

IL RADON

Prof. Giovanni Buccolieri
Università del Salento
e-mail: giovanni.buccolieri@unisalento.it

IL RADON

1 1A Nuovo Originale												18 VIIIA																	
1 H Idrogeno 1.00794	2 IIA	Metalli alcalini		Metalli alcalino terrosi		Metalli del blocco d		Lantanidi		Metalli del blocco p		Nonmetalli		Gas nobili		C Solidi		Br Liquidi		H Gas		Tc Artificiali		13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
3 Li Litio 6.941	4 Be Berillio 9.012182																							5 B Boro 10.811	6 C Carbonio 12.0107	7 N Azoto 14.00674	8 O Ossigeno 15.9994	9 F Fluoro 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodio 22.989770	12 Mg Magnesio 24.3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIII	10	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA												
19 K Potassio 39.0983	20 Ca Calcio 40.078	21 Sc Scandio 44.955910	22 Ti Titanio 47.867	23 V Vanadio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganese 54.938045	26 Fe Ferro 55.8457	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Nichel 58.6934	29 Cu Rame 63.546	30 Zn Zinco 65.409	31 Ga Gallio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsenico 74.92160	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Kriptone 83.796												
37 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Stronzio 87.62	39 Y Ittrio 88.90585	40 Zr Zirconio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.94	43 Tc Tecnezio (98)	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 102.90550	46 Pd Palladio 106.42	47 Ag Argento 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411	49 In Indio 114.818	50 Sn Stagno 118.710	51 Sb Antimonio 121.760	52 Te Tellurio 127.60	53 I Iodio 126.90447	54 Xe Xeno 131.29												
55 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 to 71		72 Hf Hafnio 178.49	73 Ta Tantalio 180.9479	74 W Tungsteno 183.84	75 Re Renio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.217	78 Pt Platino 195.078	79 Au Oro 196.96655	80 Hg Mercurio 200.59	81 Tl Tellurio 204.3833	82 Pb Piombo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98038	84 Po Polonio (209)	85 At Astato (210)	86 Rn Radon (222)											
87 Fr Francio (223)	88 Ra Radio (226)	89 to 103		104 Rf Rutherfordio (261)	105 Db Dubnio (262)	106 Sg Seaborgio (266)	107 Bh Bohrio (264)	108 Hs Hassio (269)	109 Mt Meitnerio (268)	110 Ds Darmstadtio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Uub Ununbio (285)	113 Uut Ununtrio (284)	114 Uuq Ununquadio (289)	115 Uup Ununpentio (288)	116 Uuh Ununhexio (292)	117 Uus Ununseptio (294)	118 Uuo Ununoctidio (294)											

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Design Copyright © 1997 Michael Dayan (mdayan@dayan.com), <http://www.dayan.com/periodic>

Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.



Radon

Gas nobile monoatomico, inodore, incolore

3 isotopi radioattivi

Rn-222 (U-238)

$T_{1/2}=3.8$ giorni

Rn-220 (Th-232)

(thoron)

$T_{1/2}=56$ s

Rn-219 (U-235)

$T_{1/2}=4$ s

^{238}U e ^{232}Th hanno vita media dell'ordine di 10^{10} anni, sono presenti ovunque nella crosta terrestre e la loro abbondanza varia a seconda della sua costituzione:

~ 500 Bq/kg nelle rocce di terre rare;

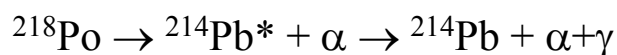
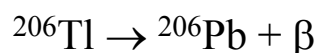
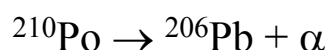
~ 80 ÷ 100 Bq/kg nelle rocce ignee;

~40 ÷ 50 Bq/kg nelle rocce sedimentarie.

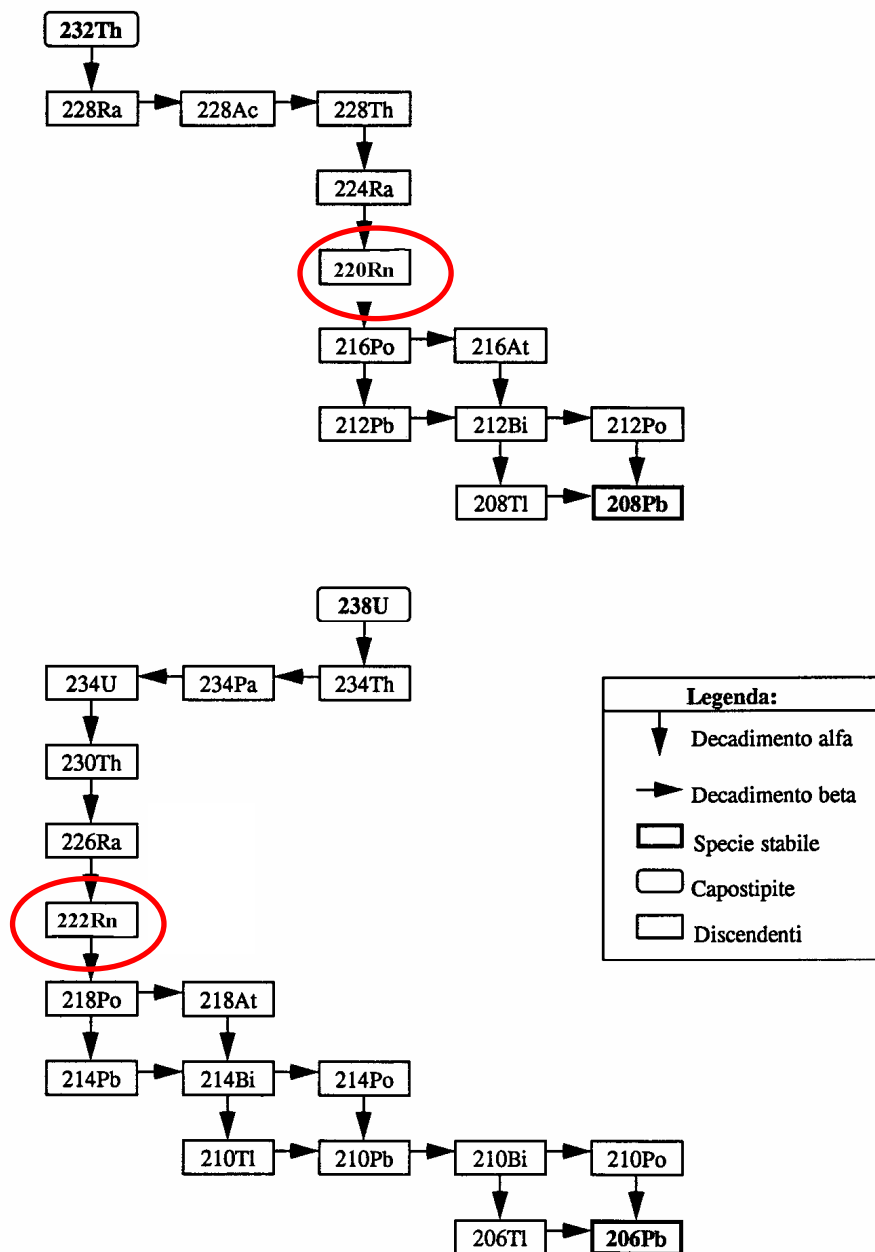
La concentrazione media nella crosta terrestre continentale è 50 Bq/kg

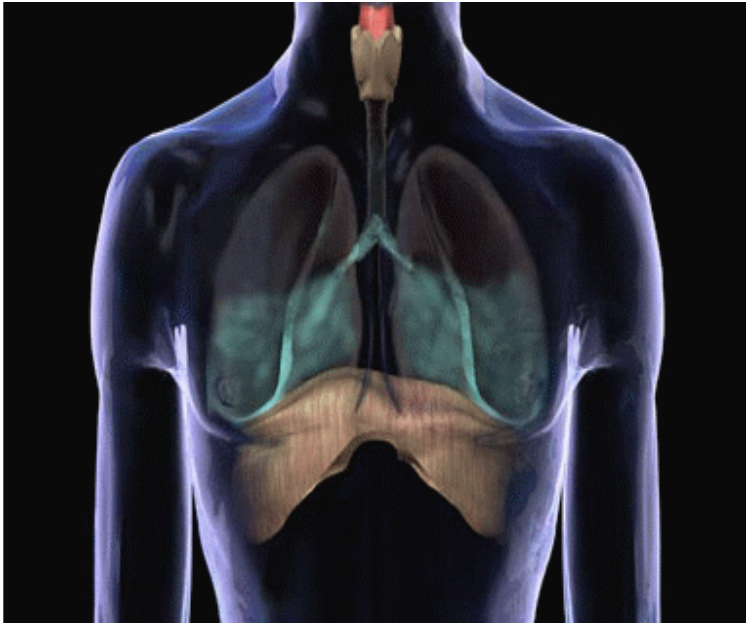
La concentrazione media degli isotopi del Rn è 40 Bq/kg (10 ÷ 200 Bq/kg)

Il decadimento dei radionuclidi naturali può avvenire con l'emissione di una particella alfa o di una particella beta, talvolta accompagnate da un fotone:



