Zeitschrift: Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (2001)

Heft: 2

Artikel: Radioattività e abitazione

Autor: Romer, Arturo

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-132191

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Radioattività e abitazione

Arturo Romer, fisico
Università della Svizzera Italiana

Il decadimento radioattivo

Un nucleo radioattivo (= instabile) emette spontaneamente una o più particelle (p.e. alfa «α», beta «β», gamma «γ», neutrone «n»). Esiste una relazione tra il numero «N(t)» di atomi del materiale radioattivo ancora presenti al tempo «t» e il numero «dN» di atomi che decadono nell'intervallo temporale «dt»:

$$dN = N(t) \cdot \lambda \cdot dt$$

λ = costante di decadimento

Risolvendo la sopra citata equazione differenziale, si ottiene:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

N_0 = numero di nuclei presenti all'istante t = 0

Per il famoso tempo di dimezzamento $t_{½}$ vale:

$$t_{½} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \; [s]$$

I processi nucleari vengono descritti tramite equazioni bilanciate. Eccone un esempio:

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

Si osservi che la somma dei pedici (= numeri atomici) deve essere uguale per entrambi i termini dell'equazione. La medesima affermazione vale per gli apici (= numeri di massa).

Descriviamo in seguito i decadimenti più importanti, ossia

a) il decadimento α
b) il decadimento β^-
c) il decadimento β^+

a) Decadimento α : $\alpha = {}^{4}_{2}He^{++}$

$$^{A}_{Z}Nucleo \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Nucleo + {}^{4}_{2}He^{++} + \Delta E$$

Esempio: $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He^{++} + \Delta E$

b) Decadimento β^- : $\beta^- = {}^{0}_{-1}e$

$$^{A}_{Z}Nucleo \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Nucleo + \beta^- + \bar{\nu} + \Delta E$$

Esempio: $^{137}_{55}Cs \rightarrow {}^{137}_{56}Ba + \beta^- + \bar{\nu} + \Delta E$

c) Decadimento β^+ : $\beta^+ = {}^{0}_{+1}e$

$$^{A}_{Z}Nucleo \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Nucleo + \beta^+ + \nu + \Delta E$$

Esempio: $^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + \beta^+ + \nu + \Delta E$

Questi decadimenti sono spesso accompagnati dall'emissione di raggi gamma (γ), ossia mediante l'emissione di un fotone. Tra l'energia «E» e la frequenza «ν» del fotone emesso vale la seguente relazione

$$E_\gamma = h \cdot \nu$$

h [J · s]
ν [s^{-1}]

h = costante di Planck = $6.626 \cdot 10^{-34}$ [J · s]

Unità	Grandezza	Significato
Bq (Becquerel)	Attività	1 Bq = 1 Decadimento al secondo
Bq / m^3	Attività nei gas	-
Bq / kg	Attività nei materiali solidi	-
Gy (Gray)	Dose assorbita	1 Gy = 1 J / kg
Sv (Sievert)	Dose equivalente	1 Sv = 1 J / kg

Le unità di misura della radioprotezione (sistema SI)

Il concetto di dose

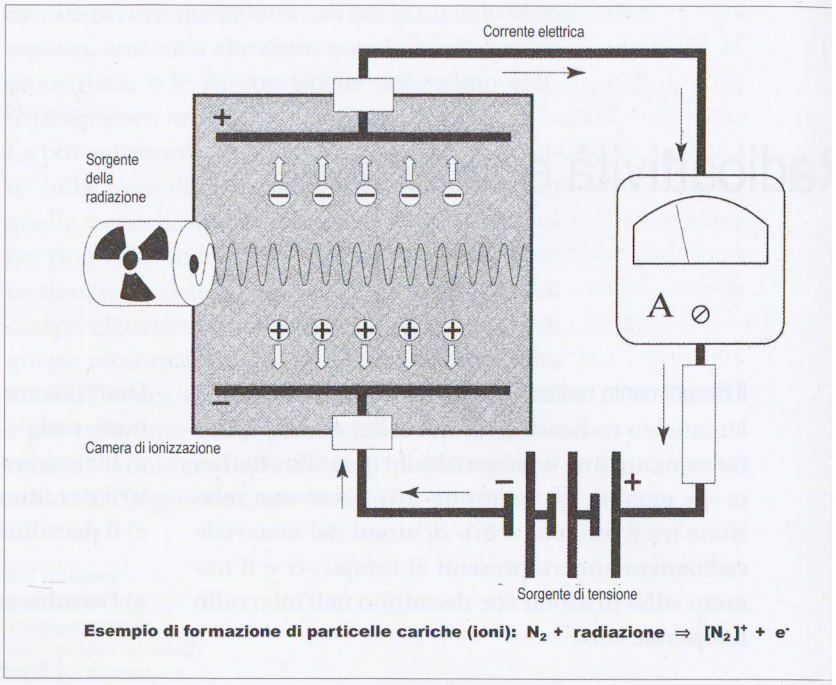
La misurazione nella camera di ionizzazione

