

**V° Workshop interdisciplinare FIRR
Napoli, II° Università degli Studi
28 novembre 2014**

NATURA, ORIGINE E DIFFUSIONE DEL RADON

Leonardo Chiatti (AIFM)*

Introduzione

Lo scopo di questo contributo è quello di fornire un riassunto conciso delle caratteristiche essenziali del Radon, con particolare riferimento alla sua natura chimica e le proprietà nucleari, la sua origine e la sua diffusione nell'ambiente. Si vuole fornire una panoramica veloce degli aspetti più importanti dal punto di vista radioprotezionistico e sanitario, propedeutica ad ulteriori approfondimenti che sono oggetto delle successive presentazioni di questo workshop.

Proprietà chimiche e fisiche

Il Radon è un elemento chimico, precisamente l'elemento di numero atomico 86; il suo simbolo è Rn. Alla pressione atmosferica esso solidifica a $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ e bolle a $-61\text{ }^{\circ}\text{C}$, quindi alle normali temperature ambientali si presenta sempre in forma gassosa. E' molto denso: la sua densità a pressione atmosferica ed alla temperatura di $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ è $9,73\text{ g/l}$, circa 8 volte quella dell'aria.

Il Radon appartiene al Gruppo VIII della Tavola Periodica degli Elementi, quello dei "gas nobili" ossia degli elementi che presentano lo strato elettronico più esterno completamente saturato ed hanno pertanto una reattività chimica bassissima. Nonostante questa loro "inerzia", tuttavia, anche essi formano dei composti. Il Radon, in particolare, reagisce con l'acqua dando origine a dei cosiddetti "clatrati". L'unità base di questi composti è costituita da uno o più atomi di Radon solvatati da molecole di acqua. I clatrati sono molto instabili e per riscaldamento o agitazione meccanica il Radon torna nuovamente libero in forma gassosa. Tuttavia la esistenza di questi composti rende l'acqua un buon vettore di Radon.

Organoletticamente il Radon è incolore, insapore ed inodore e pertanto sfugge alla rivelazione diretta dei sensi umani.

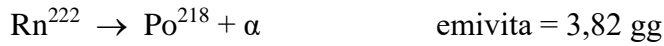
Da un punto di vista nucleare, sono noti 39 isotopi del Radon, tutti radioattivi, con un numero di massa variabile da 195 a 229. Tuttavia gli isotopi presenti in natura, i soli ai quali dedicheremo la nostra attenzione, sono solamente tre. Essi sono il Rn^{222} , il Radon propriamente inteso o "emanazione del Radio"; il Rn^{220} , chiamato anche Thoron o "emanazione del Torio"; il Rn^{219} ,

-
- U.O. Fisica Sanitaria ASL Viterbo; Via Enrico Fermi 15, 01100 Viterbo.
E_mail: fisica1.san@asl.vt.it

chiamato anche Actinon o “emanazione dell’ Attinio”. Il termine oramai storico “emanazione” è a dire il vero un pò desueto oggi, ma rende bene la origine di questi differenti isotopi, come vedremo.

Proprietà nucleari

Sia il Radon, che il Thoron e l’ Actinon sono alfa-emettitori puri:



La presenza di questi isotopi nel mondo naturale è dovuta alla loro appartenenza a tre distinte famiglie radioattive, rispettivamente quella dell’ Uranio (capostipite U^{238}), quella del Torio (capostipite Th^{232}) e quella dell’ Actinio (capostipite U^{235}). Le tre catene di decadimento sono illustrate rispettivamente in Fig.1, Fig.2, Fig.3 (fonte: Wikipedia).

