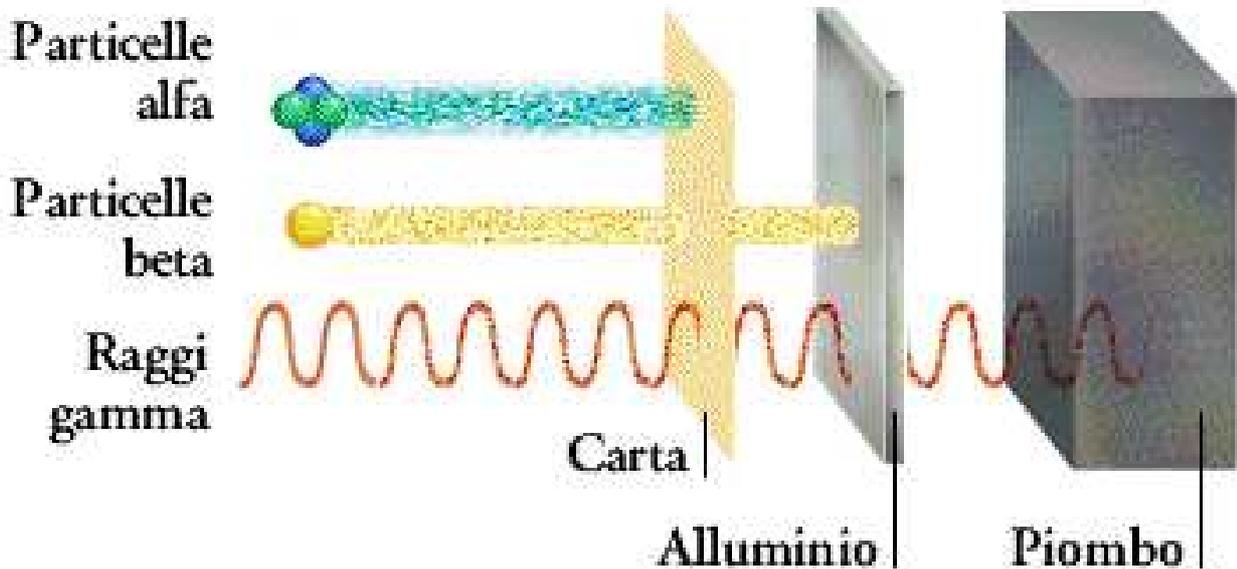


# *RADIOATTIVITA'*

## *tra*

### *possibilità e rischi*



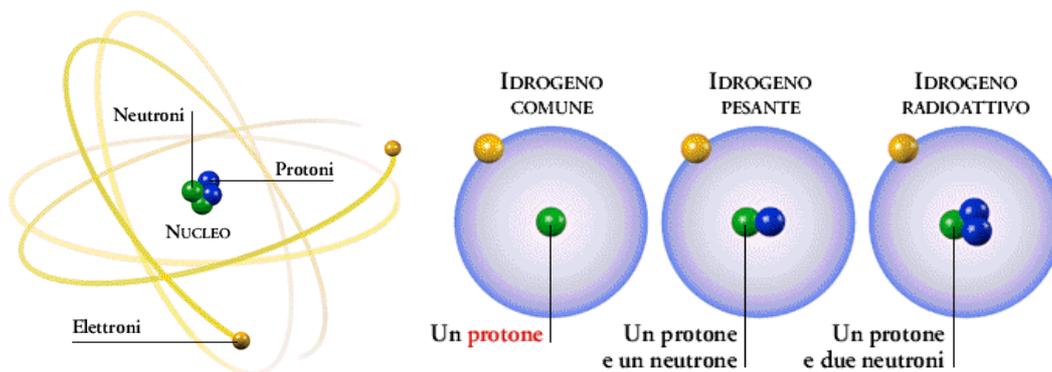
## L'atomo radioattivo

### [chimica, fisica]

Tutti i nuclei atomici, escluso quello dell'idrogeno, hanno più di un protone. Ciò che lega i nucleoni e impedisce loro di separarsi per la **forza di Coulomb\*** è la cosiddetta *forza nucleare forte* o *forza adronica*. Quando un nucleo ha un grande numero di protoni e pochi neutroni che li separano, questa forza diminuisce e il nucleo può risultare instabile.

Una possibile conseguenza di questa instabilità può essere la fissione, però solo un isotopo naturale, l'uranio-235, segue questa via. Tutti gli altri isotopi instabili acquistano stabilità emettendo piccoli frammenti nucleari e spesso, contemporaneamente, radiazioni elettromagnetiche ad alta energia.

Gli isotopi i cui nuclei emettono particelle o radiazioni sono chiamati **radionuclidi**. L'emissione è chiamata **radioattività** o **decadimento radioattivo** e le sostanze che decadono sono dette **radioattive**. Gli isotopi naturali radioattivi sono circa una cinquantina su 350 isotopi naturali.



