

## Lezione 2

### Isomeria e Stereoisomeria

Gli enzimi sono i migliori strumenti per effettuare reazioni stereoselettive.

Iniziamo parlando dell'isomeria.

Nel 1848 Pasteur effettua la prima risoluzione di una miscela di enantiomeri dell'acido tartarico.

La **risoluzione** è la separazione di una miscela di enantiomeri.

Nel 1874 van't Hoff e Le Bell suggeriscono che il Carbonio ha una struttura tetraedrica.

Nel 1900 Fischer sviluppa il primo metodo di rappresentazione grafica dei centri stereogenici con i descrittori (D/L). Si era accorto che la gliceraldeide, nonostante la stessa formula bruta, aveva alcune proprietà diverse a seconda della fonte da dove era estratta, soprattutto il potere ottico rotatorio.

Nel 1905 Rosanoff assegna arbitrariamente la configurazione D all'enantiomero destrogiro((+)-gliceraldeide).

Nel 1951 Bijvoet determina la configurazione assoluta dell'acido tartarico, con la dispersione anomala dei raggi X.

Nel 1969 Hassel e Barton vengono insigniti del Nobel per il lavoro sull'analisi della conformazione del cicloesano.

### Acido tartarico

Pasteur iniziò a studiare l'acido tartarico perché un amico che faceva il vino si lamentava di questi cristalli bianchi che si depositavano nelle botti e ne rendevano difficile la pulizia. Erano cristalli di acido tartarico.

Pasteur osservando i cristalli si accorse che i cristalli potevano essere di forma speculare l'uno con l'altro.

L'acido tartarico è stato poi messo sul mercato da un inglese come lievito chimico, il cremor tartaro.

La moglie di questo chimico che ha prodotto il cremor tartaro era intollerante al lievito, quindi l'ha introdotto per avere una fonte di CO<sub>2</sub> alternativa alla fermentazione.

Il cremor tartaro è un sale di potassio dell'acido tartarico estratto dall'uva o dal tamarindo, anche se oggi è prodotto industrialmente.

Se il cremor tartaro è prodotto con mezzi biotecnologici, ci si deve assicurare che non ci siano tracce residue di lievito. Da punto di vista delle intolleranze è preferibile che il cremor tartaro sia prodotto chimicamente, perché sicuramente non conterrà residui di microorganismo vettore.

## Stereochimica

Gli aminoacidi proteinogenici sono tutti della serie L. Ci si chiede perché gli aminoacidi proteinogenici siano proprio tutti L. Non abbiamo ancora risposta a questa domanda.

Alcuni microorganismi producono aminoacidi D, ma non sono metaboliti primari.

È interessante che nello spazio è stato trovato per la prima volta una molecola chirale: l'ossido di propilene. È stato riconosciuto dalla radiazione spettrale, ma non si è visto se ci sia una miscela degli enantiomeri oppure solo uno dei due enantiomeri.

Si specula che le radiazioni che ci siano state durante la formazione di questi composti abbiano indotto la chiralità. È solo un'ipotesi.

I recettori olfattivi sono in grado di discriminare gli stereoisomeri.

Ad esempio (S)-carvone è il componente principale dell'aroma del cumino, mentre (R)-carvone della menta.

(R)-Limonene è l'aroma di arancia, mentre (S)-Limonene è l'aroma di limone.

I sistemi biologici sono quindi altamente discriminanti nei confronti delle strutture molecolari con cui interagiscono.

Anche per quanto riguarda i farmaci, in molti casi forma S e forma R hanno proprietà diverse.

*L'amfetamina* ha uno stereocentro ed è stata introdotta senza studiarne gli effetti collaterali.

L'enantiomero (R) ha attività stimolante, l'enantiomero (S) ha effetti pesanti sul sistema cardiovascolare. Le anfetamine che si trovano per strada sono spesso sintetizzate senza separare gli enantiomeri, quindi possono essere molto tossiche. Quindi l'amfetamina fatevela a casa, e separate gli enantiomeri. L'(R)-amfetamina, mi raccomando.

L'FDA ci dice che quando si hanno coppie di enantiomeri per un farmaco, si deve mettere sul mercato solo l'enantiomero puro con effetti farmacologici. Solo se non si può separare la miscela, e questa non ha effetti collaterali, si può mettere sul mercato il racemo.

Gli stereoisomeri hanno azione diversa perché agiscono su recettori diversi.

Da un punto di vista chimico cambiano le interazioni dipolo-dipolo e ponti ad idrogeno.

La brevetossina è prodotta dai dinoflagellati, è una neurotossina con 20 stereocentri e da colorazione rossa. Viene prodotta solo in particolari condizioni ambientali.

