

# Radioattività e radioprotezione

Opuscolo divulgativo sulle conoscenze di base in materia  
di radioattività e radioprotezione



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'interno DFI  
Ufficio federale della sanità pubblica UFSP



# **Radioattività e radioprotezione**

Opuscolo divulgativo sulle conoscenze di base in materia di radioattività e radioprotezione

# Sommario

La struttura della materia. Atomi, molecole, isotopi	2
Radioattività	5
Disintegrazioni nucleari e radiazioni ionizzanti	9
Effetti delle radiazioni ionizzanti sull'uomo	13
Dosi di radiazioni annue della popolazione in Svizzera	22
Radioattività da centrali nucleari	24
Uso di sorgenti radioattive in ambito medico	26
Applicazioni in ambito tecnico e scientifico	27
Scorie radioattive	28
Radioprotezione	29
Protezione in caso d'emergenza	30
Scala internazionale degli eventi nucleari (INES: International Nuclear Event Scale)	32
Principi di base della protezione della popolazione in caso di aumento della radioattività	34
Breve guida terminologica	36

Editore:  
Ufficio federale della sanità pubblica  
3003 Berna

Distribuzione:  
BBL, CH-3003 Berna  
[www.bbl.admin.ch/bundespublikationen.ch](http://www.bbl.admin.ch/bundespublikationen.ch)  
Art. n. 311.322.i

Grafica:  
Gerber Typo & Grafik, Berna

Illustrazioni:  
Peter Marthaler, grafico, Berna

BAG VS 7.07 15'000 d 0 f 0 i 40EXT07007  
3.01 30'000 50ext01009 51190

# Prefazione

Cos'è la radioattività? Da dove viene? Qual è la sua utilità, dove si nascondono i pericoli che possono derivarne? Come comportarsi di fronte ai possibili pericoli? – Con il presente opuscolo s'intende dare una risposta a questo tipo di domande. Esso contiene informazioni di base esposte in modo semplificato. Riprende l'opuscolo precedente che portava lo stesso titolo «Radioattività e radioprotezione», pubblicato dall'Ufficio federale della sanità pubblica nel 1990 con la collaborazione di Martin Baggenstos, Hans Graf, Otto Huber, Heinz Hugo Loosli e Werner Zeller.

Nel presente opuscolo era indispensabile rappresentare in modo semplificato la complessa materia della radioattività e limitarsi all'essenziale. Ci si è riusciti anche grazie a numerosi esempi e raffigurazioni.

Desideriamo ringraziare tutti quelli che in qualche modo hanno collaborato alla realizzazione di questo lavoro e ci auguriamo che possa contribuire a una migliore comprensione del fenomeno della radioattività.

Berna, luglio 2007

Martin Baggenstos  
Werner Zeller

# La struttura della materia.

## Atomi, molecole, isotopi

Tutte le sostanze sono costituite da atomi, ossia da miriadi di particelle tanto minuscole da essere indiscernibili ad occhio nudo. In ogni goccia d'acqua e in ogni cellula del corpo umano è contenuto un numero enorme di atomi.

Tanto per fare un esempio, una goccia d'acqua contiene ca.  $10^{21} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$  atomi.

Ogni atomo è a sua volta costituito da un nucleo e da una nuvola che lo circonda. Il nucleo, piccolissimo, si compone di protoni (che hanno una carica elettrica positiva) e di neutroni (che invece sono privi di carica), mentre la nuvola è formata da elettroni, che hanno una carica negativa. Nel suo insieme, l'atomo è la parte più piccola di un elemento che conserva tutte le proprietà chimiche dell'elemento stesso. Gli elementi chimici si differenziano per il numero di protoni nel nucleo. Quelli naturali sono 92: il più leggero, che contiene un solo protone, è l'idrogeno; il più pesante, con 92 protoni, l'uranio. Solitamente, per designare gli elementi, si utilizza un'abbreviazione (simbolo).

Esempi:

---

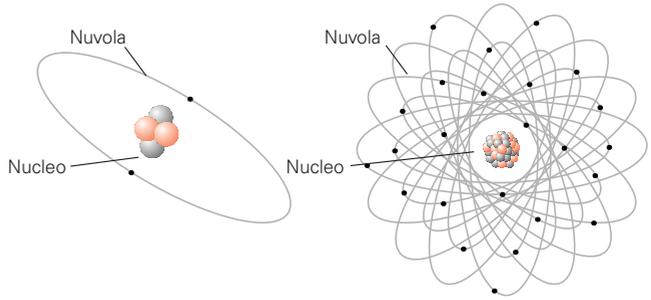
idrogeno (H)	stronzio (Sr)
elio (He)	iodio (I)
carbonio (C)	cesio (Cs)
ossigeno (O)	radon (Rn)
potassio (K)	radio (Ra)
ferro (Fe)	uranio (U)
	plutonio (Pu)

---

**Il nucleo di un atomo contiene protoni e neutroni, la nuvola che lo circonda è formata da elettroni.**

Quando due o più atomi si uniscono, si forma una molecola. Due atomi d'idrogeno (H) e un atomo d'ossigeno (O), per esempio, formano una molecola d'acqua (H<sub>2</sub>O).

Se il numero di elettroni nella nuvola è uguale a quello dei protoni nel nucleo, l'atomo nel suo insieme è privo di carica; se tale numero, invece, è superiore o inferiore, l'atomo ha rispettivamente una carica negativa o positiva, ovvero è ionizzato.



**Atomo di elio**

Nucleo: 2 protoni  
 2 neutroni  
 Nuvola: 2 elettroni

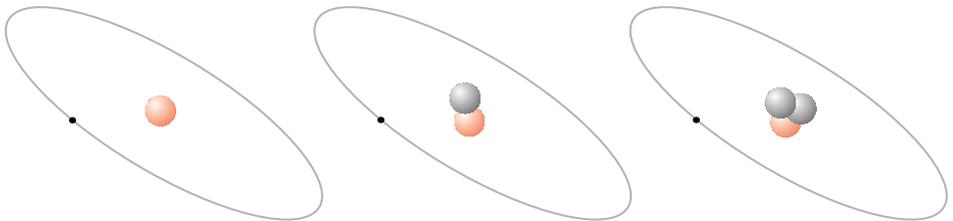
**Atomo di uranio**

92 protoni  
 146 neutroni  
 92 elettroni

**Un atomo in cui il numero degli elettroni nella nuvola è superiore o inferiore a quello dei protoni nel nucleo, è uno ione.**

Gli atomi di un elemento possono avere un contenuto diverso di neutroni nel nucleo. Il nucleo dell'idrogeno, per esempio, oltre al suo protone può avere uno o due neutroni. Gli atomi di un elemento che si distinguono soltanto per il numero di neutroni sono detti isotopi di questo elemento.

**Isotopi dell'idrogeno**



**Idrogeno comune**

H-1  
 1 protone  
 nessun neutrone  
 1 elettrone

**Idrogeno pesante**

H-2 (deuterio)  
 1 protone  
 1 neutrone  
 1 elettrone

**Idrogeno superpesante**

H-3 (trizio)  
 1 protone  
 2 neutroni  
 1 elettrone

Gli isotopi sono indicati aggiungendo al simbolo dell'elemento la somma dei protoni e dei neutroni contenuti. Sono per esempio noti 8 isotopi del carbonio: tutti hanno 6 protoni, ma un numero diverso di neutroni nel nucleo. Quello più frequente in natura è il carbonio-12, con 6 neutroni.

Gli isotopi di un elemento presentano proprietà chimiche quasi identiche, ma proprietà fisiche diverse, come la radioattività.

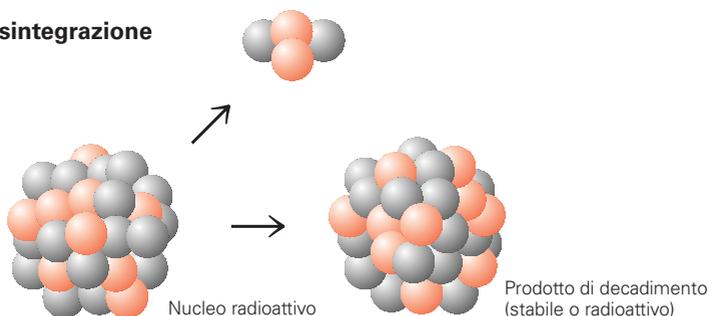
Per designare nuclei della stessa composizione si è coniato il termine di nuclidi. Anche i nuclei d'isotopi sono dei nuclidi. Attualmente si conoscono ca. 2000 nuclidi.

**Gli isotopi di un elemento hanno proprietà fisiche diverse:  
certi isotopi sono radioattivi.**

# Radioattività

Dei ca. 2000 nuclidi oggi conosciuti, solo 250 sono stabili. Gli altri si trasformano, ossia si disintegrano da soli, indipendentemente da influssi esterni. Questi nuclidi instabili sono radioattivi e sono denominati radionuclidi. La loro disintegrazione, che non può essere arrestata né influenzata, nella maggior parte dei casi produce atomi di un altro elemento. Tali atomi possono essere stabili oppure a loro volta radioattivi (in questo caso si parla di prodotti di decadimento radioattivi). Esistono radionuclidi naturali e radionuclidi prodotti artificialmente.

