

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA

Facoltà di ingegneria

Corso di Laurea in Chemical Engineering for Industrial Sustainability

Elaborato di Corso

Legislazione Sanitaria e Ambientale



Proff. Rosario PIGNATELLO

RADON

Vincenzo FIDONE
Matr: R27000017

Febbraio 2013

Sommario

INTRODUZIONE	2
Il Radon	4
L' esposizione al Radon	5
LA RADIOATTIVITA'	8
Le famiglie radioattive	11
Effetti sull'uomo delle radiazioni ionizzanti	13
L' esposizione al Radon	14
La radioattività e l'Ambiente	15
LE VIE DELL' ESPOSIZIONE AL RADON	17
La misura delle concentrazioni di Radon in EU	18
La prevenzione	18
LE TECNICHE DI MITIGAZIONE	20
L'aria esterna	21
I materiali da costruzione	21
L'acqua per uso domestico	21
Il principio di penetrazione del Radon in un edificio	21
NORMATIVA	23
Normativa di legge in Italia e in Europa	23
Legislazione vigente in materia di protezione sanitaria nei luoghi di lavoro	23
Ambienti residenziali	25
La normativa in Alto Adige	25
Il Radon in acqua	25
Raccomandaione della Comunità Europea per la tutela della popolazione contro l' esposizione al Radon nell'acqua potabile	26
EFFETTI SANITARI E RISCHIO ASSOCIATO	27
Radon e tumore polmonare	27
<i>Il processo Fisico-Biologico</i>	27
Fattore di rischio per il tumore polmonare	29
GLOSSARIO	31



INTRODUZIONE

Il radon è un gas radioattivo, incolore, estremamente volatile prodotto dal decadimento di tre nuclidi capostipiti che danno luogo a tre diverse famiglie radioattive; essi sono l'uranio 238, il torio 232 e l'uranio 235. In termini di classificazione chimica, il radon è uno dei gas rari, come neon, kripton e xenon e come tale non reagisce con altri elementi chimici. Rispetto ad altri gas nobili, il radon risulta essere più pesante, con il più alto punto di fusione, con la maggiore temperatura critica e con la più elevata pressione critica. Alcune delle caratteristiche chimico-fisiche sono illustrate nella tabella. Come evidenziato in tabella, il radon è moderatamente solubile in acqua e quindi può essere assorbito da flussi idrici sotterranei che percolano attraverso suoli contenenti radon e veicolato anche a grandi distanze dal luogo di formazione. Il coefficiente di solubilità viene definito tra la concentrazione di radon in acqua e la concentrazione in aria. La solubilità del radon in acqua dipende dalla temperatura: minore è la temperatura dell'acqua, maggiore sarà la sua solubilità.

- Peso Atomico	222
- Numero atomico	86
- Proprietà del radon gas:	
colore	assente
- Temperatura di fusione (a 1 atm.), °C	-71
- Temperatura di ebollizione (a 1 atm.), °C	-62
- Densità del liquido, g cm ⁻³	
alla temperatura di fusione	4.4
- Solubilità alla pressione di 1 atm nei seguenti liquidi	
	a 0°C a 22°C
glicerina	- 0.21
alcool etilico	9.4 7.4
acetone	8.3 6.2
petrolio	12.6 9.2
cloroformio	20.5 15.1
etere	20.1 15.1
esano	23.4 16.6
anidride solforica	33.4 23.1
- Solubilità in acqua alla pressione parziale di 1 atm (cm ³ kg ⁻¹ acqua):	
a 0°C	510
a 20°C	230
a 30°C	169
- Viscosità alla pressione di 1 atm.:	
a 20°C	229.0
a 25°C	233.2

Un'altra importante caratteristica da sottolineare è che il radon risulta essere molto solubile nei solventi organici e si adsorbe facilmente su carbone e su gel di silice. Il radon diffonde nell'atmosfera dal suolo e, a volte, dall'acqua nella quale, come abbiamo visto, può disciogliersi. In spazi aperti, è diluito dalle correnti d'aria e raggiunge solo basse concentrazioni. Ai contrario, in un ambiente chiuso, come può essere quello di un'abitazione, può accumularsi e raggiungere alte concentrazioni. Il radon viene generato continuamente da alcune rocce della crosta terrestre e in modo particolare da lave, tufi, pozzolane, alcuni graniti, ecc. per la presenza, in queste ultime, di percentuali variabili dei progenitori del radon. Sebbene sia lecito immaginare che le concentrazioni di radon siano maggiori nei materiali di origine vulcanica, spesso si riscontrano elevati tenori di radionuclidi anche nelle rocce sedimentarie come calcari, marne, flysch, ecc. Infine è nota la presenza dei progenitori del radon in alcuni materiali da costruzione. La geologia locale, l'interazione tra edificio e sito, l'uso di particolari materiali, le tipologie edilizie sono pertanto gli elementi più rilevanti ai fini della valutazione dell'influenza del radon sulla qualità dell'aria interna alle abitazioni e agli edifici in genere. Alcuni studi nell'ultimo decennio hanno dimostrato che l'inalazione di radon ad alte concentrazioni aumenta di molto il rischio di tumore polmonare e hanno portato alla conclusione che il radon è da considerarsi la seconda causa di cancro ai polmoni dopo il fumo. Per tale conclusione il radon è stato inserito nell'elenco dell'Organizzazione Mondiale della Sanità al Gruppo 1, che raccoglie le sostanze per le quali non esiste più alcun dubbio sulla oncogenicità.

Allo stato attuale si hanno i mezzi, sia teorici sia pratici, per contrastare il rischio radon. Le autorità locali possono e devono ricoprire un ruolo essenziale. In questa sede possiamo indicare tre approcci fondamentali:

- 1) approfondire la comprensione della situazione geologica locale riguardo ai rischi legati alla presenza di radon attraverso la redazione di mappe di rischio e la redazione di opportuni regolamenti edilizi volti a realizzare le condizioni di mitigazione sia per le nuove costruzioni sia per le ristrutturazioni;
- 2) informare la popolazione sui rischi per la salute posti dal radon e sulle tecniche per diminuire l'incidenza del rischio stesso;
- 3) sostenere economicamente le soluzioni al problema del radon non appena esso sia stato identificato attraverso la concessione di contributi per la realizzazione delle opere di mitigazione.

Il Radon

Pur ignorandone la causa, nella seconda metà del sedicesimo secolo, Paracelso aveva notato l'alta mortalità dovuta a sconosciute malattie polmonari tra i lavoratori delle miniere d'argento nella regione di Schneeberg in Sassonia (Germania). L'incidenza di questa malattia, in seguito nominata "malattia di Schneeberg", aumentò nei secoli diciassettesimo e diciottesimo, quando l'attività nelle miniere di argento, rame e cobalto si intensificò. Questa malattia fu riconosciuta come cancro ai polmoni nel 1879.

Misure effettuate nel 1901 nelle miniere di Schneeberg rilevarono un'alta concentrazione di radon. Come risultato, fu presto lanciata l'ipotesi di un rapporto causa-effetto tra alti livelli di radon e cancro ai polmoni. Questa ipotesi fu rafforzata da più accurate misure del radon compiute nel 1902 nelle miniere di Schneeberg e in altre, in particolare quelle di Jachymov in Boemia, da dove provenivano i minerali usati da Marie Curie. Sebbene l'attività nelle miniere di uranio risultasse intensificata dal 1940 a fini di produzione di derivati per l'industria bellica e civile, i livelli di radon non furono misurati regolarmente che dal 1950.

Gli studi sui minatori coprono dichiaratamente una fascia particolare di popolazione, quella degli uomini che in età adulta sono stati esposti a radiazioni ionizzanti per periodi relativamente brevi (per esempio 40 ore a settimana) e per un numero limitato di anni. In più, i minatori sono generalmente esposti ad altri fattori che possono ricoprire un ruolo nell'incidenza di tumore ai polmoni, poiché essi, per definizione, lavoravano in un'atmosfera carica di polveri ed erano frequentemente fumatori.

Al contrario, i membri della popolazione (entrambi i sessi e tutte le età) sono continuamente esposti al radon; in media, fumano meno e respirano aria più pura. Queste differenze giustificano lo studio dei rischi collegati alla presenza di radon nelle case.

In effetti, il grado e l'urgenza delle misure preventive che devono essere prese dipendono dalla entità del rischio che un determinato livello di esposizione implica (tenendo conto dell'età, del sesso e di altri fattori). Studi sugli effetti combinati dell'esposizione al radon e al fumo delle sigarette mostrano che l'effetto totale di tali esposizioni è molto maggiore della somma aritmetica dei due effetti. In altre parole il fumo aumenta considerevolmente il rischio di tumore ai polmoni correlato al radon, e viceversa.

Nonostante fosse chiaro già da molto tempo che il radon rappresentava un rischio in assoluto, è stato necessario quantificare il rischio in termini di intensità di esposizione, per stabilire valori di soglia accettabili e definire appropriati livelli di protezione. A tal fine, numerosi rilevamenti epidemiologici sono stati

effettuati negli anni '80 in varie nazioni, non solo tra lavoratori di miniere di uranio, ma anche di stagno e di ferro e in numerosi ambienti residenziali; tali rilevamenti hanno portato tutti a conclusioni convergenti.

La Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP) sottolineò quindi la vastità del problema per la salute pubblica e formulò specifiche raccomandazioni nella pubblicazione numero 65 del 1993.

Sebbene quindi l'ipotesi di un legame tra alte concentrazioni di radon e cancro ai polmoni venisse messa in primo piano nei primi anni del ventesimo secolo, la dimostrazione scientifica di questo legame è abbastanza recente, ma definitiva.

L' esposizione al Radon

Poiché la popolazione in Europa trascorre, in media, la maggior parte del proprio tempo in ambienti confinati quali abitazioni e uffici, i rischi di esposizione al radon sono, assai elevati. Non sono a rischio, invece, le aree aperte in quanto la concentrazione del gas è assai limitata in ragione di una sua maggiore e migliore dispersione in atmosfera. Parecchi suoli contengono naturalmente quantità variabili di uranio e dei suoi prodotti di decadimento, che regolano la quantità di radon rilasciata. Il radon diffonde attraverso i pori e le spaccature del suolo in funzione della permeabilità del suolo stesso (densità, porosità, microfratturazioni), del suo stato (secco, impregnato d'acqua, gelato o coperto di neve) e delle condizioni meteorologiche (temperature del suolo e dell'aria, pressione barometrica, velocità e direzione del vento). In più, la concentrazione di radon decresce rapidamente con l'altitudine. È quindi chiaro che il radon è universalmente presente, ma la velocità di emissione varia significativamente nel tempo, anche per uno stesso luogo.

A livello regionale o locale, indipendentemente dalle condizioni prevalenti in un dato periodo, i fattori che più influenzano le concentrazioni di radon rilevate in un ambiente indoor sono:

- la natura geologica del territorio;
- la tipologia edilizia;
- lo stile di vita dei residenti.

