

LICEO SCIENTIFICO "LEONARDO DA VINCI" – OPZIONE SCIENZE APPLICATE

# IL DOPPIO NELLA SCIENZA

---

Tesina di maturità di Perego Marta

Classe 5<sup>A</sup>

Anno scolastico 2014/2015



## INDICE:

• Introduzione	2
• L'elettrone: onda o particella?	3
• Il gatto di Schrödinger: vivo o morto?	7
• La gravità: forza o geometria?	8
• Distribuzione di Bernoulli o distribuzione di Poisson?	10
• L'isomeria	13
• La clonazione	16
• Bibliografia	20

## INTRODUZIONE:

Ho scelto di trattare questo argomento in quanto mi affascina molto, durante il mio percorso di studi il tema del doppio l'ho incontrato più volte.

Spesso, parlando del doppio si fa riferimento alla letteratura: quella inglese con "The Picture of Dorian Gray" di Oscar Wilde e "The Strange Case of Dr. Jekyll and Mr. Hyde" di Robert Louis Stevenson; a quella italiana con il romanzo di Italo Calvino "Il visconte dimezzato" e "Uno, nessuno e centomila" di Luigi Pirandello e alla filosofia.

La mia intenzione è quella di esporre come il tema del doppio può essere trovato anche nella scienza, in particolare in fisica, in matematica, in chimica e in biologia.

## L'ELETTRONE: ONDA O PARTICELLA?

L'elettrone è una particella subatomica con carica elettrica negativa che, non essendo composta da altri costituenti noti, si ritiene essere una particella elementare.

Gli elettroni, insieme ai protoni e ai neutroni, sono componenti degli atomi e, sebbene contribuiscano alla massa totale dell'atomo per meno dello 0,06%, ne caratterizzano sensibilmente la natura e ne determinano le proprietà chimiche. Si tratta di una particella molto studiata in diversi ambiti della fisica, in particolare nell'elettromagnetismo e nella fisica dello stato solido. Il moto dell'elettrone genera un campo magnetico; la variazione della sua energia e della sua accelerazione causano l'emissione di fotoni; è inoltre responsabile della conduzione della corrente elettrica e del calore.

Il termine "elettrone" deriva dalla parola greca *ἤλεκτρον* (*electron*), il cui significato è ambra. Tale nome è storicamente dovuto al fatto che l'ambra ebbe un ruolo fondamentale nella scoperta dei fenomeni elettrici.

Le prime prove sperimentali dell'esistenza di questa particella si ebbero nel 1860, quando William Crookes effettuò esperimenti con il tubo di Geissler, inserendovi due lamine metalliche e collegandole a un generatore di corrente continua a elevato potenziale (circa 30 000 V). Durante tale esperimento, Crookes si accorse che si generava una luce avente una colorazione differente a seconda del gas utilizzato. Tale emissione luminosa aveva origine dal catodo (polo negativo) e fluiva verso l'anodo (polo positivo).

A partire dal 1914, gli esperimenti dei fisici Ernest Rutherford, Henry Moseley, James Franck e Gustav Hertz stabilirono definitivamente che l'atomo è formato da un nucleo massivo carico positivamente circondato da elettroni di massa minore. Nel 1913, il fisico danese Niels Bohr postulò che gli elettroni si trovano in stati di energia quantizzata, con l'energia determinata dal momento angolare delle orbite degli elettroni attorno al nucleo. La teoria avanzata da Bohr prevedeva inoltre che gli elettroni potessero muoversi tra questi stati (o orbite) in seguito all'assorbimento o all'emissione di un quanto di energia, un fotone di specifica frequenza. Nonostante ciò, il modello di Bohr non era in grado di predire l'intensità delle relative linee e di spiegare la struttura dello spettro di atomi più complessi.

La formazione di legami chimici tra atomi fu spiegata nel 1916 da Gilbert Newton Lewis, il quale asserì che il legame covalente sia generato dalla condivisione di una coppia di elettroni tra due atomi, mentre una descrizione completa sulla formazione di queste coppie e dei legami chimici venne fornita da Walter Heitler e Fritz London nel 1923 grazie alla meccanica quantistica.

Nel 1929, il fisico francese Louis de Broglie vinse il premio Nobel per la fisica per aver scoperto che anche gli elettroni, oltre alla luce, sono caratterizzati da una doppia natura, una corpuscolare e una ondulatoria. Questa nuova proprietà è nota come dualismo onda-particella e comporta la possibilità di osservare fenomeni di interferenza fra elettroni sotto appropriate condizioni:

« L'elettrone non può più essere concepito come un singolo, piccolo granulo di energia elettrica, esso deve essere associato con un'onda e questa onda non è mito; la sua lunghezza d'onda può essere misurata e la sua interferenza prevista.»