DECADIMENTI Th-232 e U-238

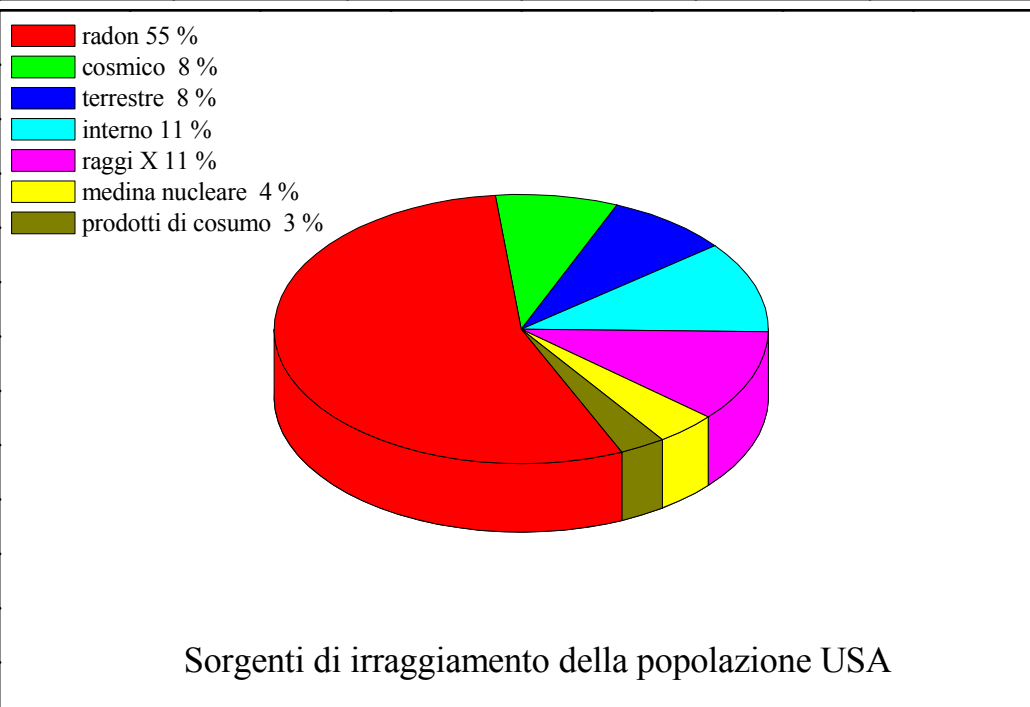
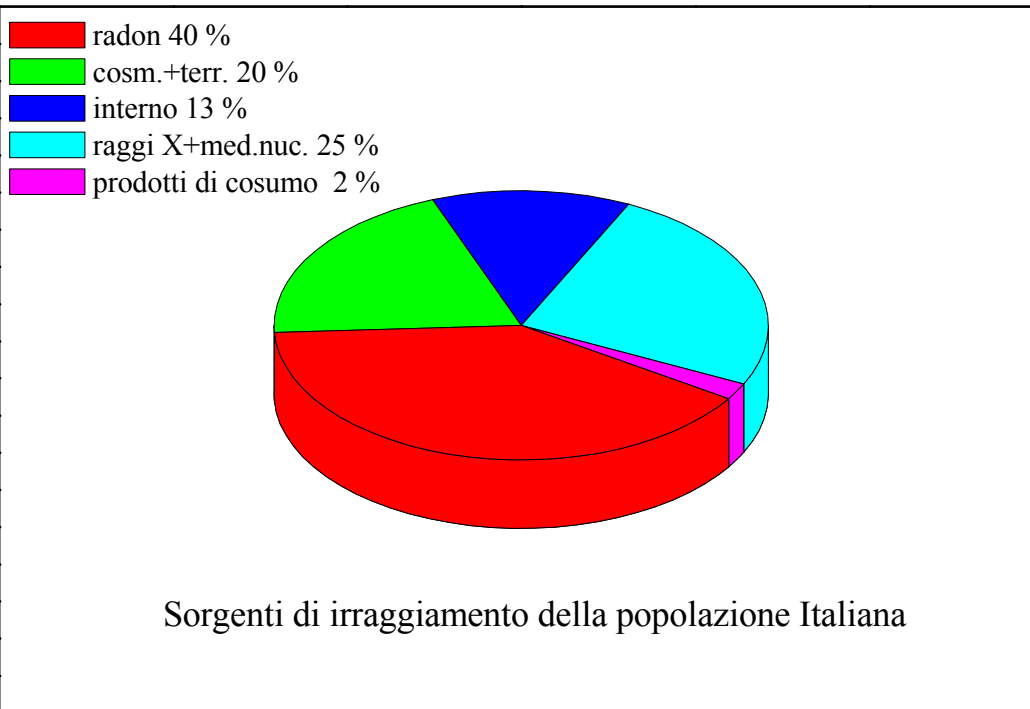




Il radon è **chimicamente inerte** ed **elettricamente neutro**. La sua pericolosità per l'uomo è legata esclusivamente alla **radioattività**: si disintegra in atomi, che a loro volta sono radioattivi.

In realtà quando inspiriamo radon questo, essendo un gas nobile e pesante, non passa nel sangue, ma viene espirato subito tale e quale, prima che decada, e direttamente non riceviamo nessun danno. Invece i suoi discendenti radioattivi sono solidi e si attaccano al pulviscolo atmosferico: in questo modo durante la respirazione possono restare intrappolati nell'albero bronchiale e lì emettere le particelle alfa, che quindi possono danneggiare direttamente le cellule delle mucose bronchiali. Si stima che sia la seconda causa di tumore al polmone dopo il fumo di sigaretta.

Sorgenti d'irraggiamento



Gli effetti del Radon

Il Rn-222 è stato ritenuto cancerogeno per l'uomo dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO).

Il Radon è inerte chimicamente ed elettricamente neutro quindi la sua pericolosità è legata alla radioattività: il radon decade in particelle solide (figlie del Radon) anch'esse radioattive. Queste particelle si legano al pulviscolo dell'aria (polvere, fumo, vapore) e si depositano nei polmoni una volta inalate.

Una volta nei polmoni, i figli del Radon decadono emettendo radiazioni e particelle che danneggiano il tessuto polmonare. L'esposizione è dovuta principalmente ad emissioni α (generalmente di energia compresa tra 4 e 9 MeV): tali particelle percorrono, in tessuti biologici, poche decine di μm .

L'esposizione al Radon accresce il rischio di tumore al polmone ed è stato accertato che in una popolazione esposta a concentrazione elevata di Radon i fumatori hanno una probabilità 10 volte maggiore di contrarre il tumore al polmone rispetto ai non fumatori.

Negli anni '50 fu dimostrato un rapporto causa-effetto tra l'inalazione degli isotopi radioattivi generati dal decadimento del Rn e l'insorgenza di tumori polmonari.

Range medio delle
particelle α con energia
maggiore a 7 MeV

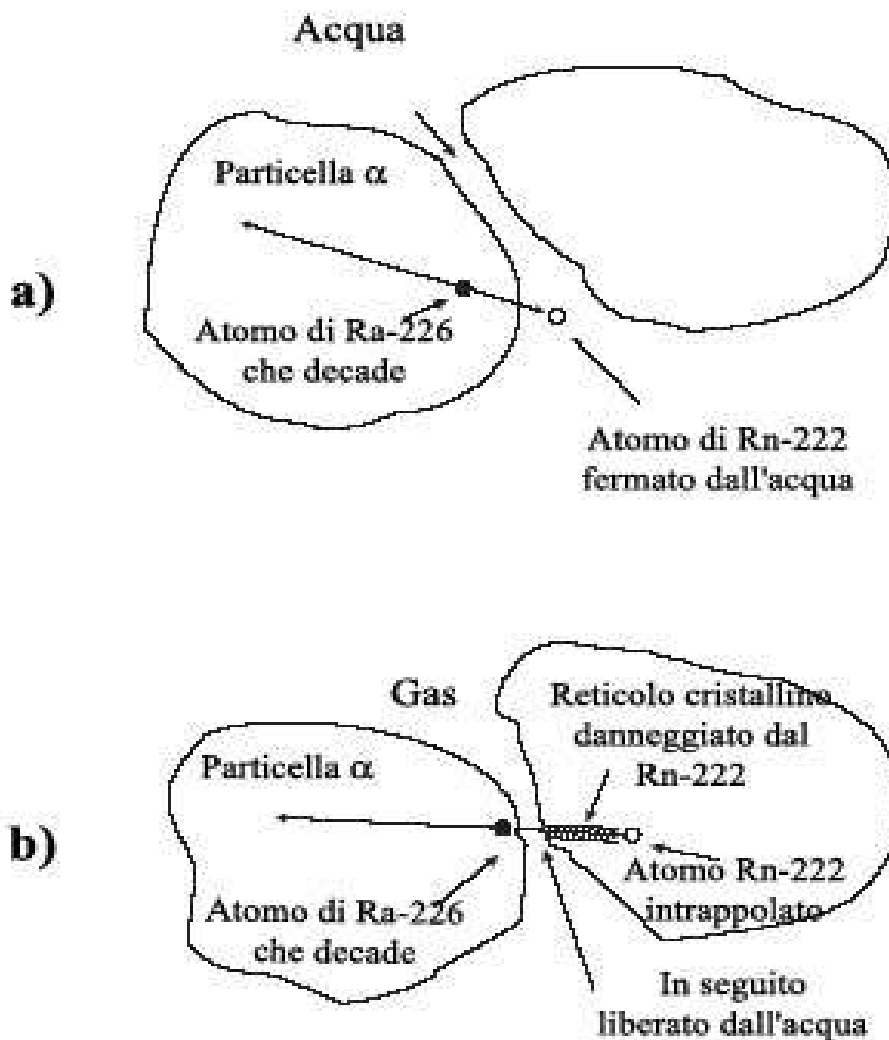
10 cm in aria

70 μm in acqua

Un foglio di carta

Come si genera?

Il ^{222}Rn si forma nelle rocce in seguito al decadimento del ^{226}Ra : in tale processo viene emessa una particella α da 4.8 MeV.



