

# ACQUA E SUOLO

# Acqua e suolo - Infiltrazione

## **Obiettivi formativi:**

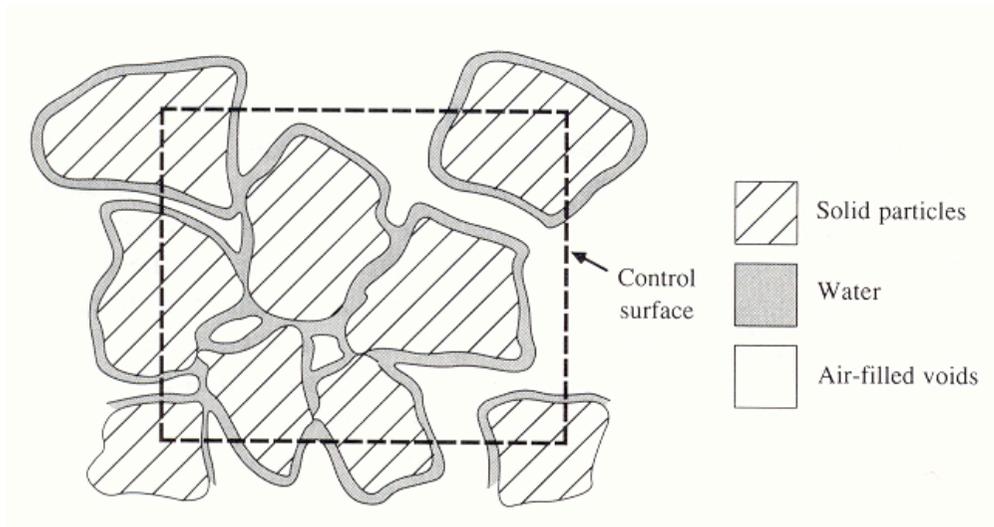
- Conoscere le principali proprietà idrauliche del suolo
- Conoscere i meccanismi che controllano l'infiltrazione
- Saper distinguere infiltrazione potenziale ed effettiva
- Saper utilizzare i principali metodi per il calcolo dell'infiltrazione

## **Riferimenti:**

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

## 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

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

Bulk density  
(Dens. apparente)

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

Porosità

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

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  $= \theta_r$

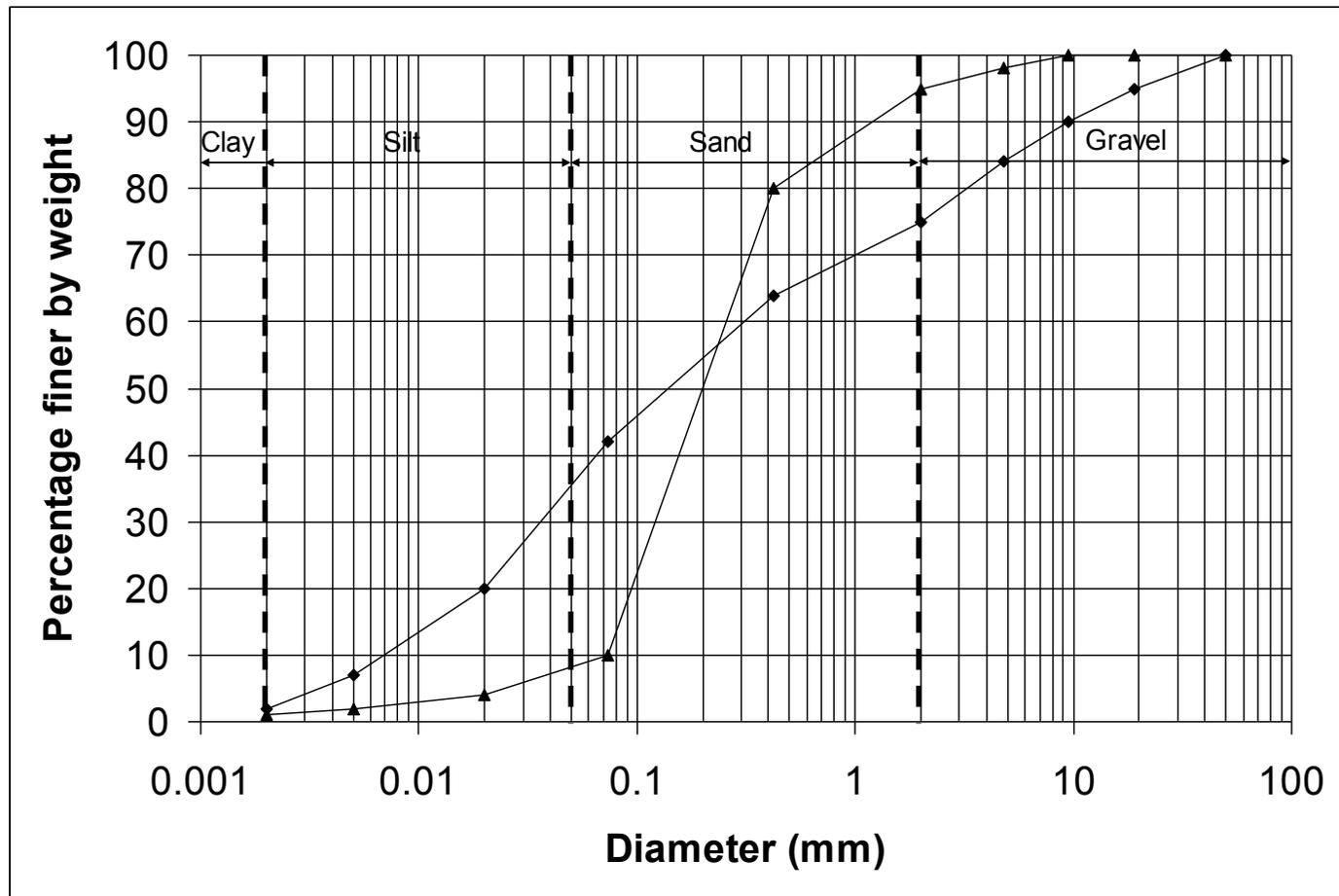
Grado di saturazione  $S_d = \frac{\theta}{n}$

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

Porosità efficace  $= n - \theta_r$

Acqua pellicolare, capillare, gravifica

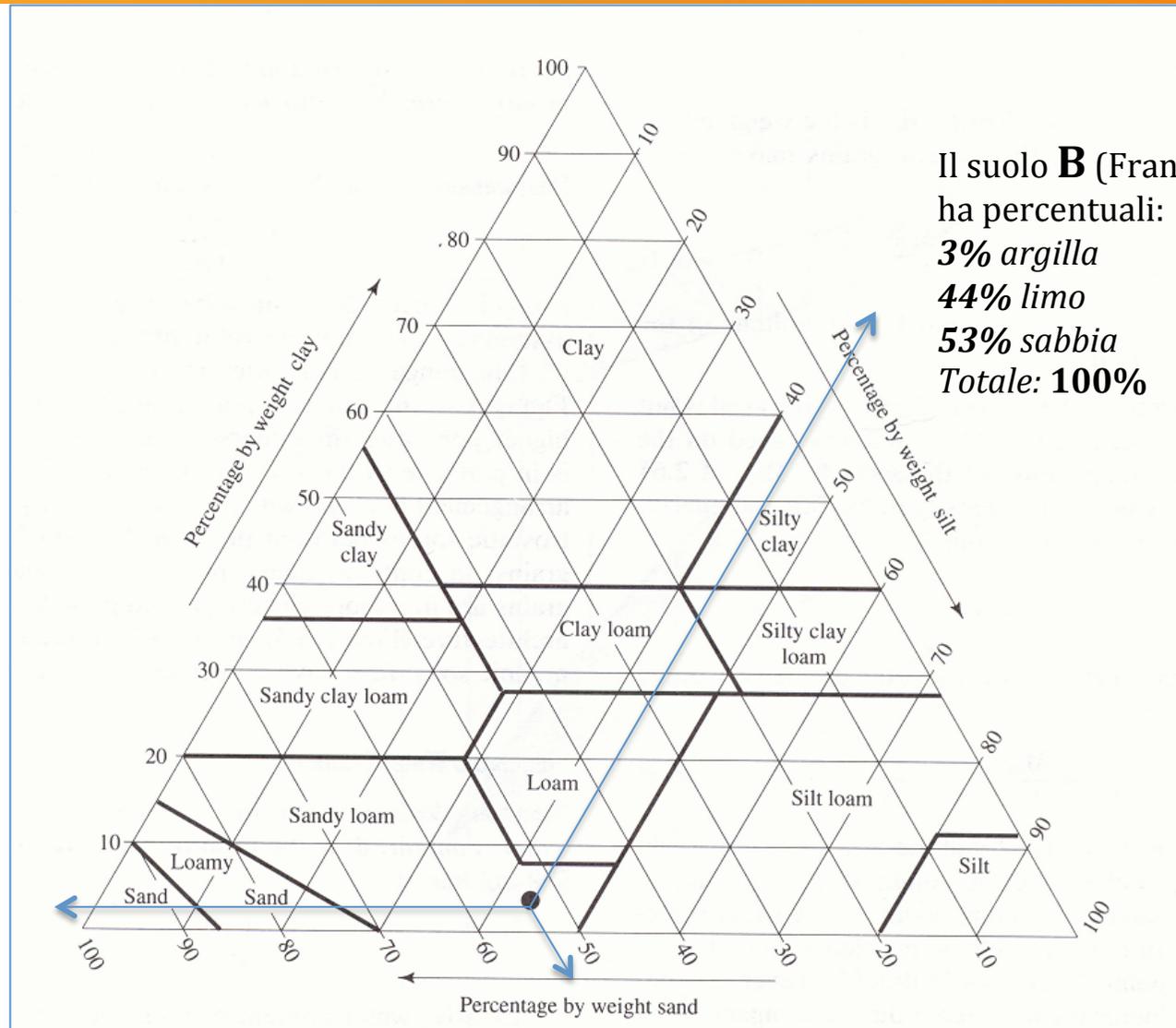
## Curva granulometrica con i limiti di appartenenza alle classi tessiturali