## Esempio di disintegrazione nucleare



## Esempi di nuclidi naturali

Carbonio-12	6 protoni	6 neutroni	(stabile)
Carbonio-13	6 protoni	7 neutroni	(stabile)
Carbonio-14	6 protoni	8 neutroni	(radioattivo)
Piombo-206	82 protoni	124 neutroni	(stabile)
Radon-222	86 protoni	136 neutroni	(radioattivo)
Radio-226	88 protoni	138 neutroni	(radioattivo)
Uranio-235	92 protoni	143 neutroni	(radioattivo)
Uranio-238	92 protoni	146 neutroni	(radioattivo)

La maggior parte degli elementi ha uno o più isotopi stabili. Tutti gli elementi hanno inoltre un numero più o meno elevato d'isotopi radioattivi.

Così, per esempio,

- l'idrogeno comune e il deuterio sono stabili, mentre il trizio è radioattivo;
- il carbonio-12 e il carbonio-13 sono stabili, mentre il carbonio-14 è radioattivo;

- il cesio ha un solo isotopo stabile (ossia il cesio-133), mentre se ne conoscono oltre 30 radioattivi (tra cui il cesio-134 e il cesio-137, entrambi di origine artificiale);
- non esiste alcun isotopo stabile né del radon né dell'uranio.

**I nuclei radioattivi si disintegrano. Quasi sempre, questo processo produce nuclei di un altro elemento.**

### La legge della disintegrazione

Non è possibile prevedere quando un nucleo radioattivo inizia a disintegrarsi. Si conosce invece il tempo necessario perché un elevato numero di nuclei di una sostanza radioattiva diminuisca della metà. Questo periodo, detto tempo di dimezzamento (fisico), è caratteristico di ogni radionuclide e oscilla tra poche frazioni di secondo e miliardi di anni.

#### Esempi di radionuclidi e dei loro tempi di dimezzamento

##### Radionuclidi naturali

Carbonio-14	5730 anni
Potassio-40	1,3 miliardi di anni
Radon-222	3,8 giorni
Radio-226	1600 anni
Uranio-235	700 milioni di anni
Uranio-238	4,5 miliardi di anni

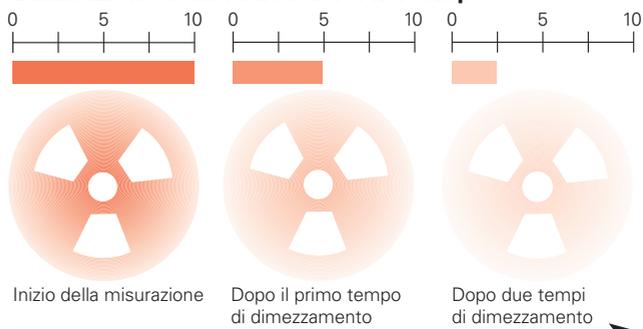
##### Radionuclidi artificiali

Stronzio-90	29 anni
Iodio-131	8 giorni
Cesio-134	2 anni
Cesio-137	30 anni
Plutonio-239	24 000 anni

**Il tempo di dimezzamento di un radionuclide è il periodo necessario affinché una data quantità iniziale di nuclei diminuisca della metà.**

Per illustrare la legge sul tempo di dimezzamento, facciamo un esempio: una data quantità di iodio-131 si è ridotta della metà dopo 8 giorni, come pure la sua radioattività. Dopo 16 giorni, quantità e attività sono ridotte di un quarto, dopo 24 giorni di un ottavo, dopo

## Diminuzione della radioattività nel tempo

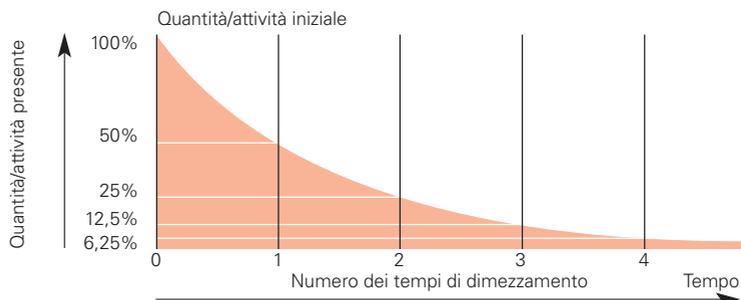


32 giorni di un sedicesimo, dopo 3 mesi a meno di un per mille (sempre in rapporto alla quantità e all'attività iniziali), ecc. Da ogni atomo di iodio si è formato un atomo di xeno. Lo iodio-131 sprigionatosi dalla catastrofe di Cernobyl, dopo alcuni mesi si era quasi disintegrato, mentre il cesio-137, pure fuoriuscito dalla centrale sovietica, è tuttora rilevabile (e continuerà ad esserlo, visto il suo tempo di dimezzamento di quasi 30 anni), soprattutto nel suolo.

## Unità di misura della radioattività

Il numero di disintegrazioni nucleari per unità di tempo (p. es. un secondo) definisce la radioattività di una sostanza. La sua unità di misura è il becquerel (Bq). 1 Bq corrisponde a una disintegrazione al secondo.

## Disintegrazione di radionuclidi 1 Bq = 1 disintegrazione al secondo



In passato la radioattività si esprimeva in curie (Ci).

1 Ci = 37 miliardi di Bq

37 Bq = 1 nanocurie (1 miliardesimo di curie)

**Il becquerel è l'unità di misura della radioattività di una sostanza.**

# Disintegrazioni nucleari e radiazioni ionizzanti

Disintegrandosi, i radionuclidi emettono particelle ad alta velocità che, ionizzando il materiale circostante, vengono frenate. La presenza di una particella permette di stabilire che vi è stata una disintegrazione. I due tipi di disintegrazione più importanti sono il decadimento alfa e il decadimento beta. Spesso, l'emissione di queste particelle è accompagnata anche da radiazioni gamma.

**La disintegrazione nucleare comporta l'emissione di particelle alfa o beta e spesso anche di raggi gamma.**

## Tipi di decadimento

**α** Decadimento alfa (particelle alfa)

Nel corso di un decadimento alfa viene emesso dal nucleo del radionuclide una particella alfa. Una particella alfa corrisponde a un nucleo di elio e consiste in due protoni e due neutroni. Nell'aria, la radiazione alfa ha una portata di alcuni centimetri, nel corpo umano, di frazioni di millimetro. Raggi alfa vengono emessi p. es. durante la disintegrazione del radon-222, dell'uranio-238 e del plutonio-239.

**β** Decadimento beta (particelle beta)

Nel corso di un decadimento beta viene emesso dal nucleo un elettrone (cfr. la breve guida terminologica). Le particelle beta sono più penetranti delle particelle alfa. Nell'aria possono

percorrere metri, nel corpo umano alcuni millimetri. Le radiazioni beta vengono emesse p. es. durante la disintegrazione del trizio, del carbonio-14, del potassio-40, dello stronzio-90, del cesio-134 e del cesio-137.

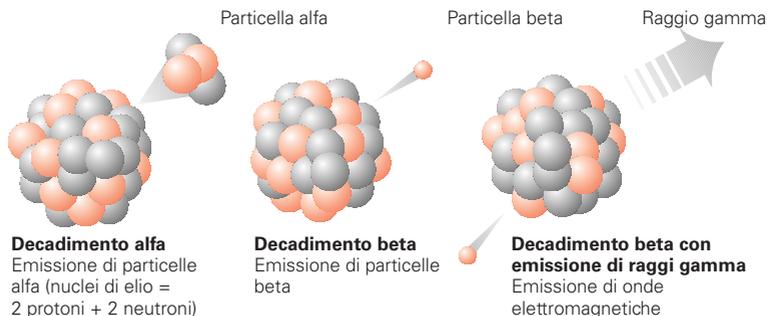
**γ** Radiazione gamma

I decadimenti alfa e beta sono spesso accompagnati dall'emissione di raggi gamma, vale a dire radiazioni elettromagnetiche come i raggi X, i raggi ultravioletti delle lampade o la luce del sole. In generale, la radiazione gamma è più penetrante della radiazione alfa o beta. Attraversando la materia, l'intensità dei raggi gamma si attenua lentamente. Se la sua energia è molto alta, la radiazione gamma può penetrare nell'aria per centinaia di metri e nella materia fino a circa un metro. La radiazione gamma accompagna p. es. la disintegrazione del potassio-40, del cesio-134 e del cesio-137, ma anche la disintegrazione alfa dell'uranio-238 e dei suoi prodotti di decadimento.

**Penetrando nella materia, i raggi alfa, beta e gamma producono degli ioni.**



## Tipi di decadimento dei radionuclidi



## Protezione dalle radiazioni ionizzanti

Le possibilità di proteggersi dalle radiazioni alfa, beta e gamma possono essere desunte osservando la capacità dei diversi raggi di penetrare nella materia.

In generale occorre mantenere una distanza sufficiente dalla sorgente radioattiva oppure frapporre uno schermo tra sé e questa. Per schermarsi dai raggi alfa e beta bastano materiali anche relativamente sottili: i primi riescono appena a penetrare nella pelle, mentre per proteggersi dai secondi bastano vestiti e occhiali. I raggi gamma rendono invece necessari schermi di protezione molto spessi e costituiti da materiali pesanti, come terra, piombo o calcestruzzo ritenuti molto più efficaci di schermi d'acqua di uno strato dello stesso spessore.

Oltre ai raggi alfa, beta e gamma, vi sono anche altri tipi di radiazioni ionizzanti, p. es. i neutroni.

**Per ridurre l'intensità dei raggi gamma è necessario uno schermo di materiale spesso e pesante. Nel caso dei raggi alfa e beta sono sufficienti strati di materiale sottile.**

La presenza, del tutto naturale, del potassio-40 nel corpo umano comporta un'irradiazione interna.

