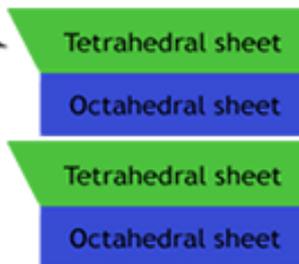
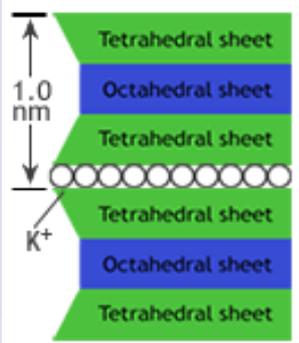


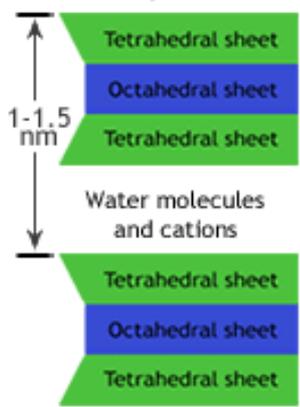
**Kaolinite (1:1)**  
Nonexpansive



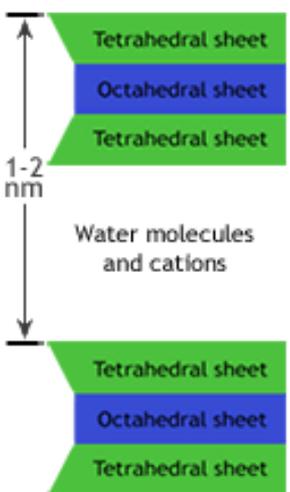
**Illite (2:1)**  
Nonexpansive



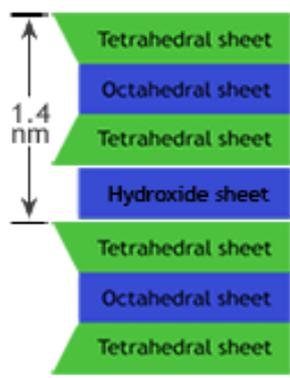
**Vermiculite (2:1)**  
Moderately Expansive



**Smectite (2:1)**  
Highly Expansive

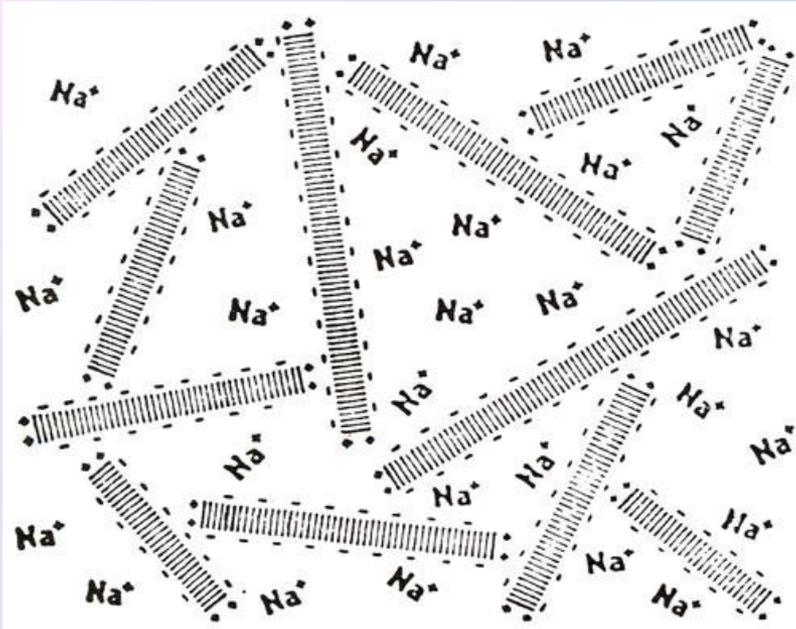


**Chlorite (2:1)**  
Nonexpansive



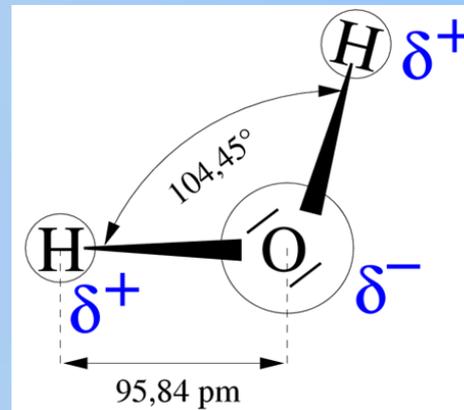
**Structure of Clays**  
Created by Josh Lory for [www.soilsurvey.org](http://www.soilsurvey.org)

Struttura della singola particella di argilla (minerale argilloso)

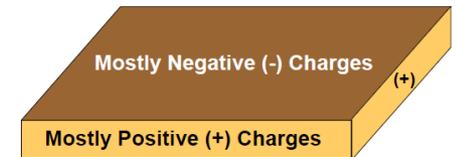


Per la disposizione relativa tra cationi e anioni all'interno del reticolo cristallino dei minerali argillosi, le **cariche negative si dispongono lungo la superficie** della particella argillosa, mentre quelle **positive sono disposte lungo il bordo**. Questa distribuzione della carica controlla l'interazione della particella con le molecole d'acqua e con gli ioni presenti in essa. Inoltre tale distribuzione controlla la struttura delle argille.

L'interazione tra le particelle di argilla e l'acqua dipende naturalmente anche dalla disposizione della **carica elettrica nei dipoli** che costituiscono le molecole di acqua.



Charges on Clay Particles



L'influenza della carica elettrica è legata direttamente alla **superficie specifica** della particella

**Superficie specifica** [ $\text{l}^2/\text{g}$ ]

$$S_s = \frac{S}{P}$$

Sabbia (2 mm)  $S_s = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{g}$

Caolino (1 - 4  $\mu\text{m}^*$ )  $S_s = 10 - 20 \text{ m}^2/\text{g}$

Montmorillonite (10  $\text{\AA}^*$ )  $S_s = 800 \text{ m}^2/\text{g}$

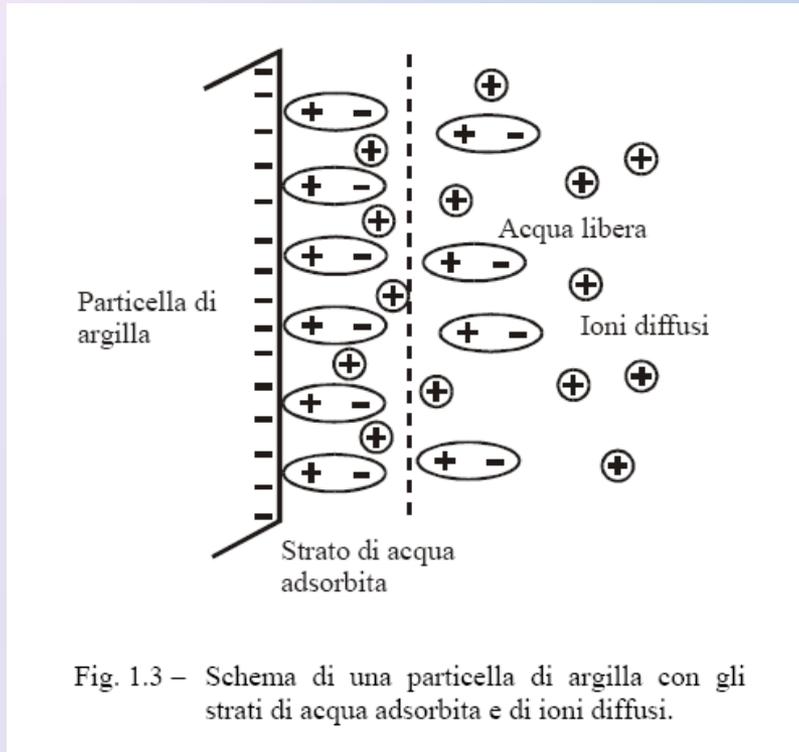
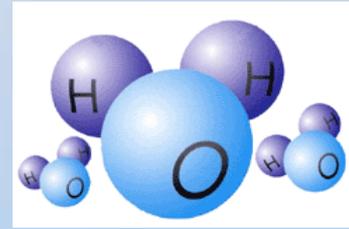
$S_s$  Superficie specifica

S Superficie

P Peso

\*  $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$   
 $1 \text{\AA} = 10^{-4} \mu\text{m} = 10^{-7} \text{ mm}$

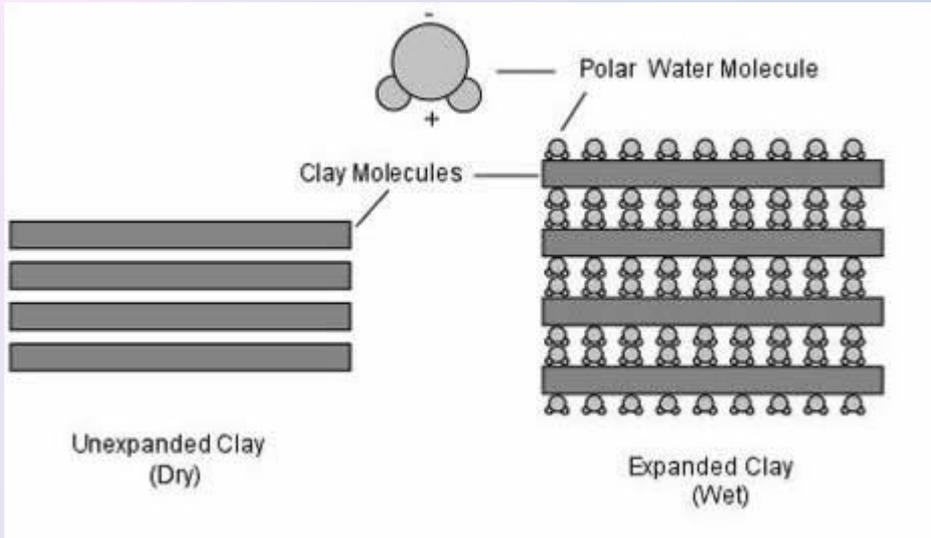
## Interazione fra le particelle argillose e l'acqua



Le particelle d'argilla, grazie alla loro carica negativa superficiale, attraggono e legano con forze elettriche l'idrogeno facente parte delle molecole d'acqua che dunque si dispongono in modo caratteristico rispetto alla particella (**acqua adsorbita**). Al crescere della distanza dalla particella stessa, le forze elettriche vengono neutralizzate e le molecole d'acqua non risentono più di esse. Queste molecole costituiscono **l'acqua libera o interstiziale**.

L'insieme delle cariche negative superficiali e delle molecole d'acqua adsorbite, formano il **doppio strato elettrico**.

Con l'aumento della distanza dalle particelle l'acqua risente sempre meno dei **legami elettrostatici**, perdendo le caratteristiche di acqua adsorbita e assumendo quelle di acqua libera.



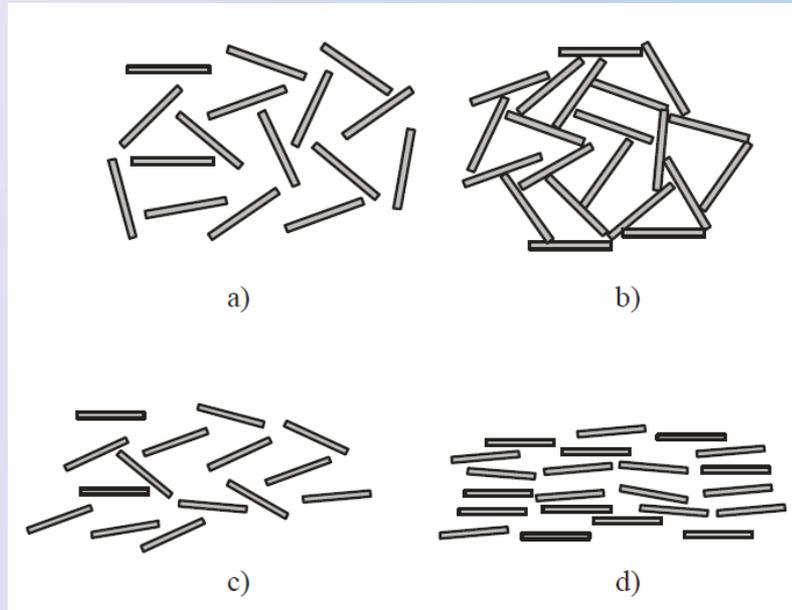
La capacità delle argille di adsorbire le molecole d'acqua fa sì che quando l'argilla viene bagnata **rigonfia**, cambiando drasticamente le sue proprietà meccaniche.



Maggiore è la superficie specifica del minerale argilloso, maggiore è la quantità d'acqua adsorbita, maggiore è l'aumento di volume.



Nella formazione della **microstruttura** di un'argilla, l'aggregazione dei granuli dipende non tanto dalle dimensioni, ma soprattutto dalle mutue azioni di natura chimica, e quindi dalle caratteristiche dell'ambiente. Durante la deposizione, i granuli argillosi si scambiano delle azioni repulsive la cui entità dipende dalla quantità di carica negativa diffusa sulla ed in vicinanza della superficie.



Al diminuire dell'attività (caolinite ed illite, ad esempio), l'isorientamento dei granuli argillosi si riduce e si forma la struttura **"semi-orientata"** (c) e semplicemente **"dispersa"** (a).

