>	$V_w$	$P_w$
<b>GAS</b>	$V_g$	-

## RELAZIONI TRA LE FASI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

INDICE	ESPRESSIONE	DIM
Porosità	$n = V_v / V = e / (1+e)$	-
Indice dei vuoti	$e = V_v / V_s = n / (1-n)$	-
Contenuto d'acqua	$w = P_w / P_s$	-
Grado di saturazione	$S_r = (V_w / V_v)$	-
Peso dell'unità di volume totale	$\gamma = P / V$	$FL^{-3}$
Peso dell'unità di volume della parte solida	$\gamma_s = P_s / V_s$	$FL^{-3}$
Peso dell'unità di volume dell'acqua	$\gamma_w = 9,81 \quad kN/m^3$	$FL^{-3}$
Peso dell'unità di volume del terreno secco	$\gamma_d = P_s / V$	$FL^{-3}$
Peso dell'unità di volume del terreno alleggerito	$\gamma' = \gamma - \gamma_w$	$FL^{-3}$
Peso specifico totale	$G = \gamma / \gamma_w$	-
Peso specifico dei grani	$G_s = \gamma_s / \gamma_w$	-

## RELAZIONI TRA LE FASI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

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	-	13-18	16-21
LIMO	35-50	0.5-1	-	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	20-40	14-18	18-21
TORBA	75-95	3-19	200-600	1-5	10-13

# RELAZIONI TRA LE FASI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

Material	Specific gravity
Water	1.0
Seawater	1.024
Oil	0.8
Salt	2.16
Cement	3.1
Rice	1.4
Beans	1.3
Wood	0.4 – 0.75

**Table 2.9** Specific gravity of selected materials at room temperature

Material	Specific gravity
Water	1.0
Seawater	1.024
Oil	0.8
Salt	2.16
Cement	3.1
Rice	1.4
Beans	1.3
Wood	0.4 – 0.75
Anhydrite	2.96
Calcite	2.7
Chlorite	2.6 – 2.8
Fayalite	4.39
Feldspar	2.65
Gypsum	2.3 – 2.4
Halite	2.16
Kaolinite	2.65
Mica	2.80
Montmorillonite	2.0 – 3.0
Quartz	2.65
Expanded mineral (occluded porosity)	0.6 – 1.5 (effective)
Brick clay	2.75
Glacial soil	2.7
Aeolian sand	2.7
Sandy soil	2.6 – 2.7
Gravelly soil	2.68
Sandy loam	2.66
Silt loam	2.66
Loess	2.66 – 2.70
Dune sand	2.6
Muck	1.66
Peat	1.37

Sources: West (1988); Guéguen and Palciauskas (1994).

## IDENTIFICAZIONE MEDIANTE PROVE SEMPLICI ED IMMEDIATE

- dimensione particelle
- forma e distribuzione dei grani
- mineralogia (stratificazioni, stato fessurazioni..)

## CLASSIFICAZIONE

Suddivisione dei terreni in “classi” all'interno delle quali si riscontra un comportamento meccanico simile

## PROPRIETA' DI RIFERIMENTO

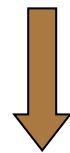
- parametri con un **significato fisico**, facili da determinare mediante apparecchiature semplici
- parametri **indipendenti** dalle condizioni ambientali e di sollecitazione

## ANALISI GRANULOMETRICA

Il comportamento dei terreni è influenzato dalle dimensioni dei grani e dalla distribuzione percentuale di tali dimensioni.

Per valutare la distribuzione dei grani di un terreno si utilizza l'*analisi granulometrica*.

L'analisi granulometrica viene eseguita mediante due tecniche



**SETACCIATURA**  
per la frazione grossolana  
 $d > 0.075$  mm



**SEDIMENTAZIONE**  
per la frazione fine  
 $d < 0.075$  mm

# CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

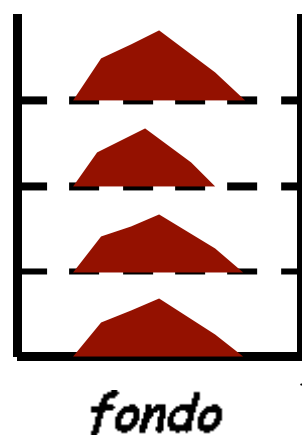
## ANALISI PER SETACCIATURA ( $d > 0.075$ mm)

Si esegue con setacci di *dimensioni prestabilite*

Si utilizza una pila di setacci disposti con il diametro dal più grande al più piccolo (e.g.  $d_1 > d_2 > d_3$ )

Il materiale (precedentemente essiccato) verrà posto in alto alla pila di setacci e sottoposto a vibrazioni: il primo setaccio fermerà il materiale con dimensioni  $d > d_1$ , poi scendendo verrà fermato il materiale avente  $d_1 > d > d_2$ ,  $d_2 > d > d_3$ ,  $d < d_3$

In seguito si misura il peso delle singole frazioni  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  e  $P_F$ , ed il peso complessivo  $P$



$P_1$   $d_1$

$P_2$   $d_2$

$P_3$   $d_3$

$P_F$   $d_F$

$P$



Si diagramma la **curva granulometrica** avendo a disposizione le **percentuali cumulative in peso** della frazione di materiale che passa da un determinato setaccio in funzione del **diametro**

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{d1} = \frac{P_1}{P} \% \\ d_1 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{d2} = \frac{P_1 + P_2}{P} \% \\ d_2 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{d3} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P} \% \\ d_3 \end{array} \right.$$



# CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

## ANALISI PER **SEDIMENTAZIONE** ( $d < 0.075$ mm)

La frazione trattenuta dall'ultimo setaccio viene analizzata *per via umida*, cioè viene collocata in un contenitore con l'aggiunta di acqua ossigenata e antiflocculante

Si valuta quindi la velocità di caduta delle particelle, che è funzione del diametro delle particelle (**legge di Stokes**)



Cilindro graduato di sedimentazione  
(il materiale è disperso in acqua e  
antiflocculante)

