

Un altro concetto
fondamentale in
fisiologia vegetale è
il **potenziale idrico**

Forza motrice per il
movimento dell' H_2O nella
pianta



Basi termodinamiche del potenziale idrico

In generale, la direzione di movimento dell'acqua è determinato dal **gradiente di energia libera dell'acqua**

Energia libera: energia disponibile per compiere lavoro.

Dipende dall'energia per molecola e dal numero di molecole.

Poiché **l'energia libera** di una sostanza la possiamo "misurare" mediante il **potenziale chimico**

La direzione di movimento dell' H_2O sarà:

alto potenziale chimico dell' H_2O → basso potenziale chimico dell' H_2O

Per esempio: **la caduta dell'H₂O.**



L'H₂O in cima ha un più elevato potenziale per compiere lavoro rispetto alla base della caduta. **L'H₂O si muove da un'area a più alta energia libera ad una a più bassa.**

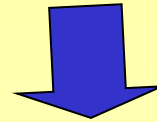
- ▶ **Plants can use the potential energy in water to perform work.**
- ▶ **Tomato plant regains turgor pressure – cell pushes against wall due to uptake of water**



Dal potenziale chimico....al potenziale idrico



Il concetto di “**potenziale idrico Ψ_{aq}** ” fornisce una base termodinamica per lo studio del movimento dell’acqua nella pianta



Si basa sul concetto di “potenziale chimico dell’H₂O “ **μ_{aq}** ” (Energia libera per mole)

“ **μ_{aq}** ” è una misura dell’energia disponibile per la sostanza a reagire e muoversi e dipende:

- Attività della specie o concentrazione per soluzioni diluite
- Pressione se diversa dalla pressione atmosferica
- Gravità
- Componente elettrica, se la sostanza è carica

Essendo una **quantità relativa** è sempre espresso come **differenza** tra il potenziale di una sostanza in un determinato stato ed il potenziale della stessa in condizioni standard

$$\mu_j = \mu_j^* + RT \ln a_j + z_j FE + PV_j + m_j gh$$

μ_j^* = potenziale chimico di riferimento (T 25 C, 298 K, P 1 atm, conc. 1M)

R = costante dei gas (8,31 J/mol/ K = 1,98 cal/mol/ K)

T = temperatura assoluta

V_j = Volume parziale molale della sostanza j (volume occupato da 1 mole della specie j)

P = differenza di pressione rispetto all'atmosfera

E = potenziale elettrico

Z_j = carica elettrica

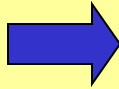
F = costante di Faraday (96500 coulomb mol⁻¹, 23000 cal mol⁻¹ V⁻¹)

h = altezza o dislivello

m_j = massa

g = accelerazione di gravità

- Per i non elettroliti, molecole neutre come l'H₂O



La componente "E" elettrica è assente, non si ha influsso elettrico

$$\mu_{\text{aq}} = \mu_{\text{aq}}^* + RT \ln a_{\text{aq}} + PV_{\text{aq}} + mgh$$

μ_{aq}^* = potenziale standard (per convenzione = 0) riferito all'H₂O pura a pressione atmosferica ed alla T considerata

a = frazione molale dell'H₂O (=1 per H₂O pura)

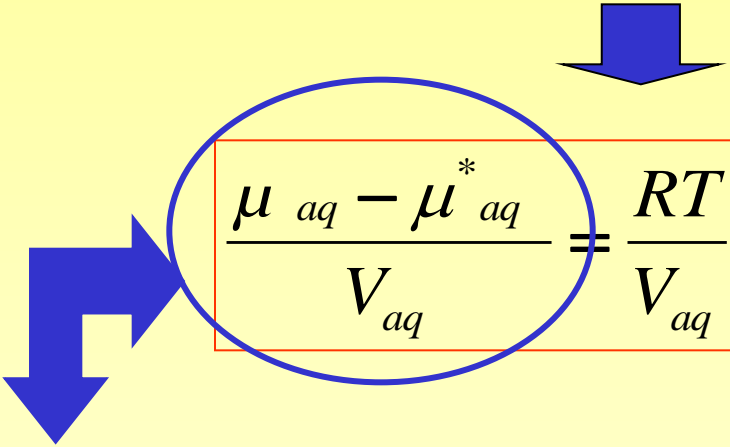
V_{aq} = volume di una mole di H₂O = 18.03 cm³/mol = 18x10⁻⁶m³mol⁻¹

M = massa dell'H₂O

$$\mu_{aq} = \mu_{aq}^* + RT \ln a_{aq} + PV_{aq} + mgh$$

$$\mu_{aq} - \mu_{aq}^* = + RT \ln a_{aq} + PV_{aq} + mgh$$

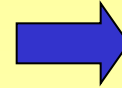
Dividendo per il volume
parziale dell'H₂O, V_{aq}


$$\frac{\mu_{aq} - \mu_{aq}^*}{V_{aq}} = \frac{RT}{V_{aq}} \ln a_{aq} + \frac{PV}{V} + \frac{mgh}{V} = \Psi_{aq}$$

Il potenziale idrico (Ψ_{aq}) è l'energia per unità di volume necessaria per trasportare H₂O reversibilmente ed isotermicamente da un punto del sistema ad un punto di riferimento (J/m³)

Slayter e Taylor (1960) introdussero il concetto di **POTENZIALE IDRICO**

La differenza tra il potenziale chimico dell'H₂O in un punto reale del sistema (μ_{aq}) ed il potenziale chimico di riferimento (μ_{aq}^*) diviso il volume molale dell'H₂O



$$\frac{\mu_{\text{aq}} - \mu_{\text{aq}}^*}{V_{\text{aq}}}$$

Esso rappresenta il lavoro necessario a spostare 1 mole di H₂O da un punto in cui è pura verso la soluzione reale in esame

oppure

il potenziale idrico descrive la tendenza dell'acqua di lasciare una determinata posizione a favore di un'altra.

$$\frac{\mu_{aq} - \mu_{aq}^*}{V_{aq}} = \frac{RT}{V_{aq}} \ln a_{aq} + \frac{PV}{V} + \frac{mgh}{V} = \Psi_{aq}$$

Dall'equazione di vant'Hoff $\longrightarrow \Psi_s = -\pi = \frac{RT}{V_{aq}} \ln a_{aq}$

$$\Psi_{aq} = -\pi + P + \rho gh$$

$$\Psi_{aq} = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$$

Π = pressione
osmotica
 ρ = densità

Ψ_s = potenziale osmotico o potenziale dei soluti

Ψ_p = potenziale di pressione

Ψ_g = potenziale gravitazionale

Stato di riferimento per il Ψ_w

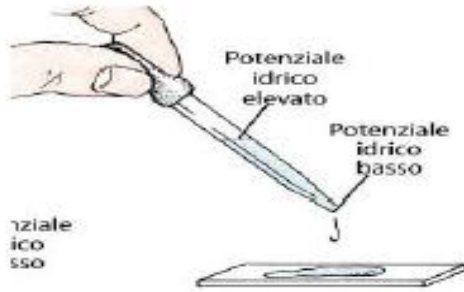
Il potenziale chimico (e quindi anche il **potenziale idrico**) è una quantità relativa, quindi dobbiamo definire uno stato di riferimento:

Lo stato di riferimento utilizzato per definire il **potenziale idrico** è l'**acqua pura** a pressione e temperatura ambientale,

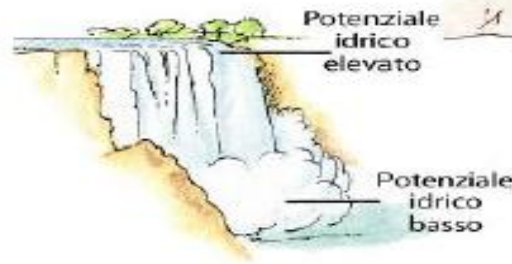
In queste condizioni, il **potenziale idrico** è uguale a zero.

$$\Psi_w = 0$$

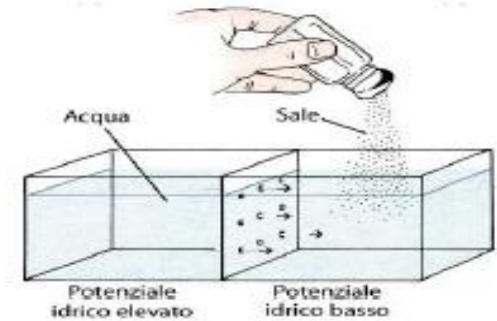
Componenti del Ψ_w



pressione



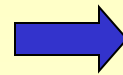
gravità



soluti

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_g + \Psi_s + \Psi_m$$

Unità di misura del Ψ_{aq}



- Atmosfera
- Bar
- MPa
- Pa

1atmosfera=
1,013bar=
0,1013MPa=
1,023*10⁵Pa

Potenziale osmotico o potenziale dei soluti “ Ψ_s ”

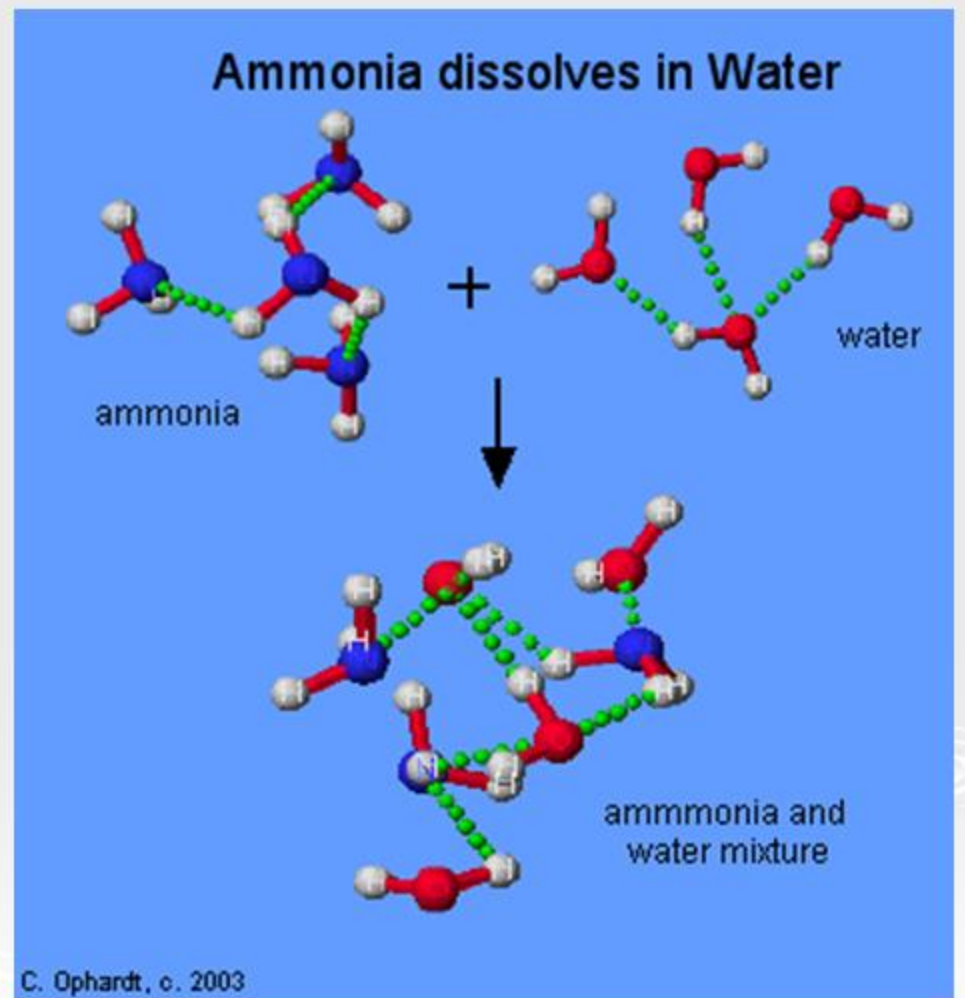
Ψ_s rappresenta l'effetto sul Ψ_{aq} dovuto alla presenza di **soliti disciolti**

Il potenziale osmotico Ψ_s di una soluzione è sempre negativo (zero nell' H_2O pura) poiché l'aggiunta di particelle di soluto:

- Diminuisce la frazione di mole di H_2O
 - Diminuisce la sua attività
 - Aumenta l'entropia del sistema
- Diminuisce la sua energia libera e quindi la sua capacità di compiere lavoro



