

# ACQUA E SUOLO

## Acqua e suolo - Infiltrazione

### Obiettivi formativi:

- Conoscere le principali proprietà idrauliche del suolo
- Conoscere i meccanismi che controllano l'infiltrazione
- Saper distinguere infiltrazione potenziale ed effettiva
- Saper utilizzare i principali metodi per il calcolo dell'infiltrazione

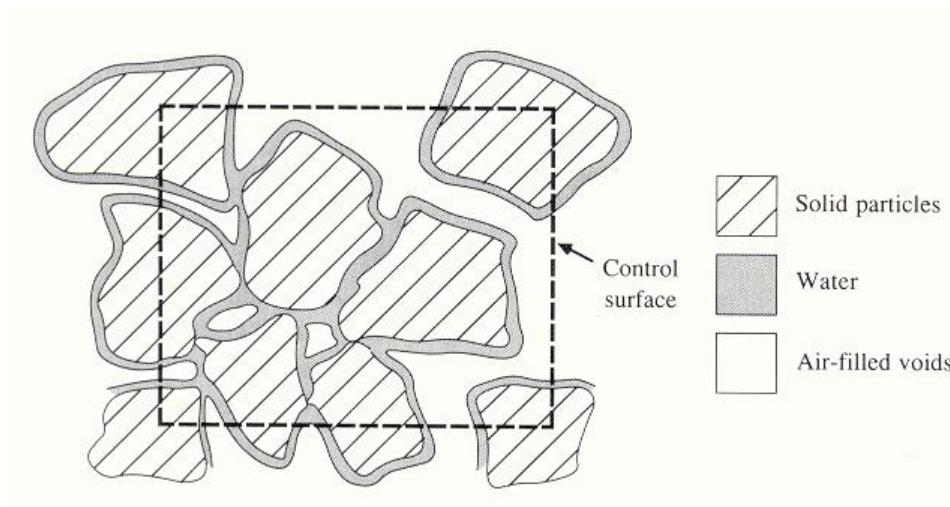
### Riferimenti:

- Tarboton, Rainfall-Runoff Processes workbook chapter 4
- Maione: Le piene fluviali, cap 2
- Versace: Scheda didattica

# Acqua e suolo

## Suolo:

- Sede di fenomeni di trasporto d'acqua in modalità non satura
- Mezzo trifase (Fasi: solida, liquida, aeriforme)



Adapted from Tarboton and Rigon

## Caratteristiche fisiche

Densità frazione  
solida

$$\rho_m = \frac{M_m}{V_m} \sim 2650 \frac{kg}{m^3}$$

Bulk density  
(Dens. apparente)

$$\rho_b = \frac{M_m}{V_s} = \frac{M_m}{W + V_m}$$

Porosità

$$n = \frac{V_v - V_m}{V_s} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_m}$$

Contenuto d'acqua  
volumetrico

$$\theta = \frac{V_w}{V_s} = \frac{M_{wet} - V_{dry}}{\rho_w \cdot V_s}$$

$M_m$  = massa fase solida  
 $V_m$  = Volume fase solida  
 $V_s$  = Volume totale  
 $V_v$  = Volume vuoti  
 $V_w$  = Volume acqua  
contenuta

## Saturazione effettiva

Contenuto acqua a saturazione

$$\theta_s = \frac{V_v}{V_s} = n$$

Contenuto acqua pellicolare =  $\theta_r$

Grado di saturazione

$$S_d = \frac{\theta}{n}$$

Grado di saturazione effettivo

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

Porosità efficace =  $n - \theta_r$

Acqua pellicolare, capillare, gravifica

## Curva granulometrica con i limiti di appartenenza alle classi tessiturali

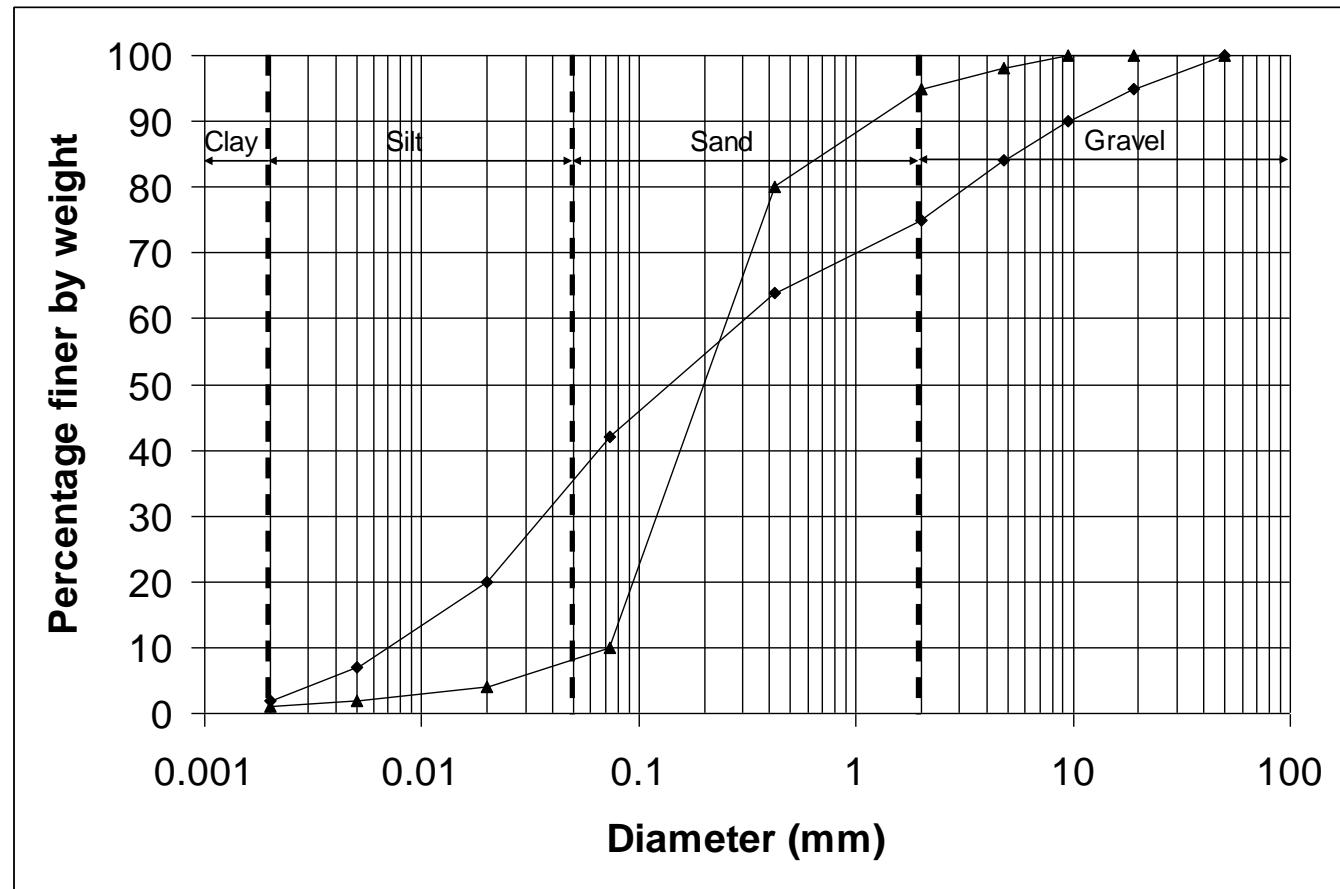
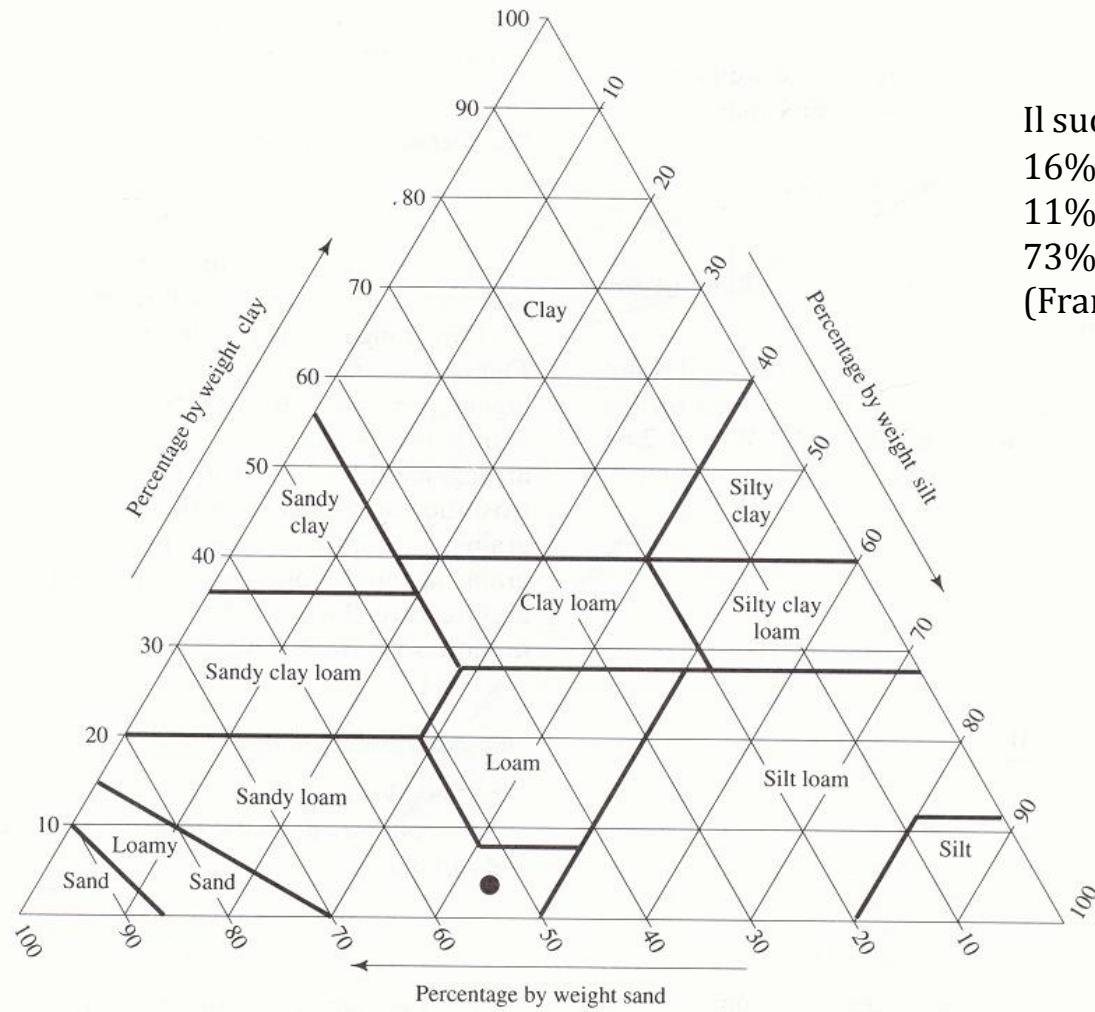


