



Il Terreno

- Idrologia -



Idrologia: contenuto idrico del suolo

Il contenuto d'acqua nel suolo si esprime come:

- % di acqua in peso rispetto al terreno secco
 - ✓ Campione (es. trivella), peso fresco e poi essiccazione in stufa a 105 °C fino a peso costante

$$\% \text{H}_2\text{O} = \frac{(\text{peso}_{\text{umido}} - \text{peso}_{\text{secco}})}{\text{peso}_{\text{secco}}} * 100$$

- % di acqua in volume θ
 - ✓ Si può ottenere pesando fresco e dopo essiccamento in stufa un volume noto di suolo (es. cilindretti per massa volumica apparente)

$$\% \text{H}_2\text{O vol} = \frac{\text{peso}_{\text{umido}} - \text{peso}_{\text{secco}}}{\text{Volume}} * 100$$



Il contenuto d'acqua nel suolo si esprime come:

- % rispetto alla saturazione = $\theta / \theta_{\text{saturo}}$
 - ✓ utile per **confrontare diversi terreni**
 - ✓ in prima approssimazione $\theta_{\text{saturo}} = \text{porosità}$...
 - ✓ ... ma in realtà non è vero, perché **non tutta la porosità è riempibile dall'acqua**: dell'aria rimane sempre intrappolata nel terreno
 - ✓ $\theta_{\text{saturo}} = 0.98-0.70 \cdot \text{porosità}$, normalmente $0.9 \cdot \text{porosità}$

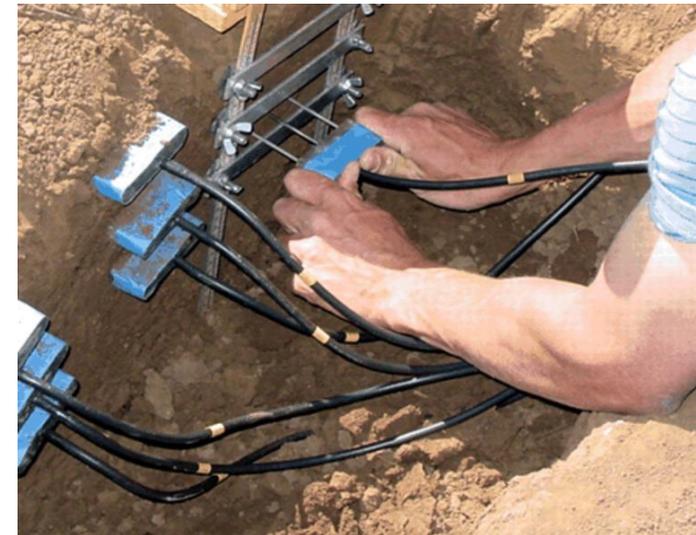


Idrologia: contenuto idrico del suolo

Agronomia

Altre tecniche (alcune) per la misura/stima del contenuto idrico nel suolo:

- **TDR** (time domain reflectometry):
 - ✓ misura la **capacità** di un **condensatore** costituito dal **suolo**, nel quale vengono inserite **2 bacchette metalliche parallele**
 - ✓ siccome la **costante dielettrica dell'acqua è circa 80**, quella delle componenti minerali circa 2, quella della sostanza organica circa 4, la capacità **dipende** praticamente solo **dall'acqua**
 - ✓ affidabile e preciso, misura in **volume**.





{... continua...}

- **Sonda a neutroni:**
 - ✓ da una **sorgente radioattiva** vengono **emessi neutroni**, che vengono **rallentati** solo dalla **collisione** con atomi di **H** (che sono **quasi tutti appartenenti all'acqua**)
 - ✓ la lettura è affidata a un ricevitore sensibile solo ai **neutroni lenti**
 - ✓ metodo **molto preciso**, va però tarato e ha **problemi** per l'uso di **sorgenti radioattive**
 - ✓ legge però **solo strati di 25-30 cm** di terreno e **non** va molto **bene** per i **primi 30 cm**
 - ✓ Misura in **volume**





{... continua...}

- **Blocchetti di Bouyoucos:**

- ✓ **2 elettrodi** sono annegati in un **blocchetto di gesso**, e la **resistenza** varia in **funzione dell'umidità** (il gesso si dissocia)
- ✓ **Poco precisi**, vanno tarati in ogni terreno
- ✓ **Costano poco** e vanno bene per **applicazioni pratiche** (determinazione del momento in cui irrigare)

- **Psicrometri:**

- ✓ misurano l'**umidità dell'aria nel suolo**, che **dipende dal contenuto idrico**
- ✓ **misura difficile** perché l'aria nel suolo è quasi sempre **prossima alla saturazione**: occorre precisione nella gamma di UR dal 95 al 100%



Il terreno

Idrologia: il potenziale

Agronomia

Il potenziale dell'acqua (ψ) è l'**energia per unità di massa o volume** di acqua **in un sistema, in rapporto a quella dell'acqua libera**.

Generalmente **occorre lavoro per estrarre dell'acqua** dal suolo e quindi il **potenziale è negativo**.