## **Radioattività di origine naturale**

La radioattività presente nel nostro ambiente ha origini diverse. Va tuttavia precisato che la radioattività di una sostanza non permette di trarre conclusioni circa il suo effetto o la sua azione dannosa sul corpo umano.

Esempi:

- Il corpo umano contiene potassio. Esso viene assunto con i cibi e poi eliminato dal corpo. Una piccola parte degli atomi di potassio è radioattiva: si tratta dell'isotopo potassio-40. La radioattività nel corpo umano è di ca. 5000 Bq: ciò significa che ogni secondo, nel nostro corpo, ca. 5000 nuclei di potassio-40 si disintegrano, emettendo raggi beta e gamma. In altre parole, subiamo per natura una radiazione interna.
- La radioattività naturale proveniente dal suolo terrestre: 1 kg di terra ha una radioattività naturale di alcune centinaia di Bq, un'attività a cui contribuiscono vari radionuclidi. I raggi gamma emessi dal suolo terrestre fanno parte della radiazione naturale a cui è esposto l'essere umano.
- Il gas radioattivo radon-222 presente nelle abitazioni è anch'esso d'origine naturale: è il risultato del decadimento radioattivo nel suolo del longevo uranio-238. Il radon-222 si muove facilmente nel terreno e può raggiungere le cantine e quindi le abitazioni. Nei locali chiusi esso si

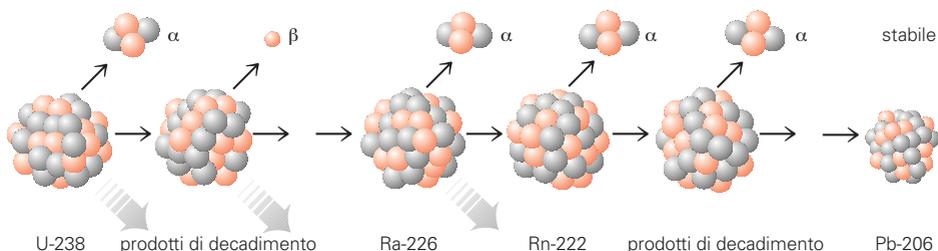


arricchisce, di modo che anche i suoi prodotti di decadimento radioattivi si arricchiscono nell'aria respirabile. Questi ultimi non sono più gassosi e possono fissarsi ad aerosol dell'aria (p. es. particelle di polvere). Con la respirazione possono giungere nei bronchi e depositarsi nel tessuto polmonare.

**La radioattività è presente nell'ambiente in modo naturale. Il nostro corpo, per esempio, contiene potassio-40 e l'aria che respiriamo contiene radon-222.**

### La sequenza di disintegrazione naturale dell'uranio-238

La sequenza inizia con l'uranio-238, conduce al gas nobile radon-222 e termina nel prodotto finale stabile, il piombo 206.



### Oltre ai radionuclidi naturali, gli alimenti possono contenere anche radionuclidi artificiali.

La radioattività artificiale presente nell'ambiente è dovuta principalmente agli esperimenti con armi nucleari, eseguiti soprattutto negli anni '50, e alla catastrofe di Cernobyl, ma anche alle applicazioni della tecnologia nucleare a livello industriale, medico e scientifico. Dopo l'incidente di Cernobyl, anche nel nostro Paese furono consumati cibi contaminati dagli isotopi radioattivi cesio-134 e

cesio-137. Nel 1986, la radioattività nel corpo degli abitanti della Svizzera era in media di ca. 1000 Bq (cesio-134 e cesio-137), ciò che ha provocato un'irradiazione interna supplementare.

**La radioattività artificiale presente nell'ambiente proviene soprattutto da esperimenti con armi atomiche, dalla catastrofe di Cernobyl e dall'industria nucleare.**

Le derrate alimentari possono contenere dei radionuclidi artificiali oltre a quelli naturali.



# Effetti delle radiazioni ionizzanti sull'uomo

Nelle cellule viventi, i raggi alfa, beta e gamma ionizzano o «eccitano» gli atomi e le molecole che incontrano lungo il loro percorso. Ambedue gli effetti comportano un trasferimento di energia, che può modificare la struttura chimica della materia irradiata. Questo processo può a sua volta provocare disturbi alle funzioni di cellule e organi, con eventuali effetti negativi sulla salute. Si distingue generalmente tra effetti acuti (danni precoci) ed effetti a lungo termine. Le radiazioni possono provocare danni subito visibili sul corpo, ma anche indurre a lungo termine un cancro o modifiche della struttura genetica (malformazioni congenite). Per valutare i rischi per la salute dovuti all'irradiazione si sono quindi introdotte due unità di misura, ossia la dose agli organi (determinante per gli effetti acuti) e la dose efficace (determinante per lo sviluppo di tumori e per i danni al patrimonio genetico).

**La dose è l'unità di misura che valuta i rischi, per la salute, comportati dalle radiazioni ionizzanti.**

## **Il concetto di «dose»**

---

La base per la misurazione della dose agli organi e della dose efficace è la quantità di energia ceduta dalla radiazione ionizzante per kg di massa, p. es. a un tessuto o a un organo. L'energia ceduta è una grandezza fisica e può essere misurata con dei dosimetri. Per determinare l'effetto biologico della radiazione, non basta conoscere solo la quantità di energia ceduta: è decisivo sapere anche se le ionizzazioni prodotte dalla radiazione durante la penetrazione nella materia si susseguono in modo più o meno intenso. La densità di ionizzazione dei raggi alfa e dei neutroni, per esempio, è maggiore rispetto a quella dei raggi beta e gamma. Le radiazioni ad alta intensità ionizzante sono infatti più nocive a livello biologico di quelle a ionizzazione meno intensa. Per questo motivo, a parità d'energia ceduta, i raggi alfa sono più dannosi dei raggi beta o gamma.

Per descrivere queste differenze tra i vari tipi di radiazione si utilizza un fattore numerico: per ogni tipo di radiazione, la quantità d'energia ceduta è ponderata con il fattore ad esso corrispondente (fattore di ponderazione del tipo di

radiazione). I raggi X e gamma fungono da radiazioni di riferimento, perciò il loro fattore di ponderazione equivale a uno. Il fattore di ponderazione dei raggi alfa e dei neutroni è sino a venti volte maggiore. Se si moltiplica la quantità di energia ceduta da un determinato tipo di radiazione per kg di massa con il fattore di ponderazione corrispondente al tipo di radiazione si ottiene il valore di dose della radiazione gamma. Quest'ultimo danneggia l'organo proprio come il tipo di radiazione a cui l'organo è stato effettivamente esposto. Un valore di dose così calcolato tiene quindi conto sia della quantità di energia ceduta all'organo irradiato, sia degli effetti biologici diversi a seconda del tipo di radiazione. In altre parole, le dosi calcolate in tal modo hanno gli stessi effetti biologici sull'organo, indipendentemente dal tipo di radiazione.

### **Unità di misura della dose**

---

L'unità di misura per la dose agli organi (come d'altronde per la dose efficace, di cui si parlerà più avanti) è il sievert (Sv). Per i raggi gamma e beta vale l'equazione  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ . Per altri tipi di radiazione, a parità d'energia ceduta il valore della dose in sievert supera la radiazione gamma in ragione del relativo fattore di ponderazione. Le dosi piccole sono indicate in millisievert ( $1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv}$ ). Il sievert ha sostituito il rem ( $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ ), unità di misura in uso in passato.

**Una dose indicata in sievert tiene conto sia della quantità di energia ceduta al corpo irradiato, sia dei differenti effetti biologici dei vari tipi di radiazione considerati.**

### **Danni acuti**

---

Un organo irradiato subisce danni acuti soltanto se la dose assorbita supera il valore soglia. Nel caso di un'irradiazione di breve durata (ossia di qualche ora) di organi sensibili, tale valore si situa attorno a 0,5 Sv. Se l'irradiazione dura più a lungo (giorni, settimane), la soglia è più alta: così, per esempio, un'irradiazione di breve durata dell'occhio può provocare un offuscamento del cristallino già a partire da ca. 2 Sv.

Se invece l'irradiazione si protrae per 40 anni, sono necessari ca. 10 Sv per produrre lo stesso effetto. La quantità di dose agli organi determina la gravità di un danno acuto. Tali danni acuti occorrono generalmente solo in seguito a gravi incidenti. Se ad essere irradiato è tutto il corpo umano, i primi effetti valutabili come sintomi di un'insorgente malattia da irradiazione sono costituiti da affanno, vomito e modifiche del quadro ematologico. Nel caso di un'irradiazione di breve durata da raggi gamma con una dose tra 4 e 5 Sv, per esempio, tutte le persone colpite si ammalano, nel 50% dei casi con esito letale. L'esposizione a una dose tra 7 e 8 Sv causa quasi sicuramente la morte, a meno che la persona colpita non sia sottoposta a cure mediche intensive. I bambini e i feti sono più sensibili alle radiazioni degli adulti. A lungo termine, inoltre, dosi elevate possono provocare anche il cancro e danni alla struttura genetica.

L'obiettivo primario della radioprotezione è la tutela della popolazione da danni acuti in caso d'incidenti gravi. Ecco perché le dosi limite stabilite dalla legge hanno valori nettamente inferiori al valore soglia e perché le misure di protezione da adottare si riferiscono a tali valori limite.