## Da cosa dipende la forma delle molecole

Dipende da:

- composizione della molecola, quindi gli atomi e i legami (connettività) da cui è composta
- conformazione, la rotazione dei legami
- configurazione spaziale degli elementi stereogenici

## Isomeri

Gli *isomeri* sono molecole con la stessa formula bruta, quindi stessa tipologia e numero di atomi. Per capire se ci sono differenze tra le due sostanze queste vanno osservate e valutate per quanto riguarda le proprietà chimico fisiche e biologiche.

Gli enzimi sono particolarmente adatti a differenziare gli isomeri.

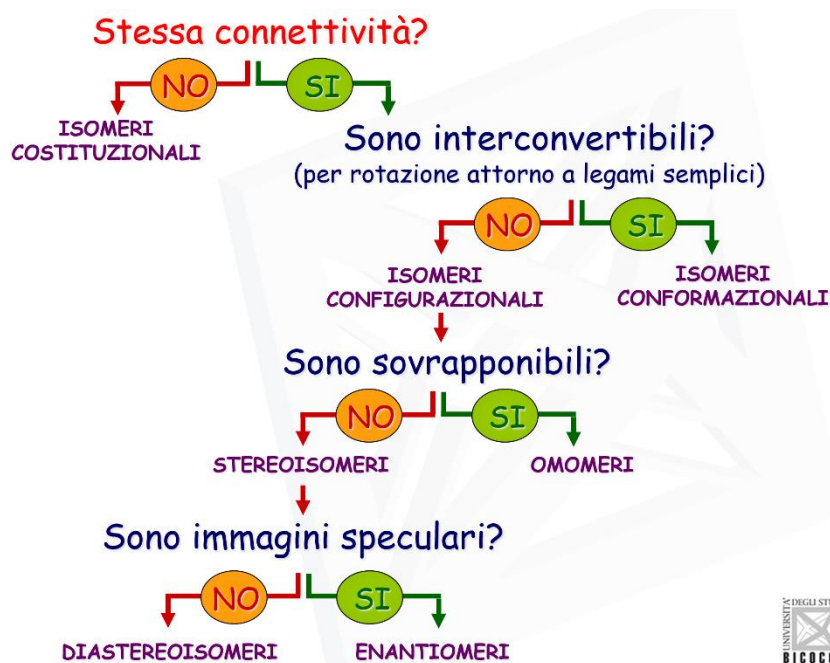
Per differenziare due isomeri e capire se sono o meno la stessa molecola, si seguono una serie di domande:

Hanno la stessa connettività? La connettività indica la stessa disposizione dei legami.

### Isomeri costituzionali

Se la risposta è no, le due molecole saranno *isomeri costituzionali*. Le proprietà chimiche, fisiche e biologiche saranno sempre differenti. Si riescono sempre a distinguere.

Se la disposizione dei legami è la stessa, la domanda seguente da porsi è: sono interconvertibili?



### Isomeri conformazionali

Se la risposta è *sì* le due molecole sono *isomeri conformazionali*. Gli isomeri conformazionali si formano per rotazione attorno ai legami semplici; la rotazione attorno a legami multipli non è permessa. Anche gli isomeri conformazionali hanno contenuti energetici diversi, la prof dice che hanno proprietà diverse (è vero per le proteine, ma come fa ad essere vero per l'etano?). Dopo un po' effettivamente ritorna su questo punto, dicendo che le conformazioni sono facce diverse della stessa cosa. Il punto secondo me è che nella realtà noi vedremo la popolazione di conformeri spostata verso il conformero più stabile, il resto serve a studiare lo spazio conformazionale della molecola, che comunque è una.

Ad esempio le proteina in forma nativa e in forma denaturata. Nelle molecole semplici la barriera energetica di interconversione è bassa, per cui a temperatura ambiente la molecola esisterà in un insieme di conformazioni, con uno spazio conformazionale relativamente ampio.

I fattori che contribuiscono all'energia totale di una molecola sono diversi:

- Interazioni di non legame
- Energia torsionale derivante dalla disposizione non ottimale dei legami (angolo diedro)
- Distorsione degli angoli di legame dal valore ottimale
- Distorsione delle lunghezze di legame dal valore ottimale

Alcuni degli studi strutturali effettuabili sulle proteine con la NMR vanno a valutare proprio questi parametri nel definire la conformazione più stabile.

### Interazioni di non legame ed Angolo diedro

Partendo dalla molecola di *etano*, avremo due atomi di carbonio legati da un legame semplice, e come sostituenti esclusivamente atomi di idrogeno.

L'*angolo diedro* è una generalizzazione tridimensionale di un angolo.

Nel caso della molecola di etano, è l'angolo formato tra il sostituto di riferimento di un carbonio (H nell'etano, rispetto all'H colorato in nero nell'immagine) rispetto al sostituto di riferimento del secondo carbonio legato al primo (sempre CH nell'etano).

L'unico fattore che contribuisce al contenuto energetico della conformazione sono interazioni repulsive che si instaurano tra atomi che si trovano spazialmente vicini.