- Rispetto alla massa il potenziale si esprime in J kg^{-1}
- Rispetto al volume in J m^{-3} . Siccome la massa di 1 m^3 di acqua è circa 1000 kg, $1 \text{ J m}^{-3} = 1000 \text{ J kg}^{-1}$
- Come pressione si esprime in Pascal ($\text{Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$, unità del S.I.). Normalmente si usano i KPa.
 - ✓ Altra espressione è in bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ KPa}$).

Sarebbe meglio usare i J kg^{-1} , poiché **la massa dell'acqua non cambia**, mentre il volume dell'acqua cambia (anche se di poco) con pressione e temperatura

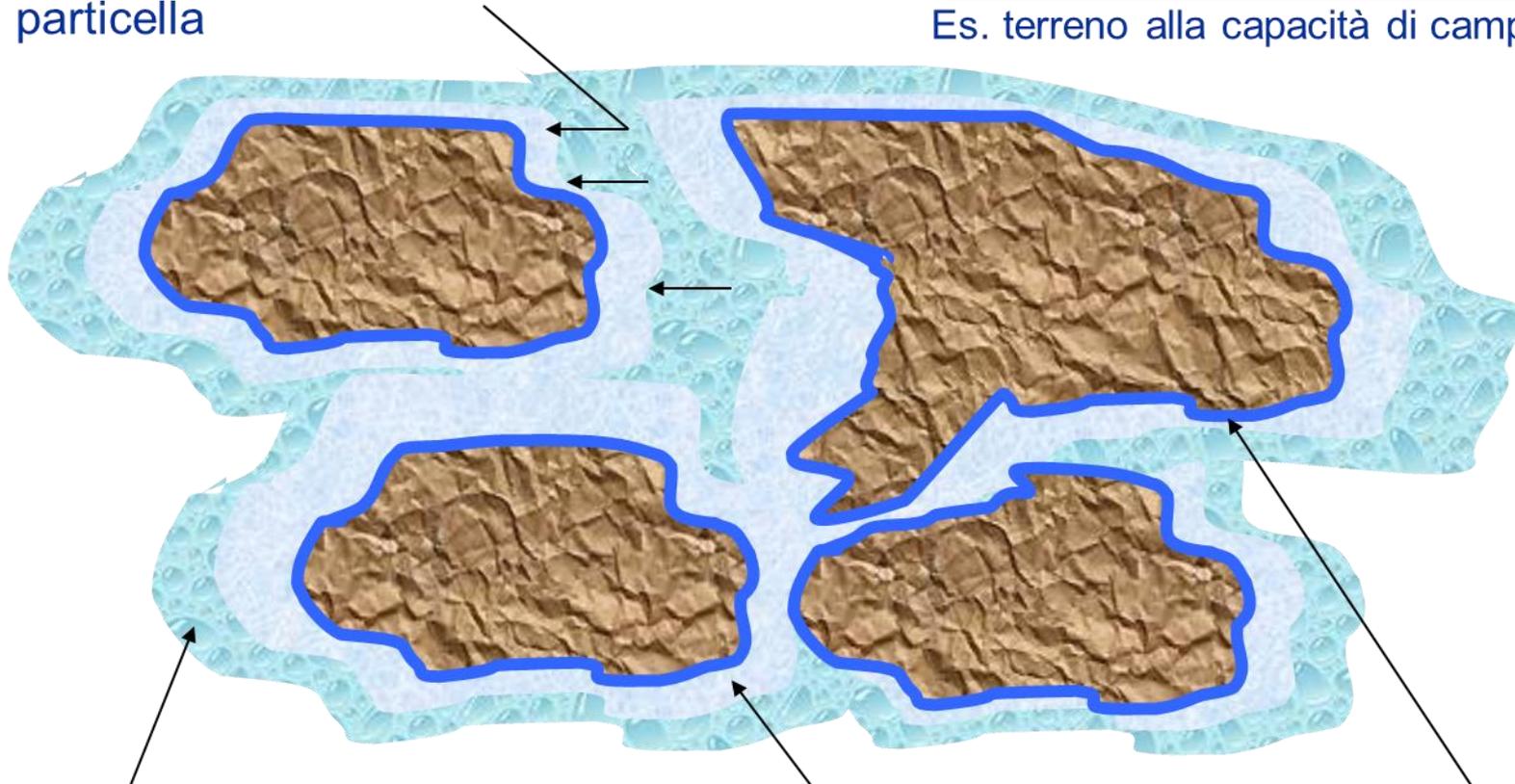


Il terreno

Idrologia: il potenziale

Agronomia

Le forze (capillarità) che trattengono l'acqua aumentano al ridursi della distanza dalla particella
Es. terreno alla capacità di campo; $ad=100\%$



Acqua legata debolmente
($-0.3 \approx -1.0$ bar sono
sufficienti ad allontanarla)

Acqua legata fortemente
(sono necessari $-1 \approx -15$
bar)

