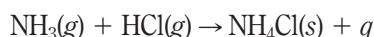


La teoria di Brønsted e Lowry

Acidi e basi senza acqua

Abbiamo classificato gli acidi e le basi a seconda della loro capacità di liberare rispettivamente ioni H^+ e ioni OH^- in soluzione acquosa. Questa definizione però è limitata, perché descrive le proprietà acide o basiche di una sostanza in una situazione particolare, quando cioè si trova sciolta in acqua.

D'altra parte si conoscono molte reazioni che avvengono in solventi diversi dall'acqua o addirittura in assenza di solvente e che hanno comunque tutte le caratteristiche delle reazioni acido-base. Per comprendere meglio questa affermazione, facciamo subito un esempio. Consideriamo la reazione dell'acido cloridrico gassoso con un'altra sostanza gassosa, l'ammoniaca; la trasformazione, fortemente esotermica, è descritta dalla seguente equazione:



Il prodotto della reazione è il cloruro di ammonio, cioè un composto ionico costituito da ioni NH_4^+ e ioni Cl^- (figura 1); questo significa che la reazione avviene perché ogni molecola di ammoniaca strappa uno ione H^+ a una molecola di HCl . In questa situazione, anche in assenza di acqua, le molecole di acido cloridrico cedono ioni H^+ alle molecole di ammoniaca per formare il composto ionico NH_4Cl .

Sulla base di questo esempio si può capire la definizione di acido e di base proposta nel 1923 dal chimico danese Johannes Brønsted e quasi contemporaneamente dal chimico inglese Thomas Lowry, conosciuta oggi come *teoria di Brønsted e Lowry*.



Si definiscono **acidi** tutte le specie chimiche che cedono protoni; si chiamano **basi** le specie chimiche che acquistano protoni.

Questa teoria dà una visione più ampia del concetto di acido e di base perché non è più legata agli ioni che si formano in acqua.

Riflettendo sulla teoria in relazione alla struttura molecolare delle sostanze, siamo in grado di affermare che possono avere carattere acido le sostanze nelle cui molecole è presente almeno un atomo di idrogeno legato con un atomo più elettronegativo: solo così infatti l'atomo di idrogeno può lasciare il suo elettrone di legame e staccarsi come protone. Gli acidi possono essere rappresentati con la formula generica **HA**.

Viceversa, perché una sostanza possa comportarsi da base deve possedere un atomo con almeno una coppia di elettroni non impegnata in legami: in questo modo si può formare un legame covalente dativo con lo ione H^+ . Le basi vengono quindi rappresentate con la formula generica **:B**.

Una prima osservazione importante che deriva direttamente dalla nuova definizione di acidi e basi è che sono tali solamente se agiscono in coppia.

Una specie chimica manifesta le sue proprietà acide solo se si trova in presenza di un'altra specie chimica che si comporta da base; pertanto tutte le reazioni acido-base consistono nel trasferimento di un protone dall'acido alla base.

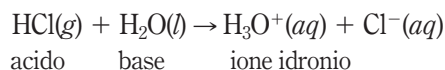


▲ **Figura 1** L'acido cloridrico e l'ammoniaca che si liberano allo stato gassoso dalle rispettive soluzioni concentrate reagiscono tra loro formando un composto ionico, NH_4Cl , che costituisce la parte solida dei *fumi bianchi*.

APPROFONDIMENTO

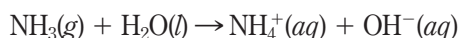
La teoria di Brønsted e Lowry

Secondo la teoria di Brønsted e Lowry, l'acido cloridrico, per esempio, da solo non può essere considerato un acido, ma lo diventa quando viene messo a contatto con una sostanza a cui può cedere un protone, cioè una base. Pertanto le soluzioni acquose di HCl sono acide perché HCl cede un protone all'acqua che, in questo caso, si comporta da base, come risulta dalla seguente equazione che rappresenta in modo più completo la ionizzazione in acqua dell'acido:



La molecola di acqua si comporta da base perché l'atomo di ossigeno possiede la coppia di elettroni necessaria per formare il legame covalente dativo con lo ione H⁺: in questo modo si forma lo ione idronio (figura 2).

È molto importante sottolineare che la teoria di Brønsted e Lowry stabilisce che il concetto di acido e base è relativo. Proprio per questo è in grado di giustificare la basicità delle soluzioni acquose di ammoniaca, fatto inspiegabile con la teoria di Arrhenius, dato che NH₃ non può liberare ioni OH⁻; gli ioni ossidrilici si formano perché la molecola di acqua si comporta da acido nei confronti di quella di NH₃ e cede a questa un protone:



Possiamo concludere con la seguente generalizzazione: le specie chimiche che, come l'acqua, hanno un protone da cedere e un doppietto di elettroni libero, sono potenzialmente sia acidi sia basi e il loro comportamento dipende dalla specie con cui reagiscono.

