

# 1. Che cos'è l'acqua

## Proprietà fisiche

### Ore

30

### Risultato

Conoscere le proprietà fisiche e chimiche dell'acqua

### Attività

1. Analisi di laboratorio
2. Elaborazione dati utilizzando strumenti informatici
3. Raccogliere dati anche utilizzando supporti multimediali

### Competenze

- Utilizzare semplici strumenti di laboratorio
- Tabulare dati
- Relazionare un'esperienza

### Pre-requisiti

- Conoscere e utilizzare strumenti di laboratorio
- Conoscere le caratteristiche di alcuni elementi chimici

### Contenuti

- Proprietà fisiche dell'acqua

### Modalità formative

- Lezione dialogica
- Analisi di laboratorio
- Lavoro di gruppo
- Attività operativa

### Modalità di valutazione

- Relazione tecnica delle esercitazioni svolte
- Test
- Prove strutturate

### Competenze certificate

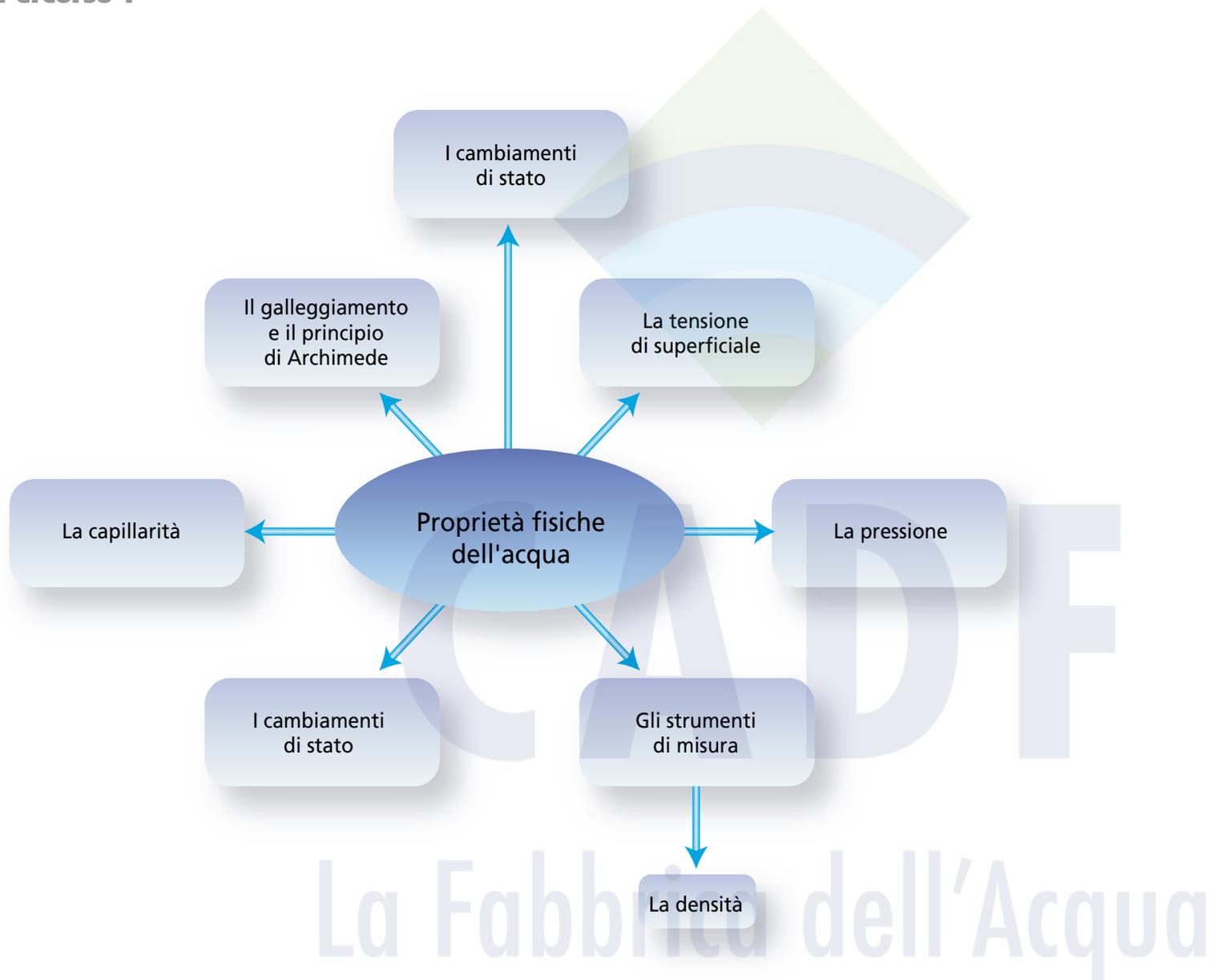
È in grado di riconoscere alcune proprietà fisiche e chimiche dell'acqua



## Suddivisione in moduli e UD

Mod.	Unità didattica	Obiettivi	Contenuti	Metodologia e strumenti
1	<b>Proprietà fisiche dell'acqua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spiegare la polarità dell'acqua</li> <li>• Tracciare sperimentalmente il diagramma di stato dell'acqua</li> <li>• Determinare il calore specifico dell'acqua</li> <li>• Definire la densità</li> <li>• Calcolare la densità</li> <li>• Utilizzare il densimetro</li> <li>• Calcolare il peso specifico di un corpo</li> </ul>	1. L'acqua e le sue proprietà fisiche <ul style="list-style-type: none"> <li>• Densità</li> <li>• Calore specifico</li> <li>• Peso specifico</li> </ul>	Libri di testo Diagrammi ad albero Aerogrammi Quaderno di lavoro Schede di laboratorio
	<b>Idrostatica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definire la pressione idrostatica</li> <li>• Determinare la pressione dell'acqua</li> <li>• Definire la legge di Stivino e determinarla sperimentalmente</li> <li>• Riconoscere gli effetti della pressione idrostatica (Pascal)</li> <li>• Descrivere il paradosso idrostatico e realizzarlo sperimentalmente con materiale povero</li> <li>• Il principio di Archimede</li> </ul>	1. La pressione idrostatica 2. La legge di Pascal 3. Le legge di Stivino 4. Il paradosso idrostatico 5. Il principio di Archimede	Libri di testo Diagrammi ad albero Quaderno di lavoro Schede di laboratorio
2	<b>Fisica molecolare dell'acqua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definire la tensione superficiale</li> <li>• Misurare in laboratorio la tensione superficiale</li> <li>• Produrre bolle di sapone e spiegare i fenomeni osservati</li> <li>• Verificare sperimentalmente la bagnabilità ed essere in grado di definirla</li> <li>• Definire la capillarità</li> <li>• Riconoscere le applicazioni sperimentali della capillarità</li> </ul>	1. La tensione superficiale 2. Le bolle di sapone 3. La bagnabilità 4. La capillarità	idem
	<b>Osmosi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definire l'osmosi</li> <li>• Verificare sperimentalmente il fenomeno dell'osmosi</li> </ul>	1. L'osmosi e le implicazioni biologiche	idem
3	<b>Il rapporto acqua-terreno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conoscere il ciclo dell'acqua nel terreno</li> <li>• Conoscere il rapporto acqua/precipitazione</li> <li>• Definire il profilo idrico di un terreno</li> <li>• Definire il rapporto permeabilità e composizione di un terreno</li> <li>• Definire e determinare il peso specifico reale e apparente di un terreno</li> <li>• Definire e calcolare la porosità</li> <li>• Definire la permeabilità</li> <li>• Determinare sperimentalmente la permeabilità e la relazione con la composizione del terreno</li> <li>• Definire il fenomeno della capillarità</li> <li>• Definire e determinare sperimentalmente la ritenuta idrica di un terreno</li> </ul>	1. Il ciclo dell'acqua nel terreno 2. Il rapporto precipitazioni e terreno 3. La permeabilità di un terreno 4. La porosità 5. La capillarità 6. La ritenuta idrica 7. I diagrammi termopluviometrici	idem

## Mappa concettuale Percorso 1



# Capitolo 1

## Le formidabili proprietà dell'acqua

### Premessa

In tutte le culture, antiche e moderne, l'acqua è stata, ed è, uno dei simboli per eccellenza della fonte e dell'origine della vita. Tale accezione dell'acqua trova, del resto, un riscontro nelle teorie scientifiche inerenti l'origine della vita sulla terra; infatti una delle ipotesi più attendibili, formulate dagli studiosi, su quest'argomento ritiene che la vita si sia formata nel cosiddetto "brodo primordiale".

Si tratta di una soluzione formatasi nell'oceano primitivo, dove le molecole delle sostanze presenti nell'atmosfera, grazie alle particolarissime condizioni atmosferiche, innescarono reazioni chimiche dalle quali scaturirono sostanze più complesse, originando così un'evoluzione chimica che sarebbe sfociata in un'evoluzione biologica.

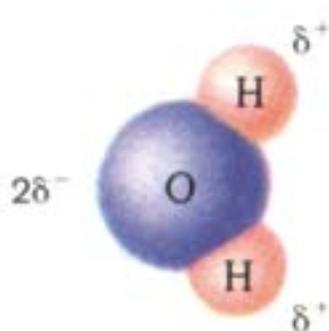
D'altronde anche il fatto che la vita dell'essere umano si sviluppi nel ventre materno, nel liquido amniotico, permette di comprendere come quest'elemento sia stato sempre strettamente connesso ai concetti di vita, fertilità addirittura maternità. Nel corso dei secoli, infatti, l'immaginario collettivo ha spesso paragonato l'acqua al latte materno, considerato alimento completo e nutritivo.

Nella Bibbia la terra creata dal Signore è sempre ricca di pioggia e l'acqua è simbolo di compiacimento verso il popolo di Dio; la "Terra Promessa", quindi, è designata come un luogo pieno di sorgenti e corsi d'acqua e pertanto ideale per la crescita e lo sviluppo di un popolo.

L'acqua è senz'altro il composto più abbondante presente sulla superficie terrestre. È particolarmente stabile (è ben difficile rompere i legami fra gli atomi di H e di O), ed ha avuto un enorme successo, come è testimoniato dal fatto che ogni forma di vita è condizionata dalla sua presenza: l'acqua è vita e senz'acqua non c'è vita.

La vita comporta un gran numero di reazioni chimiche che hanno luogo contemporaneamente in ciascuna delle cellule di un organismo vivente, in funzione delle loro necessità. Questo richiede che le biomolecole siano capaci di muoversi rapidamente e di incontrarsi frequentemente. Per questo la vita richiede un ambiente fluido e l'acqua è incredibilmente adatta a questo scopo.

Una molecola d'acqua (H-O-H) è costituita da un atomo di ossigeno e due di idrogeno, ciascuno dei quali è strettamente legato all'ossigeno. Dato che i due elettroni (piccolissime particelle dotate di carica negativa) responsabili del legame tra idrogeno e ossigeno tendono a passare più tempo in prossimità dell'ossigeno piuttosto che dell'idrogeno, avremo che l'atomo di idrogeno possiede una parziale carica negativa (-0.82) e l'idrogeno una parziale carica positiva (+0.41). A causa di tale proprietà possono formarsi dei legami di



natura elettrostatica tra l'ossigeno parzialmente carico negativamente di una molecola d'acqua e l'idrogeno parzialmente carico positivamente di un'altra. Legami di questa natura vengono definiti "legami a idrogeno" e sono responsabili delle proprietà chimico-fisiche dell'acqua. Una importante caratteristica del legame a idrogeno è la sua elevata "direzionalità", che è molto importante nell'organizzazione delle strutture biochimiche, come ad esempio delle strutture a elica che si osservano nelle proteine.

La maggior parte delle proprietà dell'acqua dipendono proprio dal legame a idrogeno. A causa del legame a idrogeno le soluzioni acquose mostrano una elevata "coesione intermolecolare". Anche se un singolo legame a idrogeno ha una forza relativamente bassa, pari a circa il 5% di quella del legame intramolecolare che unisce i due atomi di idrogeno all'atomo di ossigeno nella molecola d'acqua, il gran numero di legami che possono instaurarsi tra le molecole d'acqua conferisce alle soluzioni acquose una notevole coesione interna. Ad esempio, l'alto grado di coesione interna dell'acqua viene utilizzato dalle piante per trasportare i nutrienti disciolti dalle radici alle foglie.

Le interazioni deboli causate da legami di idrogeno sono fondamentali per i processi biologici, dato che possono facilmente formarsi e rompersi continuamente in condizioni fisiologiche. La dinamica della vita richiede cambiamenti rapidi delle interazioni intra- o intermolecolari che non possono aver luogo se le interazioni in gioco comportano forze di legame troppo elevate.

In conseguenza dei forti legami a idrogeno intermolecolari l'evaporazione dell'acqua richiede una quantità di energia insolitamente grande per una molecola delle sue dimensioni. Questo fa sì che sia l'evaporazione che l'ebollizione richiedano temperature sorprendentemente elevate permettendo all'acqua di rimanere allo stato liquido alle temperature che si riscontrano nella maggior parte delle stagioni sulla maggior parte della superficie terrestre. Alcuni vertebrati, tra i quali l'uomo, usano l'elevato calore di evaporazione per eliminare l'eccesso di calore corporeo sotto forma di sudore.

Le interazioni intermolecolari dovute ai legami a idrogeno fanno sì che l'acqua allo stato solido, il ghiaccio, assuma una struttura cristallina estremamente regolare che gli conferisce una insolita proprietà.

L'acqua allo stato liquido è più densa del ghiaccio. Questa proprietà è della massima importanza per la vita sulla terra. Se l'acqua si comportasse come la maggior parte delle sostanze, risultando più densa allo stato solido, il ghiaccio che si forma sulla superficie dei laghi e degli oceani (si pensi alla calotta polare artica) precipiterebbe sul fondo dove si accumulerebbe nel tempo fino a quando i laghi, i fiumi e i mari gelerebbero completamente portando alla completa distruzione di ogni forma di vita in essi contenuta. Dato che il ghiaccio è meno denso dell'acqua allo stato liquido, esso si forma a partire dalla superficie verso il basso. In tal modo il ghiaccio funge da ottimo isolante: uno strato di ghiaccio sulla superficie di uno stagno protegge gli organismi acquatici dalle rigide temperature esterne.

Un'altra importante proprietà dovuta alle interazioni intermolecolari è che nel caso dell'acqua sono necessarie cospicue quantità di calore sia per variarne la temperatura che per modificarne lo stato di aggregazione (solido, liquido o gassoso). Questo comporta che le fluttuazioni termiche all'interno delle cellule siano minime, anche se la temperatura dell'ambiente fluttua o se viene prodotto calore come sottoprodotto del metabolismo, e questo dal punto di vista biologico è di grande importanza dato che le reazioni biochimiche avvengono in un ristretto intervallo di temperatura.