Le radiazioni ionizzanti possono essere rilevate in una camera di ionizzazione. Una camera di questo tipo si compone essenzialmente di un recipiente pieno di aria, in cui sono piazzati due elettrodi, collegati alla stessa fonte di tensione attraverso un elettrometro. Quando la radiazione penetra nella camera, singoli elettroni vengono separati dalle molecole o dagli atomi presenti nell'aria (o in un altro gas). Vengono così prodotti degli ioni e il gas diventa un conduttore elettrico. Il flusso di corrente generato può essere misurato.

Nella camera di ionizzazione, gli ioni positivi e gli elettroni liberati vengono convogliati sull'elettrodo di carica opposta. La tensione è scelta in modo che gli ioni e gli elettroni non possano più legarsi, ma anche che l'accelerazione verso gli elettrodi non sia così forte da causare altre ionizzazioni a causa degli urti con le particelle di gas. L'intensità della corrente è così proporzionale al numero delle coppie di cariche primarie, ossia generate direttamente dalla radiazione.

Diversamente da quanto avviene per i raggi gamma (γ), per misurare i raggi alfa (α) e beta (β) le pareti della camera di ionizzazione sono fabbricate in un materiale molto sottile, in modo che le particelle possano penetrare praticamente indisturbate. Se la camera deve riprodurre le condizioni di un tessuto organico, viene costruita con apposite materie plastiche.

Le radiazioni ionizzanti sono delle particelle (per esempio α, β^-, β^+, n) e delle onde elettromagnetiche ($E = h \cdot \nu > 12.4$ eV) dotate di alto potere di penetrazione nella materia (p.e. tessuto del corpo umano). Queste radiazioni ionizzano quindi la materia. La ionizzazione può causare negli organismi viventi delle reazioni chimiche che conducono a lesioni di tipo somatico e genetico.



Rappresentazione schematica di una camera di ionizzazione – la radiazione ionizza la materia gassosa e le particelle caricate vengono attirate dall'elettrodo di carica opposta. Il flusso di elettroni (corrente), misurabile, è proporzionale al numero di coppie di ioni prodotte

La dose di esposizione

Gli elettroni prodotti attraverso la radiazione rappresentano una certa quantità di carica. La dose di esposizione corrisponde alla carica prodotta in rapporto alla massa di materiale irradiato, per esempio l'aria all'interno della camera di ionizzazione.

$$\text{Dose di esposizione} = D_{esp.} = \frac{\text{carica prodotta}}{\text{massa irradiata}}$$

Quando in un 1 kg di aria vengono prodotti ioni, rispettivamente elettroni liberi, tanto da generare nel circuito elettrico allacciato alla camera una corrente con un'intensità di 1 ampere (A), la dose di esposizione $D_{esp.}$ è pari a:

$$D_{esp.} = \frac{1A \cdot 1s}{1kg}$$

Dato che un ampere secondo è definito come 1 coulomb (C), l'unità di misura della dose di esposizione è:

$$D_{esp.} = \frac{1C}{1kg} = \frac{10^{-3}\,C}{1g}$$

Ciò corrisponde a $6{,}25 \cdot 10^{18}$ elettroni, rispettivamente ioni, per kg di aria o $8{,}071 \cdot 10^{12}$ coppie di ioni per cm^3 di aria. In passato, la dose di esposizione era misurata in röntgen (R). Per la conversione vale:

$$1R = \frac{2{,}58 \cdot 10^{-4}\,C}{1kg}, \text{risp.} \quad \frac{1C}{1kg} = 3{,}88 \cdot 10^{3}\,R$$

La dose assorbita

Per formare una coppia di ioni nell'aria è necessaria un'energia di 34 elettronvolt (eV) («potenziale di ionizzazione»). L'elettronvolt è un'unità corrente in fisica nucleare: 1 eV corrisponde all'energia cinetica prodotta da un elettrone quando attraversa una differenza di potenziale di 1 volt (V) nel vuoto. Siccome la dose di esposizione può essere misurata direttamente, è possibile calcolare l'energia totale necessaria per la ionizzazione. Di norma, tuttavia, i valori energetici trasmessi sono troppo piccoli per poter essere misurati sotto forma di aumento di temperatura. L'energia trasmessa deve quindi sempre essere calcolata.

