



DALLA FISICA NUCLEARE ALLA BOMBA ATOMICA

*Scoperta, impiego e conseguenze
storico politiche di un innovazione
che cambiò il destino dell'umanità*



Paola Matteo 5^A

a.s. 2014/2015

Liceo Scientifico "L. Da Vinci" – Gallarate

SOMMARIO

❖ I PIONIERI DELLA FISICA NUCLEARE

- Enrico Fermi e “I ragazzi di Via Panisperna”
- Scoperta dei neutroni lenti

❖ REATTORI NUCLEARI

- Fissione nucleare
- Fusione nucleare

❖ LA BOMBA ATOMICA

- Come è fatta
- La detonazione

❖ LA GUERRA FREDDA TRA USA E URSS

- Perché guerra “fredda”
- Il deterrente del conflitto

❖ MUTAZIONI GENETICHE INDOTTE DA RADIAZIONI

- Cos'è una Mutazione
- Le mutazioni possono essere spontanee o indotte
- Effetti delle radiazioni sulla salute

❖ FONTI

I pionieri della fisica nucleare

Enrico Fermi e “I ragazzi di Via Panisperna”

Enrico Fermi



Nacque a Roma il 29 Settembre 1901, già durante il periodo adolescenziale manifestò un profondo interesse per la fisica e per compiere degli studi in materia decise di imparare autonomamente la matematica superiore al fine di affrontare gli studi universitari già approfonditi e grazie all'acquisizione di queste conoscenze iniziò gli studi presso il corso di fisica dell'Università di Pisa.

Durante il periodo universitario, sempre in modo autonomo studia la fisica relativistica e quantistica acquisendo particolare rilievo all'interno dell'ateneo a tal punto da suscitare interesse nei suoi confronti da parte

di docenti che si consultavano con lui in merito agli argomenti che aveva personalmente studiato.

Fermi si laureò nel luglio del 1922, discutendo una tesi sperimentale sulla formazione di immagini con i raggi X; va ricordato però che pubblicò anche notevoli lavori sulla relatività generale già prima di laurearsi.

Grazie a delle borse di studio che ottenne, nel 1923 Fermi si recò in Germania, a Gottinga presso M. Born, e nel 1924 in Olanda, a Leida presso P. Ehrenfest dove poté così finalmente rendersi conto di cosa volesse dire lavorare in un ambiente dove la produzione scientifica era a livelli di avanguardia e dove si aveva modo di discutere i propri problemi con maestri di grande spessore.

Trasferitosi a Leida, Fermi ebbe l'occasione di conoscere Albert Einstein da cui ricevette appoggio e stima acquisendo un ruolo rilevante nel panorama scientifico degli studio pionieristici in ambito nucleare.

I ragazzi di Via Panisperna

Nel 1927 fu assegnata a Fermi la cattedra di fisica teorica all'Università di Roma, la prima cattedra di questo insegnamento mai istituita in Italia. A conferirgli il prestigioso incarico fu Orso Mario Corbino, fisico italiano già ministro della Pubblica Istruzione, che anni prima aveva avuto occasione di intuire le doti scientifiche e didattiche di Fermi. Negli anni trascorsi all'Università di Roma, Fermi si circondò di un gruppo di promettenti allievi, destinati a diventare tra i più importanti fisici italiani del Novecento; con la loro collaborazione compì studi nei campi della spettroscopia, dell'elettrodinamica e della fisica del nucleo. Del gruppo, passato alla storia come “i ragazzi di via Panisperna”, fecero parte Franco Rasetti, conosciuto a Firenze durante gli anni dell'università, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi, Bruno Pontecorvo ed Ettore Majorana.

Scoperta dei neutroni lenti

Nel 1934 Fermi pubblicò la teoria del *decadimento beta*, con la quale fornì una conferma all'ipotesi di Wolfgang Pauli sull'esistenza del neutrino. Nello stesso periodo si dedicò a studi di radioattività artificiale, da poco scoperta da Frédéric e Irène Joliot-Curie; in questo modo determinò il ruolo essenziale dei neutroni nell'induzione delle reazioni nucleari, e in particolare dei **neutroni lenti**, quelli con bassa energia. Per questo importante risultato, nel 1938 fu insignito del premio Nobel per la fisica.

Per neutrone lento si intende un neutrone che una volta emesso da una sorgente perde energia cinetica a causa di urti che ne dissipano l'energia cinetica.

A sostegno della scoperta, Fermi propose la seguente spiegazione: passando attraverso un composto ricco di idrogeno, ovvero in presenza di protoni liberi (H^+), i neutroni cedono circa metà della loro energia ad ogni collisione; nell'urto con nuclei pesanti invece collidono elasticamente, cioè rimbalzano cambiando direzione ma non velocità e quindi non perdono energia. In un composto ricco di idrogeno, come possono essere paraffina e acqua, un fascio di neutroni veloci viene quindi rapidamente frenato e l'energia dei singoli neutroni diviene quella che possiede l'agitazione termica dell'idrogeno.

La probabilità di assorbimento nel nucleo di un neutrone dipende dal tempo che il neutrone passa entro il raggio di cattura del nucleo, essendo i neutroni termalizzati migliaia di volte più lenti di quelli emessi dalla sorgente, la loro efficacia nell'indurre reazioni nucleari è migliaia di volte maggiore.

Questa scoperta sta alla base del funzionamento dei reattori nucleari termici ovvero quei reattori che grazie ad un elemento fissile bombardato da neutroni lenti produce energia.