Solutes bind water molecules reducing the number of free water molecules → lowers waters ability to do work.



$$\Psi_s = 0.3636 * EC \text{ (dS m}^{-1}\text{)}$$

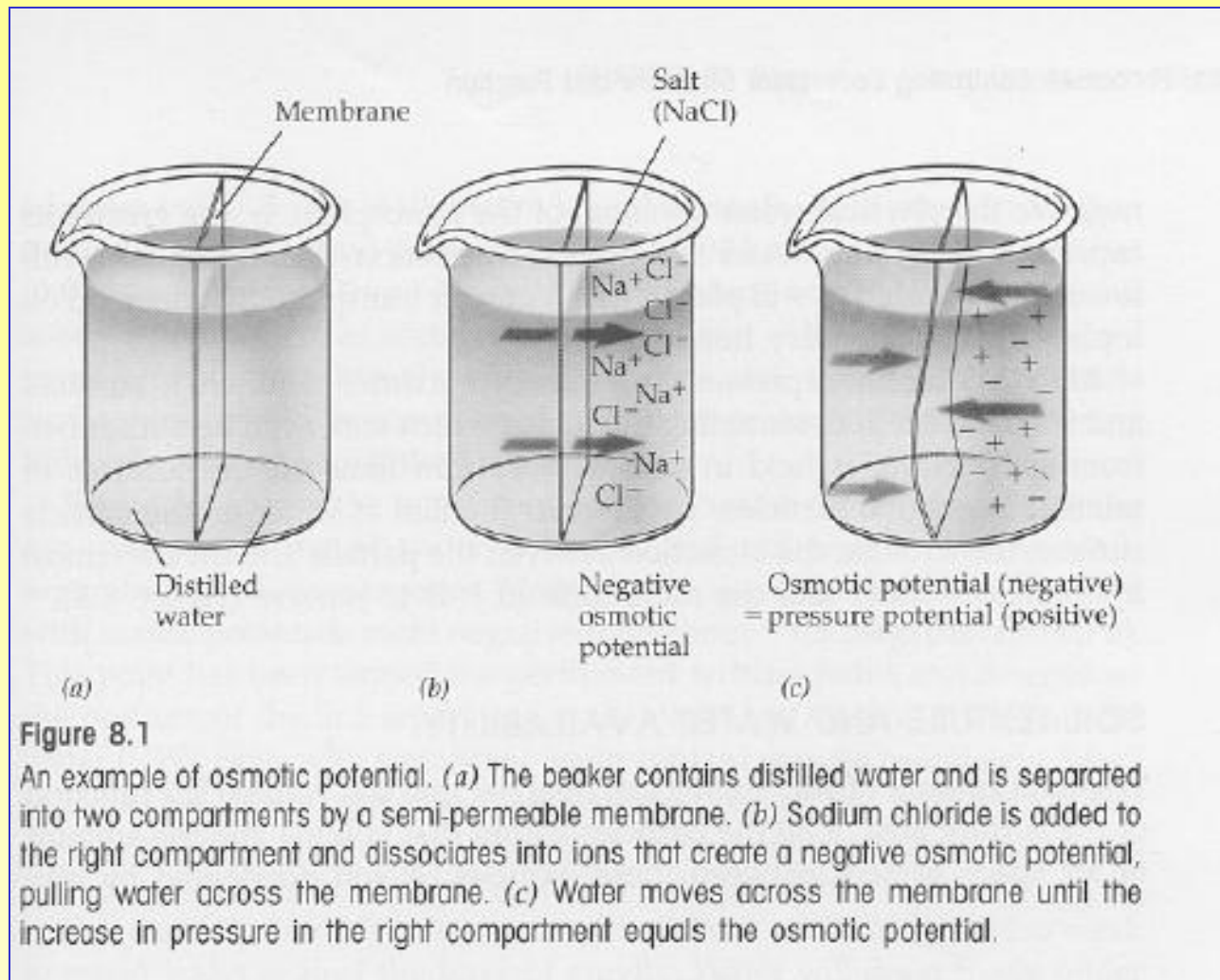


Figure 8.1

An example of osmotic potential. (a) The beaker contains distilled water and is separated into two compartments by a semi-permeable membrane. (b) Sodium chloride is added to the right compartment and dissociates into ions that create a negative osmotic potential, pulling water across the membrane. (c) Water moves across the membrane until the increase in pressure in the right compartment equals the osmotic potential.

Solute potential is also called the osmotic potential because solutes affect the direction of osmosis.

Indipendentemente dalla natura del soluto, per soluzioni diluite il Ψ_s può essere determinato attraverso l'equazione di van't Hoff

The diagram shows the equation $\Psi_s = -RTc_s$ in a light green box. Four arrows point from descriptive text to the components of the equation: Ψ_s , R , T , and c_s .

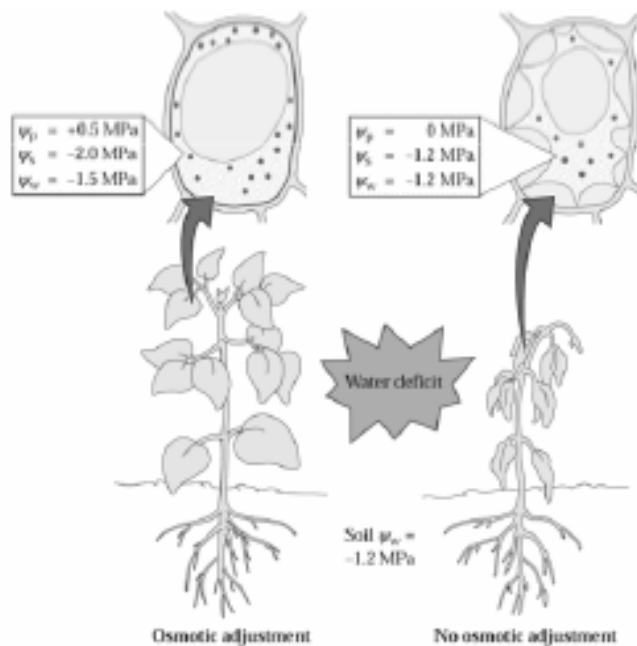
- An arrow points from the text "i soluti disciolti riducono il Ψ_w " to Ψ_s .
- An arrow points from the text "Costante dei gas" to R .
- An arrow points from the text "Temperatura assoluta" to T .
- An arrow points from the text "concentrazione del soluto in soluzione" to c_s .

Per i soluti ionici che si dissociano in due o più particelle C_s deve essere moltiplicato per il numero di particelle che si dissociano, al fine di calcolare il n° totale di particelle disciolte

Piante con bassi ψ_s (-2.5 Mpa!) :

1. Alofite

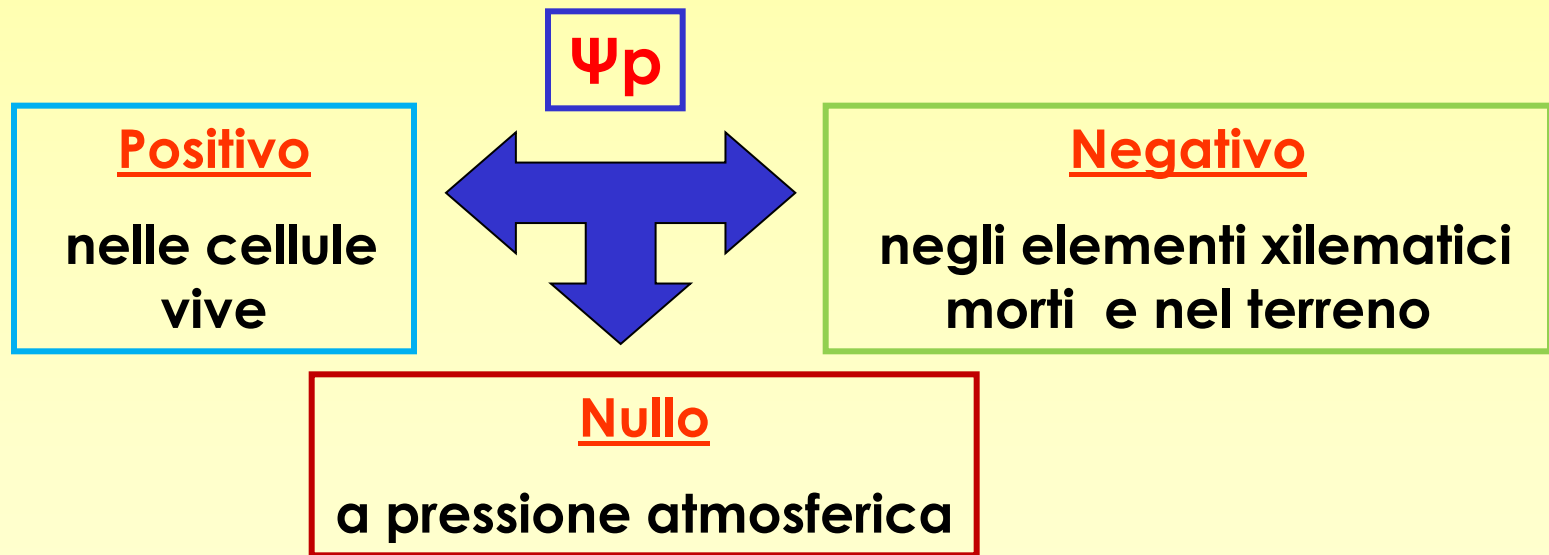
2. Piante che accumulano grandi concentrazioni di zuccheri (es: barbabietola da zucchero, canna da zucchero).



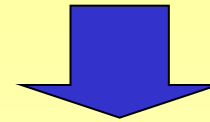
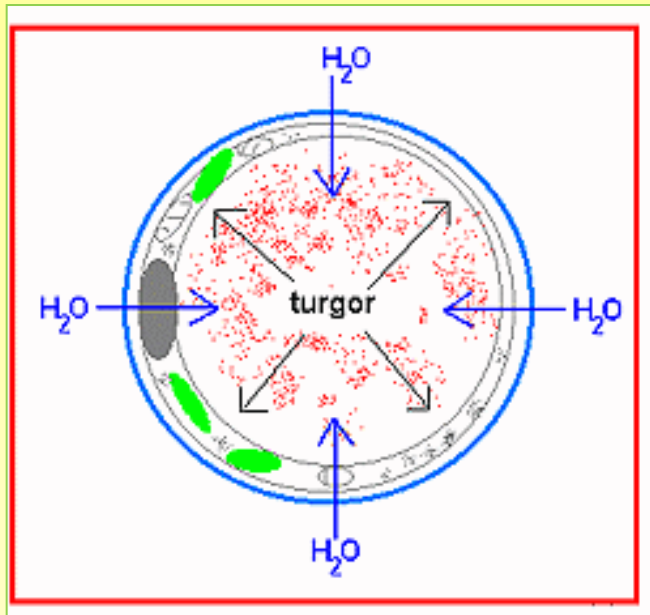
Le piante mediante un adattamento osmotico possono compensare periodi di siccità o suolo con alto contenuto salino.

Il potenziale di pressione è la pressione idrostatica di una soluzione “ Ψ_p ”

E' definita sempre come pressione idrostatica in eccesso rispetto alla pressione atmosferica che è uguale a zero $P_{atm} = 0$



Quando una soluzione è racchiusa dalla parete cellulare, il movimento dell'acqua nella cellula eserciterà una pressione sulla parete stessa.

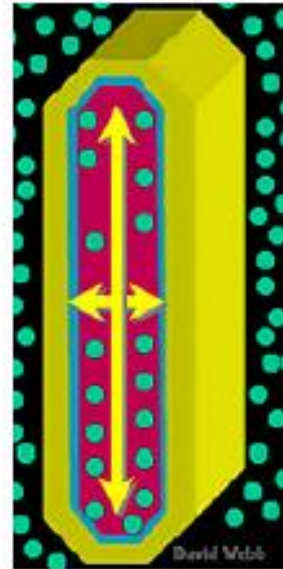


PRESSIONE di
TURGORE

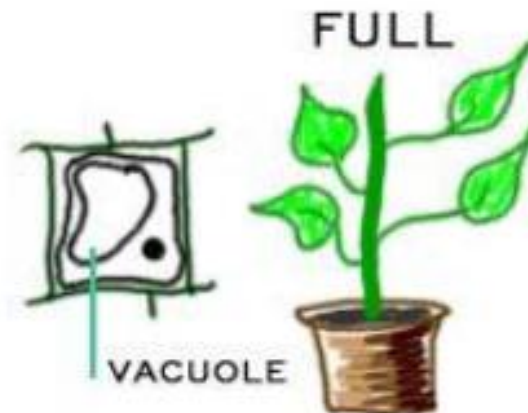
La pressione idrostatica positiva che si esercita contro le pareti della cellula per effetto dell'assorbimento di H_2O e conseguente all'ampliamento del volume cellulare (**0.5-1 MPa**)

Perché la **pressione di turgore** cellulare è importante?

