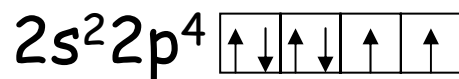
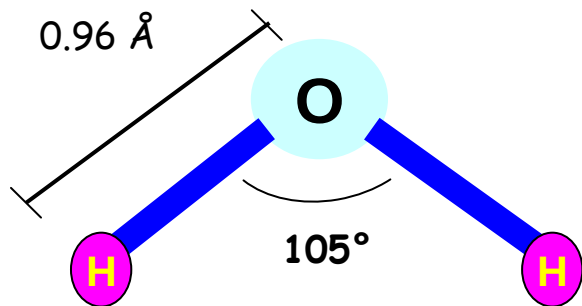
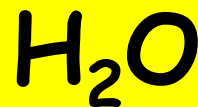
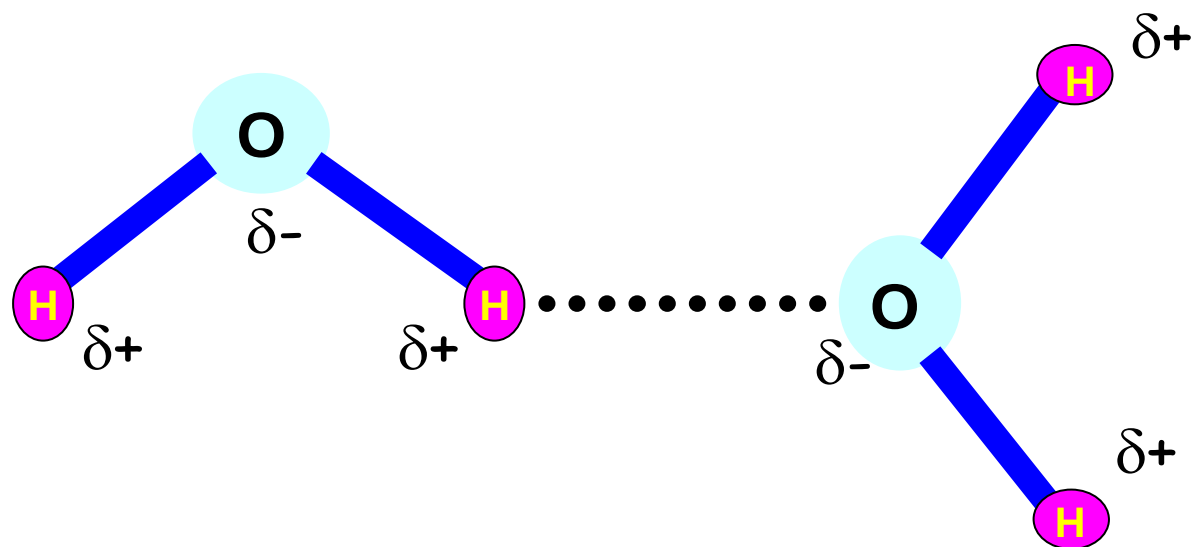