Un'altra importantissima caratteristica dell'acqua è costituita dalle sue eccezionali proprietà di solvente, cruciali per i processi biologici che richiedono la solubilizzazione di un'ampia varietà di ioni e di molecole grandi e piccole. Tutte le molecole in grado di formare legami idrogeno saranno solubili e vengono definite "idrofile", mentre le molecole che non hanno tale capacità saranno generalmente insolubili e vengono definite "idrofobe". L'acqua è un eccellente solvente anche per i sali.

Tale capacità dipende dalle proprietà isolanti dell'acqua che impediscono la riassociazione tra le particelle cariche positivamente e negativamente (cationi e anioni) che costituiscono i sali.

L'interazione tra le molecole d'acqua e particolari composti dotati sia di caratteristiche idrofiliche che idrofobiche, come i lipidi delle membrane biologiche, è stata cruciale per l'origine dei primi organismi viventi monocellulari. Tali molecole in acqua possono formare delle membrane a doppio strato che si organizzano in vescicole dove l'acqua si trova sia all'interno che all'esterno. Le membrane biologiche a doppio strato, infatti, circondano tutte le cellule e separano i vari compartimenti cellulari. L'acqua non è soltanto il solvente in cui avvengono tutte le reazioni degli organismi viventi, essa molto spesso partecipa anche direttamente alle reazioni. Ad esempio alcune reazioni di dissociazione (idrolisi) o di condensazione generalmente consumano o producono molecole d'acqua. I prodotti terminali dell'ossidazione delle sostanze nutrienti come gli zuccheri, che forniscono l'energia necessaria per la nostra sopravvivenza, sono l'anidride carbonica e l'acqua. L'acqua che si forma in questo modo è in qualche caso sufficiente alla sopravvivenza di alcuni animali in ambienti particolarmente secchi (es. cammelli). Le piante verdi usano l'energia della luce solare per trasformare acqua e anidride carbonica negli zuccheri (processo della fotosintesi) che verranno utilizzati per l'alimentazione degli organismi animali.

# CADF

## La Fabbrica dell'Acqua

## Capitolo 2

# L'acqua e le sue proprietà fisiche

La molecola dell'acqua è costituita da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno. I legami tra l'ossigeno e l'idrogeno sono covalenti ma l'angolo che essi formano non è di  $109^\circ$  (tetraedro regolare), bensì di  $104,5^\circ$  per la compressione esercitata dai doppietti elettronici liberi dell'ossigeno.

### 2.1 L'acqua allo stato liquido

A causa della notevole differenza di elettronegatività tra i due elementi, questi legami risultano polarizzati: gli idrogeni, meno elettronegativi, assumono una parziale carica positiva mentre l'ossigeno negativa. Così la molecola d'acqua, pur non possedendo alcuna carica elettrica netta, è un dipolo.

In virtù di queste parziali cariche, si creano, tra le molecole vicine, attrazioni di natura elettrostatica: l'ossigeno di una molecola attrarrà l'idrogeno di un'altra e così via, formando i cosiddetti "ponti a idrogeno". In totale, ciascuna molecola di acqua può legarne altre quattro: due con gli atomi di idrogeno, due con quello di ossigeno.

Allo stato solido, le molecole di acqua, unite da numerosi legami a idrogeno, formano una struttura a tetraedri regolari, separati da tunnel esagonali vuoti. Il ghiaccio si può considerare quindi un polimero di struttura cristallina mentre l'acqua allo stadio di vapore ne rappresenta il monomero.

L'acqua liquida è invece formata secondo una recente teoria da due fasi:

- una continua, costituita da singole molecole, separate dalle altre e disposte in modo disordinato;
- una discontinua, in cui si trovano aggregati "grappoli" di molecole unite da legami a idrogeno che formano una struttura ben definita simile al ghiaccio, ma con distanze molecolari minori.

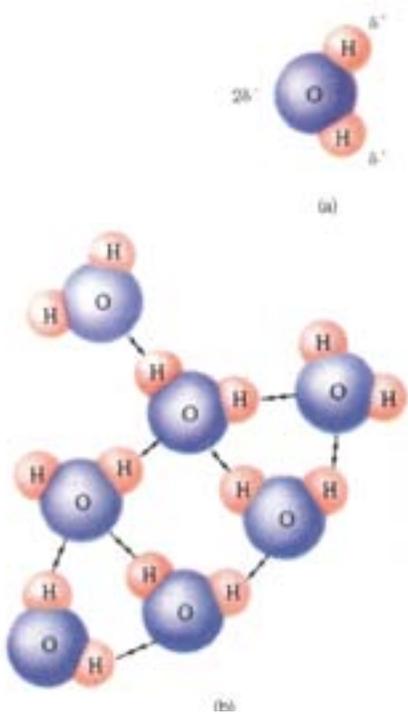
Le due fasi sono in equilibrio dinamico, data l'estrema labilità dei ponti a idrogeno.

### 2.2 Il punto di fusione

>**Scheda 1** *Diagramma di stato dell'acqua*

Non è normale che una sostanza con modesta massa molecolare, come l'acqua, sia liquida nelle condizioni ordinarie di temperatura e pressione.

L'acqua allo stato liquido ha un volume proprio e quindi non è comprimibile, assume la forma del recipiente che la contiene. Presenta deboli forze di coesione tra le molecole.



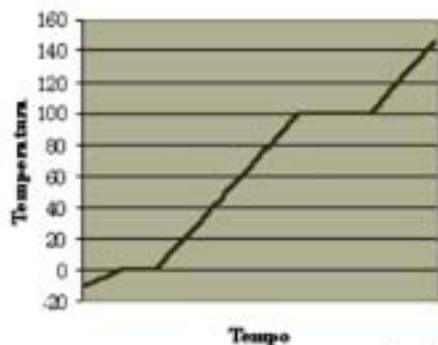


Fig. 1a

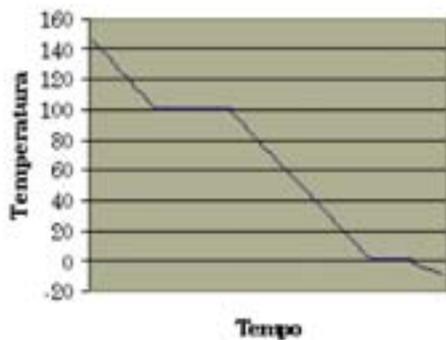


Fig. 1b

Ha punto di fusione ( $0^{\circ}\text{C}$  rispetto ai  $-90^{\circ}\text{C}$  ipotizzabili in base al peso molecolare ed al tipo di composto) ed elevato punto di ebollizione ( $100^{\circ}\text{C}$  rispetto ai  $-80^{\circ}\text{C}$ ), che fanno sì che l'acqua sia liquida a temperatura ambiente e abbia bisogno di un notevole apporto di energia per passare allo stato di vapore.

A proposito degli stati fisici dell'acqua, vediamo subito il comportamento durante i passaggi da uno stato fisico ad un altro ricordando che quanto diremo è valido per tutte le sostanze e non solo per l'acqua. Nelle fig. 1a e 1b è riportato l'andamento della temperatura in funzione del tempo rispettivamente nel caso di riscaldamento e nel caso del raffreddamento del miscuglio.

Supponiamo di trovarci ad una pressione costante di 760 mmHg, di prendere un blocco di ghiaccio la cui temperatura sia inferiore allo  $0^{\circ}\text{C}$ , di metterlo in un contenitore e di porlo in un forno nel quale faremo crescere gradualmente la temperatura fino a  $150^{\circ}\text{C}$ . La temperatura del blocco inizia a salire fin quando, arrivata a  $0^{\circ}\text{C}$  (punto di fusione), il blocco inizia a liquefarsi formando acqua; da questo momento la temperatura del miscuglio di acqua e ghiaccio rimane costante al valore di  $0^{\circ}\text{C}$  fino a quando tutto il ghiaccio non si è sciolto; il calore che il miscuglio assorbe dal forno non va quindi ad innalzare la temperatura del miscuglio stesso, ma serve solo a fornire l'energia termica necessaria a far avvenire il passaggio dallo stato solido a quello liquido. Tale energia calorifica viene detta "calore latente di fusione". Una volta che tutto il ghiaccio si è sciolto la temperatura riprenderà ad aumentare fino ad arrivare al valore di  $100^{\circ}\text{C}$  (punto di ebollizione); a questo punto l'acqua comincia a bollire trasformandosi in vapore acqueo. La temperatura del miscuglio acqua+vapore si ferma a  $100^{\circ}\text{C}$  e vi resta fino a quando tutto il liquido non è diventato vapore. Solo allora la temperatura del vapore può riprendere a salire fino a portarsi in equilibrio con quella del forno. Tutto il calore fornito durante la fase transitoria liquido+vapore, viene utilizzato per il passaggio dallo stato liquido a quello gassoso ed è detto "calore latente di evaporazione".

Un'altra cosa nota è che in alta quota l'acqua bolle prima che a livello del mare e, ricordando quanto detto sulla tensione di vapore, ora il motivo di tale comportamento diventa evidente: è sufficiente una minore temperatura per fare sì che la tensione di vapore raggiunga lo stesso valore della pressione ambiente che in quota è inferiore ai canonici 760 mmHg.

La legge di Henry ci rammenta che un gas tende a entrare in soluzione in un liquido (o ad uscirne) fino a che la sua pressione parziale nel liquido e nel gas non sono uguali. Nel caso del vapore acqueo si può notare che se nell'aria è già presente una certa "pressione parziale di vapore" (che d'ora in poi abbrevieremo con  $pp\text{H}_2\text{O}$ ), la tendenza dell'acqua ad evaporare sarà controbilanciata da tale  $pp\text{H}_2\text{O}$  per cui la vera tendenza ad evaporare sarà data dalla differenza fra la tensione di vapore e la  $pp\text{H}_2\text{O}$  dell'ambiente circostante. Questo ci spiega perché nelle giornate afose (cioè calde ed umide) sentiamo un maggiore disagio fisico che non in quelle calde ed asciutte: la  $pp\text{H}_2\text{O}$  dell'aria rallenta il processo di evaporazione del sudore emesso dal corpo che, quindi, non riesce ad assolvere la sua funzione di raffreddamento della pelle (il sudore per evaporare sottrae calore dalla pelle!).

## 2.3 Calore specifico

### >Scheda 2 Determinazione del calore specifico

L'acqua ha un elevato calore specifico, cioè si riscalda e si raffredda molto lentamente, per cui gli esseri viventi, formati in gran parte di acqua, non subiscono sbalzi troppo bruschi e hanno minore difficoltà a mantenere costante la loro temperatura. Per lo stesso motivo le grandi masse di acqua, riducendo le escursioni termiche diurne e stagionali, svolgono un'azione mitigatrice sul clima delle zone che vi si affacciano.

Rispetto agli altri liquidi, l'acqua ha un elevato calore di vaporizzazione e bolle a 100° C. Nel processo di evaporazione le molecole di acqua devono staccarsi le une dalle altre e la presenza di molti legami idrogeno e di altre forze che aumentano la coesione (forze di Van der Waals) fa sì che l'energia necessaria per operare tale distacco sia superiore a quella richiesta da altri liquidi comuni. Questa caratteristica è sfruttata efficacemente dagli organismi viventi che vi hanno basato il sistema per regolare la propria temperatura corporea: il processo di evaporazione del sudore richiede calore e questo viene sottratto dal corpo che in tal modo si raffredda. L'acqua assorbe notevoli quantità di calore sia nello scaldarsi che nell'evaporare, con minime variazioni di temperatura. In virtù di queste proprietà, svolge un ruolo importante nel livellare la temperatura ambientale durante l'arco della giornata e nel mantenere costante quella corporea.

Liquido	cal/grado Celsius
Tetracloruro di carbonio	0.198
Cloroformio	0.232
Alcool etilico	0.535
Etere etilico	0.529
Olio di oliva	0.471
Olio minerale	0.50
Acqua	1.00

*Calore specifico di alcuni liquidi a 0° C*

## 2.4 Densità

>**Scheda 3** Determinazione della densità

>**Scheda 4** Uso del densimetro

Una prima proprietà importante di una sostanza è la sua densità assoluta o più semplicemente densità  $D$  (da non confondersi con la densità relativa), definita come il rapporto tra la sua massa e il suo volume:

$$D = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Per un fluido omogeneo la densità può dipendere da fattori quali pressione e temperatura:

- Per i liquidi la densità varia molto poco al variare di temperatura e pressione, quindi anche per ampie variazioni di queste ultime possiamo considerare la densità costante.
- Per i gas la densità dipende sensibilmente da pressione e temperatura, ed è quindi necessario precisare questi parametri quando si dá la densità di un gas.

La densità si misura in  $\text{Kg}/\text{m}^3$  o in  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  
con la conversione:  $1 \text{ g}/\text{cm}^3 = 1 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Direttamente dipendente dalla densità è il peso specifico, definito come il rapporto tra il peso di un corpo ed il suo volume. Esso non è altro che:

$$\text{peso specifico} = \frac{\text{peso}}{\text{volume}} = \frac{\text{massa} \times \text{accelerazione di gravità}}{\text{volume}}$$

L'unità di misura del peso specifico, quando la densità è misurata in  $\text{kg}/\text{m}^3$ , è il  $\text{N}/\text{m}^3$ .

Nella struttura del ghiaccio le molecole dell'acqua sono più distanziate ed occupano maggior spazio rispetto a quelle allo stato liquido; di conseguenza il ghiaccio ha una minore densità e galleggia sull'acqua. Ciò costituisce un'eccezione rispetto agli altri composti in cui la massima densità si ha allo stato solido.

Il ghiaccio ha una densità più bassa rispetto a quella dell'acqua allo stato liquido.

Ciò è dovuto ai legami idrogeno che creano dei vuoti nella struttura del ghiaccio. La densità dell'acqua ha un massimo a  $4^\circ \text{C}$ . L'acqua si dilata sia al di sopra sia al di sotto. La dilatazione all'abbassarsi della temperatura non si verifica per nessun altro liquido. Questo fatto spiega perché i laghi gelino innanzitutto in superficie. Se l'acqua solida non avesse questa caratteristica molti mari sarebbero completamente congelati, limitando la vita sul nostro pianeta. È bene precisare che la maggior parte delle sostanze diventano progressivamente più dense col diminuire della loro temperatura perché a ciò corrisponde una diminuzione dell'energia cinetica (di movimento) delle molecole, le quali muovendosi più lentamente tendono ad avvicinarsi mediante reciproche forze di attrazione. Tutto questo è vero anche per l'acqua finché essa raggiunge i  $4^\circ \text{C}$ , temperatura alla quale ha il massimo di densità.

