



If your vines could talk..... what would they say?

L'acqua

L'acqua è il principale costituente delle piante (e degli animali)

Rappresenta dal 50 al 95% del peso fresco di tessuti vivi.

Tranne rare eccezioni, tessuti e organi vegetali non possono sopravvivere alla disidratazione.

Casi particolari: polline, semi

Le piante vascolari sono organismi omeoidri



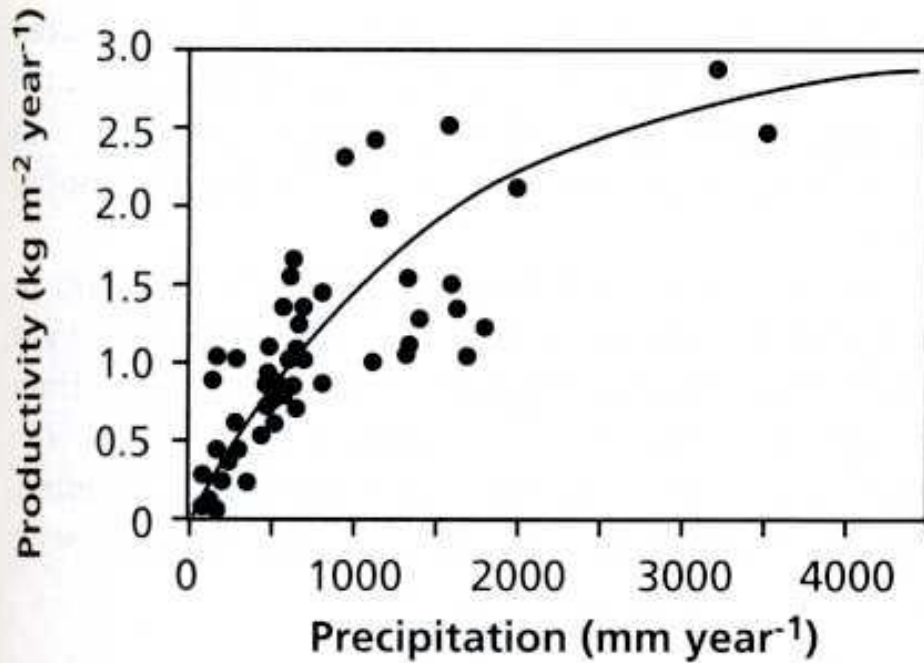
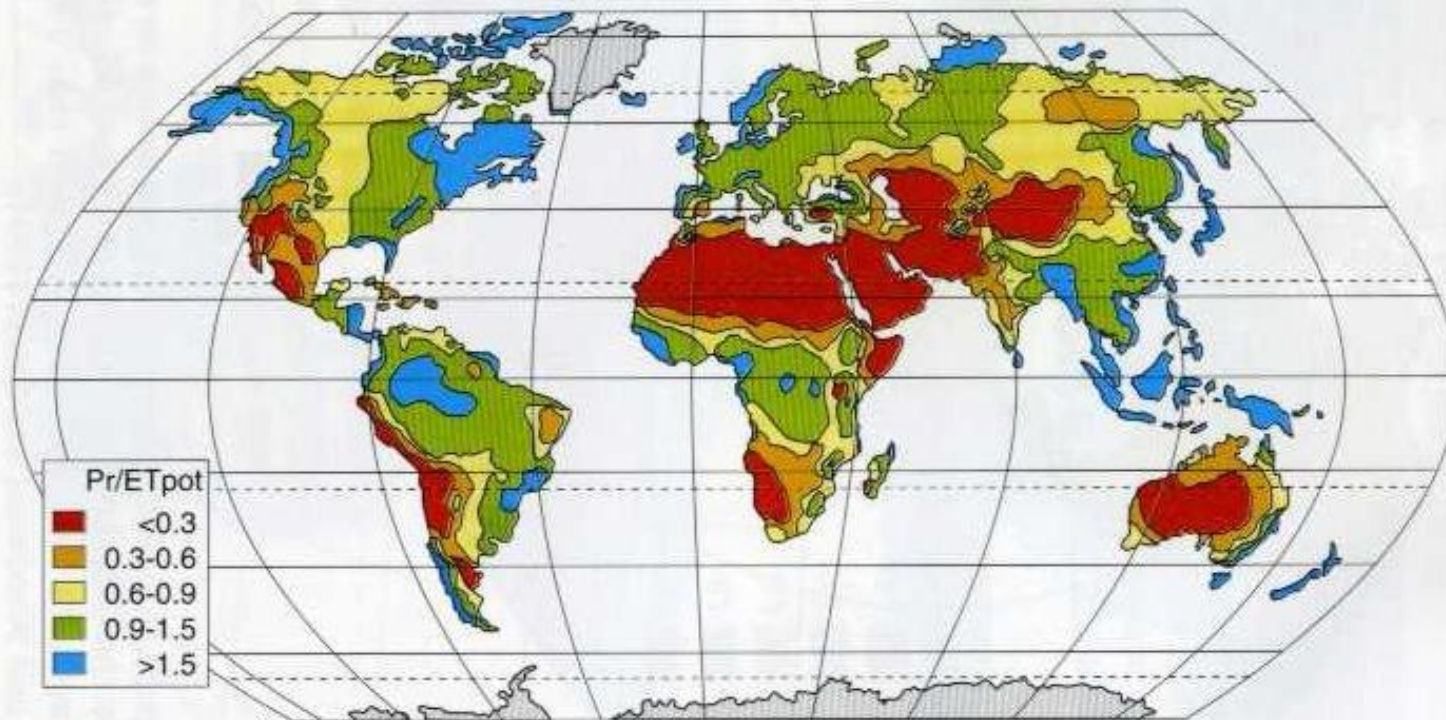
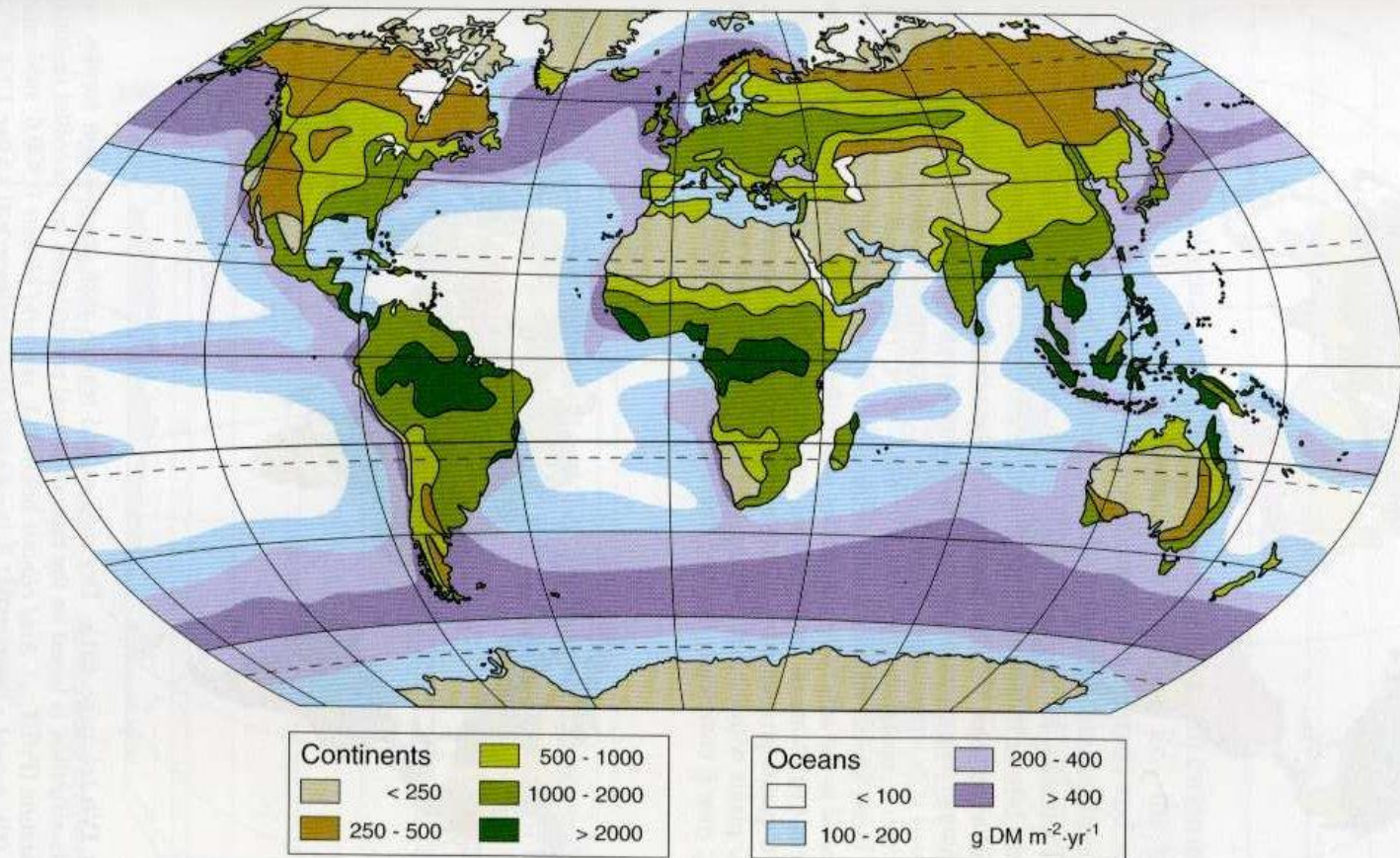


