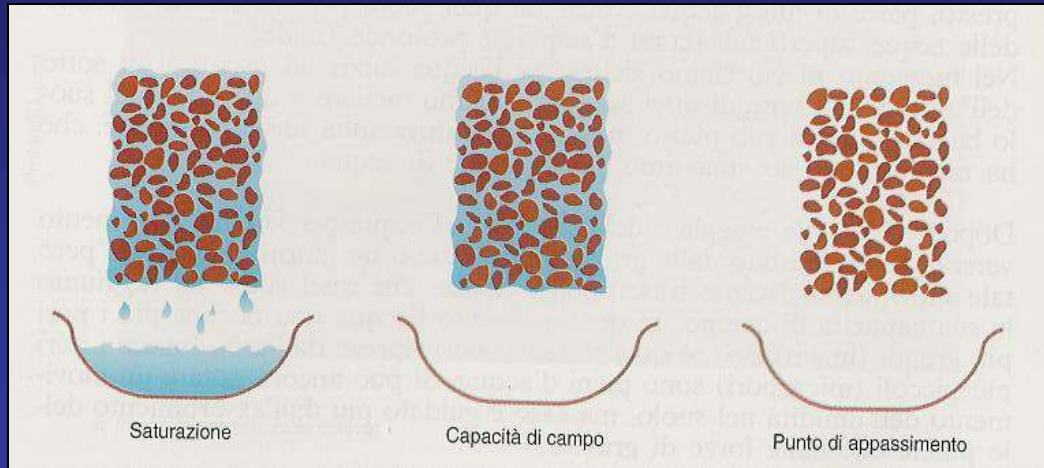


L'ACQUA NEL SUOLO



SUOLO RECIPIENTE DI ACQUA

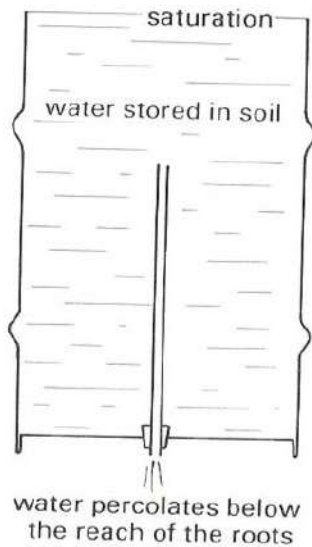


Fig. 38a Saturation

**Capacità
Idrica Massima**

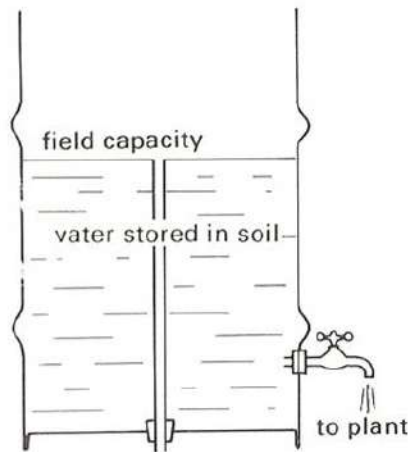


Fig. 38b Field capacity

**Capacità di
Campo (CC)**

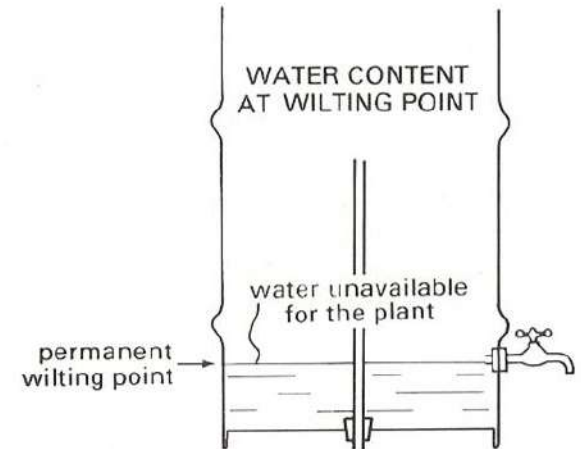


Fig. 38c Permanent wilting point

**Punto di
Appassimento (PA)**

Contenuto idrico gravimetrico (θ_G)

$g \times g^{-1}$



$\theta_G \times \phi$



Contenuto idrico volumetrico (θ)

$m^3 \times m^{-3}$ o $cm^3 \times cm^{-3}$



Percentuale di acqua nel suolo (%)

$\theta \times 100$

DISPONIBILITA' IDRICA

LA RISERVA UTILIZZABILE (RU) DEL TERRENO DIPENDE DA:

- CARATTERISTICHE DEL TERRENO
- PROFONDITA' DELLE RADICI

$$RU = [p * 10000 (c.c.-p.a.)/100] * \phi \text{ (m}^3\text{/ha)}$$

dove:

p = profondità (m)

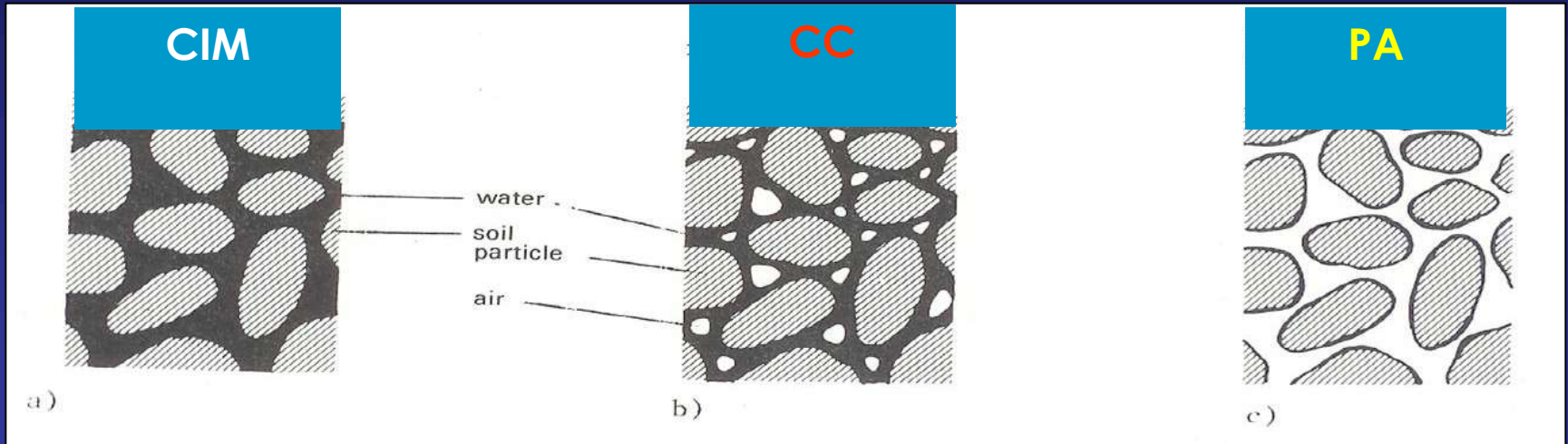
$c.c.$, $p.a.$ = capacità di campo e punto di avvizzimento

ϕ = densità apparente t/m^3

Caratteristiche idrologiche terreni

terreno	Percentuale di H2O nel suolo			ϕ (t/m ³)
	CIM (%)	CC (%)	PA (%)	
Molto sabbioso	25	10	4	1.6
Medio impasto	40	26	10	1.4
Argill., ben str.	45	35	15	1.3
Argill., mal str.	40	30	20	1.4

Es. Terreno Franco-limoso-argilloso



(-0,03 Mpa)

(-1,5 Mpa)

35% in volume

15% in volume

$0,35 \text{ m}^3 \times \text{m}^{-3}$

$0,15 \text{ m}^3 \times \text{m}^{-3}$

$P = 1 \text{ m}$

$\phi = 1,3$



RU ?

$$[p * 10000 (\text{c.c.}-\text{p.a.})/100] * \phi \text{ (m}^3/\text{ha)}$$

$$[1 * 10000 (35-15)/100] * 1,3 \text{ (m}^3/\text{ha)}$$



2600 (m³/ha)



260 (mm)

10 m³/ha = 1mm

RU di terreni diversi

terreno	RU_{max} (mm)
Sciolto	100-120
Grana media	200-250
Argilloso, ben strutturato	300-350
Argilloso, mal strutturato	150-200
Argilloso-limoso	250-300

Riserva Facilmente Utilizzabile

Frazione (%) dell'acqua disponibile totale che puo' essere utilizzata dalla pianta senza che vi sia manifestazione di stress e diminuzione della produttivita'

FRAZIONI IDRICHE NEL SUOLO schema riassuntivo



TRASPIRAZIONE

Processo di vaporizzazione dell'acqua contenuta nei tessuti vegetali e di diffusione del vapore verso l'atmosfera

- Quasi tutta l'acqua assorbita dalle radici viene persa per traspirazione e solo una minima frazione entra a far parte dei tessuti della pianta
- Due fasi:
 - evaporazione a livello delle superfici esterne delle pareti cellulari
 - diffusione tra gli spazi intercellulari, attraverso stomi e cuticola, verso l'atmosfera

Traspirazione

- **Ruoli indiretti**
 - produce il gradiente di energia che favorisce l'assorbimento e il movimento della linfa
 - determina il deficit idrico, prima causa di morte per le piante terrestri
 - smaltimento energia in eccesso (refrigerazione)
- **È un male inevitabile**, dovuto all'esigenza di aprire gli stomi per assimilare CO_2
 - male perché determina perdita d'acqua
 - inevitabile per la struttura anatomica delle foglie
 - l'evoluzione ha privilegiato l'assimilazione rispetto alla perdita di acqua

