



L'ACQUA E LE CELLULE VEGETALI

Importanza dell'acqua per le cellule vegetali

➤ compromesso fotosintesi/traspirazione:

la necessità fotosintetica espone le piante al rischio di disidratazione

➤ Il deficit idrico causa danni consistenti ai processi cellulari delle piante e quindi alla loro crescita

➤ Per effetto della presenza della parete cellulare l'acqua sviluppa una pressione positiva detta **pressione di turgore** indispensabile per sostegno e crescita



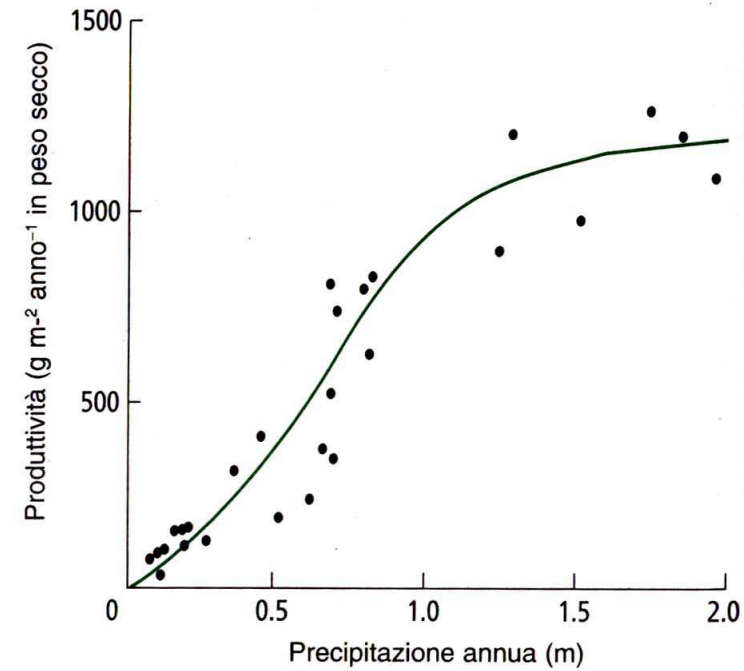
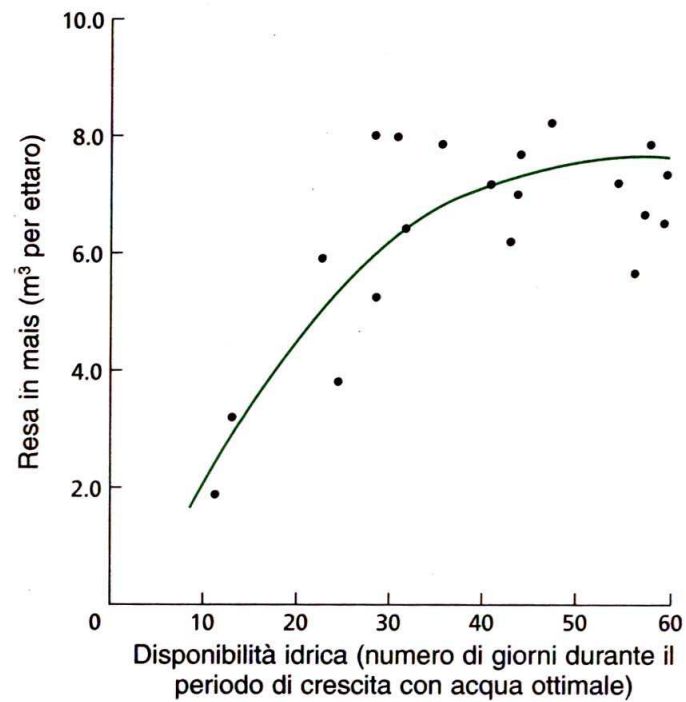
- ❖ 80-95% massa cellulare dei vegetali (vacuoli)
- ❖ solvente: reazioni chimiche cellulari, spostamento di molecole
- ❖ influenza le proprietà delle macromolecole
- ❖ partecipa a reazioni chimiche (idrolisi)
- ❖ dissipazione di calore (calore specifico, calore latente di evaporazione)

L'acqua è il fattore più limitante per la produttività agricola

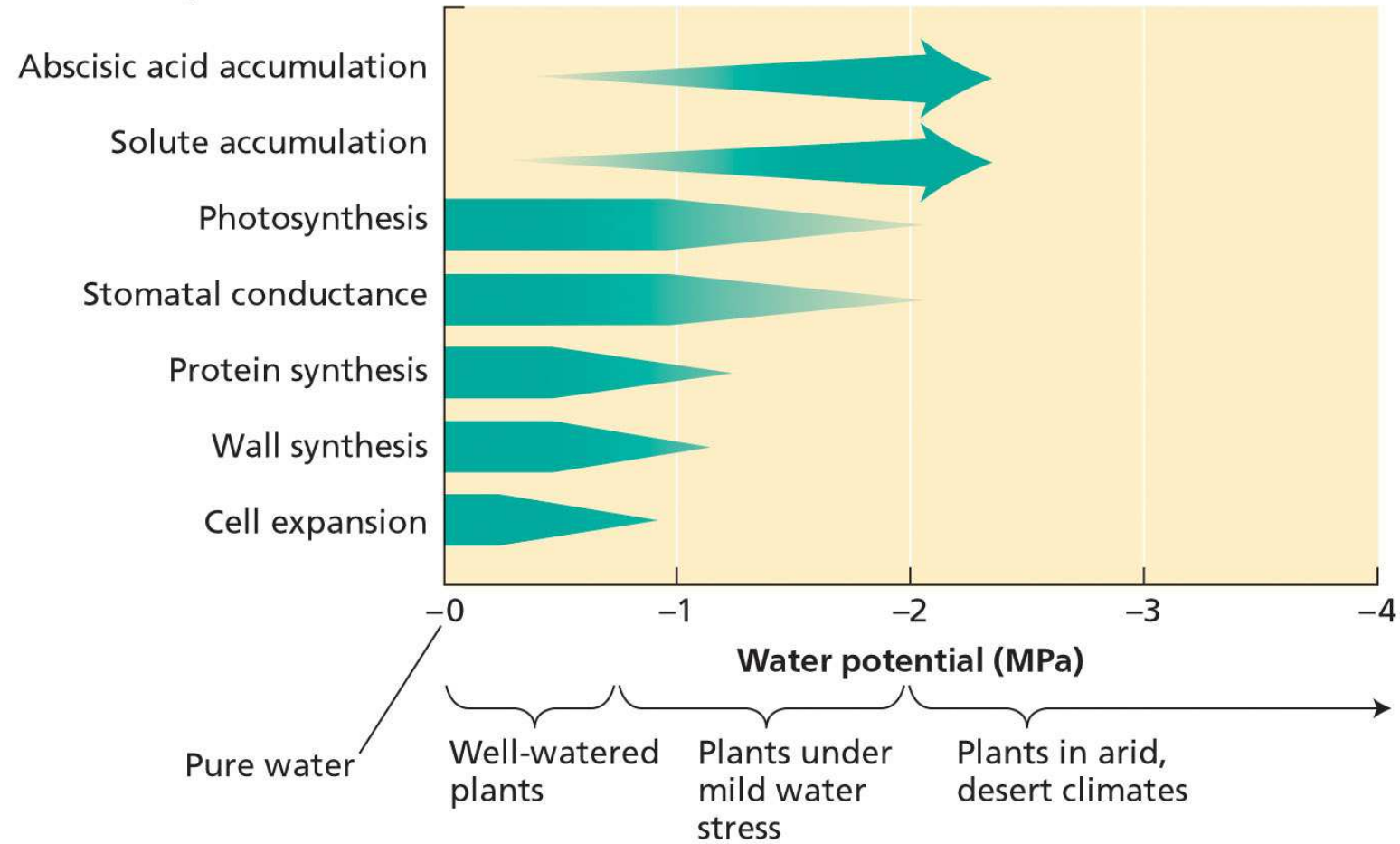


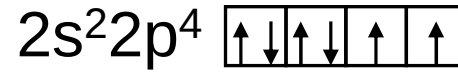
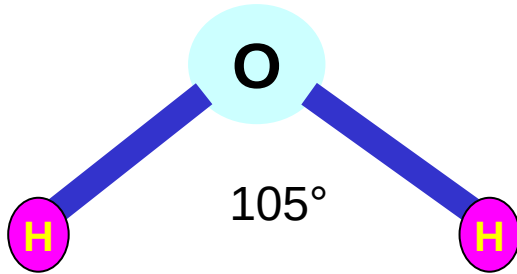
irrigazione