Acqua igroscopica
Legata con forza > 15
bar



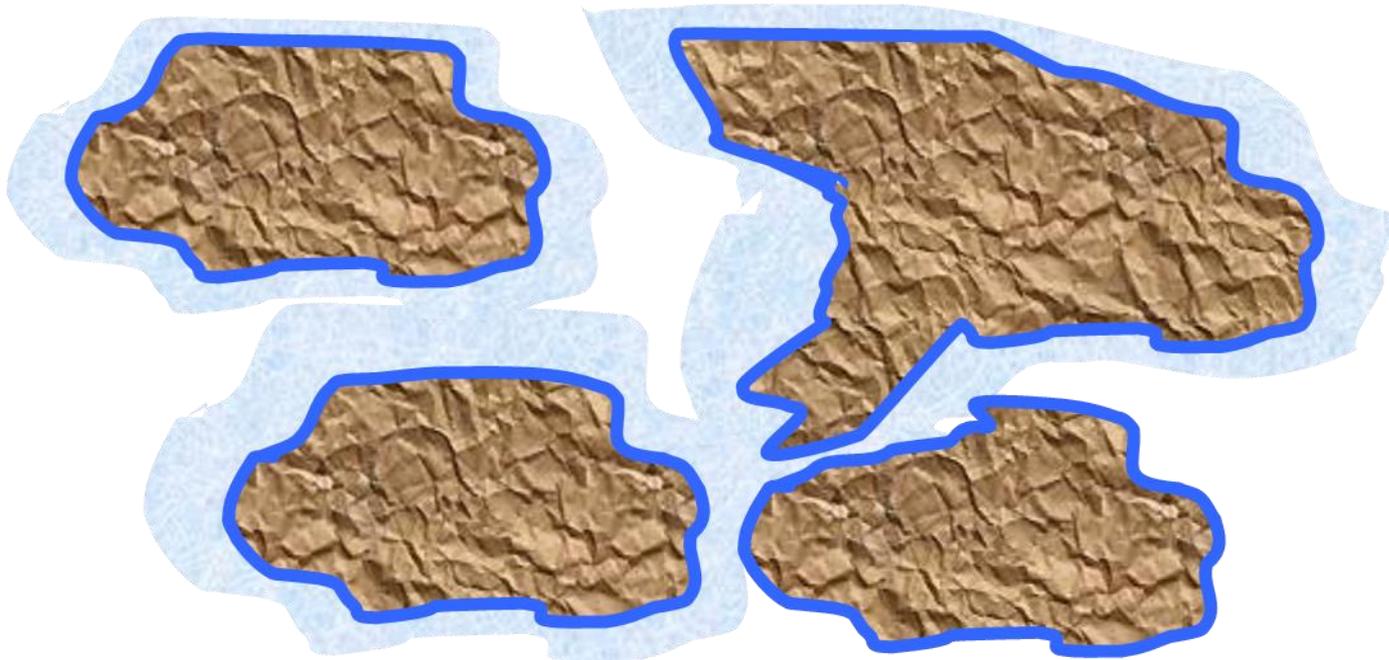
Il terreno

Idrologia: il potenziale

Agronomia

Quanto l'ET (assorbimento radicale + evaporazione) consuma tutta l'acqua facilmente disponibile, rimane solo l'acqua legata più fortemente ($\Psi = -1 \approx -15$ bar) e la pianta consuma sempre più energia per assorbirla dal terreno

Es. terreno alla umidità critica; $ad=50\%$





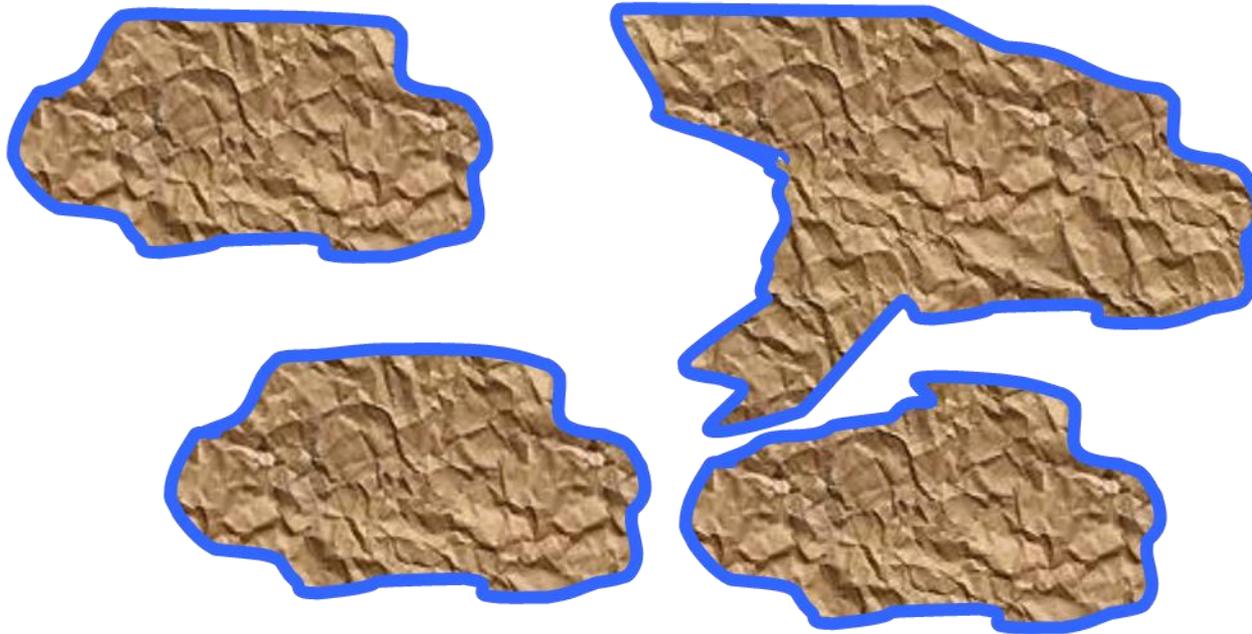
Il terreno

Idrologia: il potenziale

Agronomia

Se continua l'ET la pianta va in stress idrico, poi siccome è rimasta solo l'acqua legata fortemente ($\Psi = -15$ bar) la pianta non è in grado di allontanarla dal suolo \Rightarrow PERDITA TURGORE e APPASSIMENTO

