

**Corso di Studio in**  
**SCIENZE DELLE ATTIVITÀ MOTORIE E SPORTIVE**

**Insegnamento:**  
**CHIMICA, BIOCHIMICA E FISICA APPLICATA ALLE SCIENZE**  
**MOTORIE**

**Modulo di Insegnamento: CHIMICA E BIOCHIMICA**

Dott.ssa **Claudia Rossi**

*Dipartimento di Scienze Psicologiche, della Salute e del Territorio (DiSPuTer)*  
*Laboratorio di Biochimica Analitica e Proteomica*  
*Centro di Studi e Tecnologie Avanzate CAST*  
*Università degli Studi "G. d'Annunzio"*  
**Tel. 0871 541596 – 0871 541333**

[claudia.rossi@unich.it](mailto:claudia.rossi@unich.it)

1

**Modulo: Chimica e Biochimica → Programma del Corso**

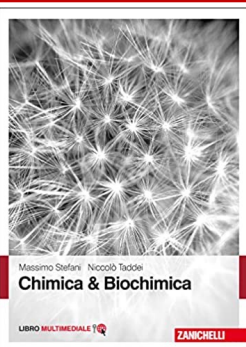
**Contenuti**

MODULO DI CHIMICA: Elementi di chimica generale. Principali contenuti: equilibri in soluzione, reazioni redox, proprietà colligative ed elementi di base di chimica del carbonio  
 MODULO DI BIOCHIMICA: Le biomolecole. Metabolismi di base di glucidi, lipidi e proteine. Caratteristiche principali dei metabolismi energetici

**Testi di riferimento**

MODULO DI CHIMICA:  
 Massimo Stefani, Niccolò Taddei, Chimica & Biochimica (Zanichelli)  
 MODULO DI BIOCHIMICA:  
 David L. Nelson, Michael M Cox Introduzione alla biochimica di Lehninger (Zanichelli)  
 Antonio Di Giulio, Amelia Fiorilli, Claudio Stefanelli, Biochimica per Scienze motorie (Casa Editrice Ambrosiana. Distribuzione Zanichelli)

Massimo Stefani, Niccolò Taddei  
**Chimica & Biochimica**  
 2017



David L. Nelson, Michael M. Cox  
**Introduzione alla biochimica di Lehninger**  
 Sesta edizione  
 A cura di Ettore Meloni  
 Trad. di A. De Donatis, R. Stefanese  
 2018



Antonio Di Giulio, Amelia Fiorilli, Claudio Stefanelli  
**Biochimica per Scienze motorie**  
 Casa Editrice Ambrosiana. Distribuzione esclusiva Zanichelli  
 2011



2

## Modulo: Chimica e Biochimica → Programma del Corso

### CHIMICA

#### Programma esteso

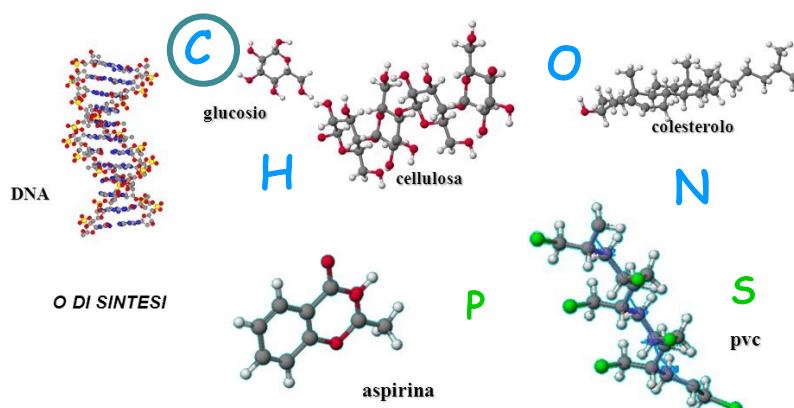
MODULO DI CHIMICA: Struttura dell'atomo, proprietà degli elementi, tavola periodica. Legami chimici, classificazione dei composti e formule chimiche. Proprietà delle soluzioni: elettroliti non elettroliti. Stechiometria. Concentrazioni. Reazioni reversibili e irreversibili. Esercizi. Legge di azione di massa, prodotto ionico dell'acqua, definizione di pH. Acidi e basi, forti e deboli, e calcolo del pH. Idrolisi salina e effetti sul pH. Esercizi. Definizione e ruolo dei tamponi. Numero di ossidazione e reazioni redox. Proprietà colligative. Osmosi. Elementi di chimica del carbonio: idrocarburi e ibridazione del carbonio, gruppi funzionali con particolare riferimento alle funzioni semplici e complesse dell'ossigeno. Reattività degli alcoli, carbonili, e carbossili. Gli alfa e beta chetoacidi, alfa e beta ossiacidi. La reazione di riduzione dell'acido piruvico ad acido lattico. Legame glicosidico, legame peptidico, legame estere e anidridi.

3

## LA CHIMICA ORGANICA È LA CHIMICA DEI COMPOSTI DEL CARBONIO

INIZIALMENTE ERA CHIAMATA ERRONEAMENTE **CHIMICA ORGANICA** SUPPONENDO CHE TUTTI I COMPOSTI DEL CARBONIO FOSSERO PRESENTI SOLO NEGLI ORGANISMI VIVENTI.

**IN REALTÀ I COMPOSTI DEL CARBONIO POSSONO ESSERE NATURALI**



4

## FONDAMENTI DI CHIMICA ORGANICA

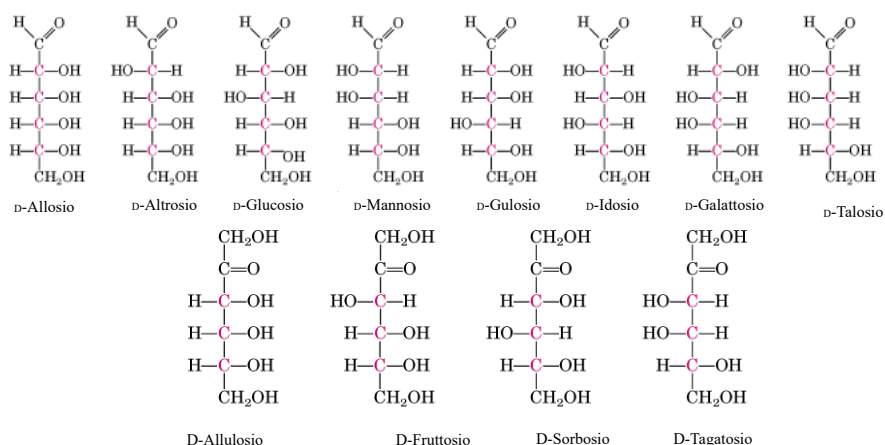
## Composti organici

Un composto organico è un qualsiasi **composto del carbonio** che, *almeno in origine*, viene sintetizzato da un essere vivente.

5

### La chimica organica nella vita di tutti i giorni

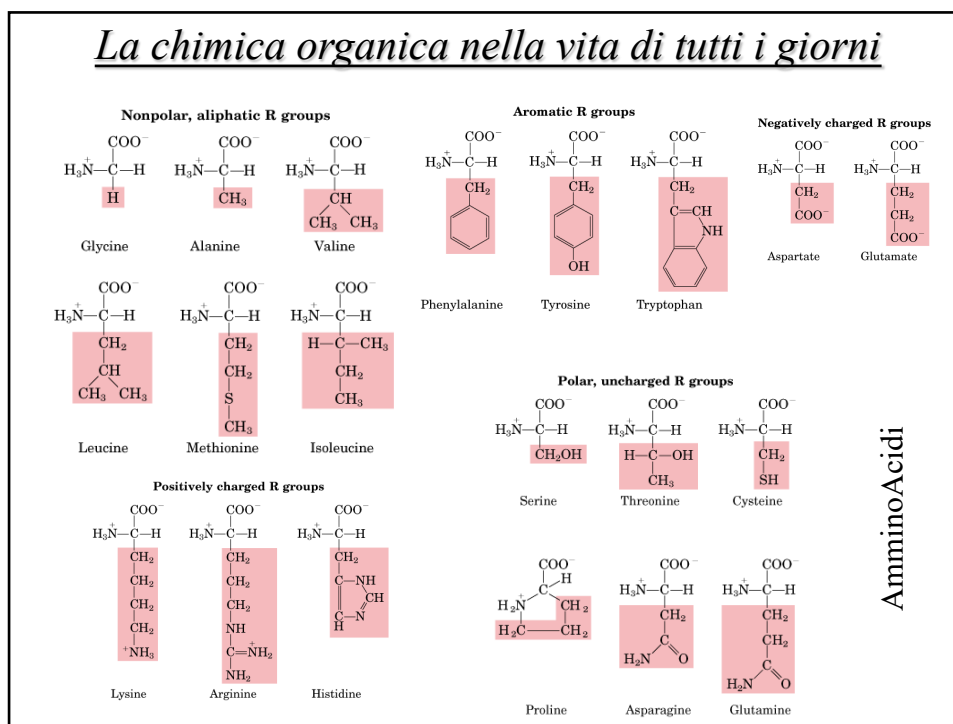
Siamo fatti di composti organici e siamo circondati da composti organici.



### Zuccheri

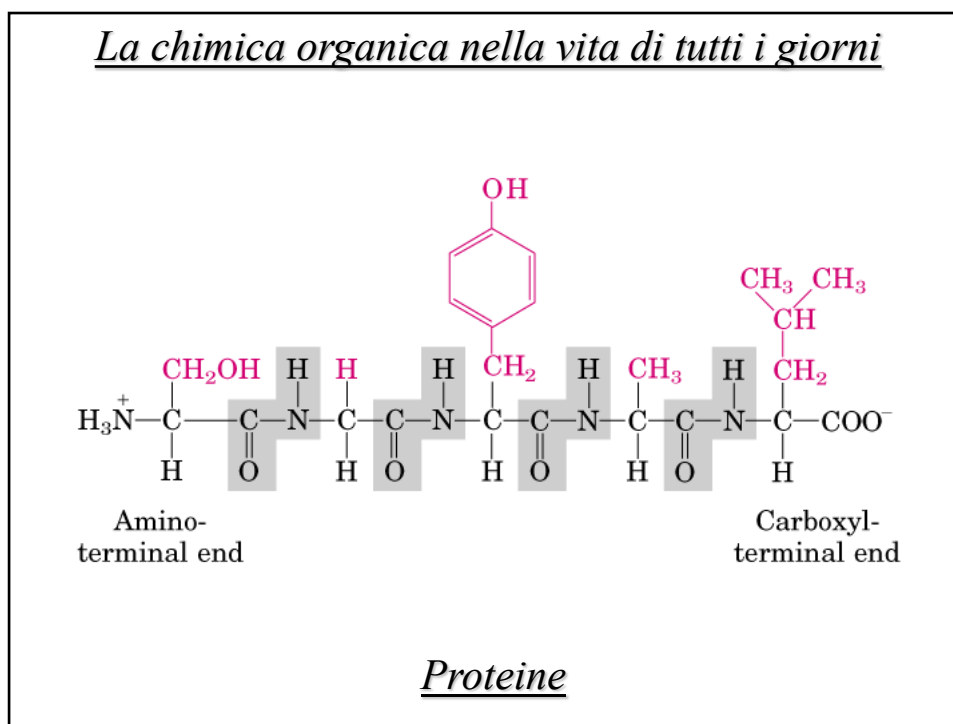
6

## La chimica organica nella vita di tutti i giorni



7

## La chimica organica nella vita di tutti i giorni



8

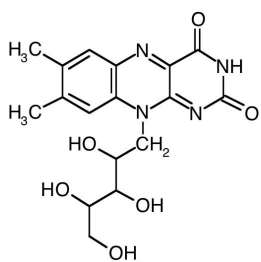
### La chimica organica nella vita di tutti i giorni

| Scheletro carbonioso | Struttura                                  | Nome comune | Punto di Fusione °C | (mg/g solvente) |         |
|----------------------|--------------------------------------------|-------------|---------------------|-----------------|---------|
|                      |                                            |             |                     | Acqua           | Benzene |
| 12:0                 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ | Laurico     | 44.2                | 0.063           | 2600    |
| 14:0                 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ | Miristico   | 53.9                | 0.024           | 874     |
| 16:0                 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ | Palmitico   | 63.1                | 0.0083          | 348     |
| 18:0                 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ | Stearico    | 69.1                | 0.0034          | 124     |

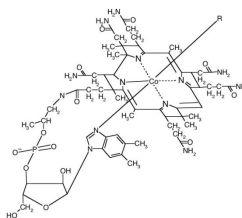
### *Acidi grassi naturali*

9

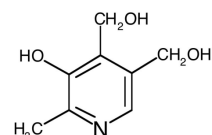
### La chimica organica nella vita di tutti i giorni



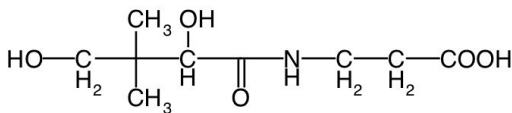
Riboflavina (vitamina B2)



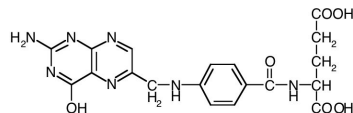
Cobalamina (Vitamina B12)



Piridossina (vitamina B6)



Acido pantotenico (vitamina B5)



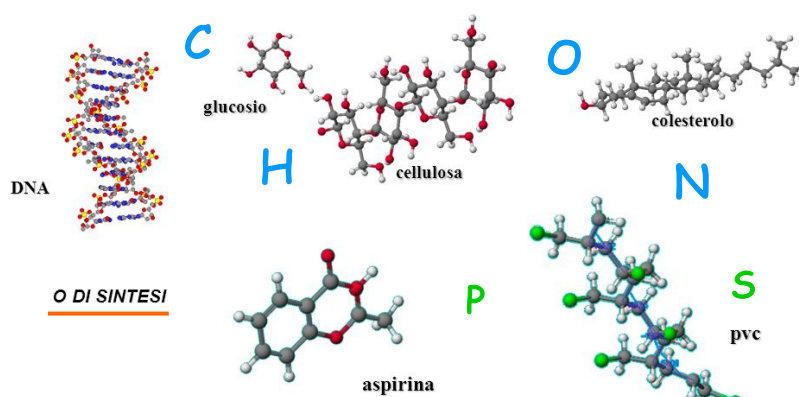
Acido folico (vitamina B9)

10

## LA CHIMICA ORGANICA È LA CHIMICA DEI COMPOSTI DEL CARBONIO

*Questa definizione allarga gli obiettivi di questa disciplina fino ad includere non solo i prodotti naturali ma anche i prodotti di sintesi.*

IN REALTÀ I COMPOSTI DEL CARBONIO POSSONO ESSERE NATURALI



11

### La chimica organica nella vita di tutti i giorni

...DNA

.....Olio

*Composti naturali e....di sintesi*

.....Benzina

.....Abiti

.....Legno

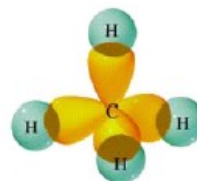
.....Profumi

.....Ormoni

.....Enzimi

12

Denominatore comune....

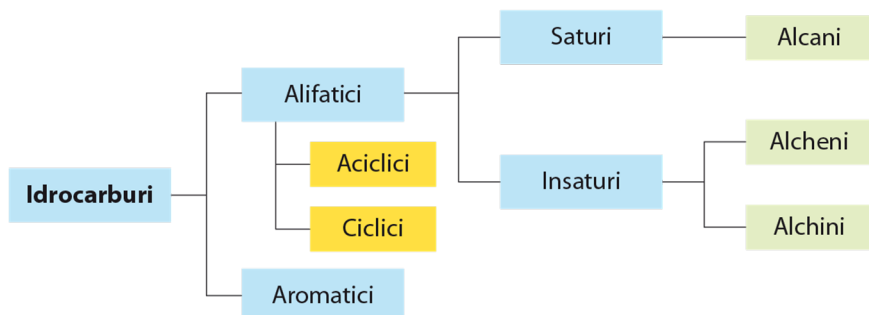


.....**Il Carbonio**

13

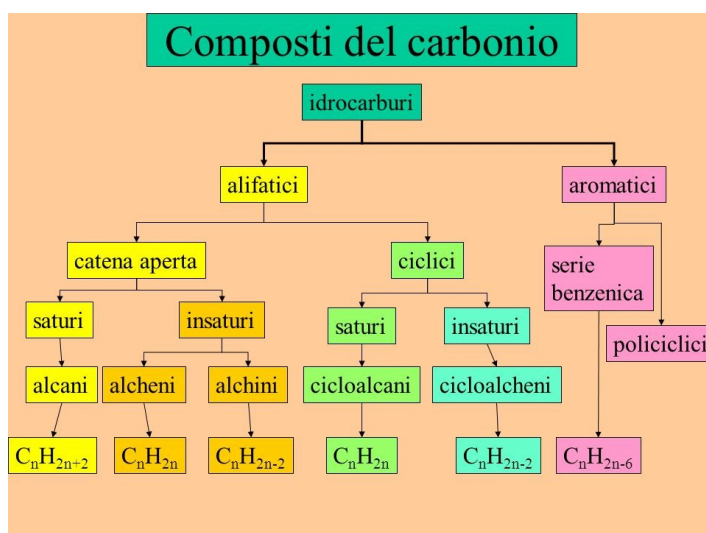
**IDROCARBURI**

14



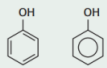
La maggior parte dei combustibili per la produzione di energia sono **Idrocarburi**, ossia composti che contengono soltanto carbonio e idrogeno. Le loro molecole sono apolari ed insolubili in acqua.

