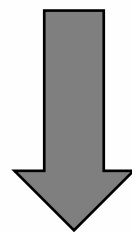


CHIMICA ORGANICA



I COMPOSTI ORGANICI

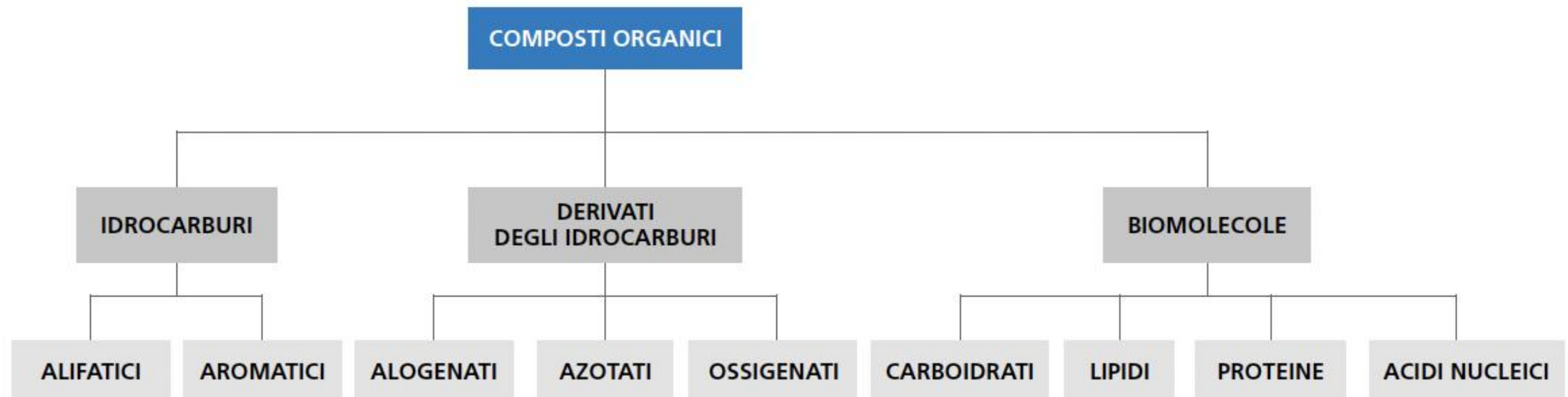
I **composti organici** sono composti del carbonio, generalmente caratterizzati dalla presenza di **legami carbonio-carbonio** (C–C) e **carbonio-idrogeno** (C–H), e spesso carbonio legato anche *a ossigeno, azoto, zolfo o alogeni*).



**LA CHIMICA ORGANICA È
LA CHIMICA DEI COMPOSTI DEL CARBONIO!**

I composti organici si distinguono in:

- **IDROCARBURI** (alifatici e aromatici)
- **DERIVATI DEGLI IDROCARBURI** (alogenati, azotati, ossigenati)
- **BIOMOLECOLE** (carboidrati, lipidi, proteine, acidi nucleici).



PERCHÈ IL CARBONIO

Il numero di composti del carbonio è **superiore a quello di tutti gli altri elementi** messi insieme.

Forma legami stabili con H, C, O, N, S e P, gli alogeni e pochi altri elementi.

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

Bacatti, Corradi, Desco, Rocc...

L'ATOMO DI CARBONIO

Per comprendere perché il carbonio è così "speciale", è necessario analizzare la sua struttura elettronica e il fenomeno dell'ibridazione.

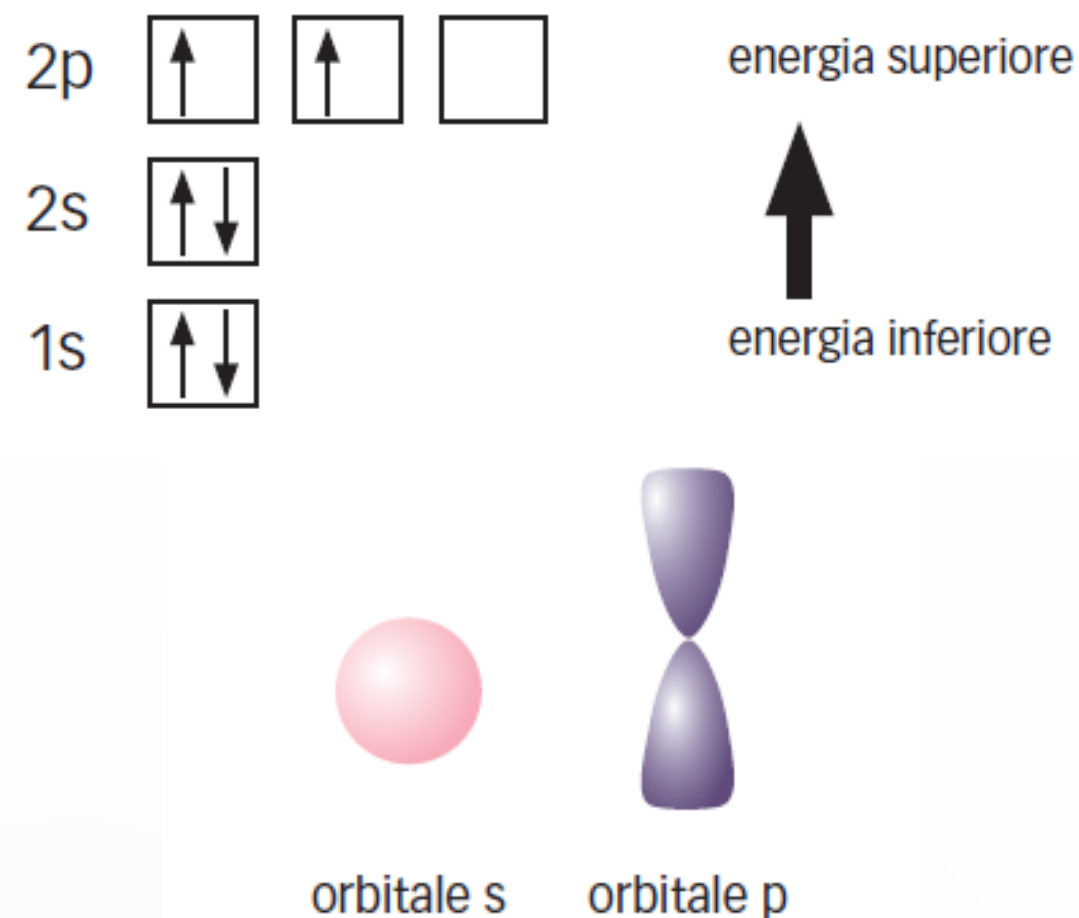
Configurazione elettronica

Il carbonio ha **numero atomico $Z = 6$** . I suoi 6 elettroni si distribuiscono come segue:

- 1° livello: 2 elettroni (orbitale 1s)
- 2° livello: 4 elettroni (orbitali 2s e 2p)

Con 4 elettroni nel livello esterno e una elettronegatività intermedia, il carbonio:

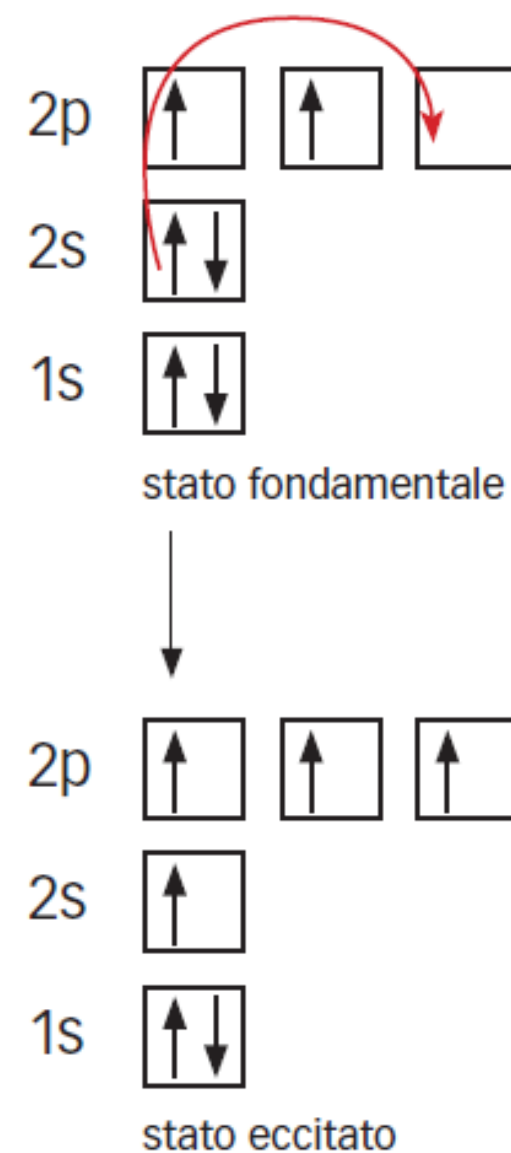
- **non tende a formare legami ionici**
- ma preferisce i **legami covalenti**, condividendo elettroni con altri atomi.



Perché 4 legami?

Con soli 2 elettroni spaiati negli orbitali 2p, ci si aspetterebbe che il carbonio formi **solo 2 legami**. In realtà ne forma **4**. Come si spiega?

Un elettrone dell'orbitale 2s **salta nell'orbitale 2p vuoto** (stato eccitato), rendendo disponibili 4 elettroni spaiati. Nonostante il costo energetico (~96 kcal/mol), il guadagno derivante dalla formazione di 2 legami aggiuntivi **compensa ampiamente** tale spesa.





I TRE TIPI DI IBRIDAZIONE

L'ibridazione è il processo per cui gli orbitali atomici si mescolano per formare nuovi orbitali equivalenti (degeneri).
Il tipo di ibridazione determina la **geometria molecolare** e le proprietà dei legami.

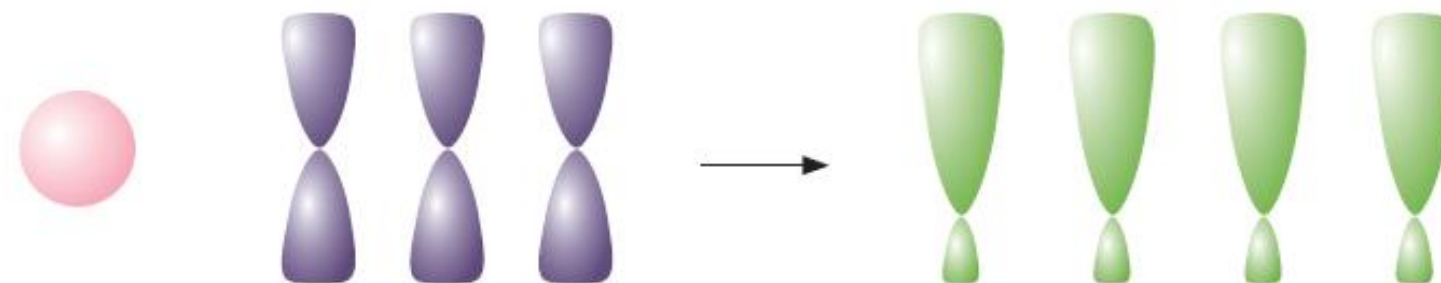
Ibridazione sp^3

Mescolanza di

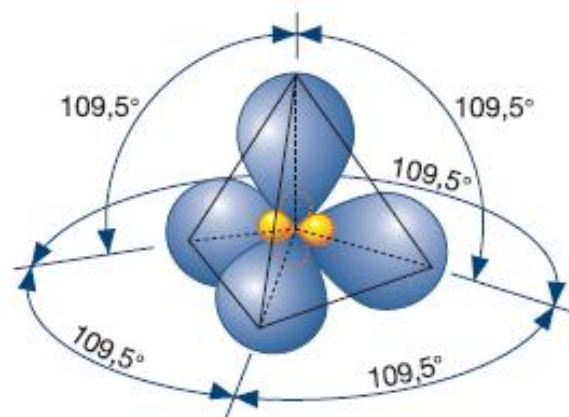
- 1 orbitale s
 - 3 orbitali p
- 4 orbitali degeneri sp^3

Geometria TETRAEDRICA

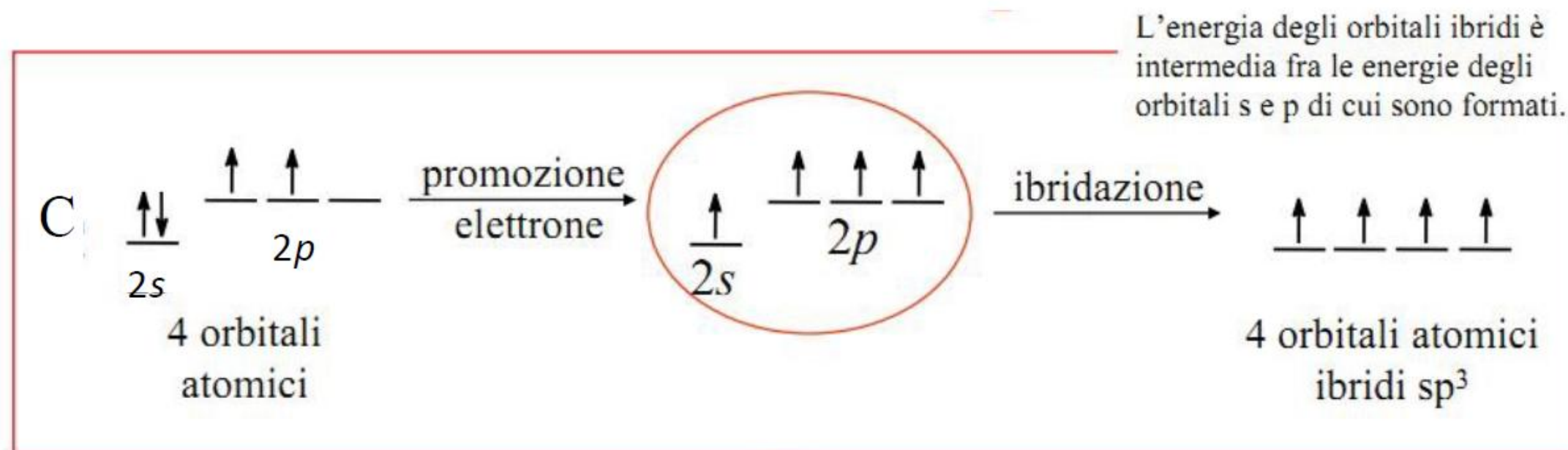
Angolo di legame: **$109,5^\circ$**



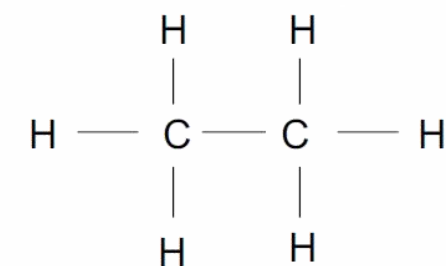
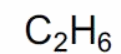
Un orbitale s e tre orbitali p si mescolano per dare origine a quattro orbitali sp^3 .



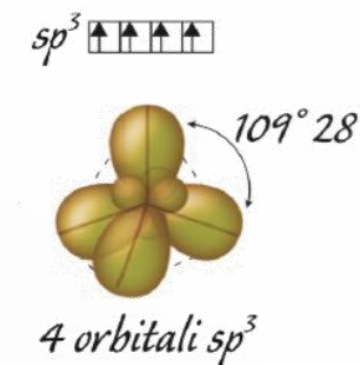
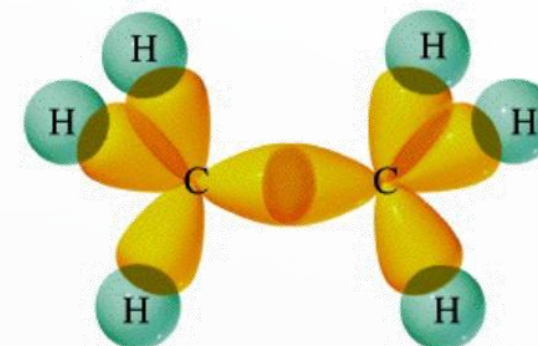
Gli orbitali ibridi si dispongono secondo i vertici di un tetraedro.