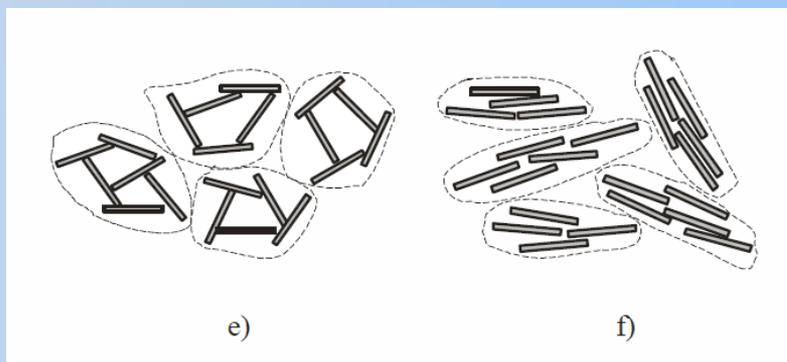
Forti azioni repulsive determinano la formazione di una struttura **"dispersa"** (a), mentre se le azioni repulsive sono ridotte, ad esempio per effetto di un'elevata concentrazione salina, si ottengono strutture **"flocculate"** (b).

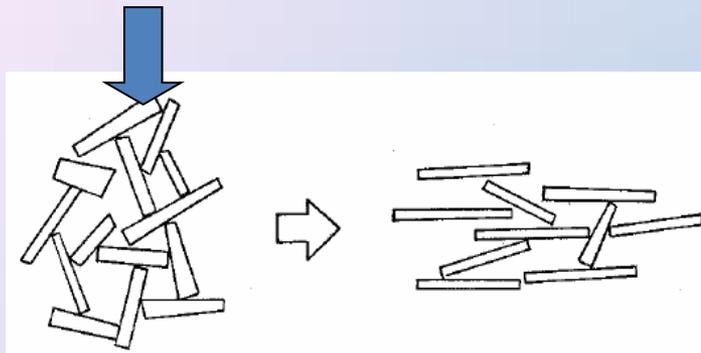
La struttura dispersa è tipica delle argille che si formano per deposizione in acqua dolce. Se i granuli sono costituiti da minerali molto attivi\*, quali la montmorillonite e la vermiculite, le azioni repulsive sono elevate e le particelle tendono a disporsi affacciate dando luogo ad una struttura **"orientata"** (d).

\*"granuli attivi" - l'attività superficiale è molto intensa; interagiscono tra loro e con i fluidi interstiziali per effetto non solo delle forze di massa ma anche di quelle di superficie.

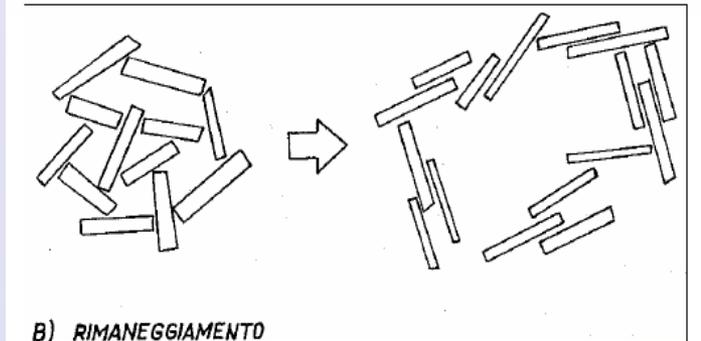
La presenza di sali disciolti nell'acqua di deposizione tende a neutralizzare le cariche elettriche diffuse sulla superficie dei granuli ed a ridurre le azioni repulsive. È allora possibile la formazione di una struttura flocculata in cui le particelle, legate fra loro con legami molto stabili, si raggruppano in **flocchi**. Se i granuli sono costituiti da minerali molto attivi, i flocchi contengono un gran numero di vuoti (**micropori**), saturi d'acqua adsorbita (e); viceversa, con minerali meno attivi si hanno flocchi meno porosi a struttura orientata (f).

Gli spazi interstiziali compresi fra i flocchi (**macropori**) costituiscono l'ambiente in cui avviene il movimento dell'acqua libera.

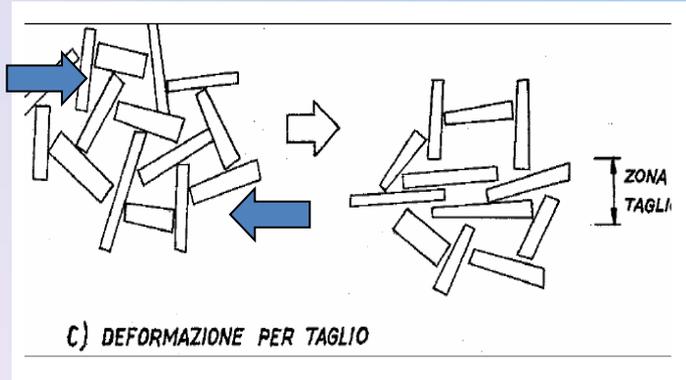




A) CONSOLIDAZIONE SENZA DEFORMAZIONI LATERALI

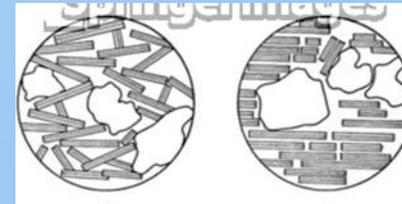


B) RIMANEGGIAMENTO



C) DEFORMAZIONE PER TAGLIO

Fattori meccanici che contribuiscono a determinare e/o modificare la struttura di un terreno argilloso.



Struttura flocculata e struttura dispersa in un terreno misto argilloso limoso

## Classificazioni delle terre

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

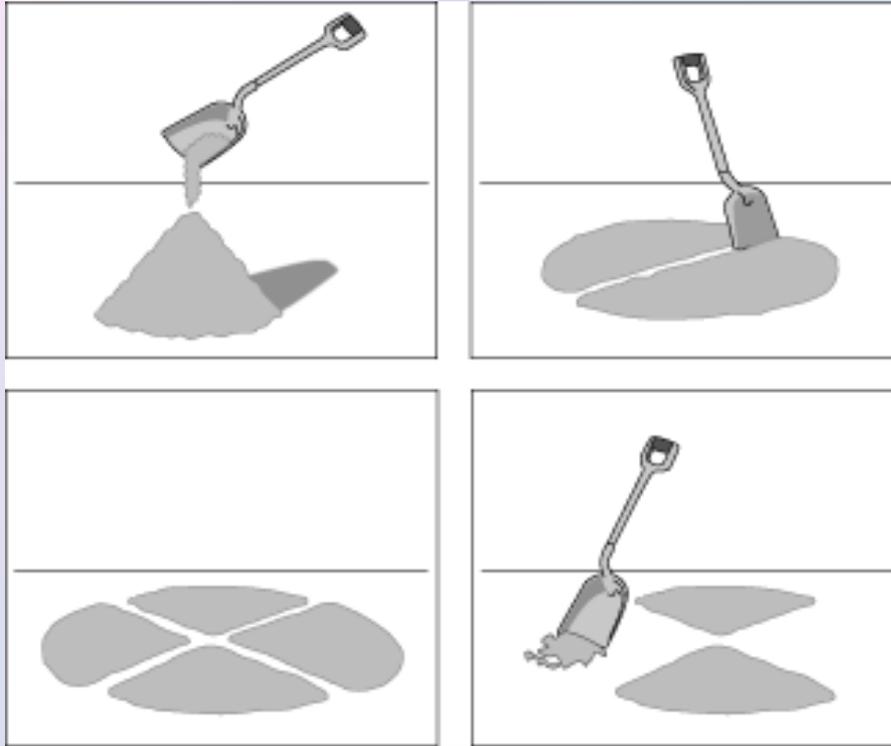
Le proprietà da usare per la classificazione devono essere indipendenti dalle condizioni di sollecitazione e da quelle ambientali.

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

## Classificazione granulometrica

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

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



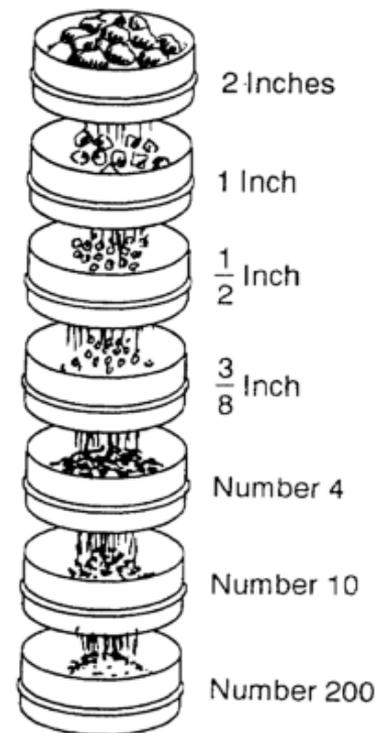
Quartatura  
(rappresentatività del campione)

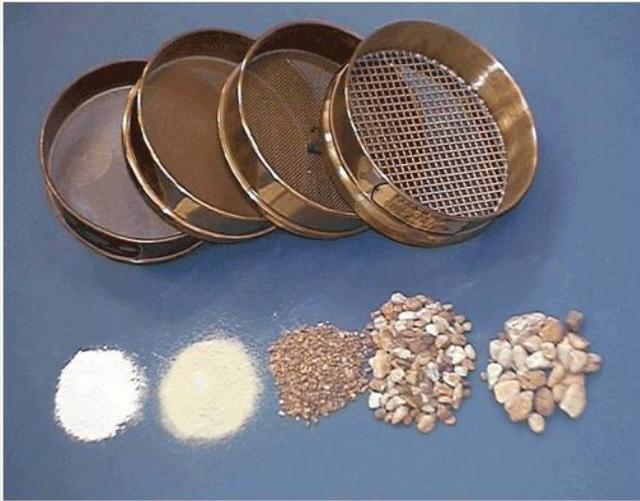
Il campione viene posto su un piano orizzontale, e dopo mescolamento, si forma un cono. La punta viene appiattita e il cono è suddiviso in 4 parti uguali. In modo casuale se ne scelgono due contrapposte. Se il materiale è ancora eccessivo, si ripete la procedura fino a ridurre il campione alle dimensioni volute.

# Analisi granulometrica a secco: ghiaie e sabbie



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





Nell'analisi granulometrica per setacciatura fa uso di appositi setacci disposti in serie, ognuno dei quali trattiene la frazione di solido i cui granuli hanno dimensioni maggiori dei fori del setaccio. Dopo avere impilato i setacci, un campione pesato di solido viene adagiato sul piatto superiore, che è rappresentato dal setaccio a maglia più larga. I piatti inferiori sono costituiti da setacci a maglia via via più fine, e il piatto alla base della colonna è costituito da una scodella piana, in cui vengono raccolti tutti i granuli con diametro minore dell'apertura della maglia del setaccio più basso. La colonna di setacci viene generalmente appoggiata su uno scuotitore meccanico, chiamato "vibroaglio". Il vibrovaglio scuote la colonna per un determinato lasso di tempo, passato il quale si procede alla pesatura delle frazioni di solido trattenute in ciascun setaccio. Il **peso** di ciascuna frazione solida viene quindi rapportato al peso del solido totale, per ottenere la percentuale di solido trattenuto in ciascun piatto.

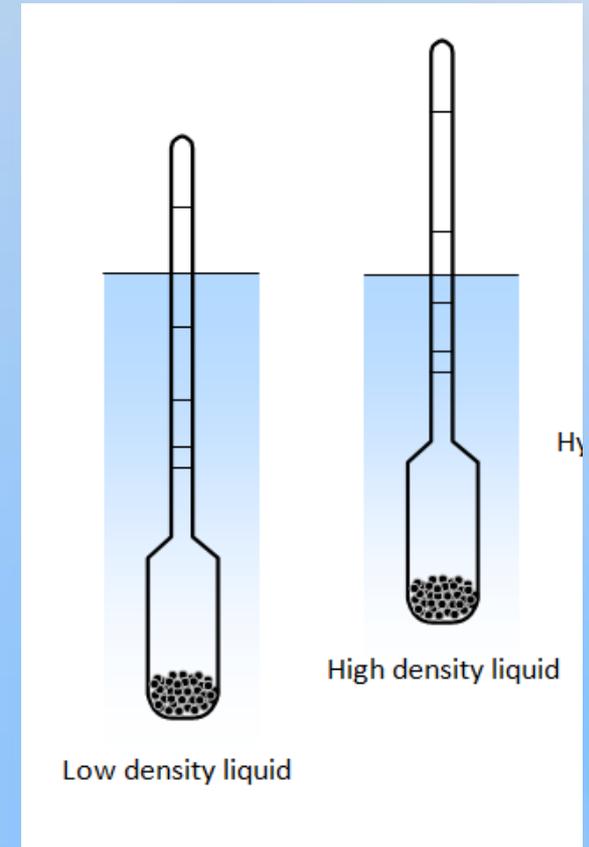
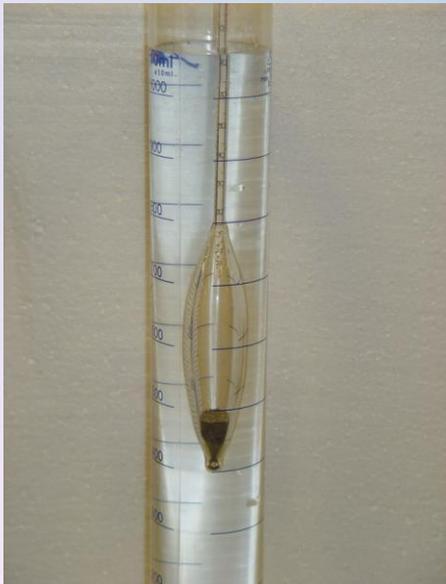
## Granulometrie a umido: silt e argille (densitometrie o **areometrie**)