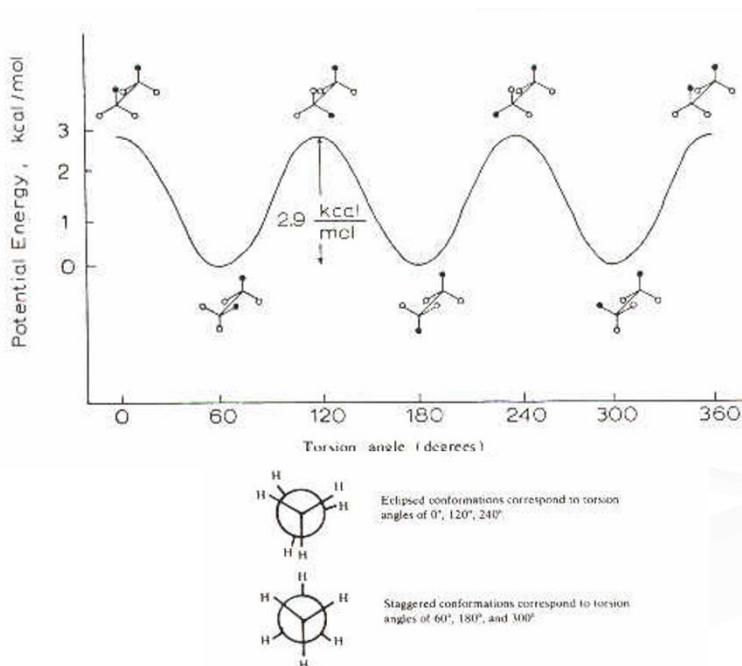
Nella conformazione in cui i due sostituenti si trovano uno di fronte all'altro, l'angolo diedro è pari a 0°. Nella conformazione eclissata dell'etano i sostituenti si trovano ad occupare la stessa regione di spazio. La distanza che c'è tra i carboni del legame CC è dunque abbastanza breve da portare ad una parziale sovrapposizione delle nuvole elettroniche degli H che si trovano l'uno di fronte all'altro, causando repulsione tra le cariche. Le coppie di atomi di idrogeno risentono quindi dell'interazione di non legame, interagendo in maniera repulsiva. Questa conformazione avrà un contenuto energetico che è un massimo raggiungibile dalla molecola, pari a circa 3Kcal/mole, quindi 1Kcal/mole per coppia di idrogeni.

Attorno al legame semplice CC la rotazione è libera, quindi questa molecola esisterà in un insieme di conformazioni, con angolo diedro che può variare nel range tra 0° e 360°.

Possiamo individuare angoli diedri significativi, nella posizione eclissata (0°, 120°, 240°, 360°) e nella posizione sfalsata, in cui gli idrogeni di un carbonio si trovano nel punto di bisettrice dell'angolo tra gli idrogeni dell'altro carbonio (60°, 180°, 300°).

L'atomo di carbonio nell'etano è ibridato sp<sup>3</sup>, l'angolo tra i sostituenti è di 109,5°. Nella valutazione dell'angolo diedro noi facciamo una proiezione bidimensionale (proiezione di Newman in questo caso, ma anche nella proiezione di Fischer) della disposizione tridimensionale degli atomi. Quindi gli angoli di 109,5° nella struttura 3D diventano di 120° nella proiezione 2D.

Nella proiezione, un angolo di 60° garantisce un'equa distanza tra tutti i sostituenti dei due carboni. È il valore ottimale, in cui l'energia della molecola è minima. Le interazioni di non legame tra gli idrogeni sono al minimo. L'energia torsionale è al minimo, non ci sono distorsioni degli angoli di legame dal valore



ottimale e non ci sono distorsioni della lunghezza di legame. La posizione sfalsata è quindi la più stabile per l'etano.

Nelle molecole complesse, come le proteine, questo calcolo dell'energia non è agevole, per cui si ricorre a metodi computazionali per valutarne la configurazione più stabile.

Dal punto di vista sperimentale, la NMR dà delle informazioni quantitative sulla conformazione e l'energia delle proteine.

### *Distorsione degli angoli di legame dal valore ottimale*

A seconda della struttura della molecola che stiamo considerando ci possono essere delle interazioni tra i gruppi presenti, che portano gli atomi, specialmente i carboni, a deviare rispetto al valore ottimale degli angoli di legame.

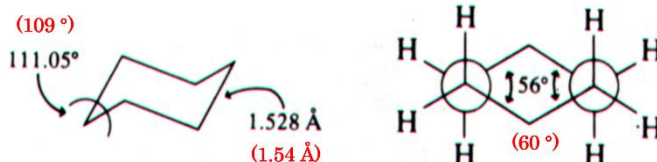
Un esempio di questo è l'*acido 6 ammino penicillanico*, dove il carbonio  $sp^2$  del ciclo a quattro termini è costretto in un angolo di legame di  $90^\circ$ , rispetto ai  $109.5^\circ$  energeticamente favoriti. Questa distorsione dell'angolo di legame fa sì che i legami di quel carbonio siano instabili.

