

LE UNITA' DI MISURA DELLA RADIOATTIVITA'

L'unità di misura che è stata molto usata in passato per l'**attività** di una sorgente radioattiva è il **Curie**, posto pari al numero di disintegrazioni prodotte in un secondo da 1 grammo di radio; tale numero risulta essere:

$$1 C_i = 3.7 \cdot 10^{10} \frac{\text{disintegrazioni}}{\text{secondo}}$$


Invece, nel S.I. la misura della radioattività è sostanzialmente una misura di una frequenza di eventi e viene quindi espressa in Hz, ovvero in secondi⁻¹, più precisamente si definisce **Bequerel** il:


$$1 Bq = 1 \frac{\text{disintegrazione}}{\text{secondo}}$$

Poiché il Bequerel esprime livelli di attività radioattiva ridotta, si usano i suoi multipli. Ad esempio i campioni radioattivi del laboratorio di fisica hanno un'attività pari a:

$$\begin{array}{ll} {}^{226}_{88}\text{Ra} & 3.3 \text{ KBq} = 3300 \frac{\text{disintegrazioni}}{\text{secondo}} = 0.09 \mu C_i \\ {}^{241}_{95}\text{Am} & 37 \text{ KBq} = 37000 \frac{\text{disintegrazioni}}{\text{secondo}} = 1 \mu C_i \end{array}$$

E' importante sottolineare che un contatore Geiger non può misurare l'energia delle particelle. Tuttavia, molte volte i contatori commerciali riportano scale graduate in milliRontgen/ora (mR/hr) che è un'unità di intensità di dose di esposizione, oppure in sievert/ora (Sv/h), che è un'unità di intensità di dose di esposizione equivalente assorbita.

	<p>La scala graduata di questo contatore è tarata in mR/hr facendo un improprio riferimento ad una equivalenza tra il flusso di eventi ionizzanti prodotti da particelle di qualsiasi energia e natura e l'energia depositata in aria da un pari flusso di una particolare tipo di particelle di data energia.</p>
---	--

	<p>Il modello Surveyor 50 della Bicon usa il fattore di conversione 1mR/h = 20 Bq per la propria scala con riferimento alla emissione gamma da Cobalto. Altri modelli utilizzano fattori di conversione diversi perché è differente la radiazione a cui fanno riferimento (radiazione gamma del Radio e del Cesio).</p>
---	---

Dose di radiazione assorbita

Per determinare gli effetti biologici dovuti all'assorbimento da radiazione ionizzante si fa riferimento alla *dose di esposizione assorbita* la cui unità di misura è il **rad** (Radiation Absorbed Dose) definito per 1 Kg di tessuto nel seguente modo:

$$1 \text{ rad} = 0.01 \frac{J}{Kg} = 100 \frac{erg}{g}$$

Per tener conto del fatto che i diversi tipi di radiazione hanno differenti effetti sui tessuti si parla allora di *dose di esposizione equivalente assorbita* DE definendo un'unità leggermente diversa, il **rem**:

$$1) \quad DE(\text{in rem}) = RBE \cdot dose(\text{in rad})$$

dove RBE è un fattore di conversione che vale 1 per le radiazioni di media energia, come i raggi X beta e gamma e 20 per le particelle alfa da 1 MeV.

Nel sistema internazionale, per queste quantità si usano le seguenti unità:

$$\text{dose di esposizione assorbita} \quad \text{Gray} \rightarrow 1 \text{ Gr} = 100 \text{ rads} = 1 \frac{J}{Kg}$$

$$\text{dose di esposizione equivalente assorbita Sievert} \rightarrow 1 \text{ Sv} = RBE \cdot \text{Gr}$$

Conversione **Roentgen** → rad

$$\begin{aligned} 1 R &= \frac{1 \text{ ues}}{1.293 \times 10^3 \text{ g}} (2.082 \times 10^9) \text{ coppia di ioni / ues} \cdot (34 \text{ eV / coppia}) \cdot 1.062 \times 10^{-12} \text{ erg / eV} \\ &= 88 \text{ erg / g} = 0.88 \text{ rad} = 88 \text{ mGr} \end{aligned}$$

$$1 R = 0.88 \text{ rad} \rightarrow 1 \text{ rad} = 1.14 R$$

Quando la sorgente è una particella carica, la dose assorbita per unità di tempo è data dalla relazione:

$$2) \quad DE = \frac{\frac{\text{energia rilasciata}}{\text{sec}}}{\text{massa}} RBE$$

Stima della dose assorbita da un individuo posto a 50 cm da 3.3 KBq di Ra226

Ad esempio stimiamo la dose assorbita in un'ora da uno studente di 68 Kg posto alla distanza di 50 cm da una sorgente la cui attività è di 0.1 µ Ci.

