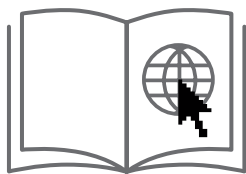


Franco Bagatti
Elis Corradi
Alessandro Desco
Claudia Ropa

La chimica indispensabile




LM LIBRO MISTO




SU WWW.ONLINE.ZANICHELLI.IT
240 ESERCIZI INTERATTIVI
SCHEDE DI LABORATORIO (64 PAGINE)

SCIENZE **ZANICHELLI**



La chimica del carbonio

C9

1. La chimica organica
 2. Formule e nomi degli idrocarburi saturi
 3. Gli idrocarburi insaturi
 4. Gli idrocarburi aromatici
 5. Origine e proprietà chimiche degli idrocarburi
 6. Gli idrocarburi alogenati
 7. Alcoli e fenoli, eteri
 8. I composti del gruppo carbonilico e del gruppo carbossilico
 9. Composti polifunzionali e carboidrati
 10. I composti organici con l'azoto: ammine, aminoacidi e proteine
 11. Dai polimeri naturali ai nuovi materiali sintetici
- 

1. La chimica organica

Le sostanze organiche

Ancora verso la metà dell'Ottocento i chimici erano convinti che tutte le sostanze dovessero essere divise in due gruppi nettamente distinti; a tale scopo il chimico svedese J.J. Berzelius aveva proposto già nel 1806 di chiamare **sostanze organiche** quelle prodotte dagli organismi viventi per distinguerle dalle *sostanze inorganiche*, tutte le altre.

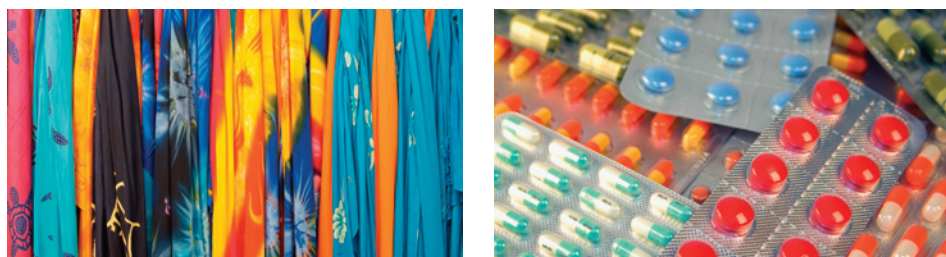
La divisione era tutt'altro che formale poiché si sosteneva che gran parte dei composti costituenti gli organismi viventi (ad eccezione dell'acqua, dei sali minerali e di poche altre sostanze) potessero essere ottenuti soltanto attraverso operazioni di separazione o per mezzo di reazioni chimiche effettuate su tessuti di organismi viventi; in altre parole i chimici pensavano che le sostanze organiche potessero avere soltanto un'origine naturale ed essere quindi i prodotti dell'attività biologica degli organismi animali e vegetali.

Questo convincimento si indebolì via via che crescevano le conoscenze scientifiche ed entrò in crisi nel 1828 quando il chimico tedesco F. Wöhler, partendo dal cianato d'ammonio, un composto inorganico, sintetizzò l'urea, una sostanza organica già nota come costituente dell'urina dei mammiferi.

Successive scoperte fecero comprendere che le leggi della chimica valgono per tutti i tipi di sostanze e che quindi non esiste un confine netto tra sostanze organiche e inorganiche. Tuttavia il nome chimica organica è rimasto nel lessico abituale della comunità scientifica ed è ancora utile per indicare la chimica dei composti del carbonio, cioè una branca della chimica che non è certamente governata da leggi proprie. Infatti essa si caratterizza e si differenzia proprio perché dalla combinazione del carbonio con pochi altri elementi (tra cui l'azoto, l'ossigeno, lo zolfo e il fosforo) trae origine un enorme numero di composti differenti per struttura e proprietà.

A tutt'oggi si conoscono milioni di composti organici e ogni anno ne vengono preparati di nuovi che trovano impiego per gli usi più disparati in moltissimi campi delle attività umane. Ed è così che li ritroviamo, spesso inconsapevolmente, nelle cose che vediamo e che usiamo tutti i giorni: stoffe e tessuti, medicinali, alimenti, plastiche di tanti tipi, gomme eccetera (figura 1).

► **Figura 1** La combinazione di pochi elementi evidenziati nella tavola periodica dà origine a una grande varietà di sostanze che costituiscono molti prodotti della vita quotidiana, come stoffe e medicinali.

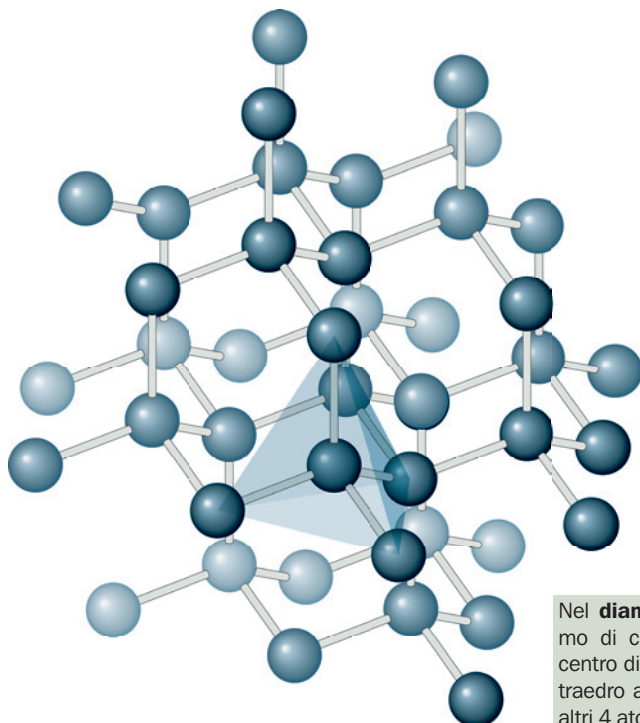


H																		C		
												B	N		O	He				
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar			
Na	Mg											Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg										

I legami del carbonio

Come è noto, il carbonio fa parte del IV gruppo e pertanto ogni suo atomo presenta quattro elettroni di valenza che gli consentono di formare quattro legami covalenti con altri atomi, come per esempio nella molecola del metano che ha formula CH_4 (figura 2).

Ma se un atomo di carbonio si lega con altri quattro atomi di carbonio e se ognuno di questi a sua volta si lega con altri tre atomi di carbonio e così via a catena, si arriva a ottenere quella stupenda (e rarissima) opera della natura che si chiama diamante.



Nel **diamante** ciascun atomo di carbonio si trova al centro di un immaginario tetraedro ai cui vertici ci sono altri 4 atomi di carbonio.

Tra questi due estremi, la piccola molecola di metano e la macromolecola del diamante, troviamo migliaia di molecole diverse in cui atomi di carbonio si legano tra loro e ad atomi di idrogeno in rapporti differenti.

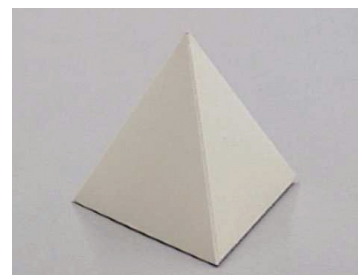
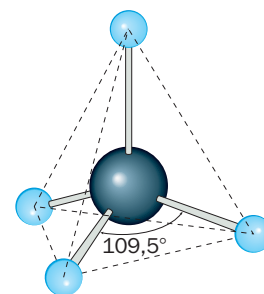
Il legame tra atomi di carbonio risulta particolarmente stabile e per questo sul nostro pianeta in tempi passati si formarono grandi quantità di *idrocarburi*, composti formati da carbonio e da idrogeno, senza dubbio meno affascinanti dei diamanti, ma certamente più importanti per la nostra vita. Negli idrocarburi ma più in generale in tutti i composti organici sono presenti quasi esclusivamente legami covalenti (semplici o multipli, polarizzati o no) e pertanto queste sostanze sono costituite da molecole (o macromolecole) e fanno parte della famiglia delle sostanze covalenti.

Idrocarburi saturi: alcani e cicloalcani

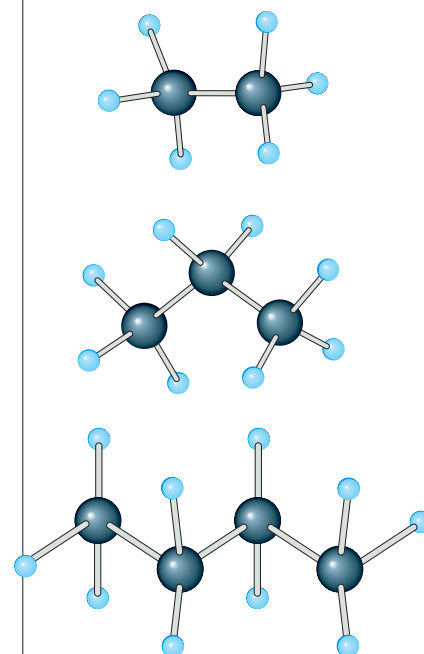
Gli idrocarburi più diffusi vengono chiamati **idrocarburi saturi** perché in essi l'atomo di carbonio è sempre legato ad altri quattro atomi, cioè forma quattro legami covalenti semplici.

Il metano è l'idrocarburo saturo più semplice: l'atomo di carbonio è legato a quattro atomi di idrogeno e la molecola presenta, come sappiamo, una perfetta geometria tetraedrica.

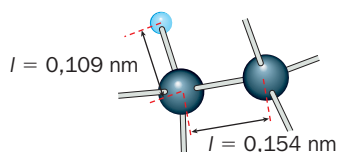
L'idrocarburo che contiene due atomi di carbonio legati tra loro si chiama *etano* e ha formula C_2H_6 ; gli idrocarburi con tre e quattro atomi di carbonio in catena si chiamano rispettivamente *propano*, C_3H_8 , e *butano*, C_4H_{10} (figura 3).



▲ **Figura 2** Nelle molecole del metano l'atomo di carbonio forma quattro legami covalenti con gli atomi di idrogeno che si dispongono ai vertici di un immaginario tetraedro regolare. Ogni angolo di legame vale $109,5^\circ$.



▲ **Figura 3** I modelli molecolari raffigurati evidenziano la caratteristica strutturale comune agli idrocarburi saturi: ogni atomo di carbonio forma quattro legami covalenti con altri quattro atomi rispettando la geometria tetraedrica.



▲ **Figura 4** Per lunghezza di legame si intende la distanza che separa i centri dei nuclei dei due atomi legati. Di solito la lunghezza di legame è espressa in nanometri.

Gli atomi di carbonio che costituiscono la catena dell'idrocarburo distano tra loro 0,154 nm e la lunghezza del legame C — H vale invece 0,109 nm (figura 4).

Se si continua ad allungare la catena aggiungendo via via un atomo di carbonio, si ottengono gli idrocarburi che costituiscono la famiglia degli **alcani** (tabella 1).

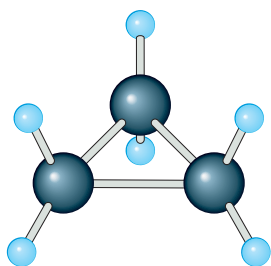
Tabella 1 Nella tabella sono riportati i nomi dei primi alcani a catena lineare. Ogni composto differisce da quello che lo precede perché ha un gruppo $-CH_2-$ in più. La catena viene detta lineare perché gli atomi di carbonio sono legati uno di seguito all'altro anche se, in realtà, gli atomi di carbonio formano una linea spezzata a zig-zag.

Nome	Formula molecolare	Formula di struttura
metano	CH ₄	
etano	C ₂ H ₆	
propano	C ₃ H ₈	
butano	C ₄ H ₁₀	
pentano	C ₅ H ₁₂	
esano	C ₆ H ₁₄	
eptano	C ₇ H ₁₆	
ottano	C ₈ H ₁₈	
nonano	C ₉ H ₂₀	
decano	C ₁₀ H ₂₂	
undecano	C ₁₁ H ₂₄	
dodecano	C ₁₂ H ₂₆	
tridecano	C ₁₃ H ₂₈	
tetradecano	C ₁₄ H ₃₀	
pentadecano	C ₁₅ H ₃₂	
esadecano	C ₁₆ H ₃₄	
eptadecano	C ₁₇ H ₃₆	
ottadecano	C ₁₈ H ₃₈	
nonadecano	C ₁₉ H ₄₀	
eicosano	C ₂₀ H ₄₂	

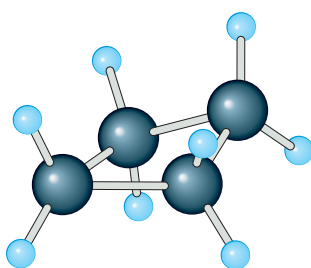
Gli alcani elencati nella **tabella 1** sono idrocarburi saturi a *catena aperta*, chiamati così perché esistono anche composti in cui gli atomi di carbonio si legano in modo da formare una *catena chiusa*; per questo motivo questi ultimi sono indicati con il termine di idrocarburi saturi ciclici, oppure, più brevemente e più comunemente, **cicloalcani**.

Nella **figura 5** sono mostrate le strutture molecolari dei primi tre cicloalcani.

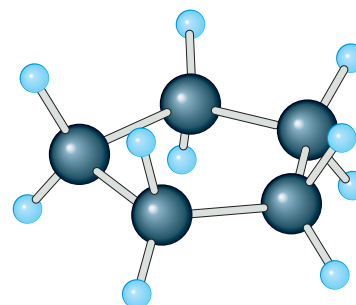
▼ **Figura 5** Modelli della struttura molecolare dei primi tre cicloalcani.



ciclopropano

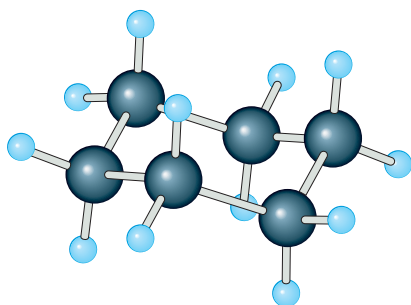


ciclobutano



ciclopentano

Questi esempi dimostrano che gli atomi di carbonio per legarsi e formare una struttura ciclica devono assumere posizioni nello spazio che corrispondono ad angoli di legame minori di $109,5^\circ$; in particolare, nel ciclopropano e nel ciclobutano è molto accentuata la differenza tra l'angolo di legame teorico e quello reale, così che questi composti risultano essere particolarmente instabili. Sulla base delle stesse considerazioni si spiega il fatto che hanno maggiore stabilità i cicloalcani con catena formata da cinque, sei e sette atomi di carbonio, in quanto gli angoli di legame si avvicinano a quelli teorici (figura 6).



◀ **Figura 6** La struttura non planare del cicloesano consente di realizzare angoli di legame vicini a quelli caratteristici della struttura tetraedrica.

Si può osservare che nelle formule degli alcani e dei cicloalcani che abbiamo presentato c'è un rapporto preciso tra il numero di atomi di carbonio e quelli di idrogeno.



Gli **alcani** hanno formula generale C_nH_{2n+2} mentre i **cicloalcani** hanno formula generale C_nH_{2n} ; il nome di tutti gli idrocarburi saturi termina con la desinenza **ano**.

PROVA TU

Qual è la formula molecolare dei due idrocarburi saturi con 16 atomi di idrogeno?

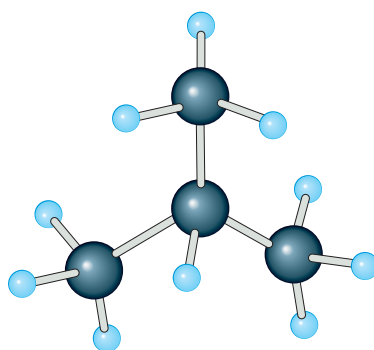
Catene ramificate: idrocarburi isomeri

Finora abbiamo mostrato idrocarburi in cui (a esclusione del metano) gli atomi di carbonio sono legati in successione formando catene aperte o chiuse. Tuttavia questa non è l'unica modalità con cui si possono legare gli atomi di carbonio negli idrocarburi saturi.

Nella figura 7 è presentato il modello della molecola di un idrocarburo saturo: la sua formula (C_4H_{10}) è quella del butano, ma la sua struttura molecolare non è la stessa; infatti soltanto tre atomi di carbonio si succedono in modo lineare, dato che il quarto è legato in modo da creare una *catena ramificata*.

Si comprende che ci troviamo di fronte ad un'importante novità: abbiamo due molecole che hanno la stessa formula molecolare ma che sono diverse perché sono diverse le strutture delle catene degli atomi che le costituiscono. Si tratta quindi di due composti diversi con proprietà fisiche diverse e, ovviamente, nome diverso (tabella 2).

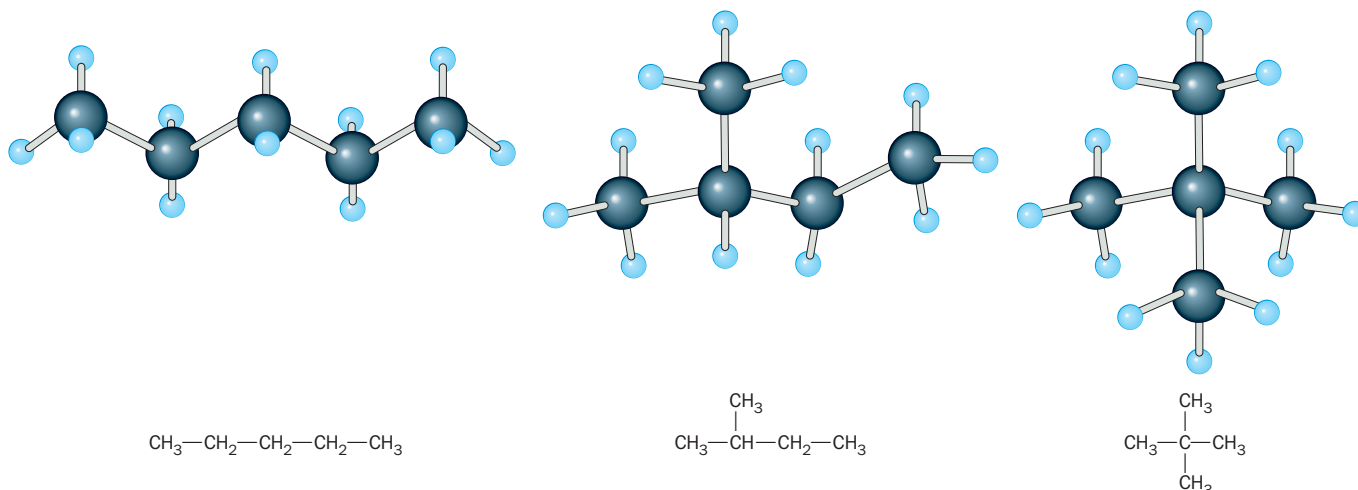
Quando gli atomi di carbonio sono quattro ci sono solo due modi di legarli tra



◀ **Figura 7** Nella molecola di questo idrocarburo saturo c'è un atomo di carbonio legato a tre atomi di carbonio e a un solo atomo di idrogeno; questa situazione non si presenta negli idrocarburi saturi a catena lineare dove ogni atomo di carbonio è legato a uno o a due atomi di carbonio.

Tabella 2 Densità e temperature dei passaggi di stato di due composti con formula C_4H_{10} .

Idrocarburo	d (kg/L)	t_f ($^\circ\text{C}$)	t_{ob} ($^\circ\text{C}$)
metilpropano	0,549	-159,4	-11,6
butano	0,579	-138,4	-0,5




▲ **Figura 8** Nella molecola rappresentata nella terza formula c'è un atomo di carbonio che, come nel diamante, è legato soltanto ad atomi di carbonio.

loro, ma se gli atomi di carbonio che formano il composto diventano cinque, vediamo che le possibili catene diventano tre (figura 8).

Anche in questo caso, la formula molecolare è sempre la stessa, C_5H_{12} , ma a ogni diversa formula di struttura corrispondono composti con proprietà diverse.

Possiamo già sottolineare una importante conclusione: quando gli atomi di carbonio che si legano sono più di tre, le catene che si formano possono essere ramificate; questo fatto determina un aumento del numero di composti che si possono formare: infatti alla stessa formula molecolare corrispondono composti diversi perché è diversa la loro formula di struttura.

Questo aspetto tipico dei composti della chimica del carbonio viene detto **isomeria**.

 In generale, si chiamano **isomeri** i composti che hanno la stessa formula molecolare ma proprietà diverse a causa di una diversa disposizione reciproca degli atomi.

In particolare, i due idrocarburi che corrispondono alla formula molecolare C_4H_{10} e i tre che hanno formula C_5H_{12} sono **isomeri di catena** (o di *struttura*), espressione che sottolinea che i due composti sono diversi perché è diversa la struttura della catena di atomi di carbonio che costituisce l'ossatura della molecola.

Come si intuisce, via via che cresce il numero di atomi di carbonio, aumenta anche il numero di isomeri possibili. Se la formula molecolare è C_6H_{14} , si possono scrivere le formule di ben cinque idrocarburi saturi isomeri, ma se gli atomi di carbonio sono 10 gli isomeri possibili sono settantacinque e diventano ben trecentosessanta-seimilatrecentodiciannove quando si possono legare tra loro in modi diversi 20 atomi di carbonio!

Le proprietà fisiche degli idrocarburi saturi

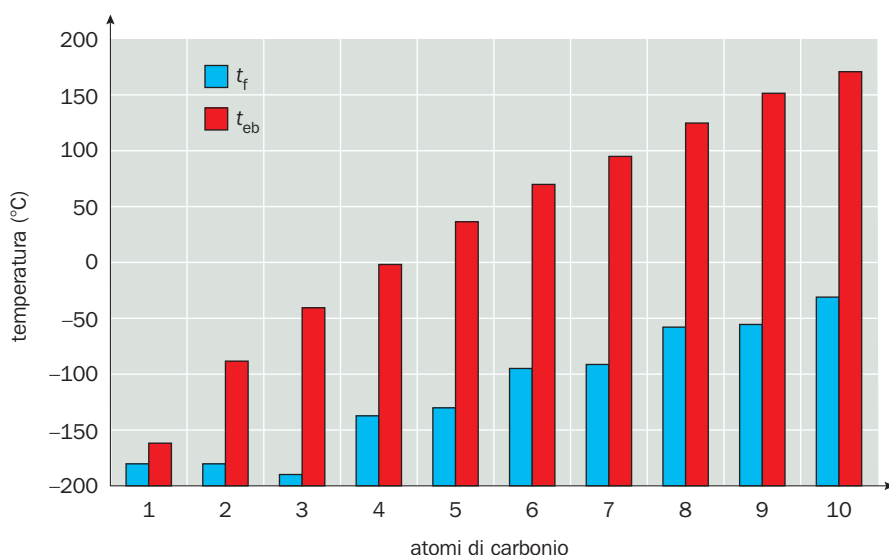
In quasi tutti gli idrocarburi saturi gli atomi di carbonio presentano una struttura tetraedrica; anche se il legame C—H è debolmente polare, la distribuzione della carica elettrica è complessivamente simmetrica; pertanto, gli idrocarburi saturi sono sostanze apolari per le ragioni che abbiamo illustrato nel capitolo C6.

Le considerazioni sulla struttura molecolare trovano conferma nelle prove di solubilità: quale che sia il loro stato di aggregazione, gli alcani e i cicloalcani sono praticamente insolubili in acqua, mentre si sciolgono in solventi apolari.

Sulla base della apolarità molecolare possiamo anche prevedere che altre proprietà fisiche di questi composti dipendono principalmente da quel tipo di forze intermolecolari che abbiamo chiamato forze di dispersione di London; come sappiamo, queste forze aumentano via via che cresce il numero di atomi che costituiscono la mole-

PROVA TU

Scrivi la formula di struttura dei cinque idrocarburi isomeri aventi formula molecolare C_6H_{14} .



◀ **Figura 9** Le temperature di fusione e di ebollizione degli alcani a catena lineare aumentano con l'aumentare del numero di atomi di carbonio.

Tabella 3 Temperatura di ebollizione di tutti gli idrocarburi isomeri aventi formula molecolare C_6H_{14} .