Come il Radon entra in un edificio

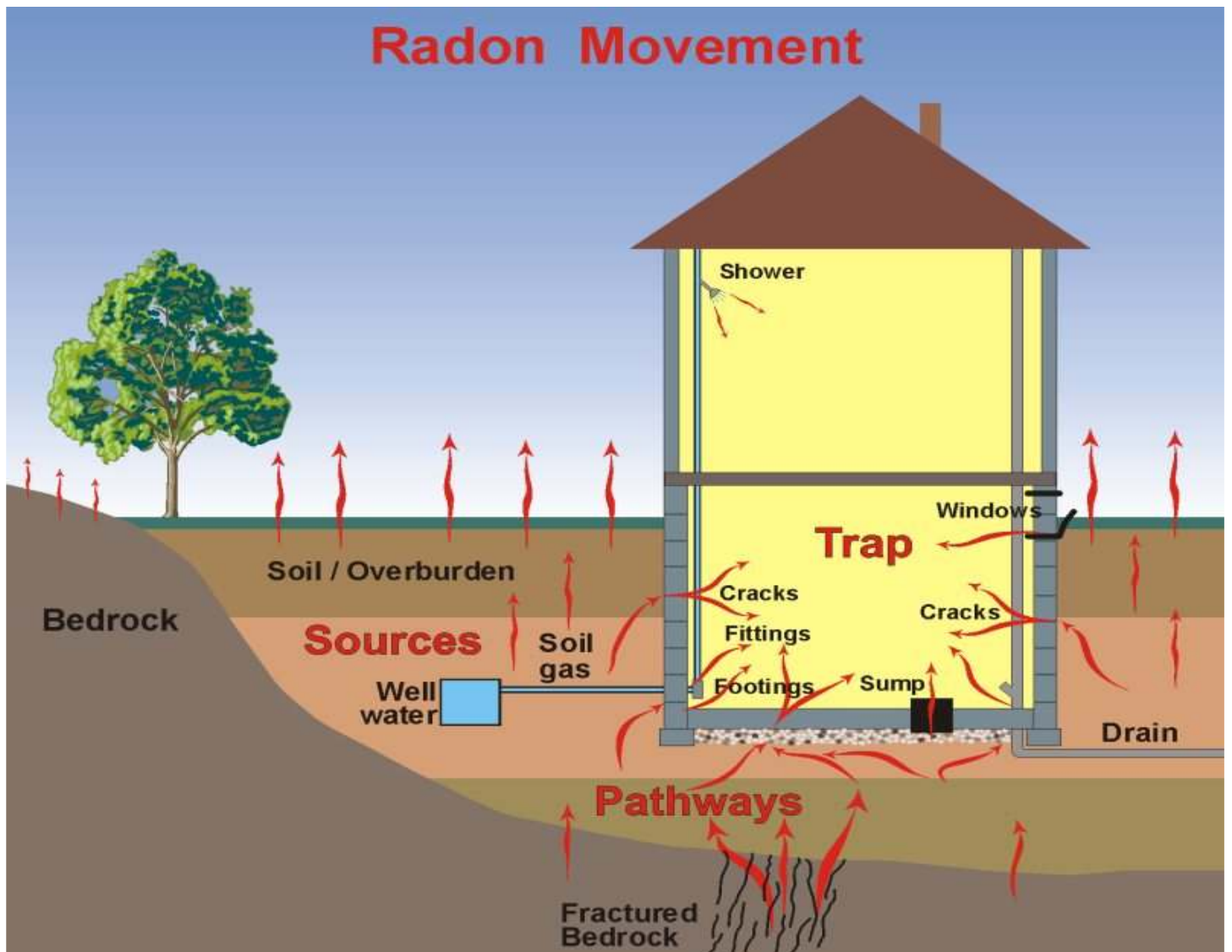
Circa il 75 % del tempo di una persona è speso in un ambiente indoor dove il Rn ha una concentrazione maggiore che all'esterno a causa dei piccoli volumi e della scarsa ventilazione.

La causa principale della presenza del radon nei locali di soggiorno delle nostre abitazioni è la **depressione** che si viene a creare tra i locali abitati ed il suolo. Questa depressione è indotta, in primo luogo, dalla **differenza di temperatura** tra l'edificio ed il suolo che, alle nostre latitudini, in particolare in inverno quando gli edifici vengono riscaldati, può essere significativa. La differenza di pressione è influenzata anche da **aperture** come camini, finestre, lucernari, nonché da impianti di aspirazione delle cucine, bagni ecc.. che provocano un **tiraggio aggiuntivo** a quello dovuto alla semplice differenza di temperatura. Gli effetti di questa depressione si traducono **nell'aspirazione dell'aria dal suolo e con essa del radon contenuto**.

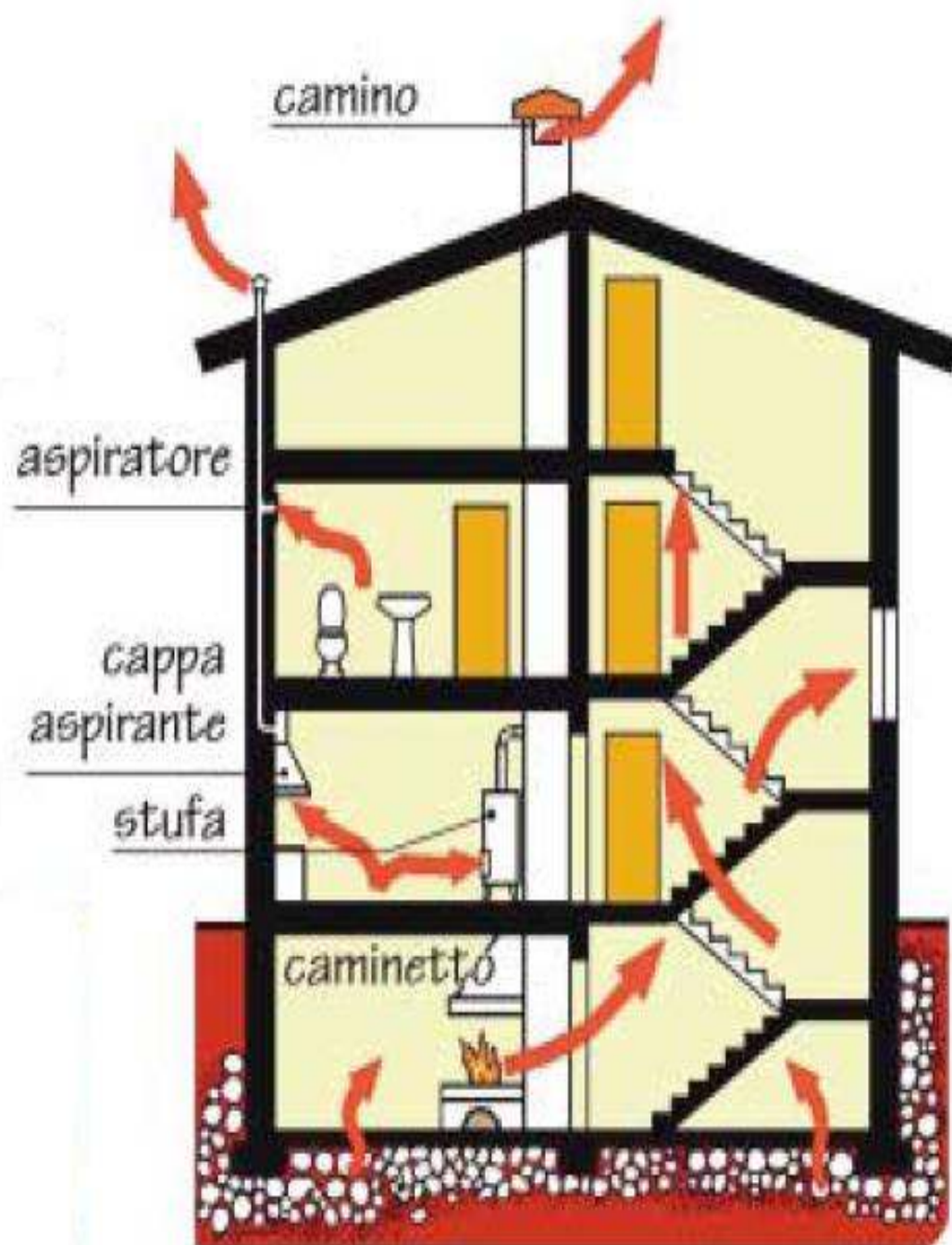
L'**infiltrazione** costituisce il secondo fattore importante nel determinare l'ingresso del radon nelle abitazioni. Essa può verificarsi in corrispondenza di:

- crepe e giunti in pavimenti e pareti, fori di passaggio cavi (soprattutto in tubi vuoti), tubazioni e fognature;
- pozzetti ed aperture di controllo;
- prese di luce e altre aperture nelle pareti della cantina, camini, montacarichi, ecc.;
- zone critiche di grande estensione come pavimenti naturali in terra battuta, in ghiaia, in lastre di pietra o ciottoli;
- componenti costruttivi permeabili (solai in legno, a laterizi forati, muri in pietra e simili).

Radon Movement



Aspirazione dell'aria dal suolo e con essa del Rn contenuto



L'infiltrazione costituisce il secondo fattore importante nel determinare l'ingresso del Rn nelle abitazioni: si verifica in corrispondenza di crepe, fori di passaggio di cavi, pozzetti, aperture nelle pareti, zone critiche di grande estensione come pavimenti naturali in terra battuta, in ghiaia.



Interventi di risanamento

Nell'eventualità che le misurazioni effettuate rivelino una concentrazione di radon superiore ai livelli di riferimento diventa opportuno intervenire sugli edifici. Esistono interventi volti a limitare o **eliminare i punti di infiltrazione** ed altri che, **depressurizzando il suolo**, impediscono la risalita del gas.

Di seguito vengono descritte in dettaglio alcune possibili modalità di intervento per diverse tipologie costruttive.