Una tale sorgente ha 3300 disintegrazioni/secondo. Poiché ogni particella potrebbe avere 1 MeV di energia ci si aspetta un'energia totale emessa pari a:

$$E = 3300 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot 10^6 = 5.3 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$1 \text{ rad} : 0.01 \frac{\text{J}}{\text{Kg}} = x : 5.3 \cdot 10^{-10} \text{ J} \rightarrow \text{dose assorbita} = 5.3 \cdot 10^{-8} \text{ rad} \cdot \text{kg}$$

$$DE(\text{rem}) = 5.3 \cdot 10^{-8} \text{ rad} \cdot \text{kg} \cdot \frac{1}{65 \text{ Kg}} \cdot 0.1 \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{hr}} \cdot 1 \text{ RBE} \approx 3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{rem}}{\text{hr}} = 0.3 \frac{\mu \text{rem}}{\text{hr}} = 2.6 \frac{\text{milli rem}}{\text{anno}}$$

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv} \rightarrow 2.6 \frac{\text{milli rem}}{\text{anno}} = 26 \frac{\mu \text{Sv}}{\text{anno}}$$

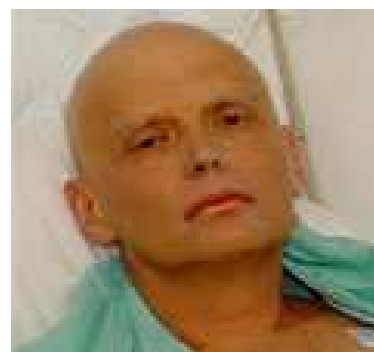
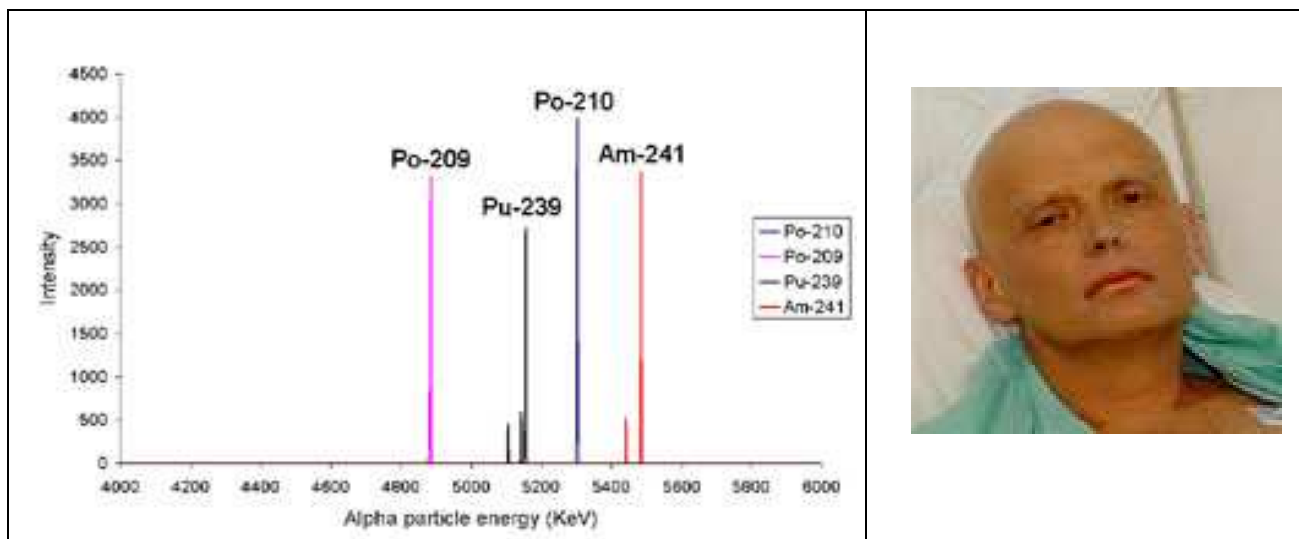
dove si è posto stimandolo pari a $1/10=0.1$ l'efficienza geometrica (angolo solido) sotteso dallo studente posto a 50 cm dalla sorgente. Inoltre si è diviso per 65 Kg poiché la radiazione non verrà concentrata da 1 Kg di tessuto ma sarà "diluata" su tutta la massa dello studente.