I nuclei radioattivi decadono in un altro nucleo (*trasmutazione*: trasformazione di un isotopo in un altro) mediante l'emissione di radiazioni. Si osservano tre tipi di radiazioni:

- Radiazioni alfa
- Radiazioni beta
- Radiazioni gamma

\*secondo la quale la forza elettrica esercitata da una carica su un'altra è inversamente proporzionale al quadrato della distanza e direttamente proporzionale al prodotto delle cariche per una costante  $k$  chiamata costante di Coulomb.

$$F = k q_1 q_2 / r^2$$

dove

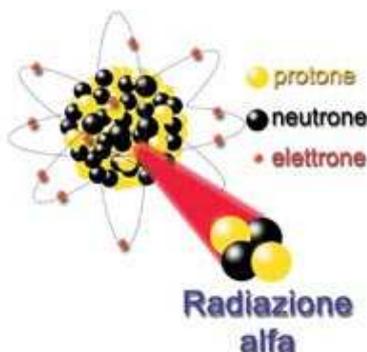
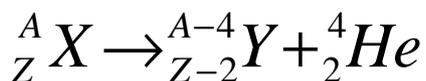
$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$$

### Radiazioni alfa

Le radiazioni alfa sono costituite da uno sciame di nuclei di atomi di elio, chiamate particelle alfa. Le particelle alfa sono costituite da 2 protoni, 2 neutroni e hanno carica  $2+$  perché sprovviste di elettroni. In genere i nuclei che tendono a trovare stabilità mediante il decadimento alfa sono per lo più nuclei molto pesanti (generalmente con un numero atomico  $>$  di 83). Perdendo due protoni l'elemento indietreggia di due posizioni nella tavola periodica degli elementi. Nella maggior parte dei casi il discendente di un nucleo radioattivo è spesso radioattivo anch'esso e decade con decadimento alfa o beta, o con entrambi; pertanto si parla di **catena di decadimento** di un isotopo, intendendo la sequenza di decadimenti che tale atomo percorre. Quasi tutte le catene di decadimento finiscono con un isotopo del piombo, che è un elemento stabile.

Le particelle  $\alpha$ , quando sono emesse, escono dall'atomo ad una velocità che è circa un decimo di quella della luce. La loro massa, però, impedisce alle particelle alfa di andare molto lontano: nell'aria riescono a viaggiare solo per alcuni centimetri perché collidono con le molecole presenti, catturando elettroni e trasformandosi così in atomi di elio neutri. Per lo stesso motivo le particelle alfa non riescono a penetrare attraverso la pelle, ma ad un'esposizione intensa può provocare ustioni.

Un esempio di radiazione alfa lo si ha con l'uranio-238 che diventa torio-234 con la liberazione di elio-4.



### Radiazioni beta

Le radiazioni beta sono costituite da sciami di elettroni, chiamati particelle beta.

Il decadimento beta si verifica per i nuclei che hanno troppo o troppo pochi neutroni per la stabilità.

-Se un nucleo ha troppi neutroni nel processo di decadimento un neutrone del nucleo si trasforma in un protone con la liberazione di un elettrone (particella beta negativa).



Un esempio di radiazione beta con l'emissione di un elettrone lo si ha con il trizio-3 che diventa elio-3 e libera un elettrone.

-Se un nucleo ha troppi pochi neutroni, allora nel processo di decadimento un protone si trasforma in un neutrone con l'emissione di un **positrone** (particella beta positiva). I positroni sono particelle con la massa di un elettrone e una carica positiva. Essi non hanno vita lunga in quanto, appena colpisce un elettrone, essi si distruggono a vicenda generando due fotoni di radiazione gamma chiamati *fotoni di radiazione annichilente*.



Un esempio di radiazione beta con l'emissione di un positrone lo si ha con il cobalto-54 che decade in ferro-54 (stabile) ed emette un positrone.

Gli elettroni e i positroni emessi nel decadimento beta non esistono nel nucleo, ma vengono creati nel processo di decadimento. Nel decadimento beta il numero di massa resta invariato, mentre il numero atomico aumenta o diminuisce di uno.

Le particelle beta negative (elettroni) hanno numero di massa uguale a 0, numero atomico uguale a -1 e carica uguale a 1-. Anche le particelle beta positive (positroni) hanno numero di massa uguale a 0, ma hanno numero atomico uguale a +1 e carica uguale a 1+.

Poiché gli elettroni hanno una massa più di 7000 volte minore di quelle delle particelle alfa, una particella beta ha una minore probabilità di collidere con le molecole presenti nella materia in cui penetra. Le molecole beta possono percorrere fino a 300cm, ma solo le particelle beta con più alta energia riescono a penetrare la pelle.

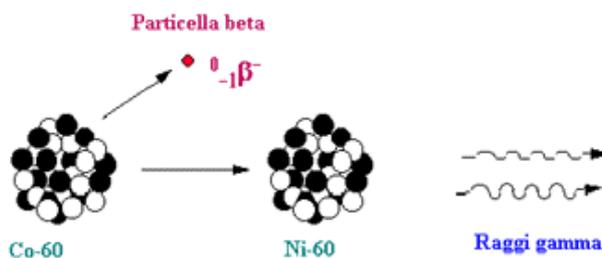
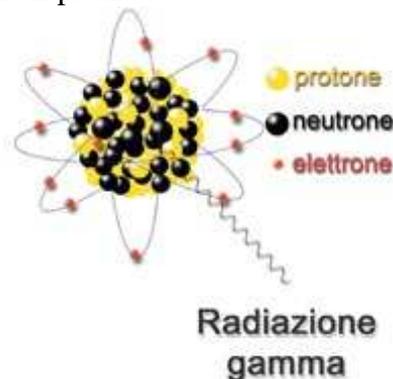


### Radiazioni gamma

Le radiazioni gamma sono costituite da fotoni ad alta energia emessi da alcuni radionuclidi, in questo modo un nucleo in uno stato eccitato ( per mezzo emissione di particelle alfa o beta) decade in uno stato di energia minore e più stabile.

I fotoni gamma hanno energie molto elevate, sono privi di massa e di carica, e di solito la loro emissione si verifica molto rapidamente; la si osserva solo perché di solito essa segue un decadimento alfa o beta.