Si verifica una **'rimescolamento'** tra gli orbitali **s (1) e p (3)** e si formano **4** orbitali degeneri **sp^3** , ossia 4 orbitali con la stessa forma ed energia.



Etano



Ibridazione sp^2

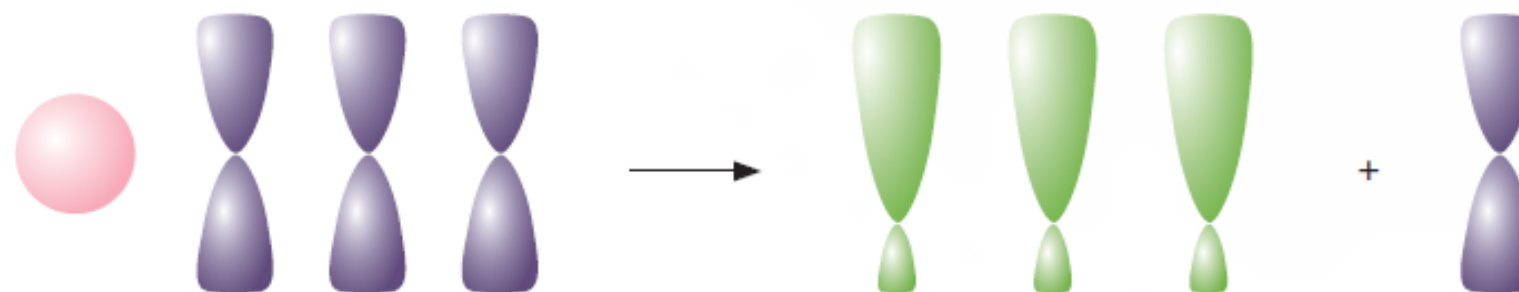
Mescolanza di

- 1 orbitale s
 - 2 orbitali p
- 3 orbitali degeneri sp^2

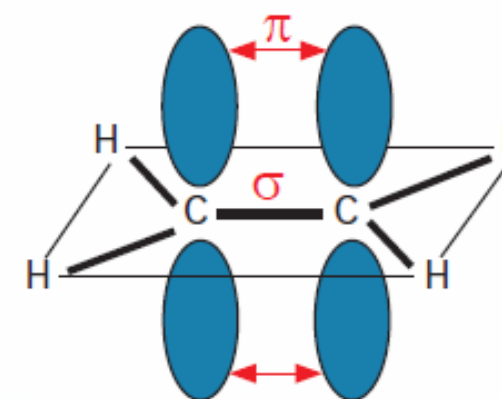
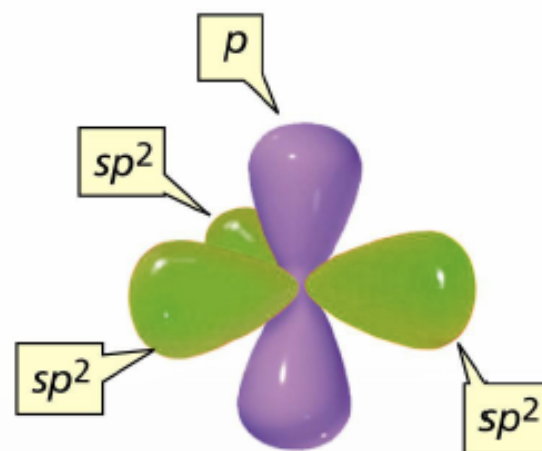
Geometria TRIGONALE PLANARE

Angolo di legame: 120°

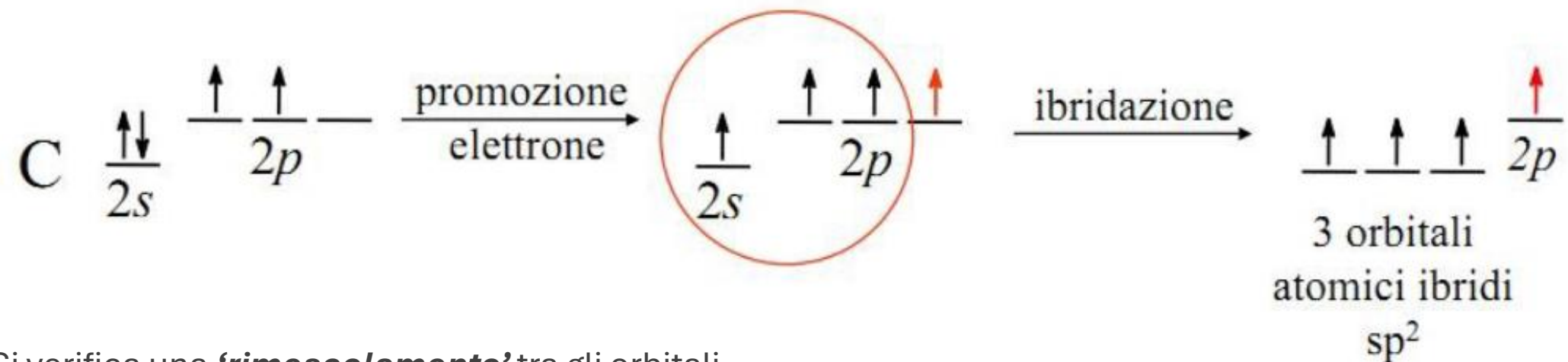
1 orbitale p rimane non ibridato,
perpendicolare al piano



Un orbitale s e due orbitali p si mescolano per dare origine a tre orbitali sp^2 , mentre un orbitale p mantiene le sue caratteristiche iniziali.

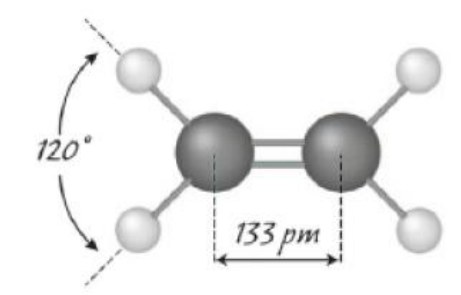


Gli orbitali ibridi si dispongono secondo i vertici di un triangolo equilatero, mentre l'orbitale p si pone su un piano perpendicolare.

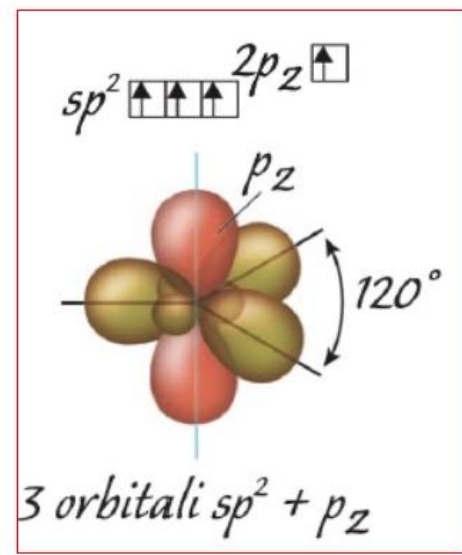
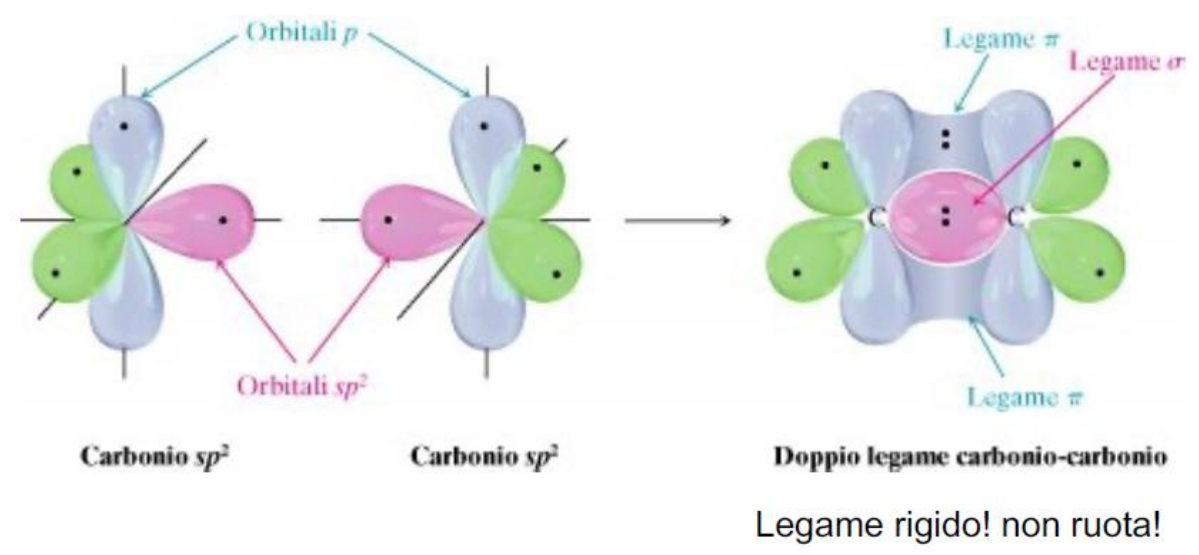


Si verifica una **‘rimescolamento’** tra gli orbitali **s (1) e p (2)** e si formano **3** orbitali degeneri **sp^2** , ossia 3 orbitali con la stessa forma ed energia, e un orbitale non ibridato **p**

C_2H_4
Il doppio legame è un sito ad alta densità elettronica



Etene
(Etilene)



Ibridazione sp

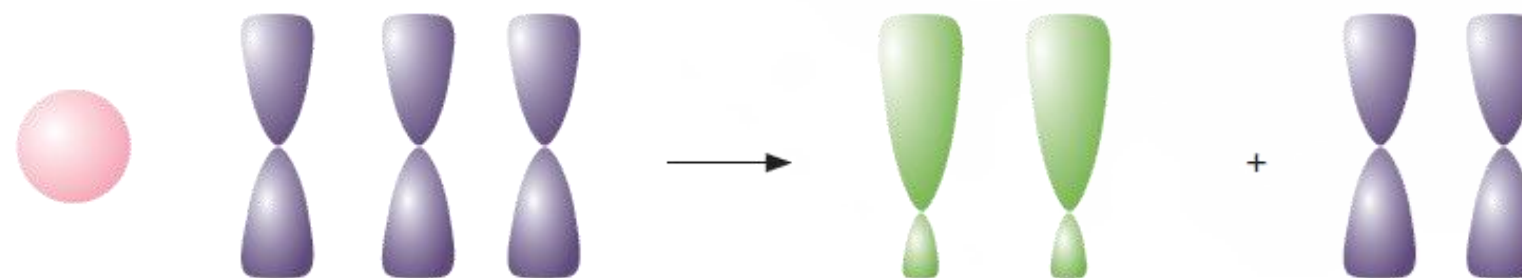
Mescolanza di

- 1 orbitale s
 - 1 orbitale p
- 2 orbitali degeneri sp

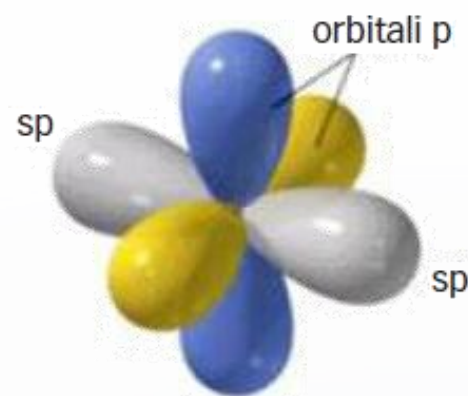
Geometria LINEARE

Angolo di legame: **180°**

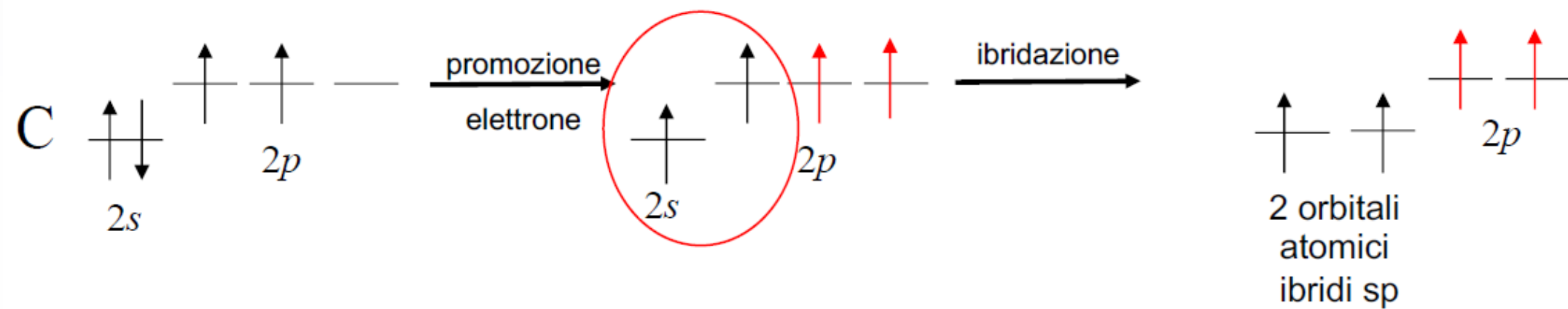
2 orbitali p rimangono non ibridati, perpendicolari al piano



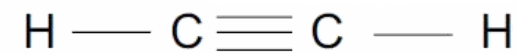
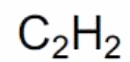
Un orbitale s e un orbitale p si mescolano per dare origine a due orbitali sp, mentre due orbitali p mantengono le loro caratteristiche iniziali.



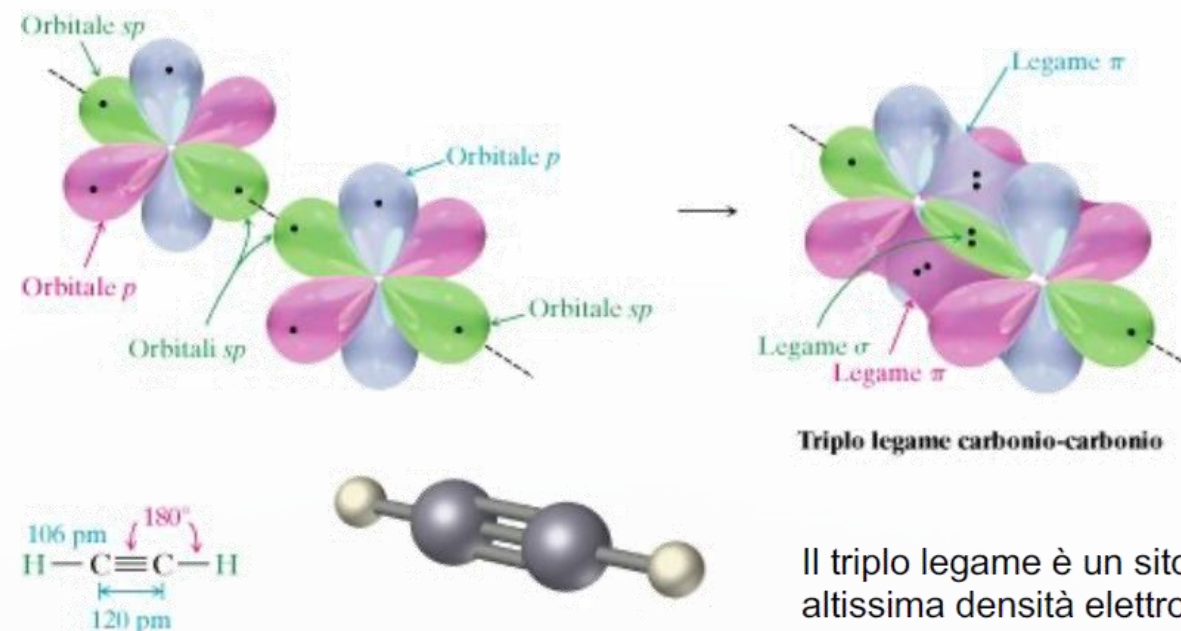
I 2 orbitali ibridi si dispongono lungo un asse con un angolo di 180°. Gli orbitali p non ibridati si pongono perpendicolari tra loro e agli orbitali ibridi.



