

## C1

# Chimica organica: un'introduzione



## LEZIONE

1

## I composti organici

La chimica organica è la chimica dei composti del carbonio, che comprendono molecole molto diverse. Nei viventi i composti organici hanno un ruolo energetico, sono precursori di molecole con importante attività biologica e svolgono un ruolo funzionale.

## LEZIONE

2

## Gli idrocarburi saturi

Gli idrocarburi sono composti costituiti da atomi di carbonio e idrogeno, uniti da legami covalenti. Negli idrocarburi saturi sono presenti solo legami singoli: gli alcani sono catene aperte, mentre i cicloalcani sono anelli chiusi.

## LEZIONE

3

## Gli idrocarburi insaturi

Gli idrocarburi insaturi contengono legami doppi (alcheni) o tripli (alchini); sono detti insaturi perché non sono legati al massimo numero possibile di atomi di idrogeno. La presenza di legami insaturi rende questi idrocarburi più reattivi degli alcani.

## LEZIONE

4

## Gli idrocarburi aromatici

Tutti i composti che hanno struttura e proprietà simili al benzene sono detti aromatici. Il termine «aromatico» deriva dal fatto che i primi composti di questa classe che furono identificati avevano un odore intenso.

## LEZIONE

5

## I derivati degli idrocarburi

I derivati degli idrocarburi sono composti nei quali uno o più atomi di carbonio sono sostituiti da altri atomi o gruppi di atomi (detti gruppi funzionali). I gruppi funzionali determinano le proprietà chimiche e fisiche dei composti.

## LEZIONE

6

## La reattività organica

Le reazioni in chimica organica possono procedere attraverso vari meccanismi: addizione, eliminazione, sostituzione, riarrangiamento. Il prevalere di un meccanismo rispetto all'altro dipende dalle caratteristiche delle catene e dai gruppi funzionali.



## 1

## I composti organici

## 1 Una breve storia della chimica organica

Alla fine del diciottesimo secolo, i chimici cominciarono a occuparsi dei composti ottenuti per estrazione e purificazione di organismi animali e vegetali, e ben presto constatarono che tali sostanze obbedivano a regole diverse rispetto ai composti che si trovavano nella materia inanimata, come i minerali. Gli scienziati sapevano che la formazione dei composti inorganici era dovuta all'attrazione di tipo elettrostatico fra gli atomi degli elementi coinvolti e che per combinazione di due o tre elementi si ottenevano pochi composti differenti. La materia vivente, invece, era costituita da un gran numero di composti eccezionalmente stabili derivanti dalla combinazione di appena quattro elementi: carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto.

Nel 1807 Jöns Jacob Berzelius (figura 1A) fu il primo a proporre di usare il termine «composto organico» per i composti prodotti dagli organismi viventi. Poiché nessun composto organico era mai stato sintetizzato a partire da sostanze inorganiche e la complessità dei composti organici era inesplicabile, per molti anni gli scienziati ritennero che i composti presenti nella materia vivente fossero qualitativamente diversi da quelli di origine minerale e che la loro specificità andasse attribuita alla presenza di una misteriosa «forza vitale».

In base alla **teoria della forza vitale**, le sostanze organiche potevano essere generate solo dalla materia vivente. I risultati di un semplice esperimento effettuato nel 1828 dal chimico tedesco Friedrich Wöhler (figura 1B) segnarono la fine di questa teoria. Riscaldando due composti inorganici, l'acido cianico (HCNO) e l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>), per preparare cianato di ammonio (NH<sub>4</sub>CNO), Wöhler ottenne una sostanza bianca cristallina che identificò come urea (H<sub>2</sub>N—CO—NH<sub>2</sub>), un composto prettamente organico che in altre occasioni aveva estratto dall'urina.

Gli esperimenti di Wöhler dimostravano, quindi, che era possibile produrre in laboratorio le sostanze organiche senza invocare l'intervento di una forza vitale.

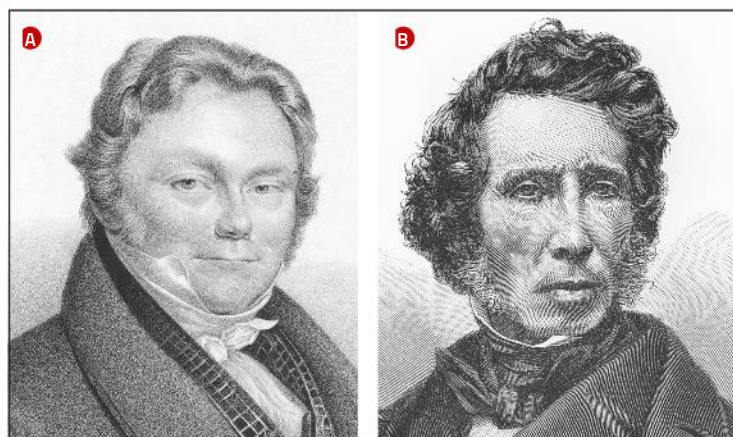
La chimica organica è la branca della chimica che studia tutti i composti del carbonio, indipendentemente dalla loro origine.

Tuttavia, gli ossidi di carbonio, i carburi metallici e i carbonati sono classificati fra i composti inorganici, perché sono a loro più simili.

L'ambito di applicazione della chimica organica è estremamente vasto; oltre agli organismi viventi, comprende moltissime sostanze di uso quotidiano: alimenti (grassi, proteine, carboidrati), combustibili, tessuti, legno, carta, vernici, plastica, coloranti, detersivi, cosmetici, medicinali e prodotti di gomma.

A livello industriale i composti organici vengono sintetizzati a partire da materie prime contenenti carbonio, come petrolio, gas naturale, carbone, carboidrati, grassi e oli. In realtà, le reazioni di sintesi di molti composti organici a partire da fonti diverse dal petrolio sono già note, ma per il momento non risultano economicamente vantaggiose.

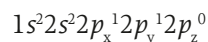
Figura 1 (A) Jöns Jacob Berzelius (Väversunda 1779 – Stoccolma 1848) È stato un importante chimico svedese a cui si deve la scoperta di elementi chimici come il cerio, il selenio, il torio, il silicio, lo zirconio e il titanio. (B) Friedrich Wöhler (Eschersheim 1800 – Gottinga 1882) È stato un chimico tedesco e lavorò con Berzelius a Stoccolma, collaborando all'isolamento del berillio e del silicio.



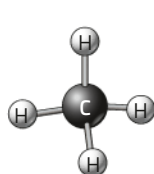
## 2 L'atomo di carbonio ha caratteristiche peculiari

L'atomo di carbonio è il costituente fondamentale dei composti organici. In natura si trova allo stato elementare nel diamante, nella grafite e in vari tipi di carbone, ed è un miscuglio di diversi isotopi, sia stabili (carbonio-12 e carbonio-13) sia radioattivi (carbonio-14).

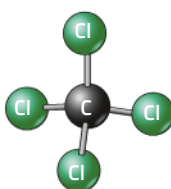
Il carbonio è un non metallo, ha numero atomico 6 e la sua configurazione elettronica è:



Ogni atomo di carbonio ha quattro elettroni di valenza ( $\cdot\dot{C}\cdot$ ), ma soltanto due sono gli elettroni spaiati e per tale motivo dovrebbe formare soltanto due legami covalenti. In realtà, tende a completare l'ottetto, cioè a formare quattro legami covalenti con altri atomi, come avviene nel caso del metano e del tetracloruro di carbonio.



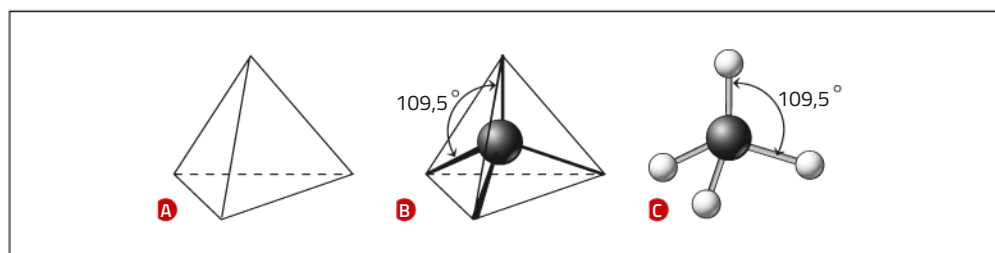
metano



tetracloruro di carbonio

Anche se i legami vengono spesso rappresentati ad angolo retto l'uno rispetto all'altro, in realtà questi composti hanno una struttura tetraedrica (figura 2).

Da accurate misure sperimentali sappiamo, infatti, che gli angoli di legame H—C—H o Cl—C—Cl sono tutti uguali a  $109,5^\circ$  e i quattro legami C—H, così come i legami C—Cl, hanno la stessa lunghezza. A partire solo dalle proprietà dell'orbitale  $s$ , che è sferico, e degli orbitali  $p$ , che sono perpendicolari tra loro, è impossibile dare spiegazione a queste strutture «anomale». La soluzione del problema viene da una nuova teoria: *l'ibridazione degli orbitali atomici*.



**Figura 2** La struttura tetraedrica del carbonio (A) Un tetraedro regolare; (B) un atomo di carbonio all'interno di un tetraedro regolare; (C) una molecola di metano,  $CH_4$ .

### Gli orbitali ibridi

Gli orbitali ibridi sono orbitali atomici di tipo misto che derivano dall'incrocio, o ibridazione, di orbitali atomici puri, cioè di orbitali  $s$ ,  $p$ ,  $d$  o  $f$ , caratteristici di un certo atomo.

Per esempio, «mescolando» un orbitale di tipo  $s$  e uno di tipo  $p$ , si ricavano due orbitali ibridi, che vengono contrassegnati dalla sigla  $sp$ . Incrociando, invece, un orbitale di tipo  $s$  e due di tipo  $p$ , si ottengono tre nuovi orbitali, chiamati ibridi  $sp^2$  (si legge «essepi-due»). Infine, dalla combinazione di un orbitale  $s$  e tre orbitali  $p$  si ricavano quattro nuovi orbitali, gli ibridi  $sp^3$ .

Scarica la app:



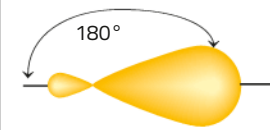
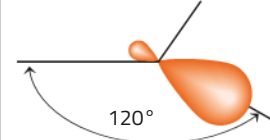
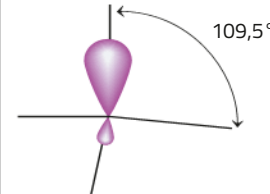
TI RICORDI?

Il **legame covalente** consiste nella condivisione di una o più coppie di elettroni tra atomi uguali o diversi di non metalli.

**PER CAPIRE MEGLIO**  
video:  
L'ibridazione dell'atomo di carbonio

Ciascun tipo di orbitale corrisponde a una particolare regione dello spazio in cui vi è un'elevata probabilità di trovare un elettrone: normalmente, rappresentiamo tale regione tramite una opportuna superficie limite. Gli orbitali ibridi non fanno eccezione; a ciascuno di essi corrisponde una ben particolare superficie limite; la forma e le caratteristiche geometriche di tali superfici sono descritte nella **tabella 1**.

**Tabella 1** Gli orbitali ibridi Le caratteristiche geometriche degli orbitali ibridi  $sp$ ,  $sp^2$  e  $sp^3$ .

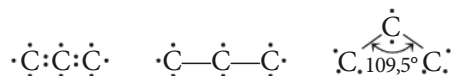
Ibrido	Numero di orbitali ibridi	Forma della superficie limite	Disposizione reciproca
$sp$	2	lineare	
$sp^2$	3	triangolare piana	
$sp^3$	4	tetraedrica	

La geometria tetraedrica dei legami nei composti del carbonio si spiega proprio grazie agli orbitali ibridi  $sp^3$ . Dalla combinazione dell'orbitale  $2s$  con i tre orbitali  $2p$  dell'atomo carbonio, si formano quattro orbitali ibridi di uguale forma ed energia diretti verso i vertici di un tetraedro. Ogni legame C—H nella molecola di metano è il risultato della sovrapposizione di un orbitale  $sp^3$  del carbonio e di un orbitale  $s$  dell'idrogeno. In modo analogo, ogni legame semplice che concatena tra loro gli atomi di carbonio delle molecole più complesse del metano, è il risultato della sovrapposizione di due orbitali ibridi  $sp^3$ , uno per ciascun atomo di carbonio.

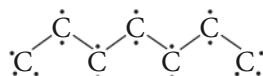
Vedremo in seguito che gli ibridi  $sp^2$  e  $sp$  danno ragione della particolare geometria di altri composti del carbonio, quali, per esempio, gli alcheni ( $sp^2$ ) e gli alchini ( $sp$ ).

### Le catene di atomi di carbonio

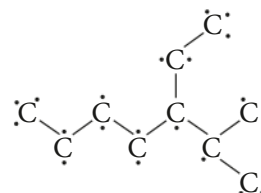
La spiccata tendenza del carbonio a formare catene di atomi legati in modo covalente è uno dei motivi per cui i composti organici sono così numerosi. Qui sotto sono riportati tre esempi.



tre atomi di carbonio uniti per mezzo di legami semplici



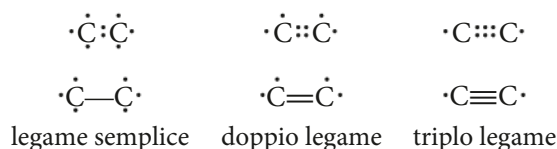
catena costituita da sette atomi di carbonio



catena di dieci atomi di carbonio

Tali catene si formano perché gli atomi di carbonio possono condividere i loro elettroni con altri atomi dello stesso tipo.

Due atomi di carbonio possono mettere in compartecipazione una, due o tre coppie di elettroni in modo da formare, rispettivamente, un legame semplice, doppio o triplo.



I composti del carbonio sono talmente numerosi che è impossibile studiare e ricordare le loro proprietà individuali; tuttavia è possibile suddividerli in famiglie in base alle loro caratteristiche strutturali.

In particolare, le proprietà chimiche dei composti organici dipendono da singoli atomi o da gruppi di atomi caratteristici, detti **gruppi funzionali**.

In genere, è sufficiente studiare le proprietà di alcuni composti per essere in grado di prevedere il comportamento degli altri membri della famiglia.