FIGURE 1. Correlation between net primary production and precipitation for the major world ecosystems (Lieth 1975).



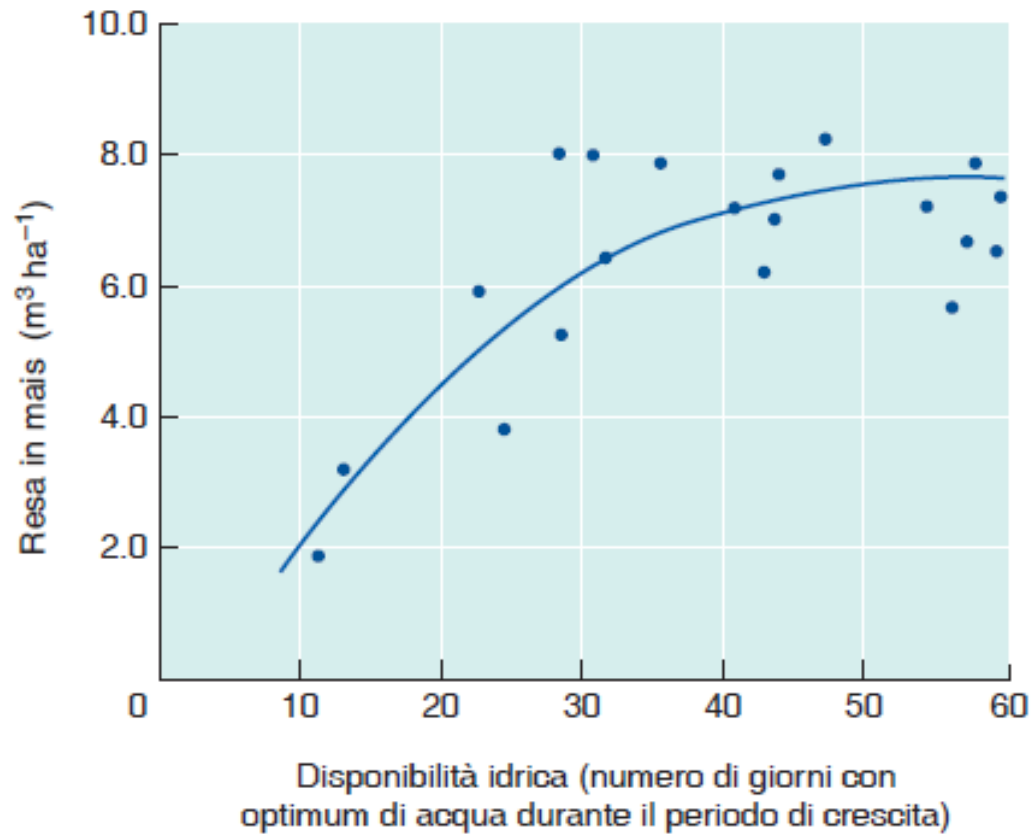
Color chart IVb (cf. page 401): Dry regions and regions with precipitation surplus on earth. The classification is based on the ratio of annual precipitation and potential regional evapotranspiration (Pr/ET_{pot}). *Arid climate* below 0.3; *semiarid climate* 0.3–0.6; *subhumid climate* 0.6–0.9; *humid climate* 0.9–1.5; *perhumid climate* above 1.5. (After UNESCO 1979; Box and Meentemeyer 1991). For insights on aridity indices based on meteorological information, see Thornthwaite (1948); Grigorjev and Budyko (1956); Lauer et al. (1996)