ANNO V - VOL. II - N. 7-8

QUINDICINALE

15-31 OTTOBRE 1934 - XIII

LA RICERCA SCIENTIFICA

ED IL PROGRESSO TECNICO NELL'ECONOMIA NAZIONALE

Azione di sostanze idrogenate sulla radioattività provocata da neutroni

Nel corso di esperienze sulla radioattività provocata nell'argento da bombardamento di neutroni si sono notate anomalie nella intensità della attivazione: uno spessore di alcuni centimetri di paraffina interposto fra la sorgente e l'argento invece di diminuire l'attivazione la aumenta. In seguito abbiamo potuto constatare che la presenza di grossi blocchi di paraffina circondanti la sorgente e l'oggetto irradiato esalta

l'intensità della attivazione per un fattore che, a seconda delle condizioni geometriche, varia da alcune decine ad alcune centinaia.

In seguito a questa constatazione abbiamo cercato di riconoscere, in modo per ora sommario, le circostanze in cui si presenta questo fenomeno. I fatti che sono emersi fino ad ora sono i seguenti:

a) un preparato di radio senza berillio non produce effetto, ciò che induce ad attribuire i fenomeni ai neutroni e non ai raggi γ ;

b) un effetto approssimativamente della stessa intensità di quello ottenuto colla paraffina si ha coll'acqua. Riteniamo molto probabile che esso dipenda dalla presenza dell'idrogeno perchè sostanze ossigenate prive di idrogeno (NaNO_3) non producono un aumento di attività, almeno nello stesso ordine di grandezza;

c) il fenomeno osservato nel caso dell'argento non si presenta in tutti gli elementi che si attivano con i neutroni. Abbiamo finora constatato che per il silicio, zinco e fosforo non si ha un aumento apprezzabile di intensità, mentre il rame, l'argento e lo iodio danno luogo ad effetti enormemente maggiori di quelli che si avrebbero senza la presenza dell'acqua.

Da questi pochi casi sembra valga la regola che siano sensibili solo quegli elementi che per bombardamento danno luogo a sostanze radioattive isotope con l'elemento di partenza.

Notevole è il caso dell'alluminio, il quale si attiva nell'acqua con un periodo di poco inferiore a tre minuti che corrisponde a quello del Al^{28} estratto dal silicio irradiato. Questa attività, prodotta in condizioni normali, è così debole che quasi sparisce di fronte alle altre dello stesso elemento.

Parimenti lo zinco ed il rame, che danno origine agli stessi prodotti attivi (1) isotopi del rame, in condizioni normali hanno attività dello stesso ordine di grandezza, mentre nell'acqua il rame lascia a grande distanza lo zinco.

Una possibile spiegazione di questi fatti sembra essere la seguente: i neutroni per urti multipli contro nuclei di idrogeno perdono rapidamente la propria energia. E' plausibile che la sezione di urto neutrone-protone cresca al calare della energia e può quindi pensarsi che dopo alcuni urti i neutroni vengano a muoversi in modo analogo alle molecole diffondentesi in un gas, eventualmente riducendosi fino ad avere solo l'energia cinetica competente alla agitazione termica. Si formerebbe così intorno alla sorgente qualcosa di simile ad una soluzione di neutroni nell'acqua o nella paraffina. La concentrazione di questa soluzione in ogni punto dipenderebbe dalla intensità della sorgente, dalle condizioni geometriche della diffusione e da eventuali processi di cattura del neutrone da parte dell'idrogeno o di altri nuclei presenti.

Non è escluso che un simile punto di vista possa avere importanza nella spiegazione degli effetti osservati da Lea (2).

Sono in corso indagini su tutto questo complesso di fenomeni.

Istituto Fisico della R. Università,
Roma, 22 ottobre 1934-XII.

E. FERMI
E. AMALDI
B. PONTECORVO
F. RASETTI
E. SEGRÉ

(1) T. BAZZOK & C. H. WESTCOTT - Nature - 134, 396, 1934.
(2) D. E. LEA - Nature - 133, 34, 1934.

Articolo con il quale Enrico Fermi, insieme agli allievi e collaboratori E. Amaldi, B. Pontecorvo, F. Rasetti e E. Segré, annunciò la fortuita scoperta dei neutroni lenti, il maggior contributo di fisica sperimentale del celebre gruppo di via Panisperna. Grazie a tale scoperta Fermi nel 1938 fu insignito del premio Nobel per la Fisica.

Reattori nucleari

La scoperta dei neutroni lenti ha portato alla realizzazione di reattori nucleari ovvero degli impianti in cui si alimenta e si controlla una reazione nucleare a catena (chain reaction), finalizzata alla produzione di *energia*, di *armi nucleari* o alla *ricerca scientifica*. Esistono due tipologie di reattori nucleari, basati su due tipi di reazione diverse: a fissione e a fusione. Di questi, soltanto i primi hanno un bilancio energetico positivo e sono quindi utilizzati per la produzione di energia elettrica; i reattori a fusione, invece, sono ancora in fase di messa a punto e sperimentazione, al momento non risultano vantaggiosi perché la reazione di fusione richiede una temperatura di 10^7 K.

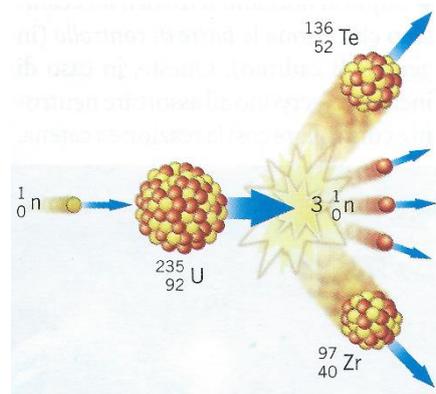
Il primo reattore nucleare a fissione fu costruito e collaudato proprio da Enrico Fermi e dai suoi collaboratori nel dicembre 1942, nella palestra dello stadio universitario di Chicago. Durante l'esperimento fu accertata la possibilità di produrre una reazione a catena di fissione dell'uranio, capace di autosostenersi senza degenerare in esplosione. Da allora nel mondo sono stati progettati e costruiti reattori a fissione di diverso tipo per adattarsi ai diversi scopi.