Le radiazioni gamma sono estremamente penetranti e possono essere bloccate soltanto con schermi fatti di materiale molto denso, come il piombo.



L'unità di energia più comunemente usata per descrivere l'energia delle radiazioni è l'elettronvolt. 1 **elettronvolt (eV)** è l'energia di un elettrone quando viene accelerato da una differenza di potenziale (ddp) di 1 volt:

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{(-19)} \text{ J}$$

Un esempio di decadimento gamma lo abbiamo con il cobalto-60, usato nella terapia del cancro, che genera fotoni con energia di 1,173 MeV.

**DOSIMETRIA [chimica, fisica]**

I fisici hanno sviluppato molti metodi per rilevare, registrare e misurare le radiazioni generate da radionuclidi.

La maggior parte sono basati sulla capacità di formare ioni quando penetrano nella materia, cioè alla ionizzazione (cioè generazione di particelle cariche elettricamente) prodotta .

Per misurare questi effetti si usano due diverse grandezze:

-La dose assorbita

-La dose equivalente

-Per misurare la **dose** di radiazione **assorbita** da un certo materiale si usa comunemente il **rad** (**r**adiation **a**bsorbed **d**ose). 1 rad corrisponde all'assorbimento di  $10^{-5}$  J per grammo di tessuto. Nel Sistema Internazionale l'unità di dose assorbita è chiamata **gray (Gy)**; 1 gray corrisponde a 1 J di energia assorbita da un chilogrammo di materiale assorbente:

$$1 \text{ rad} = 10^{-5} \text{ J / g}$$

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J / Kg}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Uno degli inconvenienti del rad è determinato dal fatto che il danno causato dalla radiazione assorbita è funzione non solo della sua energia, ma anche del tipo di radiazione; i neutroni sono ad esempio 10 volte più pericolosi delle radiazioni beta con la stessa energia ed intensità.

Per tener conto di queste differenze, gli scienziati hanno introdotto una unità chiamata **rem** (**r**adiation **e**quivalent for **m**an). Una dose in rem viene calcolata moltiplicando la dose in rad per un fattore che tiene conto della efficacia del tipo di radiazioni nel causare danni:

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} * \text{QF}$$

dove QF (fattore di qualità) è un fattore che è stato tabulato per le particelle alfa, per i protoni e per i neutroni di diverse energie.

L'unità SI della dose equivalente è il **sievert (Sv)**, definito come il prodotto del gray per il fattore di qualità:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} * \text{QF}$$

Quando le dosi sono calcolate in rem, il pericolo totale a cui qualcuno è stato soggetto può essere calcolato semplicemente sommando i rem corrispondenti a ciascuna radiazione.

La nostra conoscenza degli effetti di grandi dosi di radiazioni deriva principalmente da studi effettuati sulle vittime delle esplosioni nucleari:

dosi < di 25 rem sull'intero corpo non hanno effetti immediati

dosi > di 100 rem danneggiano i tessuti emopoietici (che producono sangue)

dosi > di 500 rem sono letali

Se le dosi sono tra i 100 e i 500 rem, si raddoppia la possibilità di morire di tumore.

**DECADIMENTO RADIOATTIVO [fisica]**

Nel 1900, Rutherford scoprì che il numero di particelle radioattive emesse da una sostanza nell'unità di tempo non era costante nel tempo, ma diminuiva esponenzialmente. Risulta che il numero di decadimenti in un intervallo  $\Delta t$  è proporzionale al numero di atomi presenti.

Sia  $N$  il numero di nuclei radioattivi presenti in un certo tempo  $t$ , ci aspettiamo che il numero di nuclei che decadono in un certo intervallo di tempo  $\Delta t$  sia direttamente proporzionale a  $N$  e a  $\Delta t$ .

A causa di questi decadimenti, il numero  $N$  diminuirà; la variazione di  $N$ ,  $\Delta N$ , è data da:

$$\Delta N = -\lambda N * \Delta t$$

dove  $\lambda$  è la costante di proporzionalità chiamata **costante di decadimento**. La variazione nel tempo di  $N$ ,  $(\Delta N / \Delta t)$ , è direttamente proporzionale a  $N$ : questo fatto è caratteristico del decadimento esponenziale.

Risolvendo l'equazione:

$$\Delta N = -\lambda N * \Delta t \quad \rightarrow \quad N = N_0 * e^{(-\lambda * t)}$$

Dove  $N_0$  è il numero di nuclei nell'istante  $t = 0$ .

Il numero di nuclei che decadono in ogni dato intervallo di tempo è chiamata **attività R**:

$$R = -\Delta N / \Delta t$$

L'inverso della costante di decadimento  $\lambda$  è chiamato **vita media  $\tau$** :