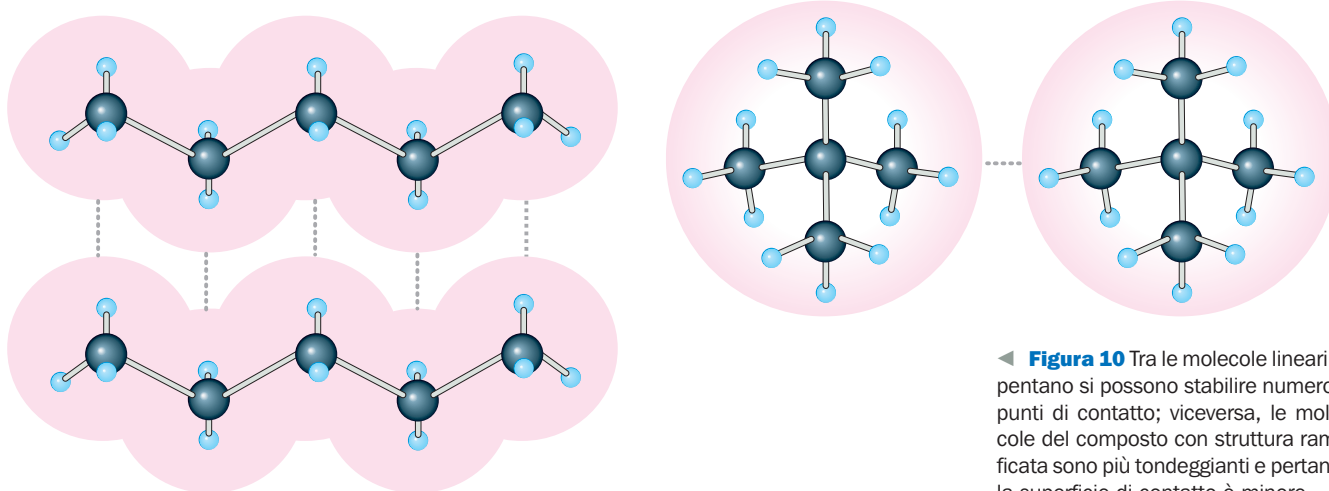
cola, per cui ci aspettiamo che cambino gradualmente al crescere del numero di atomi di carbonio e quindi delle dimensioni delle molecole. I dati riportati nel grafico della **figura 9** costituiscono una conferma di queste previsioni.

Un'altra considerazione interessante può essere fatta osservando i dati riportati nella **tabella 3** relativa ai cinque isomeri con formula molecolare C_6H_{14} : si nota che, anche se il numero di atomi presenti nella molecola è sempre lo stesso, la temperatura di ebollizione diminuisce con l'aumentare delle ramificazioni presenti nella catena.

In generale si può concludere che in tutte le situazioni di isomeria di catena l'isomero con il maggior numero di ramificazioni è quello che presenta la minore temperatura di ebollizione.

Possiamo perciò osservare che le forze intermolecolari sono meno intense via via che le ramificazioni delle molecole aumentano e questo trova una logica spiegazione se si considera che le ramificazioni della catena comportano una diminuzione della superficie di interazione tra le molecole e di conseguenza una diminuzione delle forze di dispersione intermolecolari (**figura 10**).

Formula	t_{eb} (°C)
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$	69
$CH_3 - CH_2 - \underset{\begin{array}{c} \\ CH_3 \end{array}}{CH} - CH_2 - CH_3$	63
$CH_3 - \underset{\begin{array}{c} \\ CH_3 \end{array}}{CH} - CH_2 - CH_2 - CH_3$	60
$CH_3 - \underset{\begin{array}{c} \\ CH_3 \end{array}}{CH} - \underset{\begin{array}{c} \\ CH_3 \end{array}}{CH} - CH_3$	58
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_3 - C - CH_2 - CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	50



◀ **Figura 10** Tra le molecole lineari di pentano si possono stabilire numerosi punti di contatto; viceversa, le molecole del composto con struttura ramificata sono più tondeggianti e pertanto la superficie di contatto è minore.

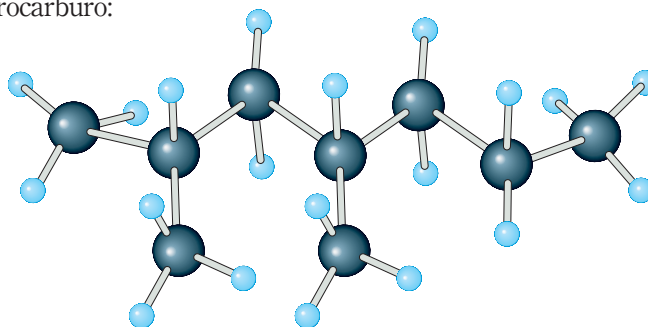
2. Formule e nomi degli idrocarburi saturi

Le formule degli idrocarburi saturi

L'esistenza di composti isomeri ha costretto i chimici a mettere a punto metodi di rappresentazione dei composti tali da evitare ogni confusione: in queste rappresentazioni si mettono in evidenza le diverse strutture delle molecole e si riportano tutti o parte dei legami tra gli atomi costituenti. La rappresentazione sul piano risulta complicata dal fatto che la struttura molecolare degli alcani si sviluppa nello spazio secondo la geometria tetraedrica.

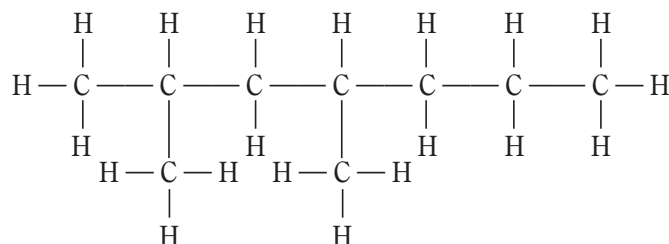
Esistono alcuni modi codificati e la scelta di una rappresentazione piuttosto che di un'altra dipende da quante e quali informazioni si desidera comunicare.

Per illustrare le diverse tipologie di rappresentazione consideriamo come esempio il seguente idrocarburo:

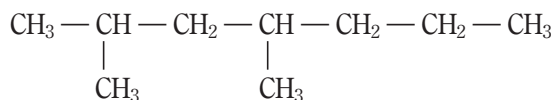


La formula molecolare C_9H_{20} è detta anche *formula bruta* o *grezza* ed è ovviamente la più povera di informazioni perché indica solamente quali e quanti atomi sono presenti nella molecola.

La *formula di struttura* è la più ricca di informazioni, perché mostra tutti gli atomi e i legami tra gli stessi:



Nella *formula condensata* sono rappresentati tutti gli atomi di carbonio e si dà rilievo ai soli legami tra questi, che definiscono la struttura della catena:



Infine, nella *formula semplificata* è evidenziato soltanto lo scheletro molecolare che è formato dagli atomi di carbonio, indicati con un punto ingrossato:



I nomi degli idrocarburi saturi

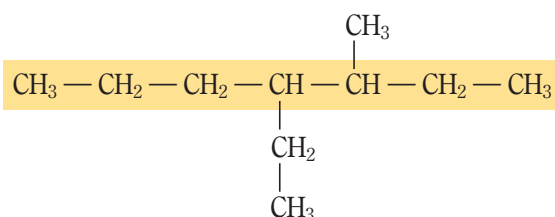
La necessità di distinguere tra loro i vari isomeri e in generale il problema di dare un nome a milioni di composti ha portato la IUPAC a sviluppare una lunga serie di re-

gole specifiche per la chimica organica. Le regole relative agli alcani sono molto importanti poiché in base a esse viene costruita la nomenclatura di tutti gli altri composti della chimica del carbonio.

Per quanto riguarda gli alcani con catena lineare, cioè priva di ramificazioni, occorre fare una precisazione. Come sappiamo già, metano, etano, propano e butano sono i nomi degli idrocarburi che hanno rispettivamente uno, due, tre e quattro atomi di carbonio. Il nome degli altri composti è formato da un prefisso, che indica il numero di atomi di carbonio, seguito dalla desinenza *ano*. I prefissi sono del tipo che già conosciamo: *penta*, *esa*, *epta* eccetera.

Se invece l'alcano presenta una o più ramificazioni nella catena di atomi di carbonio, il nome si ricava seguendo alcune regole.

Consideriamo per esempio un composto la cui formula è la seguente:

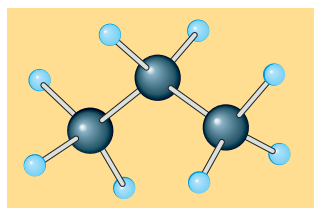


Osservando la formula condensata occorre individuare la catena principale, cioè la catena di atomi di carbonio più lunga; l'alcano corrispondente (quello cioè che ha lo stesso numero di atomi di carbonio, in questo caso 7) fornisce il nome principale del composto: ...eptano.

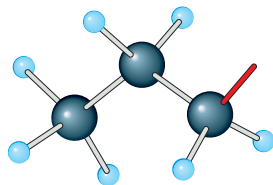
Per quanto riguarda le ramificazioni, esse vengono considerate come fossero un altro alcano a cui è stato sottratto un atomo di idrogeno; il gruppo di atomi che ne risulta è perciò chiamato genericamente *alchile* o **gruppo alchilico**; il nome specifico si ricava dal nome del corrispondente alcano sostituendo la desinenza *ano* con la desinenza *ile* (tabella 4 e figura 11).

Tabella 4 Formule e nomi dei più comuni gruppi alchilici.

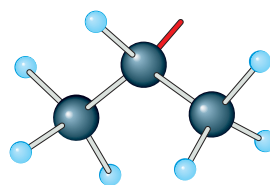
Alcano		Gruppo alchilico	
CH ₄	metano	—CH ₃	metile
CH ₃ —CH ₃	etano	—CH ₂ —CH ₃ (o —C ₂ H ₅)	etile
CH ₃ —CH ₂ —CH ₃	propano	—CH ₂ —CH ₂ —CH ₃ (o —C ₃ H ₇)	propile
		$\begin{array}{l} \text{—CH—CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	1-metiletile (o isopropile)



propano



propile

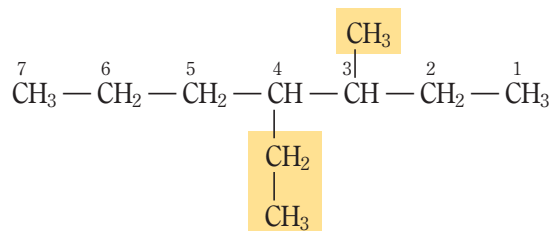


1-metiletile

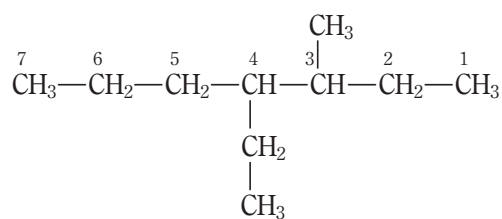
◀ **Figura 11** I due gruppi alchilici con tre atomi di carbonio hanno nomi diversi perché l'atomo di idrogeno che manca si trova in due posizioni della catena non equivalenti.

Una volta individuati e nominati i gruppi alchilici legati alla catena principale, occorre indicarne la posizione esatta; a tal fine si contrassegnano con un numero progressivo tutti gli atomi di carbonio della catena principale. Tale numerazione viene effettuata iniziando da una estremità della catena, quella che consente di attribuire i numeri più bassi possibile agli atomi di carbonio a cui sono legati i gruppi alchilici.

Nel composto a cui vogliamo assegnare il nome, la numerazione corretta si ottiene numerando la catena da destra:



Si tratta ora di scrivere il nome dell'alcano: i nomi dei gruppi alchilici sono preceduti dal numero che indica l'atomo di carbonio a cui sono legati e sono riportati in ordine alfabetico. Se sono presenti più gruppi uguali, il nome si scrive una volta sola e si utilizza un prefisso (di, tri, tetra eccetera) che ne indica il numero. Infine si aggiunge il nome corrispondente alla catena principale. A questo punto siamo finalmente in grado di scrivere il nome del nostro idrocarburo:

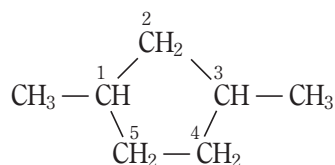


4-etil-3-metileptano

In generale, i nomi devono essere scritti senza interruzione e sono separati dai numeri con un trattino, mentre i numeri vengono separati da una virgola.

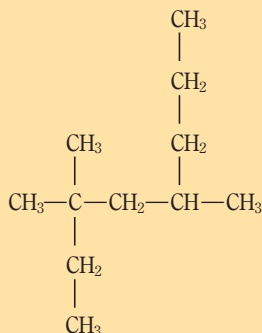
Per i cicloalcani valgono le stesse regole, alle quali bisogna aggiungere l'obbligo di considerare come catena principale non la più lunga ma quella chiusa. Naturalmente il nome finale viene preceduto dal prefisso *ciclo*.

Per esempio, il composto rappresentato con la seguente formula condensata si chiama 1,3-dimetilciclopentano:



PROVA TU

a) Assegna il nome al composto che ha la seguente formula condensata:



b) Scrivi la formula semplificata del 2,2,4-trimetiletano.

3. Gli idrocarburi insaturi

Alcheni e cicloalcheni

Ci sono idrocarburi con proprietà chimiche e strutture molecolari differenti da quelle che caratterizzano gli alcani e i cicloalcani. Questo accade perché nelle molecole di questi idrocarburi ci sono almeno due atomi di carbonio che non sono legati a quattro altri atomi; questi composti sono genericamente chiamati **idrocarburi insaturi**.

Per esempio, l'etene (o etilene secondo il nome tradizionale) è un idrocarburo che ha formula C_2H_4 e quindi nelle sue molecole ci sono due atomi di carbonio come nell'etano ma due atomi di idrogeno in meno (figura 12).

In base ai modelli del legame covalente, si può affermare che tra i due atomi di carbonio si forma un doppio legame la cui lunghezza, 0,134 nm, è sempre minore di quella del legame semplice.

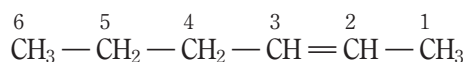
Se alla catena dell'etene si aggiunge un altro atomo di carbonio, si ottiene un idrocarburo che ha formula C_3H_6 e si chiama propene (figura 13).

Se si allunga via via la catena aggiungendo ogni volta un gruppo $-CH_2-$, si individua un'altra categoria di idrocarburi.

! In generale, gli idrocarburi insaturi a catena aperta che presentano un doppio legame vengono chiamati **alcheni**; la formula generale degli alcheni a catena aperta è C_nH_{2n} e il loro nome è caratterizzato dalla desinenza **ene**.

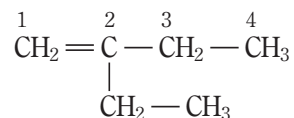
Le regole che consentono di assegnare il nome specifico a un alchene sono molto simili a quelle già descritte per gli alcani. Dobbiamo sottolineare che, se gli atomi di carbonio legati in catena sono più di quattro, è necessario precisare in quale posizione si trova il doppio legame; a tal fine si devono numerare gli atomi di carbonio che costituiscono la catena partendo dall'estremità più vicina al doppio legame.

Per comprendere meglio il significato di queste regole è utile un esempio; vogliamo assegnare il nome al composto che ha la seguente formula:



Per indicare la posizione del doppio legame si indica il numero del primo dei due atomi di carbonio interessati. Dato che la catena è formata da sei atomi di carbonio, la desinenza *ene* è preceduta dal prefisso *esa*. Pertanto il nome dell'idrocarburo, a seguito di una contrazione, è 2-esene.

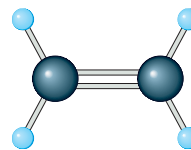
Per sottolineare un altro aspetto che riguarda l'assegnazione del nome a un alchene, supponiamo che l'idrocarburo abbia la seguente formula:



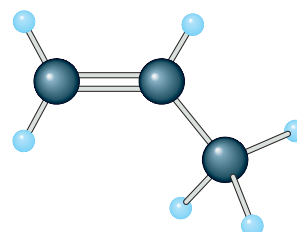
In questo caso è importante osservare che la catena di atomi più lunga è formata da cinque atomi di carbonio, ma la catena a cui si deve fare riferimento è comunque quella in cui è presente il doppio legame, ed essa è formata da quattro atomi di carbonio; la numerazione di questa catena inizia da sinistra e individua in posizione 2 una ramificazione formata dal gruppo etile $-C_2H_5$. Pertanto il nome dell'idrocarburo insaturo è 2-etil-1-butene.

PROVA TU

Scrivi la formula condensata del 3-metil-1-pentene.



▲ **Figura 12** Le molecole di etene presentano una *struttura planare*, cioè tutti i sei atomi si trovano sullo stesso piano. Anche questa struttura geometrica dà luogo a una molecola apolare.



▲ **Figura 13** Nel propene ci sono due atomi di carbonio con *struttura triangolare* (quelli legati con il doppio legame) mentre l'altro atomo di carbonio ha struttura tetraedica perché forma quattro legami semplici.

La diversa posizione del doppio legame in una catena formata dallo stesso numero di atomi di carbonio rende possibile l'esistenza di due o più composti isomeri. Per esempio, ci sono ben tre alcheni lineari isomeri di posizione che corrispondono alla formula C_6H_{12} : 1-esene, 2-esene e 3-esene. Si tratta di **isomeri di posizione** proprio perché nelle loro molecole il doppio legame è presente in una posizione diversa nella catena.

PROVA TU

Scrivi le formule semplificate e i nomi degli alcheni lineari isomeri di posizione che corrispondono alla formula molecolare C_5H_{10} .

Esaminiamo infine i dati presentati nella **tabella 5**: si può osservare che le temperature di ebollizione di alcuni alcheni a catena lineare aumentano all'aumentare della lunghezza della catena e ciò si spiega sulla base delle stesse considerazioni prima svolte a proposito delle proprietà fisiche degli alcani: dato che anche gli alcheni sono composti apolari, le forze di dispersione tra le loro molecole aumentano via via che aumenta il numero di atomi di carbonio.

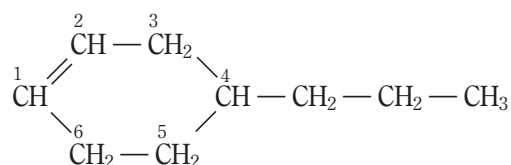
Tabella 5 Nella tabella sono riportate le temperature di ebollizione di quattro alcheni a catena lineare aventi tutti il doppio legame in posizione 1.

Nome	Formula bruta	Formula condensata	Temperatura di ebollizione (°C)
etene	C_2H_4	$CH_2 = CH_2$	-104
propene	C_3H_6	$CH_2 = CH - CH_3$	-47
1-butene	C_4H_8	$CH_2 = CH - CH_2 - CH_3$	-6
1-pentene	C_5H_{10}	$CH_2 = CH - CH_2 - CH_2 - CH_3$	30

Come accade per gli alcani, si possono trovare anche alcheni le cui molecole presentano struttura ciclica; essi si chiamano *cicloalcheni* e la loro formula generale è C_nH_{2n-2} . Il ciclopentene (C_5H_8) e il cicloesene (C_6H_{10}) sono esempi di cicloalcheni.

Nel caso che la catena ciclica sia ramificata, per individuare la posizione del gruppo alchilico è necessario numerare la catena partendo da uno dei due atomi legati da un doppio legame in modo da assegnare il numero inferiore.

Consideriamo per esempio il composto che ha la seguente formula:

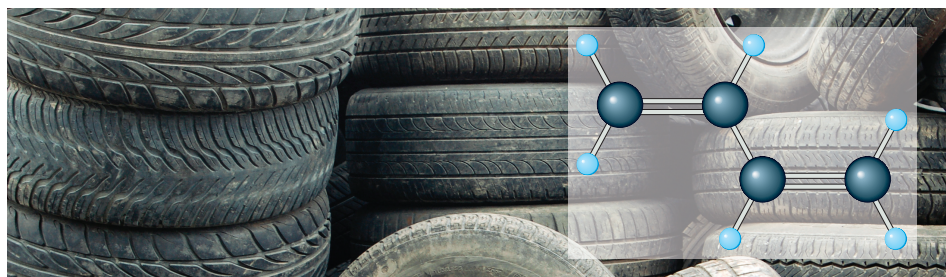


La numerazione della catena in senso orario consente di assegnare il nome del composto: 4-propilcicloesene.

I dieni e i polieni coniugati

Gli idrocarburi che presentano due doppi legami sono chiamati *dieni*. Il più semplice tra questi si chiama 1,3-butadiene e la sua formula molecolare è C_4H_6 (**figura 14**). Si

► **Figura 14** Il composto 1,3-butadiene è la sostanza base per la preparazione di diversi tipi di sostanze plastiche che trovano impiego nella produzione degli pneumatici.



può notare che la presenza di un altro doppio legame fa diminuire di due il numero degli atomi di idrogeno. In generale, si può osservare che rispetto all'idrocarburo lineare saturo il numero di atomi di idrogeno diminuisce di due per ogni doppio legame presente. Per esempio ogni molecola di 1,3,5-ottatriene ha dodici atomi di idrogeno, cioè sei in meno dell'ottano, perché le molecole di questo composto, come indica il prefisso *tri*, presentano tre doppi legami.

Ci sono altri composti, come il butadiene, in cui due doppi legami sono separati da un legame semplice. I composti nella cui struttura molecolare si alternano regolarmente legami semplici a doppi legami prendono il nome di *polieni coniugati* e hanno grande importanza in alcuni processi biologici.

Per esempio, il β -carotene è un composto presente in molti alimenti di origine vegetale ed è fondamentale per la produzione della vitamina A; come mostra la formula, nel β -carotene è presente una catena di atomi di carbonio in cui si trovano ben undici doppi legami alternati a legami semplici (figura 15).



◀ **Figura 15** Il β -carotene, presente in buona percentuale nelle carote e in altri ortaggi colorati, viene trasformato nel nostro organismo in vitamina A, un catalizzatore biologico che esercita una funzione essenziale soprattutto durante la fase della crescita degli individui.

Gli alchini

La presentazione dei diversi tipi di idrocarburi insaturi si conclude con i composti nelle cui molecole si trovano atomi di carbonio legati solamente ad altri due atomi; il più semplice di questi ha formula C_2H_2 e si chiama *etino*, anche se è più noto col suo nome tradizionale di *acetilene*.

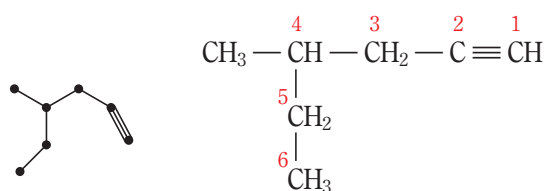


In base al nostro modello di legame covalente sappiamo che tra due atomi di carbonio si forma un triplo legame; in tal modo si spiega anche il fatto che la molecola ha una struttura lineare e che la lunghezza del triplo legame carbonio-carbonio vale 0,120 nm, cioè un valore inferiore anche a quella del doppio legame.



In generale, gli idrocarburi insaturi a catena aperta che presentano nella catena un triplo legame si chiamano **alchini**; la formula generale è C_nH_{2n-2} e il loro nome è caratterizzato dalla desinenza *ino*.

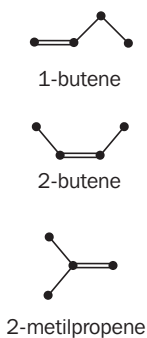
Per quel che riguarda la nomenclatura, gli alchini seguono le stesse regole già illustrate a proposito degli alcheni; per esempio, il nome del composto che viene qui rappresentato è 4-metil-1-esino.



4-metil-1-esino

PROVA TU

Scrivi la formula condensata del 4-etil-2-eptino.

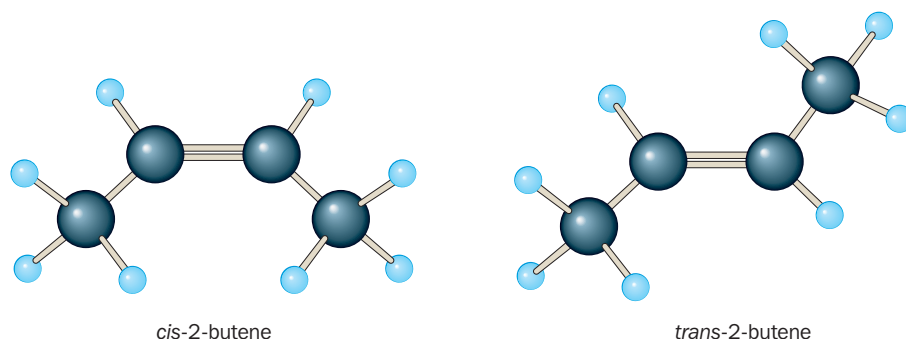


▲ **Figura 16** La catena degli atomi di carbonio che costituiscono il metilpropene è diversa da quella dei due altri idrocarburi; per questo esso è un isomero di catena.

La stereoisomeria

Abbiamo già sottolineato che la presenza di un legame multiplo in una catena costituita da quattro o più atomi di carbonio rende necessario precisare tra quali atomi di carbonio è presente il doppio legame. Infatti, per esempio, 1-butene e 2-butene sono composti che hanno la stessa formula molecolare e sono isomeri di posizione. Possiamo anche osservare che ciascuno di questi due composti è isomero di catena del 2-metilpropene (figura 16).

