

Fisiologia del trasporto dell’acqua

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



Organismi peciloidri (tolleranza costitutiva):
Es. muschi

Piante della resurrezione
(tolleranza indotta):
- alcune pteridofite

- alcune angiosperme,
(es. *Myrothamnus flabellifolia*)



Acqua come principale fattore limitante la produttività







La disponibilità di acqua limita la produttività degli ecosistemi naturali

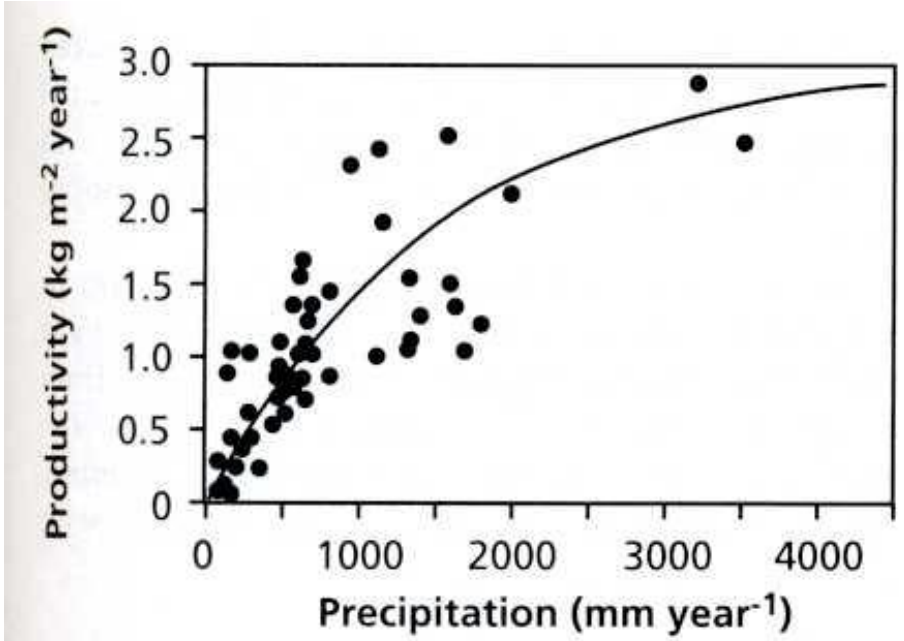
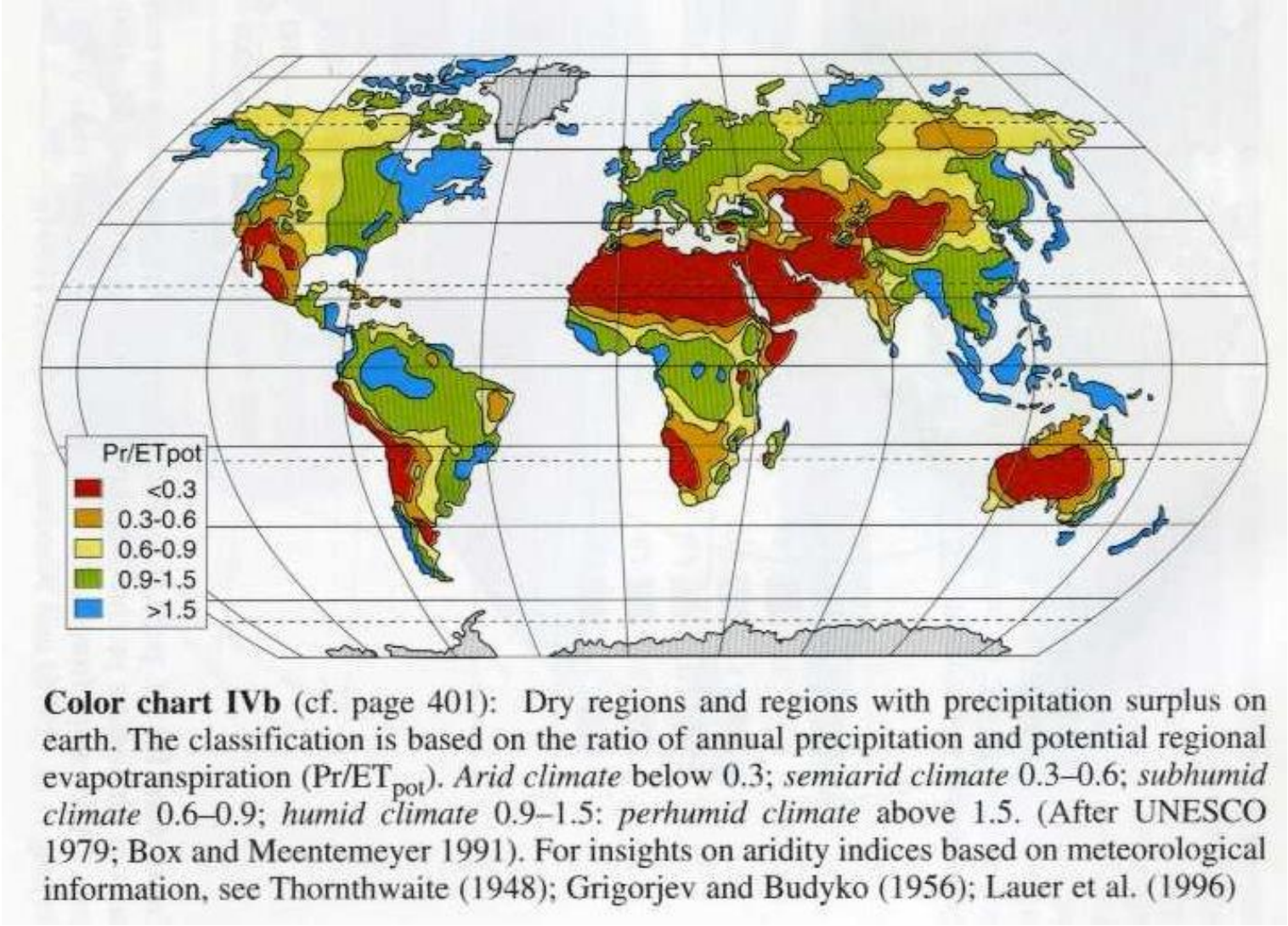
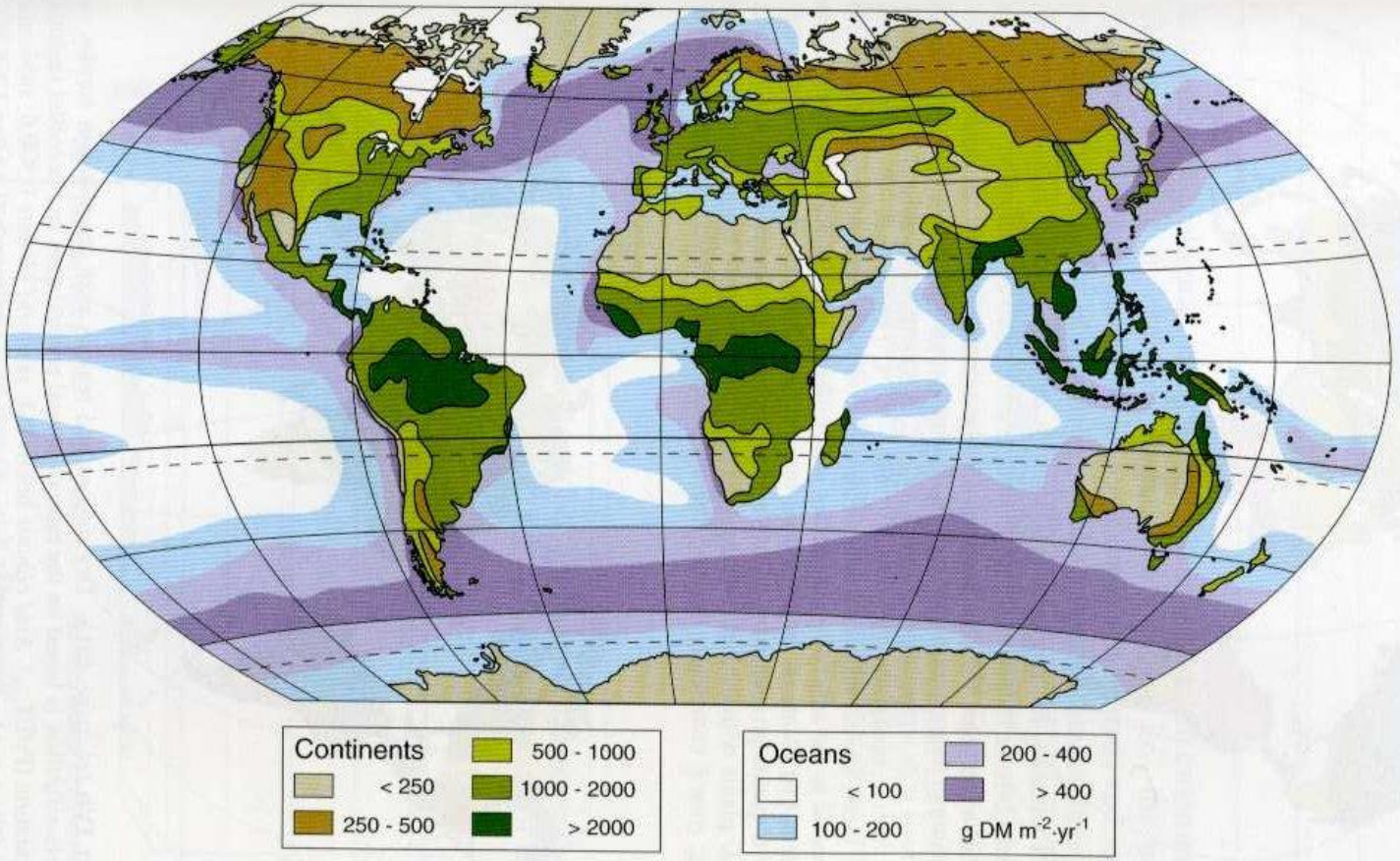


