

■ L'origine dell'acqua sulla Terra

L'acqua è una sostanza indispensabile per la vita sul nostro pianeta e gli studiosi si sono da tempo interrogati su quale sia la sua origine.

Oggi, grazie allo studio delle meteoriti e degli isotopi dell'idrogeno presenti nelle molecole d'acqua, si ritiene che essa sia arrivata sulla Terra durante la sua formazione.

La nascita dei pianeti avviene contemporaneamente a quella delle stelle. Intorno alle stelle in formazione è presente un disco di gas, costituito essenzialmente da idrogeno (H_2) ed elio (He). All'interno del disco, sono presenti anche gli altri elementi chimici e si sono già formati alcuni composti, il cui stato di aggregazione (aeriforme, liquido, solido) dipende dalle loro temperature di evaporazione, di fusione e di solidificazione e dalle condizioni di temperatura e pressione nel disco.

Le sostanze che all'interno del disco di gas si trovano allo stato solido formano dei grani di polvere. Unendosi tra loro grazie alle forze di attrazione elettrostatica e alla forza di gravità, le polveri si accrescono fino a formare dei corpi, detti **planetesimi**, le cui dimensioni possono raggiungere un diametro di centinaia di chilometri.

Dato che la temperatura nel disco non è costante, ma diminuisce allontanandosi dalla stella centrale, i planetesimi che si formano vicino alla stella sono costituiti da sostanze che possono condensare già a temperatura elevata (dette sostanze refrattarie, come ad esempio Zr, Al, Ti, Ca, Si e i silicati di magnesio Mg_2SiO_4 , $MgSiO_2$).

I planetesimi che si formano lontano dalla stella centrale contengono invece anche sostanze *volatili*, che solidificano solo a bassa temperatura. Tra queste, la più importante è l'acqua che, alla pressione alla quale si trova il gas che forma il disco, condensa in ghiaccio a una temperatura inferiore ai 200 K.

I planetesimi, a seguito di continue collisioni, si aggregano in corpi di dimensioni maggiori, fino a dare origine ai pianeti. Al momento della formazione del nostro pianeta, la temperatura del disco di gas, a una distanza di circa 150 milioni di chilometri dal Sole (cioè la distanza a cui si trova la Terra), era troppo elevata per permettere la condensazione dell'acqua. I planetesimi che hanno dato origine alla Terra dovevano, quindi, essere formati da composti refrattari e non contenere acqua.

Vista la distribuzione dell'acqua nel Sistema solare, si pensava che quella presente sulla Terra fosse stata portata da comete entrate in collisione con il nostro pianeta. Studi recenti sulla composizione isotopica dell'acqua hanno messo in discussione questa ipotesi, suggerendo che l'acqua provenga dagli asteroidi della cintura esterna.

■ La molecola d'acqua e il legame a idrogeno

L'acqua è una sostanza indispensabile per tutte le forme di vita: il nostro corpo, come quello degli altri animali e dei vegetali, è costituito in gran parte proprio da acqua. Inoltre numerosi organismi vivono in ambienti acquatici: nei mari e nelle acque dolci.

In ogni molecola d'acqua sono presenti due atomi di idrogeno e un atomo di ossigeno. Ciascuno dei due atomi di idrogeno è legato a quello di ossigeno tramite un **legame covalente**.

