



*Centro Studi
Colombo*

Fondamenti di chimica organica

FONDAMENTI DI CHIMICA ORGANICA

In questo capitolo sono riportati alcuni cenni di chimica organica, facendo riferimento al programma ministeriale ma inquadrando i concetti in un discorso coerente di progressione delle conoscenze, come del resto si è fatto negli altri capitoli. Si è comunque evitato di approfondire gli argomenti oltre il necessario. La chimica organica purtroppo è scarsamente studiata nei licei.

12.1 LA CHIMICA ORGANICA E LE FORMULE DEI COMPOSTI ORGANICI

La chimica organica può essere considerata la chimica dei composti del carbonio in quanto i composti organici sono formati da catene più o meno lunghe di atomi di carbonio prevalentemente legati ad atomi di idrogeno. Nelle loro molecole possono però essere presenti anche altri atomi, diversi da C e H, quali: O, N, P, Cl, Br, S etc., ai quali viene dato il nome di eteroatomi. Oggi si conoscono decine di milioni di composti organici, fortunatamente raggruppabili in classi in base alla presenza nella molecola del composto di aggruppamenti di atomi detti gruppi funzionali che ne indicano le proprietà chimiche comuni. Per ogni composto organico è possibile individuare una **formula molecolare** o **formula grezza** o **formula bruta** che indica (con il simbolo dell'elemento) solo quali e quanti atomi (con un pedice numerico) costituiscono la molecola del composto.

Esempio

C_3H_{12}
formula di un idrocarburo saturo
a 5 atomi di C

$C_6H_{12}O_6$
formula di un monosaccaride
a 6 atomi di C

Si osserva però che la formula molecolare di un composto organico può essere comune a più composti che, pur avendo la stessa formula molecolare, sono diversi (isomeri). Essi possono essere caratterizzati da una diversa concatenazione degli atomi o da una loro diversa disposizione nello spazio¹. Per poter distinguere questi composti è essenziale rappresentarne la formula con formule che mostrino i legami che intercorrono tra gli atomi, proiettandoli su di un piano o orientandoli nello spazio mediante un'opportuna simbologia convenzionale codificata. Queste rappresentazioni sono dette formule di struttura o formule razionali.

Esempi di semplici formule razionali, riferite ai diversi idrocarburi saturi aventi la stessa formula molecolare (C_5H_{12}) riportata sopra e quindi fra loro isomeri sono:

$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$
n-pentano

$CH_3CHCH_2CH_3$
|
 CH_3
isopentano o
2-metilbutano

CH_3
|
 CH_3CCH_3
|
 CH_3
neopentano
o 2,2-dimetilpropano

In questo caso gli isomeri differiscono per la concatenazione degli atomi e sono detti **isomeri di catena**. Si può già notare che i prefissi *n* (normale), *iso* e *neo* servono a differenziare i vari pentani. Gli stessi prefissi servono anche per i butani, non servono invece per gli idrocarburi superiori, a parte il prefisso *n*- che si usa anche per gli alcani superiori con catena priva di ramificazioni.

Gli atomi di carbonio di una catena possono essere atomi di carbonio primari, secondari, terziari e quaternari a seconda che siano legati **direttamente** ad uno, due, tre o quattro atomi di carbonio (che possono essere legati a catene comunque lunghe di atomi di carbonio).

Esempio

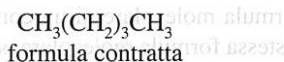
$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$
n-pentano

$CH_3CHCH_2CH_3$
|
 CH_3
isopentano

CH_3
|
 $H_3C-C-CH_3$
|
 CH_3
neopentano

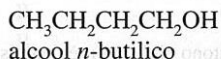
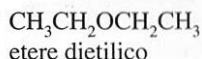
- atomo di carbonio primario
- atomo di carbonio secondario
- ▲ atomo di carbonio terziario
- △ atomo di carbonio quaternario

Le formule razionali possono esser scritte anche con formule contratte, raggruppando in un'unica parentesi i gruppi simili. In tal caso il *n*-pentano si scrive:

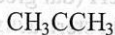
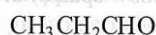


In altri casi la rappresentazione delle molecole con formule razionali permette di distinguere isomeri che appartengono a classi diverse di composti organici, come quelli riportati qui di seguito, caratterizzati dai diversi gruppi funzionali sotto indicati:

Formula molecolare comune



formula molecolare comune $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$



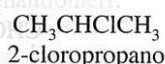
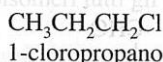
aldeide propionica

acetone

Questi isomeri, poiché appartengono a classi chimiche diverse, sono detti più specificamente **isomeri di funzione**. Infine la rappresentazione delle molecole organiche con formule razionali permette di distinguere gli **isomeri di posizione**, diversi per la diversa posizione di un sostituito nella catena di atomi di carbonio della molecola. Un esempio semplice è offerto dai composti isomeri di formula molecolare



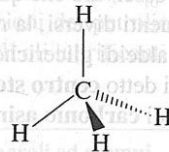
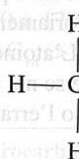
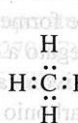
che sono:



Isomeri di catena, di funzione e di posizione appartengono all'isomeria costituzionale già detta isomeria di struttura.

Poiché le molecole in realtà si sviluppano nello spazio, per discriminare tutti i composti organici diversi aventi una formula molecolare comune (isomeri), è molto spesso necessario visualizzare le loro molecole nelle tre dimensioni dello spazio. Si ricorre allora alle formule tridimensionali. Così il composto più semplice della chimica organica, il metano, ha formula molecolare CH_4 e formula tridimensionale tetraedrica, prevedibile con il metodo VSEPR dalla struttura elettronica di Lewis. In pratica quindi il metano può essere rappresentato con le seguenti tre strutture:

Tre rappresentazioni della molecola del metano

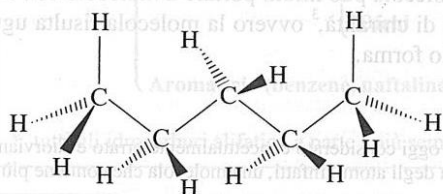


Struttura di Lewis

Formula di struttura

Formula tridimensionale

Nella rappresentazione tridimensionale, i legami posti sul piano del foglio sono indicati da semplici tratti continui, mentre quelli posti sopra e sotto il piano del foglio sono indicati con tratti a cuneo pieni e tratteggiati rispettivamente. Analogamente si possono rappresentare gli idrocarburi più complessi del metano come ad esempio il *n*-pentano:



n-pentano

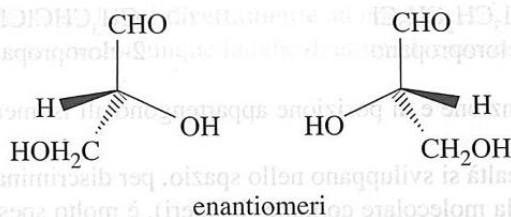
Rappresentazione con notazione a linee tratteggiate e cuneiformi

La rappresentazione nello spazio delle molecole organiche permette tra l'altro di rappresentare gli **isomeri sterici** o **stereoisomeri** (dal greco stereos = spazio) di tutti i composti organici che presentano il fenomeno dell'isomeria sterica.

Gli stereoisomeri sono isomeri che hanno la stessa concatenazione degli atomi ma differiscono per una diversa disposizione nello spazio.

Gli stereoisomeri che sono speculari e non sovrapponibili sono detti **enantiomeri** o **isomeri ottici**, tutti gli altri sono detti diastereoisomeri.

Sono un semplice esempio di enantiomeri gli isomeri dello zucchero (aldoso) più semplice, l'aldeide glicerica di formula bruta $C_3H_6O_3$. In questo caso la rappresentazione tridimensionale permette di vedere che i due isomeri sono speculari ma non sovrapponibili. *A due isomeri speculari e non sovrapponibili è dato il nome di enantiomeri.* Una qualsiasi molecola che per riflessione in un piano dia un'immagine alla quale non è sovrapponibile è detta invece molecola chirale ed esiste in due forme isomere (che sono due enantiomeri).



Gli enantiomeri hanno identiche proprietà chimiche e fisiche (a parte la capacità di ruotare il piano della luce polarizzata in senso opposto) ma possono differire per le eventuali proprietà biologiche. Molti farmaci chirali sono infatti attivi e utili solo in una forma enantiomerica, nell'altra possono avere diverse proprietà fino ad essere addirittura dannosi.