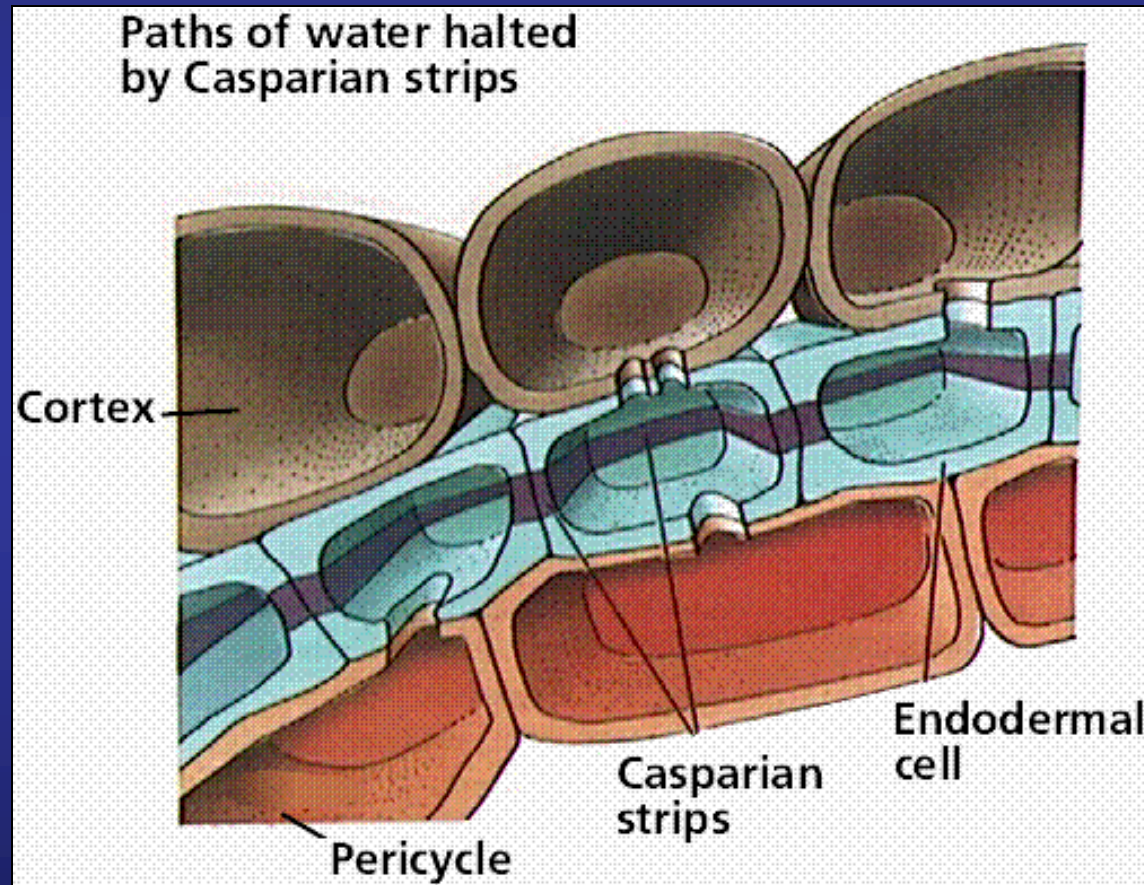
Il flusso d' acqua è un processo passivo, cioè l' acqua si muove in virtù di forze fisiche verso zone a minore potenziale idrico (o energia libera). **NON ESISTONO POMPE METABOLICHE (reazioni generate dall' idrolisi dell' ATP) **SE L' ACQUA E' LA SOLA SOSTANZA TRASPORTATA****

Quando sono invece i soluti ad essere trasportati (**ATTRAVERSO UNA MEMBRANA o NEL FLOEMA**) ciò può comportare il trasporto dell' acqua CONTRO GRADIENTE DI POTENZIALE IDRICO (ad esempio il passaggio del succo floematico dalle foglie alle radici muove acqua contro gradiente. L' energia è fornita dalla perdita di energia libera del soluto che passa da una zona dove è più concentrato (foglie) ad una dove lo è di meno (radici) liberando energia per il movimento contro gradiente dell'acqua

La quantità' di acqua traspirata lungo il sistema terreno-pianta-atmosfera dipende dal gradiente di potenziale tra suolo e foglia e dalla somma delle resistenze in serie che si oppongono al flusso stesso

$$T = \frac{(\Psi_{\text{suolo}} - \Psi_{\text{foglia}})}{R_{\text{pianta}}}$$

L'acqua per passare dal suolo all'atmosfera attraverso la pianta deve vincere una serie di resistenze che incontra lungo il percorso apoplastico, simplastico e transcellulare



Durante lo spostamento radiale transmembrana attraverso la radice giocano un ruolo molto importante le aquaporine

Resistenze interne

- radice
- vasi
- stomi
- cuticola (in parallelo agli stomi)
- mesofillo

Resistenze esterne

- strato limite
 - velocità del vento
 - forma e dimensione delle foglie
- Radiazione, VPD, Temperatura

L' EVAPOTRASPIRAZIONE E' UNA COMPONENTE DEL FLUSSO IDRICO NEL SISTEMA



COME TUTTI I FLUSSI (MOVIMENTO DI MATERIALE ATTRAVERSO UN SISTEMA)

ANCHE L' ET E' REGOLATA DALLA LEGGE GENERALE DEL TRASPORTO (analogo alla legge di OHM):

$$F_{1 \rightarrow 2} = \Psi_2 - \Psi_1 / \text{Resistenza}$$

Evapotraspirazione (ET)

- Perdita di acqua dalla superficie all'atmosfera attraverso vaporizzazione di acqua liquida. Il processo include l'acqua evaporata direttamente dalla superficie del suolo nudo o ricoperto da vegetazione e quella trasmirata dalla coltura.
- Affinché il processo di evapotraspirazione si instauri devono sussistere disponibilità di acqua e di energia; perché esso continui deve essere rimosso il vapore dall'aria. In sostanza: c'è perdita d'acqua finché c'è domanda atmosferica e disponibilità di acqua.
- La prima è controllata essenzialmente da fattori meteorologici (energia, deficit di saturazione dell'aria, vento), la seconda è regolata dal sistema pianta-terreno.

EVAPOTRASPIRAZIONE

=

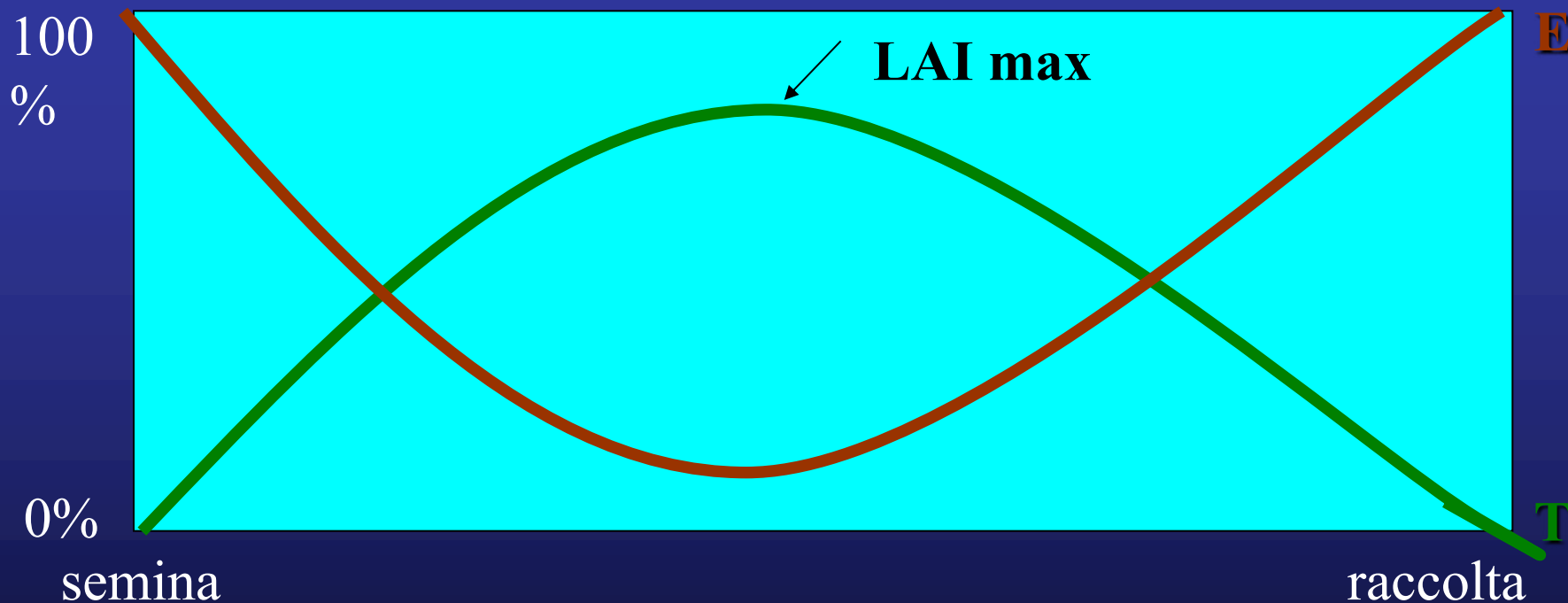
CONSUMI IDRICI DI UNA COLTURA



EVAPORAZIONE DAL SUOLO
(max in assenza di coltura e nelle prime fasi)

+

TRASPIRAZIONE
(max quando LAI è massimo)

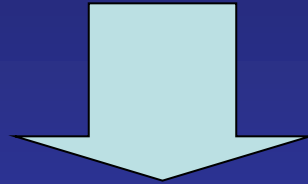


POTENZIALI IDRICI

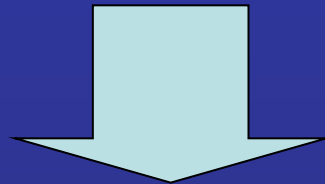
Energia richiesta (per unità di volume) per spostare l'acqua da un punto del sistema ad un punto di riferimento, in condizioni isotermiche, in maniera reversibile

IL POTENZIALE IDRICO Ψ :

LA FORZA CON CUI L'ACQUA E' TRATTENUTA



LA PRESSIONE (negativa, o SUZIONE) CHE SERVE PER
ALLONTANARE L'ACQUA



L'ACQUA si muove da un punto con Ψ più alto (MENO
NEGATIVO: es -20) ad uno con Ψ più basso (PIU' NEGATIVO:
es -100)

Potenziali idrici

- ➔ $\psi = 0$ quando, per convenzione, la superficie libera dell'acqua pura è a pressione atmosferica
- ➔ $\psi > 0$ quando l'acqua ha energia potenziale e quindi contiene energia sufficiente a compiere un lavoro per ritornare allo stato di riferimento
 - ◆ *nel terreno* acqua in pressione dentro un tubo o in una falda artesianiana
 - ◆ *nella pianta* (guttazione)
 - ◆ *nell'atmosfera* (sovra saturazione)
- ➔ $\psi < 0$ quando per portare l'acqua allo stato di riferimento è necessario compiere un lavoro
 - ◆ acqua *nella pianta*: per estrarla dobbiamo compiere un lavoro (camera a pressione)
 - ◆ acqua *nel terreno*: la pianta per assorbirla compie un lavoro (membrana di Richards)
 - ◆ acqua *nell'atmosfera*: per condensare il vapore acqueo dobbiamo esercitare una pressione, a parità di temperatura

Sono sempre da zone a potenziale maggiore a zone a potenziale minore -> nel terreno insaturo spostamento lungo la direttrice **terreno -> pianta -> atmosfera**

L'atmosfera ha potenziali bassissimi -> Il moto da terreno insaturo a atmosfera dovrebbe essere automatico.