Si verifica una **‘rimescolamento’** tra gli orbitali **s (1) e p (1)** e si formano **2** orbitali degeneri **sp**, ossia 2 orbitali con la stessa forma ed energia, e due orbitali non ibridati **p**

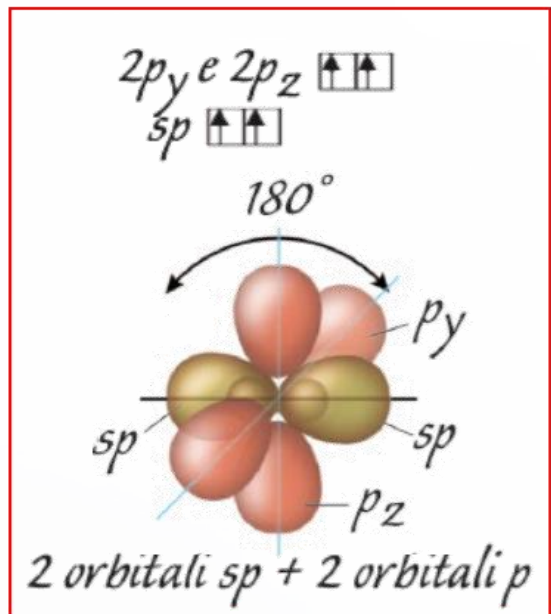


Etino
(Acetilene)



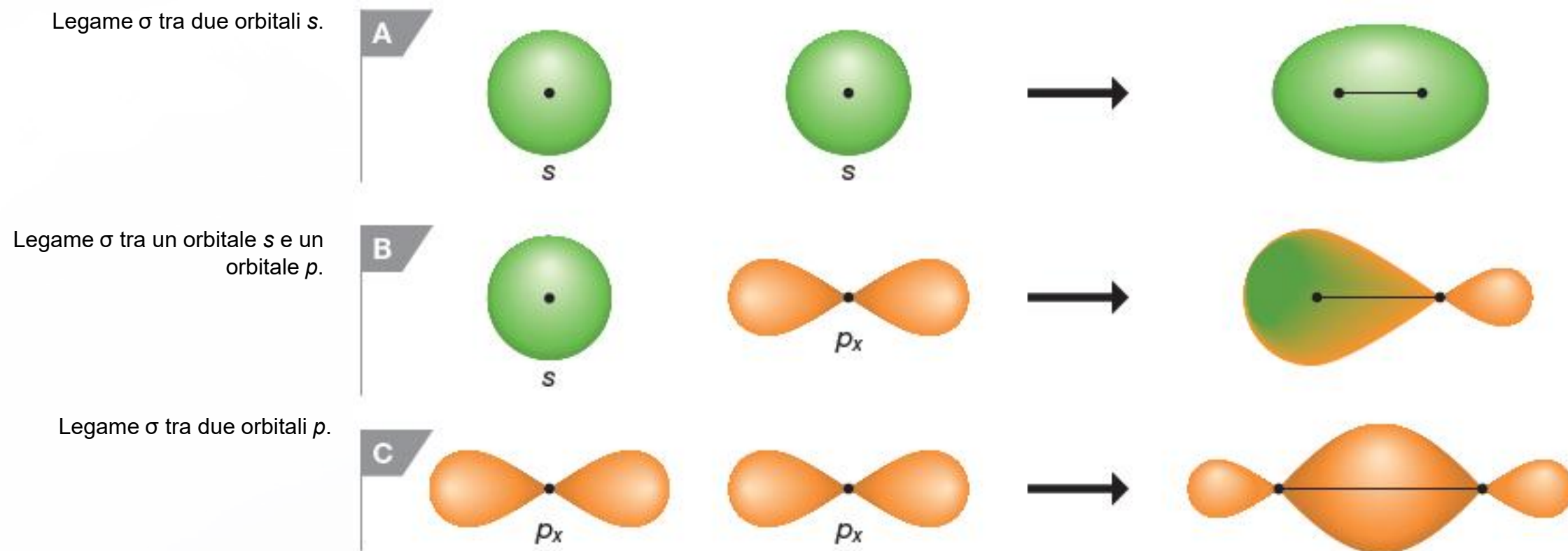
Il triplo legame è un sito ad altissima densità elettronica!

Legame rigido! non ruota!

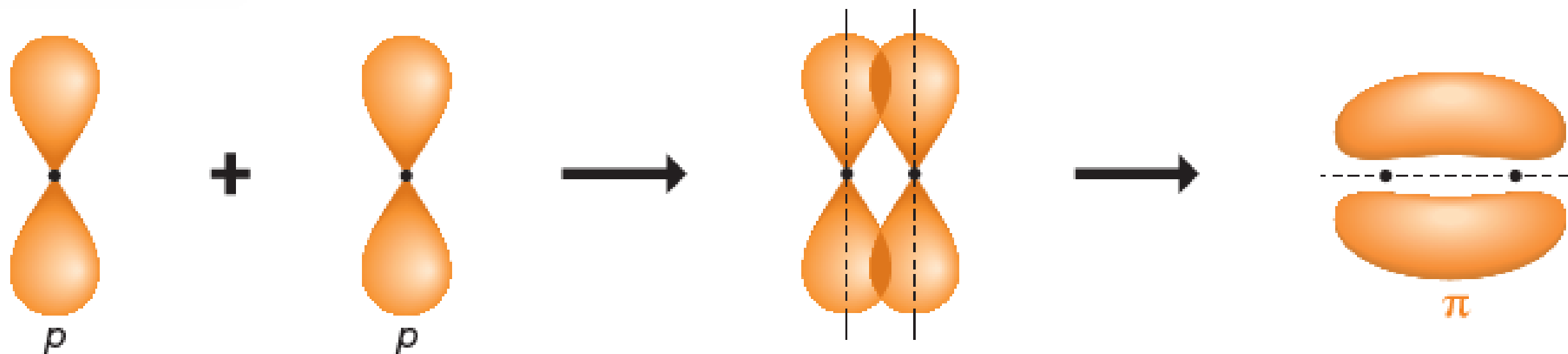


LEGAMI σ e π

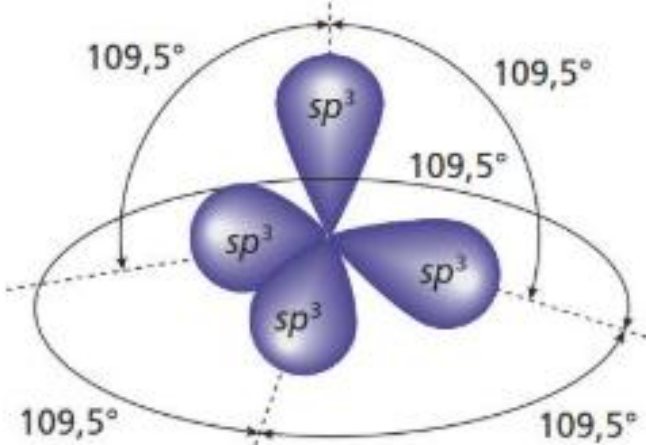
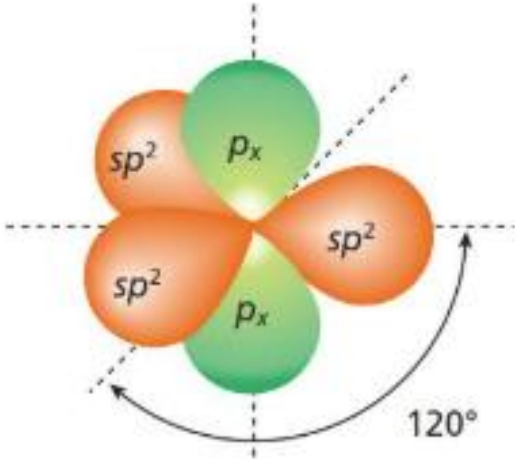
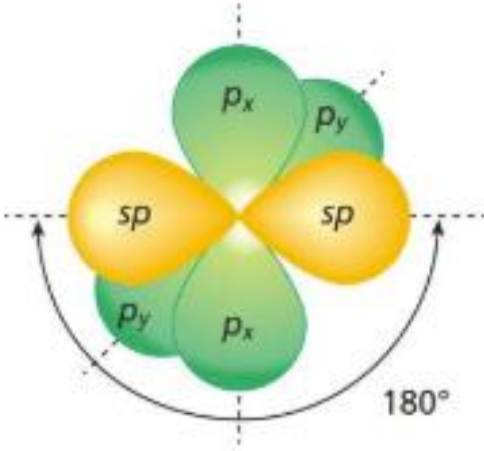
Legame σ (sigma): si forma per **sovrapposizione frontale** degli orbitali atomici, lungo l'asse che congiunge i nuclei. È sempre presente in ogni legame covalente ed è il più forte.



Legame π (pi greco): si forma per **sovrapposizione laterale** degli orbitali p non ibridati. È presente solo nei doppi e tripli legami, in aggiunta al legame σ .



Panoramica delle ibridazioni del carbonio, con geometria degli orbitali, tipo di legame formato con un altro atomo di carbonio, e composti rappresentativi.

	<i>sp</i> ³	<i>sp</i> ²	<i>sp</i>
Disposizione spaziale degli orbitali ibridi e degli orbitali <i>p</i> che non partecipano all'ibrido			
Presente in	alcani	alcheni	alchini
Legame C—C	1σ	1σ + 1π	1σ + 2π
Geometria	tetraedrica	trigonale	lineare

LEGAMI PER TIPO DI IBRIDAZIONE

- $sp^3 \rightarrow 4$ legami σ
- $sp^2 \rightarrow 3$ legami σ complanari + 1 legame π perpendicolare
- $sp \rightarrow 2$ legami σ colineari + 2 legami π su piani perpendicolari

Elettronegatività e ibridazione

L'elettronegatività del carbonio **cresce al crescere del carattere s** negli orbitali ibridi:

$$sp^3 < sp^2 < sp.$$

Maggiore è il carattere s, più gli elettroni sono vicini al nucleo, rendendo l'atomo più "attrattivo".

Lunghezza di legame

La lunghezza di legame C–C segue l'**andamento inverso**:

$$sp < sp^2 < sp^3.$$

Più orbitali π sono presenti, più il legame è corto e robusto. Il triplo legame (sp) è il più corto e forte.

I LEGAMI CARBONIO-CARBONIO

La proprietà più straordinaria del carbonio è la **catenazione**: la sua eccezionale tendenza a legarsi con altri atomi di carbonio formando catene di lunghezza e forma variabile — la base strutturale di tutta la chimica organica.

Legame Semplice (C–C)

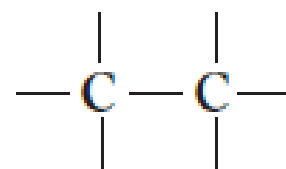
Ibridazione sp^3

1 legame σ .

Geometria tetraedrica ($109^\circ 5'$)

Rotazione libera attorno al legame.

Esempi: alcani, cicloalcani.



Legame semplice

Doppio Legame (C=C)

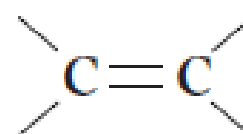
Ibridazione sp^2

1 legame σ + 1 legame π .

Geometria planare (120°)

Rotazione impedita.

Esempi: alcheni.



Legame doppio

Triplo Legame (C≡C)

Ibridazione sp

1 legame σ + 2 legami π .

Geometria lineare (180°).

Legame più corto e più forte.

Esempi: alchini.



Legame triplo

CLASSIFICAZIONE DEGLI ATOMI DI CARBONIO

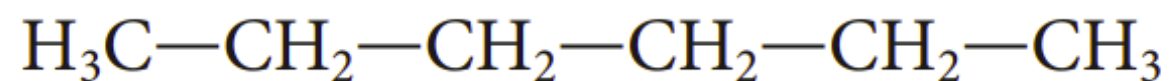
- **PRIMARIO:** legato a 1 solo C
- **SECONDARIO:** legato a 2 atomi di C
- **TERZIARIO:** legato a 3 atomi di C
- **QUATERNARIO:** legato a 4 atomi di C

Le catene carboniose possono essere:

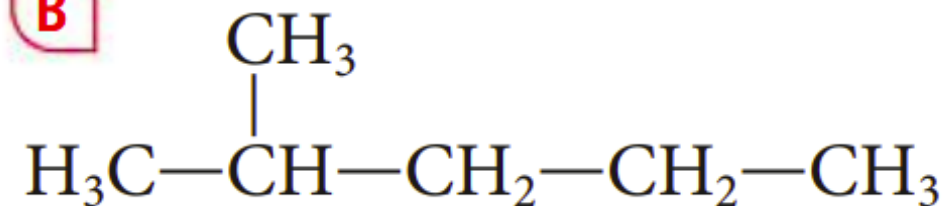
- **LINEARI**
- **RAMIFICATE**
- **CHIUSE (CICLICHE)**

Possono contenere simultaneamente legami semplici, doppi e tripli.

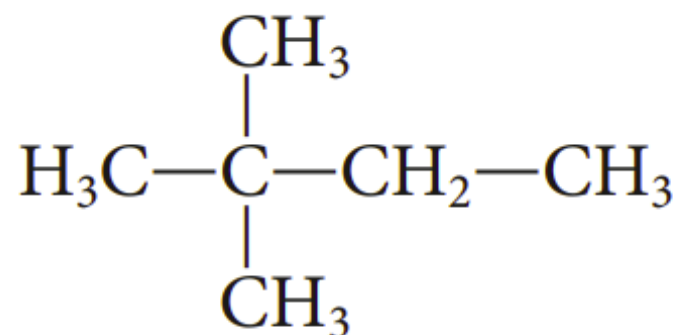
In ogni caso, ogni carbonio forma sempre **4 legami covalenti**.

A

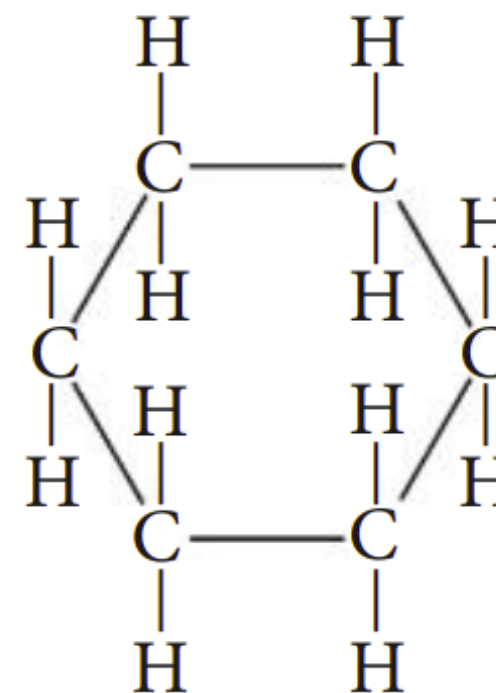
catena lineare aperta

B

catena aperta e ramificata

C

catena aperta e ramificata

D

catena chiusa

Queste quattro molecole contengono lo stesso numero di atomi di carbonio e di idrogeno (C_6H_{14}), ma lo scheletro carbonioso si presenta in forme diverse.