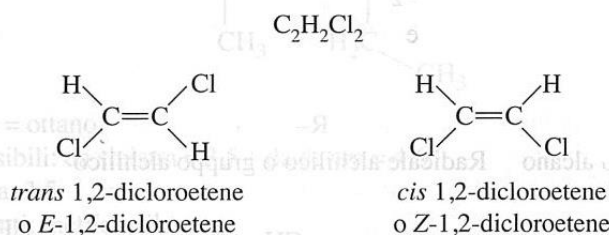
È interessante osservare che quando in una molecola è presente *un solo* atomo di carbonio legato a quattro sostituenti diversi, la molecola obbligatoriamente esiste in due forme enantiomere, come nel caso delle aldeidi gliceriche riportate sopra. L'atomo di carbonio legato a quattro gruppi diversi è perciò oggi detto **centro stereogenico**, anche se nei quesiti sopravvivono ancora termini desueti come atomo di **carbonio asimmetrico** o peggio l'errato "atomo di carbonio chirale".²

Attenzione però! *Quando in una molecola sono presenti più centri stereogenici (atomi di carbonio chirali, atomi di carbonio asimmetrici) può anche succedere che la molecola nel complesso non sia chirale e non possa quindi dare luogo a isomeria ottica.*

L'effetto globale dei centri stereogenici della molecola può infatti portare a molecole con uno o più piani di simmetria che impediscono l'esistenza di chiralità,³ ovvero la molecola risulta uguale alla propria immagine speculare ed esiste in una sola forma.

Un altro tipo di stereoisomeri è rappresentato dai diastereoisomeri, così sono detti tutti gli stereoisomeri non speculari e non sovrapponibili.

Sono perciò diastereoisomeri gli isomeri che si originano per una rotazione impedita attorno ad un legame, ad esempio attorno a un doppio legame $C=C$:



Sono però diastereoisomeri tutti gli stereoisomeri non enantiomeri.

12.2 I COMPOSTI ORGANICI E LA LORO SUDDIVISIONE IN CLASSI

Si è già detto che i composti organici possono essere suddivisi in classi, ciascuna caratterizzata da un gruppo funzionale specifico. Ciò offre un metodo agevole per semplificare lo studio dei numerosissimi composti noti, considerando le proprietà associate ai gruppi funzionali specifici che caratterizzano ciascuna classe.

Per semplicità si riporta qui un primo schema con la classificazione degli idrocarburi, composti organici formati esclusivamente da carbonio e idrogeno. Dalla distillazione frazionata (separazione di sostanze in base alle loro diverse temperature di ebollizione) dei petroli⁴ si ottengono diverse frazioni idrocarburiche fra cui la benzina, il kerosene, il gasolio, gli olii combustibili e i bitumi. Le benzine sono formate da miscele di idrocarburi a basso peso molecolare (C_3-C_{10}) che distillano nell'intervallo di temperatura che va da 40 a 170 °C. Le altre frazioni del petrolio sono: il kerosene C_8-C_{14} (da 170 a 270 °C), il gasolio $C_{12}-C_{18}$ (> 270 °C) e infine gli oli lubrificanti (> C_{18}) e gli asfalti (residui della distillazione).

Classificazione schematica degli idrocarburi con formule generali ed esempi

* Idrocarburi	Alifatici	Saturi o alcani o paraffine (C_nH_{2n+2})	Es. CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} ...	
		Insaturi		
		Alcheni o idrocarburi etilenici	C_nH_{2n}	Es. $CH_2=CH_2$
		Alchini o idrocarburi acetilenici	C_nH_{2n-2}	Es. $HC\equiv CH$
		Dieni	C_nH_{2n-2}	Es. $CH_2=CH-CH=CH_2$ butadiene
	Aromatici (benzene, naftalina)			

* tutti gli idrocarburi alifatici, a parte i più semplici, possono essere lineari e ciclici (cicloalifatici).

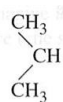
In genere per semplicità si rappresenta un qualsiasi idrocarburo alifatico con una formula generale RH in cui con R si indica una qualsiasi catena saturata o insatura dal semplice gruppo metilico a quelle più complesse:



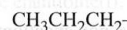
Metile Etile



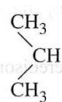
Generico alcano Radicale alchilico o gruppo alchilico



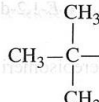
iso-propile



n-propile



iso-butile



ter-butile

Gli idrocarburi rappresentano lo scheletro della gran parte dei composti organici in quanto per sostituzione di uno o più atomi di idrogeno possono dar luogo alle varie classi di composti noti. Perciò vengono qui illustrati a grandi linee. Il radicale derivante da un idrocarburo alifatico si rappresenta genericamente con **R**, quello derivante da un idrocarburo aromatico si rappresenta con **Ar**.

12.2.1 GLI IDROCARBURI SATURI

Gli idrocarburi saturi, chiamati anche **alcani** o **paraffine**, sono detti così perché tutte le valenze degli atomi di carbonio sono saturate da legami con altri atomi di carbonio o con atomi di idrogeno.

Nella nomenclatura si hanno nomi d'uso e nomi ufficiali o sistematici. Il nome sistematico prevede di conoscere a memoria il nome dei primi 4 alcani:

metano, etano, propano, butano

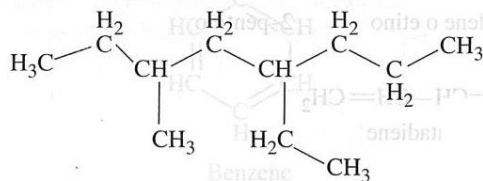
Dal quinto in poi il nome si ottiene facendo seguire alla radice del sostantivo greco che indica il numero di atomi di carbonio il suffisso -ano.

Pentano (C_5), esano (C_6), eptano (C_7), octano (o ottano) (C_8), nonano (C_9), decano (C_{10}), etc.

Per quanto riguarda i composti più complessi:

- si sceglie come parte base del nome dell'idrocarburo la catena idrocarburica lineare più lunga presente nella molecola;
- si numera la catena dall'estremità più vicina ad una ramificazione;
- si assegna il nome ad ogni gruppo idrocarburico delle ramificazioni della catena;
- si forma il nome facendo precedere al nome dell'idrocarburo fondamentale quello dei gruppi delle ramificazioni. Questi devono essere posti in ordine alfabetico e devono essere preceduti dal numero che indica l'atomo di carbonio al quale sono legati. Il nome dell'ultimo residuo deve essere legato al nome della catena.

L'esempio sottostante può essere di aiuto.

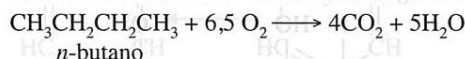
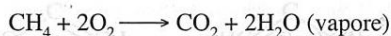


- 1) catena principale = ottano
- 2) numerazioni possibili: da sinistra = 3,5 - da destra = 4,6
- 3) si sceglie la prima: 3,5
- 4) nomi dei sostituenti: metile, etile
- 5) nome del composto: 5-etil, 3-metilottano

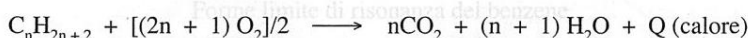
La nomenclatura degli alcani è utile per costruire il nome degli altri composti organici di cui gli alcani costituiscono lo scheletro.

Gli alcani non possono aggiungere altri atomi ma solo sostituire gli atomi di idrogeno con altri sostituenti. Le loro reazioni caratteristiche sono pertanto di sostituzione (radicalica) nella quale uno o più atomi di H dell'alcano sono sostituiti da atomi di alogeno (es. cloro) con formazione di un alogenoderivato dell'alcano e di HCl (cloruro di idrogeno o acido cloridrico). Altra reazione caratteristica è la combustione che si verifica nei forni per il riscaldamento domestico e nei motori a scoppio.

La combustione è un'ossidazione spinta in cui l'ossidante è l'ossigeno atmosferico. In essa gli atomi di C e H dell'alcano sono trasformati in CO₂ (diossido di carbonio o anidride carbonica) e H₂O. Così ad esempio nella combustione del metano nelle cucine a gas si ha la reazione del metano con l'ossigeno per dare anidride carbonica e acqua sotto forma di vapor d'acqua:



e in generale la reazione di combustione è:

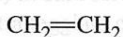


12.2.2 GLI IDROCARBURI INSATURI

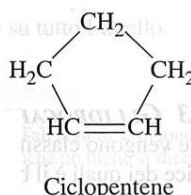
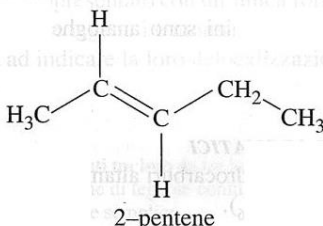
Gli idrocarburi insaturi sono detti così perché contengono almeno un doppio legame C=C, o un triplo legame C≡C.

Essi perciò si distinguono in **alcheni** (e **cicloalcheni**), con un doppio legame fra atomi di carbonio, **alchini** (e cicloalchini) con un triplo legame fra atomi di carbonio e **dieni** con 2 doppi legami fra atomi di carbonio.