15



16



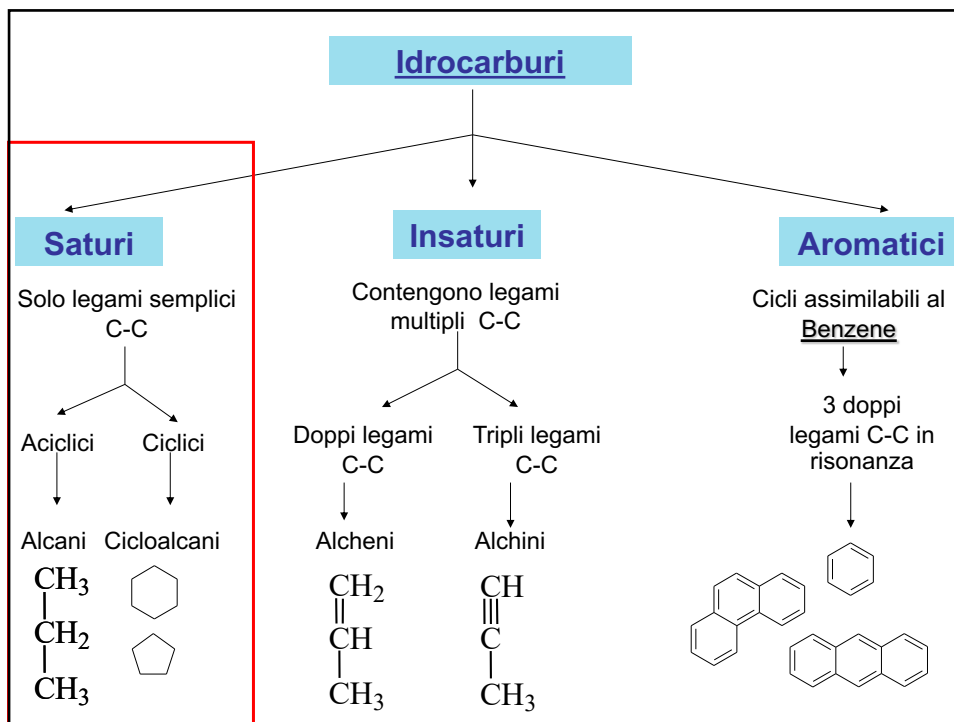
| Gruppo funzionale                                                                               | Formula generale        | Classe di composti                  | Esempi (formule)                                                                  | Nome *                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Alogenuro (—X)                                                                                  | R—X**                   | Alogenuri (o idrocarburi alogenati) | CH <sub>3</sub> F                                                                 | Fluorometano                        |
| Ossidrilie —OH                                                                                  | R—OH                    | Alcoli                              | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH                                                | Etanolo (alcol etilico)             |
| Ossidrilie —OH                                                                                  | Ar—OH                   | Fenoli                              |  | Fenolo                              |
| Etere —O—                                                                                       | R—O—R                   | Eteri                               | CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —O—CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>              | Etere dietilico                     |
| Carbonile<br>  | (R—CHO)                 | Aldeidi                             | CH <sub>3</sub> —C(=O)H                                                           | Etanale (acetaldeide)               |
| Carbonile<br>  | (R—CO—R')               | Chetoni                             | CH <sub>3</sub> —C(=O)—CH <sub>3</sub>                                            | Propanone (acetone)                 |
| Carbossile<br> | (R—COOH)                | Acidi carbossilici                  | CH <sub>3</sub> —C(=O)OH                                                          | Acido etanoico (acido acetico)      |
| Etere<br>      | R—COO—R'                | Esteri                              | CH <sub>3</sub> —C(=O)—O—CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>                         | Etanato di etile (acetato di etile) |
| Ammidico<br>   | (R—CO—NH <sub>2</sub> ) | Ammidi                              | CH <sub>3</sub> —C(=O)NH <sub>2</sub>                                             | Etanammide (acetammide)             |
| Amminico —NH <sub>2</sub>                                                                       | R—NH <sub>2</sub>       | Ammine                              | CH <sub>3</sub> —NH <sub>2</sub>                                                  | Metilammina                         |

\* In colore è indicato il suffisso IUPAC; in parentesi il nome tradizionale.  
\*\* X: è un atomo di un alogeno (F, Cl, Br o I).

17

| Gruppo funzionale                                                                   | Famiglia           | Esempio                                                                                                                    | Gruppo funzionale                                                                   | Famiglia              | Esempio                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|
|  | acidi carbossilici | CH <sub>3</sub> —C(=O)OH<br>acido etanoico                                                                                 | R—Alg                                                                               | idrocarburi alogenati | CH <sub>3</sub> —Cl<br>clorometano                                  |
|  | esteri             | CH <sub>3</sub> —C(=O)—O—CH <sub>3</sub><br>etanoato di metile                                                             | R—OH                                                                                | alcoli                | CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —OH<br>etanolo                     |
| R—NH <sub>2</sub>                                                                   | ammina primaria    | CH <sub>3</sub> —NH <sub>2</sub><br>metilammina                                                                            | R—O—R'                                                                              | eteri                 | CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —O—CH <sub>3</sub><br>metossietano |
|  | ammidi             | CH <sub>3</sub> —C(=O)NH <sub>2</sub><br>etanammide                                                                        |  | aldeidi               | CH <sub>3</sub> —C(=O)H<br>etanale                                  |
| Ar—OH                                                                               | fenoli             | CH <sub>3</sub> —  —OH<br>4-metilfenolo |  | chetoni               | CH <sub>3</sub> —C(=O)—CH <sub>3</sub><br>propanone                 |

18



19

# ALCANI

20

### Nomi e formule dei primi dieci alcani non ramificati

| N. atomi Carbonio | Prefisso | Suffisso | Nome    | Formula bruta                   | Formula condensata o razionale                                                                                                                                           |
|-------------------|----------|----------|---------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                 | Met-     | -ano     | Metano  | CH <sub>4</sub>                 | CH <sub>4</sub>                                                                                                                                                          |
| 2                 | Et-      |          | Etano   | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>   | CH <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>                                                                                                                                         |
| 3                 | Prop-    |          | Propano | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>   | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>                                                                                                                        |
| 4                 | But-     |          | Butano  | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>                                                                                                       |
| 5                 | Pent-    |          | Pentano | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>                                                                                      |
| 6                 | Es-      |          | Esano   | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>                                                                     |
| 7                 | Ept-     |          | Eptano  | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>                                                    |
| 8                 | Ott-     |          | Ottano  | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>                                   |
| 9                 | Non-     |          | Nonano  | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>  | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>                  |
| 10                | Dec-     |          | Decano  | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub> |

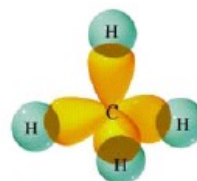
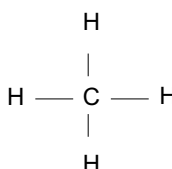
—CH<sub>2</sub>— gruppo metilenico

ALCANI: C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>

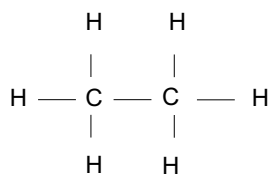
21

### Alcani

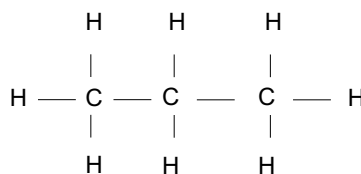
- Alcano più semplice è il metano (CH<sub>4</sub>)



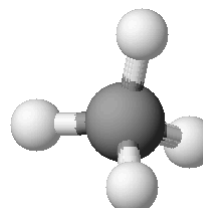
Altri alcani si ottengono inserendo atomi di C e un n° opportuno di H (C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>)



(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)

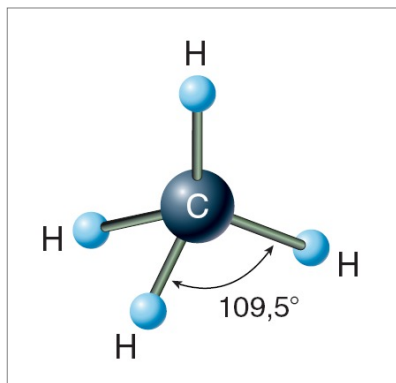


(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)



22

## Alcani



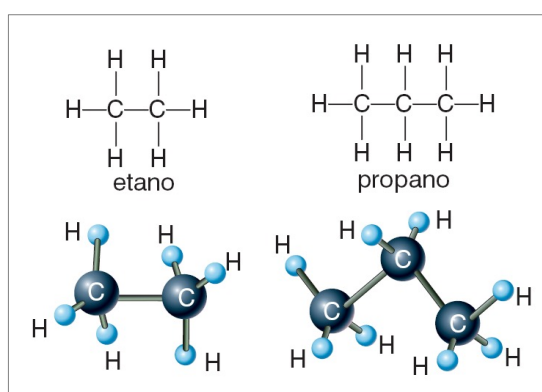
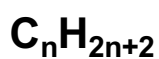
**Il più semplice degli alcani è il metano,  $\text{CH}_4$ .**

I quattro atomi di idrogeno circondano l'atomo di carbonio: la struttura è perfettamente **tetraedrica** con angoli di legame di  $109,5^\circ$ .

Autore, Autore, Autore Titolo © Zanichelli editore 2009

23

## Alcani



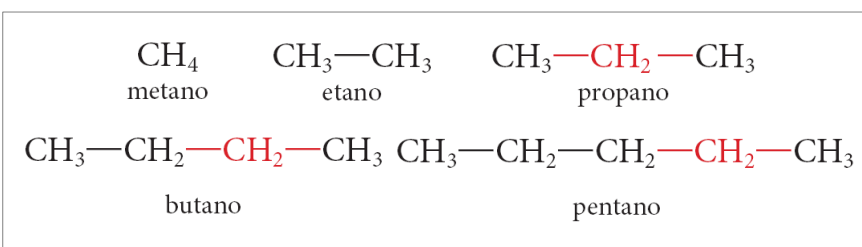
I due idrocarburi successivi sono l'**etano,  $\text{C}_2\text{H}_6$** , e il **propano,  $\text{C}_3\text{H}_8$** .

Propano ed etano si differenziano per la presenza di un gruppo  $\text{—CH}_2\text{—}$

Autore, Autore, Autore Titolo © Zanichelli editore 2009

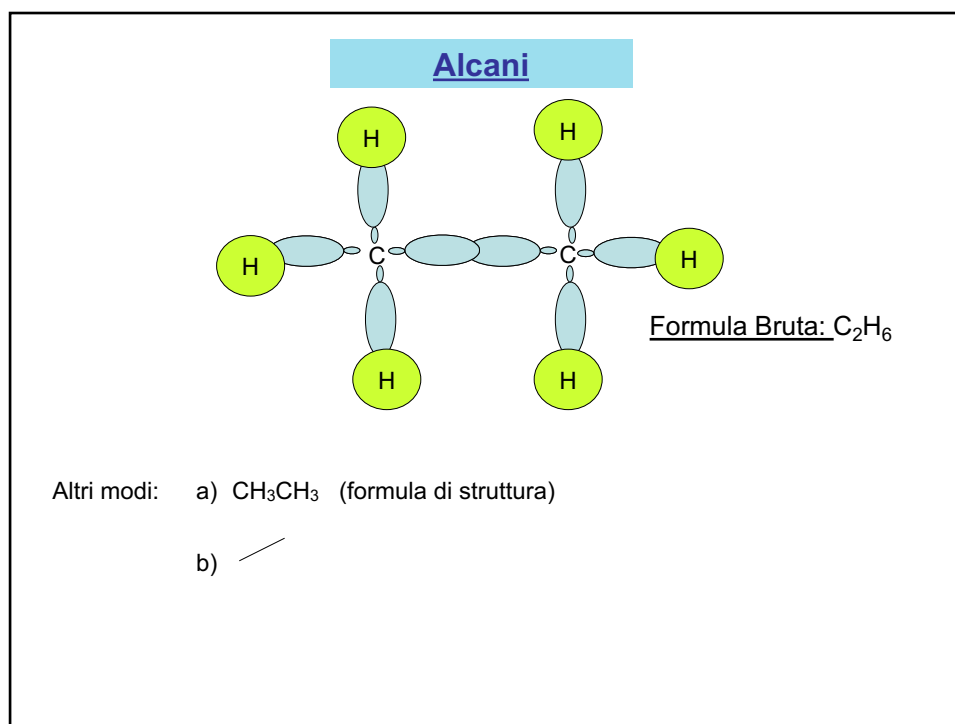
24

Le **formule condensate** permettono una rappresentazione schematica. In rosso è evidenziato il gruppo che differenzia una catena rispetto a quella che la precede

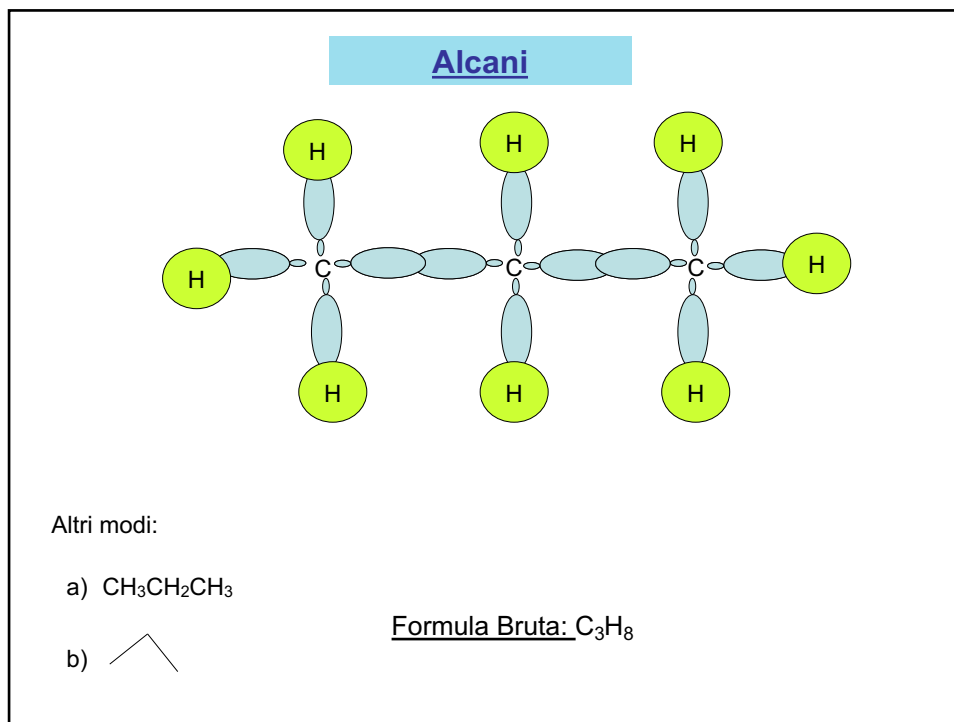


Autore, Autore, Autore Titolo © Zanichelli editore 2009

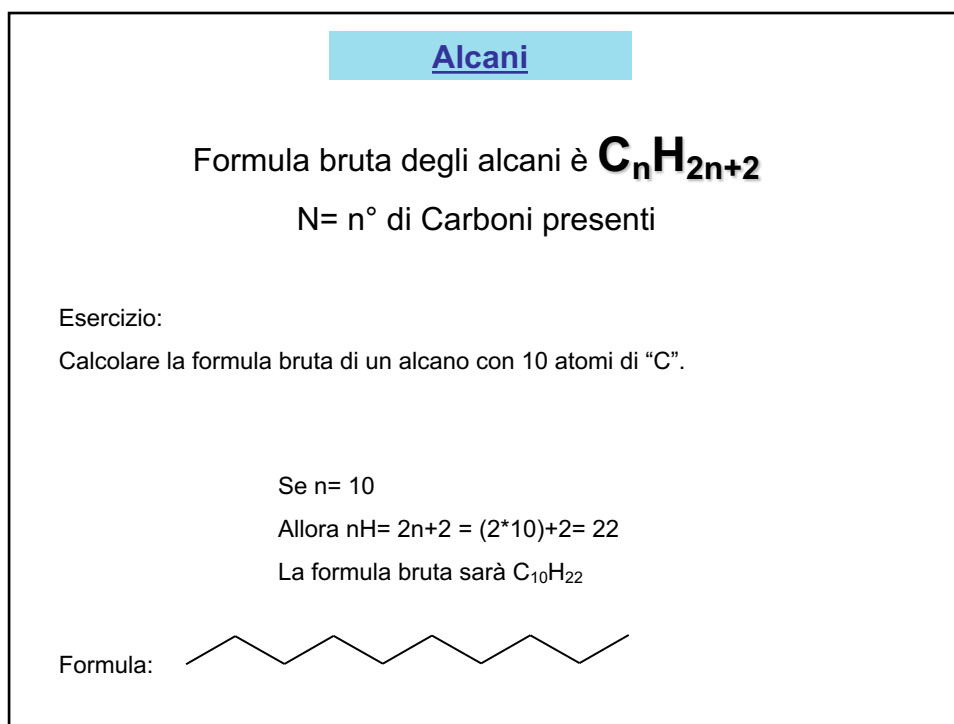
25



26



27



28

**ALCANI:  $C_nH_{2n+2}$** 

- Quali dei seguenti composti sono alcani?



- Qual è la formula molecolare di un alcano a 16 atomi di carbonio?



29

**ORBITALI IBRIDI**

La combinazione di **orbitali atomici** dà luogo alla formazione di **orbitali molecolari**. Gli orbitali molecolari come gli atomici, non possono contenere più di 2 elettroni. Talvolta, però, la semplice combinazione non è sufficiente per giustificare il tipo di legame che interviene.

L'**IBRIDAZIONE** è un mescolamento di orbitali (come gli orbitali *s* e *p*) che consente di ottenere orbitali di uguale forma ed energia, detti **orbitali ibridi**, e di conseguenza elettroni che possono formare legami equivalenti. Vincolo:

- il numero di orbitali ibridi deve essere uguale al numero totale di orbitali utilizzati per l'ibridazione (es. mescolando 1 orbitale *s* e 3 orbitali *p*, si otterranno 4 orbitali ibridi)
- L'energia totale degli orbitali ibridi deve essere uguale alla somma delle energie degli orbitali utilizzati per l'ibridazione.

I diversi tipi di ibridazione danno luogo ad orbitali ibridi di diversa forma.

30

## Ma come fa il C a fare illimitati composti?

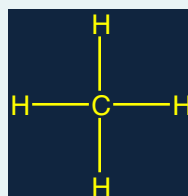
La struttura elettronica esterna del carbonio (C) è  $s^2p^2$



*Ma questa configurazione non spiega la struttura dei composti del carbonio.*

Ad esempio nel metano il carbonio forma quattro legami C-H identici.

Come è possibile dato che orbitali del carbonio **s** e **p** hanno energie diverse?