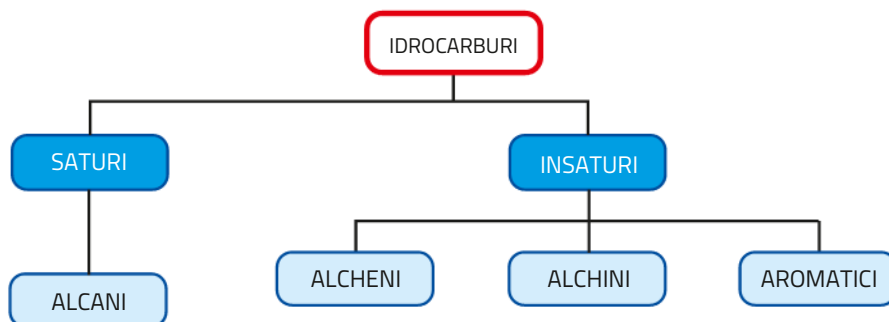
In questa breve introduzione alla chimica organica esamineremo due classi fondamentali di composti organici: gli idrocarburi e i loro derivati.

### 3 Gli idrocarburi sono costituiti da carbonio e idrogeno

Gli **idrocarburi** sono composti costituiti esclusivamente da atomi di carbonio e di idrogeno uniti da legami covalenti.

Si tratta di un'ampia famiglia di composti, che può essere suddivisa in *saturi* e *insaturi*. Gli **idrocarburi saturi** contengono solo legami semplici carbonio-carbonio e costituiscono la famiglia degli alcani. Gli **idrocarburi insaturi**, invece, contengono anche atomi di carbonio uniti da doppi o tripli legami e comprendono gli *alcheni*, gli *alchini* e i *composti aromatici*.

Le principali fonti di idrocarburi sono i combustibili fossili (gas naturale, petrolio e carbone). Il gas naturale è composto prevalentemente da metano, con piccole quantità di etano, propano e butano. Il petrolio è un liquido viscoso costituito da un miscuglio di idrocarburi (soprattutto alcheni e alchini) dalla cui raffinazione si ottengono benzina, kerosene, oli combustibili, paraffina e petrolato (a loro volta costituiti da miscugli di idrocarburi). Gli idrocarburi aromatici, come benzene, toluene e naftalene, si ottengono prevalentemente dal catrame di carbone, un sottoprodotto volatile della lavorazione del coke nell'industria dell'acciaio.



#### RISPONDI

- In che cosa si differenziano i composti organici da quelli inorganici?
- Quali sono le ibridazioni del carbonio e che caratteristiche hanno?
- Che cosa sono gli *idrocarburi* e come si classificano?

#### TI RICORDI?

Nelle **formule di struttura** ogni trattino rappresenta un legame covalente.

#### PER SAPERNE DI PIÙ

Un'altra classificazione degli idrocarburi li distingue in **alifatici** e **aromatici**. Gli idrocarburi alifatici sono a catena aperta o ciclica e comprendono alcani, alcheni e alchini; gli idrocarburi aromatici contengono una particolare struttura ciclica con legami doppi e semplici alternati.

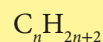
## 2

# Gli idrocarburi saturi

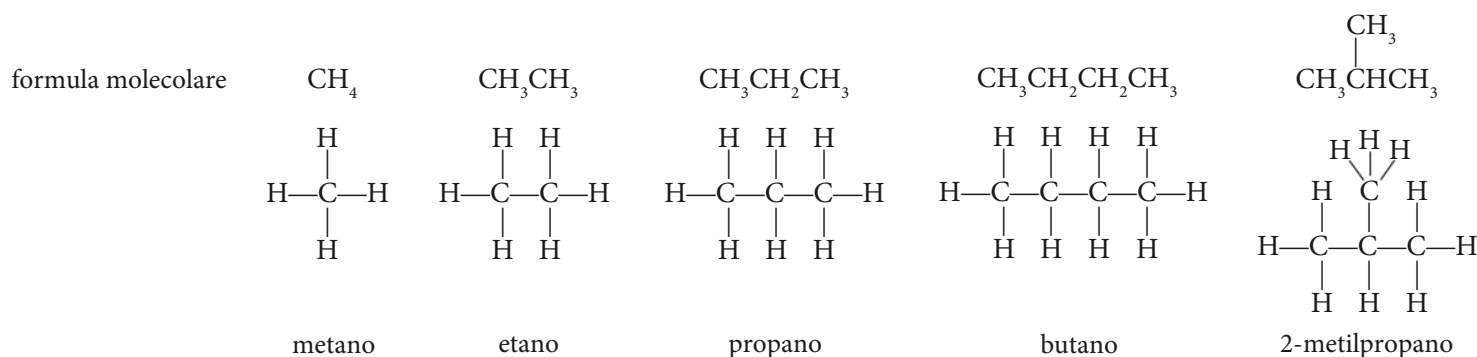
## 4 Gli alcani presentano legami carbonio-carbonio singoli

Gli alcani, detti anche *paraffine* o *idrocarburi saturi*, sono composti a catena lineare o ramificata in cui gli atomi di carbonio sono uniti solo da legami covalenti semplici.

Da queste sostanze derivano molte altre classi di composti organici: è necessario quindi ricordare il nome dei primi dieci membri della serie, che costituiscono la base della nomenclatura di altre classi di composti. Gli alcani costituiscono una **serie omologa** di composti: ogni alcano differisce dal termine precedente della serie per l'aggiunta di un gruppo  $-\text{CH}_2$ . I membri di una serie omologa hanno struttura analoga, ma formula diversa. Le classi più comuni di composti organici formano serie omologhe, che possono essere rappresentate per mezzo di una formula generale. Per gli alcani a catena aperta la formula generale è



in cui  $n$  rappresenta il numero di atomi di carbonio. Il primo membro della serie degli alcani è il metano,  $\text{CH}_4$ . Le molecole contenenti due, tre e quattro atomi di carbonio sono chiamate rispettivamente etano, propano e butano.



I primi quattro alcani hanno nomi tradizionali che occorre memorizzare, ma il nome dei sei composti successivi si ottiene aggiungendo il suffisso *-ano* a un prefisso che indica il numero degli atomi di carbonio presenti. Nel caso del pentano,  $n = 5$  e  $2n + 2 = 12$ , perciò la formula è  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ . La formula dell'esadecano, un alcano con 16 atomi di carbonio, è  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ . I nomi e le formule dei primi dieci alcani sono riportati nella **tabella 2**.

Le molecole degli alcani sono apolari perché contengono legami apolari (C—C) o poco polari (C—H). Le interazioni fra molecole apolari sono molto deboli, perciò i punti di ebollizione degli alcani sono minori di quelli di altri composti organici di analoga massa molare.

### PER SAPERNE DI PIÙ

Gli **oli** sono costituiti da alcani e da altri idrocarburi.

**Tabella 2** Gli alcani a catena lineare Nome, formula e proprietà fisiche dei primi dieci alcani a catena lineare.

Nome	Formula molecolare $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	Formula di struttura condensata	Punto di ebollizione (°C)	Punto di fusione (°C)
metano	$\text{CH}_4$	$\text{CH}_4$	-161	-183
etano	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{CH}_3\text{CH}_3$	-88	-172
propano	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	-45	-187
butano	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	-0,5	-138
pentano	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	36	-130
esano	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	69	-95
eptano	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	98	-90
ottano	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	125	-57
nonano	$\text{C}_9\text{H}_{20}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	151	-54
decano	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	174	-30

## Biodiesel: un combustibile da fonti rinnovabili

Il 10 agosto 1893 venne messo in funzione il primo modello di **motore diesel** progettato dall'omonimo ingegnere Rudolf Diesel (1858-1913). Per ricordare questa scoperta importante, il 10 agosto è stata dichiarata la «Giornata mondiale del biodiesel». A differenza dei motori a scoppio in cui l'accensione della miscela combustibile-comburente viene innescata da una scarica elettrica, il motore diesel è in grado di funzionare senza innesco. La particolarità di questa tecnologia è che sfrutta la compressione dei gas per raggiungere la temperatura di autoignizione: raggiunta questa temperatura, il combustibile inizia a bruciare spontaneamente in presenza di aria. Mentre i motori a scoppio funzionano a benzina, i motori diesel funzionano a **gasolio**, cioè sono necessari due carburanti che derivano da frazioni del petrolio.

### Oli vegetali e Green Chemistry

I motori diesel muovono oggi centinaia di milioni di automobili, treni e navi nel mondo. Se tutti noi siamo a conoscenza dell'invenzione geniale di Diesel, in pochi sanno che il suo primo prototipo fu ideato per funzionare con olio di arachide. Nel 1912 l'ingegnere pronunciò queste parole: «L'uso degli oli vegetali come carburanti per i motori può sembrare insignificante oggi, ma tali oli, col passare del tempo, possono diventare altrettanto importanti quanto il petrolio e il carbone; la forza motrice potrà essere ottenuta col calore del Sole anche quando le riserve dei combustibili liquidi e solidi saranno esaurite».

Queste parole profetiche dimostrano come già un secolo fa si prospettasse il problema dell'esaurimento delle risorse energetiche.

Alla fine dell'Ottocento diversi scienziati avevano individuato nell'energia solare una fonte rinnovabile e inesauribile. Ma soltanto negli anni Novanta del secolo scorso questi principi sono confluiti nei punti chiave della **Chimica verde** (*Green Chemistry*). Questa nuova concezione della chimica si fonda sull'intento di sviluppare processi, tecnologie e prodotti che siano sostenibili a livello ambientale, energetico ed economico. La tutela degli esseri viventi, dell'ambiente e delle sue risorse hanno dato il via a moltissime ricerche scientifiche, tra cui appunto lo studio di combustibili alternativi alle fonti fossili.

## Un biocarburante sostenibile

L'utilizzo degli oli vegetali è stato fortemente rivalutato negli ultimi anni.

Come biocombustibili, infatti, presentano diversi vantaggi:

1. Permettono di ridurre la dipendenza dal petrolio.
2. Sono una risorsa rinnovabile: si formano tramite il ciclo vitale delle piante.
3. La loro combustione riduce le emissioni di anidride carbonica perché derivano da fonti vegetali che utilizzano la fotosintesi.
4. Riducono le emissioni di inquinanti.
5. Sono liquidi a temperatura ambiente e facilmente disponibili.
6. Hanno un elevato potere calorifico (energia prodotta dalla combustione per unità di massa, MJ/kg).

Nonostante le loro potenzialità, diversi studi hanno però dimostrato che gli oli vegetali non possono essere usati tal quali. A differenza del comune gasolio, infatti, essi hanno una viscosità molto elevata che provoca, soprattutto alle basse temperature, la formazione di depositi che causano guasti al sistema di iniezione del motore.

### Biodiesel e sostenibilità

Il biodiesel è nato con l'intento di unire i vantaggi degli oli vegetali alla necessità di renderli utilizzabili per i motori diesel. Si è scoperto che, trattando gli oli vegetali con sostanze come l'alcol, è possibile ottenere molecole con caratteristiche chimico-fisiche simili a quelle del diesel, cioè un **biodiesel** (figura).

Per riuscire a produrre un combustibile sostenibile non è però sufficiente che derivi da fonti rinnovabili. Nella produzione del biodiesel si è scelto di utilizzare oli vegetali esausti oppure oli non edibili: in questo modo non si entra in competizione con le coltivazioni destinate all'industria alimentare e si riesce a valorizzare un prodotto di scarto.

Il biodiesel può essere prodotto a partire da oli diversi: colza, palma, soia, noce di cocco, lino, canapa, girasole, arachide, anche se quelli più utilizzati sono i primi tre. A seconda del territorio ci può essere un olio più conveniente di un altro.

Tenendo conto di questi fattori, la produzione del biodiesel diventa una via sostenibile in una specifica realtà geografica. Vi è però ancora tanto da fare per riuscire a mettere sul mercato biocombustibili che siano competitivi con i combustibili fossili. Ma attraverso la sinergia tra ricerca e politiche sostenibili, il futuro a cui guardava Diesel potrà diventare presto realtà.

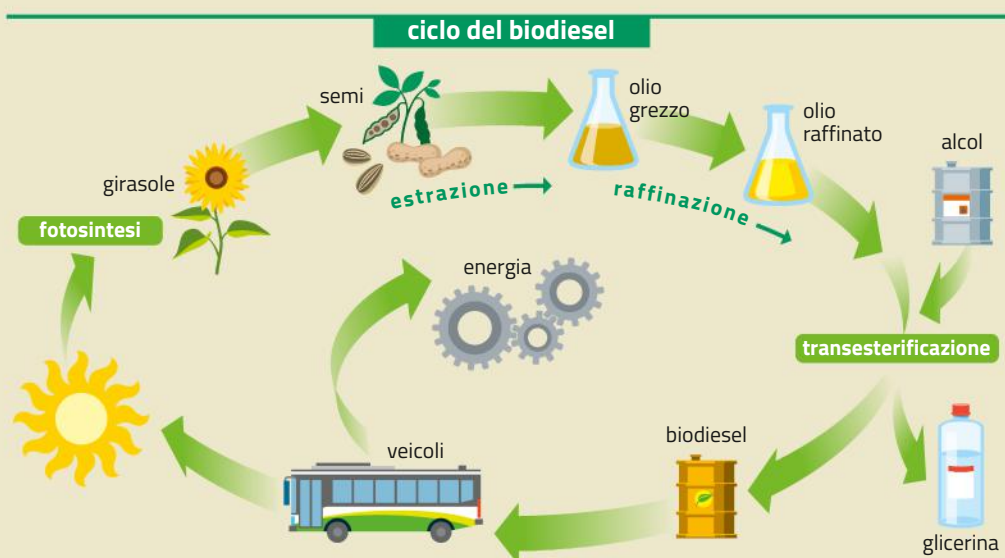


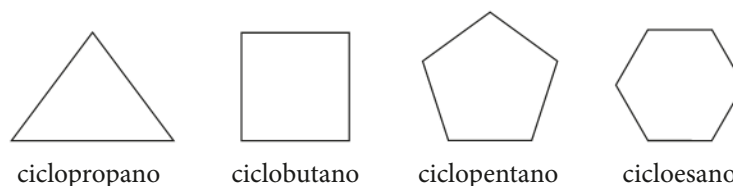
Figura Il ciclo del biodiesel.