Se la temperatura si abbassa ulteriormente fino al punto di congelamento ( $0^{\circ}\text{C}$ ) la densità dell'acqua diminuisce bruscamente perché la struttura molecolare dei ponti a idrogeno si risalda fino a costituire un reticolo cristallino in cui ogni molecola è vincolata ad altre quattro molecole; si formano, così, ampi spazi vuoti nell'intera struttura che determinano aumenti di volume nella massa acquatica. L'aumento di volume corrisponde ad una diminuzione della densità e ciò consente il galleggiare del ghiaccio sull'acqua. Nell'acqua liquida, poiché la struttura cristallina sopra descritta è meno regolare, gli spazi vuoti tra le molecole non esistono.



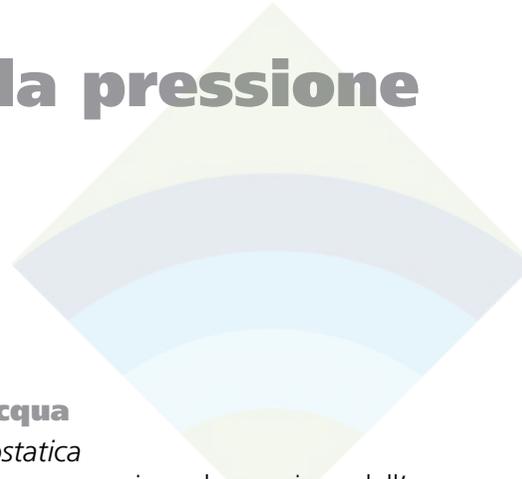
# CADF

## La Fabbrica dell'Acqua

## Capitolo 3

# L'acqua e la pressione

### Cenni di idrostatica



### 3.1 La pressione dell'acqua

#### >Scheda 5 *La pressione idrostatica*

L'acqua ha un peso ed esercita una pressione: la pressione dell'acqua o pressione idrostatica è un fenomeno importante, basti pensare alle pressioni enormi che l'acqua esercita negli abissi oceanici.

La materia ha un peso, per cui, quando si accumula sopra un corpo, esercita su di esso una certa pressione. Così, ad esempio, l'aria atmosferica esercita su tutti i corpi presenti sulla superficie terrestre una pressione, equivalente a circa  $1 \text{ kg/cm}^2$ , che si chiama pressione atmosferica.

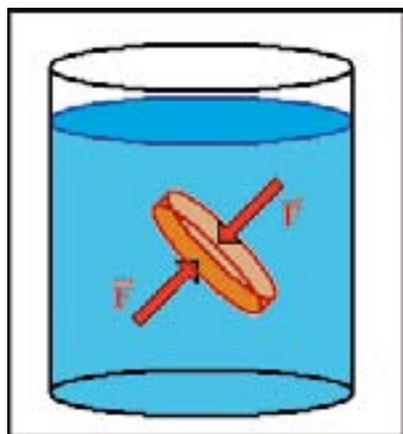
Anche l'acqua esercita una pressione sui corpi che si trovano dentro o sotto di essa: essa si chiama pressione idrostatica.

La pressione idrostatica corrisponde al peso della colonna dell'acqua che si trova sopra un oggetto: più alto è il livello dell'acqua, maggiore è la pressione. Questo fatto si può facilmente controllare utilizzando un recipiente cilindrico di una certa altezza, nel quale abbiamo aperto dei piccoli fori disposti a differente livello lungo le pareti. Se lo riempiamo d'acqua, dai fori escono zampilli che ricadono ad una certa distanza dal recipiente: la distanza è maggiore quanto più i fori sono in basso. Infatti, la pressione idrostatica è più elevata alla base del recipiente, dove la colonna d'acqua è più alta, mentre è minima alla superficie del liquido.

In mare la pressione idrostatica aumenta di circa 1 atm ogni 10 m di profondità. Ciò significa che un palombaro immerso a 30 m deve sopportare, oltre alla pressione atmosferica, quella idrostatica di 3 atm per ogni  $\text{cm}^2$  della sua superficie.

La pressione idrostatica si misura con speciali barometri adatti a sopportare pressioni più elevate di quella atmosferica, chiamati manometri.

Nei pesci la pressione idrostatica è equilibrata da quella dei fluidi interni: per questo i pesci abissali, portati in superficie, «esplodono» come farebbe un animale terrestre portato a grandi altezze. I nuotatori e i palombari che si immergono devono tenere conto della pressione idrostatica, dato che i loro fluidi interni sono in equilibrio solo con la pressione atmosferica. Per essi la pressione idrostatica può avere gravi conseguenze specialmente sulla membrana del timpano e sui globi oculari, che sono gli organi più facilmente «schiacciabili» da un aumento della pressione.



Il pericolo maggiore per i subacquei però deriva dal fatto che l'aria, se sottoposta a pressione, è solubile in acqua. Può accadere che una certa quantità di aria si scioglia nel sangue di chi scende in acque profonde: se la persona riemerge troppo in fretta, l'aria nel sangue torna immediatamente allo stato gassoso e forma bollicine che possono occludere i vasi sanguigni, specie quelli più piccoli del cervello, provocando una grave malattia detta embolia. Essa si cura mettendo il paziente in camere ad elevata pressione (camere iperbariche) per solubilizzare di nuovo l'aria del sangue; poi, molto gradualmente, il paziente è riportato alla normale pressione atmosferica.

L'uomo può immergersi sotto i 70 m di profondità solo se munito di apparecchi respiratori e di robusti scafandri adatti a sopportare la pressione idrostatica.

Consideriamo una porzione di acqua in quiete contenuta in un recipiente. Inseriamo all'interno un elemento che abbia forma cilindrica e spessore molto piccolo, quale ad esempio quello di un foglio di carta (circa  $1 \cdot 10^{-4}$ ): il fluido che circonda la porzione isolata eserciterà delle forze su quest'ultimo e poiché l'intera massa fluida si è supposta in quiete le forze esercitate sulle basi del cilindro si bilanceranno (per qualunque orientazione nello spazio e trascurando la superficie laterale in quanto infinitesima).

Poiché il disco ha uno spessore infinitesimo, è possibile trascurare la differenza di profondità del fluido tra le due superfici: in queste condizioni la forza  $F$  è indipendente dall'orientazione del disco, che possiamo considerare addirittura una sola superficie.

Definiamo la pressione come:

$$\text{pressione} = \frac{\text{intensità forza normale}}{\text{superficie}}$$

o, in simboli:

$$p = \frac{F}{S}$$

Le unità di misura della pressione nei vari Sistemi di Misura sono:

Sistema	Unità	Simbolo	Valore
S.I.	Pascal	Pa	1 N/m <sup>2</sup>
c g s	Bar	Bar	1 dyn/cm <sup>2</sup>

Fuori sistema sono usati anche:

- il bar, usato soprattutto in meteorologia, in particolare il suo sottomultiplo millibar;
- il millimetro di mercurio, in simbolo *mmHg* o *torr*;
- l'atmosfera, in simbolo *atm*, definita come la pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 76 cm, al livello del mare, a 45° di latitudine e a 0° C.

Se un fluido è in equilibrio, lo è pure in ogni sua parte. Per i liquidi, considerando la densità pressoché costante, determineremo una legge di variazione della pressione che con il principio di Pascal ci permetterà di spiegare fenomeni sfruttabili per costruire strumenti di misura.

La compressibilità è definita come quel parametro che indica di quanto diminuisce il volume con l'aumento della pressione. Sotto questo aspetto solidi e liquidi sono praticamente incompressibili, e questa caratteristica è praticamente indipendente da pressione e temperatura. I gas si comprimono con facilità, dipendentemente da pressione e temperatura.

La pressione in un punto all'interno di un volume di liquido, considerandone la densità costante, si calcola attraverso la legge di Stevino. Il principio di Pascal ci dice come si trasmettono le variazioni di pressione attraverso il fluido stesso. Con questi elementi possiamo spiegare il paradosso idrostatico ed il principio dei vasi comunicanti.

- la legge di Stevino
- il principio di Pascal
- il paradosso idrostatico
- il principio dei vasi comunicanti

### 3.2 La legge di Stevino

>**Scheda 6** *La legge di Stevino*

Per i liquidi, in generale, la densità è dappertutto costante e si può vedere che la pressione aumenta linearmente con la profondità.

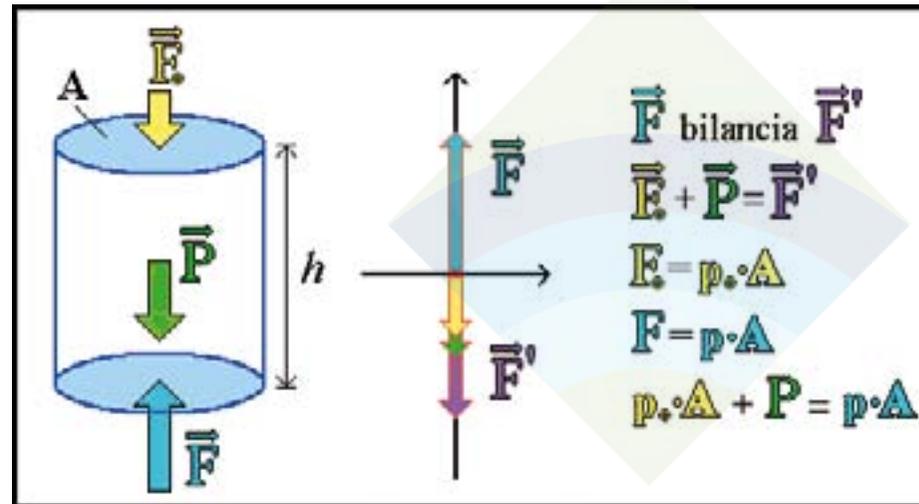
Prendiamo una colonna di liquido di sezione di area  $A$  ed altezza  $h$  (la risultante delle forze sul piano orizzontale sarà nulla in quanto la colonna considerata si suppone non avere accelerazione in senso orizzontale). La massa di tale colonna liquida è:

$$m = \rho V = \rho Ah$$

ed il suo peso è:

$$\vec{P} = m \vec{g} = \rho Ah \vec{g}$$

Indichiamo con  $p_o$  la pressione in cima alla colonna.



Alla base della colonna la pressione sarà maggiore di quella alla sommità, perché oltre alla forza di pressione sarà presente il peso della colonna. Indicando con  $p$  la pressione sul fondo, la forza verso l'alto esercitata dalla superficie inferiore per bilanciare la forza esercitata dalla parte superiore sarà (dalla definizione, per i moduli si ha  $F = p \cdot A$ ):

$$pA = p_o A + P = p_o A + \rho Ahg$$

ovvero

$$p = p_o + \rho gh$$

Il risultato è appunto che la pressione aumenta linearmente con la profondità e ad una profondità  $h$  essa è aumentata di una quantità  $\rho gh$  rispetto alla pressione  $p_o$  della quota di riferimento rispetto cui è misurata la profondità  $h$ .

Questo risultato è noto come Legge di Stevino.

### 3.4 Il principio di Pascal

>Scheda 5 La pressione idrostatica

I corpi solidi sono dotati di volume e forma propri. I corpi liquidi (es.: acqua) e quelli aeriformi (es.: aria) non hanno, invece, forma propria, ma assumono quella del recipiente che li contiene.

L'acqua viene definita, con termine generale, fluido. Il nome «fluido» esprime che tali corpi possono «fluire», cioè «scorrere». Si pensi all'acqua che scorre in un condotto, al gas da cucina che scorre nelle tubazioni. I corpi liquidi, pur non avendo forma propria, hanno, però, volume proprio.



Per i solidi si usa il concetto di corpo rigido (che ha, cioè, volume e forma ben definiti) ma è solo approssimato in quanto anche un solido, se sottoposto a forze, può essere deformato. Analogamente le definizioni date sopra di corpo liquido e di corpo aeriforme sono anch'esse approssimative.

Basta osservare che una piccola quantità di acqua può costituire una goccia, la quale tende ad una forma propria. Ciò avviene in modo ancor più evidente con il mercurio.

Tuttavia, come nello studio generale dei solidi si parte dal concetto di corpo rigido, anche nello studio generale dei fluidi si parte dalle definizioni date sopra.

Nello studio generale dei corpi liquidi possiamo partire dalla definizione teorica:

**un corpo è liquido quando ha volume proprio, ma non forma propria.**

Un corpo liquido, quindi, assume la forma del recipiente che lo contiene. La superficie libera di un liquido in quiete è in un piano orizzontale (cioè perpendicolare alla direzione del filo a piombo). Tale superficie rimane sempre piana e orizzontale comunque vari la posizione del recipiente. L'acqua è il liquido più diffuso in natura. La sua densità relativa (a 4° C) è, per definizione, uguale all'unità. La massa di 1 cm<sup>3</sup> di acqua è, con ottima approssimazione, 1 g; quella di 1 dm<sup>3</sup> è, quindi, 1 kg.

Esercitando una pressione sopra un corpo solido, questa si trasmetterà solo nella direzione della forza premente.

Per quanto riguarda l'acqua, l'esperienza permette di affermare che: se viene esercitata una pressione perpendicolarmente sopra una porzione della superficie di liquido, questo esercita perpendicolarmente la stessa pressione sulla superficie di ogni corpo con il quale sia in contatto (cioè del recipiente e dei corpi eventualmente immersi), comunque sia orientata tale superficie.

L'acqua trasmette inalterata una pressione, esercitata su di essa, in tutte le direzioni. Premendo sopra un corpo solido la pressione si trasmette solo nella direzione della forza applicata.

Premendo invece sopra un pistone che può scorrere in un cilindro pieno di liquido, la pressione si esercita non solo sul fondo, ma anche sulle pareti del cilindro. Queste infatti possono deformarsi o rompersi. È questo il Principio di Pascal, fondamentale per lo studio dei liquidi.



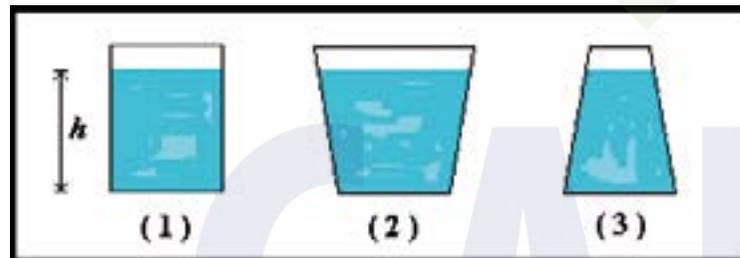
Premendo il pistone, il liquido contenuto nella sfera cava esce da tutti i fori, in direzione normale alla superficie della sfera. Il fatto, inoltre, che gli schizzi siano tutti uguali, verifica, sia pur grossolanamente, l'uguaglianza delle pressioni in tutte le direzioni.

### 3.5 Il paradosso idrostatico

Una conseguenza della legge di Stevino è che la pressione dipende solo dalla profondità alla quale essa viene misurata e non dalla forma del recipiente che contiene il fluido.