Edifici a diretto contatto con il suolo – Nel caso in cui il piano più basso dell'edificio sia a diretto contatto con il terreno, l'intervento consiste nel mettere in depressione l'aria del sottosuolo tramite uno o più pozzi di raccolta.

Edifici con vuoto sanitario o vespaio - Il vespaio ed il vuoto sanitario sono costruiti per proteggere l'edificio dall'umidità. Normalmente queste intercapedini sono dotate di aperture di aerazione. La creazione di nuove aperture e/o l'allargamento di quelle esistenti può essere sufficiente per disperdere verso l'esterno l'aria ricca di radon che qui si accumula.

Il Radon in Italia

La concentrazione media nazionale di Radon in ambienti indoor è di 75 Bq/m³: ciò produce una dose efficace media annua individuale di 1,1 mSv/anno (stima mondiale di 1,3 mSv/anno).

Il Decreto Legislativo del 26/05/00 n.241 fissa un limite di 500 Bq/m³ (concentrazione di radon in ambienti di lavoro).

Contributo delle diverse sorgenti al rateo d'ingresso di Rn in abitazione:

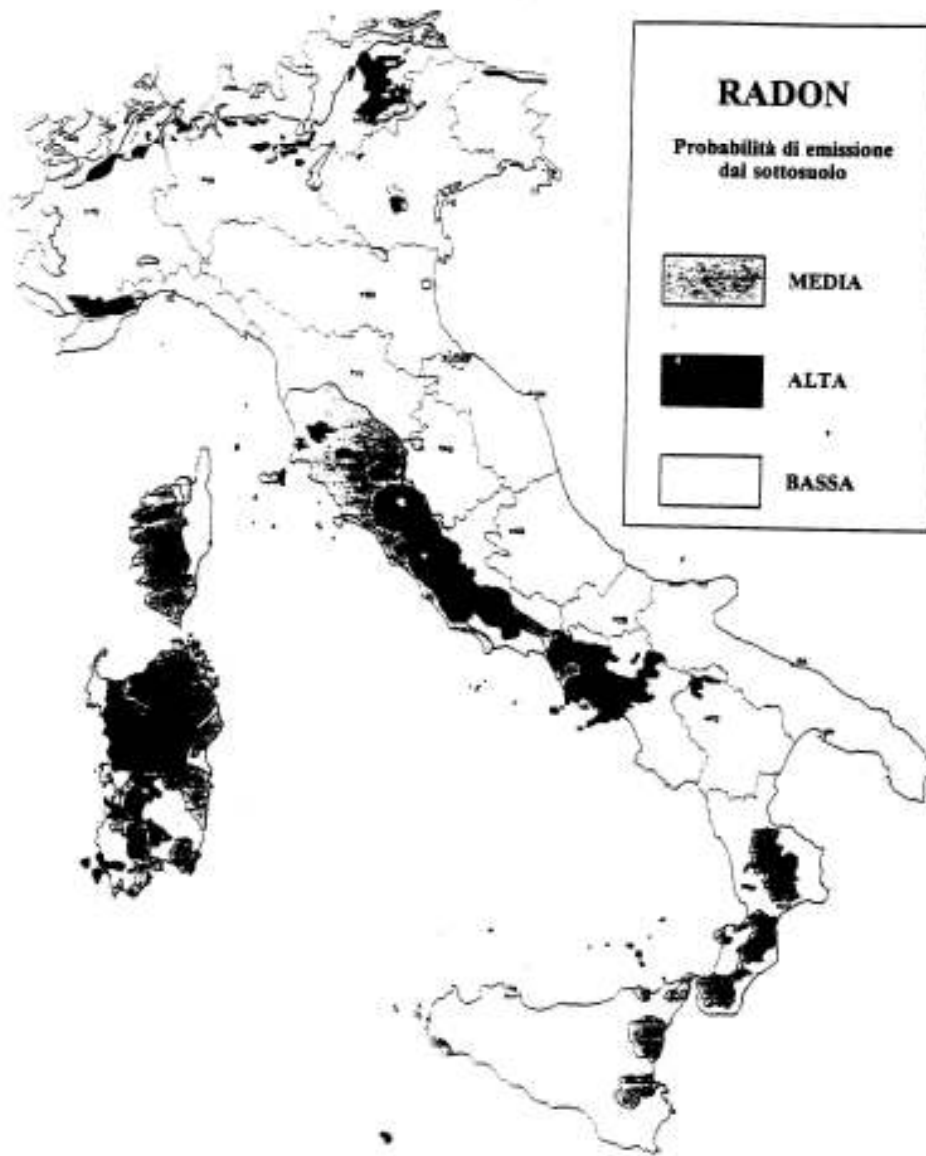
	Bq/m³h	%
Diffusione da elementi costruttivi	10	21
Diffusione dal suolo	7.5	15
Convezione	20	41
Infiltrazione dall'esterno	10	20
Emanazione dall'acqua	1	2
Consumo di gas naturale	0.5	1
	49	

I valori indicati sono puramente indicativi perché dipendenti dalle specifiche caratteristiche geologiche, strutturali, climatiche, ecc.

Valori medi di radio in materiali da costruzione

	Bq/kg
Tufo campano	130÷220
Tufo laziale	400 ÷ 550
Lava (Campania)	710
Polvere vulcanica	110
Residui di miniera di Uranio (USA)	4600
Legni (Finlandia)	1.1

Radon in Italia



Mappa della probabilità di emissione del gas radon dal sottosuolo del territorio nazionale italiano

Metodi di misura del Radon

Il principio di misura:

interazione delle particelle α , β o γ , proveniente dal decadimento radioattivo del radon mediante:

- interazione con un gas, con conseguente ionizzazione, creazione di un impulso e quindi di corrente;
- interazione con materiale fosforescente con produzione di fotoni che inviati ad un fototubo generano corrente;
- interazione con un cristallo drogato con creazione di coppie elettroni-lacune che generano corrente.

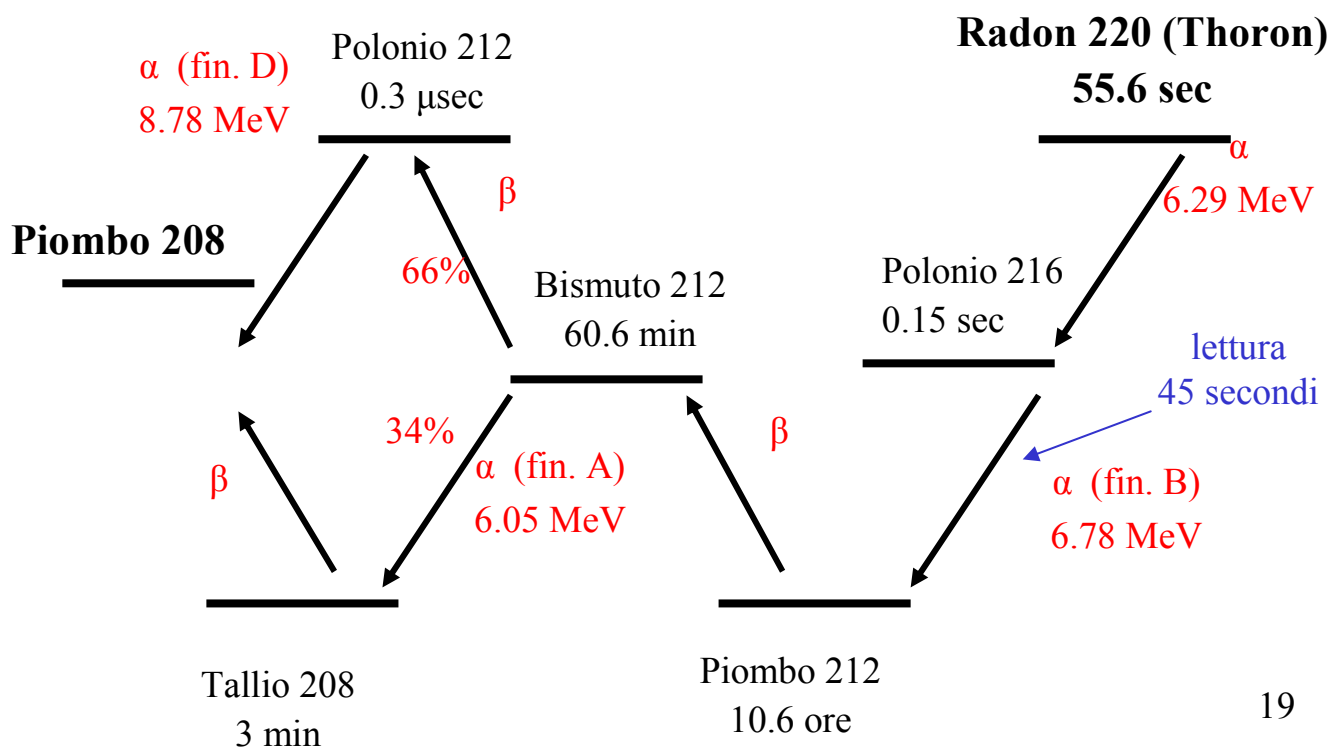
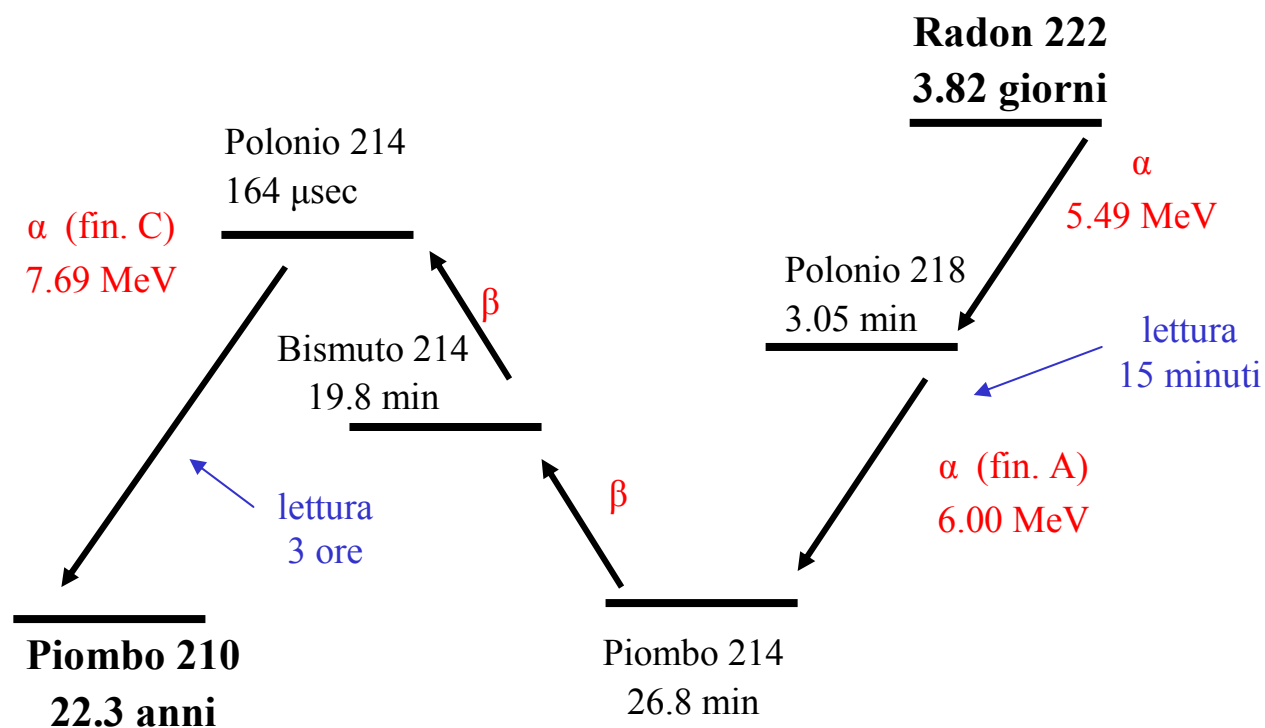
Misure di Radon