L'H₂O nelle cellule vegetali e
il suo trasporto nella pianta



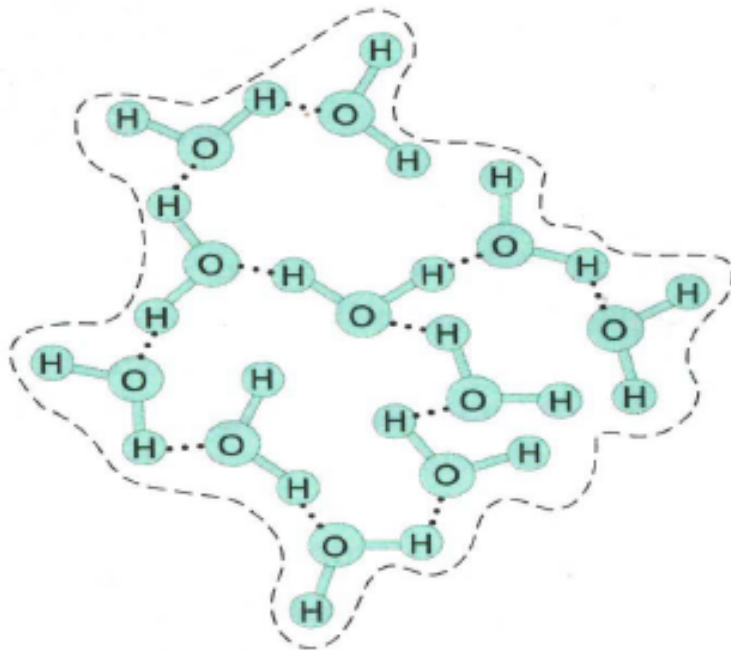
tendenza
all'ibridizzazione sp^3



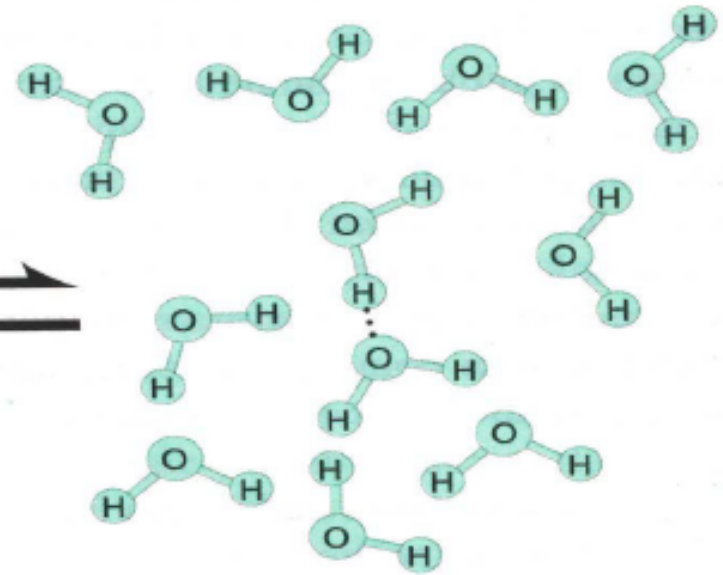
energia del legame idrogeno
tra due molecole di H_2O
4.5 kCal/mol

La formazione di **legami H** porta ad una struttura ordinata

(A) Acqua quasi cristallina



(B) Configurazione casuale



Coesione attrazione tra molecole di H_2O

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

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



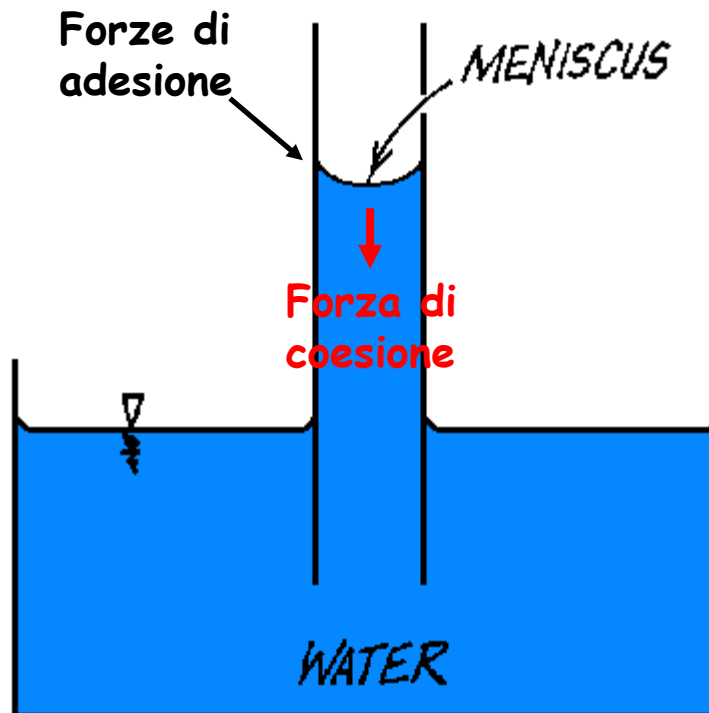
tendenza a ridurre l'area superficiale

la condizione che esiste
all'interfaccia è detta

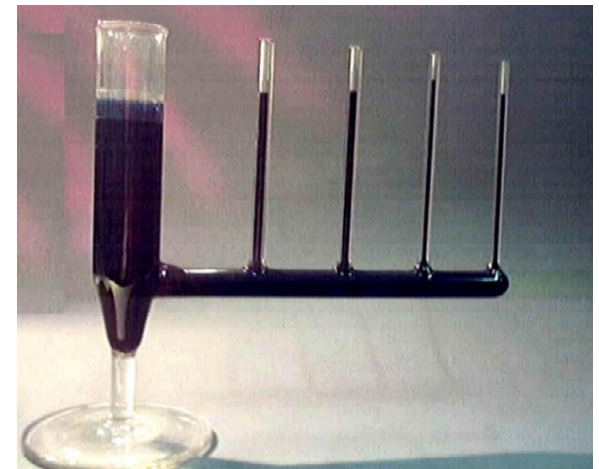
TENSIONE SUPERFICIALE

CAPILLARITA'

la **coesione**, 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

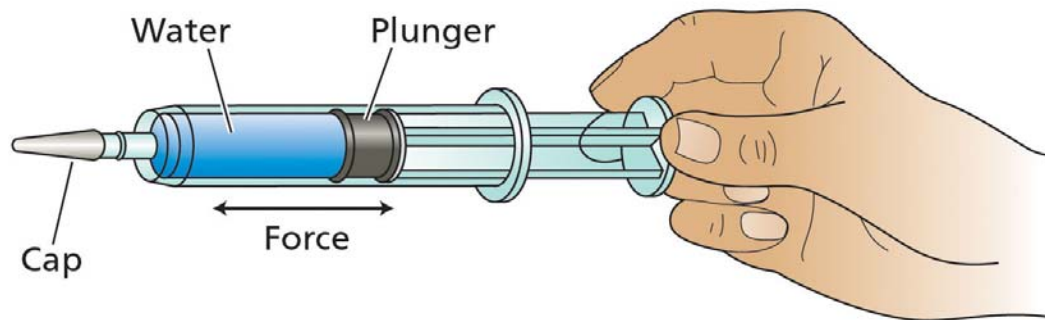


Capillary rise of water in a small glass tube.