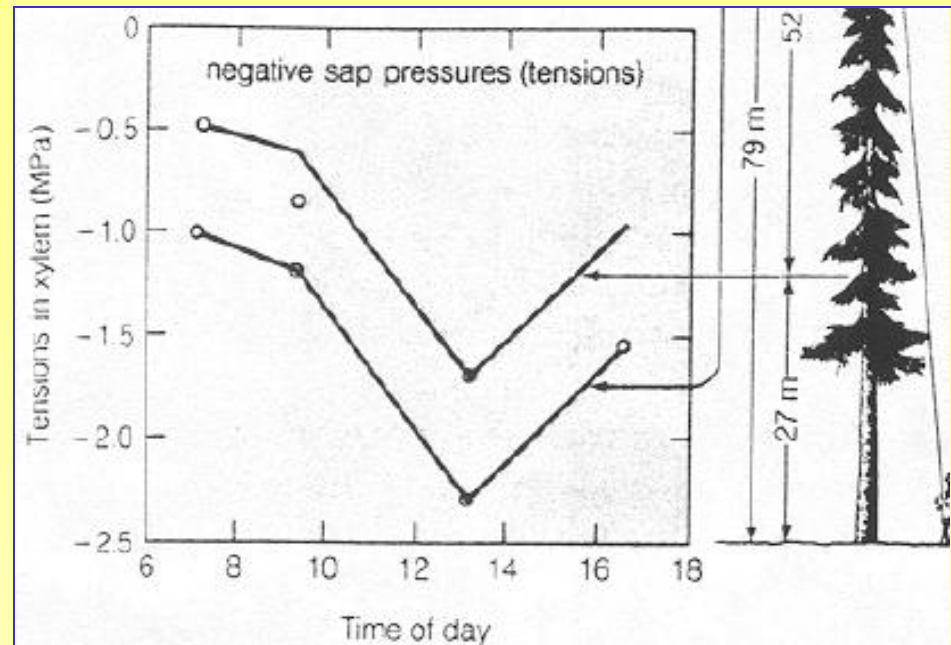
- **distendere le pareti** cellulari durante la crescita delle cellule



- **aumentare la rigidità** meccanica delle cellule e tessuti giovani non lignificati

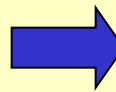


**Potenziale di
Pressione negativo
Tensione o suzione**



Ruolo del potenziale di pressione

**Mantenimento della forma e
funzione della pianta**

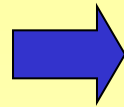


**$P < 0$ appassimento in cellule
e tessuti**

**L'aumento del potenziale di pressione Ψ_p aumenta il
potenziale idrico**

“ Ψ_g ” Potenziale GRAVITAZIONALE
rappresenta **l'effetto della gravità** sul Ψ_a

$$\Psi_g = \rho_{aq}gh$$



- ρ_{aq} = densità dell'H₂O
- g = accelerazione dovuta alla gravità
- h = altezza dell'H₂O al di sopra dell'H₂O di riferimento

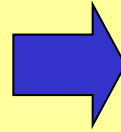
$$\rho_{aq}g = 0.01\text{MPa}$$

Il potenziale gravitazionale Ψ_g è considerato significativo ad una $h=10$ m in cui si ha un cambiamento del Ψ_{aq} di 0,1 Mpa. Al di sotto di questa h è omesso

Quindi non è d'interesse in ambito agronomico

Il potenziale gravitazionale è un valore positivo

Ψ_m potenziale
di matrice



- Suoli secchi
- Semi
- Pareti cellulari

Descrive l'effetto di interazione di superficie tra lo strato sottile di H_2O e la superficie secca a cui aderisce

E' un potenziale negativo in quanto **riduce il potenziale idrico** Ψ_{aq} , abbassa l'attività chimica dell' H_2O

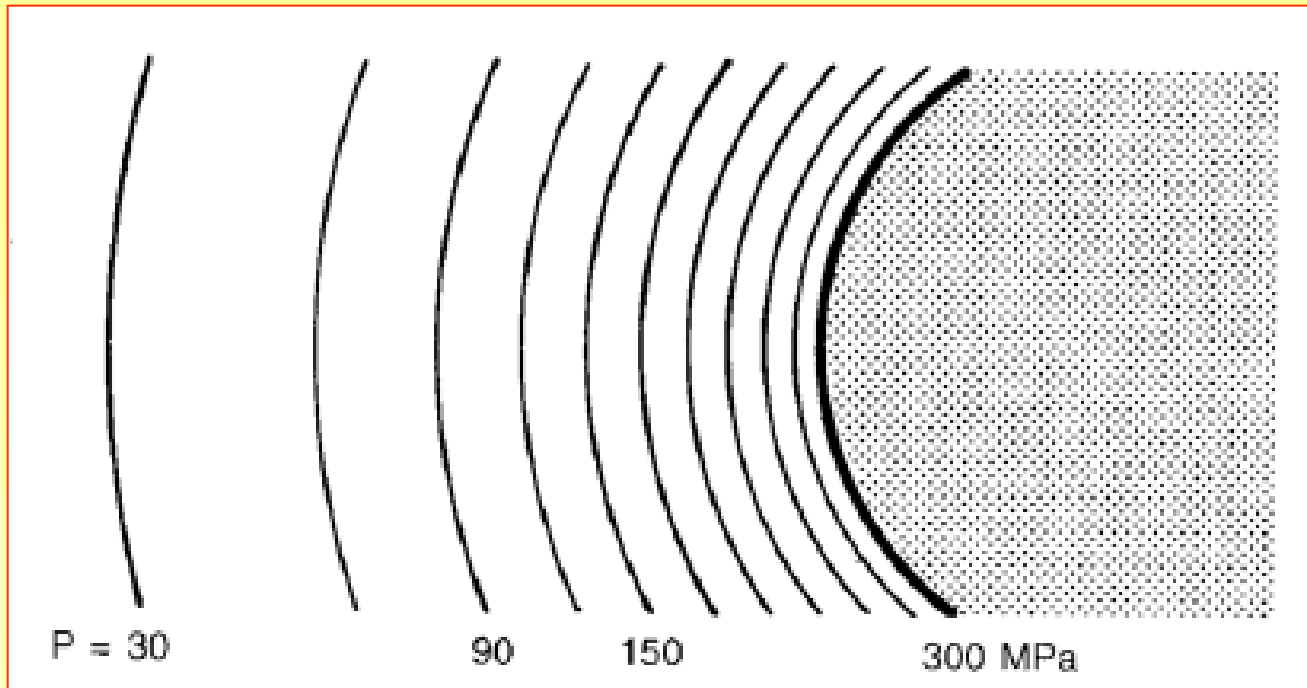
Nella cellula idratate, il contributo di questa componente matriciale è trascurabile

T



Il contributo nella cellula è dato maggiormente dal citoplasma, ricco di organelli, che dal vacuolo contenente soluzioni acquose relativamente complesse, ed ancor maggiore di più dalla parete

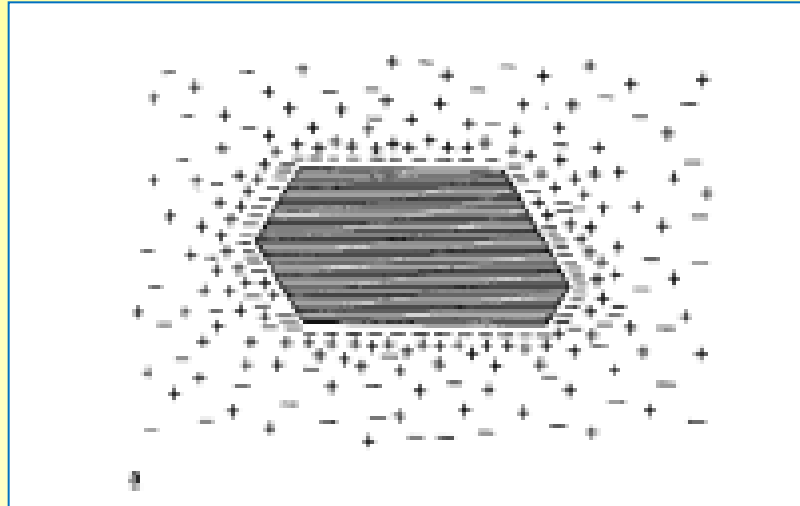




Il Ψ_m è una misura (a P atmosferica) della tendenza della matrice ad assorbire altre molecole d'H₂O. Questa tendenza è uguale alla forza media che si esercita sulla strato di molecole di H₂O legato meno tenacemente. In condizioni di massima idratazione tale forza è praticamente uguale a zero

Un materiale dotato di superficie in grado di legare l'H₂O è definito MATRICE

Ψ_m Misura la tendenza della matrice, a pressione atmosferica, ad adsorbire ulteriori molecole d'H₂O



Il processo di adsorbimento è
l'IDRATAZIONE

Forza di adsorbimento
dipende dalla natura della
superficie e dalla distanza fra
le molecole

Water Potential

- Water potential, (Ψ) quantifies the forces causing water movement in plants
- Defined as free energy of water or its ability to do work
- Water moves from high to low water potential
- Main Components
 - Matric potential, (Ψ_m)
 - Osmotic potential, (Ψ_o)
 - Pressure potential, (Ψ_p)
 - Gravimetric Potential, $\rho_w gh$

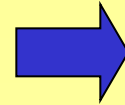
$$\Psi = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_p + \rho_w gh \text{ (.01MPa m}^{-1}\text{)}$$

- Osmotic Potential, (Ψ_o)
 - Quantifies the decrease in Ψ from the presence of solutes.
 - Important for quantifying water movement into and out of cells (growth, root pressure, water uptake, guard cell function etc).

- Pressure potential
 - Pressure potential is usually positive in living cells
 - Pressure potential is negative in xylem tissue because water column is under tension

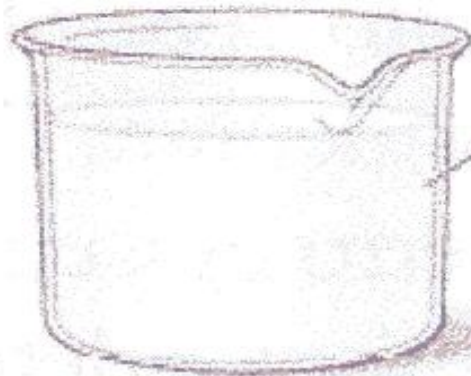
- Matric Potential
 - Quantifies tendency of water to adhere to surfaces
 - Mostly important for determining the rate that water can be removed from soil

A livello cellulare



$$\Psi_{aq} = \Psi_s + \Psi_p$$

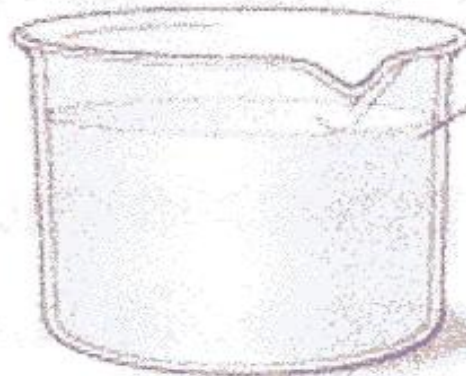
(A) Pure water



Pure water

$$\begin{aligned}\Psi_p &= 0 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= 0 \text{ MPa} \\ \Psi_w &= \Psi_p + \Psi_s \\ &= 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(B) Solution containing 0.1 M sucrose



0.1 M Sucrose solution

$$\begin{aligned}\Psi_p &= 0 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= -0.244 \text{ MPa} \\ \Psi_w &= \Psi_p + \Psi_s \\ &= 0 - 0.244 \text{ MPa} \\ &= -0.244 \text{ MPa}\end{aligned}$$