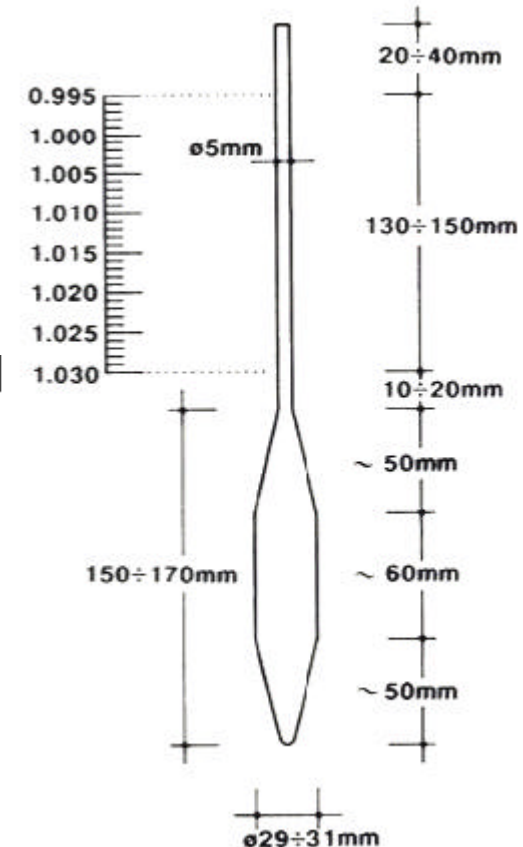
### Legge di Stokes

$$D = \sqrt{\frac{1800 * \eta_L * v}{\gamma_s - \gamma_l}}$$

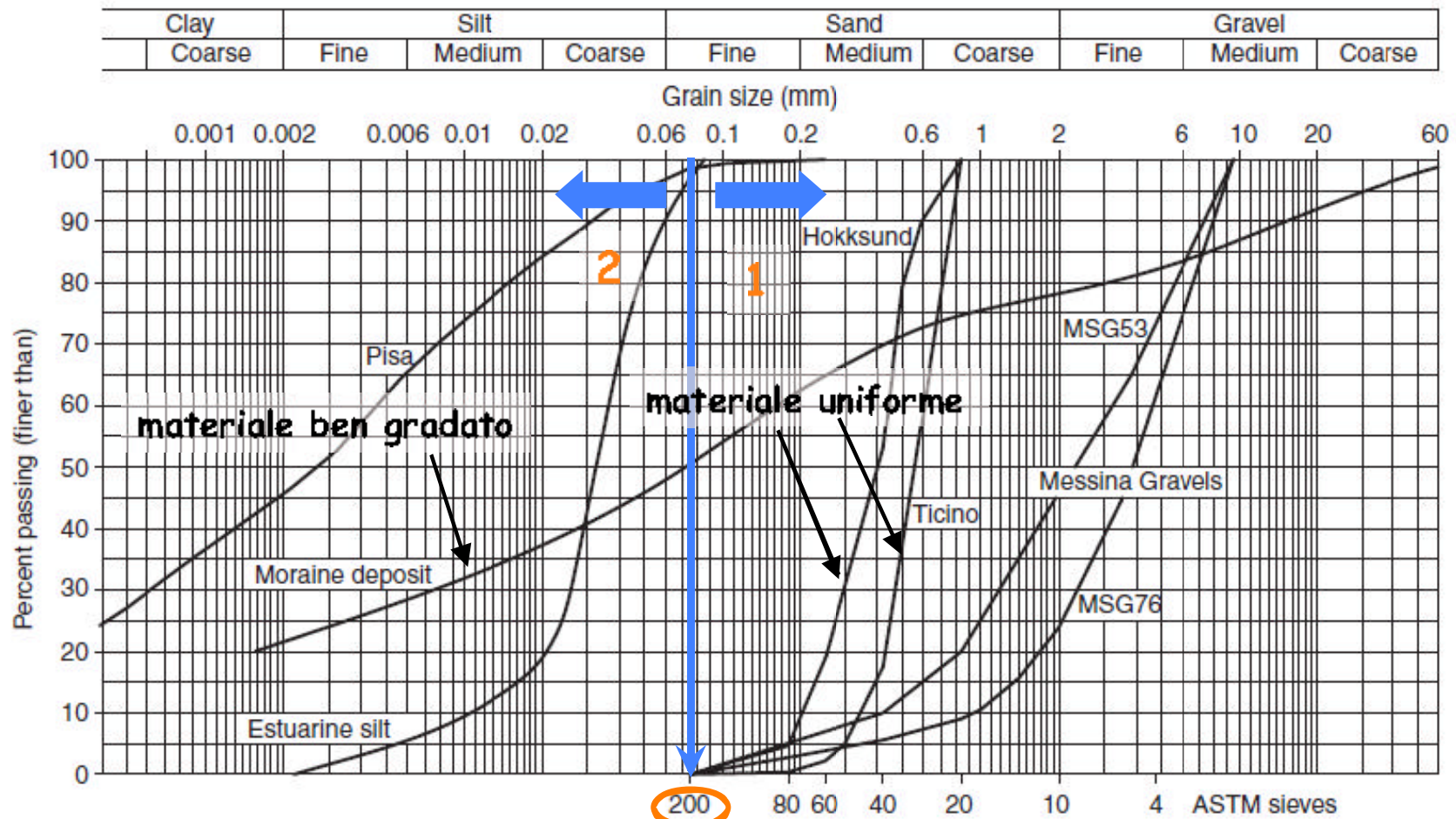
viscosità  
dinamica del  
liquido

velocità di caduta delle  
particelle in soluzione

Misurata con il  
**DENSIMETRO**



## CURVA GRANULOMETRICA



1. analisi per **setacciatura**
2. analisi per **sedimentazione**

# CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

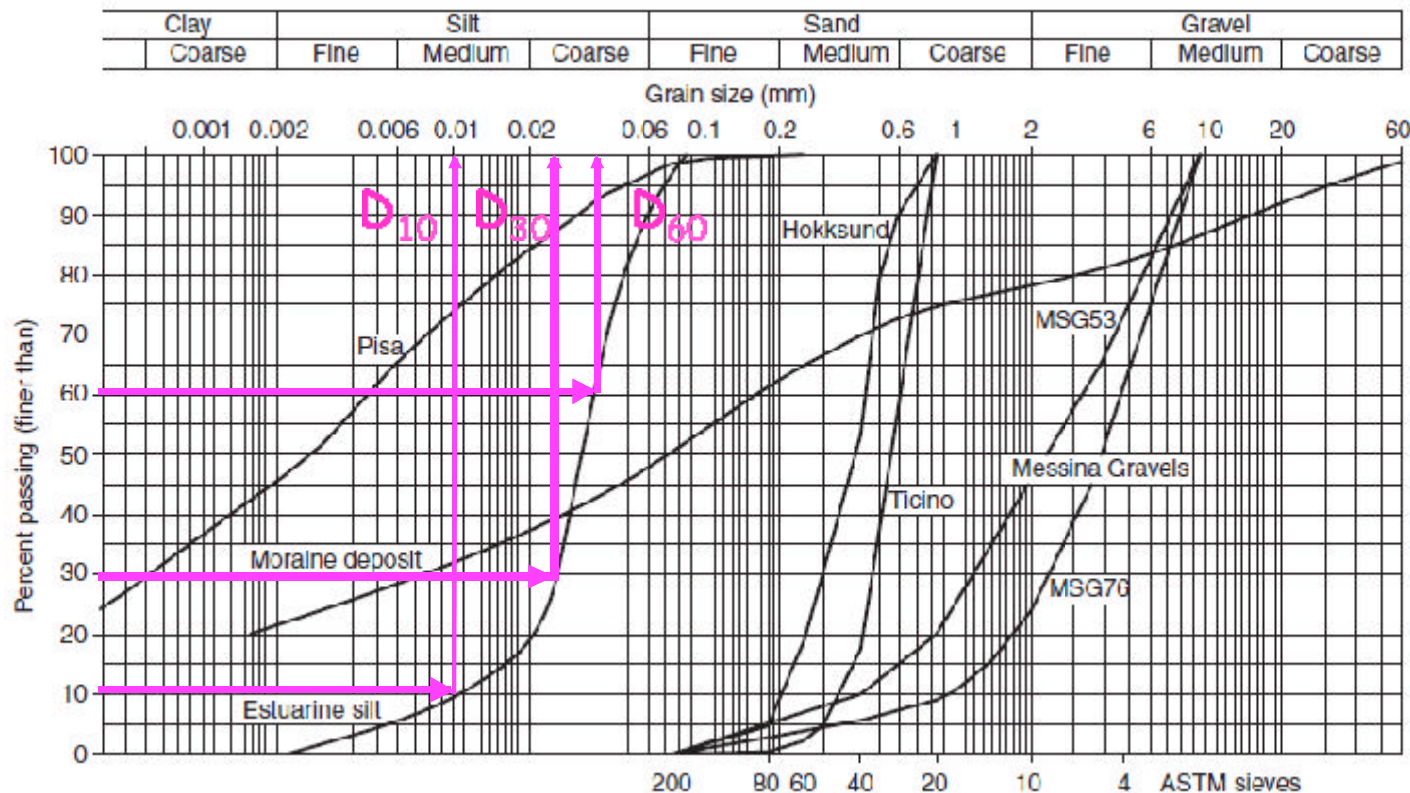