FIGURE 1. Correlation between net primary production and precipitation for the major world ecosystems (Lieth 1975).



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)

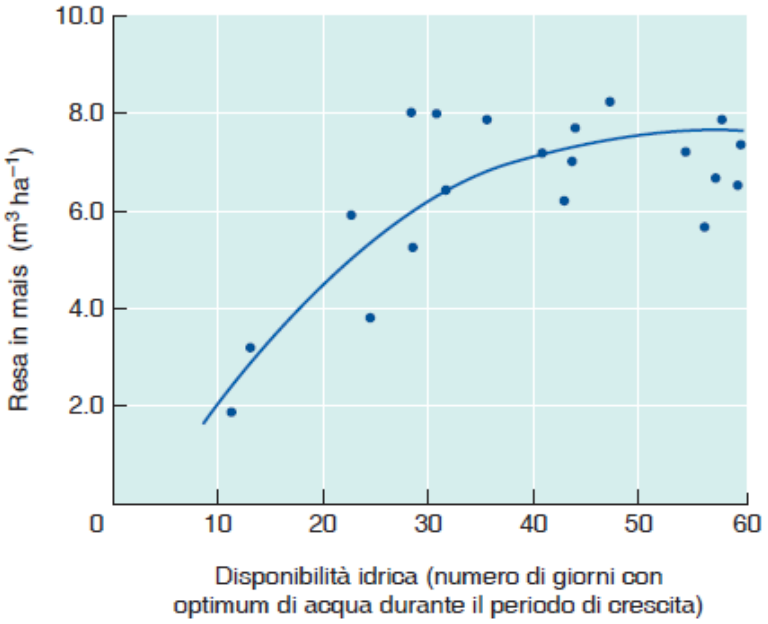
ET_{pot}= evapotraspirazione potenziale = domanda evapotraspirativa dell'atmosfera in condizioni di disponibilità idrica illimitata