Confronto tra curve di distribuzione granulometrica.

I confini tra le classi dimensionali indicati come **argilla**, **limo**, **sabbia** e **ghiaia** sono mostrati come linee verticali.

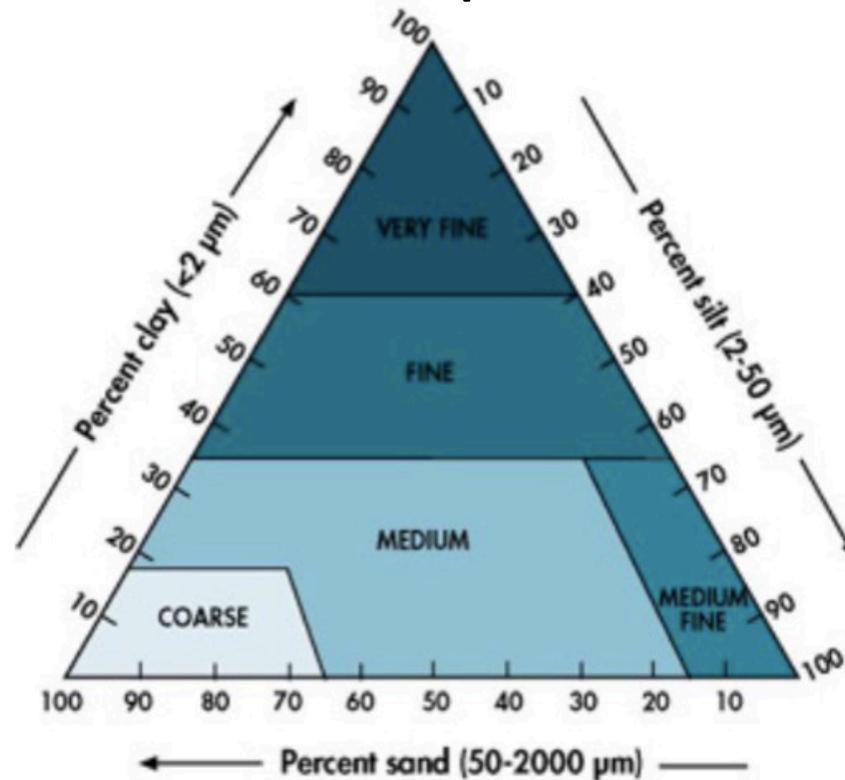
## Triangolo tessiturale



Il suolo **B** (Franco Sabbioso)  
ha percentuali:  
**3% argilla**  
**44% limo**  
**53% sabbia**  
**Totale: 100%**

Triangolo tessiturale del suolo: Classifica un suolo in base a classi di contenuto in peso delle frazioni di sabbia, limo e argilla

## Database europeo HYPRES

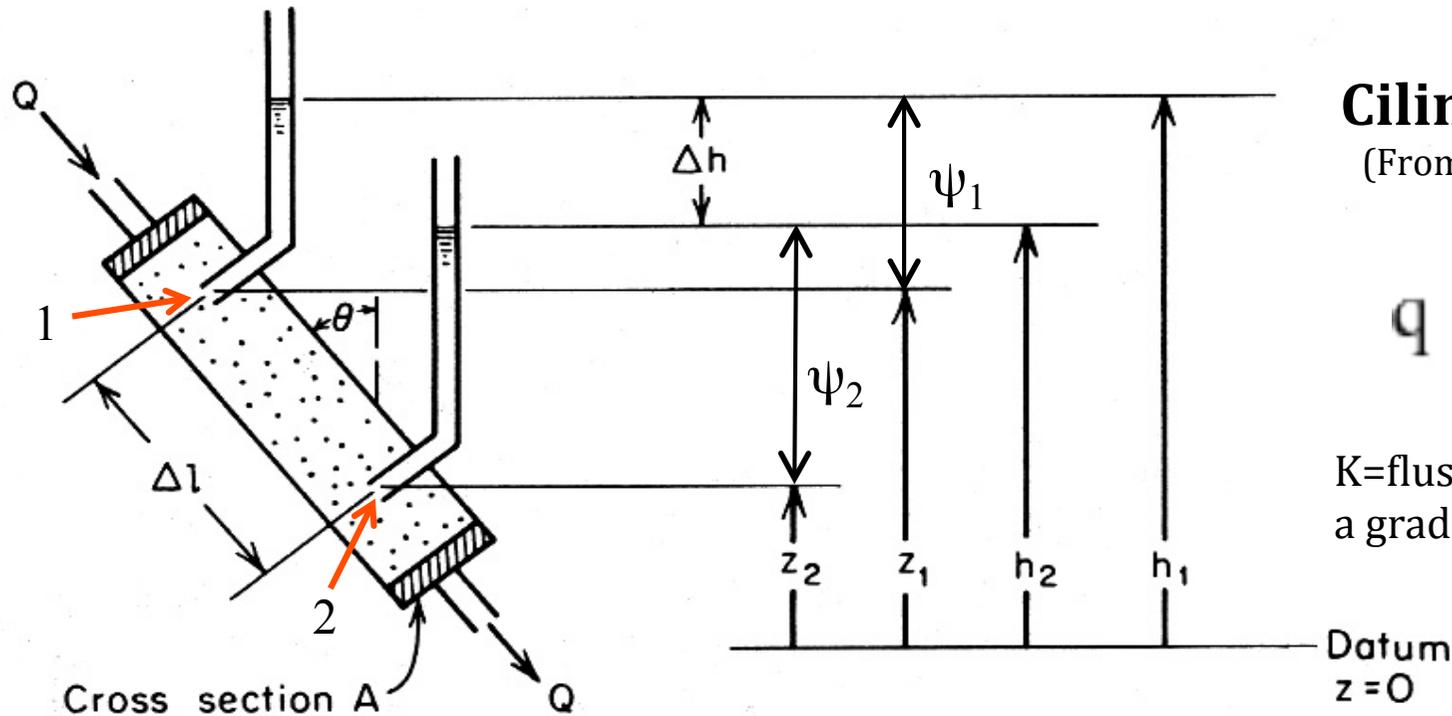


Name	Definition
<i>Coarse</i>	clay < 18% and sand > 65%
<i>Medium</i>	18% < clay < 35% and 15% < sand or clay < 18% and 15% < sand < 65%
<i>Medium fine</i>	Clay < 35% and sand < 15%
<i>Fine</i>	35% < clay < 60%
<i>Very fine</i>	60% < clay

