

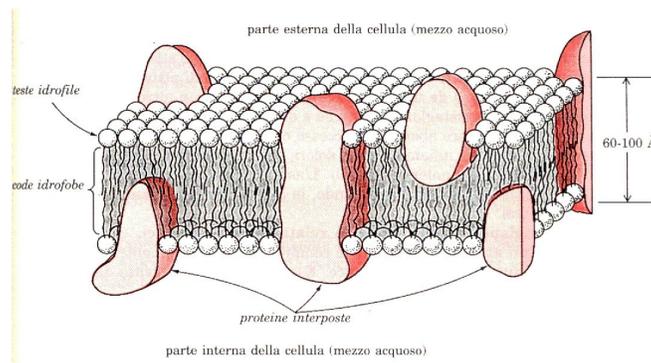
Funzione biologica dell'acqua



Si è già parlato del ruolo fondamentale svolto dall'acqua nell'origine delle prime forme di vita nel nostro pianeta. Ma questo composto, naturalmente, assolve a molte altre fondamentali funzioni sia nel mondo animale che in quello vegetale.

L'acqua, precedentemente già definita come solvente universale, è il componente principale del *citoplasma*, parte interna della cellula e sede dei processi metabolici. Inoltre risulta abbondantemente presente anche nei *vacuoli*, organuli con funzione di "riserva", particolarmente caratteristici ed importanti nelle cellule vegetali, alle quali conferiscono proprietà diverse da quelle animali (tra poco verranno accennate). L'assunzione di liquido da parte della cellula avviene attraverso il processo di *pinocitosi*: sulla superficie cellulare si solleva una specie di minuscolo cratere, del diametro di pochi decimillesimi di millimetro, i cui bordi si rinchiodono in modo da formare una invaginazione che ingloba una minuscola gocciolina di liquido che entra nel citoplasma. Al termine della pinocitosi, la superficie della cellula ritorna allo stato originario.

Il passaggio dentro e fuori la cellula di acqua, elementi nutritivi e di rifiuto, è disciplinato dalla *membrana cellulare* (o *plasmalemma*): questa è costituita da proteine associate ad un doppio strato di molecole di fosfolipidi aventi la parte idrofoba verso l'interno e la parte idrofila verso l'esterno. La parte idrocarburica della membrana (le lunghe "code" lipidiche) non permette il passaggio di acqua, ioni e molecole polari. Il trasporto delle sostanze può avvenire in *modo passivo* o in *modo attivo*. Tipologie di trasporto passivo sono: *diffusione*, *diffusione facilitata* (da alcune proteine della membrana) ed *osmosi*. Il trasporto attivo, che presuppone dispendio energetico in quanto realizza flussi non spontanei, avviene tramite l'ausilio di *carriers* (trasportatori) o di *pompe*.



Schematizzazione del plasmalemma

L'acqua (oltre all'azione di solvente) è il componente fondamentale di molti tessuti, fluidi fisiologici, importante reagente in reazioni d'idrolisi, veicolo di sostanze nutritive e di scarto, ecc. Anche molti microrganismi non potrebbero vivere senza la presenza di una benché minima quantità di umidità: si pensi, ad esempio, che un metodo molto usato per poter sottoporre a lunga conservazione certi alimenti consiste proprio nella *liofilizzazione* (letteralmente "eliminazione del solvente").

Di contro, però, occorre non dimenticare che l'acqua può anche essere un veleno: come diceva Paracelso, ogni sostanza è un veleno, è la dose che differenzia un tossico da una sostanza innocua.

Importanza dell'acqua per l'uomo.

L'acqua, come noto, è indispensabile alla vita dell'organismo umano, di cui rappresenta circa il 60 %: una persona del peso di 70 Kg è costituita di circa 42 Kg di acqua. L'acqua viene assunta dall'organismo attraverso l'abbigliamento e la nutrizione (per es. la carne di manzo contiene il 70 % d'acqua, il pane 36 %, frutta e verdura circa 85-90 %). L'eliminazione avviene attraverso la sudorazione, traspirazione, con l'aria espirata, le feci e soprattutto tramite l'urina (circa 1,5 l). Onde mantenere un corretto *bilancio idrico e salino*, è necessario bere in media 1,5-2 l di acqua al giorno, in funzione anche dei liquidi persi nello svolgere attività sportive o per la forte calura.

