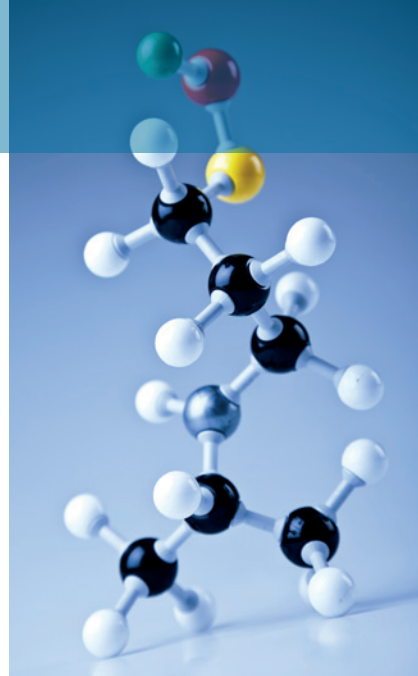


# Il mondo del carbonio



## ABILITÀ

- Riconoscere i diversi tipi di isomeria.
- Individuare i differenti gruppi funzionali.

## 1. Esiste un'enorme varietà di composti organici

*Proteine, carboidrati, grassi, DNA, enzimi e ormoni* sono soltanto alcuni dei termini con cui descriviamo la struttura e le funzioni che caratterizzano gli apparati di un organismo vivente.

Pur differenziandosi per il grado di complessità, essi sono tutti esempi di **composti organici**. L'aggettivo *organico* ha origini storiche: inizialmente infatti gli scienziati pensavano che i composti organici fossero caratterizzati da una forza vitale intrinseca. La teoria vitalistica fu abbandonata a partire dal 1828 quando l'urea, un componente dell'urina, fu sintetizzata a partire da sostanze del mondo minerale.

Per composto organico si intende un qualsiasi composto del carbonio che, almeno in origine, viene sintetizzato da un essere vivente.

composto organico

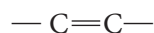
Esistono solo pochissime eccezioni a questa definizione, come  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  o  $\text{HCO}_3^-$  che, pur essendo composti del carbonio, non sono considerati composti organici.

La grande varietà di composti organici a cui dà luogo il carbonio dipende dalla sua particolare natura; infatti:

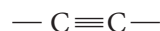
- la presenza di quattro elettroni nello strato di valenza determina la possibilità di formare lunghissime catene di atomi di carbonio tramite la condivisione di una, due o tre coppie di elettroni:



legami semplici



legame doppio



legame triplo

- può legarsi covalentemente con tutti i non metalli e con quasi tutti i metalli.

## 2. Gli idrocarburi saturi: alcani e cicloalcani

Prima di affrontare lo studio delle complesse molecole biologiche, illustriamo la struttura delle molecole organiche più semplici, cioè degli *idrocarburi*.

### idrocarburi

Gli idrocarburi sono composti binari formati solo da carbonio e idrogeno.



#### Hydrocarbon

A compound composed entirely of carbon and hydrogen.



#### Saturated hydrocarbon

A hydrocarbon that has only single bonds between carbon atoms; classified as alkanes.

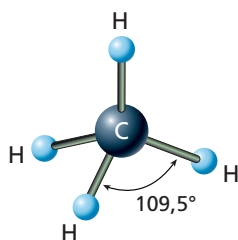
Si tratta di composti presenti in grande quantità nei giacimenti petroliferi, i quali costituiscono una fonte primaria sia di sostanze combustibili sia di materia prima per la produzione di materiali plastici. Trattandosi di risorse non rinnovabili, dalla cui combustione e lavorazione provengono la maggior parte delle sostanze inquinanti, è indispensabile che il loro uso venga sempre più ridotto in favore di risorse rinnovabili, incentivando al tempo stesso la pratica del riciclo dei rifiuti.

