

*Il trasporto xilematico*

*Il trasporto floematico*

# IL TRASPORTO DELL'ACQUA

cap. 32

Biologia Vegetale, STAg, AA 2013-14

2

## I movimenti dell'acqua



da **dentro** e **fuori** la cellula attraverso la MP (e da dentro e fuori i vari compartimenti cellulari divisi da membrane!)

Biologia Vegetale, STAg, AA 2013-14

3

# Come si sposta l'acqua?

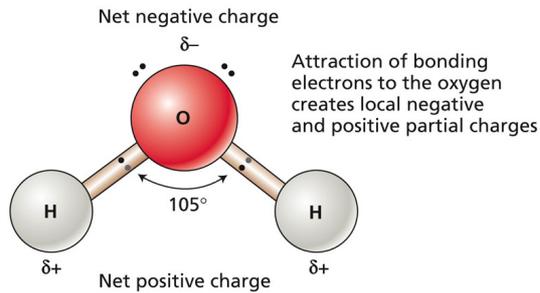
- **SEMPRE**

**da** un punto ad **elevata** energia  
**ad** un punto a **minor** energia

## I movimenti dell'acqua

Caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua

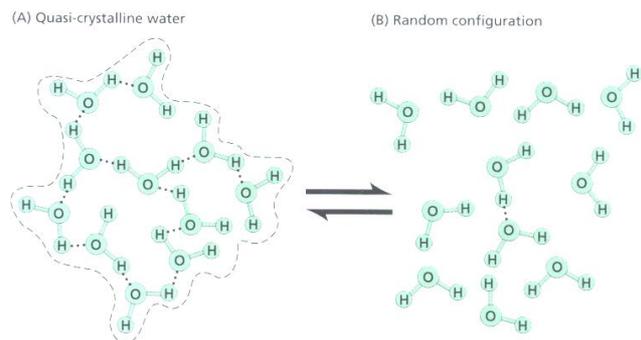
# L'acqua è un dipolo



Può formare **legami idrogeno**

- con altre molecole di acqua
- con altre (macro)molecole polari

È un **ottimo solvente!**

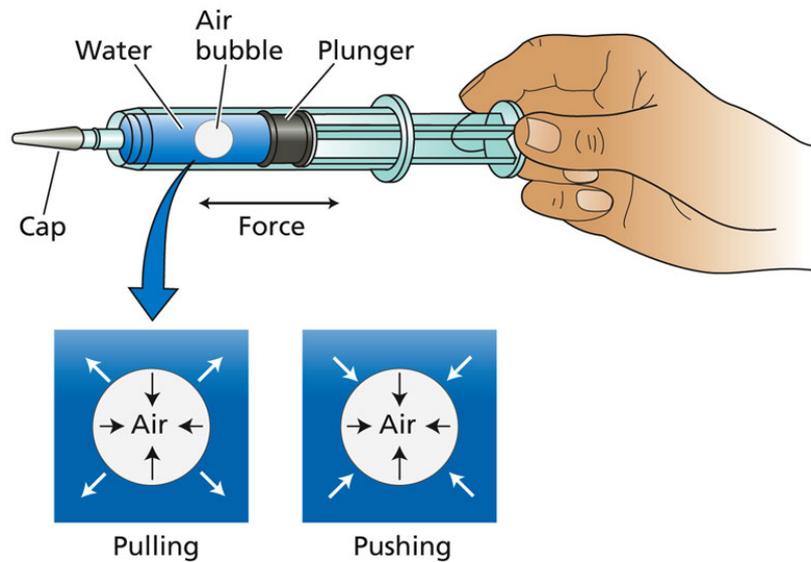


# Proprietà dell'acqua

- Alto **calore specifico**
- Alto **calore latente di evaporazione**
- Elevata **tensione superficiale** all'interfaccia aria-acqua
- Elevata **coesione** tra le molecole di acqua
- Elevata **adesione** tra le molecole di acqua e le superfici da essa bagnate
  - **capillarità**

# Proprietà dell'acqua

- Grande **forza di tensione**



PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 3.6 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

## Come si sposta l'acqua?

- **SEMPRE**

**da** un punto ad **elevata** energia  
**ad** un punto a **minor** energia

**... e come si misura l'energia dell'acqua?**

# Il potenziale idrico $\Psi$

Storicamente, l'acqua viene misurata come **volume**. Quindi il **potenziale chimico  $\mu_w$  dell'acqua ( $w$ ) riferito al VOLUME di una mole di acqua ( $=18 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ )** non è altro che

$\mu_w$ /volume parziale molale dell'acqua

e viene detto

**potenziale idrico  $\Psi$**

L'unità di misura di  $\Psi$  è  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} / \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$  e quindi  $\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Ma  $\text{J} = \text{N} \cdot \text{m}$  e quindi  $\text{J} \cdot \text{m}^{-3} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2} = \text{Pa} = \Psi$

Quindi l'unità di misura di  $\Psi$  è la **pressione!**

Come per  $G$ , anche  $\Psi$  è una **quantità relativa** e viene espresso come la differenza tra  $\Psi$  dell'acqua in un dato stato e il  $\Psi$  dell'acqua pura, nelle stesse condizioni di  $P$  e  $T$ .