$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Coefficiente di uniformità

CU elevati: mat. ben gradato  
CU bassi: mat. uniforme

$$CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

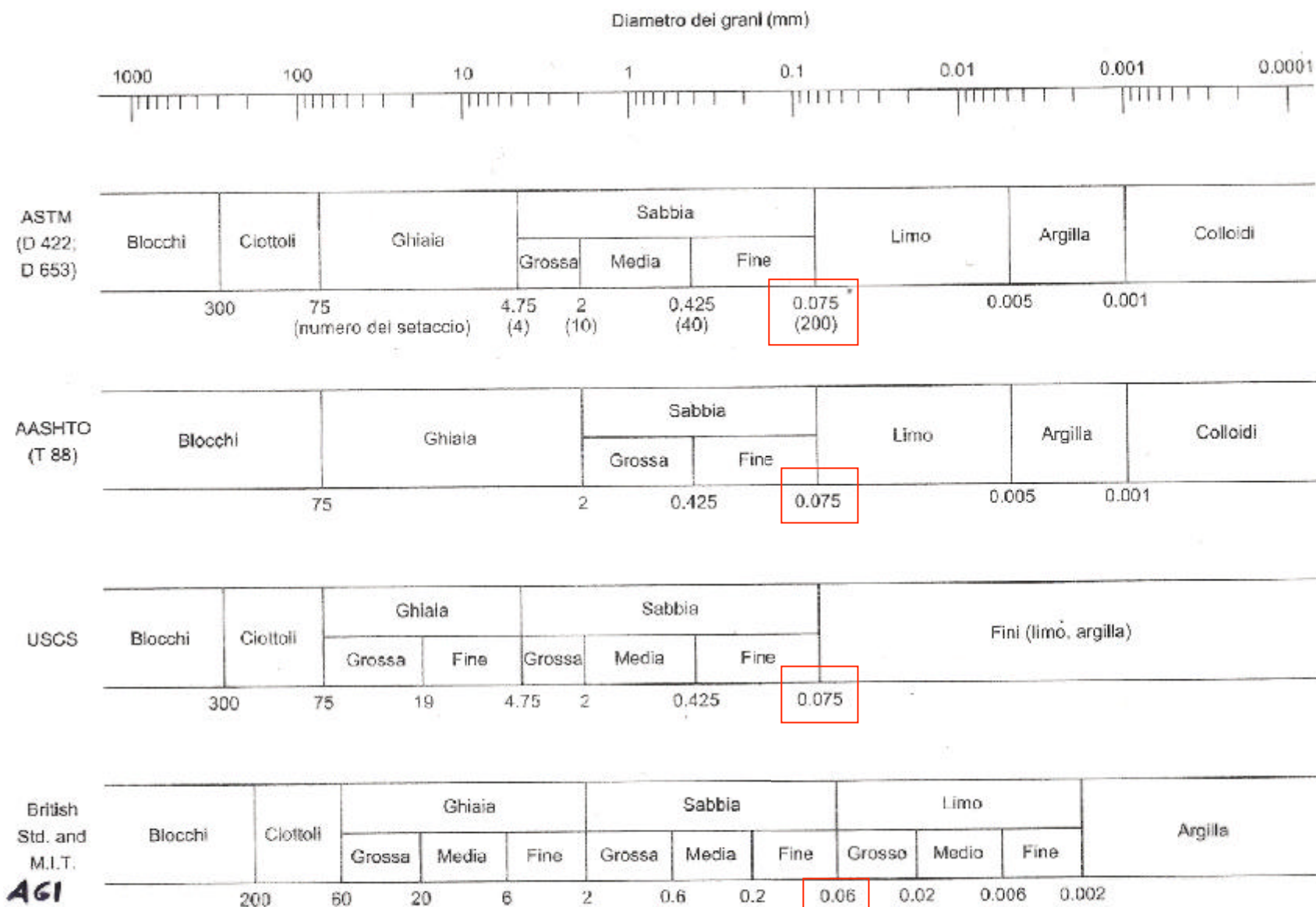
Coefficiente di curvatura





# CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013



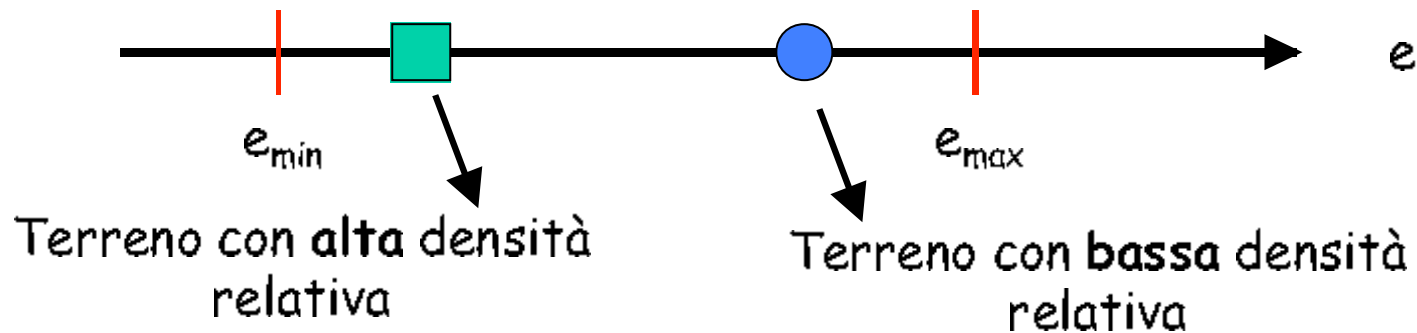
# CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