L'apparato urinario si occupa di mantenere, appunto, il corretto bilancio idrico e salino, oltre che a purificare il sangue e regolarne l'acidità e la pressione. Il sangue giunge ai reni attraverso l'arteria renale che si suddivide via via fino a formare una fitta trama di capillari che si raggruppano nei *glomeruli di Malpighi*; ogni glomerulo fa parte di un'unità filtrante chiamata *nefrone* (ne sono presenti circa un milione in ciascun rene). Nel glomerulo il sangue viene filtrato da un sistema di tubuli da dove viene in parte riassorbito, depurato, da capillari venosi che si raccolgono nella vena renale.

Nei tubuli viene trattenuta una parte del plasma sanguigno, dove si sono concentrate le sostanze da eliminare: questo liquido costituisce l'urina che, attraverso un tubulo collettore, si raccoglie nel bacinetto renale e da qui passa negli ureteri e alla vescica. Ogni giorno i glomeruli filtrano 170-180 litri di sangue producendo 1-1,5 l di urina.

Il plasma (90 % d'acqua), la linfa, il sudore e lo sperma sono noti esempi di fluidi fisiologici costituiti prevalentemente da acqua. *L'omeostasi termica* (regolazione dell'equilibrio termico) sfrutta la variazione del contenuto d'acqua (ad es. attraverso la produzione di sudore e la sua successiva evaporazione viene abbassata la temperatura dell'organismo).

Minerali essenziali presenti comunemente nelle acque potabili e loro principale funzione fisiologica

Minerale	Funzione
Sodio	Regolatore dell'equilibrio idrico. Importante per l'attività di nervi e muscoli.
Cloro	Regolatore dell'equilibrio idrico. Fondamentale per la formazione del succo gastrico.
Potassio	Regolatore dell'equilibrio idrico.
Magnesio	Attivatore di reazioni chimiche (es. sintesi delle proteine).
Calcio	Formazione delle ossa e dei denti, coagulazione del sangue, trasmissione nervosa, contrattilità muscolare.
Fluoro	Costituente indispensabile della struttura dello smalto dei denti.
Rame	Indispensabile per l'utilizzazione del ferro.

Tra i benefici principali di una corretta "idratazione" si possono ascrivere: una pelle elastica e luminosa, un beneficio per la digestione, migliore distribuzione dei nutrienti nei diversi distretti, il mantenimento di un livello ottimale della pressione sanguigna, "pulizia" del sangue, buona mobilità intestinale, benessere di organi quali fegato e reni, assenza di cellulite. In seguito a stati di disidratazione assoluta lungamente protratti possono insorgere blocco renale e arresto cardiocircolatorio con conseguente morte. D'altro canto, è clinicamente noto lo stato di avvelenamento causato da un'eccessiva assunzione di acqua (l'acqua distillata, che non è potabile, è molto più distruttiva!) che può portare perfino alla morte. Le ragioni appariranno più chiare in seguito, quando si parlerà di *osmosi*.

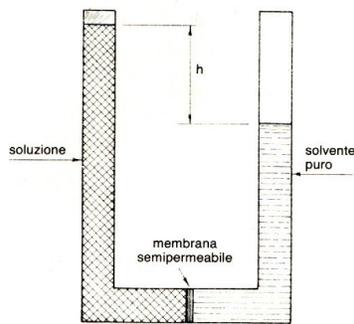
Osmosi, osmosi inversa ed implicazioni biologiche.

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.