Es. terreno al punto di appassimento; ad = 0%





Idrologia: le componenti del potenziale

Il **potenziale totale** dell'acqua del suolo è la **somma di diverse componenti**:

- ψ **matriciale**:
 - ✓ Dovuto alla **capillarità**, **interazione** tra **liquido** e **matrice solida**.
 - ✓ E' la componente **predominante in suoli asciutti**.
- ψ **osmotico**:
 - ✓ **Lavoro richiesto** per **trasportare** l'acqua **da una soluzione all'acqua pura**: per osmosi, l'acqua sarebbe attratta da un'area a bassa concentrazione verso un'altra a maggior concentrazione.
 - ✓ **Poco importante nel suolo**, **fondamentale nelle** cellule delle **piante**, **determina l'assorbimento d'acqua**.
- ψ **gravitazionale**:
 - ✓ Dovuto alla distanza della particella di acqua considerata rispetto al piano di riferimento.
 - ✓ **Predomina in suoli bagnati**.



Idrologia: le componenti del potenziale

Il **potenziale totale** dell'acqua del suolo è la **somma di diverse componenti**:

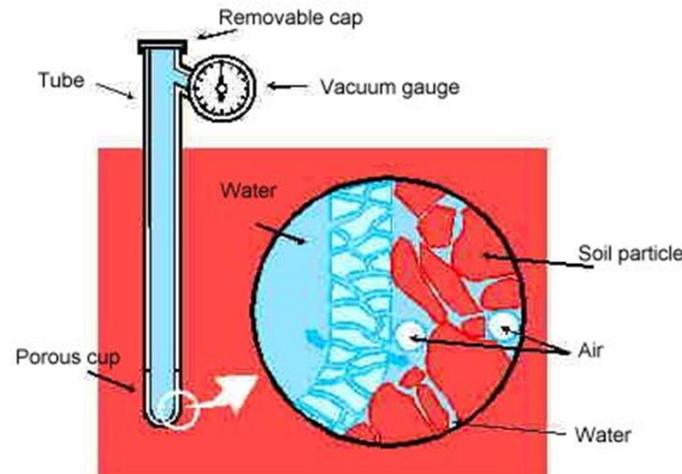
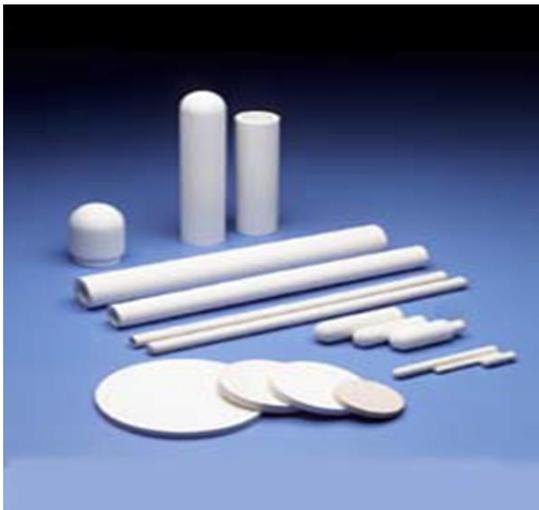
{... continua...}

- ψ **pneumatico o idrostatico**:
 - ✓ Variazioni di potenziale dovuto all'applicazione di pressione idrostatica o pneumatica all'acqua: **falde in pressione**.
- ψ **di sovraccarico** (overburden):
 - ✓ Effetto di una **pressione applicata alla matrice solida**: **parte** della pressione è **trasferita all'acqua** stessa.
 - ✓ Può essere importante **in profondità in terreni argillosi, deformabili**, ai quali viene applicato il **peso del terreno sovrastante**.



Tensiometro:

- Un **bulbo di ceramica porosa**, che permette il passaggio dell'acqua ma **non dell'aria** è collegato a un **tubo riempito d'acqua** e a un **manometro**
- Il **sistema si equilibra con il potenziale dell'acqua nel suolo** e il **manometro misura la depressione**.
- **Gamma di funzionamento:** da 0 a -75 KPa (a tensioni più elevate entra aria).
- **Ottima precisione, limitata gamma** di utilizzo, però i **flussi idrici più importanti avvengono nella gamma** misurata dal tensiometro.





Il terreno

Relazioni tra potenziale e contenuto idrico

Agronomia

Camera di Richards:

- I **campioni** di suolo vengono appoggiati **su una piastra porosa**, permeabile all'acqua e **non all'aria**, poi **sottoposti** a una **pressione predefinita**.
- **Al** raggiungimento dell'**equilibrio (fine dello sgocciolamento)** si **determina l'umidità** del campione.
 - ✓ si ha quindi **l'umidità in corrispondenza della pressione** esercitata.
- Limiti: il terreno deve essere preparato setacciandolo a 2 mm dopo essiccazione all'aria, **per basse tensioni i valori sono solo indicativi**, a alti potenziali vanno bene.
- **Gamma:** da -5 a -1500 Kpa.