Da notare che un individuo riceve circa 0.25 rem all'anno dalle sorgenti di radiazione naturali (raggi cosmici, etc). Un esame diagnostico con raggi X comporta l'assorbimento di una dose pari a 100 milliRem (mammografia 100 mRem, radiografia del torace 14 milliRem, radiografia tubo digerente 500 milliRem). Gli organismi preposti alla definizione degli standard di protezione delle radiazioni (*International Commission on Radiological Protection, I.C.R.P.*) stabiliscono che una dose limite per il pubblico è di 0.5 rem/anno

I risultati ottenuti mostrano che il livello della pericolosità della sorgente di Ra226 è irrilevante poiché è, ad esempio, quasi $1/10$ di quello della radiazione cosmica. Tuttavia è importante rilevare che il rischio non può considerarsi nullo poiché, avendo a che fare con un evento stocastico, non è possibile definire un valore di soglia; al limite, può essere considerato rischioso anche un singolo evento. Solo la probabilità che il danno si verifichi è funzione della dose assorbita, e non la gravità ad esso associata.

Stima della dose assorbita da un individuo che ingerisce 1 pCi (3.7×10^{-2} Bq) di Po210

Un ex colonnello russo, già membro del KGB, Aleksandr Livitenko è morto avvelenato, sicuramente con una polvere di polonio 210, "servita" o meglio spruzzata da una bomboletta in un ristorante a Londra. **Il polonio è un elemento tossico, altamente radioattivo e pericoloso da manipolare**, persino in quantitativi dell'ordine del milligrammo o meno. Le particelle alfa (5.3 MeV, vedi grafico sotto) che emette viaggiano per pochi centimetri nell'aria e sono facilmente schermabili, ma in caso di penetrazione nell'organismo (ad esempio per inalazione o ingestione) possono danneggiarne i tessuti.



Il range in aria (in cm) delle particelle alfa di energia E espressa in MeV è :

$$R_{aria} = 0.3 \cdot E^{\frac{3}{2}} \quad R_{aria}(5.3 \text{ MeV}) \approx 4 \text{ cm}$$

Nelle altre sostanze, come liquidi e solidi il range è ovviamente minore che nell'aria e può essere determinato con la seguente relazione, detta di Bragg-Kleeman:

$$R_{cm} = 0.00032 \left(\frac{\sqrt{A}}{\rho} \right) R_{aria}$$

Dove A è il peso atomico dell'assorbitore e ρ è la sua densità in g/cm^3 . Nei composti A è la media pesata dei singoli elementi (effective molecular weight, A_f). Nel caso dell'acqua (0.11 H, 0.89 O) e quindi di tessuto umano, avremo:

$$\sqrt{A_{ef}} = \frac{1}{\left(\frac{0.11}{\sqrt{1}} + \frac{0.89}{\sqrt{16}} \right)} = 3 \rightarrow A_{ef} = 9$$

La particella alfa avrà quindi un range pari a:

$$R = 3.2 \times 10^{-4} \left(\frac{3}{1} \right)^4 \approx 4 \times 10^{-5} \text{ m}$$

La regione di tessuto dove verrà rilasciata l'energia della particella sarà una sfera di raggio pari al range, vale a dire:

$$V = \frac{4}{3} \pi (4 \times 10^{-5})^3 = 2.7 \times 10^{-13} \text{ m}^3$$

Dalla (2) si ottiene:

$$DE = \frac{3.7 \times 10^{-2} \frac{\alpha}{s} \cdot 5.3 \times 1.6 \times 10^{-13} \frac{J}{\alpha}}{2.7 \times 10^{-13} \cdot 10^3 \frac{Kg}{m^3}} \cdot 20 = 2.3 \cdot 10^{-3} \frac{S_v}{s} = 830 \frac{rem}{h}$$

Si tratta di una dose estremamente alta poiché l'energia della particella alfa viene depositata in un volume molto piccolo. Tenendo conto che se ingerito il polonio non agirebbe direttamente sul tessuto, è stato stabilito che il limite massimo tollerabile di radioattività da ingestione del polonio è 83000 Bq (3 µCi), una quantità corrispondente a quella prodotta da 3×10^{-9} grammi (3 nanogrammi) di polonio.