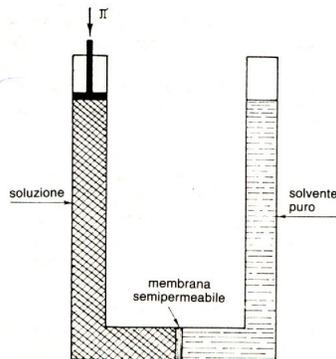
In questa condizione, accade che il numero di molecole di solvente che in conseguenza del loro caotico movimento, urtano contro la parete della membrana semipermeabile in contatto con il solvente puro, è maggiore del numero di molecole di solvente che urtano contro la parete della membrana in contatto 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 verifica se i due bracci del tubo sono 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 π). 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:

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

dove:

π = 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 NaCl 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 (Na^+ e Cl^- , $i = 2$) mentre nel secondo se ne origineranno ben cinque (2Fe^{3+} e 3SO_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

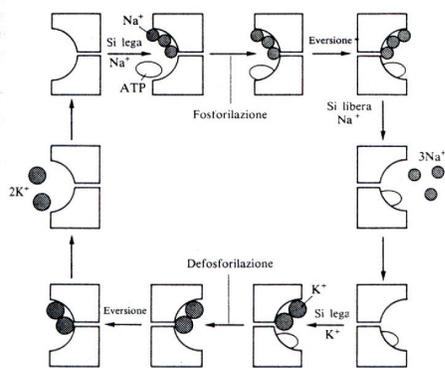
$$\pi = m \cdot R \cdot T .$$

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 (Na⁺) ogni due ioni potassio (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).

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 abitano 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.

L'acqua è di fondamentale importanza anche per i vegetali. Essi utilizzano questa sostanza nella fase luminosa della fotosintesi per produrre le loro riserve energetiche e plastiche. La stessa linfa elaborata e quella grezza contengono grandi quantità di acqua, così come la grande maggioranza dei tessuti.

Le cellule vegetali reagiscono in modo diverso da quelle animali nei riguardi di gradienti osmotici. Fondamentale in tal senso risulta il ruolo svolto dalla rigida parete cellulosica e del grosso vacuolo. In soluzioni ipotoniche il vacuolo si riempie di acqua, agendo come un vero e proprio "copertone" di una ruota d'automobile, ma la cellula non esplose in quanto, tale vacuolo, comprime la resistente parete cellulare che ne impedisce la rottura. In queste condizioni la pianta risulta ben idratata e si dice che le cellule assumono *turgore*; la *pressione di turgore* è la pressione esercitata dal vacuolo sulla parete, in

queste condizioni. Situazioni di ipertonicità prolungate, invece, provocano raggrinzimento delle cellule e ne causano la morte (plasmolisi) a seguito della distruzione del vacuolo, con fuoriuscita del suo contenuto. L'effetto macroscopico più evidente consiste nell'essiccamento dell'intera pianta.

L'equilibrio idrico-salino è regolato dall'apparato radicale e dai vacuoli, la cui membrana glicolipidica, chiamata *tonoplasto*, è deputata agli scambi osmotici. La relazione aritmetica che esprime la tendenza della cellula ad assorbire acqua (*tensione di assorbimento*) è la seguente:

$$T.A. = P.O. - P.T.$$

dove:

T.A. = tensione di assorbimento;

P.O. = pressione osmotica;

P.T. = press. di turgore.

Come è stato provato sperimentalmente e come risulta da questa relazione, quando la pressione osmotica è uguale alla pressione di turgore, la tensione di assorbimento è nulla, mentre, quando la pressione di turgore è inferiore alla pressione osmotica, vi è tensione di assorbimento.

La pianta è un sistema dinamico che non è normalmente in equilibrio con l'ambiente esterno. L'acqua, per esempio, si muove costantemente all'interno della pianta, dall'esterno verso l'interno e dall'interno verso l'esterno (traspirazione). Questi movimenti non possono essere rivelati da misure del contenuto in acqua, poiché la quantità d'acqua delle cellule e dei tessuti rimane essenzialmente costante in quanto le velocità di assorbimento e di perdita sono approssimativamente uguali. Per comprendere e predire la direzione e la velocità di questi movimenti devono essere conosciuti i livelli energetici dell'acqua nelle singole cellule e nell'ambiente in cui si trova la pianta. A tal proposito si ricorre al *potenziale idrico*.