Apparato di Richards: camere a pressione (sinistra) e particolare di un piatto poroso con campione rimaneggiato (destra).

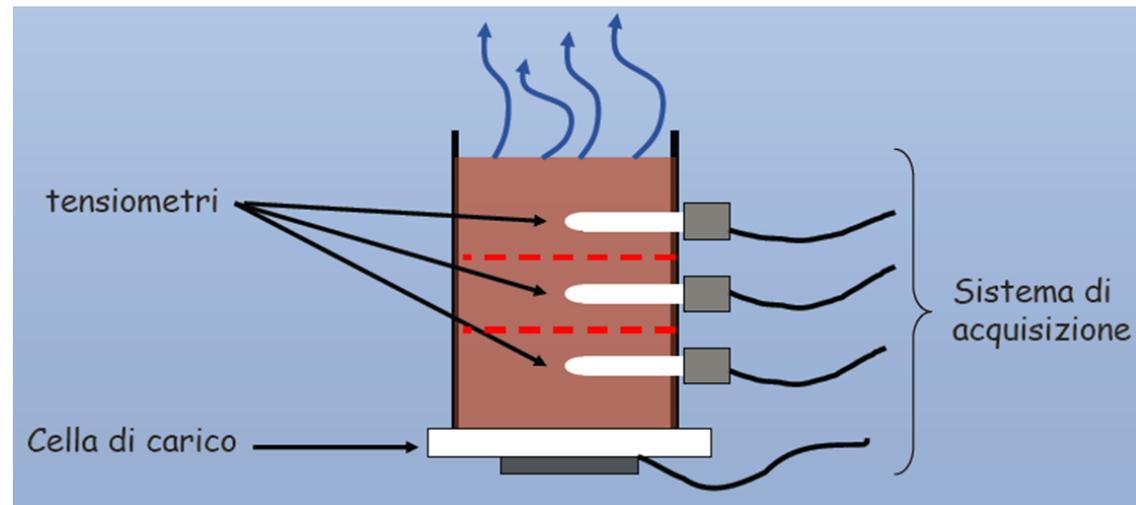


Relazioni tra potenziale e contenuto idrico

Agronomia

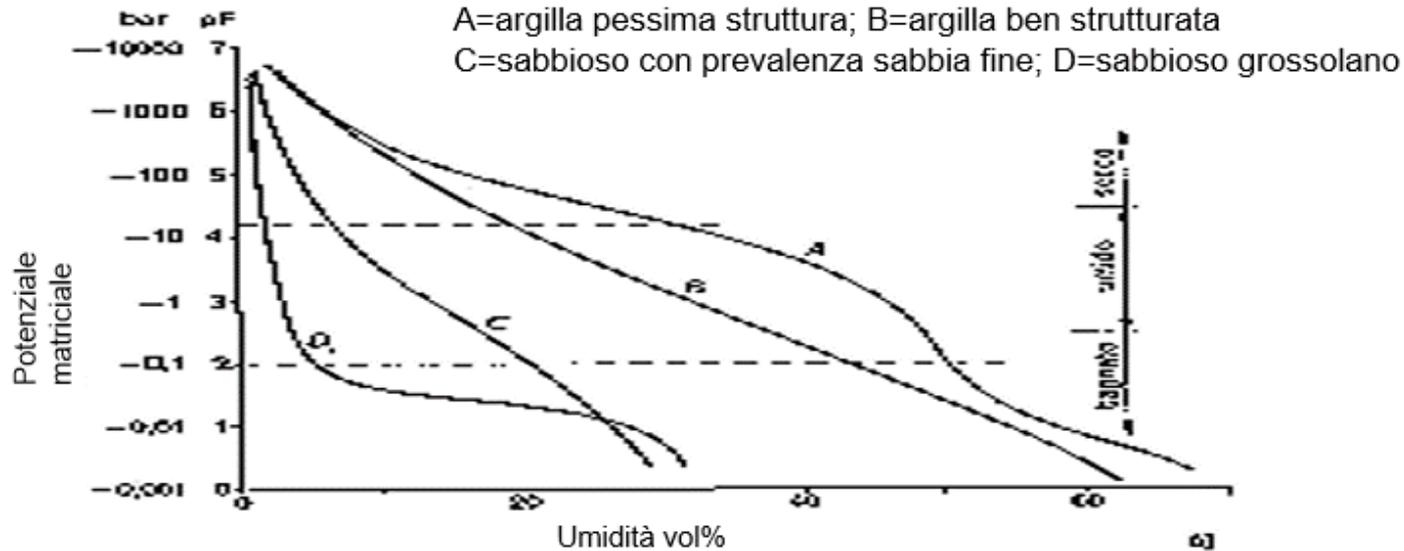
Metodo per evaporazione (metodo di Wind):

- In un campione di suolo **prelevato con un cilindretto tipo densità**, ma più grande, si mettono alcuni **microtensiometri** e si pone su una bilancia o **cella di carico**.
- Dopo alcuni **cicli di umidificazione-essiccamento** si determina l'**umidità** e quindi si conosce la **curva umidità-tensione**.
- Buon metodo
- Costoso per la necessità di automazione
- Limitato alla **gamma** di funzionamento dei **tensiometri**
- **Problemi di rappresentatività del campione**





Relazioni tra potenziale e contenuto idrico



- Sono state proposte **molte funzioni** per **correlare il potenziale matriciale all'umidità** del suolo.
- Tutte sono caratterizzate da **alta non linearità**.
- Tra queste, la **funzione di Campbell** (la più semplice, ma in gran parte dei terreni ha **ottima aderenza** ai dati misurati):
$$\psi = a(\theta/\theta_{\text{sat}})^{-b}$$

a è il valore di **tensione a cui l'aria può cominciare a entrare nel suolo**, b è un parametro empirico.