### *Distorsione delle lunghezze di legame dal valore ottimale*

Distorsioni della lunghezza ottimale tra C-C oppure tra C – eteroatomo contribuiscono all'energia totale della molecola, a seconda della struttura.

Un esempio di questa situazione è il cicloesano.

Il cicloesano assume come configurazione più stabile una conformazione a sedia. Questa è la conformazione che minimizza tutti i fattori che contribuiscono ad aumentare l'energia della molecola, per cui è quella a cui si ha il minimo dell'energia per la molecola.

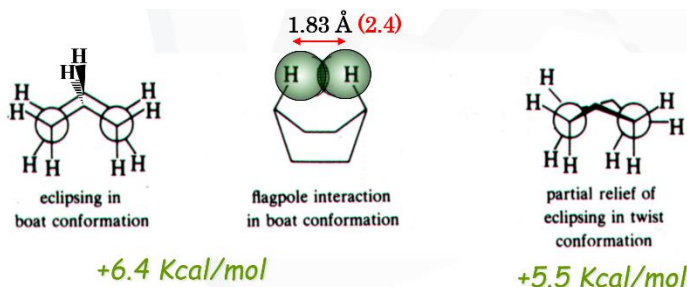


Anche se è stabile, la configurazione a sedia del cicloesano ha interazioni di non legame, deviazioni dall'angolo diedro più stabile ( $56^\circ$  invece che  $60^\circ$ ), deviazioni della lunghezza di legame C-C ( $1.528 \text{ \AA}$  invece che  $1.54 \text{ \AA}$ ). Inoltre l'angolo del tetraedro nel carbonio  $sp^3$  è di  $111.05^\circ$  invece che di  $109.5^\circ$ . Tutti questi fattori danno un contributo energetico alla conformazione della molecola, benché questa forma sia la più stabile.

Il cicloesano ha un massimo energetico nella conformazione a barca, in cui si hanno chiare interazioni di non legame tra alcuni atomi di idrogeno.

Una conformazione intermedia del cicloesano è la conformazione twist, in cui gli atomi di idrogeno sono maggiormente distanziati

rispetto alla conformazione a barca. Questa resta comunque meno stabile della conformazione a sedia.



La conformazione a barca è raggiunta solo temporaneamente dalla molecola di cicloesano, quando si ha l'interconversione della configurazione a sedia. Questa transizione è più frequente all'aumento di temperatura, quando si fornisce abbastanza energia per superare la barriera energetica di transizione.

### *Isomeri configurazionali*

Continuando nel percorso per la caratterizzazione degli isomeri, abbiamo visto che due molecole con la stessa formula bruta possono avere la stessa connettività ma non essere interconvertibili. In questo caso parleremo di **isomeri configurazionali**.

L'isomero configurazionale è dato dalla disposizione spaziale dei sostituenti della molecola attorno ad un centro stereogenico, che è immodificabile tranne nell'evento di una trasformazione chimica.

La domanda da porsi ora è se gli isomeri configurazionali di una molecola sono sovrapponibili.

Se le due molecole che sto confrontando sono sovrapponibili, saranno degli **omomeri**, sono quindi la stessa identica cosa, solo rappresentati in maniera diversa.

***Gli isomeri conformazionali sono omomeri dal punto di vista configurazionale, rappresentati in conformazioni diverse.***

La prof dice che la cosa è complicata e poi svia... spiegata male?

Alla fine dice che questa è una domanda di controllo, soprattutto per molecole complesse in cui è difficile valutare il fatto che due molecole siano la stessa cosa.

Spiega le rappresentazioni. Da studiare Fischer e Newman. Studiare configurazione glucosio.

Fondamentale è la disposizione spaziale dei costituenti nelle tre dimensioni.

Fischer permette di capire agevolmente la stereoisomeria.

La proiezione di Newman permette di riconoscere facilmente l'isomeria conformazionale di molecole semplici.

La rappresentazione segmentata è molto utile per rappresentare molecole biologiche un po' più complesse in maniera agevole.

Per le proteine, che sono molecole molto complesse, sono utili le rappresentazioni al computer, ed anche queste si avvalgono spesso di esemplificazioni come la rappresentazione delle strutture secondarie.

### ***Stereoisomeri***

Quando le molecole con stessa connettività non sono sovrapponibili, si parla di **stereoisomeri**. Sono molecole con stessi atomi, stessa connettività, non interconvertibili e non sovrapponibili, che hanno quindi una disposizione spaziale dei costituenti differente nello spazio.