31

## TEORIA DELL'IBRIDAZIONE



**ASINO**



**CAVALLA**

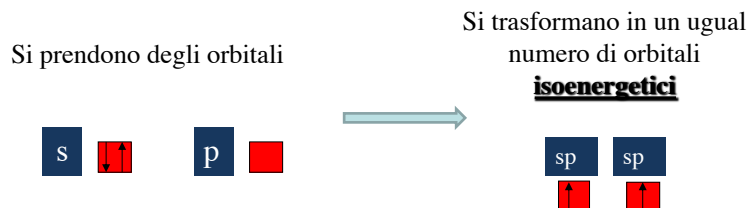


**MULO**

32



La soluzione sta nella  
**IBRIDAZIONE DEGLI ORBITALI**  
 cioè



33

**Esempio del CARBONIO**

Il carbonio ha tre tipi di ibridazione

**$sp^3$**   
 quattro orbitali ibridi

**$sp^2$**   
 tre orbitali ibridi ed un orbitale  
 p non ibrido

**$sp$**   
 due orbitali ibridi e due orbitali  
 p non ibridi

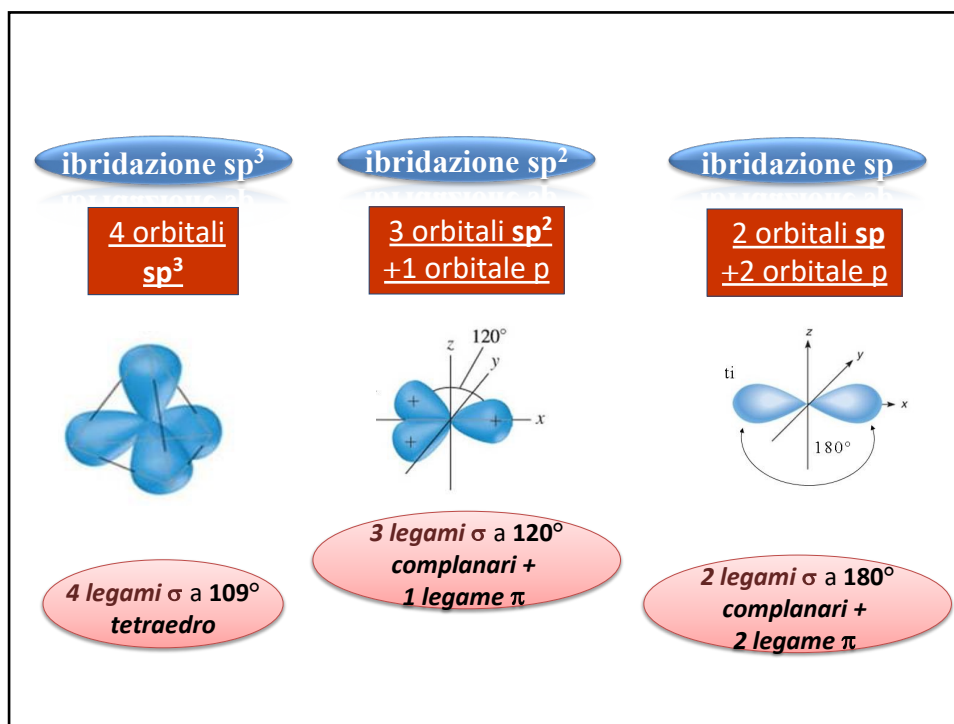
Il carbonio forma sempre quattro legami covalenti:

4 legami  $\sigma$  con ibridazione  $sp^3$

3 legami  $\sigma$  ed uno  $\pi$  con ibridazione  $sp^2$

2 legami  $\sigma$  e due  $\pi$  con ibridazione  $sp$

34



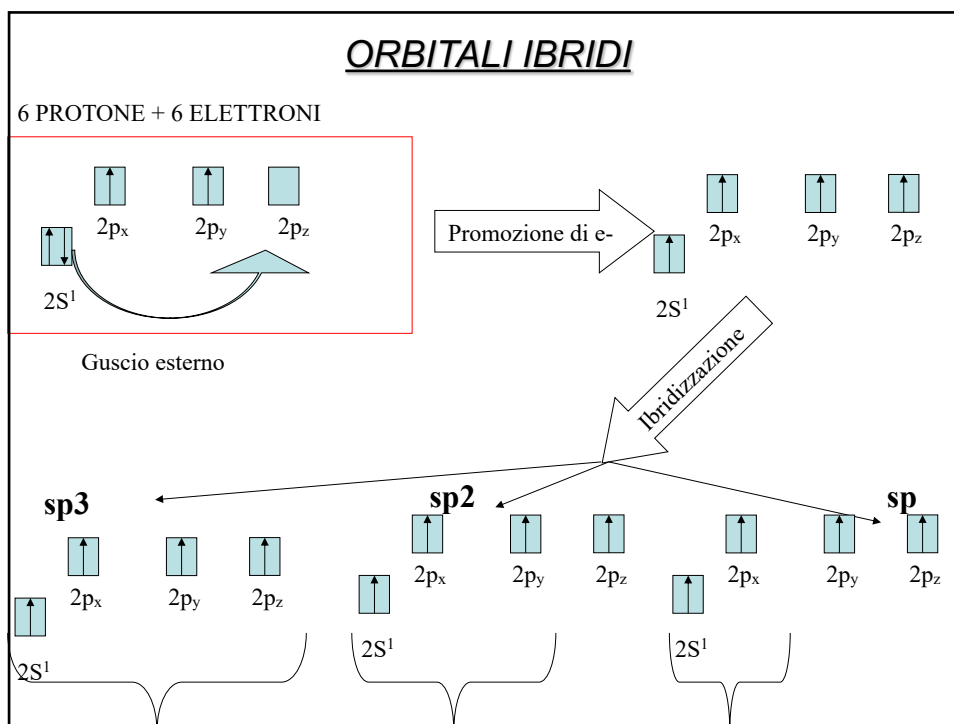
35

### ORBITALI IBRIDI

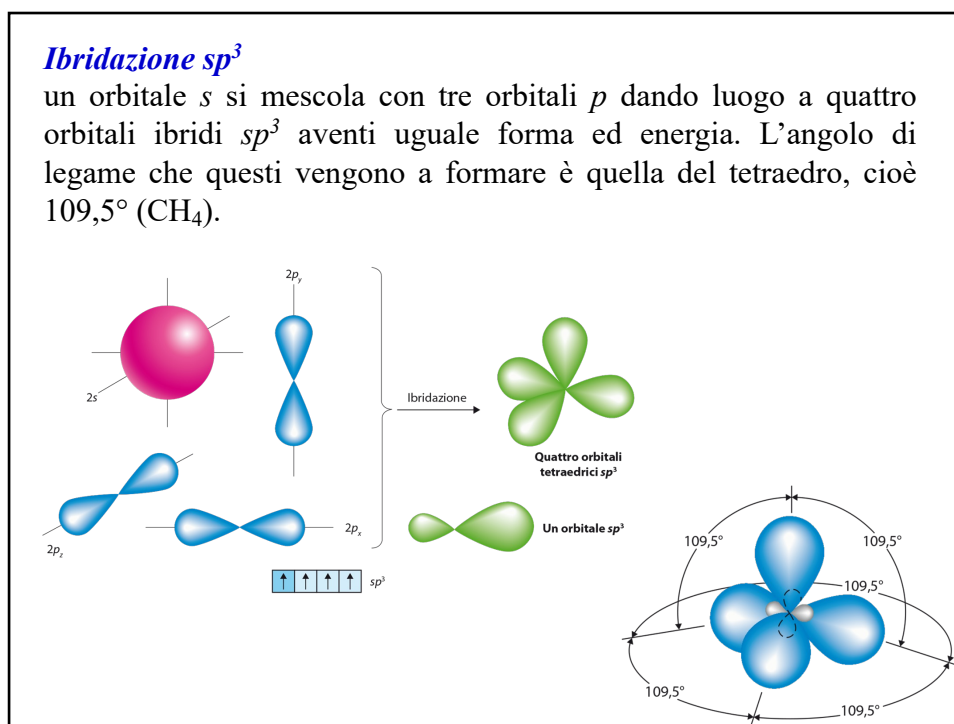
Dato che nei legami sono sempre coinvolti i 4 orbitali esterni, cioè l'orbitale  $s$  e i 3 orbitali  $p$ , il carbonio potrà presentare i tre tipi di ibridazione:

- **Ibridazione  $sp^3$**  tutti e quattro gli orbitali diventano uguali;
- **Ibridazione  $sp^2$**  tre orbitali si ibridano mentre un orbitale  $p$  resta tale e quale, cioè «puro»;
- **Ibridazione  $sp$**  due orbitali si ibridano, mentre due orbitali  $p$  restano puri

36

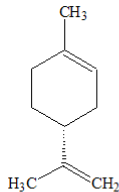


37

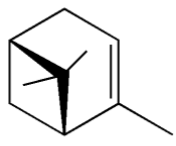


38

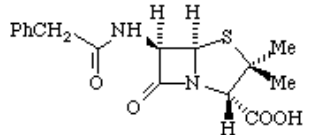
### Nomenclatura Comune



Limonene



Pinene



Penicillina

Necessità di nomenclatura sistematica che permette di risalire al nome dalla struttura e viceversa

↓

Nomenclatura **IUPAC** (International Union of Pure and Applied Chemistry)



Alcuni nomi comuni vengono ancora usati (Formaldeide → Metanale, Acetone → Propanone o Dimetilchetone, etc.)

39

### Nomenclatura IUPAC

Schema generale per la costruzione di un nome IUPAC

| NUMERO                                                      | SOSTITUENTE                  | PREFIXO                                                  | SUFFISSO                               |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Posizione                                                   | Sostituente                  | Catena base                                              | Desinenza                              |
| ↑<br>Indica la<br>posizione del<br>sostituente nella catena | ↑<br>Nome del<br>sostituente | ↑<br>Indica il numero<br>di atomi di C<br>nella molecola | ↑<br>Indica<br>il gruppo<br>funzionale |

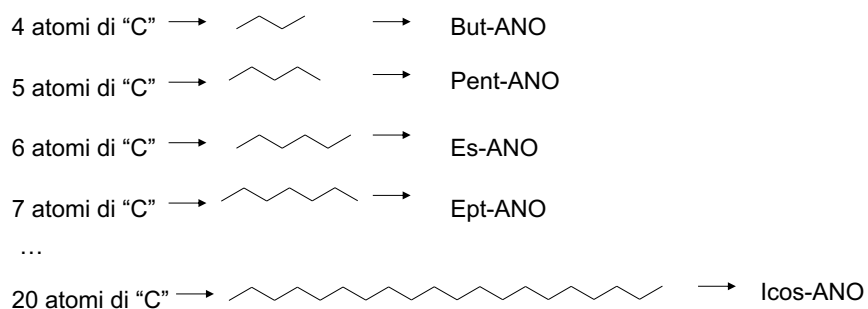
40

## Nomenclatura IUPAC

Alcani: Idrocarburi Aciclici Saturi

Regole:

**1) Nome (prefisso) deriva dal n° di carboni presenti + la desinenza -ANO**



41

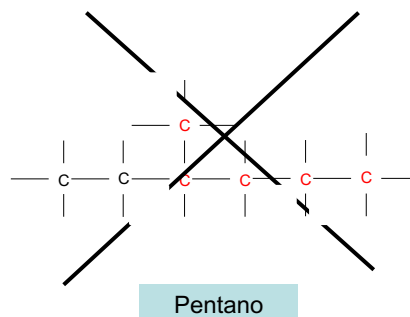
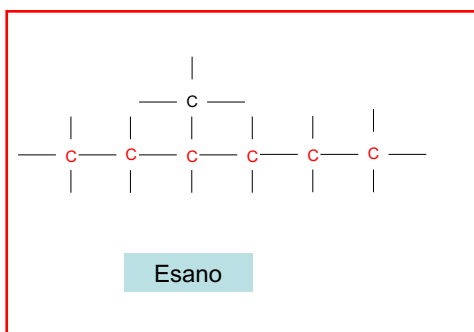
## Nomenclatura IUPAC

| n° di Carboni | Nome     | n° di Carboni | Nome          |
|---------------|----------|---------------|---------------|
| 1             | Metano   | 12            | Dodecano      |
| 2             | Etano    | 13            | Tridecano     |
| 3             | Propano  | 14            | Tetradecano   |
| 4             | Butano   | 20            | Icosano       |
| 5             | Pentano  | 21            | Enicosano     |
| 6             | Esano    | 22            | Docosano      |
| 7             | Eptano   | 23            | Tricosano     |
| 8             | Ottano   | 24            | Tetracosano   |
| 9             | Nonano   | 30            | triacontano   |
| 10            | Decano   | 31            | Entriacontano |
| 11            | Undecano | 40            | Tetracontano  |

42

## Nomenclatura IUPAC

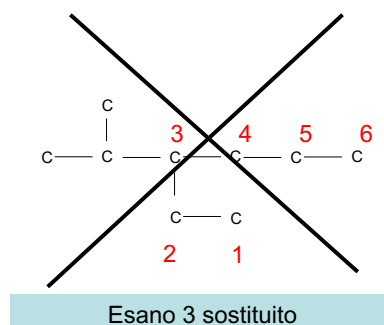
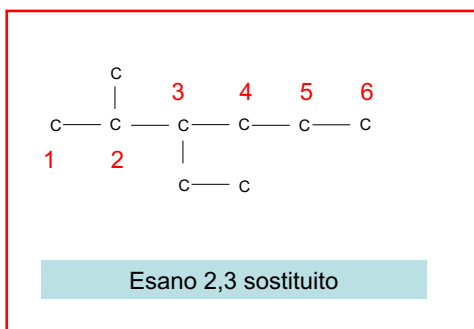
2) **Bisogna scegliere la catena principale:** nel caso di alcani a catena ramificata, **il nome base (la radice)** è quello della catena continua più lunga



43

## Nomenclatura IUPAC

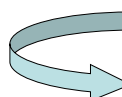
2B) **Se ci sono catene di lunghezza uguale si sceglie quella più ramificata**

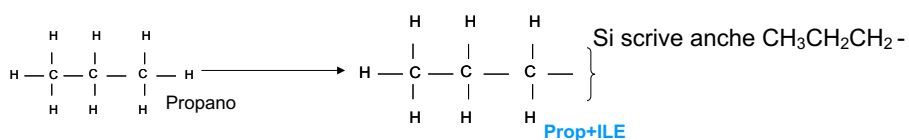
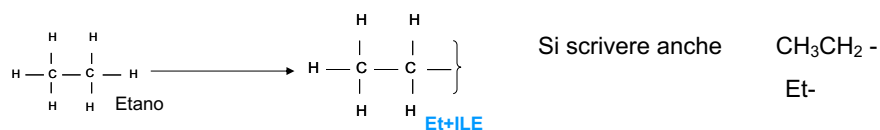
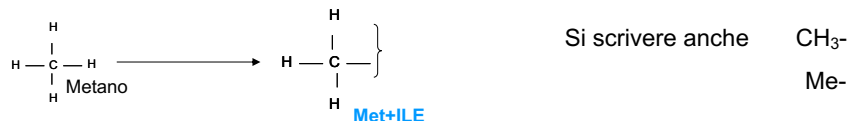


44

## Nomenclatura IUPAC

### 3) I gruppi legati alla catena principale si chiamano **SOSTITUENTI**

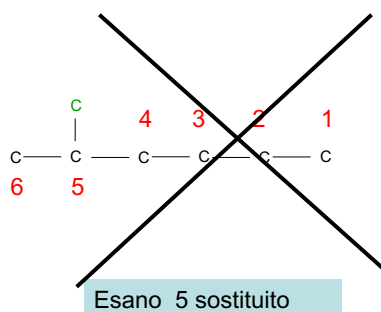
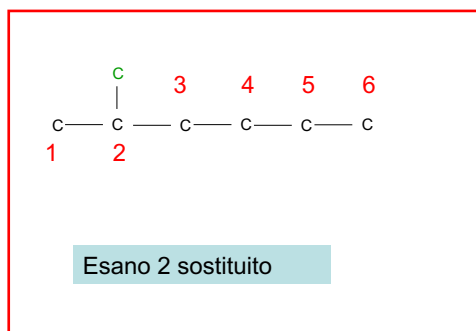
 **Gruppi Alchilici:** sostituenti saturi contenenti solo C e H  
Nome dell'Alcano corrispondente con desinenza **-ILE**



45

## Nomenclatura IUPAC

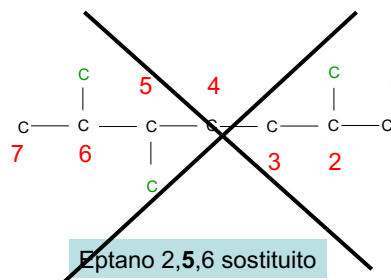
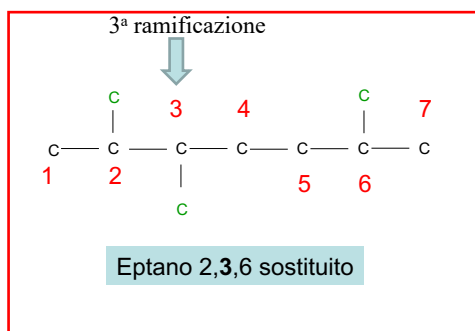
### 4) La catena viene numerata dal lato che porta il sostituente con il numero più piccolo



46

### Nomenclatura IUPAC

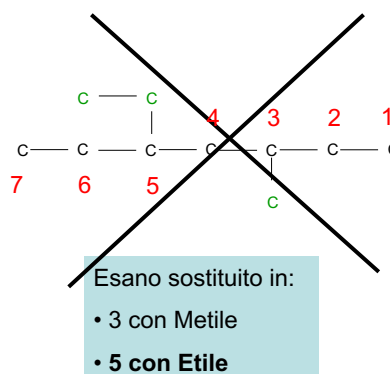
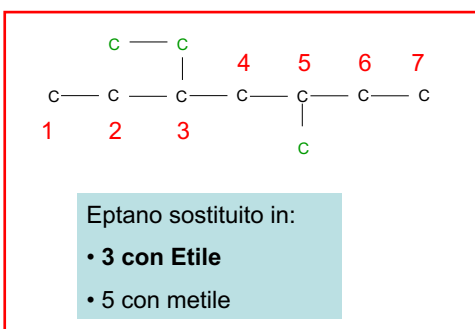
4b) Se ci sono ramificazioni equidistanti dalle estremità della catena più lunga, si numera dalla estremità più vicina alla 3<sup>a</sup> ramificazione



47

### Nomenclatura IUPAC

4c) Se non c'è il terzo sostituito la nomenclatura inizia dalla estremità più vicina al sostituito che viene prima in ordine alfabetico

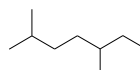
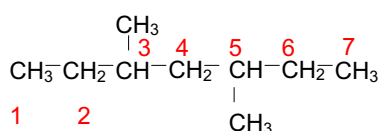


48



## Nomenclatura IUPAC

5) Quando ci sono più sostituenti uguali si può usare il prefisso di-, tri-, tetra- etc.