Illustrazione delle curve di distribuzione granulometrica. I confini tra le classi dimensionali indicati come argilla, limo, sabbia e ghiaia sono mostrati come linee verticali.

# Acqua e suolo

## Triangolo tessiturale



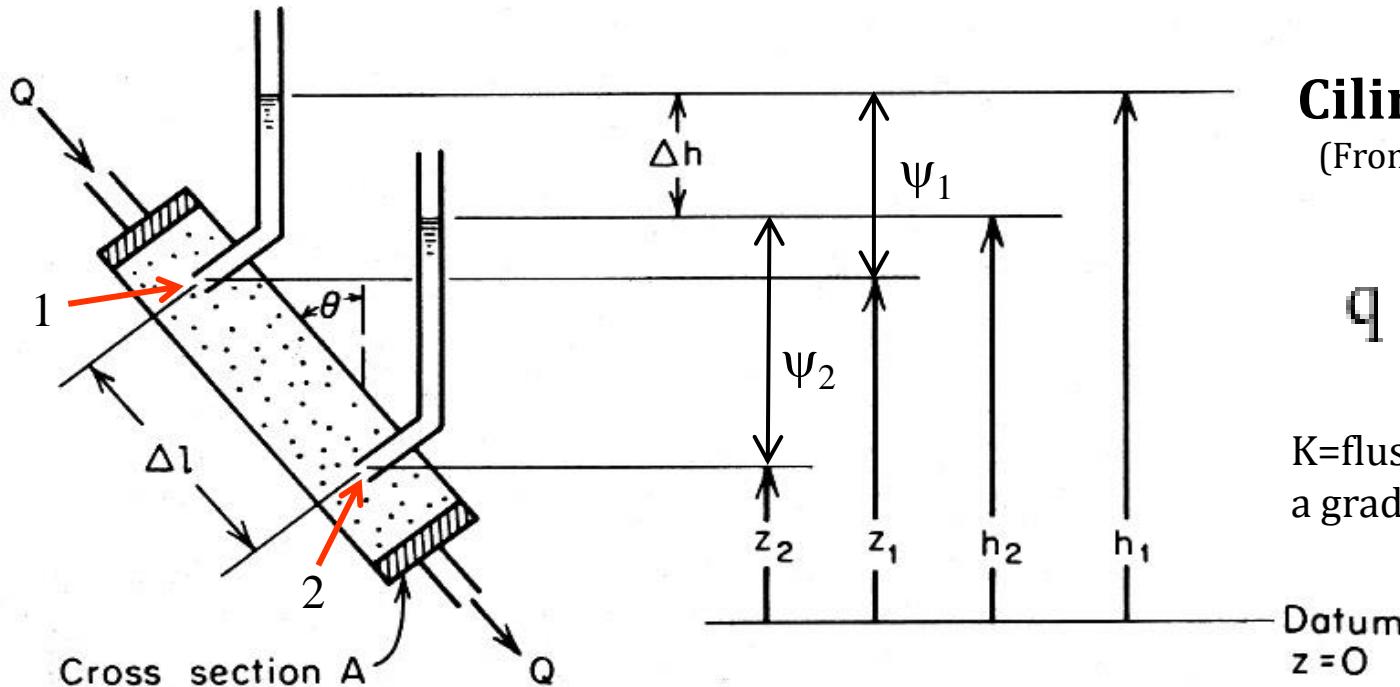
Il suolo **B** ha percentuali:  
16% argilla  
11% limo  
73% sabbia  
(Franco Sabbioso)

Triangolo tessiturale del terreno; mostra i termini tessiturali applicati ai terreni con varie frazioni di sabbia, limo e argilla

## Tabella di conversione tipi di suolo

Terminologia americana	Simbolo	Terminologia italiana
Sand	S	<b>Sabbia</b>
Loamy Sand	LS	<b>Sabbia con medio impasto</b>
Sandy loam	SL	<b>Medio impasto sabbioso</b>
Loam	L	<b>Medio impasto</b>
Silty loam	SiL	<b>Medio impasto limoso</b>
Silt	Si	<b>Limo</b>
Sandy clay loam	SCL	<b>Medio impasto sabbioso-argilloso</b>
Clay loam	CL	<b>Medio impasto argilloso</b>
Silty clay loam	SiCL	<b>Medio impasto limoso-argilloso</b>
Sandy clay	SC	<b>Argilla sabbiosa</b>
Silty clay	SiC	<b>Argilla limosa</b>
Clay	C	<b>Argilla</b>

# Legge di Darcy



**Cilindro di Darcy**  
(From Freeze and Cherry)

$$q = -K \frac{\Delta h}{\Delta z}$$

$K$ =flusso (sastro) specifico  
a gradiente unitario [cm/s]