La disponibilità di acqua limita la produttività delle piante da raccolto

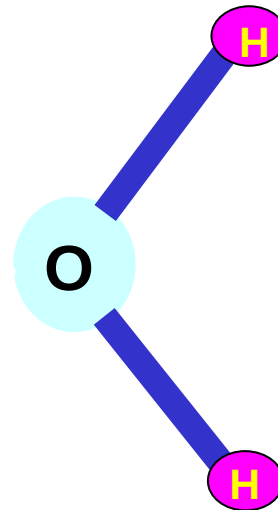
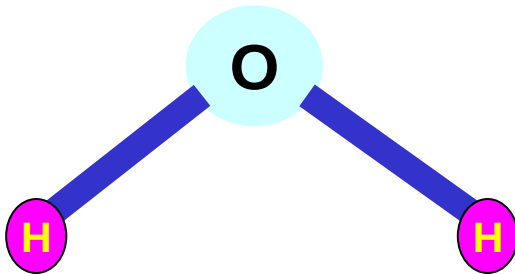


**Physiological changes
due to dehydration:**





tendenza
all'ibridizzazione sp^3



legame idrogeno
(4.5 kCal/mol)

Calore specifico: quantità di energia richiesta per innalzare la temperatura di 1 °K per unità di massa

Calore latente di evaporazione: energia richiesta per portare le molecole della sostanza dalla fase liquida a quella gassosa a temperatura costante per unità di massa; l'acqua ha il più alto valore conosciuto per un liquido 2,26 kJ g⁻¹

Legami idrogeno tra le molecole di acqua

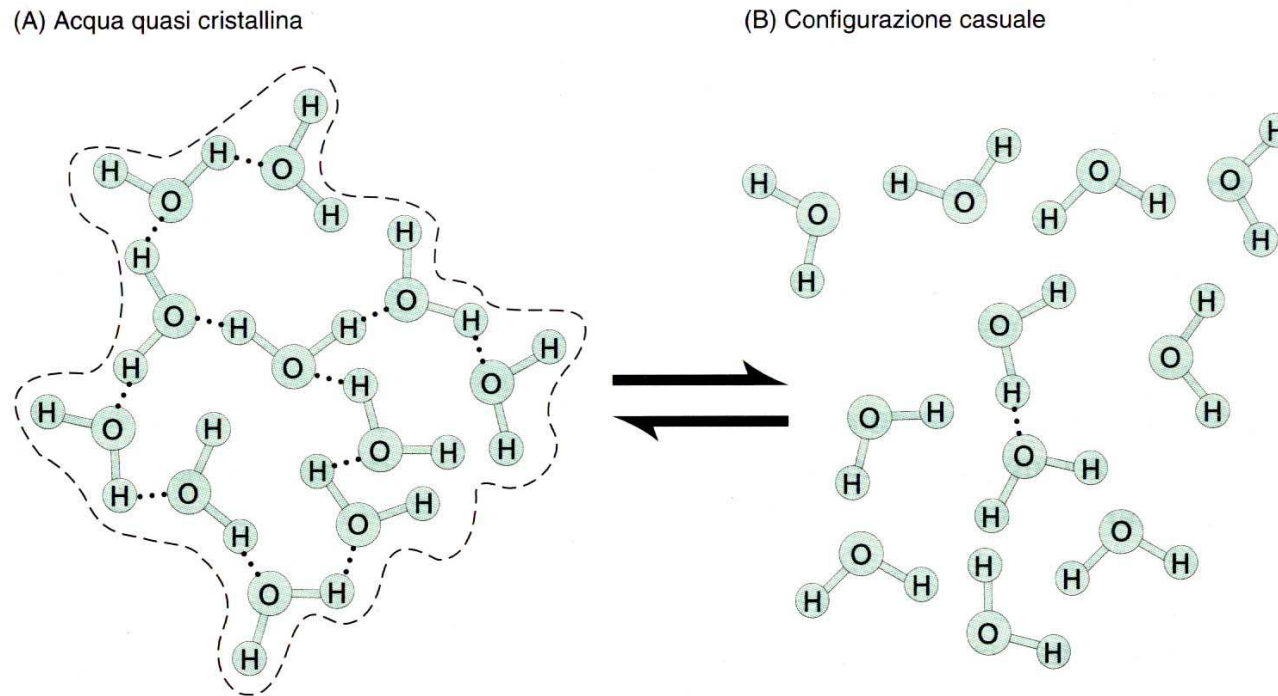


Figura 3.4 I legami idrogeno fra le molecole d'acqua portano all'aggregazione locale di acqua ordinata e quasi-cristallina (A). Queste aggregazioni, a causa della continua agitazione termica delle molecole d'acqua, hanno una vita molto breve; esse si spezzano rapidamente per formare delle configurazioni molto più casuali (B).

Proprietà solventi dell'acqua

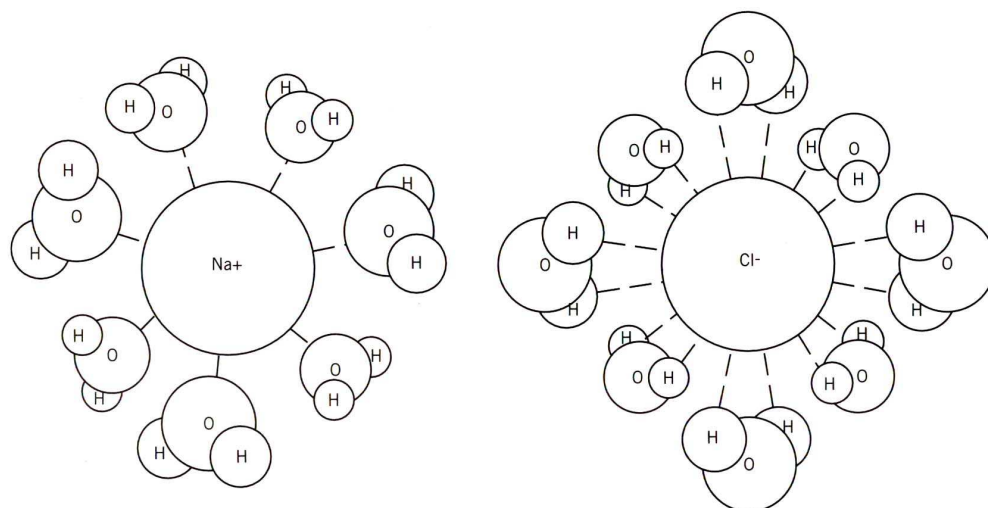
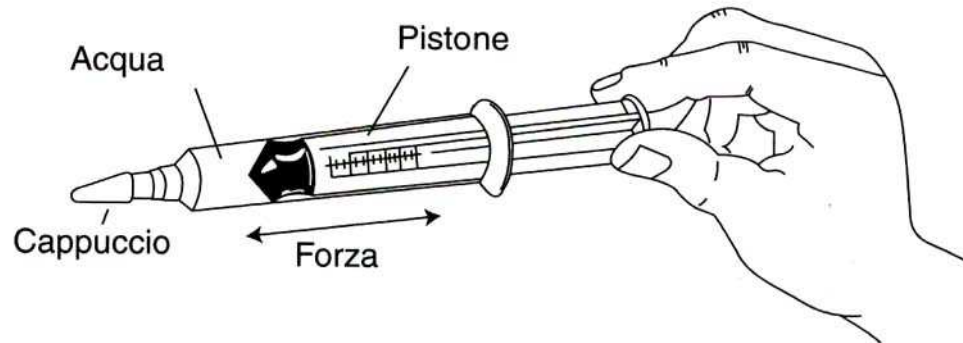


FIGURE 2.2 Solvent properties of water. The orientation of water molecules around the sodium and chloride ions screens the local electrical fields around each ion. The screening effect reduces the probability of the ions reuniting to form a crystalline structure.

TABLE 2.2 Dielectric constants
for some common solvents at 25 °C.

Water	78.4
Methanol	33.6
Ethanol	24.3
Benzene	2.3
Hexane	1.9

Coesione: attrazione tra molecole di H_2O



Forza di tensione:

capacità di resistere a forze di trazione (es. acqua nella siringa)

Pressione idrostatica:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$$

$$= 1.013 \text{ bar}$$

$$= 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$= 0.1013 \text{ MPa}$$

TENSIONE SUPERFICIALE

Le molecole di H_2O all'interfaccia con l'aria sono maggiormente attratte dalle altre molecole di H_2O che non dalla fase gassosa