Alcheni



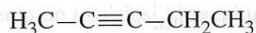
etilene o etene



Alchini

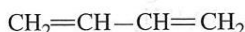


Acetilene o etino



2-pentino

Dieni



Butadiene

Il loro nome si costruisce in modo analogo a quanto visto per gli alcani, utilizzando però la desinenza *-ene* per gli alcheni, quella *-ino* per gli alchini e *-diene* per i dieni.

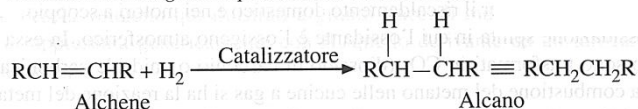
Tutti gli idrocarburi insaturi sono caratterizzati dal dare reazioni di addizione.

In particolare possono:

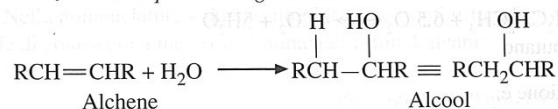
- aggiungere idrogeno per formare gli alcani;
- aggiungere acqua per formare gli alcoli;
- aggiungere alogeni per dare alogenoderivati.

Le equazioni delle reazioni possibili sono:

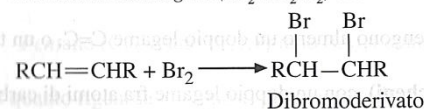
a) *addizione di idrogeno in presenza di catalizzatori:*



b) *addizione di acqua a dare gli alcoli:*



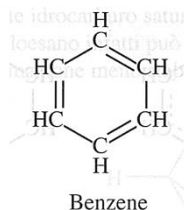
c) *l'addizione di alogeni (Cl₂, Br₂, I₂) a dare dialogenuri:*



Le reazioni caratteristiche degli alchini sono analoghe alle reazioni che avvengono sugli alcheni.

12.2.3 GLI IDROCARBURI AROMATICI

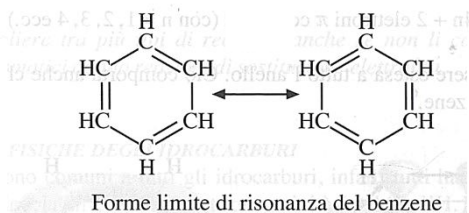
A parte vengono classificati alcuni idrocarburi altamente insaturi, detti idrocarburi aromatici, il più semplice dei quali è il benzene (C₆H₆).



Gli **idrocarburi aromatici**, pur avendo un elevato grado di insaturazione, mostrano come reazioni caratteristiche quelle di sostituzione al posto di quelle di addizione, caratteristiche degli idrocarburi insaturi.

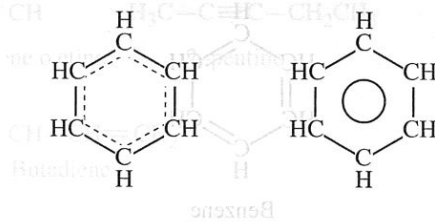
Riferendosi, per chiarezza, al caso dell'idrocarburo aromatico più semplice, il benzene, si capisce che ciò avviene perché dando luogo a reazioni di sostituzione anziché di addizione, il benzene può conservare i 6 elettroni che formano, nella formula scritta sopra, i tre doppi legami coniugati (separati da un legame semplice).

Queste ed altre proprietà del **benzene**, e più in generale degli idrocarburi aromatici, hanno portato ad ammettere che la formula di Lewis utilizzata sopra per rappresentare il benzene non è adeguata. Piuttosto se ne usano due, diverse per la disposizione degli elettroni, ciò non riuscendo a rappresentare la molecola vera del benzene che è sicuramente più stabile di ciascuna delle formule usate per rappresentarlo. Tali formule sono dette forme limite di risonanza e sono solo due artifici per dare indicazioni sulla vera formula del benzene.⁵ Per indicare tutto ciò le due forme limite del benzene sono legate da una freccia a doppio verso che non vuol dire equilibrio, rappresentato da due frecce:

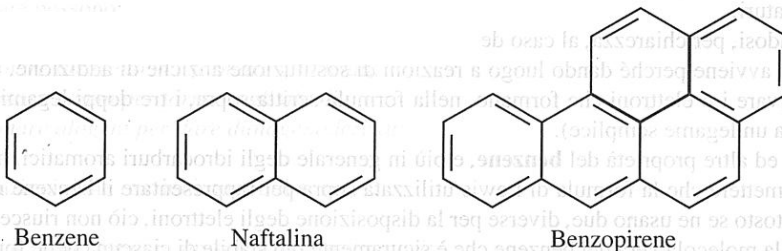


Attenzione! Il benzene non è una miscela delle due forme limite, né è un equilibrio fra loro: le due forme limite non esistono e la struttura reale del benzene è semplicemente intermedia fra le due.

Il benzene per comodità viene anche rappresentato con un'unica formula (che esula dalla rappresentazione di Lewis) in cui i sei elettroni che legano i 6 atomi di carbonio sono rappresentati con un cerchietto, pieno o tratteggiato che sta ad indicare la loro delocalizzazione su tutto l'anello.



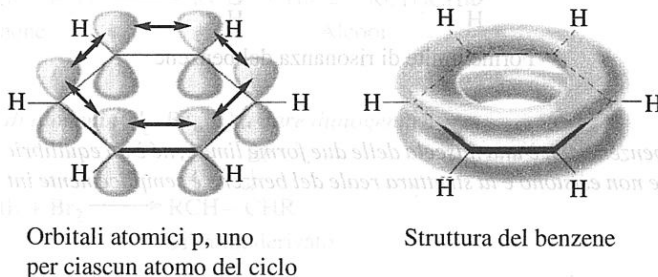
I più comuni idrocarburi aromatici sono il benzene la naftalina e il benzopirene, un idrocarburo polinucleato che si forma nelle carni bruciate. Il benzene e il benzopirene sono altamente cancerogeni.



Esiste anche una regola empirica formulata da Hückel che stabilisce i requisiti perché una molecola ciclica sia aromatica. Deve contenere:

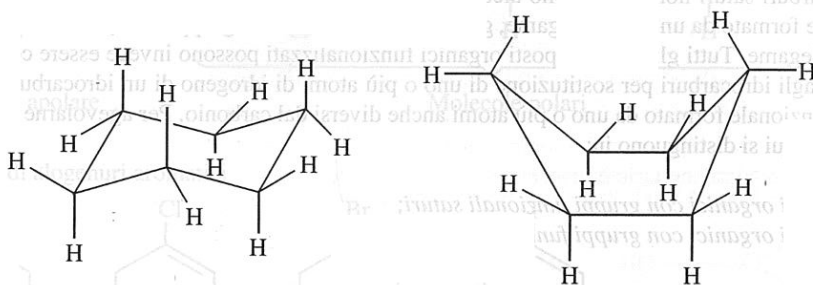
$$4n + 2 \text{ elettroni } \pi \text{ coniugati (con } n = 1, 2, 3, 4 \text{ ecc.)}$$

e la coniugazione deve essere estesa a tutto l'anello. Ciò comporta anche che l'anello sia planare, cosa che si osserva nel benzene.⁶



⁶⁾ Un idrocarburo aromatico deve avere una struttura ciclica (o policiclica), in cui tutti gli atomi del ciclo presentano ibridizzazione sp^2 e compenetrano l'orbitale p con quelli di tutti e due gli atomi a cui sono legati nel ciclo. La coplanarità degli atomi e la compenetrazione dei lobi superiori e inferiori degli orbitali p determina una struttura nella quale il piano su cui giacciono gli atomi è compreso fra due nuvole elettroniche a forma di "ciambella" (figura), una derivante dalla compenetrazione dei lobi superiori e l'altra dei lobi inferiori degli orbitali p.

Invece il cicloesano, il corrispondente idrocarburo saturo, ha gli atomi disposti nello spazio come si vede nelle formule seguenti. Il cicloesano infatti può esistere in forma di sedia, conformazione più stabile, o in forma di tino, conformazione meno stabile.⁷



forme a sedia e a barca o tino del cicloesano poste nello spazio

È ora chiaro perché la reazione caratteristica degli idrocarburi aromatici è la reazione di sostituzione elettrofila. Il sistema aromatico è molto stabile, in una reazione tende a permanere, se possibile, nei prodotti. Questa è la ragione per cui il sistema aromatico non tende a dare reazioni di addizione al doppio legame. Elettrofila perché il primo legame che si forma fra il reagente e un atomo del sistema aromatico avviene in seguito a messa in compartecipazione di elettroni (una delle coppie elettroniche del sistema aromatico) da parte di quest'ultimo con il reagente che accettando gli elettroni si comporta da elettrofilo.