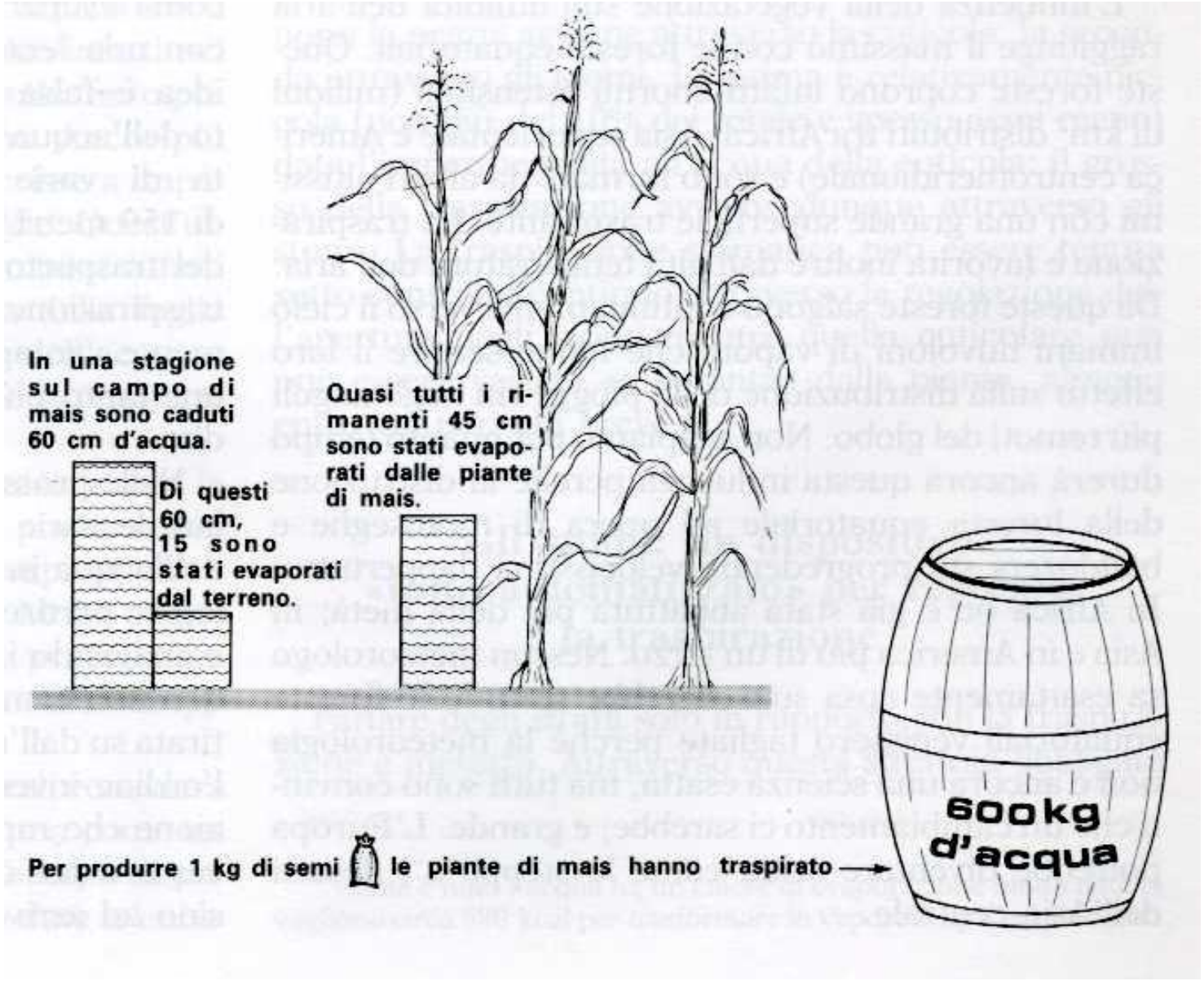
Color chart III (cf. page 165): Annual net primary production on earth. The terrestrial biomass production (g dry matter per m^2) includes the increment in phytomass production aboveground and belowground and the oceanic biomass production corresponds to the production in the euphotic zone. (After maps 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).







L’acqua limita la produttività agricola


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 rimanenti 45 cm sono stati evaporati dalle piante di mais.
Per produrre 1 kg di semi le piante di mais hanno traspirato
600 kg d'acqua

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.





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





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!