L'interferenza è una proprietà di tutte le onde: ad esempio nel caso della luce, se tra una sorgente luminosa e uno schermo illuminato da tale sorgente viene interposto un foglio con delle fessure parallele, la luce prodotta dalla sorgente attraversa tali fessure e si proietta sullo schermo producendo delle figure a bande in corrispondenza dello schermo. Nel 1927 furono osservati gli effetti dell'interferenza con un fascio di elettroni dal fisico inglese George Paget Thomson con una sottile pellicola metallica e dai fisici americani Clinton Davisson e Lester Germer, i quali studiarono il fenomeno di scattering degli elettroni incidenti su una lastra di nickel monocristallino. Niels Bohr nello stesso anno incluse l'ipotesi di de Broglie e queste evidenze sperimentali nel principio di complementarità, secondo il quale una descrizione completa dell'elettrone e della luce non può fare riferimento solo alla sua natura ondulatoria o solo alla sua natura particellare, ma deve necessariamente includerle entrambe. Infatti la natura ondulatoria dell'elettrone si manifesta ad esempio nel fenomeno dell'interferenza, mentre la natura corpuscolare fa sì che un fascio di elettroni riesca a fare girare un piccolo mulinello posizionato lungo il suo tragitto.

Il successo della previsione di de Broglie portò alla pubblicazione dell'equazione di Schrödinger che descrive l'evoluzione temporale di uno stato quantico (e quindi della relativa funzione d'onda). Questa equazione era usata per prevedere la probabilità di trovare un elettrone in un volume finito o infinitesimo dello spazio. Da questo approccio ebbe origine la branca della fisica denominata "meccanica quantistica", che garantì la possibilità di ricavare teoricamente i livelli energetici di un elettrone nell'atomo di idrogeno in buon accordo con i dati sperimentali. Nel 1928, basandosi sul lavoro di Wolfgang Pauli, Paul Dirac formulò un modello dell'elettrone coerente con la teoria della relatività ristretta, applicando considerazioni relativistiche e di simmetria alla formulazione hamiltoniana della meccanica quantistica per un elettrone in un campo elettromagnetico.

#### DUALISMO ONDA-PARTICELLA:

In fisica con dualismo onda-particella o dualismo onda-corpuscolo si definisce la duplice natura, sia corpuscolare sia ondulatoria, del comportamento delle particelle, come ad esempio l'elettrone.

Tale evidenza nacque dall'interpretazione di alcuni esperimenti compiuti all'inizio del XX secolo: ad esempio l'effetto fotoelettrico, tramite il fotone, suggeriva una natura corpuscolare della luce, che d'altra parte manifestava chiaramente da tempo proprietà ondulatorie attraverso i fenomeni della diffrazione e dell'interferenza (esperimento di Young).

Il paradosso rimase fino alla formulazione della meccanica quantistica, quando si riuscì a descrivere i due aspetti in modo coerente, specificando la modalità di manifestazione del dualismo all'interno del principio di complementarità.

#### NEWTON, HUYGENS, FRESNEL, YOUNG, MAXWELL:

Il dibattito sulla natura corpuscolare o ondulatoria della materia nasce nel XVII secolo in seguito alla contrapposizione fra le teorie di Isaac Newton e di Christian Huygens sulla natura della luce.

In base alle osservazioni effettuate intorno al 1669 del danese Rasmus Bartholin e ai successivi studi del francese Augustin Jean Fresnel, si stabilì che la luce era composta da onde trasversali.

Nel 1801 l'inglese Thomas Young eseguì un esperimento, ormai diventato celebre, che avvalorava la natura ondulatoria: due raggi di luce (originati dalla divisione di un unico raggio di partenza) colpivano due fenditure, successivamente intersecandosi e interferendo tra loro. L'area di intersezione non risultava più luminosa, come ci si sarebbe aspettato da un modello particellare, ma presentava bande più o meno luminose alternate, creando un'immagine di interferenza come prevede il modello ondulatorio.

Con le equazioni di Maxwell si comprese che la luce era solo una parte dello spettro della radiazione elettromagnetica.

EINSTEIN:

Il modello ondulatorio di Huygens sembrava quindi quello corretto fino agli inizi del Novecento, quando nel 1905 Einstein, con un lavoro che gli valse il premio Nobel, giustificò l'effetto fotoelettrico postulando l'esistenza di quanti di luce, cioè "pacchetti" indivisibili e discreti di onde, che negli anni venti saranno chiamati da Gilbert N. Lewis fotoni. In tale lavoro, che si ispirava al concetto di quanto di energia introdotto da Max Planck, compariva un'equazione di fondamentale importanza che lega l'energia  $E$  di un fotone con la frequenza  $\nu$  della luce:

$$E = h\nu$$

(dove  $h$  è la costante di Planck).

DE BROGLIE:

Nel 1924 Louis de Broglie fece un ulteriore passo, ipotizzando che, come la luce possiede proprietà corpuscolari e ondulatorie, tutta la materia abbia anche proprietà ondulatorie: a un corpo con quantità di moto  $P$  veniva infatti associata un'onda di lunghezza d'onda  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Tale equazione è una generalizzazione dell'equazione di Einstein, visto che per ogni onda

elettromagnetica valgono le relazioni  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  (proprietà delle onde) e  $p = \frac{E}{c}$  (momento di un fotone).