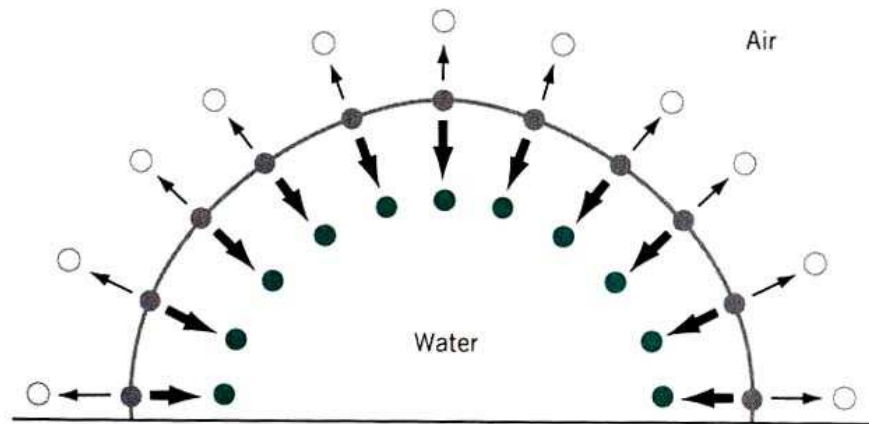


tendenza a ridurre l'area superficiale

la condizione che esiste
all'interfaccia è detta

TENSIONE SUPERFICIALE

TENSIONE SUPERFICIALE



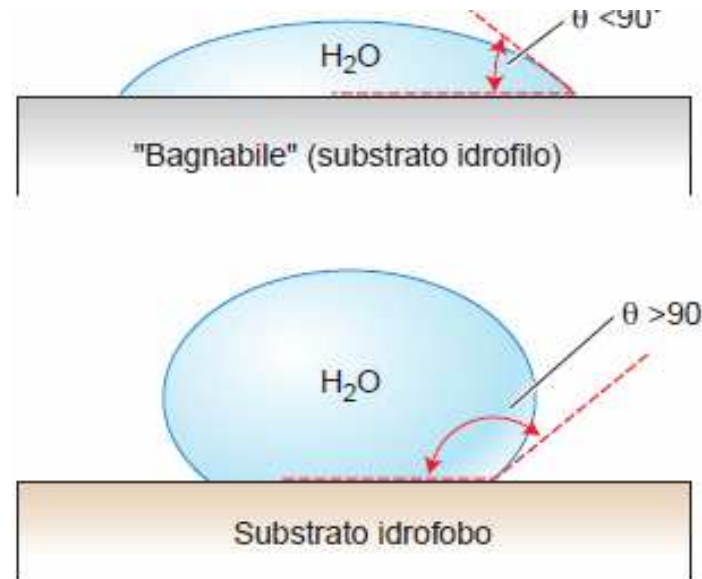
Tensione superficiale di
vari liquidi a 20 °C (N/m)

1% gelatina	0.0083
Etanolo	0.0228
Fenolo	0.0409
Acqua	0.0728

$$T = \text{J m}^{-2} = \text{N m m}^{-2} = \text{N m}^{-1}$$

Misura l'energia necessaria per aumentare l'area di una interfaccia

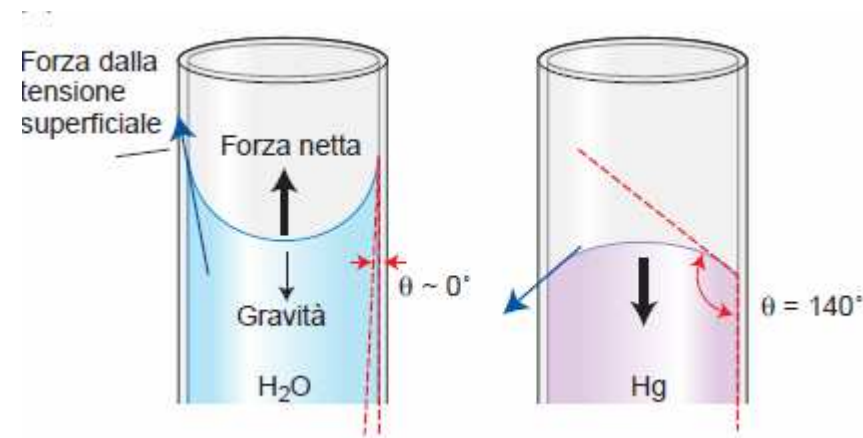
Adesione: attrazione delle molecole di H_2O
da parte di una fase solida



COESIONE + ADESIONE + TENSIONE SUPERFICIALE



CAPILLARITA'



CAPILLARITA'

l'adesione e la tensione superficiale esercitano una tensione sulle molecole di H_2O appena sotto la superficie causandone un movimento in salita per il tubo che dura fino a quando la forza di adesione è bilanciata dal peso della colonna di H_2O

capillarità

Forza di capillarità

$$2 r \pi T \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = 1$$

Forza di capillarità = forza di gravità

$$2 r \pi T \cos \alpha = \pi r^2 h \rho g$$

$$h = \frac{149 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{r \text{ (m)}}$$

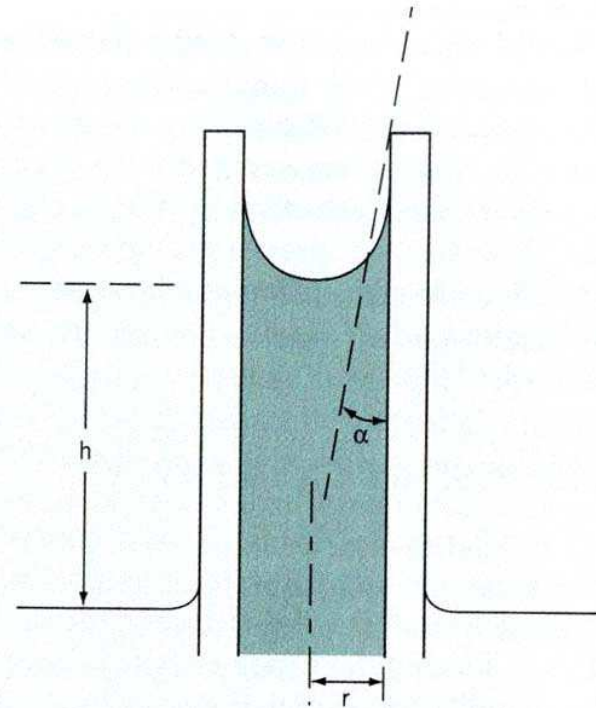


FIGURE 3.14 Diagram illustrating the forces involved in capillary rise.

Per un capillare di $50 \mu\text{m}$

$$h = 149 \times 10^{-5} / 25 \times 10^{-6} = \mathbf{0,596 \text{ m}}$$

IL MOVIMENTO DELL'ACQUA

Lo studio del movimento di una qualsiasi sostanza include la valutazione di:

ENERGIA

variazioni di energia libera

VELOCITA'

dipende dalla forza guida e dalle
caratteristiche del mezzo

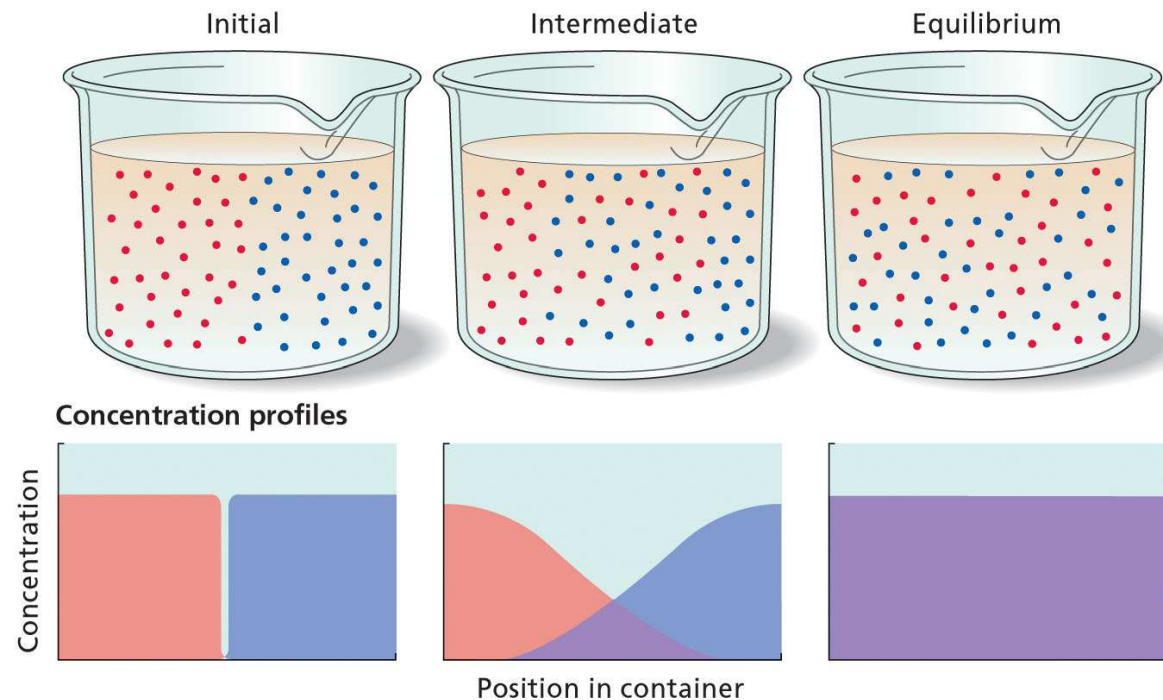
Il movimento dell'acqua può avvenire per:

- **DIFFUSIONE** (gradiente di concentrazione)
- **FLUSSO DI MASSA** (gradiente di pressione)
- **OSMOSI** (gradiente di potenziale idrico)

Diffusione

processo attraverso il quale le molecole in soluzione tendono, a seguito della loro agitazione termica, ad occupare tutto il volume di solvente.