Ciò non si ha perché nel terreno l'unico meccanismo efficiente di trasferimento idrico è la capillarità -> la disidratazione dello strato superficiale la interrompe.

Le piante vascolari si sono inserite in questo "anello debole" del trasporto idrico nel sistema terreno – pianta – atmosfera ponendo un fascio di capillari fra terreno e atmosfera.

$$\psi_w = \psi_t + \psi_\pi + \psi_g + \psi_m$$

(-) (+) (-) (-) (-)

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bars}$$

Il potenziale di turgore esprime il livello di turgore cellulare.

Il potenziale osmotico esprime una forza di tensione (suzione) in funzione della concentrazione di soluti.

Il potenziale gravitazionale dipende dall'altezza della pianta

Il potenziale matriciale. Dipende dalle interazioni tra la fase liquida e solida di un determinato tessuto (capillarità)

- Lo spostamento di acqua e soluti nella pianta è dunque direttamente proporzionale alla DIFFERENZA DEI POTENZIALI IDRICI ESISTENTI TRA I PUNTI ESTREMI DEL FLUSSO (SUOLO E FOGLIE)
- Ed è inversamente proporzionale alle RESISTENZE incontrate lungo il percorso
- Potenziali idrici indicativi:
 - SUOLO -0.5/1 BAR
 - RADICI -2/-4 BAR
 - FUSTO -5/-15 BAR
 - FOGLIE -10/-25 BAR
 - ATMOSFERA (pot. Idrico molto variabile a seconda dell'umidità; ad es con bassa umidità il pot. Idrico può essere molto negativo: -775 BAR a 20° C e 60% UR)

Ad esempio:

- Un GRADIENTE DI POTENZIALE di $-1,5$ atmosfere ($1 \text{ bar} = 0.98 \text{ atm}$; 10^5 Pa) è sufficiente ad assicurare il movimento di ACQUA DAL SUOLO ALLA RADICE
- Relativamente basso è il $\Delta\psi$ DALLA RADICE ALLA FOGLIA (circa -20 atm), mentre occorre un $\Delta\psi$ di centinaia di atmosfere per il passaggio DELL' ACQUA DALLA FOGLIA ALL' ATMOSFERA
- Ciò è dovuto al fatto che la RESISTENZA è piccola nel percorso dal suolo alla radice, modesta dalla radice alle foglie, e molto elevata dalla foglia all' atmosfera (resistenza stomatica e resistenza dello strato limite)

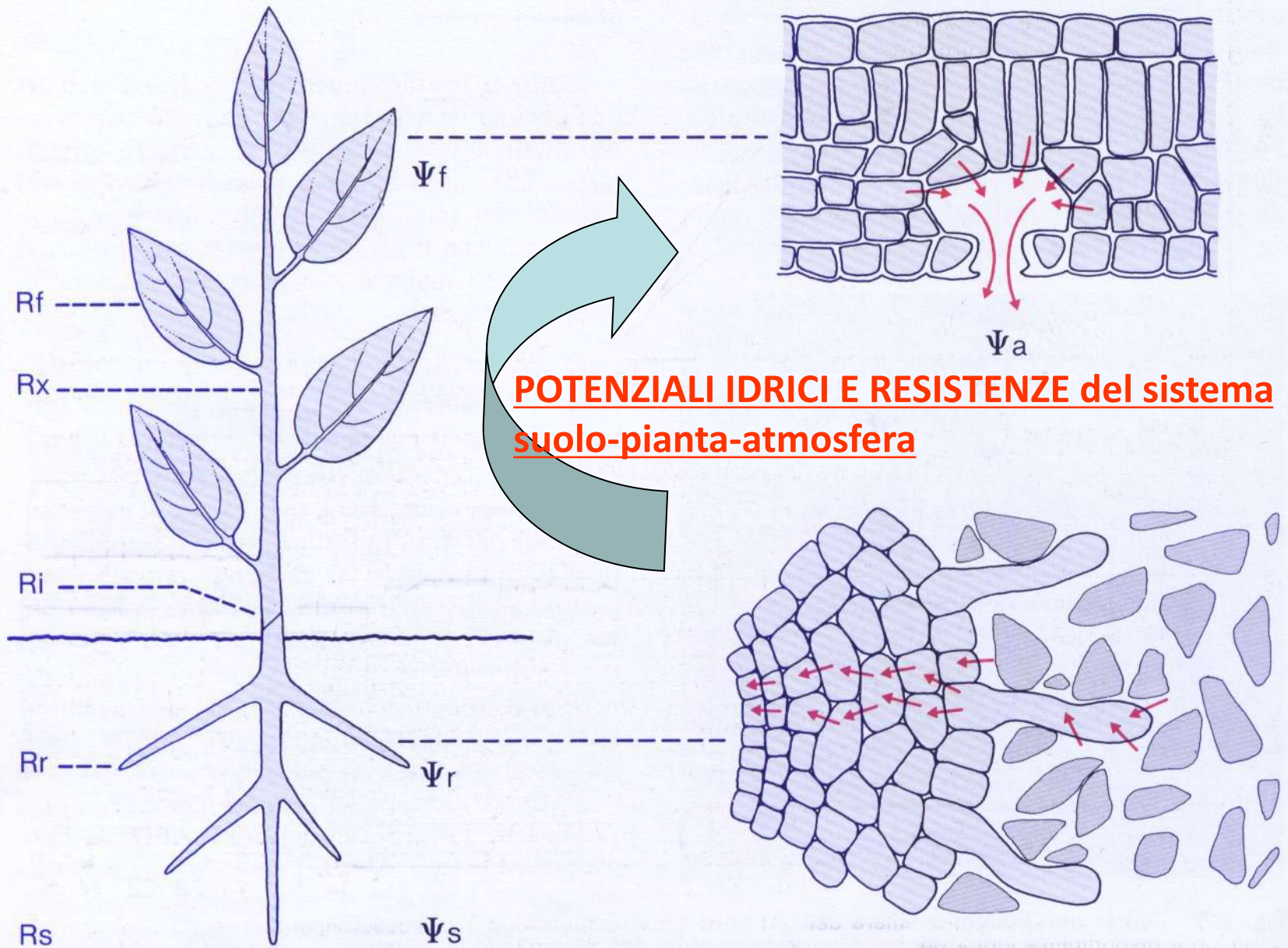
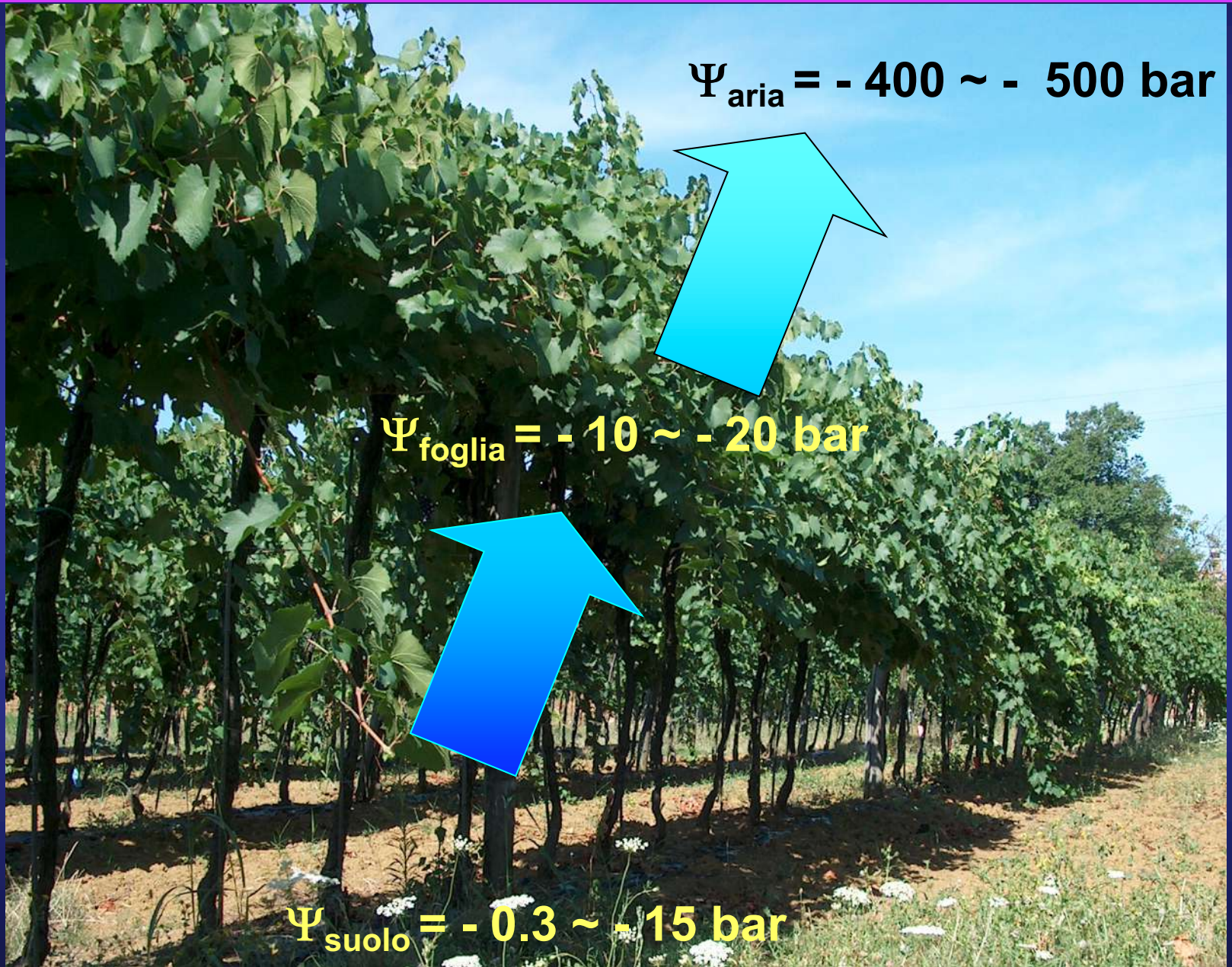
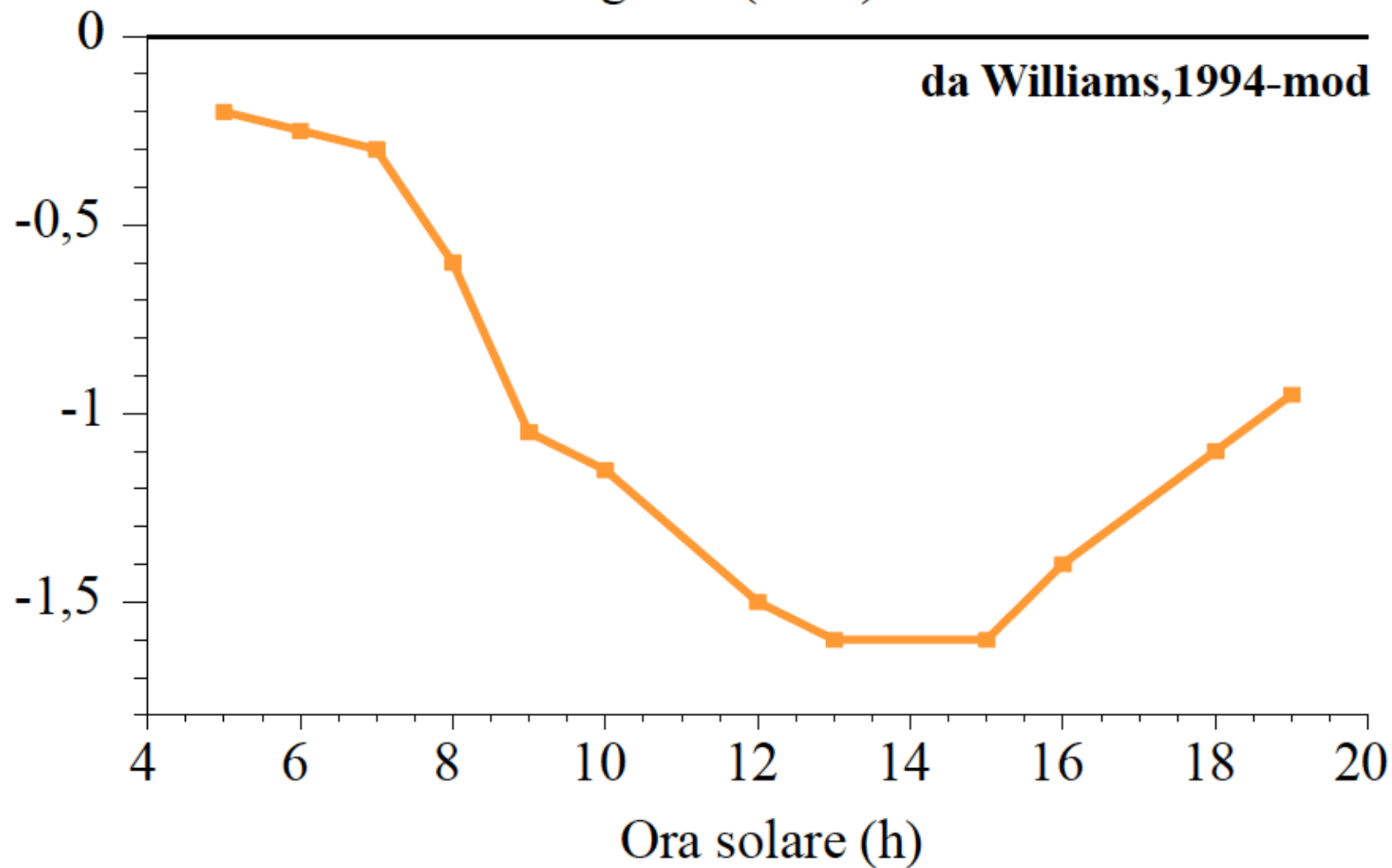