Spesso il Radon si determina misurando le particelle α da esso emesse (o dai suoi figli). Il radon è un gas ma suo “figlio” polonio è un metallo e quindi può depositarsi sul particolato atmosferico o su una qualsiasi superficie.

Per il Rn-222 si analizzano le particelle α (6 MeV) emessi dal Po-218: equilibrio secolare di circa 15 minuti. In alternativa si possono analizzare le particelle α (7.69 MeV) emessi dal Po-214: equilibrio secolare di circa 3 ore.

Per il Rn-220 (thoron) si analizzano le particelle α (6.78 MeV) emessi dal Po-216: equilibrio secolare di circa 45 secondi.

Decadimenti



Normativa vigente

La concentrazione media nazionale di Rn indoor è di 75 Bq/m³ (Veneto 59 Bq/m³, Emilia Romagna 43 Bq/m³, Lombardia 117 Bq/m³). L'EPA raccomanda una concentrazione massima in casa di 150 Bq/m³. La Comunità Europea raccomanda azioni di rimedio qualora il livello di concentrazione superi i 400 Bq/m³ nei vecchi edifici e 200 Bq/m³ negli edifici di recente costruzione.

La normativa italiana (Decreto Legislativo del 26/05/00, n.241) ha stabilito un livello di riferimento per l'esposizione al Rn negli ambienti di lavoro di 500 Bq/m³. Per quanto riguarda le abitazioni, non esiste in Italia una normativa specifica.

Strumentazione utilizzata



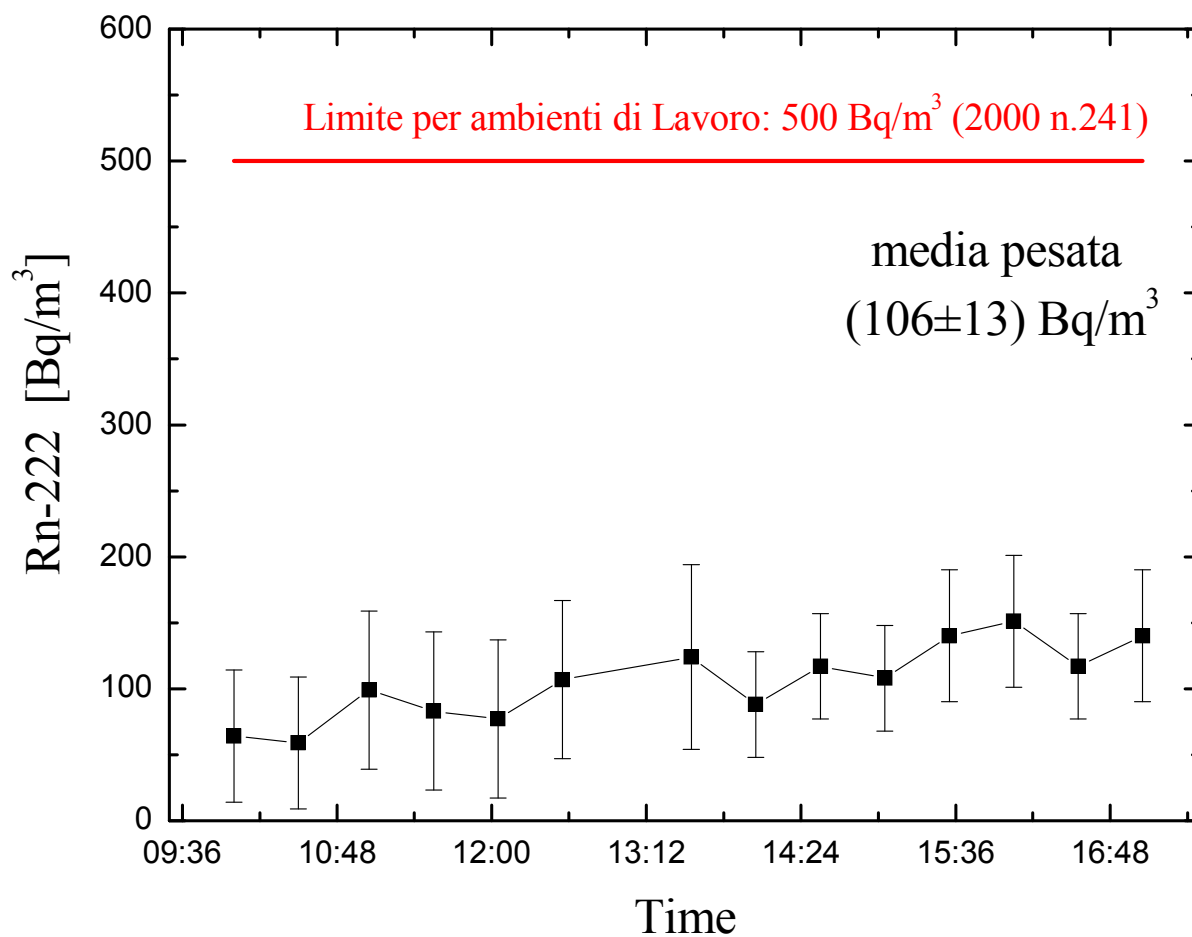
La misura della concentrazione di radon in aria è stata effettuata mediante il rivelatore elettronico prodotto dalla DURRIDGE Company modello RAD7

Rivelatore al silicio

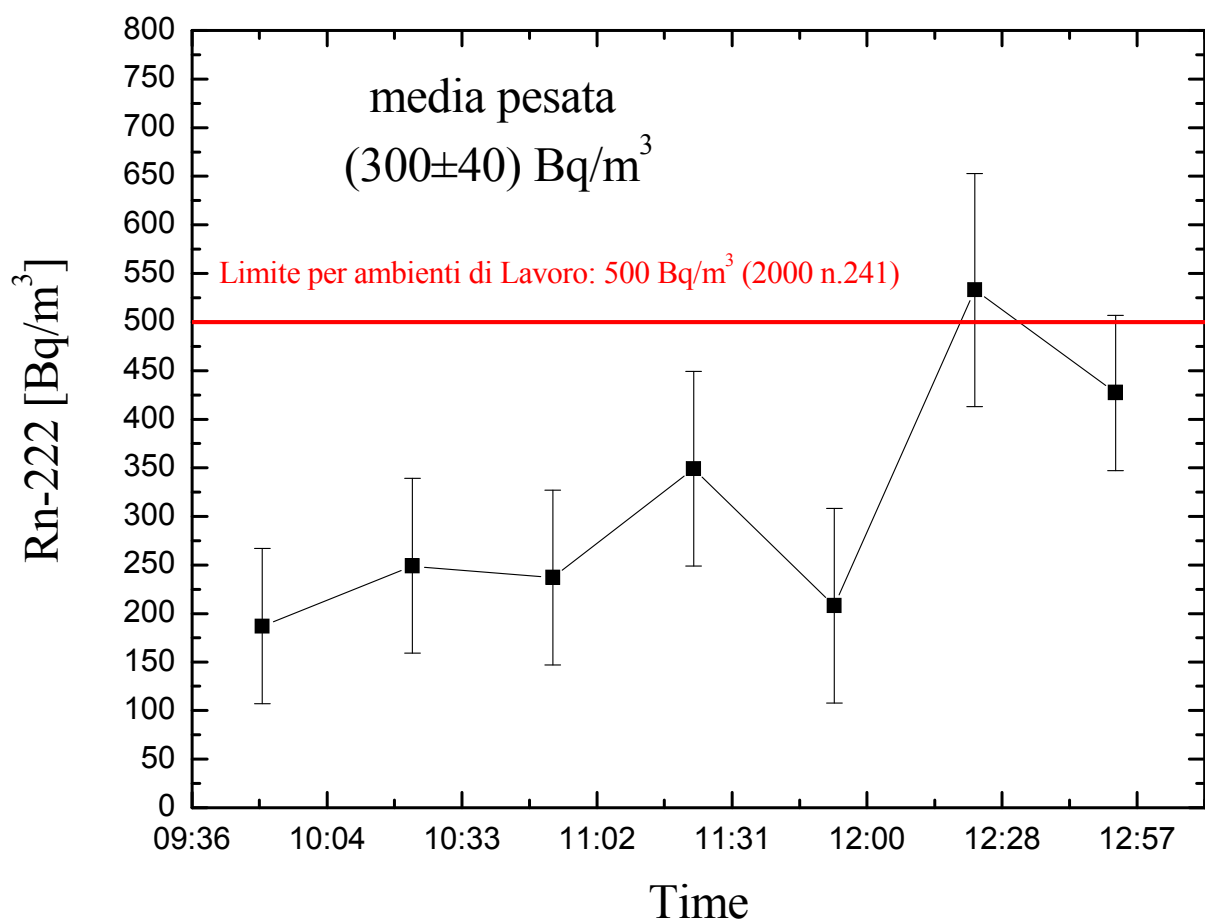
Range dinamico: $4 \div 400000 \text{ Bq/m}^3$