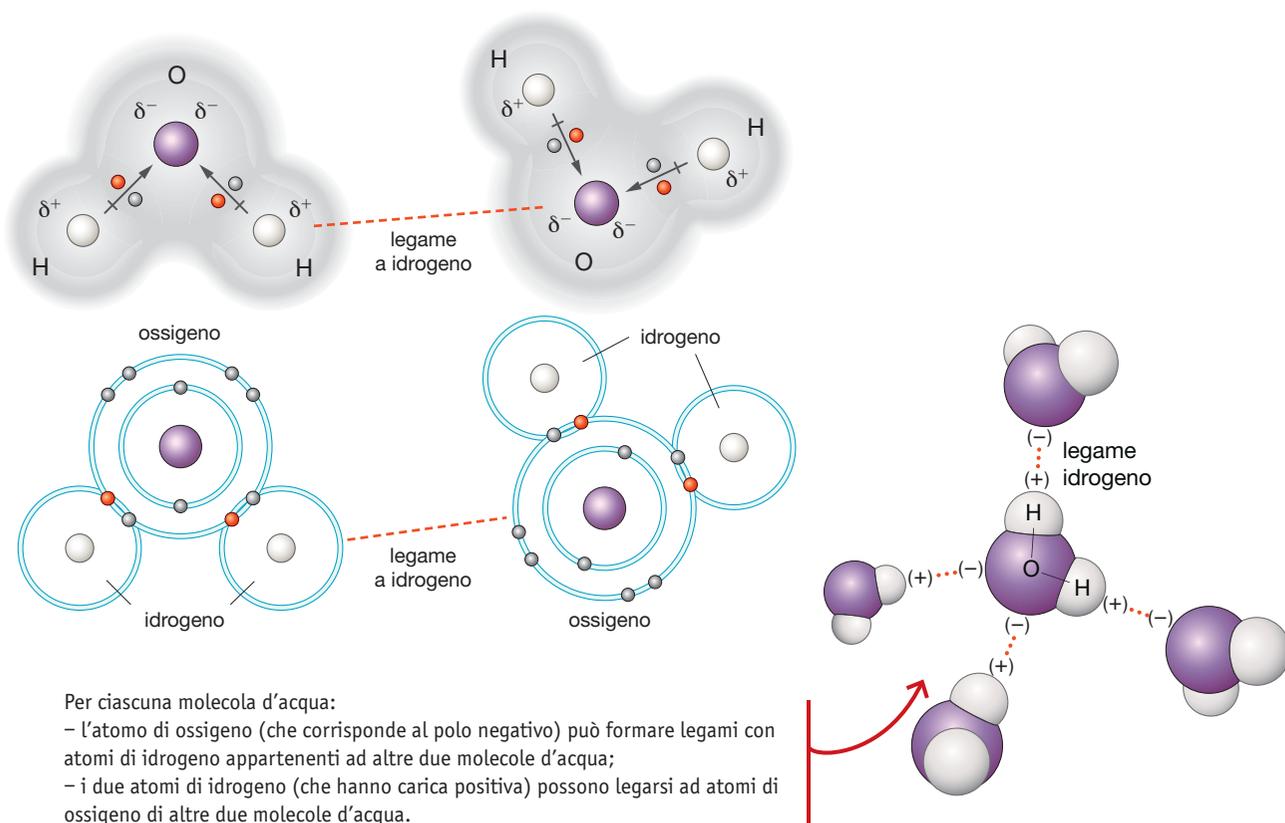
Il nucleo dell'ossigeno, che contiene 8 protoni, attira maggiormente gli elettroni di legame di quanto non facciano i nuclei di idrogeno, che hanno un solo protone ciascuno (ricorda il numero atomico dell'idrogeno $Z = 1$). Per questa ragione i legami covalenti presenti nella molecola d'acqua sono detti **polari**.

All'interno di una molecola d'acqua si verifica una distribuzione ineguale delle cariche elettriche e l'intera molecola d'acqua presenta quindi una *polarità*.

Quando una molecola è formata da due soli atomi, non ci sono dubbi sulla sua forma: i due atomi si dispongono nello spazio uno accanto all'altro, lungo una linea retta. Le molecole formate da tre o più atomi possono avere forme complesse. Nella molecola d'acqua, ad esempio, i due atomi di idrogeno non sono disposti in linea retta a 180° uno dall'altro (con in mezzo l'atomo di ossigeno), ma formano con l'atomo di ossigeno un angolo di circa 105° . La molecola d'acqua, quindi, non è lineare, ma angolare.