## I cicloalcani

I **cicloalcani** sono alcani ciclici, cioè con struttura ad anello. La formula generale è  $C_nH_{2n}$ . Per esempio, il cicloesano, con sei atomi di carbonio, ha formula  $C_6H_{12}$ .

Per i composti ciclici si usano particolari formule di struttura: gli anelli vengono rappresentati con un poligono che ha tanti vertici quanti sono gli atomi di carbonio dell'anello. Per esempio, il ciclopropano (tre atomi di carbonio) viene rappresentato con un triangolo, il ciclobutano (quattro atomi di carbonio) viene rappresentato con un quadrilatero, il ciclopentano (cinque atomi di carbonio) con un pentagono e il cicloesano (sei atomi di carbonio) con un esagono, e così via.

Per semplicità, non si riportano né gli atomi di carbonio né quelli di idrogeno a essi legati.

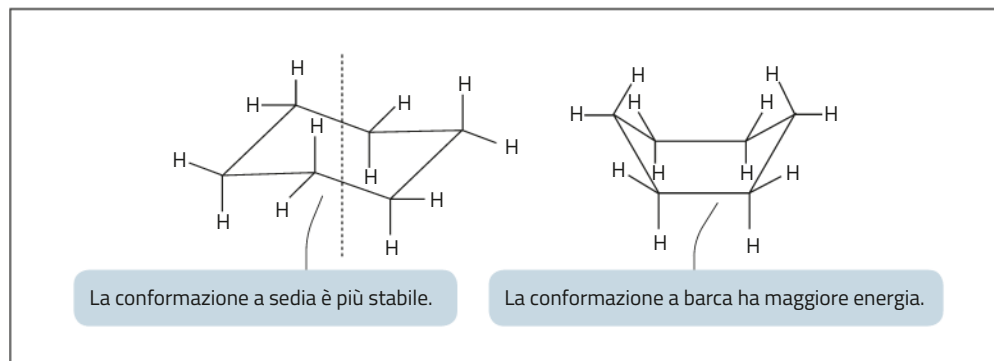


### LE PAROLE

La **conformazione** (dal latino: *conformatio* = configurazione) è la particolare disposizione spaziale degli atomi in una molecola.

Fra i cicloalcani, il più importante è il **cicloesano**: ha una struttura particolarmente stabile e per questo motivo i suoi derivati sono presenti in molti prodotti naturali. La molecola del cicloesano può assumere diverse conformazioni, che si trasformano l'una nell'altra per semplice rotazione attorno ai legami carbonio-carbonio. Le due principali conformazioni sono dette *a sedia* (a minore energia e quindi più stabile) e *a barca* (a maggiore energia). A temperatura ambiente, le molecole del cicloesano passano continuamente da una forma all'altra: l'agitazione termica è sufficiente a consentire la conversione fra le due conformazioni (figura 3).

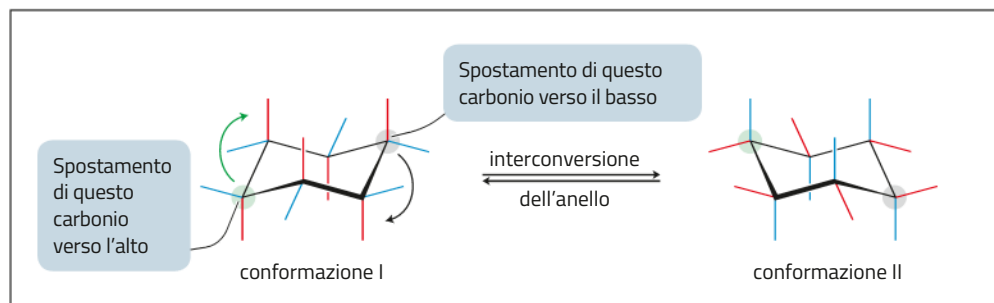
**Figura 3** Le conformazioni a sedia e a barca del cicloesano. Le due conformazioni si interconvertono tra loro per rotazione intorno ai legami C—C.



Ogni atomo di carbonio dell'anello della sedia lega due atomi di idrogeno con due legami: uno *equatoriale* (inclinato sopra o sotto il piano della molecola) e uno *assiale* (perpendicolare al piano medio della molecola).

Esiste la possibilità di interconversione di una forma a sedia in un'altra forma a sedia rovesciata, in cui tutti i legami assiali si trasformano in legami equatoriali (figura 4).

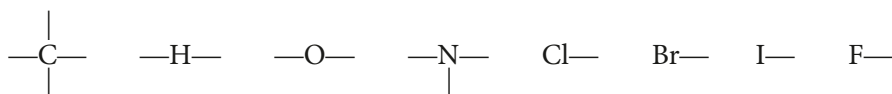
**Figura 4** Conformazione a sedia e a sedia rovesciata. Le due conformazioni sono in equilibrio tra di loro e la molecola passa continuamente da una conformazione all'altra. In questo processo di interconversione, i legami che nella conformazione I avevano direzione equatoriale (in blu), nella conformazione II diventano assiali (sempre in blu), mentre quelli che erano assiali (in rosso) diventano equatoriali (sempre in rosso).



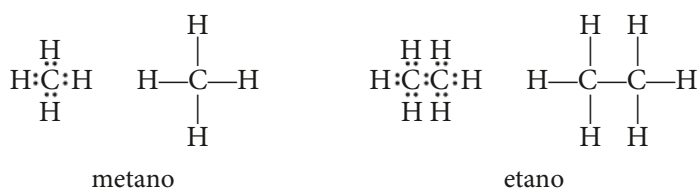


## 5 Come si rappresentano le formule di struttura

Le proprietà delle sostanze organiche dipendono dalla loro struttura molecolare, cioè dal modo in cui gli atomi sono legati all'interno della molecola. Come abbiamo già detto, i composti organici sono costituiti da un numero relativamente ridotto di elementi: carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto e alogeni. In questi composti, il carbonio forma quattro legami, l'azoto ne forma tre, l'ossigeno due, l'idrogeno e ciascun alogeno uno.

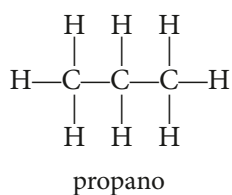


Per illustrare la struttura tridimensionale delle molecole è utile ricorrere a modellini molecolari; trasferendo i modelli spaziali sulla carta si ottengono formule di struttura bidimensionali. Consideriamo, per esempio, le formule del metano e dell'etano espresse con la notazione di Lewis.

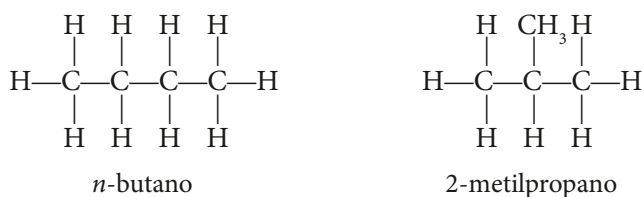


Per scrivere la formula del propano ( $C_3H_8$ ), il termine successivo della serie degli alcani, bisogna comprendere come sono disposti gli atomi all'interno della molecola. Gli alcani contengono solo legami semplici, perciò ogni atomo di carbonio deve essere legato ad altri quattro atomi per mezzo di legami C—C o C—H. L'idrogeno deve essere legato a un unico atomo di carbonio mediante un legame C—H, perciò non possono esistere legami C—H—C; inoltre, un legame H—H rappresenterebbe semplicemente una molecola di idrogeno.

Quindi l'unica struttura possibile per il propano è:



Nel caso del butano, che contiene quattro atomi di carbonio, si possono scrivere invece due formule di struttura:



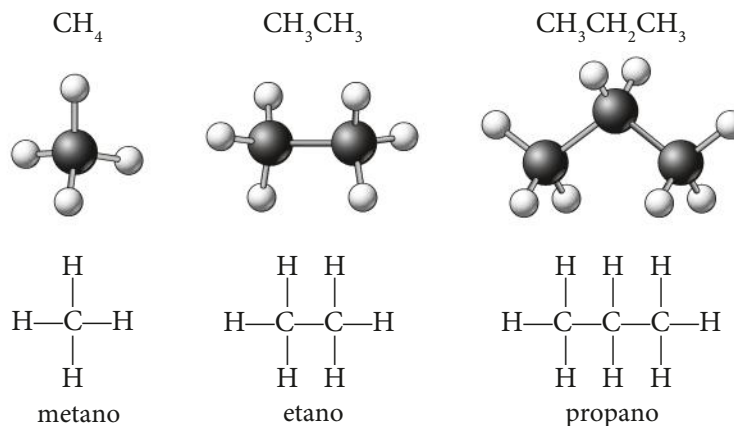
Alla stessa formula molecolare (corrispondono due alcani diversi. L'alcano a catena lineare è detto *n*-butano (*n* sta per *normale*, cioè «non ramificato»), bolle a  $0,5^\circ\text{C}$  e fonde a  $-138,3^\circ\text{C}$ ; il butano a catena ramificata si chiama 2-metilpropano, bolle a  $-11,7^\circ\text{C}$  e

Scarica la app:

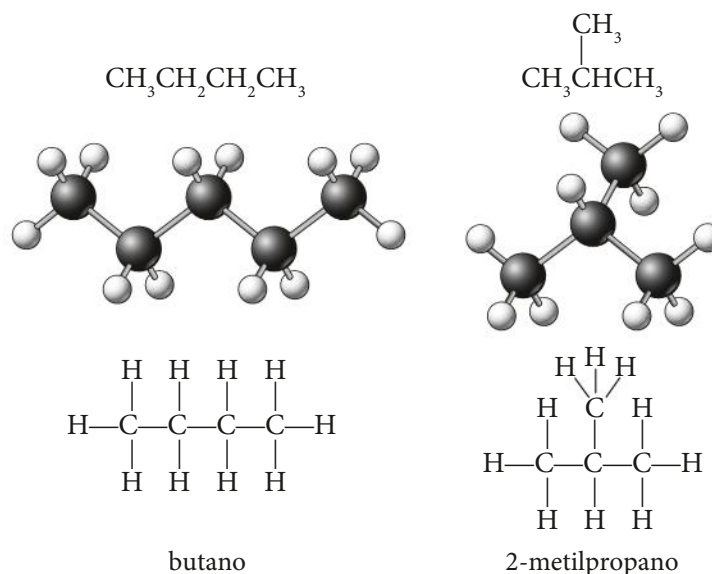


fonde a  $-159,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Questi composti hanno proprietà fisiche diverse: pur possedendo la stessa formula molecolare, sono sostanze diverse. Le strutture del metano, dell'etano, del propano, del butano e del 2-metilpropano sono le seguenti:

formula molecolare



formula molecolare



Per risparmiare tempo e spazio, spesso si usano le *formule di struttura condensate*, in cui ciascun atomo di carbonio viene scritto insieme agli atomi di idrogeno cui è direttamente legato; per esempio, la formula di struttura condensata del pentano è  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ , ovvero  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$ .

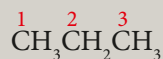
#### ESERCIZIO SVOLTO

##### Proviamo insieme

Scrivi e interpreta la formula di struttura condensata del propano.

##### Risoluzione

Scriviamo la formula condensata del propano e numeriamo i carboni:



Il carbonio in posizione 1 (C-1) è legato a tre atomi di idrogeno e al C-2 che, a sua volta, è unito a due idrogeni e al C-3; quest'ultimo è legato a tre atomi di idrogeno.

##### Prova da solo

Scrivi e interpreta le formule condensate dei seguenti idrocarburi:

a. butano

b. 2-metilpropano

## 6 L'isomeria è un fenomeno comune nei composti organici

Come abbiamo visto, all'idrocarburo  $C_4H_{10}$  corrispondono due composti diversi, detti isomeri, ciascuno dei quali è caratterizzato da specifiche proprietà fisiche.

### L'isomeria di struttura

L'isomeria è un fenomeno molto comune ed è uno dei motivi per cui esiste un numero così elevato di composti organici. In generale, tanto maggiore è il numero di atomi di carbonio di un composto, tanto maggiore diventa il numero dei possibili isomeri; il pentano ha 3 isomeri, l'esano ne ha 5, l'eptano 9, l'ottano 18, il nonano 35 e il decano 75. Per evitare che sorgano ambiguità sulla natura dei composti individuati con la formula bruta, è necessario utilizzare le formule di struttura.

Il fenomeno per cui due o più composti che hanno la stessa formula molecolare presentano diversa struttura si chiama **isomeria strutturale** e i composti sono detti isomeri di struttura.

Gli isomeri di struttura sono composti che hanno la stessa formula molecolare ma diversa formula di struttura.

L'isomeria strutturale può presentarsi in diversi modi; i due isomeri del butano prima considerati, per esempio, sono detti **isomeri di catena** in ragione della diversa struttura

#### LE PAROLE

Un **isomero** (dal greco: *isos* = uguale e *meros* = parte) è un composto che può esistere in forme diverse.

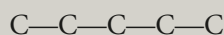
#### ESERCIZIO SVOLTO

##### Proviamo insieme

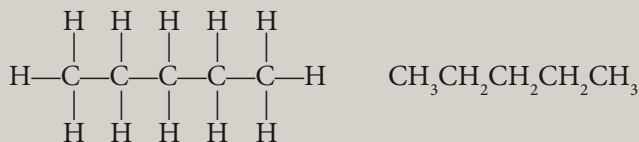
Scrivi le formule di struttura e le formule condensate dei tre isomeri del pentano.

##### Risoluzione

In un problema di questo tipo, si scrive in primo luogo la catena lineare di atomi di carbonio più lunga, che costituisce lo scheletro della molecola: in questo caso si tratta di cinque atomi di carbonio legati fra loro:

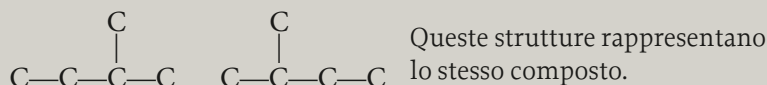


Per completare la struttura, si dispongono gli atomi di idrogeno attorno agli atomi di carbonio, in modo che ciascun carbonio formi quattro legami:

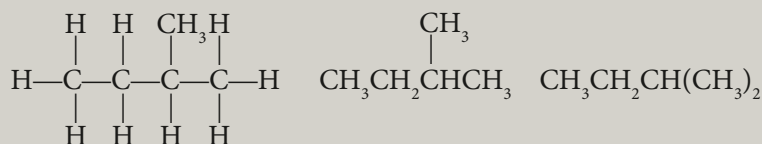


Ciascun carbonio legato a un'estremità della catena ha bisogno di tre atomi di idrogeno, mentre ogni atomo di carbonio interno ne richiede solo due.