Color chart III (cf. page 165): Annual net primary production on earth. The terrestrial biomass production (g dry matter per m²) includes the increment in phytomass production aboveground and belowground and the oceanic biomass production corresponds to the production in the euphotic zone. (After maps from Lieth 1964, 1975; and Kotlyakov et al. 1998.) For global maps of maximum photosynthetic efficiency and plant cover, see Terjung et al. (1976) and Woodward and Smith (1994).



Anderegg et al. 2012, Nature Clim. Change



In una stagione
sul campo di
mais sono caduti
60 cm d'acqua.



Di questi
60 cm,
15 sono
stati evaporati
dal terreno.

Quasi tutti i ri-
manenti 45 cm
sono stati evapo-
rati dalle piante
di mais.



Per produrre 1 kg di semi



le piante di mais hanno traspirato



Per produrre 1 kg di uva servono circa 610 litri di acqua (media globale delle regioni di produzione)

Da 1 kg di uva si ricavano mediamente 0.7 litri di vino.

Quindi, per ogni litro di vino prodotto vengono consumati 870 litri di acqua.



<https://waterfootprint.org/en/>

Per produrre 1 kg di uva servono circa 610 litri di acqua (media globale delle regioni di produzione)

Da 1 kg di uva si ricavano mediamente 0.7 litri di vino.

Quindi, per ogni litro di vino prodotto vengono consumati 870 litri di acqua.

Un bicchiere di vino 'costa' 110 litri di acqua



**water
footprint
network**

<https://waterfootprint.org/en/>



Picea: 200 litri/giorno



Eperua: 1000 litri/giorno



Quercus: 500 litri/giorno

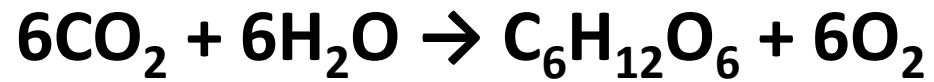


In una giornata di sole, una foglia di girasole perde in 1 ora l'equivalente in peso del suo contenuto totale di acqua!

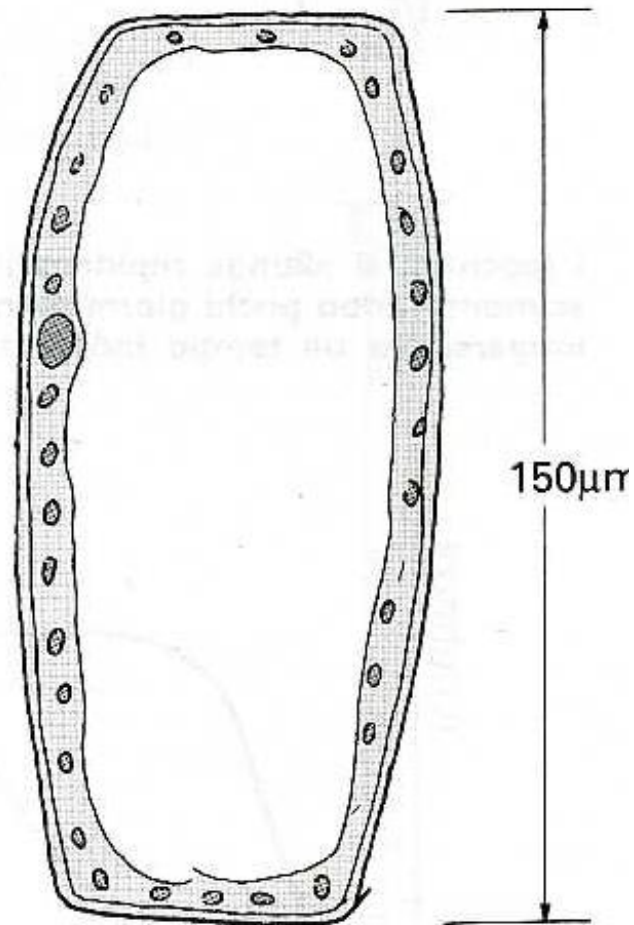
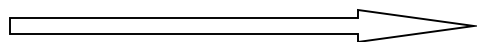
Dovrebbe apparire completamente secca, a meno che il suo contenuto di acqua non venga continuamente ripristinato. Quale meccanismo?