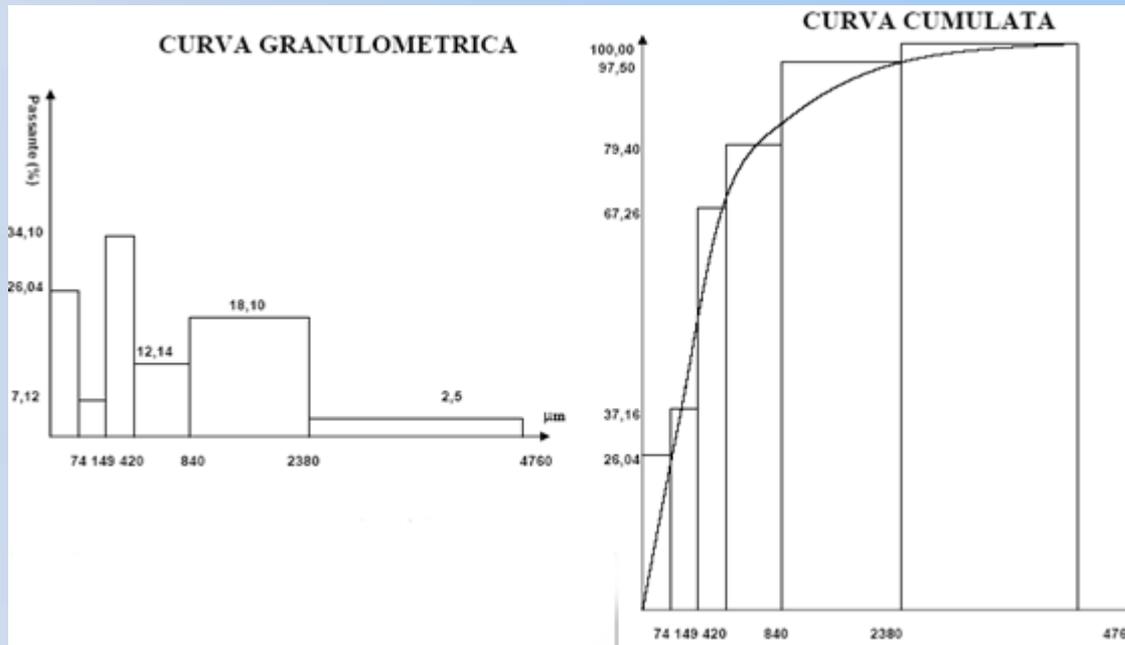
Il principio su cui si basa quest'analisi è legato alla densità della sospensione formata dalla terra e dall'acqua.

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

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

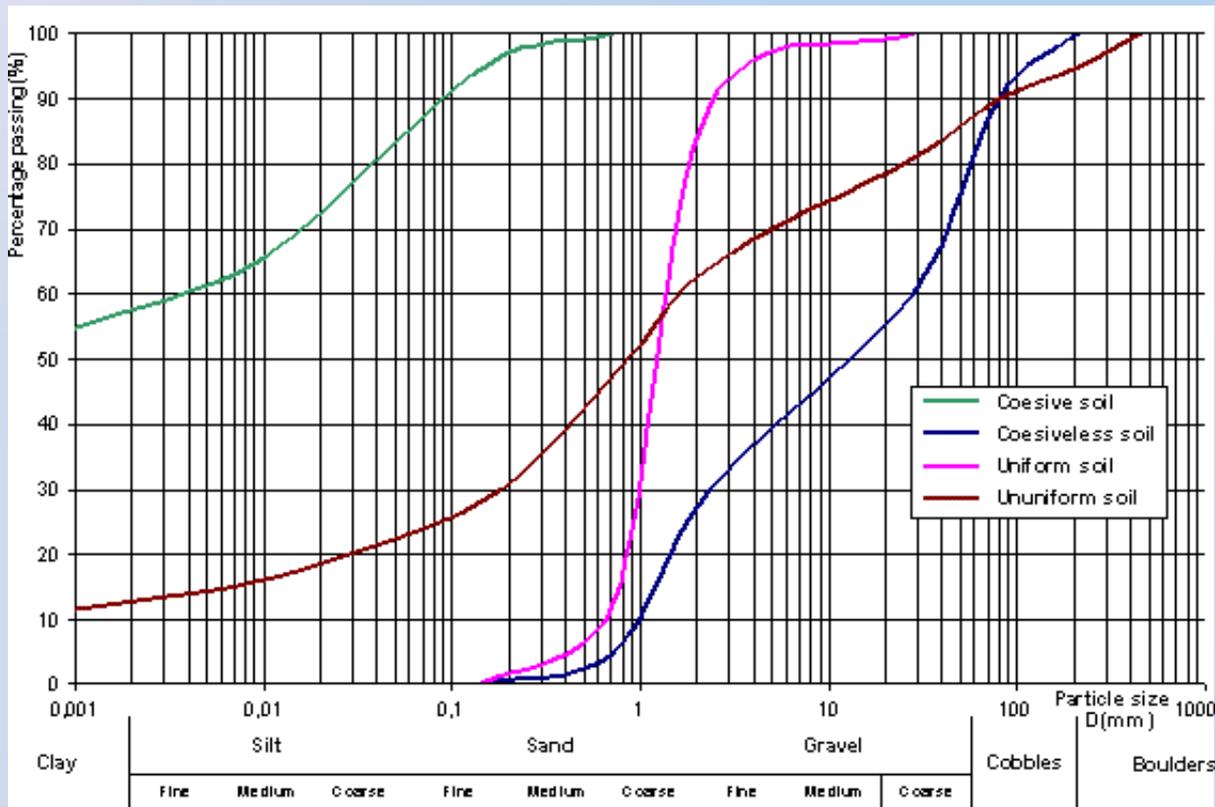


La distribuzione percentuale dei grani di un campione di terreno secondo le loro dimensioni, rappresentata da una curva, costituisce la granulometria della terra. La **curva granulometrica** (grain size distribution) viene costruita riportando la percentuale di materiale più fine di una certa dimensione (**passante** al setaccio superiore) in ordinata in scala naturale, mentre il corrispondente diametro dei grani, in millimetri, è riportato in ascisse in scala logaritmica.





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



*Particle size distribution curves and classification according to British Standard*

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

**coefficiente di uniformità**

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

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

L'uniformità è massima per  $C_U=1$ ;

Materiale praticamente uniforme fino a  $C_U=2$

Materiale poco gradato fino a  $C_U=6$

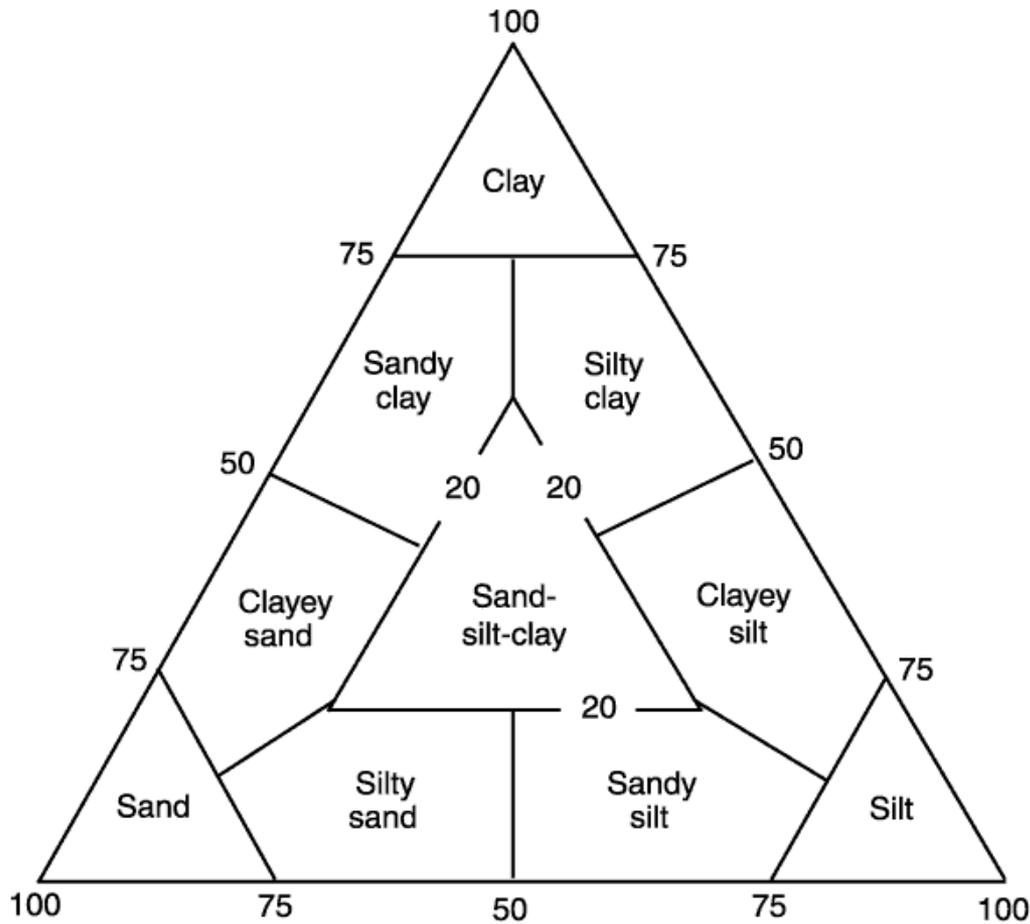
Materiale ben gradato per  $6 < C_U < 15$

Materiale decisamente ben gradato per  $C_U > 15$

**Coefficiente di curvatura**

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

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

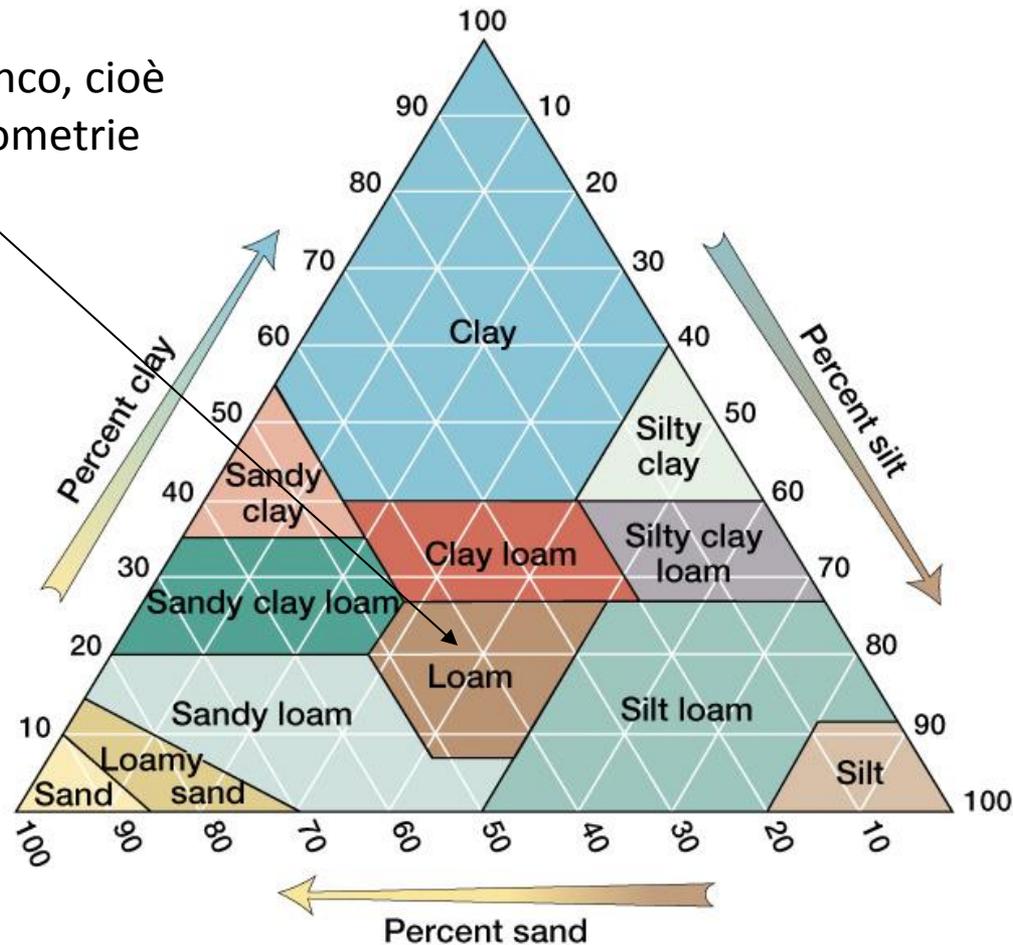


La classificazione di Shepard riguarda la composizione granulometrica del materiale e consente di individuare un dato campione sulla base delle frazioni granulometriche dei suoi componenti.

Shepard assume tre componenti come “basi o principali” ed il componente presente in quantità superiore al 50% dà il nome al sedimento ed è definito componente “dominante”.

La rappresentazione grafica della composizione granulometrica è espressa da un triangolo equilatero in cui ogni vertice indica il 100% di un componente.