I GRUPPI FUNZIONALI

La varietà dei composti organici si arricchisce ulteriormente grazie all'inserimento, lungo le catene carboniose, dei cosiddetti **gruppi funzionali**.

un **GRUPPO FUNZIONALE** è
un atomo diverso dal carbonio e dall'idrogeno, un gruppo atomico o un legame multiplo,
capace di conferire particolari proprietà fisiche e chimiche alla molecola di cui fa parte

Molti gruppi funzionali sono caratterizzati dalla presenza di atomi di elementi più elettronegativi del carbonio e dell'idrogeno (ossigeno, azoto, alogeni, zolfo); ciò determina la formazione di **legami covalenti polari**, che introducono nella molecola una certa **instabilità** e le conferiscono una precisa **reattività**.

La presenza di un gruppo funzionale determina le proprietà di una molecola organica al punto tale da definirne l'appartenenza a una precisa **CLASSE DI COMPOSTI**.

Gruppo funzionale	Nome	Classe di composti
$\begin{array}{c} & \\ -C & -C- \\ & \end{array}$	legame semplice (sp^3)	alcani e cicloalcani
$\begin{array}{c} >C=C< \end{array}$	legame doppio (sp^2)	alcheni, cicloalcheni, aromatici
$-C\equiv C-$	legame triplo (sp)	alchini e cicloalchini
$-X$	alogeno	alogenuri alchilici
$-OH$	ossidrile	alcoli e fenoli
$-O-$	etereo	eteri
$\begin{array}{c} >CO \end{array}$	carbonile	aldeidi e chetoni
$-COOH$	carbossile	acidi carbossilici
$-COO-$	estere	esteri
$\begin{array}{c} -CON< \end{array}$	ammidico	ammidi
$-NH_2$	amminico	ammine

LA NOMENCLATURA IUPAC

Riconoscere il gruppo funzionale presente in una molecola è il primo passo per darle un nome.

Il nome di una molecola organica si costruisce combinando tre elementi:

PREFISSO



INFISSO



SUFFISSO



Indica il
n° di atomi di C
nella catena principale



Indica il
tipo di legami C-C



Indica la
classe di composti
di appartenenza

IL PREFISSO

NUMERO C	PREFISSO	ESEMPIO
1	MET-	metano
2	ET-	etano
3	PROP-	propano
4	BUT-	butano
5	PENT-	pentano
6	ES-	esano
7	EPT-	eptano
8	OTT-	ottano
9	NON-	nonano
10	DEC-	decano

Tabella 2.2 Radici usate nel sistema IUPAC per definire catene non ramificate che contengono da 1 a 20 atomi di carbonio

Radice	Numero di atomi di carbonio	Radice	Numero di atomi di carbonio
met-	1	undec-	11
et-	2	dodec-	12
prop-	3	tridec-	13
but-	4	tetradec-	14
pent-	5	pentadec-	15
es-	6	esadec-	16
ept-	7	eptadec-	17
ott-	8	ottadec-	18
non-	9	nonadec-	19
dec-	10	eicos-	20

L'INFISSO

TIPO DI LEGAME		INFISSO	ESEMPIO
Solo legami singoli	C-C	-an-	etano
Doppio legame	C=C	-en-	etene
Triplo legame	C≡C	-in-	etino
Due doppi legami	C=C-C=C	- dien -	butadiene

IL SUFFISSO

G. F.	CLASSE	SUFFISSO	ESEMPIO
-	Alcani	-o	etano
C=C	Alcheni	-e	etene
C≡C	Alchini	-o	etino
-OH	Alcoli	-olo	etanolo
carbonile aldeidico $\left(\begin{array}{c} -C- \\ \\ O \end{array} \right) (-CHO)$	Aldeidi	-ale	etanale
carbonile chetonico $\left(\begin{array}{c} -C- \\ \\ O \end{array} \right) (>C=O)$	Chetoni	-one	propanone
carbossile $\left(\begin{array}{c} O \\ // \\ -C \\ \backslash \\ OH \end{array} \right) -COOH$	Acidi carbossilici	acido ... -oico	acido etanoico
estere $\left(\begin{array}{c} O \\ // \\ -C \\ \backslash \\ O- \end{array} \right) COOC-$	Esteri	-oato di ...	etanoato di metile
-NH ₂	Ammine	-ammina	etilammina

Classe	Formula generale	Gruppo funzionale	Esempio	Nome (la parte identificativa del nome della classe è in rosso)
alcheni	$\diagup \text{C}=\text{C} \diagdown$	legame doppio	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$	but ene
alchini	$-\text{C}\equiv\text{C}-$	legame triplo	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	but ino
alogenuri	$\text{R}-\text{X}$	alogeno ($-\text{X}$)	CH_3-Cl	cloro metano
alcoli	$\text{R}-\text{OH}$	ossidrilico ($-\text{OH}$)	CH_3-OH	metan olo
eteri	$\text{R}-\text{O}-\text{R}'$	etere ($-\text{O}-$)	$\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$	dimetil etere
aldeidi	$\text{R}-\text{CHO}$	carbonile aldehydico $\left(\begin{array}{c} -\text{C}- \\ \\ \text{O} \end{array} \right)$	$\text{CH}_3-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{H} \end{array}$	etan ale (acetaldeide)
chetoni	$\text{R}-\text{CO}-\text{R}'$	carbonile chetonico $\left(\begin{array}{c} -\text{C}- \\ \\ \text{O} \end{array} \right)$	$\text{CH}_3 \begin{array}{l} \nearrow \text{C}=\text{O} \\ \searrow \text{CH}_3 \end{array}$	propan one (acetone)
acidi carbossilici	$\text{R}-\text{COOH}$	carbossilico $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array} \right)$	$\text{CH}_3-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array}$	acido etan oico (acido acetico)
esteri	$\text{R}-\text{COOR}'$	estere $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{O}- \end{array} \right)$	$\text{CH}_3 \begin{array}{l} \nearrow \text{C}=\text{O} \\ \searrow \text{O}-\text{CH}_3 \end{array}$	etan oato di metile (acetato di metile)
ammidi	$\text{R}-\text{CO}-\text{NH}_2$	amidico $\left(\begin{array}{c} -\text{C}-\text{N}- \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{H} \end{array} \right)$	$\text{CH}_3-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{NH}_2 \end{array}$	etan ammide (acetammide)
ammine primarie	$\text{R}-\text{NH}_2$	amminico ($-\text{NH}_2$)	CH_3-NH_2	metil ammina
tioli	$\text{R}-\text{SH}$	sulfidrilico ($-\text{SH}$)	CH_3-SH	metan tiolo (metilmercaptano)

Regole di nomenclatura IUPAC

per molecole senza ramificazioni

Secondo la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) le regole principali per la nomenclatura sono le seguenti:

1 — **CATENA**
Si contano il n° di atomi di carbonio → si assegna il **PREFISSO** corrispondente

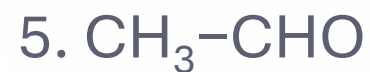
2 — **GRUPPO FUNZIONALE**
Si numerano gli atomi di carbonio della catena in modo tale che quello che lega il **gruppo funzionale abbia il valore più piccolo possibile** → si assegna il **SUFFISSO** corrispondente al G.F. e si inserisce la posizione prima del prefisso o prima del suffisso.

3 — **DOPPI e TRIPLI LEGAMI**
In presenza di doppi o tripli legami → si assegna l'**INFISSO** corrispondente e si inserisce la posizione prima dell'infisso.

Nota → Tra numero e parola va messo un **trattino**

Piccola esercitazione

Qual è il nome IUPAC delle seguenti molecole e a quel gruppo di composti appartengono?



Soluzioni commentate

Molecola	Nome IUPAC	
1. $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_3$	Propano	Contiene 3 atomi di carbonio e solo legami semplici: è un alcano .
2. $\text{CH}_2\text{=CH--CH}_3$	Propene (Prop-1-ene)	Contiene 3 atomi di carbonio e un doppio legame : è un alchene .
3. $\text{CH}_2\text{=CH--CH}_2\text{--CH}_3$	But-1-ene	Contiene 4 atomi di carbonio e un doppio legame in posizione 1: è un alchene .
4. $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--OH}$	Etanolo	La presenza del gruppo –OH identifica un alcol .
5. $\text{CH}_3\text{--CHO}$	Etanale	Il gruppo –CHO all'estremità della catena identifica un' aldeide .
6. $\text{CH}_3\text{--CO--CH}_3$	Propanone	Il gruppo C=O è interno alla catena: è un chetone .
7. $\text{CH}_3\text{--COOH}$	Acido etanoico	Il gruppo –COOH identifica un acido carbossilico .
8. $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--NH}_2$	Etan-ammina	Il gruppo –NH₂ identifica un' ammina primaria .

Piccola esercitazione

Qual è il nome IUPAC delle seguenti molecole e a quel gruppo di composti appartengono?



Soluzioni commentate

Formula bruta	Nome IUPAC	
1. C_2H_6COOH	Acido propanoico	La presenza del gruppo -COOH identifica un acido carbossilico .
2. C_4H_8	But-1-ene	La presenza del doppio legame indica che è un alchene .
3. C_3H_9N	Propan-1-ammina	La presenza del gruppo -NH₂ identifica un' ammina primaria .
4. C_4H_{10}	Butano	Alcano con quattro atomi di carbonio e soli legami semplici.
5. C_4H_8O (chetone)	Butan-2-one	Il gruppo carbonilico è interno alla catena: è un chetone .
6. C_3H_7OH	Propan-1-olo	Il gruppo -OH identifica un alcol .
7. C_4H_6	But-1-ino	La presenza del triplo legame indica che un alchino .
8. C_3H_6O (aldeide)	Propanale	Il gruppo -CHO identifica un' aldeide .

L'ISOMERIA

Le particolari proprietà dell'atomo di carbonio fanno sì che possano esistere **composti diversi, formati però da atomi dello stesso tipo e in uguale numero.**

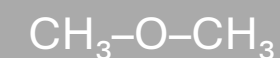
Si definiscono **ISOMERI** due o più composti che, pur avendo la stessa formula bruta, hanno formule di struttura diverse, o comunque una diversa disposizione spaziale.

Etanolo



formula bruta $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

Dimetil-etere



formula bruta $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

Stessa formula bruta $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, ma struttura diversa.

DIVERSE STRUTTURE = PROPRIETÀ FISICHE (e chimiche) DIVERSE !

Gli isomeri differiscono principalmente per proprietà fisiche (densità, punto di ebollizione...)

Il fenomeno dell'isomeria è determinante per comprendere come da un limitato numero di atomi diversi si possa formare un numero quasi infinito di composti (si stimano attualmente circa 60.000.000 di composti organici)

ISOMERI

molecole che contengono lo stesso tipo e numero di atomi, ma con differenti disposizioni nella molecola (*isos* = uguale; *meros* = parte)

STEREoisomeri (spaziale)

Stessa formula molecolare e stessi legami, disposti in modo diverso nello spazio (stereo = spazio)

ISOMERI CONFORMAZIONALI

Interconvertibili per rotazione attorno a un legame semplice

Conformazioni diverse della stessa molecola (per esempio: forma sfalsata e forma eclissata); isomeria tipica degli alcani

ISOMERI CONFIGURAZIONALI

Non interconvertibili per rotazione ma solo per rottura di legami

ISOMERI GEOMETRICI
(o isomeria *cis-trans*)
Tipica dei cicloalcani e degli alcheni

ISOMERI DI STRUTTURA (COSTITUZIONALE)

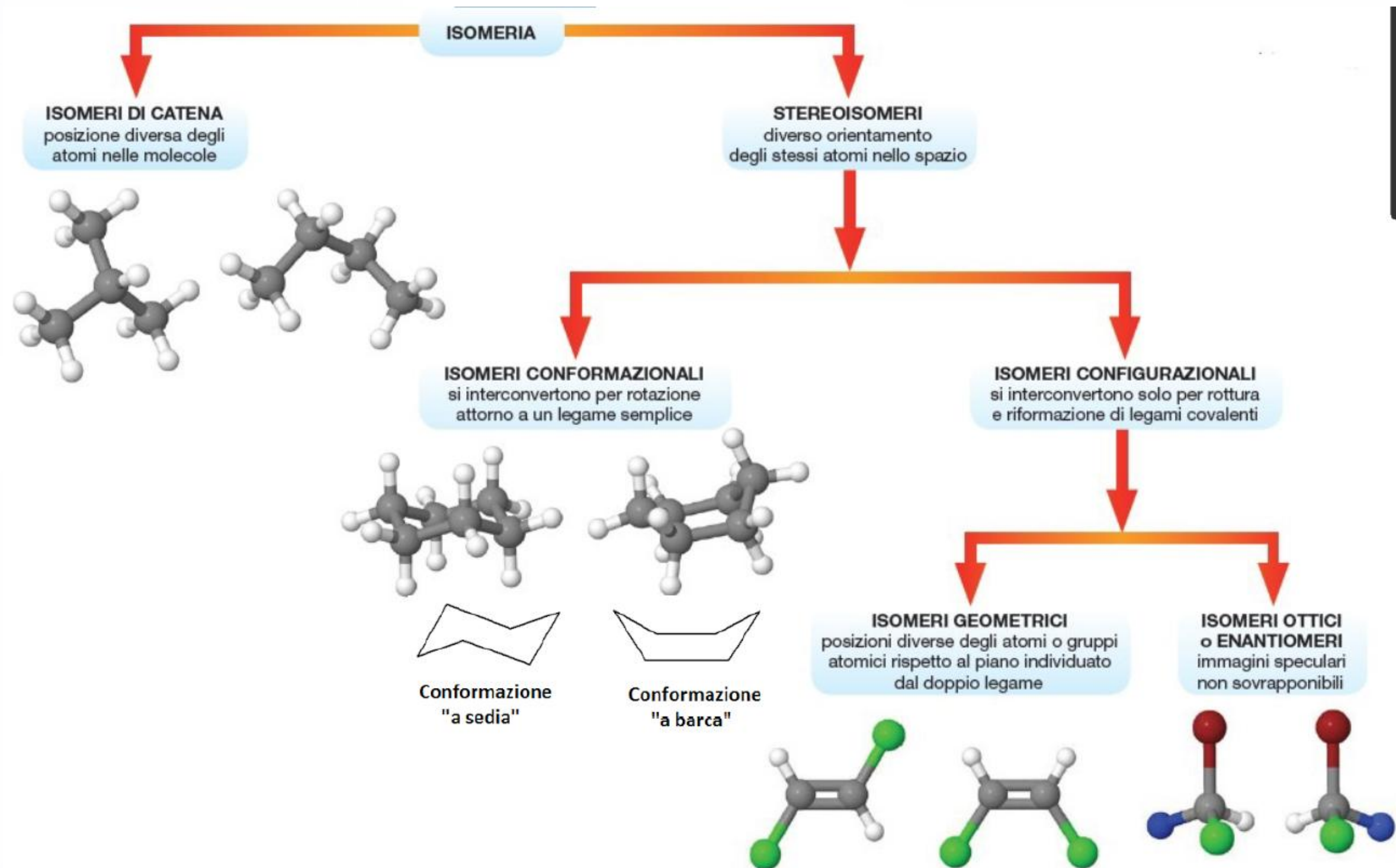
Stessa formula molecolare ma legami differenti tra gli atomi

Isomeri di:

- catena
- posizione
- gruppo funzionale

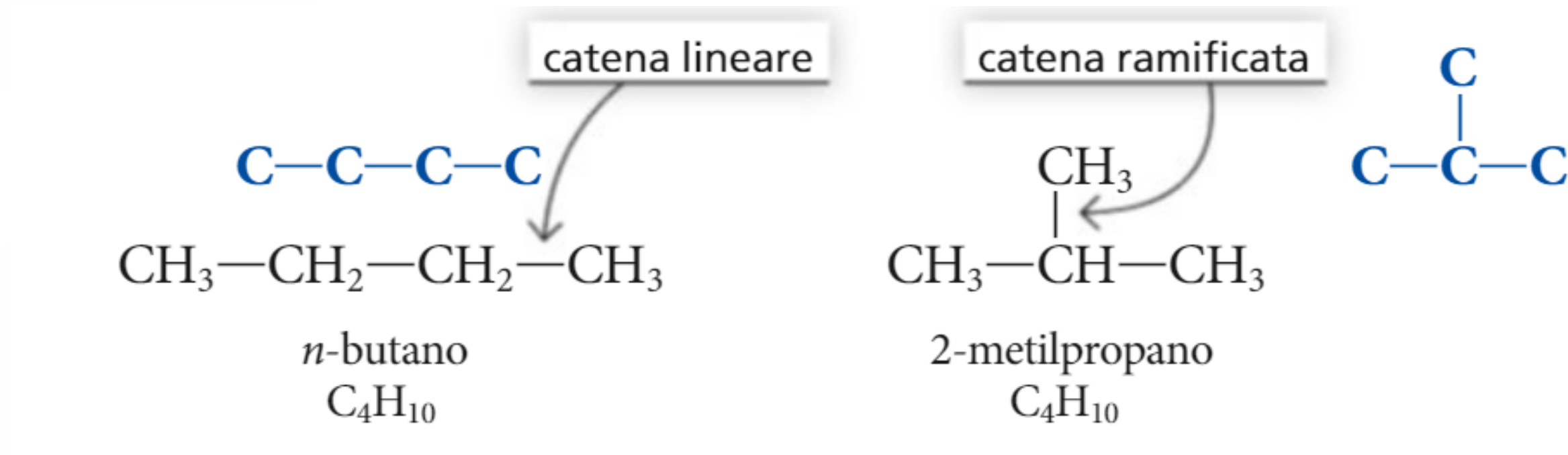
ISOMERI OTTICI (ENANTIOMERI)

Isomeri che hanno proprietà ottiche opposte (rotazione opposta della luce polarizzata); tipica di composti organici che contengono carboni chirali



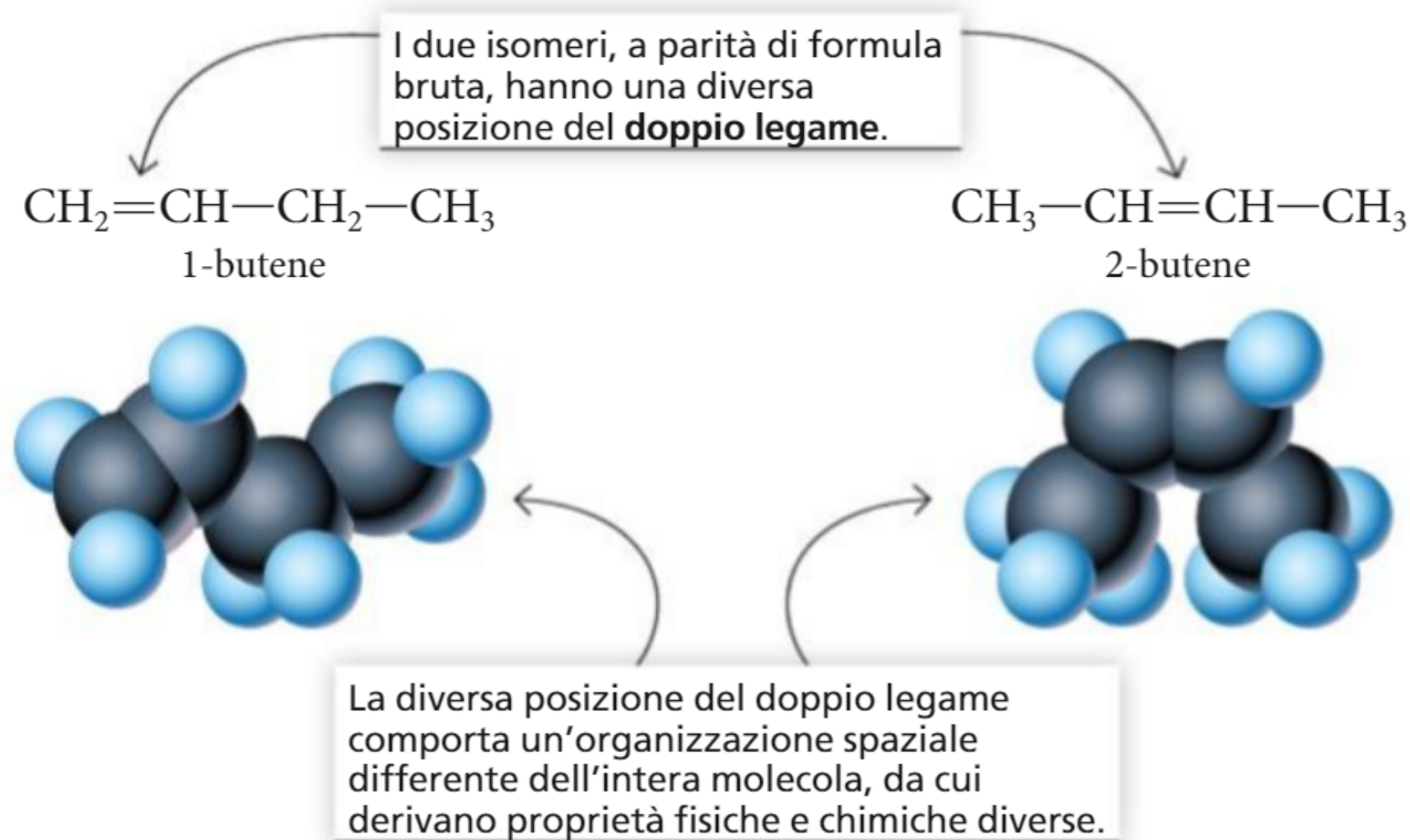
ISOMERIA DI CATENA

I composti che presentano isomeria di catena differiscono nell'organizzazione della catena carboniosa, che può presentare un **diverso livello di ramificazione**.



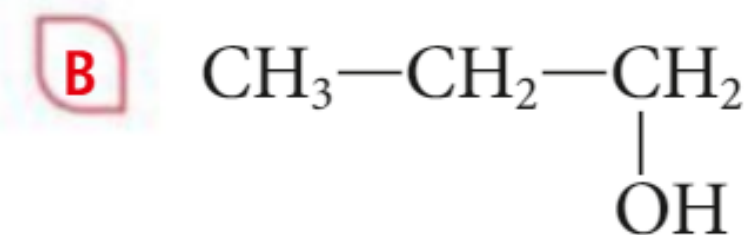
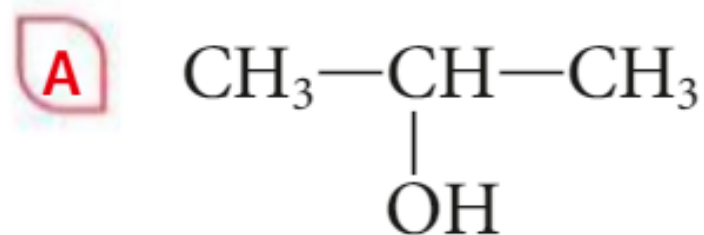
ISOMERIA DI POSIZIONE

Nell'isomeria di posizione l'assetto della catena carboniosa resta inalterato. Ciò che **cambia è la posizione dei doppi o tripli legami o degli eventuali gruppi funzionali legati allo scheletro carbonioso.**



ISOMERIA DI GRUPPO FUNZIONALE

Nell'isomeria di gruppo funzionale ciò che **cambia è il gruppo funzionale**. La molecola appartiene quindi ad una diversa classe di composti e presenta proprietà fisiche e chimiche completamente diverse.



L'atomo di ossigeno, inoltre, potrebbe inserirsi tra due atomi di carbonio e originare, a parità di formula bruta, una struttura ancora diversa:

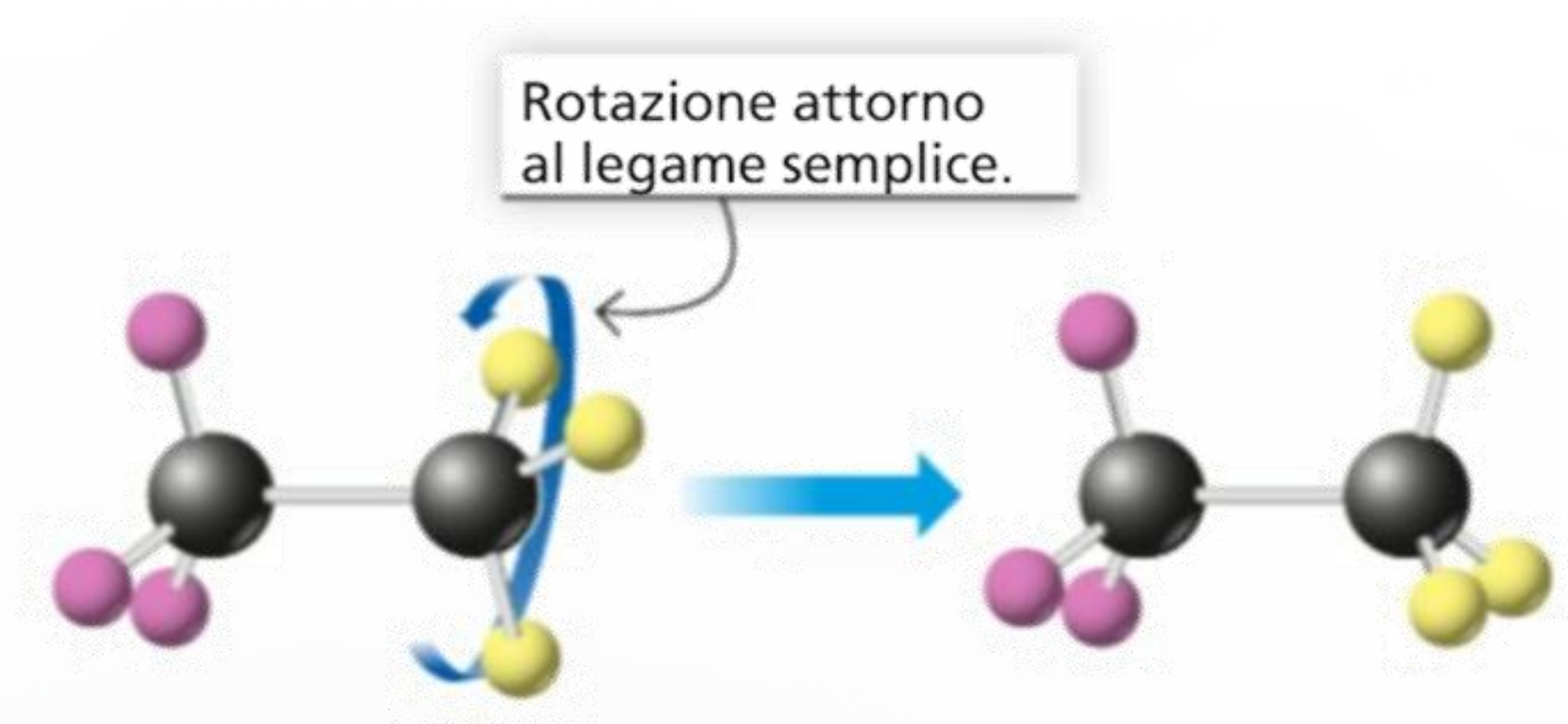


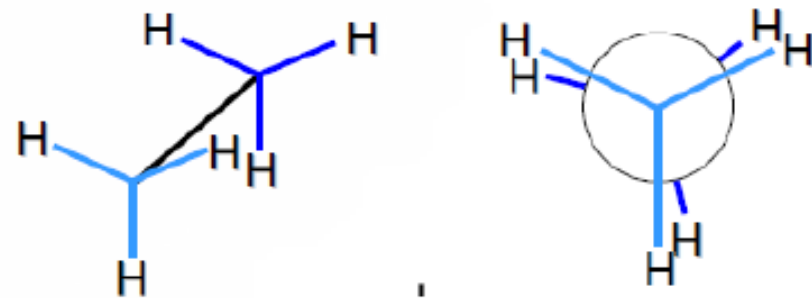
ISOMERIA CONFORMAZIONALE

I conformeri o isomeri conformazionali sono isomeri che non solo **differiscono per l'orientazione reciproca degli atomi o dei gruppi chimici**, ma che possono liberamente passare da una forma all'altra **senza rompere alcun legame chimico**.

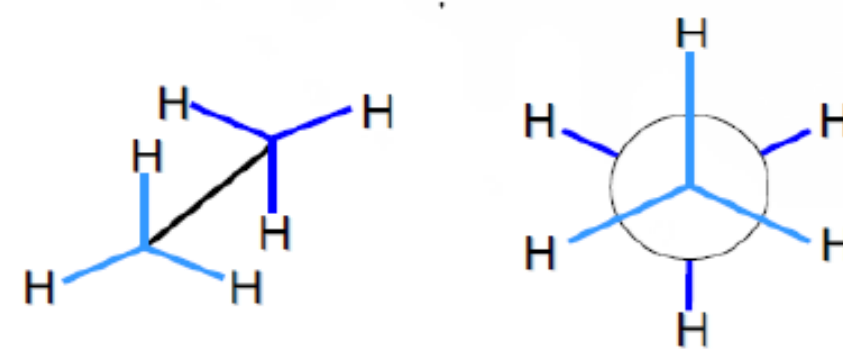
Figura 11

Isomeria conformazionale nell'etano.
Nell'etano, C_2H_6 , i due gruppi CH_3 uniti da un legame singolo C—C possono ruotare liberamente, orientandosi in molti modi diversi e generando stereoisomeri detti conformeri.





Forma eclissata

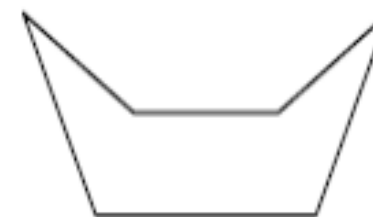


Forma sfalsata

Nelle molecole cicliche



Conformazione a sedia



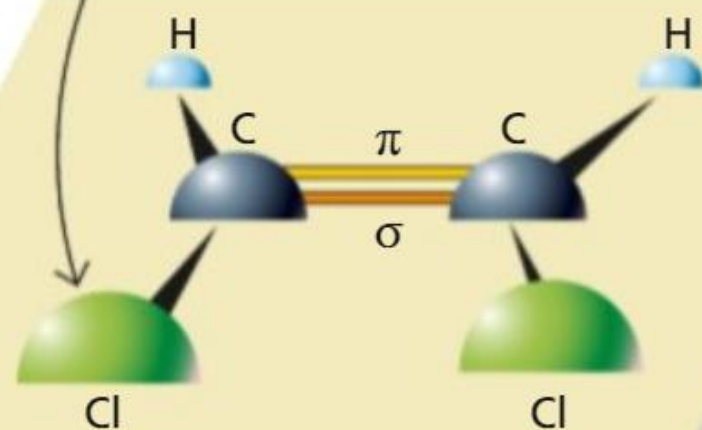
Conformazione a barca

ISOMERIA GEOMETRICA (Z-E o cis-trans)

Gli isomeri geometrici sono isomeri che non solo **differiscono per l'orientazione reciproca degli atomi o dei gruppi chimici**, ma che **NON possono liberamente passare da una forma all'altra** senza rompere alcun legame chimico.

È tipica dei composti che presentano dei **doppi legami C=C**, formati da atomi di carbonio con **ibridazione sp^2** .

Isomero Z (*cis*): i due atomi di cloro sono disposti dalla stessa parte rispetto al doppio legame.



Isomero E (*trans*): i due atomi di cloro si trovano da parti opposte rispetto al doppio legame.