Se c'è da scegliere tra più tipi di reazione anche se non li conoscete ricordate che gli idrocarburi aromatici danno reazioni di sostituzione elettrofila.

12.2.4 PROPRIETÀ FISICHE DEGLI IDROCARBURI

Le proprietà fisiche sono comuni a tutti gli idrocarburi, infatti tutti hanno molecole praticamente apolari a causa della piccola differenza di elettronegatività fra il C e l'H. Le interazioni intermolecolari che coinvolgono gli idrocarburi sono perciò interazioni fra molecole apolari (o interazioni idrofobiche), che sono più deboli dei legami a ponte d'idrogeno e delle interazioni fra molecole polari (fra dipoli), per cui, a parità di massa molecolare, presentano il più basso punto di ebollizione rispetto ad altri composti quali gli alcoli, gli acidi carbossilici, le ammine primarie e secondarie, le ammidi primarie, in grado di formare legami a ponte d'idrogeno, le aldeidi, i chetoni, gli eteri e gli esteri in grado di formare interazioni dipolo-dipolo.

Gli idrocarburi a causa della natura apolare non si sciolgono praticamente in acqua, ma si sciolgono bene nei solventi apolari (coerentemente con il principio che il simile scioglie il simile).

12.3 COMPOSTI ORGANICI FUNZIONALIZZATI

Gli idrocarburi saturi non contengono alcun gruppo funzionale, gli alcheni contengono un gruppo funzionale formato da un doppio legame, gli alchini contengono un gruppo funzionale costituito da un triplo legame. Tutti gli altri composti organici funzionalizzati possono invece essere considerati derivati dagli idrocarburi per sostituzione di uno o più atomi di idrogeno di un idrocarburo con un gruppo funzionale formato da uno o più atomi anche diversi dal carbonio. Per agevolarne la memorizzazione, qui si distinguono in:

- Composti organici con gruppi funzionali saturi;
- Composti organici con gruppi funzionali insaturi.

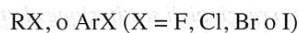
12.3.1 COMPOSTI ORGANICI CON GRUPPI FUNZIONALI SATURI

I composti organici più importanti con gruppi funzionali saturi sono:

- I composti alogenati o alogenuri;
- Gli alcoli, i fenoli e gli eteri;
- Le ammine

■ GLI ALOGENURI

Gli alogenuri sono derivati dagli idrocarburi alifatici o aromatici per sostituzione di almeno un atomo di idrogeno con un atomo di alogeno. Hanno perciò formula generale:



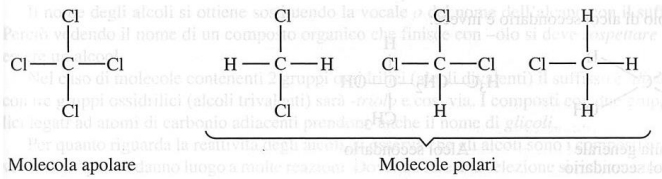
Sono perciò detti fluoroderivati, cloroderivati, bromoderivati e iododerivati. Sono ottimi solventi usati per l'estrazione di molte sostanze tra cui i grassi.

Il *gruppo funzionale* è rappresentato dall'atomo di alogeno legato ad un atomo di carbonio.

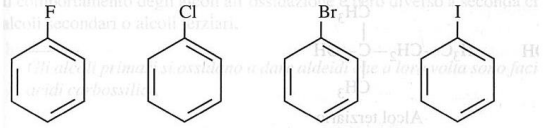
Per costruirne il nome bisogna ricordare che i composti di questa classe non hanno una desinenza propria, l'atomo di alogeno si considera un sostituyente.

CH_3Cl clorometano o cloruro di metile	CH_2Cl_2 diclorometano o cloruro di metilene	$CHCl_3$ triclorometano o cloroformio
CCl_4 tetraclorometano o tetracloruro di carbonio	$ClCH_2CH_2Cl$ 1,2-dicloroetano	$CH_3CH_2CHF_2$ 1,1-difluoropropano

Il tetracloruro di carbonio pur contenendo quattro legami polari ha una molecola apolare, infatti i quattro dipoli costituiti dai legami C-Cl, essendo disposti simmetricamente (struttura tetraedrica) rispetto all'atomo centrale di carbonio, compensano reciprocamente la polarizzazione annullando il momento dipolare totale della molecola. Sono invece polari il cloroformio, il diclorometano e il monoclorometano.

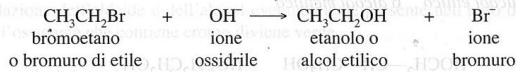


Esempi di alogenuri aromatici



Formule di fluoro, cloro, bromo e iodo-benzene

La reazione caratteristica degli alogenuri alifatici è la **sostituzione nucleofila**, nel corso della quale l'atomo di alogeno viene sostituito da un atomo o gruppo di atomi diverso. Il caso più semplice è la sua sostituzione con un gruppo ossidrilico di una base, o addirittura dell'acqua, per dare un alcol (ROH), o con l'atomo di azoto dell'ammoniaca per formare un'ammina (RNH₂). Nell'esempio riportato sotto, si ottiene l'alcol etilico dal bromuro di etile.



Gli alogenuri aromatici INVECE non danno reazione di sostituzione! Ma qui non interessa altro sulla loro reattività.

GLI ALCOLI

Gli alcoli o alcooli sono composti caratterizzati dal gruppo funzionale OH (ossidrile o idrossile) che sostituisce un atomo di idrogeno di un idrocarburo saturo. La formula generale degli alcoli è pertanto:



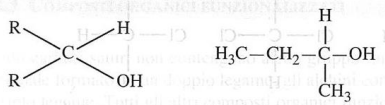
Un alcol si definisce primario, secondario o terziario a seconda che il gruppo OH sia legato a un atomo di carbonio primario, secondario o terziario.

Esempio di alcol primario è:



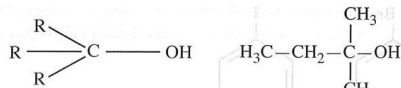
Formula generale di alcol primario Alcol primario

Esempio di alcol secondario è invece:



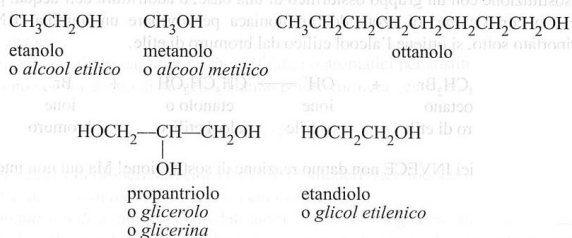
Formula generale di alcol secondario Alcol secondario

Esempio di alcol terziario è invece:



Formula generale di alcol terziario Alcol terziario

Gli alcoli quindi sono formati da una porzione apolare (catene di atomi di carbonio) e da una porzione polare (gruppo OH), quest'ultima è in grado di formare legami a ponte d'idrogeno.



Quindi a parità di massa molecolare gli alcoli sono più alti bollenti non solo degli idrocarburi (tra le cui molecole si esercitano interazioni apolari o interazioni idrofobiche, le più deboli fra tutte), ma anche degli alogenuri, delle aldeidi e dei chetoni, che formano interazioni dipolo-dipolo più deboli del legame a ponte di idrogeno.

Finché la porzione polare (il gruppo OH) prevale sulla porzione apolare (la catena alifatica), gli alcoli sono solubili in acqua in tutte le proporzioni (lo sa bene l'oste che diluisce il vino!) in quanto l'alcool (quello dell'oste è etilico) è in grado di formare legami a ponte d'idrogeno non solo con le proprie molecole ma anche con quelle dell'acqua. La solubilità diminuisce però all'aumentare del numero di atomi di C (aumenta la porzione idrofobica). La solubilità nei solventi organici aumenterà viceversa all'aumentare del numero di atomi di carbonio dell'alcool. Così si osserva che mentre il CH₃OH (metanolo) e il CH₃CH₂OH (etanolo) sono miscibili in tutte le proporzioni con l'acqua, il CH₃CH₂CH₂OH (propanolo) e il CH₃CH₂CH₂CH₂OH (butanolo) sono poco solubili, mentre infine, a partire dall'alcool a 5 atomi di C (il pentanolo) in su, gli alcoli divengono praticamente insolubili in acqua.

Il nome degli alcoli si ottiene sostituendo la vocale *o* del nome dell'alcano con il suffisso *-olo*. Perciò vedendo il nome di un composto organico che finisce con *-olo* si deve *sospettare* che possa essere un alcool.