## Tabella di conversione tipi di suolo

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

# Legge di Darcy



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

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

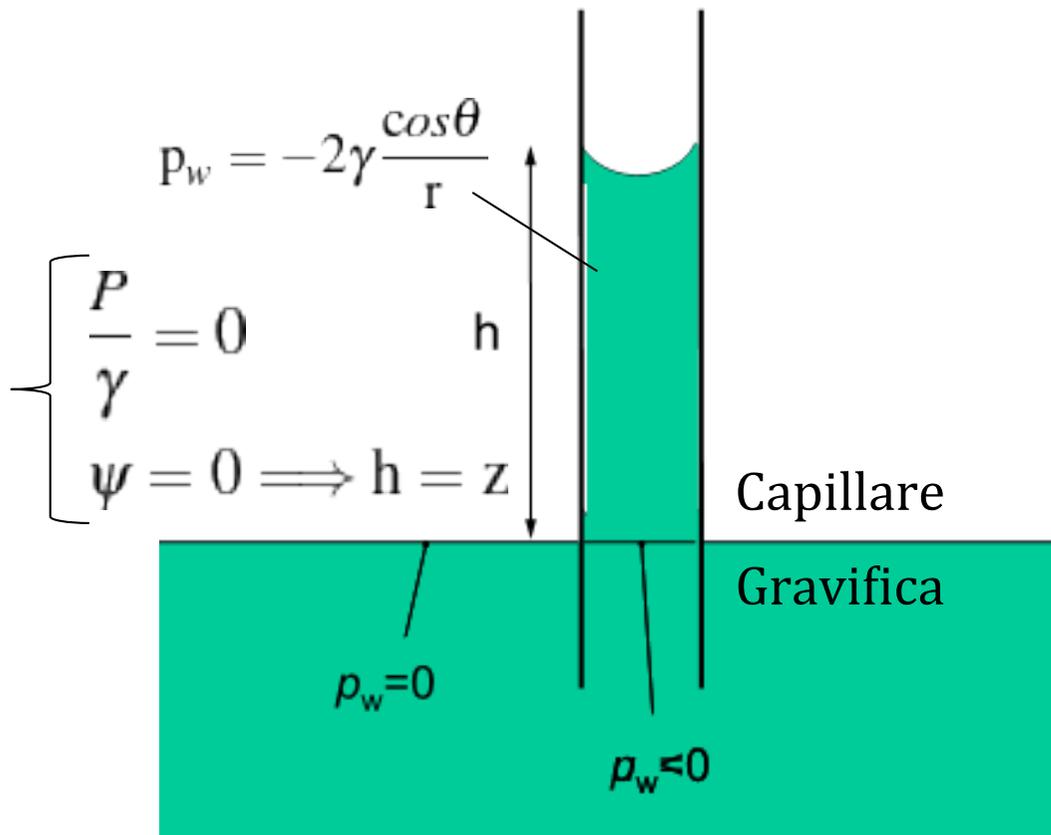
$K$ =flusso (saturo) specifico a gradiente unitario [cm/s]

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

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

## Potenziale

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



*se*  $\psi < 0$

$$h = z + \frac{P}{\gamma} = h = z + \psi$$

*Se*  $|\Psi| > 0$

*carico*  $h = \text{cost.}$   
(continuità idraulica)

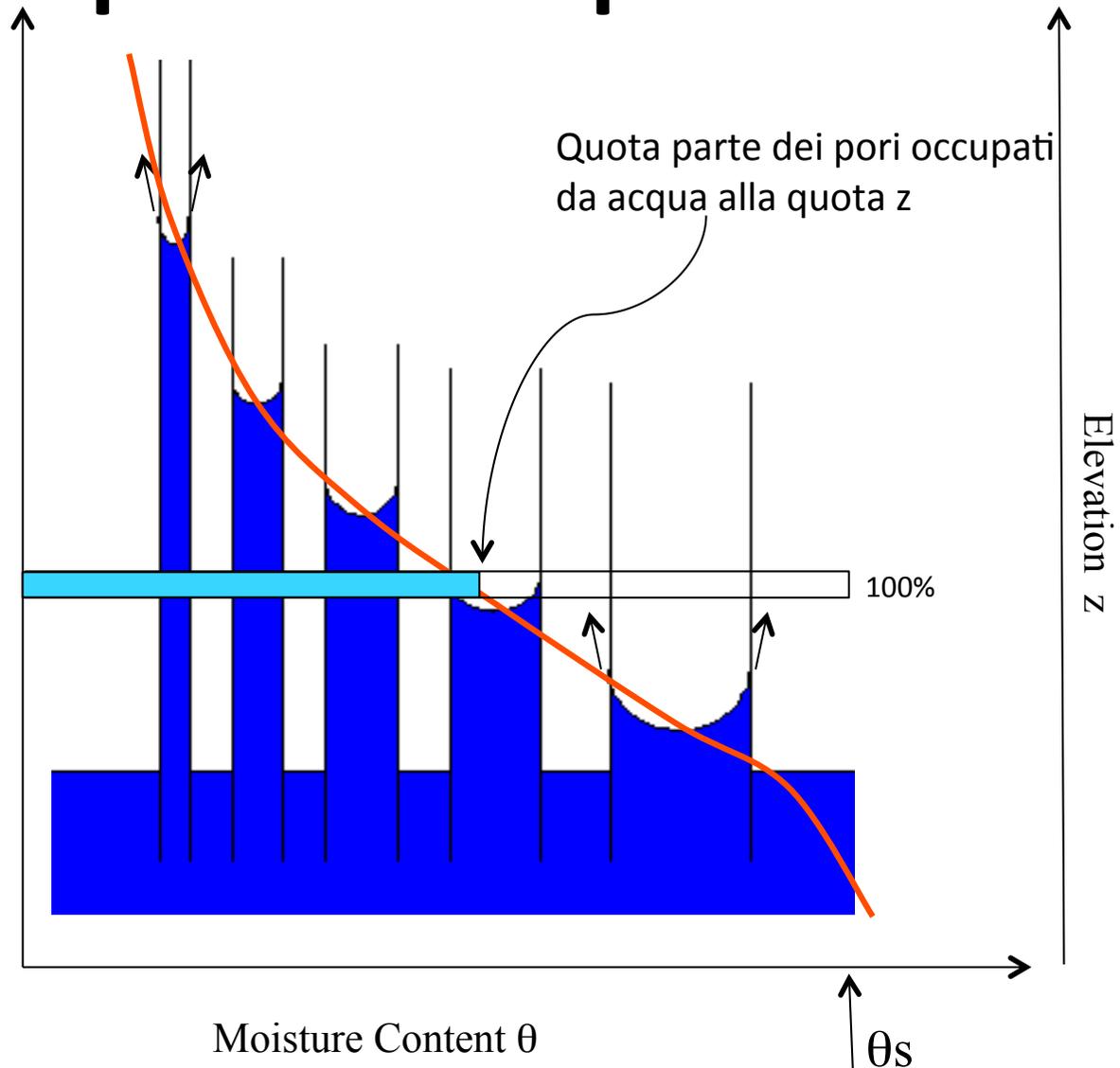
## Il profilo di equilibrio h = costante (=0)