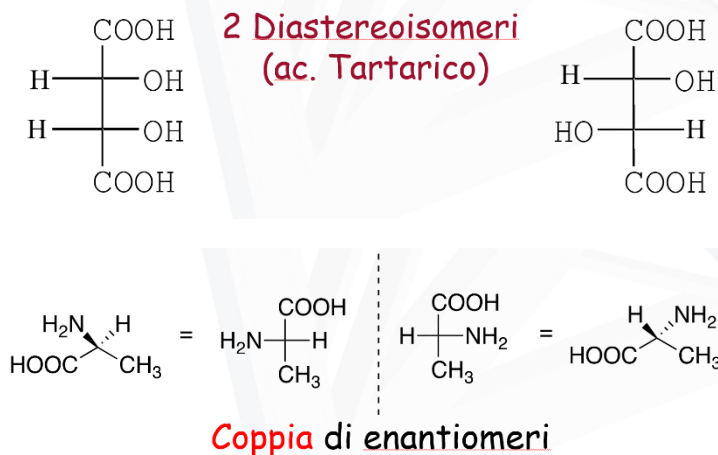
Gli stereoisomeri possono essere ulteriormente differenziati in base al fatto che siano o meno immagini speculari.

Se sono immagini speculari saranno degli **enantiomeri**.

Se non sono immagini speculari saranno dei **diastereoisomeri**.

I diastereoisomeri sono sempre distinguibili, hanno proprietà chimiche, fisiche e biologiche sempre differenti tra loro e si comportano quindi come oggetti diversi.

Gli enantiomeri sono distinguibili solo in condizioni particolari. Le proprietà chimico-fisiche degli enantiomeri sono identiche, tranne che in alcuni casi, cioè in ambiente chirale.



La differenza nelle proprietà degli stereoisomeri è importante perché gli enzimi riconoscono gli stereoisomeri e sono specifici verso di queste proprietà.

## Chiralità

La chiralità è una proprietà che viene definita pervasiva, quindi è una proprietà dell'intera molecola. È sbagliato dire che in una molecola un carbonio è chirale, perché è la molecola che è chirale, non un solo atomo o costituente, che sarà invece definito *stereogenico*. Qualsiasi oggetto non sovrapponibile alla propria immagine speculare è chirale.

Sono chirali tutti gli oggetti che non hanno un piano di simmetria.

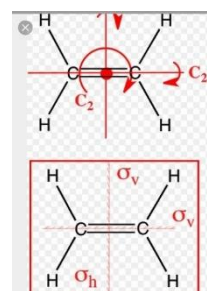
Il carbonio è *stereogenico* quando contiene quattro costituenti diversi, e la molecola che lo contiene si definisce chirale.

Gli enantiomeri sono necessariamente chirali, perché sono speculari ma non sovrapponibili.

I diastereoisomeri per definizione sono oggetti non sovrapponibili e non speculari.

Potrebbero essere chirali oppure no. Dopo aver compreso che due molecole sono degli stereoisomeri, si può valutare la chiralità di ciascuno dei due stereoisomeri.

L'atomo di carbonio  $sp^2$  ha i tre sostituenti disposti planarmente attorno al C, quindi ci possono essere più piani di simmetria.



## **Proprietà chimico fisiche**

Le proprietà chimico fisiche sono correlate alla struttura delle molecole.

Diastereoisomeri hanno sempre proprietà chimiche e fisiche diverse. Si comportano sempre come oggetti diversi.

Enantiomeri hanno proprietà fisiche scalari e chimiche identiche; hanno un comportamento differente nell'interazione con specie chirali. Proprietà fisiche scalari sono quelle non descritte da un vettore. Sono punto di fusione, punto di ebollizione, solubilità. Non possono essere separati per cristallizzazione perché questa si basa sulla diversa solubilità.

L'interazione con la luce è invece descritta da vettori di interazione col campo elettromagnetico, per questo permette di discriminare due enantiomeri.

Le specie chirali hanno interazioni differenti con altre specie chirali.

Nelle reazioni in cui ho prodotti chirali ci sono quindi difficoltà nella separazione dei singoli enantiomeri. Questo è molto importante nella sintesi di farmaci, perché è necessario valutare sempre l'attività degli enantiomeri e comprendere se produrre il farmaco come racemo oppure se ci sono effetti collaterali causati da uno degli enantiomeri.

Vengono quindi in aiuto gli enzimi. Gli enzimi sono fatti da amminoacidi della serie L, sono molecole chirali che riescono a distinguere gli enantiomeri. Gli enzimi sono anche per questo importanti in applicazioni industriali.

Va sempre valutata la presenza di stereocentri.

L'acido L-lattico è un enantiomero dell'acido lattico. Le proprietà degli enantiomeri dell'acido lattico sono importanti nella sintesi di polimeri (PLA).

## **Attività ottica e chiralità**

La chiralità di una molecola è correlata alla propria attività ottica. Ogni molecola chirale è otticamente attiva, ed è in grado di ruotare il piano della luce piano-polarizzata.