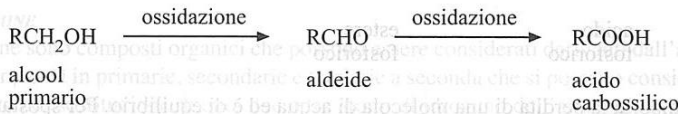
Nel caso di molecole contenenti 2 gruppi ossidrilici (alcoli divalenti) il suffisso è *-diolo* (di = 2), con tre gruppi ossidrilici (alcoli trivalenti) sarà *-triolo* e così via. I composti con due gruppi ossidrilici legati ad atomi di carbonio adiacenti prendono anche il nome di *glicoli*.

Per quanto riguarda la reattività degli alcoli, si osserva che gli alcoli sono i composti organici più versatili in quanto danno luogo a molte reazioni. Dovendo fare una selezione si richiama innanzitutto:

L'OSSIDAZIONE DEGLI ALCOLI

Il comportamento degli alcoli all'ossidazione è però diverso a seconda che si tratti di alcoli primari, alcoli secondari o alcoli terziari.

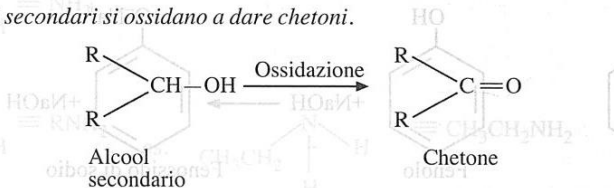
Gli alcoli primari si ossidano a dare aldeidi che a loro volta sono facilmente ossidate ad acidi carbossilici.



Così l'alcool etilico è ossidato ad aldeide acetica e quindi ad acido etanoico (o acido acetico).

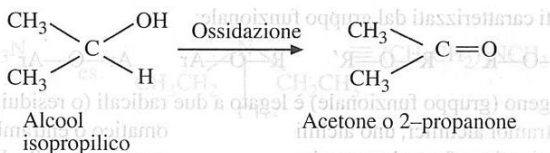
La stessa reazione avviene quando l'alcool etilico ingerito con l'alimentazione viene metabolizzato per via enzimatica nel nostro organismo. I poliziotti che esaminano l'alito con il palloncino effettuano l'ossidazione dell'aldeide e dell'alcool eventualmente presente nell'alito del bevitore ad acido acetico e l'ossidante che contiene cromo diviene verde.

Gli alcoli secondari si ossidano a dare chetoni.

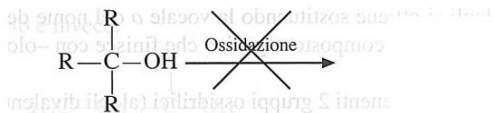


Esempio

Il 2-propanolo (o alcool isopropilico) è ossidato a propanone (o acetone):

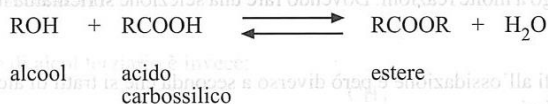


Gli alcoli terziari non vengono ossidati se non rompono la molecola.

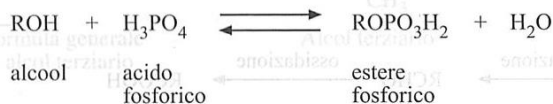


ESTERIFICAZIONE DEGLI ALCOLI

Gli **alcoli** formano gli esteri per reazione con un acido carbossilico:



Esteri misti si formano per una analoga reazione che coinvolge un alcool e un acido inorganico contenente ossigeno, come riportato di seguito.

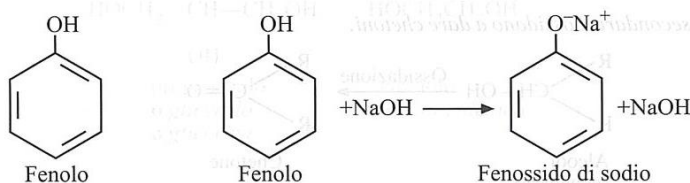


La reazione comporta la perdita di una molecola di acqua ed è di equilibrio. Per spostare l'equilibrio verso destra è necessario eliminare l'acqua o aggiungere un eccesso di alcool o di acido.

I FENOLI

I fenoli sono composti in cui un gruppo ossidrilico è direttamente legato ad un anello aromatico.

Il composto più semplice è il fenolo, detto anche acido fenico:



I fenoli sono più acidi degli alcoli. Infatti, al contrario degli alcoli, reagiscono con idrossido di sodio dando il sale detto fenossido (vedi reazione sopra).

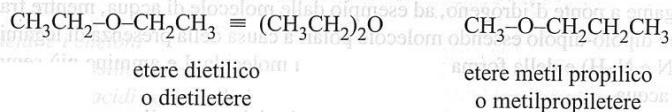
GLI ETERI

Gli eteri sono composti caratterizzati dal gruppo funzionale:



dove un atomo di ossigeno (gruppo funzionale) è legato a due radicali (o residui) che possono essere uguali o diversi, entrambi alchilici, uno alchilico e l'altro aromatico o entrambi aromatici.

Il nome degli eteri si ottiene facendo precedere la parola etere ai nomi delle due catene carboniose R (formato come negli idrocarburi dal prefisso indicante il numero di atomi di carbonio seguito in questo caso dalla desinenza -ile, es. con 1 atomo di carbonio = met + ile cioè metile, con 2 atomi di carbonio = etile ecc.), oppure il termine etere può seguire i nomi delle due catene di atomi carboniose:



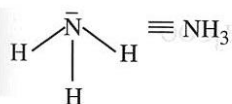
Gli eteri sono molecole debolmente polari in quanto i legami C-O sono covalenti polarizzati e l'angolo dei legami C-O-C è diverso da 180°. È infatti pari a circa 110°, simile a quello dell'acqua. La temperatura di ebollizione (a parità di massa molecolare) è più bassa di quella dei composti in grado di dare legami a ponte d'idrogeno (alcoli, ammine primarie e secondarie, acidi carbossilici) e poco più elevata dei composti apolari (che formano legami idrofobici) quali gli idrocarburi. La solubilità in acqua è scarsa e diminuisce all'aumentare del numero di atomi di carbonio dei due gruppi R.

Gli eteri sono molto stabili e poco reattivi, sono infatti usati come solventi. Lo studio delle loro reazioni esula però dagli scopi di questo testo.

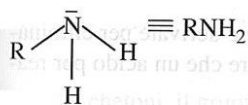
LE AMMINE

Le ammine sono composti organici che possono essere considerati derivanti dall'ammoniaca (NH₃). Si dividono così in primarie, secondarie e terziarie a seconda che si possano considerare formalmente derivate per sostituzione di uno, due o tre atomi di idrogeno dell'ammoniaca con altrettanti radicali alchilici o aromatici.⁸ Il gruppo funzionale è quindi l'atomo di azoto ibridizzato sp³ legato ai sostituenti ed eventualmente ad atomi di idrogeno, per cui spesso le ammine sono rappresentate come: RNH₂ (primarie), R₂NH (secondarie) e R₃N (terziarie).⁹

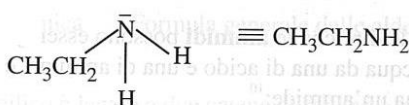
L'atomo di azoto delle ammine ha una coppia di elettroni liberi (non usata per i legami) per cui le ammine (come l'ammoniaca) hanno carattere basico in quanto possono legare un protone. Hanno forma piramidale con al vertice l'atomo di azoto con la coppia di elettroni.



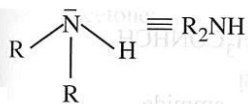
Ammoniaca



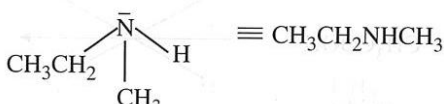
es.



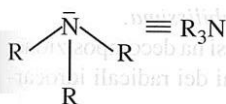
Ammina primaria



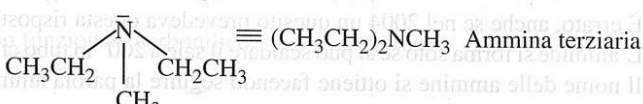
es.



Ammina secondaria



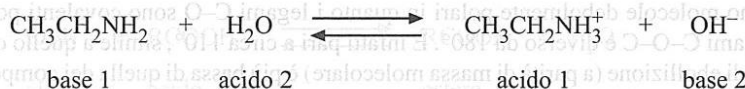
es.