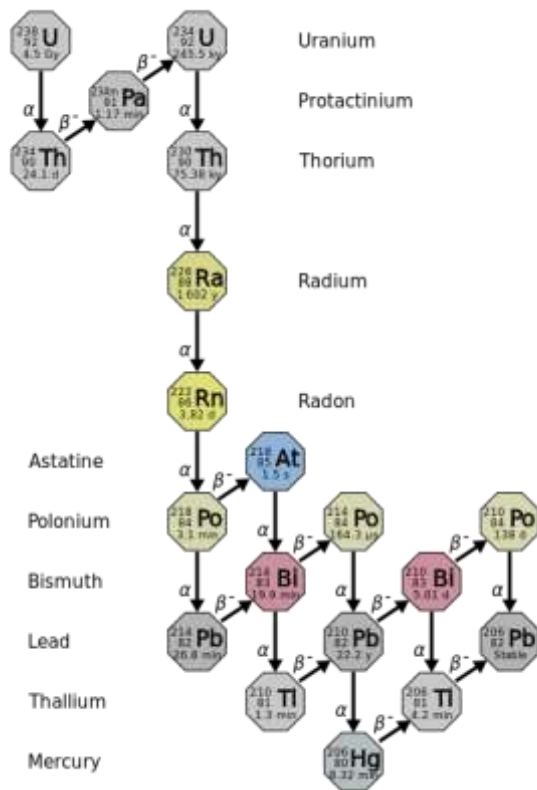


Fig.1; Famiglia dell’Uranio;

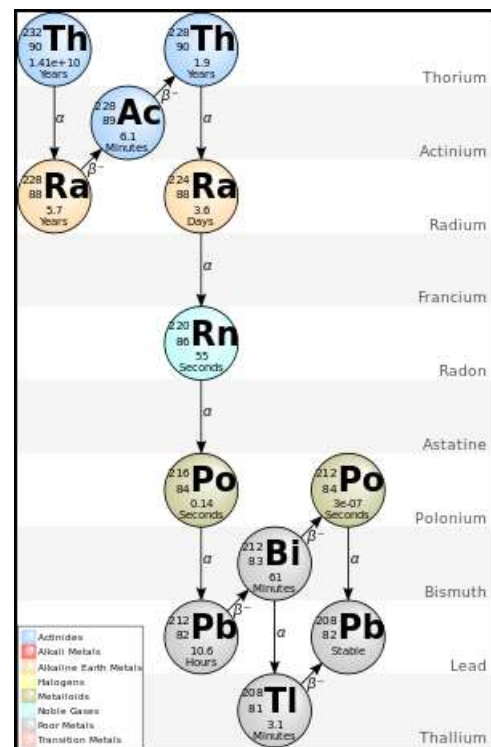


Fig.2; Famiglia del Torio;

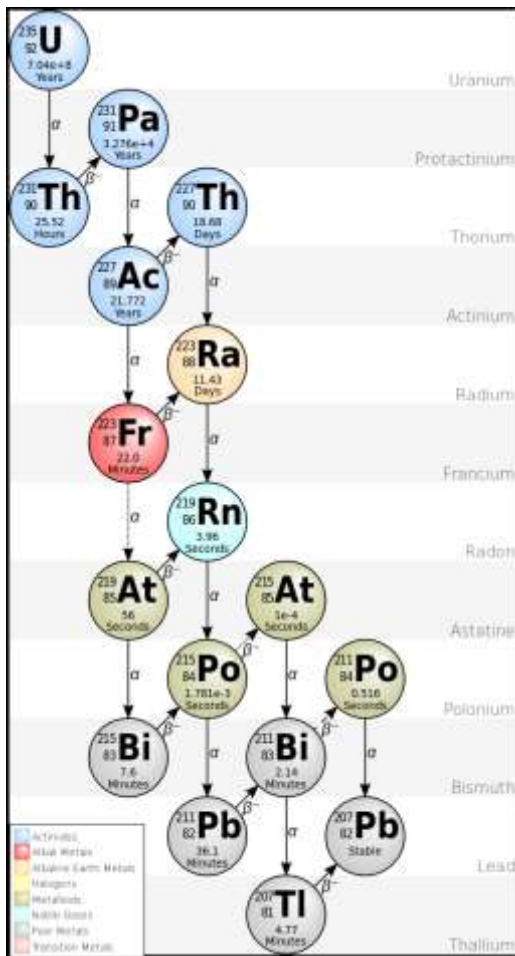


Fig. 3; Famiglia dell'Attinio

Come si vede, i tre isotopi del Radon sono generati dal decadimento alfa di tre distinti isotopi del Radio, rispettivamente il Ra²²⁶, il Ra²²⁴ ed il Ra²²³.