Il  $\Psi$  dell'acqua pura è, per convenzione, **zero**.

Come per le reazioni chimiche, **l'acqua si sposta da un  $\Psi$  maggiore a un  $\Psi$  minore**.

## Fattori che contribuiscono al potenziale idrico $\Psi$

In un sistema osmotico ci sono due componenti molto importanti:

- **POTENZIALE DI PRESSIONE**, indicato con  $\Psi_p$  che è causato dall'**aggiunta di una pressione** ed è uguale alla reale pressione nella parte di sistema considerato
- **POTENZIALE OSMOTICO**, indicato con  $\Psi_\pi$  che è dovuto alla **presenza di particelle di soluto**.

$\Psi_p$  e  $\Psi_\pi$  assieme a  $\Psi_M$  (potenziale di matrice) e  $\Psi_G$  (potenziale dovuto a  $g$ ) contribuiscono al **potenziale idrico totale del nostro sistema!**  $\Psi = \Psi_p + \Psi_\pi + \Psi_M + \Psi_G$

- $\Psi_p$  può avere qualsiasi valore ma, per convenzione, a  $P$  atmosferica  $\Psi_p = 0$ . Ne risulta che
  - un **aumento di pressione** fa diventare  $\Psi_p > 0$
  - una **tensione (pressione negativa)** fa diventare  $\Psi_p < 0$
  - $\Psi_p$  è solitamente  $> 0$  nelle **CELLULE VIVE**
  - $\Psi_p$  è solitamente  $< 0$  nelle **CELLULE MORTE DELLO XILEMA**

•  $\Psi_\pi$  è **SEMPRE NEGATIVO** perché l'aggiunta di soluti abbassa  $\Psi$

Poiché  $\Psi_p$  può essere  $> 0$  e molto alto e  $\Psi_\pi < 0 = 0$ ,  $\Psi$  può essere **POSITIVO, NEGATIVO o ZERO**

# Fattori che influenzano il potenziale idrico $\Psi$

- 1) **concentrazione o attività**

Ma la **concentrazione** dell'acqua nelle piante varia pochissimo con l'aggiunta di soluti (e con variazioni di T) → la **concentrazione NON è importante per la diffusione dell'acqua nelle piante.**

- 2) **temperatura**

L'acqua allo stato liquido (ma anche come vapore) diffonde da zone calde a zone fredde

- 3) **pressione**

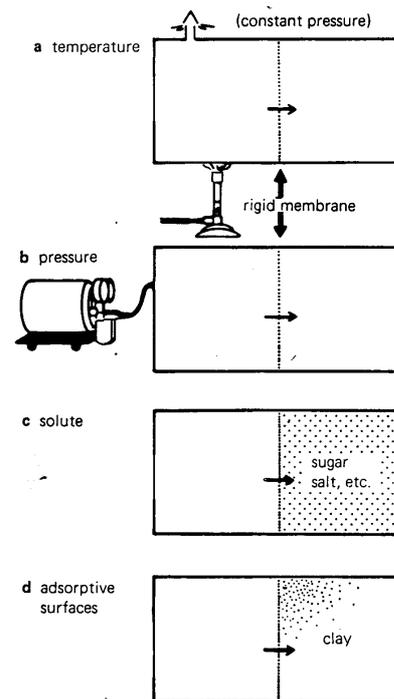
Nelle piante è **estremamente importante** perché esistono forti **differenze di P** in tessuti diversi (es: xilema e floema).

- 4) **concentrazione dei SOLUTI**

In presenza di membrane semipermeabili l'acqua si muove per diffusione da una soluzione meno concentrata a una più concentrata (**OSMOSI**, molto comune nelle piante)

- 5) **matrice**

Molti materiali possono formare legami idrogeno con l'acqua e vengono definiti **matrici**. Il legame è **spontaneo** e viene ceduta energia ( $\Delta G < 0$ ). Quindi l'acqua tende a muoversi verso una matrice (es: idratazione dei semi)



# Fattori che contribuiscono al potenziale idrico $\Psi$

Nelle piante il  $\Psi$  è quasi sempre  $< 0$

- $\Psi$  dell'acqua a P atm = 0
- $\Psi$  di una soluzione a P atm  $< 0$
- $\Psi$  dell'acqua più una P  $> 0$  →  $\Psi > 0$
- $\Psi$  di una soluzione più una P  $> 0$ 
  - $< 0$   $\Psi_{\pi}$  è più negativo di quanto  $\Psi_P$  sia positivo
  - $= 0$   $\Psi_{\pi} = \Psi_P$  ma di segno opposto
  - $> 0$   $\Psi_P$  è più positivo di quanto  $\Psi_{\pi}$  sia negativo

Tuttavia i componenti di  $\Psi$  variano molto a seconda della porzione di pianta considerata.