La maggior parte del radon presente in una casa proviene dal suolo sul quale essa è costruita; il radon penetra attraverso le microlesioni, che possono essere presenti nelle murature e nei solai, lungo le tubazioni o attraverso i giunti murari e una volta all'interno il gas tende a sostarvi in quanto la pressione interna è leggermente più bassa rispetto all'esterno. Questo fatto induce l'aria interna a stagnare piuttosto che a rinnovarsi. Per un dato terreno e per condizioni geologiche circostanti simili, indipendentemente dalle condizioni meteorologiche, la concentrazione finale di radon in una casa è anche dipendente dalla tipologia

della costruzione se cioè esistono locali interrati o seminterrati direttamente connessi con le strutture fuori terra; se esiste o no un vespaio e quanto questo sia aerato, ma anche in larga misura, dalle abitudini dei residenti; dalla ventilazione, sia essa passiva (cattivo isolamento) sia attiva (per esempio, apertura delle finestre a intervalli lunghi o brevi), dal riscaldamento, condizionamento, ecc. Il ruolo ricoperto dalle condizioni meteorologiche (vento, pressione barometrica, umidità) spiega non solo le variazioni stagionali della concentrazione di radon in una data abitazione, ma anche le differenze osservate tra i livelli diurni e notturni. Il rischio correlato alla presenza di radon ha prodotto diverse linee di ricerca degli esperti e dei responsabili della salute pubblica; infatti per valutare l'entità del problema, negli ultimi 15 anni, sono state effettuate misure di livelli di radon nelle case in quasi tutti i Paesi europei. In molte situazioni, la Commissione Europea ha suggerito e finanziato la realizzazione di queste campagne. La Comunità Europea, infatti, con la raccomandazione n. 143 del 21 febbraio 1990 ha stabilito criteri per la protezione delle popolazioni contro l'esposizione indoor al radon, auspicando la diffusione e la divulgazione dei rischi posti dall'inalazione del gas radon. Tale indicazione raccolta da numerosi stati europei non ha però trovato in Italia giusta attenzione e una buona parte di responsabilità di questa mancanza di informazione è da attribuire alle Amministrazioni locali che ben poco hanno fatto per favorire la diffusione della informazione.

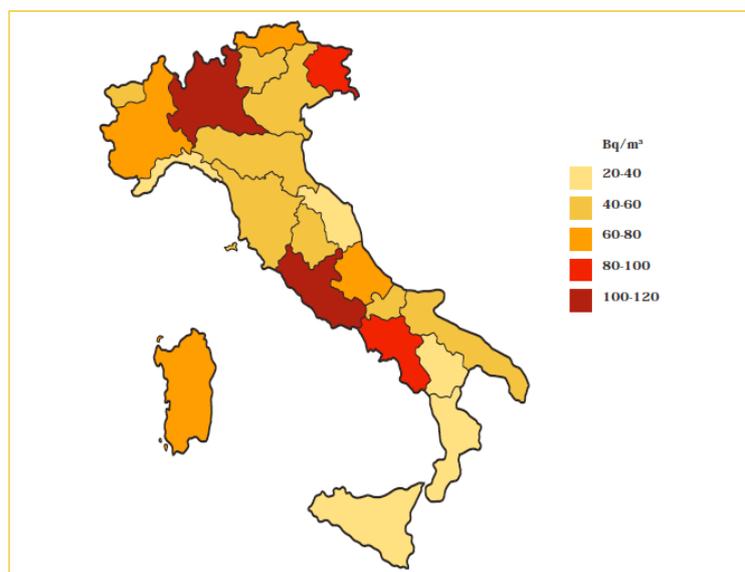
Anche per quanto riguarda i materiali edilizi permanentemente incorporati in opere di costruzione esiste una direttiva CEE, la 106/89, che si può inoltre considerare una norma quadro per la regolamentazione dell'impiego dei materiali; anche questa norma è sostanzialmente disattesa nel nostro Paese. Nella pubblicazione "Il Radon" dell'Organizzazione Mondiale della Sanità Regione Europa sono riportati i valori medi rilevati in campagne nazionali dagli organismi sanitari degli stati membri; tali dati sono riportati nella tabella. Considerato che una dose di 50 Bq/m³ corrisponde a una dose di radiazioni circa tre volte maggiore a quella che mediamente si riceve nel corso della propria vita per lo svolgimento di indagini mediche, si può ben comprendere come tale prodotto di decadimento costituisca un vero pericolo per l'uomo. Dall'analisi dei dati sulle misure effettuate dalle Istituzioni di Sanità Pubblica Europee, risulta evidente come alcuni Paesi, con un numero modesto di abitanti, abbiano svolto un numero di controlli incomparabilmente più grande. Per esempio in Svezia, a fronte di una popolazione di 8,4 milioni di abitanti il numero di controlli eseguiti è di 350.000 cioè 1 misura ogni 24 abitanti. Se ne deduce che il valore medio di quel Paese ha un'attendibilità elevata. In Italia invece il numero di controlli eseguiti è solo di 4.800 a fronte di una popolazione di 56,8 milioni di abitanti cioè pari ad 1 misura ogni 1.800 abitanti (senza contare che alcune regioni non sono state

oggetto di controlli). Il risultato è che valore medio del nostro Paese di 77 Bq/m³ è solo una indicazione generica e per molti versi fuorviante.

Tabella 1.2 – Concentrazioni di radon in Europa

Paese / Abitanti in Mil.	Casi Campionati	Media Naz.	Casi >200 Bq/m ³	Casi >400 Bq/m ³
Austria - 8	3.499	75	19	7,4
Belgio - 10	300	48	1,7	0,3
Bulgaria - 8,5	841	28	2,4	0
Rep. Ceca - 15,6	75.000	140	32	11,4
Danimarca - 5,2	496	47	2,2	< 0,4
Germania - 85	7.500	50	2	0,5-1
Finlandia - 5	50.000	123	12,3	3,6
Francia - 56,9	6.878	68	5,8	1,8
Grecia - 10,2	571	92	3,3	1,4
Ungheria - 10,6	1.000	55	17	4
Irlanda - 3,5	6.211	60	17,5	7,7
Israele - 4	17.000	-	< 5	-
Italia - 56,8	4.800	77	5	1
Lituania - 3,7	120	37	4	1,7
Lussemburgo - 0,4	2.500	-	-	-
Norvegia - 4,2	7.525	55	7	2,5
Olanda - 15,1	1.000	29	0,1	0,01
Polonia - 38,2	< 5	0	-	-
Portogallo - 10,3	4.200	81	8,6	2,6
Romania - 23,2	-	-	0,9	0,4
Spagna - 39	239	-	6,46	2,84
Svezia - 8,4	350.000	108	25	4-5
Svizzera - 6,6	9.000	70	15	7
Inghilterra - 57	270.000	20	8	2,5

Fonte: WHO - 1996 - Regional Office for Europe



LA RADIOATTIVITA'

Con il termine "radioattività" si intende l'emissione spontanea di particelle e/o radiazioni dal nucleo di un atomo. Verso la fine del secolo (1896) Henry Becquerel osservò che una lastra fotografica si impressionava se posta nelle vicinanze di un minerale uranifero. Questi minerali dovevano emettere perciò radiazioni in grado di impressionare le lastre. Qualche anno più tardi Pierre Curie e sua moglie Marie riuscirono a estrarre dal misterioso minerale la sostanza radioattiva responsabile dello strano fenomeno, a cui fu dato il nome di radio, ma fu solo nel 1900 che il fisico F. Dom scoprì che i sali di radio producevano un gas radioattivo, il radon. Successivamente Ernest Rutherford identificò le radiazioni emesse dalle sostanze radioattive in emissioni alfa e beta, mentre Paul Villard individuò i raggi gamma. Sempre Rutherford osservò, inoltre, che gli atomi che emettono radiazioni si trasformano in atomi diversi, ovvero dotati di proprietà chimiche diverse da quelle degli atomi di partenza. Da allora molti studi sono stati condotti allo scopo di individuare la composizione dei diversi tipi di radiazione. I risultati hanno portato a concludere che la radiazione alfa è costituita da nuclei di elio (due protoni e due neutroni), la radiazione beta da elettroni (o dalle loro antiparticelle, i positroni), mentre la radiazione gamma è una radiazione elettromagnetica (e quindi composta da fotoni) particolarmente energetica. Alla base delle emissioni radioattive c'è la tendenza di alcuni nuclei a portarsi verso configurazioni sempre più stabili. Così un nucleo che si trova in uno stato eccitato, avente in pratica energia superiore a quella dello stato fondamentale, si libera dell'energia in eccesso emettendo particelle alfa, beta, o fotoni gamma. La radioattività, oltre che naturale, può anche essere provocata artificialmente; se infatti, si «eccita» un nucleo bombardandolo con particelle come protoni o neutroni, esso tornerà, o si avvicinerà, allo stato fondamentale emettendo radiazioni. La radioattività naturale si presenta in quasi tutti i nuclei aventi numero atomico compreso tra 81 e 92; essi si trasformano in nuclei più leggeri, le cui caratteristiche chimiche sono ben distinte da quelle dei nuclei iniziali. La legge che descrive il decadimento radioattivo è di tipo esponenziale. Questa legge mostra come si riduce al passare del tempo il numero di nuclei di partenza a causa del loro decadimento. Un parametro molto importante che compare nella formula è la «vita media». Dopo che è trascorso un tempo pari alla «vita media», quasi i due terzi dei nuclei iniziali risultano aver subito il decadimento radioattivo. La «vita media» o emivita varia a seconda del nucleo considerato: essa può oscillare dal millesimo di miliardesimo di anno ai cento milioni di miliardi di anni. Il suo valore è un chiaro indice della stabilità del nucleo cui si riferisce: una vita media breve è segno d'instabilità e quindi di predisposizione al decadimento radioattivo; i nuclei stabili invece vantano vite medie



lunghissime. Non è detto che un nucleo radioattivo decada direttamente in un nucleo stabile; può accadere che esso decada in un nucleo instabile, a sua volta soggetto a decadimento radioattivo; il processo in cascata continua finché non si giunge a un nucleo stabile. Si parla allora di serie radioattiva. Gli elementi naturalmente radioattivi, responsabili della produzione del radon, sono stati raggruppati in tre serie che prendono il nome dai tre elementi che fungono da capostipite: la serie dell'uranio, la serie del torio e la serie dell'attinio. I capostipiti hanno vite medie molto lunghe (rispettivamente 4,5, 14 e 0,7 miliardi di anni) e decadono in elementi più leggeri. Il processo di decadimento si arresta quando viene generato un isotopo stabile che per tutte e tre le serie è un diverso isotopo del piombo.

Le emissioni che avvengono durante il periodo di decadimento radioattivo sono chiamate anche «radiazioni ionizzanti» e posseggono, in misura diversa, un potere penetrante nella materia. Le radiazioni (trasporto di energia nello spazio) incontrando la materia possono trasferire la loro energia agli atomi o molecole, eccitandone gli elettroni. Se l'energia è sufficiente a sottrarre l'elettrone alle forze d'attrazione del nucleo si otterrà un atomo (o molecola) ionizzato. L'energia delle radiazioni ionizzanti si esprime in elettronvolt (eV) dove 1 eV definisce l'energia cinetica acquistata da un elettrone che si muove in un campo elettrico uniforme sotto la differenza di potenziale di 1 volti. Altro parametro caratteristico delle radiazioni è il potere penetrante, ovvero la capacità di attraversare spessori più o meno rilevanti prima che la radiazione venga arrestata. Di seguito si riportano alcune indicazioni relative ai tre tipi di decadimento naturali. La radiazione Alfa è costituita da nuclei di elio di massa 4 e carica 2 (2 neutroni e 2 protoni – doppia carica positiva), queste particelle sono poco penetranti ed esauriscono la loro energia cinetica in un mezzo solido nello spazio di pochi micrometri. Sono prodotte da nuclidi radioattivi e hanno energia raramente inferiore ai 4 MeV e velocità da 15.000 a 20.000 km/s.