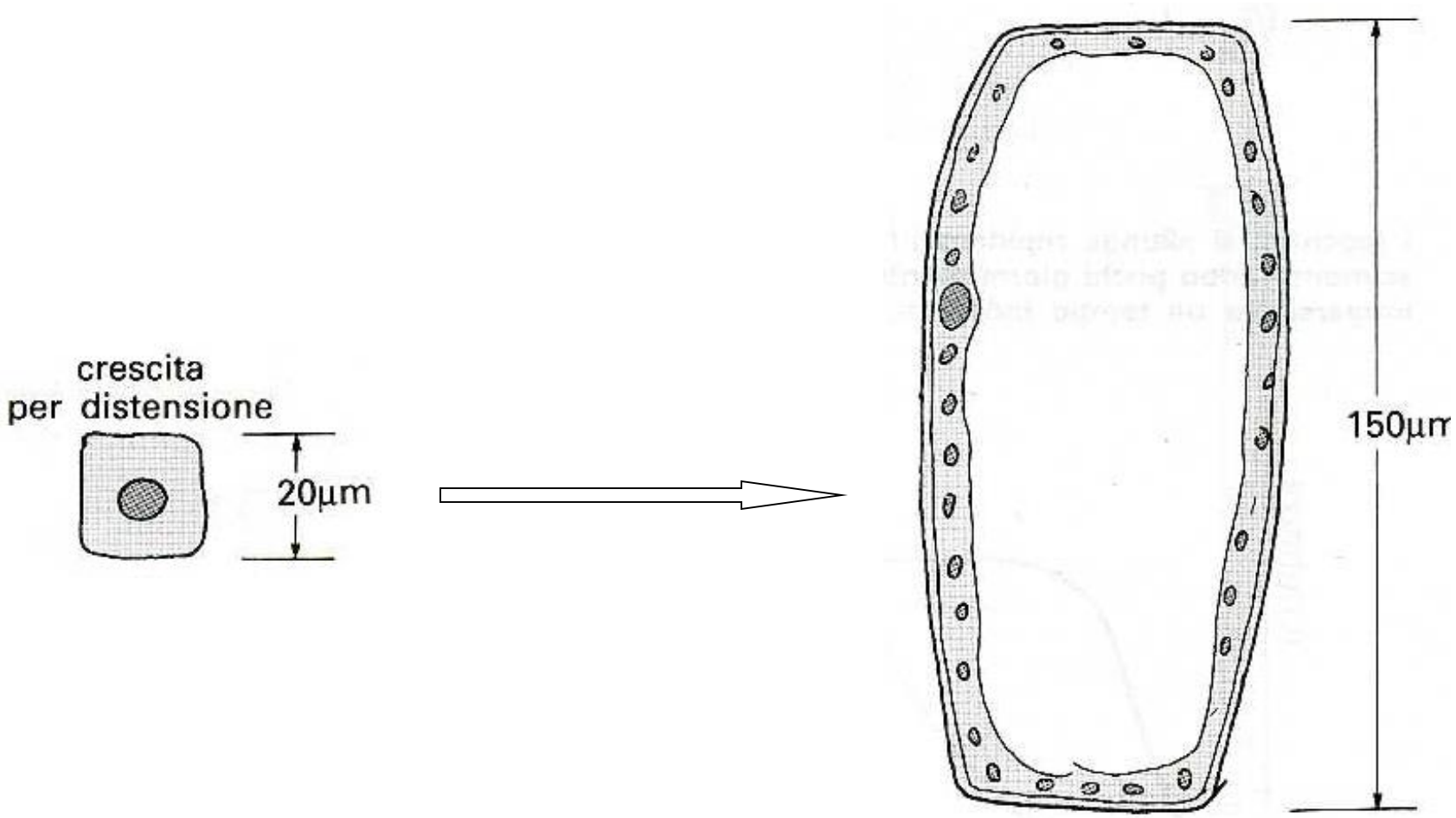
Dovrebbe apparire completamente secca, a meno che il suo contenuto di acqua non venga continuamente ripristinato. Quale meccanismo?

Come viene utilizzata tutta questa acqua dalla pianta?

1% utilizzata nelle reazioni fotosintetiche

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

2% utilizzata nei processi di accrescimento



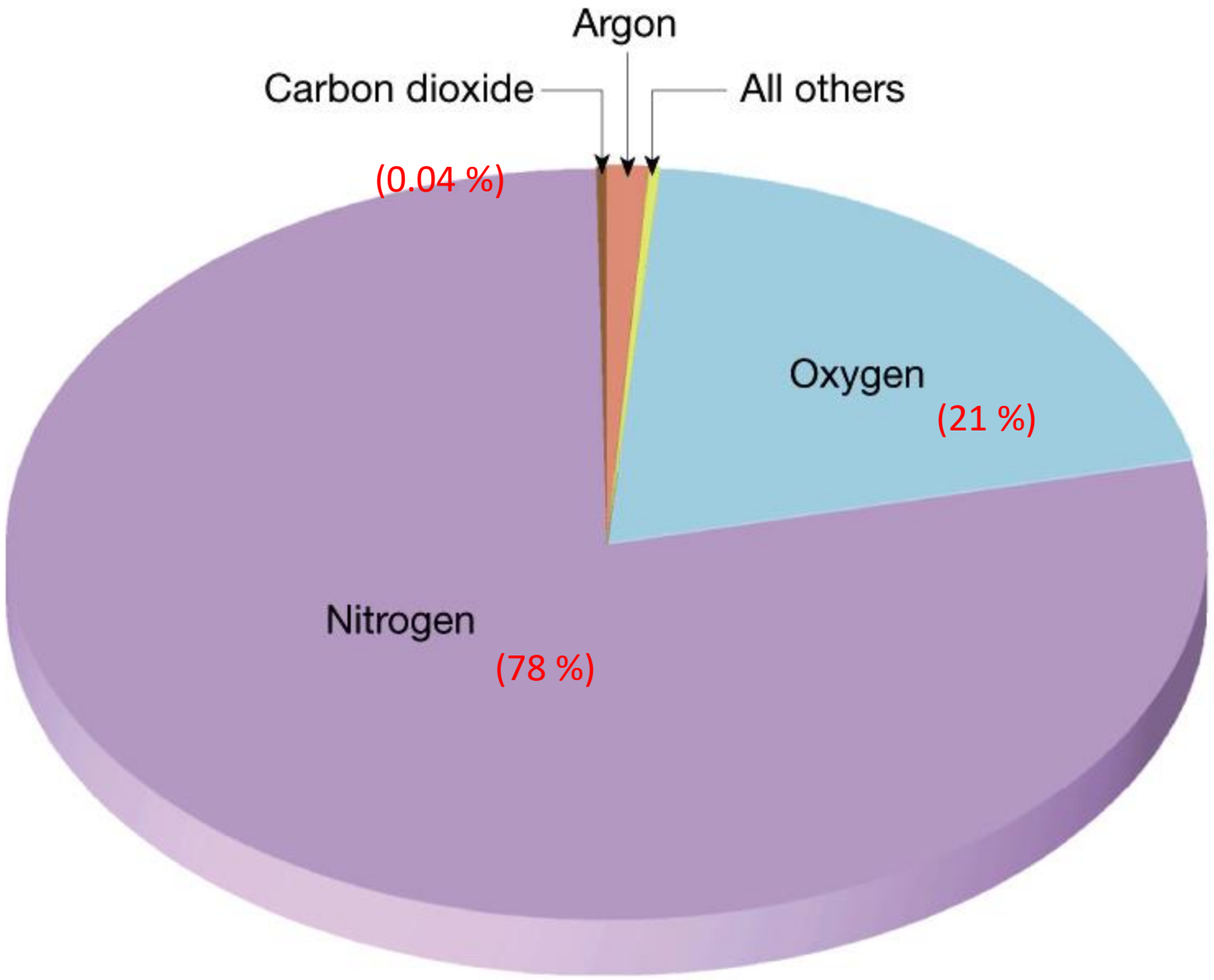
97% persa verso l’ambiente nel processo di **traspirazione**