3,5-DimetilEptano

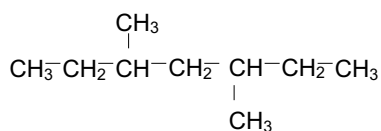
**NON** 3-metil-5-metileptano

49

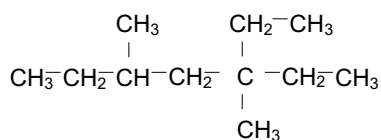
## Nomenclatura IUPAC

6) Punteggiatura

- I numeri devono essere separati da virgole
- I numeri vanno separati dalle lettere mediante un trattino –
- NON si lascia lo spazio tra l'ultimo sostituito e il nome dell'alcano



3,5-dimetileptano

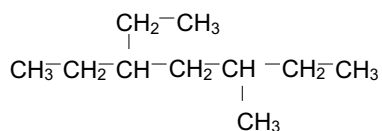


3-etil-3,5-dimetileptano

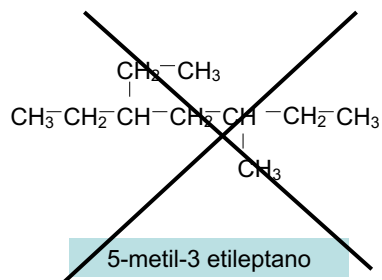
50

## Nomenclatura IUPAC

6) I nomi dei sostituenti vanno elencati in ordine alfabetico



3-etil-5-metileptano

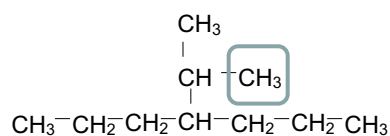


5-metil-3 etileptano

51

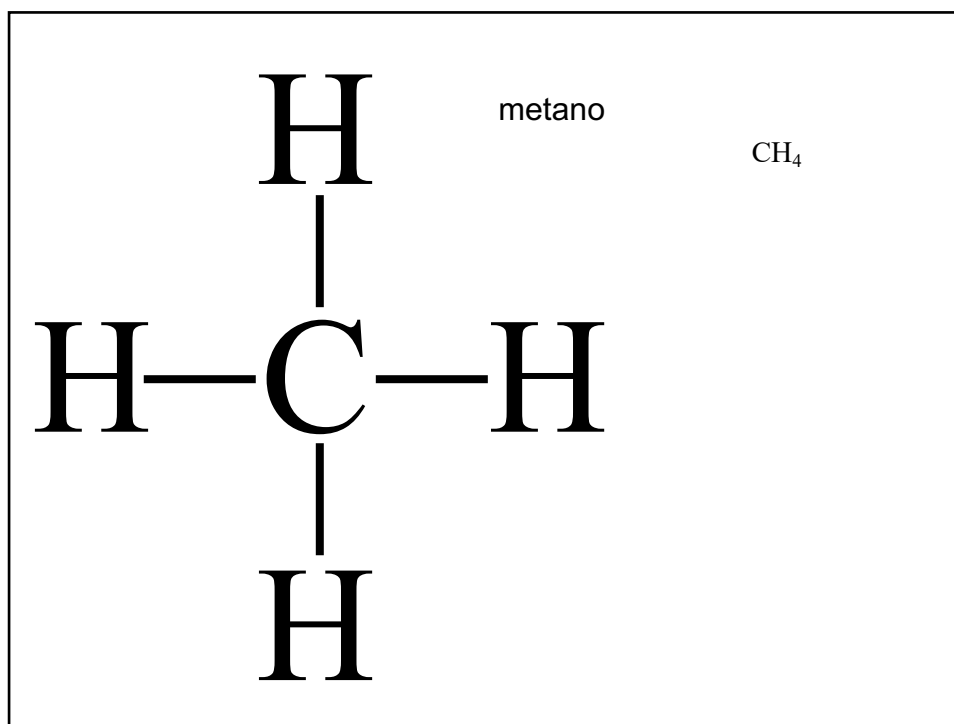
## Nomenclatura IUPAC

6) I nomi dei sostituenti complessi vanno tra parentesi tonde

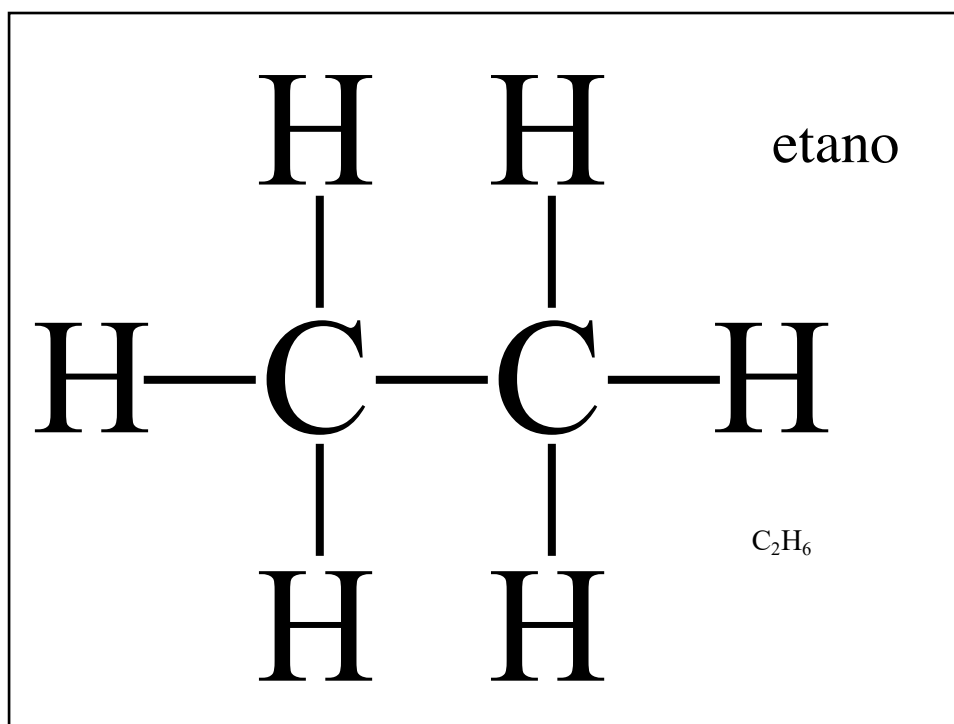


4-(1-Metiletil)eptano

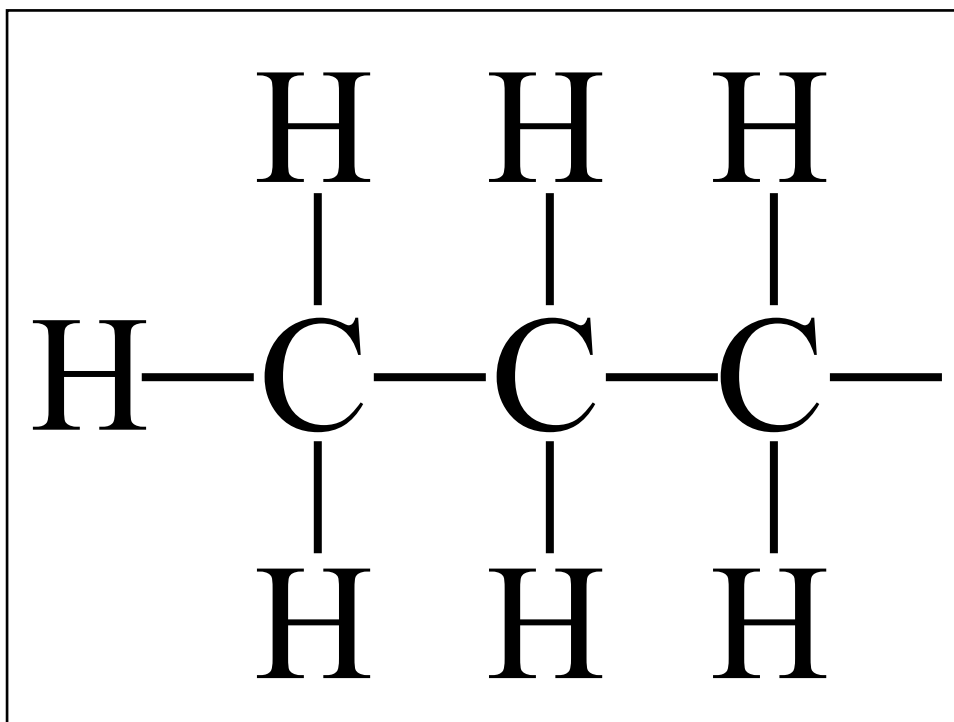
52



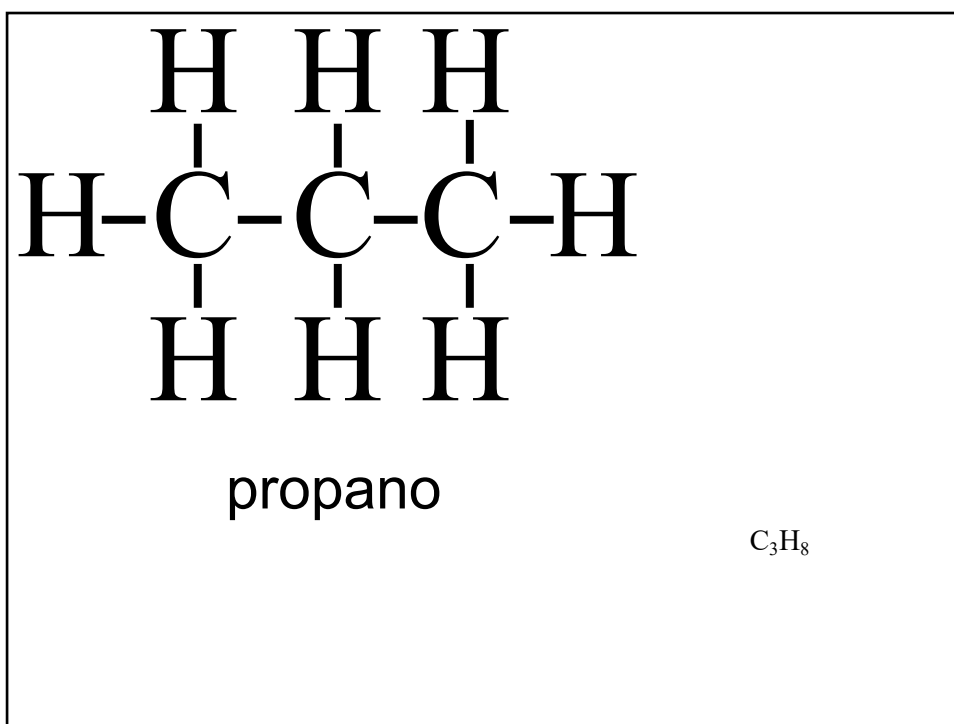
53



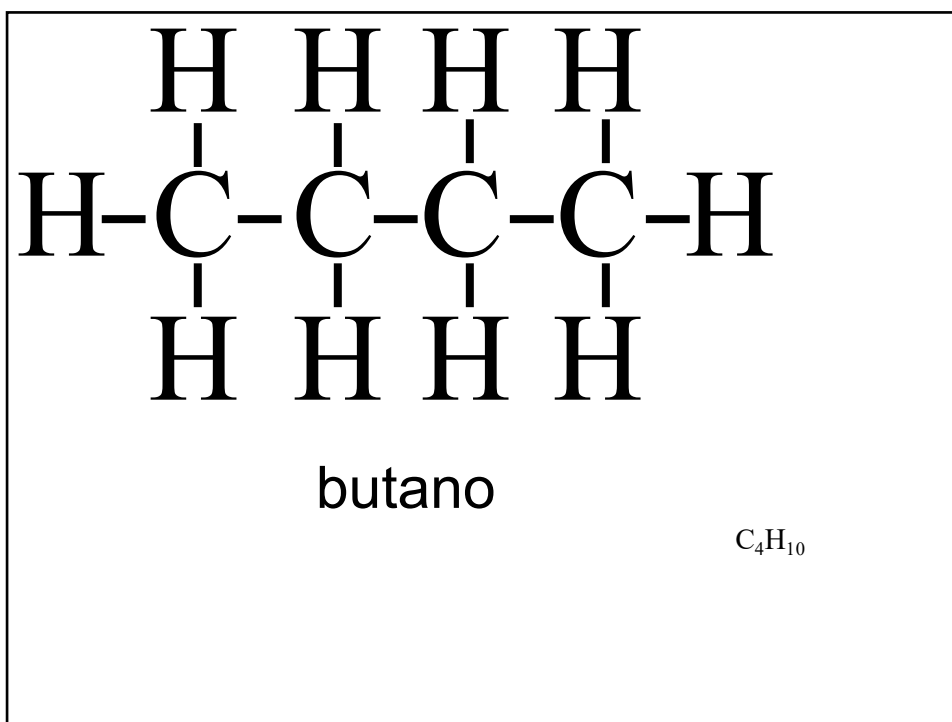
54



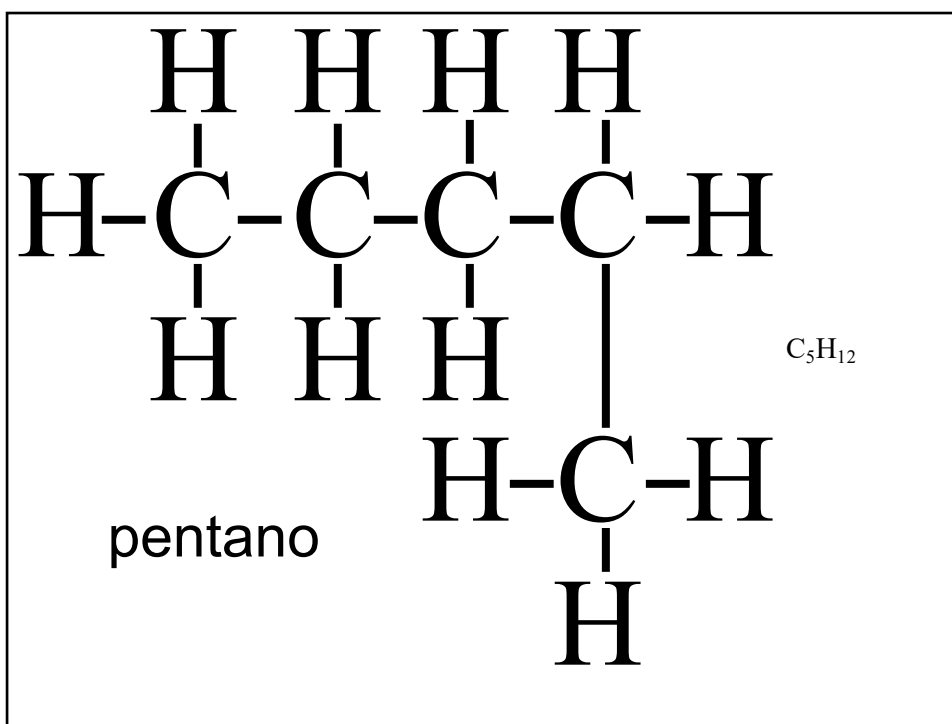
55



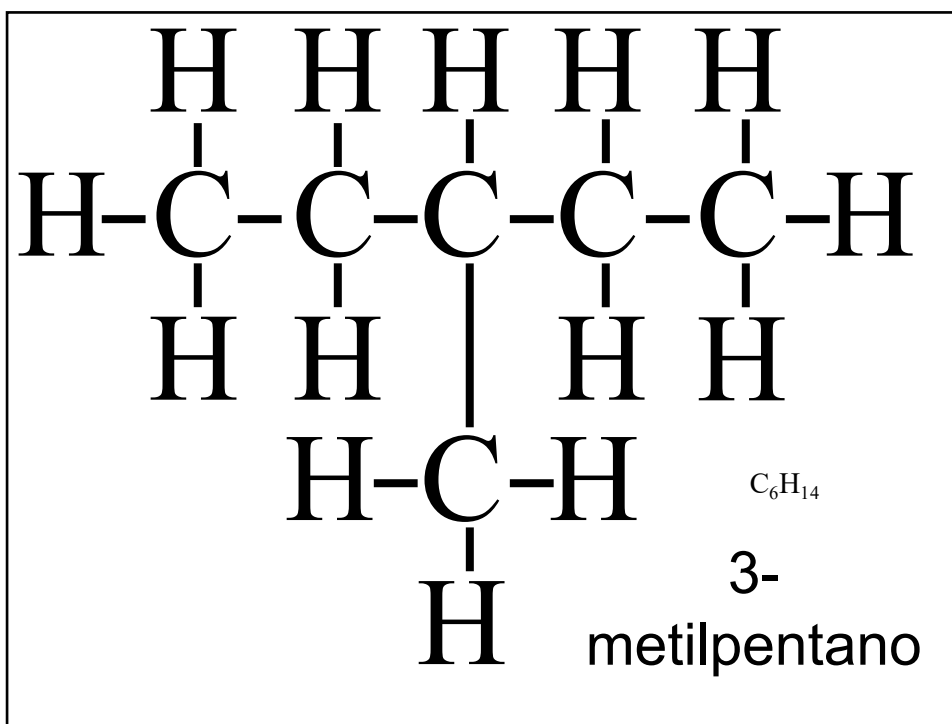
56



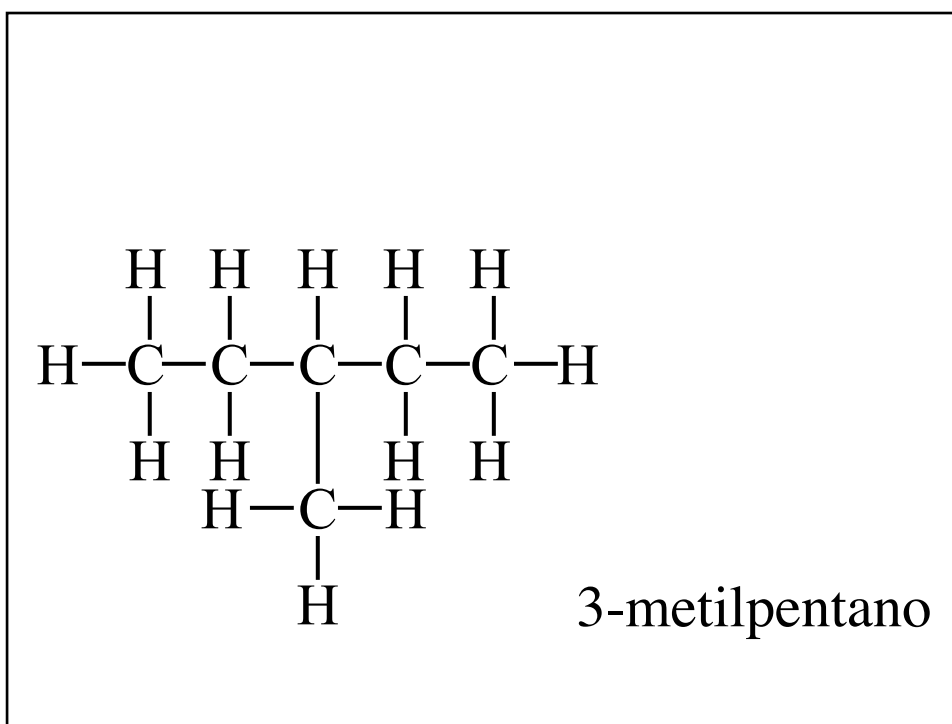
57



58

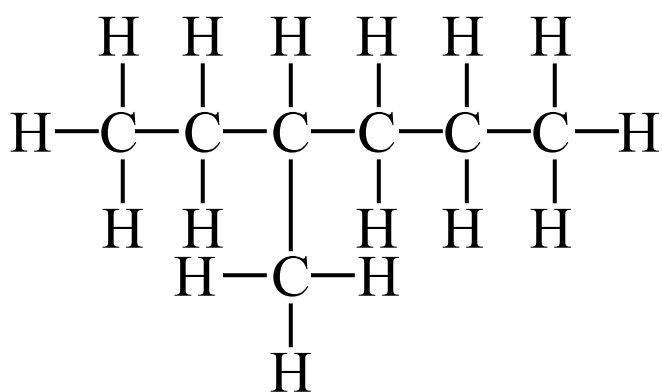


59

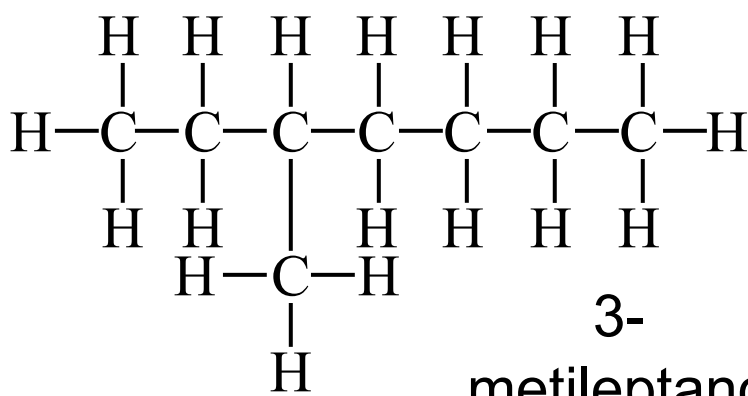


60

### 3-metilesano



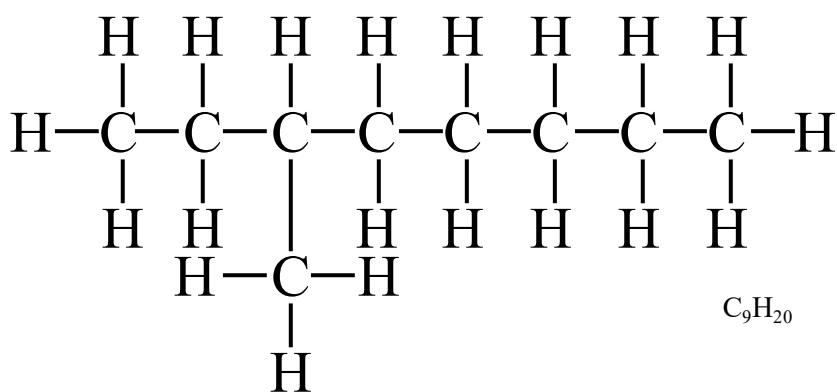
61



3-  
metileptano

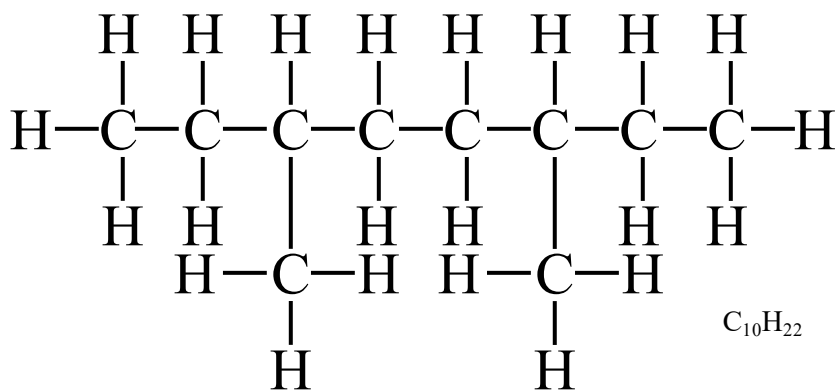
62

### 3-metilottano



63

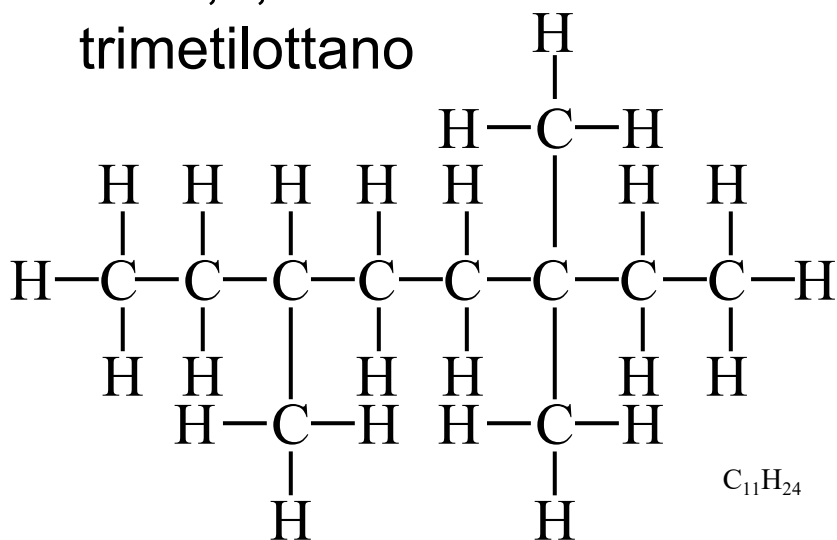
### 3,6-dimetilottano



64

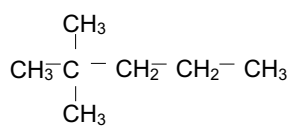


### 3,6,6-trimetilottano

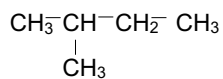


65

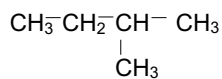
### Nome IUPAC



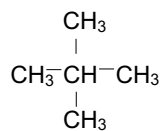
2,2-dimetilpentano



2-metilbutano



2-metilbutano



2,2-dimetilpropano

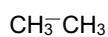
66

### Nomenclatura IUPAC

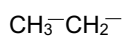
| n° di Carboni | Nome     | n° di Carboni | Nome          |
|---------------|----------|---------------|---------------|
| 1             | Metano   | 12            | Dodecano      |
| 2             | Etano    | 13            | Tridecano     |
| 3             | Propano  | 14            | Tetradecano   |
| 4             | Butano   | 20            | Icosano       |
| 5             | Pentano  | 21            | Enicosano     |
| 6             | Esano    | 22            | Docosano      |
| 7             | Eptano   | 23            | Tricosano     |
| 8             | Ottano   | 24            | Tetracosano   |
| 9             | Nonano   | 30            | Triacontano   |
| 10            | Decano   | 31            | Entriacontano |
| 11            | Undecano | 40            | Tetracontano  |

67

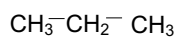
### Alchili come sostituenti R (gruppo alchilico)



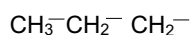
Etano



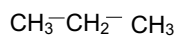
Etile



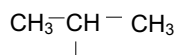
Propano