L'altezza della colonna di liquido è inversamente proporzionale al raggio

La **coesione** è responsabile della
forza di tensione
capacità di resistere a forze di trazione



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 3.5 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

IL MOVIMENTO DELL'H₂O

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

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]

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

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

V = volume parziale molare della sostanza

z = carica elettrica della sostanza

E = potenziale elettrico

F = costante di Faraday

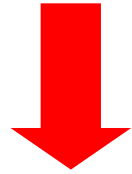
m = massa della sostanza

g = accelerazione di gravità

h = altezza alla quale si trova la sostanza

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

Riferito all'acqua



POTENZIALE CHIMICO

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

μ_0 = potenziale standard (per convenzione = 0) riferito all'acqua pura a P atmosferica e T costante

a = attività dell'acqua (= 1 per l'acqua pura)

V = volume di una mole di acqua = $18 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$

m = massa dell'acqua = 18

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

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

Potenziale idrico [J/m³]

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

L'attrazione tra soluti e acqua determina un abbassamento dell'attività dell'acqua e un aumento dell'entropia



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

In base all'equazione di van't Hoff

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

$$\pi = RTC_s$$

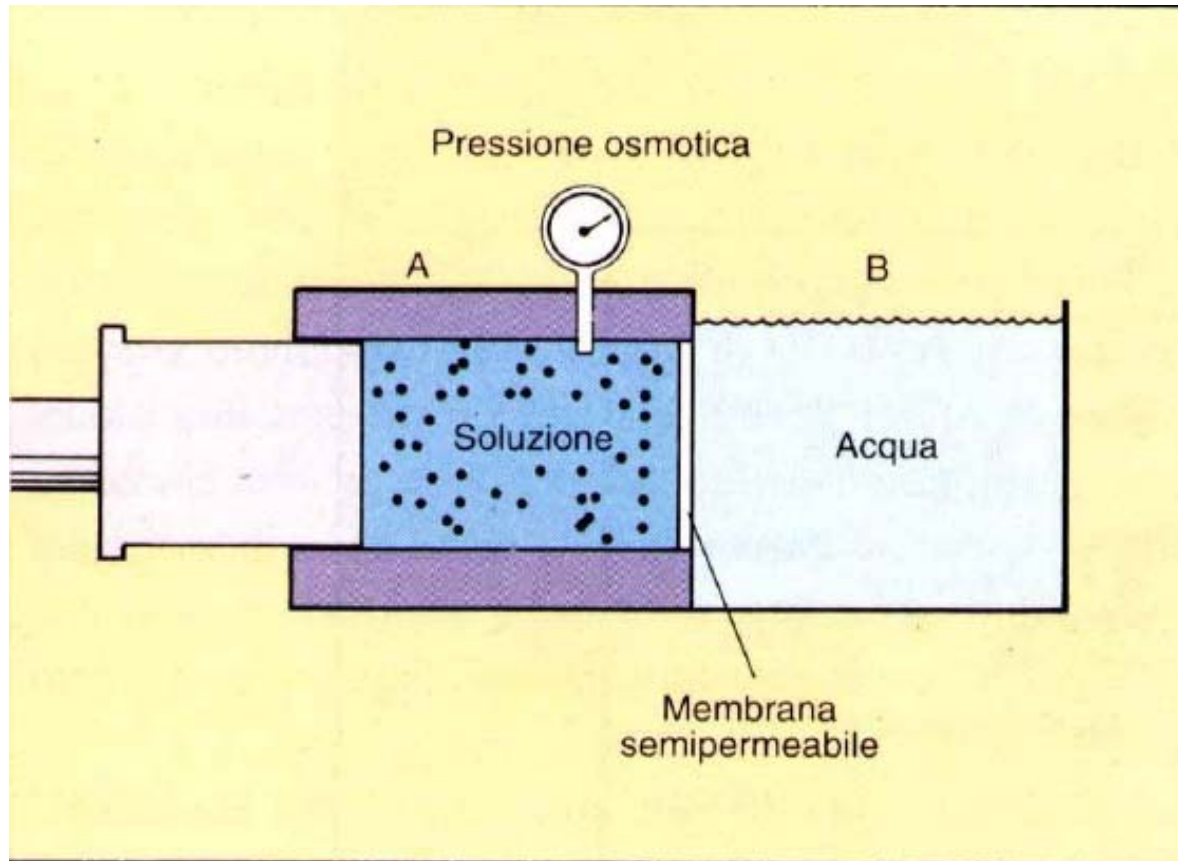
$$\Psi_s = -RTC_s$$

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)



π

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

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

Ψ_p Potenziale di pressione

PRESSIONE IDROSTATICA

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

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)

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

$$\Psi_g$$

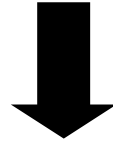
Rappresenta l'effetto della gravità sul Ψ_w