Principio di funzionamento: accumulazione elettrostatica degli alfa-emettitori con analisi spettrale

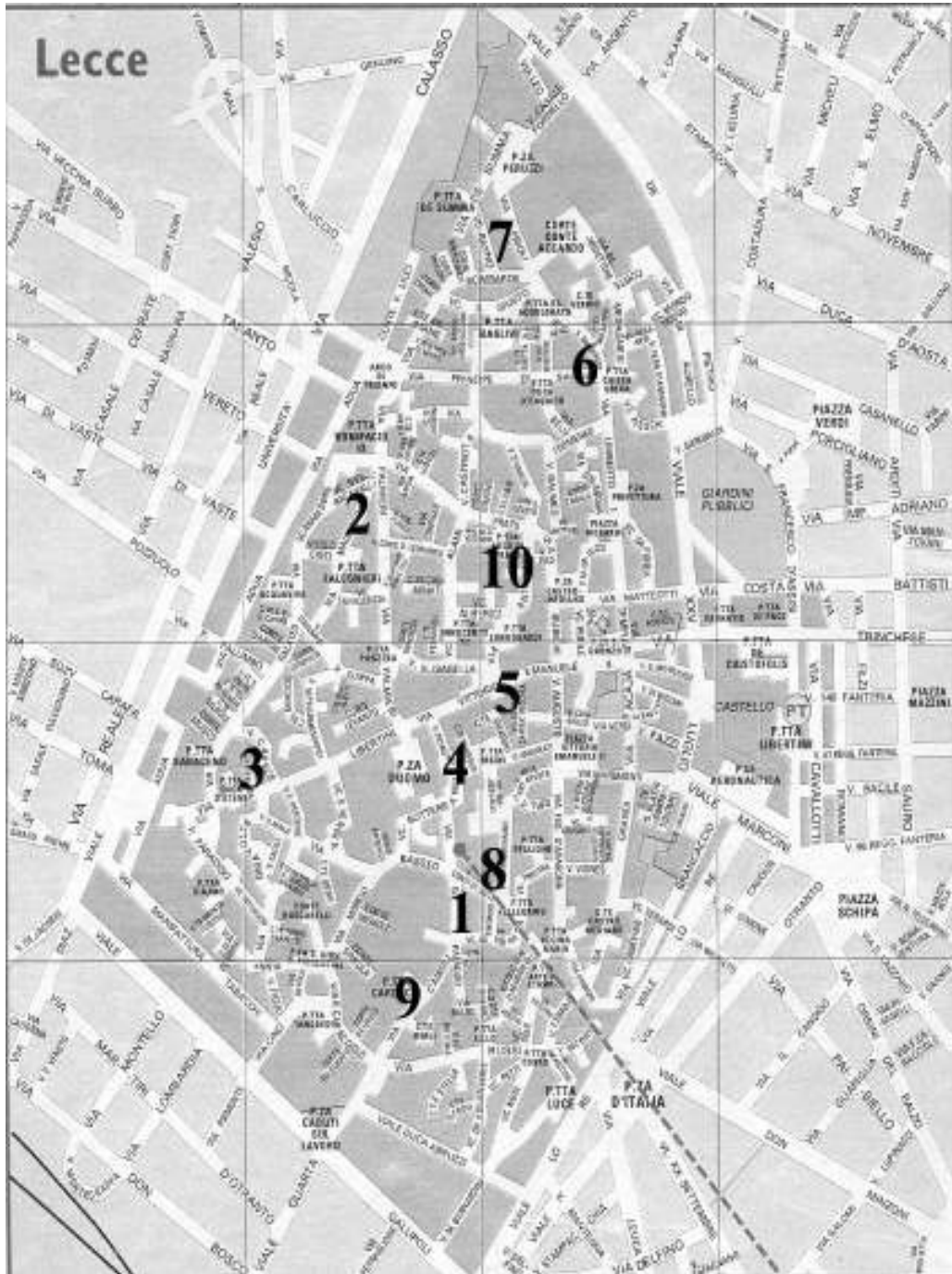
Esempi di misure 1



Esempi di misure 2



Punti di misura



Sono stati eseguiti cicli di campionamento di 30 min, ottenendo per ogni misura, 16-18 dati quantitativi.

I risultati riportati sono la media pesata dei dati ottenuti.

Sito	[Rn] Bq/m³	Descrizione sito	Tipo di pavimentazione
1	270 ± 20	Cantina con finestra, presenza di fessure che conducono in locali murati	Naturale
2	174 ± 16	Cantina con solo ingresso	Cemento
3	115 ± 14	Cantina con ingresso e piccola finestra	Cemento
4	143 ± 15	Cantina con ingresso e piccola finestra	Naturale
5	900 ± 30	Cantina, più locali contigui, assenza di ventilazione	Naturale
6	17 ± 7	Cantina con buona ventilazione	Cemento
7	22 ± 13	In ristrutturazione mancante di infissi	Naturale
8	94 ± 12	Cantina con finestrini	Naturale
9	990 ± 40	Cantina con unica porta di accesso, assenza di finestre	Naturale
10	28 ± 8	In ristrutturazione mancante di infissi	Naturale

Sito	[Rn] Bq/m ³	Descrizione sito	Tipo di pavimentazione
1	270 ± 20	Cantina con finestra, presenza di fessure che conducono in locali murati	Naturale
2	174 ± 16	Cantina con solo ingresso	Cemento
3	115 ± 14	Cantina con ingresso e piccola finestra	Cemento
4	143 ± 15	Cantina con ingresso e piccola finestra	Naturale
5	900 ± 30	Cantina, più locali contigui, assenza di ventilazione	Naturale
6	17 ± 7	Cantina con buona ventilazione	Cemento
7	22 ± 13	In ristrutturazione mancante di infissi	Naturale
8	94 ± 12	Cantina con finestrini	Naturale
9	990 ± 40	Cantina con unica porta di accesso, assenza di finestre	Naturale
10	28 ± 8	In ristrutturazione mancante di infissi	Naturale

Ventilazione

La ventilazione degli ambienti è certamente il parametro determinante. Le concentrazioni maggiori si riscontrano in assenza di ventilazione e in siti con pavimenti naturali (siti 5 e 9)

Pavimento

Con condizioni di ventilazione simili (siti 3 e 4) la tipologia e lo stato di conservazione del pavimento determina la concentrazione di R_n

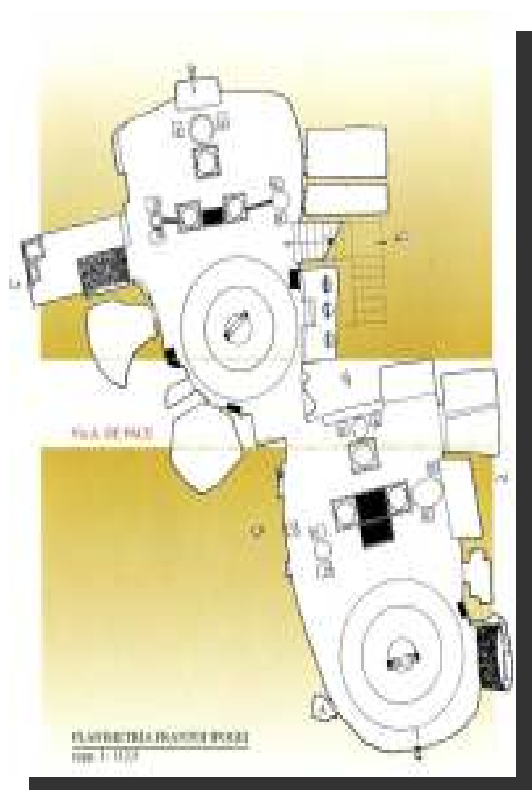
Altri siti analizzati



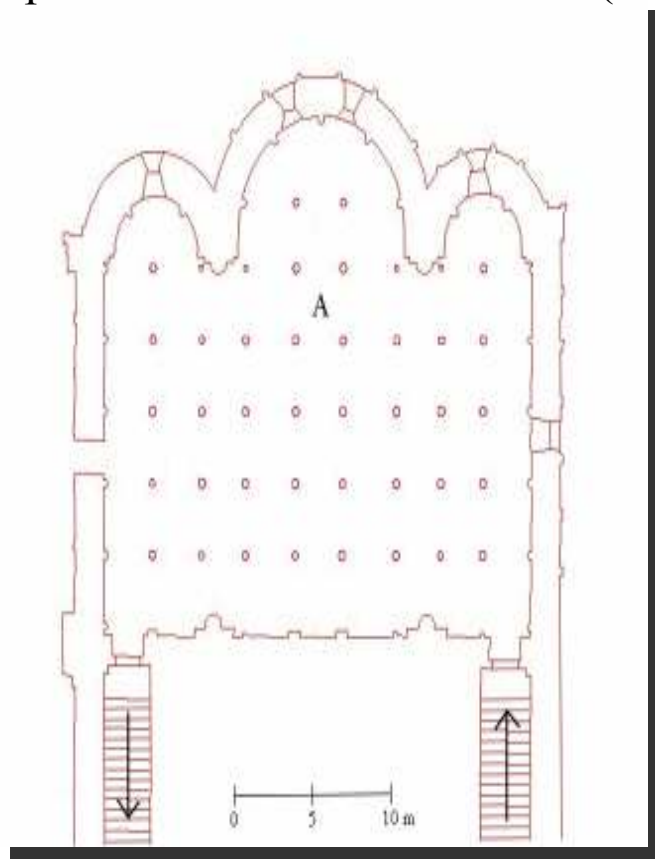
Planimetrie di alcuni siti



Frantoio ipogeo di Gallipoli (LE)