# La cellula vegetale e l'osmosi

Una cellula vegetale può essere considerata un **sistema osmotico**, al pari di un **osmometro**.

- Due o più compartimenti (contenenti soluzioni o acqua pura) separati da una **membrana selettivamente permeabile**
- in uno dei compartimenti è presente un mezzo che consente l'instaurarsi di una pressione

- **OSMOMETRO**: pressione idrostatica causata dalla salita, contro gravità, della soluzione nel tubo manometrico

- **CELLULA VEGETALE** rigidità della parete cellulare

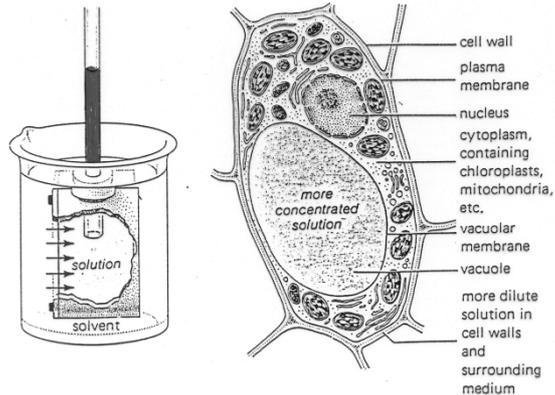
Tuttavia la cellula vegetale non è mai un sistema osmotico perfetto dato che le membrane biologiche **non** sono esattamente semipermeabili (come quelle degli osmometri di laboratorio).

Se su un lato della membrana c'è acqua pura e sull'altro una soluzione,

$$\Psi_{\text{soluzione}} < \Psi_{\text{acqua pura}}$$

per convenzione  $\Psi_{\text{acqua pura}} = 0$  (a P atm)

Ne consegue che  $\Psi_{\text{soluzione}} < 0$



- **potenziale idrico totale del nostro sistema:**

$$\Psi = \Psi_P + \Psi_\pi + \Psi_M + \Psi_G$$

# Componenti di $\Psi$ nel suolo → pianta → atmosfera

• **Suolo:**  $\Psi_p = 0$  ( $0 < 0$ );  $\Psi_\pi$  appena  $< 0$  perché le soluzioni del terreno sono di solito **diluite**

• **Xilema radice:**  $\Psi_\pi$  appena  $< 0$  perché le soluzioni sono **diluite**;  $\Psi_p < 0$  perché l'acqua è **sotto tensione**. Ne consegue che  $\Psi_{xilema}$  è  $<$  (più negativo!) di  $\Psi_{suolo}$  e quindi l'acqua entra dal suolo nella pianta.

• **Xilema foglia:**  $\Psi_\pi$  appena  $< 0$  perché le soluzioni sono **diluite**;  $\Psi_p < 0$  perché l'acqua è **sotto maggior tensione**. Ne consegue che  $\Psi_{xilema\ foglia}$  è  $<$  (più negativo!) di  $\Psi_{xilema\ radice}$  e quindi l'acqua sale.

• **Simplasto Foglia:**  $\Psi_\pi < 0$  perché le soluzioni delle cellule sono concentrate; quindi entra acqua e  $\Psi_p$  diventa  $> 0$ . Tuttavia il  $\Psi_{foglia\ sim}$  è **in equilibrio** con  $\Psi_{foglia\ xilema}$  e quindi l'acqua **entra ed esce dalla cellula**

• **Atmosfera:**  $\Psi_{atmosfera} < \Psi_{foglia}$  (è ancora **più negativo**) e quindi l'acqua **passa dalle foglie all'atmosfera**

Questo è vero nella maggior parte dei casi, quando  $\Psi_{suolo} > \Psi_{pianta} > \Psi_{atmosfera}$

## Il potenziale idrico dell'aria

- L'aria secca ha una grande capacità di trattenere  $H_2O$  sotto forma di vapore acqueo
- Con il diminuire dell'umidità relativa (RH o UR) diminuisce il  $\Psi$  dell'aria

Relazione fra concentrazione di vapore acqueo ( $c_{wv}$ ), pressione di vapore acqueo ( $p_{wv}$ ), umidità relativa (RH) e potenziale idrico ( $\Psi_w$ )