Fig. 2.28 - Rappresentazione schematica dei *potenziali idrici* (Ψ) e delle *resistenze* (R) del sistema *suolo* (s) - *radici* (r) - *punto d'innesto* (i) - *fusto* (x) - *foglie* (f) - *atmosfera* (a).

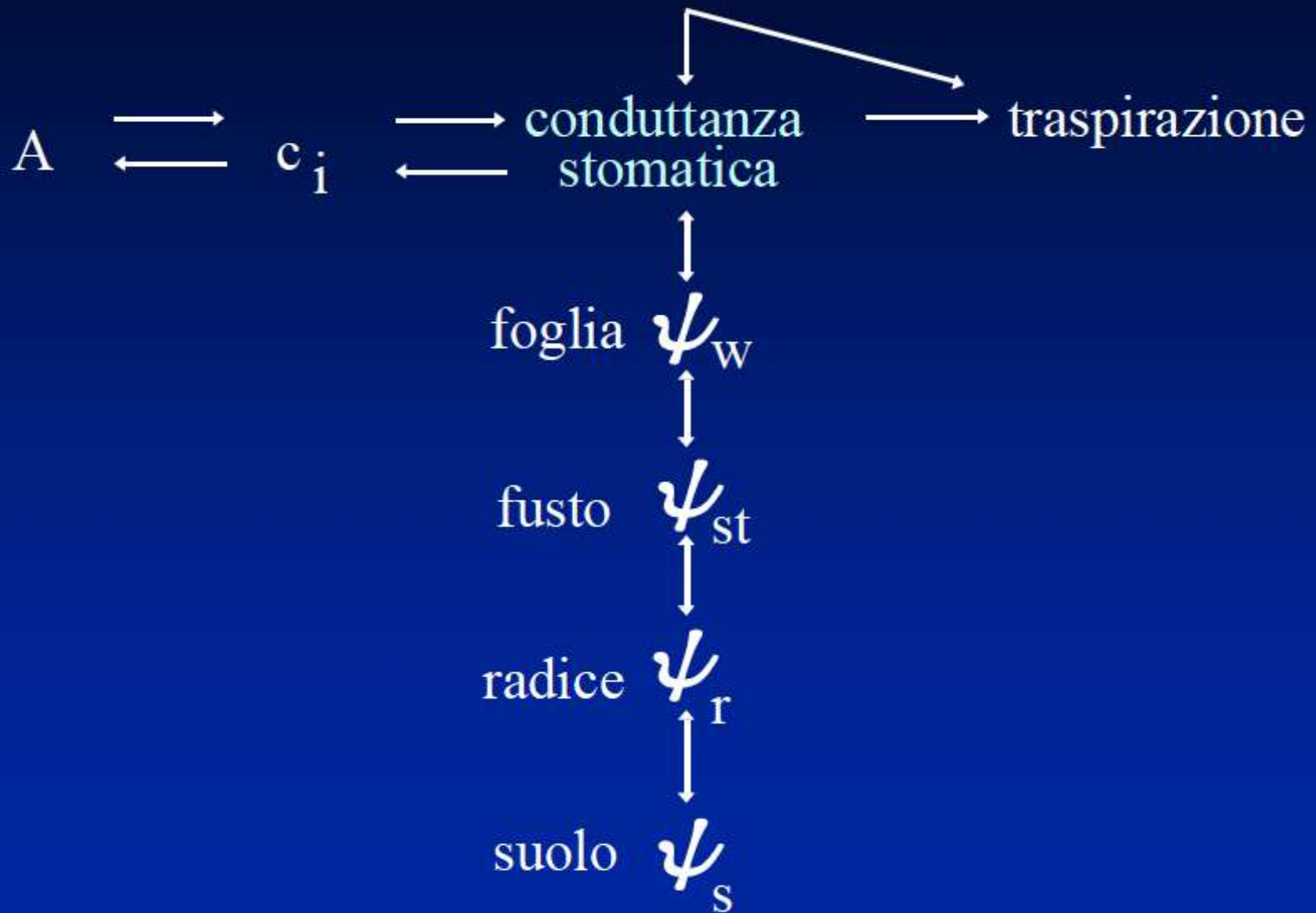
Le differenze di potenziale sono il motore del flusso evapotraspirativo



Potenziale idrico fogliare (MPa)

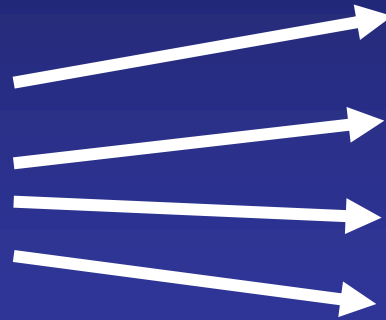


VPD (RH e T)



Condizionamenti del processo traspiratorio :

1) Fattori ambientali



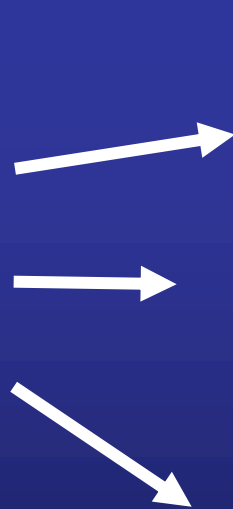
Luce

Temperatura

Umidità

Vento

2) Fattori colturali



Quantità di foglie

**(traspirazione totale e
specifica)**

Quantità di uva

(danni da stress idrico)

Gestione del suolo

(lavorazione, inerbimento)

FATTORI INTERNI ALLA PIANTA:

Foglie

- dimensioni e forma
- orientamento e angolo

Area fogliare

- condiziona la traspirazione per unità di area di terreno (struttura della chioma)
- non sempre la defogliazione determina una proporzionale riduzione di traspirazione

Rapporto radici/foglie

Stato sanitario

Stadio fenologico

ENERGIA PER LA TRASPIRAZIONE:

- **radiazione diretta**
- **radiazione diffusa**
- **convezione**
- **gradiente di pressione di vapore (VPD)**

Vapore acqueo

Deficit di saturazione VPD (Vapour Pressure Deficit)

**UA attuale - UA saturazione
(KPa o mbar)**

- **rappresenta il gradiente che genera la traspirazione**
- **si può ricavare da T e UR**
- **si può misurare con lo psicrometro**

Tensione di vapore (bar)

- **Pressione esercitata dal vapore acqueo nell'atmosfera**
- **dipende da T (aumenta con la T)**
- **max in condizioni di saturazione**

- tensione di vapore dell'atmosfera dipende da T e da umidità assoluta
- tensione di vapore nella foglia dipende da T e dal potenziale

ψ foglia circa 0

poiché **ψ atm** è in genere molto basso, anche con ψ foglia tipici di piante in condizioni di stress (es. -5MPa) la traspirazione non subisce un freno significativo

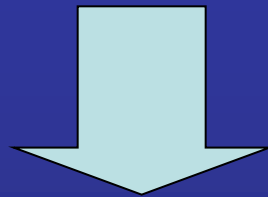
un aumento della temperatura senza un adeguato rifornimento idrico determina un forte aumento della traspirazione perché aumenta il VPD. Es.: se T aumenta da 10° a 20° C il VPD raddoppia.