In tubi stretti ma sufficientemente alti è possibile produrre pressioni notevoli anche con una piccola quantità di liquido se l'altezza della colonna liquida è molto elevata. Un esempio di ciò è la "botte di Pascal". Il valore della pressione in un punto all'interno di un liquido contenuto in un recipiente non dipende dalla forma di quest'ultimo. Ciò si dimostra considerando il fatto che le pareti del recipiente si deformano finché la loro forza elastica non fa equilibrio alla pressione del fluido e quindi, agli effetti della pressione, le pareti equivalgono alla presenza di altre parti di liquido.

Consideriamo i tre recipienti:



aventi ugual base e riempiti con uno stesso liquido fino ad una altezza  $h$ . La pressione sul fondo di ogni recipiente dovuta al peso del liquido, secondo la legge di Stevino, assume lo stesso valore  $\rho gh$  nei tre vasi.

La forza  $F$  che agisce sul fondo è:

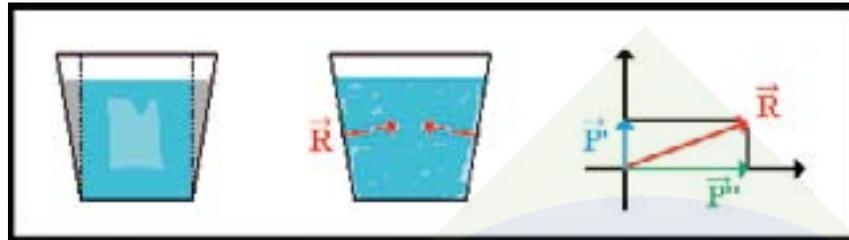
$$F = p \cdot A$$

quindi

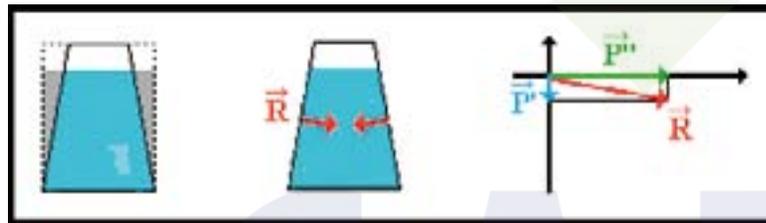
$$F = \rho gh \cdot A = \rho gV = mg = P$$

ovvero la forza è uguale al peso del liquido di volume  $V = A \cdot h$ , cioè il peso del liquido contenuto nel vaso (1).

Il paradosso idrostatico consiste proprio in questo: pur essendo il peso del liquido contenuto nei vari recipienti diverso a seconda dei casi, la forza esercitata sul fondo (nelle condizioni sopra indicate) è uguale per tutti e tre i casi e pari al peso del liquido contenuto nel recipiente (1).



Per il recipiente (2), il peso del liquido contenuto è maggiore del peso del liquido in (1) e, per quanto detto sopra, maggiore della forza esercitata sul fondo. Il paradosso in questo caso si spiega con il fatto che parte del peso del liquido contenuto è sostenuta dalla forza normale  $R$ , avente componente  $P'$  verso l'alto, esercitata dalle pareti del recipiente stesso. In effetti la porzione di liquido ombreggiata è sostenuta dai lati del recipiente.



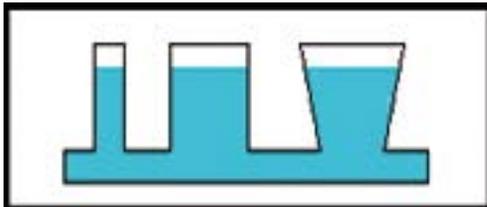
Per lo stesso principio nel caso del recipiente (3), la forza di reazione delle pareti del recipiente avrà una componente  $P'$  verso il basso che andrà a sommarsi al peso del liquido a quella quota e darà comunque come risultato una forza  $F$  di intensità equivalente al peso del liquido contenuto in (1) (in questo caso il peso del liquido contenuto in (3) è minore di quello contenuto in (1)).

Conseguenza della legge di Stevino è che in un sistema di vasi comunicanti il fluido contenuto raggiunge la stessa quota indipendentemente dalla forma dei recipienti.

Due liquidi non miscibili in vasi comunicanti raggiungono altezze inversamente proporzionali alle proprie densità.

L'aria forma attorno alla Terra uno strato gassoso chiamato atmosfera, spesso qualche centinaio di chilometri. Essendo attirata verso il basso dal proprio peso, l'aria esercita sulla superficie terrestre una certa pressione: con l'aumentare della quota rispetto al livello del mare la pressione atmosferica decresce in quanto diminuisce lo spessore di atmosfera sovrastante. Come per una colonna d'acqua, infatti, anche la pressione di una colonna d'aria diminuisce con l'altezza se ci si muove verso l'alto partendo dalla superficie terrestre.

Essendo l'acqua pressoché incompressibile, la sua densità rimane costante e si può affermare che la pressione sia proporzionale alla quota secondo una legge lineare di variazione (legge di Stevino).



Nell'aria, se ci si innalza dalla superficie terrestre, si va a sopportare una pressione corrispondente ad una colonna d'aria sempre meno alta, ma essendo l'aria compressibile, più la pressione diminuisce più il suo volume aumenta, cioè ne diminuisce la densità e non è quindi possibile applicare, per grandi differenze di quota, la legge di Stevino: la diminuzione di pressione dell'aria non è una funzione lineare della distanza. Quello che accade è che la pressione dell'aria diminuisce di una frazione costante per un dato aumento di altitudine: a circa 5,5 Km dal livello del mare la pressione atmosferica ha un valore che è circa la metà di quello assunto a livello del mare; salendo di altri 5,5 Km (quindi fino ad una altitudine di 11 Km) la pressione si dimezza ancora, diventando 1/4 del valore al livello del mare, e così via.

### Il principio di Archimede

#### >Scheda 7 Il principio di Archimede

Se si pesa un corpo immerso in acqua, si nota che la bilancia segna un valore inferiore a quello che segnerebbe se il corpo venisse pesato in aria. Evidentemente il processo di pesatura in acqua implica l'esistenza di una forza che bilancia parzialmente la forza di gravità.

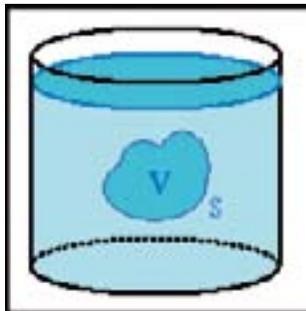
Ciò va sotto il nome di Principio di Archimede:

**un corpo immerso in un fluido in equilibrio subisce una spinta diretta dal basso verso l'alto di intensità pari al peso del volume del fluido spostato.**

Possiamo dare una prima spiegazione del fenomeno avvalendoci della dimostrazione teorica che diede Stevino nel 1586.

In un fluido stazionario di densità  $\rho$  isoliamo un volume  $V$  per mezzo di una superficie di contorno impermeabile e priva di massa, di area  $S$ . Essendo la massa  $m$  del fluido contenuto in  $S$  in equilibrio, il suo peso  $mg = \rho V$ , sarà controbilanciato dalle forze esercitate su esso dal fluido circostante e poiché tali forze dipendono solo dalle condizioni all'esterno di  $S$ , qualsiasi altro oggetto avente la stessa superficie esterna  $S$  necessariamente verrà sospinto verso l'alto dalle stesse forze, cioè da forze la cui risultante è sempre uguale al peso del fluido spostato.

Abbiamo supposto il fluido in equilibrio e quindi la forza di Archimede non solo è diretta verso l'alto ma deve passare per il centro di massa della porzione di fluido spostato: quest'ultimo punto è detto centro di spinta e non coincide necessariamente con il centro di massa di un corpo immerso.



## Capitolo 4

# Fenomeni fisici molecolari dell'acqua

### 4.1 Introduzione ai fenomeni di superficie

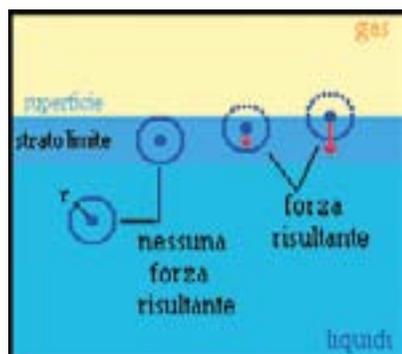
Perchè certi insetti riescono a pattinare sull'acqua anzichè affondare? Perchè l'acqua spruzzata su di una lastra di vetro in certi casi si raccoglie in forma di gocce e in altri si distribuisce come una sottile pellicola? Perchè l'acqua risale lungo un tubicino sottile? Come mai con l'acqua saponata si possono fare delle bolle, mentre con l'acqua di rubinetto non ci si riesce? Per ragioni che vedremo fra poco, la superficie delle sostanze possiede proprietà particolari. Sono proprio le proprietà delle superfici a consentire quei fenomeni curiosi che abbiamo descritto. Non solo, ma la superficie è anche il luogo di contatto fra sostanze diverse. Insomma, le proprietà delle superfici sono così importanti e particolari che esiste una branca della scienza, la fisica delle superfici, dedicata al loro studio.

### 4.1 La tensione superficiale

>**Scheda 8** *La tensione superficiale*

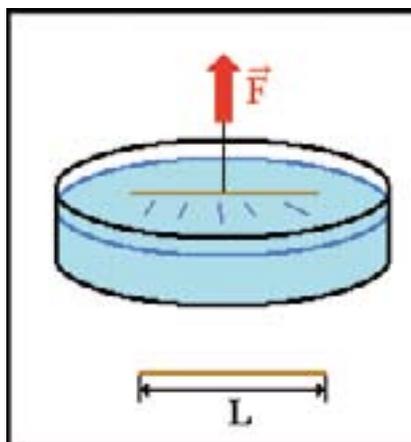
>**Scheda 9** *La misura della tensione superficiale*

>**Scheda 10** *Le bolle di sapone*



Nella materia allo stato liquido ogni molecola è circondata da altre molecole: le forze attrattive tra molecole, per il fatto che ognuna di esse è completamente circondata da altre, si bilanciano permettendo che ogni molecola si sposti liberamente (non vi è prevalenza di forze in una qualche direzione).

Appena sotto la superficie del liquido possiamo prendere in considerazione uno strato spesso quanto il diametro delle molecole costituenti il liquido: questo strato è detto strato limite ed è quello in cui avviene il passaggio da liquido a gas, a solido o ad altro liquido. Una molecola che si trovi in questa zona ha altre molecole dello stesso tipo sopra di essa. Se una molecola che si trova allo strato limite viene sollevata, i legami tra essa e le molecole adiacenti vengono tesi, generando una forza che tende a richiamare la molecola verso la superficie. Allo stesso modo, appoggiando un corpo minuscolo sulla superficie di un liquido, le molecole superficiali di quest'ultimo vengono spinte verso il basso generando una forza di richiamo diretta verso l'alto.



La superficie di un liquido si comporta quindi come una membrana tesa.

La tensione superficiale di un liquido è il lavoro che deve essere fatto per portare un numero sufficiente di molecole dall'interno del liquido alla superficie per poter formare una nuova area unitaria di detta superficie. Questo lavoro coincide numericamente con la forza di contrazione esercitata su una linea ipotetica (linea di contatto) posata sulla superficie.

La tensione superficiale viene misurata direttamente misurando la forza necessaria a rompere la superficie del liquido sollevando un filo sottile dalla superficie stessa.

Si trova che questa forza è direttamente proporzionale al doppio della lunghezza del filo (cosa che si spiega pensando che vi è superficie di liquido da entrambi i lati del filo).

#### 4.2 La bagnabilità

##### >Scheda 11 La bagnabilità

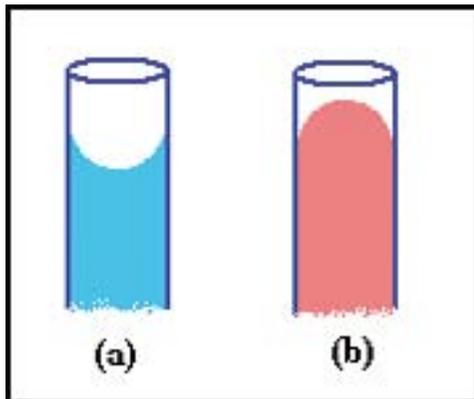
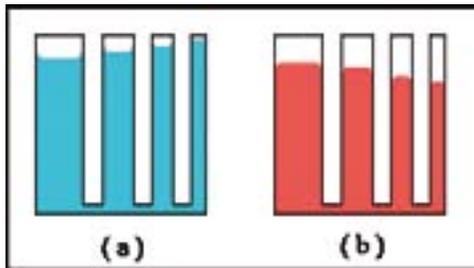
Perché un tessuto asciuga bene l'acqua mentre un altro sembra rifiutarla? Perché l'acqua si raccoglie in grosse gocce su di una superficie unta e forma invece un film aderente su di una superficie pulita? Una goccia di un liquido che venga deposta su di una superficie solida vi aderisce in modo maggiore o minore a seconda della natura del liquido e di quella del solido. Per comprendere questo fenomeno bisogna considerare che le molecole di un liquido sono soggette ad una forza di coesione che le mantiene unite le une alle altre, ma esiste anche una forza di adesione che rappresenta la forza con cui le molecole del liquido aderiscono alla superficie di un materiale con cui vengono in contatto. Quando le forze di adesione sono grandi rispetto alle forze di coesione, il liquido tende a bagnare la superficie, quando invece le forze di adesione sono piccole rispetto a quelle di coesione, il liquido tende a "rifiutare" la superficie.

A questo proposito si parla di bagnabilità fra liquidi e solidi. Per esempio, l'acqua bagna il vetro pulito, ma non bagna la cera.

### 4.3 La capillarità

>**Scheda 12** La capillarità

>**Scheda 13** Applicazioni della capillarità



Tubi di sezione molto piccola (del diametro di qualche decimo di millimetro) sono detti vasi capillari, per questi non vale più il principio dei vasi comunicanti. Nei tubi capillari l'innalzamento o la depressione del livello del liquido dipende dal tipo di liquido (nel disegno sotto, (a) è il caso dell'acqua che tende a salire nei tubi e (b) quello del mercurio, che invece tende a scendere) ed è inversamente proporzionale al raggio del tubo.

Se la superficie del liquido è concava verso l'alto la tensione superficiale in corrispondenza delle pareti del tubo sarà diretta verso il centro della superficie curva formata dal liquido e quindi avrà una componente diretta verso l'alto. Il liquido, grazie a questa forza, salirà nel tubo finché la forza verso l'alto dovuta appunto alla tensione superficiale non sarà equilibrata dal peso del liquido. È questa forza, quindi, che fa salire il liquido nei tubi a sezione molto piccola o in materiali porosi.

Il fenomeno è spiegato dal fatto che in un liquido esistono forze di coesione che fanno sì che molecole simili si attraggano tra loro. La forza tra la molecola di un liquido e un'altra sostanza (come il vetro della parete di un recipiente che contenga il liquido stesso) è detta forza di adesione.

