

## I legami chimici e la chimica dell'acqua

Grazie alle scoperte di scienziati come Thomson e Rutherford, si può formulare una descrizione coerente della struttura interna dell'atomo. Tuttavia, si sa che anche molti elementi, in natura, sono presenti sotto forma di *molecole* diatomiche o poliatomiche e che sostanze come il sale da cucina sono *composti ionici*. Ciò che permette agli atomi di legarsi tra di loro o a ioni di segno opposto (cationi e anioni) di attrarsi reciprocamente e formare una struttura sono i *legami chimici*.

Bisogna innanzitutto dire che gli elettroni con maggiore energia si trovano più lontano dal nucleo (occupano un *livello di energia* o *orbita* più esterno), quelli con minore energia si trovano più vicini al nucleo (occupano un *livello di energia* o *orbita* più interno). È anche vero che quando un atomo ha un secondo livello di energia, significa che il primo livello di energia deve essere riempito. Ogni livello energetico può contenere numeri diversi di elettroni:

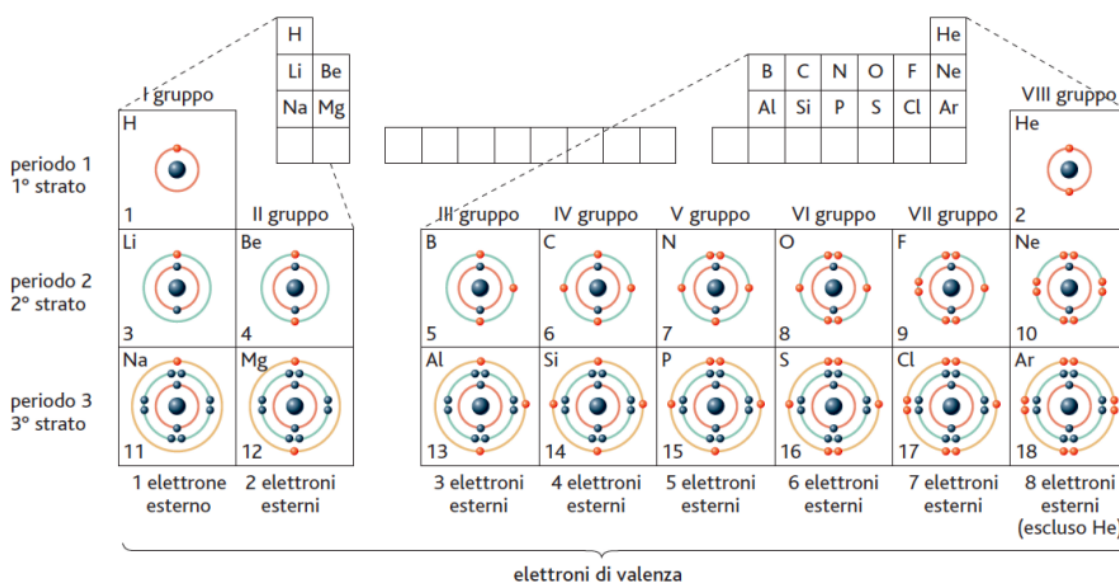
- il primo livello energetico può contenere fino a due elettroni;
- il secondo e il terzo livello energetico possono contenere fino a otto elettroni;

E così via; ogni elemento può avere atomi con particolari disposizioni elettroniche in funzione del loro numero atomico  $Z$ .

Siccome certi atomi possono avere configurazioni atomiche molto complesse, generalmente ne viene rappresentato solo lo *strato di valenza*. Lo strato di valenza è il livello energetico più esterno della configurazione energetica di un atomo, è quello interessato nella formazione di legami chimici e gli atomi in esso contenuti prendono il nome di *elettroni di valenza* o *elettroni di legame*. Tuttavia, non è necessario rappresentare ogni volta un atomo per individuare il suo numero di elettroni di valenza o il suo numero di livelli energetici, infatti esiste una relazione tra la posizione di un elemento nella tavola periodica e queste due informazioni:

- un atomo neutro di un elemento che si trova nel gruppo (o colonna)  $x$ , ha  $x$  elettroni di valenza
- un atomo neutro di un elemento che si trova nel periodo (o riga)  $y$ , ha  $y$  livelli energetici,

come si può notare dal seguente schema.