$c_{wv}$ ( $mol\ m^{-3}$ )	$p_{wv}$ (kPa)	RH	$\Psi_w$ (MPa) <sup>4</sup>
0,961	2,34	1,000	0,00
0,957	2,33	0,996	-0,54
0,951	2,32	0,990	-1,36
0,923	2,25	0,960	-5,51
0,865	2,11	0,900	-14,20
0,480	1,17	0,500	-93,60
0,000	0,000	0,000	-infinito

$$\Psi = RT/V_w * \ln(RH)$$

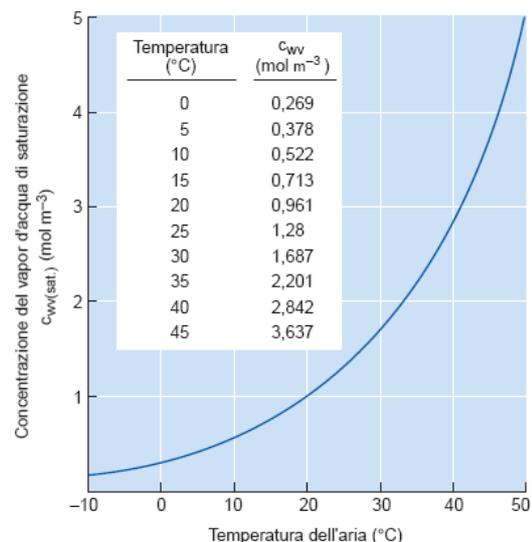
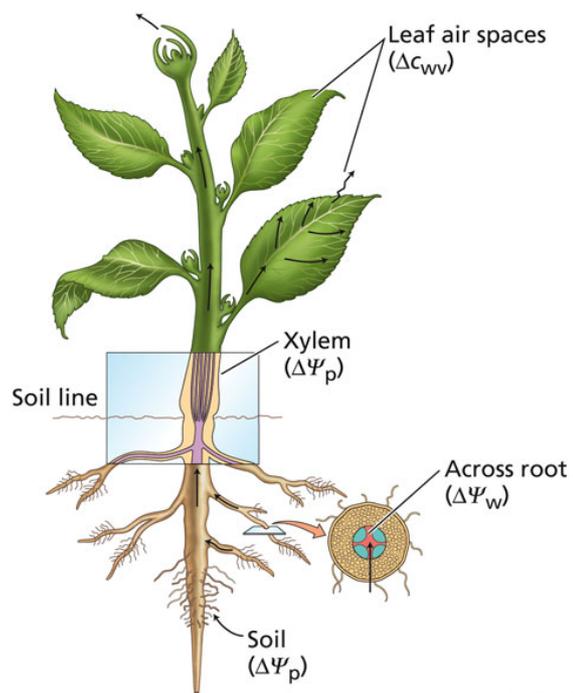


Figura 4.12 Concentrazione del vapore d'acqua in aria satura in funzione della temperatura dell'aria.

# LA SALITA DELLA LINFA XILEMATICA

## La salita dell' acqua

- Per spiegare la salita dell'acqua la teoria più realistica è quella della **coesione-tensione** che si basa su 3 elementi:
- 1) la forza motore è il gradiente di
$$\Psi_{\text{suolo}} > \Psi_{\text{pianta}} > \Psi_{\text{atmosfera}}$$
- 2) l'**adesione** dell'acqua alle pareti delle cellule di conduzione e delle cellule del mesofillo
- 3) la **coesione** tra le molecole d'acqua che consente il **flusso di massa** con  $\Psi < 0$  nei vasi xilematici, dove l'H<sub>2</sub>O è sotto **tensione**



**L'evaporazione dell'acqua nella foglia causa  $\Psi_p < 0$  nello xilema**

- L'acqua dallo xilema passa alle cellule del mesofillo, via apoplasto
- Dalla parete cellulare l'acqua passa nell'aria degli spazi intercellulari

NB:  $\Psi_w$  nell'apoplasto

è UGUALE a

$\Psi_w$  nel simplasto

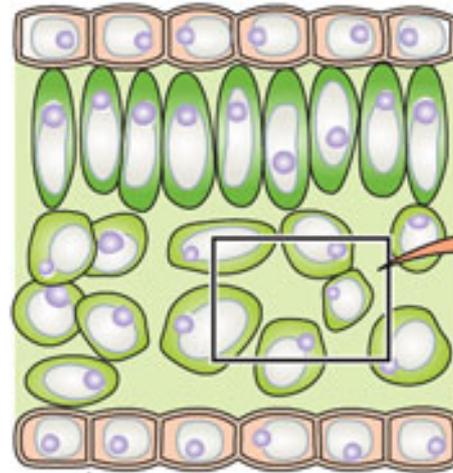


Fig 4.9 Taiz

**L'evaporazione dell'acqua nella foglia causa  $\Psi_p < 0$  nello xilema**

- L'acqua dallo xilema passa alle cellule del mesofillo, via apoplasto
- Dall'apoplasto l'acqua, attraversando la MP, entra nella cellula del mesofillo
- Dalla parete cellulare l'acqua passa nell'aria degli spazi intercellulari