Fissione nucleare

La fissione nucleare è una reazione nucleare che consiste nella scissione di un nucleo atomico pesante in due nuclei più leggeri, con produzione di neutroni liberi ed energia. La reazione può essere spontanea e quindi parleremo in tal caso di radioattività indotta dall'urto con protoni o neutroni.

I nuclei che vanno incontro a fissione, spontanea o indotta, sono gli isotopi degli elementi più pesanti della tavola periodica, come l'uranio (U), il torio (Th) e il plutonio (Pu). I due frammenti di fissione possono avere masse variabili: in genere è favorita la formazione di un nucleo più leggero, di numero di massa A pari a circa 90, e di uno più pesante, con A vicino a 140. Insieme ai due frammenti vengono emessi da 2 a 4 neutroni liberi. L'emissione di neutroni liberi si deve al fatto che i nuclei fissili, molto pesanti, sono caratterizzati da un numero medio di neutroni proporzionalmente maggiore di quello dei nuclei più leggeri: quando un nucleo si rompe in due frammenti, quindi, i neutroni in eccesso, che non trovano posto nella composizione dei nuclei leggeri, vengono liberati.

Una tipica reazione di fissione indotta è:



Dove un neutrone induce la fissione dell'uranio 235, che si spezza in due frammenti, lo Zirconio 97 e il Tellurio 136 e tre neutroni liberi. La reazione di fissione è sempre accompagnata dal rilascio di una notevole quantità di energia. Per la reazione scritta sopra, la quantità di energia liberata è di circa 200 MeV.

I frammenti di fissione sono sempre elementi altamente radioattivi: prima di raggiungere la stabilità, vanno incontro a decadimenti beta e gamma successivi, con tempi di dimezzamento anche molto lunghi.

Dal punto di vista energetico, le reazioni di fissione sono estremamente vantaggiose perché trasformano un sistema relativamente poco stabile, quale è il nucleo fissile, in due frammenti più stabili; nonostante risulti così vantaggiosa dal punto di vista energetico, la fissione non è tanto frequente quanto ci si potrebbe aspettare: nella maggior parte dei casi non avviene spontaneamente e, se avviene, ha tempi di dimezzamento estremamente lunghi. Tutto ciò dipende dal fatto che la fissione è ostacolata dalla presenza di una barriera di potenziale: se si ipotizza che i due frammenti di fissione siano già preformati nel nucleo padre prima

dell'emissione, risulta che la forza attrattiva con cui sono legati è molto più alta dell'energia a disposizione per vincerla. Secondo la teoria della fissione, due sono i modi per contrastare questa forza attrattiva: penetrare la barriera attraverso il meccanismo quantistico dell'effetto tunnel, o superarla grazie all'apporto di una quantità opportuna di energia dall'esterno. Il primo è il meccanismo che consente la fissione spontanea; il secondo, quello che sta alla base della fissione indotta.

L'enorme quantità di energia emessa nelle reazioni di fissione viene sfruttata per la produzione di energia elettrica, infatti nei reattori nucleari vengono indotte, sostenute e controllate reazioni di fissione in cui il materiale fissile può essere, a seconda dei casi, uranio 235 o plutonio 239. La produzione di neutroni liberi favorisce il sostentamento della reazione: tali particelle, infatti, fungono da proiettili per indurre le reazioni successive e alimentare il processo a catena.

Fusione nucleare

La fusione nucleare è un processo che si ottiene quando, vincendo le forze di repulsione elettrica fra cariche dello stesso segno, due nuclei di elementi leggeri si fondono a formare il nucleo di un elemento più pesante. La fusione nucleare è la reazione che avviene nel nucleo delle stelle, e quindi anche del Sole, producendo enormi quantità di luce ed energia.

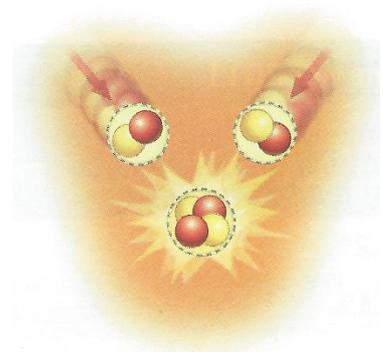
La reazione di fusione nucleare è normalmente ostacolata dalla forza di repulsione elettrica (o coulombiana) dunque se la reazione riesce a realizzarsi è perché, a distanze estremamente ravvicinate, sulla forza di repulsione coulombiana predomina la forza di attrazione nucleare (interazione nucleare forte).

Questa forza provoca la fusione dei nuclei e il conseguente rilascio di una quantità di energia pari alla differenza fra i valori delle masse prima e dopo la reazione; su scala nucleare, infatti, vale l'equivalenza di massa ed energia ($E = mc^2$). In generale, si osserva che la somma delle masse dei singoli costituenti di un nucleo è maggiore della massa del nucleo nel suo insieme: questa differenza di massa, e quindi di energia, è chiamata "difetto di massa" e viene appunto liberata nel processo di fusione nucleare, energia che solitamente è dell'ordine di alcuni MeV.