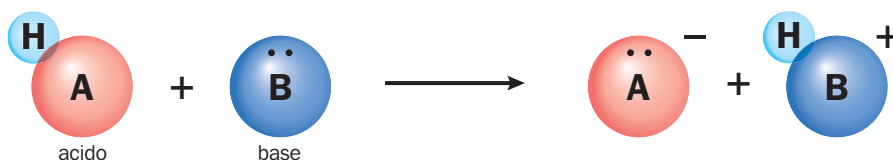
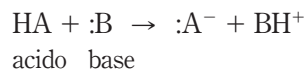
PROVA TU

L'acido acetico CH₃COOH si comporta da acido in acqua; esso diventa una base se lo si mescola con l'acido solforico, H₂SO₄, perché un atomo di ossigeno dell'acido acetico ha una coppia di elettroni libera in grado di formare il legame covalente dativo.

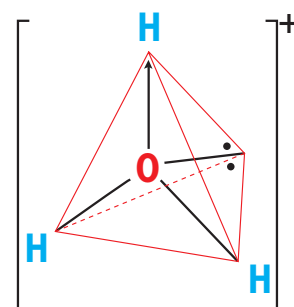
► Scrivi le due equazioni che mostrano il diverso comportamento dell'acido acetico.

Acidi e basi coniugati

Dato che tutte le reazioni acido-base sono riconducibili a un trasferimento di protoni, esse si possono rappresentare con un'equazione di carattere generale (figura 3):



Dall'equazione si può capire che i prodotti, ottenuti dal trasferimento di protoni da HA a :B, sono anch'essi un acido e una base. Infatti la specie chimica BH⁺ (che si ottiene quando la base :B acquista un protone) è un acido, perché può cedere a sua volta il protone; analogamente la specie chimica :A⁻ (che deriva dall'acido HA che ha perso il suo protone) è una base, perché presenta una coppia di elettroni liberi che la rende capace di legarsi a un protone.



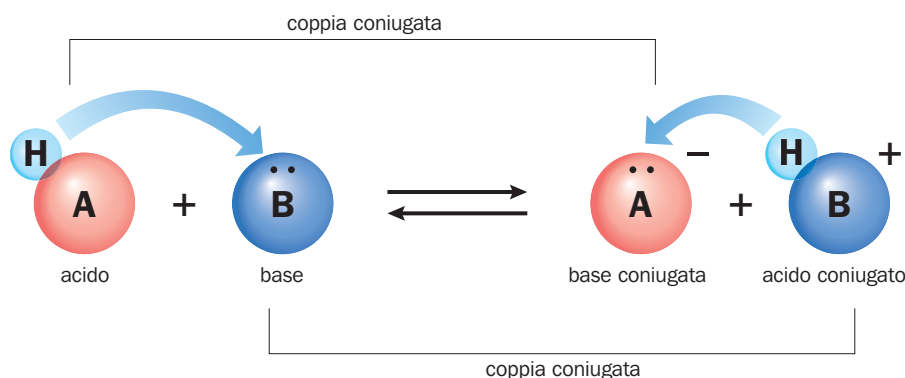
▲ **Figura 2** Lo ione H⁺, a causa della sua carica positiva distribuita su un piccolo volume, attira fortemente le molecole di acqua. Una molecola di acqua, utilizzando un doppietto di elettroni libero, riesce a stabilire un legame covalente dativo con lo ione H⁺ formando lo ione idronio, la cui esistenza è stata dimostrata con il microscopio elettronico. Ogni ione idronio si idrata formando legami ione-dipolo con altre molecole di acqua.

◀ **Figura 3** Rappresentazione di una generica reazione acido-base secondo la teoria di Brønsted e Lowry.

APPROFONDIMENTO

La teoria di Brønsted e Lowry

Per questo motivo la specie BH^+ prende il nome di *acido coniugato* della base $:B$ e la specie A^- viene chiamata *base coniugata* dell'acido HA (figura 4).



◀ **Figura 4** Rappresentazione di un generico *equilibrio acido-base* secondo la teoria di Brønsted e Lowry, in cui sono evidenziati gli scambi protonici.

La presenza delle due frecce contrapposte vuole segnalare che la nuova coppia acido-base che si è formata dà luogo, a sua volta, alla reazione inversa fino a che il sistema raggiunge l'equilibrio.

È dunque ragionevole chiedersi quali fattori influenzano lo stato di equilibrio. Se la base $:B$ si lega con un protone con maggior forza rispetto all'altra base $:A^-$, allora l'equilibrio sarà spostato verso destra e l'acido HA sarà in gran parte ionizzato; in caso contrario l'equilibrio sarà più spostato a sinistra e l'acido sarà poco ionizzato.

Per esempio, l'acido solforico in acqua dà luogo a una reazione acido-base il cui equilibrio è quasi completamente spostato a destra:



Nel caso dell'acido boricco, invece, l'equilibrio è spostato a sinistra:



Infine occorre ricordare che anche nella scrittura degli equilibri acido-base è necessario fare attenzione oltre che al bilancio di massa anche a quello della carica elettrica: la carica complessiva dei reagenti deve essere uguale a quella dei prodotti. Nelle equazioni rappresentate sopra, le specie reagenti sono neutre e quindi la loro carica è zero, così come è zero la carica complessiva dei prodotti.