La diffusione determina lo spostamento di molecole da regioni ad alta concentrazione a regioni a bassa concentrazione



Diffusione di una sostanza da una zona di alta concentrazione ad una zona di concentrazione minore

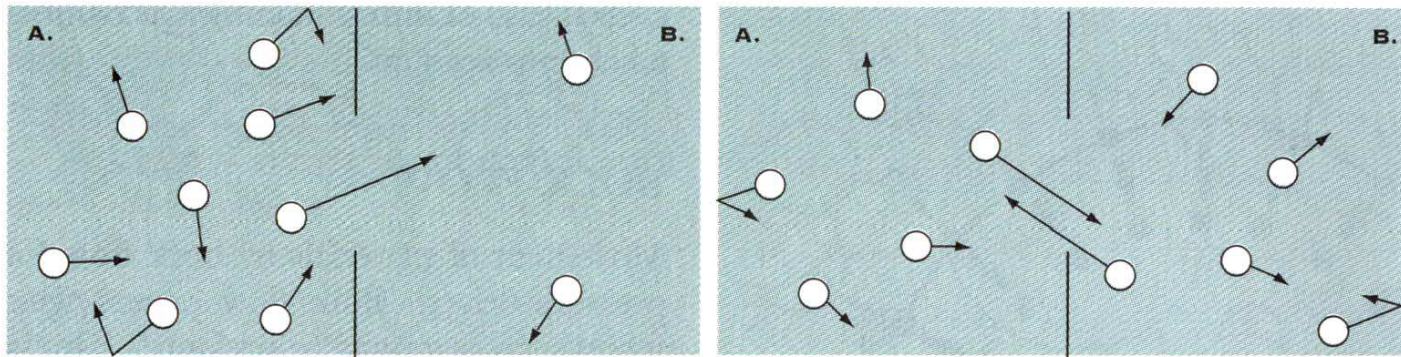


FIGURE 2.4 Diffusion is the directed movement of a substance from a region of high concentration to a region of lower concentration due to the random thermal motion of molecules. Initially (left) there is a much higher probability that a molecule in chamber A will pass through the open window into chamber B. With time (right), the number of molecules in chamber B will increase and the number in chamber A will decrease. This will continue until the molecules are uniformly distributed between the two chambers. At that point, the probability of molecules passing between the chambers in either direction will be equal and net diffusion will cease.

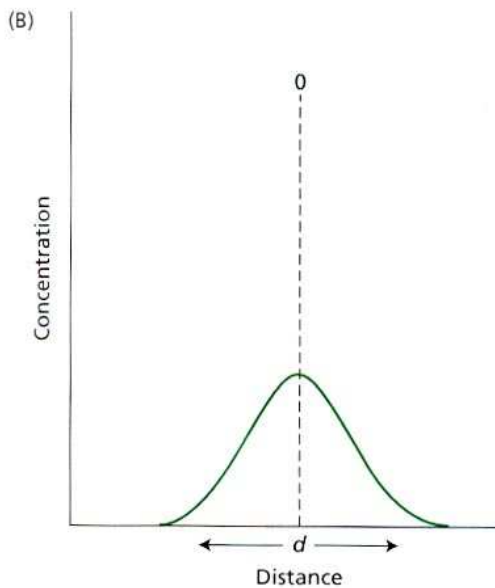
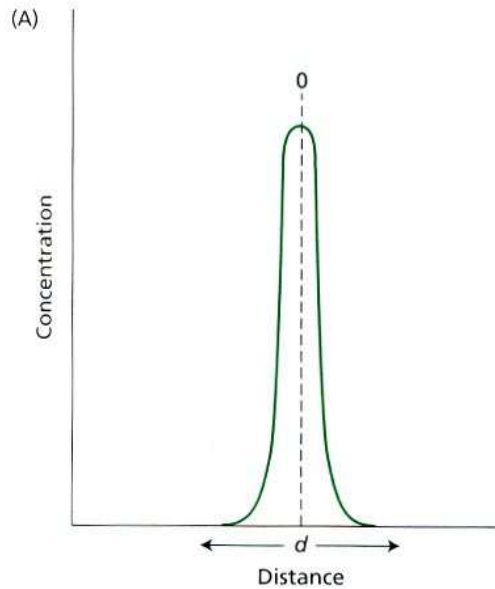
LEGGE DI FICK

la velocità del movimento di diffusione è direttamente proporzionale al **gradiente di concentrazione**

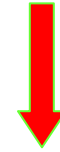
$$J_s = - D_s \frac{\Delta C_s}{\Delta x} \quad \text{densità di flusso} \quad [\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

$$D_s = \text{coefficiente di diffusione} \quad [\text{m}^2 \text{s}^{-1}]$$

misura quanto facilmente una sostanza s
si muove attraverso un mezzo



dalla legge di Fick si ricava



$$t_{c=1/2} = \frac{d^2}{D_s} K$$

$$K = 1$$

tempo necessario ad una sostanza s per raggiungere un punto situato ad una distanza d dal punto di partenza tale che la concentrazione sia metà di quella iniziale

Diffusione ➡ **trasporto a breve distanza**

GLUCOSIO: coefficiente di diffusione = $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

$$t/2 \quad 50 \text{ } \mu\text{m} = 2,5 \text{ sec}$$

$$t/2 \quad 1 \text{ m} = 32 \text{ anni}$$

DIFFUSIONE: TRASPORTO A BREVE DISTANZA

FLUSSO DI MASSA

movimento di molecole in risposta ad un gradiente di pressione

Equazione di Poiseuille

$$\text{Velocità di flusso} = \frac{\pi r^4}{8 \eta} \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad [\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$$

r raggio della tubatura

η viscosità del liquido (per H_2O $\eta = 10^{-9} \text{ MPa s}^{-1}$)

$\frac{\Delta P}{\Delta x}$ gradiente di pressione

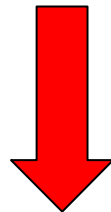
Flusso di massa $\longrightarrow$ trasporto a lunga distanza

OSMOSI: movimento di una sostanza attraverso una membrana semipermeabile

Le membrane cellulari sono selettivamente permeabili

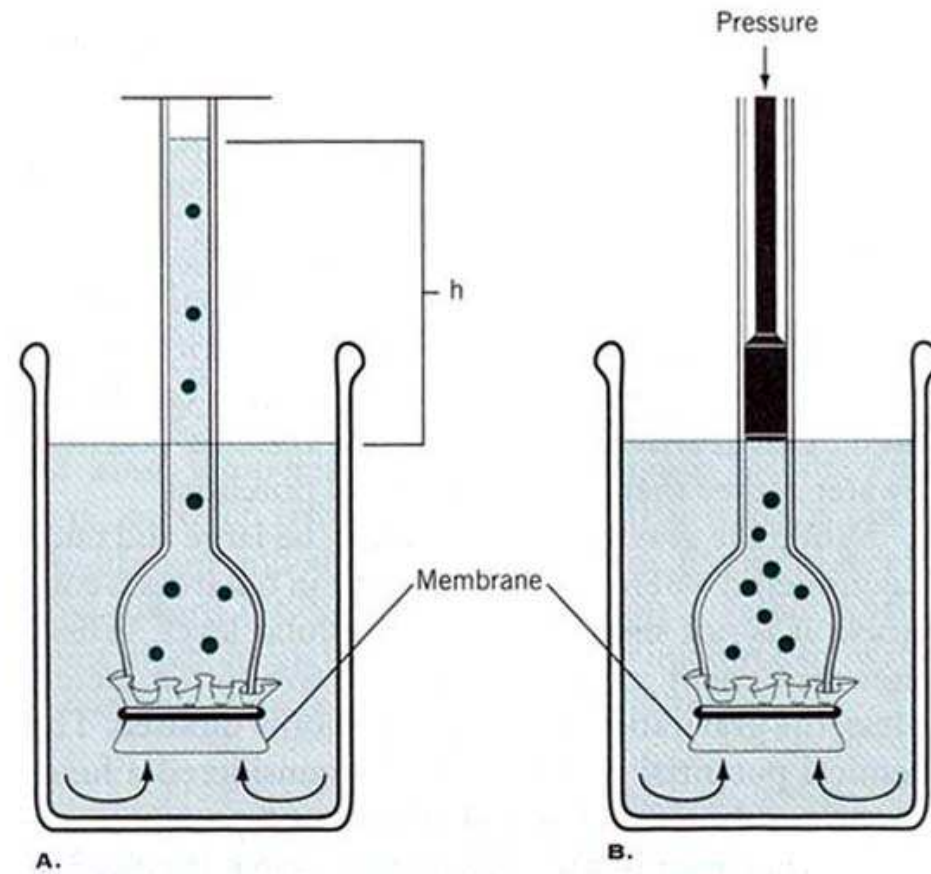
per l'acqua

Forza motrice = **gradiente di concentrazione dell'acqua +
gradiente di pressione**