Per avvicinare i nuclei a tal punto da vincere la forza repulsiva coulombiana ed entrare nel range della forza di interazione forte, è necessario spendere dell'energia dall'esterno. Se il bilancio fra l'energia ottenuta nella reazione e quella spesa per vincere la forza di repulsione tra i nuclei è positivo, la fusione diventa un metodo estremamente conveniente, non pericoloso e non inquinante per produrre energia elettrica. Una reazione tipica di fusione è quella in cui un nucleo di deuterio e uno di trizio si fondono per formare un nucleo di elio, rilasciando 17,6 MeV di energia.

La prima fusione nucleare artificiale fu realizzata all'inizio degli anni Trenta del Novecento, mediante il bombardamento di un bersaglio di deuterio, con nuclei di deuterio ad alta energia accelerati da un ciclotrone; il bilancio energetico della reazione fu negativo, poiché doveva essere impiegata molta energia per accelerare i nuclei. Un considerevole rilascio netto di energia per fusione fu ottenuto per la prima volta negli anni Cinquanta, nell'ambito delle sperimentazioni sulle armi nucleari da parte di Stati Uniti, Gran Bretagna, Unione Sovietica e Francia. In questo caso il bilancio energetico fu positivo, ma il rilascio fu breve e incontrollato, e pertanto non utilizzabile per la produzione di energia elettrica.

Il principale ostacolo alla realizzazione in laboratorio della fusione nucleare è l'avvicinamento dei nuclei fino a distanze subatomiche che richiede molta energia.



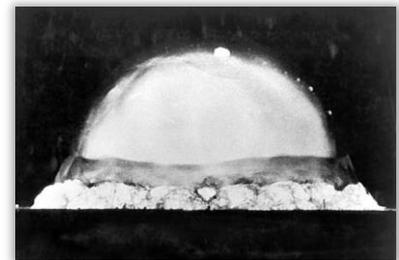
La Bomba Atomica

“Da quando è stata approntata la prima bomba atomica nessun tentativo è stato fatto per rendere il mondo più sicuro dalla guerra, mentre molto è stato fatto per aumentare la capacità distruttrice della guerra stessa.”

(Albert Einstein)

Come è fatta

La bomba atomica è un ordigno esplosivo progettato per liberare energia nucleare su grande scala, la prima bomba atomica fu sperimentata il 16 luglio 1945 nei pressi di Alamogordo nel New Mexico e segnò l'avvento di una nuova era in cui l'uomo dispone di un arma con una potenza tale da poter creare eventi catastrofici per l'umanità stessa. L'esplosione della bomba atomica si basa sul principio della reazione di fissione nucleare accompagnata da una rapida emissione di neutroni veloci, uguali a quelli che hanno innescato la fissione del nucleo di uranio; ciò consente l'inizio della cosiddetta reazione a catena, che consiste in una serie autoalimentata di fissioni nucleari con progressivo aumento di energia.



Una sostanza come l'uranio, capace di sostenere una reazione di fissione a catena è detta **sostanza fissile**. La quantità minima di materiale fissile necessaria per mantenere una reazione a catena è detta **massa critica**. Con l'incremento della dimensione della massa critica si ottiene una massa supercritica, nella quale le generazioni successive di fissioni aumentano molto rapidamente, conducendo a un'esplosione come conseguenza dello sviluppo estremamente rapido di un'enorme quantità di energia.

In una bomba atomica, una massa di materiale fissile di dimensioni maggiori del valore critico viene divisa in più parti non critiche che al momento della detonazione vengono ravvicinate e tenute insieme per circa un milionesimo di secondo, così da costituire istantaneamente la massa critica; ciò consente che la reazione a catena si propaghi prima dell'esplosione della bomba. Un materiale pesante, detto tamper, circonda la massa fissile in modo da prevenirne una disintegrazione prematura e da ridurre il numero di neutroni che sfuggono alla reazione.

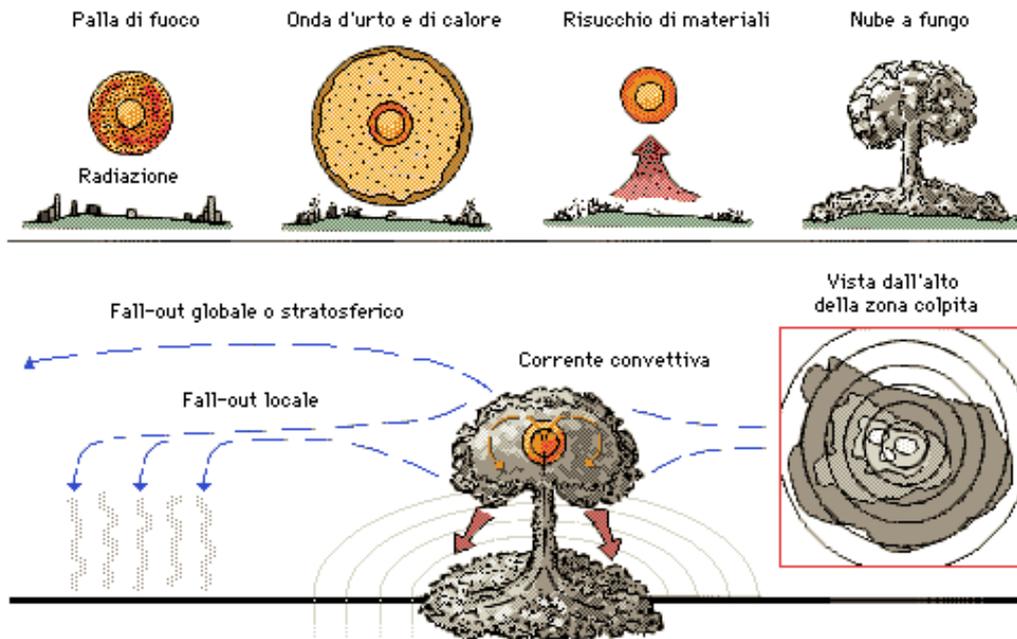
La detonazione

La detonazione di una bomba atomica può avvenire in diverse modalità: quella più semplice prevede che un proiettile di materiale fissile viene sparato contro un bersaglio a sua volta di materiale fissile, in modo che le due masse si uniscano in un insieme supercritico. La bomba atomica fatta esplodere su Hiroshima il 6 agosto 1945 era un'arma di questo tipo, della potenza di circa 20 kiloton.