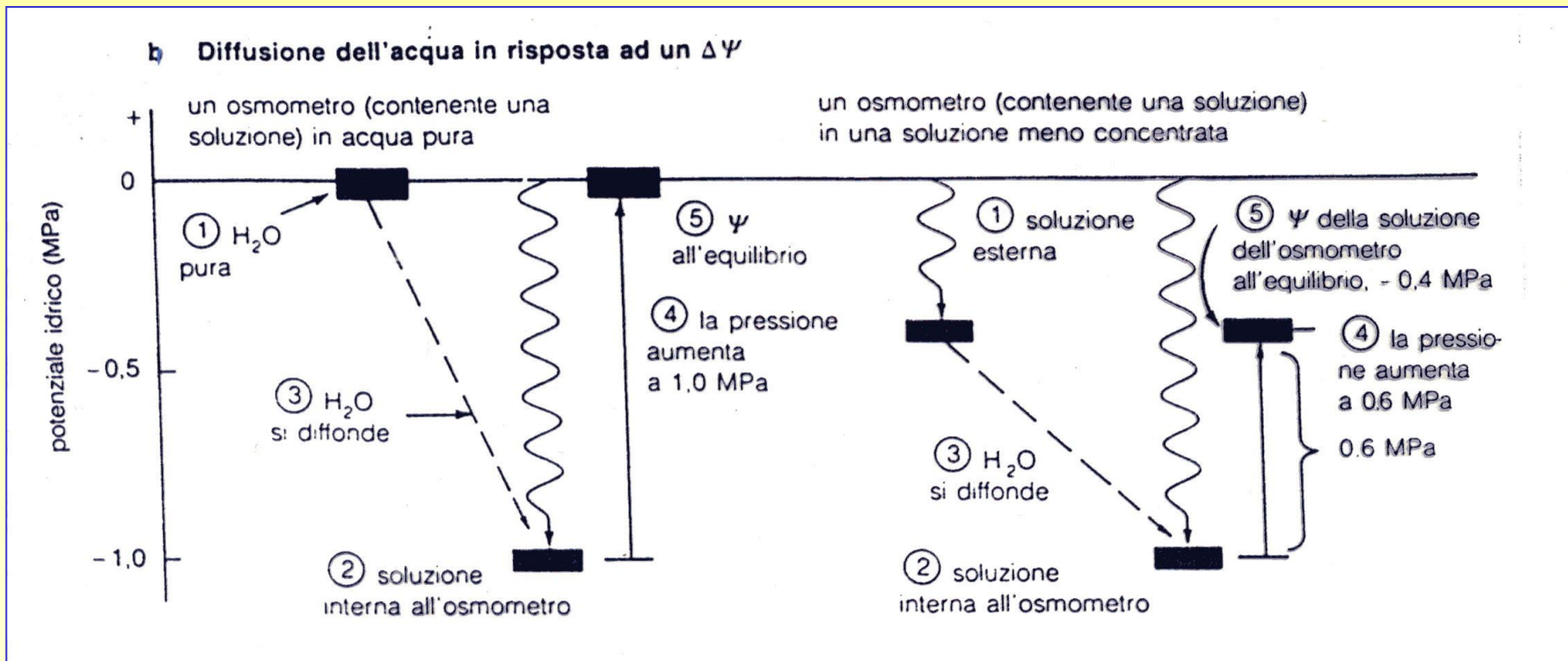
Tra due regioni che differiscono nel potenziale idrico Ψ_{aq} l' H_2O diffonderà secondo un gradiente di potenziale idrico $\Delta(\Psi_{aq})$

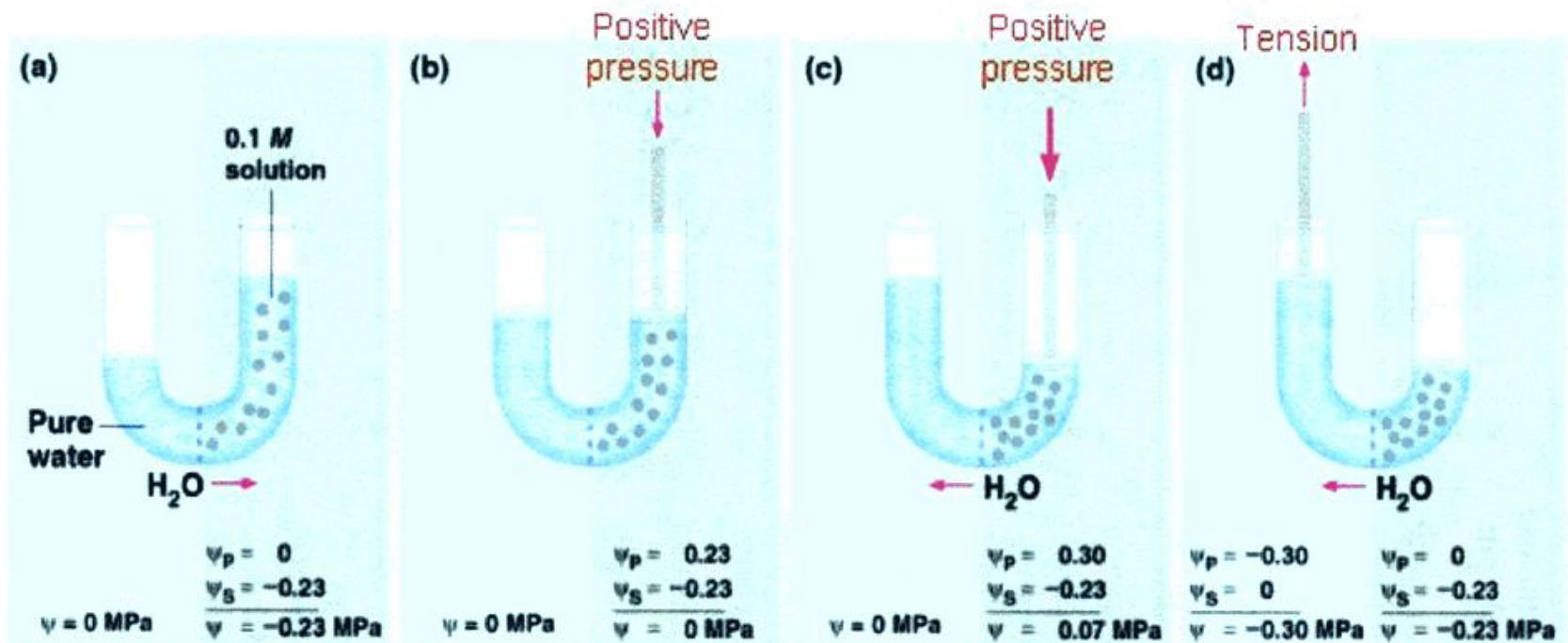
Da un Ψ_{aq} maggiore



a un Ψ_{aq} minore

Il movimento avverrà finchè $\underline{\Delta} \Psi_{aq} = 0$ e non ci sarà più flusso

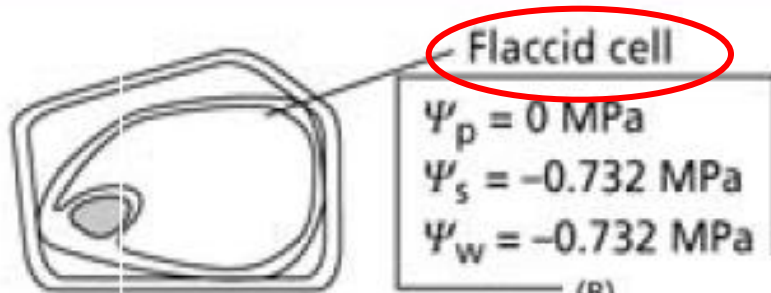




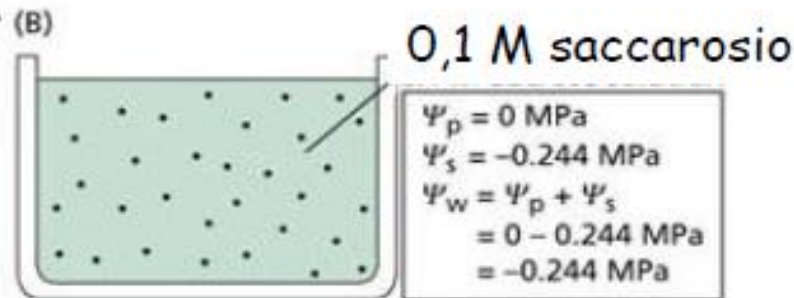
© 1999 Addison Wesley Longman, Inc.

Variazioni nel potenziale idrico Ψ_{aq} possono essere determinate da variazioni nel potenziale di pressione Ψ_p e da potenziale dei soluti Ψ_s

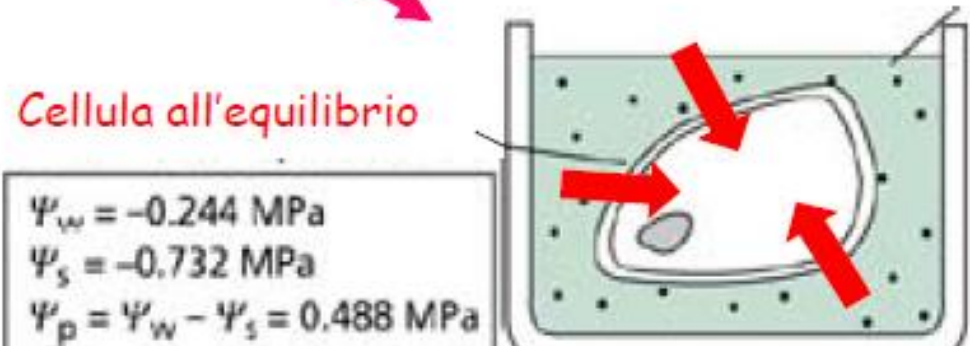
Esempio 1: Comportamento osmotico delle cellule vegetali:



Ψ_w maggiori > Ψ_w minori



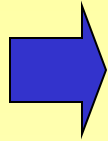
$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$



$\Delta\Psi_{aq} = 0$ $\Psi_{aq \text{ cell}} = \Psi_{aq \text{ est}}$ Il flusso cessa

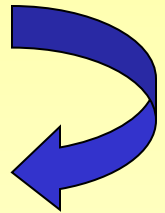
Cosa succede ad una cellula in presenza di una soluzione con potenziale idrico maggiore prima di arrivare all'equilibrio?

Man
mano che
entra l'H₂O



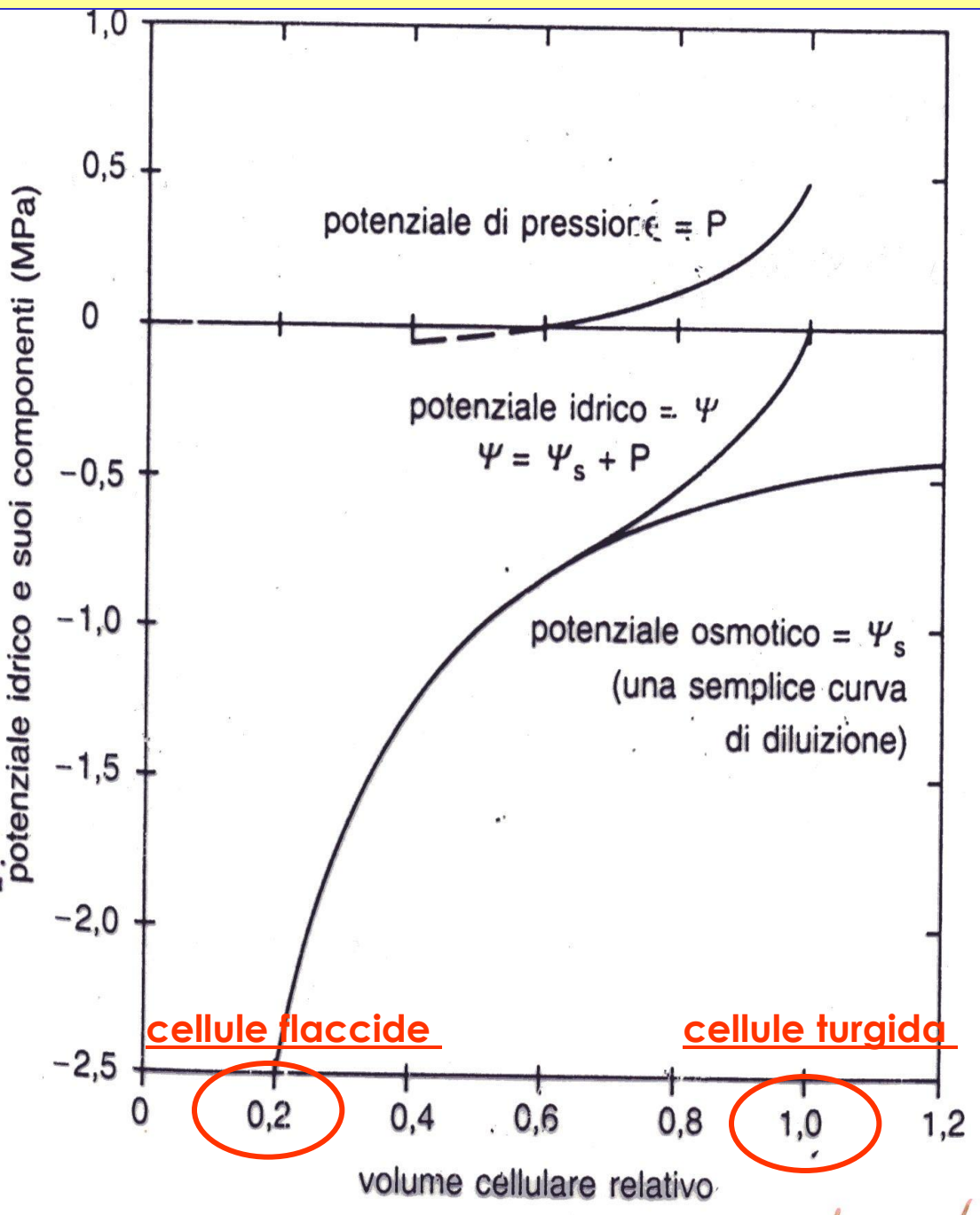
- Aumenta il volume cellulare
- Aumenta il ψ_p
- Aumenta il ψ_s (diluisce la concentrazione dei soluti)
- Aumenta il ψ_{aq}