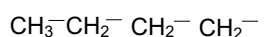
Propile



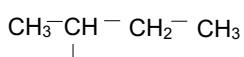
Propano



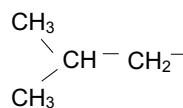
Isopropile



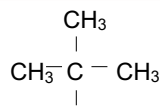
Butile



sec-butile



isobutile



terz-butile

68

## Il radicale alchilico R...

| Formula di struttura                                                                                                                                                      | Formula razionale                      | Formula molecolare o bruta | Nome   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------|
| $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}- \\   \\ \text{H} \end{array}$                                                                                       | $\text{CH}_3-$                         | $\text{CH}_3-$             | metil  |
| $\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$                                            | $\text{CH}_3-\text{CH}_2-$             | $\text{C}_2\text{H}_5-$    | etil   |
| $\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ | $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ | $\text{C}_3\text{H}_7-$    | propil |

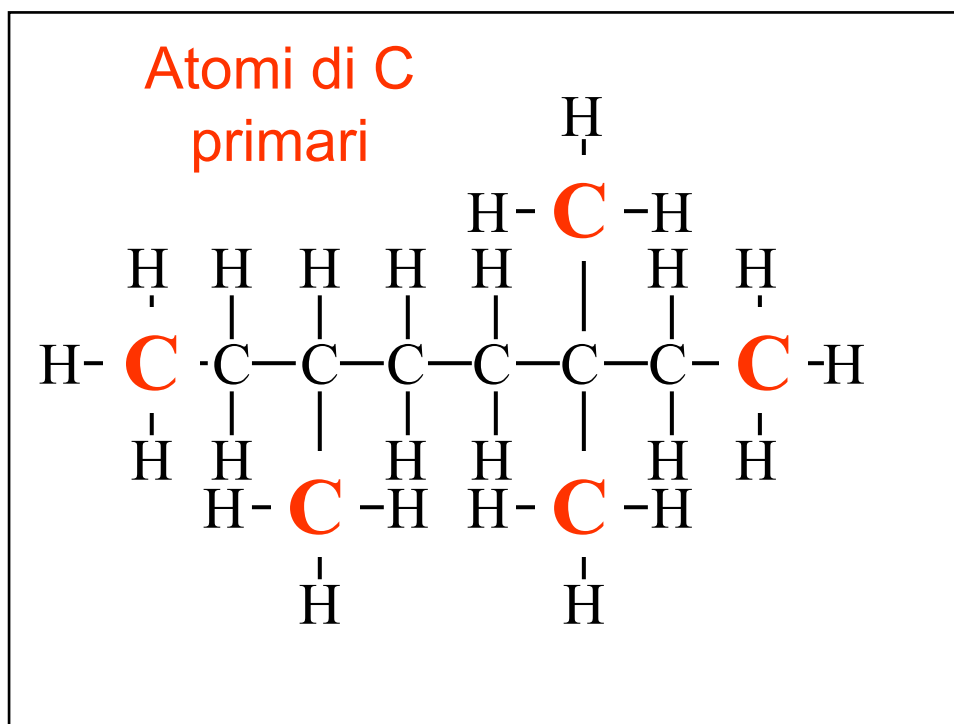
69

.....

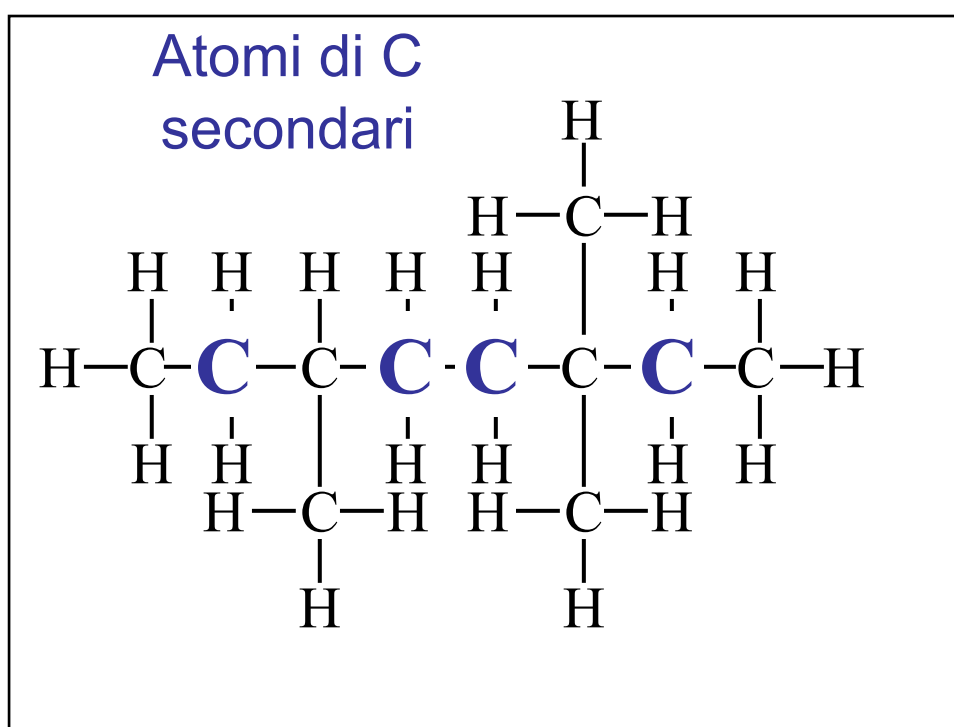
|                                               |                               |               |
|-----------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_2-$    | $\text{C}_4\text{H}_9-$       | Butil         |
| $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_2-$    | $\text{C}_5\text{H}_{11}-$    | Pentil        |
| $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2-$    | $\text{C}_6\text{H}_{13}-$    | Esil          |
| $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{CH}_2-$ | $\text{C}_{16}\text{H}_{33}-$ | Decaesil      |
| $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_2-$    | <b>R—</b>                     | <b>Alchil</b> |

Con il termine radicale (R) indichiamo un qualsiasi raggruppamento molecolare con un legame libero.

70

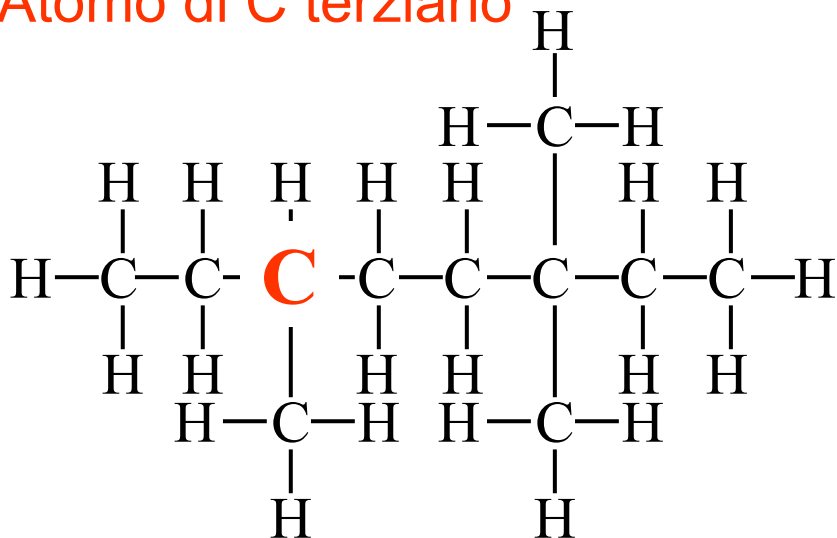


71



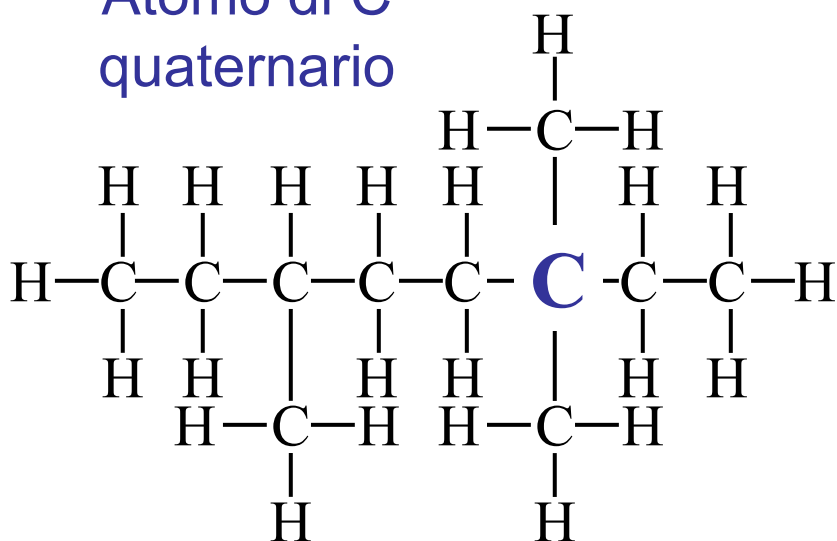
72

### Atomo di C terziario



73

### Atomo di C quaternario



74

### Alogeni come sostituenti

F<sup>-</sup>   Cl<sup>-</sup>   Br<sup>-</sup>   I<sup>-</sup>

CH<sub>2</sub>BrCl      1,1-bromoclorometano

*Gli Alogeni come sostituenti vengono indicati con il loro nome tale e quale nei prefissi, ad eccezione dello iodio che viene contratto a -*iodo*.*

75

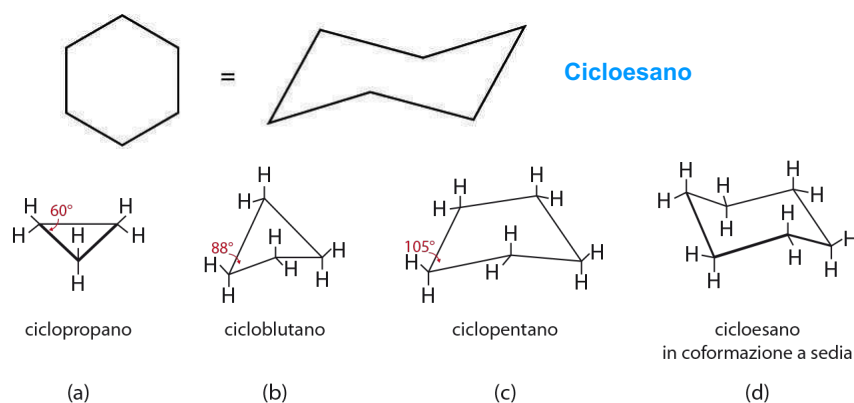
## CICLOALCANI

76

## Cicloalcani: nomenclatura e conformazioni

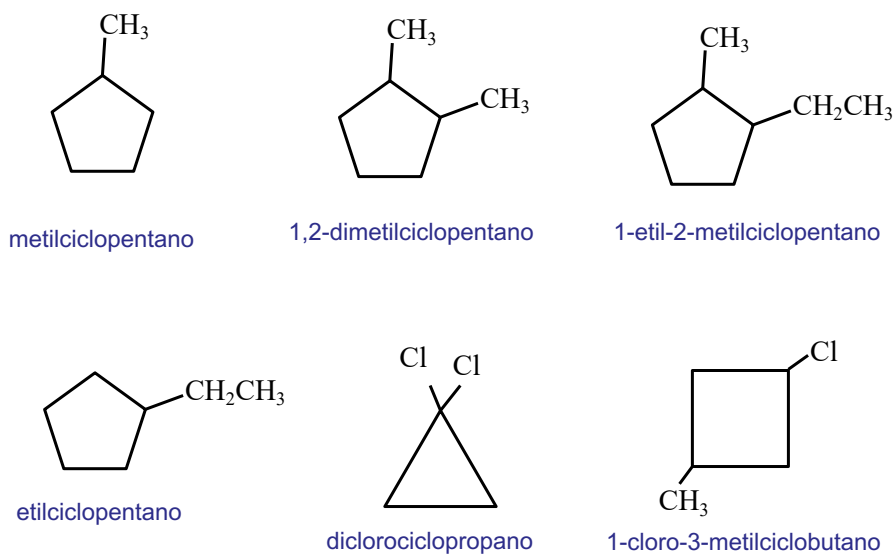
### • Cicloalcani $C_nH_{2n}$

I cicloalcani sono idrocarburi saturi i cui atomi di carbonio formano almeno un anello. I nomi dei cicloalcani si formano mettendo il prefisso *ciclo* al nome dell'alcano avente lo stesso numero di atomi di carbonio.