DAVISSON & GERMER:

Nel 1927 i fisici Clinton Joseph Davison e Lester Halbert Germer confermarono le previsioni della formula di De Broglie dirigendo un fascio di elettroni (che erano stati fino ad allora assimilati a particelle) contro un reticolo cristallino e osservandone figure di diffrazione. Esperimenti con risultati analoghi furono eseguiti diversi anni dopo, come quello della variante dell'esperimento di Young condotta con elettroni, protoni e particelle più pesanti (esperimento della doppia fenditura).

La meccanica quantistica interpreta il dualismo onda-particella abbinando alla natura corpuscolare

della materia e della radiazione elettromagnetica la natura probabilistica dell'evento fisico, in cui la probabilità ha un andamento periodico nello spazio-tempo analogo al fenomeno ondulatorio. In particolare l'esperimento della doppia fenditura si giustifica con la perdita di valore del concetto di "traiettoria", a favore della sola probabilità che la particella si trovi in un dato punto a un dato istante.

#### EINSTEIN FA IL BASTIAN CONTRARIO:

Einstein stesso tentò in tutti i modi, elaborando sofisticati esperimenti mentali, di contrastare questa visione dualistica della realtà fisica, in particolare il probabilismo insito nella teoria quantistica, che precludeva l'idea, tipica della fisica classica, del determinismo assoluto (celebre la sua frase "*Dio non gioca ai dadi*"). Si dovette però arrendere all'evidenza dei fatti sperimentali e alla potenza predittiva della meccanica quantistica nel mondo microscopico, cui indirettamente diede comunque contributi notevoli.

## IL GATTO DI SCHRÖDINGER: VIVO O MORTO?



**Figura 1: Erwin Schrödinger (1887-1961)**

Per illustrare il principio di incertezza della meccanica quantistica, un'idea in base alla quale è l'osservatore, al momento di effettuare un rilevazione, a determinare le caratteristiche della particella esaminata (carica, spin, posizione), lo scienziato austriaco Erwin Schrödinger (1887-1961), premio Nobel per la fisica nel 1933, ha ideato un curioso esperimento teorico, noto col nome di paradosso del gatto di Schrödinger.

Per fare ciò Erwin Schrödinger, ha pensato il seguente esperimento, che non è mai stato messo in pratica nella realtà. Per cominciare bisogna mettere la sostanza radioattiva nel contatore Geiger, che verrà collegato a un martelletto, il quale si azionerà solo nel momento in cui avverrà (se avverrà) il decadimento della sostanza radioattiva e andrà a colpire la fialetta di cianuro (un atomo decade quando emette delle radiazioni durante il passaggio da uno stato instabile a uno più stabile). Questo dispositivo mortale verrà collocato assieme a

un gatto in una scatola d'acciaio, che verrà tenuta chiusa per un'ora. Sapendo che vi è un possibilità del 50% che l'atomo decada nella prossima ora, possiamo stabilire di avere le stesse possibilità di trovare il gatto vivo o morto (ovviamente nessun gatto aspetterebbe per un'ora chiuso in una scatola senza fare nulla per uscire, ma come abbiamo detto si tratta di un esperimento mentale).

Se dovessimo applicare la fisica quantistica ortodossa al paradossi di Schrödinger, a scatola chiusa avremmo un contatore geiger attivato e non attivato, una fialetta di cianuro sia rotta che integra e un gatto sia vivo che morto. Il gatto si trova quindi in uno stato indeterminato: sia vivo sia morto. Sempre secondo la fisica quantistica di Copenaghen, all'apertura della scatola, il sistema (ovvero contatore, fialetta, gatto) dovrebbe assumere uno stato unico e coerente. Da qui nasce il paradosso con il quale Schrödinger voleva dimostrare che la sovrapposizione degli stati della meccanica quantistica non è una soluzione accettabile perché sarebbe molto lontana dalla realtà.

## LA GRAVITA: FORZA O GEOMETRIA?

NEWTON:

La legge della gravitazione universale di Newton afferma che:

“Tutti gli oggetti dell’Universo si attraggono fra loro con una forza che varia direttamente col prodotto delle loro masse ed inversamente al quadrato della loro distanze.”

In altri termini, tutti gli oggetti si attraggono fra loro (questa è la spinta di gravità), e la forza di gravità aumenta all’aumentare della massa degli oggetti, ma diminuisce quando questi si allontanano uno dall’altro. La formula proposta da Newton è quindi:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



Figura 2: Isaac Newton (1642-1727)

Dove:

$F \rightarrow$  Forza di gravità.

$m_1, m_2 \rightarrow$  Masse degli oggetti.

$r \rightarrow$  Distanza tra i due oggetti.

$G \rightarrow$  Costante di Gravitazione ( $6.67 \cdot 10^{-11} \text{N m}^2 / \text{Kg}^2$ ).

Questo tipo di forza viene chiamato “azione a distanza”.