Per comprendere perché le molecole d'acqua non hanno una forma lineare bisogna ricordare che le cariche elettriche dello stesso segno tendono a respingersi.

La formazione di un angolo tra gli atomi di idrogeno e quello di ossigeno consente agli elettroni di legame e a quelli che si trovano nel livello energetico più esterno dell'ossigeno di porsi alla massima distanza reciproca.



Quando due molecole d'acqua si avvicinano, tra le loro regioni che possiedono carica opposta si manifesta una debole forza elettrostatica: tra la parte negativa di una molecola d'acqua (che corrisponde all'atomo di ossigeno) e la parte positiva di un'altra molecola (in corrispondenza dei due atomi di idrogeno), si forma un **legame a idrogeno**.

I legami a idrogeno sono legami intermolecolari e pertanto sono più deboli dei legami di tipo covalente o ionico. Tuttavia, presi nel loro insieme, i legami a idrogeno hanno una forza notevole.

Le proprietà dell'acqua

L'acqua è dotata di proprietà fisiche e chimiche particolari che sono conseguenza dell'esistenza dei legami a idrogeno tra le molecole. Queste proprietà rendono l'acqua un composto unico sulla Terra e indispensabile per la vita.

Nell'acqua liquida i legami a idrogeno durano pochi miliardesimi di secondo, ma fanno sì che in ogni momento la maggior parte delle molecole d'acqua sia legata una all'altra. Questa tendenza delle molecole di acqua a rimanere unite tra loro è detta **coesione**. Una forza correlata alla coesione è la *tensione superficiale*, il fenomeno per cui sembra che sulla superficie dell'acqua sia presente una specie di «pellicola» trasparente ed elastica.

Le molecole d'acqua, inoltre, a causa delle loro parziali cariche positive e negative, sono in grado di attrarre fortemente le molecole polari e le superfici dotate di carica elettrica. Questa attrazione tra molecole di acqua e di sostanze diverse è detta **adesione**. È a causa dell'adesione che l'acqua aderisce agli oggetti, bagnandoli.

L'acqua dà luogo anche al fenomeno della **capillarità**: è in grado infatti di muoversi in spazi piccolissimi e risalire lungo tubi sottili. Questa proprietà è il risultato delle interazioni che si stabiliscono tra le molecole d'acqua e tra queste ultime e le molecole delle diverse sostanze con cui vengono a contatto. Grazie alla capillarità le piante assorbono l'acqua con le radici e la trasferiscono a tutte le parti del fusto e delle foglie.

Il **calore specifico** è la quantità di calore che bisogna fornire a un grammo di una sostanza per innalzare la sua temperatura di un grado Celsius. L'acqua è una delle sostanze in cui questo valore è più elevato: il calore specifico dell'acqua è circa il doppio di quello dell'alcol, è il quadruplo di quello dell'aria e 10 volte quello del ferro.

L'elevato calore specifico dell'acqua determina la sua «resistenza» ai cambiamenti di temperatura: questa caratteristica contribuisce a mantenere costante la temperatura interna degli organismi viventi.

La **densità** (il rapporto tra massa e volume) dell'acqua aumenta al diminuire della temperatura fino a circa 4 °C. Al di sotto di tale temperatura la densità dell'acqua diminuisce, al contrario di quanto accade in genere nei liquidi.

L'acqua si comporta così per via della forma tridimensionale delle sue molecole. A 0 °C (punto di solidificazione dell'acqua) le molecole d'acqua per formare 4 legami a idrogeno con altrettante molecole sono costrette ad allontanarsi. Quindi nel ghiaccio le molecole sono più distanti tra loro di quanto non lo siano nell'acqua liquida e, a parità di massa, il volume dell'acqua allo stato solido è maggiore.

Il ghiaccio è perciò meno denso dell'acqua e vi galleggia sopra ed è grazie a questa peculiarità che i pesci possono sopravvivere nei laghi durante l'inverno: al di sotto della superficie ghiacciata, l'acqua rimane infatti allo stato liquido.