Se la molecola chirale ruota il piano della luce verso destra la molecola è definita destrorigira (+). Se la molecola ruota il piano della luce verso sinistra è definita levogira (-).

Gli enantiomeri ruotano il piano della luce polarizzata in direzione opposta. Il potere ottico rotatorio viene misurato col polarimetro.



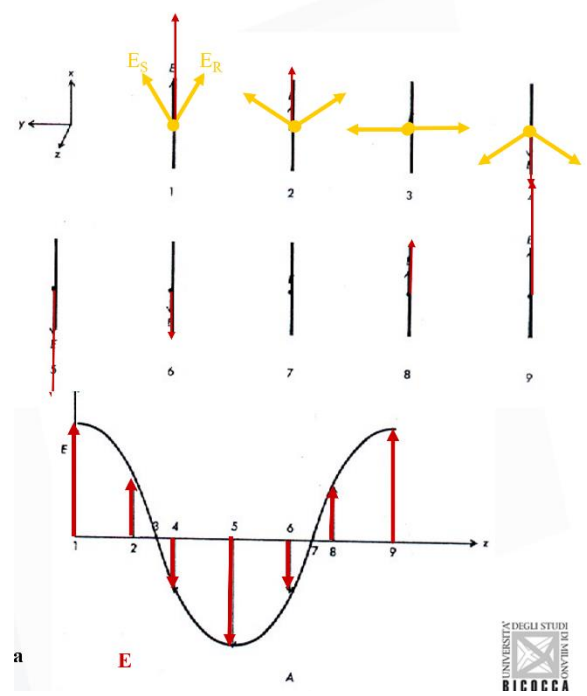
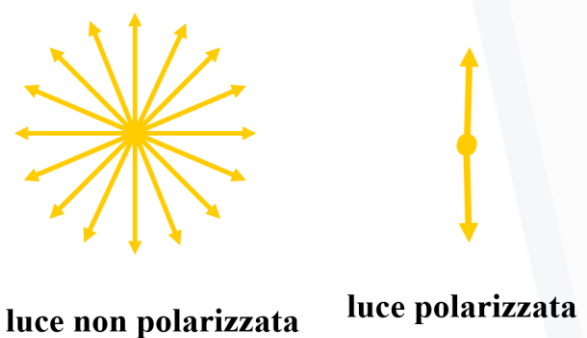
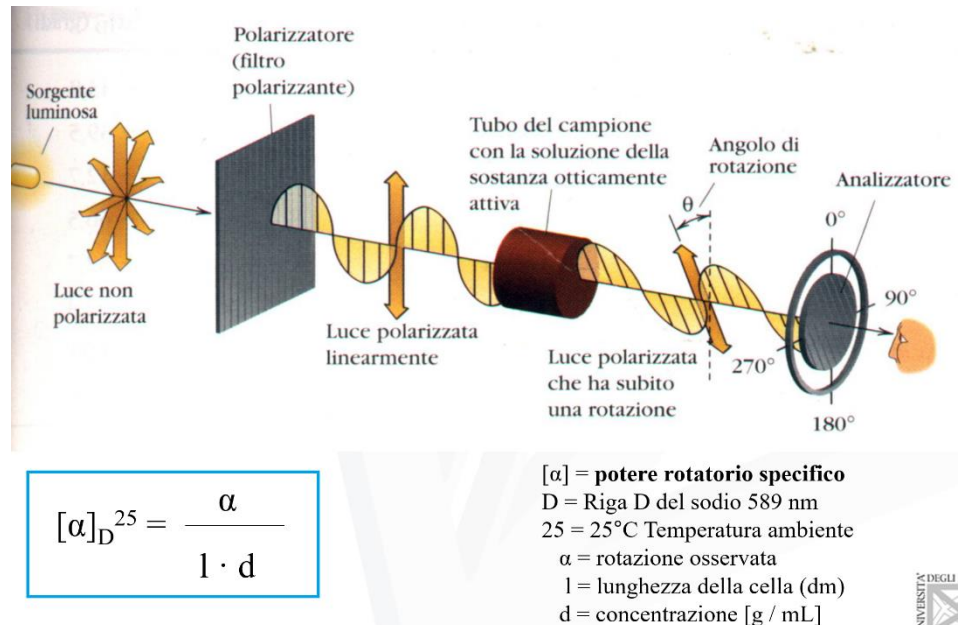
Il polarimetro è composto da una lampada al Sodio (con lunghezza d'onda bene definita). La luce emessa dalla lampada non è polarizzata; questa passa attraverso un filtro polarizzatore che polarizzerà la luce in un piano. La luce in uscita dal filtro avrà un andamento sinusoidale secondo il piano di polarizzazione.

La luce polarizzata passa attraverso un tubo che contiene la soluzione contenente il campione da analizzare. Il campione otticamente attivo interagisce con la luce polarizzata, ruotandola rispetto al piano iniziale.