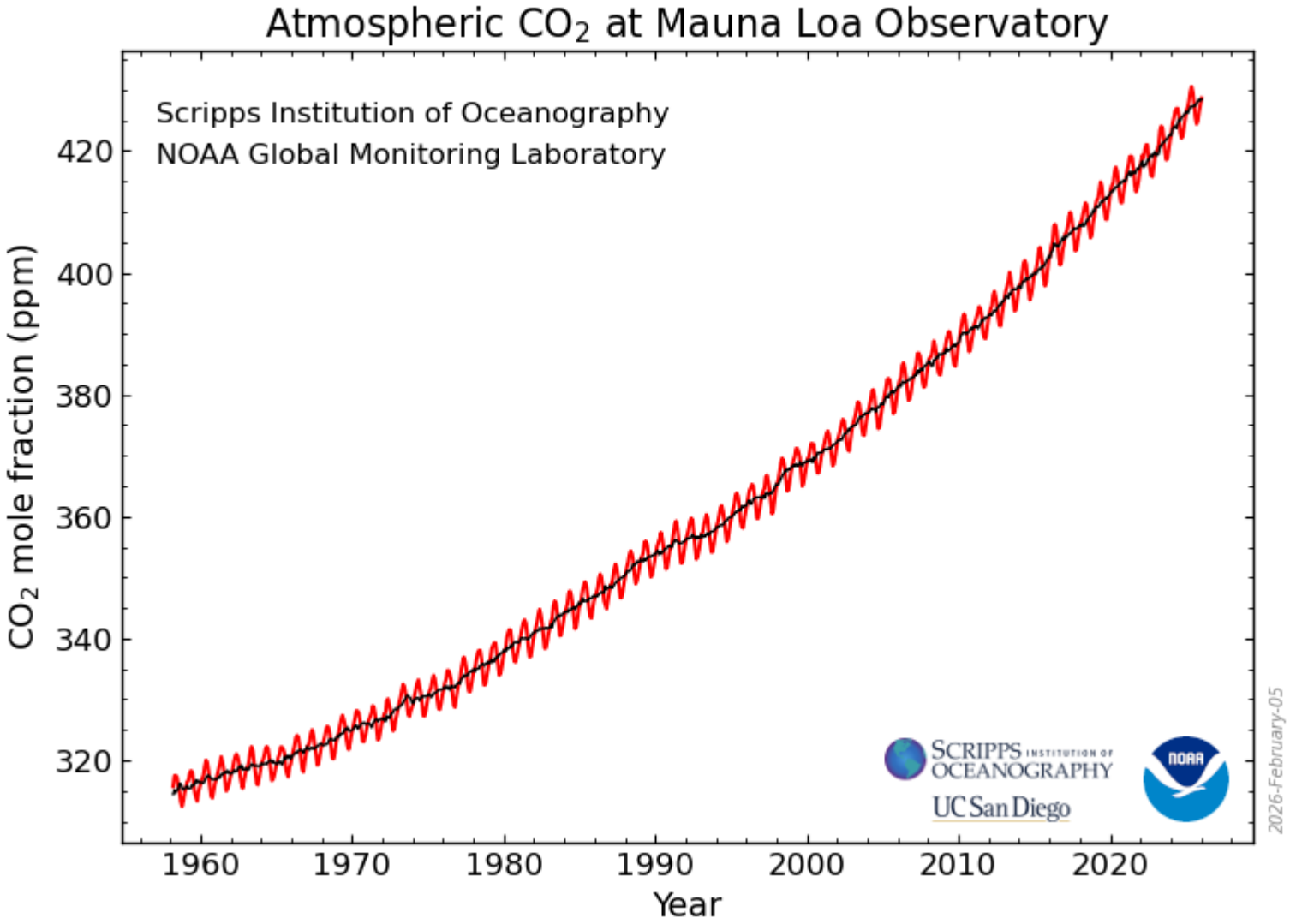
Perché le piante perdono così grandi quantità di acqua?

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

Come fanno le piante a sopravvivere in luoghi aridi?