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

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



$$\Psi_w = P - \pi + \rho_w gh$$

se $h < 5-10 \text{ m}$ →
a livello cellulare

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



$$\Psi_w = P - \pi$$

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

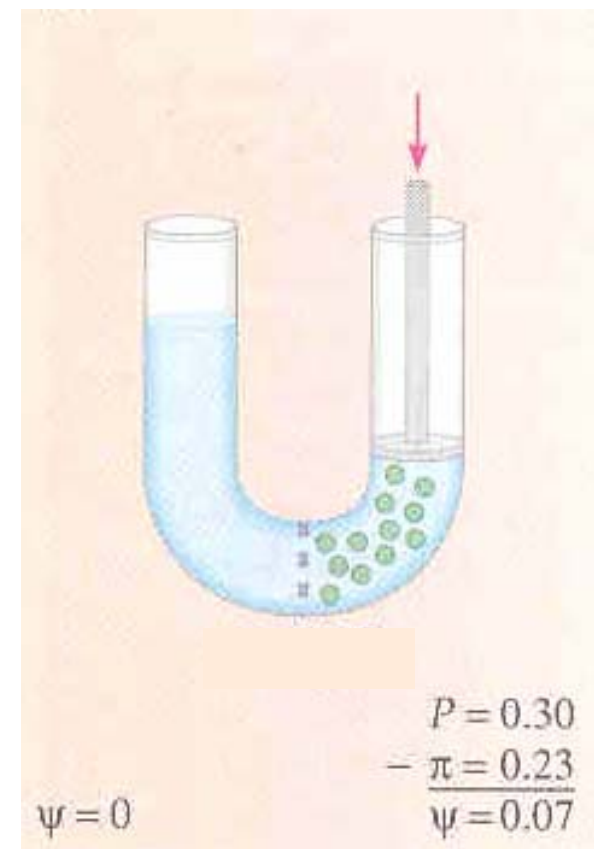
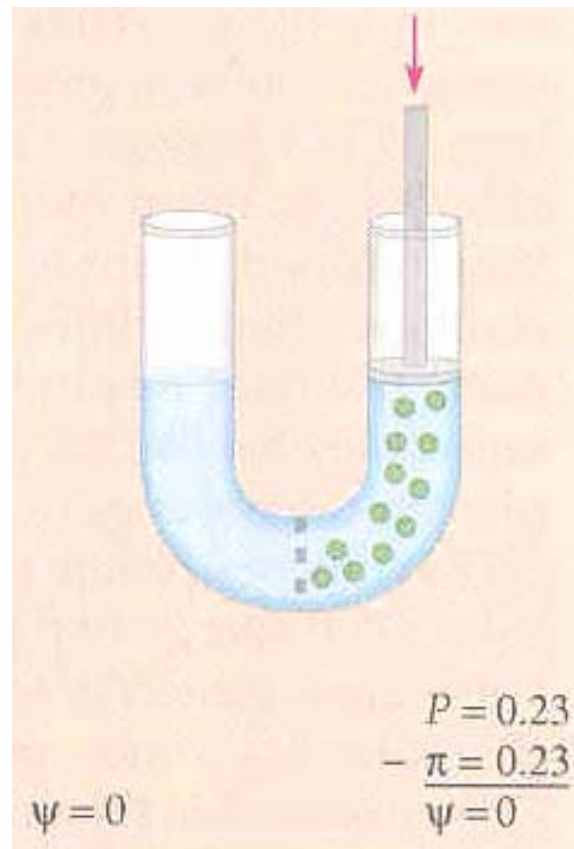
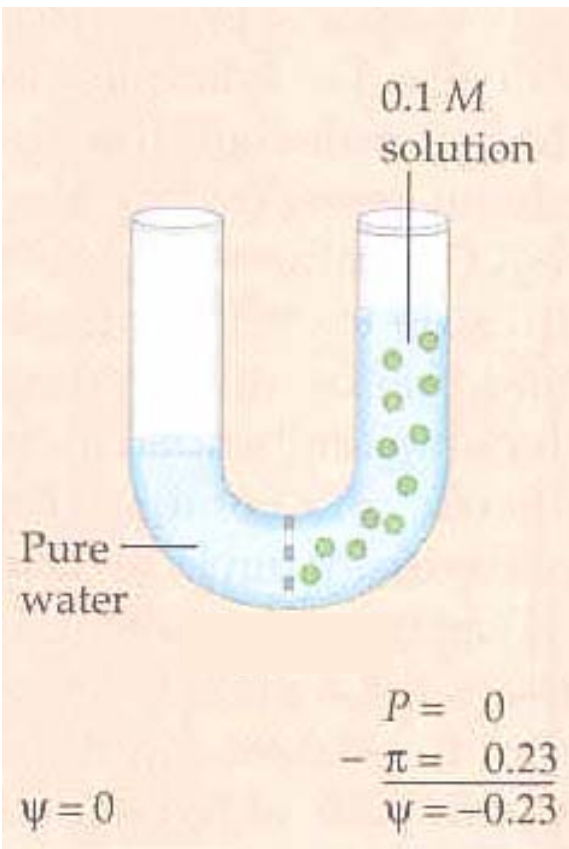
ABBASSANDO LA PROPRIA ENERGIA LIBERA