$$\tau = 1 / \lambda$$

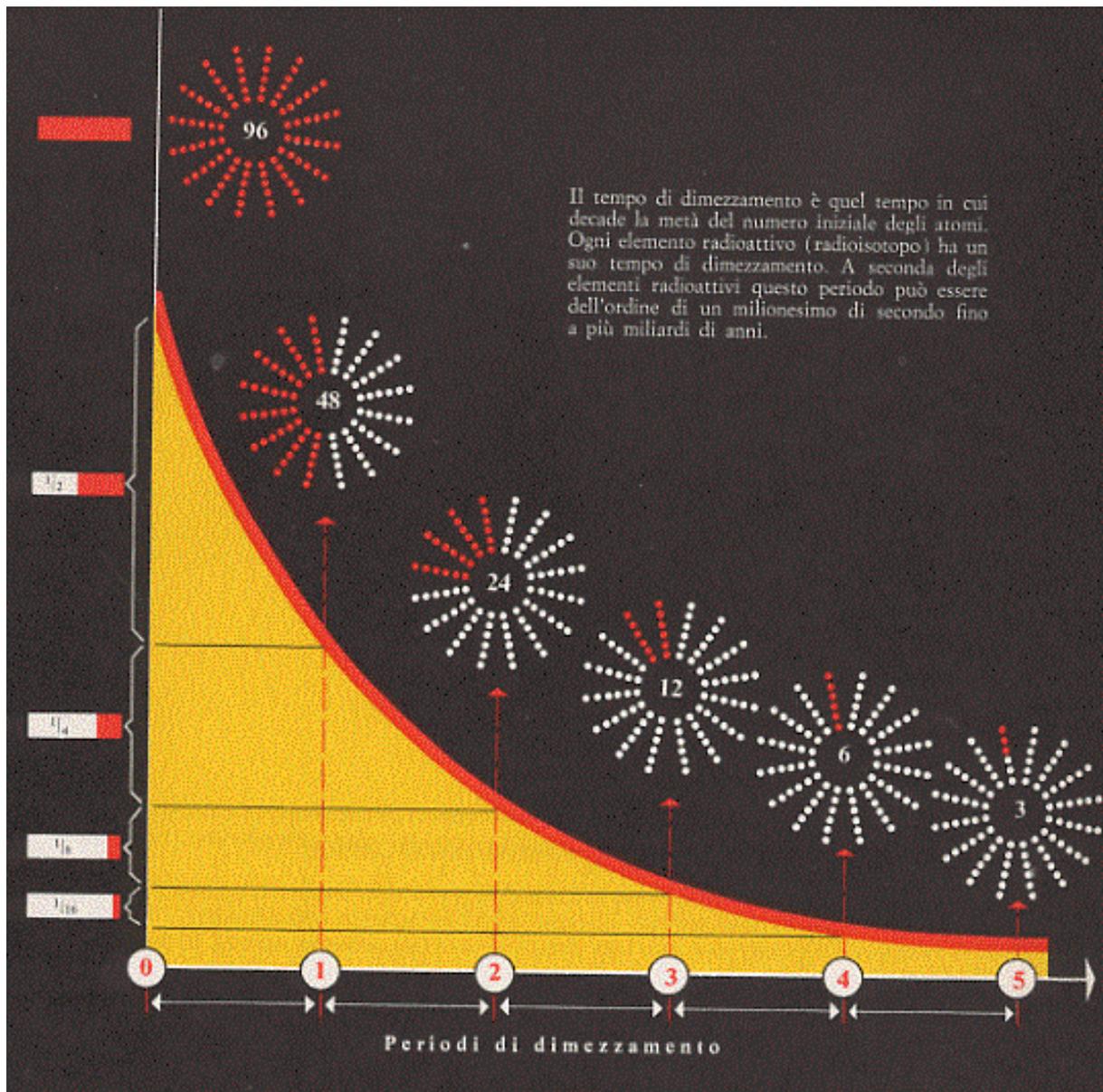
Ogni atomo "vive" per un tempo preciso prima di decadere e la *vita media* rappresenta appunto la media aritmetica sui tempi di vita di tutti gli atomi della stessa specie.

Il **tempo di dimezzamento** o **emivita  $t_{1/2}$**  è definito come il tempo impiegato dal numero di nuclei e dell'attività per ridursi della metà. E' legato alla vita media dalla relazione:

$$t_{1/2} = 0,693 \tau \quad \rightarrow \quad = 0,693 / \lambda$$

Dopo ogni intervallo di tempo pari a un tempo di dimezzamento, il numero di nuclei rimasti e l'attività sono scesi a metà dei loro precedenti valori.

I tempi di dimezzamento dei nuclei radioattivi sono molto diversi. Per il decadimento alfa, essi variano da una frazione di secondo a milioni di anni; per il decadimento beta, arrivano fino a ore o giorni; per il decadimento gamma, i tempi di dimezzamento sono minori di un nanosecondo.



## DATAZIONE [scienze della terra, biologia]

La radioattività trova largo uso in molti ambiti, come nella medicina, nell'agricoltura, nell'industria, nella scienza, etc...; ma forse il più famoso tra questi è senza dubbio l'uso che se ne fa nella datazione di rocce, fossili, reperti e manufatti antichi.

Lo studio del decadimento radioattivo delle rocce permette di avere una datazione assoluta dell'oggetto di indagine. Gli isotopi più usati per la datazione assoluta sono il carbonio-14 (che si trasforma in azoto in un tempo di dimezzamento di circa 5570 anni), il potassio-40 (che diventa argon in 1,3 miliardi di anni), e, infine, l'uranio-238 (che si trasforma in piombo in 4,5 miliardi di anni).

Il **carbonio-14** è utilizzato esclusivamente per datare materiali che derivano, direttamente o indirettamente, da organismi. Esso è infatti presente negli organismi viventi in concentrazione costante, infatti il carbonio viene prodotto nell'atmosfera dall'azione dei *raggi cosmici* (che liberano neutroni) sull'azoto atmosferico. Il carbonio così formato migra verso gli strati più bassi

dell'atmosfera dove può ossidarsi in diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>). Per mezzo della fotosintesi delle piante, il carbonio entra nella catena alimentare e viene incorporato nelle ossa. Quando gli organismi muoiono il loro contenuto di carbonio-14 si riduce per decadimento radioattivo. Il reperto risulterà quindi tanto più antico quanto minore sarà la radioattività del carbonio-14.

Con questo metodo si possono datare oggetti con età compresa tra 1000 e 30000 anni.