In realtà dobbiamo rilevare che si conoscono due isomeri del 2-butene, uno che fonde a $-139\text{ }^{\circ}\text{C}$ e l'altro che fonde a $-106\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il solo modo per giustificare questi risultati è che gli atomi sono disposti attorno al doppio legame in due modi differenti. Infatti, in un composto i due gruppi CH_3 con cui inizia e finisce la catena si trovano dalla stessa parte (*cis*) rispetto la linea del doppio legame, mentre nell'altro composto si trovano da parti opposte (*trans*):



Il fatto che questi due composti esistano realmente porta a una conclusione di carattere più generale: i quattro atomi legati alla struttura $>\text{C}=\text{C}<$ sono costretti a stare sullo stesso piano; in altre parole, il doppio legame costituisce una barriera energetica che impedisce la rotazione attorno all'asse del legame $\text{C}-\text{C}$, rotazione che invece è possibile quando il legame è semplice.

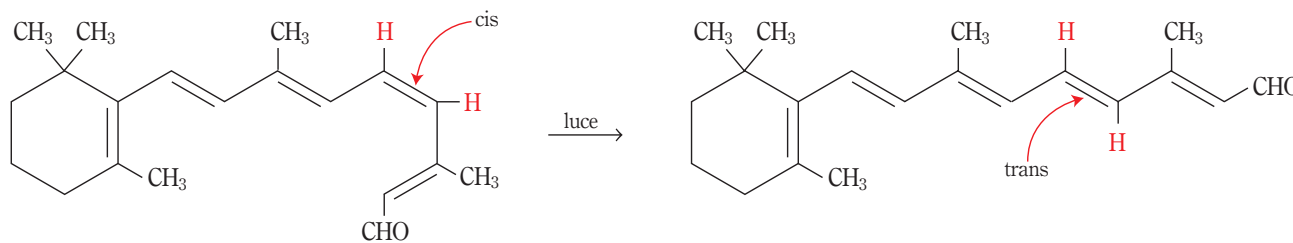
A seguito di questo fatto si possono avere due composti che sono detti *isomeri geometrici*; dobbiamo sottolineare che l'**isomeria geometrica** presenta un'importante novità rispetto all'isomeria di catena e a quella di posizione; infatti negli isomeri *cis* e *trans* i legami reciproci tra gli atomi sono esattamente gli stessi, per cui questi composti differiscono unicamente per la diversa disposizione nello spazio degli atomi.

Gli isomeri geometrici fanno parte di una più ampia categoria di isomeri: la **stereoisomeria**.

In generale, due composti sono **stereoisomeri** quando gli atomi delle loro molecole differiscono per la disposizione nello spazio pur presentando gli stessi legami.

Si può anche affermare che possono esistere isomeri *cis* e *trans* solo se il doppio legame non si trova all'inizio della catena dell'alchene.

La diversa struttura spaziale dei due isomeri geometrici ha talvolta grande rilevanza dal punto di vista biologico. Per esempio, nell'occhio umano l'evento fondamentale che sta alla base del fenomeno della vista è la trasformazione del *cis*-retinale nell'isomero *trans*; al buio avviene la trasformazione inversa e il ciclo può ricominciare.



4. Gli idrocarburi aromatici

Il benzene

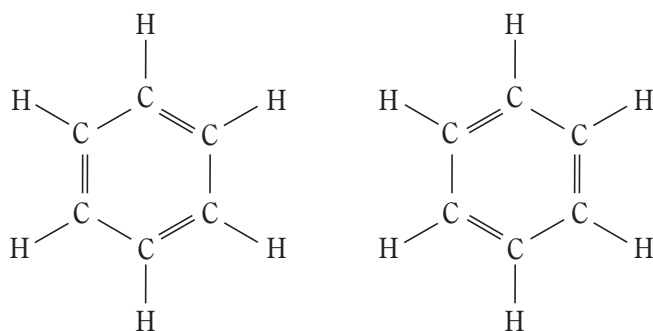
In base a un criterio di classificazione tradizionale, tutti gli idrocarburi finora presentati sono denominati *idrocarburi alifatici*, con la specificazione *cicloalifatici* se ci si riferisce a idrocarburi a catena chiusa.

L'opportunità di questa classificazione è dettata dal fatto che esistono idrocarburi con proprietà tali da costituire un'altra importante categoria, a cui è stato assegnato il nome di **idrocarburi aromatici**.

Il capostipite degli idrocarburi aromatici è il benzene: la sua formula molecolare (C_6H_6) rivela subito che ci troviamo di fronte a un idrocarburo le cui molecole devono contenere legami multipli; anche se la formula è molto semplice e pochi sono gli atomi che si legano, la comprensione della struttura della molecola del benzene ha richiesto un lungo e faticoso impegno da parte delle migliori intelligenze dei chimici del diciannovesimo secolo, tra cui il grande chimico tedesco F.A. Kekulé.

Infatti, numerose prove consentono di affermare che la struttura e le proprietà della molecola del benzene sono tali da escludere che esso possa essere un idrocarburo insaturo a catena aperta, cioè un polialchene o un polialchino. Le molecole del benzene infatti presentano una struttura ad anello che ha forma di un esagono regolare. Dato che ogni atomo di carbonio è legato ad altri due atomi di carbonio e a un atomo di idrogeno, si deve concludere che ogni atomo di carbonio utilizza solo tre dei suoi quattro elettroni di valenza e quindi abbiamo indicato con un puntino l'elettrone di valenza che non è utilizzato per formare legami (figura 17).

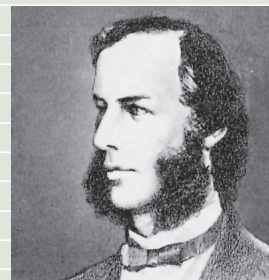
In base alla teoria del legame covalente e alla regola dell'ottetto, non è possibile che un elettrone di valenza non sia accoppiato e quindi dobbiamo formare un altro legame covalente accoppiando i due elettroni di due atomi di carbonio adiacenti. Possiamo ottenere così due formule di struttura:



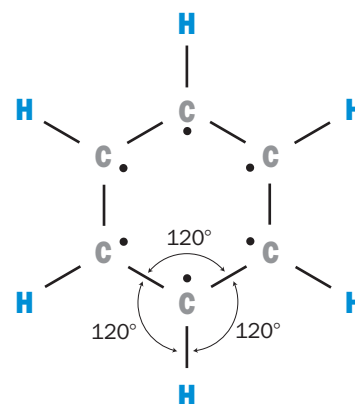
Anche se talvolta il benzene viene rappresentato con una di queste formule, dobbiamo dire che esse non possono descrivere la struttura regolare delle sue molecole: infatti l'alternanza di tre legami semplici e di tre doppi legami darebbe luogo a un esagono irregolare, come nella molecola del 1,3,5-cicloesatriene.

In conclusione, per una corretta interpretazione della struttura molecolare del benzene si rende necessario un ampliamento della teoria del legame covalente: i sei elettroni di legame non formano tre coppie di legame localizzate tra due atomi, ma costituiscono una sorta di anello di carica elettronica che rafforza equamente i sei legami covalenti tra gli atomi di carbonio; infatti la lunghezza del legame tra gli atomi di carbonio è intermedia tra quella del legame semplice e quella di un doppio legame. Questo modello viene anche indicato con il termine *delocalizzazione elettronica* poiché si basa sull'ipotesi che la carica degli elettroni di legame covalente possa essere ripartita tra più di due atomi, creando una sorta di corrente di carica elettrica negativa che percorre lo scheletro della molecola (figura 18).

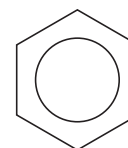
I protagonisti della scienza



Friedrich August Kekulé (1829-1896), dopo aver svolto lavori a Parigi e Londra e insegnato a Heidelberg e a Gand, ricoprì, dal 1865 sino alla sua morte, la carica di direttore dell'Istituto di chimica di Bonn da lui fondato. Proprio in questa città tedesca nel 1900 fu eretto un monumento in suo ricordo. Kekulé si concentrò per molti anni sullo studio sperimentale di diversi composti chimici ed in particolare del benzene. Contribuì a definire il concetto di valenza e in particolare fu il primo a ipotizzare la tetra-valenza del carbonio.

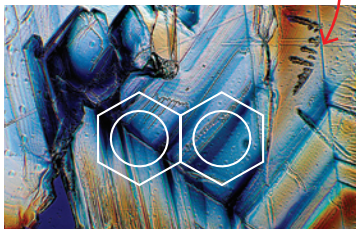


▲ **Figura 17** La molecola del benzene ha la forma di un esagono regolare e tutti e dodici gli atomi giacciono nello stesso piano.



▲ **Figura 18** La formula semplificata della molecola del benzene si scrive senza simboli e disegnando un cerchio dentro a un esagono; in questo modo si indicano i legami che corrispondono alla delocalizzazione elettronica. Ogni legame tra gli atomi di carbonio ha una lunghezza di 0,140 nm.

cristalli di naftalene visti al microscopio elettronico



▲ **Figura 19** Il *naftalene*, noto più comunemente con il nome di *naftalina*, è un solido volatile il cui vapore esercita un'azione tossica per alcuni insetti. Viene ancora utilizzato per la sua azione tarmicida, anche se oggi viene sostituito con altre sostanze (per esempio, la canfora) perché fortemente tossico.



▲ **Figura 20** Dal tubo di scarico degli autoveicoli alimentati a benzina e a gasolio escono anche piccole particelle di materia; la pericolosità di queste particelle è dovuta anche al fatto che sulla loro superficie sono adsorbite le molecole di sostanze pericolose come gli *IPA*.

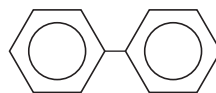
► **Figura 21** Le reciproche posizioni dei gruppi legati all'anello benzenico sono tuttora indicate utilizzando prefissi anziché numeri; l'isomero 1,2-dimetilbenzene è detto *orto-xilene*, l'isomero 1,3-dimetilbenzene è indicato come *meta-xilene* e infine il *para-xilene* corrisponde all'isomero 1,4-dimetilbenzene.

Questo modello teorico trova conferma anche nelle proprietà chimiche del benzene: esse infatti sono assolutamente caratteristiche, tanto che i composti ciclici che presentano un comportamento chimico simile a quello del benzene sono idrocarburi aromatici; con il termine generico *aromaticità* si individuano alcune proprietà tipiche delle sostanze in cui è presente un *anello benzenico*, o comunque una struttura ciclica in cui i legami tra gli atomi sono interpretabili con il modello della delocalizzazione elettronica.

Idrocarburi policiclici aromatici e alchilbenzeni

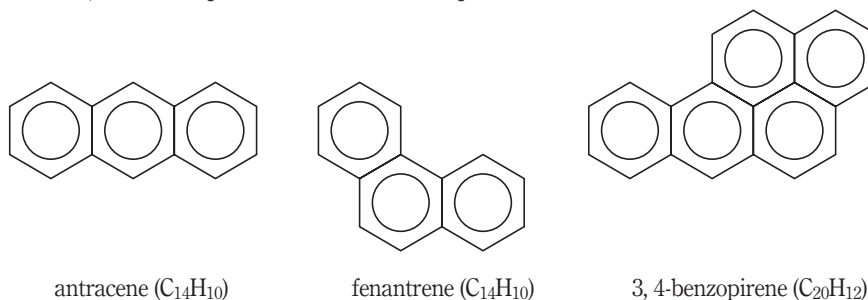
Esiste una serie di idrocarburi aromatici che sono detti *idrocarburi aromatici condensati* perché contengono due o più anelli benzenici uniti tra loro per effetto di una o più coppie di atomi in comune. L'esempio più semplice è il naftalene, $C_{10}H_8$ (figura 19).

Se invece i due anelli benzenici sono legati tra loro con un unico legame $C-C$, si ha una molecola chiamata difenile ($C_{12}H_{10}$): il nome deriva da quello del gruppo $-C_6H_5$ che si chiama appunto *fenile*.



Il difenile è un composto tossico a spiccata azione fungicida; per questo è impiegato tra l'altro per proteggere dalle muffe la buccia degli agrumi.

Dalla condensazione di tre anelli benzenici si ottengono due sostanze: antracene e fenantrene; nel benzopirene ci sono ben cinque anelli condensati:

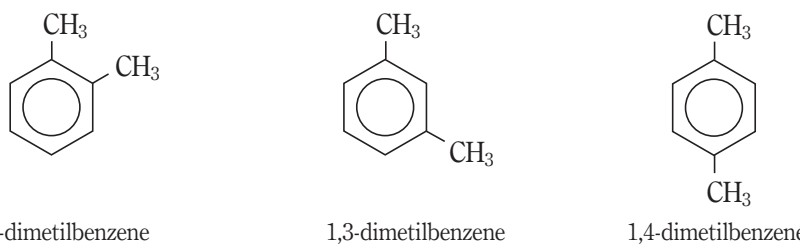


Al naftalene e agli altri idrocarburi aromatici condensati si dà il nome di **idrocarburi policiclici aromatici**; essi vengono identificati anche con la sigla **IPA** e rivestono molta importanza a causa del loro elevato potenziale cancerogeno. Essi sono presenti nel fumo che deriva dalla combustione del tabacco, negli scarichi delle auto alimentate a benzina e negli alimenti bruciati (figura 20).

Esistono idrocarburi che contengono sia una parte alifatica sia una parte aromatica, costituita da un anello benzenico: a questi composti si dà il nome generale di **alchilbenzeni**.

L'esempio più semplice è costituito dal toluene: ogni sua molecola deriva dall'unione di una molecola del benzene con una di metano, per cui il suo nome IUPAC è metilbenzene.

Quando i gruppi metilici legati all'anello benzenico sono due i composti si chiamano xileni; abbiamo usato il plurale poiché a seconda della posizione reciproca dei due gruppi metilici si hanno tre isomeri di posizione (figura 21). Essi sono utilizzati in miscela come solventi per vernici e anche come componenti delle benzine.



5. Origine e proprietà chimiche degli idrocarburi

Gli idrocarburi: una risorsa per lo sviluppo

Gli idrocarburi sono composti utilizzati in modo massiccio e per diversi usi. Le fonti di idrocarburi di gran lunga più importanti sono senz'altro il petrolio e il gas naturale che sono estratti dal sottosuolo.

Oltre a essere utilizzato ancora in massima parte come *fonte primaria di energia*, il petrolio alimenta anche un importante settore industriale, la *petrolchimica*, da cui traggono origine materiali e manufatti che hanno letteralmente rivoluzionato la vita di milioni di persone e che hanno determinato la crisi e il ridimensionamento di altri settori industriali, come quello siderurgico (figura 22).



◀ **Figura 22** La percentuale di materiale ferroso con cui è costruita un'auto è diminuita perché molte sue parti sono costruite con materiali sintetici ottenuti dal petrolio.

Normalmente il petrolio non trova impiego tal quale ma vengono invece utilizzate le differenti miscele di idrocarburi che lo compongono. Ecco perché la prima cosa da fare è quella di effettuare una operazione di separazione sul greggio che si chiama distillazione frazionata. La distillazione porta a ottenere varie frazioni costituite principalmente da idrocarburi le cui temperature di ebollizione sono comprese in determinati intervalli (tabella 6).

Tabella 6 Frazioni di idrocarburi che si ottengono attraverso la distillazione del petrolio.

Frazione	Intervallo di ebollizione (°C)	Composizione	Usi
gas	fino a 20	da CH ₄ a C ₄ H ₁₀	sintesi di altri composti; combustibile
etere di petrolio	20-70	C ₅ H ₁₂ e C ₆ H ₁₄	solvente; additivo antigelo per benzina
benzina	70-170	da C ₅ H ₁₄ a C ₁₀ H ₂₂	combustibile per motori a scoppio
cherosene	170-210	da C ₁₁ H ₂₄ a C ₁₂ H ₂₆	combustibile per motori d'aereo
gasolio	210-290	da C ₁₃ H ₂₈ a C ₁₇ H ₃₆	combustibile industriale e per motori diesel
nafta e lubrificanti leggeri	290-400	da C ₁₈ H ₃₈ a C ₂₅ H ₅₂	combustibile per centrali elettriche; oli lubrificanti
lubrificanti	400-500	alcani superiori	grassi, solidi cerosi; grasso lubrificante
residuo solido			pece o asfalto per manti impermeabili o stradali

Le benzine costituiscono proprio una di queste frazioni; prima però di arrivare nel serbatoio della nostra automobile il liquido ottenuto per distillazione viene sottoposto a un processo chimico che nel linguaggio industriale è detto *reforming* e che ha lo scopo di riorganizzare le catene degli idrocarburi per aumentare la percentuale di idrocarburi ramificati. Infatti, a parità di peso molecolare, gli idrocarburi ramificati, quando vengono impiegati nelle reazioni di combustione nei motori a scoppio, presentano caratteristiche migliori dei corrispondenti isomeri a catena lineare.

Inoltre, data la crescente richiesta di benzina, si rende necessario convertire frazioni costituite da idrocarburi con maggiore massa molecolare: il processo industriale si chiama *cracking* e, come suggerisce il nome, consiste nella rottura di lunghe catene di idrocarburi per ottenere idrocarburi a catena più corta, quelli che costituiscono la benzina.

Le reazioni degli idrocarburi

Abbiamo completato la presentazione di tutte le classi di idrocarburi e vogliamo mostrare ora che le diverse caratteristiche strutturali si riflettono anche sul comportamento chimico, cioè su quella che viene chiamata reattività.

In realtà, c'è una reazione che è comune a tutti gli idrocarburi, la *reazione di combustione*: il «destino» di molti idrocarburi infatti è quello di essere bruciati.

La combustione è realizzata per trasformare l'energia chimica presente negli idrocarburi e ottenere energia termica, energia meccanica, energia elettrica. Ovviamente si ottengono anche i veri prodotti della reazione, e cioè diossido di carbonio e acqua. In ogni caso la reazione di combustione va innescata, poiché gli idrocarburi sono composti assai stabili e quindi è necessaria una elevata energia di attivazione.

Presentiamo ora le reazioni che differenziano il comportamento dei diversi tipi di idrocarburi. Queste possono essere classificate in due grandi categorie: le *reazioni di sostituzione* e le *reazioni di addizione*.



Si chiama **reazione di sostituzione** la reazione in cui un atomo di idrogeno di un idrocarburo è sostituito da un altro atomo, o da un gruppo di atomi.

Lo schema generale di una reazione di sostituzione è dunque il seguente:



Le reazioni di sostituzione comportano la rottura di un legame molto stabile, quello tra carbonio e idrogeno, e quindi di solito presentano energia di attivazione elevata.

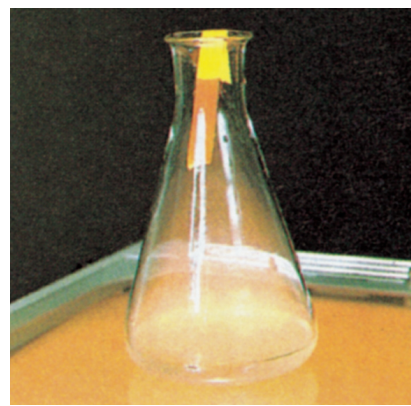
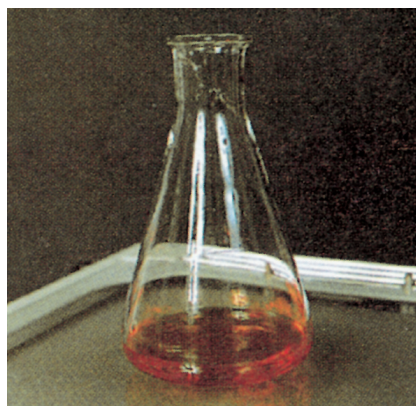
Nella [figura 23](#) è presentata una reazione di sostituzione tra un alcano e il bromo.

► **Figura 23** La figura mostra la reazione di sostituzione tra l'ottano e il bromo. La reazione procede rapidamente soltanto in presenza di forti radiazioni luminose.

L'equazione della reazione è la seguente:

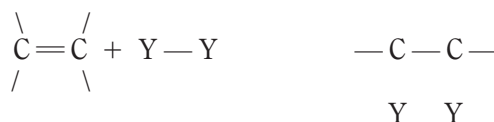


Dopo la reazione il colore del bromo è scomparso e la cartina all'indicatore universale evidenzia l'altro prodotto, l'acido bromidrico.

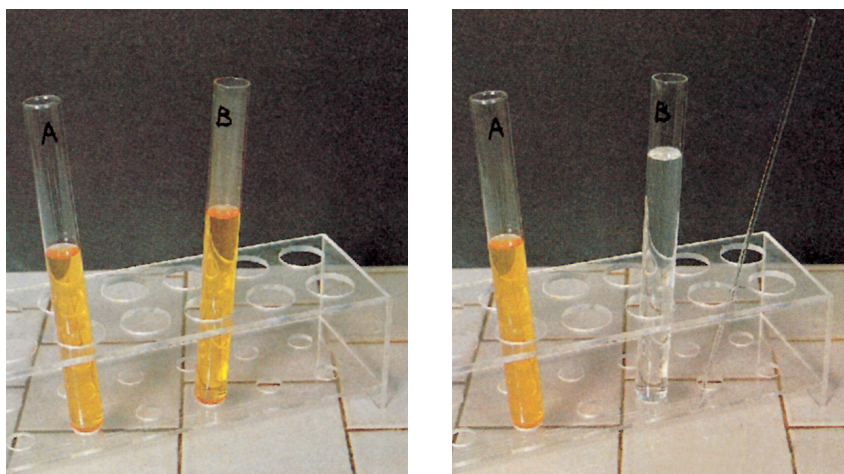


Si chiama **reazione di addizione** la reazione in cui ai due atomi di carbonio dell'idrocarburo insaturo uniti con doppio o triplo legame si legano due atomi (o gruppi di atomi).

Lo schema generale di una reazione di addizione è pertanto il seguente:

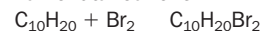


Nella [figura 24](#) è presentata una reazione di addizione tra un alchene e il bromo.



◀ **Figura 24** La figura mostra la reazione tra il decene e il bromo.

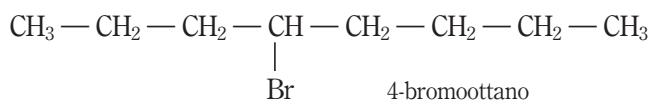
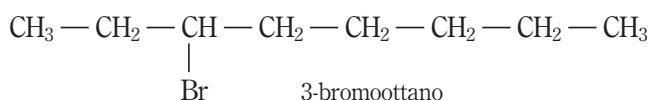
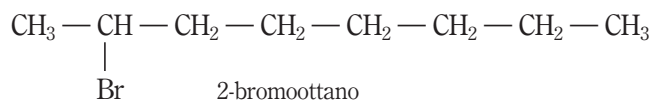
Entrambe le provette contengono una soluzione di bromo ma soltanto nella provetta B è stato aggiunto l'alchene. Anche in questo caso la scomparsa della colorazione del bromo segnala l'avvenuta reazione:



Vogliamo ora sottolineare la netta differenza tra i due tipi di reazione: i reagenti sono sempre due, mentre i prodotti sono due soltanto nella reazione di sostituzione.

Dobbiamo precisare che gli idrocarburi saturi possono dar luogo soltanto a reazioni di sostituzione, mentre gli idrocarburi insaturi possono dare luogo sia alla reazione di addizione sia a quella di sostituzione. In generale si può affermare che gli idrocarburi insaturi sono più reattivi di quelli saturi.

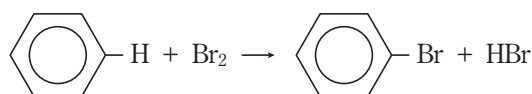
Un altro aspetto che caratterizza molte reazioni di sostituzione risulta chiaro se scriviamo la formula di alcuni prodotti della reazione tra ottano e bromo:



Abbiamo riportato la formula condensata di tre possibili prodotti (detti bromoderivati) che sono isomeri di posizione. Questa situazione si presenta spesso perché in generale nelle relazioni organiche si ottengono miscele di prodotti. Inoltre, altri e più isomeri si possono formare se la sostituzione interessa due o più atomi di idrogeno formando dibromo derivati isomeri e tribromo derivati isomeri.

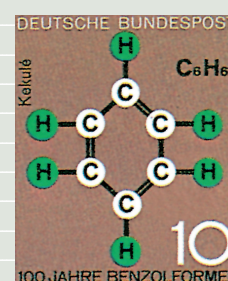
Per quanto riguarda la reattività degli idrocarburi aromatici va sottolineato che essa costituisce una delle prove sperimentali a sostegno della teoria della delocalizzazione elettronica e della conseguente stabilità dell'anello benzenico; infatti l'anello benzenico, nonostante non presenti affatto la struttura di un idrocarburo saturo, si comporta in modo da dare prevalentemente reazioni di sostituzione.

Se, per esempio, si fa reagire il benzene con il bromo, si osserva che si formano bromobenzene e acido bromidrico:



Nella formula del benzene abbiamo evidenziato un atomo di idrogeno per indicare che esso viene sostituito con un atomo di bromo. Occorre infine precisare che questa reazione richiede specifici catalizzatori ma non necessita della luce così come è richiesto per la reazione di sostituzione di un alcano.

Per saperne di più



Le scoperte scientifiche importanti vengono a volte ricordate con l'emissione di francobolli; nella figura è riportato il francobollo commemorativo, emesso in Germania nel 100° anniversario della proposta di Kekulé sulla struttura del benzene. Sul francobollo è disegnata una struttura simile a quella del modello originale proposto da Kekulé.