Loam = terreno franco, cioè con tutte le granulometrie



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

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

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

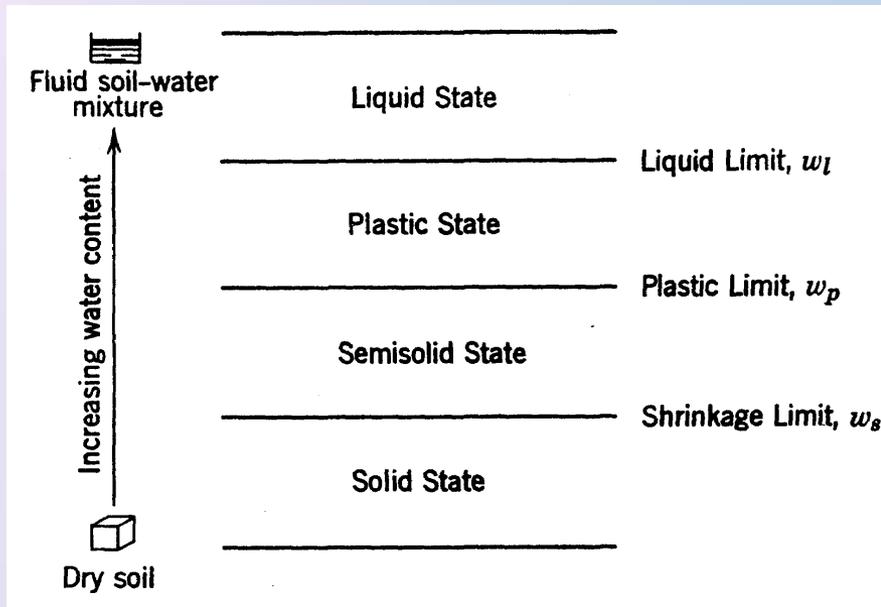
**I nome:** La frazione granulometrica di maggior quantità dà il nome all'aggregato.  
es. Limo.

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

**III nome:** Utilizziamo il suffisso **OSO** se la percentuale in peso della frazione successiva è tra 25%–10%.  
es. Limo con argilla sabbioso.

**IV nome:** Utilizziamo la particella **DEBOLMENTE** se la percentuale della frazione successiva è tra 10%–5%.  
es. Sabbia con ghiaia debolmente limosa.

## Limiti di Atterberg (solo per terreni fini)



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

Il comportamento (resistenza e deformabilità) di una argilla dipende dal contenuto d'acqua.

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

## Limite liquido e limite plastico



Strumentazione necessaria alla  
determinazione dei limiti di Atterberg



Limite di ritiro

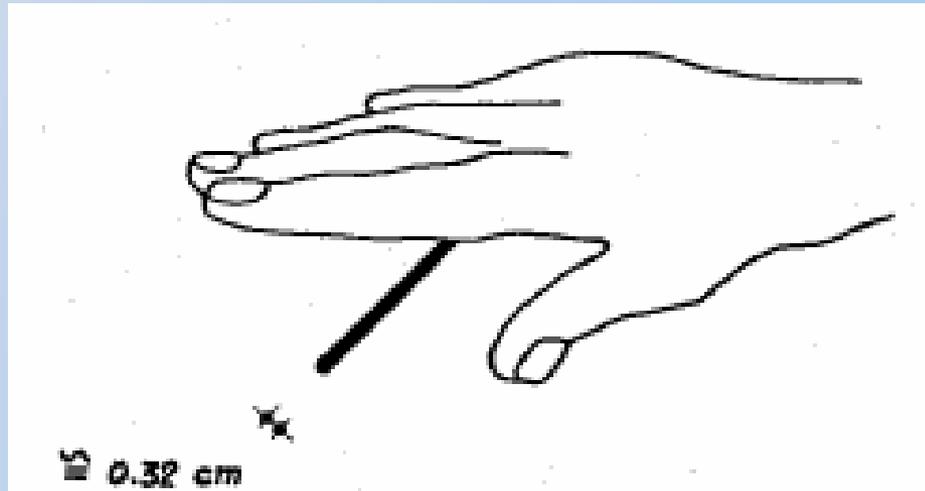
## Limite di ritiro

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



## Limite Plastico

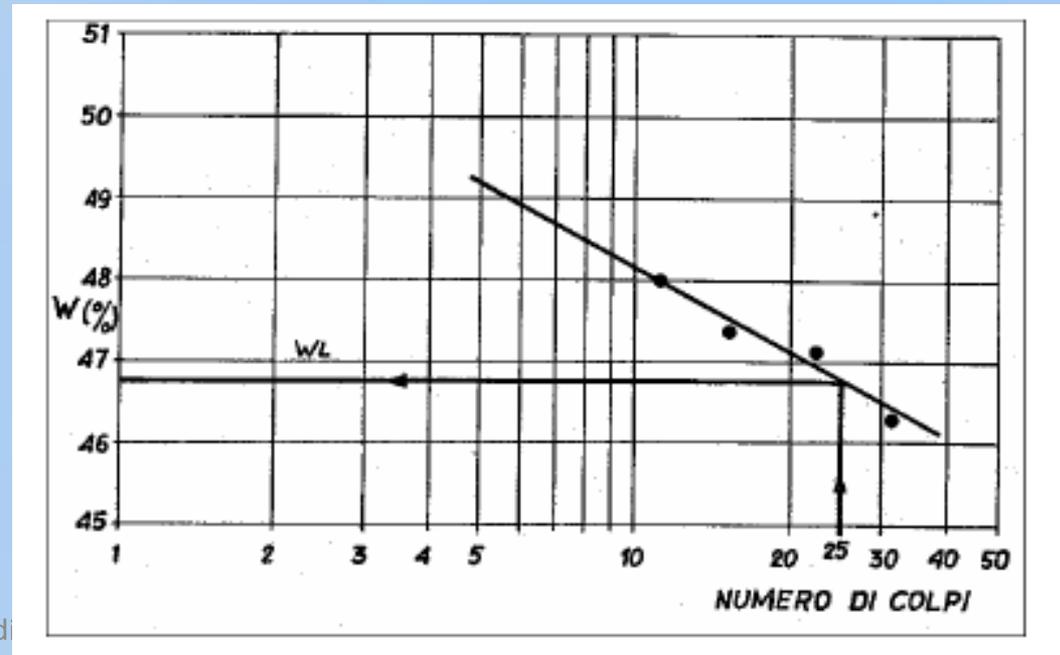
**wp**: contenuto d'acqua corrispondente al limite arbitrario tra gli stati di consistenza plastico e semisolido di una terra; ossia contenuto d'acqua al quale un cilindretto di terra del diametro di circa 3,2 mm inizia a screpolarsi se piegato



## Limite liquido

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

### Determinazione del limite liquido



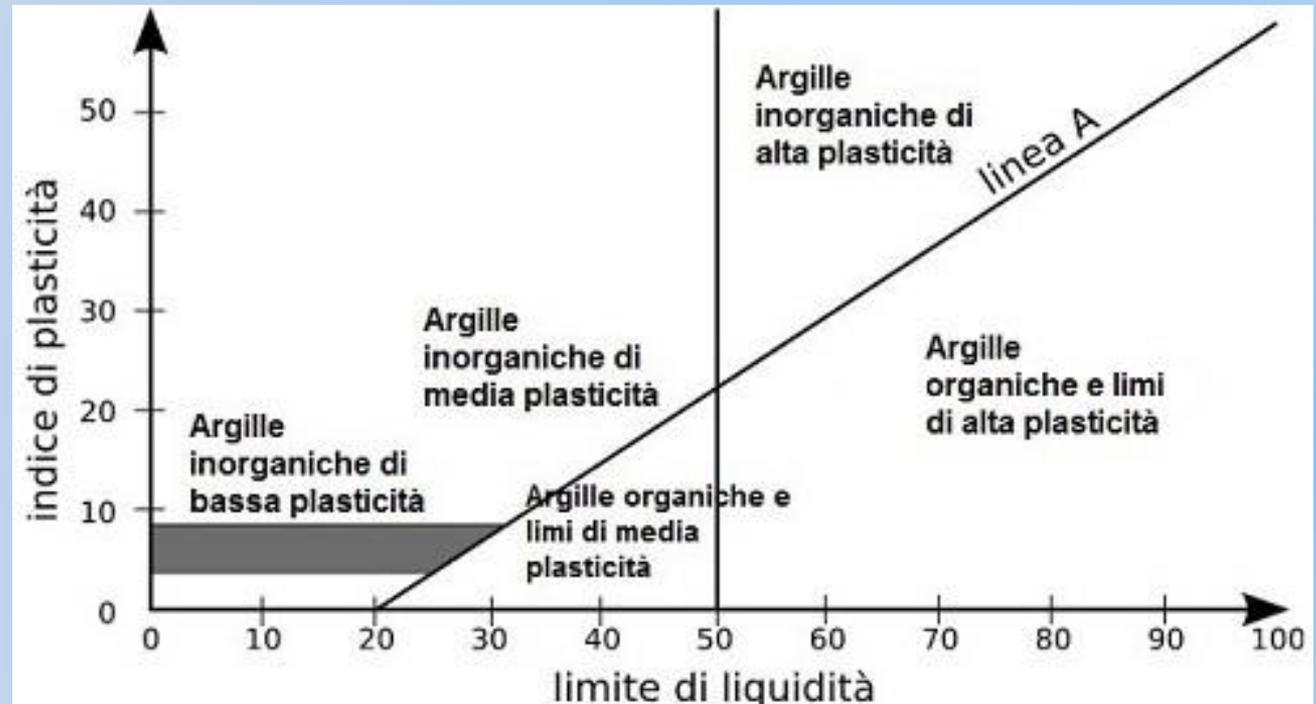
Indice di plasticità,  $I_p$

differenza numerica tra i limiti di liquidità e di plasticità

$$I_p = w_l - w_p$$

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

Carta di plasticità di  
Casagrande (solo  
terreni fini)



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

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

Le 4 maggiori suddivisioni riguardano:

Le terre a grana grossa (ghiaie G e sabbie S)

Le terre a grana fine (limi M e argille C)

Le terre organiche (O)

La torba e altre terre altamente organiche (Pt)

# Unified Soil Classification Sistem U.S.C.S.

TERRENI A GRANA GROSSA	Trattenuto al setaccio n.200 > 50%	%Ghiaia > % Sabbia Trattenuto al setaccio n.4 > 50%	pass. 200 < 5%	$Cu \geq 4$ e $1 < Cc < 3$	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscele di ghiaia e sabbia	
						$Cu \geq 4$ e/o $Cc > 3$	GP
		5% < pass. 200 < 12%	$Cu \geq 4$ e/o $1 < Cc < 3$	% fine ML o MI	GW-GM	Ghiaia limosa ben assortita	
				% fine CL o CH	GW-GC	Ghiaia argillosa ben assortita	
			$Cu < 4$ e/o $Cc > 3$	% fine ML o MH	GP-GM	Ghiaia limosa poco assortita	
				% fine CL o CH	GP-GC	Ghiaia argillosa poco assortita	
		pass. 200 > 12%		% fine ML o MH	GM	Ghiaia limosa, miscele di ghiaia sabbia e limo	
				% fine M e C	GC-GM	Ghiaia limosa e argillosa	
				% fine CL o CH	GC	Ghiaie argillose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla	
TERRENI A GRANA FINE	Passante al setaccio n.200 > 50 %	% Sabbia % Ghiaia Passante al setaccio n. 4 > 50%	pass. 200 < 5%	$Cu \geq 6$ e $1 < Cc < 3$	SW	Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose	
				$Cu < 6$ e/o $Cc > 3$	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita miscele di ghiaia e sabbia	
			5% < pass. 200 < 12%	$Cu \geq 6$ e $1 < Cc < 3$	% fine ML o MH	SW-SM	Sabbia limosa ben assortita
					% fine CL o CH	SW-SC	Sabbia argillosa ben assortita
			pass. 200 > 12%	$Cu < 6$ e/o $Cc > 3$	% fine ML o WI	SP-SM	Sabbia limosa poco assortita
					% fine CL o CH	SP-SC	Sabbia argillosa poco assortita
				% fine ML o MH	SM	Sabbie limose miscele di sabbia e limo	
				% fine M e C	SC-SM	Sabbie limose e argillose	
				% fine CL o CH	SC	Sabbia argillose miscele di sabbia e argilla	
			$w_1 < 50$ %	Inorganico	$Ip > 7$ sopra Linea A	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità
$4 < Ip < 7$ sopra Linea A	CL-ML	Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità					
$Ip < 4$ sotto Linea A	ML	Limi inorganici, limi argillosi di bassa plasticità					
				OH	Argille organiche di medio alta plasticità, limi organici		
	$w_1 \geq 50$ %	Inorganico	sopra Linea A	CH	Argille inorganiche di elevata plasticità		
			sotto Linea A	MH	Limi inorganici		
			Organico $w_1$ (essiccato)/ $w_1$ (naturale)		OL	Limi organici argille limose organiche di bassa plasticità	

