

1 LA FORMA DELLE MOLECOLE



Inizia con un'ipotesi

Probabilmente dalla geometria sai che un tetraedro è un poliedro con quattro facce triangolari. Se le facce sono triangoli equilateri, tutti gli spigoli hanno la stessa lunghezza e il tetraedro è definito regolare. Nella figura qui a destra qual è un tetraedro regolare? Prova a costruire questa figura con un cartoncino e stabilisci quanti sono i vertici. Sapresti immaginare quale relazione esiste tra il tetraedro e la forma delle molecole?

Fai un'ipotesi e poi scopri la risposta in questa lezione.



La teoria VSEPR

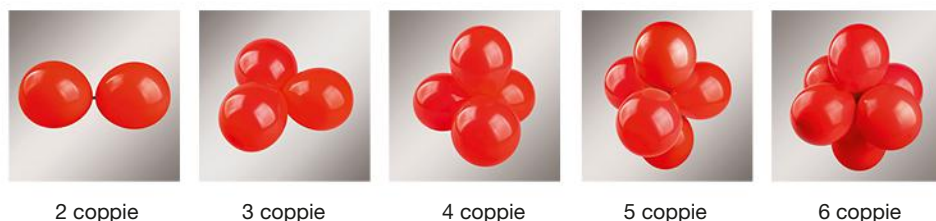
Alcune proprietà fisiche e chimiche delle sostanze covalenti molecolari sono correlate alla forma delle loro molecole. Per descrivere la forma delle molecole occorre sapere che cosa sono la *lunghezza di legame* e l'*angolo di legame* [FIGURA 1].

- Per **lunghezza di legame** si intende la distanza che separa i centri dei nuclei dei due atomi legati.
- Per **angolo di legame** si intende l'angolo formato da due linee immaginarie ottenute congiungendo a due a due i centri dei nuclei di tre atomi legati.

Per prevedere teoricamente la forma di molte molecole e ioni poliatomici nel secolo scorso fu proposto un modello ripreso e perfezionato a partire dal 1957 dai chimici statunitensi R. J. Gillespie e R. S. Nyholm. Questo modello fa riferimento alla teoria delle «**repulsioni delle coppie di elettroni del guscio di valenza**» indicata con l'acronimo inglese **VSEPR** (*Valence Shell Electron Pair Repulsion*).

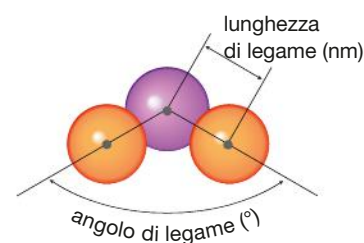
La **teoria VSEPR** afferma che quando un atomo è legato con altri atomi tutte le coppie di elettroni del suo **guscio di valenza** (sia di legame sia non condivise) si respingono reciprocamente e si dispongono nello spazio così da trovarsi il più lontano possibile fra loro.

Le strutture che si possono ottenere a seconda del numero di coppie di elettroni nel guscio di valenza sono rappresentate in FIGURA 2.



I principi della teoria VSEPR che applicheremo sono i seguenti.

- Le coppie di elettroni del guscio di valenza di un atomo che determinano la geometria di una molecola sono sia le *coppie di legame* sia quelle non condivise, chiamate anche *coppie solitarie*.
- Una *coppia solitaria*, attratta da un solo nucleo, esercita una maggiore forza repulsiva e occupa quindi più spazio di una coppia di legame.
- Le coppie di elettroni che formano *doppi e tripli legami* vanno conteggiate come se fossero una unica coppia di elettroni.
- Le *coppie di elettroni dei legami multipli* esercitano una maggior repulsione rispetto alla coppia di un legame singolo.



↑ FIGURA 1 I parametri sperimentali relativi alla geometria molecolare si riferiscono alla posizione media degli atomi che sappiamo vibrare continuamente.

← FIGURA 2 La teoria VSEPR, basata sulla massima repulsione delle coppie di elettroni nel guscio di valenza, consente di prevedere la forma geometrica delle molecole.

Verifica la tua ipotesi



Il tetraedro è il solido blu e i suoi vertici sono 4. Questa figura solida geometrica ci aiuta a immaginare come si dispongono gli atomi nello spazio quando si legano ad altri, permettendoci di visualizzare la forma di molecole e di strutture reticolari costituite da molti atomi legati tra loro.