77

## Nome IUPAC



78

## REAZIONI DEGLI ALCANI

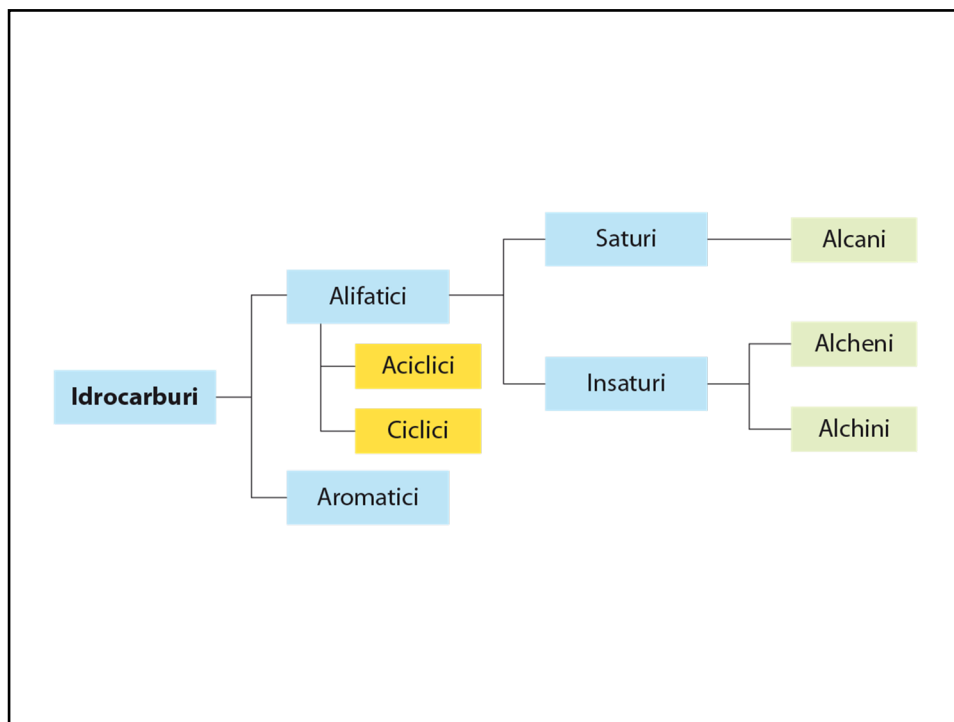
Tutti i legami degli alcani sono semplici, covalenti e non polari: gli alcani sono composti relativamente inerti. Essi però reagiscono con particolari reattivi, quali ossigeno e gli alogeni.

79

## ALCHENI

80





81

**Nomenclatura degli alcheni**

Gli alcheni contengono un doppio legame. Il nome è composto da un prefisso seguito da un suffisso... **ene**

$C_nH_{2n}$

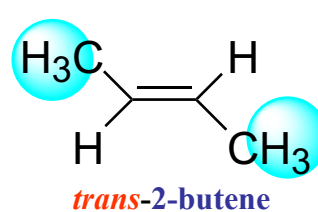
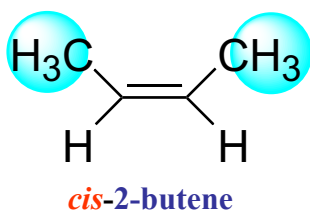
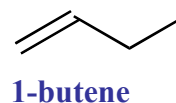
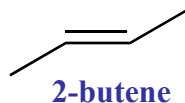
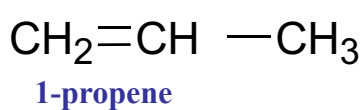
| Nome.....      | N° di atomi di carbonio |
|----------------|-------------------------|
| <b>Etene</b>   | <b>2</b>                |
| <b>Butene</b>  | <b>4</b>                |
| <b>Pentene</b> | <b>5</b>                |
| <b>Esene</b>   | <b>6</b>                |
| <b>Eptene</b>  | <b>7</b>                |
| <b>Ottene</b>  | <b>8</b>                |

82

### Nomenclatura degli alcheni

Tuttavia bisogna indicare la **posizione del doppio legame** nella catena. Ricordando che il doppio legame non può ruotare si deve definire l'isomeria utilizzando il prefisso **cis** o **trans** (**stereoisomeri di configurazione**).

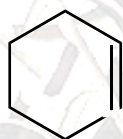
*Negli alcheni, perchè sia possibile l'isomeria cis-trans, occorre che ognuno dei due carboni del doppio legame sia legato a due atomi o gruppi differenti.*



83

### Nomenclatura dei ciclo-alcheni

Esistono alcheni **ciclici**. Il nome è composto da un prefisso (nome del ciclo-alcane) seguito da un suffisso... **ene**



Cicloesene



ciclopentene



ciclobutene

84

### REGOLE IUPAC PER LA NOMENCLATURA DI ALCENI E CICLOALCHENI

Il suffisso **ene** indica un alchene o un cicloalchene.

La catena più lunga scelta per denominare il composto deve comprendere entrambi gli atomi di carbonio del doppio legame.

La catena deve essere numerata cominciando dalla estremità più vicina al legame multiplo. Se il doppio legame è al centro della catena, e se un sostituito è presente, si numera la catena in modo che il sostituito abbia il numero più basso.

Il più piccolo dei due numeri che designano il doppio legame viene usato per individuare la posizione del doppio legame all'interno della catena.

**H<sub>2</sub>C=CH-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>** **1-butene** (e non 2-butene)

Nei cicloalcheni, agli atomi di carbonio del doppio legame vengono assegnati i numeri 1 e 2. Quale dei due sia il numero 1 si decide in base alla regola del sostituito più vicino.

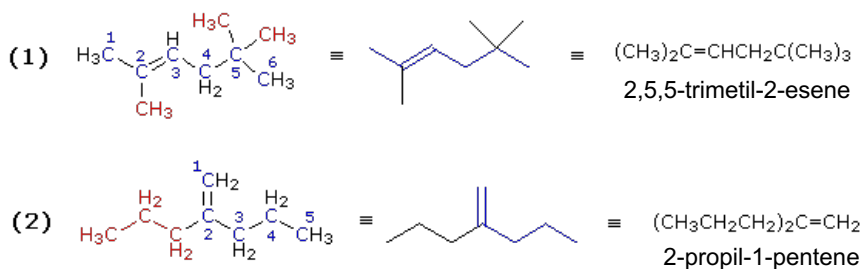
Gruppi sostituenti contenenti doppi legami sono:

**H<sub>2</sub>C=CH-** **gruppo vinile** (etenile IUPAC)

**H<sub>2</sub>C=CH-CH<sub>2</sub>-** **gruppo allile** (3-propenile IUPAC)

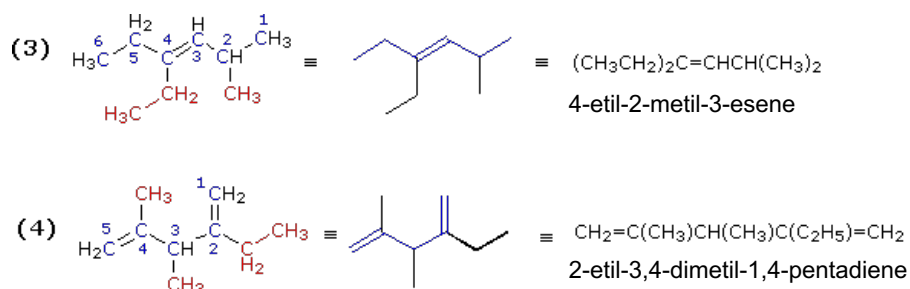
85

### Esempi di Nomenclatura degli alcheni



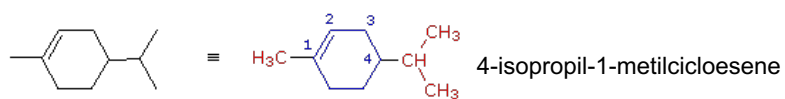
86

### Esempi di Nomenclatura degli **alcheni**



87

### Esempi di Nomenclatura dei ciclo-**alcheni**

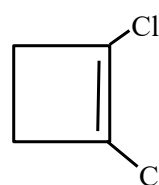
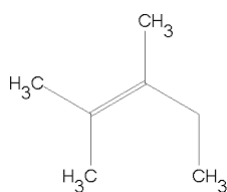
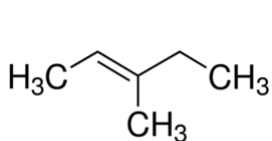


88

### Nome IUPAC

- Scrivere la formula di struttura del:

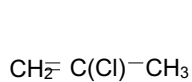
- 3-metil-2-pentene
- 2,3-dimetil-2-pentene
- 1,2-diclorociclobutene



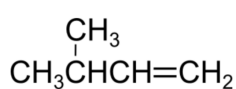
89

### Nome IUPAC

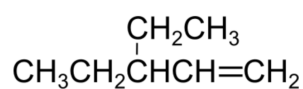
- Dare il nome ai seguenti alcheni e cicloalcheni:



2-cloro-1-propene



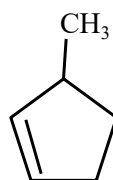
3-metil-1-butene



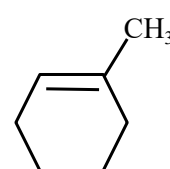
3-etil-1-pentene



ciclopentene



3-metilciclopentene

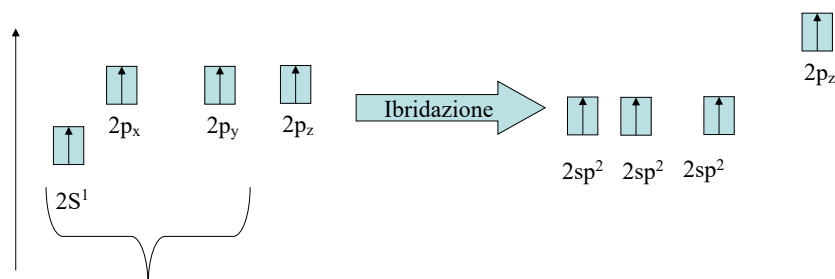


1-metilcicloesene

90

### • Ibridazione $sp^2$

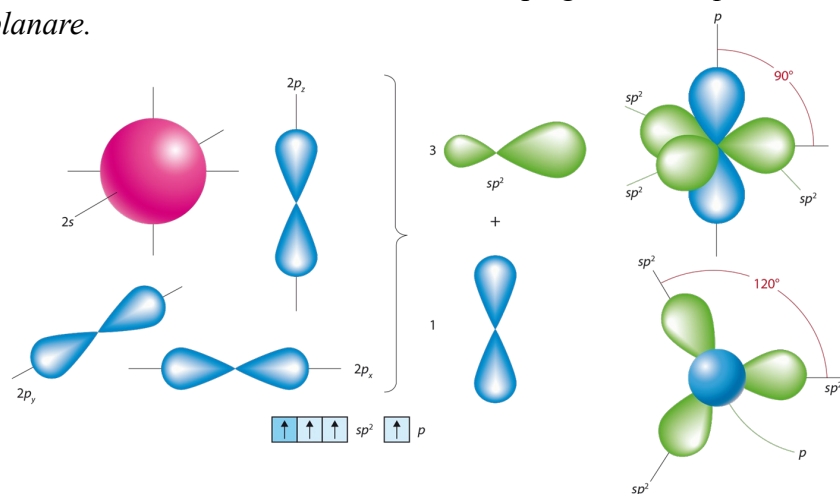
Ibridazione del Carbonio negli alcheni



91

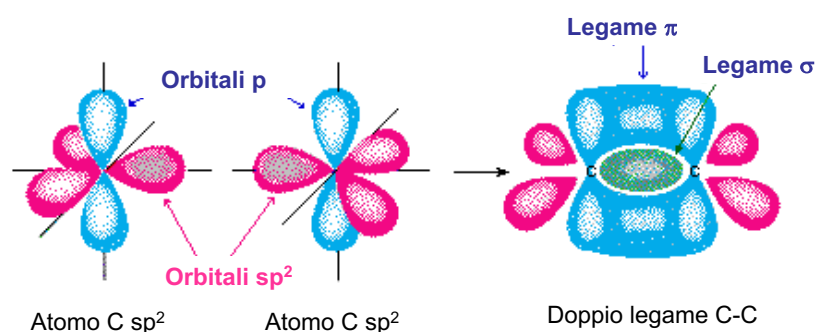
### *Ibridazione $sp^2$*

un orbitale  $s$  si mescola con due orbitali  $p$  dando luogo a tre orbitali ibridi isoenergetici  $sp^2$  diretti verso i vertici di un triangolo equilatero con angolo di legame di  $120^\circ$  ( $C_2H_4$ ). Un orbitale  $p$  rimane non ibridato. La molecola che impiega orbitali  $sp^2$  risulterà *planare*.



92

### Orbitali $sp^2$ e formazione del legame $\pi$

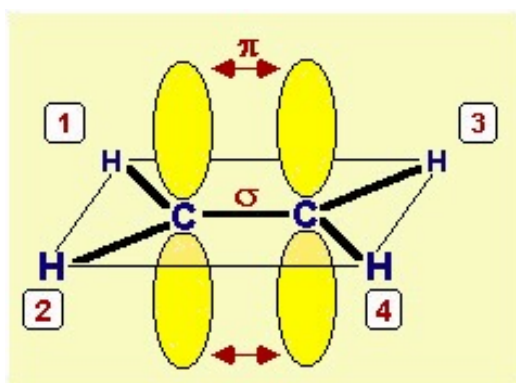


**Formazione di 1 legame sigma  $\sigma$  (dalla sovrapposizione di 2 orbitali  $sp^2$ ) e formazione di un legame pi-greco  $\pi$  (dalla sovrapposizione degli orbitali  $p$ )**

93

I legami  $\pi$  sono molto importanti per quanto riguarda la struttura spaziale delle molecole poiché impediscono la rotazione attorno al legame  $\sigma$ , rotazione che, in loro assenza, è praticamente libera.

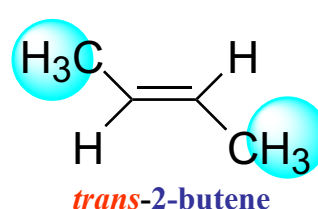
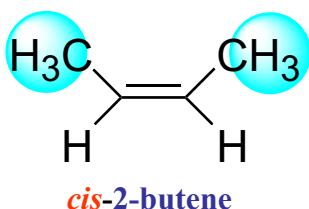
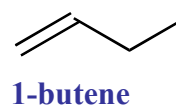
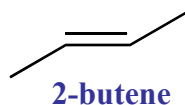
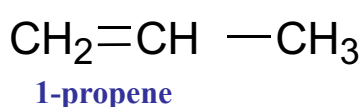
Un classico esempio di impossibilità di rotazione è quello dell'etene (noto anche come etilene)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ .



94

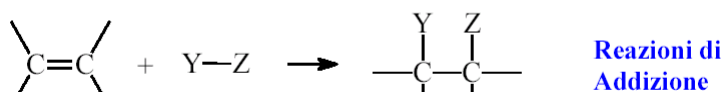
Ricordando che il doppio legame non può ruotare si deve definire l'isomeria utilizzando il prefisso **cis** o **trans** (stereoisomeri di configurazione).

*Negli alcheni, perchè sia possibile l'isomeria cis-trans, occorre che ognuno dei due carboni del doppio legame sia legato a due atomi o gruppi differenti.*



95

## Reazioni di Addizione



L'elettrofilo **Y-Z** è formato da una parte **elettrofila** e da una **nucleofila**

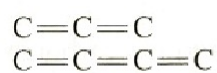
- 1) Addizione di acidi alogenidrici
- 2) Addizione di acqua
- 3) Alogenazione
- 4) Formazione di aloidrine
- 5) Idrogenazione catalitica
- 6) Epossidazione e idrossilazione anti
- 7) Idrossilazione sin con  $\text{KMnO}_4$
- 8) Addizione radicalica di  $\text{HBr}$
- 9) Idroborazione – ossidazione
- 10) Ozonolisi

*Sono molti i reagenti che si possono sommare ai doppi legami: alogeni, acidi, acqua, idrogeno.*

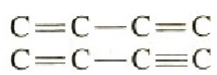
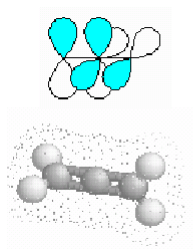
96



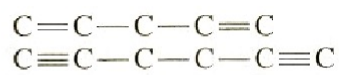
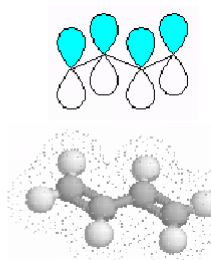
## I DIENI



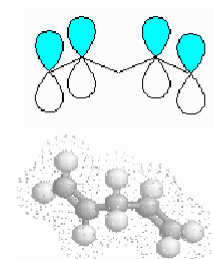
Cumulati



Coniugati



Isolata



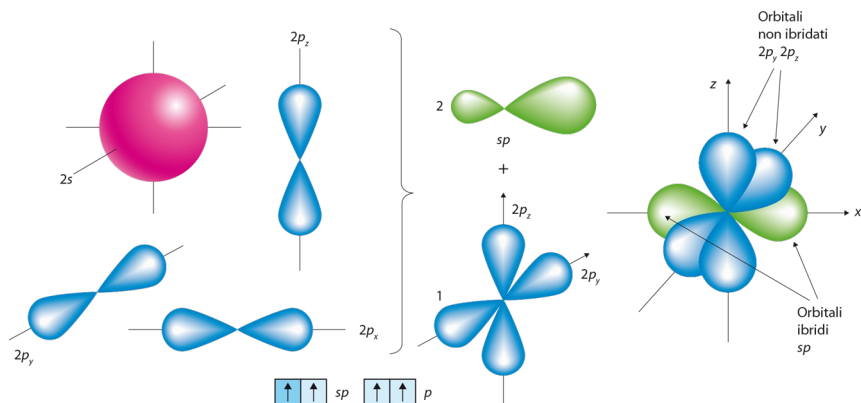
97

## ALCHINI

98

### Ibridazione $sp$

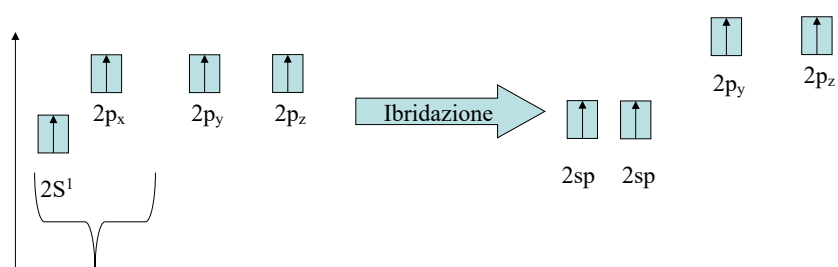
un orbitale  $s$  si mescola con un orbitale  $p$  dando luogo a due orbitali ibridi  $sp$ , mentre rimangono due orbitali  $p$  non ibridati. Gli orbitali ibridi  $sp$  sono disposti lungo una retta a  $180^\circ$  l'uno dall'altro, mentre i due orbitali  $p$  non ibridati sono perpendicolari agli orbitali ibridi e perpendicolari fra di loro ( $C_2H_2$ ).