Il terreno

Relazioni tra potenziale e contenuto idrico

Agronomia

Tab. 1 - Alcune caratteristiche fisiche e idrologiche di tipi diversi di terreno (da Anstett, 1979)

Tipo di terreno	Massa volumica apparente (g/cm ³)	Capacità di campo		Acqua utilizzabile (% del volume)	Costanti idrologiche (in mm) di uno strato di terreno dello spessore di cm 50		
		% del peso	% del volume		capacità di campo	punto di appassimento	acqua utilizzabile
Sabbioso	1,35	10	13,5	11,0	67,5	12,5	55,0
Sabbioso-limoso	1,30	16	21,0	18,0	105,0	15,0	90,0
Limoso-sabbioso	1,25	20	26,0	21,5	130,0	27,5	107,5
Limoso	1,20	29	35,0	24,5	175,0	52,5	122,5
Limoso-argilloso	1,15	33	38,0	22,5	190,0	77,5	112,5
Argilloso	1,10	38	42,0	22,0	210,0	100,0	110,0
Torboso	1,00	70	70,0	40,0	350,0	150,0	200,0

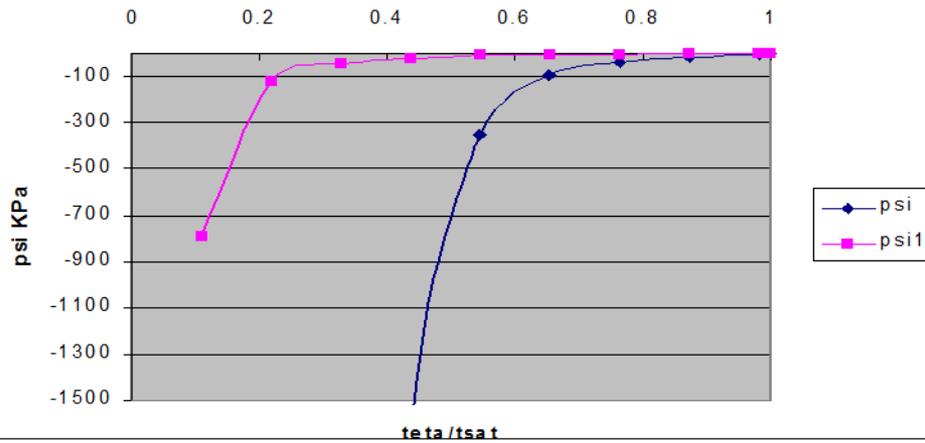


Il terreno

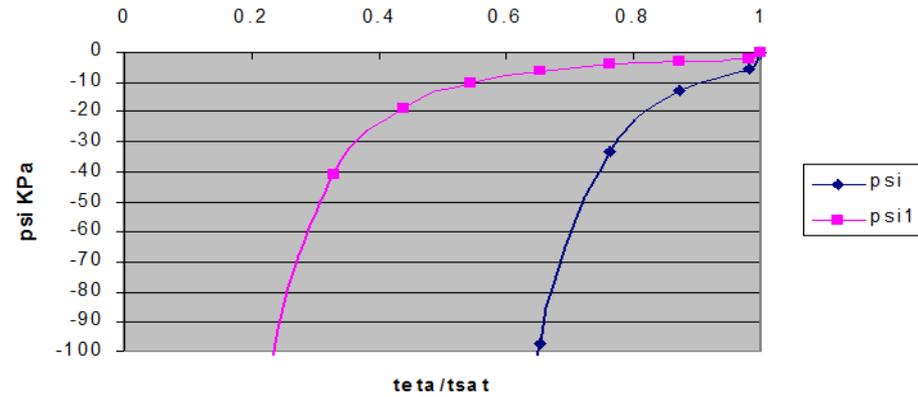
Relazioni tra potenziale e contenuto idrico (es.)