Secondo la nomenclatura tradizionale, la prima suddivisione degli idrocarburi è in *alifatici* e *aromatici*. Gli **idrocarburi alifatici** sono molecole costituite da catene di atomi di carbonio lineari (aperte o chiuse) o ramificate; a questo gruppo appartengono, per esempio, *alcani* e *cicloalcani*. Gli **idrocarburi aromatici**, invece, presentano una particolare struttura ciclica che, come vedremo, ha proprietà del tutto specifiche.

Alcani e cicloalcani sono *idrocarburi saturi*; l'aggettivo «saturato» si riferisce al fatto che ogni atomo di carbonio lega il numero massimo possibile di atomi, cioè quattro.

### idrocarburi saturi

Gli idrocarburi saturi sono costituiti da catene di atomi di carbonio uniti soltanto da legami semplici.



**FIGURA 16.1** La struttura del carbonio è tetraedica con angoli di legame di 109,5°.

### Gli alcani hanno formula generale $C_nH_{2n+2}$

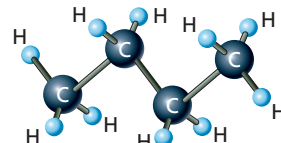
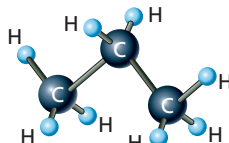
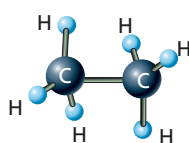
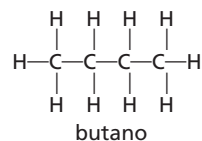
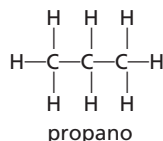
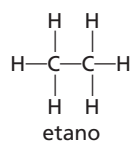
Il più semplice degli **alcani** è il metano,  $CH_4$ . I quattro atomi di idrogeno circondano l'atomo di carbonio: la struttura è perfettamente tetraedica con angoli di legame di 109,5° (**Figura 16.1**).

I due idrocarburi successivi sono l'etano,  $C_2H_6$ , e il propano,  $C_3H_8$ . Osservando la **Figura 16.2** si nota che propano ed etano si diversificano per la presenza di un gruppo  $-CH_2-$ ; la catena a quattro atomi di carbonio del butano, a sua volta, contiene un gruppo  $-CH_2-$  in più rispetto a quella del propano. In generale, a partire dall'etano, la struttura dell'alcano successivo si ricava aggiungendo un gruppo  $-CH_2-$  all'interno della catena. Proprio per questa caratteristica gli alcani costituiscono una serie omologa.

### serie omologa

Una serie omologa è una serie di composti in cui ciascun termine differisce dal successivo di una unità costante.

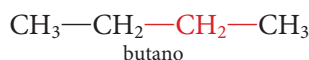
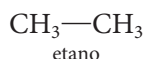
**FIGURA 16.2** Strutture di Lewis e modelli molecolari di etano, propano e butano.



La formula generale della serie omologa degli alcani è  $C_nH_{2n+2}$ , dove  $n$  è un qualsiasi numero intero. Il nome degli alcani con  $n$  superiore a 4 si attribuisce unendo il prefisso che indica il numero di atomi di C al suffisso -ano: pentano, esano, eptano, ...

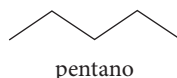
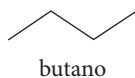
Per rappresentare in modo semplice gli idrocarburi, si ricorre alle strutture di Lewis in due dimensioni anziché a quelle tetraedriche, più complesse da disegnare.

Una rappresentazione ancora più schematica si ha con le cosiddette **formule condensate**:



In rosso è evidenziato il gruppo che differenzia una catena rispetto a quella che la precede.