Fa eccezione solo l'elio, che pur trovandosi nell'VIII gruppo ha solo due elettroni di valenza; tuttavia, come gli altri elementi dell'VIII gruppo ha lo strato di valenza completo, in quanto la prima orbita può contenere solo due elettroni.

Si sa anche che i gas nobili sono i meno reattivi tra tutti gli elementi della tavola periodica; si nota inoltre che si trovano tutti quanti nell'VIII gruppo e quindi hanno lo strato di valenza completo. Sulla base di queste osservazioni nel 1916 Gilbert Lewis formulò la regola dell'ottetto, secondo la quale un atomo è particolarmente stabile quando ha l'ottetto completo, cioè lo strato di valenza riempito con otto (o due, nel caso dell'elio) elettroni e che gli atomi più instabili tendono a formare l'ottetto quando formano dei legami chimici.

Il tipo di legame viene stabilito dalla differenza di elettronegatività tra i due atomi interessati. L'elettronegatività ( $\chi$ ) è il valore numerico puro che indica la capacità di quell'elemento di attrarre altri elettroni; generalmente, questo valore cresce lungo il periodo e decresce lungo il gruppo, come si può notare dalla seguente tabella:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Periodo</b> (orizzontale)																		
<b>1</b>	H 2,20																	He
<b>2</b>	Li 0,98	Be 1,57											B 2,04	C 2,55	N 3,04	O 3,44	F 3,98	Ne
<b>3</b>	Na 0,93	Mg 1,31											Al 1,61	Si 1,90	P 2,19	S 2,58	Cl 3,16	Ar
<b>4</b>	K 0,82	Ca 1,00	Sc 1,36	Ti 1,54	V 1,63	Cr 1,66	Mn 1,55	Fe 1,83	Co 1,88	Ni 1,91	Cu 1,90	Zn 1,65	Ga 1,81	Ge 2,01	As 2,18	Se 2,55	Br 2,96	Kr 3,00
<b>5</b>	Rb 0,82	Sr 0,95	Y 1,22	Zr 1,33	Nb 1,60	Mo 2,16	Tc 1,90	Ru 2,20	Rh 2,28	Pd 2,20	Ag 1,93	Cd 1,69	In 1,78	Sn 1,80	Sb 2,05	Te 2,10	I 2,66	Xe 2,60
<b>6</b>	Cs 0,79	Ba 0,89	*	Hf 1,30	Ta 1,50	W 2,36	Re 1,90	Os 2,20	Ir 2,20	Pt 2,28	Au 2,54	Hg 2,00	Tl 2,04	Pb 2,33	Bi 2,02	Po 2,00	At 2,20	Rn
<b>7</b>	Fr 0,70	Ra 0,90	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
<b>Lantanoidi</b>	*	La 1,10	Ce 1,12	Pr 1,13	Nd 1,14	Pm	Sm 1,17	Eu	Gd 1,20	Tb	Dy 1,22	Ho 1,23	Er 1,24	Tm 1,25	Yb	Lu 1,27		
<b>Attinoidi</b>	**	Ac 1,10	Th 1,30	Pa 1,50	U 1,38	Np 1,36	Pu 1,28	Am 1,30	Cm 1,30	Bk 1,30	Cf 1,30	Es 1,30	Fm 1,30	Md 1,30	No 1,30	Lr		
(giallo = elemento poco elettronegativo, rosso = elemento molto elettronegativo)																		

Si nota inoltre che i tre elementi con l'elettronegatività maggiore sono azoto, ossigeno e fluoro (si ricordano dalla sigla FON) e l'elemento con l'elettronegatività minore è il francio (Fr).