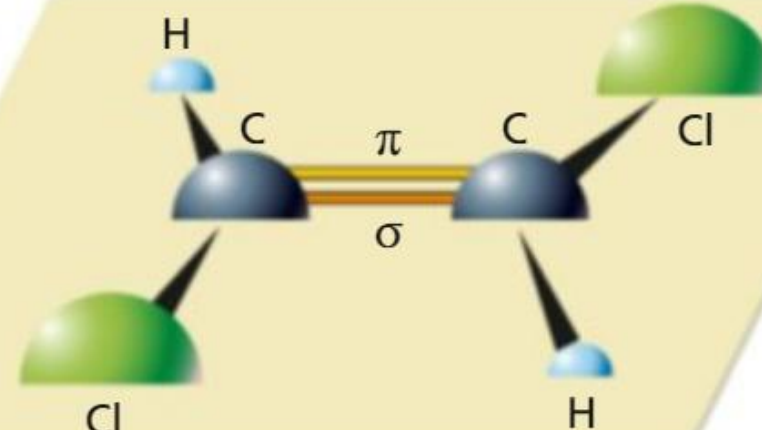
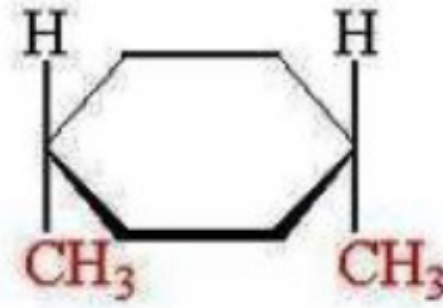


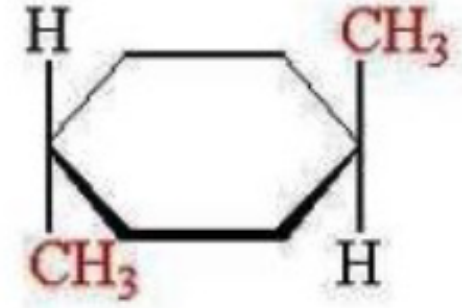
Figura 12

Isomeria geometrica: il doppio legame impedisce la rotazione dei gruppi. Entrambi gli atomi di C del doppio legame devono in questo caso essere legati a gruppi diversi.

Nei **cicloalcani**, si dice che due sostituenti sono **cis** quando si trovano dalla stessa parte rispetto il piano della molecola, **trans** se sono da parti opposte.

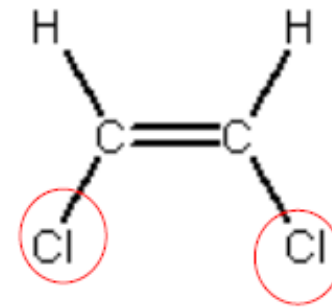


cis-1,4-Dimetilcicloesano

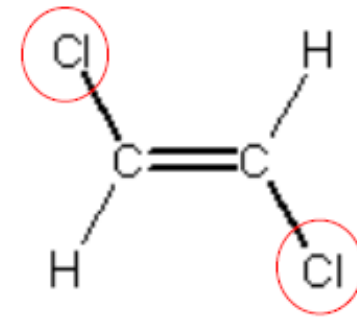


trans-1,4- Dimetilcicloesano

Anche negli **alcheni**: i due sostituenti sono **cis** quando si trovano dalla stessa parte rispetto il doppio legame, **trans** se sono da parti opposte



cis-1,2-dicloroetene

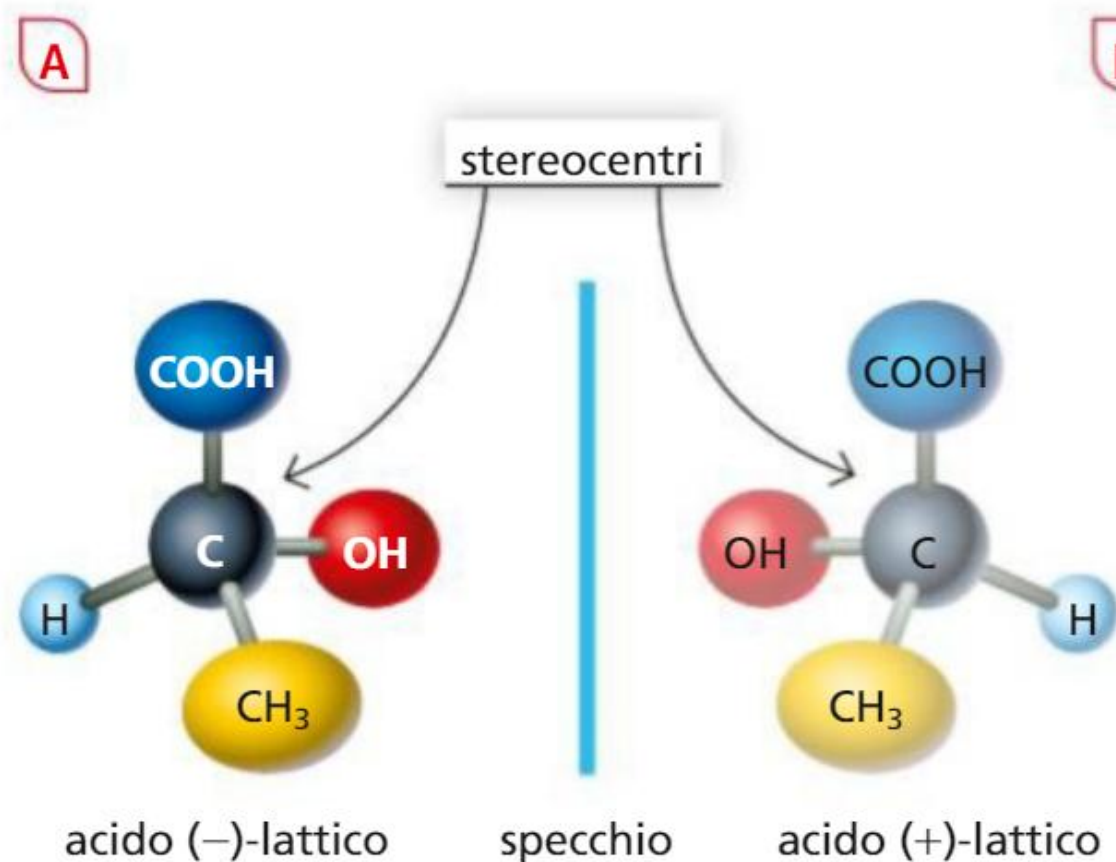


trans-1,2-dicloroetene

ISOMERIA OTTICA (ENANTIOMERIA)

Si ha enantiomeria quando i **due isomeri sono l'uno l'immagine speculare dell'altro, ma non sono sovrapponibili.**

L'enantiomeria, o isomeria ottica, è tipica dei composti saturi a **ibridazione sp^3** in cui **il carbonio presenta legami con quattro diversi atomi o gruppi.**



B

In qualsiasi modo si ruoti una molecola rispetto all'altra, possono coincidere solo due dei gruppi atomici legati allo stereocentro.

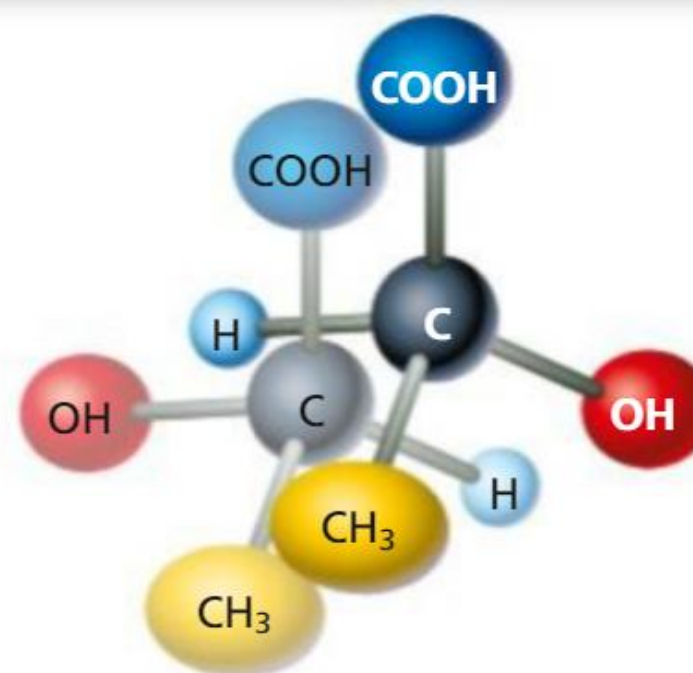


Figura 16

I due isomeri dell'acido lattico non sono sovrapponibili.

CHIRALITÀ

Quando osserviamo allo specchio la mano destra → l'immagine che vediamo corrisponde alla mano sinistra.

Il termine deriva dal greco khéir = "mano"

CHIRALE

Si definiscono chirali **tutti gli oggetti privi di un piano di simmetria interna**, e non sono sovrapponibili alla loro immagine speculare

- Manca di un piano di simmetria interno
- L'immagine speculare è DIVERSA dall'oggetto originale
- Non sovrapponibile alla propria immagine speculare
- Esempi: mani, piedi, viti, conchiglie, guanti

ACHIRALE

Si definiscono achirali, **tutti gli oggetti che presentano un piano di simmetria interno** e sono sovrapponibili alla loro immagine speculare.

- Presenta un piano di simmetria interno
- L'immagine speculare è UGUALE all'oggetto originale
- Sovrapponibile alla propria immagine speculare tramite traslazioni e rotazioni
- Esempi: una palla, un cubo

Un atomo di carbonio C si dice ASIMMETRICO o CHIRALE o **STEREOCENTRO** quando è legato a quattro sostituenti diversi.

Figura 14

Alcune figure geometriche e la loro immagine speculare.

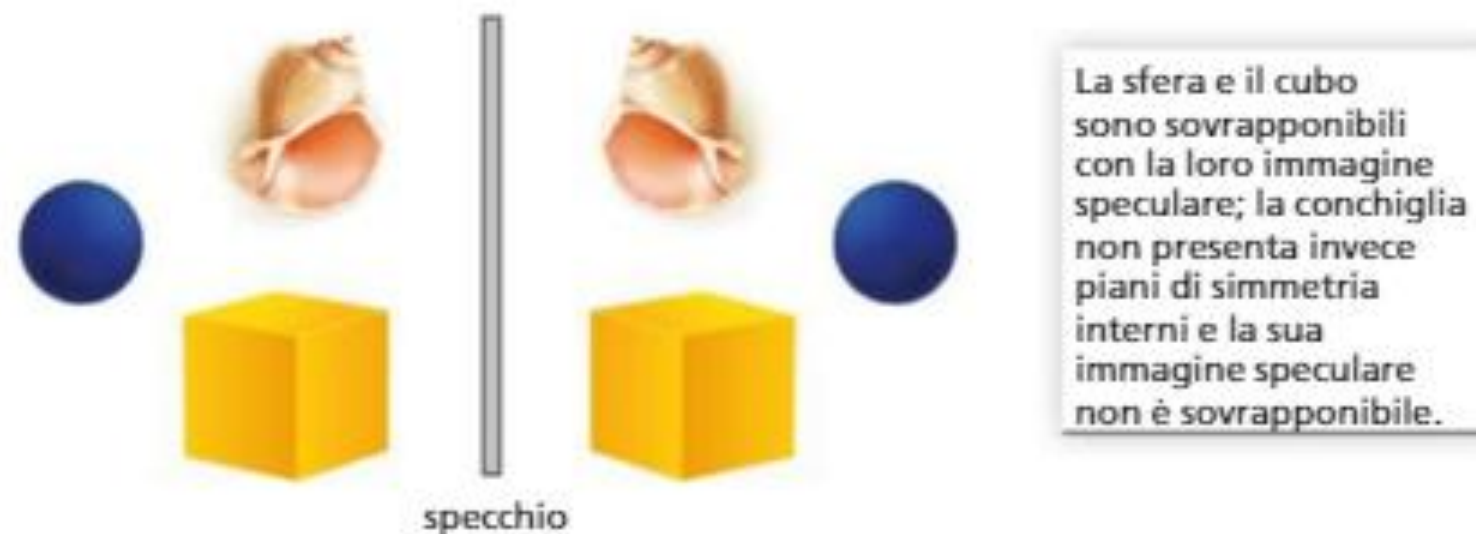
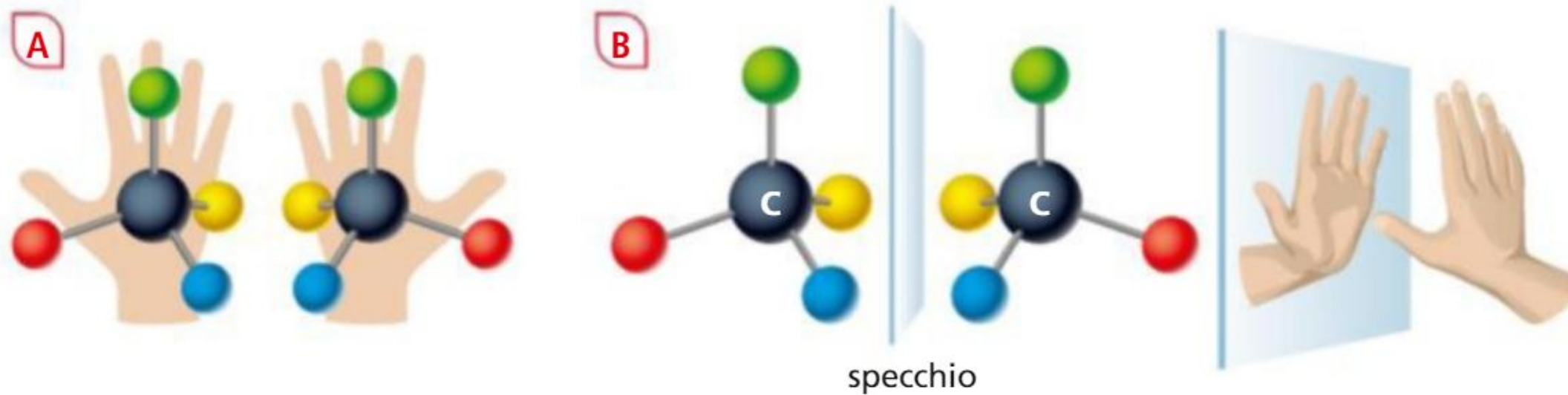


Figura 15

Una mano e un carbonio tetraedrico che lega quattro atomi diversi non hanno un piano di simmetria e sono chirali; essi non sono sovrapponibili alle loro immagini speculari.



L'enzima lattico deidrogenasi si lega solo all'enantiomero (+) dell'acido lattico, mentre l'enantiomero (–) non riesce a interagire con il sito attivo.