PROVA TU

Scrivi le formule condensate di tutti i possibili isomeri che si ottengono facendo reagire il butano con il cloro:

- in modo che sia sostituito un solo atomo di idrogeno;
- in modo che siano sostituiti due atomi di idrogeno.

6. Gli idrocarburi alogenati

Come cambiano gli idrocarburi: i gruppi funzionali


► **Figura 25** Nel corso della prima guerra mondiale furono utilizzati anche gas tossici. Uno di questi è l'iprite, dal nome della città belga di Ypres dove fu usato per la prima volta dall'esercito tedesco. Nelle molecole di iprite, oltre agli atomi caratteristici di tutte le sostanze organiche, carbonio e idrogeno, sono presenti anche atomi di zolfo e di cloro che conferiscono a questo composto particolari proprietà.



Abbiamo detto che per mezzo delle reazioni di sostituzione e di quelle di addizione le molecole degli idrocarburi possono essere modificate introducendo nelle catene atomi diversi da quelli di carbonio e di idrogeno e creando così composti che non sono più idrocarburi. Alcuni di questi composti hanno origine naturale, ma il numero di

quelli che sono stati preparati dai chimici soprattutto nel corso degli ultimi decenni è in continuo aumento (figura 25).

La presenza nella molecola di nuovi atomi o gruppi di atomi modifica quasi sempre in modo netto e radicale le proprietà fisiche e chimiche dell'idrocarburo, al punto di impartire alla sostanza proprietà del tutto nuove e caratteristiche.

 In generale, un atomo o un gruppo di atomi che all'interno di una molecola caratterizzano l'appartenenza di un composto a una famiglia prendono il nome di **gruppo funzionale**.

Nella **tabella 7** sono presentati i principali gruppi funzionali.


Passiamo ora a illustrare le principali caratteristiche fisiche e chimiche dei composti appartenenti alle diverse famiglie individuate dai gruppi funzionali più significativi.

Tabella 7 Nelle formule generiche riportate in tabella, i gruppi funzionali sono legati a un gruppo alchilico (R) ma possono legarsi anche a un gruppo arilico (Ar) in cui è presente un anello aromatico. Solo nel caso del gruppo ossidrilico (—OH) le famiglie assumono nomi diversi.

Gruppo funzionale	Famiglia	Esempio	Gruppo funzionale	Famiglia	Esempio
$\text{R}-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{matrix}$	acidi carbossilici	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{matrix}$ acido etanoico	$\text{R}-\text{Alg}$	idrocarburi alogenati	CH_3-Cl clorometano
$\text{R}-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{R}' \end{matrix}$	esteri	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{CH}_3 \end{matrix}$ etanoato di metile	$\text{R}-\text{OH}$	alcoli	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$ etanolo
$\text{R}-\text{NH}_2$	ammina primaria	CH_3-NH_2 metilammina	$\text{R}-\text{O}-\text{R}'$	eteri	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$ metossietano
$\text{R}-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{NH}_2 \end{matrix}$	ammidi	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{NH}_2 \end{matrix}$ etanammide	$\text{R}-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{matrix}$	aldeidi	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{matrix}$ etanale
$\text{Ar}-\text{OH}$	fenoli	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$ 4-metilfenolo	$\text{R}-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}' \end{matrix}$	chetoni	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$ propanone

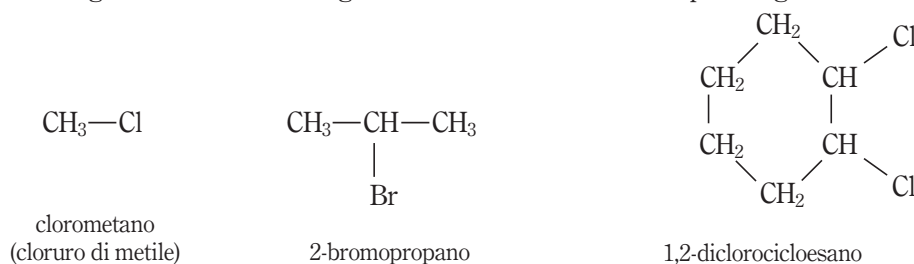
Nomenclatura e proprietà degli idrocarburi alogenati

Quando in una catena di atomi di carbonio si sostituiscono uno o più atomi di idrogeno con uno o più atomi di un elemento del VII gruppo del sistema periodico, si ha un composto chiamato genericamente *idrocarburo alogenato*.

 Si chiamano **idrocarburi alogenati** o *aloidrocarburi* i composti in cui uno o più atomi di idrogeno sono sostituiti con altrettanti atomi di un alogeno.

Secondo una terminologia ancora in uso questi composti si distinguono in *alogenuri alchilici* e *alogenuri arilici*.

Gli alogenuri alchilici sono talvolta indicati con la formula generica R—Alg, dove R indica una catena alchilica aperta o chiusa, saturata o insatura e Alg indica un generico alogeno. Le formule che seguono costituiscono alcuni esempi di alogenuri alchilici.



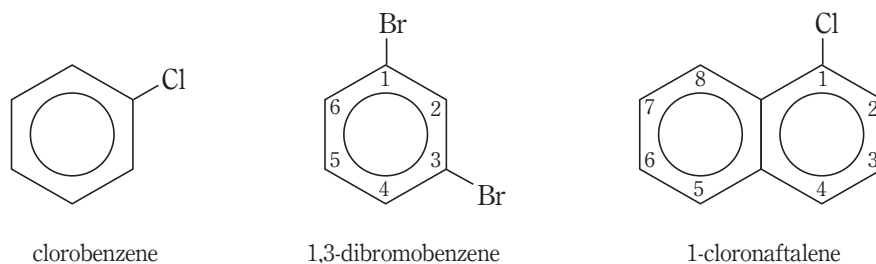
Come si può capire, le regole per dare il nome a questi composti sono simili a quelle che già conosciamo: per primo viene il nome dell'alogeno preceduto, se necessario, da un numero che identifica l'atomo di carbonio a cui è legato; segue poi il nome dell'idrocarburo alchilico da cui ha preso formalmente origine.

Pur essendo composti che presentano legami covalenti polarizzati, gli alogenuri alchilici sono assai poco solubili in acqua, mentre si dimostrano efficaci solventi dei grassi vegetali e animali (figura 26).

PROVA TU

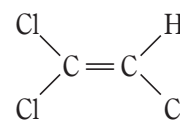
Scrivi la formula condensata del seguente alogenuro alchilico: 3-bromo-2-metilpentano.

Gli *alogenuri arilici* sono individuati con la formula generica Ar-Alg e si distinguono per il fatto che l'atomo o gli atomi dell'alogeno sono legati ad atomi di carbonio che fanno parte di un anello aromatico. Le formule che seguono sono quelle di alcuni alogenuri arilici e permettono di individuare le regole di nomenclatura nei casi più semplici.



Una proprietà chimica che accomuna alogenuri alchilici e arilici è la reattività dell'atomo di carbonio a cui è legato l'atomo di alogeno; infatti, dato che fluoro, cloro e bromo sono più elettronegativi del carbonio, il legame covalente C—Alg è polarizzato e l'atomo di carbonio può subire l'attacco di *reattivi nucleofili*, cioè di atomi o gruppi atomici che vengono attratti da un centro in cui prevale la carica positiva.

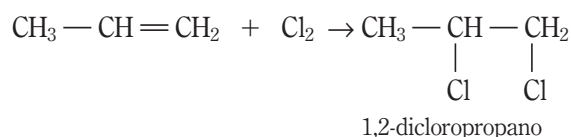
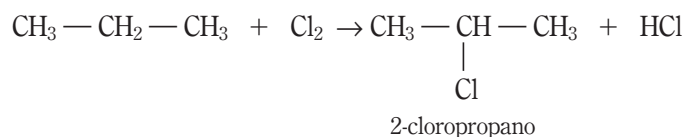
È proprio per questa reattività che i derivati alogenati degli idrocarburi costituiscono una famiglia di composti di grande importanza sia nei processi industriali sia nella pratica di laboratorio; essi vengono qualificati come *intermedi*, cioè sostanze che servono per preparare altri composti non ottenibili direttamente dagli idrocarburi.



▲ **Figura 26** La trielina (1,1,2-tricloroetene) è una sostanza usata per togliere le macchie di grasso nei tessuti. Occorre usarla con attenzione, essendo tossica e, forse, cancerogena.

Produzione e utilizzazione degli idrocarburi alogenati

Come abbiamo già visto, gli alogenuri alchilici si possono ottenere a seguito di una reazione di sostituzione oppure, se l'idrocarburo di partenza è insaturo, attraverso una reazione di addizione; per esempio, facendo reagire con cloro il propano e il propene si possono ottenere i seguenti prodotti:



PROVA TU

In relazione alle reazioni di alogenazione degli idrocarburi, rispondi alle seguenti domande.

- ▶ a) Se si effettua la reazione di bromurazione del pentano, quanti composti isomeri con formula $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Br}$ si possono ottenere?
- ▶ b) Se si effettua la reazione di addizione di cloro al *cis*-2-butene, come si chiama il composto ottenuto?

Le reazioni di sostituzione, come abbiamo già detto, portano normalmente alla formazione di una miscela di prodotti. Per esempio, dalla clorurazione del metano si può ottenere una miscela formata da percentuali diverse dei seguenti prodotti:

CH_3Cl clorometano o cloruro di metile
 CH_2Cl_2 diclorometano
 CHCl_3 triclorometano o cloroformio
 CCl_4 tetraclorometano o tetracloruro di carbonio.

Gli idrocarburi alogenati trovano largo impiego in diversi settori delle attività umane. Essi infatti vengono utilizzati come solventi, come monomeri per la produzione di importanti materie plastiche (per esempio il polivinilcloruro e il teflon) e inoltre sono largamente impiegati a supporto delle attività agricole.

Per saperne di più

Gli idrocarburi clorurati trovano largo impiego come **pesticidi**. Questi prodotti (insetticidi, erbicidi eccetera) ci liberano dalle erbacce e da fastidiosi e talvolta dannosi insetti (zanzare, mosche...) ma la loro azione colpisce purtroppo anche altri vegetali e insetti utili per cui nel corso degli anni i ricercatori hanno messo a punto prodotti sempre più selettivi, cioè in grado di agire specificamente sulla specie animale o vegetale dannosa e non sulle altre.



In ogni caso si tratta di sostanze che possono produrre effetti negativi anche sugli esseri umani e devono perciò essere somministrate con cognizione e cautela e, soprattutto, prendendo adeguate misure di protezione.

7. Alcoli e fenoli, eteri

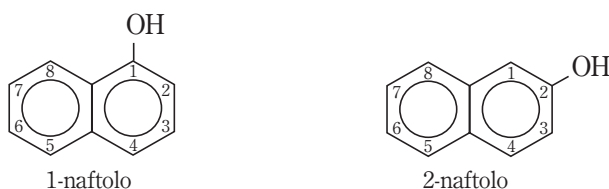
Nomi e proprietà di alcoli e fenoli

Il gruppo funzionale ossidrilico —OH caratterizza due famiglie di composti organici: gli alcoli e i fenoli.

Si chiamano **alcoli** i composti in cui il gruppo ossidrilico —OH è legato a una catena alchilica; si chiamano **fenoli** i composti in cui questo gruppo è legato a un anello benzenico.

In base a questa definizione gli alcoli possono anche essere indicati con la formula generica R—OH e i fenoli con Ar—OH. Questa classificazione è necessaria perché alcoli e fenoli presentano proprietà sensibilmente diverse. Una differenza significativa è il comportamento acido-base in acqua (figura 27).

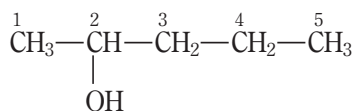
Il benzenolo, C₆H₅OH, è il fenolo più semplice e proprio per questo è più spesso chiamato semplicemente fenolo. Se il gruppo —OH è legato ai due anelli condensati del naftalene si hanno due isomeri: 1-naftolo e 2-naftolo.



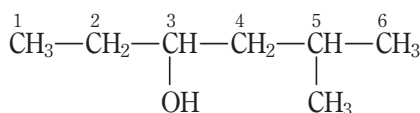
In generale, il nome degli alcoli si ricava sostituendo con la desinenza *olo* l'ultima lettera del nome dell'idrocarburo cui è legato il gruppo ossidrilico. Come al solito, il nome è preceduto da un numero che indica l'atomo di carbonio al quale è legato il gruppo funzionale. Se l'idrocarburo è insaturo, il numero che indica la posizione del gruppo funzionale va scritto immediatamente prima della desinenza *olo*. Le principali regole di nomenclatura si possono dedurre considerando alcuni esempi:



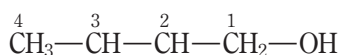
etanolo



2-pentanolo



5-metil-3-esanolo



2-buten-1-olo

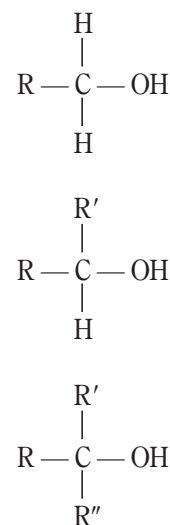
Un metodo chimicamente utile per classificare gli alcoli consiste nel precisare quanti atomi di carbonio sono legati a quello che porta il gruppo ossidrilico. Si dice che un alcol è *primario* se il carbonio del gruppo —OH è legato a un solo atomo di carbonio. In modo analogo vengono definiti gli alcoli *secondari* e quelli *terziari* (figura 28).

Gli alcoli hanno una temperatura di ebollizione sempre maggiore di quella degli idrocarburi con massa molecolare simile. Infatti, per esempio i quattro alcoli isomeri che hanno formula C₄H₉OH e la cui massa vale 74,12 u hanno tutti temperatura di ebollizione decisamente maggiore di quella del pentano (36 °C) che ha un peso molecolare di 72,15 u.

Questo fatto si spiega considerando che il gruppo funzionale —OH contiene un legame fortemente polarizzato in quanto l'ossigeno è assai più elettronegativo dell'idrogeno. Tra le molecole degli alcoli pertanto si manifestano forze intermolecolari (legami a idrogeno) che sono senz'altro più intense delle forze di dispersione esistenti tra le molecole apolari degli idrocarburi e questo rende plausibile una differenza così vistosa tra le temperature di ebollizione.



▲ **Figura 27** Per le sue proprietà acide il fenolo, C₆H₅OH, veniva anche chiamato *acido fenico*.



▲ **Figura 28** In ordine, dall'alto verso il basso, sono rappresentate le formule generiche di un alcol primario, secondario e terziario.

Per saperne di più



La tossicità dell'etanolo non è paragonabile a quella del metanolo; tuttavia è noto che se assunto in dosi elevate e lontano dai pasti entra rapidamente in circolo nel sangue e provoca gravi danni prima reversibili, poi irreversibili. Dato che la concentrazione dell'alcol nell'alito espirato è proporzionale al **tasso alcolico** nel sangue, sono stati approntati alcuni semplici e pratici dispositivi che consentono di rilevare rapidamente lo stato e il grado di ebbrezza di una persona.



▲ **Figura 29** Il composto 1,2- etandiolo è più noto con il nome di glicole etilenico. Nonostante il suo peso molecolare sia maggiore soltanto di 16 u rispetto a quello dell'etanolo, ha una temperatura di ebollizione, 198 °C, molto più alta di quella dell'etanolo (79 °C). Anche per questa proprietà viene utilizzato nei radiatori delle auto.

La possibilità degli alcoli di formare legami a idrogeno spiega anche la completa miscibilità in acqua di metanolo e di etanolo a differenza degli idrocarburi che, come sappiamo, sono composti apolari e quindi insolubili in acqua.

Il comportamento di etanolo e metanolo con acqua non può essere generalizzato a tutti gli alcoli; non si può dimenticare infatti che in una molecola di alcol, oltre alla zona polare del gruppo ossidrilico, c'è un'altra parte, quella corrispondente alla catena alchilica, che ha carattere apolare.

Tenendo presente questo fatto, si può spiegare perché la solubilità in acqua di un alcol diminuisce via via che aumenta la lunghezza della catena degli atomi di carbonio. Infatti già l'alcol 1-butanolo (C_4H_9OH) è scarsamente solubile in acqua. Se la struttura della catena alchilica è ramificata, la miscibilità con l'acqua dell'alcol aumenta; l'alcol terziario 2-metil-2-propanolo è addirittura completamente miscibile.

PROVA TU

Scrivi la formula condensata e il nome dell'alcol terziario che ha formula molecolare $C_4H_{10}O$.

Produzione e utilizzazione degli alcoli

L'alcol più semplice è il metanolo, CH_3OH ; è un composto tossico e, anche se viene assimilato in piccole dosi, può provocare disturbi gravi, cecità e persino la morte. Il metanolo è un importante prodotto dell'industria chimica che può essere ottenuto separando la miscela dei composti che provengono dalla distillazione del legno, cioè dal riscaldamento del legno in assenza di aria. Oggigiorno è preparato allo stato gassoso attraverso una reazione di sintesi tra ossido di carbonio e idrogeno:



Il secondo membro della famiglia si chiama etanolo, C_2H_5OH (detto anche alcol etilico), e i suoi usi sono molteplici: per esempio viene utilizzato per detergere (in tal caso è posto in vendita come alcol denaturato), per usi alimentari, come biocarburante per autoveicoli eccetera.

L'etanolo è l'alcol presente in tutte le cosiddette bevande alcoliche: il vino, la birra e i superalcolici, il nome dei quali sottolinea che questi ultimi contengono una elevata concentrazione di etanolo.

L'etanolo può essere ottenuto attraverso il processo di fermentazione di molti prodotti naturali contenenti zuccheri o amido. Industrialmente l'alcol etilico viene prodotto attraverso una reazione di addizione al doppio legame dell'etene:



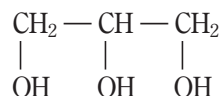
Nei Paesi della Unione Europea può essere venduto per usi alimentari solo l'alcol ottenuto per fermentazione: dato che l'attività dei microrganismi, indispensabile per il processo di fermentazione, cessa quando la concentrazione della soluzione alcolica raggiunge valori tra il 14% e il 18%, per ottenere soluzioni alcoliche più concentrate occorre distillare il miscuglio idroalcolico.

Polialcoli e polifenoli

La caratteristica strutturale dei *polialcoli* è quella di contenere due o più gruppi ossidrilici. Nel caso in cui i gruppi ossidrilici siano due, i composti sono chiamati *dioli*. Il diolo più semplice è il 1,2-etandiolo.

Dato che i dioli contengono due gruppi $-OH$, è facile comprendere che possono formare legami a idrogeno: per questo presentano elevata temperatura di ebollizione e buona miscibilità in acqua (figura 29).

La glicerina è un altro polialcol di straordinaria importanza: si tratta infatti di un composto il cui nome IUPAC, 1,2,3-propantriolo, indica subito che le sue molecole contengono tre gruppi ossidrilici:



La glicerina è molto usata nella preparazione di prodotti per l'igiene della persona ed è anche il composto di partenza per la produzione della nitroglicerina (figura 30).



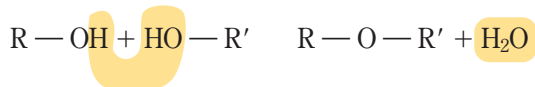
◀ **Figura 30** Tutti sanno che la nitroglicerina è un potente esplosivo, ma probabilmente qualcuno ignora che, per le sue proprietà vasodilatatorie, essa viene utilizzata anche nella preparazione di farmaci come coadiuvanti nella terapia contro le malattie del sistema cardiovascolare.

I *difenoli* sono composti aromatici che presentano due gruppi —OH legati all'anello benzenico. In particolare vogliamo citare il 1,4-diidrossibenzene, più noto con il nome di idrochinone. L'importanza di questo composto sta nel fatto che esso può essere ossidato a 1,4-benzochinone (o semplicemente chinone) e questa reazione di ossidazione costituisce un anello fondamentale della catena di trasformazioni che avvengono durante il processo di fotosintesi clorofilliana.

Eteri

In chimica organica si chiamano **reazioni di condensazione** le reazioni in cui due (o più) molecole, uguali o diverse, si uniscono per effetto della eliminazione di una (o più) molecole di acqua.

Il prodotto della condensazione di due alcoli è un composto caratterizzato strutturalmente dal fatto che un atomo di ossigeno fa da ponte tra due gruppi alchilici:



Per esempio, la condensazione di due molecole di etanolo porta alla formazione di un composto il cui nome IUPAC è etossietano:



Il nome più comune di questo composto è dietilere (o etere dietilico) sostanza che è stata usata per molto tempo come anestetico in chirurgia.



In generale, si chiamano **eteri** i composti in cui a un atomo di ossigeno sono legati due gruppi alchilici o arilici.

I gruppi legati all'atomo di ossigeno possono essere uguali come nel dietilere o anche diversi, come negli esempi che seguono:



Si può osservare che la formula molecolare del dimetilere ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) è la stessa di quella dell'etanolo. In questi casi si dice che i due composti sono **isomeri funzionali**, dato che sono caratterizzati da gruppi funzionali diversi.

PROVA TU

Qual è il nome dell'alcol primario a catena lineare che è isomero funzionale del dietilere?

8. I composti del gruppo carbonilico e del gruppo carbossilico

Aldeidi e chetoni

Le aldeidi e i chetoni costituiscono due classi di composti caratterizzati dalla presenza del gruppo funzionale carbonilico $>C=O$.

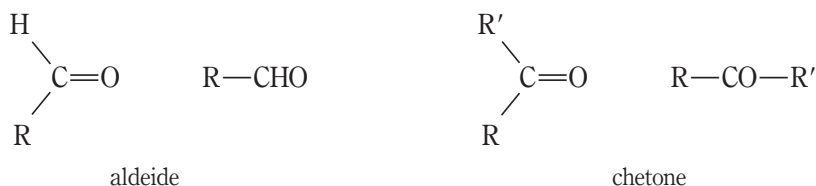
In questo gruppo funzionale l'atomo di carbonio presenta una struttura geometrica triangolare; in altre parole, l'atomo di carbonio e gli altri tre atomi ad esso legati si trovano nello stesso piano e formano angoli di legame di 120° .

La differenza strutturale tra aldeidi e chetoni nasce ovviamente dagli atomi legati all'atomo di carbonio del gruppo funzionale.



Si chiamano **aldeidi** i composti in cui al gruppo funzionale carbonilico sono legati un atomo di idrogeno e un atomo di carbonio di una catena idrocarburica; si chiamano **chetoni** i composti in cui al gruppo funzionale sono legate due catene idrocarburiche.

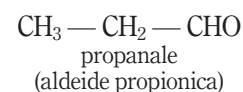
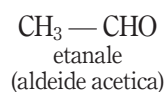
Le aldeidi e i chetoni possono essere rappresentati con le seguenti formule generiche:



▼ **Figura 31** L'aldeide formica costituisce uno dei più importanti prodotti di base della industria chimica. La sua soluzione acquosa viene chiamata *formalina* ed essendo un energico antisettico viene tuttora usata per conservare reperti biologici (a sinistra). Alcune aldeidi formate da un numero maggiore di atomi di carbonio (tra 6 e 12) sono caratterizzate da intense profumazioni; possono essere di origine naturale (come il *citrale* contenuto nella buccia dei limoni e il *citronellale* presente nell'essenza di citronella) o sintetica e vengono largamente utilizzate nell'industria della cosmesi come «profumazioni di fantasia» (a destra).

Si può verificare facilmente che aldeidi e chetoni hanno formula generale $C_nH_{2n}O$ e quindi è facile concludere che aldeidi e chetoni con lo stesso numero di atomi di carbonio sono isomeri funzionali.

Il nome delle aldeidi si ottiene tenendo come base il nome dell'alcano che presenta lo stesso numero di atomi di carbonio, a cui si aggiunge la desinenza *ale*. Alcuni esempi serviranno a chiarire questa regola.



Sotto al nome IUPAC abbiamo indicato anche il nome tradizionale dell'aldeide (figura 31).

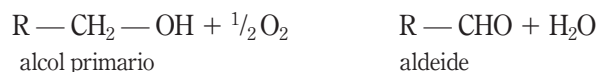


Il nome dei chetoni si ottiene scrivendo la radice del nome dell'alcano che presenta lo stesso numero di atomi di carbonio e aggiungendo la desinenza *one*.

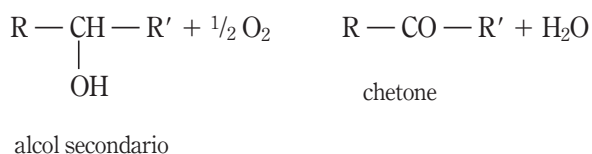
Il chetone più semplice ha tre atomi di carbonio e quindi si chiama propanone, ma è assai più noto con il nome tradizionale di acetone.