Si dice che il liquido bagna la superficie di un'altra sostanza quando le forze di adesione sono grandi rispetto le forze di coesione: in questo caso la superficie di una colonna di liquido in un tubo (ad esempio acqua in vetro) presenta una concavità verso l'alto (a) e si ha la risalita del fluido in questione lungo un tubo capillare. Se le forze di adesione sono piccole rispetto quelle di coesione (mercurio in vetro), la superficie del liquido in un tubo è convessa (b) ed il livello del fluido in un sistema di vasi capillari comunicanti tende a decrescere al diminuire della sezione dei vasi.

Questo fenomeno è chiamato capillarità.

# Appendice 1

## Ancora bolle...

Fare bolle di sapone è da lungo tempo il divertimento di tanti bambini. Tutti noi abbiamo giocato con le bolle di sapone da piccoli. Una cannuccia di paglia ed un bicchiere con acqua saponata era tutto quanto necessario per un divertimento assicurato per ore. Un bambino faceva le bolle, altri le rincorrevano o le osservavano. Quello che meravigliava i bambini era la forma sferica e perfetta delle bolle, i loro colori, la loro trasparenza, la loro leggerezza che rivaleggiava solo con quella delle farfalle e delle fate. Con lamine sottili di acqua saponata si possono fare esperimenti interessanti e giochi divertenti, quali creare bolle di dimensioni diverse, bolle concentriche, bolle elicoidali, "solidi" sostenuti da reticoli in filo metallico, si possono osservare e studiare le figure di interferenza colorate sulle lamine di acqua saponata, si possono ottenere lamine tanto sottili da perdere ogni colore e da diventare invisibili, si possono realizzare lamine della superficie di metri quadrati e bolle del volume di metri cubi, tanto da potervi imprigionare un vostro amico. E poi imparerete a fare bolle di sapone cubiche... usando una cannuccia quadrata, ovviamente!

### Come si formano le bolle

Ora che siamo cresciuti, ci poniamo domande come queste: "Come si formano le bolle di sapone? Per quale motivo l'acqua saponata produce schiuma, mentre quella pura no?". Quando un rubinetto fa colare acqua in una bacinella, vedete formarsi delle bolle che scoppiano subito. Ciò è dovuto al fatto che la tensione superficiale dell'acqua normale è alta e tende a separare le molecole nel punto dove lo spessore della parete della bolla è minimo, facendola scoppiare rapidamente. La tensione superficiale dell'acqua saponata è invece molto più bassa: circa un terzo di quella pura, quindi le molecole della bolla sono meno sollecitate ed essa può durare più a lungo. Il sapone ed i detersivi abbassano la tensione superficiale dell'acqua e sono chiamati tensioattivi o surfattanti. Le molecole tensioattive possiedono una testa idrofila e una coda idrofoba. Quando queste molecole sono sciolte in acqua, esse tendono a raccogliersi alla superficie, con la coda verso l'esterno, formando strati continui. Le lamine d'acqua saponata sono formate da tre strati, i cui due strati esterni sono formati di molecole surfattanti e lo strato interno è formato da acqua saponata. Questi strati di molecole tensioattive sono molto elastici e sopportano elevate deformazioni senza rompersi, non solo, ma rallentano l'evaporazione del film d'acqua e prolungano la vita delle lamine e delle bolle.

## Ricette

Per produrre bolle di sapone, tradizionalmente si usava una miscela di acqua di rubinetto e sapone. Purtroppo i sali minerali che rendono l'acqua dura sottraggono parte del sapone, con conseguenze negative sulla formazione delle bolle. Infatti il sapone reagisce con i sali di calcio e di magnesio presenti nell'acqua di rubinetto, formando un precipitato insolubile che sottrae molecole tensioattive alla soluzione. I detersivi invece reagiscono coi sali minerali presenti nell'acqua producendo composti solubili, di conseguenza i detersivi sono molto più stabili del sapone come tensioattivi e sono più efficaci nel produrre bolle di sapone. Dunque, per le vostre soluzioni utilizzate preferibilmente acqua di rubinetto e detersivi liquidi per piatti. Provate anche acqua distillata e sapone e, perchè no, acqua distillata e detersivo. Le sostanze surfattanti che possono essere usate come detersivo e per fare bolle di sapone sono molte. Provate quindi alcuni detersivi diversi finchè non individuerete quello migliore. I detersivi Nelsen piatti e Scala piatti hanno dato buoni risultati, ma provatene anche altri.

La presenza dell'acqua nella membrana della bolla è importante per la sua durata. Con il passare del tempo, parte dell'acqua scende per gravità verso il fondo della bolla, un'altra parte evapora. In questo modo la membrana si assottiglia, si indebolisce e finisce per scoppiare. Per allungare la vita delle bolle, si aggiungono sostanze che rendono più viscosa l'acqua, rallentando la sua discesa verso il basso ed altre sostanze che ne rallentano l'evaporazione. Sostanze di questo tipo sono: lo zucchero, il miele, la glicerina, la gelatina, la gomma arabica, il sapone liquido viscoso. Avrete inoltre migliori risultati se lascerete riposare la soluzione saponosa per un paio di giorni prima di usarla, ma se non avete particolari esigenze, potete usarla subito. L'acqua saponata fredda produce bolle più durature.



*Figura 1 - Come tenere la bolla per la prova di durata*

### 1 - Individuazione del tensioattivo di base

Una prima serie di prove dovrebbe essere diretta ad individuare il detersivo da usare come tensioattivo di base. A tale scopo, procuratevi alcuni detersivi liquidi per stoviglie. Per ciascuno di essi, realizzate una soluzione di detersivo in acqua nel rapporto di 1 a 10. In una stanza priva di vento, create una bolla del diametro di circa 7 cm di diametro. Mantenetela sulla cannucina (figura 1) e cronometrate la sua durata. Ripetete la prova 5 volte per ogni detersivo in modo da ottenere un valore medio più affidabile. Ovviamente darete la preferenza al detersivo che produce le bolle che hanno la durata maggiore.

### 2 - Messa a punto dei componenti secondari

Una seconda serie di prove avrà come obiettivo la messa a punto della ricetta nei suoi componenti secondari, quelli destinati a ridurre l'evaporazione e la fluidità dell'acqua. Il metodo da seguire è lo stesso del punto 1.

### 3 - Fate delle bolle di sapone

Quando la soluzione sarà pronta, potrete passare agli esperimenti successivi. Per prima cosa fate alcune bolle e osservatele volare, trasportate dal vento.

#### 4 - Come realizzare bolle più grandi

Con del filo di ferro abbastanza grosso, realizzate un anello del diametro di una trentina di cm. Immergetelo nella soluzione che avrete posto in una bacinella. Muovendolo rapidamente nell'aria, dovrete riuscire a ottenere bolle piuttosto grandi.



Figura 2 - Membrana di forma circolare

#### 5 - Ancora sulla forza della tensione superficiale

All'anello dell'esperienza 4 annodate un filo di cotone con un cappio. Dopo che avrete immerso tutto quanto nella soluzione saponosa, l'anello risulterà chiuso da una lamina. Facendo scoppiare la membrana interna al cappio di cotone, lo vedrete assumere una forma circolare (figura 2). Questo avviene a causa della tensione superficiale della rimanente parte di film di soluzione saponosa. Non usate un filo troppo sottile.

#### 6 - Un supporto per le bolle

Per osservare più comodamente le bolle occorre che queste siano ferme. Con del filo di ferro, realizzate degli anelli sui quali depositare le bolle. Lasciate ad ogni anello un gambo di filo di ferro da inserire in qualche oggetto oppure sagomate lo come piedistallo. Per evitare che le bolle appoggiate scoppino, immergete l'anello nella soluzione. Anche uno scampolo di lana o di velluto sostiene a lungo le bolle senza farle scoppiare.

#### 7 - Studiate le superfici di contatto fra le bolle

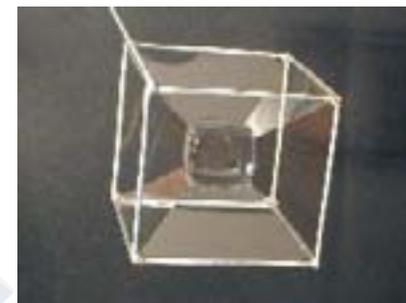
Su di un vetro pulito o su di un foglio di plastica rigido bagnato di soluzione, deponete due bolle a contatto fra di loro. Osservando la superficie di contatto, vedrete che la bolla più piccola tenderà a "penetrare" quella più grande. Questo avviene perchè la pressione interna delle bolle più piccole è maggiore. Questo significa anche che due bolle di pari diametro avranno una superficie di contatto piana. Dopo avere realizzato alcune bolle a contatto fra loro, formate anche della schiuma ed osservatela attentamente. A tale scopo, fate gorgogliare aria nel liquido con la cannucchia. Alcune volte, la forma delle bolle della schiuma è la stessa assunta dalle cellule dei tessuti, in altri casi la forma delle cellule è diversa perchè esse devono aumentare la loro superficie di contatto o per altri motivi. Durante la solidificazione, anche i cristalli dei metalli assumono spesso le stesse forme delle bolle di una schiuma. In fondo si tratta di sfere deformabili, a stretto contatto fra di loro, e che non possono lasciare spazi vuoti.

#### 8 - Figure solide create su appositi telai

Con telai di filo metallico, potete creare lamine piane, ma anche elicoidali e di tante altre forme. Potete inoltre creare dei "solidi" abbastanza complessi (figure 3, 4, 5, 6, 7, 8). Per fare questo, vi basta immergere un telaio nella soluzione saponosa. Quando lo avrete estratto, vedrete le lamine formate. Normalmente ci si aspetta che queste membrane si dispongano sulle facce del solido, ma questo non avviene perchè durante la loro formazione esse tendono a mantenersi in contatto fra loro e a formare delle figure di percorso minimo. Ricordate anche che le lamine saponose tendono ad assumere la forma di minor energia. Quindi, se creerete una lamina tubolare fra due anelli, non vi meravigliate se essa tenderà a ridursi di diametro verso il centro.



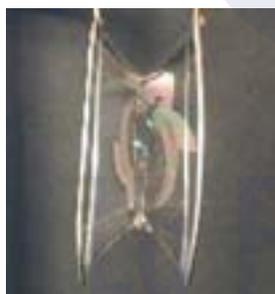
*Figura 3 - Lamine in un telaio cubico. Le lamine non si dispongono sulle facce del cubo, ma si uniscono fra loro*



*Figura 4 - Lamine in un telaio cubico. Bolla cubica centrale depositata con una cannucia*



*Figura 5 - Lamine in un telaio piramidale (tetraedro). Depositare una bolla al centro.*



*Figura 6 - Lamine fra due anelli unite da una lamina in comune*



*Figura 7 - Lamina tuboidale fra due anelli, ottenuta rompendo la lamina in comune*



Figura 8 - Lamina elicoidale

### 9 - Lamine elicoidali

Per produrre una lamina elicoidale (figura 8), realizzate un avvolgimento elicoidale di poche spire (come una molla normale), fate passare uno spezzone di filo rettilineare lungo l'asse dell'elica e saldate a questo filo i due capi dell'elica.

### 10 - Bolle poliedriche regolari

Che forma dovrebbero avere dei telai con i quali ottenere bolle centrali a forma di ottaedro, dodecaedro, icosaedro? È possibile realizzarli?

Potete scommettere con i vostri amici che siete capaci di creare bolle di sapone cubiche. Ovviamente loro non vi crederanno. Voi potrete spiegare loro che ciò vi è possibile usando una cannuccia a sezione quadrata. Molto probabilmente accetteranno la scommessa. Vi sarà facile vincerla realizzando la vostra bolla cubica all'interno del telaio, come mostrato dalla figura 4. Prima di depositare la bolla, schiacciate la punta di una cannuccia in modo da darle una sezione quadrata. Questo fa parte della scommessa, ma voi sapete bene che anche con una cannuccia normale quella bolla diverrà cubica.

La figura 9 mostra alcuni telai di filo metallico che possono essere costruiti per lo studio delle lamine saponose e per la misura della tensione superficiale dei liquidi. Per la loro costruzione abbiamo impiegato filo di ferro zincato, tagliato a segmenti che abbiamo poi saldato a stagno. Potete plastificare questi telai immergendoli in appositi prodotti plastificanti che vengono venduti nelle ferramenta.

"Per quale motivo le bolle di sapone sono colorate?". La membrana delle bolle di sapone, come del resto le pellicole di acqua saponata, è formata da tre strati: i due esterni sono formati da uno strato ciascuno di molecole di tensioattivo, con la testa polare idrofila rivolta verso l'interno; lo strato interno è costituito da acqua saponata. La luce che attraversa una lamina di acqua saponata viene parzialmente riflessa dalla superficie anteriore e da quella posteriore. Le onde luminose riflesse risultano fra loro sfasate, si sommano algebricamente (interferenza) dando luogo a variazioni di colore. Il colore emergente dipende dallo spessore della pellicola. Questi colori sono molto belli, come sono anche molto belle le figure che le zone di diverso colore assumono quando cambiano di forma. Infatti, soffiando leggermente sulla lamina, potrete creare turbolenze dai magnifici disegni. Quando, per via dell'evaporazione o della discesa dell'acqua verso il basso, lo spessore della pellicola sarà diventato molto sottile i due riflessi si elideranno completamente, la bolla diventerà "nera", non mostrerà più i colori e diventerà praticamente invisibile. Essa sarà anche molto instabile e prossima a scoppiare.

### 11 - I colori e le forme delle figure di interferenza sulle lamine saponose

Le lamine di sapone si prestano molto bene ad osservarne i colori e le turbolenze create da leggere correnti d'aria. Quindi, per mezzo di un telaio di filo di ferro, create una lamina ed osservatene attentamente i colori, soffiare anche sulla lamina per osservarne le turbolenze alla superficie (figure 11 e 12). Per vedere meglio i colori della lamina, vi conviene mantenerla su di un fondo nero e farvi riflettere la luce di una

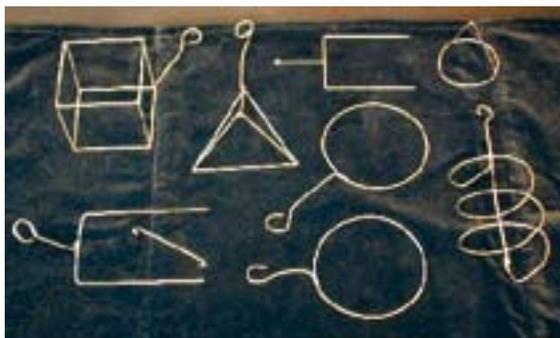


Figura 9 - Telai di filo metallico per lo studio delle lamine saponose

finestra o di una superficie bianca e luminosa. Tenendo il telaio verticale, vedrete i colori cambiare mano a mano che la lamina si assottiglierà. Poco prima di rompersi, parte della lamina generalmente diventerà nera.