Come viene utilizzata tutta questa acqua dalla pianta?

1% utilizzata nelle reazioni fotosintetiche



2% utilizzata nei processi di accrescimento



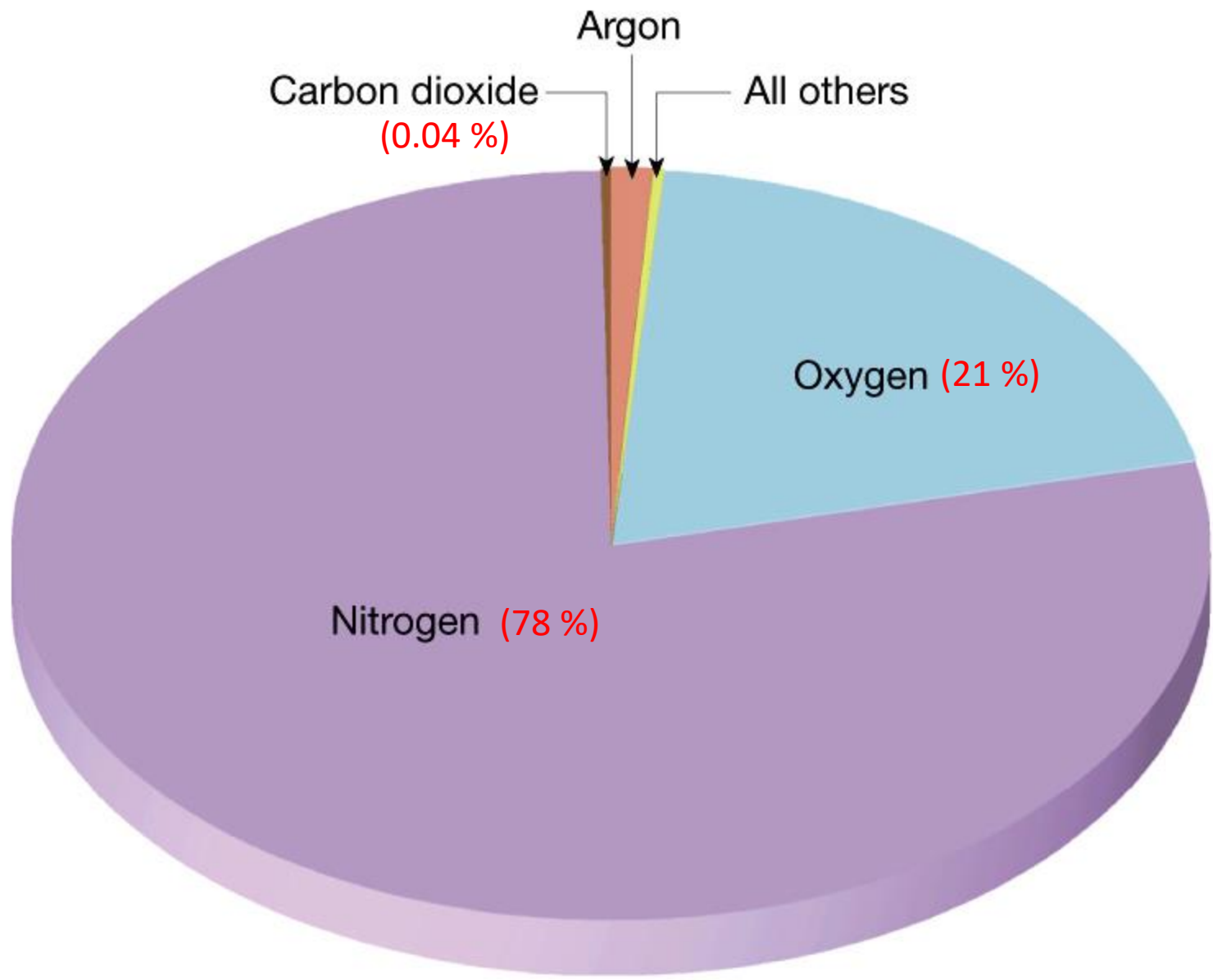
97% persa verso l'ambiente nel processo di **traspirazione**

Perché le piante perdono così grandi quantità di acqua?