STRATEGIE DELLA PIANTA PER RIDURRE IL FLUSSO IDRICO

Ricordando che

IL FLUSSO E' REGOLATO DALLA LEGGE GENERALE DEL TRASPORTO

$$F_{1 \rightarrow 2} = \Psi_2 - \Psi_1 / \text{Res.}$$



Per ridurre il flusso:

1. Riduce la differenza di potenziale
2. Aumenta le resistenze

Con differenti strategie

ADATTAMENTO DELLE PIANTE ALLA DOMANDA EVAPOTRAPIRATIVA

AUMENTO DEL FLUSSO IN INGRESSO (assorbimento radicale)

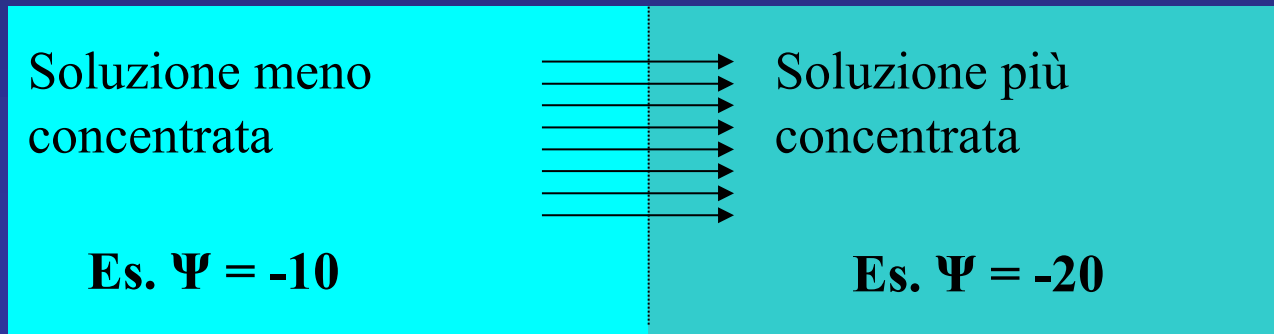
- aumento **potere assorbente** delle radici (abbassamento potenziale radicale) VELOCE
- aumento della **superficie assorbente** (sviluppo apparati radicali) LENTO

RIDUZIONE DEL FLUSSO IN USCITA (traspirazione)

- aumento della resistenza
 - con var. morfologiche (peli cuticola,...) LENTO
 - con chiusura stomatica VELOCE
- riducendo la differenza $\Psi_{\text{aria}} - \Psi_{\text{foglia}}$, abbassando il Ψ_{fg} con una aumento della concentrazione osmotica VELOCE

MECCANISMO OSMOTICO

Modulare la concentrazione di soluti all'interno della cellule tanto da aumentare il potenziale osmotico e favorire spostamenti di acqua per osmosi dall'apoplasto al simplasto



POTENZIALE OSMOTICO = componente negativa (tanto più negativa quanto più concentrata) del Ψ totale.

$$\Psi_{\text{totale}} = \Psi_{\text{matriciale}} + \Psi_{\text{osmotico}} + \tau_{\text{pressione turgore}}$$

Interno della
cellula

costante

La priorità della pianta è
mantenerlo costante

Il turgore cellulare ricopre un ruolo fondamentale nei processi di:

- **crescita per espansione**
- **apertura stomatica**
- **conducibilità idraulica della membrana**
- **attività enzimatica**
- **sintesi e distribuzione di ormoni**

STRESS IDRICO

Si manifesta quando la perdita di acqua nel sistema pianta eccede l'assorbimento idrico provocando una riduzione del contenuto idrico e perdita di turgore dei tessuti con conseguente diminuzione della crescita cellulare ed alterazione dei vari processi fisiologici

Da un punto di vista agronomico la resistenza allo stress idrico è definita come l'abilità a produrre in modo soddisfacente anche quando è limitata la disponibilità di acqua nel suolo.

I meccanismi di resistenza sviluppati dalle piante da frutto sono diversi e si possono classificare in tre gruppi:

- 1. Completare il ciclo di fruttificazione prima che si verifichino le condizioni di carenza (ciliegio, albicocco, alcune cultivar precoci di pesco)**
- 2. Mantenere bassi i potenziali idrici della pianta e sopportare periodi senza piogge significative (olive, pesco)**
- 3. Mantenere alti i potenziali idrici e sopportare periodi privi di piogge (actinidia e vite)**

COMPORTAMENTO ANISOIDRICO

Notevole escursione giornaliera del potenziale idrico fogliare

In caso di carenza idrica riducono l'attività traspirativa in misura minore e continuano a traspirare anche durante le ore più calde della giornata (fino a Ψ_{foglia} all'alba di -2,5 Mpa)

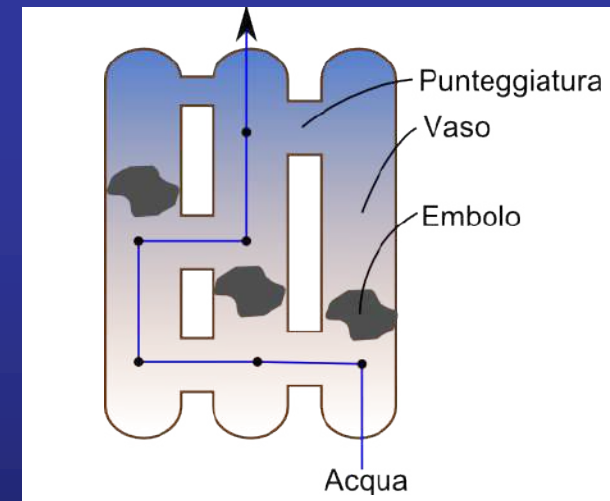
Oltre un certo limite (specifico: -15 ~ -20 bar) si abbassa anche $\tau \Rightarrow$ perdita di turgore e appassimento

COMPORAMENTO ISODRICO

Le piante rispondono ai segnali chimici e idraulici chiudendo gli stomi e mantenendo alto il potenziale idrico fogliare, nonostante quelli del suolo e delle radici diminuiscano

Meccanismo di tolleranza si basa sul mantenimento del rifornimento idrico e la riduzione delle perdite d'acqua soprattutto nelle fasi iniziali di stress

- Offrono basse resistenze al trasporto idrico dall'apparato radicale alle foglie
- Sistema conduttore con vasi grandi (vite e actinidia) è molto efficiente nel trasporto idraulico in condizioni ottimali ma può incorrere in embolismi durante la carenza idrica

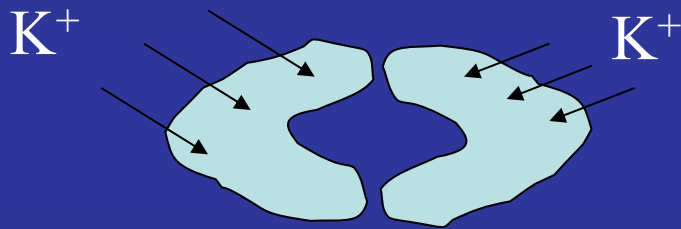


Sistema conduttore della cultivar e del portinnesto

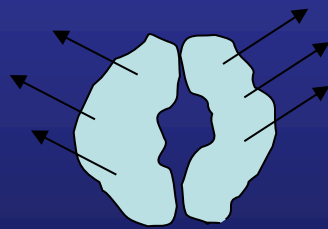
MECCANISMO STOMATICO

- riducendo l'apertura stomatica, aumenta la resistenza (vedi legge di Ohm)
- cellule guardia meno turgide \Rightarrow stomi più chiusi

1. Aumenta $[K^+]$
2. Diminuisce Ψ (più negativo es. **-20 bar**)
3. Aumenta flusso in ingresso nelle c.guardia
4. Aumenta turgore
5. Aumenta apertura

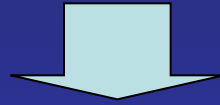


1. Diminuisce $[K^+]$
2. Aumenta Ψ (meno negativo es. **-10 bar**)
3. Aumenta flusso in uscita dalle c. guardia
4. Diminuisce turgore
5. Diminuisce apertura



Stress idrico

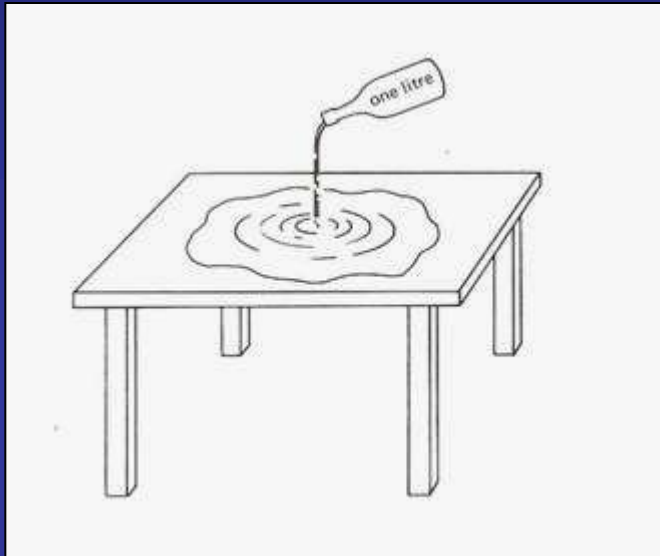
L' ET è la voce negativa principale del BILANCIO IDRICO



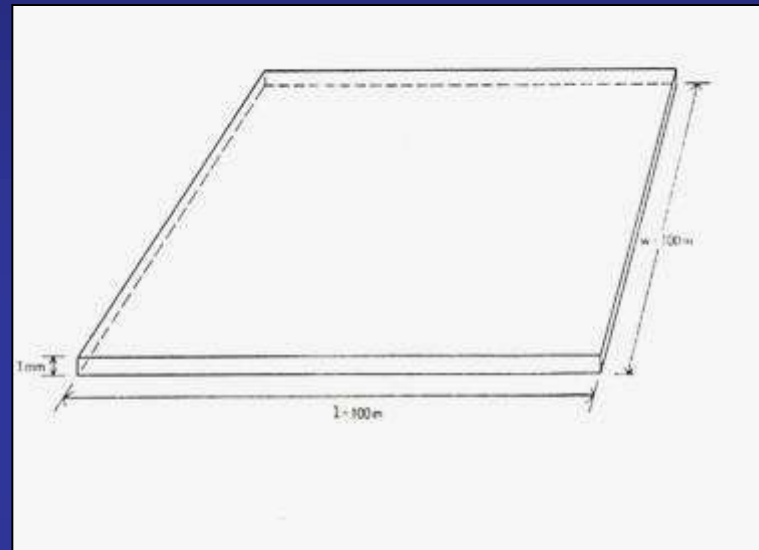
Indispensabile conoscerla per

- adattabilità delle colture a diversi ambienti
- programmazione irrigua
- stime di produttività a scala territoriale

MISURARE L'ACQUA nel suolo



1 L su 1 m² ⇒ 1mm



1 mm su 1 ha ⇒ 10 m³

SE PIOVUTO 3mm QUANTI m³ SU 4000 m² ?