Il potere penetrante è molto debole (100 volte minore dei raggi beta), non oltrepassano un foglio di carta, una lamina di alluminio dello spessore di 50 micron o lo strato basale dell'epidermide; nell'aria se possiedono un'energia di 3 MeV percorrono dai 2 agli 8 centimetri. Con un'energia di almeno 7,5 MeV possono penetrare negli strati esterni epiteliali. La radiazione Alfa ha potere ionizzante molto elevato (1.000 volte maggiore dei raggi beta), con un'energia di 3 MeV producono infatti 4.000 coppie di ioni per millimetro. Infine, in funzione dell'alto potere ionizzante ma della scarsa capacità penetrativa, la radiazione Alfa risulta pericolosa solo se emessa da una sorgente interna al corpo umano. La radiazione Beta è costituita in effetti da elettroni emessi dal nucleo atomico a seguito della trasformazione di un neutrone in un protone. Alcune di queste particelle aventi alta velocità interagiscono con la materia, con conseguente emissione di raggi X (naturali). Sono prodotte da nuclidi radioattivi e hanno energia da qualche keV a molti MeV, ma di rado superiore ai 4 MeV con velocità da 150.000 km/s a «c» (velocità della luce). Il potere penetrante è debole (100 volte minore dei raggi gamma e 100 volte maggiore della radiazione alfa), non superano una barriera dello spessore di 5 mm d'alluminio o 2,5 cm di legno, inoltre non penetrano per oltre un centimetro nella pelle. Con un'energia di 3 MeV una radiazione Beta percorre nell'aria circa un metro. Hanno potere ionizzante molto basso ovvero pari a 4 coppie di ioni per millimetro con energia di 3 MeV e un livello di pericolosità elevato solo se emesse da una sorgente interna al corpo. La radiazione Gamma ha origine elettromagnetica ed è legata ai campi elettrici dovuti ai protoni nucleari. Essa è quindi della stessa natura della radiazione X con la differenza che la radiazione X è emessa dall'atomo nel riassetto delle orbite elettroniche, mentre la radiazione Gamma è emessa dal nucleo. La radiazione Gamma ha in generale energie che vanno da qualche decina di keV fino a qualche MeV. Esse sono quindi onde elettromagnetiche, come la luce, e non di natura corpuscolare come le due precedenti, la loro frequenza dipende dalla sostanza e ha una lunghezza d'onda compresa tra 10⁻¹¹e 10⁻¹ metri. Sono prodotte da nuclidi radioattivi e la loro energia è proporzionale alla frequenza: da circa 10 keV a 10 MeV. La velocità è circa quella della luce «c» (300.000 km/sec). Le radiazioni Gamma hanno un elevato potere penetrante (100 volte maggiore dei raggi beta), qualche centimetro di piombo ne diminuisce l'intensità di un fattore 2 e potere ionizzante dovuto a ionizzazione indiretta dell'aria per mezzo di elettroni. Per le caratteristiche suddette le radiazioni Gamma sono sempre da considerarsi pericolose anche se emesse da sorgente esterna al corpo umano.

Le famiglie radioattive

Consideriamo brevemente nell'insieme le proprietà di una famiglia radioattiva, cioè di quell'insieme di nuclidi che si susseguono dopo l'emissione di una radiazione da parte di uno dei capostipiti. Come già anticipato al paragrafo precedente, in natura abbiamo diverse famiglie radioattive fra le quali le più importanti ai fini dell'inquinamento indoor da gas radon sono quelle derivanti rispettivamente da uranio 238 (U-238), torio 232 (Th-232) e uranio 235 (U-235). Nelle tabelle, sono illustrate le sequenze delle famiglie.

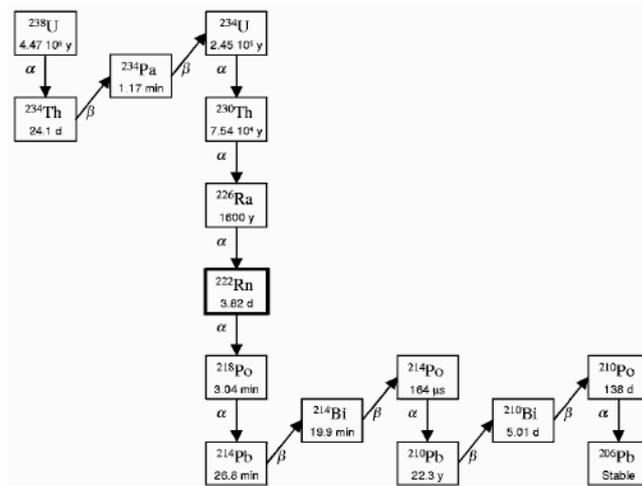


Figura 2.2 Sequenza radioattiva dell'uranio-238

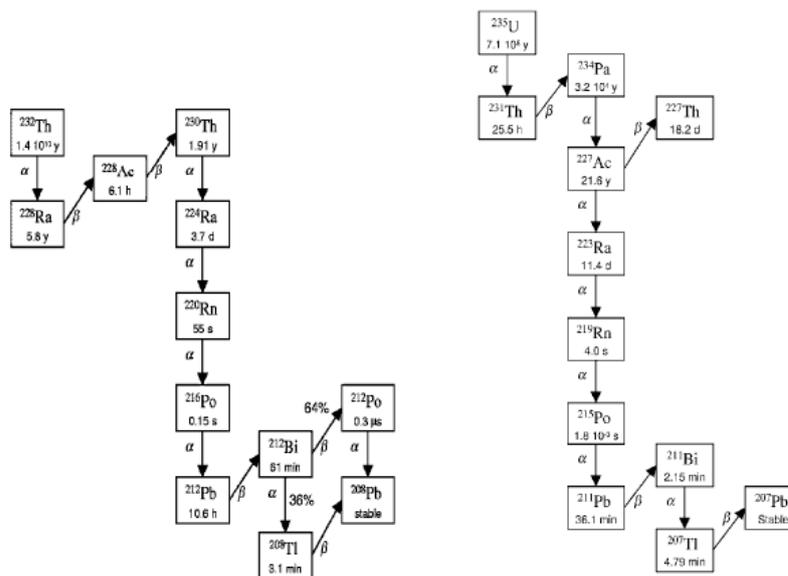


Figura 2.3 Serie radioattiva del Torio-232 e dell'Uranio-235.



RADON

I tre nuclidi capostipiti delle famiglie radioattive hanno tempi di dimezzamento (emivita) assai elevati, dell'ordine dei miliardi di anni, tempi cioè confrontabili con l'età della terra. Ognuno degli elementi appartenenti alle catene presenta proprietà radioattive specifiche e differenti; inoltre, dopo ogni emissione, varia il numero atomico dell'elemento e in conseguenza variano le proprietà chimiche e fisiche; le serie radioattive prima citate terminano tutte con isotopi stabili de] piombo.

È importante notare che l'uranio e il tondo sono presenti, seppure in piccola percentuale, in tutte le rocce e nei minerali; i] contenuto è solitamente espresso in parti per milione con simbolo ppm.

Un ulteriore nuclide radioattivo presente in natura è il potassio 40. Questo isotopo de] potassio rappresenta lo 0,1% della miscela naturale, la quale è costituita per il 93,1% dal K-39 e per il 6,9% dal K-41 che sono invece elementi stabili. Il potassio è molto diffuso in natura, sia nelle rocce sia anche nei terreni; esso costituisce peraltro un elemento essenziale dei processi vitali.

Isotopo di partenza	Isotopo del radon prodotto	Tempo di decadimento dell'isotopo del radon prodotto
²³⁵ U	²¹⁹ Rn (detto actinon)	3,96 secondi
²³⁸ U	²²² Rn (detto radon)	3,8 giorni
²³² Th	²²⁰ Rn (detto thoron)	55 secondi

Effetti sull'uomo delle radiazioni ionizzanti

I danni prodotti sull'uomo possono essere distinti in tre categorie principali:

- a) danni somatici deterministici;
- b) danni somatici stocastici;
- c) danni genetici stocastici.

Si dicono somatici i danni che si manifestano nell'individuo irradiato, genetici quelli che si manifestano nella sua progenie. Per danni deterministici s'intendono quelli in cui la frequenza e la gravità variano con la dose e per i quali è, sulla base di indagini epidemiologiche, individuabile una dose-soglia. In particolare, i danni deterministici hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- a) compaiono soltanto al superamento di una dose-soglia caratteristica di ogni effetto;
- b) il superamento della dose-soglia comporta l'insorgenza della patologia in tutti i soggetti irradiati, sia pure con variabilità individuali; il valore della dose-soglia è anche in funzione della distribuzione temporale della dose (in caso di esposizioni protratte la soglia si eleva secondo un «fattore di protrazione»);
- c) il periodo di latenza è solitamente breve;
- d) la gravità delle manifestazioni patologiche aumenta con l'aumentare della dose.

Di determinante importanza protezionistica sono i valori-soglia per i danni deterministici.

I danni somatici stocastici comprendono le leucemie e i tumori solidi. In questa patologia soltanto la probabilità d'accadimento, e non la gravità, è in funzione della dose ed è in via cautelativa esclusa l'esistenza di una dose-soglia. Danni di questo tipo hanno in particolare le seguenti caratteristiche:

- a) non richiedono superamento di un valore-soglia di dose per la loro comparsa (ipotesi cautelativa ammessa per gli scopi preventivi della radioprotezione);
- b) sono a carattere probabilistico;
- c) sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta;
- d) sono dimostrati dalla sperimentazione radiobiologica e dall'evidenza epidemiologica (associazione causale statistica);
- e) la frequenza di comparsa è maggiore se le dosi sono elevate;
- f) si manifestano dopo anni, talora decenni, dall'irradiazione;
- g) non mostrano gradualità di manifestazione con la dose ricevuta, quale che sia la dose;

h) sono indistinguibili dai tumori indotti da altri cancerogeni.

Per i danni stocastici, sulla base dei risultati degli studi epidemiologici sull'uomo, è assunta in radioprotezione una relazione dose-effetto di tipo lineare con estrapolazione passante per l'origine delle coordinate (assenza di soglia). L'elaborazione della relazione dose-effetto è avvenuta nel corso degli anni sulla base di osservazioni epidemiologiche che riguardano esposizioni a dosi medio-alte. I dati epidemiologici sono abbastanza numerosi per le alte dosi, sono piuttosto rari per le dosi medie e mancano per le piccole dosi.

L'esposizione al Radon

L'esposizione al radon comporta anche a piccole dosi una probabilità di contrarre tumore all'apparato respiratorio. Il polmone è l'organo più radiosensibile del torace. Il danno maggiore su questo organo è prodotto dalla irradiazione interna per inalazione di sostanze radioattive sotto forma di pulviscolo e vapori.

La pericolosità del radon è conseguente alla circostanza che la maggiore parte dei prodotti di decadimento (figli del radon) sono elementi radioattivi; di conseguenza una certa percentuale di ioni si unisce elettricamente alle particelle di polvere presenti nell'ambiente originando in tal modo un aerosol radioattivo chiamato frazione attaccata e solo una piccola parte rimane sotto forma di atomi liberi chiamata frazione non attaccata. Particelle di aerosol aventi diametro inferiore al decimo di micron non sono fermate, durante la respirazione, dai peli delle narici e dal sistema mucociliare dell'apparato respiratorio, di conseguenza sono in grado di penetrare all'interno del corpo umano irraggiando soprattutto i tessuti del polmone.