Si riduce il $\Delta\psi_{aq}$ finchè è uguale a zero



Quale delle componenti ψ_s e ψ_p , influisce sulla riduzione del $\Delta\psi_{aq}$?

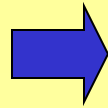
Diagramma di HOFFLER mette in relazione il ψ_{aq} con le sue componenti ψ_s e ψ_p in funzione del volume cellulare relativo



Nelle cellule flaccide o prive di parete, come le cellule animali, i cambiamenti nel Ψ_{aq} sono dovuti principalmente a variazioni di Ψ_s

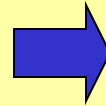
Nelle cellule turgide con pareti, come le cellule vegetali, i cambiamenti nel Ψ_{aq} sono dovuti principalmente a variazioni di Ψ_p

Nelle cellule
con pareti
rigide



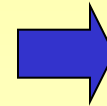
Una piccola quantità di H₂O che entra lascia inalterato il ψ_s nel tempo durante il processo di assorbimento. Non c'è effetto di diluizione, o se c'è è trascurabile e può essere ignorato

Piccolo aumento di volume



Forte aumento di ψ_p

Modulo di Elasticità Volumetrica
relaziona il cambiamento del
volume cellulare e di pressione
all'Elasticità della parete

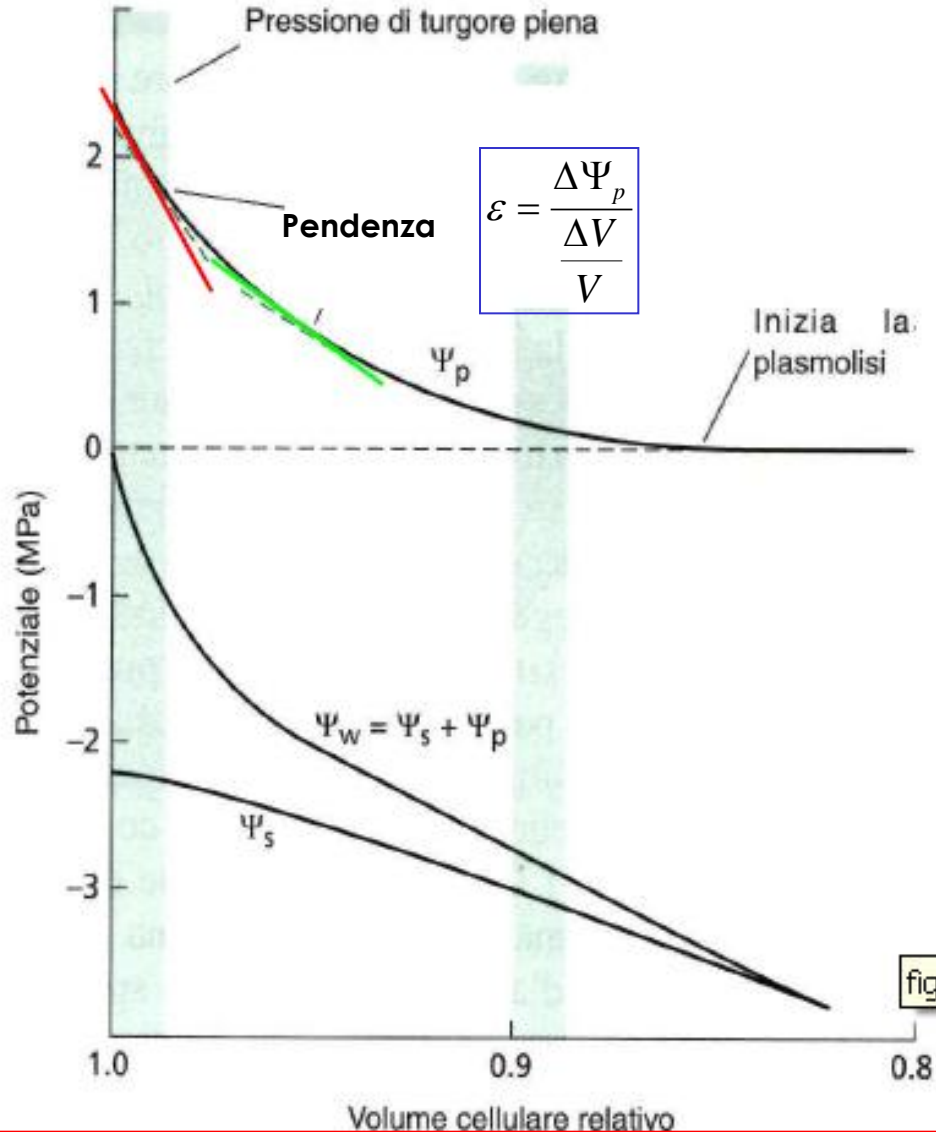


$$\varepsilon = \frac{\Delta \Psi_p}{\frac{\Delta V}{V}}$$

ε = la pendenza della curva di ψ_p

$\Delta \psi_p$ = variazione della pressione di turgore

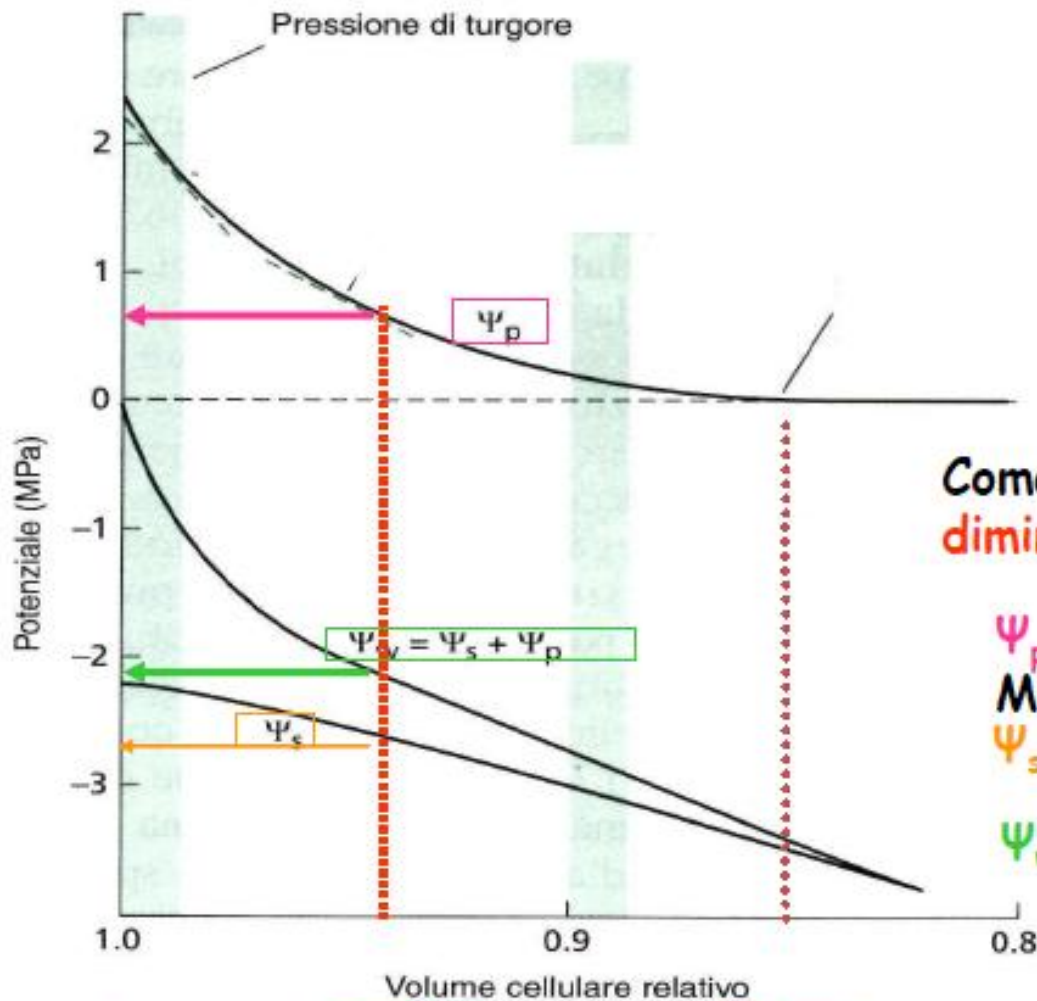
$\Delta V/V$ = variazione relativa nel volume cellulare



La pendenza della curva è correlata alla rigidità della parete:

Più rigida è la parete e più pendente è la curva

ε (Mpa)
non è un valore costante ma diminuisce man mano che la cellula perde turgore



Come il volume cellulare
diminuisce del 5%:

Ψ_p da 2.5 scende a 0.7
MPa

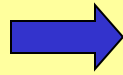
Ψ_s da -2.2 scende a -2.5 MPa

Ψ_w da >0 passa a -1.8 MPa



Per un cambiamento dell'1% del volume cellulare si ha una variazione della pressione di turgore del 10%

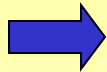
ϵ elevata



Indica rigidità del tessuto per cui durante l'influsso di H₂O piccole variazioni di volume determinano alti $\Delta\psi_p$ e un leggero efflusso di H₂O lo riduce

Incapacità del tessuto di stoccare H₂O

ϵ bassa

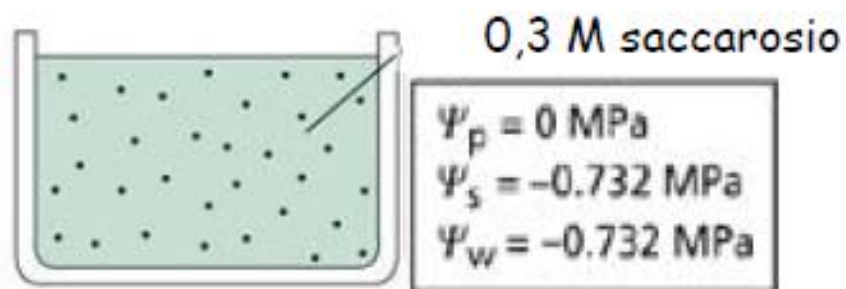
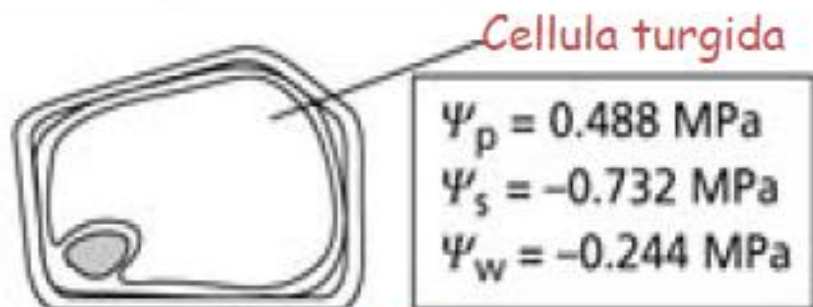