Per quanto riguarda la nomenclatura dei chetoni con più di 4 atomi di carbonio, è necessario precisare la posizione del gruppo carbonilico nella catena; ad esempio, il composto che ha formula $\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ si chiama 2-pentanone, per distinguerlo dal suo isomero di posizione, il 3-pentanone, che corrisponde invece alla formula $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$.

In laboratorio molti composti carbonilici vengono preparati per ossidazione degli alcoli. In particolare, le aldeidi si ottengono dall'ossidazione di alcoli primari:




Ossidando invece gli alcoli secondari si ricavano i chetoni:



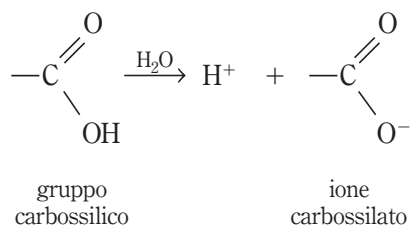
Dato che il legame del gruppo carbonilico è polarizzato, le molecole di aldeidi e chetoni contengono una parte polare e quindi i composti carbonilici più semplici (metanale, etanale e propanone) sono completamente miscibili con l'acqua; man mano che aumenta la lunghezza della catena apolare la miscibilità diminuisce, cosicché già il butanale e il butanone sono scarsamente solubili in acqua.

Acidi carbossilici

Se immaginiamo di legare un gruppo carbonilico con un gruppo ossidrilico otteniamo un nuovo gruppo funzionale chiamato gruppo carbossilico.

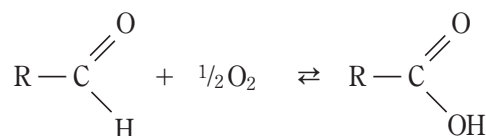
 Si chiamano **acidi carbossilici** i composti organici caratterizzati dalla presenza del gruppo funzionale carbossilico $-\text{COOH}$.

Il gruppo carbossilico mostra comportamento acido con l'acqua perché l'atomo di idrogeno può ionizzarsi con relativa facilità:



Come sappiamo, il gruppo $-\text{OH}$ è presente anche in alcoli e fenoli, ma è la sua vicinanza con il gruppo $>\text{C}=\text{O}$ che consente di spiegare il carattere acido degli acidi carbossilici. Si è potuto osservare che nello ione carbossilato i legami tra l'atomo di carbonio e i due atomi di ossigeno hanno la stessa lunghezza e questo fatto a livello particellare fa ritenere che la carica negativa dell'anione possa essere delocalizzata sui due atomi di ossigeno; in questo modo l'anione risulta più stabile rispetto allo ione fenato $\text{Ar}-\text{O}^-$.

Il gruppo funzionale carbossilico e il gruppo funzionale carbonilico sono legati tra loro da una reazione di ossidoriduzione:



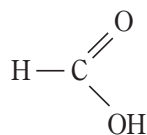
PROVA TU

- Come si chiama l'aldeide che si può ottenere per ossidazione dell'etanolo?
- Come si chiama l'alcol che occorre ossidare per ottenere l'acetone?

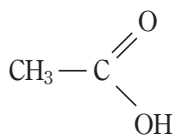


▲ **Figura 32** I benzoati alcalini, cioè i sali di potassio e di sodio dell'acido benzoico, sono conservanti sintetici ammessi dalla legge. Trovano impiego negli alimenti a carattere acido tipo maionese, conserve ittiche, insalate russe, preparati freddi di carne, bibite analcoliche.

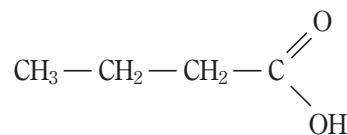
In base alle regole IUPAC, il nome degli acidi carbossilici si forma aggiungendo la desinenza *oico* alla radice del nome dell'idrocarburo saturo che ha lo stesso numero di atomi di carbonio. Come al solito facciamo alcuni esempi per aiutare la comprensione delle regole più semplici. Sotto i nomi IUPAC dei composti abbiamo scritto i rispettivi nomi tradizionali:



acido metanoico
(acido formico)



acido etanoico
(acido acetico)



acido butanoico
(acido butirrico)

Il gruppo funzionale può trovarsi legato anche a un anello aromatico. L'acido carbossilico aromatico più semplice è l'acido benzoico, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ (figura 32).

Molti nomi tradizionali degli acidi carbossilici derivano dai sistemi in cui sono presenti. L'acido etanoico, per esempio, è detto acido acetico perché è presente nell'aceto di vino e l'acido esanoico si chiama anche acido capronico perché si ritrova nel latte di capra inacidito (figura 33).

► **Figura 33** Oltre all'acido acetico, anche molti altri acidi sono responsabili di sapori e odori caratteristici. I tre acidi capronico, caprilico e caprinico presentano, come dicono i nomi stessi, l'inconfondibile odore di certi formaggi pecorini; la presenza di acido butirrico è la causa principale dell'odore del burro rancido; l'acido propionico è responsabile dell'odore e del sapore di alcuni formaggi svizzeri.

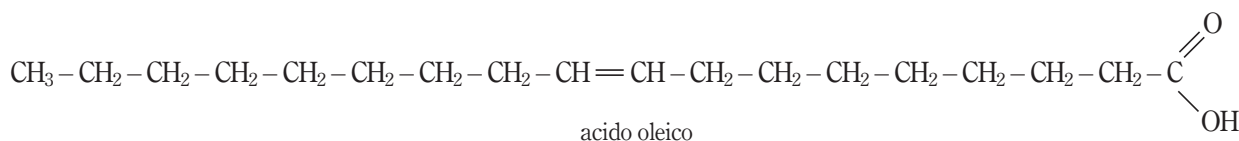
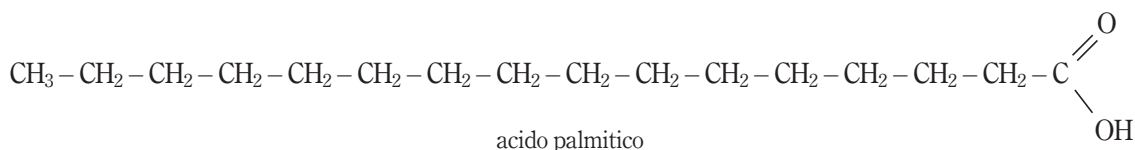


▲ **Figura 34** L'uso farmacologico di acidi grassi polinsaturi di origine naturale e proposti come preparati di olio di pesce è nato dalla constatazione che alcune gravi malattie cardiovascolari sono molto rare nella popolazione Inuit (esquimesi). Nonostante che la loro dieta sia molto ricca di grassi e di colesterolo, il basso tasso di soggetti colpiti da patologie delle arterie è stato attribuito al fatto che la loro alimentazione è costituita prevalentemente da pesce, un alimento ricco, per l'appunto, di acidi grassi polinsaturi, tra cui i cosiddetti omega-3.

Il gruppo carbossilico, in modo analogo a quello alcolico, costituisce sicuramente una parte polare della molecola in cui si trova e pertanto può conferire ai composti la proprietà di essere solubili in acqua. Come abbiamo già detto a proposito degli alcoli e anche di aldeidi e chetoni, questa proprietà si manifesta quando la catena a cui è legato il gruppo carbossilico contiene un numero limitato di atomi di carbonio.

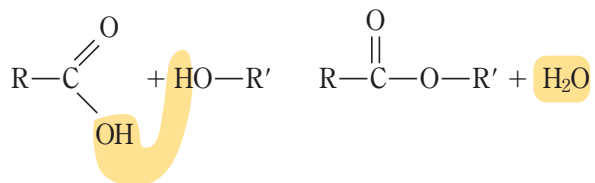
Gli acidi costituiti da una lunga catena alchilica hanno la caratteristica di essere untuosi al tatto e anche per questo sono chiamati *acidi grassi*. Tutti gli acidi grassi di origine biologica hanno un numero pari di atomi di carbonio ed è importante distinguere gli *acidi grassi saturi* dagli *acidi grassi insaturi*.

L'acido palmitico è un acido grasso saturo mentre nella catena alchilica dell'acido oleico è presente un doppio legame; per questo l'acido oleico è un acido grasso insaturo. Se i doppi legami sono due o più, l'acido grasso è detto polinsaturo (figura 34).



Esteri e trigliceridi

In opportune condizioni si può fare avvenire una reazione di condensazione tra un alcol e un acido carbossilico; in generale l'equazione di reazione è la seguente:



Si è potuto stabilire che l'atomo di ossigeno presente nella molecola di acqua è quello presente nel gruppo OH della funzione carbossilica. Si tratta di una reazione di condensazione chiamata più specificamente *reazione di esterificazione* perché porta alla formazione di *esteri*, composti caratterizzati dalla presenza di un nuovo gruppo funzionale.

! In generale, si chiamano **esteri** i composti organici caratterizzati dalla presenza del gruppo funzionale —COO—; a esso sono legati due gruppi alchilici o arilici.

Il nome degli esteri si ottiene sostituendo la desinenza dell'acido carbossilico di provenienza con la desinenza *ato* e facendo seguire il nome del gruppo alchilico o arilico che deriva dall'alcol. Per esempio, l'estere che ha formula $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOCH}_3$ si chiama etanoato (o acetato) di metile.

La reazione inversa a quella di condensazione si chiama *idrolisi* dell'estere e i prodotti sono un acido carbossilico e un alcol.

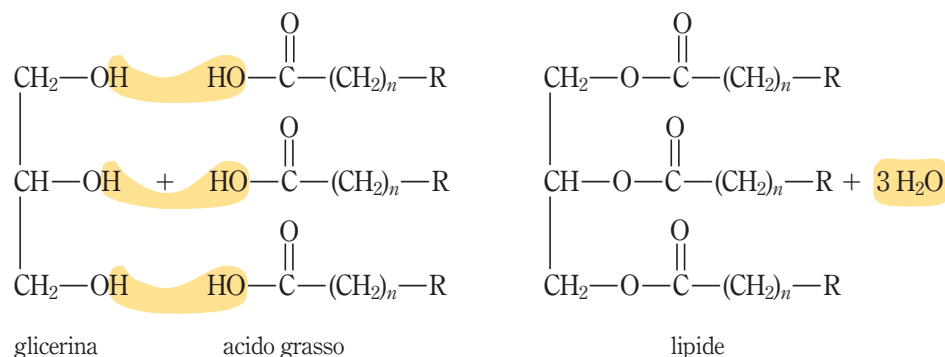
PROVA TU

A proposito degli esteri, rispondi alle seguenti domande:

- ▶ a) Qual è il nome dell'estere che si ottiene dalla condensazione tra acido butanoico e 1-propanolo?
- ▶ b) Quali sono i nomi dell'acido carbossilico e dell'alcol che si ottengono idrolizzando il propanoato di etile?

Gli esteri hanno generalmente odori gradevoli, a differenza degli acidi carbossilici da cui derivano (figura 35).

Ci sono esteri che meritano particolare attenzione perché costituiscono i tessuti grassi animali e vegetali; essi si chiamano *trigliceridi* e questo nome indica che traggono origine dalla reazione di condensazione tra la glicerina, un alcol con tre funzioni OH, e tre molecole di acidi grassi:

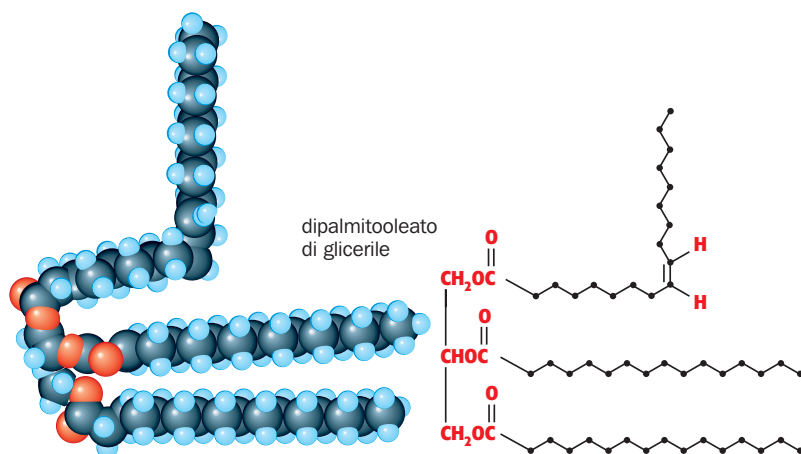


Dall'equazione si capisce che se cambia l'acido grasso che esterifica la glicerina si ottengono trigliceridi diversi.

Le proprietà fisiche dei grassi animali e vegetali dipendono strettamente dalla composizione chimica dei diversi trigliceridi che li costituiscono. Infatti alcuni trigliceridi sono solidi a temperatura ambiente e si chiamano semplicemente *grassi*, altri invece, che sono liquidi, vengono comunemente chiamati *oli*. Questa diversità dipende dal



▲ **Figura 35** Stupisce il cambiamento di sapori e odori che avviene quando un acido carbossilico si trasforma in estere. Ad esempio: dall'acido butirrico, che emana uno sgradevole odore di rancido, derivano il butirrato di metile che contribuisce ai profumi delle mele e degli ananas e il butirrato di etile presente nelle pesche e negli ananas. Per questa loro proprietà, si producono *esteri sintetici* per insaporire prodotti alimentari come yogurt e succhi di frutta.



▲ **Figura 36** La figura rappresenta una molecola di dipalmitooleato di glicerile, cioè l'estere ottenuto per condensazione di una molecola di glicerina con due molecole di acido palmitico e una di acido oleico.

numero di doppi legami presenti nelle molecole degli acidi grassi che costituiscono i trigliceridi: gli oli sono formati prevalentemente da trigliceridi di acidi grassi insaturi mentre i grassi sono costituiti in prevalenza da trigliceridi di acidi grassi saturi.

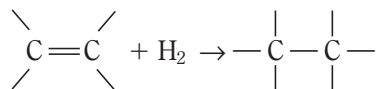
Si può spiegare questa diversità considerando che gli acidi grassi insaturi di origine biologica presentano una stereoisomeria di tipo *cis*; questa struttura molecolare determina una geometria spaziale tale da impedire alle molecole dei trigliceridi di impaccettarsi e questo fa sì che le forze intermolecolari siano più deboli rispetto a quelle che uniscono i trigliceridi formati da acidi grassi saturi (figura 36).

I trigliceridi di origine vegetale, essendo formati prevalentemente da acidi insaturi, sono liquidi a temperatura ambiente. La scienza medica è orientata a ritenere che un'alta concentrazione nel sangue di trigliceridi formati da acidi grassi saturi sia potenzialmente pericolosa, cioè possa provocare nel tempo gravi difficoltà alla circolazione sanguigna. Proprio per questo si consiglia di ridurre il consumo di alimenti ricchi di grassi di origine animale, dato che questi contengono una maggiore percentuale di acidi grassi saturi (tabella 8).

Tabella 8 Una reazione che coinvolge il doppio legame presente nei trigliceridi insaturi è quella chiamata *irancimento*. All'idrolisi del trigliceride segue l'ossidazione degli alcoli ad aldeidi e chetoni e ciò determina una netta alterazione dei caratteri organolettici dell'alimento. Per rallentare questo processo occorre proteggere i grassi dall'azione della luce e tenerli al riparo dall'aria.

Alimento	Lipidi totali (%)	Acidi grassi saturi (%)	Acidi grassi insaturi (%)
burro	83	51	32
strutto	99	40	59
olio extravergine d'oliva	100	17	83
olio di girasole	100	8	92

Il rapporto tra struttura e proprietà dei trigliceridi è stato sfruttato a livello industriale per la produzione della *margarina*. Mescolando a caldo oli vegetali e idrogeno sotto pressione in presenza di opportuni catalizzatori avviene una reazione di addizione, chiamata specificamente *reazione di idrogenazione*, che trasforma la catena insatura dell'acido grasso:



A seguito di questa trasformazione si ottiene un trigliceride saturo, caratterizzato quindi da una più alta temperatura di fusione. Idrogenando, per esempio, la trioleina ($t_f = -17^\circ\text{C}$) si ottiene la tristearina che fonde a 33°C . Possiamo quindi dire che la margarina è un grasso artificiale di origine vegetale. In base alla miscela di oli di partenza e regolando opportunamente il grado di avanzamento della reazione, si possono ottenere i *grassi idrogenati*, utilizzati per la produzione di margarine e per altri prodotti alimentari (figura 37).

La reazione di idrolisi dei trigliceridi è alla base di un'importante trasformazione industriale dei grassi che porta però a un prodotto che non è più commestibile. Infatti, quando l'idrolisi viene effettuata a caldo con una soluzione acquosa di basi alcaline, come l'idrossido di sodio o l'idrossido di potassio, si ottengono i *saponi*.



▲ **Figura 37** Già un manifesto del 1926 invitava a sostituire il burro con la margarina.

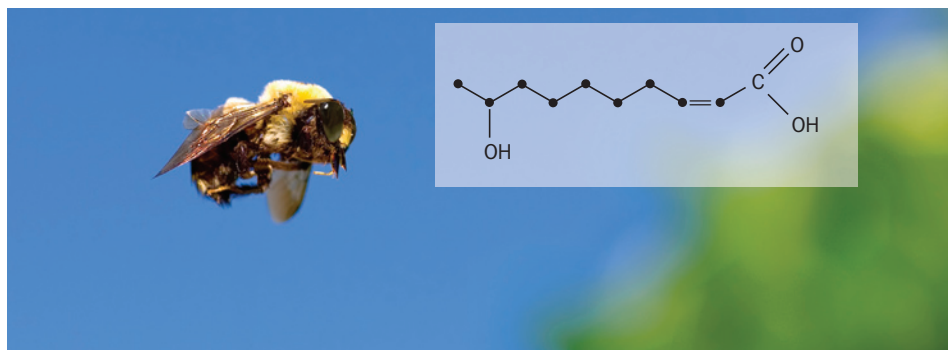
9. Composti polifunzionali e carboidrati

Gli idrossiacidi

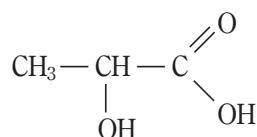
I composti del carbonio in cui sono presenti due o più gruppi funzionali diversi prendono il nome di *composti polifunzionali* (figura 38).

Come si può immaginare, esistono diverse famiglie di composti polifunzionali per cui ci soffermeremo soltanto su alcune di esse.

Tra i composti polifunzionali più diffusi ci sono gli **idrossiacidi**; in essi, come suggerisce il nome, è presente sia il gruppo funzionale ossidrilico sia il gruppo carbossilico. Dobbiamo sottolineare che la diversa posizione reciproca dei gruppi funzionali gioca spesso un ruolo importante sulle proprietà del composto al punto da divenire discriminante a livello biologico (figura 39).

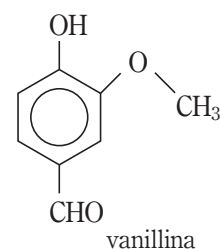


Un altro esempio di idrossiacido molto importante dal punto di vista biologico è l'acido 2-idrossipropanoico, assai più noto come *acido lattico*:



Si tratta di un acido debole presente in piccola quantità nel latte e in misura maggiore nello yogurt.

Anche l'acido salicilico (acido 2-idrossibenzoico) viene prodotto in modo naturale nel mondo vegetale e deve il suo nome proprio al fatto che può essere estratto dalla corteccia delle piante di salice. Oggi però l'acido salicilico è una sostanza prodotta a livello industriale perché serve per la preparazione dell'acido acetilsalicilico (acido 2-acetilosibenzoico), che costituisce il principio attivo di molti farmaci (figura 40).



▲ **Figura 38** Dai semi della *vanilla planifolia*, famiglia delle orchidacee, si estrae una nota sostanza aromatica, la vanillina. Nelle sue molecole sono presenti ben tre gruppi funzionali: quello degli alcoli, quello delle aldeidi e quello degli eteri.

◀ **Figura 39** L'ape regina produce un composto, l'acido 9-idrossi-2-decanoico, che consente alle api operaie di individuarla; tutte le altre le api producono invece un isomero dell'acido, un composto nelle cui molecole il gruppo OH è in posizione 10.

▼ **Figura 40** L'acido acetilsalicilico deve il suo nome al fatto che può essere estratto dalla pianta di salice. Si tratta di un composto bifunzionale, dato che è un estere che presenta anche la funzione carbossilica.

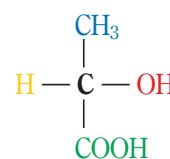
Un altro composto bifunzionale è l'*acido citrico*: le sue molecole contengono un solo gruppo ossidrilico e ben tre gruppi carbossilici; tuttavia esso è un acido debole che si trova anche nel sangue e che, come probabilmente è noto ai più, impartisce al succo di molti frutti, particolarmente degli agrumi, il caratteristico sapore asprigno.

Molecole allo specchio: gli enantiomeri

Dell'acido lattico si conoscono due stereoisomeri; solo uno di essi ha grande importanza biologica perché si forma durante la trasformazione anaerobica del glucosio e il suo accumulo è responsabile della sensazione di affaticamento muscolare.

Nelle molecole dell'acido lattico non è presente il doppio legame tra due atomi di carbonio e quindi non è possibile che i due isomeri siano isomeri geometrici. I due isomeri dell'acido lattico appartengono infatti a un'altra categoria di stereoisomeri, gli *enantiomeri*.

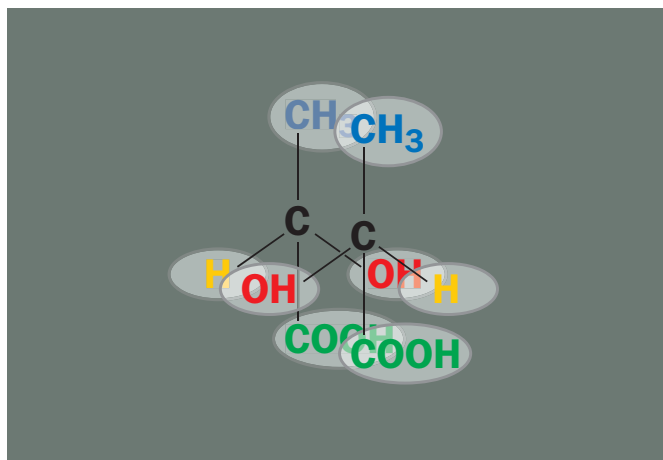
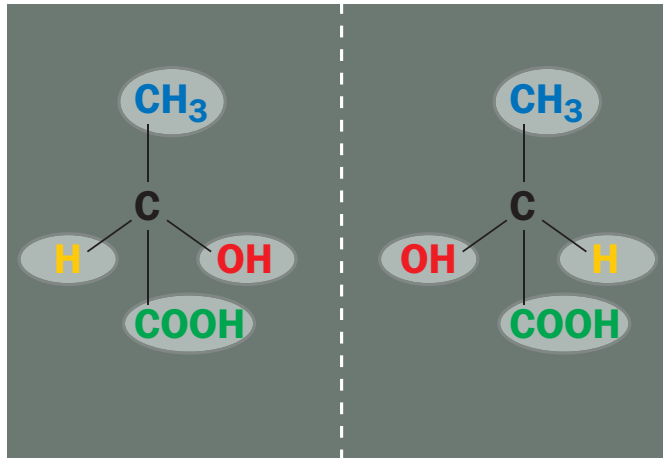
Per comprendere l'origine di questa nuova categoria di isomeri, dobbiamo riesaminare la formula dell'acido lattico e concentrare l'attenzione sull'atomo di carbonio che abbiamo evidenziato: si può così osservare che i quattro gruppi atomici legati all'atomo di carbonio sono diversi e per questo si dice che la molecola presenta un *centro chirale*, cioè un atomo di *carbonio asimmetrico*.



La presenza di un centro chirale determina una situazione assolutamente originale: i gruppi atomici che si dispongono attorno ad esso possono dar luogo a due molecole, ognuna delle quali è l'immagine speculare dell'altra; esse non sono sovrapponibili e pertanto sono due molecole diverse (figura 41).

In generale, si chiamano *enantiomeri* le coppie di sostanze che sono diverse perché le molecole dell'una sono l'immagine speculare di quelle dell'altra.

▼ **Figura 41** Anche le mani e i piedi sono esempi di coppie di oggetti che hanno la proprietà di essere uno l'immagine speculare dell'altro e quindi non sono sovrapponibili. Per convincersi di questa proprietà si può provare a sovrapporre un paio di guanti o un paio di scarpe.



Come vedremo, nella chimica degli esseri viventi la presenza di composti enantiomeri è decisiva; ci sono moltissime situazioni in cui il reagente o il prodotto di una trasformazione è uno solo dei due enantiomeri possibili. L'acido lattico che si forma nei muscoli è l'isomero individuato con il nome L-(+)-lattico, mentre nella fermentazione acida del latte si formano entrambi, anche l'isomero D-(-)-lattico.

È importante sottolineare che, diversamente dagli altri casi di composti isomeri, tutte le proprietà fisiche dei due enantiomeri sono le stesse. La sola caratteristica che li distingue è la capacità di ruotare in versi opposti il piano della luce polarizzata. Proprio per questo le sostanze chirali sono dette *otticamente attive*.