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

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

$$-\pi = \psi_s$$

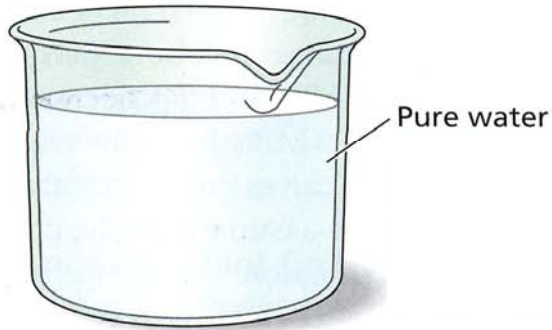
$$P = \psi_p$$



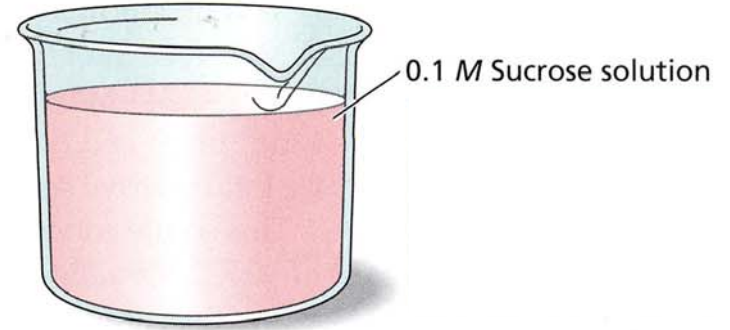
$$\Psi_s = -\pi$$

$$\Psi_p = P$$

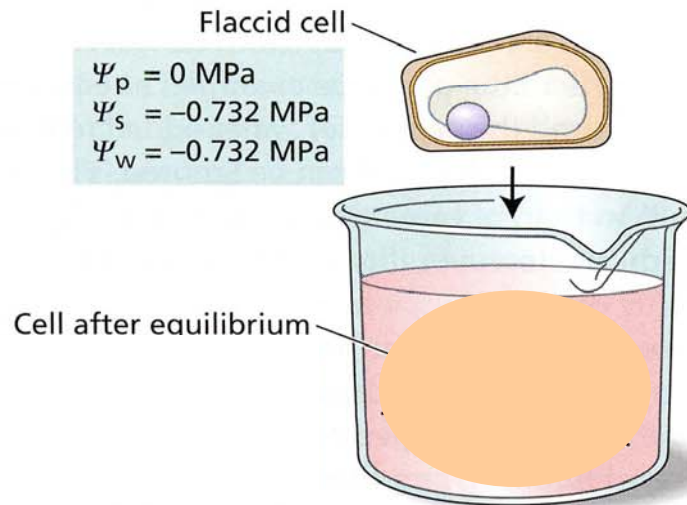
(A) Pure water



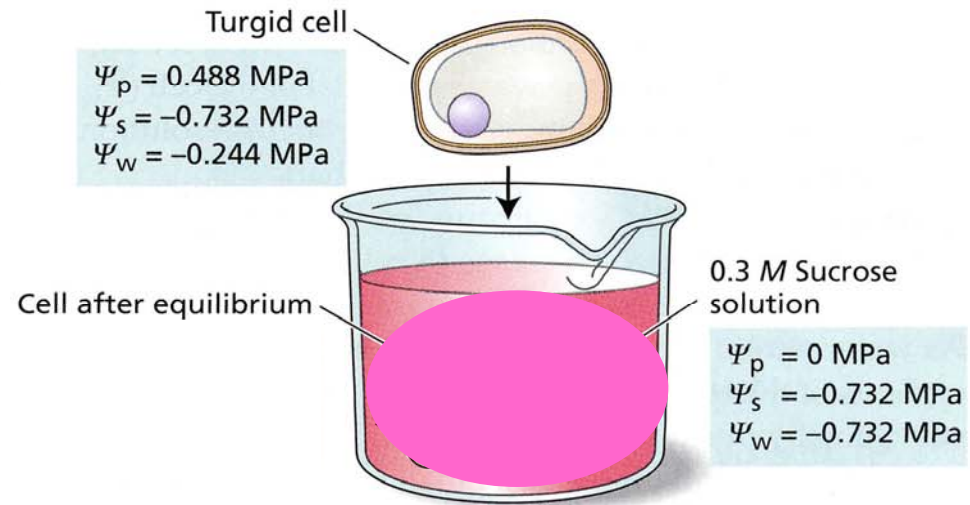
(B) Solution containing 0.1 M sucrose



(C) Flaccid cell dropped into sucrose solution



(D) Concentration of sucrose increased



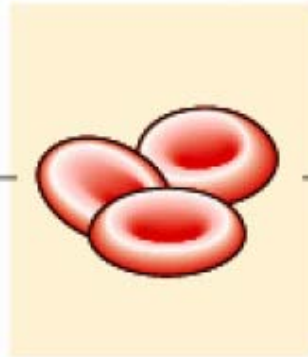
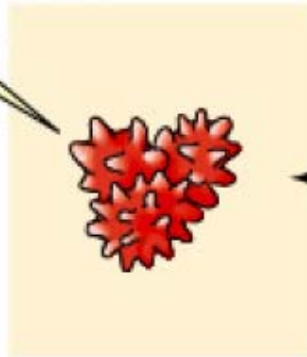
In soluzione
iperosmotica
(concentrazione salina
elevata)

In soluzione
isosmotica
(concentrazione
salina normale)

In soluzione
iposmotica
(acqua distillata)

Le cellule perdono
acqua e si
raggrinziscono.