Anche l'energia assorbita da una sostanza può essere impiegata quale unità di misura dell'effetto fisico di una radiazione. La dose assorbita D indica la quantità di energia assorbita in rapporto alla massa del materiale irradiato:

$$\text{Dose assorbita} = D = \frac{\text{energia assorbita}}{\text{massa}}$$

Per misurare la dose assorbita, si utilizza il gray (Gy):

$$\text{Dose assorbita} = D = \frac{1\ \text{Joule}}{1\text{kg}}$$

In passato, la dose assorbita era misurata nell'unità rad (dall'inglese *«radiation absorbed dose»*). Per la conversione vale la regola:

$$1\,\text{rad} = 10^{-2}\ \text{Gy}$$

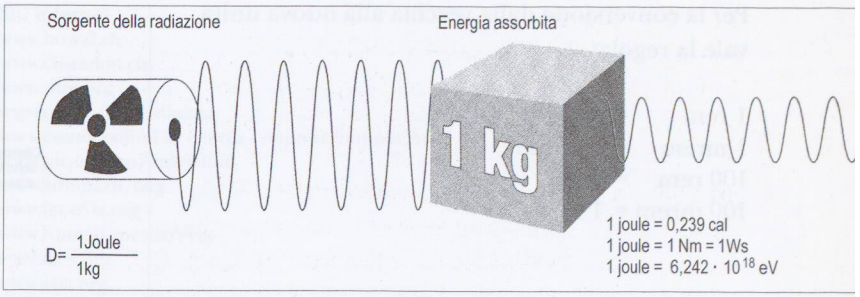


Illustrazione dell'unità di misura della dose assorbita

L'equivalente di dose

Solo con la dose assorbita, tuttavia, non è possibile valutare l'effetto biologico delle radiazioni, dato che diversi tipi di raggi con la stessa dose assorbita possono avere effetti diversi. Se per esempio si irraggiano due oggetti biologici (colture di cellule, ecc.) l'uno con particelle «α» e l'altro con particelle «β» ed entrambi gli oggetti assorbono la stessa quantità di energia, l'effetto dei raggi «α» è di circa 20 volte più forte. Per avere un effetto dello stesso ordine di grandezza dei raggi «β», con i raggi «α» è necessario solo circa 1/20 della dose assorbita.

Una particella «α» sollecita una cellula circa 1000 volte di più di una particella «β». Una ionizzazione più densa in un gruppo di cellule limitato è molto più dannosa dello stesso numero di ionizzazioni distribuite su una superficie maggiore. Malgrado la diversa capacità di penetrazione, invece, l'effetto biologico dei raggi «β», «X» e «γ» a parità di energia è paragonabile.

Per poter tener conto dei diversi effetti biologici delle radiazioni, sono stati stabiliti dei fattori di qualità «Q». I valori raccolti nel corso di vari esperimenti sono riassunti nella tabella 1.

Per determinare l'equivalente di dose «Deq», quindi, la dose assorbita «D» viene moltiplicata per il fattore di qualità «Q» indipendentemente dalle dimensioni:

$$D_{eq.} = D \cdot Q$$

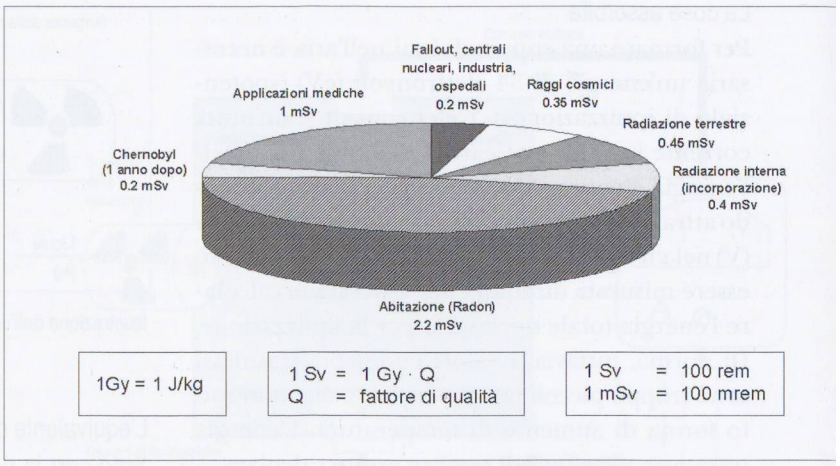
Tipo di radiazione	Coefficiente di qualità Q
Raggi α	20
Neutroni	10
Raggi β	1
Raggi X e γ	1

I coefficienti di qualità

Per indicare che per dose di radiazione s'intende l'equivalente di dose, da qualche tempo si utilizza l'unità sievert («Sv», in J/kg). La vecchia unità di misura era il rem (dall'inglese *«radiation equivalent man»*). Un equivalente di dose di 1 rem corrispondeva a una dose assorbita di 1 rd con un fattore di qualità Q=1.