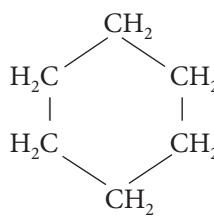
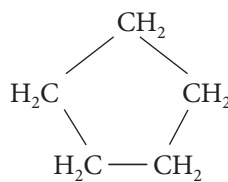
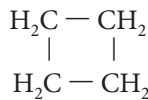
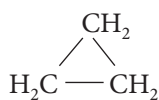
Queste possono essere ulteriormente semplificate se si rappresenta con una linea spezzata soltanto lo scheletro carbonioso della molecola; a ogni vertice corrisponde un atomo di carbonio e a ogni segmento un legame C—C. In queste rappresentazioni, gli idrogeni sono sottintesi.



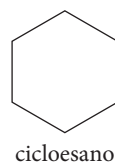
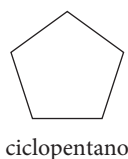
In questo modo, si nota che la catena lineare di atomi di carbonio è, in realtà, a zig-zag; l'angolo di legame C—C—C, infatti, non è di  $180^\circ$  bensì di  $109,5^\circ$ .

### Nei cicloalcani la catena carboniosa si chiude

A partire dal propano, è possibile richiudere la catena di atomi di carbonio; si forma così il corrispondente **cicloalcano**. La chiusura della catena comporta la perdita di due atomi di idrogeno (uno per ciascuno dei due atomi di carbonio che devono unirsi tra loro); la formula generale dei cicloalcani, pertanto, corrisponde a  $C_nH_{2n}$ . I principali termini della serie omologa sono:



Per rappresentare i cicloalcani in modo schematico si utilizzano i corrispondenti poligoni regolari; ciascun vertice del poligono corrisponde a un gruppo —CH<sub>2</sub>—:



A parte il ciclopropano, i cicloalcani non hanno struttura planare; essa, come negli alcani, non è rigida perché l'anello può fluttuare nello spazio, senza rompersi.

**RICORDA** La formula generale degli alcani è  $C_nH_{2n+2}$  ( $n$  = numero intero).



### Homologous series

A series of compounds in which the members differ from one another by a regular increment. For example, each successive member of the alkane series of hydrocarbons differs by a group.

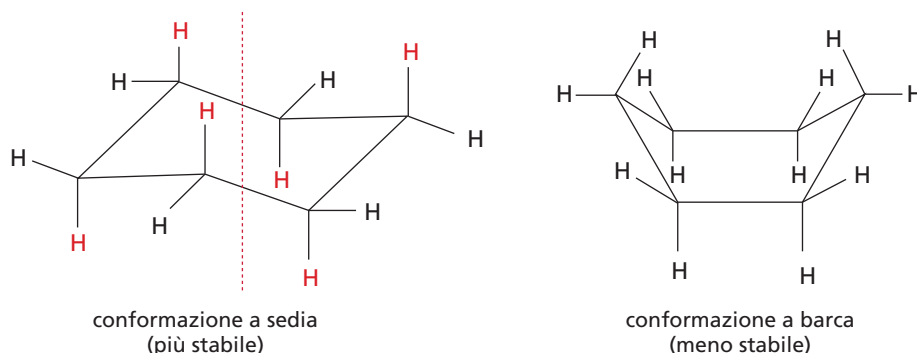
### PROVA TU

Scrivi le formule condensate dei primi dieci alcani.

**RICORDA** La formula generale dei cicloalcani è  $C_nH_{2n}$ .

La struttura più interessante per lo studio delle molecole biologiche è quella del cicloesano. Durante le sue fluttuazioni, essa può assumere diverse conformazioni spaziali; le due più importanti sono quelle a sedia e a barca (Figura 16.3).

**FIGURA 16.3** Le conformazioni a sedia e a barca del cicloesano. In rosso sono evidenziati gli idrogeni assiali.



A causa dell'angolo di legame tetraedrico, si individuano due diverse disposizioni degli atomi di idrogeno: una *assiale*, ossia parallela all'asse della molecola, l'altra *equatoriale*, cioè a raggiera intorno al perimetro della molecola.