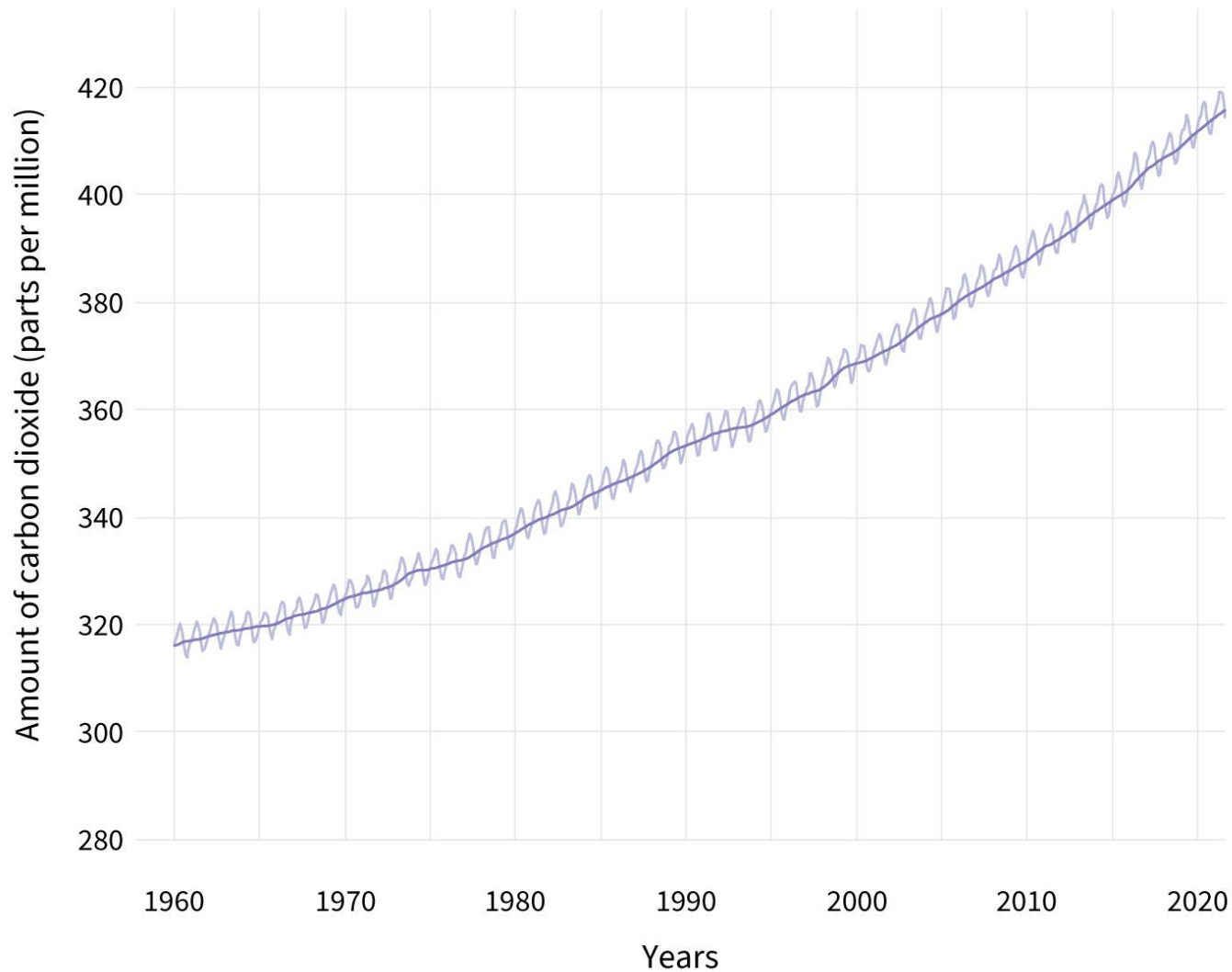
Come fanno le piante a mantenere il loro stato di idratazione?

Come fanno le piante a sopravvivere in luoghi aridi?

Composizione dell'attuale atmosfera



ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE (1960-2021)



■ **Table 2.2.1.** Water use and resources acquisition (CO₂ in plants and O₂ in animals) at 20 °C and 50% relative humidity and taking into account the diffusability of gases which depends on their molecular weight. A human with a body temperature of 36.6 °C acts as an example for the animal kingdom

	Plants		Human	
	CO ₂	H ₂ O	O ₂	H ₂ O
Concentration (ppm)				
– in the atmosphere	350	12 000	210 000	12 000
– in the mesophyll or in breathed air	250	24 000	160 000	62 000
Gradient	100	12 000	50 000	50 000
Relationship between H ₂ O/CO ₂ or H ₂ O/O ₂	192		13	

CO₂, M_w = 44

O₂, M_w = 32

H₂O, M_w = 18

La diffusione di CO₂ in aria è **1.6** volte più lenta di quella di H₂O

Il tasso di diffusione è direttamente proporzionale al **gradiente di concentrazione** + dipende dal **coefficiente di diffusione** (legge di Fick)



$$\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2 = (12000/100) \times 1.6 = 192$$



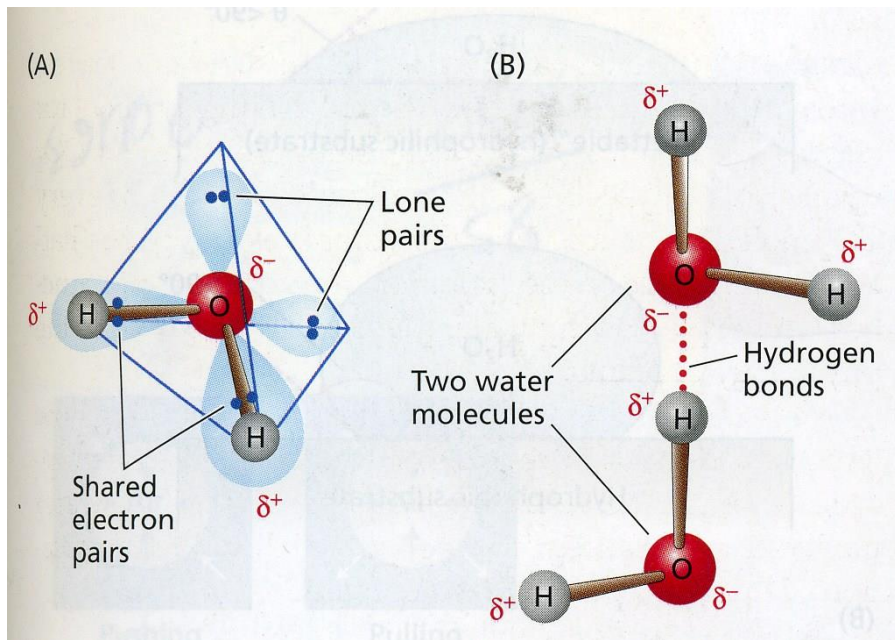
$$\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2 = (50000/50000) \times 1.3 = 1.3$$

Lo stile di vita autotrofo, la fisica della diffusione dei gas e la concentrazione relativa di CO_2 e H_2O nell'atmosfera sono alla base del dilemma funzionale delle piante...

Non morire di fame, evitando di morire di sete!

H₂O

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



Energia del legame idrogeno:
 20 kJ mol^{-1}

Energia dei legami ionici e covalenti:
 $> 100 \text{ kJ mol}^{-1}$

Ciascuna molecola di acqua può formare fino a 4 legami idrogeno con molecole adiacenti: forti interazioni intermolecolari!