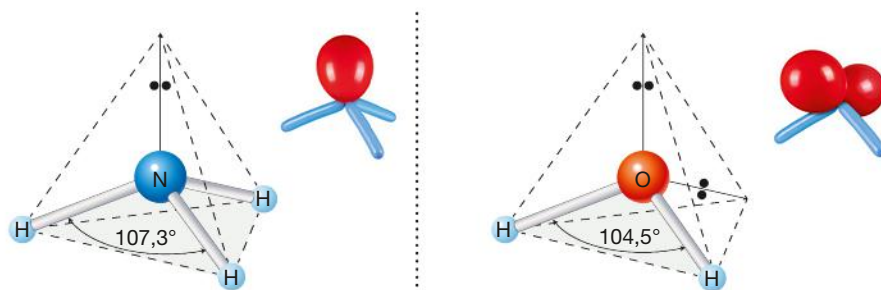
La struttura tetraedrica

Quando un atomo presenta 4 coppie di elettroni nel guscio di valenza, queste si dispongono il più lontano possibile dando origine a una **struttura tetraedrica**.

Prendiamo come esempio la molecola del metano (CH_4), in cui l'atomo al centro della molecola è un atomo di carbonio che presenta nel guscio di valenza 4 coppie condivise con altrettanti atomi di idrogeno. La repulsione di queste coppie di legame dà origine a una struttura tetraedrica e gli atomi di idrogeno si dispongono ai vertici di un immaginario **tetraedro regolare** [FIGURA 3]. Nella molecola di metano gli angoli di legame sono tutti uguali e misurano esattamente $109,5^\circ$ e anche i quattro legami $\text{C} - \text{H}$ hanno la stessa lunghezza che vale $0,11 \text{ nm}$.

Se invece l'atomo centrale forma legami con quattro atomi non tutti uguali, la forma della molecola è quella di un **tetraedro non regolare**, come per esempio quella delle molecole del cloroformio (CHCl_3) [FIGURA 4].

Prendiamo ora in considerazione le molecole in cui l'atomo centrale presenta quattro coppie di elettroni ma non forma quattro legami. Consideriamo l'ammoniaca (NH_3) e l'acqua (H_2O): la forma delle loro molecole non è tetraedrica anche se alle 4 coppie di elettroni corrisponde una struttura tetraedrica.



L'atomo di azoto ha tre coppie di legame e una coppia solitaria: ne consegue che la molecola ha una forma di **piramide a base triangolare**.

L'atomo di ossigeno ha due coppie di legame e due coppie solitarie: ne consegue che la molecola è planare e ha una **forma angolare** (a V).

Struttura lineare e struttura triangolare

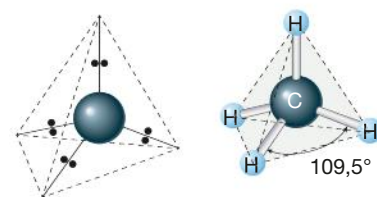
In generale, quando un atomo presenta 2 coppie di elettroni condivise nel guscio di valenza, queste si respingono dando origine a una **struttura lineare**.

La struttura lineare, con un angolo di legame di 180° , rende massima la distanza tra le 2 coppie di elettroni e determina la **forma lineare** della molecola [FIGURA 5].

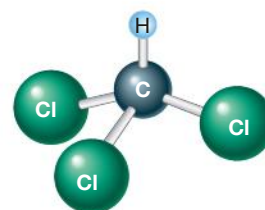
In generale, quando un atomo presenta 3 coppie di elettroni condivise nel guscio di valenza, queste si respingono dando origine a una **struttura triangolare** (o **trigonale planare**).

La struttura triangolare, con angoli di legame di 120° , rende massima la distanza tra le 3 coppie di elettroni e determina la **forma triangolare** e planare della molecola [FIGURA 6].

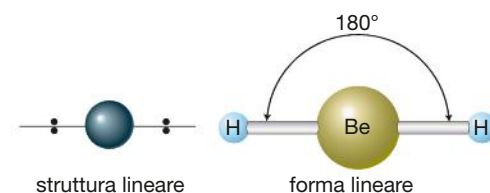
Esistono anche molecole che presentano attorno all'atomo centrale più di 4 coppie di elettroni nel guscio di valenza [TABELLA 1 a pagina seguente].



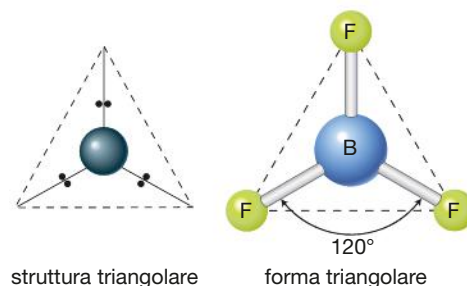
↑ FIGURA 3 Gli atomi di idrogeno di una molecola di CH_4 si dispongono ai vertici di un tetraedro regolare.



↑ FIGURA 4 Se gli atomi legati all'atomo centrale sono diversi, le lunghezze di legame sono differenti e il tetraedro è irregolare.