Ai fini della stima della dose da radon sono stati messi a punto alcuni modelli metabolici dosimetrici dell'apparato respiratorio. Tali modelli evidenziano che la dose maggiore viene assorbita dai bronchi piuttosto che dagli alveoli polmonari e, pertanto, il rischio di insorgenza del tumore polmonare può essere considerato proporzionale alla dose bronchiale. La dose assorbita dipende da una serie di parametri riportati nello schema che segue.

Il deposito delle particelle inalate nelle vie respiratorie dipende dalle dimensioni geometriche delle particelle stesse:

- diametro fino a 0,5 μm : deposito prevalente negli alveoli polmonari;
- diametro tra 0,5 μm e 2 μm : deposito alveolare e nasofaringeo;
- diametro tra 2 μm e 3 μm : deposito prevalente nasofaringeo;
- diametro maggiore di 3 μm : deposito quasi totale nel nasofaringe.



La radioattività e l'Ambiente

Gli elementi radioattivi naturali sono presenti sulla terra dalla sua origine. Gli elementi a vita più breve sono gradualmente scomparsi. Gli elementi radioattivi a vita lunga che sono presenti nel nostro ambiente includono l'uranio e il torio, che danno origine a due diversi isotopi di radon.

Com'è noto, la radioattività è una normale componente dell'ambiente naturale per cui l'uomo è stato costantemente esposto alle radiazioni d'origine naturale fin dal suo apparire sulla terra e queste sono rimaste l'unica fonte d'irradiazione fino a poco meno di un secolo fa. Ancora adesso, nonostante il largo impiego di

PARAMETRI RELATIVI ALLA DOSE ASSORBITA

Caratteristiche fisiologiche	morfometria bronchiale e polmonare, rateo di rimozione mucociliare, spessore del muco, posizione delle cellule irradiate
Parametri di respirazione	volume del tratto respiratorio, frequenza di respirazione, rapporto di respirazione nasale e bronchiale
Caratteristiche dell'aria inalata	frazione dei figli del radon non attaccata, caratteristiche dell'aerosol, frazione libera ed equilibrio radon e figli, ventilazione

sostanze radioattive artificiali e d'impianti radiogeni di vario genere, la radioattività naturale rimane il fattore di maggior contributo alla dose ricevuta dalla popolazione ed è probabile che ciò continui a verificarsi anche in futuro. Nella radioattività naturale si distinguono due componenti, una di origine terrestre e l'altra extraterrestre; la prima è dovuta ai radionuclidi primordiali contenuti in varia quantità nei minerali della crosta terrestre fin dalla sua formazione. La seconda è costituita dai raggi cosmici, anche conosciuti come «radiazione di fondo».

Per giungere a una migliore valutazione del livello di pericolosità del radon, è utile confrontare l'esposizione dell'uomo alla radioattività dovuta al radon con quella di diversa origine; in generale si può affermare che il radon costituisce la maggiore causa di esposizione alle radiazioni. Come abbiamo visto, la radioattività naturale ha una duplice origine: nello spazio, dal quale riceviamo la radiazione cosmica, e nella crosta terrestre, che contiene gli elementi radioattivi primordiali che sono contemporanei alla formazione della terra, compresi quelli che danno origine al radon.

I raggi cosmici e gli elementi radioattivi della crosta terrestre sono la causa di due tipi di esposizione: interna, tramite l'entrata nel corpo umano di elementi radioattivi, ed esterna, dall'irradiazione.

L'intensità della radiazione cosmica varia con l'altitudine: le popolazioni che vivono in regioni montane possono ricevere dosi da due a tre volte maggiori di quelle ricevute al livello del mare. Anche i viaggi aerei



espongono i passeggeri alle radiazioni cosmiche. Tuttavia, la radiazione cosmica contribuisce ben poco all'esposizione interna.

L'esposizione esterna dovuta agli elementi radioattivi terrestri dipende dalla loro concentrazione nel suolo e quindi varia con la posizione geografica. È utile sottolineare che in una data regione l'esposizione all'interno degli edifici è relativamente indipendente dal livello prevalente di radiazione all'esterno, nella misura in cui i materiali da costruzione agiscono da schermo (anche se gli stessi materiali da costruzione possono essere sorgente di radiazione). L'esposizione interna è dovuta principalmente all'inalazione e all'ingestione. Così come la concentrazione dei vari elementi radioattivi naturali differisce largamente tra diverse zone geografiche, anche l'esposizione interna varia (con alcune eccezioni); un fattore addizionale in queste variazioni è la diversità della dieta. Per quanto riguarda l'inalazione, il radon e i prodotti del suo decadimento sono gli elementi di gran lunga più importanti.

<i>Sorgente di esposizione</i>	<i>Equivalente di dose annua [mSv/anno]</i>
<i>Raggi cosmici</i>	0,38
<i>Radionuclidi cosmogenici</i>	0,01
<i>Radiazione terrestre (esposizione esterna)</i>	0,46
<i>Radiazione terrestre (esp.interna escluso Rn)</i>	0,23
<i>Inalazione ed ingestione di radon</i>	1,205
<i>Inalazione di ^{220}Rn</i>	0,07
<i>TOTALE</i>	<i>2,355</i>

Tabella 2.1: Equivalente di dose media annua pro-capite derivante da sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti in zone con fondo naturale normale; i valori sono stati proposti nel 1993 dall'UNSCEAR.

<i>Conc. di Rn</i>	<i>N_d</i>	<i>Rischio equivalente di contrarre tumore ai polmoni</i>
7400	440-770	60 volte il rischio di un non-fumatore
3700	270-630	rischio di un fumatore da 4 pacchetti/giorno
1480	120-380	4000 radiografie/anno al torace
740	60-210	rischio di un fumatore da 2 pacchetti/giorno
370	30-120	rischio di un fumatore da 1 pacchetto/giorno
148	13-50	5 volte il rischio di un non-fumatore
74	7-30	200 radiografie/anno al torace
37	3-13	rischio di un non-fumatore di contrarre tumore ai polmoni
7.4	1-3	20 radiografie/anno al torace

Tabella 2.2: Valutazione del rischio da esposizione al radon; i dati sono riportati da EPA in "A citizen guide to Radon"; la concentrazione di radon è espressa in $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, mentre N_d rappresenta il numero stimato di decessi (su 1000) per tumore ai polmoni imputabile a esposizione a radon.



LE VIE DELL'ESPOSIZIONE AL RADON

Poiché la concentrazione del radon all'aria aperta è bassa e in media le persone in Europa trascorrono la maggior parte del loro tempo in casa, il rischio per la salute pubblica è essenzialmente correlato all'esposizione a questo gas all'interno delle abitazioni. Il radon diffonde attraverso i pori e le spaccature del suolo, trasportato dall'aria o dall'acqua (nella quale è solubile). Dato un certo contenuto di radon nel suolo, la quantità di gas rilasciata varia in dipendenza della permeabilità del suolo (densità, porosità, granulometria), del suo stato (secco, impregnato d'acqua, gelato o coperto di neve) e delle condizioni meteorologiche (temperature del suolo e dell'aria, pressione atmosferica, velocità e direzione del vento). In più, la concentrazione di radon decresce rapidamente con l'altitudine. L'acqua sotterranea, i gas naturali, il carbone e gli oceani sono altre fonti minori di radiazioni. È quindi chiaro che il radon è universalmente presente, ma la velocità di emissione varia significativamente nel tempo, anche per uno stesso luogo. A livello regionale o locale, indipendentemente dalle condizioni prevalenti in un dato periodo, il fattore che più influenza il rilascio di radon è la geologia (per esempio il contenuto di uranio delle rocce) e in particolare è più facile che contengano radon i terreni granitici e vulcanici, così come le argille contenenti alluminio. Tuttavia ci sono eccezioni: si possono trovare, infatti, miniere di uranio in terreni sedimentari o radon in suoli calcarei. La maggior parte del radon presente in una casa proviene dal suolo sul quale essa è costruita. Se il basamento ha un pavimento di terra battuta, il radon può penetrare facilmente. Se il pavimento è di cemento, il radon penetra attraverso le microfessure che si formano con il tempo, lungo le tubazioni o attraverso le giunture tra i muri. Il radon può anche provenire in misura minore dai muri stessi, se essi sono stati realizzati con materiali radioattivi (tufi vulcanici, per esempio) o dai rubinetti; se l'acqua contiene del radon disciolto. Il radon emesso all'interno di una casa tende a restarci. La pressione all'interno di una casa è infatti leggermente più bassa che all'esterno; così che l'aria interna tende a stagnare piuttosto che a rinnovarsi. Si può facilmente confermare questo in inverno ponendo la mano vicino allo stipite di una finestra: una corrente di aria fresca, più o meno intensa a seconda della larghezza della fessura, si può chiaramente percepire all'interno della casa, ma non all'esterno. Per un dato terreno, e indipendentemente dal tempo, la concentrazione finale di radon in una casa è infine dipendente dal tipo di costruzione. Dipende anche, in larga misura, dalla ventilazione, sia passiva (cattivo isolamento) sia attiva (aprire le finestre a intervalli lunghi o brevi, per esempio). Il ruolo ricoperto dalle condizioni meteorologiche (vento, pressione, umidità)

spiega non solo le variazioni stagionali della concentrazione di radon in una data casa, ma anche le differenze osservate tra i livelli diurni e notturni.

La misura delle concentrazioni di Radon in EU

Il rischio correlato alla presenza di radon ha causato un aumento del lavoro dei ricercatori, degli esperti e dei responsabili della salute pubblica. Per valutare l'entità del problema, sono state effettuate misure di livelli di radon nelle case in quasi tutti i Paesi europei negli ultimi 10 anni. È stato rilevato che un basso livello medio nazionale non esclude l'esistenza di aree limitate ad alta concentrazione di radon. In molti casi la Commissione Europea ha appoggiato la realizzazione di queste campagne.

La Comunità Europea, infatti, con la raccomandazione del 21 febbraio 1990, ha stabilito criteri per la protezione del pubblico contro l'esposizione indoor al radon. La direttiva CEE 106/89 si può inoltre considerare una norma quadro per la regolamentazione dell'impiego dei materiali edilizi permanentemente incorporati in opere di costruzione.

In ambito Nazionale l'ENEA ha svolto una serie di ricerche in alcune zone di Roma e dell'Alto Lazio che evidenziano una presenza di radon molto variabile tra i 100 e 400 Bq/m³ (Bequerel al metro cubo) con punte di 1000 Bq/m³ contro una media nazionale di 30-50 Bq/m³.

Considerato che una dose di 50 Bq/m³ corrisponde a una dose di radiazioni circa tre volte maggiore a quella che mediamente si riceve nel corso della propria vita per lo svolgimento di indagini mediche, si può ben comprendere come tale prodotto di decadimento costituisca un vero pericolo per l'uomo.