**Il valore della dose a un organo determina l'entità di un danno acuto. Danni acuti si verificano solo in seguito a incidenti gravi.**

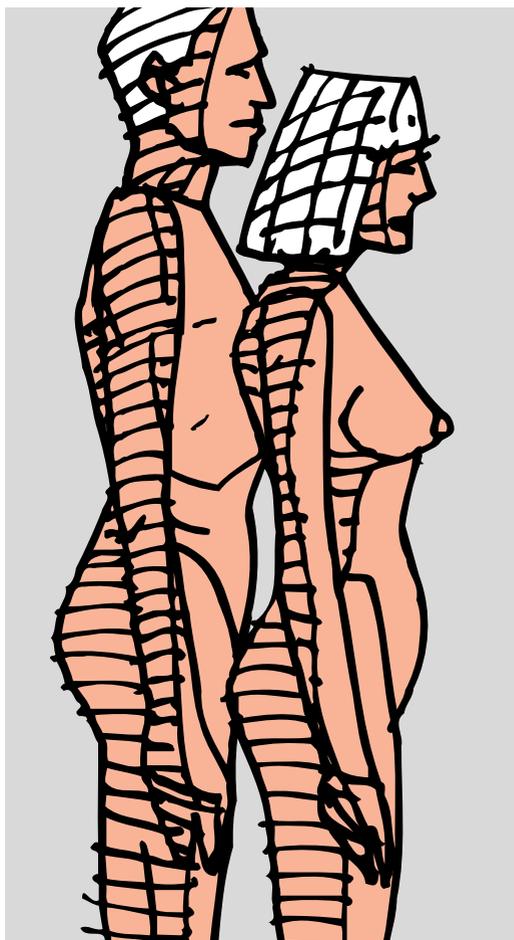
## **Danni tardivi**

---

Dosi limitate, come quelle prodotte dalle radiazioni di origine naturale nell'ambiente o quelle causate dalle applicazioni della diagnostica medica non producono danni acuti. Esse possono tuttavia avere effetti nocivi tardivi.

L'insorgere del cancro o modifiche della struttura genetica, per esempio, possono verificarsi anche a distanza di molti anni da un'irradiazione. In effetti, in questi casi si assume che non esista una «dose soglia»: qualunque dose, per quanto piccola, può provocare dei danni, anche se con una probabilità minima. La probabilità di danno aumenta con l'aumentare della dose. Non è pertanto possibile affermare che una determinata dose è innocua se inferiore a un certo valore e pericolosa se lo supera. Ecco perché uno dei principi fondamentali della radioprotezione prescrive quanto segue: le dosi vanno mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile (ALARA, «as low as reasonably achievable»). Per valutare gli effetti di una dose si sommano tutte le dosi assorbite durante un determinato periodo di tempo (p. es. un anno).

**Cancro e modifiche genetiche possono essere indotti anche da piccole dosi. La dose indica la probabilità che questo accada.**



Organi particolarmente sensibili alle radiazioni:

Midollo osseo rosso

Polmoni

Stomaco

Intestino

### **Relazione tra dose efficace e insorgenza del cancro e di danni al patrimonio genetico**

Gli organi e i tessuti del corpo umano sono più o meno sensibili alle radiazioni. Il rischio di sviluppare un cancro è particolarmente elevato per il midollo osseo rosso, i polmoni, lo stomaco e l'intestino. L'irradiazione delle gonadi è decisiva per il verificarsi di danni al patrimonio genetico.

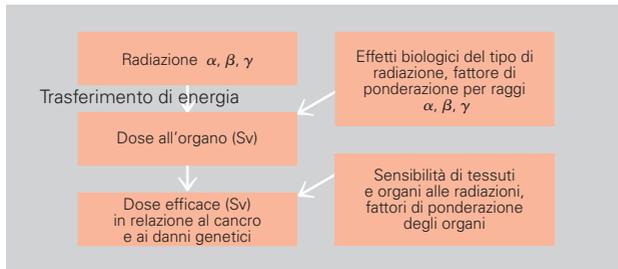
Se unicamente singoli organi ricevono una determinata dose, il rischio di cancro è più limitato che nel caso in cui tutto il corpo riceve la stessa dose. Se l'irradiazione (per esempio da prodotti di decadimento del radon) colpisce solo i polmoni, il rischio di cancro è ca. 8 volte minore che se ne fossero colpiti tutti gli organi del corpo. Nel caso di un'irradiazione totale del corpo, i polmoni contribuiscono per ca.  $\frac{1}{8}$  (=12%) al rischio di cancro. La stessa quota vale anche per lo stomaco, l'intestino e il midollo osseo rosso. Per poter paragonare le irradiazioni parziali e quelle totali del corpo umano in rapporto ai rischi che comportano, è stata introdotta la cosiddetta dose efficace, calcolata nel modo seguente: le dosi assorbite dai singoli organi irradiati vengono moltiplicate con il relativo fattore di ponderazione, il quale tiene conto della sensibilità all'irraggiamento e quindi del rischio dell'organo di sviluppare un cancro o di subire danni genetici. I valori così calcolati sono poi sommati. Il risultato, ossia la somma complessiva, è la dose

efficace. Questo valore misura il rischio complessivo di una persona esposta a radiazioni di sviluppare un cancro o di subire danni al patrimonio genetico. Tiene conto della quantità di energia ceduta, del tipo di radiazione, della diversa sensibilità degli organi colpiti e quindi anche della distribuzione dell'irradiazione nel corpo.

**La dose efficace tiene conto anche della diversa sensibilità degli organi alle radiazioni, per quanto riguarda la possibilità di sviluppare un cancro e di subire danni al patrimonio genetico.**

**L'unità di misura della dose efficace è il sievert.**

Spesso è interessante conoscere anche la dose per unità di tempo (intensità di dose). L'unità utilizzata per misurare questo dato è il microsievert all'ora ( $1 \mu\text{Sv/h} = 10^{-6} \text{ Sv/h}$ ).



Schema per il calcolo di una dose all'organo

Qui di seguito, per dose s'intenderà sempre la dose efficace (fatte salve esplicite eccezioni, p. es. quando si tratterà di dosi assorbite dai polmoni, dalla tiroide o dalle gonadi). Va inoltre ricordato che, indipendentemente dall'origine naturale o artificiale delle radiazioni, gli effetti sull'uomo di una determinata dose sono gli stessi.

### **Cancro e danni al patrimonio genetico**

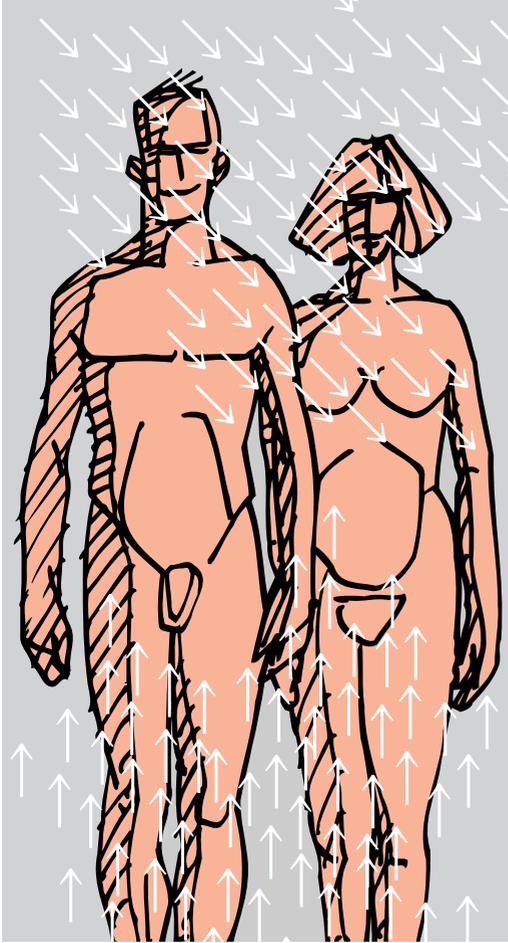
Nella maggior parte dei casi, il cancro e i danni al patrimonio genetico si verificano senza che a causarli sia la radioattività. Un aumento della frequenza di questi fenomeni causato da radiazioni di origine artificiale è spesso paragonato con la loro frequenza naturale. Un tale confronto è particolarmente indicato quando le dosi



Fattori che influiscono sugli effetti delle radiazioni (schema)

supplementari sono relativamente piccole rispetto alle dosi derivanti dalle sorgenti radioattive naturali.

A livello statistico, l'apparizione di un cancro e di danni al patrimonio genetico presenta una certa variazione della frequenza. Gli effetti di piccole dosi supplementari di radiazione si collocano all'interno di questa variazione naturale, sono coperti da essa e il loro rilevamento risulta statisticamente impossibile. Nel caso di piccole dosi, l'aumento della mortalità da cancro può essere solo calcolato: partendo dal numero di casi di cancro dovuti a un'esposizione a dosi elevate di radiazioni si può infatti estrapolare il numero di casi presumibilmente rilevabili in concomitanza di dosi piccole. La frequenza accresciuta del cancro così calcolata è quindi comparata con la frequenza naturale di questa malattia. Si presume che su 100 000 persone irradiate con una dose di 10 mSv si verifichino 50 casi supplementari di cancro con conseguenze letali. In Svizzera, per esempio, ca. il 25% della popolazione muore di cancro (peraltro provocato solo in piccola parte da radiazioni d'origine naturale o artificiale). Partendo da questo dato si può per esempio stimare per estrapolazione che le radiazioni dovute a Chernobyl nella prossima generazione contribuiranno ad aumentare la mortalità da cancro in Svizzera di ca. 0,1 per mille. Un aumento così contenuto è quasi impercettibile, proprio perché rimane all'interno della variazione naturale.



Il corpo umano è esposto ad una radiazione esterna proveniente dal suolo e dallo spazio.