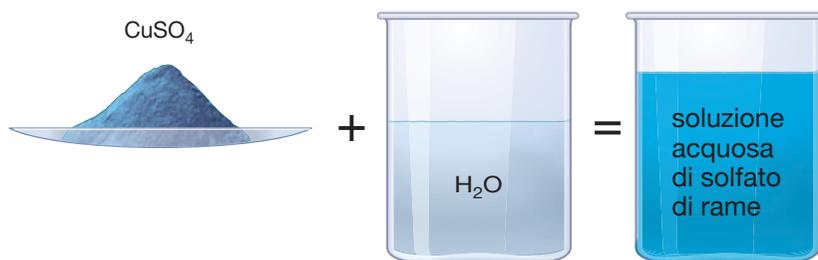
■ L'acqua come solvente

Molte sostanze si sciolgono nell'acqua formando dei miscugli omogenei che sono chiamati **soluzioni**.

L'acqua di mare, le lacrime e la linfa delle piante sono tutti esempi di soluzioni. In queste soluzioni il componente più abbondante, che definiamo **solvente**, è l'acqua; le sostanze disciolte, presenti in minore quantità, sono dette **soluti**.

Le soluzioni in cui l'acqua è il solvente vengono dette *soluzioni acquose*. Esse sono certamente tra le più comuni, ma l'acqua non è l'unico liquido che può funzionare da solvente. Ci sono anche i cosiddetti *solventi organici*, come il benzene e l'acetone.

Tutte le sostanze possono essere classificate in base alla loro affinità per l'acqua: sono dette **idrofile** le molecole che si sciolgono nell'acqua e **idrofobe** quelle che, al contrario sono insolubili in acqua. I composti ionici e quelli covalenti polari sono solubili in acqua; i composti apolari, al contrario, non si sciolgono in acqua.



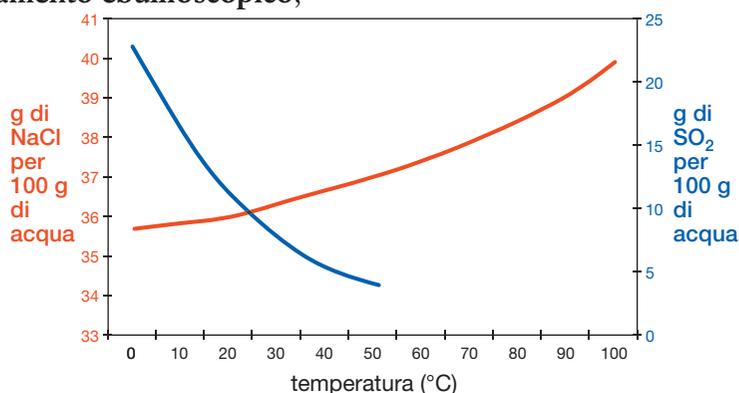
Sciogliendo in acqua una sostanza ionica, le molecole polari dell'acqua sono attratte dagli ioni: la regione debolmente positiva della molecola d'acqua viene attratta dagli ioni negativi; la regione debolmente negativa interagisce elettrostaticamente con gli ioni di carica positiva. L'attrazione tra le molecole d'acqua e gli ioni indebolisce il legame tra gli ioni; essi si separano e vengono circondati (in tutte le direzioni dello spazio) dalle molecole d'acqua. Lo stesso accade per le molecole dei composti polari.

La quantità massima di soluto che si scioglie in una quantità fissa di solvente a una certa temperatura è detta **solubilità**. La solubilità non è infinita: ad un certo punto continuando ad aggiungere soluto ad una soluzione si forma un *corpo di fondo* solido all'interno del liquido e la soluzione si dice **satura**. È necessario specificare la temperatura per ogni valore di solubilità perché per la maggior parte delle sostanze solide la quantità di soluto che si scioglie in un solvente aumenta all'aumentare della temperatura. Nel caso in cui i soluti siano allo stato gassoso, al contrario, la solubilità diminuisce con l'aumentare della temperatura.