Questa rotazione  $\alpha$  viene rilevata da un rilevatore che ne registra la rotazione. La rotazione  $\alpha$  è il potere ottico rotatorio della sostanza. Il valore della rotazione dipende dalla concentrazione del campione nella soluzione. Quello che si fa è quindi indicare il potere ottico rotatorio specifico, cioè il potere ottico della sostanza normalizzato per la concentrazione  $[\alpha]$ . La densità  $d$  è espressa con la concentrazione  $[g/ml]$ . **Controlla immagine per la formula.**

Le lenti polarizzate sono molto interessanti perché tagliano il riflesso della radiazione luminosa. La luce che viene riflessa da una superficie tende ad essere riflessa su un piano orizzontale. Le lenti polarizzate Polaroid® hanno dei filtri di polarizzazione orizzontali, quindi riducono il passaggio della luce riflessa.

Il vettore elettromagnetico che descrive la luce polarizzata è la risultante di due componenti che possiamo definire  $E_r$  ed  $E_s$ , una che ruota in senso orario ed una che ruota in senso antiorario, descritte da vettori. Nella luce polarizzata le due componenti vettoriali che ruotano in senso opposto sono sincrone, per cui l'andamento sinusoidale del vettore elettromagnetico della luce polarizzata è la somma vettoriale delle due componenti. La somma sarà massima quando le due componenti che ruotano in maniera sincrona sono coincidenti, e sarà 0 quando i due vettori avranno un angolo di  $180^\circ$ . La risultante della radiazione



elettromagnetica che oscilla su un piano è data dalla somma vettoriale delle due componenti che ruotano in modo sincrono.

Se si fa attraversare un campione otticamente attivo dalla luce piano-polarizzata succede che le due componenti  $E_r$  ed  $E_s$  interagiscono in maniera diversa con la sostanza otticamente attiva. Una delle due componenti interagirà di più con la sostanza otticamente attiva. Le due componenti che si muovono sul piano della luce polarizzata saranno quindi asincrone dopo il passaggio attraverso il campione. Quella delle due componenti che ruota più lentamente avrà effettuato una rotazione ad un angolo inferiore per via dell'interazione con una molecola otticamente attiva.

Il campione desincronizza la radiazione luminosa polarizzata.

L'ampiezza vettoriale è data dall'ampiezza dei due vettori, secondo somma vettoriale con regola del parallelogramma.

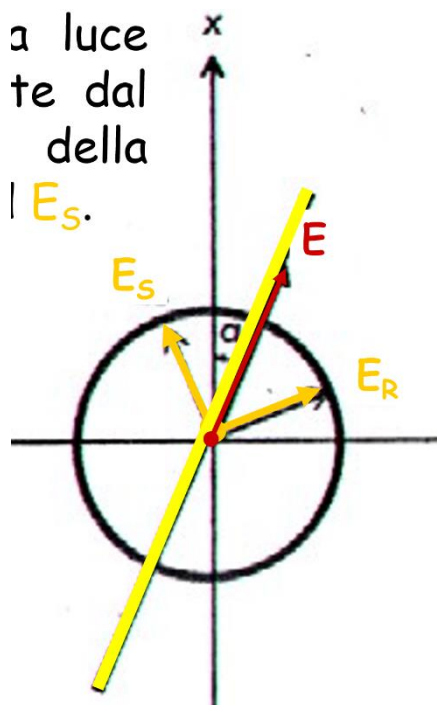
La risultante luce non si trova sempre sul piano iniziale, ma si trova ad oscillare su un piano ruotato di un certo angolo  $\alpha$ .

Le grandezze fisiche vettoriali sono intrinsecamente chirali, perché i vettori hanno un orientamento nello spazio in 3 dimensioni, e interagiscono con oggetti chirali che li alterano in maniera peculiare, in base all'oggetto.

***Gli oggetti chirali sono sempre distinguibili in un intorno chirale.***

*La miscela racemica è una miscela equimolare dei due enantiomeri.*

Quando abbiamo una miscela racemica, un enantiomero interagirà meglio con la componente destrorigira, mentre l'altro enantiomero interagirà meglio con la componente levogira. Se sono in uguale concentrazione l'effetto si annulla, per cui la miscela racemica ha potere ottico rotatorio specifico pari a 0.



## Stereoisomeri

Ci sono una serie di domande che dobbiamo porci quando ci apprestiamo allo studio degli stereoisomeri:

- Possiamo prevedere quando una molecola può esistere in forme stereoisomeriche differenti?
- Posso prevedere il numero massimo di stereoisomeri possibili per una molecola?
- Posso rappresentare tutti gli stereoisomeri e prevedere quando sono chirali?
- Come assego la nomenclatura agli stereoisomeri?