Un altro metodo più complesso definito ad implosione viene utilizzato in un'arma di conformazione sferica in cui la parte più esterna della sfera consiste di uno strato di esplosivo tradizionale, disposte in modo da concentrare l'esplosione verso il centro della bomba (implosione). Al centro si trova un nocciolo di materiale fissile che viene compresso dalla potente onda di pressione diretta verso l'interno. La bomba del test di Alamogordo e anche quella sganciata su Nagasaki il 9 agosto 1945, entrambe con una potenza di 20 kiloton, erano del tipo a implosione.

Gli effetti dell'esplosione di una bomba atomica sono dovuti a una combinazione di fattori di natura diversa: in primo luogo, si generano violente onde d'urto dovute all'espansione rapidissima dei gas in essa generati; in secondo luogo, viene incenerito tutto quanto viene investito dalla nube gassosa, che raggiunge temperature elevatissime; inoltre, vengono emesse radiazioni (perlopiù raggi gamma e neutroni) che danneggiano gravemente la struttura nucleare di tutti i corpi investiti, rendendoli a loro volta radioattivi. La caratteristica nube a fungo che si forma in seguito all'esplosione favorisce la dispersione dei gas e delle scorie radioattive su un'area vastissima intorno al sito dell'esplosione.

Osservando la seguente immagine, possiamo vedere come l'esplosione di una bomba atomica, visibile in una palla di fuoco, produce un'intensa emissione radioattiva, contemporaneamente a onde d'urto e di calore, che distruggono tutto quanto si trova nelle immediate vicinanze. Le polveri e i detriti risucchiati dal terreno concorrono a formare una nube di fumo dalla tipica forma a fungo. La ricaduta al suolo (fall-out) dei detriti divenuti radioattivi dipende dai processi dinamici dell'atmosfera e può causare danni ad aree anche molto estese.



La Guerra fredda tra USA e URSS

Perché guerra “fredda”

La guerra fredda è il conflitto strategico tra Stati Uniti d'America e Unione Sovietica che simboleggia la corsa alla supremazia tecnologica di due potenze mondiali che a tutti i costi sono intenzionate ad affermare la propria superiorità tramite il miglioramento e il rafforzamento di armi di distruzione di massa o il progresso in campo spaziale che vide approdare l'astronauti americani Neil Armstrong e Buzz Aldrin sul suolo lunare il 20 Luglio 1969. La contrapposizione tra USA e URSS e la divisione del mondo in due blocchi prende il nome di Guerra fredda, perché non fu una guerra tradizionale, ma fu una guerra di spionaggio in quanto i servizi segreti contrapposti, la statunitense CIA e il sovietico KGB, cercavano di sottrarsi reciprocamente segreti militari e tecnologici; fu anche una guerra di propaganda perché USA e URSS si dipingevano a vicenda negativamente promulgando manifesti offensivi.

Il deterrente del conflitto

La guerra tra USA e URSS non sfociò mai ad un vero confronto militare, perché entrambi i contendenti si dotarono di un grande arsenale nucleare. Hiroshima e Nagasaki avevano mostrato che una terza guerra mondiale basata sull'uso delle armi atomiche non sarebbe stata possibile, perché avrebbe comportato la distruzione dell'intera umanità. Così tra USA e URSS si venne a creare un equilibrio, basato però non sul reciproco rispetto ma sulla reciproca paura. Questo conflitto si concretizzò di fatto nelle preoccupazioni riguardanti le armi nucleari perché da entrambe le parti era radicato il pensiero che la semplice esistenza di armi atomiche letali fosse un deterrente sufficiente a impedire la guerra vera e propria. Tale clima di tensione influi significativamente non solo sulle relazioni internazionali in ambito economico e politico, ma ebbe anche ripercussioni sulla popolazione delle due potenze in conflitto anche a livello ideologico. Durante tutta la guerra fredda gli arsenali nucleari delle due superpotenze vennero costantemente aggiornati e ingranditi fino ad arrivare agli ultimi anni del conflitto nei quali vennero negoziati una serie di accordi, denominati accordi SALT, che portarono a sostanziali riduzioni del numero di ordigni strategici all'interno dell'arsenale.



Furono necessarie molte attenzioni e una buona dose di diplomazia per sedare sul nascere alcuni conflitti armati, al fine di prevenire una "guerra calda" che avrebbe rischiato di estendersi e intensificarsi.

Nonostante ciò in alcune occasioni la tensione tra i due schieramenti divennero conflitti armati che sfociarono in diverse guerre, in Corea, in Africa, nel Vietnam, l'invasione sovietica dell'Afghanistan e gli scontri in America Centrale.