### 12 - Attraversare una lamina senza farla scoppiare

Se con un dito asciutto toccate una lamina, la vedrete scoppiare. Se farete la stessa cosa con un dito bagnato della soluzione, la lamina potrà anche essere attraversata dal dito, senza scoppiare.

### 13 - Giochi sull'acqua

Producete delle bolle sopra ad una bacinella d'acqua. Cercate quali condizioni permettono alle bolle di rimbalzare o di posarsi sulla superficie dell'acqua senza aderire. Fate cadere sull'acqua una piccola goccia di un grasso che si disponga alla superficie come uno strato monomolecolare, es: acido stearico, e ripetete la prova. Anche un capello non pulito produce un sottilissimo strato oleoso sulla superficie dell'acqua, quando viene immerso lentamente in essa.



Figura 10 - Le frange di interferenza che si formano durante la discesa per gravità del liquido saponoso. La lamina si assottiglia e in alto diventa nera perchè il suo spessore è inferiore alla lunghezza d'onda della luce visibile



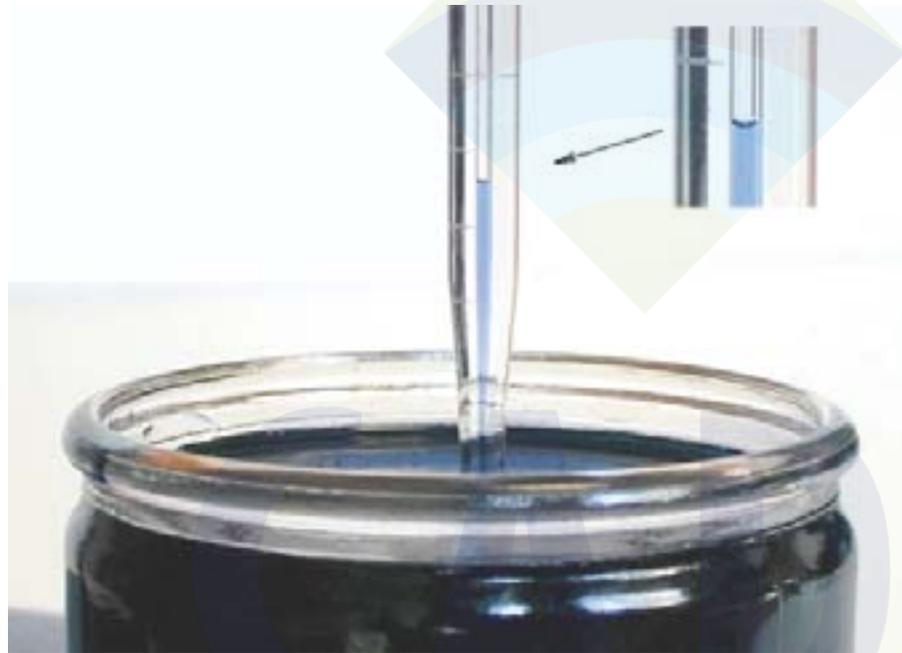
Figura 11 - Soffiando delicatamente sulla lamina, si possono ottenere turbolenze molto belle, le quali possono essere osservate e studiate. Notate in alto la zona nera molto allargata



Figura 12 - Soffiando ancora, le figure diventano più complesse e più ricche di dettagli.

## Appendice 2

# Ancora sulla capillarità



### **1 - Risalita dell'acqua lungo un capillare**

Ponete un capillare in un bicchiere d'acqua di rubinetto e misurate l'altezza ( $h$ ) della colonna d'acqua al suo interno.

### **2 - Effetto dei tensioattivi**

Aggiungete una piccola quantità di detersivo all'acqua e rifate la misura. Confrontate la variazione di altezza della colonna d'acqua. Potrete notare che anche piccole quantità di detersivo producono effetti elevati sul livello raggiunto dall'acqua nel capillare.

### 3 - Effetto del diametro del capillare

Con un tubo di vetro ed un cannello Bunsen, produce una serie di capillari di diametro diverso. Verificate la relazione fra l'altezza della colonna d'acqua e il diametro interno del capillare. (Risposta: l'altezza della colonna è descritta dalla seguente relazione:  $h=k/r$ , dove  $h$  è l'altezza della colonna,  $k$  è una costante che dipende dalla tensione superficiale del liquido e dall'angolo di contatto fra il liquido e la parete,  $r$  è il raggio interno del capillare. Quindi, a parità di liquido e di materiale che costituisce il capillare, l'altezza della colonna è inversamente proporzionale al diametro del capillare. Potete determinare il valore di  $k$  per l'acqua usando acqua distillata a 20° C).

### 4 - Provate altri liquidi

Fate alcune altre prove con liquidi diversi dall'acqua, quali alcool, olio, etc. e misurate l'altezza della colonna di liquido. L'altezza della colonna dipende da numerosi fattori, quali: la tensione superficiale del liquido, l'angolo di contatto liquido/capillare, il raggio del capillare, la densità del liquido. Infatti, l'altezza della colonna giunge all'equilibrio fra le forze ascensionali ed il proprio peso. Le sostanze oleose tendono a lasciare tracce importanti all'interno del capillare, quindi, passando da un liquido ad un altro, il capillare va lavato o sostituito. Il mondo vegetale sfrutta la capillarità e l'osmosi per portare l'acqua fino alle parti più alte delle piante. In questo modo, alcuni alberi riescono a fare arrivare questo prezioso liquido fino ad oltre 120 metri di altezza.

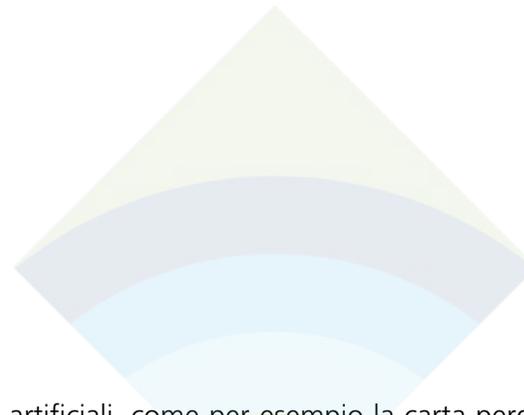
### 5 - Un sistema di innaffiatura di emergenza

È estate e vi preparate per andare in vacanza. Siete preoccupati per le vostre piante che rischiano di rimanere senz'acqua. Infatti, anche se siete d'accordo con il vicino di casa per innaffiarle, sapete per esperienza che dopo il primo giorno, egli si dimenticherà di tutto, senza cattiveria, ma è fatto così. Provate allora questo metodo di innaffiatura d'emergenza. Questo sistema si basa sul fatto che una corda è in grado di trasportare acqua fra le sue fibre per capillarità. Ponete un bidone sopra ad alcune pietre e riempitelo d'acqua. Disponete i vasi con le piante tutt'attorno al bidone. Tagliate degli spezzoni di corda abbastanza lunghi da pescare sul fondo del bidone pieno d'acqua e da poter essere interrati per qualche centimetro nei vasi. Immergete tutte le corde in acqua per inzupparle bene. Annodate un capo di ogni corda insieme agli altri, ma lasciate libero l'altro capo. Immergete quel nodo nell'acqua e assicuratelo sul fondo del bidone per mezzo di un sasso. Ora, uno alla volta, interrate un capo in un vaso diverso. Ogni vaso dovrà essere servito da uno spezzone di corda. Provate questo sistema prima di affidarvi ad esso. Dovete verificare il suo buon funzionamento, trovare il tipo di corda adatta, proporzionare la riserva d'acqua al deflusso giornaliero e alla durata della vostra assenza. A questo proposito, provate corde formate da fibre di diverso calibro, di materiali diversi, anche plastici. Se la corda tende ad incrostarsi, aggiungete all'acqua una certa quantità d'aceto. Provate anche ad inserire le singole corde in tubicini di plastica flessibile. Se il richiamo d'acqua fosse troppo elevato, utilizzate una corda più sottile. Verificate l'effetto sulla portata di acqua dell'aggiunta di qualche goccia di detersivo.

# Capitolo 5

## L'osmosi

> Scheda 14

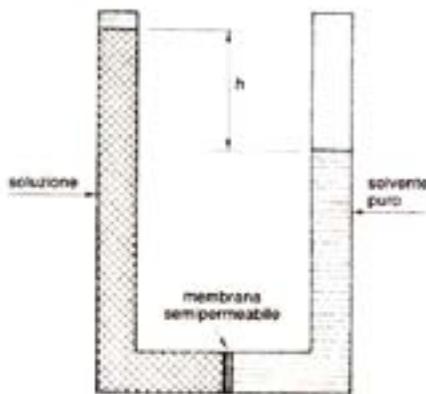


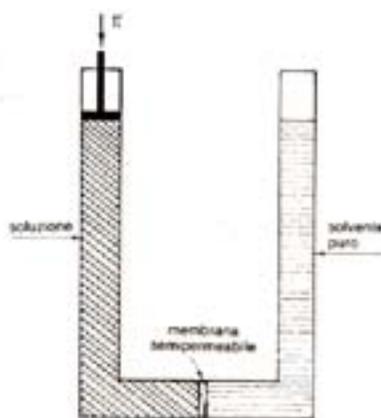
Alcune membrane naturali o artificiali, come per esempio la carta pergamena, il cellophane ecc..., vengono dette semipermeabili in quanto si lasciano attraversare solo dalle molecole di alcune sostanze piuttosto che di altre. Il meccanismo selettivo per il quale queste membrane mostrano simili proprietà non è completamente chiarito. In alcuni casi, tuttavia, esso può essere interpretato ammettendo che una membrana semipermeabile si comporti come un vero e proprio filtro che lascia passare sole le particelle di una determinata grandezza.

Supponiamo di avere un tubo di vetro a forma di U contenente in un braccio del solvente puro e nell'altro braccio una soluzione del medesimo solvente; i due liquidi siano inoltre separati per mezzo di una membrana semipermeabile che si lasci attraversare dalle molecole del solvente e non da quelle del soluto.

In questa condizione, accade che il numero di molecole di solvente, che in conseguenza del loro caotico movimento urtano contro la parete della membrana semipermeabile in contatto con il solvente puro è maggiore del numero di molecole di solvente che urtano contro la parete della membrana in contatto con la soluzione. Pertanto, dato che la membrana non può essere attraversata dalle molecole del soluto, il risultato netto è quello del passaggio di un certo numero di molecole di solvente verso la soluzione. Ovviamente un fenomeno del tutto analogo si verificherebbe se i due bracci del tubo fossero riempiti con due soluzioni dello stesso solvente aventi però una differente concentrazione: la soluzione più diluita si comporta come il solvente puro, e pertanto si ha un passaggio netto di alcune molecole di solvente dalla soluzione più diluita verso quella più concentrata.

Il flusso di molecole di solvente verso la soluzione, oppure il flusso di molecole di solvente da una soluzione diluita a quella più concentrata, attraverso una membrana semipermeabile, è noto con il nome di osmosi. Se la temperatura e la pressione sui due bracci del tubo a U sono le medesime, a causa del fenomeno dell'osmosi, l'altezza del livello della soluzione più concentrata aumenta, e il processo prosegue fino a quando la pressione idrostatica della colonna di liquido di altezza  $h$  che si è formata nella soluzione più concentrata, impedisce l'ulteriore flusso in essa di molecole di solvente: questa è la condizione di equilibrio osmotico, caratterizzata dal fatto che il solvente puro (o la soluzione più diluita) possiede il medesimo potenziale chimico della soluzione (o della soluzione più concentrata).





Il fenomeno dell'osmosi potrebbe essere impedito esercitando sulla soluzione più concentrata, mediante uno stantuffo, una pressione sufficiente ad impedire il flusso delle molecole di solvente.

Ebbene, la pressione che deve essere applicata sopra una soluzione affinché del solvente puro non attraversi la membrana semipermeabile che la separa da un'altra soluzione più diluita, o dal solvente puro, viene detta pressione osmotica della soluzione (simbolo  $p$ ). Da notare che, ovviamente, tale pressione è uguale alla pressione esercitata dalla colonna di liquido di altezza  $h$ . In questo modo viene realizzato un fenomeno non spontaneo (a spese del lavoro di pressione da noi fornito) chiamato osmosi inversa.

La pressione osmotica di una soluzione, ad una data temperatura, dipende solo dalla sua concentrazione, vale a dire solo dal numero di particelle di soluto in essa contenute, indipendentemente dalla loro natura o dalla natura della membrana semipermeabile (a patto che questa sia permeabile solo al solvente). Pertanto la pressione osmotica è una proprietà colligativa delle soluzioni.

Il calcolo teorico della pressione osmotica di una soluzione viene fatto applicando la seguente equazione, simile all'equazione di stato dei gas perfetti:

$$P_o V = \text{mol} \cdot R \cdot T ;$$

dove:

$P_o$  = press. osmotica della soluz. (atm);

$V$  = volume della soluz. (in l);

mol = numero di moli di soluto;

$R$  = costante universale dei gas (0,082 l·atm/°K·mol);

$T$  = temperatura assoluta della soluzione.

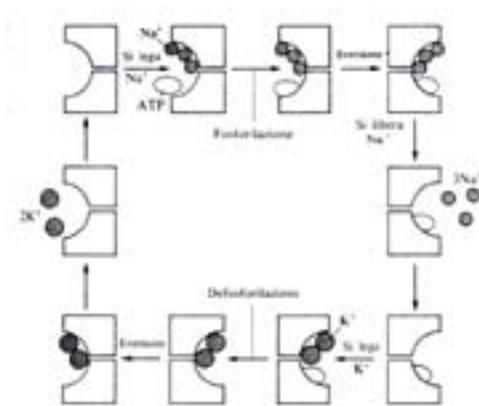
Nel caso di soluzioni ioniche o di molecole anche poco dissociate, è necessario aggiungere al secondo membro dell'equazione precedente il fattore di correzione  $i$  (coefficiente di Vant'Hoff) che tiene conto del numero reale di particelle presenti. Una soluzione di  $\text{NaCl}_1$  ed una di  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  entrambe con uguale concentrazione molare, non avranno uguale pressione osmotica, in quanto nel primo caso si origineranno due particelle ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ,  $i = 2$ ) mentre nel secondo se ne origineranno ben cinque (2  $\text{Fe}^{3+}$  e 3  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $i = 5$ ). Pertanto, a parità di concentrazione, la soluzione di solfato ferrico avrà una maggiore pressione osmotica. Il potere osmotico, ossia la capacità di indurre fenomeni osmotici, risulta inoltre inversamente proporzionale alla grandezza della molecola: ad es. l'amilosio, formato dalla condensazione di un numero di molecole di glucosio da 200 a 2.000, ha un potere osmotico praticamente nullo.