Ammina terziaria

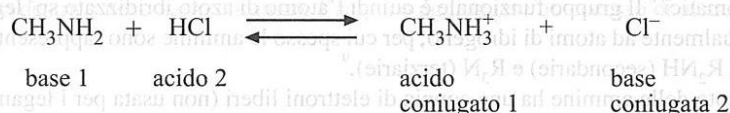
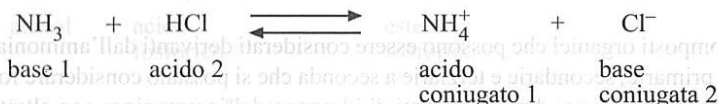
Le ammine primarie e secondarie, avendo almeno un atomo di idrogeno legato ad un atomo di azoto, possono formare fra loro legami a ponte d'idrogeno. Le ammine terziarie possono invece solo accettare un legame a ponte d'idrogeno, ad esempio dalle molecole di acqua, mentre fra loro presentano interazioni dipolo-dipolo essendo molecole polari a causa della presenza di legami covalenti polarizzati (C-N e N-H) e della forma piramidale della molecola. Le ammine più semplici sono perciò solubili in acqua.

Le ammine presentano in acqua proprietà debolmente basiche (come l'ammoniaca).

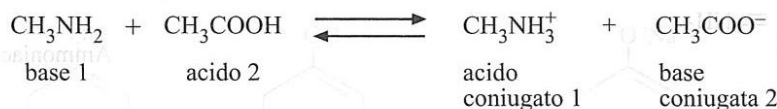


Infatti, grazie alla presenza della coppia di non legame, l'atomo di azoto può accettare un protone da un acido mettendola in compartecipazione con il protone e formando un legame covalente, chiamato anche, dai vecchi chimici, dativo.

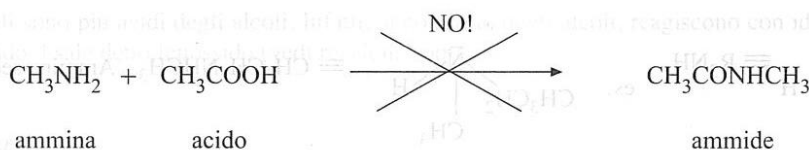
Un'ammina accettando un protone da un acido forma uno ione ammonio che è il suo acido coniugato, così come fa l'ammoniaca:



naturalmente ciò avviene anche se l'acido è un acido organico:



Perciò mentre è possibile dire che le **ammidi** possono essere *formalmente* derivate per eliminazione di una molecola di acqua da una di acido e una di ammina, è errato dire che un acido per reazione con un'ammina forma un'ammide:¹⁰



È errato, anche se nel 2004 un quesito prevedeva questa risposta. *Contestabilissima*.

L'ammide si forma solo se si può scaldare il sale a 200° in tubo chiuso e non si ha decomposizione.

Il nome delle ammine si ottiene facendo seguire la parola ammina ai nomi dei radicali idrocarburi R o Ar.

12.3.2 COMPOSTI ORGANICI CON GRUPPI FUNZIONALI INSATURI

I composti organici più importanti con gruppi funzionalizzati insaturi sono:

- Le aldeidi e i chetoni
- Gli acidi carbossilici
- I derivati degli acidi carbossilici

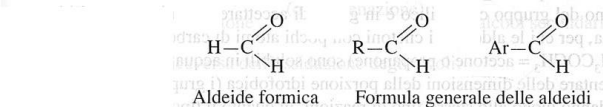
■ LE ALDEIDI E I CHETONI

Queste due famiglie di composti sono trattate insieme perché caratterizzate dallo stesso gruppo funzionale, il gruppo funzionale carbonilico:

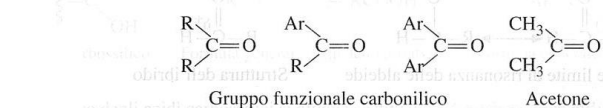


L'atomo di carbonio, analogamente all'atomo di ossigeno, ha ibridizzazione sp^2 , cioè i legami che forma sono planari. Inoltre, a causa della maggiore elettronegatività dell'atomo di ossigeno rispetto all'atomo di carbonio, il doppio legame $C=O$ è polarizzato, con parziale carica positiva (+ δ) sull'atomo di carbonio e negativa (- δ) sull'atomo di ossigeno.

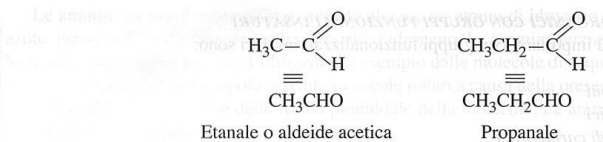
Nel caso delle aldeidi, il gruppo carbonilico è legato a un radicale alifatico o aromatico e a un atomo di idrogeno (nel caso della più semplice aldeide, l'aldeide formica, il gruppo carbonilico è legato a due atomi di idrogeno), perciò il gruppo aldeidico ($-CHO$) è sempre all'estremità delle catene di atomi di carbonio:



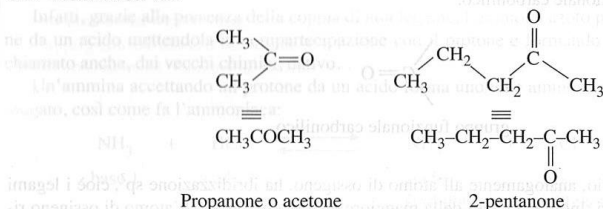
Nei chetoni, il gruppo carbonilico è legato a due catene alifatiche o ad un anello aromatico, perciò tale gruppo è sempre all'interno di una catena di atomi di carbonio. Perciò il più semplice chetone è l'acetone:



Il nome delle aldeidi si ottiene sostituendo l'ultima vocale del nome dell'idrocarburo corrispondente con il suffisso -ale. Nel caso di molecole contenenti 2 gruppi (o funzionalità) aldeidici la desinenza sarà -diale (di = 2), con tre gruppi aldeidici sarà -triale e così via:



Per ottenere il nome dei chetoni si usa il suffisso -one che si pone al posto della o degli idrocarburi saturi indicando con un numero la posizione del gruppo carbonilico. Nel caso di molecole contenenti 2 gruppi (o funzionalità) chetonici la desinenza sarà -dione (di = 2), con tre gruppi chetonici sarà -trione e così via.



Le molecole delle aldeidi e dei chetoni sono polari a causa della presenza del gruppo carbonilico, per cui le forze intermolecolari sono attrazioni fra molecole polari (o attrazioni dipolo-dipolo), più deboli del legame a ponte d'idrogeno, quindi, a parità di massa molecolare, le aldeidi e i chetoni hanno temperature di ebollizione più basse degli alcoli, delle ammine primarie e secondarie e degli acidi carbossilici di pari peso molecolare (in cui le interazioni intermolecolari sono legami a ponte d'idrogeno), ma più alte rispetto agli idrocarburi.

L'atomo di ossigeno del gruppo carbonilico è in grado di accettare legami a ponte d'idrogeno dalle molecole d'acqua, per cui le aldeidi e i chetoni con pochi atomi di carbonio (CH_3CHO = etanale o acetaldeide, CH_3COCH_3 = acetone o propanone) sono solubili in acqua; la solubilità in acqua diminuisce con l'aumentare delle dimensioni della porzione idrofobica (i gruppi R).

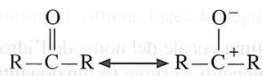
Aldeidi e chetoni danno luogo allo stesso tipo di reazioni, in quanto il tipo di reattività di questi composti è dovuto al gruppo carbonilico, presente in entrambe le classi di composti. Il gruppo carbonilico è planare (ibridazione sp^2 dell'atomo di carbonio) e polarizzato, per cui sia le aldeidi che i chetoni sono ibridi di risonanza fra due forme limite:



Forme limite di risonanza delle aldeide



Struttura dell'ibrido

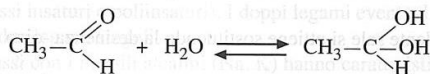


Forme limite di risonanza dei chetoni



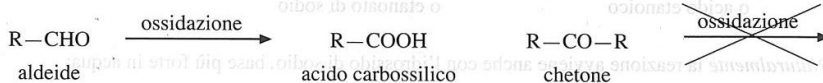
Struttura dell'ibrido

Aldeidi e chetoni danno reazioni di **addizione nucleofila** al legame pi greco del gruppo carbonilico, addizione in quanto il reattivo si lega al doppio legame (come negli alcheni), nucleofila in quanto la particella che attacca per prima l'atomo di carbonio carbonilico è una particella che possiede una coppia di elettroni o una carica negativa, quindi è un nucleofilo (amante della carica positiva):

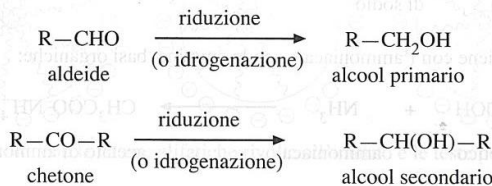


Addizione di acqua

Le aldeidi sono facilmente ossidate con formazione dei corrispondenti acidi carbossilici, mentre i chetoni non vengono ossidati senza modificazione della loro catena.