Legami idrogeno: si formano tra molecole di acqua o tra acqua e altre molecole che contengono atomi elettronegativi (O, N), specie se a loro volta legati ad H

TABELLA 10.1 Alcune proprietà fisiche dell'acqua in confronto ad altre molecole di simile grandezza molecolare. Dato che le proprietà termiche sono definite su una base di energia per unità di massa, i valori sono dati in unità di joules per grammo

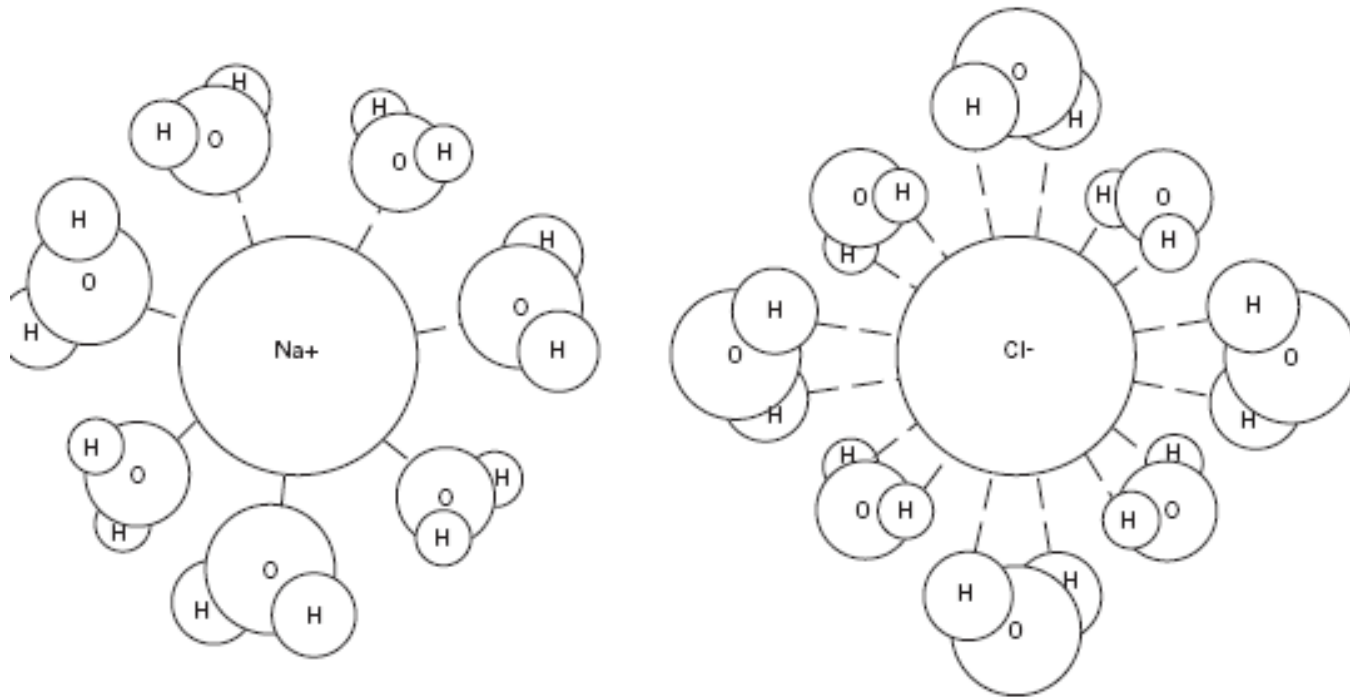
	Massa molecolare (Da)	Calore specifico ($\text{J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	Punto di fusione ($^\circ\text{C}$)	Calore di fusione (J g^{-1})	Punto di ebollizione ($^\circ\text{C}$)	Calore di vaporizzazione (J g^{-1})
Acqua	18	4,2	0	335	100	2452
Solfuro di idrogeno	34	–	–86	70	–61	–
Ammoniaca	17	5,0	–77	452	–33	1234
Biossido di carbonio	44	–	–57	180	–78	301
Metano	16	–	–182	58	–164	556
Etano	30	–	–183	96	–88	523
Metanolo	32	2,6	–94	100	65	1226
Etanolo	46	2,4	–117	109	78	878

Proprietà termiche dell'acqua di fondamentale importanza biologica:

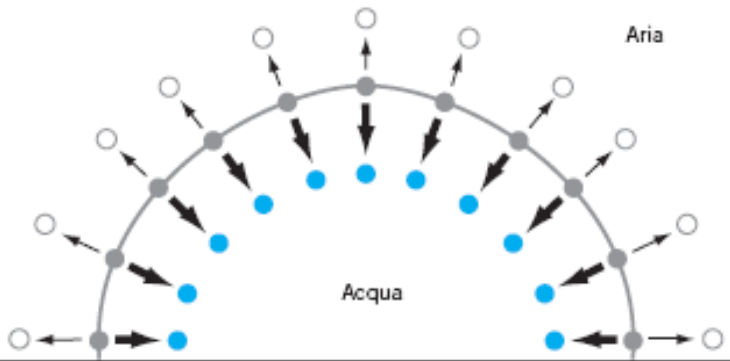
- Elevato calore specifico
- Elevata conduttività termica

- Elevato calore latente di fusione
- Elevato calore latente di evaporazione

L'acqua è un solvente eccellente per gli ioni o le molecole che contengono gruppi polari $-OH$ o $-NH_2$ (es: zuccheri, proteine...)