Questi tre isotopi del Radio sono distribuiti in modo abbastanza ubiquitario nelle rocce e nei terreni, che sono quindi la effettiva sorgente di isotopi del Radon nell'ambiente terrestre.

A questo punto possiamo già delineare la dinamica di questi isotopi sulla base dei dati che abbiamo fin qui elencato.

Gli elementi minerali della crosta terrestre contengono isotopi del Radio appartenenti alle tre famiglie. Il decadimento di questi isotopi produce il corrispondente isotopo del Radon. Poiché il Radon è un gas nobile, esso non si combina con gli elementi della matrice minerale e, data la sua natura gassosa, migra all'interno di tale matrice. Tale migrazione avverrà sia per semplice diffusione entro la matrice, sia per percolazione attraverso le microfessure, le superfici di clivaggio e gli interstizi in essa presenti. In tal caso, essa sarà fortemente facilitata. Quindi in materiali porosi e/o fessurati la migrazione sarà più agevole.

Una quota del Radon prodotto raggiungerà l'atmosfera e si diluirà in essa, processo favorito dalle correnti d'aria; si ha così il Radon *outdoor*.

Una quota minima penetrerà negli edifici e si concentrerà negli ambienti confinati al loro interno dando luogo al cosiddetto Radon *indoor*. Il problema sanitario è naturalmente ristretto a questa forma di Radon, data l'estrema diluizione del Radon *outdoor*.

La forte differenza delle emivite dei tre isotopi del Radon conduce ad una importante differenza nei loro livelli di concentrazione indoor. Infatti l'Actinon, con la sua brevissima emivita, difficilmente riesce ad uscire dalla matrice d'origine (non ne ha il tempo). Il Thoron, d'altra parte, riesce ad uscire ma rimane sempre molto vicino alla parete nella quale è stato originato, formando un alone di pochi centimetri di spessore. Sicché il Radon indoor è costituito quasi per intero dal solo isotopo 222, al quale restringeremo le nostre considerazioni.

Come si vede, l'emivita del Rn²²² è molto più lunga del periodo di permanenza di una data quantità d'aria nel polmone, per cui quasi tutto il Radon inspirato viene espirato prima che decada. L'esposizione interna diretta da Radon è quindi poco significativa da un punto di vista sanitario. Comunque, il Radon è in equilibrio secolare con i suoi figli (Po, Pb, Bi) che, a differenza del padre, sono solidi e come tali aderiscono al pulviscolato atmosferico sempre presente negli ambienti confinati. Questi figli vengono inalati con il pulviscolato (o liberi) e aderiscono alle mucose delle vie aeree, soprattutto nelle zone di maggior ristagno (alveoli). Essendo alfa e beta-emettitori essi irradiano l'epitelio alveolare, diventando così fattore di rischio per il carcinoma alveolare [ad oggi l'unica patologia associabile con certezza a tale processo]. E' possibile che anche i figli del Thoron (che, a differenza del padre, non rimangono confinati in prossimità della parete) contribuiscano a tale effetto detrimental.

Il percorso del Radon

Dato che il problema sanitario associato al Radon è costituito dalla sua radioattività, conviene parlare della concentrazione di Radon in aria esprimendola direttamente in Becquerel al metro cubo (Bq/m^3), ovvero in disintegrazioni radioattive per secondo in un metro cubo. Per dare una idea, i livelli tipici di Radon outdoor sono compresi in $5\text{-}10 \text{ Bq}/\text{m}^3$, mentre in ambienti chiusi la concentrazione di attività arriva facilmente a $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$. In ambienti sotterranei senza ricambio d'aria si può arrivare a migliaia di Bq/m^3 . Ci riferiamo qui alla attività del padre, ma i figli sono in equilibrio con esso. Un valore di $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ è il limite di azione raccomandato dalle più recenti direttive europee.

Il Radon entra negli edifici essenzialmente attraverso due vie: il sottosuolo ed i materiali da costruzione. Per quanto riguarda il sottosuolo, va rilevato che gli isotopi del Radio sono distribuiti in maniera abbastanza ubiquitaria sia nelle rocce magmatiche (tufi, pozzolane, basalti), sia in quelle metamorfiche (gneiss) sia in quelle sedimentarie (argille), anche se in quantità variabili.