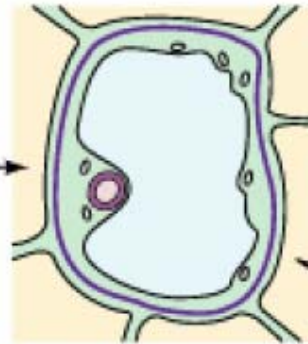
(a) Cellula
animale
(eritrocita)



La cellula assume
acqua, si rigonfia
e infine scoppia.

(b) Cellula
vegetale

La cellula si
restringe e si stacca
dalla parete
cellulare.



Vacuolo

La cellula diventa
turgida ma mantiene
generalmente la
propria forma grazie
alla presenza della
parete cellulare.

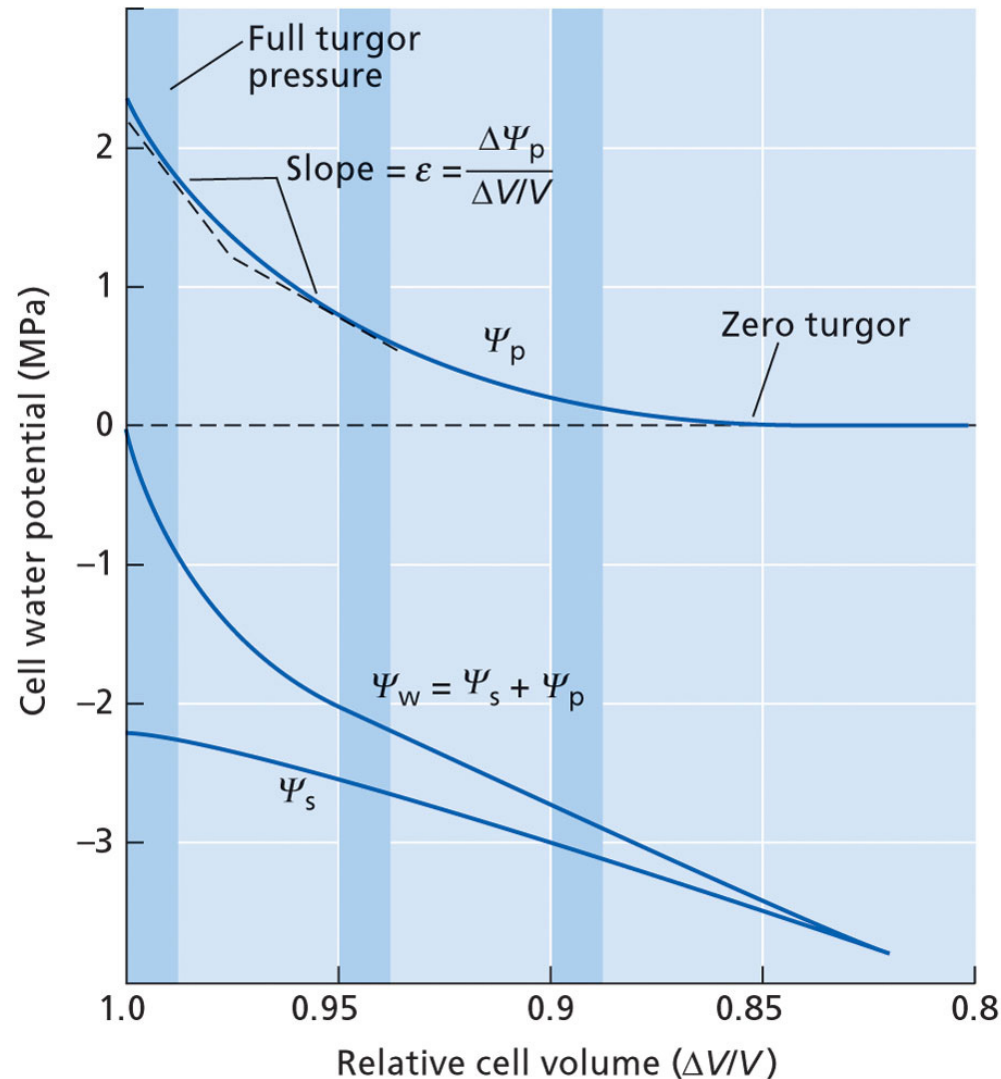
Cellula plasmolizzata



Plasmolisidi una cellula di *Allium cepa* in seguito all'aggiunta di nitrato di calcio

piccole variazioni del volume cellulare determinano grandi variazioni del potenziale di pressione (pressione di turgore)

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?