GRADIENTE DI POTENZIALE IDRICO

DIMOSTRAZIONE DELL'OSMOSI



IL POTENZIALE CHIMICO

Energia libera energia disponibile per compiere un lavoro [joule]

L'energia libera per mole di una data sostanza è indicata come **potenziale elettrochimico** [joule/mol]

Per l'acqua

POTENZIALE IDRICO = Potenziale chimico/volume parziale
molare

(energia libera per unità di volume (J m^{-3}), equivalenti ad unità di pressione (MPa))

POTENZIALE ELETTROCHIMICO

$$\mu = \mu_0 + RT \ln a + P\bar{V} + zEF + mgh$$

μ_0 = potenziale in condizioni standard

R = costante dei gas

T = T assoluta in °K

a = attività (per soluzioni diluite corrisponde alla concentrazione)

P = pressione idrostatica

$\bar{V}$ = volume parziale molare della sostanza

z = carica elettrica della sostanza

E = potenziale elettrico

F = costante di Faraday

m = massa della sostanza

g = accelerazione di gravità

h = altezza alla quale si trova la sostanza

Potenziale idrico (Ψ_w)

Potenziale chimico dell'acqua diviso il volume parziale molare dell'acqua

$$\frac{\mu - \mu_o}{\bar{V}} = \frac{RT \ln a}{\bar{V}} + \frac{P\bar{V}}{\bar{V}} + \frac{mgh}{\bar{V}} = \Psi_w$$

Il potenziale idrico è l'energia per unità di volume necessaria per trasportare l'acqua a T costante da un punto del sistema al punto di riferimento

E' una misura dell'energia libera dell'acqua rispetto all'energia libera dell'acqua pura

$$\psi_w = \frac{\mu_w - \mu^0}{\bar{V}_w}$$

Potenziale idrico $[\text{J/m}^3] = \text{N/m}^2$

si misura in unità di pressione **[MPa]**

0,1 MPa = 1 bar = 0,987 Atmosfere

1 atm = 760 mm Hg
= 1.013 bar
= 1.013×10^5 Pa
= 0.1013 MPa

A cosa serve la misura del Ψ_w ?

- serve a definire la **direzione del flusso idrico** attraverso le membrane cellulari, i tessuti e gli organi della pianta
- valutare lo **stato idrico** della pianta

$$\frac{\mu - \mu_o}{\bar{V}} = \frac{RT \ln a}{\bar{V}} + \frac{P\bar{V}}{\bar{V}} + \frac{mgh}{\bar{V}} = \Psi_w$$

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

Ψ_w dipende dalla **concentrazione**, dalla **pressione** e dalla **gravità**

$$\frac{RT \ln a}{\bar{V}}$$

Ψ_s Potenziale di soluto
o Potenziale osmotico

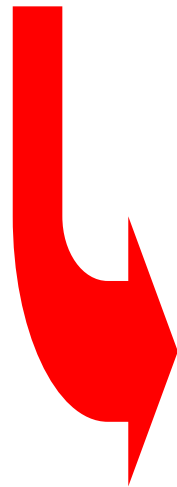
Rappresenta l'effetto sul Ψ_w dei soluti disciolti

In una **soluzione** l'attività dell'acqua è sempre < 1

Ψ_s è quindi sempre < 0

I soluti **RIDUCONO IL POTENZIALE IDRICO**
poichè diminuiscono l'energia libera dell'acqua,
cioè la sua capacità a compiere un lavoro

miscelare soluti e acqua aumenta l'entropia del sistema



**diminuzione
dell'energia libera
rispetto a quella
dell'acqua nello stato
standard (acqua pura)**

In base all'equazione di van't Hoff

$$\pi = RTC_s = -\frac{RT \ln a_w}{\bar{V}_w} \Rightarrow$$
$$-RTC_s = \frac{RT \ln a_w}{\bar{V}_w} = -\pi = \Psi_s$$

$$\pi = RTC_s$$

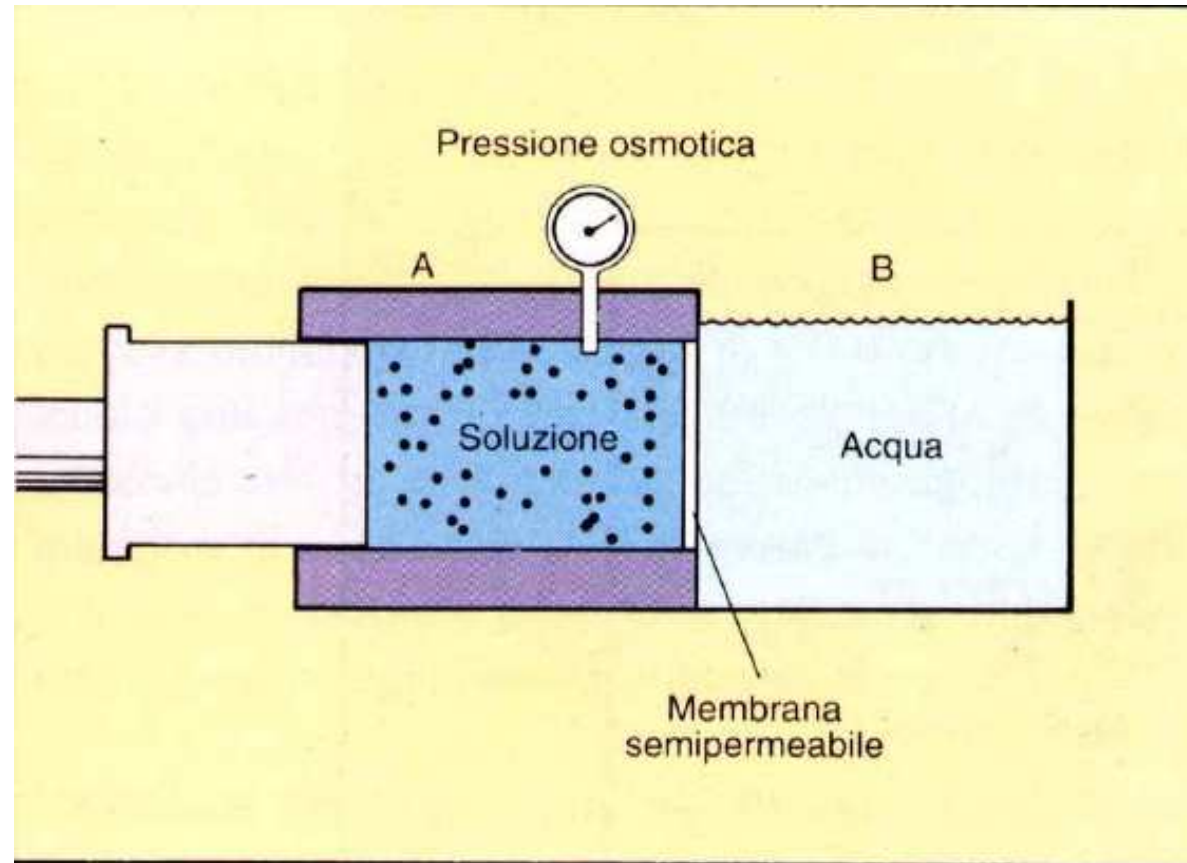
$$\Psi_s = -RTC_s$$

pressione osmotica

R = costante dei gas

T = temperatura assoluta

C_s = concentrazione di soluti espressa come osmolalità
(moli di soluti totali disciolti in 1 L di acqua)



II

Pressione che deve essere applicata ad una soluzione per controbilanciare la diffusione dell'acqua nella soluzione più concentrata

$$\Psi_s = - \pi = - RTC_s$$

Il segno negativo indica che i soluti disciolti riducono il potenziale idrico della soluzione

TABELLA 3.2
Valori di RT e del potenziale osmotico di soluzioni a varie temperature

Temperatura (°C)	RT^* (L MPa mol ⁻¹)	Potenziale osmotico (MPa) di soluzioni con concentrazione di soluto in mol l ⁻¹ d'acqua			Potenziale osmotico dell'acqua di mare (MPa)
		0,01	0,10	1,00	
0	2,271	-0,0227	-0,227	-2,27	-2,6
20	2,436	-0,0244	-0,244	-2,44	-2,8
25	2,478	-0,0248	-0,248	-2,48	-2,8
30	2,519	-0,0252	-0,252	-2,52	-2,9

* $R = 0.0083143 \text{ L MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

$$\frac{P\bar{V}}{\bar{V}} = P$$

Ψ_p Potenziale di pressione

PRESSIONE IDROSTATICA

$$P = P_{\text{assoluta}} - P_{\text{atmosferica}}$$

$$\Psi_p = P$$

Quindi l'acqua a pressione ambientale $\Psi_p = 0$

Ψ_p può essere positivo, uguale a zero o negativo

Pressione idrostatica **positiva** = **pressione di turgore** (all'interno delle cellule, 0.5-1 MPa)