Suddivisione dei terreni in gruppi (classi) con proprietà meccaniche simili

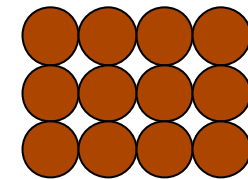
TERRENO	Diametro particelle	Forze	Interazioni	Comportamento Meccanico definito da
GHIAIA e SABBIA (grana grossa)	> 0.075 mm	Massa	Meccaniche	Dimensione dei grani Forma dei grani Distribuzione granulometrica Struttura Addensamento
ARGILLA e LIMO (grana fine)	< 0.075 mm	Superf.	Chimiche	Mineralogia Contenuto d'acqua Grado di saturazione Struttura e proprietà indici

## TERRENI A GRANA GROSSA

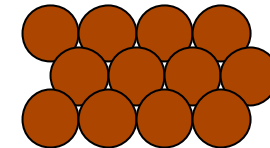


Densità relativa  $\longrightarrow D_R = (e_{max} - e_0) / (e_{max} - e_{min})$

$e_{max}$ : indice dei vuoti massimo che il terreno può raggiungere (maggiore volume dei vuoti);



$e_{min}$ : indice dei vuoti minimo che il terreno può raggiungere (minore volume dei vuoti);



$e_0$ : indice dei vuoti attuale del terreno.

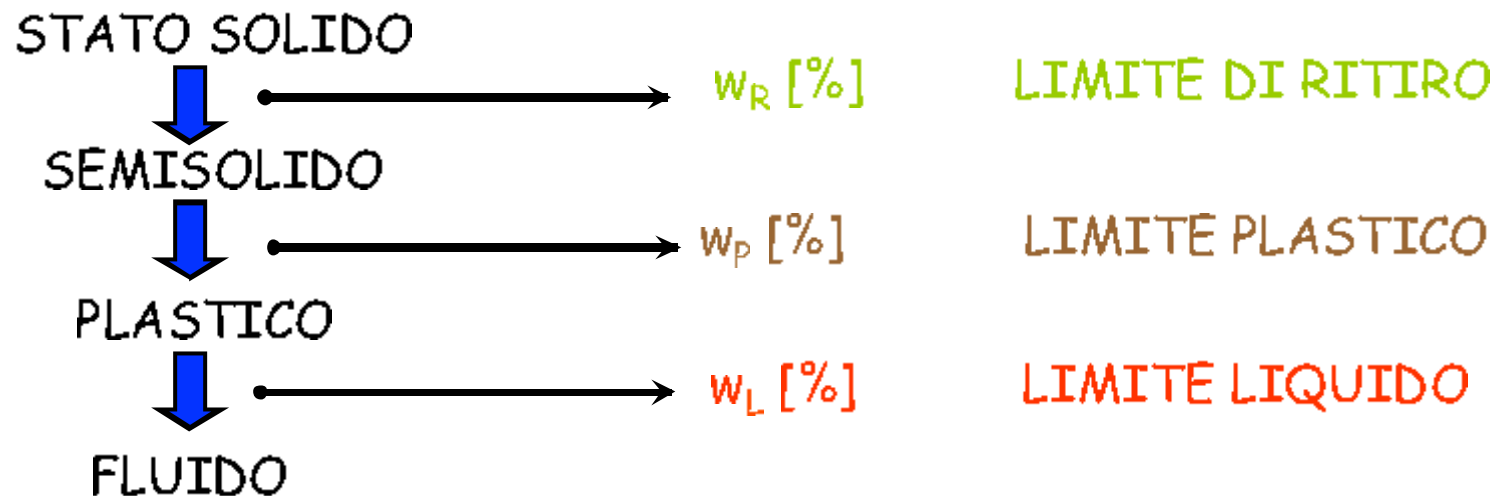
\* $D_r = f(\text{forma, dimensione, mutuo incaastro tra particelle})$

\* $D_r$  maggiore significa anche maggiore resistenza e minore deformabilità

## TERRENI A GRANA FINE

### INDICI DI CONSISTENZA - LIMITI di ATTERBERG

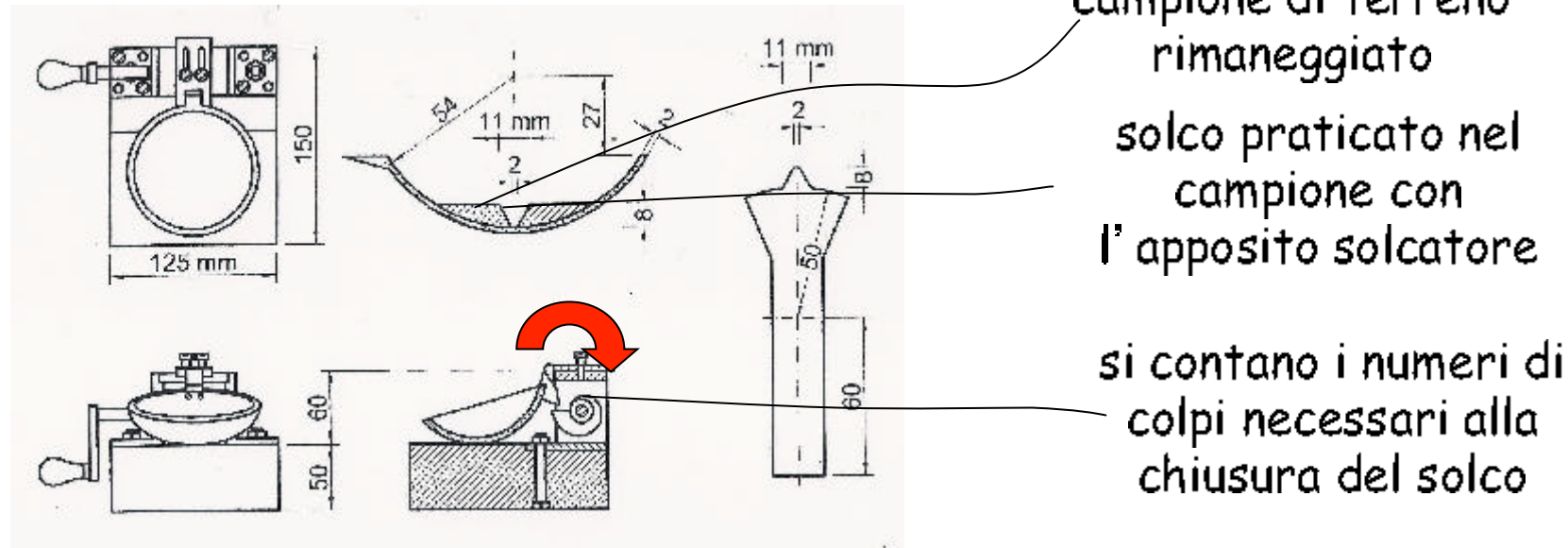
Un terreno si comporta in modo diversi in funzione del *contenuto di acqua*.  
Si definiscono tre soglie:



## DETERMINAZIONE DEL LIMITE LIQUIDO

Contenuto di acqua in corrispondenza del quale il terreno possiede una resistenza al taglio così piccola che un solco, praticato in un campione rimaneggiato, si chiude quando il cucchiaio che lo contiene è sollevato con dei colpi, secondo una procedura standardizzata.

### Strumento CUCCHIAIO DI CASAGRANDE



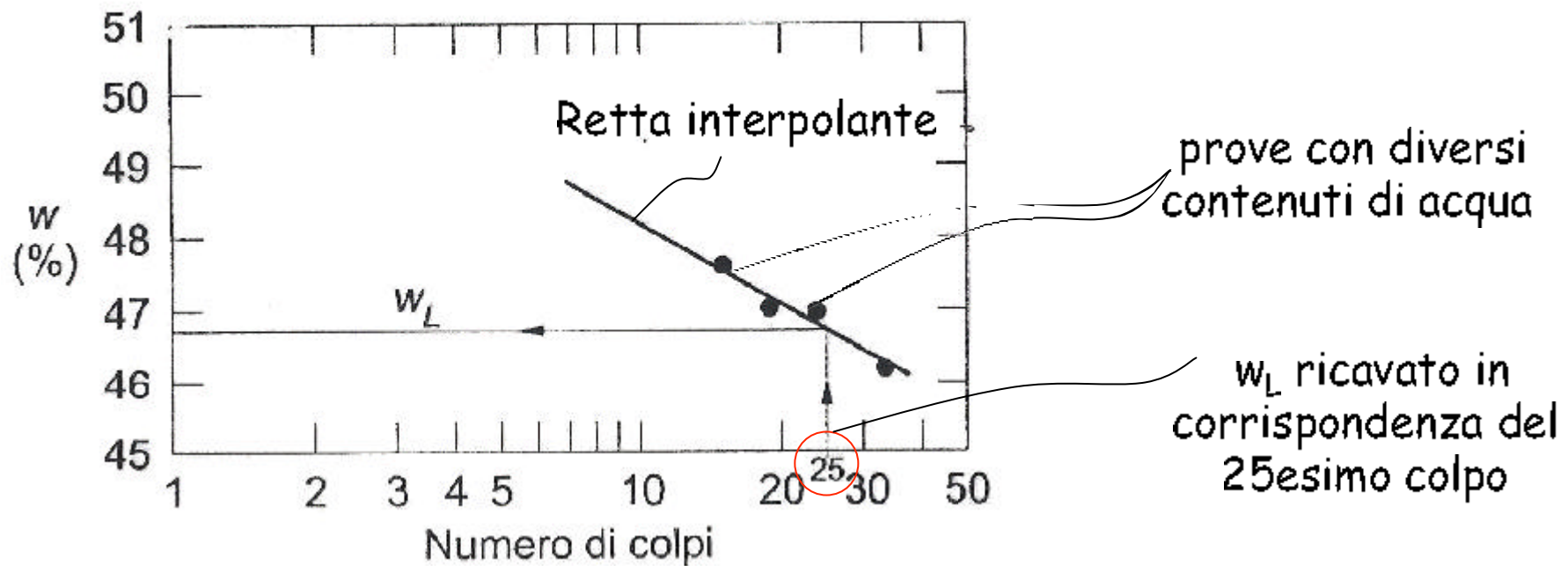


## DETERMINAZIONE DEL LIMITE LIQUIDO

Peso dell'acqua

$$w_i = P_w / P_s$$

Peso del solido  
(dopo l'essiccazione in  
forno)



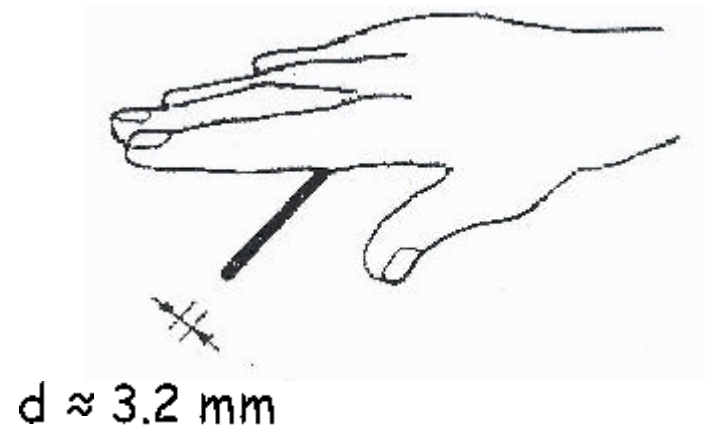
## DETERMINAZIONE DEL LIMITE PLASTICO

Il limite plastico è il contenuto d'acqua per il quale il terreno inizia a perdere il suo comportamento plastico; si manifesta con l'insorgere di fessure nel bastoncino di materiale lavorato con le mani

Peso dell'acqua  
 $w_i = P_w / P_s$   
Peso del solido  
(dopo l'essiccazione in  
forno)