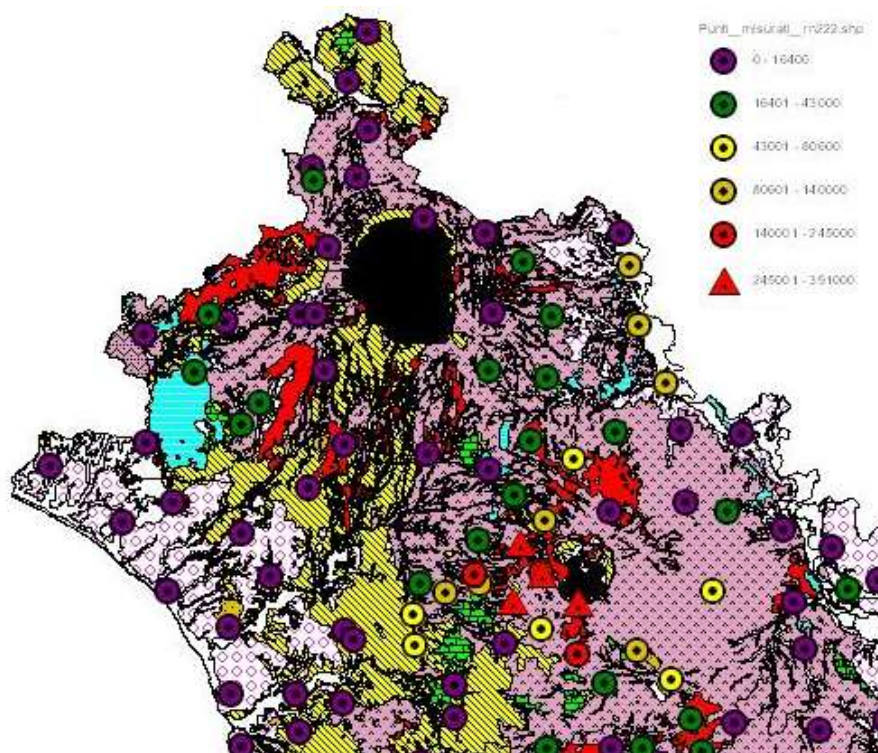


Fig. 4; Concentrazioni di Radon nel suolo dell' Alto Lazio. Fonte: Arpa Lazio.

Il contenuto di Radon nel suolo è ovviamente dipendente dalla concentrazione di questi isotopi, ed è fortemente dipendente dal luogo. A titolo di esempio, in Fig.4 è riportata la mappa geologica dell' Alto Lazio (provincia di Viterbo) con sovrapposti dei punti di misura di una campagna eseguita alcuni anni fa da Arpa Lazio (dott. Tentolini). La concentrazione di Radon misurata su campioni di suolo interamente sbriciolati è riportata secondo un codice di colore. La variabilità in funzione del luogo è evidente.

Per quanto riguarda invece i materiali da costruzione, in Tabella 1 sono riportate le concentrazioni di progenitori del Radon in alcune pietre ornamentali. Di particolare rilievo risultano essere il tufo,

le pozzolane, il peperino ed i materiali basaltici. La Figura 5 mostra invece le concentrazioni di Radon in alcuni materiali da costruzione usati come leganti o portanti.

Pietra Ornamentale	Tipo	Provincia	Ra-226 Bq/Kg	Th-232 Bq/Kg	K-40 Bq/Kg
MONTE BIANCO	Gneiss	AO	166	86	832
PIETRA DI LUSERNA	Gneiss	CN	125	114	1276
SIENITE GRIGIA A GRANA FINE	Sienite	VC	364	256	1264
GRANITO ROSATO S. PAOLO CERVO	sienite	VC	239	189	1206
GRANITO BIANCO DI CAMPIGLIO	sienite	VC	269	173	1181
ROSA CERVO	Granito	VC	348	197	1210
PEPERINO ROSATO	Peperino	VT	124	162	1351
PEPERINO GRIGIO	Peperino	VT	121	160	1340
BASALTINA	Basalto	VT	498	712	2354