r= raggio

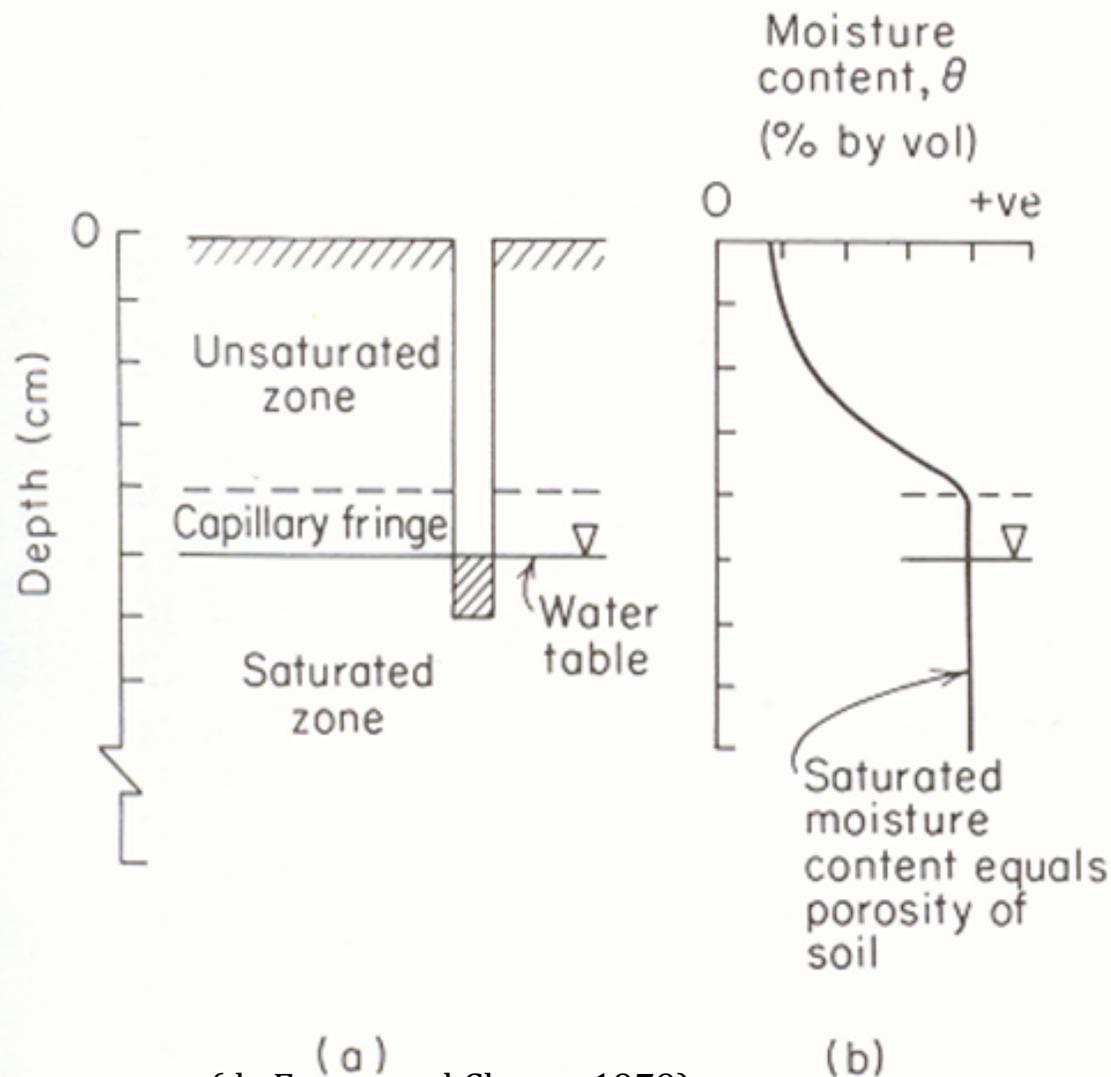
$\gamma$ = tensione superficiale [N/m]

$$\psi = -\frac{2\gamma\cos\theta}{\rho gr}$$

Suction head  $|\psi|$



## Relazione tra suzione e contenuto d'acqua

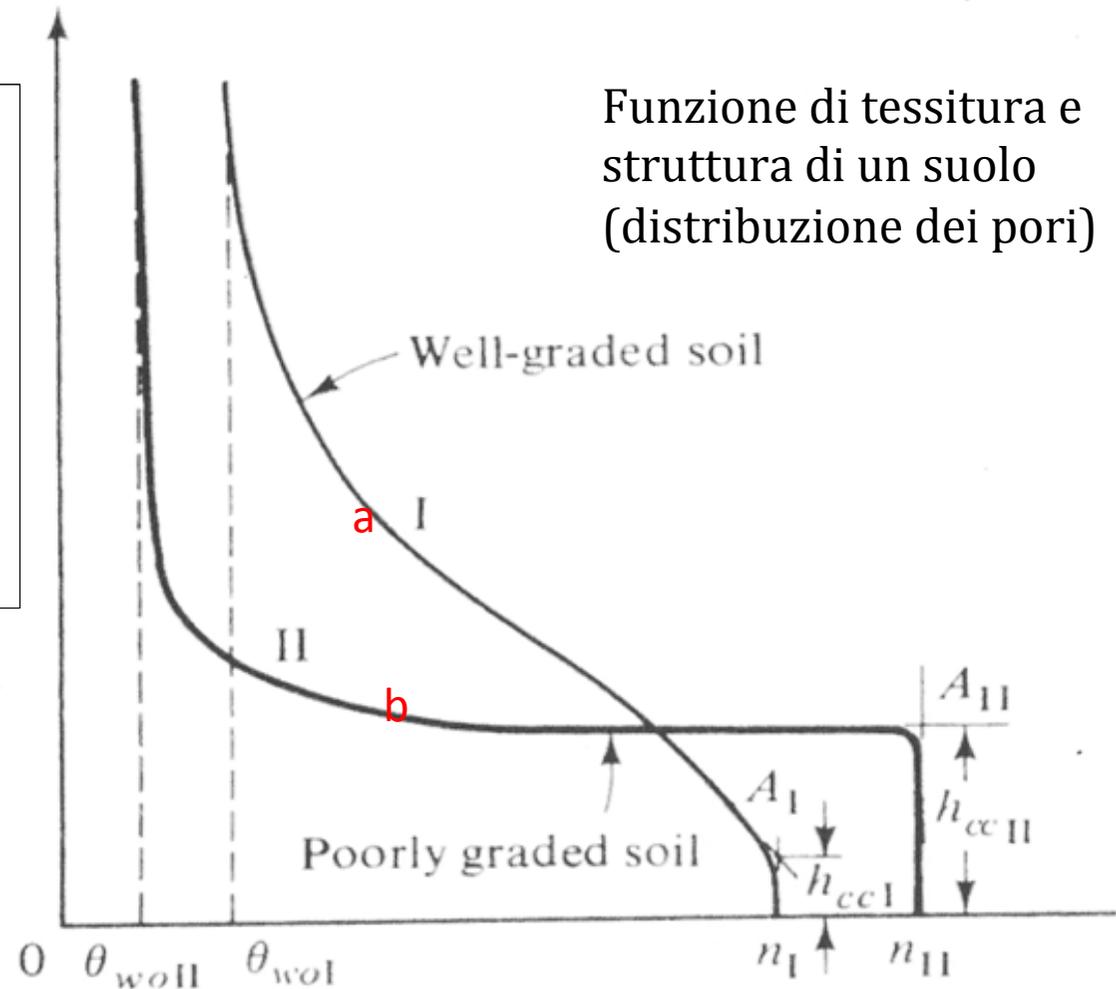
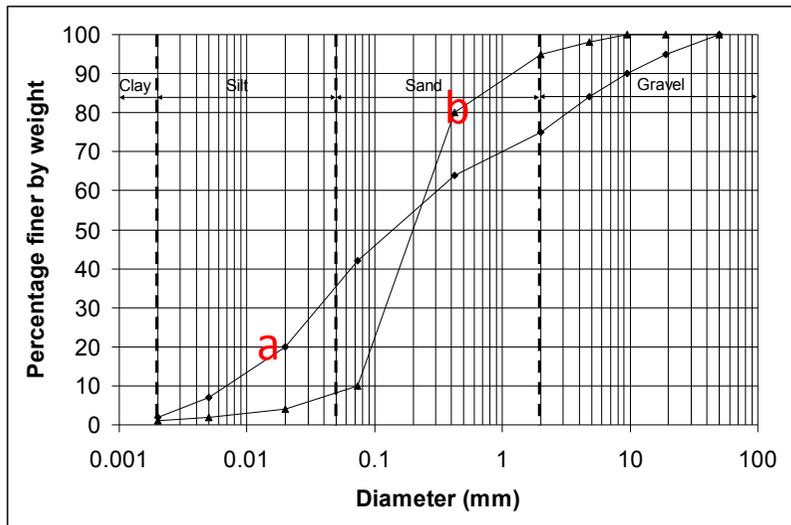


(a)  
(da Freeze and Cherry, 1979)