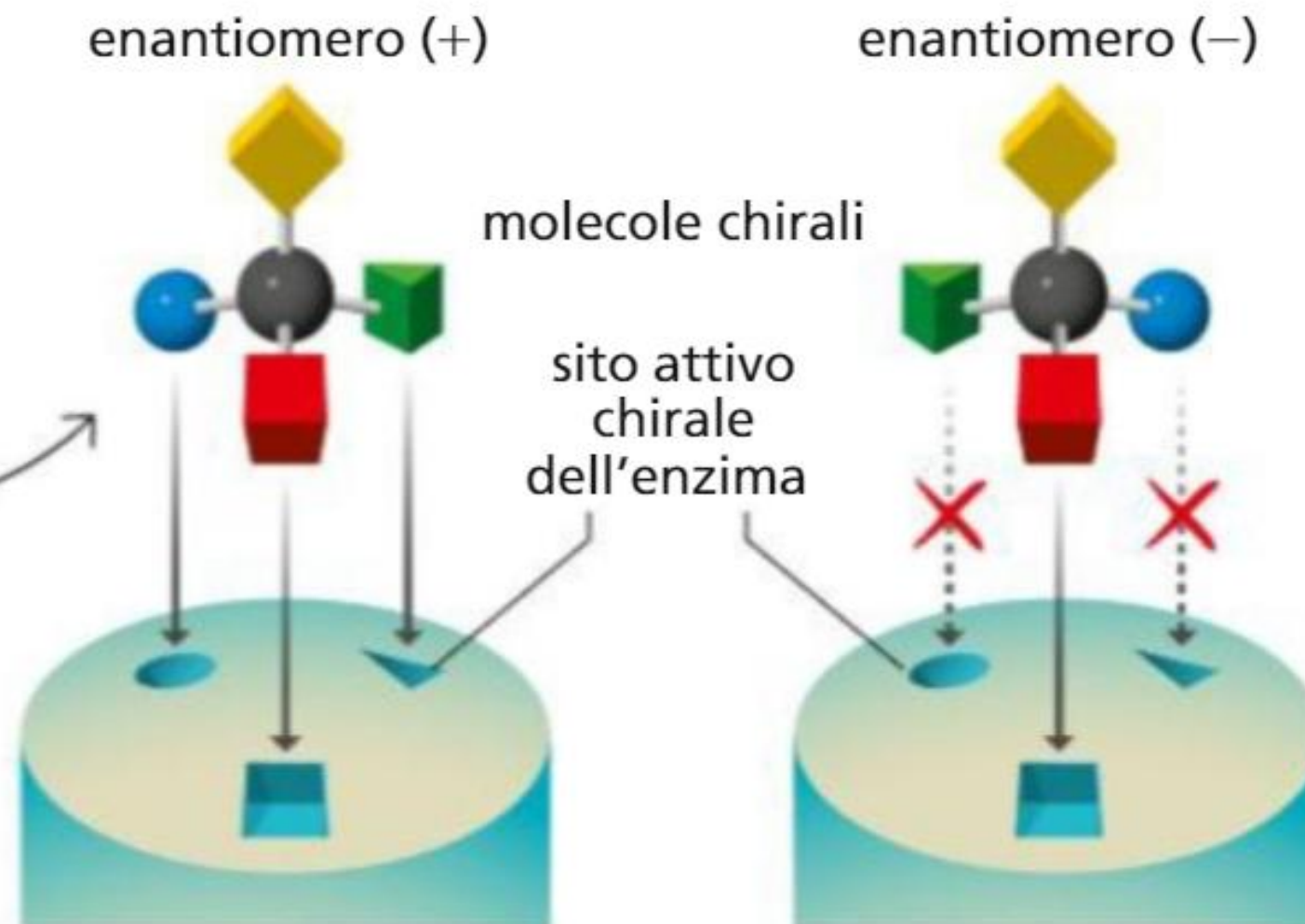


Figura 19

Un enzima lega uno specifico enantiomero del substrato.

GLI IDROCARBURI

Gli idrocarburi sono composti organici binari **costituiti esclusivamente da atomi di carbonio e idrogeno**.

Essi costituiscono la base di molti composti organici e rappresentano la componente principale dei combustibili fossili.

IDROCARBURI ALIFATICI

Caratterizzati da catene di atomi di carbonio **lineari** (aperte o chiuse) o **ramificate**.
Comprendono sia composti saturi che insaturi.

IDROCARBURI AROMATICI

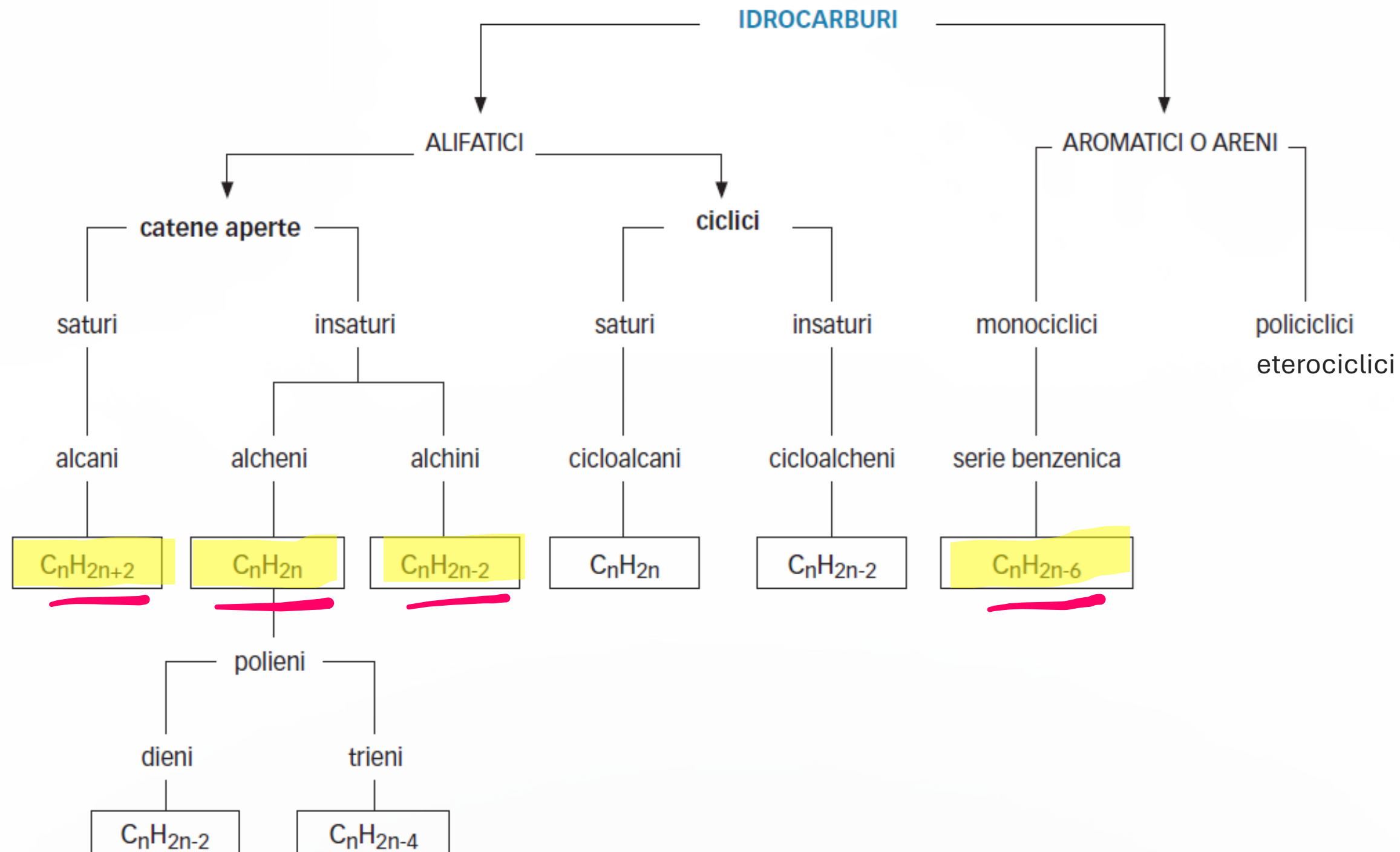
Distinti dalla presenza di una **struttura ciclica** planare e coniugata con delocalizzazione elettronica (sistema π), che conferisce loro una stabilità unica.

IDROCARBURI SATURI

I saturi (es. alcani, cicloalcani) hanno solo legami **singoli C-C**.

IDROCARBURI INSATURI

Gli insaturi (es. alcheni, alchini) contengono uno o più **legami multipli** (doppi o tripli) **C-C**.



ALCANI

METANO: il capostipite

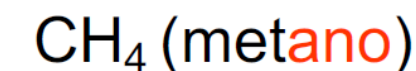
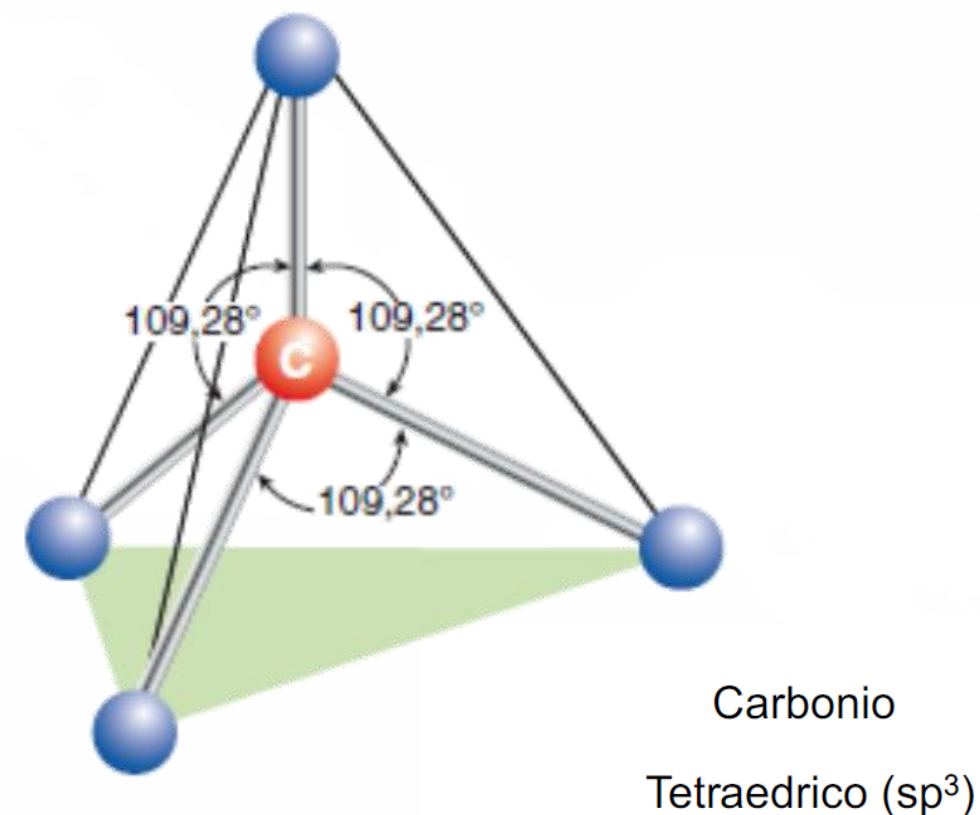
Il metano, CH_4 , è il più semplice degli alcani.

Presenta una struttura **PERFETTAMENTE TETRAEDRICA** con angoli di legame di **$109,5^\circ$** .

I quattro atomi di idrogeno sono legati al carbonio centrale con **LEGAMI SIGMA (σ)**.

Il carbonio è ibridato sp^3 : i quattro orbitali ibridi - identici per forma ed energia - derivano dalla combinazione dell'orbitale 2s con i tre orbitali 2p.

Negli alcani con più atomi di C, questi si concatenano formando catene via via più lunghe. Ogni termine della serie differisce dal precedente di un gruppo **$-\text{CH}_2-$** : si tratta di una **SERIE OMOLOGA**.



Formula generale **$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$** (con $n \geq 1$)

Tipi di **ISOMERIA** negli alcani**DI CATENA**

Stessa formula molecolare, diversa disposizione della catena carboniosa (catena ramificata vs. lineare).
Es.: butano / 2-metil propano

CONFORMAZIONALE

Stessa connettività atomica, diversa disposizione spaziale ottenuta per rotazione attorno ai legami C–C (conformazioni eclissata e sfalsata).

PROPRIETÀ FISICHE principali**Stato fisico** (a 25°C)

- C_1 - C_4 → gas
- C_5 - C_{16} → liquidi
- $C_{17}+$ → solidi

Solubilità

Molecole **apolari**
→ insolubili in acqua
→ solubili in solventi apolari.

Densità

Inferiore a quella dell'acqua (< 1 g/mL).

PROPRIETÀ CHIMICHE principali (REATTIVITÀ)

I forti legami C–C e la piccola differenza di elettronegatività tra C e H rendono gli alcani **scarsamente reattivi** → sono chiamati **paraffine** (dal latino *parum affinis*, «poco affine»). In condizioni opportune, tuttavia, reagiscono con **ossigeno** e **alogeni**.

Combustione (con O_2)

Reazione di **ossidoriduzione** innescata dal calore → produce CO_2 , H_2O ed energia.

**Alogenazione** (con Cl_2 o Br_2)

Reazione di **sostituzione radicalica**: uno o più atomi H vengono sostituiti da atomi di alogeno.



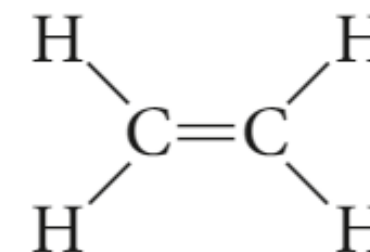
Il meccanismo prevede 3 fasi: **iniziazione**, **propagazione**, **terminazione**.

ALCHENI

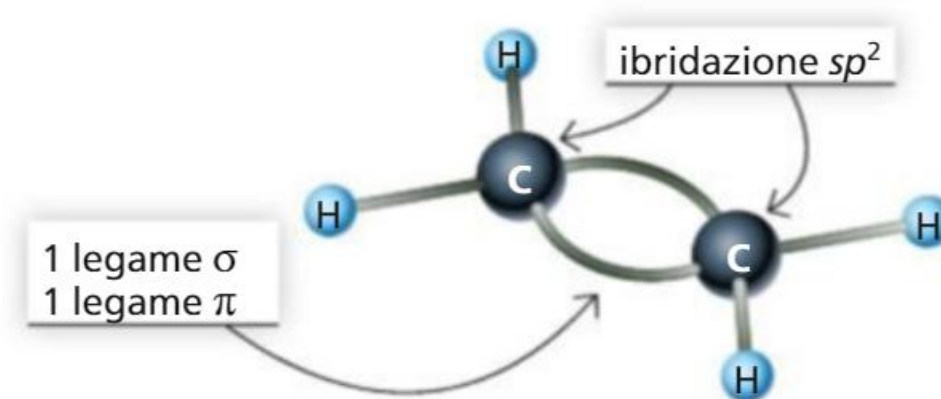
Gli alcheni (detti anche **olefine**) sono idrocarburi a catena aperta, **INSATURI**, caratterizzati dalla presenza di almeno un **DOPPIO LEGAME C=C**.

Gli atomi di carbonio del doppio legame hanno ibridazione sp^2 , formano:

- **tre legami σ** su un piano con angoli di 120°
- **un legame π** perpendicolare al piano.



etene



Valitutti et al., *Chimica organica, biochimica e biotecnologie* © Zanichelli editore 2023

Formula generale **C_nH_{2n}** (con $n \geq 2$)

Tipi di **ISOMERIA** negli alcheni**DI CATENA**

Diversa disposizione della catena carboniosa (lineare o ramificata).

DI POSIZIONE

Il doppio legame si trova in posizioni diverse lungo la catena.

GEOMETRICA (cis-trans)

I sostituenti possono trovarsi sullo stesso lato (*cis*) o su lati opposti (*trans*) rispetto al doppio legame. Possibile solo se i due carbonio del legame π portano sostituenti diversi tra loro.

PROPRIETÀ FISICHE principali**Stato fisico** (a 25°C)

C_2-C_4 → gassosi

C_5-C_{15} → liquidi

$C_{16}+$ → solidi.

Solubilità

Molecole **apolari**

→ insolubili in acqua

→ solubili in solventi apolari.

PROPRIETÀ CHIMICHE principali (REATTIVITÀ)

A differenza degli alcani, gli alcheni sono **altamente reattivi**.

Il legame π è più debole del legame σ e tende a rompersi con facilità, portando a reazioni di **addizione** e **polimerizzazione**.

Addizione (Idrogenazione se con H)

Il doppio legame si rompe e i reagenti si addizionano ai due C.

Polimerizzazione

Migliaia di molecole di monomero si uniscono formando un **polimero** (macromolecola).