Altri conflitti erano ancor più sotterranei, perpetrati attraverso atti di spionaggio, con spie e traditori che lavoravano sotto copertura da entrambe le parti; in molti casi questo tipo di conflitto portò all'uccisioni di individui di entrambe le potenze eseguiti dai vari servizi segreti.

La guerra tra agenti, nello spionaggio reciproco di obiettivi civili e militari potrebbe aver causato la maggior parte delle vittime della guerra fredda. Le spie inviate, quando venivano scoperte, a seconda dell'accordo politico vigente, venivano uccise immediatamente o arrestate e successivamente scambiate con altri agenti o utilizzate come esca, la sciate libere di agire, anche se sotto controllo, per poter individuare altri componenti che costituivano la rete spionistica avversaria, o per fornire false informazioni create a scopo di destabilizzare l'avversario.

Mutazioni genetiche indotte da radiazioni

Cos'è una Mutazione

Con il termine mutazione si intende la modificazione della normale struttura di un gene, di un cromosoma o di un cariotipo, trattandosi rispettivamente di mutazione genetica (o puntiforme), cromosomica o genomica. Tali mutazioni possono avvenire in modo spontaneo o indotto; nel caso delle mutazioni indotte entrano in gioco degli agenti mutageni che determinano il verificarsi della modificazione; tra i principali agenti mutageni troviamo fattori chimici ovvero alcune sostanze chimiche, fattori biologici quali i retrovirus ma anche fattori fisici, dei quali parleremo, come le radiazioni.

Prima di iniziare ad analizzare le mutazioni indotte da radiazioni è necessario capire come si differenziano le diverse mutazioni analizzandone alcuni aspetti:

Le mutazioni possono essere spontanee o indotte

Mutazioni spontanee

Le mutazioni spontanee possono verificarsi a livello delle cellule somatiche di un organismo (cioè delle cellule che non hanno funzione riproduttiva), e possono risultare anche letali, ma non si trasmettono alla progenie; se invece esse colpiscono le cellule riproduttive (gameti), si possono ripercuotere sui figli degli individui mutati.

Le mutazioni spontanee possono essere causate da diversi fattori:

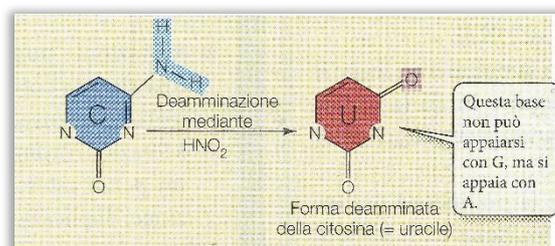
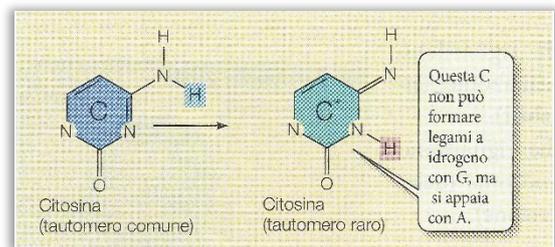
- Le quattro basi nucleotidiche che compongono il DNA possono assumere una forma rara che causa l'appaiamento con una base errata (ricordiamo che gli appaiamenti sono A-T e C-G).
- Le basi cambiano in seguito ad una reazione chimica di deaminazione con cui la base azotata perde un gruppo amminico trasformando la Citosina in Uracile e generando un errore nella duplicazione.
- Le mutazioni possono provenire anche da errori dall'enzima polimerasi durante la duplicazione del DNA che può legare basi sbagliate; solitamente questo tipo di errori viene corretto al termine della duplicazione.
- Il meccanismo della meiosi potrebbe non funzionare correttamente causando la non-disgiunzione ovvero la mancata separazione dei cromosomi omologhi durante la meiosi provocando un eccesso o un difetto di cromosomi. Durante la meiosi inoltre si potrebbe verificare delezione, duplicazione, inversione o traslocazione.

Mutazioni indotte

Le mutazioni indotte, prodotte da vari fattori esterni all'organismo, possono verificarsi in modo accidentale o essere guidate dall'uomo durante l'esecuzione di particolari esperimenti, per esempio in seguito alla necessità di ottenere rapidamente organismi o cellule mutanti su cui eseguire particolari studi di genetica. Quelle che causano danni nell'organismo umano possono avvenire per la sostituzione casuale di basi azotate indotte da sostanze chimiche come la nicotina; altro fattore che induce mutazioni sono le radiazioni ovvero raggi X e raggi UV.

Mutazioni genetiche o puntiformi

Questo tipo di mutazione si manifesta nel momento in cui insorge un errore durante la duplicazione dell'acido desossiribonucleico (DNA), nonostante tale duplicazione avvenga con un meccanismo estremamente preciso. Se si verificano errori il nuovo frammento di DNA può contenere uno o più nucleotidi