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

**Frangia Capillare: spessore nel quale  $\theta=n$  ma  $\Psi<0$**

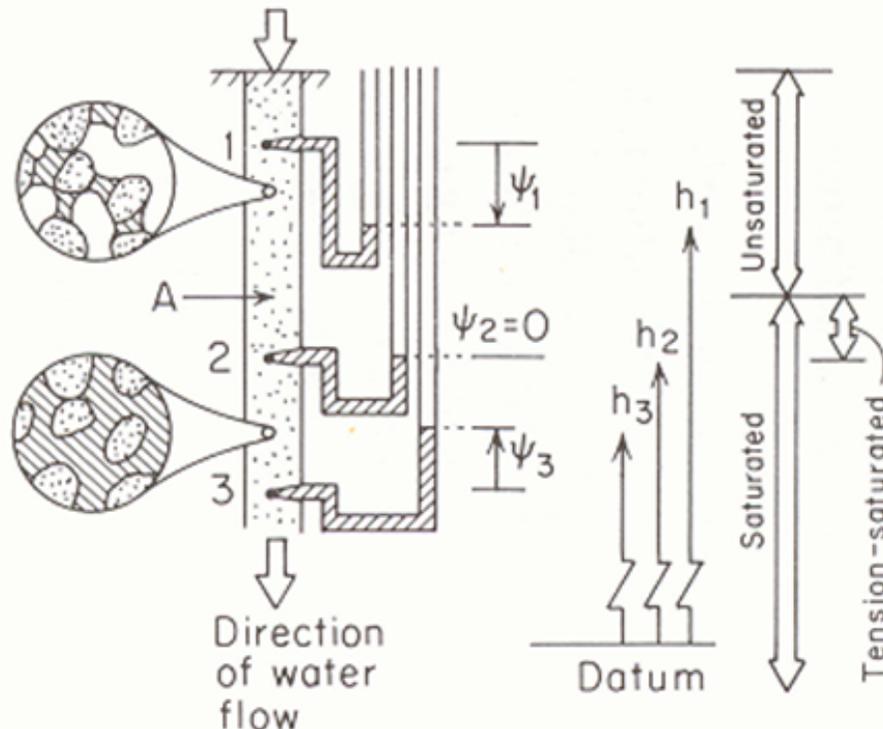
# Profili di equilibrio ( $h=\text{cost}$ )



Funzione di tessitura e struttura di un suolo (distribuzione dei pori)

# Flusso nel non saturo (h non costante)

Analogia con il flusso nel saturo:



(c)

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

$$h = z + \psi$$

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

Il movimento va da  $h_1$  a  $h_3$

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

Aumento del pot. di suzione:  $\psi < 0$  e  $|\psi| \uparrow$

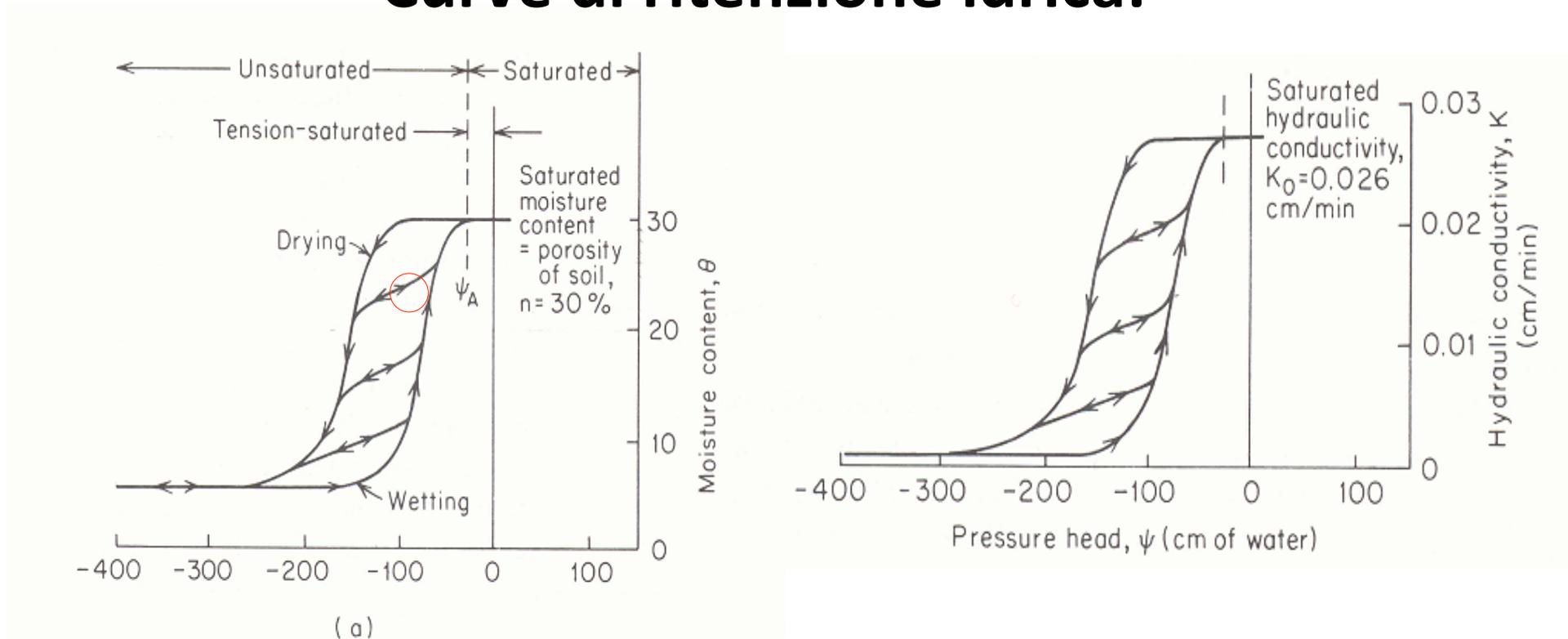


diminuisce  $\theta$  (*tubi capillari piccoli*)



A parità di  $\Delta\psi$ , per  $|\psi|$  grande si ha minore flusso a causa della minore conducibilità idraulica (diminuisce l'area degli spazi occupati dall'acqua)

