

## Formazione di molecole nello Spazio

Gli atomi espulsi dalle Supernovae o dalle nebulose planetarie possono legarsi insieme e creare delle molecole. Le reazioni che portano alle molecole interstellari sono moltissime. Qui vengono presentati alcuni esempi di reazioni e successivamente le reazioni di idrogeno, carbonio, azoto e ossigeno che portano alle molecole più diffuse nel Sistema Solare: acqua, anidride carbonica, ammoniaca, metano e altre. Gli atomi o i gruppi di atomi coinvolti nella collisione sono indicati genericamente come X,Y o Z e le molecole che ne derivano XY, XZ,YZ. Per esempio, una reazione di scambio neutro  $XY+Z \rightarrow YZ+X$  fatta con idrogeno molecolare ( $H_2$ ) e ossidrile (OH) che forma acqua è  $OH + H_2 \rightarrow H_2O + H$ . In genere in una collisione tra una molecola XY e un atomo Z viene espulso l'atomo più leggero (per esempio Y) e si forma una molecola più pesante. Il simbolo  $\rightleftharpoons$  indica reazioni che possono avvenire nei due sensi.

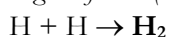
Associazione e dissociazione radiativa $X + X \rightleftharpoons X_2 + \gamma$ esempio: $H + H \rightarrow H_2 + \gamma$	Ricombinazione e ionizzazione $X^+ + e^- \rightleftharpoons X + \gamma$ esempio: $H^+ + e^- \rightarrow H + \gamma$
Reazioni di scambio neutro $XY + Z \rightleftharpoons YZ + X$ esempio: $CH + O \rightarrow CO + H$	Reazione a tre corpi $X + Y + Z \rightleftharpoons XY + Z$ esempio: $3H \rightarrow H_2 + H$
Reazione ione-molecola (Trasferimento di carica) $X^+ + YZ \rightleftharpoons YX^+ + Z (\rightleftharpoons YZ^+ + X)$ esempio: $O^+ + H_2 \rightarrow OH^+ + H$ (o $H + H_2^+ \rightarrow H_2 + H^+$ )	Reazioni con ioni negativi $X + Y^- \rightleftharpoons XY + e^-$ esempio: $H + H^- \rightarrow H_2 + e^-$
Associazione con elettroni $X + e^- \rightarrow X^-$ esempio: $H + e^- \rightarrow H^- + \gamma$	Ricombinazioni molecolare dissociativa $XY + e^- \rightarrow X^- + Y$ ( $XY^+ + e^- \rightarrow X + Y$ ) esempio: $CH^+ + e^- \rightarrow C + H$

Vediamo ora come si formano alcune molecole che sono abbondanti nel Sistema Solare. La molecola in **grassetto** rappresenta il prodotto finale della reazione.

### Formazione di $H_2$

La molecola più abbondante dell'universo si forma a diverse condizioni e velocità secondo i seguenti processi:

#### Regioni fredde ( $T < 200$ K)



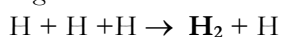
Questo processo è debole nello spazio a causa della distruzione operata dalla radiazione stellare. Diventa molto efficace all'interno delle nubi di polvere, dove l' $H_2$  nasce sui granuli di polvere.

#### Regioni tiepide ( $T > 500$ K)



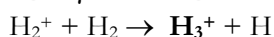
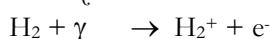
In questo caso la formazione passa attraverso la creazione di ioni da parte della radiazione stellare o per la cattura di un elettrone in sovrannumero.

#### Regioni dense



La collisione quasi simultanea di tre atomi di idrogeno produce molecole di  $H_2$

#### Formazione di ioni

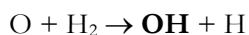


Gli ioni favoriscono la formazione di molecole grazie ai legami elettrici. Come detto nel testo, l' $H_3^+$  è lo ione più diffuso nello spazio interstellare e partecipa a molte reazioni.

### Formazione dei composti di ossigeno

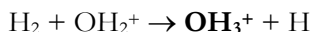
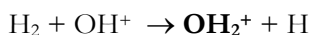
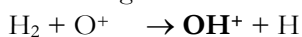
L'ossigeno, soprattutto nella molecola di acqua, forma composti importanti per le forme di vita, che si formano attraverso varie reazioni.