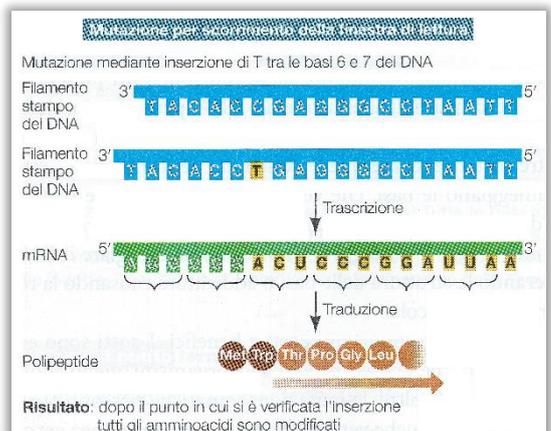
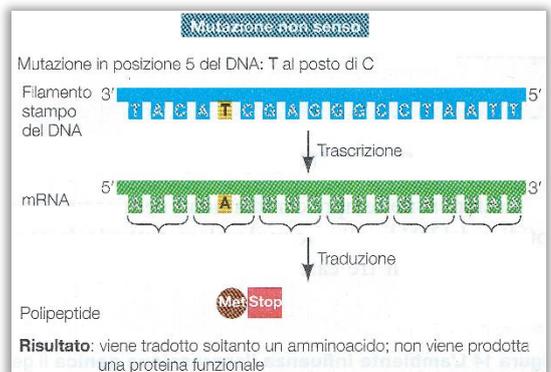
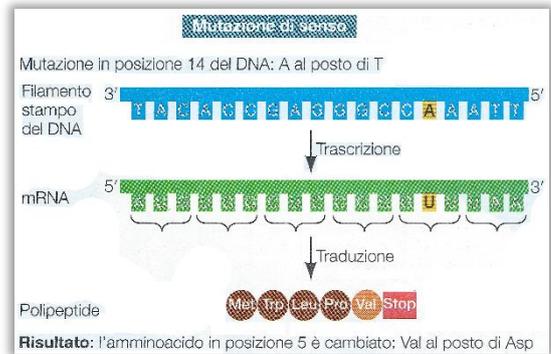
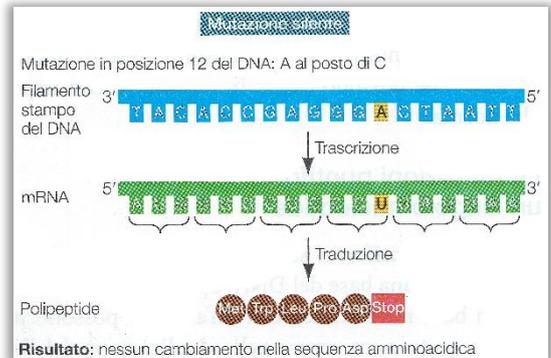
diversi dall'originale. Questi errori, che rappresentano appunto le mutazioni, possono avvenire in qualunque punto del DNA: se avvengono in una sequenza di DNA codificante per un particolare polipeptide, nella catena polipeptidica si può avere la variazione di un singolo amminoacido o anche un'alterazione più grave della proteina risultante. Un chiaro esempio è l'anemia falciforme, causata da una mutazione genetica che determina la sintesi di una molecola di emoglobina mutante, la quale differisce dalla forma normale per un singolo amminoacido. Quando una mutazione avviene nel patrimonio genetico dei gameti, essa può essere trasmessa alle generazioni successive.

La maggior parte delle mutazioni geniche sono **silenti**, ossia non producono alcuna variazione che si manifesti a livello del fenotipo cioè nella modificazione del carattere; questo è possibile perché il codice genetico è definito *degenerato* ovvero: uno dei 19 amminoacidi può essere prodotto da più di uno dei 60 codoni codificanti, dunque una casuale modificazione è definita silente quando in un codone viene sostituita una base azotata che alla formazione di un codone che produce lo stesso amminoacido.

Le **mutazioni di senso** sono mutazioni in cui la sostituzione di alcune basi modifica il messaggio genetico codificante causando un'anomalia nella proteina che verrà prodotta perché sarà presente un amminoacido piuttosto che un altro. Un esempio di questa mutazione è l'anemia falciforme, una malattia dei globuli rossi in cui l'emoglobina differisce per una sola base producendo un amminoacido diverso. In alcuni casi il processo di evoluzione a partire da una mutazione di senso può accrescere l'efficienza di una funzione corporea.

Anche le **mutazioni non senso** anche queste sono date dalla sostituzione di una base azotata, ma sono più distruttive perché la sostituzione causa la formazione di un codone di stop all'interno della catena polipeptidica che darà forma ad una proteina più breve ed inattiva.

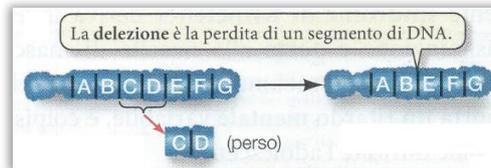
Le **mutazioni per scorrimento della finestra di lettura** sono le mutazioni che interessano una coppia di basi azotate che si inserisce nella sequenza di DNA o che viene rimossa. Il nome di questo tipo di mutazione deriva dal fatto che la presenza o l'assenza di basi azotate nella sequenza del messaggio genetico crea problemi al filamento di mRNA per l'accoppiamento delle basi alterando la codificazione che viene spostata di una base dal momento in cui trova la base anomala; questa mutazione porta alla formazione di proteine inattive.



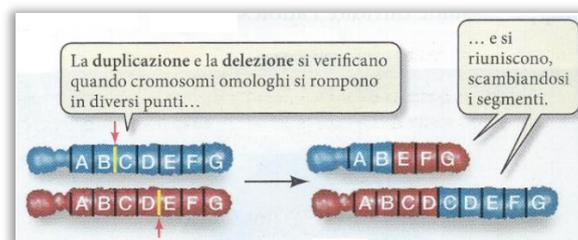
Mutazioni cromosomiche

La sostituzione di un nucleotide con un altro non è il solo tipo di mutazione possibile. Talvolta un nucleotide può andare perso completamente, oppure ne può essere acquisito uno nuovo. Inoltre, possono avvenire cambiamenti più evidenti, come le alterazioni di forma o di numero di cromosomi, cioè alterazioni a livello del cariotipo; queste alterazioni sono 4:

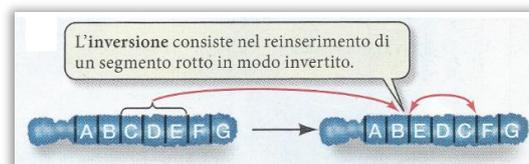
La **delezione** ovvero la rimozione di una porzione del materiale genetico.