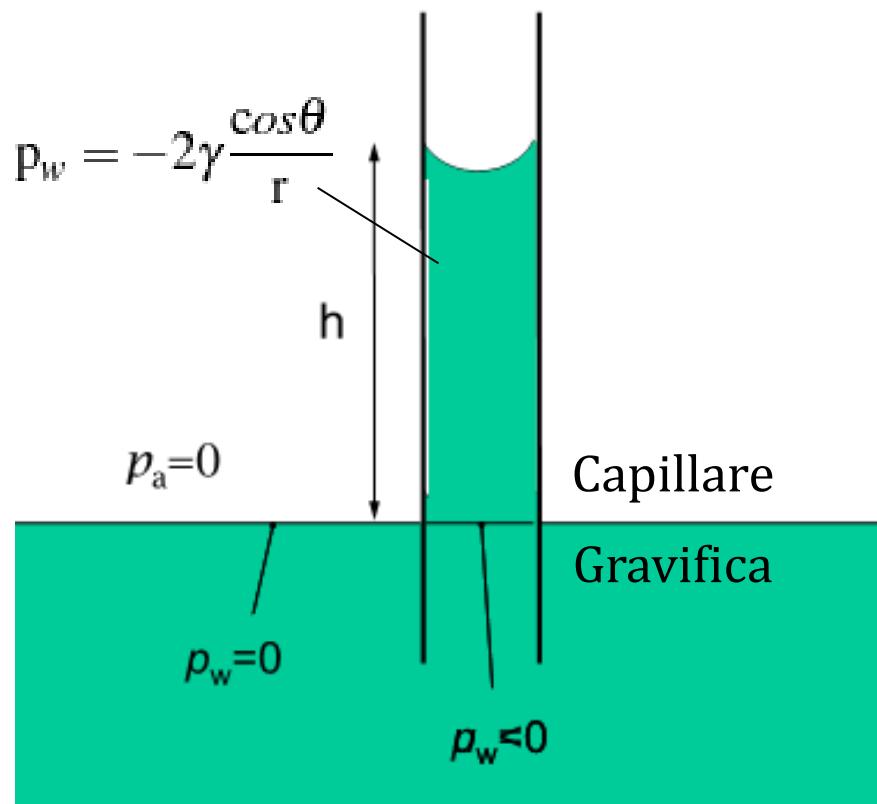
Datum  
 $z=0$

potenziale nel caso saturo:  $h = z + \frac{P}{\gamma}$

generalizzazione del potenziale:  $h = z + \psi$

# Potenziale

Tensiometro  $\longrightarrow$  misura  $\psi =$  suzione

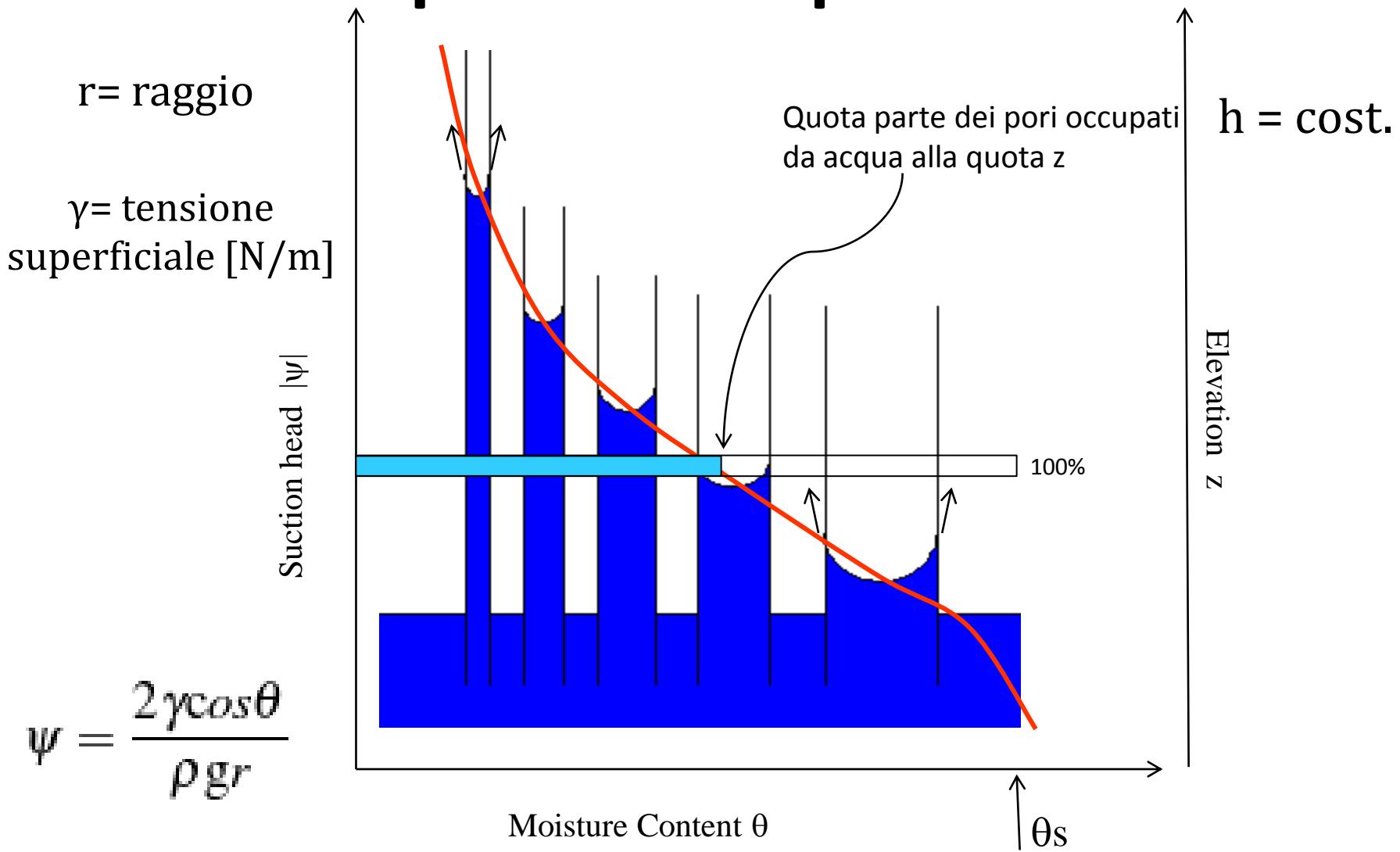


$$\left\{ \begin{array}{l} \text{se } \psi < 0 \\ \downarrow \\ h = z + \frac{P}{\gamma} = h = z + \psi \end{array} \right.$$

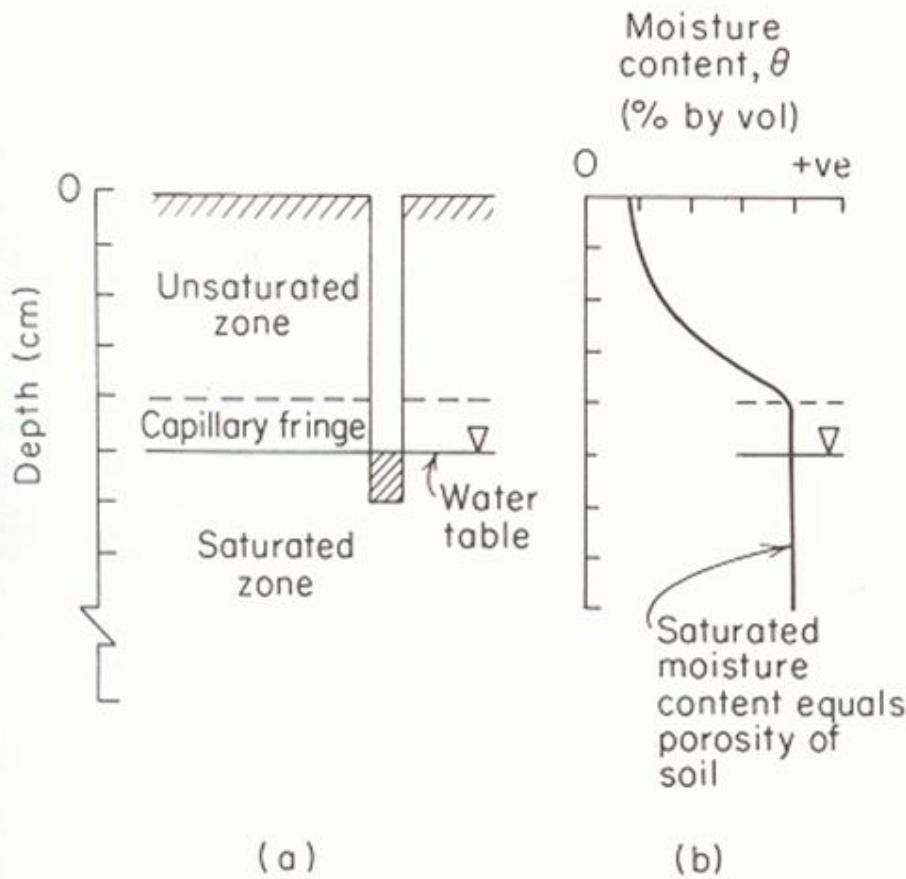
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{P}{\gamma} = 0 \\ \psi = 0 \Rightarrow h = z \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{se } \psi > 0 \\ \downarrow \\ \text{carico } h = \text{cost.} \\ (\text{continuità idraulica}) \end{array} \right.$$