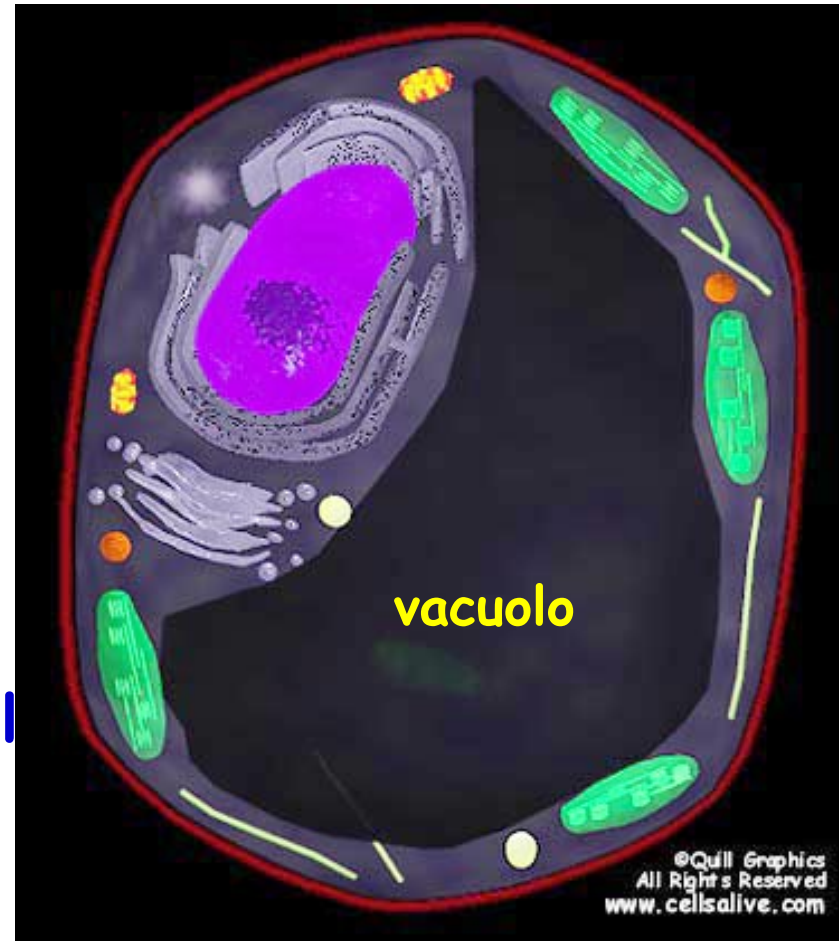
Permette che avvenga la crescita della
cellule mediante distensione della parete
cellulare

CRESCITA PER DISTENSIONE

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

Se $\Psi_{Int} < \Psi_{ex}$ 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'

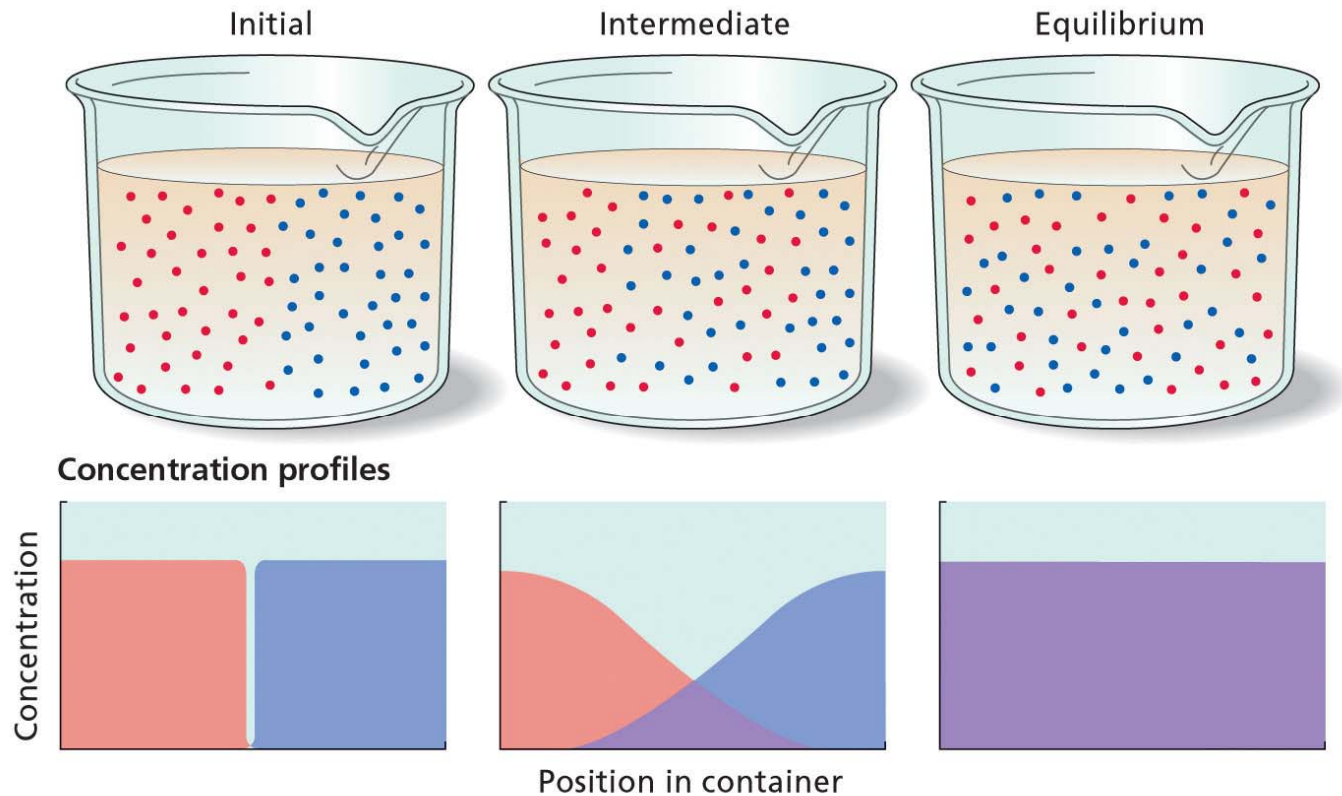
dipende dalla forza guida e dalle caratteristiche del mezzo