Pressione idrostatica **negativa** = **tensione** (nello xilema, nel suolo)

Stato standard

il potenziale idrico dell' acqua che non contiene soluti, alla pressione atmosferica è uguale a 0

$$P = P_{\text{assoluta}} - P_{\text{atmosferica}}$$

nello stato standard : $P_{\text{assoluta}} = P_{\text{atmosferica}} = 0,1 \text{ Mpa}$

$$P = 0 ; \Psi = 0 \text{ Mpa}$$

nel vuoto: $P_{\text{assoluta}} = 0; P = -0,1 \text{ Mpa}; \Psi = -0,1 \text{ Mpa}$

$$\frac{mgh}{\bar{V}} = \rho_w gh$$

$$\Psi_g$$

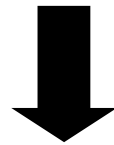
Rappresenta l'effetto della gravità sul Ψ_w

la componente del potenziale idrico funzione della gravità dipende dalla densità dell'acqua (ρ_w), dall'accelerazione di gravità (g) e dall'altezza (h) dell'acqua rispetto allo stato di riferimento

$$\rho_w g = 0,01 \text{ MPa m}^{-1}$$

per piccole altezze è trascurabile

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



$$\Psi_w = P - \pi + \rho_w g h$$

se $h < 5-10$ m
a livello cellulare



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



$$\Psi_w = P - \pi$$

**L'ACQUA SI MUOVE SECONDO IL GRADIENTE DI
POTENZIALE IDRICO**

RIDUCENDO LA PROPRIA ENERGIA LIBERA

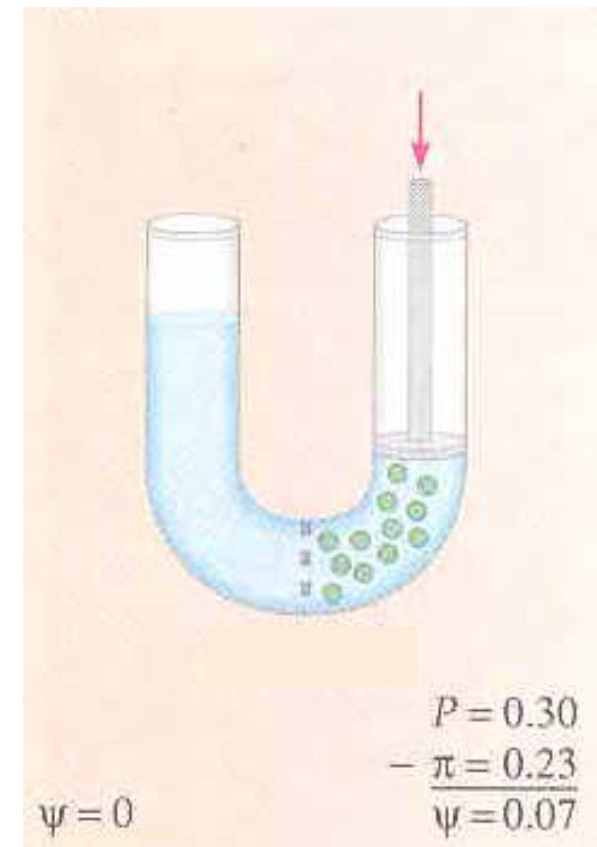
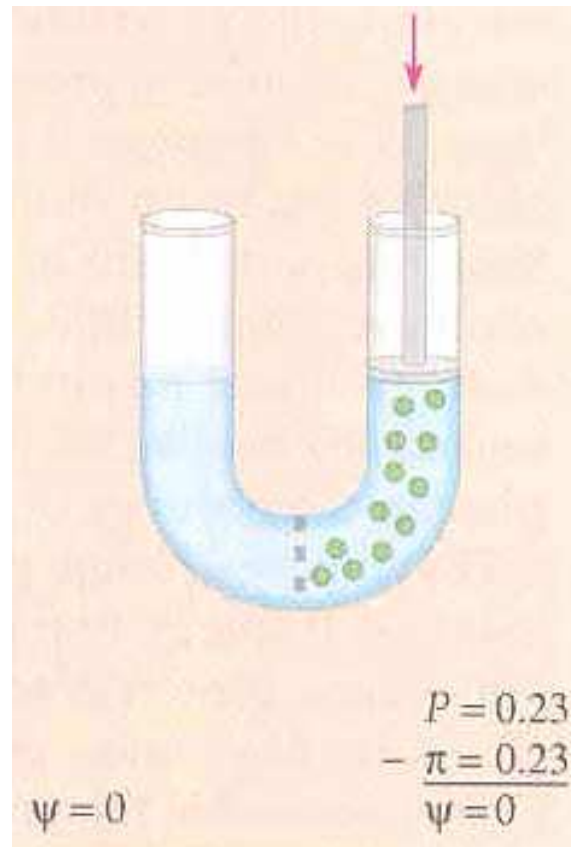
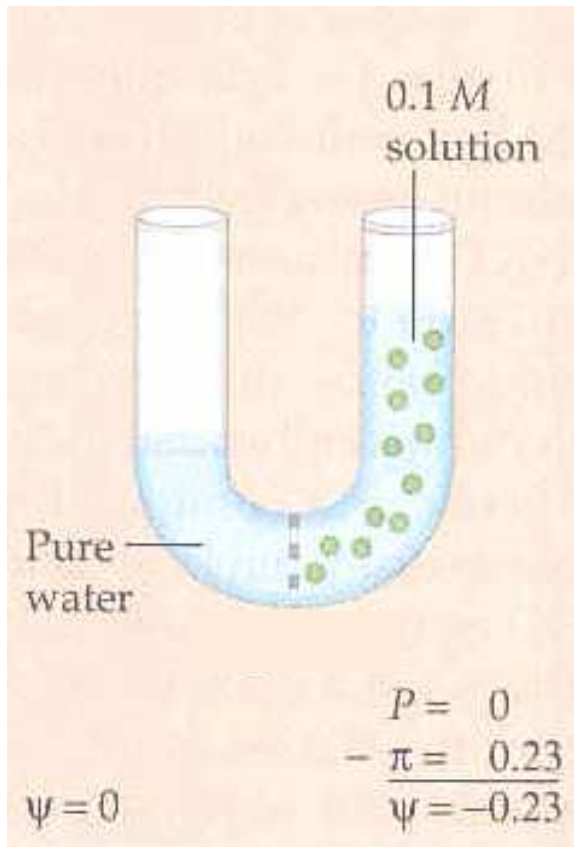
$$\Psi_{\text{iniziale}} > \Psi_{\text{finale}}$$

il movimento dell'acqua è un processo attivo o passivo?

$$-\pi = \Psi_s$$

$$P = \Psi_p$$

$$\Psi = P - \pi$$



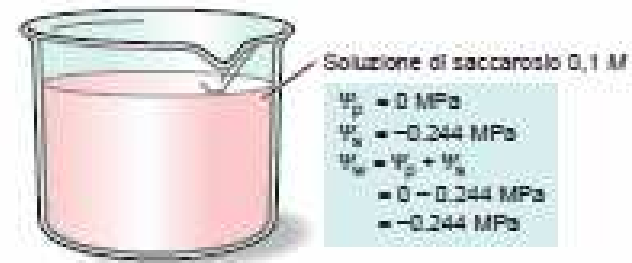
$$\Psi_s = -\pi$$

$$\Psi_p = P$$

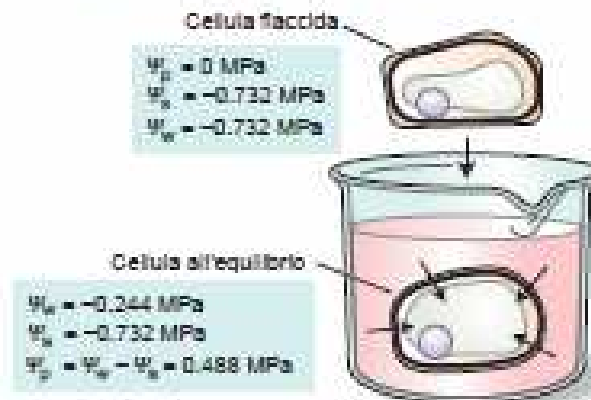
(A) Acqua pura



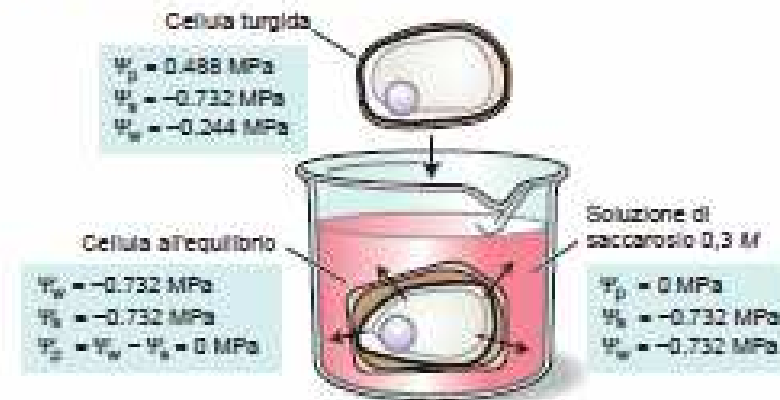
(B) Soluzione contenente saccarosio 0,1 M