- **LDPE** (polietilene a bassa densità): flessibile, usato per pellicole e sacchetti.
- **HDPE** (polietilene ad alta densità): rigido e resistente, usato per contenitori e tubi.

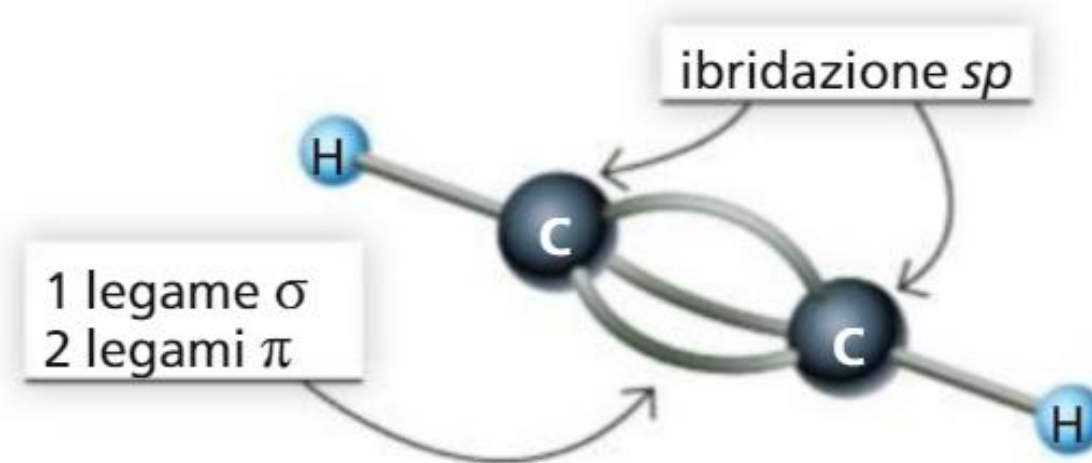
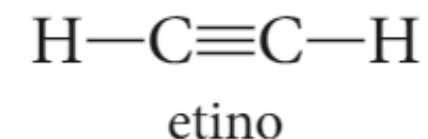
ALCHINI

Gli alchini sono idrocarburi alifatici a catena aperta, **INSATURI**, con almeno un **TRIPLO LEGAME C≡C**.

Gli atomi di Carbonio del triplo legame hanno ibridazione **sp** e formano:

- **due legami σ** lineari (angolo 180°)
- **due legami π** perpendicolari tra loro e all'asse σ

Il capostipite è l'**acetilene** (etino), $\text{HC}\equiv\text{CH}$, molecola lineare.



Valitutti et al., *Chimica organica, biochimica e biotecnologie* © Zanichelli editore 2023

Formula generale: **$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$** (con $n \geq 2$)

Tipi di ISOMERIA negli alcheni

Negli alchini si verificano isomeria di **CATENA** e di **POSIZIONE**.

Non si verifica isomeria geometrica (cis-trans), poiché la geometria lineare del triplo legame lo rende impossibile.

PROPRIETÀ FISICHE principali

Molecole **apolari**, insolubili in acqua.

Punti di ebollizione leggermente superiori agli alcheni corrispondenti.

Gli alchini terminali (con $\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$) hanno proprietà **acide** debolmente.

PROPRIETÀ CHIMICHE principali (REATTIVITÀ)

Come gli alcheni, reagiscono per **addizione**: idrogenazione (H_2 , catalizzatore) e **addizione elettrofila** (HX , H_2O).

L'idrogenazione parziale può fermarsi all'alchene con opportuni catalizzatori.

IDROCARBURI AROMATICI

Gli idrocarburi aromatici sono idrocarburi insaturi a **catena chiusa** con proprietà chimiche peculiari legate alla struttura del benzene. Il termine "aromatico" fu originariamente attribuito per l'odore caratteristico di molti di questi composti.

Origine naturale

Si formano durante **combustioni incomplete** di combustibili fossili, legname, grassi, tabacco e rifiuti organici. Alcuni sono cancerogeni (es. benzo[a]pirene).

Impiego industriale

Utilizzati nella produzione di **coloranti, plastiche, pesticidi, farmaci** e solventi. Il benzene stesso è un importante intermedio chimico industriale.

Benzene

Tutti i composti aromatici posseggono **proprietà chimiche simili a quelle del benzene**, indipendentemente dall'odore. La classificazione è oggi basata sulla struttura elettronica.

BENZENE

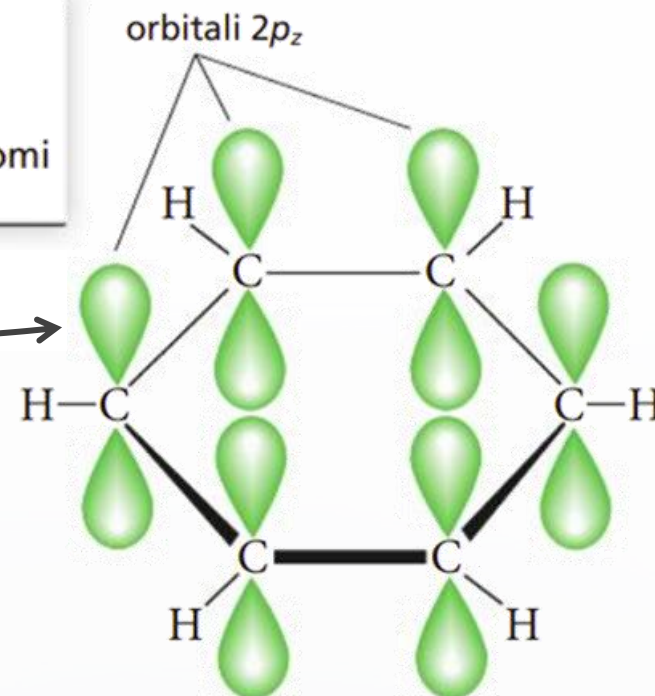
Geometria e ibridazione

Il benzene (C_6H_6) ha i sei atomi di carbonio disposti ai vertici di un **ESAGONO REGOLARE PLANARE**:

- Ogni carbonio è ibridato sp^2 : forma **TRE LEGAMI σ** (due con C adiacenti, uno con H) con angoli di 120°
- **Rimane un orbitale $2p$ per ciascun carbonio**, contenente un elettrone spaiato, perpendicolare al piano dell'anello.

A

Gli orbitali $2p_z$ non ibridati del carbonio sono tutti paralleli e possono formare un legame π con l'uno o con l'altro degli atomi di carbonio adiacenti.



Delocalizzazione elettronica e sestetto aromatico

I sei orbitali 2p **non** si combinano a coppie: si fondono tutti e sei, formando **due nubi elettroniche π** :

- una sopra il piano dell'anello
- una sotto il piano dell'anello

I **6 elettroni π** sono **delocalizzati** sull'intero anello, conferendo al benzene una **stabilità eccezionale** → questo insieme è chiamato **sestetto aromatico** e si rappresenta con un esagono contenente una circonferenza.

Regola di Hückel

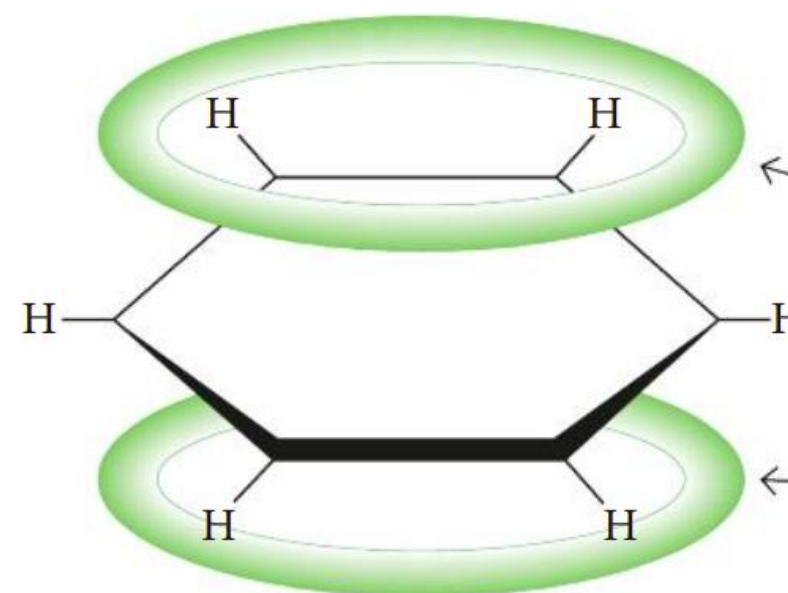
una molecola è aromatica se possiede **$4n + 2$ elettroni π**

(dove n intero positivo)

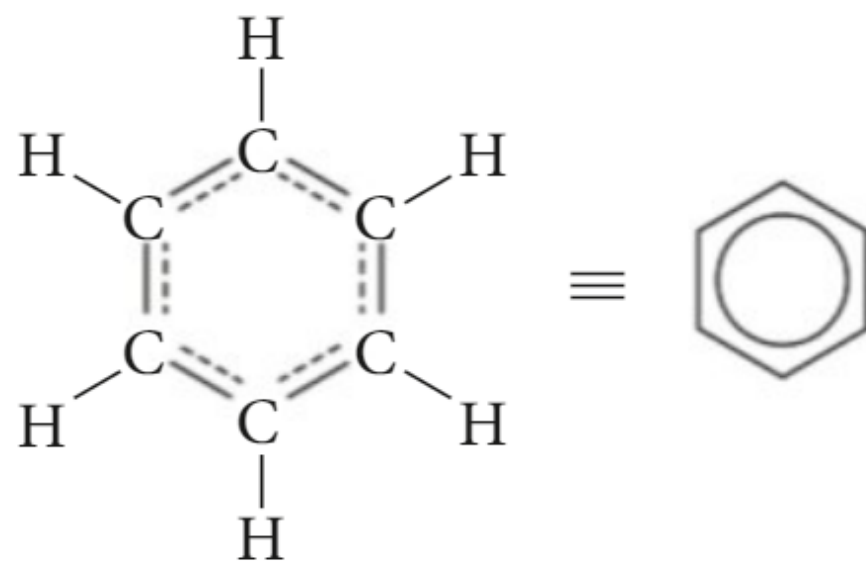
Per il benzene: $n=1 \rightarrow 6$ elettroni π . ✓

B

I sei orbitali $2p_z$ non ibridati del carbonio si sovrappongono lateralmente e generano tre orbitali leganti π , delocalizzati sopra e sotto il piano degli atomi di carbonio. In essi si trovano i sei elettroni π , due per ciascuno dei tre orbitali molecolari leganti.



Per evidenziare la delocalizzazione elettronica, nella formula scheletro del benzene si traccia un cerchio all'interno dell'esagono e, per brevità, si omettono anche gli atomi di idrogeno.

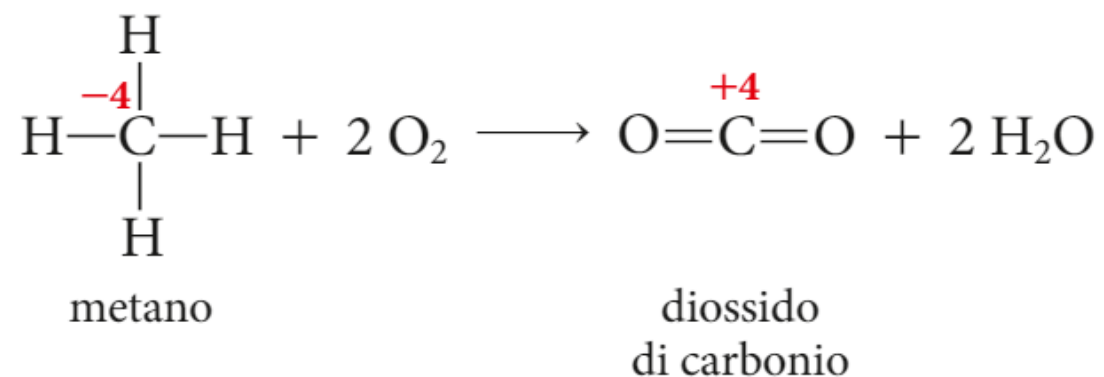


OSSIDORIDUZIONI NEI COMPOSTI ORGANICI

OSSIDAZIONE = perdita di elettroni

ogni volta in cui un atomo di carbonio:

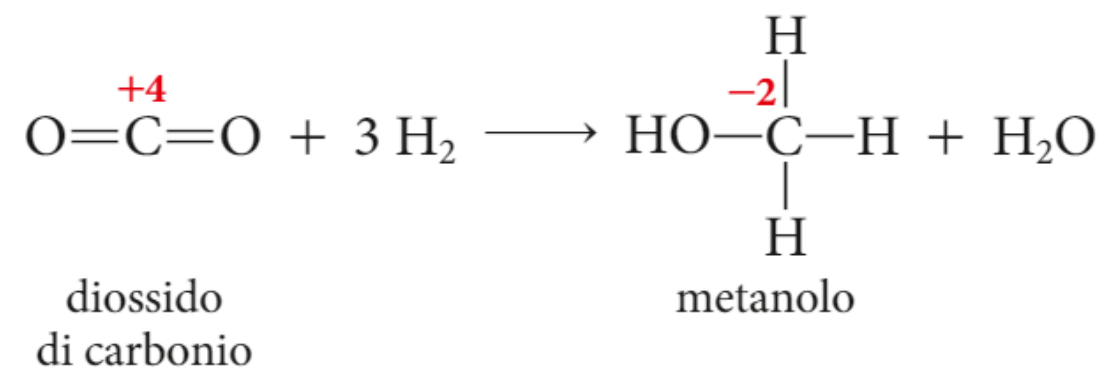
- si lega a un atomo di ossigeno
- aumenta il numero di legami che forma con esso
- diminuisce il numero di idrogeni



RIDUZIONE = acquisto di elettroni

ogni volta in cui un atomo di carbonio:

- si lega a un atomo di ossigeno
- aumenta il numero di legami che forma con esso
- diminuisce il numero di idrogeni



Quante ne so?

1

Qual è il nome del C_2H_6

- A. Propano
- B. Etene
- C. Butano
- D. Nessuna delle altre alternative è corretta
- E. Etano

2

Indicare il propano:

- A. $CH_3-CH_2-CH_3$
- B. CH_4
- C. $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
- D. $CH_3-CH_2-CH_3-CH_2$
- E. Nessuna delle altre alternative è corretta

Soluzioni

1

Qual è il nome del C_2H_6

- A. Propano
- B. Etene
- C. Butano
- D. Nessuna delle altre alternative è corretta
- E. Etano**

2

Indicare il propano:

- A. $CH_3-CH_2-CH_3$**
- B. CH_4
- C. $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
- D. $CH_3-CH_2-CH_3-CH_2$
- E. Nessuna delle altre alternative è corretta

Quante ne so?

3

La formula chimica del benzene é:

- A. C_6H_{14}
- B. C_6H_{12}
- C. C_6H_{10}
- D. C_6H_8
- E. C_6H_6

4

Un alcano è un composto organico

- A. Costituito solo da idrogeno e carbonio
- B. Contenente almeno un atomo di metallo alcalino
- C. Del quale non è nota l'esatto formula molecolare
- D. Con proprietà simili agli alcali
- E. Costituito da carbonio, ossigeno e idrogeno

Soluzioni

3

La formula chimica del benzene é:

- A. C_6H_{14}
- B. C_6H_{12}
- C. C_6H_{10}
- D. C_6H_8
- E. **C_6H_6**

4

Un alcano è un composto organico

- A. **Costituito solo da idrogeno e carbonio**
- B. Contenente almeno un atomo di metallo alcalino
- C. Del quale non è nota l'esatta formula molecolare
- D. Con proprietà simili agli alcali
- E. Costituito da carbonio, ossigeno e idrogeno