## Riassunto

---

Un eventuale danneggiamento del corpo umano prodotto da un'irradiazione dipende da vari fattori.

## Irradiazione esterna

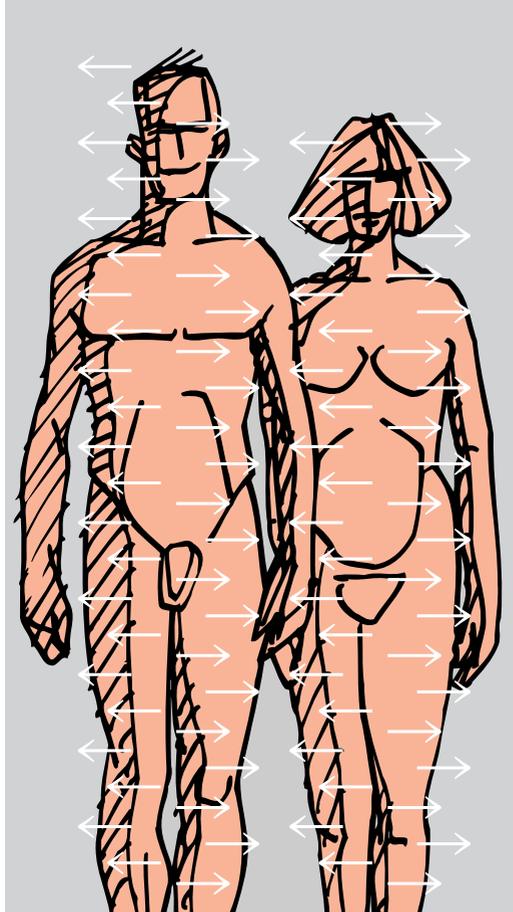
---

Le radiazioni possono colpire il corpo dall'esterno o dall'interno. Si parla di dosi da irradiazione esterna o interna. L'irradiazione esterna può essere paragonata all'irraggiamento a scopi diagnostici con raggi X: il corpo viene irradiato ma non emette nessuna radiazione. All'irradiazione esterna del corpo umano contribuiscono per esempio le radiazioni cosmiche provenienti dallo spazio e i raggi gamma emessi dai radionuclidi del suolo terrestre (radiazione terrestre). In entrambi i casi, gli organi sono irradiati tutti più o meno nella stessa misura: le dosi ai singoli organi sono all'incirca uguali.

L'intensità di queste fonti d'irradiazione naturali si aggira in Svizzera sui 40-200 nSv/h circa. Ne risulta una dose annua fra 0,4 e 2 mSv.

**La radiazione terrestre e quella cosmica danno luogo a un'irradiazione esterna. La dose annua di queste radiazioni in Svizzera oscilla tra 0,4 e 2 mSv.**

La dispersione di un dato valore di dose è pari almeno alla dispersione dei dati stimati e dei dati misurati presi come base. Ciononostante, i valori di dose ottenuti sono sufficienti per poter decidere, per esempio, se un'attività che induce una dose artificiale sia giustificabile o meno. Gli effetti della radioattività vanno inoltre paragonati con gli altri rischi che l'essere umano corre durante l'espletamento delle attività quotidiane.



I radionuclidi assorbiti dal corpo causano un'irradiazione interna.

di decadimento radioattivi provoca l'irradiazione degli organi respiratori. Il cesio fuoriuscito dalla centrale di Chernobyl, invece, è stato all'origine di un'irradiazione in tutto il corpo, mentre la radiazione emessa dallo iodio radioattivo colpisce soprattutto la tiroide.

**Il fatto di respirare aria carica di radon e dei suoi prodotti di decadimento provoca prevalentemente una dose ai polmoni.**

Per poter calcolare la dose dovuta a un'irradiazione interna è necessario conoscere la radioattività dei radionuclidi incorporati, cioè assorbiti dal corpo umano. La dose (espressa in millisievert) e la radioattività (espressa in becquerel) descrivono infatti due realtà diverse.

La dose efficace (in mSv) per ogni radionuclide è calcolata in base alla radioattività assorbita (in Bq). I fattori di conversione necessari all'operazione sono raccolti in una tabella e tengono conto delle proprietà fisiche del tipo di radiazione, del comportamento metabolico delle sostanze assorbite e di altre variabili.

Dall'attività dei radionuclidi assorbiti attraverso l'alimentazione si può calcolare la dose efficace interna.

Esempio:

- 1000 Bq di un radionuclide assorbito attraverso il cibo provocano in persone adulte le dosi indicate nella tabella seguente. Gli esempi illustrano che le dosi variano notevolmente a seconda dei radionuclidi assorbiti.

### **Irradiazione interna**

Un'irradiazione interna avviene quando s'incorporano sostanze radioattive presenti nell'aria o nel cibo, tramite la respirazione o attraverso l'alimentazione. Tali sostanze possono essere assorbite dal corpo e rimanervi fino a disintegrarsi (irradiando quindi le cellule), oppure essere espulse per via metabolica prima che la loro disintegrazione sia compiuta. Per esempio, il corpo umano espelle il cesio assorbito con un tempo di dimezzamento di circa tre mesi. L'irradiazione interna può colpire in particolare modo determinati organi. Così, per esempio, il fatto di respirare aria carica di radon e soprattutto dei suoi prodotti

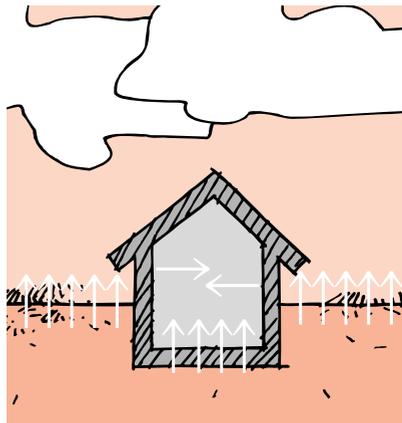
Radionuclide	Dose efficace (radioattività assorbita: 1000 Bq)	
Trizio	0,00002	mSv
Carbonio-14	0,0006	mSv
Cesio-137	0,01	mSv
Cesio-134	0,02	mSv
Stronzio-90	0,03	mSv
Plutonio-239	0,3	mSv

# Dosi di radiazioni annue della popolazione in Svizzera

L'essere umano è ed è sempre stato esposto a radiazioni d'origine naturale. Nel nostro Paese, ad esempio, la popolazione è esposta a una dose media annua di ca. 4,2 mSv.

Il radon e i suoi prodotti di decadimento costituiscono quasi il 50% di questa dose annua. I prodotti di decadimento di questo radionuclide si depositano nei bronchi e nel tessuto polmonare dando luogo a una dose polmonare. Affinché la pericolosità di tale dose ai polmoni sia paragonabile a quella di altre dosi, essa viene convertita in dose efficace.

Oltre un quarto della dose annua in Svizzera proviene dalla diagnostica radiologica medica.



## Distribuzione per provenienza della dose media annua in Svizzera



1	Radiazione cosmica	0,35 mSv
2	Radiazione terrestre	0,45 mSv
3	Radiazione interna	0,4 mSv
4	Radon nelle abitazioni	1,6 mSv
5	Applicazioni mediche	1,2 mSv
6	Altre origini (fallout di bombe atomiche, Cernobyl, impianti nucleari, industrie e ospedali, sorgenti minori)	0,2 mSv
<hr/>		
Totale		4,2 mSv

Il valore di 0,4 mSv per la dose annua è dovuto principalmente all'irradiazione interna provocata dal potassio-40. La dose media di 0,2 mSv causata nel primo anno dopo l'incidente di Cernobyl fu invece prevalentemente dovuta allo iodio-131, al cesio-134 e al cesio-137.

**La dose annua media in Svizzera si aggira attorno ai 4,2 mSv. Circa la metà di questa dose è dovuta ai prodotti di decadimento del radon, mentre un quarto circa proviene dalla diagnostica medica.**

### Variazione della frequenza dei valori di dose

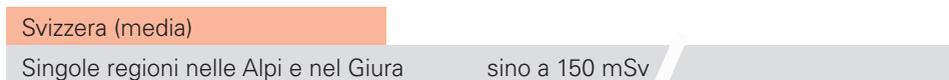
Le dosi provocate dal radon e dalle applicazioni mediche sono caratterizzate da una grande variazione della frequenza.

### **Dosi annue medie in Svizzera ed esempi della loro variazione di frequenza**

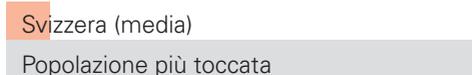
Radiazione cosmica e terrestre insieme



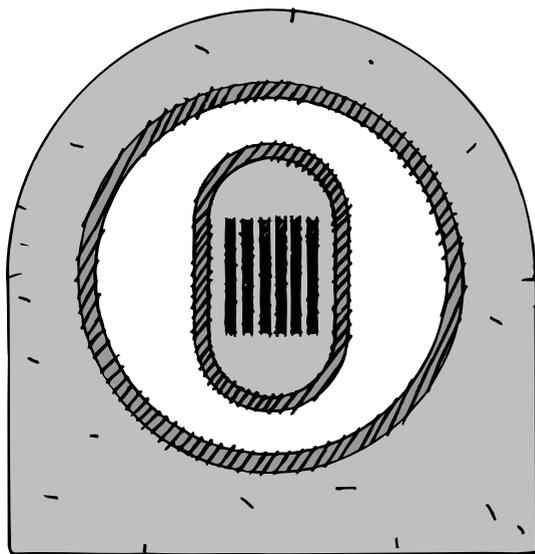
Radon



Cernobyl nel primo anno



# Radioattività da centrali nucleari



- gli elementi combustibili, che contengono la maggior parte dei prodotti di fissione, sono racchiusi in un involucro;
- il nocciolo del reattore, che contiene gli elementi combustibili, è racchiuso nella caldaia del reattore;
- la caldaia e le condutture della sostanza refrigerante sono racchiuse in un involucro di sicurezza in acciaio;
- l'intero impianto si trova all'interno di un edificio di sicurezza in cemento armato che lo protegge anche dall'esterno.