Chiamando la differenza tra l'elettronegatività di due elementi  $\Delta_e$  si dice che:

- se  $\Delta_e \leq 0,4$  si forma un *legame covalente puro*, poiché gli atomi hanno poca forza attrattiva reciproca e quindi condividono gli elettroni in modo equo; in base al numero di coppie di elettroni messe in condivisione, tale legame può essere semplice, doppio o triplo

- se  $0,4 < \Delta_e < 1,9$  (in alcuni casi è sufficiente che sia 1,7) si forma un *legame covalente polare*, poiché la forza è tale che gli elementi condividono gli elettroni, ma in modo sbilanciato, e si formano all'interno della molecola un *polo positivo* e un *polo negativo*
- se  $\Delta_e \geq 1,9$  si forma un *legame ionico*, poiché la forza di uno dei due atomi è tanta che un elettrone del secondo atomo si trasferisce nel primo, aggiungendosi al suo strato di valenza. In questo caso i due atomi, che sono diventati ora rispettivamente un anione e un catione, sono legati da una forza elettrostatica

Esempi:

- ossigeno + litio

L'ossigeno (O) ha numero atomico pari a 8, e ha quindi 8 protoni nel nucleo e, se è neutro, 8 elettroni; nella tavola periodica si trova nel sesto gruppo e nel secondo periodo; quindi, ha sei elettroni di valenza e due livelli energetici; la sua  $\chi$  è pari a 3,44.

Il litio (Li) ha un numero atomico pari a 3, e ha quindi 3 protoni nel nucleo e, se è neutro, 3 elettroni; nella tavola periodica si trova nel primo gruppo e nel secondo periodo, infatti ha un elettrone di valenza e due livelli energetici; la sua  $\chi$  è pari a 0,98.

$$\Delta_e = 3,44 - 0,98 = 2,46$$

Siccome  $2,46 > 1,9$ , i due atomi formano un legame ionico. L'ossigeno ha elettronegatività maggiore, quindi acquista l'unico elettrone di valenza dell'atomo di Li, ma siccome ha solo 6 elettroni di legame, ha bisogno di acquistarne due per raggiungere l'ottetto. Per formare un composto, quindi, si lega a due atomi di litio: in questo modo l'ossigeno raggiunge l'ottetto completo, e gli atomi di litio, perdendo il loro strato di valenza, rimangono con il primo livello energetico, riempito di due elettroni e quindi completo. Così facendo gli atomi risultano legati da una forza elettrostatica e hanno raggiunto tutta la stabilità.

- idrogeno + idrogeno

L'idrogeno (H) ha un numero atomico pari a 1, e ha quindi 1 protone nel nucleo e, se è neutro, 1 elettrone; nella tavola periodica si trova nel primo gruppo e nel primo periodo, infatti ha un elettrone di valenza e un livello energetico; la sua  $\chi$  è pari a 2,20

$$\Delta_e = 2,20 - 2,20 = 0$$

Siccome  $0 < 0,4$ , i due atomi formano un legame covalente puro semplice. Mettendo in condivisione il loro unico elettrone di valenza, infatti, i due atomi raggiungono la stabilità, perché il loro livello energetico esterno, che può contenere fino a due elettroni, è completo. È *inoltre evidente*

che tutte le molecole diatomiche formano un legame covalente puro, perché il loro  $\Delta_e$  sarà sempre uguale a 0.

- sodio + cloro

Il sodio (Na) ha numero atomico  $Z$  pari a 11, e ha quindi 11 protoni nel nucleo e, se è neutro, 11 elettroni; nella tavola periodica appartiene al primo gruppo e al terzo periodo, quindi ha un elettrone di valenza e tre livelli energetici; la sua  $\chi$  è pari a 0,93.

Il cloro (Cl) ha un numero atomico pari a 17, e ha quindi 17 protoni nel nucleo e, se è neutro, 17 elettroni; nella tavola periodica appartiene al settimo gruppo e al terzo periodo, quindi ha sette elettroni di valenza e tre livelli energetici; la sua  $\chi$  è pari a 3,16.

$$\Delta_e = 3,16 - 0,93 = 2,23$$

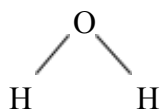
Siccome  $2,23 > 1,9$ , i due atomi formano un legame ionico. Il calcio, che ha elettronegatività maggiore, acquista l'unico elettrone di valenza del sodio; in questo modo, il sodio perde un elettrone e, rimanendo con il livello energetico precedente, raggiunge l'ottetto, mentre il calcio completa i suoi sette elettroni con quello acquistato dal sodio.

Sicuramente il più particolare tra i legami chimici è il legame covalente polare, che caratterizza la molecola dell'acqua ( $H_2O$ ).