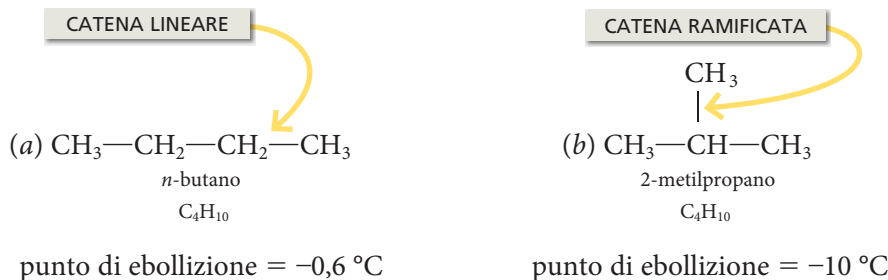
La più stabile è la conformazione a sedia in cui i dodici atomi di idrogeno della molecola risultano meno ravvicinati nello spazio (sei hanno una disposizione assiale, gli altri sei sono in posizione equatoriale); ciò minimizza le forze repulsive tra gli elettroni degli atomi coinvolti nei legami perché gli idrogeni sono situati alternativamente sopra e sotto il piano della molecola.

### 3. Gli isomeri: stessa formula bruta per molecole diverse

**TABELLA 16.1** Numero di isomeri di alcuni idrocarburi saturi.

Formula	Numero di isomeri
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	5
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	9
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	18
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	35
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	75
C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	4347
C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	366 319

L'*isomeria* è il fenomeno per cui a una stessa composizione chimica corrispondono diverse disposizioni spaziali degli atomi costituenti. È una proprietà molto diffusa tra le molecole organiche perché gli atomi di carbonio possono concatenarsi tra loro in modo differente. Per esempio, alla formula grezza C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> corrispondono due distinte molecole, una a catena lineare e l'altra a catena ramificata:



Le molecole (a) e (b) sono due **isomeri**.

#### isomeri

Gli isomeri sono, in generale, composti che hanno la stessa formula bruta ma che differiscono per il modo in cui gli atomi sono legati tra loro o sono disposti nello spazio.



#### Isomers

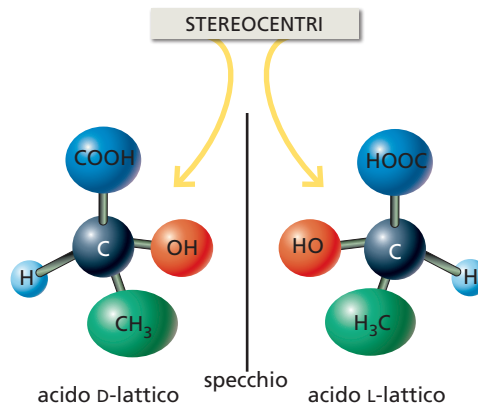
Compounds having identical molecular formulas but different structural formulas.

Negli **isomeri di struttura**, gli stessi atomi sono legati in modo diverso. Per esempio, le molecole (a) e (b) si dicono *isomeri di catena* e sono caratterizzate da diverse proprietà fisiche (punto di ebollizione, punto di fusione). All'aumentare del numero di atomi di carbonio dell'alcano, aumenta il numero di isomeri possibili (Tabella 16.1); all'alcano C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, per esempio, corrispondono tre diversi isomeri di catena.



Anche le molecole possono essere chirali, a patto che la loro struttura non presenti piani di simmetria. L'acido lattico, per esempio, è una molecola organica con un atomo di carbonio che lega a sé un H, un gruppo CH<sub>3</sub>, un gruppo OH e un gruppo COOH (Figura 16.4). La sua immagine speculare è una molecola diversa perché, comunque la si ruoti nello spazio, non è sovrapponibile a quella originale.