Tabella 1; Concentrazione di progenitori del Radon in alcune pietre ornamentali (è riportato inoltre il K⁴⁰). Estratto da “Il Radon nella Casa - di U. Facchini, Gianluigi Valli, R. Vecchi - Ist. di Fisica Gen. Applicata - Universita' di Milano - Maggio 1991

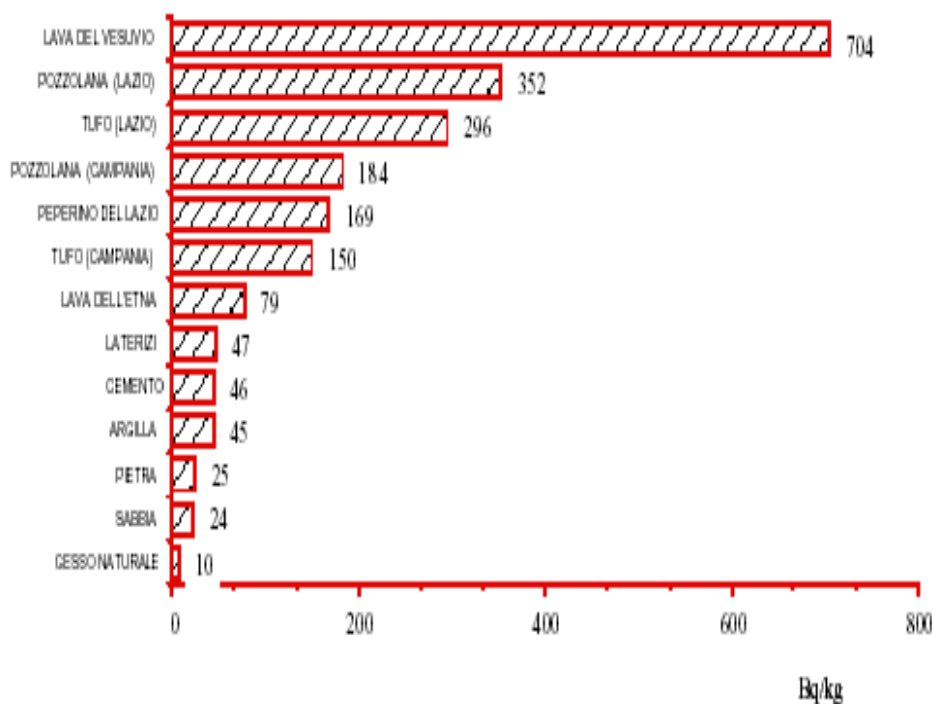


Fig. 5; Concentrazione di Ra²²⁶ in alcuni materiali da costruzione portanti/leganti. Fonte: G. Sciocchetti, AAI - NT III.2 - Radon nell'Alto Lazio.

Mentre l'ingresso di Radon in un edificio dai materiali da costruzione non richiede ulteriori spiegazioni, è necessario un approfondimento per quanto riguarda l'input dal suolo. Il Radon entra nei piani bassi o interrati/semi-interrati di un edificio attraversando il pavimento e le eventuali pareti in comunicazione con il suolo. Tale attraversamento può avvenire per diffusione, ma è enormemente facilitato se sono presenti interstizi o fratture nel pavimento e nelle pareti.

L'agevolazione del processo è massima quando sono presenti scale con accesso diretto al sottosuolo, il che può avvenire con cantine o depositi scavati direttamente nella roccia.

L'ingresso di Radon non è costante, ma presenta almeno una variabilità diurna ed una stagionale. In linea di massima, la concentrazione di Radon in un edificio cresce durante la notte e diminuisce nel corso della mattinata; il picco notturno tende poi ad essere maggiore d'inverno e minore d'estate. Questa variabilità è dovuta alla modulazione indotta da due effetti: l'effetto camino e l'effetto vento.

L'effetto camino è causato dalla differenza di temperatura tra il vano interrato/semi-interrato ed il suolo circostante; questo gradiente di temperatura provoca il risucchio del Radon all'interno del vano. Di norma tale gradiente è maggiore di notte che di giorno, e maggiore d'inverno che d'estate, a causa del riscaldamento del vano; ciò determina le variabilità descritte.