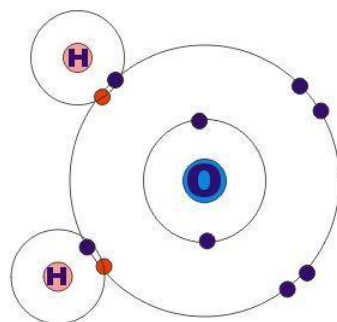
È noto che l'acqua è una delle sostanze fondamentali che caratterizza il nostro pianeta rispetto agli altri finora conosciuti: è spesso identificato come *solvente universale*, perché è la sostanza che tra tutte può sciogliere più sostanze diverse; è una componente fondamentale della materia organica e quindi anche del corpo umano; ha un suo ciclo biogeochimico.

Si analizzi la costituzione della molecola di acqua:

$H_2O$  è una molecola costituita da due atomi di idrogeno e un atomo di ossigeno, così rappresentabile:



con un angolo di  $104,5^\circ$ . Il  $\Delta_e$  tra ossigeno e idrogeno è 1,24, valore che rientra nell'intervallo  $0,4 < \Delta_e < 1,9$ ; questi atomi formeranno quindi tra di loro un legame covalente polare. Ciò significa che l'ossigeno, avendo maggiore elettronegatività, attira gli elettroni di valenza dei due atomi di idrogeno utili per raggiungere l'ottetto, ma non riesce a strapparli. In questo modo tutti e tre gli atomi hanno raggiunto la stabilità, ma allo stesso tempo gli elettroni dell'idrogeno sono più vicini all'atomo di ossigeno, creando un polo negativo ( $\delta^-$ ) che è rafforzato dai quattro elettroni di valenza dell'idrogeno non coinvolti nel legame, e gli atomi di idrogeno creano invece un nucleo positivo ( $\delta^+$ ).

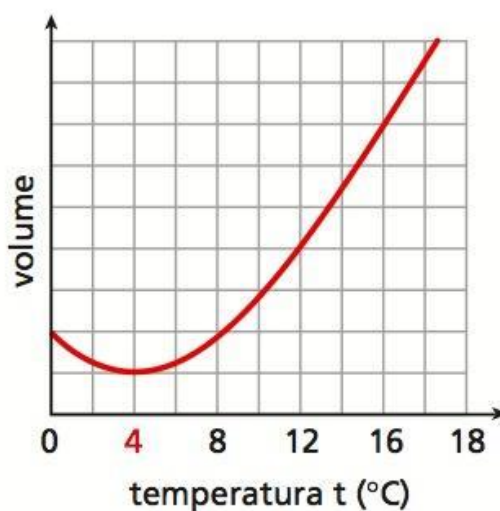


Conoscere la polarità dell'acqua permette di comprendere meglio altri fenomeni:

- la solubilità. Infatti il legame polare non riguarda solamente idrogeno e ossigeno, ma anche tanti altri atomi che si combinano tra di loro; le sostanze di questo tipo, come l'alcol, vengono dette *polari*, mentre sostanze prive di polarità vengono dette *apolari*: solo le sostanze con la stessa polarità possono sciogliersi a vicenda (cioè creare delle soluzioni, dei miscugli omogenei): questo è il motivo per cui acqua e olio non possono formare una soluzione.
- i legami a idrogeno. I poli positivi e negativi, come è chiaro, esercitando delle forze elettrostatiche di attrazione reciproca, formano dei legami che uniscono non atomi diversi, ma molecole diverse. Questi legami intermolecolari, che si indicano con una linea tratteggiata, hanno un comportamento molto variabile: allo stato gassoso, sono completamente assenti; allo stato liquido, si formano e si spezzano ininterrottamente; allo stato solido, creano una struttura tridimensionale basata sull'esagono che prende il nome di *reticolo cristallino*, che occupa anche un volume molto maggiore.