**FIGURA 16.4** I due enantiomeri dell'acido lattico.



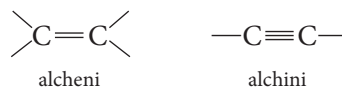
Le due diverse molecole di acido lattico sono **isomeri ottici** e costituiscono una coppia di **enantiomeri**. Le loro proprietà chimiche e fisiche coincidono tutte a eccezione della loro *attività ottica*. Se facciamo passare un fascio di luce polarizzata attraverso due campioni contenenti ciascuno un solo isomero, il fascio viene deviato di uno stesso angolo ma in direzioni opposte.

### Unsaturated hydrocarbon

A hydrocarbon whose molecules contain one or more double or triple bonds between two carbon atoms; classified as *alkenes*, *alkynes*, and *aromatic compounds*.

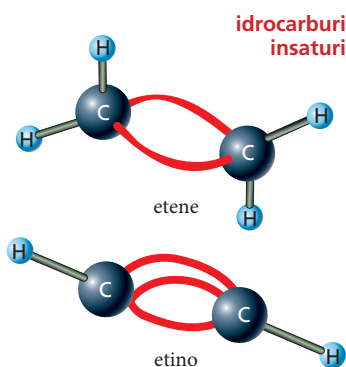
## 4. Gli idrocarburi insaturi: alcheni e alchini

Gli **alcheni** sono idrocarburi che presentano nella propria molecola un doppio legame carbonio-carbonio. Gli **alchini**, invece, presentano un triplo legame carbonio-carbonio.



Ciascuno dei due atomi di carbonio coinvolti nel legame multiplo non è legato a quattro atomi (come negli alcani), ma soltanto a tre negli alcheni e a due negli alchini. Alcheni e alchini sono detti *idrocarburi insaturi* proprio perché possiedono atomi di carbonio che non hanno «saturato» la propria capacità di legame.

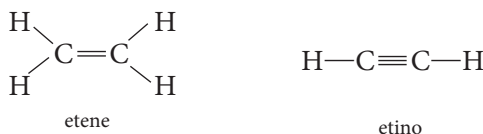
Gli idrocarburi insaturi sono costituiti da catene di atomi di carbonio uniti da almeno un legame doppio o triplo.



**FIGURA 16.5** Struttura dell'etene e dell'etino.

La geometria che caratterizza l'unità  $\diagup \text{C} = \text{C} \diagdown$  è planare; gli angoli di legame che si formano sono circa di 120°. Nel caso del triplo legame  $\text{---} \text{C} \equiv \text{C} \text{---}$ , invece, la geometria è lineare perché l'angolo di legame è di 180°.

Il primo idrocarburo della serie degli alcheni è l'**etene** o **etilene**, mentre il primo degli alchini è l'**etino** o **acetilene** (Figura 16.5).



La formula generale degli alcheni è  $C_nH_{2n}$  e quella degli alchini è  $C_nH_{2n-2}$ . Gli alcheni hanno la stessa formula grezza dei cicloalcani; un cicloalcano e il corrispondente alchene sono quindi isomeri.

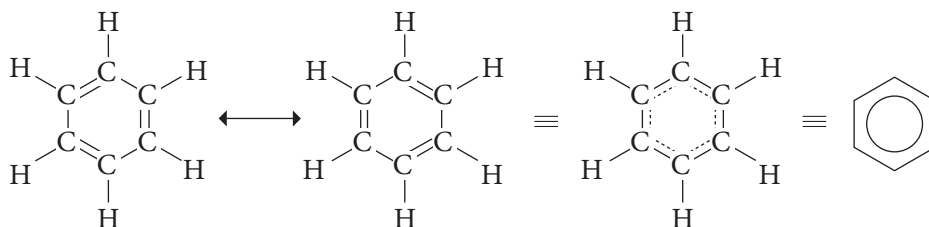
## 5. Gli idrocarburi aromatici hanno una particolare struttura elettronica

Il termine *aromatico* che contraddistingue questa classe di idrocarburi è dovuto al caratteristico odore dei primi composti isolati. Oggi, il termine «aromaticità» indica una relativa stabilità chimica, che deriva dalla particolare struttura elettronica di questi idrocarburi.