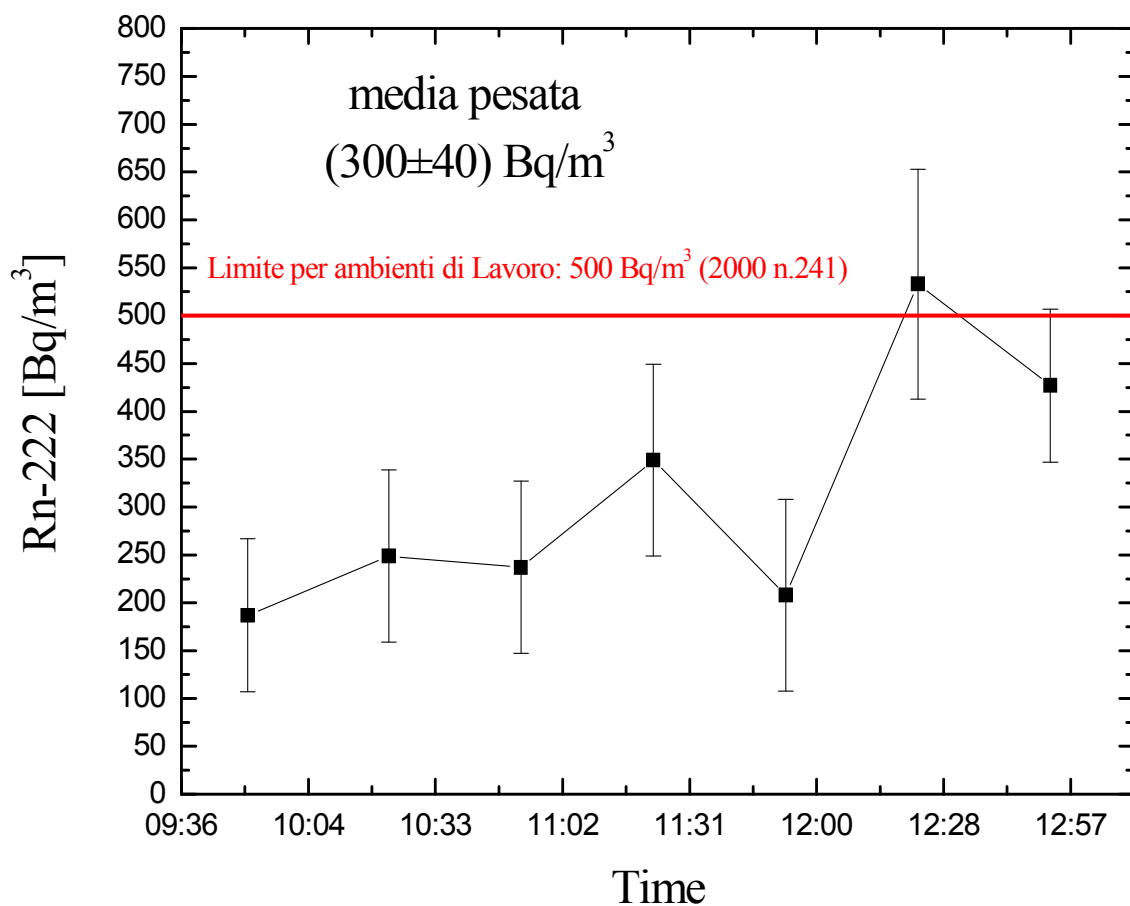


Cripta della Cattedrale - Otranto (LE)



Sono stati eseguiti cicli di campionamento di 30 min, ottenendo per ogni misura, 12-15 dati quantitativi.

I risultati riportati sono la media pesata dei dati ottenuti.



Esempio di misura

Conclusioni

Ventilazione

La ventilazione degli ambienti è certamente il parametro determinante. Le concentrazioni maggiori si riscontrano in assenza di ventilazione e in siti con pavimenti naturali.

Sigillatura delle vie di ingresso

Una perfetta sigillatura delle vie di ingresso previene l'accumulo del gas all'interno.

Radon in acqua



Normative vigenti

La normativa italiana (Decreto Legislativo del 26/05/00, n.241) ha stabilito un livello di riferimento per l'esposizione al Rn, in aria, negli ambienti di lavoro di 500 Bq/m³. Per quanto riguarda le concentrazioni di Radon in acqua, non esiste in Italia una normativa specifica

Per il controllo del Radon nelle acque esiste una raccomandazione della commissione europea EURATOM, notificata nel dicembre del 2001, che riguarda *la tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile*, la quale stabilisce i seguenti limiti :

- Nelle acque di superficie le concentrazioni di Radon sono molto basse e inferiori a 1 Bq/L (27 pCi/L)

- Nelle acque freatiche provenienti da falde acquifere di **rocce sedimentarie** le concentrazioni di Radon variano da 1 a 50 Bq/L ($27 \div 1350$ pCi/L)

- Nelle acque freatiche provenienti da falde acquifere di **roccia cristallina** le concentrazioni di Radon variano da 100 a 50000 Bq/L ($2700 \div 1.35 \times 10^6$ pCi/L)

Strumentazione utilizzata

Lo strumento utilizzato per la misura del Radon in acqua è composto da:

- **campionatore d'acqua**
- **rilevatore RAD7**



Il rivelatore: RAD7

Il RAD7 è un rivelatore a stato solido che converte la radiazione α direttamente in segnale elettrico. All'interno di tale rivelatore è presente una cella, avente una capienza di 0.7 L, rivestita con un conduttore elettrico. Il gas, contenente ^{222}Rn , entra nella cella, decade e produce ^{218}Po , come ione positivo. Sotto l'influenza del campo elettrico, esistente nella cella, gli ioni vengono a depositarsi sulla superficie del rivelatore dove decadono emettendo particelle α da 6.00 MeV. Entrano nel rivelatore e producono un segnale elettrico proporzionale in intensità all'energia della particella α .



Metodo analitico

I campionamenti sono stati eseguiti a 5 metri dal livello piezometrico mediante campionatore pneumatico prodotto dalla SISGEO.

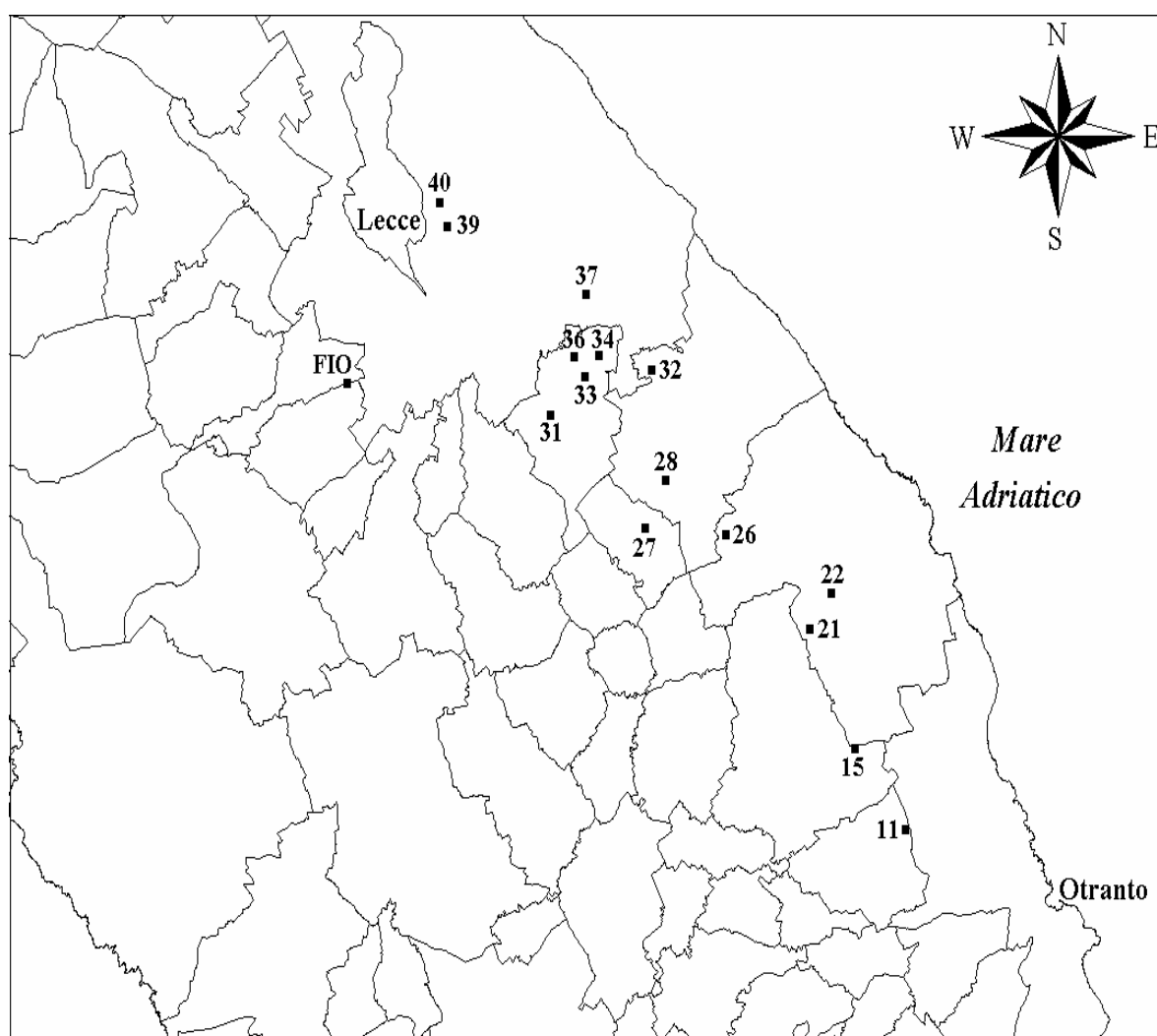


La misura è eseguita immediatamente dopo il campionamento eseguendo:

- degassamento;
- 4 cicli di misura da 5 minuti ciascuno.

Campioni esaminati

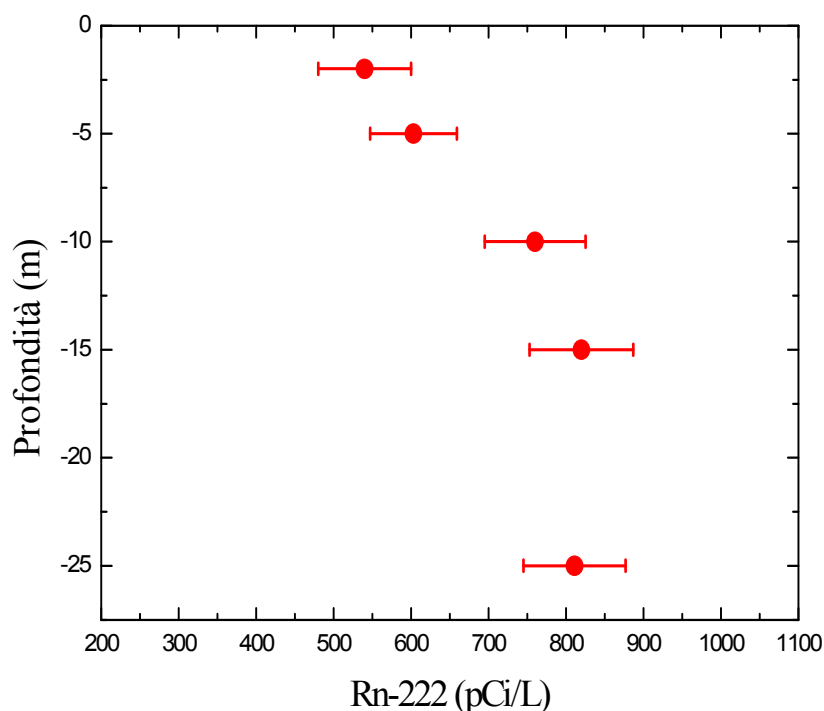
E' stata esaminata l'acqua di 15 pozzi appartenenti al Consorzio di Bonifica Ugento Li Foggi: l'area indagata si estende da Lecce ad Otranto. I pozzi considerati hanno una profondità compresa tra 80 – 100 m. Sono pozzi non utilizzati e quindi non sono soggetti a possibili contaminazioni di tipo locale.



Risultati

Per l'ottimizzazione dei parametri strumentali utilizzati nel corso delle misure nonché la messa appunto della modalità di campionamento sono state eseguite delle misure di prova presso in pozzo sito all'interno del Collegio Fiorini.

Per il pozzo n°33 è stata determinata la concentrazione di attività in funzione della profondità.



All'aumentare della profondità si vede che la concentrazione di Rn-222 aumenta per poi mantenersi, entro le incertezze sperimentali, ad un valore costante.

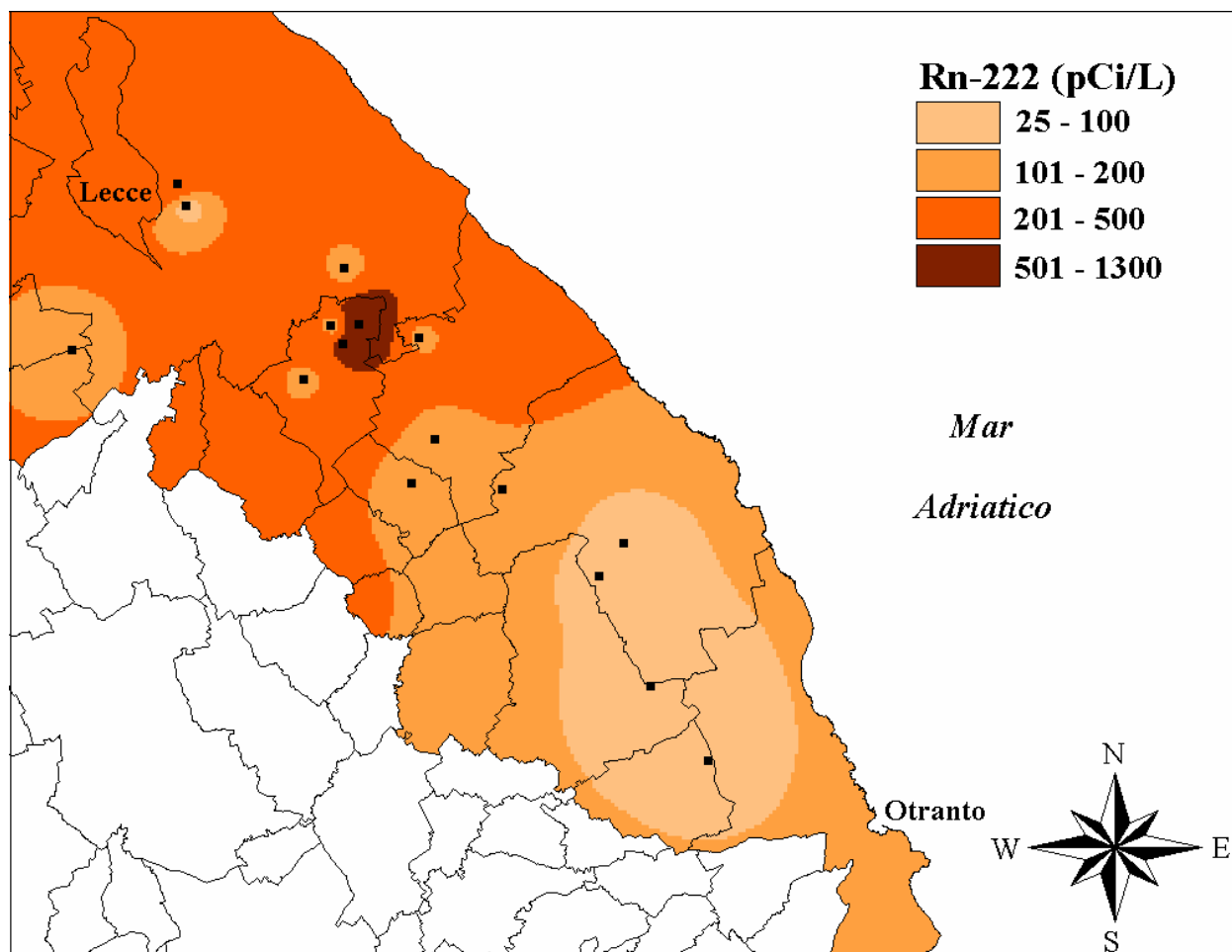
Risultati ottenuti

Pozzo	Data campionamento	[²²² Rn] (pCi/L)
FIO	15 maggio 2006	140 ± 30
11	16 giugno 2006	90 ± 30
15	22 giugno 2006	25 ± 10
21	22 giugno 2006	70 ± 20
22	22 giugno 2006	50 ± 20
26	23 maggio 2006	180 ± 30
27	25 maggio 2006	140 ± 30
28	25 maggio 2006	120 ± 30
31	28 giugno 2006	140 ± 30
32	23 maggio 2006	150 ± 30
33	20 giugno 2006	600 ± 60
34	9 giugno 2006	1300 ± 80
36	30 maggio 2006	90 ± 30
37	7 giugno 2006	100 ± 30
39	7 giugno 2006	30 ± 20
40	9 giugno 2006	430 ± 50

La discrepanza esistente tra le varie concentrazioni di Radon misurate nei vari pozzi può essere giustificata andando ad analizzare la geologia del sottosuolo salentino.

Discussione dei risultati

I dati ottenuti sono stati graficati utilizzando il programma
ARCVIEW GIS



Discussione dei risultati

I valori riscontrati non superano i valori limite previsti dalla Raccomandazione della Comunità Europea per la tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile: $27 \div 1350$ pCi/L per le acque provenienti da falde acquifere di rocce sedimentarie.

L'ARPA del Trentino Alto Adige (unica in Italia) ha eseguito una mappatura completa della regione: i valori misurati sono nettamente più alti come atteso in quanto il sottosuolo del Trentino è granitico e quindi molto più ricco di uranio rispetto alle calcareniti che caratterizzano il territorio salentino.

Conclusione pratica

Prima di bere l'acqua dei pozzi, si consiglia di lasciarla degassare per qualche ora.