3 mm su 1 ha ⇒ 30m³

Su 4000m² = 30m³/10000m² x 4000m² = 12m³

Misurare l'umidità del terreno:

- **METODO GRAVIMETRICO**
- **TENSIOMETRO** (resistenza a blocco di gesso)
- **TDR (Time Domain Refractometry)**
- **LISIMETRO**
- **SENSORI A NEUTRONI**

TENSIOMETRO

Strumento in materiale plastico dotato di manometro e con puntale costituito da una ampolla in materiale poroso.

Infisso nel terreno (con puntale a 30-60 cm di profondità per evitare discontinuità fra terreno e ceramica) e riempito di acqua ->

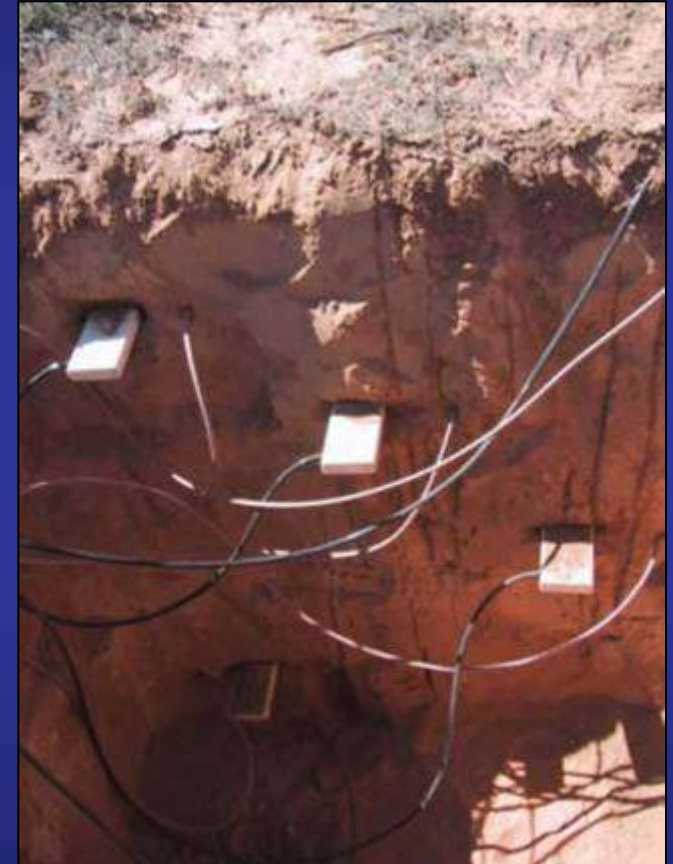
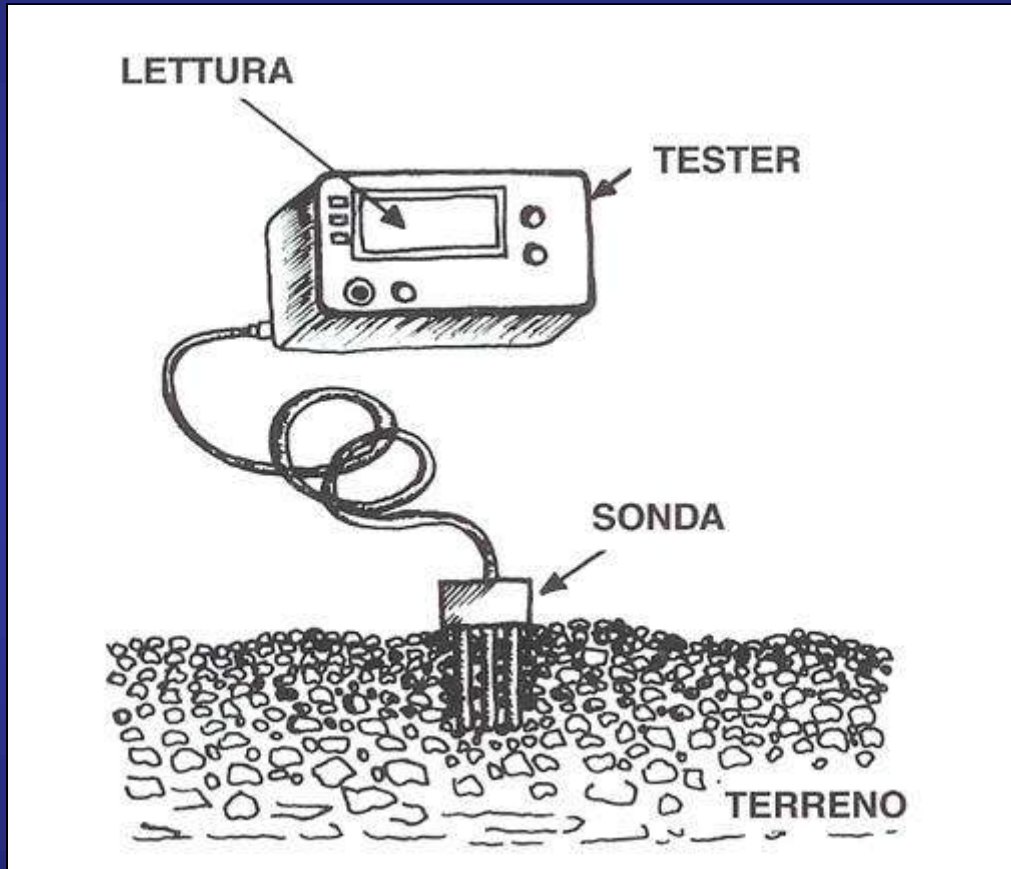
-il livello non cala in terreni saturi

-il livello cala in terreni insaturi con calo funzione dell'energia (suzione) con cui il terreno attira l'acqua -> tale energia si misura con il manometro.



Misurano la tensione dell'acqua cioè' la forza con cui e' trattenuta dalle particelle del suolo (potenziale matriciale). valori limite per la vite fino a -100kpa/-400kpa

TDR (Riflettometria nel Dominio del Tempo)



Emissione di onde elettromagnetiche ad alta frequenza.

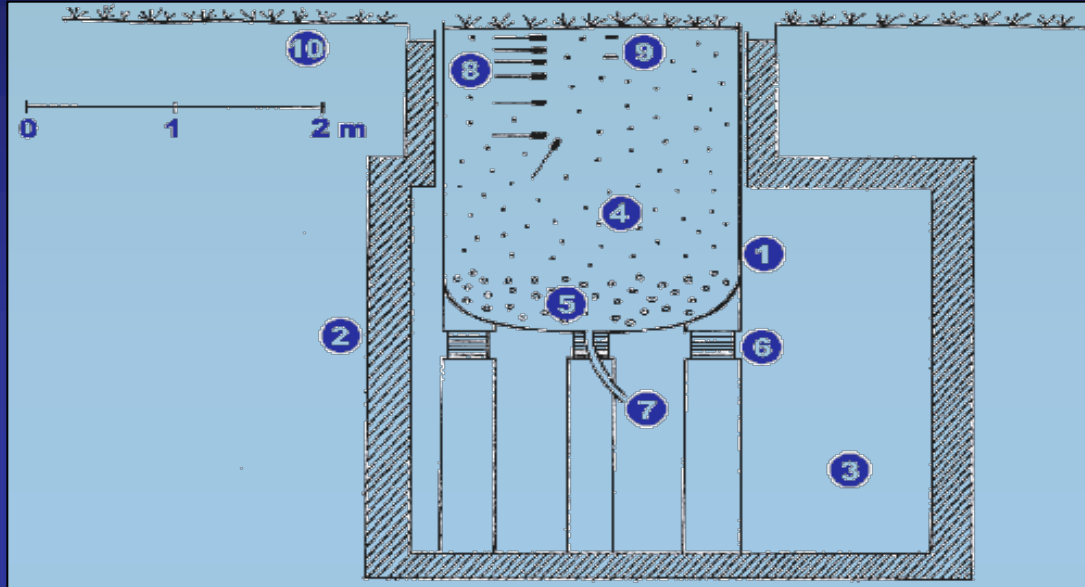
**Segnale riflesso
dall'estremità' delle
guide d'onda e ritorna
al ricevitore**