La legge di gravitazione universale newtoniana afferma, quindi, che due punti materiali si attraggono con una forza di intensità direttamente proporzionale al prodotto delle masse dei singoli corpi e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

La legge della gravitazione universale di Newton, la vetta della meccanica newtoniana, venne accettata per oltre 200 anni. Nel 1915, però, Einstein pubblicò la sua teoria della relatività generale, la quale ridefinì completamente il concetto di gravità. La teoria di Newton non è più del tutto corretta, benché per oggetti che viaggiano a basse velocità essa dia ancora risultati accurati e sia ancora largamente usata.

EINSTEIN:

Nel 1915, Einstein pubblicò la sua teoria della relatività generale, che ridefinì completamente il concetto di gravità.

Per Einstein l’interazione gravitazionale non è più “azione a distanza” fra corpi massivi (come era nella teoria di Newton), una forza tra due oggetti che si attirano fra loro, ma piuttosto essa è un risultato della curvatura dello spazio-tempo.

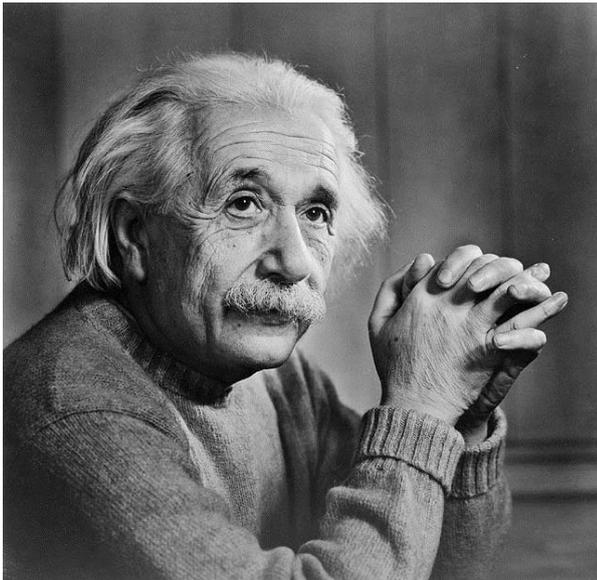


Figura 3: Albert Einstein (1879-1955)

L'interazione gravitazionale è interpretata da Einstein come effetto geometrico, in quanto la *materia* presente nell'Universo determina la *curvatura dello spazio-tempo*. Le equazioni di Einstein esprimono semplicemente la relazione fra la curvatura da un lato e la materia ed energia dall'altro. La geometria dello spazio-tempo, in particolare, determina quali sistemi di riferimento siano inerziali: sono quelli associati a osservatori in caduta libera, che si muovono lungo traiettorie geodetiche dello spazio-tempo. La forza peso risulta in questo modo una forza apparente osservata nei riferimenti non inerziali. Lo *spazio-tempo* è un'entità a quattro dimensioni (tre spaziali ed una temporale) che sostituisce lo *spazio* ed

il *tempo* della teoria newtoniana. Non solo lo spazio ed il tempo non sono più assoluti ma sono pure intrinsecamente connessi. Ciò che rende particolarmente difficile questa teoria è una sorta di "anello di retroazione". Vale a dire: la curvatura dello spazio-tempo è determinata dalla distribuzione della materia ed energia distribuita nell'Universo, che a sua volta è governata dalla curvatura dello spazio-tempo stesso. La teoria di Einstein dà un'interpretazione della gravità comprensiva della teoria di Newton, che rimane peraltro valida come caso particolare laddove le masse che generano la gravità (ad esempio nel Sistema solare) non sono troppo grandi.

#### LA GRAVITÀ QUANTISTICA A LOOP:

Negli anni novanta la nuovissima teoria denominata Gravità Quantistica a Loop (LQG), ideata dal fisico indiano Abhay Ashtekar (1949-), nel tentativo di conciliare la Relatività Generale con la Meccanica Quantistica ha portato il dualismo della fisica dei quanti alle sue estreme conseguenze, arrivando a quantizzare persino... lo spazio e il tempo. Alla scala di Planck, lo stesso spazio-tempo insomma da continuo si trasformerebbe in una sorta di reticolo di dimensioni infinitesimali, come un muro composto da mattoni; in questo caso i mattoni sono i quanti spaziali, delle dimensioni della lunghezza di Planck, e i quanti temporali, dell'ordine del tempo di Planck. Per esempio un cerchio non potrebbe assolutamente avere un contorno regolare, ma seguirebbe il profilo dei tasselli che lo compongono, apparendo un cerchio perfetto solo da lontano. Questa teoria è però ben lungi dall'ottenere verifiche sperimentali.

## DISTRIBUZIONE DI BERNOULLI O DISTRIBUZIONE DI POISSON?

### LA DISTRIBUZIONE DI BERNOULLI (O DISTRIBUZIONE BINOMIALE):

Si dice esperimento (o prova) di Bernoulli un esperimento aleatorio che può avere solo due possibili esiti: "successo" l'esito che interessa, "insuccesso" il secondo esito possibile. La probabilità  $P$  di successo in un esperimento di Bernoulli si dice parametro dell'esperimento. Supponiamo di eseguire ripetutamente  $n$  prove di Bernoulli identiche e indipendenti tra loro, vale a dire supponiamo che le prove si verifichino tutte nelle stesse condizioni e che l'esito di un singolo esperimento non abbia influenza sull'esito degli altri esperimenti: il processo che ne risulta è il modello adatto a descrivere moltissimi fenomeni, perciò gli si è dato un nome specifico.