La prevenzione

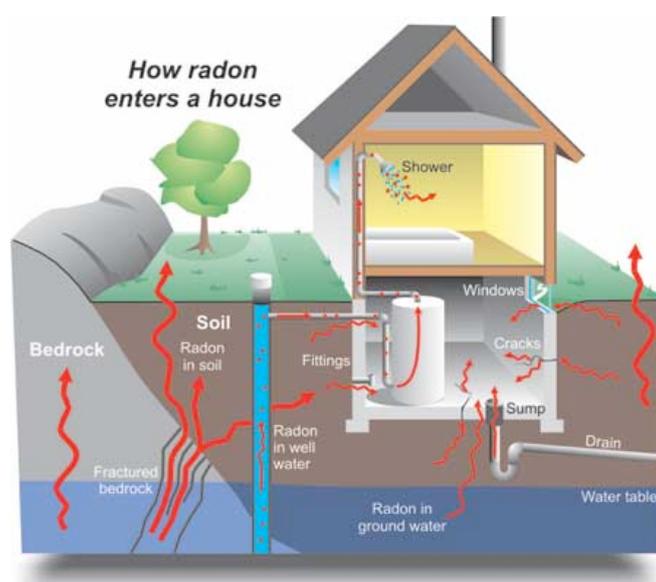
Per quanto esposto, prima di costruire un edificio, bisogna tener conto del rischio legato al radon. Le regole principali possono essere nazionali, regionali o locali, ma devono essere fatte rispettare.

Per vecchie case, si può prendere un insieme di misure correttive di varia semplicità e costo, in dipendenza della concentrazione di radon riscontrata. Queste misure sono descritte in dettaglio di seguito. Le concentrazioni di radon, che devono essere raggiunte tramite misure correttive o preventive, possono differire a seconda se un edificio esiste già o è in fase di progetto. Ci sono "valori raccomandati", "valori guida" e "livelli d'azione", che variano da un Paese all'altro. Le stesse regolamentazioni possono essere applicate a edifici non abitati permanentemente (posti di lavoro e scuole), tranne per il fatto che i livelli di azione devono essere valutati in termini di tempo massimo di occupazione. A questo proposito si stima che la

cittadinanza europea in media trascorre 19,2 ore al giorno (1'80% del suo tempo) all'interno! È dunque legittimo intendere l'opportunità di applicare le stesse regole agli ambienti nei quali le persone trascorrono non più di alcune ore ogni giorno. In pratica, la Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica consiglia di applicare identici livelli di azione alle case e agli edifici pubblici dove le persone trascorrono un tempo apprezzabile (scuole, ospedali, centri residenziali). D'altra parte, quando il tempo trascorso dalla gente in un luogo è limitato, come per gli utenti di uffici pubblici, librerie cinema e teatri, non sono richiesti particolari provvedimenti. Differenti effetti sono legati all'esposizione delle radiazioni all'interno della casa. Prima di tutto dobbiamo ricordare l'irraggiamento alpha delle pareti e delle altre strutture edilizie dovuto alla presenza di radionuclidi nei materiali edilizi, in particolare radio, torio e potassio. Occorre pertanto far notare come l'irraggiamento alpha all'interno della casa non dia valori molto differenti dall'irraggiamento alpha dal suolo, quale si ritrova all'aperto.

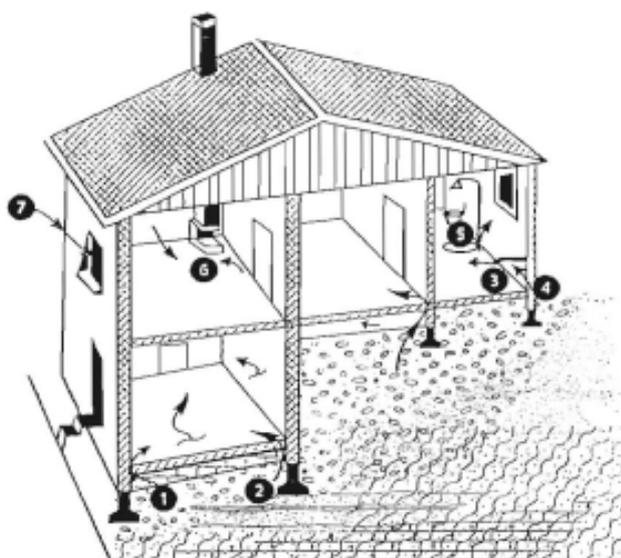
Di maggior rilevanza, all'interno dell'abitazione è l'esposizione al radon. L'immissione del radon nell'atmosfera "indoor" è legata a differenti vie:

- a) ai materiali edilizi;
- b) alle acque potabili;
- c) al suolo e al sottosuolo.



LE TECNICHE DI MITIGAZIONE

Il radon è un gas naturale radioattivo derivante dalla disintegrazione dell'uranio presente in quantità variabile nella crosta terrestre. La sua presenza sulla superficie della terra è perciò in funzione della quantità di uranio nel suolo, ma anche delle possibilità di passaggio dal suolo verso la superficie, legate alla porosità e al grado di fessurazione del suolo. Il suolo è la principale causa di radon nell'aria interna. La penetrazione del radon in un edificio è causata da numerosi fattori (concentrazione nel terreno, permeabilità e umidità del suolo, presenza di fessure o fratture nella roccia sottostante) e specialmente dalle caratteristiche proprie della struttura edificata (procedimenti di costruzione, fessurazione della superficie a contatto con il terreno, sistema di ventilazione). La presenza di radon nei locali abitati può tuttavia avere altre origini.



- 1 crepe nel massetto
- 2 giunti murari
- 3 tubazioni idrauliche
- 4 corrugati elettrici
- 5 crepe nei muri
- 6 infissi
- 7 aria esterna



L'aria esterna

La diffusione del radon emanato dal suolo nell'atmosfera porta in genere a una sua rapida diluizione, Tuttavia, in certi casi (valli incassate. fenomeni di inversione termica che portano a deboli movimenti di aria), la concentrazione di radon nell'aria esterna può non essere trascurabile. È dunque importante tenere a mente questi casi in cui si può determinare una percentuale non trascurabile di concentrazione media di radon nell'ambiente.

I materiali da costruzione

L'utilizzazione di particolari materiali da costruzione che hanno una quantità di radio elevata, quali le rocce granitiche, i tufi, le pozzolane, ecc.) possono contribuire a una maggiore concentrazione di radon nell'aria interna.

L'acqua per uso domestico

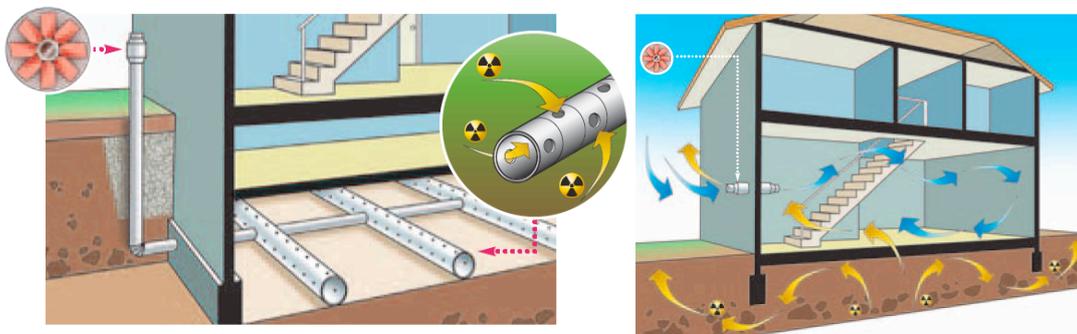
Si possono trovare concentrazioni di radon molto elevate nell'acqua per uso domestico qualora essa provenga da falde sotterranee situate in terreni vulcanici. Il suo degassamento nell'ambiente può costituire una fonte significativa d'inquinamento. Tale fenomeno può tuttavia essere trascurato salvo in casi particolari come per esempio gli stabilimenti termali. Numerose tecniche preventive e risolutive della presenza di radon negli edifici sono già state sperimentate e correntemente applicate in diversi paesi. Tuttavia, per un uso efficace di tali tecniche, è fondamentale tenere sempre conto delle caratteristiche degli edifici, tipologia e interazione terreno/struttura oltre che degli specifici sistemi di ventilazione esistenti. Una guida alle soluzioni tecniche per gli edifici esistenti presenta adattamenti e ottimizzazioni delle stesse tecniche per le costruzioni future.

Il principio di penetrazione del Radon in un edificio

Il radon è un gas derivato dalla disintegrazione dell'uranio presente nella crosta terrestre. Ha un periodo di attività sufficientemente lungo (3,8 giorni) che gli permette di migrare nel suolo attraverso diversi processi fisici (emanazione, esalazione, diffusione), dal reticolo cristallino che lo ha prodotto fino all'aria libera. Il radon, la cui presenza in un edificio può essere dovuta anche all'emanazione dai materiali da costruzione e all'acqua per uso sanitario, penetra all'interno dell'edificio principalmente per diffusione. attraverso le fessure e i fori dei rivestimenti a contatto col terreno, ma soprattutto per convezione. L'edificio, luogo

RADON

relativamente coibentato in cui la tenuta con il terreno è più o meno buona, può dunque costituire una trappola per il radon.



Metodo	Edificio e superficie approssimativa in m ²	Piano	Massima concentrazione di radon misurata prima e dopo l'intervento (valori in Bq/m ³)	
			PRIMA	DOPO
Pozzetto Radon	casa priv. 150	-1	120.000 (cantina)	1500
	casa priv. 100-150	0	10.000	600
	asilo 300	0	2.500	400
	casa priv. 100-150	0	14000	300
	casa priv. 100	0	700	700
	casa priv. 100-150	0	8.000	1100
	casa priv. < 100	0	20.000	350
	albergo 200	0	2.700	400
	abitazione 100-150	-1	2.400	100
	casa priv. 100	-1	4.000	500
	casa priv. 100	1	8.000	2000
	casa priv. 100	0	1.500	< 200
	casa priv. 100	0	2.500	2500
	scuola 300	0	5.800	< 300
	asilo 200	0	1.200	< 200
	casa priv. 100	-1	8.000	580
	abitazione < 100	-1	1.000	200
Drenaggio sotto il pavimento	casa priv. 100-150	0	1.300	300
	casa priv. 300	-1	9.00	<200
	casa priv. 100-150	-1	casa nuova	230
	casa priv. 100-150	-1	2000	70
	casa priv. 100	-1	1800	180
Sovrappressione in casa	casa priv. 100	-1	3000	600
	casa priv. 100	0	2000	1200
	aula asilo 60	0	800	450
	sala giochi 50	-1	3000	200
	aula tecnica 80	-1	1100	280
	sala riunioni 50	-1	2500	400
Aspirazione da intercapedine	stanza casa priv. 20	-1	4500	290
	scuola 300	0	5000	100

 UNIVERSITÀ di CATANIA	ELABORATO di CORSO	Studiante Vincenzo FIDONE	 Pagina 23 di 36
		Matricola R2700017	
RADON			

NORMATIVA

Normativa di legge in Italia e in Europa

Il radon è un gas ubiquitario e naturale, e come tale non può essere eliminato completamente. Per questo, tutte le normative in materia manifestano come caratteristica generale quella di fissare dei cosiddetti livelli di azione o intervento, ovvero valori di soglia per la concentrazione di radon superati i quali raccomandare o imporre delle azioni di rimedio per ridurre la concentrazione sotto tali livelli – valori per i quali il rischio potenziale è ritenuto accettabile. A livello internazionale, vari organi competenti hanno fissato indicazioni in relazione ai livelli di azione; tra questi, ricordiamo l'ICRP (Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica), l'IAEA (International Atomic Energy Agency) e la CE (Commissione Europea). Nella maggior parte dei paesi europei, si riscontrano delle distinzioni per il tipo di normative proposta tra ambienti di lavoro e ambienti residenziali (abitazioni).