**La scissione dell'uranio produce radionuclidi. Le barriere di sicurezza della centrale nucleare li isolano efficacemente dall'ambiente circostante.**

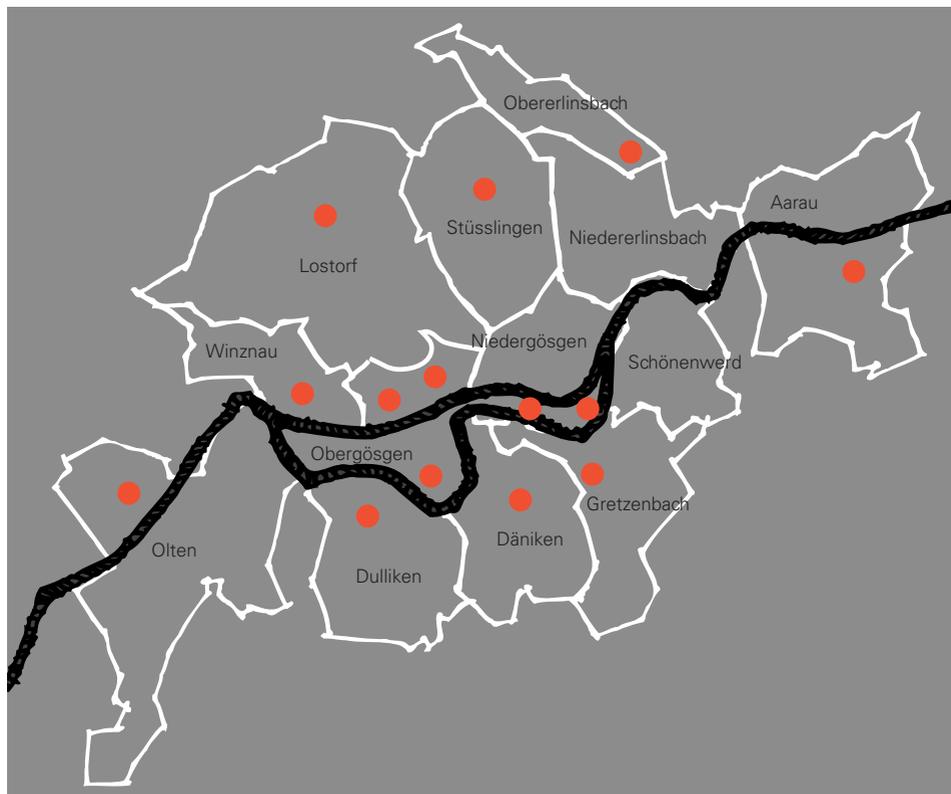
Come nelle centrali elettriche ad olio o a carbone, anche in una centrale nucleare il calore è trasformato in energia elettrica. In questo caso, però, il calore viene prodotto dalla scissione degli atomi di uranio contenuti nei cosiddetti elementi combustibili. Dal processo si formano tra l'altro radionuclidi, come gas nobili radioattivi, iodio, cesio, plutonio, ecc.

In un reattore da 1000 megawatt di potenza elettrica in piena funzione, per esempio, la radioattività dello iodio-131 contenuto negli elementi combustibili corrisponde a ca.  $10^{18}$  Bq = 1 000 000 000 000 000 000 Bq.

Per escludere che una radioattività così intensa possa giungere nell'ambiente, le centrali nucleari dispongono di una serie di barriere di sicurezza poste in successione l'una all'altra:

Il valore limite della radioattività che un reattore nucleare può cedere all'ambiente durante il suo esercizio normale è fissato nell'autorizzazione d'esercizio e viene costantemente controllato. A intervalli regolari vengono inoltre analizzati campioni di aria, terra, acqua fluviale e falda freatica, erba, latte, ecc., prelevati dall'ambiente circostante. Le emissioni di radioattività rilevate e i risultati dei controlli ambientali sono pubblicati nei resoconti dell'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP). I rilevamenti finora eseguiti mostrano che le emissioni annue sono sempre risultate inferiori ai relativi valori limite. Nessuna persona residente nei dintorni di centrali nucleari in Svizzera ha mai assorbito dosi superiori al valore limite stabilito dalle autorità di 0,2 mSv all'anno. Mediante una rete di

**Finora, le emissioni radioattive annue delle centrali nucleari sono sempre risultate inferiori ai valori limite fissati dalle autorità.**



misurazione supplementare (MADUK), l'autorità di sorveglianza verifica costantemente l'intensità di dose nelle immediate vicinanze della centrale nucleare.

In ognuna delle ca. 15 stazioni di misurazione, le sonde MADUK, situate a una distanza massima di 5 km dalle centrali nucleari, rilevano costantemente l'intensità di dose. I dati misurati sono trasmessi ogni 10 minuti alla Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN) e vengono automaticamente analizzati.

# Uso di sorgenti radioattive in ambito medico

Raggi X e sostanze radioattive vengono giornalmente impiegate negli studi medici e negli ospedali. Sono di grande utilità per le diagnosi e il trattamento di malattie e ferite, p. es. nella diagnosi di fratture ossee o nell'irradiazione dei tumori.

Per evitare dosi troppo alte, il medico ordina radiografie solo in casi assolutamente necessari, rispettando le ordinanze per la protezione del paziente e del personale. La formazione dei medici deve inoltre garantire che le diagnosi o i trattamenti con radiazioni avvengano con dosi minime. Nell'ambito della radiodiagnostica sono irradiate solo determinate parti del corpo. L'organo in esame riceve quindi una dose maggiore rispetto ai tessuti non attraversati dalla radiazione utile. A seconda dell'esame si producono dosi efficaci comprese tra 0,01 e 20 millisievert. Dosi elevate sono emesse soprattutto nel quadro dell'impiego della tomografia computerizzata e della radiologia d'intervento.

## Raggi X e sostanze radioattive vengono utilizzati per la diagnosi e la terapia di determinate malattie.

La dose annua derivante da applicazioni mediche varia da persona a persona, a seconda della quantità e del tipo di esami radiodiagnostici a cui essa viene sottoposta. L'indicazione di una dose annua media riferita a tutta la popolazione serve quindi soprattutto a fare dei confronti con altre dosi annue, come quelle dovute al radon o alla radiazione cosmica e terrestre.

Esposizione alle radiazioni	Esempi di esami radiodiagnostici	Dose efficace
Molto bassa	Singoli denti, mano, gomito, piede, ginocchio	ca. 0,01 mSv (0,003–0,03)
Bassa	Scatola cranica, polmoni, anche	ca. 0,1 mSv (0,03–0,3)
Media	Bacino, ventre, colonna vertebrale, seno, tomografia computerizzata della testa e del collo	ca. 1 mSv (0,3–3)
Alta	Tomografia computerizzata della colonna vertebrale, del ventre o del bacino; angiografie; esami radiodiagnostici con mezzi di contrasto di reni, vie urinarie efferenti e apparato gastrointestinale	ca. 10 mSv (3–30)

# Applicazioni in ambito tecnico e scientifico

Le sorgenti radioattive trovano molteplici applicazioni, anche a livello tecnico e scientifico, nella ricerca. Esempi noti sono la prova dei materiali e l'uso dei colori fluorescenti negli orologi, che spesso contengono trizio. Disintegrandosi, questa sostanza produce raggi beta che attivano la sostanza fluorescente.

Un altro esempio è l'impiego dell'americio-241, una sostanza che, integrata nei rivelatori antincendio, permette di rilevare la presenza di gas prodotti dal fuoco. Anche la prova dei materiali avviene spesso con l'ausilio di sostanze radioattive, come p. es. il cobalto-60 i cui raggi gamma vengono sfruttati per il controllo di saldature o di funi portanti di teleferiche. A livello scientifico, infine, per l'analisi di determinati processi biologici sono spesso utilizzati dei composti chimici con radionuclidi integrati, p. es. il trizio o il carbonio-14.

Spesso non esistono alternative alle radiazioni ionizzanti. Le autorizzazioni per l'impiego di apparecchi contenenti sostanze radioattive vengono però concesse solo se il loro uso normale comporta dosi di radiazioni irrilevanti. Si stima che la dose annua media dovuta alle applicazioni tecniche a cui è esposta la popolazione in Svizzera sia inferiore a 0,1 mSv.

**Le sorgenti radioattive trovano molteplici applicazioni anche a livello tecnico e scientifico, p. es. negli orologi (trizio) e nei rivelatori antincendio (americio-241).**

# Scorie radioattive

Sia la scissione dell'uranio nelle centrali nucleari, sia l'impiego di sostanze radioattive in ambito medico, industriale e scientifico producono scorie radioattive. Queste scorie possono contenere i radionuclidi più diversi e presentarsi sotto svariate forme chimiche.