## Curve di ritenzione idrica:

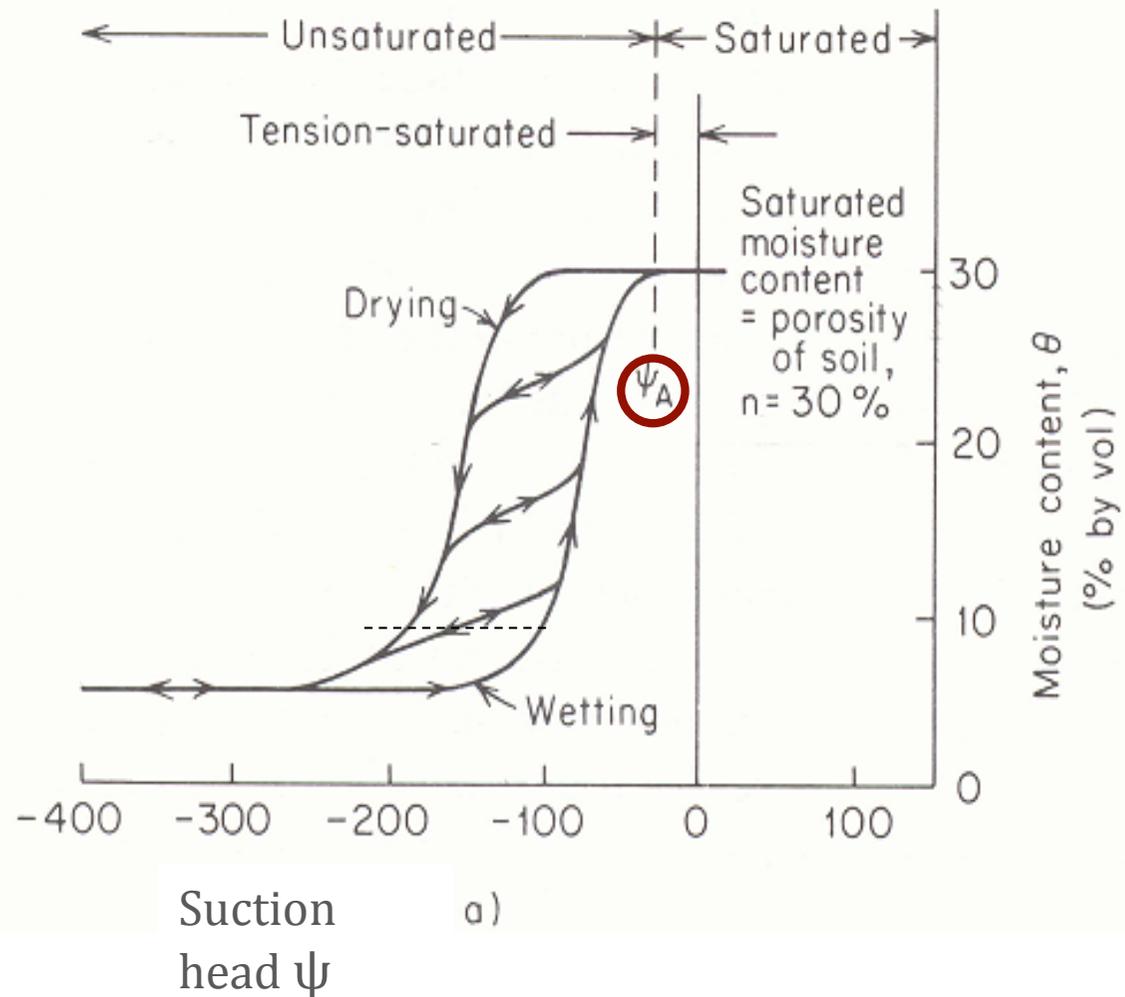


$\psi_a$  = air entry tension

Porosità efficace =  $n - \theta_r$

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

## Curve di ritenzione idrica:

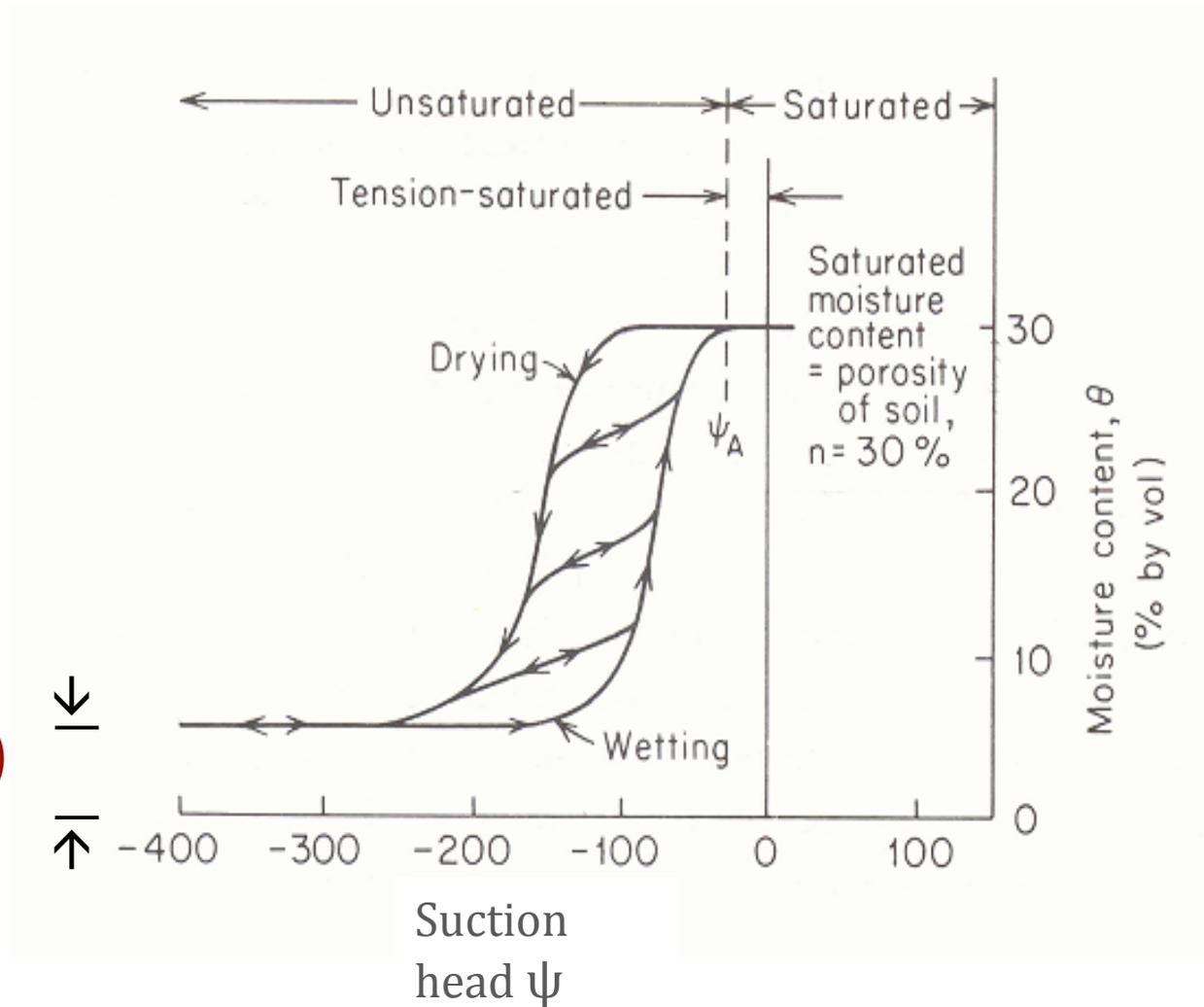


Curve caratteristiche (ritenzione idrica)  $\theta-\psi$

(from Freeze and Cherry, 1979).