# Il profilo di equilibrio



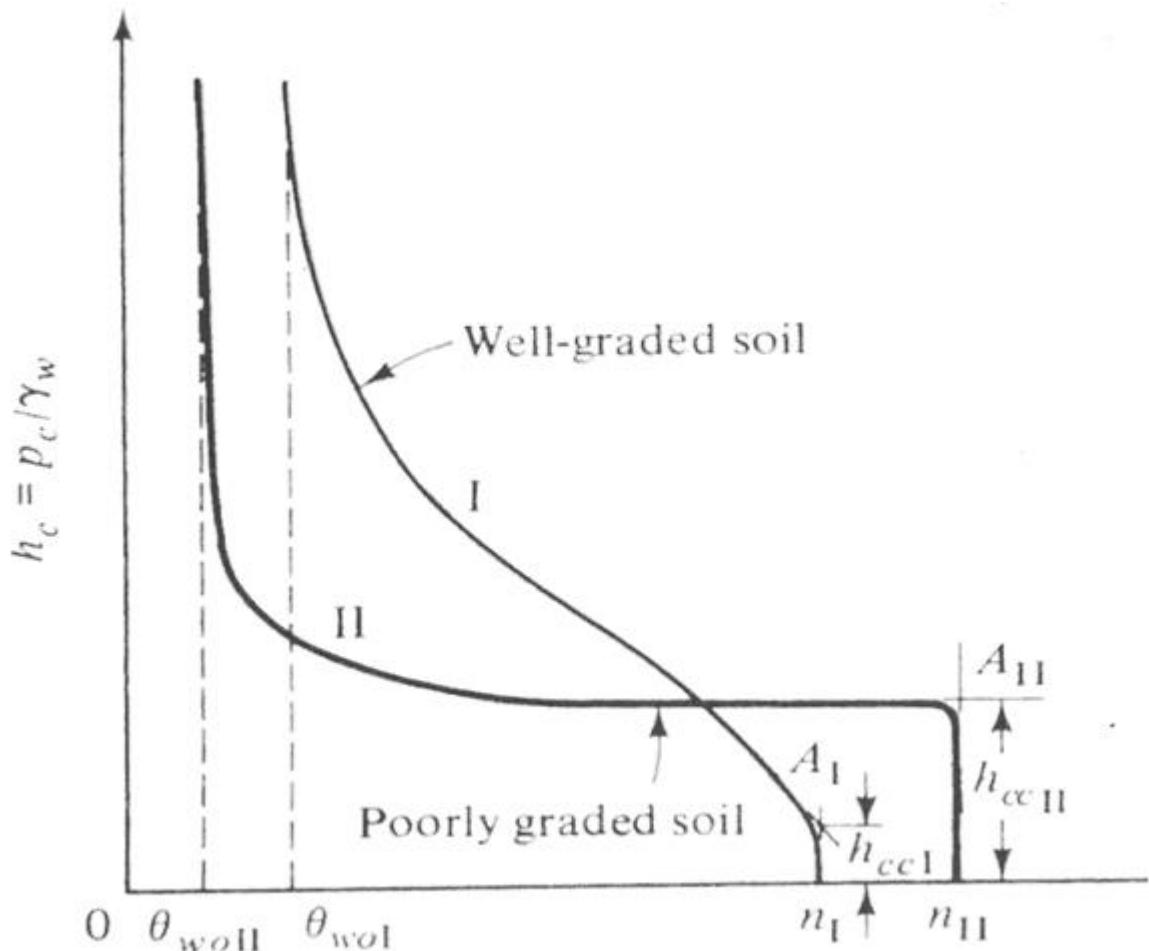
## Relazione tra suzione e contenuto d'acqua



(da Freeze and Cherry, 1979)

**La forma della curva di ritenzione idrica è funzione della distribuzione dei pori**

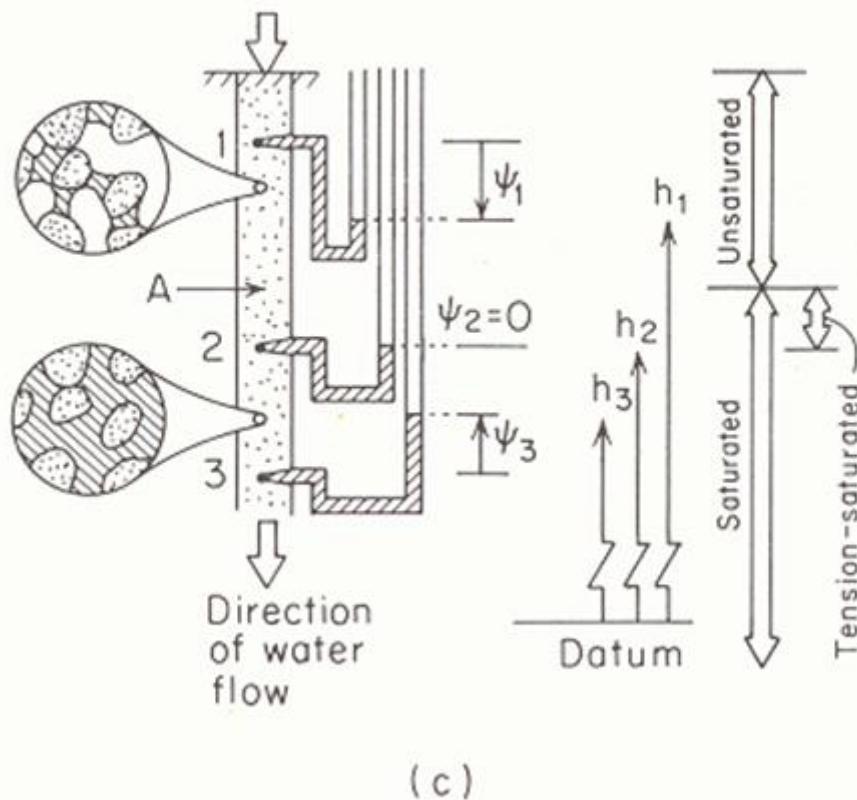
# Profili di equilibrio ( $h=\text{cost}$ )



Funzione di tessitura e strutt. di un suolo

# Movimento (flusso) nel non saturo

Nell'instauro per analogia:



$$\frac{Q}{A} = q = -k \frac{dh}{dL}$$

$$h = z + \psi$$

$$\frac{dh}{dL} = \text{grad. idraulico}$$

Il movimento va da  $h_1$  a  $h_3$

# Relazioni $q$ , $k$ , $\text{grad}(h)$ nel non saturo

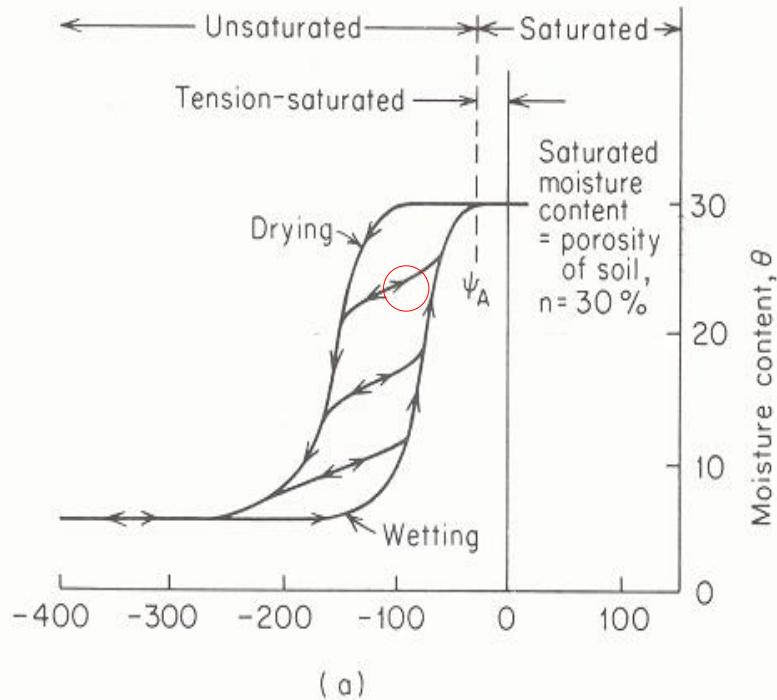
Se aumenta la sezione  $\psi < 0$  e  $|\psi| \uparrow$