Con i legami a idrogeno possono essere spiegate diverse proprietà fisiche dell'acqua:

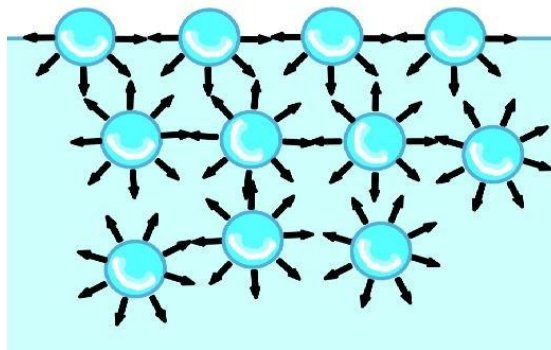
- il ghiaccio è più voluminoso dell'acqua, e dunque, a parità di massa, più denso. Ecco il grafico che mostra il volume dell'acqua in funzione della temperatura:



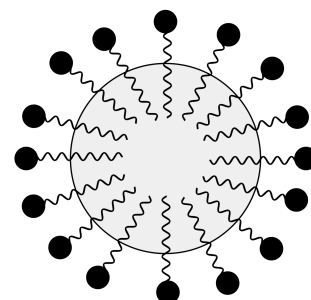
Infatti, come tutte le sostanze, al diminuire della temperatura le molecole di acqua si contraggono e il volume diminuisce; tuttavia, attorno ai 4°C inizia a formarsi il reticolo

cristallino dei legami a idrogeno, provocando un aumento del volume e una diminuzione della densità.

- il calore specifico. Tra tutte le sostanze, l'acqua è una di quelle che rimane allora stato liquido in un intervallo di temperatura più grande: da 0°C a 100°C. Infatti prima che tutti i legami a idrogeno vengano spezzati è necessario una temperatura estremamente grande. In particolare, il calore specifico dell'acqua è di 4,18 (ovvero sono necessari 4,18 kJ, ovvero una kilocaloria, perché un chilogrammo di acqua aumenti la sua temperatura di un grado Kelvin). Questo spiega la grande stabilità termica degli organismi viventi, dell'effetto mitigatorio dei bacini idrici sul clima e della continua disponibilità di acqua allo stato liquido. Infatti i grandi bacini, al massimo, *evaporano*, cioè passa allo stato gassoso solo la zona superficiale del bacino stesso; in natura non sono sottoposti a temperature tali da *ebollire*, ovvero quello che succede all'acqua in una pentola sul gas.
- la tensione superficiale. Come si vede dalla figura, in una massa d'acqua le molecole interne sono legate dalle forze di coesione alle altre molecole in ogni direzione; quelle superficiali sono invece attratti solo verso l'interno e verso gli altri atomi superficiali. Questo perché il liquido tende ad assumere la forma sferica, che è quella che gli permette di occupare la minore superficie. Dunque si può pensare alle molecole di superficie come a una pellicola, che limita il volume del corpo liquido, comprimendolo verso l'interno.



A rompere la tensione superficiale sono la temperatura e i tensioattivi (i saponi). Queste molecole sono composte da una "coda" di carbonio e idrogeno apolare e quindi idrofoba, cioè che non si lega all'acqua ma ai grassi, e una "testa" di ossigeno polare e quindi idrofila, cioè che si lega all'acqua. I tensioattivi "attaccano" le molecole di grasso organizzandosi in micelle, strutture con le code rivolte verso l'interno, verso la molecola, a cui si attaccano, e le teste rivolte verso l'esterno, che si legano all'acqua e che permettono che con il risciacquo le molecole vengano rimosse. Tramite i tensioattivi, quindi, la tensione superficiale viene ridotta, perché le molecole si legano alle teste idrofile, e le goccioline oleose, che costituiscono lo "sporco", rimangono legate all'acqua; per lo stesso motivo anche l'aria viene incorporata, dando origine alla schiuma.



- capillarità. I capillari umani e i vasi che trasportano la linfa nelle piante si basano sul principio di capillarità, cioè sul fenomeno per il quale un liquido, nel caso specifico l'acqua, risale in un tubo di diametro particolarmente piccolo. In particolare, minore è il diametro del tubo, maggiore è la risalita del liquido. Questo fenomeno è dovuto all'interazione tra le forze di coesione dei legami a idrogeno e le forze di adesione dell'acqua alla superficie del tubo. Le molecole esterne sono sottoposte maggiormente alla forza di adesione al tubo; quelle interne sono sottoposte maggiormente alle forze di coesione. Per questo minore è il diametro, maggiori sono le molecole in contatto con il tubo, maggiore è la risalita e si forma un menisco concavo (perché le molecole esterne risalgono maggiormente). Altri liquidi, come il mercurio (Hg), non sono capillari e formano per la tensione superficiale un menisco convesso.