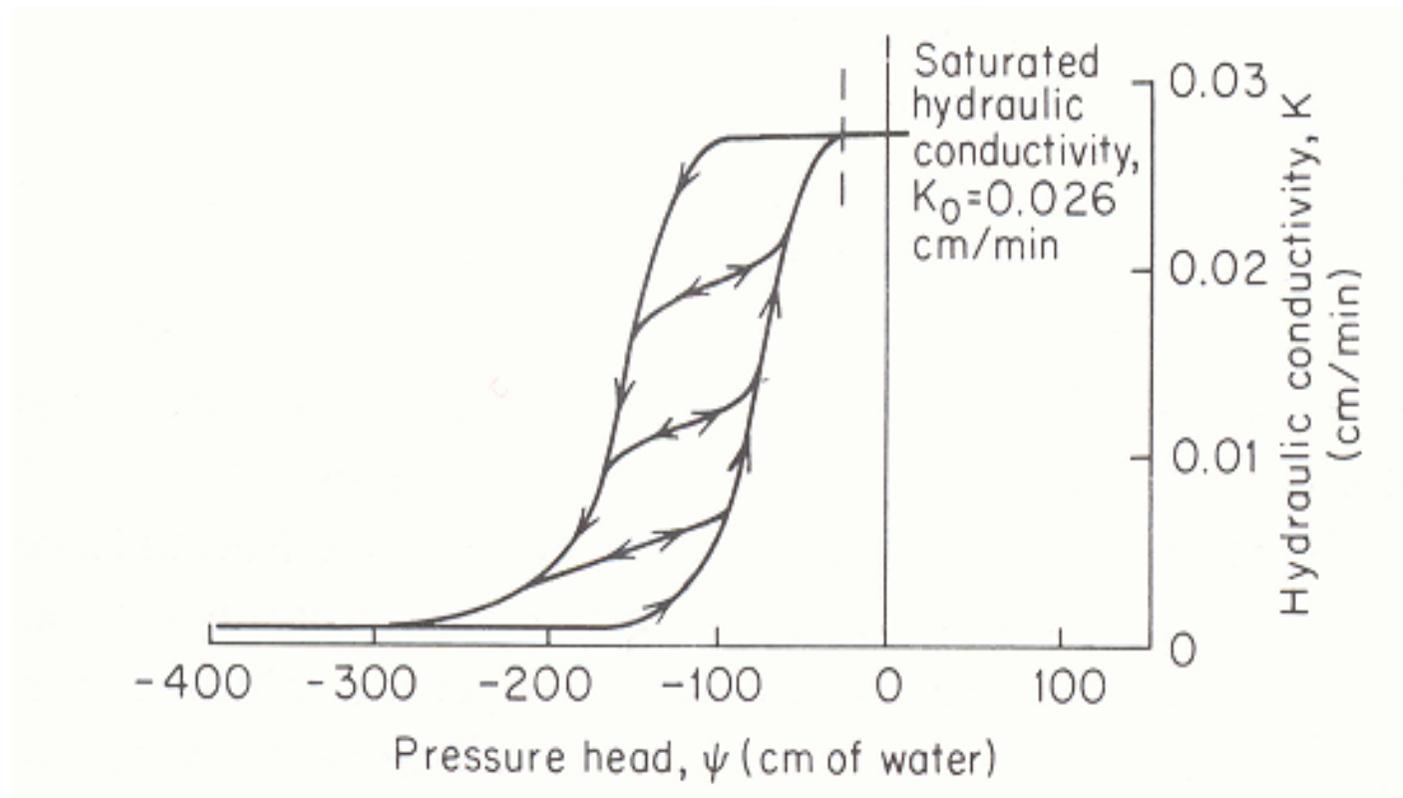
# Acqua e suolo

Residual  
moisture  
content  $\theta_r$   
=5%



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

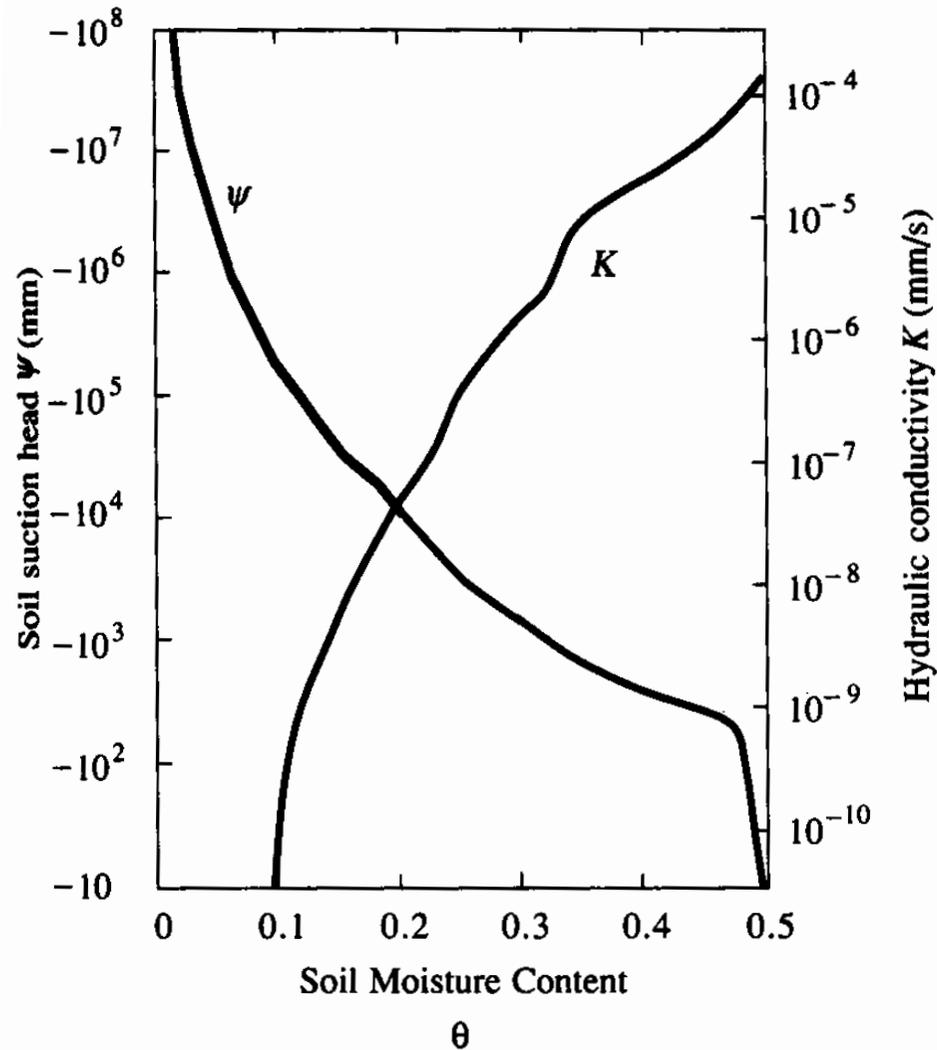
(from Freeze and Cherry, 1979).



Curve caratteristiche (ritenzione idrica) ( $K$ ,  $\Psi$ )

(from Freeze and Cherry, 1979).

# Acqua e suolo



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

In funzione di  $\theta$ ,  $K$  e  $\Psi$  variano di diversi ordini di grandezza!

→ | |← Residual moisture content  $\theta_r$  ( $k \rightarrow 0$ )

## Forme parametriche delle curve di ritenzione

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

Brooks and Corey (1966)

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

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

$K_{sat}$  = Coeff. Permeab. in cond. saturo

$b = f(\text{pore size distribution})$

$c = f(\text{pore disconnectedness})$

Clapp and Hornberger (1978)

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

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

Relazione di Mualem:  **$c = 2b + 2.5$**

**$\Rightarrow$  2 soli parametri da stimare**

## 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

(non è chiaro cosa sia PHI !)

autori

$$K(\phi_m) = \frac{a}{\phi_m}$$

Baver, 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

$$K(\theta) = a\theta^n$$

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

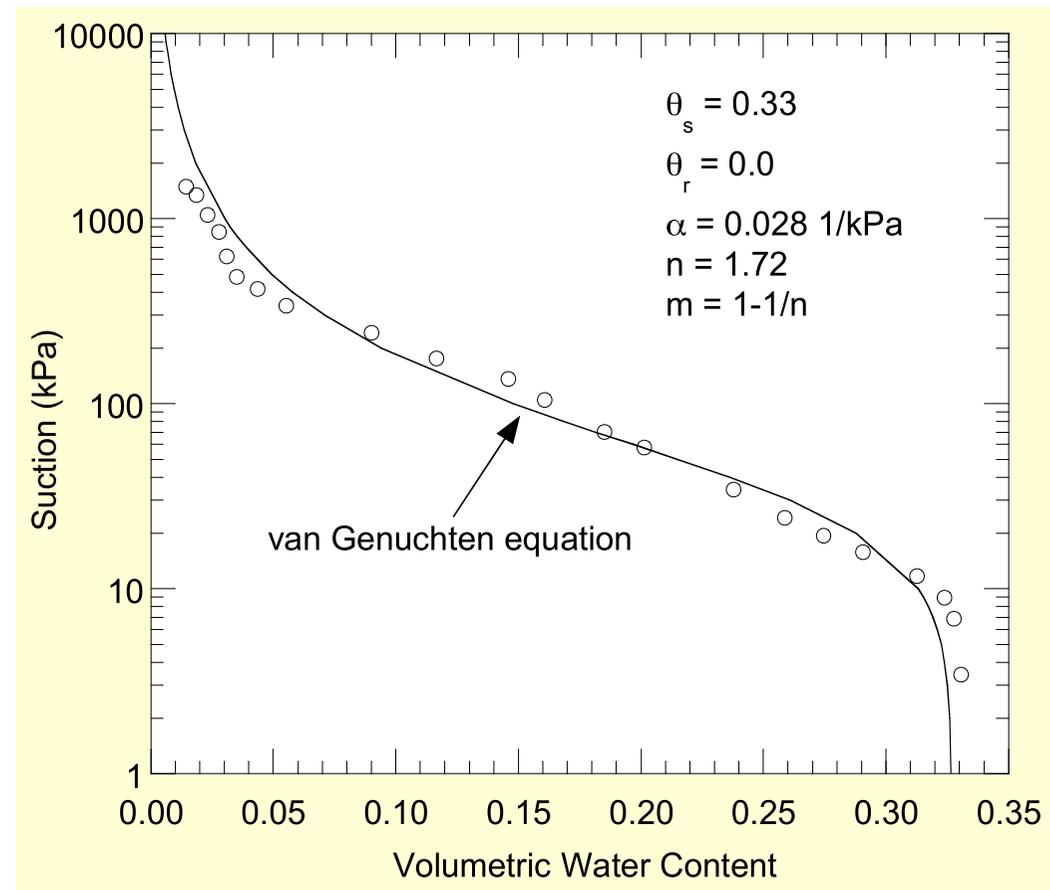
## Forme parametriche della curva di ritenzione

van Genuchten (1980)

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

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

- 3 Parametri
- Curva realistica (flesso)
- Stato dell'arte nel soil mapping  
(**Hypres** database)



n non è la porosità!