Un soluto sciolto in un solvente modifica le proprietà fisiche del secondo dato che le particelle delle due sostanze interagiscono tra loro. La soluzione risultante presenta alcune caratteristiche differenti dal solvente puro:

- la temperatura di ebollizione di una soluzione è maggiore rispetto a quella del solvente puro, fenomeno noto come **innalzamento ebullioscopico**;
- la temperatura di congelamento di una soluzione è minore di quella del solvente puro, fenomeno noto come **abbassamento crioscopico**.

L'entità dell'innalzamento della temperatura di ebollizione e dell'abbassamento di quella di congelamento di un solvente dipende esclusivamente dalla quantità di soluto sciolto nel solvente e non dalla natura del soluto stesso.



La concentrazione delle soluzioni

Il parametro più importante per descrivere una soluzione è la **concentrazione**, ovvero il rapporto tra la quantità di soluto e la quantità di solvente.

Se il soluto è solido o in quantità molto piccola rispetto al solvente, l'aggiunta del soluto al solvente non fa variare in maniera significativa il volume di quest'ultimo e nell'espressione della concentrazione la quantità di solvente può essere sostituita con la quantità di soluzione. Se invece il soluto è allo stato liquido, mescolandolo con il solvente il volume della soluzione varia e la quantità di solvente non può essere sostituita dalla quantità di soluzione. L'unità di misura più semplice per esprimere la concentrazione di una soluzione è il g/L (o mg/L per soluzioni molto diluite).

La concentrazione viene frequentemente indicata come una percentuale. Per fare questo, le quantità di soluto e di soluzione devono essere espresse con le stesse unità di misura e il loro rapporto deve essere moltiplicato per 100. Si distinguono:

– la *concentrazione percentuale in massa*, che risulta dalla relazione

$$\% \text{ massa} = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{soluzione}}} \cdot 100$$

– la *concentrazione percentuale in volume*, espressa dalla formula

$$\% \text{ volume} = \frac{V_{\text{soluto}}}{V_{\text{soluzione}}} \cdot 100$$

Molte reazioni chimiche avvengono in soluzione acquosa e i chimici trovano utile esprimere la concentrazione delle soluzioni in moli. Esistono due modi di esprimere la concentrazione in funzione della quantità di moli disciolte in una soluzione.

1. La **molarità** risulta dalla relazione:

$$M = \frac{n_{\text{soluto}}}{V_{\text{soluzione}}}$$

dove n è il numero di moli del soluto e V il volume della soluzione. L'unità di misura della molarità è quindi mol/L e viene spesso rappresentata con il simbolo **M**. Una soluzione che contiene 2 moli per ogni litro di soluzione si scrive pertanto 2 M (e si legge «due molare»).

2. La **molalità** viene invece espressa dalla formula:

$$m = \frac{n_{\text{soluto}}}{m_{\text{solvente}}}$$

dove n è il numero di moli del soluto e m la massa del solvente. L'unità di misura della molalità è quindi mol/kg che viene spesso rappresentata con il simbolo **m**. Una soluzione che contiene 2 moli per ogni kilogrammo di soluzione si scrive pertanto 2 m (e si legge «due molale»).

Il rapporto tra le moli di un soluto e quelle del solvente all'interno di una soluzione può essere espresso anche attraverso la **frazione molare**. Essa viene calcolata per ciascun componente della soluzione: si avrà quindi una frazione molare del soluto e una frazione molare del solvente. Il simbolo generalmente usato per indicare la frazione molare è la lettera greca χ (che si legge «chi»):

$$\chi_{\text{soluto}} = \frac{n_{\text{soluto}}}{n_{\text{soluto}} + n_{\text{solvente}}}$$

e

$$\chi_{\text{solvente}} = \frac{n_{\text{solvente}}}{n_{\text{soluto}} + n_{\text{solvente}}}$$

dove n è il numero di moli. Ne risulta quindi che:

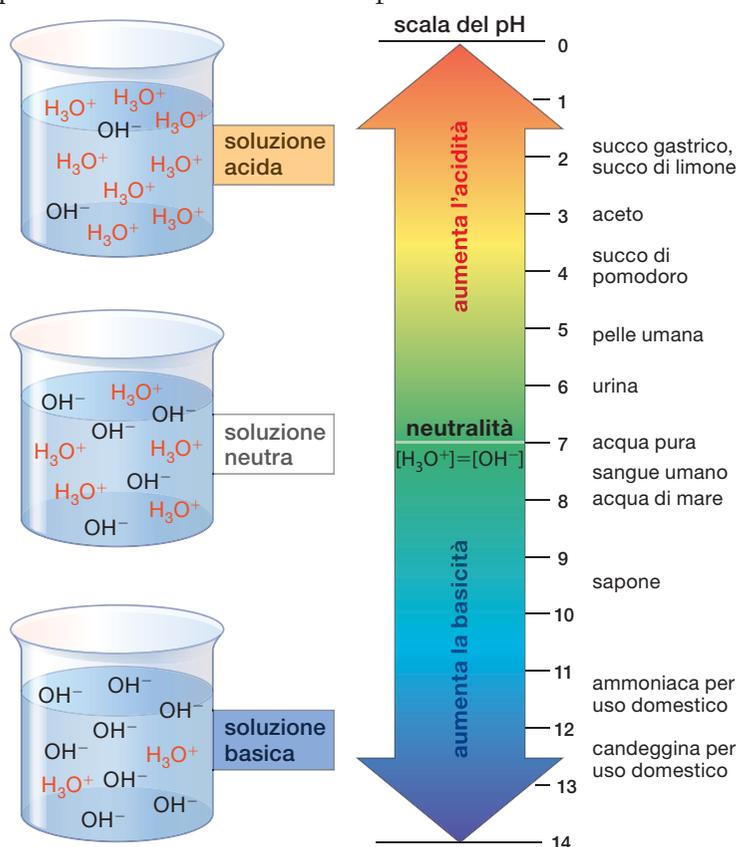
$$\chi_{\text{soluto}} + \chi_{\text{solvente}} = 1$$

La ionizzazione dell'acqua

L'acqua pura allo stato liquido ha una debolissima tendenza a ionizzarsi: un piccolo numero di molecole si scinde in ioni H^+ (**protoni**) e OH^- (**ossidrili**). Lo ione H^+ è estremamente reattivo e tende a legarsi subito con un'altra molecola d'acqua. Si forma in questo modo lo ione H_3O^+ (**idronio**). La tendenza a ionizzarsi delle molecole d'acqua è bilanciata dalla tendenza degli ioni idronio e degli ossidrili a riassociarsi tra loro. In altre parole, mentre alcune molecole d'acqua si dissociano, un uguale numero di ioni si associano e si stabilisce così una sorta di equilibrio dinamico. Ricorda però che soltanto una piccola parte dell'acqua si ionizza (circa una molecola ogni 18 milioni); la maggior parte è presente in forma molecolare.

Nell'acqua pura ioni idronio e ossidrili sono presenti alla stessa concentrazione, ma questa può cambiare se all'acqua pura si aggiunge una sostanza che si dissocia. Alcuni soluti possono infatti cedere ioni H^+ (protoni) mentre altri possono liberare ioni OH^- (ossidrili).

È detto **acido** qualsiasi molecola o ione che possa donare un protone; è detta **base** qualsiasi molecola o ione che possa cedere ioni ossidrili.



Il grado di acidità si misura tramite il **pH**, un parametro legato alla concentrazione in soluzione di ioni H_3O^+ : le sostanze acide hanno pH compreso tra 0 e 7; quelle basiche pH tra 7 e 14; quelle con pH 7 sono dette **neutre**.