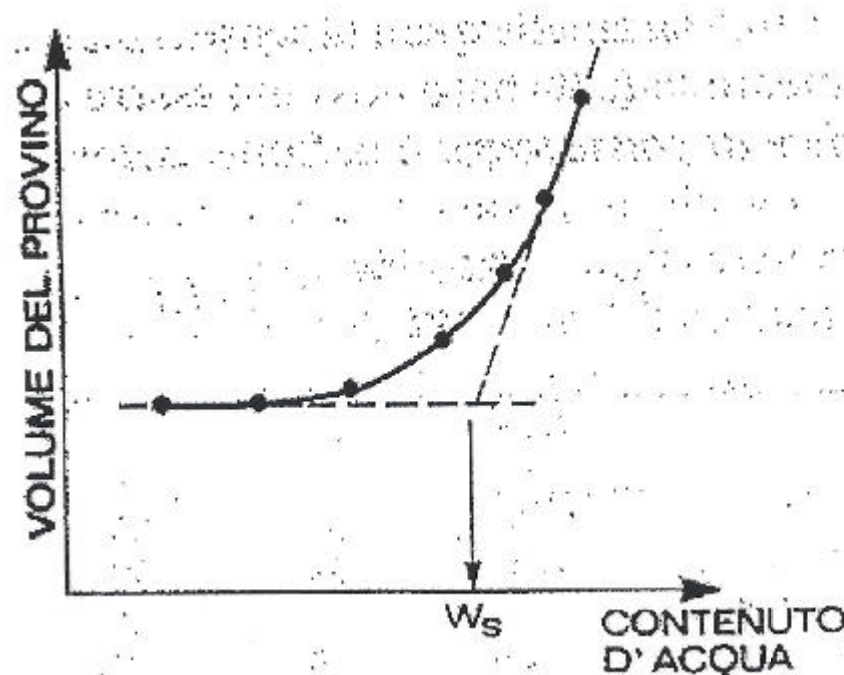
n prove

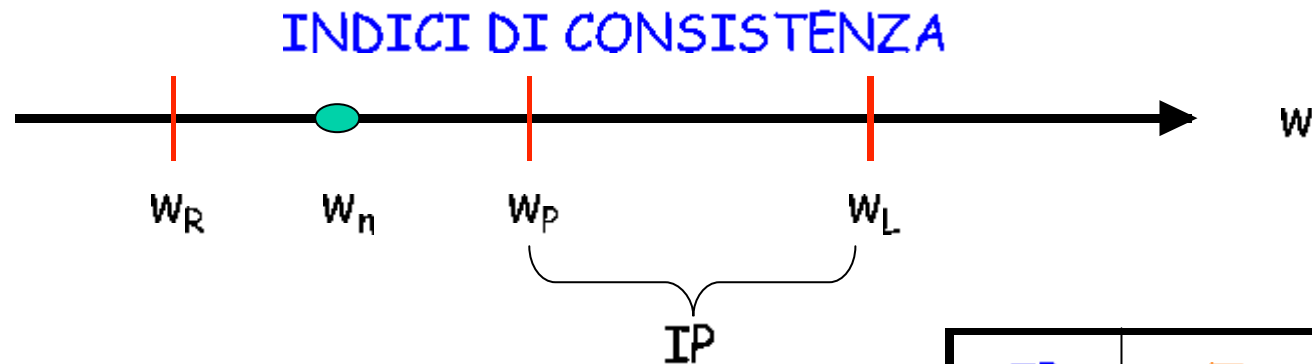
$$w_p = \sum w_i / n$$



## DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI RITIRO

Il limite di ritiro è il contenuto d'acqua al di sotto del quale una perdita di acqua non comporta più alcuna riduzione di volume di un campione indisturbato





**INDICE DI PLASTICITÀ**  $IP = w_L - w_p$

Indica il campo di variazione del contenuto d'acqua all'interno del quale il terreno ha un comportamento plastico e può essere rimaneggiato senza l'insorgere di variazioni di volume e fessure

IP	Terreno
0-5	non plastico
5-15	poco plastico
15-40	plastico
> 40	molto plastico