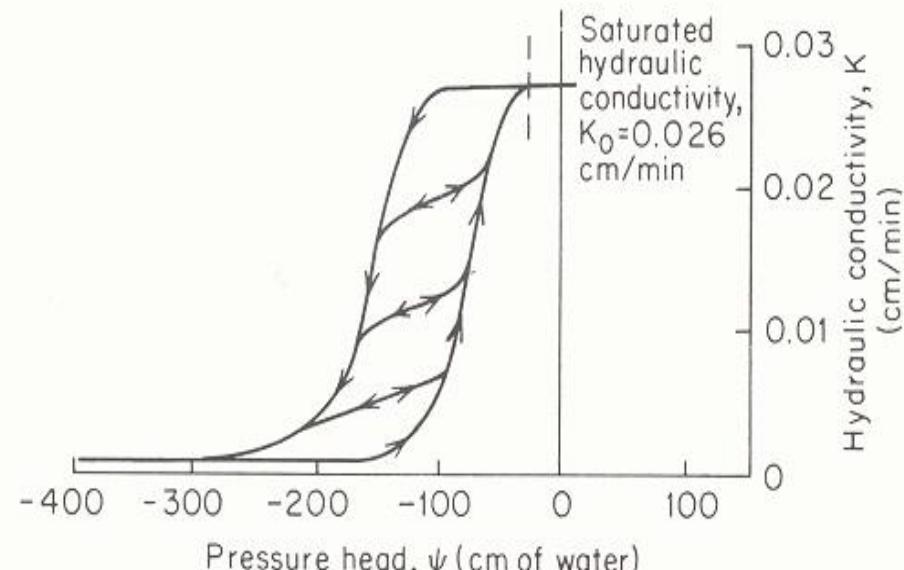
diminuisce  $\theta$

A parità di  $\Delta\psi$ , per  $|\psi|$  grande,  $k(\psi)$   
(diminuisce l'area degli spazi occupati dall'acqua)

## Curve di ritenzione idrica:



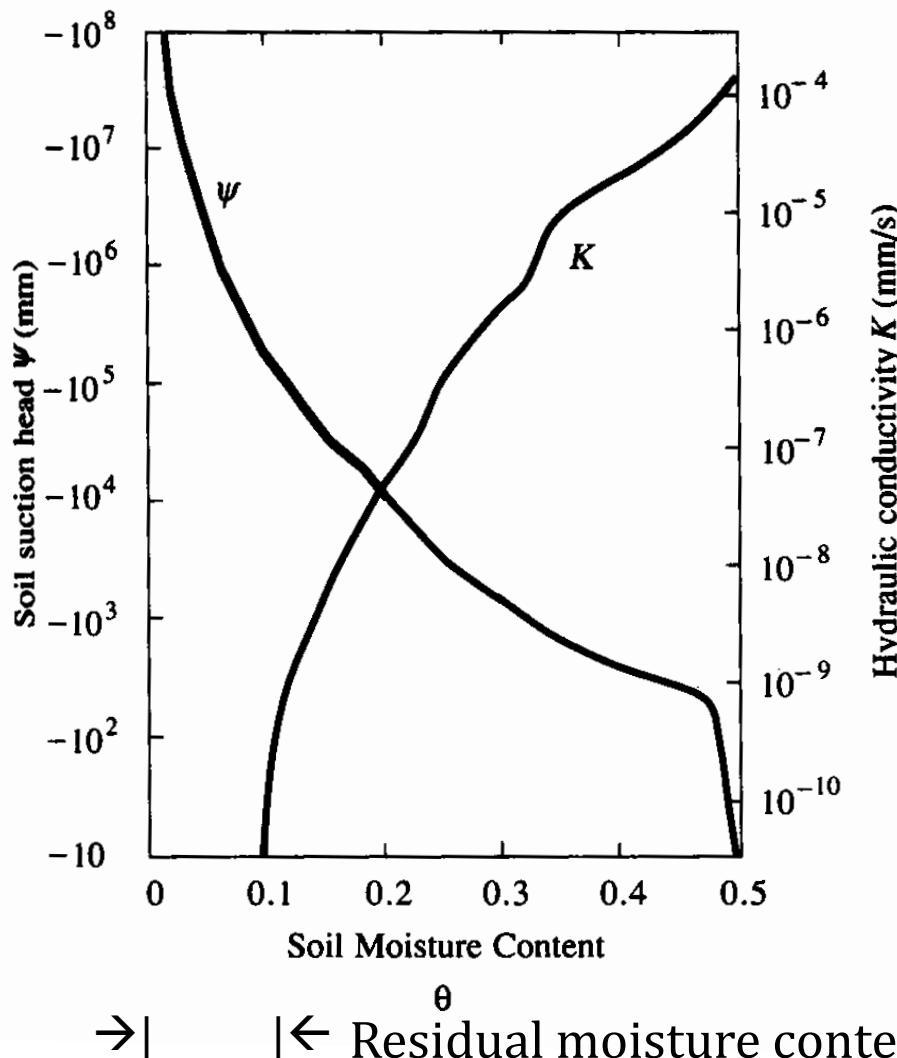
$\psi_a$  = air entry tension



$$\text{Porosità efficace} = n - \theta_r$$

$$\text{Grado di saturazione effettivo} = S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