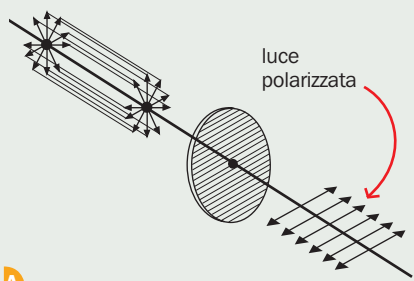
Se si devono separare due enantiomeri si ricorre spesso alla reazione con altre sostanze enantiomere, proprio come si può utilizzare una mano per distinguere quale dei due guanti è il destro e quale è il sinistro.

Attività ottica e polarimetro

Nel 1811 lo scienziato francese Jean Baptiste Biot scoprì il fenomeno della polarizzazione della luce e successivamente mostrò anche come il percorso della luce polarizzata possa essere deviato quando attraversa alcune sostanze o le loro soluzioni.

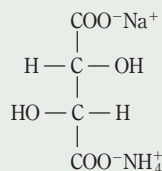
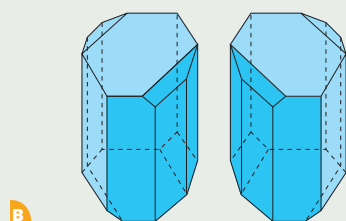
Secondo le teorie attuali, un raggio di luce naturale è costituito da un insieme di radiazioni elettromagnetiche che oscillano negli infiniti piani perpendicolari alla direzione di propagazione del raggio; un raggio di luce polarizzata è invece costituito da radiazioni che oscillano su un solo piano.

Si può ottenere luce polarizzata facendo passare un raggio di luce naturale attraverso un opportuno filtro polarizzatore.



Nel 1848 il chimico e biologo francese Louis Pasteur osservando al microscopio i cristalli di un sale dell'acido tartarico (un composto che si forma durante l'invecchiamento del vino) si accorse che essi si presentavano in due forme aventi struttura cristallografica uguale, ma tali da risultare l'una l'immagine speculare dell'altra (figura B).

La differenza era così evidente che Pasteur, utilizzando le pinzette, fu in grado di separare i due tipi di cristalli e sottoporre le

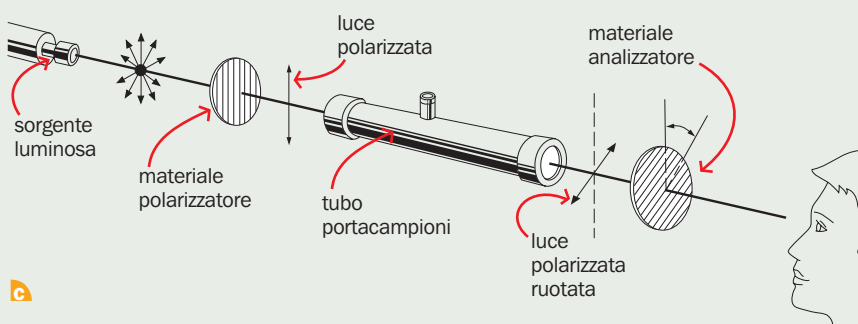


tartrato di sodio e ammonio

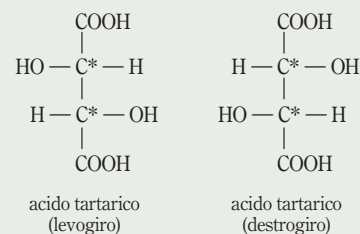
loro soluzioni ad analisi con il **polarimetro**; questo strumento viene utilizzato per misurare l'angolo di rotazione del piano della luce polarizzata, rotazione causata dalla sostanza otticamente attiva.

Pasteur poté così verificare che le soluzioni dei due diversi cristalli avevano la proprietà di ruotare in verso opposto il piano della luce polarizzata. Per questo egli fu in grado di concludere che l'attività ottica non era una proprietà dei cristalli, ma doveva essere attribuita alle singole molecole.

Oggi noi sappiamo che le molecole in



questione sono due enantiomeri dell'acido tartarico:



Nelle formule abbiamo evidenziato con un asterisco la presenza dei due atomi di carbonio asimmetrici.

A conferma della sua ipotesi, Pasteur notò anche che una soluzione contenente quantità uguali dei due enantiomeri è otticamente inattiva. Una miscela costituita in parti uguali da due enantiomeri viene chiamata miscela racemica, o semplicemente *racemo*.

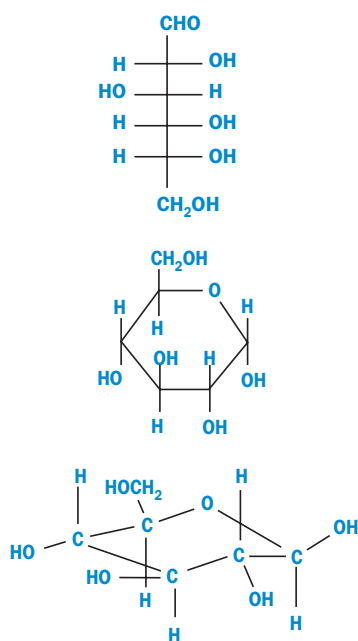
Sappiamo che esiste una relazione tra l'ampiezza dell'angolo di rotazione del raggio polarizzato e il numero di molecole otticamente attive che esso incontra lungo il suo percorso; per questo il polarimetro viene utilizzato anche per analisi quantitative, cioè per determinare la concentrazione delle soluzioni.

Carboidrati, monosaccaridi e polisaccaridi

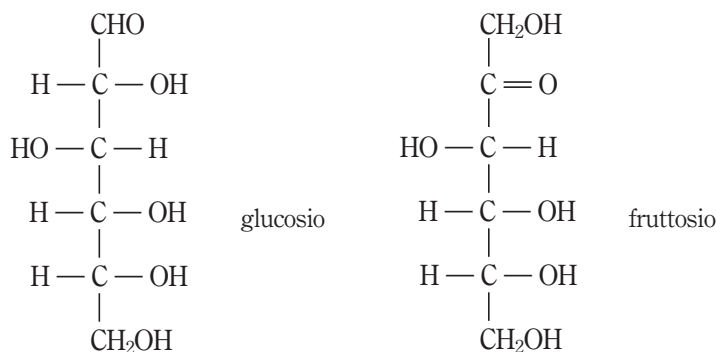
Un dato che si può leggere nel certificato dell'analisi del sangue è la *glicemia*: essa esprime la concentrazione del glucosio nel sangue. Il glucosio è un composto che appartiene alla famiglia dei **glucidi** o **carboidrati**.

Anche se oggi alcuni glucidi sono ottenuti artificialmente, è fuor di dubbio che la maggior parte di essi deriva da processi biologici relativi al mondo animale o vegetale. Anzitutto è opportuno distinguere subito tra glucidi semplici, i *monosaccaridi* e i *disaccaridi*, e glucidi macromolecolari, cioè i *polisaccaridi*.

I glucidi semplici sono spesso chiamati con il termine generico di zuccheri; i due monosaccaridi più comuni sono il *glucosio* e il *fruttosio*:



▲ **Figura 42** Le molecole dei glucidi possono essere rappresentate in tre modi diversi. La figura mostra la molecola del glucosio.



Dal punto di vista strutturale si può osservare che si tratta di composti polifunzionali: più precisamente, il glucosio è una poli-idrossialdeide e il fruttosio è un poli-idrossichetone (figura 42).

Glucosio e fruttosio hanno la stessa formula $C_6H_{12}O_6$; quindi si tratta di due isomeri. Infatti presentano proprietà diverse, tra cui il potere dolcificante: il fruttosio, costituente principale del miele, è molto più dolce del glucosio, presente in molti frutti, come per esempio nell'uva. Sono state preparate anche sostanze sintetiche caratterizzate da un potere dolcificante maggiore di quello del fruttosio (figura 43).

► **Figura 43** Aspartame, saccarina e ciclammati sono nomi di sostanze sintetiche con elevato *potere dolcificante*, molto di più di quello del miele. Il loro uso andrebbe limitato a regimi dietetici e/o patologie particolari.



▲ **Figura 44** La barbabietola può essere coltivata anche in zone del pianeta a clima temperato. La sua polpa può arrivare a contenere fino al 20% di saccarosio che viene estratto con acqua calda.



Esistono anche monosaccaridi formati da quattro atomi di carbonio, come l'*eritrosio*, o da cinque atomi, come il *ribosio*, composto che fa parte della struttura del DNA.

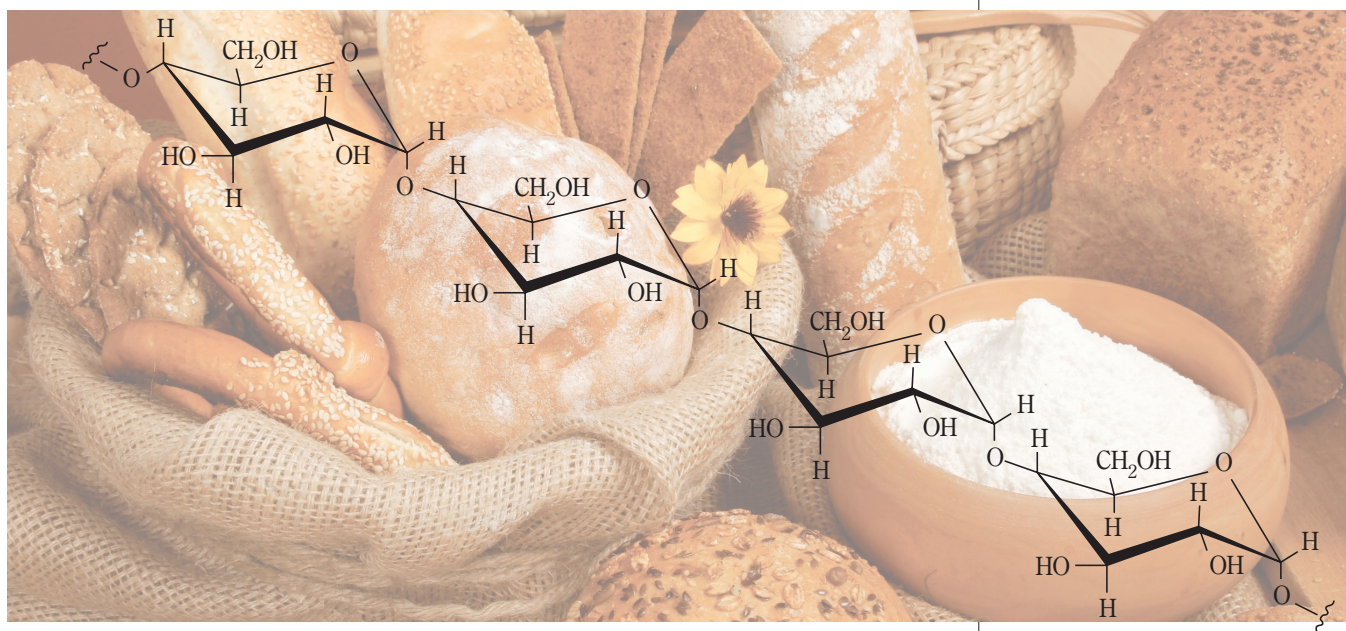
Lo zucchero sicuramente più famoso e diffuso è il saccarosio: nel mondo se ne producono ogni anno centinaia di milioni di tonnellate! L'uso di questo composto come dolcificante è relativamente recente: inizialmente veniva estratto soltanto dalla canna coltivata nei Paesi tropicali e, a partire dal diciannovesimo secolo, anche dalla barbabietola (figura 44). Il saccarosio ha un potere dolcificante maggiore di quello del glucosio, ma minore di quello del fruttosio.

La formula del saccarosio, $C_{12}H_{22}O_{11}$, suggerisce che si tratta di uno zucchero formato da molecole più complesse di quelle esaminate fino ad ora; infatti il saccarosio può dare una reazione di idrolisi a seguito della quale si formano glucosio e fruttosio, i due monosaccaridi che abbiamo già presentato:



Il saccarosio è dunque un disaccaride. Più in generale, i **disaccaridi** sono composti in cui un atomo di ossigeno fa da ponte tra due molecole di monosaccaridi; questo legame che si forma a seguito di una reazione di condensazione tra due molecole di monosaccaridi viene chiamato *legame glicosidico*. Nel caso del lattosio, il disaccaride presente nel latte dei mammiferi, il legame glicosidico unisce una molecola di glucosio e una di galattosio.

Attraverso legami glicosidici si possono unire insieme anche un numero molto grande di molecole di monosaccaridi: i composti macromolecolari che ne derivano, l'*amido*, la *cellulosa* e il *glicogeno*, si chiamano **polisaccaridi** e hanno grande interesse biologico. L'amido infatti, formato da molte centinaia di molecole di glucosio unite una all'altra, costituisce il «magazzino» in cui le piante accumulano la loro riserva di energia chimica; esso è il costituente principale dei cereali e dei legumi dai quali, fin dall'antichità, gli esseri umani hanno tratto anche altre sostanze fondamentali per la loro alimentazione (figura 45).



Il glicogeno è per gli animali ciò che l'amido è per le piante. Infatti il glicogeno è anch'esso un polimero del glucosio che viene preparato e immagazzinato nel fegato allo scopo di garantire sempre la giusta concentrazione di glucosio nel sangue.

Un altro polisaccaride del glucosio è la cellulosa, che ha però una struttura diversa da quella dell'amido. Le macromolecole della cellulosa, formate anche da migliaia di unità di glucosio, hanno una struttura fibrosa e di conseguenza tra le diverse catene si formano numerosissimi legami a idrogeno: in questo modo si formano strutture molto robuste che costituiscono e accrescono via via l'organismo vegetale.

Soltanto alcuni animali, tra cui i ruminanti, si cibano di vegetali ricchi di cellulosa poiché il loro organismo elabora un enzima in grado di idrolizzare i legami glicosidici della cellulosa e di liberare così molecole di glucosio.

Tuttavia anche nell'alimentazione umana devono essere presenti cibi che contengono una certa quantità di cellulosa: essa viene indicata come «fibra» sulle confezioni alimentari e serve a favorire le funzioni intestinali.


▲ **Figura 45** L'amido, costituito da lunghe catene di molecole di glucosio, è presente in molti prodotti agricoli, come cereali, legumi e patate.

10. I composti organici con l'azoto: ammine, amminoacidi e proteine

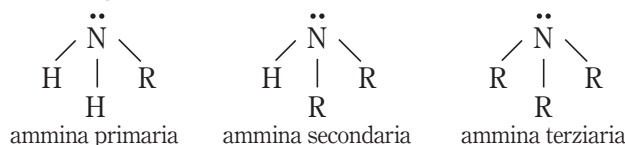
Ammine

Come sappiamo, l'atomo di azoto (numero atomico 7, V gruppo) ha cinque elettroni di valenza e quindi si lega con altri atomi di non-metalli formando tre legami covalenti e conservando una coppia di elettroni libera.

Così accade nell'ammoniaca, NH_3 , e così pure in altri composti, come per esempio nelle ammine; nelle molecole di queste sostanze l'atomo di azoto è sempre legato ad almeno un atomo di carbonio ed esaurisce la sua capacità di legame legandosi con altri atomi di carbonio e/o di idrogeno.

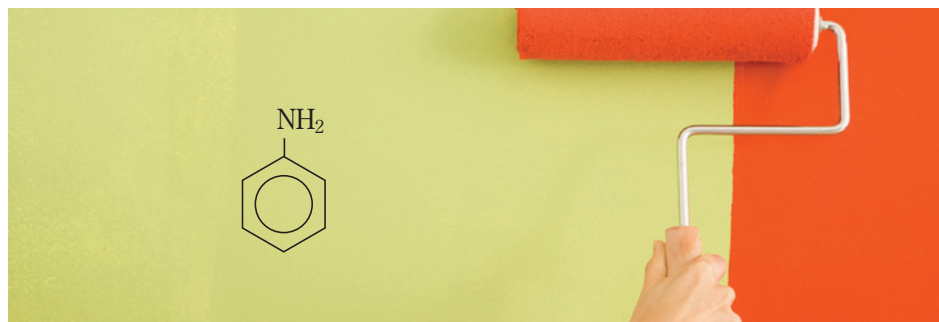
 In generale, si chiamano **ammine** i composti che presentano un atomo di azoto legato a uno, a due o a tre atomi di carbonio appartenenti a gruppi alchilici o arilici.

Si possono quindi avere tre tipi fondamentali di ammine a seconda di quanti sono gli atomi di carbonio legati all'atomo di azoto:



Il nome delle ammine si ottiene aggiungendo la desinenza *ammina* al nome dei gruppi alchilici o degli anelli aromatici legati all'atomo di azoto (figura 46).

► **Figura 46** La fenilammina, chiamata più spesso anilina, è un'ammina aromatica primaria. È un composto sicuramente tossico e cancerogeno che è prodotto a livello industriale perché è un intermedio fondamentale nella preparazione dei coloranti sintetici.



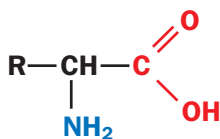
Le ammine sono composti meno polari degli alcoli, dato che l'azoto è meno elettronegativo dell'ossigeno. La coppia di elettroni che l'atomo di azoto non impegna in legami conferisce a molte ammine la proprietà di comportarsi da basi; la forza basica di un'ammina dipende dai gruppi legati all'azoto; la trimetilammina, per esempio, è più basica della metilammina che a sua volta è più basica dell'ammoniaca.

Amminoacidi e proteine

Il nome di **amminoacidi** spetta a quei composti polifunzionali che contengono sia la funzione amminica sia la funzione carbossilica.

Nel linguaggio comune il termine si riferisce più specificamente a una famiglia di 20 composti di grandissima importanza biologica che possono essere rappresentati da una unica formula generale (figura 47).

La formula specifica di ogni amminoacido dipende ovviamente dal gruppo R. Se, per esempio, R è un atomo di idrogeno, l'amminoacido (l'unico che non è otticamente attivo) si chiama *glicina*; se invece R è un radicale metilico si ha l'*alanina*. L'alanina e tutti gli altri amminoacidi biologici, pur avendo un atomo di carbonio asimmetrico, si presentano in natura solamente in una delle due forme enantiomere. Le molecole di due di essi, la *cisteina* e la *metionina*, presentano anche l'atomo di zolfo nella loro struttura. Infine, otto di essi, *fenilalanina*, *isoleucina*, *leucina*, *lisina*, *metionina*, *treonina*, *triptofano*,

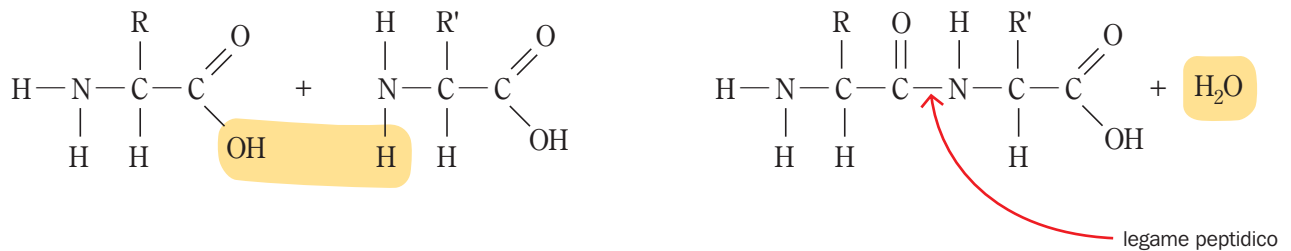


▲ **Figura 47** Gli amminoacidi biologici sono 20 e sono tutti di tipo α ; ciò significa che i due gruppi funzionali sono legati allo stesso atomo di carbonio.

fano e valina, sono detti *amminoacidi essenziali* perché l'organismo umano non riesce a sintetizzarli e pertanto devono essere introdotti nel nostro organismo attraverso le proteine che costituiscono gli ingredienti fondamentali della nostra alimentazione.

Negli alimenti proteici di origine animale sono presenti proteine che contengono tutti gli amminoacidi essenziali; questo non accade per le proteine contenute negli alimenti di origine vegetale. Le proteine sono state (e sono!) molecole decisive per l'evoluzione della vita nel nostro pianeta; la loro infinita e straordinaria varietà è il risultato della diversa sequenza con cui si combinano gli amminoacidi.

L'unione di due molecole di amminoacidi avviene attraverso una reazione di condensazione tra il gruppo amminico di un amminoacido e il gruppo carbossilico di un altro amminoacido:

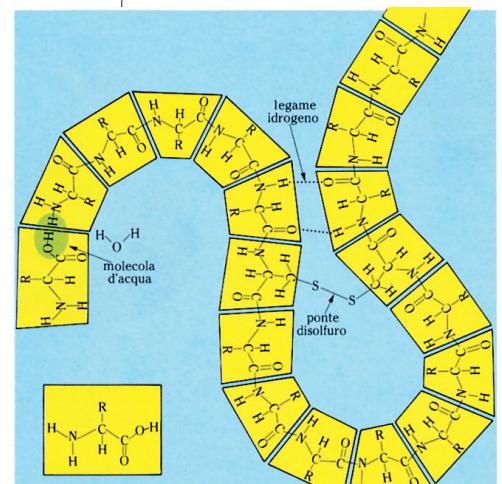


La molecola che si forma si chiama *dipeptide* e si chiama *legame peptidico* quello che unisce l'atomo di carbonio di un amminoacido con l'atomo di azoto dell'altro amminoacido.

Il dipeptide è ancora una molecola dotata di due gruppi funzionali terminali e quindi può dare a sua volta reazione di condensazione. Attraverso questo meccanismo la catena di amminoacidi si accresce via via fino a formare un *polipeptide*, cioè una catena in cui le unità costituenti possono variare da alcune decine fino ad alcune migliaia (figura 48).

Quando gli alimenti proteici giungono nello stomaco avviene la demolizione della struttura proteica: attraverso l'idrolisi dei legami peptidici vengono messi in libertà gli amminoacidi che costituiscono la proteina in modo che nelle cellule, attraverso l'intervento del DNA, essi possano essere utilizzati per preparare le nuove proteine, quelle necessarie ai fabbisogni dell'organismo. Per questo si dice che le proteine degli alimenti contribuiscono alla *funzione plastica*, cioè alla costruzione e al rinnovo dei tessuti dell'organismo vivente.

Nelle confezioni degli alimenti viene indicata la percentuale di proteine e questo ci può aiutare a costruire in modo razionale la nostra alimentazione quotidiana (figura 49). Le proteine infatti sono indispensabili e preziose, ma è bene non assumerne in quantità esagerata, superiore al reale fabbisogno. In tal caso l'organismo è costretto a demolirle e a trasformarle in modo da ricavarne energia chimica, così come succede per carboidrati e lipidi, ma questo obbliga i reni a un'attività eccessiva.



▲ **Figura 48** Ogni tipo di proteina è definito da una sequenza caratteristica di amminoacidi che ne costituisce la *struttura primaria*. I diversi gruppi —R che differenziano e caratterizzano gli amminoacidi sono decisivi per stabilire legami chimici tra parti diverse della stessa catena proteica e quindi contribuiscono a determinare la *struttura secondaria* della proteina.



Valori nutrizionali medi per 100g di prodotto (sgocciolato)		% RDA*
Valore energetico	203 kcal	
	847 kJ	
Proteine	25,2 g	
Carboidrati	0,0 g	
Grassi:	11,3 g	
Saturi	1,82 g	
Monoinsaturi	8,00 g	
Polinsaturi	1,10 g	
di cui acidi grassi	337 mg	
Omega 3:		
DHA, EPA	274 mg	
acido linolenico	63 mg	
Vitamina B3	12,50 mg	70%
Ferro	4,19 mg	30%
Rame	0,12 mg	
Selenio	0,24 mg	

*RDA: dose giornaliera raccomandata.

◀ **Figura 49** Alimenti ricchi di proteine.

11. Dai polimeri naturali ai nuovi materiali sintetici

I polimeri



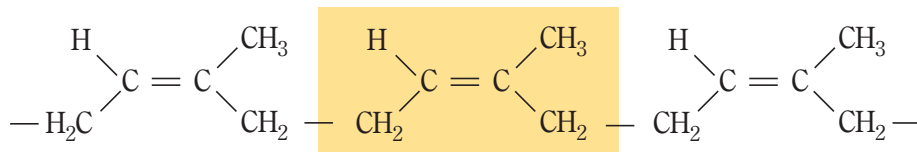
▲ **Figura 50** Incidendo il tronco delle piante della famiglia delle euforbiacee si ottiene un liquido lattiginoso che è una sospensione di grassi e resine in acqua. Da questo liquido, riscaldato e sottoposto ad altri trattamenti, si ottiene la *gomma naturale*.

Lo studio e le ricerche sui materiali di origine naturale portano a comprendere il rapporto tra la loro struttura particellare e le proprietà chimico-fisiche; su questa base è possibile progettare e realizzare (in laboratorio prima e a livello industriale poi) materiali nuovi.