$IP = f(\% \text{argilla, tipo di argilla, natura cationi adsorbiti})$

**INDICE DI LIQUIDITÀ'**

$$IL = (w_n - w_p) / IP$$

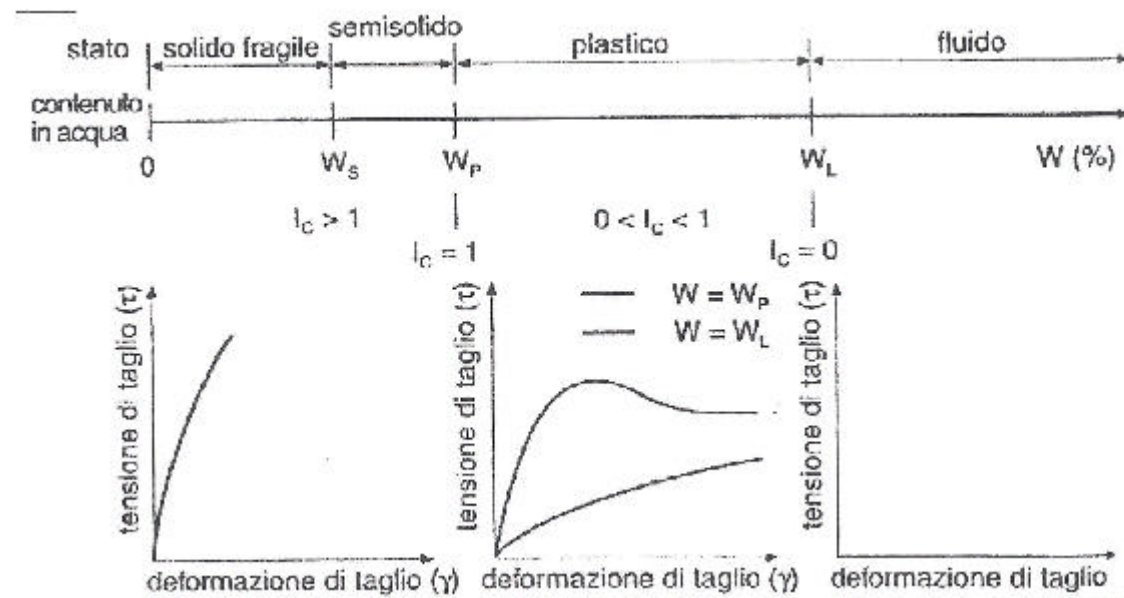
**INDICE DI ATTIVITÀ'**

$$A = IP / CF$$

CF: %argilla

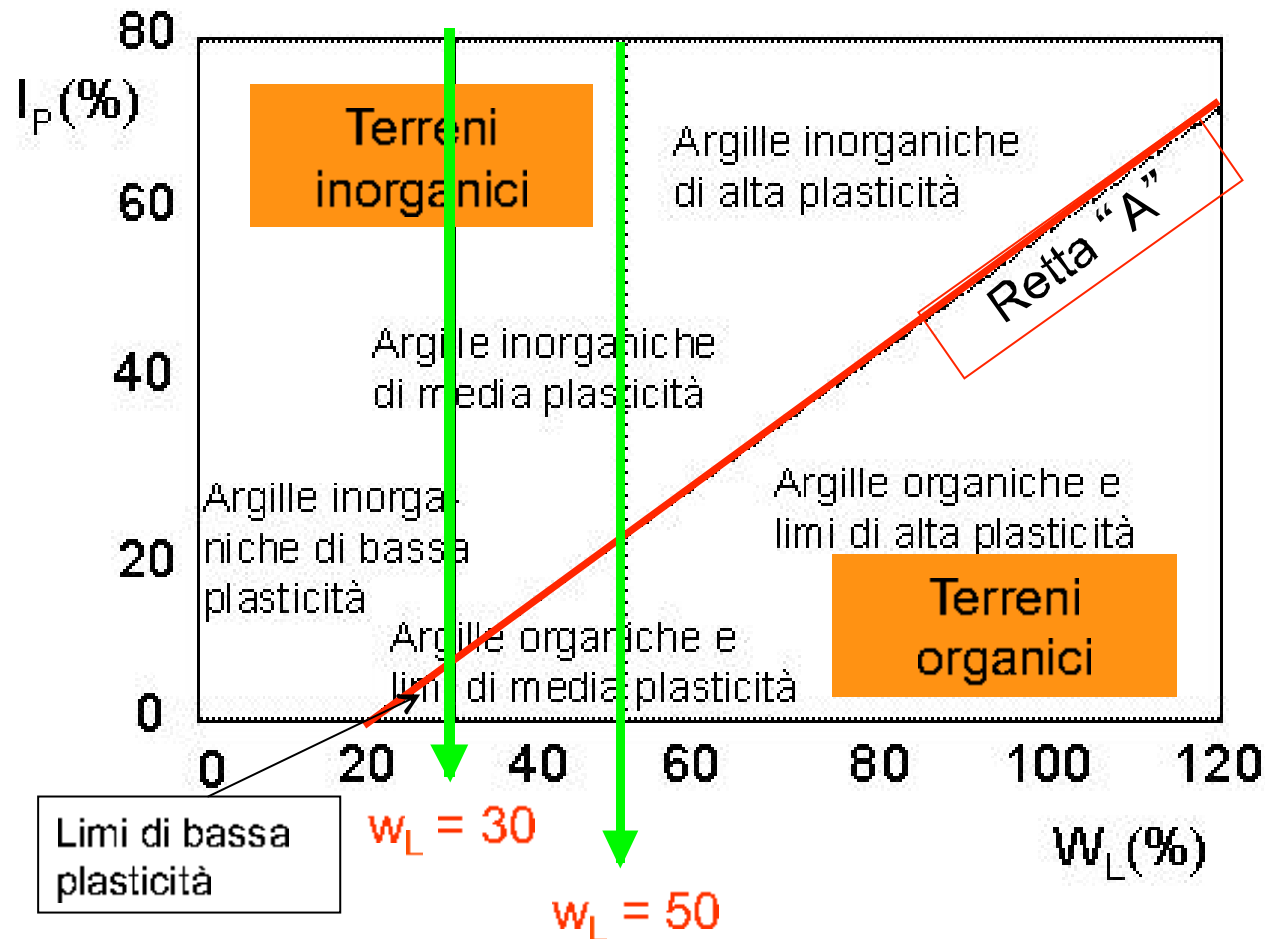
A	Terreno
<0.75	inattivo
0.75-1.25	norm. Attivo
> 1.25	attivo

## INDICI DI CONSISTENZA



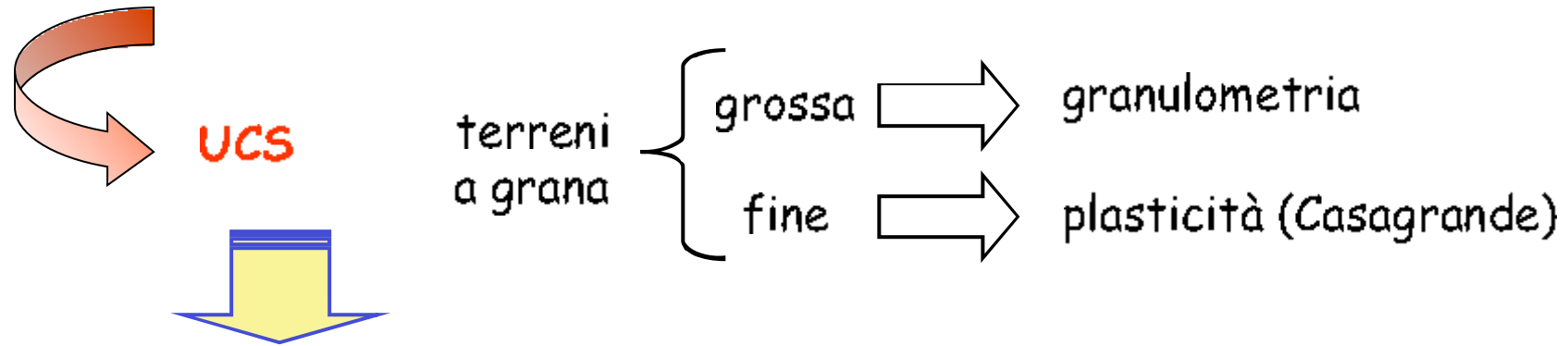
Minerali argillosi	$w_L$ [%]	$w_p$ [%]	IP [%]
Montmorillonite	300-700	50-100	200-650
Illite	95-120	45-60	50-65
Caolinite	40-60	25-40	10-25

## CARTA DELLA PLASTICITA' DI CASAGRANDE

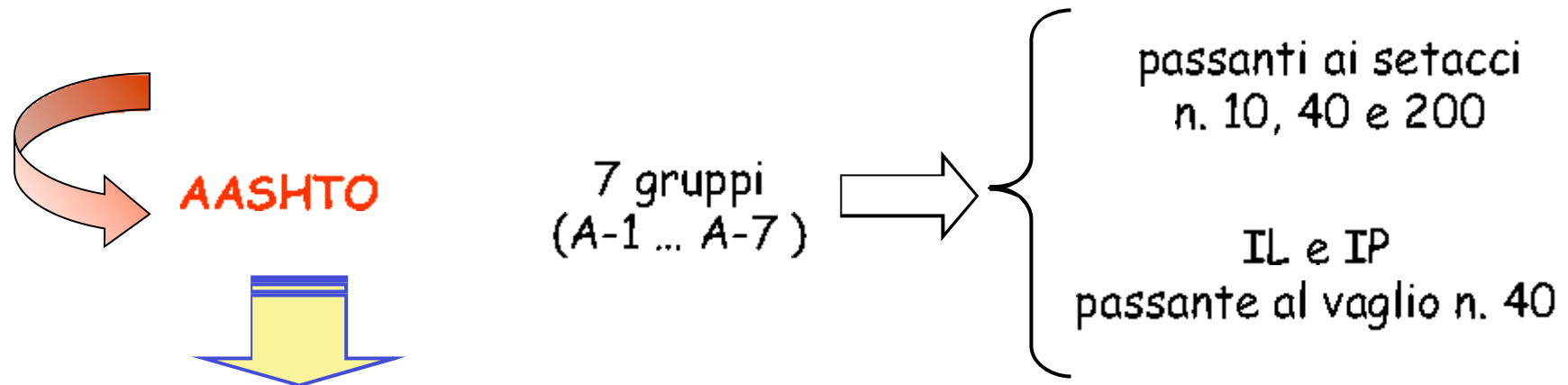


# SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013



Raccomandazioni A.G.I.