Il **potassio-40** viene utilizzato per la datazione di *fossili* che si spingono molto più indietro nel tempo, in quanto ha un tempo di decadimento di 1,3 miliardi di anni.

Nel caso si tratti di rocce, si usano invece isotopi dell'**uranio-235** e **238**. Se al tempo della sua formazione una roccia conteneva una certa quantità di uranio che con il tempo decade, si può stabilire l'età di formazione di quella roccia. L'analisi del decadimento di questo isotopo ha consentito di stabilire l'età delle rocce più antiche a 3,9 miliardi di anni e da questo l'origine della terra a 4,5 miliardi di anni.



## **ALTRI USI DELLE RADIAZIONI [scienze della terra, biologia]**

Le radiazioni trovano largo uso in molti settori come la scienza, l'agricoltura, l'industria, gli studi del sottosuolo e molti altri di carattere comune e usato nella vita di tutti i giorni.

### **-Nella scienza**

Tra le applicazioni per usi scientifici, le radiazioni sono usate nell'analisi dei tracciati, nell'analisi dell'attivazione neutronica e nell'analisi per diluizione isotopica.

Nell'**analisi dei tracciati**, la radiazione emessa da un radionuclide è usata per seguirne il movimento e per localizzarla (come mettere un campanaccio ad una mucca). La radiazione beta emessa dallo iodio-131, ad esempio, è usata per studiare la funzionalità della ghiandola tiroidea. Tale analisi può essere anche usata per localizzare i tumori cerebrali grazie all'immissione di un emettitore gamma che si concentrerà nella zona tumoraria e ne consente la localizzazione.

Un'altra applicazione è l'**analisi dell'attivazione neutronica** che permette di misurare le impurezze presenti nelle sostanze anche per concentrazioni del 10<sup>-9</sup> (%). Attiva gli atomi delle impurezze mediante bombardamento neutronico.

L'**analisi per diluizione isotopica** è un'altra applicazione della radioattività. Consente di misurare una quantità di fluido che può essere misurata con molta difficoltà direttamente. Mescolando una piccola, ma nota, quantità di radionuclide in un fluido, è possibile analizzare una piccola quantità di questa miscela, calcolarne la radioattività e dedurne il volume. Con questo metodo si può misurare

il sangue presente in un animale senza ucciderlo, o il volume d'acqua presente in depositi naturali sotterranei.



### **-Nell'agricoltura**

Le radiazioni ionizzanti trovano vasta applicazione in agricoltura: per indurre mutazioni genetiche in piante destinate al raccolto, per la disinfestazione da insetti ed agenti patogeni, per migliorare le caratteristiche riproduttive di alcune specie, per migliorare la conservazione del raccolto, etc... Prenderemo in esame l'uso delle radiazioni nella conservazione del cibo e nella disinfestazione dagli insetti.

### **Conservazione degli alimenti**

Le intossicazioni da alimenti rappresentano ancora oggi una grossa minaccia per la salute dell'uomo; sono ancora molti i casi di malattie legate ad agenti patogeni, come la salmonella nel cibo. In genere per difenderci da tali agenti si ricorre alla cottura, pastorizzazione o conservazione in scatola, ma per "sterilizzare" completamente il cibo nel caso di pazienti debilitati o di astronauti in orbita, si ricorre all'irradiazione a raggi gamma provenienti da isotopi come il cesio-137 o il cobalto-60. Tali raggi gamma utilizzati non hanno sufficiente energia per indurre reazioni nucleari negli atomi dei cibi.

### **Disinfestazione dagli insetti**

Con l'uso di radiazioni X e recentemente con l'uso dell'irraggiamento con neutroni è possibile indurre mutazioni dominanti letali, o la sterilità nei maschi. Questi sistemi hanno già portato all'eliminazione di alcune specie.

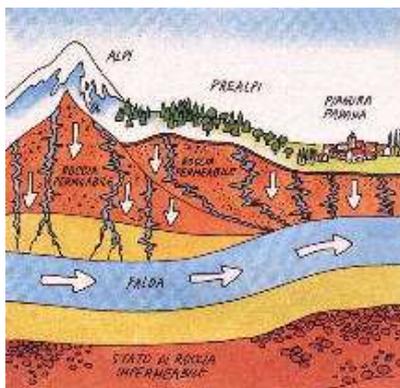


### **-Negli studi sul suolo e territorio**

Importanti è inoltre l'uso delle radiazioni nello studio del sottosuolo e del territorio circostante, in particolare è importante per quanto riguarda gli studi ideologici, quelli sull'inquinamento ambientale e le ricerche nel sottosuolo.

### Studi idrologici

L'utilizzo dell'acqua delle falde sotterranee è basata sulla conoscenza di alcuni parametri, come: l'origine, direzione e velocità della falda medesima. Gli isotopi radioattivi possono essere usati in prove di pompaggio, studi della permeabilità degli strati, studi sulla distribuzione e dispersione delle acque profonde, perdite di serbatoi e canali, etc... Altri campi di indagine idrologica con radioisotopi possono essere i controlli sugli inquinanti da scarichi.



### Ricerche nel sottosuolo

Il rilievo della radioattività naturale mediante sonde introdotte in un pozzo permette di ricavare informazioni sulla natura degli strati geologici che interessano le falde sotterranee.

Si possono pure impiegare traccianti radioattivi nello studio di sedimenti sotterranei per l'individuazione di sorgenti di energia geotermia nel sottosuolo.