Le soluzioni neutre sono quelle, come l'acqua pura, in cui la concentrazione degli ioni H_3O^+ è uguale alla concentrazione degli ioni OH^- . Il pH di una soluzione si misura con uno strumento detto *piac-cametro* oppure utilizzando gli indicatori, cioè delle sostanze particolari che, versate nella soluzione, sono in grado di cambiare colore a seconda del pH.

Le sostanze, acide o basiche, che si dissociano completamente in acqua sono dette acidi o basi forti. Gli **acidi forti** dissociandosi completamente fanno diminuire fortemente il valore del pH della soluzione.

Analogamente le basi che si dissociano completamente sono considerate **basi forti**. Le basi forti fanno aumentare il valore del pH della soluzione.

Acidi e basi deboli invece sono sostanze che, in soluzione acquosa, non si dissociano completamente. Parte della sostanza rimane in soluzione non ionizzata.

Affermare che un acido è forte è diverso dal dire che un acido è concentrato: un acido forte è una sostanza che dissocia tutte le sue molecole in acqua, indipendente dalla loro concentrazione all'interno della soluzione.

Se mescoliamo una soluzione acida e una soluzione basica, gli ioni H^+ presenti nella soluzione acida si legano con gli ioni OH^- presenti nella soluzione basica, producendo delle molecole d'acqua. Queste reazioni si chiamano **reazioni di neutralizzazione**.

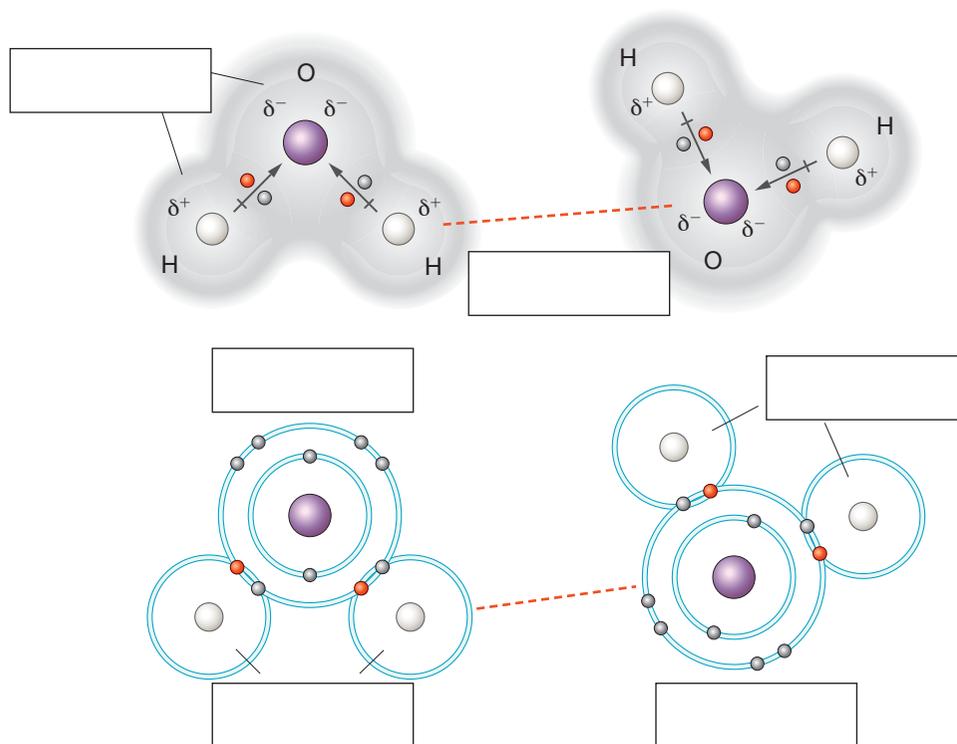
Oltre all'acqua, nelle reazioni di neutralizzazione si forma un sale che resta in soluzione in forma ionizzata.