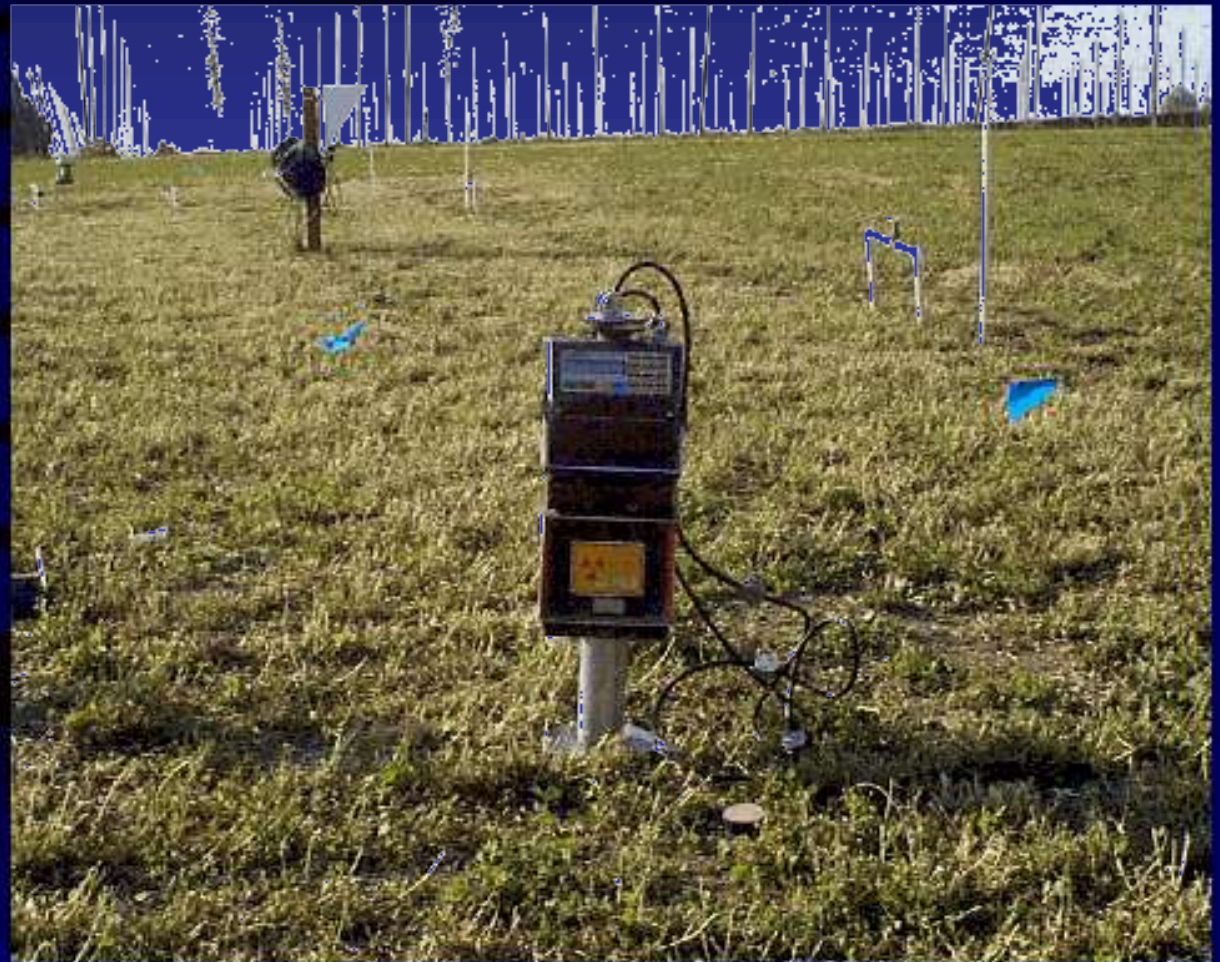
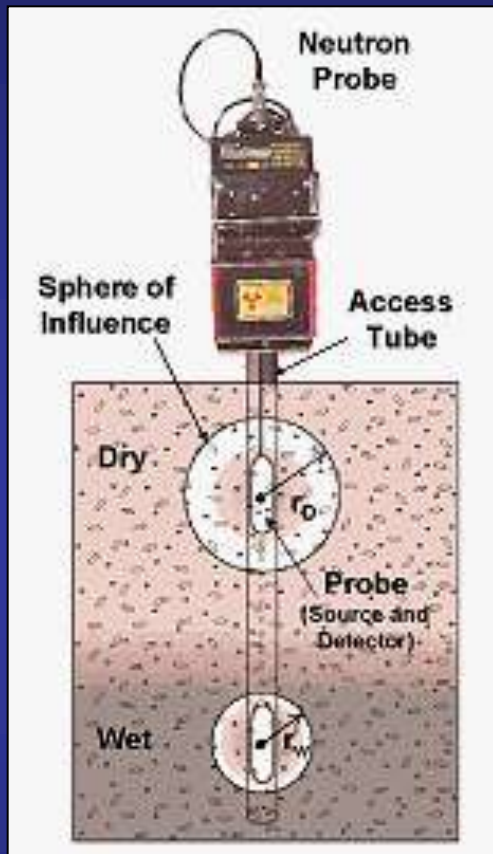
**La velocità di
propagazione dipende
dalla costante dielettrica
del mezzo (acqua=80;
suolo=4; aria=1)**



LISIMETRO



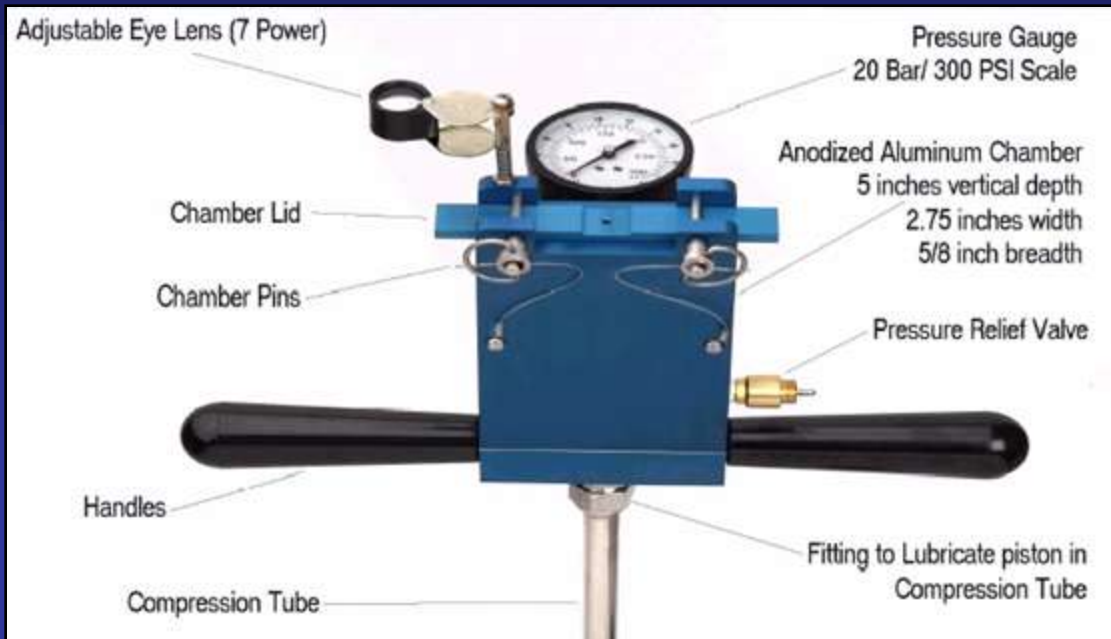
Sonde A NEUTRONI



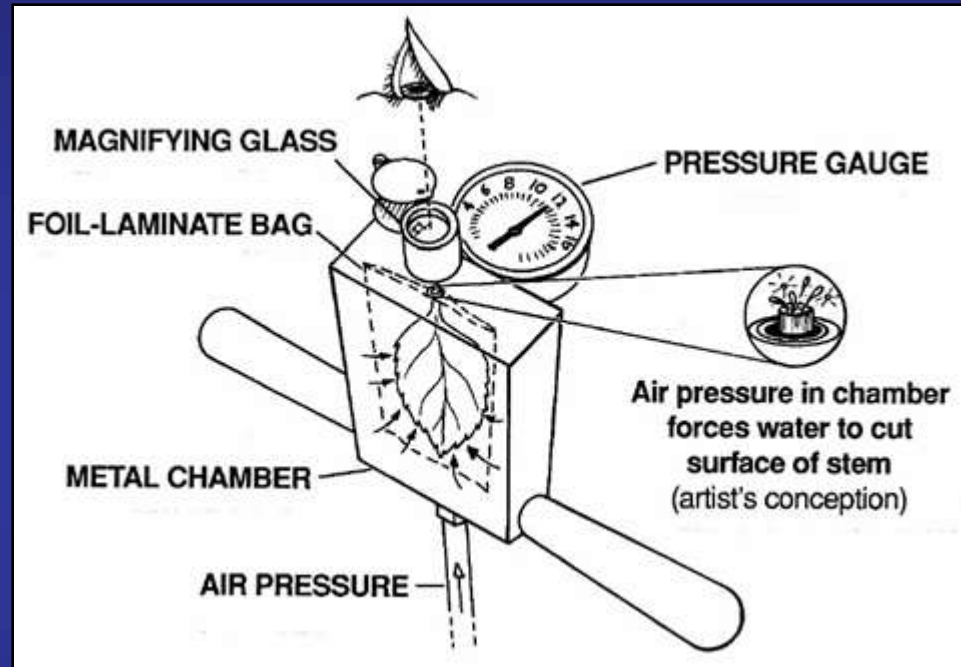
MISURA DELLO STATO IDRICO DELLA PIANTA

- Camera a pressione
- Dendrometro
- Termometri a raggi infrarossi
- Porometro
- Flussometro di linfa

Camera a pressione

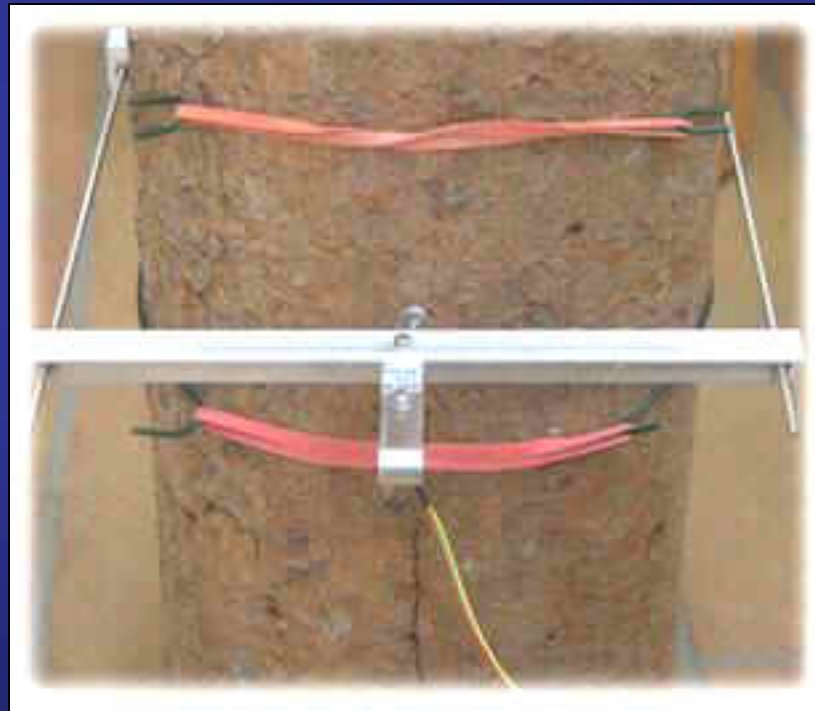


Alla comparsa della goccia d'acqua nell'area di taglio del picciolo si effettua la lettura della relativa pressione



Per scopi irrigui vengono utilizzate foglie il cui valore del potenziale e' stato messo in equilibrio con quello xilematico.