Il principale esponente degli idrocarburi aromatici è il **benzene**,  $C_6H_6$ .

La forma esagonale della sua molecola ha tre doppi legami che si fondono insieme ad anello e vengono rappresentati da un cerchio all'interno dell'esagono.

Questa particolarità conferisce ai composti aromatici la caratteristica stabilità. Per brevità, in questa formula si omettono anche gli atomi di idrogeno.



L'accertata tossicità verso gli esseri viventi, uomo compreso, rende gli idrocarburi aromatici sostanze altamente pericolose: essi rappresentano infatti uno tra i più gravi rischi da inquinamento chimico ambientale.

## 6. I gruppi funzionali sono caratteristici insieme di atomi

La presenza di legami multipli tra gli atomi di carbonio di un idrocarburo insaturo determina il modo con cui esso reagisce. La particolare reattività del propene (e di tutti gli altri alcheni), per esempio, è dovuta alla presenza nelle sue molecole del gruppo  $-C=C-$  e non è apprezzabilmente influenzata dalla parte restante della catena carboniosa ( $-CH_3$ ).

Poiché il gruppo  $-C=C-$  costituisce il centro di reattività di questo tipo di molecole, è detto *gruppo funzionale*; il resto della catena, che conserva la sua struttura originaria, è detto *scheletro molecolare* e viene indicato genericamente con la lettera R. Altri gruppi funzionali sono formati da atomi singoli, come per esempio gli alogeni ( $-X$ ), oppure da gruppi di atomi con o senza carbonio, come  $-OH$  e  $-COOH$ . Le molecole che contengono uno stesso gruppo funzionale costituiscono una classe di composti.

Un gruppo funzionale è un atomo o un gruppo di atomi capace di conferire una particolare reattività alla molecola di cui fa parte.



### Functional group

An atom or group of atoms that characterises a class of organic compounds. For example  $-COOH$  is the functional group of carboxylic acids.

gruppo funzionale

Nella **Tabella 16.2** sono riportate le formule generali dei più importanti gruppi funzionali e il nome delle relative classi di composti.



**TABELLA 16.2** Alcune importanti classi di composti e relativi gruppi funzionali. Con R viene indicato lo scheletro molecolare (o catena carboniosa).

Classe	Formula generale	Gruppo funzionale	Esempio di molecola	Nome (la parte caratteristica del nome è in rosso)	Esempi nella vita quotidiana
alogenuri	R—X	alogenuro (—X)	CH <sub>3</sub> —Cl	clorometano	Nei correttori per penne sono contenuti alogenuri organici.
alcoli	R—OH	ossidrilico (—OH)	CH <sub>3</sub> —OH	metanolo	Gli alcoli sono presenti nel vino, nella birra e nei liquori.
eteri	R—O—R'	etere (—O—)	CH <sub>3</sub> —O—CH <sub>3</sub>	dimetiletere	Gli eteri venivano utilizzati in medicina come anestetici.
aldeidi	R—CHO	carbonile $\left( \begin{array}{c} \text{—C—} \\    \\ \text{O} \end{array} \right)$	$\text{CH}_3\text{—C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{H} \end{array}$	etanale (acetaldeide)	La formalina, una soluzione di formaldeide, era utilizzata per conservare organi ai fini degli studi anatomici.
chetoni	R—CO—R'	carbonile $\left( \begin{array}{c} \text{—C—} \\    \\ \text{O} \end{array} \right)$	$\text{CH}_3\text{—C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{CH}_3 \end{array}$	propanone (acetone)	L'acetone è un chetone presente nei solventi per le unghie
acidi carbossilici	R—COOH	carbossile $\left( \begin{array}{c} \text{—C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array} \end{array} \right)$	$\text{CH}_3\text{—C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array}$	acido etanoico (acido acetico)	L'aceto che usiamo per condire i cibi è un esempio di un acido carbossilico.
esteri	R—COOR'	estere (—COO—)	$\begin{array}{c} \text{O} \\   \\ \text{CH}_3\text{—C—O—CH}_3 \end{array}$	etanato di metile (acetato di metile)	Tragli esteri più comunemente usati vi sono i saponi che usiamo come detergenti.
ammidi	R—CO—NH <sub>2</sub>	ammidico (—CO—NH <sub>2</sub> )	$\text{CH}_3\text{—C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{NH}_2 \end{array}$	etanamide (acetamide)	Molti medicinali sono ammidi (per esempio gli antipiretici per abbassare la febbre).
ammine	R—NH <sub>2</sub>	amminico (—NH <sub>2</sub> )	CH <sub>3</sub> —NH <sub>2</sub>	metilammina	Il cattivo odore che sprigiona il pesce in putrescenza è causato dalla formazione di ammine.