Il movimento spontaneo dell'acqua può avvenire per:

➤ DIFFUSIONE MOLECOLARE (gradiente di C)

➤ FLUSSO DI MASSA (gradiente di P)

➤ OSMOSI (gradiente di Ψ)



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 3.7 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

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**

La velocità con cui avviene la diffusione è descritta dalla

LEGGE DI FICK

$$J_s = -D_s \cdot (dc/dx)$$

Densità di flusso
[mol m⁻² s⁻¹]

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

D_s = coefficiente di diffusione [m² s⁻¹]

misura quanto facilmente una sostanza s si muove attraverso un mezzo

**Il segno meno indica che la direzione del flusso è
[C] alta → [C] bassa**

dalla legge di Fick si ricava



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

$$K = 1$$

glucosio in acqua
 $D = 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

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 $\Rightarrow$ trasporto a breve distanza

Non contribuisce al trasporto a lunga distanza nella pianta

Flusso di massa

movimento di gruppi di molecole in risposta a **gradienti di pressione**
(correnti di convezione, flusso di un fiume, caduta della pioggia)

Equazione di Poiseuille

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

r raggio della tubatura

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

$\frac{dP}{dx}$ **gradiente di pressione**

Flusso di massa $\longrightarrow$ trasporto a lunga distanza

OSMOSI

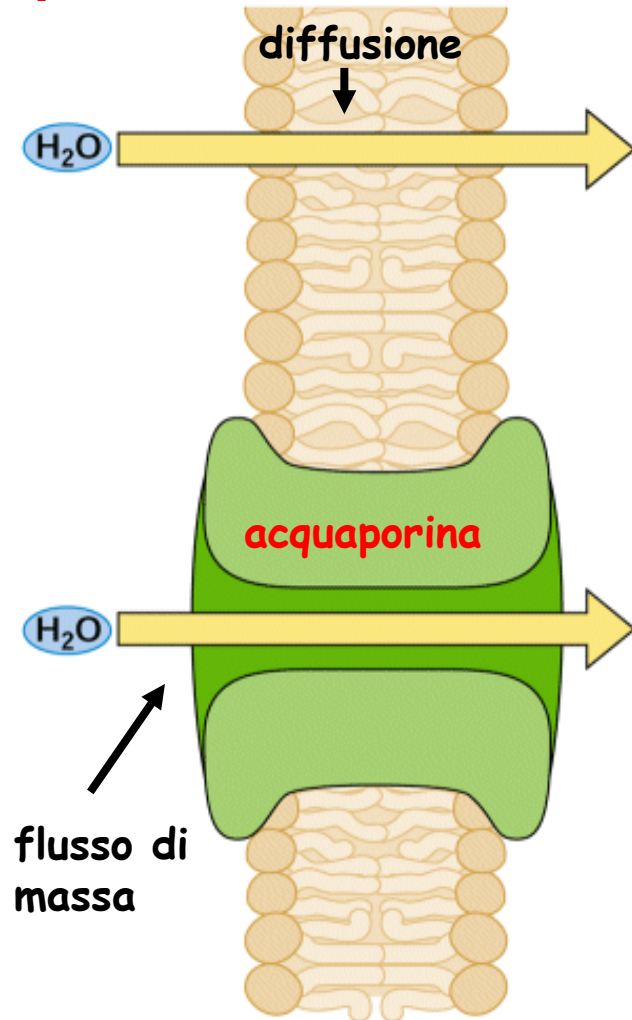
movimento di un solvente attraverso una membrana.

Le membrane cellulari sono selettivamente permeabili.

L'osmosi avviene in risposta ad una forza motrice.

Alla **forza motrice** per il movimento contribuiscono sia il gradiente di **concentrazione**

sia il gradiente di **pressione** che determinano la direzione e la velocità del flusso



La velocità di trasporto dipende dalla forza motrice (**gradiente di Ψ**) e dalle caratteristiche fisiche del mezzo

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

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



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

L_p conduttività idraulica

A area della membrana

$A \times L_p = L$ conduttanza idraulica totale