L'influsso di H₂O determina piccoli aumenti di ψ_p indice di buona elasticità della parete

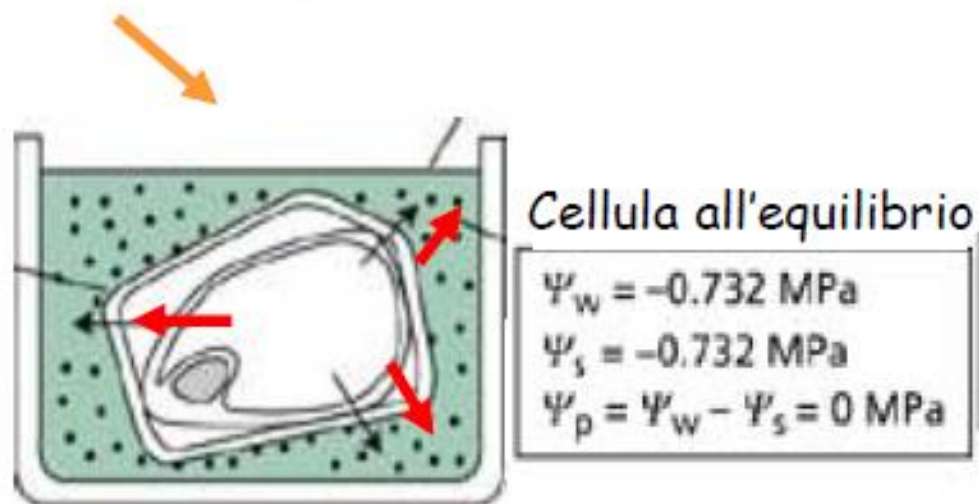
Le cellule possono stoccare grandi quantità di H₂O e quando ϵ e ψ_p sono bassi i cambiamenti nel ψ_{aq} sono principalmente dovuti al ψ_s

Foglie decidue	10-20 MPa
Foglie sempre verdi	30-50 MPa
Foglie giovani di specie erbacee	1-5 MPa

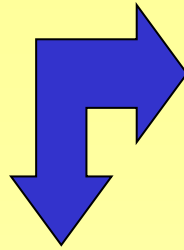
Esempio 2: Comportamento osmotico delle cellule vegetali:



$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$



L'H₂O può essere persa dalle cellule



- Riduzione del volume vacuolare
- Aumento nelle concentrazione del succo cellulare

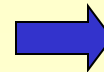
Se continua.... la perdita di H₂O

- La parete cellulare esercita meno pressione sul protoplasma
- il volume cellulare diminuisce fino ad un valore soglia, oltre al quale la parete non può ulteriormente restringersi

ZERO TURGOR POINT

$$\Psi_p = 0 \text{ e } \Psi_s = \Psi_{\text{cell}}$$

Se la cellula è in un mezzo acquoso, il protoplasma comincia a staccarsi dalla parete



PLASMOLISI INCIPIENTE

Una pianta **appassisce**
quando $\Psi_p = 0$

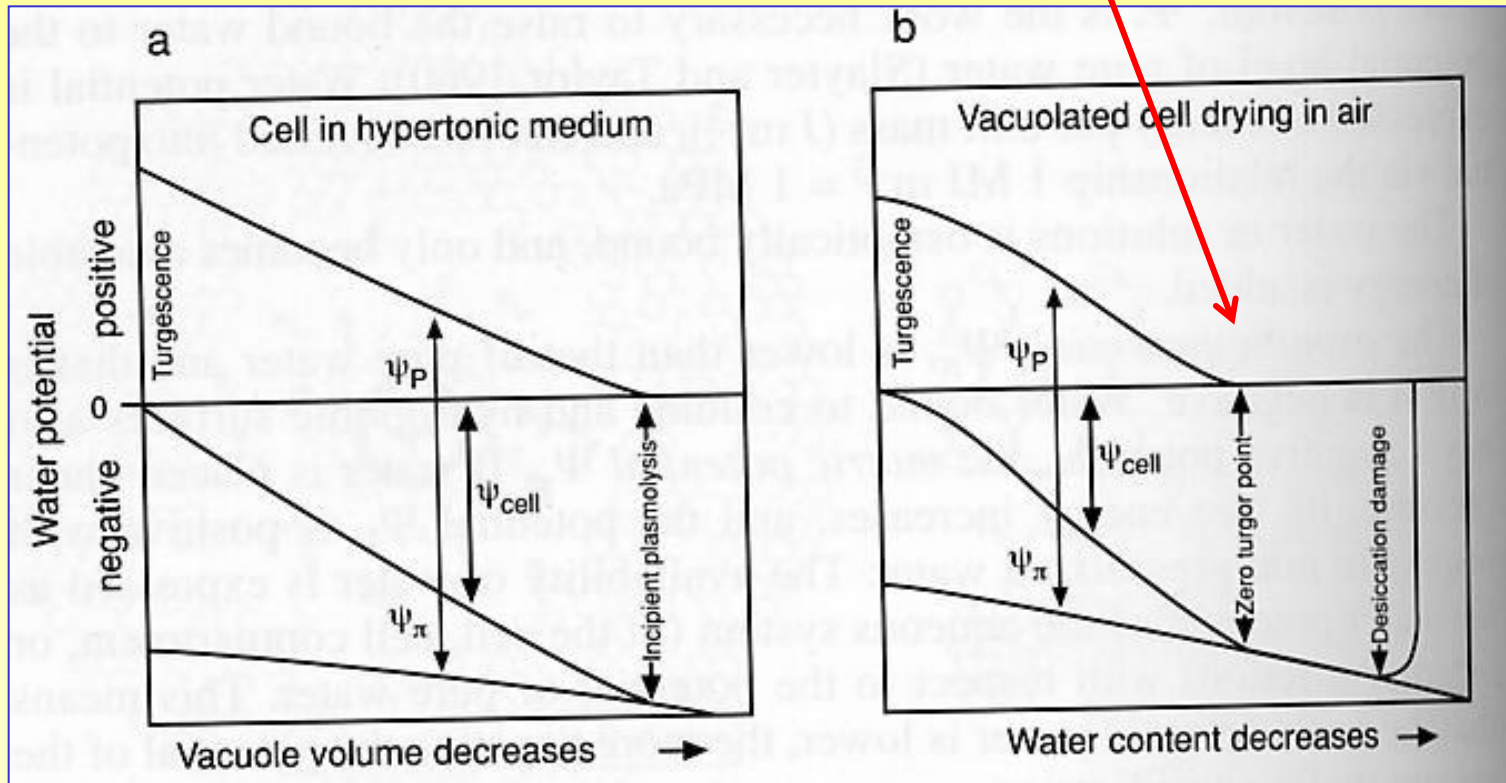


La **plasmolisi** si ha quando la cellula perde così tanta H_2O che la **membrana plasmatica** si stacca dalla **parete cellulare**.



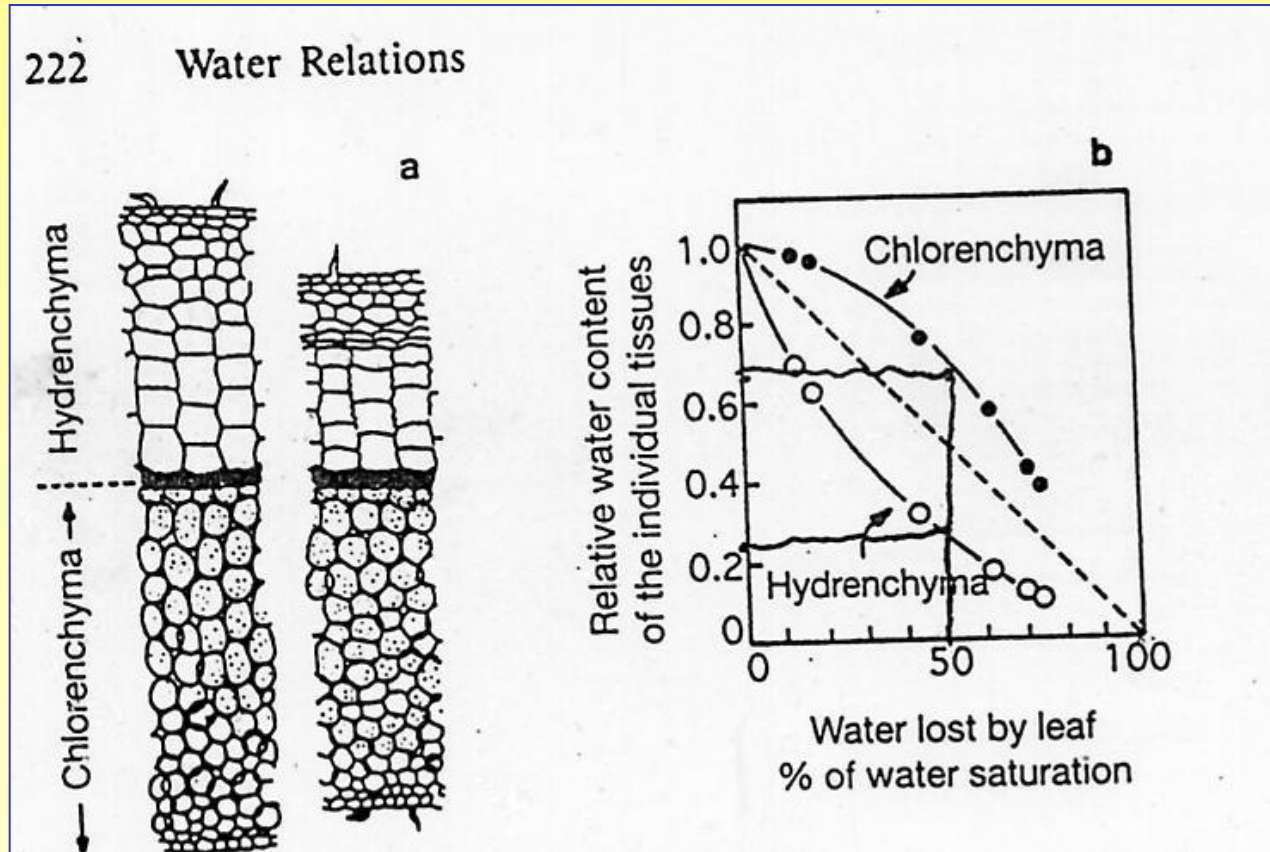
Plasmolisi di una cellula epidermica di *Allium cepa* dopo aggiunta di nitrato di calcio.

Per le piante esposte all'aria **Non** avviene la **PLASMOLISI** **INCIPIENTE**, poichè la parete è impermeabile all'aria e segue il protoplasma



Se la perdita è così estrema da danneggiare le biomembrane, il sistema osmotico è rotto e la capacità di assorbire H_2O è persa

Quando le cellule non sono isolate, ma formano un tessuto, queste possono contribuire a limitare la perdita di H₂O dei tessuti vicini



Traslocazione di H₂O da idrenchima (tessuto di stoccaggio di H₂O) al clorenchima (tessuto di assimilazione) in foglie di specie succulenta durante perdita di H₂O

Qual'è il valore di potenziale idrico nelle piante

Tabella 12.2

Potenziale idrico di diversi tessuti in date condizioni (bar)

Bar

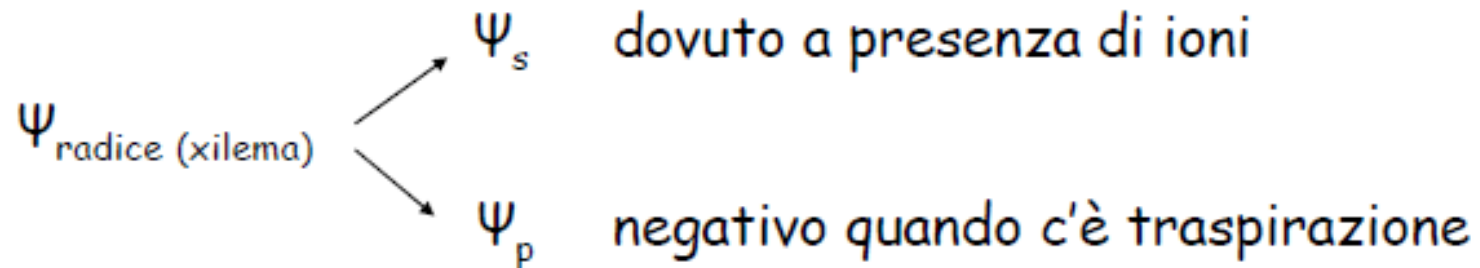
0,0	Foglie al pieno turgore
-0,5	Soluzione fertilizzante
-2	Quasi tutte le radici in un terreno asciutto
-5	Foglie di piante in terreno ben bagnato; le foglie crescono rigogliose
-10	Foglie di piante con radici in terreno asciutto; le foglie crescono lentamente
-25	Acqua del mare
-27	Saccarosio o mannitolo 1 molale
-30	Foglie di piante con radici in terreno molto secco; per molte piante la crescita è lenta o bloccata. Alcune muoiono
-60	Foglie di piante desertiche in un terreno arido
-200	Semi secchi, vitali in grado di germinare

- 2000

Piante alofite (vivono in ambienti salati)

Il Ψ_w delle piante deve essere più basso del Ψ_w del suolo, altrimenti il suolo estrarrebbe acqua dalla pianta!

$$\Psi_{\text{suolo}} > \Psi_{\text{radice (xilema)}}$$



$\Psi_{\text{radice (xilema)}}$ sempre negativo (-0,5, -1,5 MPa)

Come fanno le piante nei suoli aridi ad ottenere Ψ_w così bassi?