Perché la soluzione ottenuta da una reazione di neutralizzazione sia perfettamente neutra, la soluzione acida deve contenere una quantità di ioni H^+ esattamente uguale alla quantità di ioni OH^- contenuti nella soluzione basica. Quindi prima di effettuare la reazione devono venire calcolate perfettamente le quantità stechiometriche delle soluzioni da mescolare, tenendo conto del numero di moli indicato dai coefficienti stechiometrici.

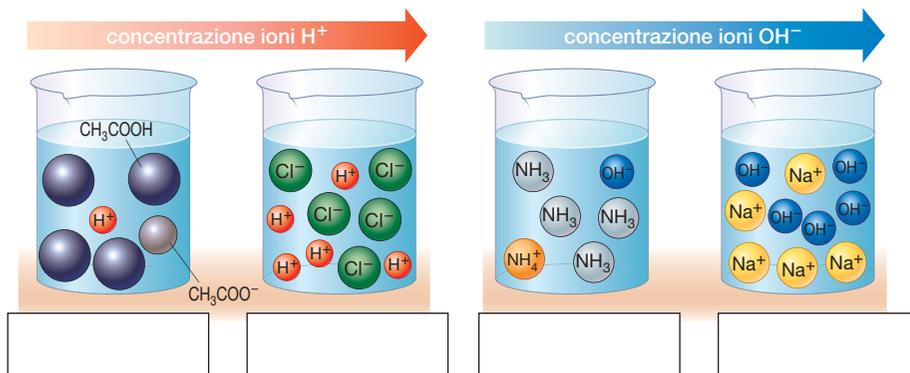
Al contrario se uno dei due componenti è in eccesso rispetto all'altro, la reazione di neutralizzazione avviene ugualmente, ma una certa quantità del componente in esubero resta nella soluzione determinandone il pH.

SINTESI C5. L'acqua e le sue proprietà

1 Completa la figura relativa alla molecola d'acqua.



2 Completa la seguente figura con i dati mancanti.



3 Completa le seguenti frasi scegliendo i termini corretti tra quelli indicati nei corrispondenti riquadri.

A. Grazie allo studio degli dell'idrogeno e delle meteoriti, si ritiene che l'acqua sia arrivata sulla Terra portata da, ovvero piccoli corpi rocciosi che orbitano intorno

Composti, isotopi, elementi, asteroidi, planetesimi, comete, satelliti, alla Luna, a Marte, al Sole

B. In una molecola d'acqua, il nucleo dell'ossigeno contiene otto e attira gli elettroni di legame maggiormente rispetto al nucleo dell'idrogeno. Per questa ragione il legame tra ossigeno e idrogeno è polare e la molecola d'acqua presenta una distribuzione ineguale delle

Elettroni, protoni, neutroni, ionico, metallico, covalente, orbite, cariche elettriche, polarità

C. Il è la quantità di calore che si deve fornire ad un grammo di una determinata sostanza per innalzare la sua di un grado. L'acqua è una delle sostanze in cui questo valore è più

Solvente, calore, legame a idrogeno, calore specifico, temperatura, massa, coesione, alto, basso, solubile

D. La quantità di soluto che si scioglie in una quantità fissa di solvente ad una certa è detta

Essa non è infinita e nel momento in cui, continuando ad aggiungere soluto ad un solvente, si forma il corpo di fondo si dice che la soluzione è

Minima, media, massima, certa, massa, pressione, temperatura, soluzione, solubilità, molarità, concentrazione, acquosa, satura, idrofila, acida

E. La è il rapporto tra la quantità di soluto e la quantità di solvente. Essa si può esprimere come percentuale in o in volume. La invece è il rapporto tra il numero di moli del soluto e il volume di

Coesione, acidità, concentrazione, molarità, molalità, massa, moli

F. Le molecole o gli ioni che sono capaci di donare un protone all'acqua sono dette, mentre le molecole o gli ioni in grado di cedere ioni sono dette

Soluzioni, sature, acidi, polari, basi, idronio, ossidrili