Composizione dell’attuale atmosfera





https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/

Table 2.2.1. Water use and resources acquisition (CO_2 in plants and O_2 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_2O	O_2	H_2O
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 (ΔC)	100	12 000	50 000	50 000

VS VS

CO_2, $M_w = 44$
O_2, $M_w = 32$
H_2O, $M_w = 18$

Descrizione quantitativa del processo di diffusione:
Prima legge di Fick

$$F = -D A \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

La diffusione di CO_2 in aria è **1.6** volte più lenta di quella di H_2O

Il tasso di diffusione è direttamente proporzionale al **gradiente di concentrazione (**ΔC) e al **coefficiente di diffusione (D)** (legge di Fick che vedremo più avanti)



1.6 = rapporto tra D H_2O e D CO_2

H_2O/CO_2 = (12000/100) x 1.6 = 192

1.3 = rapporto tra D H_2O e D O_2

H_2O/O_2 = (50000/50000) x 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:

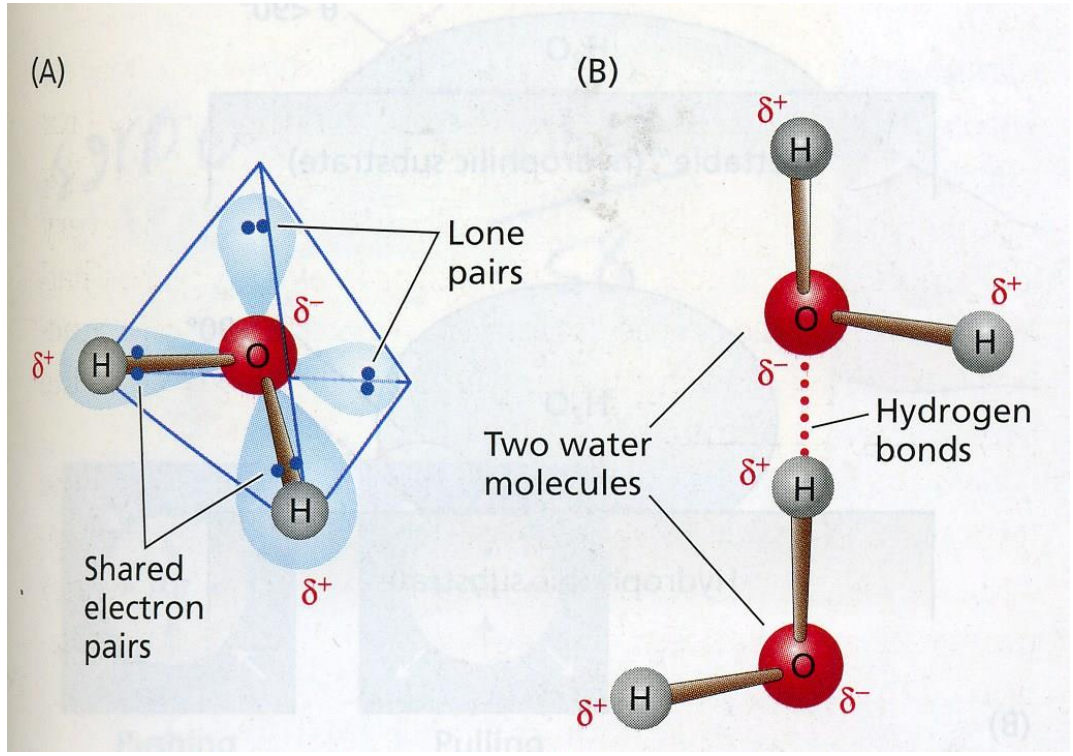
Non morire di fame, evitando di morire di sete

H_2O

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

La struttura dell'acqua dà origine ad alcune delle sue proprietà fisiche uniche

Proprietà della molecola d'acqua



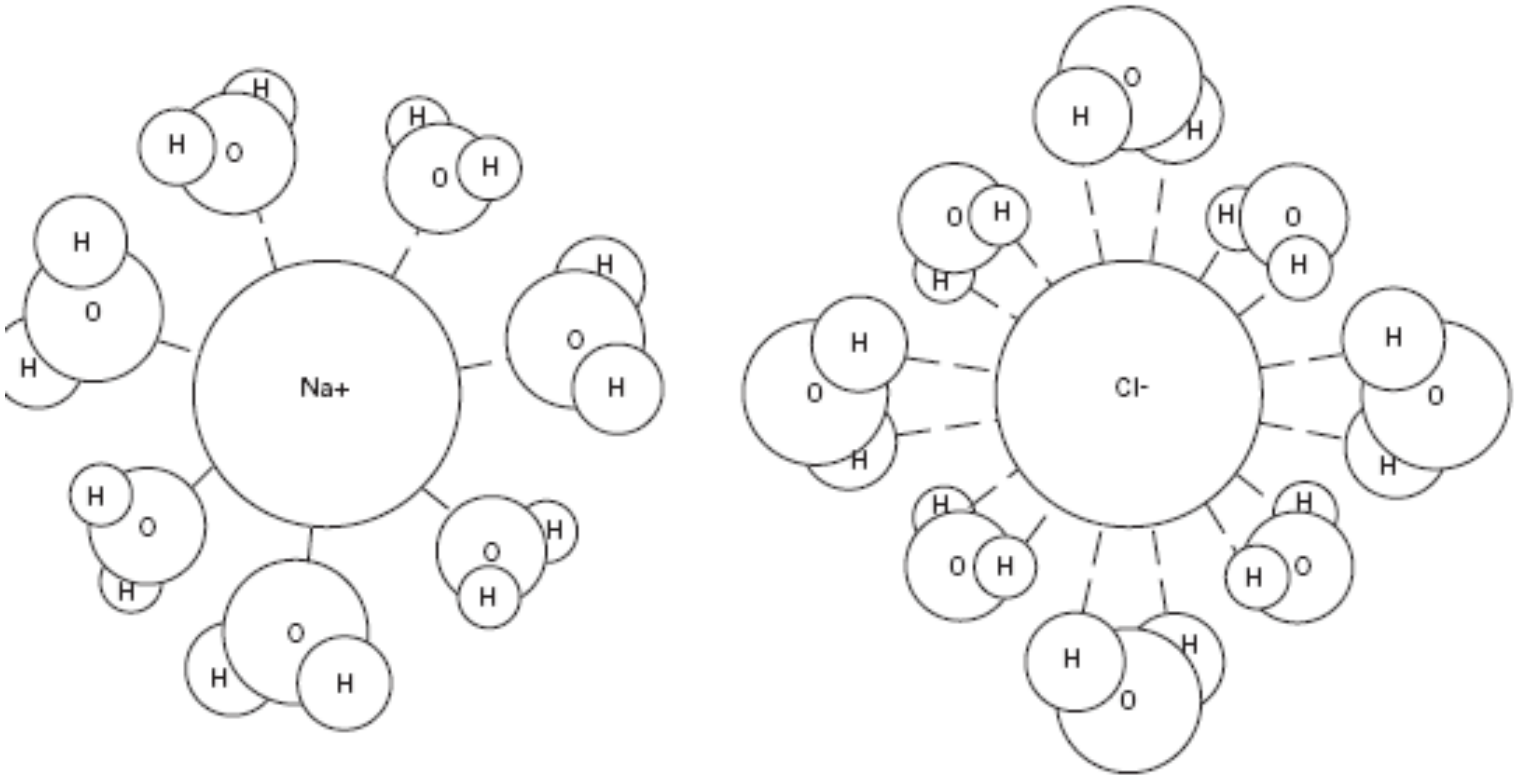
Energia del legame idrogeno: 20 kJ mol^{-1}