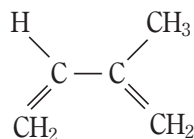
Per esempio, gli scienziati hanno scoperto che le proprietà della gomma naturale che si ricava dal lattice di alcune piante derivano da una struttura chimica macromolecolare costituita da lunghe catene alchiliche (figura 50).

! In generale si chiamano **polimeri** le macromolecole formate da un elevato numero di molecole più semplici legate tra loro, chiamate **monomeri**.

Le macromolecole che formano la gomma naturale sono chimicamente uguali ma di diversa lunghezza, dato che sono costituite da un numero diverso di monomeri, in media circa 15 000. La formula che segue rappresenta in forma condensata la struttura di una macromolecola della gomma in cui è evidenziato il monomero:



Dalla presenza di doppi legami nella macromolecola si capisce che la gomma naturale è un polimero insaturo; i chimici sono riusciti a realizzare artificialmente la stessa struttura facendo reagire tra loro le molecole del 2-metil-1,3-butadiene, un diene chiamato anche *isoprene*:



La reazione che avviene tra le molecole insature di isoprene corrisponde ad una serie successiva di reazioni di addizione e viene perciò chiamata reazione di *poliaddizione*.

Le materie plastiche sintetiche

Gli studi sulla struttura della gomma naturale hanno aperto la strada alla preparazione di molti altri tipi di materiali plastici che, dato che si ottengono attraverso reazioni di sintesi, sono anche chiamati materiali sintetici.

Possiamo perciò dire che le cosiddette **materie plastiche** sono caratterizzate da una struttura polimerica ottenuta per mezzo di un particolare tipo di reazione chiamata *reazione di polimerizzazione* attraverso la quale molte molecole uguali o diverse, i **monomeri**, si uniscono insieme per formare i **polimeri**.

Quando un polimero è formato da due o più monomeri diversi si usa il termine *copolimero*. Per esempio, il copolimero polietilentereftalato (PET) è formato da due tipi di monomero (glicole etilenico e acido tereftalico). La reazione che avviene tra i due monomeri è una reazione di condensazione con formazione di acqua. Dato che entrambi i monomeri presentano due gruppi funzionali si ha l'unione di più molecole di monomeri e quindi si parla in generale di *reazione di policondensazione*.

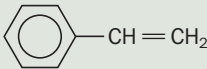
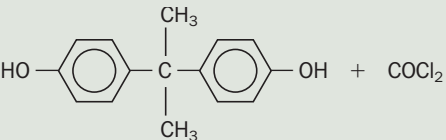
Polimero	Monomero/i	Usi
polietilene (PE)	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	fogli e pellicole, recipienti a perdere, giocattoli, stoviglie
polipropilene (PP)	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$	fibre, parti di automobili, imballaggi, rivestimenti ignifughi
polivinilcloruro (PVC)	$\text{CH}_2=\text{CHCl}$	tubi, rivestimenti, confezioni per alimenti
polistirene (PS)		giocattoli, contenitori, confezioni per alimenti; come polistirolo espanso per imballaggi e isolanti
polivinilacetato (PVA)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOCH}_3$	vernici, adesivi, tubi, gomma da masticare
politetrafluoroetilene (PTFE)	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$	rivestimenti per padelle, isolanti elettrici, tubi anticorrosione
poliuretano (PU)	$\text{OCN}-\text{R}-\text{NCO} + \text{HO}-\text{R}-\text{OH}$	prodotti espansi e rigidi, vernici
polietilentereftalato (PET)	$\text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH} + \text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{OH}$	fibre tessili, bottiglie, pellicole fotografiche
policarbonato (PC)	 + COCl_2	materiale di stampaggio in sostituzione di metalli e leghe (cuscinetti, bronzine, ingranaggi, caschi di protezione)

Tabella 9 Nome e uso delle principali materie plastiche.

▼ **Figura 51** Uno dei grandi problemi delle società moderne è la crescente produzione di rifiuti solidi urbani e di conseguenza la necessità del loro corretto smaltimento. È indispensabile a tal fine organizzare in modo efficace la *raccolta differenziata* e il recupero dei materiali (carta, vetro, metalli, plastiche eccetera) che possono essere direttamente o indirettamente riutilizzati.

Nella [tabella 9](#) abbiamo riportato il nome di alcuni dei più noti polimeri, la sigla con cui sono indicati e i principali campi di impiego dei polimeri stessi; inoltre abbiamo riportato la formula del monomero o dei monomeri necessari per la preparazione.

Le materie plastiche che contengono il gruppo funzionale ammidico sono chiamate in generale *poliammidi* e la più famosa è senza dubbio il nylon 6,6, che fu preparato per la prima volta nel 1928 negli Stati Uniti. Il nome di questo materiale sintetico che ha svariati impieghi deriva dai reagenti che si usano per prepararla: 1,6-diamminoesano e acido 1,6-esandioico (o acido adipico).

L'enorme diffusione delle materie plastiche sintetiche ha creato anche alcuni gravi problemi, primo fra tutti quello del loro smaltimento. Infatti molti polimeri sintetici non sono biodegradabili, cioè, una volta abbandonati nel terreno, non vengono trasformati dai microrganismi in sostanze compatibili con i cicli naturali e inoltre talvolta contengono metalli pesanti molto tossici.

Proprio per questo sta diventando ecologicamente necessaria la raccolta e la riutilizzazione delle materie plastiche; già dal 1988 esiste in Italia una legge che disciplina lo smaltimento dei rifiuti e che istituisce un consorzio obbligatorio per la loro raccolta e il loro riciclo ([figura 51](#)).

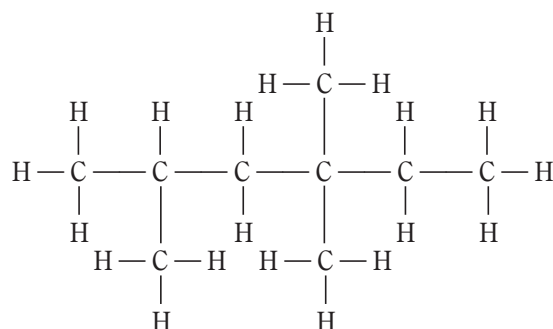
Le materie plastiche che non vengono separate attraverso la raccolta differenziata possono finire assieme ad altri rifiuti negli impianti di incenerimento. È stato dimostrato che nella combustione dei materiali plastici contenenti cloro (come il PVC) si forma acido cloridrico, una sostanza che non deve essere liberata nell'atmosfera. Per questo motivo i fumi devono essere trattati in modo da neutralizzare l'acido presente. Inoltre, nei moderni impianti di termovalorizzazione la temperatura della combustione è controllata in modo che non si formi diossina, una sostanza velenosissima anche a basse concentrazioni.



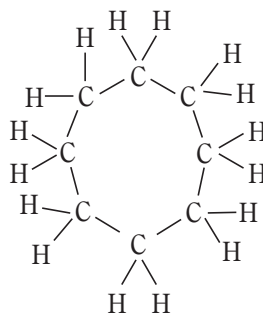
1. La chimica organica

- Nei composti organici il carbonio è sempre tetravalente; questa affermazione significa che l'atomo di carbonio:
 - forma sempre quattro legami covalenti
 - è sempre legato a quattro atomi
 - è sempre legato a quattro atomi di idrogeno
 - può formare ioni C^{4+} o ioni C^{4-}
 - si lega sempre con quattro atomi di carbonio
- Quale delle seguenti affermazioni sui composti della chimica del carbonio è *sbagliata*?
 - Le molecole dei composti organici contengono uno o più atomi di carbonio
 - Gli atomi dei composti organici sono legati tra loro con legami covalenti
 - Nelle molecole l'atomo di carbonio forma sempre quattro legami covalenti
 - Le molecole organiche possono essere piccole o formate da centinaia di atomi
 - I composti della chimica del carbonio sono comunque tutti di origine naturale
- Qual è la caratteristica comune a tutti gli idrocarburi saturi?
 - La catena formata dagli atomi di carbonio è lineare
 - La catena formata dagli atomi di carbonio è ramificata
 - La catena formata dagli atomi di carbonio è ciclica
 - Ogni atomo di carbonio è legato ad altri quattro atomi
 - Ogni atomo di carbonio è legato ad almeno altri due atomi di carbonio
- Qual è la condizione da verificare per affermare che due idrocarburi sono isomeri?
 - Hanno la stessa formula di struttura ma diversa formula molecolare
 - Hanno le stesse proprietà chimiche ma diversa formula molecolare
 - Hanno la stessa formula di struttura e un diverso peso molecolare
 - Hanno la stessa formula molecolare e diverse proprietà fisiche
 - Nessuna delle affermazioni precedenti è corretta
- In relazione agli idrocarburi saturi, quale affermazione è *sbagliata*?
 - Negli idrocarburi saturi i legami covalenti sono tutti semplici
 - Gli idrocarburi saturi a catena aperta si chiamano alcani
 - La formula generale di alcani e cicloalcani è C_nH_{2n+2}
 - I cicloalcani sono idrocarburi saturi a catena chiusa
 - In tutti gli idrocarburi saturi il numero di atomi di idrogeno è pari

- Che cosa devono avere in comune due idrocarburi per essere definiti isomeri?
- Quale tra le formule seguenti appartiene sicuramente a un idrocarburo saturo a catena aperta?
 - C_4H_4
 - C_4H_{10}
 - C_4H_9
 - C_4H_6
 - C_4H_{12}
- Quanti atomi di carbonio ci sono nella molecola di un cicloalcano in cui si trovano anche dodici atomi di idrogeno?
- Come si spiega il fatto che l'ottano ha una temperatura di ebollizione maggiore di quella dell'esano?
- Perché il seguente idrocarburo ha una temperatura di ebollizione minore di quella del nonano?



- Oltre al diamante, conosci altri materiali formati prevalentemente da atomi di carbonio?
- Perché l'eptano che ha una temperatura di ebollizione di $98^\circ C$ non si miscela con l'acqua?
- Scrivi la formula molecolare dell'idrocarburo saturo con catena aperta formata da otto atomi di carbonio.
- Come si chiama l'idrocarburo saturo con catena lineare aperta che ha formula C_9H_{20} ?
- Nella figura è rappresentata la formula di un idrocarburo saturo; qual è il suo nome?



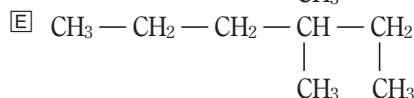
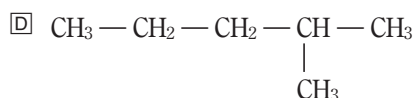
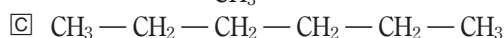
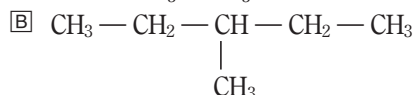
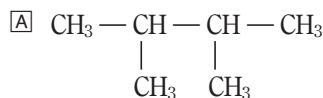
- Senza scrivere la formula di struttura, indica quanti atomi di idrogeno sono presenti nella molecola di cicloesano.
- Qual è la formula molecolare dell'alcano a catena aperta che ha un atomo di carbonio in più rispetto al dodecano?
- Senza scrivere la formula di struttura, indica quanti atomi di idrogeno ci sono in meno nel cicloeptano rispetto all'eptano.

AUTOVERIFICA

2. Formule e nomi degli idrocarburi saturi

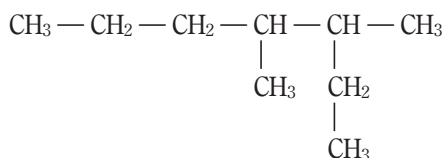
19 Scrivi la formula condensata del ciclobutano e quella semplificata del butano.

20 Nella figura seguente sono riportate le formule di cinque idrocarburi; quale di essi non è un isomero degli altri?



21 Quanti atomi di idrogeno ci sono nel gruppo alchilico butile?

22 Scrivi il nome IUPAC del seguente composto:



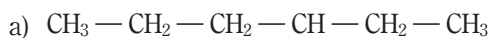
23 Scrivi la formula condensata del 2,2,3-trimetilnesano.

24 Senza scrivere la formula di struttura, indica quale dei seguenti composti contiene il maggior numero di atomi di idrogeno.

- A) 2,3-dimetilnesano
- B) 2,3,5-trimetilpentano
- C) cicloeptano
- D) 3,4-dietilnesano
- E) 3-etilpentano

25 Senza scrivere la formula di struttura, indica quanti atomi di carbonio e quanti atomi di idrogeno ci sono nella molecola di 3-metilpentano.

26 Assegna il nome IUPAC ai composti rappresentati con le seguenti formule:

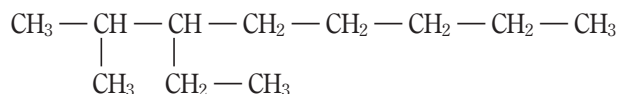


27 Scrivi la formula condensata del 1,2-dimetilciclopentano.

28 Scrivi la formula semplificata del 2,2-dimetilnesano.

29 Nella figura è rappresentata la formula condensata di un idrocarburo.

Come si chiama?



30 Scrivi la formula semplificata del metilciclopentano.

31 Scrivi il nome di tutti i cicloalcani isomeri formati da 7 atomi di carbonio di cui 5 legati tra loro a formare una catena chiusa.

32 Perché la temperatura di ebollizione dell'ottano è maggiore di quella del 2,2,3-trimetilpentano?

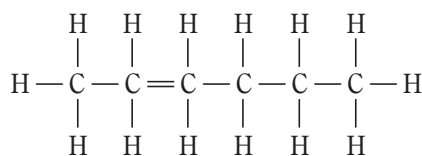
33 Quale tra le seguenti formule semplificate contiene il maggior numero di atomi di idrogeno?



3. Gli idrocarburi insaturi

34 Come si chiama l'isomero di posizione del 1-pentene?

35 Uno studente ha scritto la formula del 2-esene nel seguente modo. Quale errore ha commesso?



36 Qual è la formula del 2-butene?

- A) $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
- B) $\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3$
- C) $\text{CH} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
- D) $\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{C} - \text{CH}_3$
- E) $\text{CH}_3 - \text{C} = \text{CH} - \text{CH}_3$
 $\quad \quad |$
 $\quad \quad \text{CH}_3$

- 37 Quale affermazione relativa agli alcheni è sbagliata?
- A Sono tutti idrocarburi insaturi
- B Le loro molecole hanno sempre una struttura geometrica planare
- C La loro formula generale è uguale a quella dei cicloalcani
- D Nella catena ci sono sempre due atomi legati tra loro con doppio legame
- E La catena alchilica può anche essere ramificata

38 Quanti sono gli isomeri lineari di posizione che hanno formula molecolare C_7H_{14} ? Qual è il loro nome?

39 Perché se in un alchene il doppio legame è in posizione 1 non si può avere isomeria *cis-trans*?

40 Qual è la formula molecolare del 3-metil-1-butino?

41 Se un idrocarburo ha formula molecolare C_6H_{12} , puoi affermare con certezza che si tratta di un idrocarburo insaturo?

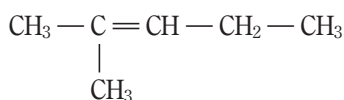
42 Quanti atomi di carbonio e quanti atomi di idrogeno ci sono nel metilcicloesene? Dovresti essere in grado di rispondere senza scrivere la formula di struttura.

43 Qual è la formula molecolare dell'idrocarburo di cui è mostrata nella figura la formula semplificata?



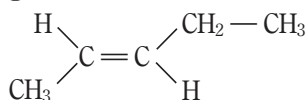
44 Scrivi la formula semplificata del 3-metilcicloesene.

45 Come si chiama l'idrocarburo insaturo di cui viene rappresentata la formula condensata?



46 Quanti atomi di carbonio e quanti atomi di idrogeno ci sono nella molecola del 1,3-cicloesadiene? Dovresti essere in grado di rispondere senza scrivere la formula di struttura.

47 Indica come si chiama l'alchene la cui formula è la seguente.



48 Quale affermazione relativa agli alchini è sbagliata?

- A Nella catena sono sempre presenti due atomi legati tra loro con un triplo legame
- B Sono tutti idrocarburi insaturi
- C Le loro molecole hanno sempre una struttura geometrica planare
- D La loro formula generale è C_nH_{2n-2}
- E La catena alchilica può anche essere ramificata

4. Gli idrocarburi aromatici

49 In relazione ai legami tra gli atomi di carbonio che formano la molecola del benzene, quale affermazione è sbagliata?

- A Hanno tutti la stessa lunghezza
- B Sono legami covalenti polarizzati
- C Si trovano tutti sullo stesso piano
- D Formano angoli di 120°
- E Ogni atomo è legato ad altri due

50 In relazione alle caratteristiche degli idrocarburi aromatici, quale affermazione è sbagliata?

- A Gli idrocarburi aromatici possono essere a catena aperta o a catena chiusa
- B Il capostipite degli idrocarburi aromatici si chiama benzene e ha formula C_6H_6
- C L'aromaticità è una proprietà che deriva dalla delocalizzazione degli elettroni di legame
- D Ogni atomo di carbonio dell'anello benzenico non può essere legato a più di un atomo di idrogeno
- E Nelle molecole degli idrocarburi aromatici è sempre presente un anello benzenico

51 Nel 1,3-dimetilbenzene quanti sono gli atomi di carbonio che stanno sullo stesso piano?

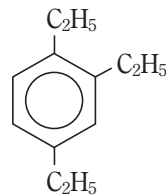
- A 6 B 7 C 8 D 13 E 14

52 Perché il benzene, pur essendo un idrocarburo insaturo, non può essere classificato come alchene?

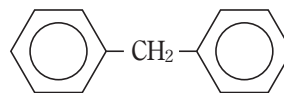
53 Quale tra le seguenti *non* è una caratteristica della molecola del benzene?

- A La sua struttura è planare
- B È costituita da un anello di 6 atomi di carbonio
- C A ogni atomo di carbonio è legato un atomo di idrogeno
- D Sono presenti 3 doppi legami alternati
- E Tutti i legami C — C hanno la stessa lunghezza

54 Scrivi il nome del seguente composto:



55 Indica il nome del composto che ha la seguente formula:



- A naftalene B metilnaftalene
- C difenilmetano D ditoluene
- E 1,1-dicicloesilmetano

AUTOVERIFICA

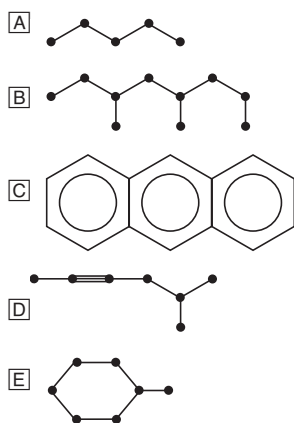
- 56 Scrivi la formula molecolare e la formula condensata del 1,3-dimetilbenzene.
- 57 Benzene e 1,3,5-esatriene sono isomeri?
- 58 Senza scrivere la formula di struttura, indica quanti atomi di carbonio e quanti atomi di idrogeno ci sono nella molecola del 1,2-dimetilbenzene.

5. Origine e proprietà chimiche degli idrocarburi

- 59 In relazione al petrolio, indica per ogni affermazione se è vera o falsa.
- a) I componenti del petrolio sono composti solidi, liquidi e gassosi. V F
- b) La distillazione del petrolio serve a separare le diverse frazioni del petrolio. V F
- c) Ogni frazione ottenuta dalla distillazione è formata da un solo composto. V F
- d) I composti che formano il petrolio sono gli idrocarburi aromatici. V F
- e) La benzina è una sostanza che si ottiene dalla distillazione del petrolio. V F
- f) Tutti i composti ottenuti dal petrolio sono usati come combustibili. V F

- 60 Quale prodotto si ottiene dalla reazione di addizione tra 2-esene e idrogeno?
- A 2-esano B 2-metilpentano
 C pentano D esano
 E 3-metilpentano

- 61 Quale dei composti rappresentati con le seguenti formule semplificate può dare sicuramente reazioni di addizione?



- 62 Se si effettua la reazione di addizione di una molecola di cloro a una molecola di 1-butene e di 2-butene, qual è la differenza tra i prodotti ottenuti?
- A Nessuna, si ottiene un solo prodotto
 B Si ottengono due isomeri di posizione
 C Si ottengono due isomeri di catena
 D Si ottengono due isomeri *cis* e *trans*
 E Nessuna delle affermazioni precedenti è corretta

- 63 Che tipo di reazione può essere utilizzata per trasformare un idrocarburo insaturo in un idrocarburo saturo?
- 64 Quante molecole di anidride carbonica si ottengono dalla combustione di una molecola di 3-etilpentano? Dovresti essere in grado di rispondere senza scrivere l'equazione.
- 65 In relazione alle reazioni degli idrocarburi, indica l'unica affermazione *sbagliata*.
- A Con la reazione di addizione si introducono nella molecola solo atomi diversi dall'idrogeno
 B Con la reazione di addizione si trasforma un legame doppio in un legame semplice
 C Gli idrocarburi saturi possono dare soltanto reazioni di sostituzione
 D Gli idrocarburi insaturi possono dare sia la reazione di addizione sia quella di sostituzione
 E Nella reazione di addizione si formano almeno due nuovi legami
- 66 Se si fa reagire il benzene con il cloro è probabile che il prodotto (o i prodotti) della reazione sia (o siano):
- A clorobenzene e acido cloridrico
 B 1,2-cloroesadiene
 C 1-clorocicloesano
 D 1,2-clorobenzene e idrogeno
 E nessuno dei prodotti indicati

- 67 Uno studente ha scritto la seguente equazione per descrivere la reazione di preparazione del triclorometano:
- $$\text{CH}_4 + 2 \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CHCl}_3 + \text{HCl}$$
- Quali errori ha commesso lo studente?

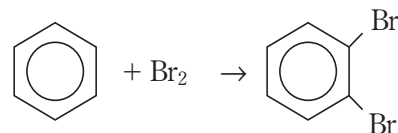
- 68 Scrivi l'equazione della reazione di combustione del composto 2,2,4-trimetilestano.
- 69 Utilizzando le formule molecolari scrivi l'equazione della reazione di monosostituzione tra esano e bromo.

- 70 Se si effettua la reazione di sostituzione di un atomo di idrogeno del butano con un atomo di fluoro, quanti e quali isomeri si ottengono?

- 71 Attraverso una reazione di idrogenazione è possibile «distruggere» la struttura aromatica del benzene. Quante molecole di idrogeno sono necessarie per trasformare il benzene in un idrocarburo saturo? Motiva la risposta.

- 72 Dalla combustione di una mole di un alcano a catena aperta ramificata si formano quattro moli di anidride carbonica. Come si chiama l'idrocarburo?

- 73 Uno studente ha scritto la seguente equazione per descrivere la reazione di sostituzione tra benzene e bromo.



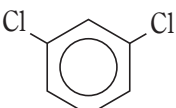
Sapendo che la formula del prodotto è corretta, quali errori ha commesso lo studente?

- 74** Si forma più anidride carbonica dalla combustione di una mole di esano o dalla combustione di una mole di benzene?
- 75** Perché non si può effettuare la reazione di idrogenazione del 2,2,4-trimetilpentano?
- 76** Quante molecole di acqua si formano dalla combustione di una molecola di benzene?
- 77** Scrivi la formula condensata di tutti i composti isomeri che si possono ottenere sostituendo due atomi di idrogeno del propano con altrettanti atomi di cloro.

6. Gli idrocarburi alogenati

- 78** In relazione a un determinato gruppo funzionale, qual è la sola affermazione sbagliata?
- A È presente in tutti i composti della stessa famiglia e ne caratterizza le proprietà chimiche
- B È un atomo o un gruppo di atomi che modifica le proprietà della catena alchilica o arilica a cui è legato
- C È un atomo o un gruppo di atomi che rende saturo un idrocarburo insaturo
- D È presente in tutti i composti della stessa famiglia e ne caratterizza il nome
- E È un atomo o un gruppo di atomi che può conferire polarità alla catena apolare degli idrocarburi
- 79** Che cosa si verifica se nella catena di un idrocarburo saturo si sostituisce un atomo di idrogeno con un gruppo funzionale?
- A Cambia la massa della molecola, ma non le proprietà fisiche della sostanza
- B Cambia la massa della molecola, ma non le proprietà chimiche della sostanza
- C Cambiano le proprietà chimiche della sostanza, ma non la massa della molecola
- D Cambiano le proprietà fisiche della sostanza, ma non la massa della molecola
- E Cambiano la massa della molecola e le proprietà chimiche e fisiche della sostanza
- 80** Completa le seguenti frasi:
- a) Nelle molecole degli idrocarburi sono presenti uno o più atomi di alogeno legati ad atomi di
- b) Negli idrocarburi alogenati ogni atomo di è legato a un solo di carbonio.
- c) Gli idrocarburi alogenati sono chiamati anche
- d) Se l'atomo di è legato a una catena alifatica, l'idrocarburo alogenato viene detto anche

e) Si chiama un composto in cui un atomo di alogeno è legato a un aromatico.