Si chiama processo di Bernoulli l'esperimento aleatorio consistente nella ripetizione di  $n$  prove di Bernoulli identiche e indipendenti.

Per esempio, sono processi di Bernoulli il lancio ripetuto per  $n$  volte di una moneta, oppure l'estrazione con reinserimento, per  $n$  volte successive, di una pallina da un'urna che contiene palline di due soli colori.

Consideriamo un processo di Bernoulli costituito da  $n$  prove di parametro  $p$ . la variabile aleatoria  $X$  che conta il numero complessivo di successi ottenuti nelle  $n$  prove si dice binomiale di parametri  $n$  e  $p$ .

Sia  $X$  una variabile aleatoria binomiale di parametri  $n$  e  $p$ . la distribuzione di probabilità  $X$  è data dalla formula:

$$p(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

### LA DISTRIBUZIONE DI POISSON:

Un'importante distribuzione di probabilità discreta, che ha una vasta gamma di applicazioni in aree diverse, è la cosiddetta distribuzione di Poisson. Essa può venire ricavata come approssimazione della distribuzione binomiale, secondo il seguente procedimento:

1. Considerata una variabile aleatoria binomiale  $X$  di parametri  $n$  e  $p$ , sappiamo dalla distribuzione di Bernoulli che:

$$p(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

2. Poniamo con  $\lambda$  il valore medio di  $X$ , ovvero:

$$\lambda = np$$

Ne segue quindi:

$$p = \frac{\lambda}{n}$$

e dunque:

$$p(X = k) = \binom{n}{k} \left(\frac{\lambda}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{n-k}$$

3. Supponiamo ora che  $n$  sia “molto grande” (di conseguenza  $p$  sarà “molto piccolo”); in tal caso il valore della precedente equazione può essere approssimato dal suo limite per  $n$  che tende a più infinito:

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow +\infty} \binom{n}{k} \left(\frac{\lambda}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{n-k} &= \\ = \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)}{k!} \frac{\lambda^k}{n^k} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{n-k} &= \\ &= e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \end{aligned}$$

Riassumendo: se  $X$  è una variabile aleatoria binomiale tale che  $n$  è “grande” e  $p$  è “piccolo”, vale la seguente approssimazione:

$$p(X = k) \cong e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \quad \text{dove: } \lambda = np$$

(La formula definisce la distribuzione di Poisson).

Una variabile aleatoria discreta  $X$  è detta di Poisson di parametro  $\lambda$ , con  $\lambda > 0$ , se la sua distribuzione di probabilità è assegnata da:

$$p(X = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}$$

La distribuzione di Poisson non è utile soltanto per calcolare approssimativamente probabilità relative a variabili aleatorie binomiali in cui  $n$  è grande e  $p$  è piccolo, ma riveste un ruolo di particolare importanza ai fini della modellizzazione di fenomeni aleatori. Essa è infatti il modello adatto ad interpretare le situazioni descritte da una variabile aleatoria binomiale di cui

conosciamo il valore medio, ma non i valori esatti di  $n$  e  $p$ , purché sia lecito supporre  $n$  "grande" e  $p$  "piccolo".

«Esistono molti esempi storici di applicazione della distribuzione di Poisson. Obbedisce ad essa il numero di ufficiali della cavalleria Prussiana uccisi ogni anno da un calcio di cavallo: questo è precisamente l'esempio storico in base alla cui analisi Ladislaus Bortkiewicz introdusse questa distribuzione. Ma soprattutto la distribuzione poissoniana ebbe un'importantissima applicazione durante la Seconda Guerra Mondiale. Infatti nel 1944 un missile tedesco V2 colpì una caserma di Londra: possibile che i nazisti potessero mirare in modo così preciso da 300 chilometri di distanza? A sgombrare il campo da ogni timore fu il grande logico e matematico inglese Alan Turing (1912-1954), che più avanti decifrò anche il codice Enigma. Egli divise la mappa di Londra in corone circolari di raggio crescente, contò quante V2 erano cadute in ciascuna, e calcolò che tale numero obbediva precisamente alla distribuzione di Poisson. Conclusione: quella caserma era stata colpita per caso. Questo è anche il soggetto del romanzo di Thomas Pinchon (1937-) "L' Arcobaleno dalla gravità" (1973).»



**Figura 4: Alan Turing (1912-1954)**

## L'ISOMERIA:

Fenomeno per il quale due o più composti chimici aventi proprietà diverse hanno la stessa formula grezza ma diversa formula di struttura, oppure hanno la medesima formula di struttura ma diversa configurazione spaziale. Tali composti vengono chiamati isomeri.