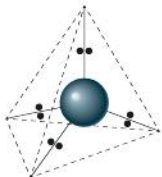
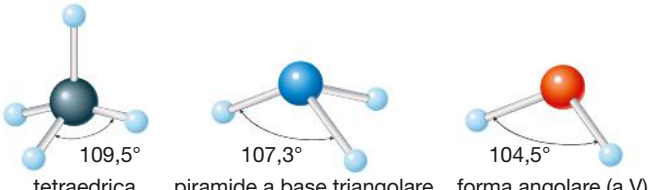
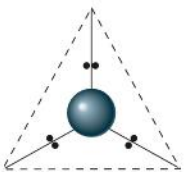
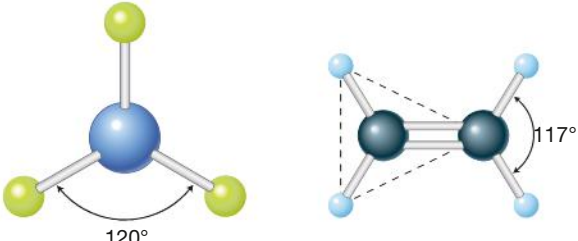

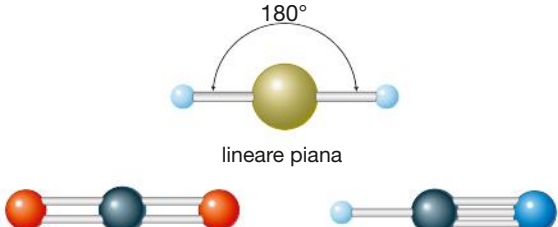
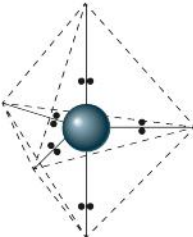
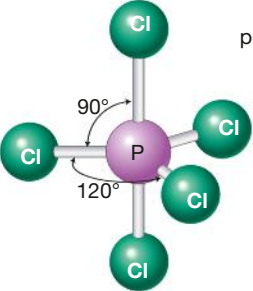
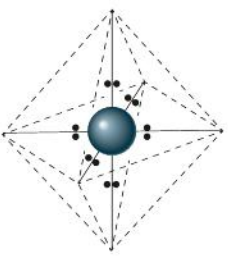
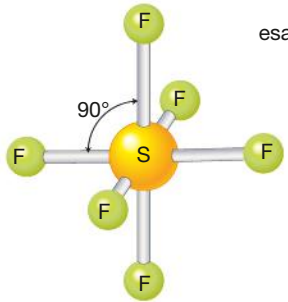


↑ FIGURA 5 Molecola di diidruro di berillio (BeH_2).



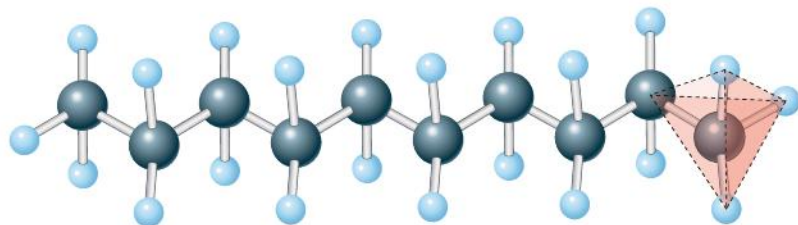
↑ FIGURA 6 Molecola di trifluoruro di boro (BF_3).

↓ **TABELLA 1** Struttura dell'atomo centrale e forma delle molecole.

Principi della teoria VSEPR	Struttura	Forma delle molecole
<p>4 coppie di elettroni nel guscio di valenza (sia di legame sia non condivise) dell'atomo al centro della molecola.</p> <p>Le coppie di elettroni non condivise o <i>coppie solitarie</i> (CS) richiedono più spazio delle <i>coppie di legame</i> (CL), come nel caso dell'ammoniaca e dell'acqua. $CS-CS > CS-CL > CL-CL$</p>	 <p>tetraedrica</p>	 <p>109,5° tetraedrica</p> <p>107,3° piramide a base triangolare ammoniaca</p> <p>104,5° forma angolare (a V) acqua</p>
<p>3 coppie di elettroni nel guscio di valenza dell'atomo al centro della molecola.</p> <p>Le 2 coppie di elettroni che formano doppi legami occupano uno spazio maggiore ma vanno conteggiate come se fossero una unica coppia di elettroni, come nel caso dell'etene.</p>	 <p>triangolare</p>	 <p>120° triangolare planare</p> <p>117° etene</p>
<p>2 coppie di elettroni nel guscio di valenza dell'atomo al centro della molecola.</p> <p>Le coppie di elettroni che formano doppi o tripli legami vanno conteggiate come se fossero una unica coppia di elettroni, come nel caso dell'anidride carbonica e dell'acido cianidrico.</p>	 <p>lineare</p>	 <p>180° lineare piana</p> <p>anidride carbonica</p> <p>acido cianidrico</p>
<p>5 coppie di elettroni nel guscio di valenza dell'atomo centrale, come nel caso del pentacloruro di fosforo.</p>	 <p>bipiramidale trigonale</p>	 <p>pentacloruro di fosforo</p> <p>90° 120° bipiramidale trigonale</p>
<p>6 coppie di elettroni nel guscio di valenza dell'atomo centrale, come nel caso dell'esafluoruro di zolfo.</p>	 <p>ottaedrica</p>	 <p>esafluoruro di zolfo</p> <p>90° ottaedrica</p>