Il *potenziale idrico* è lo stato energetico dell'acqua in un determinato sistema. Esso aumenta all'aumentare della pressione e della temperatura (considerati normalmente costanti) e diminuisce con l'aumentare della concentrazione di soluti o con l'aumento di fenomeni di adsorbimento. L'equazione fondamentale che lega il potenziale idrico Ψ al potenziale osmotico Ψ_{π} (sempre negativo per le soluzioni) e a quello di pressione (legato alla pressione di turgore) Ψ_p , è la seguente:

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_{\pi} .$$

La forza aspirante delle foglie è il fattore determinante l'assunzione di acqua dalle radici: essa può raggiungere anche il valore di 30 atm (quella radicale è di circa 2-5 atm) e si realizza grazie alla traspirazione, che richiama altra acqua.

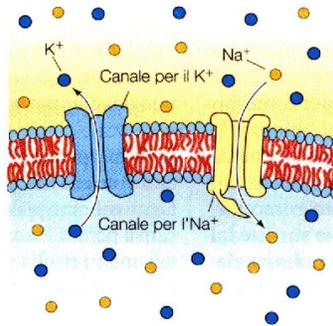
Secondo il loro habitat naturale, le piante si distinguono in: *idrofitiche* (immerse in acqua), *igrofitiche* (vivono in ambienti umidi, per es. paludi, acquitrini, stillicidi, ecc.), *mesofitiche* (vivono in ambienti equilibrati, come ad es. la nostra vegetazione mediterranea), *xerofitiche* (vivono in ambienti carenti d'acqua) ed *alofitiche* (in ambienti molto salini).

Diffusione.

La diffusione è un processo spontaneo che porta allo spostamento netto delle molecole di una sostanza da una certa zona ad una adiacente dove quella sostanza ha una concentrazione minore. Questo fenomeno avviene sia in fase liquida che in fase gassosa ed è determinato dal movimento caotico a casuale delle particelle implicate. Il movimento netto causato dalla diffusione è un fenomeno statistico: la probabilità che una molecola (o ione) si muova dalla zona dove è più concentrata a quella dove è più diluita risulta maggiore che viceversa. Se è isolata da influenze esterne, la diffusione tenderà a livellare ogni differenza di concentrazione originariamente presente.

Esempi di diffusione sono l'espansione delle molecole di un deodorante in tutta una stanza chiusa, il progressivo colorarsi in blu dell'acqua quando vi si aggiunge qualche cristallo di solfato rameico, e così via. Questo fenomeno chimico-fisico ha anche importanti risvolti biologici: è il principale meccanismo per il quale la CO₂ dell'aria raggiunge le vescicole tilacoidali nel cloroplasto, per il quale l'ossigeno riesce a pervenire negli alveoli polmonari, per il quale i farmaci si distribuiscono nel circolo linfo-ematico, rappresenta una modalità di trasporto intermembrana, ecc.

Parlando della membrana cellulare, è stato già detto che la diffusione è uno dei metodi di trasporto intermembrana. Il passaggio degli ioni in soluzione avviene grazie ai *canali per gli ioni*, strutture molecolari cilindriche che attraversano il duplice strato lipidico e che contengono un ambiente acquoso nel loro lume, formando un "poro" che può essere attraversato dagli ioni. Si tratta di canali selettivi per un determinato tipo di ione (K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻) in grado di consentirne o impedirne il passaggio, modificando -a seconda delle condizioni- la propria forma. Per questo si dice che tali canali presentano un *accesso regolato*.



Canali per gli ioni Na⁺ e K⁺

La *legge di Fick* esprime quantitativamente il concetto di diffusione:

$$Q/t = - D \cdot A \cdot (C_2 - C_1) / x .$$

Q/t rappresenta la quantità di sostanza che diffonde nel tempo t attraverso una certa area (flusso, misurato in $\text{mol} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$), D è il coefficiente di diffusione (misurato in cm^2/s , è una costante a T e P costanti e dipende dalla natura di soluto e solvente), A rappresenta l'area attraverso la quale si verifica il flusso (cm^2) e $(C_2 - C_1)/x$ è il gradiente di concentrazione lungo l'ordinata x perpendicolare all'area A . Il segno negativo indica che il gradiente di concentrazione ha tendenza a diminuire.

Corollari della legge di Fick sono le relazioni

$$D = x^2/2t \text{ e } D = 1/2 \lambda \cdot c ,$$

dove λ è il cammino libero medio (spazio che intercorre prima di un urto contro un'altra particella o contro qualsiasi altro) e c la velocità media delle particelle coinvolte.