### GENERALITÀ:

L'isomeria è particolarmente frequente nei composti organici e in special modo in quelli a elevato numero di atomi di carbonio: per esempio, per l'idrocarburo della serie del metano di formula  $C_{13}H_{28}$  possono esistere 802 isomeri, tanti quante sono le possibili disposizioni geometriche secondo le quali i 13 atomi di carbonio possono unirsi nella catena. Si distinguono diversi tipi di isomeri: isomeri di struttura, per la quale gli isomeri differiscono per le diverse relazioni di adiacenza tra gli atomi delle molecole: tali relazioni riguardano la struttura dello scheletro idrocarburico (isomeri di catena), la posizione dei sostituenti (isomeri di posizione), la struttura del gruppo funzionale (isomeri di funzione); stereoisomeria, per la quale gli isomeri, detti in questo caso anche stereoisomeri, hanno la stessa formula di struttura ma differiscono per la posizione relativa assunta nello spazio da alcuni degli atomi dei gruppi atomici che li costituiscono. La stereoisomeria è dovuta alla presenza di atomi chirali nella molecola.

### ISOMERIA DI STRUTTURA:

- ISOMERIA DI CATENA:

È presentata dai composti alifatici e ciclo-alifatici ed è dovuta alle diverse possibili disposizioni che gli atomi di carbonio assumono nella catena o nell'anello: esempi di questo tipo di isomero sono il butano,  $CH_3CH_2CH_2CH_3$ , e l'isobutano, l'alcol amilico,  $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH$ , e quello isoamilico,  $(CH_3)_2CHCH_2CH_2OH$ ; il cicloesano e il metil-ciclopentano.

- ISOMERIA DI POSIZIONE:

È dovuta alla diversa posizione che un sostituente può occupare nella struttura degli atomi di carbonio o alle posizioni relative occupate da due o più sostituenti: esempi di questo tipo di i. sono l'alcol propilico primario  $CH_3CH_2CH_2OH$  e quello secondario, il metil-propil-chetone  $CH_3COCH_2CH_2CH_3$  e il dietil-chetone  $CH_3CH_2COCH_2CH_3$ , gli isomeri orto-, meta- e para- aromatici, la chinolina ecc.

## ISOMERIA DI FUNZIONE:

Per essa sono isomeri l'aldeide propionica  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$  e l'acetone  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ , l'alcol etilico  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  e l'etere dimetilico  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  ecc.

## STEREoisomeria:

- ISOMERIA GEOMETRICA:

È presentata dai composti non saturi ed è dovuta alla posizione relativa assunta nello spazio dagli atomi o radicali legati ai due atomi di carbonio o di carbonio e azoto ecc., uniti da un doppio legame; esempi di questo tipo di isomeria sono dati dall'acido fumarico e dall'acido maleico (isomerie *cis* e *trans*), dalle monossime (isomerie *sin* e *anti*).

Gli isomeri geometrici non si convertono spontaneamente l'uno nell'altro a temperatura ordinaria a causa dell'elevata barriera di potenziale, determinata dai legami  $\pi$  nel doppio legame  $\text{C}=\text{C}$ , che impedisce la libera rotazione.

- ISOMERIA OTTICA: (o enantiomeria)

Per l'isomeria ottica due composti simili in tutte le proprietà fisiche e chimiche differiscono soltanto perché uno devia il piano della luce polarizzata in un senso (per es., verso destra) e l'altro in senso opposto e di un uguale numero di gradi. I due isomeri, detti rispettivamente *destrogiro* e *levogiro*, prendono il nome di antipodi ottici. Questo tipo di i. è caratterizzato dalla presenza di un atomo di carbonio asimmetrico (carbonio chirale); nel modello tetraedrico, l'atomo di carbonio, posto al centro di un tetraedro, ha le valenze saturate da atomi, o gruppi atomici, occupanti i vertici del tetraedro stesso; se i 4 atomi, o gruppi atomici, sono differenti fra loro (atomo di carbonio asimmetrico), il modello tetraedrico rende ragione dell'esistenza di due configurazioni spaziali non sovrapponibili, che sono l'una l'immagine speculare dell'altra. Così esistono due acidi lattici enantiomeri (acido D-lattico e acido L-lattico) nelle cui molecole c'è un atomo di carbonio legato a quattro gruppi diversi (a un atomo di idrogeno, a un gruppo ossidrilico, a un gruppo metilico e a un gruppo carbossilico). Invece che di carbonio, l'atomo che nell'edificio molecolare viene a costituire un centro di asimmetria può essere di silicio, di zolfo, di fosforo ecc., anche se i corrispondenti isomeri sono molto più rari in natura.

Quando i due antipodi ottici sono presenti in quantità uguali, l'effetto del loro potere rotatorio si annulla a vicenda e si ha allora una miscela racemica, che sempre si ottiene quando si prepara per sintesi un composto che presenta isomeria ottica.

### ISOMERIA CONFORMAZIONALE:

Si riferisce a isomeri (detti conformeri) aventi uguale configurazione ma diversa conformazione. Mentre nelle isomerie configurazionali per passare da un isomero all'altro è necessaria la rottura di legami chimici, in quella conformazionale tale passaggio si verifica per rotazione attorno al legame semplice C-C.