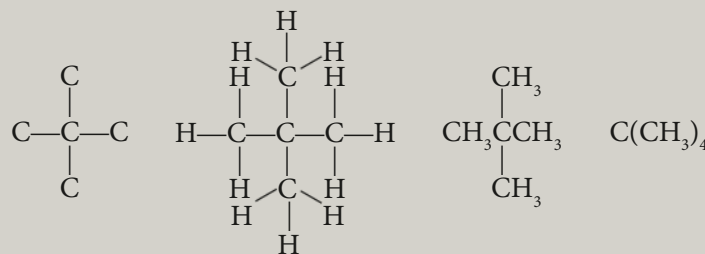
L'isomero successivo si ottiene scrivendo una catena lineare di quattro atomi di carbonio e legando il quinto a uno dei due atomi intermedi.



Ora completiamo la struttura aggiungendo 12 atomi di idrogeno:



Per il terzo isomero, scriviamo una catena di tre atomi di carbonio, uniamo gli altri due all'atomo centrale e completiamo la struttura con i dodici atomi di idrogeno.

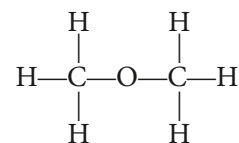
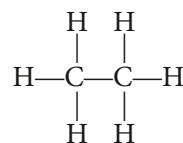


##### Prova da solo

Scrivi le formule di struttura condensate dei cinque isomeri dell'esano,  $C_6H_{14}$ .

della catena carboniosa. L'1-cloropropano e il 2-cloropropano sono, invece, **isomeri di posizione** perché l'atomo di cloro è inserito in posizioni diverse della catena. Esistono anche **isomeri di gruppo funzionale**. Per esempio, nelle due molecole seguenti l'atomo di ossigeno è presente nel gruppo funzionale C—OH caratteristico degli alcoli, oppure nel gruppo funzionale C—O—C caratteristico degli eteri.

formula molecolare



alcol etilico

etere dimetilico

Talvolta, la differenza tra un isomero e l'altro non dipende dal diverso modo con cui si concatenano i loro atomi, ma è ancora più sottile. Per dare origine a molecole con differenti proprietà chimico-fisiche è sufficiente infatti che gli stessi atomi, concatenati in modo identico, abbiano una diversa orientazione nello spazio. A questo particolare tipo di isomeri si dà il nome di **stereoisomeri**: si distinguono in *isomeri geometrici* e in *isomeri ottici*. Dei primi parleremo a proposito degli alcheni; approfondiamo subito, invece, il caso degli isomeri ottici.

### L'isomeria ottica

La mano destra e quella sinistra non sono uguali; esse, infatti, non sono sovrapponibili (quando le facciamo combaciare palmo a palmo, i dorsi sono rivolti in direzione opposta l'uno all'altro e quindi non sono sovrapposti). Se avviciniamo la mano destra allo specchio, l'immagine che vediamo riflessa coincide con la mano sinistra (figura 5A). Pertanto, mano destra e mano sinistra non sono uguali ma risultano l'una l'*immagine speculare* dell'altra. Alcune molecole hanno strutture tali che le rendono simili alle nostre mani.

**PER CAPIRE MEGLIO**  
video:  
Chiralità e stereoisomeria

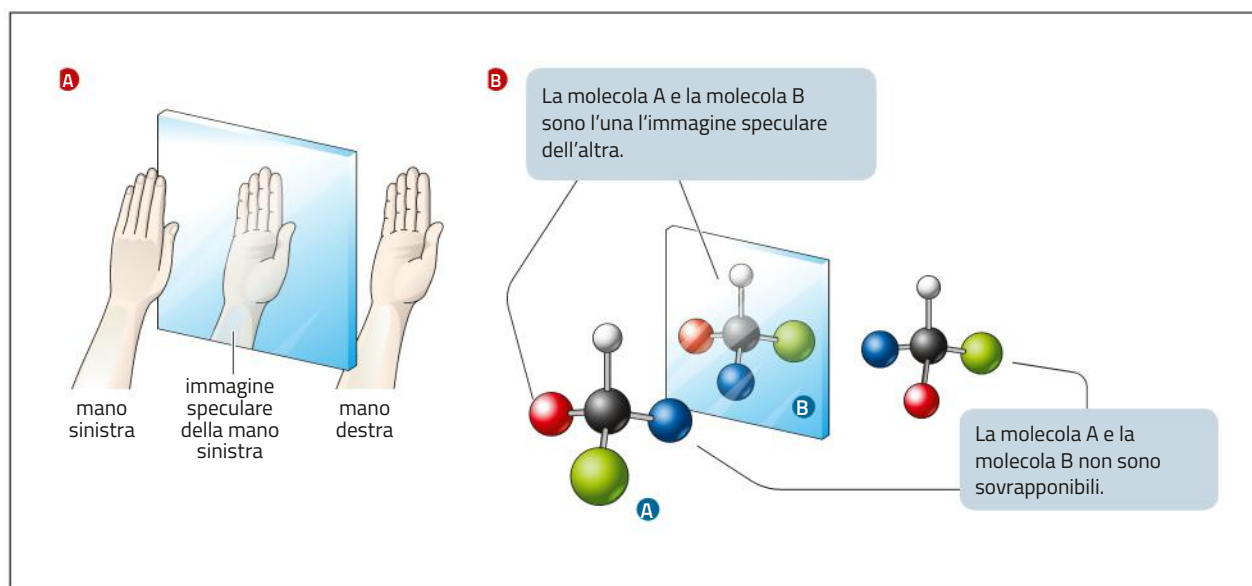
LE PAROLE

Un **enantiomero** (dal greco: *enantios* = opposto e *meros* = parte) è uno dei due composti che è l'immagine speculare, ma non sovrapponibile, dell'altro.

Se due molecole sono l'una l'immagine speculare dell'altra e non sono sovrapponibili, costituiscono una coppia di isomeri ottici o enantiomeri.

Una molecola (o ione) che non è identica alla sua immagine speculare è detta **chirale** (figura 5B).

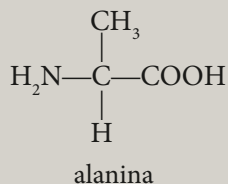
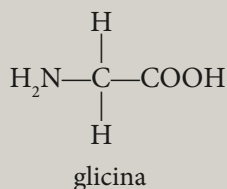
**Figura 5** La chiralità  
(A) Le mani sono l'immagine speculare l'una dell'altra: l'immagine riflessa della mano sinistra è la mano destra. (B) Le molecole A e B sono isomeri ottici e per confrontarli è necessario affiancare l'immagine speculare alla molecola di origine.



## ESERCIZIO SVOLTO

## Proviamo insieme

Determina se glicina e alanina sono molecole chirali.

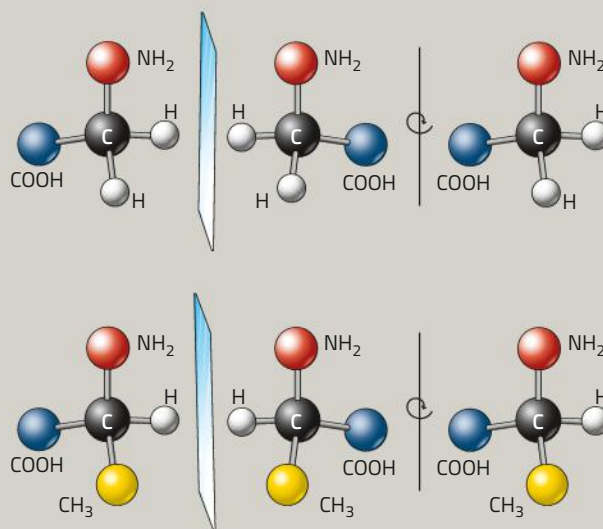


## Risoluzione

Disegniamo le immagini speculari di ciascuna delle due molecole. Ruotiamo poi tali immagini intorno all'asse verticale sino a che il gruppo COOH assume uguale orientazione rispetto alla molecola di partenza.

Nel caso della glicina, l'immagine speculare è sovrapponibile alla molecola iniziale: non è una molecola chirale.

La molecola dell'alanina è, invece, chirale perché non può essere sovrapposta alla sua immagine speculare.



## Prova da solo

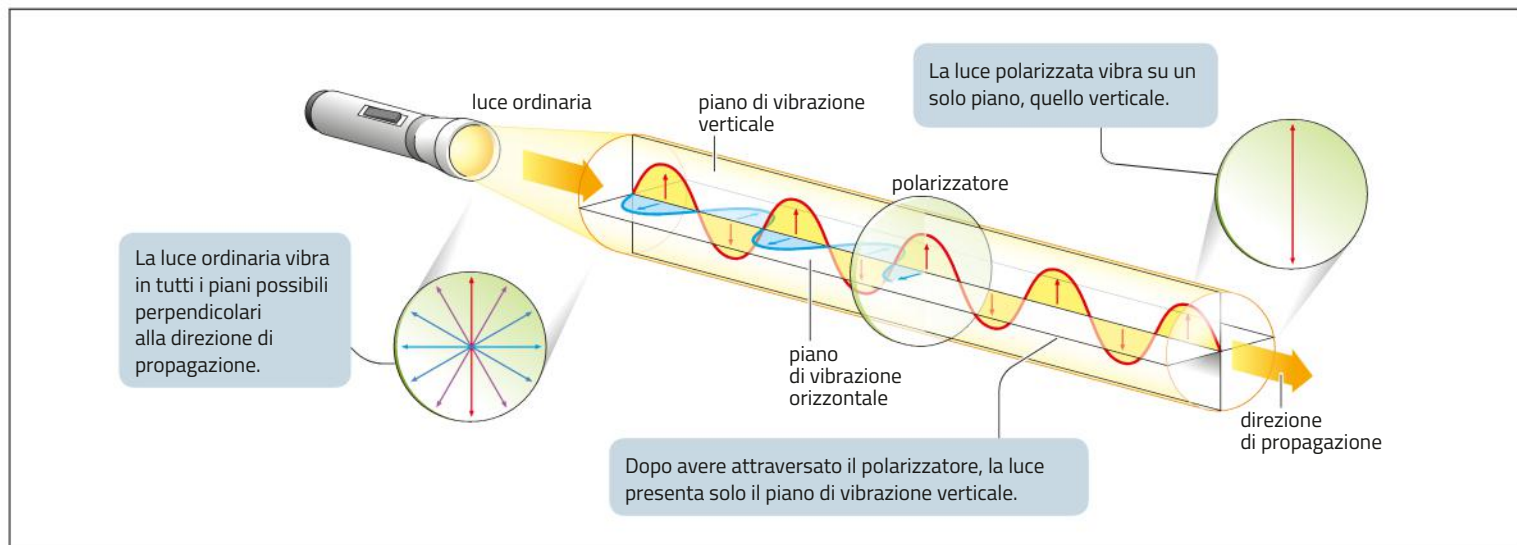
Dimostra che la molecola  $\text{HC}(\text{OH})\text{ClCH}_3$  è chirale.

In generale, se i quattro gruppi atomici legati a un atomo di carbonio tetraedrico sono tutti diversi fra loro, l'atomo di carbonio è un **centro chirale** e la molecola che lo contiene può esistere in due diverse forme enantiomeriche.

Gli enantiomeri hanno identiche proprietà fisiche e chimiche, con due eccezioni: reagiscono in modo diverso con altre molecole chirali e sono *otticamente attivi*, cioè fanno ruotare il piano di un raggio di luce piano-polarizzata in versi opposti. Nella luce piano-polarizzata, le onde si propagano vibrando in un solo piano; invece nella luce non polarizzata, le onde vibrano in tutti i possibili piani perpendicolari alla direzione di propagazione del raggio luminoso (figura 6).

Quando la luce polarizzata passa attraverso una soluzione che contiene molecole otticamente attive, il **piano di polarizzazione** ruota di un certo angolo. Le soluzioni di due enantiomeri, alla stessa concentrazione, provocano rotazioni uguali, ma opposte. L'enantiomero che ruota il piano della luce polarizzata in senso orario è l'**enantiomero (+)**, quello che lo ruota in senso antiorario è l'**enantiomero (-)**.

**Figura 6** Luce ordinaria e luce polarizzata  
La luce ordinaria dopo essere passata attraverso il polarizzatore vibra su un solo piano e risulta quindi polarizzata.

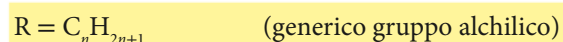


## 7 La nomenclatura dei composti organici

Agli albori della chimica organica, chi isolava o sintetizzava un nuovo composto gli assegnava spesso anche un nome d'uso, che in molti casi richiamava l'origine del composto. Per esempio, il metanolo veniva chiamato *alcol di legno* perché si otteneva per distillazione distruttiva (pirolisi) del legno.

Presto, si fece sentire l'esigenza di stabilire una nomenclatura sistematica per i composti organici; il nuovo sistema fu introdotto per la prima volta nel 1892; da allora, la IUPAC ha proposto numerose revisioni e oggi esiste un insieme di regole che consente di assegnare un nome sistematico a ciascun composto. Tuttavia, per comodità, restano in uso anche molti nomi tradizionali.

Secondo le regole IUPAC il nome degli alcani termina con il suffisso *-ano*. Per ricavare il nome sistematico dei composti organici, è necessario conoscere i gruppi alchilici più comuni. Togliendo un atomo di idrogeno da un alcano si ottiene un **gruppo alchilico**. La formula di un gruppo alchilico, genericamente rappresentato con la lettera R, è  $C_n H_{2n+1}$ ; il nome si ottiene sostituendo il suffisso *-ano* del corrispondente alcano con *-ile* (tabella 3).



### LE PAROLE

Il termine **IUPAC** è la sigla di *International Union and Applied Chemistry* (Unione Internazionale di Chimica Pura e Applicata).