- 81** Come si chiama il composto che si ottiene facendo reagire bromo e 2-pentene?
- 82** Perché dalla reazione tra un alchene e bromo si ottiene sempre un bromoderivato saturo?
- 83** Quale reazione occorre effettuare per preparare il cloro-benzene?
- A Una reazione di addizione di HCl all'anello benzenico
- B Una reazione di sostituzione di un atomo di idrogeno dell'anello benzenico
- C Una reazione di addizione di un atomo di cloro all'anello benzenico
- D Una reazione di sostituzione di un atomo di carbonio dell'anello benzenico
- E Nessuna delle affermazioni precedenti è corretta
- 84** Associa a ogni formula il nome IUPAC del composto:
- 1,3-diclorobenzene
 - 3,3,4,4-tetracloro-1-butene
 - cloroetano
 - 1,2-dicloropropano
 - diclorometano
- a) $C_2H_5 - Cl$
- b) $\begin{array}{c} CH_2 - CH - CH_3 \\ | \quad | \\ Cl \quad Cl \end{array}$
- c) CH_2Cl_2
- d) $\begin{array}{c} Cl \quad Cl \\ | \quad | \\ CH - C - CH = CH_2 \\ | \quad | \\ Cl \quad Cl \end{array}$
- e) 
- 85** Scrivi i nomi di tutti i bromoidrocarburi che si ottengono sostituendo un solo atomo di idrogeno alla molecola dell'eptano.
- 86** Quante molecole biatomiche di cloro sono necessarie per trasformare una molecola di cicloesano in una molecola di esaclorocicloesano?
- 87** Quanti atomi di carbonio, quanti atomi di idrogeno e quanti atomi di cloro ci sono in una molecola di 1,4-diclorobenzene? Dovresti essere in grado di rispondere senza scrivere la formula di struttura.

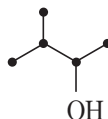
AUTOVERIFICA

- 88 Scrivi l'equazione della reazione di addizione di HCl a 1-butene e scrivi la formula condensata di tutti gli isomeri che si formano.
- 89 Spiega perché il cloroformio è un liquido praticamente immiscibile con l'acqua.
- 90 Attribuisce il nome IUPAC al seguente cloroidrocarburo:
 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CHCl-CH}_2\text{-CHCl-CH}_2\text{-CHCl-CH}_2\text{-CH}_3$

7. Alcoli e fenoli, eteri

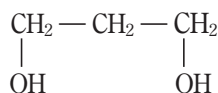
- 91 In relazione agli alcoli indica la sola affermazione *sbagliata*.
- A) La formula generica degli alcoli è R—OH
 - B) Gli alcoli appartengono alla categoria degli idrossidi
 - C) Tutti gli alcoli sono composti ternari
 - D) Negli alcoli il gruppo ossidrilico è legato a un atomo di carbonio
 - E) In acqua gli alcoli non si comportano da acidi
- 92 La temperatura di ebollizione dell'alcol 1-pentanolico supera di circa 40 °C quella dell'eptano. Questo fatto si spiega considerando che:
- A) le molecole dell'alcol hanno un peso molecolare maggiore di quelle dell'idrocarburo
 - B) la struttura delle molecole di 1-pentanolico è lineare mentre quella delle molecole dell'eptano è ramificata
 - C) le forze intermolecolari nell'alcol sono superiori a quelle che si hanno nell'idrocarburo
 - D) le molecole del 1-pentanolico si ionizzano e possono formare ponti a idrogeno con l'acqua
 - E) la densità del 1-pentanolico è assai maggiore di quella dell'eptano
- 93 Se nella molecola dell'etano un atomo di idrogeno è sostituito da un gruppo ossidrilico, si ottiene un nuovo composto con proprietà diverse; quale affermazione è *sbagliata*?
- A) Il peso molecolare del nuovo composto è maggiore di quello dell'etano
 - B) La temperatura di ebollizione del nuovo composto è maggiore di quella dell'etano
 - C) La solubilità in acqua del nuovo composto è maggiore di quella dell'etano
 - D) La densità in acqua del nuovo composto è maggiore di quella dell'etano
 - E) Il numero di atomi di idrogeno nel nuovo composto è maggiore che nell'etano
- 94 Il 2-pentanolico è un alcol secondario o terziario? Dovresti saper rispondere senza che sia necessario scrivere la formula del composto.

- 95 Considera la seguente formula:



Si può dire che essa è la formula di un isomero di catena del 2-metil-2-butanolico? Argomenta la risposta.

- 96 Quanti atomi di idrogeno ci sono nel 3-pentanolico? Dovresti saper rispondere senza che sia necessario scrivere la formula del composto.
- 97 Scrivi la formula semplificata dell'alcol terziario con formula molecolare $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$.
- 98 Scrivi la formula condensata e il nome dell'isomero funzionale del 2-propanolico.
- 99 Spiega perché la miscibilità con l'acqua del composto 1-pentanolico è minore di quella dell'etanolico, anche se sono entrambi alcoli primari.
- 100 Come si chiama e quale formula ha il composto che si ottiene dalla reazione di condensazione tra 1-propanolico ed etanolico?
- 101 Quale affermazione relativa ai polialcoli è *sbagliata*?
- A) Sono composti ternari
 - B) Nelle loro molecole sono presenti almeno due gruppi ossidrilici
 - C) Tra le loro molecole si formano ponti a idrogeno
 - D) Possono essere composti saturi o insaturi
 - E) Sono classificati come alcoli terziari
- 102 Se il nome IUPAC della glicerina è 1,2,3-propantriolo, quale nome IUPAC va attribuito al seguente composto?



8. I composti del gruppo carbonilico e del gruppo carbossilico

- 103 Quale affermazione *non* è vera a proposito degli acidi carbossilici?
- A) Sono composti caratterizzati dal gruppo funzionale —COH
 - B) Sono solubili in acqua se hanno un basso peso molecolare
 - C) Possono dare la reazione di neutralizzazione con sostanze basi
 - D) Sono composti ternari formati da carbonio, idrogeno e ossigeno
 - E) Possono essere sia alifatici sia aromatici

104 In relazione alle aldeidi e ai chetoni, indica l'unica affermazione *sbagliata*.

- A Nelle aldeidi il gruppo funzionale è legato a un solo atomo di carbonio della catena
- B Il nome delle aldeidi termina con la desinenza *ale*
- C Il nome dei chetoni termina con la desinenza *one*
- D Il gruppo funzionale di aldeidi e chetoni è il gruppo carbossilico
- E Nei chetoni il gruppo funzionale è sempre legato a due atomi di carbonio

105 Qual è il nome del composto che si ottiene per ossidazione del propanale?

- A Acido acetico
- B Acido propilico
- C Acido propanoico
- D Propanolo
- E Propanoato

106 Se si idrolizza completamente una molecola di trigliceride si ottengono sempre:

- A una molecola di alcol primario e una di acido grasso
- B una molecola di glicerina e una di un alcol terziario
- C una molecola di glicerina e una di un acido grasso
- D tre molecole di glicerina e una molecola di acido grasso
- E nessuna delle affermazioni precedenti è vera

107 Qual è la differenza tra oli e grassi?

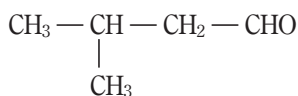
- A A temperatura ambiente gli oli sono solidi, i grassi invece sono liquidi
- B Gli oli contengono una maggiore percentuale di trigliceridi insaturi rispetto ai grassi
- C Gli oli sono tutti di origine vegetale, i grassi sono tutti di origine animale
- D Soltanto i trigliceridi contenuti negli oli sono idrolizzabili
- E I trigliceridi degli oli hanno un valore energetico maggiore di quello dei grassi

108 Quale tra i seguenti è il nome IUPAC di un estere?

- A Acetato di calcio
- B Etanoato di propile
- C Acetato di etile
- D Cloruro di propile
- E Carburo di etile

109 Quanti atomi di carbonio ci sono nell'acido butanoico?

110 Attribuisce il nome al seguente composto in base alle regole IUPAC:



111 Scrivi l'equazione della reazione che porta alla formazione del propanoato di metile.

112 Come si chiama il chetone che ha formula bruta $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$ e ha il gruppo funzionale in posizione 2? Dovresti saper rispondere senza scrivere la formula del composto.

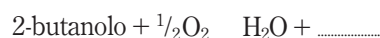
113 Come si chiama la sostanza che si ottiene dall'ossidazione dell'esanale?

114 Scrivi l'equazione della reazione di idrogenazione totale dell'acido linoleico ($\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$), sapendo che si tratta di un acido grasso *diinsaturo*.

115 Scrivi i nomi dei composti che si ottengono idrolizzando il butanoato di etile.

116 Scrivi l'equazione della reazione di condensazione tra l'acido butanoico e il 2-butanolo.

117 Come si chiama il composto che manca per completare la seguente equazione?



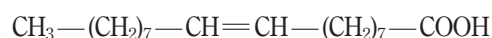
118 Un acido carbossilico saturo con sei atomi di carbonio forma un estere che ha formula molecolare $\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}_2$. Scrivi nome e formula condensata dell'alcol primario con cui ha reagito.

119 L'ossidazione dell'alcol presente nel vino porta alla formazione di acido etanoico. Scrivi l'equazione della reazione.

120 Il butanoato di pentile e il pentanoato di butile sono esteri isomeri, presenti nella polpa delle mele e delle pere. Quanti atomi di carbonio e quanti di ossigeno sono presenti nei due composti?

121 Quanti sono gli isomeri di posizione del 2-esanone? Dopo averli individuati scrivine il nome.

122 La formula dell'acido oleico si può scrivere anche:



Scrivi l'equazione di reazione relativa all'idrogenazione dell'acido oleico.

9. Composti polifunzionali e carboidrati

123 La cellulosa è formata da:

- A due molecole di glucosio
- B un gran numero di molecole di glucosio
- C molte molecole di glucosio e fruttosio in rapporto 1:1
- D molte molecole di amido
- E catene di glicogeno unite con legame glicosidico

124 L'acido succinico ha formula $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$. Si può affermare che si tratta di un composto polifunzionale?

125 Spiega che cosa significa affermare che un atomo di carbonio è *asimmetrico*.

AUTOVERIFICA

126 In relazione alle molecole dei carboidrati, indica l'affermazione *sbagliata*.

- A Il glicogeno è un glucide prodotto dal corpo umano per creare una riserva energetica
- B L'amido è un polisaccaride del glucosio di origine vegetale
- C Il saccarosio è un disaccaride formato da una molecola di glucosio e una di fruttosio
- D Tutti i carboidrati possono essere trasformati dall'organismo umano per ottenere energia
- E L'organismo umano non produce l'enzima che è necessario per idrolizzare la cellulosa

127 Come si chiama il legame che consente di unire due molecole di monosaccaride e formare un disaccaride?

128 In relazione ai carboidrati, distingui le affermazioni vere da quelle false.

- a) Sono composti quaternari. V F
- b) Sono composti polifunzionali. V F
- c) Sono tutti composti dal sapore dolciastro. V F
- d) Possono contenere uno o più atomi di carbonio asimmetrici. V F
- e) Comprendono anche sostanze macromolecolari. V F

129 L'acido citrico è un idrossiacido. Ciò significa che l'acido citrico è:

- A un acido debolissimo perché il gruppo ossidrilico ha proprietà basiche
- B un composto bifunzionale perché contiene due gruppi funzionali diversi
- C un ossiacido che ha la proprietà di essere solubile nell'acqua
- D un composto neutro perché la funzione acida e quella basica si neutralizzano
- E un alcol che presenta eccezionalmente proprietà acide

130 In relazione ai disaccaridi, indica le affermazioni vere e quelle false.

- a) I disaccaridi sono composti che appartengono alla categoria dei glucidi. V F
- b) I disaccaridi sono formati da molecole che contengono cinque atomi di carbonio. V F
- c) I disaccaridi sono composti sempre più dolci dei monosaccaridi. V F
- d) I disaccaridi sono sempre formati da due molecole uguali di monosaccaridi. V F
- e) Il legame intermolecolare tra le molecole di disaccaridi si chiama legame glicosidico. V F

131 In relazione agli stereoisomeri chiamati enantiomeri, quale affermazione è *sbagliata*?

- A Due enantiomeri hanno la stessa formula bruta
- B Solo i composti polifunzionali possono essere enantiomeri

- C Due composti enantiomeri hanno diversa attività ottica
- D Negli enantiomeri è presente almeno un atomo di carbonio asimmetrico
- E Due composti enantiomeri possono essere differenziati con il polarimetro

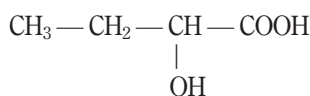
132 In relazione al glucosio e al fruttosio, quale affermazione è *sbagliata*?

- A Sono composti isomeri perché hanno la stessa formula bruta
- B Sono composti polifunzionali perché presentano due diversi gruppi funzionali
- C Sono composti che appartengono alla categoria dei carboidrati
- D Possono essere classificati tra i monosaccaridi
- E Nelle loro molecole è sempre presente il legame glicosidico

133 Dall'idrolisi dell'amido si ottengono:

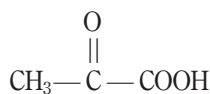
- A soltanto molecole di saccarosio
- B molecole di glucosio e di fruttosio
- C soltanto molecole di glucosio
- D anidride carbonica e acqua
- E molecole di cellulosa

134 Considera la formula dell'acido 2-idrossibutanoico:



Perché puoi affermare che esistono due isomeri ottici di questo composto?

135 La formula dell'acido piruvico è la seguente:



Spiega perché esso viene classificato tra i composti polifunzionali nella famiglia degli acidi chetocarbossilici.

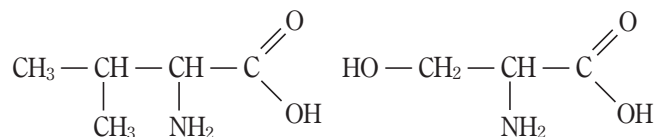
10. I composti organici con l'azoto: ammine, amminoacidi e proteine

136 In relazione a proteine e amminoacidi, indica l'affermazione *sbagliata*.

- A Tutti gli amminoacidi contengono carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto
- B Solo un amminoacido su 20 non è otticamente attivo
- C Gli amminoacidi essenziali sono 8 e sono quelli che l'organismo umano non riesce a sintetizzare
- D Le proteine degli alimenti svolgono prevalentemente una funzione plastica
- E Le proteine di origine vegetale hanno un valore nutrizionale uguale a quelle di origine animale

137 Come si chiama e di che tipo è il legame che consente di unire due molecole di amminoacidi?

138 Di seguito sono presentate le formule di due amminoacidi, la valina (a sinistra) e la serina:



Scrivi la formula del prodotto della reazione di condensazione tra i due amminoacidi nel caso in cui il gruppo amminico della valina reagisca con il gruppo carbossilico della serina.

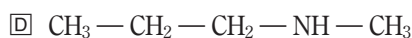
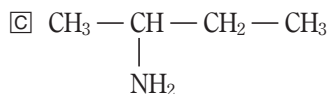
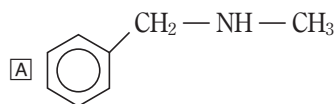
139 Che cosa si intende con il termine polipeptide?

- A Una molecola formata da due amminoacidi
- B Una molecola formata da centinaia di proteine
- C Una molecola formata da tutti gli amminoacidi essenziali
- D Una molecola formata da migliaia di molecole dello stesso amminoacido
- E Una molecola formata da moltissime molecole di amminoacidi

140 Una molecola di dipeptide si forma attraverso un legame che unisce:

- A un atomo di carbonio a un atomo di azoto di due amminoacidi
- B un atomo di carbonio a un altro atomo di carbonio di due amminoacidi diversi
- C un atomo di azoto a un altro atomo di azoto di due amminoacidi
- D un atomo di idrogeno a un atomo di azoto di due amminoacidi
- E un atomo di idrogeno e un atomo di carbonio di due amminoacidi

141 Quale delle seguenti formule può essere attribuita a un'ammina primaria?



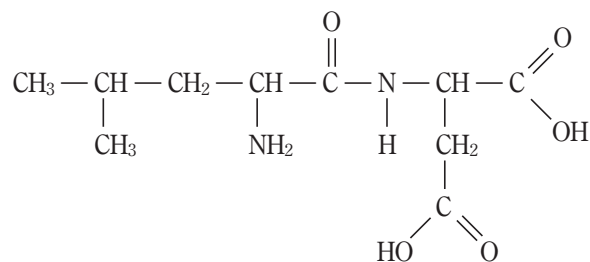
142 Che cosa sono gli amminoacidi essenziali?

- A Sono gli otto amminoacidi che contengono anche atomi di zolfo
- B Sono i soli amminoacidi presenti nelle proteine di origine animale
- C Sono gli otto amminoacidi indispensabili per realizzare la fotosintesi
- D Sono i soli amminoacidi che il nostro organismo non può sintetizzare
- E Sono gli amminoacidi presenti in tutte le proteine

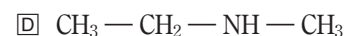
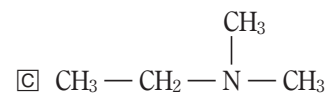
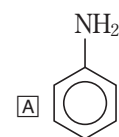
143 Che cosa si intende per struttura primaria di una proteina?

- A Il numero di amminoacidi che la costituiscono
- B La sequenza degli amminoacidi che la costituiscono
- C Il numero dei tipi di amminoacidi che la costituiscono
- D Il tipo di legame presente tra gli amminoacidi
- E Il numero di amminoacidi essenziali presenti

144 La formula seguente è quella di un dipeptide; identifica ed evidenzia dove si trova il legame peptidico che unisce le due molecole dei due diversi amminoacidi.

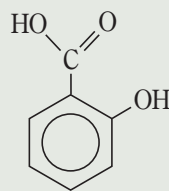


145 Quale delle seguenti ammine è la più basica?



- L'etanolo si può preparare industrialmente attraverso la reazione di addizione di acqua all'etene. In modo analogo reagiscono propene e acqua: scrivi nomi e formule condensate dei due isomeri che si possono formare.
- Perché l'acido etanoico è solubile in acqua mentre l'acido dodecanoico non lo è?
- Scrivi accanto ad ogni nome il numero che individua la classe di appartenenza:
 - 2-pentene
 - pentanale
 - pentanoato di etile
 - 3-cloropentano
 - 3-pentanololo
 - aloidrocarburo
 - estere
 - aldeide
 - alchene
 - alcol
- Scrivi la formula condensata dei tre isomeri di un idrocarburo lineare con due tripli legami che ha la stessa formula bruta del benzene.
- Il naftalene è un idrocarburo aromatico condensato con formula $C_{10}H_8$. Scrivi la formula condensata dei composti isomeri con formula $C_{10}H_7Cl$.
- Supponiamo che, per percorrere un kilometro, un'auto bruci completamente idrocarburi equivalenti a 0,500 mol di un isomero dell'ottano. Scrivi l'equazione della reazione e calcola quanti grammi di anidride carbonica sono immessi nell'aria.
- Scrivi il nome dell'alcol e dell'acido carbossilico che si formano dalla reazione di idrolisi del butanoato di propile.
- Come si chiama l'idrocarburo che si ottiene dalla reazione tra idrogeno e 2-pentene?
- In base alla formula, attribuisce a ognuno dei seguenti composti la classe di appartenenza:
 - $CH_3 - CH_2 - CH_2 - OH$
 - $CH_3 - CO - CH_3$
 - $CH_3 - CH_2 - CH_3$
 - $CH_3 - CH_2 - COOH$
 - $CH_3 - CCl_2 - CH_3$
 - alcano
 - chetone
 - alcol
 - cloruro alchilico
 - acido carbossilico

- La formula dell'acido salicilico è:



- Qual è il suo nome in base alle regole IUPAC?
- Si può affermare che l'acido salicilico è un acido diprotico? Argomenta la risposta.

- Scrivi la formula condensata e il nome dell'alcol da cui si può ottenere per ossidazione il 2-pentanone.
- L'ottano e il 2,2,3-trimetilpentano presentano una diversa temperatura di ebollizione. Quale considerazione consente di prevedere ragionevolmente quale dei due bolle a temperatura maggiore?
- Quanti sono e come si chiamano i cloroidrocarburi isomeri a catena lineare che hanno formula bruta $C_4H_8Cl_2$?
- Uno studente ha attribuito il nome di 2-etilesano al composto che ha la seguente formula semplificata:



Dato che lo studente ha sbagliato, attribuisce tu il nome corretto al composto.

- Qual è la formula del reagente che manca per completare la seguente equazione?



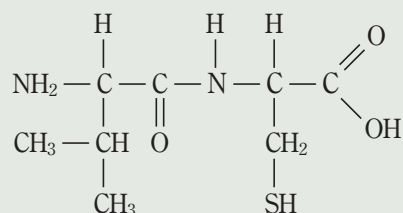
- A temperatura ambiente il metanolo è una sostanza liquida mentre l'etano si trova allo stato aeriforme. Come si può spiegare questo fatto?
 - La massa molecolare dell'etanolo è molto maggiore di quella dell'etano
 - Solo tra le molecole del metanolo sono possibili ponti a idrogeno
 - Le molecole dell'etano sono più ramificate di quelle del metanolo
 - Tra le molecole di etano non sono presenti forze di dispersione
 - Solo gli atomi di carbonio nelle molecole di etano hanno una struttura tetraedrica
- Quali sono i prodotti della reazione di idrolisi di una proteina?
 - Acqua e polipetidi
 - Amminoacidi e alcoli
 - Molecole di amminoacidi
 - Glicerina e acidi grassi
 - Molecole di glucosio

- 18** Quale delle seguenti formule identifica un composto che è un isomero funzionale del metilpropilene?
- A** $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CHO}$
B $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CHOH} - \text{CH}_3$
C $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CO} - \text{CH}_3$
D $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
E Nessuna delle formule precedenti
- 19** Quale dei seguenti idrocarburi contiene il minor numero di atomi di idrogeno?
- A** Pentano
B Cicloesano
C 2-esino
D 1-esene
E 2-metilpropano
- 20** Per preparare un sapone si deve:
- A** idrolizzare un trigliceride con un idrossido alcalino
B neutralizzare una molecola di acido grasso con una base
C condensare una molecola di alcol con una di acido grasso
D esterificare un acido grasso con un idrossido alcalino
E idrogenare un trigliceride insaturo fino a renderlo solido
- 21** In relazione ai polimeri e alle reazioni di polimerizzazione, indica l'affermazione *sbagliata*.
- A** I polimeri sono macromolecole formate da un gran numero di unità più semplici
B Il politene è un polimero che si ottiene con una reazione di poliaddizione
C Il PET è un polimero che deriva dalla condensazione di due monomeri differenti
D In tutte le reazioni di polimerizzazione si formano una o più molecole di acqua
E Il nylon è un polimero che si ottiene da una reazione di policondensazione
- 22** Scrivi la formula condensata dell'acido grasso che si ottiene idrogenando un acido grasso monoinsaturo che è formato da 12 atomi di carbonio.
- 23** Il lattosio è:
- A** un polisaccaride presente nel latte
B un disaccaride costituito da glucosio e fruttosio
C un monosaccaride digeribile solo con l'enzima lattasi
D un disaccaride isomero funzionale del glicogeno
E un disaccaride costituito da glucosio e galattosio
- 24** I composti del carbonio polifunzionali sono:
- A** composti che possono dare più reazioni differenti
B composti che presentano due o più gruppi funzionali uguali

- C** composti che presentano due o più gruppi funzionali diversi
D composti costituiti da almeno 4 elementi diversi
E composti insaturi con più di 2 atomi di carbonio

- 25** Qual è il prodotto comune a tutte le reazioni di condensazione?
- A** Un estere
B Un alcol
C Un etere
D L'acqua
E Un polimero

- 26** Scrivi la formula dei due amminoacidi che si ottengono dalla reazione di idrolisi di un dipeptide che ha la seguente formula:



- 27** Scrivi il nome e la formula condensata di ognuno dei due composti isomeri che si ottengono dalla reazione di addizione tra 2-pentene e cloruro di idrogeno.
- 28** Un acido carbossilico saturo nella cui molecola sono presenti 6 atomi di carbonio forma un estere che ha formula $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$. Come si chiama l'alcol con il quale è avvenuta la reazione di condensazione?
- 29** Perché esistono due stereoisomeri del 3-metilesano?
- 30** Per estrarre i trigliceridi presenti nei chicchi di mais è necessario:
- A** tritare i chicchi e mescolarli con acqua calda per sciogliere gli oli
B trattare i chicchi con acqua e idrossido di sodio per idrolizzare gli oli
C trattare i chicchi con idrogeno sotto pressione per solidificare gli oli
D tritare i chicchi e mescolarli con un solvente apolare che scioglie gli oli
E nessuno degli interventi proposti consente di estrarre gli oli
- 31** Un composto a catena aperta ha formula molecolare $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$. In base a questa sola informazione, quale tra le affermazioni che seguono è sicuramente esatta?
- A** La formula si riferisce ad un'aldeide
B La formula è quella di un chetone
C La formula è quella di un alcol
D La formula si riferisce ad un acido carbossilico
E Nessuna delle proposte formulate è corretta