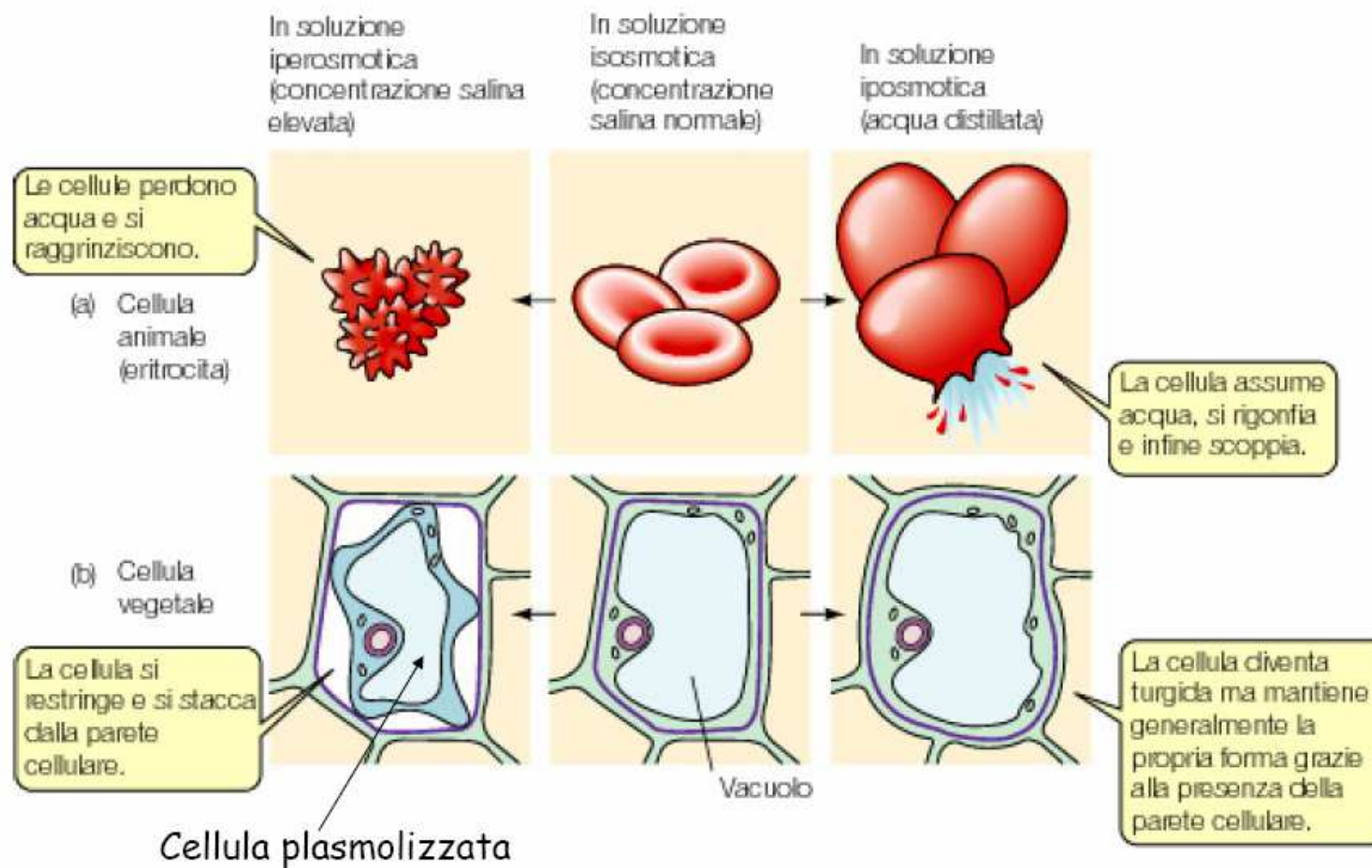


(C) Cellula flaccida immersa in una soluzione di saccarosio



(D) Aumento della concentrazione di saccarosio



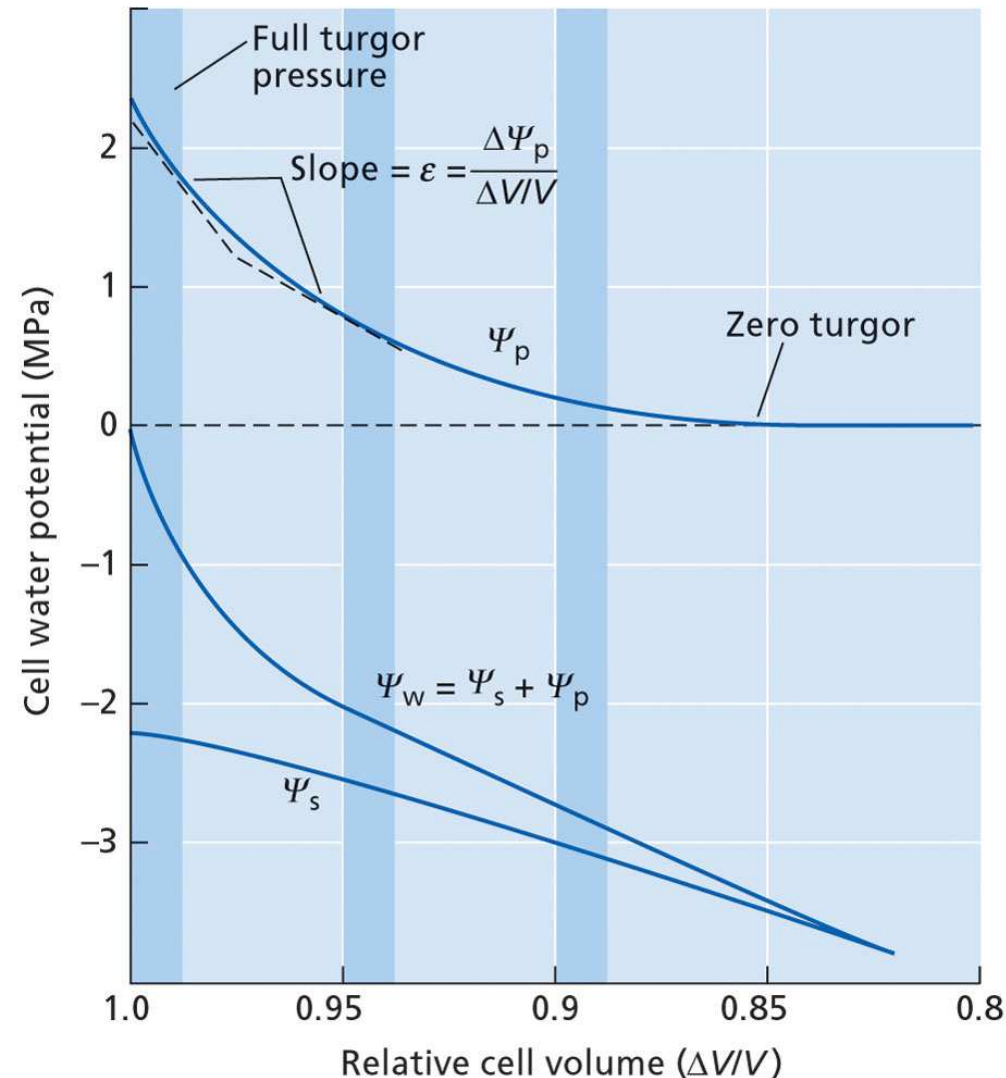




Plasmolisi di una cellula di *Allium cepa* in seguito all'aggiunta di nitrato di calcio (la membrana plasmatica si stacca dalla parete)

La presenza della parete fa sì che variazioni del Ψ_w producano forti cambiamenti del Ψ_p con piccoli cambiamenti del volume cellulare

ϵ , modulo di elasticità volumetrico, è una misura della rigidità della parete



Ψ_p si avvicina a zero con perdite di volume di appena il 10-15%

Perché la pressione di turgore è importante?