### Studi di inquinamento ambientale

Va sempre più diffondendosi l'uso delle tecniche nucleari per la misura ed il controllo dell'inquinamento ambientale, in particolare per il controllo sull'anidride carbonica e per identificare la provenienza del petrolio scaricato in mare: si è infatti trovato che il contenuto di elementi in tracce nei petroli di diversa provenienza è notevolmente diverso.



### -Altre applicazioni di interesse

Molti usi delle radiazioni avvengono a nostra insaputa, o senza che noi ce possiamo rendere realmente conto. Un esempio di questi usi li si ha nel controllo dei bagagli agli aeroporti, nei rilevatori di fumo, nei generatori delle onde spaziali, e negli stimolatori cardiaci artificiali.

### Controllo di bagagli negli aeroporti

Gli apparecchi a raggi X degli anni 70 sono notevolmente migliorati, tanto da fornire immagini abbastanza nitide capaci di individuare fili elettrici più sottili di un capello. Alcuni tipi di esplosivo plastico sono tuttavia invisibili ai raggi X e detonatori e fili di innesco possono essere nascosti in

calcolatrici o radio. Attualmente per scoprire la presenza di esplosivi si usa il fiuto dei cani e alcuni tipi di campionatori di vapore, ma tali metodi risultano vani se gli esplosivi usati sono inodori o chiusi ermeticamente. Per far fronte a questo problema si stanno diffondendo nuove tecniche nucleari. Una è la radiografia a raggi gamma che dal diverso grado di assorbimento di tipiche lunghezze d'onda, fa desumere la presenza di esplosivi. Un altro metodo è quello di sottoporre il bagaglio a un bombardamento di neutroni che, reagendo con l'azoto usato nella maggior parte degli esplosivi, libera un gas rilevabile.



### Rilevatori di fumo

I rilevatori di fumo “smoke detectors” più comuni ad uso domestico ed industriale contengono una piccola quantità di materiale radioattivo (ad esempio americio-241), sotto forma di una lamina sottile, montata rigidamente all'interno di un piccolo contenitore d'acciaio. L'Am-241 emette due tipi di radiazione: alfa e gamma. La radiazione alfa produce la ionizzazione dell'aria presente nel recipiente metallico, mentre la radiazione gamma è per buona parte schermata dal recipiente d'acciaio. La dose di esposizione di una persona dove è presente l'apparecchio è molto bassa. Applicando una piccola differenza di potenziale tra le pareti della camera, si induce un flusso di corrente attraverso l'aria ionizzata. In presenza di un incendio, l'ingresso di eventuali particelle nella camera, altera questo flusso di corrente e ciò pilota l'azionamento di segnali d'allarme.

### Generatori delle sonde spaziali

Nello spazio, assenza di atmosfera è un grosso svantaggio per ogni tipo di generatore che ricorre alla combustione. D'altro canto la limitata esposizione alla luce solare a volte non consente l'uso di pannelli solari. I generatori elettrici a radioisotopi sono una valida alternativa. Si basa sull'emissione spontanea di particelle alfa e beta che, dissipando la loro energia nel materiale circostante, lo riscaldano. Attorno alla massa radioattiva si collocano termocoppie. Un estremo di ciascuna termocoppia è riscaldata dal decadimento radioattivo, l'altro è rivolto all'esterno. La differenza di temperatura fra i due estremi genera il flusso di corrente elettrica utile.

## Radioattività in medicina

### DANNI INDOTTI DA RADIAZIONI [approfondimento personale]

Fino adesso abbiamo esaminato e studiato le radiazioni ionizzanti dal punto di vista fisico, chimico, per quanto riguarda il suo uso nella datazione e in ambiti legati alla vita comune. Purtroppo le radiazioni non portano solo benefici alla ricerca e alla scienza, ma possono indurre molti e gravi danni agli esseri viventi che ne vengono esposti senza criterio e protezione. Analizzerò in particolare i danni indotti nell'essere umano.

Il termine **lesione da radiazioni** denota qualsiasi anomalia di forma o funzione causata dalle onde elettromagnetiche o da particelle atomiche accelerate. Le radiazioni ionizzanti sono sicuramente le più pericolose.

La radiazione ionizzante interagisce con bersagli di grande importanza biologica come le cellule, causando reazioni chimiche con: molecole d'acqua, ossigeno, DNA, proteine, etc.

Le molecole possono essere *ionizzate* (cioè quando si ha la formazione di ioni per la sottrazione di elettroni che rompono i legami chimici tra le molecole, in particolare da parte di particelle alfa o beta), oppure *eccitate* (quando gli elettroni ricevono energia solo per innalzarsi ad un livello energetico superiore, in particolare da raggi gamma o X).

Gli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti sono il risultato di un danno a carico del DNA e altre molecole vitali (cromosomi) da parte dell'energia localmente applicata. Le cellule maggiormente sensibili alle radiazioni sono soprattutto quelle in rapida divisione.

Gli esseri umani sono continuamente esposti ad un sottofondo di radiazioni ionizzanti naturali provenienti da: raggi cosmici, elementi radioattivi nella crosta terrestre, radionuclidi naturalmente presenti nel corpo umano (C-14, K-40) e radon inalato. In aggiunta, gli esseri umani ricevono radiazioni anche da varie fonti costruite dall'uomo, come: i raggi X, componenti di televisori, segnalatori di fumo e dall'energia nucleare. L'esposizione a queste fonti è raddoppiata nei trascorsi 20 anni negli Stati Uniti e in molti altri Paesi.