Tensione superficiale: le molecole di H₂O all'interfaccia con l'aria sono maggiormente attratte dalle altre molecole di H₂O che non dalla fase gassosa → tendenza a ridurre l'area superficiale



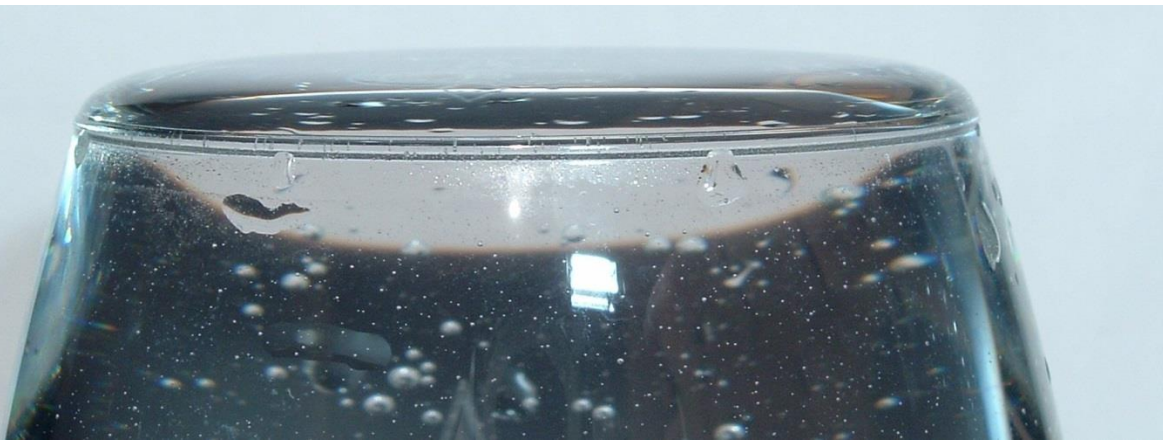
Tensione superficiale di vari liquidi a 20 °C (N m⁻¹):

Etanolo	0.023
Benzene	0.028
Olio di oliva	0.032
Acqua	0.073
Mercurio	0.435

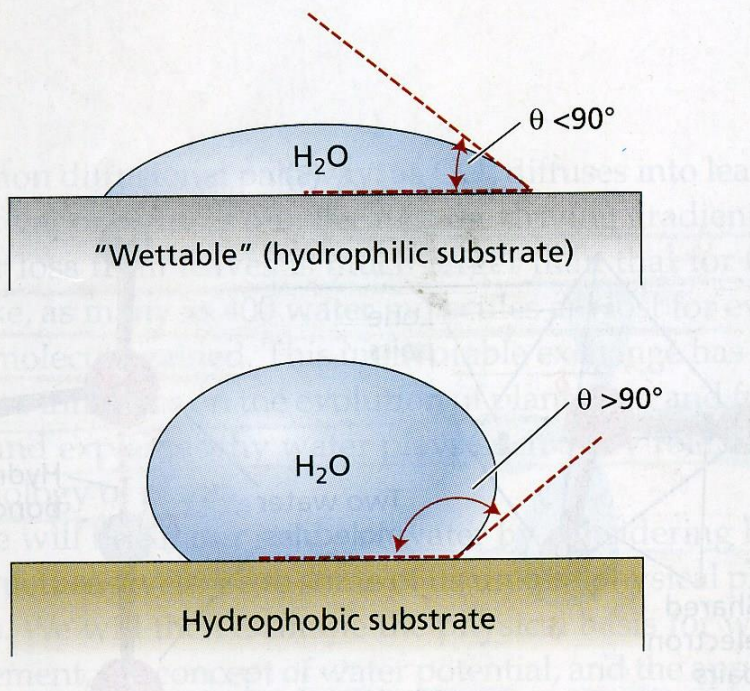
FIGURA 10.3 Dimostrazione schematica della tensione superficiale in una goccia d'acqua. Le attrazioni intermolecolari tra molecole di acqua vicine (frecce più grosse) sono più grandi delle attrazioni tra l'acqua e l'aria (frecce più sottili), e tendono quindi ad attirare le molecole d'acqua alla superficie verso la zona centrale del volume di acqua.

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

(energia necessaria per aumentare l'area di un'interfaccia aria-liquido)



(A)



Coazione: attrazione reciproca tra molecole di H_2O

Adesione: attrazione tra molecole di H_2O e superfici solide

Il grado di attrazione di un liquido rispetto a una superficie solida può essere quantificato misurando l'angolo di contatto

Goccia di acqua su foglia: alta tensione superficiale (coesione), bassa adesione

Goccia di mercurio sul tavolo: alta tensione superficiale (coesione), bassa adesione

Acqua su foglio di carta: alta adesione (nessuna goccia)

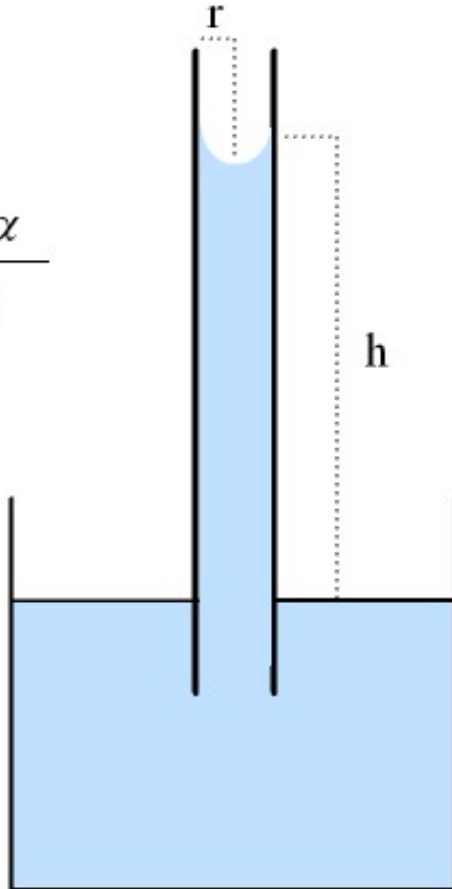


Capillarità: risultato dell'azione combinata di coesione + adesione + tensione superficiale