Legislazione vigente in materia di protezione sanitaria nei luoghi di lavoro

La legge italiana nel Decreto legislativo 26/5/2000 n.241 che si occupa dell'attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti, stabilisce dei limiti per l'esposizione al Radon nei luoghi di lavoro. Tali disposizioni si applicano nei seguenti casi:

- a) per le attività lavorative in luoghi sotterranei, durante le quali i lavoratori e, eventualmente, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del Radon; il datore di lavoro deve effettuare la misurazione della concentrazione di radon entro 24 mesi dall'inizio dell'attività.
- a) per le attività lavorative in superficie in zone ben individuate, durante le quali i lavoratori e, eventualmente, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del Radon; il datore di lavoro effettua le misure di concentrazione di radon entro 24 mesi dall'inizio dell'attività o dalla individuazione effettuata dalle Regioni, sempre secondo le linee guida della Commissione. Le regioni devono in ogni caso effettuare la prima individuazione delle zone entro cinque anni dal 31 agosto 2000.

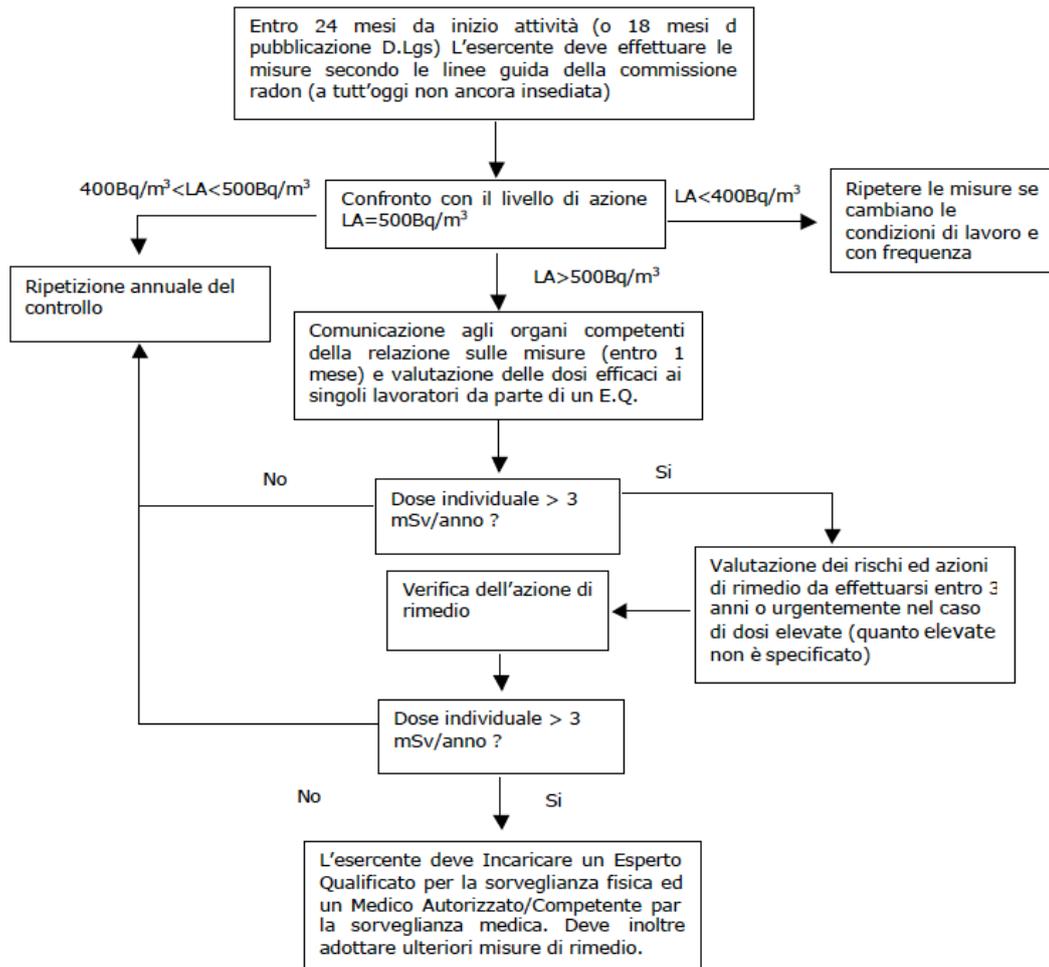
Viene definito **livello di azione** il valore di concentrazione di attività di Radon in aria il cui superamento richiede l'adozione di azioni di rimedio che riducano tale grandezza a livelli più bassi del livello fissato.

Per le situazioni descritte nei punti a) e b) è stato fissato il livello di azione in termini di **500 Bq/m³** di



concentrazione di attività di Radon media in un anno.

Riepilogo



Ambienti residenziali

In Italia, attualmente non esiste alcuna normativa nazionale o regionale che fissi un limite di legge per gli ambienti residenziali. Tuttavia, a livello europeo è in vigore la raccomandazione 90/143/EURATOM emanata il 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi. Questa raccomandazione consiglia, per gli edifici residenziali, una soglia di intervento pari a 400 Bq m³ per gli edifici esistenti, e pari a 200 Bq m³ per quelli ancora in fase di progetto. In caso di superamento di tali valori, si raccomanda di adottare provvedimenti semplici ma efficaci volti a ridurre il livello di radon.

La normativa in Alto Adige

Nonostante le concentrazioni relativamente elevate di radon Indoor che si sono misurate in Alto Adige, non esiste a riguardo una normativa provinciale. Tuttavia, a partire dal 1998, su iniziativa del Laboratorio di Chimica Fisica dell'ARPA di Bolzano in collaborazione con il Consorzio dei Comuni, è stato introdotto nel formulario di richiesta per la concessione edilizia un passo dedicato nello specifico al radon, invitando il cittadino a informarsi in merito presso il proprio comune o presso ARPA. In relazione agli ambienti di lavoro, viene adottata la regolamentazione in vigore a livello nazionale (Dlgs 241/2000); vengono regolarmente svolti controlli presso le Terme di Merano e sono state eseguite misurazioni in edifici pubblici – scuole, asili, biblioteche – e ambienti di lavoro particolari, come centrali idroelettriche e tunnel. In diverse scuole e asili sono stati eseguiti con successo interventi atti alla riduzione del valore di concentrazione.

Il Radon in acqua

Generalmente nelle acque di fiumi e ruscelli non è presente una grossa quantità di Radon, visto che il gas diffonde in gran parte nell'aria circostante; in quelle abitazioni che vengono rifornite da corsi superficiali, pertanto, viene rilevata solitamente una bassa concentrazione di Radon in acqua. Per quanto riguarda, invece, il rifornimento idrico delle grandi città, il processamento dell'acqua in grossi sistemi aperti permette l'aerazione della stessa e quindi la perdita del Radon dovuta ancora alla diffusione nell'aria; inoltre la maggior parte del Radon rimanente decade in genere durante i lunghi tempi necessario al trasporto per raggiungere le abitazioni.

In molte aree di campagna, al contrario, l'acqua di pozzo è usata come principale risorsa idrica. I piccoli impianti realizzati a tale scopo sono spesso costituiti da sistemi chiusi e non areati e poiché inoltre sono

generalmente posti nelle vicinanze del luogo di utilizzo, il breve tempo di transito nelle condutture fa sì che solo una piccola percentuale di Radon decada e che la maggior parte rimanga disciolta nell'acqua. Se quest'ultima viene utilizzata per bere, quindi, viene ingerita anche una quantità di Radon non trascurabile. Se quest'acqua viene invece utilizzata in altro modo, per fare la doccia, lavare vestiti o piatti, può costituire comunque una fonte di pericolo perché contribuisce all'aumento della concentrazione di Radon nell'aria che viene respirata. Il Radon presente nell'acqua di mare, a causa dei numerosi sali disciolti, non riesce a diffondersi velocemente nell'atmosfera e questo fa sì che la percentuale di ^{222}Rn rivelabile nell'aria sopra gli oceani sia circa l'1% di quella riscontrata sopra la terraferma.

Raccomandazione della Comunità Europea per la tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile

Per il controllo del Radon nelle acque esiste una raccomandazione della commissione europea EURATOM (2001/928/Euratom), notificata nel dicembre del 2001, che riguarda la tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile. Per quanto riguarda la fornitura d'acqua della rete idrica pubblica o commerciale, si ritiene che, per le concentrazioni di Radon superiori a **1000 Bq/l**, un'azione correttiva sia giustificata in base a criteri di protezione dalle radiazioni. Oltre una concentrazione di 100 Bq/l, gli Stati membri devono comunque definire un livello di riferimento per il Radon, da utilizzare per stabilire se occorrono azioni correttive per tutelare la salute umana.

EFFETTI SANITARI E RISCHIO ASSOCIATO

Poiché la principale sorgente di radon è generalmente il suolo, non stupisce che i primi effetti sanitari legati a questo gas e alla sua inalazione siano stati messi in evidenza sin dal XVI secolo sui minatori che operavano in miniere sotterranee, dove la concentrazione poteva raggiungere valori anche prossimi ai 100 kBq m³; si era notato che tali minatori erano affetti da una patologia polmonare cronica, detta “malattia dei minatori”.

All’inizio del XX secolo venne scoperto l’elemento radon, e vennero condotti anche i primi esperimenti che consentirono di allargare la conoscenza scientifica al campo della radioattività: in particolare, si scoprì col tempo che le radiazioni ionizzanti (radiazioni α , per quanto interessa in questo contesto) potevano provocare tumori. Solo negli anni ‘50 si svelò il “mistero” dei minatori dello Schneeberg: indagini epidemiologiche condotte sui lavoratori delle miniere di Uranio mostrarono che il radon e i suoi prodotti di decadimento erano potenzialmente in grado di provocare il cancro polmonare. Non a caso, quindi, le prime indagini epidemiologiche furono in larga scala condotte sugli operai delle miniere uranifere, a partire dagli anni ‘60, e vennero quindi introdotte le prime normative di protezione. L’attenzione sull’esposizione al radon nelle abitazioni è invece più recente, e tali anche gli studi (di vario tipo) per valutare il rischio associate.

Radon e tumore polmonare

Il principale effetto sanitario dei prodotti di decadimento del radon è l’aumento di rischio di tumore polmonare. Per quanto riguarda l’evidenza di questo effetto cancerogeno, basti ricordare che a partire dal 1988 nella classificazione dei cancerogeni effettuata dalla IARC (International Agency for Research on Cancer) per conto dell’OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), i prodotti di decadimento del radon sono classificati nel gruppo 1 – sostanze per le quali l’evidenza di cancerogenicità è maggiore, e precisamente tale evidenza è ritenuta sufficiente in base a studi condotti su esseri umani (nello specifico, studi condotti su coorti di minatori).