99

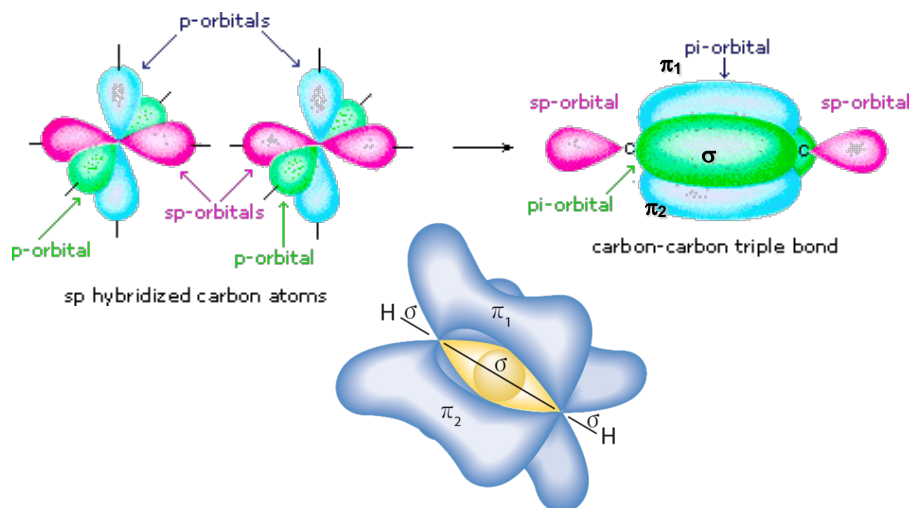
### • Ibridazione $sp$

Ibridazione del Carbonio negli alchini



100

## Struttura del Triplo Legame Carbonio-Carbonio



Formazione di 1 legame sigma  $\sigma$  fra i due atomi di carbonio (dalla sovrapposizione di 2 orbitali sp) e formazione di 2 legami pi-greco  $\pi$  (dalla sovrapposizione laterale di 4 orbitali p, opportunamente allineati)

101

## Alchini

Gli **alchini** sono composti organici costituiti solamente da atomi di carbonio e di idrogeno (e per questo appartenenti alla più ampia classe degli idrocarburi) aventi formula bruta  $C_nH_{2n-2}$

### Nomenclatura

La nomenclatura IUPAC degli **alchini** segue regole simili a quella degli alcani, tuttavia occorre evidenziare alcune differenze:

- 1) quando si individua la catena principale della molecola, questa deve includere i due atomi di carbonio coinvolti nel triplo legame.
- 2) il nome che viene dato alla catena principale è simile quanto previsto per gli alcani, ma il suffisso *-ano* viene sostituito dal suffisso *-ino* (etino, propino, butino, pentino, esino, eptino, ottino, etc...); (*-diino* per indicare la presenza di due legami tripli). *-enino* quando sono presenti contemporaneamente un doppio e un triplo legame.
- 3) nel numerare la catena principale, il numero più basso possibile dovrà essere assegnato ai due atomi di carbonio coinvolti nel triplo legame.

$HC \equiv CH$  **Etino** (Acetilene)

102

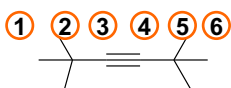
## Esempi di Nomenclatura di Alchini



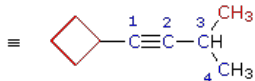
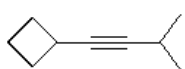
1-butino



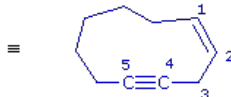
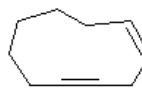
2-butino



2,2,5,5-tetrametil-3-esino



1-ciclobutil-3-metil-1-butino



1-ciclodecen-4-ino

Alchene ha priorità se i numeri sono gli stessi altrimenti dare sempre i numeri più bassi.

103

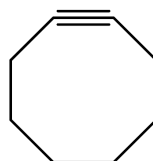
## Nome IUPAC

- Scrivere la formula di struttura del:

- 3-esino



- Cicloottino

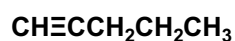


104

### Nome IUPAC

- Scrivere la formula di struttura e i nomi IUPAC di tutti i possibili alchini che presentano il numero indicato di legami multipli:

- $C_5H_8$  (un triplo legame)



1-pentino

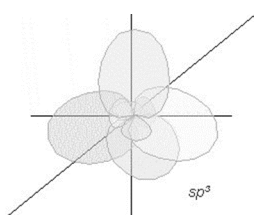


2-pentino

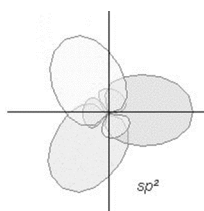
105

### Acidità degli alchini

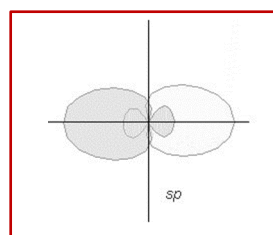
Maggiore carattere s elettroni più vicini al nucleo, H più libero



**Alcani**  
4 orbitali  $sp^3$   
75% p  
25% s



**Alcheni**  
3 orbitali  $sp^2$   
66% p  
33% s



**Alchini**  
2 orbitali  $sp$   
50% p  
50% s

acidità crescente

L'idrogeno legato al carbonio di un triplo legame è debolmente acido e può essere staccato da una base molto forte.

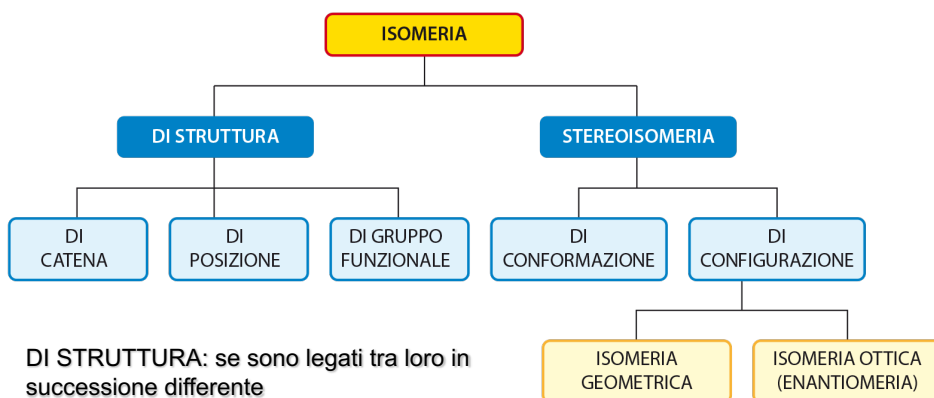
*Quando il carbonio presenta una ibridazione con crescente carattere s e decrescente carattere p, l'acidità dell'idrogeno ad esso legato cresce.*

106

# ISOMERIA DI STRUTTURA E STEREOISOMERIA

107

## Due tipi principali di Isomeria



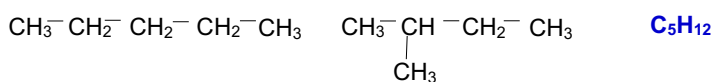
**DI STRUTTURA:** se sono legati tra loro in  
successione differente

**STEREOISOMERI:** se sono  
reciprocamente legati allo stesso modo

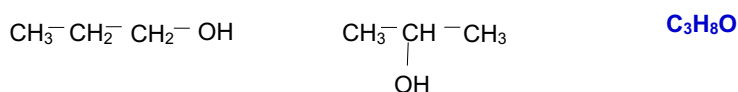
108

### **Isomeri di Struttura:** se sono legati tra loro in successione differente

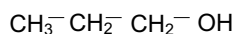
- **DI CATENA:** i composti differiscono per l'ordine diverso con cui gli atomi di C sono legati nella catena carboniosa.



- **DI POSIZIONE:** la catena carboniosa è la stessa, ma i composti differiscono per la posizione dei gruppi atomici, di atomi o di legami multipli.

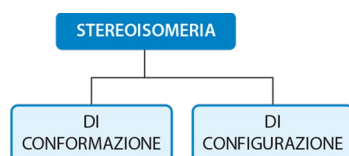


- **DI GRUPPO FUNZIONALE:** i composti presentano gruppi funzionali diversi.



109

### **Stereoisomeria:** se sono reciprocamente legati allo stesso modo

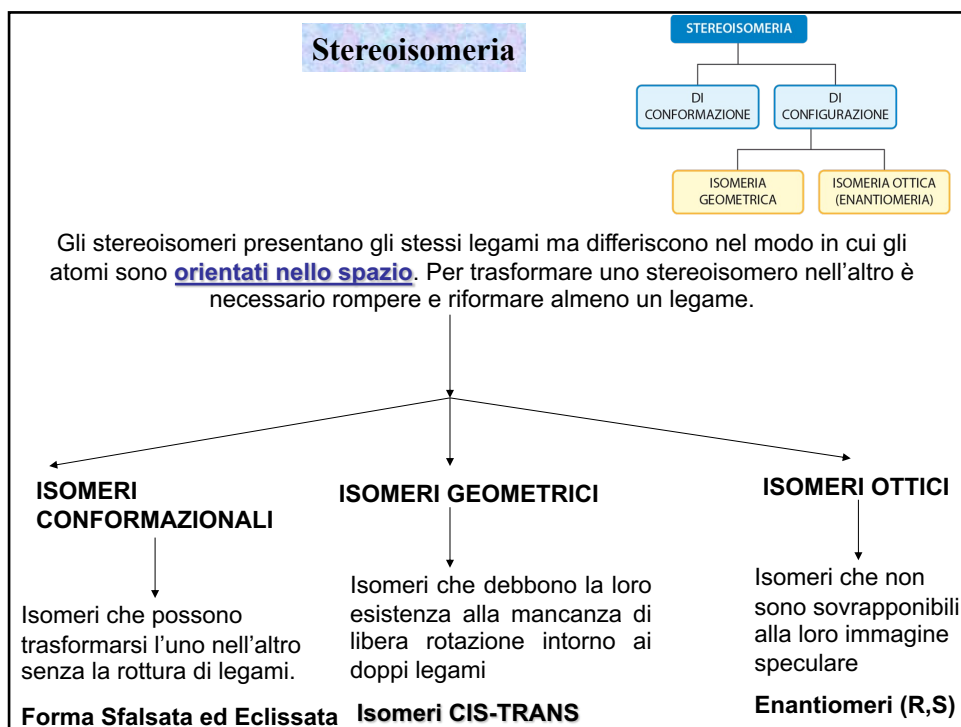


- Non dipende dalla sequenza degli atomi nella molecola, ma dalla loro disposizione nello spazio.

*Nella stereoisomeria atomi (o gruppi atomici) di due composti sono legati tra loro nella stessa sequenza, ma con diversa disposizione spaziale*

- **DI CONFORMAZIONE:** è possibile l'interconversione degli isomeri per rotazione intorno ad un legame.
- **DI CONFIGURAZIONE:** non è possibile l'interconversione degli isomeri per rotazione, ed i gruppi sono bloccati permanentemente nella loro disposizione spaziale.

110



111

## Stereoisomeria

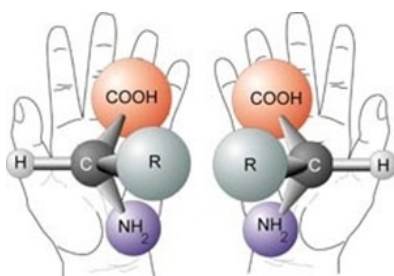
- Negli **stereoisomeri**, la differenza tra un isomero e l'altro è solo nella diversa orientazione degli atomi nello spazio.

112



## MOLECOLE CHIRALI

- non può essere sovrapposta alla sua immagine speculare
- possiede un carbonio chirale
- non possiede un piano di simmetria



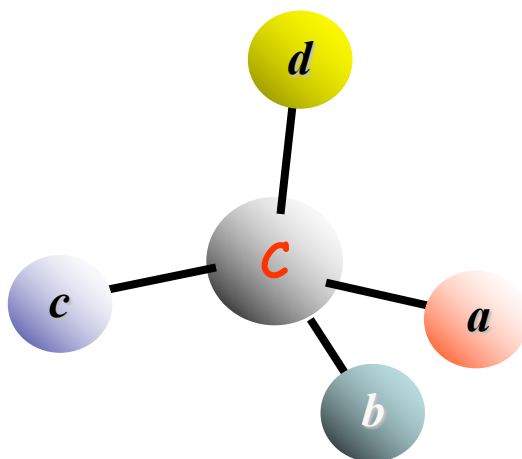
### CARBONIO CHIRALE

Ibridato  $sp^3$   
Legato a quattro sostituenti diversi

Autore, Autore, Autore Titolo © Zanichelli editore 2009

113

### Carbonio asimmetrico

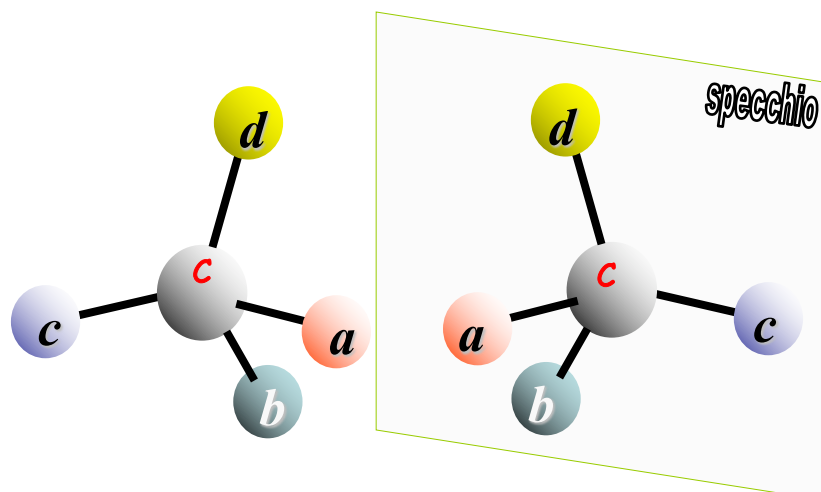


L'atomo di **Carbonio** è ibridato  $sp^3$  ed è legato  
a quattro sostituenti diversi

114

Esiste di conseguenza un'altra molecola nella quale gli stessi atomi sono legati all'atomo centrale in maniera speculare.

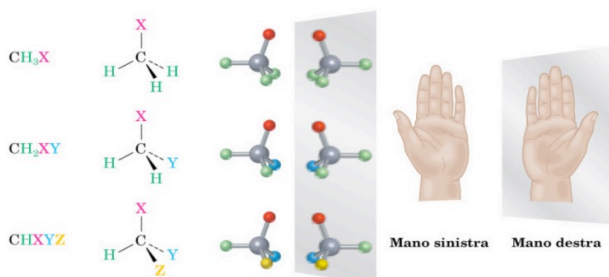
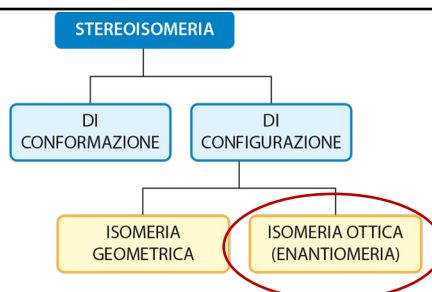
Le due molecole, l'una l'immagine speculare dell'altra, sono definite **ENANTIOMERI**.



115

### Isomeria Ottica o Enantiomeria:

Gli **stereoisomeri** sono composti con gli atomi reciprocamente legati nello stesso ordine o sequenza, ma disposti nello spazio in modo diverso.



Le molecole (e gli oggetti) sono o **chirali** o **achirali** (chirale dal greco chéir: mano).

- Una molecola (o un oggetto) è **chirale** quando manifesta proprietà analoghe a quelle delle mani; è **achirale** quando è priva di queste proprietà.

116

**Isomeria Ottica o Enantiomeria:**

Left hand      Right hand

**(a) Chiral objects**

L'immagine speculare di una molecola **chirale** non è sovrapponibile alla molecola stessa.

*L'immagine speculare della mano sinistra non è un'altra mano sinistra, ma la mano destra.*

Flask      Flask

**(b) Achiral objects**

L'immagine speculare di una molecola **achirale** è identica e quindi sovrapponibile alla molecola d'origine.

*L'immagine speculare di una bottiglia è una bottiglia identica.*

117

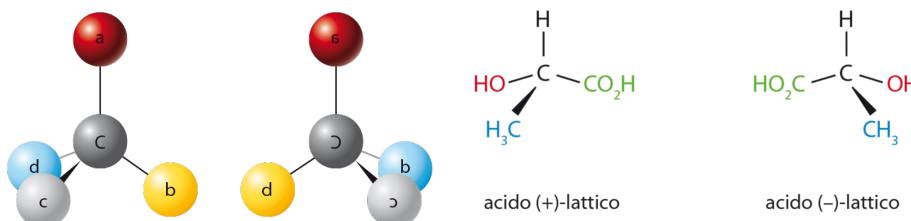
**Isomeri Ottici:**

Isomeri che differiscono soltanto per la disposizione nello spazio degli atomi

**Enantiomeri:** due molecole che formano una coppia di immagini speculari non sovrapponibili

118

Tutte le molecole che hanno un piano di simmetria sono **achirali**.  
Le molecole **chirali** non hanno piani di simmetria.



Una molecola con un centro **stereogeno** o **stereocentro** (un atomo di carbonio con 4 gruppi legati tutti diversi), esiste sotto forma di due stereoisomeri, che formano una coppia di **enantiomeri** (o **isomeri ottici**). Una molecola di questo genere non ha un piano di simmetria. Se un composto ha un piano di simmetria, il composto è achirale.

119

## Gruppi Funzionali

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

120

| Classe             | Formula     | Gruppo funzionale         | Esempio           | Nome                                   |
|--------------------|-------------|---------------------------|-------------------|----------------------------------------|
| alogenuri          | $R-X$       | alogenuro ( $-X$ )        | $CH_3-Cl$         | clorometano                            |
| alcoli             | $R-OH$      | ossidrile ( $-OH$ )       | $CH_3-OH$         | metanolo                               |
| eteri              | $R-O-R'$    | etere ( $-O-$ )           | $CH_3-O-CH_3$     | dimetiletere                           |
| aldeidi            | $R-CHO$     | carbonile ( $-C=O$ )      | $CH_3-C(=O)H$     | etanale (acetaldeide)                  |
| chetoni            | $R-CO-R'$   | carbonile ( $-C=O$ )      | $CH_3-C(=O)CH_3$  | propanone (acetone)                    |
| acidi carbossilici | $R-COOH$    | carbossile ( $-C(=O)OH$ ) | $CH_3-C(=O)OH$    | acido etanoico (acido acetico)         |
| esteri             | $R-COOR'$   | estere ( $-COO-$ )        | $CH_3-C(=O)OCH_3$ | etanoato di metile (acetato di metile) |
| ammidi             | $R-CO-NH_2$ | amidico ( $-C(=O)NH_2$ )  | $CH_3-C(=O)NH_2$  | etanammide (acetammide)                |
| ammine             | $R-NH_2$    | amminico ( $-NH_2$ )      | $CH_3-NH_2$       | metilammina                            |

121

## ALOGENURI ALCHILICI:

Reazioni di  
*Sostituzione Ed Eliminazione.*

122

## Aspetti fondamentali

- Gli alogenocalcani (o alogenuri alchilici nella nomenclatura corrente) sono molecole organiche contenenti un atomo di **alogeno legato covalentemente ad un carbonio ibridato  $sp^3$** .
- Il simbolo generale è **R-X**, dove X indica l'atomo di alogeno e può essere F, Cl, Br o I.