Norma CNR UNI 10006



# CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

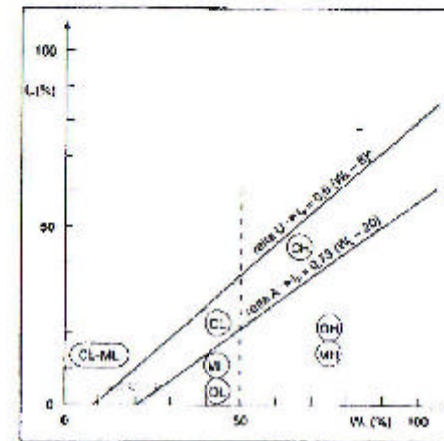
(AASHTO M 145-82)	Materiali granulari Passante al setaccio n. 200 (0,075 mm) uguale o minore del 35%							Materiali limosi e argillosi Passante al setaccio n. 200 superiore al 35%			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Gruppi di classificazione	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisi 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 DEI TERRENI

GEOTECNICA  
A.A. 2012-2013

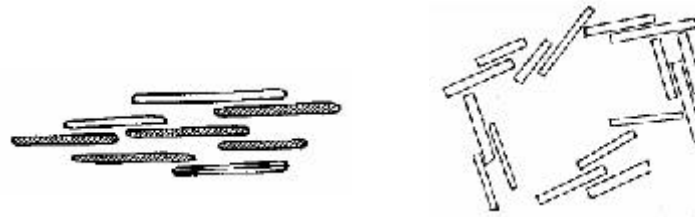
Divisioni principali		Simbolo del gruppo	Denominazioni tipiche	Procedure di identificazione in situ	Criteria di classificazione in laboratorio			
1	2	3	4	5	6			
TERRE A GRANA GROSSA Frazione trattenuta al n. 200 ASTM > 50%	GHIAIE Frazione trattenuta al n. 4 > 50%	GW	ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscela di ghiaia e sabbia	curva granulometrica ben assortita e comprendente grani di dimensioni molto differenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>determinare le percentuali di ghiaia e sabbia della curva granulometrica</li> <li>la relazione alla percentuale di passante al n. 200 in terre granulari vengono classificate come segue: &lt; 5% GW, GP, SW, SP &gt; 5% GM, GC, SM, SC &gt; 12% necessari due simboli (es.: GW - GM    SW - SM)</li> </ul>			
		GP	ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia	curva granulometrica poco assortita e ristretta a grani di dimensioni molto simili				
		GM	ghiaie limose miscela di ghiaia, sabbia e limo	la frazione è caratterizzata da una modesta plasticità				
		GC	ghiaie argillose miscela di ghiaia, sabbia e argilla	la frazione fine presente è plastica				
	SABBIE Frazione passante al n. 4 > 50%	passante n. 200 < 5% assenza o presenza moderata di fine scurevole	SW	sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose		curva granulometrica ben assortita e comprendente grani di dimensioni molto differenti	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10} \times D_{60})}$ ( $> 4$ ) (1 + 3) nel caso non siano soddisfatte le relazioni sopraindicate	
			SP	sabbie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia		curva granulometrica poco assortita e ristretta a grani di dimensioni molto simili	lim. di Atterberg sotto la retta «A» o $I_p < 4$ sopra la retta «A» con $I_p > 4$ classifi- care la terra con doppio simbolo (es.: GM - GC)	
		passante n. 200 > 12% presenza di fine non tra- scurevole	SM	sabbie limose miscela di sabbia e limo		la frazione fine presente è caratterizzata da una plasticità modesta o nulla	lim. di Atterberg sopra la retta «A» con $I_p > 7$ nella zona tratteggiata con $I_p < 4$ + 7 classifi- care la terra con doppio simbolo (es.: SW - SM)	
			SC	sabbie argillose miscela di sabbia e argilla		la frazione fine presente è plastica	$C_u > 6$ $C_c - 1 + 3$ nel caso in cui non siano soddisfatte le relazioni sopraindicate	
						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	
		bassa-media	lenta	bassa				
		nulla-bassa	rapida-lenta	nulla				
		media-alta	nulla molto lenta	media				
		media-alta	nulla molto lenta	bassa-media				
TERRE A GRANA FINE Frazione passante al n. 200 ASTM > 50%	ARGILLE con indice L $U_L < 60\%$	CL	limi organici argille limose organiche di bassa plasticità	bassa-media	lenta	bassa		
		ML	limi inorganici; sabbie molto fini; farina di roccia; sabbie fini limose o argillose; limi argillosi di bassa plasticità	nulla-bassa	rapida-lenta	nulla		
	LIMI con indice H $U_L \geq 60\%$	CL	argille inorganiche di medio-bassa plasticità; argille ghiaiose o sabbiose; argille limose; argille magre	media-alta	nulla molto lenta	media		
		OH	argille organiche di medio-alta plasticità; limi organici	media-alta	nulla molto lenta	bassa-media		
		MH	limi inorganici; sabbie fini o limi miscelati o diatomacei; limi elastici	bassa-media	nulla-lenta	bassa-media		
		CH	argille inorganiche di elevata plasticità; argille grasse	alta molto alta	nulla	alta		
TERRE ALTAMENTE ORGANICHE		P <sub>1</sub>	torbe ed altre terre altamente organiche					



## TERRENI A GRANA FINE-2

Ambiente di deposizione:

•In acqua dolce: per la bassa concentrazione elettrolitica si prevalenza di forze repulsive. Le particelle tendono a mantenersi separate tra loro, dando origine ad una MICROSTRUTTURA DISPERSA.



•In acqua salmastra: data la forte concentrazione elettrolitica si ha prevalenza di forze attrattive. Le particelle tendono ad aggregarsi in flocculi, dando origine ad una MICROSTRUTTURA FLOCCULATA.