Dove la densità e il flusso di radiazioni o particelle è basso, si forma ossidrile attraverso una reazione di scambio neutro

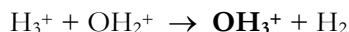
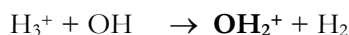
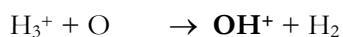


Le reazioni che coinvolgono ioni sono più veloci e producono ioni a base OH (l'acqua ionizzata viene indicata come  $\text{OH}_2^+$  per usare la stessa notazione degli altri ioni):

*tramite idrogeno molecolare*

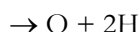
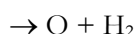
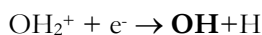
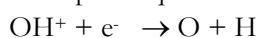


*tramite  $\text{H}_3^+$*

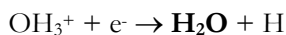


Gli ioni più pesanti prodotti in questi processi portano alla formazione della maggior parte delle molecole di ossidrile e acqua osservate nello spazio attraverso la cattura di elettroni. Nel caso di ossidrile e acqua ionizzati essa non produce direttamente molecole neutre perché la velocità degli elettroni è tale da spezzare la molecola. Solo molecole più pesanti sono in grado di assorbire gli elettroni senza spezzarsi.

Sono più frequenti le seguenti reazioni di cattura elettronica, con più risultati possibili:

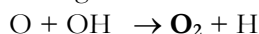


questa reazione produce il 22% di ossidrile.



questa reazione produce acqua ed il 75% di ossidrile

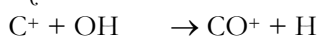
L'ossigeno molecolare può formarsi anch'esso attraverso l'ossidrile:



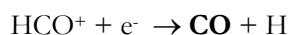
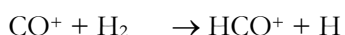
### Formazione dei composti di carbonio

I composti di carbonio si formano utilizzando l'ossidrile e l'idrogeno molecolare come intermediari partendo dalla molecola dell'ossido di carbonio, che nasce attraverso i seguenti processi, in forma ionica o neutra:

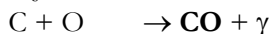
*reazioni veloci*



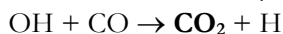
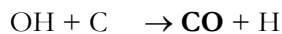
e



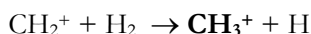
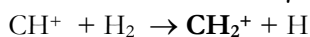
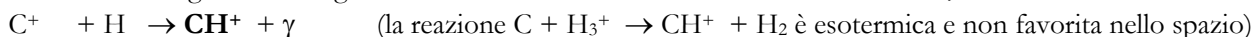
*reazioni lente*



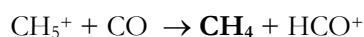
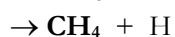
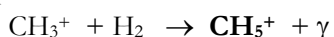
e



Anche qui le reazioni tra ioni sono più veloci ed efficienti di quelle tra atomi neutri, che possono diventare efficienti solo a bassa densità di particelle e radiazioni, come avviene nelle nubi di polvere. Una particolare importanza per le molecole biologiche hanno gli idrocarburi. Essi si formano secondo varie reazioni, tra cui:

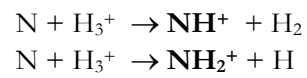
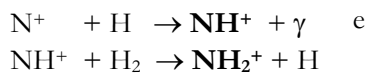


Nello spazio interstellare la sequenza si ferma probabilmente allo stadio di  $\text{CH}_3^+$ . Per arrivare a produrre metano è necessario essere in un ambiente favorevole all'acquisizione di atomi di idrogeno, come quello delle nubi di polvere. Possibili reazioni sono:



**Formazione di composti azotati**

A basse temperature anche le reazioni che coinvolgono gruppi atomici con azoto sono limitate ad un certo livello. Quando la molecola diventa più grande, la sua velocità diminuisce e così la possibilità di collidere e legarsi con un'altra molecola è bassa. Le ammine si formano attraverso catene simili a quelle del carbonio:



anche qui la sequenza si arresta nel gas interstellare diffuso. Nelle nubi di polvere è possibile arrivare più avanti, alla produzione di ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ):