Abbassano i valori del Ψ_s , attraverso l'accumulo di soluti nel vacuolo.

- 1) Sintesi di metaboliti o sostanze osmoticamente attive (= cambiamento di concentrazione dei soluti)
- 2) Movimento e trasporto di soluti attraverso le membrane in modo diverso a seconda dei soluti

Studi biochimici di comparazione dei vari metabolismi in differenti organismi vegetali hanno evidenziato che si accumulano **pochi tipi di soluti** a concentrazioni tali che possano contribuire in modo significativo all'adattamento osmotico.

SOLUTI OSMOTICAMENTE ATTIVI

1) SOSTANZE ORGANICHE

ACIDI ORGANICI es. acido malico, ossalacetico, malonico, citrico, tartarico

AMINOACIDI ed amidi compresi gli aminoacidi non proteici (es. nelle Leguminose) Es. l'aminoacido PROLINA viene prodotto in grandi quantità per ragioni osmotiche

PROTEINE SOLUBILI (P.M. < 5-8 kDa) **BETAINE** (es. glicina betaina) = derivati degli aminoacidi con azoto quaternario, poco metabolizzabili e prodotte in grandi quantità per regolazione osmotica

ZUCCHERI mono (es. glucosio, sorbitolo) e disaccaridi (es. saccarosio) trisaccaridi (es. raffinoso) **NON i POLISACCARIDI** (es. amido e cellulosa)

MANNITOLO forma ridotta dello zucchero mannosio presente in molti gruppi di alghe per ragioni osmotiche

SOLUTI OSMOTICAMENTE ATTIVI

2) SOSTANZE INORGANICHE

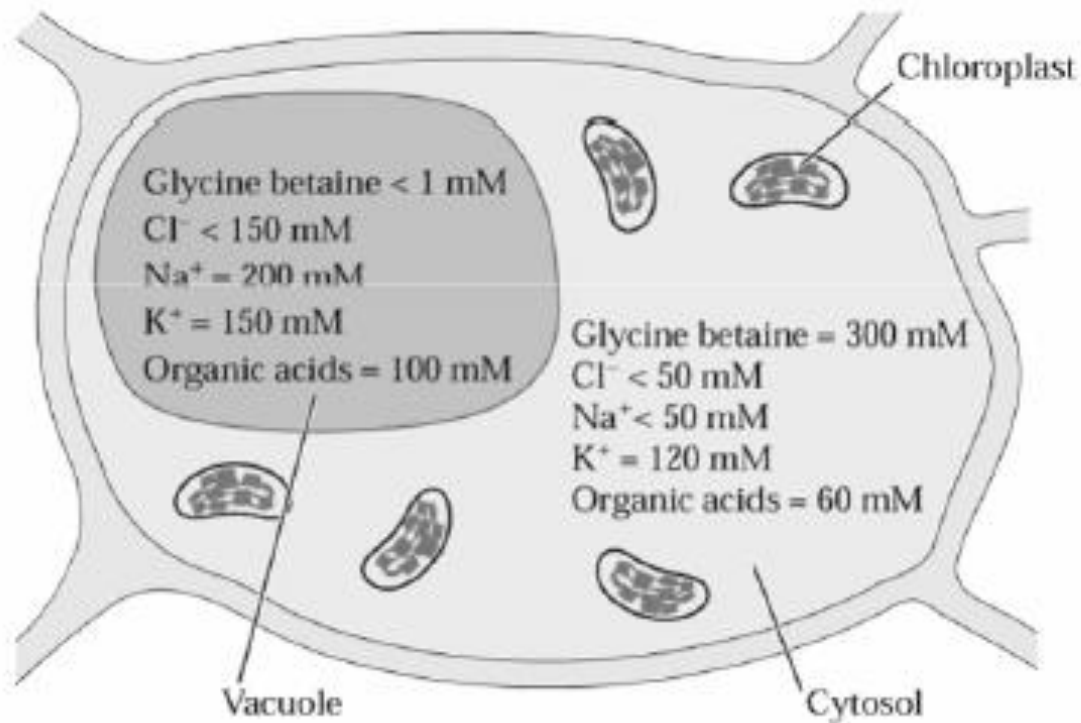
IONI: K, NO_3^- , Cl^- , CO_3H , Na^+

In minor maniera Mg_2^+ , Fe_2^+ , Fe_3^+ , PO_4^{2-} , SO_4^{2-} altri microelementi (es. Mn, Si, B)

NON Ca_2^+ (precipita con acido ossalico)

Molecole attive nell'adattamento osmotico sono distribuite differentemente negli organuli cellulari

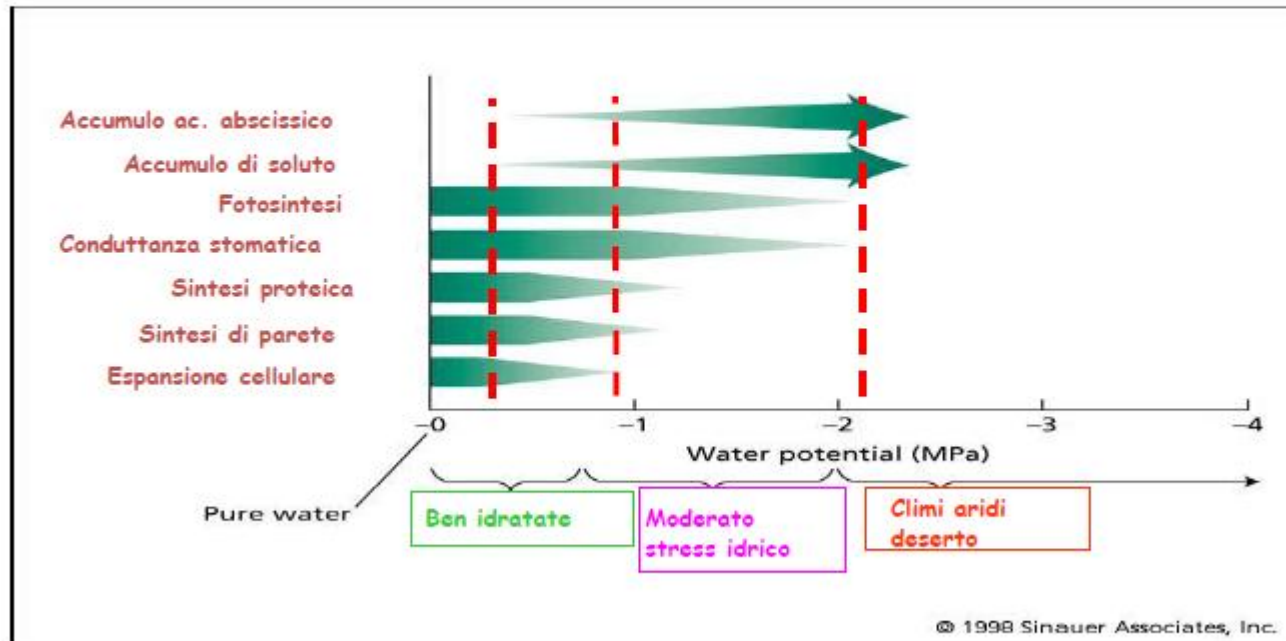
Salt-stressed spinach leaf cell



Ruolo del potenziale idrico

- È la forza motrice per il trasporto dell'H₂O
- Regola la direzione del flusso idrico attraverso le cellule
- È la misura dello stato idrico della pianta

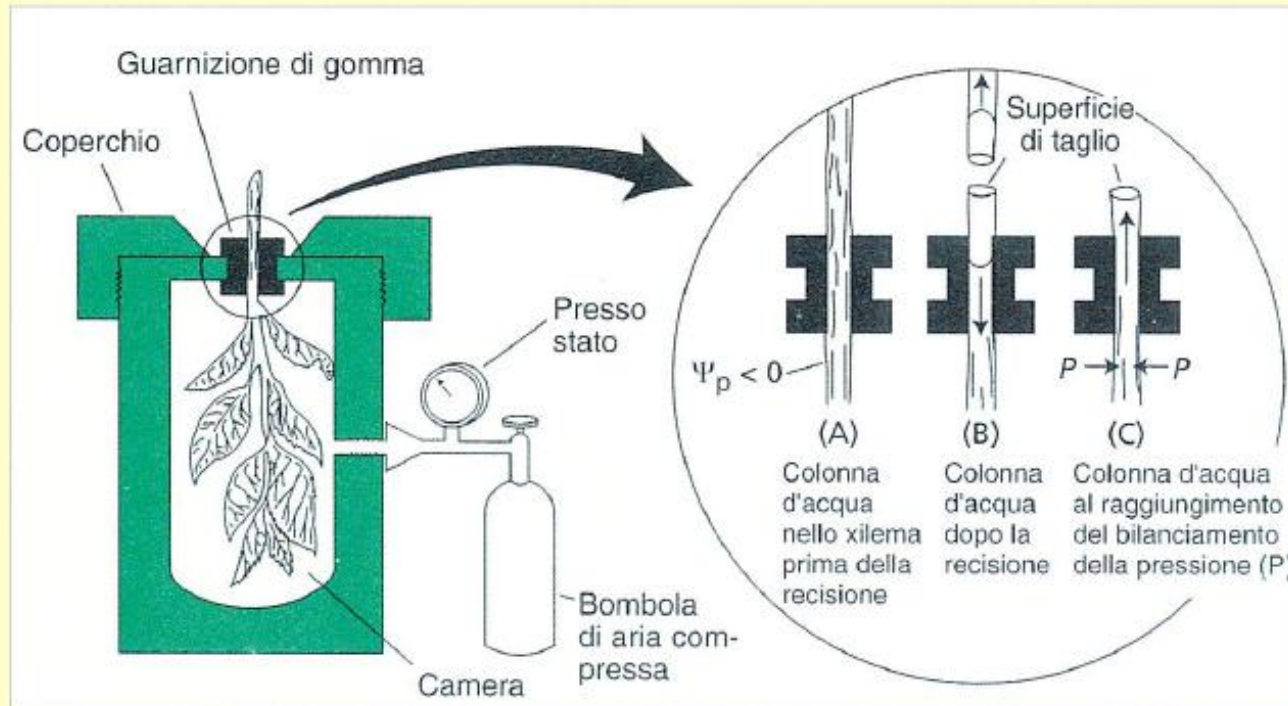
Piante con ridotti Ψ_w vanno incontro a stress idrico, che a sua volta influenza diversi processi fisiologici



Le foglie di piante **ben idratate** hanno $\Psi_w = -0.2/-0.6$ Mpa

Misura del potenziale idrico

Camera a pressione



$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

FIGURA 3.F. Metodo della camera a pressione per misurare il potenziale idrico della pianta. Il diagramma a sinistra mostra un germoglio sigillato in una camera, che può essere pressurizzata con gas compresso. Il diagramma alla destra mostra lo stato della colonna d'acqua all'interno dello xilema in tre momenti diversi. In (a) lo xilema non è reciso ed è sotto pressione negativa, o tensione. In (b) il germoglio viene reciso e porta al ritiro dell'acqua all'interno del tessuto, lontano dalla superficie di taglio, in risposta alla tensione all'interno dello xilema. In (c) la camera viene pressurizzata riportando il succo xilematico verso la superficie di taglio.