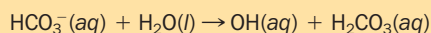
Può capitare però di trovar scritte equazioni in cui anche i reagenti presentano cariche elettriche, come nel seguente esempio:



Come si vede, anche in questo caso il bilancio della carica è verificato: si hanno cioè due cariche negative sia tra i reagenti sia tra i prodotti.

PROVA TU

La seguente equazione che descrive il comportamento basico di HCO_3^- contiene un errore:



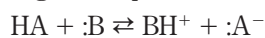
► Scrivi l'equazione corretta indicando anche la base e l'acido coniugati.

ESERCIZI

La teoria di Brønsted e Lowry

- Quale caratteristica devono presentare le molecole delle sostanze che si comportano da acido?
- Come si lega lo ione H^+ con una molecola di acqua per formare lo ione idronio?
- Perché per rappresentare una base generica si indica una coppia di elettroni accanto al simbolo?
- Perché secondo la teoria di Brønsted e Lowry l'acido nitrico, da solo, non può essere considerato un acido?
- Perché l'ammoniaca è una sostanza che può comportarsi sia da acido sia da base?
- Scrivi la formula dell'acido coniugato della base HPO_4^{2-} .
- Scrivi la formula della base coniugata dell'acido HPO_4^{2-} .
- Scrivi la formula dell'acido coniugato della base $H_5C_3O_3^-$.
- Secondo la teoria di Brønsted e Lowry una base è una specie chimica capace di:
 - accettare protoni
 - accettare anioni
 - donare cationi
 - accettare ioni
 - donare elettroni
- In relazione alla definizione di acido e di base secondo la teoria di Brønsted e Lowry, indica l'unica affermazione sbagliata.
 - Si definiscono acidi tutte le specie chimiche che sono in grado di cedere ioni H^+
 - Si definiscono basi le specie chimiche capaci di acquistare protoni
 - Una specie chimica manifesta le sue proprietà acide solo in presenza di una specie che si comporta da base
 - Una reazione chimica acido-base consiste nel trasferimento di un protone dall'acido alla base
 - Si definiscono basi soltanto le specie chimiche che sono in grado di produrre ioni OH^-
- Secondo la teoria di Brønsted e Lowry, quali specie chimiche si comportano in acqua come basi?
 - Gli elettroliti che hanno la caratteristica di ionizzarsi producendo ioni H^+
 - Le sostanze che hanno la caratteristica di produrre ioni negativi e ioni positivi
 - Gli elettroliti che possono strappare un protone alle molecole di acqua
 - I composti ionici che hanno la caratteristica di fornire ioni OH^-
 - Tutte le specie chimiche che liberano ioni H^+ e ioni OH^-

- 12** In relazione al seguente equilibrio acido-base

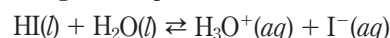


indica l'unica affermazione sbagliata.

- La specie HA si comporta da acido
- La specie :B si comporta da base

- La specie BH^+ viene chiamata acido coniugato
- La specie BH^+ si comporta da base
- La specie $:A^-$ viene chiamata base coniugata

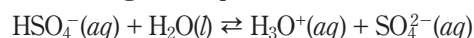
- 13** Osserva il seguente equilibrio acido-base:



Secondo la teoria di Brønsted e Lowry la specie I^- è:

- un catione
- un acido
- una base coniugata
- un acido coniugato
- un anione acido

- 14** Considera la seguente equazione:



Individua la risposta che riporta le specie basiche.

- HSO_4^- e H_2O
- H_3O^+ e HSO_4^-
- HSO_4^- e SO_4^{2-}
- H_2O e H_3O^+
- H_2O e SO_4^{2-}

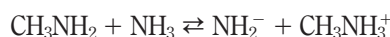
- 15** Indica l'unica equazione che *non* rappresenta un equilibrio acido-base.

- $HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CO_3^{2-}$
- $H_2PO_4^- + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HPO_4^{2-}$
- $SO_3^{2-} + H_3O^+ \rightleftharpoons H_2O + HSO_3^-$
- $Zn + 2 H_3O^+ \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2 H_2O + H_2$
- $H_3PO_4 + 2 OH^- \rightleftharpoons 2 H_2O + HPO_4^{2-}$

- 16** Completa la seguente tabella riportando le formule di tutte le specie nei tre equilibri acido-base.

Acido	Base		Acido coniugato	Base coniugata
H_3BO_3	OH^-	\rightleftharpoons
HSO_4^-	\rightleftharpoons	NH_4^+
.....	HCO_3^-	\rightleftharpoons	H_2O

- 17** Nel seguente equilibrio acido-base, qual è la specie reagente che si comporta da acido?



- 18** Considera i seguenti equilibri acido-base e scrivi sotto a ogni specie la sua denominazione in base alla teoria di Brønsted e Lowry.

$H_2PO_4^-$	HNO_3	\rightleftharpoons	H_3PO_4	NO_3^-
.....	\rightleftharpoons
$HClO_4$	NH_3	\rightleftharpoons	ClO_4^-	NH_4^+
.....	\rightleftharpoons