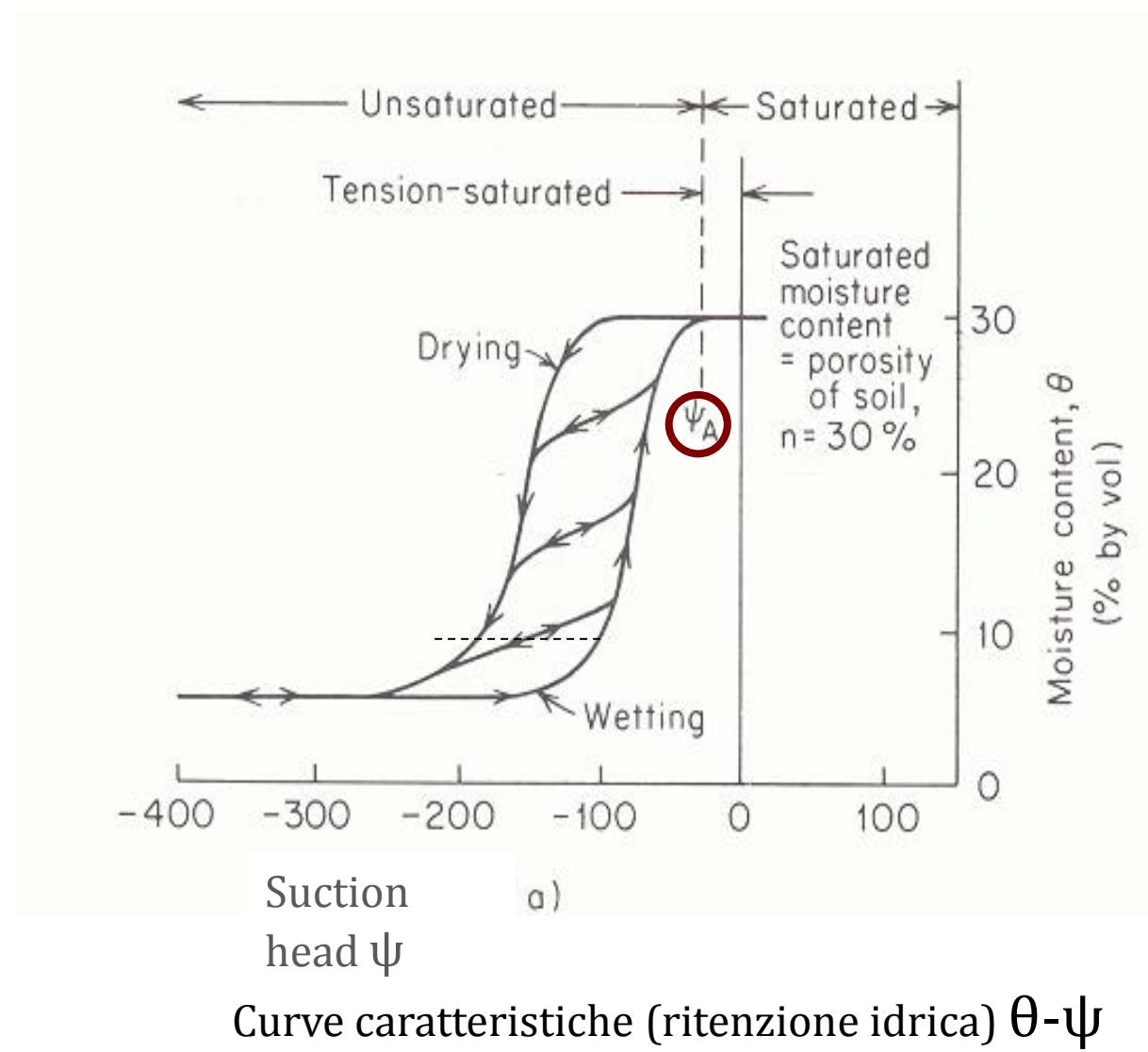
# Acqua e suolo



Questa rappresentazione  
dà meno luogo ad isteresi  
(solo  $k(\theta)$ )

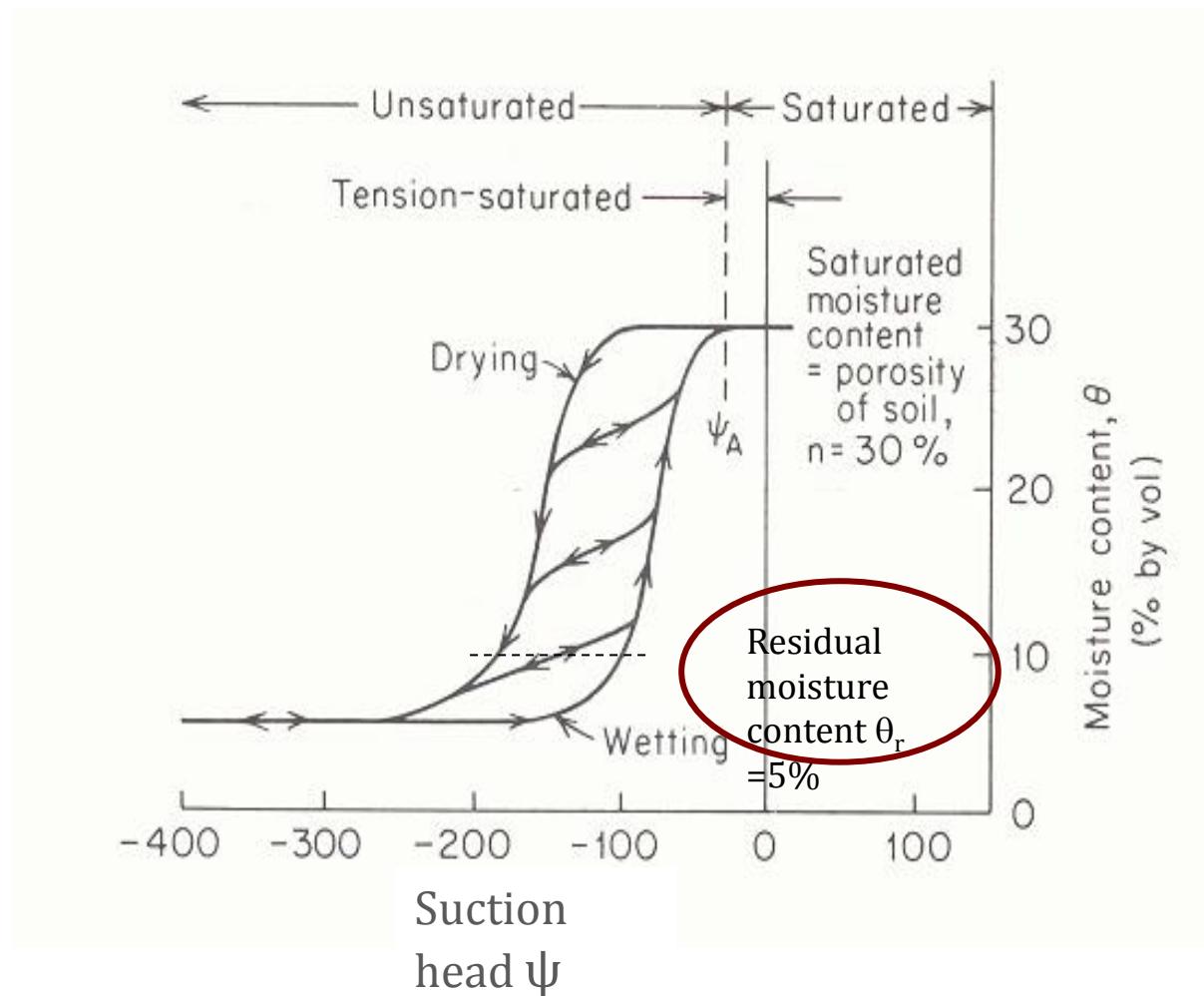
$\theta_r$  ( $k \rightarrow 0$ )

# Acqua e suolo



(from Freeze and Cherry, 1979).