## 7. I polimeri sono macromolecole

I composti organici naturali sono stati utilizzati nell'industria chimica come veri e propri «mattoni» per la costruzione di molecole molto più complesse, che hanno trovato largo impiego nei più disparati settori. Si tratta dei cosiddetti **polimeri**, ossia lunghe catene, chiamate anche *macromolecole*.

### polimeri

Il termine polimero indica una molecola di massa molecolare elevata, costituita da un insieme di gruppi chimici legati tra loro da legami covalenti.

Le macromolecole si ottengono da molecole a basso peso molecolare, i **monomeri**, che presentano uno o più doppi legami oppure due o più gruppi funzionali in grado di reagire tra loro.



 **Polymer**  
(macromolecule)

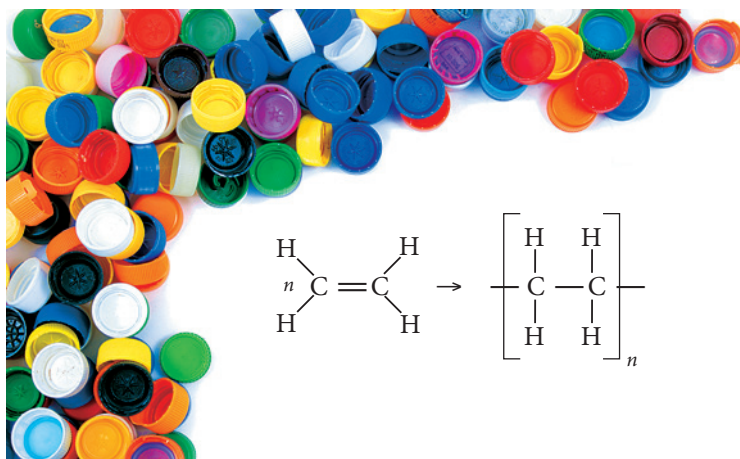
A natural or synthetic giant molecule formed from smaller molecules (monomers).

I polimeri di sintesi, i cui monomeri sono estratti dal petrolio, dal carbone o dal gas naturale, sono numerosissimi e vanno a costituire in percentuale rilevante indumenti, veicoli, mobili, abitazioni e molti altri materiali di uso quotidiano. In base ai meccanismi di polimerizzazione, essi possono essere raggruppati in due classi principali: *polimeri di addizione* e *polimeri di condensazione*.

### L'addizione

In presenza di opportuni catalizzatori, cioè sostanze che accelerano e facilitano le reazioni, le molecole di molti alcheni sono in grado di congiungersi l'una all'altra tramite una reazione di addizione al doppio legame carbonio-carbonio che si ripete tantissime volte sino a formare catene di massa enorme. Per formare i polimeri di addizione il doppio legame si rompe e le molecole si congiungono l'una con l'altra attraverso legami singoli.