La tiroide e lo iodio.

La tiroide è una ghiandola di circa 25 grammi (25 cm³) a forma di farfalla situata alla base del collo, formata da 2 lobi a destra e 2 a sinistra, collegati al centro. La tiroide produce, immagazzina e rilascia gli ormoni tiroidei (T3 e T4) che agiscono all'interno di quasi tutte le cellule dell'organismo e consentono la regolazione di funzioni estremamente importanti, quali il metabolismo.

Le cellule della tiroide hanno la capacità di assorbire iodio, per cui le malattie di questo organo possono essere trattate con iodio radioattivo. Per la cura di tali malattie si impiega il radionuclide I-131 che è un emettitore beta, anche se la radiazione gamma associata comporta l'esposizione di altri tessuti e persino di altre persone. Chi è stato trattato con Iodio-131 per curare un problema alla tiroide eliminerà gran parte del radionuclide con le urine, tuttavia, per alcune settimane una parte dello iodio rimarrà nel loro corpo per cui potrebbe irraggiare altre persone. Prima di una scintigrafia tiroidea viene somministrata al paziente per via orale una capsula di iodio-131 (dose : 2-5 mCi).

L'isotopo Iodio-131 emette due raggi beta, uno con energia di 0.608 MeV (85 %) e l'altro con energia di 0.315 MeV(15%) il cui range nel tessuto è di 2 mm e 0.9 mm, rispettivamente.

Si determini la DE della ghiandola tiroidea dovuta ai raggi beta emessi da 2 mCi di Iodio-131.

Dalla (2) si ottiene:

$$DE = \frac{3.7 \times 10^7 \left[0.85 \left(\frac{0.608}{3} \right) + 0.15 \left(\frac{0.315}{3} \right) \right] \cdot 1.602 \times 10^{-13}}{2.5 \times 10^{-2}} = 4.5 \times 10^{-5} \frac{S_v}{s} = 16.3 \frac{rem}{h}$$

Piogge radioattive o "fall-out" . Al momento di un'esplosione nucleare o di un grave incidente in una centrale nucleare, molto materiale, polveri oppure terra, viene sollevato dal terreno e si mescola con minute porzioni radioattive dei resti dell'esplosione. Le polveri possono venire trasportate nell'atmosfera anche a migliaia di chilometri di distanza per poi ricadere mescolate alla pioggia, quando è ancora radioattivo, in varie forme. Ad esempio, l'isotopo ⁹⁰Sr (stronzio 90), che può depositarsi nel midollo delle ossa e provocare la leucemia, o lo ¹³¹I (iodio 131) che si deposita nella tiroide e ne provoca il cancro. Entrambi questi isotopi erano presenti nella nube radioattiva provocata dall'esplosione di Chernobyl e la loro ricaduta sull'Italia provocò, all'epoca, il divieto di consumo di alcuni cibi tra cui l'insalata.

Nel raggio di 20 chilometri attorno alle centrali nucleari svizzere sono state distribuite pillole di ioduro di potassio alla popolazione, da assumere unicamente in caso di un incidente. Le pillole

saturano la tiroide con iodio inattivo e impediscono in tal modo la penetrazione dello iodio radioattivo tramite le derrate alimentari o le vie respiratorie.



http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/097_it.pdf

Radiation Source	Average Annual Whole Body Dose (millirem/year)
Natural: Cosmic	29
Terrestrial	29
Radon	200
Internal (K-40, C-14, etc.)	40
Manmade: Diagnostic X-ray	39
Nuclear Medicine	14
Consumer Products	11
All others: Fallout, air travel, occupational, etc.	2
Average annual total	360 millirem/year=40 microrem/h \approx 46 μ R/h

Fonte: <http://web.princeton.edu/sites/ehs/osradtraining/backgroundradiation/background.htm>

Nota. Il röntgen è definito come la quantità di radiazione che produce in un campione di aria di 1cm³ a 0°C e 1 atm, una ionizzazione corrispondente ad una carica elettrica di 1 ues ovvero $2,08 \times 10^9$ coppie di ioni.

Biografia

Tsoufanidis N., *Measurement and Detection of Radiation* , McGraw-Hill Series in Nuclear Engineering, 1983.