Se la soluzione in esame contiene due o più soluti, la grandezza mol dovrà essere espressione della somma del numero di moli di tutti i soluti; inoltre, dato che il rapporto mol/ $V$  (in l) esprime la concentrazione molare del soluto, e dato che per soluzioni molto diluite la molarità  $M$  e la molalità  $m$  (mol soluto/Kg solvente) di una soluzione sono praticamente coincidenti, l'equazione che permette di calcolare la pressione osmotica può anche essere scritta nella forma  $p = m \cdot R \cdot T$ .

Si dice ipertonica una soluzione che contiene una concentrazione di sostanze osmoticamente attive maggiore rispetto ad un'altra, ipotonica una soluzione che contiene una concentrazione di sostanze osmoticamente attive minore rispetto ad un'altra, isotonica una soluzione contenente la medesima quantità di sostanze osmoticamente attive rispetto ad un'altra.

Negli esseri viventi non si verifica mai un trasporto attivo di acqua; essa si può muovere soltanto per pressione o per differenze nel potenziale osmotico.

Le cellule animali, come ad es. i globuli rossi, sono particolarmente sensibili a variazioni di gradiente di concentrazione, venendosi a distruggere e perdendo la loro fondamentale funzionalità in condizioni estreme. In particolare, in soluzioni ipertoniche si verifica il raggrinzimento in seguito alla perdita di acqua (plasmolisi) mentre in soluzioni ipotoniche si può venire a determinare una vera e propria esplosione dovuta al rigonfiamento provocato dall'assorbimento dell'acqua.



Le pompe ioniche di membrana agiscono contro il gradiente di concentrazione, con dispendio di energia, realizzando praticamente l'osmosi inversa. Questi sistemi sono fondamentali per il controllo del potenziale di membrana, generato dalla differente concentrazione ionica negli ambienti extracellulari ed intercellulari. La pompa più nota è quella definita sodio-potassio; essa, sfruttando l'energia prodotta dalla demolizione dell'ATP ad opera degli enzimi ATP-asi, permette l'uscita di 3 ioni sodio ( $\text{Na}^+$ ) ogni due ioni potassio ( $\text{K}^+$ ) che entrano (considerare che il sodio è circa 10 volte più concentrato all'esterno della cellula mentre il potassio è circa 20 volte più concentrato all'interno).

La maggior parte degli invertebrati marini riesce ad adattarsi a un'ampia gamma di valori di salinità, mantenendo la concentrazione ionica dei liquidi del proprio organismo sui valori di quelli ambientali, evitando così i rischi di eccessiva imbibizione o di disidratazione. Tali animali realizzano una condizione di isotonicità, e vengono definiti osmoconformi. Tuttavia, questo stato di conformità osmotica presenta alcune limitazioni, sia per quanto riguarda i valori di salinità raggiungibili (mai quelli estremi), che per quanto concerne il tempo di sopravvivenza a tali valori. Non esiste animale capace di mantenere un potenziale osmotico pari a quello dell'acqua dolce; né è possibile che una cellula di un animale raggiunga concentrazioni di sale corrispondenti a quelle presenti nelle pozze salmastre sottoposte a evaporazione (tali concentrazioni causerebbero la denaturazione e la precipitazione delle proteine). Gli osmoconformi possono essere a carico ionico conforme, riuscendo a far combaciare sia la composizione ionica che l'osmolarità dei propri liquidi corporei con i corrispondenti valori dell'ambiente esterno, o regolatori del carico ionico (maggioranza degli osmoconformi) se impiegano meccanismi di trasporto attivo ai fini di mantenere determinati ioni a concentrazioni diverse da quelle ambientali.

Gli animali che mantengono il potenziale osmotico dei propri liquidi interni su valori diversi da quelli ambientali vengono definiti osmoregolatori. Anche gli animali che riescono a mantenersi osmoconformi per un'ampia gamma di potenziali osmotici devono adottare tale strategia in condizioni estreme, cioè quando la salinità dell'ambiente raggiunge livelli eccessivamente sfavorevoli. Ai fini di regolare la pressione osmotica, gli animali di acqua dolce devono eliminare l'acqua in eccesso che continuamente invade le loro cellule per osmosi, ma nello stesso tempo devono trovare un modo per conservare i soluti; essi producono quindi grandi quantità di un'urina diluita. Nell'ambito della regolazione osmotica negli ambienti marini, gli animali devono adottare una strategia opposta, cioè devono conservare l'acqua (che perdono continuamente per osmosi), ed eliminare i sali in eccesso; essi tendono quindi a produrre quantità minori di urina.

Un osmoregolatore ipotonico è in grado di mantenere il proprio potenziale osmotico al di sotto di quello esterno, mentre un osmoregolatore ipertonico riesce a mantenere i propri liquidi ad un potenziale osmotico superiore di quello ambientale. L'artemia salina, nota anche come "scimmia di mare", è un piccolo crostaceo adatto a sopravvivere in ambienti a salinità molto variabile, comportandosi come osmoregolatore di entrambe i tipi a seconda che si trovi rispettivamente in acque molto salate o dolci (in questo caso però non sopravvive a lungo).

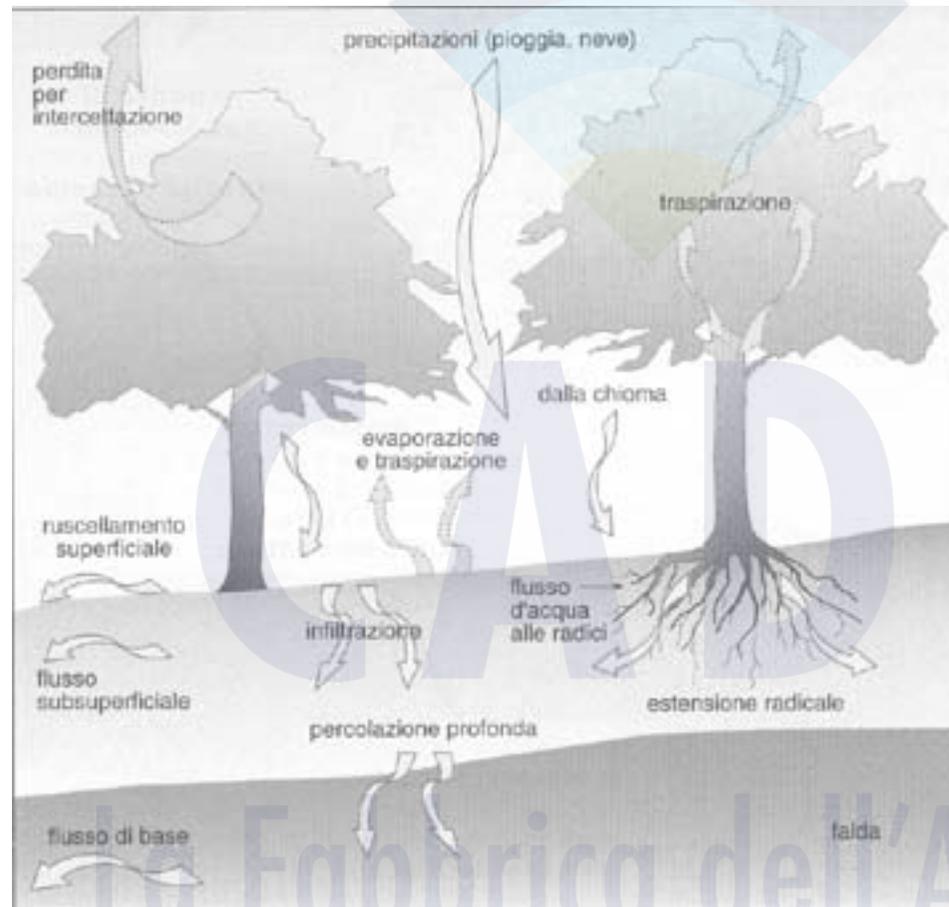
L'ambiente terrestre presenta problemi del tutto differenti per quanto riguarda l'equilibrio idrico-salino. Basti pensare che il rischio maggiore per gli animali che vi abitino è quello di morire per disidratazione, a parte le forme (frequenti fra i mammiferi) che si sono riadattate secondariamente alla vita acquatica. Gli animali terrestri devono inserire i sali e i minerali essenziali con la dieta. Poiché le piante contengono poco sodio, gli erbivori hanno messo a punto adeguati sistemi di conservazione di tale elemento, e devono avere a disposizione fonti di approvvigionamento per integrare la loro dieta. Alcuni mammiferi erbivori percorrono spesso molti chilometri, per trovare depositi naturali di cloruro di sodio o per potersi abbeverare. Sul versante opposto, gli uccelli che si nutrono di pesci ossei marini devono trovare un modo per eliminare le grandi quantità di sodio in eccesso, ingerito con le prede. Specie come i gabbiani o i pinguini dispongono di organi specializzati, le cosiddette ghiandole del sale, che rilasciano il loro secreto nelle cavità nasali, secernendo una soluzione concentrata di cloruro di sodio. Il caratteristico comportamento di questi animali, che muovono la testa e sembrano starnutare, serve appunto ad eliminare le gocce della soluzione salina depositata nelle cavità nasali.

# CADF

## La Fabbrica dell'Acqua

## Capitolo 6

# Rapporto acqua-terreno Ciclo dell'acqua nel terreno



## 6.1 Ciclo dell'acqua nel terreno

L'acqua presente nel suolo è detta anche soluzione circolante e contiene, tra gli altri, gli elementi essenziali per la crescita vegetale.

Come abbiamo visto in precedenza il rifornimento di ioni a tale soluzione deriva da fenomeni di scambio tra l'acqua e la frazione solida del suolo. L'acqua nel suolo è dunque essenziale dal punto di vista ecologico, in quanto sopperisce al fabbisogno idrico dei vegetali e trasporta elementi nutritivi in soluzione. Essa è inoltre un fattore pedogenetico che interviene nei processi di alterazione, di umificazione, di mobilizzazione dei materiali, nel loro successivo trasporto e nella redistribuzione degli stessi entro il profilo.

La quantità d'acqua presente nel suolo è influenzata da numerosi fattori, tra i quali in primo luogo la quantità di precipitazioni. Una parte delle precipitazioni non entra nel suolo e viene allontanata per scorrimento sulla superficie (ruscellamento superficiale) e la sua entità dipende essenzialmente dalla topografia e dalla composizione granulometrica del suolo. La parte di acqua delle precipitazioni che entra nel profilo per infiltrazione si muove verticalmente (percolazione) con una velocità che diminuisce tanto più il suolo ha granulometria fine e bassa porosità (se il movimento verticale è impedito o se il suolo è in pendenza, l'acqua può anche muoversi in senso orizzontale). La percolazione può procedere in profondità e l'acqua raggiungere la falda, contribuendo all'alimentazione dei corsi d'acqua. Per contro, l'evaporazione dell'acqua nell'atmosfera provoca un lento movimento ascensionale e, se la vegetazione è abbondante, l'assorbimento delle radici sottrae acqua al suolo e la immette nell'atmosfera attraverso il processo di traspirazione.

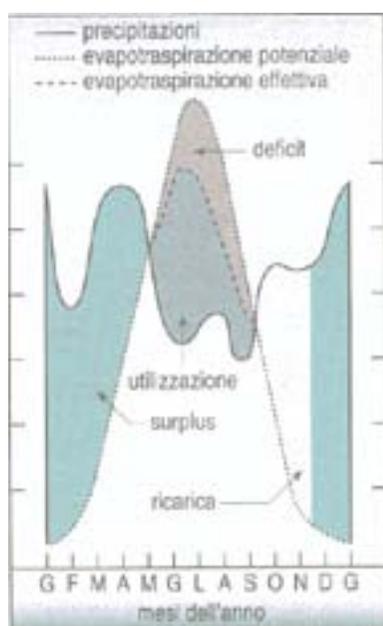
## 6.2. Stato energetico dell'acqua nel suolo

La ritenzione e il movimento dell'acqua nel suolo, il suo assorbimento da parte delle piante e la sua evaporazione nell'atmosfera sono fenomeni che comportano trasferimenti di energia. L'energia del sistema acqua-suolo può considerarsi come la risultante di due componenti: l'energia cinetica e l'energia potenziale. Data la lentezza con cui l'acqua si muove nel suolo, la componente cinetica può essere generalmente trascurata. L'energia potenziale varia da punto a punto nel suolo e varia inoltre, nello stesso punto, con il tempo: sono quindi questi cambiamenti che provocano il movimento dell'acqua attraverso il suolo. Infatti, il movimento è dovuto alla tendenza spontanea di tutte le sostanze, inclusa quindi l'acqua, a passare da uno stato energetico elevato a uno a minore energia. L'acqua perciò si muoverà facilmente da un suolo saturo d'acqua, ad alta energia potenziale, verso un suolo secco, a bassa energia.

L'energia potenziale dell'acqua è condizionata da tre tipi di forze. Benché le molecole d'acqua siano nel complesso elettricamente neutre, la loro carica è distribuita asimmetricamente e quindi le molecole sono polari. Per questa ragione esse sono attratte dalle cariche elettriche delle particelle del suolo e trattenute fortemente, costituendo uno strato che si chiama acqua di adesione. L'acqua di adesione ha il livello energetico più basso, si muove molto difficilmente e quindi non è utilizzabile dalle piante. All'esterno della sfera di adesione le molecole d'acqua sono legate tra loro a causa di forze di coesione e lo strato che esse formano si dice appunto acqua di coesione. Questo tipo di acqua può, invece, muoversi ed è generalmente disponibile per le piante. In un suolo non saturo l'adesione e la coesione sono i fenomeni responsabili della risalita dell'acqua per capillarità.

Allontanandosi ancora dal primo strato, le forze che legano le molecole d'acqua e le particelle diminuiscono sino a permettere il movimento dell'acqua a causa della gravità: questo tipo di acqua è detta appunto acqua gravitazionale. L'adesione, la coesione e la gravità sono dunque le forze che influiscono sullo stato energetico dell'acqua nel suolo, condizionandone il movimento e la disponibilità per le piante.

Il movimento dell'acqua nel suolo è dovuto, come si è detto, alla differenza di energia potenziale tra un punto e l'altro del suolo. In realtà, si prende come riferimento l'energia potenziale dell'acqua libera e si calcola la differenza tra questa e l'energia potenziale di un punto del suolo. Si ottiene quindi il potenziale totale dell'acqua del suolo, che è costituito dalla somma delle differenze dei potenziali relativi alle diverse forze che agiscono sull'acqua.