MISURE DEL POTENZIALE IDRICO

PRINCIPIO: all'equilibrio $\Delta\Psi_{aq} = 0$

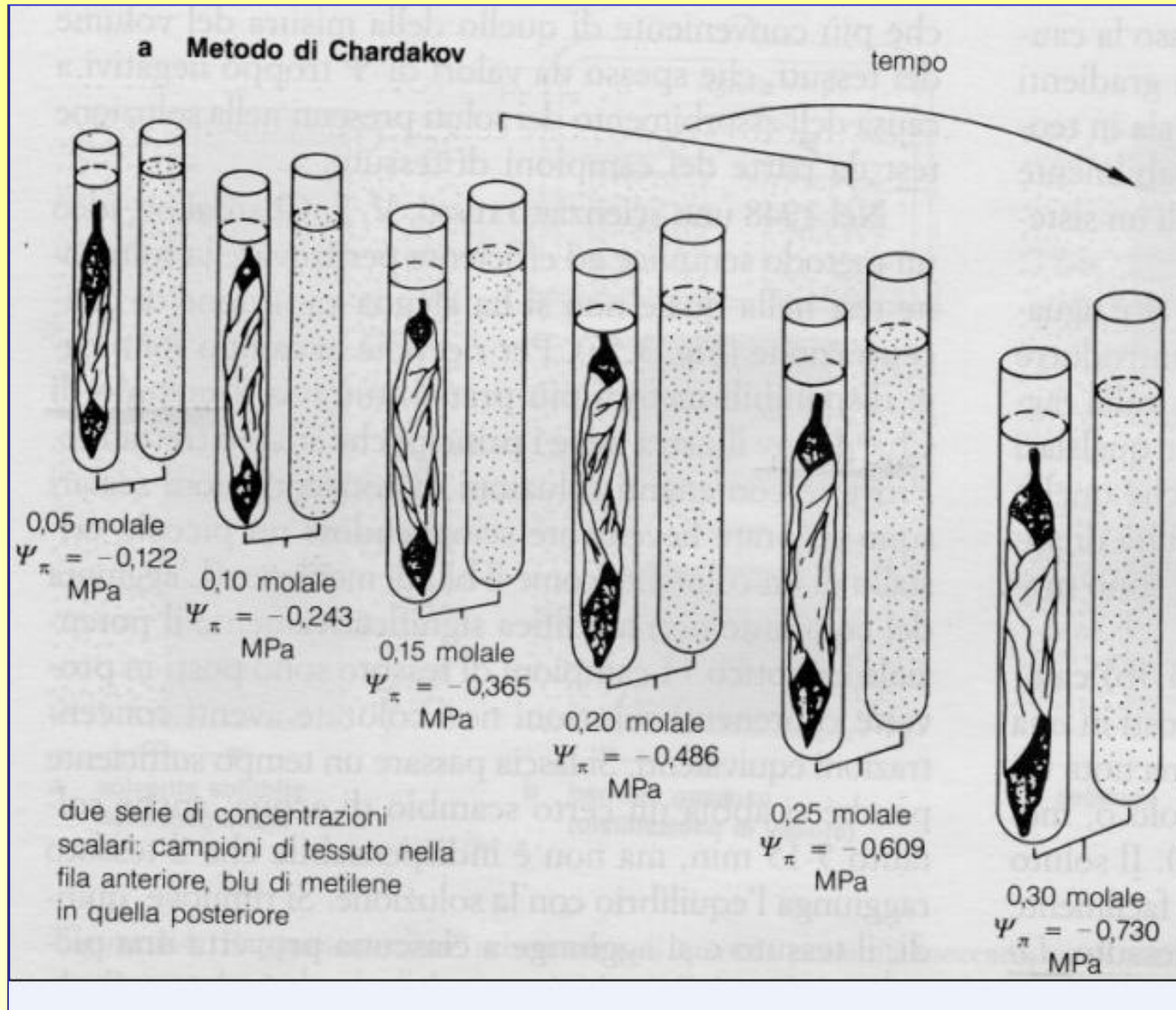
Il Ψ_{aq} è uguale in tutti i punti del sistema

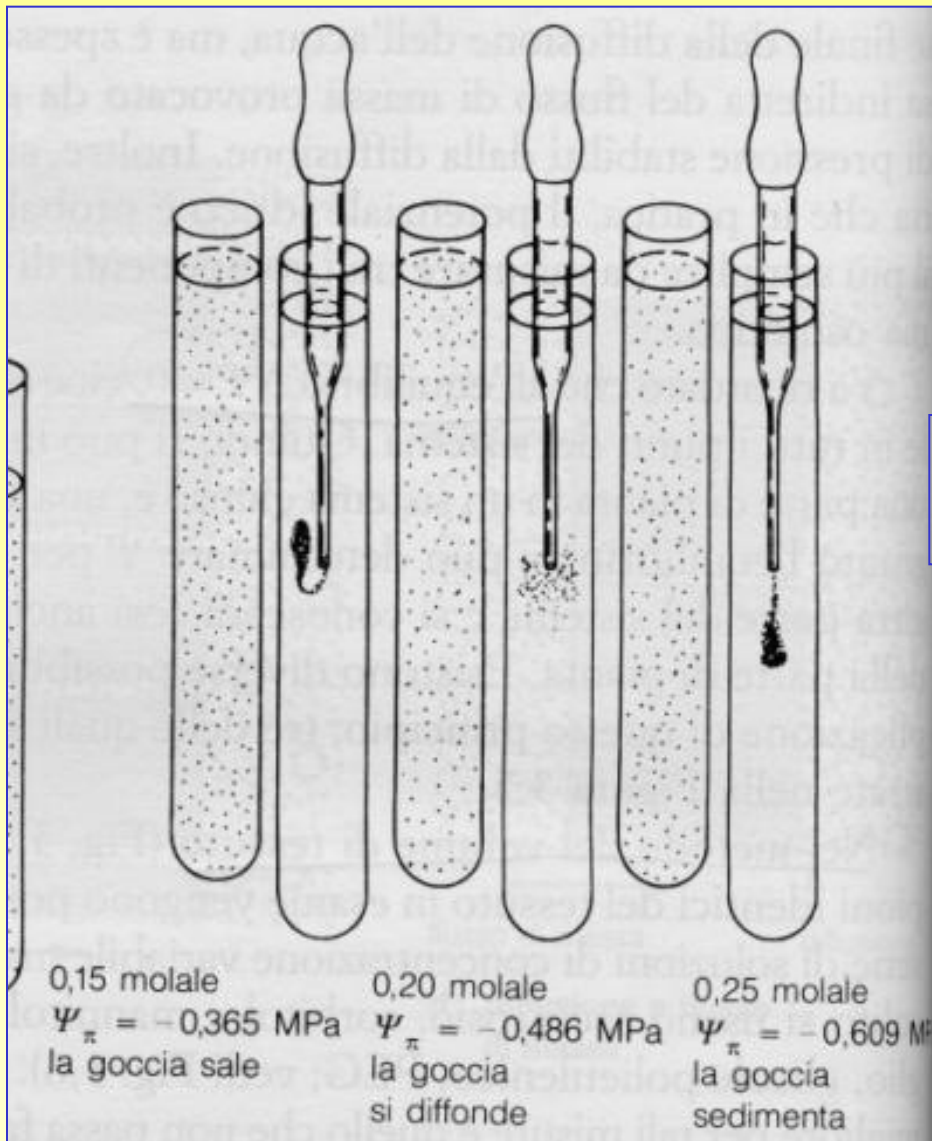
- introdurre parte di pianta in un sistema chiuso
- lasciare raggiungere l'equilibrio fra i sistemi considerati
- calcolare il Ψ_{aq} per qualsiasi altra parte del sistema

si conoscerà così quello della pianta



METODO di CHARDAKOV





se la goccia sale in alto
 la soluzione è più densa

il tessuto ha assorbito H_2O

$$\Psi_{\text{tessuto}} < \Psi_{\text{soluzione}}$$

se la goccia scende al fondo
la soluzione è meno densa

il tessuto ha ceduto H_2O

$$\Psi_{\text{tessuto}} > \Psi_{\text{soluzione}}$$

**Se la goccia diffonde
 uniformemente**

$$\Psi_{\text{tessuto}} = \Psi_{\text{soluzione}}$$

Ψ_{aq}

valido indicatore dello stato idrico dell'intera pianta

Variazioni fisiologiche non sempre correlano con
Variazioni del Ψ_{aq} **ma sono più strettamente relazionate**

RWC = Relative water content = Contenuto relativo di H₂O

RWC =

$$\frac{\text{fresh weight} - \text{dry weight}}{\text{turgid weight} - \text{dry weight}} \bullet 100$$

RWC 85-90 % in condizioni ottimali
(assorbimento fogliare = perdita fogliare)

RWC < 50 % CRITICO al di sotto la pianta muore

Come si misura?

- Campione di tessuto di peso fresco P_f
- Si lascia assorbire H_2O fino alla saturazione, per immersione
- Peso della massa turgida P_t
- Essiccare in stufa a 85-90 °C
- Peso della massa secca P_s

$$\boxed{\text{RWC}} = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} \bullet 100$$

Se Ψ_{aq} diminuisce, RWC diminuisce

Potenziale idrico in torsoli di patata

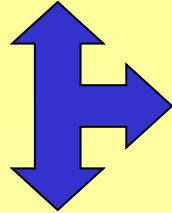
- Pesare diversi torsoli di patata per misurare il loro peso iniziale.
- Immergerli in soluzioni a diverse concentrazioni di saccarosio.
- Dopo un certo periodo di tempo, misurare il loro peso finale e calcolare la variazione percentuale rispetto al peso iniziale.
- E' evidente che alcuni torsoli avranno guadagnato peso (acquisito maggiore acqua) mentre altri avranno perduto peso (rilasciato acqua). **Altri non avranno né perso né guadagnato!!!!**
- Quindi : **$\Psi_{\text{tessuto}} = \Psi_{\text{soluzione}}$**
- A questo punto si può calcolare il potenziale idrico che è pari al potenziale del soluto:

$$\text{Potenziale del soluto} = - i C R T$$

Dove i è il numero delle particelle della molecola (per NaCl è pari a 2, per il saccarosio è pari a 1), C è la concentrazione molare della soluzione, R è la costante di pressione che è pari a 0,0831 litri bar/mol K e T è la temperatura in gradi Kelvin della soluzione.

Diffusione

L'H₂O si sposta

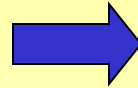


Flusso di
massa

Processi spontanei

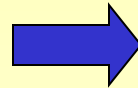
Osmosi

La direzione del
flusso di H₂O



E' determinata dal gradiente di
potenziale idrico Ψ_{aq}
FORZA MOTRICE DEL TRASPORTO

La velocità del
flusso di H₂O



$$V_f = \frac{\text{forzamotoice}}{R}$$

R = Resistenza

$$\frac{1}{R} = \text{CONDUTTANZA} = L$$

$$L = L_p \cdot A$$

• A = area della sezione

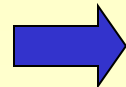
• L_p = conduttività idraulica = è la misura della facilità con la quale l' H_2O attraversa la membrana

• In fisiologia vegetale: il flusso J si esprime in termini di volume di H_2O che si sposta per unità d'area di membrana per unità di tempo ($ms^{-1}MPa^{-1}$)

Velocità di flusso = forza motrice x conduttività idraulica

$$J_v = L_p(\Delta \Psi_{aq}) ms^{-1}$$

Da questa eq. si ricava la velocità iniziale. Man mano che l' H_2O è assorbita



• $\Delta \Psi_{aq}$ si riduce
• Il flusso diminuisce
• J_v si avvicina a zero

Diffusione

$$\mathbf{J_s = - D_s \frac{\Delta C_s}{\Delta x} \text{ (mole m}^{-2} \text{ s}^{-1}\text{)}}$$

$$\mathbf{J_v = \frac{\pi r^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}}$$

Flusso di massa

$$\mathbf{J_v = L_p(\Delta \Psi_{aq}) \text{ ms}^{-1}}$$

**DRIVING FORCE o
FORZA MOTRICE**