Per la conversione dalla vecchia alla nuova unità, vale la regola:

1 rem = 0,01 Sv
1 mrem = 0,01 mSv
100 rem = 1 Sv
100 mrem = 1 mSv



Radioattività, dose annua in Svizzera (ca. 5 mSv)

Il radon e le sue figlie

La radioattività non ha odore, non la si vede, non la si sente – ma si può misurarla. È il radon, o meglio sono soprattutto i prodotti radioattivi della sua disintegrazione che causano gran parte delle radiazioni a cui siamo esposti. Attraverso le nostre case.

Le rocce contengono elementi radioattivi naturali con una vita media lunga. Una tonnellata di roccia o terreno contiene da 1 a 20 grammi di uranio. L'isotopo dell'uranio più diffuso, l'U-238, ha un tempo di dimezzamento di 4,5 miliardi di anni. Decadendo, l'atomo di uranio avvia una serie radioattiva, i cui sottoprodotti presentano tempi di dimezzamento che vanno da un millesimo di secondo a qualche centinaia di migliaia di anni. Tra questi figura il radon (Rn-222), che ha un tempo di dimezzamento di quasi quattro giorni.

Un grammo di uranio contiene $2{,}5 \cdot 10^{21}$ atomi. Ogni secondo circa 12 000 di questi atomi decadono, il che significa che l attività dell uranio è pari a $1{,}2 \cdot 10^{4}$ becquerel (Bq). Il sottoprodotto radon è un gas nobile, che può fuoriuscire dalle cavità e dalle fessure del terreno e della roccia. Ogni secondo, in un metro cubo di suolo tipico, circa 10^{4} - 10^{5} atomi di radio decadono in Rn-222.

Le particelle α liberate da questo processo provocano un microscopico «danno da radiazioni» dell'ordine di circa 20 micrometri; il nucleo pesante prodotto (Rn-222) è invece «spostato» dal contraccolpo al massimo di circa 0,4 micrometri.

L'emanazione del radon non dipende solo dalla concentrazione di uranio o di radio e dall'umidità del suolo, ma anche dalla permeabilità e dalla superficie interna. Infatti, una roccia fortemente rovinata dalle intemperie o detritica – per esempio una morena – presenta un numero elevato di cavità (porosità) con molta superficie ed emana più radon di un granito compatto.

Il radon in casa

L'aria esterna diluisce rapidamente il gas liberato dal suolo: livelli di radon tipici nell'aria vanno da 2 a 10 Bq al m^3 e non provocano quindi dosi di radiazioni degne di nota. Anche i materiali di costruzione svizzeri, che contengono frammenti di roccia con uranio, emanano pochissimo radon. Attraverso delle fessure nel sottosuolo, però, il radon penetra nelle cantine delle nostre case e, a seconda del tipo di ventilazione o di costruzione, sale nei piani abitati. L'aria interna, quindi, soprattutto se non si arieggia molto, può presentare una concentrazione di radon ben superiore a quella dell'aria esterna.

L'uomo respira circa 10-20 m^3 di aria al giorno. E se il gas nobile radon è poco velenoso dal punto di vista radiologico, i suoi sottoprodotti – o figlie – a vita breve possono invece penetrare nei polmoni ed emettere una determinata dose di radiazioni. È da queste fonti che proviene circa il 50-75% della dose di radiazione annua a cui è esposta la popolazione.