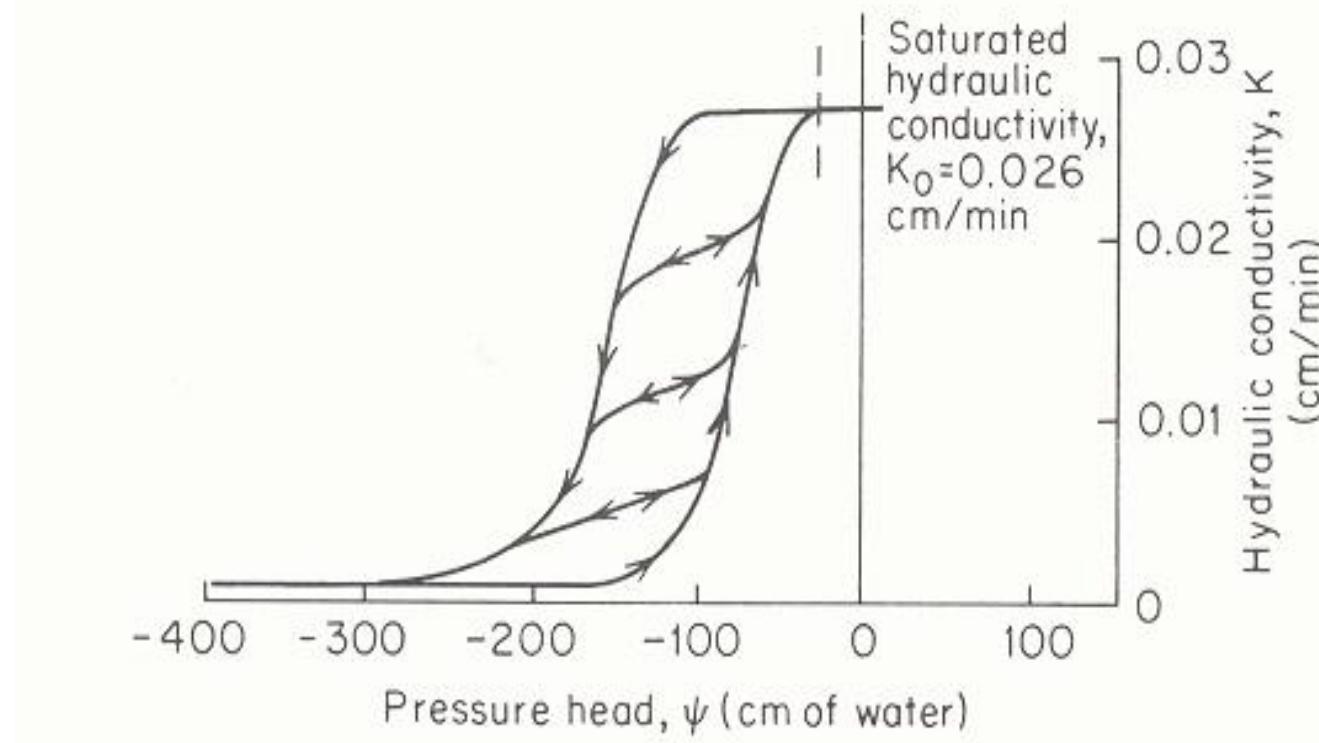
# Acqua e suolo



Curve caratteristiche (ritenzione idrica)  $\theta$ - $\psi$

(from Freeze and Cherry, 1979).

# Acqua e suolo



Curve caratteristiche (ritenzione idrica)  $K-\psi$

(from Freeze and Cherry, 1979).

# Forme parametriche delle curve di ritenzione

Grado di saturazione effettivo=  $S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$

Brooks and Corey (1966)

$$|\psi(S_e)| = |\psi_a| S_e^{-b}$$

$$K(S_e) = K_{sat} S_e^c$$

Clapp and Hornberger (1978)

$$|\psi(\theta)| = |\psi_a| \left(\frac{\theta}{n}\right)^{-b}$$

$$K(\theta) = K_{sat} \left(\frac{\theta}{n}\right)^c$$

van Genuchten (1980)

$$|\psi(S_e)| = \frac{1}{\alpha} (S_e^{-1/m})^{1-m}$$

$$|K(S_e)| = K_{sat} S_e^{1/2} (1 - (1 - S_e^{1/m})^m)^2$$

## Clapp and Hornberger (1978) parameters for Soil Moisture Characteristic functions. Values in parentheses are standard deviations.

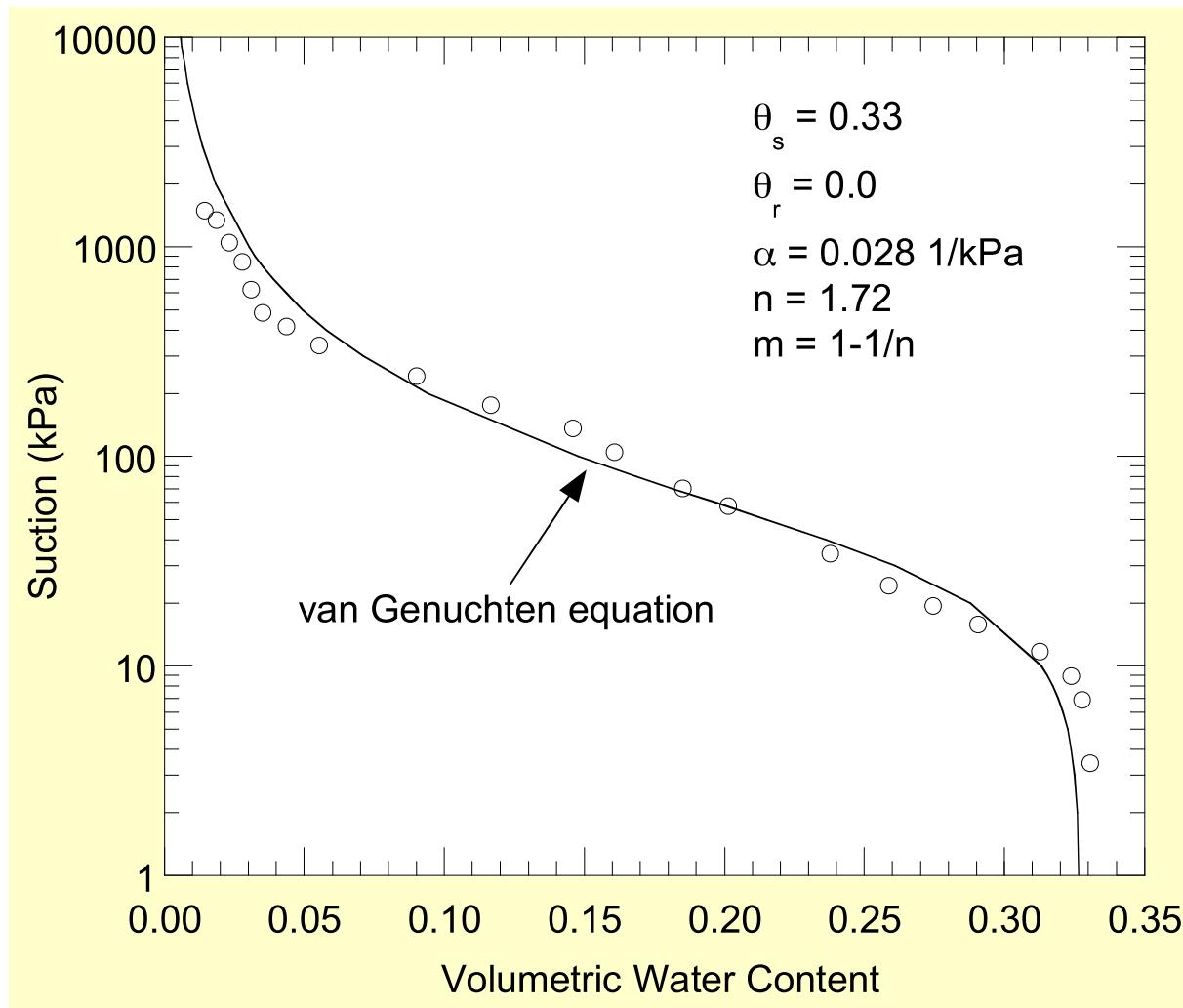
Soil Texture	Porosity n	$K_{sat}$ (cm/hr)	$ \psi_a $ (cm)	b
Sand	0.395 (0.056)	63.36	12.1 (14.3)	4.05 (1.78)
Loamy sand	0.410 (0.068)	56.16	9 (12.4)	4.38 (1.47)
Sandy loam	0.435 (0.086)	12.49	21.8 (31.0)	4.9 (1.75)
Silt loam	0.485 (0.059)	2.59	78.6 (51.2)	5.3 (1.96)
Loam	0.451 (0.078)	2.50	47.8 (51.2)	5.39 (1.87)
Sandy clay loam	0.420 (0.059)	2.27	29.9 (37.8)	7.12 (2.43)
Silty clay loam	0.477 (0.057)	0.612	35.6 (37.8)	7.75 (2.77)
Clay loam	0.476 (0.053)	0.882	63 (51.0)	8.52 (3.44)
Sandy clay	0.426 (0.057)	0.781	15.3 (17.3)	10.4 (1.64)
Silty clay	0.492 (0.064)	0.371	49 (62.0)	10.4 (4.45)
Clay	0.482 (0.050)	0.461	40.5 (39.7)	11.4 (3.7)

based on analysis of 1845 soils.

## Forme parametriche della conducibilità idraulica

equazione	autori
$K(\phi_m) = \frac{a}{\phi_m}$	Bauer, Gardner e Gardner, 1972
$K(\phi_m) = K_s / [1 + (\phi_m / \phi_c)^n]$	Gardner, 1958
$K(\phi_m) = K_s / [b + \phi^n]$	Childs e Collis-George, 1950[?] b
$K(\theta) = a\theta^n$	Marshall and Holmes, 1979
$K(\theta) = K_s S_e^n$	Brooks e Corey
$K(\theta) = K_s \exp(a\phi)$	Mualem, 1976
$K(\theta) = K_s \sqrt{S_e} [1 - (1 - S_e)^{1/m}]^m]^2$	Van Genuchten, 1980
$K(S) = K_s S_e^c$	Clapp e Hornberger

## Forme parametriche della curva di ritenzione



# Contenuto d'acqua per uso agricolo

Al cessare del drenaggio  $\rightarrow$  (24/72 ore dopo  $\Delta\theta$ )

$\theta_{fc}$  at FIELD CAPACITY ( $\psi = -340$  cm app.)