### ISOMERASI:

Le isomerasi costituiscono una classe di enzimi responsabili delle reazioni di isomerizzazione. Sono distinte in 5 sottoclassi, i cui componenti catalizzano rispettivamente: le reazioni di trasformazione di uno stereoisomero D o L da una serie all'altra; le isomerizzazioni cis/trans; le ossidoriduzioni (aldosi in chetosi, trasferimento di doppi legami); il trasferimento di gruppi acile, fosforile ecc.; le reazioni di deciclizzazione.

## LA CLONAZIONE:

Processo, naturale o artificiale, che porta all'ottenimento di cellule, individui o geni, tutti identici fra loro (cloni). Nel caso della riproduzione asessuale (agamica o vegetativa) degli organismi, gli individui multicellulari o unicellulari originatisi per moltiplicazione sono geneticamente uguali dato che il processo mitotico è di tipo conservativo. Cloni si ottengono dalla riproduzione per scissione di Protozoi, Protisti, Celenterati, Platelminti, Anellidi ecc. Anche con l'isolamento di cellule singole da tessuti vegetali coltivati in vitro si può ottenere lo sviluppo di altrettante piante identiche che costituiranno un clone.

### CLONAZIONE DI INTERI ORGANISMI:

La clonazione si ottiene mediante divisione dell'embrione nelle prime fasi dello sviluppo oppure mediante riproduzione di un essere vivente partendo da una cellula somatica di un altro essere vivente, senza che vi sia fecondazione. Il primo tipo di clonazione si verifica in natura nel caso dei gemelli; nel 1993 R. Stillmann e J. Hall affermarono di aver ottenuto embrioni umani identici mediante il metodo della separazione in vitro di cellule embrionali. Esperimenti del secondo tipo di clonazione erano invece stati effettuati già negli anni 1970 da J. Gurdon nell'anuro africano *Xenopus laevis*: egli inserì per microiniezione nuclei di cellule intestinali di girino in uova nelle quali il nucleo era stato distrutto precedentemente con luce ultravioletta; molte uova non si svilupparono affatto ma un numero significativo di esse diede origine ad adulti normali. Nel 1981 M. Evans dimostrò che alcune linee cellulari coltivate in vitro di embrioni murini, dette *cellule staminali embrionali*, inoculate nella blastocisti di un topo, contribuivano alla formazione di tutti i tessuti del nuovo organismo. Solo molti anni dopo, l'utilizzo delle cellule staminali embrionali sia murine per la formazione di topi transgenici, sia umane per quella che viene comunemente chiamata clonazione terapeutica si è rivelata di notevole importanza. Nel 1997 il ricercatore britannico I. Wilmut annunciò di avere ottenuto in laboratorio una riproduzione di tipo vegetativo di una pecora, chiamata *Dolly*, senza l'apporto del patrimonio genetico dei due gameti maschile e femminile. Wilmut utilizzò il nucleo di una cellula somatica prelevata dal tessuto mammario di un animale adulto e lo inserì in una cellula uovo proveniente da una seconda pecora, dalla quale aveva in precedenza sottratto il nucleo. L'uovo così trattato fu impiantato nell'utero di una terza pecora, che partorì un animale con lo stesso patrimonio genetico della cellula somatica donatrice del nucleo. L'esperimento dimostrò che il processo differenziativo delle cellule non è irreversibile: anche il nucleo di una cellula somatica differenziata di mammifero ha ancora la capacità di

generare un embrione completo. Nel caso descritto il nucleo, il citoplasma e l'utero dove è avvenuta la gestazione appartenevano a individui diversi, pertanto gli animali così ottenuti non si possono considerare veramente identici. Nel citoplasma dell'uovo sono presenti infatti i mitocondri, organelli che contengono informazioni genetiche importanti e che si trasmettono per via materna. Animali veramente identici dovrebbero dunque essere tutti femmine, provenienti dal tessuto somatico e dall'uovo dello stesso animale. Questa scoperta ha aperto tuttavia la strada alla clonazione animale, che è stata successivamente sperimentata con successo anche in altri laboratori.

Nel caso degli animali, quindi, la tecnica più usata è il trasferimento del nucleo di una cellula somatica (SCNT, *Somatic cell nuclear transfer*) in un oocita enucleato, seguito dall'incubazione del costrutto in condizioni adatte allo sviluppo embrionale. Per i mammiferi, questo implica il trasferimento della blastula nell'utero di una femmina accettatrice.