In edifici esposti a venti dominanti su una facciata si ha una pressione locale (dinamica) maggiore sulla facciata esposta e minore sulla facciata opposta, che rimane "in ombra". Questo gradiente di pressione può contribuire al risucchio di Radon nei vani bassi ed in ciò consiste l'effetto vento.

E' necessario precisare che la concentrazione indoor non è connessa in modo semplice e diretto alla concentrazione di Radon nel suolo sul quale l'edificio poggia. Molti altri fattori sono determinanti, ad esempio: la ventilazione degli ambienti (un maggiore ricambio d'aria con l'esterno ostacola l'accumulo del gas), la presenza/assenza di vani interrati/semi-interrati in collegamento con il resto dell'edificio (che sono potenziali camere di accumulo per il gas), la già menzionata presenza di interstizi o fessure nelle opere in muratura o nei pavimenti a contatto con il suolo, la eventuale presenza di intercapedini sotto l'edificio o tra le pareti esterne sotto il piano di campagna ed il suolo (che riduce notevolmente l'ingresso di gas), i materiali da costruzione, la presenza/assenza di intonacatura (questa ostacola il flusso di Radon attraverso le pareti) e così via.

Come si intuisce, molto dipende anche dalle finalità dell'edificio e dagli stili di vita degli occupanti. Ad esempio un edificio pubblico come un municipio od una scuola resta chiuso durante il fine settimana, ed in corrispondenza di tale periodo si ha un accumulo di Radon che invece non si manifesta in un'abitazione privata; l'abitudine di "cambiare aria" alla mattina, aprendo le finestre anche di inverno per qualche minuto, conduce alla espulsione dell'accumulo notturno di gas, e così via.

Il radon indoor in Italia

Sono state svolte diverse campagne di misurazione della concentrazione di Radon indoor nelle abitazioni e negli edifici pubblici in Italia. In questa presentazione introduttiva ci limitiamo a presentare la mappa risultante da una indagine nazionale condotta da ISS ed ISPRA negli anni 1980-90 (Fig. 6). In tale mappa sono riportati i valori medi per regione, mediante un codice a colori. Si vede facilmente che la situazione è fortemente disomogenea in funzione della regione ma si potrebbe dimostrare, analizzando altri dati relativi a campagne regionali sulle quali non ci dilunghiamo, anche una forte disomogeneità all'interno delle singole regioni. Ad esempio la Lombardia, che risulta essere una delle regioni a maggior "rischio", in realtà è interessata al fenomeno solamente in corrispondenza delle sue provincie più settentrionali.

Ad ogni modo si stima una concentrazione media nazionale di 70-75 Bq/m³, con un 4 % di edifici al disopra di 200 Bq/m³. Se si tiene conto che la concentrazione media mondiale, stimata dall'

UNSCEAR, è di 40 Bq/m^3 si può dire che il Radon indoor costituisce, a livello nazionale, un problema al quale prestare attenzione.