Il processo Fisico-Biologico

Il processo fisico-biologico che lega il radon al tumore polmonare si può sinteticamente descrivere in questo modo:

1. il radon è un gas nobile che, dopo essere stato emesso dal suolo e dai materiali di costruzione, si accumula nell’aria degli ambienti chiusi (case, luoghi di lavoro, . . .), dove decade producendo altri radionuclidi, detti prodotti di decadimento;



2. quando si respira, l'aria inalata contiene sia radon sia i suoi prodotti di decadimento: il primo aspetto da prendere in considerazione è che non tutti i prodotti di decadimento danno contributi significativi alla dose efficace (DE); il contributo del radon alla DE è legato alla sua concentrazione media nei polmoni, ma non si accumula in essi, in quanto viene inspirato ed espirato assieme all'aria;
3. i prodotti di decadimento interagiscono invece con le pareti interne dell'apparato respiratorio attaccandosi a esse; qui decadono, emettendo radiazioni ionizzanti, in particolare particelle α e β ; le più pericolose sono le prime, in quanto le seconde sono più penetranti, e quindi depositano la loro energia in strati molto maggiori di tessuto biologico;
nelle cellule del nostro organismo, le molecole più vulnerabili sono quelle di grandi dimensioni e quindi statisticamente più esposte alla probabilità di essere danneggiate: le più grosse molecole presenti sono quelle del DNA e dell'RNA, responsabili della trasmissione del patrimonio genetico e della sintesi dei vari componenti cellulari; un danneggiamento di queste macromolecole porta nel migliore dei casi alla semplice morte della cellula, ma di frequente l'esito è invece una trasformazione tumorale, con la cellula che inizia a replicarsi in modo incontrollabile. Fortunatamente l'organismo è in grado, entro certi limiti, di individuare e distruggere le cellule cancerose, ed il rischio di contrarre tumori polmonari causati dalla progenie del radon è in media decisamente basso, ma in ogni caso, proporzionale alla dose accumulata nel tempo;
4. il danno biologico è quindi collegato ai figli del radon α -emettitori il cui tempo di dimezzamento fisico sia minore di quello biologico – il contributo maggiore alla DE è quindi dato dagli ioni ^{214}Po e ^{218}Po , che si attaccano facilmente al pulviscolo presente nell'aria e sono quindi trasportati, depositati (con tempi di dimezzamento biologico molto lunghi) e accumulati nell'apparato respiratorio al pari del pulviscolo che li trasporta.

Quindi, il radon si comporta come una sorta di “trasportatore” dei suoi prodotti di decadimento, i quali sono i veri responsabili del danno biologico; tuttavia, è consuetudine fare riferimento al problema col termine ‘rischio radon’, intendendo in realtà il rischio connesso principalmente all'attività dei suoi figli.

Fattore di rischio per il tumore polmonare

La correlazione diretta tra concentrazione di radon negli ambienti chiusi e rischio associato di contrarre un tumore ai polmoni è tutt'oggi oggetto di studio. Importanti fattori limitanti e di incertezza in quest'area di studio possono essere identificati in:

- **metodi per la stima del fattore di rischio, che sono essenzialmente di tre tipi:**
 - a) nell'approccio dosimetrico viene determinata la DE in base a opportuni modelli (sia per l'organo di interesse che per il tipo di radiazione coinvolta) e quindi il fattore di rischio ricorrendo al fattore rischio/dose ottenuto in base agli studi epidemiologici condotti sulle due coorti di sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki: il problema è che queste persone sono state esposte per brevissimi tempi a radiazioni α e neutronica, mentre il radon espone la popolazione a radiazione α in maniera continuata;
 - b) l'approccio dosimetrico sui minatori, da cui vengono estrapolati i fattori da riferire alla popolazione generale; il problema è che le condizioni ambientali dei due gruppi possono essere anche molto differenti; un recente studio condotto su un campione di 68000 minatori (2700 tumori polmonari) ha evidenziato una relazione lineare tra aumento di rischio relativo ed esposizione al radon – cui si attribuiscono il 40% dei tumori polmonari riscontrati;
 - c) l'approccio epidemiologico residenziale è il più recente e prevede lo studio condotto direttamente sulla popolazione generale nelle abitazioni; il problema è in questo caso legato alla bassa potenza di queste indagini e al basso numero di soggetti coinvolti; I risultati, tenendo conto delle incertezze statistiche, sono compatibili con quelli ottenuti da studi sui minatori;
- **effetto del fumo:** la difficoltà principale in questo tipo di studi è quello di controllare tutti i fattori che possono contribuire alla comparsa di un tumore al polmone (confounding effects), e in particolare il fattore legato al fumo di sigaretta; BEIR VI stabilisce un fattore di rischio per il cancro polmonare legato al fumo pari a [10-20], mentre quello legato al radon pari a [0.2-0.3]: è chiaro che questa notevole differenza richiede che le analisi condotte siano estremamente accurate nel raccogliere tutte le informazioni legate al fattore "fumo" – azione non sempre possibile; Conrady et al., hanno condotto uno studio volto alla determinazione del rischio relativo per il cancro polmonare legato al radon con lo scopo preciso di eliminare il bias introdotto dal fattore fumo (l'indagine è limitata a donne non-fumatrici); l'intervallo di esposizioni è ampio, e pari a [50-3000] Bq m³; tale



studio conclude che gli studi precedenti sovrastimano il rischio relativo anche di un fattore 2 per concentrazioni fino ai 1000 Bq m⁻³; oltre tale valore, il rischio relativo, sempre secondo i risultati di Conrady et al., sale rapidamente da 1 a oltre 7 per valori di concentrazione pari a ca. 3000 Bq m⁻³ (estrapolando con una retta i valori ottenuti da studi precedenti, e quindi assumendo valido il modello LNT, si ottiene un corrispondente rischio relativo pari a ca. 4.5); infine, si sostiene che questi risultati non sono compatibili con il modello LNT, il quale non dovrebbe più essere ritenuto adeguato nel caso di esposizione in ambienti abitativi;

- **effetto della “storia dell’esposizione”**: il cancro al polmone è caratterizzato da un alto periodo di latenza, per cui il più importante fattore legato alla dose risulta essere l’esposizione totale, che consideri almeno alcune decadi passate rispetto al presente; tuttavia, per ragioni di natura pratica, gli studi vengono condotti in relazione al valore di concentrazione misurata al momento dell’indagine stessa; Mc Laughlin afferma che poiché il rischio legato al radon e ai suoi figli è il risultato dell’esposizione cumulativa che ha coinvolto le decadi passate piuttosto che l’esposizione attuale, è necessario ricostruire la storia dell’esposizione di ogni soggetto coinvolto negli studi al fine di ottenere un risultato corretto e affidabile. Da un lato, in base a vari studi epidemiologici si è accertato che esiste una relazione lineare tra dose legata al radon e ai suoi prodotti di decadimento e l’insorgenza di tumori ai polmoni nei minatori; dall’altro, l’estrapolazione di tale risultato al caso di esposizione in ambienti abitativi è tutt’ora oggetto di indagini.

Si può comunque ragionevolmente affermare che esiste un rischio da tenere in considerazione per quelle persone che abitano o frequentano ambienti con concentrazioni di radon molto superiori a quelle previste dai limiti di legge; diventa quindi importante monitorare tutti quegli ambienti che presentano delle caratteristiche per le quali si potrebbero verificare degli accumuli eccessivi di radon e classificare le eventuali zone a rischio.



 UNIVERSITÀ di CATANIA	ELABORATO di CORSO	Studente Vincenzo FIDONE	 Pagina 31 di 36
		Matricola R2700017	
RADON			

GLOSSARIO

Actinon

Isotopo del radon (^{219}Rn): deriva dalla catena di decadimento dell'uranio 235 (^{235}U) e ha emivita molto breve (3,96 secondi).

Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro

(International Agency for Research on Cancer - **IARC**). Organo tecnico-scientifico dell'Organizzazione Mondiale della Sanità. La IARC svolge e coordina attività di ricerca sulle cause del cancro nell'uomo e sui meccanismi di cancerogenesi. Si occupa inoltre dello sviluppo di strategie scientifiche per il controllo del cancro. Ha sede a Lione (Francia). Il sito web è: www.iarc.fr

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici

(APAT). Organo istituito dal D.Lgs 300/99 che svolge i compiti e le attività tecnico-scientifiche di interesse nazionale per la protezione dell'ambiente, per la tutela delle risorse idriche e della difesa del suolo. È nato dalla fusione, sulla base del D.P.R. 207/02, tra l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA) ed il Dipartimento per i Servizi tecnici nazionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Il sito web è: www.apat.gov.it

APAT. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA)

Organo di riferimento regionale o provinciale (in quest'ultimo caso detto **APPA**: Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente) in materia di protezione dell'ambiente. Le 21 Agenzie oggi presenti sul territorio italiano costituiscono una rete integrata con l'APAT (rete delle Agenzie). I riferimenti di ogni Agenzia Regionale sono contenuti nel paragrafo: "A chi rivolgersi per informazioni, consigli, misure".

ARPA. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Attività del nuclide

Numero di trasformazioni con emissione di radiazioni che si verificano per un determinato nuclide nell'unità di tempo (un secondo). Si misura in Becquerel (Bq).

Azioni di bonifica

Complesso degli interventi mirati alla rimozione del radon in ambienti confinati.

Azioni di rimedio

Analogo a azioni di bonifica.

Becquerel (Bq)

Unità di misura del decadimento radioattivo. 1 Bq è uguale a una disintegrazione radioattiva al secondo (trasformazione di un singolo nucleo atomico in un secondo).

Becquerel per litro (Bq/l)

Unità di misura del decadimento radioattivo in un mezzo liquido (es. acqua). Rappresenta il numero di disintegrazioni radioattive che si verificano in un secondo in un litro.

Becquerel per metro cubo (Bq/m³)

 UNIVERSITÀ di CATANIA	ELABORATO di CORSO	Studente Vincenzo FIDONE	 Pagina 32 di 36
		Matricola R2700017	
RADON			

Unità di misura del decadimento radioattivo in un mezzo gassoso (es. aria). Rappresenta il numero di disintegrazioni radioattive che si verificano in un secondo in un metro cubo.

Bq

Bequerel.

Bq/l

Bequerel per litro.

Bq/m³

Bequerel per metro cubo.

Concentrazione del radon

Quantità di radon presente per unità di volume del mezzo considerato (ad esempio un litro d'acqua o un m³ di aria). Si misura in Bq/m³ (aria) o Bq/l (acqua).

Decadimento radioattivo

Processo di trasformazione del nucleo che comporta emissione di radiazione. Determina la trasformazione di un elemento chimico in un altro. I nuclidi soggetti a decadimento radioattivo sono detti instabili o radionuclidi.

Il decadimento radioattivo si misura in Bequerel.

Decreto Legislativo 230/95

Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230. Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti. Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale Serie generale n. 136 del 13 giugno 1995.

Decreto Legislativo 241/00

Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241. Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 203 del 31 agosto 2000

Direttiva 96/29 Euratom

Direttiva 96/29 Euratom del Consiglio del 13 maggio 1996 che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Gazzetta ufficiale n. L 159 del 29 giugno 1996.

Dosimetri passivi

Strumenti di misura passivi che contengono rivelatori delle particelle emesse dal decadimento del radon e dei

suoi prodotti di decadimento. Non necessitano di alimentazione elettrica o di sistemi per il campionamento dell'aria. Sono particolarmente idonei per stime di esposizione cumulativa (lungo periodo) al radon e, al termine

della misura, devono essere esaminati in laboratorio. Sono anche detti dosimetri passivi a tracce nucleari oppure

a carbone attivo oppure a elettretite, a seconda della tipologia di rivelatore impiegato.

Effetto camino

Richiamo di aria ricca di radon dal suolo all'interno di un edificio a causa di una depressione dovuta alla differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno dell'edificio medesimo.

Effetto vento

Accentuazione, ad opera del vento, della depressione presente all'interno dell'edificio.