In zootecnia, la clonazione ha il fine di migliorare la qualità degli animali da allevamento, obiettivo che si persegue già da molto tempo mediante incroci selezionati, che però danno sempre un certo grado di variabilità nella progenie. Avere tuttavia animali da allevamento con identico patrimonio genetico, seppure con caratteristiche eccellenti, espone queste specie a rischi elevati dovuti all'assenza di variabilità genetica. La riproduzione sessuale esiste infatti in quasi tutti gli organismi viventi e si è affermata nel corso dell'evoluzione, rispetto a quella agamica, perché è quella che determina maggiore variabilità genetica e quindi maggiore possibilità di sopravvivenza per la specie quando sopravvengono cambiamenti ambientali. Per esempio, dato che, per mutazione, si generano sempre nuovi virus o parassiti, annullare la variabilità individuale per la resistenza ai parassiti in un gregge di pecore comporta il rischio della sua completa distruzione. Una possibile utile applicazione della clonazione è quella di produrre animali geneticamente identici per farne dei produttori di proteine umane (per es., il fattore IX per la coagulazione del sangue), così come le tecnologie di clonazione di geni in cellule batteriche hanno permesso a queste ultime di produrre sostanze utili dal punto di vista farmacologico. Animali clonati potrebbero produrre organi atti al trapianto ed è evidente che, in questi casi, aver eliminato la variabilità genetica individuale costituisce un grande vantaggio. Utili applicazioni potranno inoltre derivare dalla comprensione dei processi che fanno ritornare la cellula allo stadio indifferenziato e totipotente, per poi potersi reinserire nel processo di sviluppo. Questi cambiamenti, fino all'esperimento di clonazione della pecora, non erano considerati possibili. Si è aperta invece così la possibilità di produrre cellule di specifici tessuti delle quali un individuo possa avere bisogno, per esempio nel caso di malattie degenerative del *sistema nervoso*.

## CLONAZIONE DI GENI:

Uno degli scopi principali che la *genetica molecolare* umana si è posta a partire dalla fine degli anni 1980 è quello di identificare e clonare tutti i geni delle malattie ereditarie umane. Un primo traguardo è stato raggiunto con l'avvento della tecnologia del DNA ricombinante e l'uso di una strategia detta clonazione funzionale, che si basa sulla conoscenza della struttura biochimica della proteina interessata e sull'impiego di tale proteina come mezzo per isolare il gene corrispondente. I primi geni eucariotici clonati sono quelli che si esprimono a livelli molto alti in cellule e tessuti specializzati, per esempio i geni che codificano l' $\alpha$  e  $\beta$  globina nei reticolociti dei Mammiferi. Tuttavia, dato che la maggior parte dei geni non è espressa a così alti livelli, si è dimostrata molto utile una serie di tecnologie molecolari che hanno portato a un tipo di clonazione di geni detta clonazione secondo posizione o *clonaggio posizionale*. Con questa tecnica è possibile localizzare e isolare un gene se si conosce la sua ubicazione sulla mappa del genoma e non è necessaria alcuna informazione circa il prodotto genico.

## ASPETTI BIOETICI:

Il problema di come usare le conoscenze scientifiche acquisite sulla clonazione relativamente alle applicazioni all'uomo pone quesiti etici e giuridici di grande rilevanza e di non facile soluzione, che devono essere affrontati con responsabilità dagli esperti dei vari settori scientifici e opportunamente regolamentati da leggi che prendano esclusivamente in considerazione l'interesse primario del miglioramento della salute dell'uomo stesso. A questo proposito, nel 1998 il comitato dei ministri del Consiglio d'Europa ha approvato un protocollo addizionale alla Convenzione sui diritti dell'uomo e la biomedicina (1997), sancendo il divieto della clonazione degli esseri umani. Il protocollo è stato ratificato dall'Italia nel 2001.

La clonazione che abbia come oggetto la creazione di esseri umani è una forma di manipolazione genetica, che può avere diverse finalità: riproduttive (nei casi di sterilità di coppia); terapeutiche (replicare individui per farne riserve di organi e tessuti); migliorative della specie (replicare gli individui migliori e più sani); di selezione del sesso. Essa appare tuttavia moralmente e giuridicamente illecita, in quanto rappresenta una grave violazione dei diritti umani fondamentali, in particolare del principio di parità e di non discriminazione tra gli esseri umani. Con la clonazione, inoltre, si ha un sovvertimento dell'ordine biologico naturale, che invece di andare verso la diversità, conduce alla fissazione del genotipo. Al contrario, si possono ritenere lecite: a) le tecniche biologiche che abbiano per obiettivo la clonazione non di un essere umano, ma di tessuti o di singoli organi, e che abbiano un'esplicita e congrua finalità terapeutica; b) le pratiche di

clonazione animale e vegetale, purché perseguano esplicitamente un adeguato bene umano e ambientale, non implicino sofferenze ingiustificate e non proporzionate al bene da realizzare per gli animali oggetto di sperimentazione, e non comportino attentati o rischi per la biodiversità.

## BIBLIOGRAFIA:

- Ugo Amaldi: “L’Amaldi per i licei scientifico.blu”; Scienze Zanichelli
- James E. Brady, Fred Senese: “Chimica organica e biochimica; Scienze Zanichelli
- Giuseppe Valitutti, Niccolò Taddei, Helen Kreuzer, Adrienne Massey, David Sadava, David M. Hills, H. Craig Heller, May R. Berenbaum: “Dal carbonio agli OGM PLUS; Scienze Zanichelli
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [www.treccani.it](http://www.treccani.it)
- [www.lescienze.it](http://www.lescienze.it)
- [www.focus.it](http://www.focus.it)
- [www.fmboschetto.it](http://www.fmboschetto.it)
- [www.ripmat.it](http://www.ripmat.it)
- [www.blogzero.it](http://www.blogzero.it)