Energia dei legami ionici e covalenti: > 100 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

L’acqua è un solvente eccellente per gli ioni o le molecole che contengono gruppi polari –OH o –NH_2 (es: zuccheri, proteine…)



Proprietà della molecola d'acqua

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 ($J\ g^{-1}\ °C^{-1}$)	Punto di fusione (°C)	Calore di fusione ($J\ g^{-1}$)	Punto di ebollizione (°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 latente di fusione
- Elevato calore latente di evaporazione
- Elevato calore specifico
- Elevata conduttività termica

Proprietà dell'acqua

Tensione superficiale (T): tendenza a ridurre l'area superficiale all'interfaccia aria-liquido

Perchè? Le molecole di H_2O all'interfaccia con l'aria sono maggiormente attratte dalle altre molecole di H_2O che non dalle molecole presenti nell'aria (in fase gassosa). Tale superficie tende ad assumere una configurazione che minimizzi la superficie di interfaccia aria-acqua (= energeticamente più stabile)

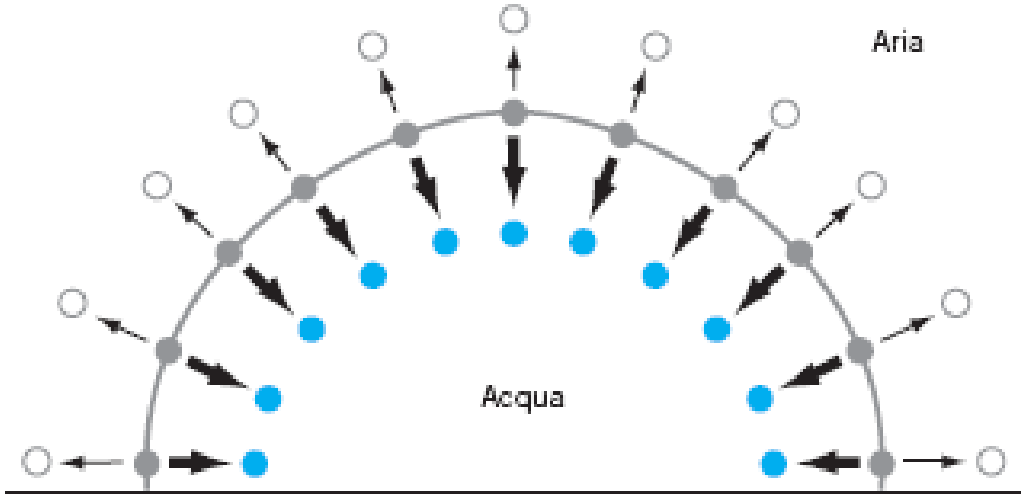


FIGURA 10.3 Dimostrazione schematica della tensione superficiale in una goccia d'acqua. Le attrazioni intermolecolari tra molecole di acqua vicine (frecce più grosse) sono più grandi delle attrazioni tra l'acqua e l'aria (frecce più sottili), e tendono quindi ad attirare le molecole d'acqua alla superficie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

$T = J\ m^{-2} = N\ m\ m^{-2} = N\ m^{-1}$
T è espressa come energia (per unità di area) necessaria per aumentare l'area di un'interfaccia aria-liquido