*Prevedere se una molecola può esistere in forme isomeriche*

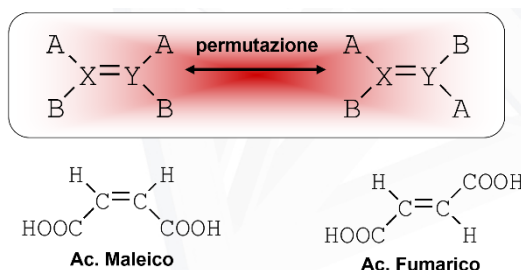
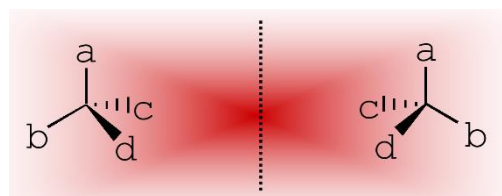
Una molecola può esistere in forma chirale **quando questa presenta almeno un centro stereogenico**.

Un **elemento stereogenico** è una struttura elementare presente nel modello, costituita da un atomo o gruppo di atomi interconnessi, fornita di leganti direzionati e tale che una permutazione di due leganti produce uno stereoisomero del modello originario.

Il carbonio  $sp^3$  con 4 sostituenti diversi è un centro stereogenico.

Un elemento stereogenico tridimensionale è l'elica; l'elica destrorsa del DNA, la struttura ad alfa-elica, la struttura a tripla elica sinistrorsa del collagene, le eliche del guscio dei molluschi, sono tutti elementi chirali.

Elementi stereogenici bidimensionali sono i doppi legami tra atomi di carbonio, dove i carboni sono legati a due sostituenti diversi. In questo caso i due composti nell'immagine sono achirali, perché troviamo un piano di simmetria nella molecola.



*Prevedere il numero massimo di stereoisomeri possibili*

È possibile prevedere il numero di stereoisomeri possibili. Questo numero è  $2^N$  dove N è il numero di elementi stereogenici presenti (tutti gli elementi: centri stereogenici, eliche, doppi legami).

*Rappresentare facilmente tutti gli stereoisomeri e prevederne la chiralità*

È possibile rappresentare gli stereoisomeri con le proiezioni di Fischer.

La proiezione di Fischer prevede che sull'asse orizzontale i sostituenti vengano verso l'osservatore, mentre sull'asse verticale i sostituenti si allontanino dall'osservatore.

La chiralità si evidenzia facilmente: se una molecola non ha piani di simmetria è chirale.

La proiezione di Fischer però è valida per piccole molecole, ma molecole complesse vanno attentamente valutate contando gli elementi stereogenici e capendo il numero massimo di stereoisomeri ottenibili.

*Assegnare la nomenclatura agli stereoisomeri*

E/Z, R/S, D/L.

Non c'è nessuna correlazione tra il descrittore ed il potere ottico rotatorio. Il descrittore serve a descrivere la molecola ed è una convenzione. Il potere ottico rotatorio è una proprietà fisica che non si può dedurre dal descrittore.

Gli aminoacidi sono tutti in configurazione L secondo Fischer. Con le altre convenzioni può variare l'appartenenza ad R o S e la capacità di rotazione della luce polarizzata.

## **Aminoacidi e nutrizione**

Alcuni aminoacidi sono essenziali e vanno introdotti con la dieta.

Le proteine di origine animali forniscono tutti gli aminoacidi necessari. Le proteine di origine vegetale a seconda della fonte possono essere carenti in alcuni aminoacidi essenziali.

Sappiamo comunque che un apporto di nutrienti solo da fonti animali non è sostenibile. La dieta esclusivamente a base di vegetali va attentamente valutata nel suo apporto nutrizionale, controllando bene il fabbisogno nutrizionale per sesso ed età nelle apposite tabelle nutrizionali.

Nelle proteine vegetali mancano comunque dei microelementi, quali il ferro, che è biodisponibile maggiormente quando complessato con l'eme, che si trova negli animali. Nei vegetali il ferro è in forma di sali e per questo meno biodisponibile.

Nei vegetali mancano anche vitamine presenti invece negli animali.

La presenza di un adeguato apporto di aminoacidi è fondamentale durante lo sviluppo, fino a circa 21 anni. Studi neurologici dicono che il cervello è in continuo sviluppo fino ai 30-32 anni (Fonti?!).

Gli aminoacidi acidi (Acido Glutammico ed Acido Aspartico) non sono essenziali.

Gli aminoacidi basici (Lisina, Arginina, Istidina) sono tutti essenziali. Questi sono importanti da assumere in quantità adeguate perché sono importanti nel sito catalitico di molti enzimi.

I legumi hanno scarso apporto di Metionina.

I cereali hanno scarso apporto di Lisina, Triptofano e Treonina.

Il 30 – 40% di proteine assunte giornalmente dovrebbero essere di origine animale. Ad un organismo, non in crescita, servono circa 80 – 100 grammi di proteine al giorno.