NB:  $\Psi_w$  nell'apoplasto

è UGUALE a

$\Psi_w$  nel simplasto

è UGUALE a

$\Psi_w$  nello spazio intercellulare che comunica con la camera sottostomatica

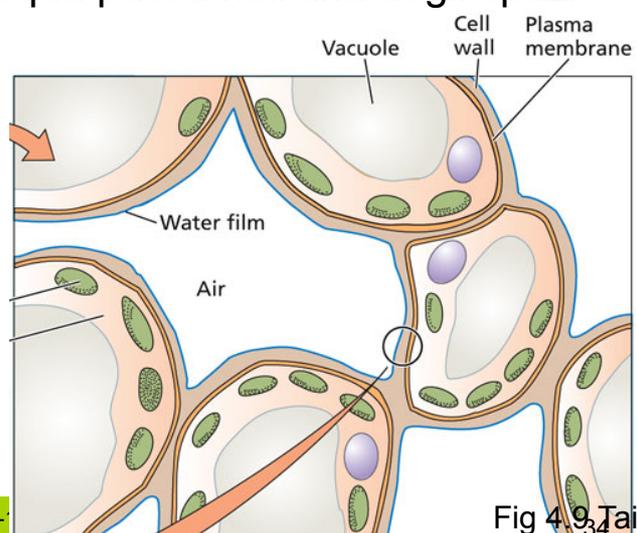


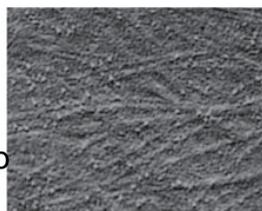
Fig 4.9 Taiz

## L'evaporazione dell'acqua nella foglia causa $\Psi_p < 0$ nello xilema

- L'acqua dallo xilema passa alle cellule del mesofillo, via apoplasto
- Dalla parete cellulare l'acqua passa nell'aria degli spazi intercellulari  
→ altra acqua prende il posto di quella evaporata
- $P = -2T/r$  ( $T =$  tensione  $H_2O$ )

	Radius of curvature ( $\mu\text{m}$ )	Hydrostatic pressure (MPa)
(A)	0.5	-0.3
(B)	0.05	-3
(C)	0.01	-15

13.11.13  
65' I blocco



Biologia Vegetale, S

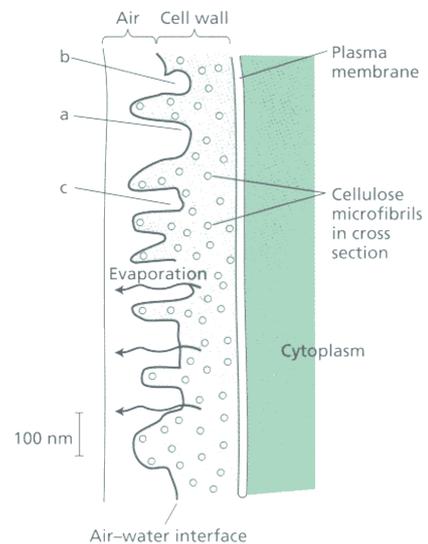
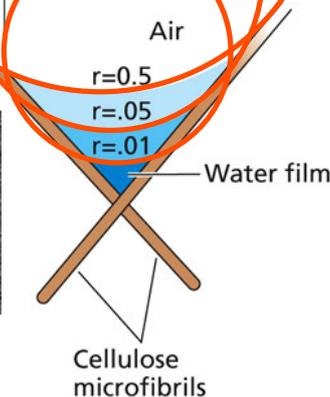


Fig 4.9 Taiz

## Dalla foglia all'atmosfera

- L'evaporazione di acqua dalle piante all'atmosfera è detta **TRASPIRAZIONE**
- Il vapore passa dalla foglia all'atmosfera attraverso gli **stomi per diffusione**.
- **La pianta traspira acqua per assorbire  $CO_2$**
- La **diffusione dei gas è estremamente veloce**
- Quanto più **ripido** è il **potenziale di pressione**, tanto più **veloce** è la diffusione.
- La pianta deve trovare un equilibrio tra
  - l'**assorbimento di  $CO_2$**  e
  - la **perdita di acqua**



# Dalla foglia all'atmosfera

La **traspirazione** dipende da:

- 1) differenze in concentrazione (=pressione) di vapore (NON UR)
- 2) resistenza alla diffusione