### 6.3 Il regime idrico del suolo

Il regime idrico indica i cambiamenti gradualmente nel contenuto d'acqua del suolo in relazione alle precipitazioni e all'evapotraspirazione (l'insieme dell'evaporazione dal suolo e della traspirazione delle piante). Ad esempio, un suolo che si trova in un clima temperato durante l'anno passa attraverso fasi caratteristiche: prima presenta un eccesso d'acqua che provoca lisciviazione, poi una mancanza d'acqua per l'evaporazione e la traspirazione delle piante, infine una fase di umidificazione. I primi mesi dell'anno sono caratterizzati da un eccesso, o surplus, d'acqua. Durante i mesi autunnali il suolo è stato portato alla capacità di campo e le piogge primaverili, che sono in eccesso rispetto alle perdite per evapotraspirazione, creano il surplus. Si tratta di acqua gravitazionale, che non viene trattenuta dal suolo e che produce lisciviazione. In estate l'evapotraspirazione è superiore alle precipitazioni, le piante utilizzano l'acqua immagazzinata e, se quest'ultima non è sufficiente, si produce un deficit. Il deficit idrico può manifestarsi come vera e propria siccità in anni in cui le precipitazioni sono scarse. Quando le precipitazioni tornano a essere superiori all'evaporazione il suolo si ricarica: la fase di ricarica è solitamente completata in autunno e ogni successiva precipitazione porta alla ricostituzione del surplus. Da quanto si è detto in precedenza è chiaro che l'ampiezza e la durata delle varie fasi varierà da suolo a suolo e dipenderà, oltre che dal clima, dalle caratteristiche di porosità del suolo stesso.

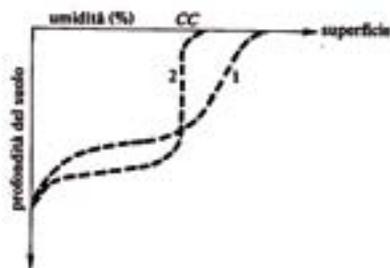
### 6.4 Caratteristiche del terreno in relazione all'acqua

#### 6.4.1 Il profilo idrico

>**Scheda 15** *Determinazione del profilo idrico*

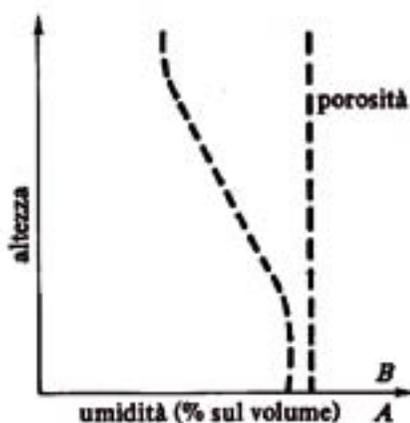
L'acqua si trova nel terreno sia allo stato liquido che sotto forma di vapore e ambedue le fasi possiedono una propria dinamica parzialmente indipendente da quella dell'altra.

La conducibilità idrica varia moltissimo con l'umidità e col tipo di terreno. Il movimento dell'acqua infatti è più rapido in terreno saturo che in terreno insaturo e la velocità decresce rapidamente col diminuire dell'umidità. Ciò è dovuto soprattutto al fatto che la massa porosa il prosciugamento comporta una diminuzione della sezione effettiva disponibile per il flusso. L'influenza dell'umidità non è la stessa con il variare della tessitura: il motivo è da ricercarsi nel rapporto variabile fra micro e macroporosità nei diversi tipi di terreno e nella diversa partecipazione dei due tipi di porosità al movimento idrico col variare dell'umidità: in terreno saturo il moto avviene prevalentemente nei macropori, ma questi tendono a perdere di importanza in relazione alle lavorazioni, che modificano la porosità, e alla copertura vegetale.



Se in un terreno relativamente asciutto arriva acqua di pioggia o irrigua, questa dovrebbe umettare in profondità con un fronte di umettamento analogo a quello della figura. Cessato l'apporto di acqua si dovrebbe avere una modificazione del profilo idrico che, in assenza di evaporazione e con terreno omogeneo dovrebbe tendere a prendere la forma della curva. In pratica però le cose non stanno esattamente così. Il terreno infatti non è mai perfettamente piano per cui l'acqua tende a localizzarsi più in certe zone che in altre; inoltre la distribuzione della pioggia o dell'acqua irrigua sul terreno, anche per l'intervento della stessa vegetazione sul terreno, non è mai uniforme per cui il fronte di umettamento non è mai regolare. Allorché l'apporto idrico è superiore alla permeabilità del terreno saturo, si ha ristagno e/o scorrimento superficiale. Con il termine "permeabilità" nel linguaggio pratico, si indica l'altezza dello strato di acqua assorbibile dalla superficie del terreno in un'ora. La conoscenza di questa caratteristica idrologica può essere utile sia per l'irrigazione che per la regimazione delle acque in eccesso. I terreni possono essere così classificati:

Permeabilità	Tempo
Molto permeabili	Oltre 40 mm/ora
Permeabili	Da 15 a 40 mm /ora
Mediamente permeabili	Da 4 a 15 mm/ora
Poco permeabili	Da 1 a 4 mm ora

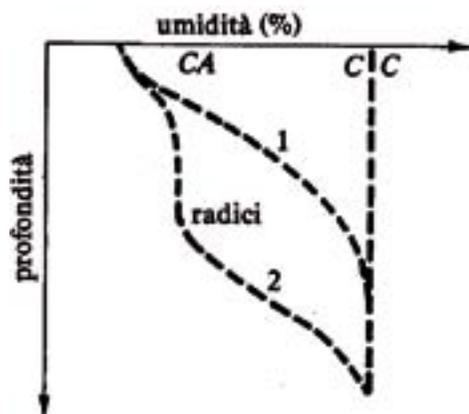


Il terreno può ricevere acqua anche per apporti sottosuperficiali. In presenza di una falda freatica, ad esempio, il suolo sovrastante si inumidisce per ascensione capillare ed il profilo assume la configurazione come riportato in figura.

Con terreni argillosi rigonfiabili, però, si possono avere anche profili idrici con umidità superiore in superficie.

Il fenomeno di ascensione capillare possiede interesse pratico per uno strato di terreno di 20-100 cm, con valori più alti nei terreni argillosi che in quelli sabbiosi. In questi ultimi tuttavia la portata è più elevata in vicinanza della falda e, inoltre, l'approfondimento delle radici avviene più facilmente; ciò giustifica il fatto che molti orti dei nostri litorali, posti su terreni sciolti, debbano la loro capacità produttiva alla presenza di una falda di acqua dolce alla quale possono attingere le colture.

Al di sotto della capacità di campo, il prosciugamento avviene, come è detto, per assorbimento da parte delle piante e per evaporazione. Il profilo idrico del terreno assume andamenti diversi a seconda che esso sia nudo o coperto da vegetazione e, in questo ultimo caso, a seconda della profondità degli apparati radicali. Prescindendo dall'azione di questi ultimi, l'essiccamento dello strato superficiale di terreno, in seguito ad evaporazione rapida non compensata dall'arrivo di sufficiente acqua liquida per ascensione capillare, può comportare una notevole riduzione del processo di essiccamento stesso. Per contro, le perdite di acqua per evaporazione sono molto elevate nei terreni bagnati frequentemente in superficie.



## 6.4.2 Peso specifico apparente reale e porosità

### >Scheda 16 La porosità del terreno

Il terreno è sede di una notevole circolazione d'acqua. Per mezzo di questi movimenti l'acqua può arrivare alla radice delle piante e provvedere alla loro alimentazione. Pure attraverso questi movimenti si ha il rifornimento delle falde freatiche ed artesiane, dalle quali si ricavano cospicue quantità di acqua, tanto utili sia per usi potabili sia per usi irrigui (pozzi, sorgenti, risorgive, ecc...).

In un mezzo permeabile, come può essere il terreno, l'acqua si muove tra le particelle del terreno che essendo estremamente fini, si raggruppano in grumi sotto l'azione dei colloidi cementanti. Trattasi in ogni modo, a meno che non si tratti di ghiaia, di meati molto piccoli.

È interessante conoscere la percentuale dei meati, (che impropriamente chiameremo vuoti) rispetto al totale. A questo proposito si può distinguere fra percentuale di una sezione trasversale e percentuale di volume.

Il rapporto, fatto in una sezione tra le aree dei vuoti e l'area complessiva è detto porosità e può variare tra sezione e sezione. Più comunemente si fa riferimento al rapporto tra volume dei vuoti e il volume complessivo che si chiama porosità di volume o semplicemente porosità.

La porosità, cioè il rapporto tra il volume dei vuoti e il volume totale, si può determinare pesando il terreno completamente imbevuto di acqua e poi completamente asciutto. La differenza tra il peso è quindi il volume dell'acqua.

La porosità varia dal 15% al 40% (per i terreni a coltura è compresa tra il 25% ed il 32 %).

Una classificazione molto utile della porosità è quella basata sulle dimensioni degli spazi vuoti si possono distinguere:

- La macroporosità, cioè il volume complessivo dei pori aventi diametro superiore a 8 cm. Nei macropori non si ha la ritenzione capillare dell'acqua, ma questa percola rapidamente in profondità sotto l'azione della forza di gravità. Nei macropori avviene quindi la circolazione dell'acqua e dell'aria presenti nel suolo e, dato che l'acqua vi permane per breve tempo, si fa corrispondere la macroporosità con la «capacità per l'aria» del terreno.
- La microporosità, cioè il volume complessivo dei pori aventi diametro inferiore a 8 cm. Nei micropori si verifica la ritenzione dell'acqua, anche contro la forza di gravità, grazie al fenomeno della capillarità. Per questo motivo si fa corrispondere la microporosità con la «capacità per l'acqua» del terreno.

Le condizioni ottimali sia per il terreno che per la vita delle piante si verificano quando vi è un equilibrio tra i macro e i micropori. L'equilibrio tra queste due forme di porosità riguarda in particolare i rapporti tra acqua, aria e terreno molto importanti per la vita delle piante.

Per una misura grossolana della macroporosità si prende un campione di terreno in un recipiente, si riempie completamente di acqua finché questa affiora (badando che non resti dell'aria racchiusa), poi si lascia scolare. Dopo qualche ora o qualche giorno a seconda del tipo di terreno) si misura il volume dell'acqua percolata. Il rapporto tra questo volume e quello del corpo è la macroporosità. Esso non tiene conto dell'acqua che riempie i piccolissimi interstizi tra particella e particella, non soggetta all'azione di gravità, ma solo di quella gravitazionale, che è quella che prende parte al movimento. Questa misura è resa grossolana per l'effetto della tensione superficiale. Misure più precise si ottengono mediante le membrane a pressione misurando la quantità d'acqua trattenuta con valori del potenziale capillare (pF) corrispondenti ai limiti delle varie frazioni di acqua.

### **6.4.3 La permeabilità**

#### **>Scheda 17** *La permeabilità del terreno*

Viene indicato con il termine «permeabilità», il comportamento che un mezzo poroso oppone al passaggio di un liquido: nel nostro caso, il mezzo poroso è il terreno, il liquido l'acqua.

La misura del grado di permeabilità dei terreni costituisce elemento di speciale interesse; essa riflette inoltre la struttura del terreno e le caratteristiche ad essa connesse.

In linea generale si osserva che la permeabilità è tanto più notevole quanto maggiore è la porosità del terreno; è perciò favorevolmente influenzata da quei fattori che esaltano la struttura soffice.

Parlando di permeabilità si distinguono una permeabilità massima ed una permeabilità specifica, la prima dovuta ad uno stato di macrostruttura. La permeabilità massima è la risultante di uno stato strutturale più o meno instabile e quindi tende a valori prossimi alla permeabilità specifica.

Sottoponendo a prove di filtrazione il terreno, per un certo numero di ore, in un primo momento, la capacità del terreno di essere permeato, riflette una macrostruttura, in seguito riflette la permeabilità specifica.

### **6.4.4 La capillarità**

#### **>Scheda 18** *Capillarità nel terreno*

L'acqua, oltre a permeare il terreno in senso verticale dall'alto al basso, si muove anche in senso inverso attraverso una fitta rete di tubi capillari risultanti dalla successione dei vuoti fra le minute particelle di terreno. Il cammino massimo, all'incirca 1- 2 metri, è in relazione al diametro dei costituenti del terreno; è minimo nelle ghiaie e nelle sabbie grossolane, maggiore per le sabbie fini, notevole nei casi di costituenti finissimi (argille). Ma assai più che l'altezza conseguibile con la risalita capillare ha importanza la velocità della risalita stessa: questa velocità è in genere ridotta, appena pochi cm per ora e diminuisce con l'altezza raggiunta.

Il contributo delle acque di risalita capillare è perciò assai ridotto ai fini alimentari delle piante, le quali, proprio nei periodi estivi di punta, esigono quantitativi straordinariamente notevoli di acqua.

### Tecnica della misura della risalita capillare

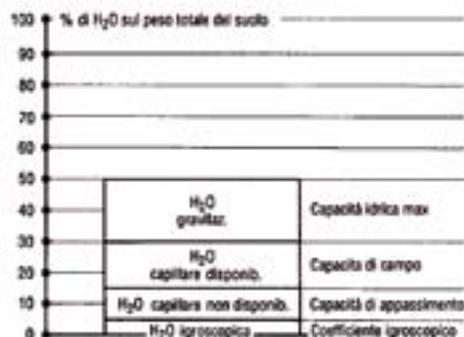
Per questo genere di misure si impiega sostanzialmente una serie di tubi (diametro circa mm 25, altezza 1 metro) graduati in cm, aperti alle due estremità.

Sul fondo del tubo viene collocato, all'inizio dell'esperienza, un disco di porcellana forato, destinato a funzionare da supporto del terreno introdotto nei tubi al momento opportuno.

Si può operare con terra fine ovvero con terra vagliata di determinato diametro (mm 0,5- 1).

Sistematicamente si fanno le letture delle ascensioni capillari per un ciclo di almeno un giorno, di frequenti nelle prime ore (ogni mezz'ora), più intervallate nelle ore successive.

I risultati si traducono, per una migliore interpretazione, in grafici (ordinata: risalita in cm; ascissa: tempo in ore). Le misure di risalita capillare hanno particolarmente interesse ai fini della valutazione della struttura del terreno.



### 6.4.5 La capacità di ritenuta idrica

>**Scheda 19** *La capacità di ritenuta idrica di un terreno*

Ai fini della valutazione di un terreno, tra le costanti di umidità, la capacità idrica massima (Saturazione completa) rappresenta la massima quantità di acqua che un terreno può contenere, quando tutti i suoi pori (sia i micropori che i macropori) sono saturi di umidità. La quota di acqua presente nei macropori, compresa tra la capacità di campo e la saturazione completa, si considera superflua in quanto percola rapidamente nel sottosuolo e quindi non viene di solito utilizzata dalle piante.

L'acqua è presente nel terreno in diverse forme, che si possono così classificare:

- Acqua igroscopica: è la quota di acqua che viene assorbita sotto forma di vapore dalle particelle solide del terreno.
- Acqua capillare: è la quota di acqua presente nei micropori del terreno all'interno dei quali viene trattenuta grazie alla tensione capillare.
- Acqua gravitazionale: è la quota di acqua presente nei macropori del terreno nei quali circola insieme all'aria.