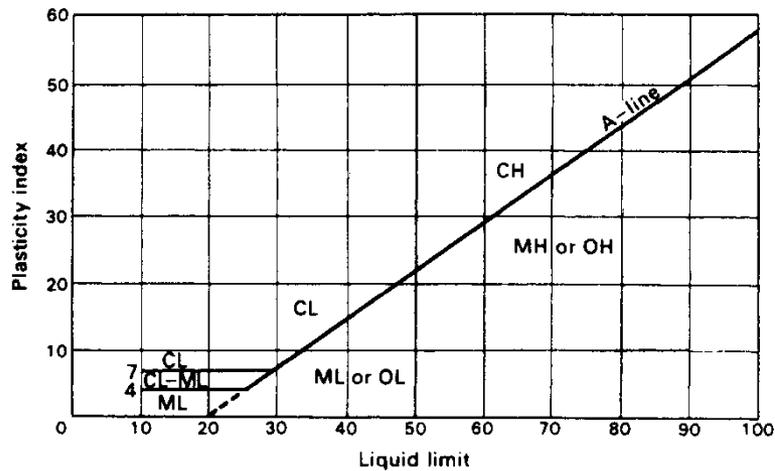


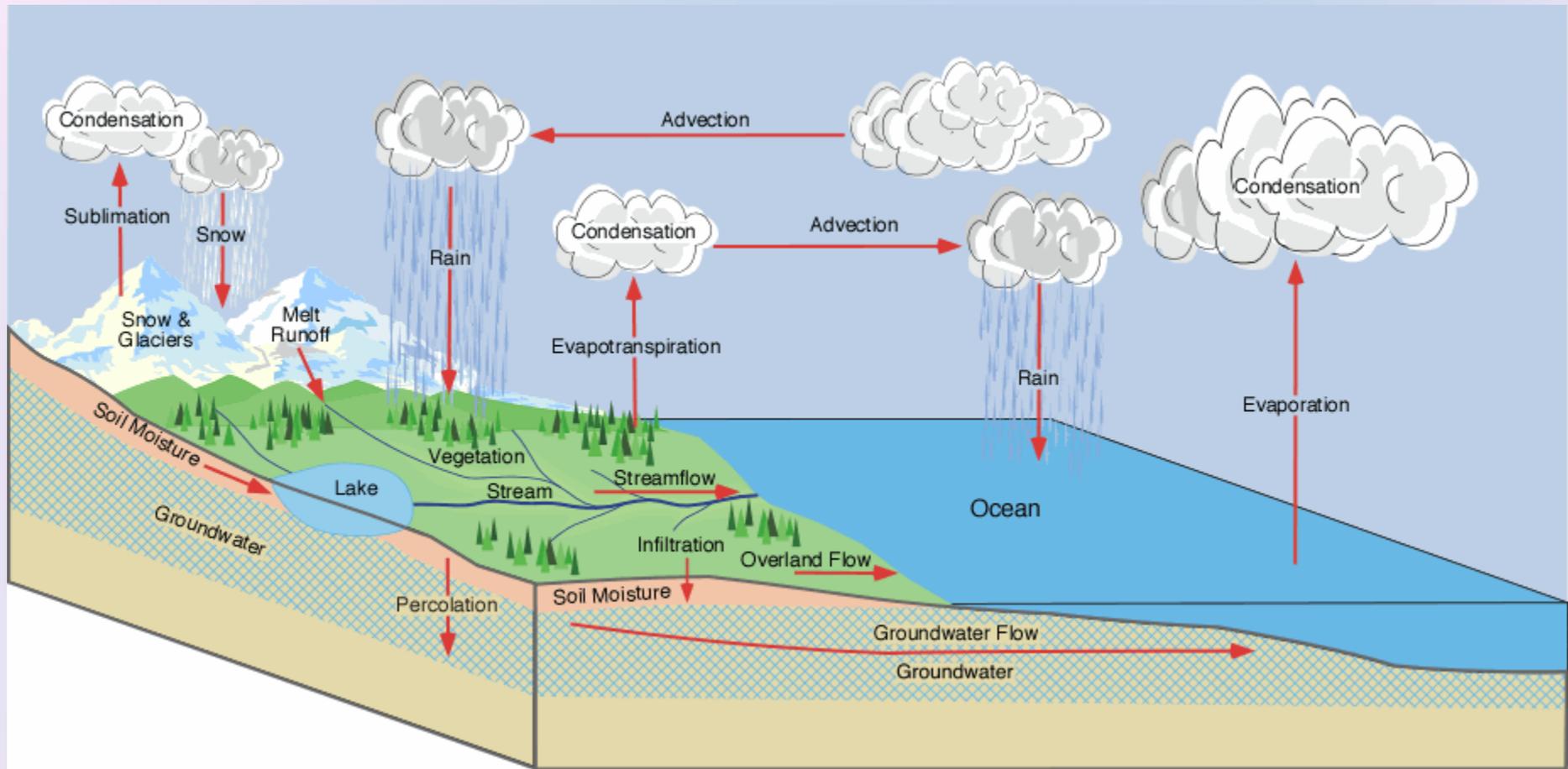
Fig. 1.7 Plasticity chart: Unified system. (Reproduced from Wagner, A.A. (1957) *Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, by permission of Butterworth & Co.)

### Main terms

### Qualifying terms

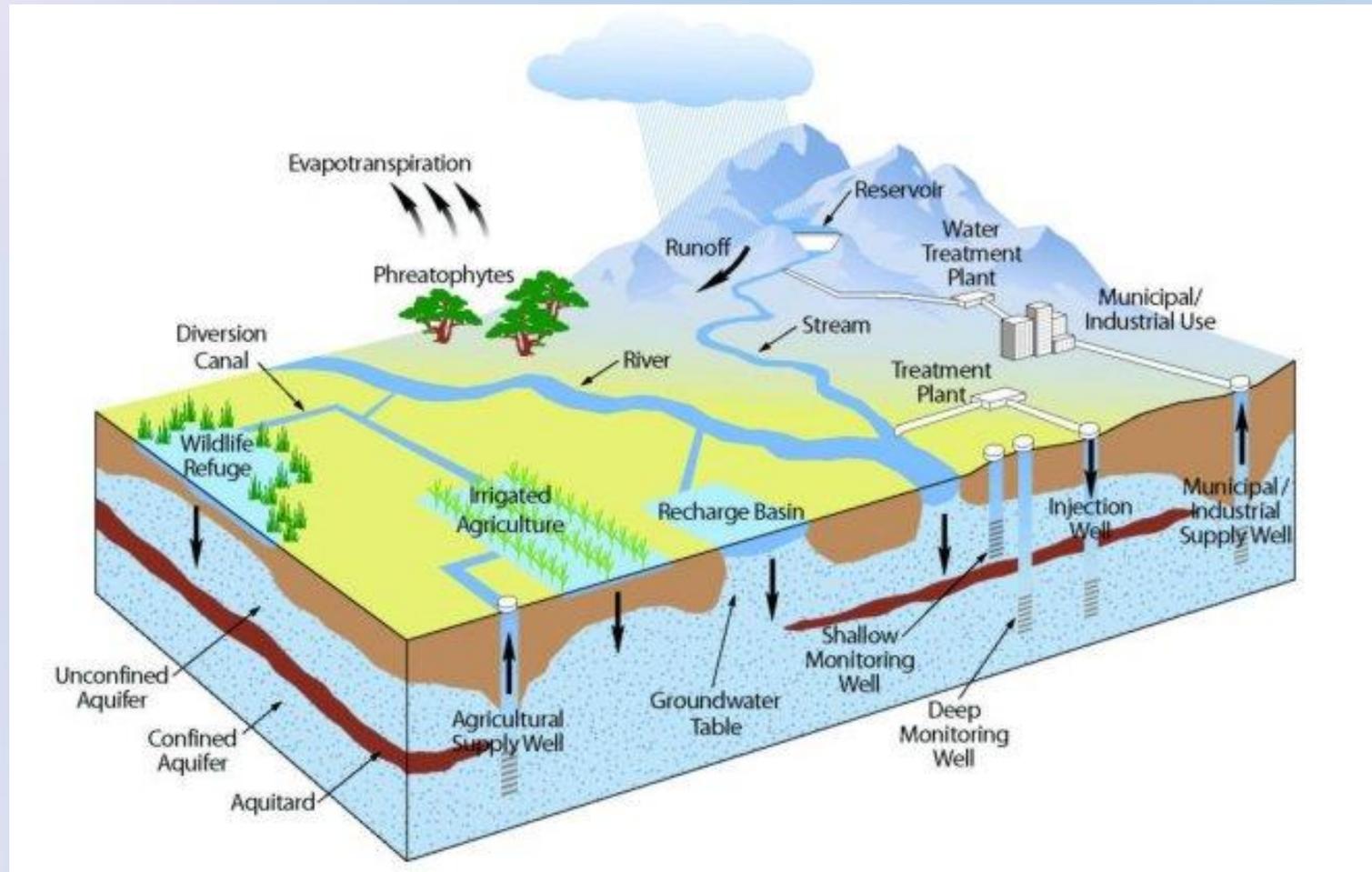
GRAVEL	G	Well graded	W
SAND	S	Poorly graded	P
		Uniform	Pu
		Gap-graded	Pg
FINE SOIL, FINES	F	Of low plasticity ( $w_L < 35$ )	L
SILT (M-SOIL)	M	Of intermediate plasticity ( $w_L 35-50$ )	I
CLAY	C	Of high plasticity ( $w_L 50-70$ )	H
		Of very high plasticity ( $w_L 70-90$ )	V
		Of extremely high plasticity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

# Acqua sotterranea

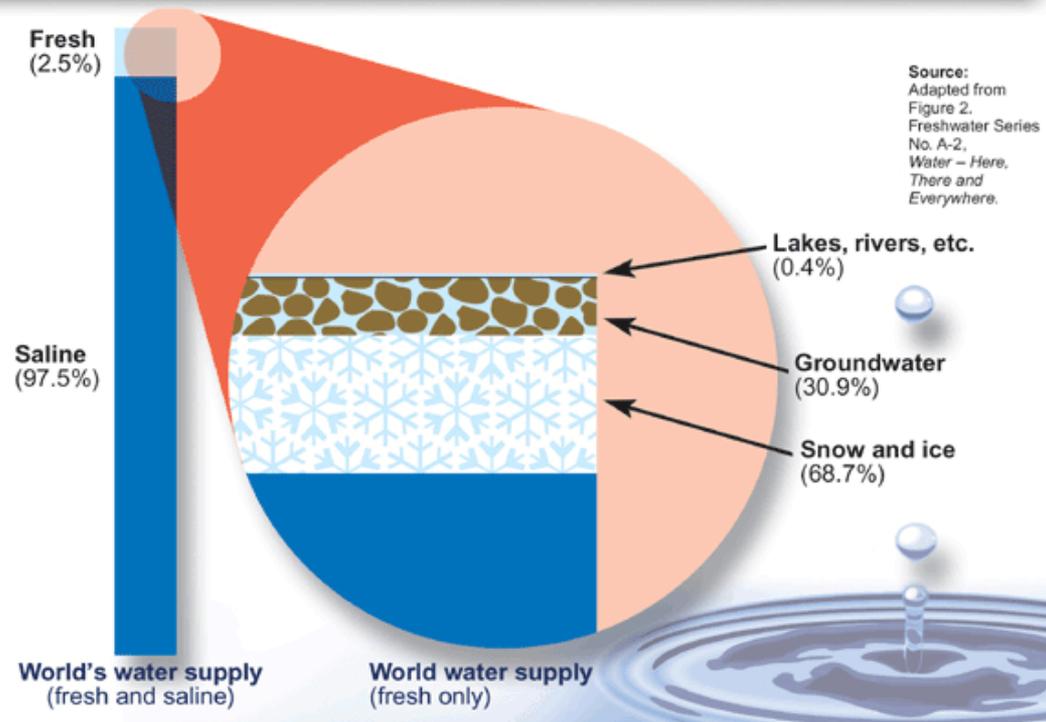


## Componenti del ciclo idrologico

## Interazione tra il ciclo naturale dell'acqua e le attività antropiche



## Groundwater and the world's freshwater supply



La maggior parte dell'acqua è immagazzinata negli oceani. La maggior parte dell'acqua dolce è immagazzinata nei ghiacciai, circa il 30% è acqua sotterranea e solo lo 0.4% è libera (fiumi e laghi).

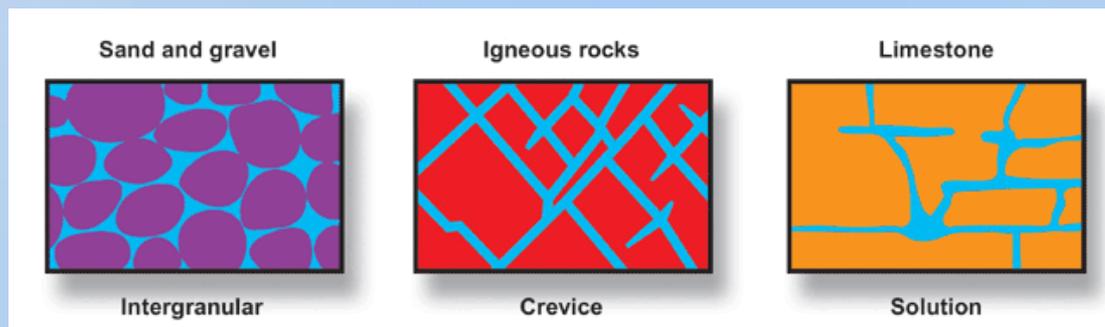
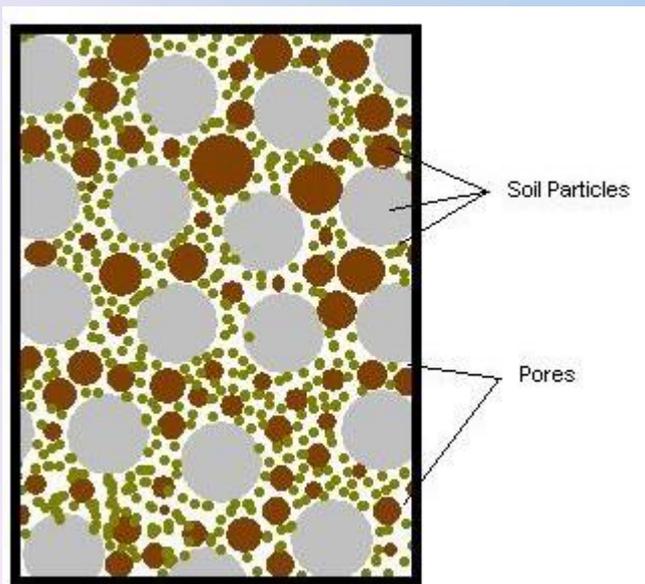
Circa l'85% di tutta l'acqua che evapora annualmente nell'atmosfera proviene dai mari (~500.000 km<sup>3</sup>). Il restante 15% deriva dall'evaporazione delle acque superficiali continentali e, per la maggior parte, dalla traspirazione delle piante (evapotraspirazione). Dall'atmosfera l'acqua ricade poi, come pioggia o neve, sulla superficie terrestre. Il continuo trasferimento dell'acqua, sotto forma di vapore, all'atmosfera e il successivo ricondensarsi del vapore che ricade sulla terra come precipitazioni costituisce il ciclo dell'acqua.