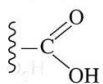
Aldeidi e chetoni possono essere invece ridotti rispettivamente ad alcoli primari e ad alcoli secondari:



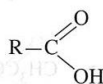
La reazione è il viceversa dell'ossidazione degli alcoli.

■ GLI ACIDI CARBOSSILICI

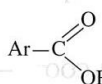
Il gruppo funzionale degli acidi carbossilici è $-\text{COOH}$, detto **carbossile** o **gruppo carbossilico**:



Gruppo carbossilico



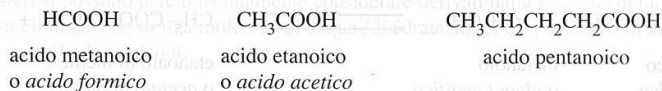
Formula generale degli acidi alifatici



Formula generale degli acidi aromatici

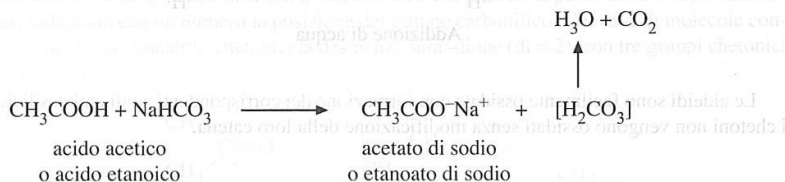


Il nome degli acidi carbossilici si ottiene sostituendo il suffisso $-\text{oico}$ all'ultima vocale del nome dell'idrocarburo corrispondente che si fa precedere dal sostantivo **acido**.



Gli acidi carbossilici sono acidi deboli, infatti il valore della loro costante acida (K_a) in acqua è circa 10^{-5} . Essi sono più acidi dell'acido carbonico per cui reagiscono con bicarbonato di sodio (o altri bicarbonati) in acqua formando il sale sodico e acido carbonico che, essendo instabile come acido libero, forma anidride carbonica gassosa che si libera come bollicine e acqua. Nell'alcafelzer la reazione avviene tra acido citrico e bicarbonato di magnesio. L'acido acetico si trova nell'aceto in quantità di circa il 5%.

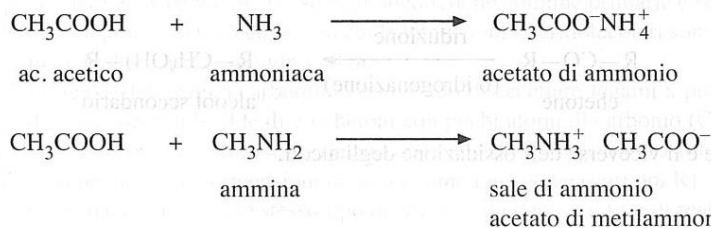
Il nome del corrispondente sale si ottiene sostituendo la desinenza $-\text{oico}$ con $-\text{oato}$:



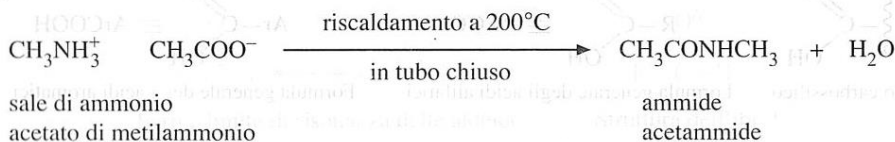
Naturalmente la reazione avviene anche con l'idrossido di sodio, base più forte in acqua:



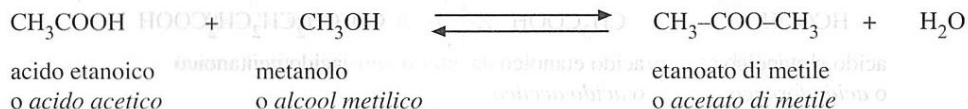
la stessa reazione avviene con l'ammoniaca e con le ammine, basi organiche:



C'è da osservare che alcuni sali di ammonio per riscaldamento in tubo chiuso, a 200 °C, si perdono una molecola di acqua formando le ammidi, che tuttavia si ottengono quasi sempre per altra via.



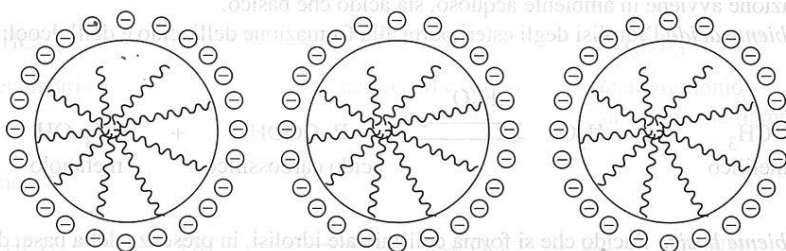
Gli acidi carbossilici, come si è visto, per reazione con gli alcoli formano gli esteri:



Interessanti sono gli acidi grassi, che sono acidi monocarbossilici (contenenti un solo gruppo carbossilico), formati da una catena lineare a numero pari di atomi di carbonio con almeno 4 atomi di carbonio (in genere le loro catene ne contengono da 16 a 20). Sono così chiamati perché si ritrovano nei lipidi (sotto forma di esteri del glicerolo).

Nei mammiferi gli acidi grassi sono prevalentemente costituiti da una catena lineare contenente doppi legami (acidi grassi insaturi o poliinsaturi). I doppi legami eventualmente presenti sono separati fra loro da almeno due legami singoli.

I sali degli acidi grassi con i metalli alcalini (Na, K) hanno caratteristiche particolari e sono denominati saponi. I saponi non sono solubili in acqua dove invece formano dispersioni colloidali di tipo micellare.

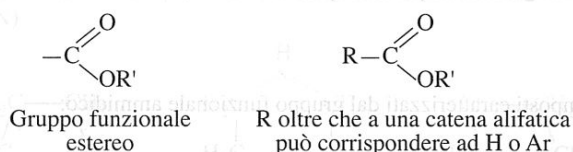


Micelle di un sapone con le catene alifatiche rivolte all'interno e le teste polari verso l'acqua

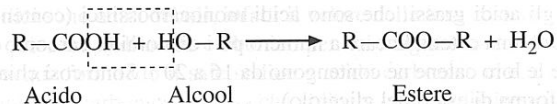
Il loro potere detergente è dovuto alla loro capacità di formare in acqua strutture micellari in grado di solubilizzare la matrice apolare dello sporco, altrimenti insolubile in acqua.

■ GLI ESTERI

Il gruppo funzionale caratteristico degli **esteri** è:



Gli esteri si possono perciò formalmente considerare derivati dalla reazione di un acido con un alcool con eliminazione di una molecola di acqua (disidratazione) tra l'ossidrile di un gruppo carbossilico e quello di un alcool.



Il gruppo funzionale estereo è presente anche nei lipidi (trigliceridi, cere).

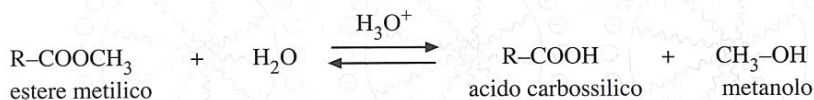
Per ottenere il nome di un estere è sufficiente cambiare il suffisso dell'acido (-oico) in -oato e far seguire il nome del gruppo R, costituito dal prefisso indicante il numero di atomi di carbonio della catena lineare che lo costituisce e la desinenza -ile:



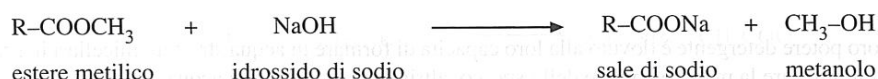
La reazione caratteristica degli esteri è la loro scissione ad opera dell'acqua (idrolisi) a formare l'acido carbossilico e l'alcool da cui derivano.

La reazione avviene in ambiente acquoso, sia acido che basico.

In *ambiente acido* l'idrolisi degli esteri porta alla formazione dell'acido e dell'alcool:



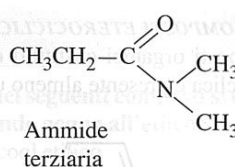
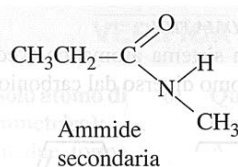
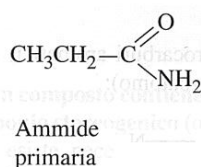
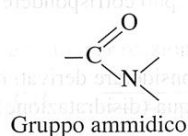
In *ambiente basico* l'acido che si forma dall'iniziale idrolisi, in presenza della base, dà luogo al sale dell'acido. Si ottengono così il sale dell'acido e l'alcool:



Poiché nel caso di scissione idrolitica in ambiente basico dei legami esterei presenti nei lipidi si ottengono i saponi, a questa reazione viene dato anche il nome di saponificazione. I saponi da bucato si ottengono trattando con soda caustica (NaOH) i grassi o gli oli vegetali rancidi o ad alto grado di acidità. Se ne ottiene glicerina liquida e saponi solidi.