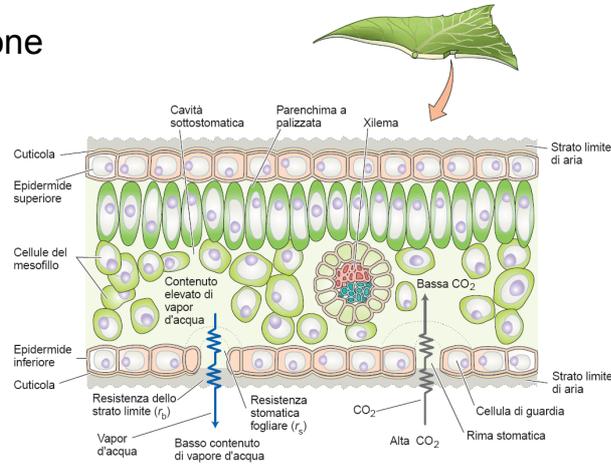


Figura 4.11 Cammino dell'acqua attraverso la foglia. L'acqua è trasportata dallo xilema verso le pareti cellulari del mesofillo, da dove evapora negli spazi aeriferi all'interno della foglia. Per diffusione il vapore d'acqua si sposta quindi attraverso gli spazi aeriferi della foglia, tramite la rima stomatica, e attraverso lo strato limite di aria immobile che aderisce sulla superficie esterna della foglia. La CO<sub>2</sub> diffonde in direzione opposta secondo il suo gradiente di concentrazione (bassa all'interno, elevata fuori).

## 1) Vapor d'acqua e UR

- L'aria secca ha una grande capacità di trattenere H<sub>2</sub>O sotto forma di vapore acqueo
- Con il diminuire dell'umidità relativa (RH o UR) diminuisce il  $\Psi$  dell'aria

Relazione fra concentrazione di vapor acqueo ( $c_{wv}$ ), pressione di vapor acqueo ( $p_{wv}$ ), umidità relativa (RH) e potenziale idrico ( $\Psi_w$ )

$c_{wv}$ (mol m <sup>-3</sup> )	$p_{wv}$ (kPa)	RH	$\Psi_w$ (MPa) <sup>4</sup>
0,961	2,34	1,000	0,00
0,957	2,33	0,996	-0,54
0,951	2,32	0,990	-1,36
0,923	2,25	0,960	-5,51
0,865	2,11	0,900	-14,20
0,480	1,17	0,500	-93,60
0,000	0,000	0,000	-infinito

$$\Psi = RT/V_w * \ln(RH)$$

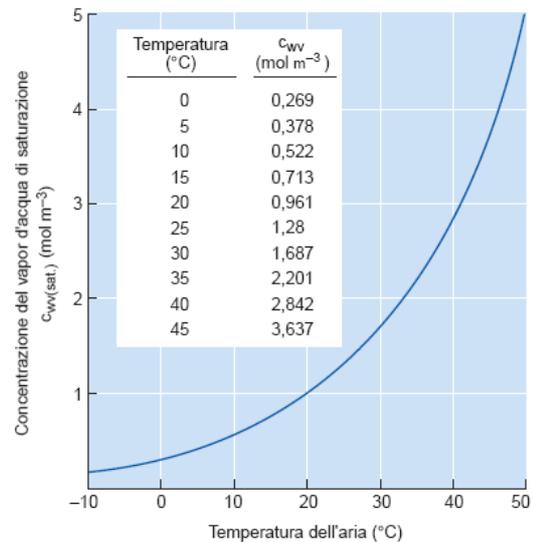
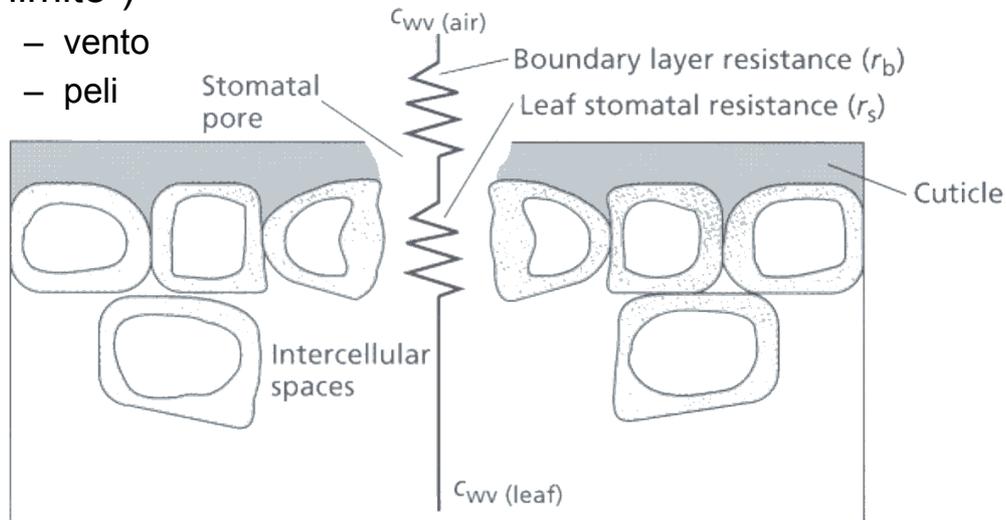


Figura 4.12 Concentrazione del vapor d'acqua in aria saturata in funzione della temperatura dell'aria.