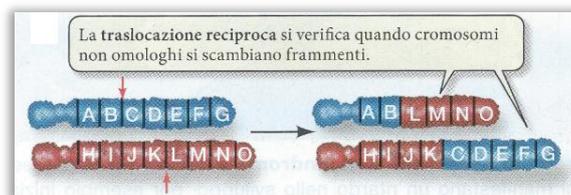
La **uplicazione** che associata alla delezione può interessare due cromosomi omologhi che si rompono in due punti diversi e si scambiano ciascuno un frammento di genoma.



L'**inversione** si ha quando un frammento di cromosoma rotto si assembla nuovamente subendo però un'inversione che modifica la sequenza di basi.



La **traslocazione** si ha quando un segmento di DNA si stacca da un cromosoma e si inserisce in un altro, le traslocazioni possono anche essere reciproche.



Effetti delle radiazioni sulla salute

Abbiamo visto quali episodi nel corso della storia hanno costituito situazioni catastrofiche a livello di contaminazione radioattiva che hanno generato ripercussioni sugli individui che abitavano e abitano le zone interessate dai bombardamenti della seconda guerra mondiale e più recentemente l'esplosione del reattore nucleare di Chernobyl.

Le radiazioni che possono agire sulle cellule di un essere vivente causando modificazioni sono dette radiazioni ionizzate; esse possono interagire mediante energia sulle molecole delle strutture cellulari causando talvolta danni anche permanenti alle funzioni vitali delle cellule stesse. Le componenti cellulari che maggiormente risentono dell'azione delle radiazioni sono gli acidi nucleici che contengono l'informazione genetica e che

quindi una volta modificati possono causare ingenti danni, soprattutto quando le radiazioni interagiscono con il DNA dei cromosomi.

I danni al DNA cellulare possono essere prodotti secondo due modalità: direttamente dalle radiazioni incidenti o indirettamente dalle aggressioni chimiche generate dall'interazione delle radiazioni con le molecole di acqua contenute all'interno dei tessuti.

Modalità di contaminazione radioattiva

Un organismo può entrare a contatto con delle radiazioni in modi diversi, per irraggiamento, per inalazione o per ingestione. A seconda del tipo di contaminazione radioattiva e del tipo di tessuto interessato le cellule di un organismo possono riportare danni più o meno gravi. Le cellule più radiosensibili ovvero quelle più soggette a manifestare una mutazione da radiazione sono quelle con un elevato indice di proliferazione, come quelle della cute, del midollo osseo e delle gonadi; sono invece definiti radio resistenti i tessuti con cellule che hanno scarsa capacità proliferativa, come il sistema nervoso, i muscoli, i reni ed il fegato.

Alla base di questa distinzione tra cellule radiosensibili e radio resistenti c'è l'indice di proliferazione perché cellule che si riproducono a velocità ed in quantità elevata hanno molte più probabilità di incorrere in una delle mutazioni che abbiamo analizzato prima.

Cosa accade alle cellule modificate e all'organismo

Le mutazioni causate da radiazioni ionizzanti in un organismo portano tendenzialmente alla formazione di cellule tumorali; tuttavia un organismo sano è in buona parte capace di rimediare ai danni potenzialmente cancerogeni provocati dalle radiazioni. L'organismo umano infatti mette in atto dei meccanismi di difesa che funzionano continuamente garantendo protezione sia immediatamente a livello molecolare con la riparazione del DNA danneggiato, sia in un secondo momento attraverso l'eliminazione, da parte del sistema immunitario, di cellule mutate geneticamente e potenzialmente tumorali.

Un eventuale mal funzionamento di questi meccanismi di difesa può costituire un accorciamento dell'aspettativa di vita perché le mutazioni da radiazioni ionizzate possono causare malattie quali danni dell'apparato cardiocircolatorio, ma soprattutto come abbiamo già detto l'insorgere di tumori.

Le radiazioni della Bomba Atomica

Gli effetti biologici dell'esposizione alle radiazioni causate dall'esplosione di una bomba atomica possono essere strettamente legati all'individuo colpito, dovuti ad una rottura del cromosoma che si trova vicino alla zona d'impatto della radiazione che una volta diviso la possibilità di andare incontro alle mutazioni cromosomiche di cui abbiamo parlato. Altro possibile effetto è il rallentamento o l'arresto della crescita della cellula ad un particolare stadio del suo ciclo.

Tali effetti da contaminazione radioattiva possono essere anche legati alla progenie degli individui contaminati infatti si osservano nelle generazioni successive dei casi di esseri mutanti generati a seguito di alterazioni delle cellule germinali, si tratta di individui con alcune informazioni genetiche variate rispetto a quelle dei genitori e i cui effetti si farebbero sentire per svariate generazioni.

Fonti

- Microsoft® Encarta®. © 1993-2008 Microsoft Corporation. Tutti i diritti riservati.
- <http://www-2.enea.it/it>
- <http://www.treccani.it/>
- “L’Amaldi per i licei scientifici.blu” – Ugo Amaldi
- “Biologia A+B - La scienza della vita” - Sadava, Heller, Orians, Purves, Hillm.
- “MilleDuemila Un mondo al plurale” – Valerio Castronovo
- Cos'è la Guerra Fredda - <https://www.youtube.com/watch?v=mH4gvD1PoXI>