Il terreno è costituito da materiale solido in cui ci sono sempre degli spazi vuoti, di varie forme e dimensioni e di varia origine.

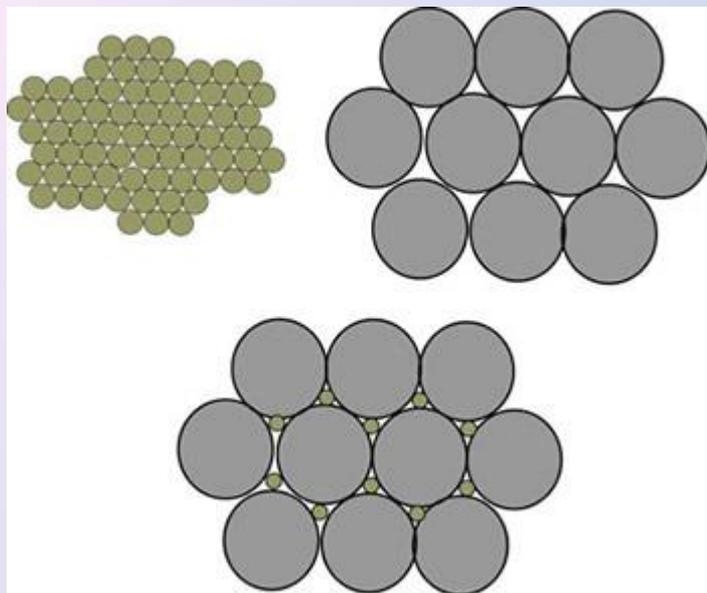
Anche la quantità di spazi vuoti è variabile. In questi spazi c'è aria e vi può entrare e circolare l'acqua.

Se il materiale solido che costituisce un terreno è di tipo granulare, fra un granulo e l'altro vi sono degli spazi vuoti chiamati **pori**.

Quando, invece, il terreno è costituito da roccia, non vi sono pori e gli eventuali vuoti presenti possono essere costituiti solo da **fratture** che si creano, per varie cause, nella roccia compatta.

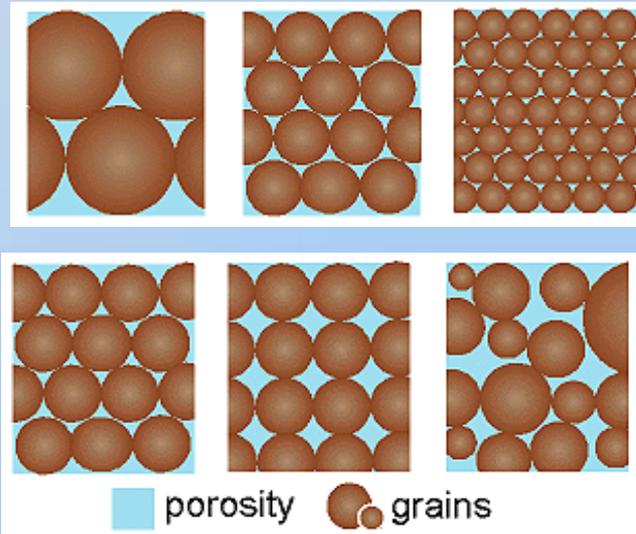


I pori rappresentano il luogo in cui l'acqua può essere contenuta. Di conseguenza la struttura della terra è molto importante per definire quanta acqua può contenere.



Small soil particles pack together more closely than large particles, leaving many small pores. Large soil particles pack together less densely, leaving fewer, but larger, pores. In reality, most soils are a mixture of particle sizes. Soils with a greater range of particle sizes will generally have a lower porosity, because the different-sized particles can fill in all the "gaps", as shown here.

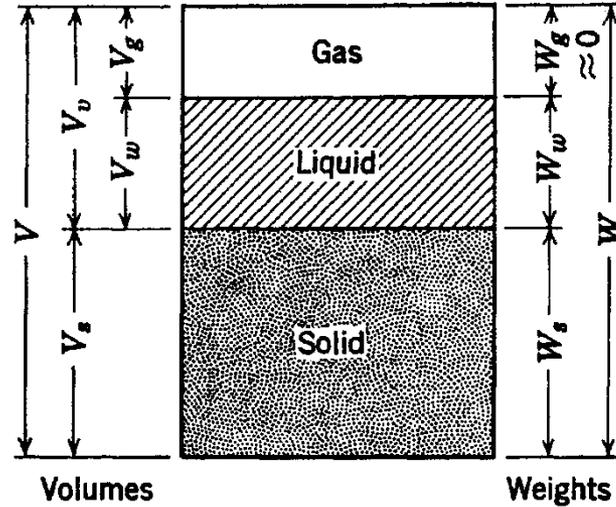
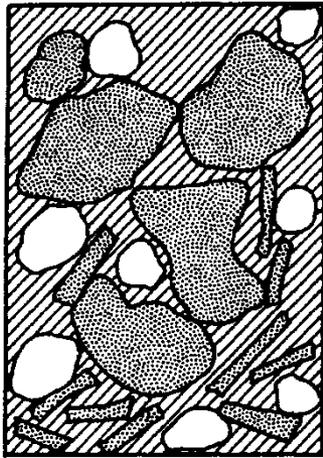
Different grain sizes and packing arrangements result in different porosity values.



Individual pore spaces decrease in size with decreasing grain size.

Porosity varies with packing (arrangement) of grains.

Porosity is a measure of the void spaces in a material, and is measured as a fraction, between 0–1, or as a percent between 0–100%  
 Porosity of some common sediments and rocks  
 Soil: 55%  
 Gravel & sand: 20-50%  
 Clay: 50-70%



Porosità

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Indice dei vuoti

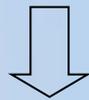
$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Natura **multifase** del terreno

- Fase minerale: scheletro minerale ( $V_s$ )
- Fase fluida: fluido nei pori ( $V_v$ )

Grado di saturazione

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

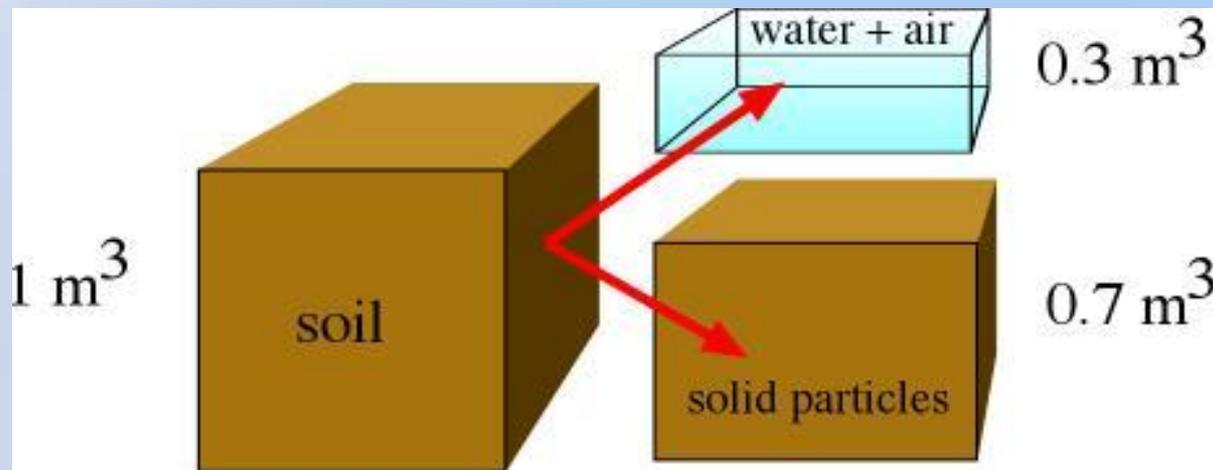


Liquido (acqua  $V_w$ )  
Gas (aria  $V_g$ )

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

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

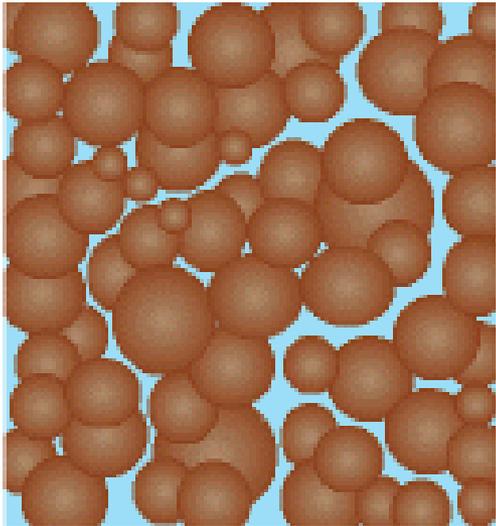
If the solid portion of the soil could be completely compacted, so all the air and water were squeezed out of it, it would have zero porosity. In this figure, one cubic meter of soil contains 0.7 cubic meters of soil particles, and therefore 0.3 cubic meters are occupied by either water or air (voids).



Porosity = void volume / soil volume  
Porosity =  $0.3 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$   
Porosity = 0.3

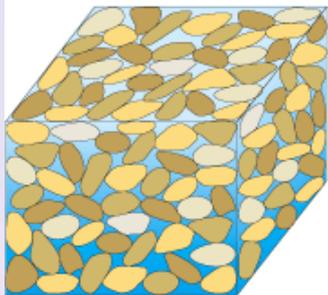
Void ratio = void volume / solid volume  
Void ratio =  $0.3 \text{ m}^3 / 0.7 \text{ m}^3$   
Void ratio = 0.43

**Permeability** is a measure of the ability of a material (typically, a rock or unconsolidated material) to transmit fluids.

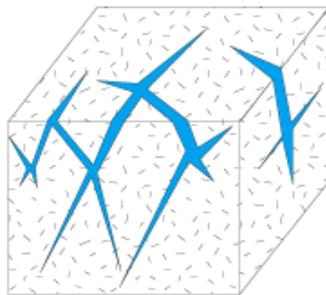


Simple animation of flow of groundwater between **connected** pore spaces. Permeability is greater (flow is faster) through the wider passage on the right. Note that not all pore spaces are interconnected.

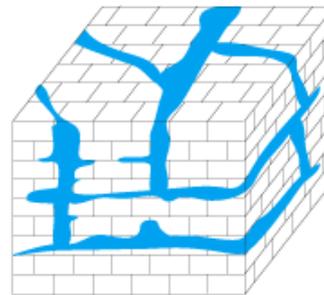
Se i vuoti presenti nel terreno sono costituiti da pori, si parla di permeabilità per porosità o **permeabilità primaria**, in quanto i vuoti si formano contestualmente alla deposizione della terra.



A. Well-sorted sand



B. Fractures in granite



C. Caverns in limestone

Se i vuoti sono costituiti da fratture, si parla, invece, di permeabilità per fratturazione o **permeabilità secondaria**, in quanto i vuoti si formano dopo la formazione della roccia che li contiene.

Modified from Heath (1998)

Solo i terreni in cui i pori siano interconnessi sono permeabili.

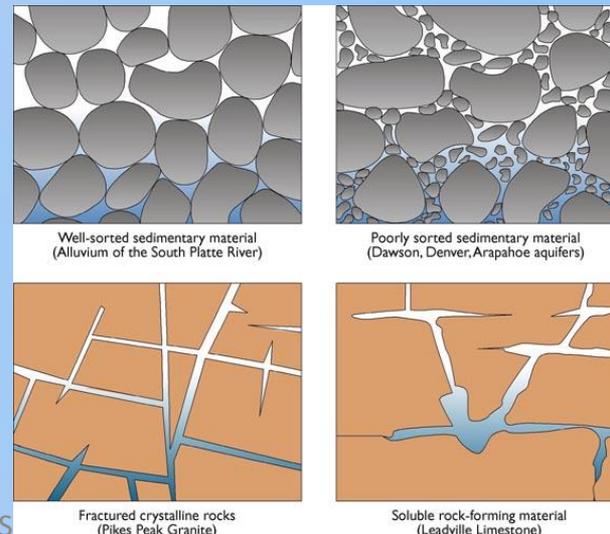


Un esempio di roccia molto porosa ma poco permeabile è dato dalla pomice, in cui soltanto pochi dei pori presenti sono tra loro collegati

Connections between pore spaces are wider in coarse-grained sediment (sand, gravel) and rock (sandstone, conglomerate) and are narrower in fine-grained materials (silt, clay, shale, mudstone).

However, **not all pore spaces may be connected** while others may contain clay minerals that can expand in the presence of water to block passageways and reduce permeability.

Surface water films in fine-grained materials may fill the narrow connections between pore spaces blocking the passage of groundwater.