Agronomia

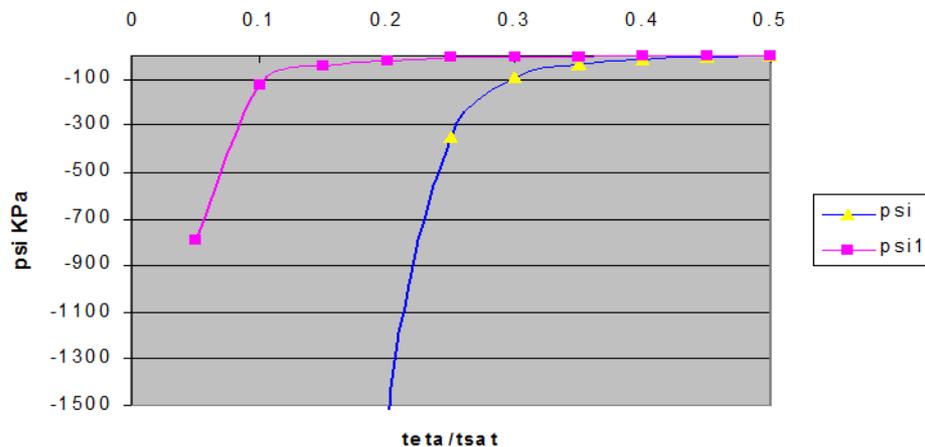
curva tensiometrica



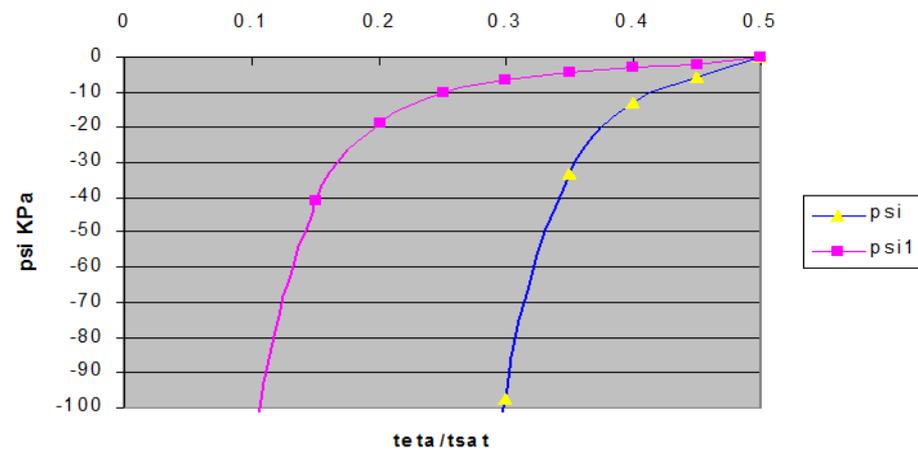
curva tensiometrica



curva tensiometrica



curva tensiometrica





Il terreno

Conducibilità idrica

Agronomia

- E' l'**altezza d'acqua** (cm h^{-1} e mm d^{-1} le espressioni più comuni, m s^{-1} più corretta) che si **muove** in una **sezione di suolo nell'unità di tempo**.
- Il valore è **massimo** con terreno **alla saturazione** (K_s , conducibilità idrica alla saturazione) e decresce rapidamente al diminuire dell'umidità.
- La K_s è **estremamente variabile**, da 0.1 a 100 cm h^{-1} secondo la tipologia di suolo
 - ✓ è **massima nei suoli sabbiosi** e minima in quelli argillosi.
- E' **estremamente variabile nello spazio**, in uno **stesso appezzamento** si possono trovare valori differenti di **2-3 ordini di grandezza**.
- **Difficile trovare dipendenze di K_s dalla granulometria:**
 - ✓ la presenza di **crepe**, **macropori** dovuti a **radici** e **lombrichi** ecc. rendono difficile il trovare un pedotransfer (ne esistono, ma danno risultati molto approssimativi).



Il terreno

Conducibilità idrica

Agronomia

- Espressioni matematiche del **variare di K in funzione del contenuto idrico o della tensione** sono le seguenti (Campbell, Brooks e Corey)

$$K=K_s(\theta/\theta_s)^{2b+3}$$

$$K=K_s(\psi_e/\psi)^{2+3/b}$$

b è lo stesso b della relazione $\theta - \psi$ e ψ_e = air entry value.