## Nomenclatura

- Per IUPAC sono alcani sostituiti

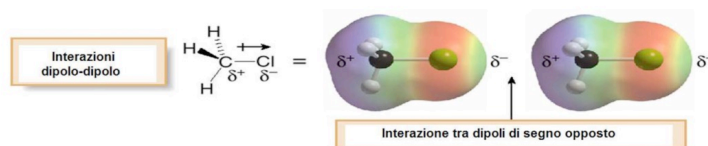


- Per la nomenclatura corrente sono alogenuri alchilici

123

## Proprietà fisiche

Gli alogenocalcani sono molecole debolmente polari. Esibiscono interazioni dipolo-dipolo a causa del loro legame polare C—X:

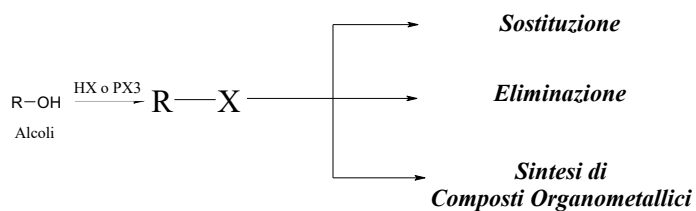


La chimica degli alogenocalcani è determinata dalla polarità del legame C—X

124

## Alogenuri Alchilici: Reazioni di *Sostituzione* ed *Eliminazione*

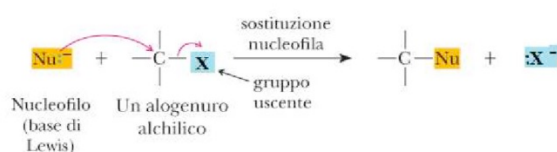
- Gruppo Funzionale: legame carbonio-alogeno (C-X)
- Nomenclatura
- Proprietà chimico-fisiche (elevata stabilità dei fluorocarburi).



125

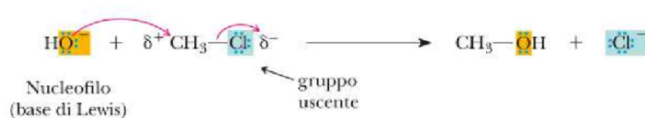
### Reazioni caratteristiche: la Sostituzione Nucleofila

È una reazione in cui un nucleofilo sostituisce un altro nucleofilo:



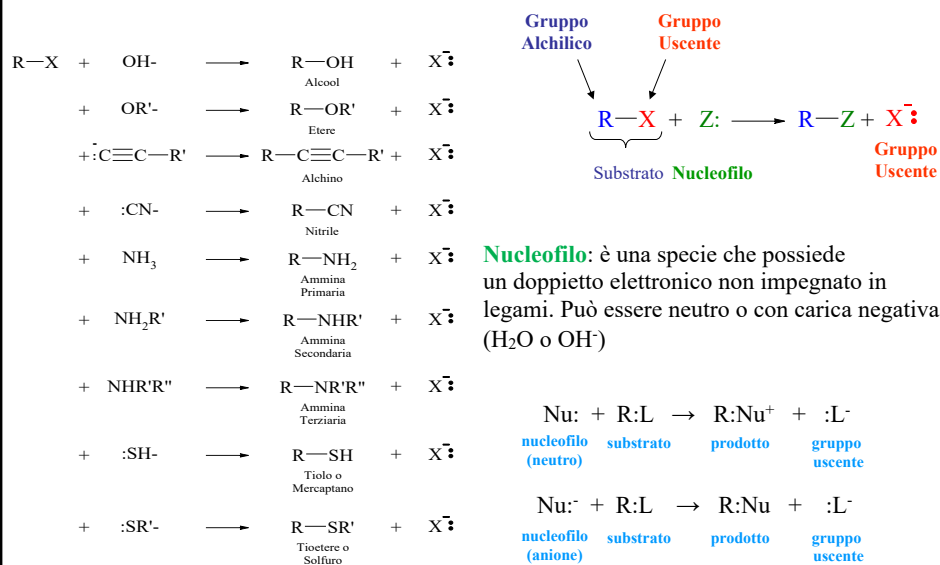
La sostituzione nucleofila avviene su un C ibridato  $sp^3$

#### Esempio:



126

### Reazioni dei nucleofili più comuni con gli alogenuri alchilici



127

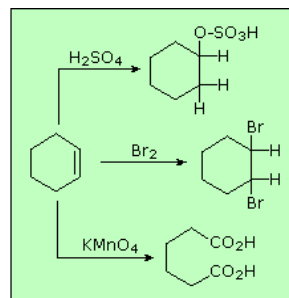
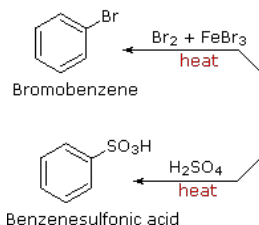
## I COMPOSTI AROMATICI

128



## Il Benzene

**Monobromobenzene  
come unico prodotto di  
Bromurazione**



Il gruppo comune ai composti aromatici è  $\text{C}_6\text{H}_5$ .

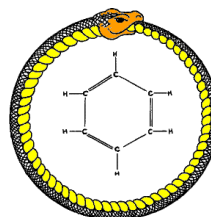
Il benzene non si comporta da composto insaturo, nonostante la formula molecolare

*Il benzene dà soprattutto reazioni di sostituzione. Tutti e 6 gli atomi di idrogeno del benzene sono chimicamente equivalenti: non si formano isomeri.*

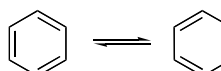
129

## Struttura del Benzene

La prima struttura del benzene è stata proposta da August Kekulé nel 1865. Kekulé ha proposto il benzene come composto di 3 doppi legami in un anello a 6 termini.



Questi doppi legami sono stati ipotizzati spostarsi avanti e indietro rapidamente in modo che le 2 possibili forme non potessero essere separate e pertanto il benzene non dava le reazioni tipiche dei composti insaturi.

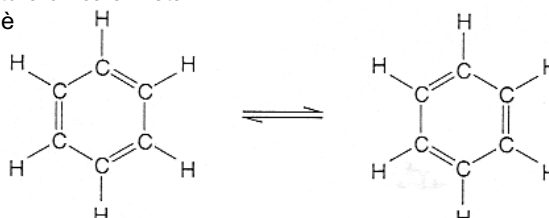


130

## Il Benzene e l'Aromaticità

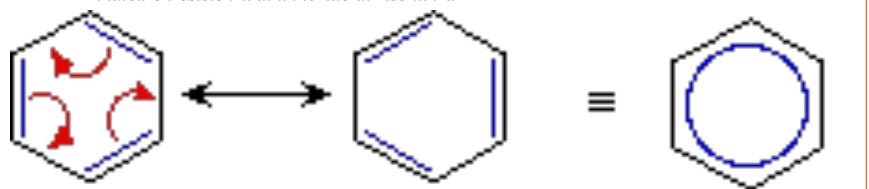
In realtà non è un equilibrio ma una forma di risonanza. Le due strutture limite non esistono ma esiste una struttura unica a metà tra le due proposte da Kekulé

**Benzene  $C_6H_6$ :**



Tracciamo una freccia a due punte per indicare l'esistenza di un ibrido di risonanza

Il benzene secondo Kekulé.



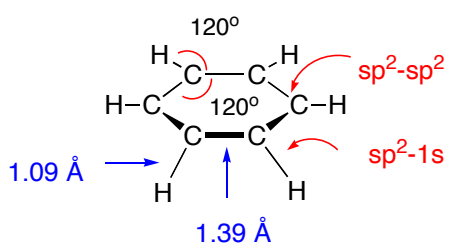
*Kekulé*

*Sistema  $\pi$  delocalizzato*

131

## Modello Molecolare del Benzene

### Caratteristiche strutturali del benzene



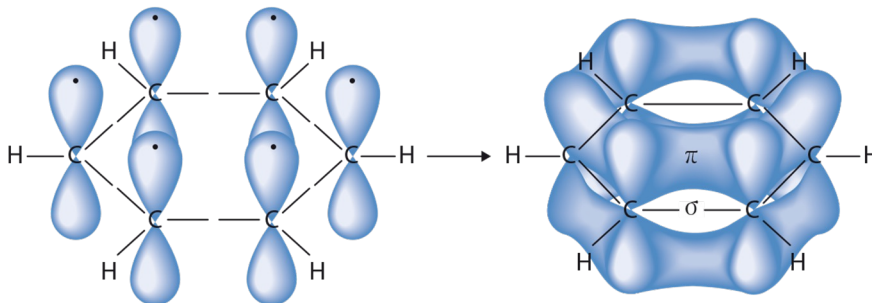
Legame singolo 1.54 Å  
Legami doppi 1.34 Å  
Legame benzene 1.39 Å

Nel benzene ogni atomo di C è legato con soli altri 3 atomi (2 di C e 1 di H)

- Il benzene è costituito da uno scheletro di 6 atomi di carbonio organizzati in una struttura esagonale regolare, con angoli di legame C-C di  $120^\circ$ . Tutti i legami C-C hanno la stessa lunghezza (**1.39 Å**) e il legame C-H di 1.09 Å.

132

## Il Sistema di Elettroni $\pi$ del Benzene

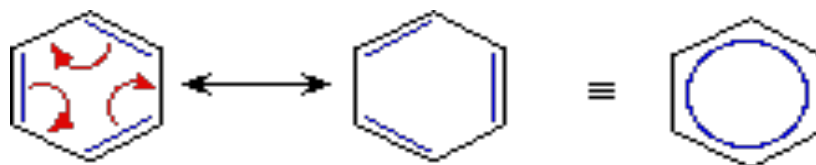


Ogni atomo di C contribuisce con un elettrone al sistema  $\pi$ , sovrapponendo lateralmente il suo orbitale  $p$  non ibridato agli orbitali  $p$  dei due atomi di C adiacenti. Si forma un orbitale delocalizzato  $\pi$  su tutta la molecola.

**Energia di delocalizzazione:** nel benzene i sei orbitali  $p$ , tutti paralleli, formano un unico orbitale  $\pi$  delocalizzato ad anello, sopra e sotto il piano della molecola.



133



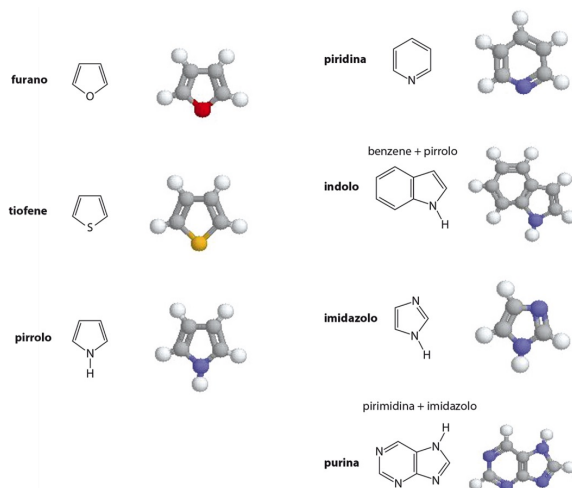
*Ibrido di Risonanza*

*Sistema  $\pi$  delocalizzato*

Tutti e 6 i legami C-C nel benzene hanno la stessa lunghezza, intermedia tra quella di un legame singolo e quella di un legame doppio

134

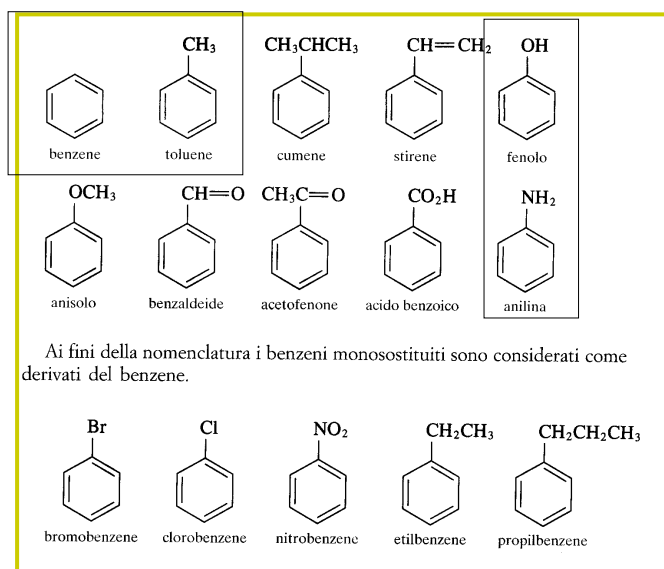
## Strutture Aromatiche dei Composti Eterociclici



Strutture aromatiche si osservano anche in composti che contengono nell'anello atomi diversi dal carbonio, i **composti eterociclici**.

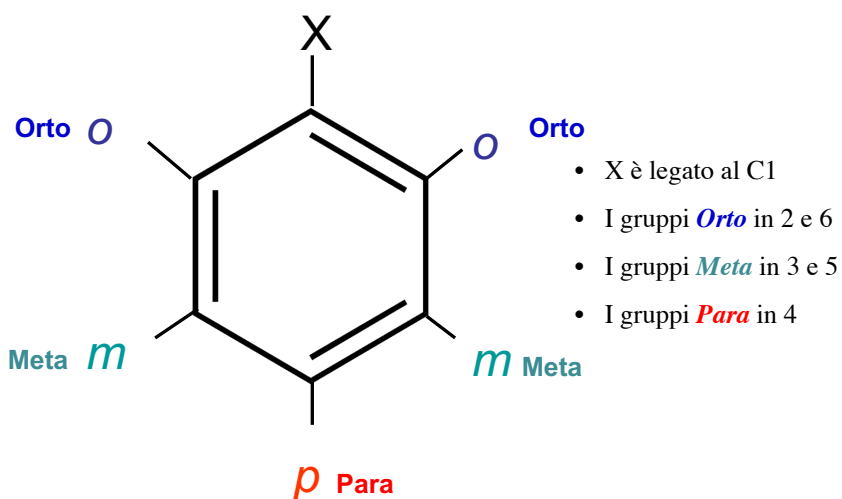
135

## NOMENCLATURA



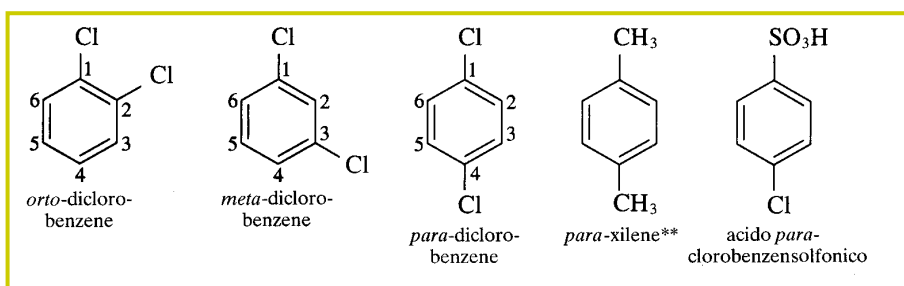
136

## Nomenclatura dei Composti Aromatici con 2 sostituenti

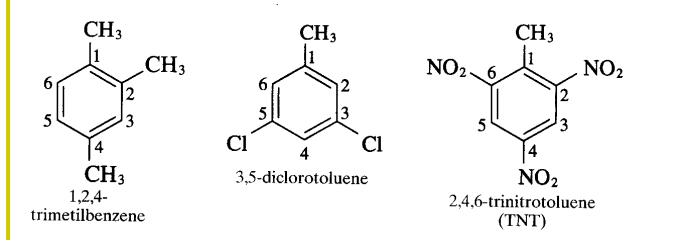


137

### LA POSIZIONE DEI SOSTITUENTI PUÒ ESSERE INDICATA COME *orto-, meta-, para-*



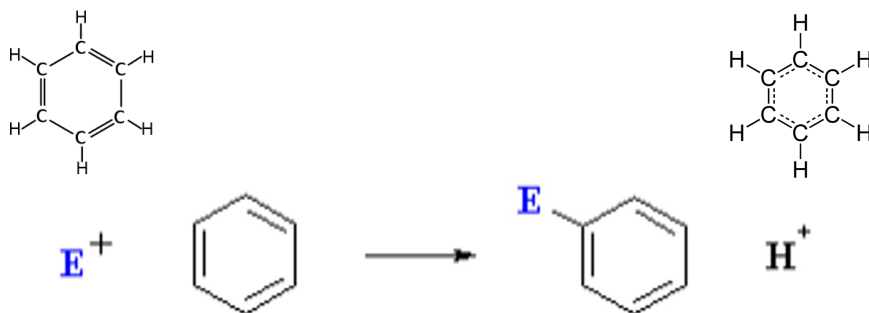
Quando sono  
presenti più di due  
sostituenti si usano  
i numeri



138

Il benzene ed in generale i composti aromatici  
danno reazioni di

## SOSTITUZIONE ELETTROFILA AROMATICA

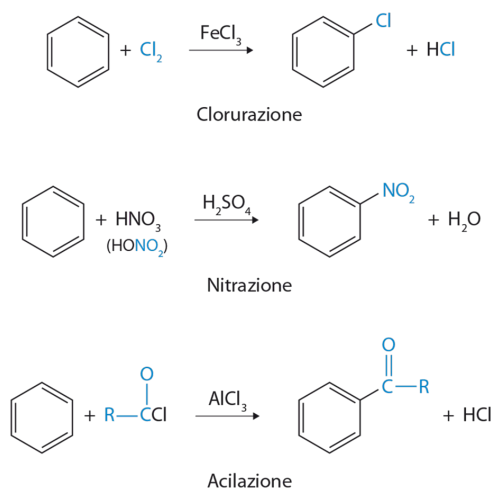


Le reazioni più comuni dei composti aromatici comportano la sostituzione di uno o più atomi di H dell'anello con altri atomi o gruppi.

Nessuna alterazione del sistema aromatico!

139

## SOSTITUZIONE ELETTROFILA AROMATICA



Reazioni per lo più condotte a temperature comprese fra 0 e 50 °C, condizioni che diventano più blande o drastiche se altri gruppi sono già presenti sull'anello benzenico.

140