**Tabella 3** I gruppi alchilici. Nomi e formule di alcuni gruppi alchilici.

Formula	Nome	Formula	Nome
CH <sub>3</sub> —	metile	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3\text{CH}— \end{array}$	isopropile
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> —	etile	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3\text{CHCH}_2— \end{array}$	isobutile
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> —	propile	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}— \end{array}$	<i>sec</i> -butile (butile secondario)
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> —	butile	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3\text{C}— \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	<i>tert</i> -butile (butile terziario)
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> —	pentile		
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> —	esile		
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> —	eptile		
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> CH <sub>2</sub> —	ottile		
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH <sub>2</sub> —	nonile		
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>2</sub> —	decile		

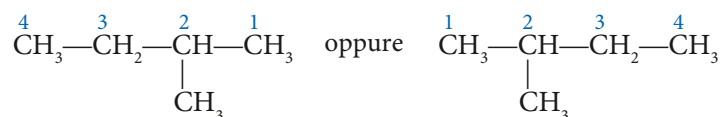
Le regole che seguono sono sufficienti per ricavare il nome sistematico di gran parte degli alcani. Nei prossimi paragrafi verranno estese in modo da poter essere applicate anche ad altre classi di composti.

- Si individua la più lunga catena continua di atomi di carbonio: è la struttura base, che dà il nome alla molecola. I gruppi alchilici legati alla catena vengono considerati sue ramificazioni o sostituenti di altrettanti atomi di idrogeno.  
Se una formula contiene due o più catene lunghe uguali si sceglie quella con il maggior numero di sostituenti. Il nome dell'alcano è costituito dal nome del composto base (il prefisso che indica il numero di atomi della catena seguito dalla desinenza *-ano*) preceduto dai nomi dei gruppi alchilici legati alla catena principale.
- Si numerano gli atomi di carbonio della catena più lunga a partire dall'estremità più vicina a un sostituito in modo che gli atomi della catena a cui sono legati i sostituenti abbiano la numerazione più piccola possibile.
- Si dà il nome a ciascun gruppo alchilico e lo si fa precedere, separato da un trattino, dal numero assegnato al carbonio a cui il gruppo alchilico è legato; per esempio, 2-metil corrisponde a un gruppo metile legato al C-2 di una certa catena.
- Se la molecola contiene lo stesso sostituito in più posizioni, si fa precedere il nome del gruppo da un prefisso (*di-*, *tri-*, *tetra-* e così via) che ne specifica la quantità. I numeri corrispondenti alle posizioni dei gruppi alchilici vengono scritti prima del

nome del sostituente, separati da una virgola e seguiti da un trattino (per esempio 2,3-dimetil).

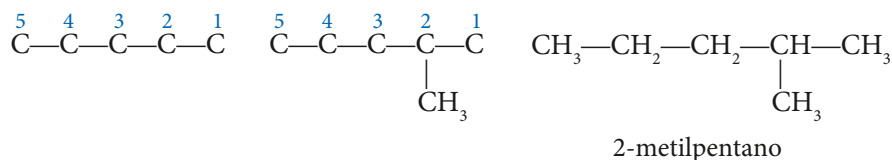
5. Si assegna il nome all'alcano, elencando tutti i sostituenti in ordine alfabetico (ciascuno preceduto dal proprio numero); per esempio, *etil* precede *metil* in 3-etil-4-metilottano. I prefissi *di-*, *tri-* non entrano nell'ordine alfabetico (etil precede dimetil).

Proviamo ora ad assegnare il nome sistematico al seguente composto:

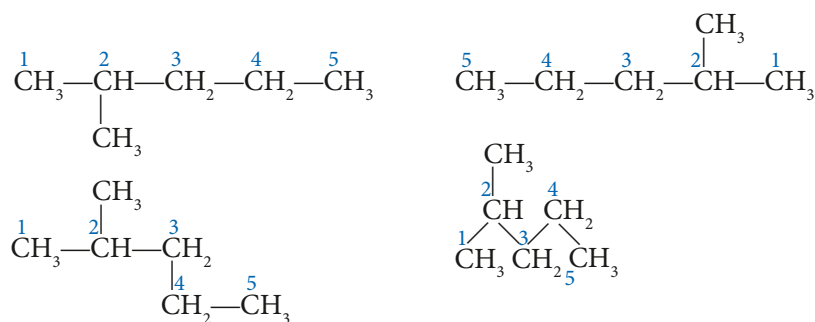


La catena più lunga contiene quattro atomi di carbonio, perciò il nome di partenza è *butano*. Il gruppo  $\text{CH}_3$  è unito al C-2: a butano si antepone il nome del gruppo, *metil*, preceduto a sua volta dal numero 2 (relativo al carbonio a cui è legato) e separato da esso con un trattino: il nome del composto sarà allora 2-metilbutano.

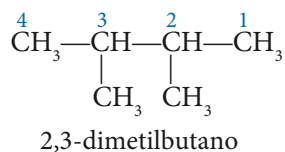
Può capitare anche di dover fare l'operazione inversa, cioè **scrivere la formula di struttura** di un composto **a partire dal suo nome**. Consideriamo per esempio il 2-metilpentano. La catena fondamentale contiene cinque atomi di carbonio. Scriviamo e numeriamo la catena, poi inseriamo un gruppo  $\text{CH}_3$  in C-2 (2-metil) e aggiungiamo gli atomi di idrogeno in modo che ciascun carbonio formi quattro legami.



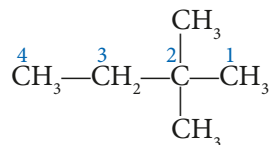
Anche se il gruppo metile è vicino all'estremità di destra, questo composto non può chiamarsi 4-metilpentano, perché la numerazione della catena deve partire dall'estremità più vicina alla ramificazione. Questa formula può essere scritta in altri modi ancora, tutti equivalenti fra di loro; per esempio, non è necessario che la numerazione degli atomi di carbonio segua una linea retta.



Vediamo altri esempi di nomenclatura sistematica degli alcani.

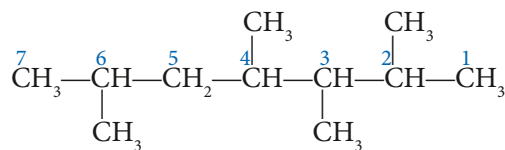


Nel 2,3-dimetilbutano, la catena più lunga è costituita da quattro atomi di carbonio, perciò si tratta di butano; la presenza dei due gruppi metile è segnalata del prefisso *di-**metil*, mentre la loro posizione sulla catena (sul C-2 e sul C-3) è indicata dai numeri 2,3.



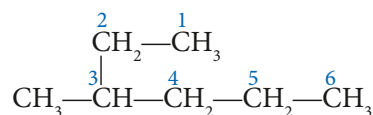
2,2-dimetilbutano

Nel 2,2-dimetilbutano entrambi i gruppi metile sono legati allo stesso atomo di carbonio, quindi occorre ripetere il numero 2.



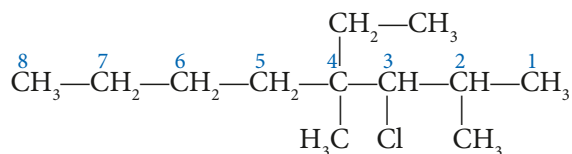
2,3,4,6-tetrametileptano (non 2,4,5,6-)

Nel 2,3,4,6-tetrametileptano la catena più lunga è di sette atomi di carbonio, i gruppi metile sono quattro e la numerazione della molecola procede da destra a sinistra perché in questo modo gli atomi di carbonio a cui i gruppi metile sono legati assumono la numerazione più bassa possibile (se la numerazione fosse da sinistra a destra il composto si chiamerebbe 2,4,5,6-tetrametileptano).



3-metilesano

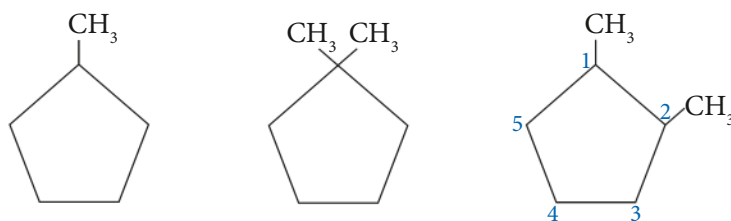
Nel 3-metilesano la catena più lunga è composta da sei atomi di carbonio.



3-cloro-4-etil-2,4-dimetilottano

Nel 3-cloro-4-etil-2,4-dimetilottano la catena più lunga contiene otto atomi di carbonio. I nomi dei gruppi legati alla catena dell'ottano vengono scritti in ordine alfabetico, compreso l'atomo di cloro. Nota che *etil* precede *dimetil*.

Per quanto riguarda i cicloalcani, il loro nome si ottiene aggiungendo il prefisso *ciclo-* al nome dell'alcano corrispondente. Se l'anello di un cicloalcano porta dei sostituenti, la numerazione degli atomi di carbonio dell'anello viene effettuata procedendo in senso orario o antiorario in modo che essa sia la più piccola possibile.



metilciclopentano    1,1-dimetilciclopentano    1,2-dimetilciclopentano

Se il sostituito è uno solo, come nel metilciclopentano, non si specifica il carbonio a cui è legato, cioè si sottintende il numero 1.





## 3

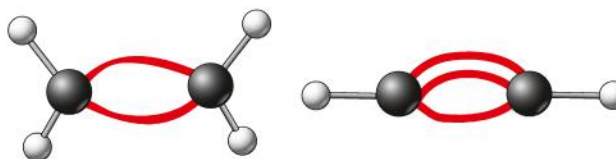
## Gli idrocarburi insaturi

## 8

### Gli alcheni e gli alchini contengono legami carbonio-carbonio multipli

Gli alcheni e gli alchini sono idrocarburi *insaturi*: si chiamano così perché, a differenza di quanto avviene negli alcani, gli atomi di carbonio non sono legati al massimo numero possibile di atomi di idrogeno.

Gli alcheni contengono un doppio legame fra atomi di carbonio adiacenti e quindi, a parità di atomi di carbonio, hanno due atomi di idrogeno in meno rispetto agli alcani; gli alchini contengono un triplo legame e quindi possiedono quattro atomi di idrogeno in meno rispetto ai corrispondenti alcani.



## TI RICORDI?

Un **doppio legame** conta come due legami semplici.

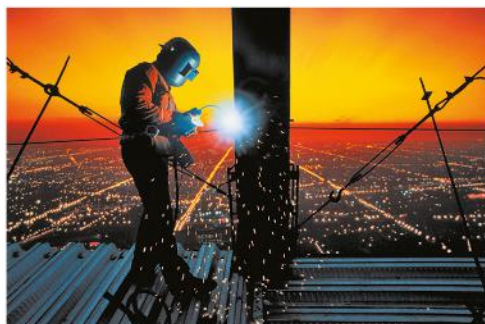


Figura 7 L'acetilene viene utilizzato per saldare le travi di acciaio.

## TI RICORDI?

Le formule dei membri successivi di una **serie omologa** differiscono per un gruppo  $-\text{CH}_2$ .

Gli alcheni contengono un doppio legame carbonio-carbonio.

Gli alchini contengono un triplo legame carbonio-carbonio.

L'alchene più semplice è l'etene,  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ , noto anche con il nome comune etilene; l'alchino più semplice è l'etino,  $\text{CH}\equiv\text{CH}$ , noto anche con il nome comune acetilene (figura 7). L'etene e l'etino sono i primi membri delle rispettive serie omologhe (per esempio,  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$ ) e hanno rispettivamente quattro e due atomi di idrogeno, contro i sei dell'etano  $\text{C}_2\text{H}_6$ , l'alcano corrispondente.

A differenza degli alcani in cui il carbonio ha quattro orbitali ibridi  $sp^3$ , i due atomi di carbonio del doppio legame hanno tre orbitali ibridi  $sp^2$  (un orbitale  $p$  resta invece inalterato); i legami che si formano hanno angoli di  $120^\circ$  e i sei atomi coinvolti nel doppio legame si trovano tutti sullo stesso piano. Nel caso degli alchini, invece, i due atomi di carbonio del triplo legame hanno due orbitali ibridi  $sp$  (due orbitali  $p$  restano inalterati) e la geometria che ne deriva, come sappiamo, è lineare con angoli a  $180^\circ$ .

A livello industriale, gli alcheni vengono ottenuti mediante il processo di *cracking* e per deidrogenazione degli alcani durante la lavorazione del greggio. Sono usati principalmente per produrre carburanti, polimeri e prodotti petrolchimici.

Le molecole degli alcheni sono sostanzialmente apolari, come quelle degli alcani, perciò le proprietà fisiche degli alcheni sono analoghe a quelle dei corrispondenti idrocarburi saturi.

La formula generale degli alcheni è  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ ; la formula generale degli alchini è



Nella tabella 4 sono riportati i nomi e le formule di vari alcheni e alchini.

Alcheni		Alchini	
Formula	Nome IUPAC	Formula	Nome IUPAC
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	etene	$\text{CH}\equiv\text{CH}$	etino
$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$	propene	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH}$	propino
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$	1-butene	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CH}$	1-butino
$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$	2-butene	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3$	2-butino

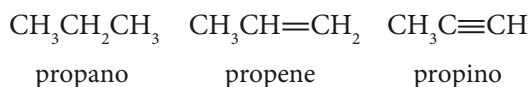
Tabella 4 Gli alcheni e gli alchini. Nomi e formule di alcheni e alchini comuni.

## 9 La nomenclatura degli alcheni e degli alchini

I nomi degli alcheni e degli alchini derivano da quelli dei corrispondenti alcani.

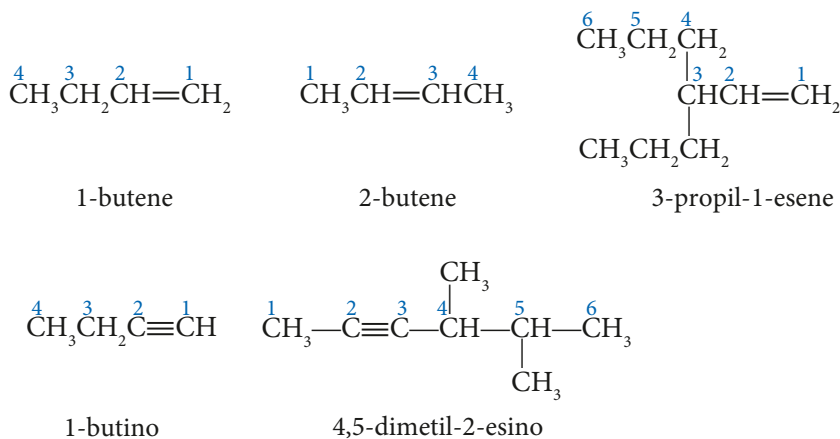
Le regole IUPAC per assegnare il nome ad alcheni e alchini sono le seguenti.