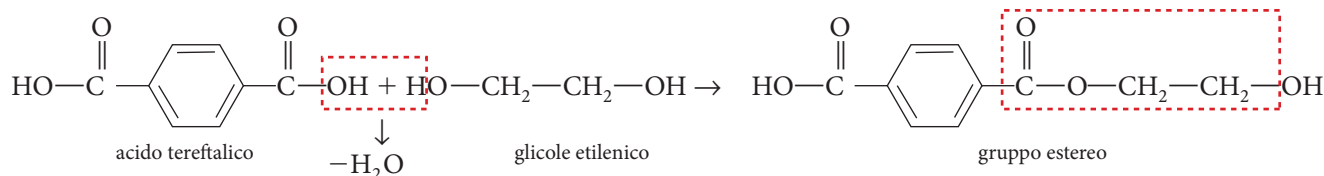
L'esempio più semplice di polimero di addizione è il **polietilene** (Figura 16.6) di cui sono fatti i tappi di plastica e la pellicola da cucina.



### La condensazione

Questi polimeri si formano dalla reazione tra due diversi gruppi funzionali che, reagendo tra loro, eliminano una molecola di piccole dimensioni, come H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> o HCl. I polimeri di condensazione, pertanto, a differenza di quelli di addizione, non contengono tutti gli atomi presenti nei monomeri di partenza.

Un tipico esempio di polimero di condensazione è il **PET**, o **polietilentereftalato**. Esso è un *poliestere* che (in laboratorio) si ottiene facendo reagire un acido organico bifunzionale, l'acido tereftalico, con il glicole etilenico:



La reazione è un'esterificazione, la quale avviene tra il gruppo —COOH dell'acido e il gruppo —OH del glicole formando il gruppo estereo —CO—O—CH<sub>2</sub>—; alle estremità del prodotto così formato restano, però, un gruppo acido e un gruppo alcolico che possono reagire, rispettivamente, con una seconda molecola di glicole e un'altra molecola di acido. La catena si allunga, quindi, da entrambe le estremità e il risultato della reazione è un polimero che viene usato comunemente nella produzione delle bottiglie in plastica (Figura 16.7).



Il nylon in provetta

**FIGURA 16.6** I tappi delle bottiglie di plastica sono fatti di polietilene (PE).



**FIGURA 16.7** Un impianto di produzione di bottiglie in plastica.



La storia della chimica  
Giulio Natta



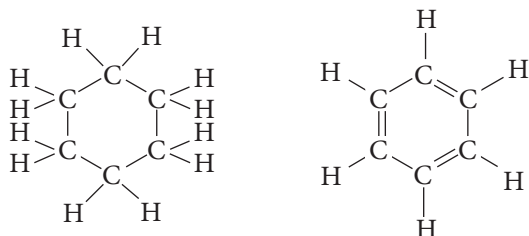
Sintesi del capitolo in mp3



## 5. Gli idrocarburi aromatici hanno una particolare struttura elettronica

10 **★★☆** Disegna lo scheletro carbonioso dei seguenti composti.

► Quale tra i due è aromatico?



## 6. I gruppi funzionali sono caratteristici insiemi di atomi

11 **★★☆** Che cosa si intende per *scheletro molecolare*?  
► Come si indica?

12 **★★☆** Che cosa si intende per *gruppo funzionale*?  
► Fai tre esempi.

13 **★★☆** Come viene denominato un insieme di molecole che contengono lo stesso gruppo funzionale?

14 **★★☆** Abbina le seguenti molecole (indicate con le lettere) con le relative classi di composti (indicate con i numeri).

- |                       |              |
|-----------------------|--------------|
| a) clorometano        | 1) chetoni   |
| b) etanoato di metile | 2) alcoli    |
| c) metanolo           | 3) alogenuri |
| d) propanone          | 4) esteri    |

## 7. I polimeri sono macromolecole

15 **★★☆** Definisci i *monomeri* e i *polimeri* e descrivi in che rapporto stanno tra di loro.

16 **★★☆** In base a che cosa un polimero viene definito *di condensazione* o *di addizione*?

17 **★★☆** I polimeri di addizione contengono tutti gli atomi dei monomeri che li costituiscono? E i polimeri di condensazione? Motiva la tua risposta.