Le centrali nucleari producono due forme principali di scorie radioattive: da un lato ci sono vari tipi di scorie di produzione e dall'altro gli stessi elementi combustibili usati. I primi sono solitamente trattati in Svizzera, in modo tale da poter essere depositati definitivamente (p. es. in fusti sigillati e cementati). I secondi sono invece spediti all'estero e rigenerati. Il materiale riutilizzabile viene estratto mentre i residui altamente radioattivi, destinati al deposito finale, vengono in generale fusi con sostanze vetrose. Le scorie radioattive derivanti dalle applicazioni a livello medico, industriale e scientifico, infine, sono raccolte, trattate e depositate presso l'Istituto Paul Scherrer. Le scorie combustibili debolmente attive sono incenerite per ridurne il volume.

La disintegrazione dei radionuclidi produce calore. Si parla di scorie altamente attive nel caso in cui la radioattività (e quindi il calore) da esse prodotta sia così alta da rendere necessario il loro raffreddamento. Il trattamento di scorie mediamente attive, invece, richiede una protezione dalle radiazioni senza raffreddamento. Per il trattamento delle cosiddette scorie debolmente attive non sono necessari né raffred-

mento né speciali schermature protettive.

L'attività dei radionuclidi con brevi tempi di dimezzamento diminuisce rapidamente. Le radiazioni emesse dalle scorie di centrali nucleari si riducono quindi, almeno all'inizio, molto presto. Le scorie altamente attive vengono dapprima portate in un deposito intermedio, dove rimangono per alcuni decenni. Durante questo periodo gran parte dei radionuclidi si disintegra già, cosicché nel deposito finale si producono meno radiazioni e meno calore.

La Società cooperativa nazionale per l'immagazzinamento di scorie radioattive (CISRA) è ufficialmente incaricata di individuare, nel sottosuolo svizzero, dei luoghi atti al deposito finale d'ogni genere di scorie radioattive.

# Radioprotezione

Attualmente, l'ordinanza svizzera sulla radioprotezione fissa a 20 mSv il limite massimo della dose annua di radiazioni artificiali per le persone professionalmente esposte (sono escluse le applicazioni mediche) e a 1 mSv all'anno quello per le singole persone della popolazione.



Valore limite della dose di radiazioni annue per la popolazione: 1 mSv

Nel settore della radioprotezione vigono i seguenti due principi fondamentali:

- qualunque dose d'irradiazione artificiale dev'essere giustificata da una qualche utilità;
- le dosi d'irradiazione provocate artificialmente vanno mantenute tanto basse quanto è ragionevolmente possibile.

## **Sorveglianza della radioattività**

---

In Svizzera, la concessione di licenze per la manipolazione di radiazioni ionizzanti e il controllo del rispetto delle norme in materia di radioprotezione sono di competenza dell'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP). La Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN) è invece preposta al controllo delle misure di radioprotezione adottate nelle centrali nucleari nonché del rispetto dei valori limite delle emissioni radioattive. L'Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni (SUVA) è l'autorità di sorveglianza per le aziende industriali. L'UFSP sorveglia la radioattività presente nell'ambiente.

# Protezione in caso d'emergenza

## Pericolo per la popolazione in caso d'incidente in una centrale nucleare

Se, in caso d'incidente, diverse barriere di sicurezza non dovessero reggere, potrebbe crearsi una situazione di pericolo per la popolazione dovuta alla fuga di gas rari e di altre sostanze radioattive combinate generalmente con aerosol (particelle di polvere). Può formarsi una nuvola radioattiva trasparente che si diffonde attorno alla centrale a seconda della direzione e della velocità del vento. Inoltre, con le precipitazioni (pioggia e neve) le particelle di polvere combinate con la radioattività si depositano sul suolo. I pericoli che ne derivano sono i seguenti.

Irradiazione esterna:

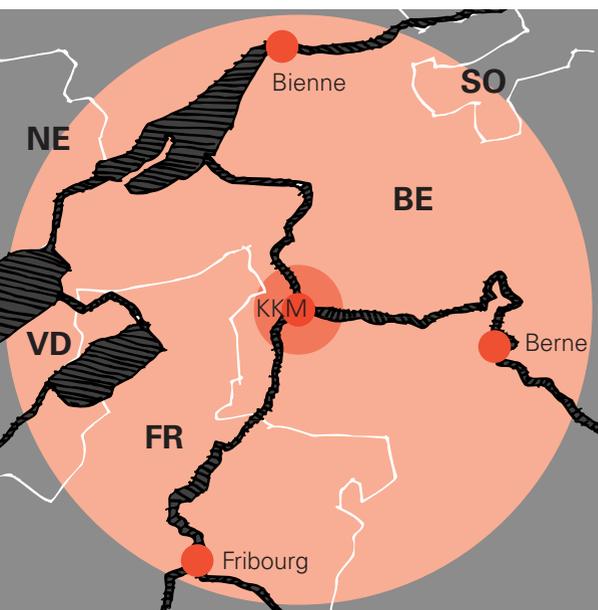
- dovuta al passaggio della nuvola radioattiva,
- dovuta al deposito radioattivo sul suolo.

Irradiazione interna:

- dovuta all'inspirazione di aria irradiata,
- dovuta all'assunzione di alimenti irradiati.

La probabilità che accada un incidente grave è minima, ma non può essere esclusa. Per questa ragione in Svizzera, attorno alle centrali nucleari, è stato installato uno speciale sistema di allarme (zona 1: da 3 a 5 km ca.; zona 2: fino a ca. 20 km di distanza). Sono state predisposte misure a tutela della popolazione.

I principi di base della protezione della popolazione in caso di radioattività elevata e le informazioni relative alla radioprotezione sono presentati qui di seguito.



## **Misure in caso di aumento della radioattività**

---

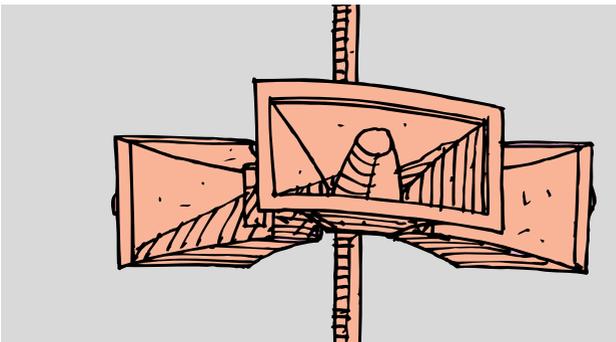
La Commissione federale per la protezione atomica e chimica (COPAC) lavora in stretta collaborazione con i Cantoni e i servizi federali per l'elaborazione di misure che dovrebbero proteggere la popolazione in caso di aumento della radioattività.

Per eventi all'interno del Paese e all'estero che potrebbero provocare un pericoloso aumento della radioattività, la Confederazione ha provveduto alla creazione di un corpo d'intervento che ha i seguenti compiti:

- seguire lo sviluppo di un evento radioattivo in tutto il Paese e valutarne le possibili ripercussioni sulla popolazione;
- presentare alle autorità competenti misure atte a proteggere la popolazione;
- in casi particolarmente urgenti, inviare via radio messaggi affinché la popolazione possa adottare immediatamente misure protettive (p. es. chiudere porte e finestre, restare in casa, assumere compresse allo iodio).
- La Cancelleria federale, infine, informa la popolazione.

Per poter adempiere ai propri compiti, il corpo d'intervento dispone, congiuntamente alla Centrale nazionale d'allarme (CENAL), di reti di misurazione automatiche e di laboratori. Le misure di protezione sono adottate in stretta collaborazione con i Cantoni.

**Le sirene invitano la popolazione ad ascoltare la radio.**



# Scala internazionale degli eventi nucleari (INES: International Nuclear Event Scale)

<b>Livello</b>	<b>Designazione</b>	<b>Tipo d'avvenimento</b>
0	Avvenimento senza rilevanza per la sicurezza	Avvenimento che non supera i valori limite dell'impianto, senza rilevanza per la sicurezza.
1	Anomalia	Avvenimento con deviazioni dal normale regime di funzionamento prescritto, senza rilevanza per la sicurezza.
2	Guasto	Avvenimento con un significativo malfunzionamento dei sistemi di sicurezza, ma con un margine sufficiente per far fronte ad ulteriori guasti.
3	Guasto grave	<ul style="list-style-type: none"><li>– Guasto che potrebbe causare incidenti dovuti al conseguente non funzionamento dei sistemi di sicurezza.</li><li>– Emissione di sostanze radioattive sopra i limiti prescritti.</li><li>– Grave contaminazione all'interno dell'impianto.</li></ul>
4	Incidente	<ul style="list-style-type: none"><li>– Incidente che provoca l'emissione di sostanze radioattive che, per le persone maggiormente colpite al di fuori dell'impianto, equivale alla dose accettabile assorbita in un anno.</li><li>– Parziale danneggiamento del nucleo del reattore.</li></ul>
5	Incidente con possibili conseguenze all'esterno	Emissione di sostanze radioattive nell'ambiente; danni gravi al nucleo del reattore.
6	Incidente grave	Emissione di un grande quantitativo di sostanze radioattive nell'ambiente.
7	Incidente con conseguenze catastrofiche	Emissione nell'ambiente delle sostanze radioattive contenute nel nucleo.

In caso d'incidente in una centrale nucleare, al fine di agevolare la reciproca comprensione tra gli specialisti, i media e il pubblico, e per poter informare la popolazione sul significato dell'evento dal profilo della tecnica della sicurezza, è stata introdotta la scala INES.