# Contenuto d'acqua per uso agricolo

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

$\theta_{fc}$  at FIELD CAPACITY ( $\psi = -340$  cm [-100 : -500])

$k$  non va esattamente a 0, mentre  $\theta_r$  si ha quando  $k=0$

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

## Contenuto d'acqua per uso agricolo

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

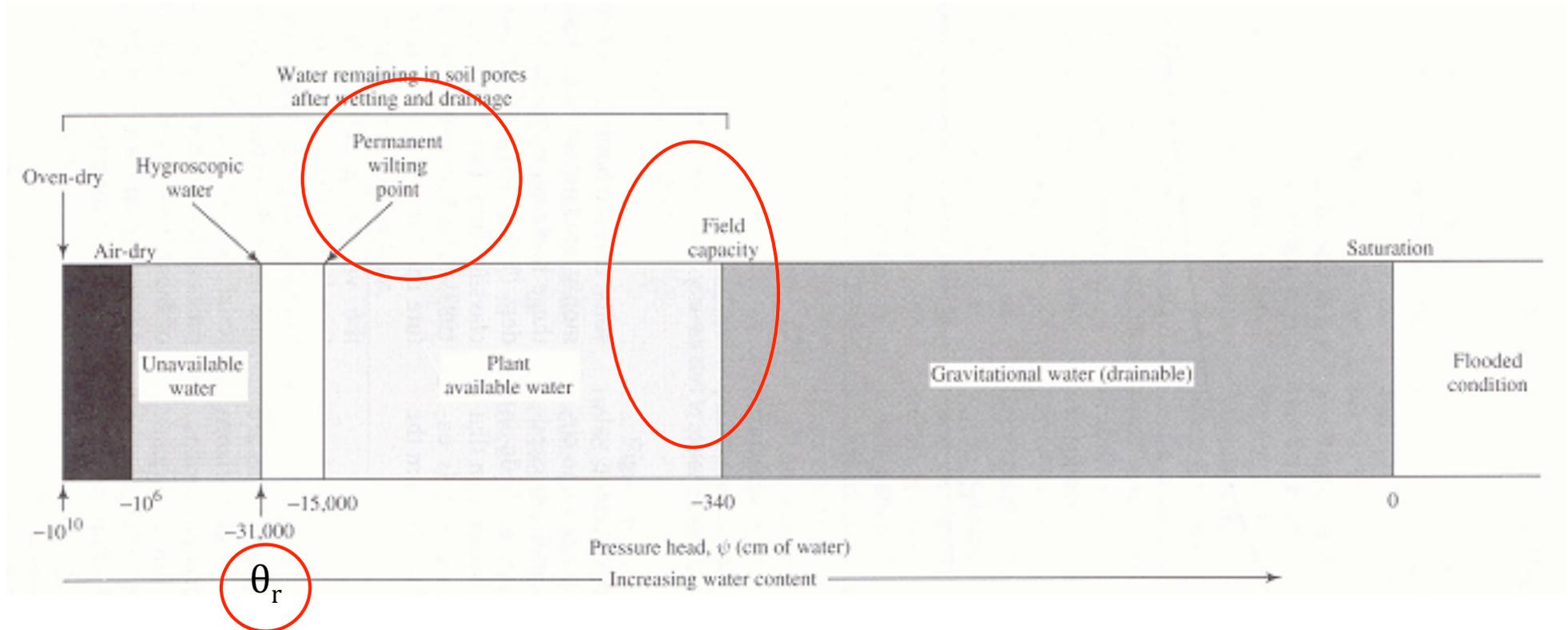
$$\text{Drainable porosity} = n - \theta_{fc} = nd$$

$\theta_r$  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

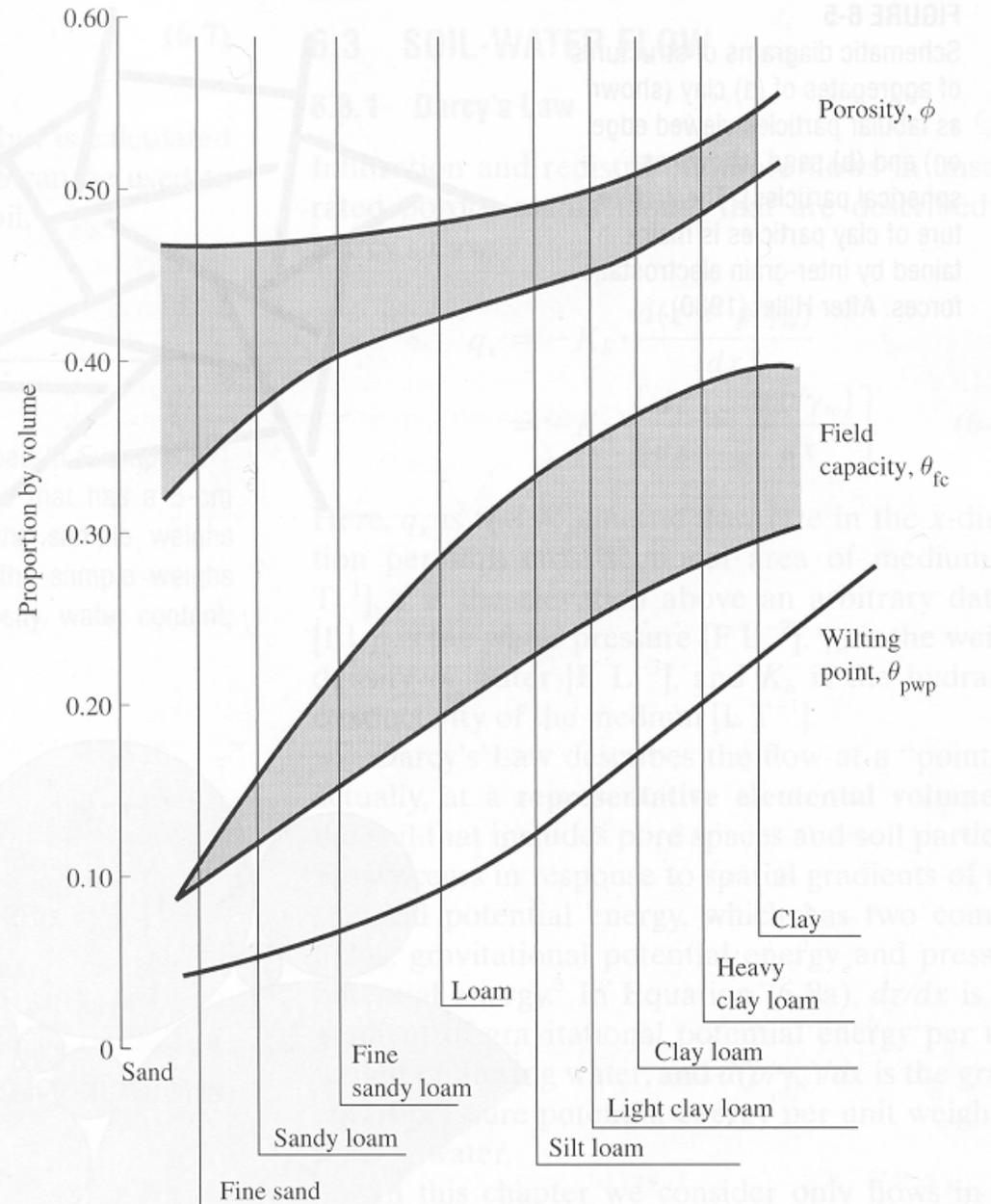
# Acqua e suolo



## 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 di campo (field capacity), e punto di appassimento (permanent wilting point) per suoli con diverse granulometrie.  
(da Dunne e Leopold, 1978)