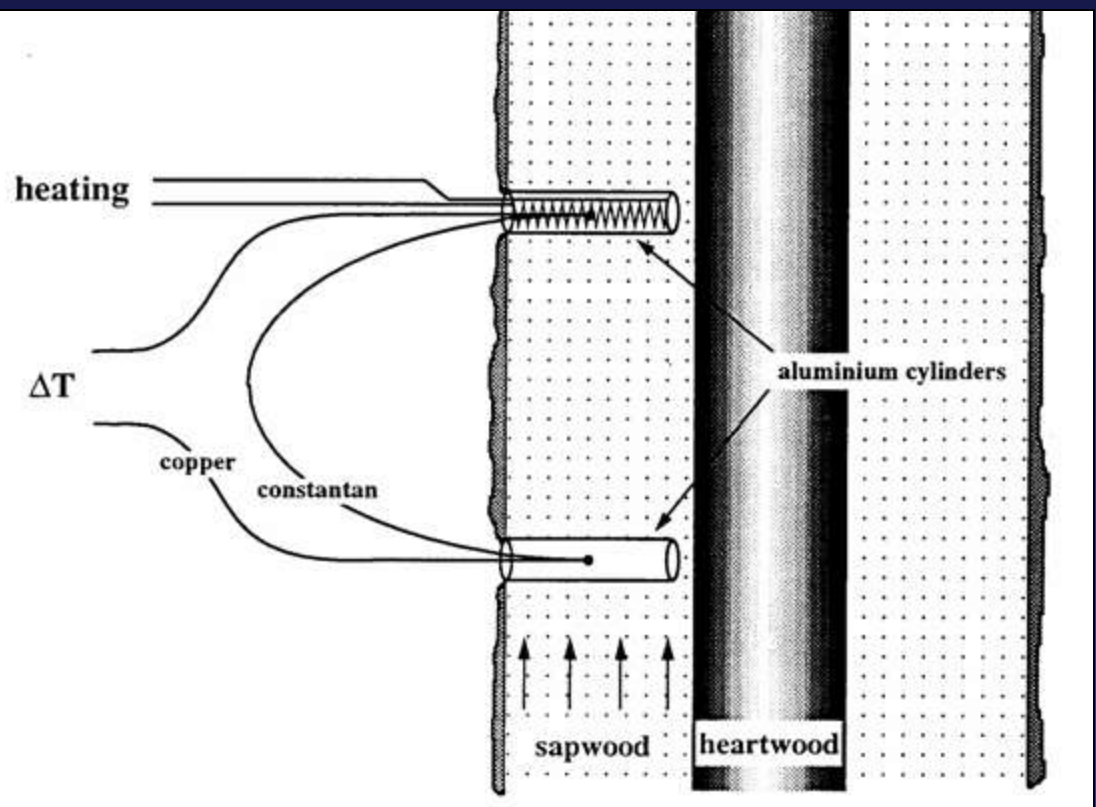
Dendrometro: misura in continuo le variazioni di diametro del tronco il quale sotto stress tende a restringersi



Flussometri di linfa

- Granier
- Steam balance
- Heat pulse





- Variabile adimensionale $K = (dT_m - dT) / dT$
- Velocita' $V = 0.000119 * K^{1.231}$ (m/s)
- Moltiplico Area della sezione conducente (A) per la velocita' e ottengo il volume del flusso

Sapflow = A * V

- La CONDUCIBILITÀ IDRICA SPECIFICA misura l'efficienza conduttiva dei vari organi legnosi
- E' , in pratica, la quantità di acqua che a pressione costante attraversa una data sezione di un organo, nell'unità di tempo ($\text{ml}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$)
- Questo parametro dipende dalla POROSITÀ DEL LEGNO; a parità di porosità la conducibilità è maggiore nel legno con vasi a maggiore diametro

Tabella 2.5 - *Relazione fra la struttura anatomica del legno e la conducibilità idrica specifica rilevata in due portinnesti clonali del melo (M 9 e M 4) caratterizzati da una differente vigoria (M4 > M9).*

parametri	M 9	M 4
vasi per mm^2 (n)	360	312
<u>diametro dei vasi</u> (μ)	21	26
porosità (%)	13	16
conducibilità idrica specifica ($\text{ml}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$)	256	290

- La CONDUCIBILITÀ IDRICA SPECIFICA aumenta alla fine dell' inverno per effetto del ripristino della funzionalità del legno depresso nell' anno passato
- L' aumento continua progressivamente fino a tornare a decrescere per effetto della perdita di funzionalità del legno vecchio
- Il contenuto idrico totale della pianta è invece massimo in primavera e minimo in autunno

TERMOMETRI InfraRossi



POROMETRO



STRESS IDRICI

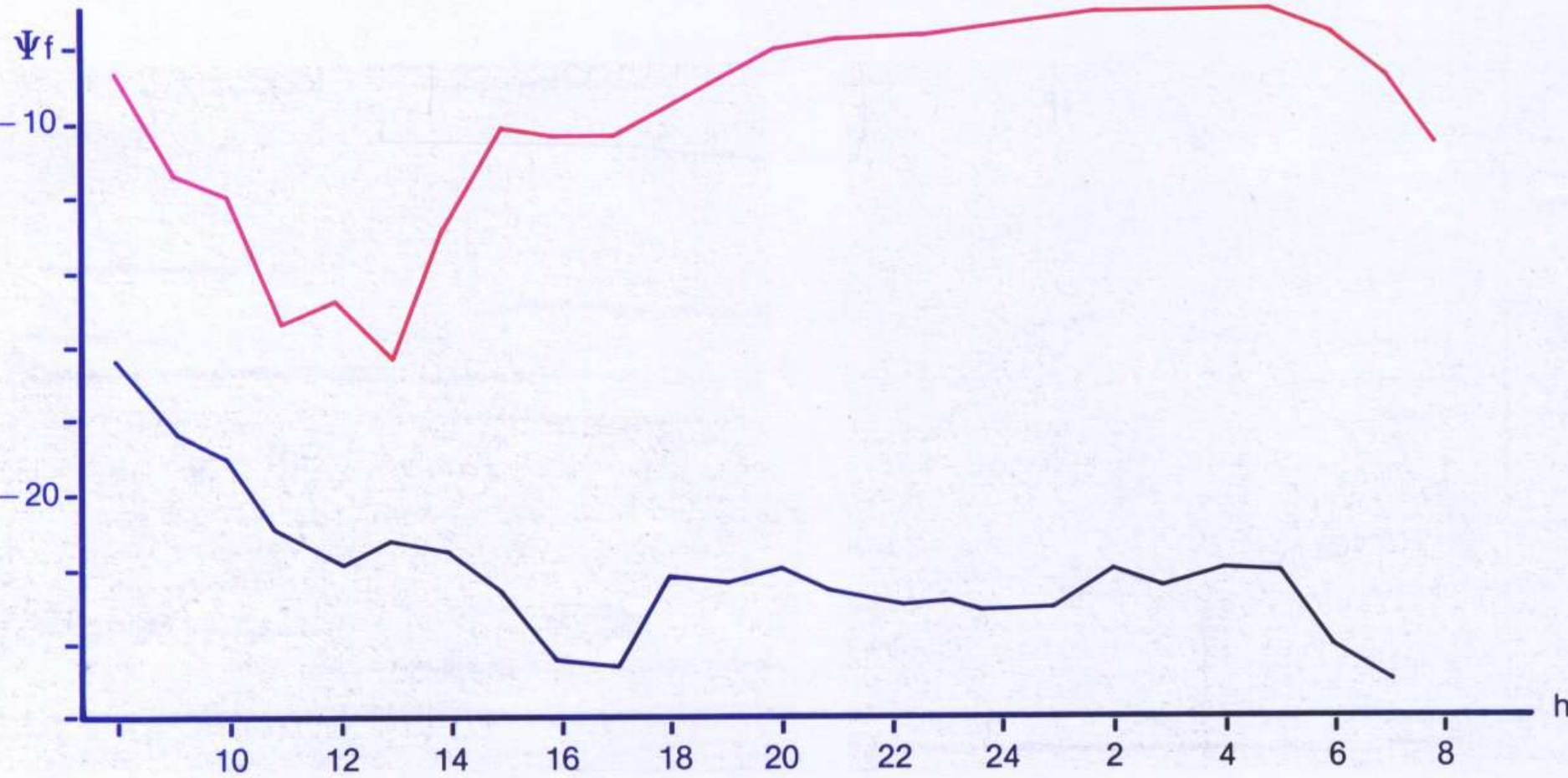
STRESS DA CARENZA IDRICA - SINTOMI ED EFFETTI

- potenziale idrico del terreno basso (-8 bar, inizio sintomatologia dei danni)
- potenziale idrico del terreno stabile a valori inferiori a -15 bar: danni evidenti e spesso irreversibili
- le piante riducono il potenziale idrico fogliare

Messa in opera di alcuni meccanismi protettivi da parte della pianta:

- riduzione della sintesi di RNA, di DNA ed enzimi
- rallentamento della fotosintesi
- rallentamento e cessazione di ogni processo di accrescimento (germogli, foglie e frutti)
- cascola dei frutti
- filloptosi
- riduzione dell' induzione antogena delle gemme

STRESS DA CARENZA IDRICA - SINTOMI ED EFFETTI



Potenziali idrici fogliari giornalieri di aranci in condizione di normale disponibilità idrica (linea rossa) e di carenza idrica (linea nera)

STRESS DA ECCESSO IDRICO - SINTOMI ED EFFETTI

Tabella 2.6 - *Principali effetti biochimici e fisiologici del ristagno idrico*