## 2) Resistenze alla diffusione del vapore dalla foglia

- La **resistenza stomatica**
- la resistenza dello strato superficiale (“strato limite”)

- vento
- peli



## Significato della traspirazione

- **Assorbire  $CO_2$**  dall'atmosfera
- trasporto di minerali nella pianta
- scambio di energia con l'atmosfera (**raffreddamento** della foglia)

# TRASLOCAZIONE NEL FLOEMA

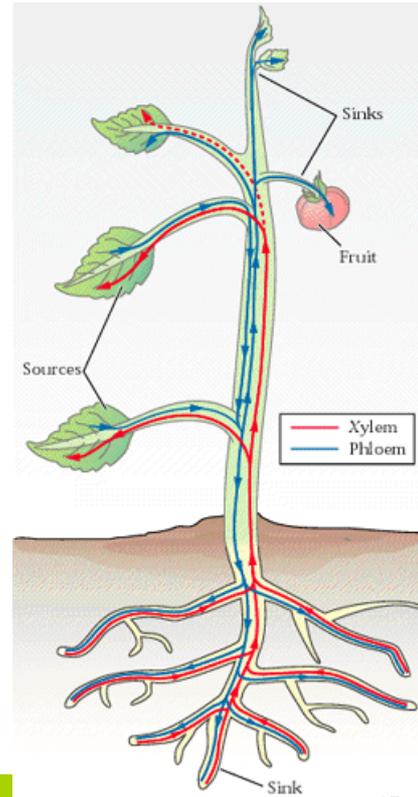
## Allocazione e ripartizione

- **Allocazione:** la regolazione del destino metabolico dei fotosintati. I fotosintati possono essere usati per:
  - **Utilizzazione metabolica**, che può essere per:
    - produzione di energia
    - produzione di scheletri carboniosi per la sintesi dei vari componenti cellulari.
  - **Sintesi di sostanze di riserva.** Si distinguono piante che:
    - accumulano amido
    - accumulano saccarosio.
  - **Sintesi di composti trasportabili** da essere destinati all'export verso tessuti *sink*.
- **L'allocazione avviene sia in sorgenti che in pozzi.**

## Allocazione e ripartizione

- **Ripartizione:** la regolazione della distribuzione tra i vari tessuti pozzo dei fotosintati esportati dai tessuti sorgente. Il destino dei fotosintati di riserva dipende da:
  - **connessioni tra la sorgente e il pozzo.** Solo se ci sono vasi che collegano i due organi è possibile il trasporto.
  - **Distanza tra sorgente e pozzo.** È favorito lo scambio tra vicini.
  - **Forza del pozzo.** Sono favoriti i pozzi più “forti”.
    - La **forza del pozzo** è data da: dimensione x attività.
    - L'**attività** è data dal **tasso di assimilazione di fotosintati per unità di peso.**

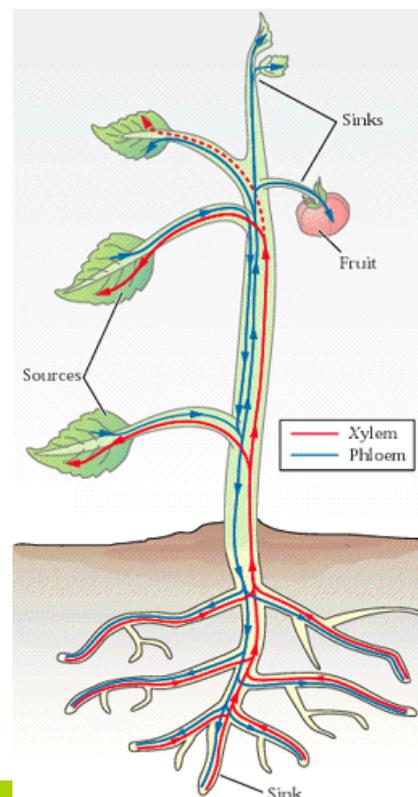
fig. 15.9 Buchanan



## Vie di traslocazione

- Lo xilema e il floema.
- Nello **xilema** il movimento dei soluti è **ascendente**, dalle radici alle foglie. Pochissimo l'apporto ai tessuti in espansione e ai *sink* riproduttivi.
- Nel **floema** il movimento dei soluti è **da source a sink**.
  - Il movimento può essere **bidirezionale in uno stesso internodo**, ma è
  - **sempre unidirezionale in un singolo fascio di conduzione.**

fig. 15.9 Buchanan



## Caricamento del floema

- Si intende il movimento di fotosintati dalla cellula del mesofillo al floema.
- È diviso in più passaggi:
  - 1) trioso-P dal cloroplasto al citosol. Sintesi di saccarosio.
  - 2) dalla cellula del mesofillo fino alle vicinanze degli elementi del cribro. È un trasporto breve per **diffusione**.
  - 3) caricamento degli elementi del cribro contro gradiente di concentrazione.
  - 3) trasporto a lunga distanza (export).