<b>Conseguenze per la popolazione</b>	<b>Esempi</b>
Nessuna conseguenza per la popolazione. Comunicato stampa in caso d'interesse pubblico.	Da 10 a 15 volte l'anno nelle centrali nucleari svizzere.
Nessuna conseguenza per la popolazione. Comunicato stampa in caso d'interesse pubblico.	Una o due volte l'anno nelle centrali nucleari svizzere.
Immediata informazione della popolazione. Nessuna necessità di adottare misure di protezione.	
Immediata informazione della popolazione. Eventuale adozione di misure di sicurezza nella zona 1.	
Misure di emergenza per la popolazione nelle zone 1 e 2; allarme con sirene.	
Misure d'emergenza per la popolazione; allarme con sirene.	Three Mile Island (USA) 1979.
Misure d'emergenza per la popolazione; allarme con sirene.	
Misure d'emergenza per la popolazione; allarme con sirene; sono possibili danni acuti alla salute, danni tardivi alla salute in vaste regioni che oltrepassano le frontiere. Ripercussioni negative a lungo termine sull'ambiente.	Cernobyl (URSS), 1986.

# Principi di base della protezione della popolazione in caso di aumento della radioattività

## **Protezione dall'irradiazione esterna**

---

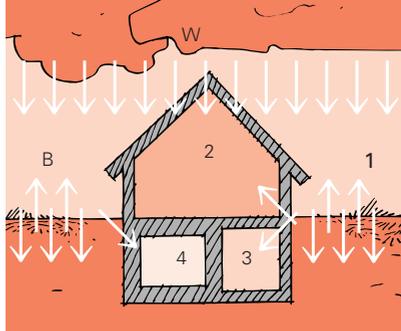
- Distanza:** Maggiore è la distanza da una sorgente radioattiva, minore è l'irradiazione.
- Schermatura:** Per proteggersi dai raggi alfa e beta basta già uno schermo di pochi millimetri di spessore. Per schermare i raggi gamma, invece, sono necessari schermi più spessi e materiali piuttosto pesanti, come quelli costituiti dai muri e dalle fondamenta di una cantina o di un rifugio antiatomico. La dose all'interno di un edificio è da 5 a 10 volte inferiore a quella cui si sarebbe esposti all'aperto. La dose all'interno di un rifugio sotterraneo, invece, è fino a 100 volte inferiore di quella all'aperto. Questi fattori sono decisivi per evitare danni acuti dovuti alle radiazioni.
- Durata dell'esposizione:** Meno tempo si trascorre in un luogo irradiato, minore è la dose assorbita e quindi il pericolo di riportare danni. Per lavori urgenti in casa, è consigliabile uscire il meno possibile dal rifugio o dalla cantina.
- Aspettare:** I radionuclidi si disintegrano da soli. L'attività dei radionuclidi con brevi tempi di dimezzamento diminuisce notevolmente in poco tempo. In caso di forte contaminazione del suolo è consigliabile rimanere nel rifugio per alcuni giorni prima di uscirne, in modo da limitare il rischio di esposizione ai raggi.

## **Protezione dall'irradiazione interna**

---

- Aria:** Rimanendo in casa, a porte e finestre chiuse, e spegnendo (se c'è) l'impianto di ventilazione si riduce notevolmente la dose assorbita.
- Derrate alimentari:** La protezione più efficace dall'irradiazione interna consiste nel mangiare cibi non contaminati, come le scorte d'emergenza, alimenti in scatola, e nel bere l'acqua potabile della rete pubblica.
- Compresse allo iodio:** L'assunzione tempestiva di compresse allo iodio riduce la dose assorbita dalla tiroide. Lo iodio non attivo viene infatti depositato nella tiroide ed impedisce l'assunzione dello iodio radioattivo.

- N Nuvola radioattiva
- S Irradiazione del suolo
- 1 Esterno dell'edificio: non protetto prima dell'irradiazione
- 2 Interno dell'edificio: irradiazione da 5 a 10 volte inferiore
- 3 Cantina: irradiazione da 30 a 50 volte inferiore
- 4 Rifugio: irradiazione da 50 a 100 volte inferiore



### **Misure in caso di emergenza nei dintorni di una centrale nucleare**

In caso d'incidente in una centrale, oltre alla Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN) è allertata immediatamente la Centrale nazionale d'allarme (CENAL). Se l'incidente può comportare pericoli per la popolazione, con una telefonata si mobilitano gli stati maggiori di direzione dei Cantoni e dei Comuni nelle due zone di pianificazione dell'emergenza 1 e 2. La zona 1 comprende un territorio di un raggio da 3 a 5 chilometri. La zona 2 è annessa alla zona 1 e include un territorio di un raggio di circa 20 chilometri.

Se sono necessarie misure per la popolazione, nella regione in questione è dato l'allarme generale con le sirene e sono trasmesse via radio le istruzioni da seguire. Queste potrebbero essere:

#### **Evacuazione preventiva di una regione limitata Cercare protezione in casa / in cantina / in un rifugio Assunzione di compresse allo iodio**

Le compresse allo iodio sono a disposizione di tutta la popolazione svizzera e sono in parte distribuite alle economie domestiche. Il vostro Comune vi fornirà le indicazioni utili relative alle modalità di distribuzione.

#### **In caso di pericolo, l'allarme alla popolazione è dato con le sirene (allarme generale). Le istruzioni sul comportamento da adottare seguono via radio.**

# Breve guida terminologica

Aerosol	pagina 11
Particelle di polvere molto fini o gocce nebulizzate sospese nell'aria.	
Atomo, nuvola elettronica	pagina 3
Attenuazione dei raggi gamma	pagina 10
Attraversando la materia, l'intensità dei raggi gamma diminuisce lentamente. La parte dell'intensità iniziale di una radiazione che attraversa un materiale di un certo spessore dipende dall'energia della radiazione gamma come pure dallo spessore e dal tipo di materiale.	
Attività	pagina 5
Becquerel	pagina 7
Curie	pagina 5
Danni al patrimonio genetico	pagina 13
Deuterio	pagina 3
Decadimento alfa, particelle alfa, radiazione alfa	pagina 9
Decadimento beta, particelle beta, radiazione beta	pagina 9
Nel corso di una disintegrazione cosiddetta «beta-negativa», il nucleo di un radionuclide emette una particella beta elettricamente negativa, o elettrone; nel caso di una disintegrazione «beta-positiva», il nucleo emette invece una particella beta elettricamente positiva o positrone.	
Disintegrazione nucleare	pagina 5
Vedi anche decadimento alfa e beta	
Dose agli organi	pagina 13
Dose efficace	pagina 13
Intensità di dose	pagina 17

Danni acuti	pagina 13
Danni tardivi	pagina 13
Elemento chimico	pagina 2
Elettrone	pagina 2, 3
Particella elementare dotata di carica negativa e con una massa minima (ca. 1800 volte più piccola di quella del protone).	
Fattore di ponderazione per organi	pagina 16
Fattore di ponderazione del tipo di radiazione	pagina 13
Fissione dell'uranio	pagina 24
Ione	pagina 3
Isotopo	pagina 3
Megawatt	pagina 24
Un milione di watt, l'unità di misura della potenza.	
Misure in caso d'emergenza	pagina 30
Molecola	pagina 2
Neutrone	pagina 3
Particella elementare priva di carica elettrica. È uno dei costituenti dei nuclei atomici, con una massa più o meno uguale a quella del protone. I neutroni liberi sono instabili.	
Nuclide	pagina 4
Prodotti di scissione o fissione	pagina 24
Nuclidi originati dalla scissione (fissione) di nuclei atomici pesanti (p. es. uranio) o dalle loro disintegrazioni radioattive.	
Prodotti di decadimento	pagina 16
Protone	pagina 2
Particella elementare con carica elettrica positiva. È uno dei costituenti dei nuclei atomici. La sua massa è ca. 1800 volte più grande di quella dell'elettrone.	

<u>Radiazione cosmica</u>	<u>pagina 19</u>
È così chiamata la radiazione proveniente dallo spazio, costituita prevalentemente da protoni e nuclei di elio. Nell'atmosfera terrestre essa produce particelle secondarie, p.es. neutroni o raggi gamma.	
<u>Radiazione terrestre</u>	<u>pagina 19</u>
<u>Radiazioni ionizzanti</u>	<u>pagina 9</u>
Radiazioni che, penetrando nella materia, producono ioni, per via diretta (raggi alfa e beta) o indiretta (raggi gamma e neutroni).	
<u>Radiazioni o onde elettromagnetiche</u>	<u>pagina 9</u>
Radiazioni che hanno origine da un abbinamento di onde elettriche e magnetiche e che si propagano nel vuoto alla velocità della luce. Esempi: onde radio, luce, raggi X e raggi gamma.	
<u>Radionuclide</u>	<u>pagina 6</u>
<u>Radon</u>	<u>pagina 2</u>
<u>Raggi gamma</u>	<u>pagina 9</u>
<u>Raggi X</u>	<u>pagina 14</u>
Radiazioni elettromagnetiche con un elevato potere di penetrazione nella materia. Usate in medicina, esse sono prodotte nel tubo a raggi X o Röntgen tramite elettroni veloci.	
<u>rem</u>	<u>pagina 14</u>
<u>Sequenza di disintegrazione</u>	<u>pagina 12</u>
<u>Sievert</u>	<u>pagina 14</u>
<u>Tempo di dimezzamento biologico</u>	<u>pagina 20</u>
Il tempo in cui un essere umano o un animale espelle tramite il suo metabolismo la metà di una determinata quantità di sostanza radioattiva assorbita.	
<u>Tempo di dimezzamento fisico</u>	<u>pagina 6</u>
<u>Trizio</u>	<u>pagina 3</u>
<u>Valore soglia</u>	<u>pagina 14</u>