$k$  non è proprio  $\emptyset$  mentre  $\theta_r \Rightarrow k = 0$

$\theta_{wp}$  PERM. WILTING POINT (punto appass. permanente)  $\psi = -15000$  cm

# Contenuto d'acqua per uso agricolo

$$\theta_{fc} - \theta_{wp} = \text{CAPACITA' POTENZ. IDRICA} = \text{A.W.C.}$$

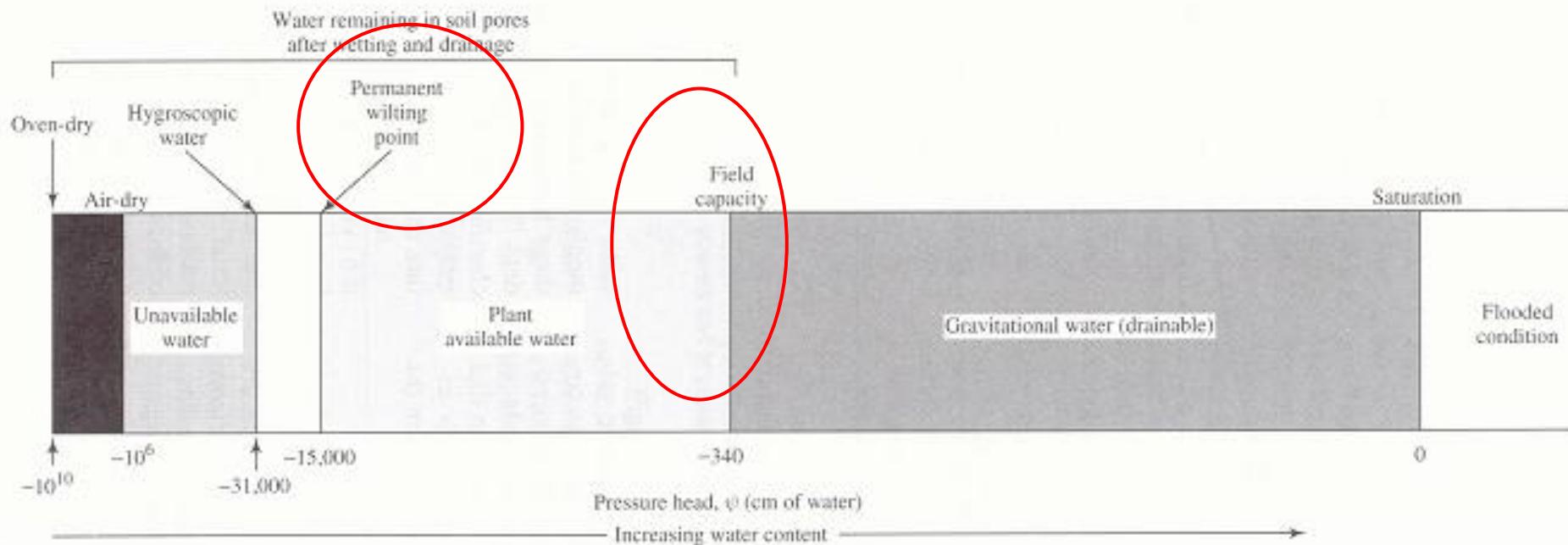
$$\text{Drainable porosity} = n - \theta_{fc} = nd$$

$\theta_r$  non è legato all'azione delle piante;  $\theta_{wp}$  sì

Suolo nudo  $\rightarrow \theta < \theta_{fc}$  solo per  
asciugatura/evaporazione

$\theta_{wp} < \theta < \theta_{fc} \rightarrow$  curva  $k_s$  per Penman-Monteith

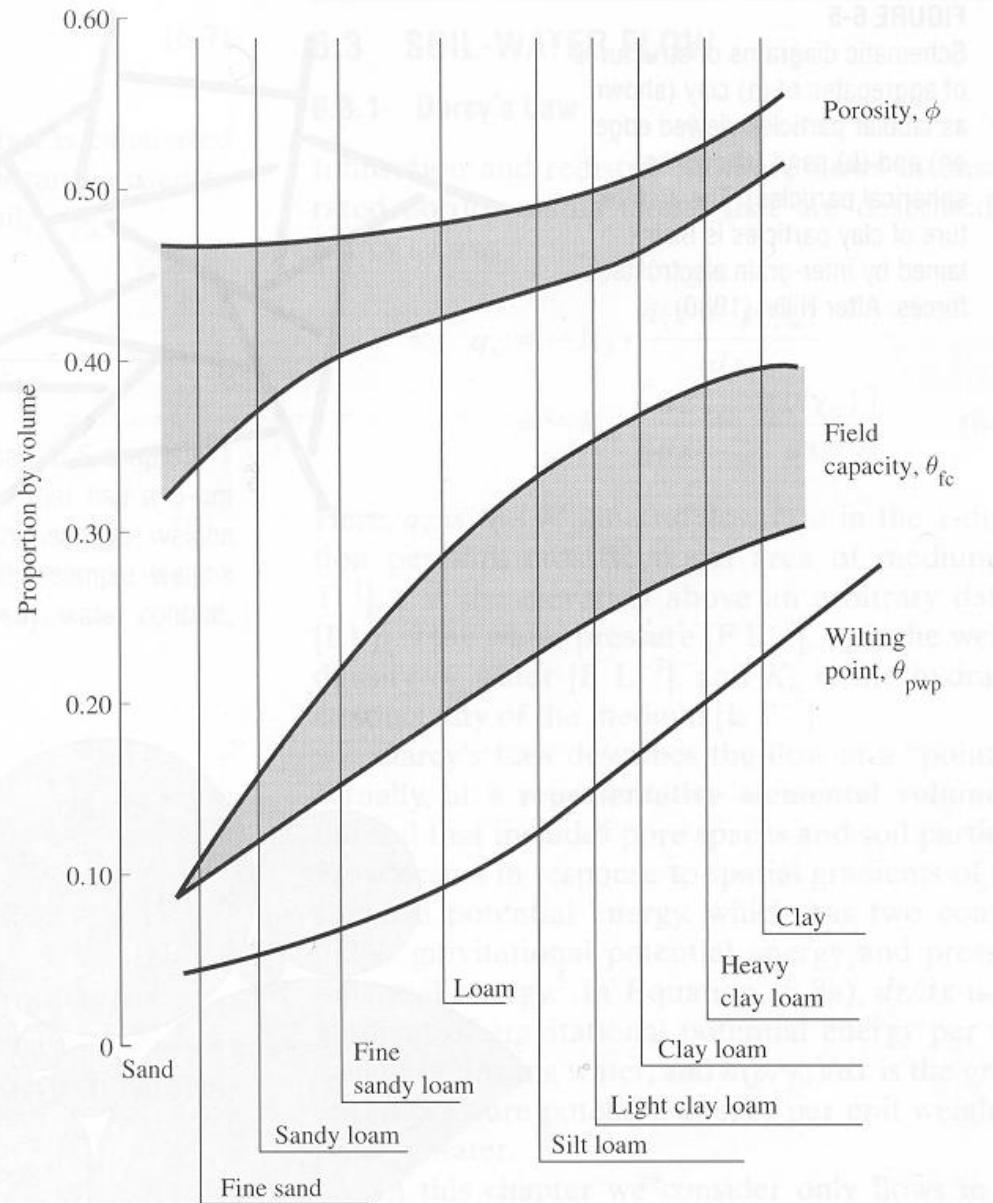
# Acqua e suolo



## Soil-water status as a function of pressure (tension).

Natural soils do not have tensions exceeding about  $-31000$  cm;  
in this range water is absorbed from the air. [from Dingman, 1994]

# Acqua e suolo



Porosità, capacità minima di ritenzione (field capacities), e punto di appasimento (permanent wilting points) per suoli con diverse granulometrie.  
(da Dunne e Leopold, 1978)