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

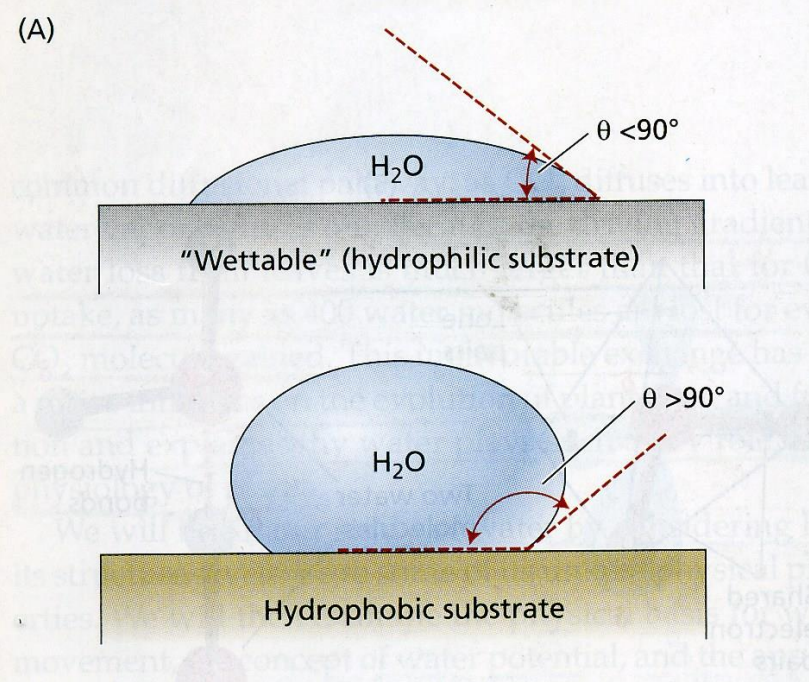
Proprietà dell'acqua

Coesione e adesione

Coesione: 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 (θ):



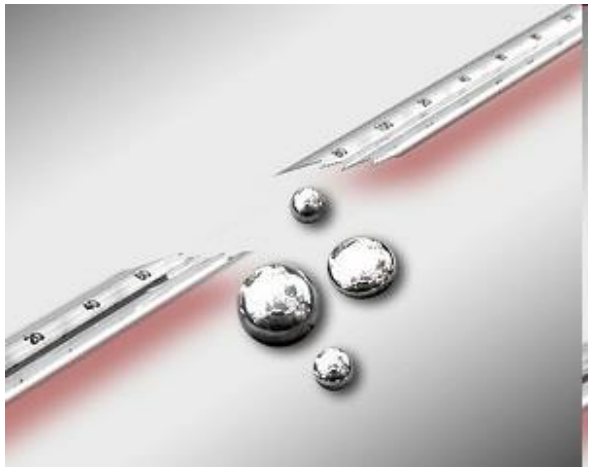
Goccia di acqua su foglia: alta tensione superficiale (coesione), bassa adesione



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



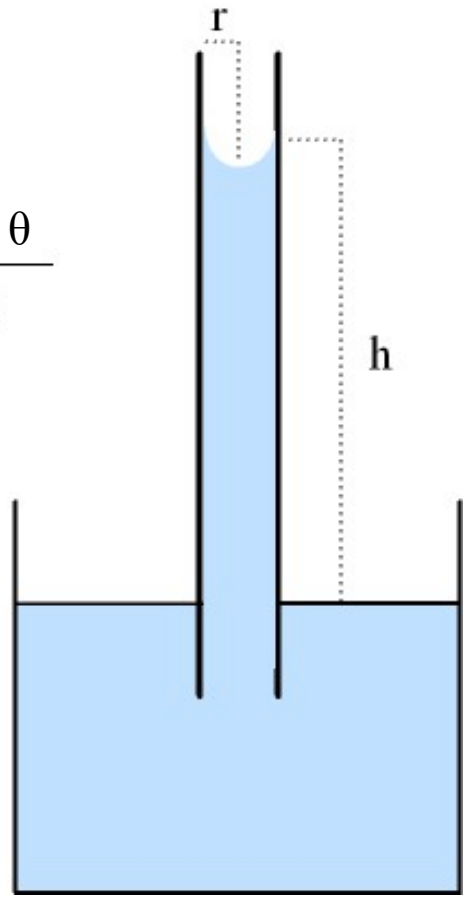
Goccia di mercurio sul tavolo: alta tensione superficiale (coesione), bassa adesione



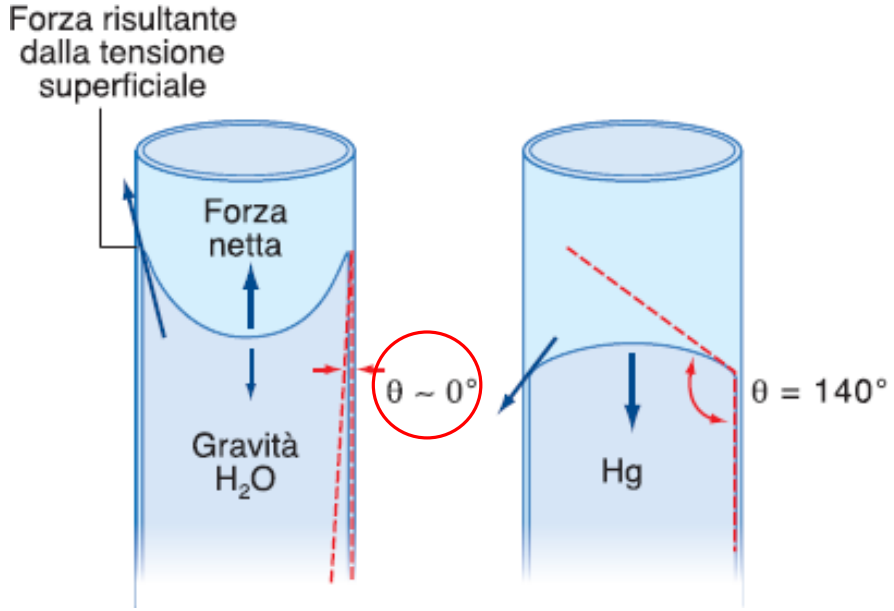
Capillarità: risultato dell'azione combinata di coesione + adesione + tensione superficiale

Legge di Jurin

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



L'adesione e la tensione superficiale esercitano una tensione sulle molecole di H_2O appena sotto la superficie causandone un movimento di risalita lungo il tubo. Il movimento si arresta quando la forza di risalita è bilanciata dalla forza peso della colonna di H_2O



Nota: se la superficie del tubo è perfettamente 'bagnabile' (elevata adesione, es. vetro), l'angolo di contatto θ è pari a 0 e l'equazione si riduce a: h = 2T/(rρg)