Il terreno

Conducibilità idrica

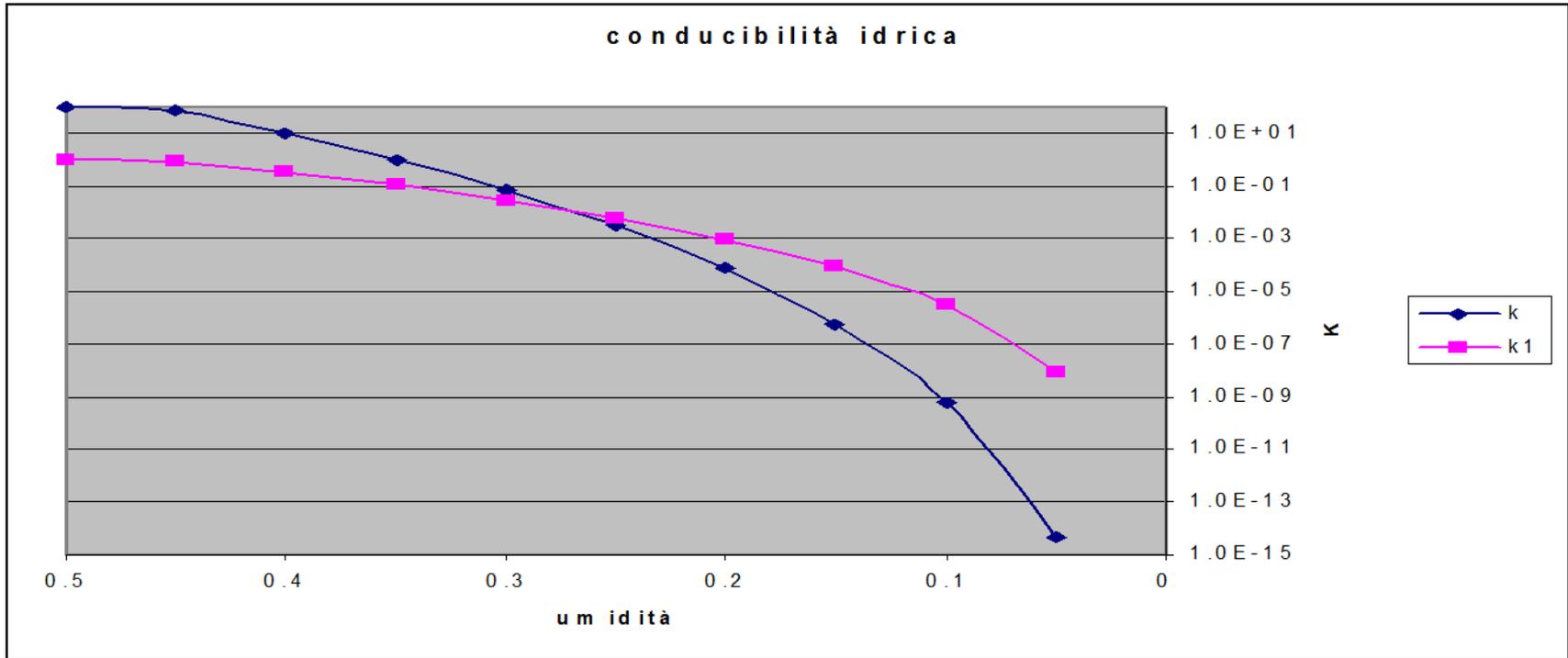
Agronomia

...in pratica... la conducibilità idrica è la **capacità del terreno di farsi attraversare** dall'acqua.

- Dipende da:
 - ✓ Tessitura e struttura → **porosità**

	<u>mm h⁻¹</u>
Molto permeabile	> 150
Permeabile	50-150
Mediamente permeabile	15-50
Mediocremente permeabile	5-15
Poco permeabile	1-5
Molto poco permeabile	< 1





La conducibilità idrica condiziona:

- movimento dell'acqua nel terreno: **sgrondo** delle acque in eccesso
- velocità di **infiltrazione** dell'acqua di **pioggia**: runoff, pioggia utile



Il terreno

Movimento dell'acqua nel terreno

Agronomia

- L'acqua nel terreno si muove
 - ✓ **da** punti a potenziale **più basso (meno negativo)** a punti a potenziale più alto (più negativi)
 - ✓ a una **velocità** determinata dal **gradiente di potenziale** e dalla **conducibilità**, ovviamente conservando la massa.
- Il flusso segue la **legge di Darcy** (generalizzata):

$$Q(\text{flusso}) = K(\Psi) \frac{d\Psi}{dz}$$

- cioè il flusso è uguale alla **conducibilità al potenziale ψ per il gradiente** di potenziale **in funzione dello spazio** (sarebbe in 3 dimensioni, per semplicità qui moto unidimensionale verticale).
- Poiché il fenomeno avviene in maniera **variabile nel tempo** (con l'apporto o l'allontanamento di **acqua** e con i suoi **movimenti**) lo **stato del sistema non è stazionario**.



Movimento dell'acqua nel terreno

- **L'equazione di continuità** asserisce:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{dQ}{dz}$$

- quindi si può sostituire nell'equazione di continuità il Q ottenuto dalla legge di Darcy:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d \left[K(\Psi) \frac{d\Psi}{dz} \right]}{dz}$$

...Che è l'equazione di Richards

- Se si assume una relazione $\psi - \theta$ allora si può avere una sola incognita (θ o ψ).



Il terreno

Pregi e difetti dell'equazione di Richards

Agronomia

- **PREGI:**

- ✓ Processo con **buona descrizione fisica**
- ✓ Può considerare **diverse condizioni di contorno** (superficie con lama d'acqua, presenza di falda)
- ✓ **Risultati** di simulazione di umidità e tensioni misurate **buoni anche in terreni stratificati**

- **DIFETTI**

- ✓ **Soluzione analitica** possibile **solo in casi particolari**
- ✓ **Difficoltà di soluzione numerica**
- ✓ **Tempi di calcolo lunghi**
- ✓ **Non considera la macroporosità** e quindi i flussi preferenziali
- ✓ **Difficoltà parametrizzazione:** difficile stimare conducibilità non satura

**Nel complesso
è un ottimo
trattamento
del problema!**



Il terreno

Il modello a serbatoi

Agronomia

- Il modello a serbatoi è stato sviluppato per **esigenze di semplicità**
- Suppone la divisione del terreno in **strati omogenei**
- L'acqua passa da uno strato all'altro solo quando lo strato sovrastante ha **superato la capacità di campo**.
- Pregi
 - ✓ Modello molto **semplice numericamente**
 - ✓ Richiede **pochi parametri**
 - ✓ **Simulazioni discrete** in terreni omogenei
- Difetti
 - ✓ **Non funziona** per nulla in presenza di **falda** e in terreni stratificati