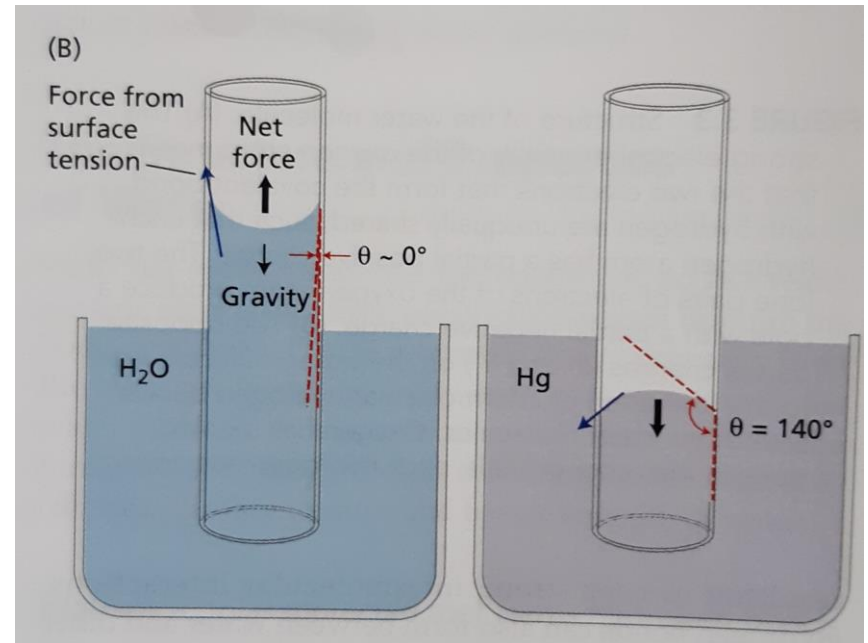
(B)

$$h = \frac{2T \cos \alpha}{r \rho g}$$

Legge di Jurin



L'adesione e la tensione superficiale esercitano una tensione sulle molecole di H₂O appena sotto la superficie causandone un movimento di risalita lungo il tubo. Il movimento si arresta quando la forza di adesione è bilanciata dal peso della colonna di H₂O



Nota: se la superficie del tubo è perfettamente 'bagnabile' (elevata adesione), l'angolo di contatto è pari a 0 e l'equazione si riduce a:
 $h = 2T/(r\rho g)$



Come possiamo descrivere e quantificare lo stato idrico di una pianta?

Contenuto di acqua = $\frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso secco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$
(assoluto)

Contenuto relativo di acqua = $\frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso secco}}{\text{Peso turgido} - \text{Peso secco}} \times 100$

In realtà, le attività metaboliche della pianta e i processi di trasporto dell'acqua non sono determinati dal contenuto di acqua, ma dallo **stato energetico dell'acqua** nella pianta e nell'ambiente circostante!

L'acqua nelle piante: stato termodinamico e trasporto

Equazioni fenomenologiche che descrivono il trasporto spontaneo/passivo di materia, sia essa acqua, singole molecole, elettroni ecc..., riconducibili a:

Flusso (F) = Forza traente x Conduttanza (K)

Flusso = V/t

K = fattore di proporzionalità che tiene conto delle caratteristiche fisiche del sistema

$K = 1/R$

R = resistenza

Quale natura ha la forza traente nel caso dell'acqua?

Ovvero, perché l'acqua si sposta da un punto A ad un punto B?

G=energia libera di Gibbs = l'energia di un sistema disponibile per la conversione in lavoro, a temperatura e pressione costanti

Come possiamo quantificare l'energia libera (o meglio, le variazioni di G) di una sostanza?

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

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 elettrochimico di una sostanza (μ_i)

=

Energia libera per mole di sostanza (J mol^{-1})

$$\mu_i = \mu_i^* + f_{\text{concentrazione}} + f_{\text{elettrico}} + f_{\text{pressione}} + f_{\text{gravità}}$$

$$\mu_i = \mu_i^* + RT \ln a_i + zFE + PV + mgh$$

Nota: nel caso dell'acqua:

$$\pi = RT \ln a_w / V \text{ da cui } RT \ln a_w = \pi V_w \text{ dove } \pi \text{ è il potenziale osmotico (MPa)}$$

$$V_w: \text{ volume parziale molare dell'acqua} = 18 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ ovvero } 0.008314 \text{ L MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

T = temperature (K)

Nota: $a_w = P/P_0$, dove P è la pressione di vapore della soluzione, e P_0 è la pressione di vapore dell'acqua pura

Nel caso dell'acqua...

Potenziale chimico dell'acqua, μ_w

$$\mu_w = \mu_w^* + f_{\text{pressione}} + f_{\text{concentrazione}} + f_{\text{gravità}}$$

$$\mu_w = \mu_w^* + V_w P + \pi V_w + mgh$$

Per convenzione μ_w^* dell'acqua pura a pressione atmosferica e a 25 °C è pari a zero

Potenziale dell'acqua = potenziale chimico dell'acqua per unità di volume molare:

$$\mu_w/V_w = V_w P/V_w + \pi V_w/V_w + mgh/V_w$$

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_g$$

$$\Psi = P - \pi + \rho gh$$

$$\frac{\text{J mol}^{-1}}{\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}} = \frac{\text{N m}}{\text{m}^3} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal, unità di misura della pressione)}$$

1 MPa = 10 bar
1 bar = 0.1 MPa
1 bar = 0.9869 atm

Per soluzioni diluite:
 $\pi = - RTc_s$ (sempre ≤ 0)