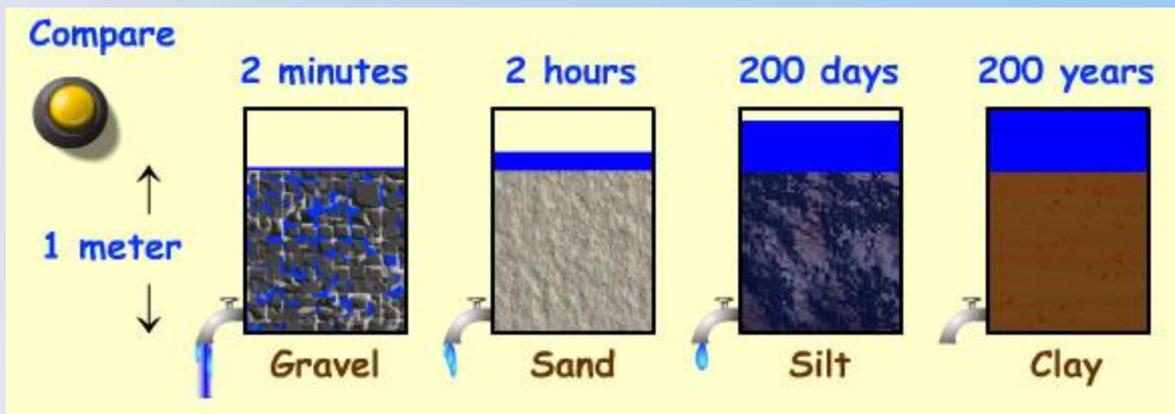


I terreni costituiti da granuli grossolani sono molto permeabili; ciò significa che l'acqua vi si infiltra facilmente e non tende a rimanere in superficie.

Nei terreni costituiti da granuli molto piccoli, per esempio i terreni argillosi, l'acqua filtra con molta più difficoltà; quindi, dove ci sono questi terreni è più facile per l'acqua rimanere in superficie.

Per quanto riguarda i terreni costituiti da roccia compatta, a fronte di una quasi totale impermeabilità del materiale roccia, la permeabilità varia a seconda della quantità e delle dimensioni delle fratture e di quanto queste fratture si intersecano.

Non esistono terreni perfettamente impermeabili, ma solo terreni (argille) con permeabilità bassissima e quindi, in tempi molto lunghi, anche le argille possono essere attraversate dai fluidi (problemi di inquinamento).

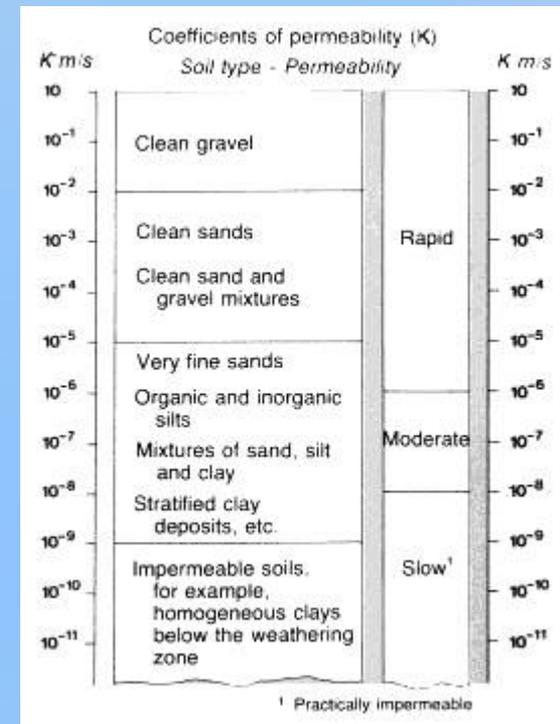


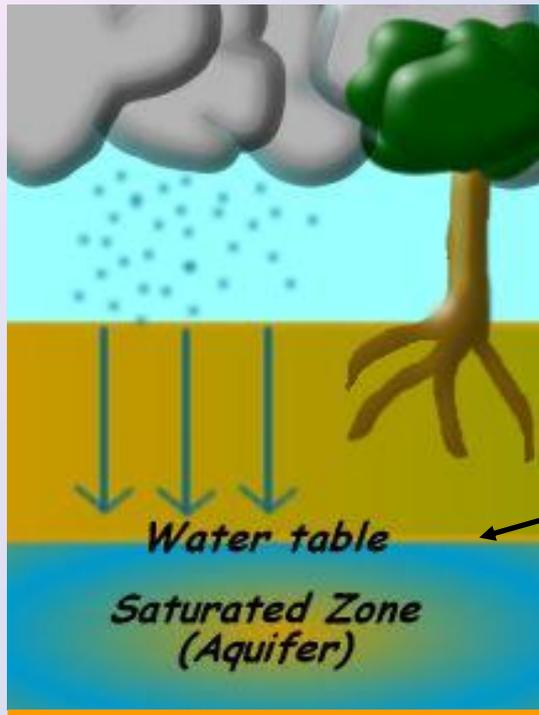
$$10^{-9} \text{ m/sec} = 3.15 \text{ cm/anno}$$

$$10^{-11} \text{ m/sec} = 3.15 \text{ cm in 100 anni}$$

<http://tecalive.mtu.edu/meec/module06/Permeability.htm>

Elementi di Geologia - Scienze e tecnologie per i Beni Culturali - Maria Chiara Turrini - Università degli Studi di Ferrara

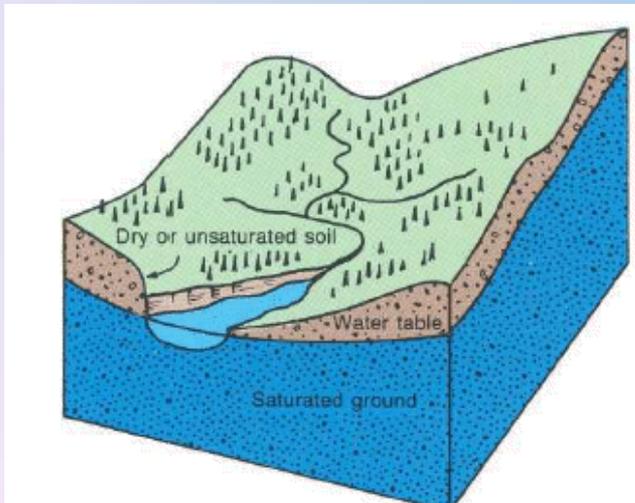


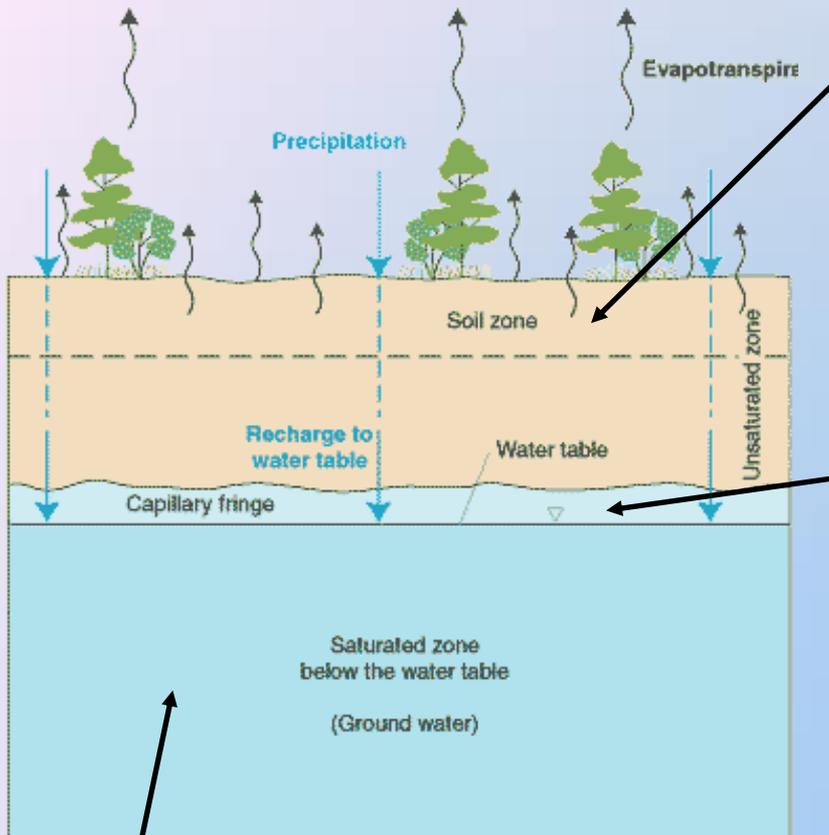


This diagram shows how water from precipitation filters down to the saturated zone. The water table (**superficie freatica**) separates the saturated zone from the unsaturated ground above.

*Superficie freatica (piezometrica)*

Ground water (**acqua sotterranea**) is that part of precipitation that infiltrates through the soil to the water table. The **unsaturated material** above the water table contains air and water in the spaces between the rock particles and supports vegetation. In the **saturated zone** below the water table, ground water fills in the spaces between rock particles and within bedrock fractures.

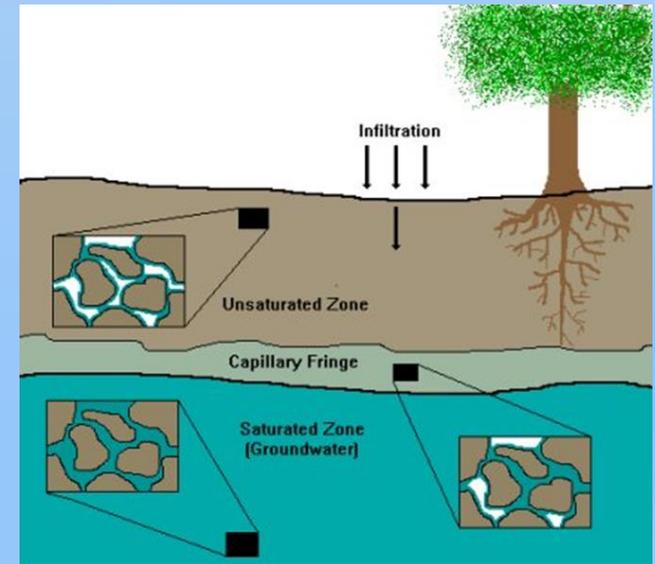




**Zona insatura:** gli spazi tra le particelle di terra sono riempiti sia di acqua che di aria. L'acqua presente in questa zona non può essere emunta con un pozzo.

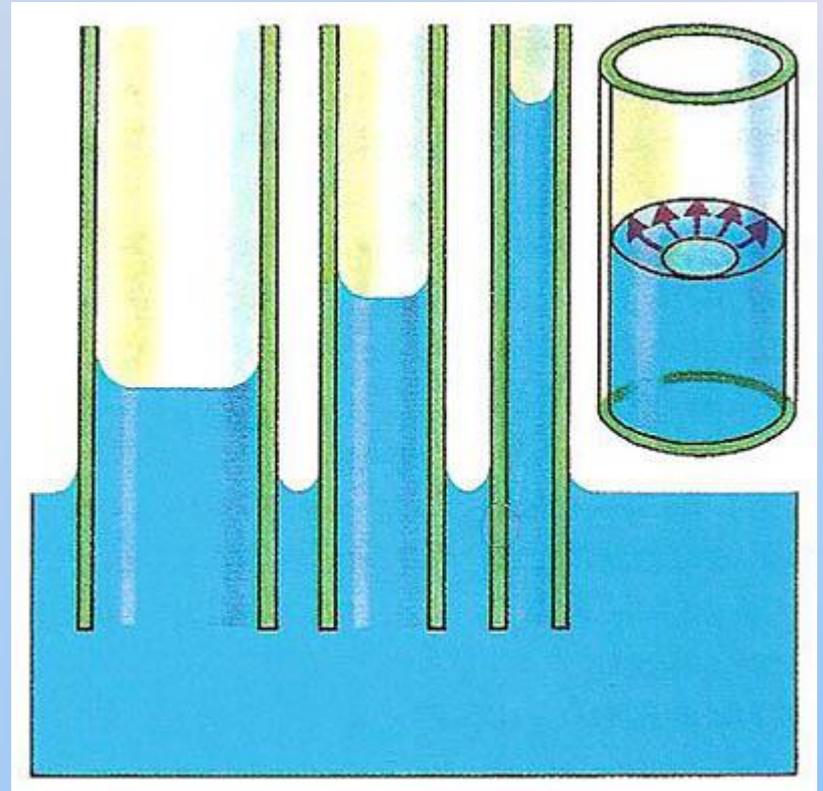
Tra le due zone esiste una terza zona detta **frangia capillare**, in cui l'acqua riempie i pori, ma non può essere emunta per via delle forze di attrazione capillare.

**Zona satura:** gli spazi tra le particelle di terra sono riempiti di acqua, che può essere emunta attraverso un pozzo, se la permeabilità del terreno è sufficiente.



Unsaturated and saturated zones below the earth's surface. The two zones are separated by the capillary fringe zone, which is a few centimeters thick.

Also called **capillarity**, the name given to various surface tension phenomena in which the surface of a liquid confined in a narrow-bore tube rises above or is depressed below the level it would have if it were unconfined. When the attraction between the molecules of the liquid and those of the tube exceeds the combined effects of gravity and the attractive forces within the liquid, the liquid rises in the tube until equilibrium is restored. Capillary action is very important in nature, particularly in the transport of fluids in plants and through the soil.



The cohesion between a liquid and a solid results in the liquid surface curving near the solid, to meet it at a definite angle. Water curves upward against glass, and the force of cohesion is exerted along the water surface, tending to lift it. The lifting force is proportional to the circumference of the water surface; in a narrow tube this force becomes powerful enough to lift a tall column of water.