1. Si individua la più lunga catena di atomi di carbonio che comprende entrambi gli atomi del doppio o del triplo legame.
2. Si scrive il nome della catena principale come se si trattasse di un alcano, sostituendo però il suffisso *-ano* con *-ene* (nel caso di un alchene) o con *-ino* (nel caso di un alchino). Quindi, propano diventa propene o propino:



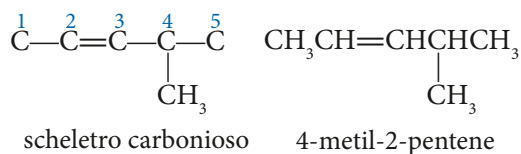
3. Si numera la catena di atomi di carbonio principale a partire dall'estremità più vicina al doppio o al triplo legame; per indicare la posizione dell'insaturazione, si sceglie, dei due coinvolti nel legame, l'atomo di carbonio con il numero più piccolo, che va riportato davanti al nome dell'idrocarburo. Per esempio, nel 2-butene il doppio legame si trova fra C-2 e C-3.
4. Se sono presenti delle ramificazioni, si procede come nel caso degli alcani: si assegna il nome a ciascun sostituente e si indica con un numero la posizione che esso occupa sulla catena principale.

Di seguito sono riportati alcuni esempi.



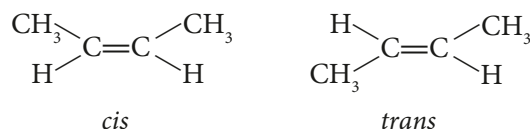
Queste regole consentono anche di effettuare l'operazione inversa, cioè di scrivere la formula di struttura di un composto a partire dal suo nome sistematico. Proviamo a scrivere la formula di struttura del 4-metil-2-pentene. Il nome indica che sono presenti cinque atomi di carbonio e un doppio legame (*pentene*), compreso fra il C-2 e il C-3 (2-pentene).

Scriviamo una catena di cinque atomi di carbonio e inseriamo un doppio legame fra C-2 e C-3, poi leghiamo un gruppo metile al C-4. Infine aggiungiamo gli atomi di idrogeno, in modo che ogni atomo di carbonio abbia quattro legami. Gli atomi di carbonio 1 e 5 hanno bisogno di tre atomi di idrogeno ciascuno, C-2, C-3 e C-4 richiedono ciascuno un atomo di idrogeno.



## 10 L'isomeria geometrica degli alcheni

Molti alcheni presentano un particolare tipo di isomeria; per esempio, i due gruppi metile legati al C-2 e al C-3 del 2-butene possono essere disposti in modi diversi.



Le molecole, pur avendo stessa formula molecolare,  $C_4H_8$ , e atomi concatenati in modo identico, sono diverse e rappresentano i due isomeri del 2-butene. Esse differiscono per il modo in cui i sostituenti sono disposti rispetto al doppio legame: costituiscono una coppia di **isomeri geometrici**.

Nella formula a sinistra, i due gruppi  $CH_3$  stanno *dalla stessa parte* rispetto alla linea del doppio legame, mentre nella formula a destra stanno *da parti opposte*. L'isomero con i due sostituenti dalla stessa parte rispetto al doppio legame è detto *cis-2-butene*, l'altro è il *trans-2-butene* (*cis* e *trans* derivano dal latino e significano, rispettivamente, «al di qua» e «al di là»). A condizioni ambiente, il *cis-2-butene* e il *trans-2-butene* sono gas caratterizzati da punti di ebollizione diversi.

L'etene e il propene non hanno isomeri *cis-trans*: questa isomeria si verifica solo quando ciascuno dei due atomi di carbonio del doppio legame è legato a due atomi diversi.

### ESERCIZIO SVOLTO

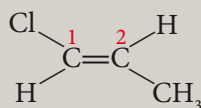
#### Proviamo insieme

Assegna il nome alla seguente coppia di isomeri geometrici.



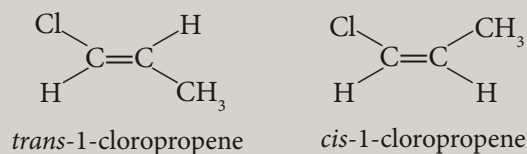
#### Risoluzione

I composti sono derivati del propene (3 atomi di carbonio e un doppio legame). Si numera la catena per assegnare la posizione del sostituito (Cl):



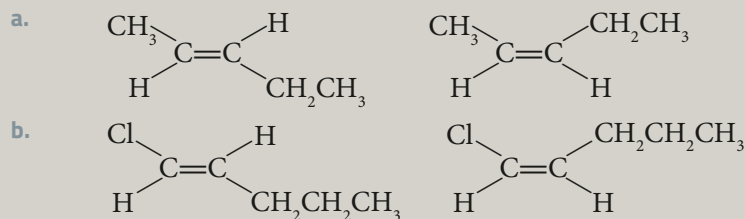
L'atomo di cloro è legato al C-1, quindi si tratta dell'1-cloropropene. Nella formula a sinistra, l'atomo di cloro e il gruppo metile

stanno dalla parte opposta rispetto al doppio legame: questo è, dunque, l'isomero *trans*.



#### Prova da solo

Assegna il nome IUPAC alle seguenti coppie di isomeri geometrici:



### RISPONDI

- A** Quali sono le caratteristiche dell'ibridazione del carbonio nei composti insaturi?
- B** Nelle nomenclature di alcheni e alchini, quali sono le regole per indicare la posizione dell'insaturazione nella catena?
- C** Che cosa sono gli isomeri *cis-trans*?

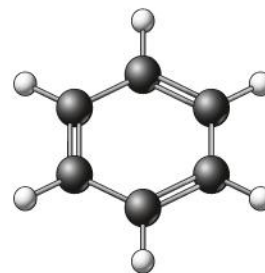
## 4

## Gli idrocarburi aromatici

### 11 Il benzene è un anello di elettroni delocalizzati

Il benzene e tutte le sostanze a lui simili come proprietà e struttura appartengono alla famiglia dei **composti aromatici**. Il termine aromatico è dovuto al caratteristico odore dei primi composti che sono stati isolati e identificati, quali, per esempio, la vanillina e l'estratto di menta. Il benzene, il più semplice idrocarburo aromatico, fu isolato per la prima volta nel 1825 da Michael Faraday; alcuni anni dopo venne determinata la sua formula molecolare ( $C_6H_6$ ), ma fu molto difficile trovare una formula di struttura compatibile con le sue particolari proprietà chimiche.

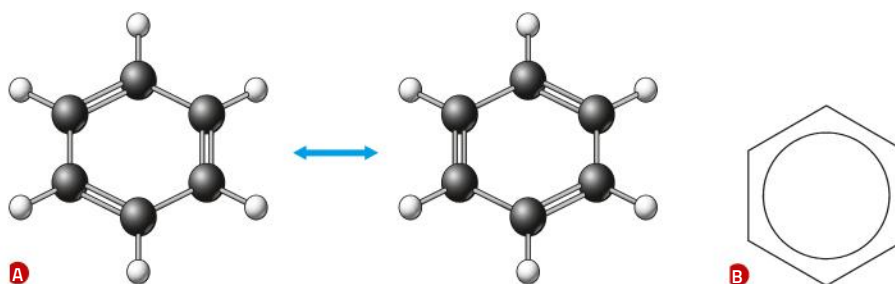
Nel 1865 August Kekulé avanzò l'ipotesi che i sei atomi di carbonio della molecola di benzene, a ciascuno dei quali era legato un atomo di idrogeno, formassero un anello esagonale contenente tre doppi legami  $C=C$ .



Le strutture di Kekulé hanno segnato una svolta nella storia della chimica, perché consentirono di comprendere la struttura dei composti aromatici. Esse rappresentano il benzene e i suoi derivati come composti altamente insaturi, ma le loro molecole non subiscono le tipiche reazioni di addizione degli alcheni. Per esempio, il benzene non decolora una soluzione di bromo, ma si comporta in modo simile a un alcano.

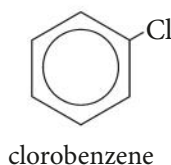
Le reazioni caratteristiche del benzene sono **reazioni di sostituzione**, in cui un atomo di idrogeno viene sostituito da un altro atomo o gruppo di atomi.

Oggi possiamo spiegare le proprietà chimiche e fisiche del benzene e degli altri composti aromatici con la teoria della risonanza o con quella degli orbitali molecolari. Secondo la prima teoria, la molecola di benzene è un *ibrido di risonanza* delle due strutture di Kekulé riportate qui sotto (caso A). Per semplicità, esse vengono rappresentate senza atomi di idrogeno, cioè soltanto come esagoni.



La rappresentazione B invece è la struttura del benzene secondo la teoria degli orbitali molecolari. Il cerchio interno all'esagono indica che tutti i legami carbonio-carbonio sono tra loro equivalenti e hanno caratteristiche intermedie a quelle dei legami semplici e doppi. Queste strutture esagonali sono usate anche per rappresentare i derivati del benzene, cioè sostanze in cui uno o più atomi di idrogeno dell'anello benzenico sono stati sostituiti da atomi o gruppi diversi.

Per esempio, la notazione  $C_6H_5Cl$  indica che l'atomo di cloro ha sostituito un atomo di idrogeno ed è legato direttamente a un atomo di carbonio dell'anello; per questo motivo, la formula del *clorobenzene* è  $C_6H_5Cl$ , non  $C_6H_6Cl$ .



#### TI RICORDI?

L'**ibrido di risonanza** è una molecola la cui struttura reale è intermedia tra due o più strutture di Lewis (strutture limite).

## 12 La nomenclatura dei composti aromatici

Secondo la recente nomenclatura, gli idrocarburi aromatici sono anche detti **areni**, termine che deriva da «aromatico» ed *-ene*, per indicare la presenza di doppi legami (come negli alcheni).

I derivati del benzene si ottengono sostituendo uno o più atomi di idrogeno dell'anello benzenico con un atomo o con un gruppo di atomi diversi.

La formula generica di un benzene monosostituito è



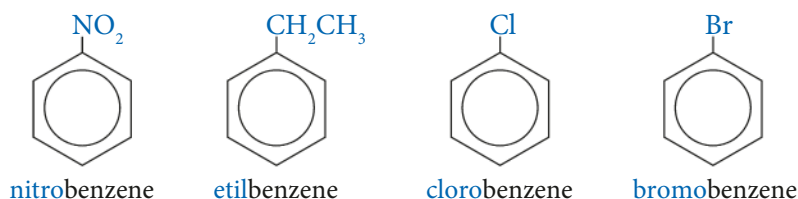
in cui G è il gruppo che sostituisce un atomo di idrogeno. Poiché tutti gli atomi di idrogeno del benzene sono equivalenti, non esiste una posizione preferenziale per la sostituzione.

### I derivati del benzene monosostituiti

Per assegnare il nome ai benzeni monosostituiti, è sufficiente aggiungere il nome del sostituito come prefisso alla parola *benzene*, senza specificare a quale carbonio dell'anello è legato il sostituito. Vediamo alcuni esempi.

TI RICORDI?

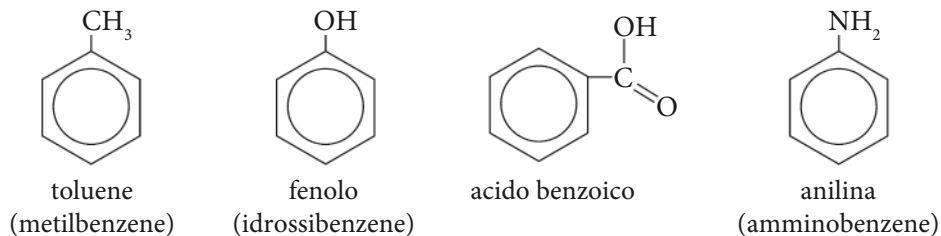
—NO<sub>2</sub> è il gruppo **nitro**.



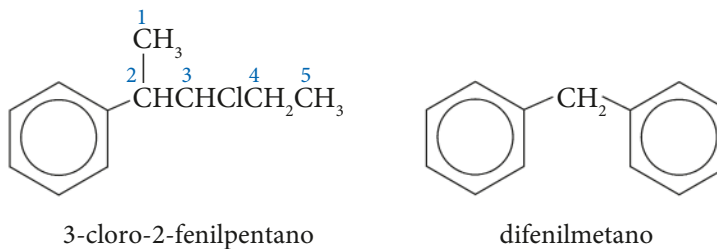
Tuttavia, alcuni benzeni monosostituiti hanno nomi particolari che è utile ricordare, perché sono di uso comune e sono i precursori di ulteriori derivati.

TI RICORDI?

—NH<sub>2</sub> è il gruppo **ammino**.



Il gruppo C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> è detto *fenile*. Il prefisso *fenil-* compare nel nome dei composti che ai fini della nomenclatura vengono considerati derivati degli alcani.

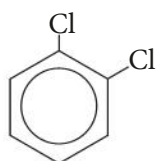


I gruppi contenenti un anello aromatico (*gruppi arilici*) sono indicati con il simbolo Ar.

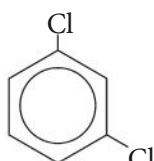
## I derivati del benzene disostituiti

Quando due atomi di idrogeno di una molecola di benzene sono sostituiti da due gruppi alchilici o arilici, si possono formare tre isomeri: per distinguerli si usano i prefissi *orto*-, *meta*- e *para*- (abbreviati in *o*-, *m*- e *p*-). Nel composto *orto*- i sostituenti sono legati a due atomi di carbonio adiacenti, nel composto *meta*- sono distanziati di un atomo di carbonio e nel composto *para*- si trovano da parti opposte dell'anello. Se i due gruppi sono diversi, si scrivono i loro nomi in ordine alfabetico, seguiti dalla parola *benzene*.

Illustriamo questa nomenclatura esaminando i diclorobenzene ( $C_6H_4Cl_2$ ). I tre isomeri hanno proprietà fisiche diverse, il che indica che sono sostanze differenti: a temperatura ambiente l'isomero *para*- è un solido, mentre gli altri due isomeri sono liquidi.