## La pressione osmotica nel floema

- Il caricamento di soluti richiama acqua.
 

Quindi la pressione osmotica aumenta.
- La pressione negli elementi del cribro **non** è uguale in tutta la pianta.
- La pressione negli elementi del cribro è alta in tessuti sorgente e bassa in tessuti pozzo.
- La differenza di pressione causa il movimento dell'acqua e dei soluti in essa contenuti.

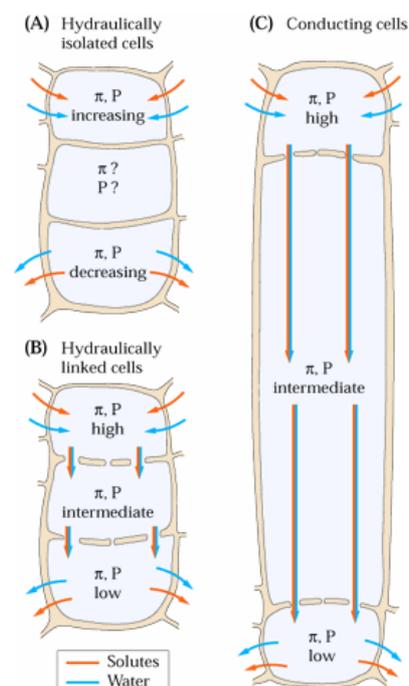


Fig 15.3 Buchanan

## La pressione osmotica nel floema

- Il caricamento di soluti richiama acqua.

Quindi la pressione osmotica aumenta.

- La pressione negli elementi del cribro **non** è uguale in tutta la pianta.
- La pressione negli elementi del cribro è alta in tessuti sorgente e bassa in tessuti pozzo.
- La differenza di pressione causa il movimento dell'acqua e dei soluti in essa contenuti.

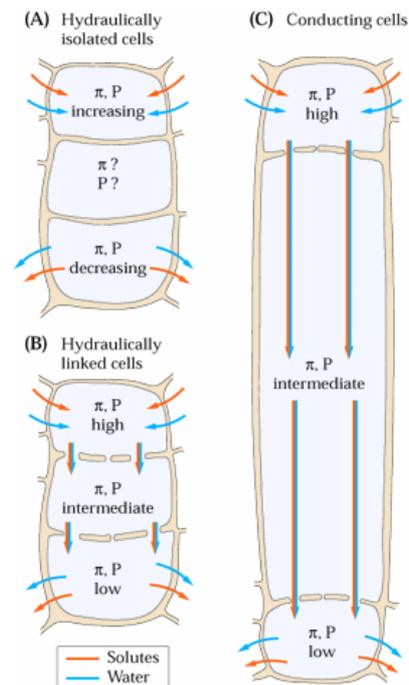


Fig 15.3 Buchanan

65

Biologia Vegetale, STAg, AA 2013-14

## Lo scaricamento del floema

- È costituito da:
  - 1) scaricamento dell'elemento del cribro
  - 2) trasporto a breve distanza (non tutte le cellule pozzo sono a contatto diretto con il floema)
  - 3) accumulo e metabolismo = utilizzo delle sostanze trasportate

Biologia Vegetale, STAg, AA 2013-14

66

## Lo scaricamento del floema

- A seconda delle connessioni simplastiche tra le cellule riceventi e il floema lo scaricamento può essere di tipo diverso:
  - solo simplastico
  - simplastico e apoplastico
- Il diverso tipo di scaricamento varia non solo con il gruppo tassonomico, ma anche con l'organo pozzo.
- Lo scaricamento richiede energia

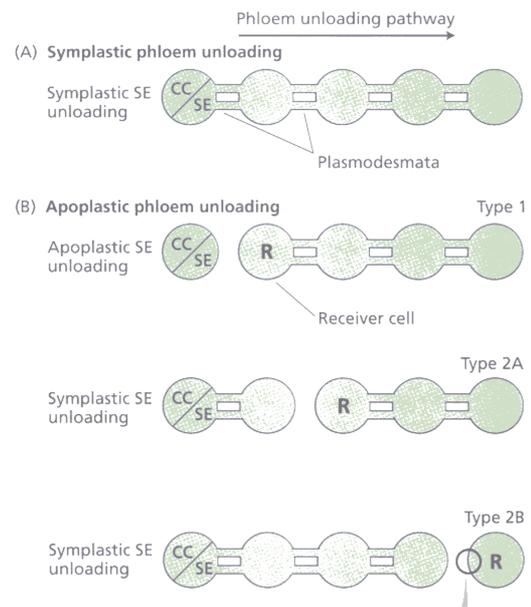


Fig 10.18 Taiz