### QUANTITA' MEDIA DI RADIAZIONI IONIZZANTI RICEVUTE OGNI ANNO DA DIVERSE FONTI DA PARTE DI UN RESIDENTE DEGLI STATI UNITI

Sorgente	Dose*	
	(mSv)	(%)
<b>Naturale</b>		
- Radon**	2,0	55
- Cosmica	0,27	8
- Terrestre	0,28	8
- Interna	0,39	11
- Totale naturale	3,0	82
<b>Artificiale</b>		
- Diagnostica con raggi X	0,39	11
- Medicina nucleare	0,14	4
- Prodotti di consumo	0,10	<0,3
- Occupazionale	<0,01	<0,03
- Ciclo del carburante nucleare	<0,01	<0,03
- Fallout nucleare	<0,01	<0,03
- Miscellanea***	<0,01	<0,03
- Totale artificiale	0,63	18
<i>Totale naturale ed artificiale</i>	3,6	100

\*Dose effettiva media; \*\*Dose effettiva media per l'epitelio bronchiale; \*\*\*Strutture del Department of Energy, altiforni, trasporti, etc. Fonte da Health Effects of Exposure to Low Level of Ionizing Radiation: BEIR V., National Academy of Sciences, Washington, DC.

### Effetti da radiazione

L'entità del danno causato dalle radiazioni dipende da molti *fattori*:

- Il rateo di dose
- il tipi di radiazioni
- la parte del corpo esposta, l'età e la salute dell'individuo

In base alle dosi di radiazioni assorbite gli *effetti* si dividono in **deterministici** (quando si hanno alte dosi e portano all'uccisione dei tessuti e delle cellule esposte) e **stocastici** (quando si hanno dosi ed intensità basse con conseguenti effetti mutageni e cancerogeni).

Fra le parti ed organi del corpo più soggette a lesioni da radiazione ci sono quelle con le cellule dei tessuti che proliferano rapidamente. Tra queste:

### **-Cute**

Dopo una rapida esposizione ad una dose di 6 Sv appare un eritema che si aggrava maggiore è l'esposizione. Per bassi livelli di radiazione, la capacità di riparare il danno è molto alta. La pelle assorbe tutti i tipi di radiazione e quelle meno penetranti sono la più gravi.

### **-Midollo osseo**

È la parte del corpo più colpita. Già a piccole dosi si ha la diminuzione dei globuli bianchi e se il danno è più grave (5 Sv) si ha diminuzione di piastrine e globuli rossi che causano emorragie e infezioni fatali. In genere è anche il tessuto che si riprende più in fretta.

### **-Gonadi**

Se gli spermatozoi sono relativamente resistenti, gli spermatogoni sono molto radiosensibili. Una piccola dose può causare oligospermia, mentre una più massiccia (2-4 Sv) può portare alla sterilità permanente. Le femmine sono più sensibili dei maschi e una minore esposizione degli oociti provoca sterilità permanente.

### **-Cristallino**

Il cristallino è composto da cellule morte che quindi non possono ripararsi. Una piccola dose (2-3 Sv) protratta nel tempo può portare alla cataratta.

Tutti gli altri tessuti, eccetto quelli embrionali, sono meno radiosensibili, anche se comunque lo sono di più quelli in rapida crescita.

### **Effetti genetici delle radiazioni**

Le mutazioni ereditabili e le anomalie cromosomiche indotte dalle radiazioni non sono ancora state osservate negli uomini, malgrado gli studi intensivi su 76.000 figli di sopravvissuti alle bombe atomiche, nei quali non è stata individuata alcuna prova definitiva di effetti ereditari delle radiazioni.

< dell'1% di tutte le malattie geneticamente determinate sono da attribuire alle radiazioni naturali di sottofondo.

### **Effetti cancerogeni delle radiazioni**

È stato osservato che molti, ma non tutti i tipi di crescita, maligna o benigna, sono inducibili alle radiazioni, questo anche perché i periodi di latenza di anni, rende difficile distinguere quelle indotte da radiazione da quelle che compaiono per altre cause.

Le valutazioni fatte sugli effetti cancerogeni delle radiazioni sono basate principalmente sui risultati ottenuti nei sopravvissuti alle bombe atomiche in cui si osserva che l'incidenza totale di cancro aumenta in funzione lineare alla dose di radiazione ricevuta. L'effetto più forte della donna è stato l'aumento del rischio del cancro alla mammella. Non ci sono prove che le radiazioni naturali di sottofondo possano essere cause di insorgenza di tumori.

### Effetti dell'irradiazione prenatale

Un embrione esposto a irraggiamento prima dell'impianto è suscettibile di morte, mentre l'esposizione successiva all'impianto determina l'insorgenza di malformazioni e altri tipi di disturbi. Tra questi si nota come hanno una grande frequenza i disturbi di ritardo mentale più o meno gravi nei bambini delle aree bersaglio (2-3% in più a quelli normalmente attesi). Per tali motivi, oggi, vengono prese speciali precauzioni onde evitare l'esposizione dell'embrione.

Per la prevenzione, le esposizioni a radiazioni ionizzanti non necessarie, a qualunque dose, dovrebbero essere evitate.

## RADIAZIONI IN SETTORE MEDICO

### Diagnostica medica

L'impiego delle radiazioni ionizzanti in medicina ha avuto un grande e tuttora crescente sviluppo. Basti dire che l'80-90% dei radioisotopi prodotti oggi nel mondo sono utilizzati per scopi medici. L'uso di radiazioni, di apposite telecamere e di computer consentono indagini all'interno del corpo per rilevare le più varie, seppur minime, anomalie, identificare certe sostanze chimiche in organi vitali, evitando indesiderati interventi chirurgici.