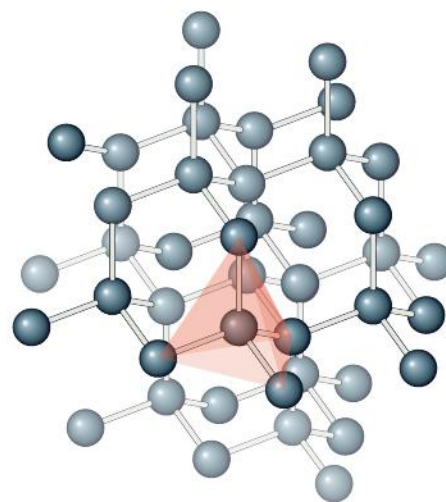
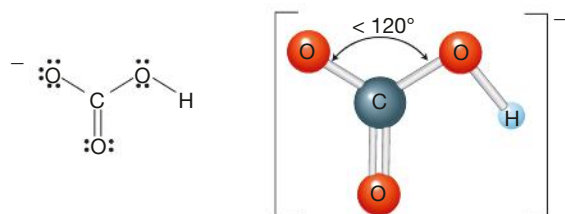
La teoria VSEPR si può applicare anche alle sostanze le cui molecole sono costituite da molti atomi, alle sostanze reticolari e agli ioni poliatomici.

Nella molecola di un idrocarburo come il decano ($C_{10}H_{22}$) ogni atomo di carbonio si trova al centro di un immaginario tetraedro. Questo spiega perché la catena di atomi di carbonio si dispone nello spazio e non sul piano.



In un solido reticolare come il diamante, ciascun atomo di carbonio si trova al centro di un immaginario tetraedro ai cui vertici ci sono altri 4 atomi di carbonio [FIGURA 7].

La forma di uno ione poliatomico come il bicarbonato (HCO_3^-) è determinata dall'atomo centrale ovvero l'atomo di carbonio che ha struttura triangolare (il doppio legame si conteggia come una coppia singola) e dall'atomo di ossigeno legato all'idrogeno che ha una struttura tetraedrica.



↑ FIGURA 7 A ogni atomo di carbonio presente nel diamante corrisponde una struttura tetraedrica regolare.

Risolvi

Rappresenta la forma della molecola del metanolo (CH_3OH).

Verifica se hai capito

Le soluzioni sono a pag. S1, poi continua con gli esercizi a pag. 266

1 A quali elettroni fa riferimento la teoria VSEPR?

2 Completa le frasi sulla teoria VSEPR sotto alle immagini.



2 coppie di elettroni ... coppie di elettroni ... coppie di elettroni
struttura struttura struttura

3 Indica se queste affermazioni sulla teoria VSEPR sono vere o false.

- Le coppie di elettroni nei legami multipli esercitano una minore forza di repulsione di quella dei legami semplici. ☐ ☐
- I legami multipli vanno considerati come fossero un'unica coppia di elettroni. ☐ ☐
- Le coppie solitarie occupano più spazio delle coppie di legame. ☐ ☐
- Le molecole in cui tutti gli atomi seguono la regola dell'ottetto hanno la forma di un tetraedro regolare. ☐ ☐

4 Un idrocarburo ha formula $CH_2 = CH - CH_3$. Quale atomo di carbonio ha una struttura tetraedrica?

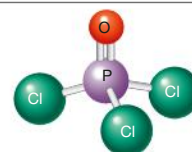
5 Associa a ogni molecola il suo angolo di legame.

- | | |
|------------------|------------------|
| a. CBr_4 | 1. 180° |
| b. AsH_3 | 2. $109,5^\circ$ |
| c. H_2O | 3. $107,3^\circ$ |
| d. CO_2 | 4. $104,5^\circ$ |

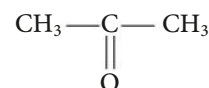
6 Completa la tabella come indicato nell'esempio.

	L'atomo evidenziato presenta:
H_2Te	2 legami covalenti e 2 coppie di elettroni solitarie
CH_2Cl_2	
HI	
PH_3	

7 Qual è la forma della molecola rappresentata in figura?



8 La formula di struttura della molecola dell'acetone è:



Qual è la struttura dell'atomo di carbonio centrale?