Calcolo della dose equivalente effettiva
a partire dalla concentrazione di radon nei locali abitati:
1 Bq/m³ = 0,027 mSv all'anno

Limite della dose d'irradiazione per la popolazione:
5 mSv all'anno

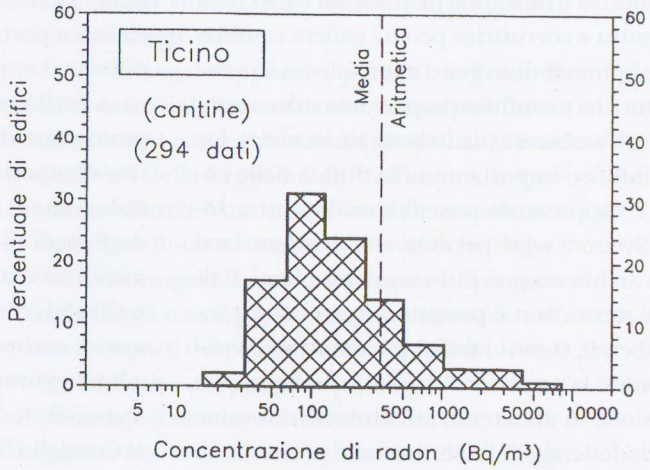
Limite della dose d'irradiazione per lavoratori esposti professionalmente alle radiazioni (tecnici delle centrali nucleari, di istituti di ricerca ecc.):
50 mSv all'anno

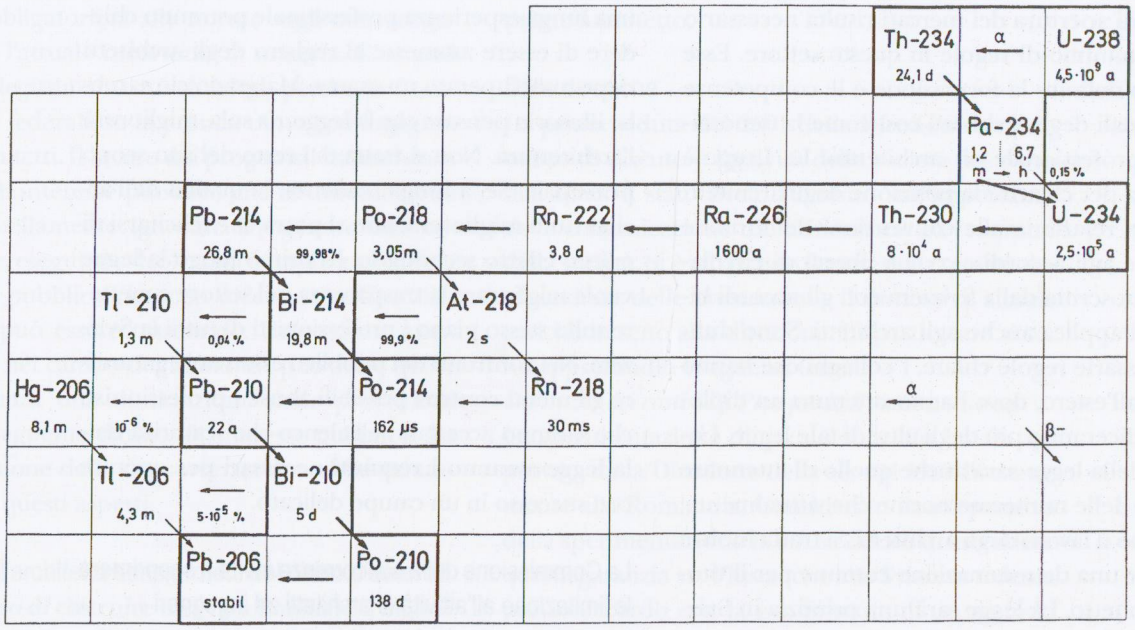
Fattore di conversione per radon e limiti della dose di irradiazione
Fonte F. Medici,1993

Si stima che il 10% dei locali abitabili in Svizzera presenti un tenore di radon superiore al valore raccomandato di 400 Bq/m³, basato su un'applicazione rigorosa dei criteri di radioprotezione. Se nelle nuove costruzioni vengono superati questi 400 Bq/m³ – per quelle vecchie il limite è di 10³ Bq/m³ –, la legge prescrive un risanamento edile. L'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP) ha prodotto diversi documenti e un CD-ROM informativo sull'argomento.

Siti internet
www.buwal.ch
www.ch-radon.ch
www.snm.org
www.nea.fr/html/dbdata
www.cesnef.polimi.it/ricerca/ impnuc/impnuc.html
www.uic.com.au/index.htm
www.admin.ch/bag
www.jet.efda.org
www.frascati.enea.it/FTUI
www.iaea.org
www.epa.org
www.casasana.ch
www.maisonsante.ch

Distribuzione statistica dei valori della concentrazione di radon negli scantinati in Ticino (294 dati la cui media aritmetica è 328 Bq/m³). Dati aggiornati al 1989 (Bosco Gurin escluso).
Fonte: F. Medici, 1993





La famiglia di decadimento dell'uranio-238