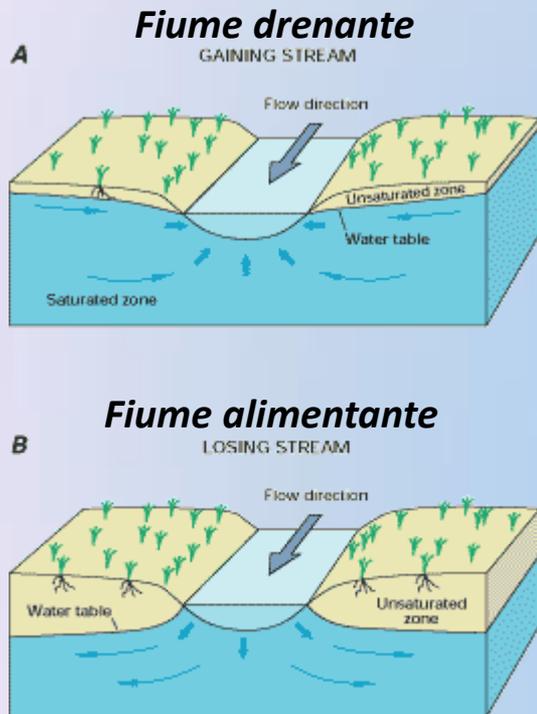
[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/capillary\\_action.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/capillary_action.html)

L'acqua superficiale e l'acqua sotterranea sono connesse.

A volte l'acqua superficiale drena quella sotterranea.

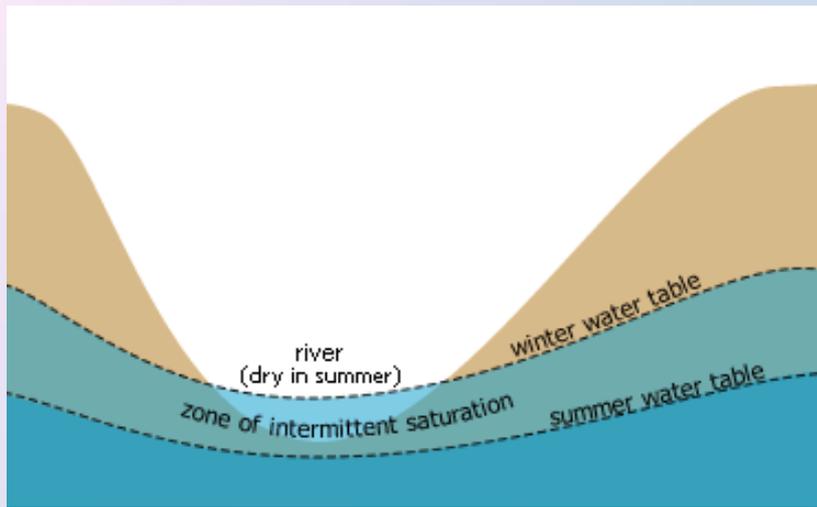
In altri casi l'acqua superficiale alimenta quella sotterranea.

This interaction is not limited to streams. Most all lakes, ponds, or wetlands are connected to the ground water, and what happens to one can affect the other.

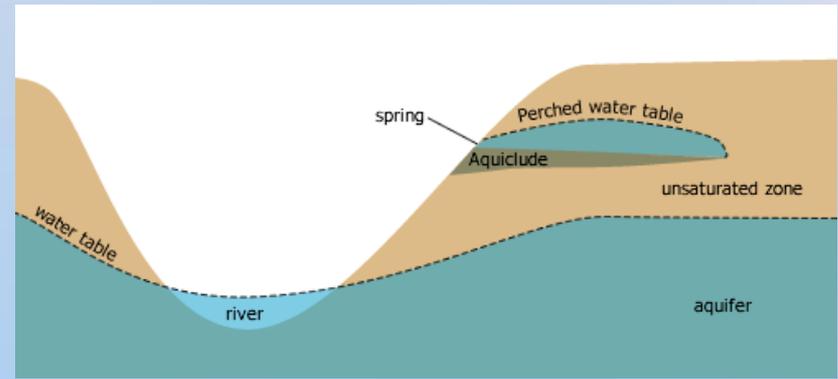


Interaction of streams and ground water

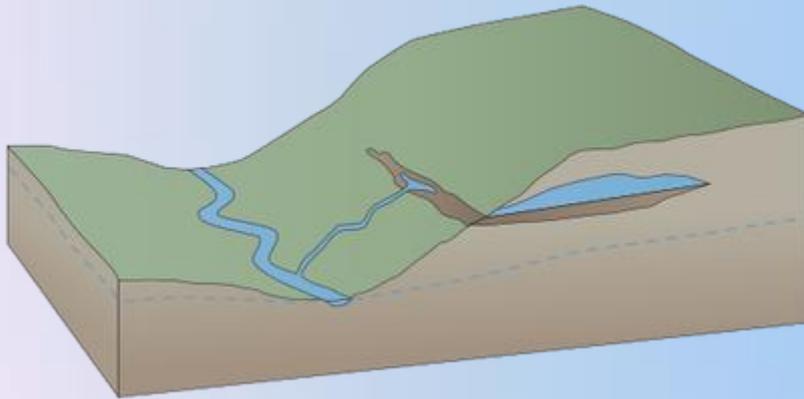
Gaining streams (A) receive water from the ground-water system, whereas losing streams (B) lose water to the ground-water system. For ground water to discharge to a stream channel, the altitude of the water table in the vicinity of the stream must be higher than the altitude of the stream-water surface. Conversely, for surface water to seep to ground water, the altitude of the water table in the vicinity of the stream must be lower than the altitude of the stream surface.



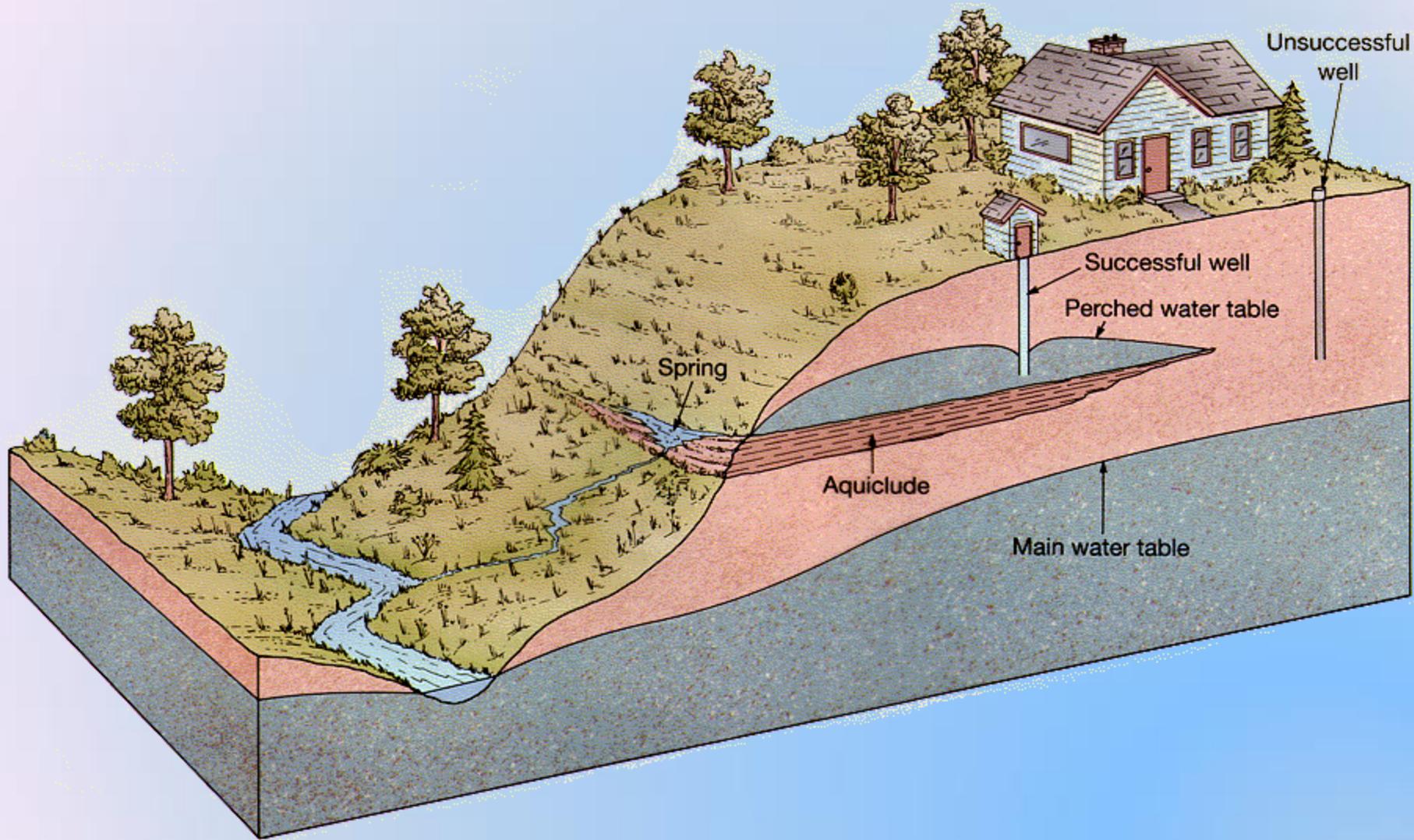
Oscillazione stagionale della falda freatica. Durante la stagione secca i fiumi possono prosciugarsi.



La superficie freatica segue la forma della superficie topografica, attenuandola.



Una **falda sospesa** (perched water table) è una lente di acqua, anche molto grande, che appoggia su un livello impermeabile (**aquiclude**) non continuo.



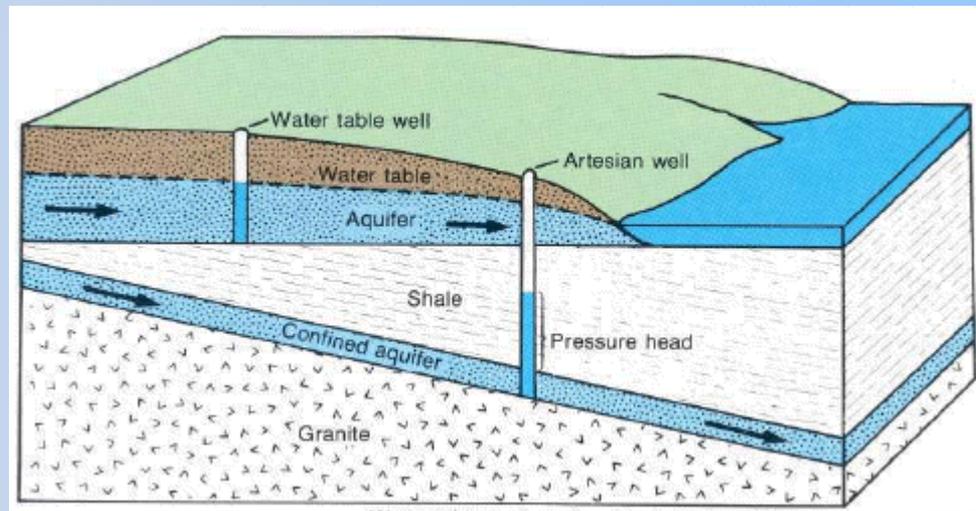
Un **acquifero** è una roccia fratturata o un terreno sciolto che può immagazzinare acqua, farla circolare e restituirla in quantità apprezzabili.

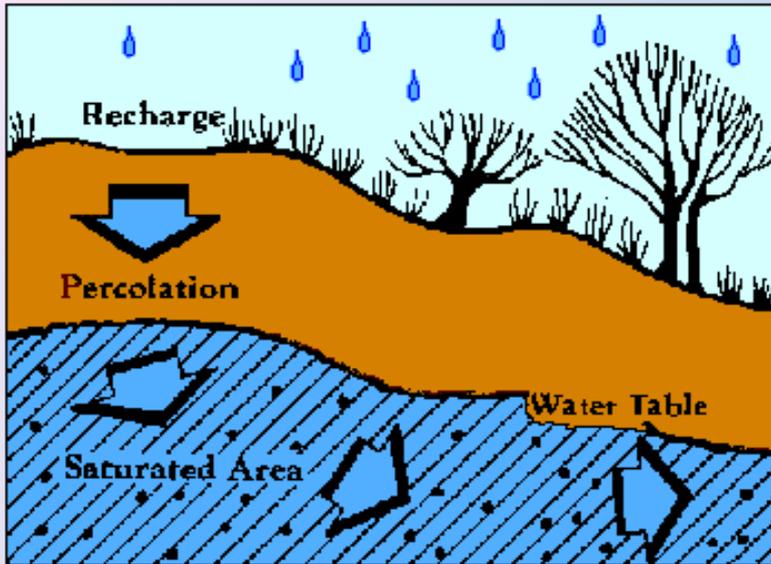
Un acquifero è delimitato, almeno nella parte inferiore, da uno strato di terreno a bassissima permeabilità (impermeabile - aquiclude).

L'acqua si muove all'interno degli acquiferi, anche se molto lentamente.

Si chiamano **falde freatiche**, o libere, quelle contenute in acquiferi alimentati direttamente dall'acqua piovana che si infila dalla superficie e penetra nel terreno permeabile, finché non incontra uno strato di materiale impermeabile (**acquifero non confinato**).

Si chiamano falde in pressione, o **falde confinate**, quelle che sono contenute in acquiferi delimitati sia nella parte inferiore che in quella superiore da uno strato impermeabile (**acquifero confinato**).





A portion of the water that falls as precipitation infiltrates into the ground and becomes groundwater. This is known as recharge. The area where permeable soil allows water to seep into the ground is known as the recharge area.

Nell'area di **ricarica** la superficie freatica è più alta. La ricarica può essere in un'area dove piove di più, ma può anche essere dovuta alla presenza di un fiume o di un lago alimentante.