Tra i raggi maggiormente impiegati in ambito medico, ci sono sicuramente i **raggi X**. Tali raggi possono infatti attraversare oggetti e sostanze di bassa densità, quali la pelle ed i muscoli, ma sono bloccati e riflessi da materiali più densi, come le ossa. Consentono di distinguere organi di densità differente.

I raggi X, attraversato il corpo, colpiscono una lastra fotografica, su cui si ottiene la *radiografia*, sulla quale si possono osservare i segni di qualsiasi alterazione strutturale, ad esempio delle ossa, la presenza di liquido nei polmoni, o di corpi estranei (come proiettili), o altro.

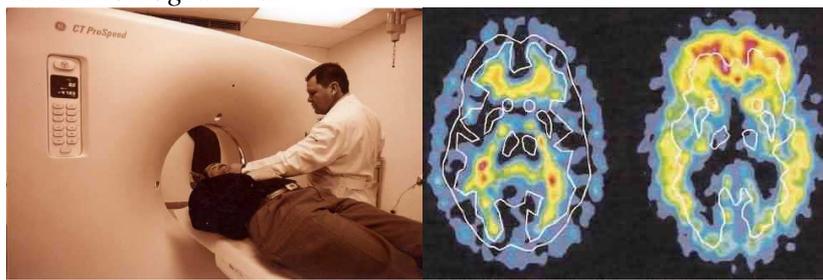
Alcune parti del corpo naturalmente trasparenti, possono essere rese opache introducendovi sostanze opache ai raggi X (*mezzi di contrasto*), per mettere in evidenza eventuali alterazioni. Tuttavia, raffigurando il corpo a due sole dimensioni, le radiografie convenzionali non sono in grado di rivelare in completezza forma e profondità dell'area indagata.



prima radiografia  
di Wilhelm Roentgen



Dal 1973 un nuovo metodo di visualizzazione del corpo, produce un'immagine tridimensionale dei suoi organi: la cosiddetta **tomografia assiale computerizzata (TAC)**, che presenta su uno schermo sezioni o "fette" del corpo. Dalla ricomposizione di esse si forma un'immagine tridimensionale. Quando si esegue una TAC il paziente si sdraia su un lettino e circondato da una specie di ciambella d'acciaio che gli ruota intorno. Lungo la circonferenza della ciambella ruota un tubo a raggi X a cui sono opposti i rilevatori. Anche qui, piccole quantità di radiazioni vengono assorbite dai tessuti e, dopo aver attraversato la parte in esame, colpiscono i rilevatori, che li convertono in segnali elettrici. Successivamente il computer analizza le quantità di radiazioni assorbite e ne traccia una mappa colorata chiamata *tomogramma*.



Un altro tipo di visualizzazione sempre più usato è la **tomografia a emissione di positroni (TEP)**. Essa implica l'iniezione nel paziente di una sostanza chimica radioattiva che viene assorbita da particolari organi del corpo ed emette positroni. Questi positroni collidono con i comuni elettroni presenti nelle cellule dell'organismo e liberano 2 raggi gamma di verso opposto ciascuno. Particolari computer rilevano questa radiazione di annichilazione e quindi alcune parti malate, in quanto non assorbono la sostanza, sono visualizzate.



Un ancor più recente diagnostica medica ricorre all'induzione nel corpo di minime quantità di sostanze radioattive che vengono impiegate come **traccianti** per determinare il flusso e l'assorbimento dei veri tessuti.

In genere viene usato il tecnezio-99 che viene assorbito maggiormente dalle cellule cancerogene perché tendono a riprodursi più rapidamente delle cellule sane.

Nel selezionare i radioisotopi a scopo diagnostico ha molta importanza il tempo di dimezzamento (né troppo corto per consentire la visualizzazione, né troppo lungo) e le radiazioni liberate (l'uso di particelle alfa e beta sono da escludere perché sarebbero assorbite dai tessuti e non rilevate all'esterno, mentre permane l'interesse per gli emettitori gamma).

Un isotopo molto usato è lo iodio-131. viene particolarmente usato per verificare il funzionamento della tiroide.

Un altro è il cromo-51, che si attacca facilmente alle cellule ematiche e consente lo studio del flusso del sangue.

Infine l'azoto-13, usato per studiare le proteine ed il funzionamento del fegato e dei reni.

## Terapia

Il principio fondamentale della radioterapia deriva dal fatto che le cellule reagiscono alle radiazioni. Le cellule tumorali sono più sensibili di quelle normali, in quanto sono in continua divisione, ed è su ciò che si fonda la **radioterapia** dei tumori. La radioterapia si basa sulla deposizione localizzata di energia in piccoli volumi. I più radiosensibili sono i tumori di: cute, polmoni, bocca, utero, mammella.

La sorgente di radiazione comunemente usata è il cobalto-60 (non presente in natura e creato con l'aggiunta di un neutrone dal cobalto-59) che libera 2 raggi gamma ad alta energia (1 Sv/minuto alla distanza di un metro). L'esposizione al raggio è molto mirata per impedire il danneggiamento di cellule sane.

Altri tipi di radiazioni sono usate per ridurre il dolore provocato dal tumore alle ossa.

La **terapia adronica** è una versione innovativa della radioterapia normale: le cellule cancerogene vengono bombardate da fasci di particelle cariche (protoni, ioni) invece che da fotoni. Ciò permette una precisione 10 volte maggiore rispetto ai raggi gamma e permette di operare vicino a tessuti sensibili come occhi o midollo osseo. Purtroppo questa terapia è ancora troppo complessa da gestire e troppo costosa rispetto a quella tradizionale, per cui gli oncologi rimangono tuttora legati alla terapia a fotoni.