Elettroni

 UNIVERSITÀ di CATANIA	ELABORATO di CORSO	Studente Vincenzo FIDONE	 Pagina 33 di 36
		Matricola R2700017	
RADON			

Particelle recanti carica negativa. Sono normali costituenti dell'atomo, ma possono essere emessi come radiazione (radiazione b-) in alcune reazioni di decadimento radioattivo.

Emivita

Tempo impiegato affinché il numero di isotopi di un elemento inizialmente presente si riduca alla metà a seguito

di decadimento radioattivo. L'emivita è una costante per ogni tipo di isotopo. A seconda del tipo di isotopo l'emivita può variare da frazioni di secondo a miliardi di anni.

Figli del radon

Isotopi radioattivi (a emettitori) derivanti dal decadimento degli isotopi del radon. I principali sono rappresentati

da Polonio 218 (218Po), Polonio 214 (214Po), Piombo 214 (214Pb) e Bismuto 214 (214Bi).

Fondazioni a piattaforma

Fondazioni che corrispondono all'intera superficie dell'edificio. La gettata di cemento o di altro materiale da costruzione (eventualmente rivestito da uno strato impermeabile al radon) forma una superficie continua e separa completamente la parte sovrastante della costruzione dal suolo.

Fondazioni a platea

Sinonimo di fondazioni a piattaforma.

Fondazioni a striscie

Fondazioni il cui disegno e la cui superficie corrispondono generalmente ai sovrastanti muri perimetrali o portanti dell'edificio. Il piano inferiore di quest'ultimo è pertanto in larga parte non isolato dal suolo.

Isotopo(i)

Forma(e) alternativa(e) di un elemento chimico. Gli isotopi di un elemento chimico differiscono tra loro in quanto il nucleo atomico è costituito dallo stesso numero di protoni ma da un differente numero di neutroni. La maggior parte degli elementi è in realtà una miscela di due o più isotopi.

Isotopo radioattivo

Isotopo instabile che, a seguito di decadimento radioattivo, si trasforma nell'isotopo di un elemento differente emettendo radiazione.

Istituto Superiore di Sanità

Ente di diritto pubblico che svolge attività di ricerca, consulenza, formazione e controllo applicate alla tutela della salute pubblica, costituendo il principale Organo del Ministero della Salute. Il sito web è: www.iss.it

Istituto Superiore per la Prevenzione E la Sicurezza del Lavoro (ISPESL)

Ente di diritto pubblico che svolge attività di ricerca, consulenza, formazione, documentazione, certificazione e

controllo nel settore della tutela della salute e sicurezza negli ambienti di lavoro e di vita. È Organo tecnoscience del Servizio Sanitario Nazionale, vigilato dal Ministero della Salute. Il sito web è: www.ispesl.it

Livello d'azione

Valore di concentrazione del radon indoor il cui raggiungimento e/o superamento comporta l'invito o l'obbligo

a mettere in atto di una serie di interventi finalizzati all'abbattimento dell'esposizione. Nella legislazione Italiana valori d'azione sono stabiliti unicamente per gli ambienti di lavoro dal D.lgs 241/00.

Livello di riferimento

Analogo al livello d'azione.

Misure di breve durata

 UNIVERSITÀ di CATANIA	ELABORATO di CORSO	Studente Vincenzo FIDONE	 Pagina 34 di 36
		Matricola R2700017	
RADON			

Misure di concentrazione del radon indoor condotte per brevi periodi (fino a pochi giorni) con finalità di valutazione preliminare dei livelli di radon. In funzione dei risultati si possono ritenere non necessarie ulteriori misure o, al contrario, si può procedere a valutazioni più approfondite (in genere misure di lungo periodo).

Misure di lunga durata

Misure della concentrazione di radon indoor che si protraggono per lunghi periodi (fino a 1 anno), aventi per scopo la valutazione dell'esposizione complessiva (cumulativa) a questo gas. Sono condotte mediante dosimetri passivi o strumentazione passiva.

Misure di screening

Analogo a misure di breve durata.

Monitoraggi (misure) in continuo

Misure della concentrazione di radon indoor condotte mediante strumentazione attiva finalizzate a valutare l'andamento delle concentrazioni di radon nel tempo (mettendo in evidenza ad esempio oscillazioni orarie, giornaliere, stagionali o legate al cambiamento della gestione degli ambienti abitativi e/o delle abitudini di vita).

Nuclide(i)

Isotopo(i) di un elemento chimico.

Osservatorio Nazionale Epidemiologico sulle condizioni di Salute e Sicurezza negli Ambienti di Vita

Organo istituito per volontà del Ministro della Salute, con Decreto del Direttore dell'ISPESL del 14 giugno 2002. Ha finalità di studio, ricerca e promozione volte a migliorare la sicurezza negli ambienti di vita in termini di prevenzione degli infortuni e tutela della salute dei cittadini. Nello specifico, l'Osservatorio analizza e propone soluzioni per quanto concerne le condizioni di salute e sicurezza, promuovendo e sviluppando programmi di studio e di ricerca a carattere epidemiologico. Il sito web è: www.ispesl.it/osservatorio

Particella a

Radiazioni ionizzanti di massa elevata costituite da nuclei di elio (2 protoni + 2 neutroni). Hanno scarso potere penetrante.

Particella b

Radiazioni ionizzanti costituite da elettroni (b-) o positroni (b+). Hanno potere penetrante intermedio.

Piano Nazionale Radon

Piano coordinato di azioni volte alla riduzione del rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon ed ai suoi prodotti di decadimento. Ha valenza nazionale ed è stato messo a punto da un gruppo di esperti in sintonia con quanto previsto dalle Linee Guida sugli ambienti confinati adottate congiuntamente dal Ministero della Salute e dalle Regioni Regioni nell'anno 1998. Il piano è stato ultimato nell'anno 2002, ma solo nell'anno 2006 è stato reso disponibile dal Ministero della Salute il finanziamento per l'avvio effettivo.

Positroni

Particelle recanti carica positiva. Non sono normali costituenti dell'atomo e possono essere emessi come radiazione (radiazione b+) in alcune reazioni di decadimento radioattivo.

Prevenzione dal radon

Complesso di azioni finalizzate a prevenire la presenza del radon in edifici di nuova costruzione. Vanno previste in fase di progettazione.

Prodotti di decadimento del radon

 UNIVERSITÀ di CATANIA	ELABORATO di CORSO	Studente Vincenzo FIDONE	 Pagina 35 di 36
		Matricola R2700017	
RADON			

Analogo a figli del radon.

Raccomandazione 90/143 Euratom

Raccomandazione della Commissione del 21 febbraio 1990 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi. Gazzetta ufficiale n. L 080 del 27 marzo 1990.

Raccomandazione 2001/928 Euratom

Raccomandazione della Commissione del 20 dicembre 2001 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile. Gazzetta Ufficiale n. L 344 del 28 dicembre 2001.

Radiazione

Forma di trasporto dell'energia nello spazio e nel tempo.

Radiazioni gamma (g)

Radiazioni ionizzanti costituite da fotoni ad altissima frequenza (fanno parte delle radiazioni elettromagnetiche).

Hanno elevato potere penetrante.

Radiazioni ionizzanti

Radiazioni la cui energia è sufficiente a strappare uno o più elettroni agli atomi e alle molecole, con formazione di ioni positivi (ionizzazione). Le radiazioni ionizzanti si distinguono in genere in radiazioni corpuscolate (radiazioni α e β , neutroni, protoni, nuclei atomici o frammenti di nuclei, altre particelle dotate di massa) e radiazioni elettromagnetiche (radiazioni X e γ , costituite da fotoni di differente frequenza ed energia).

Radioattività

Capacità che hanno alcuni elementi chimici di emettere radiazioni ionizzanti a seguito di trasformazioni strutturali dei loro nuclei atomici.

Radioattività naturale

Emissione di radiazioni dovuta a trasformazione spontanea dei nuclei di alcuni elementi chimici naturalmente presenti nelle diverse matrici (rocce, suoli, acqua, aria).

Radioattività indotta

Emissione di radiazioni da elementi chimici a seguito di reazioni nucleari.

Radionuclide

Nuclide instabile, che decade emettendo radiazioni: ha un'emivita caratteristica.

Radon

Gas nobile (numero atomico 86) radioattivo (emette radiazioni α) incolore ed inodore generato continuamente

in modo naturale da alcune rocce della crosta terrestre. Esistono tre isotopi del radon, derivati da differenti catene di decadimento radioattivo: radon 219 (^{219}Rn , detto actinon), radon 220 (^{220}Rn , detto thoron) e radon 222 (^{222}Rn). Il radon decade trasformandosi in elementi detti "figli" del radon e anch'essi radioattivi. Il radon ha un'emivita di 3,82 giorni.

Radon indoor

Radon presente negli ambienti confinati (ambienti indoor). Si tratta generalmente di edifici adibiti ad abitazione, a luogo di lavoro o a vita comunitaria (scuole etc.).

Radon prone areas

Sinonimo di Zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon.

 UNIVERSITÀ di CATANIA	ELABORATO di CORSO	Studiante Vincenzo FIDONE	 Pagina 36 di 36
		Matricola R27000017	
RADON			

Rilevazioni (misure) di lungo periodo

Analogo a misure di lunga durata.

Risanamento del radon

Complesso di azioni finalizzate ad abbattere le concentrazioni di radon in un edificio già esistente.

Risparmio energetico

Complesso delle azioni di natura architettonica, impiantistica e comportamentale finalizzate a ridurre e ottimizzare il consumo di energia (elettrica, da combustibili per riscaldamento etc.). Negli edifici interessati dal problema radon le azioni connesse al risparmio energetico devono essere armonizzate con quelle finalizzate all'abbattimento del radon indoor.

Studi epidemiologici

Studi condotti a livello di popolazione (es. popolazione generale negli ambienti di vita o popolazioni lavorative)

allo scopo di valutare la distribuzione delle malattie ed i fattori che influenzano tale distribuzione (inclusi agenti ambientali di natura fisica, chimica e biologica).

Strumentazione (di misura) attiva

Dispositivi per la misura del radon indoor basati sull'aspirazione di volumi noti d'aria (campionamento) e richiedenti alimentazione elettrica. Sono generalmente impiegati per misure in continuo.

Tecniche di abbattimento attive

Tecniche di riduzione della concentrazione di radon indoor che prevedono tutte come elemento comune l'utilizzo di un ventilatore, il cui scopo può essere quello di veicolare continuamente all'esterno l'aria ricca di radon di un ambiente confinato o, al contrario, creare in detto ambiente una sovrappressione costante per impedire l'ingresso, attraverso soluzioni di continuo o altre vie, di aria ricca di radon dal suolo.

Tempo di decadimento

Sinonimo di emivita.

Toron

Isotopo del radon (^{220}Rn): deriva dalla catena di decadimento del torio 232 (^{232}Th) e ha emivita molto breve (55 secondi).

Valore d'azione

Analogo a livello d'azione.

Valore di riferimento

Analogo a livello di riferimento.

Vespaio

Camera d'aria che viene posta in opera nelle costruzioni allo scopo di isolarle dall'umidità. E generalmente costituito di ghiaia grossa sulla quale viene posto il basamento dell'edificio.

Zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon

Aree di territorio nelle quali, per effetto della particolare struttura geomorfologica delle formazioni rocciose e dei suoli, è maggiore la probabilità di riscontro di elevate concentrazioni di radon negli edifici.