■ LE AMMIDI

Le ammidi sono composti caratterizzati dal gruppo funzionale ammidico:

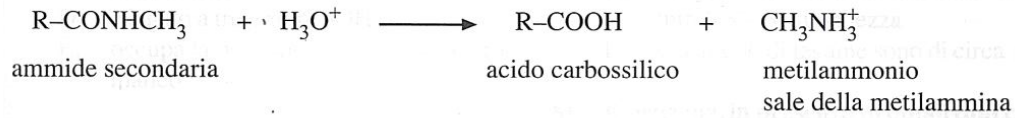


Per le scienze della vita, le ammidi sono importanti soprattutto perché il loro gruppo funzionale è quello caratteristico dei peptidi e delle proteine (§ 13.4). Per la loro formazione vedi pagg. 460 e 464.

Lo studio del nome delle ammidi non rientra negli scopi di questo testo.

La reazione caratteristica delle ammidi è la scissione ad opera dell'acqua (idrolisi) che avviene in ambiente acquoso acido o basico. In ambiente acido si forma l'acido carbossilico e il sale dell'ammina (dalle ammidi secondarie o terziarie) o dell'ammoniaca (dalle ammidi primarie), in ambiente basico si forma il sale dell'acido e l'ammina o l'ammoniaca.

Idrolisi acida:

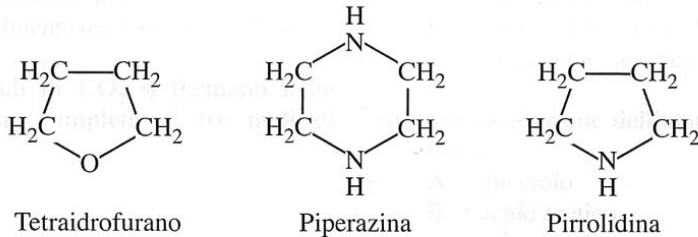


Idrolisi basica:



12.4 I COMPOSTI ETEROICICLICI

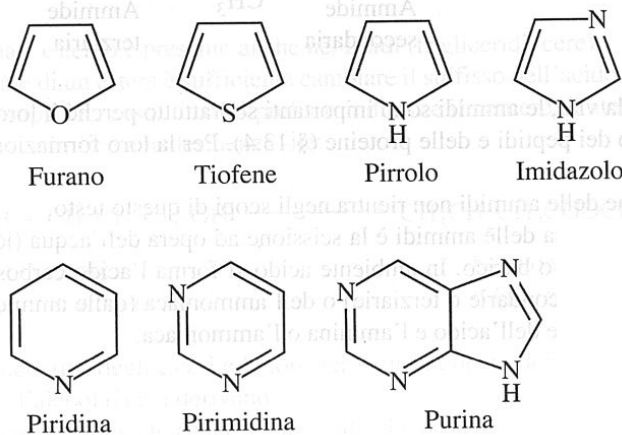
Il nome di **composti eterociclici** si dà a tutti i composti organici contenenti una struttura ciclica (anello) di atomi di carbonio in cui è presente almeno un eteroatomo (atomo di un elemento diverso dal carbonio: O, S, N):



I più importanti sono però quelli insaturi, che spesso sono aromatici.

12.4.1 COMPOSTI ETEROICICLICI AROMATICI

Sono composti organici costituiti da un sistema aromatico (vedi idrocarburi aromatici) nella cui struttura ciclica è presente almeno un atomo diverso dal carbonio (eteroatomo):



Cenni di chimica organica

Verifica

- Se un composto contiene un solo atomo di carbonio stereogenico (o asimmetrico):**
 - esiste necessariamente in due forme isomere
 - è certamente polare
 - la sua molecola può non essere chirale
 - non presenta mai isomeria
 - dà necessariamente luogo a due isomeri di catena
- Un atomo di carbonio si definisce terziario se:**
 - è il terzo della catena carboniosa
 - è coinvolto in un triplo legame
 - è direttamente legato ad altri tre atomi di carbonio
 - è legato a tre gruppi -OH
 - occupa la posizione 3 in un anello aromatico
- Indicare quali delle seguenti sostanze sono isomeri fra loro.**

A. $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{Cl}$; B. $\text{CH}_3\text{-CHCl}_2$;
C. $\text{CH}_3\text{-CCl}_3$; D. $\text{CH}_2\text{Cl-CH}_2\text{Cl}$

 - A e B
 - A e C
 - A e D
 - B e D
 - B e C
- Il cicloesano:**
 - presenta carattere aromatico
 - è costituito da 6 atomi di C e 6 atomi di H
 - ha struttura non planare
 - possiede atomi di C ibridati sp
 - dà facilmente reazioni di addizione
- Quante moli di CO_2 si formano nella combustione completa di tre moli di CH_4 ?**
 - 1
 - 1,5
 - 2
 - 3
 - Nessuna, perché il metano non brucia
- Quale dei seguenti composti si ottiene addizionando acqua all'etilene?**
 - Alcool etilico
 - Etere dietilico
 - Aldeide acetica
 - Acetone
 - Etano
- Soltanto una delle seguenti affermazioni a proposito del benzene è errata. Quale?**
 - I sei atomi di carbonio si trovano ai vertici di un esagono regolare
 - La molecola contiene quattro elettroni p in orbitali non ibridati
 - Gli atomi di C sono ibridati sp^2
 - I legami fra atomi di carbonio hanno tutti la stessa lunghezza
 - Gli angoli di legame sono di circa 120°
- Il benzene, in presenza di opportuni catalizzatori, reagisce con l'acido nitrico, con il cloro e con il clorometano; si tratta, in tutti e tre i casi, di reazioni di:**
 - sostituzione nucleofila
 - sostituzione elettrofila
 - sostituzione radicalica
 - addizione elettrofila
 - addizione nucleofila
- Il composto $\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CH}_2\text{OH}$ è:**
 - un alcool trivalente due volte secondario ed una volta primario
 - un alcool terziario trivalente
 - un alcool trivalente primario
 - un alcool terziario due volte monovalente ed una volta bivalente
 - un alcool trivalente due volte primario ed una volta secondario
- Per ossidazione dell'etanolo si può ottenere:**
 - glicerolo
 - acido acetico
 - acetone
 - metano
 - propano
- A quale categoria di composti organici appartiene il composto di formula $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$?**
 - Eteri
 - Esteri
 - Anidridi
 - Aldeidi
 - Chetoni
- Quali dei seguenti composti NON possono formare tra loro legami a ponte di idrogeno?**
 - Gli acidi carbossilici
 - Gli alcoli secondari
 - Gli alcoli terziari
 - Le ammine terziarie
 - Le ammine primarie
- Il gruppo funzionale -CHO si chiama:**
 - alcoolico primario
 - alcoolico secondario
 - aldeidico
 - carbossilico
 - chetonico
- La molecola dei chetoni è caratterizzata dal gruppo:**
 - ossidrilico
 - ammidico
 - carbammilico
 - carbonilico
 - carbossilico
- Gli acidi carbossilici:**
 - in genere hanno bassi valori della costante di ionizzazione
 - formano esteri mediante reazione con altri acidi carbossilici
 - non formano sali
 - si ottengono per riduzione delle aldeidi
 - formano ammine mediante reazione con l'ammoniaca

16) La formula $R-COO-R'$ è caratteristica di:

- A. una aldeide
- B. un chetone
- C. un acido carbossilico
- D. un estere
- E. un etere

17) Il butirrato di propile è:

- A. un estere
- B. un etere
- C. un sale
- D. un radicale alchilico
- E. un radicale acido

18) Indicare l'unica reazione che porta (*formalmente*) alla formazione di ammidi.

- A. alcool + alcool
- B. chetone + alcool
- C. ammoniaca + alogenoalcano
- D. ammoniaca + aldeide
- E. ammoniaca + acido carbossilico

19) Indicare il composto che si ottiene per ossidazione dell'alcol isopropilico

- A. acetone
- B. aldeide acetica
- C. acetato di etile
- D. acido acetico
- E. etere dietilico

20) Nella molecola di una ammide sono contenute almeno le seguenti specie atomiche:

- A. carbonio e azoto
- B. carbonio, azoto e idrogeno
- C. carbonio, azoto e ossigeno
- D. azoto e ossigeno
- E. carbonio, idrogeno, azoto e ossigeno.