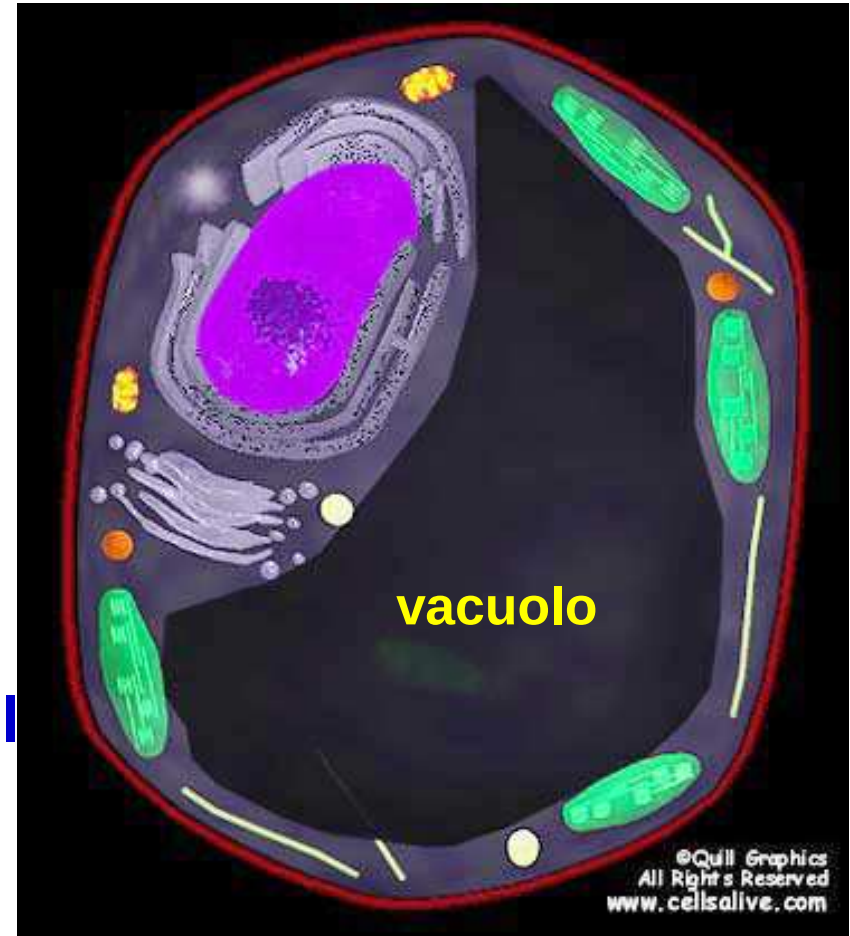
Permette che avvenga la crescita della cellule mediante distensione della parete cellulare

CRESCITA PER DISTENSIONE

La pressione di turgore si sviluppa a causa della **presenza della parete**

Se $\Psi_{\text{Int}} < \Psi_{\text{ex}}$ l'acqua entra nella cellula (principalmente nel vacuolo)

Se la parete si rilassa, la P di turgore diminuisce mantenendo il gradiente di Ψ



In una cellula matura la parete non si rilassa.
L'entrata di acqua determina un aumento di P immediato che annulla il gradiente di Ψ tra interno ed esterno della cellula

Lo studio del movimento di una qualsiasi sostanza include la valutazione di:

ENERGIA

variazioni di energia libera

VELOCITA'

dipende dalla forza guida e dalle
caratteristiche del mezzo

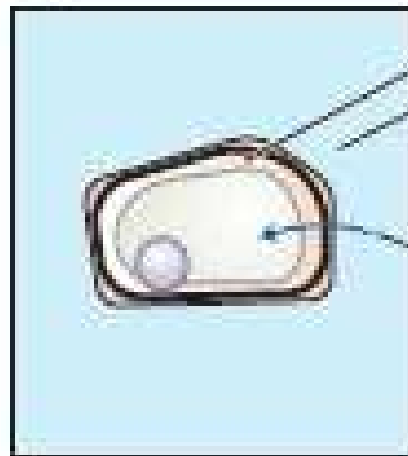
La direzione del flusso è determinata da quella del gradiente di Ψ_w

La velocità del flusso è proporzionale alla grandezza del gradiente

In una cellula il movimento dell'acqua attraverso la membrana diminuirà mano a mano che il Ψ_w cellulare si avvicina a quello del mezzo esterno

L'andamento è esponenziale

(A)

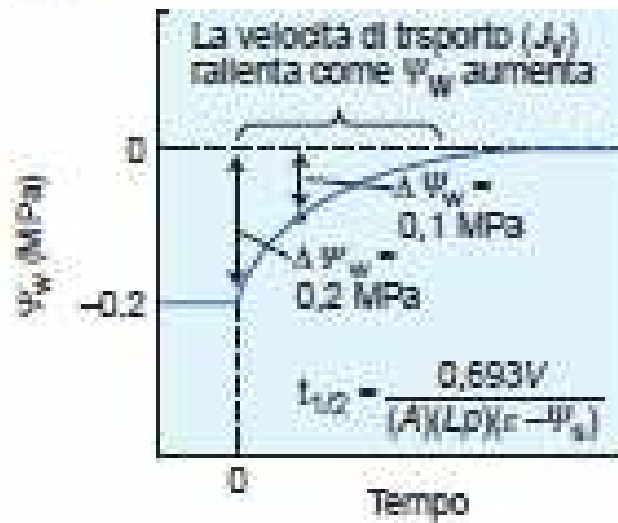


$$\begin{aligned}\psi_w &= -0,2 \text{ MPa} \\ \psi_w &= 0 \text{ MPa} \\ \hline \Delta\psi_w &= 0,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Flusso d'acqua

$$\begin{aligned}J_v \text{ iniziale} &= L_p (\Delta\psi_w) \\ &= 10^{-6} \text{ m s}^{-1} \text{ MPa}^{-1} \\ &\quad \times 0,2 \text{ MPa} \\ &= 0,2 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}\end{aligned}$$

(B)



$$t_{1/2} = (0,69/A L_p) (V/ \epsilon - \Psi_s)$$

$$t_{1/2} = 1 - 10 \text{ s}$$

La velocità di trasporto dipende dalle caratteristiche fisiche del mezzo

$$\text{Velocità di flusso} = \frac{\text{forza motrice}}{\text{resistenza}}$$

$$\text{Velocità di flusso} = \text{forza motrice} \times \text{conduttanza}$$



$$\text{velocità di flusso} = A \times L_p (\Delta\Psi) = L (\Delta\Psi)$$

L_p conduttività idraulica

$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$

A area della membrana

m^2

$A \times L_p = L$ conduttanza idraulica totale

$\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$

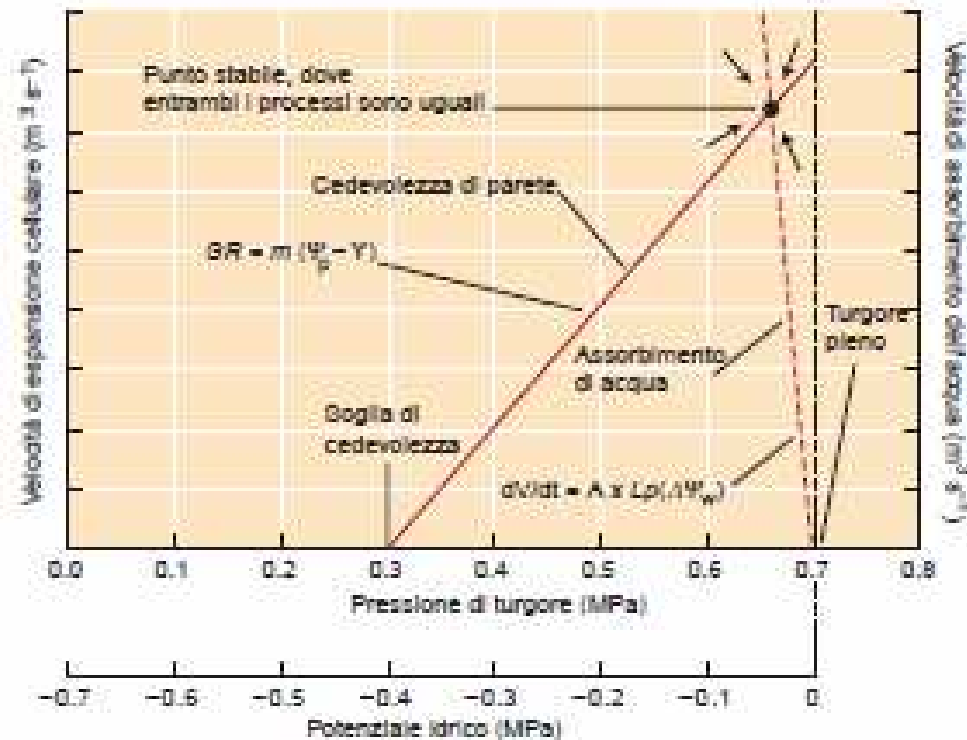
In una cellula in crescita il $\Delta\Psi$ non va a zero perché la parete cellulare cede

rilassamento da tensione

Il rilassamento da tensione e l'espansione dipendono dalla **pressione di turgore**

Soglia di cedevolezza (Y): valore di turgore al quale si arresta la crescita

$$GR = m (\Psi_p - Y)$$



GR= velocità di crescita

m = estensibilità di parete

Y = soglia di cedevolezza

Ψ_p = componente di pressione del potenziale idrico cellulare

Il potenziale idrico fornisce una valutazione dello stato idrico della pianta

**Physiological changes
due to dehydration:**