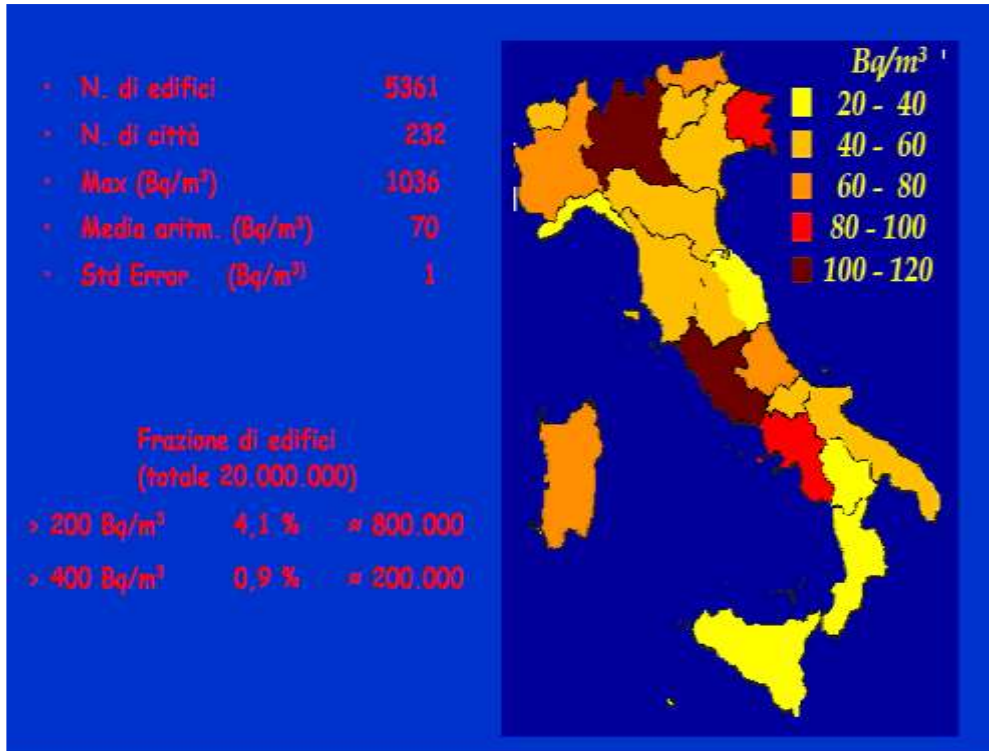


Fig.6; Risultati della storica indagine ISS-ISPRA

Naturalmente l'edificio entro il quale il Radon penetra può essere indifferentemente un ambiente di vita o di lavoro. Il Radon è dunque un problema sia di radioprotezione ambientale che occupazionale. Mentre la esposizione occupazionale è normata da un decreto (il D. Lgs 241 del 26/05/2000, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 31/08/2000) per la esposizione in ambienti di vita il riferimento normativo è costituito da Direttive Euratom e linee guida.

Contromisure

In teoria, un edificio dovrebbe essere costruito con modalità tali da impedire al Radon l'ingresso. Gli accorgimenti in questo senso sono praticamente a costo zero se adottati in sede progettuale: fondamenta a vespaio aerate, intercapedini tra mura e suolo, uso di materiali da costruzione a basso contenuto di Radio, progettazione accurata degli interstizi. Al momento l'adozione di questi accorgimenti è lasciata alla sensibilità del progettista data la generale assenza di specifiche disposizioni nei regolamenti edilizi.

Per gli edifici esistenti si possono porre in atto azioni di rimedio tese a ricondurre la concentrazione indoor al disotto del livello di azione, qualora essa sia stata misurata (con misuratori passivi a tracce o a carboni attivi) e sia risultata superiore a tale livello. Tali azioni rientrano grosso modo in due grandi classi; alla prima classe appartengono tutte quelle azioni mirate a risucchiare il Radon che entra nell'edificio convogliandolo in un pozzo di concentrazione, dal quale viene poi aspirato ed

espulso; questi sistemi possono essere ad aspirazione passiva o anche attiva, con delle pompe attivate a periodi regolari.

Appartengono invece alla seconda classe quelle azioni che tendono ad impedire l'ingresso di Radon nell'edificio mettendo in pressurizzazione l'edificio stesso rispetto al suolo; queste tecniche sono necessariamente attive.

L'adozione di queste azioni dovrebbe essere decisa solamente dopo un accurato campionamento della concentrazione media mediante misuratori passivi, complementata da una misurazione della dinamica del Radon in tempo reale con misuratori attivi solamente se necessaria. L'efficacia delle azioni intraprese dovrebbe essere verificata con successive misurazioni della concentrazione media. I costi sono normalmente contenuti, sia per quanto riguarda le misure (sono disponibili anche dei kit) che per quanto riguarda le azioni di rimedio.

Suggerimenti bibliografici

[1] Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome, *Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei*, Roma 6 febbraio 2003.

[2] ISS-ANPA, *Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, ISTISAN Congressi 34, (1994).

[3] Bochicchio et al., *Results of the representative Italian national survey on radon indoors*. *Health Phys.* 71 (5): 743-750; 1996.

[4] Bochicchio et al., *Results of the National Survey on Radon Indoors in All the 21 Italian Regions*. *Proc. Workshop "RADON in the Living Environment"*, 19-23 April 1999, Athens, Greece, 997-1006; 1999.