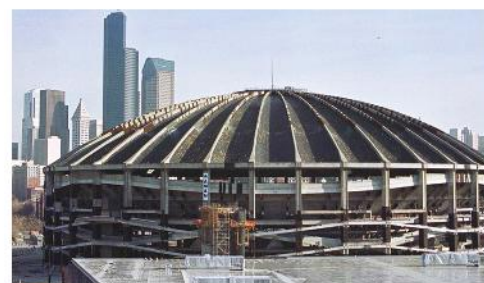
*orto*-diclorobenzene  
(1,2-diclorobenzene)  
p.f. 17,2 °C; p.e. 180,4 °C



*meta*-diclorobenzene  
(1,3-diclorobenzene)  
p.f. 24,8 °C; p.e. 172 °C

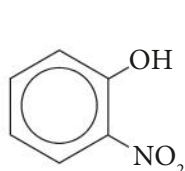


*para*-diclorobenzene  
(1,4-diclorobenzene)  
p.f. 53,1 °C; p.e. 174,4 °C



**Figura 8** Il 2,4,6-trinitrotoluene Per demolire questo edificio è stato usato il 2,4,6-trinitrotoluene noto anche come TNT: è un potente esplosivo.

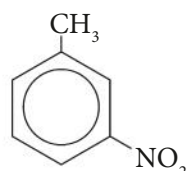
Quando si ha un benzene monosostituito con un nome specifico (come fenolo o anilina), questo diventa il punto di partenza per il nome del composto disostituito. Nei seguenti esempi, i composti base sono fenolo, anilina, toluene e acido benzoico.



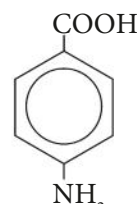
*o*-nitrofenolo



*p*-bromoanilina



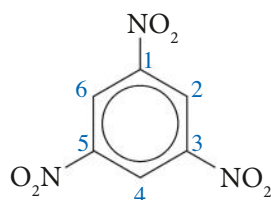
*m*-nitrotoluene



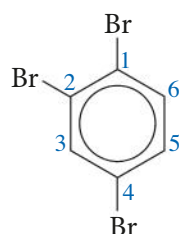
acido *p*-amminobenzoico

## I derivati del benzene tri- e polisostituiti

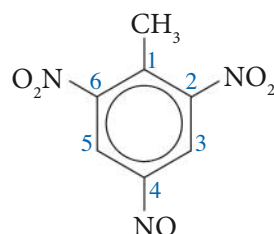
Quando un anello benzenico possiede più di due sostituenti, è indispensabile numerare gli atomi dell'anello. La numerazione inizia da un atomo di carbonio sostituito e procede in senso orario o antiorario, in modo che i sostituenti abbiano il minor numero d'ordine possibile. Nel caso la formula contenga un anello monosostituito con un nome specifico, la numerazione parte dal carbonio dell'anello a cui è legato il sostituente: nel 2,4,6-trinitrotoluene (figura 8), l'anello monosostituito è il toluene, con il sostituente  $CH_3$  legato al C-1 dell'anello. Per esempio:



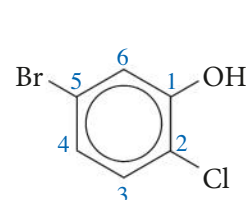
1,3,5-trinitrobenzene



1,2,4-tribromobenzene  
(non 1,4,6-)



2,4,6-trinitrotoluene  
(TNT)



5-bromo-2-clorofenolo

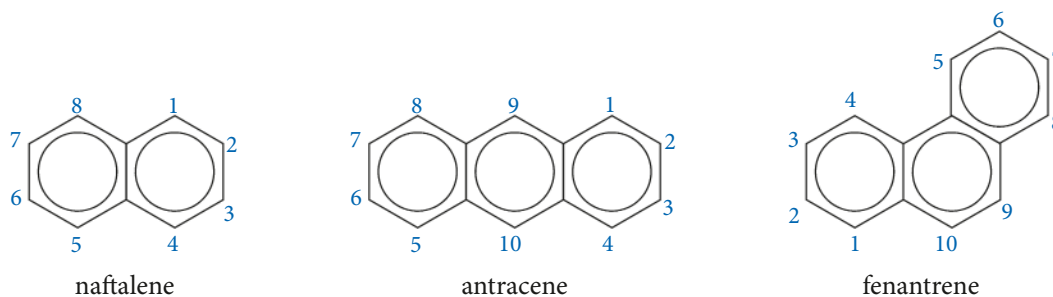
## Gli idrocarburi aromatici policiclici

La «fusione» di due o più anelli benzenici genera una classe di composti detti idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

Non esistendo per questi composti un sistema semplice di nomenclatura, si utilizzano i loro nomi comuni.

La fusione degli anelli avviene per condivisione di due atomi di carbonio, cioè di un lato dell'esagono. Il composto formato da due anelli saldati insieme è il *naftalene* ( $C_{10}H_8$ ), che non presenta isomeri. Esistono, invece, due modi diversi per saldare tre anelli ( $C_{14}H_{10}$ ); in un caso sono tutti e tre allineati e la molecola si chiama *antracene*, mentre nell'altro formano un angolo e si ottiene il *fenantrene*.

**PER CAPIRE MEGLIO**  
video:  
Aromaticità



Ciascun anello viene numerato lungo il perimetro.

L'ulteriore fusione di altri anelli benzenici genera molecole policicliche molto estese.

### LA NOSTRA SALUTE

## Come si formano gli idrocarburi policiclici aromatici

Gli **idrocarburi policiclici aromatici (IPA)** sono presenti nell'ambiente sotto forma di miscele complesse, contenenti oltre un centinaio di composti differenti. A causa della loro estrema varietà, negli anni Ottanta la *United States Environment Protection Agency (EPA)* e la *World Health Organization (WHO)* hanno identificato 16 IPA rappresentativi e li hanno definiti «inquinanti prioritari».

### L'azione cancerogena

Gli IPA di per sé non sono agenti cancerogeni, ma lo diventano nel momento in cui il nostro organismo tenta di metabolizzarli. A livello chimico gli IPA sono composti stabili e lipofili: per cercare di eliminarli, il nostro corpo attiva delle trasformazioni metaboliche per renderli idrosolubili, aggiungendo acqua alla struttura aromatica. Si generano così dei composti

idrati (eossidi e dioli) che hanno una spiccata tendenza a legarsi con le molecole del DNA, alterando il patrimonio genetico delle cellule e aumentando, quindi, la probabilità di cancerogenesi.

### Gli IPA vengono prodotti da processi di combustione

Le fonti di IPA sono sia antropiche che naturali. In natura si trovano nel carbone e nel petrolio e, attraverso la raffinazione, si accumulano nelle frazioni pesanti come il bitume. Altre sorgenti naturali sono le emissioni prodotte da incendi di boschi e le eruzioni vulcaniche, anche se il loro contributo maggiore è di piccola entità. Al di là della fonte specifica, gli IPA si formano dalla combustione incompleta di materiale organico, come carbone, legno, derivati del petrolio, cibi e rifiuti. Le potenziali sorgenti antropiche sono quindi molteplici: processi industriali, lavorazioni di combustibili fossili, inceneritori, riscaldamento domestico, emissione veicolare, asfalto della copertura stradale, fumo di sigaretta, alimenti affumicati o cucinati alla griglia. A causa di queste

numerose fonti, gli IPA sono considerati composti ubiquitari, cioè sono presenti in tutti i comparti ambientali (aria, acqua, suolo e alimenti).

### Un problema ambientale

A causa della loro tossicità, il monitoraggio degli IPA deve seguire diverse normative ambientali. Come inquinanti, gli IPA non sono però tutti uguali. Quelli con meno di quattro anelli benzenici sono molecole gassose e vengono degradati facilmente.

Gli IPA con più di quattro anelli, invece, tendono a condensare rapidamente e ad adsorbirsi sulla superficie di particelle solide come la fuliggine, le ceneri e il particolato atmosferico.

Se siamo esposti soltanto ai contenuti di IPA residui nell'ambiente e negli alimenti non abbiamo rischi rilevanti per la nostra salute. È una nostra responsabilità, invece, cercare di limitare tutte le possibili esposizioni superflue, consumando con moderazione prodotti affumicati o grigliati e, soprattutto, rinunciando a fumare, per la nostra salute e quella degli altri.

### RISPONDI

- Che cosa significa che il benzene è un ibrido di risonanza?
- Quali sono i principali derivati del benzene mono-, di- e polisostituiti?
- Che cosa sono gli *idrocarburi aromatici policiclici*?



## 5

# I derivati degli idrocarburi

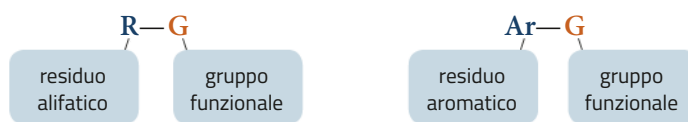
## 13 I gruppi funzionali caratterizzano i composti organici

La fonte principale per la sintesi di nuove molecole organiche è il petrolio, costituito da idrocarburi. I composti che possono essere sintetizzati a partire da un idrocarburo sono detti derivati degli idrocarburi: non contengono solo carbonio e idrogeno, ma anche altri elementi: ossigeno, azoto o alogeni.

L'inserimento di uno o più atomi di questi elementi su una catena di atomi di carbonio modifica profondamente le proprietà chimiche e fisiche dell'idrocarburo. A parità di atomo o gruppo atomico inserito, le molecole che ne derivano sono simili sia in termini di struttura sia di proprietà chimiche e costituiscono una classe di composti.

Gli atomi o i gruppi atomici che caratterizzano ciascuna classe di composti organici sono detti **gruppi funzionali**.

I derivati degli idrocarburi alifatici e aromatici possono essere così schematizzati:



Consideriamo le classi di composti riportate nella **tabella 5**. Alcuni gruppi funzionali hanno un nome particolare; per esempio, un atomo di carbonio unito a un atomo di ossigeno con un doppio legame costituisce un **gruppo carbonile**, mentre il gruppo  $\text{—COOH}$  si chiama **gruppo carbossile**. Nella **tabella 5** le molecole che compaiono nella prima parte non contengono un gruppo carbonile.

**Tabella 5** Classi dei derivati degli idrocarburi.

Classe	Formula generale	Struttura del gruppo funzionale	Esempio di formula di struttura	Nome IUPAC	Nome comune
alogenuri alchilici	RX*	$\text{—X}$ (X = F, Cl, Br, I)	$\text{CH}_3\text{Cl}$	clorometano	cloruro di metile
			$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$	cloroetano	cloruro di etile
alcoli	ROH	$\text{—OH}$	$\text{CH}_3\text{OH}$	metanolo	alcol metilico
			$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	etanolo	alcol etilico
eteri	ROR	$\text{—O—}$	$\text{CH}_3\text{—O—CH}_3$	metossimetano	dimetiletere
			$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{—O—CH}_2\text{CH}_3$	etossietano	dietiletere
aldeidi	R—CHO	$\begin{array}{c} \text{—C=O} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H—C=O} \\   \\ \text{H} \end{array}$	metanale	formaldeide
			$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{—C=O} \\   \\ \text{H} \end{array}$	etanale	acetaldeide
chetoni	R—CO—R	$\begin{array}{c} \text{—C—} \\    \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{—C—CH}_3 \\    \\ \text{O} \end{array}$	2-propanone	acetone
			$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{—C—CH}_2\text{CH}_3 \\    \\ \text{O} \end{array}$	2-butanone	etilmetilchetone
acidi carbossilici	R—COOH	$\begin{array}{c} \text{—C=O} \\   \\ \text{—OH} \end{array}$	HCOOH	acido metanoico	acido formico
			$\text{CH}_3\text{COOH}$	acido etanoico	acido acetico
esteri	R—COOR	$\begin{array}{c} \text{—C=O} \\   \\ \text{—O—} \end{array}$	$\text{HCOOCH}_3$	metanoato di metile	formiato di metile
			$\text{CH}_3\text{COOCH}_3$	etanoato di metile	acetato di metile

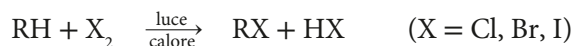
\*R indica un generico gruppo alchilico.

## 14 Gli alogenuri alchilici contengono uno o più alogeni nella catena

## LE PAROLE

Gli **alogeni** (dal greco: *háls* = sale e *genos* = generatore) sono gli elementi del settimo gruppo del sistema periodico che, reagendo con i metalli, formano sali (cloruro di sodio).

Sappiamo già che gli alcani reagiscono con gli alogeni (in presenza di luce ultravioletta) per produrre **alogenuri alchilici**, la cui formula generale è R—X. La reazione seguente, che è genericamente detta **alogenzione**, prende il nome dall'alogeno utilizzato e si parla, quindi, di *clorurazione*, *bromurazione* o *iodurazione*.



Gli alogenuri alchilici (R—X) prodotti dalle reazioni di questo tipo sono utili intermedi per la sintesi di altri composti.

In base alle regole IUPAC, i nomi degli alogenuri organici si ricavano da quelli degli alcani, considerando ciascun atomo di alogeno come un sostituente e quindi aggiungendo il suo nome come prefisso a quello dell'alcano (per esempio, CH<sub>3</sub>Cl si chiama *clorometano*).

Gli alogenuri alchilici trovano anche impiego come solventi industriali. Il più noto è il tetracloruro di carbonio (o tetraclorometano, CCl<sub>4</sub>) che in passato era usato nel processo di lavaggio a secco.

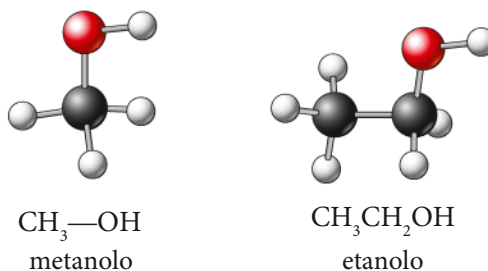
Alcuni alogenuri alchilici vengono usati come anestetici. Un tempo il cloroformio (o triclorometano, CHCl<sub>3</sub>) era un anestetico di uso comune; ora non viene più utilizzato, perché è dannoso per l'apparato respiratorio, ed è stato sostituito da composti come l'alotano (CF<sub>3</sub>CHClBr).

I clorofluorocarburi (CFC) sono alogenuri alchilici contenenti fluoro e cloro che sono stati a lungo utilizzati come propellenti nelle bombolette spray e come fluidi refrigeranti. Oggi sono stati sostituiti con altri composti, perché liberano nell'alta atmosfera atomi di cloro che danneggiano lo strato di ozono. Ora come propellente di molti spray si usa il diossido di carbonio, CO<sub>2</sub>, mentre nei frigoriferi e nei condizionatori d'aria si fa ricorso a fluidi refrigeranti diversi (per esempio gli idrofluorocarburi, HFC).

## 15 Gli alcoli e i fenoli contengono il gruppo —OH

Gli alcoli sono composti organici che contengono un gruppo ossidrilico (—OH) legato in modo covalente a un atomo di carbonio saturo.

Se in CH<sub>4</sub> si sostituisce un H con un gruppo —OH, si ottiene CH<sub>3</sub>OH, il *metanolo*, il primo termine della serie omologa. La formula generale degli alcoli è ROH, dove R è un gruppo alchilico o un gruppo alchilico sostituito. Le strutture molecolari del metanolo e dell'etanolo si rappresentano nel modo seguente:

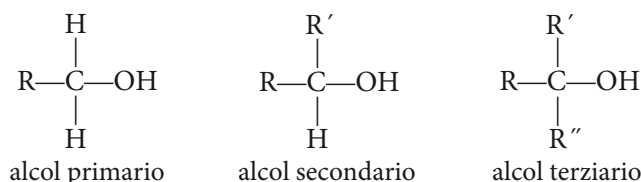


Anche se la loro formula ricorda quella degli idrossidi metallici (come NaOH), gli alcoli non si dissociano né si ionizzano in acqua, perché il gruppo —OH è unito all'atomo di carbonio per mezzo di un legame covalente e non di un legame ionico; gli alcoli in acqua non danno quindi una soluzione basica.

Scarica la app:



Gli alcoli sono classificati come *primari*, *secondari* o *terziari*, in base alla natura dell'atomo di carbonio a cui è unito il gruppo —OH; tale carbonio può essere legato, rispettivamente, a uno, due o tre altri atomi di carbonio.



## PER SAPERNE DI PIÙ

Gli **apici** ' e '' a fianco delle lettere R stanno a indicare che i gruppi alchilici possono essere anche diversi tra loro.

Alcuni esempi di questi alcoli sono elencati nella **tabella 6**. Il metanolo è classificato come un alcol primario.

Le strutture molecolari con più ossidrili legati a un singolo atomo di carbonio in genere non sono stabili. Sono molte, invece, le molecole di alcol contenenti due, tre o più gruppi OH legati ad atomi di carbonio diversi; in tal caso gli alcoli vengono classificati, rispettivamente, come *dioli*, *trioli*, e così via.

In generale, gli alcoli che contengono più di un gruppo —OH per molecola sono detti polialcoli.

Classe	Formula	Nome IUPAC	Nome comune*	Punto di ebollizione (°C)
primario	CH <sub>3</sub> OH	metanolo	alcol metilico	65,0
primario	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	etanolo	alcol etilico	78,5
primario	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	1-propanolo	alcol <i>n</i> -propilico	97,4
primario	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	1-butanolo	alcol <i>n</i> -butilico	118
primario	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	1-pentanolo	alcol <i>n</i> -pentilico	138
primario	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> CH <sub>2</sub> OH	1-ottanolo	alcol <i>n</i> -ottilico	195
primario	$  \begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}  $	2-metil-1-propanolo	alcol isobutilico	108
secondario	$  \begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}  $	2-propanolo	alcol isopropilico	82,5
secondario	$  \begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}  $	2-butanolo	alcol <i>sec</i> -butilico	91,5
terziario	$  \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}  $	2-metil-2-propanolo	alcol <i>terz</i> -butilico	82,9
diolo	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	1,2-etandiolo	glicole etilenico	197
triolo	$  \begin{array}{c} \text{HOCH}_2\text{CHCH}_2\text{OH} \\   \\ \text{OH} \end{array}  $	1,2,3-propantriolo	glicerolo o glicerina	290

**Tabella 6** Nomi e classificazione degli alcoli.

\*Le abbreviazioni *n*-, *sec*- e *terz*- stanno rispettivamente per normale, secondario e terziario.

## I fenoli

I fenoli sono derivati del benzene in cui uno o più gruppi —OH sono direttamente legati a un carbonio dell'anello aromatico. Se il gruppo —OH è legato a una catena laterale si parla, invece, di *alcoli aromatici*.

Il **fenolo**, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH, è un solido di colore bianco, con basso punto di fusione, che viene oggi sintetizzato a partire dal benzene.

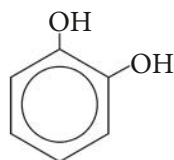


**Figura 9** L'eugenolo È uno dei componenti fondamentali dell'olio essenziale estratto dalle foglie di basilico.

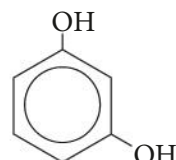
I fenoli sono molto diffusi in natura e alcuni di essi sono responsabili degli aromi emanati da alcune piante. L'aroma del timo e dei chiodi di garofano, per esempio, è dovuto, rispettivamente, al timolo e all'eugenolo (**figura 9**).

In genere i fenoli sono tossici per i microrganismi e sono per questo utilizzati come antisettici e disinfettanti.

I fenoli hanno spesso nomi comuni; per esempio, i tre isomeri *orto*, *meta* e *para* con due gruppi —OH sull'anello, sono più noti, rispettivamente, come catecolo, resorcinolo e idrochinone.



1,2-diidrossibenzene  
(catecolo)



1,3-diidrossibenzene  
(resorcinolo)



1,4-diidrossibenzene  
(idrochinone)

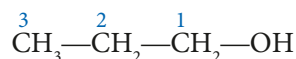
## 16 La nomenclatura degli alcoli

Il nome IUPAC degli alcoli è facilmente ricavabile da quello dei corrispondenti alcani; molti alcoli, tuttavia, vengono tuttora indicati con i loro nomi tradizionali, perciò spesso è necessario conoscere entrambi. Il nome comune degli alcoli si forma facendo precedere la parola *alcol* al nome del gruppo alchilico legato all'ossidrilico. Il nome IUPAC, invece, si ottiene applicando lo schema che segue.

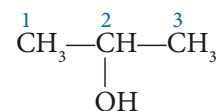
1. Si individua la più lunga catena di atomi di carbonio che contiene il gruppo ossidrilico.
2. Si numerano gli atomi di carbonio della catena in modo che quello legato al gruppo —OH abbia il numero d'ordine più piccolo possibile.
3. Si individua il nome dell'alcano corrispondente e si sostituisce la *-o* finale con il suffisso *-olo*. Se esistono isomeri della molecola, si specifica la posizione del gruppo —OH anteponendo al suo nome il numero (seguito da un trattino) dell'atomo di carbonio a cui è legato l'ossidrilico.
4. Si assegna il nome a ciascun sostituente (catena laterale alchilica o altro gruppo funzionale) e si specifica la sua posizione con un numero; i nomi dei sostituenti precedono quello dell'alcol, in ordine alfabetico.

Nella nomenclatura IUPAC il gruppo —OH, considerato come sostituente, è detto *-idrossi*.

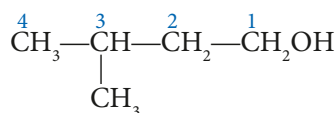
I seguenti esempi illustrano l'uso delle regole IUPAC (fra parentesi sono riportati i nomi comuni); abbiamo già visto che la struttura e il nome di altri alcoli sono riportati nella **tabella 6**.



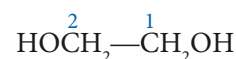
1-propanolo



2-propanolo  
(alcol isopropilico)



3-metil-1-butanolo



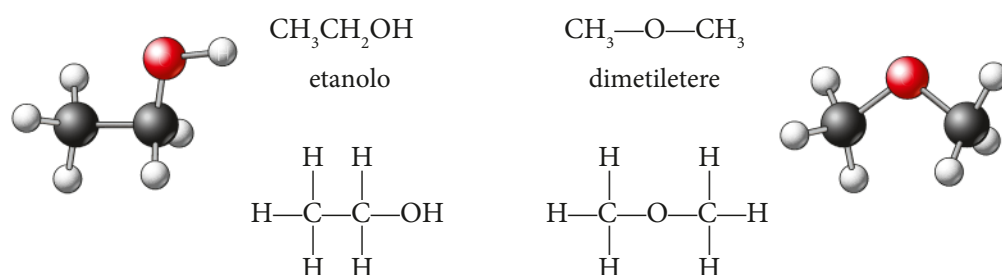
1,2-etandiol  
(glicole etilenico)

## 17 Gli eteri hanno un ossigeno a ponte

La formula generale degli **eteri** è  $ROR'$ . I gruppi R e R' possono essere uguali o diversi fra loro, e possono derivare da idrocarburi saturi, insaturi o aromatici. Nella **tabella 7** sono elencate le formule di struttura e i nomi di vari eteri.

In genere, gli eteri saturi sono poco reattivi. Per la loro inerzia chimica e la loro capacità di sciogliere la maggior parte dei composti organici sono usati come solventi.

Gli alcoli (ROH) e gli eteri (ROR') possono essere tra loro isomeri di struttura. Per esempio, la formula molecolare dell'etanolo e del dimetiletere è la stessa:  $C_2H_6O$ , ma le loro formule di struttura sono diverse.



Nome*	Formula	Punto di ebollizione (°C)
dimetiletere (metossimetano)	$CH_3-O-CH_3$	-24
metiletere (metossietano)	$CH_3CH_2-O-CH_3$	8
dietiletere (etossietano)	$CH_3CH_2-O-CH_2CH_3$	35
etilisopropiletere (2-etossipropano)	$CH_3CH_2-O-\underset{\substack{  \\ CH_3}}{CH}CH_3$	54
diviniletere	$CH_2=CH-O-CH=CH_2$	39
anisolo (metossibenzene)		154

**Tabella 7** Nome e formula di struttura di alcuni eteri.

\* Il nome IUPAC è riportato fra parentesi.

Le proprietà fisiche e chimiche delle due molecole di alcol ed etere sono molto diverse. Il punto di ebollizione del dimetiletere è  $-23,7^\circ C$ , quello dell'etanolo è  $78,3^\circ C$ : infatti l'alcol è in grado di formare legami a idrogeno intermolecolari e ha quindi un punto di ebollizione molto più alto. Per lo stesso motivo, infatti l'etanolo è molto più solubile in acqua rispetto al dimetiletere.

## 18 La nomenclatura degli eteri

Anche gli eteri, come gli alcoli, vengono indicati con vari nomi. L'etere di formula  $CH_3CH_2-O-CH_2CH_3$ , un tempo utilizzato come anestetico, è detto dietiletere, etere dietilico, etere etilico, etossietano o semplicemente etere.

I nomi comuni degli eteri si formano disponendo in ordine alfabetico i nomi dei gruppi legati all'atomo di ossigeno, seguiti dalla parola *etere*.



### TI RICORDI?

Il **legame a idrogeno** è un legame elettrostatico che si stabilisce tra molecole in cui è presente l'atomo di idrogeno legato a un atomo molto elettronegativo (F, O, N).

**LE PAROLE**

Il termine **alcossi** deriva dalla fusione di alchile e ossi.

Il sistema di nomenclatura IUPAC tratta gli eteri come alcani che contengono un sostituente *alcossi*, RO—. Il gruppo R più piccolo è considerato parte del sostituente alcossi, mentre il gruppo più grande definisce la catena principale. Di seguito il metodo per dare il nome IUPAC a un etere:

1. si identifica la più lunga catena continua di atomi di carbonio e si assegna il nome al corrispondente alcano;
2. si forma il nome del sostituente alcossilico sostituendo *-ossi* al suffisso *-ile* del gruppo alchilico più corto (per esempio, il nome di CH<sub>3</sub>O—, che contiene il gruppo *metile*, diventa *metossi*);
3. si forma il nome dell'etere unendo il nome del sostituente alcossi al nome dell'alcano.



questo è il sostituente alcossilico; si modifica il nome in metossi e si combina con etano per ottenere il nome IUPAC dell'etere: *metossietano*

questa è la più lunga catena carbonio-carbonio, perciò il composto è un derivato dell'*etano*

Per esempio, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> è l'etossietano; CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> è il propossibutano.

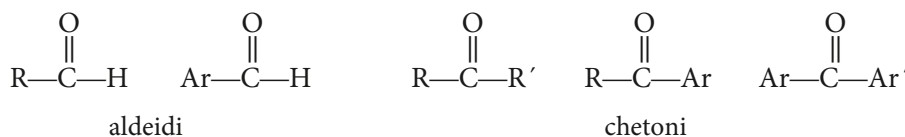
## 19 Le aldeidi e i chetoni contengono il gruppo carbonile

Le aldeidi e i chetoni sono composti strettamente collegati. Entrambi contengono il gruppo carbonile, >C=O, costituito da un atomo di carbonio legato con un doppio legame a uno di ossigeno.

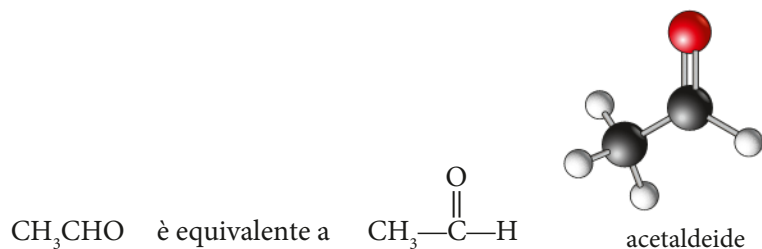
Nelle aldeidi il gruppo carbonile è legato ad almeno un atomo di idrogeno, nei chetoni è legato a due gruppi che possono essere uguali o diversi, alchilici R o aromatici Ar.

**LE PAROLE**

L'**aldeide** (dal latino: *al* = alcol e *dehyd* = deidro) è un composto che si ottiene (in presenza di un ossidante) sottraendo atomi di idrogeno a un alcol.



Nelle formule condensate, il gruppo delle aldeidi viene scritto CHO o CH=O. Per esempio,



Nelle formule condensate, il gruppo carbonile dei chetoni è scritto CO, quindi

